

เครื่องวัดประจุไร้สัมผัสบนแผ่นกรวยวัดด้วยวิธีการนับประจุ
CONTACTLESS CHARGER AND COULOMB COUNTING PARADIGM



ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

เครื่องอัดประจุไร้หน้าสัมผัสและตรวจวัดด้วยวิธีการนับประจุ

CONTACTLESS CHARGER AND COULOMB COUNTING PARADIGM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONTACTLESS CHARGER AND COULOMB COUNTING PARADIGM



A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2557

เครื่องอัดประจุไร้หน้าสัมผัสและตรวจวัดด้วยวิธีการนับประจุ
CONTACTLESS CHARGER AND COULOMB COUNTING PARADIGM



อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร. สุรินทร์ คำฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องอัดประจุไร้หน้าสัมผัสและตรวจวัดด้วยวิธีการนับประจุ

ผู้จัดทำ



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุรินทร์ คำฝอย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอัดประจุไร้หน้าสัมผัสและตรวจวัดด้วยวิธีการนับประจุ

นาย จรัสพงศ์ ยามานนท์
นาย จิรวัดน์ เลี่ยมนาค
นาย ชยากร บุญอิน
นาย ฌาณ ชาญสิทธิโชค
รศ.ดร. สุรินทร์ คำฝอย อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์นี้ นำเสนอการศึกษาและพัฒนาเครื่องอัดประจุที่ใช้การส่งผ่านกำลังด้วยหม้อแปลงทรงกระบอกไร้หน้าสัมผัสซึ่งตรวจวัดด้วยวิธีการนับประจุ ซึ่งช่วยแก้ปัญหาจากการนำเต้ารับและเต้าเสียบแบบทั่วๆไปที่ใช้ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับมาใช้ในระบบไฟฟ้ากระแสตรง นำมาสู่ปัญหาการเกิดอาร์คขณะที่เสียบหรืออันตรายจากไฟฟ้าลัดวงจรเข้าสู่อุปกรณ์หรือตัวผู้ใช้ ในปฏิญานิพนธ์นี้ได้ทำการออกแบบอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อที่จะส่งกำลังผ่านหม้อแปลงทรงกระบอก ด้านไฟฟ้าขาออกจะมีการใช้เทคนิคการนับประจุเข้ามาตรวจวัดสถานะการอัดประจุของแบตเตอรี่ชนิด Li-ion ซึ่งเป็นแบตเตอรี่ที่มีการใช้อย่างกว้างขวางในอุปกรณ์จำพวกอิเล็กทรอนิกส์หรืออุปกรณ์พกพาแบบต่างๆในปัจจุบัน และเนื่องจากลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่ชนิด Li-ion ทำให้การวัดด้วยวิธีการนับประจุนั้น เป็นวิธีการตรวจวัดสถานะการอัดประจุของแบตเตอรี่ชนิด Li-ion ที่แม่นยำมากกว่าวิธีอื่นๆ

CONTACTLESS CHARGER AND COULOMB COUNTING PARADIGM

Jaradpong Yamanon

Jirawat Leamnak

Chayakorn Boon-In

Charn Chansittichok

Assoc. Prof. Dr. Surin Khomfoi Supervisor

Year 2014

ABSTRACT

The main problems of the conventional electrical plug and outlet with direct metal contact for ac power distribution system that employed in dc system are voltage conversion, risk of electric shock, arc discharge and galvanic isolation. Therefore, the development of battery charger by enhancing coulomb counting paradigm and cylindrical contactless transformer is introduced in this paper. By combining these two methods, the battery charger can be achieved the arc free, high power density transferring and controllable output voltage. Thus, the state of charge (SOC) of the battery with coulomb counting paradigm can be observed and monitored as well. Mainly, this project is focused on Li-ion battery that widely used in portable devices such as smart-phone, laptop, tablet device, etc. Additionally, High frequency diode clamp multilevel inverter is used to transfer power through cylindrical contactless transformer with characteristic of Li-ion battery, coulomb counting paradigm can able to monitor the SOC and depth of discharge (DOD) more precise compared to other method.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จ สมบูรณ์ เป็นอย่างดี ด้วยความกรุณา และคำแนะนำจากอาจารย์ รศ. ดร.สุรินทร์ คำฝอย รศ.ประภาช ไพรสวรรณา และอ.ชัยทัต มณีอินทร์ ที่ได้กรุณาให้ความรู้ ข้อเสนอแนะต่างๆ และให้คำปรึกษาที่ติดต่อมา โดยเริ่มต้นจากการแนะนำทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้อง รวมไปถึงการให้คำปรึกษาต่างๆ เมื่อเกิดปัญหาในการทำงาน ซึ่งท่านอาจารย์จะคอยสอบถามถึงความคืบหน้า และปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงาน ท่านจะคอยให้คำปรึกษาแบบเป็นกันเอง ทำให้บรรยากาศการทำงานภายในกลุ่มเป็นไปอย่างสบาย ซึ่งทางกลุ่มขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ทั้งสองเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ และอาจารย์ในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ให้ทรัพย์สินที่มีค่าที่สุดในการประกอบอาชีพที่สุจริต ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านมากๆ ครับ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานทดแทน REAL และห้อง PEARL ที่เอื้อเพื่อเครื่องมือในการทดลองในการทำโครงการในครั้งนี้ รวมถึงเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในห้อง REAL (Renewable Energy Application Laboratory) ทุกคน ที่คอยช่วยเหลือในทุกๆ เรื่องตลอดมา ขอขอบคุณ พี่บอย พี่หมู พี่น็อต พี่ตัน และผู้ที่ให้การช่วยเหลือทุกท่าน ที่คอยช่วยเหลือในทุกๆ ด้านด้วยความเต็มใจ จนปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจอีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VIII
สารบัญตาราง.....	XIV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ.....	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ.....	3
1.5 แผนการดำเนินโครงการ.....	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 บทนำ.....	6
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว.....	6
2.2.1 Half Bridge Inverter.....	6
2.2.2 Full Bridge Inverter.....	7
2.2.3 อินเวอร์เตอร์หลายระดับแบบไดโอดแคลมป์.....	8
(Diode Clamp Multilevel Inverters)	
2.3 การออกแบบวงจรเรียงกระแส.....	9
2.3.1 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น.....	9
2.3.2 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น.....	10
2.4 การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง.....	13
2.4.1 ความหมายของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	13
2.4.2 ทฤษฎีการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง.....	14
2.4.3 ส่วนประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	18

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4.3.1 แกนเฟอร์ไรต์.....	18
2.4.3.1.1 รูปทรง EE.	18
2.4.3.1.2 รูปทรง UU.....	18
2.4.3.1.3 รูปทรง ETD.....	19
2.4.3.1.4 รูปทรง ROD.....	19
2.4.3.1.5 รูปทรง PQ.....	20
2.4.3.1.6 รูปทรง Toroid.....	20
2.4.3.1.7 รูปทรงวงแหวน (Ring).....	20
2.4.3.2 บ็อบบิน.....	21
2.4.3.3 ลวดทองแดง.....	21
2.4.3.4 กระดาษกาวฉนวน.....	22
2.5 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง.....	22
2.5.1 ทรานซิสเตอร์.....	22
2.5.2 มอสเฟต.....	23
2.5.3 ไดโอด.....	24
2.6 Arduino Microcontroller.....	25
2.6.1 ตำแหน่งขาและอุปกรณ์บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno 3.....	25
2.6.2 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino.....	26
2.7 ทฤษฎีเรื่องการควบคุมแบบ PID.....	29
2.7.1 สัดส่วน Proportional Control Action (P - Action).....	30
2.7.2 ปริพันธ์Integral Control Action (I-Action).....	31
2.7.3 อนุพันธ์Derivative Control Action (D-Action).....	32
2.7.4 ผลการตอบสนองของระบบ.....	34
2.7.5 การปรับจูนด้วยมือ.....	35
2.8 การอัดประจุและวิธีในการควบคุม.....	36
2.8.1 วิธีการตรวจวัดการอัดประจุด้วยการนับประจุ.....	36
2.8.1.1 State of Charge (SOC).....	36

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.8.1.2 Depth of Discharge (DOD).....	36
2.8.1.3 State of Health (SOH).....	37
2.8.2 วงจรป้องกันกระแสเกิน.....	38
2.8.3 วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่.....	39
2.8.3.1 การอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ (Constant Current Charging).....	39
2.8.3.2 การอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Voltage).....	39
2.8.3.3 การอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่.....	40
(Constant Current -Constant Voltage)	
2.8.4 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน (Lithium-ion).....	40
2.9 สรุป.....	41
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ.....	42
3.1 บทนำ.....	42
3.2 การออกแบบวงจรกำลัง.....	43
3.2.1 วงจรกำลังด้านปฐมภูมิ.....	43
3.2.2 วงจรกำลังด้านทุติยภูมิ.....	46
3.2.3 แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงของวงจร.....	48
3.3 การออกแบบวงจรควบคุม.....	50
3.3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	50
3.3.2 วงจร Half-Bridge Driver	53
3.3.3 วงจรขับสัญญาณขาเกต.....	54
3.4 ระบบควบคุมป้อนกลับ (Feedback Control System).....	56
3.5 การออกแบบหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ทรงกระบอก.....	57
3.6 การออกแบบวงจรวัดปริมาณแบตเตอรี่.....	60
3.7 เครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุสมาร์ตโฟนแบบไร้หน้าสัมผัส.....	63
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	66
4.1 บทนำ.....	66
4.2 ผลการจำลองวงจรคอนเวอร์เตอร์ทางคอมพิวเตอร์.....	66
4.3 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า.....	68

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.4 การทดสอบคอนเวอร์เตอร์.....	81
4.4.1 การทดสอบ Half-Bridge Driver.....	83
4.4.2 การทดสอบวงจรควบคุม Arduino.....	84
4.4.3 การทดสอบวงจรกำลัง.....	87
4.5 การทดสอบ PI Control.....	96
4.5.1 ผลการทดสอบจากผล Simulation โดยใช้โปรแกรม Psim 9.0.....	97
4.5.2 ผลการทดสอบฮาร์ดแวร์.....	99
4.5.2.1 ผลการเปรียบเทียบฮาร์ดแวร์แบบ Open Loop และ Close Loop.....	100
4.6 การทดสอบการอัดประจุ.....	102
4.7 ประสิทธิภาพของวงจรต้นแบบ.....	105
4.7.1 คิดหาประสิทธิภาพของวงจรเมื่อจ่ายแรงดัน Square Wave.....	105
4.7.2 คิดหาประสิทธิภาพของวงจรเมื่อจ่ายแรงดันที่ใช้งาน (5V, 1A).....	108
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	112
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	112
5.2 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาการวิจัย.....	113
5.3 แนวทางการพัฒนา.....	113
เอกสารอ้างอิง.....	114
ภาคผนวก.....	115
ภาคผนวก ก แผ่นวงจรที่ใช้ในปริญญานิพนธ์.....	116
ภาคผนวก ข เครื่องมือวัด และอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์.....	119
ภาคผนวก ค ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์.....	122
ภาคผนวก ง บทความทางวิชาการ.....	160
ประวัติผู้วิจัย.....	165

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 บล็อกไดอะแกรมของคอนเวอร์เตอร์.....	6
2.2 วงจร Single Phase Half Bridge Inverter.....	6
2.3 วงจร Single Phase Full Bridge Inverter.....	7
2.4 วงจร Diode Clamp Multilevel Inverter.....	8
2.5 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นบวก.....	9
2.6 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นลบ.....	9
2.7 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นที่แสดงแรงดันด้านออกของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับด้านบวก.....	10
2.8 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นที่แสดงแรงดันด้านออกของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับด้านลบ.....	10
2.9 แรงดันไฟฟ้าด้านเข้าและแรงดันไฟฟ้าด้านออก.....	11
2.10 แรงดันไฟฟ้าสูงสุดและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเฉลี่ยของวงจรฟูลบริดจ์ไดโอด.....	11
2.11 วงจรกรองแรงดัน.....	12
2.12 แรงดันเอาต์พุตจากวงจรเรียงกระแส.....	12
2.13 แรงดันขาออกที่ใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่าน้อย.....	13
2.14 แรงดันขาออกที่ใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่ามาก.....	13
2.15 การไหลของฟลักซ์แม่เหล็ก.....	14
2.16 ตัวอย่างการนิยามของ A_c และ A_w ของแกนหม้อแปลงชนิดต่างๆ.....	15
2.17 แกนเฟอร์ไรต์ทรง EE.....	18
2.18 แกนเฟอร์ไรต์ทรง UU.....	18
2.19 แกนเฟอร์ไรต์ทรง ETD.....	19
2.20 แกนเฟอร์ไรต์ทรง ROD.....	19
2.21 แกนเฟอร์ไรต์ทรง PQ.....	20
2.22 แกนเฟอร์ไรต์ทรง Toroid.....	20
2.23 แกนเฟอร์ไรต์ทรงวงแหวน.....	20
2.24 บ็อบบิ้นชนิดต่าง ๆ.....	21

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.25 ลวดทองแดงขนาดต่าง ๆ.....	21
2.26 กระดาษกาวฉนวน.....	22
2.27 วงจรทรานซิสเตอร์.....	23
2.28 สัญลักษณ์ของมอสเฟส N Channel และ P Channel.....	24
2.29 สัญลักษณ์และรูปร่างของไดโอด.....	24
2.30 ตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3.....	25
2.31 การเชื่อมต่อข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยัง Arduino.....	26
2.32 เลือกบอร์ด Arduino ที่ต้องการ Upload.....	27
2.33 เลือกหมายเลข Comport ของบอร์ด.....	27
2.34 กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและ Compile โค้ดโปรแกรม.....	28
2.35 Upload โค้ดโปรแกรม.....	28
2.36 กราฟ PV ต่อเวลา K_p กำหนดเป็น 3 ค่า (K_p และ K_d คงที่).....	30
2.37 กราฟ PV ต่อเวลา K_i กำหนดเป็น 3 ค่า (K_p และ K_d คงที่).....	31
2.38 กราฟ PV ต่อเวลา K_d กำหนดเป็น 3 ค่า (K_p และ K_i คงที่).....	32
2.39 แผนภาพบล็อกของการควบคุมแบบพีไอดี.....	33
2.40 แสดงพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้กำหนดคุณสมบัติเฉพาะของการตอบสนองของระบบ.....	34
2.41 แผนผังการทำงานของเทคนิคการนับประจุ.....	37
2.42 วงจรป้องกันกระแสเกินด้วยทรานซิสเตอร์.....	38
2.43 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (Lithium-ion).....	41
3.1 วงจรกำลังที่ใช้ในการอัดประจุ.....	42
3.2 วงจร Diode Clamped Multilevel Inverter.....	43
3.3 Pattern Switch ที่ใช้ใน Diode Clamped Multilevel Inverter.....	44
3.4 โครงสร้างของวงจรกำลังด้านปฐมภูมิ.....	45
3.5 ลายวงจรวงจรกำลังด้านปฐมภูมิ.....	45
3.6 วงจรกำลังด้านปฐมภูมิที่สร้างขึ้น.....	46
3.7 โครงสร้างของวงจรกำลังด้านหตุยภูมิ.....	47
3.8 ลายวงจรกำลังด้านหตุยภูมิ.....	47
3.9 วงจรกำลังด้านหตุยภูมิที่สร้างขึ้น.....	47

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 โครงสร้างวงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง 5 V.....	48
3.11 โครงสร้างวงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง 12 V.....	48
3.12 โครงสร้างวงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง 15 V.....	49
3.13 ลายวงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงของวงจร.....	49
3.14 วงจรไฟเลี้ยงที่สร้างขึ้น.....	49
3.15 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	51
3.16 จอแสดงผล (OLED LCD)	51
3.17 แผนผังการทำงานของส่วนควบคุม.....	52
3.18 วงจร Half-Bridge Driver	53
3.19 ลายวงจร Half-Bridge Driver	53
3.20 วงจร Half-Bridge Driver ที่สร้างขึ้น.....	54
3.21 โครงสร้างวงจรขับสัญญาณขาเกต.....	54
3.22 ลายวงจรขับสัญญาณขาเกต.....	55
3.23 วงจรขับสัญญาณขาเกตที่สร้างขึ้น.....	55
3.24 บล็อกไดอะแกรม PI Control.....	56
3.25 Voltage Sensor.....	56
3.26 ตัวอย่างการนิยามของ A_c และ A_w ของแกนหม้อแปลงชนิด Ferrite Rod.....	57
3.27 วงจรป้องกันกระแสเกิน.....	61
3.28 แผนผังการทำงานการควบคุมการนับประจุของแบตเตอรี่.....	62
3.29 ส่วนประกอบเครื่องต้นแบบด้านปฐมภูมิ.....	64
3.30 ส่วนประกอบเครื่องต้นแบบด้านทุติยภูมิ.....	65
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุม Phase Shift Angle กับแรงดันด้านปฐมภูมิ.....	66
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุม Phase Shift Angle กับแรงดันด้านทุติยภูมิ.....	67
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Phase Shift Angle กับแรงดันขาออก.....	67
4.4 รูปแบบการพันของหม้อแปลงที่ด้านปฐมภูมิเป็นแกนทอรอยด์และด้านทุติยภูมิเป็นทรงกระบอก....	68
4.5 รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าก่อนเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า.....	69
4.6 รูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้าหลังออกจากหม้อแปลงไฟฟ้า.....	69

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7	รูปแบบการพันหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีด้านปฐมภูมิเป็นแกนอากาศและด้านทุติยภูมิเป็นแกนวงแหวน..70
4.8	รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าก่อนเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า.....70
4.9	รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าหลังจากออกจากหม้อแปลงไฟฟ้า.....71
4.10	รูปแบบการพันหม้อแปลงไฟฟ้าโดยที่ด้านปฐมภูมิแกนวงแหวนและด้านทุติยภูมิเป็นแกนบอก.....71
4.11	รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าก่อนเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า.....72
4.12	รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าหลังจากออกจากหม้อแปลงไฟฟ้า.....72
4.13	รูปแบบการพันหม้อแปลงไฟฟ้าโดยที่ด้านปฐมภูมิแกนอากาศและด้านทุติยภูมิแกนทรงกระบอก..73
4.14	รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าก่อนเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า.....73
4.15	รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าหลังจากออกจากหม้อแปลงไฟฟ้า.....74
4.16	รูปแบบการพันหม้อแปลงไฟฟ้าโดยที่ด้านปฐมภูมิ E และด้านทุติยภูมิเป็นแกนทรง E.....74
4.17	รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าก่อนเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า.....75
4.18	รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าหลังจากออกจากหม้อแปลงไฟฟ้า.....75
4.19	รูปแบบการพันหม้อแปลงไฟฟ้าโดยที่ด้านปฐมภูมิแกนอากาศและด้านทุติยภูมิแกนทรงกระบอก..76
4.20	รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าก่อนเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า.....76
4.21	รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าหลังจากออกจากหม้อแปลงไฟฟ้า.....77
4.22	รูปแบบการพันหม้อแปลงไฟฟ้าโดยที่ด้านปฐมภูมิแกนอากาศและด้านทุติยภูมิแกนทรงกระบอก..77
4.23	รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าก่อนเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า.....78
4.24	รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าหลังจากออกจากหม้อแปลงไฟฟ้า.....78
4.25	รูปแบบการพันหม้อแปลงไฟฟ้าโดยที่ด้านปฐมภูมิแกนอากาศและด้านทุติยภูมิแกนทรงกระบอก..79
4.26	รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าก่อนเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า.....79
4.27	รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าหลังจากออกจากหม้อแปลงไฟฟ้า.....80
4.28	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันด้านปฐมภูมิและมุมที่เลื่อน (Phase Shift Angle).....81
4.29	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันด้านทุติยภูมิและมุมที่เลื่อน (Phase Shift Angle).....82
4.30	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกและมุมที่เลื่อน (Phase Shift Angle).....82
4.31	จากการจำลองสัญญาณ 2 ลูก Inverse กัน.....83
4.32	สัญญาณจริงที่วัดได้หลังจากผ่าน Half-Bridge Driver (ir2111)83
4.33	สัญญาณที่ได้จากการจำลองโดยปรับมุม Phase Shift Angle เป็น 0 องศา.....84
4.34	สัญญาณจริงที่วัดได้จาก Arduino โดยปรับค่ามุม Phase Shift Angle เป็น 0 องศา.....84

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.35 สัญญาณที่ได้จากการจำลองโดยปรับมุม Phase Shift Angle เป็น 90 องศา.....	85
4.36 สัญญาณจริงที่วัดได้จาก Arduino โดยปรับค่ามุม Phase Shift Angle เป็น 90 องศา.....	85
4.37 สัญญาณที่ได้จากการจำลองโดยปรับมุม Phase Shift Angle เป็น 180 องศา.....	86
4.38 สัญญาณจริงที่วัดได้จาก Arduino โดยปรับค่ามุม Phase Shift Angle เป็น 180 องศา.....	86
4.39 การจำลองแรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิจากคอมพิวเตอรืที่มุม Phase Shift Angle เป็น 0 องศา.....	87
4.40 แรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิจากการทดลองที่มุม Phase Shift Angle 0 องศา.....	88
4.41 การจำลองแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิจากคอมพิวเตอรืที่มุม Phase Shift Angle เป็น 0 องศา.....	88
4.42 แรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิจากการทดลองที่มุม Phase Shift Angle 0 องศา.....	88
4.43 การจำลองแรงดันไฟฟ้าขาออกจากคอมพิวเตอรืที่มุม Phase Shift Angle เป็น 0 องศา.....	89
4.44 แรงดันไฟฟ้าขาออกจากทดลองที่มุม Phase Shift Angle 0 องศา.....	89
4.45 การจำลองแรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิจากคอมพิวเตอรืที่มุม Phase Shift Angle เป็น 90 องศา.....	90
4.46 แรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิจากการทดลองที่มุม Phase Shift Angle 90 องศา.....	90
4.47 การจำลองแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิจากคอมพิวเตอรืที่มุม Phase Shift Angle เป็น 90 องศา.....	91
4.48 แรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิจากการทดลองที่มุม Phase Shift Angle 90 องศา.....	91
4.49 การจำลองแรงดันไฟฟ้าขาออกจากคอมพิวเตอรืที่มุม Phase Shift Angle เป็น 90 องศา.....	92
4.50 แรงดันไฟฟ้าขาออกจากทดลองที่มุม Phase Shift Angle 90 องศา.....	92
4.51 การจำลองแรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิจากคอมพิวเตอรืที่มุม Phase Shift Angle เป็น 180 องศา.....	93
4.52 แรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิจากการทดลองที่มุม Phase Shift Angle 180 องศา.....	93
4.53 การจำลองแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิจากคอมพิวเตอรืที่มุม Phase Shift Angle เป็น 180 องศา.....	94
4.54 แรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิจากการทดลองที่มุม Phase Shift Angle 180 องศา.....	94
4.55 การจำลองแรงดันไฟฟ้าขาออกจากคอมพิวเตอรืที่มุม Phase Shift Angle เป็น 180 องศา.....	95
4.56 แรงดันไฟฟ้าขาออกจากทดลองที่มุม Phase Shift Angle 180 องศา.....	95
4.57 หม้อแปลงทดสอบมีขดลวดตติยภูมิ.....	96
4.58 วงจรแปลงสัญญาณเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์.....	96
4.59 แรงดันเอาต์พุตเปรียบเทียบกับ V_{sen} ขณะต่อโหลดและไม่ต่อโหลด 5 โอห์ม.....	97
4.60 Psim 9.0 Block Diagram.....	98
4.60 ผลตอบสนองขณะไม่มีการต่อโหลด.....	98
4.61 ผลตอบสนองขณะต่อโหลด 5 โอห์ม.....	99

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.62 กระแสเอาต์พุตเปรียบเทียบกับแรงดันเอาต์พุต ขณะ Open Loop และ Close Loop.....	99
4.63 ผลการตอบสนองขณะปลดโหลดและต่อโหลดของระบบ Open Loop.....	100
4.64 ผลการตอบสนองขณะปลดโหลดและต่อโหลดของระบบ Close Loop.....	101
4.65 หน้าจอแสดงผลตอนเริ่มต้น.....	102
4.66 หน้าจอแสดงผลขณะทำการอัดประจุ.....	103
4.67 หน้าจอแสดงผลขณะคายประจุ.....	103
4.68 หน้าจอแสดงผลเมื่อแบตเตอรี่เต็ม.....	104
4.69 หน้าจอแสดงผลเมื่อแบตเตอรี่เหลือ 0%.....	104
4.70 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง.....	105
4.71 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าหลัง Diode Clamp Multilevel Inverter.....	105
4.72 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ.....	106
4.73 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ.....	106
4.74 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ.....	107
4.75 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านขาออก.....	107
4.76 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง.....	108
4.77 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าหลัง Diode Clamp Multilevel Inverter.....	109
4.78 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ.....	109
4.79 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ.....	110
4.80 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ.....	110
4.81 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขาออก.....	111

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน.....	4
1.1 แผนการดำเนินงาน (ต่อ).....	5
2.1 ตารางแสดงผลของการเพิ่มค่าตัวแปรอย่างอิสระ.....	35
4.1 เปรียบเทียบ Efficiency แต่ละส่วนของวงจร.....	111



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันคนใช้สมาร์ทโฟนเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก เครื่องอัดประจุจึงนับได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีความจำเป็นในชีวิตประจำวัน มีความสำคัญต่ออุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นสมาร์ทโฟน, แท็บเล็ต, คอมพิวเตอร์พกพา ฯลฯ แต่จากเหตุการณ์ในปัจจุบันได้เกิดเหตุการณ์ที่เครื่องอัดประจุของสมาร์ทโฟนระเบิดขึ้นบ่อยครั้ง ซึ่งส่งผลให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ภายในเครื่องอัดประจุเกิดความเสียหายต่อตัวสมาร์ทโฟน และอาจจะเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานเองอีกด้วย

ในส่วนของแบตเตอรี่พบว่าแบตเตอรี่ชนิด Li-ion มีบทบาทอย่างมากในปัจจุบัน โดยจุดเริ่มต้นของแบตเตอรี่ชนิด Lithium มาจากการวิจัยในปี ค.ศ.1912 ซึ่งตอนนั้นก็เป็ชนิดใช้ครั้งเดียวทิ้งหรือที่เรียกว่าเซลล์ปฐมภูมิ (Primary Cell) Lithium จัดเป็นโลหะที่เบาที่สุด ให้แรงดันไฟฟ้าสูงที่สุด และยังให้พลังงานสูงที่สุดในน้ำหนักที่เท่ากัน การนำโลหะ Lithium มาใช้ในแบตเตอรี่ในระยะแรกของการวิจัย พบปัญหาในเรื่องของความปลอดภัย ซึ่งมีความไวต่อปฏิกิริยาเคมีมาก โดยเฉพาะในขณะอัดประจุไฟฟ้า (Charge) ต่อมาจึงได้เปลี่ยนจากการใช้ Lithium ในรูปของโลหะมาเป็นรูปของไอออนแทน ซึ่งมีความปลอดภัยกว่า ในปี ค.ศ. 1991 ความหนาแน่นพลังงานของเซลล์ Li-ion มีค่าสูงกว่าเซลล์ชนิดนิเกิลแคดเมียม 2 เท่า เนื่องด้วยมีแรงดันที่มากกว่านอกจากนี้ยังไม่มีปัญหาเรื่องความจำของแบตเตอรี่ จึงไม่ต้องมีการล้างแบตเตอรี่หรือการใช้แบตเตอรี่ให้หมดอย่างที่ต้องทำในแบตเตอรี่ชนิดนิเกิลเมทัลไฮไดรด์ และนิเกิลแคดเมียม

โดยโครงการนี้ได้นำเสนอถึงการพัฒนาเครื่องอัดประจุโดยมีการแยกกราวด์โดยหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรด์ทรงกระบอกในตัวเครื่องอัดประจุเพื่อป้องกันการเกิดอาร์ค และการลัดวงจรภายในตัวอุปกรณ์ และเพื่อความสะดวกในการใช้งานโดยการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรด์ทรงกระบอก และมีตัวแปลงพลังงานให้เป็นกระแสไฟฟ้าในส่วนตัวรับ (Receiver) และมีการใช้วิธีการนับประจุ (Coulomb Counting Paradigm) ซึ่งมีความแม่นยำในการประมาณค่า State of Charge (SOC) มากกว่าวิธีการประมาณค่าด้วยการวัดแรงดันไฟฟ้ามาทำการตรวจสอบสถานะการอัดประจุ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องอัดประจุให้ใช้งานที่ความถี่สูงได้
2. เพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องอัดประจุที่มีการใช้หม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ทรงกระบอก เพื่อลดการเกิดอาร์กและการลัดวงจรภายในตัวของอุปกรณ์
3. เพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องอัดประจุที่มีการใช้งานร่วมกับการตรวจวัดโดยวิธีการนับประจุ (Coulomb Counting Paradigm)
4. เพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องอัดประจุให้ใช้งานกับระบบไฟฟ้ากระแสตรง (DC Micro Grid)

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

ปฏิญานินพจน์นี้เป็นการออกแบบและจัดสร้าง Battery Charger โดยใช้วิธีการอัดประจุด้วยวิธี Coulomb Counting Paradigm เพื่อเพิ่มความแม่นยำและควบคุมการอัดประจุ โดยจะทำการอัดประจุกับแบตเตอรี่สมาร์ตโฟนชนิด Li-ion โดยการรับไฟฟ้ากระแสตรงแล้วนำมาสวิตซ์ซึ่งให้ เป็นความถี่สูงโดยใช้ Inverter เพื่อส่งกำลังผ่านหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ทรงกระบอกเพื่อแยกกรวดระหว่างแหล่งจ่ายกับอุปกรณ์ไฟฟ้า จะได้แรงดันขาออก (Output Voltage) ที่ออกจากหม้อแปลงจะได้เป็นแรงดันกระแสสลับความถี่สูง ส่งผ่านไปยังวงจรเรียงกระแสเพื่อปรับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันต่ำเข้าสมาร์ตโฟน และยังมี การตรวจสอบโดยใช้เทคนิคการนับประจุ (Coulomb Counting Paradigm) ซึ่งเป็นวิธีที่มีความแม่นยำและสามารถปรับกระแสไฟฟ้าให้เหมาะสม ทำให้การอัดประจุเข้าไปยังสมาร์ตโฟนมีประสิทธิภาพและสามารถลดเวลาในการอัดประจุลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการงาน

1. ศึกษาความรู้เกี่ยวกับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ทรงกระบอก ด้วยความถี่สูงและวิธีการนับประจุ (Coulomb Counting Paradigm)
2. ออกแบบและคำนวณหาขนาดของหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ทรงกระบอก และวงจรความถี่สูงที่ใช้ในการวิจัย
3. ทำการจำลองวงจรที่ออกแบบได้ โดยใช้โปรแกรม Psim9.0 เพื่อตรวจสอบวงจรที่ออกแบบได้
4. จัดเตรียมเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ตลอดจนการศึกษาวិธีการใช้งานเครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ
5. จัดสร้างเครื่องอัดประจุความถี่สูง
6. ทดลองใช้เครื่องอัดประจุกับสมาร์ตโฟน และเปรียบเทียบค่าที่ได้กับอุปกรณ์การวัดที่ติดมากับสมาร์ตโฟน
7. บันทึกผลการทดลองเพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขเครื่องอัดประจุ เพื่อให้ได้เครื่องอัดประจุที่มีประสิทธิภาพ
8. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากผลการทดลอง
9. รวบรวมข้อมูลการทดลองและจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

1.5 แผนการดำเนินโครงการงาน

ทางผู้จัดทำได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูล และทำความเข้าใจในทฤษฎี ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ พร้อมทั้งดำเนินงานในส่วนของการออกแบบและจัดสร้างชิ้นงาน โดยมีระยะเวลาดำเนินการตั้งแต่ สิงหาคม 2557 ถึงพฤษภาคม 2558 รวมเป็นเวลา 10 เดือนโดยมีแผนการดำเนินโครงการงานดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ภาคเรียนที่ 1					ภาคเรียนที่ 2				
	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค
1. ศึกษาความรู้เกี่ยวกับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ ทรงแบ่งบอกด้วยความถี่สูงและวิธีการนับประจุ (Coulomb Counting Paradigm)										
2. ออกแบบและคำนวณหาขนาดของหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ทรงแบ่งบอกและวงจรความถี่สูงที่ใช้ในการวิจัย										
3. ทำการจำลองวงจรที่ออกแบบได้ โดยใช้โปรแกรม Psim9.0 เพื่อตรวจสอบวงจรที่ออกแบบได้										
4. จัดเตรียมเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ตลอดจนการศึกษาวีธีการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน (ต่อ)

การดำเนินงาน	ภาคเรียนที่ 1					ภาคเรียนที่ 2				
	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค
5. จัดสร้างเครื่องอัดประจุ ความถี่สูง										
6. ทดลองใช้เครื่องอัดประจุ กับสมาร์ตโฟน และ เปรียบเทียบค่าที่ได้กับ อุปกรณ์การวัดที่ติดมากับ สมาร์ตโฟน										
7. บันทึกผลการทดลองเพื่อ นำไปปรับปรุงแก้ไขเครื่องอัด ประจุ เพื่อให้ได้เครื่องอัด ประจุที่มีประสิทธิภาพ										
8. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จาก ผลการทดลอง										
9. รวบรวมข้อมูลการทดลอง										
10. จัดทำรูปเล่มปริญญา นิพนธ์										

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. แก้ปัญหาในการใช้เครื่องอัดประจุกับ DC Micro Grid โดยไม่เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์เนื่องจากกระแสสูง
2. แก้ปัญหาเรื่องการเกิดอาร์คขณะต่ออุปกรณ์เข้ากับ DC Micro Grid และอันตรายที่อาจเกิดกับผู้ใช้งานจากการเกิดอาร์ค
3. สามารถควบคุมการอัดประจุได้จาก Coulomb Counting Paradigm
4. สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับอุปกรณ์ด้านพลังงานทดแทนต่าง ๆ ในอนาคตที่มีการทำงานในระบบไฟฟ้ากระแสตรง

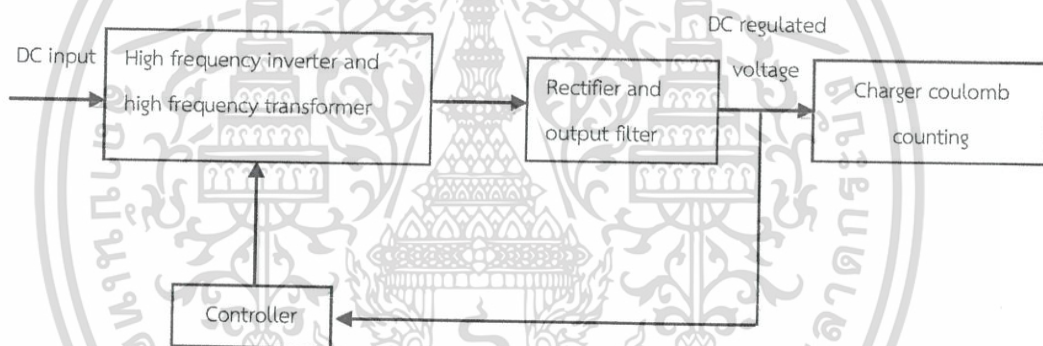
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นของเทคนิคของการอัดประจุด้วยเทคนิคการนับประจุ (Coulomb Counting Paradigm) การออกแบบวงจรของเครื่องอัดประจุ หลักการทำงานของเครื่องอัดประจุ การออกแบบวงจรเรียงกระแส ทฤษฎีเกี่ยวกับอินเวอร์เตอร์ การออกแบบอินเวอร์เตอร์ชนิดไดโอด แคลมป์ การออกแบบหม้อแปลงแกนเฟอไรต์ทรงกระบอก โดยจะเป็นทฤษฎีที่นำมาใช้ในการออกแบบ และทดสอบผลของอุปกรณ์ต้นแบบ



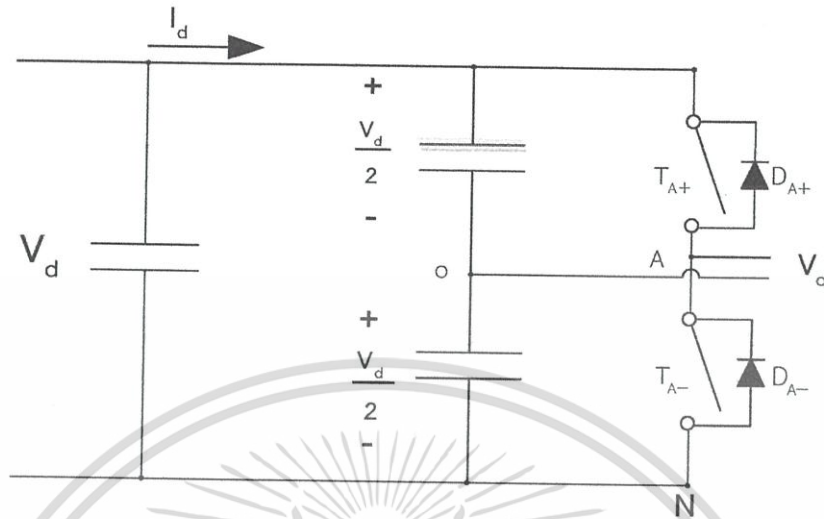
รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมของคอนเวอร์เตอร์

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว

2.2.1 Half Bridge Inverter

วงจรฮาร์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์จะมีตัวเก็บประจุสองตัวต่อกันอยู่ระหว่างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและหากกำหนดให้ค่าตัวเก็บประจุสองตัวมีค่าเท่ากัน จะทำให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะมีค่าเท่ากันคือ $\frac{V_d}{2}$ จุดกึ่งกลางแรงดันไฟฟ้า (จุด o ในรูป 2.2) จะมีค่าคงที่เมื่อเทียบกับบัสลบ (N) ดังแสดงในรูปที่ 2.2

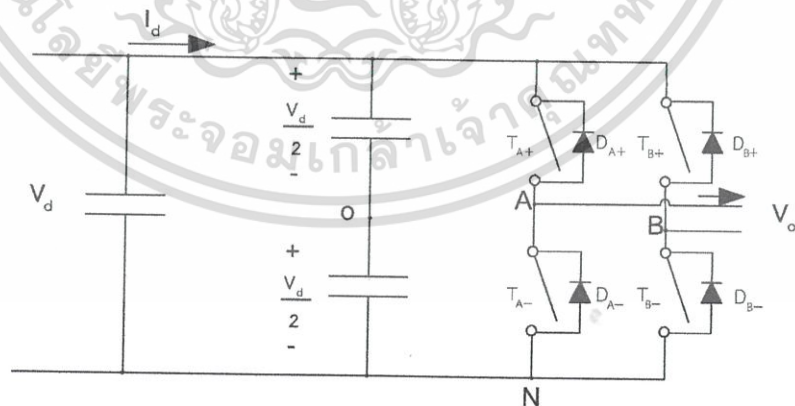
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 วงจร Single Phase Half Bridge Inverter

2.2.2 Full Bridge Inverter

วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์เฟสเดียวจะประกอบไปด้วยสองกิ่ง คือ กิ่ง A และ กิ่ง B ในรูปที่ 2.3 โดยแบบฟูลบริดจ์จะมีกำลังไฟสูงกว่าแบบฮาล์ฟบริดจ์สองเท่า จึงเหมาะที่จะเลือกใช้เมื่อต้องการจ่ายกำลังไฟฟ้าโหลดสูง



รูปที่ 2.3 วงจร Single Phase Full Bridge Inverter

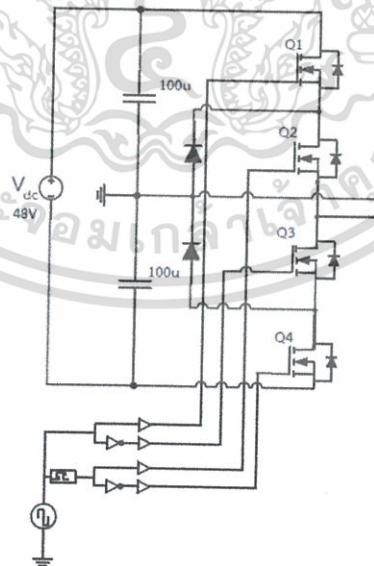
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขสำคัญที่อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบฮาล์ฟบริดจ์และแบบฟูลบริดจ์ คือ การทำงานของสวิตช์ T_{A+} และ T_{A-} ต้องไม่ทำงานพร้อมกันในทุกช่วงเวลา มิฉะนั้นแล้วจะเกิดการลัดวงจรระหว่างบัสบวกกับบัสลบ ในอุดมคติเวลาการสวิตช์ซิงของ T_{A+} และ T_{A-} จะตรงข้ามกัน แต่ในทางปฏิบัติจะต้องการช่วงเวลาเวลาที่สวิตช์ทั้งคู่ไม่นำกระแสซึ่งจะเรียกว่า เดดไทม์ (Dead Time) โดยเดดไทม์ จะอยู่ในช่วงเวลาก่อนจะเปลี่ยนสถานะการสวิตช์ จากนำกระแสเป็นไม่นำกระแสหรือจากไม่นำกระแสเป็นนำกระแส

2.2.3 อินเวอร์เตอร์หลายระดับแบบไดโอดแคลมป์ (Diode Clamp Multilevel Inverter)

อินเวอร์เตอร์หลายระดับ คือ การรวมสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์และแหล่งจ่ายแรงดันจากตัวเก็บประจุเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าออกเป็นขั้น ๆ การสับเปลี่ยนกระแสของสวิตช์ทำให้ตัวเก็บประจุต่อกับแรงดันไฟฟ้าสูงด้านออกในขณะที่ตัวสวิตช์เองจะได้รับแรงดันน้อยลง

หลักการของอินเวอร์เตอร์หลายระดับแบบไดโอดแคลมป์นั้นจะมีหลักการ คือ หากมีการต่อ n ชั้นจะประกอบด้วยตัวเก็บประจุ $(n-1)$ ตัว อุปกรณ์สวิตช์ซิง $2(n-1)$ ตัว และไดโอดที่ต่อเชื่อม $(n-1) \times (n-2)$ ตัว โดยหากใช้เป็นอินเวอร์เตอร์แบบสามระดับจะมีแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ $\frac{E}{2}$ และสวิตช์แต่ละตัวก็จะมีแรงดันตกคร่อม $\frac{E}{2}$ เท่ากับค่าแรงดันบนตัวเก็บประจุโดยไดโอดที่ต่อคร่อม ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วงจร Diode Clamp Multilevel Inverter

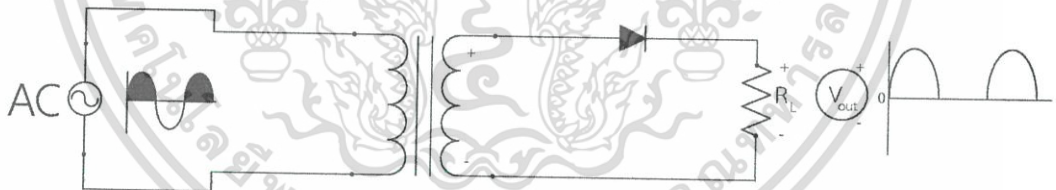
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การออกแบบวงจรเรียงกระแส

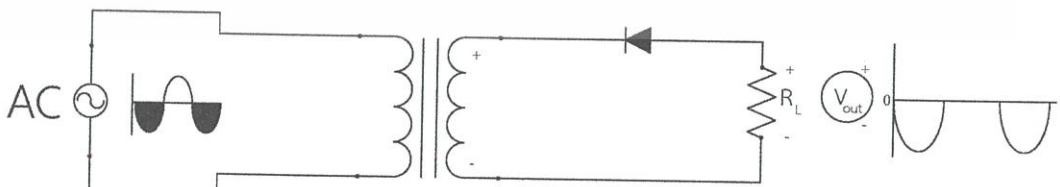
2.3.1 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

การเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half Wave Rectifier) มีลักษณะวงจรดังรูปที่ 2.5 การทำงานเมื่อจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V เข้าทางขดปฐมภูมิ (Primary) ของหม้อแปลงไฟฟ้าจะเกิดการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้ามายังขดทุติยภูมิ (Secondary) การเหนี่ยวนำของแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลง เฟสของสัญญาณเข้ากับเฟสของสัญญาณออกจะต่างเฟสกันอยู่ 180 องศา เมื่อขั้วบนของขดปฐมภูมิได้รับเฟสลบ ขั้วล่างเทียบได้เฟสบวก จะทำให้ขดทุติยภูมิขั้วบนเป็นเฟสบวก ขาแอนอด (A) ของไดโอดได้รับแรงดันซีกบวก ขาแคโทด (K) ได้รับแรงดันซีกลบเป็นผลให้ไดโอดได้รับไบอัสตรงไดโอดนำกระแส มีกระแสไหลเข้าขาแอนอด ออกขาแคโทดผ่านโหลด (Load) ครบวงจรที่ขั้วล่างของทุติยภูมิ มีแรงดันซีกบวกตกคร่อมที่โหลด

ในช่วงเวลาต่อมาครึ่งไซเคิลหลังของไฟสลับ ขั้วบนของทุติยภูมิเป็นเฟสลบ ขั้วล่างเทียบศักย์ได้เป็นเฟสบวก ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ขาแอนอดของไดโอดได้รับแรงดันซีกลบและขาแคโทดได้รับแรงดันซีกบวก ไดโอดได้รับไบอัสกลับจะไม่นำกระแสเป็นผลให้ไม่มีแรงดันปรากฏที่โหลด ในรอบต่อมาการทำงานก็จะเป็นไปตามลักษณะเดิมซ้ำ ๆ กันไปเรื่อย ๆ โดยมีแรงดันปรากฏที่เอาต์พุตเป็นช่วง ๆ (ช่วงเว้นช่วง) นอกจากนี้วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นยังสามารถแบ่งออกเป็นวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นบวกดังรูปที่ 2.5 และวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นลบ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นบวก

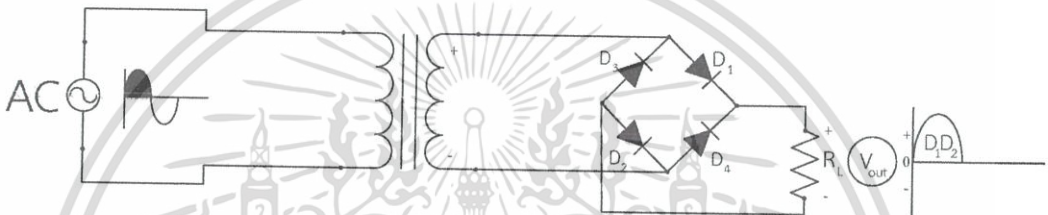


รูปที่ 2.6 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

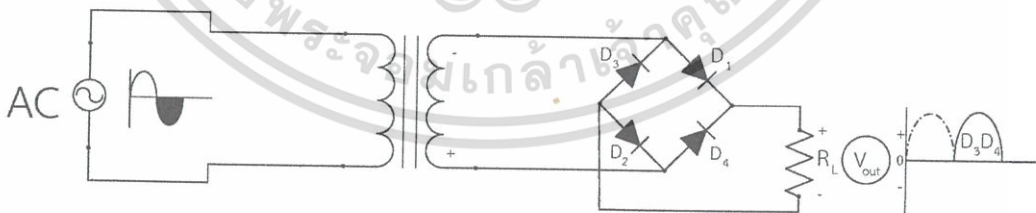
2.3.2 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

การทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ การทำงานของวงจรไดโอดจะผลัดกัน นำกระแสครึ่งละ 2 ตัว โดยเมื่อไซเคิลบวกของแรงดันไฟสลับ (V_{in}) ปรากฏที่ด้านบนของขดทุติยภูมิของหม้อแปลงและด้านล่างจะเป็นลบ จะทำให้ไดโอด D_1 และ D_2 ได้รับไบอัสตรงจะมีกระแสไหลผ่านไดโอด D_1 ผ่านโหลด RL ผ่านไดโอด D_2 ครบวงจรที่หม้อแปลงด้านล่าง มีแรงดันตกคร่อมโหลด RL ด้านบนเป็นบวก ด้านล่างเป็นลบได้แรงดันไฟช่วงบวกออกทางเอาต์พุตไดโอด D_1 และ D_2 ได้รับไบอัสตรงและรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด (V_{out}) ดังรูปที่ 2.7

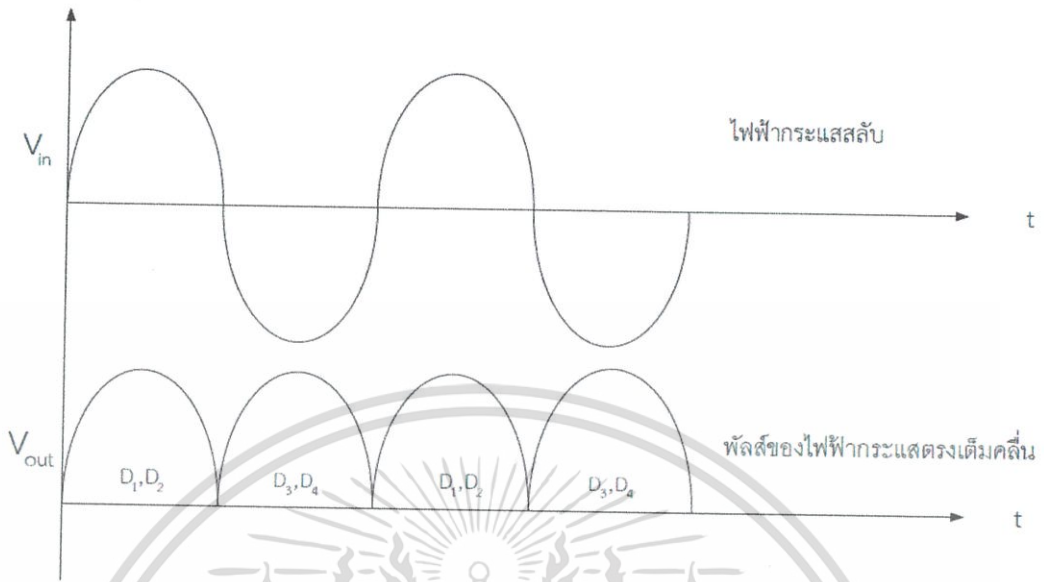


รูปที่ 2.7 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นที่แสดงแรงดันด้านออกของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับด้านบวก

ในช่วงเวลาต่อมาไซเคิลลบของแรงดันไฟสลับ V_{in} ปรากฏที่ด้านบนของขดทุติยภูมิของหม้อแปลงและด้านล่าง เป็นบวก ดังแสดงในรูป ในช่วงเวลานี้ไดโอด D_1 และ D_2 จะได้รับไบอัสกลับแต่ไดโอด D_3 และ D_4 จะได้รับไบอัสตรง ทำให้มีกระแสไหลผ่านไดโอด D_4 ผ่านโหลด RL และผ่านไดโอด D_3 ครบวงจรที่หม้อแปลงด้านบนมีแรงดันตกคร่อมโหลด RL ด้านบนเป็นบวกด้านล่างเป็นลบ ได้แรงดันไฟช่วงบวกออกทางเอาต์พุตทำให้ได้คลื่นไฟตรงรวมกันเต็มคลื่นเต็ม ไดโอด D_3 และ D_4 ได้รับไบอัสตรงและรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด V_{out} ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นที่แสดงแรงดันด้านออกของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับด้านลบ

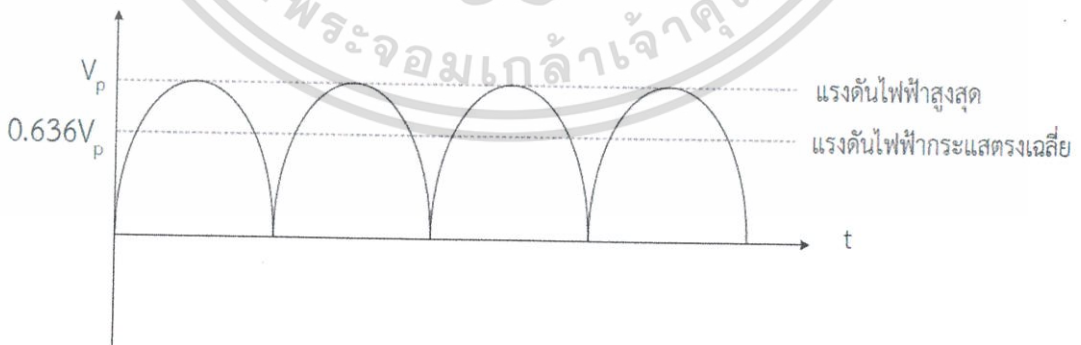


รูปที่ 2.9 แรงดันไฟฟ้าด้านเข้าและแรงดันไฟฟ้าด้านออก

แรงดันเอาต์พุตของวงจร วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น รูปที่ 2.9 ทั้งแบบมีแท่งปกกลางและแบบบริดจ์จะให้แรงดันเอาต์พุตทุก ๆ ครึ่งรอบของแรงดันไฟสลับที่เข้ามาทั้งซีกบวกและซีกลบค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาต์พุตจึงมีค่าเป็น 2 เท่าของแรงดันไฟตรงที่ได้จากวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น ค่าแรงดันเอาต์พุตมีค่าเป็น 0.636 เท่า ของแรงดันไฟสูงสุด ดังสมการที่ (2.1)

$$V_{DC} = 0.636 V_p \tag{2.1}$$

แสดงค่าแรงดันไฟตรงกับค่าแรงดันไฟสูงสุด V_p ของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

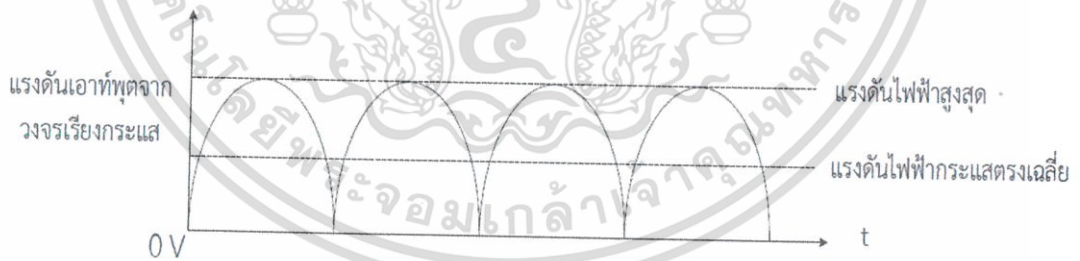


รูปที่ 2.10 แรงดันไฟฟ้าสูงสุดและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเฉลี่ยของวงจรฟูลบริดจ์ไดโอด

วงจรกรองแรงดันรูปที่ 2.11 จะแสดงแรงดันเอาต์พุตที่เป็นบวกที่ได้จากวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ในรูป 2.12, 2.13 และ 2.14 แสดงรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่าน้อยและค่ามากเป็นฟิลเตอร์ให้แก่วงจรเรียงกระแสโดยสรุปจะเห็นว่าความถี่ของแรงดันรีปเปล้ลจากวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นจะเป็น 2 เท่าของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น ดังนั้นช่วงเวลาของการคายประจุจึงสั้น โดยจะเกิดขึ้นก่อนที่วงรอบของสัญญาณครึ่งคลื่นบวกลูกต่อไปจะปรากฏขึ้นด้วย เหตุผลนี้จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้สูงกว่าวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น และถ้าใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่ามากขึ้นก็จะทำให้รีปเปล้ลเกิดขึ้นน้อยลงไปอีก ทั้งนี้เนื่องจากช่วงเวลาที่ใช้ในการคายประจุสั้นขึ้นนั่นเอง และมีผลในการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยให้สูงขึ้นด้วยดังแสดงในรูป 2.14

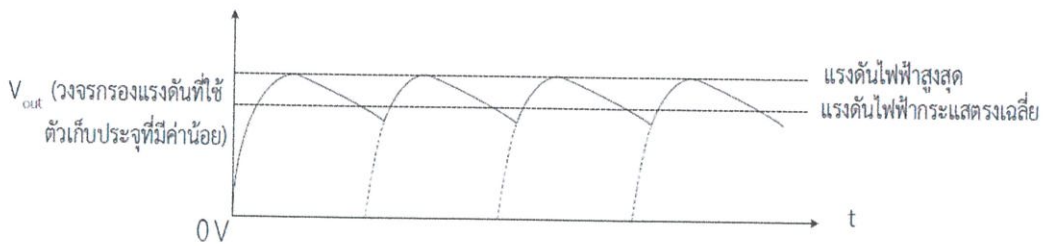


รูปที่ 2.11 วงจรกรองแรงดัน

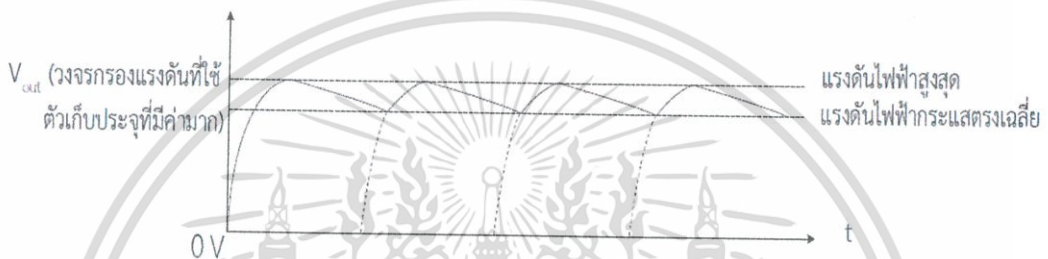


รูปที่ 2.12 แรงดันเอาต์พุตจากวงจรเรียงกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 แรงดันขาออกที่ใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่าน้อย



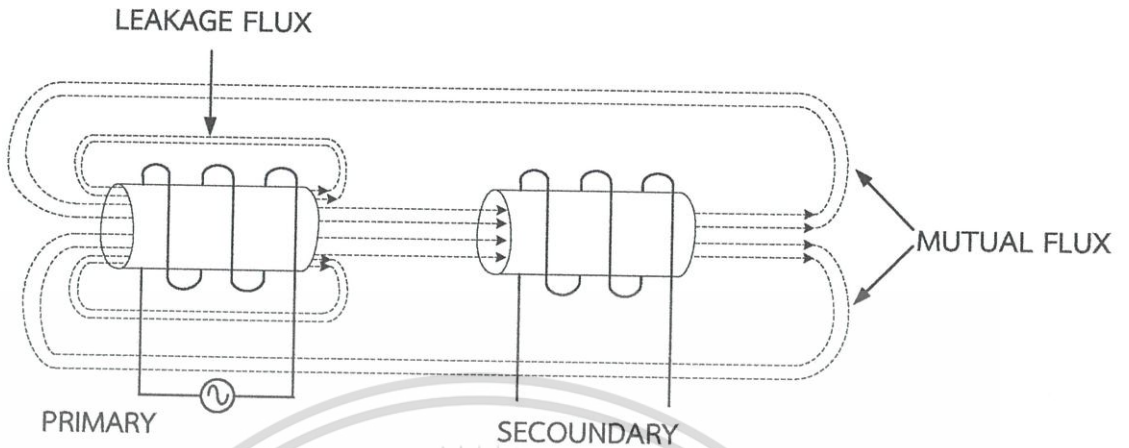
รูปที่ 2.14 แรงดันขาออกที่ใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่ามาก

2.4 การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

2.4.1 ความหมายของหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ใช้ในการแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับความต้องการในการใช้งานโดยอาศัยหลักแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก โดยในการแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าจะทำได้ทั้งการยกกระดบแรงดันไฟฟ้า (Step-up Voltage) และการลดระดับแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลง (Step-down Voltage) โดยหม้อแปลงไฟฟ้าสามารถทำงานได้ดังรูปด้านล่าง จากรูปจะเห็นว่าขดลวดแกนอากาศขดแรกจะมีแหล่งจ่ายป้อนกระแสให้ ในขณะที่ขดที่สองจะเปิดวงจรอยู่ โดยที่ขดลวดขดแรกเมื่อมีกระแสไหลผ่านจะสร้างสนามแม่เหล็กออกมาโดยฟลักซ์ที่เกิดขึ้นจะมีการแยกและเบี่ยงเบนไปตามทิศทางต่าง ๆ อย่างไม่ทิศทาง แต่จะมีฟลักซ์บางส่วนที่คล้องผ่านทั้ง 2 ขดซึ่งจะเรียกว่าฟลักซ์ร่วมหรือฟลักซ์เหนี่ยวนำ (Mutual flux) และมีฟลักซ์ที่แตกแยกบางส่วนซึ่งไม่ไหลผ่านขดที่ 2 เรียกว่าฟลักซ์รั่วไหล (Leakage flux) ซึ่งฟลักซ์เฉพาะที่คล้องผ่านขดลวดทั้ง 2 ขดนี้จะเป็นตัวส่งกำลังงานของหม้อแปลง ดังนั้นหม้อแปลงที่ดีควรมีจำนวนฟลักซ์คล้องผ่านมาก ในขณะที่ฟลักซ์รั่วไหลควรมีจำนวนน้อย นั่นคือการพันขดลวดรอบแกนเหล็กที่มีค่าความซึมซาบสัมพัทธ์ของสารแม่เหล็กสูงมากเพื่อทำให้ไม่มีเส้นแรงแม่เหล็กรั่ว (Leakage flux) หรือมีจำนวนน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

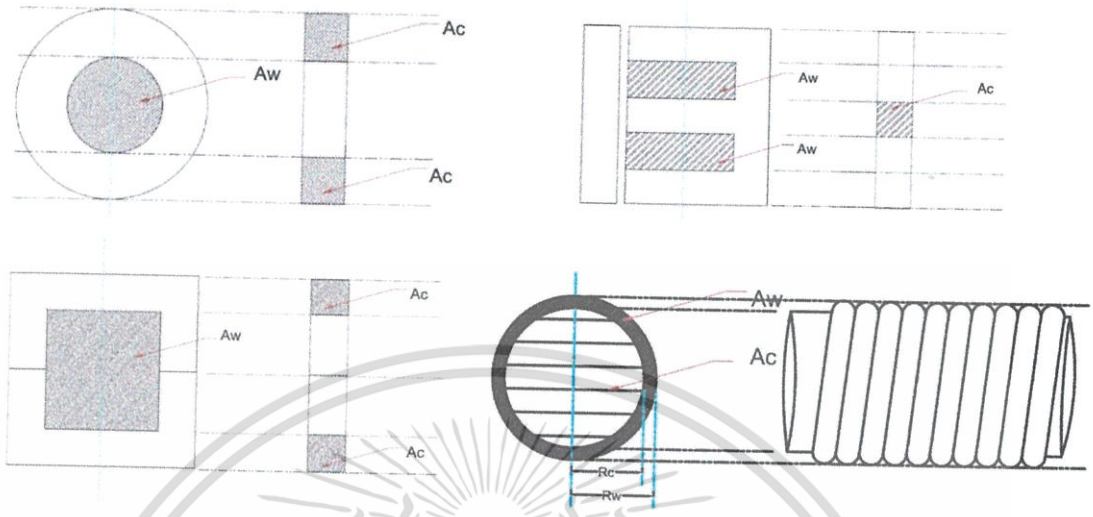


รูปที่ 2.15 การไหลของฟลักซ์แม่เหล็ก

2.4.2 ทฤษฎีการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

ในวงจรส่งผ่านกำลังซึ่งมีอินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่จ่ายแรงดันและกระแสไฟฟ้าความถี่สูงไปยังหม้อแปลงความถี่สูงซึ่งทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าดังกล่าวให้อยู่ในระดับที่ต้องการทางด้านทุติยภูมิได้ ซึ่งปัญหาจึงอยู่ที่การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงเพื่อให้สามารถทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่สูงจากด้านเอาต์พุตของวงจรอินเวอร์เตอร์ให้ได้แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่พิกัดเพื่อใช้ป้อนโหลดด้านทุติยภูมิได้ โดยโครงการนี้จะใช้หลักการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงโดยใช้หลักการ Area Product เพื่อคำนวณหา Cross-section Area (A_c) ตรงบริเวณขากลางของแกน Ferrite EE Core และ Window Area ($W_{a,primary} + W_{a,secondary}$) ที่ใช้บรรจุขดลวดทองแดงที่เกลียวทั้งด้านปฐมภูมิ และ ทุติยภูมิ รวมทั้ง ขนาด เบอร์ของเส้นลวดและจำนวนเส้นลวดที่เกลียว (Litz Wire) ตลอดจนจำนวนรอบขดลวดที่เกลียวที่ใช้ในการพันหม้อแปลงทั้งด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ

โดยผลคูณพื้นที่ (A_p) ของแกนเหล็กหม้อแปลง คือ ผลคูณระหว่าง Window Area (A_w) ของแกนที่มีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตรกับ Cross-section Area (A_c) ที่มีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตรเช่นกันดังแสดงในรูปที่ 2.16 ซึ่งจะได้สมการดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างการนิยามของ A_c และ A_w ของแกนหม้อแปลงชนิดต่าง ๆ

โดยการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงแบบผลคูณพื้นที่ จะมีสมการในการออกแบบดังนี้

$$A_p = A_c A_w \tag{2.2}$$

เมื่อ $A_p =$ Area product (m^4)

$A_w =$ พื้นที่ภายในกรอบว่างของแกน (m^2)

$A_c =$ พื้นที่หน้าตัดของแกน (m^2)

จากสมการแรงดันเหนี่ยวนำย้อนกลับของหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$E_{rms} = K_f E_{av} = K_f 4 N f B_m A_c \tag{2.3}$$

โดยที่ $K_f = 1$ (Square wave)

$K_f = 1.11$ (Sine wave)

$N =$ จำนวนรอบของขดลวด

$f =$ ความถี่ (Hz)

$B_m =$ ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด (wb/m^2)

$A_c =$ พื้นที่หน้าตัดของแกน (m^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ค่าจำนวนรอบด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ มีค่าเท่ากับ

$$N_1 = \frac{E_1}{4 K_f A_c f B_m} \quad (2.4)$$

$$N_2 = \frac{E_2}{4 K_f A_c f B_m} \quad (2.5)$$

กระแสไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากับ

$$I = J a_{\text{wire}} \quad (2.6)$$

โดยที่ J = ความหนาแน่นกระแส (A/m^2)

a_{wire} = พื้นที่หน้าตัดของตัวนำซึ่งกระแสไหลผ่าน (m^2)

กำหนดให้ขดลวดตัวนำด้านปฐมภูมิ (N_1) มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ a_1 และขดลวดตัวนำด้านทุติยภูมิ (N_2) มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ a_2 ดังนั้นพื้นที่หน้าตัดของตัวนำทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับ $N_1 a_1 + N_2 a_2$ ซึ่งในทางทฤษฎี พื้นที่หน้าตัดของตัวนำทั้งหมดควรจะพอดีกับพื้นที่หน้าตัด อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ ขดลวดไม่ได้ประกอบด้วยตัวนำเท่านั้น แต่จะประกอบด้วย เช่น ฉนวนของขดลวด กระจาด ฉนวนระหว่างขดลวดและช่องว่างของเฟอไรต์ทรงกระบอกเพื่อการระบายความร้อน เป็นต้น และถ้า K_w นิยามว่า Window Utilization Factor ซึ่งเป็นแฟกเตอร์ที่ใช้ในการชดเชยผลดังกล่าวและโดยทั่วไปมีค่าน้อยกว่าหนึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$K_w A_w = N_1 a_1 + N_2 a_2 \quad (2.7)$$

แทนค่า $a_{\text{wire}} = I/J$ ลงในสมการที่ (2.7)

$$\text{จะได้} \quad K_w A_w J = N_1 I_1 + N_2 I_2 \quad (2.8)$$

โดยที่ I_1 = ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสปฐมภูมิ

I_2 = ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสทุติยภูมิ

N_1 = จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ

N_2 = จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า N_1 และ N_2 ในสมการที่ (2.4) ลงในสมการที่ (2.8) จะได้

$$K_w A_w J = \frac{E_1 I_1 + E_2 I_2}{4 K_f K_w B_m f}$$

$$A_p = A_c \times A_w = \frac{[E_1 I_1 + E_2 I_2]}{4J K_f K_w B_m f} \quad (2.9)$$

กรณีรูปคลื่นไซน์ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงด้านทุติยภูมิ P_{02} จะมีค่าเท่ากับ $P_{02} = E_2 I_2$ โดยที่ E_2 หมายถึง ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้านทุติยภูมิ และจะได้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงด้านปฐมภูมิ P_{01} จะได้ว่า

$$P_{01} = E_1 I_1 = \frac{P_{02}}{\eta} \quad (2.10)$$

โดยที่ E_1 = ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้านปฐมภูมิ
 η = ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า
 ดังนั้นจะได้ว่า

$$A_p = A_c \times A_w = \frac{P_{02} [1 + \frac{1}{\eta}]}{4J K_f K_w B_m f_s} \quad (2.11)$$

โดยที่ P_{02} = ค่ากำลังไฟฟ้าจริงด้านทุติยภูมิ (W)

K_f = Form Factor (มีค่าเท่ากับ 1.11 สำหรับกรณีรูปคลื่นสัญญาณไซน์และเท่ากับ 1 สำหรับกรณีรูปคลื่นสัญญาณสี่เหลี่ยม)

K_w = Window Utilization Factor

สมการที่ (10) แสดงให้เห็นว่าขนาดกำลังไฟฟ้าที่สามารถรองรับได้จะสัมพันธ์กับขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า นอกจากนั้นโดยที่ไปในทางปฏิบัติจะกำหนดให้ K_w มีค่าประมาณ 0.3 – 0.4 และค่าความหนาแน่นกระแส (J) จะมีค่าประมาณเท่ากับ 3.5 – 5 A/mm² ในการเลือกแกนแม่เหล็กที่มีโซ่อยู่ทั่วไปให้เหมาะสมกับการใช้งาน จะทำได้โดยการคำนวณหาค่า A_p ดังแสดงในสมการที่ (9) เปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับค่า A_p ที่กำหนดโดยบริษัทผู้ผลิต โดยจะต้องเลือกค่าที่ A_p ที่กำหนดโดยบริษัทผู้ผลิตให้มากกว่า A_p ที่ได้จากการคำนวณ

2.4.3 ส่วนประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้า

2.4.3.1 แกนเฟอร์ไรต์ เป็นวัสดุที่มีส่วนผสมของแม่เหล็กทำให้มีความเข้มสนามแม่เหล็กมากกว่าเหล็กและมีความต้านทานสูงจึงช่วยลดการสูญเสียบนแกนเหล็กหรือลดความร้อนจากการเกิดกระแสไหลวนที่ความถี่สูง ซึ่งมีรูปทรงต่าง ๆ ดังนี้ยกตัวอย่างเช่นรูปทรง EE, UU, ETD, ROD, PQ, Toroid, ทรงวงแหวน (Ring) เป็นต้น

ซึ่งแกนเฟอร์ไรต์รูปทรงต่าง ๆ มีรูปตัวอย่างดังนี้

2.4.3.1.1 รูปทรง EE



รูปที่ 2.17 แกนเฟอร์ไรต์ทรง EE

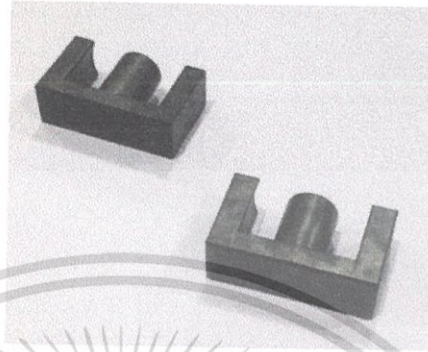
2.4.3.1.2 รูปทรง UU



รูปที่ 2.18 แกนเฟอร์ไรต์ทรง UU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.1.3 รูปทรง ETD



รูปที่ 2.19 แกนเฟอร์ไรต์ทรง ETD

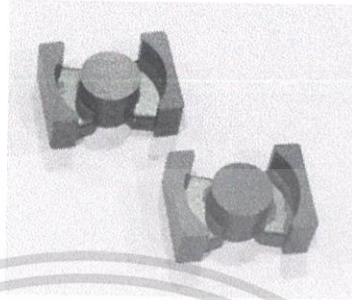
2.4.3.1.4 รูปทรง ROD



รูปที่ 2.20 แกนเฟอร์ไรต์ทรง ROD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.1.5 รูปทรง PQ



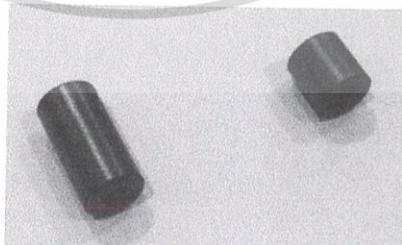
รูปที่ 2.21 แกนเฟอร์ไรต์ทรง PQ

2.4.3.1.6 รูปทรง Toroid



รูปที่ 2.22 แกนเฟอร์ไรต์ทรง Toroid

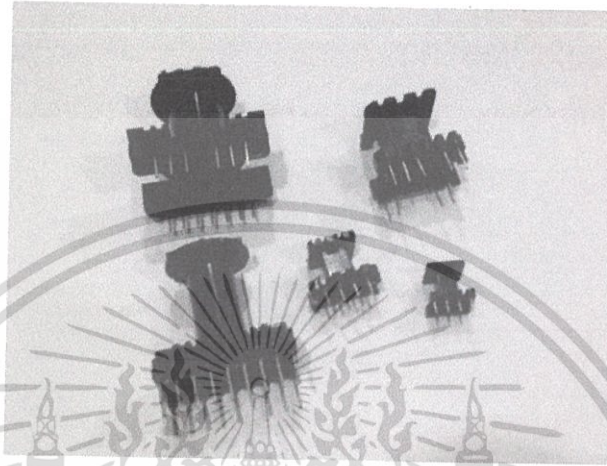
2.4.3.1.7 รูปทรงวงแหวน (Ring)



รูปที่ 2.23 แกนเฟอร์ไรต์ทรงวงแหวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.2 บ็อบบิ้น คือ รูปทรงที่ใช้สำหรับพันขดลวดทองแดงรอบ โดยที่พื้นที่หน้าตัดของบ็อบบิ้นมีหลายรูปทรงทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปทรงของแกนนั้น ๆ



รูปที่ 2.24 บ็อบบิ้นชนิดต่าง ๆ

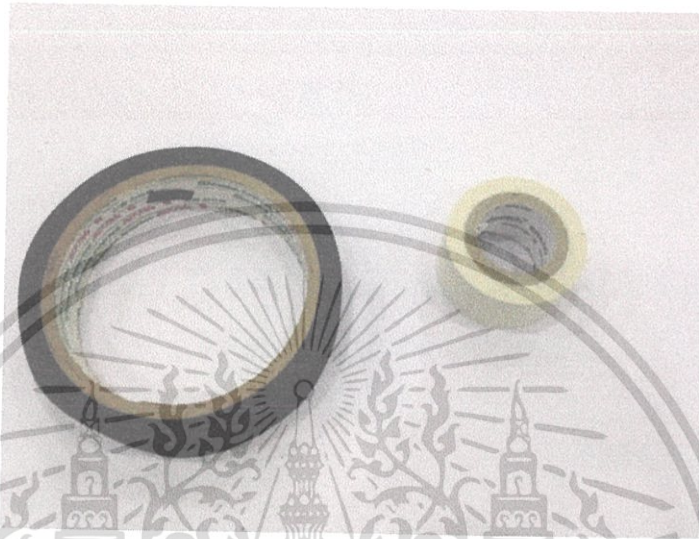
2.4.3.3 ลวดทองแดง เป็นเส้นลวดที่ใช้พันเพื่อให้เกิดกระแสไหลผ่านแล้วเกิดการเหนี่ยวนำ โดยที่ลวดทองแดงต้องมีการเคลือบน้ำยาฉนวน และมีขนาดและลักษณะลวดเป็นทรงกลมหรือแบนขึ้นอยู่กับขนาดของหม้อแปลง โดยลวดเส้นโตจะมีความสามารถในการจ่ายกระแสได้มากกว่าลวดเส้นเล็ก



รูปที่ 2.25 ลวดทองแดงขนาดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.4 กระจาดขากาวฉนวน คืออุปกรณ์ที่ช่วยป้องกันความเสียหาย ที่อาจจะเกิดขึ้นกับ ชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ รวมถึงป้องกันการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด (Short Turn)



รูปที่ 2.26 กระจาดขากาวฉนวน

2.5 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

2.5.1 ทรานซิสเตอร์

ประโยชน์ที่สำคัญของทรานซิสเตอร์มาจากความสามารถในการใช้สัญญาณขนาดเล็กที่ ป้อนให้ ระหว่างขั้วไฟฟ้าคู่หนึ่ง เพื่อควบคุมสัญญาณที่มีขนาดใหญ่กว่ามากที่อีกคู่หนึ่งของขั้วไฟฟ้า คุณสมบัติแบบนี้เรียกว่า gain (สามารถคำนวณได้จากนำสัญญาณเอาต์พุต หารด้วยอินพุต ถ้าได้ผลลัพธ์ มากกว่า 1 แสดงว่าวงจรนั้นเป็นวงจรขยาย) ทรานซิสเตอร์สามารถควบคุมสัญญาณเอาต์พุตให้เป็น สัดส่วนกับสัญญาณอินพุต นั่นคือมันสามารถทำหน้าที่เป็น amplifier หรืออีกแบบหนึ่ง ทรานซิสเตอร์ สามารถใช้ในการเปิดหรือปิดกระแสในวงจร (สวิตช์) ควบคุมระบบไฟฟ้าที่ปริมาณ ของกระแสไฟฟ้าจะถูก กำหนดโดยองค์ประกอบวงจรอื่น ๆ

ทรานซิสเตอร์มีสองประเภท ซึ่งมีความแตกต่างกันเล็กน้อยในวิธีการที่ พวกมันจะถูกใช้ ในวงจร แบบแรกเป็น ทรานซิสเตอร์ 2 Pole ที่มีขา Base, Collector และ Emitter กระแสขนาดเล็ก ที่ ขา base (ที่ไหลระหว่าง Base กับ Emitter) สามารถควบคุม หรือ สวิตช์ กระแสที่มีขนาดใหญ่มากที่ไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่าง Collector กับ Emitter. สำหรับทรานซิสเตอร์ Field-effect ขาจะมีป้ายกำกับเป็น Gate, Source และ Drain แรงดันไฟฟ้าที่ Gate สามารถควบคุมกระแส ระหว่าง Source และ Drain

รูปที่ 2.27 แทนทรานซิสเตอร์สอง Pole โดยทั่วไปในวงจร ประจุไฟฟ้าจะไหลระหว่าง Emitter กับ Collector ขึ้นอยู่กับ กระแสใน base เนื่องจากการเชื่อมต่อระหว่าง Base และ Emitter ภายใน ทำตัวเหมือนไดโอด, แรงดันไฟฟ้าจะตกคร่อมระหว่าง Base และ Emitter เมื่อมีกระแส Base ไหลผ่าน ปริมาณของแรงดันนี้จะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำทรานซิสเตอร์นั้น และจะมีค่าที่เรียกว่า V_{be}



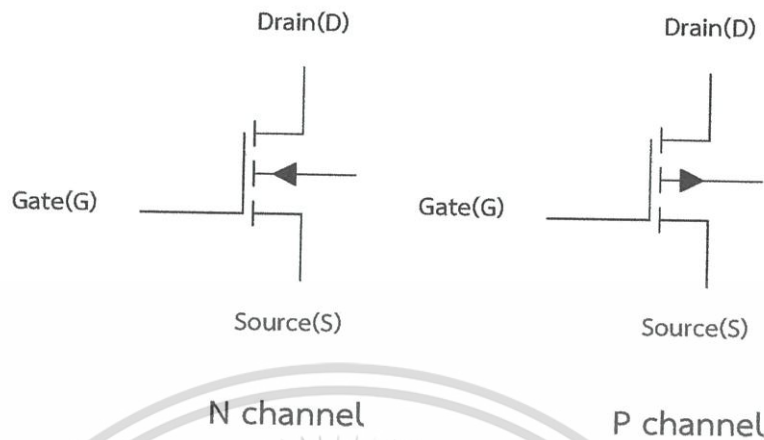
รูปที่ 2.27 วงจรทรานซิสเตอร์

2.5.2 มอสเฟต

เป็นทรานซิสเตอร์ที่ใช้อิทธิพลสนามไฟฟ้าในการควบคุมสัญญาณไฟฟ้า โดยใช้ออกไซด์ของโลหะในการทำ ส่วน GATE นิยมใช้ในวงจรดิจิทัล โดยนำไปสร้างลอจิกเกตต่าง ๆ เพราะมีขนาดเล็ก ประกอบด้วย ขาGATE เป็นส่วนที่ทำมาจากออกไซด์ของโลหะ โดยสร้างให้เกิดความต่างศักย์ตกคร่อมระหว่างแผ่นสองแผ่นเพื่อ สร้างสนามไฟฟ้าเพื่อควบคุมการเข้าออกของสัญญาณไฟฟ้า ขาSOURCE เป็นส่วนขาเข้าของสัญญาณ ขาDRAIN เป็นส่วนขาออกของสัญญาณ

มอสเฟตแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ nMOS (negative MOSFET) เป็นทรานซิสเตอร์ประเภท NPN เมื่อมีความต่างศักย์เป็นบวก (สนามไฟฟ้าแรง) สัญญาณไฟฟ้าจึงจะไหลจาก source ไป drain ได้ และ pMOS (positive MOSFET) เป็นทรานซิสเตอร์ประเภท PNP เมื่อมีความต่างศักย์ต่ำหรือเป็นลบ (สนามไฟฟ้าอ่อน) สัญญาณไฟฟ้าจึงจะไหลจาก source ไป drain ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

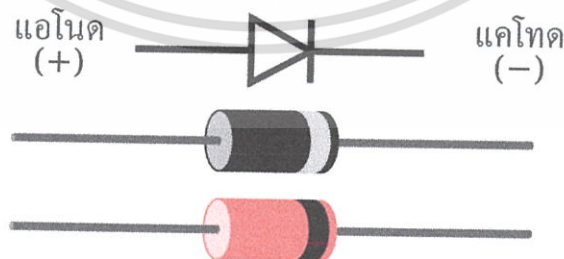


รูปที่ 2.28 สัญลักษณ์ของมอสเฟส N Channel และ P Channel

2.5.3 ไดโอด

เป็นชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ชนิดสองขั้วคือขั้ว p และขั้ว n ที่ออกแบบและควบคุมทิศทางการไหลของประจุไฟฟ้า มันจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางเดียว และกั้นการไหลในทิศทางตรงกันข้าม เมื่อกล่าวถึงไดโอดมักจะหมายถึงไดโอดที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ ซึ่งเป็นผลึกของสารกึ่งตัวนำที่ต่อกันได้ขั้วทางไฟฟ้าสองขั้วส่วนไดโอดแบบหลอดสุญญากาศ ถูกใช้เฉพาะทางในเทคโนโลยีไฟฟ้าแรงสูงบางประเภท เป็นหลอดสุญญากาศที่ประกอบด้วยขั้วอิเล็กโทรดสองขั้ว ซึ่งจะคือแผ่นตัวนำ และแคโทด

ส่วนใหญ่จะใช้ไดโอดในการยอมให้กระแสไปในทิศทางเดียว โดยยอมให้กระแสไฟในทางใดทางหนึ่ง ส่วนกระแสที่ไหลทิศทางตรงข้ามกันจะถูกกั้น ดังนั้นจึงอาจถือว่าไดโอดเป็นวาล์วตรวจสอบแบบอิเล็กทรอนิกส์อย่างหนึ่ง ซึ่งนับเป็นประโยชน์อย่างมากในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ใช้เป็นตัวเรียงกระแสไฟฟ้าในวงจรแหล่งจ่ายไฟ เป็นต้น



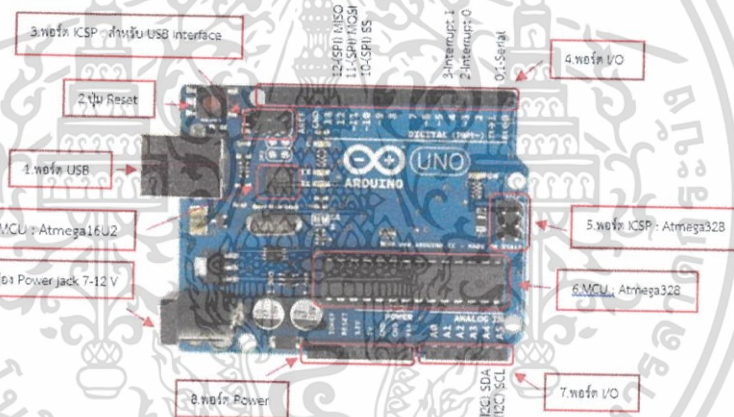
รูปที่ 2.29 สัญลักษณ์และรูปร่างของไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 Arduino Microcontroller

Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือ มีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัวบอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย ข้อดีของการใช้ Arduino เนื่องจากการควบคุมหรือรับค่า Input จาก sensors ก็ไม่จำเป็นต้องต่อออกจอ LCD และงานบางอย่างก็ไม่ได้มีความจำเป็นต้องเชื่อมต่อกับ Internet แต่หากต้องการจะเชื่อมต่อสิ่งเหล่านั้น Arduino ก็มีส่วนขยายเพิ่มเติมซึ่งในวงการ Microcontroller เรียกว่า Shields (ชีลด์) เช่น Arduino XBee, Arduino LCD Shields, Wifi Shields, Arduino GSM Shields เป็นต้น

2.6.1 ตำแหน่งขาและอุปกรณ์บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3



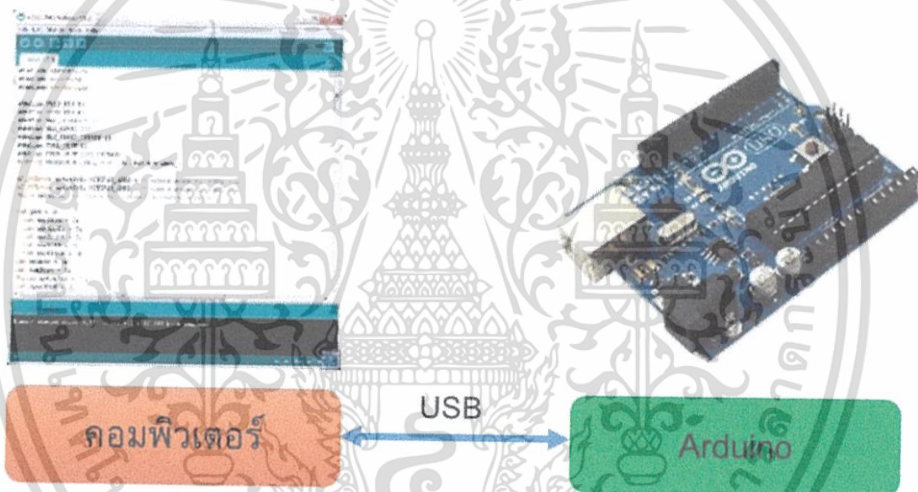
รูปที่ 2.30 ตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3

- USBPort ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่อโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
- Reset Button เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่
- ICSP Port ของAtmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com portบน Atmega16U2
- I/OPort:Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx,Rx Serial, Pin3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM
- ICSP Port Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader
- MCU Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- I/O Port นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็น ช่องรับสัญญาณอนาล็อก ตั้งแต่ขา A0-A5
- Power Port ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, V_{in}
- Power Jack รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V
- MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2

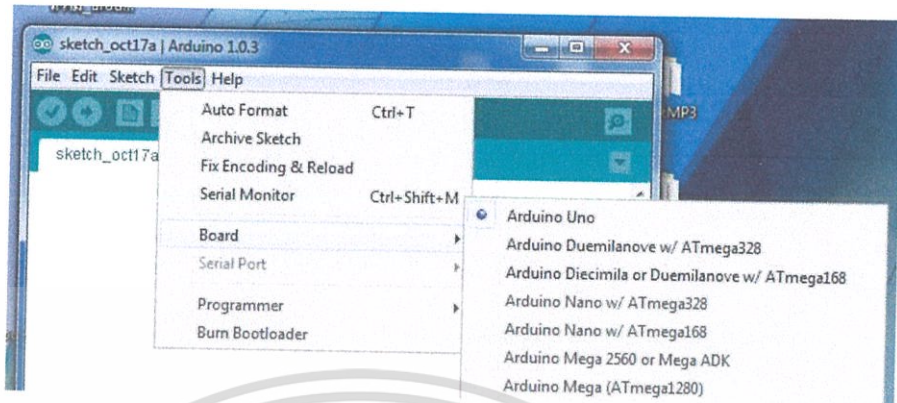
2.6.2 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino



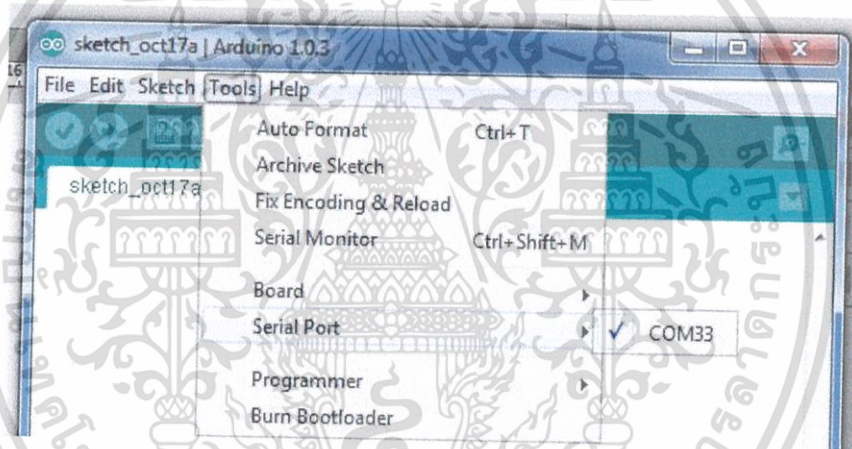
รูปที่ 2.31 การเชื่อมต่อข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยัง Arduino

เขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ ผ่านทางโปรแกรม ArduinoIDE ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จาก Arduino.cc/en/main/software หลังจากที่เขียนโค้ดโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว ให้ผู้ใช้งานเลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ใช้และหมายเลข Com port

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



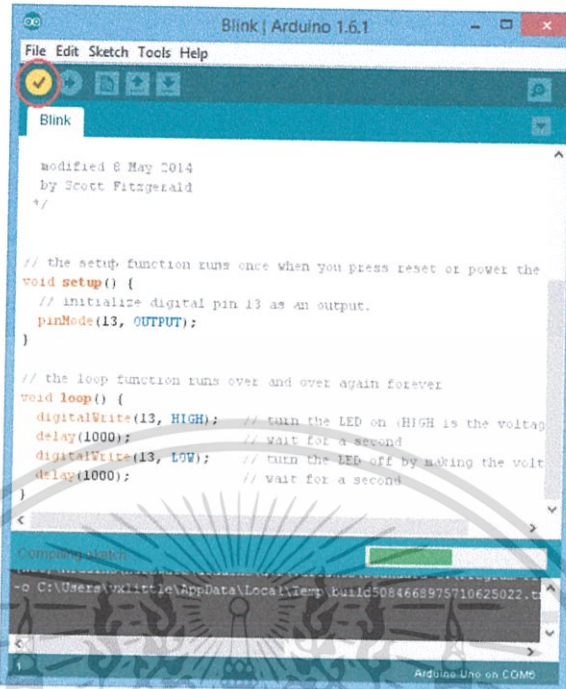
รูปที่ 2.32 เลือกบอร์ด Arduino ที่ต้องการ Upload



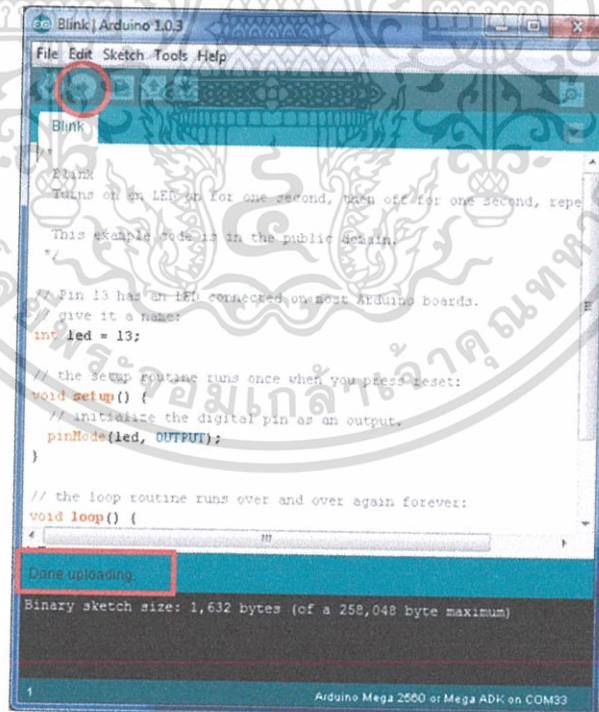
รูปที่ 2.33 เลือกหมายเลข Comport ของบอร์ด

กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและ Compile โค้ดโปรแกรม จากนั้นกดปุ่ม Upload โค้ด โปรแกรมไปยังบอร์ด Arduino ผ่านทางสาย USB เมื่ออัปโหลดเรียบร้อยแล้ว จะแสดงข้อความแถบข้างล่าง “Done uploading” และบอร์ดจะเริ่มทำงานตามที่เขียนโปรแกรมไว้ได้ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.34 กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและ Compile โค้ดโปรแกรม



รูปที่ 2.35 Upload โค้ดโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ทฤษฎีเรื่องการควบคุมแบบ PID

ระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ (PID Controller) เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณเป็นค่าความผิดพลาดที่หามาจากความแตกต่างของตัวแปรในกระบวนการและค่าที่ต้องการตัวควบคุมจะพยายามลดค่าผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการ ค่าตัวแปรของ PID ที่ใช้จะปรับเปลี่ยนตามธรรมชาติของระบบ

วิธีคำนวณของ PID ขึ้นอยู่กับสามตัวแปรคือค่าสัดส่วน ปริพันธ์ และอนุพันธ์ ค่าสัดส่วนกำหนดจากผลของความผิดพลาดในปัจจุบัน ค่าปริพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของผลรวมความผิดพลาดที่ซึ่งพียงผ่านพ้นไป และค่าอนุพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของอัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด น้ำหนักที่เกิดจากการรวมกันของทั้งสามนี้จะใช้ในการปรับกระบวนการ

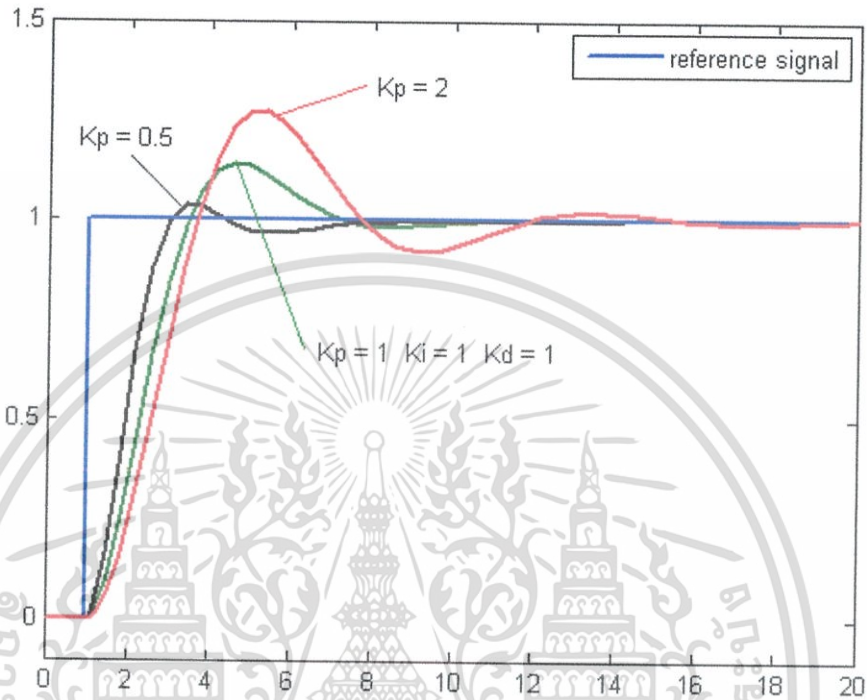
โดยการปรับค่าคงที่ใน PID ตัวควบคุมสามารถปรับรูปแบบการควบคุมให้เหมาะสมกับที่กระบวนการต้องการได้ การตอบสนองของตัวควบคุมจะอยู่ในรูปของการไหวตัวของตัวควบคุมจนถึงค่าความผิดพลาด ค่าโอเวอร์ชูต (Overshoots) และ ค่าแกว่งของระบบ (Oscillation) วิธี PID ไม่รับประกันได้ว่าจะเป็นระบบควบคุมที่เหมาะสมที่สุดหรือสามารถทำให้กระบวนการมีความเสถียรแน่นอน

การประยุกต์ใช้งานบางครั้งอาจใช้เพียงหนึ่งถึงสองรูปแบบ ขึ้นอยู่กับกระบวนการเป็นสำคัญ พีไอดีบางครั้งจะถูกเรียกว่าการควบคุมแบบ PI, PD, P หรือ I ขึ้นอยู่กับว่าใช้รูปแบบใดบ้าง ทฤษฎีการควบคุมแบบ PID ได้ชื่อตามการรวมกันของเทอมของตัวแปรทั้งสามตามสมการที่ 2.12

$$MV(t) = P_{out} + I_{out} + D_{out} \quad (2.12)$$

เมื่อ P_{out} , I_{out} และ D_{out} เป็นผลของสัญญาณขาออกจากระบบควบคุม PID

2.7.1 สัดส่วน Proportional Control Action (P - Action)



รูปที่ 2.36 กราฟ PV ต่อเวลา K_p กำหนดเป็น 3 ค่า (K_i และ K_d คงที่)

เทอมของสัดส่วน (อัตราขยาย) จะเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนของค่าความผิดพลาด การตอบสนองของสัดส่วนสามารถทำได้โดยการคูณค่าความผิดพลาดด้วยค่าคงที่ K_p หรือที่เรียกว่าอัตราขยาย สัดส่วนเทอมของสัดส่วนจะเป็นไปตามสมการ

$$P_{out} = K_p e(t) \quad (2.13)$$

เมื่อ P_{out} : สัญญาณขาออกของเทอมสัดส่วน

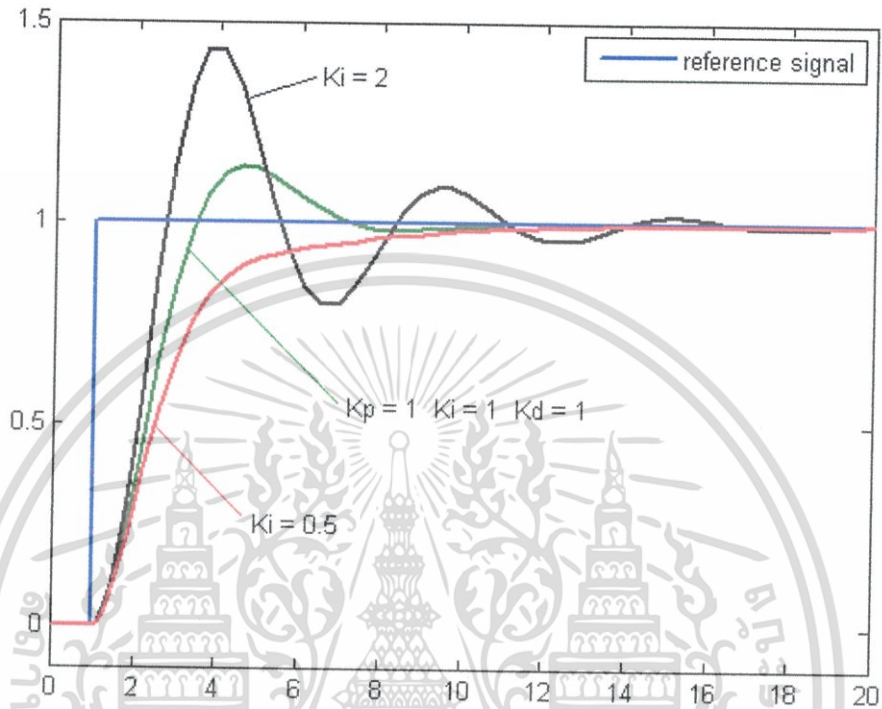
K_p : อัตราขยายสัดส่วน, ตัวแปรปรับค่าได้

$e(t)$: ค่าความผิดพลาดในแต่ละช่วงเวลา

ผลอัตราขยายสัดส่วนที่สูงค่าความผิดพลาดก็จะเปลี่ยนแปลงมากเช่นกัน แต่ถ้าสูงเกินไประบบจะไม่เสถียรได้ ในทางตรงกันข้ามผลอัตราขยายสัดส่วนที่ต่ำระบบควบคุมจะมีผลตอบสนองต่อกระบวนการน้อยตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 ปริพันธ์ Integral Control Action (I-Action)



รูปที่ 2.37 กราฟ PV ต่อเวลา K_i กำหนดเป็น 3 ค่า (K_p และ K_d คงที่)

ผลจากเทอมปริพันธ์ (Reset) เป็นสัดส่วนของขนาดความผิดพลาดและระยะเวลาของความผิดพลาด ผลรวมของความผิดพลาดในทุกช่วงเวลา (ปริพันธ์ของความผิดพลาด) จะให้อฟเซตสะสมที่ควรจะเป็นในก่อนหน้าความผิดพลาดสะสมจะถูกคูณโดยอัตราขยายปริพันธ์ขนาดของผลของเทอมปริพันธ์จะกำหนดโดยอัตราขยายปริพันธ์

เทอมปริพันธ์จะเป็นไปตามสมการ:

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (2.14)$$

เมื่อ I_{out} = สัญญาณขาออกของเทอมปริพันธ์

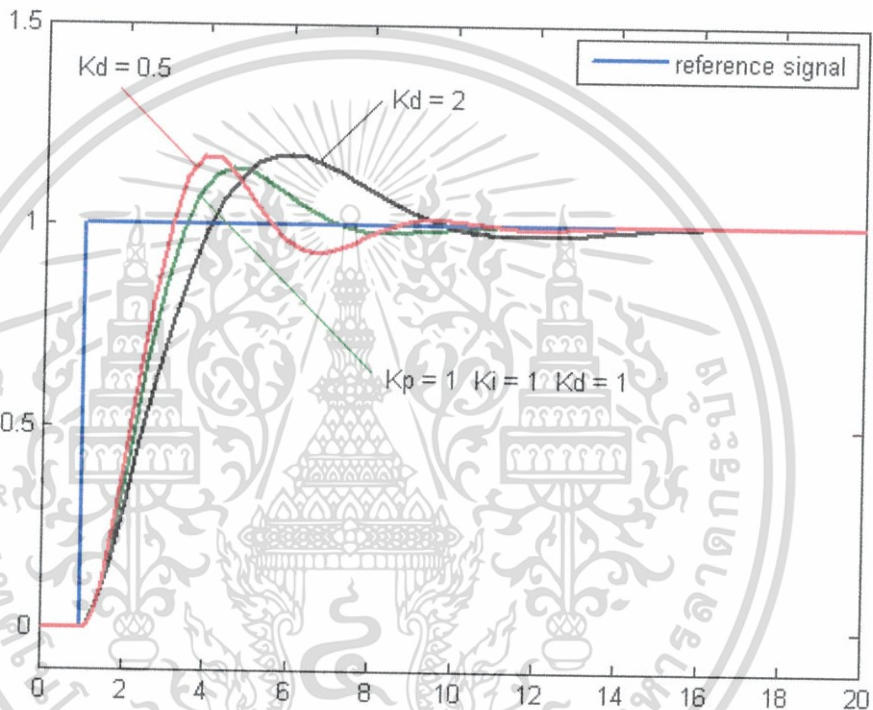
K_i = อัตราขยายปริพันธ์หรือตัวแปรปรับค่าได้

$e(t)$ = คือค่าความผิดพลาดในแต่ละช่วงเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอมปริพันธ์ เมื่อรวมกับเทอมสัดส่วนจะเร่งกระบวนการให้เข้าสู่จุดที่ต้องการและขจัดความผิดพลาดที่เหลืออยู่ที่เกิดจากการใช้เพียงเทอมสัดส่วน แต่อย่างไรก็ตาม เทอมปริพันธ์เป็นการตอบสนองต่อความผิดพลาดสะสมในอดีต จึงสามารถทำให้เกิดโอเวอร์ชูตได้ ข้ามจุดที่ต้องการและเกิดการหันเหไปทางทิศทางอื่น

2.7.3 อนุพันธ์ Derivative Control Action (D-Action)



รูปที่ 2.38 กราฟ PV ต่อเวลา K_d กำหนดเป็น 3 ค่า (K_p และ K_i คงที่)

อัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดจากกระบวนการนั้นคำนวณหาจากความชันของความผิดพลาดทุก ๆ เวลา นั่นคือเป็นอนุพันธ์อันดับหนึ่งสัมพันธ์กับเวลา และคูณด้วยอัตราขยายอนุพันธ์ K_d ขนาดของผลของเทอมอนุพันธ์ (อัตรา) ขึ้นกับอัตราขยายอนุพันธ์ K_d เทอมอนุพันธ์เป็นไปตามสมการที่ (2.15)

$$D_{out} = K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2.15)$$

เมื่อ D_{out} = สัญญาณขาออกของเทอมอนุพันธ์

K_d = อัตราขยายอนุพันธ์หรือตัวแปรปรับค่าได้

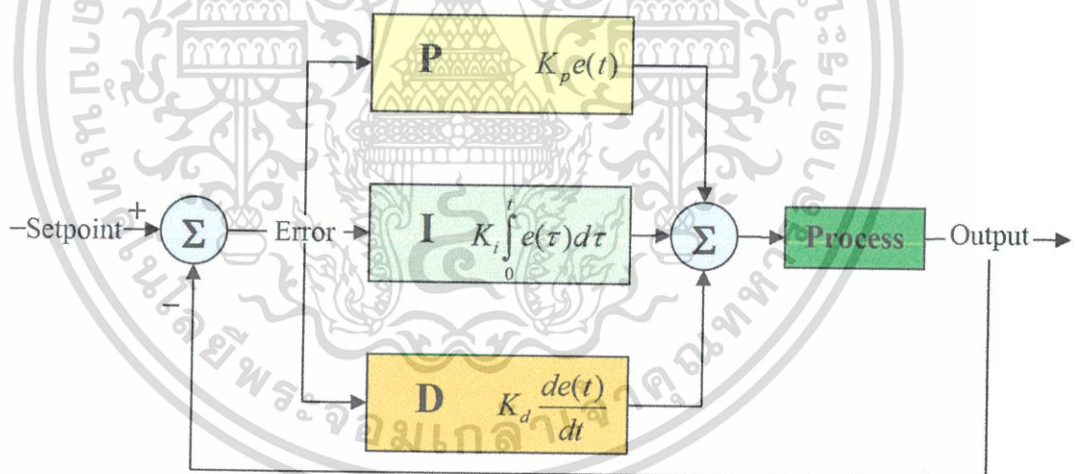
$e(t)$ = ความผิดพลาดในแต่ละช่วงเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอมอนุพันธ์จะชะลออัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาออกของระบบควบคุมและด้วยผลนี้จะช่วยให้ระบบควบคุมเข้าสู่จุดที่ต้องการ ดังนั้นเทอมอนุพันธ์จะใช้ในการลดขนาดของโอเวอร์ชูตที่เกิดจาเทอมปริพันธ์และทำให้เสถียรภาพของการรวมกันของระบบควบคุมดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามอนุพันธ์ของสัญญาณรบกวนที่ถูกขยายในระบบควบคุมจะไวมากต่อการรบกวนในเทอมของความผิดพลาดและสามารถทำให้กระบวนการไม่เสถียรได้ถ้าสัญญาณรบกวนและอัตราขยายอนุพันธ์มีขนาดใหญ่เพียงพอ ผลรวมเทอมสัดส่วน, ปริพันธ์ และอนุพันธ์จะนำมารวมกันเป็นสัญญาณขาออกของการควบคุมแบบ PID กำหนดให้ $u(t)$ เป็นสัญญาณขาออก สมการสุดท้ายของวิธี PID เป็นดังสมการที่ (2.16)

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2.16)$$

และจากสมการที่ (2.16) สามารถแสดงในรูปของไดอะแกรมของการประยุกต์ใช้หลักการควบคุมแบบพีไอดี ในการปรับค่าเกนของตัวควบคุมดังภาพที่ 2.39 นอกจากนี้ยังสามารถนำไปทำงานร่วมกับเทคนิคการเรียนรู้และชดเชยค่าความไม่แน่นอนและวิธี Conventional Boundary Layer Technique (BL Technique) ได้

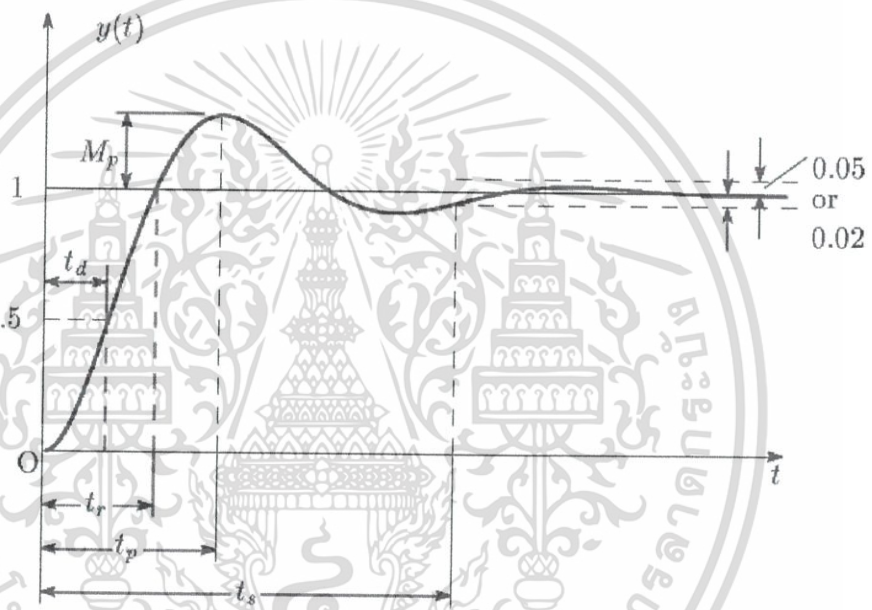


รูปที่ 2.39 แผนภาพบล็อกของการควบคุมแบบพีไอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4 ผลการตอบสนองของระบบ

กระบวนการ หรือระบบเมื่อได้รับอินพุตก็จะต้องมีการตอบสนองออกมาเป็นเอาต์พุต ซึ่งรูปแบบการตอบสนองนั้นก็ขึ้นอยู่กับชนิดของอินพุตที่ใส่เข้าไป ในการนิยามตัวแปรต่าง ๆ ในการตอบสนองของระบบ มักจะนิยมป้อนอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วย แล้วดูผลการตอบสนองของระบบพลศาสตร์โดยทั่วไปเมื่อได้รับอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วยก็จะมี การตอบสนองเป็นดังรูปที่ 2.40



รูปที่ 2.40 แสดงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้กำหนดคุณสมบัติเฉพาะของการตอบสนองของระบบ

จากรูปที่ 2.40 พารามิเตอร์ต่าง ๆ สามารถอธิบายความหมายได้ดังนี้

ช่วงเวลาขึ้น (Rise Time, T_r) หมายถึง ช่วงเวลาที่ผลตอบสนองเมื่อสัญญาณเอาต์พุตเพิ่มจาก 10% จนถึง 90 % หรือจาก 5% ถึง 95% หรือจาก 0% ถึง 100% ดังนั้นการกำหนดช่วงเวลาขึ้น จำเป็นต้องบอกด้วยว่า วัดโดยใช้ช่วงเวลาไหน

เวลาของค่ายอด (Peak Time, T_p) หมายถึง เวลาที่สัญญาณผลการตอบสนองมีค่าสูงสุดค่าแรก ของผลการตอบสนองนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โอเวอร์ชูตสูงสุด (Maximum Overshoot, M_p) หมายถึง ค่าการตอบสนองสูงสุดที่วัดจากสถานะอยู่ตัวสุดท้าย (Final Steady State) การบอกค่าโอเวอร์ชูตสูงสุดมักจะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์

เวลาเข้าที่ (Settling Time, T_s) หมายถึง เวลาที่ผลการตอบสนองลดลงจนเริ่มเข้าไปอยู่ในช่วงที่ กำหนด ซึ่งจะวัดเทียบกับค่าสุดท้ายของผลการตอบสนองในสถานะอยู่ตัวสุดท้าย (Final Steady State) ค่าที่ นิยมกำหนดสำหรับช่วงนี้มักจะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ เช่น 1%, 2% หรือ 5% เป็นต้น

2.7.5 การปรับจูนด้วยมือ

ถ้าระบบยังคงทำงาน ชั้นแรกให้ตั้งค่า K_i และ K_d เป็นศูนย์ เพิ่มค่า K_p จนกระทั่งสัญญาณขาออกเกิดการแกว่ง (Oscillate) แล้วตั้งค่า K_p ให้เหลือครึ่งหนึ่งของค่าที่ทำให้เกิดการแกว่ง สำหรับการตอบสนองชนิด "Quarter Amplitude Decay" แล้วเพิ่ม K_i จนกระทั่งออฟเซตถูกต้องในเวลาทีพอเพียงของกระบวนการ แต่ถ้า K_i มากไปจะทำให้ไม่เสถียร สุดท้ายถ้าต้องการ ให้เพิ่มค่า K_d จนกระทั่งลูบอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แต่ถ้า K_d มากเกินไปจะเป็นเหตุให้การตอบสนองและโอเวอร์ชูตเกินยอมรับได้ ปกติการปรับจูน PID ถ้าเกิดโอเวอร์ชูตเล็กน้อยจะช่วยให้เข้าสู่จุดที่ต้องการเร็วขึ้น แต่ในบางระบบไม่สามารถยอมให้เกิดโอเวอร์ชูตได้ และถ้าค่า K_p น้อยเกินไปก็จะทำให้เกิดการแกว่ง

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงผลของการเพิ่มค่าตัวแปรอย่างอิสระ

ตัวแปร	ช่วงเวลาขึ้น (Rise Time)	โอเวอร์ชูต (Overshoot)	เวลาสู่สมดุล (Settling Time)	ความผิดพลาดสถานะคงตัว (Steady-State Error)	เสถียรภาพ
K_p	ลด	เพิ่ม	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	ลด	ลด
K_i	ลด	เพิ่ม	เพิ่ม	ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ	ลด
K_d	ลดลงเล็กน้อย	ลดลงเล็กน้อย	ลดลงเล็กน้อย	ตามทฤษฎีไม่มีผล	ดีถ้า K_d น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 2.1 จะแสดงถึงผลกระทบของค่าเกนในตัวควบคุมแบบ PID ต่อพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้กำหนดคุณสมบัติเฉพาะของการตอบสนองของระบบ ซึ่งจะพบว่าค่าเกน K_p จะทำให้ช่วงเวลาดำเนิน (Rise Time) ลดลง และลดค่าความผิดพลาด ณ สถานะคงตัว แต่ไม่สามารถกำจัดค่าความผิดพลาด ณ สถานะคงตัวให้หมดได้ ค่าเกน K_i จะมีหน้าที่หลักในการลดค่าความผิดพลาด ณ สถานะคงตัวให้หมดไปแต่การเพิ่มค่าเกน K_i มากเกินไปก็จะทำให้ผลการตอบสนองชั่วคราวของระบบเสียไป ส่วนค่าเกน K_d มีหน้าที่หลักในการลดโอเวอร์ชูตสูงสุดลงและทำให้ผลการตอบสนองชั่วคราวของระบบดีขึ้น

2.8 การอัดประจุและวิธีในการควบคุม

2.8.1 วิธีการตรวจวัดการอัดประจุด้วยการนับประจุ

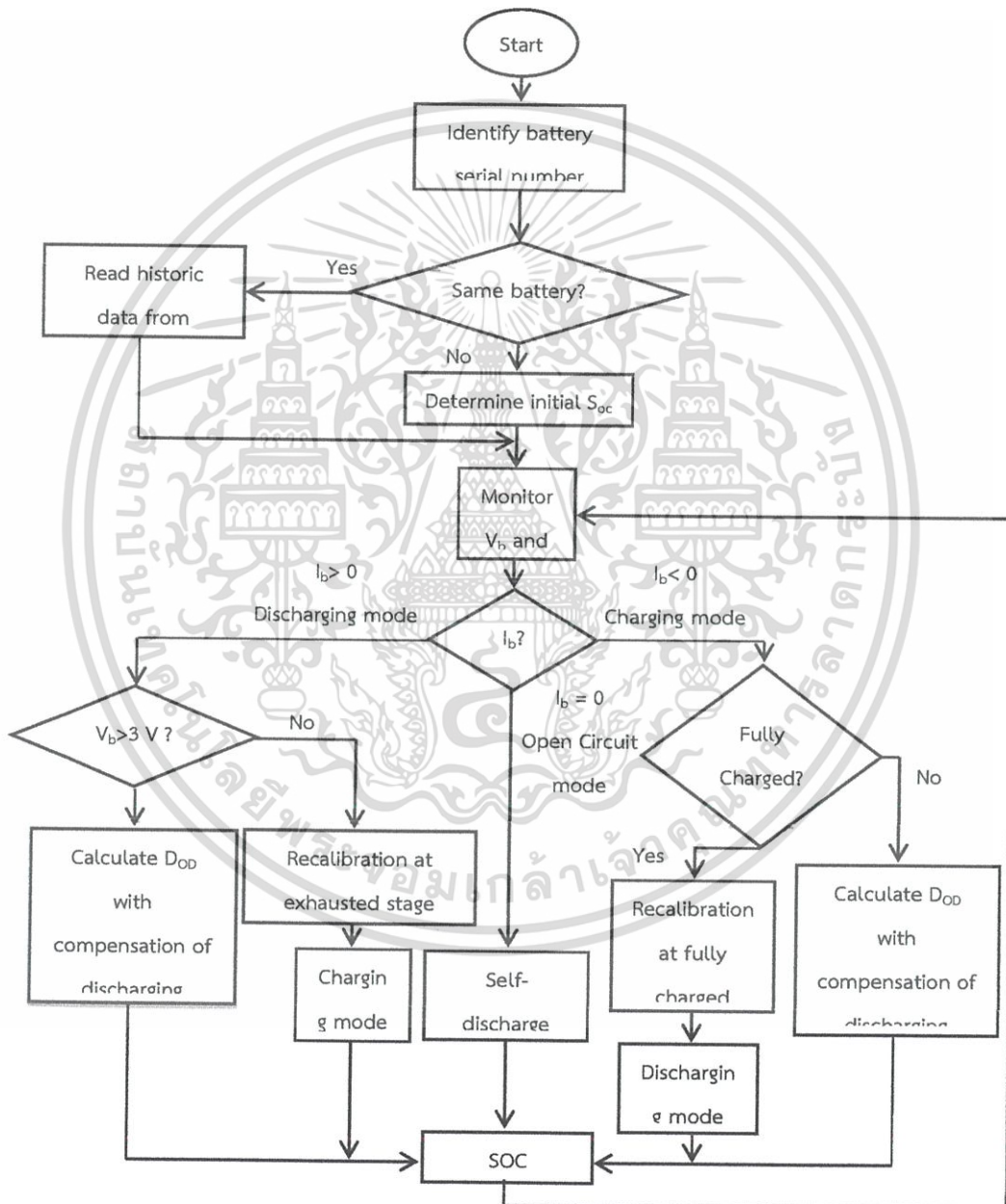
ระบบตรวจสอบการใช้งานแบตเตอรี่โดยวิธีการนับประจุ (Coulomb Counting Paradigm) เป็นวิธีการที่ใช้งานกับแบตเตอรี่เพื่อช่วยในการอ่านค่าสถานะต่าง ๆ ของแบตเตอรี่โดยการตรวจสอบแบตเตอรี่ด้วยวิธีการนับประจุนั้นนอกจากสามารถวัดค่าแรงดันของแบตเตอรี่แล้วยังสามารถประมาณค่าอายุการใช้งานของแบตเตอรี่และสามารถตรวจสอบความสามารถในการเก็บประจุในขณะนั้นเทียบกับสภาพตอนเริ่มใช้งานได้การวัดค่า State of Charge (SOC) นั้นสามารถทำได้หลายวิธีโดยความแม่นยำของแต่ละวิธีก็จะขึ้นอยู่กับชนิดของแบตเตอรี่ที่ใช้โดยในปัจจุบันแบตเตอรี่ชนิด Li-ion ได้รับความนิยมมากขึ้นและถูกใช้งานอย่างแพร่หลายมากขึ้นไม่ว่าจะเป็นในส่วนของอุปกรณ์การแพทย์ โทรศัพท์มือถือแท็บเล็ตหรือ สมาร์ทโฟนเป็นต้นแต่ด้วยความเป็นเอกลักษณ์ของตัวแบตเตอรี่จึงทำให้การวัดค่าโดยการวัดแรงดันที่ตัวแบตเตอรี่นั้นเกิดความคลาดเคลื่อนได้ทำให้เราจำเป็นต้องใช้วิธีการตรวจสอบการใช้งานแบตเตอรี่โดยวิธีการนับประจุเข้ามาเพื่อช่วยเพิ่มความแม่นยำในการวัดสถานะของแบตเตอรี่เพื่อป้องกันการเกิดกระแสชาร์จสูงเกินไปและเพิ่มอายุการใช้งานของแบตเตอรี่โดยจะทำการต่อยอดการศึกษาระบบตรวจสอบการใช้งานแบตเตอรี่โดยวิธีการนับประจุ คือ มีการแสดงค่าที่วัดได้ออกทางหน้าจอแสดงผลและการนำเทคนิคดังกล่าวไปใช้ในเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ของสมาร์ทโฟน เพื่อให้การชาร์จมีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าสำคัญที่พบได้บ่อยดังนี้

2.8.1.1 State of Charge (SOC) เป็นสมการของการวัดใช้เพื่อแสดงระดับของประจุของแบตเตอรี่ เช่น ในแบตเตอรี่รถยนต์ (Battery Electric Vehicle, BEV), Hybrid Vehicle (HBV) โดยหน่วยของ SOC เป็น % โดย 0% = Empty; 100% = Full

2.8.1.2 Depth of Discharge (DOD) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถบ่งชี้ค่า State of Charge ได้ โดยค่า DOD เป็นส่วนกลับของค่า SOC ส่วนหน่วยของ DOD สามารถเป็นได้ทั้ง % และ Ah (0 Ah, 0 % = Full; 50 Ah, 100 % = Empty)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1.3 State of Health (SOH) คือ จำนวนที่ใช้ในการแสดงสมรรถนะของสถานะของแบตเตอรี่ เปรียบเทียบกับสถานะในอุดมคติโดย 100% คือ สถานะของแบตเตอรี่ที่ตรงกับสเปคของแบตเตอรี่ โดยทั่วไปแล้ว SOH ของแบตเตอรี่ จะเป็น 100% เมื่อถูกผลิตออกมาและจะลดลงตามเวลา ซึ่งจะมีแผนผังการทำงานของเทคนิคการนับประจุเป็นดังรูปที่ 2.41



รูปที่ 2.41 แผนผังการทำงานของเทคนิคการนับประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 วงจรป้องกันกระแสเกิน

วงจรป้องกันจะทำหน้าที่ในการควบคุมการจ่ายไฟจากเครื่องอัดประจุไปยังแบตเตอรี่ และทำการลดกระแสหากมีการไหลของกระแสที่มากเกินไปซึ่งอาจเกิดจากความผิดพลาดในระบบโดยจะใช้ทรานซิสเตอร์มาต่อกันเป็นวงจรป้องกันกระแสเกินดังรูปที่ 2.42

การคำนวณทรานซิสเตอร์และค่าความต้านทาน

ทรานซิสเตอร์เป็นสวิทช์กำลังที่ควบคุมด้วยกระแส (Current-Control) โดยที่ทรานซิสเตอร์กำลังจะต้องการกระแสเบสป้อนเข้าหาเบสตลอดเวลาที่นำกระแส โดยในวงจรที่จะนำมาใช้นั้นจะต้องมีการคำนวณค่าความต้านทาน $R1$ ที่ทำหน้าที่เป็นค่าความต้านทานตรวจสอบกระแสที่กำลังไหลผ่าน $Q1$ อยู่ในขณะนั้น โดยแรงดันของ $R1$ จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีกระแสไหลผ่าน $Q1$ มากขึ้น และหากวีแรงดันที่ $R1$ มากถึง $0.65V$ ก็จะเป็นการทำให้ $Q2$ ทำงานซึ่งจะเป็นการทำให้กระแสที่ไหลไปที่ขาเบสของ $Q1$ น้อยลงส่งผลให้กระแสที่ไหลผ่านขาคอลเลคเตอร์ของ $Q1$ ลดลงและคงให้แรงดันที่ $R1$ อยู่ที่ประมาณ $0.7V$ วงจรนี้จะทำหน้าที่เหมือนสวิทช์ตรวจจับที่ไหลไม่พยายามจะดึงกระแสมากเกินไป



รูปที่ 2.42 วงจรป้องกันกระแสเกินด้วยทรานซิสเตอร์

2.8.3 วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่

2.8.3.1 การอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ (Constant Current Charging)

การอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่นับว่าเป็นการอัดประจุไฟฟ้าที่ใช้ระยะเวลาในการอัดประจุน้อยกว่าแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ เพราะการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่จะถูกจำกัดปริมาณการอัดประจุของกระแสไฟฟ้าจากเครื่องอัดประจุเข้าวงจรแบตเตอรี่เป็นจำนวนแอมแปร์ชั่วโมง ดังนั้นแบตเตอรี่จะได้รับกระแสไฟฟ้าในการอัดประจุเป็นไปตามที่กำหนด ถ้ากระแสไฟฟ้าที่อัดประจุมีค่าสูงขึ้น จะทำให้เวลาในการอัดประจุน้อยลง แต่หากกระแสไฟฟ้าในการอัดประจุมากเกินไปก็จะเกิดความเสียหายขึ้นกับตัวแบตเตอรี่นั่นคือความร้อนที่เกิดขึ้นภายในตัวแบตเตอรี่จะสูงขึ้นตามปริมาณของกระแสที่อัดประจุ และในที่สุดแผ่นธาตุของแบตเตอรี่ที่เป็นวัสดุแอคทีฟ (Active Material) ของเซลล์แบตเตอรี่จะเกิดการคดงอแตกหรือเกิดรอยร้าวอันเนื่องมาจากความร้อนนี้ และถ้าเซลล์แบตเตอรี่เกิดความร้อนสูงกว่าปกติมาก จะทำให้เซลล์ของแบตเตอรี่เกิดการระเบิดได้ ข้อดีของการอัดประจุแบบกระแสคงที่คือ จะทำให้เซลล์ทุกเซลล์ในชุดของแบตเตอรี่ในกรณีต่อแบตเตอรี่หลาย ๆ เซลล์เข้าด้วยกันได้รับการอัดประจุกระแสไฟฟ้าในสัดส่วนที่เท่า ๆ กันในทุก ๆ เซลล์ตลอดชุดของแบตเตอรี่ ซึ่งในการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ทำให้การคำนวณหาความจุของแบตเตอรี่ง่ายและสะดวก เช่น แบตเตอรี่ที่มีความจุขนาด 35 แอมป์ชั่วโมง ต้องการอัดประจุในเวลา 5 ชั่วโมง จะต้องใช้กระแสไฟฟ้าในการอัดประจุเท่ากับ 7 แอมป์

2.8.3.2 การอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Voltage)

การอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ใช้เวลาในการอัดประจุมากกว่าการอัดประจุแบบกระแสคงที่ ระยะเวลาในการอัดประจุนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องอัดประจุว่าจะจ่ายกระแสไฟฟ้าออกมาถึงวงจรแบตเตอรี่ได้มากน้อยเพียงใด โดยทั่วไปเครื่องอัดประจุจะต้องจ่ายกระแสไฟฟ้าออกมาได้มากกว่า 50% ของค่าความจุของแบตเตอรี่ที่นำมาทำการอัดประจุแต่ในการอัดประจุจะต้องมีการจำกัดกระแสไฟฟ้าเพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินจนทำให้แบตเตอรี่เสื่อมด้วย การอัดประจุแบตเตอรี่โดยระบบแรงดันคงที่ทำได้โดยการใช้เครื่องอัดประจุเป็นตัวกำเนิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นมาแล้วป้อนเข้าแบตเตอรี่ แต่การกำเนิดแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องอัดประจุอาจมีแรงดันไฟฟ้าไม่คงที่ตลอดเวลา จึงจำเป็นต้องมีตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ เรียกว่า วงจรเร็กกูเลเตอร์แรงดัน (Voltage Regulator) หากวงจรเร็กกูเลเตอร์เสียหายจะทำให้แบตเตอรี่ได้รับแรงดันที่ไม่ถูกต้องและอาจทำให้แบตเตอรี่ได้รับความเสียหายได้ การตั้งวงจรเร็กกูเลเตอร์ว่ามีค่าแรงดันเท่าใดนั้นจะต้องดูจากคู่มือของแบตเตอรี่ชนิดนั้น ๆ เป็นหลัก ในกรณีที่ไม่มีหนังสือข้อมูลให้ใช้หลักการดังนี้ คือ ให้ใช้จำนวนแรงดันไฟฟ้าในการอัดประจุต่อเซลล์คูณด้วยจำนวนเซลล์ของแบตเตอรี่ที่ทำการอัดประจุ เช่น แบตเตอรี่ 24 เซลล์จะปรับแรงดันไฟฟ้าของเครื่องอัดประจุเท่ากับ 2.3×24 เท่ากับ 56 โวลต์ ขณะที่ทำการอัดประจุปกติ

2.8.3.3 การอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Current -Constant Voltage)

วิธีนี้บางที่เรียกว่าแบบสองขั้นตอน (Two-Step) หรือแบบสองอัตรา (Two-Rate) เกิดจากการนำข้อดีของสองวิธีมารวมกัน คือการอัดประจุแบบกระแสคงที่และการอัดประจุแบบแรงดันคงที่ โดยกระบวนการอัดประจุ จะแบ่งเป็น 2 ระยะ คือ

ระยะที่ 1: การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าเต็มที่ (Current Limit) จนเซลล์แบตเตอรี่ได้ค่าความต่างศักย์ที่กำหนดไว้ (ใกล้เต็ม) ระยะนี้เหมือนเป็นการอัดประจุในอัตราเร่ง

ระยะที่ 2: การอัดประจุให้เซลล์แบตเตอรี่แต่ละเซลล์ถึงระดับความต่างศักย์สูงสุด (Maximum Voltage Limit) คล้าย ๆ กับการค่อย ๆ เติมประจุ ในระยะนี้กระแสไฟฟ้าของเครื่องอัดประจุที่เข้าเซลล์จะลดลง และจะตัดการอัดประจุเมื่อกระแสไฟฟ้าต่ำกว่า 3% ของอัตราระแสเฉลี่ย

2.8.4 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน (Lithium-ion)

แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน เป็นแบตเตอรี่ที่มีความหนาแน่นของพลังงานสูง มีน้ำหนักเบาเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ในการใช้งานแบตเตอรี่ชนิดนี้ยังมีความปลอดภัยอีกด้วย เนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดนี้มีวงจรป้องกัน (Protection Circuit) ในการจำกัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในขณะอัดประจุไฟฟ้าและคายประจุไฟฟ้า โดยวงจรป้องกันจะจำกัดค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละเซลล์ขณะอัดประจุไฟฟ้าและป้องกันไม่ให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบอุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่ไม่ให้สูงเกินไปอีกด้วย คุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือมีความหนาแน่นของพลังงานสูงเป็นแบตเตอรี่ที่มีการดูแลรักษาดี ไม่มี Memory Effect นอกจากนี้ยังมีผลของการคายประจุด้วยตนเอง (Self-Discharge) ต่ำอีกด้วย

ด้านการเก็บรักษาแบตเตอรี่ควรเก็บรักษาในสถานที่ที่มีอุณหภูมิต่ำเพื่อยืดอายุการใช้งาน นอกจากนี้ควรคายประจุออกจากแบตเตอรี่ให้เหลือประมาณ 40% เนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดนี้มีปัญหาด้านอายุการใช้งานถึงแม้ว่าจะไม่ได้ใช้งานก็ตาม โดยจะเริ่มเสื่อมสภาพหลังจากการใช้งานไปแล้วประมาณ 1 ปี และแบตเตอรี่จะเริ่มเสื่อมสภาพภายใน 2-3 ปี แบตเตอรี่ชนิดนี้ส่วนใหญ่ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก และโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น

สาเหตุการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมนั้นได้แก่ การใช้งานแบตเตอรี่จนถึงจำนวนไซเคิลที่แบตเตอรี่จะเริ่มเสื่อมสภาพเองตามปกติ หรือแบตเตอรี่จะเริ่มเสื่อมสภาพเอง เมื่อถึงเวลาที่แบตเตอรี่เสื่อม โดยเวลาที่ว่าเป็นเวลาที่นับตั้งแต่การผลิต ไม่ใช่เวลาในการใช้งาน นอกจากนี้อุณหภูมิของแบตเตอรี่ก็ถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ ถ้าแบตเตอรี่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิสูงก็จะส่งผลให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วกว่าปกติได้



รูปที่ 2.43 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (Lithium-ion)

2.9 สรุป

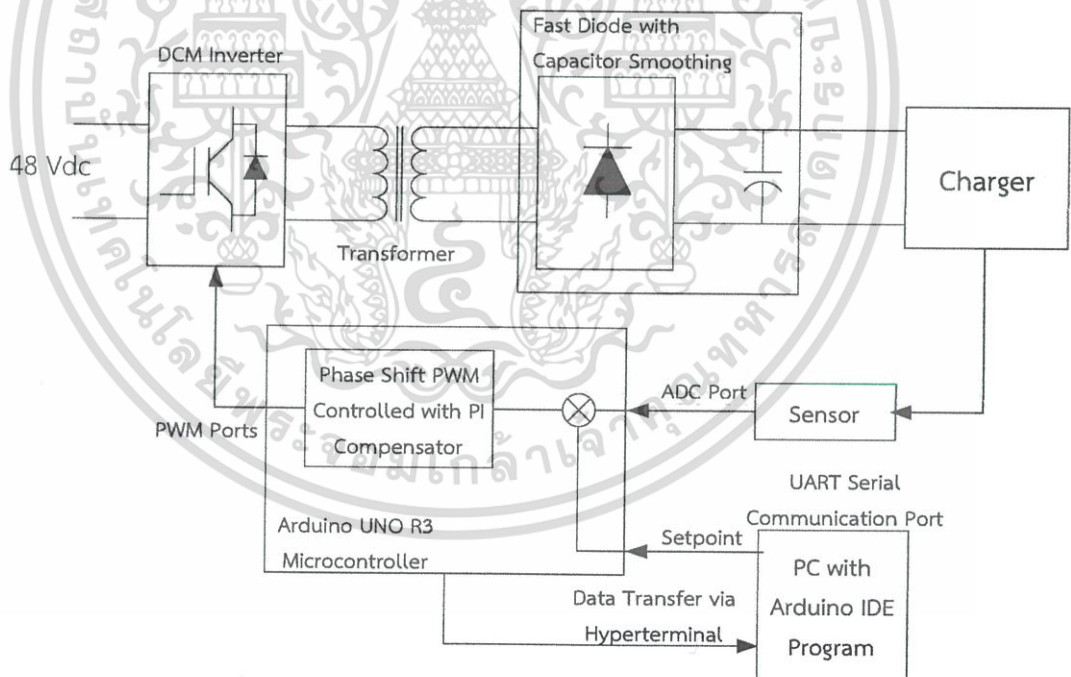
ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีและการทำงานของระบบการแปลงกำลังไฟฟ้าที่จะนำมาใช้ในเครื่องอัดประจุ ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงในส่วนของหลักการออกแบบอินเวอร์เตอร์หม้อแปลงและวงจรเรียงกระแส มีการศึกษาผลของอุปกรณ์แต่ละชนิดที่มีผลต่อวงจรเพื่อนำมาหาอุปกรณ์ที่เหมาะสมและนำมาเป็นหลักในการพิจารณาเลือกอุปกรณ์ที่จะนำมาพัฒนาเครื่องอัดประจุเพื่อใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้เป็นกรณีศึกษา โดยในปริญญาโทฉบับนี้ได้มีการพัฒนาในส่วนของหม้อแปลงและอินเวอร์เตอร์ โดยข้อดีของระบบนี้คือสามารถลดขนาดหม้อแปลงและการใช้แกนโดยจะมีการเปลี่ยนจากหม้อแปลงแกนเฟอไรต์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นหม้อแปลงแกนเฟอไรต์ทรงกระบอก โดยจะให้อินเวอร์เตอร์ทำงานที่ความถี่สูงเพื่อส่งกำลังผ่านหม้อแปลงแกนเฟอไรต์ทรงกระบอกจึงเป็นการลดต้นทุนในส่วนของหม้อแปลง และหากมีการใช้งานที่ความถี่สูงมากพอก็จะเป็นการลดขนาดของอุปกรณ์ได้อีกด้วย ส่วนในด้านเทคนิค การออกแบบและการสร้างวงจรตรวจสอบจะนำเสนอในบทที่ 3 ต่อไป

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

3.1 บทนำ

ในปัจจุบันนี้มีการใช้งานเครื่องอัดประจุใช้กันอย่างแพร่หลาย นับได้ว่าเครื่องอัดประจุได้เข้ามามีบทบาทอย่างมาก แต่เครื่องอัดประจุที่ใช้กันอยู่นั้นไม่ได้สร้างมาเพื่อรองรับกับการใช้งานใน DC Micro Grid ซึ่งมีแนวโน้มในการนำมาใช้งานจริงมากขึ้นในอนาคต เนื่องจากสังคมเริ่มให้ความสนใจในการหาพลังงานทดแทนมาใช้เพื่อลดปัญหาพลังงานขาดแคลนที่กำลังเกิดขึ้นในปัจจุบัน โดยในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบวงจรสวิตซ์ซึ่งความถี่สูง (25 kHz) เพื่อทำการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงและทำการส่งกำลังผ่านหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ หลังจากนั้นจึงออกแบบหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์เพื่อนำไปใช้กับวงจรสวิตซ์ซึ่ง โดยในส่วนของหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์จะช่วยในการลดการอาร์ค และป้องกันการลัดวงจร จึงเป็นการป้องกันอุปกรณ์เกิดการเสียหายและอันตรายต่อผู้ใช้งาน



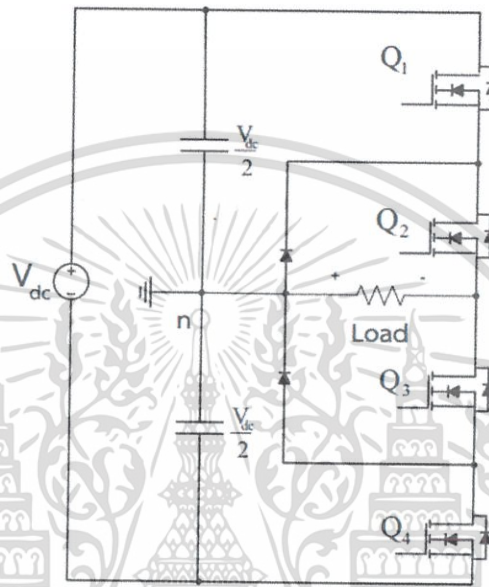
รูปที่ 3.1 วงจรกำลังที่ใช้ในการอัดประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบวงจรกำลัง

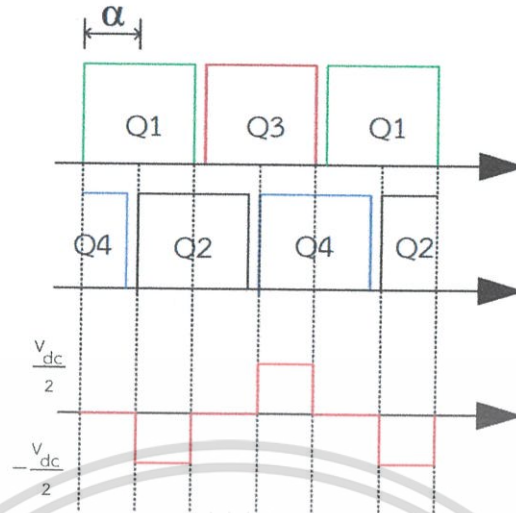
3.2.1 วงจรกำลังด้านปฏุมภูมิ

ในการออกแบบวงจรนี้เลือกใช้ Diode Clamped Multilevel Inverter เป็นตัวสวิตซ์ซึ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจาก DC Micro Grid ให้มีความถี่สูง (25 kHz) เพื่อส่งผ่านกำลังไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ -



รูปที่ 3.2 วงจร Diode Clamped Multilevel Inverter

ซึ่งวงจรนี้มีข้อดีคือ แรงดันตกคร่อมสวิตซ์เพียง $\frac{V_{dc}}{2}$ มีแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ $\frac{V_{dc}}{2}$ ซึ่งเหมาะสำหรับวงจรการใช้งาน เพราะต้องการลดระดับแรงดันลงมา เพื่อให้หม้อแปลงมีขนาดเล็กลง อีกทั้งวงจรนี้ต้องการแรงดันเอาต์พุตที่ $5 V_{dc}$ ทำให้สามารถปรับลดแรงดันลงมาได้ง่ายขึ้น และการควบคุมแรงดันสามารถปรับค่าแรงดันได้ด้วยการเลื่อนมุม Phase Shift Angle โดยมี Pattern Switch ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 Pattern Switch ที่ใช้ใน Diode Clamped Multilevel Inverter

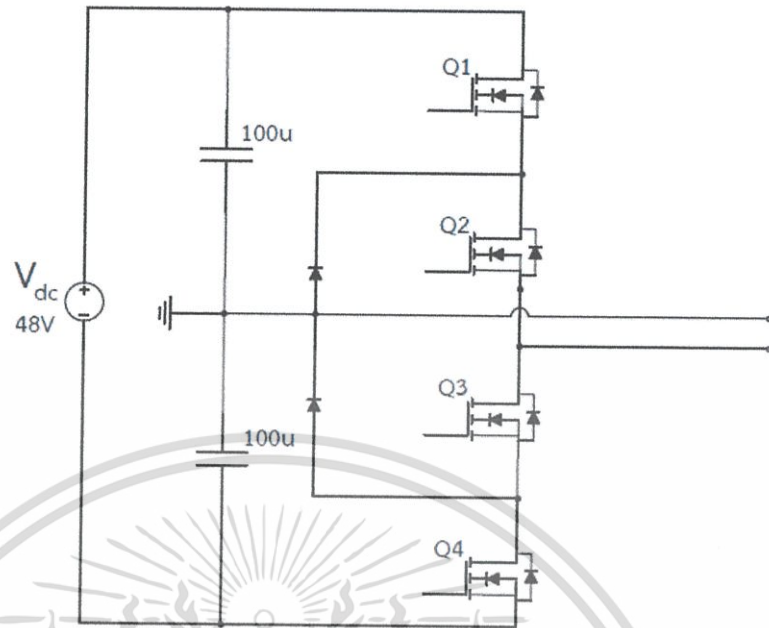
จาก Pattern Switch จะเห็นได้ว่า เมื่อสวิตช์ Q_1 และ Q_2 ทำงานจะทำให้แรงดันมีค่าเท่ากับ $-\frac{V_{dc}}{2}$ เมื่อสวิตช์ Q_3 และ Q_4 ทำงานจะทำให้แรงดันมีค่าเท่ากับ $\frac{V_{dc}}{2}$ เมื่อ Q_2 และ Q_3 ทำงานจะทำให้แรงดันมีค่าเท่ากับศูนย์ เมื่อ Q_1 และ Q_4 ทำงานจะทำให้แรงดันมีค่าเท่ากับศูนย์ โดย 2 ลูกคลื่นนี้สามารถปรับแรงดันโดยการเลื่อน Phase Shift Angle (α) ตั้งแต่ $0 - 180^\circ$ โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างมุม α และแรงดันด้านออกดังสมการ

$$V_{rms} = \frac{V_{dc}}{2} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi}} \quad (3.1)$$

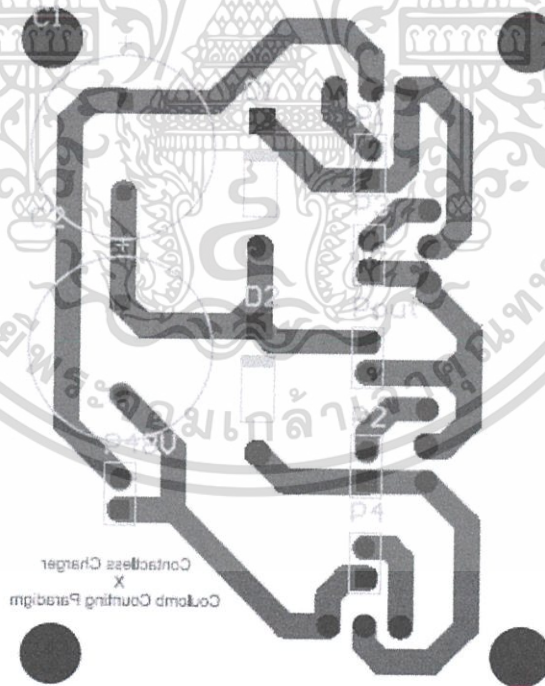
ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างวงจรกำลังในส่วนปฐมนุ้มนั้นประกอบด้วย

- Capacitor ขนาด 1000 μF , 35V
- Fast Recovery Diode ชนิด MUR 4209873
- Mosfet เบอร์ FQP 630

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

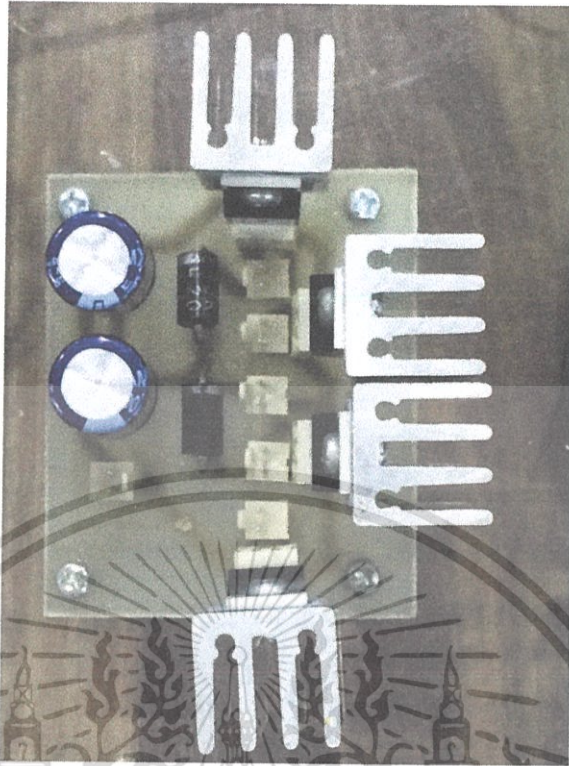


รูปที่ 3.4 โครงสร้างของวงจรกำลังด้านป้อน



รูปที่ 3.5 ลายวงจรวงจรกำลังด้านป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

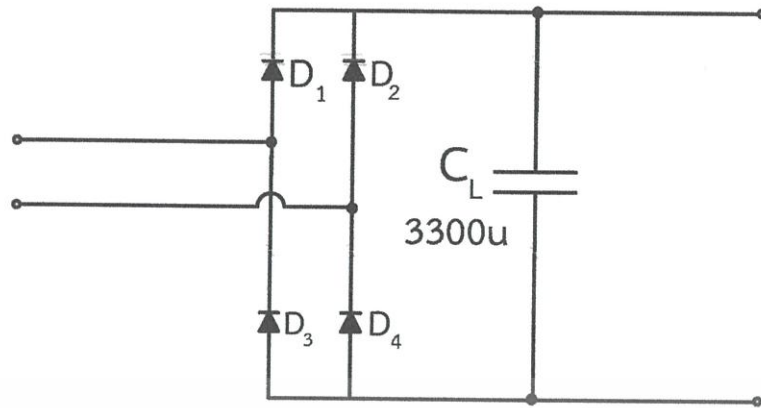


รูปที่ 3.6 วงจรกำลังด้านปฐมภูมิที่สร้างขึ้น

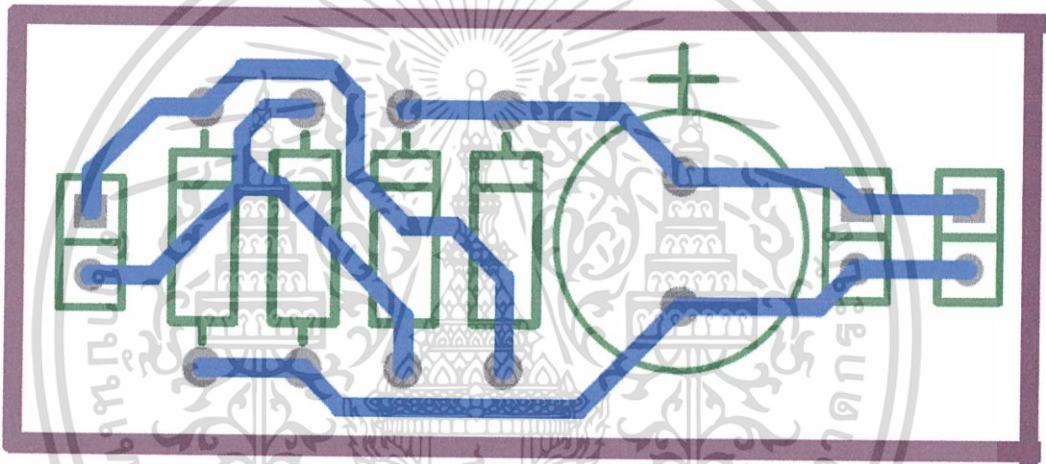
3.2.2 วงจรกำลังด้านทุติยภูมิ

เมื่อส่งกำลังผ่านหม้อแปลงจากทางด้านปฐมภูมิมาทางด้านทุติยภูมิแล้วจะเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้นจึงต้องมีการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้บริดจ์ไดโอด (Bridge Diode) ในการแปลงไฟฟ้าให้เป็นกระแสตรงเพื่อนำไปใช้อัดประจุของแบตเตอรี่สมาร์ตโฟน ซึ่งจะมี Capacitor ต่อขนานกับวงจรเพื่อทำให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่เรียบขึ้น โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างวงจรกำลังในส่วนทุติยภูมินี้ประกอบด้วย

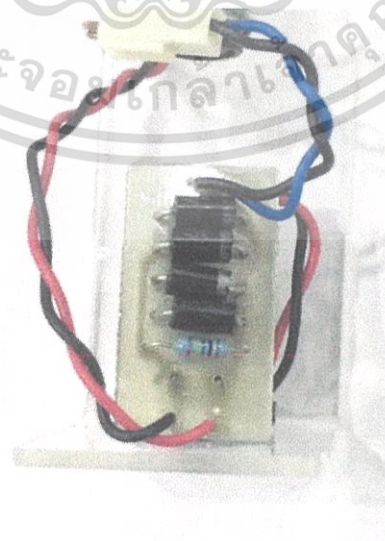
- Fast Recovery Diode ชนิด FR207
- Capacitor ขนาด 3300 μF , 6.3 V



รูปที่ 3.7 โครงสร้างของวงจรกำลังด้านทฤษฎี



รูปที่ 3.8 ลายวงจรกำลังด้านทฤษฎี

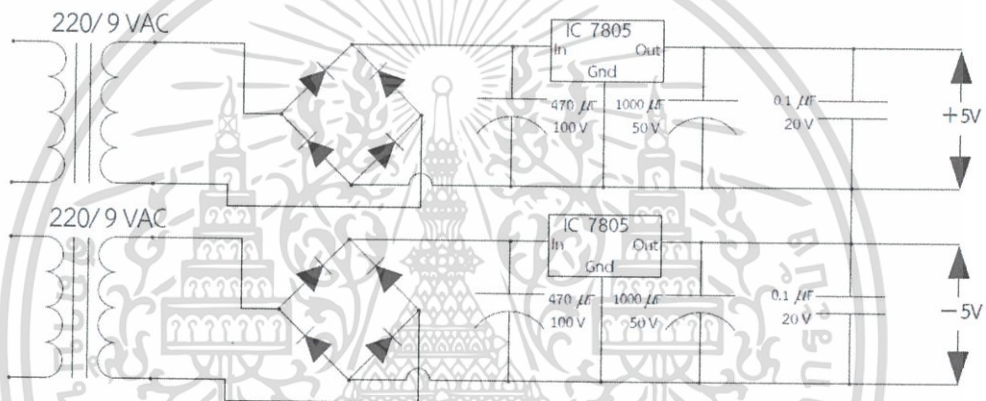


รูปที่ 3.9 วงจรกำลังด้านทฤษฎีที่สร้างขึ้น

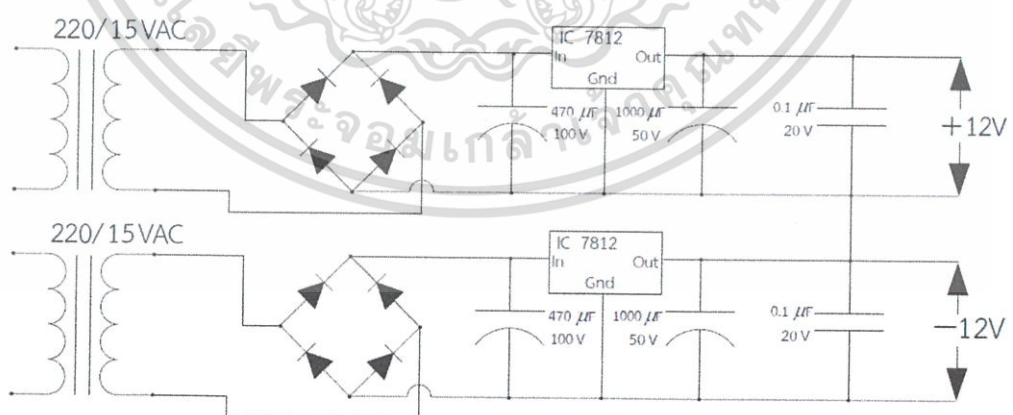
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงของวงจร

ส่วนของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงจะใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง $\pm 5V$, $\pm 12V$ และ $\pm 15V$ โดยในการสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงนั้น จะใช้หม้อแปลงแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220V เป็น 9V และ 15V จากนั้นใช้วงจรเรียงกระแส (Bridge Rectifier) แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและต่อตัวเก็บประจุเข้าไปทั้งด้านหน้าและด้านหลังของไอซีรักษาระดับแรงดัน (Voltage Regulator) เพื่อให้การกระเพื่อมของแรงดัน (Ripple) ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 3.10, 3.11, 3.12 ซึ่งไอซีรักษาระดับแรงดันจะใช้เพื่อรักษาค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกมีค่าคงที่ตลอดเวลา เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงเหล่านี้จะต้องไปจ่ายให้กับพวกไอซีต่าง ๆ ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าสูง โดยจะใช้ไอซีรักษาแรงดันเบอร์ 7805, 7812 และ 7820

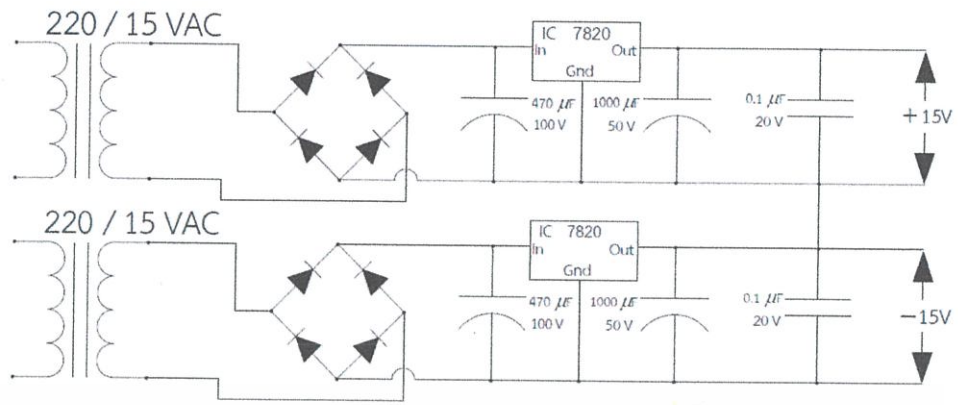


รูปที่ 3.10 โครงสร้างวงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง 5 V

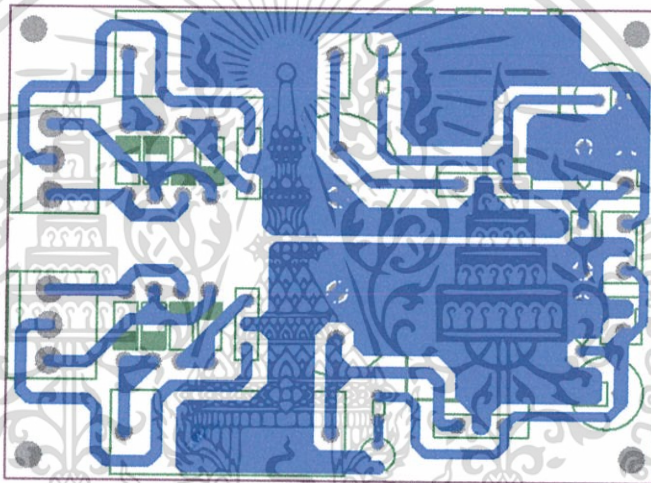


รูปที่ 3.11 โครงสร้างวงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง 12 V

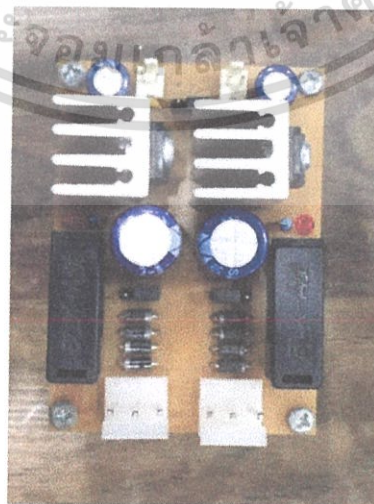
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 โครงสร้างวงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง 15 V



รูปที่ 3.13 ลายวงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงของวงจร



รูปที่ 3.14 วงจรไฟเลี้ยงที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

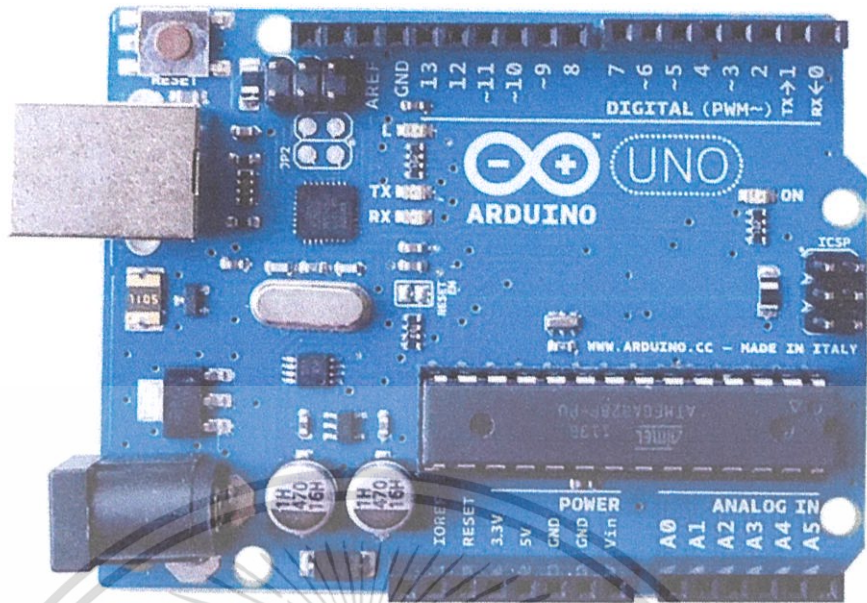
3.3 การออกแบบวงจรควบคุม

3.3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

สำหรับปริญญาโทนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสร้างสัญญาณ PWM จำนวน 2 สัญญาณโดยสามารถเลื่อน Phase Shift Angle (α) ตั้งแต่ 0–180 เพื่อปรับขนาดแรงดันเอาต์พุตที่ออกจาก DCM โปรแกรมที่เลือกใช้ในการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้โปรแกรมภาษาซี เนื่องจากเป็นภาษาที่พัฒนาง่ายและเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายเมื่อเปรียบเทียบกับภาษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์อื่น ๆ ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์นี้จะทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานและประมวลผลเพื่อสั่งการให้แก่อุปกรณ์ต่าง ๆ ในวงจร สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกใช้ จะเลือกใช้ Arduino Uno R3 ดังรูปที่ 3.15 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR โดยมีคุณสมบัติดังนี้

- ATmega328 Microcontroller
- Input Voltage - 7-12V
- 14 Digital I/O Pins (6 PWM Outputs)
- 6 Analog Inputs
- 32KB Flash Memory (0.5KB for Boot Loader)
- 2KB SRAM
- 1KB EEPROM
- 16Mhz Clock Speed

เขียนโปรแกรมบนซอฟต์แวร์ Arduino IDE และโปรแกรมผ่านพอร์ต USB ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัวบอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่าง ๆ สามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ดได้โดยตรง ซึ่งในปริญญาโทนี้ จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งหมด 2 ตัว ได้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้กำเนิดสัญญาณ Phase Shift PWM และไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ควบคุมการนับประจุ และแสดงผลทางหน้าจอแสดงผล (OLED LCD) ดังรูปที่ 3.16



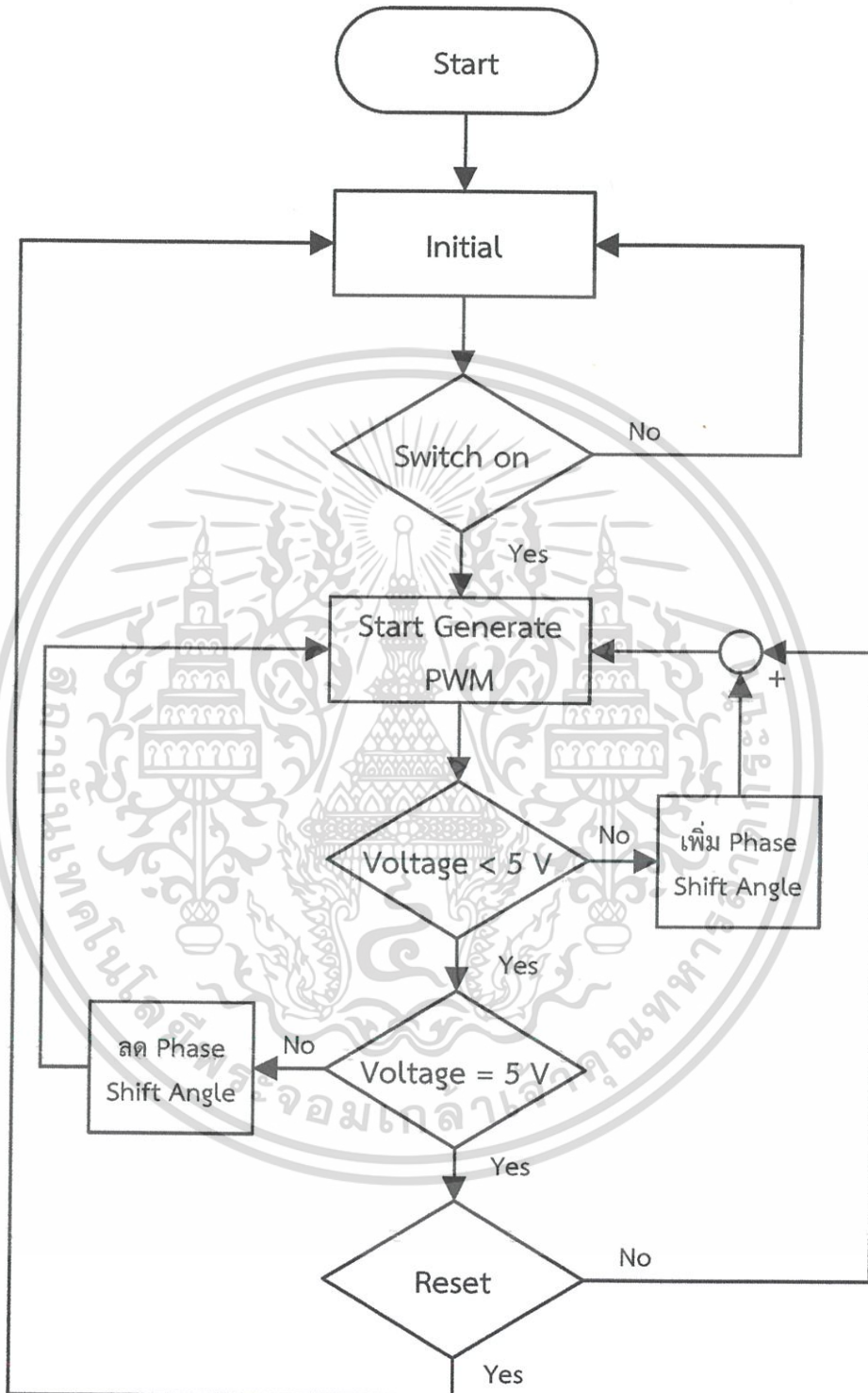
รูปที่ 3.15 ไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.16 จอแสดงผล (OLED LCD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งกระบวนการเขียนโปรแกรมจะทำตามบล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 3.17

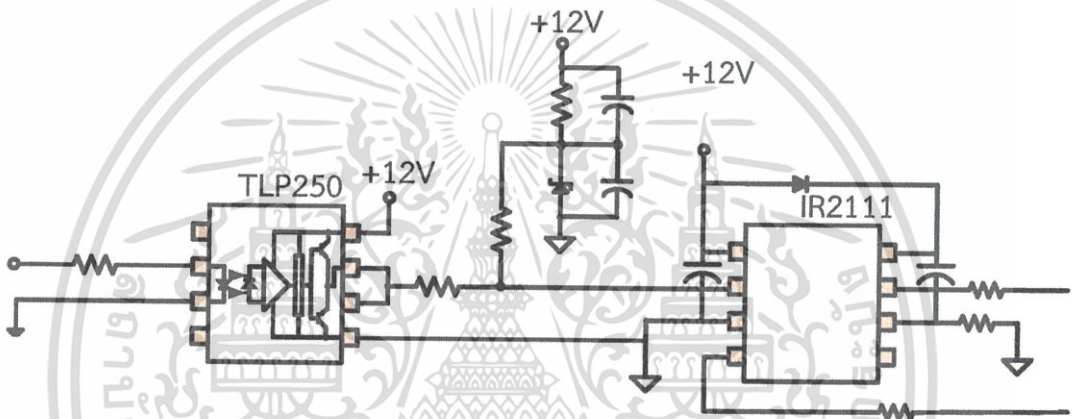


รูปที่ 3.17 แผนผังการทำงานของส่วนควบคุม

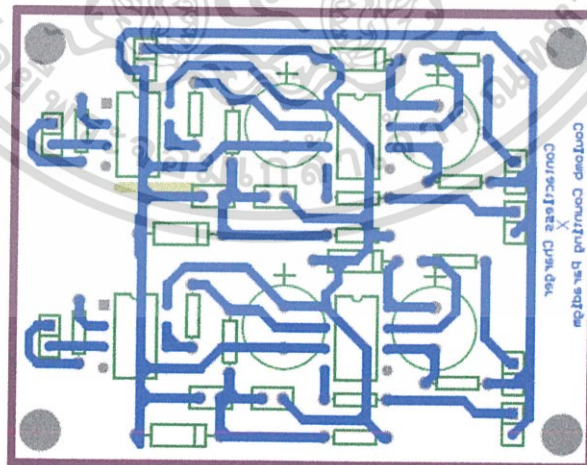
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 วงจร Half-Bridge Driver

วงจรมีหน้าที่รับสัญญาณ PWM จากไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วทำการอินเวอร์สสัญญาณและปรับเคตใหม่ โดยรับสัญญาณอินพุตจากไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าไอซี TLP250 เพื่อแยกกราวด์ไฟ 5V และไฟ 12V ออกจากกันเพื่อป้องกันการรบกวนไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานผิดพลาด โดยสัญญาณเอาต์พุตจาก TLP250 ถูกต่อเข้าไอซี IR2111 ซึ่งเป็นไอซี Half-Bridge Driver มีหน้าที่อินเวอร์สสัญญาณและปรับเคตใหม่ โดยมีช่วงเวลาเคตใหม่ 650 ns สัญญาณเอาต์พุตที่ได้เป็น PWM 2 สัญญาณอินเวอร์สกัน เพื่อนำไปเข้าชุดวงจรถับสัญญาณขาเกตต่อไป โดยวงจรมีด้วยกัน 2 ชุด เนื่องจากสัญญาณ PWM จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ต้องการทำการอินเวอร์สมี 2 สัญญาณ

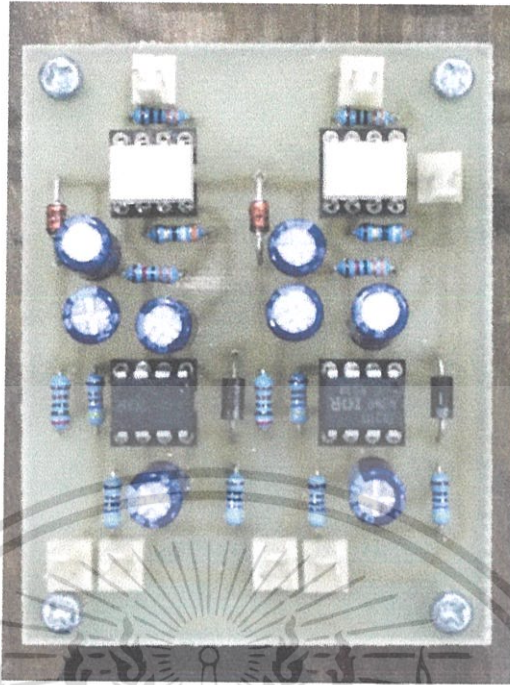


รูปที่ 3.18 วงจร Half-Bridge Driver



รูปที่ 3.19 ลายวงจร Half-Bridge Driver

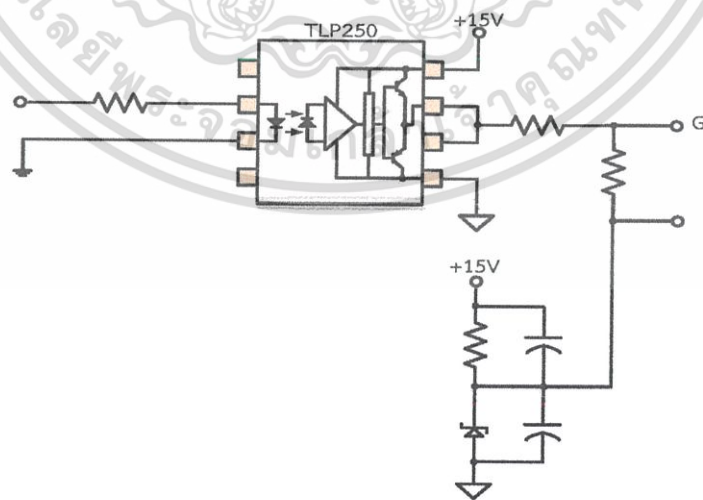
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 วงจร Half-Bridge Driver ที่สร้างขึ้น

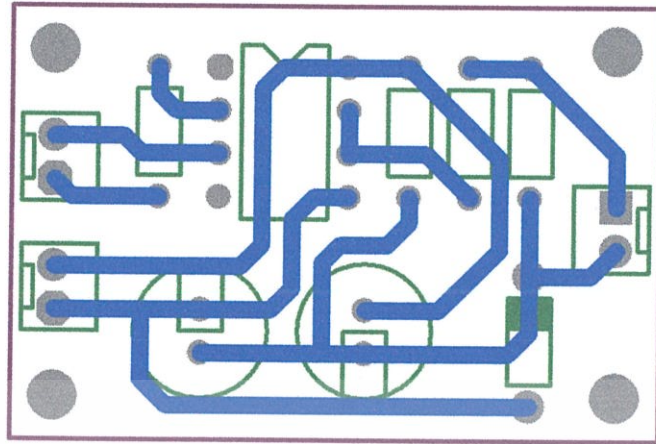
3.3.3 วงจรขับสัญญาณขาเกต

วงจรขับสัญญาณขาเกต (Gate Drive) ทำหน้าที่ในการขยายสัญญาณควบคุมการสวิตช์ซึ่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ให้มีความสูงขึ้น ทั้งยังเป็นอุปกรณ์ในการแยกกราวด์ทางไฟฟ้าระหว่างวงจรควบคุมและวงจรกำลัง ในการออกแบบใช้ IC ชนิด TLP-250 เป็นอุปกรณ์ในการขับสวิตช์



รูปที่ 3.21 โครงสร้างวงจรขับสัญญาณขาเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 ลายวงจรชั้นสัญญาณขาเกต

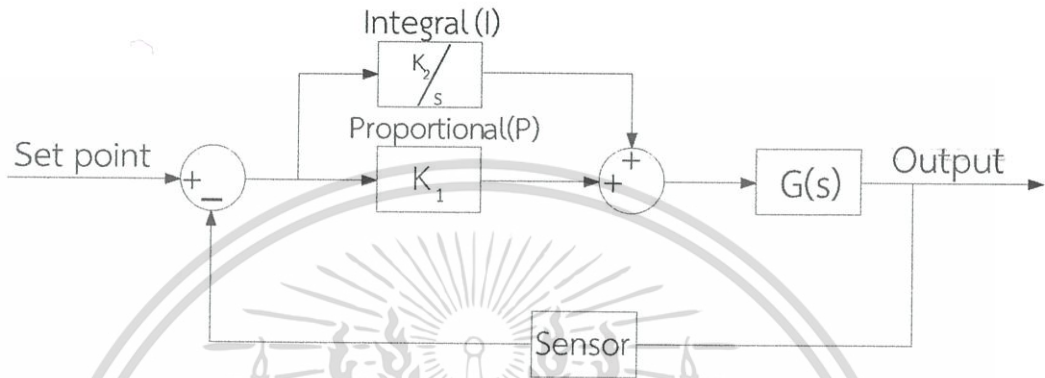


รูปที่ 3.23 วงจรชั้นสัญญาณขาเกตที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

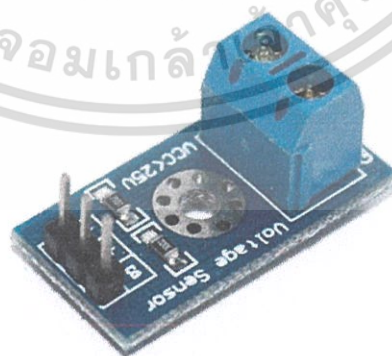
3.4 ระบบควบคุมป้อนกลับ (Feedback Control System)

ในปริณิญาฉบับนี้ จะใช้การควบคุมแบบ PI Control เพื่อคงที่แรงดันเอาต์พุต 5 โวลต์ เพื่อจ่ายกำลังให้กับโหลดในที่นี่คือนำไปชาร์จให้กับแบตเตอรี่ โดยมีหลักการคือวัดแรงดันเอาต์พุต เปรียบเทียบกับค่า Set Point ที่ตั้งไว้จะได้ Error ออกมา ใช้ PI Control ในการปรับมุม Phase Shift angle (α) เพื่อรักษาแรงดันให้คงที่ที่ 5 V ดังบล็อกไดอะแกรมที่แสดงในรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 บล็อกไดอะแกรม PI Control

โดยการตรวจจับแรงดันเอาต์พุตเลือกใช้เซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.25 ใช้กับแรงดัน 0-24 โวลต์สำหรับ Arduino Standard Voltage Sensor Module for Arduino โมดูลนี้ใช้หลักการวัดแรงดันไฟฟ้าแล้วแปลงเป็นสัญญาณ Analog 0-5 V เข้าทางขา AVD ของ Arduino ที่สามารถอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 0-5 โวลต์ออกมาเป็นค่าดิจิทัล 0-1023 โมดูลนี้ใช้วงจรแบ่งแรงดันทำให้สามารถวัดไฟได้สูงสุดถึง 24.9 โวลต์ โดยใช้ไฟเลี้ยงที่ 5 โวลต์ ถ้าบอร์ด Arduino ใช้ไฟเลี้ยงที่ 3.3 โวลต์จะวัดไฟได้สูงสุดที่ 16.5 โวลต์



รูปที่ 3.25 Voltage Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ทรงกระบอก

สำหรับการออกแบบหม้อแปลงนั้น ในขั้นแรกทางผู้จัดทำได้พิจารณาถึงลักษณะรูปทรงของแกนเฟอร์ไรต์ชนิดต่าง ๆ ที่มีรูปทรงเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นเต้ารับ เต้าเสียบ ซึ่งในปัจจุบันแกนเฟอร์ไรต์ในท้องตลาดมีรูปทรงต่าง ๆ มากมายยกตัวอย่างเช่น รูปทรง EE, UU หรือ CC, EI, ETD, PQ, ROD เป็นต้น ซึ่งเมื่อได้พิจารณาถึงรูปทรงของแกนเฟอร์ไรต์แล้ว ทางผู้จัดทำได้ทำการเลือกแกนเฟอร์ไรต์ที่มีรูปทรงแบบทรงกระบอกหรือทรง ROD เนื่องด้วยรูปทรงที่เหมาะสมสำหรับออกแบบเป็นเต้ารับ เต้าเสียบ หลังจากนั้นก็ทำการออกแบบหม้อแปลงโดยใช้วิธีคำนวณแบบผลคูณพื้นที่ (Area Product)

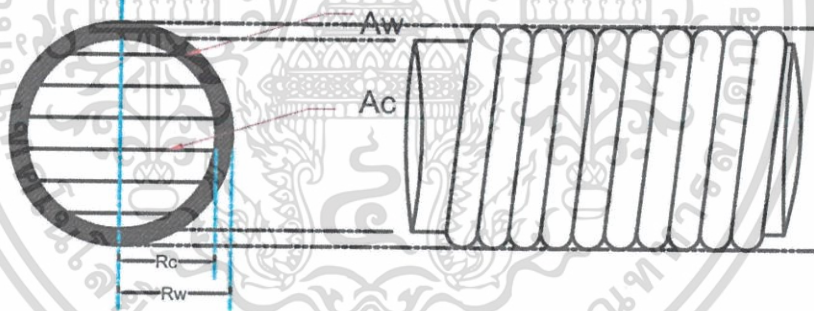
โดยที่

$$A_p = A_c A_w$$

เมื่อ $A_p = \text{Area Product (m}^4\text{)}$

$A_w = \text{พื้นที่ภายในกรอบว่างของแกน (m}^2\text{)}$

$A_c = \text{พื้นที่หน้าตัดของแกน (m}^2\text{)}$



รูปที่ 3.26 ตัวอย่างการนิยามของ A_c และ A_w ของแกนหม้อแปลงชนิด Ferrite Rod

ใช้วิธีการคำนวณแบบ A_p Approach

Target $E_1 = 24 \text{ V}$, $I_2 = 1 \text{ A}$, Turn Ratio = 1.6:1

ใช้รูปคลื่นสัญญาณสี่เหลี่ยมสวิตซ์ซึ่งที่ความถี่ 25 kHz ผ่านหม้อแปลงโดยแกนเฟอร์ไรต์มีความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก (B) 0.1 T และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 mm. ยาว 38.1 mm.

โดยที่

$K_f = 1$ (Square Wave)

$K_f = 1.11$ (Sine Wave)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ Volt Per Turn (E/N) = 0.3

จาก $E = 4k_f f NBA$

$$E/N = 4k_f f BA$$

$$BA = \frac{0.35}{4 \times 25 \times 10^3} = 3 \times 10^{-6} \quad (3.2)$$

จาก $E_1 = 24 \text{ V}$, $I_2 = 1 \text{ A}$, Turn Ratio = 1.6:1

จากสูตร $\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$

แทนค่า $\frac{24}{E_2} = \frac{1.6}{1}$

จะได้ $E_2 = 24/1.6 = 15\text{V}$

จากสูตร $\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$

แทนค่า $\frac{I_1}{1} = \frac{1}{1.6}$

จะได้ $I_1 = 1/1.6 = 0.625 \text{ A}$

กำหนดให้ $J = 4 \text{ A/mm}^2$ ($J = 3.5 - 5 \text{ A/mm}^2$)

ด้าน Primary จาก $I_1 = J \times A_{\text{wire},1}$ ดังนั้น $A_{\text{wire},1} = 0.625/4 \times 10^6 = 0.156 \text{ mm}^2$
มีรัศมี $r = 0.22 \text{ mm}$.

ด้าน Secondary จาก $I_2 = J \times A_{\text{wire},2}$
ดังนั้น $A_{\text{wire},2} = 1/4 \times 10^6 = 0.25 \text{ mm}^2$ มีรัศมี $r = 0.282 \text{ mm}$.

หา Skin Depth

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\mu_0 \omega}} = \sqrt{\frac{2 \times 2 \times 10^{-8}}{(4\pi \times 10^{-7})(2\pi)(25 \times 10^3)}} = 0.45 \text{ mm}$$

จะได้ Skin Depth = 0.45 mm

รัศมี (r) ของขดลวดทองแดง < Skin Depth

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้าน Primary จะใช้ลวด SWG #27 ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.462 mm. มีรัศมี 0.231mm. มีพื้นที่หน้าตัด 0.167 mm^2 จะมีจำนวนเส้นลวด $0.156/0.167 = 0.93$ เส้น
จะได้ประมาณ 1 เส้นในการตีเกลียว นั่นคือ ไม่มีการตีเกลียว

ด้าน Secondary จะใช้ลวด SWG #24 ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.612 mm. มีรัศมี 0.306mm. มีพื้นที่หน้าตัด 0.3 mm^2 จะมีจำนวนเส้นลวด $0.25/0.3 = 0.833$ เส้น
จะได้ประมาณ 1 เส้นในการตีเกลียว นั่นคือ ไม่มีการตีเกลียว

หาจำนวนรอบของหม้อแปลง

$$\text{จากสูตร } N_2 = \frac{E_2}{4 K_f f B_m A_c} = \frac{15}{4(25 \times 10^3)(0.1)(\pi)(4 \times 10^{-3})^2}$$

$$N_2 = 29.84 \text{ รอบ}$$

จะได้ N_2 ประมาณ 30 รอบ จาก Turn Ratio 1.6:1 ทำให้ $N_1 = 1.6 \times 30 = 48$ รอบ

ตรวจสอบ

$$\text{จาก (1); } BA = 3 \times 10^{-6}$$

แกนเฟอร์ไรต์ที่เลือกใช้มีค่า $B = 0.1 \text{ T}$, $r = 4 \text{ mm}$, $A = 50.27 \text{ mm}^2$

$$\text{จะได้ } (BA)_{\text{ferrite}} = 0.1 \times 50.27 \times 10^{-6}$$

$$(BA)_{\text{ferrite}} = 5.027 \times 10^{-6} \text{ ซึ่งมากกว่า } 3 \times 10^{-6}$$

ดังนั้น สามารถใช้แกนเฟอร์ไรต์ที่มี $r = 4 \text{ mm}$ ได้

เมื่อได้ทำการทดลองจริงพบว่าหม้อแปลงที่ออกแบบโดยที่มี $N_1 = 48$ รอบ และ

$N_2 = 30$ รอบ ส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไม่เต็มที่เท่าที่ควร จึงเปลี่ยน Volt per Turn

จาก Volt per Turn = $15/30 = 0.5$ ไปเป็น Volt per Turn = 0.3 ทำให้ได้จำนวนรอบใหม่เป็น

$N_2 = 15/0.3 = 50$ รอบ และ $N_1 = 1.6 \times 50 = 80$ รอบ โดยจะแสดงรายละเอียดในบทที่ 4

3.6 การออกแบบวงจรวัดปริมาณแบตเตอรี่

ในส่วนของวงจรควบคุมการอัดประจุจะมีการทำงานร่วมกันของวงจรป้องกันกระแสเกิน และส่วนควบคุมที่คอยทำหน้าที่ตัดกระแสไฟฟ้าหากอัดประจุจนเต็ม การทำงานในขณะอัดประจุจะมีการต่อไฟที่ใช้อัดผ่านวงจรป้องกันกระแสเกินและรีเลย์ผ่านไปที่ LTC4150 โดย LTC4150 จะทำการแปลงข้อมูลของกระแสที่ไหลผ่านเทียบกับเวลาและได้ค่าออกมาเป็นคูลอมบ์ และเมื่อมีประจุไหลผ่านทุก ๆ 0.614 คูลอมบ์ LTC4150 จะส่งสัญญาณดิจิตอลไปที่ Arduino เพื่อเก็บค่าและแสดงสถานะของแบตเตอรี่ที่ต่ออยู่ผ่านทางจอ OLED เมื่อทำการอัดประจุจนเต็ม Arduino จะทำการจ่ายกระแสไปที่รีเลย์เพื่อตัดไฟฟ้าที่กำลังอัดประจุอยู่ หากต้องการที่จะอัดประจุใหม่สามารถทำได้โดยการรีเซ็ตค่าที่รีเลย์วงจรสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ จะเลือกใช้ ArduinoATmega2560 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล AVR โดยมีคุณสมบัติดังนี้

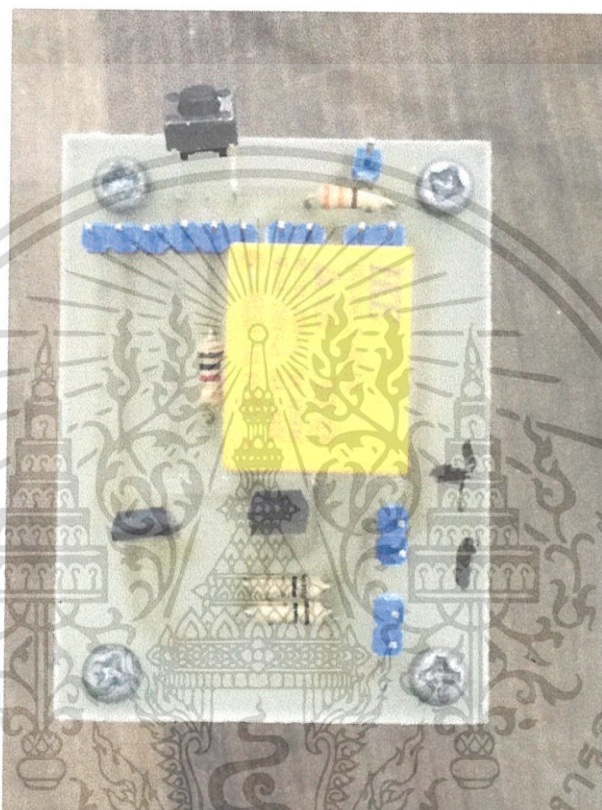
- ATmega2560 Microcontroller
- Input Voltage 7-12V
- 54 Digital I/O pins (15 PWM Output)
- 16 Analog Input
- 256 KB Flash Memory (8KB for Boot Loader)
- 8 KB SRAM
- 4 KB EEPROM
- 16 MHz Clock speed

อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดการอัดประจุมีดังนี้

1. อุปกรณ์ตรวจนับประจุ LTC4150
2. หน่วยประมวลผล ArduinoATmega
3. ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN รหัส KTC3209Y-AT/P
4. รีเลย์ HKE HRS4S
5. จอ OLED

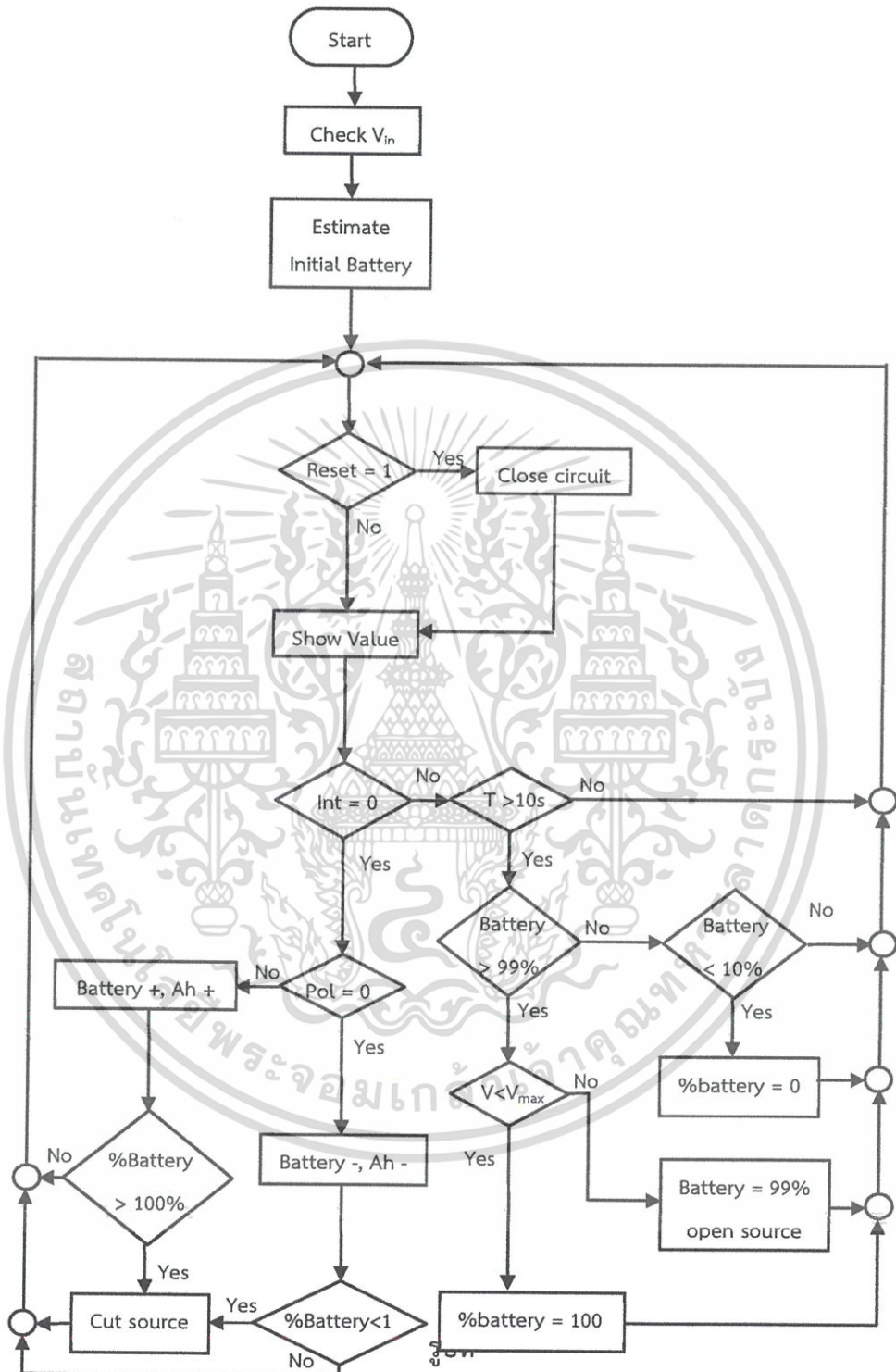
ในรูปที่ 3.27 จะเป็นส่วนของวงจรตัดกระแสและวงจะป้องกันกระแสเกิน โดยจะใช้ในส่วนวงจรป้องกันกระแสเกินเฉพาะในขณะอัดประจุเท่านั้น ในส่วนของรีเลย์จะควบคุมจากสองส่วนคือสวิตซ์ที่ทำหน้าที่รีเซ็ตรีเลย์เพื่อให้กลับมาชาร์จและจากสัญญาณที่ Arduino ส่งมาเพื่อทำการตัดกระแสที่เข้าสู่แบตเตอรี่เมื่อทำการอัดประจุจนเต็มแล้ว

ในส่วนของวงจรควบคุม ตัวนับประจุและจอแสดงผล ทำงานโดยต่อแหล่งจ่ายไฟ จากส่วนของวงจรตัดกระแสและป้องกันแรงดันเกินเข้ามาที่ขาเข้าของตัวนับประจุและต่อขาออกของ ตัวนับประจุเข้ากับแบตเตอรี่ที่ใช้งาน และเมื่อมีประจุไหลผ่านทุก ๆ 0.614 คูลอมบ์ ตัวนับจะส่ง สัญญาณไปที่สวิตช์ประมวลผลเพื่อทำการเก็บค่าและแสดงผลออกมาที่หน้าจอดีแสดงผล



รูปที่ 3.27 วงจรป้องกันกระแสเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



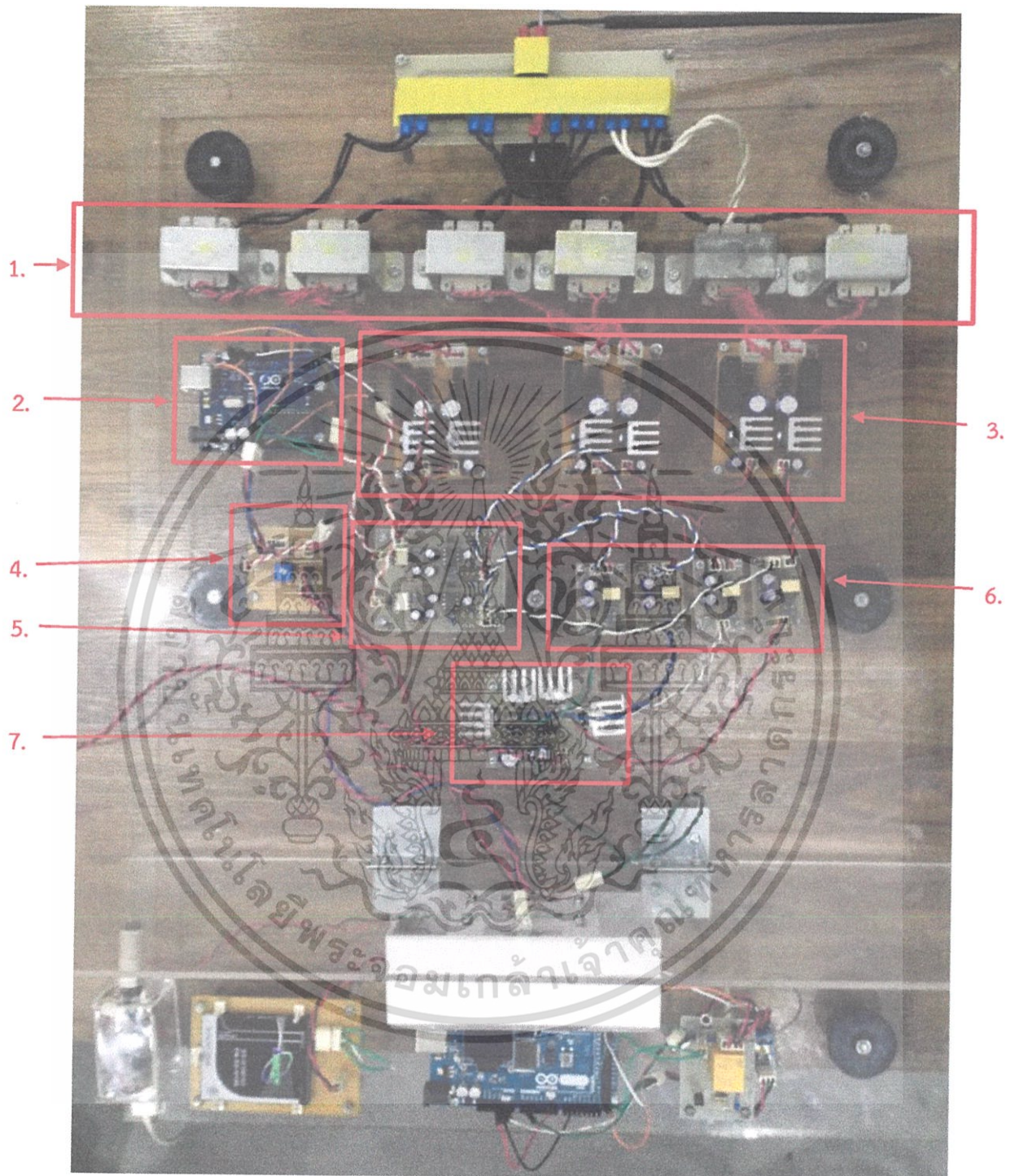
รูปที่ 3.28 แผนผังการทำงานการควบคุมการนับประจุของแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 เครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุสมาร์ตโฟนแบบไร้หน้าสัมผัส

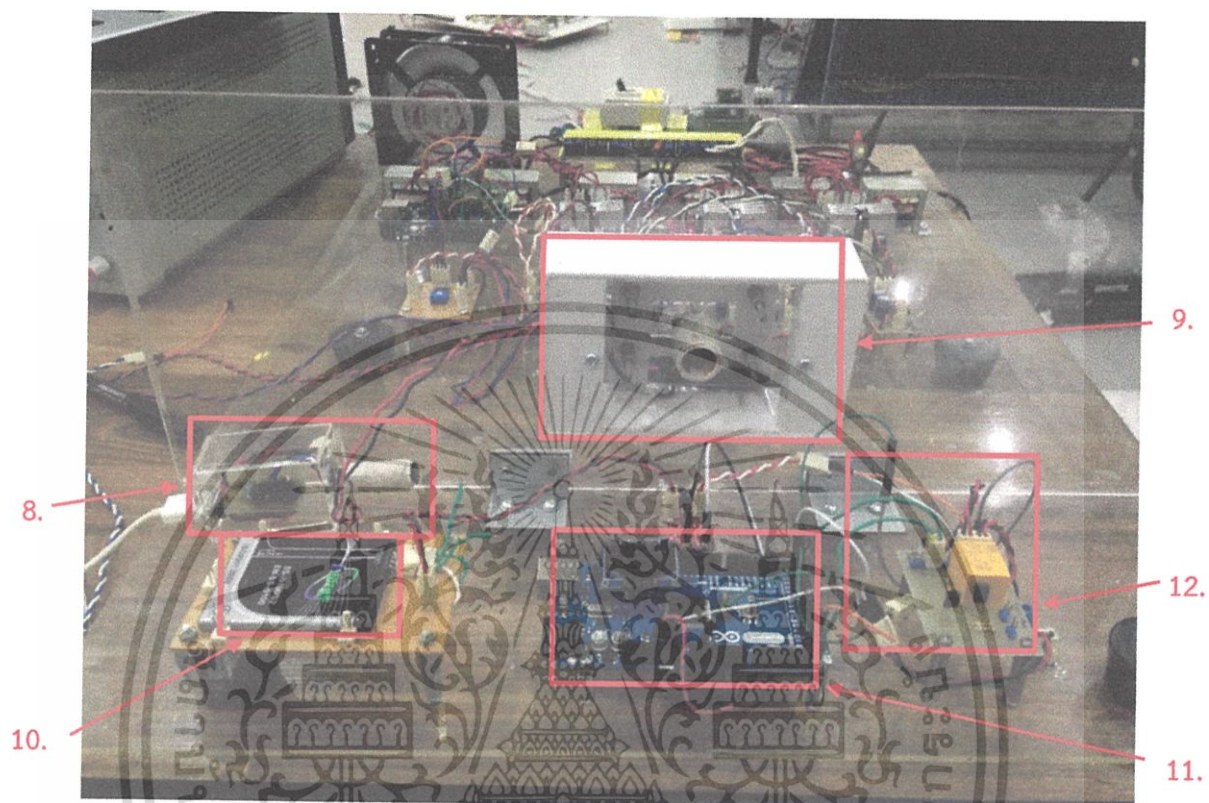
เครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุสมาร์ตโฟนแบบไร้หน้าสัมผัสนี้มีการใช้ Diode Clamp Multilevel Inverter ในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับเพื่อเหนี่ยวนำผ่านหม้อแปลงแกนอากาศแบบไร้หน้าสัมผัส จากนั้นมีการเรียงกระแสให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยมีการควบคุมให้คงแรงดันไว้ที่ 5 โวลต์ เพื่อนำแรงดันดังกล่าวไปใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่ ซึ่งมีการตรวจวัดสถานะการอัดประจุด้วยวิธีการนับประจุด้วย (Coulomb Counting) มีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

1. หม้อแปลง 220/15 V
2. ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมวงจรกำลัง
3. วงจรไฟเลี้ยง
4. จุดปรับค่า Set Point
5. วงจร Half Bridge Driver
6. วงจรขับเคลื่อน
7. วงจรกำลัง
8. เต้าเสียบ (หม้อแปลงด้านทุติยภูมิ)
9. เต้ารับ (หม้อแปลงด้านปฐมภูมิ)
10. แบตเตอรี่
11. ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมวงจรรับประจุ
12. วงจรป้องกันกระแสเกิน



รูปที่ 3.29 ส่วนประกอบเครื่องต้นแบบด้านปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.30 ส่วนประกอบเครื่องต้นแบบด้านทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

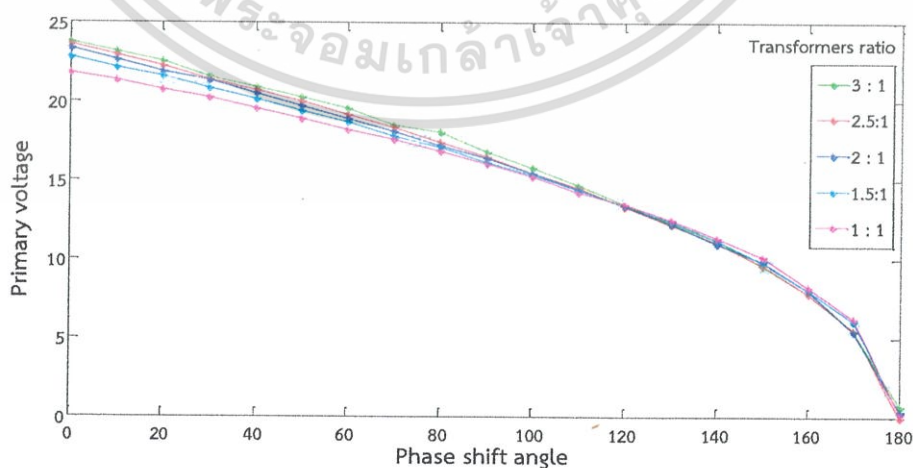
การทดลองและผลการทดลอง

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะเสนอถึงผลการทดสอบการตอบสนองต่อรูปสัญญาณของหม้อแปลงไฟฟ้ารูปแบบต่าง ๆ และทำการเลือกหม้อแปลงชนิดที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดมาทำใช้ รวมถึงการทดสอบวงจรสวิตชิ่งโดยทำการตรวจจับสัญญาณด้านขาออกของวงจรสวิตชิ่งเทียบกับมุมที่ทำการเลื่อนเฟสที่มุมต่าง ๆ รวมถึงการวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากการ Simulation และทำการวาดกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันด้านขาออกเทียบกับมุมที่เลื่อนไป (Phase Shift Angle) รวมถึงการแสดงกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันด้านขาออกเทียบกับแรงดันที่ตัวเซนเซอร์ของวงจรควบคุมแบบป้อนกลับชนิด PI Control ในขณะสถานะที่ไม่มีภาระทางไฟฟ้า และในขณะที่มีภาระทางไฟฟ้า และมีการทดสอบความแม่นยำในการวัดประจุของตัวควบคุมการวัดประจุด้วยวิธีการนับประจุ (Coulomb Counting Paradigm) โดยเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ SOC (State of Charge) ที่หน้าจอของสมาร์ตโฟนและหน้าจอของเครื่องวัดประจุ

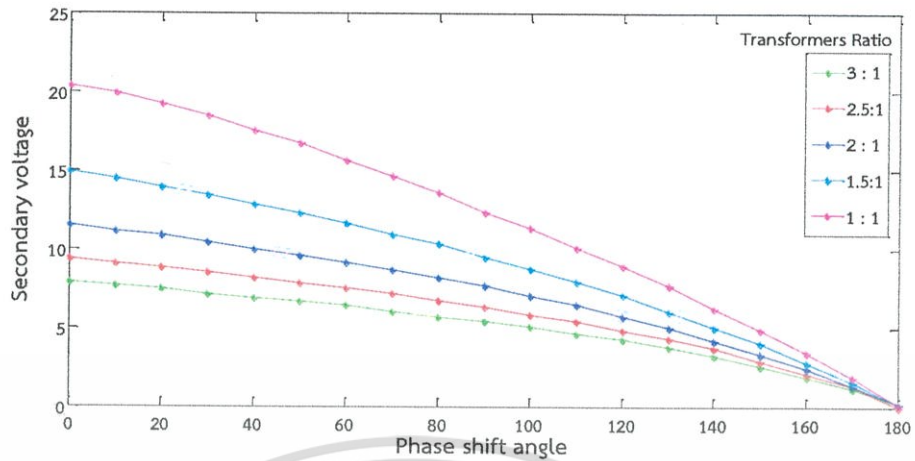
4.2 ผลการจำลองวงจรคอนเวอร์เตอร์ทางคอมพิวเตอร์

การทดลองนี้จะเปรียบเทียบค่าแรงดันด้านปฐมภูมิ แรงดันด้านทุติยภูมิ และแรงดันเอาต์พุตของวงจร Converter ที่ทำการออกแบบ โดยดูจากผลการ Simulation ของหม้อแปลงอัตราส่วน (Turn Ratio) 1:1, 1.5:1, 2:1, 2.5:1, 3:1 จากโปรแกรม Psim 9.0 เพื่อเลือกใช้อัตราส่วนของหม้อแปลงให้เหมาะสมกับการใช้งานในปริยานุพจน์นี้



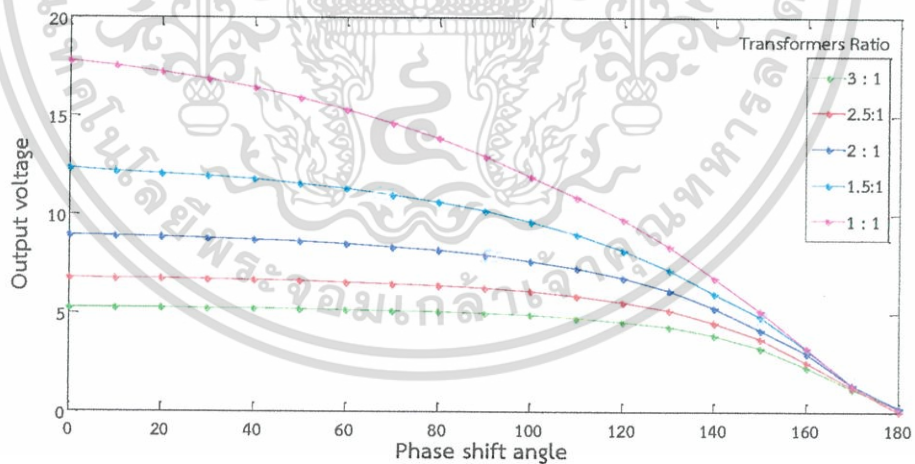
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุม Phase Shift Angle กับแรงดันด้านปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุม Phase Shift Angle กับแรงดันด้านทุติยภูมิ

จากกราฟในรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าแรงดันด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงที่มีอัตราส่วนสูงกว่าจะมีค่าแรงดัน rms ที่มากกว่าหม้อแปลงที่มีอัตราส่วนต่ำกว่า ส่วนในรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นถึงแรงดัน rms ด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงในอัตราส่วนต่าง ๆ



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Phase Shift Angle กับแรงดันขาออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 จะสรุปได้ดังนี้

หม้อแปลงอัตราส่วน 1:1 สามารถปรับได้แรงดันได้ 0 – 18 V

หม้อแปลงอัตราส่วน 1.5:1 สามารถปรับได้แรงดันได้ 0 – 12.3 V

หม้อแปลงอัตราส่วน 2:1 สามารถปรับได้แรงดันได้ 0 – 8.9 V

หม้อแปลงอัตราส่วน 2.5:1 สามารถปรับได้แรงดันได้ 0 – 6.8 V

หม้อแปลงอัตราส่วน 3:1 สามารถปรับได้แรงดันได้ 0 – 5.2 V

เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่จะนำมาใช้อัดประจุอยู่ที่ 5 V ดังนั้นเราจึงเลือกหม้อแปลงที่มีอัตราส่วนอยู่ระหว่าง 1.5:1 และ 2:1 เพราะแรงดันไฟฟ้าที่ได้อยู่ในช่วงที่ใช้งาน

4.3 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

สำหรับการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าจะทำการทดสอบการตอบสนองต่อรูปสัญญาณ แล้วพิจารณาว่าหม้อแปลงไฟฟ้ารูปแบบไหนที่ตอบสนองต่อสัญญาณได้ดีที่สุดโดยทำการต่อเข้ากับ วงจรสวิตซ์ที่มีความถี่ 25 kHz และจ่ายรูปสัญญาณแบบสี่เหลี่ยมแล้วต่อกับโพลขนาด 5 โอห์ม แล้ว พิจารณาการตอบสนองต่อรูปสัญญาณ 2 จุด คือหน้าหม้อแปลงไฟฟ้าและหลังหม้อแปลงไฟฟ้า พร้อมทั้ง ทดหาประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้านั้น ๆ หลังจากนั้นทำการเลือกหม้อแปลงที่ดีที่สุดมาใช้ในการ ส่งผ่านกำลัง โดยทางผู้จัดทำได้จัดทำหม้อแปลงมาในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อหาว่าหม้อแปลงรูปแบบใดมี ความเหมาะสมที่สุดสำหรับใช้เป็นเต้ารับ เต้าเสียบแบบไร้หน้าสัมผัส ซึ่งสำหรับการคำนวณหา ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าสามารถหาได้จากสูตร $Eff = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$ โดยเต้าเสียบแบบไร้ หน้าสัมผัสมีรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้

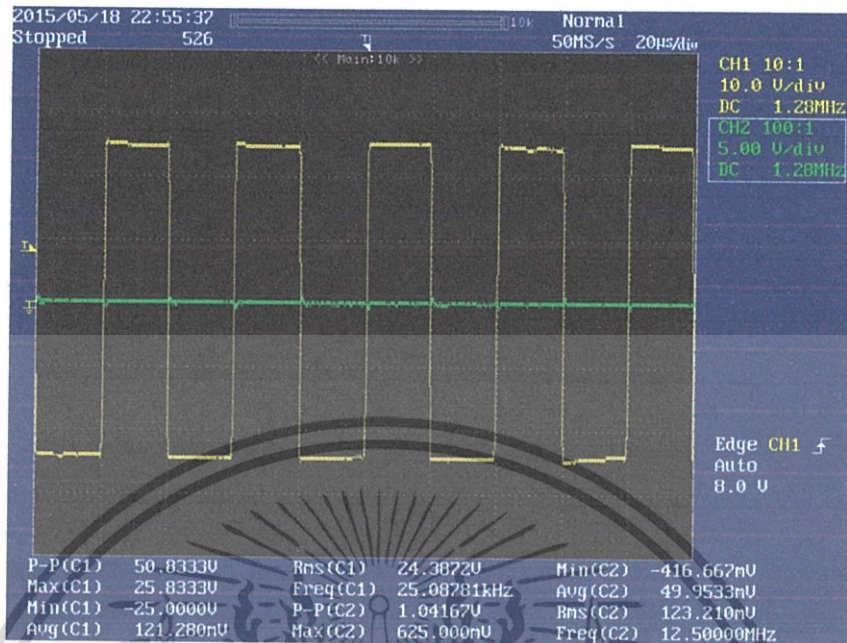
รูปแบบที่ 1 (Turn Ratio: 1:1, Turn Number: 50:50)



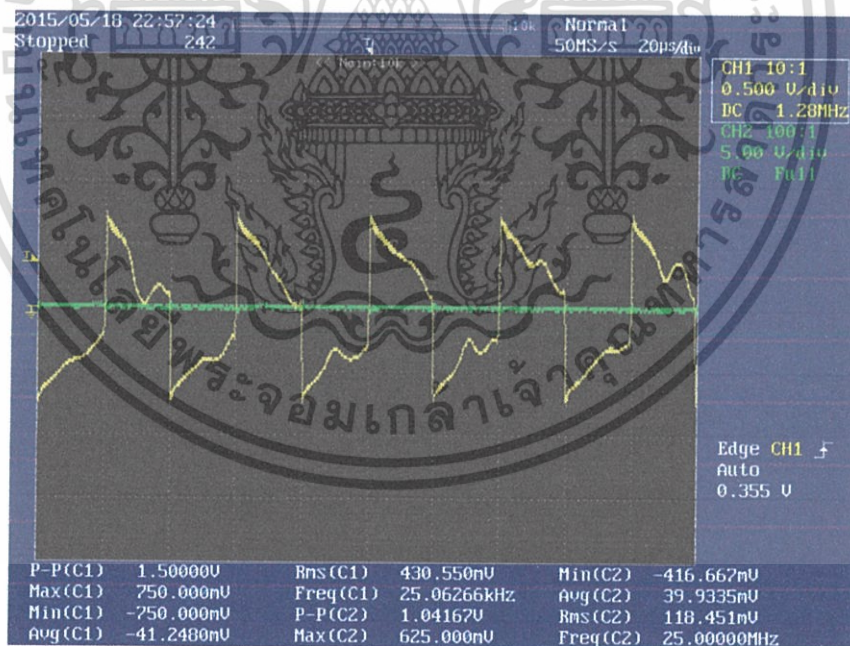
รูปที่ 4.4 รูปแบบการพันของหม้อแปลงที่ด้านปฐมภูมิเป็นแกนทอรรอยด์

และด้านทุติยภูมิเป็นทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าก่อนเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า

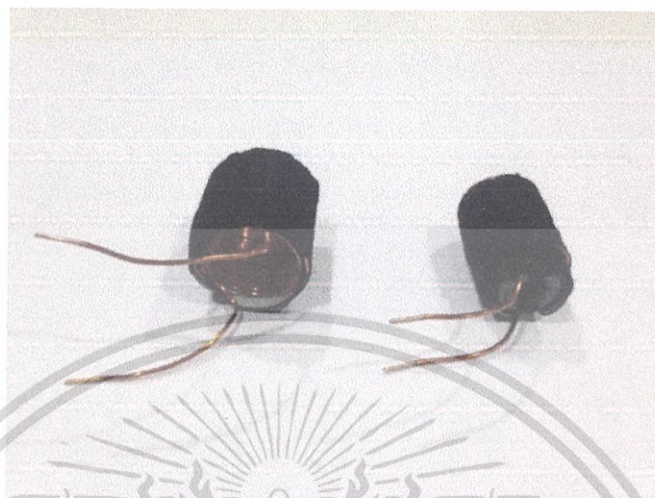


รูปที่ 4.6 รูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้าหลังจากออกจากหม้อแปลงไฟฟ้า

โดยที่หม้อแปลงไฟฟ้าแบบนี้มีประสิทธิภาพเป็น 0 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบที่ 2 (Turn Ratio: 1:1, Turn Number: 40:40)



รูปที่ 4.7 รูปแบบการพันของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีด้านปฐมภูมิเป็นแกนอากาศ และด้านทุติยภูมิเป็นแกนวงแหวน



รูปที่ 4.8 รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าก่อนเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าหลังจากหม้อแปลงไฟฟ้า

ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้ารูปแบบนี้เป็น 55.9%

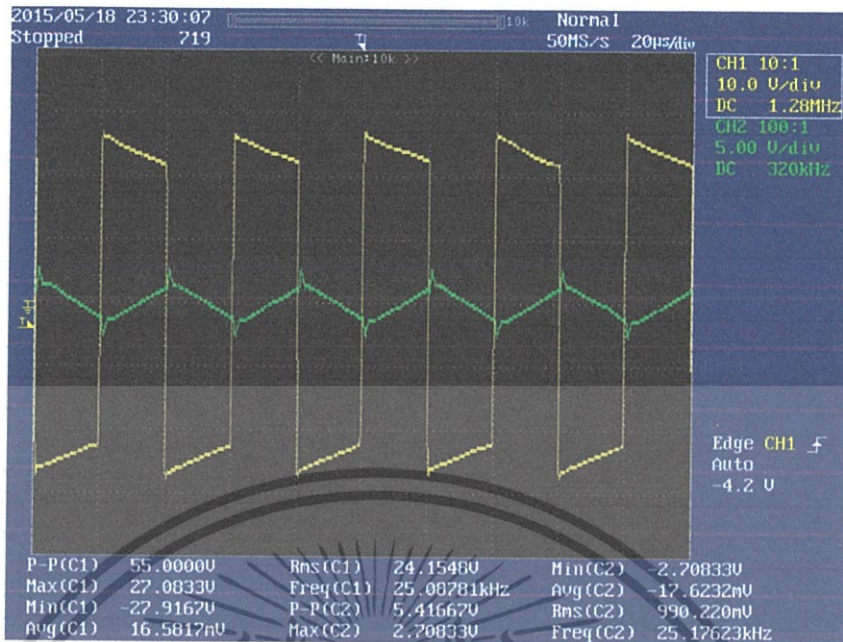
รูปแบบที่ 3 (Turn Ratio: 1:1, Turn Number: 40:40)



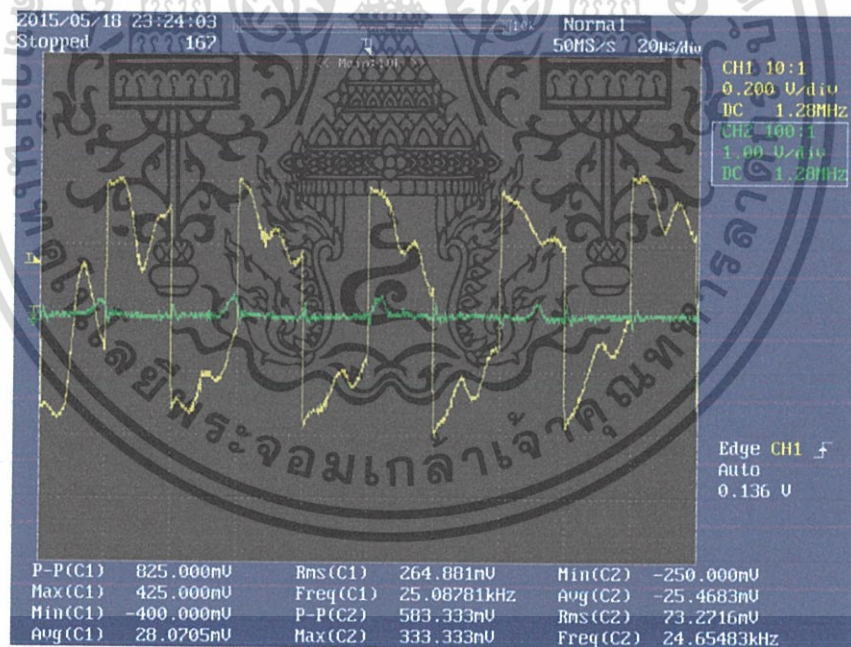
รูปที่ 4.10 รูปแบบการพันของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยที่ด้านปฐมภูมิเป็นแกนวงแหวน

และด้านทุติยภูมิเป็นแกนทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าก่อนเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า

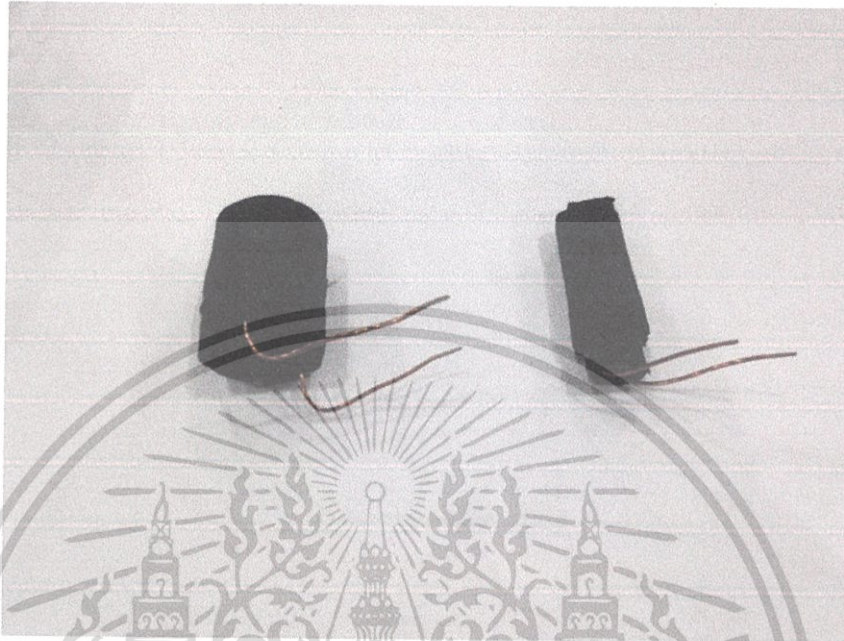


รูปที่ 4.12 รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าหลังจากออกจากหม้อแปลงไฟฟ้า

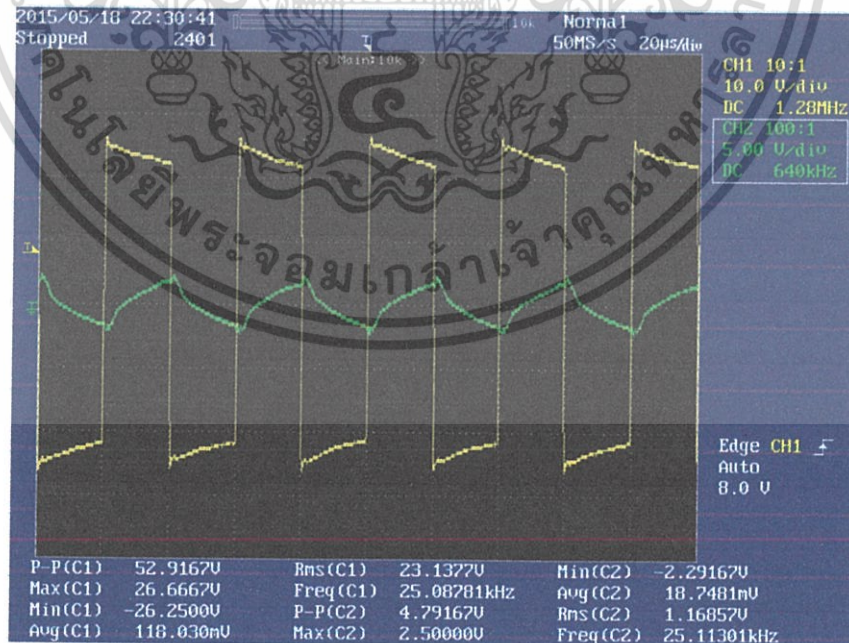
ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้ารูปแบบนี้เป็น 0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบที่ 4 (Turn Ratio: 1.5:1, Turn Number: 90:60)



รูปที่ 4.13 รูปแบบการพันหม้อแปลงไฟฟ้าโดยที่ด้านปฐมภูมิเป็นแกนอากาศ และด้านทุติยภูมิเป็นแกนทรงกระบอก



รูปที่ 4.14 รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าก่อนเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า

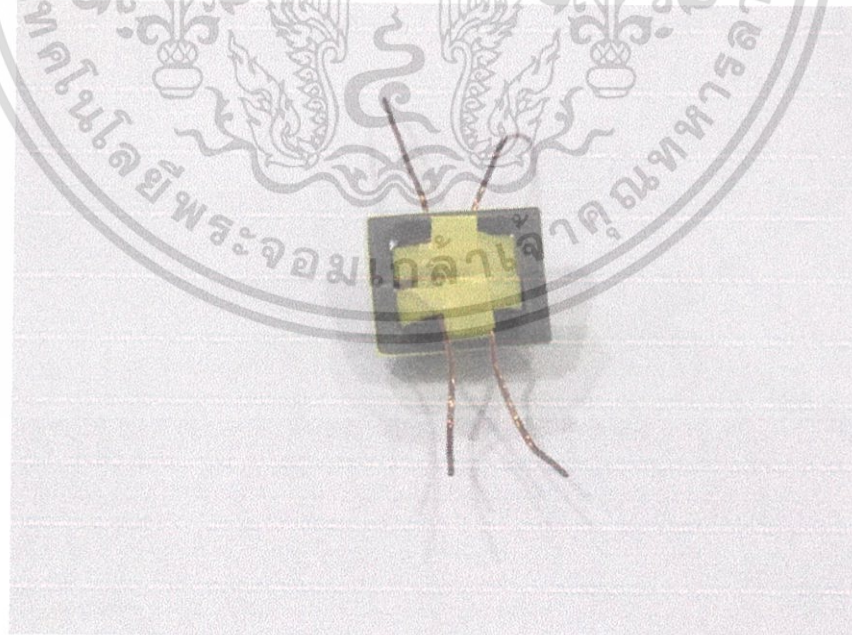
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าหลังออกจากหม้อแปลงไฟฟ้า

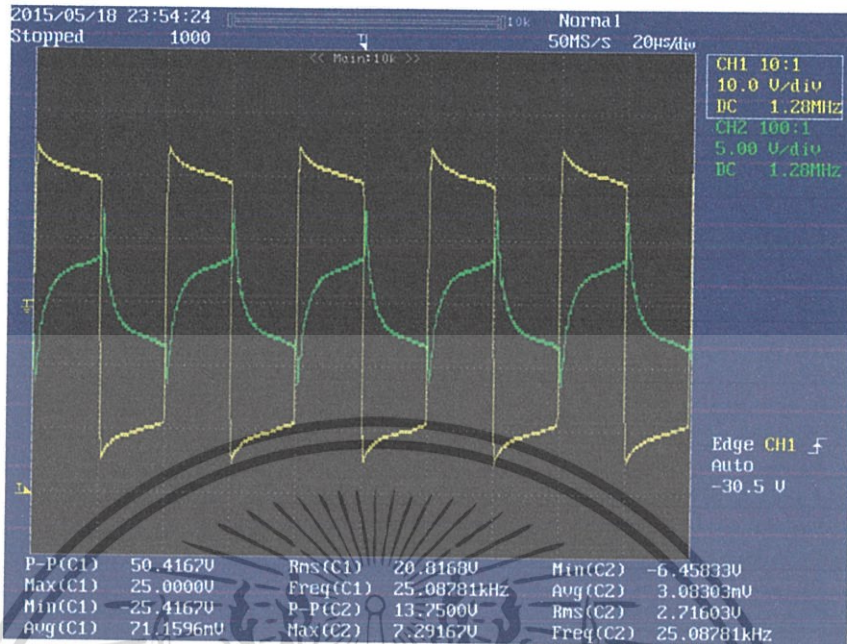
ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้ารูปแบบนี้เป็น 62.6%

รูปแบบที่ 5 (Turn Ratio: 1:1, Turn Number: 10:10)

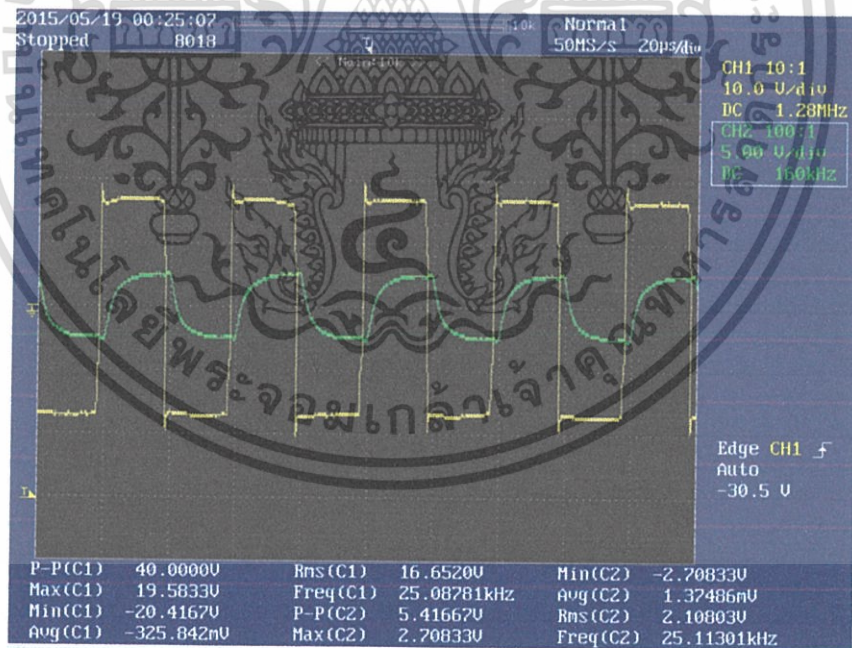


รูปที่ 4.16 รูปแบบการพันหม้อแปลงไฟฟ้าโดยที่ด้านปฐมภูมิ E และด้านทุติยภูมิเป็นแกนทรง E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าก่อนเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า

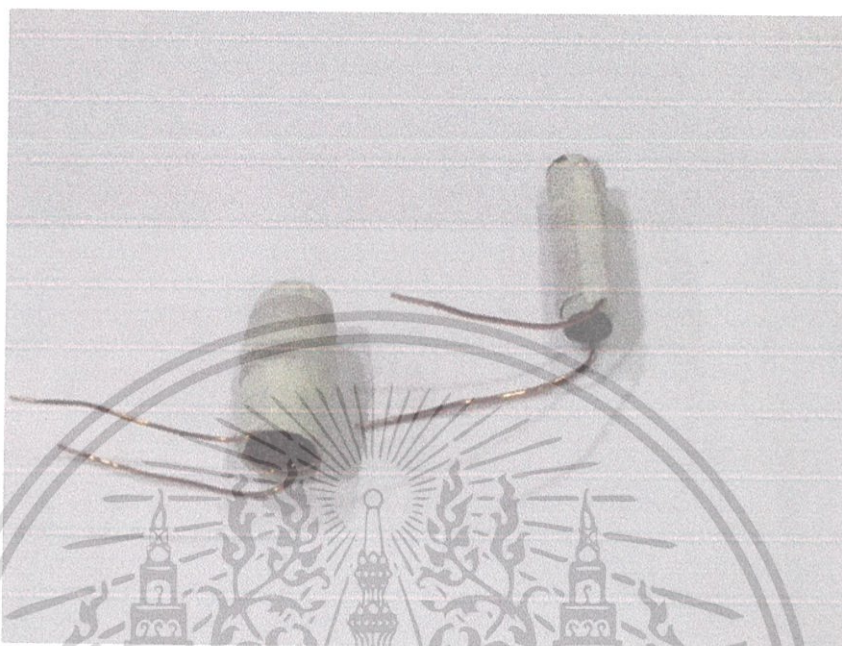


รูปที่ 4.18 รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าหลังจากหม้อแปลงไฟฟ้า

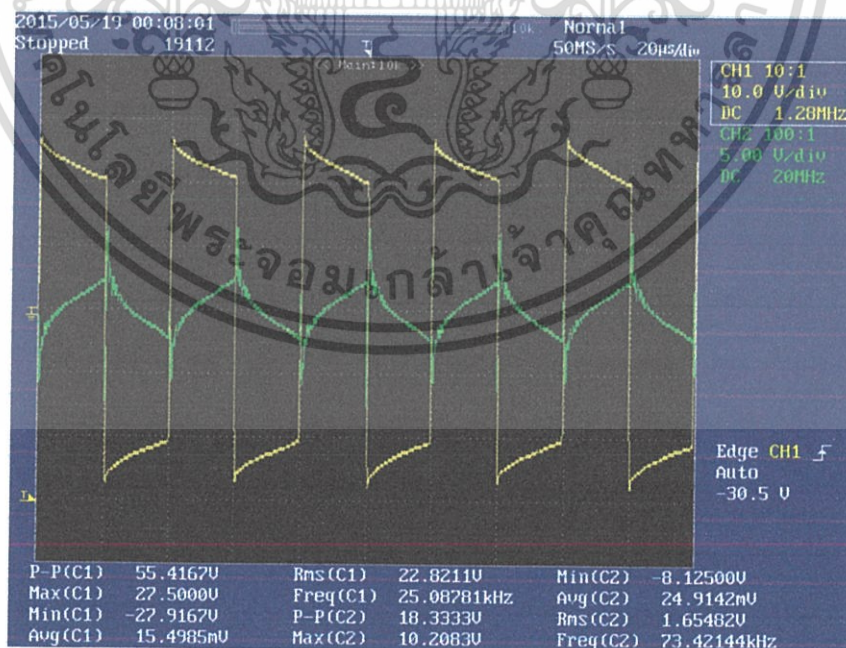
ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้ารูปแบบนี้เป็น 62 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบที่ 6 (Turn Ratio: 1.6:1, Turn Number: 48:30)

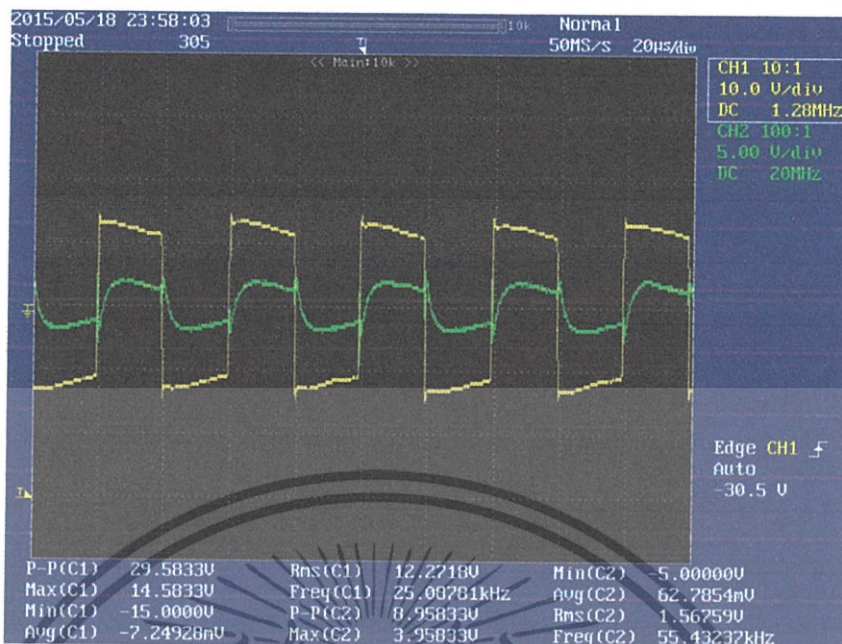


รูปที่ 4.19 รูปแบบการพันหม้อแปลงไฟฟ้าโดยที่ด้านปฐมภูมิแกนอากาศ และด้านทุติยภูมิเป็นแกนทรงกระบอก



รูปที่ 4.20 รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าก่อนเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า

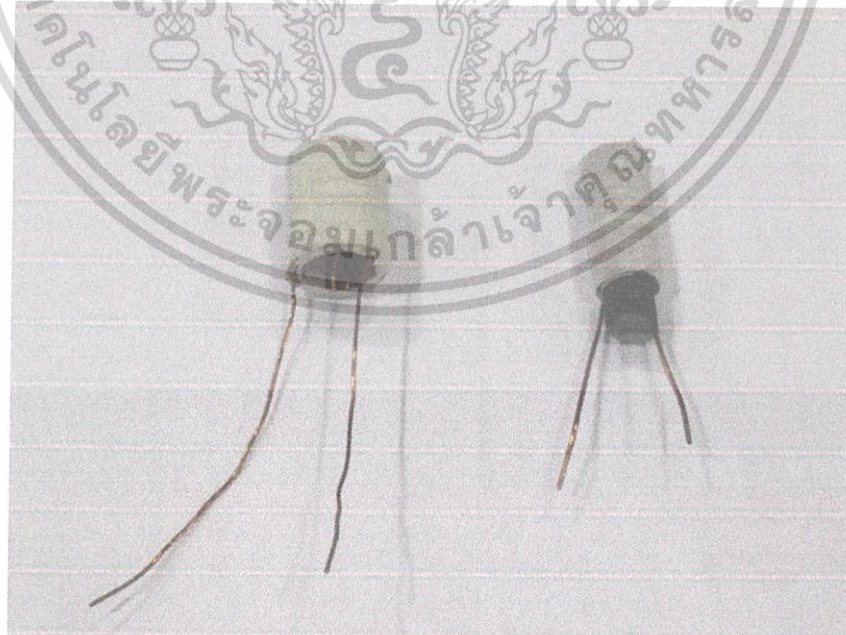
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าหลังจากหม้อแปลงไฟฟ้า

ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้ารูปแบบนี้เป็น 50.76 %

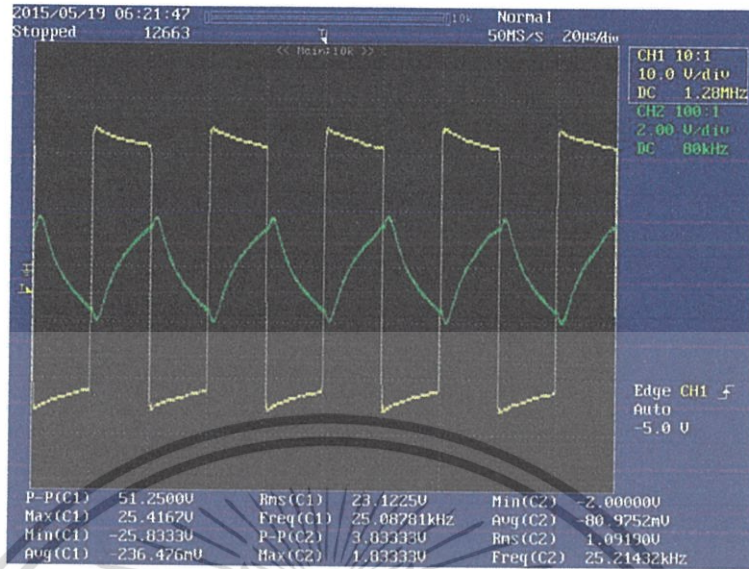
รูปแบบที่ 7 (Turn ratio: 1.6:1, Turn Number: 80:50)



รูปที่ 4.22 รูปแบบการพันหม้อแปลงไฟฟ้าโดยที่ด้านปฐมภูมิเป็นแกนอากาศ

และด้านทุติยภูมิเป็นแกนทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าก่อนเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า

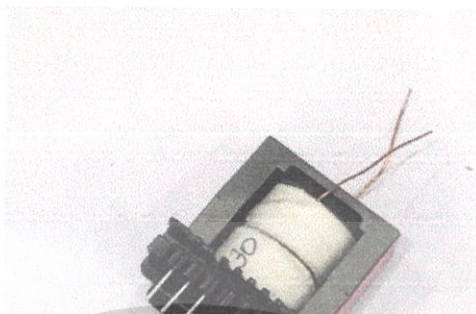


รูปที่ 4.24 รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าหลังจากออกจากหม้อแปลงไฟฟ้า

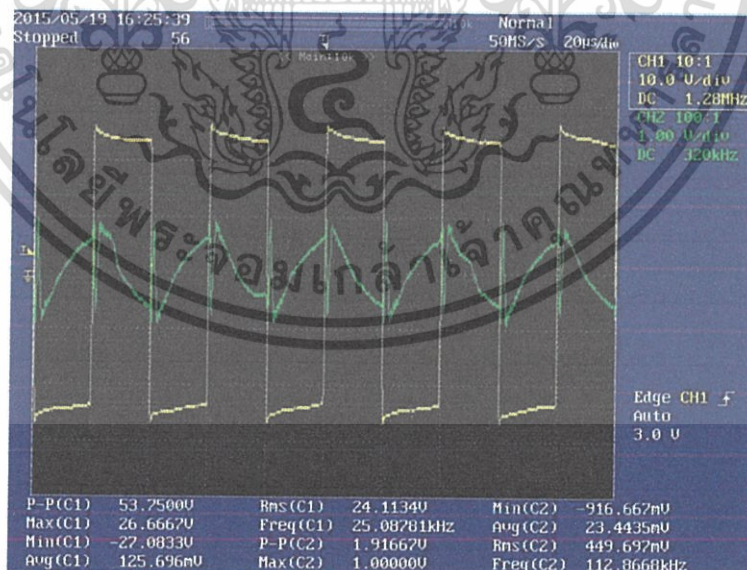
ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบนี้เป็น 63.1 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบที่ 8 (Turn ratio: 1.6:1, Turn Number: 80:50)

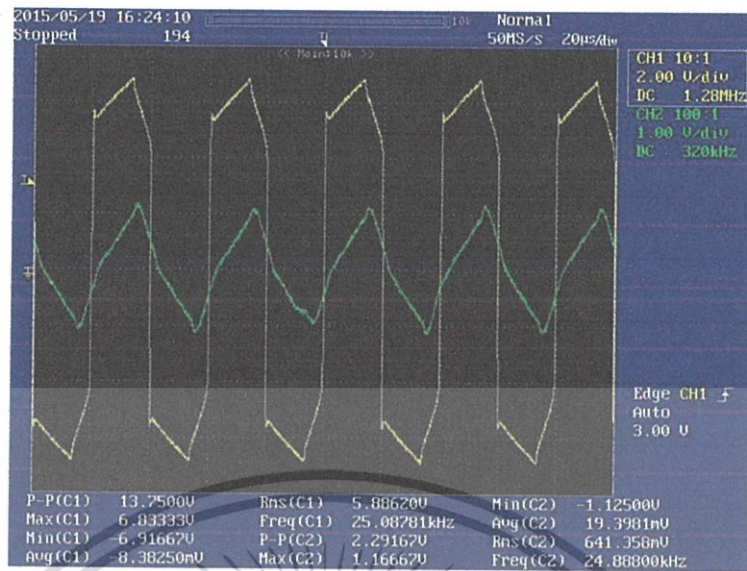


รูปที่ 4.25 รูปแบบการพันหม้อแปลงไฟฟ้าโดยที่ด้านปฐมภูมิเป็นแกนอากาศ
และด้านทุติยภูมิเป็นแกนทรงกระบอก



รูปที่ 4.26 รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าก่อนเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 รูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าหลังจากหม้อแปลงไฟฟ้า

ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้ารูปแบบนี้เป็น 34.78 %

หลังจากนั้นทำการเลือกหม้อแปลงไฟฟ้ารูปแบบไหนที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็น
 ตัวรับ ตัวเสียบแบบไม่มีหน้าสัมผัส จากการทดสอบการตอบสนองต่อรูปคลื่นสัญญาณของหม้อแปลง
 ไฟฟ้ารูปแบบต่าง ๆ ทางผู้จัดทำจึงได้ทำการเลือกหม้อแปลงไฟฟ้ารูปแบบที่ 7 เนื่องจากมีการใช้แกน
 เพอร์โรไตเนลลดด้านทุติยภูมิ ซึ่งแกนเพอร์โรไตต์ดังกล่าวมีคุณสมบัติใช้งานที่ความถี่สูง มีความ
 เหมาะสมในการนำมาใช้งานในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าที่ความถี่ 25kHz รวมถึงการเมื่อเลือกใช้ Turn
 Ratio 1.6:1 เมื่อเลือกใช้ที่ค่านี้ทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าที่เหมาะสมที่จะนำไปอัดประจุ รวมถึง
 มีค่าที่เหมาะสมที่ในการควบคุมโดยใช้ PI Control ให้แรงดันขาออกมีค่าตามที่ต้องการสำหรับการใช้ใ
 การอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ของสมาร์ทโฟน แต่เมื่อออกแบบหม้อแปลงที่มี Turn Ratio 1.6:1 ซึ่งมี
 จำนวนรอบของหม้อแปลงด้านปฐมภูมิเป็น 30 รอบ และจำนวนรอบของหม้อแปลงด้านทุติยภูมิเป็น
 48 รอบ (จากบทที่ 3) แต่เมื่อนำไปทดสอบแล้วพบว่าหม้อแปลงที่ใช้ทดสอบมีประสิทธิภาพไม่ดี
 เท่าที่ควร รวมถึงเมื่อใช้หม้อแปลงลูกนี้ในการส่งผ่านกำลังพบว่าเกิดความร้อนที่หม้อแปลงสูง ทำให้
 ผู้ออกแบบลดค่า Volt per Turn จาก 0.5 ลงเป็น 0.3 ทำให้ได้จำนวนรอบของหม้อแปลงด้านปฐม
 ภูมิเป็น 50 รอบ และจำนวนรอบของหม้อแปลงด้านทุติยภูมิเป็น 80 รอบ ซึ่งทำให้หม้อแปลงไฟฟ้ามี
 ประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยหม้อแปลงไฟฟ้าที่มี Volt per Turn เป็น 0.3 มีประสิทธิภาพเป็น 70.55%

และเหตุที่ไม่เลือกหม้อแปลงไฟฟ้ารูปแบบที่ 8 (แกน EE) เนื่องจากขนาดของหม้อ
 แปลงที่มีขนาดใหญ่เกินไปจึงไม่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นตัวรับ ตัวเสียบแบบไร้หน้าสัมผัส และเมื่อใช้
 แกนที่มีขนาดเล็กจะส่งผ่านกำลังไม่ดีเท่าที่ควร อีกทั้งหม้อแปลงไฟฟ้ามีความร้อนสูงขณะส่งผ่าน

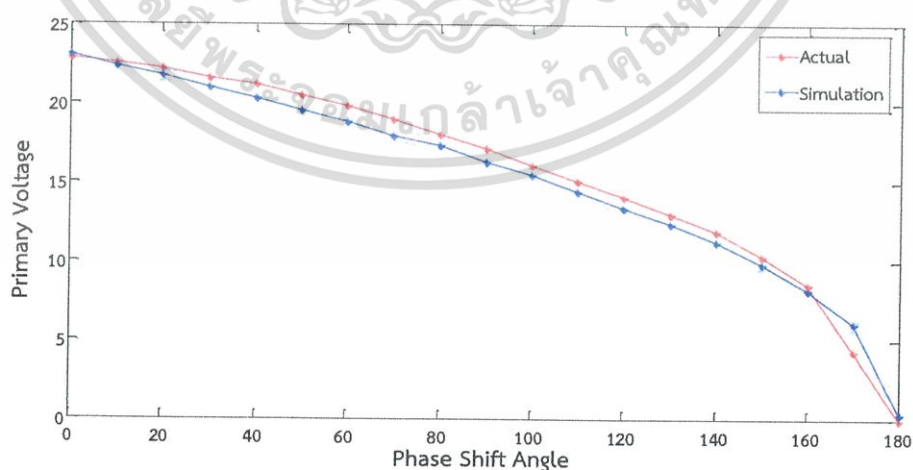
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลัง และมีประสิทธิภาพต่ำ และแกนรูปทรง EE เมื่อนำมาใช้งานเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าจำเป็นที่จะต้องประกบกันสนิท แต่ในทางปฏิบัตินั้นเมื่อใช้แกนดังกล่าวเป็นเต้ารับและเต้าเสียบ ซึ่งมีการแยกออกจากกันบ่อย ๆ ทำให้เป็นการยากที่จะทำให้แกนทั้งด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิติดกันสนิทตลอดได้ โดยถ้าแกนทั้งสองด้านไม่ติดกันสนิทจะทำให้ประสิทธิภาพของหม้อแปลงลดลงอย่างมาก ส่วนอีกสาเหตุหนึ่งที่ไม่เลือกแกนนี้ คือ คุณสมบัติของเฟอร์ไรต์ที่มีลักษณะทางกายภาพที่แข็ง แต่เปราะ เมื่อใช้แกนดังกล่าวเป็นเต้ารับและเต้าเสียบจำเป็นที่จะต้องมีการเสียบเข้าและออกบ่อย ๆ ซึ่งอาจทำให้แกนเฟอร์ไรต์นั้นชำรุดเสียหายได้ เนื่องจากเหตุผลดังกล่าวทำให้ผู้ออกแบบไม่เลือกใช้หม้อแปลงแกน EE

4.4 การทดสอบคอนเวอร์เตอร์

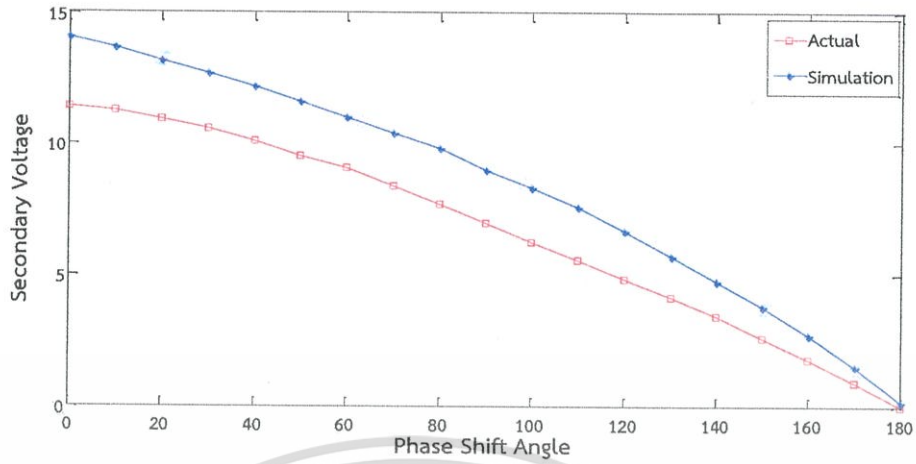
สำหรับการทำงานในส่วนของวงจรกำลังนี้ จะมีการรับไฟฟ้ากระแสตรง 48 V จาก DC Grid แล้วทำการสวิตซ์ซึ่งโดยใช้ Diode Clamp Multilevel Inverter เพื่อแปลงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ แล้วส่งแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไปยังขดลวดด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ ทำให้มีการเหนี่ยวนำผ่านไปยังด้านทุติยภูมิ ในส่วนด้านทุติยภูมิจะประกอบด้วยวงจรเรียงกระแส ซึ่งจะทำหน้าที่เรียงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อนำไปใช้ชาร์จแบตเตอรี่สมาร์ตโฟน

ในการทดลองนี้จะทำการเปรียบเทียบค่าแรงดันด้านปฐมภูมิ แรงดันด้านทุติยภูมิ แรงดันขาออกระหว่างผลการ Simulation ในคอมพิวเตอร์และผลที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่ใช้งานจริง ซึ่งค่าของแรงดันด้านปฐมภูมิและแรงดันด้านทุติยภูมิจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังกราฟรูปที่ 4.28 และรูปที่ 4.29 ส่วนค่าแรงดันขาออกที่ได้จากการเครื่องต้นแบบจะมีค่าน้อยกว่าผลจากการ Simulation เพียงเล็กน้อย เนื่องจากผลของกำลังสูญเสียในหม้อแปลง และกำลังสูญเสียในอุปกรณ์สวิตซ์ ซึ่งจะได้ผลการเปรียบเทียบผลการ Simulation และผลที่วัดได้จากเครื่องต้นแบบดังรูปที่ 4.30

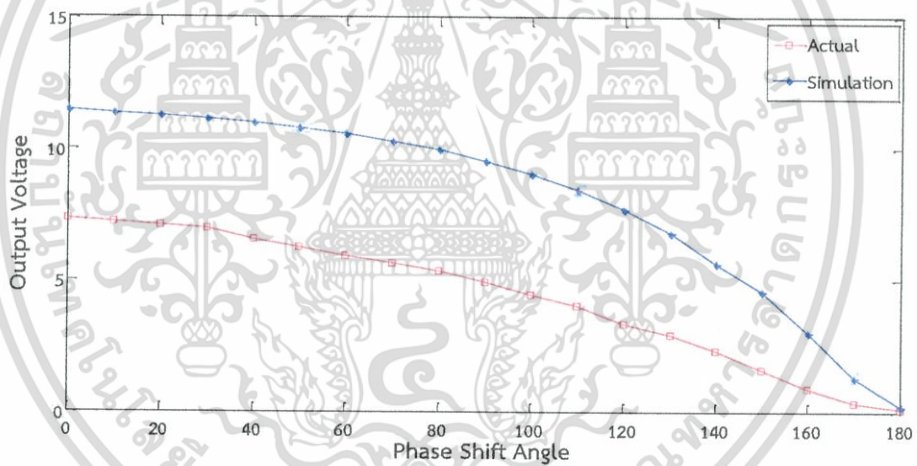


รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันด้านปฐมภูมิและมุมที่เลื่อน (Phase Shift Angle)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันด้านทุติยภูมิและมุมที่เลื่อน (Phase Shift Angle)



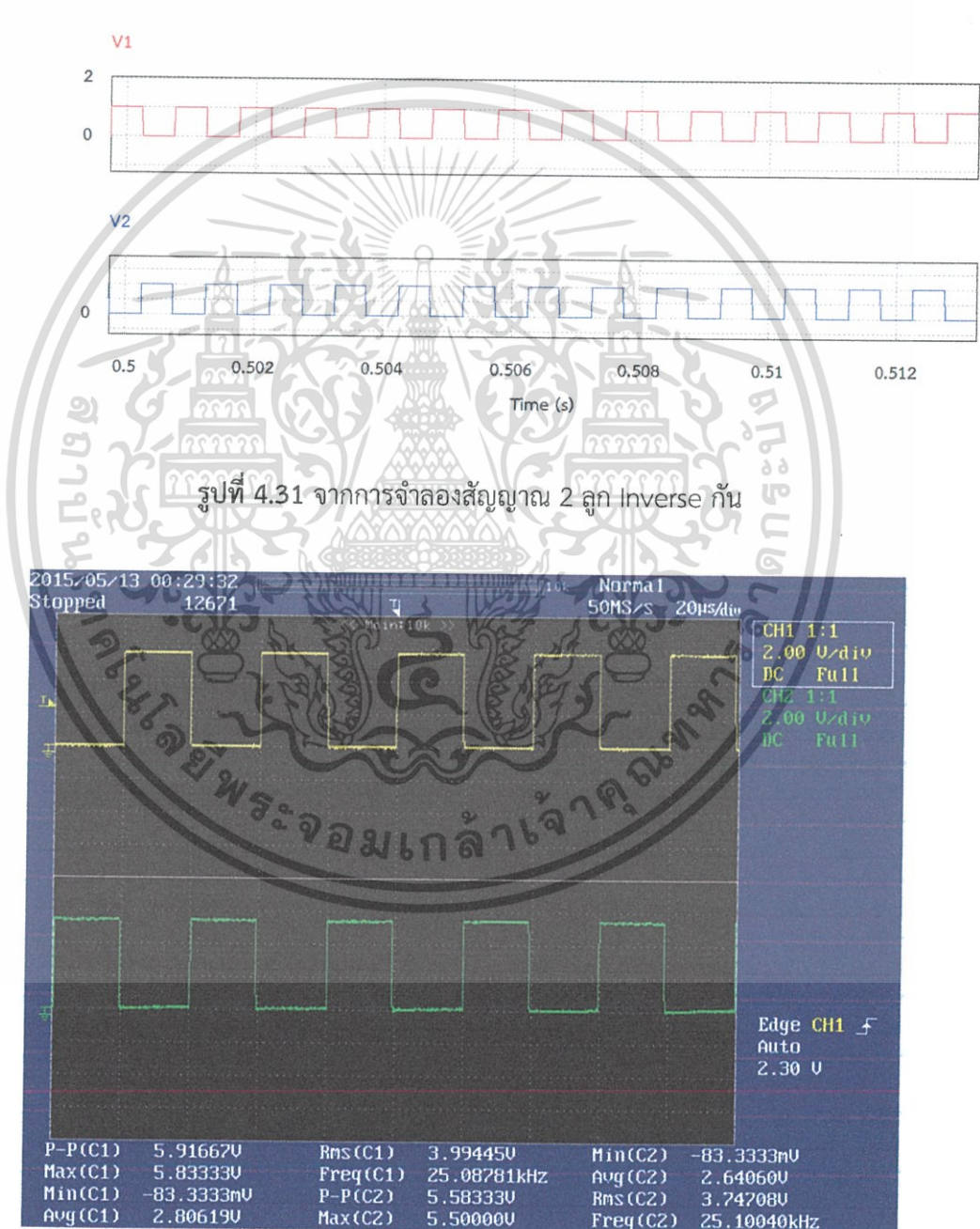
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกและมุมที่เลื่อน (Phase Shift Angle)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1 การทดสอบ Half-Bridge Driver

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลการจำลองจากคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Psim9.0 แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากสโคป โดยมีการปรับค่ามุมที่เลื่อนไป (Phase Shift Angle) เป็น 0, 90 และ 180 องศา

ส่วนของวงจรควบคุมจะแสดงค่าสัญญาณหลังจากผ่าน Half-Bridge Driver (ir2111) ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณเป็น 2 ลูก Inverse กันซึ่งจะได้สัญญาณดังรูปที่ 4.31

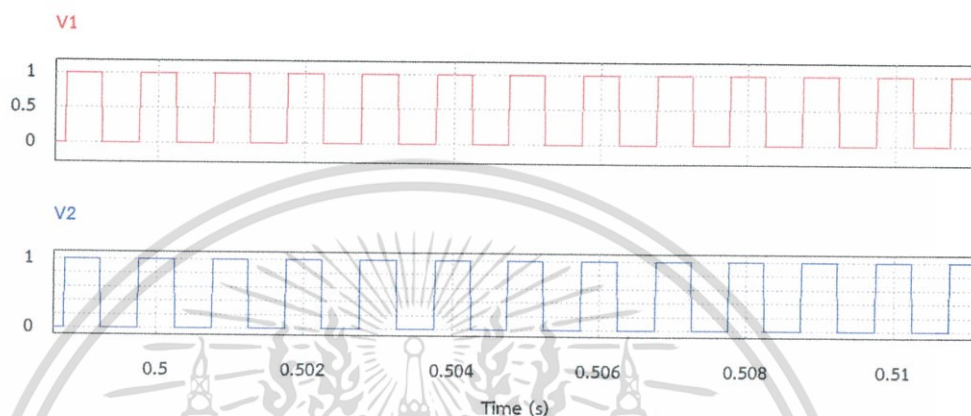


รูปที่ 4.32 สัญญาณจริงที่วัดได้หลังจากผ่าน Half-Bridge Driver (ir2111)

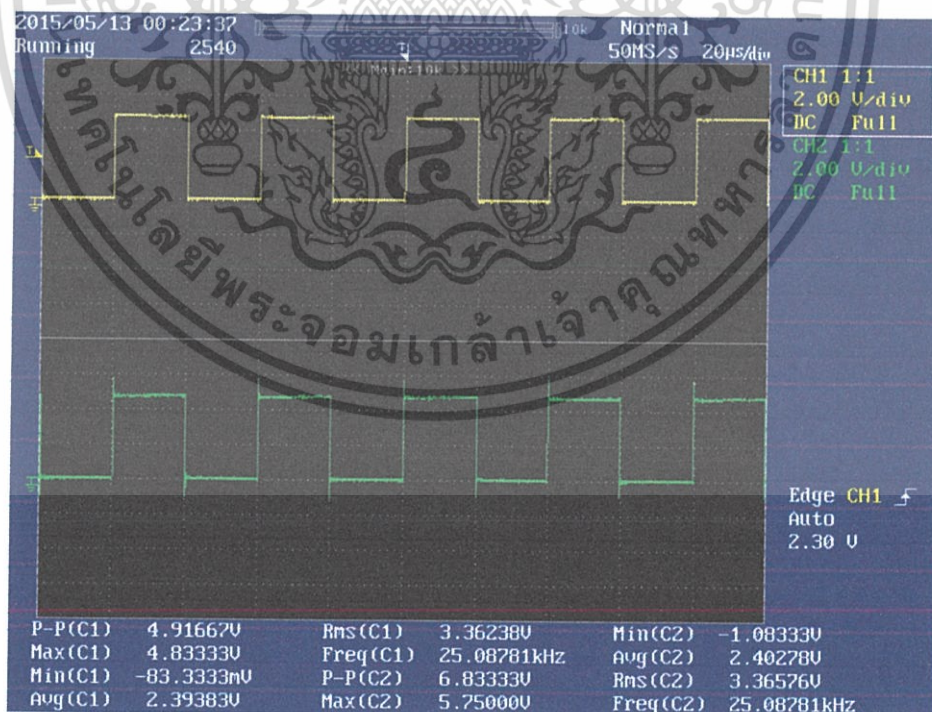
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 การทดสอบวงจรควบคุม Arduino

ในการทดสอบในหัวข้อนี้จะแสดงสัญญาณที่ออกจากวงจรควบคุม Arduino พร้อมทั้งแสดงรูปสัญญาณที่ได้จากการจำลองจากคอมพิวเตอร์ และสัญญาณจริงที่วัดได้ โดยมีการปรับมุม Phase Shift Angle เป็น 0, 90 และ 180 องศา ดังนี้

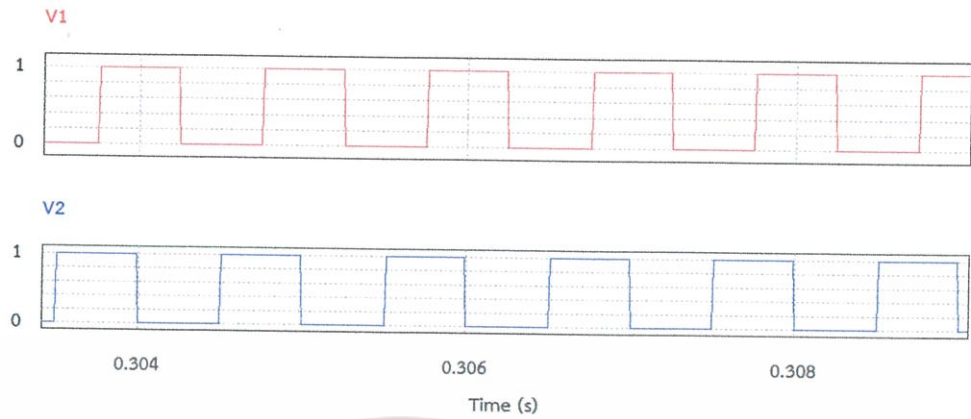


รูปที่ 4.33 สัญญาณที่ได้จากการจำลองโดยปรับมุม Phase Shift Angle เป็น 0 องศา

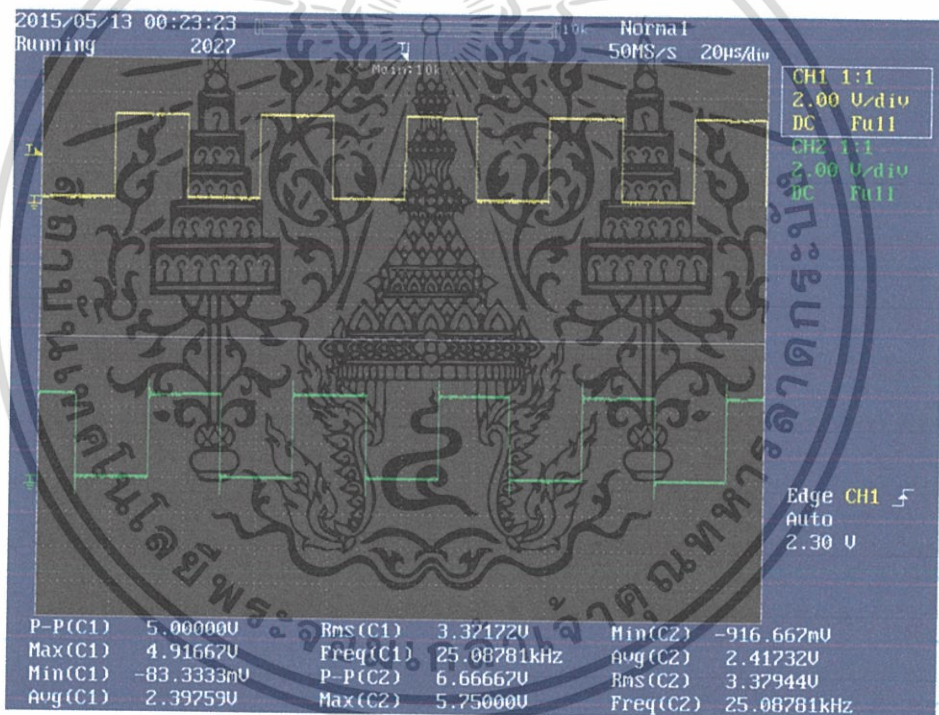


รูปที่ 4.34 สัญญาณจริงที่วัดได้จาก Arduino โดยปรับค่ามุม Phase Shift Angle เป็น 0 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

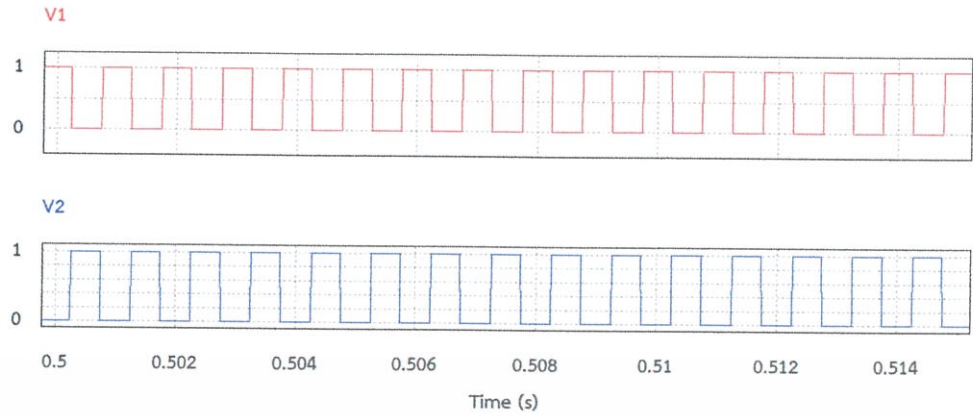


รูปที่ 4.35 สัญญาณที่ได้จากการจำลองโดยปรับมุม Phase Shift Angle เป็น 90 องศา

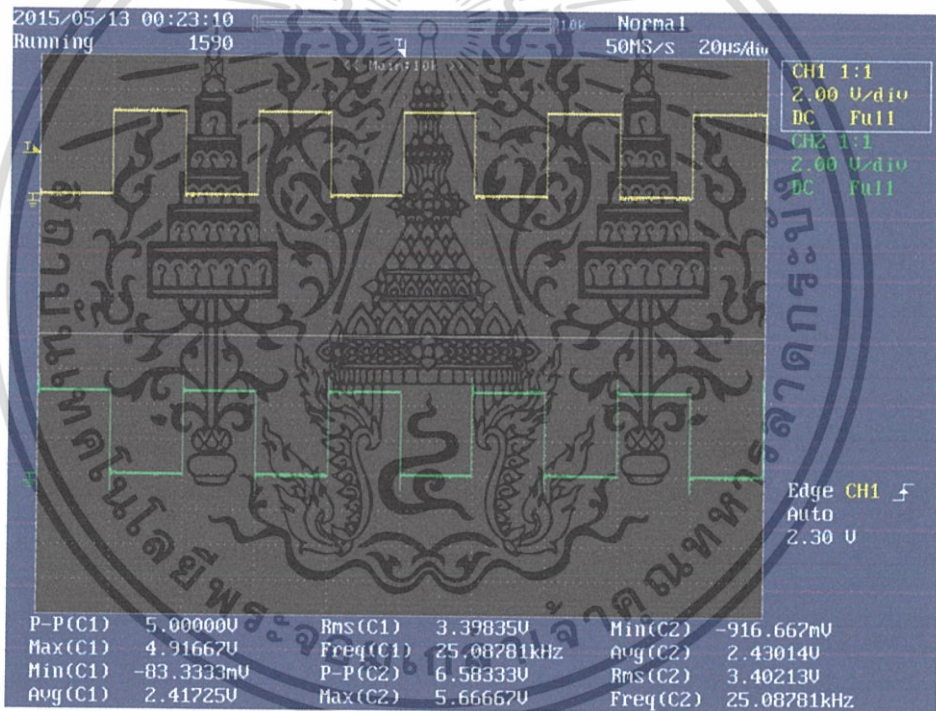


รูปที่ 4.36 สัญญาณจริงที่วัดได้จาก Arduino โดยปรับค่ามุม Phase Shift Angle เป็น 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.37 สัญญาณที่ได้จากการจำลองโดยปรับมุม Phase Shift Angle เป็น 180 องศา

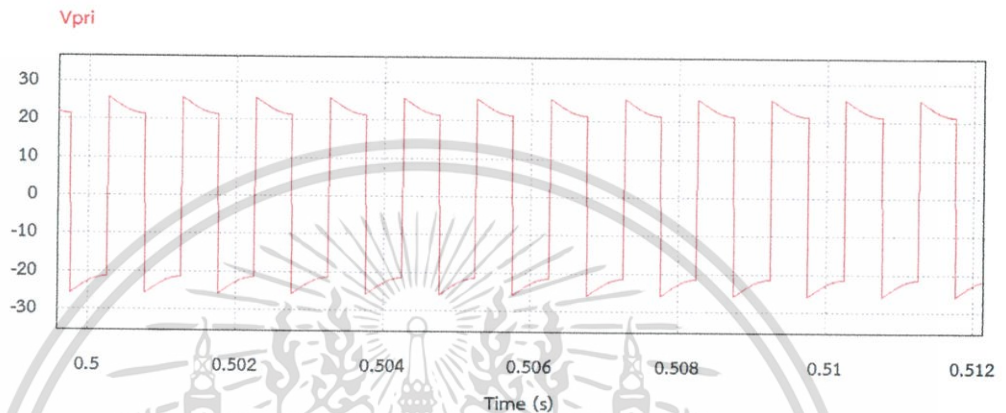


รูปที่ 4.38 สัญญาณจริงที่วัดได้จาก Arduino โดยปรับค่ามุม Phase Shift Angle เป็น 180 องศา

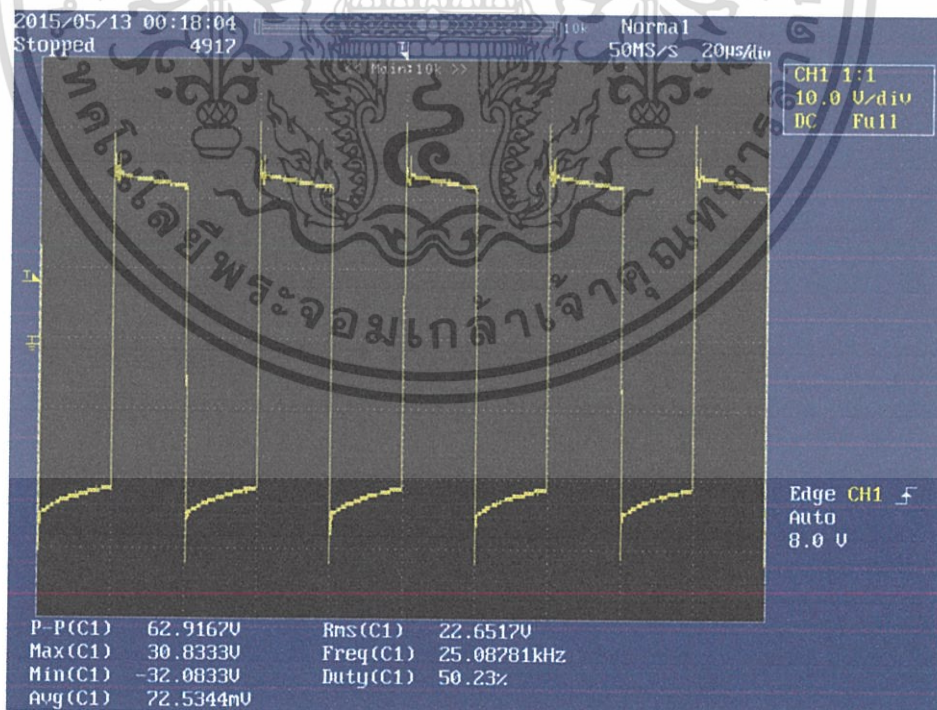
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 การทดสอบวงจรกำลัง

ส่วนของวงจรกำลังจะเปรียบเทียบค่าแรงดันทางด้านปฐมภูมิ ทูตียภูมิ และแรงดันขาออกที่ได้จากการจำลองจากคอมพิวเตอร์และค่าจริงที่วัดได้ ซึ่งจะปรับค่ามุม Phase Shift Angle เป็น 0, 90, 180 องศา ได้ผลดังนี้

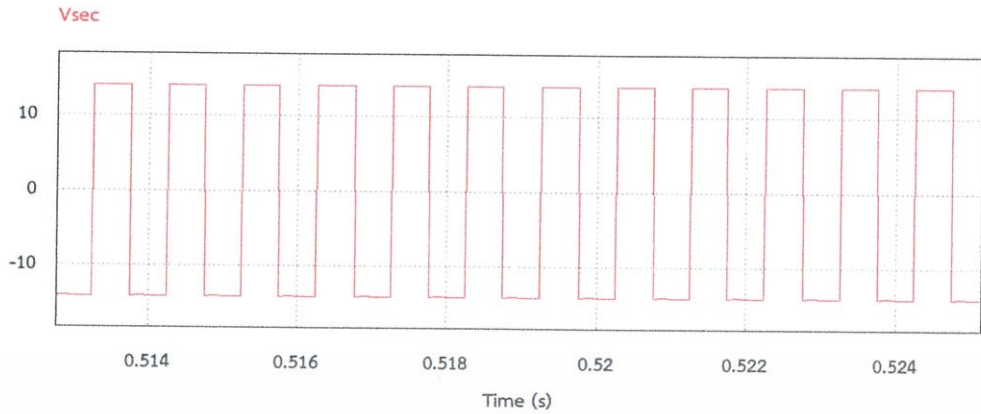


รูปที่ 4.39 การจำลองแรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิจากคอมพิวเตอร์
ที่มุม Phase Shift Angle เป็น 0 องศา

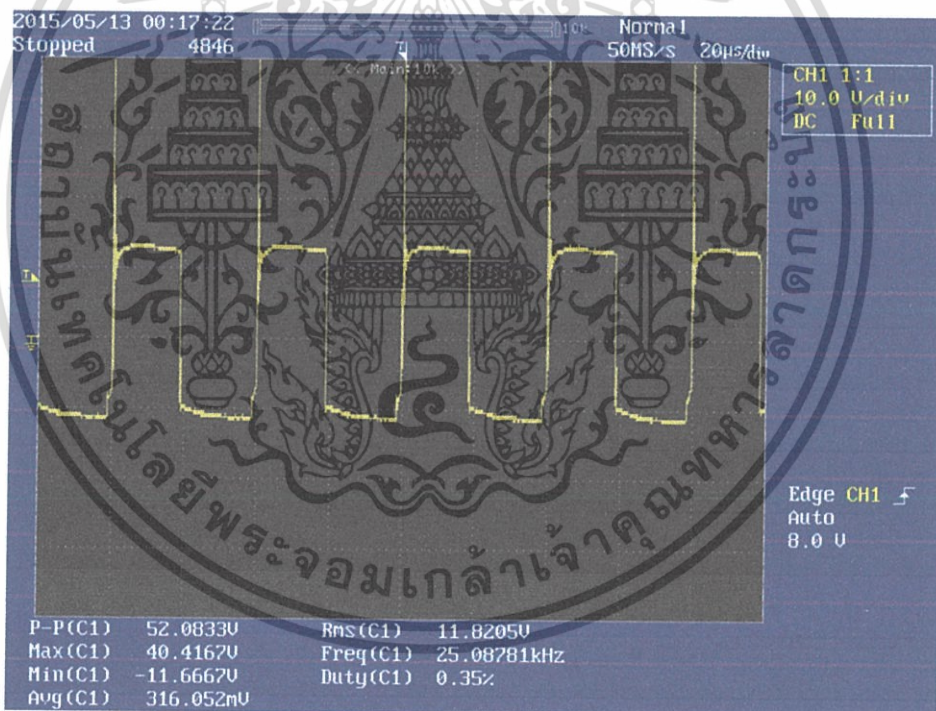


รูปที่ 4.40 แรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิจากการทดลองที่มุม Phase Shift Angle 0 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

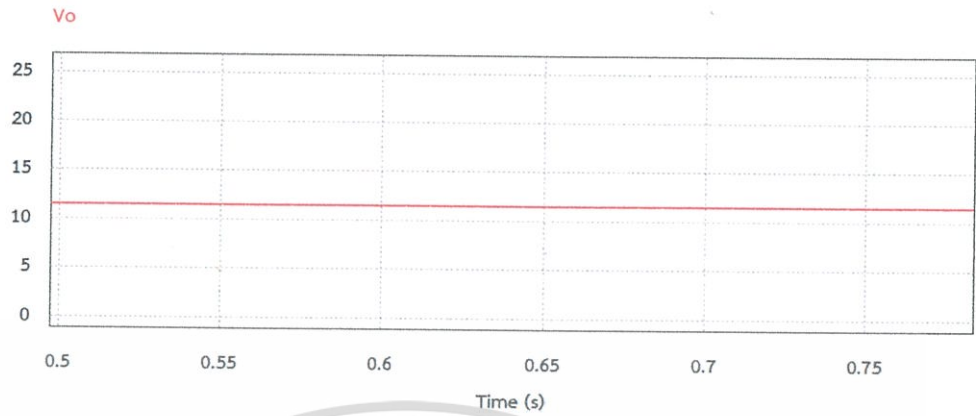


รูปที่ 4.41 การจำลองแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิจากคอมพิวเตอร์
ที่มุม Phase Shift Angle เป็น 0 องศา

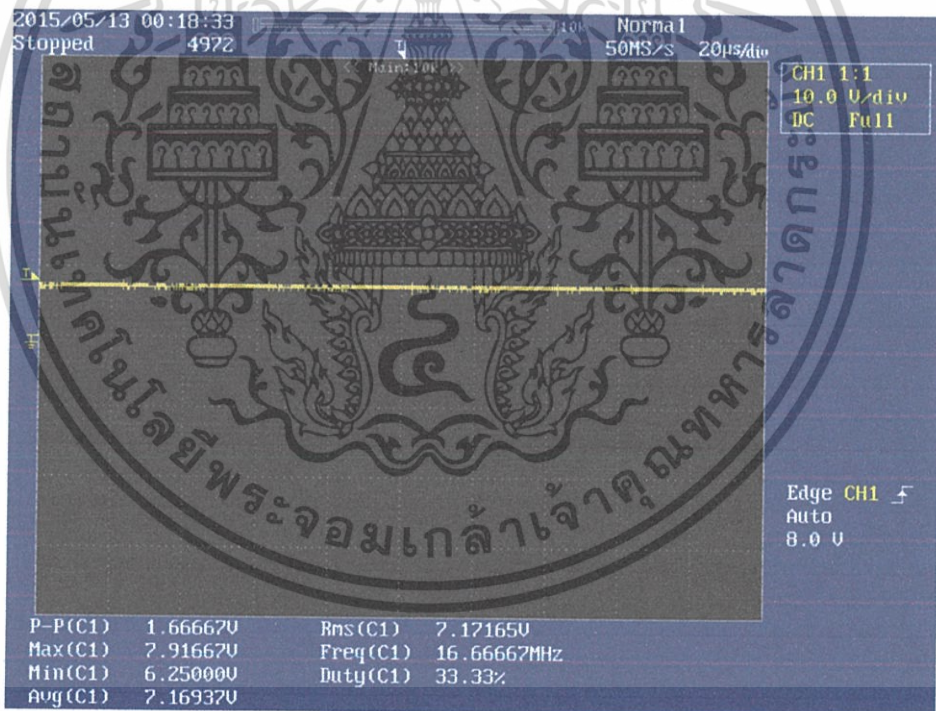


รูปที่ 4.42 แรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิจากการทดลองที่มุม Phase Shift Angle 0 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

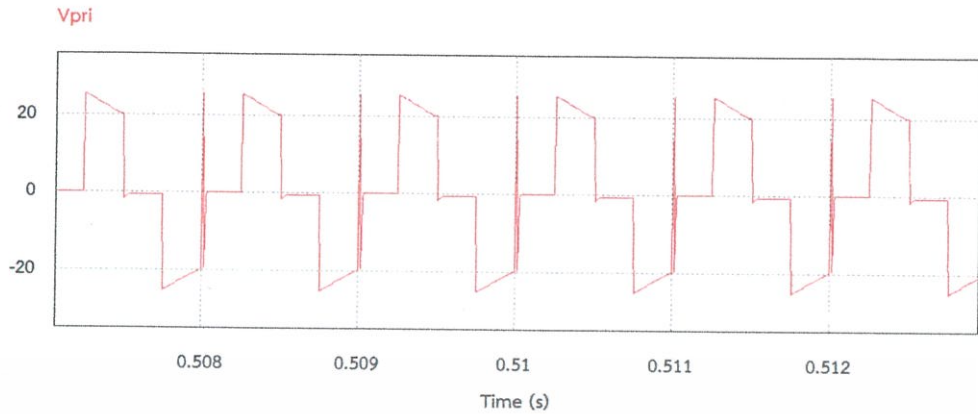


รูปที่ 4.43 การจำลองแรงดันไฟฟ้าขาออกจากคอมพิวเตอร์ที่มุม Phase Shift Angle เป็น 0 องศา

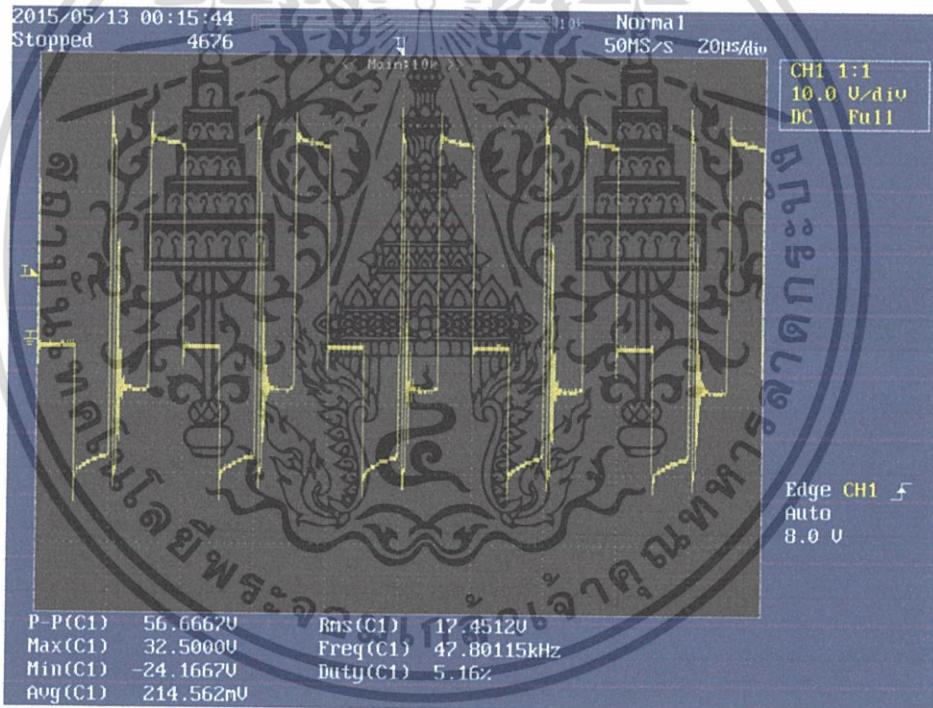


รูปที่ 4.44 แรงดันไฟฟ้าขาออกจากการทดลองที่มุม Phase Shift Angle 0 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

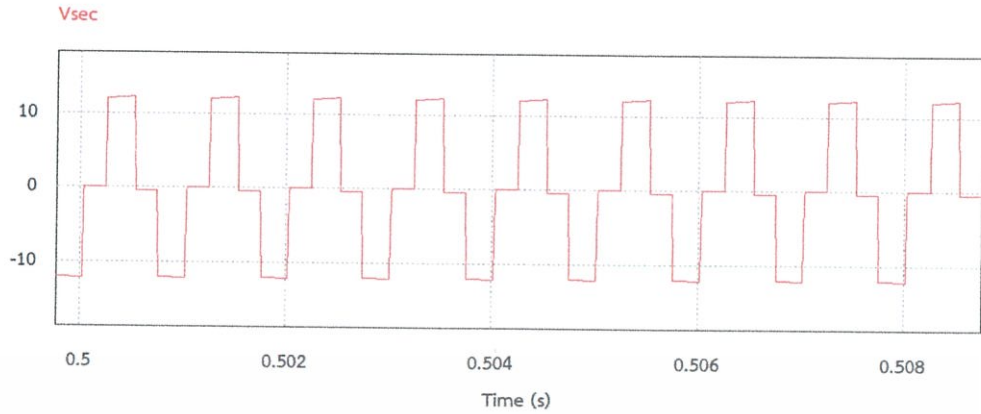


รูปที่ 4.45 การจำลองแรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิจากคอมพิวเตอร์
ที่มุม Phase Shift Angle เป็น 90 องศา

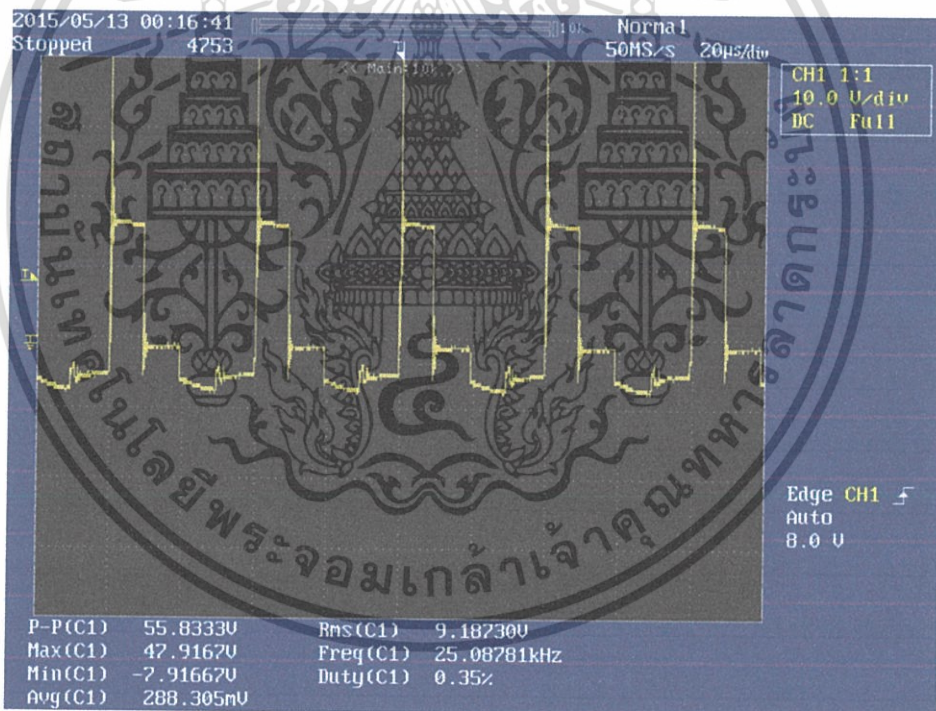


รูปที่ 4.46 แรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิจากการทดลองที่มุม Phase Shift Angle 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

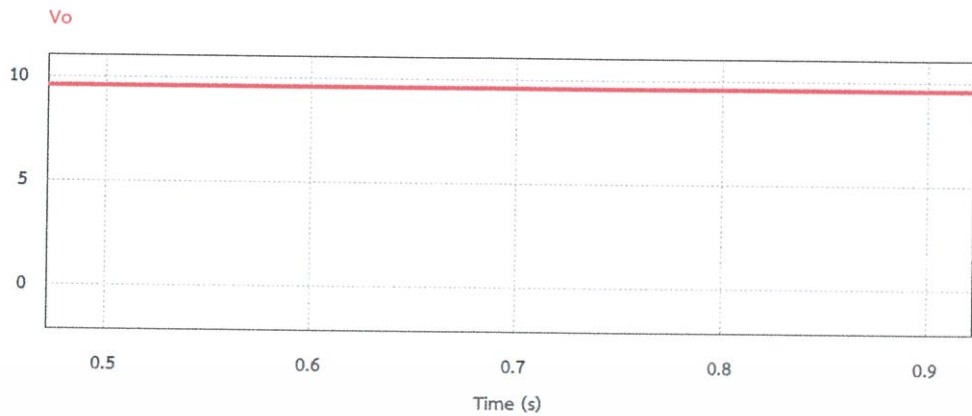


รูปที่ 4.47 การจำลองแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิจากคอมพิวเตอร์
ที่มุม Phase Shift Angle เป็น 90 องศา

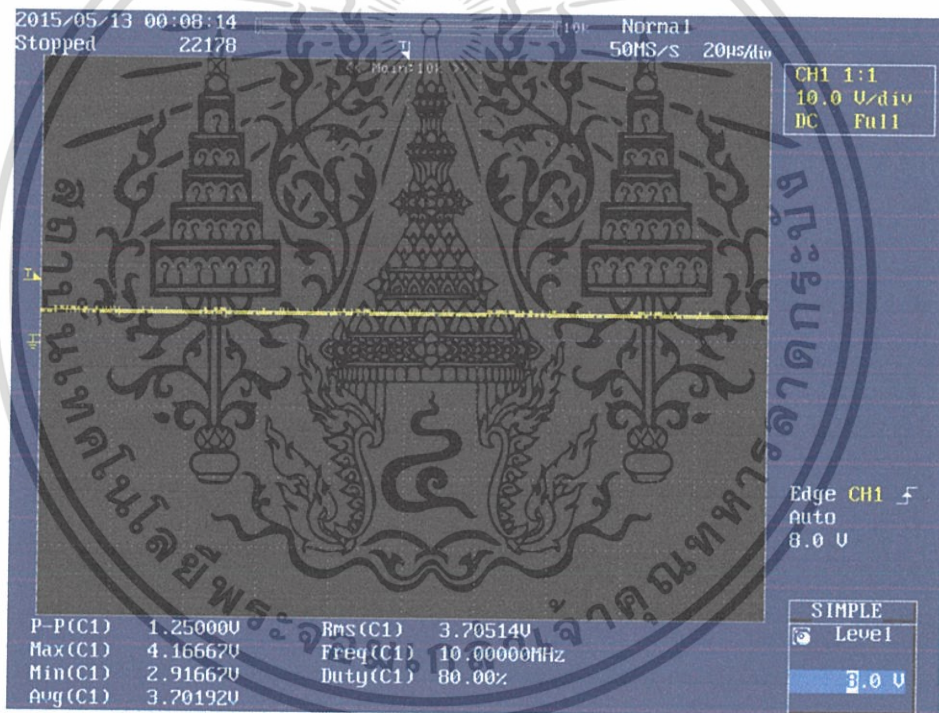


รูปที่ 4.48 แรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิจากการทดลองที่มุม Phase Shift Angle 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

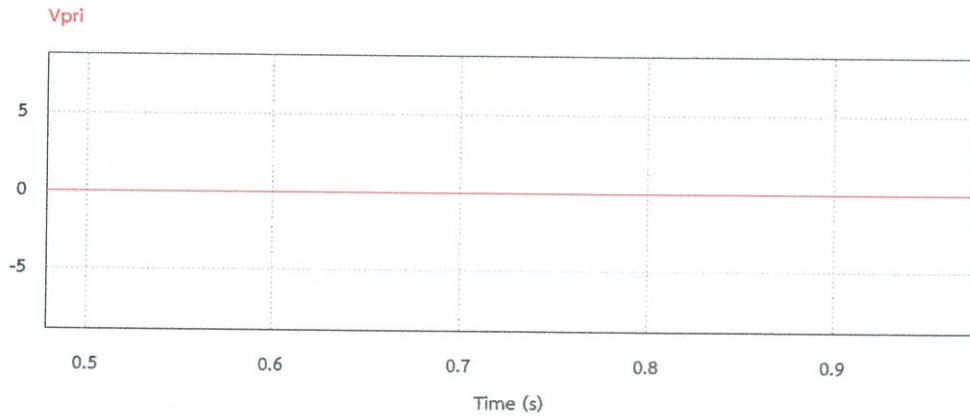


รูปที่ 4.49 การจำลองแรงดันไฟฟ้าขาออกจากคอมพิวเตอรืที่มีม Phase Shift Angle เป็น 90 องศา

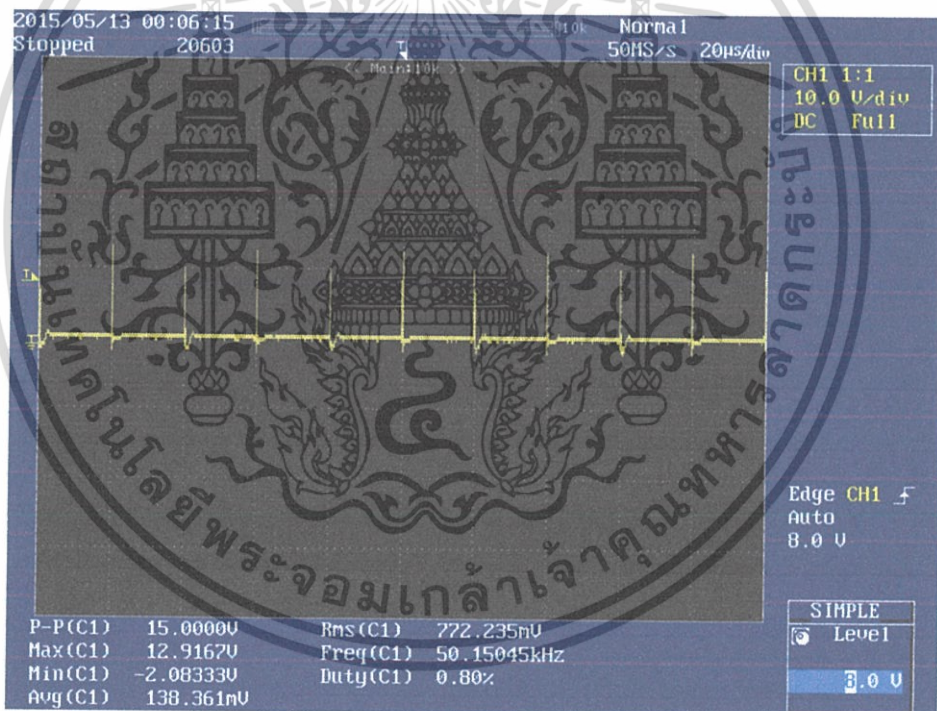


รูปที่ 4.50 แรงดันไฟฟ้าขาออกจากการทดลองที่มีม Phase Shift Angle 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

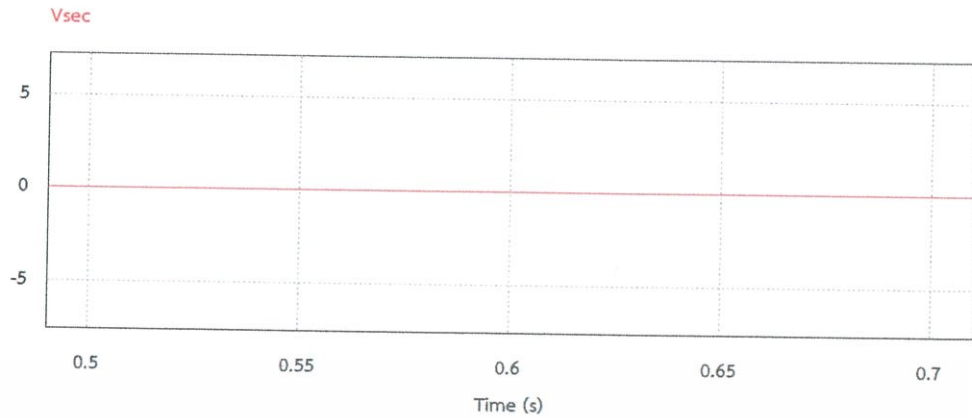


รูปที่ 4.51 การจำลองแรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิจากคอมพิวเตอร์
ที่มุม Phase Shift Angle เป็น 180 องศา

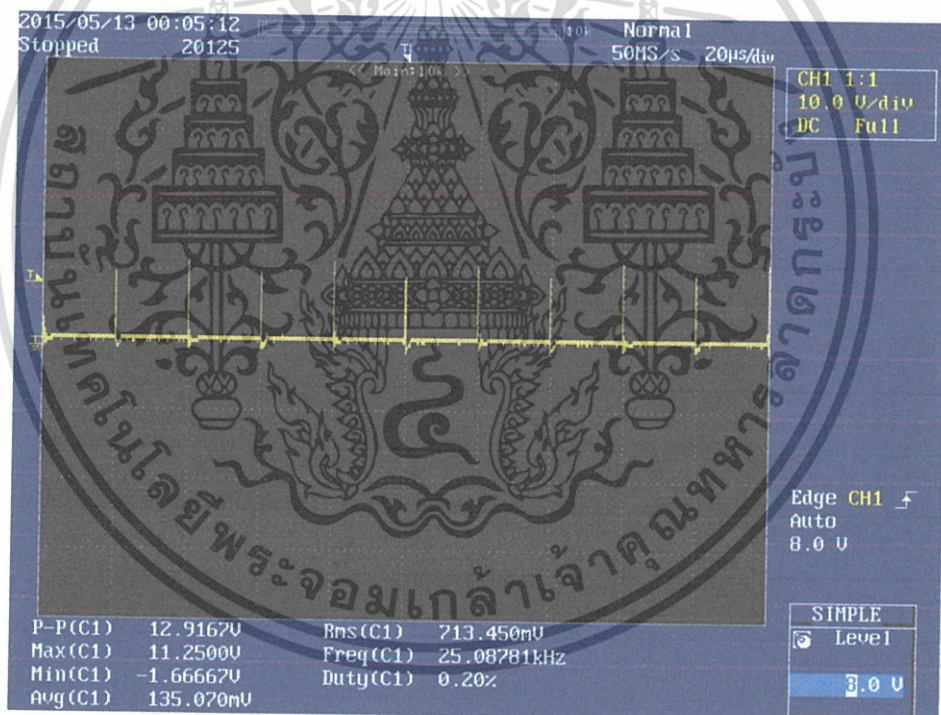


รูปที่ 4.52 แรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิจากการทดลองที่มุม Phase Shift Angle 180 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

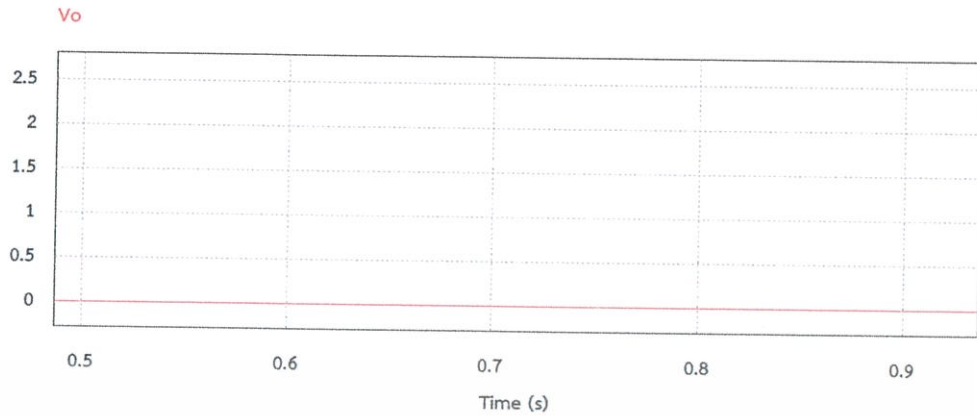


รูปที่ 4.53 การจำลองแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิจากคอมพิวเตอร์
ที่มุม Phase Shift Angle เป็น 180 องศา

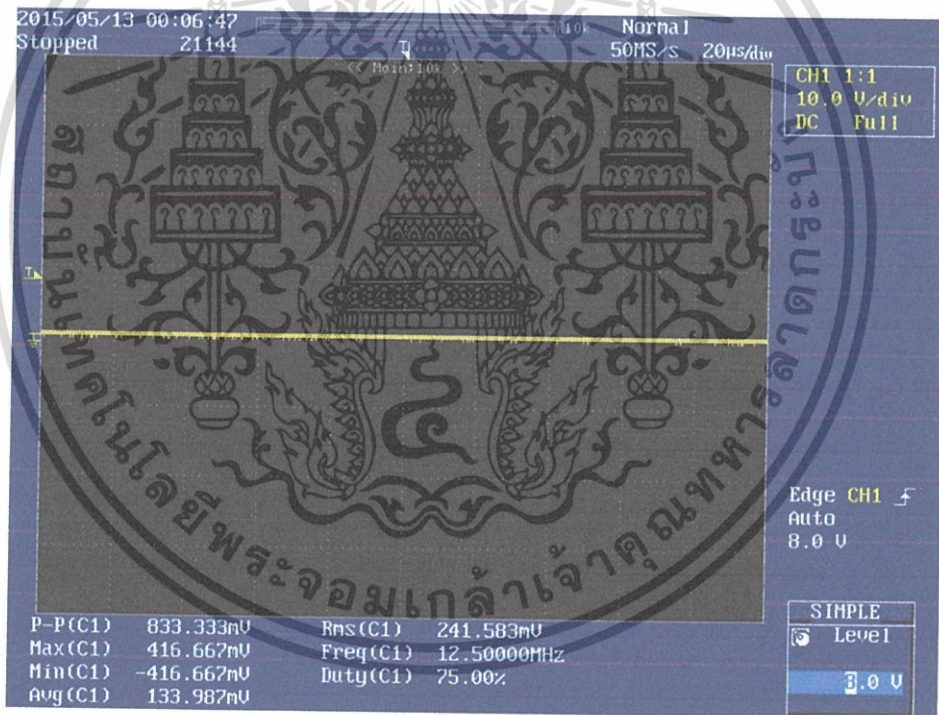


รูปที่ 4.54 แรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิจากการทดลองที่มุม Phase Shift Angle 180 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.55 การจำลองแรงดันไฟฟ้าขาออกจากคอมพิวเตอร์
ที่มุม Phase Shift Angle เป็น 180 องศา

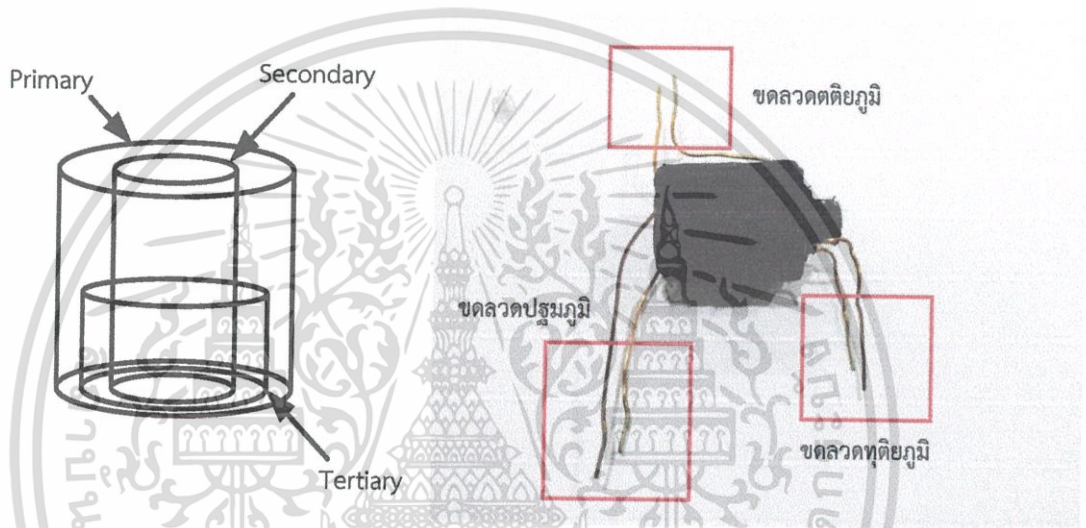


รูปที่ 4.56 แรงดันไฟฟ้าขาออกจากการทดลองที่มุม Phase Shift Angle 180 องศา

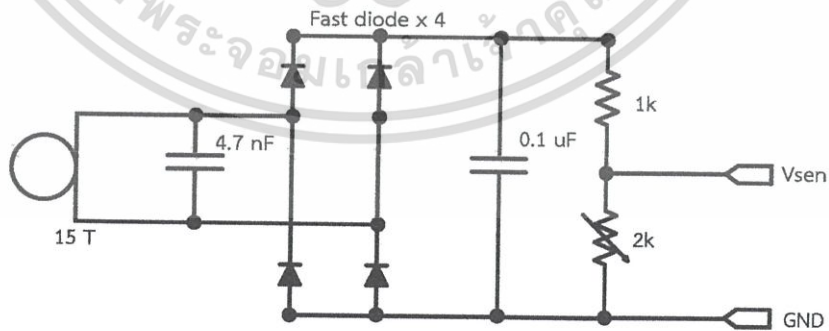
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดสอบ PI Control

ในระบบควบคุมแบบป้อนกลับ ในการทดลองตอนแรกได้ทำการวัดแรงดัน V_{sen} จากขดลวดตติยภูมิ (Tertiary Coil) เพื่อต้องการให้เซนเซอร์อยู่ด้านเดียวกับขดลวดปฐมภูมิ เพื่อมีความสะดวกและเหมาะสมทำให้ขดลวดทุติยภูมิสามารถแยกออกได้โดยไม่จำเป็นต้องมีสายเซนเซอร์ต่อกลับไปหาวงจรฝั่งปฐมภูมิ โดยการทดลองได้ทำการพันขดลวดตติยภูมิอยู่บนด้านปฐมภูมิ โดยหม้อแปลงที่ใช้ทำการทดสอบพันขดลวดตติยภูมิใช้หม้อแปลงดังรูปที่ 4.57 พันขดลวดที่ 15 รอบ โดยวงจรที่ใช้เป็นไปดังรูปที่ 4.58



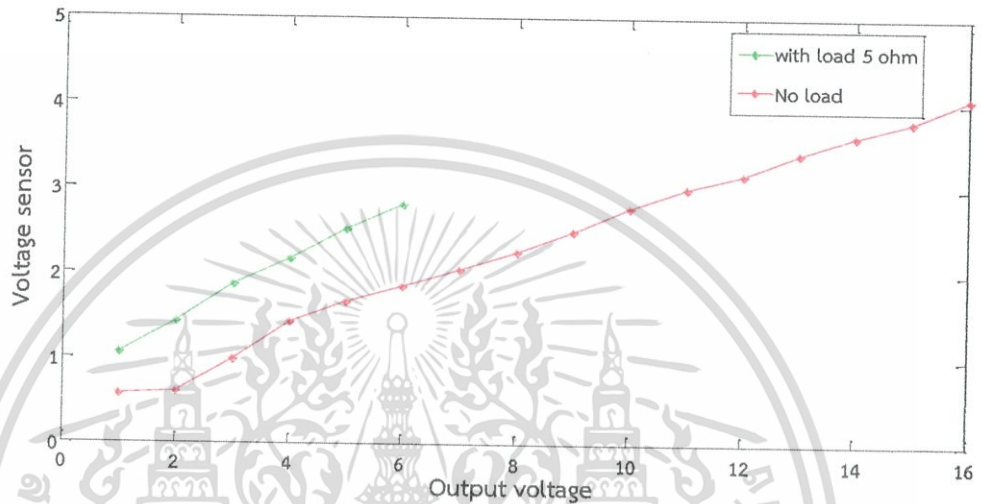
รูปที่ 4.57 หม้อแปลงทดสอบมีขดลวดตติยภูมิ



รูปที่ 4.58 วงจรแปลงสัญญาณเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบทดสอบโดยการวัดแรงดันเอาต์พุตเปรียบเทียบกับแรงดัน V_{sen} ขณะมีโหลด เทียบกับไม่มีโหลด แสดงดังรูปที่ 4.59 จากผลการทดลองจะเห็นว่าขณะไม่มีโหลดแรงดัน V_{sen} จะต่ำกว่าขณะมีโหลด แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลดจะทำให้แรงดัน V_{sen} นั้นเปลี่ยนไปด้วย ทำให้ไม่สามารถนำมาใช้ในการควบคุมแรงดันแบบป้อนกลับได้ เพราะจะทำให้ค่าที่ได้คลาดเคลื่อนจากค่าจริง



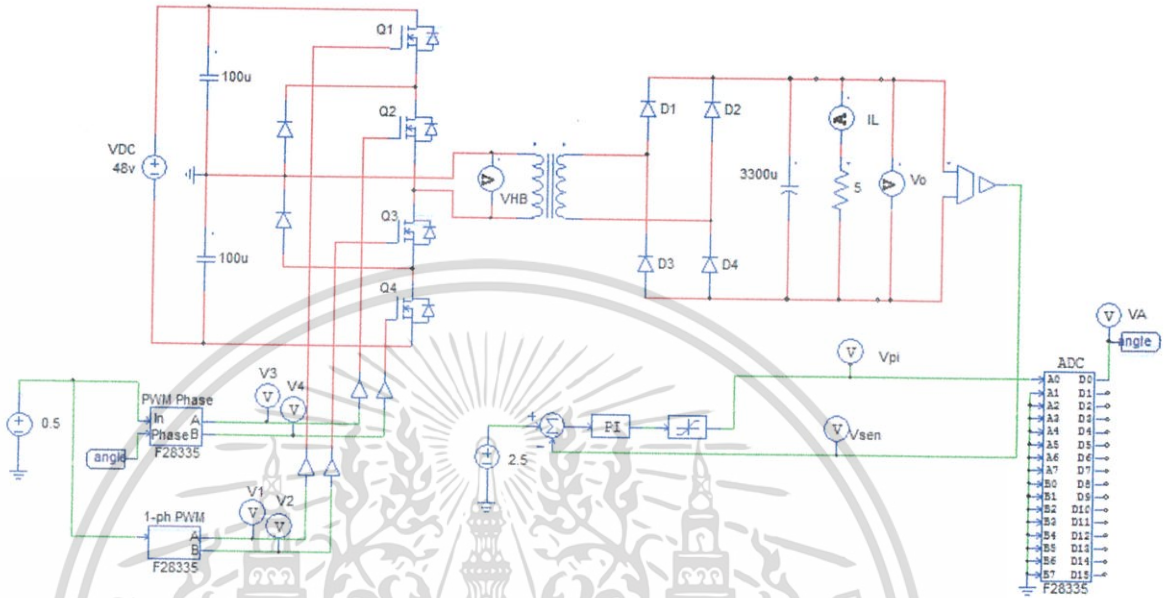
รูปที่ 4.59 แรงดันเอาต์พุตเปรียบเทียบกับ V_{sen} ขณะต่อโหลดและไม่ต่อโหลด 5 โอห์ม

จากการทดลองจึงใช้เซนเซอร์วัดแรงดันแรงดันเอาต์พุตและมีสายเซนเซอร์ต่อเชื่อมกับตัวควบคุมเพื่อส่งสัญญาณให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมระบบป้อนกลับได้ดีกว่า

4.5.1 ผลการทดสอบจากผล Simulation โดยใช้โปรแกรม Psim 9.0

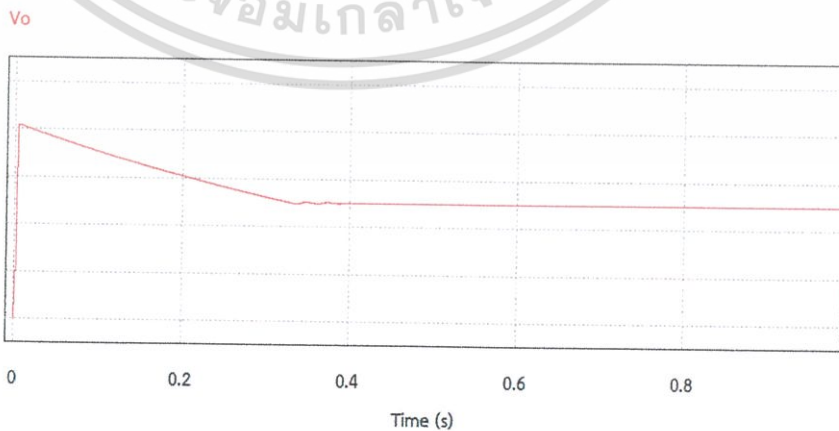
การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการ Simulation มีข้อดีหลายอย่างเพราะซอฟต์แวร์นั้นสามารถให้ผลใกล้เคียงกับระบบจริงมากที่สุด โปรแกรม Psim 9.0 จึงถูกเลือกใช้ในการทำงานนี้

โปรแกรมนี้สามารถใช้วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ในระบบ ตัวแปรต่าง ๆ สามารถปรับเปลี่ยนได้ง่ายเพื่อปรับตั้งค่าให้เหมาะสม รูปภาพด้านล่างแสดงบล็อกไดอะแกรมที่ถูกสร้างโดยโปรแกรม Psim9.0



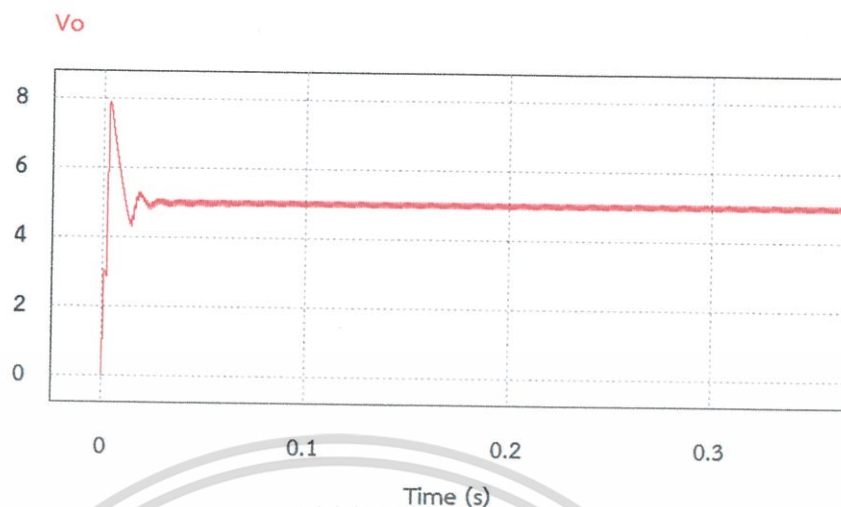
รูปที่ 4.60 Psim 9.0 Block Diagram

ผลตอบสนองแรงดันเอาต์พุตของระบบที่มีระบบควบคุม ขณะไม่มีการต่อโหลด ระบบจะพยายามคงที่แรงดันที่ 5V ดังแสดงดังรูปที่ 4.60 สำหรับผลตอบสนองเมื่อมีโหลดโดยการต่อตัวต้านทาน 5 โอห์ม จะแสดงดังรูปที่ 4.61 จะเห็นได้ว่าระบบจะมีผลตอบสนองต่อ Transient Response และ Steady State เปลี่ยนไป



รูปที่ 4.60 ผลตอบสนองขณะไม่มีการต่อโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

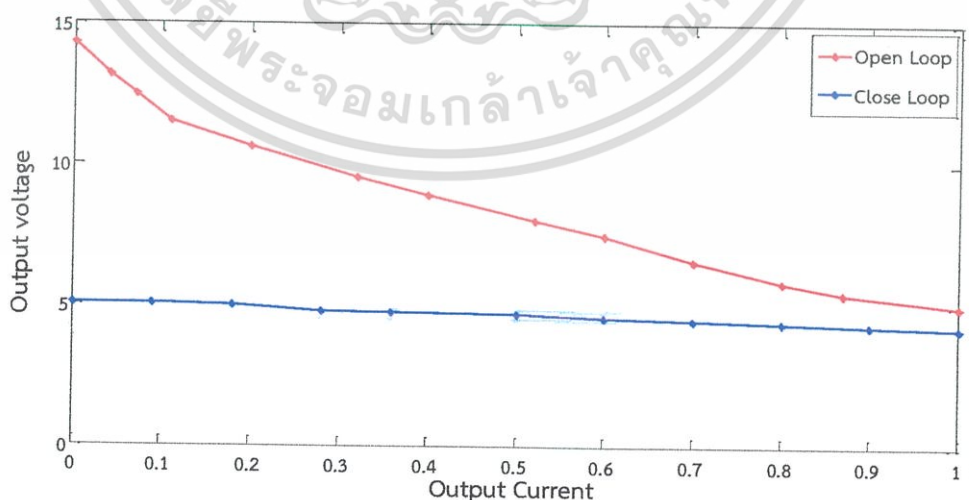


รูปที่ 4.61 ผลตอบสนองขณะต่อโหลด 5 โอห์ม

4.5.2 ผลการทดสอบฮาร์ดแวร์

สำหรับการทดสอบฮาร์ดแวร์ มีจุดมุ่งหมายคือการของที่แรงดันด้านเอาต์พุตเมื่อมีการจ่ายกำลังที่เปลี่ยนไป โดยโหลดของฮาร์ดแวร์นี้คือการชาร์จแบตเตอรี่ ซึ่งแบตเตอรี่จะมีการดิงกระแสที่เวลาต่าง ๆ แตกต่างกันไป ทำให้แรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนไปจึงจำเป็นต้องมีการคงที่แรงดันเพื่อใช้ชาร์จแบตเตอรี่และป้องกันการโอเวอร์โวลต์เตจสร้างความเสียหายให้กับแบตเตอรี่

โดยการทดลองจะทดสอบโดยการดิงกระแสที่ต่าง ๆ กัน เพื่อดูผลของแรงดันเอาต์พุตว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร โดยเปรียบเทียบระหว่าง ระบบที่มีการ Open Loop กับระบบที่มีการ Close Loop โดยผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.62



รูปที่ 4.62 กระแสเอาต์พุตเปรียบเทียบกับแรงดันเอาต์พุต ขณะ Open Loop และ Close Loop

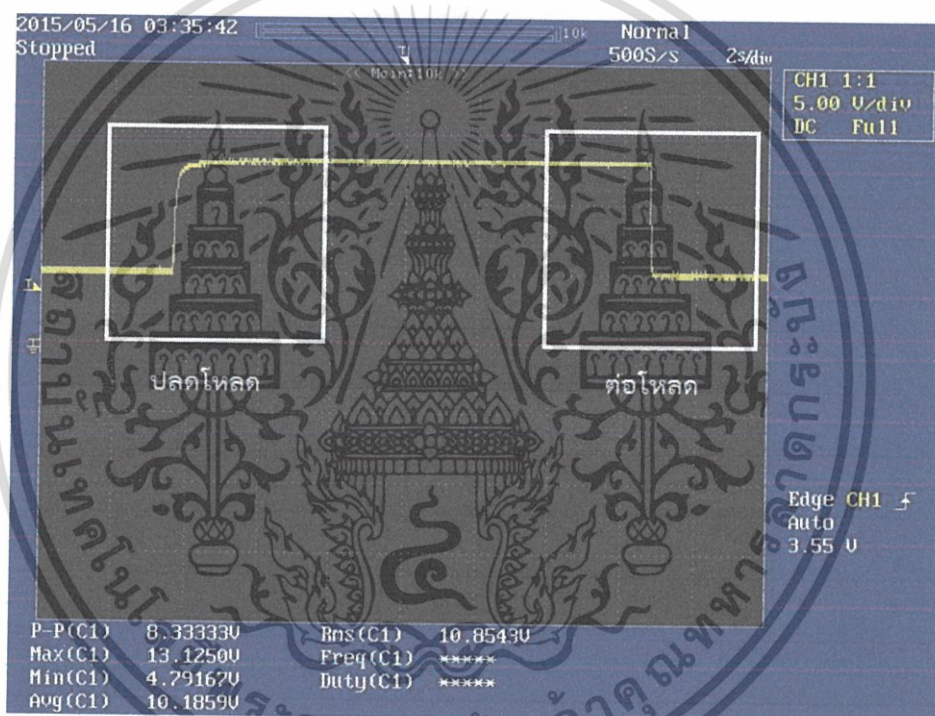
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าระบบที่มีการควบคุมแบบป้อนกลับ เมื่อโหนดมีการดึงกระแสเปลี่ยนไป แรงดันเอาต์พุตสามารถคงที่แรงดันได้ดีกว่าระบบที่ไม่มีการควบคุมแบบป้อนกลับ

4.5.2.1 ผลการเปรียบเทียบฮาร์ดแวร์แบบ Open Loop และ Close Loop

การทดลองการเปรียบเทียบนี้ จะทำโดยการทดสอบการปลดโหนดออก และต่อโหนด เพื่อเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบ ผลการตอบสนองวัดจากแรงดันเอาต์พุตโดยใช้ ออสซิลโลสโคป ผลที่ได้เป็นดังนี้

- แบบ Open Loop

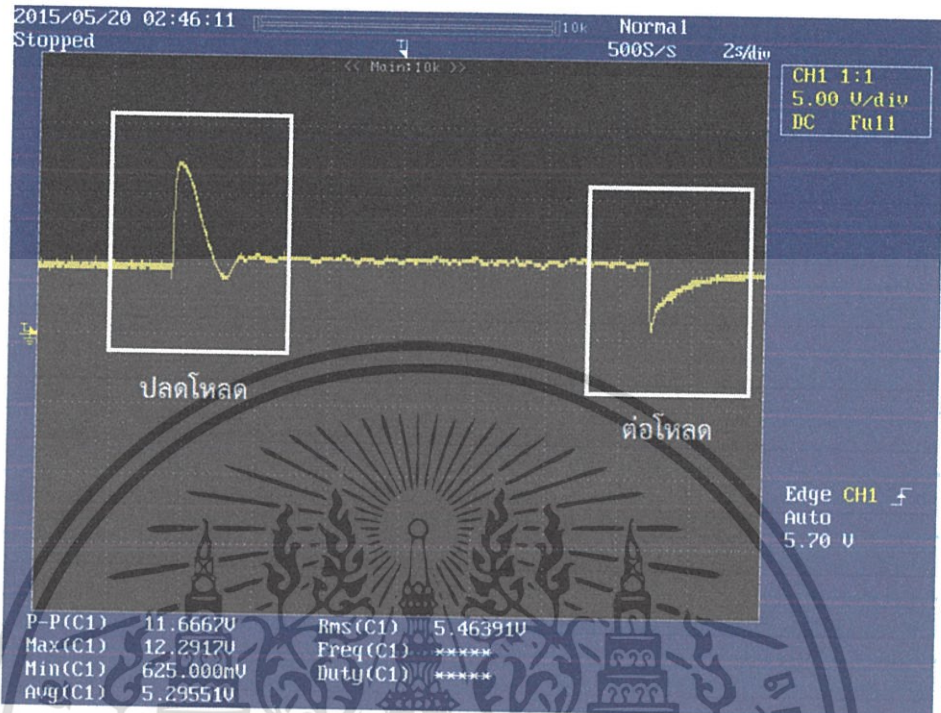


รูปที่ 4.63 ผลการตอบสนองขณะปลดโหนดและต่อโหนดของระบบ Open Loop

จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการปลดโหนดออกแรงดันจะพุ่งสูงขึ้นจาก 5V เป็น 13.1 V และเมื่อต่อโหนดกลับแรงดันจะกลับมาเท่าเดิม การที่ระบบเป็นแบบนี้แสดงว่าเมื่อขณะโหนดมีการดึงกระแสน้อยหรือไม่ดึงกระแสเลย จะทำให้แรงดันพุ่งสูงขึ้นจากที่ควรจะเป็น เป็นผลมาจากหม้อแปลงจะแรงดันตกลงเมื่อโหนดเพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้ต้องมีการควบคุมแรงดันเอาต์พุตโดยการใช้อุปกรณ์ควบคุมแบบป้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แบบ Close Loop



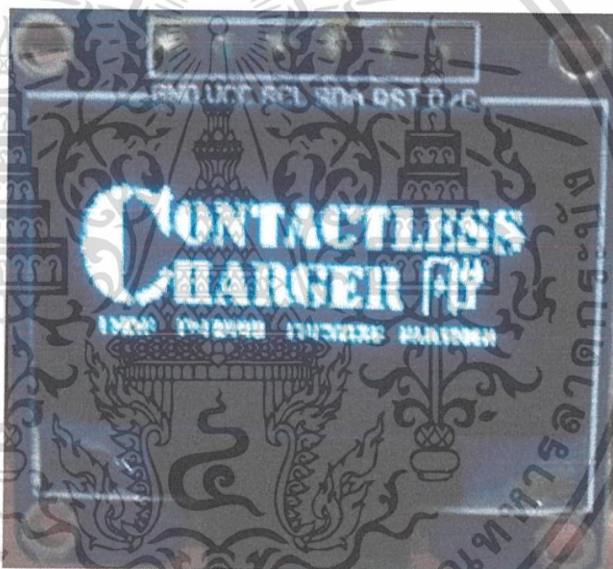
รูปที่ 4.64 ผลการตอบสนองขณะปลดโหลดและต่อโหลดของระบบ Close Loop

จะเห็นว่าเมื่อมีการปลดโหลดออกจากระบบจะตอบสนองโดยการคงที่แรงดันให้เท่าเดิม โดยจะเห็นได้จากการเกิดช่วง Transient Response และระบบจะพยายามกลับเข้าสู่ Steady State เมื่อต่อโหลดกลับแรงดันจะตกลงและกลับเข้าสู่สภาวะ Steady State เช่นกัน ระบบควบคุมแบบ Close Loop จึงเหมาะสมกับการใช้งานนี้ เพราะเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลด ระบบจะยังสามารถคงที่แรงดันที่ 5V ได้

4.6 การทดสอบการอัดประจุ

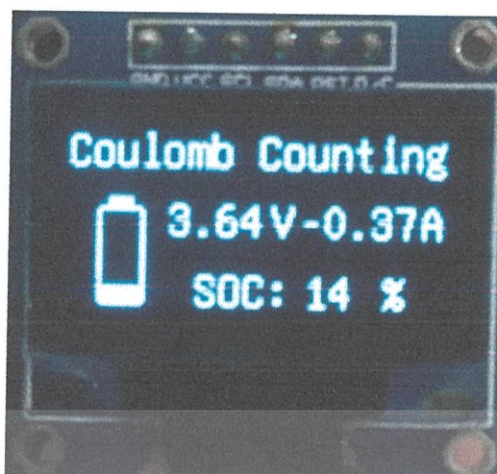
ในส่วนของวงจรตรวจวัดการอัดประจุนั้นจะทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านทางวงจรป้องกันกระแสเกิน ก่อนที่จะเข้าไปที่ส่วนของตัวตรวจนับประจุและเข้าไปที่แบตเตอรี่ หน่วยประมวลผล Arduino ATmega2560 จะรับสัญญาณเข้าจากตัวตรวจนับประจุที่ขา 2-7 มีการส่งสัญญาณเพื่อตัดวงจรการอัดประจุด้วยรีเลย์จากขา 24 และรับสัญญาณจากสวิตช์เพื่อรีเซ็ตการทำงานของวงจรการอัดประจุที่ขา 22 ในส่วนของจอแสดงผลจะใช้ขา 9-13 โดยการแสดงผลของจอจะสามารถแบ่งได้เป็นสถานะดังนี้

เมื่อเริ่มเปิดเครื่อง หน้าจอจะมีการแสดงผลดังรูปที่ 4.65 พร้อมกันนั้นระบบจะทำการตรวจวัดแรงดันเริ่มต้นของแบตเตอรี่เพื่อประมวลผลสถานะของแบตเตอรี่ในขณะที่เริ่มอัดประจุว่ามีแบตเตอรี่อยู่ประมาณกี่เปอร์เซ็นต์



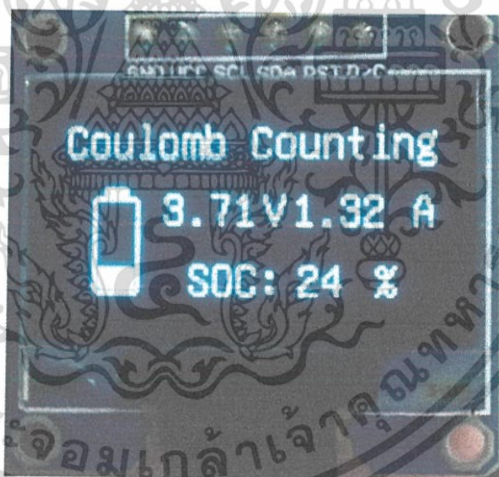
รูป 4.65 หน้าจอแสดงผลตอนเริ่มต้น

เมื่อทำการอัดประจุ หน้าจอแสดงผลจะแสดงค่าแรงดันที่ตกคร่อมแบตเตอรี่อยู่ในขณะนั้น รวมถึงประมวลผลของกระแสและเปอร์เซ็นต์ของแบตเตอรี่ในขณะนั้น โดยที่ขณะทำการอัดประจุ ค่ากระแสที่ผ่านเข้าแบตเตอรี่จะมีค่าติดลบดังรูปที่ 4.65



รูป 4.66 หน้าจอแสดงผลขณะทำการอัดประจุ

เมื่อทำการคายประจุ หน้าจอแสดงผลจะแสดงค่าแรงดันที่ตกคร่อมแบตเตอรี่อยู่ในขณะนั้น รวมถึงประมวลผลของกระแสและเปอร์เซ็นต์ของแบตเตอรี่ในขณะนั้น โดยที่ขณะทำการคายประจุ ค่ากระแสที่ผ่านเข้าแบตเตอรี่จะมีค่าเป็นบวก

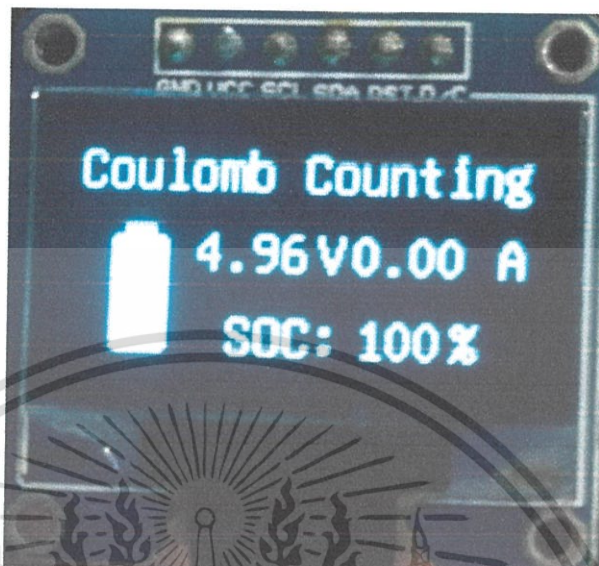


รูป 4.67 หน้าจอแสดงผลขณะคายประจุ

เมื่อทำการอัดประจุจนเต็ม 100% แล้ว ระบบจะทำการตัดวงจรที่ทำการอัดประจุออกด้วยรีเลย์และทำการวัดค่าแรงดันของแบตเตอรี่ว่ามีค่าสูงถึงค่าแรงดันสูงสุดที่ตั้งไว้หรือไม่ หากแบตเตอรี่มีค่าต่ำกว่าแรงดันสูงสุดที่กำหนด ระบบจะทำการประมวลผลค่าแรงดันของแบตเตอรี่ในขณะนั้นว่ามีค่าอยู่ที่ประมาณกี่เปอร์เซ็นต์แล้วสั่งให้รีเลย์ที่ตัดวงจรออกกลับมา นำกระแสใหม่เพื่ออัดประจุต่อ แต่หากแบตเตอรี่มีแรงดันสูงมากจนถึงค่าแรงดันที่กำหนดแล้ว ระบบก็จะไม่มีการทำให้

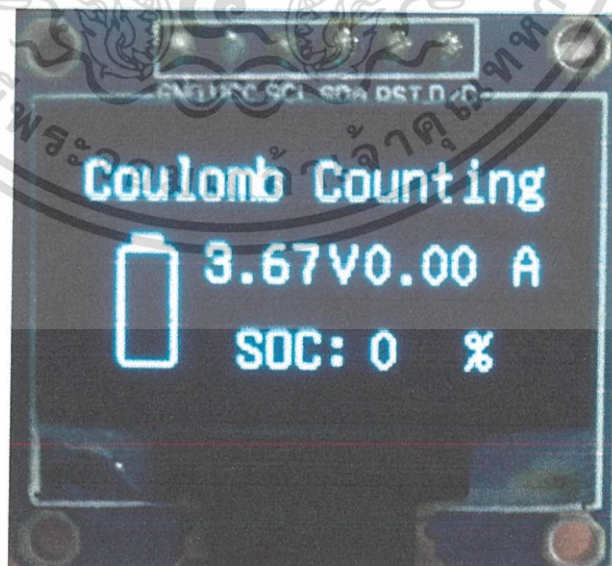
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบกลับมานำกระแสใหม่จนกว่าจะกวดสวิตซ์ที่วงจรตัดกระแส และหน้าจอแสดงผลจะแสดงผลว่า แบตเตอรี่เต็ม 100%



รูป 4.68 หน้าจอแสดงผลเมื่อแบตเตอรี่เต็ม

เมื่อทำการคายประจุจนหมดจนแบตเตอรี่เหลือ 0% ระบบจะทำการตัดวงจรการอัดประจุที่เป็นทางผ่านไปสู่โหลดเพื่อหยุดการนำไฟฟ้าของวงจรและจะไม่กลับมานำกระแสจนกว่าจะกวดสวิตซ์ที่วงจรตัดกระแส และหน้าจอจะแสดงผลว่าแบตเตอรี่เหลือ 0%



รูป 4.69 หน้าจอแสดงผลเมื่อแบตเตอรี่เหลือ 0%

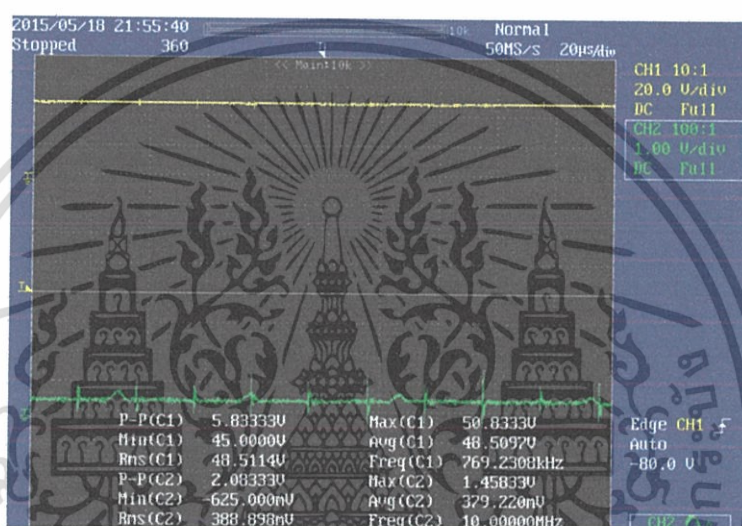
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ประสิทธิภาพของวงจรต้นแบบ

จากการสร้างวงจรต้นแบบ จะต้องมีการคิดคำนวณหาค่าประสิทธิภาพในวงจรที่ออกแบบได้ ดังนั้นจึงมีการคิดคำนวณหาประสิทธิภาพเป็นส่วน ๆ แล้วนำมาเทียบกับการคิดคำนวณหาประสิทธิภาพทั้งระบบของวงจรต้นแบบ

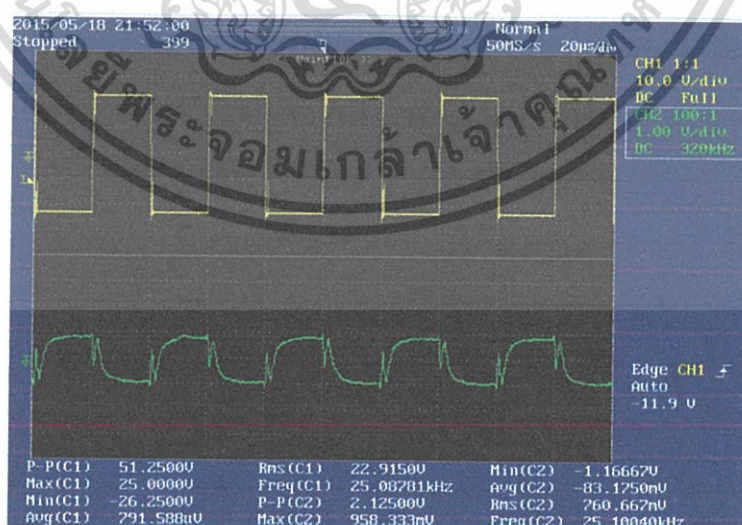
4.7.1 คิดหาประสิทธิภาพของวงจรเมื่อจ่ายแรงดัน Square Wave

ที่ Diode Clamp Multilevel Inverter



รูปที่ 4.70 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

$$P_{in} = IV = (0.39)(48.5) = 18.915 \text{ W}$$



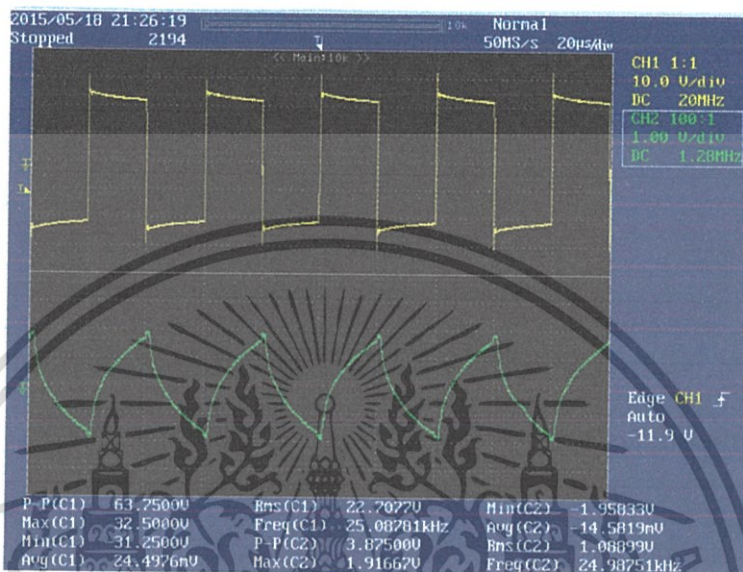
รูปที่ 4.71 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าหลัง Diode Clamp Multilevel Inverter

$$P_{out} = IV = (0.76)(22.9) = 17.4 \text{ W}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

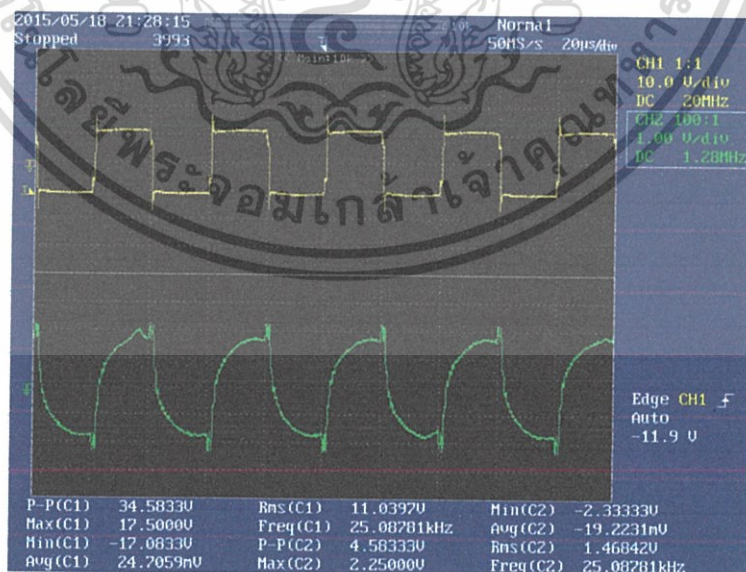
$$\text{Eff} = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% = \frac{17.4}{18.915} \times 100\% = 92\%$$

ที่หม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์



รูปที่ 4.72 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ

$$P_{\text{in}} = IV = (1.08)(22.7) = 24.52 \text{ W}$$



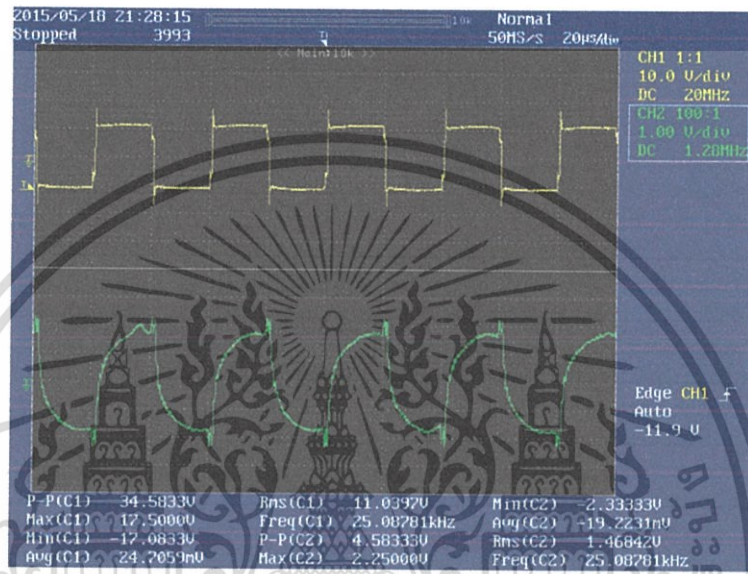
รูปที่ 4.73 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{out} = IV = (1.47) (11.04) = 16.23 \text{ W}$$

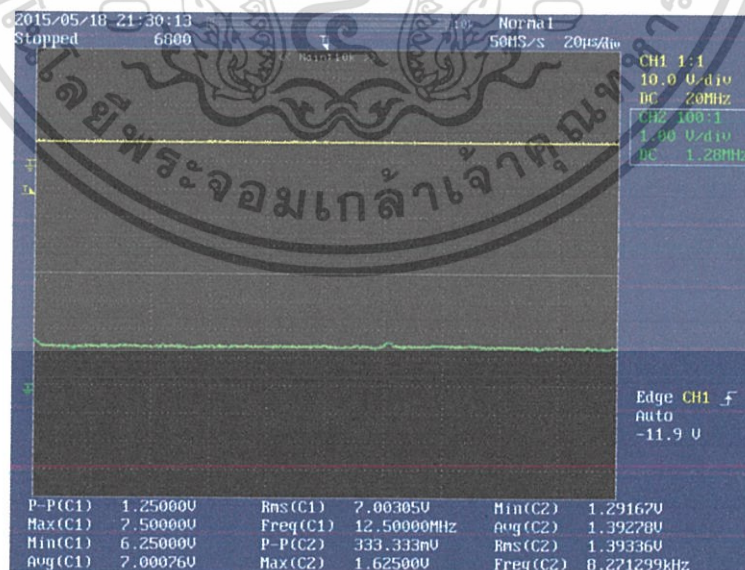
$$\text{Eff} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{16.23}{24.52} \times 100\% = 66.19\%$$

ที่วงจรเรียงกระแส



รูปที่ 4.74 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ

$$P_{in} = IV = (1.47) (11.04) = 16.23 \text{ W}$$



รูปที่ 4.75 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านขาออก

$$P_{out} = IV = (1.39) (7) = 9.73 \text{ W}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Eff} = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% = \frac{9.73}{16.23} \times 100\% = 60\%$$

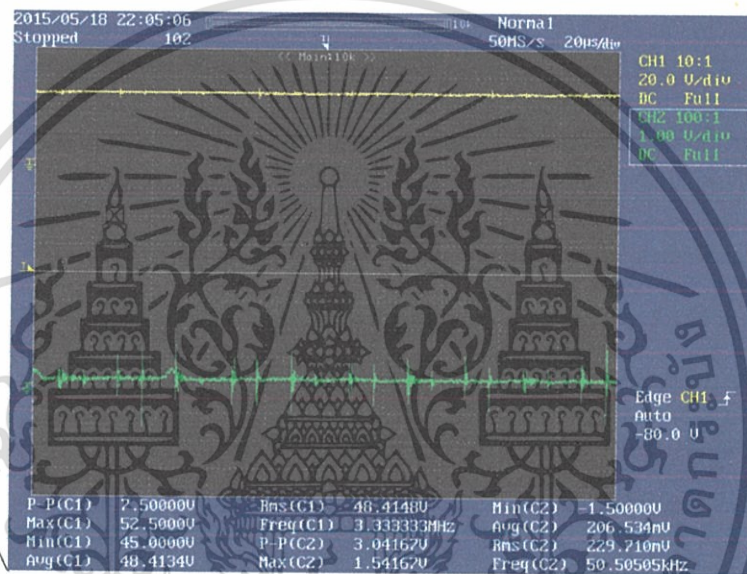
ดังนั้น

$$\text{Eff}_{\text{total}} = (92\%) (66.19\%) (60\%) = 36.54\%$$

$$\text{Eff}_{\text{all system}} = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% = \frac{9.73}{(0.39)(48)} \times 100\% = 51.97\%$$

4.7.2 คิวหาประสิทธิภาพของวงจรเมื่อจ่ายแรงดันที่ใช้งาน (5V, 1A)

ที่ Diode Clamp Multilevel Inverter



รูปที่ 4.76 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

$$P_{\text{in}} = IV = (0.23)(48.4) = 11.132 \text{ W}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

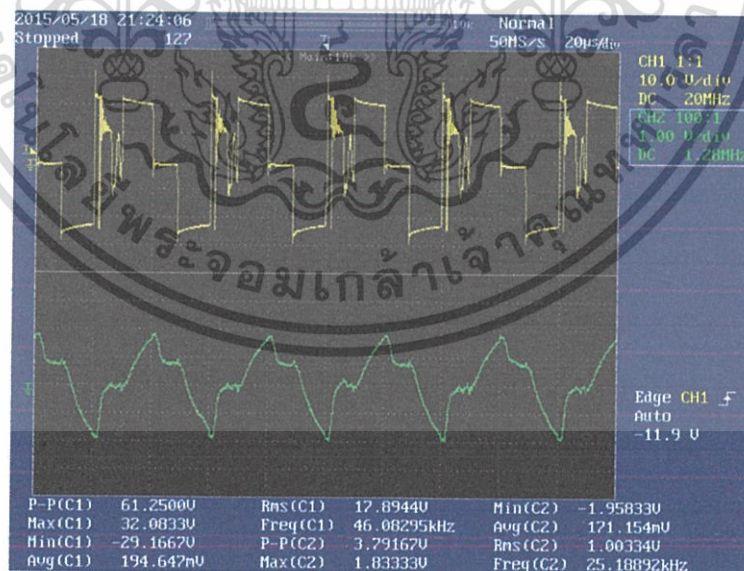


รูปที่ 4.77 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าหลัง Diode Clamp Multilevel Inverter

$$P_{out} = IV = (0.6)(18) = 10.8 \text{ W}$$

$$\text{Eff} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{10.8}{11.132} \times 100\% = 97$$

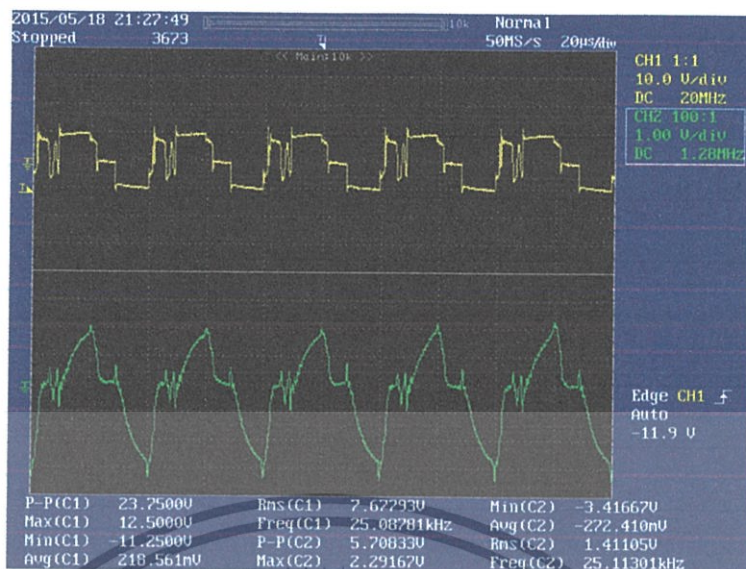
ที่หม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์



รูปที่ 4.78 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ

$$P_{in} = IV = (1)(17.89) = 17.89 \text{ W}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

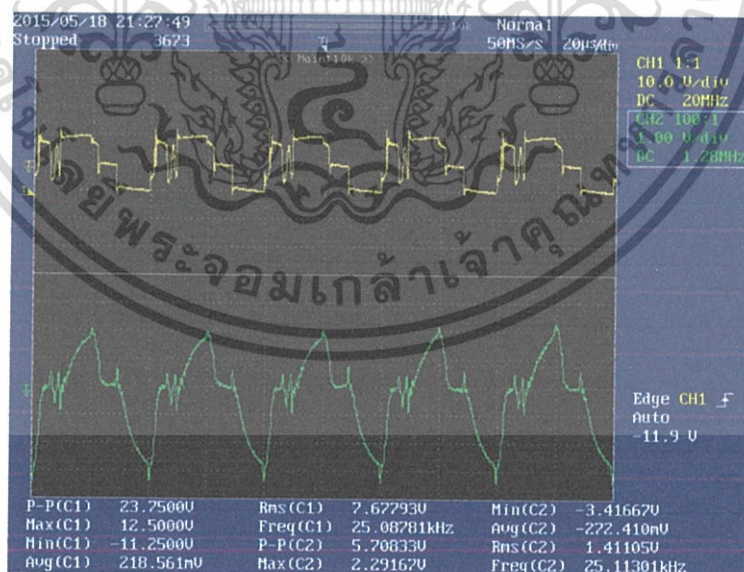


รูปที่ 4.79 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ

$$P_{out} = IV = (1.4)(7.68) = 10.752 \text{ W}$$

$$\text{Eff} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{10.752}{17.89} \times 100\% = 60\%$$

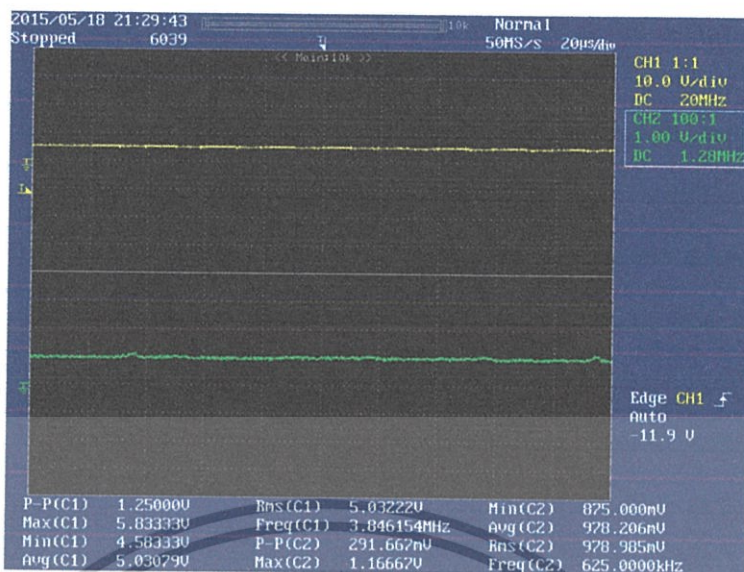
ที่วงจรเรียงกระแส



รูปที่ 4.80 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ

$$P_{in} = IV = (1.4)(7.6) = 10.752 \text{ W}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.81 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขาออก

$$P_{out} = IV = (1)(5.03) = 5.03 \text{ W}$$

$$Eff = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{5.03}{10.64} \times 100\% = 47\%$$

$$Eff_{total} = (97\%)(60\%)(47\%) = 27.35\%$$

$$Eff_{all \ system} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{5.03}{(0.23)(48)} \times 100\% = 45.09\%$$

ดังนั้น

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบ Efficiency แต่ละส่วนของวงจร

Output voltage	Device	Vin	Iin	Pin	Vout	Iout	Pout	Eff (%)	Eff all (%)
Max	DCMI	48.5	0.39	18.915	22.9	0.76	17.4	92	51.97
	Transformer	22.7	1.08	24.52	11.04	1.47	16.23	66.19	
	Rectifier	11.04	1.47	16.23	7	1.39	9.73	60	
Using (5V)	DCMI	48.4	0.23	11.132	18	0.6	10.8	97	45.09
	Transformer	17.89	1	17.89	7.68	1.4	10.752	60	
	Rectifier	7.68	1.4	10.752	5.03	1	5.03	47	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการส่งกำลังในระบบไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้หม้อแปลงทรงกระบอกความถี่สูงและตรวจวัดสถานะการอัดประจุด้วยวิธีการนับประจุ โดยจะทำการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงด้วยวงจรไดโอดแคลมป์มัลติเลเวลอินเวอร์เตอร์ที่มีระบบควบคุมป้อนกลับแบบ PI เพื่อรักษาแรงดันเอาต์พุตที่ถูกส่งผ่านกำลังมาจากหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ทรงกระบอกที่ทำหน้าที่เสมือนเต้าเสียบและทำการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงให้กลับมาเป็นไฟฟ้ากระแสตรงโดยผ่านวงจรเรียงกระแสเพื่อนำไปทำการอัดประจุกับแบตเตอรี่ชนิด Li-ion โดยมีการตรวจวัดสถานะและควบคุมการอัดประจุด้วยวิธีการนับประจุเพื่อความแม่นยำในการอัดประจุและป้องกันไม่ให้เกิดการอัดประจุเกินความจุของแบตเตอรี่ โดยการสร้างชิ้นงานมีดังนี้

1. ใช้วงจรไดโอดแคลมป์มัลติเลเวลอินเวอร์เตอร์เพื่อแปลงแรงดันจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับเพื่อส่งกำลังผ่านหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ทรงกระบอก โดยมีการควบคุมด้วยระบบ PI เพื่อคงแรงดันไฟฟ้าขาออกไว้ที่ 5 Vdc
2. ใช้อุปกรณ์ประมวลผล Arduino ในการเขียนโปรแกรมควบคุมแรงดันและควบคุมการนับประจุ
3. หม้อแปลงไฟฟ้าที่เลือกใช้ให้เป็นเต้ารับและเต้าเสียบแบบไร้หน้าสัมผัสคือหม้อแปลงไฟฟ้าแกนเฟอร์ไรต์ทรงกระบอกโดยมี Turn Ratio 1.6:1 มีจำนวนรอบเป็น 80:50 รอบ โดยมีประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าเป็น 63.1% โดยที่ขดลวดด้านปฐมภูมิทำหน้าที่เป็นเต้ารับ และขดลวดด้านทุติยภูมิทำหน้าที่เป็นเต้าเสียบ ซึ่งเมื่อทำการจ่ายโหลดพบว่าจะมีแรงดันตกเล็กน้อยที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง
4. ใช้การตรวจวัดสถานะแบตเตอรี่ด้วยการนับประจุ โดยใช้ LTC4150 เป็นอุปกรณ์ตรวจนับประจุเพื่อส่งข้อมูลไปให้หน่วยประมวลผลคำนวณปริมาณแบตเตอรี่และแสดงผลออกทางหน้าจอ OLED

5.2 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาการวิจัย

1. อุปกรณ์ที่ใช้งานเฉพาะควรสั่งมาจากต่างประเทศตั้งแต่เริ่มทำงานวิจัย เนื่องด้วยการขนส่งจากต่างประเทศต้องใช้เวลาหลายวันทำให้การทำงานเกิดความล่าช้า
2. อุปกรณ์ที่มีอยู่ในประเทศไทยบางชนิดไม่มีข้อมูลประกอบ ยกตัวอย่างเช่น แกนเพอร์ไรต์ ดังนั้นควรเลือกซื้ออุปกรณ์ที่มีข้อมูลประกอบจากต่างประเทศ
3. อุปกรณ์ในการตรวจนับประจุมีการทนกำลังได้ต่ำ ดังนั้นจึงต้องระวังในเรื่องของแรงดันและกระแสที่นำมาอัดประจุให้อยู่ในระดับที่อุปกรณ์ตรวจนับยอมรับได้
4. ควรตรวจสอบสัญญาณที่ออกจากชุดขับเคลื่อนกับสัญญาณที่เข้าสวิตช์ว่าเป็นสัญญาณที่ถูกต้องก่อนจะทำการทดลองหรือต่อเข้ากับแหล่งจ่ายเพื่อป้องกันการเสียหายของอุปกรณ์ต่าง ๆ
5. ในขณะที่วงจรถ่ายงานอาจเกิดความร้อน ควรมีการระบายความร้อนอย่างเพียงพอเพื่อป้องกันการเสียหายของชิ้นงาน

5.3 แนวทางการพัฒนา

โครงการนี้สามารถพัฒนาเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ เพื่อพิกัดกำลัง และความหลากหลายในการใช้งานได้ดังต่อไปนี้

1. การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ควรใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถสร้างสัญญาณ PWM ที่อินเวอร์สกันและเลื่อนเฟสกันได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้วงจรอินเวอร์สสัญญาณจะทำให้ชุดวงจรมีขนาดเล็กลงได้
2. สามารถเปลี่ยนวงจรอินเวอร์เตอร์ให้มีกำลังมากขึ้นเช่นวงจร Full Bridge Inverter เพื่อเพิ่มพิกัดกำลังในการส่งให้โหลดที่พิกัดสูงกว่า 5 วัตต์ได้
3. ในการคอนโทรลแรงดันเอาต์พุตควรใช้การตรวจจับแรงดันด้านปฏุมภูมิ จะทำให้หม้อแปลงด้านทุติยภูมิสามารถแยกออกได้สะดวกไม่จำเป็นต้องมีสายเซนเซอร์ โดยการศึกษาการคอนโทรลแบบ Fuzzy Control มาพัฒนาต่อไป
4. ในการพัฒนาต่อไป ควรปรับให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรู้จักโหลดที่มาต่อได้เพื่อปรับแรงดันที่เหมาะสมให้กับโหลดนั้น จะทำให้สามารถต่อโหลดได้หลากหลายขึ้น
5. วงจรนี้สามารถพัฒนาให้มีขนาดเล็กลงได้ โดยการใช้ Isolate DC-DC Converter เป็นตัวแยกกราวด์ แทนการใช้หม้อแปลงซึ่งมีขนาดใหญ่
6. ในส่วนของชิ้นงานต้นแบบสามารถใช้กับโหลดได้หลากหลายชนิดขึ้น ซึ่งสามารถปรับแรงดันไฟฟ้าแบบหยาบได้โดยการปรับ Turn Ratio ของหม้อแปลงไฟฟ้า และสามารถปรับแรงดันไฟฟ้าแบบละเอียดได้จากการใช้ PI Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Chiasson and B. Vairamohan, "Estimating the state of charge of a battery," IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 13, no. 3, pp. 465–470, 2005.
- [2] S. Ojika, Y. Miura and T. Ise, "Inductive Contactless Power Transfer System with Coaxial Coreless Transformer for DC Power Distribution," Proc. of the Energy Conversion Congress and Exposition Asia (ECCE-Asia), pp. (20 13).
- [3] S. Ojika, Y. Miura and T. Ise, "Voltage Control of Inductive Contactless Power Transfer System with Coaxial Coreless Transformer for DC Power Distribution" The 2014 International Power Electronics Conference
- [4] NED MOHAN; THOR M. UNDELAND; WILLIAM P. ROBBINS, "POWER ELECTRONICS" 2nd ed. New York; WILEY, 1995
- [5] รศ. ธาราธิษัตรีเศรษฐ์ วุฒิพล / ชันเงิน วีระเชษฐ์.ดร. "Power Electronics", ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.พรินติ้ง .เจ2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

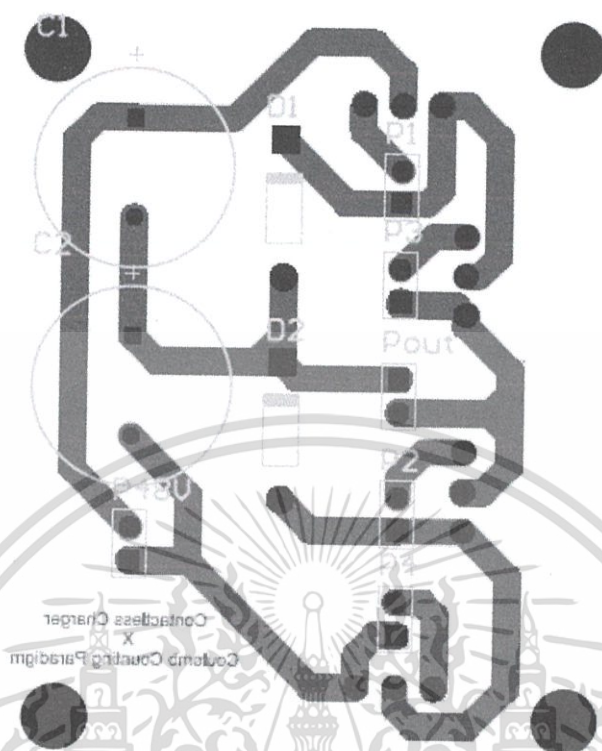


ภาคผนวก

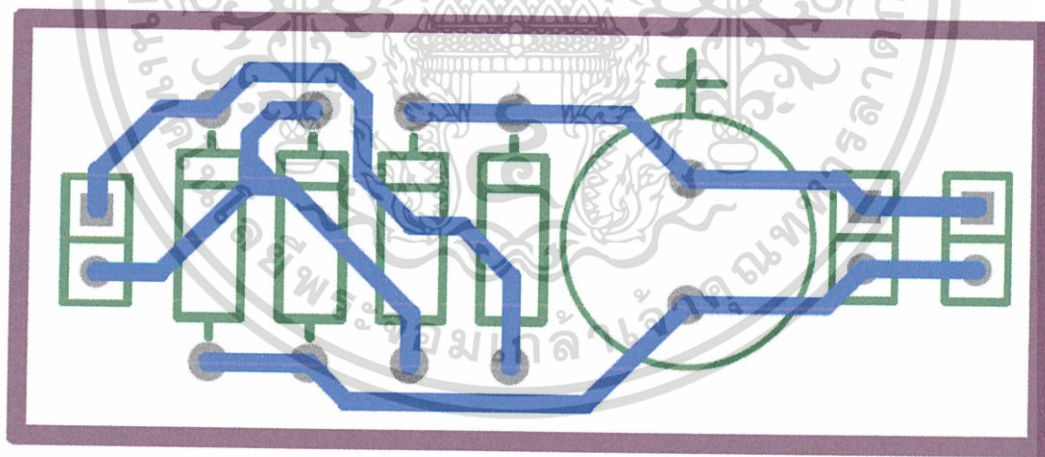
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

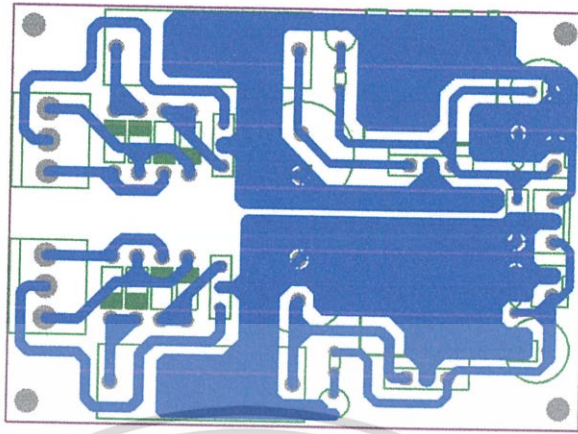


รูปที่ 1 ลายวงจรวงจรกำลังด้านปฐมภูมิ

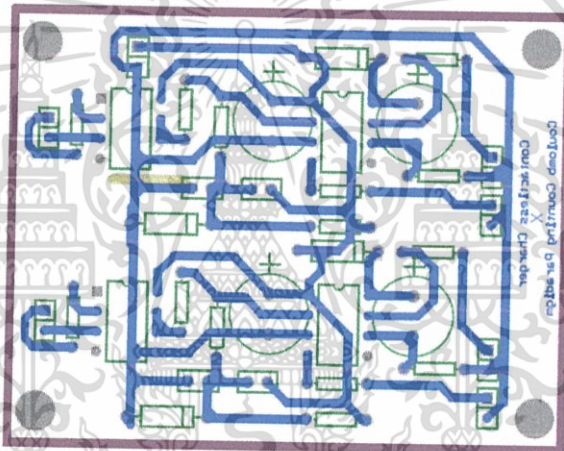


รูปที่ 2 ลายวงจรกำลังด้านทุติยภูมิ

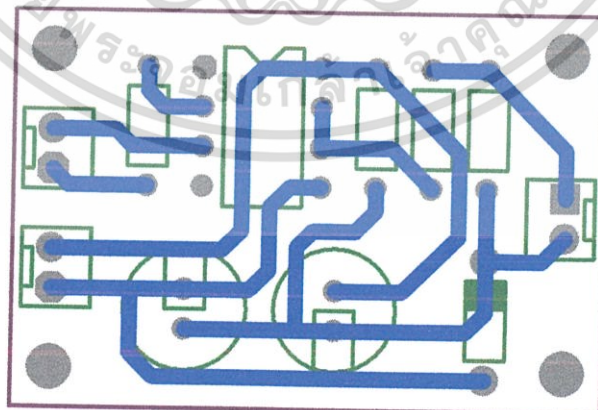
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 ลายวงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงของวงจร



รูปที่ 4 ลายวงจร Half-Bridge Driver



รูปที่ 5 ลายวงจรขับสัญญาณขาเกต

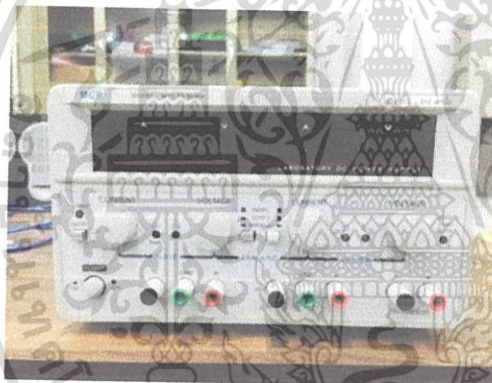
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

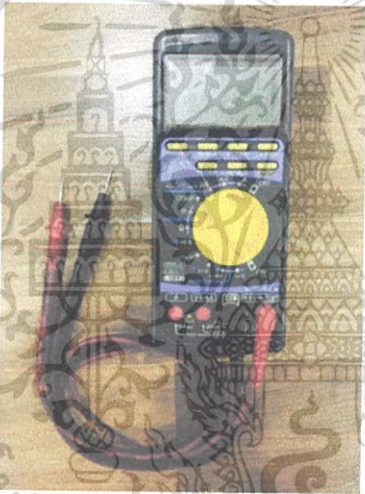


Oscilloscope



DC Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Current Probe
	Multi meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Coulomb Counter/ Battery Gas Gauge

FEATURES

- Indicates Charge Quantity and Polarity
- $\pm 50\text{mV}$ Sense Voltage Range
- Precision Timer Capacitor or Crystal Not Required
- 2.7V to 8.5V Operation
- High Side Sense
- 32.55Hz/V Charge Count Frequency
- 1.5 μA Shutdown Current
- 10-Pin MSOP Package

DESCRIPTION

The LTC[®]4150 measures battery depletion and charging in handheld PC and portable product applications. The device monitors current through an external sense resistor between the battery's positive terminal and the battery's load or charger. A voltage-to-frequency converter transforms the current sense voltage into a series of output pulses at the interrupt pin. These pulses correspond to a fixed quantity of charge flowing into or out of the battery. The part also indicates charge polarity as the battery is depleted or charged.

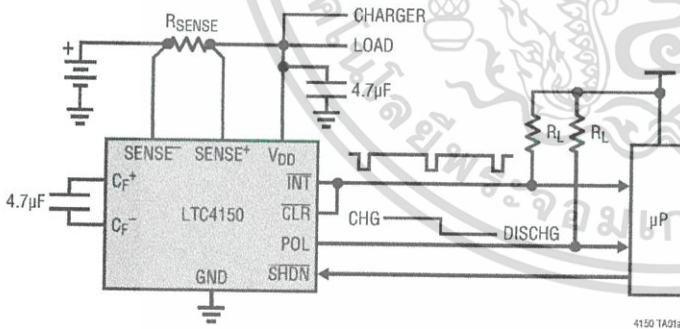
The LTC4150 is intended for 1-cell or 2-cell Li-Ion and 3-cell to 6-cell NiCd or NiMH applications.

LT, LTC, LTM, Linear Technology, the Linear logo, Burst Mode are registered trademarks and ThinSOT and PowerPath are trademarks of Linear Technology Corporation. All other trademarks are the property of their respective owners.

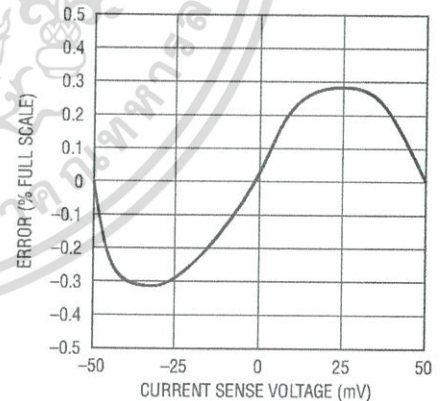
APPLICATIONS

- Battery Chargers
- Palmtop Computers and PDAs
- Cellular Telephones and Wireless Modems

TYPICAL APPLICATION



Integral Nonlinearity, % of Full Scale



4150 TA01b

LTC4150

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

(Note 1)

Supply Voltage (V_{DD}) -0.3V to 9V
Input Voltage RangeDigital Inputs (\overline{CLR} , \overline{SHDN}) -0.3V to ($V_{DD} + 0.3$) $SENSE^-$, $SENSE^+$, C_F^- , C_F^+ -0.3V to ($V_{DD} + 0.3$)

Output Voltage Range

Digital Outputs (\overline{INT} , POL) -0.3V to 9V

Operating Temperature Range

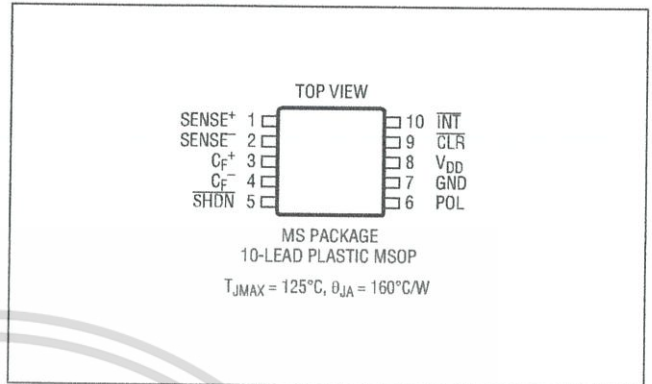
LTC4150CMS 0°C to 70°C

LTC4150IMS -40°C TO 85°C

Storage Temperature Range -65°C to 150°C

Lead Temperature (Soldering, 10 sec) 300°C

PIN CONFIGURATION



ORDER INFORMATION

LEAD FREE FINISH	TAPE AND REEL	PART MARKING*	PACKAGE DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE
LTC4150CMS#PBF	LTC4150CMS#TRPBF	LTQW	10-Lead Plastic MSOP	0°C to 70°C
LTC4150IMS#PBF	LTC4150IMS#TRPBF	LTQW	10-Lead Plastic MSOP	-40°C to 85°C

Consult LTC Marketing for parts specified with wider operating temperature ranges. *The temperature grade is identified by a label on the shipping container. Consult LTC Marketing for information on non-standard lead based finish parts.

For more information on lead free part marking, go to: <http://www.linear.com/leadfree/>

For more information on tape and reel specifications, go to: <http://www.linear.com/tapeandreeel/>

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

The ● denotes the specifications which apply over the full operating temperature range, otherwise specifications are at $T_A = 25^\circ\text{C}$. $V_{DD} = 2.7\text{V}$ and 8.5V unless otherwise noted.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
V_{IL}	Digital Input Low Voltage, \overline{CLR} , \overline{SHDN}		●		0.7	V	
V_{IH}	Digital Input High Voltage, \overline{CLR} , \overline{SHDN}		●	1.9		V	
V_{OL}	Digital Output Low Voltage, \overline{INT} , POL	$I_{OL} = 1.6\text{mA}$, $V_{DD} = 2.7\text{V}$	●		0.5	V	
I_{LEAK}	Digital Output Leakage Current, \overline{INT} , POL	$V_{INT} = V_{POL} = 8.5\text{V}$	●	0.01	1	μA	
V_{OS}	Differential Offset Voltage (Note 4)	$V_{DD} = 4.0\text{V}$	●		± 100 ± 150	μV μV	
		$V_{DD} = 8.0\text{V}$	●		± 100 ± 150	μV μV	
		$V_{DD} = 2.7\text{V}$ to 8.5V	●		± 150 ± 200	μV μV	
			●				
$V_{SENSE(CM)}$	Sense Voltage Common Mode Input Range		●	$V_{DD} - 0.06$	$V_{DD} + 0.06$	V	
V_{SENSE}	Sense Voltage Differential Input Range	$SENSE^+ - SENSE^-$	●	-0.05	0.05	V	
R_{IDR}	Average Differential Input Resistance, Across $SENSE^+$ and $SENSE^-$	$V_{DD} = 4.1\text{V}$ (Note 3)		155	270	390	$\text{k}\Omega$
V_{UVLO}	Undervoltage Lockout Threshold	V_{DD} Rising	●	2.5	2.7	V	

4150fc

2 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

The ● denotes the specifications which apply over the full operating temperature range, otherwise specifications are at $T_A = 25^\circ\text{C}$. $V_{DD} = 2.7\text{V}$ and 8.5V unless otherwise noted.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
Power Supply Current							
I_{DD}	Supply Current, Operating	$V_{DD} = 8.5\text{V}$ $V_{DD} = 2.7\text{V}$	● ●		115 80	140 100	μA μA
$I_{DD(SD)}$	Supply Current, Shutdown	$V_{DD} = 8.5\text{V}$ $V_{DD} = 5.5\text{V}$ $V_{DD} = 2.7\text{V}$	● ● ●		10	22 10 1.5	μA μA μA
AC Characteristics							
G_{VF}	Voltage to Frequency Gain	$V_{SENSE} = 50\text{mV to } -50\text{mV}$, $2.7\text{V} \leq V_{DD} \leq 8.5\text{V}$	●	32.0 31.8	32.55	33.1 33.3	Hz/V Hz/V
$\Delta G_{VF(VDD)}$	Gain Variation with Supply	$2.7\text{V} \leq V_{DD} \leq 8.5\text{V}$		0		0.5	%/V
$\Delta G_{VF(TEMP)}$	Gain Variation with Temperature	(Note 2)	●	-0.03		0.03	%/°C
INL	Integral Nonlinearity		●	-0.4 -0.5		0.4 0.5	% %
t_{CLR}	CLR Pulse Width to Reset INT, INT and CLR Not Connected	Figure 2		20			μs
t_{INT}	INT Low Time, INT Connected to CLR	Figure 3, $C_L = 15\text{pF}$	●	1			μs

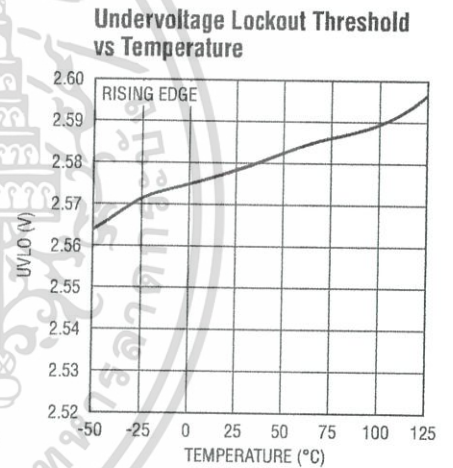
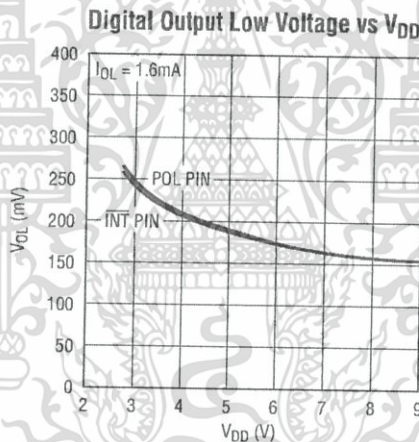
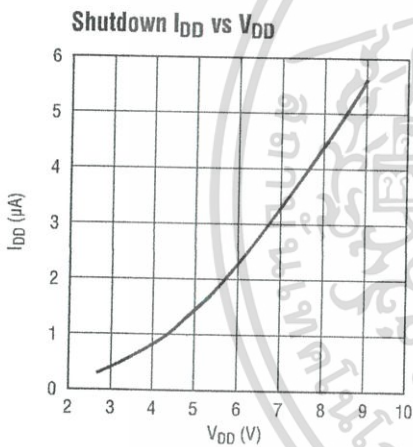
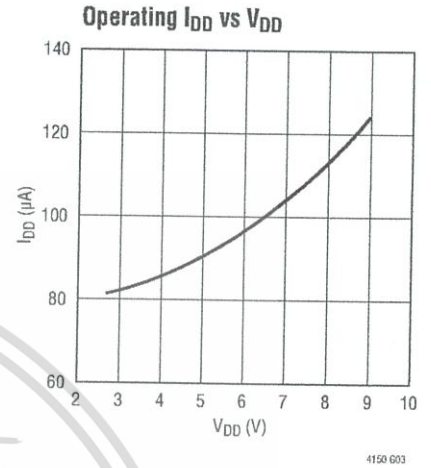
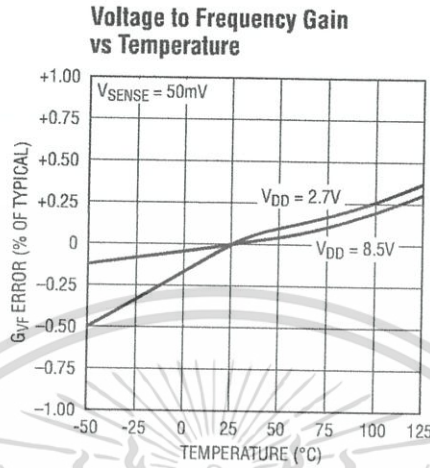
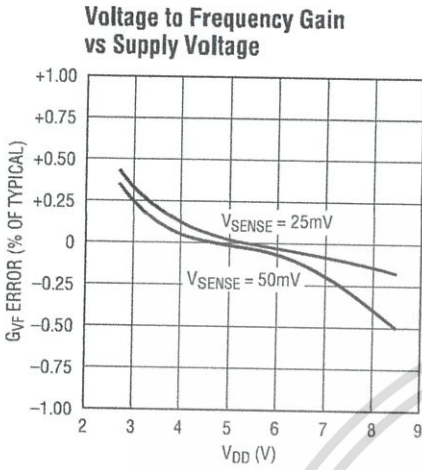
Note 1: Stresses beyond those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. Exposure to any Absolute Maximum Rating condition for extended periods may affect device reliability and lifetime.

Note 2: Guaranteed by design and not tested in production.

Note 3: Measured at least 20ms after power on.

Note 4: Tested in feedback loop to SENSE+ and SENSE-.

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.



PIN FUNCTIONS

SENSE⁺ (Pin 1): Positive Sense Input. This is the noninverting current sense input. Connect SENSE⁺ to the load and charger side of the sense resistor. Full-scale current sense input is 50mV. SENSE⁺ must be within 60mV of V_{DD} for proper operation.

SENSE⁻ (Pin 2): Negative Sense Input. This is the inverting current sense input. Connect SENSE⁻ to the positive battery terminal side of the sense resistor. Full-scale current sense input is 50mV. SENSE⁻ must be within 60mV of V_{DD} for proper operation.

C_F⁺ (Pin 3): Filter Capacitor Positive Input. A capacitor connected between C_F⁺ and C_F⁻ filters and averages noise and fast battery current variations. A 4.7μF value is recommended. If filtering is not desired, leave C_F⁺ and C_F⁻ unconnected.

C_F⁻ (Pin 4): Filter Capacitor Negative Input. A capacitor connected between C_F⁺ and C_F⁻ filters and averages noise and fast battery current variations. A 4.7μF value is recommended. If filtering is not desired, leave C_F⁺ and C_F⁻ unconnected.

SHDN (Pin 5): Shutdown Digital Input. When asserted low, SHDN forces the LTC4150 into its low current consumption power-down mode and resets the part. In applications with logic supply V_{CC} > V_{DD}, a resistive divider must be used between SHDN and the logic which drives it. See the Applications Information section.

POL (Pin 6): Battery Current Polarity Open-Drain Output. POL indicates the most recent battery current polarity when $\overline{\text{INT}}$ is high. A low state indicates the current is flowing out of the battery while high impedance means the current is going into the battery. POL latches its state when $\overline{\text{INT}}$ is asserted low. POL is an open-drain output and can be pulled up to any logic supply up to 9V. In shutdown, POL is high impedance.

GND (Pin 7): Ground. Connect directly to the negative battery terminal.

V_{DD} (Pin 8): Positive Power Supply. Connect to the load and charger side of the sense resistor. SENSE⁺ also connects to V_{DD}. V_{DD} operating range is 2.7V to 8.5V. Bypass V_{DD} with 4.7μF capacitor.

CLR (Pin 9): Clear Interrupt Digital Input. When asserted low for more than 20μs, CLR resets $\overline{\text{INT}}$ high. Charge counting is unaffected. $\overline{\text{INT}}$ may be directly connected to CLR. In this case the LTC4150 will capture each assertion of $\overline{\text{INT}}$ and wait at least 1μs before resetting it. This ensures that $\overline{\text{INT}}$ pulses low for at least 1μs but gives automatic $\overline{\text{INT}}$ reset. In applications with a logic supply V_{CC} > V_{DD}, a resistive divider must be used between $\overline{\text{INT}}$ and CLR. See the Applications Information section.

$\overline{\text{INT}}$ (Pin 10): Charge Count Interrupt Open-Drain Output. $\overline{\text{INT}}$ latches low every $1/(V_{\text{SENSE}} \cdot G_{\text{VF}})$ seconds and is reset by a low pulse at CLR. $\overline{\text{INT}}$ is an open-drain output and can be pulled up to any logic supply of up to 9V. In shutdown $\overline{\text{INT}}$ is high impedance.

BLOCK DIAGRAM

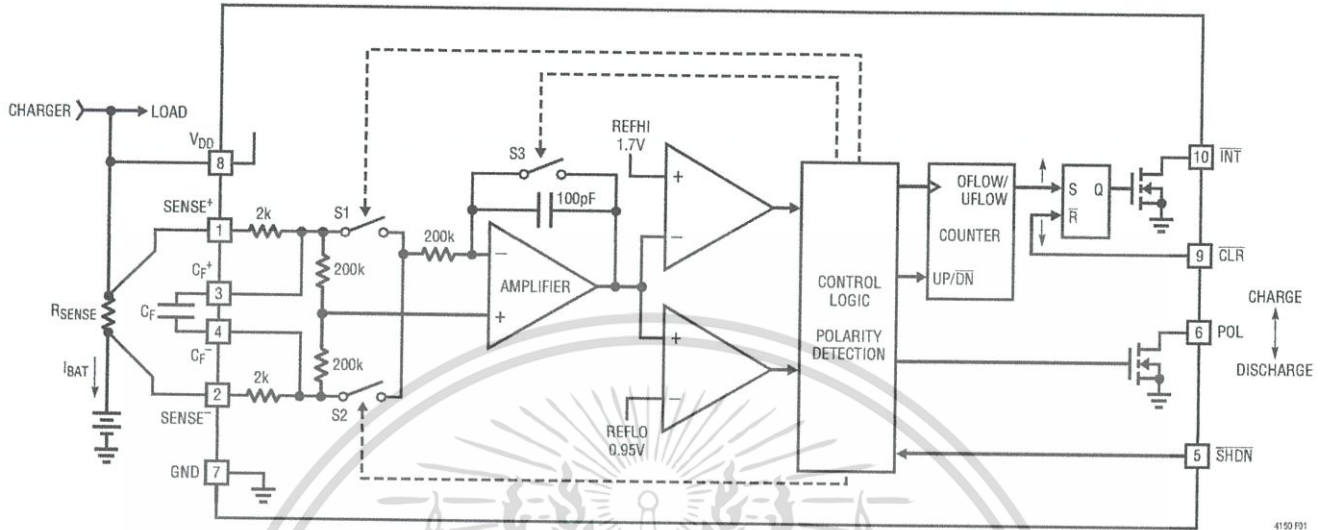


Figure 1. Block Diagram

TIMING DIAGRAMS

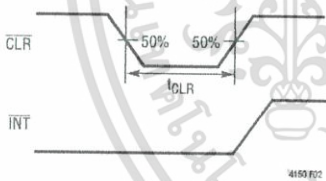


Figure 2. $\overline{\text{CLR}}$ Pulse Width to Reset $\overline{\text{INT}}$, $\overline{\text{CLR}}$ and $\overline{\text{INT}}$ Not Connected

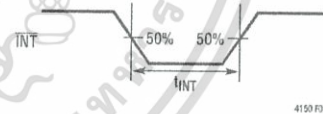


Figure 3. $\overline{\text{INT}}$ Minimum Pulse Width, $\overline{\text{CLR}}$ and $\overline{\text{INT}}$ Connected

IR2111(S) & (PbF)

International
IR Rectifier

Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The thermal resistance and power dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is shown in figures 7 through 10.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units	
V _B	High side floating supply voltage	-0.3	625	V	
V _S	High side floating supply offset voltage	V _B - 25	V _B + 0.3		
V _{HO}	High side floating output voltage	V _S - 0.3	V _B + 0.3		
V _{CC}	Low side and logic fixed supply voltage	-0.3	25		
V _{LO}	Low side output voltage	-0.3	V _{CC} + 0.3		
V _{IN}	Logic input voltage	-0.3	V _{CC} + 0.3		
dV _S /dt	Allowable offset supply voltage transient (figure 2)	—	50	V/ns	
P _D	Package power dissipation @ T _A ≤ +25°C	(8 Lead PDIP)	—	1.0	W
		(8 lead SOIC)	—	0.625	
R _{thJA}	Thermal resistance, junction to ambient	(8 lead PDIP)	—	125	°C/W
		(8 lead SOIC)	—	200	
T _J	Junction temperature	—	150	°C	
T _S	Storage temperature	-55	150		
T _L	Lead temperature (soldering, 10 seconds)	—	300		

Recommended Operating Conditions

The input/output logic timing diagram is shown in figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The V_S offset rating is tested with all supplies biased at 15V differential.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V _B	High side floating supply absolute voltage	V _S + 10	V _S + 20	V
V _S	High side floating supply offset voltage	Note 1	600	
V _{HO}	High side floating output voltage	V _S	V _B	
V _{CC}	Low side and logic fixed supply voltage	10	20	
V _{LO}	Low side output voltage	0	V _{CC}	
V _{IN}	Logic input voltage	0	V _{CC}	
T _A	Ambient temperature	-40	125	°C

Note 1: Logic operational for V_S of -5 to +600V. Logic state held for V_S of -5V to -V_{BS}. (Please refer to the Design Tip DT97-3 for more details).

Dynamic Electrical Characteristics

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

Symbol	Definition	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
t_{on}	Turn-on propagation delay	550	750	950	ns	$V_S = 0V$
t_{off}	Turn-off propagation delay	—	150	180		$V_S = 600V$
t_r	Turn-on rise time	—	80	130		
t_f	Turn-off fall time	—	40	65		
DT	Deadtime, LS turn-off to HS turn-on & HS turn-off to LS turn-on	480	650	820		
MT	Delay matching, HS & LS turn-on/off	—	30	—		

Static Electrical Characteristics

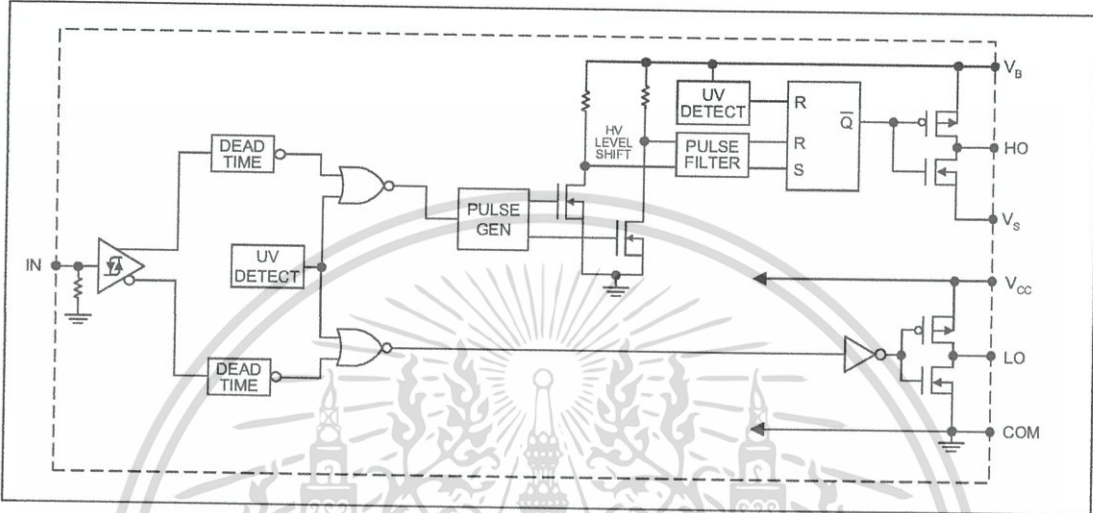
V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS}) = 15V and T_A = 25°C unless otherwise specified. The V_{IH} , V_{TH} and I_{IN} parameters are referenced to COM. The V_O and I_O parameters are referenced to COM and are applicable to the respective output leads: HO or LO.

Symbol	Definition	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
V_{IH}	Logic "1" input voltage for HO & logic "0" for LO	6.4	—	—	V	$V_{CC} = 10V$
		9.5	—	—		$V_{CC} = 15V$
		12.6	—	—		$V_{CC} = 20V$
V_{IL}	Logic "0" input voltage for HO & logic "1" for LO	—	—	3.8		$V_{CC} = 10V$
		—	—	6.0		$V_{CC} = 15V$
		—	—	8.3		$V_{CC} = 20V$
V_{OH}	High level output voltage, $V_{BIAS} - V_O$	—	—	100	mV	$I_O = 0A$
V_{OL}	Low level output voltage, V_O	—	—	100		$I_O = 0A$
I_{LK}	Offset supply leakage current	—	—	50	μA	$V_B = V_S = 600V$
I_{QBS}	Quiescent V_{BS} supply current	—	50	100		$V_{IN} = 0V$ or V_{CC}
I_{QCC}	Quiescent V_{CC} supply current	—	70	180		$V_{IN} = 0V$ or V_{CC}
I_{IN+}	Logic "1" input bias current	—	30	50		$V_{IN} = V_{CC}$
I_{IN-}	Logic "0" input bias current	—	—	1.0	$V_{IN} = 0V$	
V_{BSUV+}	V_{BS} supply undervoltage positive going threshold	7.6	8.6	9.6	V	
V_{BSUV-}	V_{BS} supply undervoltage negative going threshold	7.2	8.2	9.2		
V_{CCUV+}	V_{CC} supply undervoltage positive going threshold	7.6	8.6	9.6		
V_{CCUV-}	V_{CC} supply undervoltage negative going threshold	7.2	8.2	9.2		
I_{O+}	Output high short circuit pulsed current	200	250	—	mA	$V_O = 0V$, $V_{IN} = V_{CC}$ $PW \leq 10 \mu s$
I_{O-}	Output low short circuit pulsed current	420	500	—		$V_O = 15V$, $V_{IN} = 0V$ $PW \leq 10 \mu s$

IR2111(S) & (PbF)

International
IR Rectifier

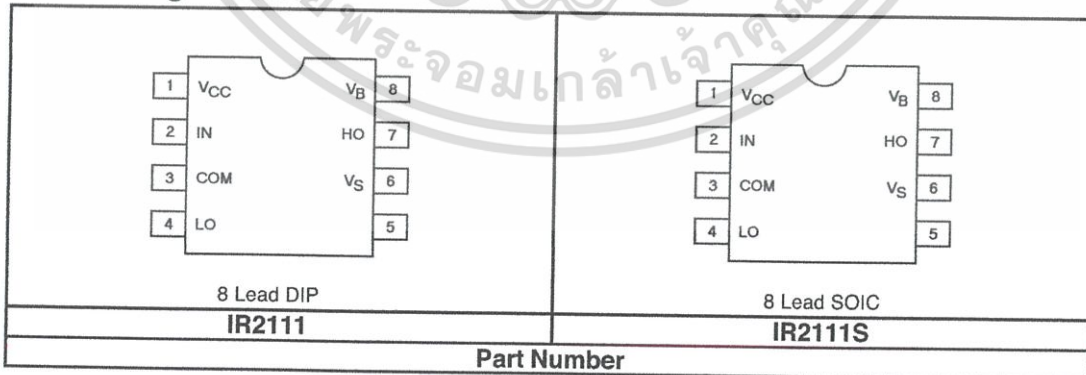
Functional Block Diagram



Lead Definitions

Symbol	Description
IN	Logic input for high side and low side gate driver outputs (HO & LO), in phase with HO
V _B	High side floating supply
HO	High side gate drive output
V _S	High side floating supply return
V _{CC}	Low side and logic fixed supply
LO	Low side gate drive output
COM	Low side return

Lead Assignments



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

International
IR Rectifier

IR2111(S) & (PbF)

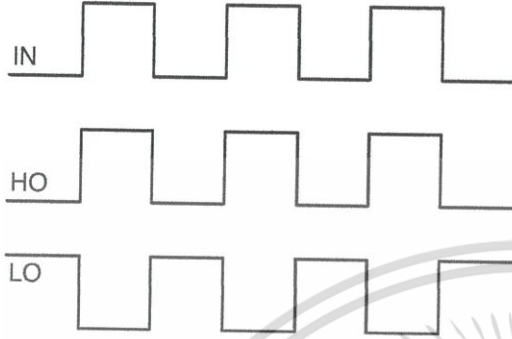


Figure 1. Input/Output Timing Diagram

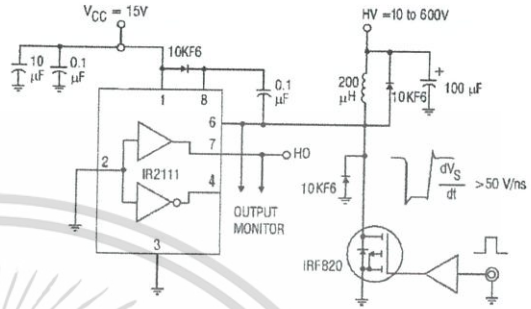


Figure 2. Floating Supply Voltage Transient Test Circuit

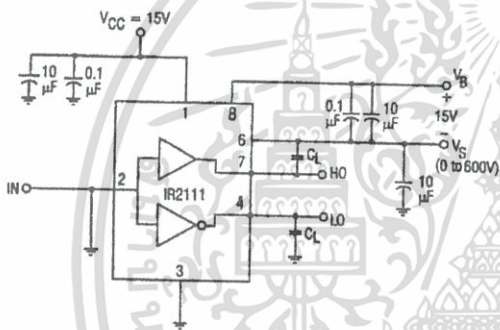


Figure 3. Switching Time Test Circuit

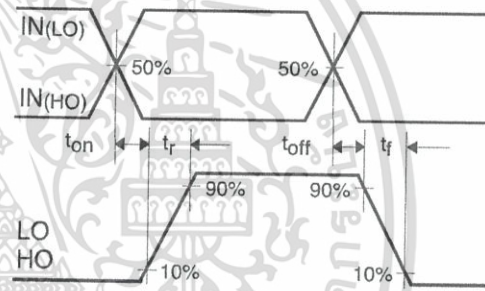


Figure 4. Switching Time Waveform Definition

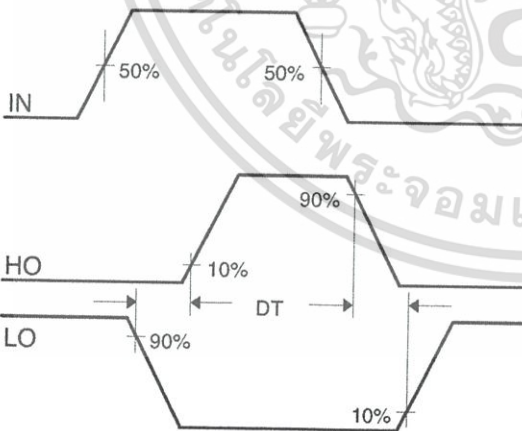


Figure 5. Deadtime Waveform Definitions

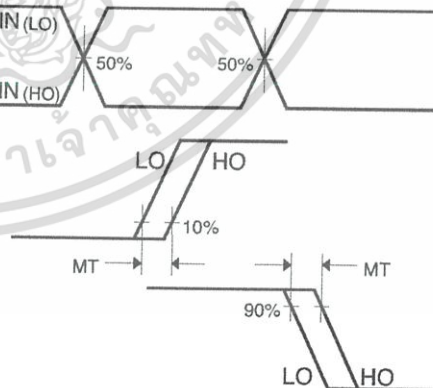


Figure 6. Delay Matching Waveform Definitions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR2111(S) & (PbF)

International
IR Rectifier

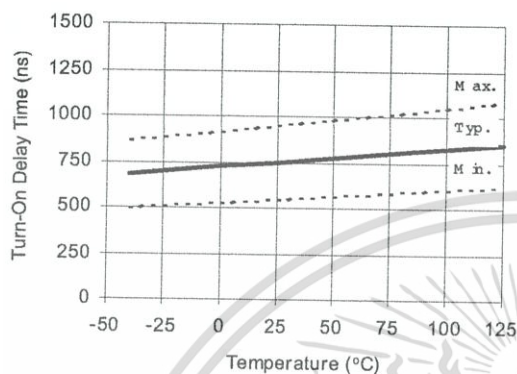


Figure 11A Turn-On Time vs Temperature

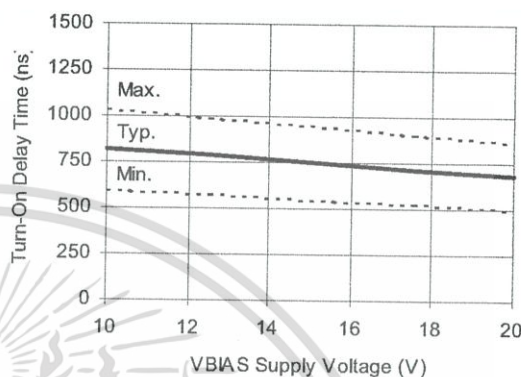


Figure 11B Turn-On Time vs Voltage

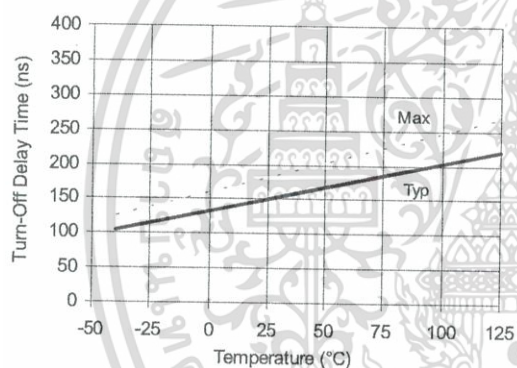


Figure 12A Turn-Off Time vs Temperature

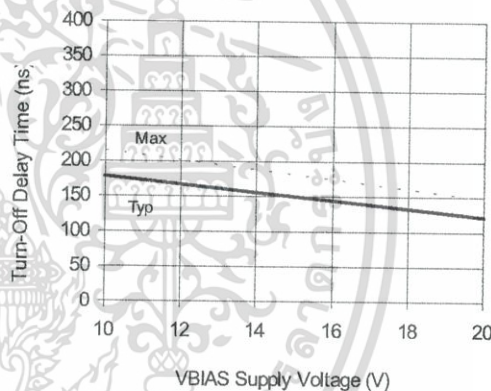


Figure 12B Turn-Off Time vs Voltage

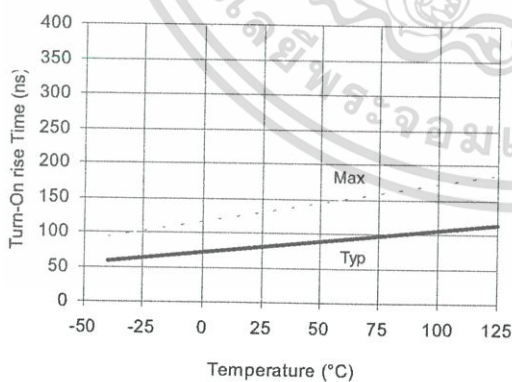


Figure 13A Turn-On Rise Time vs Temperature

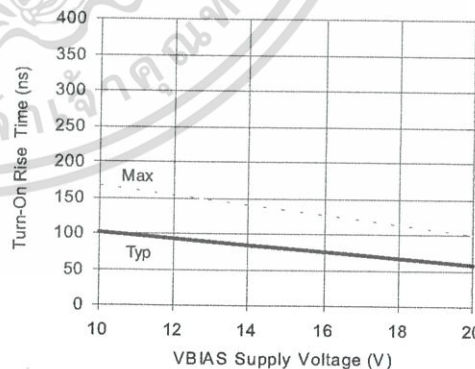


Figure 13B Turn-On Rise Time vs Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

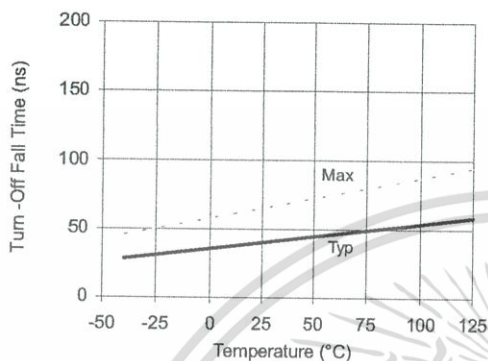


Figure 14A Turn-Off Fall Time vs Temperature

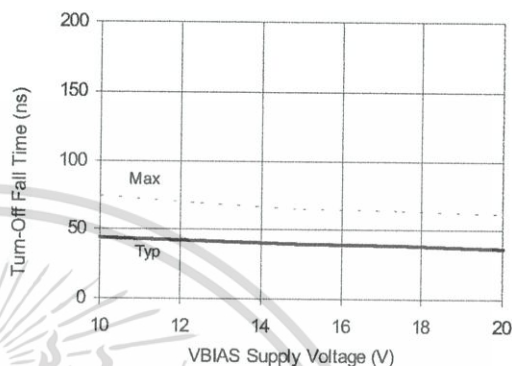


Figure 14B Turn-Off Fall Time vs Voltage

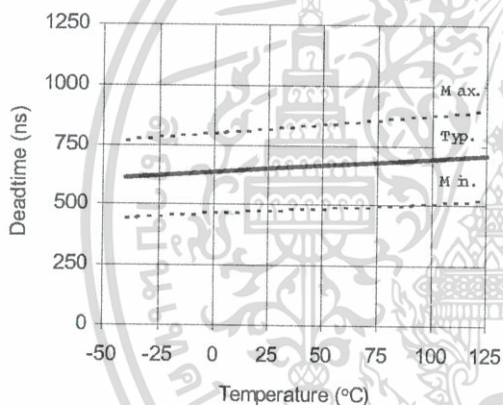


Figure 15A Dead Time vs Temperature

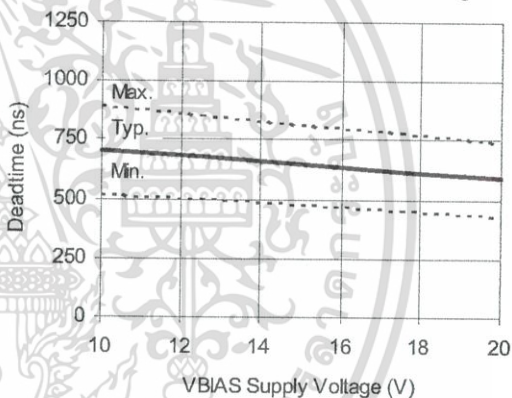


Figure 15B Dead Time vs Voltage

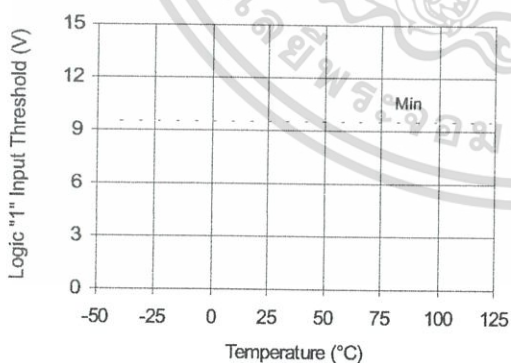


Figure 16A Logic "1" Input voltage for HO & Logic "0" for LO vs Temperature

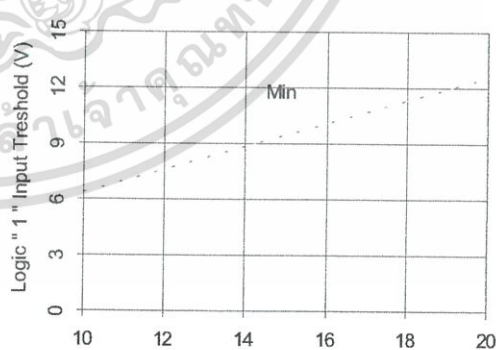


Figure 16B Logic "1" Input voltage for HO & Logic "0" for LO vs Voltage

IR2111(S)&(PbF)

International
IR Rectifier

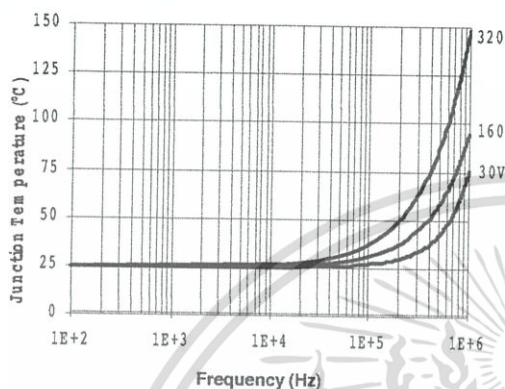


Figure 31. IR2111 T_J vs. Frequency (IRFBC20)
R_{GATE} = 33Ω, V_{CC} = 15V

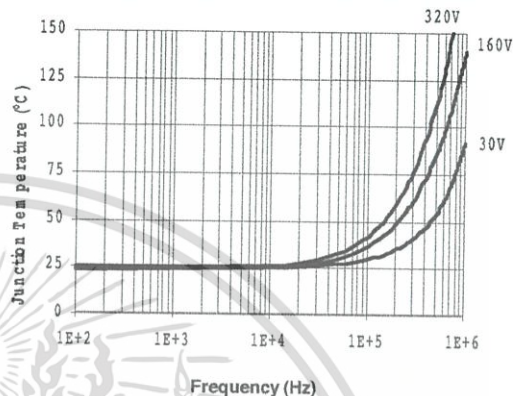


Figure 32. IR2111 T_J vs. Frequency (IRFBC30)
R_{GATE} = 22Ω, V_{CC} = 15V

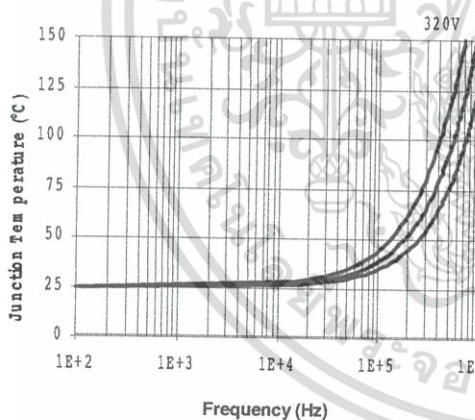


Figure 33. IR2111 T_J vs. Frequency (IRFBC40)
R_{GATE} = 15Ω, V_{CC} = 15V

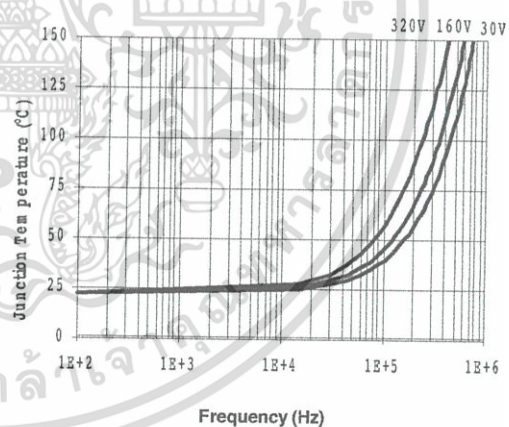


Figure 34. IR2111 T_J vs. Frequency (IRFPC50)
R_{GATE} = 10Ω, V_{CC} = 15V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR2111(S) & (PbF)

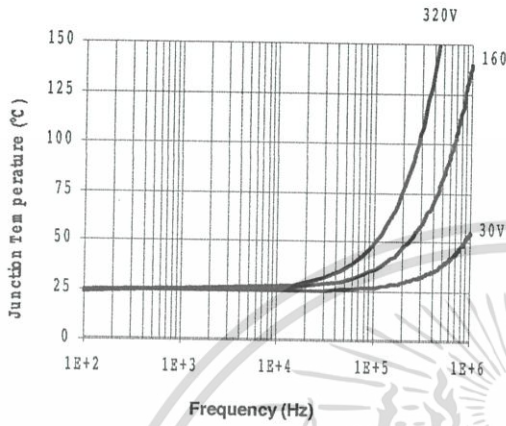


Figure 35. IR2111S T_J vs. Frequency (IRFBC20)
R_{GATE} = 33Ω, V_{CC} = 15V

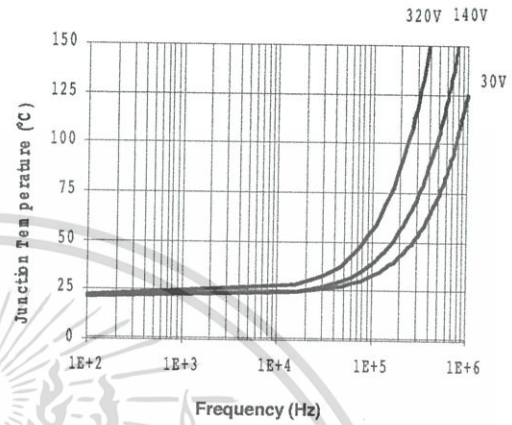


Figure 36. IR2111S T_J vs. Frequency (IRFBC30)
R_{GATE} = 22Ω, V_{CC} = 15V

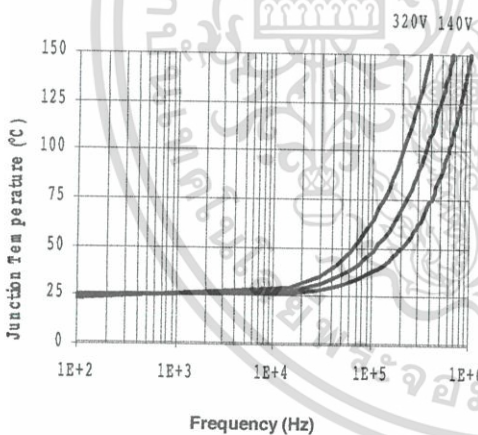


Figure 37. IR2111S T_J vs. Frequency (IRFBC40)
R_{GATE} = 15Ω, V_{CC} = 15V

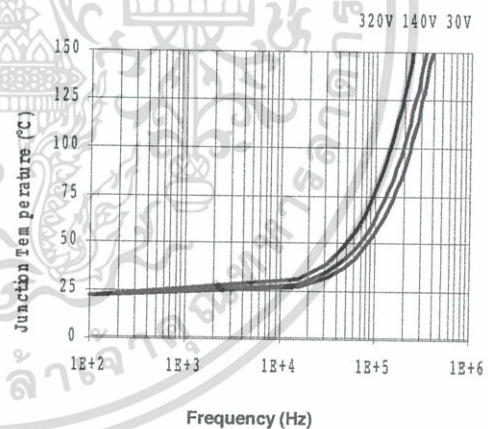
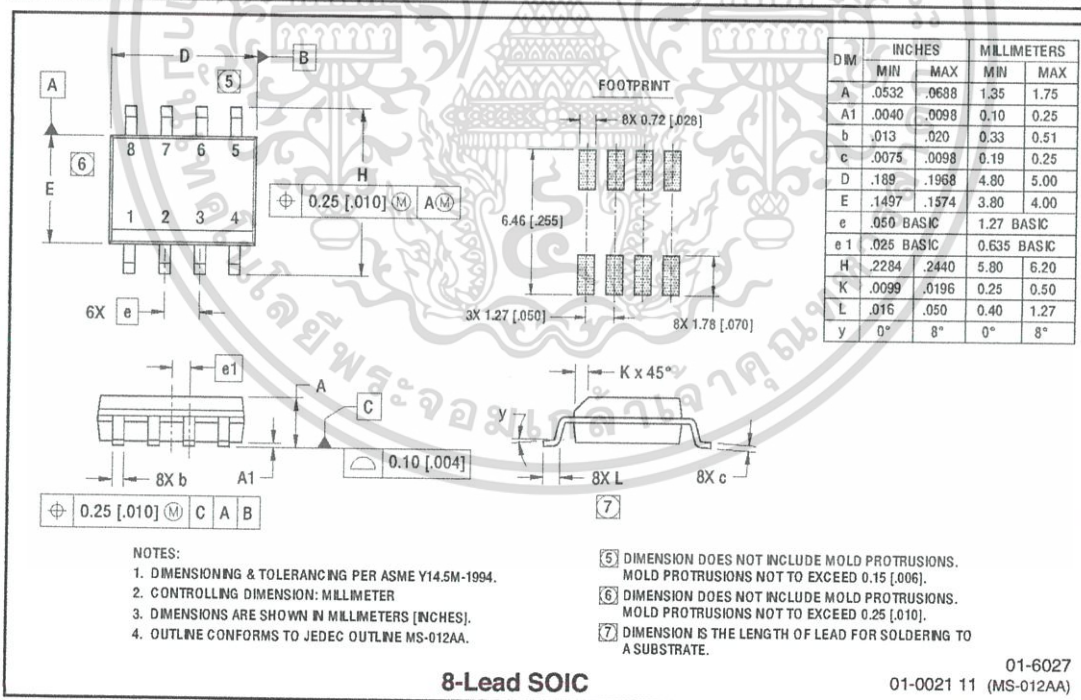
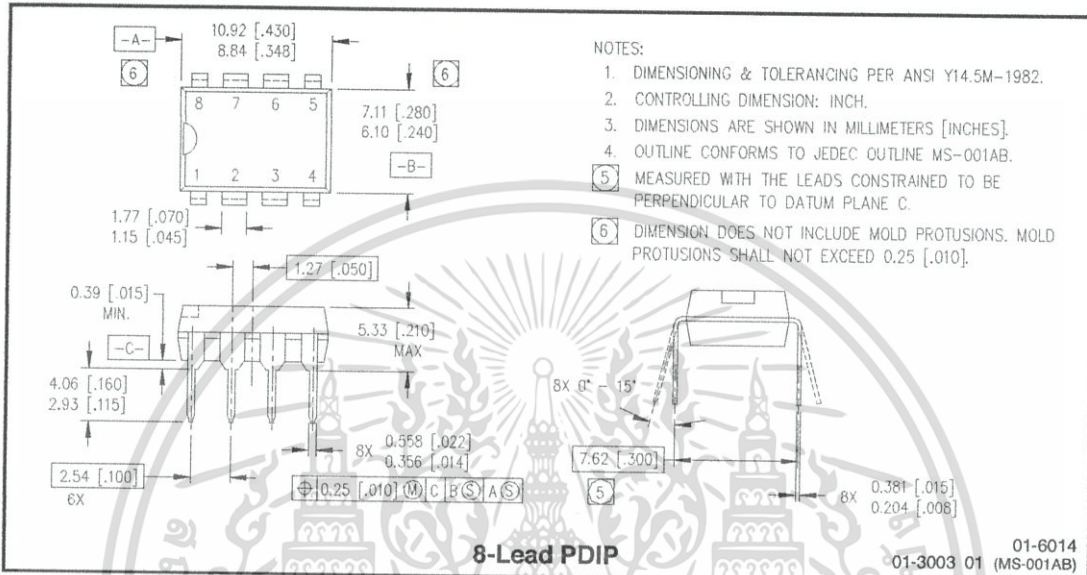


Figure 38. IR2111S T_J vs. Frequency (IRFPC50)
R_{GATE} = 10Ω, V_{CC} = 15V

IR2111(S) & (PbF)

International
IR Rectifier

Case outlines



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DC COMPONENTS CO., LTD.

RECTIFIER SPECIALISTS

FR201
139
THRU
FR207

TECHNICAL SPECIFICATIONS OF FAST RECOVERY RECTIFIER

VOLTAGE RANGE - 50 to 1000 Volts

CURRENT - 2.0 Amperes

FEATURES

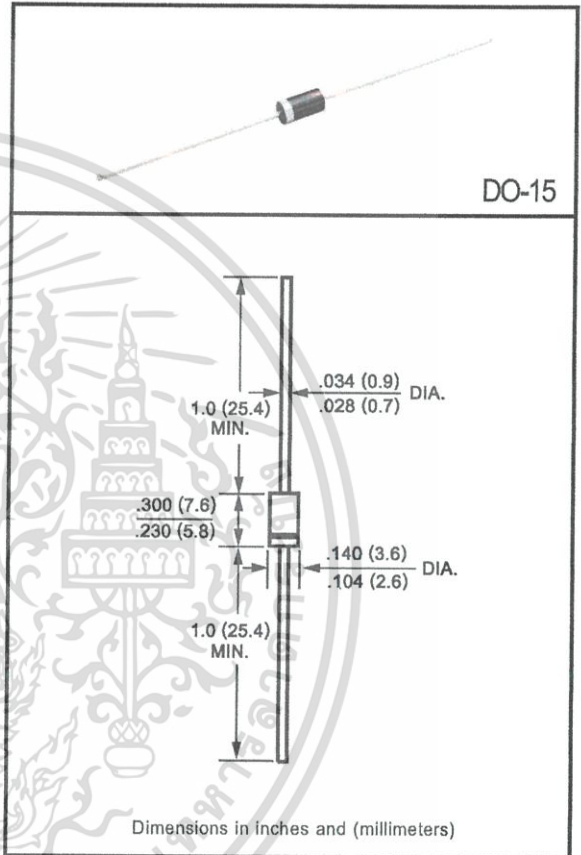
- * Fast switching
- * Low leakage
- * Low forward voltage drop
- * High current capability
- * High current surge
- * High reliability

MECHANICAL DATA

- * Case: Molded plastic
- * Epoxy: UL 94V-0 rate flame retardant
- * Lead: MIL-STD-202E, Method 208 guaranteed
- * Mounting position: Any
- * Weight: 0.38 gram

MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Ratings at 25 °C ambient temperature unless otherwise specified.
Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.



	SYMBOL	FR201	FR202	FR203	FR204	FR205	FR206	FR207	UNITS
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	V _{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	Volts
Maximum RMS Voltage	V _{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	Volts
Maximum DC Blocking Voltage	V _{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	Volts
Maximum Average Forward Rectified Current at T _A = 75°C	I _O	2.0							Amps
Peak Forward Surge Current 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC Method)	I _{FSM}	70							Amps
Maximum Instantaneous Forward Voltage at 2.0A DC	V _F	1.3							Volts
Maximum DC Reverse Current at Rated DC Blocking Voltage T _A = 25°C	I _R	5.0							uAmps
Maximum Full Load Reverse Current Full Cycle Average, .375*(9.5mm) lead length at T _L = 55°C		100							uAmps
Maximum Reverse Recovery Time (Note 1)	t _{rr}	150				250	500		nSec
Typical Junction Capacitance (Note 2)	C _J	40							pF
Operating and Storage Temperature Range	T _J , T _{STG}	-65 to + 150							°C

NOTES : 1. Test Conditions: I_F = 0.5A, I_R = 1.0A, I_{RR} = 0.25A
2. Measured at 1 MHz and applied reverse voltage of 4.0 volts

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาใช้นี้



FIG. 1 - TYPICAL FORWARD CURRENT DERATING CURVE

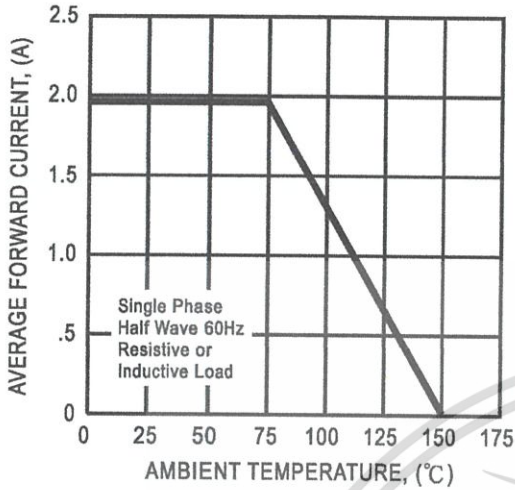


FIG. 2 - MAXIMUM NON-REPETITIVE FORWARD SURGE CURRENT

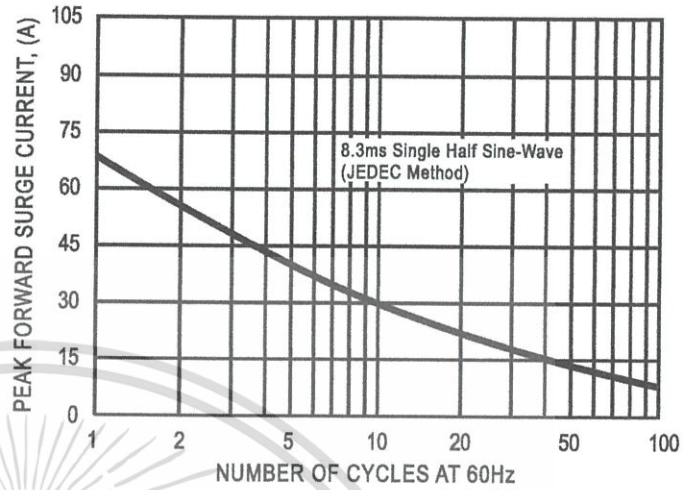


FIG. 3 - TYPICAL INSTANTANEOUS FORWARD CHARACTERISTICS

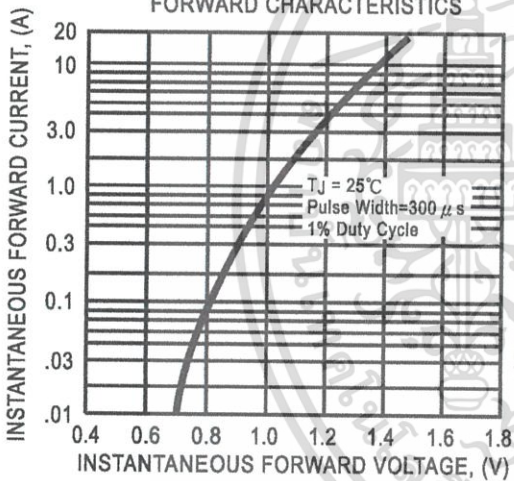


FIG. 4 - TYPICAL JUNCTION CAPACITANCE

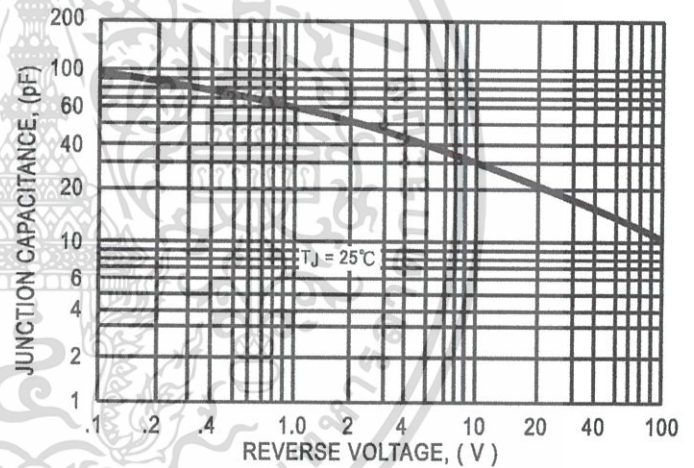
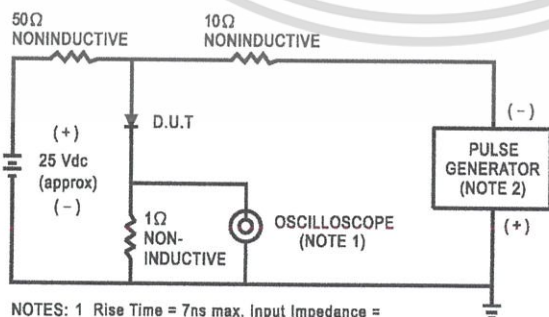
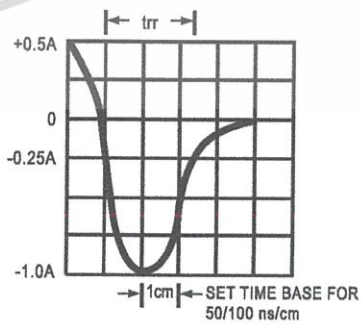


FIG. 5 - TEST CIRCUIT DIAGRAM AND REVERSE RECOVERY TIME CHARACTERISTIC



- NOTES: 1 Rise Time = 7ns max. Input Impedance = 1 megohm. 22pF.
 2. Rise Time = 10ns max. Source Impedance = 50 ohms.



DC COMPONENTS CO., LTD.

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาใช้นี้



SWITCHMODE™ Power Rectifiers

... designed for use in switching power supplies, inverters and as free wheeling diodes, these state-of-the-art devices have the following features:

- Ultrafast 25, 50 and 75 Nanosecond Recovery Times
- 175°C Operating Junction Temperature
- Low Forward Voltage
- Low Leakage Current
- High Temperature Glass Passivated Junction
- Reverse Voltage to 600 Volts

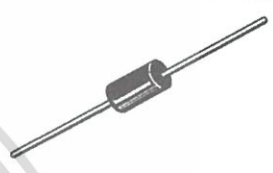
Mechanical Characteristics:

- Case: Epoxy, Molded
- Weight: 1.1 gram (approximately)
- Finish: All External Surfaces Corrosion Resistant and Terminal Leads are Readily Solderable
- Lead and Mounting Surface Temperature for Soldering Purposes: 220°C Max. for 10 Seconds, 1/16" from case
- Shipped in plastic bags, 5,000 per bag
- Available Tape and Reeled, 1500 per reel, by adding a "RL" suffix to the part number
- Polarity: Cathode indicated by Polarity Band
- Marking: U420, U460

MUR420
MUR460

MUR420 and MUR460 are
Motorola Preferred Devices

ULTRAFAST
RECTIFIERS
4.0 AMPERES
200-600 VOLTS



CASE 267-03
PLASTIC

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	MUR		Unit
		420	460	
Peak Repetitive Reverse Voltage	V_{RRM}	200	600	Volts
Working Peak Reverse Voltage	V_{RWM}			
DC Blocking Voltage	V_R			
Average Rectified Forward Current (Square Wave) (Mounting Method #3 Per Note 1)	$I_F(AV)$	4.0 @ $T_A = 80^\circ C$	4.0 @ $T_A = 40^\circ C$	Amps
Nonrepetitive Peak Surge Current (Surge applied at rated load conditions, half wave, single phase, 60 Hz)	I_{FSM}	125	70	Amps
Operating Junction Temperature and Storage Temperature	T_J, T_{stg}	-65 to +175		°C

THERMAL CHARACTERISTICS

Maximum Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	See Note 1	°C/W
---	-----------------	------------	------

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Maximum Instantaneous Forward Voltage (1) ($I_F = 3.0$ Amps, $T_J = 150^\circ C$) ($I_F = 3.0$ Amps, $T_J = 25^\circ C$) ($I_F = 4.0$ Amps, $T_J = 25^\circ C$)	V_F	0.710	1.05	Volts
		0.875	1.25	
		0.890	1.28	
Maximum Instantaneous Reverse Current (1) (Rated dc Voltage, $T_J = 150^\circ C$) (Rated dc Voltage, $T_J = 25^\circ C$)	i_R	150	250	μA
		5.0	10	
Maximum Reverse Recovery Time ($I_F = 1.0$ Amp, $di/dt = 50$ Amp/ μs) ($I_F = 0.5$ Amp, $i_R = 1.0$ Amp, $I_{REC} = 0.25$ Amp)	t_{rr}	35	75	ns
		25	50	
		25	50	
Maximum Forward Recovery Time ($I_F = 1.0$ A, $di/dt = 100$ A/ μs , Recovery to 1.0 V)	t_{fr}	25	50	ns

(1) Pulse Test: Pulse Width = 300 μs , Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

SWITCHMODE is a trademark of Motorola, Inc.

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.

Rev 3

© Motorola, Inc. 1996



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

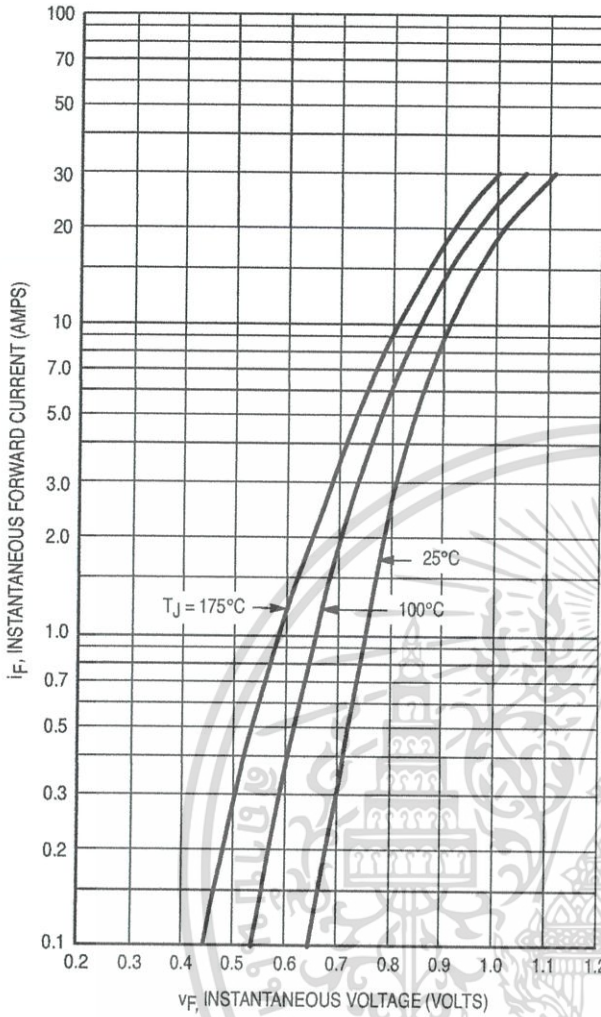


Figure 1. Typical Forward Voltage

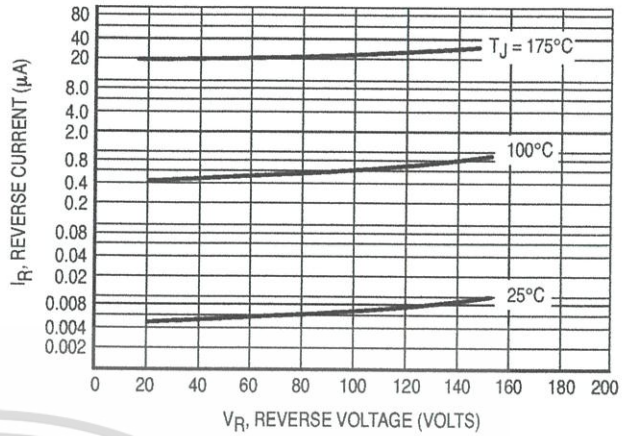


Figure 2. Typical Reverse Current

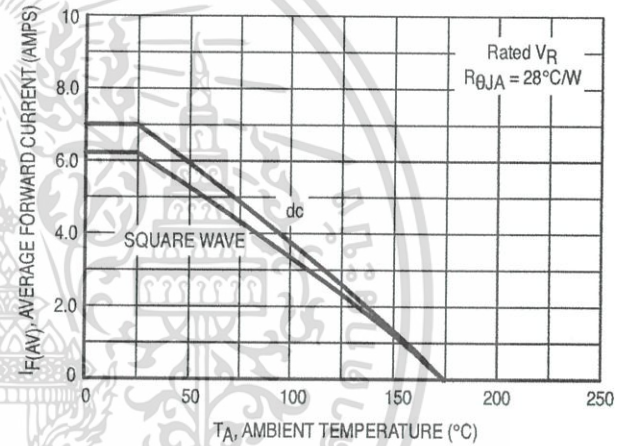


Figure 3. Current Derating (Mounting Method #3 Per Note 1)

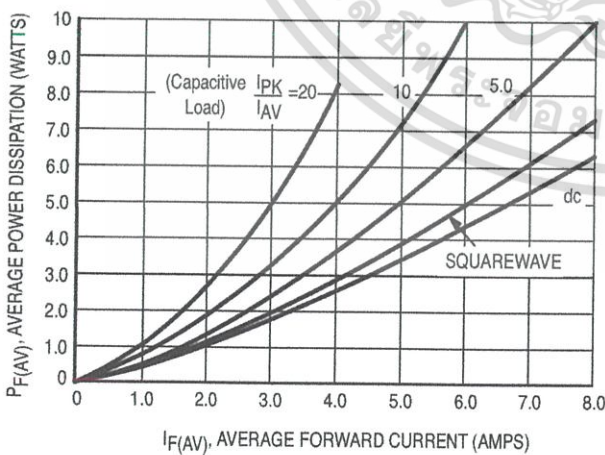


Figure 4. Power Dissipation

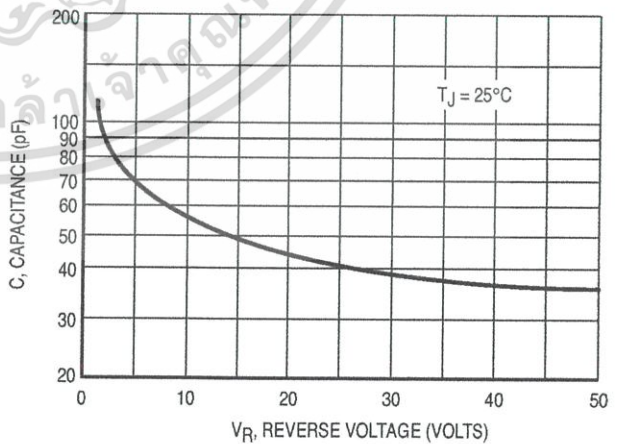


Figure 5. Typical Capacitance

MUR460

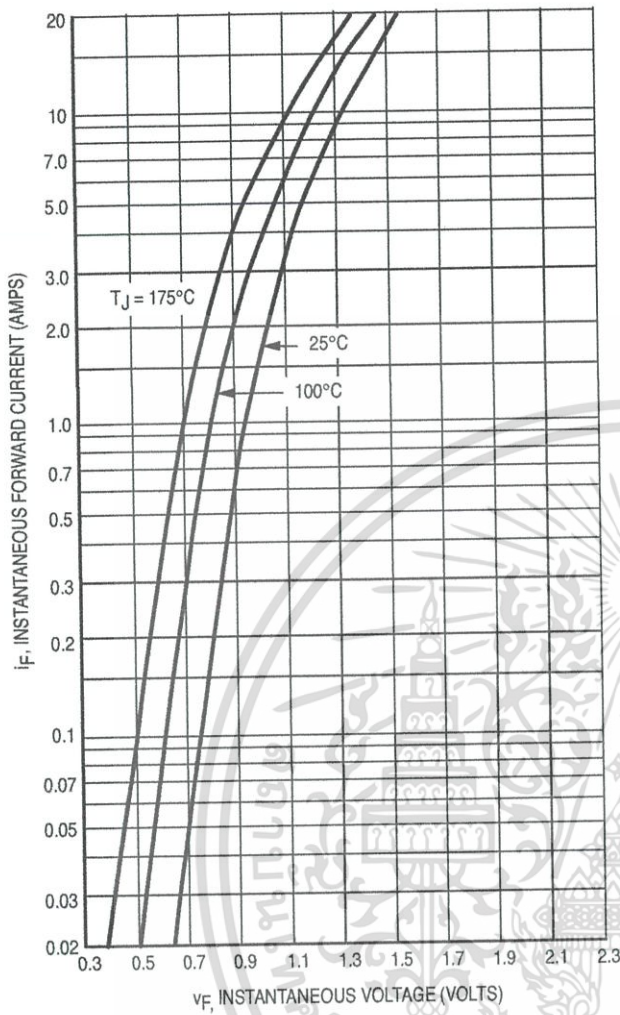


Figure 6. Typical Forward Voltage

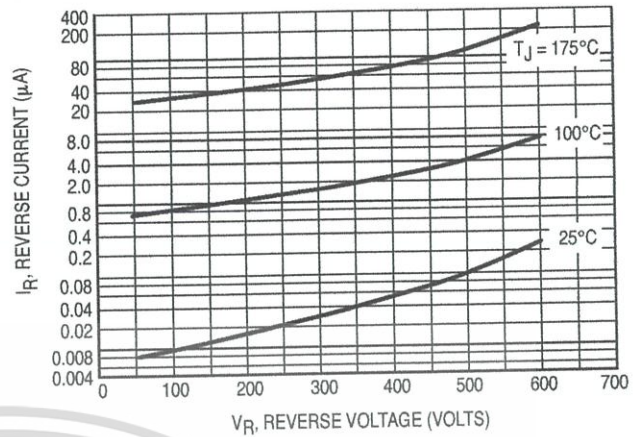


Figure 7. Typical Reverse Current

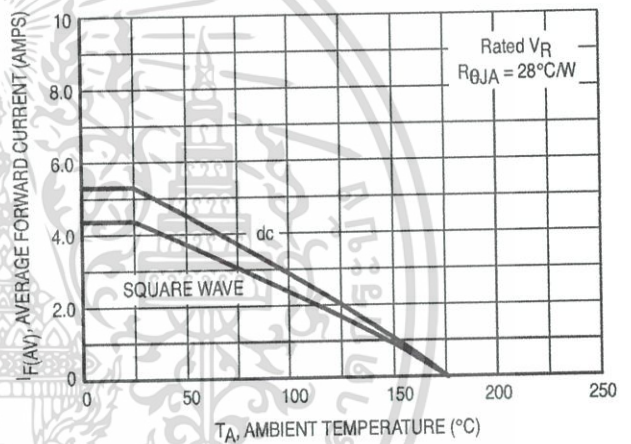


Figure 8. Current Derating (Mounting Method #3 Per Note 1)

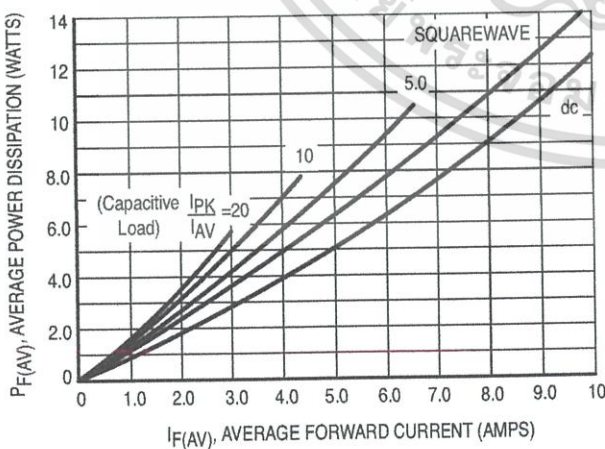


Figure 9. Power Dissipation

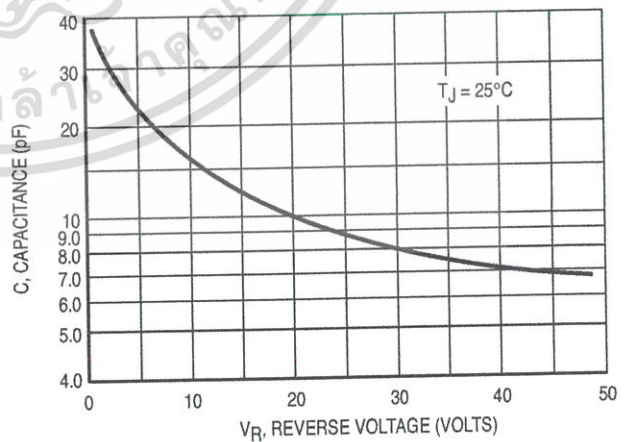


Figure 10. Typical Capacitance

NOTE 1 — AMBIENT MOUNTING DATA

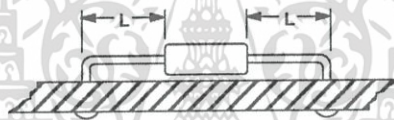
Data shown for thermal resistance junction-to-ambient ($R_{\theta JA}$) for the mountings shown is to be used as typical guideline values for preliminary engineering or in case the tie point temperature cannot be measured.

TYPICAL VALUES FOR $R_{\theta JA}$ IN STILL AIR

Mounting Method	$R_{\theta JA}$	Lead Length, L (IN)				Units
		1/8	1/4	1/2	3/4	
1	R _{θJA}	50	51	53	55	°C/W
2		58	59	61	63	°C/W
3		28				°C/W

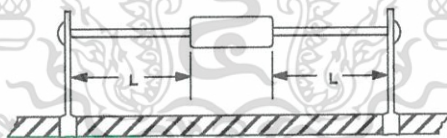
MOUNTING METHOD 1

P.C. Board Where Available Copper Surface area is small.



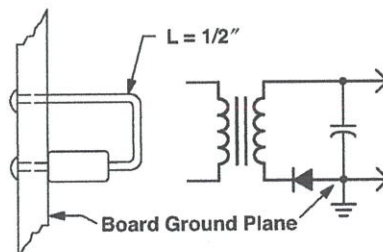
MOUNTING METHOD 2

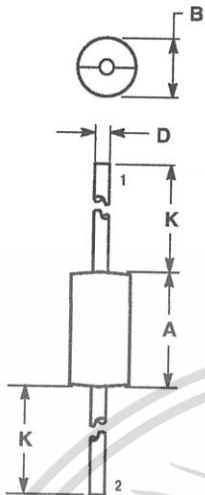
Vector Push-In Terminals T-28



MOUNTING METHOD 3

P.C. Board with 1-1/2" x 1-1/2" Copper Surface



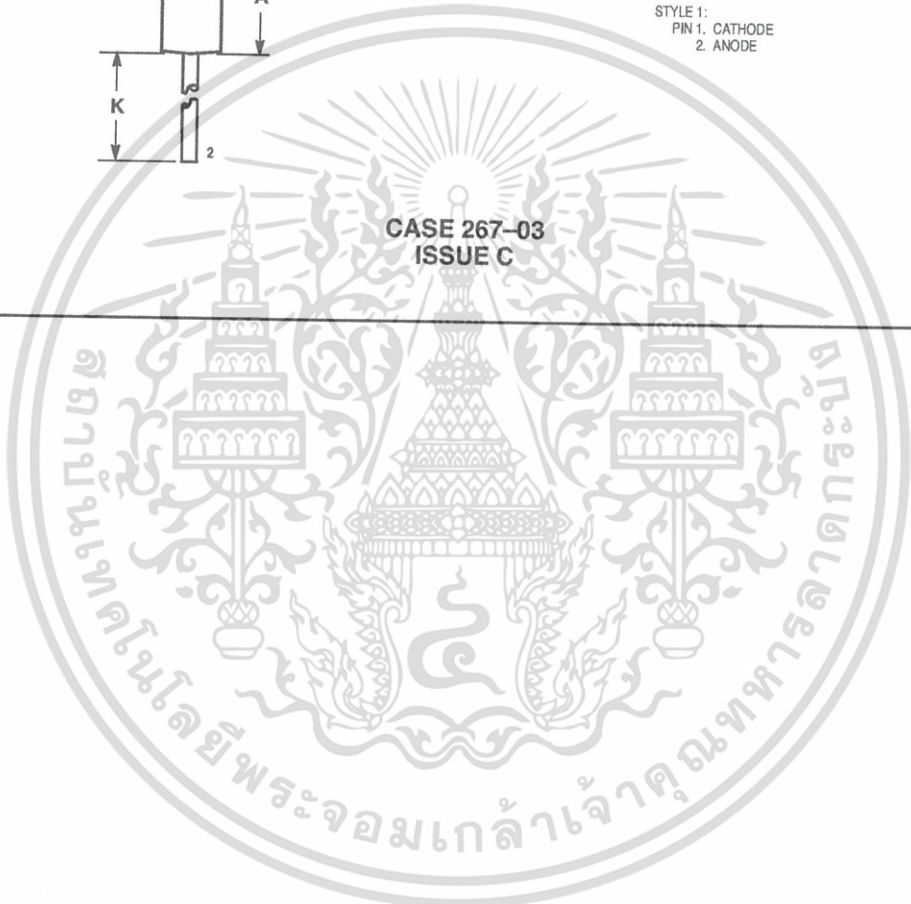


NOTES:
 1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.


DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.370	0.380	9.40	9.65
B	0.190	0.210	4.83	5.33
D	0.048	0.052	1.22	1.32
K	1.000	—	25.40	—

STYLE 1:
 PIN 1. CATHODE
 2. ANODE

CASE 267-03
 ISSUE C





Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and  are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

Mfax is a trademark of Motorola, Inc.

How to reach us:

USA/EUROPE/Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution;
P.O. Box 5405, Denver, Colorado 80217. 1-303-675-2140 or 1-800-441-2447

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.: SPD, Strategic Planning Office, 4-32-1,
Nishi-Gotanda, Shinagawa-ku, Tokyo 141, Japan. 81-3-5487-8488

Customer Focus Center: 1-800-521-6274

Mfax™: RMFAX0@email.sps.mot.com – TOUCHTONE 1-602-244-6609
Motorola Fax Back System – US & Canada ONLY 1-800-774-1848
– http://sps.motorola.com/mfax/

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298

HOME PAGE: <http://motorola.com/sps/>



MOTOROLA

MUR420/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



April 2000

QFET™

FQP630

200V N-Channel MOSFET

General Description

These N-Channel enhancement mode power field effect transistors are produced using Fairchild's proprietary, planar stripe, DMOS technology.

This advanced technology has been especially tailored to minimize on-state resistance, provide superior switching performance, and withstand high energy pulse in the avalanche and commutation mode. These devices are well suited for high efficiency switching DC/DC converters, switch mode power supply, DC-AC converters for uninterrupted power supply, motor control.

Features

- 9A, 200V, $R_{DS(on)} = 0.4\Omega @ V_{GS} = 10V$
- Low gate charge (typical 19 nC)
- Low Crss (typical 35 pF)
- Fast switching
- 100% avalanche tested
- Improved dv/dt capability



Absolute Maximum Ratings T_C = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	FQP630	Units
V _{DSS}	Drain-Source Voltage	200	V
I _D	Drain Current - Continuous (T _C = 25°C)	9	A
	- Continuous (T _C = 100°C)	5.7	A
I _{DM}	Drain Current - Pulsed (Note 1)	36	A
V _{GSS}	Gate-Source Voltage	± 25	V
E _{AS}	Single Pulsed Avalanche Energy (Note 2)	162	mJ
I _{AR}	Avalanche Current (Note 1)	9	A
E _{AR}	Repetitive Avalanche Energy (Note 1)	7.8	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt (Note 3)	5.5	V/ns
P _D	Power Dissipation (T _C = 25°C)	78	W
	- Derate above 25°C	0.62	W/°C
T _J , T _{STG}	Operating and Storage Temperature Range	-55 to +150	°C
T _L	Maximum lead temperature for soldering purposes, 1/8" from case for 5 seconds	300	°C

Thermal Characteristics

Symbol	Parameter	Typ	Max	Units
R _{θJC}	Thermal Resistance, Junction-to-Case	—	1.61	°C/W
R _{θCS}	Thermal Resistance, Case-to-Sink	0.5	—	°C/W
R _{θJA}	Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	—	62.5	°C/W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics $T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
Off Characteristics						
BV_{DSS}	Drain-Source Breakdown Voltage	$V_{GS} = 0\text{ V}, I_D = 250\ \mu\text{A}$	200	--	--	V
$\frac{\Delta BV_{DSS}}{\Delta T_J}$	Breakdown Voltage Temperature Coefficient	$I_D = 250\ \mu\text{A}$, Referenced to 25°C	--	0.20	--	$\text{V}/^\circ\text{C}$
I_{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current	$V_{DS} = 200\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}$	--	--	1	μA
		$V_{DS} = 160\text{ V}, T_C = 125^\circ\text{C}$	--	--	10	μA
I_{GSSF}	Gate-Body Leakage Current, Forward	$V_{GS} = 25\text{ V}, V_{DS} = 0\text{ V}$	--	--	100	nA
I_{GSSR}	Gate-Body Leakage Current, Reverse	$V_{GS} = -25\text{ V}, V_{DS} = 0\text{ V}$	--	--	-100	nA

On Characteristics

$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\ \mu\text{A}$	2.0	--	4.0	V
$R_{DS(on)}$	Static Drain-Source On-Resistance	$V_{GS} = 10\text{ V}, I_D = 4.5\text{ A}$	--	0.34	0.4	Ω
g_{FS}	Forward Transconductance	$V_{DS} = 40\text{ V}, I_D = 4.5\text{ A}$ (Note 4)	--	4.4	--	S

Dynamic Characteristics

C_{iss}	Input Capacitance	$V_{DS} = 25\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V},$ $f = 1.0\text{ MHz}$	--	420	550	pF
C_{oss}	Output Capacitance		--	85	110	pF
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance		--	35	45	pF

Switching Characteristics

$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	$V_{DD} = 100\text{ V}, I_D = 9\text{ A},$ $R_G = 25\ \Omega$	--	8	30	ns
t_r	Turn-On Rise Time		--	75	160	ns
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	(Note 4, 5)	--	47	110	ns
t_f	Turn-Off Fall Time		--	64	140	ns
Q_g	Total Gate Charge	$V_{DS} = 160\text{ V}, I_D = 9\text{ A},$	--	19	25	nC
Q_{gs}	Gate-Source Charge	$V_{GS} = 10\text{ V}$	--	3	--	nC
Q_{gd}	Gate-Drain Charge	(Note 4, 5)	--	9.5	--	nC

Drain-Source Diode Characteristics and Maximum Ratings

I_S	Maximum Continuous Drain-Source Diode Forward Current	--	--	9	A	
I_{SM}	Maximum Pulsed Drain-Source Diode Forward Current	--	--	36	A	
V_{SD}	Drain-Source Diode Forward Voltage	$V_{GS} = 0\text{ V}, I_S = 9\text{ A}$	--	--	1.5	V
t_{rr}	Reverse Recovery Time	$V_{GS} = 0\text{ V}, I_S = 9\text{ A},$	--	150	--	ns
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	$dI_F / dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}$ (Note 4)	--	0.68	--	μC

Notes:

1. Repetitive Rating : Pulse width limited by maximum junction temperature
2. $L = 3\text{ mH}, I_{AS} = 9\text{ A}, V_{DD} = 50\text{ V}, R_G = 25\ \Omega$, Starting $T_J = 25^\circ\text{C}$
3. $I_{SD} \leq 9\text{ A}, di/dt \leq 300\ \mu\text{A}/\text{s}, V_{DD} \leq BV_{DSS}$, Starting $T_J = 25^\circ\text{C}$
4. Pulse Test : Pulse width $\leq 300\ \mu\text{s}$, Duty cycle $\leq 2\%$
5. Essentially independent of operating temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Characteristics

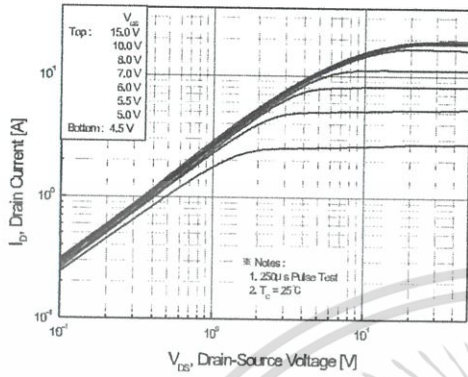


Figure 1. On-Region Characteristics

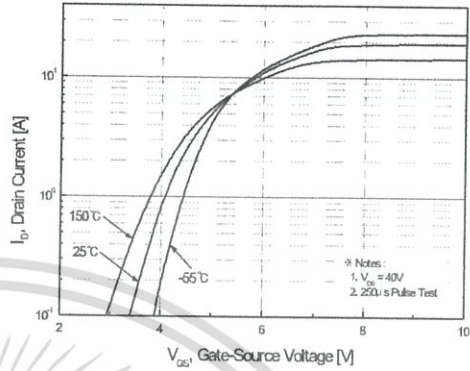


Figure 2. Transfer Characteristics

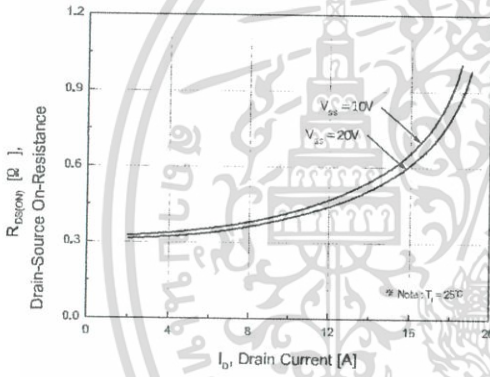


Figure 3. On-Resistance Variation vs. Drain Current and Gate Voltage

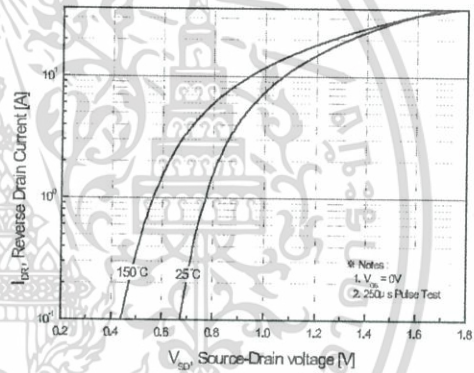


Figure 4. Body Diode Forward Voltage Variation vs. Source Current and Temperature

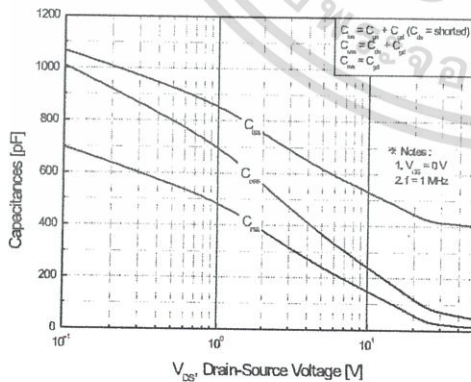


Figure 5. Capacitance Characteristics

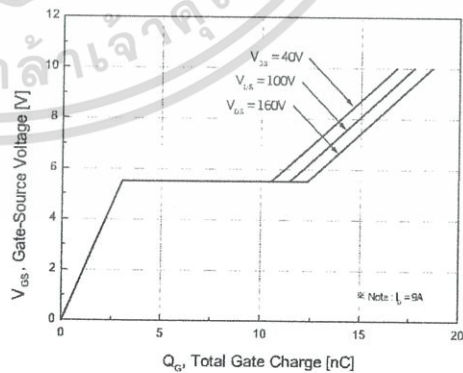


Figure 6. Gate Charge Characteristics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Characteristics (Continued)

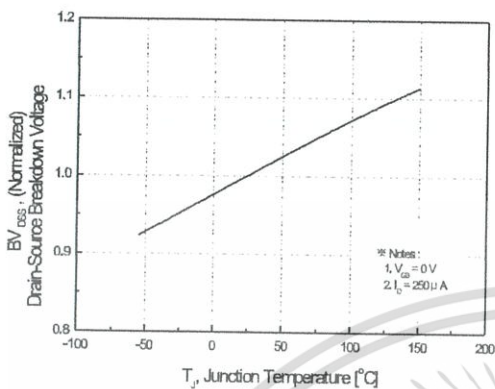


Figure 7. Breakdown Voltage Variation vs. Temperature

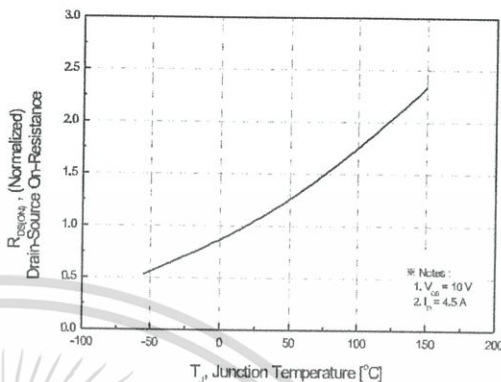


Figure 8. On-Resistance Variation vs. Temperature

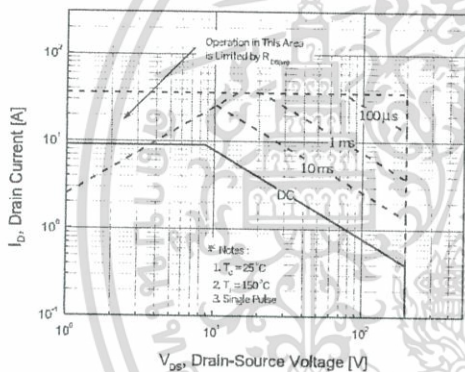


Figure 9. Maximum Safe Operating Area

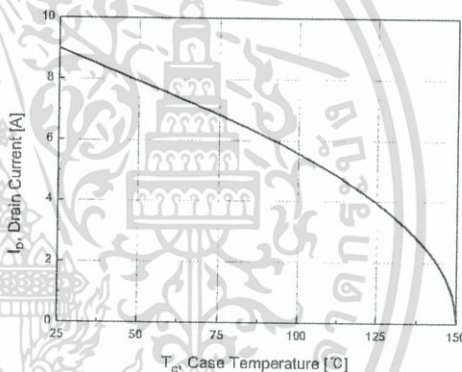


Figure 10. Maximum Drain Current vs. Case Temperature

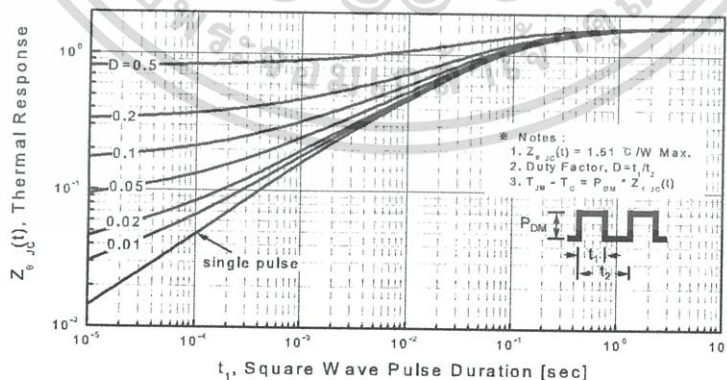
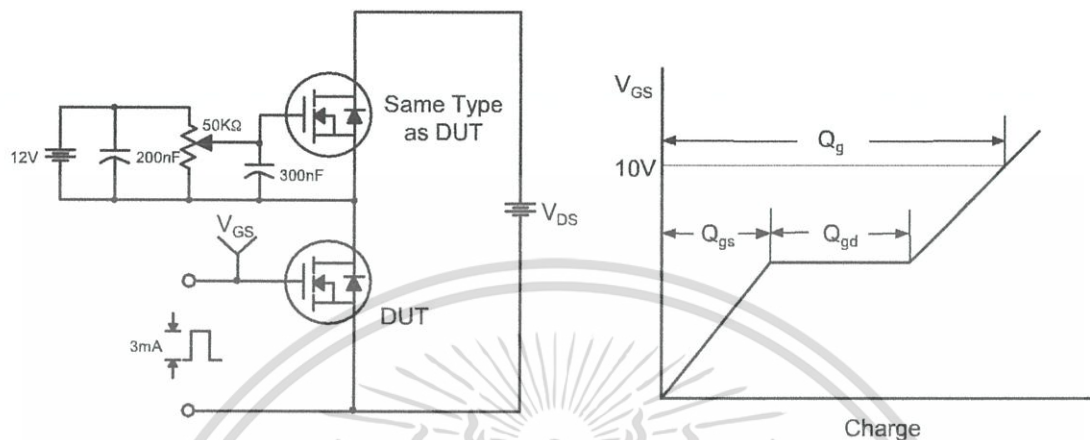


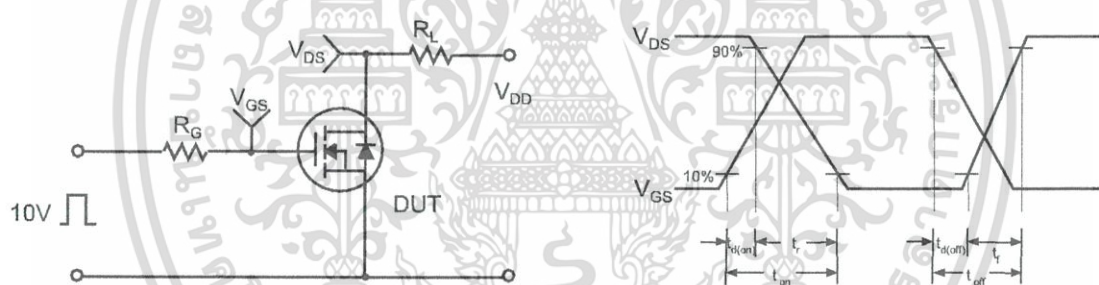
Figure 11. Transient Thermal Response Curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

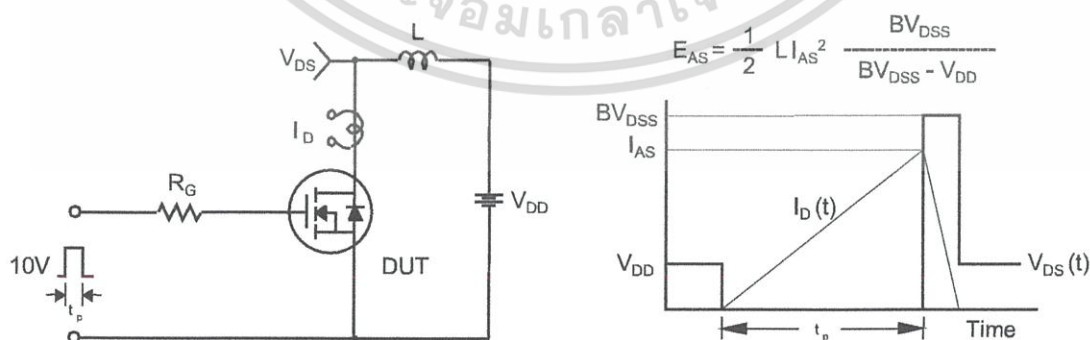
Gate Charge Test Circuit & Waveform



Resistive Switching Test Circuit & Waveforms

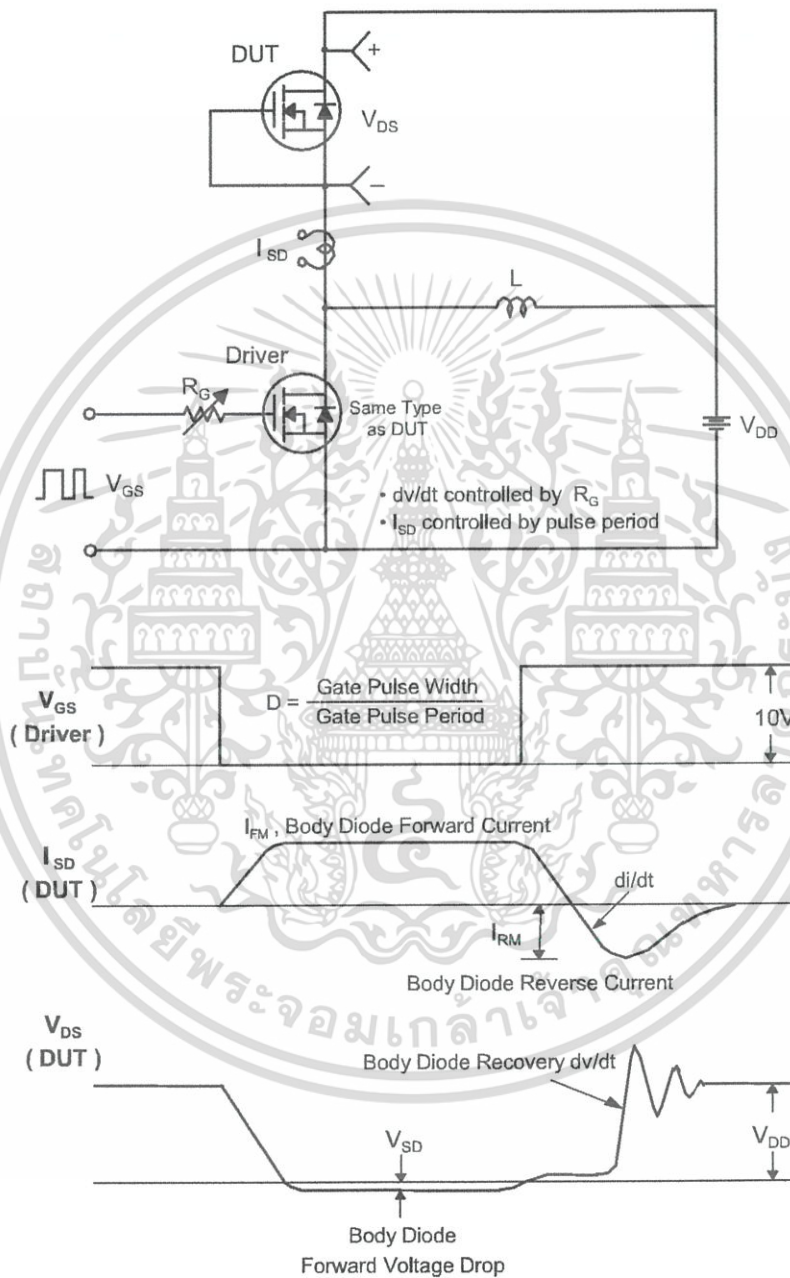


Unclamped Inductive Switching Test Circuit & Waveforms



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit & Waveforms



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Fair-Rite Products Corp. Your Signal Solution®

Ferrite Components for the Electronics Industry

Fair-Rite Products Corp. PO Box J, One Commercial Row, Wallkill, NY 12589-0288
Phone: (888) 324-7748 www.fair-rite.com

Fair-Rite Product's Catalog
Part Data Sheet, 4077312911 154
Printed: 2013-07-03



RoHS
Material
Declaration

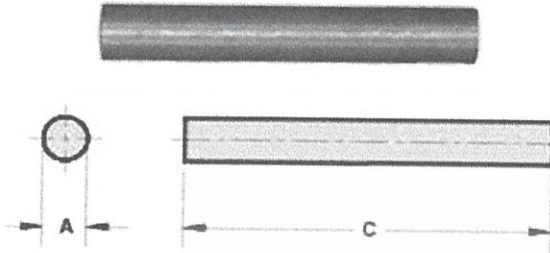


Figure 1

Part Number: 4077312911
Frequency Range: Medium Permeability, 77 (μi=2000) & 78 (μi=2300) materials
Description: 77 ROD
Application: Inductive Components
Where Used: Open Magnetic Circuit
Part Type: Rods

Mechanical Specifications

Weight: 9.200 (g)

Part Type Information

Pressed Fair-Rite rods are used extensively in high-energy storage designs. These rods can also be used for inductive components that require temperature stability or have to accommodate large dc bias requirements.

The 'A' dimension can be centerless ground to tighter tolerances.

Figure 2 rods have a 0.6 mm (.024") maximum chamfer on the end faces.

For frequency tuned rod designs see section Antenna/RFID Rods.

For any rod requirement not listed here, feel free to contact our customer service group for availability and pricing.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Fair-Rite Products Corp. Your Signal Solution®

Ferrite Components for the Electronics Industry

Fair-Rite Products Corp. PO Box J, One Commercial Row, Wallkill, NY 12589-0288
Phone: (888) 324-7748 www.fair-rite.com

Fair-Rite Product's Catalog
Part Data Sheet, 4077312911 155
Printed: 2013-07-03



Mechanical Specifications

Dim	mm	mm tol	nominal inch	inch misc.
A	8.00	±0.35	0.315	-
B	-	-	-	-
C	38.10	±0.75	1.500	-
D	-	-	-	-
E	-	-	-	-
F	-	-	-	-
G	-	-	-	-
H	-	-	-	-
J	-	-	-	-
K	-	-	-	-

Electrical Specifications

Typical Impedance (Ω)	
Electrical Properties	

Land Patterns

V	W	X	Y	Z
-	ref	-	-	-
-	-	-	-	-

Winding Information

Turns	Wire	1st Wire	2nd Wire
Tested	Size	Length	Length
-	-	-	-

Reel Information

Tape Width	Pitch	Parts 7"	Parts 13"	Parts 14"
mm	mm	Reel	Reel	Reel
-	-	-	-	-

Package Size

Pkg Size	
(-)	

Connector Plate

# Holes	# Rows
-	-

Legend

Test frequency

Preferred parts, the suggested choice for new designs, have shorter lead times and are more readily available.

The column H(Oe) gives for each bead the calculated dc bias field in oersted for 1 turn and 1 ampere direct current. The actual dc H field in the application is this value of H times the actual NI (ampere-turn) product. For the effect of the dc bias on the impedance of the bead material, see figures 18-23 in the application note How to choose Ferrite Components for EMI Suppression.

1/2 turn is defined as a single pass through a hole.

μ /A - Core Constant

l_e : Effective Path Length

A_e : Effective Cross-Sectional Area

V_e : Effective Core Volume

L - Inductance Factor (μH)

N/AWG - Number of Turns/Wire Size for Test Coil

NI - Value of dc Ampere-turns

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Fair-Rite Products Corp. Your Signal Solution®

Ferrite Components for the Electronics Industry

Fair-Rite Products Corp. PO Box J, One Commercial Row, Wallkill, NY 12589-0288
Phone: (888) 324-7748 www.fair-rite.com

Fair-Rite Product's Catalog
Part Data Sheet, 4077312911 156
Printed: 2013-07-03

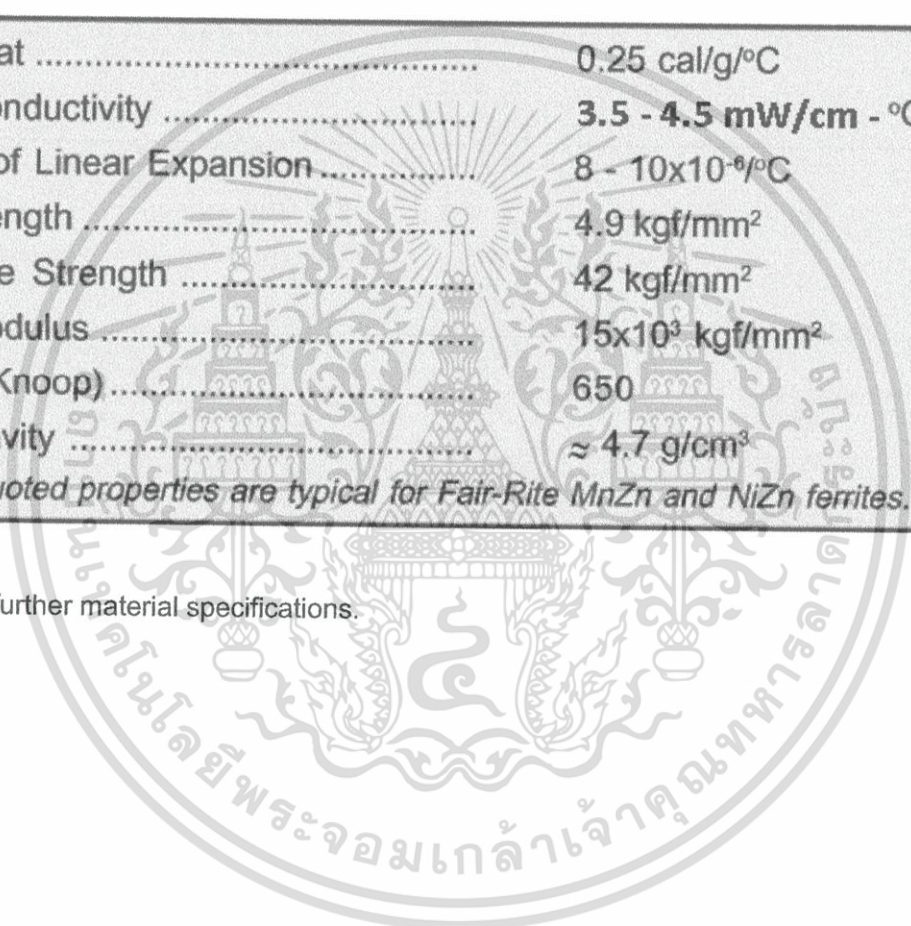


Ferrite Material Constants

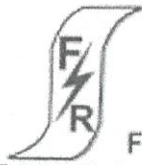
Specific Heat	0.25 cal/g/°C
Thermal Conductivity	3.5 - 4.5 mW/cm - °C
Coefficient of Linear Expansion	8 - 10x10 ⁻⁶ /°C
Tensile Strength	4.9 kgf/mm ²
Compressive Strength	42 kgf/mm ²
Young's Modulus	15x10 ³ kgf/mm ²
Hardness (Knoop)	650
Specific Gravity	~ 4.7 g/cm ³

The above quoted properties are typical for Fair-Rite MnZn and NiZn ferrites.

See next page for further material specifications.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Fair-Rite Products Corp. Your Signal Solution®

Ferrite Components for the Electronics Industry

Fair-Rite Products Corp. PO Box J, One Commercial Row, Wallkill, NY 12589-0288
Phone: (888) 324-7748 www.fair-rite.com

Fair-Rite Product's Catalog
Part Data Sheet, 4077312911 157
Printed: 2013-07-03



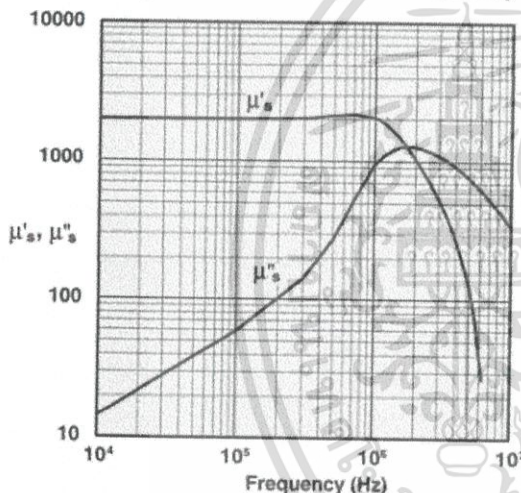
A MnZn ferrite for use in a wide range of high and low flux density inductive designs for frequencies up to 100 kHz.

Pot cores, E&I cores, U cores, rods, toroids, and bobbins are all available in 77 material.

77 Material Characteristics:

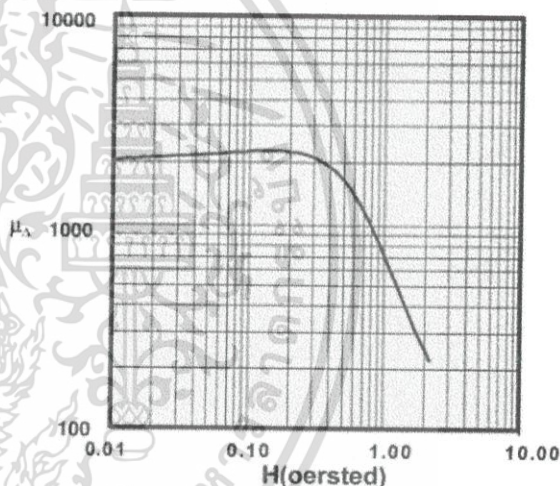
Property	Unit	Symbol	Value
Initial Permeability @ B < 10 gauss		μ_i	2000
Flux Density @ Field Strength	gauss oersted	B H	4900 5
Residual Flux Density	gauss	B_r	1800
Coercive Force	oersted	H_c	0.30
Loss Factor @ Frequency	10^{-6} MHz	$\tan \delta / \mu_i$	15 0.1
Temperature Coefficient of Initial Permeability (20 -70°C)	%/°C		0.7
Curie Temperature	°C	T_c	>200
Resistivity	Ω cm	ρ	1×10^2

Complex Permeability vs. Frequency

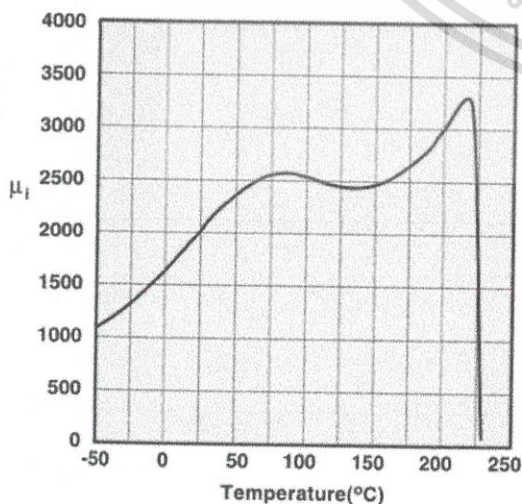


Measured on an 18/10/6mm toroid using the HP 4284A and the HP 4291A.

Incremental Permeability vs. H

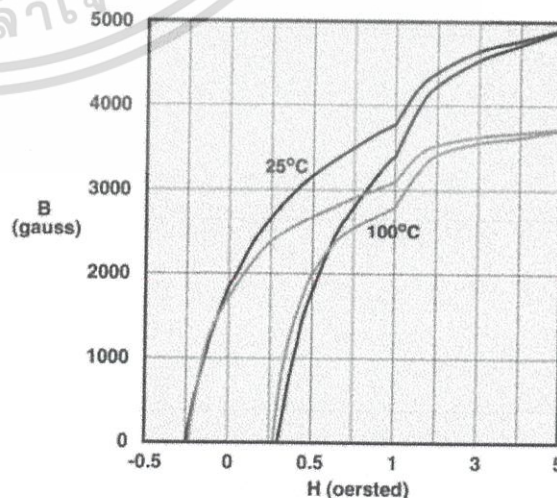


Initial Permeability vs. Temperature



Measured on an 18/10/6mm toroid at 100kHz.

Hysteresis Loop



Measured on an 18/10/6mm toroid at 10kHz.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Fair-Rite Products Corp. Your Signal Solution®

Ferrite Components for the Electronics Industry

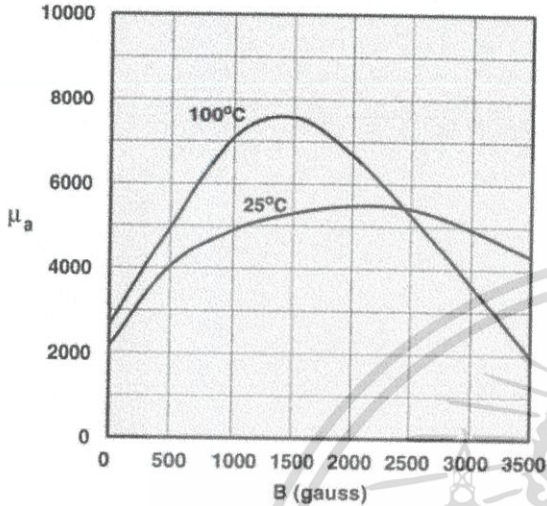
Fair-Rite Products Corp. PO Box J One Commercial Row, Wallkill, NY 12589-0288
Phone: (888) 324-7748 www.fair-rite.com

Fair-Rite Product's Catalog
Part Data Sheet, 4077312911 158
Printed: 2013-07-03



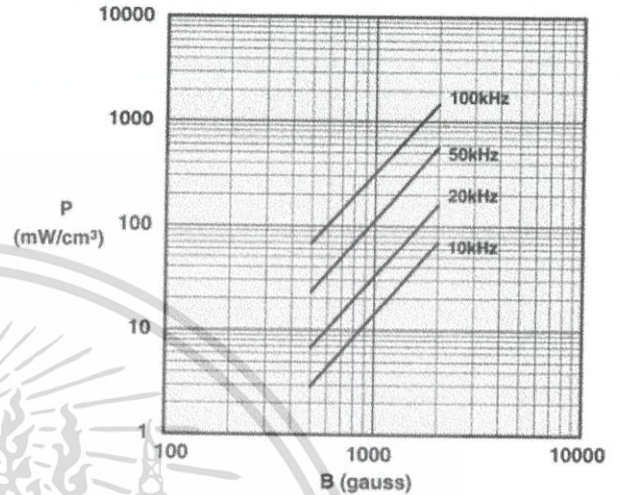
RoHS
Material
Declaration

Amplitude Permeability vs. Flux Density



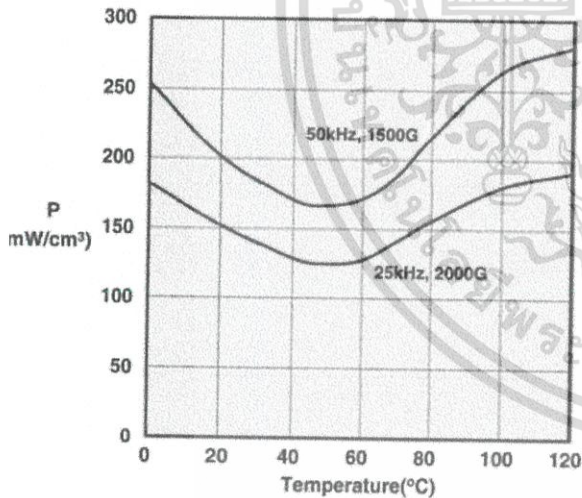
Measured on an 18/10/6mm toroid at 10kHz.

Power Loss Density vs. Flux Density



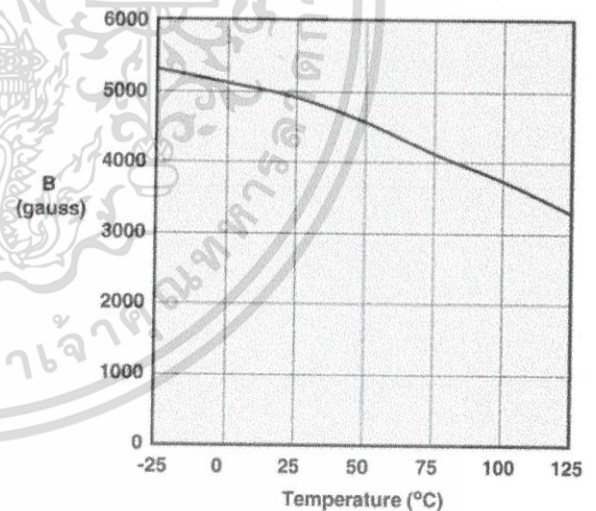
Measured on an 18/10/6mm toroid using the Clarke Hess 258 VAW at 100°C

Power Loss Density vs. Temperature



Measured on an 18/10/6mm toroid using the Clarke Hess 258 VAW.

Flux Density vs. Temperature



Measured on an 18/10/6mm toroid at 10kHz and H=5 oersted.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Authorized Distributor

Click to View Pricing, Inventory, Delivery & Lifecycle Information:

Fair-Rite:

4077312911



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอัดประจุไร้หน้าสัมผัสและตรวจวัดด้วยวิธีการนับประจุ

Contactless Charger and Coulomb Counting Paradigm

นายจรูญพงศ์ ยามานนท์, นายจิรวัดน์ เตียมานาค, นายชยากร บุญอิน, นายภาณ ขาญสิทธิโชค

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอยดลกรุง 1 ถนนดลกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทร.023264550

บทคัดย่อ

ปัญหานี้ นำเสนอการศึกษาและพัฒนาเครื่องอัดประจุที่ใช้การส่งผ่านกำลังด้วยหม้อแปลงทรงกระบอกไร้หน้าสัมผัส ซึ่งตรวจวัดด้วยวิธีการนับประจุ ซึ่งช่วยแก้ปัญหาจากการนำตัวรับและตัวเสียบแบบต่างๆ ไปที่ใช้ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับมาใช้ในระบบไฟฟ้ากระแสตรง นำมาสู่ปัญหาการเกิดอาร์คขณะที่เสียบหรืออันตรายนอกจากไฟฟ้าลัดวงจรเข้าสู่อุปกรณ์หรือตัวผู้ใช้ ในปัญหานี้ ได้ทำการออกแบบอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะนำหน้าสัมผัสไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อที่จะส่งกำลังผ่านหม้อแปลงทรงกระบอก ด้านไฟฟ้าขาออกจะมีการใช้เทคนิคการนับประจุเข้ามาตรวจวัดสถานะการอัดประจุของแบตเตอรี่ชนิด Li-ion ซึ่งเป็นแบตเตอรี่ที่มีการใช้อย่างกว้างขวางในอุปกรณ์จำพวกอิเล็กทรอนิกส์หรืออุปกรณ์พกพาแบบต่างๆ ในปัจจุบัน และเนื่องจากลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่ชนิด Li-ion ทำให้การวัดโดยวิธีการนับประจุ นั้น เป็นวิธีการตรวจวัดสถานะการอัดประจุของแบตเตอรี่ชนิด Li-ion ที่แม่นยำมากกว่าวิธีอื่นๆ

คำสำคัญ: หม้อแปลงทรงกระบอก, ไร้หน้าสัมผัส, แบตเตอรี่, การนับประจุ

ABSTRACT

The main problems of the conventional electrical plug and outlet with direct metal contact for ac power distribution system that employed in dc system are voltage conversion, risk of electric shock, arc discharge and galvanic isolation. Therefore, the development of battery charger by enhancing coulomb counting paradigm and cylindrical contactless transformer is introduced in this paper. By combining these two methods, the battery charger can be achieved the arc free, high power density transferring and controllable output voltage. Thus, the state of charge (SOC) of the battery with coulomb counting paradigm can be observed and monitored as well. Mainly, this project is focused on Li-ion battery

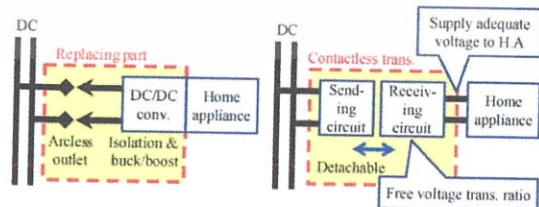
that widely used in portable devices such as smart-phone, laptop, tablet device, etc. Additionally, High frequency diode clamp multilevel inverter is used to transfer power through cylindrical contactless transformer with characteristic of Li-ion battery, coulomb counting paradigm can able to monitor the SOC and depth of discharge (DOD) more precise compared to other method.

Keyword: Cylindrical Transformer, Contactless, Battery, Coulomb Counting

1. บทนำ

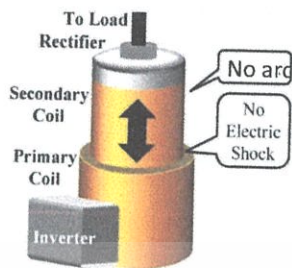
ในปัจจุบันมีการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มมากขึ้น ทำให้บ้านที่เป็น DC grid มีเพิ่มมากขึ้นไปด้วย และในปัจจุบันใช้สมาร์ตโฟนเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก เครื่องอัดประจุจึงนับได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีความจำเป็นในชีวิตประจำวัน มีความสำคัญต่ออุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่างๆ ในชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นสมาร์ตโฟน, แท็บเล็ต, คอมพิวเตอร์พกพา ฯลฯ แต่จากเหตุการณ์ในปัจจุบันได้เกิดเหตุการณ์ที่เครื่องอัดประจุของสมาร์ตโฟนระเบิดขึ้นบ่อยครั้ง ซึ่งส่งผลให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ภายในเครื่องอัดประจุเกิดความเสียหายต่อตัวสมาร์ตโฟน และอาจจะเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานอีกด้วย

จากการศึกษาพบว่าสามารถแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นโดยการเปลี่ยนตัวรับที่มีหน้าสัมผัสมาเป็นตัวรับแบบไร้หน้าสัมผัส โดยวิธีการเหนี่ยวนำผ่านหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ทรงกระบอก



(ก) ปลั๊กแบบมีหน้าสัมผัส (ข) ปลั๊กแบบไร้หน้าสัมผัส
รูปที่ 1 คอนเซ็ปของปลั๊กที่แบบมีหน้าสัมผัสและแบบไร้หน้าสัมผัส

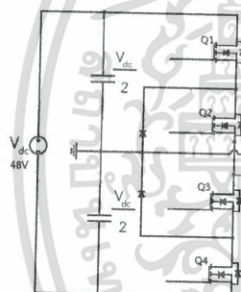
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



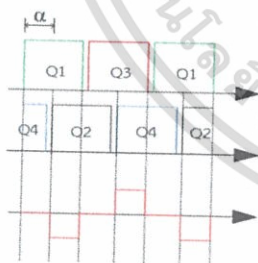
รูปที่ 3 การออกแบบต้นแบบตัวส่งผ่านกำลัง[1]

2. ทฤษฎีบท Diode Clamp Multilevel Inverter

อินเวอร์เตอร์หลายระดับ คือ การรวมสวิทช์ อิเล็กทรอนิกส์และแหล่งจ่ายแรงดันจากตัวเก็บประจุเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าออกเป็นขั้น ๆ การสับเปลี่ยนกระแสของสวิทช์ทำให้ตัวเก็บประจุต่อกับแรงดันไฟฟ้าสูงด้านออกในขณะที่ตัวสวิทช์เองจะได้รับแรงดันน้อยลง



รูปที่ 4 วงจร Diode Clamp Multilevel Inverter



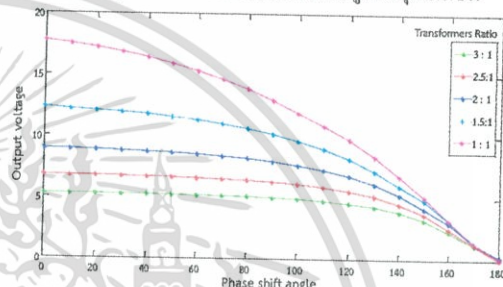
รูปที่ 5 Pattern Switch

3. การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

ในขั้นแรกของการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า ได้มีการคำนึงถึงรูปร่างของแกนเฟอร์ไรต์ก่อนว่า แกนเฟอร์ไรต์รูปแบบใดที่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นเด้ารับและเด้าเสียบ ซึ่งแกนเฟอร์ไรต์ในปัจจุบันมีหลายรูปทรง ยกตัวอย่างเช่น ทรง EE, UU, PQ,

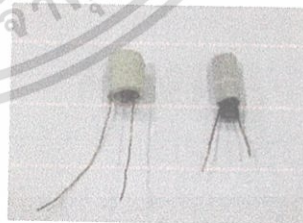
ETD, Ring, ROD, Toroid เป็นต้น ซึ่งทางผู้จัดทำได้เลือกแกนทรง ROD หรือทรงกระบอก เนื่องด้วยเห็นว่ามึรูปร่างที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นเด้ารับและเด้าเสียบที่สุด โดยให้ด้านปฐมภูมิเป็นแกนอากาศ และด้านทุติยภูมิเป็นแกนเฟอร์ไรต์ทรง ROD ทั้งนี้ก็ได้มีการทดสอบหม้อแปลงรูปทรงอื่น ๆ ด้วย

สำหรับการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง ก่อนที่จะทำการออกแบบนั้น ได้มีการทำการจำลอง (Simulation) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันขาออกของคอนเวอร์เตอร์ที่ Turn Ratio ต่าง ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงกับมุมเฟสชิฟ



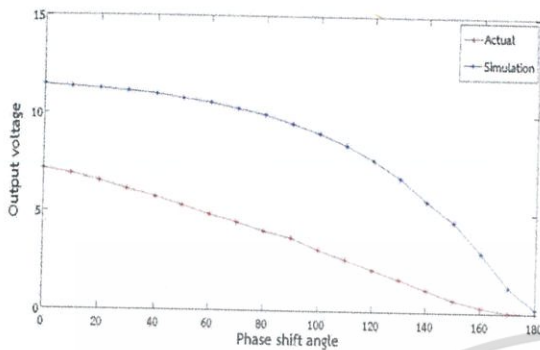
รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์แรงดันด้านออกของคอนเวอร์เตอร์ที่ Turn Ratio ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้ากับมุมเฟสชิฟ

เมื่อดูจากผลการจำลองแล้วจะเห็นว่าตั้งแต่ Turn Ratio 2:1 จนถึง 1.5:1 มีแรงดันด้านออกของคอนเวอร์เตอร์เหมาะสมที่จะกับการควบคุมโดย PI Control ดังนั้น Turn Ratio ของหม้อแปลงความถี่สูงในช่วงระหว่าง 2:1 กับ 1.5:1 ซึ่งทางผู้จัดทำได้เลือกหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงที่ Turn Ratio 1.6:1 โดยทำการออกแบบแล้วจะได้จำนวนรอบของขดลวดด้านปฐมภูมิเป็น 80 รอบ และจำนวนรอบของขดลวดด้านทุติยภูมิเป็น 50 รอบ โดยมีประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าเป็น 63.1% ซึ่งหม้อแปลงดังกล่าวมีรูปทรงเป็นดังภาพ



รูปที่ 7 รูปทรงของหม้อแปลงไฟฟ้าที่นำไปใช้งานจริง

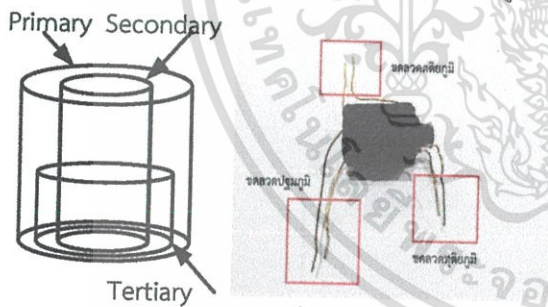
ซึ่งเมื่อทำการวัดค่าที่ใช้งานจริงของหม้อแปลงเทียบกับผลการจำลอง (Simulation) จะได้กราฟดังรูปที่ 8



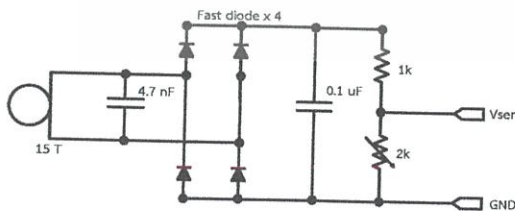
รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันด้านออกของคอนเวอร์เตอร์ที่ได้จากค่าจริง และค่าจากการจำลองเทียบกับมุมเฟสไฟฟ

4.การทดสอบ PI Control

ในระบบควบคุมแบบป้อนกลับ ในการทดลองครั้งแรกได้ทำการวัดแรงดัน V_{sen} จากขดลวดคดียภูมิ(Tertiary Coil) เพื่อต้องการให้เซนเซอร์อยู่ด้านเดียวกับขดลวดปฐมภูมิ เพื่อมีความสะดวกและเหมาะสมทำให้ขดลวดทุติยภูมิสามารถแยกออกได้โดยไม่ต้องมีสายเซนเซอร์ต่อกลับไปหาวงจรฝั่งปฐมภูมิ โดยการทดลองได้ทำการพันขดลวดคดียภูมิอยู่บนด้านปฐมภูมิ โดยหม้อแปลงที่ใช้ทำการทดสอบพันขดลวดคดียภูมิให้หม้อแปลงดังรูปที่ 9

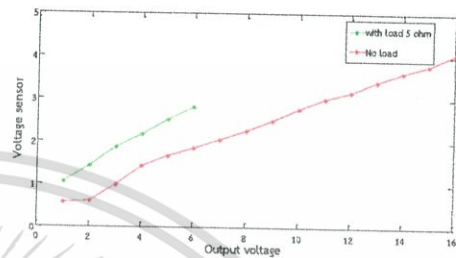


รูปที่ 9 หม้อแปลงทดสอบมีขดลวดคดียภูมิ



รูปที่ 4.10 วงจรแปลงสัญญาณเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์

การทดสอบทดสอบ โดยการวัดแรงดันเอาต์พุตเปรียบเทียบกับแรงดัน V_{sen} ขณะมีโหลด เทียบกับไม่มีโหลด แสดงดังรูปที่ 4.11

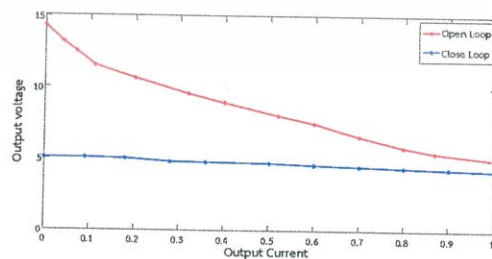


รูปที่ 11 กราฟเปรียบเทียบแรงดัน V_{sen} ขณะมีโหลดและไม่มีโหลด

จากผลการทดลองจะเห็นว่าขณะไม่มีโหลดแรงดัน V_{sen} จะต่ำกว่าขณะมีโหลด แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลดจะทำให้แรงดัน V_{sen} นั้นเปลี่ยนไปด้วย ทำให้ไม่สามารถนำมาใช้ในการควบคุมแรงดันแบบป้อนกลับได้ เพราะจะทำให้ค่าที่ได้คลาดเคลื่อนจากค่าจริง จึงทำการวัดแรงดัน V_{sen} ที่แรงดันเอาต์พุต

4.1 ผลการทดสอบฮาร์ดแวร์

สำหรับการทดสอบฮาร์ดแวร์ มีจุดมุ่งหมายคือการของที่แรงดันเอาต์พุตเมื่อมีการจ่ายกำลังที่เปลี่ยนไป โดยโหลดของฮาร์ดแวร์นี้คือการชาร์จแบตเตอรี่ ซึ่งแบตเตอรี่จะมีการดึงกระแสที่เวลาต่างๆ แตกต่างกัน ทำให้แรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนไปจึงจำเป็นต้องมีการคงที่แรงดัน เพื่อใช้ชาร์จแบตเตอรี่และป้องกันการโอเวอร์โวลต์เตจสร้างความเสียหายให้กับแบตเตอรี่โดยการทดลองจะทดลอง โดยการดึงกระแสที่ต่างๆ กัน เพื่อดูผลของแรงดันเอาต์พุตว่ามี การเปลี่ยนแปลงอย่างไร โดยเปรียบเทียบระหว่าง ระบบที่มีการ Open Loop กับระบบที่มีการ Close Loop โดยผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 12

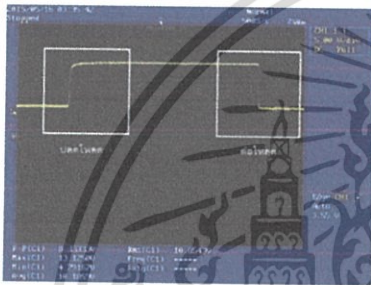


รูปที่ 12 กระแสเอาต์พุตเปรียบเทียบกับแรงดันเอาต์พุต ขณะ Open Loop และ Close Loop

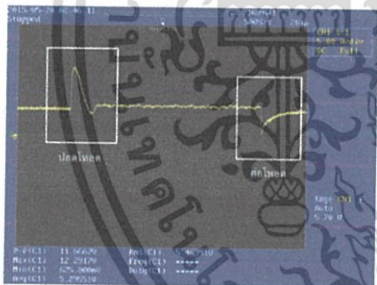
จะเห็นได้ว่าระบบที่มีการควบคุมแบบป้อนกลับ เมื่อ โหลดมีการดึงกระแสเปลี่ยนไปแรงดันเอาต์พุตสามารถคงที่แรงดัน ได้ดีกว่าระบบที่ไม่มีการควบคุมแบบป้อนกลับ

4.2 ผลการเปรียบเทียบฮาร์ดแวร์แบบ Open Loop และ Close Loop

การทดลองการเปรียบเทียบนี้ จะทำโดยการทดสอบการ ปลดโหลดออก และต่อโหลด เพื่อเปรียบเทียบผลตอบสนองของ ระบบ ผลการตอบสนองวัดจากแรงดันเอาต์พุตโดยใช้ ออสซิลโลสโคป ผลที่ได้เป็นดังนี้



รูปที่ 13 Open Loop Test



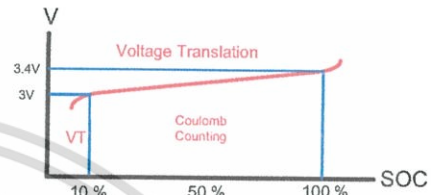
รูปที่ 14 Close Loop Test

จะเห็นว่าเมื่อมีการปลด โหลดออกระบบจะตอบสนอง โดยการคงที่แรงดันให้เท่าเดิม โดยจะเห็นได้จากการเกิดช่วง Transient Response และระบบจะพยายามกลับเข้าสู่ Steady State เมื่อ ต่อ โหลดกลับแรงดันจะตกลงและกลับเข้าสู่ภาวะ Steady State เช่นกัน ระบบควบคุมแบบ Close Loop จึงเหมาะสมกับการใช้งานนี้ เพราะเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง โหลด ระบบจะยังสามารถคงที่แรงดันที่ 5V ได้

5.การตรวจวัดสถานะแบตเตอรี่ด้วยวิธีการนับประจุ

ในการตรวจวัดสถานะของแบตเตอรี่จะใช้วิธีการนับ ประจุ เนื่องจากลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่ชนิด Li-ion ในการวิจัย

นี้ การตรวจสอบสถานะของแบตเตอรี่จากการอ่านค่าแรงดันเพียง อย่างเดียวไม่สามารถบอกค่า SOC ของแบตเตอรี่ได้อย่างแม่นยำ จึงมี การนำวิธีทั้งสองมาใช้ร่วมกัน โดยจะใช้การนับประจุขณะที่ทำการ อัดประจุและตรวจสอบว่าได้ทำการอัดประจุจนเต็มหรือไม่จากการ ตรวจสอบแรงดันของแบตเตอรี่ว่ามีค่าตามแรงดันสูงสุดที่กำหนดไว้ หรือไม่



รูป 15 วิธีการตรวจสอบสถานะแบตเตอรี่ด้วยการนับประจุและ ตรวจสอบแรงดัน

ในส่วนของหน่วยประมวลผลใช้ LTC4150ในการรับ ข้อมูลประจุที่ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่ โดยทุกๆ 0.614 คูลอมบ์ ตัวตรวจ นับจะส่งสัญญาณ ไปให้ Arduino เพื่อเก็บค่าและประมวลผลพร้อม แสดงผลสถานะของแบตเตอรี่ในขณะนั้น

6.สรุป

ในการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบของระบบการ ส่งผ่านกำลังแบบไร้หม้อแปลงสวิตชัน ระบบสามารถส่งกำลัง ได้อย่างมี ประสิทธิภาพ ระบบควบคุมสามารถควบคุมแรงดันไว้ได้แม้ว่าโหลด จะมีการเปลี่ยนแปลงด้วยการควบคุมแบบ PI ในส่วนของหม้อแกน เพื่อไรต์ทรงกระบอกได้ออกแบบให้มีขนาดที่เหมาะสม โดยมี ประสิทธิภาพ 63.1% ประสิทธิภาพรวมของเครื่องต้นแบบคิดเป็น 51% ในส่วนของการตรวจวัดสถานะการอัดประจุด้วยวิธีการนับ ประจุสามารถใช้กับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม ไอออนได้โดยมีความ คลาดเคลื่อนต่ำและสามารถเปรียบเทียบความจุของแบตเตอรี่ได้หากมี การคลาดเคลื่อน

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนสนับสนุนจากห้องปฏิบัติการ ประยุกต์ใช้พลังงานทดแทน สาขาวิศวกรรม ไฟฟ้า สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

8. เอกสารอ้างอิง

[1] S. Ojika, Y. Miura and T. Ise, "Inductive Contactless Power Transfer System with Coaxial Coreless Transformer for DC Power Distribution," Proc. of the Energy Conversion Congress and Exposition Asia (ECCE-Asia), pp. (20 13).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้วิจัย



ชื่อ - นามสกุล นาย จรัสพงศ์ ยามานนท์

วัน เดือน ปีเกิด 3 กันยายน 2535

ที่อยู่ 38 หมู่ที่ 6 ตำบลคูใต้ อำเภอมือง
จังหวัดน่าน 55000

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน สตรีศรีน่าน

ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน PTT Global Chemical Public Company Limited
ระหว่างวันที่ 1 เมษายน 2557 – 30 พฤษภาคม 2557



ชื่อ - นามสกุล นาย จิววัฒน์ เลี่ยมมาก

วัน เดือน ปีเกิด 6 กันยายน 2535

ที่อยู่ 18 หมู่ที่ 4 ตำบลเขาน้อย อำเภอปรานบุรี
จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77120

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน หัวหินวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน PTT Global Chemical Public Company Limited
ระหว่างวันที่ 1 เมษายน 2557 – 30 พฤษภาคม 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ชื่อ - นามสกุล นาย ชยากร บุญอิน

วัน เดือน ปีเกิด 4 ตุลาคม 2535

ที่อยู่ 18 หมู่ 1 ตำบลนาทะนุง อำเภอนาหมื่น
จังหวัดน่าน 55180

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน สตรีศรีน่าน

ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท เทอร์โม เทรเซอร์ จำกัด
ระหว่างวันที่ 1 เมษายน 2557 – 30 พฤษภาคม 2557



ชื่อ - นามสกุล นาย ฌาณ ชาณสิทธิโชค

วัน เดือน ปีเกิด 4 กันยายน 2535

ที่อยู่ 581 ถนนฉลองกรุง 1 เขต
ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน
เตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า

ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน Tokai University, Japan (Kanagawa)
ระหว่างวันที่ 21 เมษายน 2557 – 18 พฤษภาคม 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้