สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาตัวควบคุมแบบป้อนกลับในวงจรอินเวอร์เตอร์พีดับเบิลยูเอ็มสำหรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบต่อเนื่องเฟสเดียว

Development of a Feedback Controller of a Single Phase PWM Inverter for UPS

T117567

โดย

นายอธิปตย์ จันทร์ดี

นายอภินันท์ จตุพรสมบัติ

นายอานนท์ สันทศนะสุวรรณ

เลขหมู่.................................

เลขทะเบียน 117567

วัน,เดือน,ปี - 5 ส.ค. 2554

.b 12312543

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2553

การพัฒนาตัวควบคุมแบบป้อนกลับในวงจรอินเวอร์เตอร์พีดับเบิลยูเอ็มสำหรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบต่อเนื่องเฟสเดียว

Development of a Feedback Controller of a Single Phase PWM Inverter for UPS

โดย

อธิปตย์ จันทร์ดี

อภินันท์ จตุพรสมบัติ

อานนท์ สันทศนะสุวรรณ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

อ.วรกัลป์ ลิ้มเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาตัวควบคุมแบบป้อนกลับในวงจรอินเวอร์เตอร์พีดับเบิลยูเอ็มสำหรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบต่อเนื่องเฟสเดียว

ผู้จัดทำ

1. นาย อธิปตย์ จันทร์ดี

2. นาย อภินันท์ จตุพรสมบัติ

3. นาย อานนท์ สันทศนะสุวรรณ

....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล)

....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(อ.วรกัลป์ ลิ้มเจริญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาตัวควบคุมแบบป้อนกลับในวงจรอินเวอร์เตอร์พีดับเบิลยูเอ็มสำหรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบต่อเนื่องเฟสเดียว

นาย อธิปตย์ จันทร์ดี
นาย อภินันท์ จตุพรสมบัติ
นาย อานนท์ สันทศนะสุวรรณ
ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล อาจารย์ที่ปรึกษา
อ.วรกัลป์ ลิ้มเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

โครงงานนี้นำเสนอผลการศึกษาการออกแบบระบบควบคุมเพื่อปรับปรุงคุณภาพของรูปคลื่นไฟฟ้าและระดับแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองหรือ UPS (Uninterruptible Power Supply) และศึกษาโมเดลทางพลศาสตร์การควบคุมของแหล่งจ่ายไฟฟ้า ซึ่งจะถูกนำเสนอในโครงงานนี้ โดยได้ทำการเปรียบเทียบระบบเปิดกับระบบที่มีการป้อนกลับโดยใช้วิธีการควบคุมระบบแบบพีไอ (Proportional and Integral controller) แบบดิจิตอลเพื่อการควบคุมแรงดันเอาท์พุทของระบบโดยการปรับเปลี่ยนค่าดัชนีการมอดูเลต ทำให้สามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่และมีคุณภาพรูปคลื่นที่เหมาะสม แม้ว่าภาระทางไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Development of a Feedback Controller of a Single Phase PWM Inverter for UPS

Atip Jundee
Apinun Jatupornsombatt
Arnon Santasanasuwan
Asst.Prof.Dr.Somyot Kaitwanidvilai, Advisor
Worrakan Limcharoen, Co-Advisor
2010

ABSTRACT

This Project presents the study of controller design for improving both the waveform quality and the voltage regulation of uninterruptible power supply (UPS). The results which are the dynamic model and control of UPS are studied and illustrated in this thesis. Digital PI controller is applied to control the output voltage by adjusting the modulation index, and the results is compared with the responses from the open loop system By the proposed technique, the waveform quality and output voltage regulation are improved even the system load is changed.

Keywords: Uninterruptible Power Supply (UPS), PI Control, Load Changing.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จสิ้นได้ด้วยดีหากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลาย ๆฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้คือ ผศ.ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์และอาจารย์วรกัลป์ ลิ้มเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ให้ความกรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์การทดลอง และความช่วยเหลือแด่คณะผู้จัดทำ

นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ คุณบุญมี เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้เบิกใช้เครื่องมือ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกใบเสร็จของโครงงาน และผู้จัดทำต้องขอบคุณพี่ ๆและเพื่อนร่วมห้องปฏิบัติการทุกท่าน ที่คอยเอาใจใส่คอยถามไถ่ตลอดเวลา

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ บิดา มารดาของคณะผู้จัดทำที่ได้ให้การสนับสนุนให้โอกาสผู้จัดทำได้เล่าเรียนจนถึงทุกวันนี้และเป็นกำลังใจให้แก่ผู้จัดทำตลอดมา จนทำให้โครงงานวิจัยและปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ จึงขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

อธิปตย์ จันทร์ดี
อภินันท์ จตุพรสมบัติ
อานนท์ สันทศนะสุวรรณ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้าบทคัดย่อ I
ABSTRACT II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญภาพ VI
สารบัญตาราง VII
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ 2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน 2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงงาน 2
1.5 แผนการดำเนินโครงงาน 3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 4
1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์ 4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 ลักษณะการทำงานและชนิดของเครื่องสำรองไฟฟ้า 5
2.1.1 เครื่องสำรองไฟฟ้าในโหมดออนไลน์ (On Line mode) 5
2.1.2 ยูพีเอสที่ทำงานในโหมดออฟไลน์ (Off Line mode) 5
2.1.3 ยูพีเอสที่ทำงานในโหมดออนไลน์จริง (True Online UPS) 6
2.2 ส่วนประกอบของเครื่องจ่ายไฟฟ้าสำรองแบบออฟไลน์ 7
2.2.1 ฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส 7
2.2.2 แบตเตอรี 7
2.2.3 อุปกรณ์สวิตช์ (MOSFET) 8
2.2.4 การสวิตช์แรงดันแบบ (SPWM) 13
2.2.5 การหน่วงเวลา (Dead Time) 16
2.2.6 ตัวกรองความถี่สูง (High Frequency Filter) 17
2.2.7 หม้อแปลงเพิ่มระดับแรงดัน 19
2.2.8 รีเลย์ 20
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างฮาร์มอนิกส์กับดัชนีการมอดูเลต 21
2.4 การควบคุมแบบพีไอ (Proportional-Integral Controller) 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างเครื่องสำรองไฟฟ้า....26
3.1 การออกแบบวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส....26
3.2 การออกแบบวงจรหน่วงเวลา (Dead Time)....27
3.3 การออกแบบวงจรขับเกต (Gate Drive)....27
3.4 การเลือกใช้หม้อแปลง....28
3.5 การเลือกใช้แบตเตอรี....29
3.6 การเลือกใช้อุปกรณ์รีเลย์....30
3.7 การออกแบบตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter)....30
3.8 การออกแบบตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้าและวงจรตรวจจับ....31
บทที่ 4 การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลองจริง....32
4.1 การจำลองอินเวอร์เตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink....32
4.2 ผลการจำลอง....33
4.2.1 จำลองการจ่ายโหลดขณะไม่มีตัวควบคุม....33
4.2.2 จำลองการจ่ายโหลดขณะมีตัวควบคุม....34
4.3 สรุปผลการจำลอง....36
4.4 ผลการทดลอง....37
4.4.1 รูปคลื่นสัญญาณเอสพีดับเบิ้ลยูเอ็ม....38
4.4.2 ผลการวัดรูปคลื่นในวงจรหน่วงเวลาและวงจรขับเกต....39
4.4.3 รูปคลื่นเอาท์พุทแรงดันและกระแสก่อนเข้าวงจรฟิลเตอร์....41
4.4.4 รูปคลื่นเอาท์พุทแรงดันและกระแสหลังออกจากวงจรฟิลเตอร์....42
4.4.5 รูปคลื่นเอาท์พุทแรงดันและกระแสหลังผ่านหม้อแปลง....43
4.4.6 สเปคตรัมและผลรวมความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดัน และกระแสหลังเข้าวงจรฟิลเตอร์....44
4.4.7 สเปคตรัมและผลรวมความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดันและ กระแสหลังผ่านหม้อแปลง....45
4.4.8 รูปคลื่นขณะทำงานเปลี่ยนโหมดระหว่างการไฟฟ้ากับแรงดัน จากยูพีเอส....47
4.4.9 รูปคลื่นแรงดันและกระแสขณะไม่มีการควบคุม....48
4.4.10 รูปคลื่นแรงดันและกระแสขณะมีการควบคุม....53
4.4.11 รูปถ่ายวงจรที่ออกแบบ....56
4.4.12 สรุปผลการทดลอง....62
บทที่ 5 สรุปผลและเสนอแนวทางในการพัฒนา....63
5.1 สรุปผลของโครงงาน....63
5.2 ข้อเสนอแนะ....63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 แนวทางในการพัฒนา....63
ภาคผนวก....64
ภาคผนวก ก เครื่องสำรองไฟฟ้าที่สร้างขึ้นในโครงงานนี้....65
ภาคผนวก ข ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง....67
บรรณานุกรม....68
ประวัติผู้เขียน....69

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า
2.1 ลักษณะการทำงานของยูพีเอสโหมดออนไลน์ 5
2.2 ลักษณะการทำงานของยูพีเอสโหมดออฟไลน์ 6
2.3 ลักษณะการทำงานของยูพีเอสโหมดทรูออนไลน์ 7
2.4 แสดงโครงสร้างของมอสเฟทแบบ N และ P ชนิดดีพลีชั่น 9
2.5 แสดงโครงสร้างของมอสเฟทแบบ N และ P ชนิดเอนฮานท์เมนต์ 10
2.6 แสดงกราฟคุณลักษณะในการถ่ายโอนของ อีมอสเฟท แบบแชลแนล N
และคุณลักษณะเอาท์พุต ของอีมอสเฟท แบบแชลแนล 11
2.7 แสดงรูปคลื่นแรงดันในการสวิตช์ของแรงดันเกท 12
2.8 วงจรการควบคุมการสวิตซ์แบบเอสพีดับเบิลยูเอ็มของอินเวอร์เตอร์ 1เฟส 13
2.9 อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบฟูลบริดจ์ 13
2.10 การสวิตชิ่งแรงดันแบบไบโพล่าร์ 15
2.11 ชุดวงจรเดดไทม์ 16
2.12 สัญญาณที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับขับมอสเฟต 2 ชุด 17
2.13 การตอบสนองความถี่ของวงจรฟิลเตอร์ชนิดต่างๆ 18
2.14 วงจรกรองความถี่สูง 18
2.15 กราฟผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่สูง 19
2.16 คอนแทกเตอร์ของรีเลย์ 21
2.17 โครงสร้างการควบคุมระบบแบบพีไอ 24
2.18 การควบคุมแรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์ 25
3.1 วงจรรวมของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบต่อเนื่องเฟสดียว 26
3.2 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 26
3.3 วงจรหน่วงเวลาที่ใช้ในโครงงาน 27
3.4 วงจรขับเกตของ IR2110 28
4.1 การจำลองอินเวอร์เตอร์โดยใช้หม้อแปลงเพิ่มระดับแรงดัน 32
4.2 กราฟดัชนีการมอดูเลตและกราฟความผิดผลาดขณะไม่มีการควบคุม 33
4.3 กราฟแรงดันเอาท์พุทขณะไม่มีการควบคุม 33
4.4 กราฟกระแสที่วงจรกรองความถี่สูงและกราฟกระแสที่หม้อแปลงขณะไม่มีการ
ควบคุม 34
4.5 กราฟดัชนีการมอดูเลตและกราฟความผิดผลาดขณะมีการควบคุมพีไอ 34
4.6 กราฟแรงดันที่หม้อแปลงขณะมีการควบคุมพีไอ 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 กราฟกระแสที่วงจรกรองความถี่สูงและกราฟกระแสที่หม้อแปลงขณะมีการควบคุมพีไอ 35
4.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการควบคุมแบบพี และการควบคุมแบบพีไอ36
4.9 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบต่อเนื่องในโครงงาน 37
4.10 สัญญาณเอสพีดับเบิลยูเอ็ม 38
4.11 สัญญานที่ออกจากdead time (ขอบขาขึ้น) 39
4.12 สัญญานที่ออกจาก dead time (ขอบขาลง) 39
4.13 สัญญานวงจรขับเกต 40
4.14 รูปคลื่นเอาท์พุทแรงดันก่อนเข้าวงจรฟิลเตอร์ 41
4.15 รูปคลื่นเอาท์พุทกระแสก่อนเข้าวงจรฟิลเตอร์ 41
4.16 รูปคลื่นเอาท์พุทแรงดันหลังออกจากวงจรฟิลเตอร์ 42
4.17 รูปคลื่นเอาท์พุทกระแสหลังออกจากวงจรฟิลเตอร์ 42
4.18 รูปคลื่นเอาท์พุทแรงดันหลังผ่านหม้อแปลง 43
4.19 สเปคตรัมของรูปคลื่นแรงดันหลังเข้าวงจรฟิลเตอร์ 44
4.20 สเปคตรัมของรูปคลื่นกระแสหลังเข้าวงจรฟิลเตอร์ 44
4.21 สเปคตรัมของรูปคลื่นแรงดันหลังผ่านหม้อแปลง 45
4.22 สเปคตรัมของรูปคลื่นกระแสหลังผ่านหม้อแปลง 46
4.23 รูปคลื่นขณะทำงานเปลี่ยนโหมดระหว่างการไฟฟ้ากับแรงดันจากยูพีเอสขณะไม่มีภาระ 47
4.24 รูปคลื่นขณะทำงานเปลี่ยนโหมดระหว่างการไฟฟ้ากับแรงดันจากยูพีเอสขณะรับภาระ 25 W 48
4.25 รูปคลื่นแรงดันขณะจ่ายภาระที่ 25 W 48
4.26 สัญญาณกระแสขณะจ่ายภาระที่ 25 W 49
4.27 สัญญาณแรงดันขณะจ่ายภาระที่ 40 W 49
4.28 สัญญาณกระแสขณะจ่ายภาระที่ 40 W 50
4.29 สัญญาณแรงดันขณะจ่ายภาระที่ 60 W 50
4.30 สัญญาณกระแสขณะจ่ายภาระที่ 60 W 51
4.31 รูปคลื่นแรงดันและกระแส ขณะจ่ายภาระที่ 25 W 51
4.32 รูปคลื่นแรงดันและกระแส ขณะจ่ายภาระที่ 40 W 52
4.33 รูปคลื่นแรงดันและกระแส ขณะจ่ายภาระที่ 60 W 52
4.34 รูปคลื่นแรงดันขณะมีการควบคุมที่ภาระไฟฟ้า 25 W 53
4.35 รูปคลื่นกระแสขณะมีการควบคุมที่ภาระไฟฟ้า 25 W....53
4.36 รูปคลื่นแรงดันและกระแส ขณะมีการควบคุมที่ภาระไฟฟ้า 25 W 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.37 กราฟสเปคตรัมแรงดันขณะมีการควบคุมที่ภาระไฟฟ้า 25 W..54
4.38 รูปคลื่นสเปคตรัมกระแสขณะมีการควบคุมที่ภาระไฟฟ้า 25 W 55
4.39 แหล่งจ่ายจากแบตเตอรี่ 36 V 56
4.40 วงจรสวิตซ์แยกฝั่งควบคุมและฝั่งกำลังหลัก 56
4.41 วงจรไฟเลี้ยง..57
4.42 วงจรไมโครคอลโทรลเลอร์ (สร้าง SPWM)..57
4.43 วงจรหน่วงเวลา 58
4.44 วงจรขับเกต..58
4.45 วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ 59
4.46 วงจรกรองความถี่สูง 59
4.47 หม้อแปลงเพิ่มแรงดันไฟฟ้า 60
4.48 สวิตซ์เปิดปิดการเชื่อมต่อกับภาระทางไฟฟ้า 60
4.49 รีเลย์ที่เชื่อมต่อภาระทางไฟฟ้าระหว่างไฟยูพีเอสกับไฟจากการไฟฟ้า 61
4.50 ภาระทางไฟฟ้า 61
4.51 รูปวงจรรวมของโครงงาน..62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างฮาร์มอนิกกับอัตราการมอดูเลตด้านแอมพลิจูด 23

4.1 ตารางเปรียบเทียบการควบคุมแบบพีและการควบคุมแบบพีไอ....................36

4.2 ตารางแสดงค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ค่าความผิดเพี้ยนทาง กระแสไฟฟ้าและค่าความผิดเพี้ยนของแรงดันไฟฟ้าขณะก่อนผ่านและหลังผ่านหม้อแปลง 46

4.3 ตารางแสดงค่าแรงดันไฟฟ้า ค่าความผิดเพี้ยนทางกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าขณะก่อนผ่านและหลังผ่านตัวกรองความถี่สูง 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองหรือยูพีเอส (UPS) เป็นอุปกรณ์ชนิดแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าประเภทหนึ่งที่ช่วยให้อุปกรณ์ไฟฟ้าสามารถมีกำลังงานไฟฟ้าใช้และทำงานได้อย่างต่อเนื่องแม้ว่าไฟฟ้าจากระบบการไฟฟ้าจะขัดข้องก็ตาม ซึ่งได้มีการออกแบบใช้งานมาเป็นเวลานานแล้วในอดีตการใช้งานยูพีเอสจะใช้เป็นอุปกรณ์เสริมพิเศษ แก้ไขคุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power Quality) โดยมักจะมีการใช้เฉพาะงานที่จำเป็น เช่น ในระบบเครื่องมินิคอมพิวเตอร์ เครื่องมือแพทย์ เครื่องมือวัดเพื่อทำงานเก็บค่าการวัดที่ใช้เวลาในการเก็บนาน เป็นต้น และยังไม่เป็นที่รู้จักแพร่หลายมากนักเนื่องจากมีราคาสูง แต่ในปัจจุบันซึ่งนับได้ว่าเป็นยุคไอทีได้มีการใช้งานยูพีเอสกับเครื่องคอมพิวเตอร์จำนวนมากทั้งในระบบบริษัทและเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลตามบ้านอีกทั้งราคาของเครื่องสำรองไฟฟ้าในปัจจุบันมีราคาต่ำลงอย่างมากดังนั้นจึงมีความต้องการใช้เครื่องสำรองไฟฟ้ากันมากขึ้น ดังนั้นเมื่อกล่าวถึงเครื่องสำรองไฟฟ้าในปัจจุบันจึงแทบเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย สำหรับโครงสร้างและการทำงานของเครื่องสำรองไฟฟ้ายังไม่เป็นที่รู้กันมากนัก ดังนั้นในโครงงานนี้จึงได้ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของเครื่องสำรองไฟฟ้ารวมถึงการออกแบบวงจรและสร้างเครื่องสำรองไฟฟ้าขึ้นมาเพื่อแก้ไขปัญหาความผิดปกติจากระบบไฟฟ้า ซึ่งปัญหาทางไฟฟ้าหรือเรียกว่ามลภาวะทางไฟฟ้า (Electrical Pollution) สามารถแยกออกตามลักษณะที่เกิดที่สำคัญได้ดังต่อไปนี้คือ

1. ไฟตก (Under Voltage) สาเหตุเกิดจากความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามีมากหรืออยู่ช่วงปลายของแหล่งจ่ายไฟฟ้า ผลกระทบจะมีหลายรูปแบบเช่น อุปกรณ์จะทำงานหนักขึ้น หากเป็นจอภาพจะสั่นไหวและอายุการใช้งานสั้นลง

2. ไฟกระชาก (Surge) สาเหตุมักเกิดจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เช่น ฟ้าผ่าเข้ามาในระบบสายส่ง ผลกระทบถ้ามีความรุนแรงมากมักจะทำให้อุปกรณ์เสียหาย

3.ไฟตกชั่วขณะ (Sags) สาเหตุมักเกิดขึ้นเนื่องจากมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากๆในขณะหนึ่งผลกระทบอาจทำให้อุปกรณ์ประเภทคอมพิวเตอร์หยุดทำงาน (Hang) และอายุการใช้งานลดลง

4. ไฟดับ (Blackout) สาเหตุเกิดจากแหล่งจ่ายพลังงานได้รับความเสียหาย หรือสายส่งไฟฟ้าเสียหาย ผลกระทบจะทำให้อุปกรณ์หยุดทำงานทันที สำหรับอุปกรณ์ประเภทคอมพิวเตอร์อาจส่งผลให้ข้อมูลสูญหายได้

ปัญหาเหล่านี้เป็นปัญหาด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้าที่สำคัญที่จะส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบ โดยเฉพาะโหลดที่มีความสำคัญเช่นคอมพิวเตอร์ ซึ่งหากระบบไฟฟ้าเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขัดข้องไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าหรือภาวะที่ระบบไฟฟ้าตกหรือเกินเกิดขึ้นที่อุปกรณ์ไฟฟ้าได้ อาจทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้านั้นเกิดความเสียหายขึ้น ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหาเหล่านี้ได้โดยการใช้แหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่องหรือที่เรียกกันว่า ยูพีเอส (Uninterruptible Power Supply) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่มีคุณภาพและเสถียรภาพอย่างต่อเนื่อง สามารถลดปัญหาทางไฟฟ้าและทำให้ระบบมีเสถียรภาพในการทำงานอยู่ตลอดเวลาแม้ว่าแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลักจะดับไป

อย่างไรก็ตามนอกจากการทำงานปกติของเครื่องยูพีเอสแล้ว การควบคุมขนาดแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทของยูพีเอสนับว่ามีความสำคัญ เนื่องจากโหลดของยูพีเอสมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โครงงานนี้จึงนำเสนอวิธีการควบคุมแบบพีไอ ที่สามารถใช้กับยูพีเอสเพื่อให้มีคุณลักษณะทางไดนามิกส์ที่คงทนต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์และการรบกวนได้

การที่ใช้แรงดันควบคุมเป็นการควบคุมที่ง่ายกว่าแบบกระแสควบคุม โดยเมื่อทำการจ่ายภาระทางไฟฟ้าจะพบว่าจะทำให้แรงดันตกลง ซึ่งจะสามารถควบคุมแรงดันให้คงค่าได้ตลอดโดยใช้วิธีการควบคุมแบบพีไอแม้ในกรณีไม่มีภาระทางไฟฟ้าก็จะสามารถควบคุมได้ แต่ในทางกลับกันกรณีกระแสควบคุมถ้าใช้การควบคุมแบบพีไอจะเกิดปัญหากรณีที่ไม่มีภาระทางไฟฟ้าเนื่องจากจะไม่มีกระแสไหลทำให้ไม่สามารถควบคุมกระแสได้ ดังนั้นแรงดันควบคุมจึงเป็นการควบคุมที่ง่ายกว่านั่นเอง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาวงจรและระบบการทำงานของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต่อเนื่องชนิดออฟไลน์ (Off-Line UPS)
2. เพื่อทำการพัฒนา UPS ให้มีความสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพโดยนำเทคโนโลยีด้านไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมการทำงาน
3. เพื่อที่สามารถจ่ายภาระไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องและมีการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน

1. แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต่อเนื่องขนาดพิกัด 300 VA
2. แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบลูกคลื่นไซน์เวฟ 220 Vrms
3. ใช้แบตเตอรีขนาด 36 V แบบแห้งในเครื่องสำรองไฟฟ้า

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1.ทำการศึกษาโครงสร้างและองค์ประกอบของโครงงาน และทำการศึกษาในรายละเอียดของส่วนประกอบต่าง ๆของยูพีเอส พร้อมทั้งศึกษาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC 16F877A)

2. ทำการสร้างชุดการทดลองในส่วนต่าง ๆของยูพีเอส ประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 ชุดอินเวอร์เตอร์

2.2 ชุดวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ พร้อมวงจรขับและแสดงผลการทำงาน

2.3 ชุดสวิตซ์สับเปลี่ยน

2.4 ชุดวงจรตรวจสอบสภาวะการทำงาน

2.5 ชุดวงจรป้อนกลับ

3. ทำการรวบรวมส่วนประกอบทุก ๆส่วนเข้าด้วยกัน เพื่อสร้างชุดต้นแบบ

4. ทำการสร้างยูพีเอสที่สมบูรณ์พร้อมทั้งทำการทดลองและบันทึกผล

5. จำลองผลการทำงานและออกแบบการควบคุมแบบพีไอคอนโทรลเลอร์ในยูพีเอส พร้อมแก้ไขปัญหาและหาข้อสรุป

6. เรียบเรียงเนื้อหาข้อมูลทั้งหมดเพื่อการทำปริญญานิพนธ์

1.5 แผนการดำเนินโครงงาน

การดำเนินงาน	เดือน							
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.
1. ศึกษาหาข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวกับยูพีเอส								
2. ศึกษาวงจรและอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง								
3. สร้างวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์และทดลอง								
4. จำลองการควบคุมแรงดันเมื่อภาระทางไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง								
5. ออกแบบวงจรควบคุมแรงดัน								
6. ทดสอบการทำงานของวงจรและบันทึกผล								
7. สรุปผลที่ได้และนำเสนอโครงงาน								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. เข้าใจหลักการทำงานของเครื่องแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต่อเนื่องได้มากขึ้นและได้รับความรู้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

2. รู้จักการทำงานร่วมกันและการแก้ปัญหาต่าง ๆในการดำเนินโครงงาน

3. มีการนำความรู้ที่ได้เรียนมาใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่และเกิดประโยชน์

4. สามารถนำความรู้ที่ได้มาเผยแพร่ให้แก่ผู้ที่สนใจ

5. สามารถสร้างยูพีเอสที่ควบคุมระดับแรงดันแบบป้อนกลับได้

1.7 การจัดโครงสร้างเนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์

บทที่ 1 บทนำเป็นบทที่กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์ วัตถุประสงค์ ขอบเขต ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำปริญญานิพนธ์และขั้นตอนการดำเนินงาน

บทที่ 2 นำทฤษฎีข้อมูลของเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มารวบรวมไว้เพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษาหรือการทดลองตามปริญญานิพนธ์นี้

บทที่ 3 การออกแบบการทดลองเป็นการออกแบบโครงสร้างทั้งด้านซอฟต์แวร์และด้านฮาร์ดแวร์ เพื่อให้ชุดอุปกรณ์ที่ออกแบบพร้อมใช้งานได้จริง

บทที่ 4 เป็นการนำเสนอข้อมูลผลการทดลองรวมถึงการวิเคราะห์ผลที่ได้

บทที่ 5 บทสุดท้ายที่นำผลการทดลองในบทที่ 4 มาสรุปผลแล้ววิเคราะห์หาข้อสรุปและปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นระหว่างการออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์หรือระหว่างการทดลองพร้อมสรุปแนวทางในการศึกษาและพัฒนายูพีเอสต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

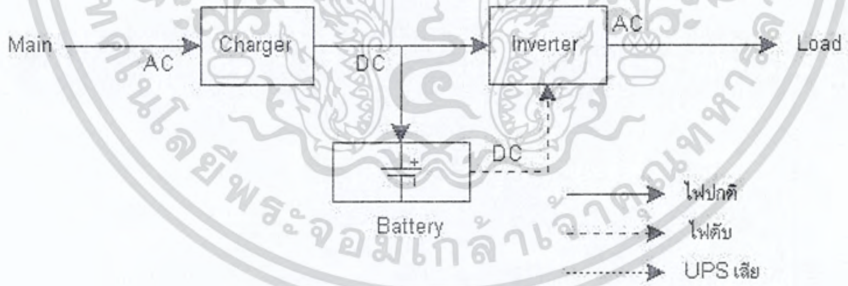
บทที่ 2
ทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 ลักษณะการทำงานและชนิดของเครื่องสำรองไฟฟ้า

ระบบแหล่งจ่ายไฟสำรองสามารถแบ่งออกตามลักษณะของการทำงานได้ 3 ชนิดคือ Online UPS แบบ Offline UPS และแบบ True Online UPS โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 เครื่องสำรองไฟฟ้าในโหมดออนไลน์ (Online UPS)

เป็นยูพีเอสที่ทำงานในลักษณะที่ชุดอินเวอร์เตอร์จะทำงานอยู่ตลอดเวลา ลักษณะการทำงานแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 โดยในสภาวะปกติจะรับพลังงานมาจากการไฟฟ้าเข้าสู่วงจรเรคติฟายไปยังอินเวอร์เตอร์เข้าสู่โหลดและอัดประจุเข้าสู่แบตเตอรีด้วย แต่เมื่อเกิดสภาวะผิดปกติ (Brownout) จะรับพลังงานมาจากแบตเตอรี่และเข้าสู่ชุดอินเวอร์เตอร์แทนและจ่ายไปยังโหลด โดยมีรีเลย์เป็นตัวตัดต่อเมื่อเกิดสภาวะการทำงานที่ปกติและไม่ปกติขึ้น จากหลักการนี้จะทำให้กระแสไฟฟ้าสลับที่จ่ายให้กับโหลดจะมีสัญญาณไฟฟ้าที่คงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือสัญญาณไฟฟ้าขาดหายไปทั้งในสภาวะปกติและไม่ปกติ



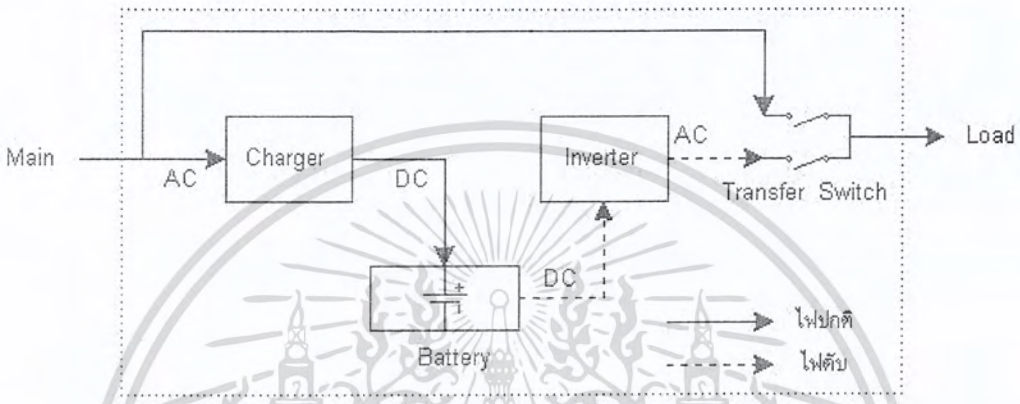
รูปที่ 2.1 ลักษณะการทำงานของยูพีเอสโหมดออนไลน์

2.1.2 เครื่องสำรองไฟฟ้าในโหมดออฟไลน์ (Offline UPS)

เป็นยูพีเอสที่ทำงานในลักษณะเมื่อมีสภาวะระบบปกติโหลดจะได้รับกระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้าโดยตรงและในขณะนี้จะมีการอัดประจุเข้าแบตเตอรีด้วย แต่เมื่อระบบมีสภาวะที่ผิดปกติเกิดขึ้นในระบบ สวิตช์สับเปลี่ยนจะเป็นตัวเลือกกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดที่ได้มา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแบตเตอรี โดยกระแสตรงจากแบตเตอรีจะจ่ายให้กับชุดอินเวอร์เตอร์และปรับแรงดันขึ้นโดยใช้หม้อแปลงและจ่ายไปยังโหลดแทนซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่โหลดได้รับจะมีการเปลี่ยนแปลงตามการทำงานของระบบยูพีเอสโดยสภาวะปกติจะรับแรงดันจากการไฟฟ้าและสภาวะไม่ปกติจะรับแรงดันจากยูพีเอสนั่นเอง ข้อดีของยูพีเอสชนิดนี้คือมีประสิทธิภาพสูงอีกทั้งมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบาและราคาถูกแต่มีข้อเสียซึ่งเกิดจากการใช้สวิตช์ถ่ายโอนกำลังงานทำให้เกิดระยะเวลาในการถ่ายโอนกำลังงาน (Transfer Time) ขึ้นทำให้ไม่สามารถป้องกันมลภาวะทางไฟฟ้าที่เกิดในระยะเวลาสั้นๆได้จึงเหมาะสมที่จะใช้กับแหล่งพลังงานหลักที่มีมลภาวะทางไฟฟ้าไม่มากนัก



รูปที่ 2.2 ลักษณะการทำงานของยูพีเอสโหมดออฟไลน์

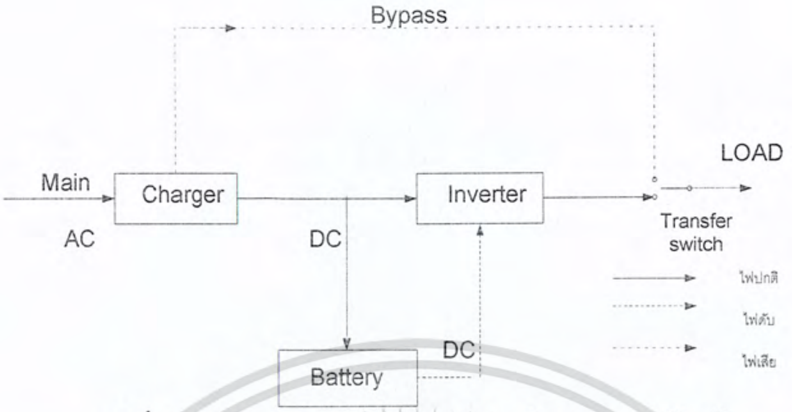
2.1.3 เครื่องสำรองไฟฟ้าในโหมดทรูออนไลน์ (True Online UPS)

เครื่องสำรองไฟฟ้าในโหมดทรูออนไลน์เป็นยูพีเอสที่มีศักยภาพสูงสุดกล่าวคือ เครื่องประจุกระแสไฟฟ้า (Charger) และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) จะทำงานตลอดเวลาไม่ว่าคุณภาพไฟฟ้าจะเป็นอย่างไรก็สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า (Load) ได้ตามปกติยกเว้นกรณีเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเสียจึงจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้า (Main) จากการไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้า (แต่ไม่ควรใช้งานต่อไปหากเครื่องแปลงกระแสไพ่ฟ้าเสีย)

เครื่องสำรองไฟฟ้าในโหมดทรูออนไลน์เป็นยูพีเอส ที่มีศักยภาพสูงที่สุดเมื่อเทียบกับยูพีเอสที่มีใช้งานอยู่ สามารถป้องกันปัญหาทางไฟฟ้าได้ทุกกรณีไม่ว่าจะเป็น ไฟดับ ไฟตก ไฟเกิน หรือสัญญาณรบกวนใดๆ และให้คุณภาพไฟฟ้าที่ดี ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ยูพีเอสชนิดนี้มีราคาสูงกว่ายูพีเอสชนิดอื่นๆ รูปที่ 2.3 แสดงการทำงานของยูพีเอสชนิดนี้จากรูปจะพบว่าเมื่อจ่ายไฟปกติจะส่งผ่านทางเครื่องประจุกระแสไฟฟ้าโดยแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแล้วค่อยแปลงกลับจากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้อินเวอร์เตอร์แล้วจึงจ่ายโหลด แต่เมื่อเกิดไฟดับก็จะรับพลังงานจากแบตเตอรีแทนแล้วผ่านอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแล้วจ่ายโหลด ส่วนกรณีที่เกิดไฟเสียก็จะรับไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่โหลดทันที



รูปที่ **2.3** ลักษณะการทำงานของยูพีเอสโหมดทรูออนไลน์

2.2 ส่วนประกอบของเครื่องจ่ายไฟฟ้าสำรองแบบออฟไลน์

ยูพีเอสที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นระบบที่ทำงานในโหมดออฟไลน์ (Offline Mode) รายละเอียดของส่วนประกอบและการทำงานของยูพีเอสในโครงงานนี้แสดงได้ดังต่อไปนี้

2.2.1 ฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

อินเวอร์เตอร์หมายถึงอุปกรณ์ชุดหนึ่งที่ทางด้านอินพุตของอินเวอร์เตอร์เป็นกระแสตรง โดยอินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่เปลี่ยนจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับ โดยปกติอินเวอร์เตอร์สามารถปรับระดับแรงดันและความถี่ของแรงดันเอาท์พุทได้และมีทั้งแบบ 1 และ 3 เฟส

สำหรับยูพีเอสในโครงงานนี้จะใช้มอสเฟสเป็นอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งโดยอาศัยหลักการสร้างสัญญาณเอสพีดับเบิลยูเอ็มจากตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC 16F877) แล้วนำไปเข้าวงจรหน่วงเวลา (Deadtime) เพื่อไม่ให้เกิดการลัดวงจรของมอสเฟตในกิ่งเดียวกันหลังจากนั้นจึงนำสัญญาณไปขับมอสเฟทต่อไป อย่างไรก็ตามเอาท์พุทของวงจรอินเวอร์เตอร์จะเป็นรูปคลื่นไซน์ในทางไฟฟ้าต้องการรูปคลื่นไซน์เป็นแหล่งจ่าย ดังนั้นเพื่อลดองค์ประกอบของส่วนฮาร์โมนิกส์ที่มากับรูปคลื่นของยูพีเอสซึ่งจะเป็นการทำให้แรงดันเอาท์พุทคล้ายไซน์มากขึ้นจึงต้องทำการออกแบบวงจรกรองความถี่สูงหรือเรียกว่า Low pass Filter ซึ่งอาจจะใช้ค่าตัวเหนี่ยวนำกับคาปาซิเตอร์ในการกรองฮาร์โมนิกออกไปทำให้เหลือแต่ความถี่หลักมูล (Fundamental)

2.2.2 แบตเตอรี

แบตเตอรีที่ใช้ในโครงงานนี้ เป็นแบตเตอรีแบบตะกั่ว-กรด แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ Non spill lead – acid Battery และ Recombining seal – acid battery โดย Non spill lead – acid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

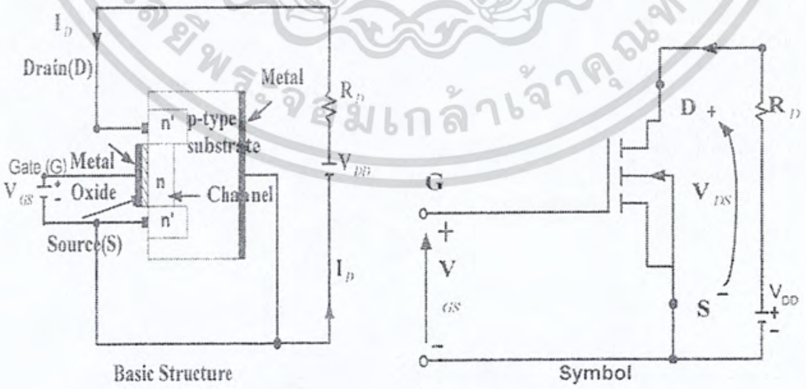
Battery สามารถแบ่งย่อยเป็นอีกสองชนิดคือ Standard Battery แบตเตอรีชนิดนี้เมื่อไม่ใช้งานจะมี self – discharge ที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมจึงต้องมีการอัดประจุใหม่ทุก 4-6 สัปดาห์ และ Self – discharge ซึ่งแบตเตอรีนี่เหมาะสำหรับการใช้งานช่วงเวลาสั้นๆ ส่วน Permanent Battery แบตเตอรีชนิดนี้เมื่อไม่ใช้งาน สามารถเก็บในอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสได้เป็นเวลานานหลายเดือนโดยไม่ต้องมีวิธีดูแลรักษา และสามารถอัดประจุทุก 10 เดือน และมี Self –discharge ต่ำเนื่องจากใช้ Lead-alloy ชนิดพิเศษเหมาะสำหรับใช้ในงานพิเศษที่ต้องการอายุการใช้งานมากกว่า standard-battery ส่วน Recombining seal – acid battery ปกติแล้วเมื่อแบตเตอรีอัดประจุถึงระดับ Overcharge กรดซัลฟูลิคที่เป็นอิเลคโตรไลท์จะทำปฏิกิริยาเป็นก๊าซ H_2 และ O_2 ทำให้ความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลท์เพิ่มขึ้นจึงเป็นสาเหตุให้ต้องการการเติมน้ำกลั่น มิฉะนั้นแบตเตอรีจะเสื่อมคุณภาพได้ การเติมน้ำกลั่นเป็นการจำกัดวงในการใช้แบตเตอรีฉะนั้นจึงมีการพัฒนาแบตเตอรีให้ใช้งานโดยไม่ต้องเติมน้ำกลั่น

2.2.3 อุปกรณ์สวิตช์ (MOSFET)

มอสเฟทเป็นอุปกรณ์ประเภทใช้แรงดันในการควบคุมกล่าวคือต้องใช้แรงดัน V_{GS} ควบคุมการไหลของกระแสเดรน (I_D)

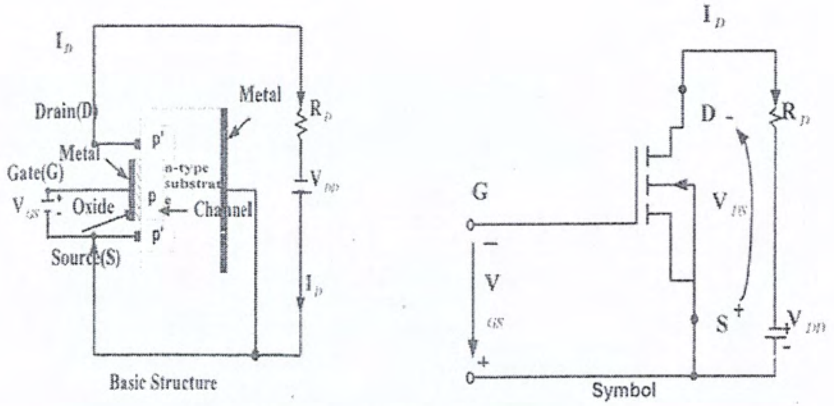
2.2.3.1 ประเภทของมอสเฟท

มอสเฟทเป็นอุปกรณ์ที่มีสามขั้วคือ ขั้วซอส (Source ; S) เดรน (Drain ; D) และเกท (Gate ; G) แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ มอสเฟทแบบดีพลีชั่น (Depletion MOSFET) เรียกสั้นๆว่า ดีมอสเฟทและมอสเฟทแบบเอนฮานซ์เมนต์ (Enhancement MOSFET) หรือเรียกอีมอสเฟท แต่ละประเภทยังแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ แชนแนล N (N-Channel) และแชนแนล P (P-Channel)



(a) n-channel depletion – type Mosfet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b) p-channel depletion – type Mosfet

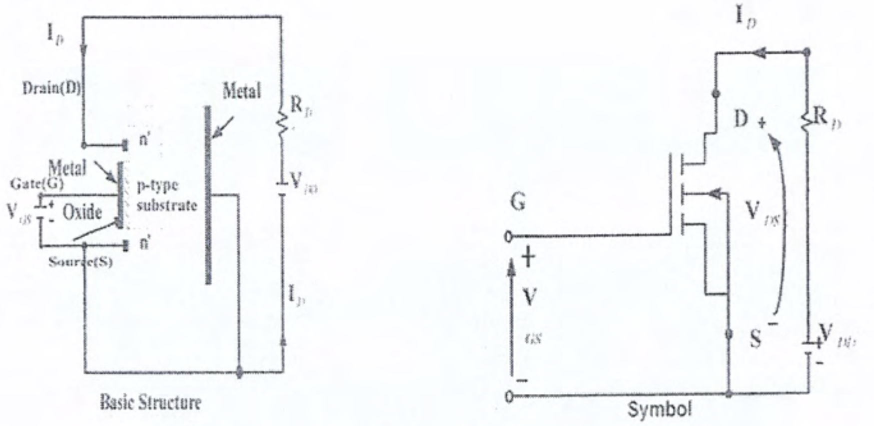
รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของมอสเฟทแบบ N และ P ชนิดดีพลีชั่น

โครงสร้างของดีมอสเฟทแบบแชนแนล N ในรูปที่ 2.4 ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P ซึ่งสร้างขึ้นจากซิลิคอนและเรียกว่าแผ่นผนึกฐาน P (P-type Substrate) โดยขั้ว D และขั้ว S ต่อกับบริเวณที่มีการกระตุ้นหรือโด๊ปให้เป็นบริเวณสารกึ่งตัวนำ N (N-Doped Region ; N) บริเวณสารกึ่งตัวนำ N ทั้งสองส่วนนี้ต่อกับวัสดุผิวนอกที่เป็นโลหะ โดยมีซิลิกอนไดออกไซด์กั้นระหว่างแชนแนล N กับขั่ว G ซิลิคอนไดออกไซด์เป็นฉนวนประเภทไดอิเลกตริก ถ้าแรงดันเกทซอร์ส (V_{GS}) มีค่าเป็นลบ อิเลกตรอนบางส่วนในแชนแนล N สร้างบริเวณปลอดพาหะ (Depletion Region) ภายในขั้วออกไซด์ทำให้แชนแนลแคบลงความต้านทานจากขั้วเดรนไปซอร์ส R_{DS} เริ่มมีค่าสูง เมื่อ V_{GS} มีค่าเพียงพอ แชนแนลจะหายไป R_{DS} จึงมีค่าสูงมากและไม่มีกระไหลจากขั้วเดรนไปซอร์ส นั้นคือ I_{DS} เท่ากับศูนย์ระดับ V_{GS} นี้เรียกว่าแรงดันพินช์ออฟ (Pinch – Off Voltage ; V_P)

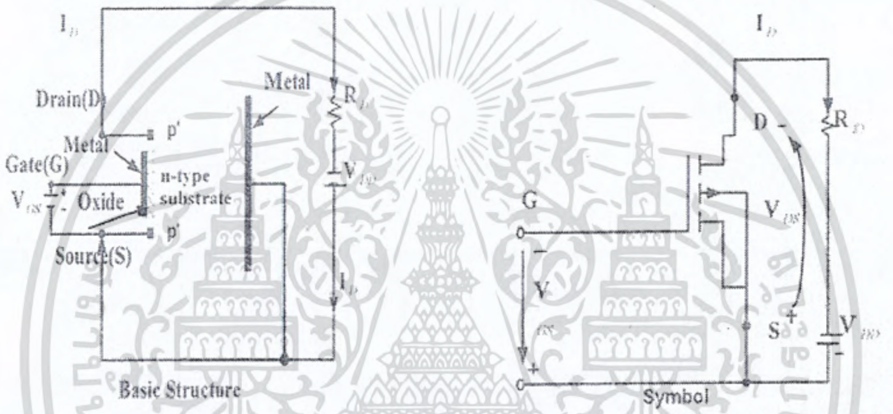
ในทางตรงกันข้าม ถ้า V_{GS} เป็นบวกแชนแนลจะกว้างขึ้นเป็นผลให้ I_{DS} มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจาก R_{DS} มีค่าลดลง

หลักการที่กล่าวมานี้ใช้ได้ดีกับมอสเฟทแบบแชนแนล P โดยขั้วของ V_{DS}, I_{DS} และ V_{GS} เปลี่ยนเป็นขั้วตรงข้ามกับกรณีดีมอสเฟทแบบแชนแนล N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) n-channel enhancement-type Mosfet



(b) p-channel enhancement-type Mosfet

รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของมอสเฟทแบบ N และ P ชนิดเอนฮานท์เมนต์

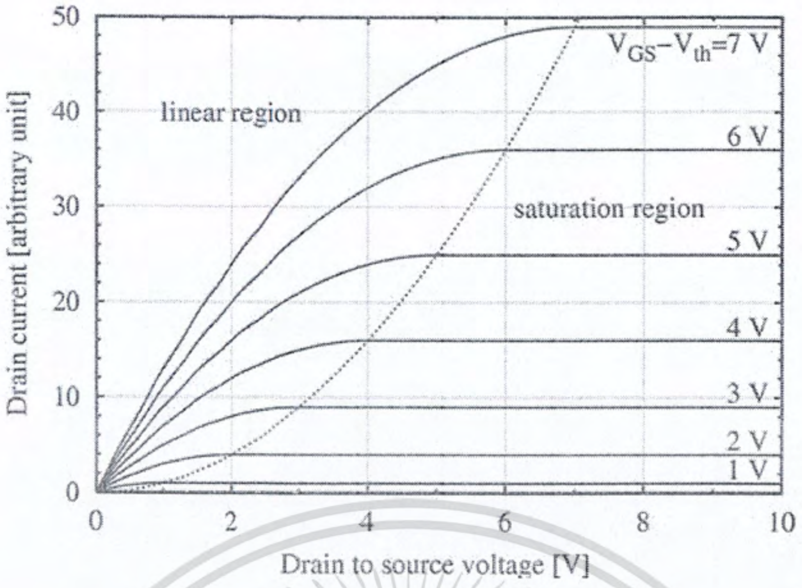
อีมอสเฟทแบบแชนแนล N ดังรูปที่ 2.4 ถ้า V_{GS} เป็นบวกแรงดันเหนี่ยวนำจะดึงดูดอิเลคตรอนจากแผ่นผนึกฐาน P และรวบรวมไว้ที่ผิวภายในชั้นออกไซด์ ถ้า V_{GS} มากกว่าหรือเท่ากับค่าแรงดันเทรสด์โฮลด์ (Threshold Voltage ; V_T) จึงมีกระแสไหลจากเดรนไปซอร์ส (I_{DS})

หลักการที่กล่าวมานี้ใช้ได้กับมอสเฟทแบบแชนแนล P โดยขั้วของ V_{DS}, I_{DS} และ V_{GS} เปลี่ยนเป็นขั้วตรงข้ามกับกรณีอีมอสเฟทแบบแชนแนล N

2.2.3.2 คุณลักษณะของมอสเฟท (Mosfet Characteristic)

ได้กล่าวในตอนต้นแล้วว่า มอสเฟทเป็นอุปกรณ์ประเภทใช้แรงดัน ในการควบคุมอิมพิแดนซ์อินพุทสูงมากขั้วเกทจะดึงกระแสรั่วไหลต่ำมาก และเราทราบว่า ทรานส์ตอนดักแตนซ์ (Transconductance ; g_m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 กราฟคุณลักษณะในการถ่ายโอนของอีมอสเฟทแบบแชลแนล N และคุณลักษณะเอาท์พุตของอีมอสเฟทแบบแชลแนล N

คุณลักษณะในการถ่ายโอนของอีมอสเฟทแบบแชลแนล N และแบบแชลแนล P แสดงดังรูป แสดงคุณลักษณะ ของอีมอสเฟทแบบ แชลแนล N ซึ่งมีทั้งสามบริเวณคือ

1. บริเวณคัตออฟ เกิดขึ้นเมื่อ V_{GS} น้อยกว่าหรือเท่ากับ V_T

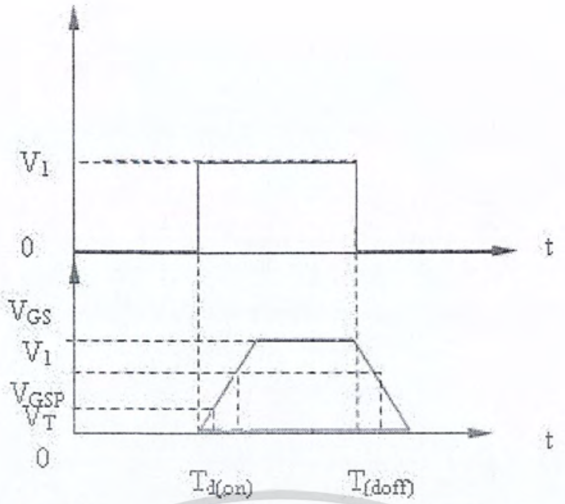
2. บริเวณพินช์ออฟ หรือบริเวณอิ่มตัว (Pinch – off or saturation Region) เกิดขึ้นเมื่อ V_{DS} มากกว่าหรือเท่ากับ V_{GS} - V_T

3. บริเวณที่เป็นเชิงเส้น (Linear Region) เกิดขึ้นเมื่อ V_{DS} น้อยกว่าหรือเท่ากับ V_{GS}- V_T ในบริเวณเชิงเส้น I_D จะเปลี่ยนแปลงตามสัดส่วนของ V_{DS} และเนื่องจากมี I_D สูงขณะที่ V_D มีค่าต่ำอีมอสเฟทจึงใช้บริเวณที่เป็นเชิงเส้นแสดงปฏิกิริยาในการสวิทช์ สำหรับดีมอสเฟทแรงดันเกท (หรือแรงดันอินพุท) อาจเป็นบวกหรือลบก็ได้แต่อีมอสเฟทตอบสนองกับแรงดันที่เป็นบวกอย่างเดียวตามปกติมอสเฟทกำลังเป็นประเภทอีมอสเฟทในปริญญานิพนธ์

2.2.3.3 คุณลักษณะในการสวิตช์ (Switching Characteristics)

ผลกระทบที่เกิดจากคาปาซิเตอร์ บริเวณรอยต่อของสารกึ่งตัวนำในอีมอสเฟท ทำให้เขียนรูปคลื่นในการสวิตช์ได้ดังรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงรูปคลื่นแรงดันในการสวิตช์ของแรงดันเกท

เมื่อป้อนแรงดันเกทเพิ่มจากศูนย์ถึง V_1 เวลาที่ใช้ในการอัดประจุคาปาซิเตอร์ (ภายในตัวของอีมอสเฟท) ให้มีค่าถึงระดับแรงดันเธรสโฮลด์ V_R ซึ่งเรียกว่าช่วงเวลาดีเลย์ในการเปิด (Turn – On Delay Time; $t_{d\ (ON)}$) และช่วงเวลาขาขึ้น (t_r) เป็นเวลาอัดประจุจากระดับ (V_R) จนกระทั่งมีค่าถึงระดับแรงดันเกทเต็มที่ (Full Gate Voltage; V_{GSP}) ซึ่งใช้ในการขับมอสเฟทไปสู่บริเวณเชิงเส้น

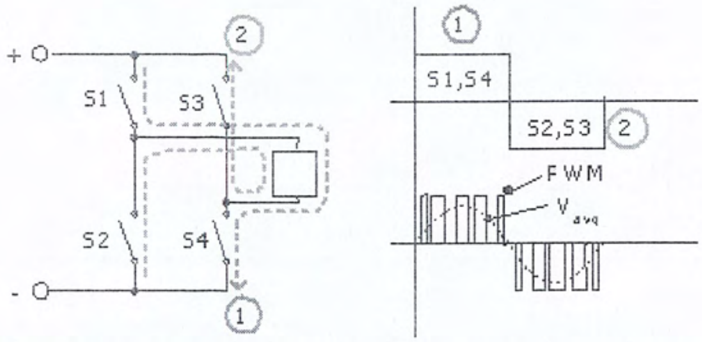
เวลาที่คาปาซิเตอร์คายประจุจาก V_1 ไปจนถึงบริเวณพินช์ออฟเรียกว่าช่วงเวลาดีเลย์ในการปิด (Turn –Off Delay Time; $t_{d\ (off)}$) และช่วงเวลาขาลง (t_r) เป็นเวลาที่คาปาซิเตอร์ใช้ในการคายประจุจากบริเวณพินช์ออฟถึง V_R (ถ้า $V_{GS} < V_R$ มอสเฟทจะปิด)

2.2.3.4 ประโยชน์และการใช้งานมอสเฟตกำลัง

เนื่องจากมอสเฟตกำลัง มีความเร็วในการสวิทช์สูงมากเป็นนาโนวินาทีจึงเหมาะกับการแปลงผันที่มีความถี่และมีกำลังไฟฟ้าต่ำแต่อย่างไรก็ตามอีมอสเฟตจะมีปัญหาในการคายประจุไฟฟ้าสถิตภายในตัวเองจึงต้องดูแลรักษาเป็นพิเศษนอกจากนี้การป้องมออสเฟตขณะที่เกิดฟอลต์แบบลัดวงจรทำได้ค่อนข้างยาก

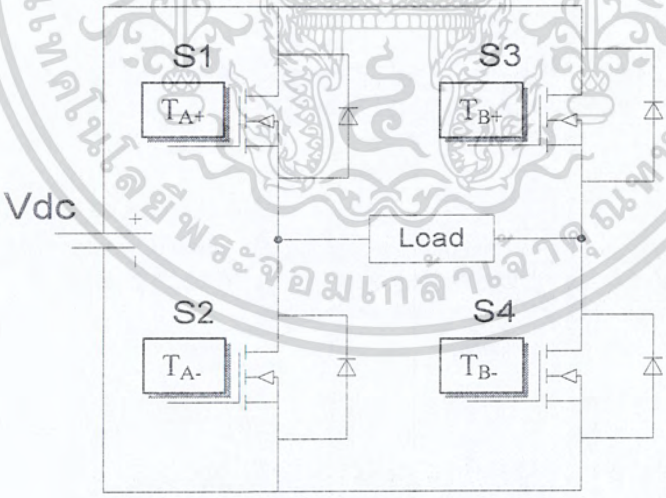
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 การสวิตซ์แรงดันแบบเอสพีดับเบิลยูเอ็ม (SPWM)



รูปที่ 2.8 วงจรการควบคุมการสวิตซ์แบบ SPWM ของอินเวอร์เตอร์ 1เฟส

จากรูปที่ 2.8 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์เฟสเดียวจะประกอบไปด้วยสองกิ่งคือ กิ่ง A และ กิ่ง B โดยแบบฟูลบริดจ์จะให้กำลังไฟฟ้าสูงกว่าแบบฮาร์ฟบริดจ์สองเท่าที่เงื่อนไขแรงดันด้านเข้า (V_d) เท่ากันจึงเหมาะที่จะเลือกใช้เมื่อต้องการจ่ายกำลังไฟฟ้าโหลดสูงขึ้น เงื่อนไขสำคัญที่อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบฟูลบริดจ์คือการทำงานของสวิตซิ่งของ T_{A+} และ T_{A-} ต้องไม่นำกระแสทำงานพร้อมกัน มิฉะนั้นแล้วจะเกิดการลัดวงจรระหว่างบัสบวกกับบัสลบ ในอุดมคติเวลาการสวิตซิ่งของ T_{A+} และ T_{A-} จะตรงข้ามกัน แต่ในทางปฏิบัติจะต้องการช่วงเวลาที่สวิตซิ่งทั้งคู่ไม่นำกระแสเรียกว่า เดดไทม์ (Deadtime) โดยเดดไทม์จะอยู่ในช่วงเวลาก่อนจะเปลี่ยนสถานะการสวิตซ์จากนำกระแสเป็นไม่นำกระแส และจากไม่นำกระแสเป็นนำกระแส



รูปที่ 2.9 อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบฟูลบริดจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสวิตชิ่งแรงดันไฟฟ้าแบบไบโพลาร์ (Bipolar voltage switching) คือการควบคุมให้สวิตช์แบบบริดจ์ทำงานพร้อมกันเป็นคู่เช่นในรูปที่ 2.9 การทำงานของสวิตช์ T_{A+} และ T_{A-} จะถูกควบคุมให้ทำงานพร้อมกันในแต่ละช่วงเวลา อีกคู่หนึ่งคือการทำงานของสวิตช์ T_{A+} และ T_{A-} ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าด้านออกของกิ่ง A จะเท่ากับดังสมการ 2.1 และ 2.2

$$V_{Ao} = \frac{1}{2}V_d \text{ เมื่อ } V_{control} > V_{tri} \text{ , สวิตช์ } T_{A+} \text{ และ } T_{A-} \text{ จะนำกระแส} \tag{2.1}$$

$$V_{Ao} = -\frac{1}{2}V_d \text{ เมื่อ } V_{control} < V_{tri} \text{ , สวิตช์ } T_{A+} \text{ และ } T_{A-} \text{ จะนำกระแส} \tag{2.2}$$

เมื่อ

$V_{control}$ คือ แรงดันอ้างอิงโดยที่นี่หมายถึงรูปคลื่นไซน์

V_{tri} คือ แรงดันพาหะโดยที่นี่หมายถึงรูปคลื่นสามเหลี่ยม

จากรูปที่ 2.9 อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบหนึ่งกิ่งจะได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกของกิ่ง B เท่ากับค่าลบของแรงดันไฟฟ้าด้านออกของกิ่ง A คือ $V_{Bo} = -V_{Ao}$ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์หรือแรงดันไฟฟ้าระหว่างกิ่ง A กับกิ่ง B คือ

$$V_o = V_{Ao} - V_{Bo} = V_{Ao} - (-V_{Ao}) = 2V_{Ao} = 2\left(\frac{1}{2}V_d\right) = V_d$$

โดยที่

$$\hat{V}_{o1} = m_a \cdot V_d \text{ เมื่อ } m_a \leq 1.0 \tag{2.3}$$

เมื่อ

$\hat{V}_{o1}$ คือ แรงดันไฟฟ้ายอดด้านออก

m_a คือ ดัชนีการมอดูเลต

V_d คือ แรงดันกระแสตรง

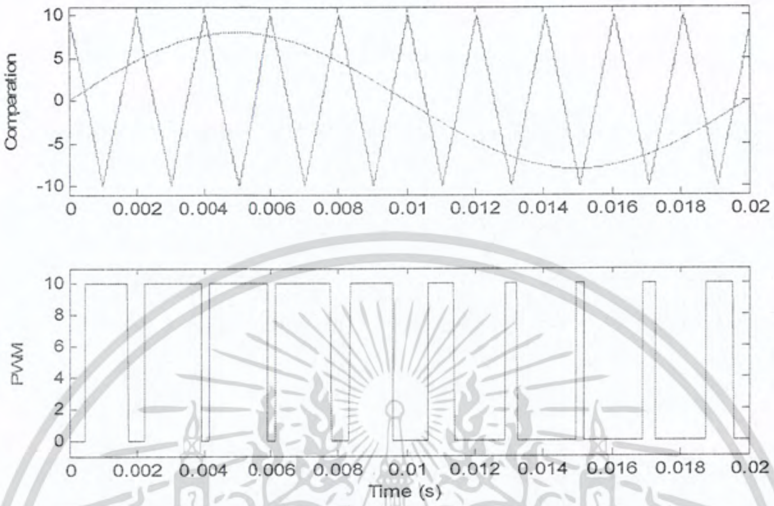
และเทียบเคียงกับสมการที่ 2.3 จะได้

$$V_d < \hat{V}_{o1} < \frac{4}{\pi} V_d \quad \text{ เมื่อ } m_a > 1.0 \tag{2.4}$$

หรืออาจจะสรุปได้ว่าแรงดันไฟฟ้ายอดด้านออกจะเท่ากับสมการที่ 2.3 เมื่อดัชนีการมอดูเลต m_a อยู่ในย่านเชิงเส้น และแรงดันไฟฟ้ายอดด้านออกจะเท่ากับสมการที่ 2.4 อยู่ในช่วงโอเวอร์มอดูเลชั่น โดยที่แรงดันไฟฟ้าด้านออกจะสวิตช์อยู่ระหว่าง $+V_d$ กับ $-V_d$ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ส่วนไซด์แบนฮาร์มอนิกส์จะเกิดขึ้นรอบ ๆ $m_f, 2m_f, 3m_f, \ldots$ เช่น หากความถี่สวิตชิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 20 kHz ไซด์แบนฮาร์มอนิกส์ก็จะเกิดขึ้นที่ 20 kHz, 40 kHz และ 60 kHz เป็นต้น ดังเช่นที่ได้อธิบายในสมการที่ 2.6 ส่วนรูปคลื่นไซน์จะอยู่ในช่วง $0 < m_a \leq 1$ โดยจะมีความสัมพันธ์เป็นลักษณะเชิงเส้น โดยเพิ่มค่า m_a มากขึ้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้ามากขึ้นตามและถ้าลด m_a ลงจะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดตาม



รูปที่ 2.10 การสวิตชิ่งแรงดันแบบไบโพล่าร์

2.1.3 ผลของเดดไทม์ต่อแรงดันไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์

ในทางปฏิบัติกิ่งใด ๆของอินเวอร์เตอร์ สวิตช์ตัวบนและตัวล่างต้องไม่นำกระแสพร้อมกัน ดังนั้นจึงต้องการช่วงเวลาที่สวิตช์ทั้งคู่หยุดนำกระแสก่อนที่สวิตช์จะเปลี่ยนสถานะเพื่อป้องกันการลัดวงจรระหว่างบัสบวกกับบัสลบช่วงเวลานี้จะเรียกว่าเดดไทม์ (Dead time หรือ Blanking time) ซึ่งเวลาเดดไทม์ดังกล่าวจะต้องมีความเหมาะสมคือหากมีค่าน้อยเกินไปอาจทำให้มีโอกาสลัดวงจรได้ง่าย หรือถ้าหากมีค่ามากเกินไปก็อาจจะทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์ผิดเพี้ยนไปได้

2.2.5.1 Sinusoidal Pulse-Width Modulation

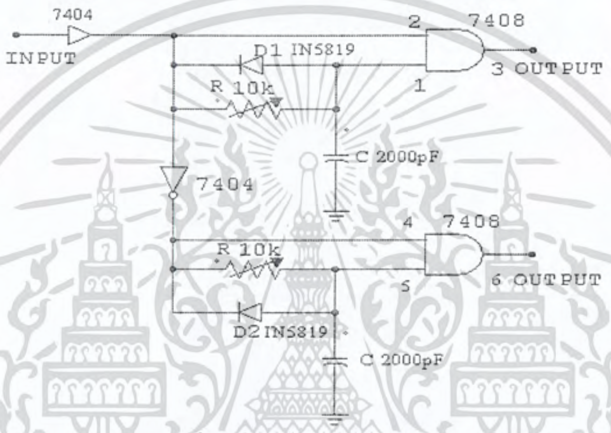
ด้วยวิธีการสร้างสัญญาณควบคุม PWM ดังกล่าวข้างต้นจะทำให้ความกว้างของพัลส์แต่ละพัลส์มีค่าเท่ากันจึงมีข้อจำกัดในการกำจัดฮาร์มอนิกส์ที่ความถี่ต่าง ๆเพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าวจึงได้มีการสร้างสัญญาณควบคุมที่ทำให้ความกว้างของแต่ละพัลส์แตกต่างกันแต่ที่นิยมมากได้แก่ Sinusoidal Pulse-Width Modulation (SPWM) ซึ่งจะสร้างสัญญาณควบคุมจากการเปรียบเทียบสัญญาณอ้างอิงรูปสามเหลี่ยมซึ่งมีแอมพลิจูด (Ar) กับพาหนะรูปคลื่นเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นของสัญญาณซายน์ที่มีแอมพลิจูด (Ac) และมีเฟสตรงกับสายกำลังดังรูปที่ 2.10 ความกว้างของแต่ละพัลส์จะเปลี่ยนไปตามดัชนีการมอดูเลตด้านแอมปริจูด (M) โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$M = \frac{A_c}{A_r} \tag{2.5}$$

2.2.5 การหน่วงเวลา (Dead Time)

ชุดวงจรเดดไทม์เป็นชุดวงจรที่สร้างขึ้นเพื่อป้องกันการลัดวงจรของการสวิตช์กำลังของมอสเฟตทั้งสี่ตัวเพื่อไม่ให้ทำงานพร้อมกันและเกิดการลัดวงจรโดยสร้าง 2 ชุด และยังเป็นชุดที่ทำการแบ่งสัญญาณพัลส์ออกเป็น 2 ซีก เป็นสัญญาณพัลส์ที่มีสัญญาณตรงข้ามกัน เพื่อนำไปป้อนให้กับขาเกตของชุดวงจรกำลัง ผู้จัดทำได้เลือกใช้ ไอซี แอนด์เกต น็อทเกต และบัฟเฟอร์ในการสร้างสัญญาณพัลส์ 2 ซีก และทำการปรับค่าหน่วงเวลาของการขับเกตให้ได้ตามที่ต้องการคือประมาณ 3-5 ไมโครวินาที และทำการประกอบเข้ากับวงจรการทำงาน

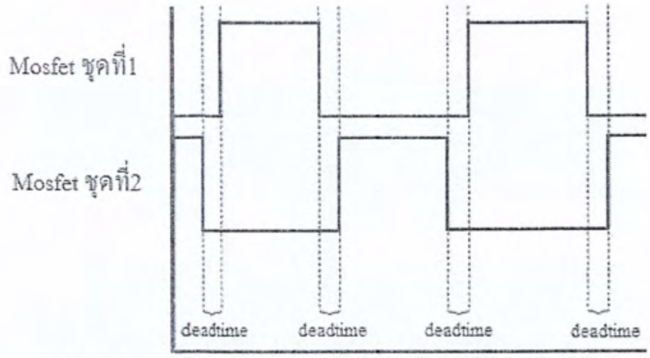


รูปที่ 2.11 ชุดวงจรเดดไทม์

จากวงจรชุดเดดไทม์ทำการป้อนสัญญาณอินพุตที่ได้จากวงจรสร้างสัญญาณพัลส์เข้าผ่านไอซี ซึ่งใช้เป็นบัฟเฟอร์ให้กับสัญญาณ ซึ่งสัญญาณตัวนำได้ถูกแบ่งออกเป็นสองสัญญาณเพื่อเข้าขาอินพุตของแอนเกตทั้งสองขา โดยที่สัญญาณแรกผ่านเข้าขาอินพุตของแอนเกตโดยตรง ส่วนขาที่สองต่อเข้ากับไดโอดซึ่งทำหน้าที่ในการกรองไฟลบไม่มีสัญญาณรบกวนผ่านมายังความต้านทาง 10 กิโลโอห์ม ที่ถูกต่อขนานกับตัวไดโอด ซึ่งตัวต้านทานตัวนี้ทำหน้าที่ในการปรับค่าของเดดไทม์ให้อยู่ในช่วง 3-5 ไมโครวินาที เพื่อป้องการการลัดวงจรในส่วนของวงจรกำลัง ส่วนด้านหลังของความต้านทานและไดโอด โดยคาปาซิเตอร์ต่ออีกขั้วจะต่ออยู่กับกราวด์ก่อนเข้าขาอินพุตของแอนเกตอีกขาหนึ่ง ซึ่งคาปาซิเตอร์ตัวนี้จะทำหน้าที่ในการช่วยปรับค่าของเดดไทม์ซึ่งมีผลในช่วงขอบขาขึ้นของสัญญาณพัลส์ เนื่องจากสัญญาณที่ได้นำไปต่อยังวงจรขับเกตนั้น ต้องประกอบด้วยสัญญาณพัลส์สองสัญญาณที่ตรงข้ามกัน ดังนั้นผู้จัดทำจึงได้สร้างอีกหนึ่งชุดโดยต่อ นอทเกต (7404) ไว้ด้านหน้าก่อนเข้าแอนเกตเพื่อให้ได้สัญญาณพัลส์อีกหนึ่งสัญญาณที่ตรงข้ามกัน เพื่อที่ให้ได้เอาต์พุตสองเอาต์พุตเพื่อจ่ายให้กับวงจรขับเกตต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.12 สัญญาณที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับขับ Mosfet 2 ชุด

2.2.6 ตัวกรองความถี่สูง (High frequency filter)

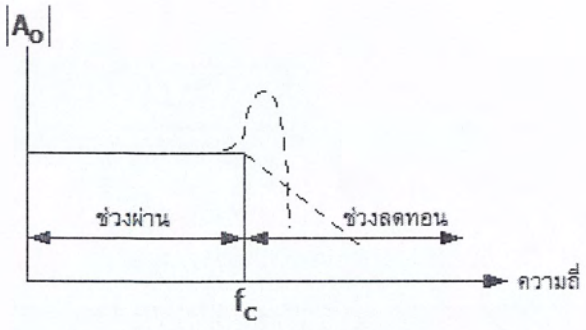
วงจรฟิลเตอร์คือวงจรที่ใช้สำหรับกรองสัญญาณให้ความถี่เฉพาะที่ต้องการใช้ผ่านออกมาได้เท่านั้นส่วนความถี่อื่นๆที่ไม่ต้องการผ่านจะถูกลดทอน (Attenuate) จนหมดไปวงจรฟิลเตอร์ที่ใช้งานกันมีอยู่ 2 ลักษณะคือแบบที่เป็นวงจรพาสซีฟ (Passive) และแบบแอกตีฟ (Active) วงจรในแบบที่เป็นพาสซีฟนั้นจะใช้เพียงอุปกรณ์ประเภทความต้านทาน ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น แต่ในวงจรประเภทแอกตีฟจะรวมถึงทรานซิสเตอร์และออปแอมป์ด้วย

แบ่งตามหน้าที่การทำงานของวงจรฟิลเตอร์เราสามารถแบ่งออกเป็น 4 ชนิดด้วยกัน คือแบบกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low-pass) แบบกรองความถี่สูงผ่าน (High-pass) แบบกรองความถี่ผ่านเฉพาะบางช่วง (Band-pass) และแบบที่กันไม่ให้ความถี่ผ่านเฉพาะบางช่วง (Band-eliminate หรือ Band-reject หรือ Notch) ในที่นี่จะขอกล่าวแค่วงจรฟิลเตอร์กรองความถี่ต่ำผ่าน (Low-pass) ซึ่งเป็นวงจรที่ใช้ในโครงงาน

วงจรแบบกรองความถี่ต่ำผ่านจะยอมให้ความถี่ผ่านได้ในช่วงตั้งแต่สัญญาณที่เป็นแรงดัน DC ไปจนถึงความถี่คัตออฟ (Cut-off frequency) แทนด้วยเครื่องหมาย f_c ความถี่คัตออฟคือความถี่ ณ ขณะที่อัตราขยายของวงจรมีค่าลดลงเป็น 0.707 เท่าของอัตราขยายปกติ (-3 เดซิเบล) บางครั้งอาจเรียกความถี่นี้ได้ว่า ความถี่มุม (Corner frequency) ถ้ามีความถี่ที่สูงเกิน f_c ผ่านวงจรจะลดทอนขนาดความถี่นั้นจนมีค่าน้อยมากๆ จากในรูปเส้นทึบแสดงถึงผลในทางอุดมคติ ส่วนเส้นประแสดงถึงผลของวงจรในทางความเป็นจริงในช่วงที่ยอมให้ความถี่ผ่านได้เราเรียกว่า ช่วงผ่าน (Pass band) และช่วงที่ไม่ยอมให้ความถี่ผ่านเรียกว่า ช่วงลดทอน (Stop band) แสดงได้ในรูปที่ 2.13

117567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) แบบกรองความถี่ต่ำผ่าน

รูปที่ 2.13 การตอบสนองความถี่ของวงจรฟิลเตอร์แบบกรองความถี่ต่ำผ่าน

2.2.6.1 การกรองความถี่สูง (Low–pass filter)

ไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้หลังจากผ่านฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์นั้นจะมีความถี่ที่สูงกว่า 50Hz ปะปนอยู่จึงต้องทำการกรองออกด้วยซึ่งจะใช้วงจรกรองความถี่แบบกรองความถี่สูง (LC filter) การหาค่าขนาดค่าตัวเหนี่ยวนำ L และขนาดค่าตัวเก็บประจุ C นั้นจะคำนวณได้จาก

รูปที่ 2.14 วงจรกรองความถี่สูง

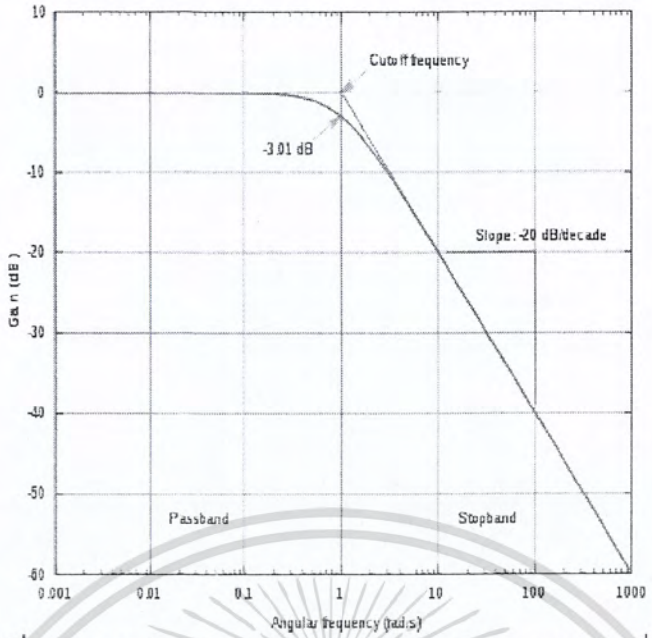
การคำนวณตัวกรองความถี่สูงเลือก LC ที่ใช้จาก

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{2.6}$$

ตัวอย่างการออกแบบ หากต้องการความถี่คัทออฟ (f_o) ที่ 1 kHz

ดังนั้น เลือก C = 50 uF จะได้ L = 0.59 mH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 กราฟ Frequency response ของวงจรกรองความถี่สูง

2.2.7 หม้อแปลงเพิ่มระดับแรงดัน

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับจากวงจรหนึ่งไปยังอีกวงจรหนึ่งโดยวิธีทางวงจรแม่เหล็กซึ่งไม่มีจุดต่อไฟฟ้าถึงกันและไม่มีชิ้นส่วนทางกลเคลื่อนที่ โดยทั่วไปเราใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้มีขนาดลดลงหรือเพิ่มขึ้นจากเดิมโดยมีความถี่ไฟฟ้าไม่เปลี่ยนแปลงหม้อแปลงไฟฟ้าจะประกอบไปด้วยโครงสร้างที่สำคัญ 2 ส่วนคือขดลวดและแกนเหล็กขดลวดจะมีสองขดหรือมากกว่าขึ้นอยู่กับชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยขดที่หนึ่งคือขดลวดรับไฟหรือขดลวดปฐมภูมิขดที่สองคือขดลวดจ่ายไฟหรือขดลวดทุติยภูมิ

หลักการพื้นฐานของหม้อแปลงไฟฟ้าการแปลงแรงดันไฟฟ้าโดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้านั้นใช้หลักการเหนี่ยวนำระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กระหว่างขดลวดทั้งสองของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยที่ขดลวดปฐมภูมิซึ่งต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าสลับนั้นจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลเข้าขดลวดเกิดเป็นเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นที่ขดลวดปฐมภูมิและเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะขยายตัวไปตัดกับขดลวดทุติยภูมิแรงดันที่เกิดขึ้นนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดทั้งสองกล่าวคือถ้าจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิน้อยกว่าจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิจะเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดเพิ่มแรงดัน แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าจำนวนรอบของขดปฐมภูมิมากกว่าทุติยภูมิจะเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดลดแรงดัน

โดยหม้อแปลงเพิ่มระดับแรงดันจะทำหน้าที่ในการเพิ่มแรงดันให้ด้านขาออกโดยจะแปรผันกับอัตราส่วนหม้อแปลง (a) จากสมการที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$a=\frac{V_1}{V_2}=\frac{N_1}{N_2}=\frac{I_2}{I_1} \tag{2.7}$$

เมื่อ

V_1 คือ แรงดันไฟฟ้าฝั่งปฐมภูมิ

V_2 คือ แรงดันไฟฟ้าฝั่งทุติยภูมิ

N_1 คือ จำนวนขดลวดฝั่งปฐมภูมิ

N_2 คือ จำนวนขดลวดฝั่งทุติยภูมิ

I_1 คือ กระแสไฟฟ้าฝั่งปฐมภูมิ

I_2 คือ กระแสไฟฟ้าฝั่งทุติยภูมิ

2.2.8 รีเลย์ (Relay)

รีเลย์เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นสวิตช์โดยมีหลักการทำงานคล้ายกับ ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโซลินอยด์ (Solenoid) รีเลย์ใช้ในการควบคุมวงจร ไฟฟ้าได้อย่างหลากหลาย รีเลย์เป็นสวิตช์ควบคุมที่ทำงานด้วยไฟฟ้า แบ่งออกตามลักษณะการใช้งานได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. รีเลย์กำลัง (Power relay) หรือมักเรียกกันว่าคอนแทกเตอร์ (Contactor or Magnetic contactor) ใช้ในการควบคุมไฟฟ้ากำลังมีขนาดใหญ่กว่ารีเลย์ธรรมดา

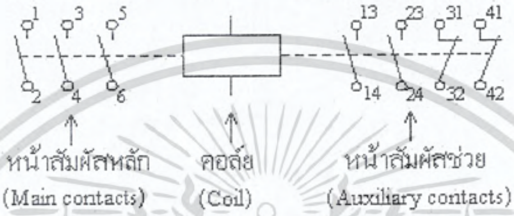
2. รีเลย์ควบคุม (Control Relay) มีขนาดเล็กกำลังไฟฟ้าต่ำ ใช้ในวงจรควบคุมทั่วไปที่มีกำลังไฟฟ้าไม่มากนัก หรือเพื่อการควบคุมรีเลย์หรือคอนแทกเตอร์ขนาดใหญ่ รีเลย์ควบคุมบางทีเรียกกันง่ายๆ ว่า "รีเลย์"

หน้าที่ของคอนแทกเตอร์ คือ การใช้กำลังไฟฟ้าจำนวนน้อยเพื่อไปควบคุมการตัดต่อกำลังไฟฟ้าจำนวนมาก คอนแทกเตอร์ ทำให้เราสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าในตำแหน่งอื่นๆ ของระบบไฟฟ้าได้ สายไฟควบคุมให้รีเลย์กำลังหรือคอนแทกเตอร์ทำงานเป็นสายไฟฟ้าขนาดเล็กต่อเข้ากับสวิตช์ควบคุมและคอล์ยของคอนแทกเตอร์ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าคอล์ยอาจจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง หรือไฟฟ้ากระแสสลับก็ได้ขึ้นอยู่กับการออกแบบการใช้คอนแทกเตอร์ทำให้สามารถควบคุมวงจรจากระยะไกล (Remote)ได้ ซึ่งทำให้เกิดความปลอดภัยกับผู้ปฏิบัติงานในการควบคุมกำลังไฟฟ้าคอนแทกเตอร์ (Contactors) นอกจากจะมีหน้าสัมผัสทั้งส่วนเคลื่อนที่และหน้าสัมผัสส่วนที่อยู่กับที่แล้วหน้าสัมผัสภายในของคอนแทกเตอร์ยังแบ่งออกเป็น 2 ส่วนตามลักษณะของการทำงานซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้คือ

1. หน้าสัมผัสหลัก (Main Contacts) โดยปกติแล้วหน้าสัมผัสหลักมี 3 อัน สำหรับส่งผ่านกำลังไฟฟ้า 3 เฟสเข้าไปสู่มอเตอร์ หรือโหลดที่ใช้แรงดันไฟฟ้า 3 เฟส หน้าสัมผัสหลักของคอนแทกเตอร์มีขนาดใหญ่ทนแรงดันและกระแสได้สูง หน้าสัมผัสหลักเป็นชนิดปกติเปิด (Normally open; N.O. contact) อักษรกำกับหน้าสัมผัสด้านแหล่งจ่ายคือ 1, 3, 5 หรือ L1, L2, L3และด้านโหลดคือ 2, 4, 6 หรือ T1, T2, T3 ดังรูปที่ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หน้าสัมผัสช่วย (Auxiliary Contacts) หน้าสัมผัสชนิดนี้ติดตั้งอยู่ด้านข้างทั้งสองด้านของตัวคอนแทกเตอร์ มีขนาดเล็กทนกระแสได้ต่ำทำหน้าที่ช่วยการทำงานของวงจร เช่น เป็นหน้าสัมผัสที่ทำให้คอนแทกเตอร์ทำงานได้ตลอดเวลา หรือเรียกว่า "Holding" หรือ "Maintaining contact " หน้าสัมผัสช่วยนี้จะเป็นหน้าสัมผัสแบบโยกได้สองทาง โดยจะถูกดึงขึ้น-ลงไปตามจังหวะการดูด-ปล่อยของคอนแทกเตอร์ อักษรกำกับหน้าสัมผัสช่วย จะเป็น 13, 14 สำหรับคอนแทกเตอร์ที่มีหน้าสัมผัสช่วยแบบปกติเปิด 1 ชุด ถ้ามี N.O.ชุดที่ 2จะเป็น 23 , 24 และหน้าสัมผัสช่วยแบบปกติปิดจะมีอักษรกำกับเป็น 31 , 32 และ 41 , 42



รูปที่ 2.16 คอนแทกเตอร์ของรีเลย์

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างฮาร์มอนิกส์กับดัชนีการมอดูเลต

ในวงจรอินเวอร์เตอร์ ต้องการจะสร้างแรงดันไฟฟ้าด้านออกเป็นรูปคลื่นไซน์ที่สามารถปรับขนาดและความถี่ตามต้องการได้ โดยอัตราการส่วนการมอดูเลต m_a จะเป็นส่วนเพิ่มแรงดันจากสมการ

$$V_{A0} = \frac{V_{control}}{\hat{V}_{tri}} \frac{V_d}{2} \tag{2.8}$$

$$V_{control} = \hat{V}_{control} \sin \omega_1 t \tag{2.9}$$

$$\left(V_{A0}\right)_1 = \left(\frac{\hat{V}_{control}}{\hat{V}_{tri}} \frac{V_d}{2}\right) \sin\left(\omega_1 t\right) \tag{2.10}$$

$$\left(V_{A0}\right)_1 = m_a \frac{V_d}{2} \sin\left(\omega_1 t\right) \tag{2.11}$$

$$\left(\hat{V}_{A0}\right)_1 = m_a \frac{V_d}{2} \tag{2.12}$$

เมื่อ

V_{A0} คือ แรงดันไฟฟ้าขาออก

$V_{control}$ คือ แรงดันไฟฟ้าของรูปคลื่นไซน์

V_d คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\hat{V}_{tri}$ คือ ค่ายอดของแรงดันไฟฟ้ารูปคลื่นสามเหลี่ยมที่เป็นตัวกำหนดความถี่สวิตชิ่ง

$\hat{V}_{control}$ คือ ค่ายอดของแรงดันไฟฟ้าของรูปคลื่นไซน์

ω_1 คือ ความเร็วเชิงมุมของความถี่หลักมูล

$(V_{A0})_1$ คือ แรงดันไฟฟ้าที่ความถี่หลักมูล

$(\hat{V}_{A0})_1$ คือ ค่ายอดของแรงดันไฟฟ้าที่ความถี่หลักมูล

m_a คือ ดัชนีการมอดูเลตด้านแอมพลิจูด

ส่วนค่าไซด์แบนด์ฮาร์มอนิก (Sideband harmonic) จะเกิดขึ้นรอบ ๆ $1m_f$, 2mf, 3mf, … ดังแสดงในสมการ

$$f_h = \left(jm_f \pm k\right) f_1 \tag{2.13}$$

$$h = j\left(m_f\right) \pm k \tag{2.14}$$

เมื่อ

h=1 คือความถี่หลักมูล (Fundamental frequency)

ถ้าค่า j เป็นเลขคี่ ค่าฮาร์มอนิกจะเท่ากับค่า k ที่เป็นเลขคู่

ถ้าค่า j เป็นเลขคู่ ค่าฮาร์มอนิกจะเท่ากับค่า k ที่เป็นเลขคี่

ในกรณีที่ $m_a>1$ จะเป็นช่วงการควบคุมแบบโอเวอร์มอดูเลต ซึ่งผลของแรงดันไฟฟ้าด้านออกจะมีองค์ประกอบฮาร์มอนิกสูงกว่าช่วงการมอดูเลตเชิงเส้น แต่มีข้อดีคือขนาดแรงดันไฟฟ้าของความถี่หลักมูลจะมีค่าสูงกว่าในกรณี $m_a \leq 1$ แต่การเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าจะไม่เป็นเชิงเส้นจนถึงค่าคงที่ค่าหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามข้อเสียของกรณีโอเวอร์มอดูเลชั่นก็คือทำให้เกิดฮาร์มอนิกอันดับต่ำ ๆ ที่อยู่ใกล้กับฮาร์มอนิกอันดับหนึ่งหรือความถี่หลักมูล เช่นฮาร์มอนิกอันดับที่ 3,5,7 เป็นต้น

ส่วนอัตราการมอดูเลตด้านความถี่ (m_f) ฮาร์มอนิกควรจะเป็นเลขคี่ เพราะถ้ากำหนดให้ค่า m_f เป็นเลขคี่ก็จะทำให้เกิดการสมมาตรเลขคี่ ผลที่ได้คือจะมีเพียงฮาร์มอนิกเลขคี่เท่านั้นที่ยังปรากฏอยู่ใน V_{Ao} ส่วนฮาร์มอนิกเลขคู่จะหักล้างกัน โดยที่ช่วง $m_f > 21$ จะถือว่า m_f มีค่ามาก โดยที่ขนาดของฮาร์มอนิกย่อย (Sub-harmonics) จะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่า m_f โดยมีความสัมพันธ์ระหว่าง ฮาร์มอนิกกับอัตราการมอดูเลตด้านแอมพลิจูด m_a ดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างฮาร์มอนิกกับอัตราการมอดูเลตด้านแอมพลิจูด

harmonic	Ma=0.2	Ma=0.4	Ma=0.6	Ma=0.8	Ma=1
Fundamental	0.2	0.4	0.6	0.8	1
M_f	1.242	1.15	1.006	0.818	0.601
$M_f \pm 2$	0.016	0.061	0.131	0.220	0.318
$M_f \pm 4$					0.018
$2M_f \pm 1$	0.19	0.326	0.37	0.314	0.181
$2M_f \pm 3$		0.024	0.071	0.139	0.212
$2M_f \pm 5$				0.013	0.033
$3M_f$	0.335	0.123	0.083	0.171	0.113
$3M_f \pm 2$	0.044	0.139	0.203	0.176	0.062
$3M_f \pm 4$		0.012	0.047	0.104	0.157
$3M_f \pm 6$				0.016	0.44
$4M_f \pm 1$	0.163	0.157	0.008	0.105	0.068
$4M_f \pm 3$	0.012	0.07	0.132	0.115	0.009
$4M_f \pm 5$			0.034	0.084	0.119
$4M_f \pm 7$				0.017	0.05

2.4 การควบคุมแบบพีไอ (Proportional-Integral Controller)

การควบคุมแบบพีไอโดยควบคุมแรงดันไฟฟ้า ซึ่งใช้การควบคุมแบบระบบควบคุมแบบสัดส่วนและปริพันธ์ (PI controller) เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับ ซึ่งค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณเป็นค่าความผิดพลาดที่หามาจากความแตกต่างของตัวแปรในกระบวนการและค่าที่ต้องการ ตัวควบคุมจะพยายามลดค่าผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการ ค่าตัวแปรของ พีไอ ที่ใช้จะปรับเปลี่ยนตามธรรมชาติของระบบ โดยพี คือเทอมของสัดส่วน จะเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนของค่าความผิดพลาด การตอบสนองของสัดส่วนสามารถทำได้โดยการคูณค่าความผิดพลาดด้วยค่าคงที่ (K_p) หรือที่เรียกว่าอัตราขยายสัดส่วน ดังสมการที่ 2.8

$$P_{out} = K_p e(t) \tag{2.8}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P_{out} คือ สัญญาณขาออกของเทอมสัดส่วน

K_p คือ อัตราขยายสัดส่วน

e(t) คือ ค่าความผิดพลาด

โดยถ้าอัตราขยายสัดส่วนที่สูงค่าความผิดพลาดก็จะเปลี่ยนแปลงลดลงมากเช่นกันอย่างไรก็ตาม หากค่านี้สูงเกินไประบบจะไม่มีเสถียรภาพได้ ในทางตรงกันข้ามหากอัตราขยายสัดส่วนที่ต่ำ ระบบควบคุมจะมีผลตอบสนองต่อกระบวนการช้า และเทอมไอ คือผลจากเทอมอินทริเกรต เป็นสัดส่วนของขนาดความผิดพลาดและระยะเวลาของความผิดพลาด ผลรวมของความผิดพลาดในทุกช่วงเวลา จะให้ออฟเซตสะสมที่ควรจะเป็นในค่าก่อนหน้า ความผิดพลาดสะสมจะถูกคูณโดยอัตราขยายปริพันธ์ โดยที่ขนาดของเทอมปริพันธ์จะกำหนดโดยอัตราขยายปริพันธ์ (K_i) ดังสมการที่ 2.9

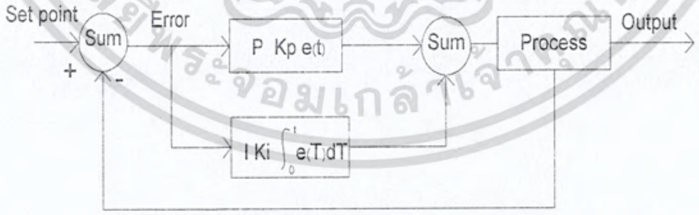
$$I_{out} = K_I \int_0^T e(T)\,dT \tag{2.9}$$

I_{out} คือ สัญญาณขาออกของเทอมปริพันธ์

K_i คือ อัตราขยายปริพันธ์

e(T) คือ ค่าความผิดพลาด

เทอมปริพันธ์ (เมื่อรวมกับเทอมสัดส่วน) จะเร่งกระบวนการให้เข้าสู่จุดที่ต้องการและขจัดความผิดพลาดที่เหลืออยู่ที่เกิดจากการใช้เพียงเทอมสัดส่วน แต่อย่างไรก็ตาม เทอมปริพันธ์เป็นการตอบสนองต่อความผิดพลาดสะสมในอดีต จึงอาจทำให้เกิดโอเวอร์ชูตได้ โดยที่เทอมสัดส่วนและปริพันธ์ จะนำมารวมกันเป็นสัญญาณขาออกของการควบคุมแบบพีไอ ดังรูปที่ 2.17



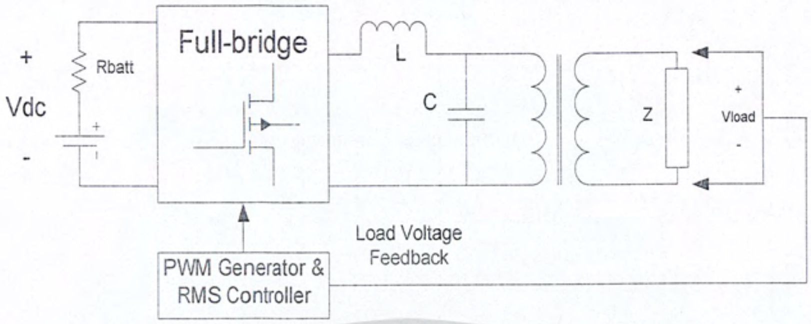
รูปที่ 2.17 โครงสร้างการควบคุมระบบแบบพีไอ

ซึ่งสามารถแสดงสมการ การรรวมของสัญญาณขาออกในการควบคุมสวิตช์ได้ดังสมการที่ 2.10

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int_0^T e(T)\,dT \tag{2.10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสัญญาณควบคุมสวิตช์นี้ได้มาจากการตรวจจับสัญญาณแรงดันไฟฟ้า และผ่านวงจรควบคุมเพื่อสั่งการสวิตช์ให้เหมาะสม และสามารถรักษาระดับแรงดันอาร์เอ็มเอสด้านออกให้คงที่ได้ ซึ่งจะมีระบบการทำงานดังรูปที่ 2.18



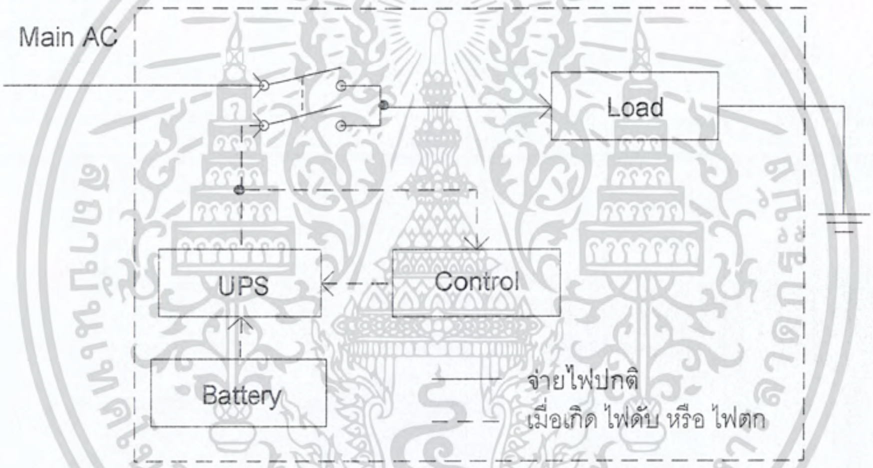
รูปที่2.18 การควบคุมแรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

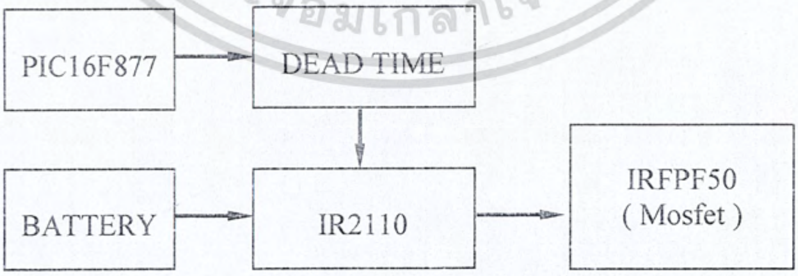
บทที่ 3
การออกแบบและการสร้างเครื่องสำรองไฟฟ้า

3.1 การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์

ในการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์นั้น จะใช้ Mosfet เบอร์ IRFPF50 ที่สามารถทนกระแสได้ 6.7 A และทนแรงดันได้ 900 V ในการสวิชชิ่ง โดยใช้ IR2110 เป็นตัวไดรฟ์ ซึ่งสัญญาณขับจะได้มาจาก PIC16F877 แบบ PWM โดยผ่าน วงจรเดดไทม์ที่เวลา Dead Time ประมาณ 2 μs ก่อนจึงจะมาใช้ขับ Mosfet ได้โดยวงจรรวมของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบต่อเนื่องเฟสเดียวที่ใช้ในโครงงานและบล็อกไดอะแกรมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ดังรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 ตามลำดับ



รูปที่ 3.1 วงจรรวมของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบต่อเนื่องเฟสเดียว

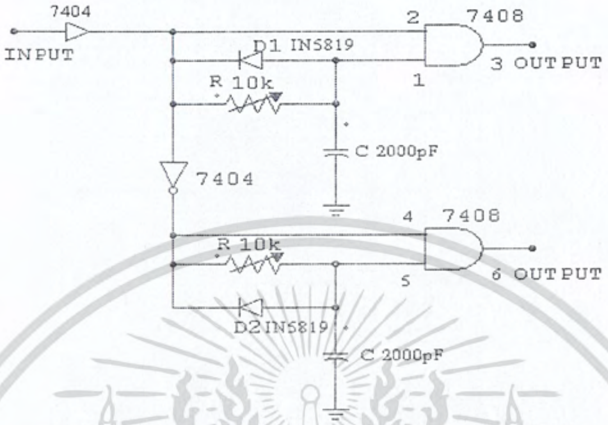


รูปที่3.2 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบวงจรหน่วงเวลา (Dead Time)

การขับมอสเฟสของอินเวอร์เตอร์จำเป็นต้องใช้วงจรหน่วงเวลา (Dead Time) เพื่อทำให้การทริก (trig) ของมอสเฟตไม่ให้อินเฟสกันเพื่อป้องกันการลัดวงจร ในโครงงานนี้จะออกแบบให้วงจรหน่วงเวลามีค่า 2 μs จากรูปที่ 2.11จะเป็นวงจรหน่วงเวลาที่ใช้ในโครงงานและจากวงจรก็สามารถคำนวณหาเวลาหน่วงจากสมการที่ 3.1



รูปที่ 2.11 วงจรหน่วงเวลาที่ใช้ในโครงงาน

$$\tau = RC \tag{3.1}$$

เมื่อ

R คือ ค่าความต้าน

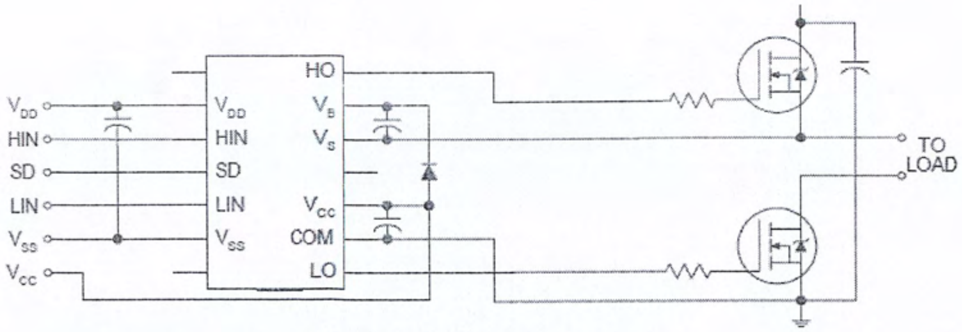
C คือ ค่าความเก็บประจุ

ในโครงงานนี้ ใช้ ค่าความต้านทาน 20 Ω ค่าความเก็บประจุ 0.1 μF โดยโครงงานนี้จะใช้ไอซี 4081 เป็นแอนเกต 4069 เป็นน๊อตเกท และ 74HC541 เป็นบัฟเฟอร์

3.3 การออกแบบวงจรขับเกต (Gate Drive)

ในโครงงานนี้ได้ใช้ IR2110 เป็นตัวขับตัวสวิทช์ซิ่ง ซึ่งมีความกระฉับเพราะตัวขับสัญญาณตัวนี้สามารถขับมอสเฟตได้ถึง 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 วงจรขับเกตของ IR2110

3.4 การเลือกใช้หม้อแปลง

สำหรับหม้อแปลงที่ใช้ในโครงงานนี้จะทำการแปลงสัญญาณสี่เหลี่ยมด้านออกของอินเวอร์เตอร์ให้มีแรงดันสูงขึ้นและจะให้สัญญาณสี่เหลี่ยมทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงที่มีความถี่ 50 Hz ไปใช้ในการทำงาน

3.4.1 ค่าโวลต์แอมป์ (VA) ของหม้อแปลง

สำหรับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรองในโครงงานนี้จะกำหนดขนาดไว้ที่ 500 VA

3.4.2 พิกัดทางด้านแรงดันและกระแส

ด้านปฐมภูมิ จะเป็นด้านที่รับแรงดันรูปสี่เหลี่ยมมาจากการขับมอสเฟสทั้ง 2 ชุดซึ่งจะมีขนาดแรงดันประมาณ 36 V

ดังนั้นหากระแสจากสมการ

$$VA = V_p \times I_p = V_s \times I_s \tag{3.2}$$

เมื่อ

VA คือโวลต์แอมป์ของหม้อแปลง

V_p คือแรงดันไฟฟ้าฝั่งปฐมภูมิ

V_s คือแรงดันไฟฟ้าฝั่งทุติยภูมิ

I_p คือกระแสไฟฟ้าฝั่งปฐมภูมิ

I_s คือกระแสไฟฟ้าฝั่งทุติยภูมิ

ดังนั้น

$$I_p = \frac{1}{36}\frac{VA}{V_p}$$

$$I_p = \frac{500}{36}$$

$$= 13.88 \text{ A.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนด้านทุติยภูมิจะเป็นด้านแรงดันด้านออกซึ่งจะมีขนาดแรงดัน 220 โวลต์

ดังนั้นกระแสจะมีค่า $Is = \frac{VA}{V_s}$

$$Is = \frac{500}{220}$$

$$= 2.7 \text{ A.}$$

3.5 การเลือกใช้แบตเตอรี่

ในส่วนของแหล่งจ่ายไฟสำรองนี้ แบตเตอรีที่เลือกใช้นั้นจะเป็นชนิดตะกั่ว-กรด ปิดผนึก แบบ Free maintenance ขนาด 7.5 แอมแปร์-ชั่วโมง โดยที่แบตเตอรีนี้ไม่มีก๊าซเกิดขึ้นซึ่งเป็นผลดีในการช่วยแก้ปัญหาอายุการใช้งานแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองสั้น เนื่องจากการเกิดก๊าซในการอัดประจุมากเกินไป ส่วนการอัดประจุแบตเตอรีจะเป็นแบบแรงดันคงที่ เนื่องจากแบตเตอรีในแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองจะทำงานแบบแบ็คอัพ หรือ standby ซึ่งแบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานสำรองที่ต้องนำมาใช้ในสภาวะเกิดความผิดปกติของระบบการไฟฟ้า ฉะนั้นแบตเตอรี่จะต้องถูกอัดประจุตลอดเวลา โดยในช่วงที่แบตเตอรีเต็มแล้วจะต้องอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ด้วยอัตราการอัดประจุต่ำ ๆเพื่อชดเชยค่าแรงดันเนื่องจากความต้านทานภายในแบตเตอรีโดยแรงดันที่จ่ายให้แบตเตอรีเพื่ออัดประจุเป็นแบบ Float charge ที่ 14 โวลท์

3.5.1 การคำนวณเพื่อเลือกใช้ขนาดของแบตเตอรี่

กำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

1. กำลังไฟฟ้าพิกัดของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง 500 VA ที่ PF = 0.8
2. เวลาสำรอง 10 นาทีที่ภาระโหลดคอมพิวเตอร์
3. ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์คือ 0.9
4. แรงดันปกติของแบตเตอรี่ 24 โวลท์

ในการคำนวณหาขนาดแบตเตอรี่ จะกำหนดให้

VA = โวลท์แอมป์พิกัดของภาระ

PF = ค่าเพาเวอร์เฟกเตอร์ของภาระ

N = ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์

V_b = แรงดันปกติของแบตเตอรี่

กำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ = VA x PF x Efficiency of Inverter

$$= 500 \times 0.8 \times \frac{1}{0.9}$$

$$= 444.4 \text{ Watt}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสจากแบตเตอรี่ $= \frac{W}{EV_{battery}}$

$= 20.8$ A

ค่าแอมแปร์ – ชั่วโมง $= W \times (\frac{t}{60}) \times (\frac{1}{V_{battery}})$

$= 444.4 \times (\frac{10}{60}) \times (\frac{1}{24})$

$= 3.08$ Ah

ดังนั้นขนาดของแอมแปร์ – ชั่วโมง จะใช้ขนาด 7.2 Ah ที่พิกัดของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองนี้สรุปแบตเตอรี่ที่ใช้ในโครงงาน

1. ชนิด Sealed lead – Acid Battery ขนาด 7.2 Ah
2. การใช้งานแบบ standby สำรองไฟได้นาน 10 นาทีที่ภาระโหลดคอมพิวเตอร์
3. การทำงานเป็นแบบ float charge
4. เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่เป็นแบบแรงดันคงที่
5. การอัดประจุใช้กระแสเท่ากับ 0.13 x 7.2 Ah = 936 mA

3.6 การเลือกใช้อุปกรณ์รีเลย์

ในส่วนของรีเลย์ได้ใช้รีเลย์ที่สามารถรับแรงดันได้ 250Volt แล้วสับสวิทช์ที่ประมาณ 70% ของโวลต์ ซึ่งจะประมาณ ได้ภายในเวลา 1 ลูกคลื่นหรือเท่ากับ 0.05 วินาที

3.7 การออกแบบตัวกรองความถี่สูง (Low pass filter)

ในส่วนของตัวกรองความถี่สูงได้ใช้ความถี่ที่ 10 kHz เพราะฉะนั้นการออกแบบตัวกรองความถี่ต่ำผ่านควรใช้ความถี่คัตออฟให้ต่ำกว่า 10 kHz ซึ่งวงจรในโครงงานได้ใช้ค่าของตัวเหนี่ยวนำขนาด 47 μH และค่าของตัวเก็บประจุขนาด 4.7 μF ซึ่งในโครงงานตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุซึ่งต่อแบบอนุกรมกันเมื่อวิเคราะห์วงจรจะพบว่าค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำ (X_L) จะเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นซึ่งจะตรงข้ามกับค่าความเหนี่ยวนำของตัวเก็บประจุ (X_C) ซึ่งจะลดลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น ดังนั้นที่ความถี่เดียวกันจะได้ดังสมการที่ 3.3

$$X_L = -X_C \tag{3.3}$$

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \tag{3.4}$$

จาก $\omega = 2\pi f$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC} \tag{3.5}$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{3.6}$$

จะได้ความถี่คัตออฟเท่ากับ

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{\left(47\times10^{-6}\right)\times\left(4.7\times10^{-6}\right)}}$$

$$f = 5.354kHz$$

3.8 การออกแบบตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้า

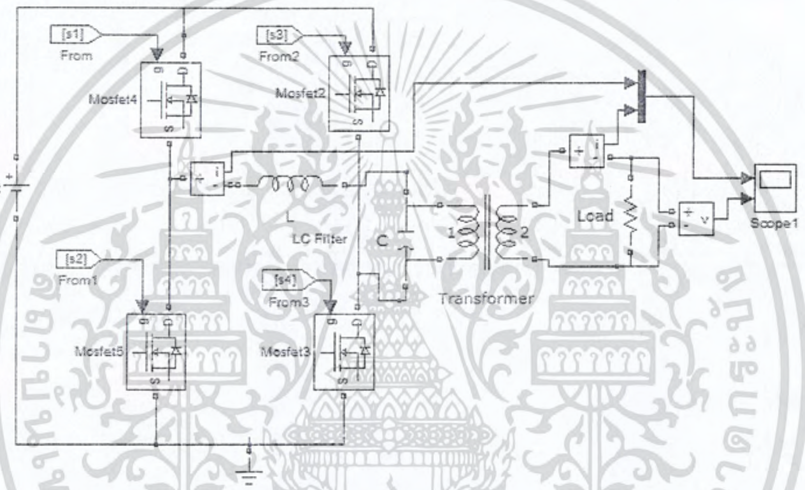
ในส่วนของการควบคุมแรงดันไฟฟ้า เป็นการควบคุมแบบพีคคอนโทรล โดยจะทำการป้อนกลับโดยใช้บริดจ์ไดโอด จากนั้นก็มาผ่านวงจรแบ่งแรงดัน (Divider) ซึ่งออกแบบให้แรงดันลดลง 110 เท่า เพื่อให้พิกัดแรงดันที่จะเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่เกิน 5V และมีวงจรบัฟเฟอร์โดยการต่อออปแอมป์ซึ่งจะทำหน้าที่แยกไม่ให้สัญญาณมารบกวนกัน อีกทั้งออปแอมป์ใช้ไฟเลี้ยง 5V กับ 0V จึงทำให้เป็นตัวลิมิตไม่ให้แรงดันเกินเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ และระหว่างออปแอมป์ได้ทำการออกแบบใส่ตัวเก็บประจุขนานกับตัวต้านทานเพื่อกรองแรงดันให้เรียบและตอบสนองเร็วขึ้นอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลองจริง

4.1 การจำลองอินเวอร์เตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink

โครงงานนี้กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองของวงจรคือ V_{batt}= 36V, L= 0.1mH, C = 1000uF, อัตราส่วนหม้อแปลง 1:10, ความถี่สวิตชิ่ง 10kHz, ใช้มอสเฟตเป็นอุปกรณ์ในการสวิตช์ จ่ายโหลดแบบเชิงเส้นขนาด 300 Watt แรงดันขณะไม่มีโหลดด้านเอาท์พุทเท่ากับ 220V ดังรูปที่ 4.1



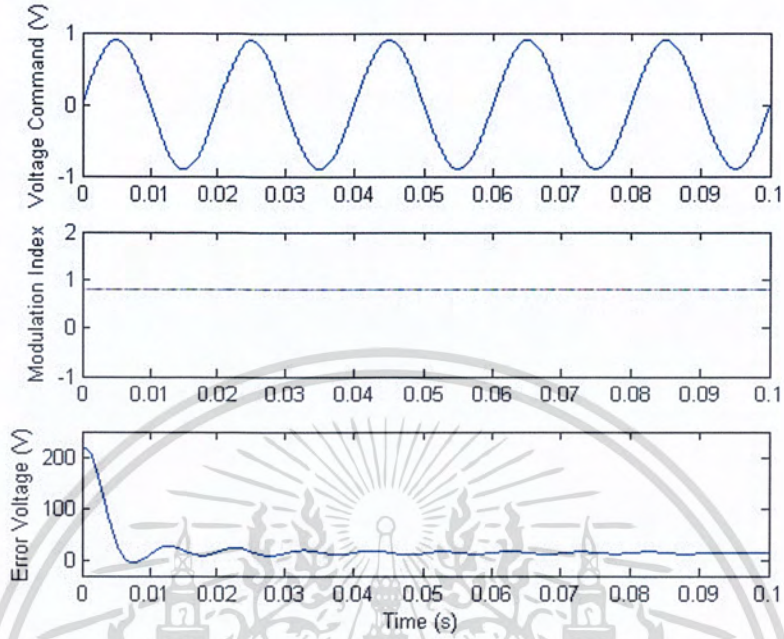
รูปที่ 4.1 การจำลองอินเวอร์เตอร์โดยใช้หม้อแปลงเพิ่มระดับแรงดัน

โดยทำการจำลองเปรียบเทียบระบบเปิดกับระบบที่มีการป้อนกลับไปควบคุมการสวิตช์ โดยใช้การควบคุมแบบพีไอ ซึ่งสามารถควบคุมค่าดัชนีการมอดูเลตได้ จากผลการจำลองอินเวอร์เตอร์ พบว่าระบบที่มีการควบคุมจะสามารถรักษาระดับแรงดันได้ดีกว่าระบบที่ไม่มีการป้อนกลับ โดยเฉพาะกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงโหลด จากรูปที่ 4.1 จะพบว่าสัญญาณควบคุมการสวิตช์จะมีการเปลี่ยนแปลงตามภาระทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป โดยควบคุมการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการมอดูเลตทำให้สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาท์พุทให้ตรงตามค่าที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสังเกตได้จากกราฟค่าความผิดพลาดของแรงดัน ซึ่งเมื่อมีการควบคุมจะส่งผลให้ระบบลดค่าความผิดพลาดได้

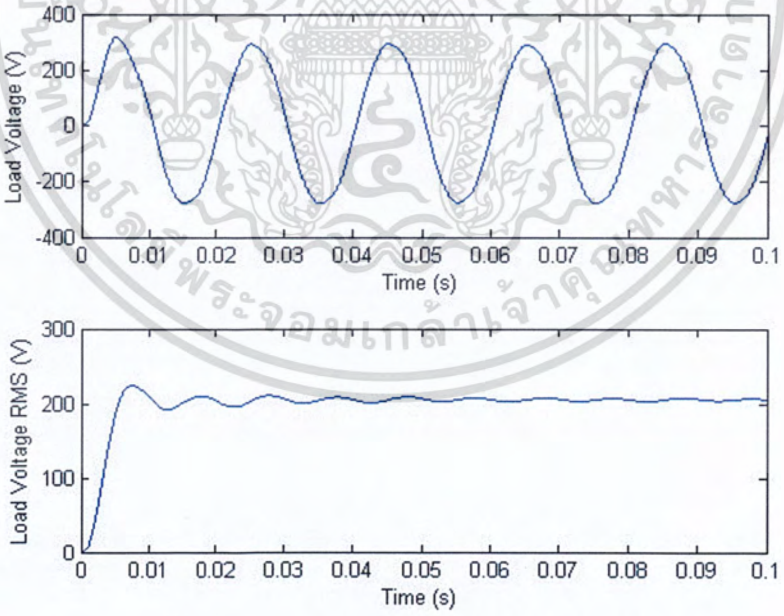
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการจำลอง

4.2.1 จำลองการจ่ายโหลดขณะไม่มีตัวควบคุม

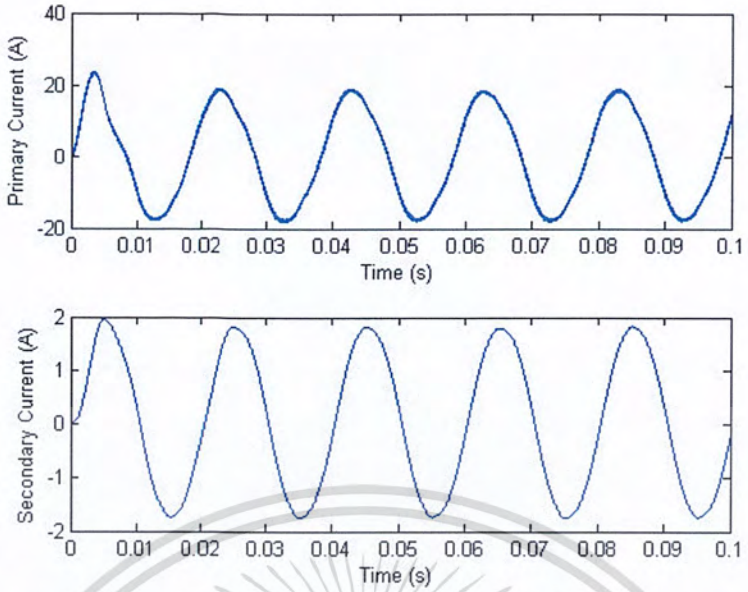


รูปที่ 4.2 กราฟดัชนีการมอดูเลตและกราฟความผิดผลาดขณะไม่มีการควบคุม



รูปที่ 4.3 กราฟแรงดันเอาท์พุทขณะไม่มีการควบคุม

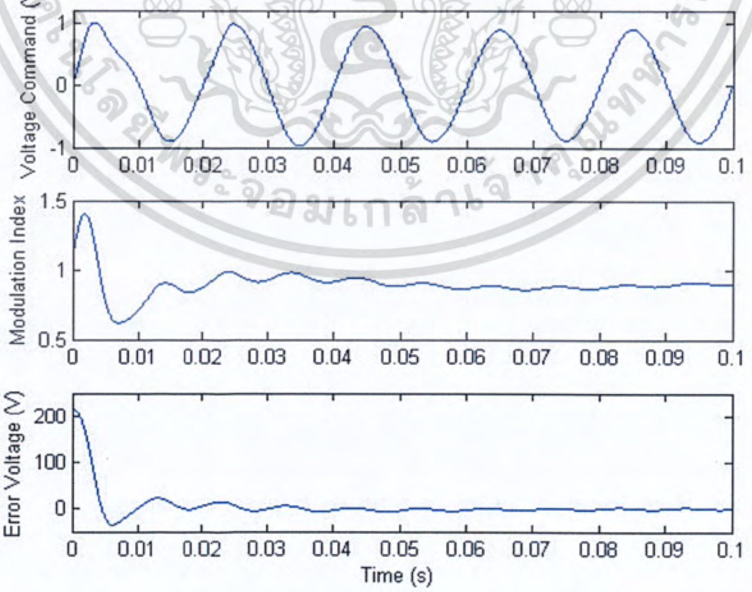
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟกระแสที่วงจรกรองความถี่สูงและกราฟกระแสที่หม้อแปลงขณะไม่มีการควบคุม

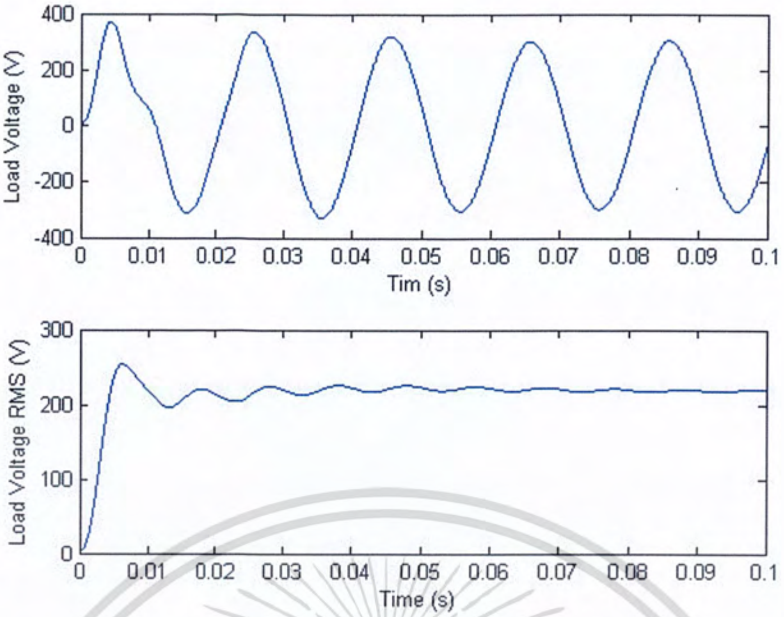
จากรูปเมื่อทำการประมวลผลวิเคราะห์ข้อมูลโดยปรับค่าดัชนีการมอดูเลตประมาณ 0.85 เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่า 220 V จะพบว่ามีค่าความผิดผลาดของแรงดันจากการประมวลผลวิเคราะห์จะมีค่าประมาณ 8% และสามารถสังเกตุได้จากกระแสที่วงจรกรองความถี่สูงและกระแสที่หม้อแปลงมีความผิดเพี้ยนอีกด้วย

4.2.2 จำลองการจ่ายโหลดขณะมีตัวควบคุม

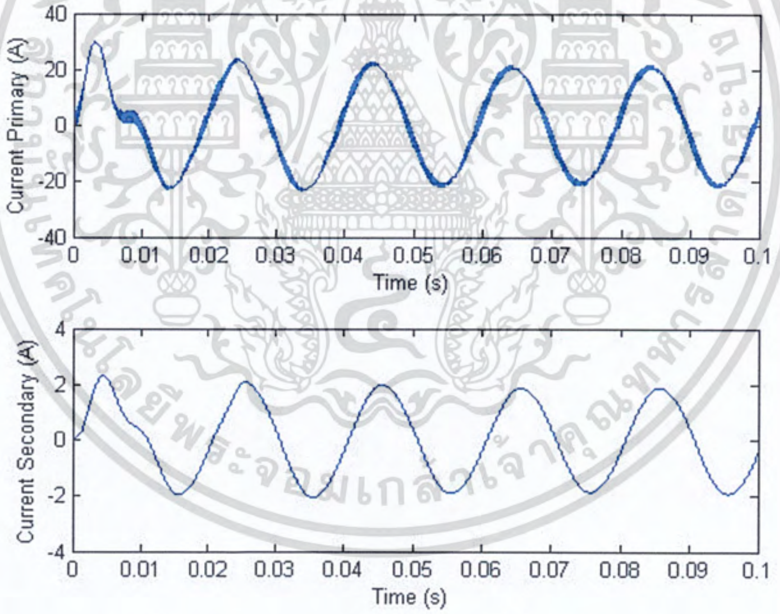


รูปที่ 4.5 กราฟดัชนีการมอดูเลตและกราฟความผิดผลาดขณะมีการควบคุมพีไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแรงดันที่หม้อแปลงขณะมีการควบคุมพีไอ

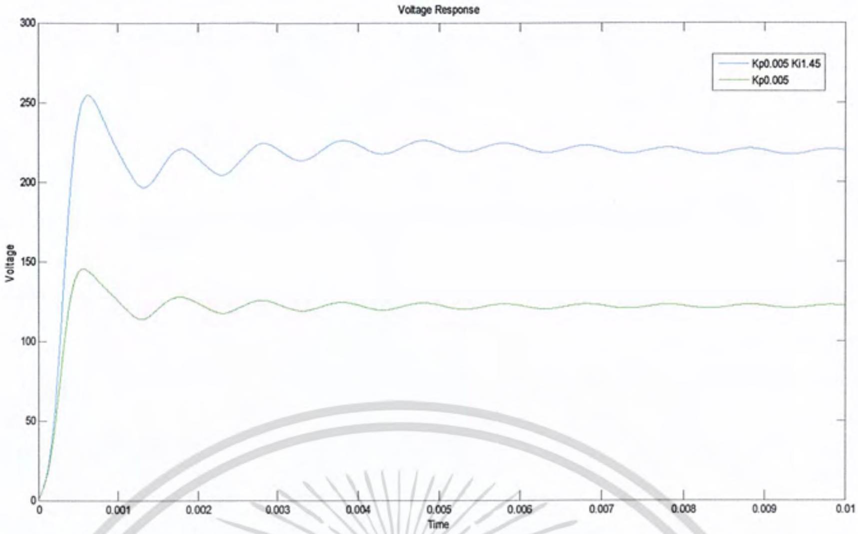


รูปที่ 4.7 กราฟกระแสที่วงจรกรองความถี่สูงและกราฟกระแสที่หม้อแปลงขณะมีการควบคุมพีไอ

จากรูปเมื่อทำการประมวลผลวิเคราะห์ข้อมูลโดยมีการควบคุมแบบพีไอใช้ในการปรับค่าดัชนีการมอดูเลตเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่า 220 V จะพบว่ามีค่าความผิดผลาดของแรงดันจากการประมวลผลวิเคราะห์จะน้อยลงกว่าแบบที่ไม่มีการควบคุมจะพบว่าเกือบ 0% และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถสังเกตุได้จากกระแสที่วงจรกรองความถี่สูงและกระแสที่หม้อแปลงมีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์ขึ้นอีกด้วย



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการควบคุมแบบพีและการควบคุมแบบพีไอ

จากกราฟเส้นล่างจะเป็นการควบคุมแบบพีอย่างเดียวซึ่งใช้ค่า K_p = 0.005 ซึ่งแรงดันไฟฟ้าจะสามารถเข้าสู่สถานะคงตัวประมาณ 122 V ส่วนการควบคุมแบบพีไอซึ่งใช้ค่า K_p = 0.005, K_i = 1.45 แรงดันไฟฟ้าจะสามารถเข้าสู่สถานะคงตัวประมาณ 219.6 V ซึ่งใกล้เคียงกับแรงดันไฟฟ้าที่ตั้งไว้คือ 220 V

ตารางที่4.1 ตารางเปรียบเทียบการควบคุมแบบพีและการควบคุมแบบพีไอ

	แบบพี	แบบพีไอ
ช่วงเวลาเพิ่มขึ้น (Rise Time)	2.65×10^{-4}	2.83×10^{-4}
Steady state error (Volt) เทียบกับ 220V	98	0.4

จากตารางพบว่าเมื่อเปรียบเทียบการคำนวณค่าช่วงเวลาเพิ่ม (Rise time) ระหว่างแบบการควบคุมแบบพีและการควบคุมแบบพีไอ พบว่าการควบคุมแบบใช้พีไอจะมีช่วงเวลาเข้าสู่ค่าคงที่ (Steady state) มากกว่าการควบคุมแบบพี

4.3 สรุปผลการจำลองที่ได้

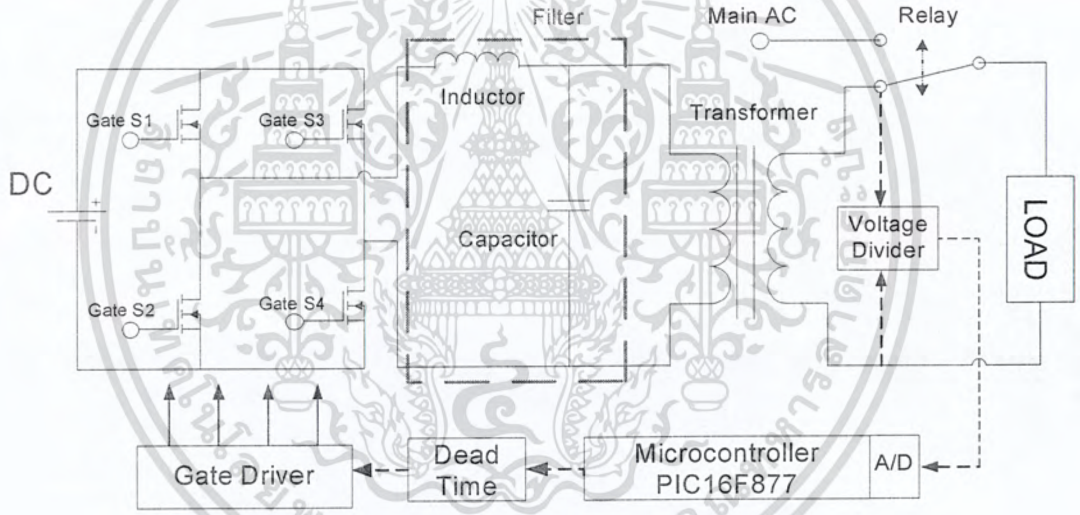
จากการจำลองวงจรอินเวอร์เตอร์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB Simulink ซึ่งทำการเปรียบเทียบผลการจำลองวงจรในสองกรณีคือ ระบบที่ไม่มีการป้อนค่ากลับมาควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือระบบเปิด กับระบบที่มีการป้อนกลับค่ามาควบคุมโดยใช้การควบคุมแบบพีไอ ซึ่งเป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณเป็นค่าความผิดพลาดที่หามาจากความแตกต่างของตัวแปรในกระบวนการกับค่าที่ต้องการ โดยที่ตัวควบคุมจะพยายามลดค่าผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการ จากการจำลองพบว่าระบบที่มีการควบคุมจะมีเสถียรภาพในการรักษาระดับแรงดันให้คงที่ได้ขณะมีภาระโหลดต่าง ๆ และจากผลการจำลองที่ได้นั้นสามารถยืนยันได้ว่าระบบการควบคุมนี้มีประสิทธิภาพในการทำงานได้อย่างชัดเจน โดยที่ผลในการตอบสนองของระบบจะขึ้นอยู่กับ ค่าอัตราขยายสัดส่วน (Kp) และค่าอัตราขยายปริพันธ์ (Ki) ซึ่งเป็นตัวแปรที่สามารถกำหนดค่าได้

4.4 ผลการทดลอง

ผลการทดลองจะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนวงจรควบคุม (Control circuit) และส่วนวงจรหลัก (Main circuit) โดยรูปวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบต่อเนื่องที่ใช้ในโครงงานดังรูป 4.3 ซึ่งประกอบด้วยส่วนวงจรหลักและส่วนวงจรควบคุมตามรูปที่ 4.9



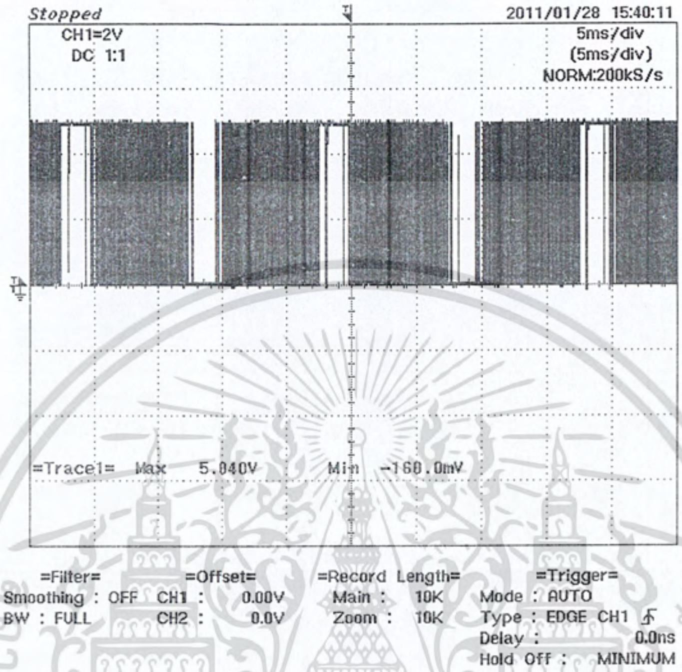
รูปที่ 4.9 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบต่อเนื่องในโครงงาน

โดยรับสัญญาณขับแบบ SPWM จากชุดวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วไปผ่านวงจรหน่วงเวลาเพื่อป้องกันไม่ให้สวิตซ์มอสเฟตนั้นทำงานพร้อมกัน และรับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรีเพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ จากนั้นนำสัญญาณไปผ่านวงจรกรองความถี่สูงเพื่อให้แต่ความถี่ที่ต้องการผ่านไปได้ จากนั้นเข้าหม้อแปลงไฟฟ้าเพิ่มแรงดันเพื่อเพิ่มแรงดันให้ได้ตามที่ภาระทางไฟฟ้าต้องการ และที่หม้อแปลงไฟฟ้าฝั่งทุติยภูมิได้ทำการป้อนกลับโดยใช้การควบคุมสูงสุด (Peak control) โดยทำการลดแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ที่ 0Volt ถึง 5Volt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อเข้าอนาล็อกสู่ดิจิตอล (A/D) เข้าชุดวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมโดยการควบคุมแบบพีไอ

4.4.1 รูปคลื่นสัญญาณเอสพีดับเบิ้ลยูเอ็ม

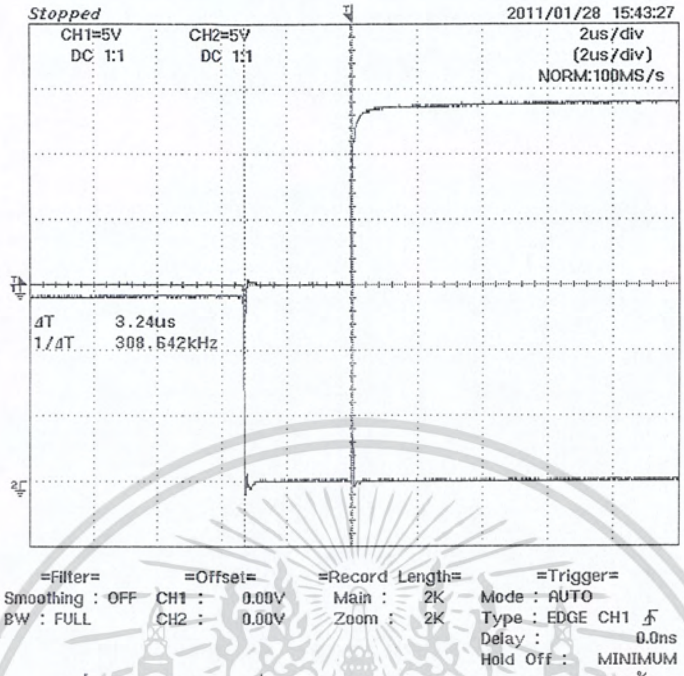


รูปที่ 4.10 สัญญาณขับ SPWM

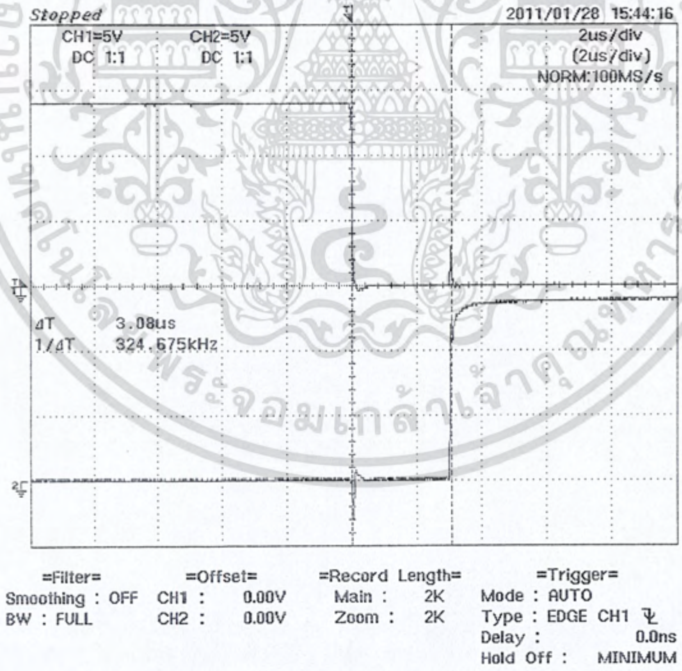
จากรูปจะเป็นสัญญาณ SPWM โดยใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ในการสร้างสัญญาณ ซึ่งสัญญาณมีค่าความถี่อยู่ที่ 10 kHz ความต่างศักย์ระหว่างจุดสูงสุดอยู่ที่ 5V ซึ่งสัญญาณที่ได้นี้จะนำไปเข้าสู่วงจรหน่วงเวลา (Dead time) ดังที่จะแสดงในหัวข้อถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการวัดรูปคลื่นในวงจรหน่วงเวลาและวงจรขับเกต



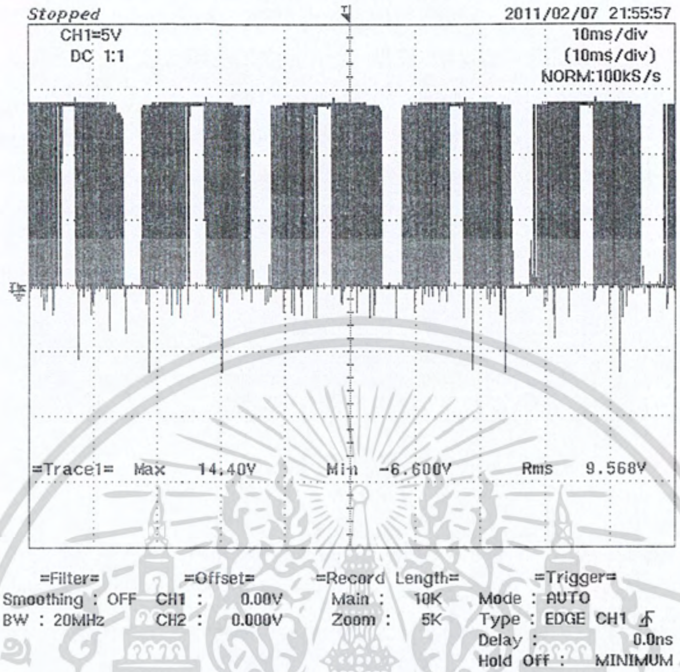
รูปที่ 4.11 สัญญาณที่ออกจากวงจรหน่วงเวลา (ขอบขาขึ้น)



รูปที่ 4.12 สัญญาณที่ออกจากวงจรหน่วงเวลา (ขอบขาลง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยรูปที่ 4.11 และ 4.12 มีระยะห่างระหว่างขอบขาขึ้นและขอบขาลง ห่างกัน 2 μs ถ้าใช้ระยะห่างที่ต่ำกว่านี้อาจจะทำให้มอสเฟตเกิดการลัดวงจร เนื่องจากกระแสตัวมอสเฟต ยังคายประจุได้ไม่หมด จึงทำให้การ On–Off ของมอสเฟตไม่สนิทอาจเกิดการลัดวงจรได้

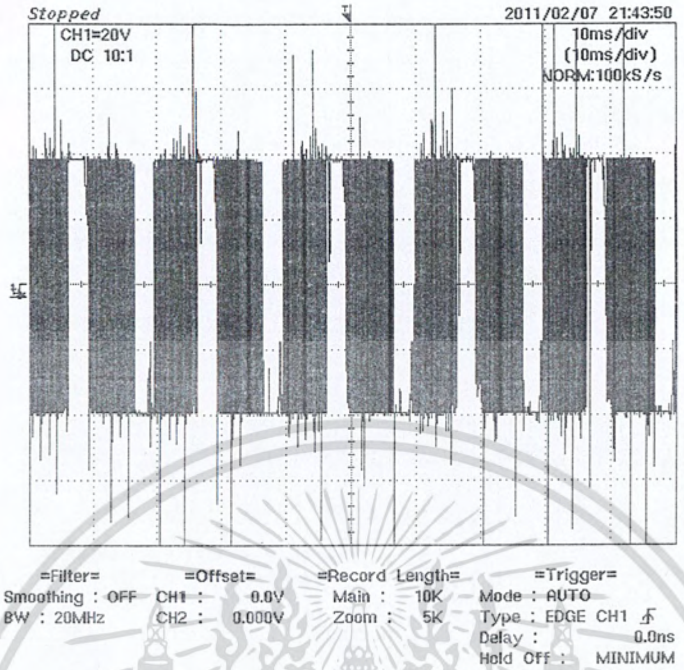


รูปที่4.13 สัญญาณวงจรขับเกต

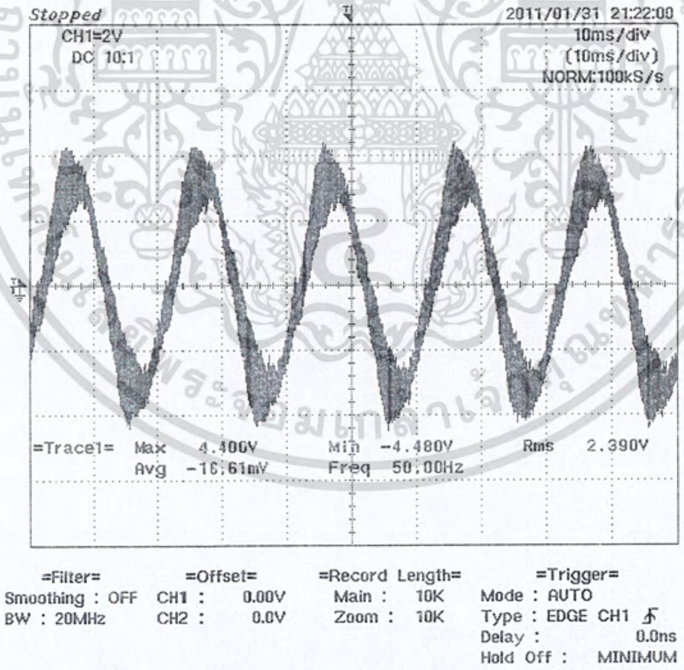
รูปที่ 4.13 แสดงถึงสัญญาณที่ขาเกต โดยมีแรงดันประมาณ 15V และความถี่ประมาณ 10 kHz ที่จะนำไปขับมอสเฟตต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 รูปคลื่นเอาท์พุทแรงดันและกระแสก่อนเข้าวงจรฟิลเตอร์



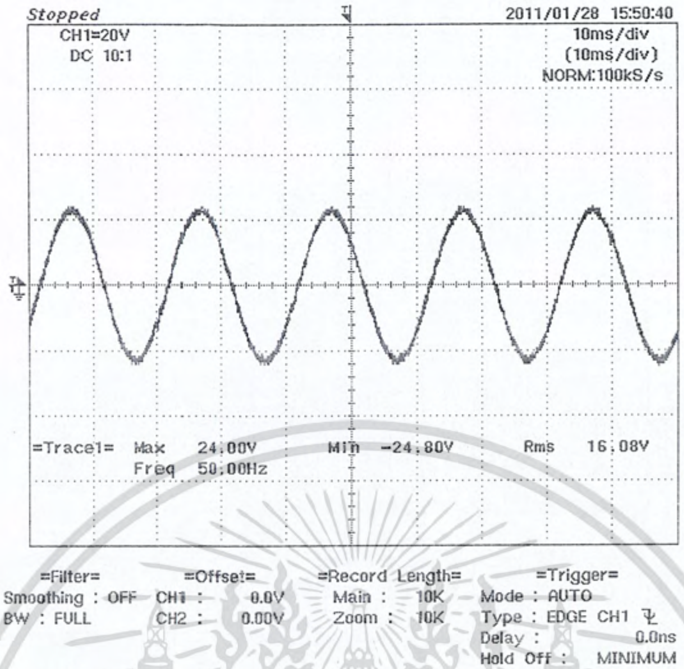
รูปที่ 4.14 รูปคลื่นเอาท์พุทแรงดันก่อนเข้าวงจรฟิลเตอร์



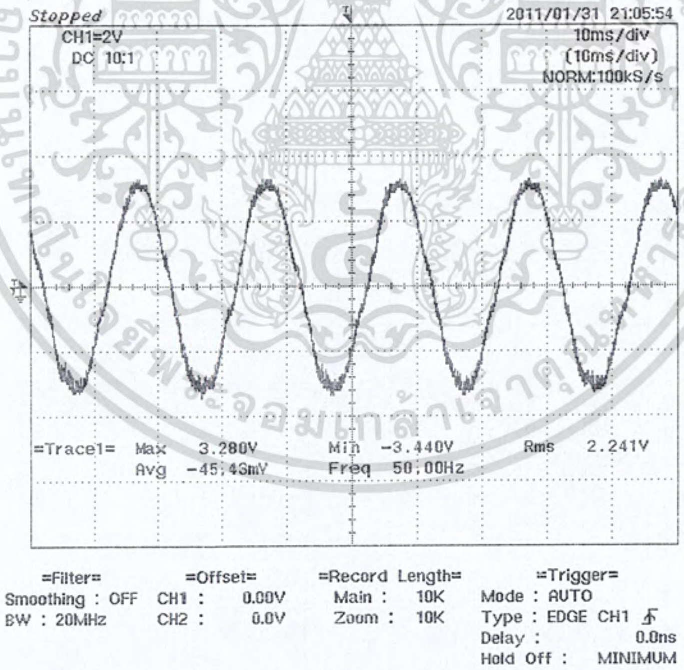
รูปที่ 4.15 รูปคลื่นเอาท์พุทกระแสก่อนเข้าวงจรฟิลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.4 รูปคลื่นเอาท์พุทแรงดันและกระแสหลังออกจากวงจรฟิลเตอร์



รูปที่ 4.16 รูปคลื่นเอาท์พุทแรงดันหลังออกจากวงจรฟิลเตอร์

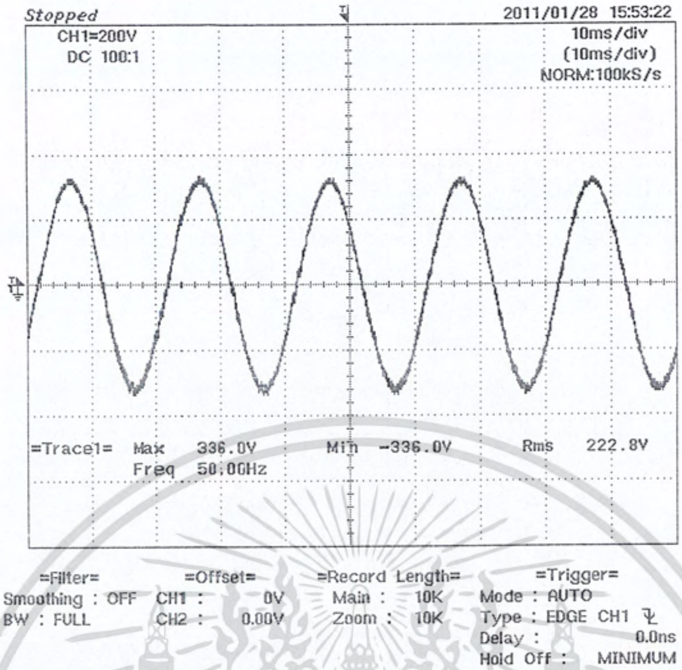


รูปที่ 4.17 รูปคลื่นเอาท์พุทกระแสหลังออกจากวงจรฟิลเตอร์

โดยใช้แบตเตอรีขนาด 12V (ต่ออนุกรมกัน 3 ก้อน) โดยสัญญานที่ออกจากตัวกรองความถี่สูงจะใกล้เคียงความเป็นรูปคลื่นไซน์มากยิ่งขึ้น เนื่องจากกรองความถี่ลำดับสูงออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.5 รูปคลื่นเอาท์พุทแรงดันและกระแสหลังผ่านหม้อแปลง

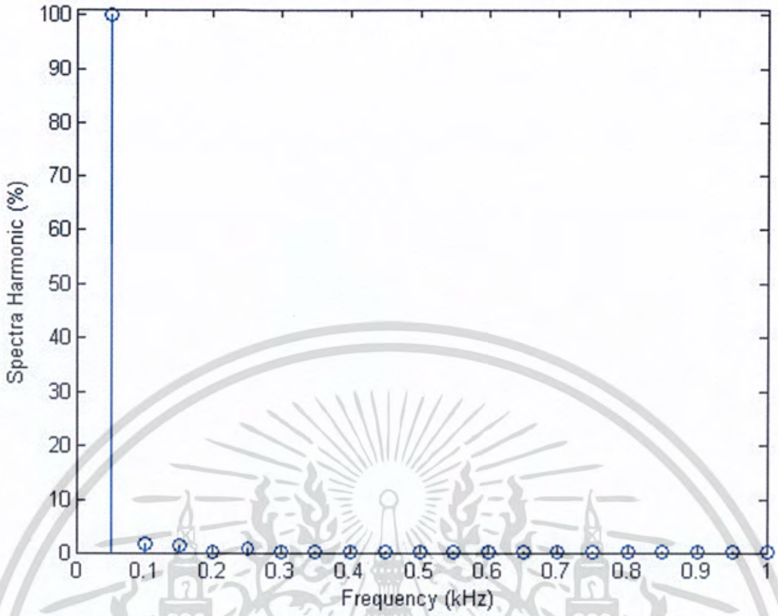


รูปที่ 4.18 รูปคลื่นเอาท์พุทแรงดันหลังผ่านหม้อแปลง

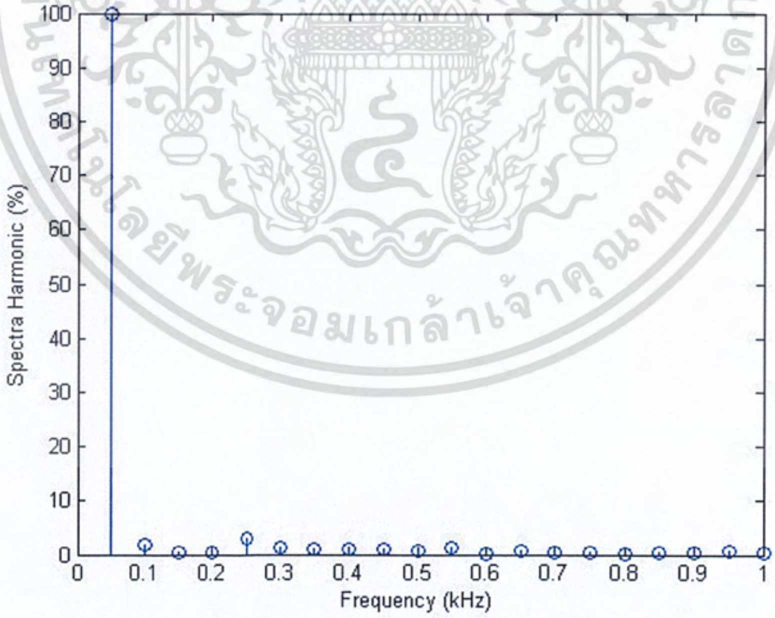
โดยรูปที่ 4.18 ใช้แบตเตอรี่ขนาด 36V ในการจ่ายให้ด้านอินพุท ผ่านวงจรอินเวอร์เตอร์และใช้หม้อแปลงไฟฟ้าในการเพิ่มระดับแรงดันให้สูงขึ้นได้ถึง 220V ขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.6 สเปคตรัมและผลรวมความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดันและกระแสหลังเข้าวงจรฟิลเตอร์



รูปที่ 4.19 กราฟเสปคตรัมของรูปคลื่นแรงดันหลังเข้าวงจรฟิลเตอร์

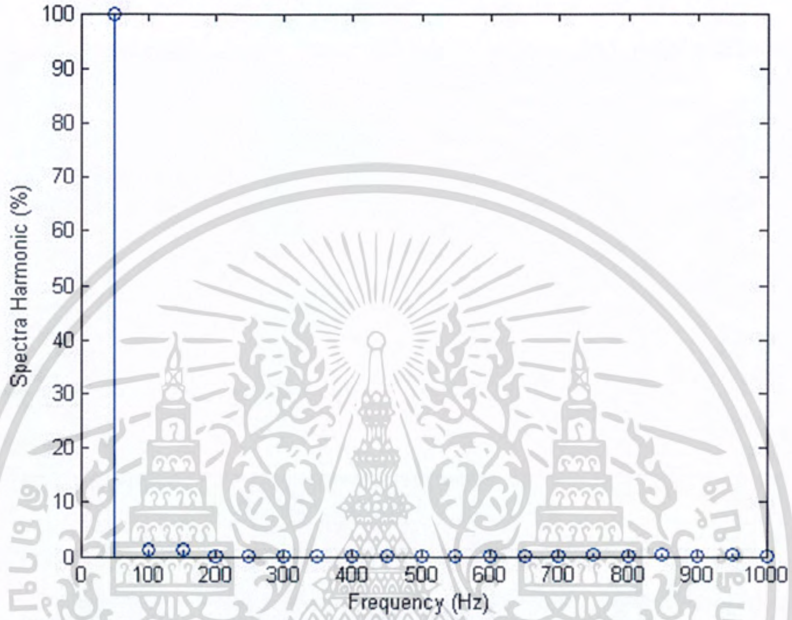


รูปที่ 4.20 กราฟสเปคตรัมของรูปคลื่นกระแสหลังเข้าวงจรฟิลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

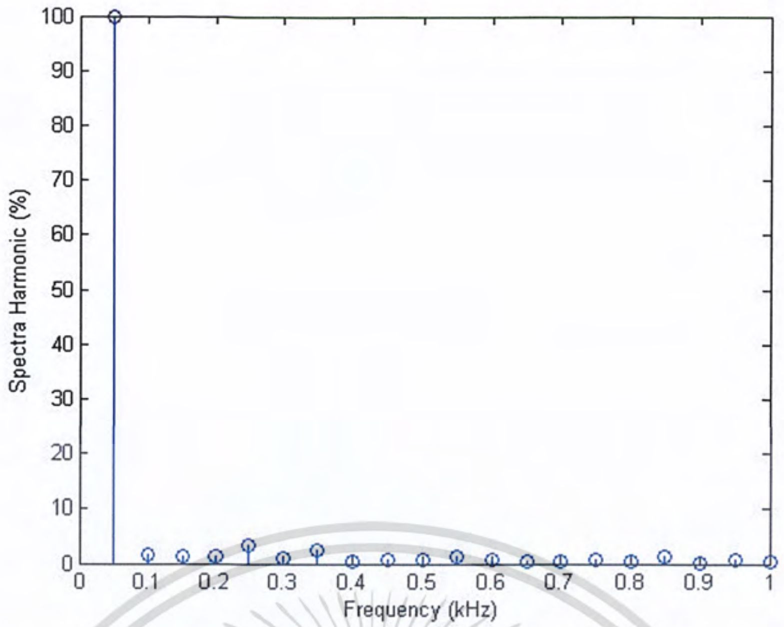
เมื่อใช้โปรแกรมจำลองทางคณิตศาสตร์ (MATLAB) มาคำนวณจะได้ค่าความผิดเพี้ยนของแรงดัน (THD_V) และค่าความผิดเพี้ยนของกระแส (THD_i) หลังผ่านวงจรฟิลเตอร์ ซึ่งสามารถหาค่า THD_V ได้เท่ากับ 17.82% และค่าของ THD_i ได้เท่ากับ 4.85%

4.4.7 สเปคตรัมและผลรวมความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดันและกระแสหลังผ่านหม้อแปลง



รูปที่ 4.21 กราฟ FFT ของรูปคลื่นแรงดันหลังผ่านหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 กราฟ FFT ของรูปคลื่นกระแสหลังผ่านหม้อแปลง

เมื่อใช้โปรแกรมจำลองทางคณิตศาสตร์ (MATLAB) นำมาคำนวณจะได้ค่าความผิดเพี้ยนของแรงดัน (THD_V) และค่าความผิดเพี้ยนของกระแส (THD_i) ของรูปคลื่นหลังผ่านหม้อแปลง โดยที่สามารถหาค่า THD_V หลังผ่านหม้อแปลงได้เท่ากับ 3.21% ส่วน THD_i จะมีค่าเท่ากับ 3.57% ขณะมีภาระทางไฟฟ้า 25 W

ในโครงงานนี้ได้ทำการสรุปค่าความผิดเพี้ยนทางกระแสไฟฟ้า (THD_i) และค่าความผิดเพี้ยนของแรงดันไฟฟ้า (THD_V) ที่การใช้ภาระไฟฟ้าต่าง ๆดังตารางที่ 4.2 ส่วนตารางที่ 4.3 จะแสดงค่าความผิดผลาดทางกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าขณะก่อนผ่านและหลังผ่านตัวกรองความถี่สูง

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ค่าความผิดเพี้ยนทางกระแสไฟฟ้าและค่าความผิดเพี้ยนของแรงดันไฟฟ้าขณะก่อนผ่านและหลังผ่านหม้อแปลง

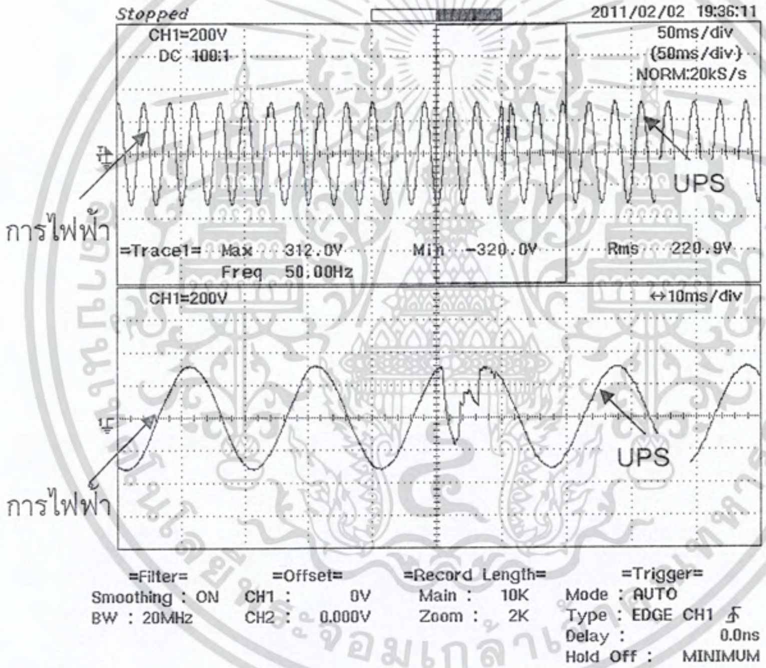
	ก่อนผ่านหม้อแปลง				หลังผ่านหม้อแปลง			
	V_{rms}	I_{rms}	THD_i	THD_v	V_{rms}	I_{rms}	THD_i	THD_v
25W	19.47	2.24	4.85%	2.26%	220.5	0.19	3.57%	3.21%
40W	18.82	2.69	6.59%	2.00%	206.7	0.23	2.72%	2.62%
60W	16.68	3.08	4.18%	1.77%	179.0	0.26	3.57%	3.27%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่าแรงดันไฟฟ้า ค่าความผิดเพี้ยนทางกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าขณะก่อนผ่านและหลังผ่านตัวกรองความถี่สูง

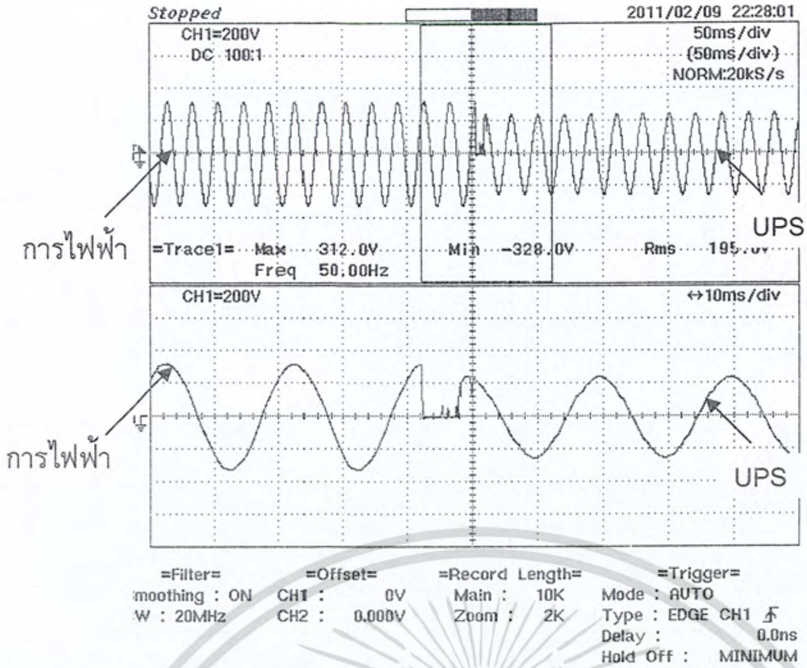
	V_{rms}	THD_i	THD_v
ก่อนผ่านตัวกรองความถี่สูง	33.30	5.37%	1501.51%
หลังผ่านตัวกรองความถี่สูง	19.47	4.85%	2.26%

4.4.8 รูปคลื่นแรงดันขณะทำการเปลี่ยนโหมดระหว่างการไฟฟ้ากับแรงดันจากยูพีเอส



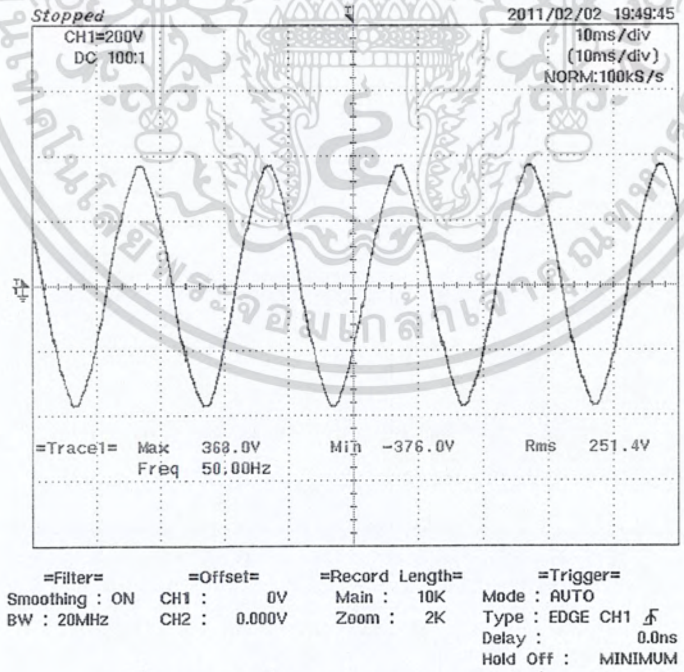
รูปที่ 4.23 รูปคลื่นแรงดันขณะทำการเปลี่ยนโหมดระหว่างการไฟฟ้ากับแรงดันจากยูพีเอสขณะไม่มีภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



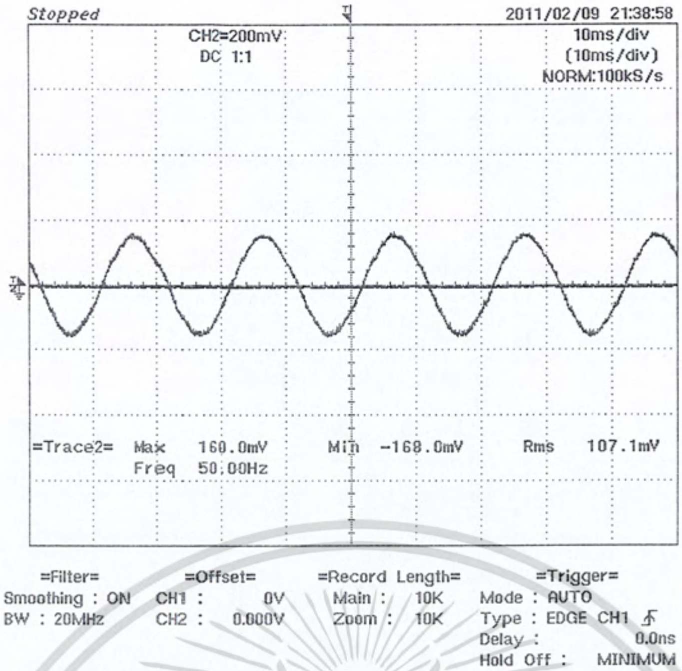
รูปที่ 4.24 รูปคลื่นแรงดันขณะทำการเปลี่ยนโหมดระหว่างการไฟฟ้ากับแรงดันจากยูพีเอสขณะรับภาระ 25 W โดยสัญญาณจะขาดช่วงประมาณ 10 ms ซึ่งการสวิชต์ของรีเลย์อาจจะไม่ได้ค่าที่แน่นอน เนื่องมาจากระยะหน้าสัมผัสของตัวคอนแทรคเตอร์นั้นไม่คงที่

4.4.9 สัญญาณแรงดันและกระแสขณะไม่มีการควบคุม

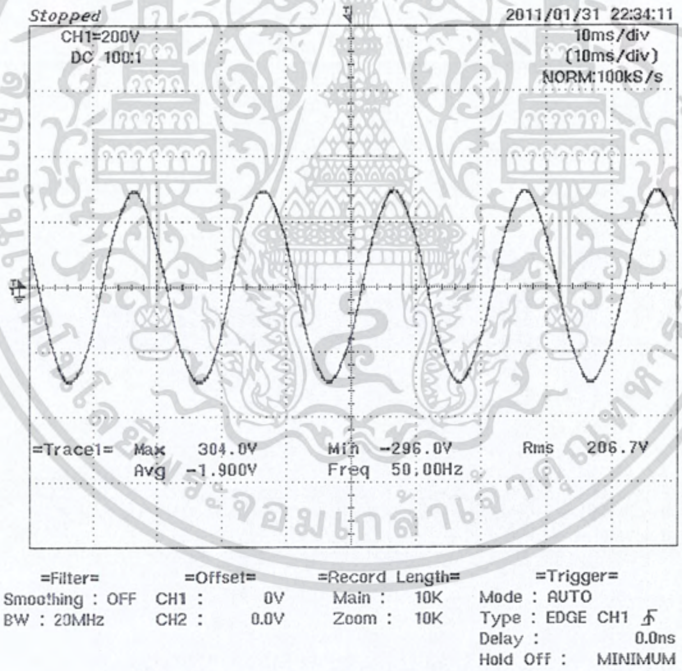


รูปที่ 4.25 รูปคลื่นแรงดันขณะจ่ายภาระที่ 25 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

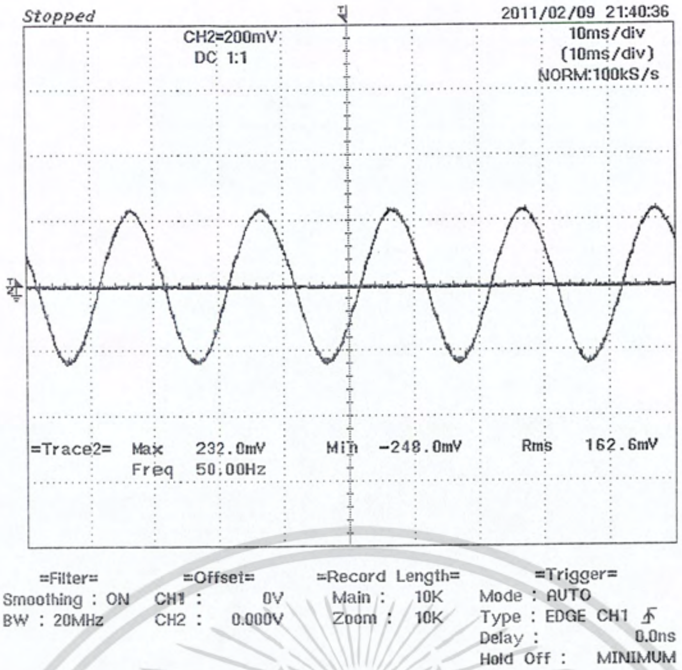


รูปที่ 4.26 รูปคลื่นกระแสขณะจ่ายภาระที่ 25 W

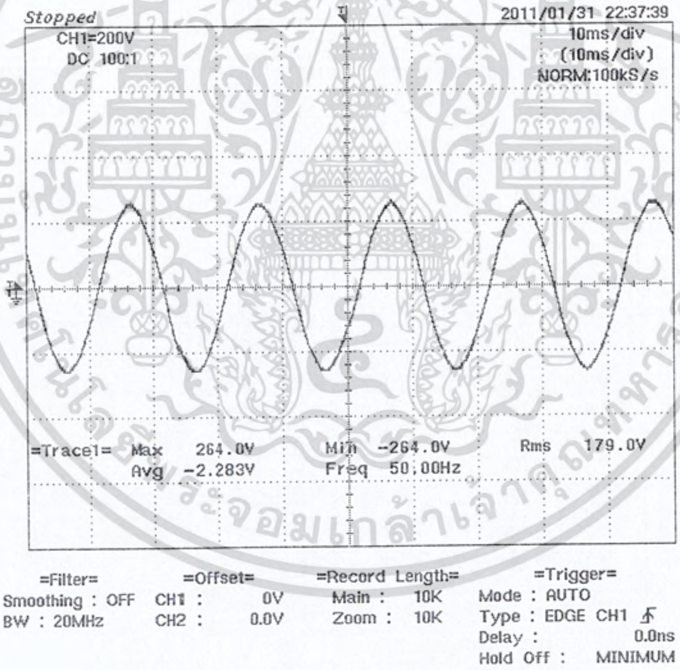


รูปที่ 4.27 รูปคลื่นแรงดันขณะจ่ายภาระที่ 40 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

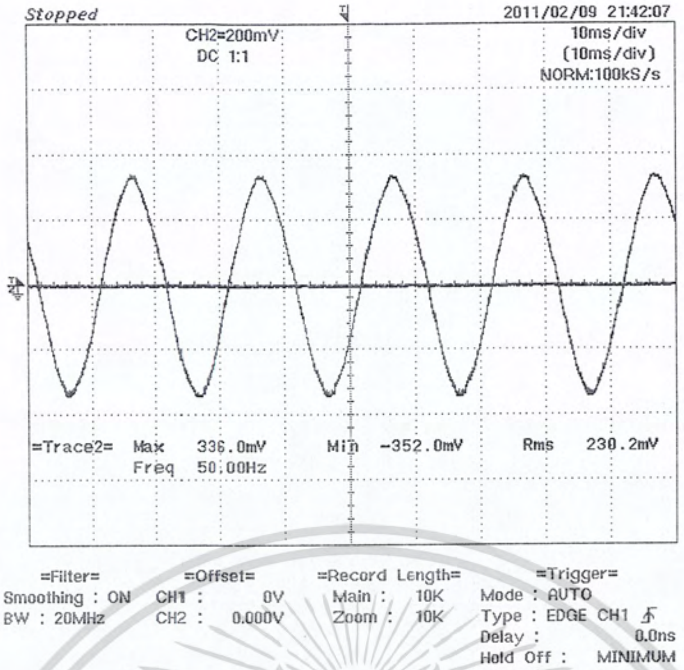


รูปที่ 4.28 รูปคลื่นกระแสขณะจ่ายภาระที่ 40 W



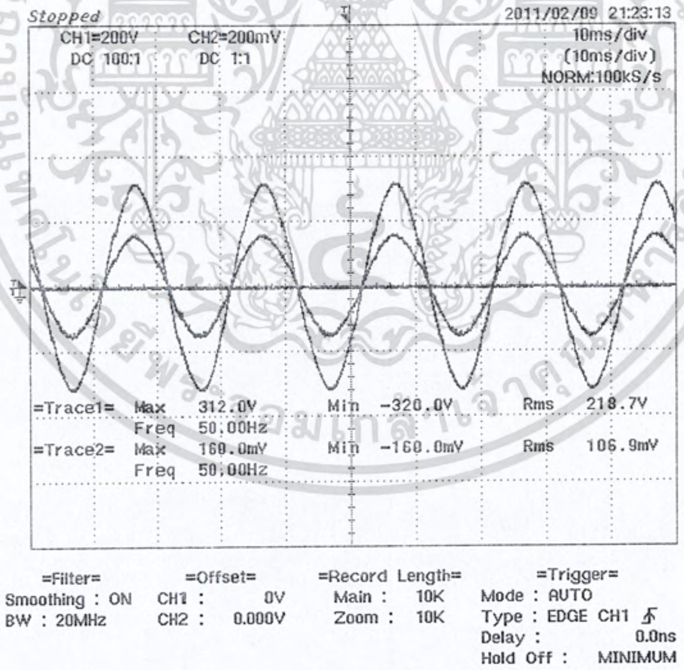
รูปที่ 4.29 รูปคลื่นแรงดันขณะจ่ายภาระที่ 60 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



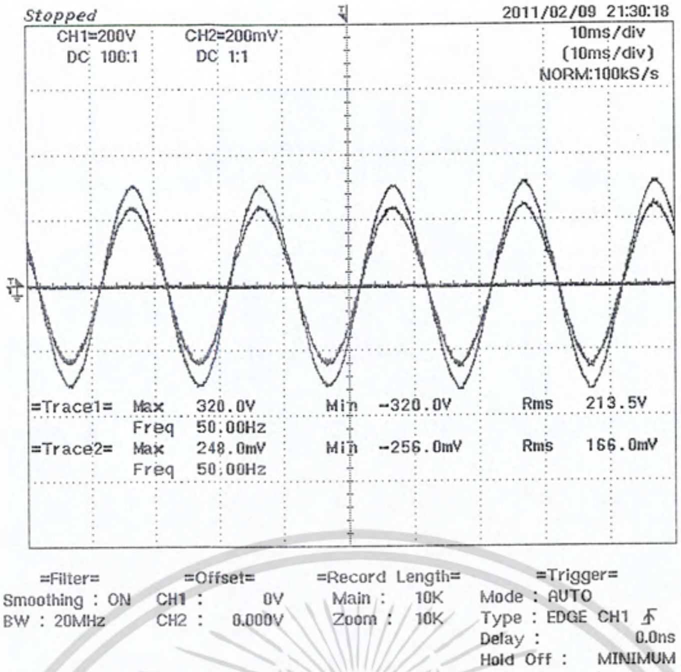
รูปที่ 4.30 รูปคลื่นกระแสขณะจ่ายภาระที่ 60 W

จากรูปที่ 4.25-4.30 เป็นรูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ค่ามอดูเลชัน (m_a) คงที่เท่ากับ 1

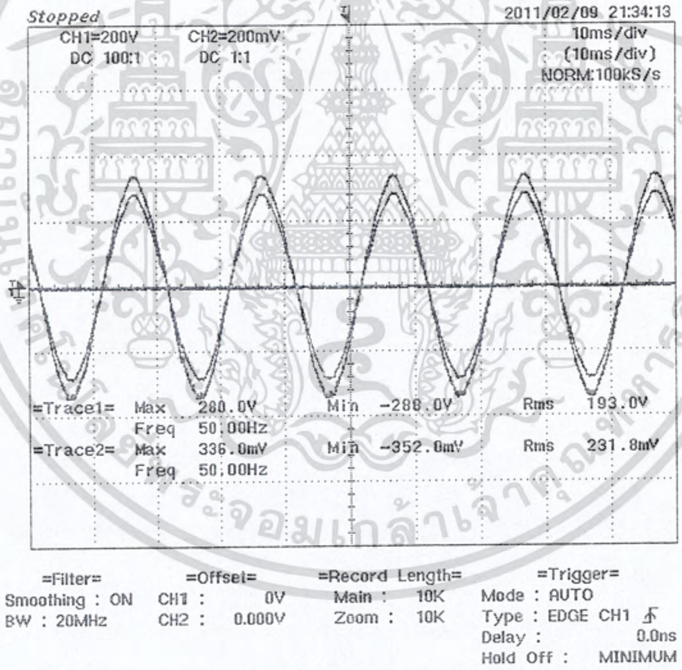


รูปที่ 4.31 รูปคลื่นแรงดันและกระแสขณะจ่ายภาระที่ 25 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 รูปคลื่นแรงดันและกระแสขณะจ่ายภาระที่ 40 W

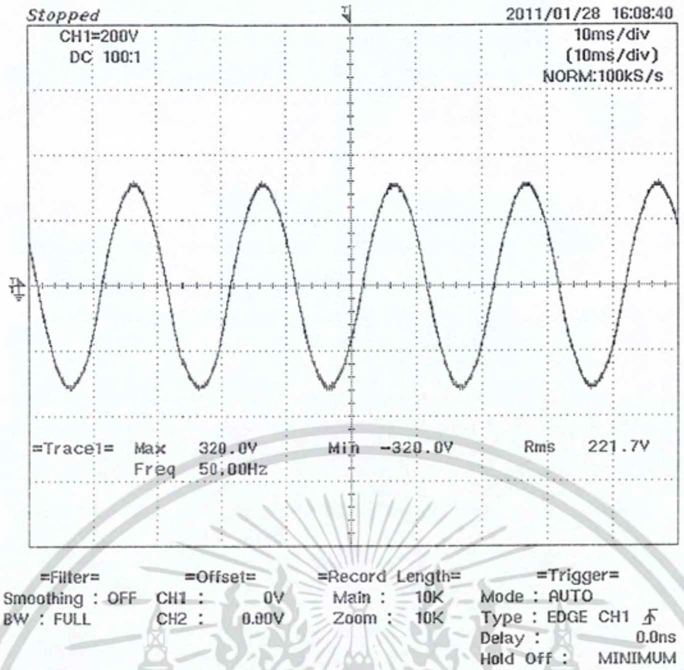


รูปที่ 4.33 รูปคลื่นแรงดันและกระแสขณะจ่ายภาระที่ 60 W

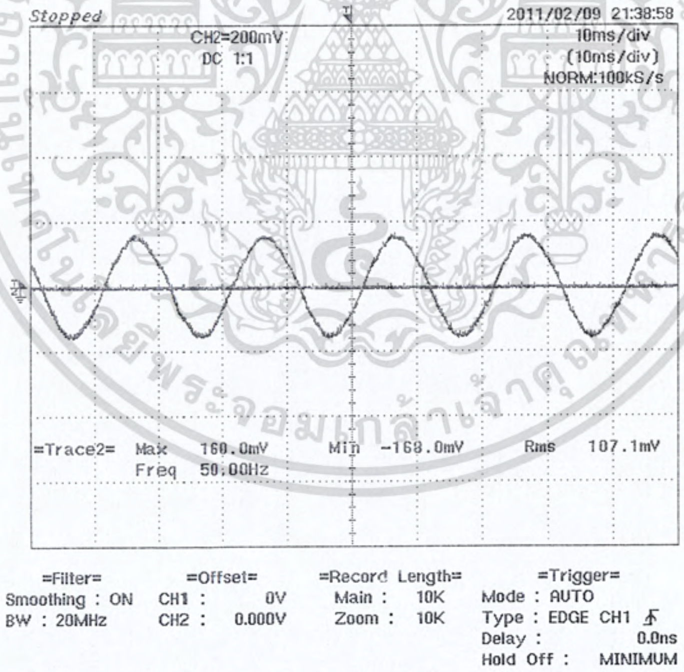
จากรูปที่ 4.31-4.33 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแส โดยใช้ค่ามอดูเลชัน (m_a) คงที่เท่ากับ 0.8 ซึ่งขณะที่จ่ายภาระทางไฟฟ้าที่ 25 W แรงดันจะตกลงเล็กน้อยและเมื่อจ่ายภาระทางไฟฟ้ามากขึ้นเป็น 40W และ 60W แรงดันไฟฟ้าก็จะตกลงเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.10 รูปคลื่นแรงดันและกระแสขณะมีการควบคุม

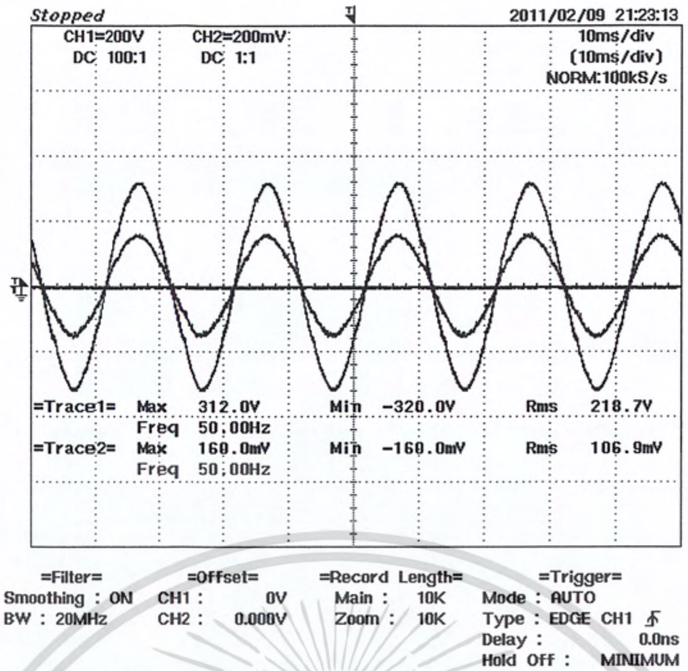


รูปที่ 4.34 รูปคลื่นแรงดันขณะมีการควบคุมที่ภาระไฟฟ้า 25 W

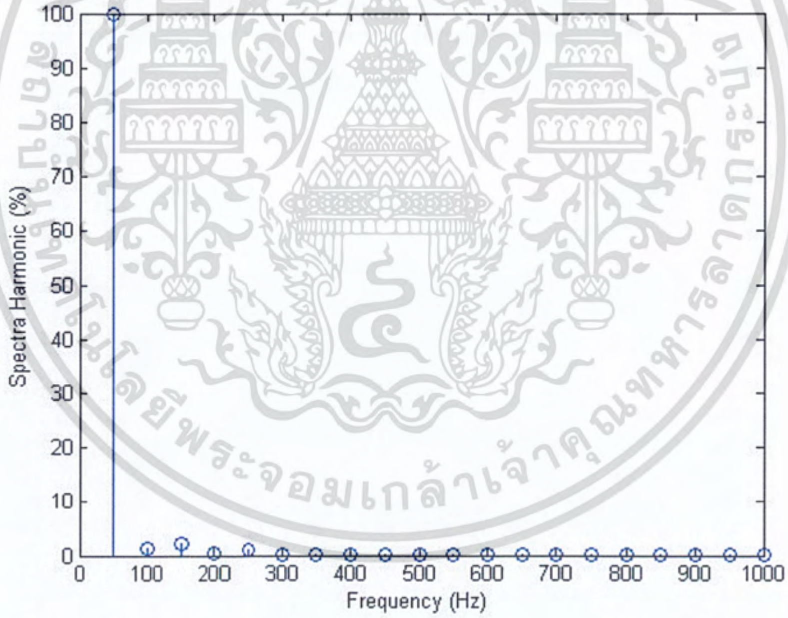


รูปที่ 4.35 รูปคลื่นกระแสขณะมีการควบคุมที่ภาระไฟฟ้า 25 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

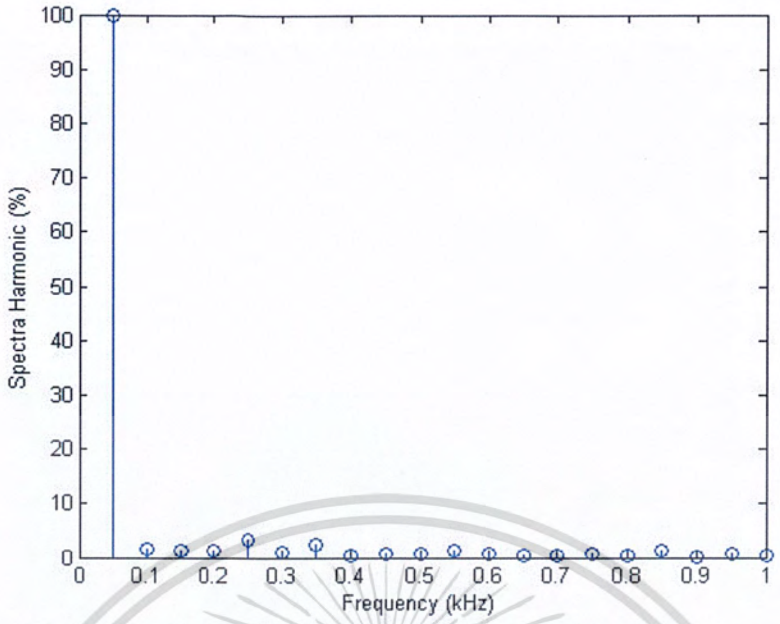


รูปที่ 4.36 รูปคลื่นแรงดันและกระแสขณะมีการควบคุมที่ภาระไฟฟ้า 25 W



รูปที่ 4.37 กราฟสเปคตรัมของแรงดันขณะมีการควบคุมที่ภาระไฟฟ้า 25 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

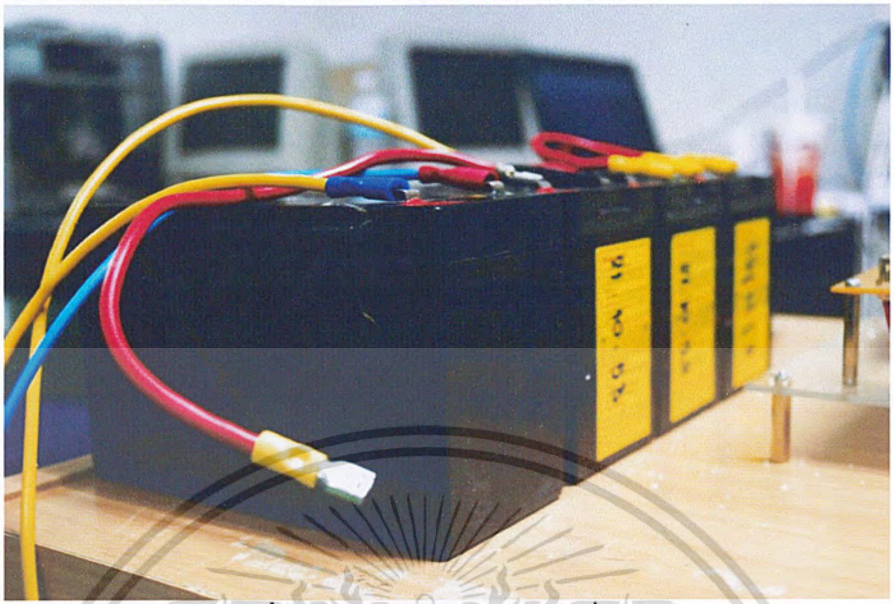


รูปที่ 4.38 กราฟสเปคตรัมของกระแสขณะมีการควบคุมที่ภาระไฟฟ้า 25 W

เมื่อใช้โปรแกรมจำลองทางคณิตศาสตร์ (MATLAB) นำมาคำนวณค่าความผิดเพี้ยนของแรงดัน (THD_V) และค่าความผิดเพี้ยนของกระแส (THD_i) ของรูปคลื่นหลังผ่านหม้อแปลงขณะมีการควบคุมด้วยพีไอ จะสามารถหาค่า THD_V หลังผ่านหม้อแปลงได้เท่ากับ 2.8% และค่า THD_i มีค่าเท่ากับ 5.62%

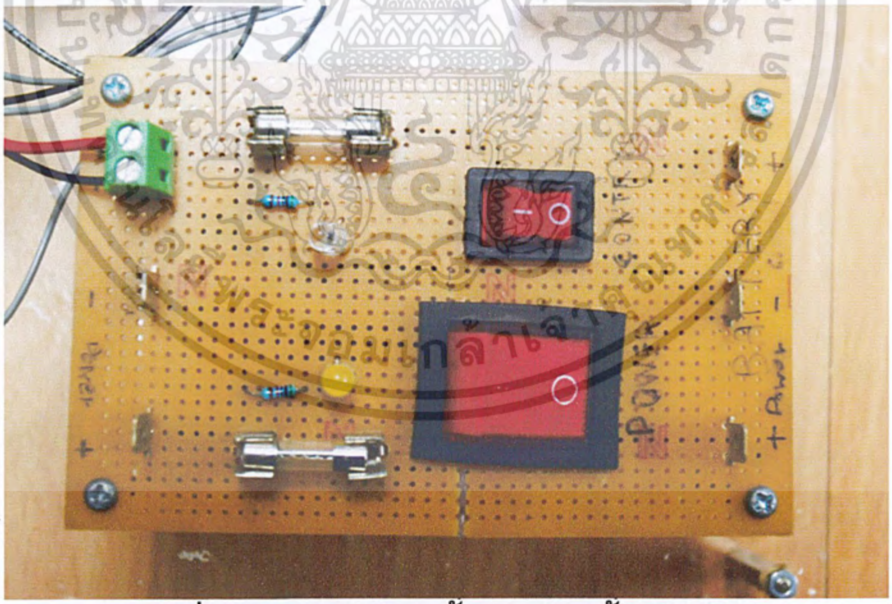
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.11 รูปถ่ายวงจรที่ออกแบบ



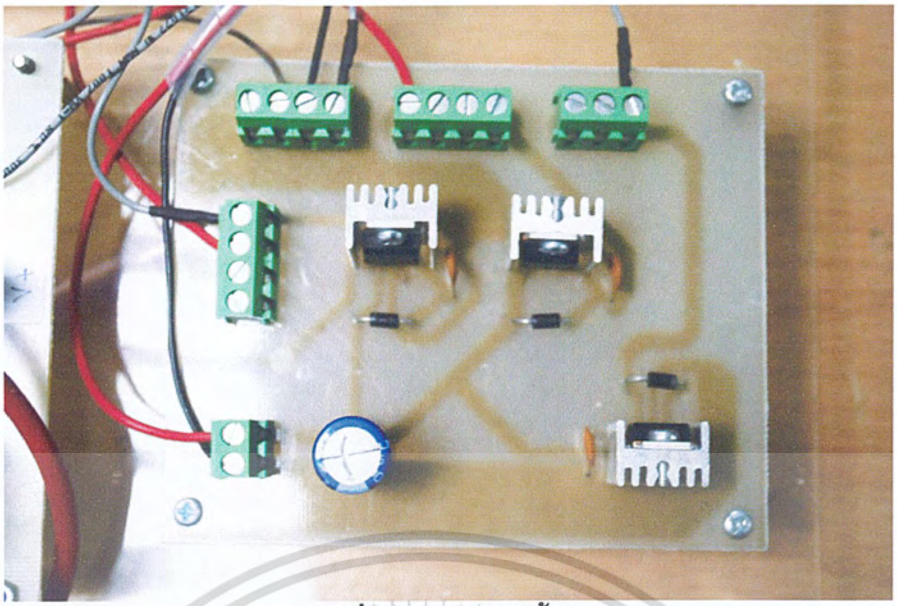
รูปที่ 4.39 แหล่งจ่ายจากแบตเตอรี่ 36 V

โครงงานนี้ได้ใช้แหล่งจ่ายจากแบตเตอรีขนาด 36 V โดยการนำแบตเตอรีขนาด 12 V มาอนุกรมกันทั้งหมด 3 ก้อนเพื่อให้ได้ 36 V



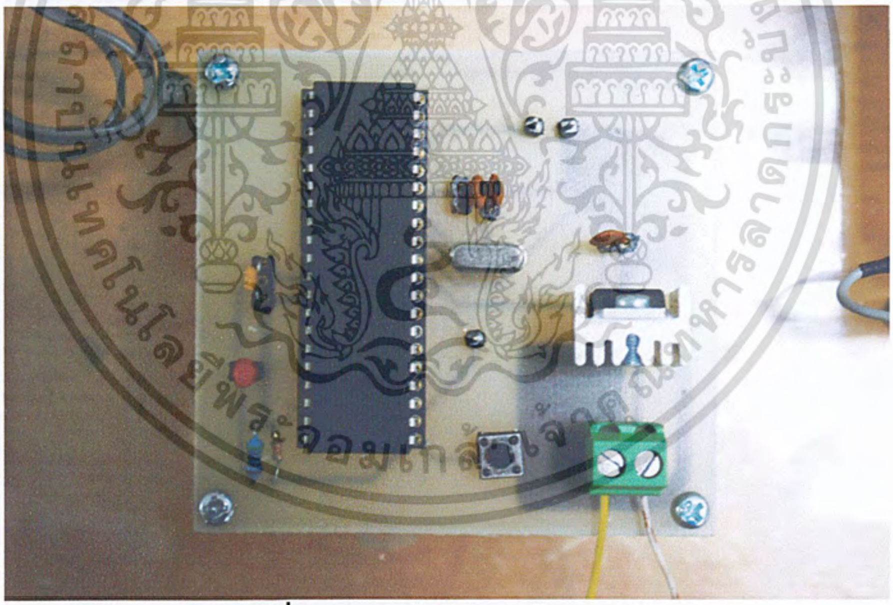
รูปที่ 4.40 วงจรสวิตซ์แยกฝั่งควบคุมและฝั่งกำลังหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.41 วงจรไฟเลี้ยง

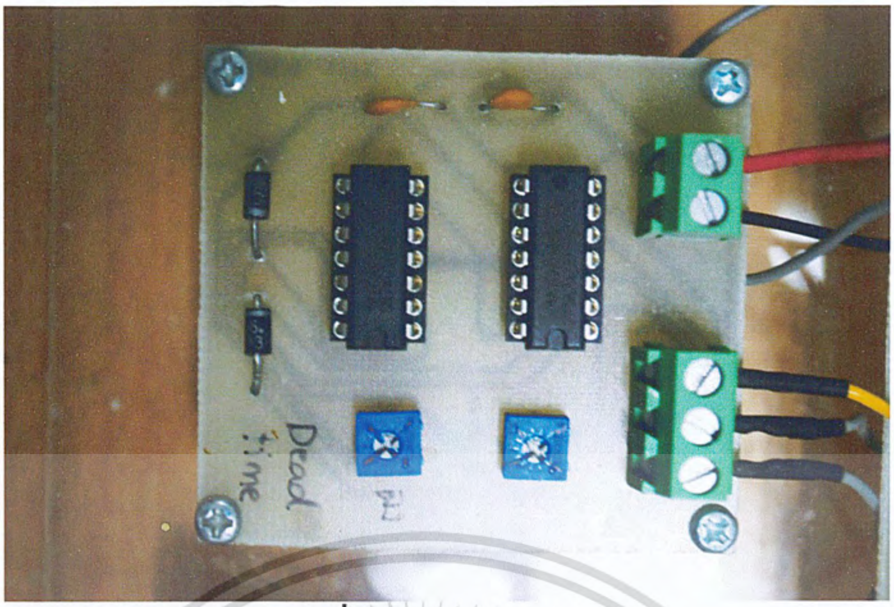
ในส่วนของวงจรไฟเลี้ยงได้ทำการแยกส่วนไฟเลี้ยง 5V, 15V และ ground ในการนำไฟเลี้ยงไปจ่ายให้กับอุปกรณ์ต่างๆ



รูปที่ 4.42 วงจรไมโครคอลโทรลเลอร์

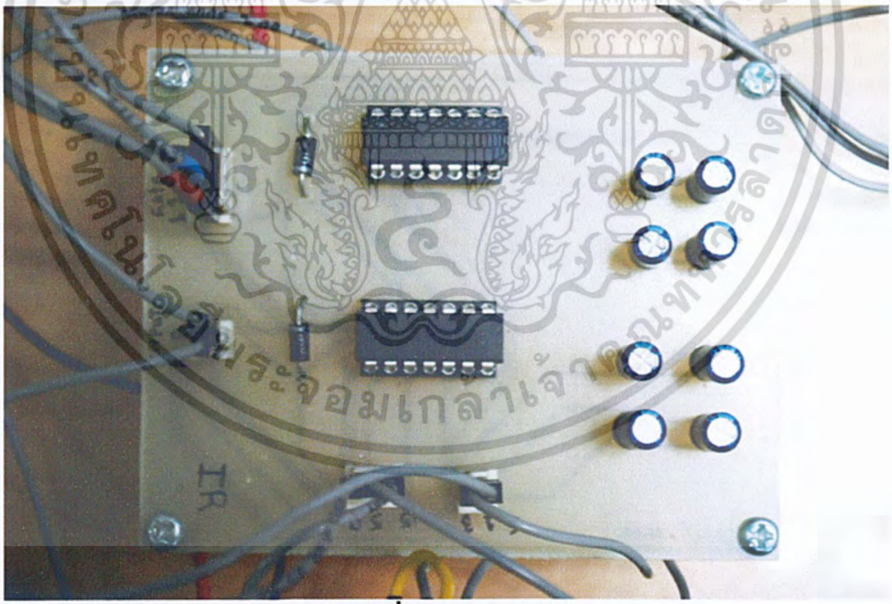
ในโครงงานนี้ได้ใช้ไมโครคอลโทรลเลอร์ PIC16F877 สำหรับสร้างสัญญาณ SPWM และ การควบคุมแบบพีไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.43 วงจรหน่วงเวลา

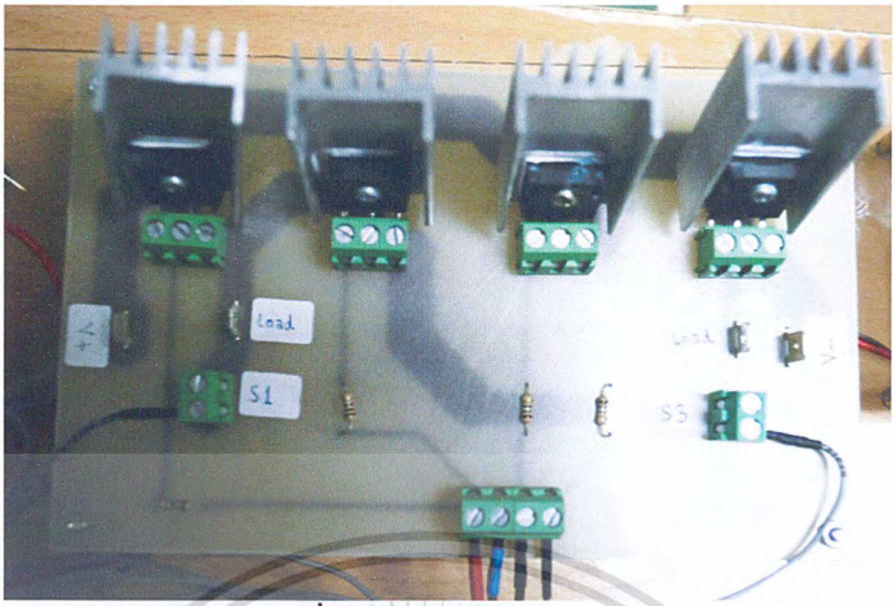
ในส่วนของวงจรหน่วงเวลา (Dead time) ได้รับสัญญาณจากไมโครคอลโทรลเลอร์เข้ามา ซึ่งจะทำการหน่วงเวลาของสัญญาณที่ได้โดยใช้คุณสมบัติของตัวเก็บประจุ เพื่อป้องกันการเกิดลัดวงจรเนื่องจากสัญญาณขับชนกัน



รูปที่ 4.44 วงจรขับเกต

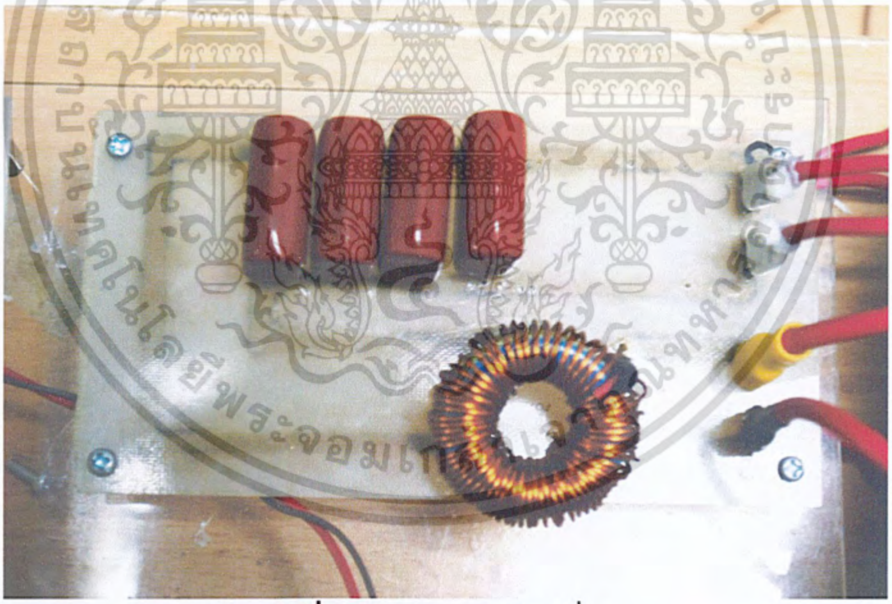
วงจรขับเกตเป็นวงจรที่ใช้ในการขยายสัญญาณของรูปคลื่นที่ออกมาจากวงจรหน่วงเวลาเพื่อให้สามารถนำไปขับขาเกตของมอสเฟตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.45 วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์

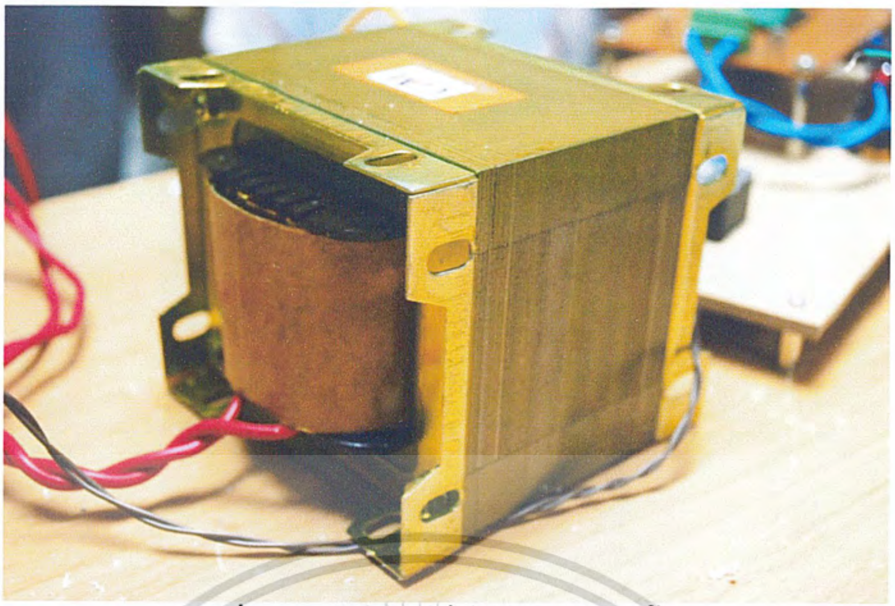
วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์จะทำการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ส่วนด้านออกจะนำไปเข้าวงจรกรองความถี่สูงในส่วนต่อไป



รูปที่ 4.46 วงจรกรองความถี่สูง

วงจรกรองความถี่สูงเป็นวงจรที่ทำหน้าที่กรองรูปคลื่นที่มีฮาร์โมนิกลำดับสูง ๆ(ความถี่สูงกว่าความถี่คัตออฟ) ออก เพื่อให้ได้รูปคลื่นที่เหลือแต่ความถี่หลักมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

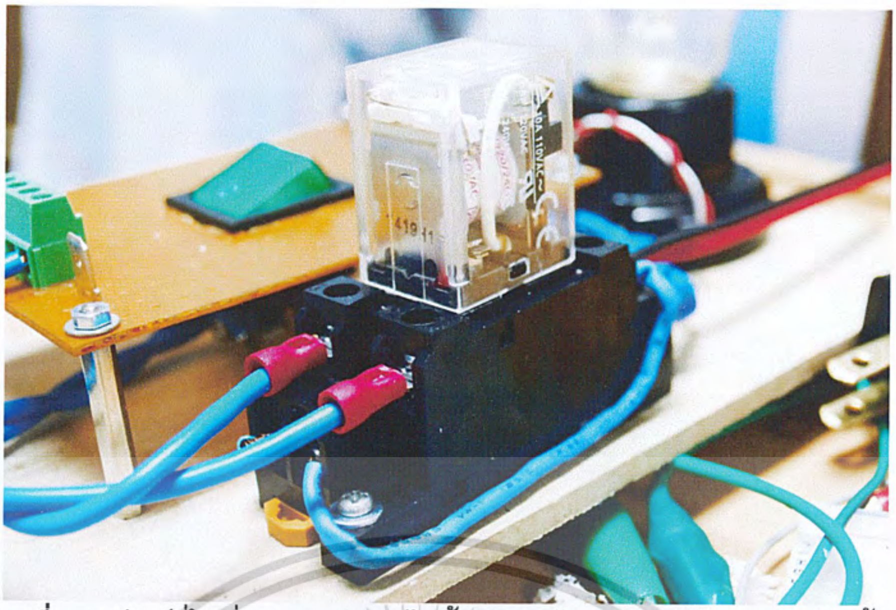


รูปที่ 4.47 หม้อแปลงเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า

โครงงานนี้ได้ใช้หม้อแปลงเพื่อเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าให้ได้แรงดันไฟฟ้าตามที่ต้องการเพื่อสามารถทำการจ่ายภาระทางไฟฟ้าต่างๆได้

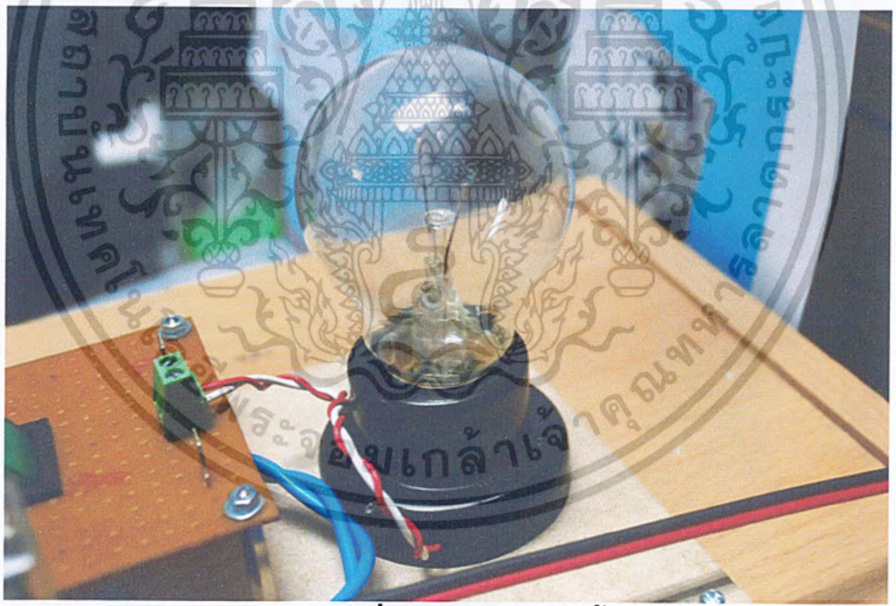
รูปที่ 4.48 สวิตซ์เปิดปิดการเชื่อมต่อกับภาระทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.49 รีเลย์ที่ใช้เชื่อมต่อภาระทางไฟฟ้าระหว่างไฟยูพีเอสกับไฟจากการไฟฟ้า

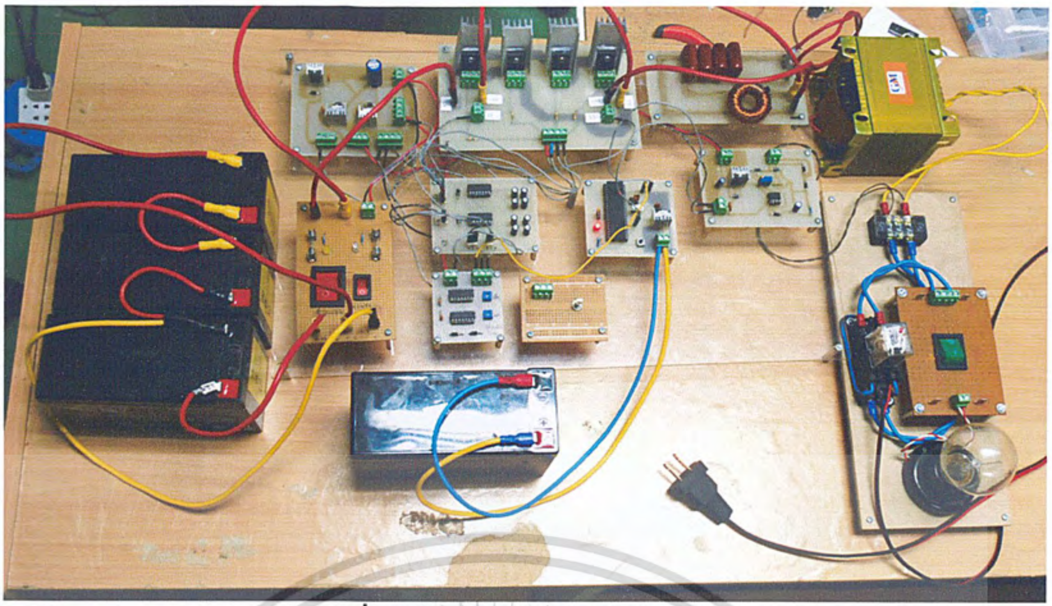
ซึ่งในการเปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟฟ้าระหว่างไฟจากการไฟฟ้ากับไฟจากยูพีเอสในโครงงานนี้ได้ใช้รีเลย์เป็นตัวสวิตซ์แหล่งจ่าย



รูปที่ 4.50 ภาระทางไฟฟ้า

ในโครงงานนี้ได้ใช้ภาระทางไฟฟ้าเป็นหลอดไฟฟ้าที่มีขนาดกำลังไฟฟ้าต่าง ๆกันในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.51 รูปวงจรรวมของโครงงาน

4.4.12สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อทำการจ่ายภาระทางไฟฟ้าต่างๆ เครื่องสำรองไฟฟ้าที่ทดลองสามารถจ่ายภาระต่างๆได้ โดยยิ่งภาระทางไฟฟ้ามากก็จะทำให้แรงดันตกมากขึ้นและเกิดความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นมากขึ้นตามดังการทดลอง แต่โดยภาพรวมแล้วก็ยังสามารถจ่ายแรงดันให้กับภาระทางไฟฟ้าต่างๆได้ ซึ่งเป็นไปตามแนวทางที่ตั้งไว้ และเมื่อทำการควบคุมแรงดันด้วยการควบคุมแบบพีไอ ก็จะสามารถคงสถานะค่าแรงดันไว้ได้ตามที่ได้ออกแบบไว้ได้ ทำให้สามารถจ่ายภาระทางไฟฟ้าได้เมื่อเกิดปัญหาทางระบบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลและเสนอแนวทางในการพัฒนา

5.1 สรุปผลของโครงงาน

จากผลการทดลอง โดยใช้สัญญาณขับฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์แบบ SPWM (Sinusoidal pulse width modulation) ที่ความถี่ 10 kHz โดยผ่านตัวกรองความถี่สูงซึ่งอาศัยตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ (LC Filter) ซึ่งจะได้สัญญาณเป็นรูปคลื่นไซน์แล้วผ่านหม้อแปลงยกระดับแรงดันเป็น 220 VRMS เพื่อทำการจ่ายภาระทางไฟฟ้า ซึ่งพบว่าขณะทำการจ่ายภาระทางไฟฟ้าจะมีกระแสไหลผ่าน จะเกิดแรงดันตกภายในอุปกรณ์ต่าง ๆ และทำให้แรงดันที่ภาระไฟฟ้าตกตามไปด้วยซึ่งจะส่งผลต่อการทำงานของภาระทางไฟฟ้า

การควบคุมแรงดันไฟฟ้าโดยใช้การควบคุมแบบพีไอ (PI Controller) ซึ่งเป็นการควบคุมที่ใช้ในโครงงานนี้ โดยที่ระบบนั้นจะสามารถรักษาระดับแรงดันให้คงที่ และทำให้สัญญาณแรงดันมีเสถียรภาพ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงภาระทางไฟฟ้าระบบนั้นก็ยังคงสามารถรักษาระดับแรงดันและเสถียรภาพของระบบได้ ในทางกลับกันระบบที่ไม่มีตัวควบคุมในการป้อนกลับนั้น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงภาระทางไฟฟ้าจะไม่สามารถรักษาระดับแรงดันให้คงที่ได้ตามที่ต้องการ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ขณะทำการจ่ายโหลด จะเกิดแรงดันตกคร่อมขึ้นที่เกิดขึ้นที่มอสเฟตเนื่องจากค่าความต้านทานภายใน และความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งทำให้แรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้านั้นตกซึ่งทำให้โหลดไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และผลของกระแสที่เพิ่มขึ้นนั้น จะทำให้กระแสเกินพิกัดของอุปกรณ์สวิตช์หรือมอสเฟทที่คำนวณไว้ในขั้นแรก จึงเป็นผลให้มอสเฟทที่อินเวอร์เตอร์เกิดความร้อนและเกิดความเสียหายได้

5.3 แนวทางในการพัฒนา

การออกแบบตัวกรองความถี่สูง (LC filter) ควรออกแบบให้มีการกรองความถี่สูงที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้ขนาดของตัวเหนี่ยวนำเล็กลงและช่วยให้ความต้านทานต่ำลงตามไปด้วย และในการออกแบบอุปกรณ์ป้องกันสวิตช์ ควรใส่วงจรสนับเบอร์คร่อมสวิตช์เพื่อช่วยในการลดสไปซ์หรือแรงดันเกินที่มอสเฟต และในการเลือกใช้งานมอสเฟสควรเลือกใช้ค่าพิกัดของแรงดันและกระแสให้เหมาะสม โดยกำหนดค่าให้สูงกว่าค่าที่ออกแบบไว้ เพื่อป้องกันระดับแรงดันและกระแสเกินที่เกิดขึ้น ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์นั้นเสียหายได้

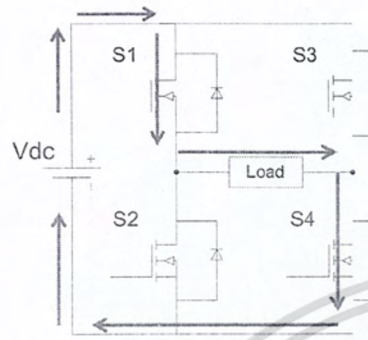
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

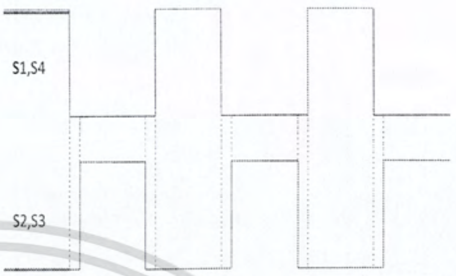
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์สมการโหมดการทำงาน

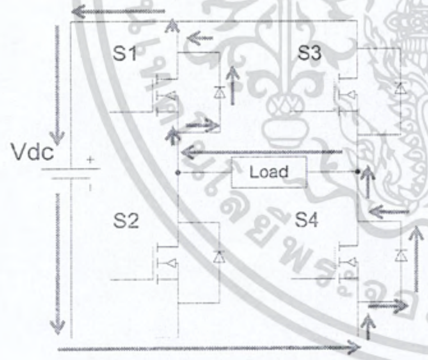
โหมดการทำงานที่ 1





ในโหมดการทำงานนี้ สวิตซ์มอสเฟต (Mosfet) ตัวที่ 1 และ ตัวที่ 4 จะทำการ ปิดสวิตซ์ ในขณะที่ สวิตซ์มอสเฟต ตัวที่ 2 และ ตัวที่ 3 เปิดสวิตซ์ เนื่องจากสัญญาณขับเกต ทำให้กระแสไหลผ่าน สวิตซ์มอสเฟต ตัวที่ 1 และ ตัวที่ 4 ดังรูปทำให้ $V_{Load} = V_{dc}$

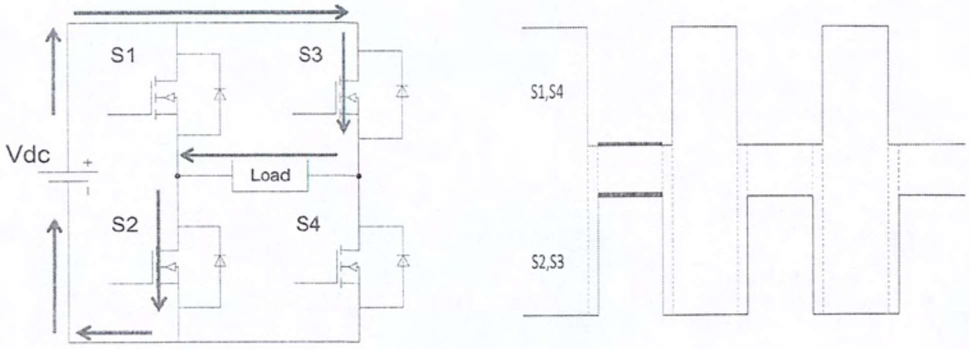
โหมดการทำงานที่ 2



ในโหมดการทำงานนี้ เป็นโหมดการทำงานในช่วง Dead Time ของวงจร ซึ่งสวิตซ์มอสเฟต ตัวที่ 1, 2, 3 และ ตัวที่ 4 จะทำการ เปิดสวิตซ์ เนื่องจากสัญญาณขับเกต แต่เนื่องจากผลของตัวเหนี่ยวนำ L หรือ di/dt ทำให้กระแสเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดไม่ได้ จึงมีกระแสไหลย้อนผ่านไดโอดที่คร่อม สวิตซ์มอสเฟต ตัวที่ 1 และ ตัวที่ 4 ดังรูปทำให้ $V_{Load} = -V_{dc}$

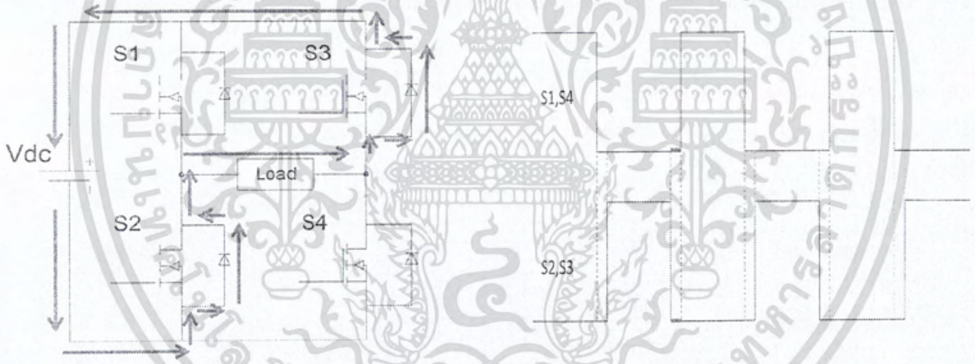
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมดการทำงานที่ 3



ในโหมดการทำงานนี้ สวิตช์มอสเฟต ตัวที่ 2 และ ตัวที่ 3 จะทำการ ปิดสวิตช์ ในขณะที่สวิตช์มอสเฟต ตัวที่ 1 และ ตัวที่ 4 เปิดสวิตช์ เนื่องจากสัญญาณขับเกต ทำให้กระแสไหลผ่านสวิตช์มอสเฟต ตัวที่ 2 และ ตัวที่ 3 ทำให้ $V_{Load} = -V_{dc}$

โหมดการทำงานที่ 4



ในโหมดการทำงานนี้ เป็นโหมดการทำงานในช่วง Dead Time ของวงจร ซึ่งสวิตช์ mosfet ตัวที่ 1, 2, 3 และ ตัวที่ 4 จะทำการ เปิดสวิตช์ เนื่องจากสัญญาณขับเกต แต่เนื่องจากผลของ L หรือ di/dt ทำให้กระแสเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดไม่ได้ จึงมีกระแสไหลย้อนผ่านไดโอดที่คร่อมสวิตช์มอสเฟต ตัวที่ 2 และ ตัวที่ 3 ดังรูปทำให้ $V_{Load} = -V_{dc}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ข้อมูลอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Ali Emadi, Abdolhosein Nasiri and Stoyan B., **Uninterruptible power supplies and active filters,** Boca Raton : CRC Press, c2005

[2] มนัส สังวรศิลป์ และ วรรัตน์ ภัทรอมรกุล, **คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์,** กรุงเทพ, สนพ. อินโฟเพรส, 2543.

[3] รศ.ร.อ.ดร.วีระเชษฐ์ ขันเงิน และ วุฒิพล ธาราธีรเศรษฐ์, **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง** , พิมพ์ ครั้งที่ 4,ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ.พริ้นติ้ง, 2549.

[4] ชำนาญ โกยทรัพย์, การออกแบบตัวควบคุมแบบการจัดสัณฐานของรอบ H_∞ สำหรับอินเวอร์เตอร์ของยูพีเอ็สแบบเฟสเดียว, **บทความเสนอในการสัมมนาวิชา MI**, 2551.

[5] ธวัตชัย สิ้นภัย และ วิรัตน์ สุดรัมย์ , "เครื่องปรับแรงดันไฟฟ้าในบ้านให้คงที่และมีประสิทธิภาพสูง" **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2545.

[6] จิรพัฒน์ เพียงพิมพ์ ไชยกร เจริญวิทย์ ฐาน์วีร์ บุญวงษ์ และ ณวรา ชนยุทธ, "แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต่อเนื่อง", ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549.

[7] สมยศ เกียรติวนิชวิไล, "การวิเคราะห์และออกแบบสัญญาณควบคุมพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสโดยใช้โปรแกรม MATLAB", **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต,** สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2537.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นาย อธิปตย์ จันทร์ดี เกิดวันที่ 13 สิงหาคม พ.ศ. 2531
ที่อยู่ 79/3 ม.7 ต.บางจาก อ.เมือง จ.นครศรีธรรมราช 80330
ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เบอร์โทรศัพท์ 085-9034232
Email: atip7@hotmail.com

นาย อภินันท์ จตุพรสมบัติ เกิดวันที่ 27 เมษายน พ.ศ. 2532
ที่อยู่ 74 ซ.รังสิต – ปทุมธานี 14 ต.ประชาธิปัตย์ อ.ธัญบุรี
จ.ปทุมธานี 12130
ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เบอร์โทรศัพท์ 084-2089207
Email: apinun_99@hotmail.com

นาย อานนท์ สันทศนะสุวรรณ เกิดวันที่ 18 พฤษภาคม พ.ศ. 2532
ที่อยู่ 223/110 ซ.วัดอัมพวา ถ.จรัญสนิทวงศ์ แขวงบ้านช่างหล่อ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร 10700
ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เบอร์โทรศัพท์ 089-1772380
Email: popaia@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้