

การออกแบบวงจรควบคุมการกักเก็บพลังงานสำหรับแหล่งกักเก็บพลังงานแบบไฮบริดจากการ
รีเจนเนอเรทีฟของมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน

Control circuit design for three phase inverter based on
hybrid energy storage device



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Control circuit design for three phase inverter based on
hybrid energy storage device



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
2020

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปีการศึกษา 2563

การออกแบบวงจรควบคุมการกักเก็บพลังงานสำหรับแหล่งกักเก็บพลังงานแบบไฮบริดจากการ
รีเจนเนอเรทีฟของมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน
Control circuit design for three phase inverter based on
hybrid energy storage device



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. วิวัฒน์ เกียรติวงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญาโทปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบวงจรควบคุมการกักเก็บพลังงานสำหรับแหล่งกักเก็บพลังงานแบบไฮบริดจากการ
รีเจนเนอเรทีฟของมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน

ผู้จัดทำ



1. นายณัฐวุฒิ ตาหลวง
2. นายธนภัทร งามดี
3. นายธนวัฒน์ เสียงวิสัย
4. นายปลายตะวัน หลั่งสันติ

Wiwat

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ เกษุรงค์)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การออกแบบวงจรควบคุมการกักเก็บพลังงานสำหรับแหล่งกักเก็บพลังงานแบบไฮบริดจากการ
รีเจนเนอเรทีฟของมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน

นายณัฐวุฒิ ตาหลวง

นายธนภัทร งามดี

นายธนวัฒน์ เสียงวิสัย

นายปลายตะวัน หลังสันติ

ผศ.ดร. วิวัฒน์ เกตุรวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบการควบคุมระบบ รูปแบบการสวิตช์ไว้ในการเลือกกักเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการเบรกแบบ รีเจนเนอเรทีฟ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การออกแบบการควบคุมรูปแบบการสวิตช์ที่สามารถออกแบบการควบคุมการเปิด-ปิด มอสเฟต ในอินเวอร์เตอร์สามเฟสเพื่อเลือกกักเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการเบรกแบบ รีเจนเนอเรทีฟ ของ Brushless DC Motor (BLDC) สามารถเลือกไปเก็บพลังงานไว้ในซูเปอร์คาปาซิเตอร์ และแบตเตอรี่ได้โดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมและใช้เทคนิคสัญญาณ Pulse Width Modulation (PWM)

ในมอสเฟตของอินเวอร์เตอร์สามเฟส และศึกษาพฤติกรรมของมอสเฟตทั้ง 6 ตัวในอินเวอร์เตอร์สามเฟสในช่วงการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟ อีกทั้งมีการออกแบบการจำลองวงจรทดสอบโดยใช้ MATLAB Simulink ทั้งนี้เพื่อนำพลังงานที่ได้จากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟมาเลือกเก็บได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Control circuit design for three phase inverter based on hybrid energy storage device

Mr. Natthawut Taluang

Mr. Tanapat Ngamdee

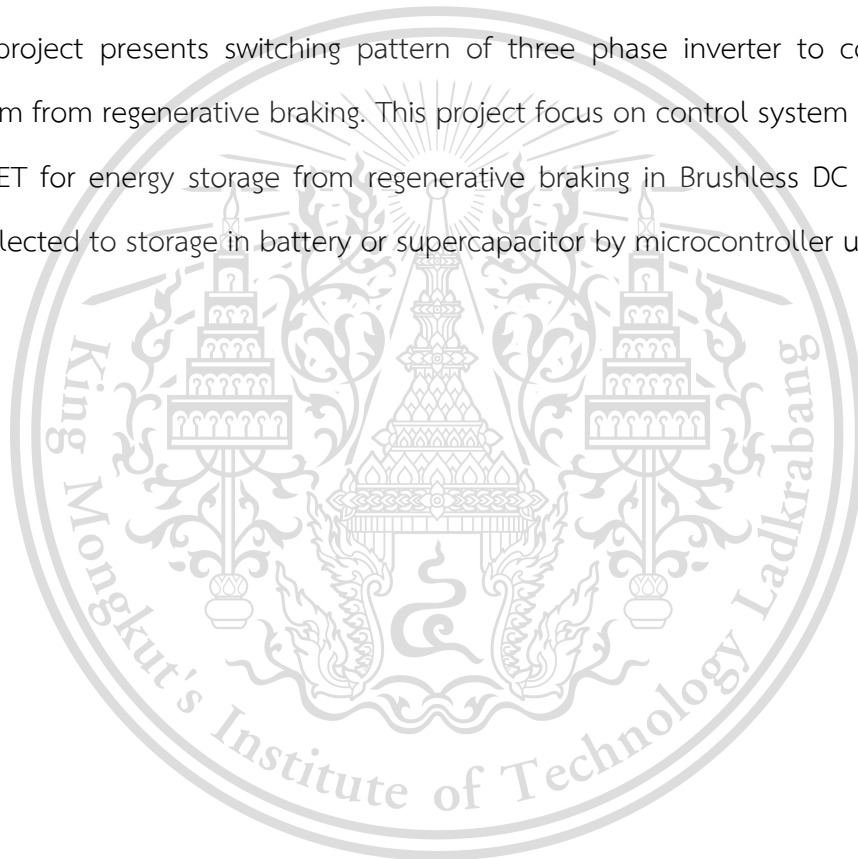
Mr. Tanawat Seangwilai

Mr. Plaitawan Langsanti

Asst. Prof. Wiwat Keyoonwong Advisor

ABSTRACT

This project presents switching pattern of three phase inverter to control energy storage system from regenerative braking. This project focus on control system design to on-off MOSFET for energy storage from regenerative braking in Brushless DC Motor (BLDC) which can selected to storage in battery or supercapacitor by microcontroller using Arduino.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์จากหลายท่านโดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ ผศ.ดร. วิวัฒน์ เกียรติวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่คอยช่วยเหลือให้โครงการออกมาเป็นรูปร่าง ให้คำปรึกษาที่มีประโยชน์กับพวกเราคณะผู้จัดทำตลอดมา

ขอขอบคุณ ดร.คุณากร คิตติ ที่คอยให้คำปรึกษา ก่อนเริ่มการทดลอง ขณะทำการทดลอง และหลังการทดลอง คอยช่วยแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นตลอดเวลา คอยห่วงใยและตามงานตลอดทุกสัปดาห์ แม้จะอยู่คนละมหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณคุณเบญจมาศและคุณสุทธิวิธ เพื่อนสมัยมัธยมปลาย ที่ช่วยเหลือในด้านโปรแกรม MATLAB ทำให้การจำลองวงจรเป็นไปได้อย่างราบรื่น

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ ห้องอินโนเจน ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาในปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น ขณะทดลองอยู่ที่ห้องอินโนเจน ตึก ECC คณะวิศวกรรมศาสตร์

ขอขอบคุณพี่ปุ่น พี่เป้ ที่คอยให้คำแนะนำและช่วยเหลือเมื่อเกิดปัญหาในการยืมและใช้งานอุปกรณ์การทดสอบ

ท้ายนี้ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและครอบครัวคณะผู้จัดทำที่คอยสนับสนุนทางด้านการเงิน กำลังใจ และคำปรึกษาต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อคณะผู้จัดทำตลอดมาจนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	2
1.4 วิธีที่ใช้ในโครงการ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ระบบเบรก [2]	4
2.2 มอเตอร์ที่ใช้ในการสร้างรีเจเนอเรทีฟ [1],[2]	5
2.3 ระบบกักเก็บพลังงาน [5],[6]	6
2.4 รูปแบบการสวิตซ์ซิ่ง [3]	8
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3 อุปกรณ์และการออกแบบการทดลอง	13
3.1 อุปกรณ์การทดลอง	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
3.2 การออกแบบการทดลอง 15
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.1 แนวคิดการออกแบบการทดลอง	15
3.2.2 การออกแบบวงจรการทดลอง	16
3.2.2.1 วงจรขับมอเตอร์	16
3.2.2.2 วงจรการทดสอบการทำงานในช่วง regenerative	16
3.3 การออกแบบโปรแกรมคำสั่งสำหรับ Arduino	17
3.4 วิธีการทดลอง	20
บทที่ 4 ผลการทดลอง	23
4.1 การทดสอบและคำนวณประสิทธิภาพการทำงานของอินเวอร์เตอร์สำหรับการขับมอเตอร์	23
4.2 สถานะการทำงานของมอเตอร์ที่ค่ากระแสที่แตกต่างกัน	23
4.3 การคืนพลังงานตามเงื่อนไขที่กำหนด	44
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	55
5.1 สรุปผลการทดลอง	55
5.2 ข้อเสนอแนะ	59
เอกสารอ้างอิง	60
ภาคผนวก	61
ประวัติผู้เขียน	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 รูปแบบการหมุนของแม่เหล็กถาวร	6
2.2 วงจรสมมูลของมอเตอร์ BLDC รวมทั้งวงจรอินเวอร์เตอร์	8
2.3 วงจร controller ในโปรแกรม Psim	10
2.4 รูปแบบการสวิตช์ของ มอสเฟต แต่ละตัวทั้งในช่วง motoring และ generative	11
2.5 รูปแบบการสวิตช์ของ มอสเฟต แต่ละตัวในช่วง generative	11
3.1 การทำงานของระบบ	15
3.2 วงจรการขับมอเตอร์	16
3.3 วงจรการทดสอบการทำงานในช่วง regenerative	17
3.4 โปรแกรมคำสั่งสำหรับ Arduino ส่วนที่ 1	17
3.5 โปรแกรมคำสั่งสำหรับ Arduino ส่วนที่ 2	18
3.6 โปรแกรมคำสั่งสำหรับ Arduino ส่วนที่ 3	19
3.7 การต่อวงจรสำหรับการทดลองการขับมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน 3 เฟส ด้วยอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส และวัดค่าด้วยเครื่องมือ POWER QUALITY ANALYZER ยี่ห้อ HIOKI	20
3.8 การออกแบบการทดสอบสถานะมอสเฟต	21
3.9 การจำลองการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟ	22
4.1 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 1 A	25
4.2 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 1 A	25
4.3 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.95 A	26
4.4 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.95 A	26
4.5 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.90 A	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.90 A	27
4.7 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.85 A	28
4.8 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.85 A	28
4.9 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.80 A	29
4.10 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.80 A	29
4.11 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.75 A	30
4.12 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.75 A	30
4.13 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.70 A	31
4.14 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.70 A	31
4.15 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.65 A	32
4.16 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.65 A	32
4.17 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.60 A	33
4.18 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.60 A	33
4.19 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.55 A	34
4.20 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.55 A	34
4.21 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.50 A	35
4.22 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.50 A	35
4.23 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.45 A	36
4.24 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.45 A	36
4.25 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.40 A	37

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.26 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.40 A	37
4.27 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.35 A	38
4.28 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.35 A	38
4.29 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.30 A	39
4.30 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.30 A	39
4.31 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.25 A	40
4.32 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.25 A	40
4.33 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.20 A	41
4.34 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.20 A	41
4.35 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.15 A	42
4.36 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.15 A	42
4.37 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.10 A	43
4.38 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.10 A	43
4.39 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สีส้ม)และกระแสที่ชาร์จเข้า คาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สีฟ้า)เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.55 A	45
4.40 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สีส้ม)และกระแสที่ชาร์จเข้า คาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สีฟ้า)เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.60 A	45
4.41 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สีส้ม)และกระแสที่ชาร์จเข้า คาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สีฟ้า)เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.65 A	46
4.42 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สีส้ม)และกระแสที่ชาร์จเข้า	46

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

สารบัญรูปร่างภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.43 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สี่เหลี่ยม) และกระแสที่ชาร์จเข้าคาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สี่เหลี่ยม) เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.75 A	47
4.44 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สี่เหลี่ยม) และกระแสที่ชาร์จเข้าคาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สี่เหลี่ยม) เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.80 A	47
4.45 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สี่เหลี่ยม) และกระแสที่ชาร์จเข้าคาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สี่เหลี่ยม) เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.85 A	48
4.46 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สี่เหลี่ยม) และกระแสที่ชาร์จเข้าคาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สี่เหลี่ยม) เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.90 A	48
4.47 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สี่เหลี่ยม) และกระแสที่ชาร์จเข้าคาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สี่เหลี่ยม) เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.95 A	49
4.47 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สี่เหลี่ยม) และกระแสที่ชาร์จเข้าคาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สี่เหลี่ยม) เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 1.00 A	49
4.49 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สี่เหลี่ยม) และกระแสที่ชาร์จเข้าคาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สี่เหลี่ยม) เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.10 A	50
4.50 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สี่เหลี่ยม) และกระแสที่ชาร์จเข้าคาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สี่เหลี่ยม) เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.15 A	51
4.51 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สี่เหลี่ยม) และกระแสที่ชาร์จเข้าคาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สี่เหลี่ยม) เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.20 A	51
4.52 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สี่เหลี่ยม) และกระแสที่ชาร์จเข้าคาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สี่เหลี่ยม) เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.25 A	52
4.53 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สี่เหลี่ยม) และกระแสที่ชาร์จเข้าคาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สี่เหลี่ยม) เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.30 A	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.54 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สีส้ม)และกระแสที่ชาร์จเข้าคาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สีฟ้า)เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.35 A	53
4.55 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สีส้ม)และกระแสที่ชาร์จเข้าคาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สีฟ้า)เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.40 A	53
4.56 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สีส้ม)และกระแสที่ชาร์จเข้าคาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สีฟ้า)เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.45 A	54
4.57 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สีส้ม)และกระแสที่ชาร์จเข้าคาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สีฟ้า)เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.50 A	54
5.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับความเร็วรอบ	56
5.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกเทียบกับความเร็วรอบ	56
5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสขาเข้าเทียบกับความเร็วรอบ	57
5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสขาออกเทียบกับความเร็วรอบ	57
5.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าขาเข้าเทียบกับความเร็วรอบ	58
5.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าขาออกเทียบกับความเร็วรอบ	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

X

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ตารางการทดสอบและคำนวณประสิทธิภาพการทำงานของอินเวอร์เตอร์สำหรับการขับเคลื่อนมอเตอร์	23
4.2 ตารางแสดงสถานะการทำงานของมอเตอร์ที่ค่ากระแสต่างๆ	24
4.3 ตารางแบบทดสอบการจำลองการคืนพลังงานจากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟ 9 วินาที ของซูปเปอร์คาปาซิเตอร์ชุดที่ 1	44
4.4 ตารางแบบทดสอบการจำลองการคืนพลังงานจากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟ 9 วินาที ของซูปเปอร์คาปาซิเตอร์ชุดที่ 2	50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันโลกกำลังเผชิญปัญหาเกี่ยวกับภาวะโลกร้อน ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆในโลกเป็นอย่างมากจึงทำให้นานาประเทศเริ่มหันมาใช้การผลิตและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยไม่สิ้นเปลือง นอกจากจะเป็นการช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานแล้วยังเป็นการช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้พลังงานและผลิตพลังงานที่ใช้ไปโดยสิ้นเปลือง และเป็นการนำพลังงานที่อาจจะสูญเสียน่ากลับมาใช้ใหม่ให้ได้มากที่สุดและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ในปัจจุบันมีการคืนพลังงานในหลายรูปแบบยกตัวอย่างเช่น การคืนพลังงานช่วงที่เบรกรถยนต์ หรือ การคืนพลังงานจากการสั้น ซึ่งสิ่งที่สำคัญกว่าการคืนพลังงานนั้นคือการนำพลังงานที่ได้ไปจัดเก็บในแหล่งจัดเก็บพลังงานที่เหมาะสม การจัดเก็บพลังงานทั้งนี้จะต้องประกอบไปด้วยวงจรที่ใช้ในการกำหนดทิศทางของกระแสเพื่อเป็นการควบคุมทิศทางการไหลของกระแสที่ได้จากการคืนพลังงานหรือการรีเจนเนอเรทีฟมอเตอร์มาเก็บไว้ในแหล่งเก็บพลังงานที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากที่สุดยกตัวอย่างแหล่งกักเก็บพลังงานอาทิเช่น แบตเตอรี่ หรือ ซูเปอร์คาปาซิเตอร์

แต่เนื่องจากกระแสของการรีเจนเนอเรทีฟของมอเตอร์ในทางปฏิบัติแล้วมีค่ากระแสที่กลับมามีค่าน้อยมาก ทำให้ต้องมีวงจรที่เพิ่มเข้ามา เช่นวงจรที่เพิ่ม-ลดระดับแรงดัน หรือ วงจรเรียงกระแส เพื่อนำพลังงานที่ได้นำมาจัดเก็บในแหล่งกักเก็บพลังงาน อีกทั้งต้องเลือกแหล่งกักเก็บพลังงานให้มีความเหมาะสมกับการกักเก็บพลังงานนั้นด้วย

ดังนั้นคณะผู้จัดทำวิจัยจึงได้ทำการศึกษาและทำการออกแบบระบบกู้คืนพลังงานที่มีค่ากระแสการกลับมาที่กระแสต่ำๆ โดยใช้หลักการควบคุมกระแสที่ได้จากการรีเจนเนอเรทีฟของ มอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านโดยการออกแบบ switching pattern ของมอสเฟต ในอินเวอร์เตอร์สามเฟส โดยใช้เอาดูโม่เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมกระแสจากการรีเจนเนอเรทีฟมาเก็บไว้ในแหล่งกักเก็บพลังงานซึ่งทั้งนี้จากคุณสมบัติของตัวซูเปอร์คาปาซิเตอร์นั้นมีค่า specific power ที่สูงจึงทำให้มีความสามารถของการชาร์จและดีชาร์จกระแสต่ำๆได้ในเวลาที่รวดเร็ว เมื่อเทียบกับการชาร์จในแบตเตอรี่ คณะผู้จัดทำวิจัยจึงเลือกใช้การจัดเก็บพลังงานมายังซูเปอร์คาปาซิเตอร์ 2 ชุด ทั้งนี้เพื่อจะได้ง่ายต่อการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ทิศทางการไหลของกระแส และในส่วนของกระแสของมอเตอร์ คณะผู้จัดทำวิจัยได้ออกแบบโดยใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ให้เปรียบเสมือนเป็นการจำลองกระแสที่ได้จากการรีเจนเนอเรทีฟของมอเตอร์ ทั้งนี้เนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้ในการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟมีพิกัดกำลังค่อนข้างต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่าจะมีค่ากระแสที่ได้ออกมามีค่าน้อยมากซึ่งอาจจะเป็นปัญหาในการอ่านค่าของเซนเซอร์วัดกระแสและการวัดค่าไปใช้ต่างๆซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความผิดพลาดได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการทำงานของมอสเฟต
2. เพื่อสร้างอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ให้สามารถขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน ขนาดพิกัดกำลัง 500 วัตต์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. เพื่อศึกษาและออกแบบระบบการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟโดยใช้ switching pattern ของมอสเฟส สำหรับค่ากระแสคืนกำลังต่ำ
4. เพื่อศึกษาและออกแบบคำสั่งสำหรับ Arduino เพื่อให้ควบคุม switching pattern ของอินเวอร์เตอร์ในการขับเคลื่อนมอเตอร์และการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟ

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1. ศึกษาและออกแบบระบบขับเคลื่อนกำลังขนาด 500 วัตต์ กระแสคืนสูงสุดไม่เกิน 1 แอมแปร์ สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน 6 ขั้ว พิกัดกำลังขนาด 500 วัตต์ 48 โวลต์
2. ออกแบบ switching pattern ด้วยหลักการ PWM (Pulse Width Modulation) ในการขับเคลื่อนมอเตอร์
3. ศึกษาและออกแบบการเขียนโปรแกรม Arduino IDE เพื่อควบคุมการทำงานของวงจร
4. ทดสอบระบบการคืนพลังงานโดยใช้ซูเปอร์คาปาซิเตอร์ ขนาด 2.7 โวลต์ 500 ฟารัด โดยแบ่งเป็นชุดละ 4 ตัว ทั้งหมดจำนวน 2 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.4 วิธีที่ใช้ในโครงการงาน

1. ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านโดย อินเวอร์เตอร์ ด้วย สัญญาณ PWM
2. ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการควบคุม switching pattern ด้วยหลักการ PWM
3. ศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับการเลือกแหล่งกักเก็บพลังงานให้เหมาะสมกับระบบ
4. สร้างอุปกรณ์ อินเวอร์เตอร์ เพื่อการขับเคลื่อนมอเตอร์ไร้แปรง พิกัดกำลังขนาด 500 วัตต์ และ controller ของระบบ Switching- pattern โดยสามารถควบคุมความเร็วมอเตอร์ได้จาก Duty Ratio ที่ปรับค่าจากตัวต้านทานปรับค่าได้
5. ทดสอบระบบการทำงานจริงของ อินเวอร์เตอร์ และ Switching pattern
6. จำลองการออกแบบการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟ โดยการใช้ แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง จ่าย กระแสแทนกระแสที่ได้รับจากการรีเจนเนอเรทีฟจากมอเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบเบรก [2]

มอเตอร์ไฟฟ้ามักใช้เป็นกำลังในการขับเคลื่อนอย่างแพร่หลายในหลายอุตสาหกรรม โดยการที่ชะลอเร็ว หรือ หยุดการขับเคลื่อน ต้องอาศัยการเบรกเข้ามาช่วย โดยการเบรคนั้นมีเพื่อให้ความเร็วของมอเตอร์ลดลงเพื่อให้ความเร็วเหมาะสมกับการใช้งานในช่วงขณะนั้น หรือเพื่อที่จะทำการหยุดการขับเคลื่อนของมอเตอร์ จะต้องเป็นไปอย่างราบรื่นและสมบูรณ์แบบ เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือ โดยการเบรกในระบบมอเตอร์ไฟฟ้ามี 3 ชนิด พร้อมทั้งแต่ละชนิดนั้นมีข้อดีและข้อเสียต่างกันไป โดยในหัวข้อนี้จะพูดถึงชนิดการเบรกทั้ง 3 ชนิดดังนี้

2.1.1 Plugging or Reverse Current Braking

เป็นการเบรกโดยเชื่อมต่อใหม่ระหว่างมอเตอร์กับแหล่งจ่ายจะทำให้เกิดการกลับลำดับเฟสใหม่ ทำให้เกิดแรงบิดในทิศตรงกันข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ ทำให้มอเตอร์ชะลอความเร็วจนกระทั่งมอเตอร์หยุดหมุน แล้วจึงตัดวงจร

ข้อดี : มีความรวดเร็วในการเบรก หรือ สามารถใช้เป็นเบรกฉุกเฉินได้ และติดตั้งได้ง่าย

ข้อเสีย : สูญเสียพลังงานจลน์และไม่สามารถเก็บพลังงานมาใช้ได้ในขณะที่ทำการเบรก

2.1.2 Rheostatic or Dynamic Braking

การเบรกโดยถอดการเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายและนำไป short circuit โดยต่อความต้านทานภายนอกเข้าไปเพื่อจำกัดกระแส ไม่ให้กระแสมากเกินไปจนทำให้เกิดความเสียหาย

ข้อดี : ในช่วงการเบรกสามารถเก็บพลังงานไว้ยังแบตเตอรี่ได้ , ไม่ได้ดึงพลังงานออกมาใช้เมื่อทำการเบรกเพื่อเทียบกับการเบรกแบบ Plugging

ข้อเสีย : เกิดการสูญเสียจากความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.3 Regenerative Braking

การเปลี่ยนการเบรกเป็นสร้างพลังงานโดยการที่ความเร็วโรเตอร์มากกว่าความเร็วซิงโครนัส จะทำให้มอเตอร์แสดงพฤติกรรมเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังนั้นการไหลของกระแสย้อนกลับจะทำให้เกิดการเบรกขึ้น[4]

ข้อดี : ในปัจจุบันเริ่มมีความนิยมมากยิ่งขึ้น เนื่องจากสามารถแปลงพลังงานจากการเบรกมาเก็บไว้เป็นพลังงานได้โดยไม่สูญเสีย

ข้อเสีย : พลังงานที่สามารถเก็บได้อยู่ในช่วงเวลาน้อย

2.2 มอเตอร์ที่ใช้ในการสร้างรีเจนเนอเรทีฟ [1],[2]

2.2.1 มอเตอร์กระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน

มอเตอร์ชนิดนี้มีแม่เหล็กถาวรอยู่ที่สเตเตอร์ และมีแปรงถ่านกับคอมมิวเตเตอร์ไว้สำหรับจ่ายไฟที่โรเตอร์ โดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งการรีเจนเนอเรทีฟเบรกก็เกิดจากคอมมิวเตเตอร์ถูกชาร์จโดยแปรงถ่านเพื่อให้เกิดการกลับขั้วส่งผลให้โรเตอร์หมุนในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่

ข้อดี : ราคาถูก

ข้อเสีย : มีการเปลี่ยนแปลงแปรงถ่านและตลับลูกปืนเป็นระยะๆ การกำจัดความร้อนนั้นทำได้ยาก การควบคุมมีความซับซ้อนมากขึ้น และที่แรงดันสูงการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟค่อนข้างยุ่งยาก

2.2.2 ชนิดเหนี่ยวนำ

มอเตอร์ชนิดนี้ที่สเตเตอร์จะทำการพันขดลวดจ่ายไฟกระแสสลับเข้าไปเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กหมุน จากนั้นที่โรเตอร์จะเป็นแท่งตัวเชื่อมหัวท้าย มีลักษณะคล้ายกรงกระรอกนำซึ่งมีการตัดผ่านของสนามแม่เหล็กจะเกิดการเหนี่ยวนำแล้วเกิดแรงบิดขึ้น จึงทำให้โรเตอร์หมุน แต่จะหมุนที่ความเร็วรอบต่ำกว่าความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนที่จะมีค่าเท่ากับความเร็วของแหล่งจ่ายกระแสสลับการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟเกิดจากความเร็วจึงโรเตอร์มากกว่าความเร็วซิงโครนัส โดยให้แหล่งจ่ายความถี่ถูกคงที่ไว้ หรือการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟโดยที่ความเร็วโรเตอร์น้อยกว่าความเร็วซิงโครนัสได้แต่ต้องปรับแหล่งจ่ายความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับควรใช้เฉพาะเพื่อการศึกษานานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ข้อดี : พลังงานที่ได้รับถูกใช้ให้เป็นประโยชน์ มีราคาค่อนข้างต่ำและไม่จำเป็นต้องเปลี่ยน
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถึงแม้ว่าเรามีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ตลับลูกปืน

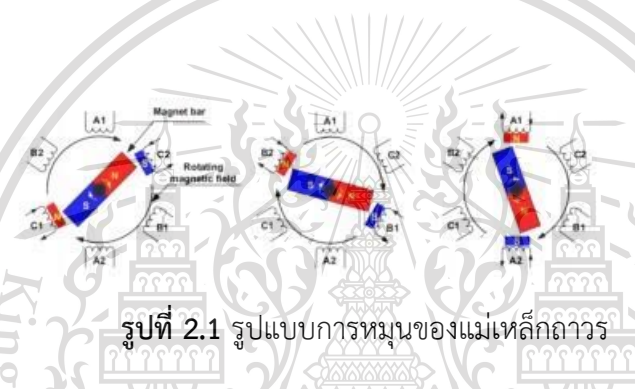
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ข้อเสีย : สำหรับแหล่งจ่ายความถี่ที่ถูกคงที่ไว้ ซึ่งการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟไม่สามารถทำได้หากความเร็วโรเตอร์น้อยกว่าความเร็วซิงโครนัส ซึ่งความเร็วของมอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำทำได้ค่อนข้างยาก

2.2.3 มอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน (BLDC)

มอเตอร์ชนิดนี้จะมีขั้วแม่เหล็กถาวรอยู่ที่บริเวณโรเตอร์ และที่สเตเตอร์จะเป็นขดลวดโดยรับไฟฟ้ากระแสตรงโดยจะมีวงจรควบคุมจังหวะในการจ่ายกระแสตรงเข้าไปในขดลวดแต่ละขด เมื่อจ่ายไฟ จะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กหรือสนามแม่เหล็กหมุน โรเตอร์ที่มีแม่เหล็กถาวรอยู่จึงหมุนตามสนามแม่เหล็กหมุนนั้น ซึ่งการการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟจะไม่มี การสับเปลี่ยนการเชื่อมต่อของวงจรและไม่จำเป็นต้องใช้แปรงถ่านสำหรับการการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟจึงไม่เกิดประกายไฟในขั้นตอนนี้



รูปที่ 2.1 รูปแบบการหมุนของแม่เหล็กถาวร

ข้อดี : มีประสิทธิภาพสูงเมื่อเทียบกับ มอเตอร์กระแสตรงแบบมีแปรงถ่านและมอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำไม่มีการเปลี่ยนตลับลูกปืน และการกำจัดความร้อนทำได้ง่าย

ข้อเสีย : ราคาสูงจากการใช้แม่เหล็กถาวร

2.3 ระบบกักเก็บพลังงาน [5],[6]

ระบบการกักเก็บพลังงาน คือ ระบบหรืออุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานไฟฟ้าไปเก็บรักษาไว้ในอีกรูปแบบพลังงานอื่นๆ เพื่อที่สามารถแปลงกลับมาเป็นพลังงานไฟฟ้า และนำไปใช้งานได้ในเวลาที่ต้องการ ซึ่งในปัจจุบันระบบการกักเก็บพลังงานมีความจำเป็นเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถช่วยรักษาสมดุลของระบบไฟฟ้าระหว่างการผลิตและการบริโภค และด้วยแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่เข้ามามีบทบาทในช่วงปัจจุบันนี้ โดยพลังงานหมุนเวียนมีความไม่แน่นอนสูง ยกตัวอย่างเช่น ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ช่วงกลางวันนั้นมีแสงแดดจัด ผลิตไฟฟ้าได้จำนวนมากแต่ในเวลานั้นมีการบริโภคไฟฟ้าน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยบริษัทเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานในประเทศไทย มีผู้นิยมให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เราจะสามารถนำพลังงานที่เกินมานี้ไปกักเก็บไว้ที่ระบบการกักเก็บพลังงานได้ และเมื่อในตอนกลางคืนที่การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตพลังงานได้ เราจะสามารถดึงพลังงานไฟฟ้าที่กักเก็บไว้ ออกมาใช้ประโยชน์ได้ภายหลัง ด้วยเหตุนี้ ระบบการกักเก็บพลังงานจึงมีประโยชน์เป็นอย่างมาก

ระบบการกักเก็บพลังงานมีหลากหลายรูปแบบโดยมีตั้งแต่ขนาดเล็ก เช่น แบตเตอรี่ขนาดเล็กหรือไปจนถึงขนาดใหญ่เช่นโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบสูบกลับ โดย ณ ที่นี้จะพูดถึงแบตเตอรี่ และซูเปอร์คาปาซิเตอร์

2.3.1 แบตเตอรี่

เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมีซึ่งจะนำไปเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อให้กำลังงานไฟฟ้ากับอุปกรณ์ชิ้นนั้น ๆ โดยจะมีขั้วบวก และขั้วลบ โดยที่ขั้วบวกจะมีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าขั้วลบ โดยที่ฝั่งขั้วลบจะเป็นแหล่งอิเล็กตรอนที่จะไหลสู่วงจรภายนอกที่นำมาเชื่อมต่อกัน และเกิดเป็นกระแสไฟฟ้าขึ้น ให้พลังงานไฟฟ้าให้แก่อุปกรณ์ชิ้นนั้น ๆ สำหรับระบบกักเก็บพลังงานนั้นจะใช้แบตเตอรี่ทุติยภูมิ คือสามารถนำกลับมาชาร์จและดิสชาร์จใหม่ได้หลายครั้ง เพราะองค์ประกอบของขั้วไฟฟ้าสามารถเรียกคืนสภาพเดิมได้โดยป้อนกระแสย้อนกลับ

ข้อดี : ความต่างศักย์ที่สูงกว่าและค่อนข้างคงที่ จ่ายพลังงานอย่างเสถียร เก็บพลังงานได้ เยอะกว่า ราคาถูก

ข้อเสีย : ไม่สามารถจ่ายกระแสสูงเท่าซูเปอร์คาปาซิเตอร์ กำลังงานต่ำกว่า อายุการใช้งานที่น้อยกว่าซูเปอร์คาปาซิเตอร์

2.3.2 ซูเปอร์คาปาซิเตอร์

เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่สามารถกักเก็บประจุ และจ่ายกลับมาในรูปพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์อื่นๆ โดยใช้วัสดุที่เรียกว่า กราฟีน (Graphene) ซึ่งนำไฟฟ้าได้ดีกว่าทองมาก แข็งและเหนียวกว่าเหล็ก ม้วนงอได้ดี จึงเก็บประจุต่อหน่วยพื้นที่ได้สูงมาก ตัวเก็บประจุเหล่านี้สามารถมีขนาดใหญ่ได้มากถึงหมื่นฟารัดได้ ในขณะที่ตัวเก็บประจุทั่วไปอยู่ที่ระดับไมโครฟารัดเท่านั้น

ความแตกต่างของซูเปอร์คาปาซิเตอร์กับแบตเตอรี่คือ ซูเปอร์คาปาซิเตอร์ไม่สามารถเก็บประจุได้เท่ากับแบตเตอรี่ แต่สามารถชาร์จ และดิสชาร์จประจุได้จำนวนมากในระยะเวลาอันสั้น นั่นหมายถึง สามารถจ่ายกระแสที่สูงได้ในระยะเวลาอันสั้น และชาร์จด้วยระยะเวลาที่น้อยมากเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ข้อดี : ชาร์จได้ด้วยระยะเวลาที่น้อยมาก สามารถจ่ายกระแสที่สูงในระยะเวลาสั้น อายุการใช้งานยาวนาน จ่ายกำลังงานได้มาก

ข้อเสีย : ราคาสูง ขนาดใหญ่ ความต่างศักย์เซลล์ต่ำกว่า จ่ายพลังงานได้น้อย

2.3.3 ระบบไฮบริด

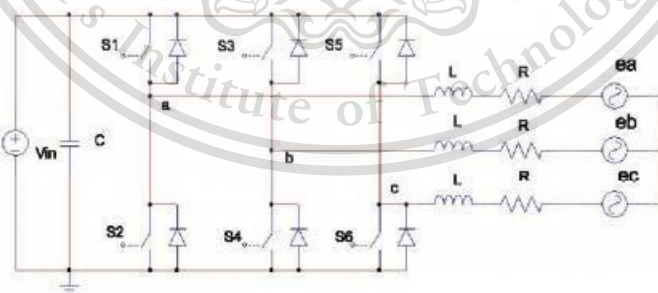
เป็นการผสมผสานระหว่างแบตเตอรี่และซูเปอร์คาปาซิเตอร์ ซึ่งทำให้ขจัดข้อเสียของกันและกันได้ กล่าวคือสามารถจ่ายพลังงานได้อย่างเสถียรและในช่วงเวลาที่ต้องจ่ายหรือรับกระแสที่สูงในช่วงเวลาสั้นๆ สามารถใช้ซูเปอร์คาปาซิเตอร์เข้ามาเก็บหรือจ่ายพลังงานได้

ข้อดี : สามารถชาร์จและจ่ายกระแสสูงได้ในเวลาอันสั้น จ่ายพลังงานได้อย่างเสถียร สามารถทำงานได้อย่างหลากหลายโหมดการทำงานมากขึ้น

ข้อเสีย : ราคาที่แพง และขนาดที่ใหญ่จากซูเปอร์คาปาซิเตอร์ และความซับซ้อนของวงจรที่มากขึ้นเล็กน้อย

2.4 รูปแบบการสวิตซ์ซิ่ง [3]

Switching Scheme คือ รูปแบบของการสวิตซ์ของ มอสเฟต แต่ละตัวที่อยู่ในอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะสามารถหารูปแบบสวิตซ์นี้ได้จากการใช้สมการของบูลีนมาประยุกต์ในการหารูปแบบ[3] ของการสับสวิตซ์ โดยจะมีพารามิเตอร์ดังนี้



รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลของมอเตอร์ BLDC รวมทั้งวงจรอินเวอร์เตอร์ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

H = เอาท์พุทของ Hall Sensor

s1 = เอาท์พุทจากมอสเฟต ตัวที่ 1

s2 = เอาท์พุทจากมอสเฟต ตัวที่ 2

s3 = เอาท์พุทจากมอสเฟต ตัวที่ 3

s4 = เอาท์พุทจากมอสเฟต ตัวที่ 4

s5 = เอาท์พุทจากมอสเฟต ตัวที่ 5

s6 = เอาท์พุทจากมอสเฟต ตัวที่ 6

โดยจะมีรูปแบบการสวิทช์ของมอสเฟตใน 2 เงื่อนไขดังนี้

1.) ช่วงขับมอเตอร์

เป็นช่วงที่ BLDC ทำงานอยู่ในช่วง Motor โดยมี logic ดังนี้

$$s1 = H1.H3$$

$$s2 = H1.H3$$

$$s3 = H1.H2$$

$$s4 = H1.H2$$

$$s5 = H2.H3$$

$$s6 = H2.H3$$

โดย S1, S3 และ S5 จะถูกสร้างให้เป็นสัญญาณ PWM

$$S1 = s1.(PWMm)$$

$$S3 = s3.(PWMm)$$

$$S5 = s5.(PWMm)$$

โดย PWMm เป็นสัญญาณ PWM ที่อยู่ในโหมดการทำงานขับมอเตอร์

2.) รีเจเนอเรทีฟ

เป็นช่วงที่ BLDC อยู่ในโหมดเจเนอเรเตอร์ซึ่งเป็นโหมดที่เราสนใจ โดยมี logic ดังนี้

$$s1 = H1.H3$$

$$s2 = H1.H3$$

$$s3 = H1.H2$$

$$s4 = H1.H2$$

$$s5 = H2.H3$$

$$s6 = H2.H3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยในโหมดรีเจนเนอเรทีฟจะควบคุมมอสเฟตทุกตัวด้วยสัญญาณ PWM

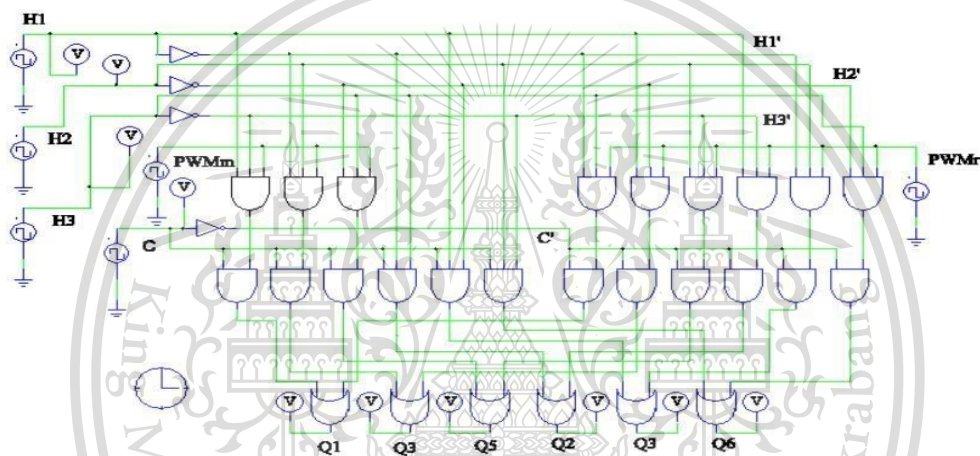
$$S1 = s1.(PWMr) \quad S2 = s2.(PWMr)$$

$$S3 = s3.(PWMr) \quad S4 = s4.(PWMr)$$

$$S5 = s5.(PWMr) \quad S6 = s6.(PWMr)$$

โดย PWMr สัญญาณ PWM ที่อยู่ในโหมดการทำงานรีเจนเนอเรทีฟ

วงจร Boolean equations [3]



รูปที่ 2.3 วงจร controller ในโปรแกรม Psim [3]

โดย Q1 = เอาต์พุต ของรูปแบบการสวิตช์ 1 ทั้งในช่วง motoring และ generative

Q2 = เอาต์พุต ของรูปแบบการสวิตช์ 2 ทั้งในช่วง motoring และ generative

Q3 = เอาต์พุต ของรูปแบบการสวิตช์ 3 ทั้งในช่วง motoring และ generative

Q4 = เอาต์พุต ของรูปแบบการสวิตช์ 4 ทั้งในช่วง motoring และ generative

Q5 = เอาต์พุต ของรูปแบบการสวิตช์ 5 ทั้งในช่วง motoring และ generative

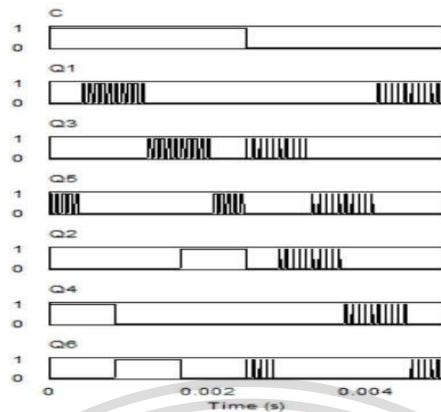
Q6 = เอาต์พุต ของรูปแบบการสวิตช์ 6 ทั้งในช่วง motoring และ generative

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

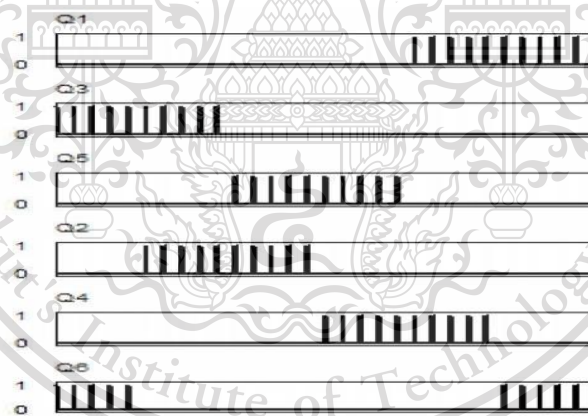
โดยจะมีผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัย [3] ดังนี้



รูปที่ 2.4 รูปแบบการสวิตช์ของ มอสเฟต แต่ละตัวทั้งในช่วง motoring และ generative [3]

C = 1 คือรูปแบบการสวิตช์ในช่วง motoring

C = 0 คือรูปแบบการสวิตช์ในช่วง regenerative



รูปที่ 2.5 รูปแบบการสวิตช์ของ มอสเฟต แต่ละตัวในช่วง generative

และเมื่อเราโฟกัสที่ช่วงที่อยู่ในช่วงรีเจนเนอเรทีฟจะมี pulse สัญญาณที่เป็น PWM ซึ่งจะ
ทำให้เราสามารถสังเกตได้ว่าจะมีการสวิตช์ของ มอสเฟต ตัวไหนบ้างจากช่วงที่กราฟเป็นเหมือนกับ PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Debajit Kumar Sandilya et. al. , 2017 [1] : ได้ศึกษากระบวนการในการยับยั้งมอเตอร์ โดยแบ่งกระบวนการในการเบรกของการขับเคลื่อนไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ 1. Dynamic or rheostat braking 2. Plugging or reverse voltage braking 3. Regenerative Braking และทำการศึกษาการเลือกชนิดมอเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟโดยสรุปได้ว่า มอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านเป็นมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟและเสนอการใช้เทคนิค PWM ไปใช้กับอินเวอร์เตอร์ สำหรับการ Switching โดยใช้การควบคุมโดยการ PID Controller

SHIRISH VASANT RAO GADEWAR and A.W. JAIN [2] ศึกษากระบวนการเบรกในเตอร์ แบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ 1. Dynamic or rheostat braking 2. Plugging or reverse voltage braking 3.การเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟและหาข้อดี-ข้อเสีย ในการเบรกแต่ละชนิด และสรุปได้ว่า Dynamic or rheostat braking และ Regenerative Braking เป็นการเบรกที่สามารถนำพลังงานกลับมาใช้ได้โดยไม่สูญเสีย

Adnan Mohammad and Md. Ziaur Rahman Khan, 2015 [3] : ได้นำเสนอวิธีการควบคุม Brushless DC (BLDC) โดยจะดูรูปแบบการสวิตช์ของ มอสเฟต ว่าถ้าช่วงที่เป็น motoring และรีเจนเนอเรทีฟจะมีพฤติกรรมสวิตช์อย่างไร โดยจะใช้ Boolean equations มาวิเคราะห์วงจรแทน โดยจะมีสัญญาณที่มาจากมอเตอร์คือ Hall sensor และ สัญญาณจากสวิตช์ที่มีสัญญาณในรูป PWM ซึ่งจะทำให้เข้าใจได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ โดยจะใช้โปรแกรม Psim มาทำการ simulation

Aswathi et.al. ,2018 [4] : ได้นำเสนอวิธีการควบคุม Brushless DC (BLDC) ของรถยนต์ไฟฟ้าในโหมดรีเจนเนอเรทีฟมีการเสนอข้อมูลการทำงานในช่วงนี้และศึกษาวจรสมมูลซึ่งพบว่ามีข้องเกี่ยวกับการเบรกของรถยนต์ไฟฟ้า จึงมีการควบคุมการเบรกด้วย Fuzzy Logic Control (FLC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

อุปกรณ์และการออกแบบการทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

- ตัวเก็บประจุ EKM108MJK25RRSAP 1000 μ F /63 V	2 ตัว
- ตัวเก็บประจุ WH1KM102M40OT 1000 μ F/100V	1 ตัว
- ตัวเก็บประจุ UCA2E100MPD 10 μ F/250V	1 ตัว
- ตัวเก็บประจุ Electrolytic Capacitor 330 μ F/16V	1 ตัว
- ตัวเก็บประจุ Elite 85°C,E-cap 330 μ F/25V	1 ตัว
- ตัวเก็บประจุ Elite 85°Cn,E-cap330 μ F/35V	2 ตัว
- ตัวเก็บประจุ Polyester Film Cap 10nF/100V	7 ตัว
- ตัวเก็บประจุ Ceramic Disc Capacitor 33pF/50V	2 ตัว
- ตัวเก็บประจุ Poly Film Cap 1 μ F/63V	2 ตัว
- ขดลวดเหนี่ยวนำ 7210-331K 330 μ H	2 ตัว
- บล็อกต่อสายไฟ 3 pin	2 ตัว
- บล็อกต่อสายไฟ 2 pin	2 ตัว
- ตัวต้านทานปรับค่าได้ POT025502B1 5k ohm	1 ตัว
- ตัวต้านทานปรับค่าได้ POT025103B1 10k ohm	1 ตัว
- หัวต่อตัวผู้ 5 Pin	1 ตัว
- INTERFACE มอสเฟต IR2101PBF	3 ตัว
- กระจกไฟวส์ลงปริน 20 mm	1 ตัว
- ไฟวส์ 30A/250V 20 mm	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเนื้อหาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด - หลอด LED สีแดง 3 mm 1 ตัว

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- หลอด LED สีเขียว 3 mm	1 ตัว
- มอสเฟต N-channel 75V/82A	8 ตัว
- Switching Voltage Regulator LM2575T-5.0:5V	1 ตัว
- Switching Voltage Regulator LM2575T-12/NOPB:1A/12V	1 ตัว
- Heatsink	8 ตัว
- Diode Switching Signal 1N4148 : 100 V/200mA	3 ตัว
- Diode 100 V/1A	2 ตัว
- ตัวต้านทาน 4.7 kohm 1/4 W 1%	7 ตัว
- ตัวต้านทาน 10 kohm 1/4 W 1%	3 ตัว
- ตัวต้านทาน 300 ohm 1/4 W 1%	6 ตัว
- ตัวต้านทาน 2 kohm 1/4 W 1%	1 ตัว
- ตัวต้านทาน 50 kohm 1/4 W 1%	1 ตัว
- ตัวต้านทาน 3 kohm 1/4 W 1%	1 ตัว
- ตัวต้านทาน 33 ohm 1/4 W 1%	1 ตัว
- ตัวต้านทาน 22 ohm 1/4 W 1%	4 ตัว
- ตัวเก็บประจุยี่งยวขนาด 2.7V 500F	8 ตัว
- ออสซิลโลสโคป ยี่ห้อ KEYSIGHT รุ่น DSO-X 2002A	1 เครื่อง
- แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ยี่ห้อ SIGLENT	1 เครื่อง
- POWER QUALITY ANALYZER ยี่ห้อ HIOKI	1 เครื่อง
- Current Sensor Module (ACS712-05A)	1 ตัว
- มอเตอร์กระแสแรงไร้แปรงถ่าน ขนาด 500 วัตต์ 6 ขั้ว 48 โวลต์	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น หากมีข้อสงสัยประการใด กรุณาติดต่อขอข้อมูลเพิ่มเติม และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

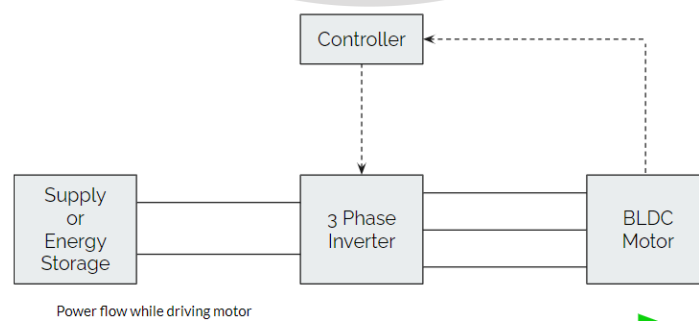
3.2 การออกแบบการทดลอง

3.2.1 แนวคิดการออกแบบการทดลอง

ส่วนประกอบในการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงโดยนำไปขับมอเตอร์ซึ่งจะผ่านอินเวอร์เตอร์ที่ถูกควบคุมการสวิตช์มอสเฟตทั้ง 6 ตัวด้วย Arduino ที่ได้ตั้งโปรแกรมการควบคุมแบบ PID ไว้ แต่เมื่อเข้าสู่ช่วงการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟ กระแสไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้นจากมอเตอร์จะเป็นกระแสสลับ จะไหลย้อนกลับเข้าสู่อินเวอร์เตอร์ และทำการเรียงกระแสกลับโดยผ่านไดโอดในโครงสร้างของมอสเฟตทั้ง 6 ตัวเดิมนี่เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่บัสไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นจึงไหลผ่านเซนเซอร์วัดกระแสเพื่อสวิตช์มอสเฟตให้เลือกแหล่งกักเก็บพลังงานตามเงื่อนไขที่ได้ตั้งไว้ใน Arduino

ในส่วนของแหล่งกักเก็บพลังงานที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ว่าใช้เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานแบบไฮบริด ที่รวมแบตเตอรี่และซูเปอร์คาปาซิเตอร์เข้าด้วยกัน แต่ในการศึกษาครั้งนี้ คณะผู้จัดทำมีความเห็นว่าจะใช้เป็นซูเปอร์คาปาซิเตอร์ทั้ง 2 ชุด โดยซูเปอร์คาปาซิเตอร์ชุดที่ 1 ใช้แทนแบตเตอรี่ และในส่วนของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ จะเรียกเป็นซูเปอร์คาปาซิเตอร์ชุดที่ 2 เนื่องด้วยการตอบสนองต่อแรงดันได้อย่างรวดเร็วทำให้เห็นความแตกต่างของค่าแรงดันได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยซูเปอร์คาปาซิเตอร์แต่ละชุดนั้นได้เลือกใช้ขนาด 10.8 V 125 F

อีกทั้งขนาดพิกัดกำลังของมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน 3 เฟสที่มีอยู่นั้นมีขนาดค่อนข้างต่ำ ยิ่งทำให้พลังงานหรือกระแสที่เกิดจากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟนั้นมีค่าน้อยมาก ทางคณะผู้จัดทำจึงได้ใช้เป็นการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่อินเวอร์เตอร์แทนเพื่อให้ง่ายและได้ขนาดกระแสตามที่ออกแบบสำหรับการทดลอง โดยชุดการทดลองนี้จะใช้กระแสที่มีขนาดตั้งแต่ 0.10 A จนถึง 1.00 A โดยที่กระแสที่มีขนาดมากกว่า 0.5 A จะให้นำไปเก็บที่ซูเปอร์คาปาซิเตอร์ชุดที่ 1 และกระแสที่มีขนาดน้อยกว่า 0.5 A จะให้นำไปเก็บที่ซูเปอร์คาปาซิเตอร์ชุดที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยและเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดรูปที่ 3.1 การทำงานของระบบถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

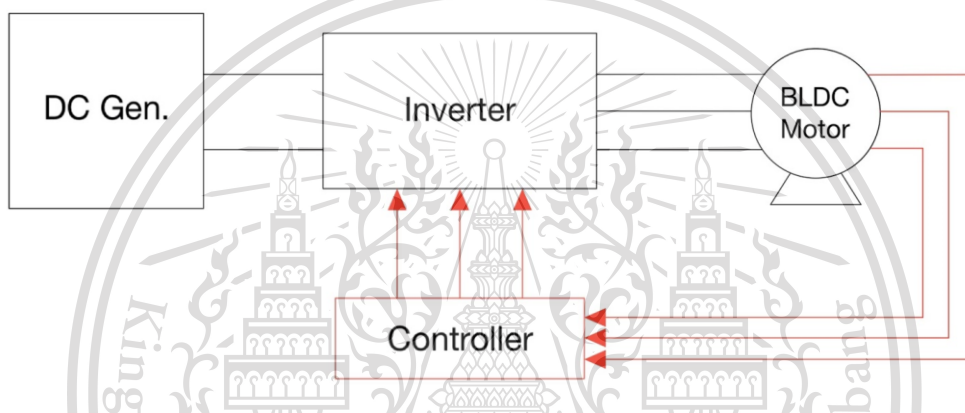
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.2 การออกแบบวงจรการทดลอง

3.2.2.1 วงจรขับมอเตอร์

การสร้างวงจรขับมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน 3 เฟสโดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแหล่งจ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสชนิดฟูลบริดจ์เพื่อแปลงกระแสตรงเป็นกระแสสลับสำหรับการขับมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน 3 เฟส และมี microcontroller ซึ่งเลือกใช้เป็น Arduino สำหรับการควบคุมการสวิตช์ มอสเฟต ทั้ง 6 ตัวให้ได้กระแสสลับ 3 เฟสในการขับมอเตอร์ โดย Arduino จะรับสัญญาณตำแหน่งสนามแม่เหล็กของมอเตอร์จาก hall sensor เพื่อสร้างแพทเทิร์นในการสวิตช์ มอสเฟต



รูปที่ 3.2 วงจรการขับมอเตอร์

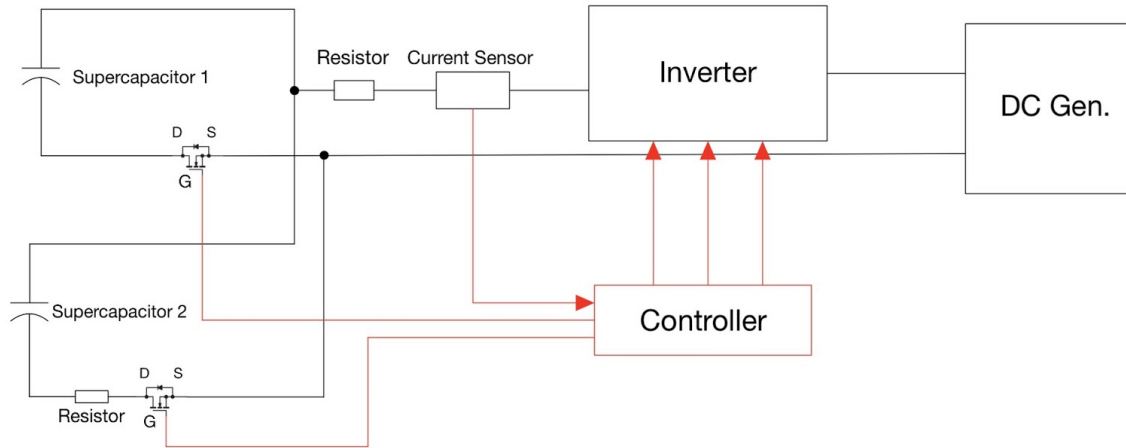
3.2.2.2 วงจรการทดสอบการทำงานในช่วงรีเจนเนอเรทีฟ

การสร้างวงจรทดสอบการทำงานในช่วงรีเจนเนอเรทีฟนั้น จากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นว่าขนาดมอเตอร์ที่เล็กเกินไปทำให้มีกระแสที่ถูกเหนี่ยวนำไหลกลับมาน้อยมากซึ่งยากต่อการวัด เราจึงใช้แหล่งจ่ายกระแสตรงจ่ายแรงดันกลับมายังแหล่งกักเก็บพลังงานโดยผ่านอินเวอร์เตอร์ โดยในช่วงการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟนั้น มอสเฟต ทั้ง 6 ตัวในอินเวอร์เตอร์จะไม่ทำงาน ให้กระแสไหลกลับทางไดโอดที่อยู่ภายในโครงสร้างมอสเฟต จากนั้นจึงไหลผ่านตัววัดกระแส เพื่อวัดค่ากระแสที่ไหลกลับมา แล้วจึงส่งค่ากระแสที่วัดได้ไปยัง Arduino เพื่อแปลงค่าสัญญาณอนาล็อกเป็นค่าดิจิทัลและประมวลผลตามโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้แล้ว จึงส่งสัญญาณไปยังขา gate ของ และมีการตั้งเงื่อนไขว่า หากกระแสมากกว่า 0.5 A จะให้ซาร์จเข้าที่ซูปเปอร์คาปาซิเตอร์ชุดที่ 1 หากกระแสน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 A จะให้ซาร์จที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ซูปเปอร์คาปาซิเตอร์ชุดที่ 2 เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.3 วงจรการทดสอบการทำงานในช่วงรีเจเนอเรทีฟ

3.3 การออกแบบโปรแกรมคำสั่งสำหรับ Arduino

```
int HallSensorA;
int HallSensorB;
int HallSensorC;
int HallState = 1;
int motorspeed = 0;
int dutycycle = 0;
void setup()
{
  pinMode(2, INPUT);
  pinMode(3, INPUT);
  pinMode(4, INPUT);
  pinMode(5, OUTPUT);
  pinMode(6, OUTPUT);
  pinMode(7, OUTPUT);
  pinMode(9, OUTPUT);
  pinMode(10, OUTPUT);
  pinMode(11, OUTPUT);
  pinMode(12, OUTPUT);
  pinMode(13, OUTPUT);
  int prescalerVal = 0x07;
  TCCR1B &= ~prescalerVal;
  int prescalerVal2 = 1;
  TCCR1B |= prescalerVal2;
  TCCR2B &= ~prescalerVal;
  TCCR2B |= prescalerVal2;
}
```

รูปที่ 3.4 โปรแกรมคำสั่งสำหรับ Arduino ส่วนที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

}
void loop(){
  dutycycle = analogRead(0);
  motorspeed = map(dutycycle, 100, 1023, 0, 255);
  int a = analogRead(A1);
  double v = (a/1024.0)*5000;
  double c = (v-2500)/185;
  HallSensorA = digitalRead(2);
  HallSensorB = digitalRead(3);
  HallSensorC = digitalRead(4);
  HallState = (HallSensorA) + (2*HallSensorB) + (4*HallSensorC);

  if(dutycycle>100)
  {
    switch (HallState)
    {
      case 3:
        PORTD  &= B00011111;
        PORTD  |= B10000000;
        analogWrite(9,motorspeed);
        analogWrite(10,0);
        analogWrite(11,0);
        break;
      case 1:
        PORTD  &= B00011111;
        PORTD  |= B01000000;
        analogWrite(9,motorspeed);
        analogWrite(10,0);
        analogWrite(11,0);
        break;
      case 5:
        PORTD  &= B00011111;
        PORTD  |= B01000000;
        analogWrite(9,0);
        analogWrite(10,0);
        analogWrite(11,motorspeed);
        break;
      case 4:
        PORTD  &= B00011111;
        PORTD  |= B00100000;
        analogWrite(9,0);
        analogWrite(10,0);
        analogWrite(11,motorspeed);
        break;
    }
  }
}

```

รูปที่ 3.5 โปรแกรมคำสั่งสำหรับ Arduino ส่วนที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

case 6:
  PORTD  &= B00011111;
  PORTD  |= B00100000;
  analogWrite(9,0);
  analogWrite(10,motorspeed);
  analogWrite(11,0);
  break;
case 2:
  PORTD  &= B00011111;
  PORTD  |= B10000000;
  analogWrite(9,0);
  analogWrite(10,motorspeed);
  analogWrite(11,0);
  break;
default:
  PORTD  &= B00011111;
  PORTD  |= B00000000;
  analogWrite(9,0);
  analogWrite(10,0);
  analogWrite(11,0);
  break;
}
}
else
{
  PORTD  &= B00011111;
  PORTD  |= B00000000;
  analogWrite(9,0);
  analogWrite(10,0);
  analogWrite(11,0);
  if(c<-0.5)
  {
    digitalWrite(12,HIGH);
    analogWrite(13,0);
  }
  else
  {
    digitalWrite(13,HIGH);
    analogWrite(12,0);
  }
}
}
}

```

รูปที่ 3.6 โปรแกรมคำสั่งสำหรับ Arduino ส่วนที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

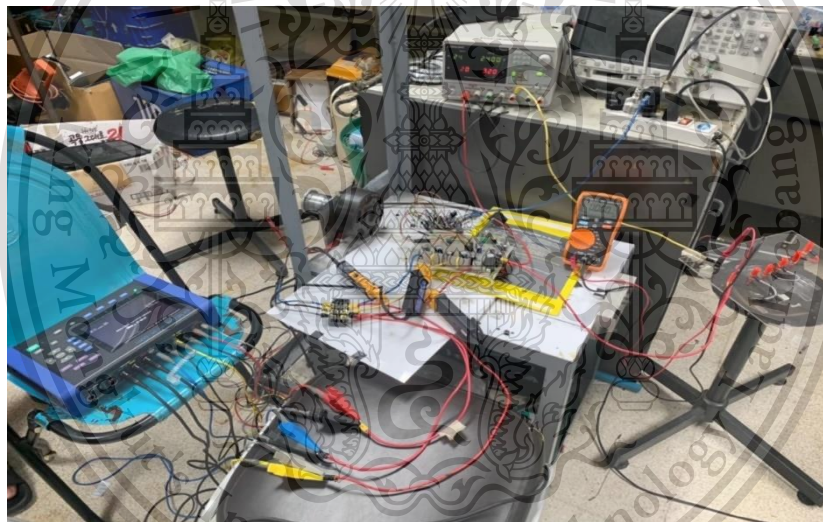
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.4 วิธีการทดลอง

การทดลองที่ 1

1. เตรียมอุปกรณ์การทดลองและต่อวงจรดังรูปที่ 3.7
2. จ่ายแรงดันกระแสตรง 48 โวลต์ จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
3. เร่งความเร็วของมอเตอร์ด้วยการปรับ duty cycle โดยปรับค่าตัวต้านทานปรับค่าได้ ให้ความเร็วรอบมีค่า 800 รอบต่อนาที โดยวัดค่าจากเครื่องวัดความเร็วมอเตอร์แบบดิจิตอล
4. บันทึกค่ากระแส แรงดัน กำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพ โดยเครื่องมือวัด POWER QUALITY ANALYZER ยี่ห้อ HIOKI
5. ทำซ้ำข้อ 2-4 โดยปรับ duty cycle ให้มอเตอร์มีความเร็วรอบ 900, 1000, 1100, 1200, 1300 และ 1355 รอบต่อนาที ตามลำดับ
6. นำค่าที่บันทึกได้มาพล็อตกราฟและวิเคราะห์ผลการทดลอง



รูปที่ 3.7 การต่อวงจรสำหรับการทดลองการขับมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน 3 เฟส ด้วยอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส และวัดค่าด้วยเครื่องมือ POWER QUALITY ANALYZER ยี่ห้อ HIOKI

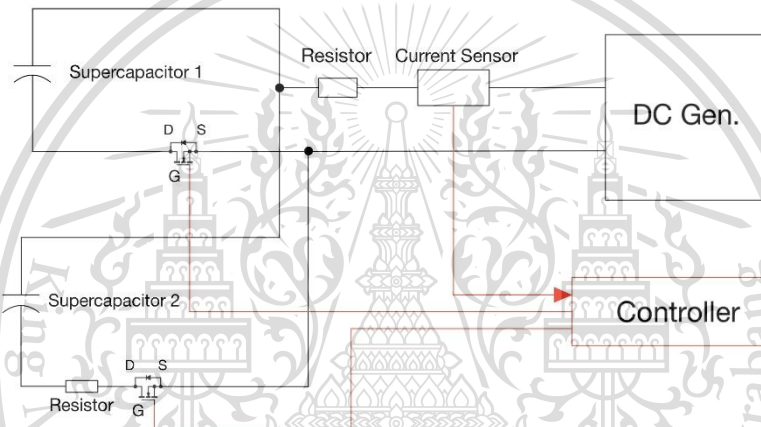
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การทดลองที่ 2

1. จัดเตรียมอุปกรณ์การทดลองและต่อวงจรดังรูปที่ 3.8
2. ปรับแรงดันของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงให้กระแสมีขนาด 0.10 A เข้าสู่สับไฟฟ้ากระแสตรงก่อนแยกเข้าสู่ซูเปอร์คาปาซิเตอร์ชุดใดชุดหนึ่ง
3. สังเกตและบันทึกสถานะของมอสเฟตโดยสังเกตจากแรงดันที่ Port 12 (ควบคุมการสวิตช์ของมอสเฟตสำหรับซูเปอร์คาปาซิเตอร์ชุดที่ 1) และ Port 13 (ควบคุมการสวิตช์ของมอสเฟตสำหรับซูเปอร์คาปาซิเตอร์ชุดที่ 2) ของ Arduino ผ่านออสซิลโลสโคป โดยการจ่ายแรงดัน 5 V คือการเปิดมอสเฟต
4. ทำซ้ำข้อ 2-3 โดยปรับขนาดแรงดันให้กระแสมีค่าเพิ่มขึ้นทีละ 0.05 A จนกระทั่งกระแสมีขนาด 1 A



รูปที่ 3.8 การออกแบบการทดสอบสถานะมอสเฟต

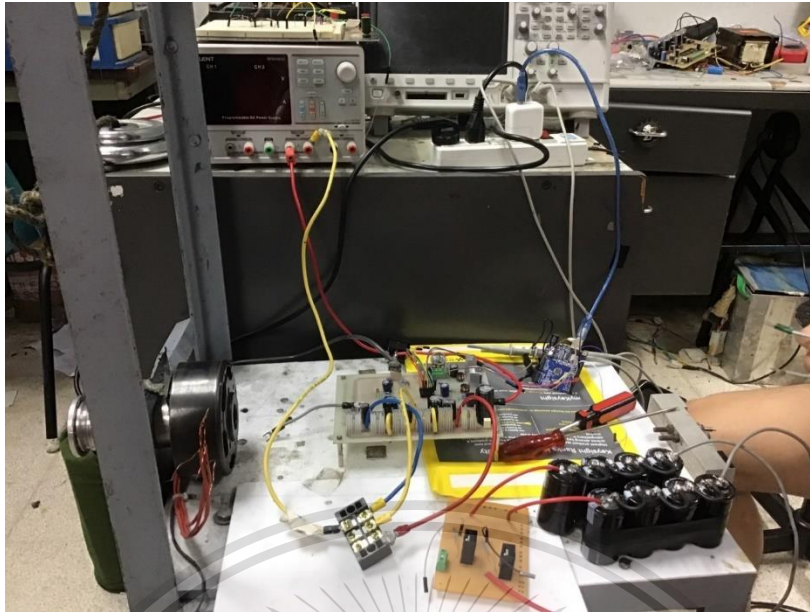
การทดลองที่ 3.1

1. เตรียมอุปกรณ์การทดลองและต่อวงจรดังรูปที่ 3.9
2. ปรับแรงดันของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงให้ขนาดกระแสมีค่า 0.50 A
3. บันทึกค่าแรงดันของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ชุดที่ 1 ตั้งแต่ตอนเริ่มและหลังจากจ่ายไฟฟ้าเป็นเวลา 9 วินาที
4. ทำซ้ำข้อ 2-3 โดยปรับแรงดันให้กระแสมีค่าเพิ่มขึ้นทีละ 0.05 A จนกระทั่งกระแสมีขนาด 1.00 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.9 การจำลองการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟ

การทดลองที่ 3.2

1. เตรียมอุปกรณ์การทดลองและต่อวงจรดังรูปที่ 3.9
2. ปรับแรงดันของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงให้ขนาดกระแสมีค่า 0.10 A
3. บันทึกค่าแรงดันของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ชุดที่ 2 ตั้งแต่ตอนเริ่มและหลังจากจ่ายไฟฟ้าเป็นเวลา 9 วินาที
4. ทำซ้ำข้อ 2-3 โดยปรับแรงดันให้กระแสมีค่าเพิ่มขึ้นทีละ 0.05 A จนกระทั่งกระแสมีขนาด 0.50 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบและคำนวณประสิทธิภาพการทำงานของอินเวอร์เตอร์สำหรับการขับมอเตอร์

ตารางแบบทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของอินเวอร์เตอร์โดยมีการวัดค่าแรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้า ขาเข้าและออกพร้อมทั้งคำนวณหาประสิทธิภาพ จากการปรับความเร็วของมอเตอร์โดยใช้ความเร็วเริ่มต้นที่ 800 rpm จากการจ่ายแรงดันกระแสตรง 48 V และทำการปรับความเร็วจาก duty cycle ที่ปรับค่าจากตัวต้านทานปรับค่าได้

ตารางที่ 4.1 ตารางผลการทดสอบการทำงานของอินเวอร์เตอร์สำหรับการขับมอเตอร์

ความเร็ว รอบ (rpm)	แรงดัน ขาเข้า (V)	กระแส ขาเข้า (A)	แรงดันขา ออก (Vrms)	กระแส ขาออก (Irms)	กำลังไฟฟ้า ขาเข้า (W)	กำลังไฟฟ้า ขาออก (W)	ประสิทธิภาพ (%)
800	48	0.088	25.65	0.127	4.224	3.600	85.230
900	48	0.098	27.34	0.140	4.704	4.100	87.160
1000	48	0.111	29.02	0.152	5.328	4.700	88.210
1100	48	0.122	30.54	0.176	5.856	5.200	88.790
1200	48	0.136	32.13	0.192	6.528	5.800	88.840
1300	48	0.150	33.95	0.239	7.200	6.400	88.880
1355	48	0.153	35.21	0.285	7.344	6.900	93.954

4.2 สถานะการทำงานของมอสเฟตที่ค่ากระแสที่ต่างกัน

ตารางแสดงสถานะการทำงานของมอสเฟตทั้ง 2 ตัว สำหรับเลือกแหล่งกักเก็บพลังงานโดยมีการทดสอบแต่ละค่าขนาดของกระแส จากการใช้ออสซิลโลสโคปวัดแรงดันที่ Port 12 และ 13 ในการตรวจสอบสถานะการทำงานของมอสเฟต โดย Port 12 ไว้สำหรับควบคุมการสวิตช์มอสเฟตตัวที่ 1 และ Port 13 ไว้ควบคุมสำหรับการสวิตช์มอสเฟตตัวที่ 2 ซึ่งได้กำหนดโปรแกรมการควบคุมไว้ว่า เมื่อกระแสที่กลับเข้ามามีค่ามากกว่า 0.50 A ให้มอสเฟตตัวที่ 1 ทำงาน และเมื่อกระแสไม่เกิน 0.50 A ให้มอสเฟตตัวที่ 2 ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงสถานะการทำงานของมอสเฟตที่ค่ากระแสต่างๆ

กระแส(A)	สถานะมอสเฟตตัวที่ 1	สถานะมอสเฟตตัวที่ 2
0.10	off	on
0.15	off	on
0.20	off	on
0.25	off	on
0.30	off	on
0.35	***	***
0.40	***	***
0.45	***	***
0.50	***	***
0.60	***	***
0.65	***	***
0.70	***	***
0.75	on	off
0.80	on	off
0.85	on	off
0.90	on	off
0.95	on	off
1.00	on	off

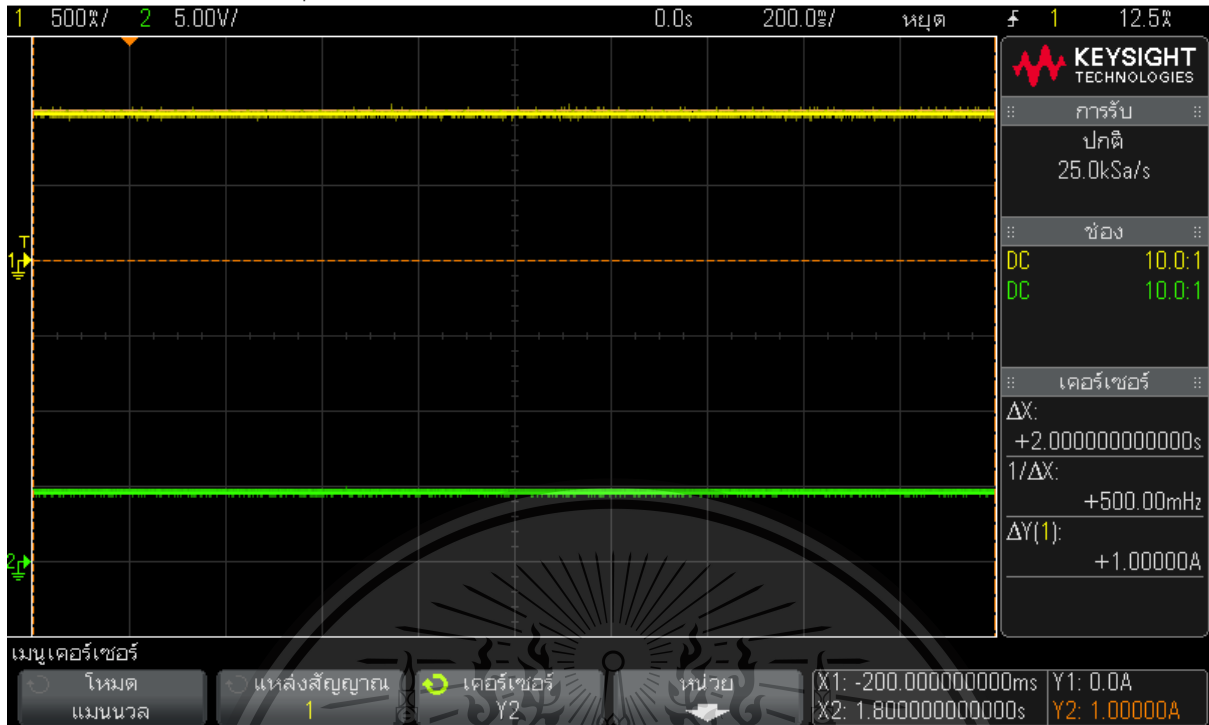
*** ไม่สามารถระบุได้ เนื่องจากสถานะของมอสเฟตไม่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

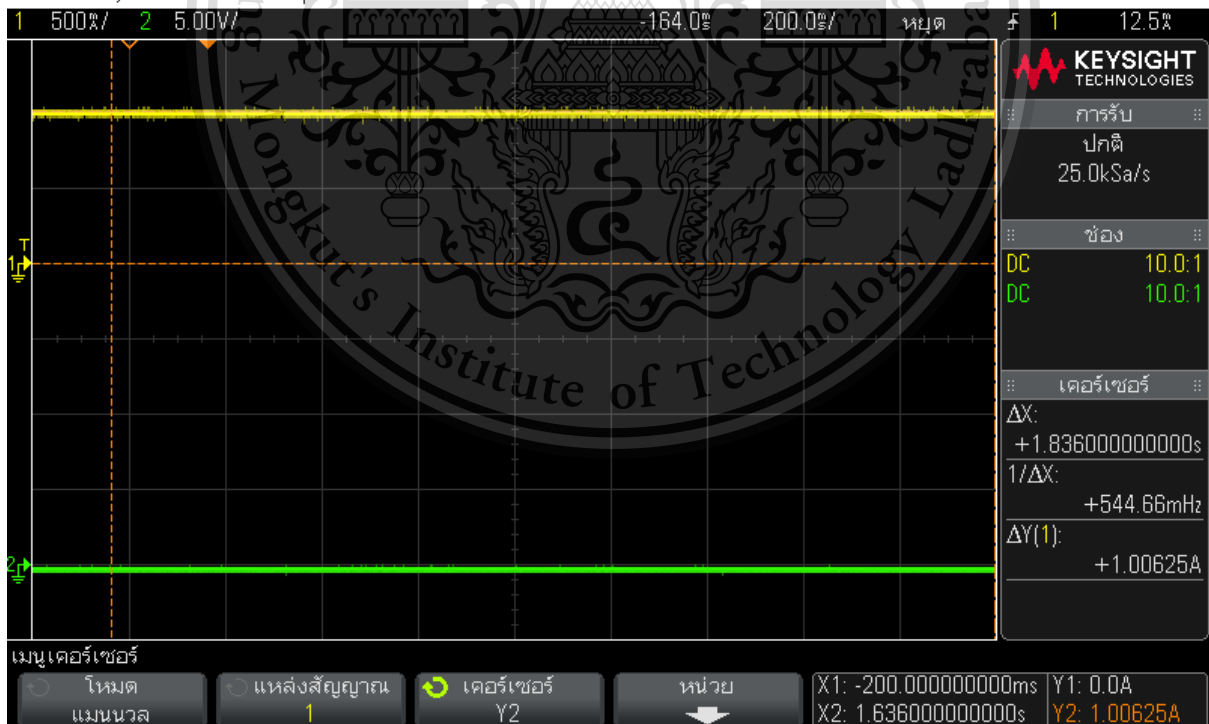
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DSO-X 2002A, MY54490848: Wed Apr 07 01:24:13 2021



รูปที่ 4.1 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 1 A

DSO-X 2002A, MY54490848: Wed Apr 07 01:17:49 2021



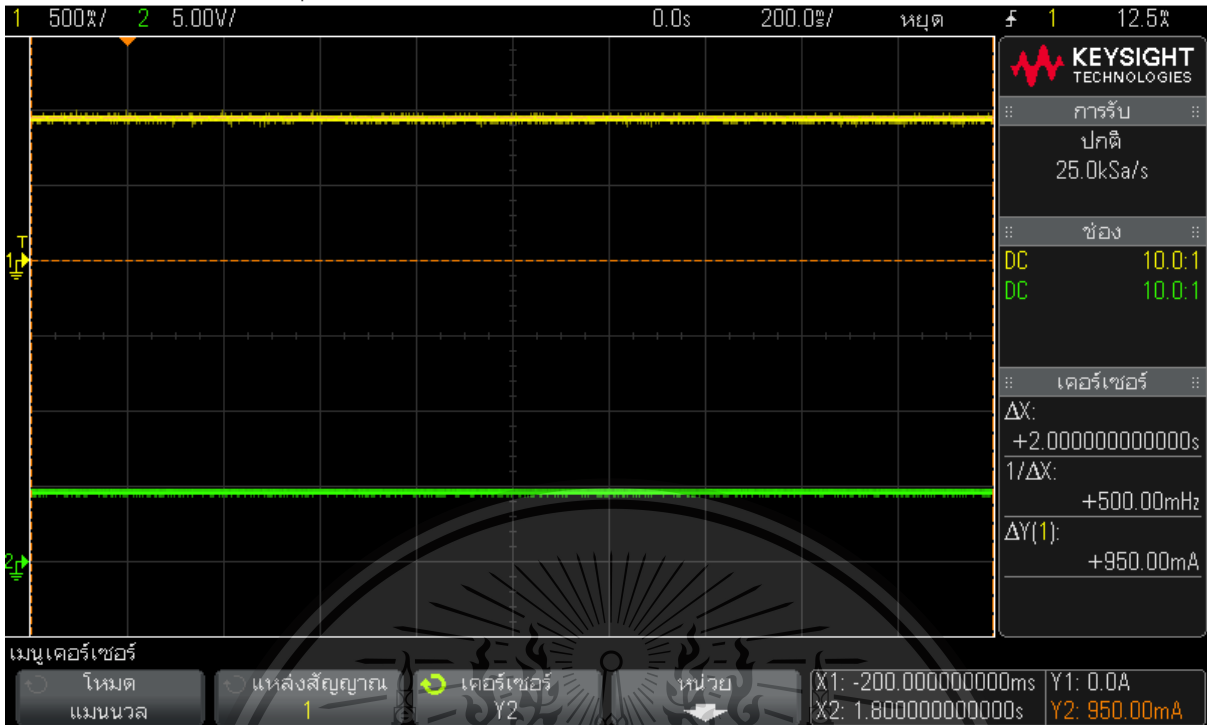
รูปที่ 4.2 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 1 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

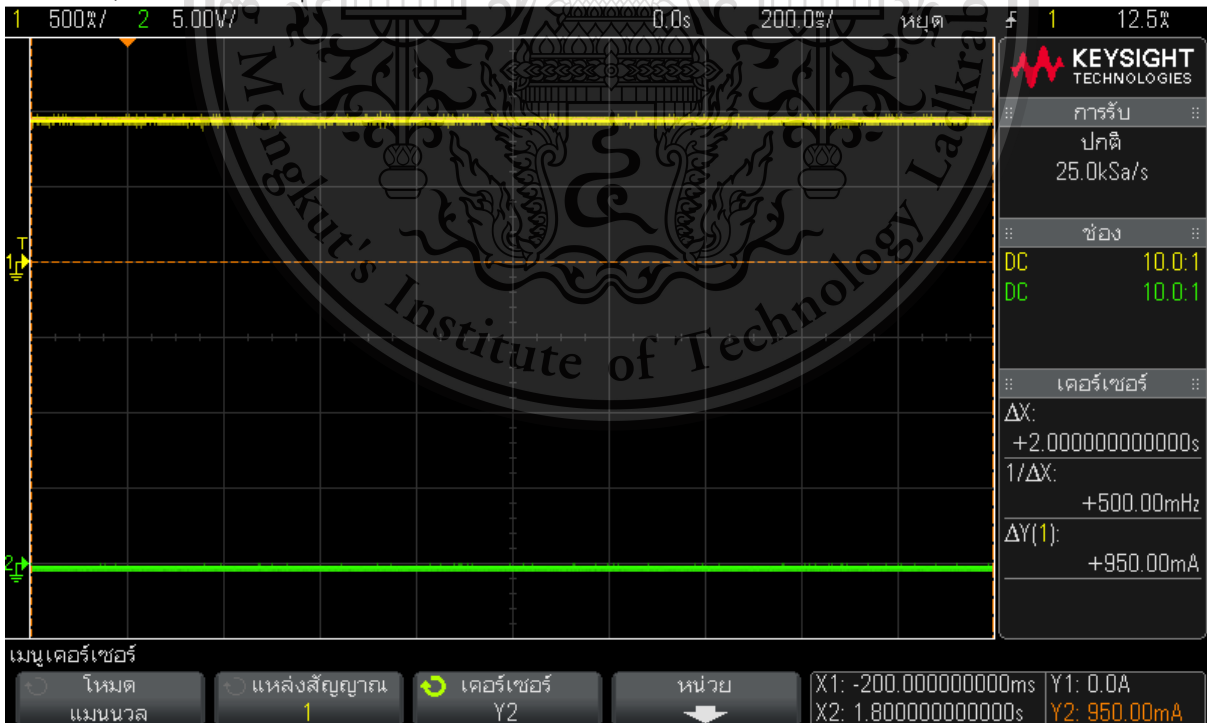
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DSO-X 2002A, MY54490848: Wed Apr 07 01:24:36 2021



รูปที่ 4.3 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.95 A

DSO-X 2002A, MY54490848: Wed Apr 07 01:18:21 2021



รูปที่ 4.4 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.95 A

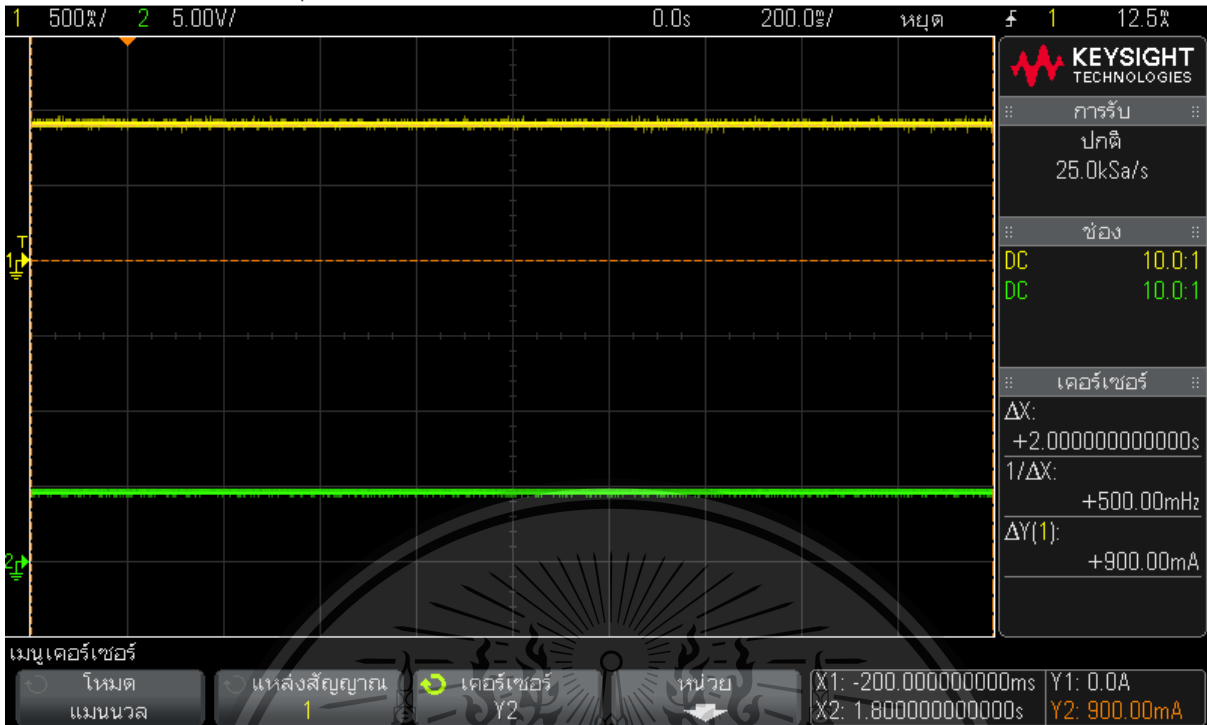
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ได้ส่วนหนึ่งของการใช้งานที่... ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

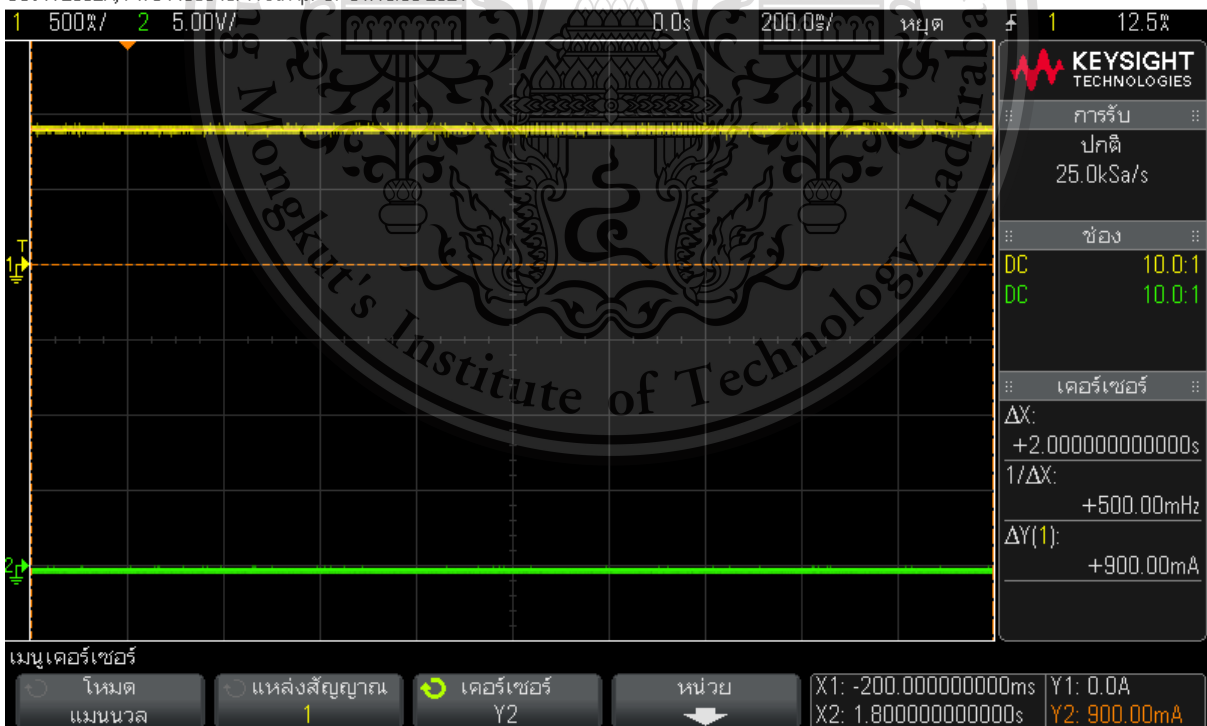
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DSO-X 2002A, MY54490848: Wed Apr 07 01:24:49 2021



รูปที่ 4.5 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.90 A

DSO-X 2002A, MY54490848: Wed Apr 07 01:18:50 2021



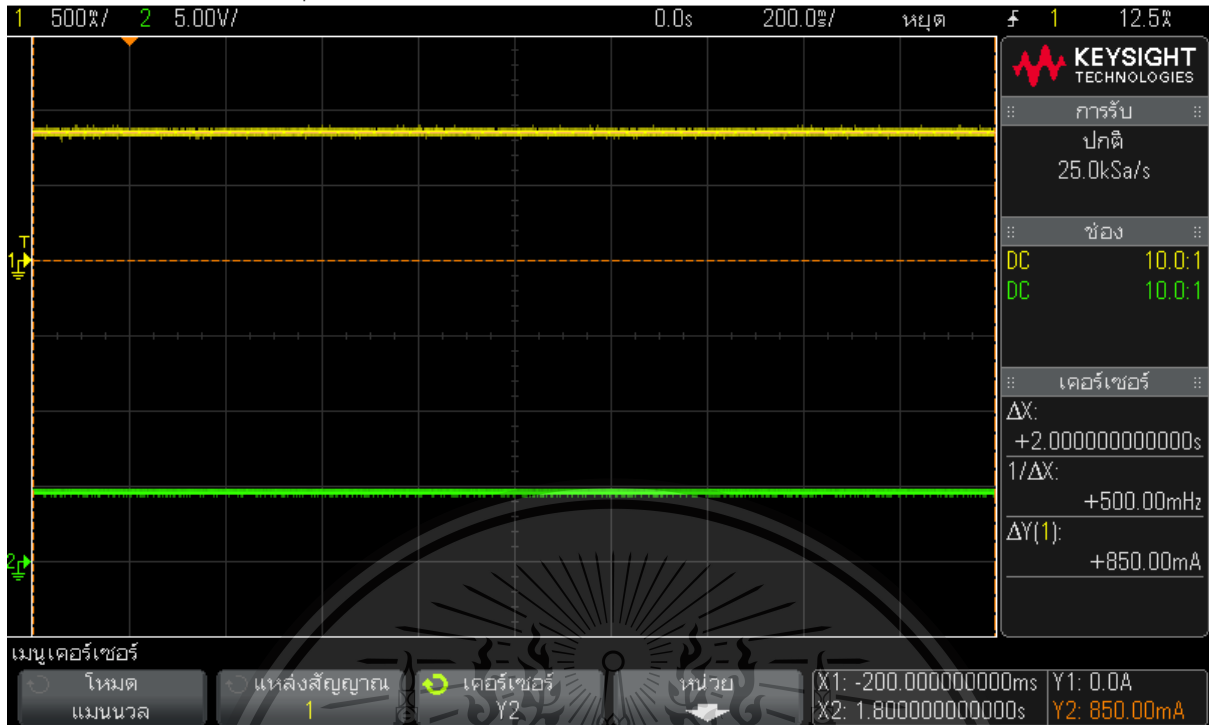
รูปที่ 4.6 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.90 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเชิงพาณิชย์ การเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

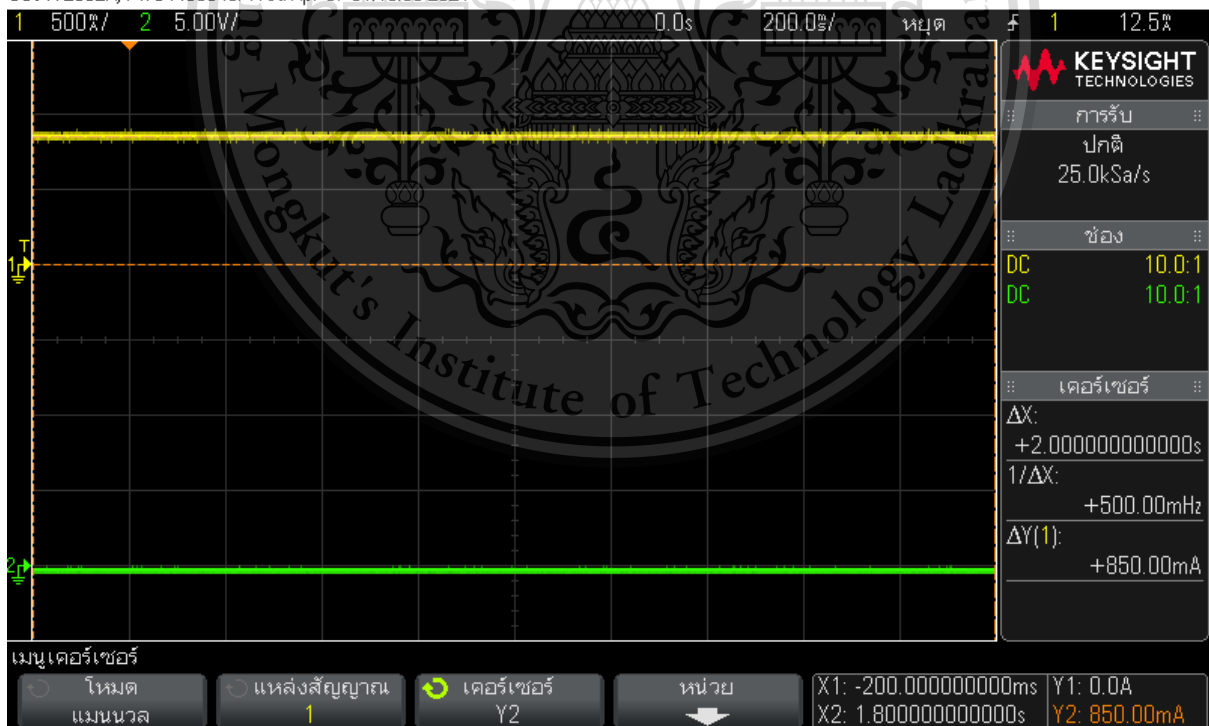
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DSO-X 2002A, MY54490848, Wed Apr 07 01:25:06 2021



รูปที่ 4.7 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.85 A

DSO-X 2002A, MY54490848, Wed Apr 07 01:19:06 2021



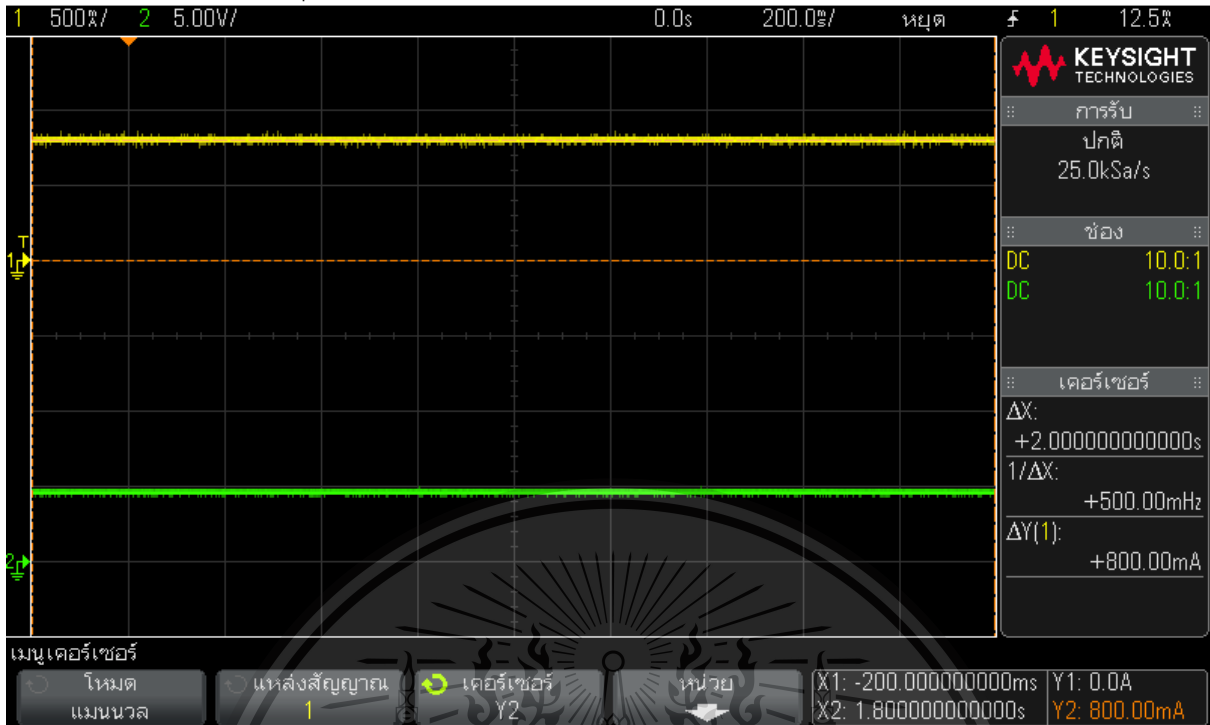
รูปที่ 4.8 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.85 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเชิงงานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ได้เห็นใบใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

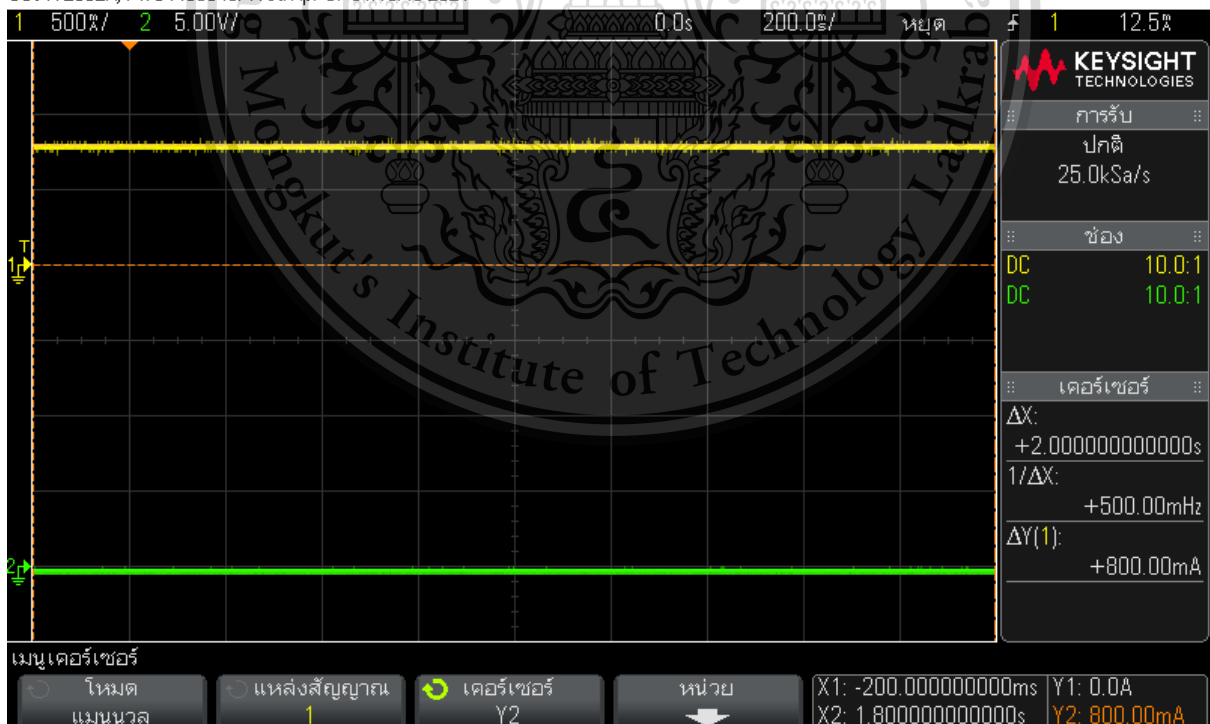
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DSO-X 2002A, MY54490848: Wed Apr 07 01:26:47 2021



รูปที่ 4.9 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.80 A

DSO-X 2002A, MY54490848: Wed Apr 07 01:19:49 2021



รูปที่ 4.10 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.80 A

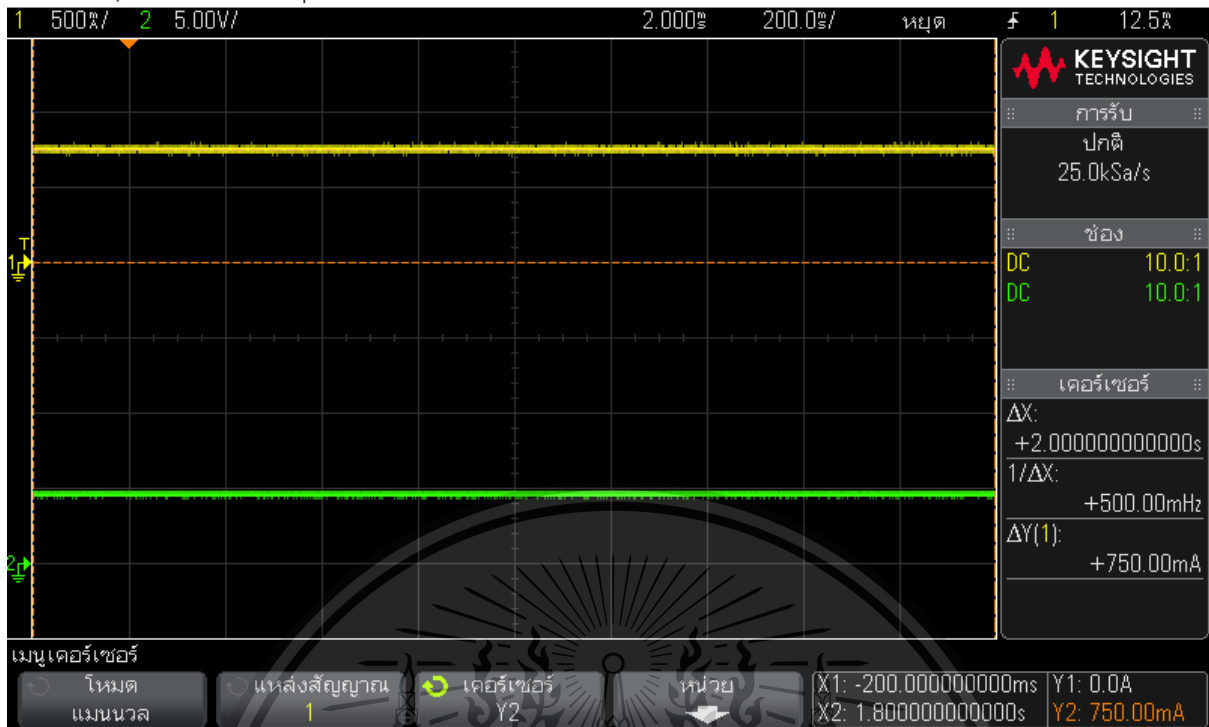
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

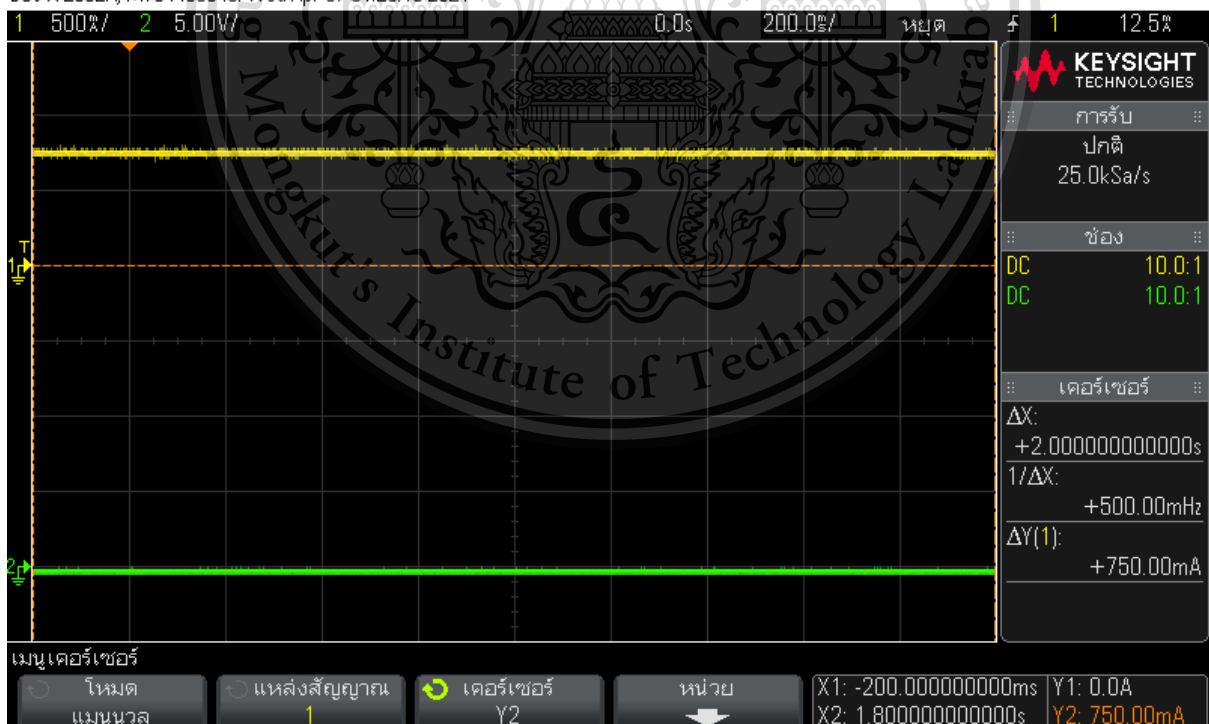
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DSO-X 2002A, MY54490848, Wed Apr 07 01:27:05 2021



รูปที่ 4.11 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.75 A

DSO-X 2002A, MY54490848, Wed Apr 07 01:20:10 2021



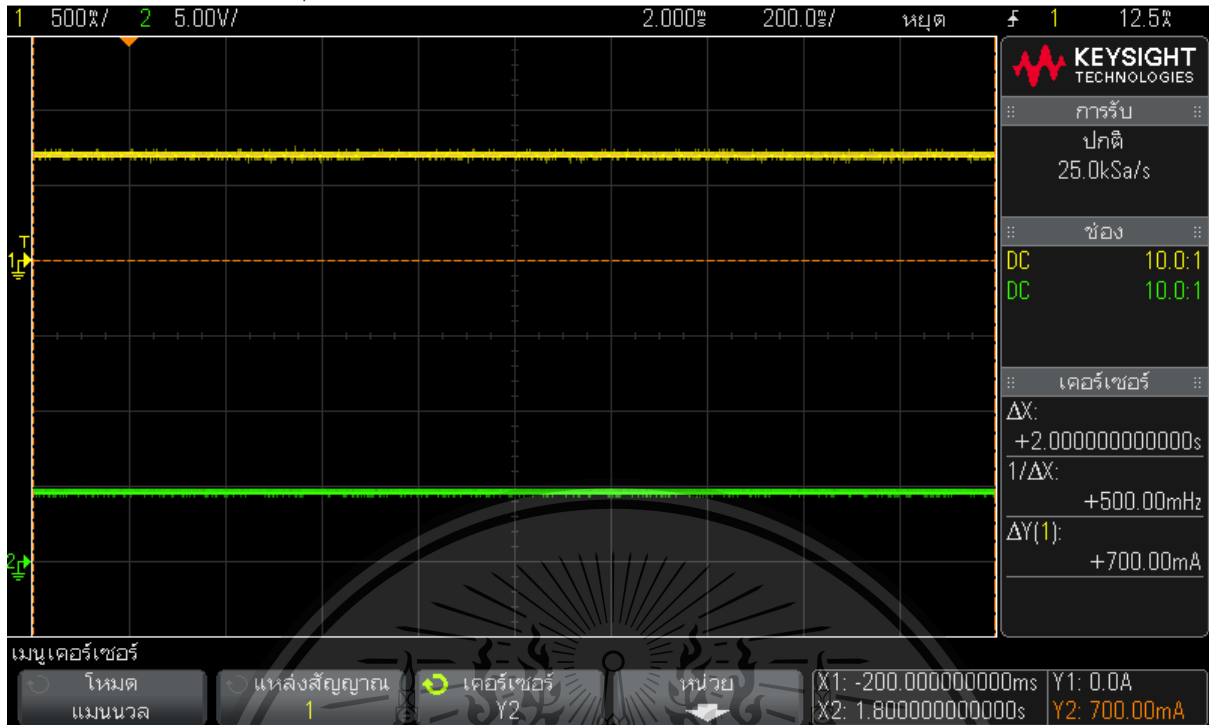
รูปที่ 4.12 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.75 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ ที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

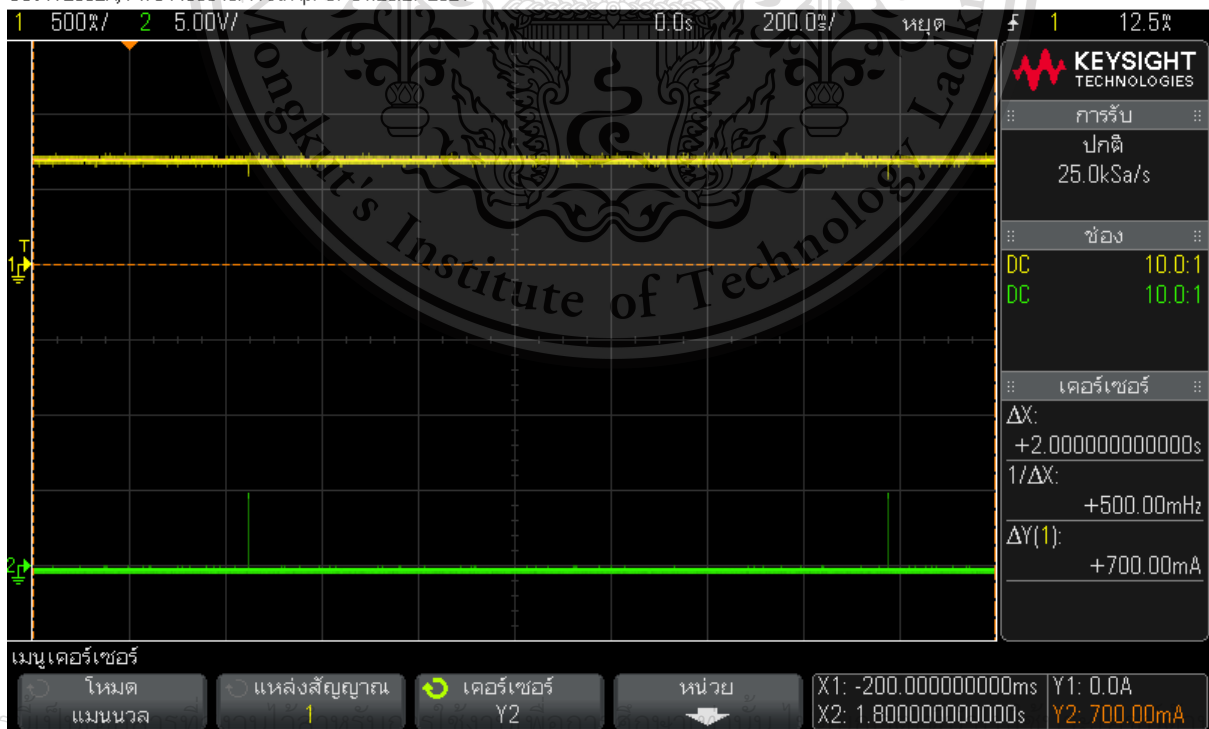
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DSO-X 2002A, MY54490848: Wed Apr 07 01:27:24 2021



รูปที่ 4.13 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.70 A

DSO-X 2002A, MY54490848: Wed Apr 07 01:20:27 2021



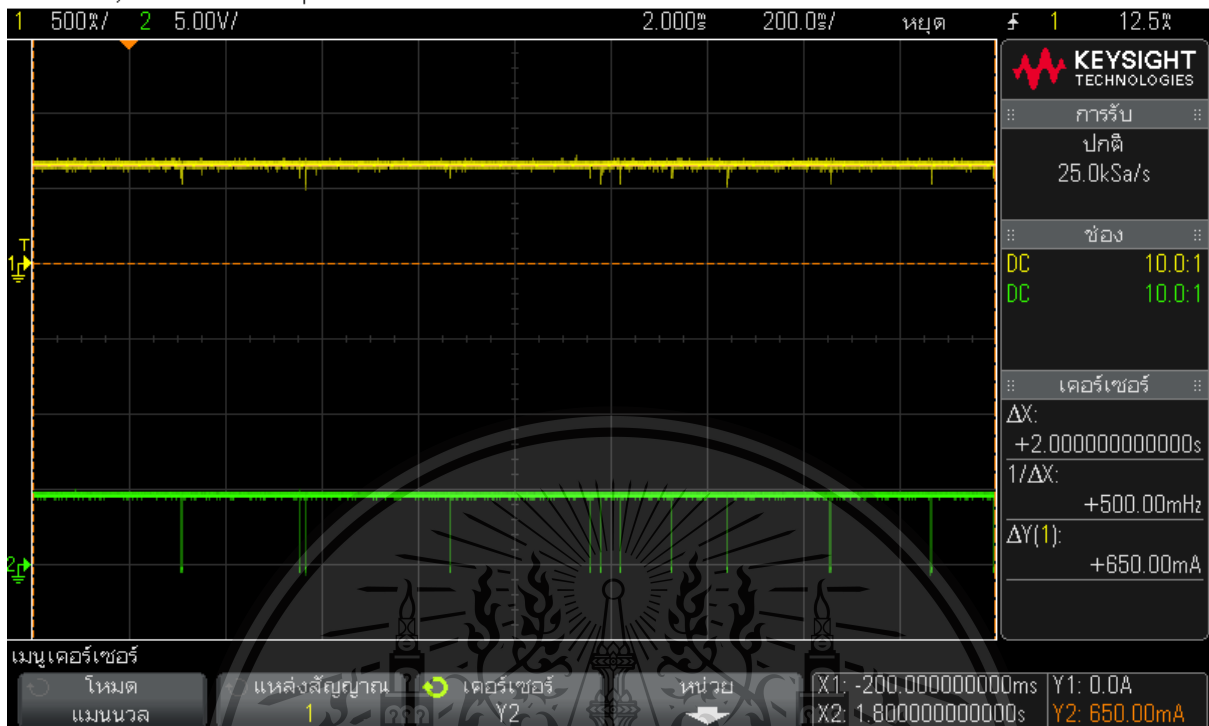
รูปที่ 4.14 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.70 A

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถือว่าห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

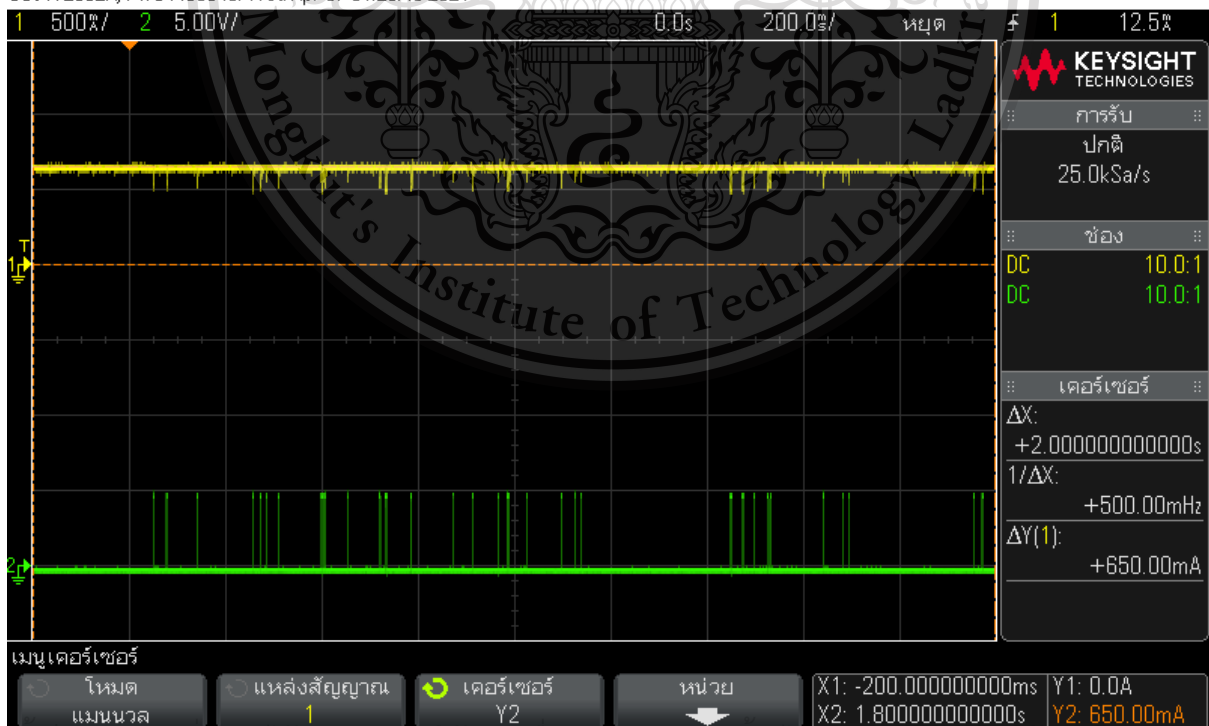
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DSO-X 2002A, MY54490848: Wed Apr 07 01:27:51 2021



รูปที่ 4.15 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.65 A

DSO-X 2002A, MY54490848: Wed Apr 07 01:20:48 2021



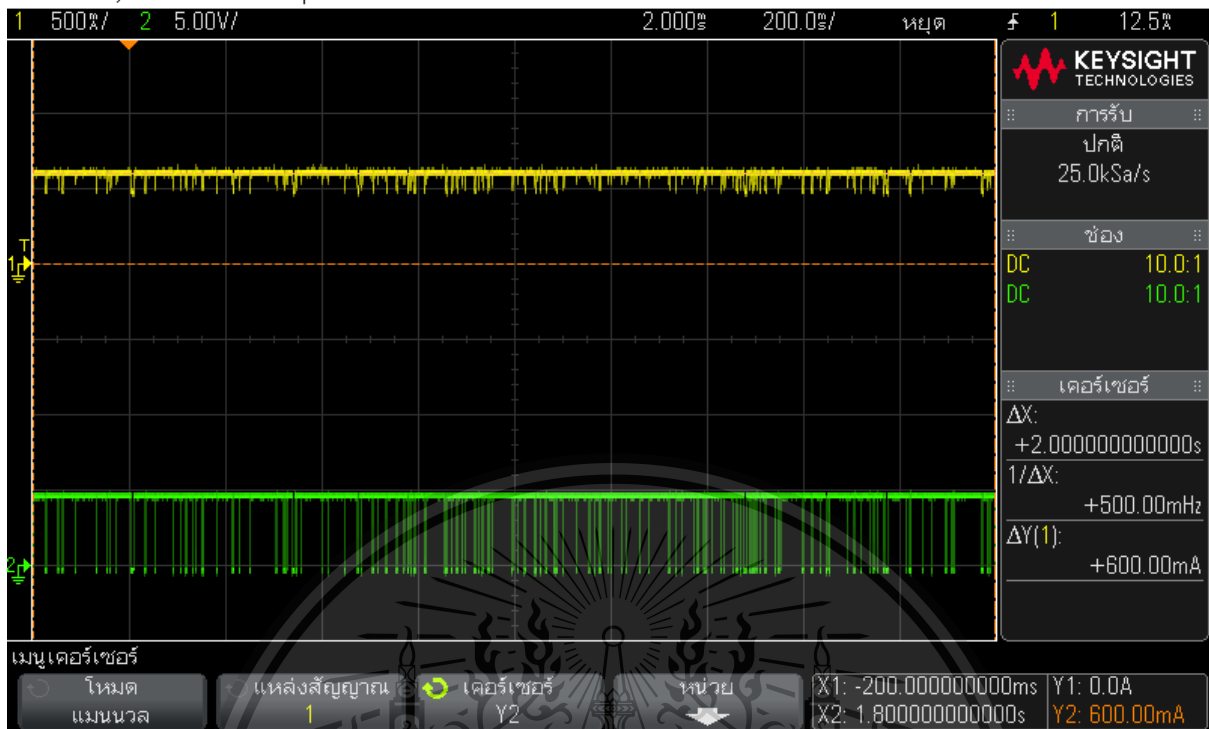
เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเนื้อหาสำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น รูปที่ 4.16 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.65 A ครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

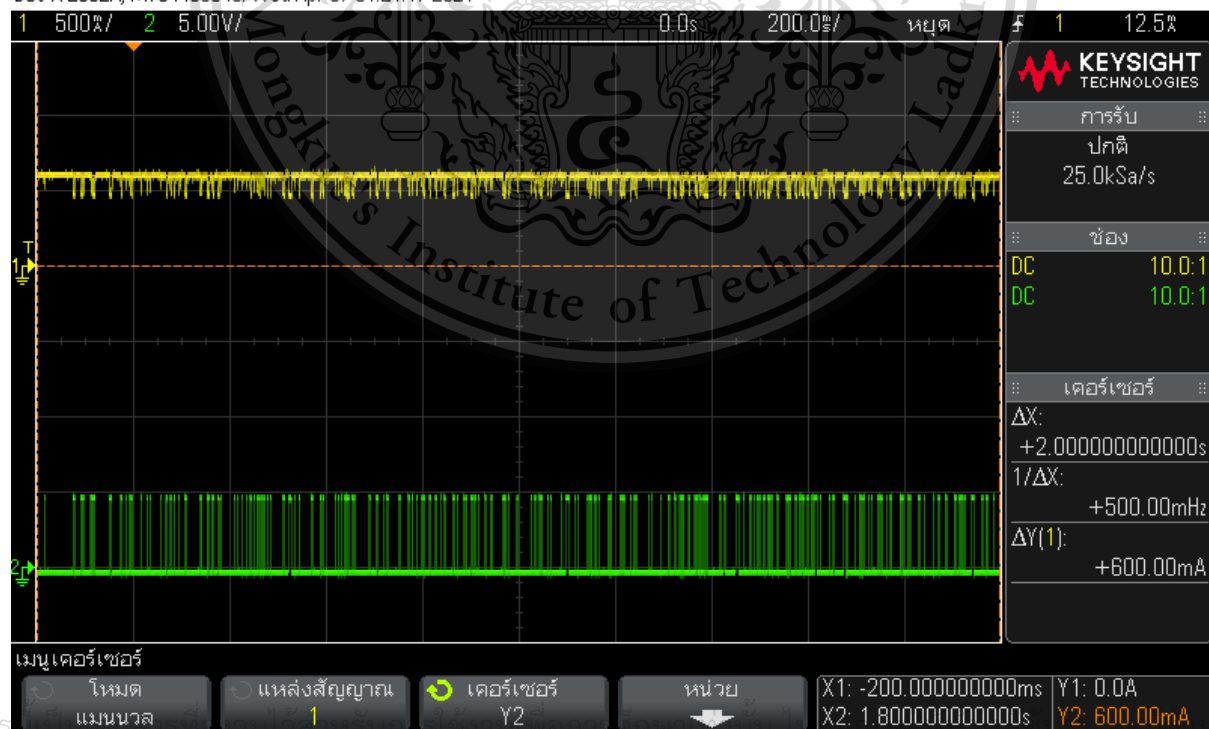
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DSO-X 2002A, MY54490848: Wed Apr 07 01:28:08 2021



รูปที่ 4.17 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.60 A

DSO-X 2002A, MY54490848: Wed Apr 07 01:21:17 2021



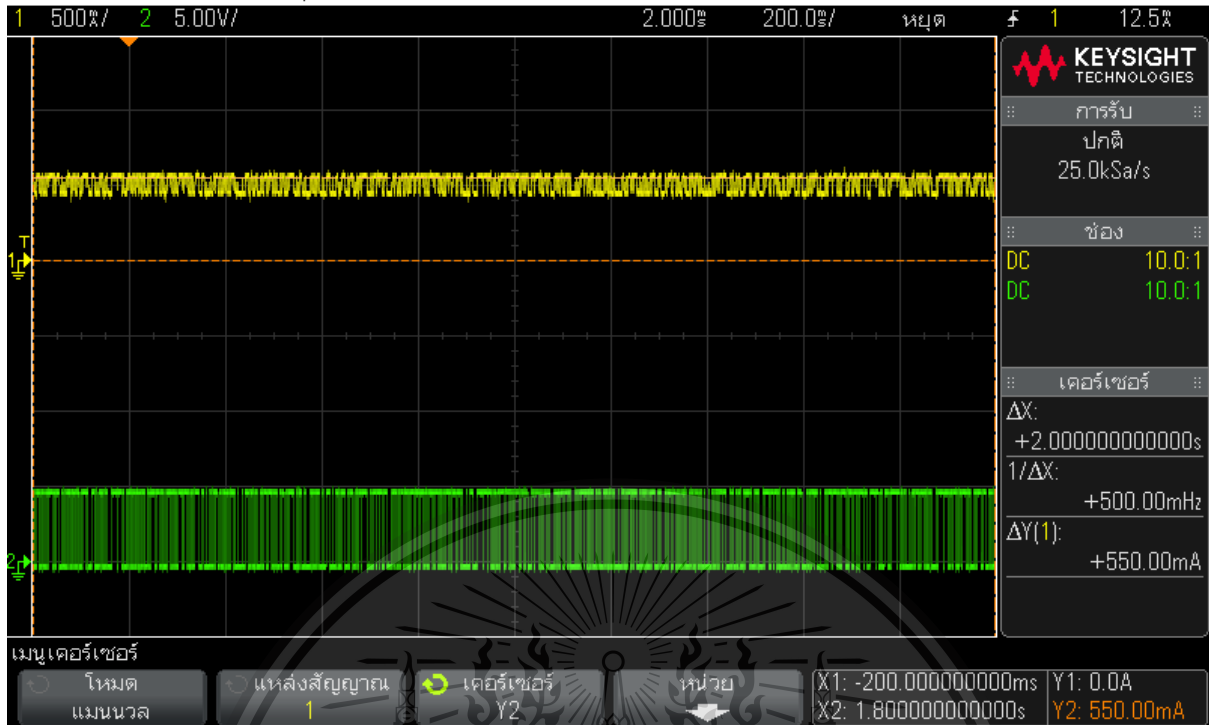
รูปที่ 4.18 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.60 A

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถือว่าห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

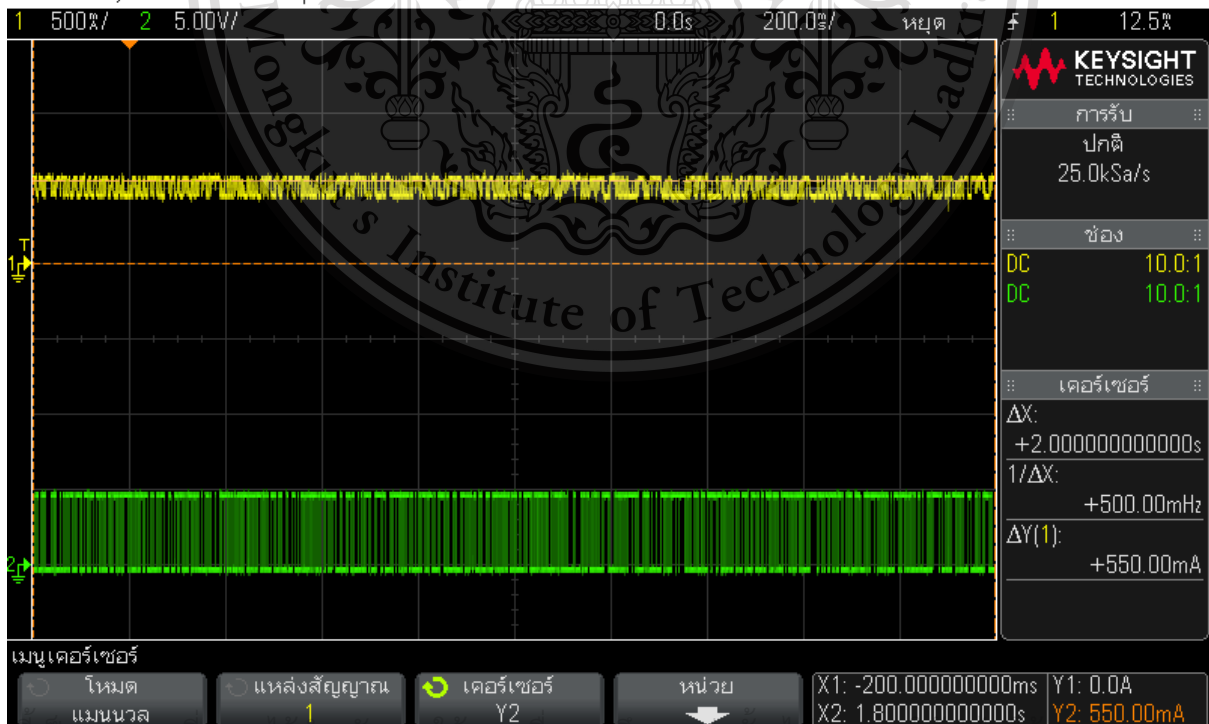
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DSO-X 2002A, MY54490848: Wed Apr 07 01:29:34 2021



รูปที่ 4.19 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.55 A

DSO-X 2002A, MY54490848: Wed Apr 07 01:21:40 2021

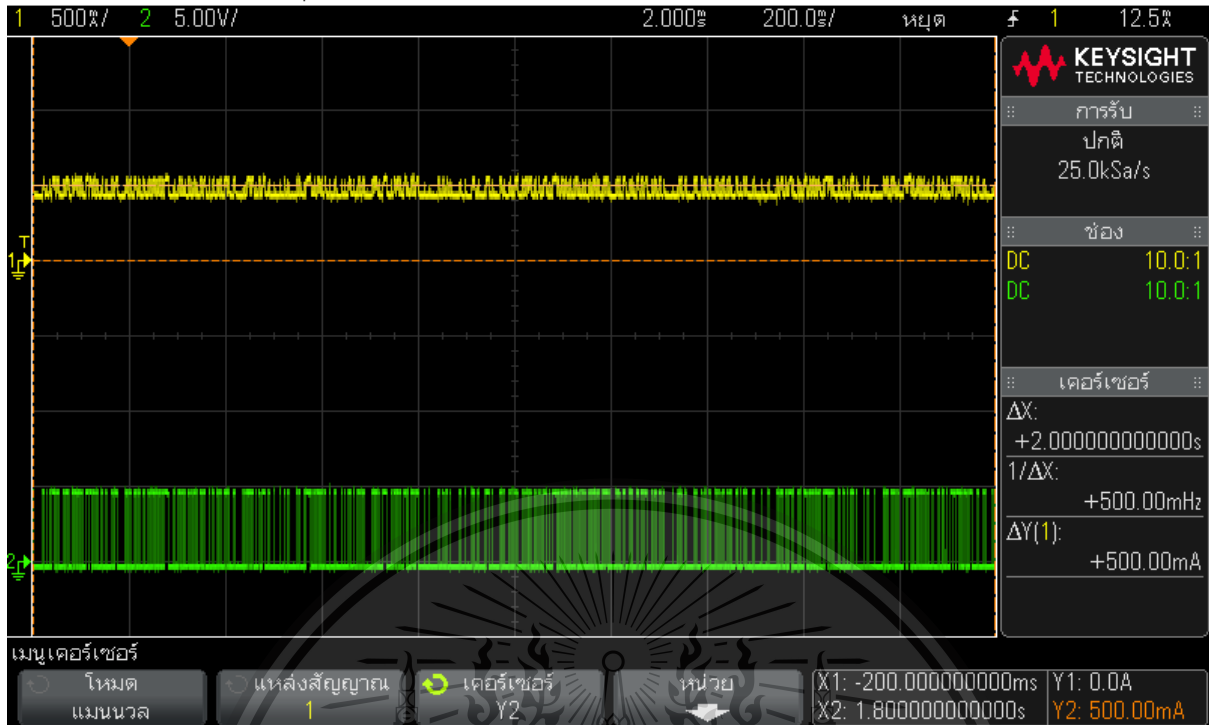


ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น รูปที่ 4.20 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.55 A รั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

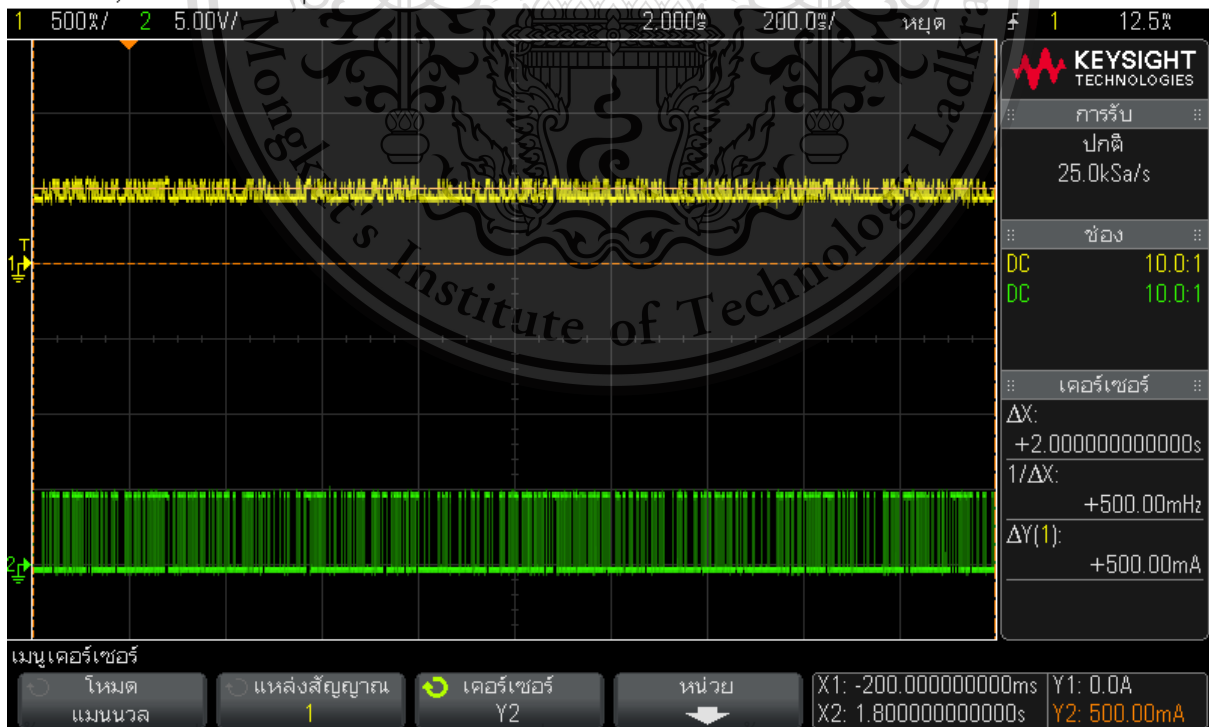
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DSO-X 2002A, MY54490848: Wed Apr 07 01:29:56 2021



รูปที่ 4.21 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.50 A

DSO-X 2002A, MY54490848: Wed Apr 07 01:29:56 2021



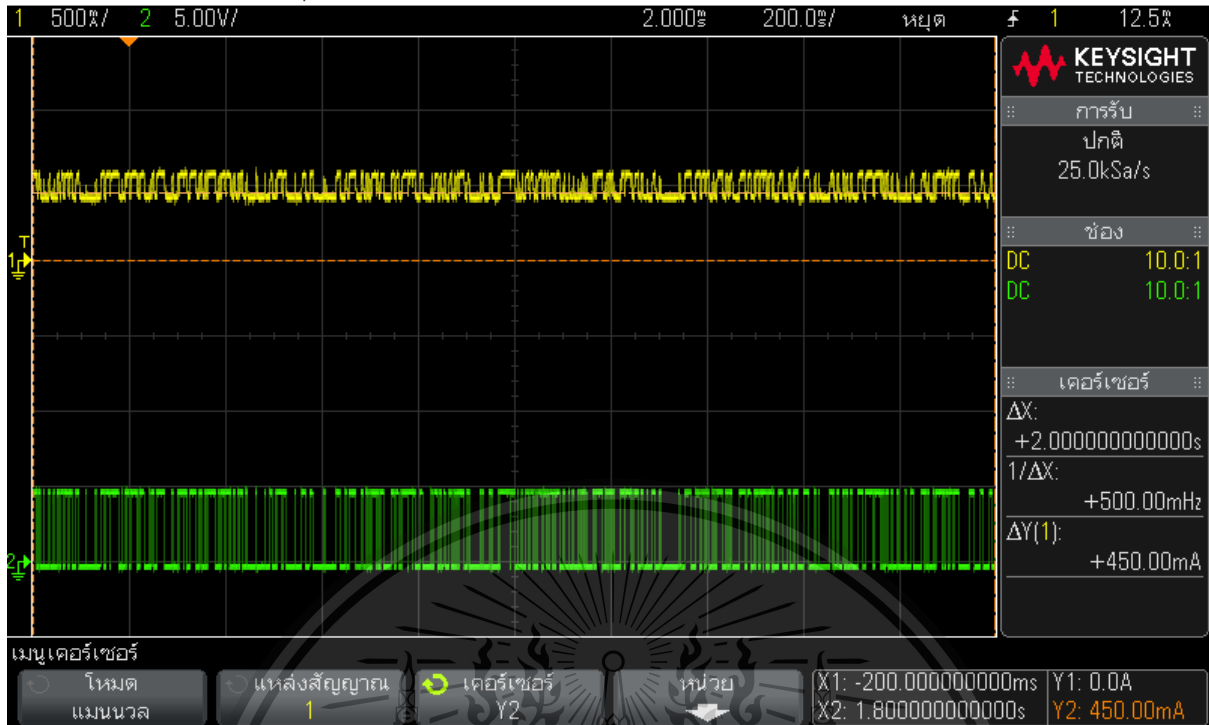
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น รูปที่ 4.22 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.50 A ครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

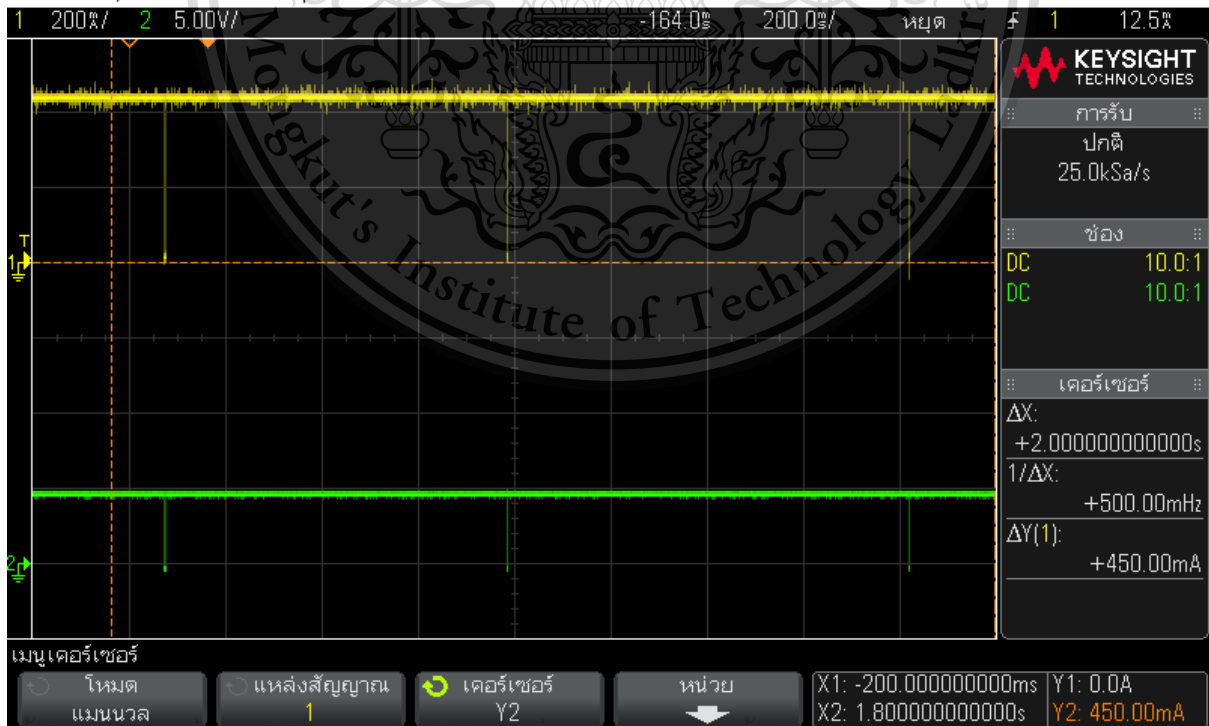
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DSO-X 2002A, MY54490848: Wed Apr 07 01:34:06 2021



รูปที่ 4.23 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.45 A

DSO-X 2002A, MY54490848: Wed Apr 07 01:12:17 2021



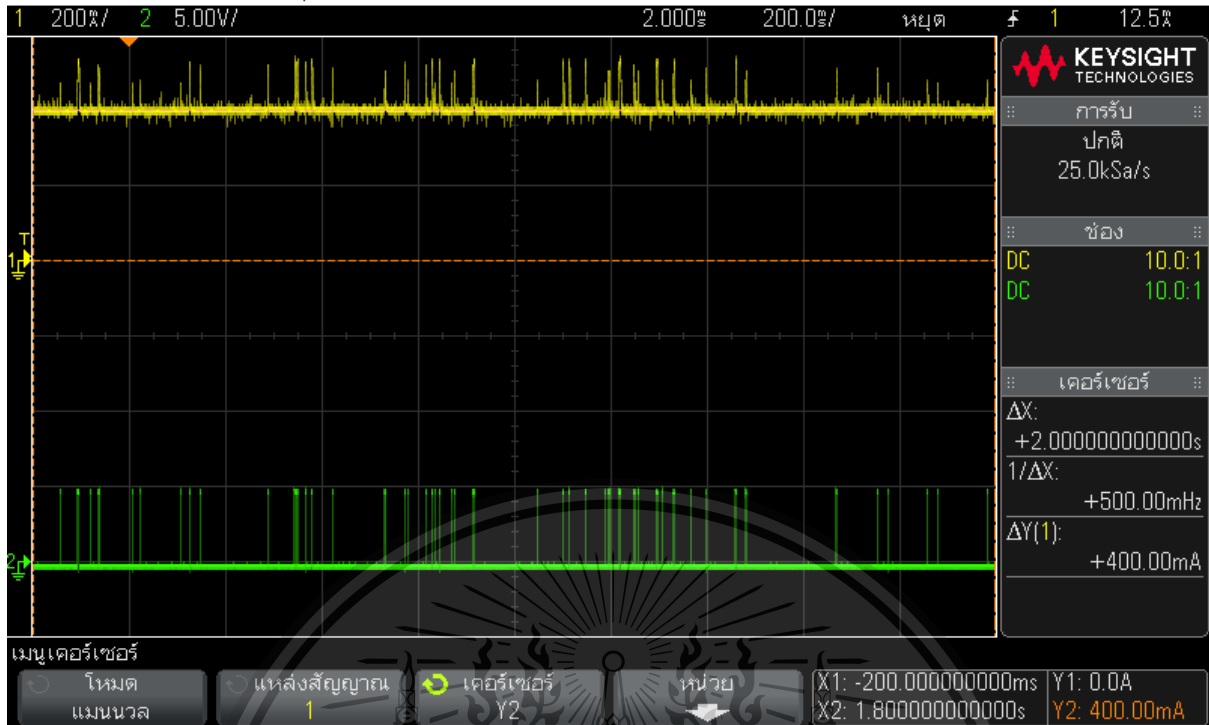
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น รูปที่ 4.24 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.45 A ครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

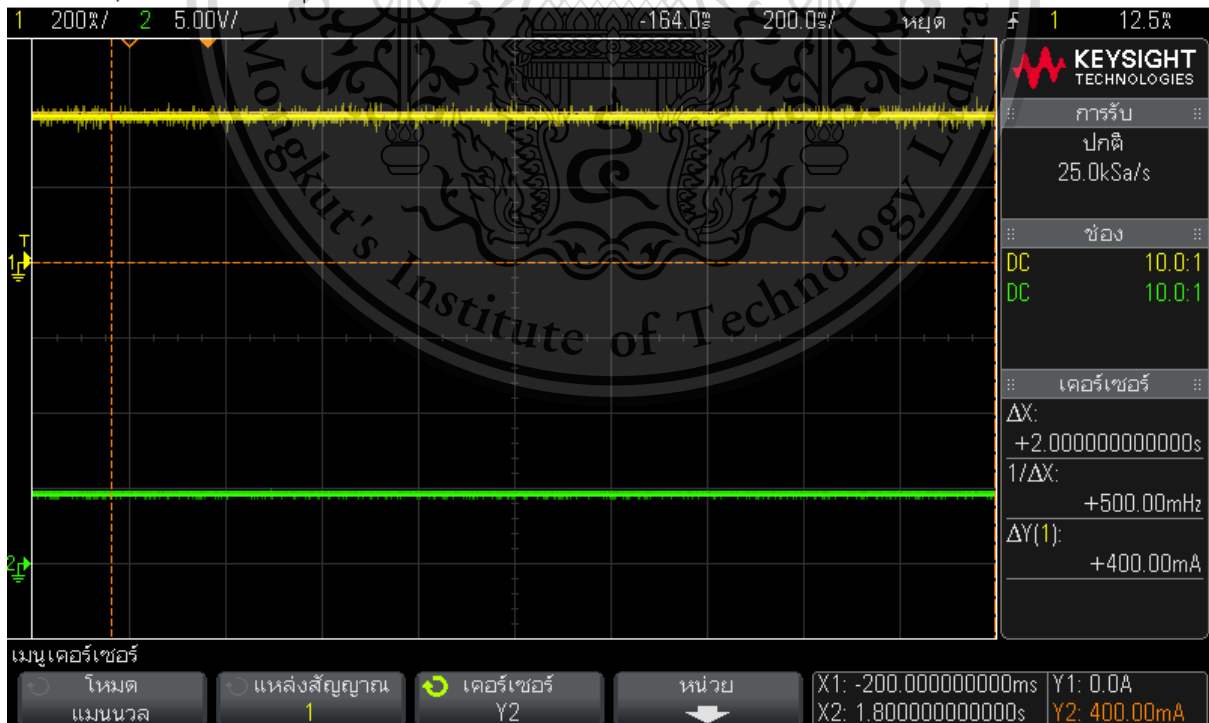
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DSO-X 2002A, MY54490848, Wed Apr 07 01:33:33 2021



รูปที่ 4.25 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.40 A

DSO-X 2002A, MY54490848, Wed Apr 07 01:11:46 2021



รูปที่ 4.26 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.40 A

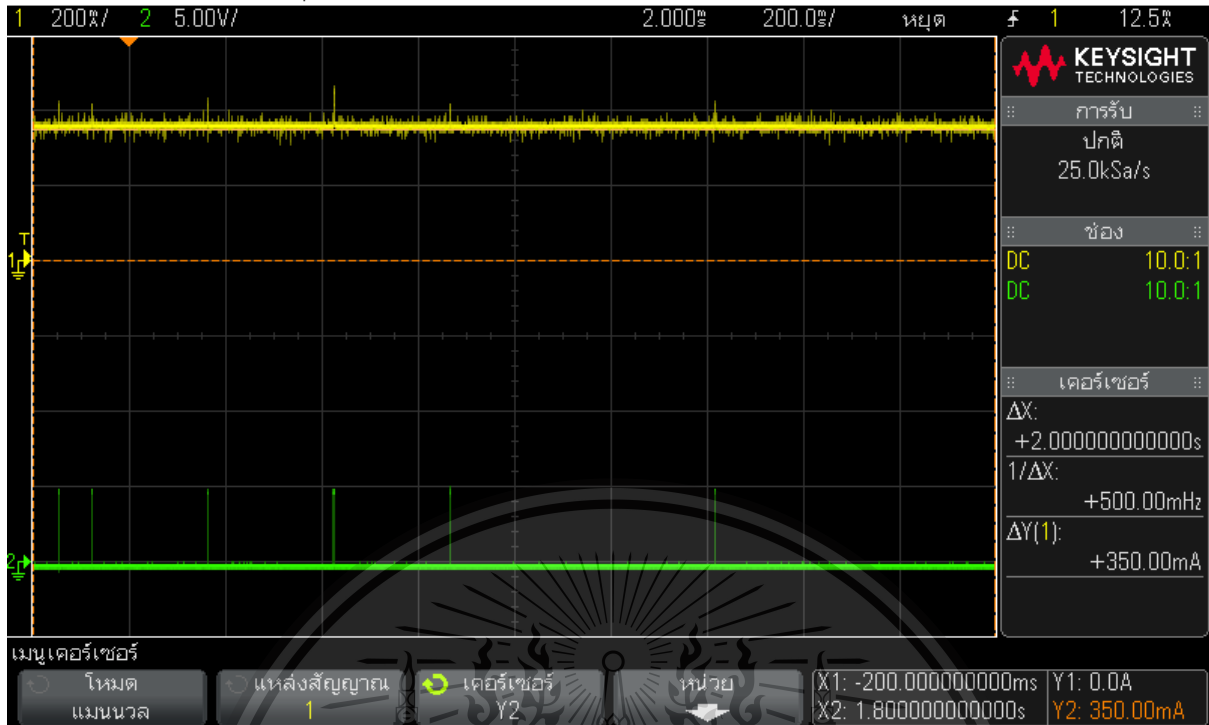
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนที่องค์กรศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

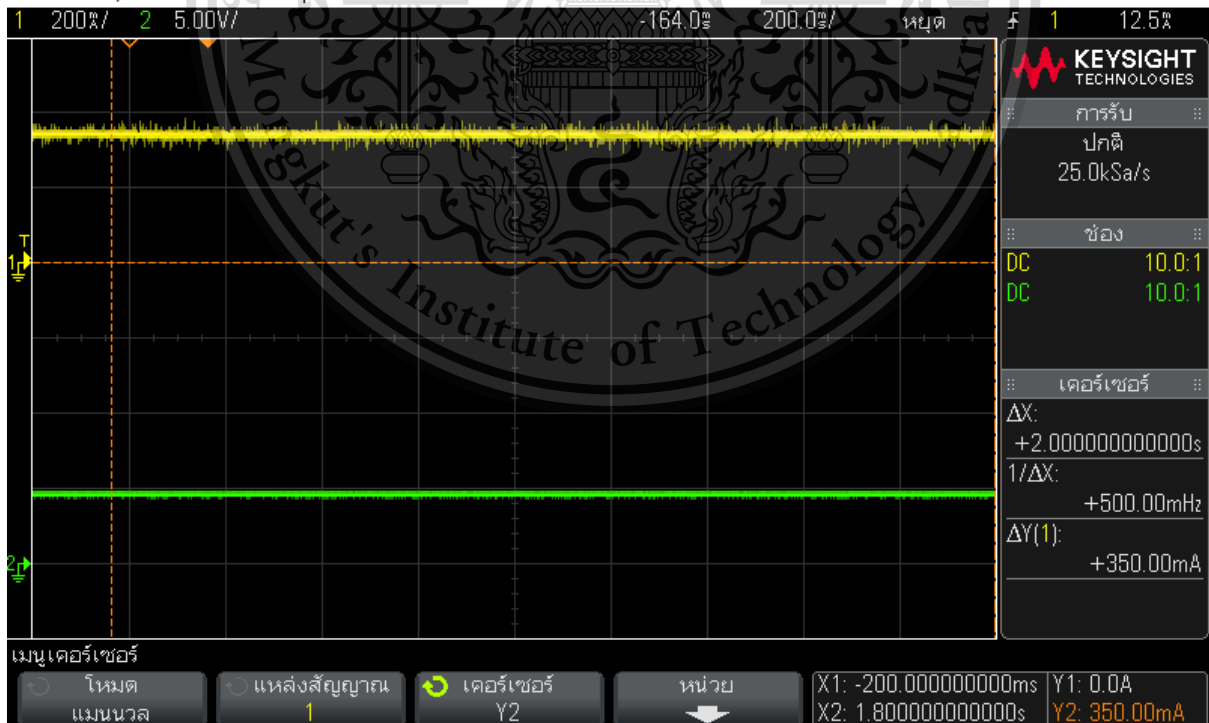
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DSO-X 2002A, MY54490848, Wed Apr 07 01:33:14 2021



รูปที่ 4.27 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.35 A

DSO-X 2002A, MY54490848, Wed Apr 07 01:11:23 2021



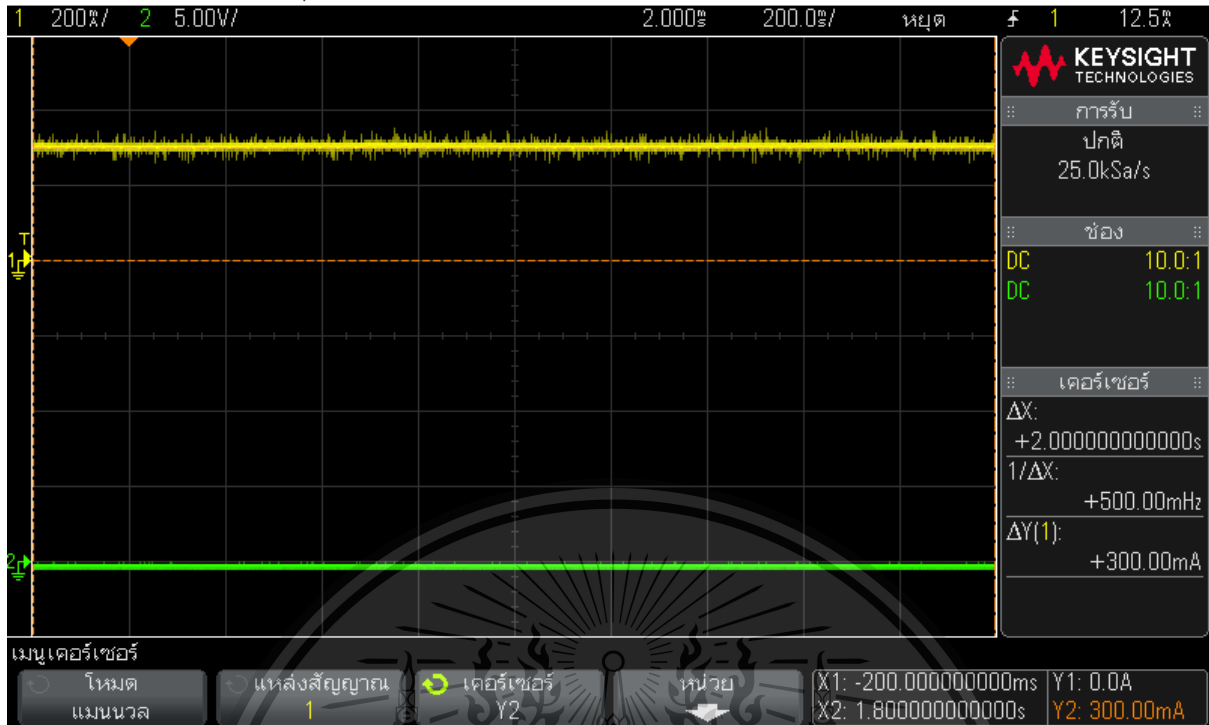
รูปที่ 4.28 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.35 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

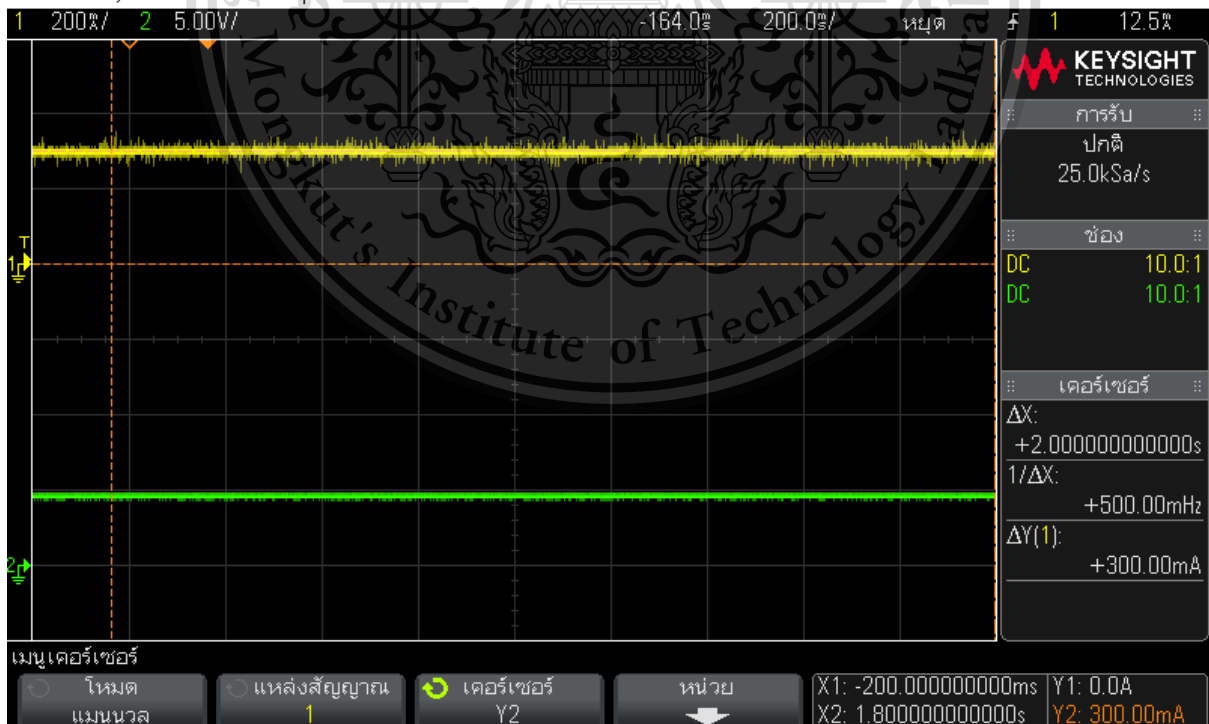
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DSO-X 2002A, MY54490848: Wed Apr 07 01:32:51 2021



รูปที่ 4.29 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.30 A

DSO-X 2002A, MY54490848: Wed Apr 07 01:10:56 2021



รูปที่ 4.30 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.30 A

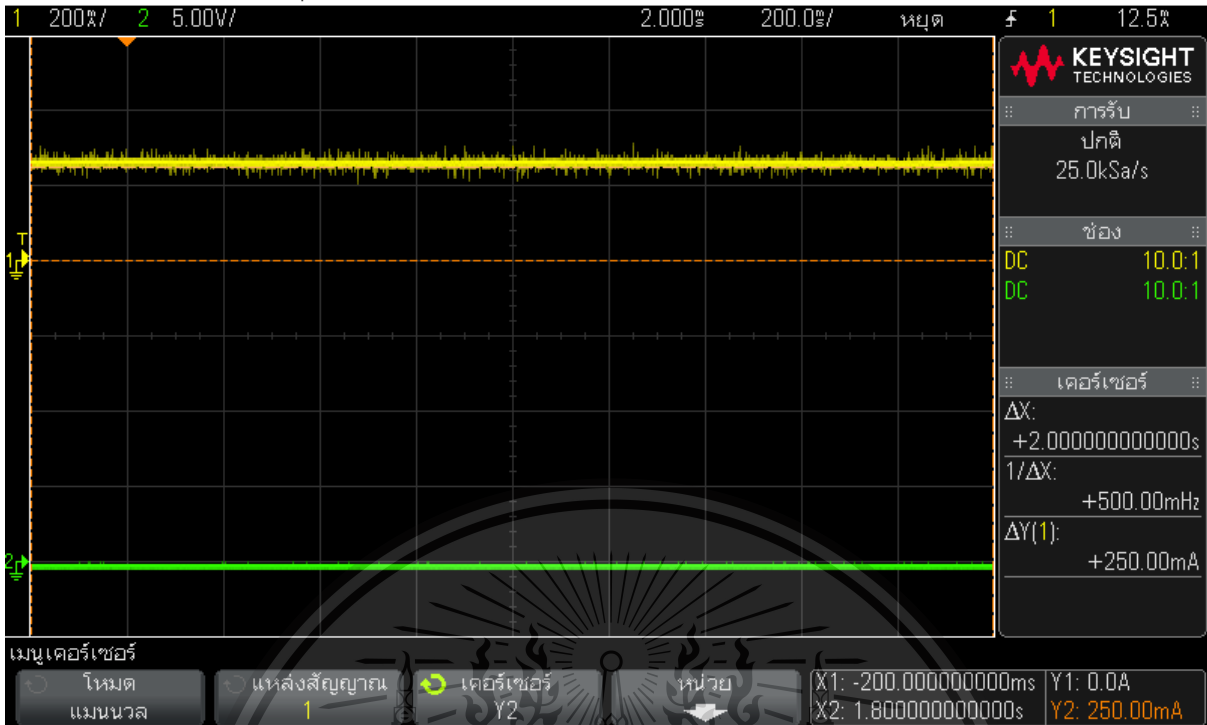
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้เพื่อประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

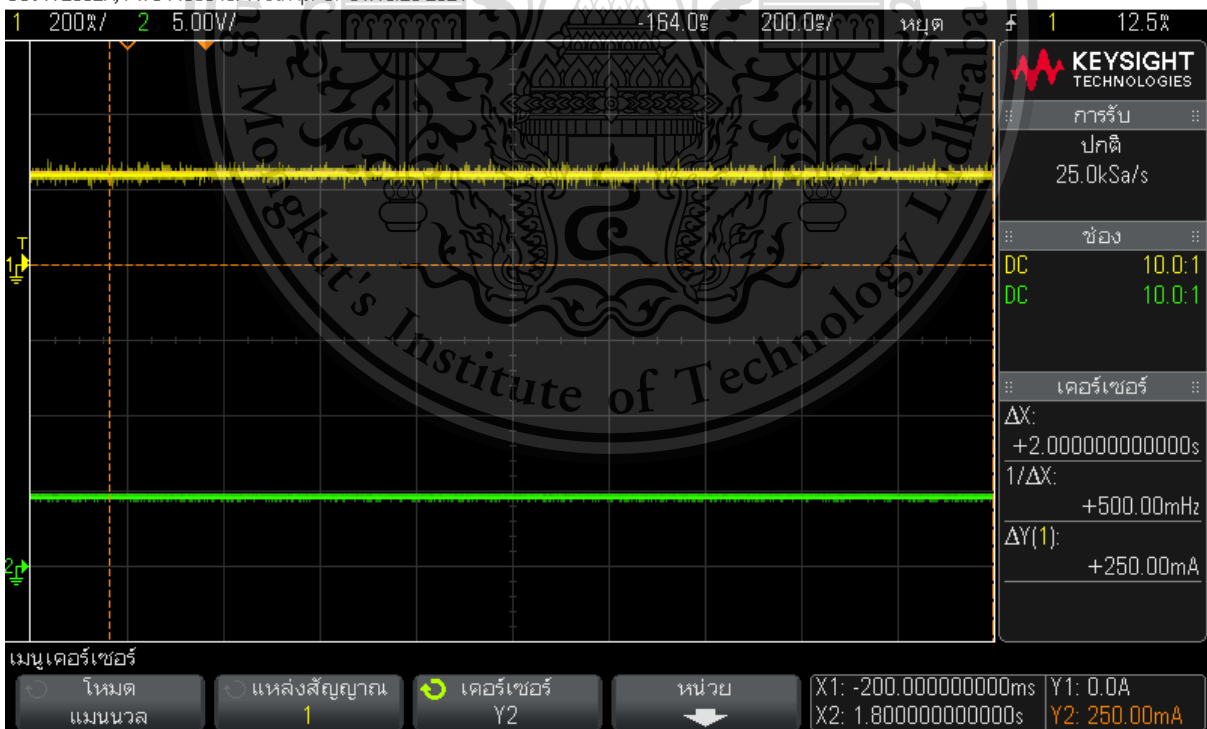
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DSO-X 2002A, MY54490848: Wed Apr 07 01:32:32 2021



รูปที่ 4.31 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.25 A

DSO-X 2002A, MY54490848: Wed Apr 07 01:10:25 2021



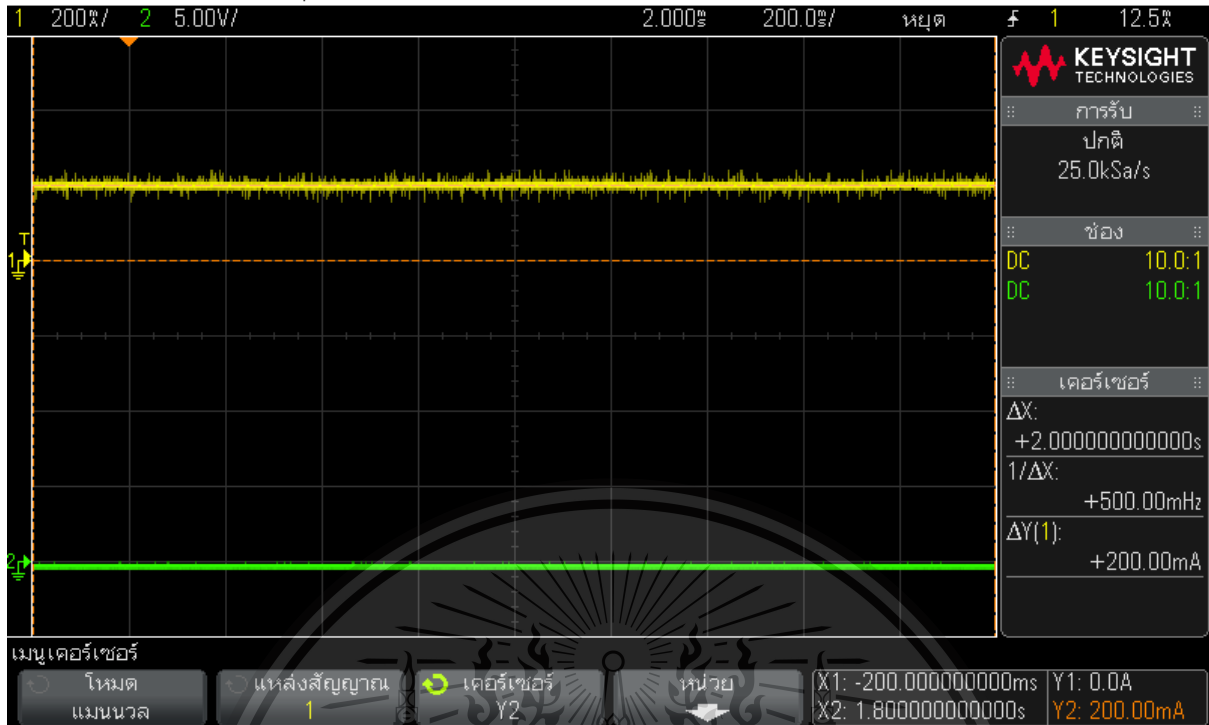
รูปที่ 4.32 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.25 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ซึ่งเนื้อหาและข้อมูลในเอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาและวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

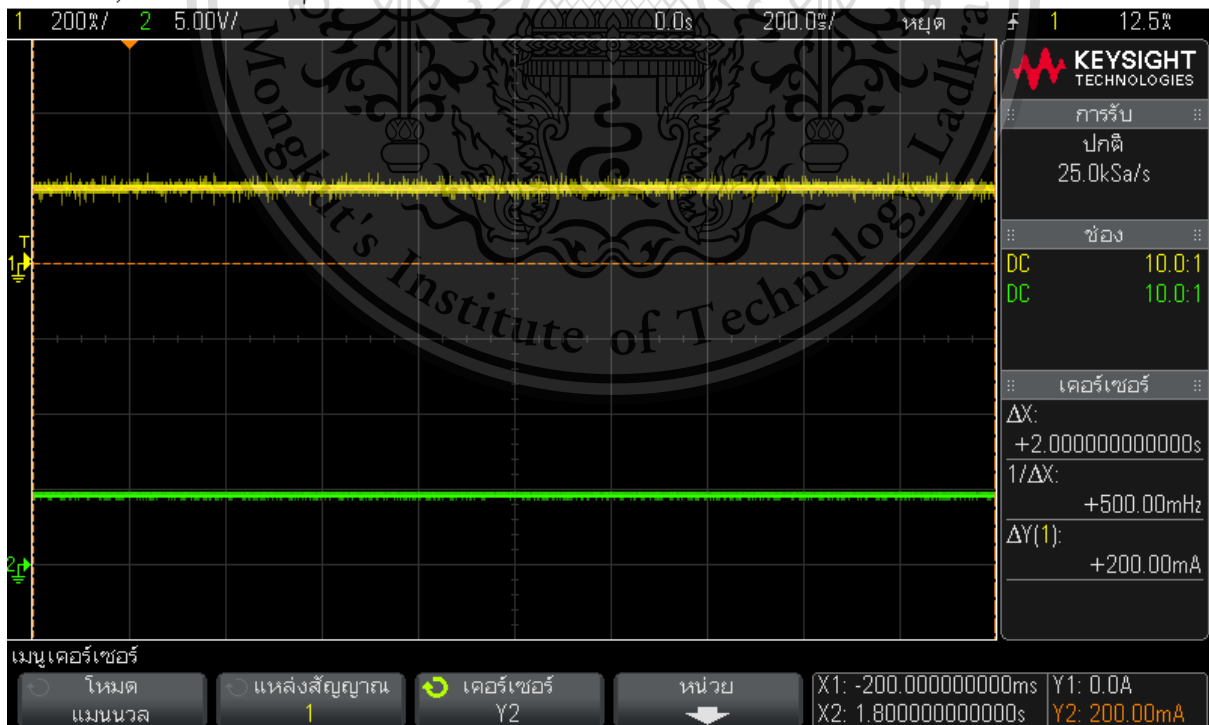
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DSO-X 2002A, MY54490848, Wed Apr 07 01:32:07 2021



รูปที่ 4.33 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.20 A

DSO-X 2002A, MY54490848, Wed Apr 07 01:09:26 2021



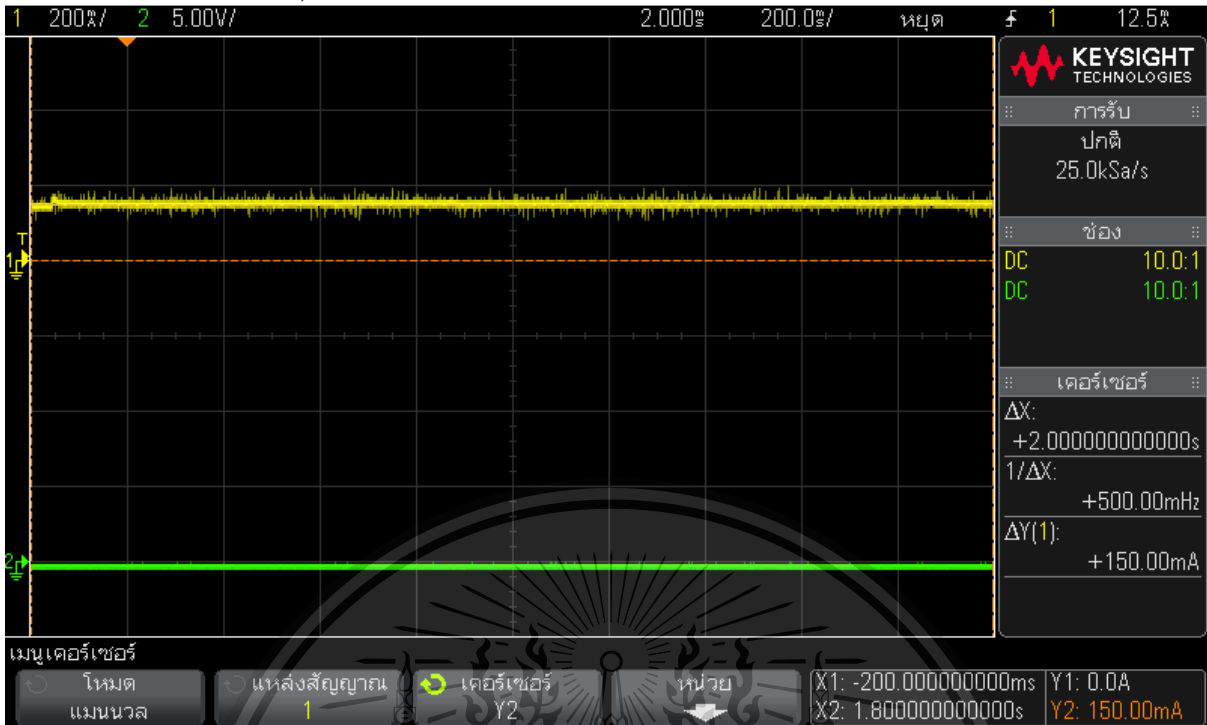
รูปที่ 4.34 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.20 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นที่พิมพ์เผยแพร่โดยมติของสภามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

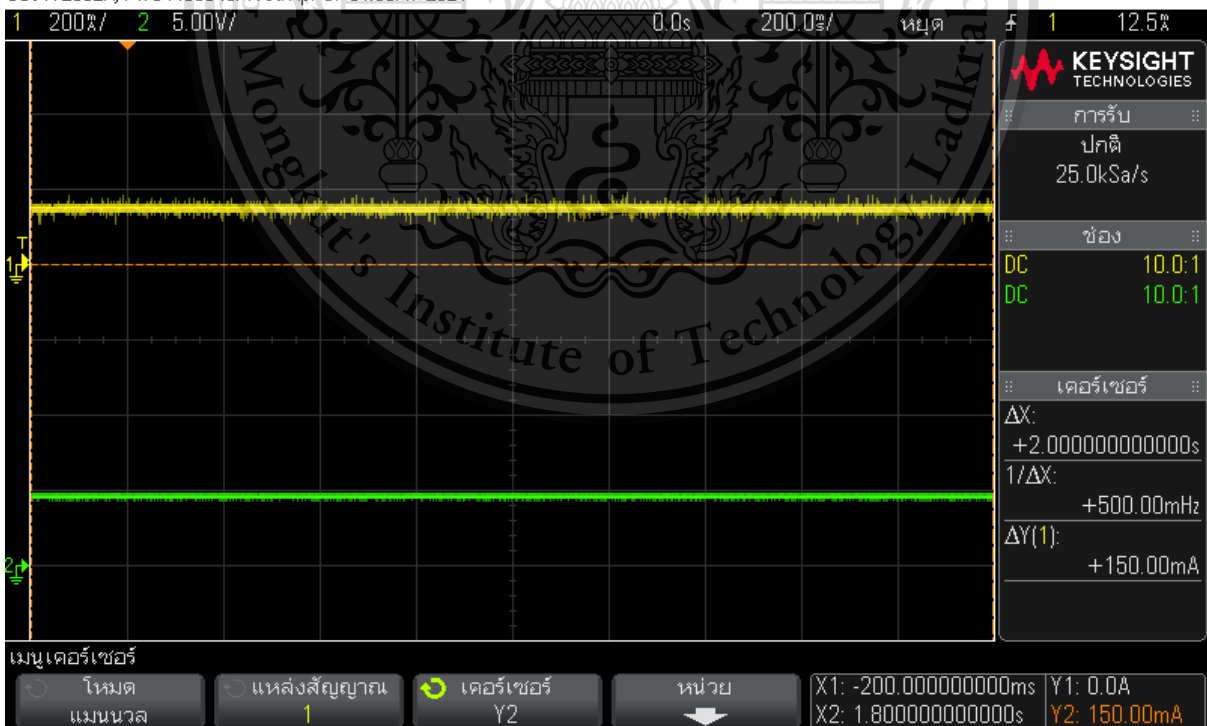
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DSO-X 2002A, MY54490848: Wed Apr 07 01:31:50 2021



รูปที่ 4.35 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.15 A

DSO-X 2002A, MY54490848: Wed Apr 07 01:08:47 2021



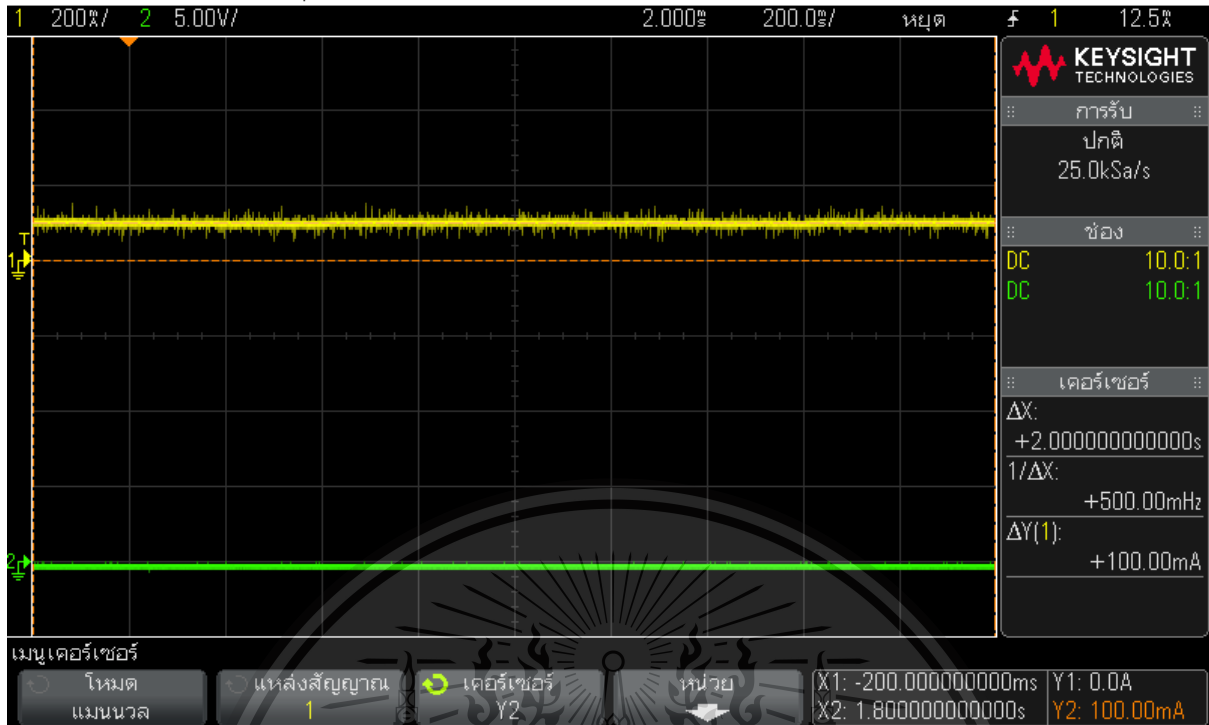
รูปที่ 4.36 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.15 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

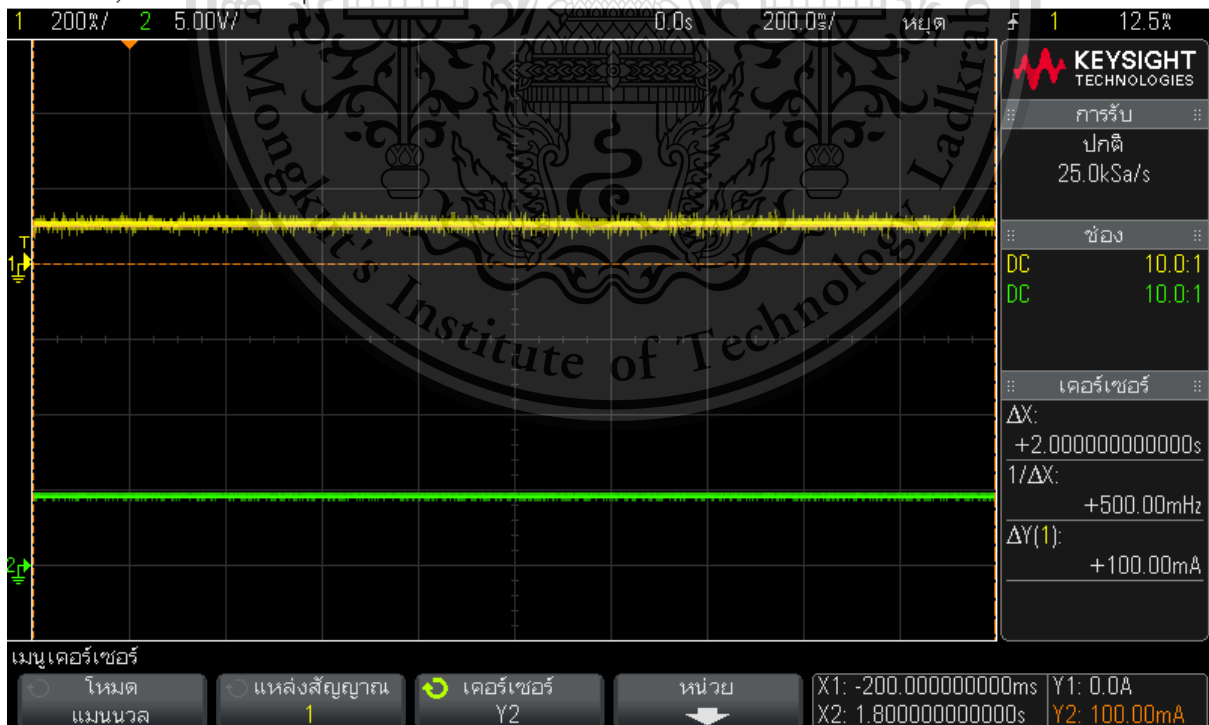
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DSO-X 2002A, MY54490848: Wed Apr 07 01:30:57 2021



รูปที่ 4.37 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 เมื่อกระแสมีขนาด 0.10 A

DSO-X 2002A, MY54490848: Wed Apr 07 01:08:19 2021



รูปที่ 4.38 สถานะการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 2 เมื่อกระแสมีขนาด 0.10 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3 การคืนพลังงานตามเงื่อนไขที่กำหนด

ตารางแสดงผลการเปลี่ยนแปลงแรงดันของแหล่งกักเก็บพลังงานคือซูเปอร์คาปาซิเตอร์ทั้ง 2 ชุด โดยแบ่งออกเป็น 2 ตารางเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของซูเปอร์คาปาซิเตอร์แต่ละชุด โดยใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายกระแสกลับไปยังแหล่งกักเก็บพลังงาน โดยผ่านอินเวอร์เตอร์ เซนเซอร์วัดกระแส และมอสเฟต ซึ่งทำการควบคุมกระแสโดยการปรับค่าแรงดันที่แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง จากเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ จึงวัดแรงดันของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ชุดที่ 1 ที่กระแสตั้งแต่ 0.55 A ถึง 1.00 A และวัดแรงดันของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ชุดที่ 2 ที่กระแส 0.10 A ถึง 0.50 A

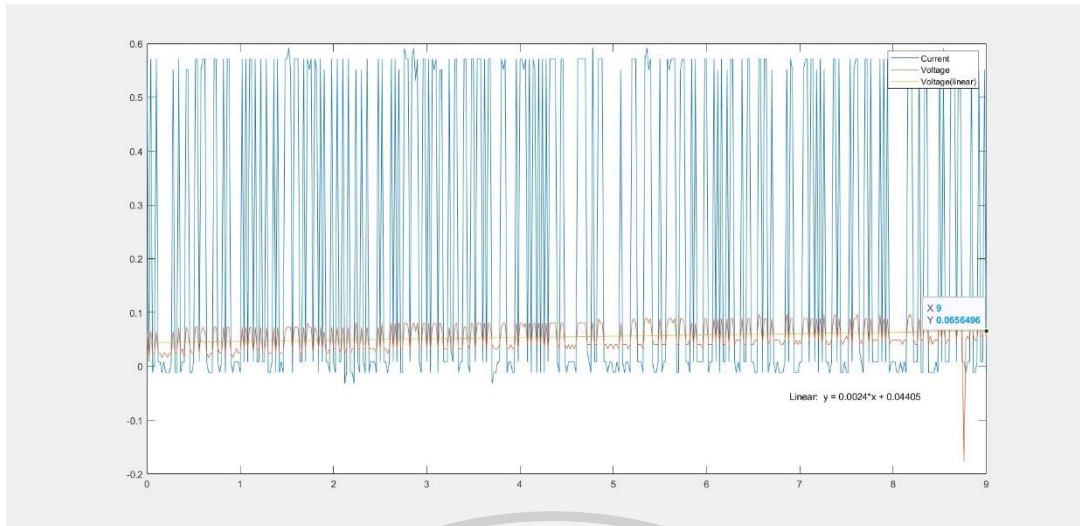
ตารางที่ 4.3 ตารางแบบทดสอบการจำลองการคืนพลังงานจากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟ 9 วินาที ของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ชุดที่ 1

กระแส (A)	แรงดันก่อนชาร์จ SC1 (V)	แรงดันหลังชาร์จ SC1 (V)	แรงดันที่เปลี่ยนแปลง (V)
0.55	0.0440	0.0656	0.0216
0.60	0.0380	0.0678	0.0298
0.65	0.0601	0.1232	0.0631
0.70	0.1012	0.1733	0.0721
0.75	0.0940	0.1689	0.0749
0.80	0.1150	0.1958	0.0808
0.85	0.0840	0.1616	0.0776
0.90	0.0752	0.1692	0.0940
0.95	0.1182	0.2137	0.0955
1.00	0.1265	0.2374	0.1109

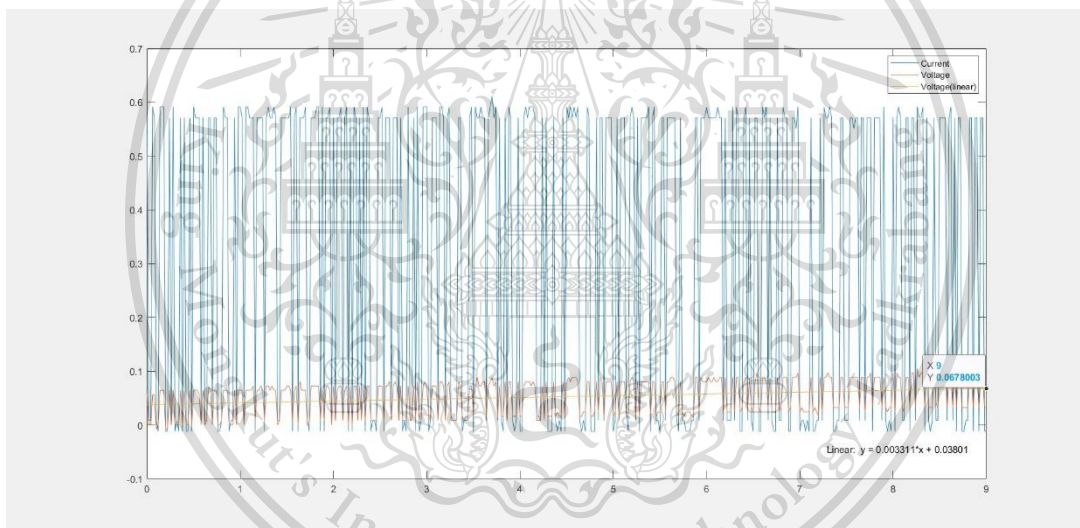
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.39 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สีส้ม)และกระแสที่ชาร์ตเข้า
คาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สีฟ้า)เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.55 A

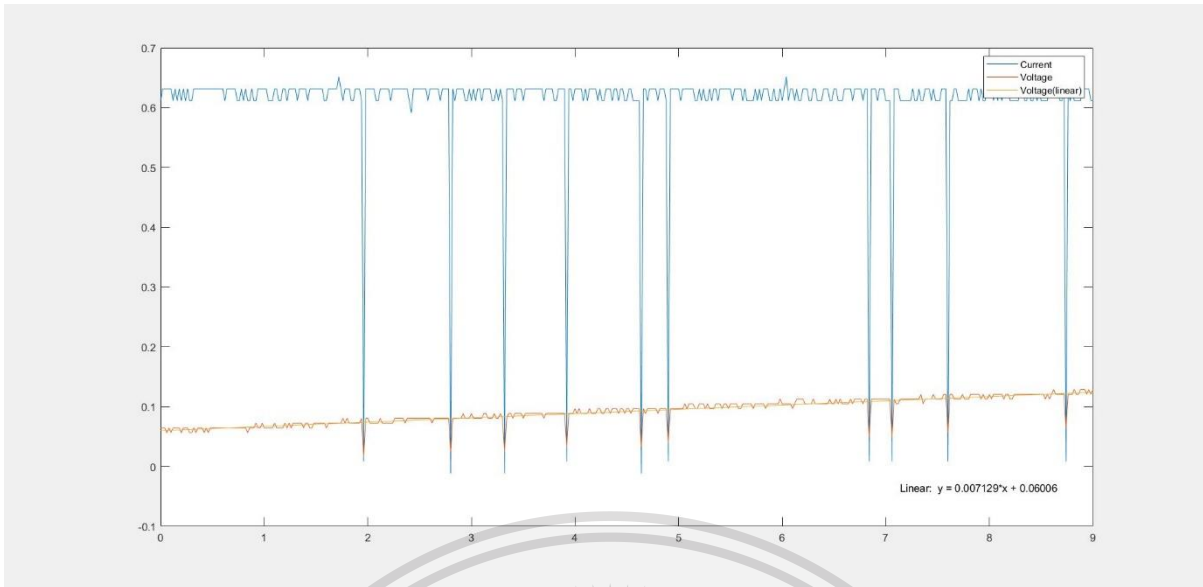


รูปที่ 4.40 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สีส้ม)และกระแสที่ชาร์ตเข้า
คาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สีฟ้า)เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.60 A

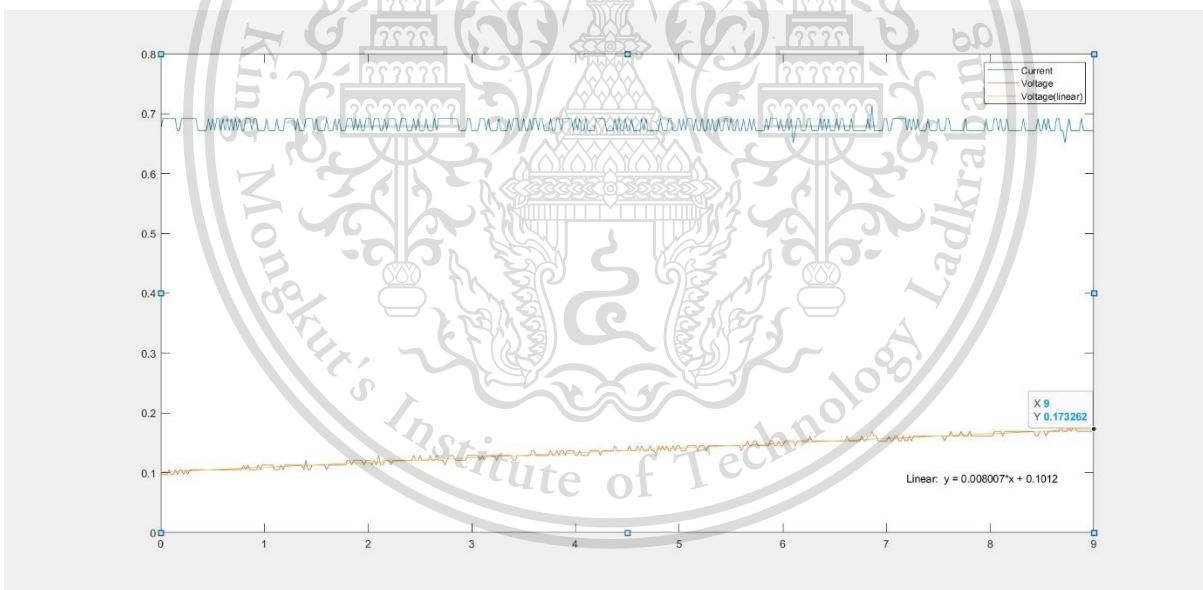
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.41 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สีส้ม) และกระแสที่ชาร์ตเข้า
คาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สีฟ้า) เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.65 A

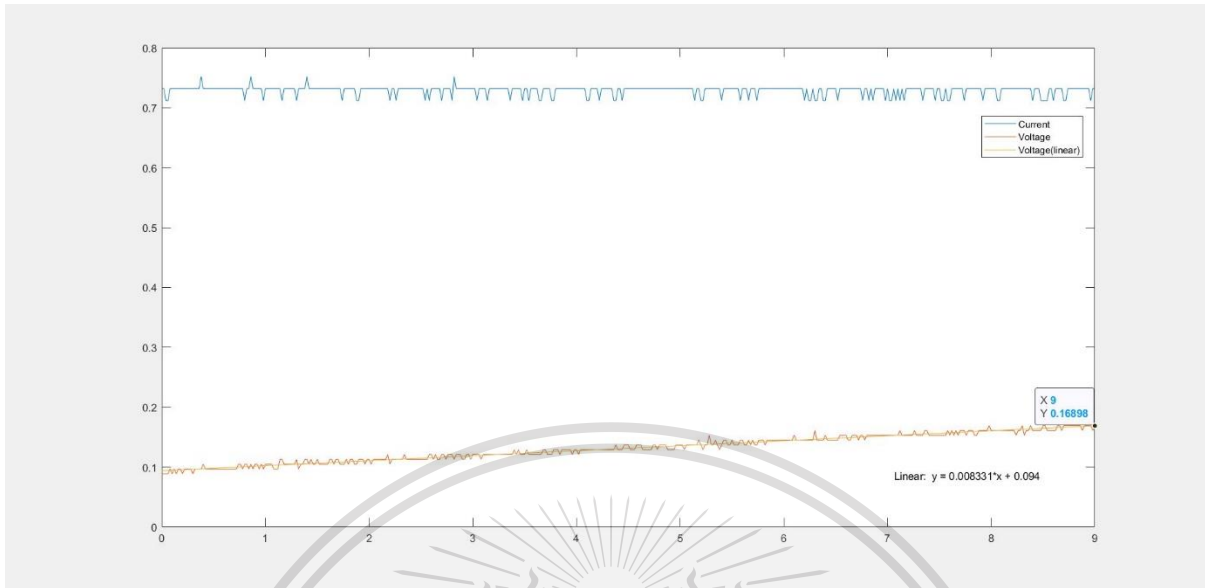


รูปที่ 4.42 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สีส้ม) และกระแสที่ชาร์ตเข้า
คาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สีฟ้า) เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.70 A

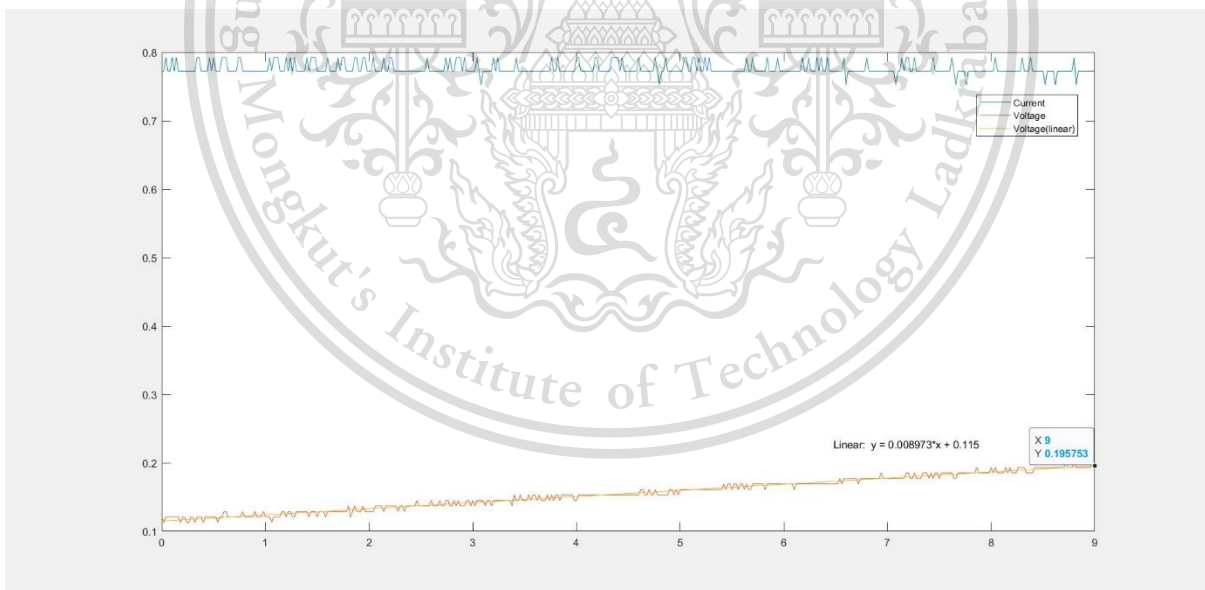
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.43 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สีส้ม)และกระแสที่ชาร์ตเข้า
คาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สีฟ้า)เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.75 A

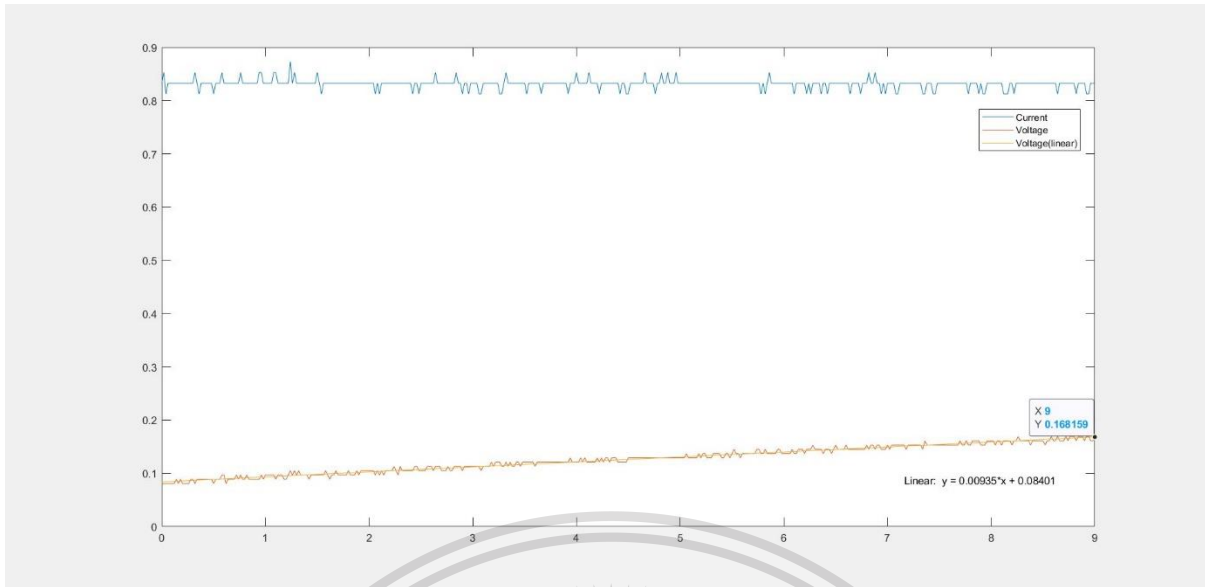


รูปที่ 4.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สีส้ม)และกระแสที่ชาร์ตเข้า
คาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สีฟ้า)เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.80 A

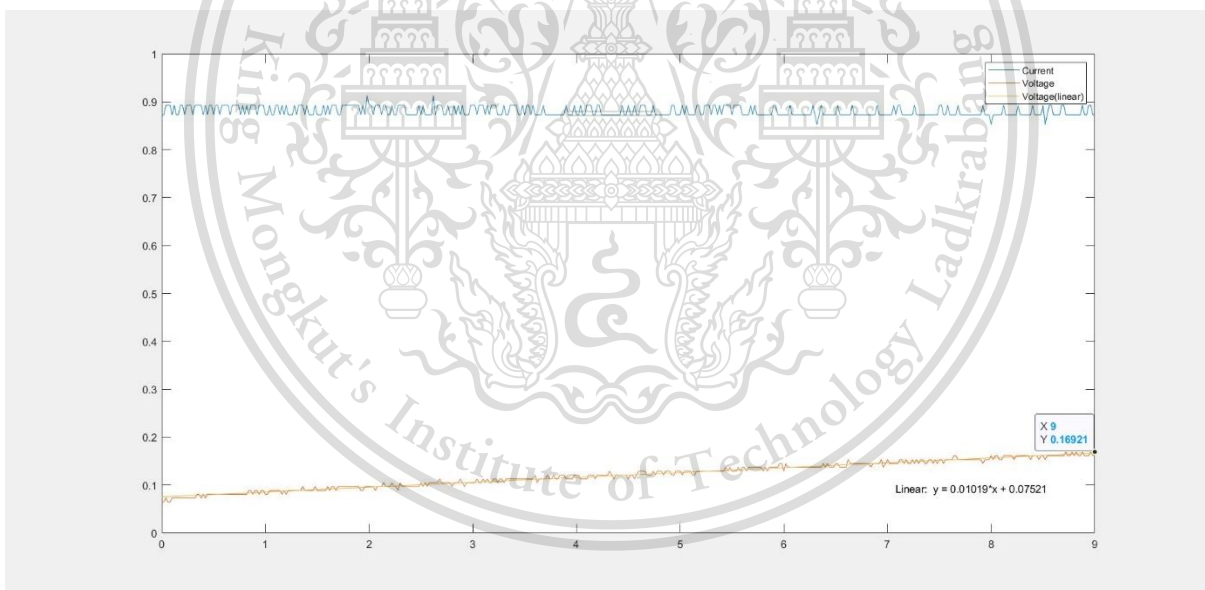
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.45 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สีส้ม)และกระแสที่ชาร์ตเข้า
คาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สีฟ้า)เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.85 A

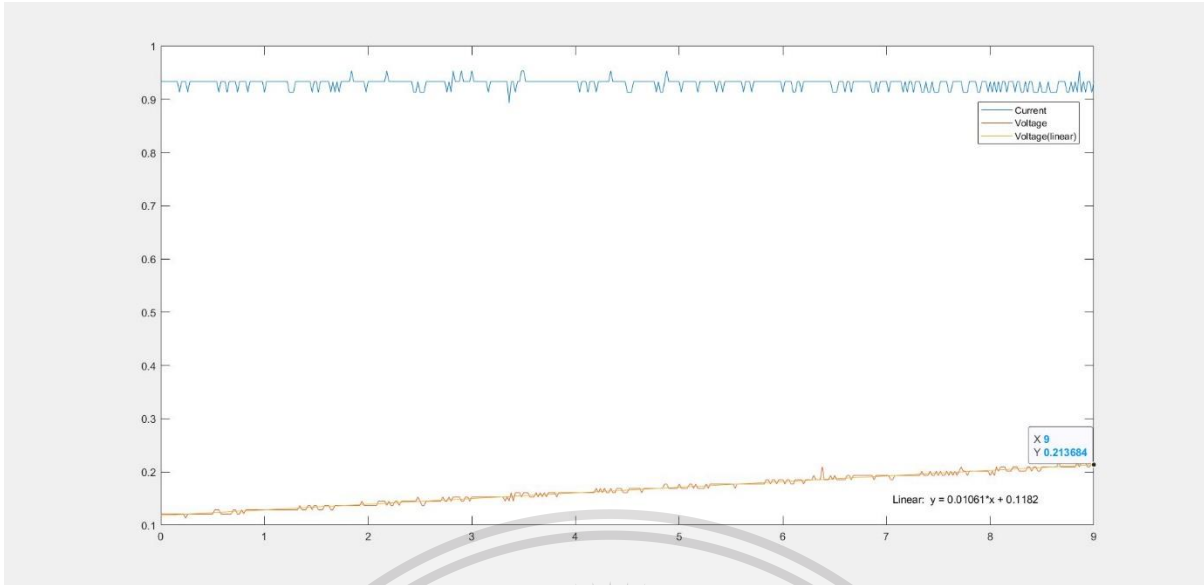


รูปที่ 4.46 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สีส้ม)และกระแสที่ชาร์ตเข้า
คาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สีฟ้า)เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.90 A

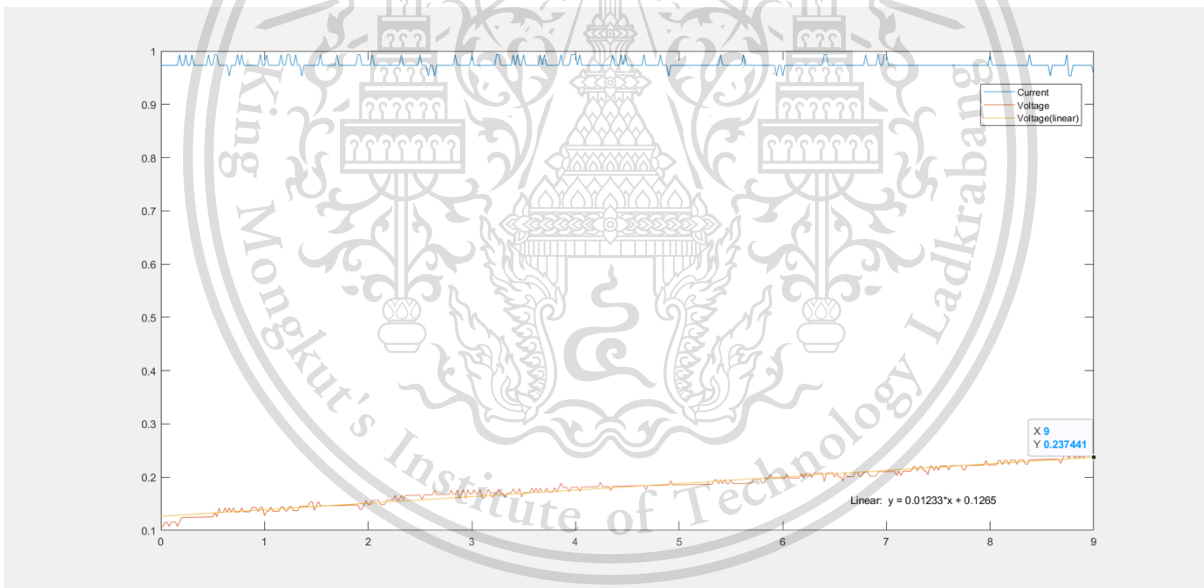
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.47 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สีส้ม)และกระแสที่ชาร์ตเข้า
คาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สีฟ้า)เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.95 A



รูปที่ 4.48 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สีส้ม)และกระแสที่ชาร์ตเข้า
คาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 (สีฟ้า)เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 1.00 A

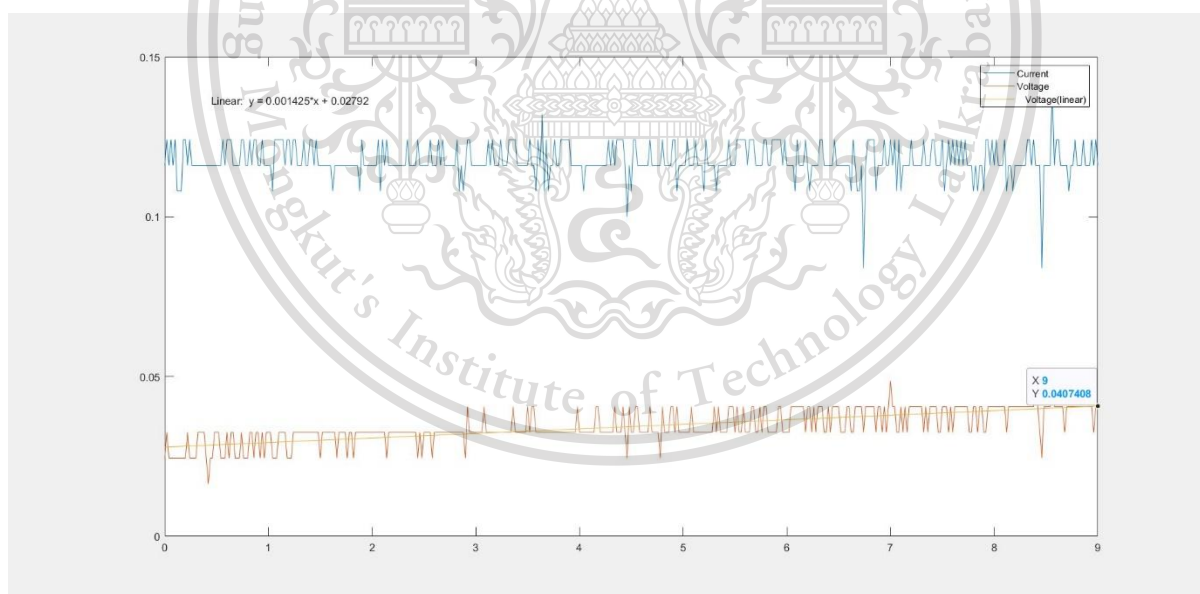
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.4 ตารางแบบทดสอบการจำลองการคืนพลังงานจากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟ 9 วินาที ของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ชุดที่ 2

กระแส (A)	แรงดันก่อนชาร์จ SC2 (V)	แรงดันหลังชาร์จ SC2 (V)	แรงดันที่เปลี่ยนแปลง (V)
0.10	0.0279	0.0407	0.0128
0.15	0.0324	0.0499	0.0175
0.20	0.0533	0.0742	0.0209
0.25	0.0245	0.0511	0.0266
0.30	0.0043	0.0345	0.0302
0.35	0.0328	0.0680	0.0352
0.40	0.0132	0.0547	0.0415
0.45	0.0025	0.0417	0.0392
0.50	0.0011	0.0298	0.0287

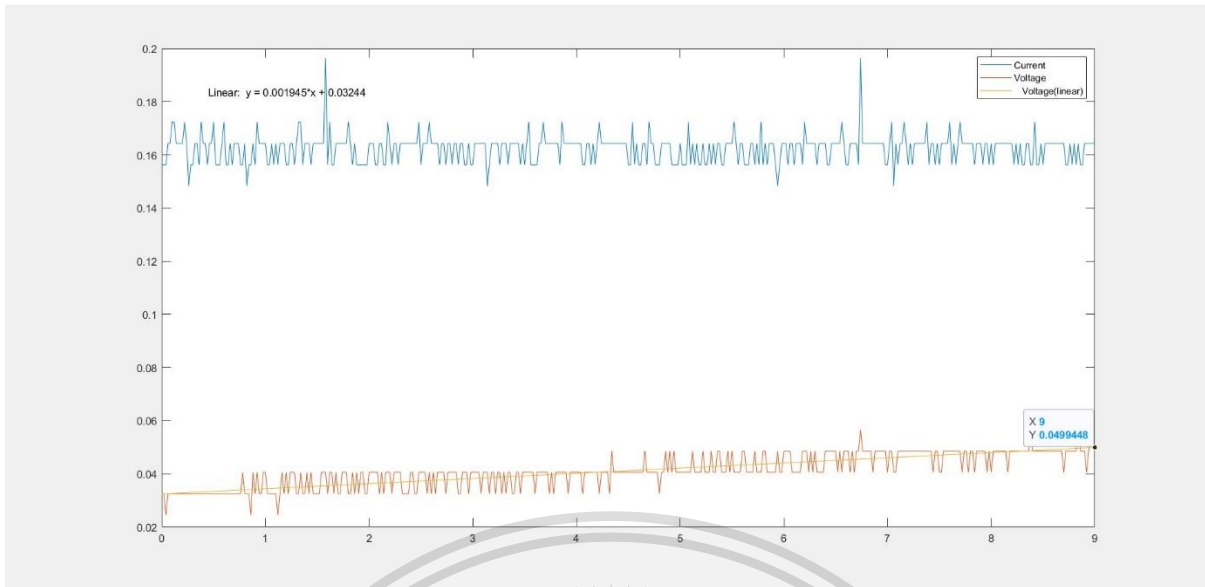


รูปที่ 4.49 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สีส้ม) และกระแสที่ชาร์จเข้าคาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สีฟ้า) เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.10 A

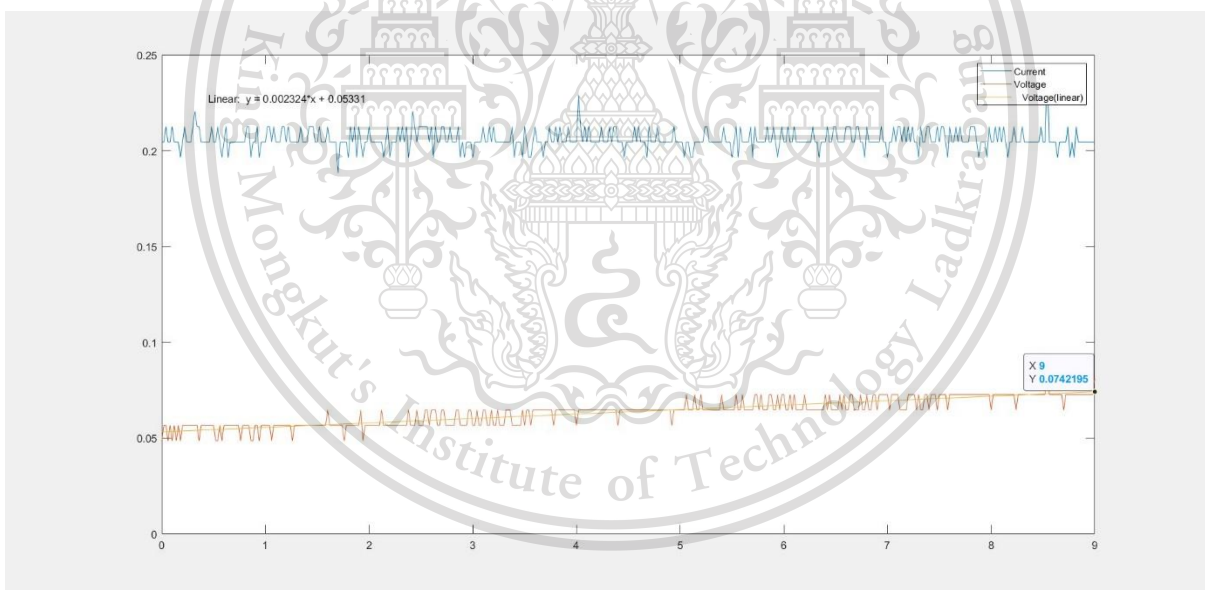
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.50 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สีส้ม)และกระแสที่ชาร์ตเข้า
คาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สีฟ้า)เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.15 A

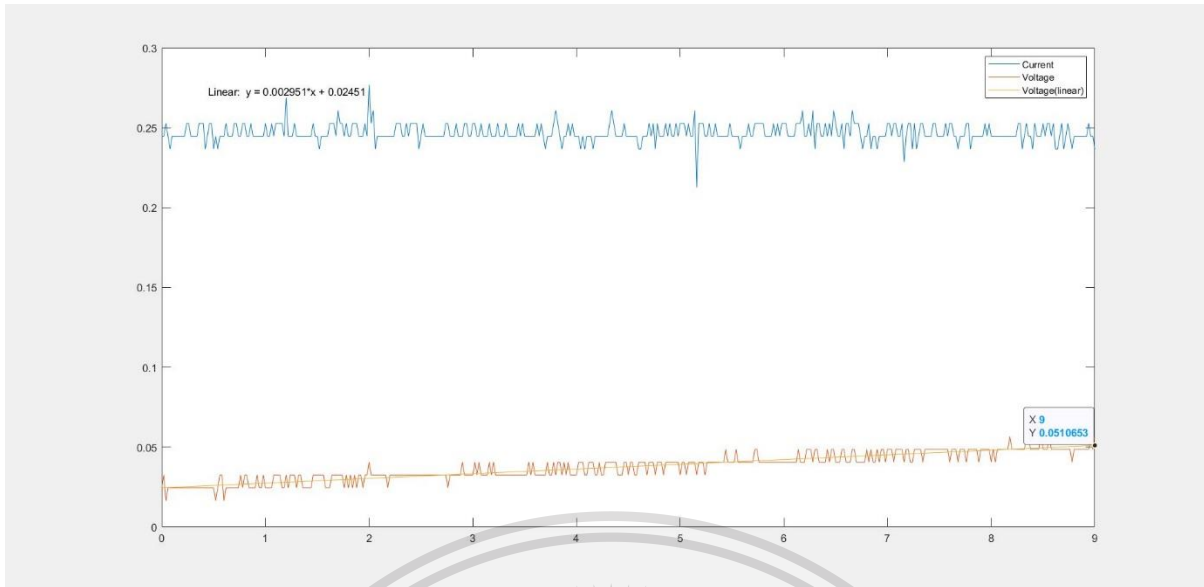


รูปที่ 4.51 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สีส้ม)และกระแสที่ชาร์ตเข้า
คาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สีฟ้า)เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.20 A

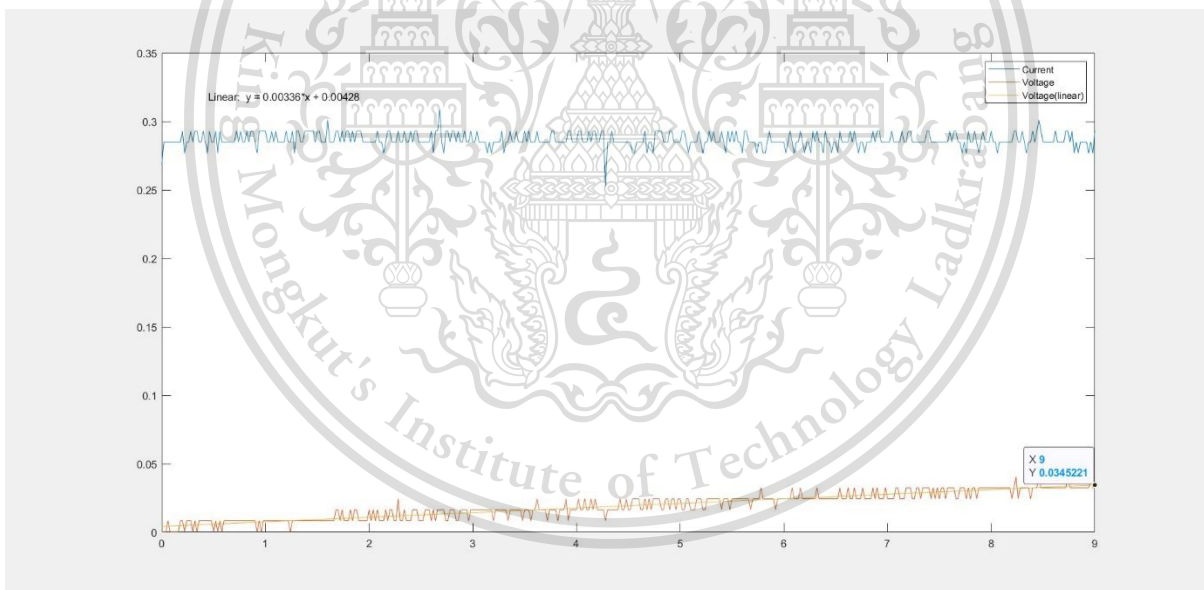
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.52 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สีส้ม)และกระแสที่ชาร์ตเข้า
คาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สีฟ้า)เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.25 A

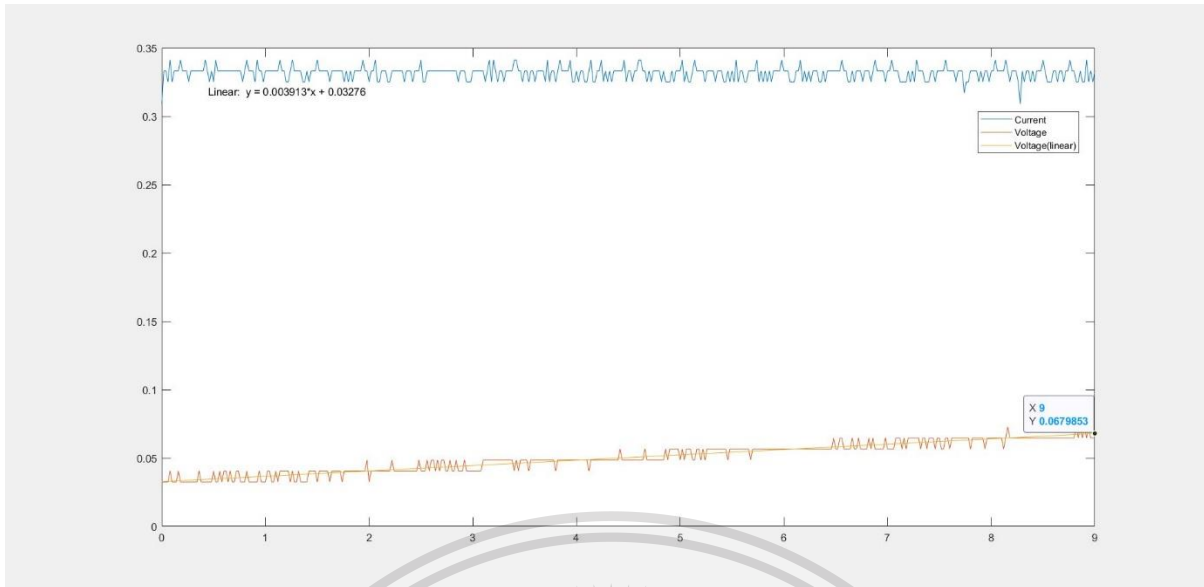


รูปที่ 4.53 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สีส้ม)และกระแสที่ชาร์ตเข้า
คาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สีฟ้า)เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.30 A

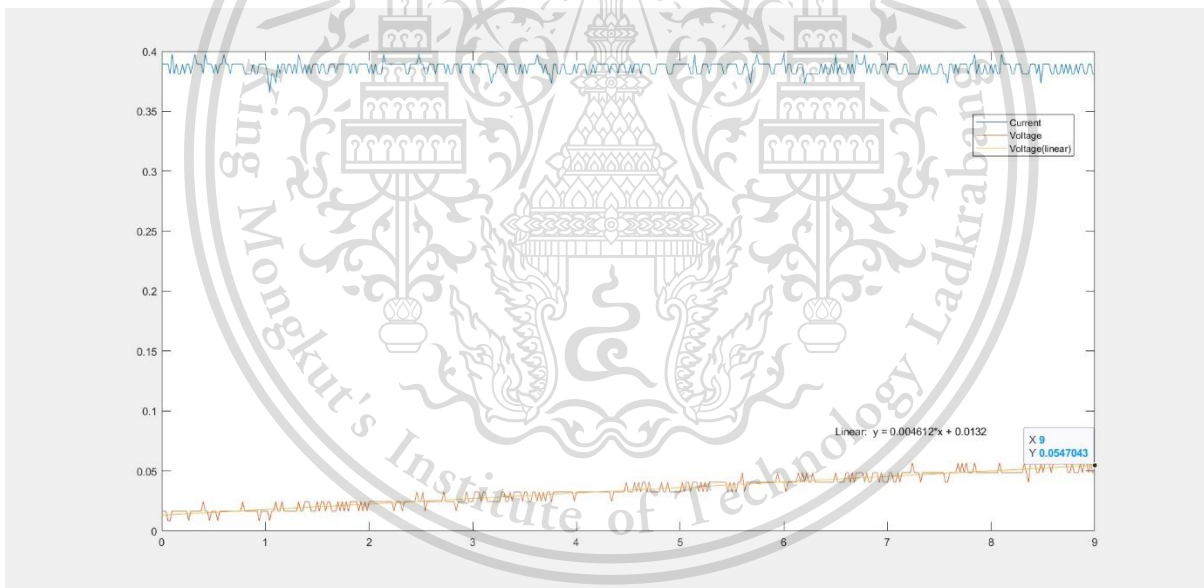
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สีส้ม)และกระแสที่ชาร์ตเข้า
คาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สีฟ้า)เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.35 A

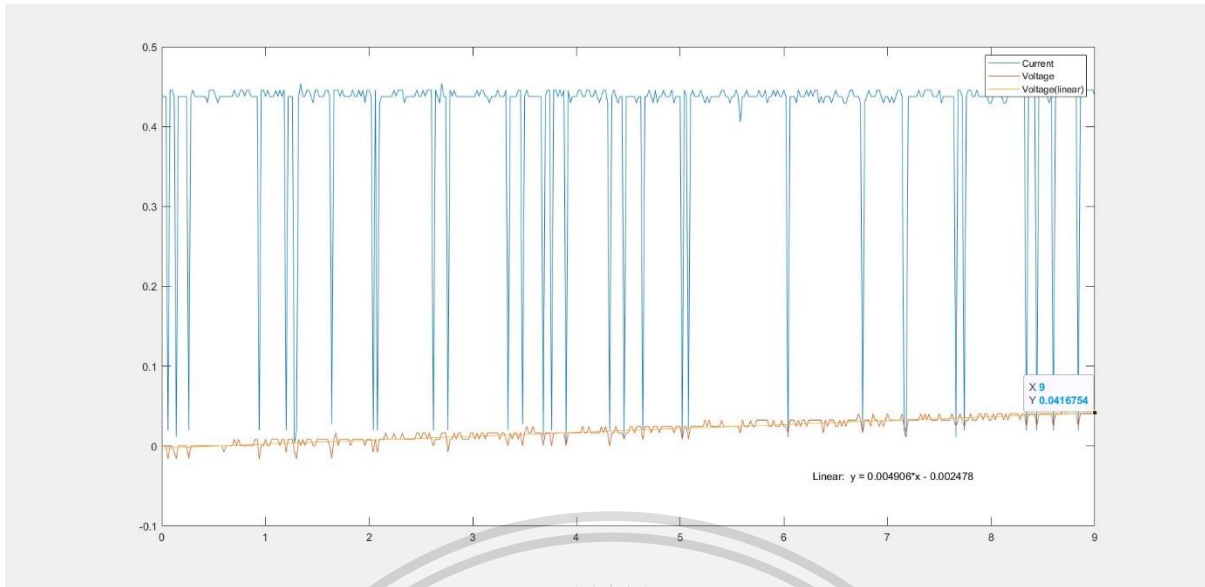


รูปที่ 4.55 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สีส้ม)และกระแสที่ชาร์ตเข้า
คาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สีฟ้า)เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.40 A

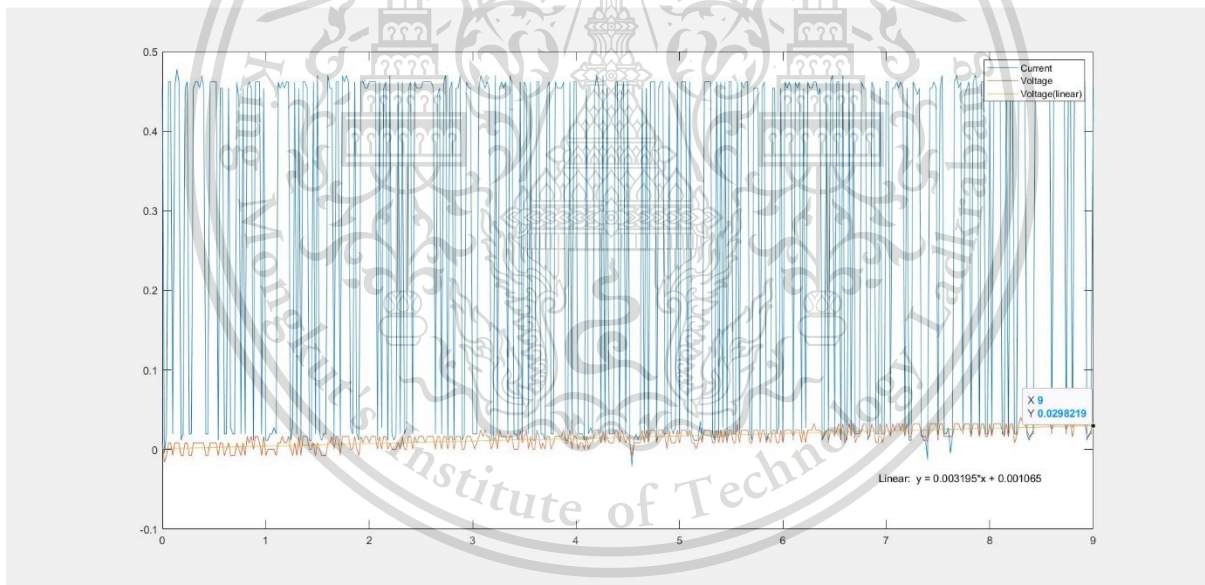
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.56 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สีส้ม)และกระแสที่ซาร์ตเข้า
คาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สีฟ้า)เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.45 A



รูปที่ 4.57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สีส้ม)และกระแสที่ซาร์ตเข้า
คาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 (สีฟ้า)เทียบกับเวลาเมื่อกระแสมีค่า 0.50 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

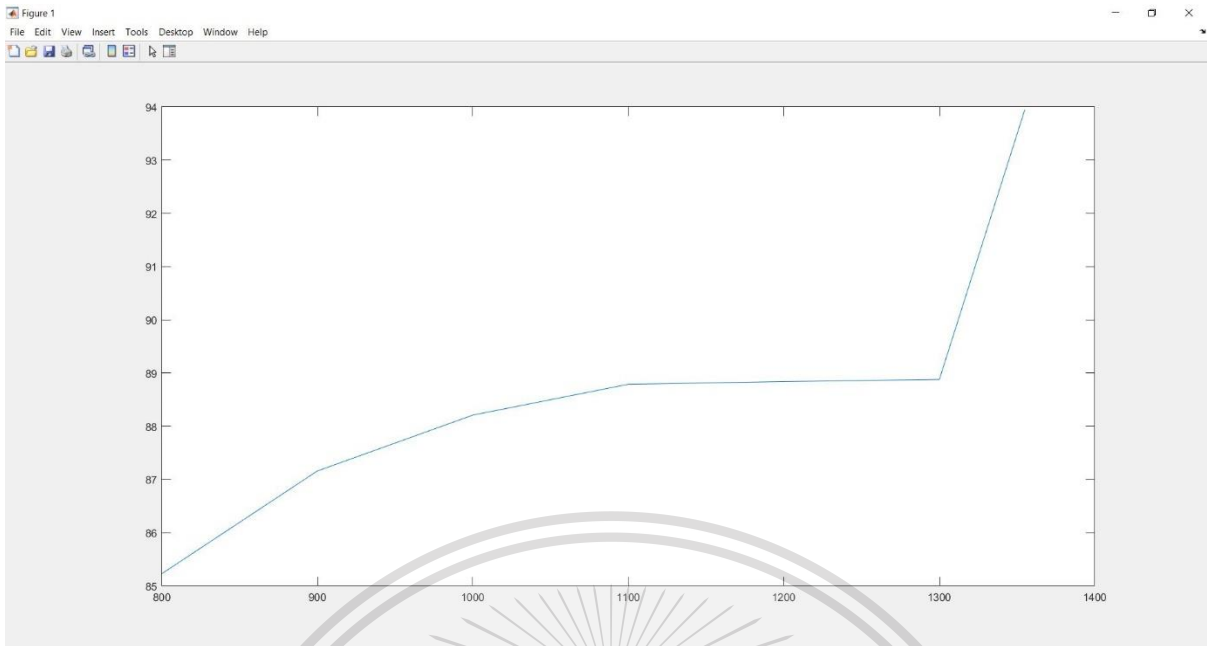
จากการที่ได้ทำการศึกษาและค้นคว้าการรีเจนเนอเรทีฟของมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน ซึ่งวัตถุประสงค์ของคณะผู้จัดทำวิจัยนั้นได้ทำออกแบบการควบคุมทิศทางการไหลในช่วงการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟโดยวิธี switching pattern ของมอสเฟตในอินเวอร์เตอร์โดยจะทำการออกแบบการทดลองด้วยการเขียนโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมลงไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อที่จะควบคุมการทิศทางการไหลของกระแสโดยจะมีเซนเซอร์วัดกระแสเป็นตัวอ่านค่ากระแสในช่วงรีเจนเนอเรทีฟและส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อที่จะให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวสั่งการให้มอสเฟตตัวที่ 1 หรือ มอสเฟตตัวที่ 2 ทำงาน ซึ่งจะนำกระแสที่ได้จากการรีเจนเนอเรทีฟไปเก็บยังแหล่งกักเก็บพลังงานในที่นี้คณะผู้จัดทำได้เลือกใช้เป็นตัวซูเปอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 10.8 โวลต์ จำนวน 2 ชุด ทั้งนี้จากคุณสมบัติของตัวซูเปอร์คาปาซิเตอร์นั้นมีค่า specific power ที่สูงจึงทำให้มีความสามารถในการชาร์จ และดิสชาร์จกระแสที่ต่ำได้ในเวลาที่รวดเร็ว เมื่อเทียบกับการชาร์จในแบตเตอรี่ และเพื่อจะได้ง่ายต่อการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ทิศทางการไหลของกระแส และในส่วนของ การรีเจนเนอเรทีฟคณะผู้จัดทำได้ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงให้เปรียบเสมือนการจำลองการรีเจนเนอเรทีฟเนื่องจากมอเตอร์ไร้แปรงถ่านที่ใช้ในการทดลองมีขนาดพิกัดกำลังที่น้อย ทำให้กระแสที่ได้จากการรีเจนเนอเรทีฟมีค่าค่อนข้างต่ำซึ่งอาจส่งผลต่อการอ่านค่าของเซนเซอร์วัดกระแสได้

จากผลการทดลองที่ 1 การทดสอบการทำงานและคำนวณประสิทธิภาพการทำงานของอินเวอร์เตอร์ สำหรับการขับมอเตอร์ พบว่าโปรแกรมคำสั่งที่ออกแบบและติดตั้งไว้ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถใช้งานขับมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านขนาดพิกัดกำลัง 500 วัตต์ ได้อย่างปกติและสามารถปรับค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ได้จาก Duty Cycle ที่ปรับค่าโดยตัวต้านทานปรับค่าได้ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์มีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบที่สูงขึ้น โดยที่พิกัดความเร็วรอบที่พิกัดสูงสุดของมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง คือ 1355 rpm จะมีค่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ 93.954%

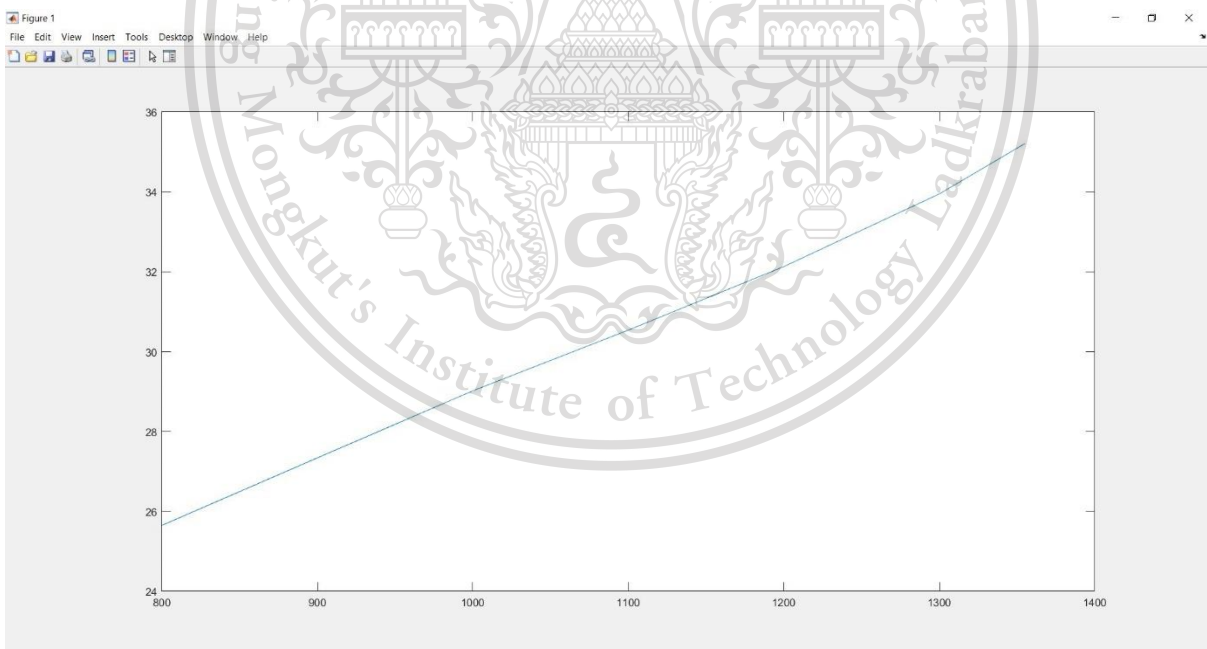
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับความเร็วรอบ

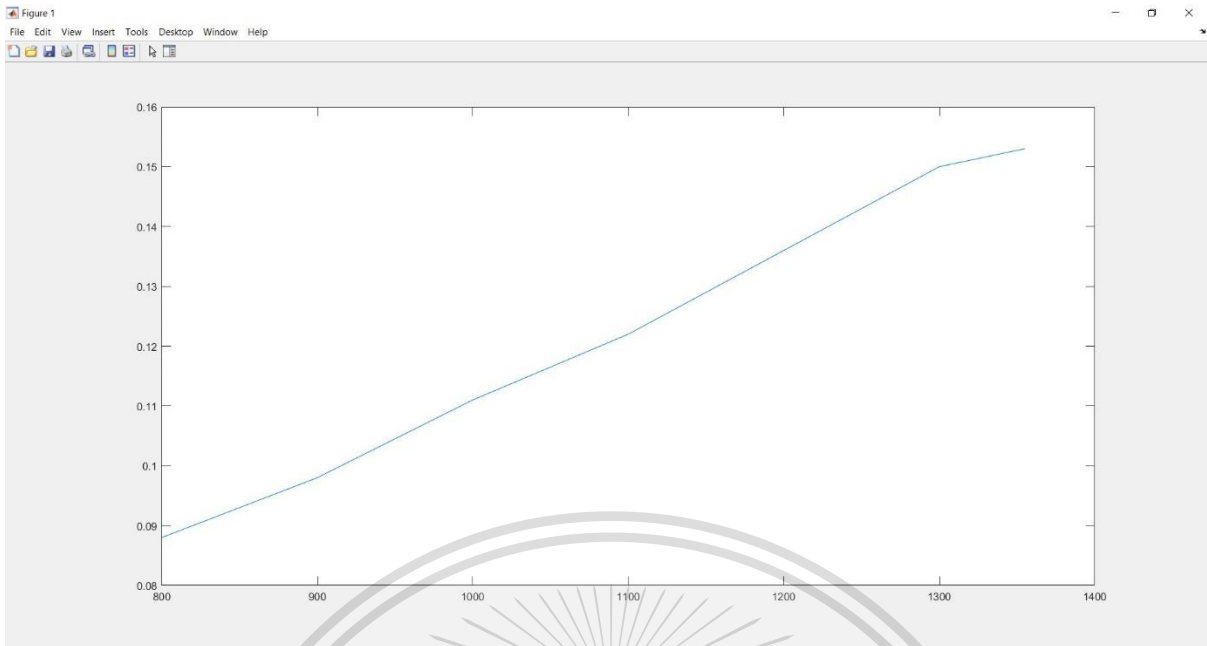


รูปที่ 5.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกเทียบกับความเร็วรอบ

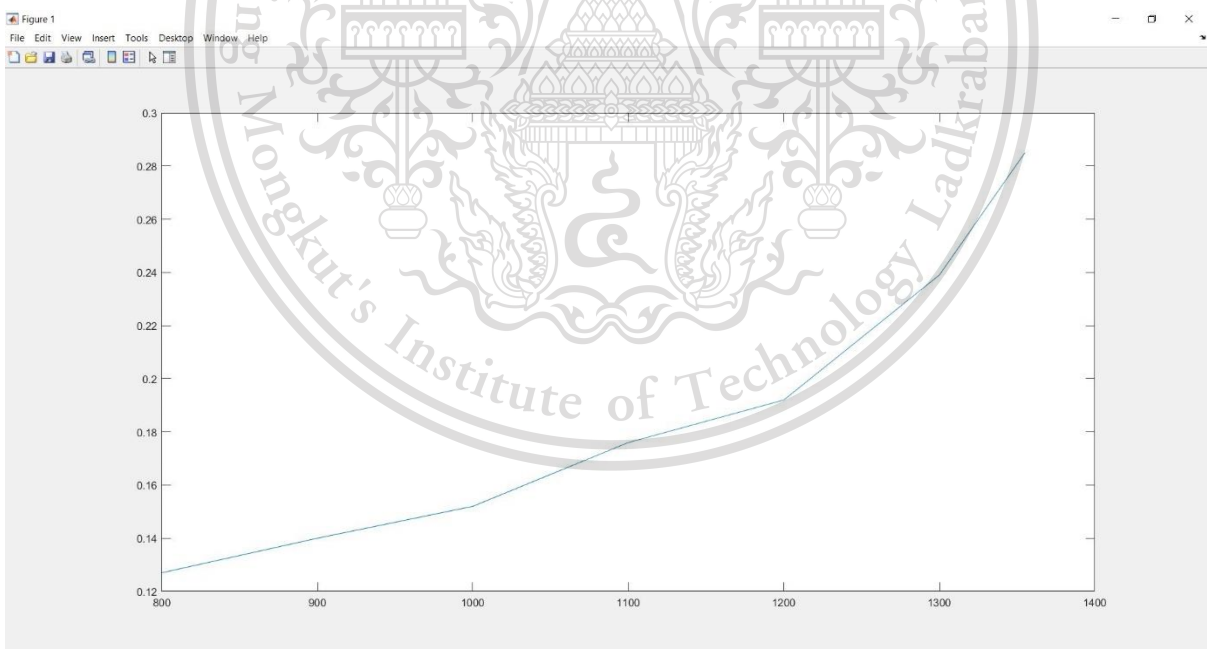
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสขาเข้าเทียบกับความเร็วรอบ

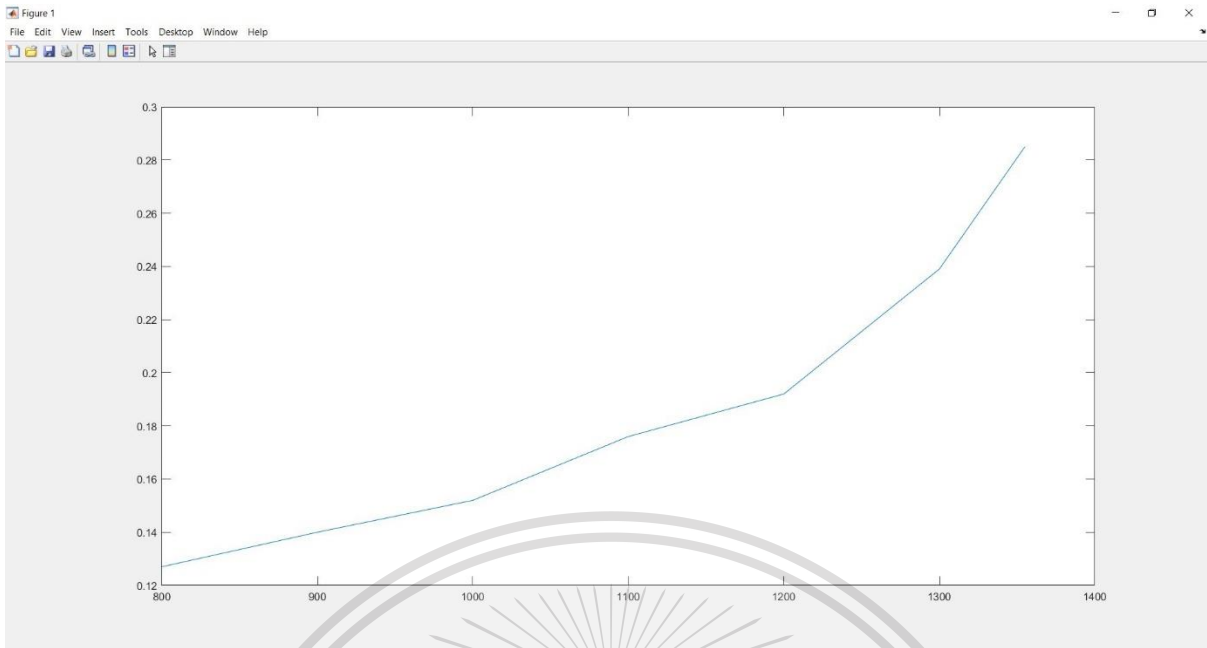


รูปที่ 5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสขาออกเทียบกับความเร็วรอบ

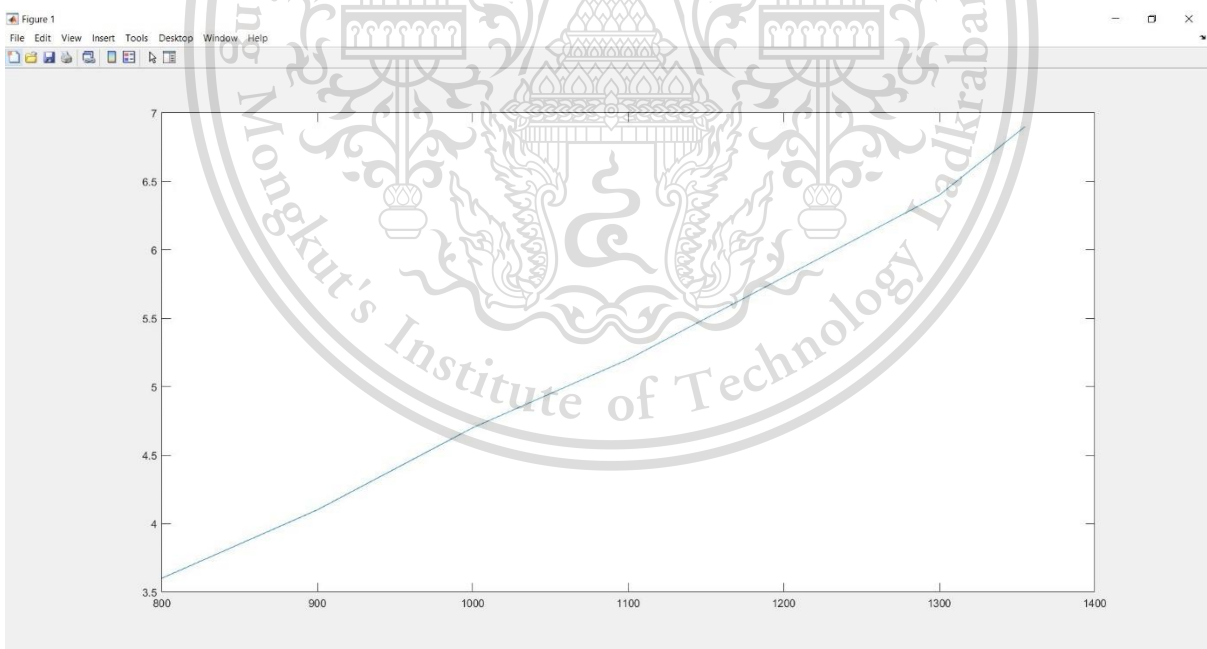
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าขาเข้าเทียบกับความเร็วรอบ



รูปที่ 5.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าขาออกเทียบกับความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากผลการทดลองที่ 2 การทดสอบสถานะการทำงานของมอสเฟต โดยพบว่าที่กระแส รีเจนเนอเรทีฟในช่วงกระแส 0.10 A ถึง 0.30 A มีสถานะการทำงานตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ คือมอสเฟตตัวที่ 2 มีการทำงาน และในช่วง 0.75 A ถึง 1.00 A มีสถานะการทำงานตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ คือมอสเฟตตัวที่ 1 มีการทำงาน แต่พบว่าช่วงรีเจนเนอเรทีฟที่ช่วงกระแส 0.35 A ถึง 0.70 A มอสเฟตมีการทำงานที่ไม่ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้เนื่องจากเซนเซอร์วัดกระแสอ่านค่ากระแสที่วัดได้มีค่าที่ไม่เสถียรหรือการรบกวนจากภายนอก ทำให้ช่วงค่ากระแสที่ 0.35 A ถึง 0.70 A มีการสับเปลี่ยนของการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 และมอสเฟตตัวที่ 2 ไปมาตลอดเวลา

จากผลการทดลองที่ 3 การทดสอบการคืนพลังงานตามเงื่อนไขที่กำหนด การกักเก็บพลังงานของกระแสในขณะรีเจนเนอเรทีฟในช่วงเวลา 9 วินาที พบว่าการกักเก็บพลังงานจะมีค่าแปรผันตรงตามกระแสที่ได้จากการรีเจนเนอเรทีฟ โดยค่ากระแสที่ใช้ในการรีเจนเนอเรทีฟมาก จะสามารถกักเก็บพลังงานได้มากในช่วงเวลาในการกักเก็บที่เท่ากัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองพบว่าในช่วงรีเจนเนอเรทีฟที่ช่วงกระแส 0.35A ถึง 0.70 A มอสเฟตมีการทำงานที่ผิดพลาดโดยไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่เราตั้งไว้ว่า เมื่อกระแสที่ได้จากการรีเจนเนอเรทีฟมีค่ามากกว่า 0.5 A มอสเฟตตัวที่ 1 จะทำงาน และกระแสที่มาจากกรรีเจนเนอเรทีฟจะเข้าไปเก็บที่ซูเปอร์คาปาซิเตอร์ชุดที่ 1 และเมื่อกระแสที่ได้จากการรีเจนเนอเรทีฟมีค่าไม่เกิน 0.5 A มอสเฟตตัวที่ 2 จะทำงานและกระแสที่ได้จากการรีเจนเนอเรทีฟจะเข้าไปเก็บที่ซูเปอร์คาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 ซึ่งทั้งนี้จะมีเซนเซอร์วัดกระแสเป็นตัววัดค่ากระแสที่ได้จากการรีเจนเนอเรทีฟ แต่จากการทดลองพบว่าที่ช่วงรีเจนเนอเรทีฟที่ช่วงกระแส 0.35 A ถึง 0.70 A พบว่าเซนเซอร์วัดกระแสอ่านค่ากระแสที่วัดได้มีค่าที่แกว่งขึ้น-ลง ทำให้ช่วงกระแสที่ 0.35 A ถึง 0.70 A มีการสับเปลี่ยนของการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 และมอสเฟตตัวที่ 2 ตลอดเวลา ทั้งนี้คณะผู้จัดทำได้พบว่าในตัวของเซนเซอร์วัดกระแส จะมีค่าความคลาดเคลื่อนของตัวมันเองอยู่แล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวัดกระแสที่มีค่าต่ำๆ มีโอกาสที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนได้สูง ดังนั้นการใช้เซนเซอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง และมีความแม่นยำในช่วงที่กระแสต่ำๆ จะทำให้ผลงานวิจัยมีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

- [1] Debajit Kumar Sandilya,Siddhartha Goswami,Bubumani Kalita,Shweta Chakraborty, “A study on regenerative braking system with matlab simulation,”Guwahati,2017
- [2] SHIRISH VASANT RAO GADEWAR,A.M. JAIN, ”REVIEW OF BRAKING SYSTEM IN MOTORS” , NASHIK,
- [3] Adnan Mohammad; Md. Ziaur Rahman Khan , “BLDC Motor Controller forรีเจนเนอเรทีฟ Braking” ,Dhaka ,2015
- [4] Aswathi E. R.,Prathibha P. K. andJayasri R. Nair, “Regenerative Braking of BLDC Motor using Fuzzy Control for Electric Vehicles” , Kakkannad, Kochi, 2018
- [5] Arrow Electronics [Internet]. Manhattan: ArrowElectronics; c2020 [cited 2018 Oct 9]. Available from: <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/supercapacitor-vs-battery-ultracapacitor-pros-and-cons>
- [6] Supercaptech [Internet]. The association; c2020 [cited 2020 Sep 16]. Available from: <https://supercaptech.com/battery-vs-supercapacitor>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1. LM2575HVT-12/NOPB:12V

LM2575, NCV2575

1.0 A, Adjustable Output Voltage, Step-Down Switching Regulator

The LM2575 series of regulators are monolithic integrated circuits ideally suited for easy and convenient design of a step-down switching regulator (buck converter). All circuits of this series are capable of driving a 1.0 A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3 V, 5.0 V, 12 V, 15 V, and an adjustable output version.

These regulators were designed to minimize the number of external components to simplify the power supply design. Standard series of inductors optimized for use with the LM2575 are offered by several different inductor manufacturers.

Since the LM2575 converter is a switch-mode power supply, its efficiency is significantly higher in comparison with popular three-terminal linear regulators, especially with higher input voltages. In many cases, the power dissipated by the LM2575 regulator is so low, that no heatsink is required or its size could be reduced dramatically.

The LM2575 features include a guaranteed $\pm 4\%$ tolerance on output voltage within specified input voltages and output load conditions, and $\pm 10\%$ on the oscillator frequency ($\pm 2\%$ over 0°C to 125°C). External shutdown is included, featuring $80\ \mu\text{A}$ typical standby current. The output switch includes cycle-by-cycle current limiting, as well as thermal shutdown for full protection under fault conditions.

Features

- 3.3 V, 5.0 V, 12 V, 15 V, and Adjustable Output Versions
- Adjustable Version Output Voltage Range of 1.23 V to 37 V $\pm 4\%$ Maximum Over Line and Load Conditions
- Guaranteed 1.0 A Output Current
- Wide Input Voltage Range: 4.75 V to 40 V
- Requires Only 4 External Components
- 52 kHz Fixed Frequency Internal Oscillator
- TTL Shutdown Capability, Low Power Standby Mode
- High Efficiency
- Uses Readily Available Standard Inductors
- Thermal Shutdown and Current Limit Protection
- Moisture Sensitivity Level (MSL) Equals 1
- Pb-Free Packages are Available*

Applications

- Simple and High-Efficiency Step-Down (Buck) Regulators
- Efficient Pre-Regulator for Linear Regulators
- On-Card Switching Regulators
- Positive to Negative Converters (Buck-Boost)
- Negative Step-Up Converters
- Power Supply for Battery Chargers

*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

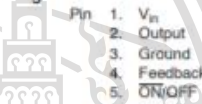


TO-220
TV SUFFIX
CASE 3148

Heatsink surface connected to Pin 3



TO-220
T SUFFIX
CASE 3140



D²PAK
D2T SUFFIX
CASE 936A

Heatsink surface (shown as terminal 6 in case outline drawing) is connected to Pin 3

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 25 of this data sheet.

DEVICE MARKING INFORMATION

See general marking information in the device marking section on page 26 of this data sheet.

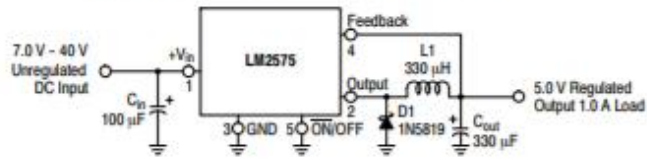
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

LM2575, NCV2575

Typical Application (Fixed Output Voltage Versions)



Representative Block Diagram and Typical Application

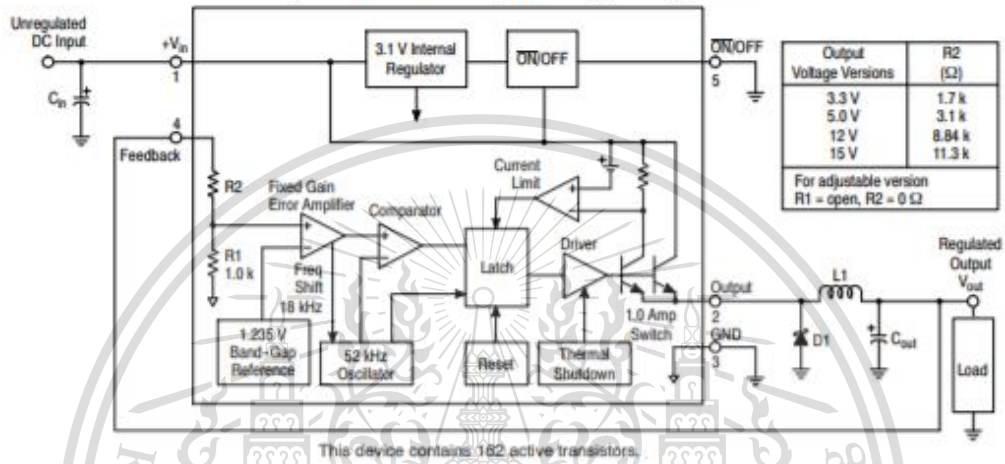


Figure 1. Block Diagram and Typical Application

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Maximum Supply Voltage	V_{in}	45	V
ON/OFF Pin Input Voltage		$-0.3\text{ V} \leq V \leq +V_{in}$	V
Output Voltage to Ground (Steady-State)		-1.0	V
Power Dissipation			
Case 314B and 314D (TO-220, 5-Lead)	P_D	Internally Limited	W
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	65	$^{\circ}\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	5.0	$^{\circ}\text{C/W}$
Case 936A (D ² PAK)	P_D	Internally Limited	W
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient (Figure 34)	$R_{\theta JA}$	70	$^{\circ}\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	5.0	$^{\circ}\text{C/W}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	$^{\circ}\text{C}$
Minimum ESD Rating (Human Body Model: C = 100 pF, R = 1.5 kΩ)		2.0	kV
Lead Temperature (Soldering, 10 s)		260	$^{\circ}\text{C}$
Maximum Junction Temperature	T_J	150	$^{\circ}\text{C}$

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

LM2575, NCV2575

OPERATING RATINGS (Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not guarantee specific performance limits. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Operating Junction Temperature Range	T_J	-40 to +125	°C
Supply Voltage	V_{IN}	40	V

SYSTEM PARAMETERS (Note 1) Test Circuit Figure 14)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Unless otherwise specified, $V_{IN} = 12\text{ V}$ for the 3.3 V, 5.0 V, and Adjustable version, $V_{IN} = 25\text{ V}$ for the 12 V version, and $V_{IN} = 30\text{ V}$ for the 15 V version. $I_{LOAD} = 200\text{ mA}$. For typical values $T_J = 25^\circ\text{C}$, for min/max values T_J is the operating junction temperature range that applies [Note 2], unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
LM2575-3.3 (Note 1 Test Circuit Figure 14)					
Output Voltage ($V_{IN} = 12\text{ V}$, $I_{LOAD} = 0.2\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_{OUT}	3.234	3.3	3.366	V
Output Voltage ($4.75\text{ V} \leq V_{IN} \leq 40\text{ V}$, $0.2\text{ A} \leq I_{LOAD} \leq 1.0\text{ A}$) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40\text{ to }+125^\circ\text{C}$	V_{OUT}	3.168 3.135	3.3 -	3.432 3.465	V
Efficiency ($V_{IN} = 12\text{ V}$, $I_{LOAD} = 1.0\text{ A}$)	η	-	75	-	%
LM2575-5 (Note 1) Test Circuit Figure 14)					
Output Voltage ($V_{IN} = 12\text{ V}$, $I_{LOAD} = 0.2\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_{OUT}	4.9	5.0	5.1	V
Output Voltage ($8.0\text{ V} \leq V_{IN} \leq 40\text{ V}$, $0.2\text{ A} \leq I_{LOAD} \leq 1.0\text{ A}$) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40\text{ to }+125^\circ\text{C}$	V_{OUT}	4.8 4.75	5.0 -	5.2 5.25	V
Efficiency ($V_{IN} = 12\text{ V}$, $I_{LOAD} = 1.0\text{ A}$)	η	-	77	-	%
LM2575-12 (Note 1) Test Circuit Figure 14)					
Output Voltage ($V_{IN} = 25\text{ V}$, $I_{LOAD} = 0.2\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_{OUT}	11.76	12	12.24	V
Output Voltage ($15\text{ V} \leq V_{IN} \leq 40\text{ V}$, $0.2\text{ A} \leq I_{LOAD} \leq 1.0\text{ A}$) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40\text{ to }+125^\circ\text{C}$	V_{OUT}	11.52 11.4	12 -	12.48 12.6	V
Efficiency ($V_{IN} = 15\text{ V}$, $I_{LOAD} = 1.0\text{ A}$)	η	-	88	-	%
LM2575-15 (Note 1) Test Circuit Figure 14)					
Output Voltage ($V_{IN} = 30\text{ V}$, $I_{LOAD} = 0.2\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_{OUT}	14.7	15	15.3	V
Output Voltage ($18\text{ V} \leq V_{IN} \leq 40\text{ V}$, $0.2\text{ A} \leq I_{LOAD} \leq 1.0\text{ A}$) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40\text{ to }+125^\circ\text{C}$	V_{OUT}	14.4 14.25	15 -	15.6 15.75	V
Efficiency ($V_{IN} = 18\text{ V}$, $I_{LOAD} = 1.0\text{ A}$)	η	-	88	-	%
LM2575 ADJUSTABLE VERSION (Note 1) Test Circuit Figure 14)					
Feedback Voltage ($V_{IN} = 12\text{ V}$, $I_{LOAD} = 0.2\text{ A}$, $V_{OUT} = 5.0\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_{FB}	1.217	1.23	1.243	V
Feedback Voltage ($8.0\text{ V} \leq V_{IN} \leq 40\text{ V}$, $0.2\text{ A} \leq I_{LOAD} \leq 1.0\text{ A}$, $V_{OUT} = 5.0\text{ V}$) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40\text{ to }+125^\circ\text{C}$	V_{FB}	1.193 1.18	1.23 -	1.267 1.28	V
Efficiency ($V_{IN} = 12\text{ V}$, $I_{LOAD} = 1.0\text{ A}$, $V_{OUT} = 5.0\text{ V}$)	η	-	77	-	%

- External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2575 is used as shown in the Figure 14 test circuit, system performance will be as shown in system parameters section.
- Tested junction temperature range for the LM2575 and the NCV2575: $T_{LOW} = -40^\circ\text{C}$ $T_{HIGH} = +125^\circ\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

LM2575, NCV2575

DEVICE PARAMETERS

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Unless otherwise specified, $V_{in} = 12\text{ V}$ for the 3.3 V, 5.0 V, and Adjustable version, $V_{in} = 25\text{ V}$ for the 12 V version, and $V_{in} = 30\text{ V}$ for the 15 V version. $I_{Load} = 200\text{ mA}$. For typical values $T_J = 25^\circ\text{C}$, for min/max values T_J is the operating junction temperature range that applies [Note 2], unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
ALL OUTPUT VOLTAGE VERSIONS					
Feedback Bias Current ($V_{out} = 5.0\text{ V}$ Adjustable Version Only) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40\text{ to }+125^\circ\text{C}$	I_b	-	25	100	nA
Oscillator Frequency Note 3 $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 0\text{ to }+125^\circ\text{C}$ $T_J = -40\text{ to }+125^\circ\text{C}$	f_{osc}	-	52	-	kHz
Saturation Voltage ($I_{out} = 1.0\text{ A}$ Note 4) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40\text{ to }+125^\circ\text{C}$	V_{sat}	-	1.0	1.2	V
Max Duty Cycle ("on") Note 5	DC	94	98	-	%
Current Limit (Peak Current Notes 4 and 3) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40\text{ to }+125^\circ\text{C}$	I_{CL}	1.7	2.3	3.0	A
Output Leakage Current Notes 6 and 7, $T_J = 25^\circ\text{C}$ Output = 0 V Output = -1.0 V	I_L	-	0.8	2.0	mA
Quiescent Current Note 6 $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40\text{ to }+125^\circ\text{C}$	I_Q	-	5.0	9.0	mA
Standby Quiescent Current (ON/OFF Pin = 5.0 V ("off")) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40\text{ to }+125^\circ\text{C}$	$I_{standby}$	15	80	200	μA
ON/OFF Pin Logic Input Level (Test Circuit Figure 14) $V_{out} = 0\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40\text{ to }+125^\circ\text{C}$ $V_{out} = \text{Nominal Output Voltage}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40\text{ to }+125^\circ\text{C}$	V_{IH} V_{IL}	2.2 2.4	1.4	-	V
ON/OFF Pin Input Current (Test Circuit Figure 14) ON/OFF Pin = 5.0 V ("off"), $T_J = 25^\circ\text{C}$ ON/OFF Pin = 0 V ("on"), $T_J = 25^\circ\text{C}$	I_{IH} I_{IL}	-	15	30	μA

- The oscillator frequency reduces to approximately 18 kHz in the event of an output short or an overload which causes the regulated output voltage to drop approximately 40% from the nominal output voltage. This self protection feature lowers the average dissipation of the IC by lowering the minimum duty cycle from 5% down to approximately 2%.
- Output (Pin 2) sourcing current. No diode, inductor or capacitor connected to output pin.
- Feedback (Pin 4) removed from output and connected to 0 V.
- Feedback (Pin 4) removed from output and connected to +12 V for the Adjustable, 3.3 V, and 5.0 V versions, and +25 V for the 12 V and 15 V versions, to force the output transistor "off".
- $V_{in} = 40\text{ V}$.

<http://onsemi.com>

4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. LM2575T-5.0:5V



LM1575, LM2575-N, LM2575HV

www.ti.com

SNVS106E – MAY 1999 – REVISED APRIL 2013

LM1575/LM2575/LM2575HV SIMPLE SWITCHER® 1A Step-Down Voltage Regulator

Check for Samples: LM1575, LM2575-N, LM2575HV

FEATURES

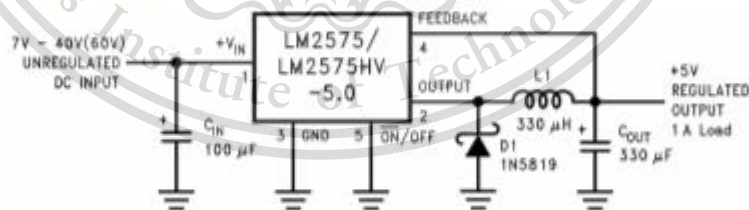
- 3.3V, 5V, 12V, 15V, and Adjustable Output Versions
- Adjustable Version Output Voltage Range,
 - 1.23V to 37V (57V for HV Version) ±4% Max Over
 - Line and Load Conditions
- Specified 1A Output Current
- Wide Input Voltage Range, 40V up to 60V for HV Version
- Requires Only 4 External Components
- 52 kHz Fixed Frequency Internal Oscillator
- TTL Shutdown Capability, Low Power Standby Mode
- High Efficiency
- Uses Readily Available Standard Inductors
- Thermal Shutdown and Current Limit Protection
- P* Product Enhancement Tested

APPLICATIONS

- Simple High-Efficiency Step-Down (Buck) Regulator
- Efficient Pre-Regulator for Linear Regulators
- On-Card Switching Regulators
- Positive to Negative Converter (Buck-Boost)

Typical Application

(Fixed Output Voltage Versions)



Pin numbers are for the TO-220 package.

DESCRIPTION

The LM2575 series of regulators are monolithic integrated circuits that provide all the active functions for a step-down (buck) switching regulator, capable of driving a 1A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3V, 5V, 12V, 15V, and an adjustable output version.

Requiring a minimum number of external components, these regulators are simple to use and include internal frequency compensation and a fixed-frequency oscillator.

The LM2575 series offers a high-efficiency replacement for popular three-terminal linear regulators. It substantially reduces the size of the heat sink, and in many cases no heat sink is required.

A standard series of inductors optimized for use with the LM2575 are available from several different manufacturers. This feature greatly simplifies the design of switch-mode power supplies.

Other features include a specified ±4% tolerance on output voltage within specified input voltages and output load conditions, and ±10% on the oscillator frequency. External shutdown is included, featuring 50 µA (typical) standby current. The output switch includes cycle-by-cycle current limiting, as well as thermal shutdown for full protection under fault conditions.

⚠ Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet. SIMPLE SWITCHER is a registered trademark of Texas Instruments. All other trademarks are the property of their respective owners.

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

Copyright © 1999–2013, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

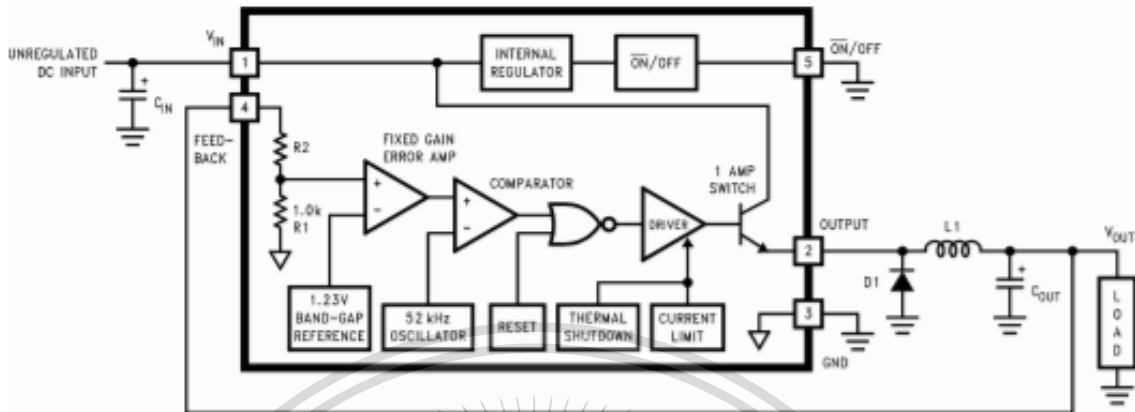
LM1575, LM2575-N, LM2575HV



SNVS106E – MAY 1999 – REVISED APRIL 2013

www.ti.com

Block Diagram and Typical Application



3.3V, R2 = 1.7k
 5V, R2 = 3.1k
 12V, R2 = 8.84k
 15V, R2 = 11.3k
 For ADJ. Version
 R1 = Open, R2 = ∞
 Pin numbers are for the TO-220 package.

Figure 1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Connection Diagrams

(XX indicates output voltage option.)

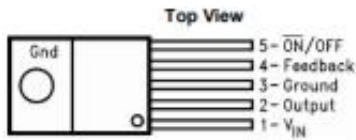


Figure 2. Straight Leads 5-Lead TO-220 Package
LM2575T-XX or LM2575HVT-XX
See Package Number KC0005A

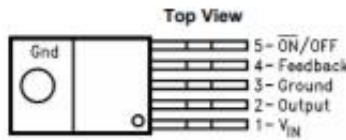


Figure 3. Bent, Staggered Leads 5-Lead TO-220 Package
See Package Number NDH0005D

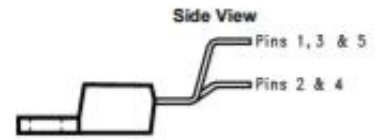


Figure 4. LM2575T-XX Flow LB03 or LM2575HVT-XX Flow LB03
See Package Number NDH0005D

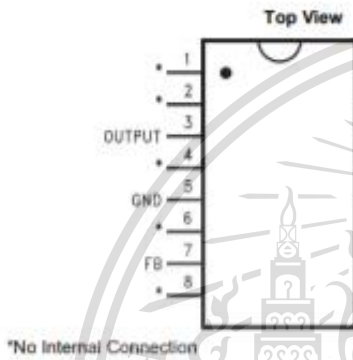


Figure 5. 16-Lead CDIP and PDIP Packages
LM2575N-XX or LM2575HVN-XX
LM1575J-XX-QML
See Package Numbers NFE0016A and NBG

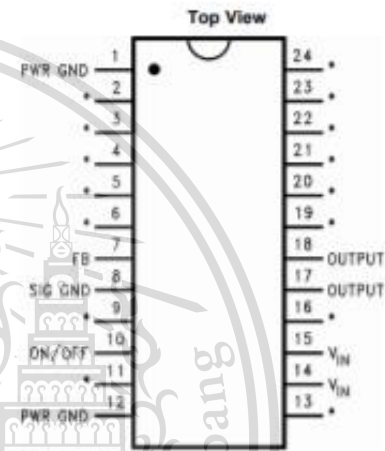


Figure 6. 24-Lead Surface Mount SOIC Package
LM2575M-XX or LM2575HVM-XX
See Package Number DW0024B

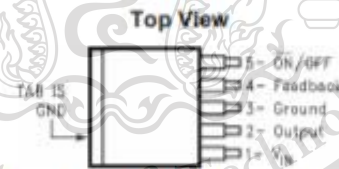


Figure 7. DPAK/TO-263 Package
5-Lead Surface-Mount Package
See Package Number KTT0005B

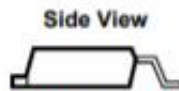


Figure 8. LM2575S-XX or LM2575HVS-XX
See Package Number KTT0005B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

LM1575, LM2575-N, LM2575HV



SNVS106E – MAY 1999 – REVISED APRIL 2013

www.ti.com



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

Maximum Supply Voltage	LM1575/LM2575	45V
	LM2575HV	63V
ON /OFF Pin Input Voltage		$-0.3V \leq V \leq +V_{IN}$
Output Voltage to Ground	(Steady State)	-1V
Power Dissipation		Internally Limited
Storage Temperature Range		-65°C to +150°C
Maximum Junction Temperature		150°C
Minimum ESD Rating	(C = 100 pF, R = 1.5 kΩ)	2 kV
Lead Temperature	(Soldering, 10 sec.)	260°C

- (1) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not ensure specific performance limits. For specified specifications and test conditions, see [Electrical Characteristics](#).
- (2) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the TI Sales Office/ Distributors for availability and specifications.
- (3) Refer to RETS LM1575J for current revision of military RETS/SMD.

OPERATING RATINGS

Temperature Range	LM1575	$-55^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +150^{\circ}\text{C}$
	LM2575/LM2575HV	$-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$
Supply Voltage	LM1575/LM2575	40V
	LM2575HV	60V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS LM1575-3.3, LM2575-3.3, LM2575HV-3.3

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^{\circ}\text{C}$, and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	Typ	LM1575-3.3	LM2575-3.3 LM2575HV-3.3	Units (Limits)
				Limit ⁽¹⁾	Limit ⁽²⁾	
SYSTEM PARAMETERS Test Circuit Figure 25 and Figure 26 ⁽³⁾						
V _{OUT}	Output Voltage	V _{IN} = 12V, I _{LOAD} = 0.2A Circuit Figure 25 and Figure 26	3.3	3.267	3.234	V
				3.333	3.366	V(Max)
V _{OUT}	Output Voltage LM1575/LM2575	4.75V ≤ V _{IN} ≤ 40V, 0.2A ≤ I _{LOAD} ≤ 1A Circuit Figure 25 and Figure 26	3.3	3.200/ 3.168	3.168/ 3.135	V
				3.400/ 3.432	3.432/ 3.465	V(Max)
V _{OUT}	Output Voltage LM2575HV	4.75V ≤ V _{IN} ≤ 60V, 0.2A ≤ I _{LOAD} ≤ 1A Circuit Figure 25 and Figure 26	3.3	3.200/ 3.168	3.168/ 3.135	V
				3.416/ 3.450	3.450/ 3.482	V(Max)
η	Efficiency	V _{IN} = 12V, I _{LOAD} = 1A	75			%

- (1) All limits specified at room temperature (standard type face) and at **temperature extremes (bold type face)**. All limits are used to calculate Average Outgoing Quality Level, and all are 100% production tested.
- (2) All limits specified at room temperature (standard type face) and at **temperature extremes (bold type face)**. All room temperature limits are 100% production tested. All limits at **temperature extremes** are specified via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods.
- (3) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM1575/LM2575 is used as shown in the test circuit [Figure 25](#) and [Figure 26](#), system performance will be as shown in system parameters of [Electrical Characteristics](#).

เอกสารนี้เป็นเอกสาร [Submit Documentation Feedback](#) ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่ข้อมูลใดๆ
Copyright © 1999–2013, Texas Instruments Incorporated

Product Folder Links: [LM1575](#) [LM2575-N](#) [LM2575HV](#)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS LM1575-5.0, LM2575-5.0, LM2575HV-5.0

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	Typ	LM1575-5.0	LM2575-5.0 LM2575HV-5.0	Units (Limits)
				Limit ⁽¹⁾	Limit ⁽²⁾	
SYSTEM PARAMETERS Test Circuit Figure 25 and Figure 26 ⁽³⁾						
V _{OUT}	Output Voltage	V _{IN} = 12V, I _{LOAD} = 0.2A Circuit Figure 25 and Figure 26	5.0	4.950	4.900	V
				5.050	5.100	V(Max)
V _{OUT}	Output Voltage LM1575/LM2575	0.2A ≤ I _{LOAD} ≤ 1A, 8V ≤ V _{IN} ≤ 40V Circuit Figure 25 and Figure 26	5.0	4.850/4.800	4.800/4.750	V
				5.150/5.200	5.200/5.250	V(Max)
V _{OUT}	Output Voltage LM2575HV	0.2A ≤ I _{LOAD} ≤ 1A, 8V ≤ V _{IN} ≤ 60V Circuit Figure 25 and Figure 26	5.0	4.850/4.800	4.800/4.750	V
				5.175/5.225	5.225/5.275	V(Max)
η	Efficiency	V _{IN} = 12V, I _{LOAD} = 1A	77			%

- (1) All limits specified at room temperature (standard type face) and at **temperature extremes (bold type face)**. All limits are used to calculate Average Outgoing Quality Level, and all are 100% production tested.
- (2) All limits specified at room temperature (standard type face) and at **temperature extremes (bold type face)**. All room temperature limits are 100% production tested. All limits at **temperature extremes** are specified via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods.
- (3) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM1575/LM2575 is used as shown in the test circuit [Figure 25](#) and [Figure 26](#), system performance will be as shown in system parameters of [Electrical Characteristics](#).

ELECTRICAL CHARACTERISTICS LM1575-12, LM2575-12, LM2575HV-12

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with **bold type face** apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	Typ	LM1575-12	LM2575-12 LM2575HV-12	Units (Limits)
				Limit ⁽¹⁾	Limit ⁽²⁾	
SYSTEM PARAMETERS Test Circuit Figure 25 and Figure 26 ⁽³⁾						
V _{OUT}	Output Voltage	V _{IN} = 25V, I _{LOAD} = 0.2A Circuit Figure 25 and Figure 26	12	11.88	11.78	V
				12.12	12.24	V(Max)
V _{OUT}	Output Voltage LM1575/LM2575	0.2A ≤ I _{LOAD} ≤ 1A, 15V ≤ V _{IN} ≤ 40V Circuit Figure 25 and Figure 26	12	11.64/11.52	11.52/11.40	V
				12.36/12.48	12.48/12.60	V(Max)
V _{OUT}	Output Voltage LM2575HV	0.2A ≤ I _{LOAD} ≤ 1A, 15V ≤ V _{IN} ≤ 60V Circuit Figure 25 and Figure 26	12	11.64/11.52	11.52/11.40	V
				12.42/12.54	12.54/12.66	V(Max)
η	Efficiency	V _{IN} = 15V, I _{LOAD} = 1A	88			%

- (1) All limits specified at room temperature (standard type face) and at **temperature extremes (bold type face)**. All limits are used to calculate Average Outgoing Quality Level, and all are 100% production tested.
- (2) All limits specified at room temperature (standard type face) and at **temperature extremes (bold type face)**. All room temperature limits are 100% production tested. All limits at **temperature extremes** are specified via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods.
- (3) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM1575/LM2575 is used as shown in the test circuit [Figure 25](#) and [Figure 26](#), system performance will be as shown in system parameters of [Electrical Characteristics](#).

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของ Texas Instruments และสงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจาก Texas Instruments
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่มีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. IR2101

International
IR Rectifier

Data Sheet No. PD60043 Rev.O

IR2101(S)/IR2102(S) & (PbF)

HIGH AND LOW SIDE DRIVER

Features

- Floating channel designed for bootstrap operation Fully operational to +600V Tolerant to negative transient voltage dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout
- 3.3V, 5V, and 15V logic input compatible
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs (IR2101) or out of phase with inputs (IR2102)
- Also available LEAD-FREE

Product Summary

V _{OFFSET}	600V max.
I _{O+/-}	130 mA / 270 mA
V _{OUT}	10 - 20V
t _{on/off} (typ-)	160 & 150 ns
Delay Matching	50 ns

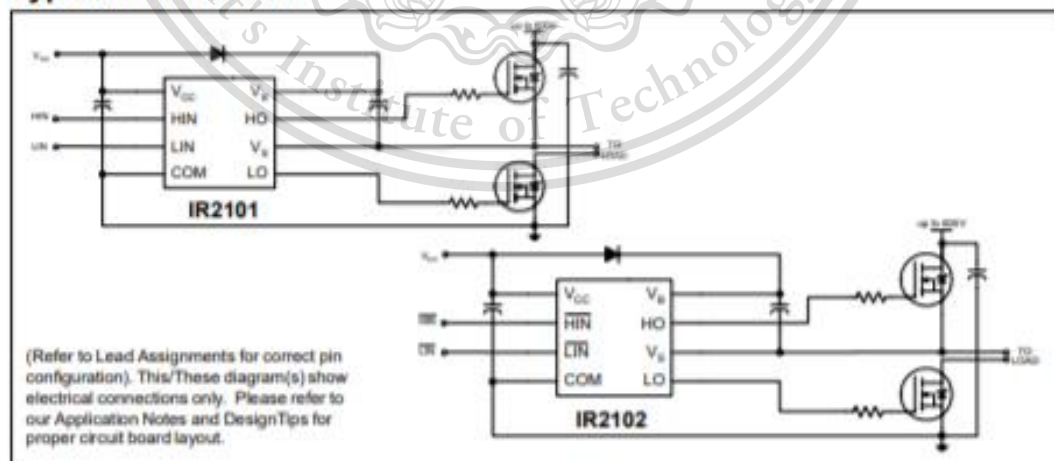
Description

The IR2101(S)/IR2102(S) are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low-side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. The logic input is compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 600 volts.

Packages



Typical Connection



www.irf.com

1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

IR2101(S)/IR2102(S) & (PbF)

International
IOR 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.

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 (HIN & LIN)	-0.3	$V_{CC} + 0.3$	
dV_S/dt	Allowable offset supply voltage transient	—	50	V/ns
P_D	Package power dissipation @ $T_A \leq +25^\circ\text{C}$	—	1.0	W
	(8 lead PDIP)		0.625	
R_{thJA}	Thermal resistance, junction to ambient	—	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 (HIN & LIN) (IR2101) & (HIN & LIN) (IR2102)	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).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Dynamic Electrical Characteristics

$V_{BIAS} (V_{CC}, V_{BS}) = 15V$, $C_L = 1000 \text{ pF}$ and $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.

Symbol	Definition	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
t_{on}	Turn-on propagation delay	—	160	220	ns	$V_S = 0V$
t_{off}	Turn-off propagation delay	—	150	220		$V_S = 600V$
t_r	Turn-on rise time	—	100	170		
t_f	Turn-off fall time	—	50	90		
MT	Delay matching, HS & LS turn-on/off	—	—	50		

Static Electrical Characteristics

$V_{BIAS} (V_{CC}, V_{BS}) = 15V$ and $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified. The V_{IH} , V_{IH} and I_{IH} 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 (IR2101) Logic "0" input voltage (IR2102)	3	—	—	V	$V_{CC} = 10V \text{ to } 20V$
V_{IL}	Logic "0" input voltage (IR2101) Logic "1" input voltage (IR2102)	—	0.8	—	V	$V_{CC} = 10V \text{ to } 20V$
V_{OH}	High level output voltage, $V_{OH} \approx V_O$	—	—	100	mV	$I_O = 0A$
V_{OL}	Low level output voltage, V_O	—	—	100	mV	$I_O = 0A$
I_{LK}	Offset supply leakage current	—	—	50	—	$V_B = V_S = 600V$
I_{OBS}	Quiescent V_{BS} supply current	—	30	55	—	$V_{IN} = 0V \text{ or } 5V$
I_{OCC}	Quiescent V_{CC} supply current	—	150	270	—	$V_{IN} = 0V \text{ or } 5V$
I_{IN+}	Logic "1" input bias current	—	3	10	—	$V_{IN} = 5V$ (IR2101) $V_{IN} = 0V$ (IR2102)
I_{IN-}	Logic "0" input bias current	—	—	1	—	$V_{IN} = 0V$ (IR2101) $V_{IN} = 5V$ (IR2102)
V_{CCUV+}	V_{CC} supply undervoltage positive going threshold	8	8.9	9.8	V	
V_{CCUV-}	V_{CC} supply undervoltage negative going threshold	7.4	8.2	9		
I_{O+}	Output high short circuit pulsed current	130	210	—	mA	$V_O = 0V$ $V_{IN} = \text{Logic "1"}$ $PW \leq 10 \mu s$
I_{O-}	Output low short circuit pulsed current	270	360	—	—	$V_O = 15V$ $V_{IN} = \text{Logic "0"}$ $PW \leq 10 \mu s$

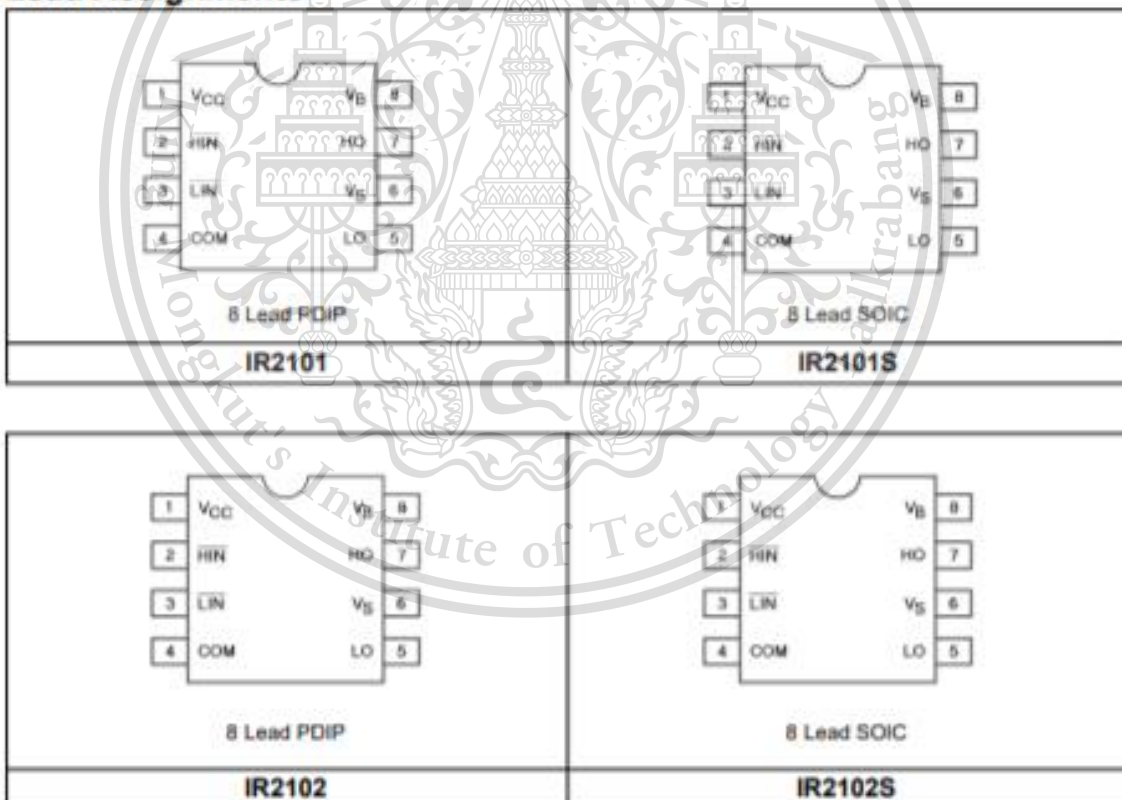
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Lead Definitions

Symbol	Description
HIN	Logic input for high side gate driver output (HO), in phase (IR2101)
$\overline{\text{HIN}}$	Logic input for high side gate driver output (HO), out of phase (IR2102)
LIN	Logic input for low side gate driver output (LO), in phase (IR2101)
$\overline{\text{LIN}}$	Logic input for low side gate driver output (LO), out of phase (IR2102)
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
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4. IRF2807PbF

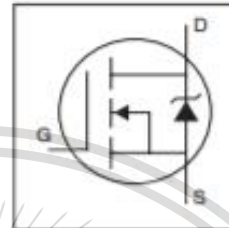
International IOR Rectifier

PD - 94970A

IRF2807PbF

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated
- Lead-Free

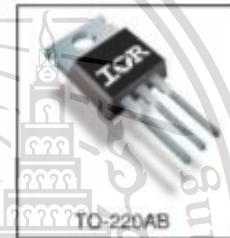


$V_{DS} = 75V$
 $R_{DS(on)} = 13m\Omega$
 $I_D = 82A \text{ (}\varnothing\text{)}$

Description

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

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} = 10V$	82
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} = 10V$	58
I_{DM}	Pulsed Drain Current	280
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	230
	Linear Derating Factor	1.5
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20
I_{AS}	Avalanche Current	43
E_{AS}	Repetitive Avalanche Energy	23
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt	5.9
T_J	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to +175
T_{SMT}	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lb*in (1.1N*m)

Thermal Resistance

Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	0.65
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62

www.irf.com

1

07/22/10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

IRF2807PbF

International
IGR Rectifier

Electrical Characteristics @ T_J = 25°C (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
V _{BR(DSS)}	Drain-to-Source Breakdown Voltage	75	—	—	V	V _{GS} = 0V, I _D = 250μA
ΔV _{BR(DSS)/ΔT_J}	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.074	—	V/°C	Reference to 25°C, I _D = 1mA
R _{DS(on)}	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	13	mΩ	V _{GS} = 10V, I _D = 43A ③
V _{GS(th)}	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	V _{DS} = V _{GS} , I _D = 250μA
g _{fs}	Forward Transconductance	38	—	—	S	V _{DS} = 50V, I _D = 43A③
I _{oss}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	V _{GS} = 75V, V _{DS} = 0V
		—	—	250	μA	V _{GS} = 60V, V _{DS} = 0V, T _J = 150°C
I _{oss}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	V _{DS} = 20V
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100	nA	V _{DS} = -20V
Q _g	Total Gate Charge	—	—	160	nC	I _D = 43A
Q _{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	29	nC	V _{GS} = 60V
Q _{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	55	nC	V _{DS} = 10V, See Fig. 6 and 13
t _{d(on)}	Turn-On Delay Time	—	13	—	ns	V _{DD} = 38V
t _r	Rise Time	—	64	—	ns	I _D = 43A
t _{d(off)}	Turn-Off Delay Time	—	49	—	ns	R _θ = 2.5Ω
t _f	Fall Time	—	48	—	ns	V _{GS} = 10V, See Fig. 10 ④
L _D	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of the contact
L _S	Internal Source Inductance	—	7.5	—	nH	
C _{iss}	Input Capacitance	—	3620	—	pF	V _{GS} = 0V
C _{oss}	Output Capacitance	—	610	—	pF	V _{GS} = 25V
C _{ris}	Reverse Transfer Capacitance	—	130	—	pF	f = 1.0MHz, See Fig. 5
E _{AS}	Single Pulse Avalanche Energy	—	3280/3400	—	mJ	I _{AS} = 50A, L = 370μH

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I _S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	820	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I _{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode)	—	—	280	A	
V _{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.2	V	T _J = 25°C, I _S = 43A, V _{GS} = 0V ⑤
t _{rr}	Reverse Recovery Time	—	100	150	ns	T _J = 25°C, I _S = 43A
Q _{rr}	Reverse Recovery Charge	—	410	610	nC	dI/dt = 100A/μs ⑥
t _{on}	Forward Turn-On Time	—	—	—	ns	Integral turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L _S +L _D)

Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)
- ② Starting T_J = 25°C, L = 370μH, R_θ = 25Ω, I_{AS} = 43A, V_{GS} = 10V (See Figure 12)
- ③ I_{SD} ≤ 43A, dI/dt ≤ 300A/μs, V_{DD} ≤ V_{BR(DSS)}, T_J ≤ 175°C
- ④ Pulse width ≤ 400μs, duty cycle ≤ 2%.
- ⑤ This is a typical value at device destruction and represents operation outside rated limits.
- ⑥ This is a calculated value limited to T_J = 175°C.
- ⑦ Calculated continuous current based on maximum allowable junction temperature. Package limitation current is 75A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.

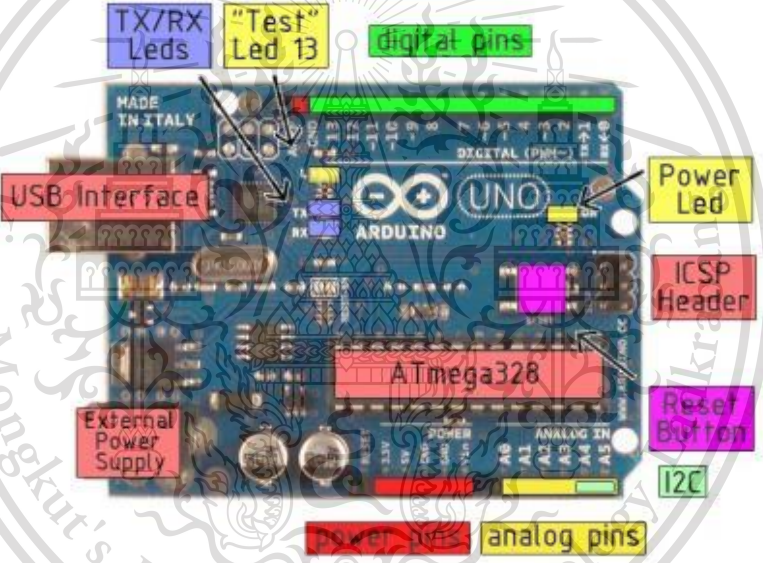
Technical Specification




EAGLE files: [arduino-duemilanove-uno-design.zip](#) Schematic: [arduino-uno-schematic.pdf](#)

Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

the board





radiospares
RADIONICS


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The Atmega328 has 32 KB of flash memory for storing code (of which 0.5 KB is used for the bootloader); it has also 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language.
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.



radiospares RADIONICS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

The Uno has 6 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **I²C: 4 (SDA) and 5 (SCL).** Support I²C (TWI) communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the [mapping between Arduino pins and Atmega328 ports](#).

Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega8U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '8U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, on Windows, an *.inf file is required..

The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Uno's digital pins.

The ATmega328 also support I²C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I²C bus; see the [documentation](#) for details. To use the SPI communication, please see the ATmega328 datasheet.

Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Uno w/ ATmega328" from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega328 on the Arduino Uno comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

The ATmega8U2 firmware source code is available . The ATmega8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2. You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader).



radiospares RADIONICS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.



ACS712

Forbidden to modify the content, and cite the document when use

**Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor
with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor**

6. ACS712ELCTR-05A

ACS712**Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor****Description (continued)**

loss. The thickness of the copper conductor allows survival of the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the sensor leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 current sensor to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

Selection Guide

Part Number	Packing*	T _A (°C)	Optimized Range, I _p (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

*Contact Allegro for additional packing options.

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V _{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V _{REV}		-0.1	V
Output Voltage	V _{OUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V _{ROUT}		-0.1	V
Reinforced Isolation Voltage	V _{ISO}	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, T _A =25°C	2100	V
		Voltage applied to leadframe (Ip+ pins), based on IEC 60950	184	V _{peak}
Basic Isolation Voltage	V _{ISO(basic)}	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, T _A =25°C	1500	V
		Voltage applied to leadframe (Ip+ pins), based on IEC 60950	354	V _{peak}
Output Current Source	I _{OUT(SOURCE)}		3	mA
Output Current Sink	I _{OUT(SINK)}		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I _{OC}	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T _A	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T _{J(max)}		165	°C
Storage Temperature	T _{STG}		-65 to 170	°C

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001



Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

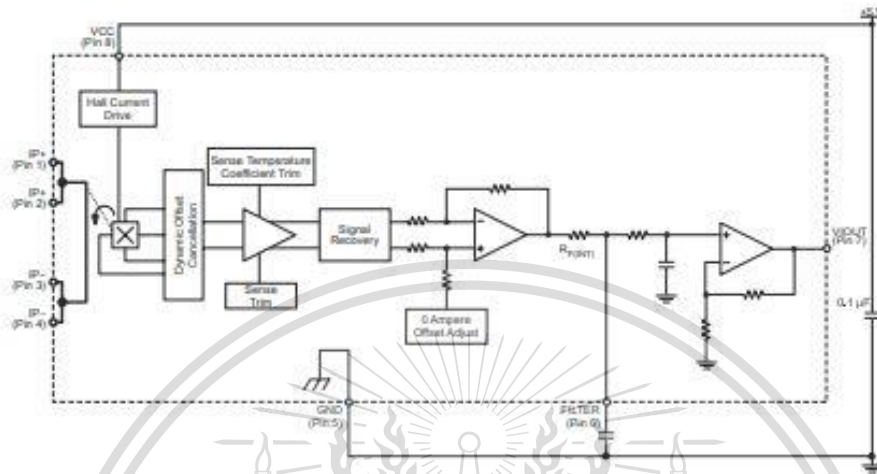
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Functional Block Diagram



Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sensed; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sensed; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VIOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal



Allegro MicroSystems, Inc.
 115 Northeast Cutoff
 Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
 1.508.853.5000; www.allegromicro.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

COMMON OPERATING CHARACTERISTICS¹ over full range of T_A , $C_T = 1$ nF, and $V_{CC} = 5$ V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
ELECTRICAL CHARACTERISTICS						
Supply Voltage	V_{CC}		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	I_{CC}	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	–	10	13	mA
Output Capacitance Load	C_{LOAD}	VIOUT to GND	–	–	10	nF
Output Resistive Load	R_{LOAD}	VIOUT to GND	4.7	–	–	k Ω
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	1.2	–	m Ω
Rise Time	t_r	$I_P = I_P(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_{OUT} = \text{open}$	–	5	–	μs
Frequency Bandwidth	f	–3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$; I_P is 10 A peak-to-peak	–	80	–	kHz
Nonlinearity	E_{LIN}	Over full range of I_P	–	1.5	–	%
Symmetry	E_{SYM}	Over full range of I_P	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{IOUT(0)}$	Bidirectional, $I_P = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	–	$V_{CC} \times 0.5$	–	V
Power-On Time	t_{PO}	Output reaches 90% of steady-state level, $T_J = 25^\circ\text{C}$, 20 A present on leadframe	–	35	–	μs
Magnetic Coupling ²			–	12	–	G/A
Internal Filter Resistance ³	$R_{F(INT)}$		–	1.7	–	k Ω

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient T_A , and internal leadframe temperatures, T_J , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_J(\text{max})$, is not exceeded.

²1 G = 0.1 mT.

³ $R_{F(INT)}$ forms an RC circuit via the FILTER pin.

COMMON THERMAL CHARACTERISTICS¹

			Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Internal Leadframe Temperature	T_A	E range	–40	–	85	$^\circ\text{C}$
Junction-to-Lead Thermal Resistance ²	$R_{\theta JL}$	Mounted on the Allegro ASEQ 712 evaluation board			5	$^\circ\text{C/W}$
Junction-to-Ambient Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board, includes the power consumed by the board			23	$^\circ\text{C/W}$

¹Additional thermal information is available on the Allegro website.

²The Allegro evaluation board has 1500 mm² of 2 oz. copper on each side, connected to pins 1 and 2, and to pins 3 and 4, with thermal vias connecting the layers. Performance values include the power consumed by the PCB. Further details on the board are available from the Frequently Asked Questions document on our website. Further information about board design and thermal performance also can be found in the Applications Information section of this datasheet.



Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutt
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

x05B PERFORMANCE CHARACTERISTICS $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C ¹, $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-5	-	5	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^\circ\text{C}$	180	185	190	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$, 185 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	21	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta I_{\text{OUT(O)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	-0.26	-	mV/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/ $^\circ\text{C}$
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	0.054	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.008	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 5\text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_P , with $I_P = 5\text{ A}$. Output filtered.

x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C ¹, $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-20	-	20	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^\circ\text{C}$	96	100	104	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$, 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	11	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta I_{\text{OUT(O)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	-0.34	-	mV/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.07	-	mV/ $^\circ\text{C}$
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	0.017	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.004	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 20\text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_P , with $I_P = 20\text{ A}$. Output filtered.

x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C ¹, $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-30	-	30	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^\circ\text{C}$	64	66	68	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$, 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	7	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta I_{\text{OUT(O)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	-0.35	-	mV/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/ $^\circ\text{C}$
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	0.007	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.002	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 30\text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_P , with $I_P = 30\text{ A}$. Output filtered.



Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutler
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000, www.allegromicro.com

5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



การออกแบบวงจรควบคุมการกักเก็บพลังงานสำหรับแหล่งกักเก็บพลังงานแบบไฮบริดจากการ รีเจนเนอเรทีฟของมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน

ผศ.ดร. วิวัฒน์ เกียรติวงศ์^{1,*}, ณัฐวุฒิ ตาหลวง^{2,*}, ธนภัทร งามดี³, ธนวัฒน์ เสียงวิสัย⁴
และปลายตะวัน หลังสันติ⁵

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

Email : wiwat.ke@kmitl.ac.th

Abstract

บทความนี้ศึกษาการ Switching pattern ของมอเตอร์เฟสอินเวอเตอร์เพื่อนำทำการเลือกเส้นทางของกระแสไปยัง ชูปเปอร์คาปาซิเตอร์แต่ละตัว โดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมมอเตอร์แต่ละตัวโดยจะใช้ Arduino เป็น ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์โดยควบคุมชูปเปอร์คาปาซิเตอร์ทั้ง 2 ตัวผ่านเซ็นเซอร์วัดกระแส รุ่น ซึ่งได้ทำการเขียน โปรแกรมลงไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุม โดยมีเงื่อนไขว่าถ้ากระแสมีค่ามากกว่า 0.5 A จะทำการเก็บกระแสไปที่ ชูปเปอร์คาปาซิเตอร์ตัวที่ 1 แต่ถ้ากระแสมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 A จะไปที่ชูปเปอร์คาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 ซึ่งการ ทดลองพบว่าทิศทางการไหลกระแสเป็นไปตามที่กำหนด ถือว่าเป็นการทดลองที่น่าพึงพอใจ

1. บทนำ

ในปัจจุบันโลกกำลังเผชิญปัญหาเกี่ยวกับภาวะโลกร้อน ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆในโลกเป็นอย่างมาก จึงทำให้นานาประเทศเริ่มหันมาใช้การผลิตและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยไม่ สิ้นเปลือง นอกจากนี้จะเป็นการช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานแล้ว ยังเป็นการช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจาก การใช้พลังงานและผลิตพลังงานที่ใช้ไปโดยสิ้นเปลือง และเป็นการนำพลังงานที่อาจจะสูญเสียกลับมามีใหม่ ให้ได้มากที่สุดและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ในปัจจุบันมีการคืนพลังงานในหลายรูปแบบยกตัวอย่างเช่น การคืนพลังงานช่วงที่เบรกรถยนต์ หรือ การคืนพลังงานจากการลั่น ซึ่งสิ่งที่สำคัญกว่าการคืนพลังงานนั้นคือการนำพลังงานที่ได้ไปจัดเก็บในแหล่ง จัดเก็บพลังงานที่เหมาะสม การจัดเก็บพลังงานทั้งนี้จะต้องประกอบไปด้วยวงจรที่ใช้ในการกำหนดทิศทางของ กระแสเพื่อเป็นการควบคุมทิศทางการไหลของกระแสที่ได้จากการคืนพลังงานหรือการรีเจนเนอเรทีฟมอเตอร์ มาเก็บไว้ในแหล่งเก็บพลังงานที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากที่สุดยกตัวอย่างแหล่งกักเก็บพลังงานอาทิเช่น แบตเตอรี่ หรือ ชูปเปอร์คาปาซิเตอร์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

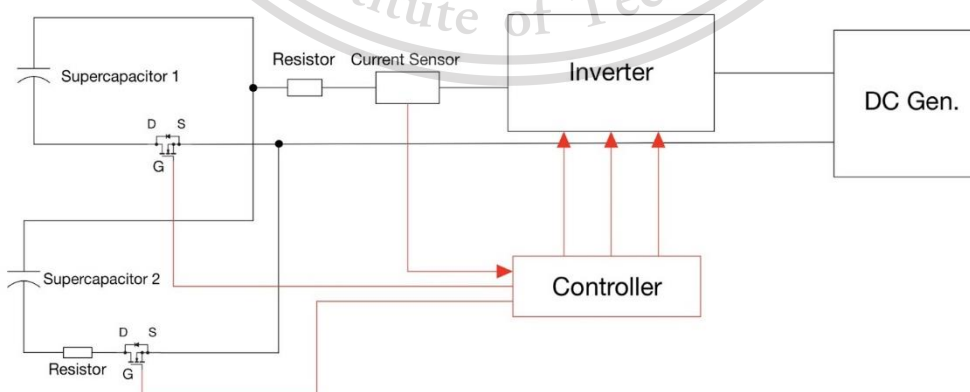


แต่เนื่องจากกระแสของการรีเจนเนอเรทีฟของมอเตอร์ในทางปฏิบัติแล้วมีค่ากระแสที่กลับมามีค่าน้อยมาก ทำให้ต้องมียังจรที่เพิ่มเข้ามา เช่น วงจรที่เพิ่ม-ลดระดับแรงดัน หรือ วงจรเรียงกระแส เพื่อนำพลังงานที่ได้ นำมาจัดเก็บในแหล่งกักเก็บพลังงาน อีกทั้งต้องเลือกแหล่งกักเก็บพลังงานให้มีความเหมาะสมกับการกักเก็บพลังงานนั้นด้วย

ดังนั้นคณะผู้จัดทำวิจัยจึงได้ทำการศึกษาและทำการออกแบบระบบกักเก็บพลังงานที่มีค่ากระแสการกลับมามีค่าที่ต่ำ โดยใช้หลักการควบคุมกระแสที่ได้จากการรีเจนเนอเรทีฟของ มอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านโดยการออกแบบ switching pattern ของมอสเฟต ในอินเวอร์เตอร์สามเฟส โดยใช้เอาดูโคโนเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมกระแสจากการรีเจนเนอเรทีฟมาเก็บไว้ในแหล่งกักเก็บพลังงานซึ่งทั้งนี้ จากคุณสมบัติของตัวซูเปอร์คาปาซิเตอร์นั้นมีค่า specific power ที่สูงจึงทำให้มีความสามารถในการชาร์จและดีชาร์จกระแสต่ำได้ในเวลาที่รวดเร็ว เมื่อเทียบกับการชาร์จในแบตเตอรี่ คณะผู้จัดทำวิจัยจึงเลือกใช้การ จัดเก็บพลังงานมายังซูเปอร์คาปาซิเตอร์ 2 ชุด ทั้งนี้เพื่อจะได้ง่ายต่อการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ทิศทางการไหลของกระแสที่ได้กลับมาของการคืนพลังงานที่ได้รับกลับมา

2. การออกแบบการทดลอง

การสร้างวงจรทดสอบการทำงานในช่วง regenerative นั้น จากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นว่าขนาดมอเตอร์ที่เล็กเกินไปทำให้มีกระแสที่ถูกระบายกลับมาน้อยมากซึ่งยากต่อการวัด เราจึงใช้แหล่งจ่ายกระแสตรงจ่ายแรงดันกลับมายังแหล่งกักเก็บพลังงานโดยผ่านอินเวอร์เตอร์ โดยในช่วงการเบรคแบบรีเจนเนอเรทีฟนั้น มอสเฟต ทั้ง 6 ตัวในอินเวอร์เตอร์จะไม่ทำงาน ให้กระแสไหลกลับทางไดโอดที่อยู่ภายในโครงสร้างมอสเฟต จากนั้นจึงไหลผ่านตัววัดกระแส เพื่อวัดค่ากระแสที่ไหลกลับมา แล้วจึงส่งค่ากระแสที่วัดได้ไปยัง Arduino เพื่อแปลงค่าสัญญาณอนาล็อกเป็นค่าดิจิทัลและประมวลผลตามโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้แล้วจึงส่งสัญญาณไปยังขา gate ของ และมีการตั้งเงื่อนไขว่า หากกระแสมากกว่า 0.5 A จะให้ชาร์จเข้าที่ supercapacitor ชุดที่ 1 หากกระแสน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 A จะให้ชาร์จที่ supercapacitor ชุดที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



2.1 การออกแบบโปรแกรมคำสั่งสำหรับ Arduino

```
int HallSensorA;
int HallSensorB;
int HallSensorC;
int HallState = 1;
int motorspeed = 0;
int dutycycle = 0;
void setup()
{
  pinMode(2, INPUT);
  pinMode(3, INPUT);
  pinMode(4, INPUT);
  pinMode(5, OUTPUT);
  pinMode(6, OUTPUT);
  pinMode(7, OUTPUT);
  pinMode(9, OUTPUT);
  pinMode(10, OUTPUT);
  pinMode(11, OUTPUT);
  pinMode(12, OUTPUT);
  pinMode(13, OUTPUT);
  int prescalerVal = 0x07;
  TCCR1B &= ~prescalerVal;
  int prescalerVal2 = 1;
  TCCR1B |= prescalerVal2;
  TCCR2B &= ~prescalerVal;
  TCCR2B |= prescalerVal2;
}
void loop(){
  dutycycle = analogRead(0);
  motorspeed = map(dutycycle, 100, 1023, 0, 255);
  int a = analogRead(A1);
  double v = (a/1024.0)*5000;
  double c = (v-2500)/185;
  HallSensorA = digitalRead(2);
  HallSensorB = digitalRead(3);
  HallSensorC = digitalRead(4);
  HallState = (HallSensorA) + (2*HallSensorB) + (4*HallSensorC);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



```
if(dutycycle>100)
{
    switch (HallState)
    {
        case 3:
            PORTD &= B00011111;
            PORTD |= B10000000;
            analogWrite(9,motorspeed);
            analogWrite(10,0);
            analogWrite(11,0);
            break;
        case 1:
            PORTD &= B00011111;
            PORTD |= B01000000;
            analogWrite(9,motorspeed);
            analogWrite(10,0);
            analogWrite(11,0);
            break;
        case 5:
            PORTD &= B00011111;
            PORTD |= B01000000;
            analogWrite(9,0);
            analogWrite(10,0);
            analogWrite(11,motorspeed);
            break;
        case 4:
            PORTD &= B00011111;
            PORTD |= B00100000;
            analogWrite(9,0);
            analogWrite(10,0);
            analogWrite(11,motorspeed);
            break;
        case 6:
            PORTD &= B00011111;
            PORTD |= B00100000;
            analogWrite(9,0);
            analogWrite(10,motorspeed);
            analogWrite(11,0);
            break;
        case 2:
            PORTD &= B00011111;
            PORTD |= B10000000;
            analogWrite(9,0);
            analogWrite(10,motorspeed);
            analogWrite(11,0);
            break;
        default:
            PORTD &= B00011111;
            PORTD |= B00000000;
            analogWrite(9,0);
            analogWrite(10,0);
            analogWrite(11,0);
            break;
    }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



```

else
{
  PORTD  &= B00011111;
  PORTD  |= B00000000;
  analogWrite(9,0);
  analogWrite(10,0);
  analogWrite(11,0);
  if(c<-0.5)
  {
    digitalWrite(12,HIGH);
    analogWrite(13,0);
  }
  else
  {
    digitalWrite(13,HIGH);
    analogWrite(12,0);
  }
}
}
}

```

3. ตัวเลขและตาราง

3.1 การทดสอบและคำนวณประสิทธิภาพการทำงานของอินเวอร์เตอร์สำหรับการขับมอเตอร์

ตารางแบบทดสอบประสิทธิภาพการทำงานขณะขับมอเตอร์โดยมีการวัดค่าแรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้า ขาเข้าและออกพร้อมทั้งคำนวณหาประสิทธิภาพ จากการปรับความเร็วของมอเตอร์โดยใช้ความเร็วเริ่มต้นที่ 800 rpm จากการจ่ายแรงดันกระแสตรง 48 V และทำการปรับความเร็วจาก duty cycle ที่ปรับค่าจากตัวต้านทานปรับค่าได้

ความเร็ว รอบ (rpm)	แรงดัน ขาเข้า (V)	กระแส ขาเข้า (A)	แรงดันขา ออก (Vrms)	กระแส ขาออก (Irms)	กำลังไฟฟ้า ขาเข้า (W)	กำลังไฟฟ้า ขาออก (W)	ประสิทธิภาพ (%)
800	48	0.088	25.65	0.127	4.224	3.600	85.230
900	48	0.098	27.34	0.140	4.704	4.100	87.160
1000	48	0.111	29.02	0.152	5.328	4.700	88.210
1100	48	0.122	30.54	0.176	5.856	5.200	88.790
1200	48	0.136	32.13	0.192	6.528	5.800	88.840
1300	48	0.150	33.95	0.239	7.200	6.400	88.880
1355	48	0.153	35.21	0.285	7.344	6.900	93.954

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



3.2 สถานะการทำงานของมอสเฟตที่ค่ากระแสที่ต่างกัน

ตารางแสดงสถานะการทำงานของมอสเฟตทั้ง 2 ตัว สำหรับเลือกแหล่งกักเก็บพลังงานโดยมีการทดสอบแต่ละค่าขนาดของกระแส จากการใช้ออสซิลโลสโคปวัดแรงดันที่ Port 12 และ 13 ในการตรวจสอบสถานะการทำงานของมอสเฟต โดย Port 12 ไว้สำหรับควบคุมการสวิตช์มอสเฟตตัวที่ 1 และ Port 13 ไว้ควบคุมสำหรับการสวิตช์มอสเฟตตัวที่ 2 ซึ่งได้กำหนดโปรแกรมการควบคุมไว้ว่า เมื่อกระแสที่กลับเข้ามามีค่ามากกว่า 0.50 A ให้มอสเฟตตัวที่ 1 ทำงาน และเมื่อกระแสไม่เกิน 0.50 A ให้มอสเฟตตัวที่ 2 ทำงาน

กระแส(A)	สถานะมอสเฟตตัวที่ 1	สถานะมอสเฟตตัวที่ 2
0.10	off	on
0.15	off	on
0.20	off	on
0.25	off	on
0.30	off	on
0.35	***	***
0.40	***	***
0.45	***	***
0.50	***	***
0.60	***	***
0.65	***	***
0.70	***	***
0.75	on	off
0.80	on	off
0.85	on	off
0.90	on	off
0.95	on	off
1.00	on	off

*** ไม่สามารถระบุได้ เนื่องจากสถานะของมอสเฟตไม่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



3.3 การคืนพลังงานตามเงื่อนไขที่กำหนด

ตารางแสดงผลการเปลี่ยนแปลงแรงดันของแหล่งกักเก็บพลังงานคือซูเปอร์คาปาซิเตอร์ทั้ง 2 ชุด โดยแบ่งออกเป็น 2 ตารางเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของซูเปอร์คาปาซิเตอร์แต่ละชุด โดยใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายกระแสกลับไปยังแหล่งกักเก็บพลังงาน โดยผ่านอินเวอร์เตอร์ เช่น เซอร์วิคเกอร์ และมอสเฟต ซึ่งทำการควบคุมกระแสโดยการปรับค่าแรงดันที่แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง จากเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ จึงวัดแรงดันของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ชุดที่ 1 ที่กระแสตั้งแต่ 0.55-1.00 A และวัดแรงดันของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ชุดที่ 2 ที่กระแส 0.10-0.50 A

ตารางแบบทดสอบการจำลองการคืนพลังงานจากการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟ 9 วินาที ของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ชุดที่ 1

กระแส (A)	แรงดันก่อนชาร์จ SC1 (V)	แรงดันหลังชาร์จ SC1 (V)	แรงดันที่เปลี่ยนแปลง (V)
0.55	0.0440	0.0656	0.0216
0.60	0.0380	0.0678	0.0298
0.65	0.0601	0.1232	0.0631
0.70	0.1012	0.1733	0.0721
0.75	0.0940	0.1689	0.0749
0.80	0.1150	0.1958	0.0808
0.85	0.0840	0.1616	0.0776
0.90	0.0752	0.1692	0.0940
0.95	0.1182	0.2137	0.0955
1.00	0.1265	0.2374	0.1109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



4. ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองพบว่าในช่วงรีเจนเนอเรทีฟที่ช่วงกระแส 0.35-0.70 A มอสเฟตมีการทำงานที่ผิดพลาดโดยไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่เราตั้งไว้ว่า เมื่อกระแสที่ได้จากการรีเจนเนอเรทีฟมีค่ามากกว่า 0.5 A มอสเฟตตัวที่ 1 จะทำงาน และกระแสที่มาจากกรรีเจนเนอเรทีฟจะเข้าไปเก็บที่ซูเปอร์คาปาซิเตอร์ชุดที่ 1 และเมื่อกระแสที่ได้จากการรีเจนเนอเรทีฟมีค่าไม่เกิน 0.5 A มอสเฟตตัวที่ 2 จะทำงานและกระแสที่ได้จากการรีเจนเนอเรทีฟจะเข้าไปเก็บที่ซูเปอร์คาปาซิเตอร์ตัวที่ 2 ซึ่งทั้งนี้จะมีเซนเซอร์วัดกระแสเป็นตัววัดค่ากระแสที่ได้จากการรีเจนเนอเรทีฟ แต่จากการทดลองพบว่าในช่วงรีเจนเนอเรทีฟที่ช่วงกระแส 0.35-0.70 A พบว่าเซนเซอร์วัดกระแสอ่านกระแสที่วัดได้มีค่าที่แกว่งขึ้น-ลง ทำให้ช่วงกระแสที่ 0.35-0.70 A มีการสับเปลี่ยนการทำงานของมอสเฟตตัวที่ 1 และมอสเฟตตัวที่ 2 ตลอดเวลา ทั้งนี้คณะผู้จัดทำได้พบว่าในตัวของเซนเซอร์วัดกระแส จะมีค่าความคลาดเคลื่อนของตัวมันเองอยู่แล้วโดยเฉพาะอย่างยิ่งการวัดกระแสที่มีค่าต่ำๆ มีโอกาสที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนได้สูง ดังนั้นการใช้เซนเซอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง และมีความแม่นยำในช่วงที่กระแสต่างๆ จะมีผลที่จะทำให้ผลงานวิจัยมีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

5. สรุป

จากการที่ได้ทำการศึกษาและค้นคว้าการรีเจนเนอเรทีฟของมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านซึ่งวัตถุประสงค์ของคณะผู้จัดทำวิจัยนั้นได้ทำออกแบบการควบคุมทิศทางรถไถในช่วงการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟโดยวิธี switching pattern ของมอสเฟตในอินเวอร์เตอร์โดยจะทำการออกแบบการทดลองด้วยการเขียนโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมลงไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อที่จะควบคุมการทิศทางรถไถของกระแสโดยจะมีเซนเซอร์วัดกระแสเป็นตัวอ่านค่ากระแสในช่วงรีเจนเนอเรทีฟและส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อที่จะให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวสั่งการให้มอสเฟตตัวที่ 1 หรือ มอสเฟตตัวที่ 2 ทำงาน ซึ่งจะนำกระแสที่ได้จากการรีเจนเนอเรทีฟไปเก็บยังแหล่งกักเก็บพลังงานในที่นี้คณะผู้จัดทำได้เลือกใช้เป็น Supercapacitor ขนาด 10.8 โวลต์ จำนวน 2 ชุด ทั้งนี้จากคุณสมบัติของตัวซูเปอร์คาปาซิเตอร์นั้นมีค่า specific power ที่สูงจึงทำให้มีความสามารถของการชาร์จ และดิสชาร์จกระแสต่างๆได้ในเวลาที่รวดเร็ว เมื่อเทียบกับการชาร์จในแบตเตอรี่ และเพื่อจะได้ง่ายต่อการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ทิศทางรถไถของกระแส และในส่วนของกรรีเจนเนอเรทีฟคณะผู้จัดทำได้ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงให้เปรียบเสมือนการจำลองการรีเจนเนอเรทีฟเนื่องจากมอเตอร์ไร้แปรงถ่านที่ใช้ในการทดลองมีขนาดพิกัดกำลังไม่สูงมาก ทำให้กระแสที่ได้จากการรีเจนเนอเรทีฟมีค่าค่อนข้างต่ำซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อค่าของเซนเซอร์วัดกระแสได้จากการที่ได้ทำการศึกษาและค้นคว้าการรีเจนเนอเรทีฟของมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน ซึ่งวัตถุประสงค์ของคณะผู้จัดทำวิจัยนั้นได้ทำออกแบบการควบคุมทิศทางรถไถในช่วงการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟโดยวิธี switching pattern ของมอสเฟตในอินเวอร์เตอร์โดยจะทำการออกแบบการทดลองด้วยการเขียนโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมลงไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อที่จะควบคุมการทิศทางรถไถของกระแสโดยจะมีเซนเซอร์วัดกระแสเป็นตัวอ่านค่ากระแสในช่วงรีเจนเนอเรทีฟและส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อที่จะให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวสั่งการให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.



มอเตอร์ตัวที่ 1 หรือ มอเตอร์ตัวที่ 2 ทำงาน ซึ่งจะนำกระแสที่ได้จากการรีเจนเนอเรทีฟไปเก็บยังแหล่งกักเก็บพลังงานในขณะนี้คณะผู้จัดทำได้เลือกใช้เป็น Supercapacitor ขนาด 10.8 โวลต์ จำนวน 2 ชุด ทั้งนี้จากคุณสมบัติของตัวซูเปอร์คาปาซิเตอร์นั้นมีค่า specific power ที่สูงจึงทำให้มีความสามารถในการชาร์จ และ ดิสชาร์จกระแสต่ำๆได้ในเวลาที่รวดเร็ว เมื่อเทียบกับการชาร์จในแบตเตอรี่ และเพื่อจะได้ง่ายต่อการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ทิศทางการไหลของกระแส และในส่วนของการรีเจนเนอเรทีฟคณะผู้จัดทำได้ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงให้เปรียบเทียบเสมือนการจำลองการรีเจนเนอเรทีฟเนื่องจากมอเตอร์ไร้แปรงถ่านที่ใช้ในการทดลองมีขนาดพิกัดกำลังไม่สูงมาก ทำให้กระแสที่ได้จากการรีเจนเนอเรทีฟมีค่าค่อนข้างต่ำซึ่งอาจส่งผลต่อการอ่านค่าของเซนเซอร์วัดกระแสได้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Debajit Kumar Sandilya, Siddhartha Goswami, Bubumani Kalita, Shweta Chakraborty, "A study on Regenerative braking system with matlab simulation," Guwahati, 2017
- [2] SHIRISH VASANT RAO GADEWAR, A.M. JAIN, "REVIEW OF BRAKING SYSTEM IN MOTORS", NASHIK,
- [3] Adnan Mohammad; Md. Ziaur Rahman Khan, "BLDC Motor Controller for Regenerative Braking", Dhaka, 2015
- [4] Aswathi E. R., Prathibha P. K. and Jayasri R. Nair, "Regenerative Braking of BLDC Motor using Fuzzy Control for Electric Vehicles", Kakkanad, Kochi, 2018
- [5] Arrow Electronics [Internet]. Manhattan: Arrow Electronics; c2020 [cited 2018 Oct 9]. Available from: <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/supercapacitor-vs-battery-ultracapacitor-pros-and-cons>
- [6] Supercaptech [Internet]. The association; c2020 [cited 2020 Sep 16]. Available from: <https://supercaptech.com/battery-vs-supercapacitor>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-สกุล: นาย ธนภัทร งามดี

วัน เดือน ปีเกิด: 23 มีนาคม 2542

สถานที่อยู่ปัจจุบัน: 189/1 บ้านโนนชัยศรี ต.โนนชัยศรี อ.โพพทอง
จ.ร้อยเอ็ด 45110

ประวัติการศึกษา:

มัธยมศึกษา ปีการศึกษา 2559 : โรงเรียนโพพทองพัฒนาวิทยา

ปริญญาตรี ปีการศึกษา 2563 : คณะวิศวกรรมศาสตร์

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง



ชื่อ-สกุล: นาย ธนวัฒน์ เสี่ยงวิลัย

วัน เดือน ปีเกิด: 21 กันยายน 2541

สถานที่อยู่ปัจจุบัน: 92/24 ม.8 ต.เกาะขวาง อ.เมืองจันทบุรี
จ.จันทบุรี 22000

ประวัติการศึกษา:

มัธยมศึกษา ปีการศึกษา 2559 : โรงเรียนเบญจมราชูทิศ จันทบุรี

ปริญญาตรี ปีการศึกษา 2563 : คณะวิศวกรรมศาสตร์

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ชื่อ-สกุล: นาย ณัฐวุฒิ ตาหลวง
วัน เดือน ปีเกิด: 15 ตุลาคม 2541
สถานที่อยู่ปัจจุบัน: 31/824 หมู่ 2 ต.คลองสาม อ.คลองหลวง
จ.ปทุมธานี 12120

ประวัติการศึกษา:

มัธยมศึกษา ปีการศึกษา 2558 : โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย รังสิต

ปริญญาตรี ปีการศึกษา 2563 : คณะวิศวกรรมศาสตร์

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง



ชื่อ-สกุล: นาย ปลายตะวัน หลังสันติ
วัน เดือน ปีเกิด: 13 เมษายน 2540
สถานที่อยู่ปัจจุบัน: 5/123 ม.1 แขวงโคกแฝด เขตหนองจอก
กรุงเทพมหานคร 10530

ประวัติการศึกษา:

มัธยมศึกษา ปีการศึกษา 2559 : โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า

ปริญญาตรี ปีการศึกษา 2563 : คณะวิศวกรรมศาสตร์

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าพลังงาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.