

เครื่องอัดประจุไฟฟ้าแบบคงค่ากระแสไฟฟ้าคงค่าแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ระบบควบคุม
แบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์

Design of CCCV Battery Charger via PID Controller



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2563

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

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

Design of CCCV Battery Charger via PID Controller



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
2020

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.

ปีการศึกษา 2563

เครื่องอัดประจุไฟฟ้าแบบคงค่ากระแสไฟฟ้าคงค่าแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ระบบควบคุมแบบ
สัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์



อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ผศ.ดร. วิวัฒน์ เกษรวงศ์
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.

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องอัดประจุไฟฟ้าแบบคงค่ากระแสไฟฟ้าคงค่าแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ระบบควบคุมแบบ
สัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์

ผู้จัดทำ

1. นายจิระพงศ์ ทองน้อย
2. นายณัฐพล มะปัญญา
3. นายปรีดา ชมพูไชยเกิด



hivat

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิง (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ เกียรติวงศ์) ใช้

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

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

เครื่องอัดประจุไฟฟ้าแบบคงค่ากระแสไฟฟ้าคงค่าแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์

นายจิระพงศ์ ทองน้อย

นายณัฐพล มะปัญญา

นายปรีดา ชมพูไชยเกิด

ผศ.ดร. วิวัฒน์ เกตุรวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการใช้งานในห้องทดสอบและออกแบบเครื่องอัดประจุไฟฟ้าแบบคงค่ากระแสไฟฟ้าคงค่าแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์สำหรับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนฟอสเฟต การออกแบบเครื่องอัดประจุสำหรับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนฟอสเฟตและวงจรสำหรับการอัดประจุและคายประจุเพื่อให้ได้มาซึ่งกราฟความสัมพันธ์ต่าง ๆ ที่ได้จากการทดสอบในห้องทดสอบและเครื่องอัดประจุไฟฟ้าที่ได้ออกแบบเอง เช่น กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า สถานะการอัดประจุ โดยสามารถแสดงออกมาได้ในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์กับเวลา และนำกราฟความสัมพันธ์เหล่านั้นมาวิเคราะห์การใช้งานของเครื่องอัดประจุไฟฟ้าแบบคงค่ากระแสไฟฟ้าคงค่าแรงดันไฟฟ้าได้ อีกทั้งสำหรับเครื่องอัดประจอยังมีการใช้ระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ (PID controller) ในการกำหนดเงื่อนไขการทำงานและดูผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการปรับ (PID controller) ว่าส่งผลกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่อย่างไร ภายในปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะมีการกล่าวถึงการทดลองที่ใช้อุปกรณ์จริงรวมถึงการจำลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อเปรียบเทียบผลกันด้วย ซึ่งการใช้งานที่เราได้ศึกษายังเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องอัดประจุไฟฟ้าแบบคงค่ากระแสไฟฟ้าคงค่าแรงดันไฟฟ้าได้ในอนาคต อีกทั้งเครื่องอัดประจุที่เราจะออกแบบนั้นจะทำให้เกิดประโยชน์ในอนาคตเพื่อสร้างเครื่องอัดประจุที่เหมาะสมกับแบตเตอรี่ได้ในอนาคต

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.

Design of CCCV Battery Charger via PID Controller

Mr. Jirapong Thongnoi

Mr. Natthaphon Mapanya

Mr. Preeda Chompuchaikird

Asst.Prof.Dr. Wiwat Keyoonwong Advisor

Abstract

This Undergraduate project proposed to study the charging process in laboratory and design battery charger with constant current constant voltage by using proportional integral differential (PID) controller for battery lithium-ion phosphate type that expand battery life cycles. The design of battery charger for lithium-ion phosphate type and power circuit for charging and discharging from testing in laboratory alongside with prototype battery charger to get the parameters and characteristics such as current voltage and state of charges (SoC). With the parameters from testing in all scenarios will be plotted with time, the results will be used to analyze the operating functions for constant current constant voltage prototype battery charger. In addition, the using of PID controller is proposed to determine the condition and operating function for designed battery charger whether it affect the battery life cycles. In this project include the testing with practical devices compare to the simulation in MATLAB/Simulink. However, this study is an initial effort towards a constant current constant voltage battery charger and development for a well-designed battery charger in the future.

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.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่องเครื่องอัดประจุไฟฟ้าแบบคงค่ากระแสไฟฟ้าคงค่าแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์สำหรับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนฟอสเฟต สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้เกิดจากการสนับสนุนจากบุคคลที่เกี่ยวข้อง ทางคณะผู้จัดทำขอบคุณและเป็นเกียรติอย่างยิ่งจึงขอขอบพระคุณในดังกล่าว

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. วิวัฒน์ เกียรติวงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยที่ได้ให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำทางด้านวิชาการ การติดต่อสถานที่เพื่อทำการทดสอบและให้ความช่วยเหลือด้านอื่นๆ

ขอขอบพระคุณ ดร. สมภพ ผลไม้ , รศ.ดร. วีระเชษฐ์ ชื่นเงิน , ดร.คุณากร คิตดี ที่ทางคณะผู้จัดทำได้ปรึกษาปัญหาทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง และปัญหาทางด้านระบบควบคุม ซึ่งทั้งสามท่านได้ให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลืออย่างดีในการทำโครงการวิจัยฉบับนี้

ขอขอบคุณตึก ECC ห้องปฏิบัติการวิจัยอินโนเจน และอาคารระบบปฏิบัติการไฟฟ้าอัจฉริยะ ซึ่งเป็นสถานที่ทำการวิจัยของโครงการวิจัยฉบับนี้

ขอขอบคุณ รศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย และพี่ปิ่น ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ทำการทดสอบ รวมถึงแนะนำการใช้งานอุปกรณ์ เครื่องอัดประจุที่ได้มาตรฐานการทดสอบในห้องระบบปฏิบัติการไฟฟ้าอัจฉริยะ ตลอดจน เจ้าหน้าที่ภาควิศวกรรมไฟฟ้าที่ให้เบิกใช้เครื่องมือวัด จนสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำขอกราบของพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้การสนับสนุน ทุกสิ่งอย่างตลอดมาทั้งเรื่องคำปรึกษา ปัญหาการเงิน และเป็นกำลังใจสำคัญให้ทางคณะผู้จัดทำตลอดมา จนสามารถวิจัยปริญญาโทฉบับนี้ได้

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

บทคัดย่อ	I
Abstract.....	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ.....	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ.....	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ.....	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 บทนำ	6
2.2 ชนิดของแบตเตอรี่	6
2.3 การอัดประจุและการคายประจุ	7
2.4 ผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่	9
2.5 วงจรสำหรับอัดประจุแบตเตอรี่.....	10
2.6 การอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่	14
บทที่ 3 การออกแบบวงจร	16
3.1 บทนำ	16
3.2 การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	17
3.3 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	18
3.4 การออกแบบวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์.....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ 3.4 การออกแบบวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ และต้องอ้างอิงถึงชื่อเอกสารทุกครั้งที่มีโอกาสไปใช้

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

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

3.5 วงจรขับเกตมอสเฟต	22
3.6 วงจรวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า	24
3.7 Arduino MEGA2560 R3	26
3.8 การออกแบบวงจรควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่	28
3.9 เครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่	32
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	33
4.1 บทนำ	33
4.2 ผลการทดลอง	33
4.4 ผลการทดสอบวงจรกำลัง	44
4.5 ผลการทดสอบวงจรควบคุม.....	46
4.6 ผลการทดสอบการอัดประจุด้วยเครื่องอัดประจุต้นแบบ	47
บทที่ 5 สรุปผล ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา.....	49
5.1 บทสรุป	49
5.2 ข้อเสนอแนะ	50
5.3 แนวทางการพัฒนา.....	50
เอกสารอ้างอิง	51
ภาคผนวก	52
ภาคผนวก ก	53
ภาคผนวก ข	123
ภาคผนวก ค	128
ประวัติผู้เขียน.....	173

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.

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1	กราฟคุณลักษณะของการอัดประจุแบบแรงดันคงที่	7
รูปที่ 2.2	กราฟคุณลักษณะของการอัดประจุแบบกระแสคงที่	8
รูปที่ 2.3	วงจรลดทอนแรงดัน.....	10
รูปที่ 2.4	วงจรลดทอนแรงดันขณะสวิตช์นำกระแส	11
รูปที่ 3.1	การประจุแบตเตอรี่จากพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ	16
รูปที่ 3.2	วงจรแปลงกระแสสลับเป็นกระแสตรง	17
รูปที่ 3.3	วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์โดยมี PID controller เพื่อคงค่าแรงดันและกระแส	17
รูปที่ 3.4	ผลการจำลองค่าแรงดันไฟฟ้าของวงจรแปลงกระแสสลับเป็นกระแสตรง.....	18
รูปที่ 3.5	ผลการจำลองค่าแรงดันวงจรชั้บเกิดและค่า PID	18
รูปที่ 3.6	ผลการจำลองการอัดประจุของแบตเตอรี่	19
รูปที่ 3.7	วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์สำหรับการอัดประจุแบตเตอรี่จากพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ	21
รูปที่ 3.8	วงจร TLP250	22
รูปที่ 3.9	TLP250.....	22
รูปที่ 3.10	ลายวงจร TLP250	23
รูปที่ 3.11	วงจรทรานซิสเตอร์ LV25-P	24
รูปที่ 3.12	ทรานซิสเตอร์วัดแรงดัน LV25-P.....	24
รูปที่ 3.13	วงจรโมดูลวัดค่ากระแสไฟฟ้า ACS712.....	25
รูปที่ 3.14	โมดูลวัดค่ากระแสไฟฟ้า ACS712	25
รูปที่ 3.15	ไมโครคอนโทรลเลอร์ประเภท Arduino mega2560 R3.....	27
รูปที่ 3.16	วงจรควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟคงที่-แรงดันคงที่.....	28
รูปที่ 3.17	บัคคอนเวอร์เตอร์ควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟคงที่-แรงดันคงที่	28
รูปที่ 3.18	ลายวงจรควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟคงที่-แรงดันคงที่.....	29
รูปที่ 3.19	แผนภาพบล็อกการทำงานของการทำงานของการควบคุม PID.....	30
รูปที่ 3.20	แผนผังการทำงานของการทำงานการอัดประจุแบตเตอรี่แบบควบคุมกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันคงที่.....	31
รูปที่ 3.21	เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีเหตุที่เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารนี้ทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

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

รูปที่ 4.1	รูปภาพแสดงผลการอัดประจุแบตเตอรี่ครั้งที่ 1.....	34
รูปที่ 4.2	พารามิเตอร์ของผลการอัดประจุแบตเตอรี่ครั้งที่ 1.....	34
รูปที่ 4.3	รูปภาพแสดงผลการอัดประจุแบตเตอรี่ครั้งที่ 5.....	35
รูปที่ 4.4	พารามิเตอร์ของผลการอัดประจุแบตเตอรี่ครั้งที่ 5.....	35
รูปที่ 4.5	รูปภาพแสดงผลการอัดประจุแบตเตอรี่ครั้งที่ 10	36
รูปที่ 4.6	พารามิเตอร์ของผลการอัดประจุแบตเตอรี่ครั้งที่ 10.....	36
รูปที่ 4.7	รูปภาพแสดงผลการอัดประจุแบตเตอรี่ครั้งที่ 1.....	37
รูปที่ 4.8	พารามิเตอร์ของผลการอัดประจุแบตเตอรี่ครั้งที่ 1.....	37
รูปที่ 4.9	รูปภาพแสดงผลการอัดประจุแบตเตอรี่ครั้งที่ 10	38
รูปที่ 4.10	พารามิเตอร์ของผลการอัดประจุแบตเตอรี่ครั้งที่ 10	38
รูปที่ 4.11	รูปภาพแสดงผลการอัดประจุแบตเตอรี่ครั้งที่ 20	39
รูปที่ 4.12	พารามิเตอร์ของผลการอัดประจุแบตเตอรี่ครั้งที่ 20	39
รูปที่ 4.13	รูปภาพแสดงผลการอัดประจุแบตเตอรี่ฟีกัด 1.5C ครั้งที่ 1	40
รูปที่ 4.14	พารามิเตอร์ของผลการอัดประจุแบตเตอรี่ฟีกัด 1.5C ครั้งที่ 1	40
รูปที่ 4.15	รูปภาพแสดงผลการอัดประจุแบตเตอรี่ฟีกัด 1.5C ครั้งที่ 20	41
รูปที่ 4.16	พารามิเตอร์ของผลการอัดประจุแบตเตอรี่ฟีกัด 1.5C ครั้งที่ 20	41
รูปที่ 4.17	รูปภาพแสดงผลการอัดประจุแบตเตอรี่ฟีกัด 1.5C ครั้งที่ 40	42
รูปที่ 4.18	พารามิเตอร์ของผลการอัดประจุแบตเตอรี่ฟีกัด 1.5C ครั้งที่ 40	42
รูปที่ 4.19	แรงดันกระแสตรงหลังผ่านวงจรเรียงกระแส	44
รูปที่ 4.20	แรงดันเอาต์พุตหลังผ่านวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ ขณะเริ่มอัดประจุ	44
รูปที่ 4.21	แรงดันเอาต์พุตหลังผ่านวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ ขณะอัดประจุ	45
รูปที่ 4.22	แรงดันเอาต์พุตหลังผ่านวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ ขณะสิ้นสุดการอัดประจุ	45
รูปที่ 4.23	สัญญาณควบคุมสวิตช์วงจรควบคุม TLP250	46
รูปที่ 4.24	สัญญาณขั้วขาเกตของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์	46

เอกสารนี้เป็นรูปที่ 4.25 รูปภาพสัญญาณกระแสไฟฟ้าการอัดประจุแบตเตอรี่ฟีกัด 0.5C.....

ไม่ว่ากรณีรูปที่ 4.26 รูปภาพสัญญาณแรงดันไฟฟ้าการอัดประจุแบตเตอรี่ฟีกัด 0.5C.....

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 **VIII** cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1	แผนการดำเนินโครงการ.....	3
ตารางที่ 3.1	ค่าพารามิเตอร์ของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์.....	21
ตารางที่ 4.1	เวลาในการอัดประจุแบตเตอรี่แต่ละพิกัด.....	43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อระบบเศรษฐกิจและการสภาพแวดล้อมของโลก ทุกการกระทำของมนุษย์มีพลังงานเข้ามาเกี่ยวข้องในชีวิตประจำวันเสมอ เป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้โลกสามารถพัฒนาไปยังอนาคตได้ พลังงานหรือเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับพลังงานมีแนวโน้มที่จะได้รับความนิยมและมีมูลค่ามากขึ้นทั่วโลก ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือ พลังงานไฟฟ้ามีการขยายเครือข่าย การขนส่งและสายส่งระหว่างประเทศมากขึ้น จึงเห็นได้ว่าพลังงานมีความสำคัญมากขนาดไหนในการดำเนินชีวิตของประชาชน ซึ่งแน่นอนจากสถานการณ์ปัจจุบันที่มีการรณรงค์ในการใช้พลังงานที่มีอยู่อย่างคุ้มค่าจึงปฏิเสธไม่ได้เลยว่าโลกเรากำลังเผชิญกับปัญหาของพลังงาน ดังนั้นเราจึงต้องให้ความสำคัญกับการใช้พลังงานและใช้ประโยชน์จากพลังงานให้คุ้มค่ามากที่สุด

ในปัจจุบันแบตเตอรี่ถูกนำไปใช้งานในงานอุตสาหกรรมและชีวิตประจำวันอย่างแพร่หลาย เช่น รถยนต์พลังงานไฟฟ้า ทำให้การออกแบบเครื่องอัดประจุไฟฟ้าที่ดีสำหรับแบตเตอรี่จึงเป็นหัวข้อที่มีการพูดถึงเป็นอย่างมาก เนื่องจากการมีเครื่องอัดประจุไฟฟ้าที่ดีนอกจากจะทำให้การอัดประจุมีประสิทธิภาพแล้วยังเป็นการยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ให้สามารถใช้งานได้ยาวนานมากขึ้นอีกด้วย ปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องอัดประจุไฟฟ้าที่มีอยู่ ณ ปัจจุบันคือ ในระหว่างการอัดประจุนั้นเซลล์แบตเตอรี่บางเซลล์ไม่ได้รับพลังงานเท่ากับเซลล์อื่นๆ ทำให้เซลล์บางเซลล์ประจุตัวเป็นโหลดแทน ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ ดังนั้นการทำให้เซลล์แบตเตอรี่ทุกตัวได้รับพลังงานเท่ากันและไม่มีเซลล์ไหนประจุตัวเป็นโหลดจึงเป็นหัวใจสำคัญของการออกแบบเครื่องอัดประจุไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ ระบบการควบคุมสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์หรือพีไอดี จึงถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหานั้น โดยจะควบคุมการทำงานให้กับวงจรเพื่อให้สามารถส่งผ่านพลังงานได้อย่างน่าพึงพอใจให้กับเซลล์แบตเตอรี่

วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter) ถูกมาใช้ในการลดระดับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟต้นทางและสามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าขาออกให้คงที่และเหมาะสมกับการนำไปใช้อัดประจุแบตเตอรี่ โดยการออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์นั้น แบ่งออกเป็น วงจรควบคุมการทำงานในโหมดกระแสไฟฟ้าคงที่ (Constant Current หรือ CC) และ วงจรควบคุมการทำงานในโหมดแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Voltage หรือ CV) ในงานวิจัยนี้จะใช้การควบคุมทั้งสองโหมดร่วมกันซึ่งก็คือวงจรควบคุมการทำงานของบัคคอนเวอร์เตอร์ให้ทำงานในโหมดกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Current Constant Voltage หรือ CCCV)

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

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

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการอัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพ
2. เพื่อศึกษาการออกแบบวงจรควบคุมแบบสัดส่วน – ปริพันธ์ – อินทิเกรต เพื่อการประจุแบตเตอรี่
3. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพที่สามารถนำไปพัฒนาหรือนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและศึกษาเทคโนโลยีการเก็บพลังงานในรูปแบบแบตเตอรี่อื่นๆต่อไปได้

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการงาน

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงเครื่องต้นแบบในการอัดประจุไฟฟ้าใช้ในการประจุแบตเตอรี่ซึ่งแบตเตอรี่ที่ใช้การทดสอบเป็นแบตเตอรี่ของบริษัทเอกชนแห่งหนึ่งซึ่งมีความจุ 24 V/ 25 Ah โดยมีแหล่งจ่ายพลังงานจากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าและมีโครงสร้างพื้นฐานของวงจรประกอบไปด้วยวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full-Bridge Converter) และวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter) โดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการจำลองและออกแบบเครื่องต้นแบบที่สามารถประจุแบตเตอรี่ได้

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการงาน

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่และวงจรเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่
2. จำลองวงจรเครื่องอัดประจุโดยใช้โปรแกรม MATLAB
3. จัดหาอุปกรณ์สำหรับการสร้างเครื่องอัดประจุต้นแบบ
4. สร้างเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่โดยออกแบบตามการจำลองวงจรในโปรแกรม MATLAB
5. บันทึกผลการทดลองและวิเคราะห์ผลที่ได้
6. สรุปผลการทำงาน ข้อเสนอแนะ อุปสรรคที่เกิดขึ้นและจัดทำปฏิญานินพนธ์

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.

1.5 แผนการดำเนินงานโครงการ

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานโครงการ

คณะผู้จัดทำงานวิจัยได้เริ่มทำงานโดยมีระยะเวลาการดำเนินงานตั้งแต่เดือน

สิงหาคม 2563 ถึง เดือนเมษายน 2564

การดำเนินงาน	ระยะเวลา															
	สิงหาคม 2563				กันยายน 2563				ตุลาคม 2563				พฤศจิกายน 2563			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1. ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับ เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ และวงจรสำหรับเครื่องอัด																
2. จำลองวงจรของเครื่องอัด ประจุแบตเตอรี่ โดยใช้ MATLAB Simulink																
3. จัดหาอุปกรณ์ และ ออกแบบลวดลายวงจร สำหรับการสร้างเครื่องอัด ประจุ																

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.

การดำเนินงาน	ระยะเวลา																			
	ธันวาคม 2563				มกราคม 2564				กุมภาพันธ์ 2564				มีนาคม 2564				เมษายน 2564			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
4. ทดสอบการอัด ประจุแบตเตอรี่ใน ห้องทดสอบที่ได้ มาตรฐาน																				
5. ดำเนินการ สร้างเครื่องอัด ประจุต้นแบบ ตามที่ได้ออกแบบ ไว้																				
6. บันทึกผลการ ทดสอบเครื่องอัด ประจุต้นแบบ																				
7. วิเคราะห์ผล การทดสอบและ สรุปผล																				
8. จัดทำรูปเล่ม ปฏิญานิพนธ์ และเตรียมการ นำเสนอโครงการ																				

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.

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. สามารถสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับการอัดประจุไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ สามารถนำไปพัฒนาผลิตใช้เองได้ในระดับครัวเรือนหรือระดับประเทศ

2. แบตเตอรี่มีการนำไปใช้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องมาจากการอัดประจุที่มีประสิทธิภาพเป็นการถนอมแบตเตอรี่ทำให้มีอายุการใช้งานที่มากขึ้น ลดจำนวนครั้งและค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนแบตเตอรี่ ลดอัตราการเกิดขยะที่เกิดจากแบตเตอรี่ ส่งผลให้ลดผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมและสังคม

3. ข้อมูลในงานวิจัยนี้ทั้งหมดสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางการศึกษาและพัฒนาเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต



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 บทนำ

บทนี้จะเป็นการศึกษาคุณลักษณะระบบการทำงาน ส่วนประกอบต่างๆที่ใช้ในการทำงานของการอัดประจุแบบต่างๆของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน รวมถึงทฤษฎี รายละเอียดที่เกี่ยวข้องทั้งหมดของโครงการดังนี้

2.2 ชนิดของแบตเตอรี่

2.2.1 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนเป็นแบตเตอรี่ที่มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังมีความสามารถในการใช้งานที่ยาวนานก่อนที่จะต้องทำการอัดประจุใหม่อีกครั้งหนึ่ง จึงเป็นที่แน่นอนว่าแบตเตอรี่ชนิดนี้จะถูกนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ อย่างมากมาย ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนประกอบไปด้วยสี่ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ 1. ขั้วไฟฟ้า ได้แก่ แอโนดและแคโทด 2. แผ่นกั้นในแบตเตอรี่ ช่วยป้องกันการลัดวงจรโดยไม่ให้ขั้วแอโนดและแคโทดเกิดการสัมผัสกัน 3. อิเล็กโทรไลต์ เป็นตัวนำที่อยู่ภายในแบตเตอรี่ 4. ตัวรับกระแส เป็นโลหะตัวนำที่ทำหน้าที่ในการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกไปสู่ภายนอกเพื่อนำไปใช้งาน ด้วยความที่แบตเตอรี่ชนิดนี้มีระบบวงจรป้องกันยังทำให้มีข้อดีในเรื่องของความปลอดภัยอีกด้วย โดยวงจรป้องกันจะมีหน้าที่ในการจำกัดค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละเซลล์ขณะที่แบตเตอรี่กำลังทำการชาร์จและป้องกันไม่ให้ค่าแรงดันไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่าที่ควรจะเป็นในขณะที่กำลังทำการดิสชาร์จ และยังมีการตรวจสอบอุณหภูมิภายในแบตเตอรี่เพื่อให้แบตเตอรี่มีความปลอดภัยอีกด้วย

2.2.2 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตเป็นแบตเตอรี่ตระกูลเดียวกับชนิดลิเทียมไอออน จุดเด่นของแบตเตอรี่ชนิดนี้ที่ดีกว่าแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนคือ ด้านความปลอดภัย เมื่อแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมีความผิดปกติเกิดขึ้น แบตเตอรี่สามารถที่จะเกิดการระเบิดได้ แต่เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนฟอสเฟต โครงสร้างของแบตเตอรี่จะไม่สามารถเกิดประกายไฟได้เลย ทำให้มีความปลอดภัยกว่า ข้อดีอีกประการหนึ่งของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนฟอสเฟตก็คือมีรอบอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน แต่ข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนฟอสเฟตคือจะมีค่าความจุไฟฟ้าน้อยกว่าแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนและอีกประการหนึ่งคือแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเซลล์ของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนฟอสเฟตมีค่าอยู่ที่ 3.2 โวลต์ต่อเซลล์โดยประมาณ ในขณะที่แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนมีค่าอยู่ที่ 3.7 โวลต์ต่อเซลล์โดยประมาณ ทำให้ต้องมีออกแบบวงจรอัดประจุใหม่ จึงทำให้ผู้จัดทำมีความสนใจในการออกแบบวงจรอัดประจุสำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลิขสิทธิ์นี้มอบให้ด้วยใจดี และต้องกล่าวถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีโอกาสได้ใช้

This material is reserved for educational use only. It is not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

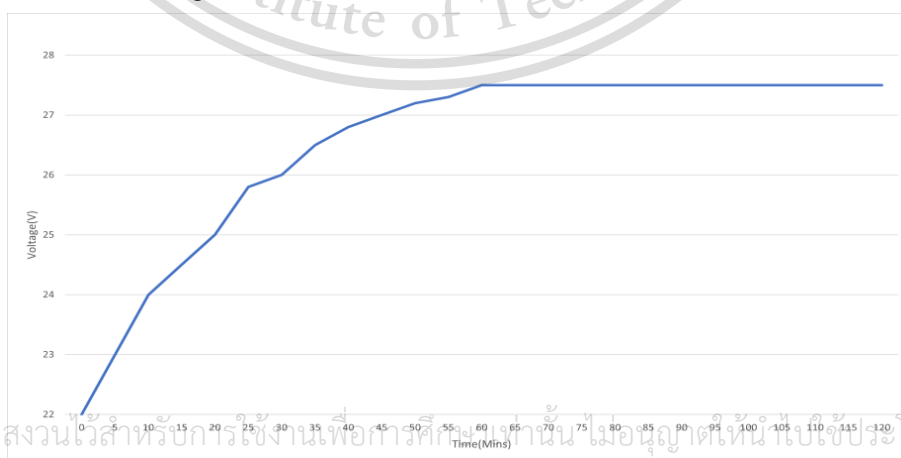
แบตเตอรี่ชนิดนี้ด้วย เนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดนี้มีการนำไปใช้งานได้หลายรูปแบบ เช่น รถยนต์ไฟฟ้า จักรยานไฟฟ้า เป็นต้น

2.3 การอัดประจุและการคายประจุ

หัวใจสำคัญของการอัดประจุคือสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับของแบตเตอรี่ โดยมีประสิทธิภาพและไม่เกิดการเสียหายต่อแบตเตอรี่ โดยธรรมชาติแล้วการอัดประจุแบตเตอรี่นั้น พลังงานที่ใช้ในการอัดประจุเข้าไปจะมากกว่าพลังงานที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายออกสู่ภายนอกได้ เนื่องจากพลังงานจะสูญเสียไปกับความต้านทานภายในแบตเตอรี่และเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนรูปพลังงานไปในรูปแบบอื่น เช่น การเกิดแก๊สในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด ด้วยพลังงานที่สูญเสียไปในตัวแบตเตอรี่นี้ทำให้ประสิทธิภาพในการอัดประจุไม่ถึง 100% ดังนั้นหากต้องการให้ใกล้เคียงกับ 100% จะต้องใช้การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าสูงเกินพิกัด (overcharge) ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้เกิดความร้อน สูญเสียมากกว่าการชาร์จปกติและอาจมีการเสายกเกิดขึ้นกับตัวแบตเตอรี่ ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมการอัดประจุด้วยวิธีนี้ หลักการอัดประจุก็คือการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ตัวแบตเตอรี่โดยจ่ายไปในทิศทางตรงกันข้ามกับการดิสชาร์จ ซึ่งวิธีการอัดประจุที่ใช้กันทั่วไปจะได้แก่ การอัดประจุด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่และการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่

2.3.1 การอัดประจุด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่

การอัดประจุด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่ คือ การชาร์จด้วยพิจารณาที่แรงดันไฟฟ้าอย่างเดียว โดยไม่สนใจกระแสไฟฟ้าขณะทำการชาร์จ ค่าของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชาร์จจะขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของเครื่องอัดประจุไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วไฟฟ้าของแบตเตอรี่ เมื่อทำการเริ่มต้นชาร์จ กระแสไฟฟ้าจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นและจะลดลงเมื่อสถานะอัดประจุของแบตเตอรี่ (State of Charge : SOC) เข้าใกล้ 100%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

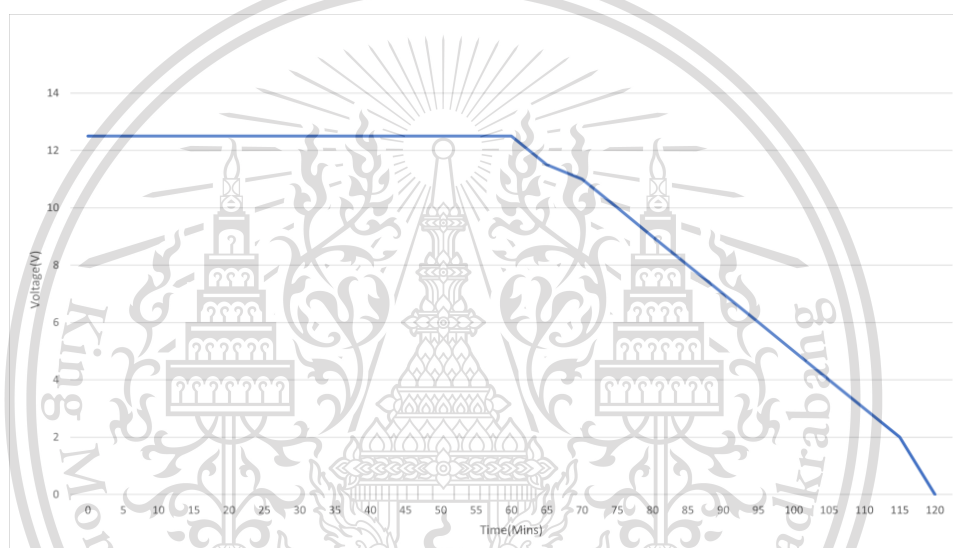
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1 กราฟคุณลักษณะของการอัดประจุแบบแรงดันคงที่

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

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

การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ คือ การชาร์จโดยพิจารณาในการรักษาระดับของกระแสไฟฟ้าให้คงที่ โดยคำนึงถึงกระแสไฟฟ้าสูงสุดเกินพิกัด (overcharge) ค่าแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อเริ่มต้นการชาร์จและจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อแบตเตอรี่เข้าสู่สภาวะกระแสไฟฟ้าสูงเกินพิกัด ดังนั้นการอัดประจุด้วยวิธีนี้จะต้องมีการควบคุมการอัดประจุกรณีเกิดกระแสไฟฟ้าสูงเกินพิกัด การเลือกระดับของกระแสไฟฟ้าอัดประจุนั้นควรเลือกอย่างระมัดระวังเนื่องจากเป็นปัจจัยที่มีผลกับอายุการใช้งานของตัวแบตเตอรี่ ซึ่งแบตเตอรี่แต่ละชนิดก็จะมีพิกัดของกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ในการอัดประจุอยู่ การใช้งานทั่วไปนั้นจะมีกระแสอัดประจุทั้งแบบระดับเดียวและหลายระดับ ในการอัดประจุแบบหลายระดับนั้นในตอนเริ่มต้นก็จะอัดประจุที่ค่ากระแสสูง เมื่อแบตเตอรี่ใกล้จะเต็มก็จะทำการเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าอัดประจุให้ต่ำ



รูปที่ 2.2 กราฟคุณลักษณะของการอัดประจุแบบกระแสคงที่

2.3.3 การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่

การอัดประจุด้วยวิธีนี้นั้นจะเป็นการรวมข้อดีของการอัดประจุทั้งสองวิธีเข้าด้วยกัน โดยจะแบ่งการอัดประจุเป็น 2 ระยะ ได้แก่

ระยะที่ 1 ทำการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าเต็มพิกัดจนเซลล์แบตเตอรี่มีแรงดันไฟฟ้าตามที่กำหนดไว้ ระยะนี้เหมือนกับเป็นการเร่งการอัดประจุให้กับตัวแบตเตอรี่

ระยะที่ 2 ทำการอัดประจุไฟฟ้าด้วยแรงดันเต็มพิกัดคงที่ ในระยะนี้กระแสไฟฟ้าที่อัดเข้าไปในแบตเตอรี่ค่อย ๆ ลดต่ำลง และจะหยุดการอัดประจุเมื่อกระแสไฟฟ้าต่ำกว่า 1% ของอัตรากระแสเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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.

2.3.2 การอัดประจุแบบพัลส์ (Pulse Charging)

วิธีการอัดประจุแบบพัลส์เป็นการอัดประจุโดยใช้พัลส์รูปคลื่นแรงดันสามารถอัดประจุได้เร็วกว่าแบบแรงดันคงที่และใช้เวลาใกล้เคียงกับการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ แต่มีข้อดีกว่าแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ เนื่องจากช่วยระบายความร้อนของแบตเตอรี่ได้ ทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่นานยิ่งขึ้น

2.4 ผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่

ระดับของแรงดันในการอัดประจุนั้นมีความสำคัญมาก หากมีการปรับระดับแรงดันในการอัดประจุที่ไม่ถูกต้อง โอกาสที่จะส่งผลกับตัวแบตเตอรี่สามารถเป็นได้ 2 ลักษณะดังนี้

2.4.1 Under-Charging

การใช้แรงดันในการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ในระดับแรงดันปกติ ถ้าใช้แรงดันในระดับนี้ในการอัดประจนาน ๆ จะให้เกิดตะกอนขึ้นมากเกาะที่ขั้วไฟฟ้าทั้งแอโนดและแคโทด หากทิ้งไว้นานเข้าไปอีก ปริมาณตะกอนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้อิมพีแดนซ์ภายในของแบตเตอรี่มีค่าสูงขึ้นและทำให้การทำปฏิกิริยาระหว่างขั้วไฟฟ้าที่อยู่ภายในกับสารอิเล็กโทรไลต์ทั้งการอัดประจุและการคายประจุเป็นไปด้วยความลำบากมากขึ้น ส่งผลให้ความจุของแบตเตอรี่ลดลงและส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ดังนั้นหากพบว่าแบตเตอรี่กำลังอยู่ในสภาวะ Under-Charging ขึ้นต้องทำการปรับปรุงแก้ไข

2.4.2 Over-Charging

การใช้แรงดันในการอัดประจุแบตเตอรี่ที่สูงกว่าระดับปกติ เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในแบตเตอรี่สูงทำให้เกิดการทำปฏิกิริยาระหว่างขั้วไฟฟ้ากับสารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นไปอย่างรวดเร็วและรวดเร็วกว่าการอัดประจุแบบปกติ ซึ่งในสภาวะนี้จะทำให้แผ่นเพลททั้งสองเกิดการสึกกร่อนอย่างรวดเร็ว ทำให้อายุการใช้งานลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

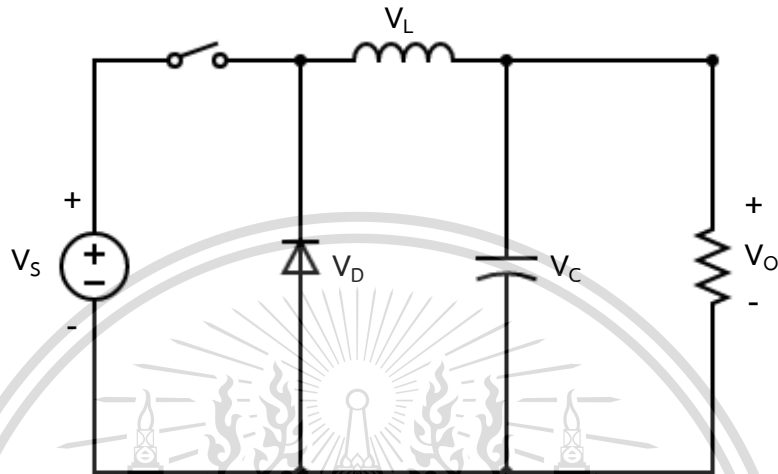
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

2.5 วงจรสำหรับอัดประจุแบตเตอรี่

2.5.1 วงจรลดทอนระดับแรงดัน (Buck Converter)

วงจรลดทอนระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรบักคอนเวอร์เตอร์ตามรูปที่ 2.3 คือวงจรไฟฟ้าที่ทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านขาออกมีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านขาเข้า



รูปที่ 2.3 วงจรลดทอนแรงดัน

เงื่อนไขการทำงานของวงจรลดทอนระดับแรงดัน

การวิเคราะห์การทำงานของวงจรลดทอนระดับแรงดันในช่วงสภาวะคงตัว กำหนดให้อุปกรณ์ทุกตัวทำงานในสภาวะอุดมคติ ทำให้ประสิทธิภาพของวงจรนี้เป็น 100% ซึ่งเงื่อนไขการทำงานของวงจรจะเป็นดังนี้

1. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะมีค่าเท่ากัน

$$i_L(t + T) = i_L \tag{2.1}$$

2. แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมในตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์

$$V_L = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} V_L(t) dt \tag{2.2}$$

3. กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของตัวเก็บประจุในแต่ละคาบจะมีค่าเวลาเท่ากับศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_C = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} i_C(t) dt = 0 \tag{2.3}$$

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

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

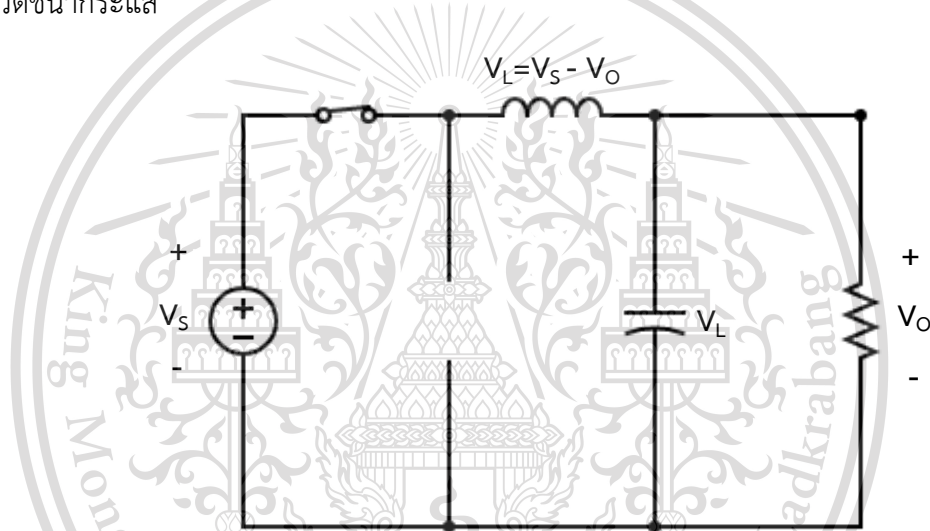
4. กำลังไฟฟ้าด้านเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าด้านออก

$$P_i = P_o \quad (2.4)$$

2.5.2 หลักการทำงานของวงจรถอดตอนระดับแรงดัน

วงจรถอดตอนระดับแรงดันมีจุดประสงค์เพื่อใช้ในการทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านขาออกมีค่าลดลงตามที่ต้องการ หมายความว่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมในแต่ละคาบเวลาเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจะสามารถหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้ตามสมการที่ (2.1) โดยการวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมดจะต้องวิเคราะห์ในสภาวะคงที่ดังนี้

ขณะสวิตช์นำกระแส



รูปที่ 2.4 วงจรถอดตอนระดับแรงดันขณะสวิตช์นำกระแส

จากรูปจะเห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายจะไหลผ่านสวิตช์และผ่านตัวเหนี่ยวนำไปหาโหลด โดยที่ไดโอดจะไม่นำกระแส จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำเท่ากับ

$$-V_s + V_L + V_o = 0 \quad (2.5)$$

$$V_L = V_s - V_o \quad (2.6)$$

$$V_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

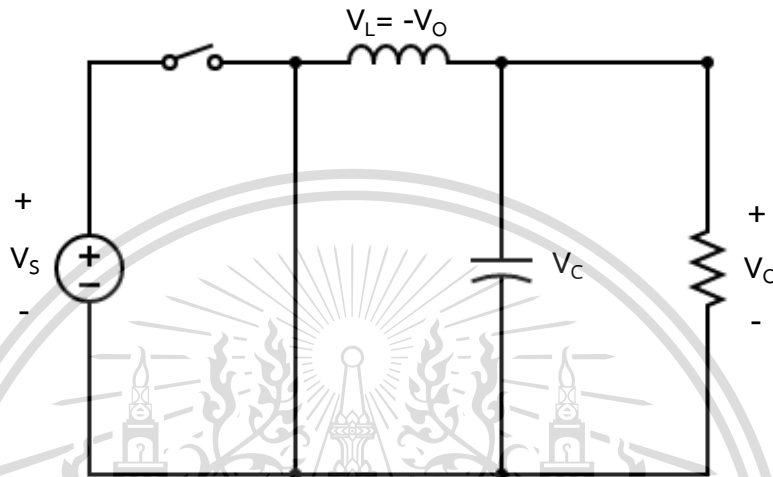
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

dt ช่วงนำกระแส คือ $dt = DT$

$$\Delta i_{L,on} = \left(\frac{V_s - V_o}{L} \right) DT \quad (2.9)$$

ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส



รูปที่ 2.5 วงจรลดทอนแรงดันขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแสไดโอดจะถูกไบอัสข้างหน้า (Forward bias) ให้นำกระแสทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเกิดการไหลอย่างต่อเนื่อง จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการ

$$V_L = -V_o \quad (2.10)$$

$$V_L = L \frac{di_L}{dt} = -V_o \quad (2.11)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_{L,off}}{\Delta t} = \frac{-V_o}{L} \quad (2.12)$$

ขณะที่สวิตช์ไม่นำกระแส $dt = (1 - D)T$ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะลดลงด้วยอัตราคงที่ สามารถคำนวณได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแต่งเนื้อหาใดๆ และต้องอ้างอิงเอกสารทุกครั้งที่มีเครื่องหมายไปใช้

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

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

ณ สภาวะอยู่ตัวการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับศูนย์

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \quad (2.14)$$

จากสมการที่ (2.9) และ (2.13) เมื่อเอามารวมกันตามสมการ (2.14) ทำการจัดรูป
ได้ค่าอัตราขยายของแรงดันไฟฟ้าตามสมการ (2.15)

$$\frac{V_o}{V_s} = D \quad (2.15)$$

จากสมการ (2.15) จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตของวงจรลดทอนแรงดัน
ขึ้นอยู่กับค่าแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตและค่าดีวตีไซเคิล (Duty Cycle : D) โดยแรงดันไฟฟ้าด้าน
เอาต์พุตจะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตเสมอเมื่อวงจรทำงานที่สภาวะคงตัว ค่า
กระแสไฟฟ้าของตัวเก็บประจุเฉลี่ย (I_C) ใน 1 คาบเวลาการสวิตช์

$$I_L = I_O = \frac{V_o}{R} \quad (2.16)$$

การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าหาได้จากสมการ (2.9) และ (2.13) ดังนั้นค่า
กระแสไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดที่ผ่านตัวเหนี่ยวนำคือ

$$I_{L,max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} \quad (2.17)$$

$$I_{L,max} = \frac{V_o}{R} + \frac{1}{2} \left[\frac{V_o}{L} (1 - D) T \right] \quad (2.18)$$

$$I_{L,max} = V_o \left[\frac{1}{2} + \frac{(1 - D)}{2Lf} \right] \quad (2.19)$$

และกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวเหนี่ยวนำต่ำสุดคือ

$$I_{L,min} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2} \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{L,min} = \frac{V_o}{R} - \frac{1}{2} \left[\frac{V_o}{L} (1 - D) T \right] \quad (2.21)$$

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

$$I_{L,\min} = V_o \left[\frac{1}{2} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right] \quad (2.22)$$

จากสมการที่ (2.22) หากค่าขดลวดเหนี่ยวนำต่ำสุดที่ยังคงทำให้วงจรลดทอนแรงดันทำงานในโหมดต่ำเนื่องโดยกำหนดให้ $I_{L,\min} = 0$

ดังนั้น
$$L_{\min} = \frac{(1-D)}{2f} \times \frac{V_o}{I_o} \quad (2.23)$$

2.6 การอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่

วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่เพื่อประสิทธิภาพสูงสุดและเหมาะสมกับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนฟอสเฟต คือการอัดประจุร่วมกันระหว่างการอัดประจุกระแสไฟฟ้าคงที่และการอัดประจุแรงดันไฟฟ้าคงที่

2.6.1 ขั้นตอนการทดสอบการอัดประจุในห้องทดลอง

1. โหมดการอัดประจุเซลล์แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนฟอสเฟตแบบกระแสไฟฟ้าคงที่โดยจะใช้กระแสไฟฟ้าไม่เกิน 0.5C เมื่ออัดประจุไป แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะมีค่าเพิ่มขึ้นจนแรงดันมีค่าระดับคงที่ รอทำงานโหมดต่อไป

2. โหมดการการอัดประจุเซลล์แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนฟอสเฟตแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่โดยเมื่ออัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ (ในข้อที่ 1.) แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะมีค่าเพิ่มขึ้นจนแรงดันมีค่าระดับคงที่สูงสุดในการอัดประจุสุดท้าย 3.4 V สำหรับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนฟอสเฟต 1 เซลล์ จะทำการอัดประจุเซลล์แบตเตอรี่ที่แรงดันไฟฟ้าคงที่ กระแสไฟฟ้าทำการอัดประจุจะลดลงจนถึงค่า 0.02C

3. หยุดการอัดประจุและพักการทดสอบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นให้นำไปคายประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ 0.5C แรงดันของแบตเตอรี่จะลดลงจนกระทั่งแรงดันเท่ากับแรงดันคายประจุสุดท้ายของการคายประจุ 2.8 V และพักการทดสอบอีก 1 ชั่วโมง

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.

2.6.2 ขั้นตอนการทดสอบการอัดประจุด้วยเครื่องอัดประจุ

1. โหมตการอัดประจุเซลล์แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนฟอสเฟตแบบกระแสไฟฟ้าคงที่โดยจะใช้กระแสไฟฟ้าไม่เกิน 0.5C เมื่ออัดประจุไป แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะมีค่าเพิ่มขึ้นจนแรงดันมีค่าระดับคงที่ รอทำงานโหมตต่อไป

2. โหมตการการอัดประจุเซลล์แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนฟอสเฟตแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่โดยเมื่ออัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ (ในข้อที่ 1.) แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะมีค่าเพิ่มขึ้นจนแรงดันมีค่าระดับคงที่สูงสุดในการอัดประจุสุดท้าย 3.4 V สำหรับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนฟอสเฟต 1 เซลล์ จะทำการอัดประจุเซลล์แบตเตอรี่ที่แรงดันไฟฟ้าคงที่ กระแสไฟฟ้าทำการอัดประจุจะลดลงจนถึงค่า 0.1C

3. หยุดการอัดประจุและพักการทดสอบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นให้นำไปคายประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ 0.5C โดยใช้อิเล็กทรอนิกส์ไหลดในการทำให้คายประจุ แรงดันของแบตเตอรี่จะลดลงจนกระทั่งแรงดันเท่ากับแรงดันคายประจุสุดท้ายของการคายประจุ 2.8 V และพักการทดสอบอีก 1 ชั่วโมง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

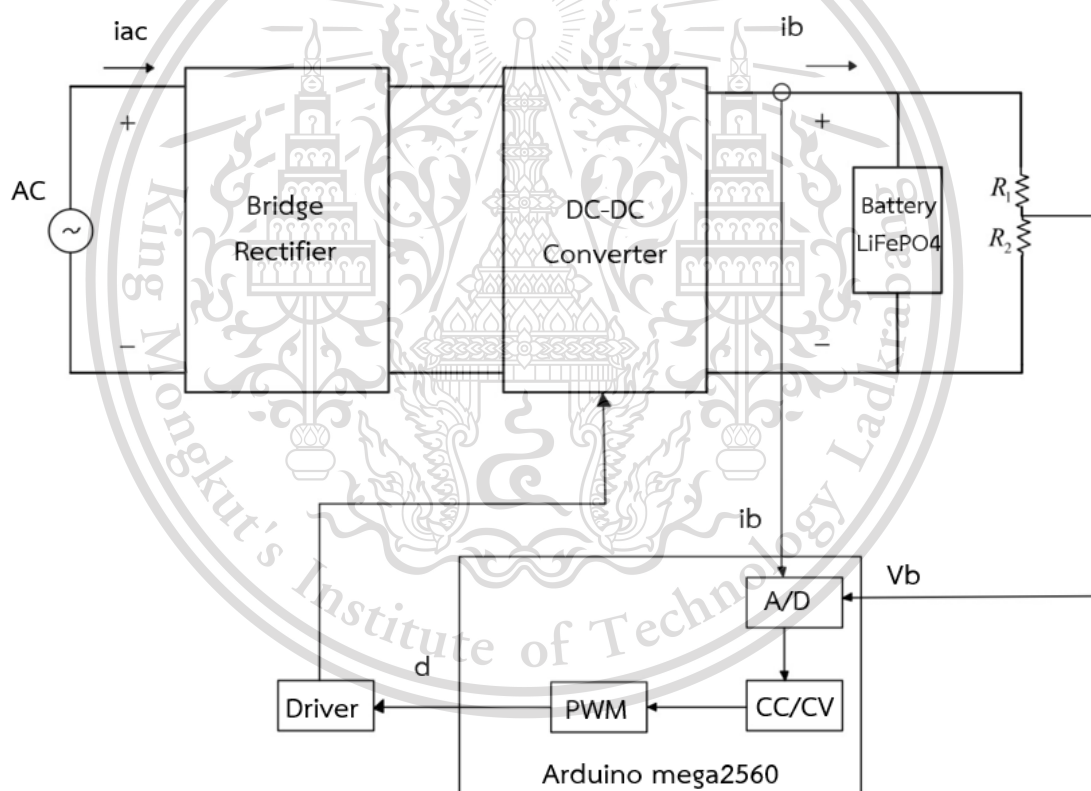
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

การออกแบบวงจร

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ช่วยในการจำลองการอัดประจุของแบตเตอรี่หาค่าพารามิเตอร์ของวงจรการอัดประจุ และตรวจสอบการทำงาน ก่อนนำไปสร้างชิ้นงานจริง โดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink เพื่อทำการทดลอง บันทึกผล และนำเสนอผลการทดลอง โดยการอัดประจุแบบแรงดันคงที่และกระแสคงที่ โดยทำการออกแบบวงจรแปลงกระแสไฟฟ้าสลับเป็นกระแสตรงและลดทอนแรงดันผ่านวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ ออกแบบวงจรควบคุมการอัดประจุด้วยวิธีแรงดันคงที่และกระแสคงที่ผ่าน Arduino mega 2560 ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การประจุแบตเตอรี่จากพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ

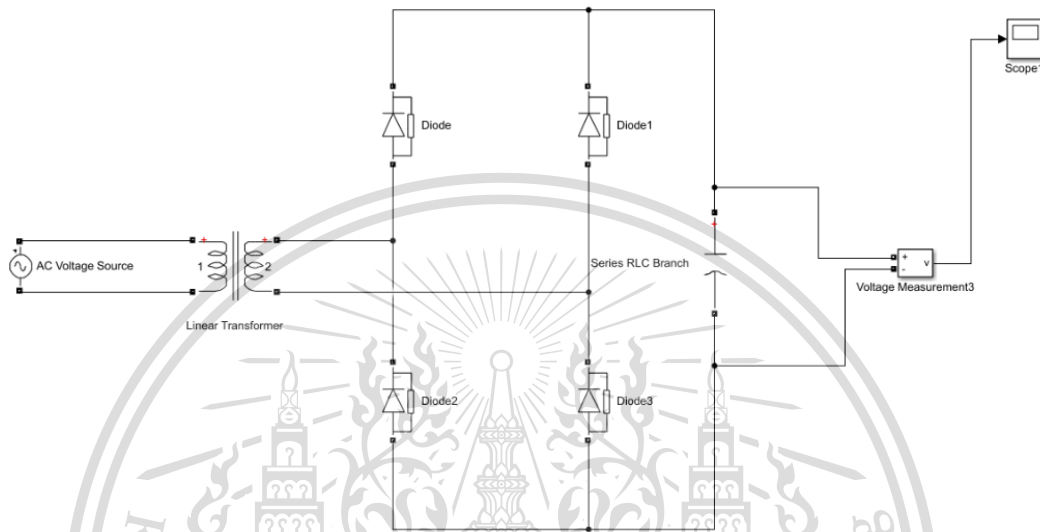
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

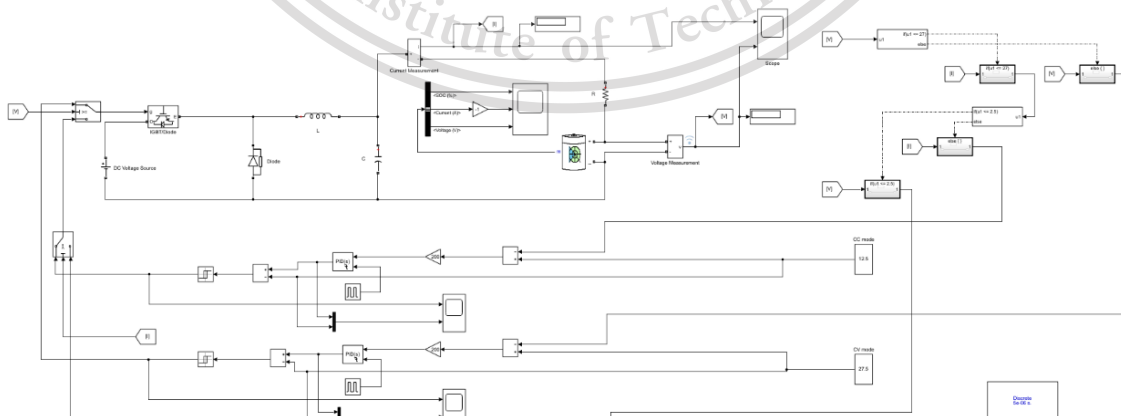
3.2 การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

แบบจำลองเครื่องอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงและกระแสคงที่โดยรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ผ่านวงจรเรียงกระแส (Bridge diode) ผ่านตัวเก็บประจุ (DC link) ก่อนเข้าวงจรบักคอนเวอร์เตอร์ (Buck converter) ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วงจรแปลงกระแสสลับเป็นกระแสตรง

ทำการจำลองเพื่อแสดงผลการทำงานของวงจรการอัดประจุกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ เพื่อให้สามารถอัดประจุได้อย่างรวดเร็วในช่วงแรกจำเป็นต้องมีค่ากระแสคงที่และเมื่อได้แรงดันไฟฟ้าที่ระบุของแบตเตอรี่จะทำการอัดประจุแบบคงค่าแรงดันไฟฟ้าและเมื่อกระแสลดลงน้อยมากๆ จะทำการอัดประจุแบบคงค่าแรงดันระบุ ดังรูปที่ 3.3

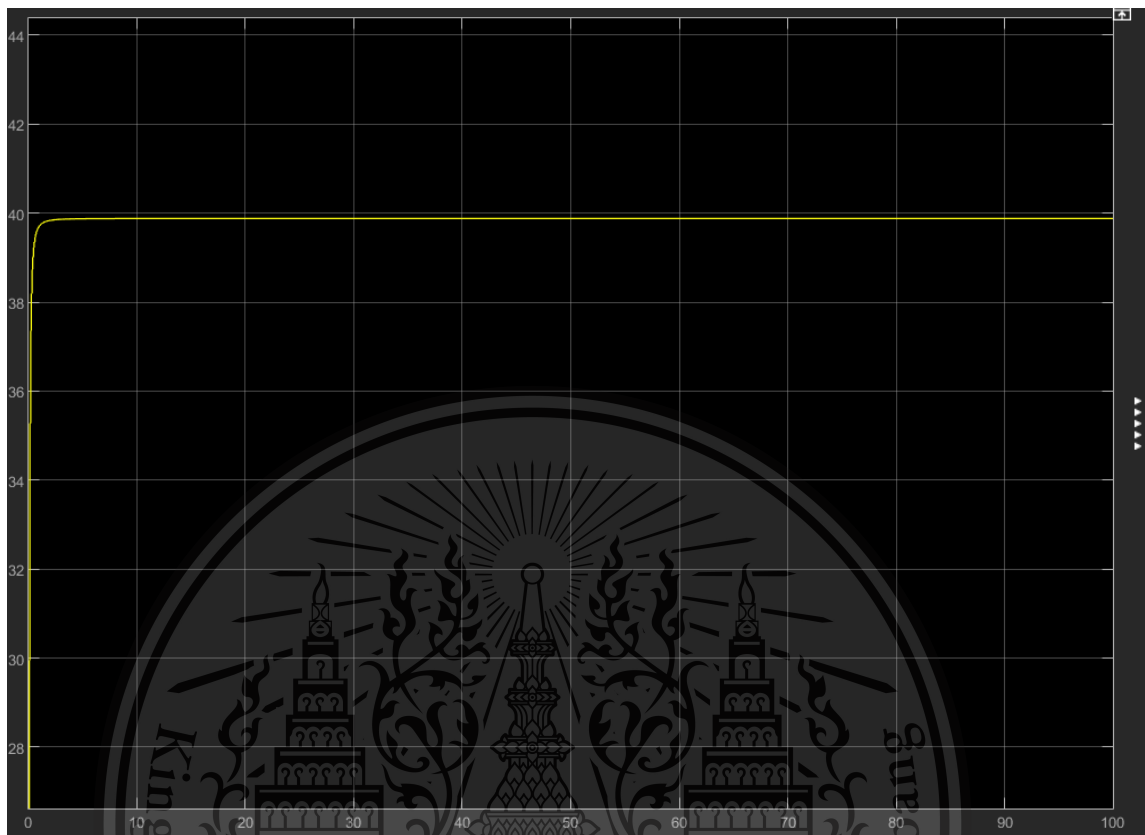


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

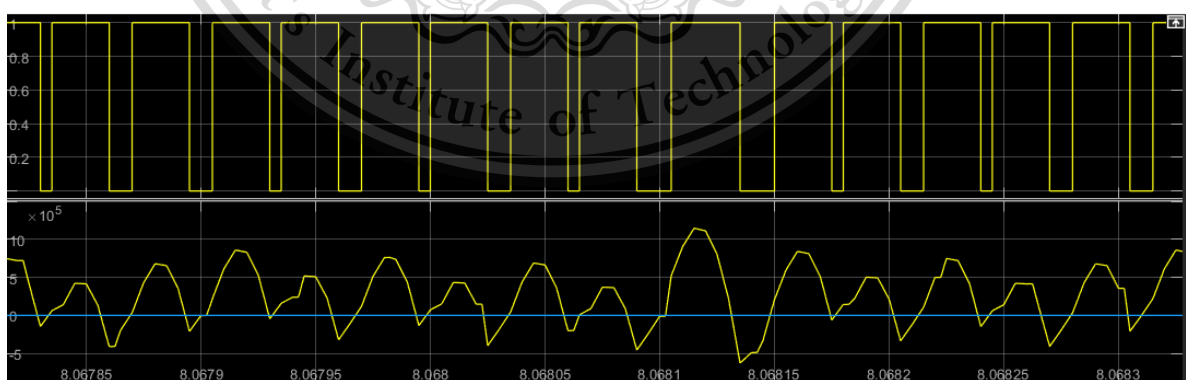
This material is รูปที่ 3.3 วงจรบักคอนเวอร์เตอร์โดยมี PID controller เพื่อคงค่าแรงดันและกระแส.

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

3.3 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.4 ผลการจำลองค่าแรงดันไฟฟ้าของวงจรแปลงกระแสสลับเป็นกระแสตรง

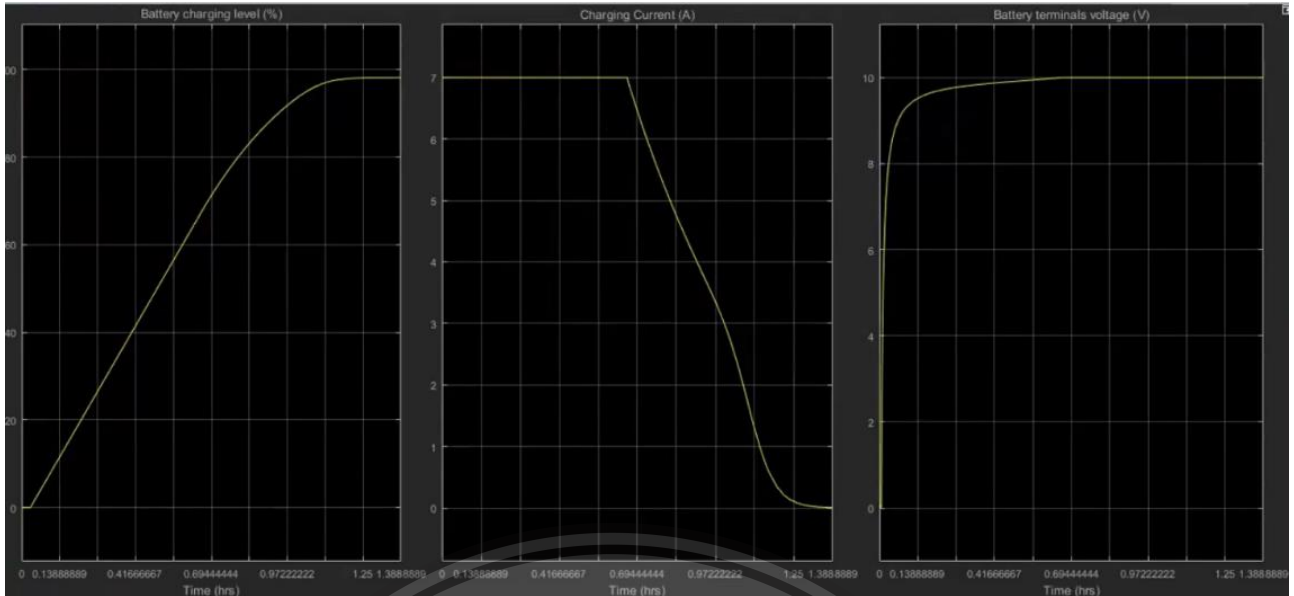


รูปที่ 3.5 ผลการจำลองค่าแรงดันวงจรซบเกตและค่า PID

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 3.6 ผลการจำลองการอัดประจุของแบตเตอรี่

3.4 การออกแบบวงจรบังคับคอนเวอร์เตอร์

การออกแบบวงจรบังคับคอนเวอร์เตอร์เพื่อประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนฟอสเฟต ขนาด 24 โวลต์ 8 เซลล์มาอนุกรมกัน จึงต้องเลือกใช้แรงดันด้านออกสำหรับชาร์จแบตเตอรี่เซลล์ละ 3.4 V มีค่าเท่ากับ $3.4 \times 8 = 27.2 \text{ V}$ และกระแสไฟฟ้าด้านออกเท่ากับ 12.5 A (0.5 C) โดยใช้แหล่งพลังงานจากหม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้าแบบแกนหมุน (variac) โดยมีแรงดันไฟฟ้าด้านออก $V_o = 27.5 \text{ V}$ กระแสไฟฟ้าทางด้านออก $I_o = 12.5 \text{ A}$ ความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์ $f_s = 31.25 \text{ kHz}$ โดยมีขั้นตอนในการออกแบบดังนี้

3.4.1 คำนวณหาค่าดิวตี้ไซเคิล

การคำนวณหาค่าดิวตี้ไซเคิลเพื่อกำหนดช่วงเวลาสำหรับสวิตช์ให้ทำงานและหยุดทำงานในหนึ่งคาบเวลา

$$D = \frac{V_o}{V_s} = \frac{27.5 \text{ V}}{35 \text{ V}} = 0.7857$$

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.

3.4.2 คำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำ (L)

การคำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำต่ำสุดที่จะทำให้วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดต่อเนื่องได้ โดยกำหนดให้ $I_{L,min} = 0$

$$\therefore L_{min} = \frac{(1-D)}{2f} \times \frac{V_o}{I_o} = \frac{(1-0.7857)}{2 \times 31.25 \times 10^3} \times \frac{27.5}{12.5} = 7.54 \mu H$$

ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำที่ใช้ไม่ควรต่ำกว่า 7.54 ไมโครเฮนรี่ เพื่อให้การทำงานอยู่ในโหมดต่อเนื่อง โดยเลือกใช้ค่าตัวเหนี่ยวนำเท่ากับ 9 ไมโครเฮนรี่

3.4.3 คำนวณหาค่าตัวเก็บประจุ (C)

การคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุ โดยกำหนดค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าไม่เกิน 1% ดังนั้นค่าตัวเก็บประจุ

$$C = \frac{(1-D)}{8Lf^2 \left(\frac{\Delta V_o}{V_o}\right)} = \frac{(1-0.7857)}{8(11 \times 10^{-6})(31.25 \times 10^3)(0.01)} = 363.8 \mu F$$

3.4.4 การเลือกใช้มอสเฟต

วงจรรบัคคอนเวอร์เตอร์ในงานวิจัยนี้ทำงานที่ความถี่สวิตช์ $f_s = 31.25 \text{ kHz}$ แรงดันไฟฟ้าที่มอสเฟตทนได้ ควรมากกว่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสูงสุดของวงจรรบัคคอนเวอร์เตอร์จึงเลือก 100 V
ดังนั้นเลือกใช้มอสเฟตเบอร์ IRFP470

3.4.5 การเลือกใช้ไดโอด

แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไดโอดมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของวงจรรบัคคอนเวอร์เตอร์ดังนั้นเลือกใช้ไดโอดเบอร์ MUR1605

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

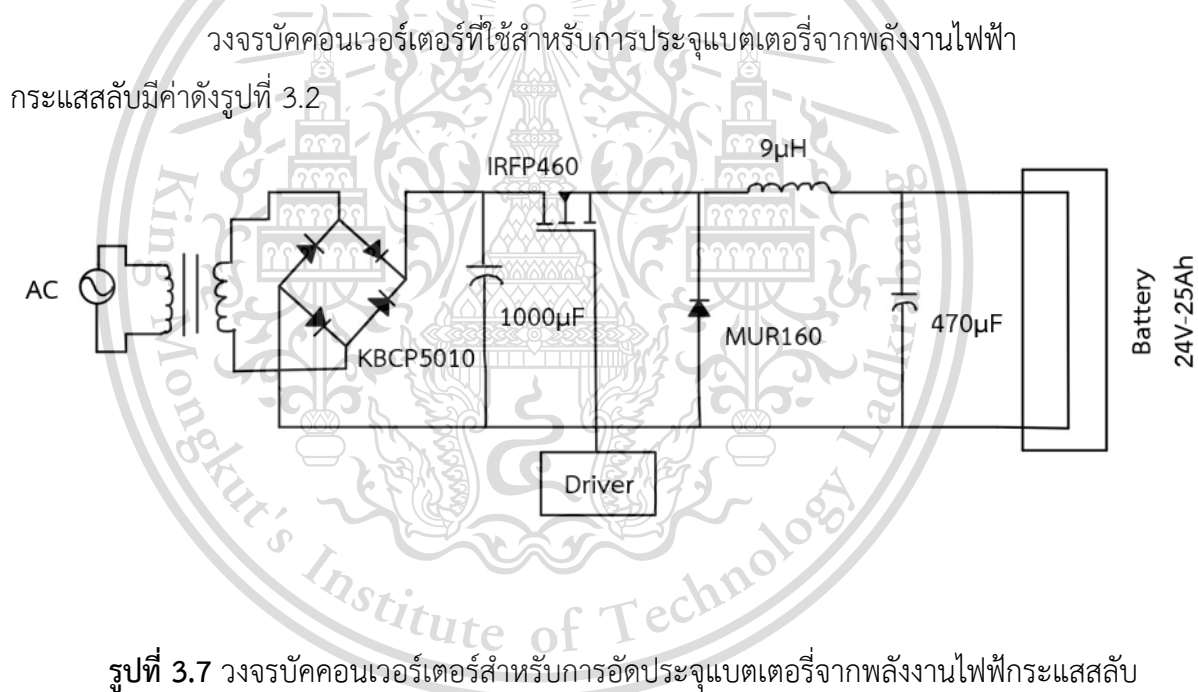
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

ค่าของพารามิเตอร์ของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ แสดงตามตารางที่ 3.1

ค่าพารามิเตอร์	
แรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้า	35 V
แรงดันไฟฟ้าทางด้านออก	27.5 V
ความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์	31.25 kHz
ตัวเหนี่ยวนำ	$9 \mu\text{H}$
ตัวเก็บประจุ	$470 \mu\text{F}$

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์



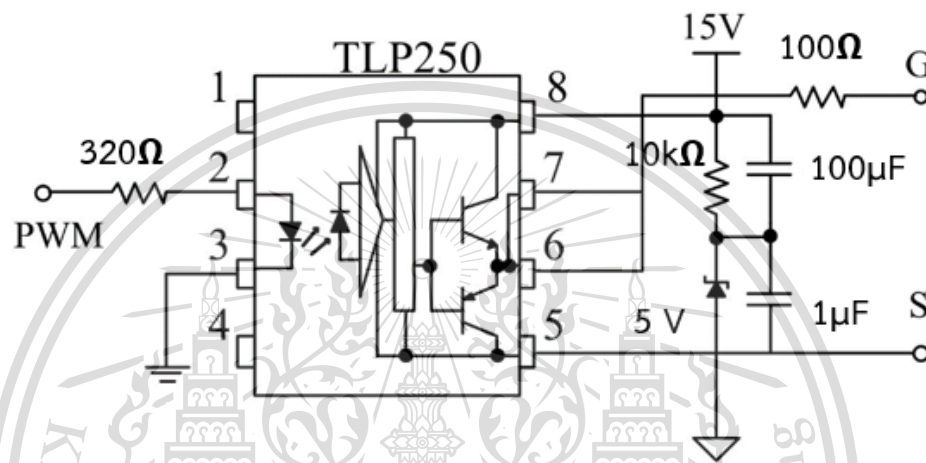
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

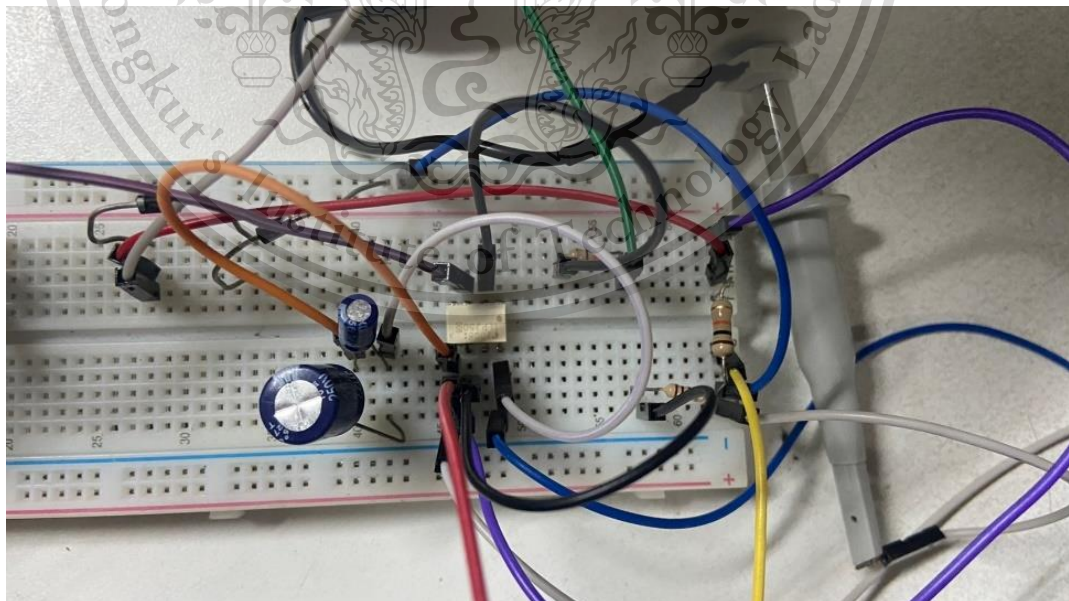
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.5 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

ในการออกแบบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ (V_c) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ใช้การควบคุมให้สวิตช์สามารถทำงานและหยุดได้และยังใช้ในการแยกระดับของแรงดันไฟฟ้าและกราวนระหว่างวงจรควบคุมและวงจรกำลัง ในการออกแบบใช้ IC ชนิด TLP250 เป็นอุปกรณ์ในการควบคุมการสวิตช์ ดังรูปที่ 3.8



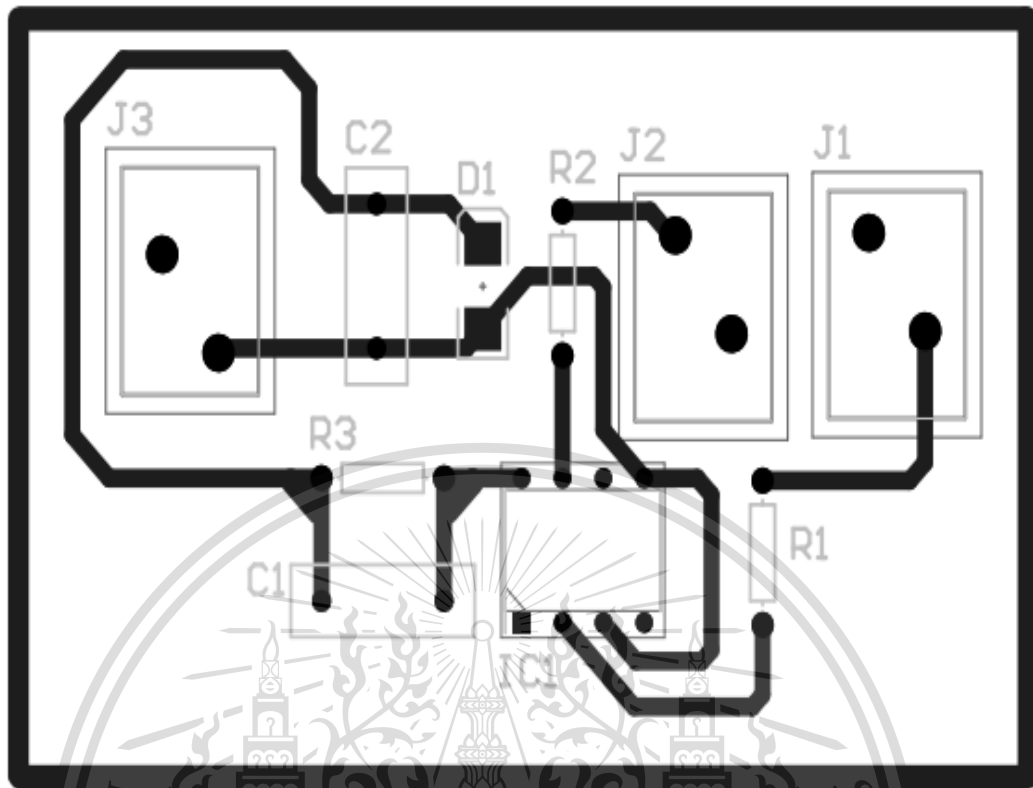
รูปที่ 3.8 วงจร TLP250



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานำไปอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.9 TLP250
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.



รูปที่ 3.10 ลายวงจร TLP250

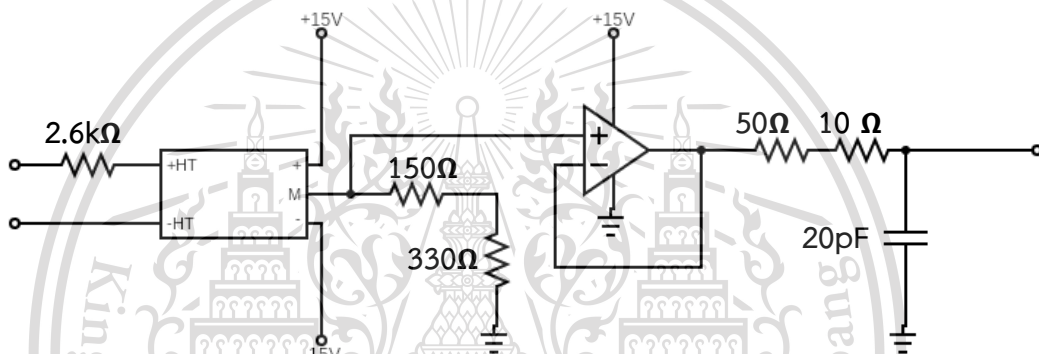
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

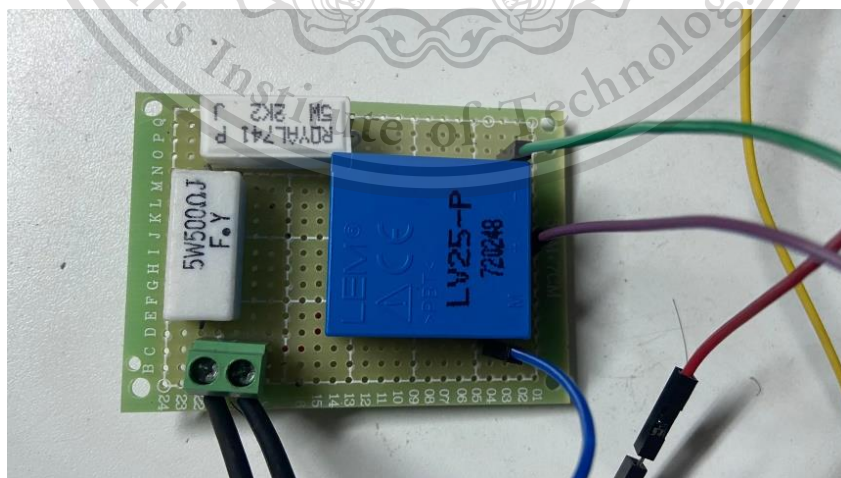
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.6 วงจรวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

วงจรวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจะทำหน้าที่ตรวจจับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในการอัดประจุแบตเตอรี่ โดยในการจำลองและการทำเครื่องต้นแบบจะเลือกอุปกรณ์ที่ตรงกับพิกัดในการทดสอบการอัดประจุที่ระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุด 24 V และกระแสไฟฟ้าสูงสุด 12.5 A เพื่อนำแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ส่งค่าเข้าไปในไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งก็คือ Arduino MEGA2560 ผ่านทางพอร์ตการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital หรือ A/D) โดยในการออกแบบสำหรับอุปกรณ์วัดค่ากระแสไฟฟ้าเลือกเป็น Current Sensor Module ACS712 และอุปกรณ์วัดค่าแรงดันไฟฟ้าเลือกเป็น LEM เบอร์ LV 25-P



รูปที่ 3.11 วงจรทรานสดิวเซอร์ LV25-P

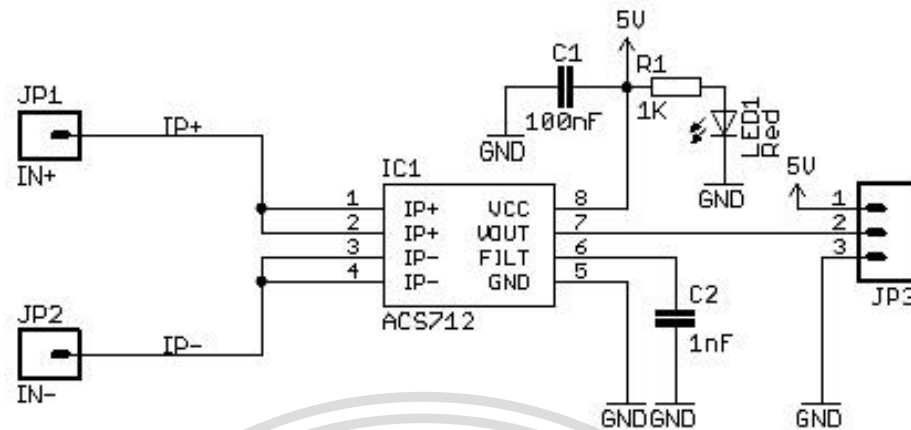


รูปที่ 3.12 ทรานสดิวเซอร์วัดแรงดัน LV25-P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในห้องเรียนเท่านั้น 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.



รูปที่ 3.13 วงจรโมดูลวัดค่ากระแสไฟฟ้า ACS712



รูปที่ 3.14 โมดูลวัดค่ากระแสไฟฟ้า ACS712

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.

3.7 Arduino MEGA2560 R3

Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีความนิยมในการใช้งาน และถูกออกแบบมาให้ใช้งานง่าย สามารถค้นหาข้อมูลการใช้งานและตัวอย่างการเขียนโปรแกรมได้จากหลายแหล่ง จึงเหมาะสำหรับการนำมาใช้ในงานวิจัย อีกทั้งบอร์ด Arduino ยังสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามายังพอร์ตขาเข้าและขาออก (I/O) ของบอร์ดได้ แล้วสามารถนำไปเขียนโปรแกรมเพื่อนำมาใช้งานได้เลย

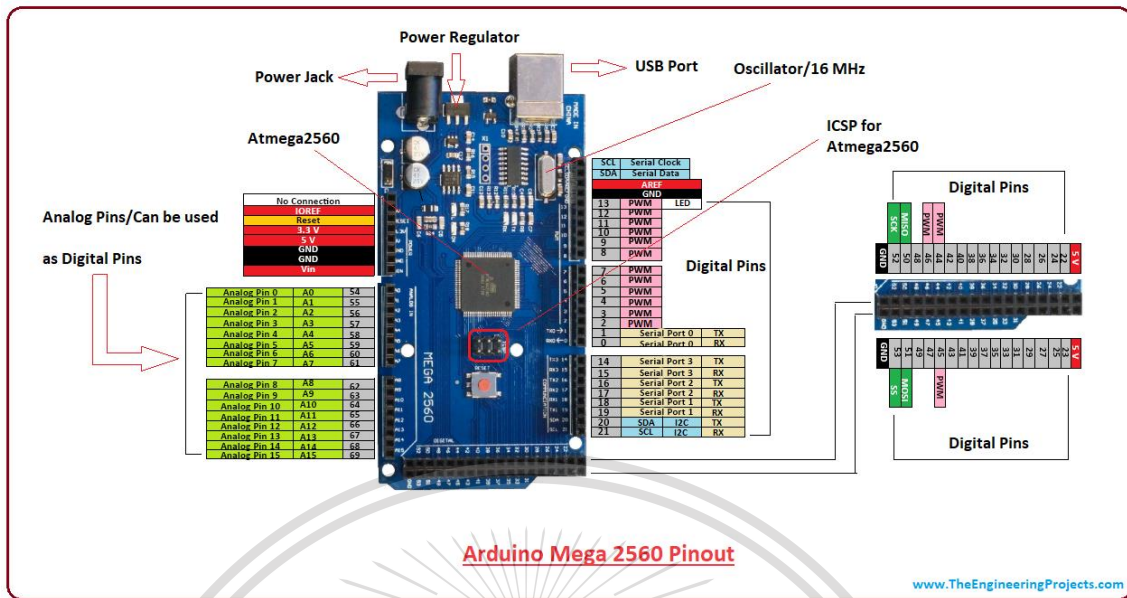
3.7.1 ฟังก์ชันอื่นๆ

- External Interrupts: 2 (interrupt 0) , 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), 21 (interrupt 2). pins เหล่านี้สามารถที่จะกำหนดค่าที่เรียก interrupt ในค่าต่างๆ, ขอบขาขึ้นและลง หรือเปลี่ยนแปลงค่า
- PWM: 2 ถึง 13 และ 44 ถึง 46 ให้ output PWM output 8-bits
- SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS) ใช้สำหรับรองรับการสื่อสารแบบ SPI โดยที่ไม่เกี่ยวข้องกับ ICSP header ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายกับ Uno, Duemilanove และ Diecimila
- LED 13 : เป็น build-in LED ที่เชื่อมต่อกับ digital pin 13 เมื่อ pin มีค่าเป็น HIGH LED จะติด , แต่เมื่อ pin เป็น LOW LED จะดับ
- TWI : 20 (SDA) and 21 (SCL). รองรับการเชื่อมต่อแบบ TWI(I2C)
- บอร์ด Mega2560 มี 16 analog inputs แต่ละ pins ให้ความละเอียด 10 bits
- AREF. แรงดันอ้างอิง สำหรับ analog input
- Reset ใช้ในการ reset ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยทั่วไปจะใช้โดยการเพิ่มปุ่ม reset ไว้บน shield เพื่อป้องกันปุ่มที่อยู่บนบอร์ด

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.



รูปที่ 3.15 ไมโครคอนโทรลเลอร์ประเภท Arduino mega2560 R3



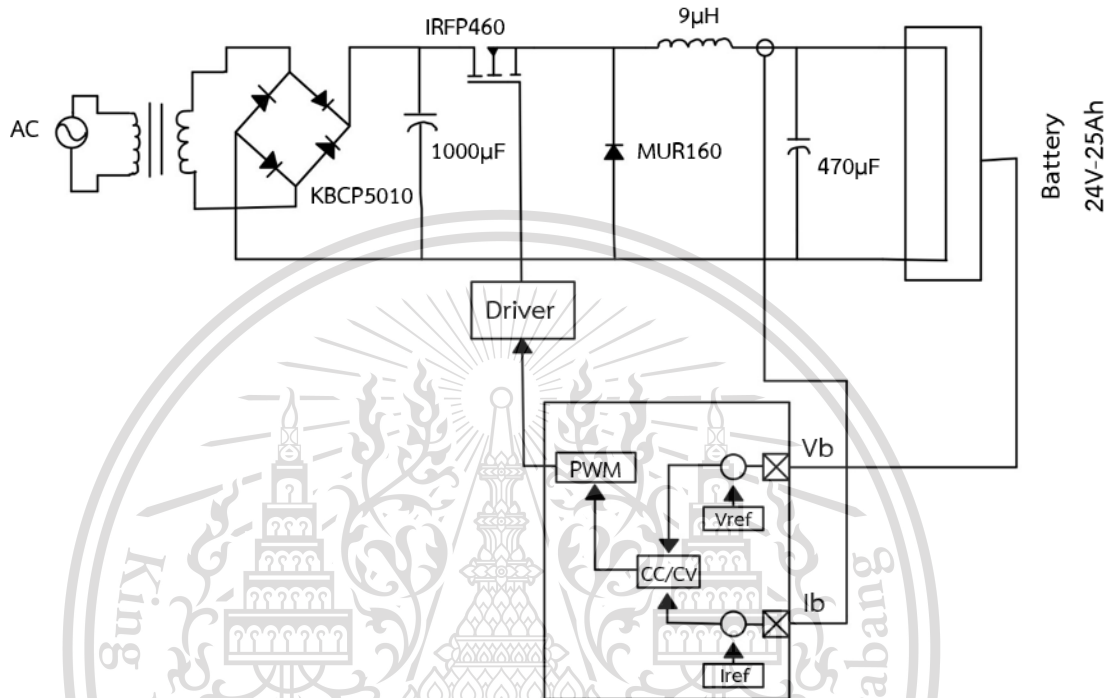
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

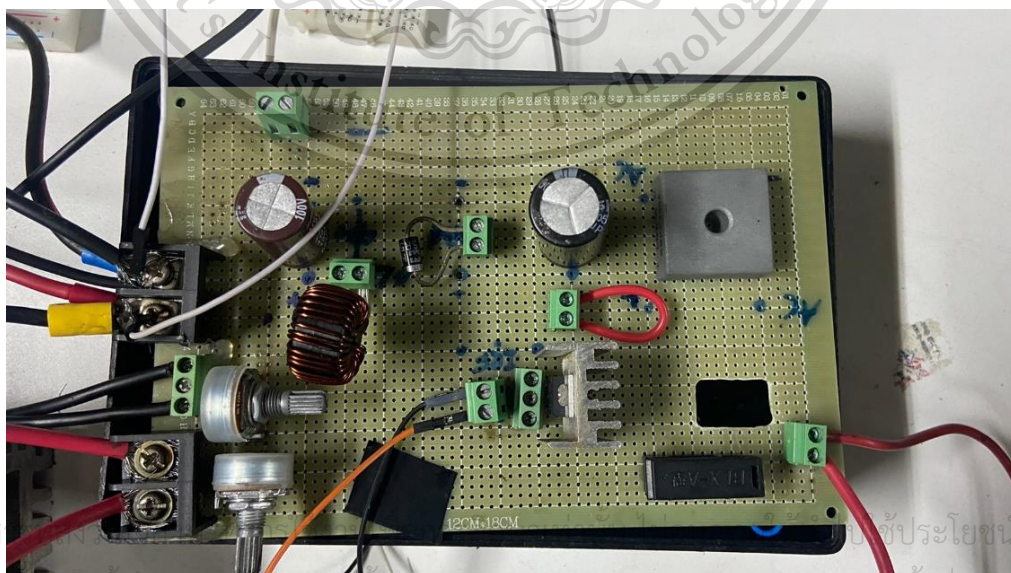
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.8 การออกแบบวงจรควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่

ในการออกแบบวงจรควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่จะใช้การอัดประจุทั้งหมดสามวิธี การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ การอัดประจุด้วยแรงดันคงที่ และการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้า-แรงดันไฟฟ้าคงที่



รูปที่ 3.16 วงจรควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันคงที่

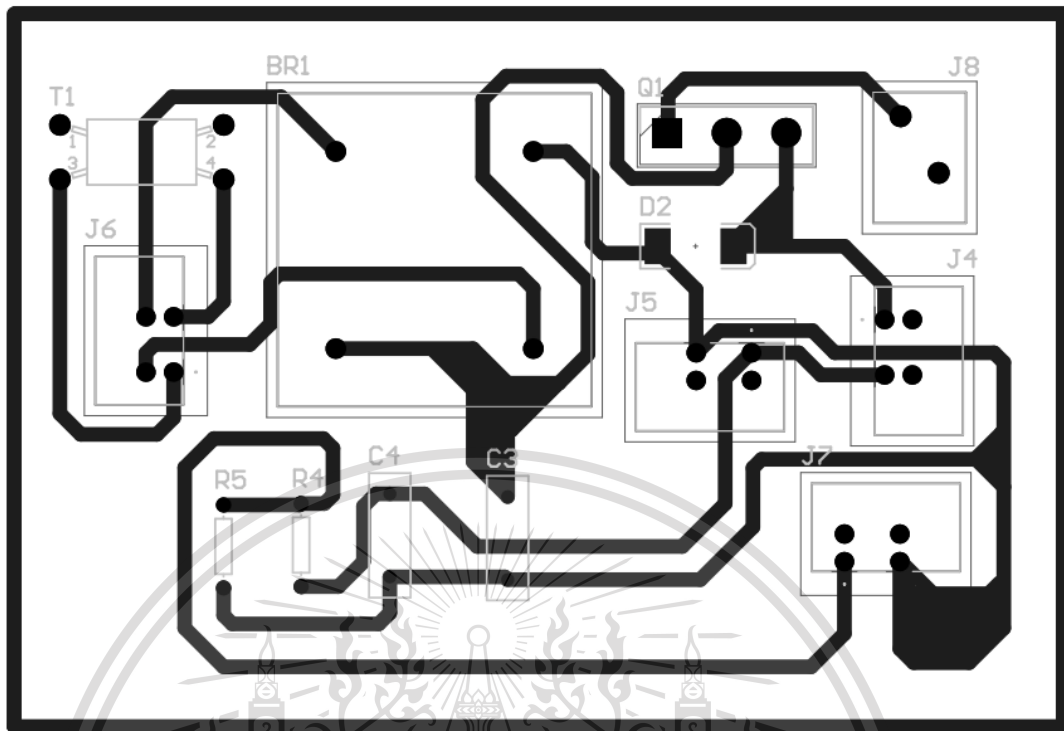


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This materia รูปที่ 3.17 บัคคอนเวอร์เตอร์ควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันคงที่

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



รูปที่ 3.18 ลายวงจรควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันคงที่

3.8.1 โหมดการควบคุมแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Voltage Mode)

โหมดการอัดประจุด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่ คือ การอัดประจุด้วยพิจารณาที่แรงดันไฟฟ้าอย่างเดียว โดยไม่สนใจกระแสไฟฟ้าขณะทำการชาร์จ ซึ่งจะออกแบบวงจรควบคุมเพื่อให้สามารถควบคุมการทำงานของวงจรให้สามารถรักษาระดับแรงดันขาออกให้คงที่ โดยการออกแบบจะใช้ระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์หรือพีไอดีในการควบคุมการทำงานดังกล่าว

3.8.2 โหมดการควบคุมกระแสไฟฟ้าคงที่ (Constant Current Mode)

โหมดการควบคุมกระแสไฟฟ้าคงที่ คือ การอัดประจุด้วยพิจารณากระแสไฟฟ้าอย่างเดียว ซึ่งจะออกแบบวงจรควบคุมให้สามารถควบคุมกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่อยู่ในวงจรเพื่อให้สามารถอัดประจุได้ในระดับกระแสที่กำหนดของแบตเตอรี่

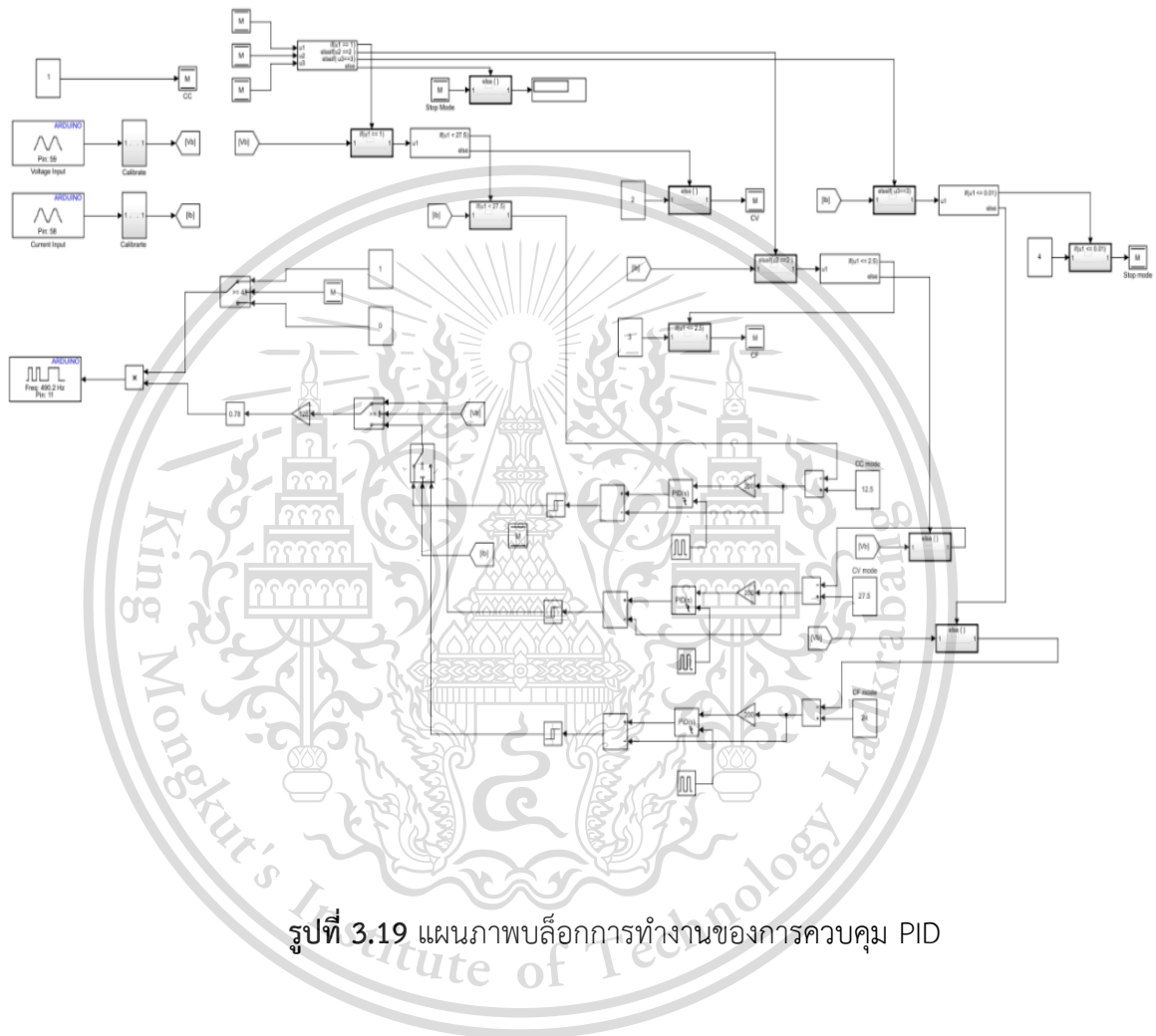
3.8.3 โหมดการควบคุมกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Current Constant Voltage Mode)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ใช้เท่านั้น ไม่สามารถนำออกใช้เพื่อประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ในช่วงเริ่มต้นให้การประจุแบตเตอรี่ทำงานในโหมดการควบคุมกระแสไฟฟ้าคงที่ โดยกำหนดกระแสที่ใช้

This n ใช้งาน 0.5C หรือครึ่งหนึ่งของกระแสที่กำหนดของแบตเตอรี่และเมื่อแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (V_b) มีค่า

มากกว่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง (V_{ref}) ที่ 15% ของแรงดันไฟฟ้าปกติ (V_{float}) จะกำหนดให้การประจุแบตเตอรี่เป็นแรงดันไฟฟ้าคงที่ จนกระทั่งกระแสไฟฟ้า (i_b) มีค่าต่ำกว่า $0.1C$ จะกำหนดให้การประจุเป็นแบบแรงดันไฟฟ้าปกติ (V_{float}) โดยหลักการการทำงานการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะเป็นดังรูปที่ 3.17 และแผนผังการทำงานจะเป็นดังรูปที่ 3.18

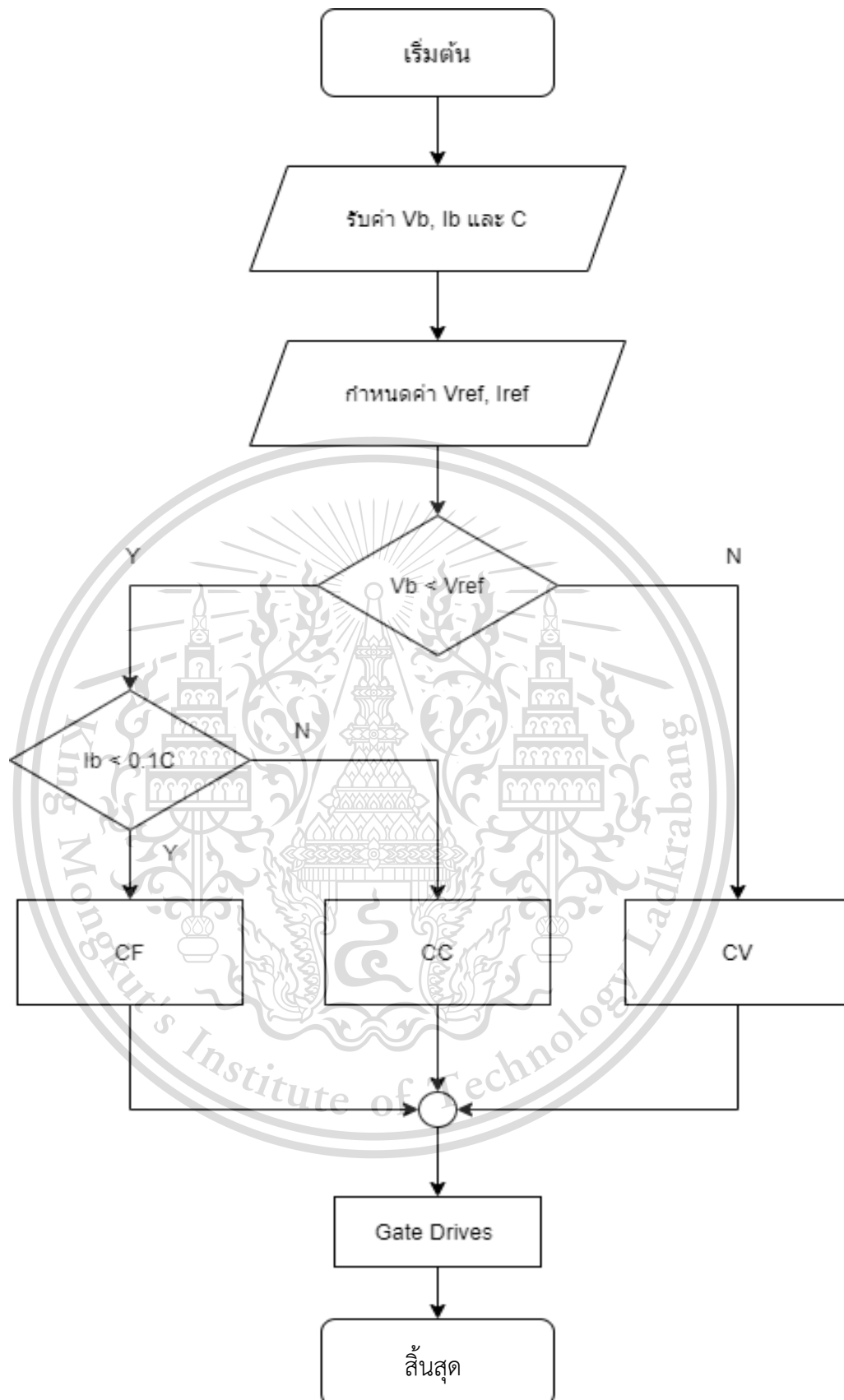


รูปที่ 3.19 แผนภาพบล็อกการทำงานของ การควบคุม PID

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 **รูปที่ 3.20** แผนผังการทำงานของการอัดประจุแบตเตอรี่แบบควบคุมกระแสไฟฟ้าคงที่ไปใช้

This material is reserved for educational use and is not allowed for commercial use.

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

3.9 เครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่

เครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่นี้จะใช้วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ในการลดระดับแรงดันเพื่อให้สามารถอัดประจุได้ตรงตามพิกัดของแบตเตอรี่และใช้คอนโทรลเลอร์แบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ในการควบคุมการอัดประจุให้กระแสไหลผ่านทุกเซลล์ได้อย่างเท่าๆกัน มีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

1. หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า
2. วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์
3. วงจรขับสัญญาณเกต
4. วงจรตรวจจับแรงดันและกระแสไฟฟ้า
5. แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ
6. แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง
7. ไมโครคอนโทรลเลอร์
8. เบรกเกอร์และมิเตอร์แสดงผล



รูปที่ 3.21 เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ต้นแบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่

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.

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 บทนำ

ผลการทดลองการอัดประจุแบตเตอรี่เป็นส่วนสำคัญในงานวิจัยเพื่อให้เห็นถึงผลลัพธ์ของการศึกษา ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบของเครื่องอัดประจุจากห้องทดสอบและเครื่องอัดประจุต้นแบบเพื่อนำผลที่ได้จากการทดสอบทั้งสองกรณีมาเปรียบเทียบและหาความแตกต่างรวมไปถึงจุดปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการอัดประจุแบตเตอรี่ต่อไป

4.2 ผลการทดลอง

การทดสอบการทำงานของวงจรการอัดประจุแบตเตอรี่แบ่งออกเป็น การทดสอบประจุแบตเตอรี่จากห้องทดสอบและเครื่องต้นแบบการอัดประจุแบตเตอรี่ ในการทดสอบจะใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนฟอสเฟต ขนาดพิกัด 24V 25 Ah ซึ่งแบตเตอรี่ได้มีการทดสอบมาอย่างต่อเนื่องจึงอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในช่วงท้ายของการทดสอบ

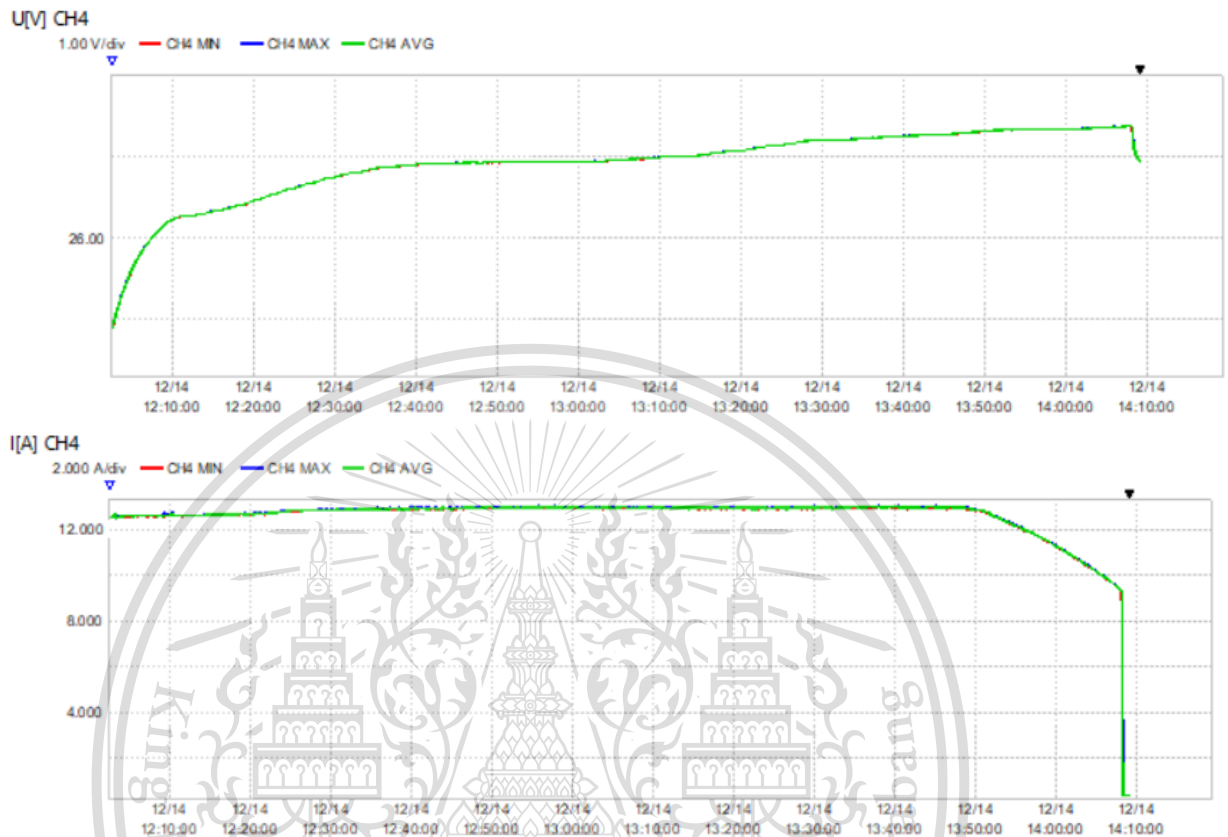
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

4.2.1 การอัดประจุด้วยแรงดันคงที่และกระแสไฟฟ้าคงที่ (ห้องทดสอบ) ที่พิกัด

0.5C



รูปที่ 4.1 รูปกราฟแสดงผลการอัดประจุแบตเตอรี่ครั้งที่ 1

RMS U	CH	MIN[V]	MAX[V]		
	CH1	0.00	2020/12/14 12:02:32	0.00	2020/12/14 12:02:32
CH2	0.00	2020/12/14 12:02:32	0.00	2020/12/14 12:02:32	
CH3	0.00	2020/12/14 12:02:32	0.00	2020/12/14 12:02:32	
CH4	24.88	2020/12/14 12:02:32	27.39	2020/12/14 14:08:06	
I	CH	MIN[A]	MAX[A]		
	CH1	0.000	2020/12/14 12:02:32	0.000	2020/12/14 12:02:32
	CH2	0.000	2020/12/14 12:02:32	0.000	2020/12/14 12:02:32
	CH3	0.000	2020/12/14 12:02:32	0.000	2020/12/14 12:02:32
	CH4	0.386	2020/12/14 14:09:09	13.073	2020/12/14 13:37:58
Freq	MIN[Hz]	MAX[Hz]			
	50.000	2020/12/14 12:02:32	50.000	2020/12/14 12:02:32	

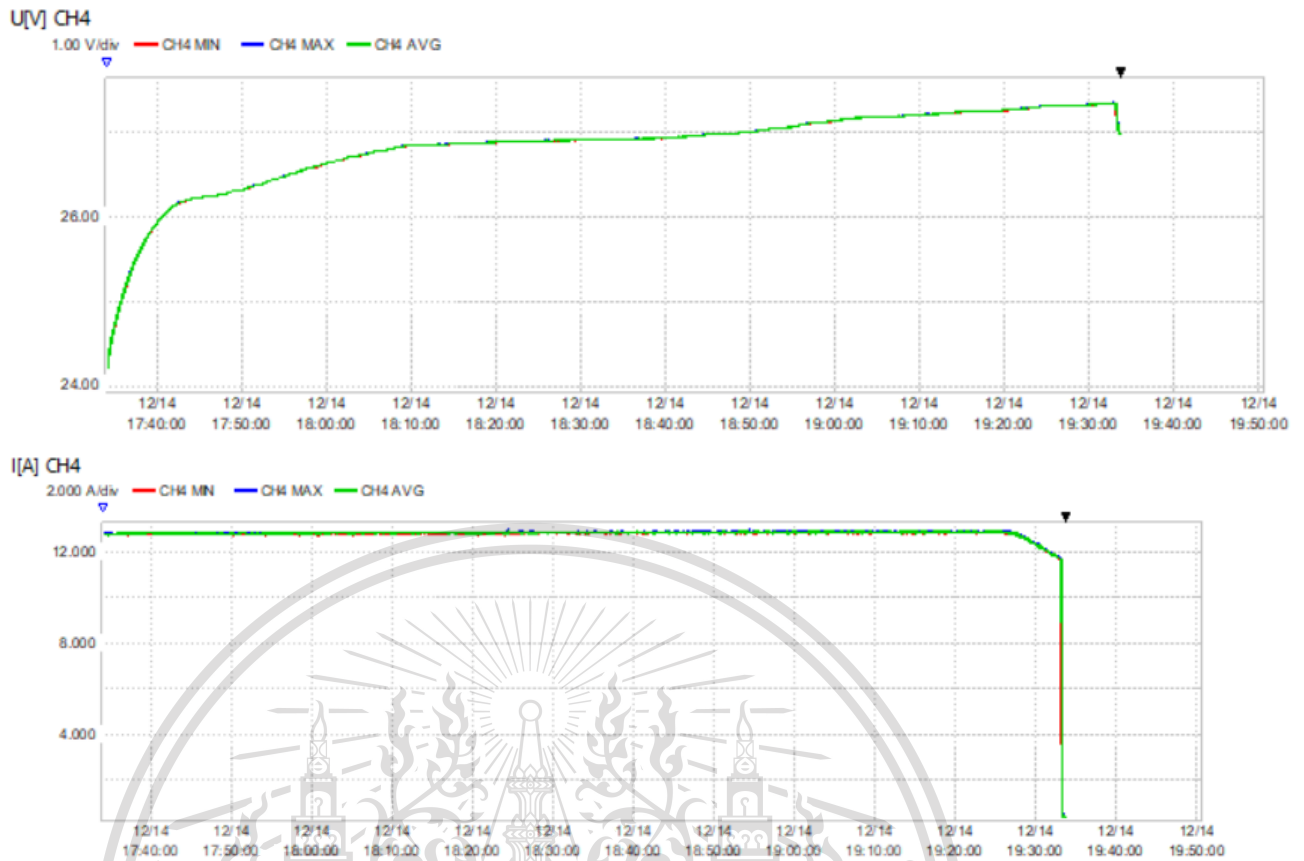
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 รูปพารามิเตอร์ของผลการอัดประจุแบตเตอรี่ครั้งที่ 1

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 4.3 รูปกราฟแสดงผลการอัดประจุแบตเตอรี่ครั้งที่ 5

RMS U	CH	MIN[V]	MAX[V]	
	CH1	0.00	0.00	2020/12/14 17:33:55
	CH2	0.00	0.00	2020/12/14 17:33:55
	CH3	0.00	0.00	2020/12/14 17:33:55
	CH4	24.17	27.35	2020/12/14 19:32:53

I	CH	MIN[A]	MAX[A]	
	CH1	0.000	0.000	2020/12/14 17:33:55
	CH2	0.000	0.000	2020/12/14 17:33:55
	CH3	0.000	0.000	2020/12/14 17:33:55
	CH4	0.391	13.011	2020/12/14 18:24:20

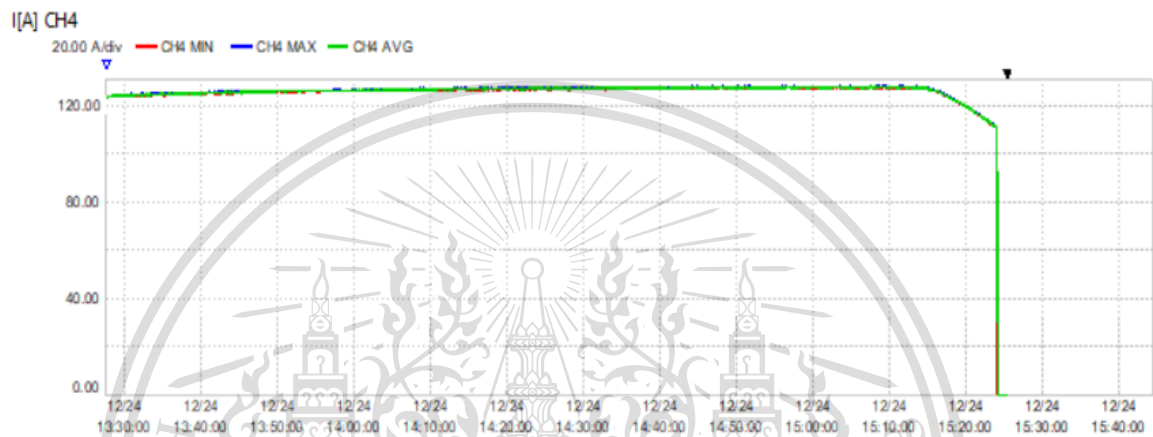
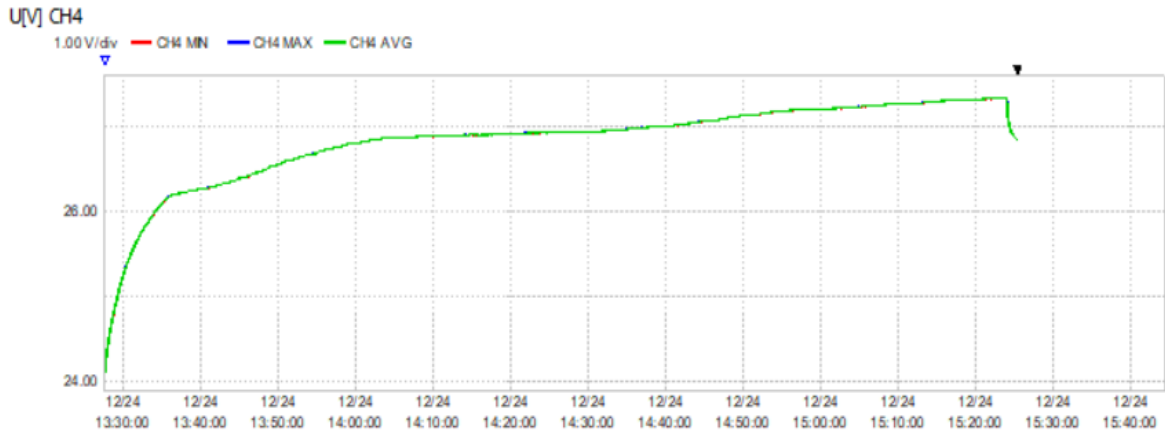
Freq	MIN[Hz]	MAX[Hz]	
	50.000	50.000	2020/12/14 17:33:55

รูปที่ 4.4 พารามิเตอร์ของผลการอัดประจุแบตเตอรี่ครั้งที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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.



รูปที่ 4.5 รูปกราฟแสดงผลการอัดประจุแบตเตอรี่ครั้งที่ 10

RMS U	CH	MIN[V]	MAX[V]
	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	24.09	27.33

I	CH	MIN[A]	MAX[A]
	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	0.00	128.31

Freq	MIN[Hz]	MAX[Hz]
	50.000	50.000

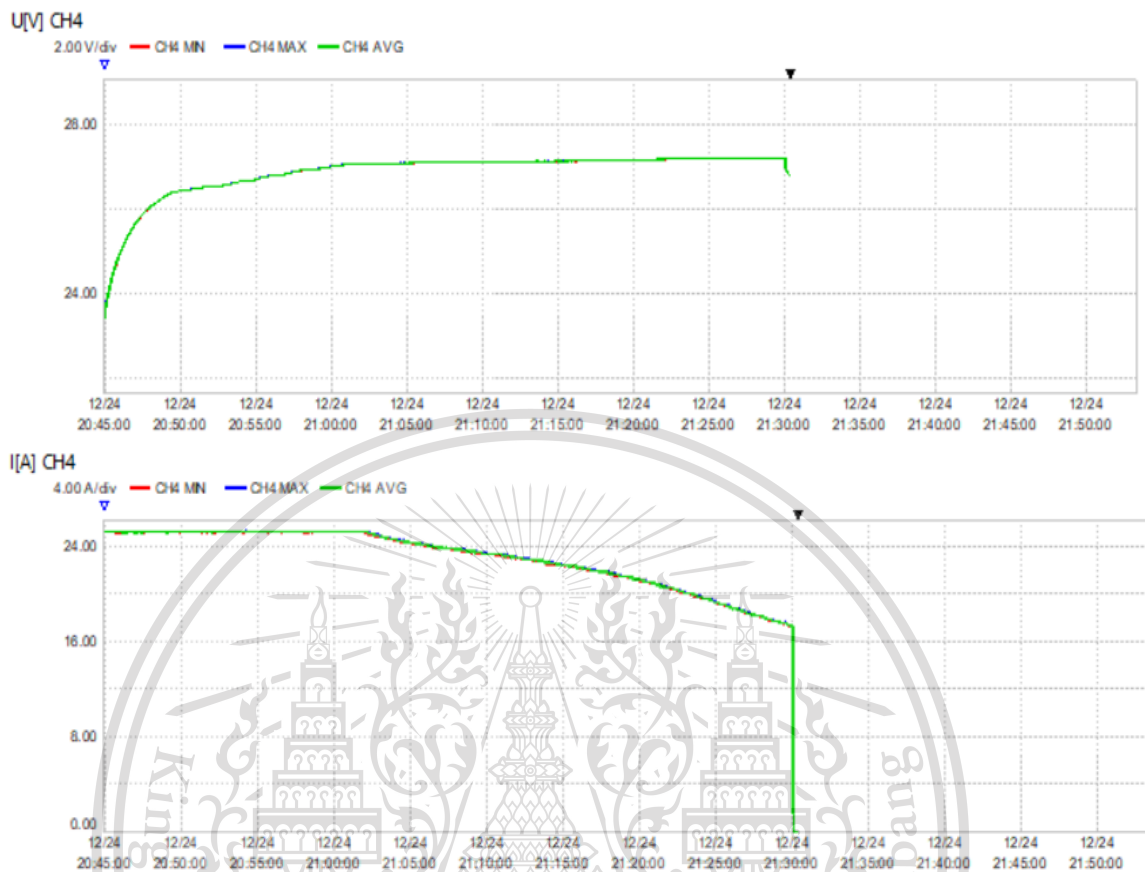
รูปที่ 4.6 พารามิเตอร์ของผลการอัดประจุแบตเตอรี่ครั้งที่ 10

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.

4.2.2 การอัดประจุด้วยแรงดันและกระแสไฟฟ้าคงที่ (ห้องทดสอบ) ที่พิกัด 1C



รูปที่ 4.7 รูปกราฟแสดงผลการอัดประจุแบตเตอรี่ครั้งที่ 1

RMS U	CH	MIN[V]	MAX[V]	
	CH1	0.00	0.00	2020/12/24 20:44:56
	CH2	0.00	0.00	2020/12/24 20:44:56
	CH3	0.00	0.00	2020/12/24 20:44:56
	CH4	23.40	27.23	2020/12/24 21:29:54

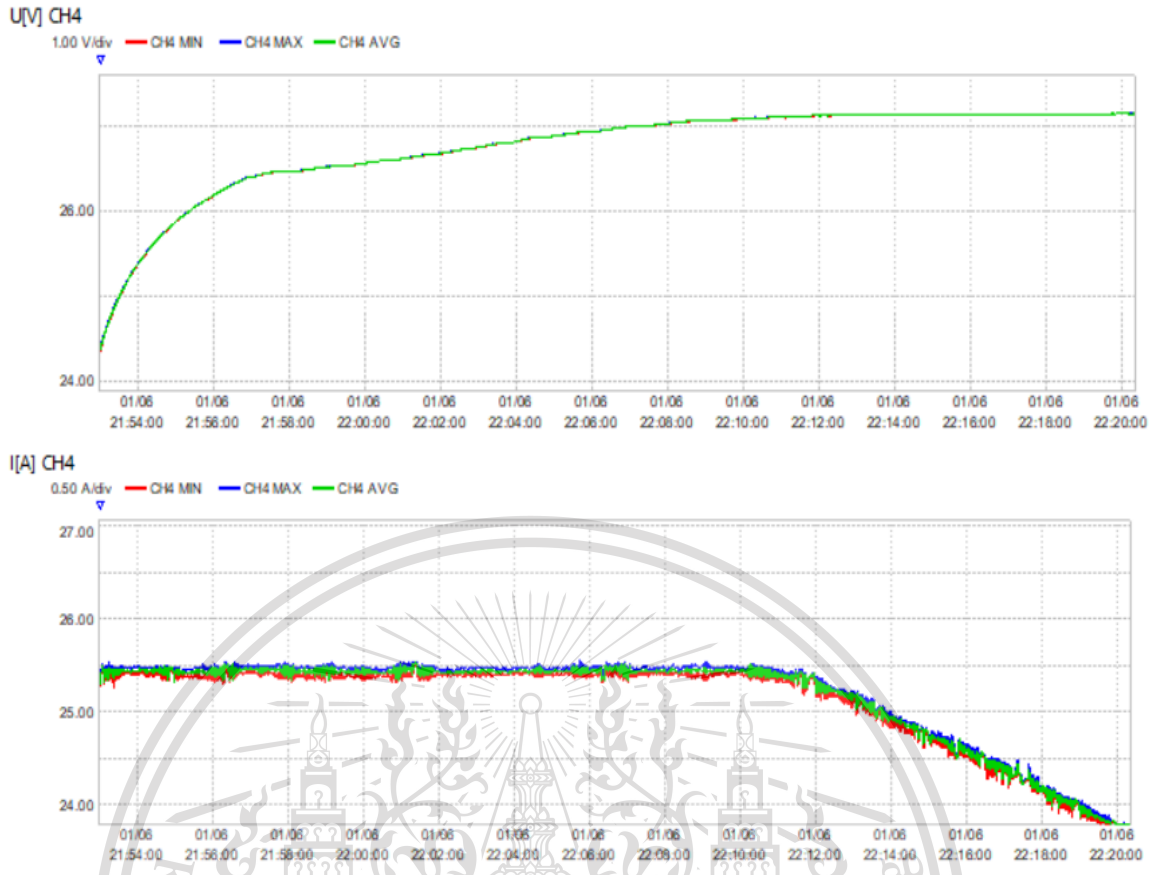
I	CH	MIN[A]	MAX[A]	
	CH1	0.00	0.00	2020/12/24 20:44:56
	CH2	0.00	0.00	2020/12/24 20:44:56
	CH3	0.00	0.00	2020/12/24 20:44:56
	CH4	0.00	25.41	2020/12/24 20:54:12

Freq	MIN[Hz]	MAX[Hz]	
	50.000	50.000	2020/12/24 20:44:56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 4.9 รูปกราฟแสดงผลการอัดประจุแบตเตอรี่ครั้งที่ 10

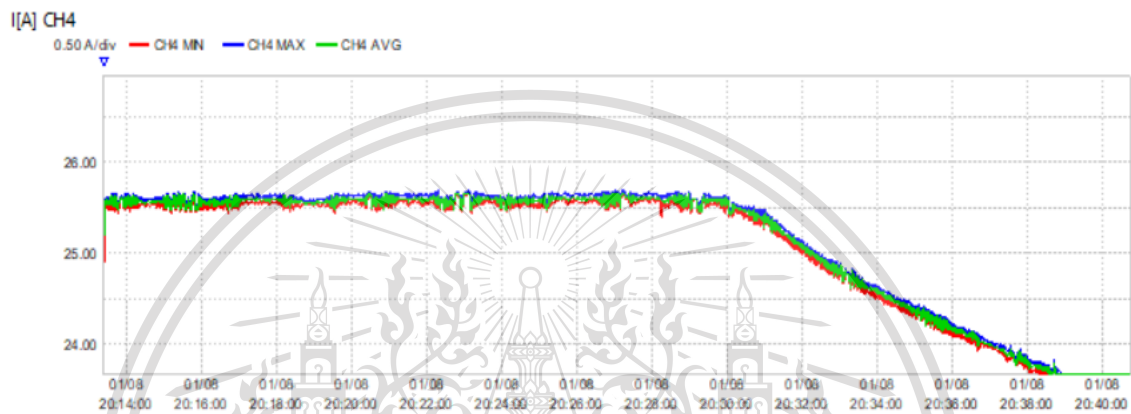
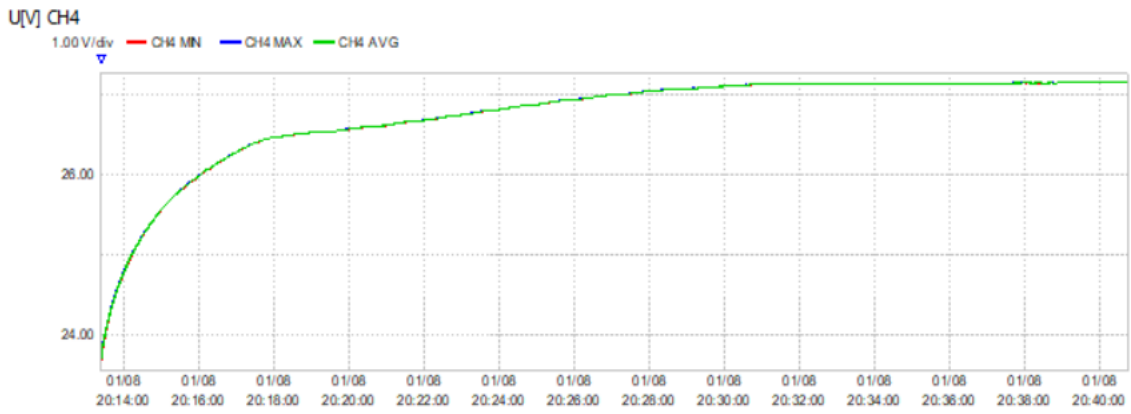
RMS	CH	MIN[V]	MAX[V]	
U	CH1	0.00	0.00	2021/01/06 21:53:02
	CH2	0.00	0.00	2021/01/06 21:53:02
	CH3	0.00	0.00	2021/01/06 21:53:02
	CH4	24.35	27.10	2021/01/06 22:10:07
I	CH	MIN[A]	MAX[A]	
	CH1	0.00	0.00	2021/01/06 21:53:02
	CH2	0.00	0.00	2021/01/06 21:53:02
	CH3	0.00	0.00	2021/01/06 21:53:02
	CH4	25.28	25.56	2021/01/06 22:05:46
Freq		MIN[Hz]	MAX[Hz]	
		50.000	50.000	2021/01/06 21:53:02

รูปที่ 4.10 พารามิเตอร์ของผลการอัดประจุแบตเตอรี่ครั้งที่ 10

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.



รูปที่ 4.11 รูปกราฟแสดงผลการอัดประจุแบตเตอรี่ครั้งที่ 20

RMS U	CH	MIN[V]	MAX[V]
	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	23.68	27.11

I	CH	MIN[A]	MAX[A]
	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	24.91	25.70

Freq	MIN[Hz]	MAX[Hz]
	50.000	50.000

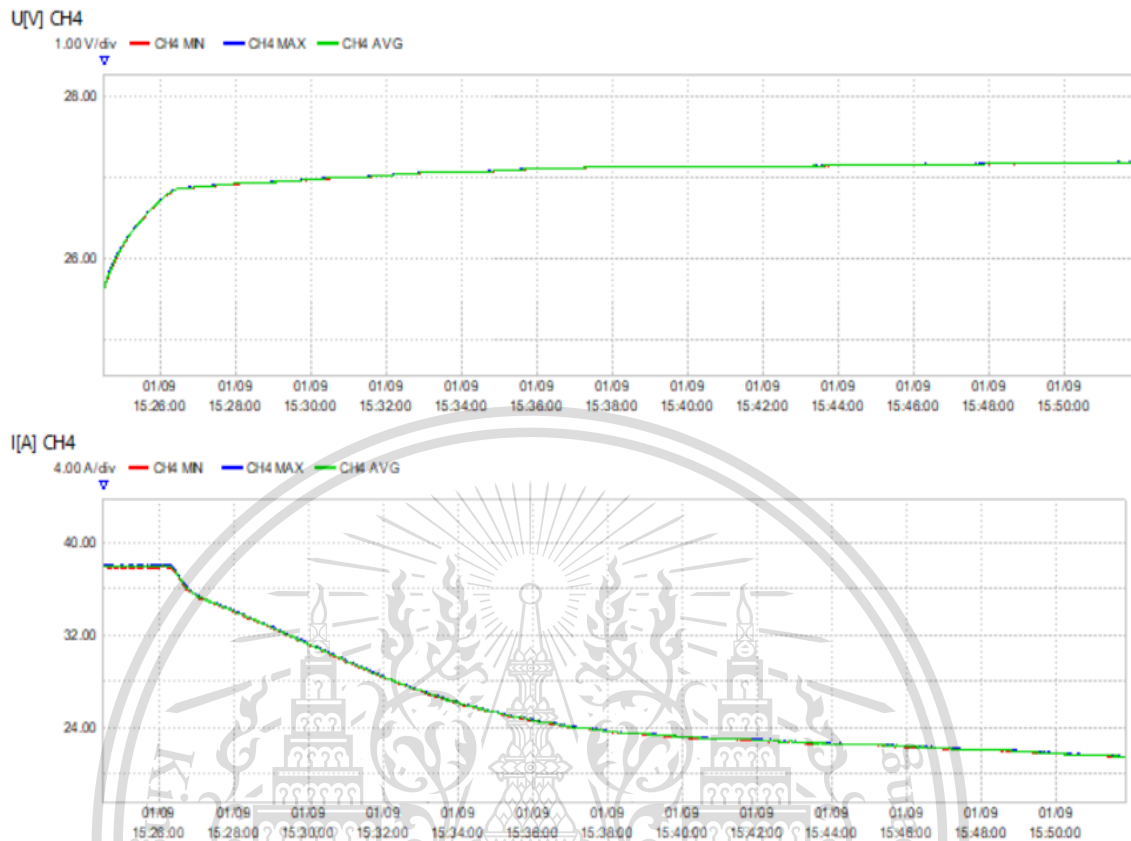
รูปที่ 4.12 พารามิเตอร์ของผลการอัดประจุแบตเตอรี่ครั้งที่ 20

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.

4.2.3 การอัดประจุด้วยแรงดันและกระแสไฟฟ้าคงที่ (ห้องทดสอบ) ที่พิกัด 1.5C



รูปที่ 4.13 รูปกราฟแสดงผลการอัดประจุแบตเตอรี่พิกัด 1.5C ครั้งที่ 1

RMS U	CH	MIN[V]	MAX[V]
	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	25.63	27.15

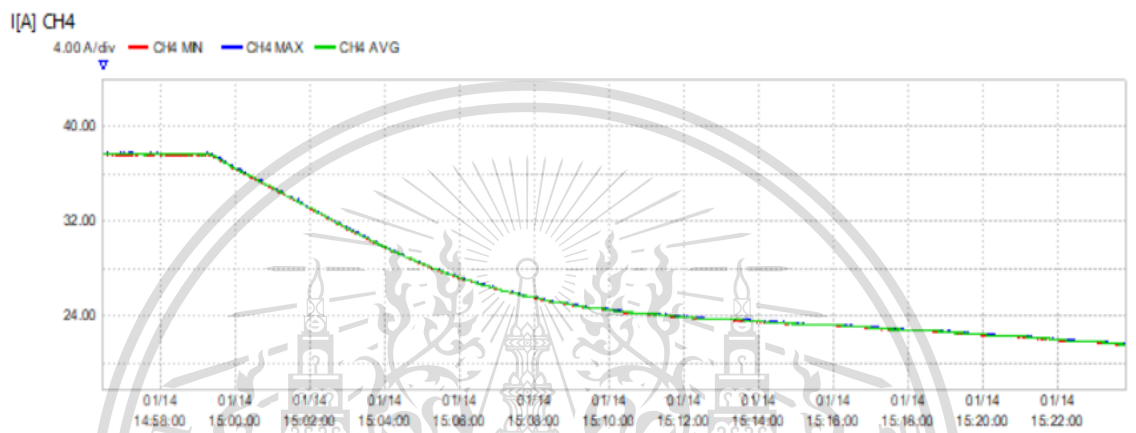
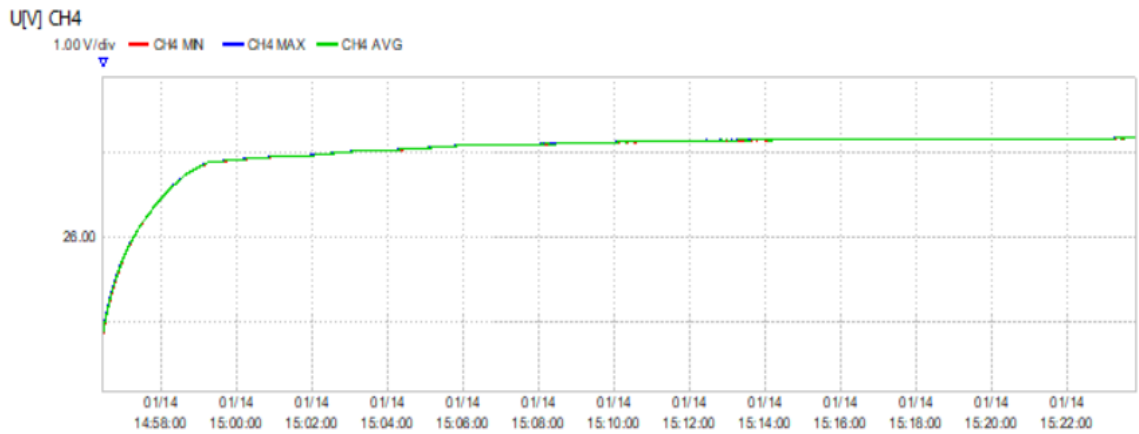
I	CH	MIN[A]	MAX[A]
	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	22.91	38.08

Freq	MIN[Hz]	MAX[Hz]
	50.000	50.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.14 พารามิเตอร์ของผลการอัดประจุแบตเตอรี่พิกัด 1.5C ครั้งที่ 1
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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.



รูปที่ 4.15 รูปกราฟแสดงผลการอัดประจุแบตเตอรี่ฟักัด 1.5C ครั้งที่ 20

RMS U		CH	MIN[V]	MAX[V]	
	CH1	0.00	2021/01/14 14:56:28	0.00	2021/01/14 14:56:28
	CH2	0.00	2021/01/14 14:56:28	0.00	2021/01/14 14:56:28
	CH3	0.00	2021/01/14 14:56:28	0.00	2021/01/14 14:56:28
	CH4	24.88	2021/01/14 14:56:28	27.15	2021/01/14 15:13:20

I		CH	MIN[A]	MAX[A]	
	CH1	0.00	2021/01/14 14:56:28	0.00	2021/01/14 14:56:28
	CH2	0.00	2021/01/14 14:56:28	0.00	2021/01/14 14:56:28
	CH3	0.00	2021/01/14 14:56:28	0.00	2021/01/14 14:56:28
	CH4	23.61	2021/01/14 15:13:22	37.81	2021/01/14 14:57:08

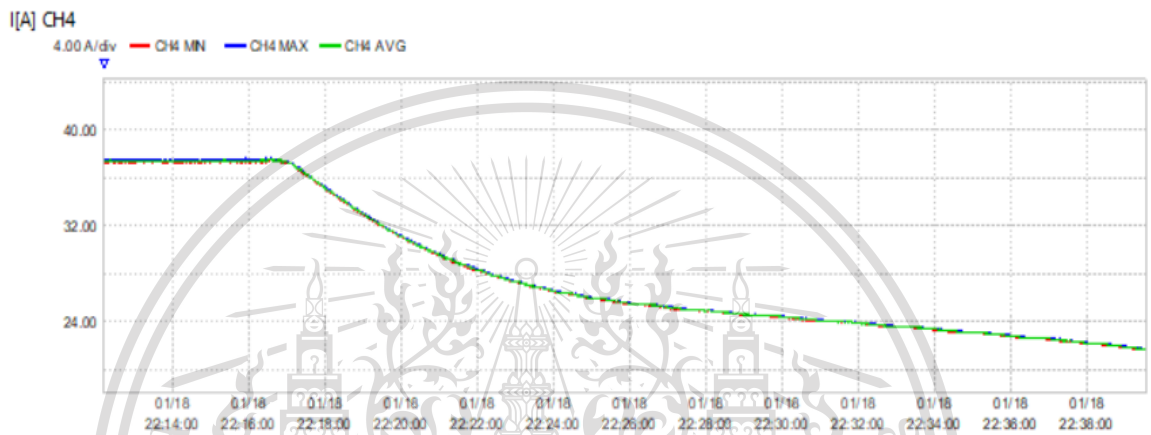
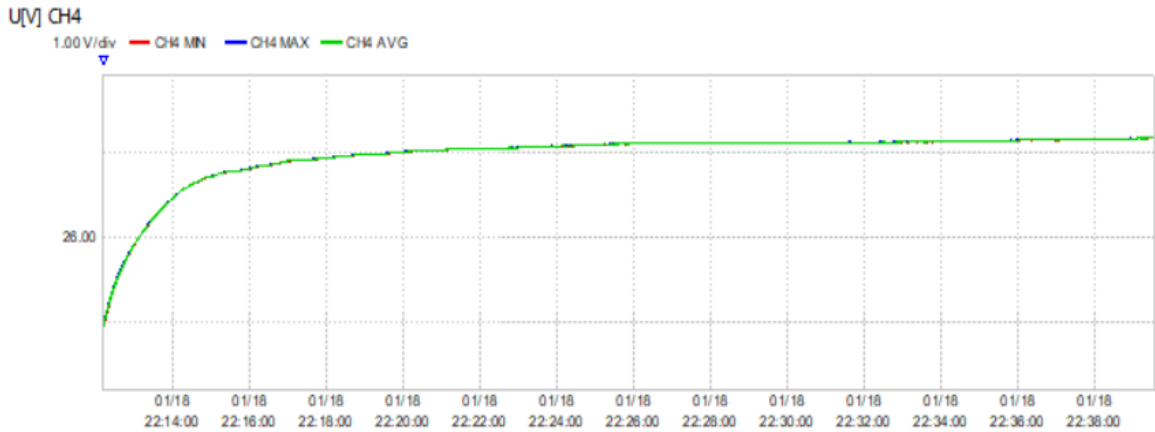
Freq		MIN[Hz]	MAX[Hz]	
		50.000	2021/01/14 14:56:28	50.000 2021/01/14 14:56:28

รูปที่ 4.16 พารามิเตอร์ของผลการอัดประจุแบตเตอรี่ฟักัด 1.5C ครั้งที่ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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.



รูปที่ 4.17 รูปกราฟแสดงผลการอัดประจุแบตเตอรี่ฟัด 1.5C ครั้งที่ 40

RMS U	CH	MIN[V]	MAX[V]	
	CH1	0.00	0.00	2021/01/18 22:12:11
	CH2	0.00	0.00	2021/01/18 22:12:11
	CH3	0.00	0.00	2021/01/18 22:12:11
	CH4	24.94	27.12	2021/01/18 22:28:55

I	CH	MIN[A]	MAX[A]	
	CH1	0.00	0.00	2021/01/18 22:12:11
	CH2	0.00	0.00	2021/01/18 22:12:11
	CH3	0.00	0.00	2021/01/18 22:12:11
	CH4	24.55	37.66	2021/01/18 22:29:13

Freq	MIN[Hz]	MAX[Hz]	
	50.000	50.000	2021/01/18 22:12:11

รูปที่ 4.18 พารามิเตอร์ของผลการอัดประจุแบตเตอรี่ฟัด 1.5C ครั้งที่ 40

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.

กระแสไฟฟ้าในการอัดประจุ (A)	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการอัดประจุ (นาที)
12.5 A	117
25 A	58
37.5 A	40

ตารางที่ 4.1 เวลาในการอัดประจุแบตเตอรี่แต่ละพิกัด

จากผลการทดลองการอัดประจุแบตเตอรี่(ห้องทดสอบ) พิกัด 0.5 C, 1C, 1.5C ค่าแรงดันในช่วงแรกจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงระดับของแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดไว้ 27.5 V และกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่ครั้งที่ 12.5 A, 25 A และ 37.5 A จากผลการทดลองพบว่าเมื่อกำหนดกระแสไฟฟ้าที่ 37.5 A เวลาที่ใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่น้อยกว่าเมื่อกำหนดกระแสไฟฟ้าที่ 25 A และ 12.5 A ตามลำดับ แต่เมื่อใช้กระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นส่งผลให้แบตเตอรี่ในขณะอัดประจุไฟฟ้ามีอุณหภูมิสูงตามไปด้วย และจากรูปภาพผลการทดลองการอัดประจุ จะสังเกตได้ว่าค่าแรงดันและกระแสจะมีพัลส์เกิดขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าในการอัดประจุมากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้ผลการทดสอบในบทนี้จะยกมาเพียงบางส่วนเพื่อให้เห็นแนวโน้มของการอัดประจุและสมบัติทางไฟฟ้าสำหรับผลการทดสอบทั้งหมดจะอยู่ในภาคผนวก

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.

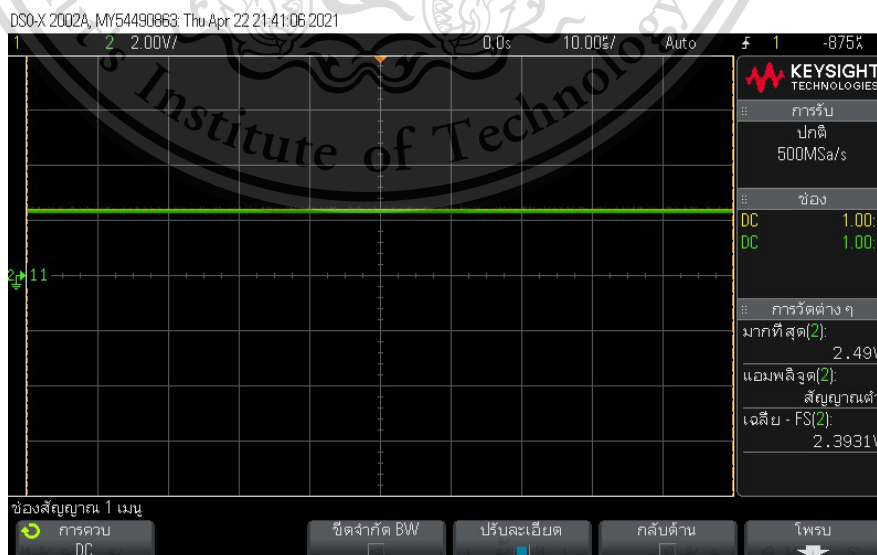
4.4 ผลการทดสอบวงจรกำลัง

การสร้างสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่ออัดประจุแบตเตอรี่แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเกิดจากสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับผ่านวงจรเรียงกระแสให้เป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง ดังรูปที่ 4.19 ส่วนที่สองคือวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์เพื่อลดทอนแรงดัน ดังรูปที่ 4.20

ในการทดสอบวงจรกำลังเมื่อต่อแบตเตอรี่จะได้สัญญาณแรงดันขาออกของวงจรขณะเริ่มอัดประจุ ระหว่างการอัดประจุ และสิ้นสุดการอัดประจุ ดังแสดงในรูปที่ 4.21 และ 4.22 ตามลำดับ



รูปที่ 4.19 แรงดันกระแสตรงหลังผ่านวงจรเรียงกระแส



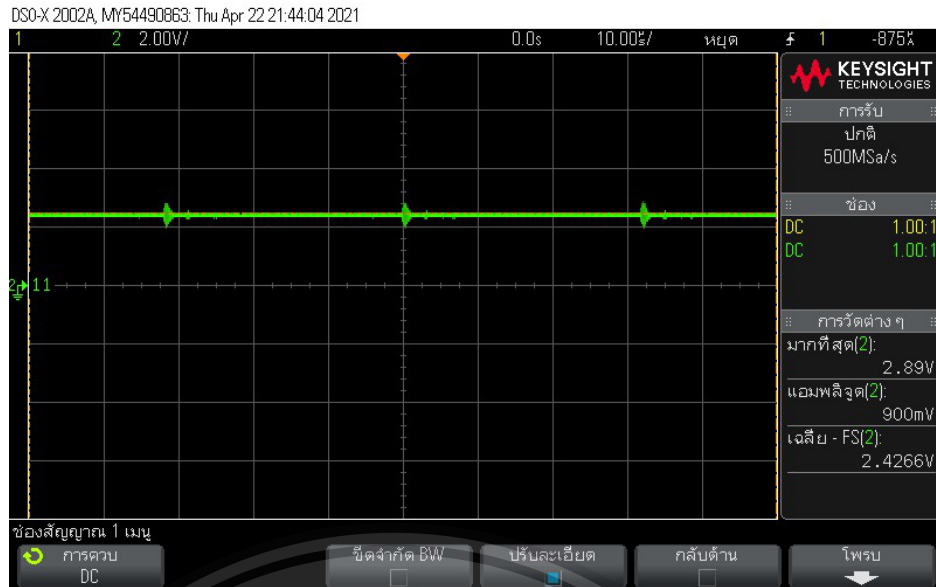
รูปที่ 4.20 แรงดันเอาท์พุทหลังผ่านวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ ขณะเริ่มอัดประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

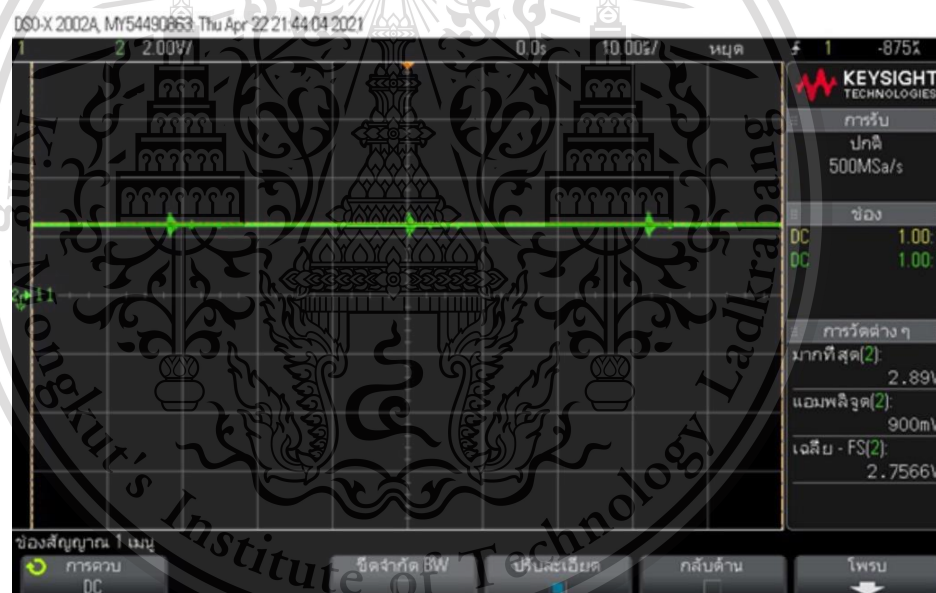
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 4.21 แรงดันเอาต์พุตหลังจากวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ ขณะอัดประจุ



รูปที่ 4.22 แรงดันเอาต์พุตหลังจากวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ ขณะสิ้นสุดการอัดประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

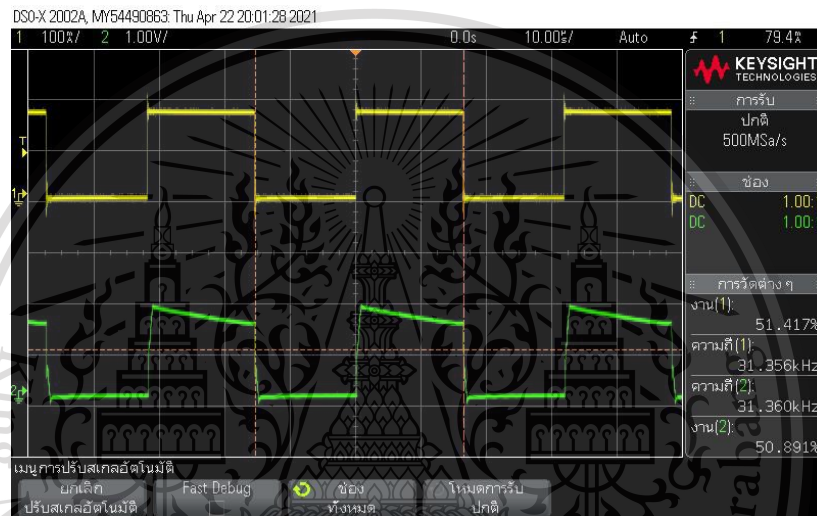
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

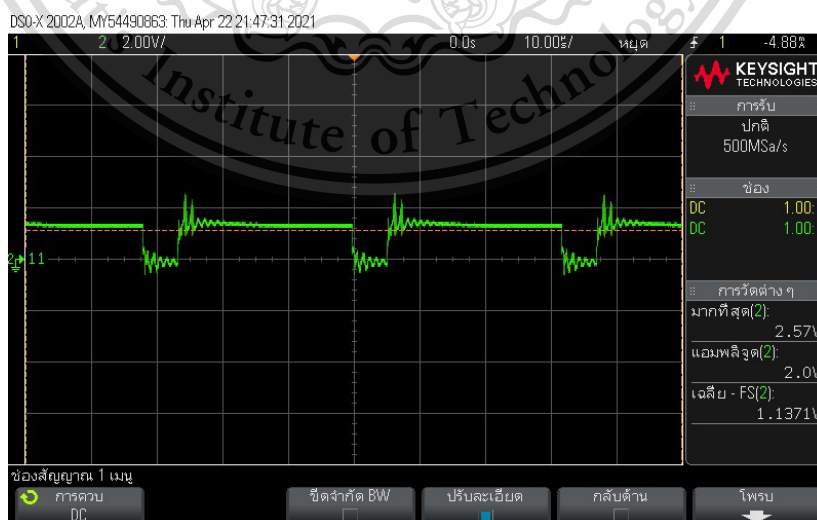
4.5 ผลการทดสอบวงจรควบคุม

จากการศึกษาและจำลองควบคุมการสวิตซ์ซึ่งที่สร้างจาก Arduino mega 2560 ซึ่งเป็นวงจรที่สำคัญในการควบคุมสวิตซ์กำลังของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ และเมื่อสัญญาณการควบคุมการสวิตซ์ถูกขยายผ่านวงจรขับขาเกตตามการออกแบบแล้ว จะได้สัญญาณควบคุมสวิตซ์กำลังของขับเคลื่อนมอเตอร์ดังแสดงตามรูปที่ 4.23 โดยมีค่า ดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 50 %

เมื่อทำการทดสอบการทำงานร่วมกันระหว่างวงจรถูกกำลังและวงจรควบคุม จะส่งผลให้มีสัญญาณรบกวนวงจรขับขาเกตเป็นพัลส์เล็กน้อย ดังแสดงตามรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.23 สัญญาณควบคุมสวิตซ์วงจรควบคุม TLP250



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้รูปที่ 4.24 สัญญาณขับขาเกตของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ครั้งที่มีการนำไปใช้

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

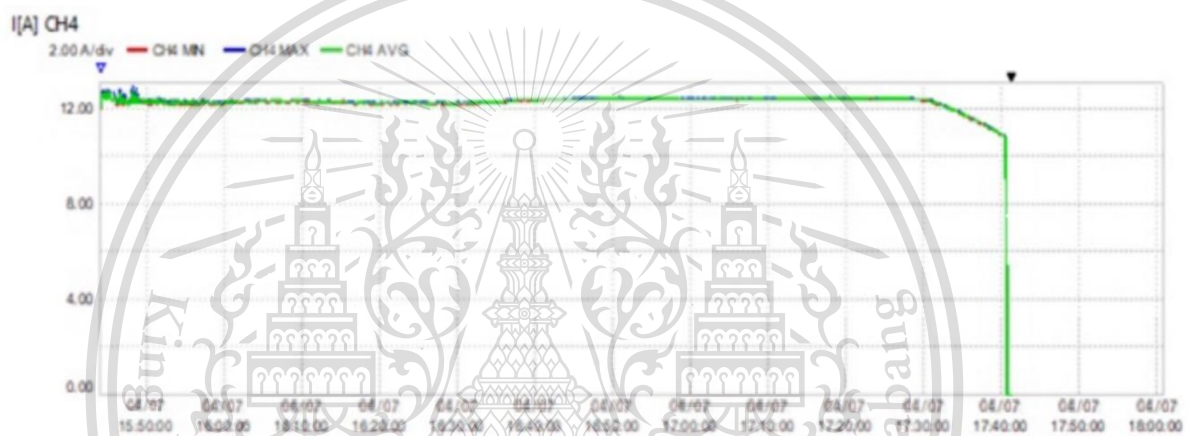
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.6 ผลการทดสอบการอัดประจุด้วยเครื่องอัดประจุต้นแบบ (ไม่มีตัวควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์)

จากการทดสอบการอัดประจุแบตเตอรี่ ขนาดพิกัด 24 V 25 Ah โดยจากการทดสอบการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนฟอสเฟต แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

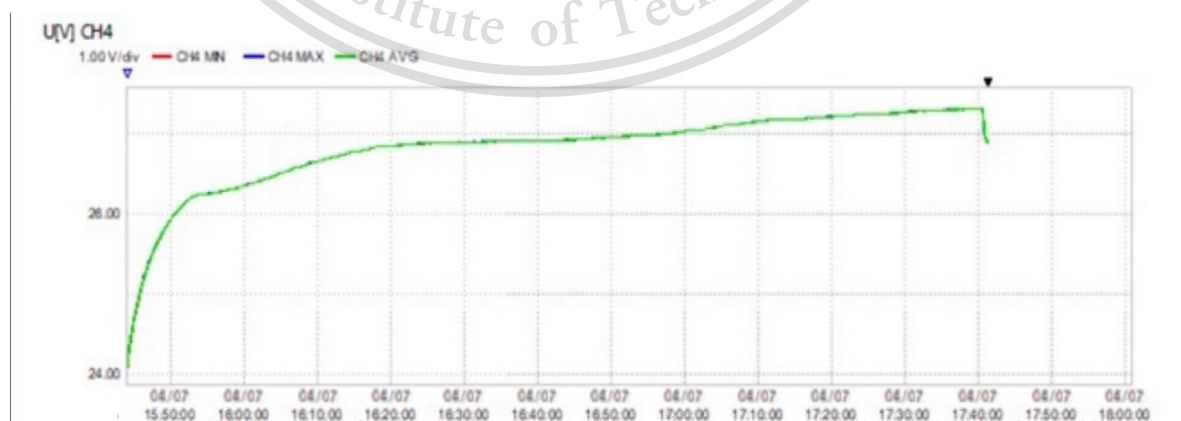
1. การอัดประจุด้วยกระแสคงที่ (CC)
2. การอัดประจุด้วยแรงดันคงที่ (CV)

4.6.1 การอัดประจุด้วยกระแสคงที่



รูปที่ 4.25 รูปกราฟสัญญาณกระแสไฟฟ้าการอัดประจุแบตเตอรี่พิกัด 0.5C

4.6.2 การอัดประจุด้วยแรงดันคงที่



รูปที่ 4.26 รูปกราฟสัญญาณแรงดันไฟฟ้าการอัดประจุแบตเตอรี่พิกัด 0.5C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้งต้นเพลิงถึงเจ้าของเอกสารฉบับนี้ที่มีการนำไปใช้

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

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

RMS					
U	CH	MIN[V]		MAX[V]	
	CH1	0.00	2021/04/07 15:44:06	0.00	2021/04/07 15:44:06
	CH2	0.00	2021/04/07 15:44:06	0.00	2021/04/07 15:44:06
	CH3	0.00	2021/04/07 15:44:06	0.00	2021/04/07 15:44:06
	CH4	24.09	2021/04/07 15:44:06	27.31	2021/04/07 17:40:19
I	CH	MIN[A]		MAX[A]	
	CH1	0.00	2021/04/07 15:44:06	0.00	2021/04/07 15:44:06
	CH2	0.00	2021/04/07 15:44:06	0.00	2021/04/07 15:44:06
	CH3	0.00	2021/04/07 15:44:06	0.00	2021/04/07 15:44:06
	CH4	0.00	2021/04/07 17:40:38	12.94	2021/04/07 15:48:11
Freq	MIN[Hz]	50.000	2021/04/07 15:44:06	MAX[Hz]	50.000
					2021/04/07 15:44:06

รูปที่ 4.27 พารามิเตอร์ของผลการอัดประจุแบตเตอรี่ฟิ๊คัด 0.5C

ตาราง 4.2 เปรียบเทียบการอัดประจุไฟฟ้าของห้องทดสอบและเครื่องอัดประจุต้นแบบ

เครื่องอัดประจุ	V_{max} (V)	V_{min} (V)	I_{max} (A)	I_{min} (A)
ห้องทดสอบ	27.39	24.88	13.073	0.386
เครื่องต้นแบบ	27.31	24.09	12.94	0

จากผลการทดลองการอัดประจุแบตเตอรี่(เครื่องต้นแบบ) ฟิ๊คัด 0.5 C มีความแตกต่างจากเครื่องอัดประจุที่ห้องทดสอบได้แก่ ค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่า เนื่องจากผลของอุณหภูมิที่ห้องทดสอบและห้องโปรเจคต่างกัน จากรูปกราฟแรงดันและกระแสไฟฟ้ามีสัญญาณรบกวนมากกว่าเนื่องจากคุณสมบัติที่แตกต่างกันของอุปกรณ์รวมถึงความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC) ของเครื่องต้นแบบชนิดของตัวควบคุม

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

สรุปผล ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

5.1 บทสรุป

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อที่จะศึกษาเครื่องอัดประจุไฟฟ้าแบบคงค่ากระแสไฟฟ้าคงค่าแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ เพื่อที่จะถนอมประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนฟอสเฟตโดยส่วนใหญ่ในเครื่องอัดประจุโดยทั่วไปจะมีการจ่ายพลังงานให้แบตเตอรี่ ไม่มีส่วนควบคุมกระบวนการในการอัดประจุ ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพก่อนกำหนด ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้หลายปัจจัย แต่ปัจจัยที่ให้ความสำคัญที่สุดในปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้คือ รูปสัญญาณกระแสไฟฟ้าและแรงดันไม่เรียบในการส่งจ่ายพลังงานจากเครื่องอัดประจุไปยังแบตเตอรี่

ในการออกแบบวงจรอัดประจุแบตเตอรี่มีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วน ส่วนของวงจรกำลังซึ่งเริ่มจากแหล่งพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับผ่านวงจรเรียงกระแส และทำการลดทอนแรงดันผ่านวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ และส่วนของวงจรควบคุม ควบคุมสัญญาณขับขาเกตให้กับวงจรกำลัง พบว่าในการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีดังกล่าว เริ่มต้นกำหนดให้วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์มีการทำงานด้วยโหมดกระแสไฟฟ้าคงที่ ส่งผลให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่ (V_b) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงระดับของแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดไว้ (V_{ref}) ในการทดลองกำหนดไว้ที่ 27.5 V หรือ 15% ของแรงดันไฟฟ้าปกติ และกำหนดกระแสไฟฟ้าในการอัดประจุคงที่ไว้ที่พิกัด 0.5C หรือ 12.5 A วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์มีการเปลี่ยนโหมดการอัดประจุเป็นแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าในการอัดประจุแบตเตอรี่ (I_b) ลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยกำหนดแรงดันไฟฟ้าคงที่มีค่าเท่ากับแรงดันระบุของแบตเตอรี่ 24 V และเมื่อกระแสไฟฟ้าในการอัดประจุแบตเตอรี่ลดลงจนกระทั่งมีค่าน้อยกว่า 0.1C หรือ 2.5A จะหยุดการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ซึ่งได้ทำการทดสอบการทำงานเบื้องต้นของวงจรการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Matlab simulink จากผลการจำลองพบว่าวงจรที่ได้ทำการออกแบบไว้สามารถสร้างสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสำหรับการอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ได้และมีสัญญาณที่เรียบเนื่องจากใช้ตัวควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์

จากผลการทดลองและออกแบบเครื่องอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ต้นแบบสามารถอัดประจุแบตเตอรี่ได้ โดยทำการทดลองอัดประจุที่พิกัด 0.5C ใช้เวลาในการอัดประจุอยู่ที่ 116 นาที

และทำการเปรียบเทียบเครื่องอัดประจุต้นแบบกับเครื่องอัดประจุที่ห้องทดสอบพบว่ารูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามีความใกล้เคียงกันแต่มีความเรียบน้อยกว่าที่ห้องทดสอบเนื่องมาจากไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น ล้วนทั้งงานนี้ให้อุดแปลงปัญหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ผลของอุณหภูมิต่ำ ความสูญเสียภายในอุปกรณ์และชนิดของตัวควบคุม

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

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

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการทดลองตลอดทั้งวิจัยนี้มีข้อควรเสนอแนะและข้อควรระวังดังต่อไปนี้

1. การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ เนื่องจากต้องมีการประมวลผลและเก็บข้อมูลเป็นจำนวนมาก คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจำลองผลควรมีสปคที่ค่อนข้างสูงกว่าคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานทั่วไปเพื่อให้สามารถจำลองการใช้งานของวงจรได้
2. เนื่องจากการทดสอบในการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะใช้กระแสไฟฟ้าที่สูงและใช้เวลาในการอัดประจุใช้เวลานาน อุปกรณ์เกิดความร้อนที่สูงและสะสมเป็นเวลานาน อาจทำให้เกิดความเสียหายต่อวงจรและอุปกรณ์ได้ ควรมีระบบระบายความร้อนที่ดี
3. เนื่องจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ สามารถรบกวนกันเอง และถูกรบกวนได้ จึงควรออกแบบวงจรตามหลักความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC) เพื่อป้องกันความผิดพลาด และเพิ่มประสิทธิภาพของสัญญาณควบคุม
4. เนื่องจากการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ใช้ค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่สูง จึงควรออกแบบระบบป้องกันให้มีความปลอดภัยต่อการใช้งาน
5. เนื่องจากแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่เป็นได้ทั้งแหล่งจ่ายและภาระทางไฟฟ้า ในการทดสอบควรเพิ่มความระมัดระวังเป็นพิเศษ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการทดสอบ

5.3 แนวทางการพัฒนา

งานวิจัยนี้สามารถพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ได้ดังนี้

1. สำหรับการออกแบบเครื่องอัดประจุต้นแบบโดยมีตัวควบคุมสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ ทางผู้วิจัยได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลในการออกแบบตัวควบคุมไว้ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เนื่องจากติดปัญหา สถานการณ์โควิด-19 จึงไม่สามารถทำการทดลองต่อได้
2. การออกแบบเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ไฟฟ้า ทางผู้วิจัยได้ทำการออกแบบ

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.

เอกสารอ้างอิง

- [1] ดร.มนทล นาวงษ์, “การออกแบบวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์เพื่อการประจุแบตเตอรี่โดยใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์”, 2558
- [2] รศ.ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน, วุฒิพล ธาราธิ์เรศเชษฐ์, **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง**, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง
- [3] พลวิชัย หอมสกุล, วราลี โสมสัย, ศุภณัฐ สมรูป, ศุภณิตา ยุวจิตติ, ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล, รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ, “เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า”, **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต**, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง, 2556
- [4] วรินทร์ บริบูรณ์วิจิตศิลป์, วสันต์ ฤดีเกียรติอารัง, ศิวัช สันติมนินทร์, อ.ชินภัทร นันทจิวารชชัย, “เครื่องชาร์จแบตเตอรี่แบบสวิตชิง”, **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต**, สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง, 2560
- [5] ชนิกันต์ หอมมาลัย, รศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย, “การศึกษาแบบจำลองทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนและคุณลักษณะทางอุณหภูมิขณะอัดประจุไฟฟ้าด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่”, **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต**, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง, 2560
- [6] วิทวัตร ศรีสุข, วุฒินันท์ ผาโสม, วุฒิพงษ์ แก่นโพธิ์, รศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย, อ.ชัยทัต มณีอินทร์, “เครื่องอัดประจุโดยใช้เทคนิคการอัดประจุด้วยพัลส์ความถี่สูงสำหรับประยุกต์ใช้ในการฟื้นฟูแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพ”, **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต**, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง, 2554
- [7] Omar N., M. A. Monem, Y. Firouz, J. Salminen, J. Smekens, O. Hegazy, H. Gaulous, G. Mulder, P. Van den Bossche, T. Coosemans, and J. Van Mierlo. “Lithium iron phosphate based battery— Assessment of the aging parameters and development of cycle life model.” **Applied Energy**, Vol. 113, January 2014, pp. 1575–1585.
- [8] Tremblay, O., L.A. Dessaint, "Experimental Validation of a battery Dynamic Model for EV Applications." **World Electric Vehicle Journal**. Vol. 3, May 13–16, 2009.
- [9] Zhu, C., X. Li, L. Song, and L. Xiang, “Development of a theoretically based thermal model for lithium ion battery pack.” **Journal of Power Sources**. Vol. 223, pp. 155–164.
- [9] Richard C. Copeaand, Yury Podrazhanskyb, **Art of Battery Charging**, 1999, **IEEE**, Pages 233-235

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.



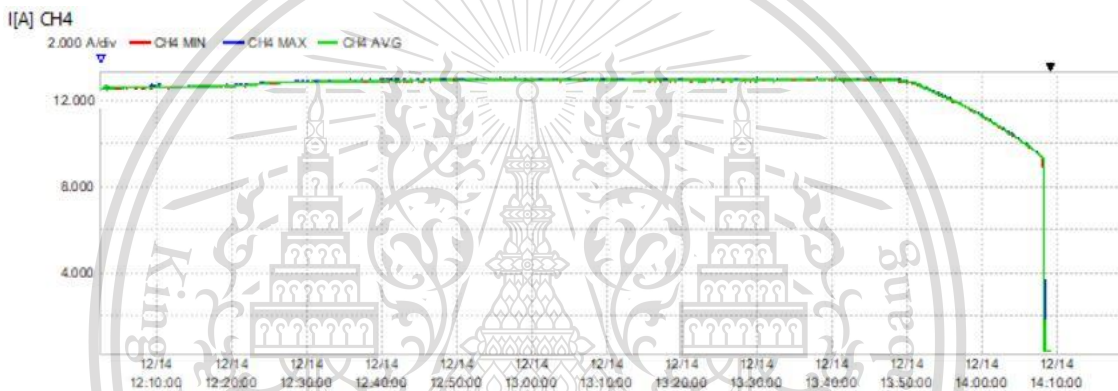
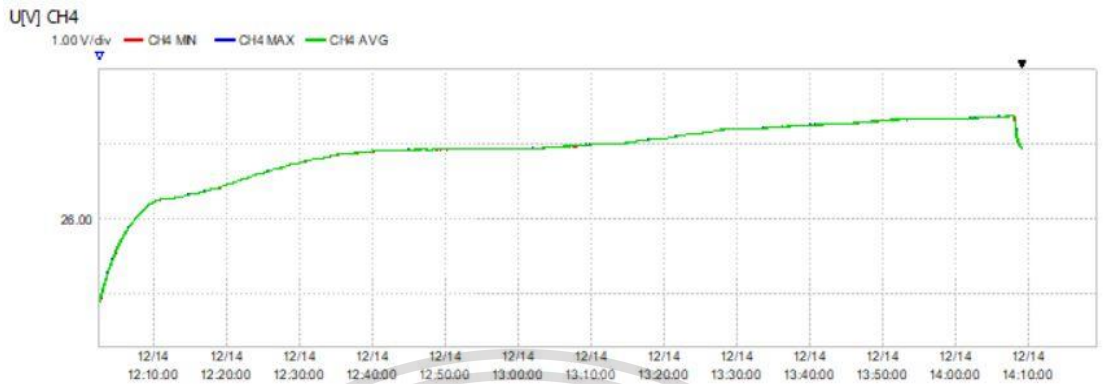
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

กราฟการทดสอบอัดประจุในห้องทดสอบที่ 0.5C

ครั้งที่ 1



RMS U	CH	MIN[V]	MAX[V]
	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	24.88	27.39

I	CH	MIN[A]	MAX[A]
	CH1	0.000	0.000
	CH2	0.000	0.000
	CH3	0.000	0.000
	CH4	0.386	13.073

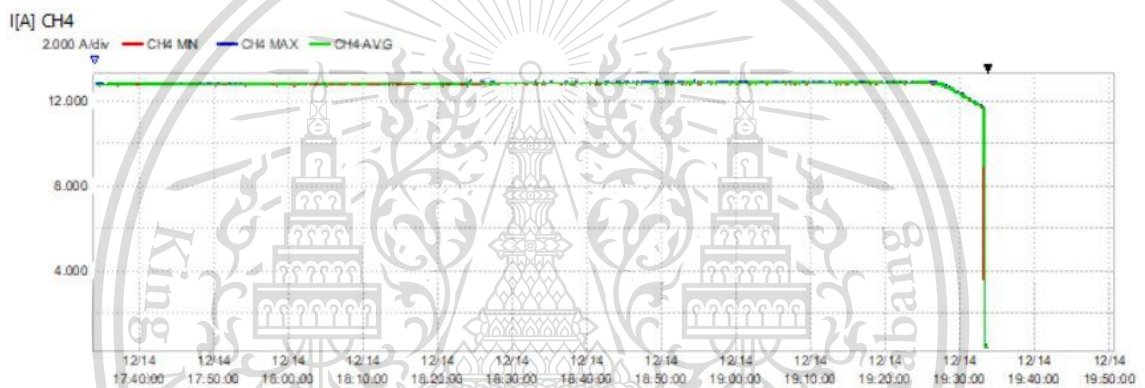
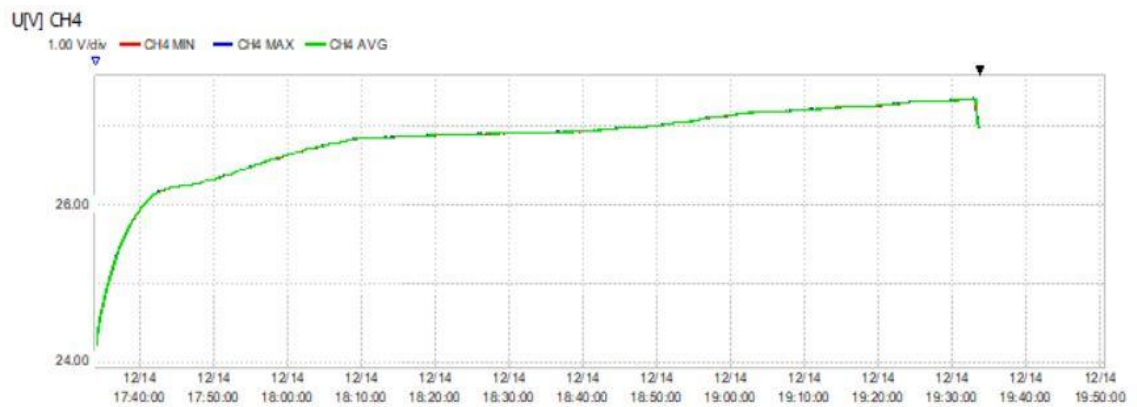
Freq	MIN[Hz]	MAX[Hz]
	50.000	50.000

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.

ครั้งที่ 2



RMS
U

CH	MIN[V]	MAX[V]
CH1	0.00	0.00
CH2	0.00	0.00
CH3	0.00	0.00
CH4	24.17	27.35

I

CH	MIN[A]	MAX[A]
CH1	0.000	0.000
CH2	0.000	0.000
CH3	0.000	0.000
CH4	0.391	13.011

Freq

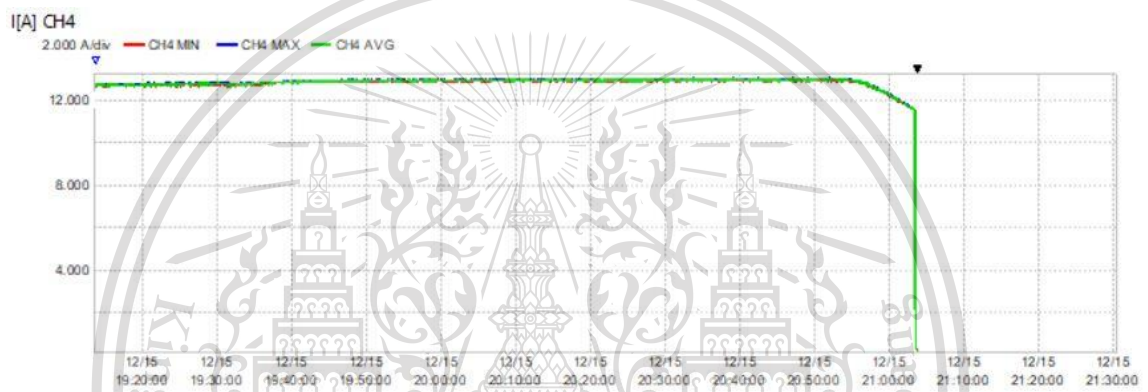
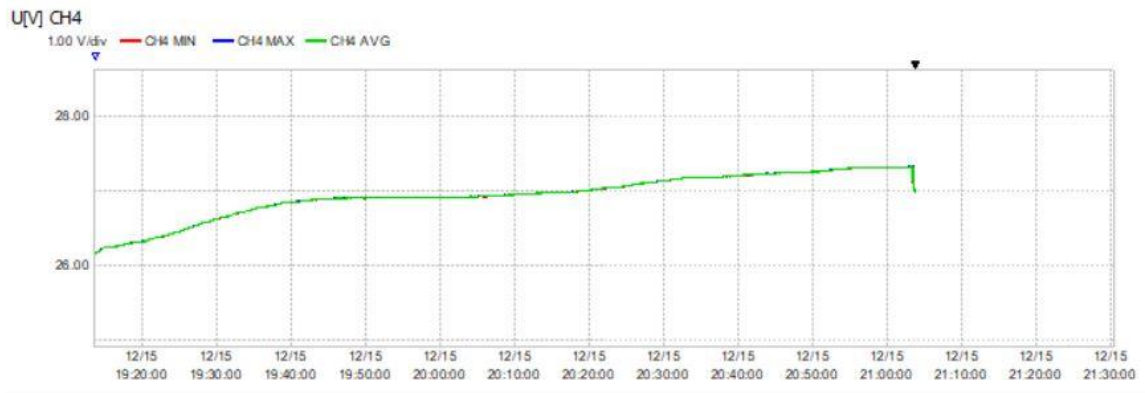
MIN[Hz]	MAX[Hz]
50.000	50.000

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.

ครั้งที่ 3



RMS U	CH	MIN[V]	2020/12/15 19:13:46	MAX[V]	2020/12/15 19:13:46
	CH1	0.00	2020/12/15 19:13:46	0.00	2020/12/15 19:13:46
	CH2	0.00	2020/12/15 19:13:46	0.00	2020/12/15 19:13:46
	CH3	0.00	2020/12/15 19:13:46	0.00	2020/12/15 19:13:46
	CH4	26.16	2020/12/15 19:13:46	27.34	2020/12/15 21:03:19

I	CH	MIN[A]	2020/12/15 19:13:46	MAX[A]	2020/12/15 19:13:46
	CH1	0.00	2020/12/15 19:13:46	0.00	2020/12/15 19:13:46
	CH2	0.00	2020/12/15 19:13:46	0.00	2020/12/15 19:13:46
	CH3	0.00	2020/12/15 19:13:46	0.00	2020/12/15 19:13:46
	CH4	0.294	2020/12/15 21:03:48	13.069	2020/12/15 20:40:34

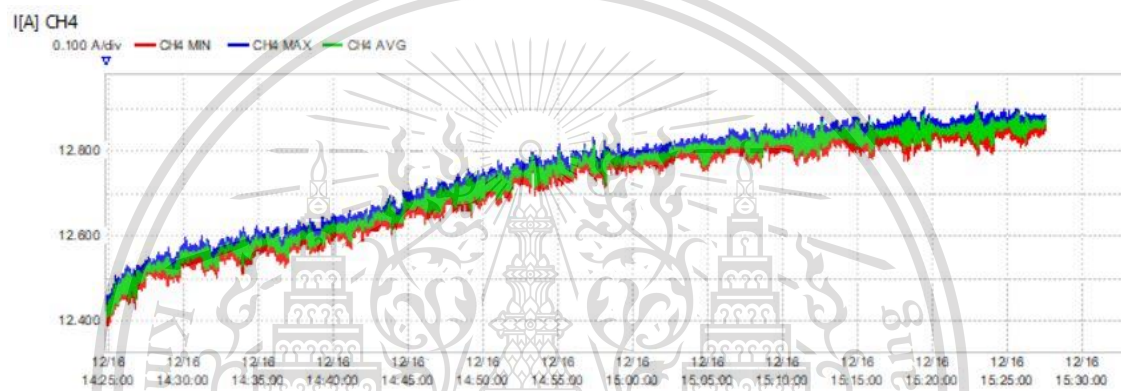
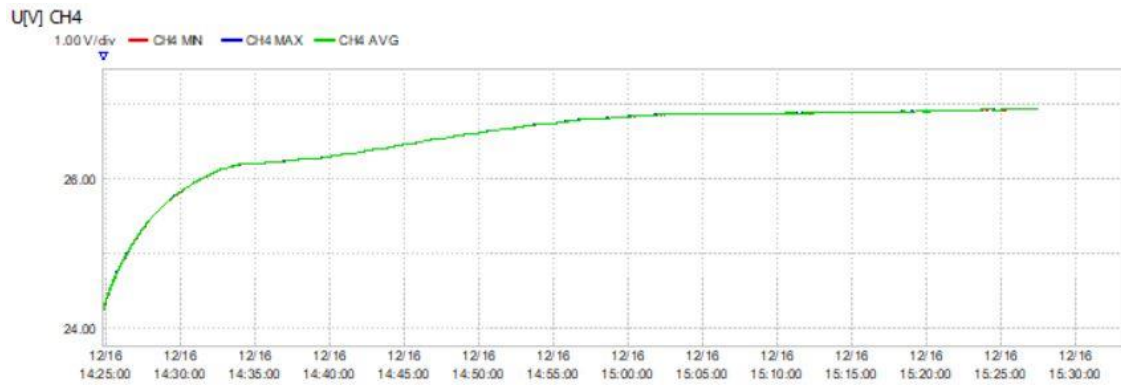
Freq	MIN[Hz]	2020/12/15 19:13:46	MAX[Hz]	2020/12/15 19:13:46
	50.000	2020/12/15 19:13:46	50.000	2020/12/15 19:13:46

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.

ครั้งที่ 4



RMS U	CH	MIN[V]	MAX[V]
	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	24.26	26.94

I	CH	MIN[A]	MAX[A]
	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	12.385	12.915

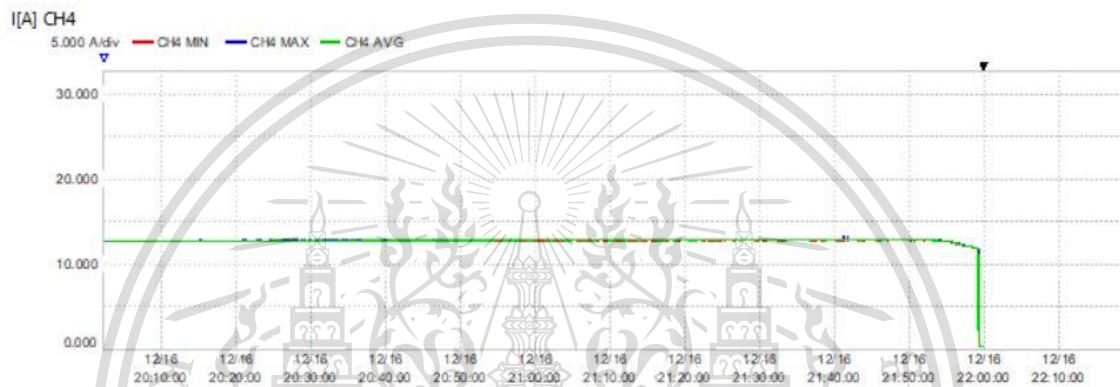
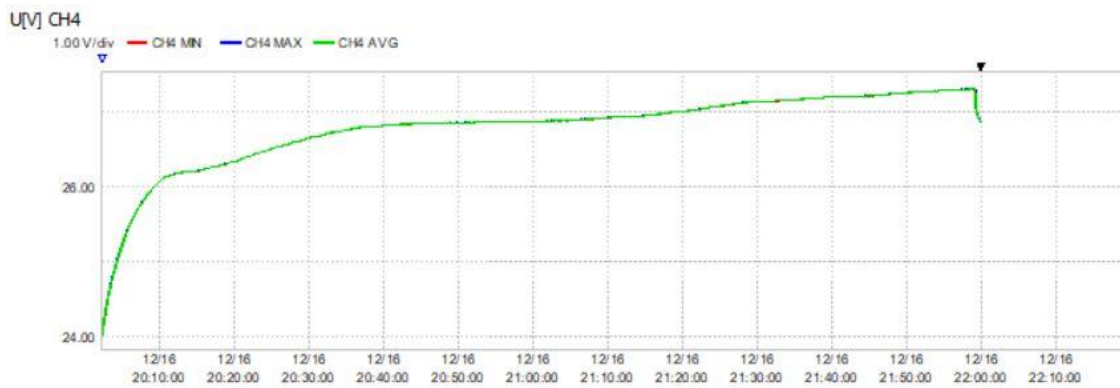
Freq	MIN[Hz]	MAX[Hz]
	50.000	50.000

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.

ครั้งที่ 5



RMS U	CH	MIN[V]	MAX[V]
	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	24.02	27.32

I	CH	MIN[A]	MAX[A]
	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	0.302	13.375

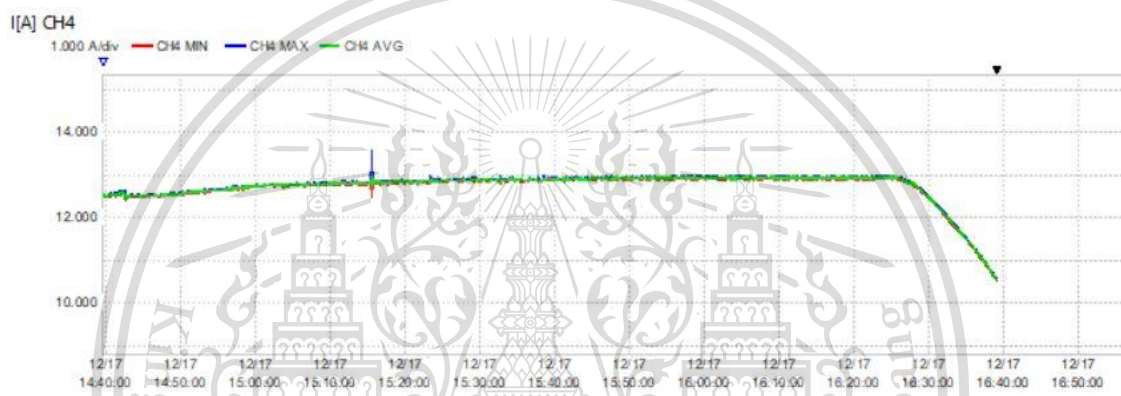
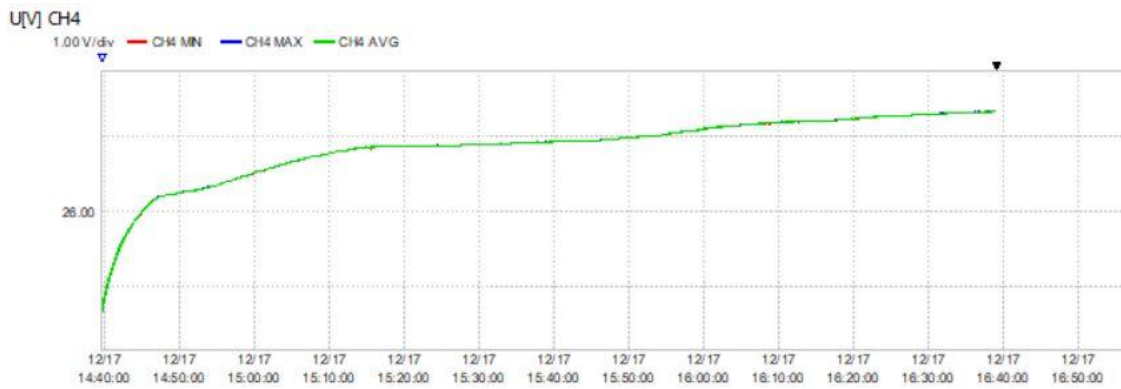
Freq	MIN[Hz]	MAX[Hz]
	50.000	50.000

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.

ครั้งที่ 6



RMS	CH	MIN[V]	MAX[V]
U	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	24.67	27.34

I	CH	MIN[A]	MAX[A]
	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	10.524	13.573

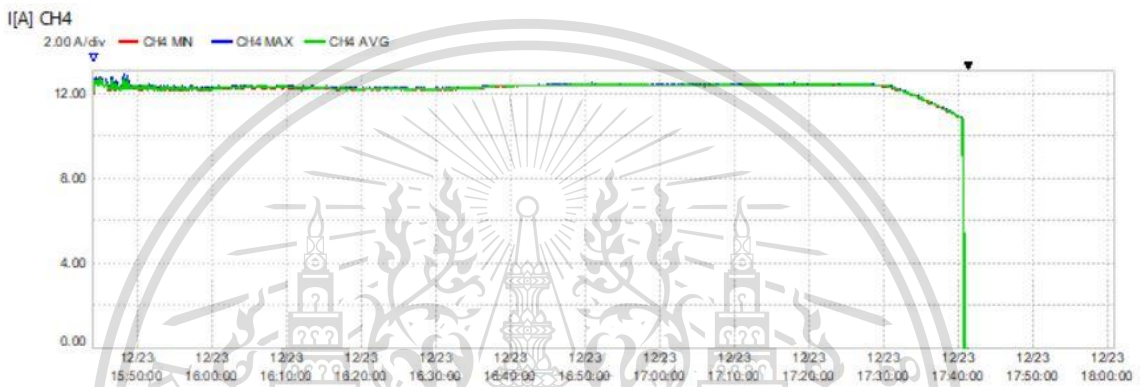
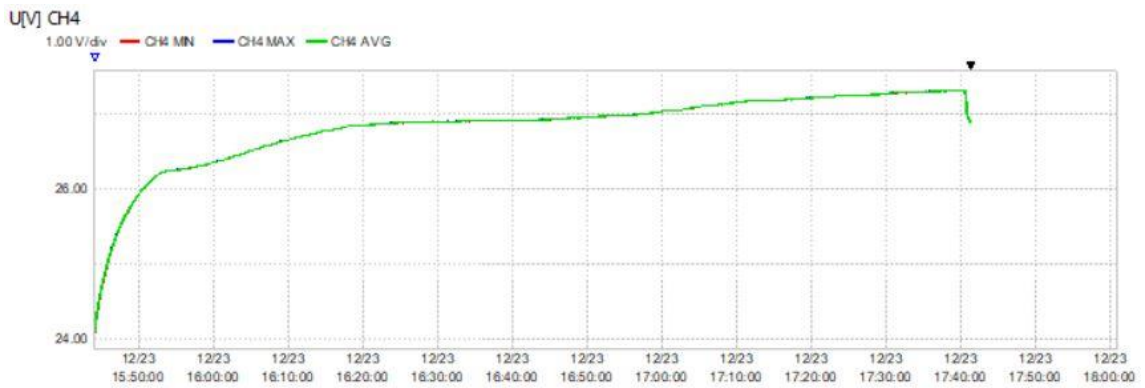
Freq	MIN[Hz]	MAX[Hz]
	50.000	50.000

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.

ครั้งที่ 7



RMS U	CH	MIN[V]	2020/12/23 15:44:06	MAX[V]	2020/12/23 15:44:06
	CH1	0.00	2020/12/23 15:44:06	0.00	2020/12/23 15:44:06
	CH2	0.00	2020/12/23 15:44:06	0.00	2020/12/23 15:44:06
	CH3	0.00	2020/12/23 15:44:06	0.00	2020/12/23 15:44:06
	CH4	24.09	2020/12/23 15:44:06	27.31	2020/12/23 17:40:19

I	CH	MIN[A]	2020/12/23 15:44:06	MAX[A]	2020/12/23 15:44:06
	CH1	0.00	2020/12/23 15:44:06	0.00	2020/12/23 15:44:06
	CH2	0.00	2020/12/23 15:44:06	0.00	2020/12/23 15:44:06
	CH3	0.00	2020/12/23 15:44:06	0.00	2020/12/23 15:44:06
	CH4	0.00	2020/12/23 17:40:38	12.94	2020/12/23 15:48:11

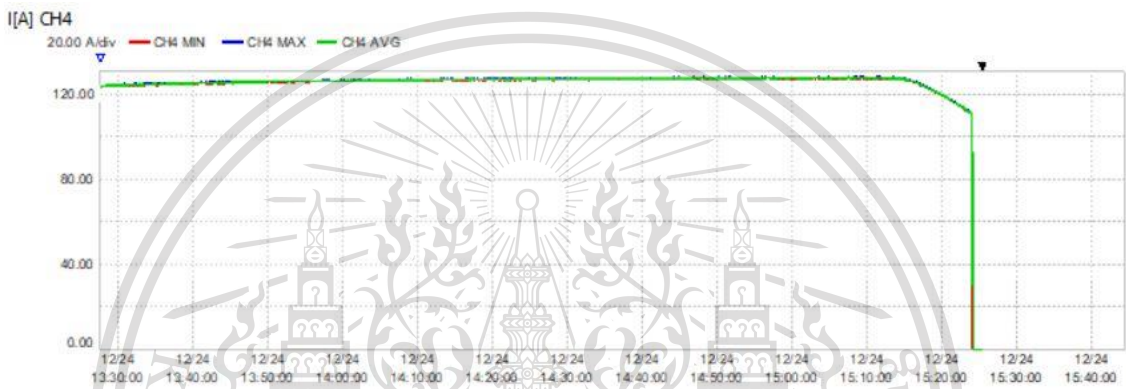
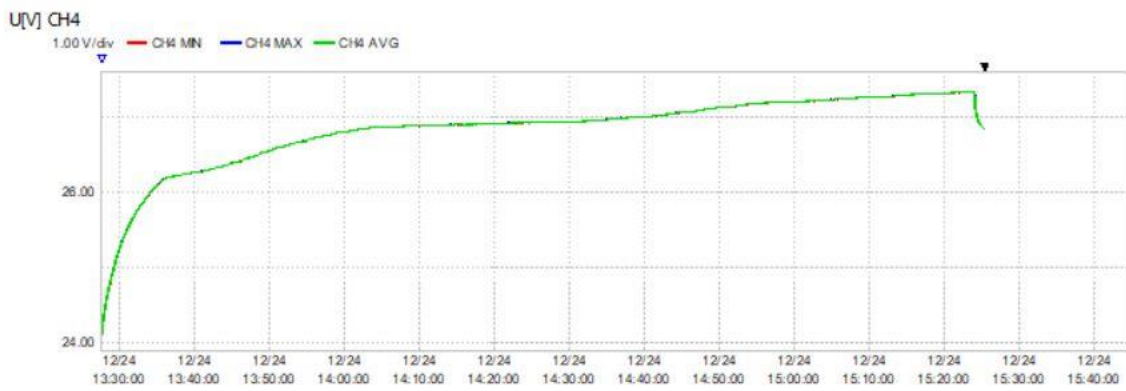
Freq	MIN[Hz]	2020/12/23 15:44:06	MAX[Hz]	2020/12/23 15:44:06
	50.000	2020/12/23 15:44:06	50.000	2020/12/23 15:44:06

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.

ครั้งที่ 8



RMS U	CH	MIN[V]		MAX[V]	
	CH1	0.00	2020/12/24 13:27:34	0.00	2020/12/24 13:27:34
	CH2	0.00	2020/12/24 13:27:34	0.00	2020/12/24 13:27:34
	CH3	0.00	2020/12/24 13:27:34	0.00	2020/12/24 13:27:34
	CH4	24.09	2020/12/24 13:27:34	27.33	2020/12/24 15:24:02

I	CH	MIN[A]		MAX[A]	
	CH1	0.00	2020/12/24 13:27:34	0.00	2020/12/24 13:27:34
	CH2	0.00	2020/12/24 13:27:34	0.00	2020/12/24 13:27:34
	CH3	0.00	2020/12/24 13:27:34	0.00	2020/12/24 13:27:34
	CH4	0.00	2020/12/24 15:24:03	128.31	2020/12/24 15:08:06

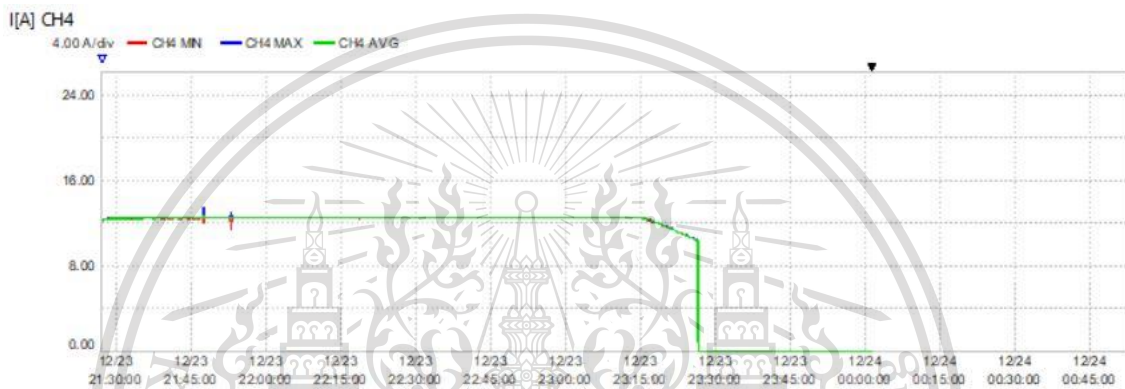
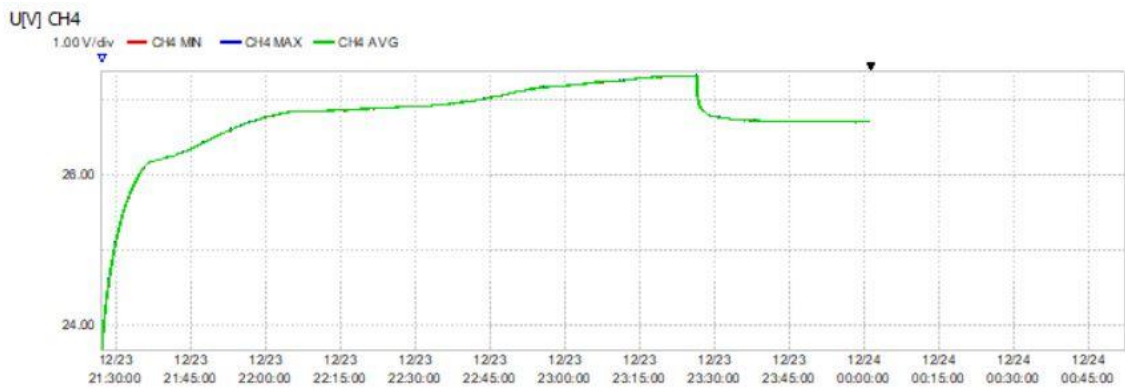
Freq	MIN[Hz]		MAX[Hz]	
	50.000	2020/12/24 13:27:34	50.000	2020/12/24 13:27:34

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.

ครั้งที่ 9



RMS	CH	MIN[V]	MAX[V]
U	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	23.67	27.33
I	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	0.00	13.61
Freq	MIN[Hz]	50.000	50.000
	MAX[Hz]	50.000	50.000

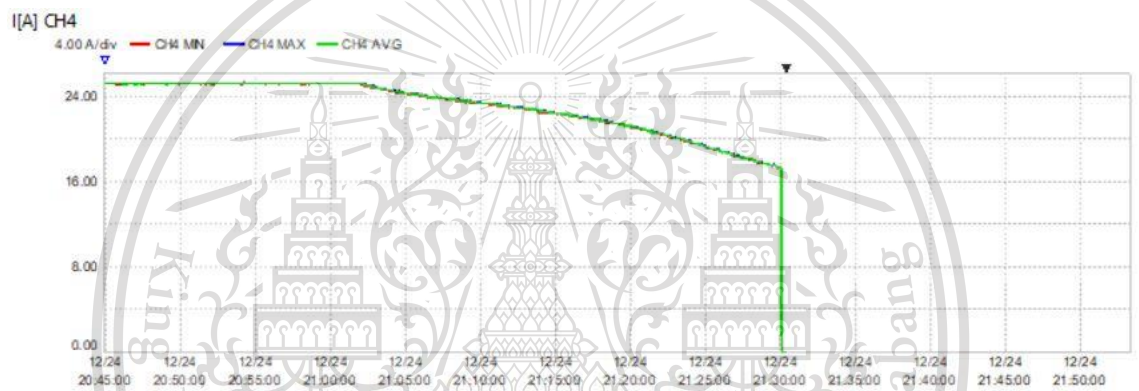
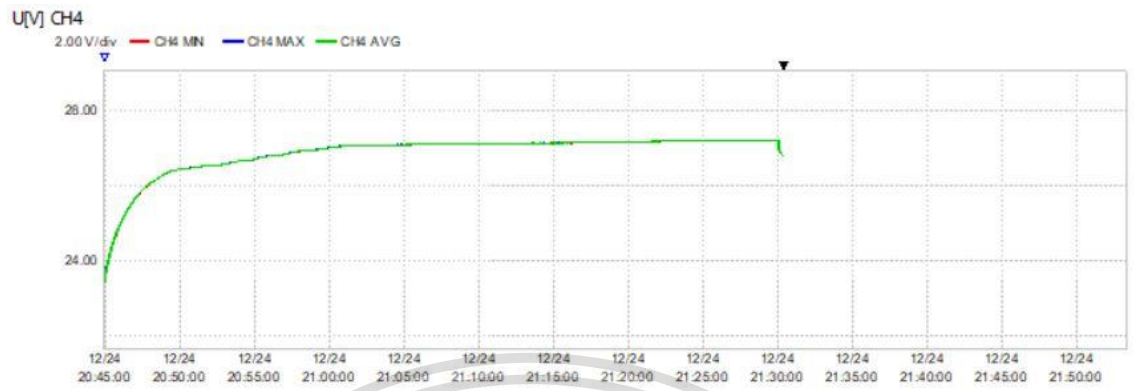
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

กราฟการทดสอบอัดประจุในห้องทดสอบที่ 1.0C

ครั้งที่ 1



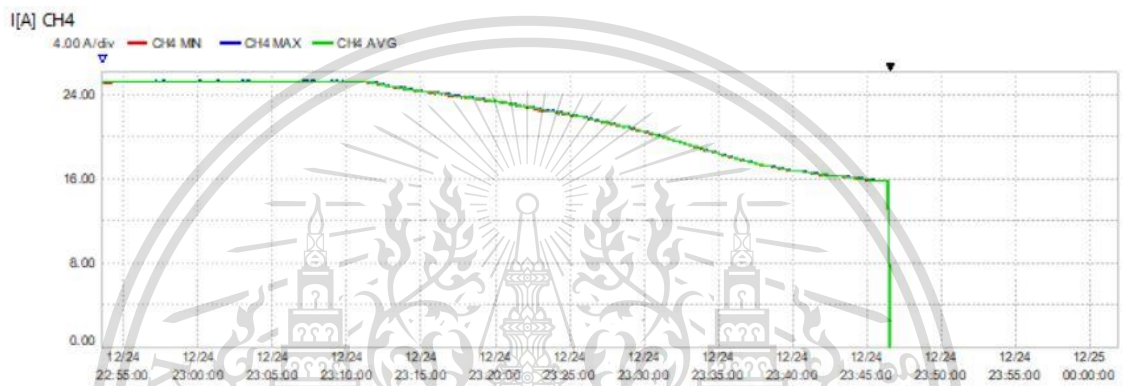
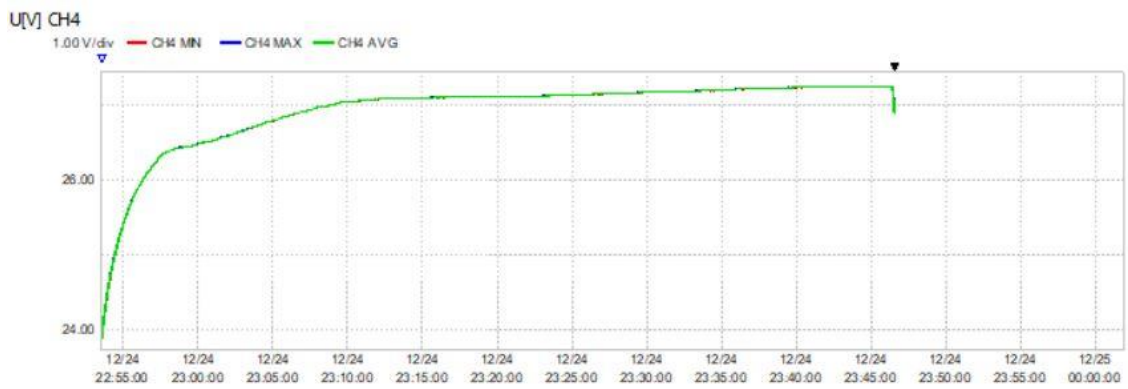
RMS		U		I		Freq	
CH	MIN[V]	MAX[V]	CH	MIN[A]	MAX[A]	MIN[Hz]	MAX[Hz]
CH1	0.00	2020/12/24 20:44:56	0.00	2020/12/24 20:44:56	0.00	2020/12/24 20:44:56	2020/12/24 20:44:56
CH2	0.00	2020/12/24 20:44:56	0.00	2020/12/24 20:44:56	0.00	2020/12/24 20:44:56	2020/12/24 20:44:56
CH3	0.00	2020/12/24 20:44:56	0.00	2020/12/24 20:44:56	0.00	2020/12/24 20:44:56	2020/12/24 20:44:56
CH4	23.40	2020/12/24 20:44:56	27.23	2020/12/24 21:29:54	25.41	2020/12/24 20:54:12	2020/12/24 20:44:56

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.

ครั้งที่ 2



RMS U	CH	MIN[V]	MAX[V]
	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	23.88	27.26

I	CH	MIN[A]	MAX[A]
	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	0.00	25.45

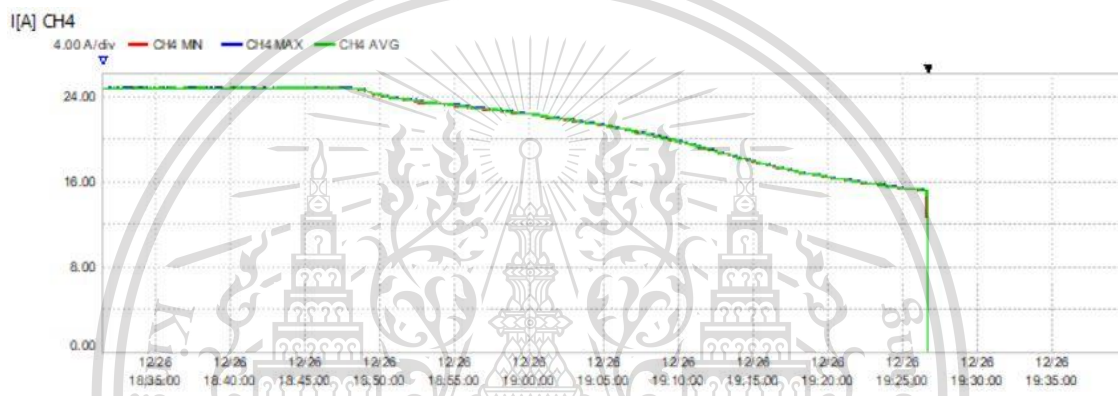
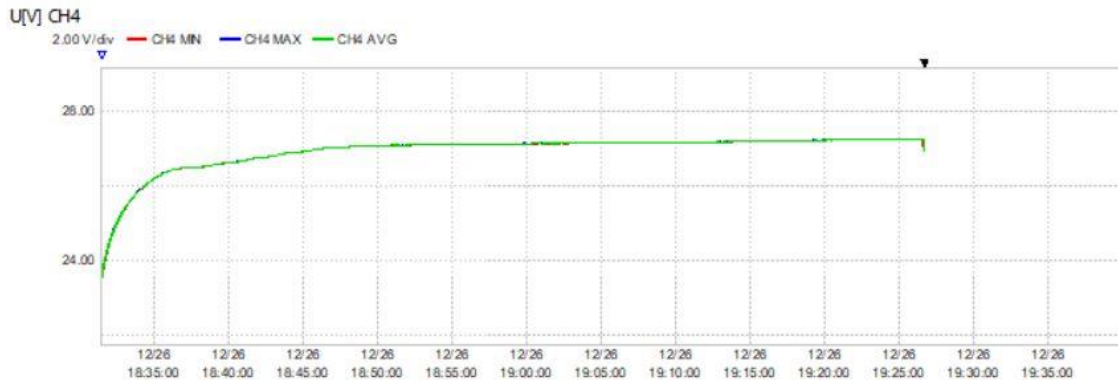
Freq	MIN[Hz]	MAX[Hz]
	50.000	50.000

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.

ครั้งที่ 3



RMS	CH	MIN[V]	MAX[V]
U	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	23.54	27.26

I	CH	MIN[A]	MAX[A]
	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	0.00	25.04

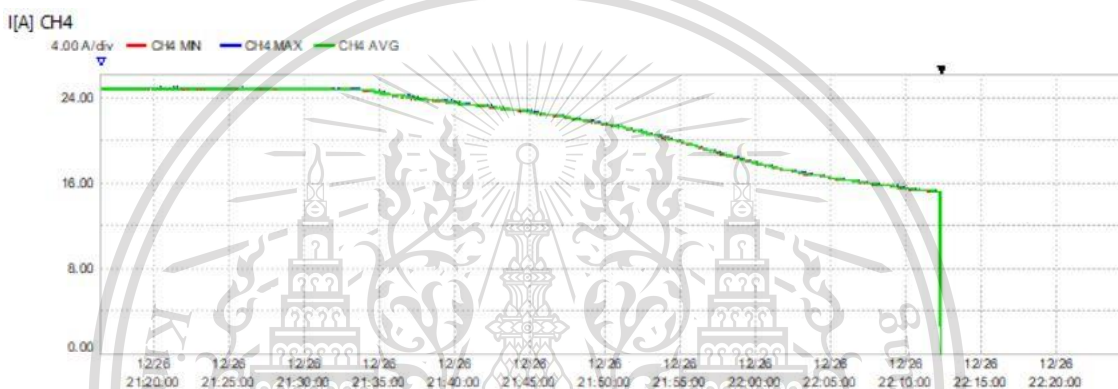
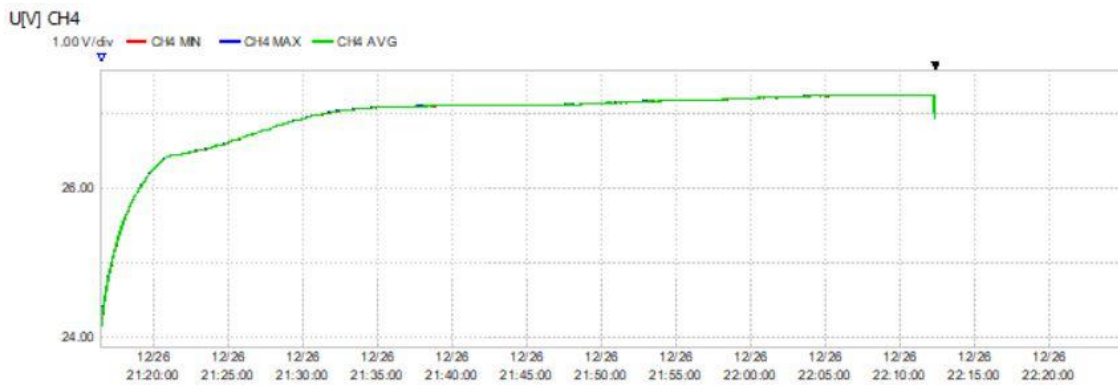
Freq	MIN[Hz]	MAX[Hz]
	50.000	50.000

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.

ครั้งที่ 4



RMS U	CH	MIN[V]	2020/12/26 21:16:29	MAX[V]	2020/12/26 21:16:29
	CH1	0.00	2020/12/26 21:16:29	0.00	2020/12/26 21:16:29
	CH2	0.00	2020/12/26 21:16:29	0.00	2020/12/26 21:16:29
	CH3	0.00	2020/12/26 21:16:29	0.00	2020/12/26 21:16:29
	CH4	24.15	2020/12/26 21:16:29	27.26	2020/12/26 22:10:53

I	CH	MIN[A]	2020/12/26 21:16:29	MAX[A]	2020/12/26 21:16:29
	CH1	0.00	2020/12/26 21:16:29	0.00	2020/12/26 21:16:29
	CH2	0.00	2020/12/26 21:16:29	0.00	2020/12/26 21:16:29
	CH3	0.00	2020/12/26 21:16:29	0.00	2020/12/26 21:16:29
	CH4	0.00	2020/12/26 22:12:16	25.06	2020/12/26 21:21:31

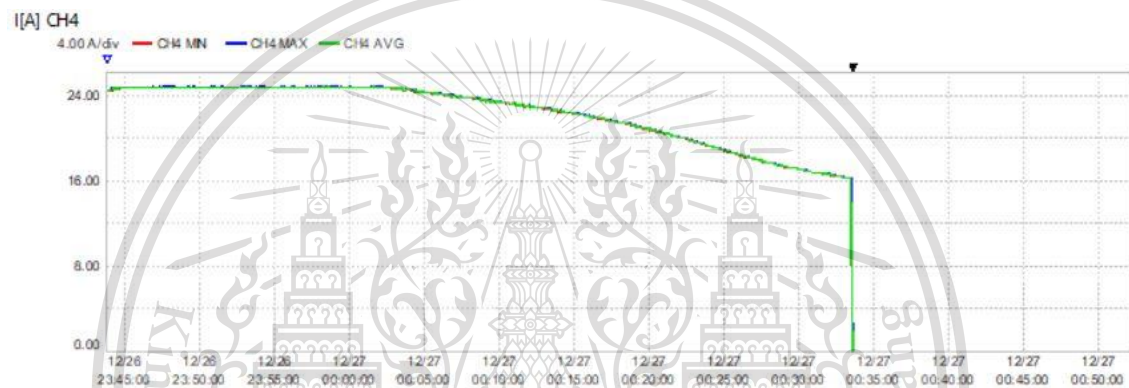
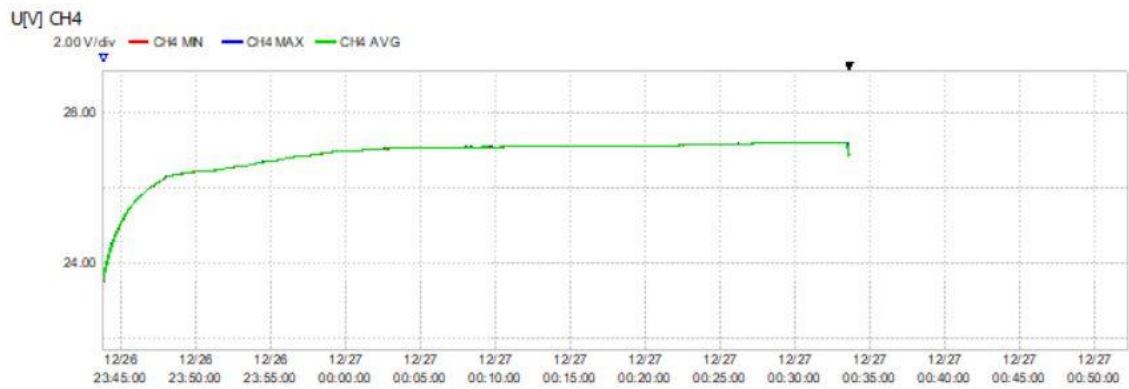
Freq	MIN[Hz]	2020/12/26 21:16:29	MAX[Hz]	2020/12/26 21:16:29
	50.000	2020/12/26 21:16:29	50.000	2020/12/26 21:16:29

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.

ครั้งที่ 5



RMS	CH	MIN[V]	MAX[V]
U	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	23.52	27.23

I	CH	MIN[A]	MAX[A]
	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	0.00	24.97

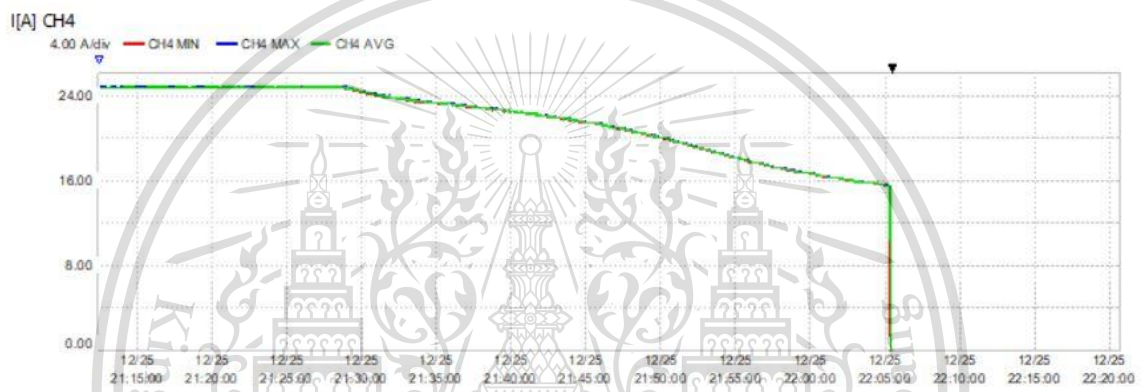
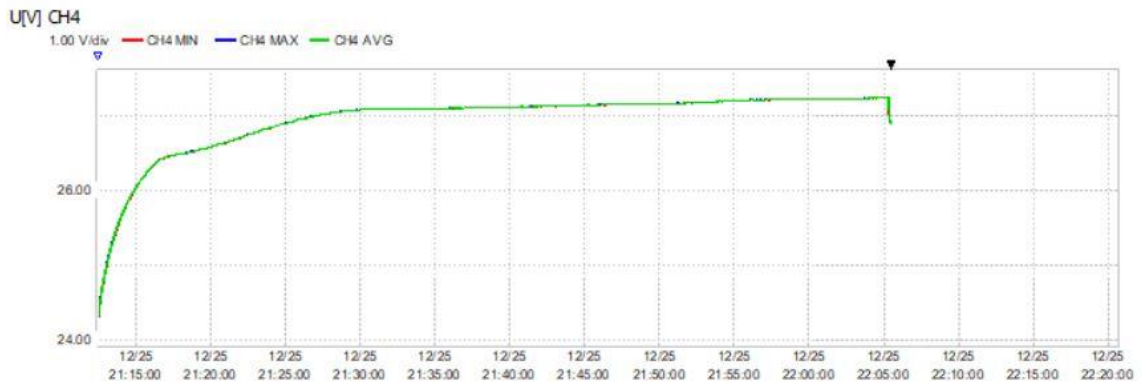
Freq	MIN[Hz]	MAX[Hz]
	50.000	50.000

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.

ครั้งที่ 6



RMS U

CH	MIN[V]	MAX[V]
CH1	0.00	0.00
CH2	0.00	0.00
CH3	0.00	0.00
CH4	24.24	27.26

I

CH	MIN[A]	MAX[A]
CH1	0.00	0.00
CH2	0.00	0.00
CH3	0.00	0.00
CH4	0.00	25.04

Freq

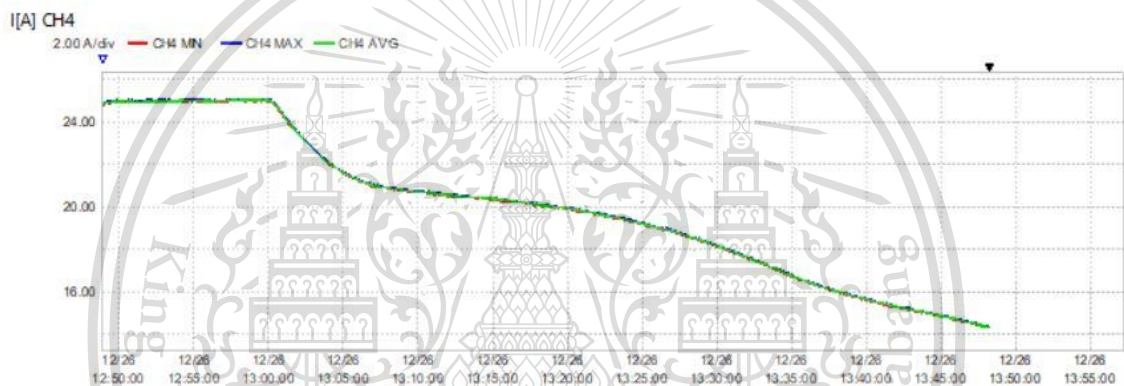
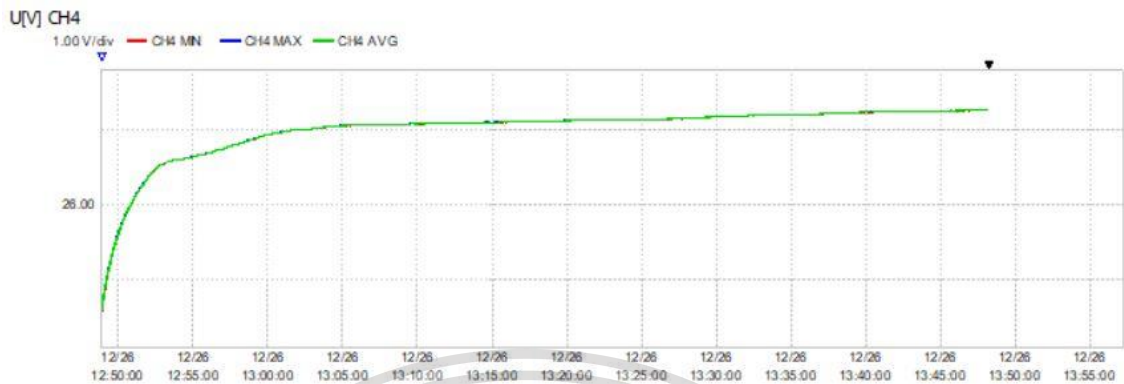
MIN[Hz]	MAX[Hz]
50.000	50.000

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.

ครั้งที่ 7



RMS	CH	MIN[V]	MAX[V]
U	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	24.58	27.26

I	CH	MIN[A]	MAX[A]
	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	14.32	25.11

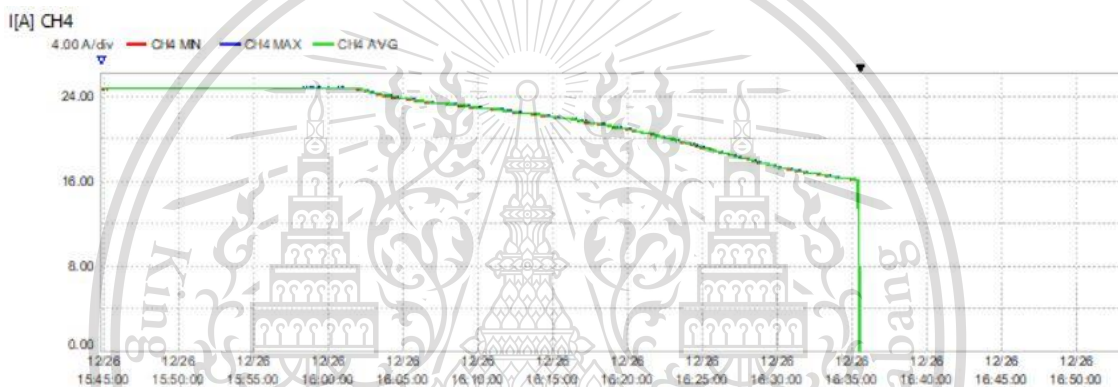
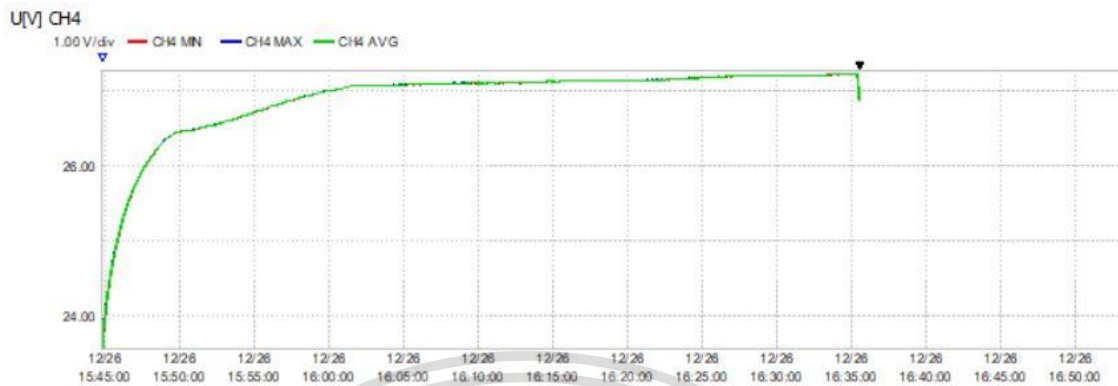
Freq	MIN[Hz]	MAX[Hz]
	50.000	50.000

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.

ครั้งที่ 8



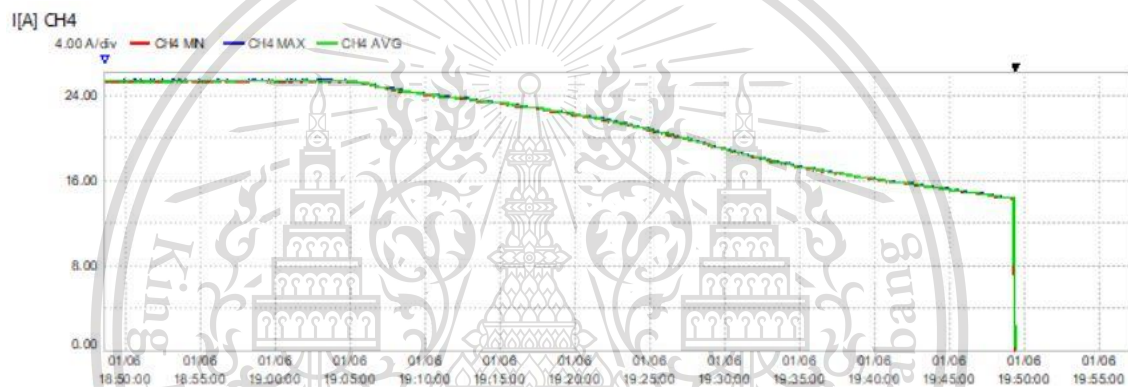
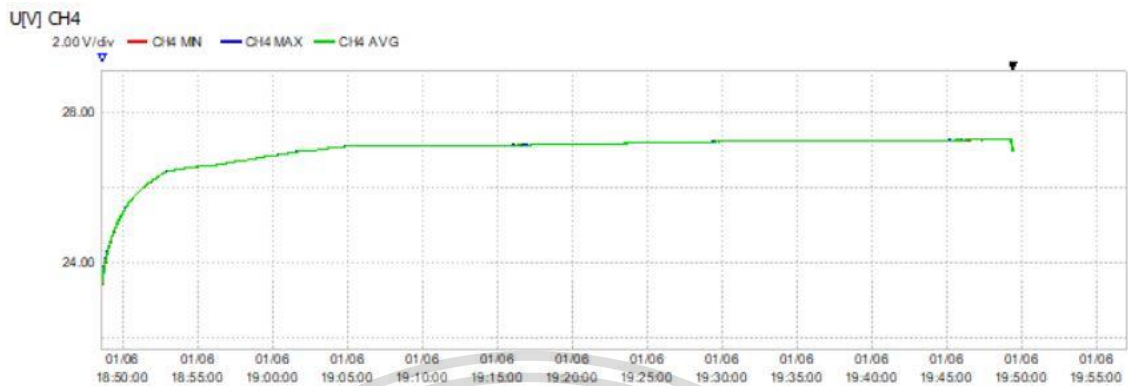
RMS U		CH	MIN[V]	MAX[V]	
		CH1	0.00	0.00	2020/12/26 15:44:49
		CH2	0.00	0.00	2020/12/26 15:44:49
		CH3	0.00	0.00	2020/12/26 15:44:49
		CH4	23.55	27.24	2020/12/26 16:35:09
I		CH	MIN[A]	MAX[A]	
		CH1	0.00	0.00	2020/12/26 15:44:49
		CH2	0.00	0.00	2020/12/26 15:44:49
		CH3	0.00	0.00	2020/12/26 15:44:49
		CH4	0.00	24.98	2020/12/26 15:58:29
Freq			MIN[Hz]	MAX[Hz]	
			50.000	50.000	2020/12/26 15:44:49

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.

ครั้งที่ 9



RMS U		CH	MIN[V]	MAX[V]
	CH1	0.00	2021/01/06 18:48:36	0.00
	CH2	0.00	2021/01/06 18:48:36	0.00
	CH3	0.00	2021/01/06 18:48:36	0.00
	CH4	23.43	2021/01/06 18:48:36	27.31

I		CH	MIN[A]	MAX[A]
	CH1	0.00	2021/01/06 18:48:36	0.00
	CH2	0.00	2021/01/06 18:48:36	0.00
	CH3	0.00	2021/01/06 18:48:36	0.00
	CH4	0.00	2021/01/06 19:49:20	25.56

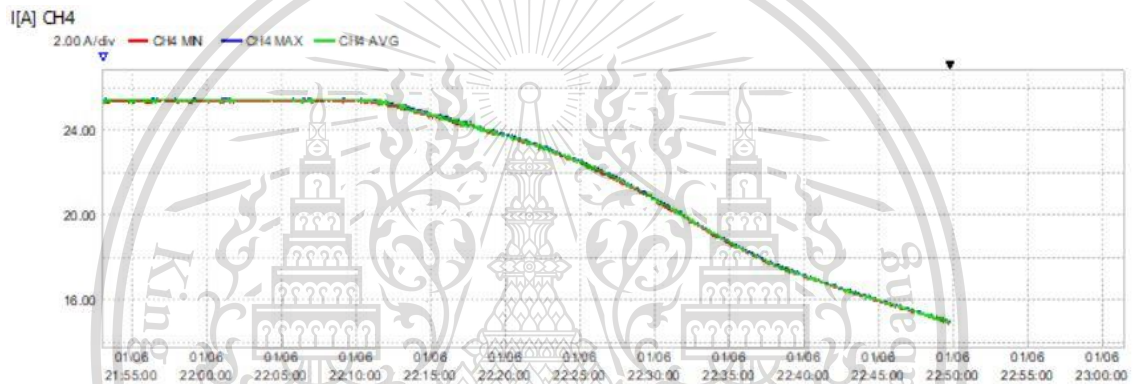
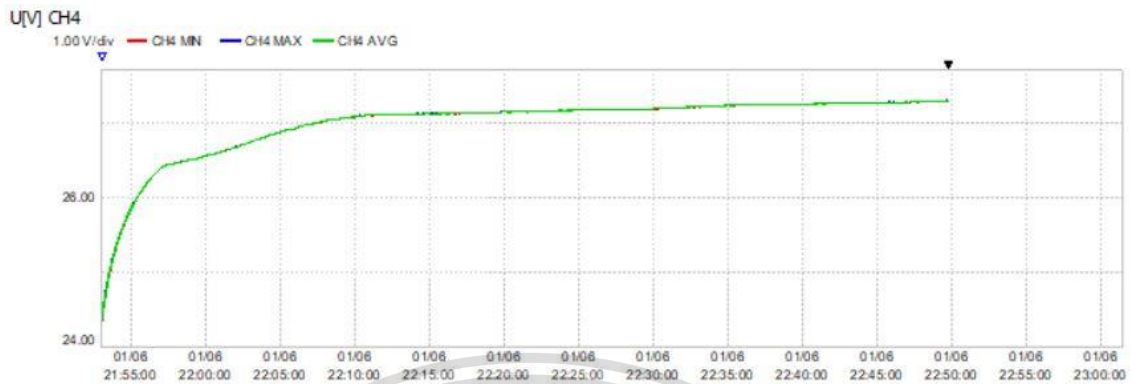
Freq		MIN[Hz]	MAX[Hz]
		50.000	2021/01/06 18:48:36
		50.000	2021/01/06 18:48:36

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.

ครั้งที่ 10



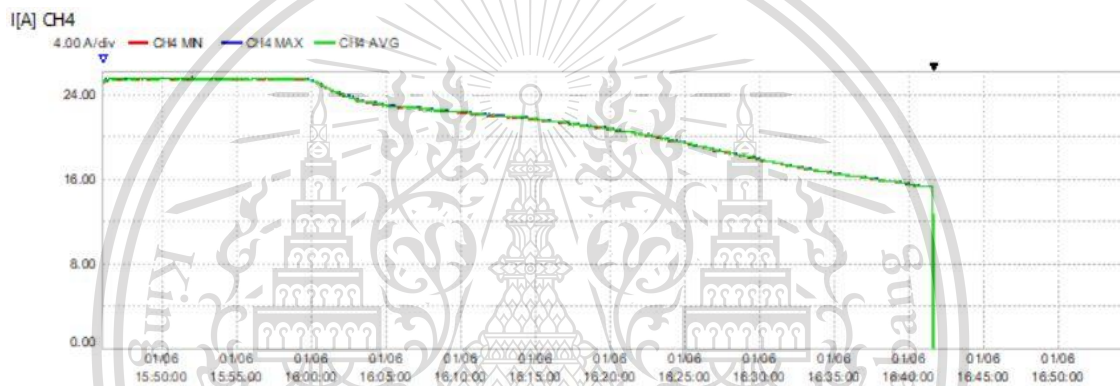
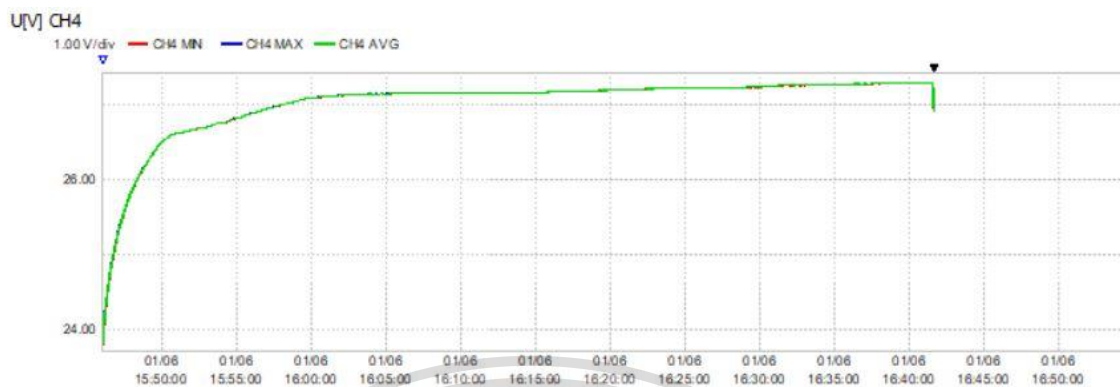
RMS		CH	MIN[V]	MAX[V]	
U	CH1	0.00	2021/01/06 21:53:02	0.00	2021/01/06 21:53:02
	CH2	0.00	2021/01/06 21:53:02	0.00	2021/01/06 21:53:02
	CH3	0.00	2021/01/06 21:53:02	0.00	2021/01/06 21:53:02
	CH4	24.35	2021/01/06 21:53:02	27.30	2021/01/06 22:49:40
I		CH	MIN[A]	MAX[A]	
	CH1	0.00	2021/01/06 21:53:02	0.00	2021/01/06 21:53:02
	CH2	0.00	2021/01/06 21:53:02	0.00	2021/01/06 21:53:02
	CH3	0.00	2021/01/06 21:53:02	0.00	2021/01/06 21:53:02
	CH4	14.92	2021/01/06 22:49:38	25.56	2021/01/06 22:05:46
Freq			MIN[Hz]	MAX[Hz]	
			50.000	50.000	2021/01/06 21:53:02

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.

ครั้งที่ 11



RMS
U

CH	MIN[V]		MAX[V]	
CH1	0.00	2021/01/06 15:46:03	0.00	2021/01/06 15:46:03
CH2	0.00	2021/01/06 15:46:03	0.00	2021/01/06 15:46:03
CH3	0.00	2021/01/06 15:46:03	0.00	2021/01/06 15:46:03
CH4	23.80	2021/01/06 15:46:03	27.30	2021/01/06 16:41:25

I

CH	MIN[A]		MAX[A]	
CH1	0.00	2021/01/06 15:46:03	0.00	2021/01/06 15:46:03
CH2	0.00	2021/01/06 15:46:03	0.00	2021/01/06 15:46:03
CH3	0.00	2021/01/06 15:46:03	0.00	2021/01/06 15:46:03
CH4	0.00	2021/01/06 16:41:35	25.65	2021/01/06 15:52:01

Freq

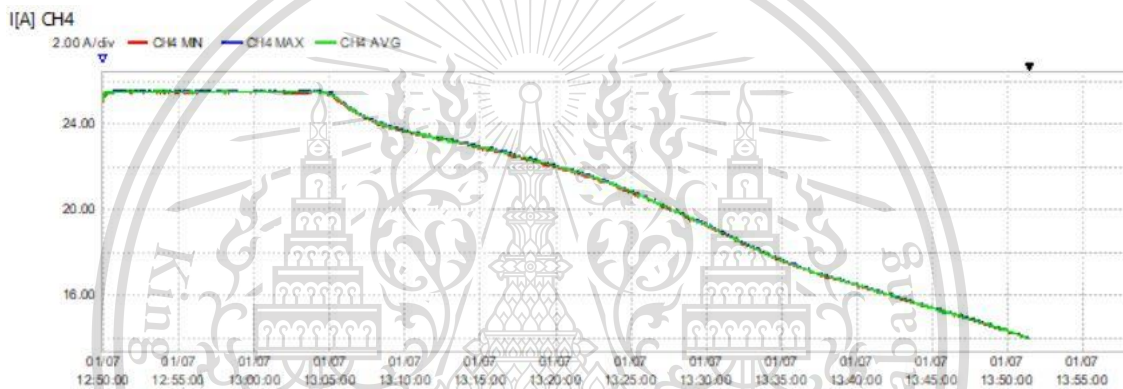
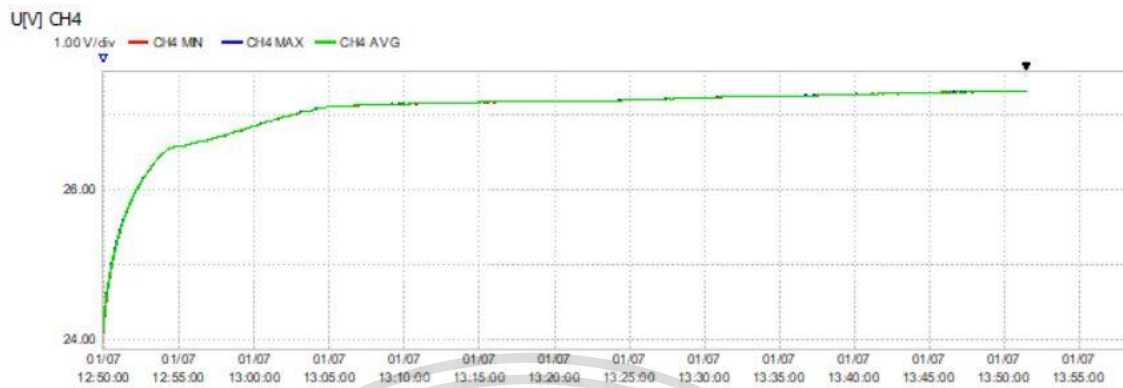
MIN[Hz]		MAX[Hz]	
50.000	2021/01/06 15:46:03	50.000	2021/01/06 15:46:03

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.

ครั้งที่ 12



RMS	CH	MIN[V]	MAX[V]
U	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	24.09	27.32

I	CH	MIN[A]	MAX[A]
	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	13.96	25.68

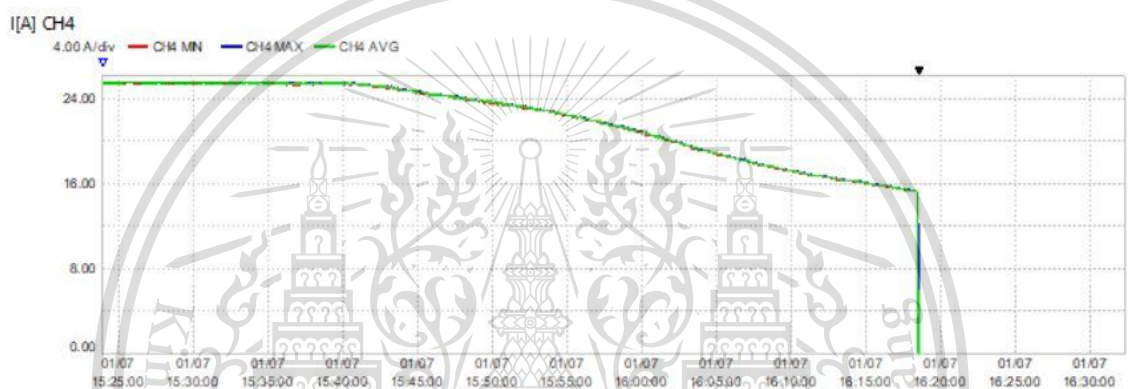
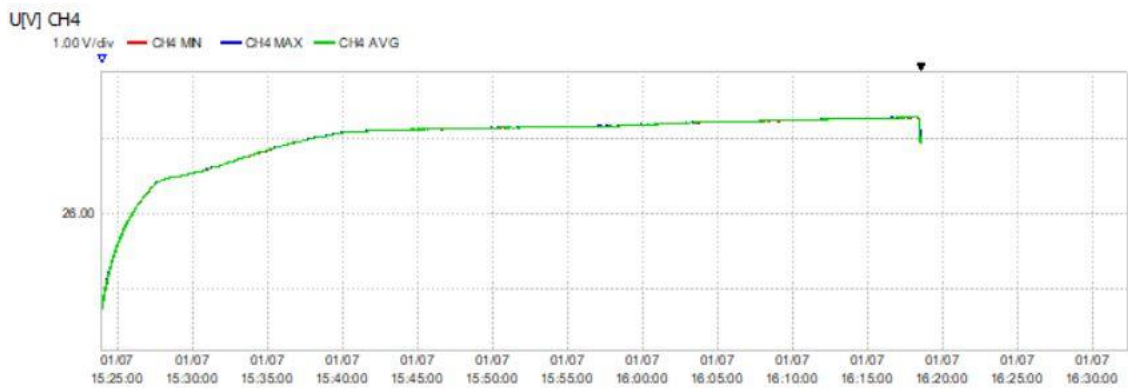
Freq	MIN[Hz]	MAX[Hz]
	50.000	50.000

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.

ครั้งที่ 13



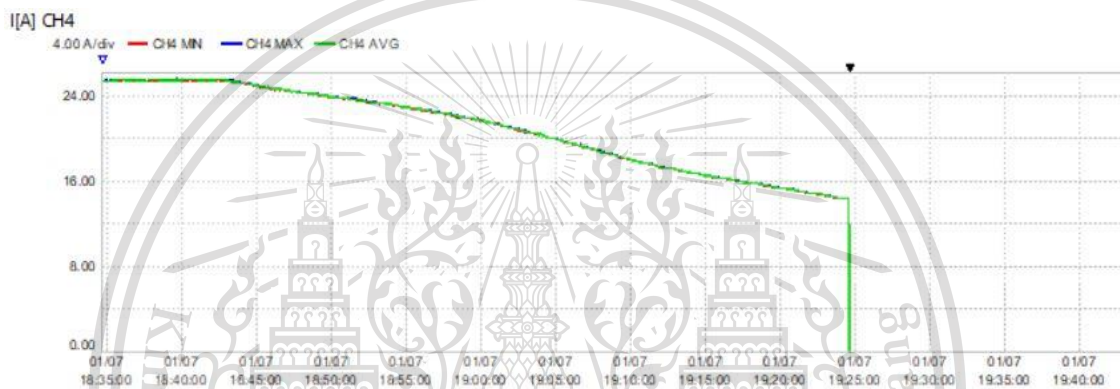
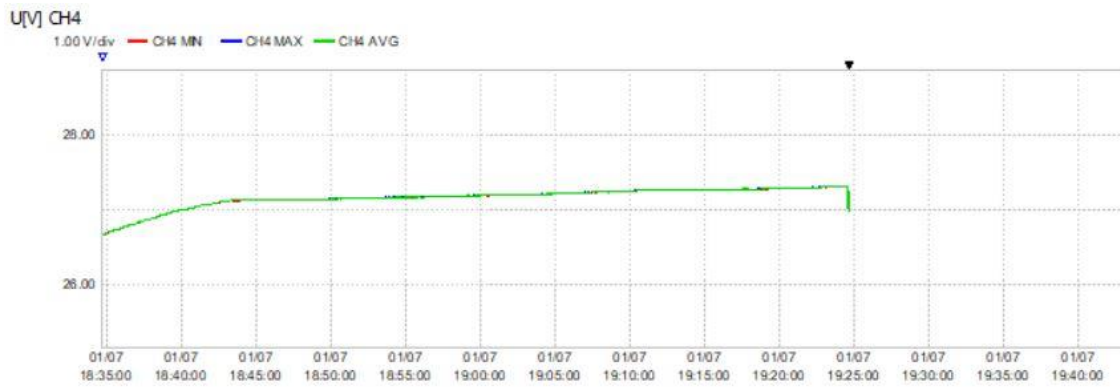
RMS	CH	MIN[V]	MAX[V]
U	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	24.74	27.29
		2021/01/07 15:23:56	2021/01/07 16:18:10
I	CH	MIN[A]	MAX[A]
	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	0.00	25.62
		2021/01/07 15:23:56	2021/01/07 15:26:10
Freq		MIN[Hz]	MAX[Hz]
		50.000	50.000
		2021/01/07 15:23:56	2021/01/07 15:23:56

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.

ครั้งที่ 14



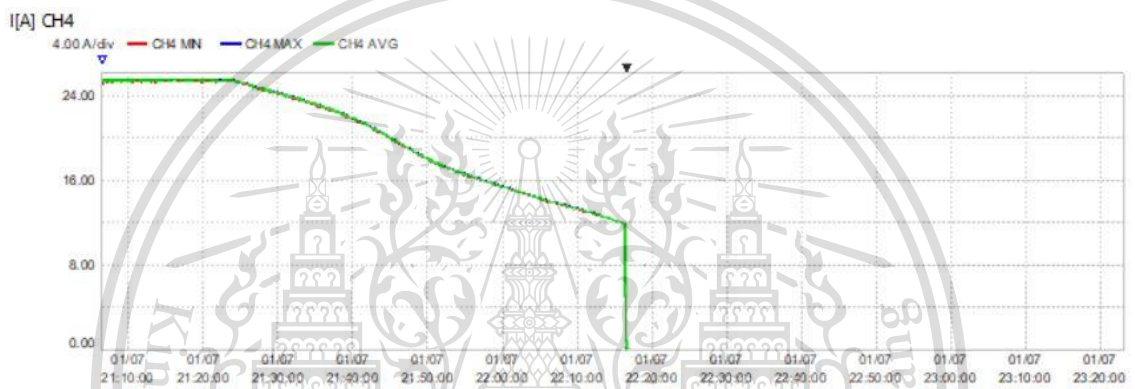
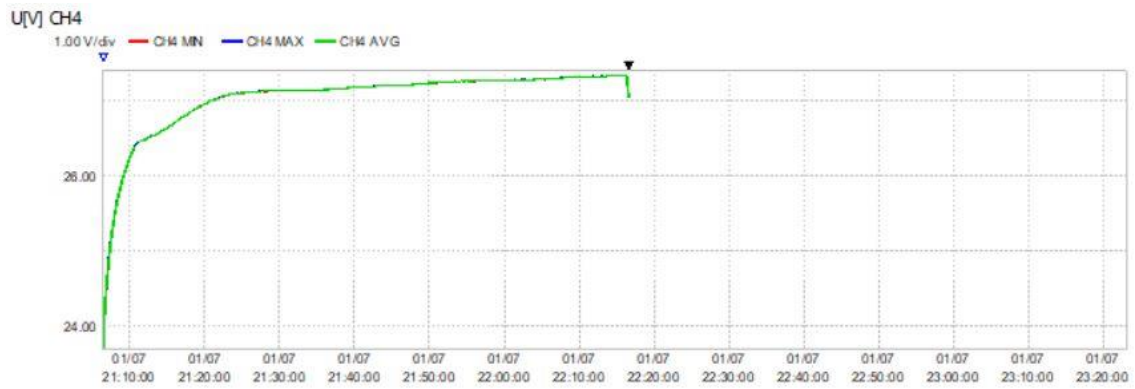
RMS	CH	MIN[V]	MAX[V]	
U	CH1	0.00	0.00	2021/01/07 18:34:45
	CH2	0.00	0.00	2021/01/07 18:34:45
	CH3	0.00	0.00	2021/01/07 18:34:45
	CH4	26.67	27.31	2021/01/07 19:23:48
I	CH	MIN[A]	MAX[A]	
	CH1	0.00	0.00	2021/01/07 18:34:45
	CH2	0.00	0.00	2021/01/07 18:34:45
	CH3	0.00	0.00	2021/01/07 18:34:45
	CH4	0.00	25.66	2021/01/07 18:36:25
Freq	MIN[Hz]	MAX[Hz]		
	50.000	50.000	2021/01/07 18:34:45	2021/01/07 18:34:45

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.

ครั้งที่ 15



RMS U	CH	MIN[V]	2021/01/07 21:06:27	MAX[V]	2021/01/07 21:06:27
	CH1	0.00	2021/01/07 21:06:27	0.00	2021/01/07 21:06:27
	CH2	0.00	2021/01/07 21:06:27	0.00	2021/01/07 21:06:27
	CH3	0.00	2021/01/07 21:06:27	0.00	2021/01/07 21:06:27
	CH4	23.70	2021/01/07 21:06:27	27.35	2021/01/07 22:16:16

I	CH	MIN[A]	2021/01/07 21:06:27	MAX[A]	2021/01/07 21:06:27
	CH1	0.00	2021/01/07 21:06:27	0.00	2021/01/07 21:06:27
	CH2	0.00	2021/01/07 21:06:27	0.00	2021/01/07 21:06:27
	CH3	0.00	2021/01/07 21:06:27	0.00	2021/01/07 21:06:27
	CH4	0.00	2021/01/07 22:16:35	25.65	2021/01/07 21:13:14

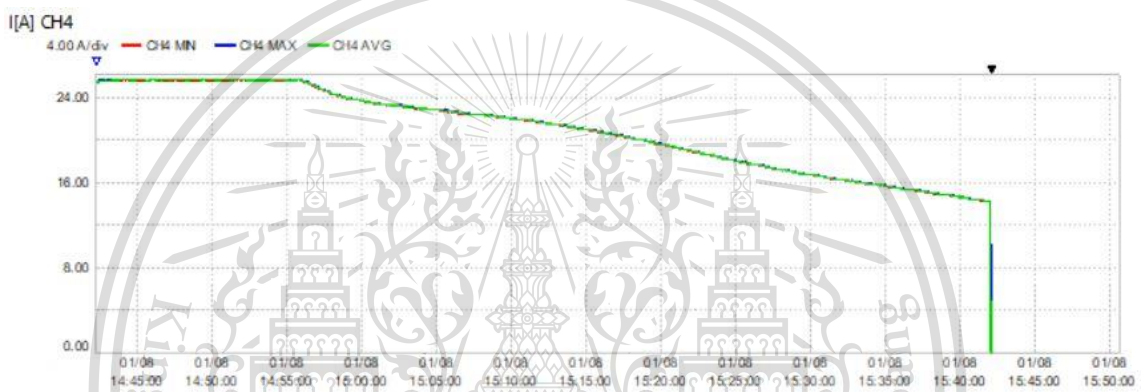
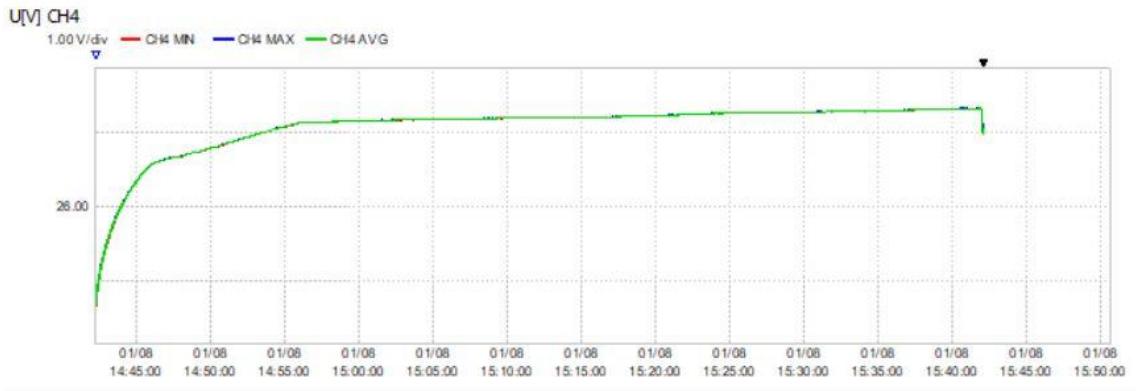
Freq	MIN[Hz]	2021/01/07 21:06:27	MAX[Hz]	2021/01/07 21:06:27
	50.000	2021/01/07 21:06:27	50.000	2021/01/07 21:06:27

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.

ครั้งที่ 16



RMS U	CH	MIN[V]	2021/01/08 14:42:15	MAX[V]	2021/01/08 14:42:15
	CH1	0.00	2021/01/08 14:42:15	0.00	2021/01/08 14:42:15
	CH2	0.00	2021/01/08 14:42:15	0.00	2021/01/08 14:42:15
	CH3	0.00	2021/01/08 14:42:15	0.00	2021/01/08 14:42:15
	CH4	24.66	2021/01/08 14:42:15	27.32	2021/01/08 15:41:59

I	CH	MIN[A]	2021/01/08 14:42:15	MAX[A]	2021/01/08 14:48:24
	CH1	0.00	2021/01/08 14:42:15	0.00	2021/01/08 14:42:15
	CH2	0.00	2021/01/08 14:42:15	0.00	2021/01/08 14:42:15
	CH3	0.00	2021/01/08 14:42:15	0.00	2021/01/08 14:42:15
	CH4	0.00	2021/01/08 15:42:00	25.77	2021/01/08 14:48:24

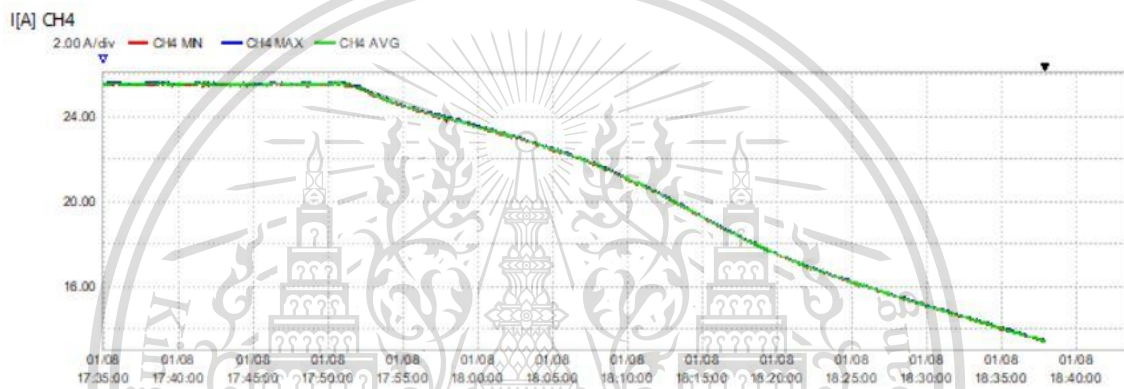
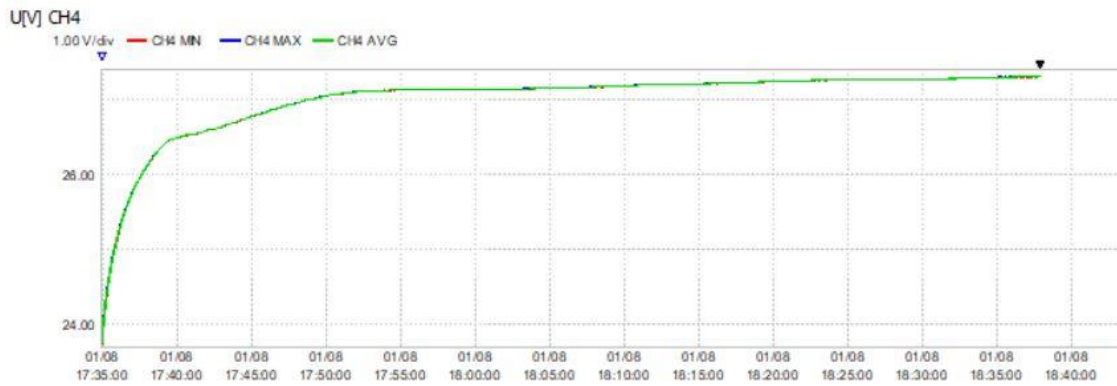
Freq	MIN[Hz]	2021/01/08 14:42:15	MAX[Hz]	2021/01/08 14:42:15
	50.000	2021/01/08 14:42:15	50.000	2021/01/08 14:42:15

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.

ครั้งที่ 17



RMS U	CH	MIN[V]	MAX[V]
	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	23.74	27.32

I	CH	MIN[A]	MAX[A]
	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	13.41	25.64

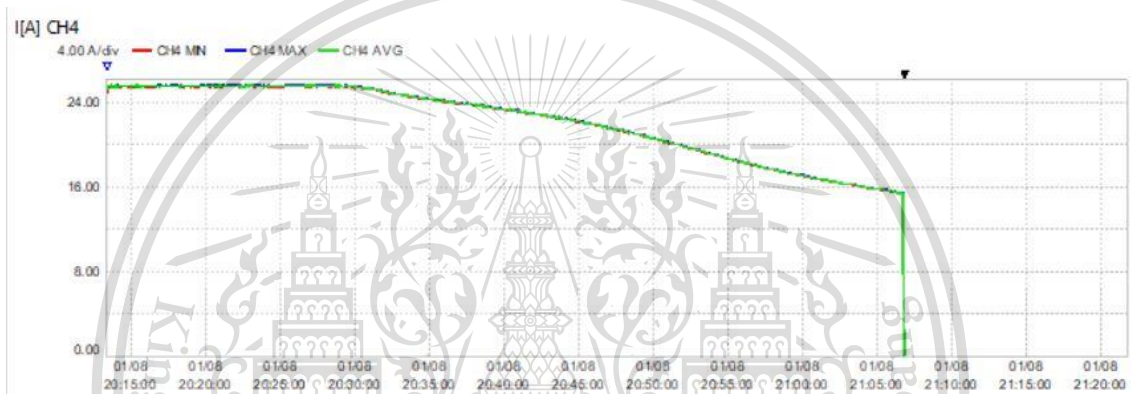
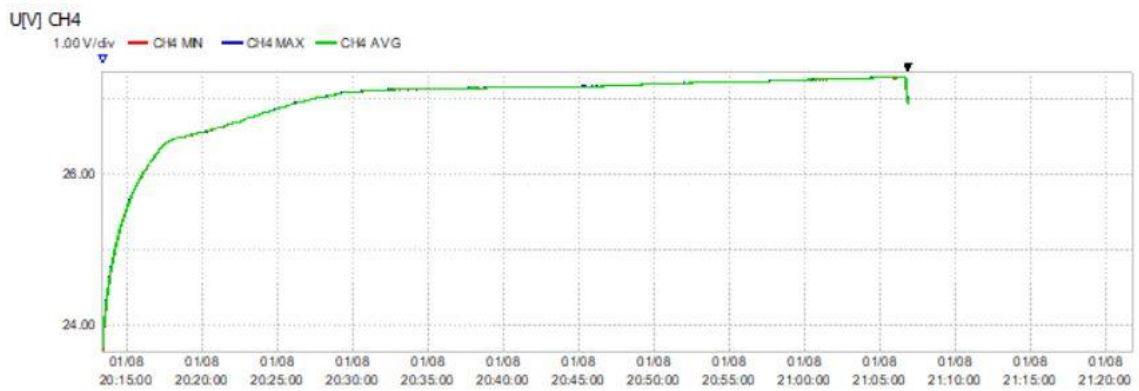
Freq	MIN[Hz]	MAX[Hz]
	50.000	50.000

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.

ครั้งที่ 18



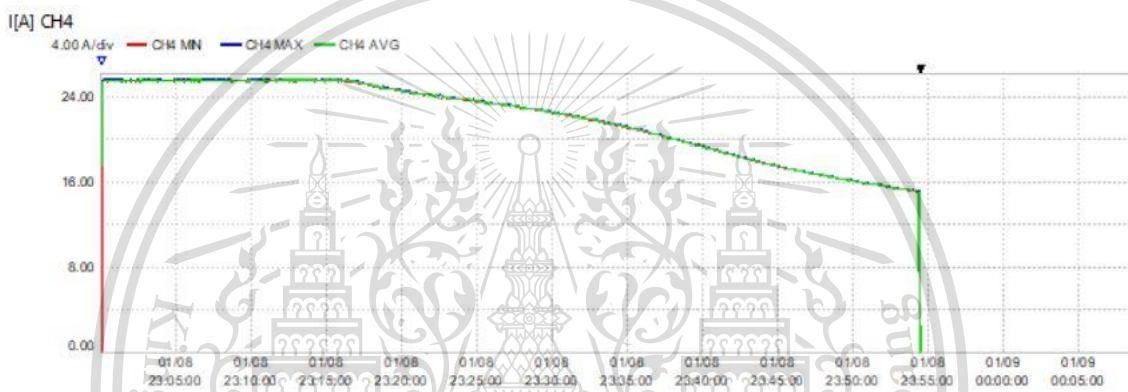
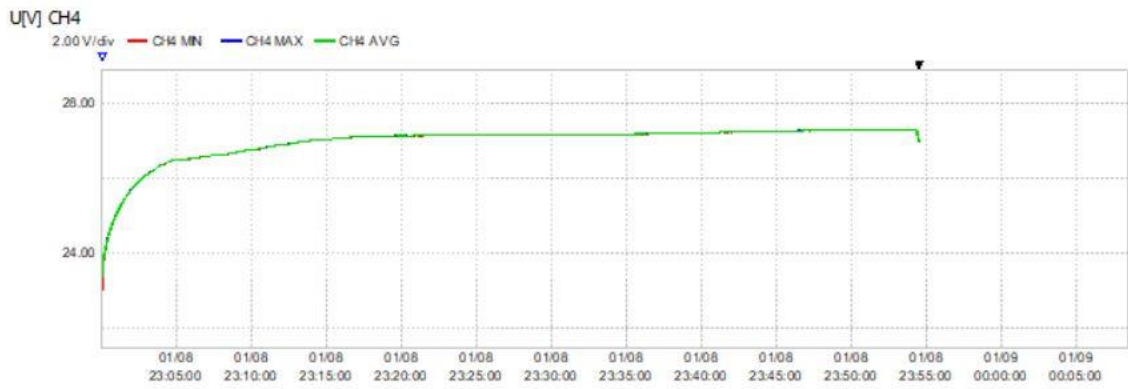
RMS	CH	MIN[V]	MAX[V]
U	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	23.68	27.29
I	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	0.00	25.70
Freq	MIN[Hz]	50.000	50.000
		2021/01/08 20:13:23	2021/01/08 20:13:23

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.

ครั้งที่ 19



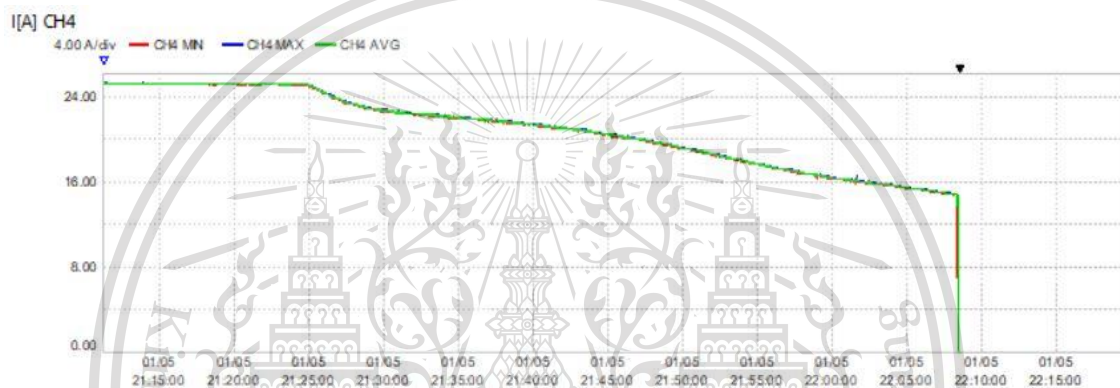
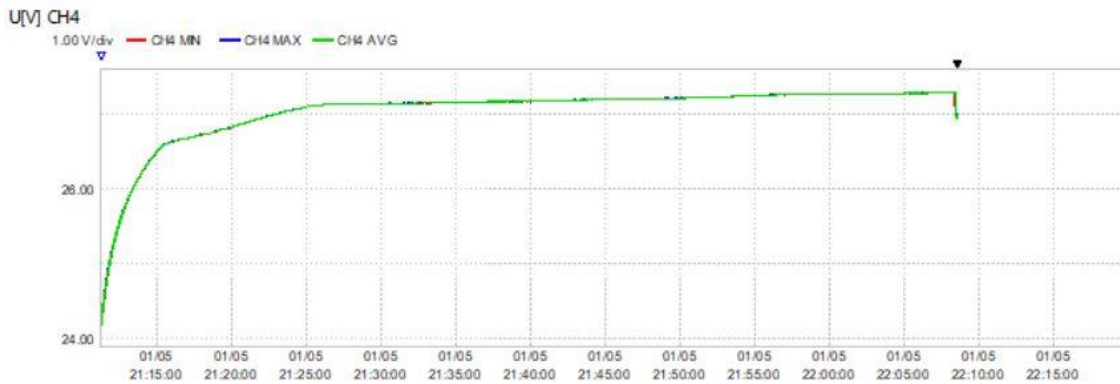
RMS	CH	MIN[V]	MAX[V]	
U	CH1	0.00	0.00	2021/01/08 23:00:02
	CH2	0.00	0.00	2021/01/08 23:00:02
	CH3	0.00	0.00	2021/01/08 23:00:02
	CH4	23.00	27.29	2021/01/08 23:53:57
I	CH	MIN[A]	MAX[A]	
	CH1	0.00	0.00	2021/01/08 23:00:02
	CH2	0.00	0.00	2021/01/08 23:00:02
	CH3	0.00	0.00	2021/01/08 23:00:02
	CH4	0.00	25.73	2021/01/08 23:13:03
Freq	MIN[Hz]	MAX[Hz]		
	50.000	50.000	2021/01/08 23:00:02	2021/01/08 23:00:02

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.

ครั้งที่ 20



RMS
U

CH	MIN[V]	MAX[V]
CH1	0.00	0.00
CH2	0.00	0.00
CH3	0.00	0.00
CH4	24.17	27.31

I

CH	MIN[A]	MAX[A]
CH1	0.00	0.00
CH2	0.00	0.00
CH3	0.00	0.00
CH4	0.00	25.44

Freq

MIN[Hz]	MAX[Hz]
50.000	50.000

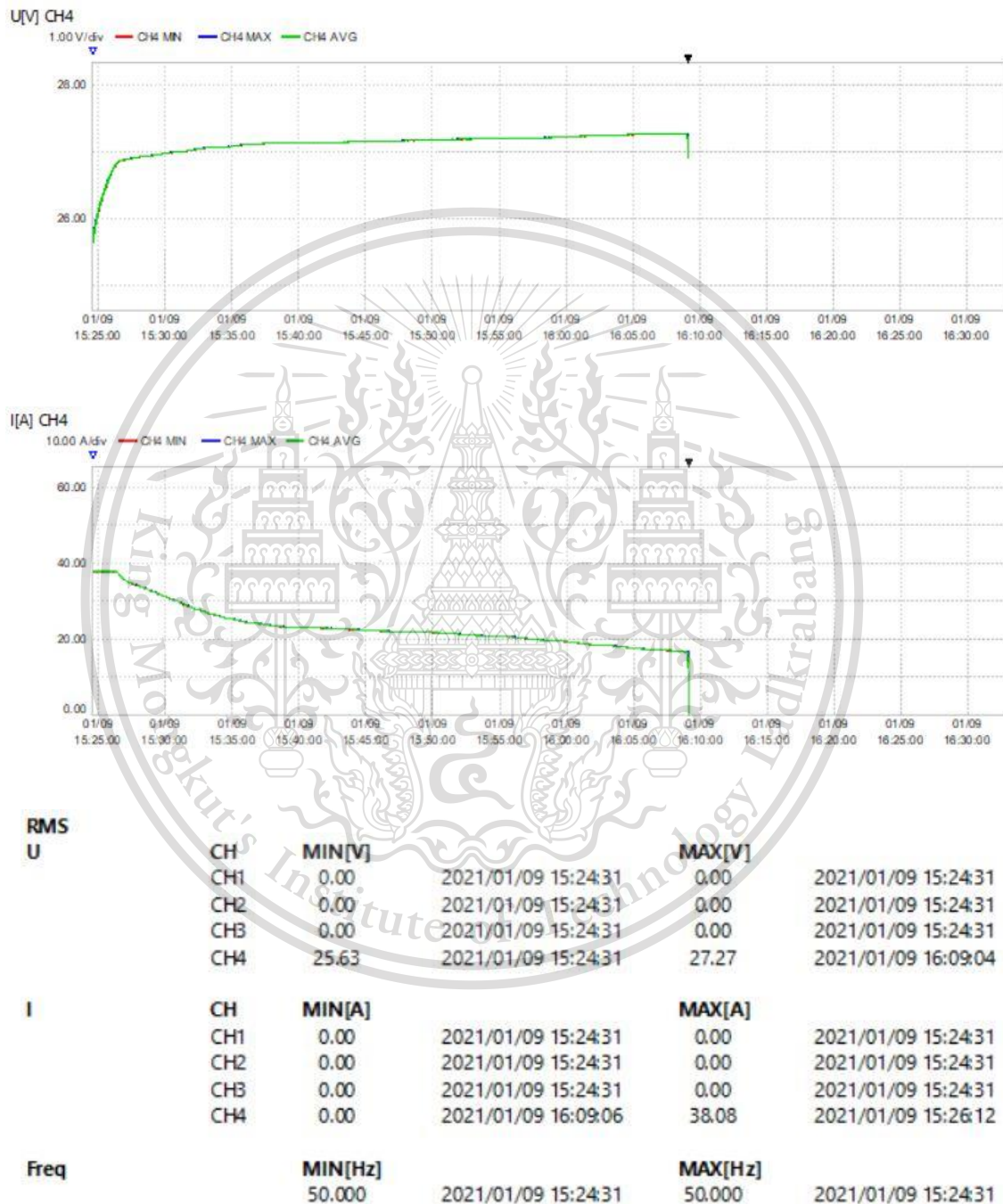
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

กราฟการทดสอบอัดประจุในห้องทดสอบที่ 1.5C

ครั้งที่ 1

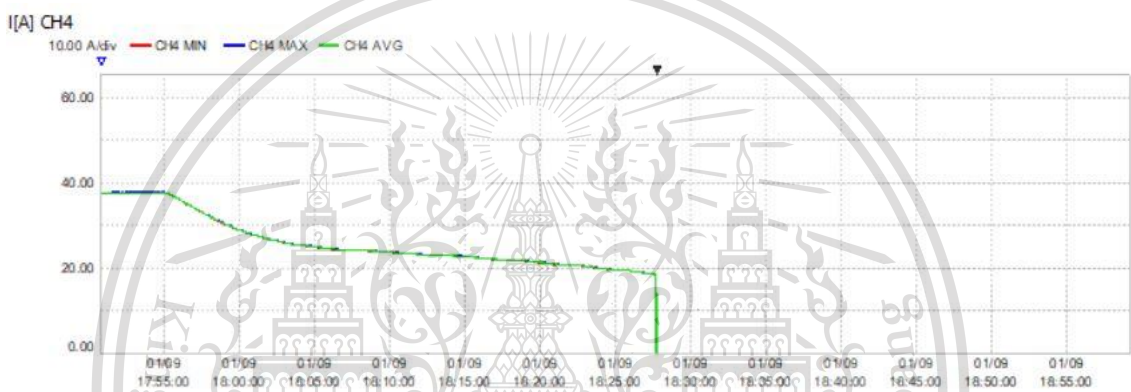


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ครั้งที่ 2



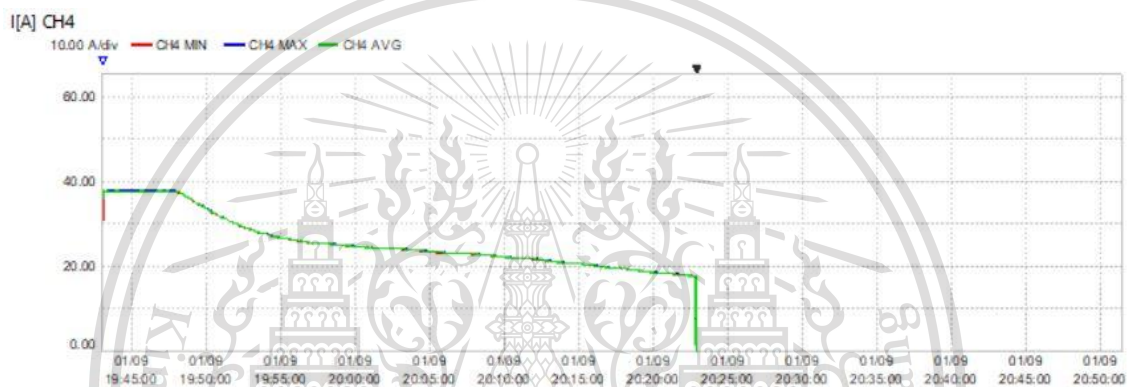
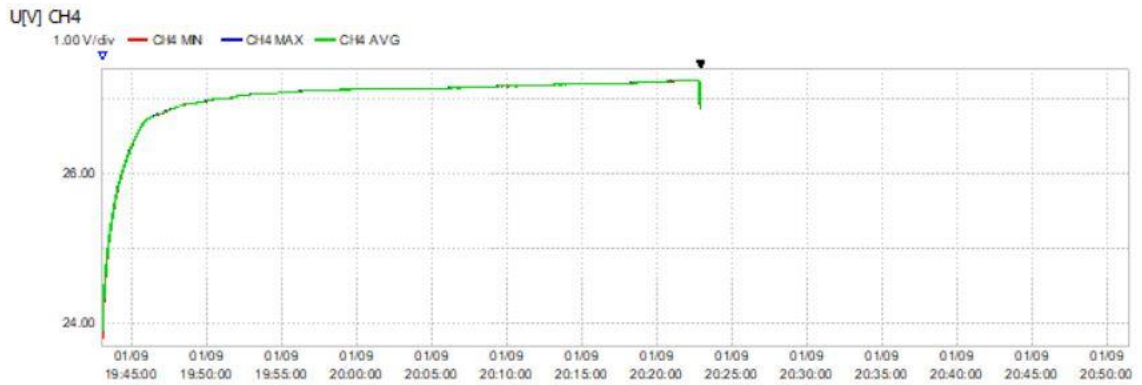
RMS	CH	MIN[V]	MAX[V]
U	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	24.01	27.22
I	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	0.00	38.02
Freq	MIN[Hz]	50.000	50.000

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.

ครั้งที่ 3



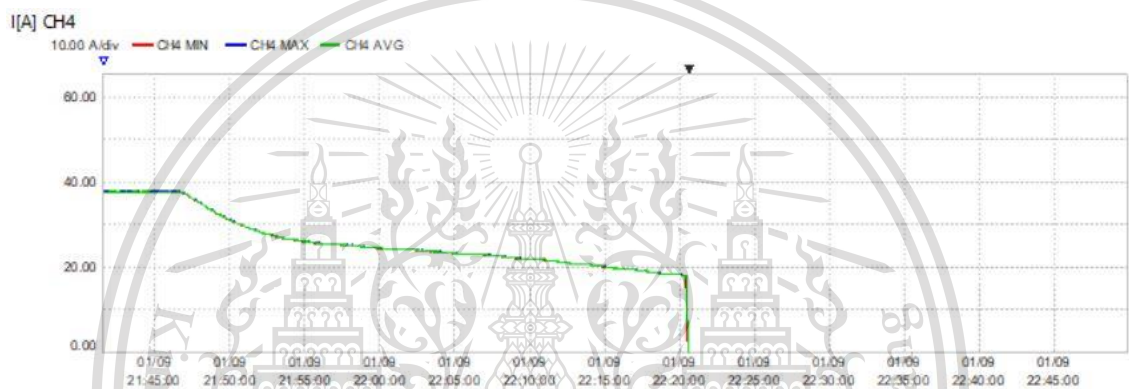
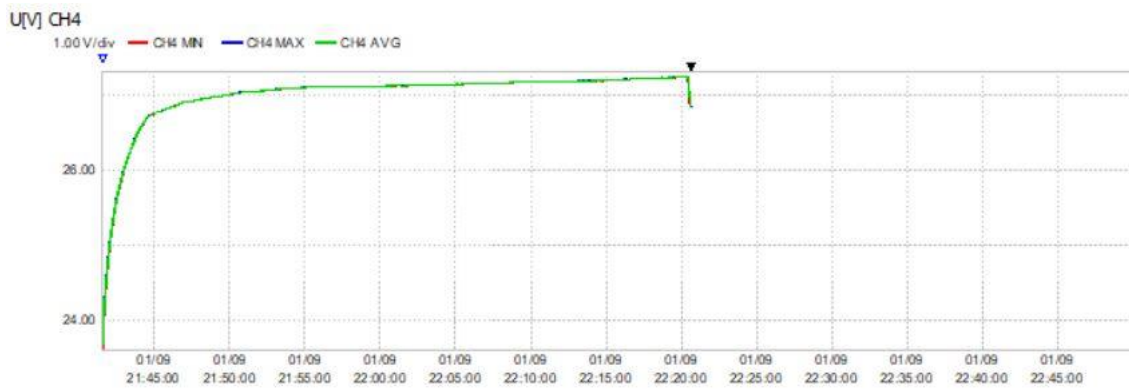
RMS U		CH	MIN[V]		MAX[V]	
		CH1	0.00	2021/01/09 19:43:01	0.00	2021/01/09 19:43:01
		CH2	0.00	2021/01/09 19:43:01	0.00	2021/01/09 19:43:01
		CH3	0.00	2021/01/09 19:43:01	0.00	2021/01/09 19:43:01
		CH4	23.80	2021/01/09 19:43:01	27.25	2021/01/09 20:22:16
I		CH	MIN[A]		MAX[A]	
		CH1	0.00	2021/01/09 19:43:01	0.00	2021/01/09 19:43:01
		CH2	0.00	2021/01/09 19:43:01	0.00	2021/01/09 19:43:01
		CH3	0.00	2021/01/09 19:43:01	0.00	2021/01/09 19:43:01
		CH4	0.00	2021/01/09 20:22:48	38.06	2021/01/09 19:47:43
Freq			MIN[Hz]		MAX[Hz]	
			50.000	2021/01/09 19:43:01	50.000	2021/01/09 19:43:01

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.

ครั้งที่ 4



RMS U	CH	MIN[V]	2021/01/09 21:41:35	MAX[V]	2021/01/09 21:41:35
	CH1	0.00	2021/01/09 21:41:35	0.00	2021/01/09 21:41:35
	CH2	0.00	2021/01/09 21:41:35	0.00	2021/01/09 21:41:35
	CH3	0.00	2021/01/09 21:41:35	0.00	2021/01/09 21:41:35
	CH4	23.62	2021/01/09 21:41:35	27.24	2021/01/09 22:20:04

I	CH	MIN[A]	2021/01/09 21:41:35	MAX[A]	2021/01/09 21:44:43
	CH1	0.00	2021/01/09 21:41:35	0.00	2021/01/09 21:41:35
	CH2	0.00	2021/01/09 21:41:35	0.00	2021/01/09 21:41:35
	CH3	0.00	2021/01/09 21:41:35	0.00	2021/01/09 21:41:35
	CH4	0.00	2021/01/09 22:20:35	38.06	2021/01/09 21:44:43

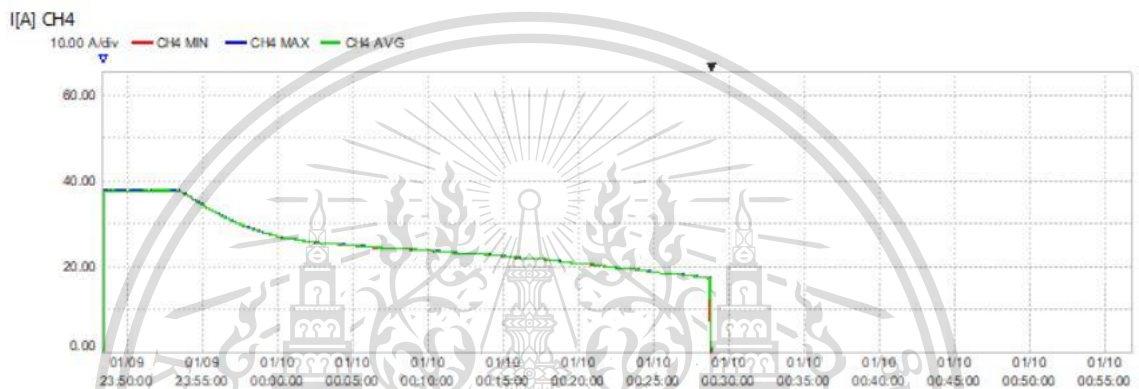
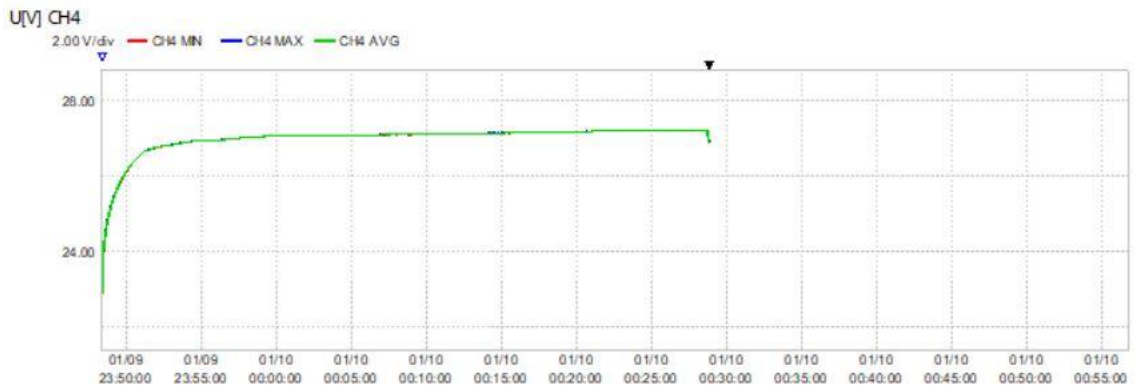
Freq	MIN[Hz]	2021/01/09 21:41:35	MAX[Hz]	2021/01/09 21:41:35
	50.000	2021/01/09 21:41:35	50.000	2021/01/09 21:41:35

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.

ครั้งที่ 5



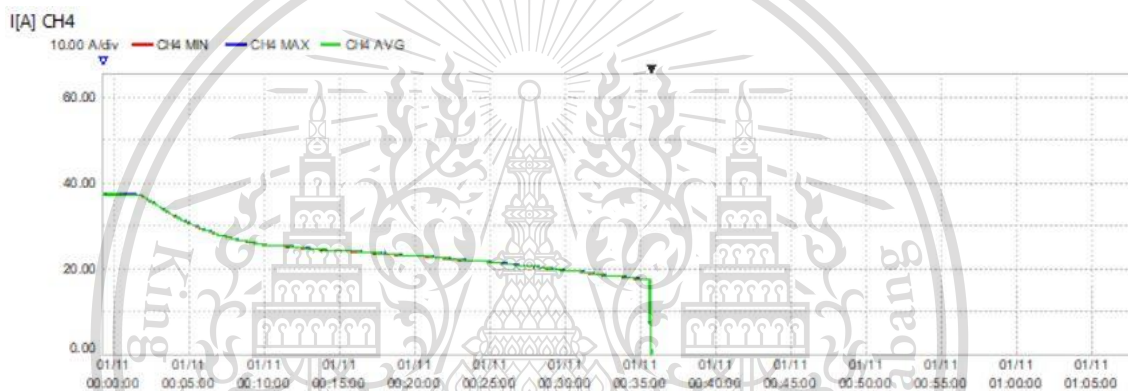
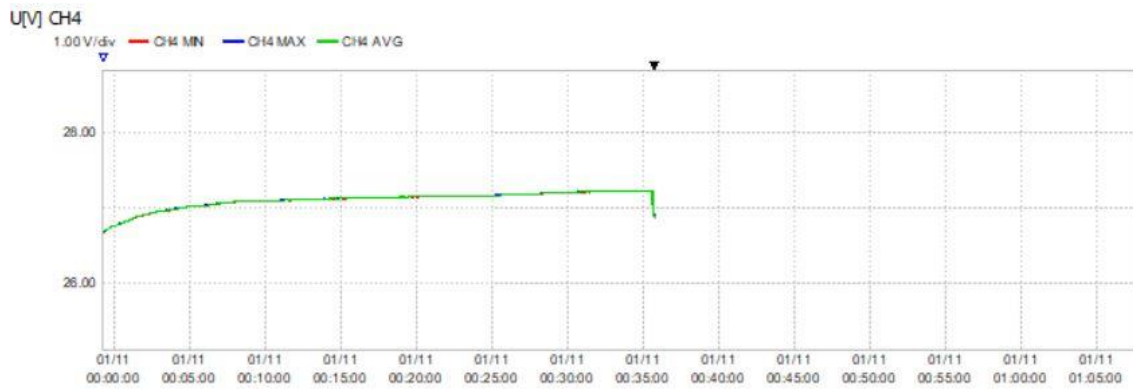
RMS	CH	MIN[V]	MAX[V]	
U	CH1	0.00	0.00	2021/01/09 23:48:23
	CH2	0.00	0.00	2021/01/09 23:48:23
	CH3	0.00	0.00	2021/01/09 23:48:23
	CH4	22.90	27.25	2021/01/10 00:28:24
I	CH1	0.00	0.00	2021/01/09 23:48:23
	CH2	0.00	0.00	2021/01/09 23:48:23
	CH3	0.00	0.00	2021/01/09 23:48:23
	CH4	0.00	38.07	2021/01/09 23:51:41
Freq	MIN[Hz]	50.000	50.000	2021/01/09 23:48:23

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.

ครั้งที่ 6



RMS U	CH	MIN[V]	MAX[V]
	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	26.66	27.25

I	CH	MIN[A]	MAX[A]
	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	0.00	37.78

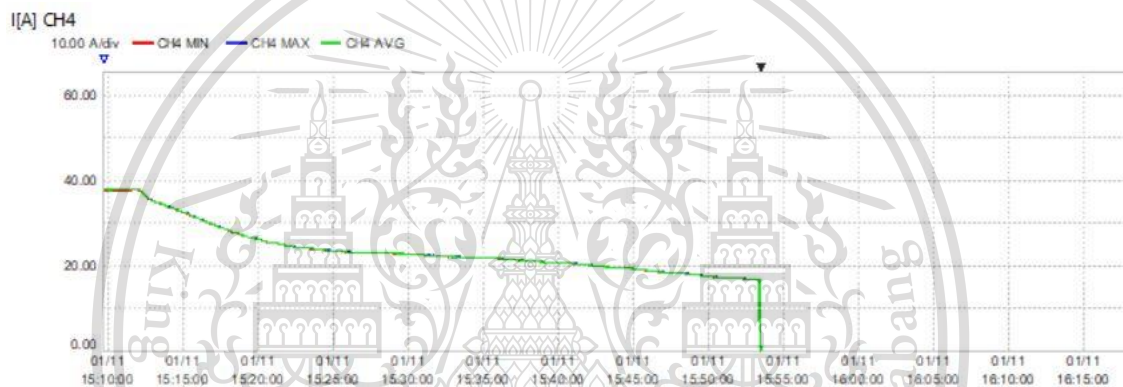
Freq	MIN[Hz]	MAX[Hz]
	50.000	50.000

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.

ครั้งที่ 7



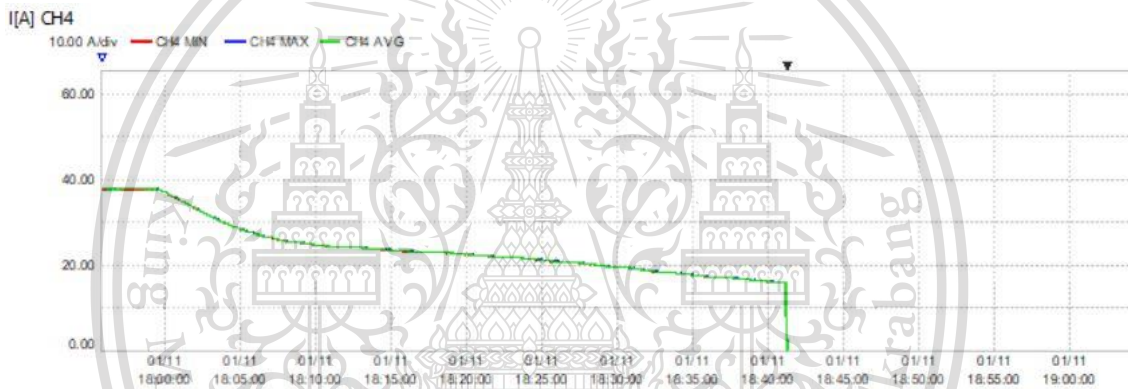
RMS	CH	MIN[V]	MAX[V]	
U	CH1	0.00	0.00	2021/01/11 15:09:45
	CH2	0.00	0.00	2021/01/11 15:09:45
	CH3	0.00	0.00	2021/01/11 15:09:45
	CH4	24.78	27.27	2021/01/11 15:53:00
I	CH1	0.00	0.00	2021/01/11 15:09:45
	CH2	0.00	0.00	2021/01/11 15:09:45
	CH3	0.00	0.00	2021/01/11 15:09:45
	CH4	0.00	38.11	2021/01/11 15:11:35
Freq	MIN[Hz]	50.000	50.000	2021/01/11 15:09:45
	MAX[Hz]	50.000	50.000	2021/01/11 15:09:45

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.

ครั้งที่ 8



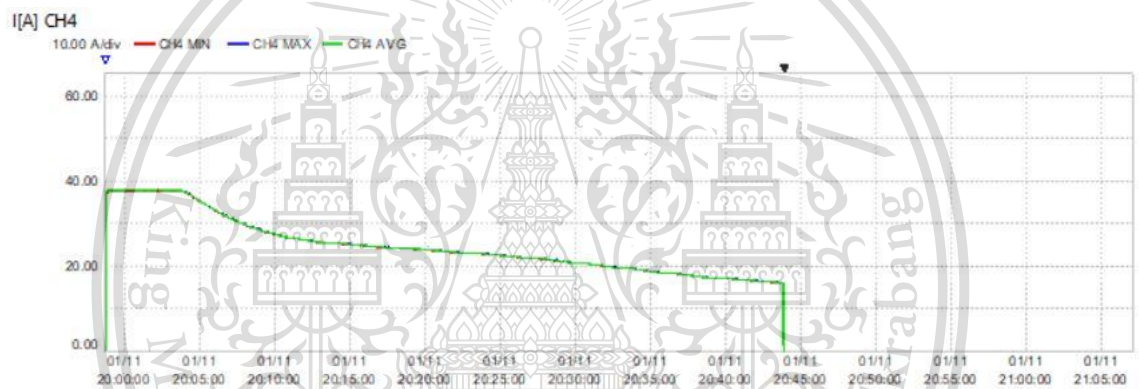
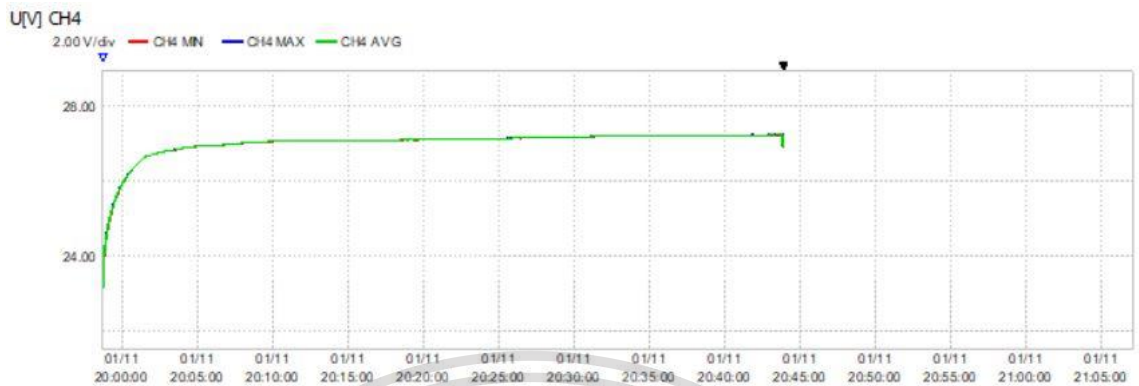
RMS	CH	MIN[V]	MAX[V]	
U	CH1	0.00	0.00	2021/01/11 17:55:46
	CH2	0.00	0.00	2021/01/11 17:55:46
	CH3	0.00	0.00	2021/01/11 17:55:46
	CH4	24.41	27.27	2021/01/11 18:40:01
I	CH1	0.00	0.00	2021/01/11 17:55:46
	CH2	0.00	0.00	2021/01/11 17:55:46
	CH3	0.00	0.00	2021/01/11 17:55:46
	CH4	0.00	38.08	2021/01/11 17:58:40
Freq	MIN[Hz]	50.000	50.000	2021/01/11 17:55:46

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.

ครั้งที่ 9



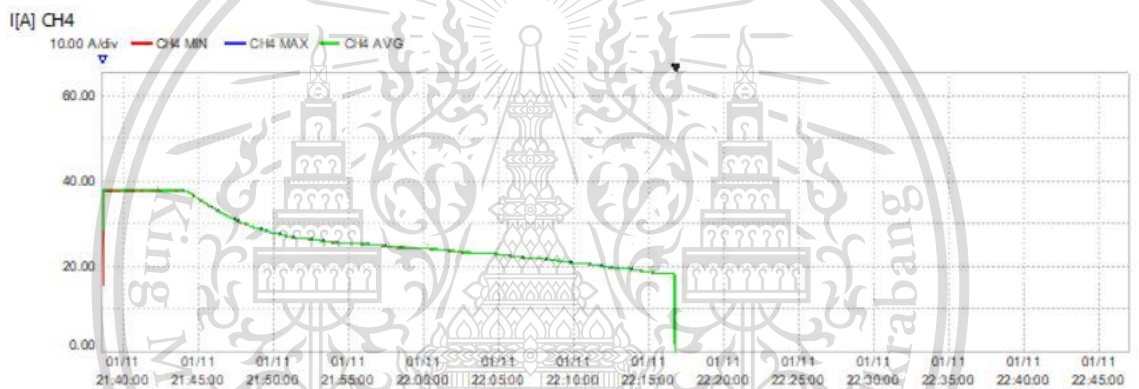
RMS	CH	MIN[V]	MAX[V]	
U	CH1	0.00	0.00	2021/01/11 19:58:45
	CH2	0.00	0.00	2021/01/11 19:58:45
	CH3	0.00	0.00	2021/01/11 19:58:45
	CH4	23.16	27.27	2021/01/11 20:43:44
I	CH1	0.00	0.00	2021/01/11 19:58:45
	CH2	0.00	0.00	2021/01/11 19:58:45
	CH3	0.00	0.00	2021/01/11 19:58:45
	CH4	0.00	38.17	2021/01/11 19:58:52
Freq	MIN[Hz]	50.000	50.000	2021/01/11 19:58:45
	MAX[Hz]			2021/01/11 19:58:45

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.

ครั้งที่ 10



RMS U		CH	MIN[V]	MAX[V]	
		CH1	0.00	0.00	2021/01/11 21:38:39
		CH2	0.00	0.00	2021/01/11 21:38:39
		CH3	0.00	0.00	2021/01/11 21:38:39
		CH4	23.55	27.24	2021/01/11 22:16:38

I		CH	MIN[A]	MAX[A]	
		CH1	0.00	0.00	2021/01/11 21:38:39
		CH2	0.00	0.00	2021/01/11 21:38:39
		CH3	0.00	0.00	2021/01/11 21:38:39
		CH4	0.00	38.08	2021/01/11 21:38:42

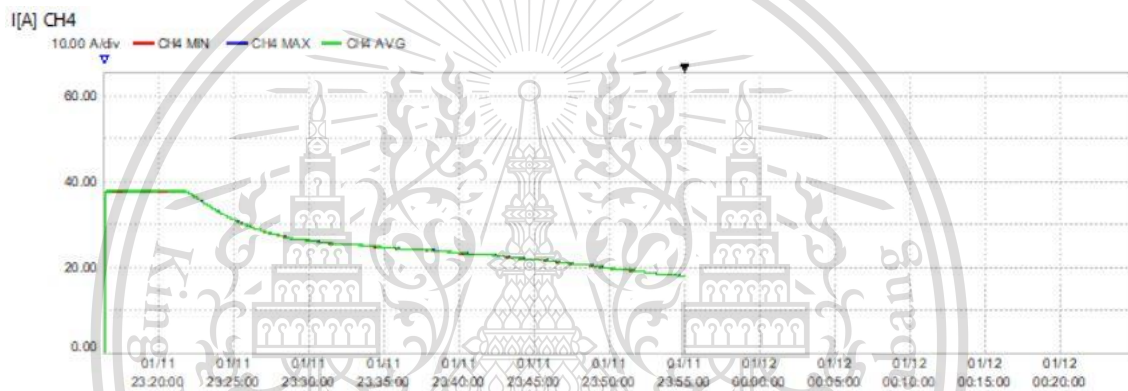
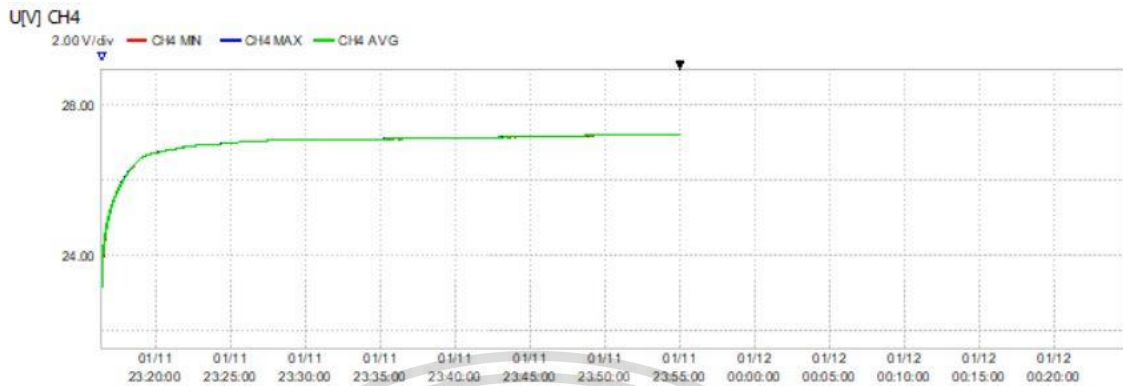
Freq		MIN[Hz]	MAX[Hz]	
		50.000	50.000	2021/01/11 21:38:39

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.

ครั้งที่ 11



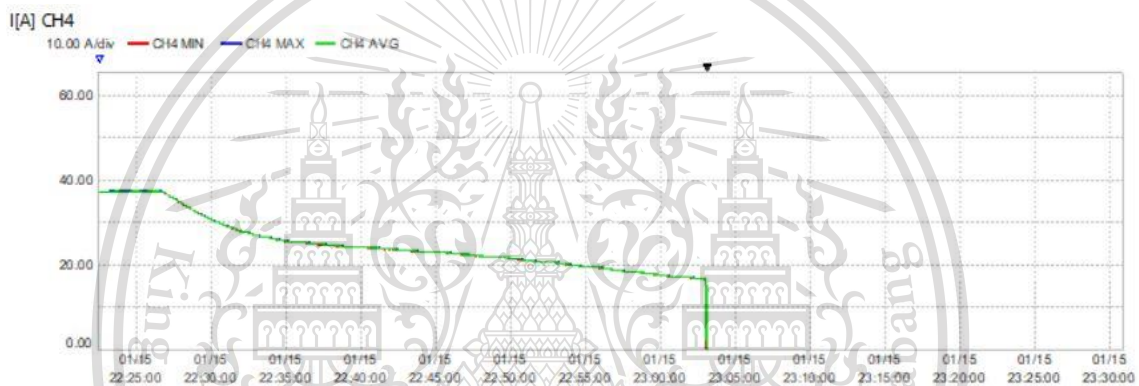
RMS	CH	MIN[V]	MAX[V]	
U	CH1	0.00	0.00	2021/01/11 23:16:24
	CH2	0.00	0.00	2021/01/11 23:16:24
	CH3	0.00	0.00	2021/01/11 23:16:24
	CH4	23.16	27.25	2021/01/11 23:54:54
I	CH1	0.00	0.00	2021/01/11 23:16:24
	CH2	0.00	0.00	2021/01/11 23:16:24
	CH3	0.00	0.00	2021/01/11 23:16:24
	CH4	0.00	38.10	2021/01/11 23:17:56
Freq	MIN[Hz]	50.000	50.000	2021/01/11 23:16:24
	MAX[Hz]			2021/01/11 23:16:24

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.

ครั้งที่ 12



RMS	U	CH	MIN[V]	MAX[V]		
		CH1	0.00	2021/01/15 22:22:35	0.00	2021/01/15 22:22:35
		CH2	0.00	2021/01/15 22:22:35	0.00	2021/01/15 22:22:35
		CH3	0.00	2021/01/15 22:22:35	0.00	2021/01/15 22:22:35
		CH4	25.27	2021/01/15 22:22:35	27.26	2021/01/15 23:03:04

I	CH	MIN[A]	MAX[A]		
	CH1	0.00	2021/01/15 22:22:35	0.00	2021/01/15 22:22:35
	CH2	0.00	2021/01/15 22:22:35	0.00	2021/01/15 22:22:35
	CH3	0.00	2021/01/15 22:22:35	0.00	2021/01/15 22:22:35
	CH4	0.00	2021/01/15 23:03:09	37.78	2021/01/15 22:26:08

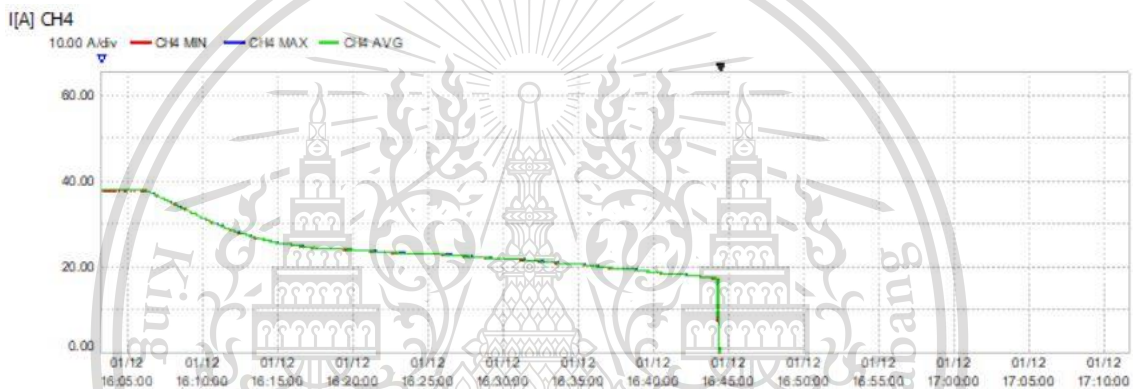
Freq	MIN[Hz]	MAX[Hz]	
	50.000	2021/01/15 22:22:35	50.000

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.

ครั้งที่ 13



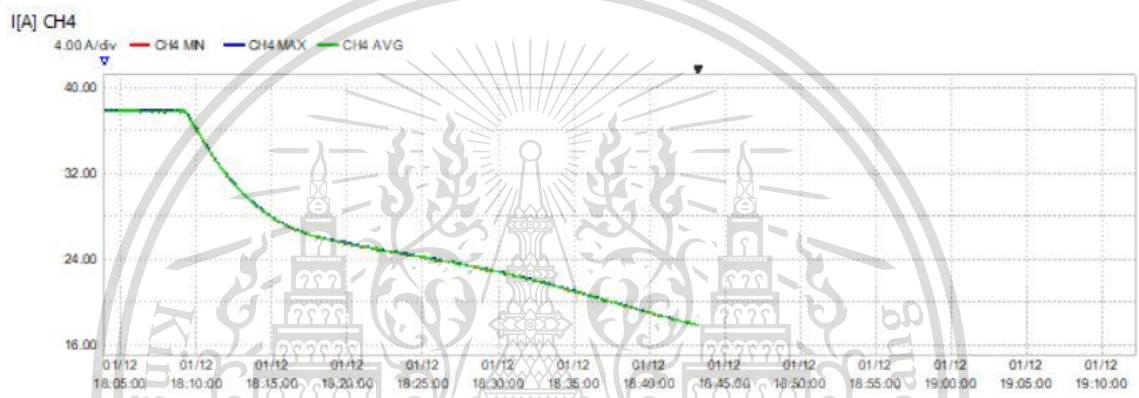
RMS	CH	MIN[V]	MAX[V]	
U	CH1	0.00	0.00	2021/01/12 16:03:17
	CH2	0.00	0.00	2021/01/12 16:03:17
	CH3	0.00	0.00	2021/01/12 16:03:17
	CH4	24.73	27.27	2021/01/12 16:44:19
I	CH1	0.00	0.00	2021/01/12 16:03:17
	CH2	0.00	0.00	2021/01/12 16:03:17
	CH3	0.00	0.00	2021/01/12 16:03:17
	CH4	0.00	38.17	2021/01/12 16:05:14
Freq	MIN[Hz]	50.000	50.000	2021/01/12 16:03:17
	MAX[Hz]			2021/01/12 16:03:17

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.

ครั้งที่ 14



RMS U	CH	MIN[V]		MAX[V]	
	CH1	0.00	2021/01/12 18:03:55	0.00	2021/01/12 18:03:55
	CH2	0.00	2021/01/12 18:03:55	0.00	2021/01/12 18:03:55
	CH3	0.00	2021/01/12 18:03:55	0.00	2021/01/12 18:03:55
	CH4	24.25	2021/01/12 18:03:55	27.24	2021/01/12 18:42:02

I	CH	MIN[A]		MAX[A]	
	CH1	0.00	2021/01/12 18:03:55	0.00	2021/01/12 18:03:55
	CH2	0.00	2021/01/12 18:03:55	0.00	2021/01/12 18:03:55
	CH3	0.00	2021/01/12 18:03:55	0.00	2021/01/12 18:03:55
	CH4	17.88	2021/01/12 18:43:16	38.03	2021/01/12 18:05:15

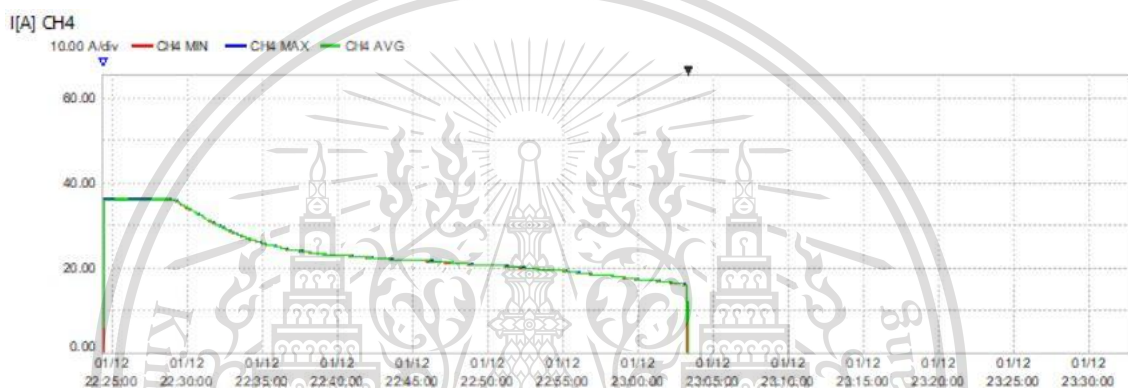
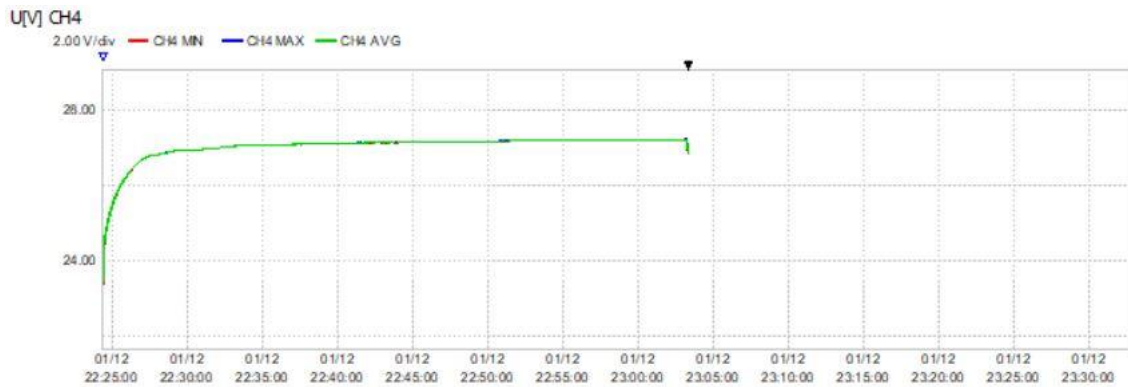
Freq	MIN[Hz]		MAX[Hz]	
	50.000	2021/01/12 18:03:55	50.000	2021/01/12 18:03:55

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.

ครั้งที่ 15



RMS	CH	MIN[V]		MAX[V]	
U	CH1	0.00	2021/01/12 22:24:24	0.00	2021/01/12 22:24:24
	CH2	0.00	2021/01/12 22:24:24	0.00	2021/01/12 22:24:24
	CH3	0.00	2021/01/12 22:24:24	0.00	2021/01/12 22:24:24
	CH4	23.33	2021/01/12 22:24:24	27.23	2021/01/12 23:03:11

I	CH	MIN[A]		MAX[A]	
	CH1	0.00	2021/01/12 22:24:24	0.00	2021/01/12 22:24:24
	CH2	0.00	2021/01/12 22:24:24	0.00	2021/01/12 22:24:24
	CH3	0.00	2021/01/12 22:24:24	0.00	2021/01/12 22:24:24
	CH4	0.00	2021/01/12 22:24:24	36.60	2021/01/12 22:25:24

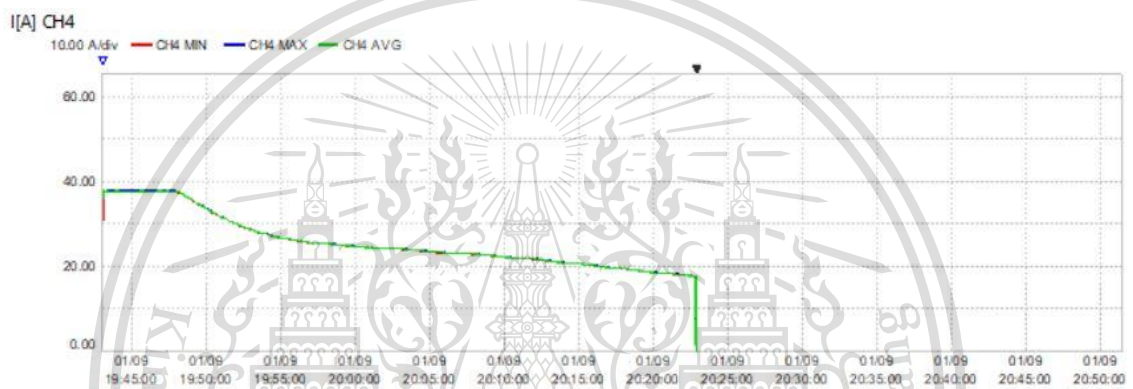
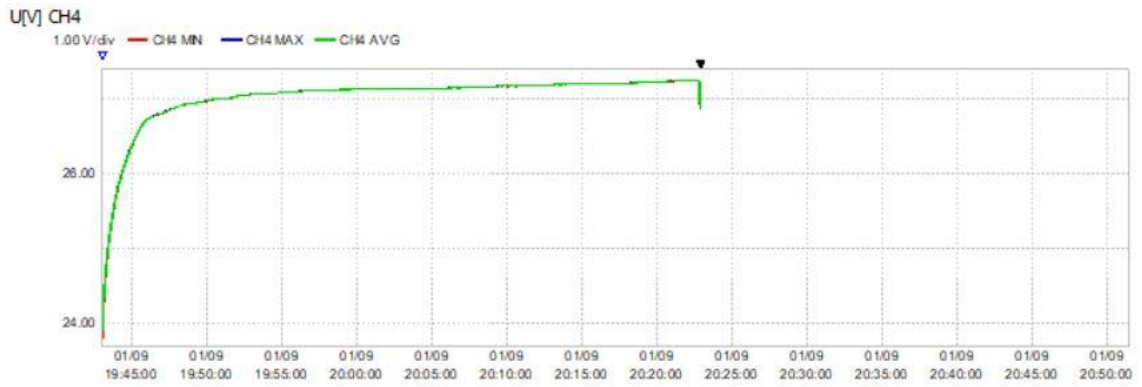
Freq	MIN[Hz]		MAX[Hz]	
	50.000	2021/01/12 22:24:24	50.000	2021/01/12 22:24:24

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.

ครั้งที่ 16



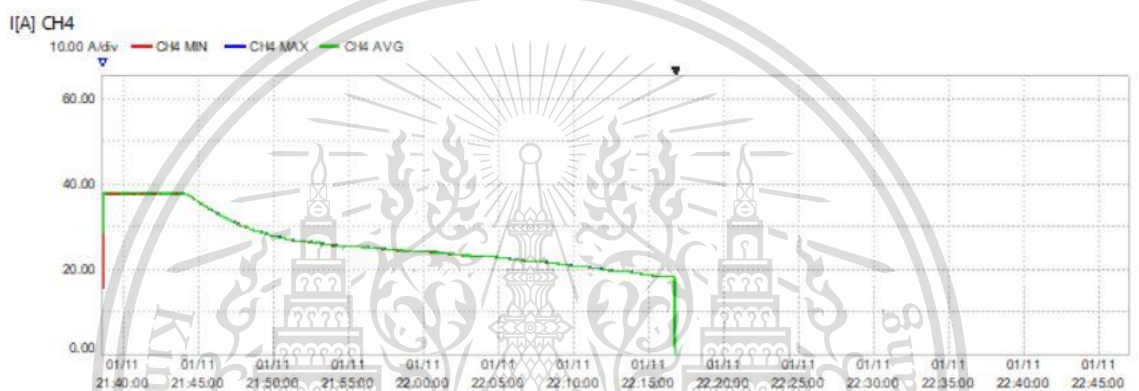
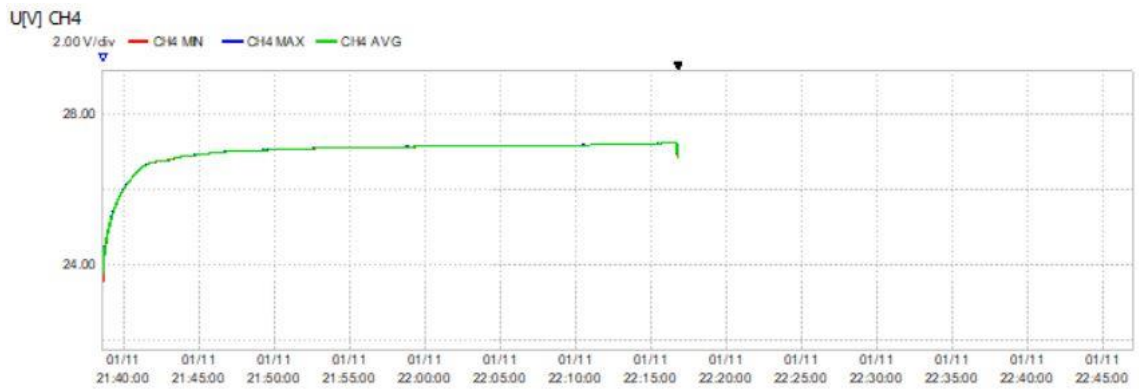
RMS	CH	MIN[V]	MAX[V]	
U	CH1	0.00	0.00	2021/01/09 19:43:01
	CH2	0.00	0.00	2021/01/09 19:43:01
	CH3	0.00	0.00	2021/01/09 19:43:01
	CH4	23.80	27.25	2021/01/09 20:22:16
I	CH	MIN[A]	MAX[A]	
	CH1	0.00	0.00	2021/01/09 19:43:01
	CH2	0.00	0.00	2021/01/09 19:43:01
	CH3	0.00	0.00	2021/01/09 19:43:01
	CH4	0.00	38.06	2021/01/09 19:47:43
Freq		MIN[Hz]	MAX[Hz]	
		50.000	50.000	2021/01/09 19:43:01

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.

ครั้งที่ 17



RMS U	CH	MIN[V]	MAX[V]
	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	23.55	27.24

I	CH	MIN[A]	MAX[A]
	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	0.00	38.08

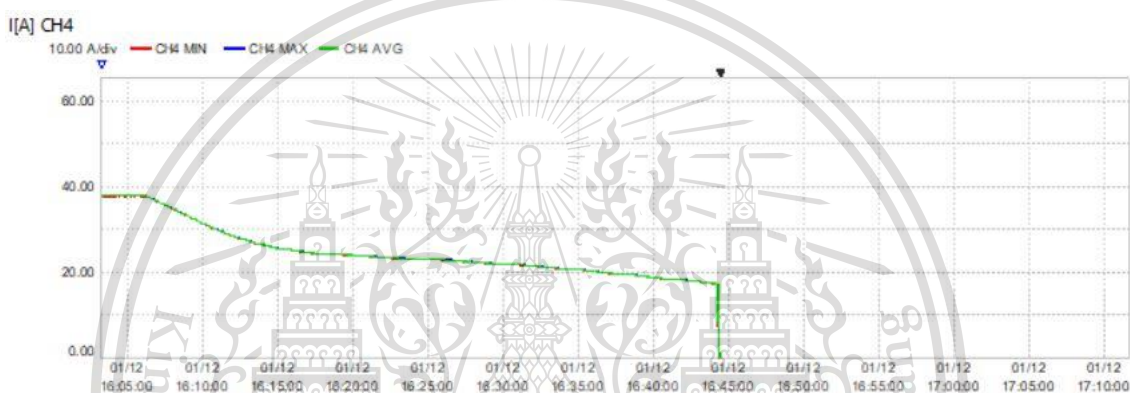
Freq	MIN[Hz]	MAX[Hz]
	50.000	50.000

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.

ครั้งที่ 18



RMS
U

CH	MIN[V]	MAX[V]
CH1	0.00	0.00
CH2	0.00	0.00
CH3	0.00	0.00
CH4	24.73	27.27

I

CH	MIN[A]	MAX[A]
CH1	0.00	0.00
CH2	0.00	0.00
CH3	0.00	0.00
CH4	0.00	38.17

Freq

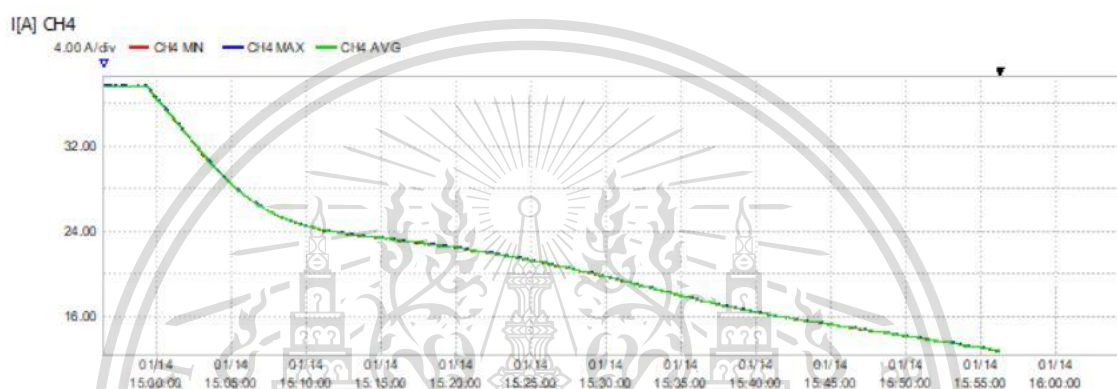
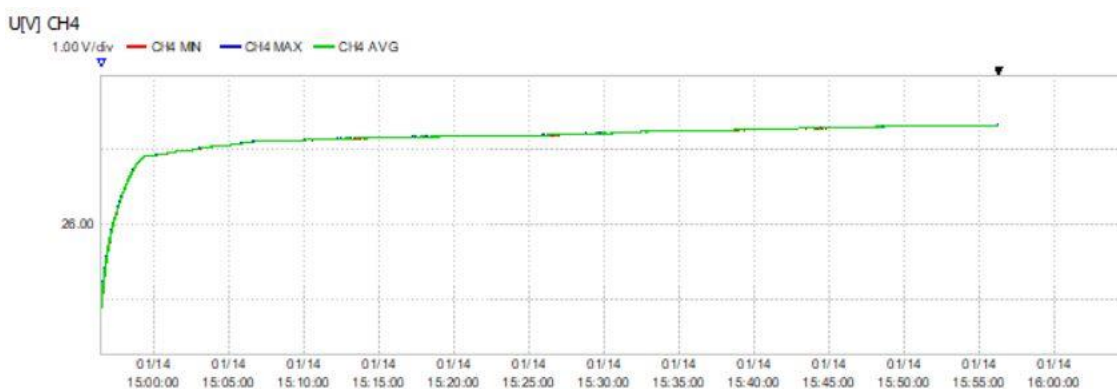
MIN[Hz]	MAX[Hz]
50.000	50.000

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.

ครั้งที่ 19



RMS	CH	MIN[V]	MAX[V]
U	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	24.88	27.33

I	CH	MIN[A]	MAX[A]
	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	12.72	37.81

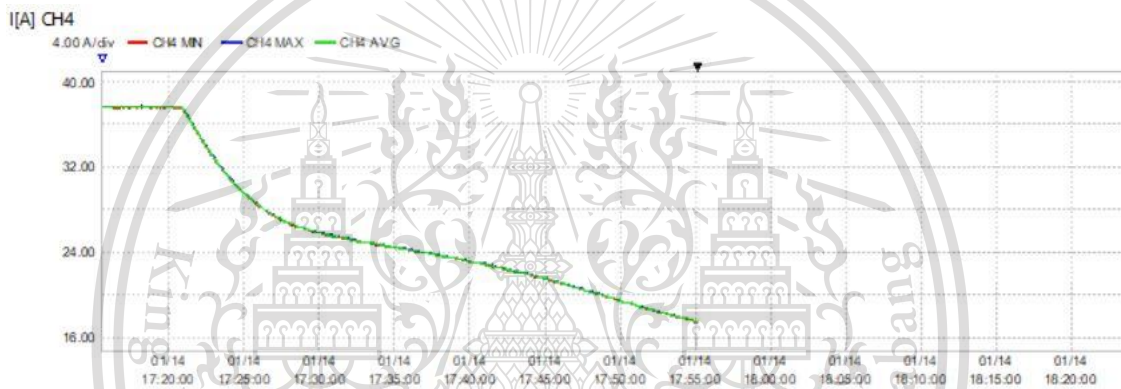
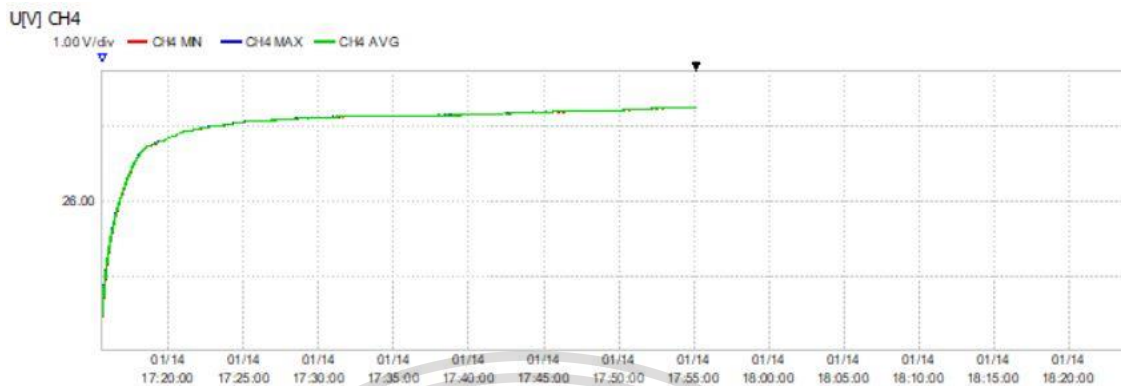
Freq	MIN[Hz]	MAX[Hz]
	50.000	50.000

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.

ครั้งที่ 20



RMS
U

CH	MIN[V]		MAX[V]	
CH1	0.00	2021/01/14 17:15:32	0.00	2021/01/14 17:15:32
CH2	0.00	2021/01/14 17:15:32	0.00	2021/01/14 17:15:32
CH3	0.00	2021/01/14 17:15:32	0.00	2021/01/14 17:15:32
CH4	24.46	2021/01/14 17:15:32	27.25	2021/01/14 17:54:52

I

CH	MIN[A]		MAX[A]	
CH1	0.00	2021/01/14 17:15:32	0.00	2021/01/14 17:15:32
CH2	0.00	2021/01/14 17:15:32	0.00	2021/01/14 17:15:32
CH3	0.00	2021/01/14 17:15:32	0.00	2021/01/14 17:15:32
CH4	17.46	2021/01/14 17:55:08	37.76	2021/01/14 17:18:11

Freq

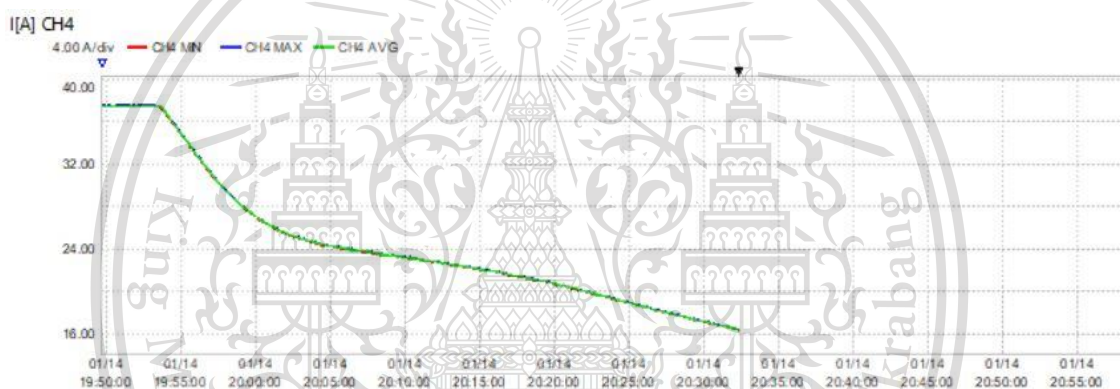
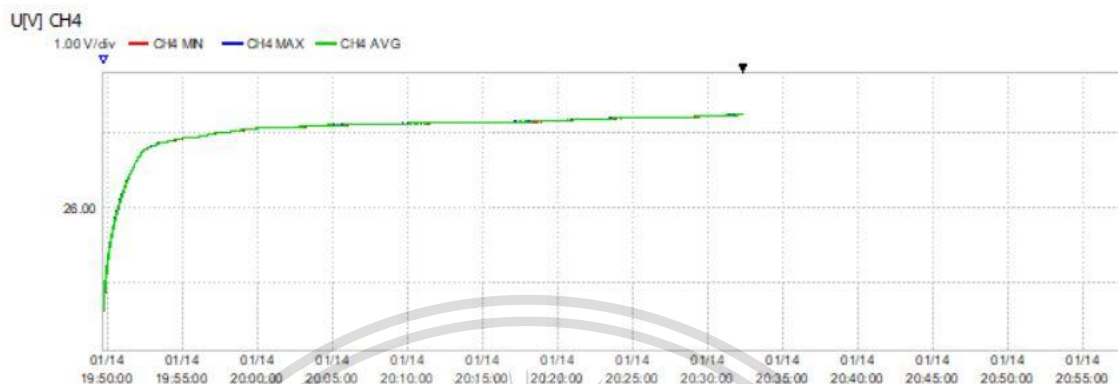
MIN[Hz]		MAX[Hz]	
50.000	2021/01/14 17:15:32	50.000	2021/01/14 17:15:32

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.

ครั้งที่ 21



RMS	CH	MIN[V]	MAX[V]
U	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	24.63	27.25

I	CH	MIN[A]	MAX[A]
I	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	16.44	37.74

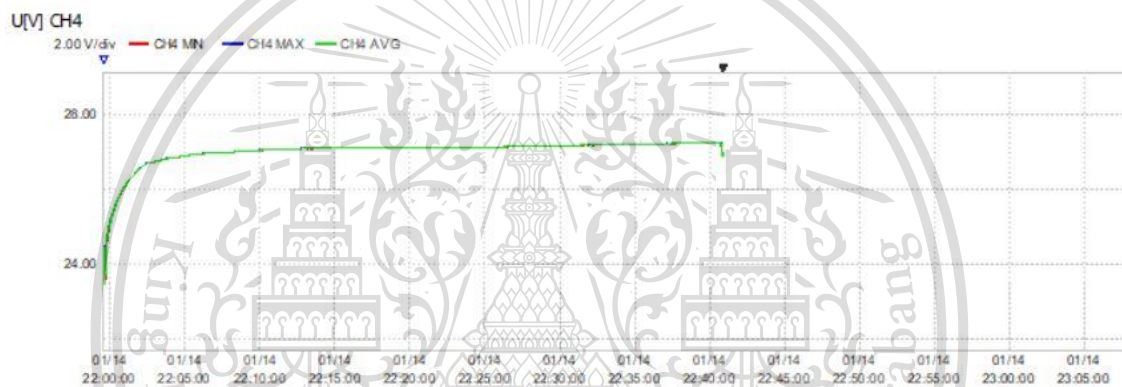
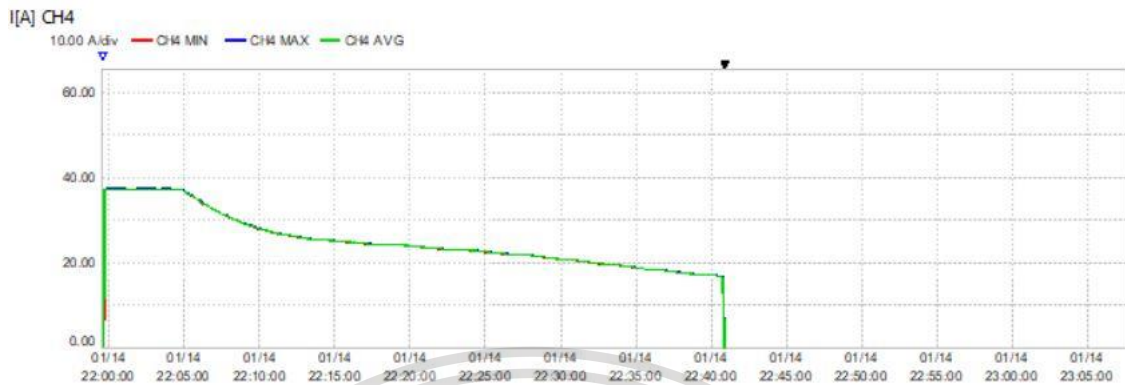
Freq	MIN[Hz]	MAX[Hz]
Freq	50.000	50.000

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.

ครั้งที่ 22



RMS U	CH	MIN[V]	MAX[V]	
	CH1	0.00	0.00	2021/01/13 23:36:29
	CH2	0.00	0.00	2021/01/13 23:36:29
	CH3	0.00	0.00	2021/01/13 23:36:29
	CH4	25.38	27.26	2021/01/14 00:19:11

I	CH	MIN[A]	MAX[A]	
	CH1	0.00	0.00	2021/01/13 23:36:29
	CH2	0.00	0.00	2021/01/13 23:36:29
	CH3	0.00	0.00	2021/01/13 23:36:29
	CH4	0.00	37.59	2021/01/13 23:38:26

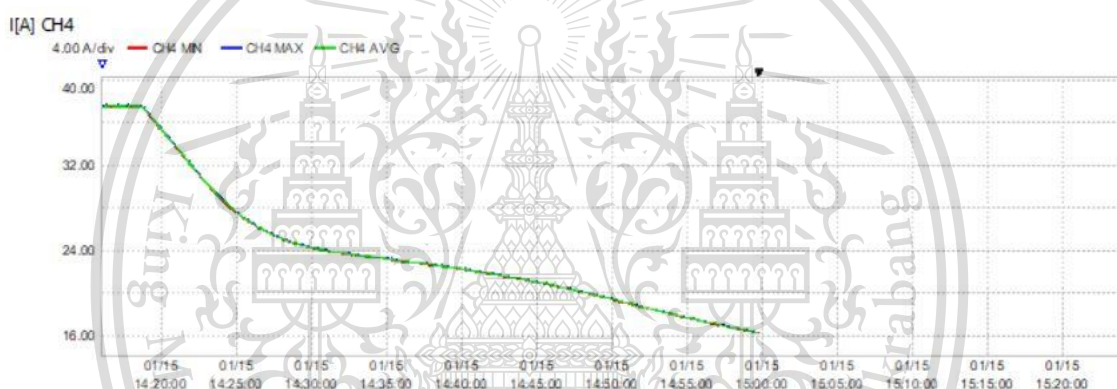
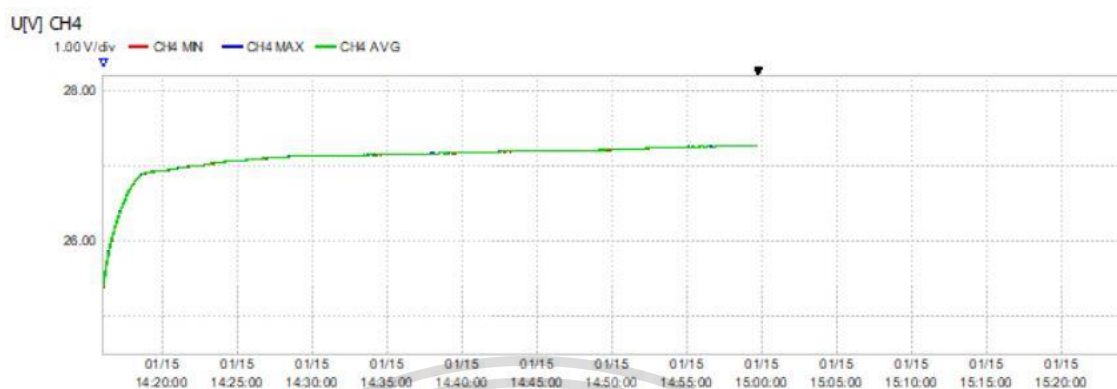
Freq	MIN[Hz]	MAX[Hz]	
	50.000	50.000	2021/01/13 23:36:29

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.

ครั้งที่ 23



RMS U		CH	MIN[V]	2021/01/15 14:16:05	MAX[V]	2021/01/15 14:16:05
		CH1	0.00	2021/01/15 14:16:05	0.00	2021/01/15 14:16:05
		CH2	0.00	2021/01/15 14:16:05	0.00	2021/01/15 14:16:05
		CH3	0.00	2021/01/15 14:16:05	0.00	2021/01/15 14:16:05
		CH4	25.37	2021/01/15 14:16:05	27.27	2021/01/15 14:59:44

I		CH	MIN[A]	2021/01/15 14:16:05	MAX[A]	2021/01/15 14:16:05
		CH1	0.00	2021/01/15 14:16:05	0.00	2021/01/15 14:16:05
		CH2	0.00	2021/01/15 14:16:05	0.00	2021/01/15 14:16:05
		CH3	0.00	2021/01/15 14:16:05	0.00	2021/01/15 14:16:05
		CH4	16.32	2021/01/15 14:59:45	37.80	2021/01/15 14:17:09

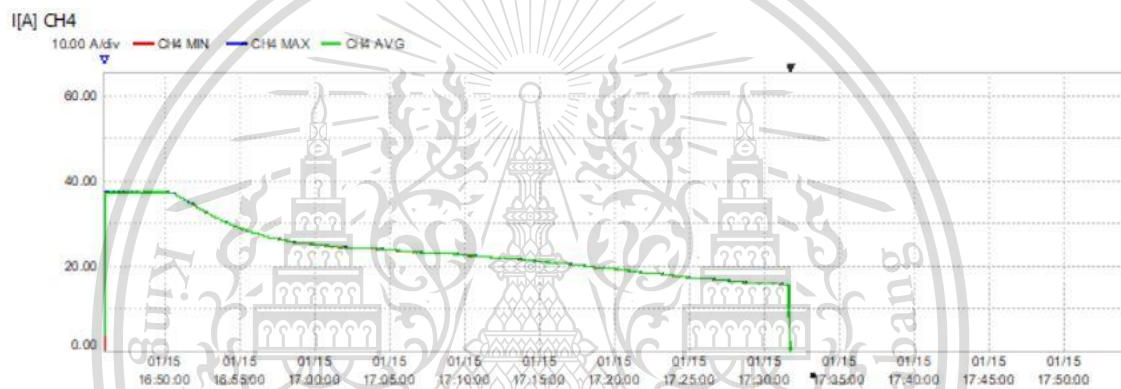
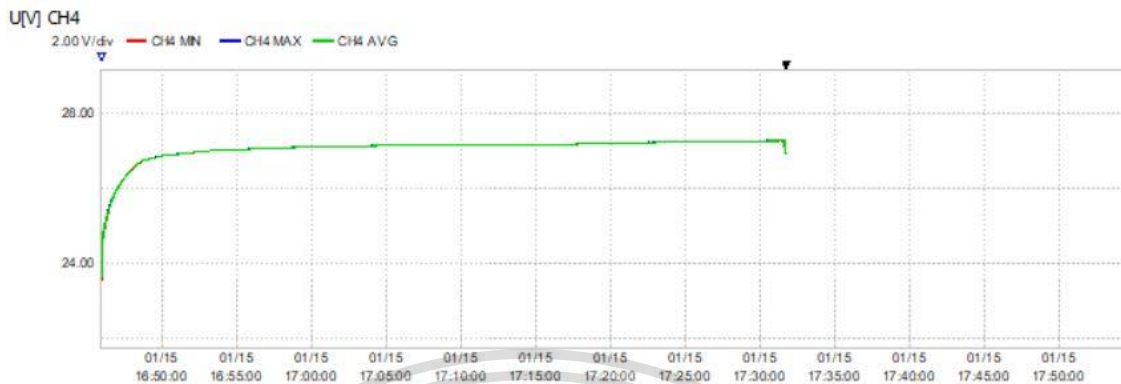
Freq		MIN[Hz]	2021/01/15 14:16:05	MAX[Hz]	2021/01/15 14:16:05
		50.000	2021/01/15 14:16:05	50.000	2021/01/15 14:16:05

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.

ครั้งที่ 24



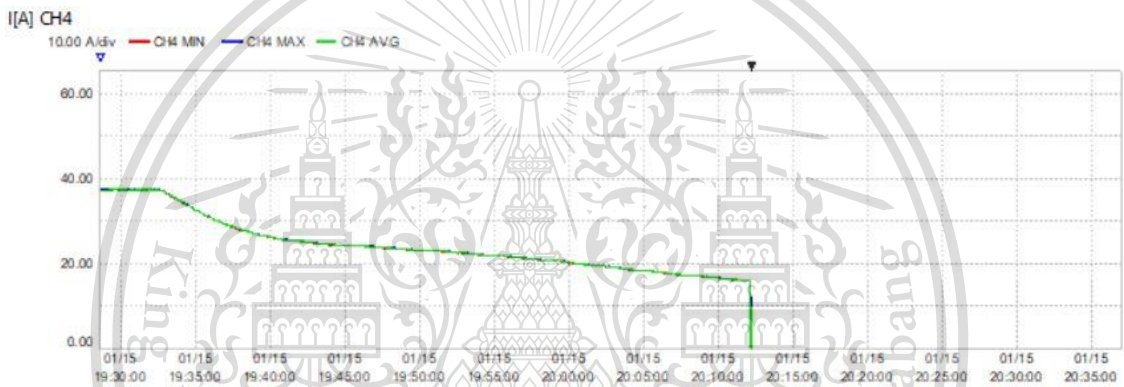
RMS U		CH	MIN[V]		MAX[V]	
	CH1	0.00	2021/01/15 16:45:56	0.00	2021/01/15 16:45:56	
	CH2	0.00	2021/01/15 16:45:56	0.00	2021/01/15 16:45:56	
	CH3	0.00	2021/01/15 16:45:56	0.00	2021/01/15 16:45:56	
	CH4	23.56	2021/01/15 16:45:56	27.27	2021/01/15 17:31:28	
I		CH	MIN[A]		MAX[A]	
	CH1	0.00	2021/01/15 16:45:56	0.00	2021/01/15 16:45:56	
	CH2	0.00	2021/01/15 16:45:56	0.00	2021/01/15 16:45:56	
	CH3	0.00	2021/01/15 16:45:56	0.00	2021/01/15 16:45:56	
	CH4	0.00	2021/01/15 16:45:56	37.74	2021/01/15 16:49:41	
Freq			MIN[Hz]		MAX[Hz]	
			50.000	2021/01/15 16:45:56	50.000	2021/01/15 16:45:56

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.

ครั้งที่ 25



RMS U	CH	MIN[V]	2021/01/15 19:28:39	MAX[V]	2021/01/15 19:28:39
	CH1	0.00	2021/01/15 19:28:39	0.00	2021/01/15 19:28:39
	CH2	0.00	2021/01/15 19:28:39	0.00	2021/01/15 19:28:39
	CH3	0.00	2021/01/15 19:28:39	0.00	2021/01/15 19:28:39
	CH4	25.34	2021/01/15 19:28:39	27.26	2021/01/15 20:11:35

I	CH	MIN[A]	2021/01/15 19:28:39	MAX[A]	2021/01/15 19:31:59
	CH1	0.00	2021/01/15 19:28:39	0.00	2021/01/15 19:28:39
	CH2	0.00	2021/01/15 19:28:39	0.00	2021/01/15 19:28:39
	CH3	0.00	2021/01/15 19:28:39	0.00	2021/01/15 19:28:39
	CH4	0.00	2021/01/15 20:12:10	37.78	2021/01/15 19:31:59

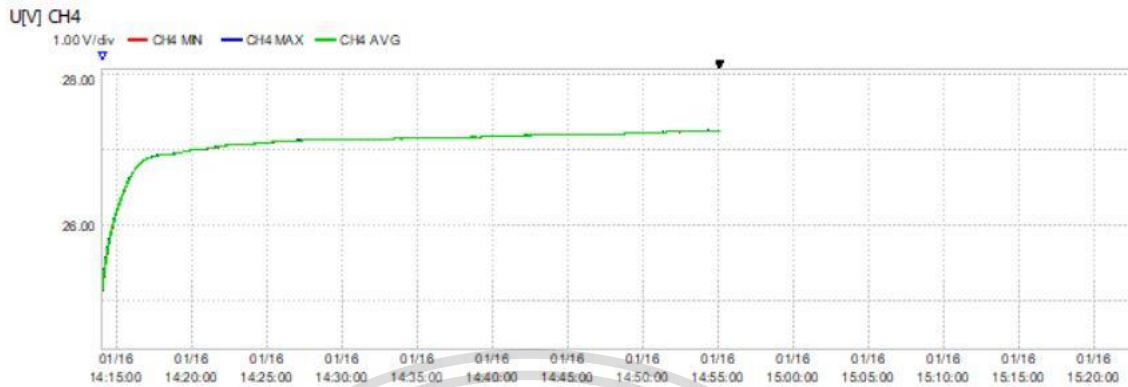
Freq	MIN[Hz]	2021/01/15 19:28:39	MAX[Hz]	2021/01/15 19:28:39
	50.000	2021/01/15 19:28:39	50.000	2021/01/15 19:28:39

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.

ครั้งที่ 26



RMS U	CH	MIN[V]	2021/01/16 14:14:04	MAX[V]	2021/01/16 14:14:04
	CH1	0.00	2021/01/16 14:14:04	0.00	2021/01/16 14:14:04
	CH2	0.00	2021/01/16 14:14:04	0.00	2021/01/16 14:14:04
	CH3	0.00	2021/01/16 14:14:04	0.00	2021/01/16 14:14:04
	CH4	25.14	2021/01/16 14:14:04	27.27	2021/01/16 14:55:04

I	CH	MIN[A]	2021/01/16 14:14:04	MAX[A]	2021/01/16 14:14:04
	CH1	0.00	2021/01/16 14:14:04	0.00	2021/01/16 14:14:04
	CH2	0.00	2021/01/16 14:14:04	0.00	2021/01/16 14:14:04
	CH3	0.00	2021/01/16 14:14:04	0.00	2021/01/16 14:14:04
	CH4	16.91	2021/01/16 14:55:05	37.79	2021/01/16 14:15:04

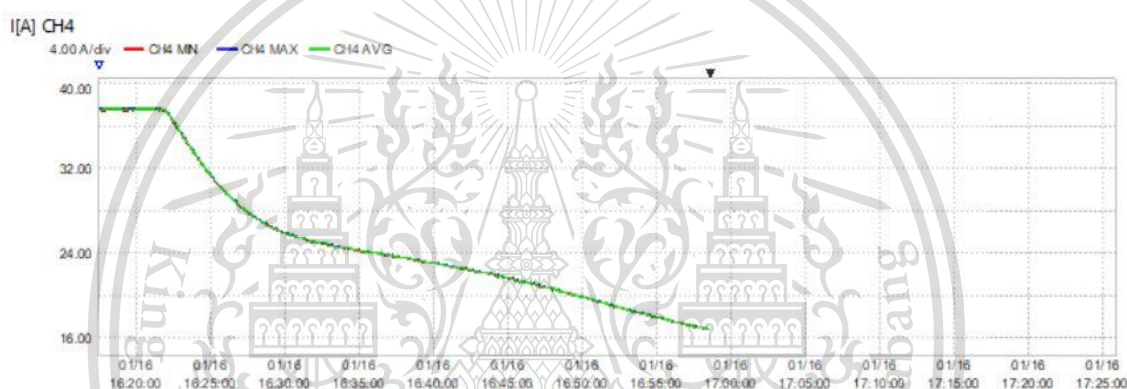
Freq	MIN[Hz]	2021/01/16 14:14:04	MAX[Hz]	2021/01/16 14:14:04
	50.000	2021/01/16 14:14:04	50.000	2021/01/16 14:14:04

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.

ครั้งที่ 27



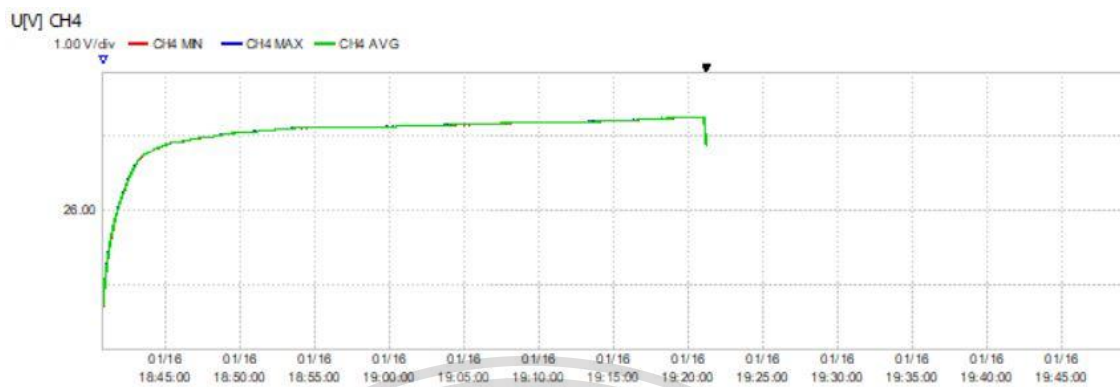
RMS	CH	MIN[V]	MAX[V]
U	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	24.88	27.25
I	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	16.81	37.83
Freq	MIN[Hz]	50.000	50.000
	MAX[Hz]	50.000	50.000

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.

ครั้งที่ 28



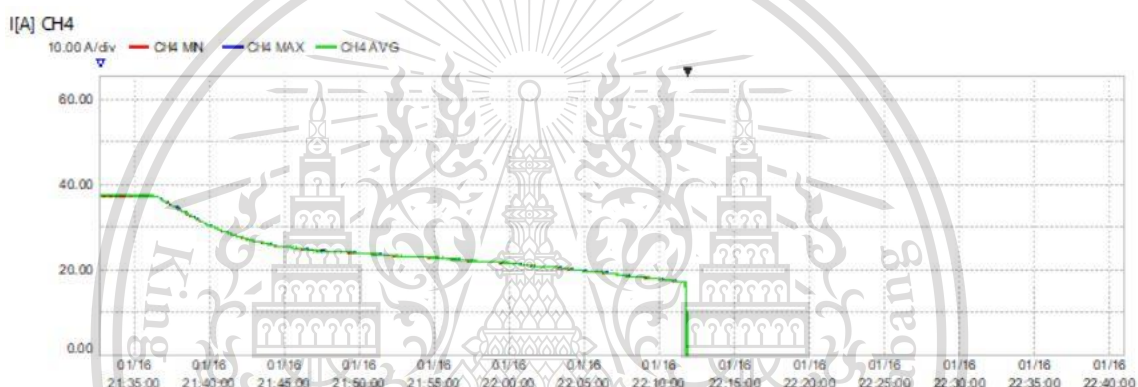
RMS	CH	MIN[V]	2021/01/16 18:40:46	MAX[V]	2021/01/16 18:40:46
U	CH1	0.00	2021/01/16 18:40:46	0.00	2021/01/16 18:40:46
	CH2	0.00	2021/01/16 18:40:46	0.00	2021/01/16 18:40:46
	CH3	0.00	2021/01/16 18:40:46	0.00	2021/01/16 18:40:46
	CH4	24.71	2021/01/16 18:40:46	27.24	2021/01/16 19:20:56
I	CH	MIN[A]	2021/01/16 18:40:46	MAX[A]	2021/01/16 18:40:46
	CH1	0.00	2021/01/16 18:40:46	0.00	2021/01/16 18:40:46
	CH2	0.00	2021/01/16 18:40:46	0.00	2021/01/16 18:40:46
	CH3	0.00	2021/01/16 18:40:46	0.00	2021/01/16 18:40:46
CH4	0.00	2021/01/16 19:21:03	37.78	2021/01/16 18:44:30	
Freq	MIN[Hz]	50.000	2021/01/16 18:40:46	MAX[Hz]	50.000
					2021/01/16 18:40:46

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.

ครั้งที่ 29



RMS U		CH	MIN[V]		MAX[V]	
		CH1	0.00	2021/01/16 21:32:39	0.00	2021/01/16 21:32:39
		CH2	0.00	2021/01/16 21:32:39	0.00	2021/01/16 21:32:39
		CH3	0.00	2021/01/16 21:32:39	0.00	2021/01/16 21:32:39
		CH4	25.44	2021/01/16 21:32:39	27.24	2021/01/16 22:10:59

I		CH	MIN[A]		MAX[A]	
		CH1	0.00	2021/01/16 21:32:39	0.00	2021/01/16 21:32:39
		CH2	0.00	2021/01/16 21:32:39	0.00	2021/01/16 21:32:39
		CH3	0.00	2021/01/16 21:32:39	0.00	2021/01/16 21:32:39
		CH4	0.00	2021/01/16 22:11:48	37.85	2021/01/16 21:35:20

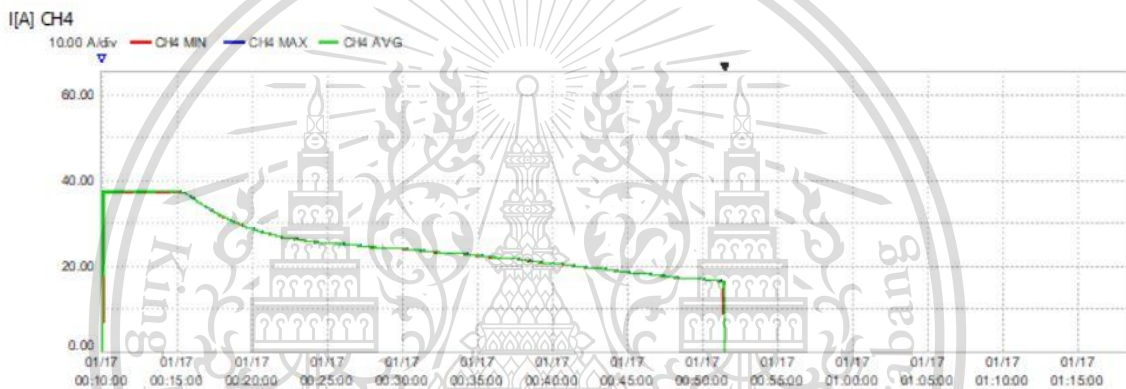
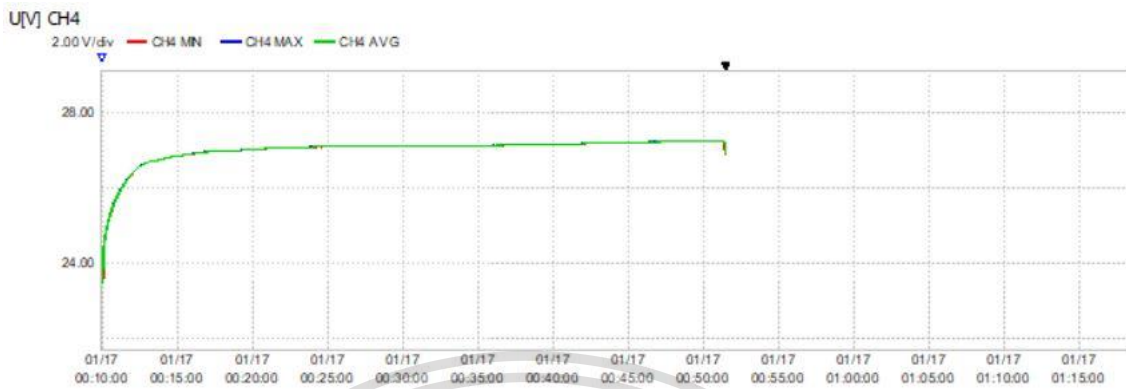
Freq		MIN[Hz]		MAX[Hz]	
		50.000	2021/01/16 21:32:39	50.000	2021/01/16 21:32:39

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.

ครั้งที่ 30



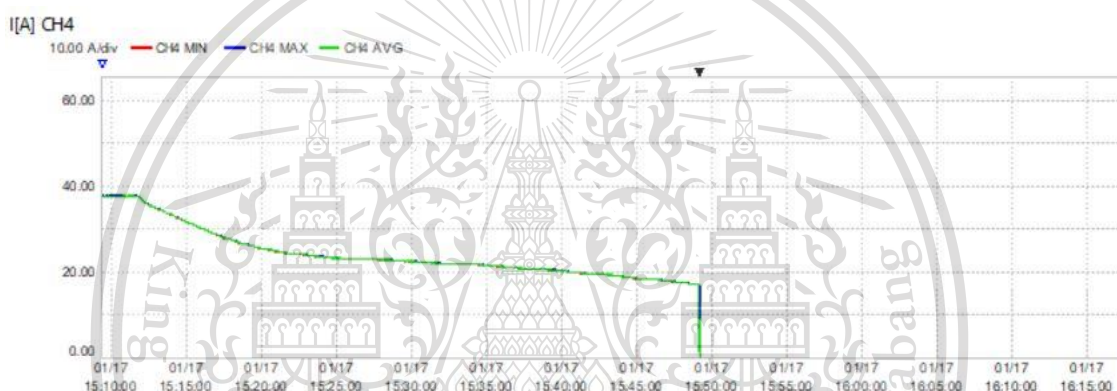
RMS					
U	CH	MIN[V]		MAX[V]	
	CH1	0.00	2021/01/17 00:09:58	0.00	2021/01/17 00:09:58
	CH2	0.00	2021/01/17 00:09:58	0.00	2021/01/17 00:09:58
	CH3	0.00	2021/01/17 00:09:58	0.00	2021/01/17 00:09:58
	CH4	23.47	2021/01/17 00:09:58	27.26	2021/01/17 00:51:27
I	CH	MIN[A]		MAX[A]	
	CH1	0.00	2021/01/17 00:09:58	0.00	2021/01/17 00:09:58
	CH2	0.00	2021/01/17 00:09:58	0.00	2021/01/17 00:09:58
	CH3	0.00	2021/01/17 00:09:58	0.00	2021/01/17 00:09:58
	CH4	0.00	2021/01/17 00:09:58	37.82	2021/01/17 00:12:08
Freq		MIN[Hz]		MAX[Hz]	
		50.000	2021/01/17 00:09:58	50.000	2021/01/17 00:09:58

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.

ครั้งที่ 31



RMS U	CH	MIN[V]	MAX[V]	
	CH1	0.00	0.00	2021/01/17 15:09:21
	CH2	0.00	0.00	2021/01/17 15:09:21
	CH3	0.00	0.00	2021/01/17 15:09:21
	CH4	25.18	27.26	2021/01/17 15:47:58

I	CH	MIN[A]	MAX[A]	
	CH1	0.00	0.00	2021/01/17 15:09:21
	CH2	0.00	0.00	2021/01/17 15:09:21
	CH3	0.00	0.00	2021/01/17 15:09:21
	CH4	0.00	38.01	2021/01/17 15:10:54

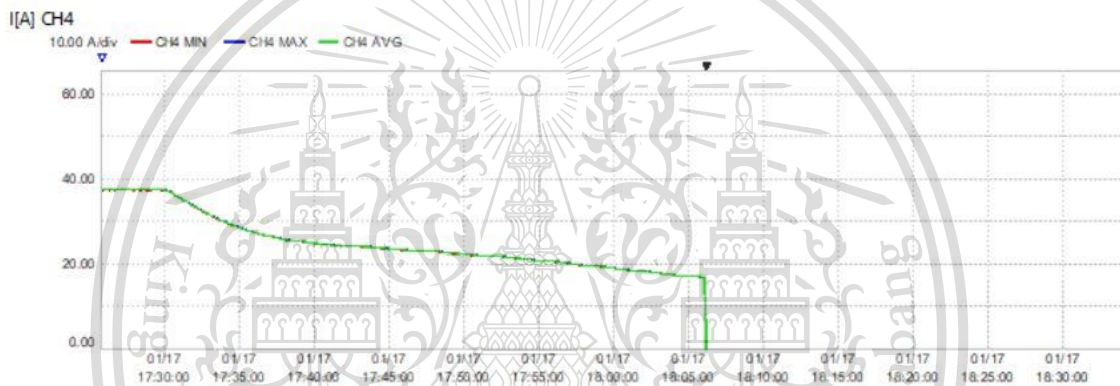
Freq	MIN[Hz]	MAX[Hz]
	50.000	50.000

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.

ครั้งที่ 32



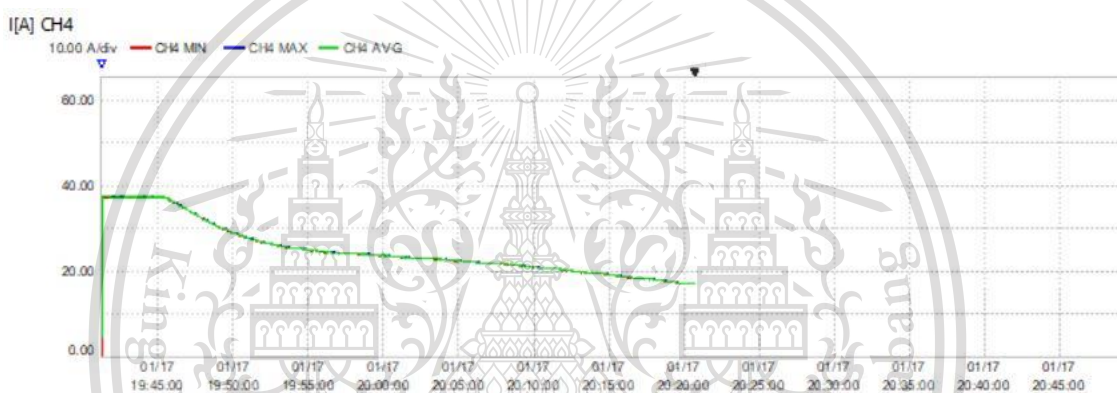
RMS	CH	MIN[V]	MAX[V]	
U	CH1	0.00	0.00	2021/01/17 17:25:48
	CH2	0.00	0.00	2021/01/17 17:25:48
	CH3	0.00	0.00	2021/01/17 17:25:48
	CH4	24.65	27.26	2021/01/17 18:06:05
I	CH	MIN[A]	MAX[A]	
	CH1	0.00	0.00	2021/01/17 17:25:48
	CH2	0.00	0.00	2021/01/17 17:25:48
	CH3	0.00	0.00	2021/01/17 17:25:48
	CH4	0.00	37.88	2021/01/17 17:29:41
Freq		MIN[Hz]	MAX[Hz]	
		50.000	50.000	2021/01/17 17:25:48

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.

ครั้งที่ 33



RMS
U

CH	MIN[V]	MAX[V]	
CH1	0.00	0.00	2021/01/17 19:41:12
CH2	0.00	0.00	2021/01/17 19:41:12
CH3	0.00	0.00	2021/01/17 19:41:12
CH4	23.72	27.25	2021/01/17 20:20:40

I

CH	MIN[A]	MAX[A]	
CH1	0.00	0.00	2021/01/17 19:41:12
CH2	0.00	0.00	2021/01/17 19:41:12
CH3	0.00	0.00	2021/01/17 19:41:12
CH4	0.00	37.88	2021/01/17 19:43:16

Freq

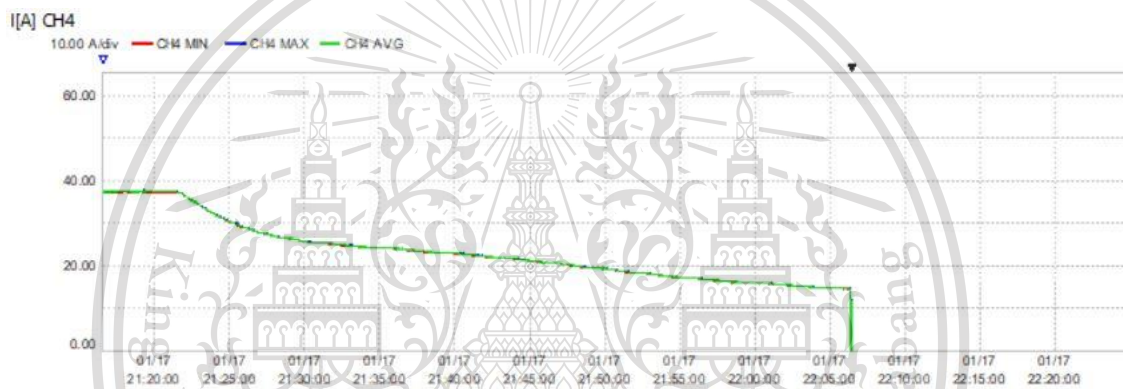
MIN[Hz]	MAX[Hz]	
50.000	50.000	2021/01/17 19:41:12

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.

ครั้งที่ 34



RMS	CH	MIN[V]	MAX[V]
U	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	24.67	27.29

I	CH	MIN[A]	MAX[A]
	CH1	0.00	0.00
	CH2	0.00	0.00
	CH3	0.00	0.00
	CH4	0.00	38.04

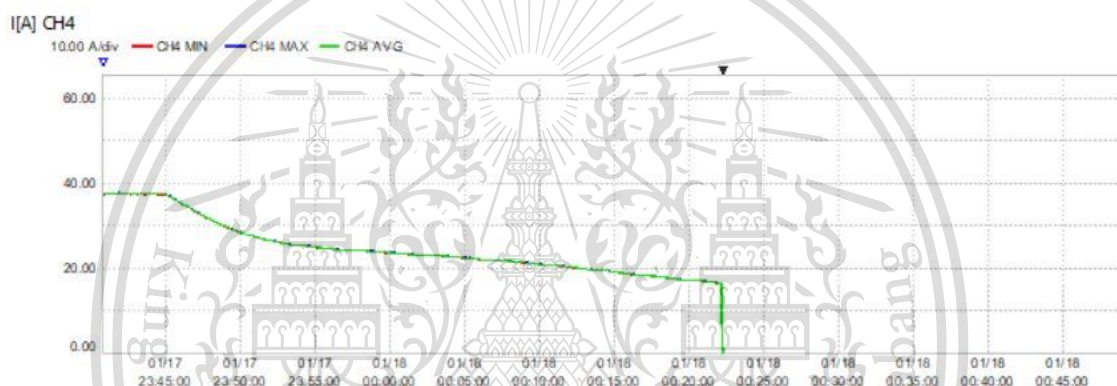
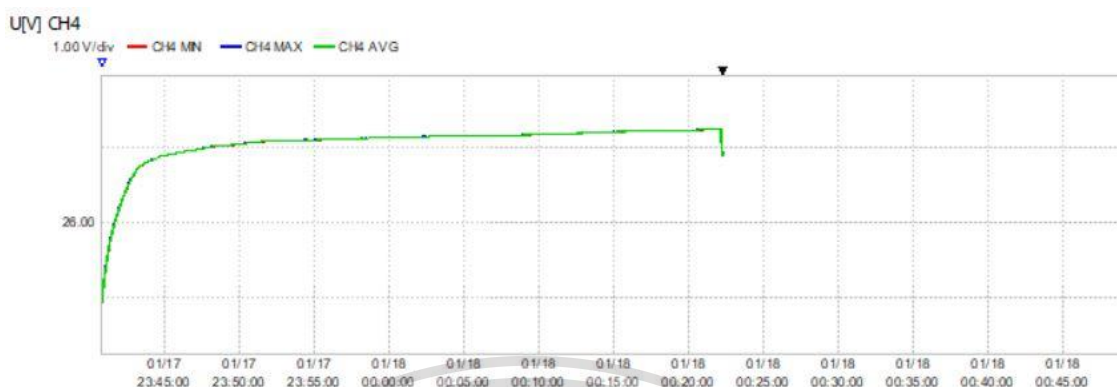
Freq	MIN[Hz]	MAX[Hz]
	50.000	50.000

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.

ครั้งที่ 35



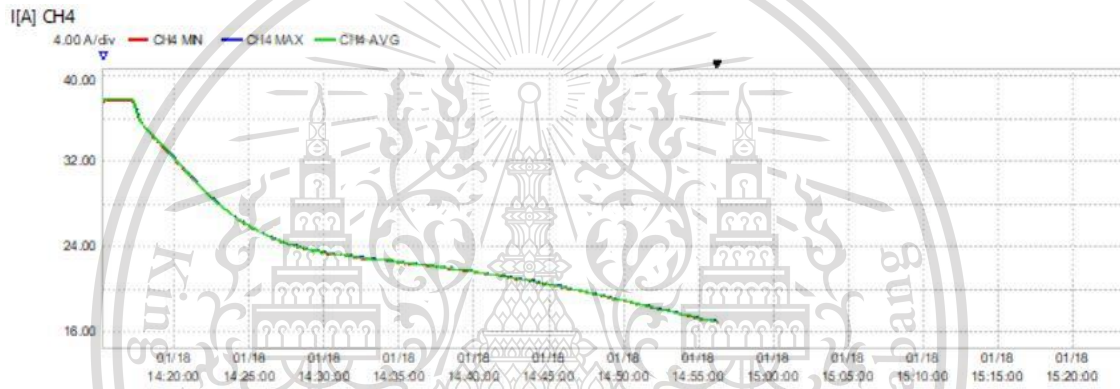
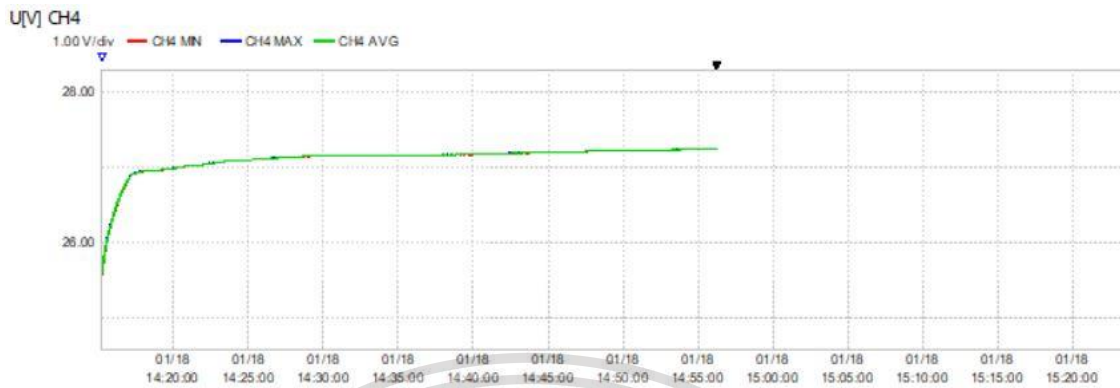
RMS	CH	MIN[V]	MAX[V]	
U	CH1	0.00	0.00	2021/01/17 23:40:48
	CH2	0.00	0.00	2021/01/17 23:40:48
	CH3	0.00	0.00	2021/01/17 23:40:48
	CH4	24.93	27.26	2021/01/18 00:22:07
I	CH	MIN[A]	MAX[A]	
	CH1	0.00	0.00	2021/01/17 23:40:48
	CH2	0.00	0.00	2021/01/17 23:40:48
	CH3	0.00	0.00	2021/01/17 23:40:48
	CH4	0.00	37.94	2021/01/17 23:41:56
Freq		MIN[Hz]	MAX[Hz]	
		50.000	50.000	2021/01/17 23:40:48

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.

ครั้งที่ 36



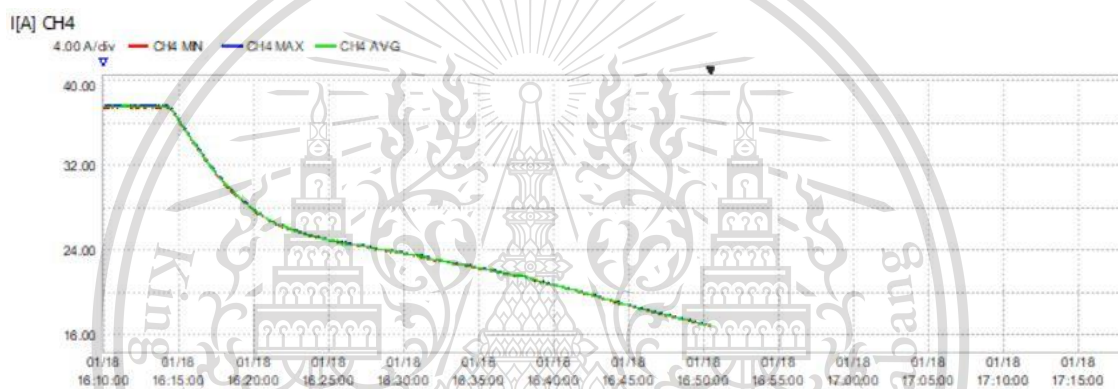
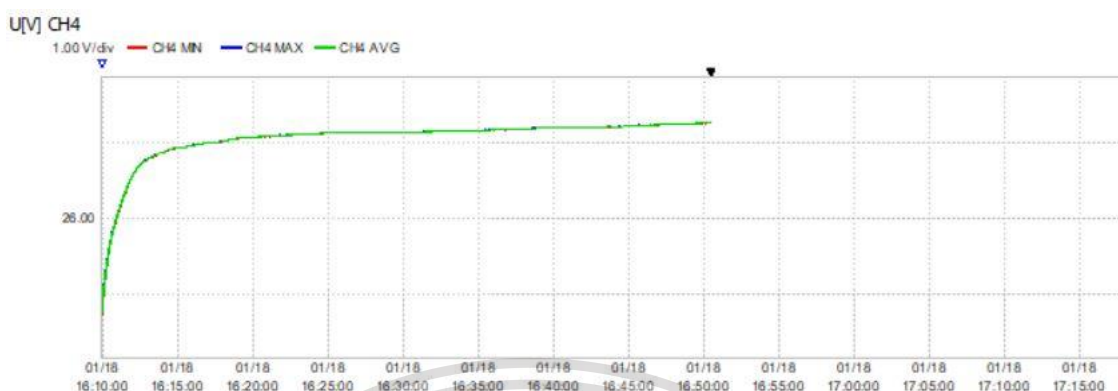
RMS	CH	MIN[V]	MAX[V]	
U	CH1	0.00	0.00	2021/01/18 14:15:14
	CH2	0.00	0.00	2021/01/18 14:15:14
	CH3	0.00	0.00	2021/01/18 14:15:14
	CH4	25.58	27.26	2021/01/18 14:56:05
I	CH1	0.00	0.00	2021/01/18 14:15:14
	CH2	0.00	0.00	2021/01/18 14:15:14
	CH3	0.00	0.00	2021/01/18 14:15:14
	CH4	16.93	37.95	2021/01/18 14:16:18
Freq	MIN[Hz]	50.000	50.000	2021/01/18 14:15:14
	MAX[Hz]	50.000	50.000	2021/01/18 14:15:14

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.

ครั้งที่ 37



RMS
U

CH	MIN[V]	2021/01/18 16:09:58	MAX[V]	2021/01/18 16:09:58
CH1	0.00	2021/01/18 16:09:58	0.00	2021/01/18 16:09:58
CH2	0.00	2021/01/18 16:09:58	0.00	2021/01/18 16:09:58
CH3	0.00	2021/01/18 16:09:58	0.00	2021/01/18 16:09:58
CH4	24.73	2021/01/18 16:09:58	27.26	2021/01/18 16:50:17

I

CH	MIN[A]	2021/01/18 16:09:58	MAX[A]	2021/01/18 16:09:58
CH1	0.00	2021/01/18 16:09:58	0.00	2021/01/18 16:09:58
CH2	0.00	2021/01/18 16:09:58	0.00	2021/01/18 16:09:58
CH3	0.00	2021/01/18 16:09:58	0.00	2021/01/18 16:09:58
CH4	16.90	2021/01/18 16:50:31	37.74	2021/01/18 16:13:56

Freq

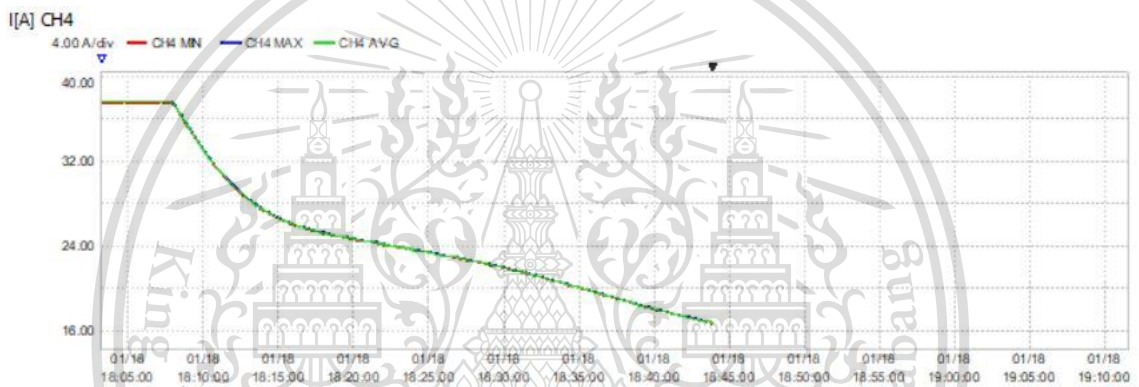
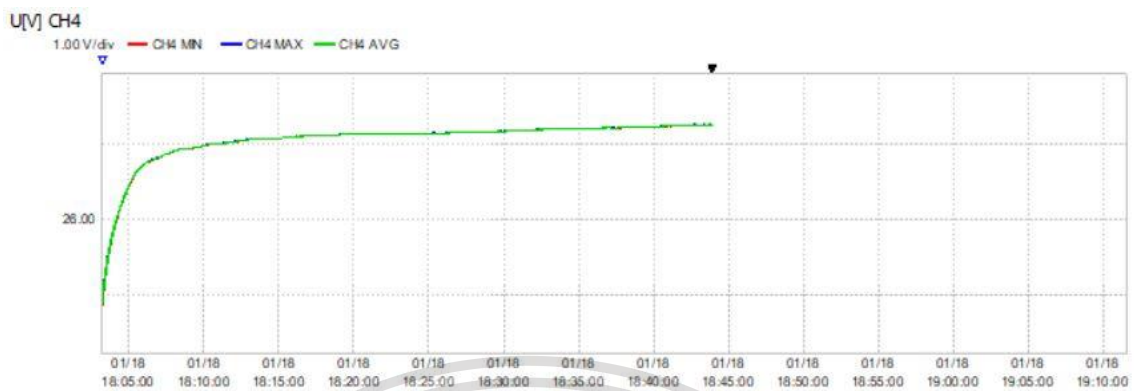
MIN[Hz]	2021/01/18 16:09:58	MAX[Hz]	2021/01/18 16:09:58
50.000	2021/01/18 16:09:58	50.000	2021/01/18 16:09:58

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.

ครั้งที่ 38



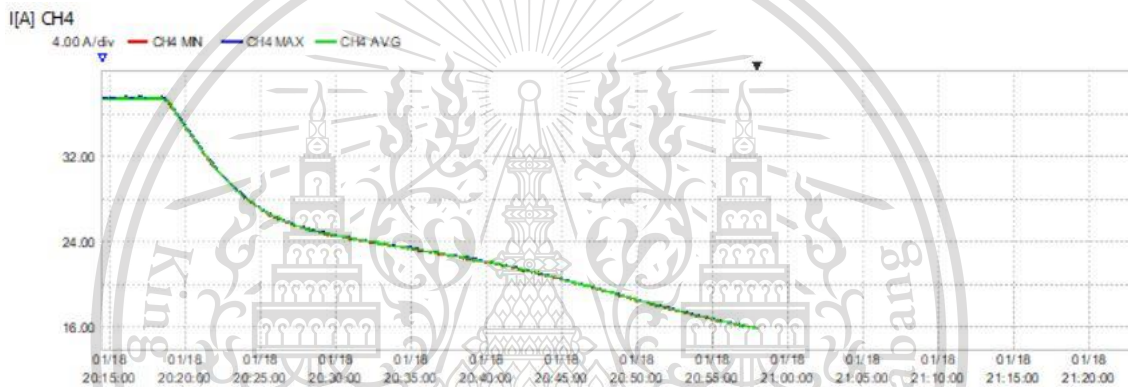
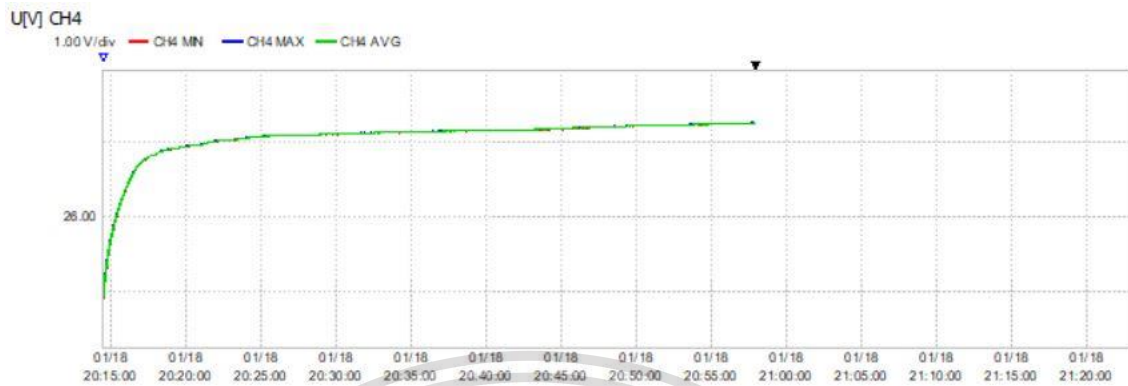
RMS U		CH	MIN[V]	2021/01/18 18:03:13	MAX[V]	2021/01/18 18:03:13
		CH1	0.00	2021/01/18 18:03:13	0.00	2021/01/18 18:03:13
		CH2	0.00	2021/01/18 18:03:13	0.00	2021/01/18 18:03:13
		CH3	0.00	2021/01/18 18:03:13	0.00	2021/01/18 18:03:13
		CH4	24.86	2021/01/18 18:03:13	27.25	2021/01/18 18:43:25
I		CH	MIN[A]	2021/01/18 18:03:13	MAX[A]	2021/01/18 18:03:13
		CH1	0.00	2021/01/18 18:03:13	0.00	2021/01/18 18:03:13
		CH2	0.00	2021/01/18 18:03:13	0.00	2021/01/18 18:03:13
		CH3	0.00	2021/01/18 18:03:13	0.00	2021/01/18 18:03:13
		CH4	16.70	2021/01/18 18:43:51	37.73	2021/01/18 18:03:45
Freq		CH	MIN[Hz]	2021/01/18 18:03:13	MAX[Hz]	2021/01/18 18:03:13
			50.000	2021/01/18 18:03:13	50.000	2021/01/18 18:03:13

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.

ครั้งที่ 39



RMS U

CH	MIN[V]	2021/01/18 20:14:30	MAX[V]	2021/01/18 20:14:30
CH1	0.00	2021/01/18 20:14:30	0.00	2021/01/18 20:14:30
CH2	0.00	2021/01/18 20:14:30	0.00	2021/01/18 20:14:30
CH3	0.00	2021/01/18 20:14:30	0.00	2021/01/18 20:14:30
CH4	24.91	2021/01/18 20:14:30	27.27	2021/01/18 20:57:44

I

CH	MIN[A]	2021/01/18 20:14:30	MAX[A]	2021/01/18 20:14:30
CH1	0.00	2021/01/18 20:14:30	0.00	2021/01/18 20:14:30
CH2	0.00	2021/01/18 20:14:30	0.00	2021/01/18 20:14:30
CH3	0.00	2021/01/18 20:14:30	0.00	2021/01/18 20:14:30
CH4	15.89	2021/01/18 20:57:54	37.69	2021/01/18 20:15:58

Freq

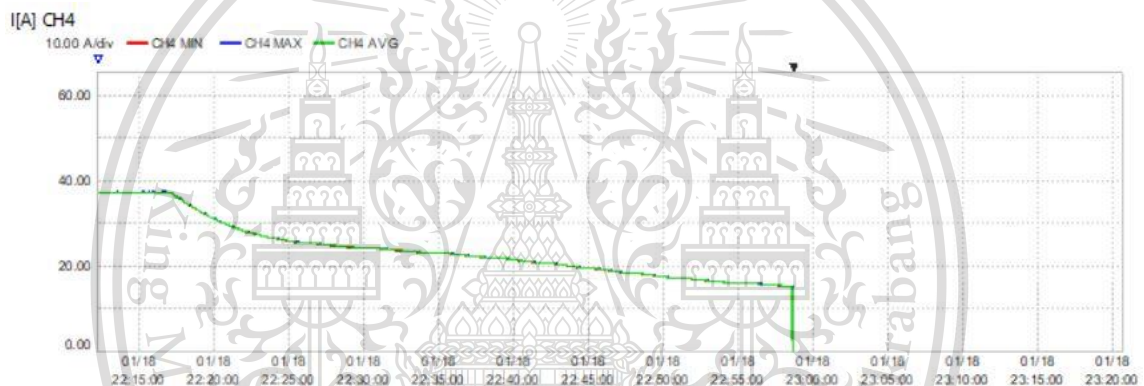
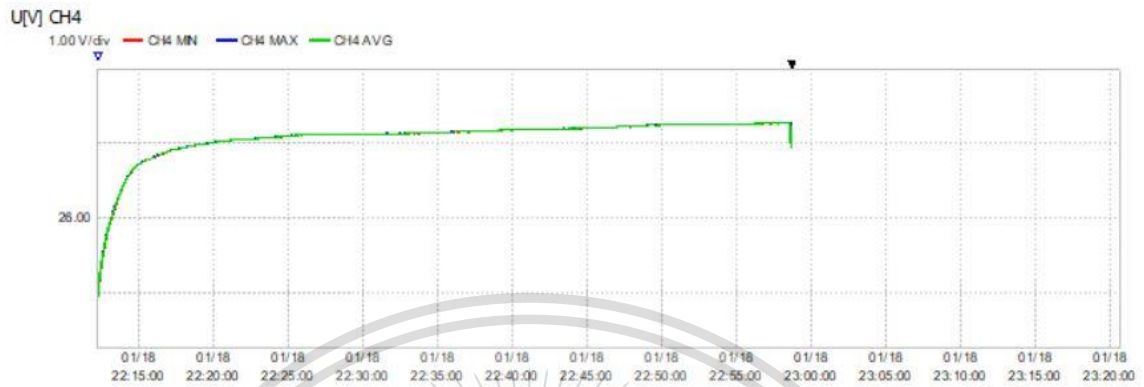
MIN[Hz]	2021/01/18 20:14:30	MAX[Hz]	2021/01/18 20:14:30
50.000	2021/01/18 20:14:30	50.000	2021/01/18 20:14:30

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.

ครั้งที่ 40



RMS				
U	CH	MIN[V]	MAX[V]	
	CH1	0.00	2021/01/18 22:12:11	0.00
	CH2	0.00	2021/01/18 22:12:11	0.00
	CH3	0.00	2021/01/18 22:12:11	0.00
	CH4	24.94	2021/01/18 22:12:11	27.27
I	CH	MIN[A]	MAX[A]	
	CH1	0.00	2021/01/18 22:12:11	0.00
	CH2	0.00	2021/01/18 22:12:11	0.00
	CH3	0.00	2021/01/18 22:12:11	0.00
	CH4	0.00	2021/01/18 22:58:32	37.66
Freq		MIN[Hz]	MAX[Hz]	
		50.000	2021/01/18 22:12:11	50.000

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.



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.

Design of CCCV Battery Charger via PID Controller

Wiwat Keyoonwong^{*}, Natthapol Mapanya¹, Jirapong Thongnoi² and Preeda Chompuchaikird³

*Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
1 Soi Chalongkrung 1, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand, +66 2329 8000 ext 3515, 3939*

** E-mail: wiwat.ke@kmitl.ac.th*

Abstract

The project presents the design of the battery charger for Lithium-ion Phosphate battery type and the development of PID controller for better utilization of the battery storage connected to a battery 24 V 20Ah. PID controller is proposed to make the control signal transmit smoother power by controlling output voltage and current. In this paper, the constant current and constant voltage (CCCV) charging method based on buck converter is studied to improve the battery life cycle. Handwriting coding is done by Arduino MEGA2560, and the simulation is performed in MATLAB. The experimental results are discussed.

Keywords: Battery Charger, PID controller, Constant-Current-Constant-Voltage, Battery Life cycles

1. INTRODUCTION

For a large variety of battery usage such as electric vehicles (EV), the design of an efficient battery charger has become an important topic since a well-designed battery charger is one of the solutions to enhance the lifespan and improve the charge-discharge performance of the batteries. The battery charger must transmit the energy into the storage system; the battery pack. The problem is during the charging state. Some battery cells failed to absorb the energy properly when compared to the others and start acting like a load instead [1,4]. Therefore, the key to create a well-designed battery charger is to ensure that all cells get the energy equally, and the topic is set to be studied in this project. To achieve the target set, we proposed a PID (Proportional, Integral, and Differential) controller that can activate some features in order to perform a satisfactory smooth transmission of power to a battery pack [2]. Buck converter topology is used to reduce the voltage from the source and stabilize the output voltage to the battery [3]. In this study, Two modes of performance are presented for the buck converter. For the first stage, it performs in a constant current mode in order to limit the current below a specified value at the start of the charging state. Then, it switches to constant voltage mode to absorb the power. This method is more efficient when compared to charging with only one of the modes mentioned [4].

This paper is organized as follows: Section 2 introduces the battery charger model in this study. Section 3 details on the AC-DC Buck rectifier is presented. Section 4 introduces the constant current constant voltage mode in the charger. Section 5 introduces the PID

controller theory for controlling the constant current and voltage charge. Section 6 presents the simulation results and conclusion are reported in section 7.

2. BATTERY CHARGER MODEL

In this paper, the battery charger model has high power density, high efficiency, and low total harmonic distortion (THD). But, it has the condition to use. In the first stage of the methodology part of this study, the current and the voltage which were controlled with AC-DC buck rectifier have been designed. Finally, in the second stage, the design and implementation of PID controller are presented.

3. AC-DC BUCK RECTIFIER

AC-DC full bridged is proposed to convert the signal from AC to DC. In order to reduce the voltage level and operation with 24V battery system, the buck converter is designed and analyzed with CCCV charging method, which is controlled by a PID controller.

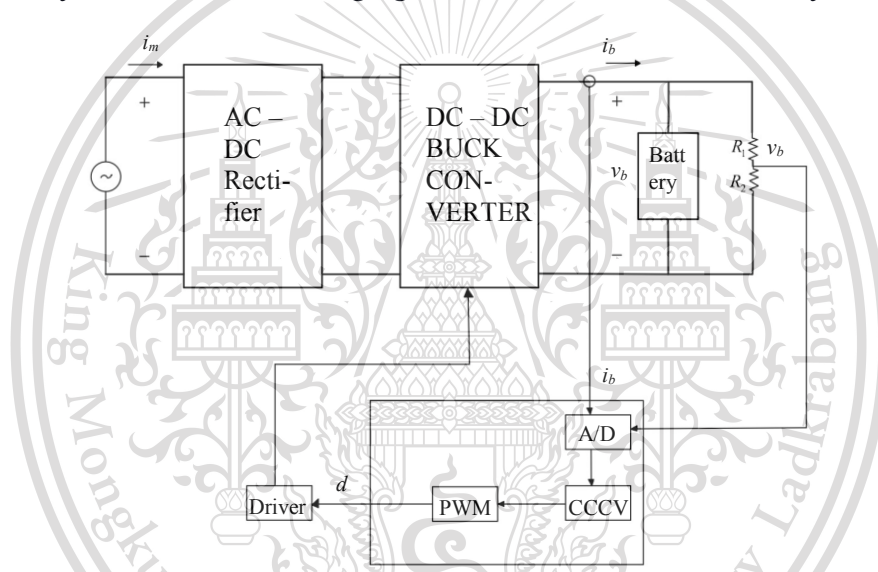


Fig. 1. The Circuit Design of Battery Charger

4. CONSTANT-CURRENT-CONSTANT-VOLTAGE CHARGING MODE

In order to achieve a high efficiency and suit with battery specification. The CCCV charging method is proposed and designed. At the start of charging stage, battery charger is controlled with the constant current charging mode to reduce the charging period. When the battery voltage (v_b) value is greater than reference voltage (v_{ref}) at 15% of nominal voltage (v_{float}), it will switch to constant voltage charging mode. Up until the current value is gradually decreasing below to the line of 0.2 C, the charger change to floating charge mode. The block diagram for cccv charging is shown in Fig.2

5. PID CONTROLLER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
To design the control architecture for this charger, the PID is utilized. The PID controller calculates an error value as a difference in value between a measured process variable and the desired set point. The PID controller function is given by the formula

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

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

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(\tau) d\tau + k_d \frac{de}{dt}$$

Where u is the control signal and e is the control error. R is the setpoint. The control signal that is used to control the charging mode is a sum of the three terms. A term that is proportional to the error, an integral term that is proportional to the integral of the error, and a derivative term that is proportional to the derivatives of the error. The controller parameters are proportional gain k_p , integral gain k_i , and derivative gain k_d [5].

To minimize the error, the controller adjusts the input process to achieve constant current and constant voltage charge. The output from DC-DC converter is given to the controller. The controller provides the gate pulse to the MOSFET and maintains the duty cycles, which sits at 68%, and then the controller generates a control signal to create the constant current and constant voltage to the battery.

6. SIMULATION RESULTS

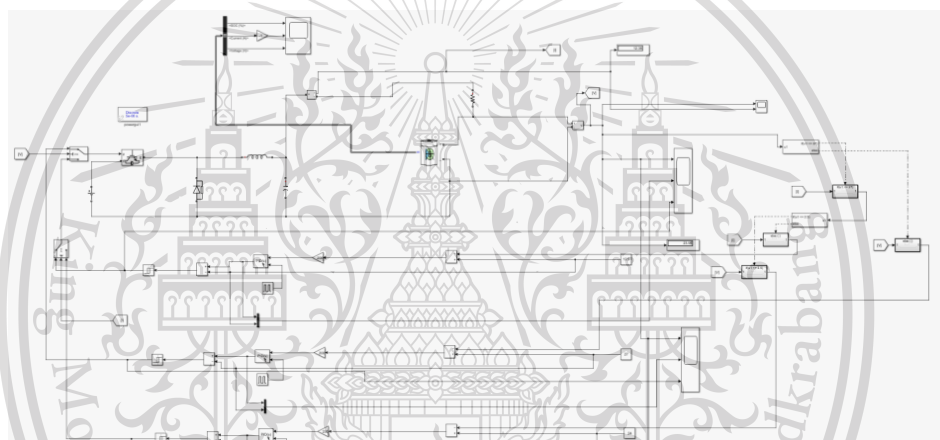


Fig. 2. Digital Controlled Battery Charger

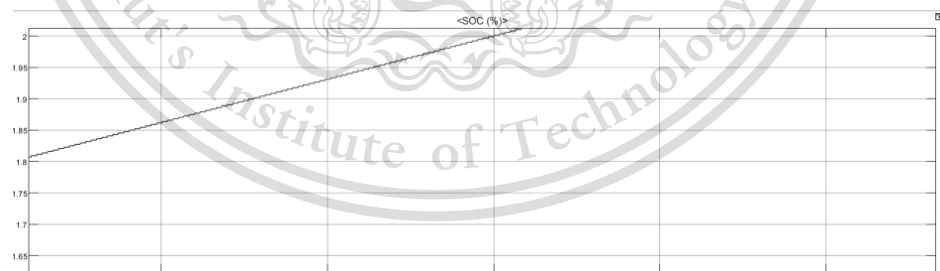


Fig. 3. State of Charge (SoC) of the battery

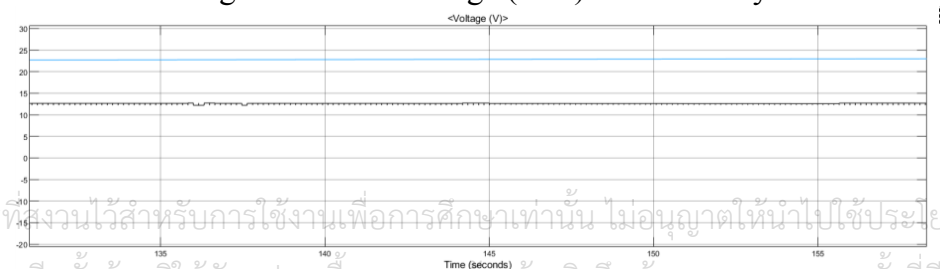


Fig. 4. Voltage Level of the Battery

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.

This Simulink result shows the constant voltage constant current charging. This paper is proposed to design a battery charger by using PID controller, which is to provide the control signal to enter the constant-current-constant-voltage mode. The charging method starts by using the constant current mode. The terminal voltage at battery (v_b) is then continuously increased until it reaches the desired level which is 27.5 V in this experiment. Then, it switches to the constant voltage mode. The current continuously decreases until it reaches desired value, which is 0.1C (2.5A). Finally, the floating charge mode is used to charge the battery until the current value converges to zero. This results in a fully charged battery ready to be used. The charging method that is utilized in this paper can set the timeframe by setting the voltage level and current value. However, the temperature can increase significantly if the current value used to charge is high.

7. CONCLUSION

Thus a battery charger is designed to get a constant current constant voltage charging to charge a 24V 25Ah battery and the proposed PID is verified through simulation results satisfactory. However this study is an initial effort towards a well-designed battery charger to expand a battery lifespan. It has limitation and needs improvement. Such as the simulation results can't proceed to battery full charge due to the PC is not good enough to run the simulation in a long time and some factors were not considered in this experiment such as effect of ambient temperature. Through the simulation result, it can be applied to the future battery charging system and electrical vehicles using battery with high efficiency.

ACKNOWLEDGMENT

The author thanks Mr.Wiwat Keyoonwong for motivation and providing all the facility that was required. The authors also thanks Mr.Kunagone for his able guidance and support in completing this project.

REFERENCES

- [1] Matjaz Knez, Gašper Kozelj Zevnik, Matevz Obrecht, A review of available chargers for electric vehicles: United States of America, European Union, and Asia, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 109, 2019, Pages 284-293,
- [2] Lucio Ciabattoni, Gianluca Ippoliti, Matteo Cavalletti, Marco Rocchetti, Sauro Longhi, Application of a Supervised Improved PID for the scheduling of energy feeding in a PV - battery system, IFAC Proceedings Volumes, Volume 45, Issue 3, 2012, pp. 294-299
- [3] Y. C. Chuang, "High-efficiency ZCS buck converter for rechargeable batteries", IEEE Trans. Ind. Electron., vol 57, no. 7, pp.2463-2472, Jul. 2010.
- [4] Unal Yilmaz, Omer Turksoy, Ahmet Teke, Intelligent control of high energy efficient two-stage battery charger topology for electric vehicles, Energy, Volume 186, 2019.
- [5] Ang, K.H. and Chong, G.C.Y. and Li, Y. (2005) PID control system analysis, design, and technology. IEEE Transactions on Control Systems Technology 13(4):pp. 559-576.
- [6] Rakesh Kumar Phanden, Ruchika Gupta, Srinivasa Rao Gorrepati, Pranav Patel, Lalit Sharma. ANN based robust bidirectional charger for electric vehicles, Materials Today: Proceedings, Volume 38, Part 1, 2021, pp. 80-84.
- [7] Phonlawit Hormsakul, Waralee Somsai, Supanut Somroop, Supanita Yuvachitti (2013). Battery Charger for electrical vehicle. King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. pp.5-26



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

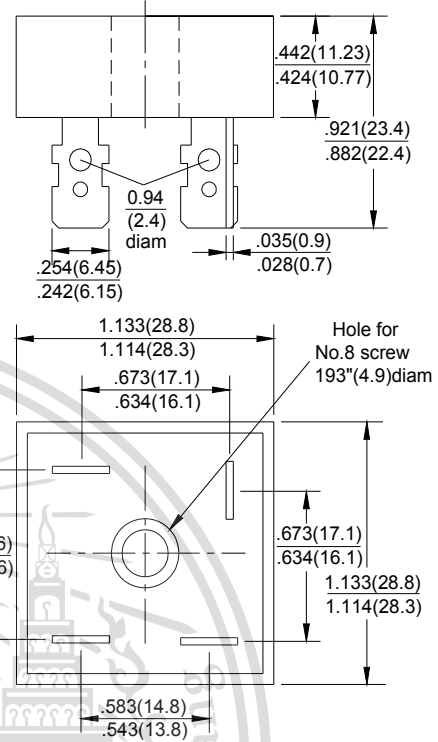
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

SILICON BRIDGE RECTIFIERS	REVERSE VOLTAGE - 50 to 1000Volts FORWARD CURRENT - 10/15/25/35/50 Amperes
----------------------------------	---

FEATURES

- Surge overload -240~500 Amperes peak
- Low forward voltage drop
- Mounting Position : Any
- Electrically isolated base -2000 Volts
- Solderable 0.25" FAST ON terminals
- Materials used carries U/L recognition

KBPC



Dimensions in inches and (millimeters)

MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Rating at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.

Resistive or inductive load 60Hz.

For capacitive load current by 20%

CHARACTERISTICS	SYMBOL	KBPC								UNIT
		KBPC	KBPC	KBPC	KBPC	KBPC	KBPC	KBPC	KBPC	
		10005	1001	1002	1004	1006	1008	1010		
		15005	1501	1502	1504	1506	1508	1510		
		25005	2501	2502	2504	2506	2508	2510		
		35005	3501	3502	3504	3506	3508	3510		
50005	5001	5002	5004	5006	5008	5010				
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	V _{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V	
Maximum RMS Bridge Input Voltage	V _{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	V	
Maximum Average Forward Rectified Output Current @T _c =55°C	I _(AV)	10	15	25	35	50			A	
Peak Forward Surge Current 8.3ms Single Half Sine-Wave Super Imposed on Rated Load	I _{FSM}	240	300	400	400	500			A	
Maximum Forward Voltage Drop Per Element at 5.0/7.5/12.5/17.5/25.0A Peak	V _F	1.1								V
Maximum Reverse Current at Rate DC Blocking Voltage Per Element @T _J =25°C	I _R	10								µA
Operating Temperature Range	T _J	-55 to +150								°C
Storage Temperature Range	T _{STG}	-55 to +150								°C

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

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

FIG.1-MAXIMUM FORWARD SURGE CURRENT

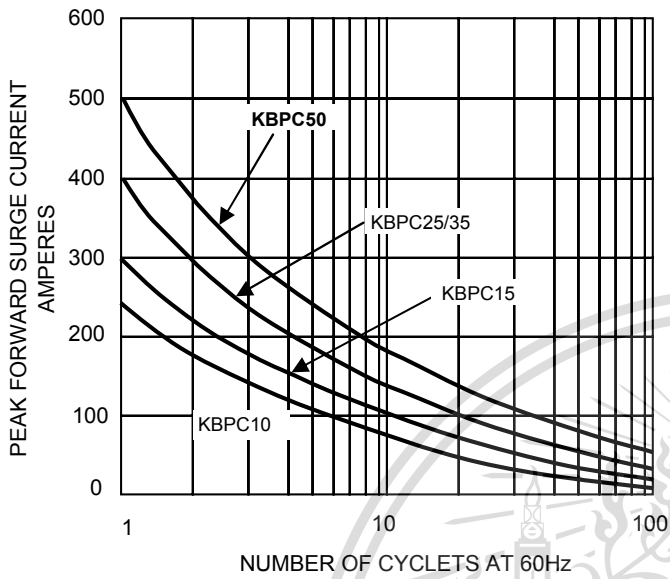


FIG.2- DERATING CURVE
 OUTPUT RECTIFIED CURRENT

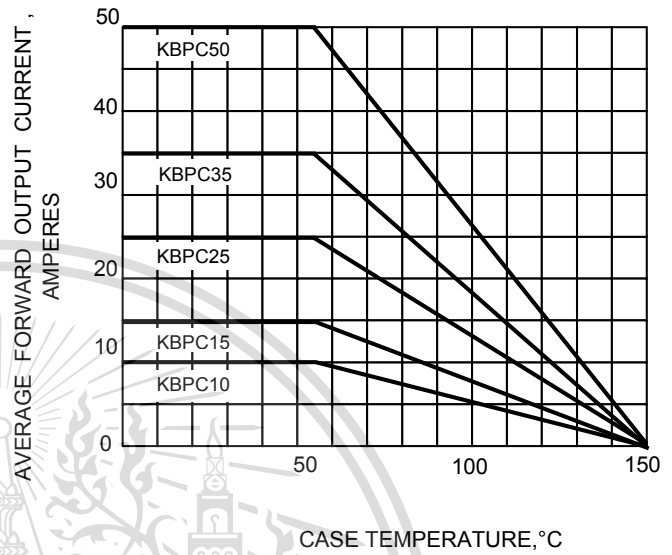


FIG.3-TYPICAL FORWARD CHARACTERISTICS

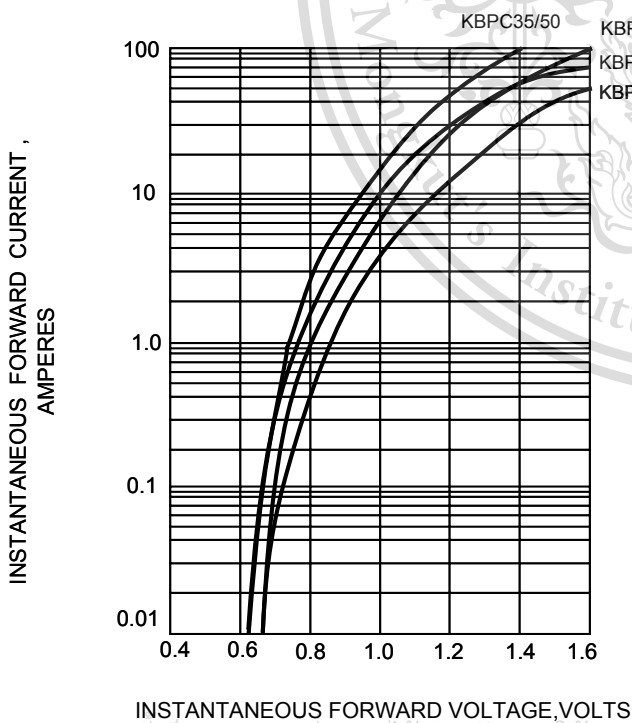
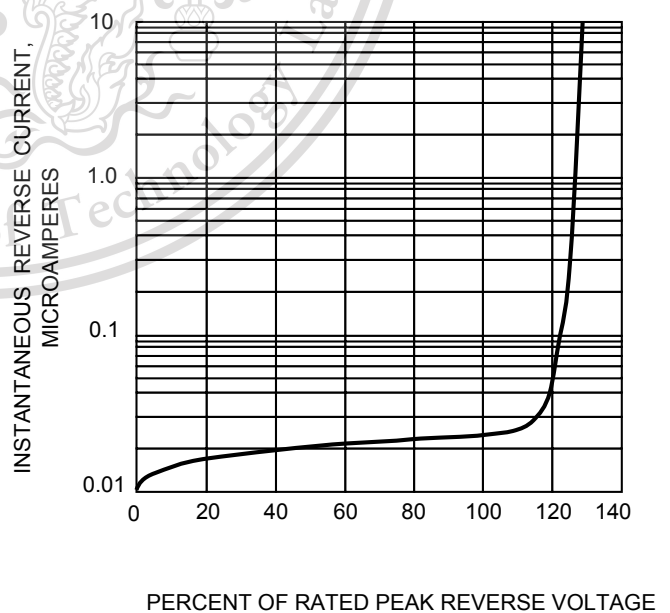


FIG.4-TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Forbidden to modify the content and its translation when use.

The cruve graph is for reference only, can't be the basis for judgment(曲线图仅供参考)!

TLP250(INV)

TRANSISTOR INVERTER
 INVERTERS FOR AIR CONDITIONER
 IGBT GATE DRIVE
 POWER MOS FET GATE DRIVE

The TOSHIBA TLP250(INV) consists of a GaAIAs light emitting diode and a integrated photodetector.
 This unit is 8-lead DIP.
 TLP250(INV) is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- Input Threshold Current : $I_F=5\text{mA}(\text{MAX})$
- Supply Current(I_{CC}) : $11\text{mA}(\text{MAX})$
- Supply Voltage(V_{CC}) : $10\sim 35\text{V}$
- Output Current(I_O) : $\pm 2.0\text{A}(\text{MAX})$
- Switching Time(t_{pLH}/t_{pHL}) : $0.5\mu\text{s}(\text{MAX})$
- Isolation Voltage : $2500\text{V}_{\text{rms}}$
- UL Recognized : UL1577,File No.E67349
- Option(D4)

VDE Approved : DIN VDE0884/06.92 Certificate No.76823
 Maximum Operating Insulation Voltage : 630V_{PK}
 Highest Permissible Over Voltage : 4000V_{PK}

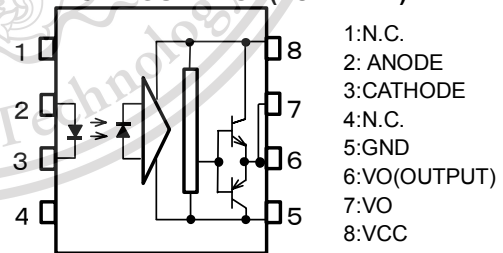
**(Note):When a VDE0884 approved type is needed,
 Please designate the "Option(D4)"**

- Creepage Distance : $6.4\text{mm}(\text{MIN})$
- Clearance : $6.4\text{mm}(\text{MIN})$

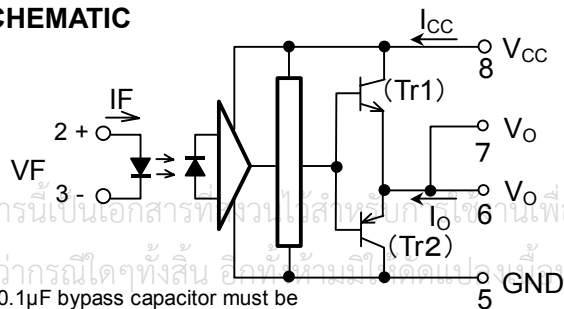
TRUTH TABLE

		Tr 1	Tr 2
INPUT LED	ON	ON	OFF
	OFF	OFF	ON

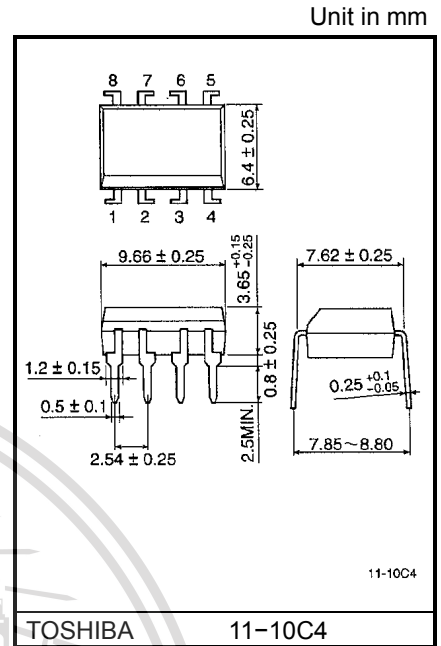
PIN CONFIGURATION(TOP VIEW)



SCHEMATIC



A $0.1\mu\text{F}$ bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5(See Note 5).



TOSHIBA 11-10C4
 Weight: 0.54 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ห้ามนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต 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.

MAXIMUM RATINGS (Ta=25°C)

CHARACTERISTIC			SYMBOL	RATING	UNIT	
LED	Forward Current		I_F	20	mA	
	Forward Current Derating (Ta≥70°C)		$\Delta I_F / \Delta Ta$	-0.36	mA / °C	
	Peak Transient Forward Current (Note 1)		I_{FPT}	1	A	
	Reverse Voltage		V_R	5	V	
	Junction Temperature		T_j	125	°C	
DETECTOR	"H" Peak Output Current	PW ≤2.5μs , f≤15 kHz	I_{OPH}	-1.5	A	
		PW ≤1.0μs , f≤15 kHz		-2.0		
	"L" Peak Output Current	PW ≤2.5μs , f≤15 kHz	I_{OPL}	+1.5	A	
		PW ≤1.0μs , f≤15 kHz		+2.0		
	Output Voltage		(Ta≤70°C)	V_O	35	V
			(Ta=85°C)		24	
	Supply Voltage		(Ta≤70°C)	V_{CC}	35	V
			(Ta=85°C)		24	
	Output Voltage Derating (Ta≥70°C)			$\Delta V_O / \Delta Ta$	-0.73	V / °C
	Supply Voltage Derating (Ta≥70°C)			$\Delta V_{CC} / \Delta Ta$	-0.73	V / °C
Junction Temperature			T_j	125	°C	
Operating Frequency (Note 3)			f	25	kHz	
Operating Temperature Range			T_{opr}	-20~85	°C	
Storage Temperature Range			T_{stg}	-55~125	°C	
Lead Soldering Temperature(10s)			T_{sol}	260	°C	
Isolation Voltage (AC, 1min., R.H. ≤60%, Ta=25°C) (Note 4)			BV_S	2500	Vrms	

(Note 1) : Pulse width PW≤1μs,300pps

(Note 2) : Exponential Waveform

(Note 3) : Exponential Waveform $I_{OPH} \leq -1.0A (\leq 2.5\mu s)$, $I_{OPL} \leq +1.0A (\leq 2.5\mu s)$

(Note 4) : Device considered a two terminal device : pins 1,2,3 and 4 shorted together and pins 5,6,7 and 8 shorted together.

(Note 5) : A ceramic capacitor(0.1μF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier.Failure to provide the bypassing may impair the switching property.The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

CHARACTERISTIC	SYMBOL	MIN	TYP.	MAX	UNIT
Input Current, ON	$I_{F(ON)}$	7	8	10	mA
Input Voltage, OFF	$V_{F(OFF)}$	0	—	0.8	V
Supply Voltage	V_{CC}	15	—	30 20	V
Peak Output Current	I_{OPH} / I_{OPL}	—	—	±0.5	A
Operating Temperature	T_{opr}	-20	25	70 85	°C

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.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta = -20~70°C, Unless otherwise specified)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION	MIN	TYP.	MAX	UNIT
Input Forward Voltage		V _F	—	I _F = 10 mA, Ta = 25°C	—	1.6	1.8	V
Temperature Coefficient of Forward Voltage		ΔV _F / ΔTa	—	I _F = 10 mA	—	-2.0	—	mV / °C
Input Reverse Current		I _R	—	V _R = 5 V, Ta = 25°C	—	—	10	μA
Input Capacitance		C _T	—	V = 0, f = 1 MHz, Ta = 25°C	—	45	250	pF
Output Current	"H" Level	I _{OPH}	2	V _{CC} = 30 V (*1)	I _F = 10 mA V ₈₋₆ = 4 V	-1.0	-1.5	—
	"L" Level	I _{OPL}	1					
Output Voltage	"H" Level	V _{OH}	3	V _{CC1} = +15 V V _{EE1} = -15 V R _L = 200Ω, I _F = 5 mA		11	12.8	—
	"L" Level	V _{OL}	4	V _{CC1} = +15 V V _{EE1} = -15 V R _L = 200Ω, V _F = 0.8 V		—	-14.2	-12.5
Supply Current	"H" Level	I _{CCH}	—	V _{CC} = 30 V	I _F = 10 mA Ta = 25°C	—	7	—
					I _F = 10 mA Ta = 25°C	—	—	11
	"L" Level	I _{CCL}	—		I _F = 0 mA Ta = 25°C	—	7.5	—
					I _F = 0 mA	—	—	11
Threshold Input Current	L→H	I _{FLH}	—	V _{CC1} = +15 V V _{EE1} = -15 V R _L = 200Ω, V _O > 0V		—	1.2	5
Threshold Input Voltage	H→L	V _{FHL}	—	V _{CC1} = +15 V V _{EE1} = -15 V R _L = 200Ω, V _O < 0V		0.8	—	—
Supply Voltage		V _{CC}	—	—	10	—	35	V
Capacitance (Input-Output)		C _S	—	V _S = 0, f = 1 MHz, Ta = 25°C	—	1.0	2.0	pF
Resistance (Input-Output)		R _S	—	V _S = 500 V, Ta = 25°C R.H. ≤ 60%	1×10 ¹²	10 ¹⁴	—	Ω

(*) : All typical values are at Ta=25°C

(*1) : Duration of IO time ≤ 50μs

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.

SWITCHING CHARACTERISTICS (Ta = -20~70°C, Unless otherwise specified)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION	MIN	TYP.	MAX	UNIT	
Propagation Delay Time	L→H	t_{pLH}	5	$I_F = 8\text{ mA}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$ $R_L = 20\Omega, C_L = 10\text{ nF}$	0.05	0.15	0.5	μs	
	H→L	t_{pHL}			0.05	0.15	0.5		
Switching Time Dispersion between ON and OFF		$ t_{pHL} - t_{pLH} $			—	—	0.45		
Output Rise Time		t_r			—	—	—		
Output Fall Time		t_f			—	—	—		
Common Mode Transient Immunity at High Level Output		CM_H	6	$V_{CM} = 1000\text{ V}, I_F = 8\text{ mA}$ $V_{CC} = 30\text{ V}, T_a = 25^\circ\text{C}$	-15000	—	—	$\text{V}/\mu\text{s}$	
Common Mode Transient Immunity at Low Level Output		CM_L			15000	—	—	$\text{V}/\mu\text{s}$	

Fig.1 I_{OPL} TEST CIRCUIT

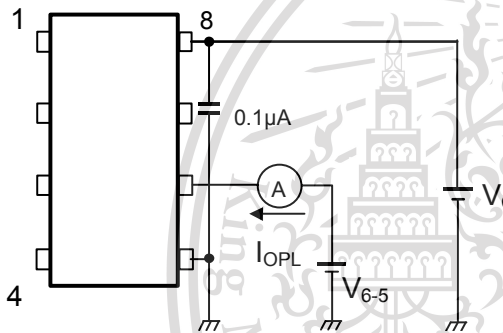


Fig.2 I_{OPH} TEST CIRCUIT

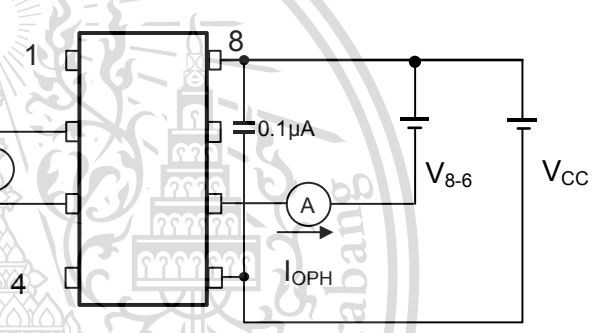


Fig.3 V_{OH} TEST CIRCUIT

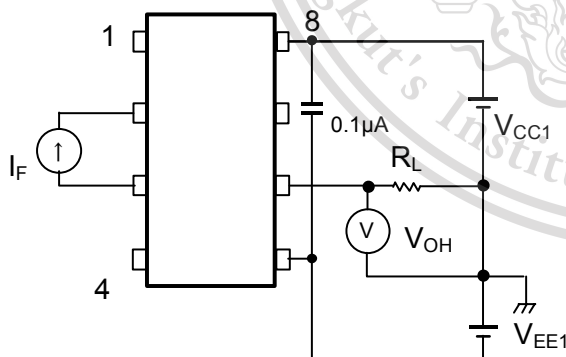
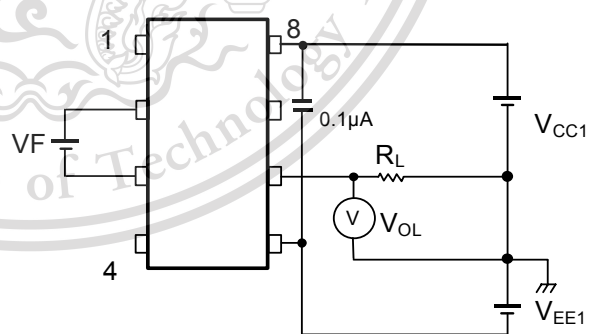


Fig.4 V_{OL} TEST CIRCUIT



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.

Fig.5 tpLH, tpHL, tr, tf TEST CIRCUIT

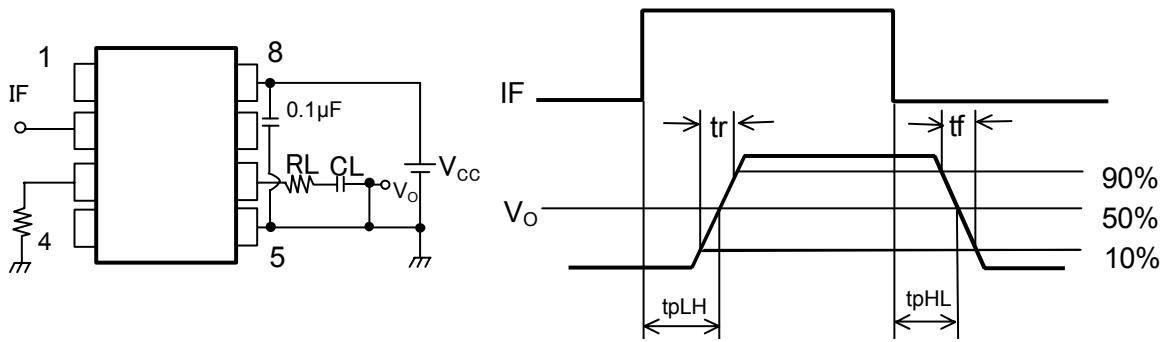
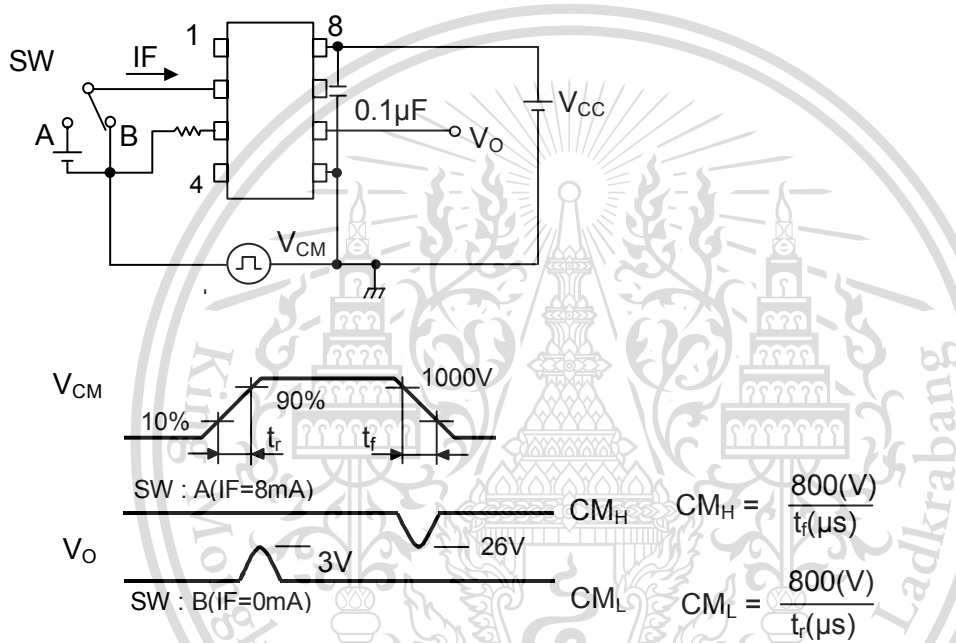


Fig.6 CMH, CML TEST CIRCUIT



CML(CMH) is the maximum rate of rise(fall) of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the low(high)state.

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.

RESTRICTIONS ON PRODUCT USE

000707EBC

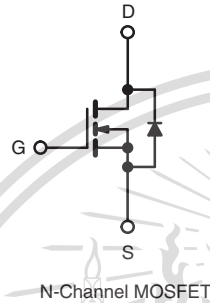
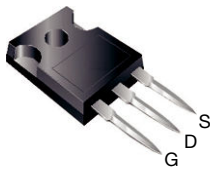
- TOSHIBA is continually working to improve the quality and reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to comply with the standards of safety in making a safe design for the entire system, and to avoid situations in which a malfunction or failure of such TOSHIBA products could cause loss of human life, bodily injury or damage to property. In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent TOSHIBA products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the "Handling Guide for Semiconductor Devices," or "TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook" etc..
- The TOSHIBA products listed in this document are intended for usage in general electronics applications (computer, personal equipment, office equipment, measuring equipment, industrial robotics, domestic appliances, etc.). These TOSHIBA products are neither intended nor warranted for usage in equipment that requires extraordinarily high quality and/or reliability or a malfunction or failure of which may cause loss of human life or bodily injury ("Unintended Usage"). Unintended Usage include atomic energy control instruments, airplane or spaceship instruments, transportation instruments, traffic signal instruments, combustion control instruments, medical instruments, all types of safety devices, etc.. Unintended Usage of TOSHIBA products listed in this document shall be made at the customer's own risk.
- Gallium arsenide (GaAs) is a substance used in the products described in this document. GaAs dust and fumes are toxic. Do not break, cut or pulverize the product, or use chemicals to dissolve them. When disposing of the products, follow the appropriate regulations. Do not dispose of the products with other industrial waste or with domestic garbage.
- The products described in this document are subject to the foreign exchange and foreign trade laws.
- The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA CORPORATION for any infringements of intellectual property or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any intellectual property or other rights of TOSHIBA CORPORATION or others.
- The information contained herein is subject to change without notice.

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

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

D Series Power MOSFET

PRODUCT SUMMARY		
V_{DS} (V) at T_J max.	550	
$R_{DS(on)}$ max. at 25 °C (Ω)	$V_{GS} = 10$ V	0.25
Q_g max. (nC)	170	
Q_{gs} (nC)	14	
Q_{gd} (nC)	28	
Configuration	Single	

TO-247AC


FEATURES

- Optimal Design
 - Low Area Specific On-Resistance
 - Low Input Capacitance (C_{iss})
 - Reduced Capacitive Switching Losses
 - High Body Diode Ruggedness
 - Avalanche Energy Rated (UIS)
- Optimal Efficiency and Operation
 - Low Cost
 - Simple Gate Drive Circuitry
 - Low Figure-of-Merit (FOM): $R_{on} \times Q_g$
 - Fast Switching
- Material categorization: For definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912

Note

- * Lead (Pb)-containing terminations are not RoHS-compliant. Exemptions may apply.

APPLICATIONS

- Consumer Electronics
 - Displays (LCD or Plasma TV)
- Server and Telecom Power Supplies
 - SMPS
- Industrial
 - Welding
 - Induction Heating
 - Motor Drives
- Battery Chargers
- SMPS
 - Power Factor Correction (PFC)



RoHS*
COMPLIANT
HALOGEN
FREE
Available

ORDERING INFORMATION

Package	TO-247AC
Lead (Pb)-free	IRFP460BPbF
Lead (Pb)-free and Halogen-free	SiHG460B-GE3

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_C = 25$ °C, unless otherwise noted)


PARAMETER	SYMBOL	LIMIT	UNIT
Drain-Source Voltage	V_{DS}	500	V
Gate-Source Voltage	V_{GS}	± 20	
Gate-Source Voltage AC ($f > 1$ Hz)		30	
Continuous Drain Current ($T_J = 150$ °C)	V_{GS} at 10 V	$T_C = 25$ °C	A
		$T_C = 100$ °C	
Pulsed Drain Current ^a	I_{DM}	62	
Linear Derating Factor		2.2	W/°C
Single Pulse Avalanche Energy ^b	E_{AS}	281	mJ
Maximum Power Dissipation	P_D	278	W
Operating Junction and Storage Temperature Range	T_J, T_{stg}	- 55 to + 150	°C
Drain-Source Voltage Slope	dV/dt	$T_J = 125$ °C	V/ns
Reverse Diode dV/dt^d		0.36	
Soldering Recommendations (Peak Temperature)	for 10 s	300°	°C

Notes

- Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature.
- $V_{DD} = 50$ V, starting $T_J = 25$ °C, $L = 10$ mH, $R_g = 25$ Ω , $I_{AS} = 7.5$ A.
- 1.6 mm from case.
- $I_{SD} \leq I_D$, starting $T_J = 25$ °C.



THERMAL RESISTANCE RATINGS				
PARAMETER	SYMBOL	TYP.	MAX.	UNIT
Maximum Junction-to-Ambient	R_{thJA}	-	40	°C/W
Maximum Junction-to-Case (Drain)	R_{thJC}	-	0.45	

SPECIFICATIONS ($T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise noted)						
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Static						
Drain-Source Breakdown Voltage	V_{DS}	$V_{GS} = 0\text{ V}, I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$	500	-	-	V
V_{DS} Temperature Coefficient	$\Delta V_{DS}/T_J$	Reference to $25\text{ }^\circ\text{C}, I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$	-	0.56	-	V/°C
Gate-Source Threshold Voltage (N)	$V_{GS(th)}$	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$	2	-	4	V
Gate-Source Leakage	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20\text{ V}$	-	-	± 100	nA
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = 500\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}$	-	-	1	μA
		$V_{DS} = 400\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}, T_J = 125\text{ }^\circ\text{C}$	-	-	10	
Drain-Source On-State Resistance	$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = 10\text{ V}, I_D = 10\text{ A}$	-	0.2	0.25	Ω
Forward Transconductance	g_{fs}	$V_{DS} = 50\text{ V}, I_D = 10\text{ A}$	-	12	-	S
Dynamic						
Input Capacitance	C_{iss}	$V_{GS} = 0\text{ V}, V_{DS} = 100\text{ V}, f = 1\text{ MHz}$	-	3094	-	pF
Output Capacitance	C_{oss}		-	152	-	
Reverse Transfer Capacitance	C_{rss}		-	13	-	
Effective output capacitance, energy related ^a	$C_{o(er)}$	$V_{GS} = 0\text{ V}, V_{DS} = 0\text{ V to } 400\text{ V}$	-	131	-	pF
Effective output capacitance, time related ^b	$C_{o(tr)}$		-	189	-	
Total Gate Charge	Q_g	$V_{GS} = 10\text{ V}, I_D = 10\text{ A}, V_{DS} = 400\text{ V}$	-	85	170	nC
Gate-Source Charge	Q_{gs}		-	14	-	
Gate-Drain Charge	Q_{gd}		-	28	-	
Turn-On Delay Time	$t_{d(on)}$	$V_{DD} = 400\text{ V}, I_D = 10\text{ A}, V_{GS} = 10\text{ V}, R_g = 9.1\text{ }\Omega$	-	24	50	ns
Rise Time	t_r		-	31	62	
Turn-Off Delay Time	$t_{d(off)}$		-	117	176	
Fall Time	t_f		-	56	112	
Gate Input Resistance	R_g		$f = 1\text{ MHz}, \text{open drain}$	-	1.8	
Drain-Source Body Diode Characteristics						
Continuous Source-Drain Diode Current	I_S	MOSFET symbol showing the integral reverse p - n junction diode 	-	-	20	A
Pulsed Diode Forward Current	I_{SM}		-	-	80	
Diode Forward Voltage	V_{SD}	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}, I_S = 10\text{ A}, V_{GS} = 0\text{ V}$	-	-	1.2	V
Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}, I_F = I_S = 10\text{ A}, di/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}, V_R = 20\text{ V}$	-	437	-	ns
Reverse Recovery Charge	Q_{rr}		-	5.9	-	μC
Reverse Recovery Current	I_{RRM}		-	25	-	A

Notes

- a. $C_{oss(er)}$ is a fixed capacitance that gives the same energy as C_{oss} while V_{DS} is rising from 0 % to 80 % V_{DS} .
- b. $C_{oss(tr)}$ is a fixed capacitance that gives the same charging time as C_{oss} while V_{DS} is rising from 0 % to 80 % V_{DS} .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS (25 °C, unless otherwise noted)

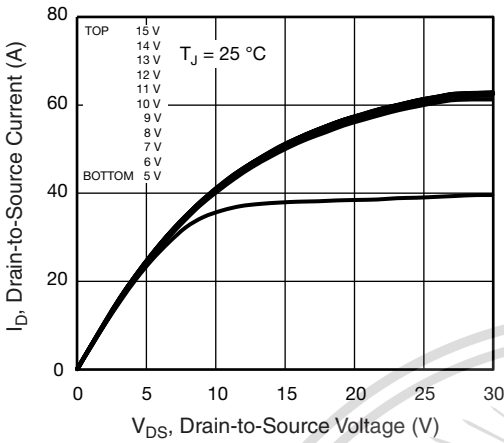


Fig. 1 - Typical Output Characteristics

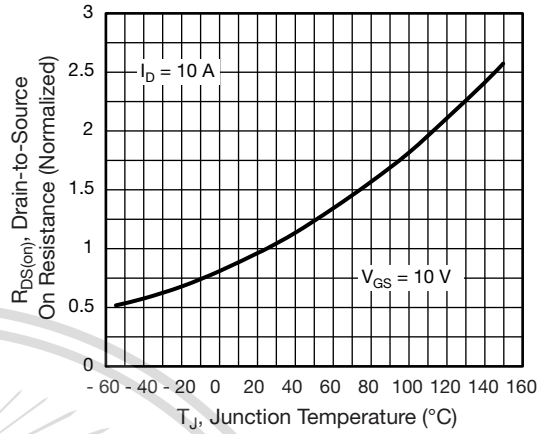


Fig. 4 - Normalized On-Resistance vs. Temperature

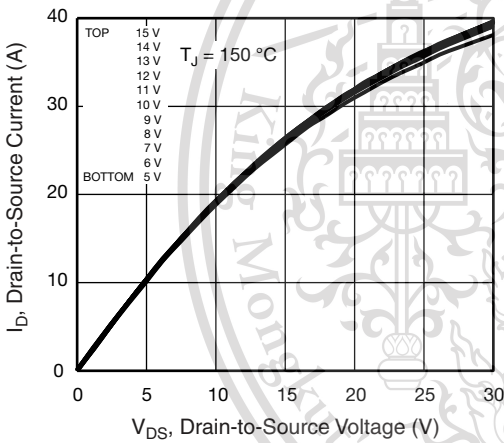


Fig. 2 - Typical Output Characteristics

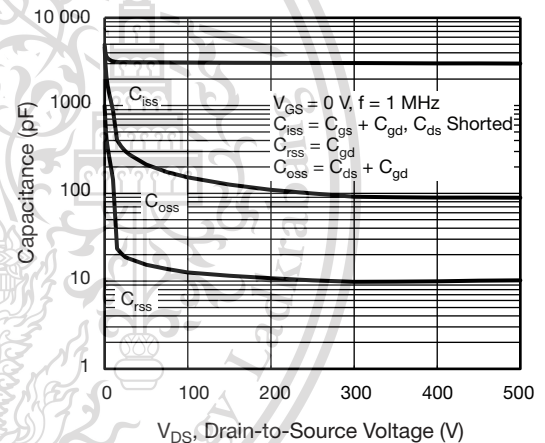


Fig. 5 - Typical Capacitance vs. Drain-to-Source Voltage

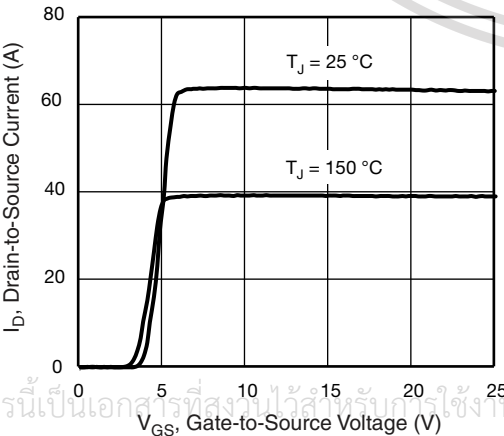


Fig. 3 - Typical Transfer Characteristics

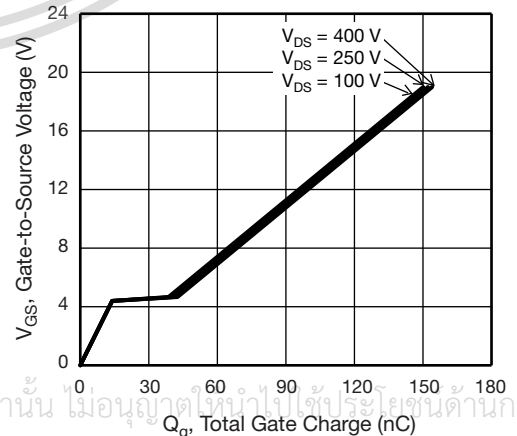


Fig. 6 - Typical Gate Charge vs. Gate-to-Source Voltage

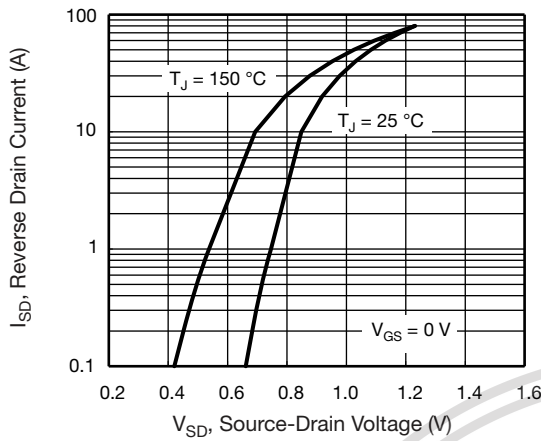


Fig. 7 - Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

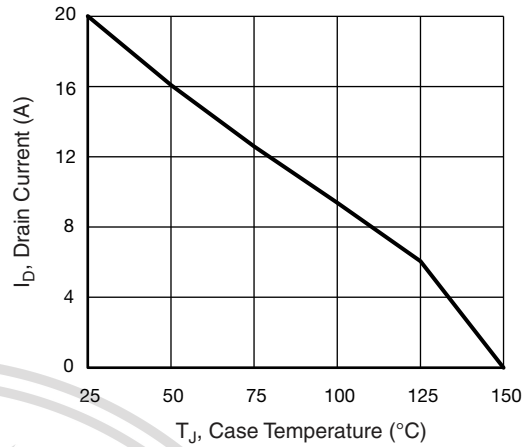


Fig. 9 - Maximum Drain Current vs. Case Temperature

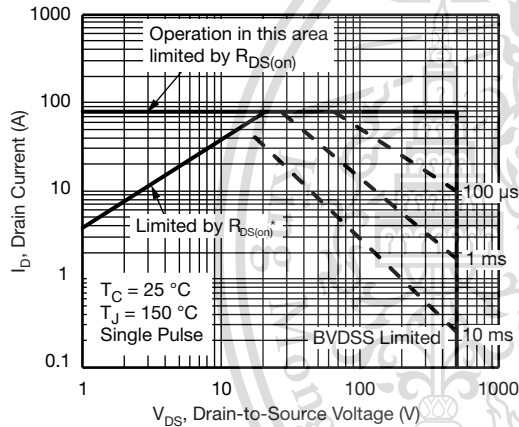


Fig. 8 - Maximum Safe Operating Area

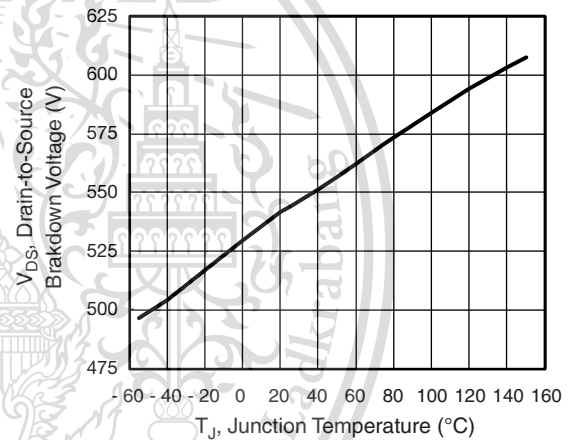


Fig. 10 - Temperature vs. Drain-to-Source Voltage

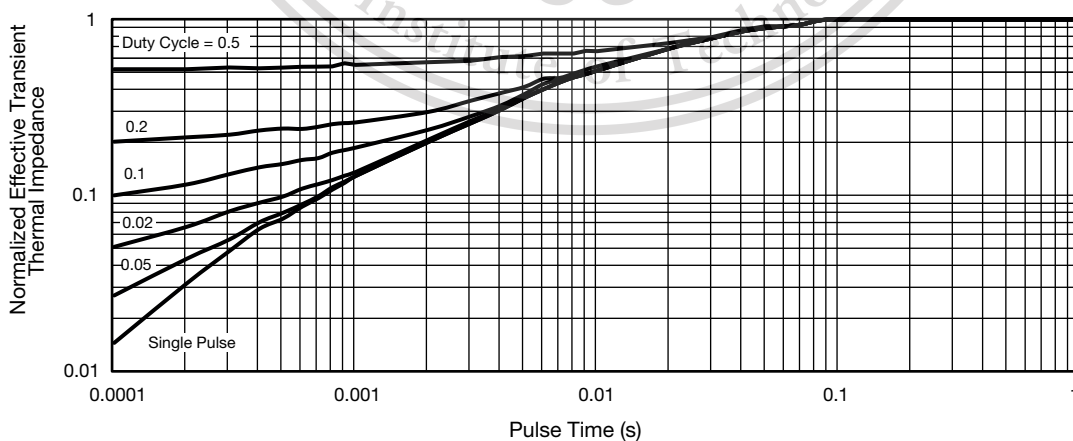


Fig. 11 - Normalized Thermal Impedance, Junction-to-Case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในองค์กรเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

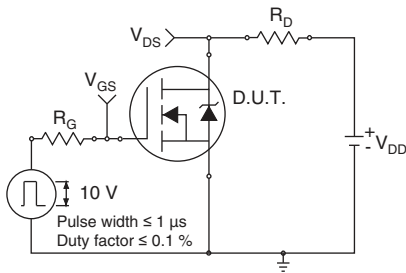


Fig. 12 - Switching Time Test Circuit

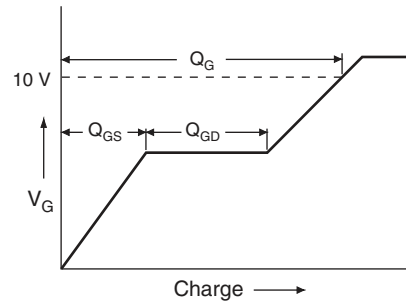


Fig. 16 - Basic Gate Charge Waveform

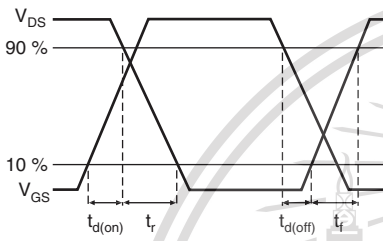


Fig. 13 - Switching Time Waveforms

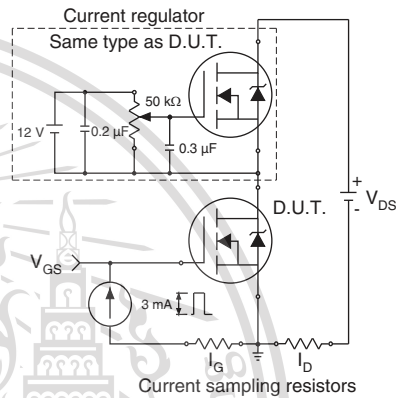


Fig. 17 - Gate Charge Test Circuit

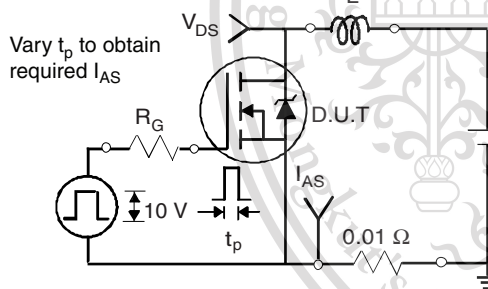


Fig. 14 - Unclamped Inductive Test Circuit

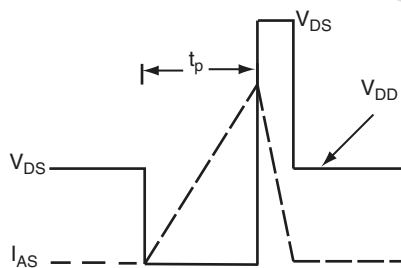
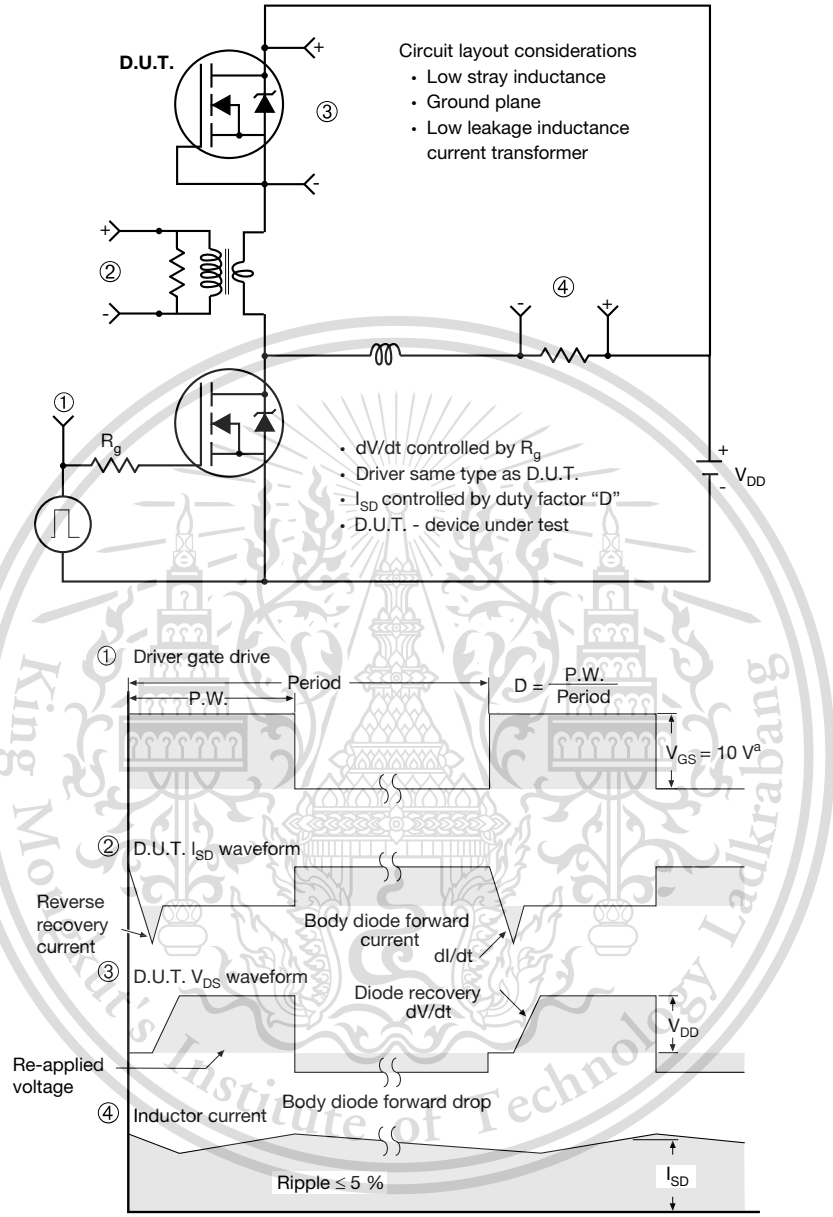


Fig. 15 - Unclamped Inductive Waveforms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peak Diode Recovery dV/dt Test Circuit

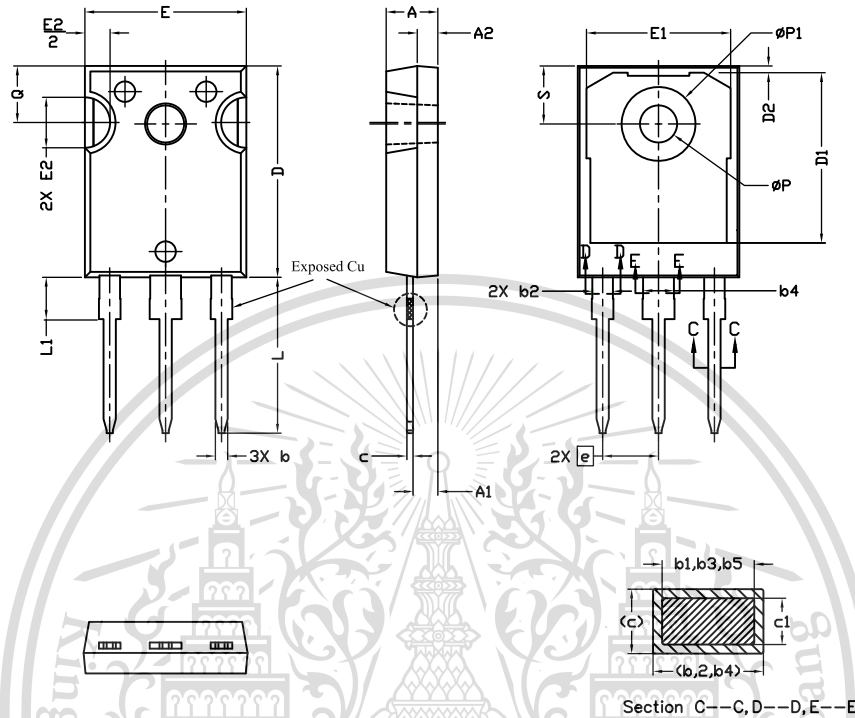


Note
a. $V_{GS} = 5\text{ V}$ for logic level devices

Fig. 18 - For N-Channel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 Vishay Siliconix maintains worldwide manufacturing capability. Products may be manufactured at one of several qualified locations. Reliability data for Silicon Technology and Package Reliability represent a composite of all qualified locations. For related documents such as package/tape drawings, part marking, and reliability data, see www.vishay.com/ppg?91502.

TO-247AC (High Voltage)

VERSION 1: FACILITY CODE = 9


DIM.	MILLIMETERS		NOTES
	MIN.	MAX.	
A	4.83	5.21	
A1	2.29	2.55	
A2	1.50	2.49	
b	1.12	1.33	
b1	1.12	1.28	
b2	1.91	2.39	6
b3	1.91	2.34	
b4	2.87	3.22	6, 8
b5	2.87	3.18	
c	0.55	0.69	6
c1	0.55	0.65	
D	20.40	20.70	4

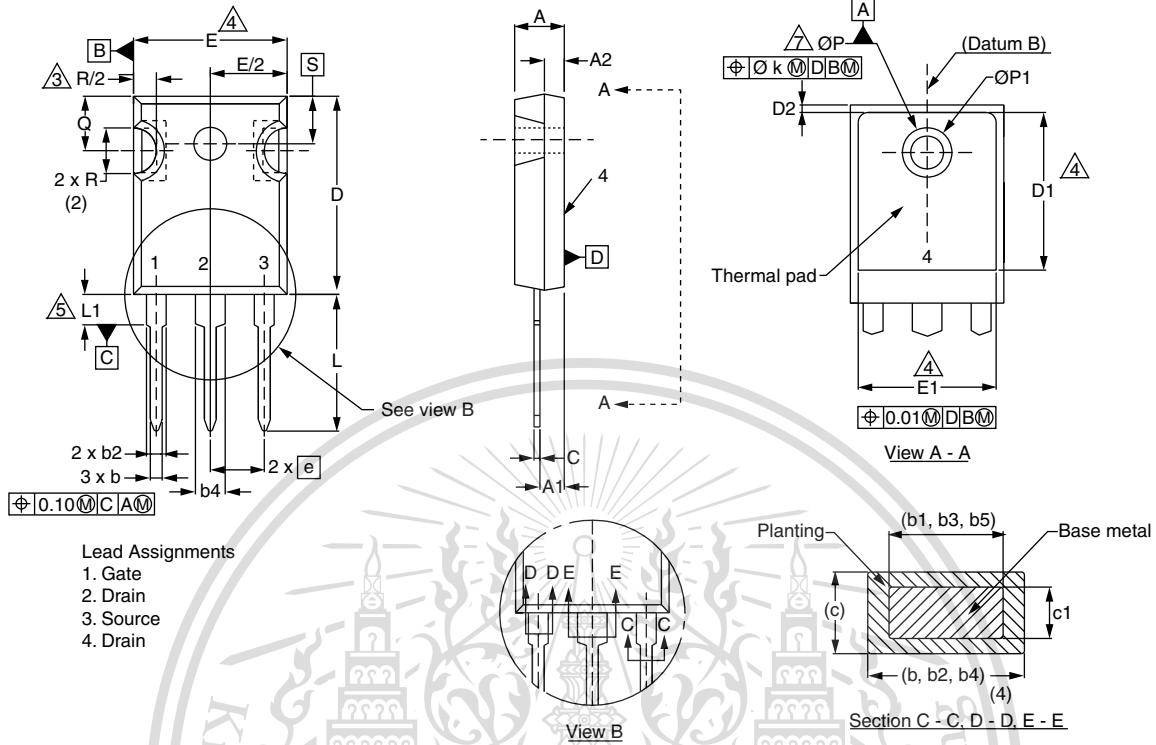
DIM.	MILLIMETERS		NOTES
	MIN.	MAX.	
D1	16.25	16.85	5
D2	0.56	0.76	
E	15.50	15.87	4
E1	13.46	14.16	5
E2	4.52	5.49	3
e	5.44 BSC		
L	14.90	15.40	
L1	3.96	4.16	6
Ø P	3.56	3.65	7
Ø P1	7.19 ref.		
Q	5.31	5.69	
S	5.54	5.74	

Notes

- (1) Package reference: JEDEC® TO247, variation AC
- (2) All dimensions are in mm
- (3) Slot required, notch may be rounded
- (4) Dimension D and E do not include mold flash. Mold flash shall not exceed 0.127 mm per side. These dimensions are measured at the outermost extremes of the plastic body
- (5) Thermal pad contour optional with dimensions D1 and E1
- (6) Lead finish uncontrolled in L1
- (7) Ø P to have a maximum draft angle of 1.5° to the top of the part with a maximum hole diameter of 3.91 mm
- (8) Dimension b2 and b4 does not include dambar protrusion. Allowable dambar protrusion shall be 0.1 mm total in excess of b2 and b4 dimension at maximum material condition



VERSION 2: FACILITY CODE = Y



MILLIMETERS			
DIM.	MIN.	MAX.	NOTES
A	4.58	5.31	
A1	2.21	2.59	
A2	1.17	2.49	
b	0.99	1.40	
b1	0.99	1.35	
b2	1.53	2.39	
b3	1.65	2.37	
b4	2.42	3.43	
b5	2.59	3.38	
c	0.38	0.86	
c1	0.38	0.76	
D	19.71	20.82	
D1	13.08	-	

MILLIMETERS			
DIM.	MIN.	MAX.	NOTES
D2	0.51	1.30	
E	15.29	15.87	
E1	13.72	-	
e	5.46 BSC		
Ø k	0.254		
L	14.20	16.25	
L1	3.71	4.29	
Ø P	3.51	3.66	
Ø P1	-	7.39	
Q	5.31	5.69	
R	4.52	5.49	
S	5.51 BSC		

ECN: E19-0614-Rev. E, 08-Jan-2020
 DWG: 5971

Notes

- Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M-1994
- Contour of slot optional
- Dimension D and E do not include mold flash. Mold flash shall not exceed 0.127 mm (0.005") per side. These dimensions are measured at the outermost extremes of the plastic body
- Thermal pad contour optional with dimensions D1 and E1
- Lead finish uncontrolled in L1
- Ø P to have a maximum draft angle of 1.5 to the top of the part with a maximum hole diameter of 3.91 mm (0.154")
- Outline conforms to JEDEC outline TO-247 with exception of dimension c



Disclaimer

ALL PRODUCT, PRODUCT SPECIFICATIONS AND DATA ARE SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN OR OTHERWISE.

Vishay Intertechnology, Inc., its affiliates, agents, and employees, and all persons acting on its or their behalf (collectively, "Vishay"), disclaim any and all liability for any errors, inaccuracies or incompleteness contained in any datasheet or in any other disclosure relating to any product.

Vishay makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of the products for any particular purpose or the continuing production of any product. To the maximum extent permitted by applicable law, Vishay disclaims (i) any and all liability arising out of the application or use of any product, (ii) any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages, and (iii) any and all implied warranties, including warranties of fitness for particular purpose, non-infringement and merchantability.

Statements regarding the suitability of products for certain types of applications are based on Vishay's knowledge of typical requirements that are often placed on Vishay products in generic applications. Such statements are not binding statements about the suitability of products for a particular application. It is the customer's responsibility to validate that a particular product with the properties described in the product specification is suitable for use in a particular application. Parameters provided in datasheets and / or specifications may vary in different applications and performance may vary over time. All operating parameters, including typical parameters, must be validated for each customer application by the customer's technical experts. Product specifications do not expand or otherwise modify Vishay's terms and conditions of purchase, including but not limited to the warranty expressed therein.

Except as expressly indicated in writing, Vishay products are not designed for use in medical, life-saving, or life-sustaining applications or for any other application in which the failure of the Vishay product could result in personal injury or death. Customers using or selling Vishay products not expressly indicated for use in such applications do so at their own risk. Please contact authorized Vishay personnel to obtain written terms and conditions regarding products designed for such applications.

No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted by this document or by any conduct of Vishay. Product names and markings noted herein may be trademarks of their respective owners.

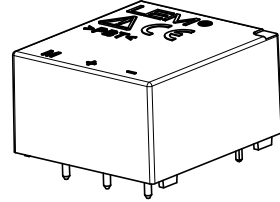
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage Transducer LV 25-P

For the electronic measurement of currents: DC, AC, pulsed..., with galvanic separation between the primary circuit and the secondary circuit.

$$I_{PN} = 10 \text{ mA}$$

$$V_{PN} = 10 \dots 500 \text{ V}$$



Electrical data

I_{PN}	Primary nominal rms current	10	mA		
I_{PM}	Primary current, measuring range	0 .. ± 14	mA		
R_M	Measuring resistance	$R_{M \min}$	$R_{M \max}$		
		with $\pm 12 \text{ V}$	@ $\pm 10 \text{ mA}_{\max}$	30	190
		@ $\pm 14 \text{ mA}_{\max}$	30	100	Ω
	with $\pm 15 \text{ V}$	@ $\pm 10 \text{ mA}_{\max}$	100	350	Ω
	@ $\pm 14 \text{ mA}_{\max}$	100	190	Ω	
I_{SN}	Secondary nominal rms current	25	mA		
K_N	Conversion ratio	2500 : 1000			
U_C	Supply voltage ($\pm 5\%$)	$\pm 12 \dots 15$	V		
I_C	Current consumption	$10 \text{ (@ } \pm 15 \text{ V)} + I_S$	mA		

Accuracy - Dynamic performance data

X_G	Overall accuracy @ $I_{PN}, T_A = 25^\circ\text{C}$	@ $\pm 12 \dots 15 \text{ V}$	± 0.9	%	
		@ $\pm 15 \text{ V} (\pm 5\%)$	± 0.8	%	
ϵ_L	Linearity error		< 0.2	%	
I_O	Offset current @ $I_p = 0, T_A = 25^\circ\text{C}$	Typ	Max		
I_{OT}	Temperature variation of I_O	0 $^\circ\text{C}$.. + 25 $^\circ\text{C}$	± 0.06	± 0.25	mA
		+ 25 $^\circ\text{C}$.. + 70 $^\circ\text{C}$	± 0.10	± 0.35	mA
			40		μs
t_r	Step response time ¹⁾ to 90 % of I_{PN}				

General data

T_A	Ambient operating temperature	0 .. + 70	$^\circ\text{C}$
T_S	Ambient storage temperature	- 25 .. + 85	$^\circ\text{C}$
R_P	Resistance of primary winding @ $T_A = 70^\circ\text{C}$	250	Ω
R_S	Resistance of secondary winding @ $T_A = 70^\circ\text{C}$	110	Ω
m	Mass	22	g
	Standards	EN 50178: 1997 UL 508: 2010	

Note: ¹⁾ $R_1 = 25 \text{ k}\Omega$ (L/R constant, produced by the resistance and inductance of the primary circuit).

Features

- Closed loop (compensated) current transducer using the Hall effect
- Insulating plastic case recognized according to UL 94-V0.

Principle of use

- For voltage measurements, a current proportional to the measured voltage must be passed through an external resistor R_1 which is selected by the user and installed in series with the primary circuit of the transducer.

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low thermal drift
- Low response time
- High bandwidth
- High immunity to external interference
- Low disturbance in common mode.

Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Power supplies for welding applications.

Application domain

- Industrial.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขหรือดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Voltage Transducer LV 25-P

Insulation coordination

U_d	Rms voltage for AC insulation test, 50 Hz, 1 min	2.5 ¹⁾	kV
\hat{U}_w	Impulse withstand voltage 1.2/50 μ s	16	kV
		Min	
d_{cp}	Creepage distance	19.5	mm
d_{cl}	Clearance	19.5	mm
CTI	Comparative tracking index (group IIIa)	175	

Note: ¹⁾ Between primary and secondary.

Applications examples

According to EN 50178 and IEC 61010-1 standards and following conditions:

- Over voltage category OV 3
- Pollution degree PD2
- Non-uniform field

	EN 50178	IEC 61010-1
$d_{cp}, d_{cl}, \hat{U}_w$	Rated insulation voltage	Nominal voltage
Basic insulation	1600 V	1600 V
Reinforced insulation	800 V	800 V

Safety

This transducer must be used in limited-energy secondary circuits according to IEC 61010-1.



This transducer must be used in electric/electronic equipment with respect to applicable standards and safety requirements in accordance with the manufacturer's operating instructions.



Caution, risk of electrical shock

When operating the transducer, certain parts of the module can carry hazardous voltage (eg. primary busbar, power supply).

Ignoring this warning can lead to injury and/or cause serious damage.

This transducer is a build-in device, whose conducting parts must be inaccessible after installation.

A protective housing or additional shield could be used. มือหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Main supply must be able to be disconnected.

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

UL 508:Ratings and assumptions of certification

File # E189713 Volume: 2 Section: 1

Standards

- CSA C22.2 NO. 14 - 10 INDUSTRIAL CONTROL EQUIPMENT - Edition 11 - Revision Date 2011/08/01
- UL 508 STANDARD FOR INDUSTRIAL CONTROL EQUIPMENT - Edition 17 - Revision Date 2010/04/15.

Parameter	Symbol	Unit	Value
Primary involved potential		V AC/DC	600
Max surrounding air temperature	T_A	°C	85
Primary current	I_P	mA	0 to 10
Secondary supply voltage	U_C	V DC	± 12 to ±15
Secondary nominal rms current	I_{SN}	mA	25

Conditions of acceptability

When installed in the end-use equipment, consideration shall be given to the following:

- 1 - These devices must be mounted in a suitable end-use enclosure.
- 2 - The terminals have not been evaluated for field wiring.
- 3 - The LV 25-P series are intended to be mounted on the printed wiring board of the end-use equipment (with a minimum CTI of 100).
- 4 - The LV 25-P series shall be used in a pollution degree 2 environment when the Printed Wiring Board has not been coated.
- 5 - The LV 25-P series shall be mounted on the load side of line filters.
- 6 - Low voltage circuits are intended to be powered by a circuit derived from an isolating source (such as a transformer, optical isolator, limiting impedance or electro-mechanical relay) and having no direct connection back to the primary circuit (other than through the grounding means).
- 7 - Base on results of temperature tests, in the end use application, a maximum of 100 °C cannot be exceeded at soldering point between primary coil pin and soldering point of on the primary bus bar (corrected to the appropriate evaluated max. surrounding air).

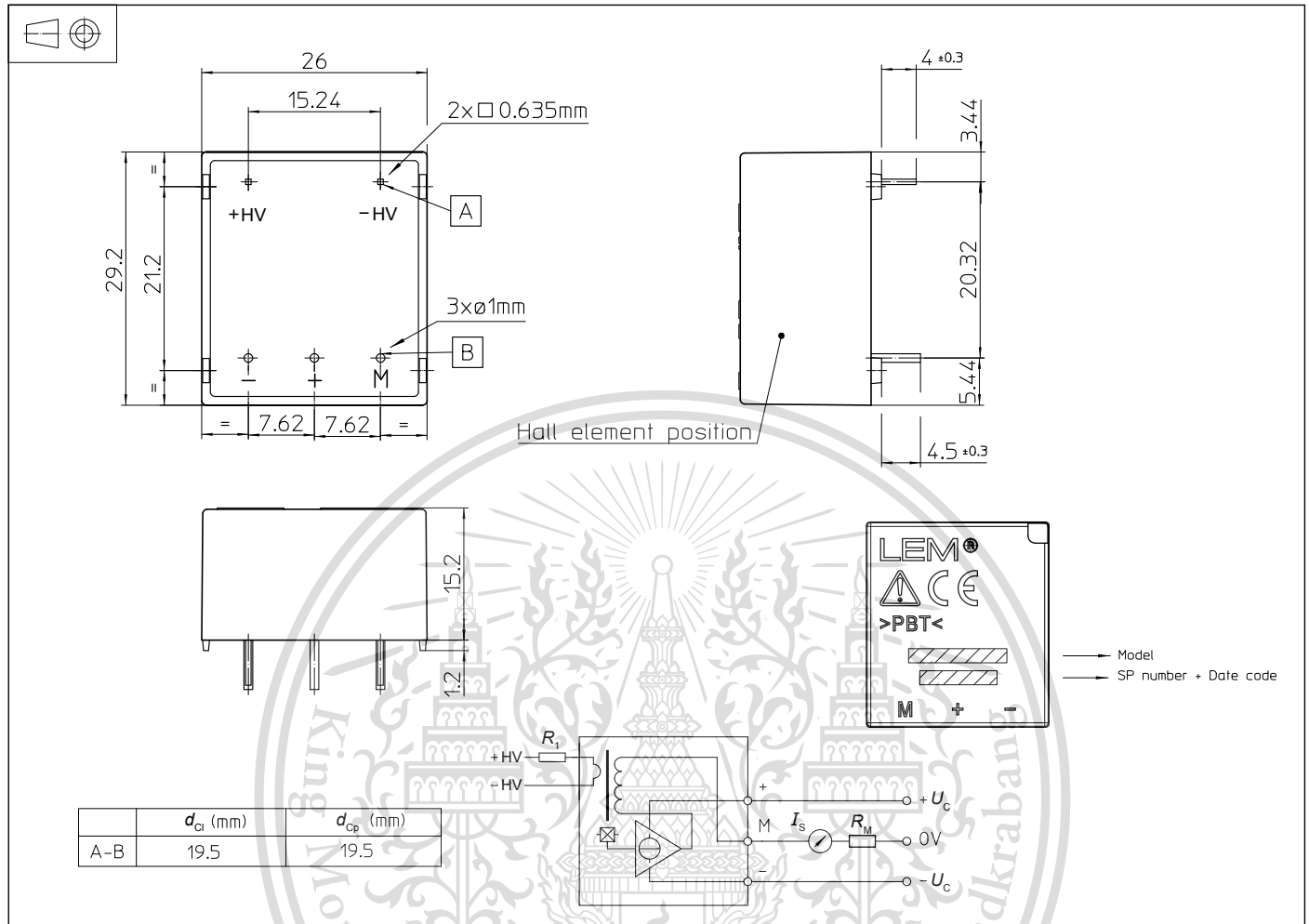
Marking

Only those products bearing the UL or UR Mark should be considered to be Listed or Recognized and covered under UL's Follow-Up Service. Always look for the Mark on the product.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Dimensions LV 25-P (in mm)



Mechanical characteristics

- General tolerance ± 0.2 mm
- Fastening & connection of primary 2 pins
0.635 × 0.635 mm
- Fastening & connection of secondary 3 pins $\varnothing 1$ mm
- Recommended PCB hole $\varnothing 1.2$ mm

Remarks

- I_S is positive when V_p is applied on terminal + HV.
- Installation of the transducer must be done unless otherwise specified on the datasheet, according to LEM Transducer Generic Mounting Rules. Please refer to LEM document N°ANE120504 available on our Web site: [Products/Product Documentation](#).
- This is a standard model. For different versions (supply voltages, turns ratios, unidirectional measurements...), please contact us.

Instructions for use of the voltage transducer model LV 25-P

Primary resistor R_1 : the transducer's optimum accuracy is obtained at the nominal primary current. As far as possible, R_1 should be calculated so that the nominal voltage to be measured corresponds to a primary current of 10 mA.

Example: Voltage to be measured $V_{PN} = 250$ V

a) $R_1 = 25$ k Ω / 2.5 W, $I_p = 10$ mA Accuracy = ± 0.9 % of V_{PN} (@ $T_A = +25$ °C)

b) $R_1 = 50$ k Ω / 1.25 W, $I_p = 5$ mA Accuracy = ± 1.5 % of V_{PN} (@ $T_A = +25$ °C)

Operating range (recommended): taking into account the resistance of the primary windings (which must remain low compared to R_1 , in order to keep thermal deviation as low as possible) and the insulation, this transducer is suitable for measuring nominal voltages from 10 to 500 V.

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

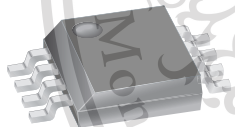
FEATURES AND BENEFITS

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kVRMS minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage



TÜV America
Certificate Number:
U8V 15 05 54214 038
CB 13 06 54214 026

Package: 8-Lead SOIC (suffix LC)



Not to scale

DESCRIPTION

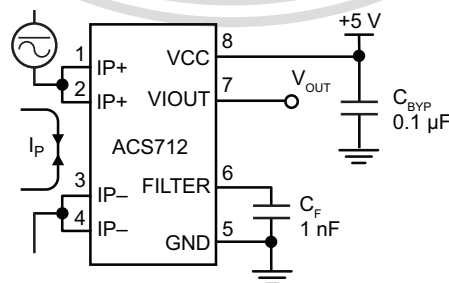
The Allegro™ ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switch-mode power supplies, and overcurrent fault protection. The device is not intended for automotive applications.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which the Hall IC converts into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($>V_{IOUT(Q)}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of

Continued on the next page...

Typical Application



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามลอกเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Application 1. The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sampled current, I_P , within the range specified. C_F is recommended for noise management, with values that depend on the application.

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

ACS712

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

DESCRIPTION (continued)

the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the signal leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 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 _{RCC}		-0.1	V
Output Voltage	V _{IOUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V _{RIOUT}		-0.1	V
Output Current Source	I _{IOUT(Source)}		3	mA
Output Current Sink	I _{IOUT(Sink)}		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I _p	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

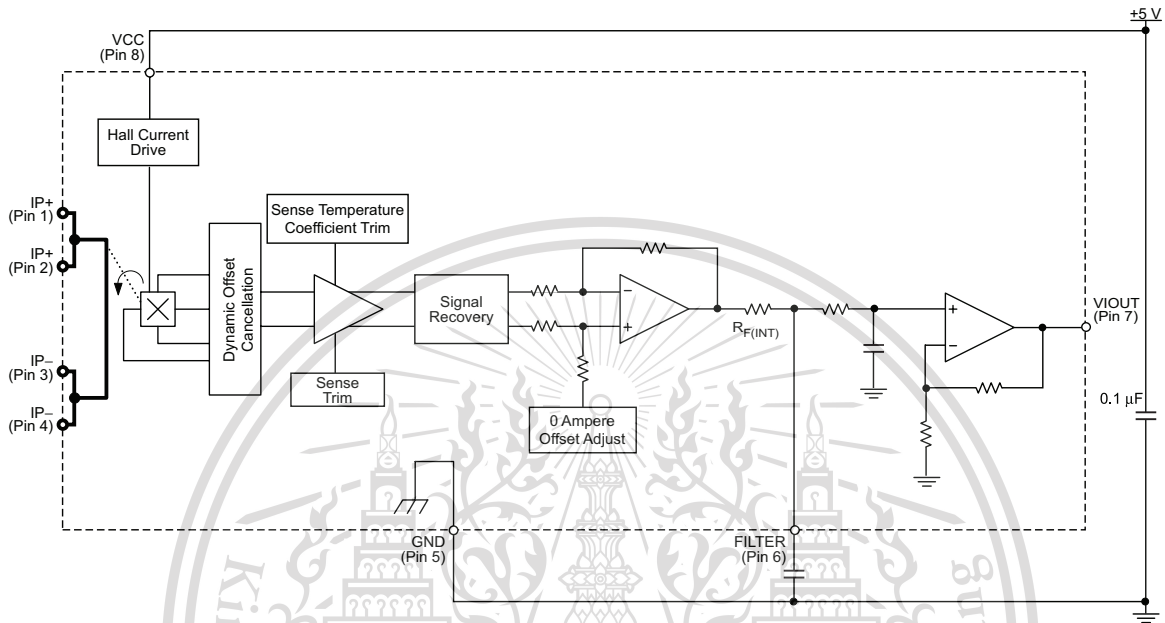
ISOLATION CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Unit
Dielectric Strength Test Voltage*	V _{ISO}	Agency type-tested for 60 seconds per UL standard 60950-1, 1st Edition	2100	VAC
Working Voltage for Basic Isolation	V _{WFSI}	For basic (single) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	354	VDC or V _{pk}
Working Voltage for Reinforced Isolation	V _{WFRI}	For reinforced (double) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	184	VDC or V _{pk}

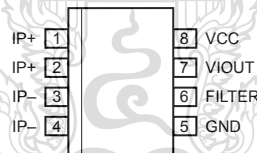
* Allegro does not conduct 60-second testing. It is done only during the UL certification process.

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

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



Pinout Diagram



Terminal List

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sampled; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sampled; 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

COMMON OPERATING CHARACTERISTICS [1]: Over full range of T_A , $C_F = 1$ 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}	V _{IOUT} to GND	–	–	10	nF
Output Resistive Load	R_{LOAD}	V _{IOUT} 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	$I_P = I_P(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_{OUT} = \text{open}$	–	3.5	–	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	$V_{IOUT(Q)}$	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

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

[2] 1G = 0.1 mT.

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

COMMON THERMAL CHARACTERISTICS [1]

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Internal Leadframe Temperature	T_A	E range	–40	–	85	$^\circ\text{C}$
Characteristic	Symbol	Test Conditions	Value		Units	
Junction-to-Lead Thermal Resistance [2]	$R_{\theta JL}$	Mounted on the Allegro ASEK 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		$^\circ\text{C/W}$	

[1] Additional thermal information is available on the Allegro website.

[2] The 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

x05B PERFORMANCE CHARACTERISTICS [1]: $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1\text{ nF}$, 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	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ 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	-	%

[1] Device 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.

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

x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS [1]: $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1\text{ nF}$, 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	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ 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	-	%

[1] Device 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.

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

x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS [1]: $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1\text{ nF}$, 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 , $T_A = 25^\circ\text{C}$	63	66	69	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	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ 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	-	%

[1] Device 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.

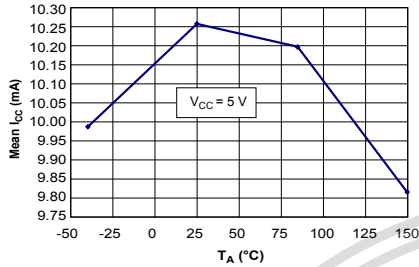
[2] Percentage of I_P , with $I_P = 30\text{ A}$. Output filtered.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

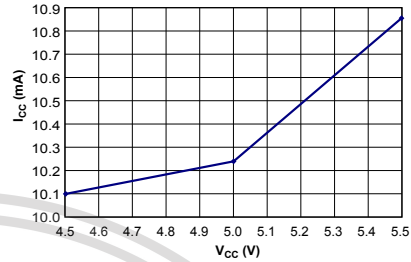
CHARACTERISTIC PERFORMANCE

$I_P = 5\text{ A}$, unless otherwise specified

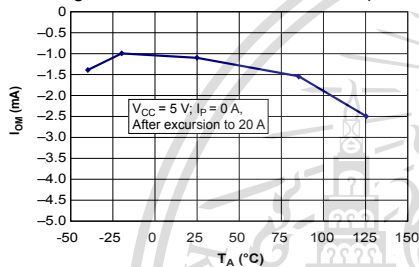
Mean Supply Current versus Ambient Temperature



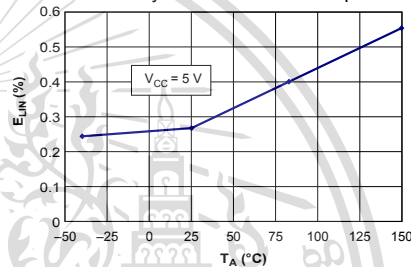
Supply Current versus Supply Voltage



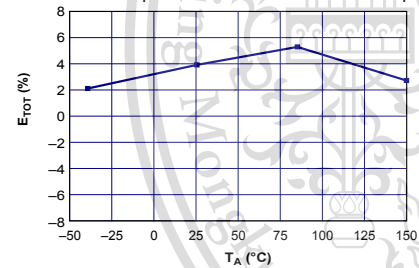
Magnetic Offset versus Ambient Temperature



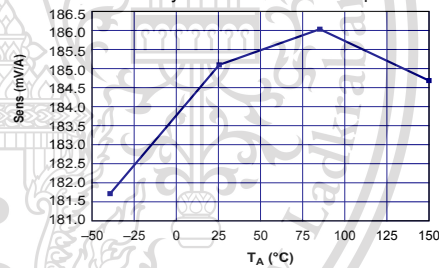
Nonlinearity versus Ambient Temperature



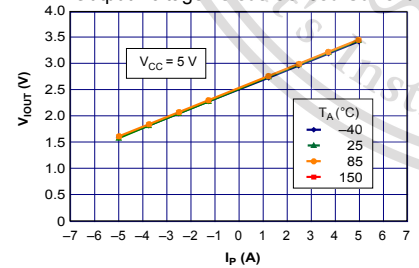
Mean Total Output Error versus Ambient Temperature



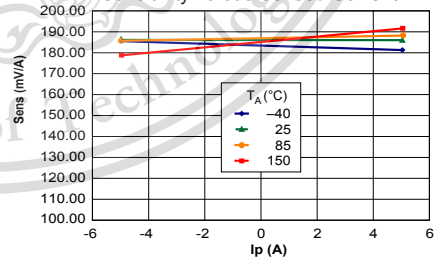
Sensitivity versus Ambient Temperature



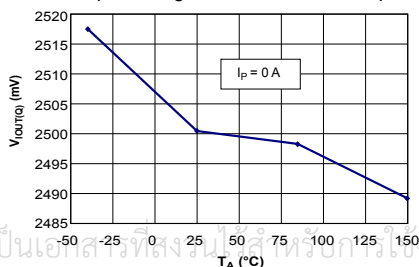
Output Voltage versus Sensed Current



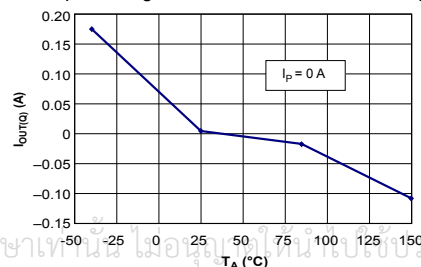
Sensitivity versus Sensed Current



0 A Output Voltage versus Ambient Temperature



0 A Output Voltage Current versus Ambient Temperature

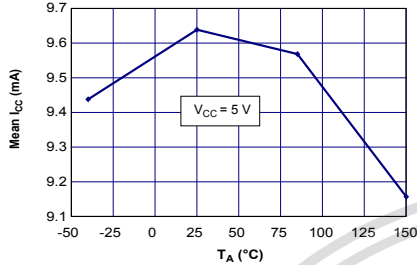


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

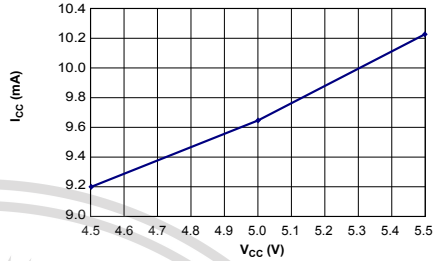
CHARACTERISTIC PERFORMANCE

$I_p = 20$ A, unless otherwise specified

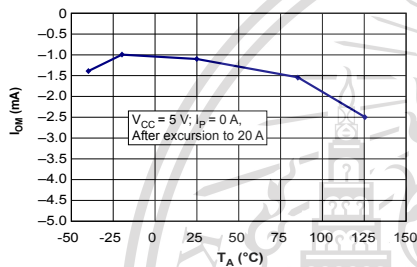
Mean Supply Current versus Ambient Temperature



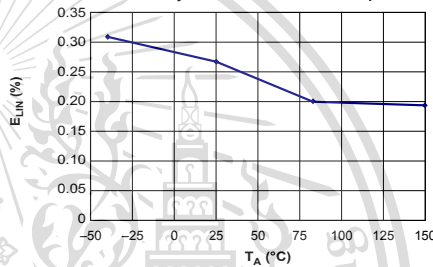
Supply Current versus Supply Voltage



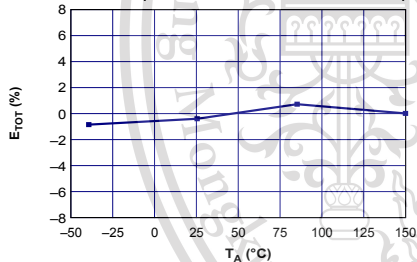
Magnetic Offset versus Ambient Temperature



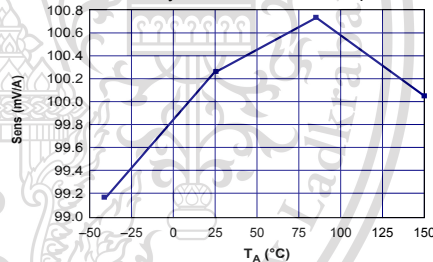
Nonlinearity versus Ambient Temperature



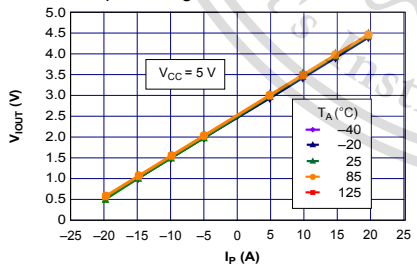
Mean Total Output Error versus Ambient Temperature



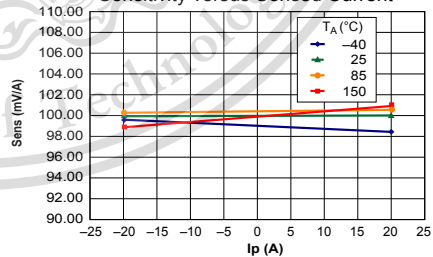
Sensitivity versus Ambient Temperature



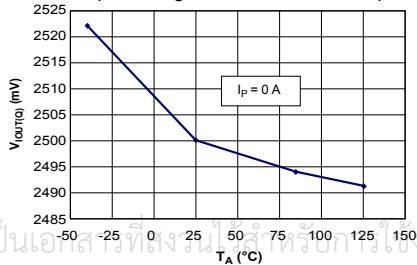
Output Voltage versus Sensed Current



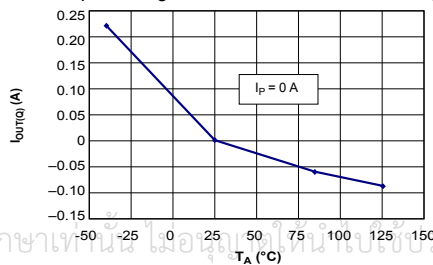
Sensitivity versus Sensed Current



0 A Output Voltage versus Ambient Temperature



0 A Output Voltage Current versus Ambient Temperature

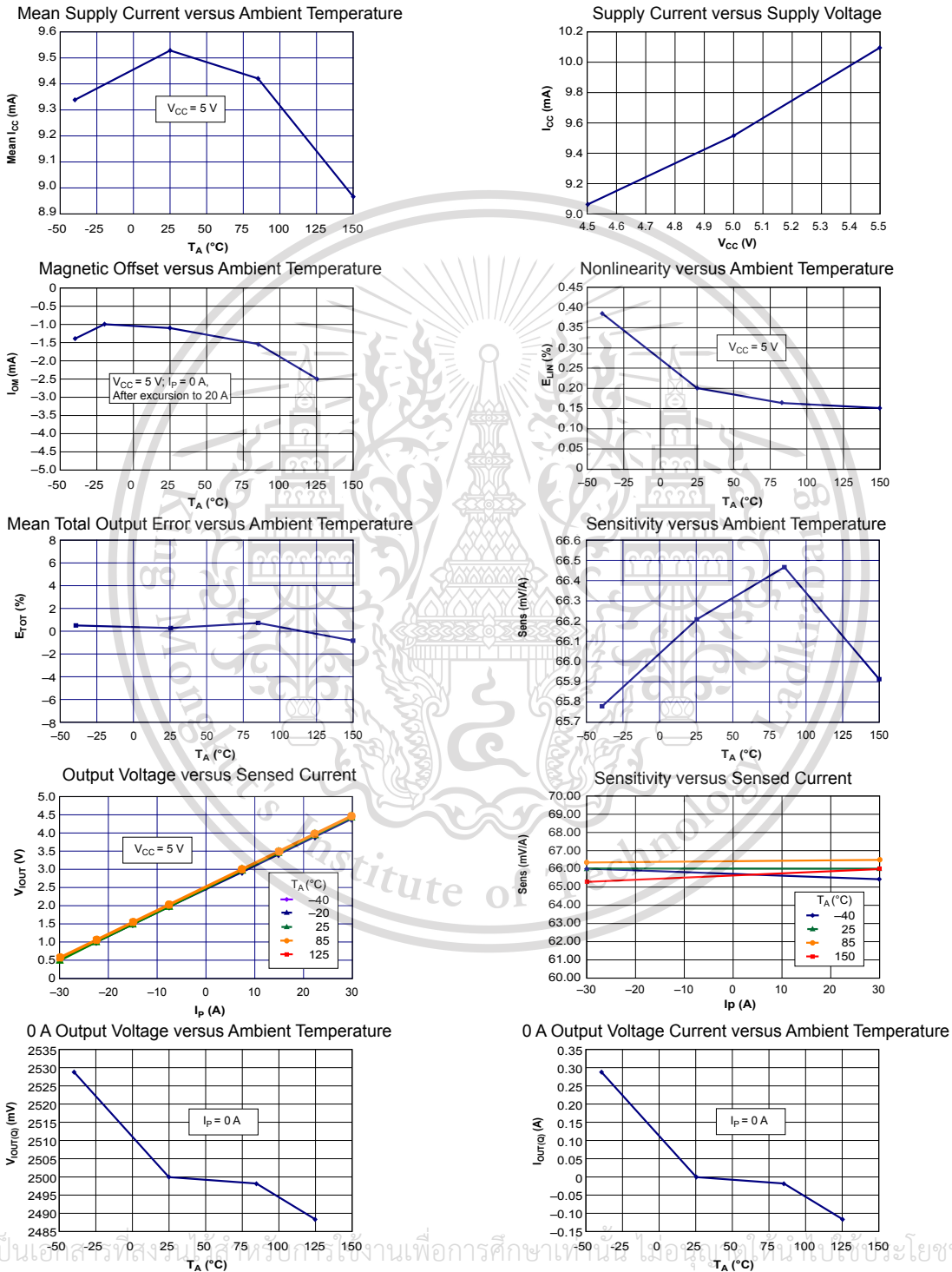


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังภายนอก
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

CHARACTERISTIC PERFORMANCE

$I_p = 30$ A, unless otherwise specified



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังภายนอก
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

DEFINITIONS OF ACCURACY CHARACTERISTICS

Sensitivity (Sens). The change in device output in response to a 1 A change through the primary conductor. The sensitivity is the product of the magnetic circuit sensitivity (G/A) and the linear IC amplifier gain (mV/G). The linear IC amplifier gain is programmed at the factory to optimize the sensitivity (mV/A) for the full-scale current of the device.

Noise (V_{NOISE}). The product of the linear IC amplifier gain (mV/G) and the noise floor for the Allegro Hall effect linear IC (≈ 1 G). The noise floor is derived from the thermal and shot noise observed in Hall elements. Dividing the noise (mV) by the sensitivity (mV/A) provides the smallest current that the device is able to resolve.

Linearity (E_{LIN}). The degree to which the voltage output from the IC varies in direct proportion to the primary current through its full-scale amplitude. Nonlinearity in the output can be attributed to the saturation of the flux concentrator approaching the full-scale current. The following equation is used to derive the linearity:

$$100 \left\{ 1 - \left[\frac{\Delta \text{gain} \times \% \text{ sat} (V_{\text{IOUT_full-scale amperes}} - V_{\text{IOUT(Q)}})}{2 (V_{\text{IOUT_half-scale amperes}} - V_{\text{IOUT(Q)}})} \right] \right\}$$

where $V_{\text{IOUT_full-scale amperes}}$ = the output voltage (V) when the sampled current approximates full-scale $\pm I_p$.

Symmetry (E_{SYM}). The degree to which the absolute voltage output from the IC varies in proportion to either a positive or negative full-scale primary current. The following formula is used to derive symmetry:

$$100 \left(\frac{V_{\text{IOUT_+ full-scale amperes}} - V_{\text{IOUT(Q)}}}{V_{\text{IOUT(Q)}} - V_{\text{IOUT_full-scale amperes}}} \right)$$

Quiescent output voltage (V_{IOUT(Q)}). The output of the device when the primary current is zero. For a unipolar supply voltage, it nominally remains at $V_{CC}/2$. Thus, $V_{CC} = 5$ V translates into $V_{\text{IOUT(Q)}} = 2.5$ V. Variation in $V_{\text{IOUT(Q)}}$ can be attributed to the resolution of the Allegro linear IC quiescent voltage trim and thermal drift.

Electrical offset voltage (V_{OE}). The deviation of the device output from its ideal quiescent value of $V_{CC}/2$ due to nonmagnetic causes. To convert this voltage to amperes, divide by the device sensitivity, Sens.

Accuracy (E_{TOT}). The accuracy represents the maximum deviation of the actual output from its ideal value. This is also known as the total output error. The accuracy is illustrated graphically in the output voltage versus current chart at right.

Accuracy is divided into four areas:

- **0 A at 25°C.** Accuracy at the zero current flow at 25°C, without the effects of temperature.
- **0 A over Δ temperature.** Accuracy at the zero current flow including temperature effects.
- **Full-scale current at 25°C.** Accuracy at the the full-scale current at 25°C, without the effects of temperature.
- **Full-scale current over Δ temperature.** Accuracy at the full-scale current flow including temperature effects.

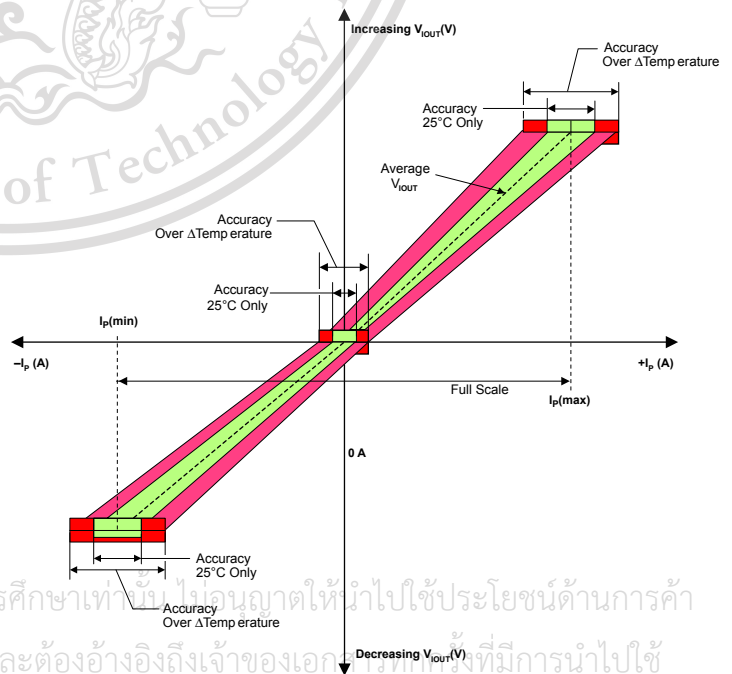
Ratiometry. The ratiometric feature means that its 0 A output, $V_{\text{IOUT(Q)}}$, (nominally equal to $V_{CC}/2$) and sensitivity, Sens, are proportional to its supply voltage, V_{CC} . The following formula is used to derive the ratiometric change in 0 A output voltage, $\Delta V_{\text{IOUT(Q)RAT}}$ (%).

$$100 \left(\frac{V_{\text{IOUT(Q)}/V_{CC}} / V_{\text{IOUT(Q)}/5V}}{V_{CC} / 5V} \right)$$

The ratiometric change in sensitivity, $\Delta \text{Sens}_{\text{RAT}}$ (%), is defined as:

$$100 \left(\frac{\text{Sens}_{V_{CC}} / \text{Sens}_{5V}}{V_{CC} / 5V} \right)$$

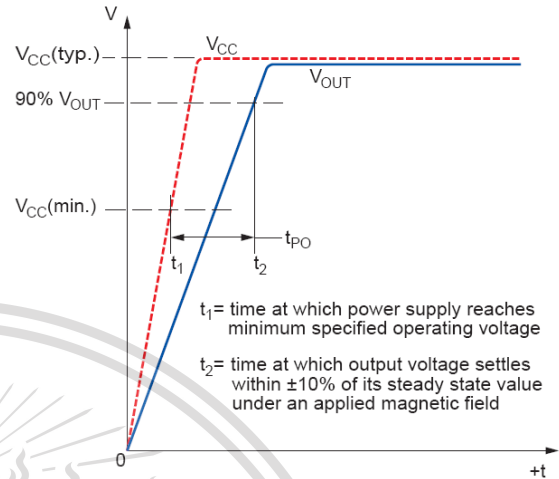
Output Voltage versus Sampled Current
Accuracy at 0 A and at Full-Scale Current



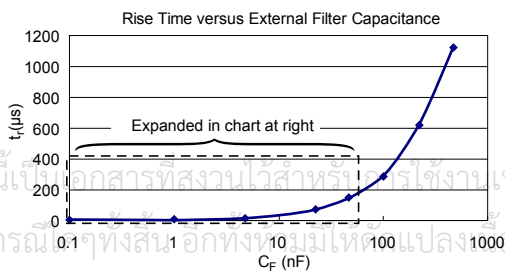
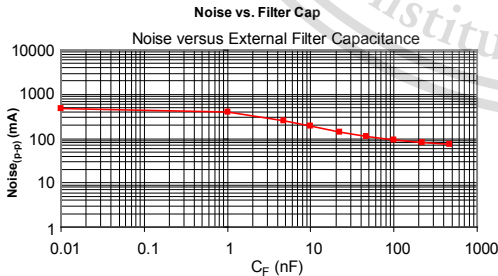
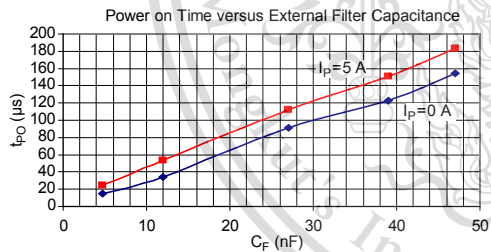
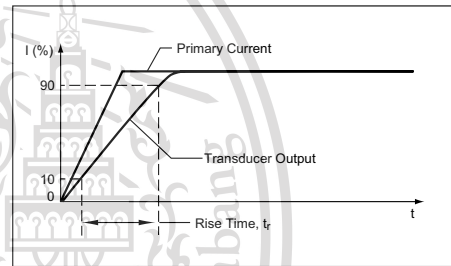
การจ้างงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEFINITIONS OF DYNAMIC RESPONSE CHARACTERISTICS

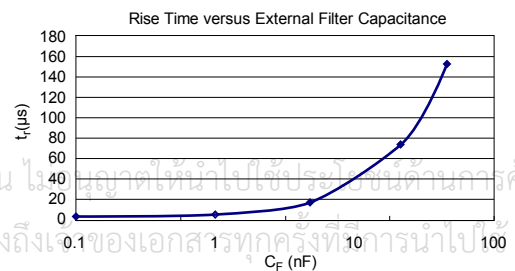
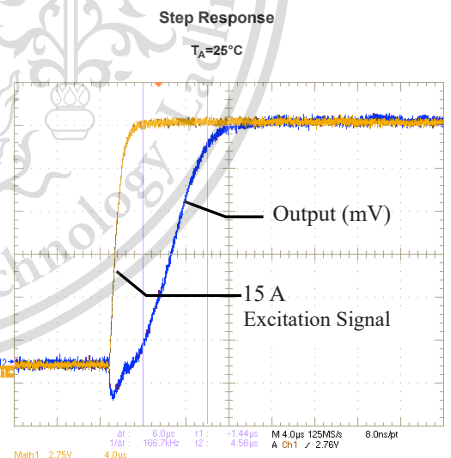
Power-On Time (t_{PO}). When the supply is ramped to its operating voltage, the device requires a finite time to power its internal components before responding to an input magnetic field. Power-On Time, t_{PO} , is defined as the time it takes for the output voltage to settle within $\pm 10\%$ of its steady state value under an applied magnetic field, after the power supply has reached its minimum specified operating voltage, $V_{CC(min)}$, as shown in the chart at right.



Rise time (t_r). The time interval between a) when the device reaches 10% of its full scale value, and b) when it reaches 90% of its full scale value. The rise time to a step response is used to derive the bandwidth of the device, in which $f(-3 \text{ dB}) = 0.35/t_r$. Both t_r and $t_{RESPONSE}$ are detrimentally affected by eddy current losses observed in the conductive IC ground plane.



C_F (nF)	t_r (µs)
Open	3.5
1	5.8
4.7	17.5
22	73.5
47	88.2
100	291.3
220	623
470	1120

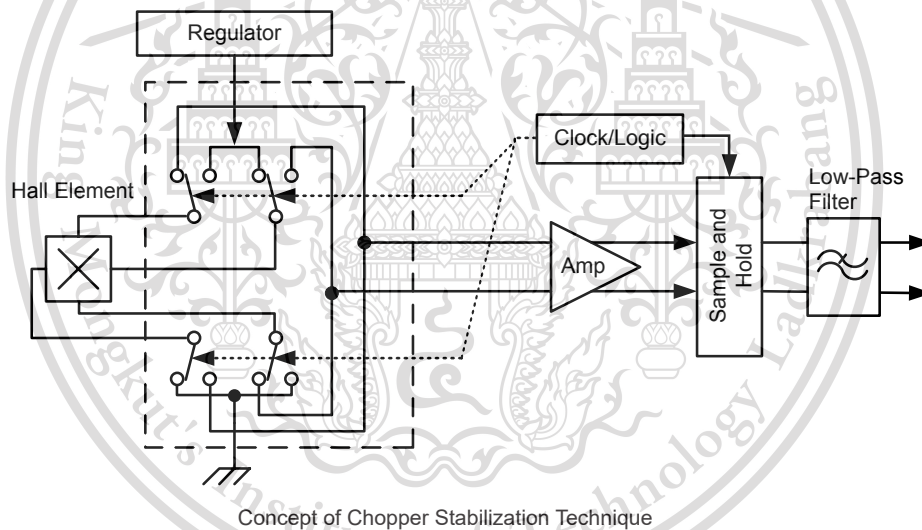


CHOPPER STABILIZATION TECHNIQUE

Chopper Stabilization is an innovative circuit technique that is used to minimize the offset voltage of a Hall element and an associated on-chip amplifier. Allegro has a Chopper Stabilization technique that nearly eliminates Hall IC output drift induced by temperature or package stress effects. This offset reduction technique is based on a signal modulation-demodulation process. Modulation is used to separate the undesired DC offset signal from the magnetically induced signal in the frequency domain. Then, using a low-pass filter, the modulated DC offset is suppressed while the magnetically induced signal passes through

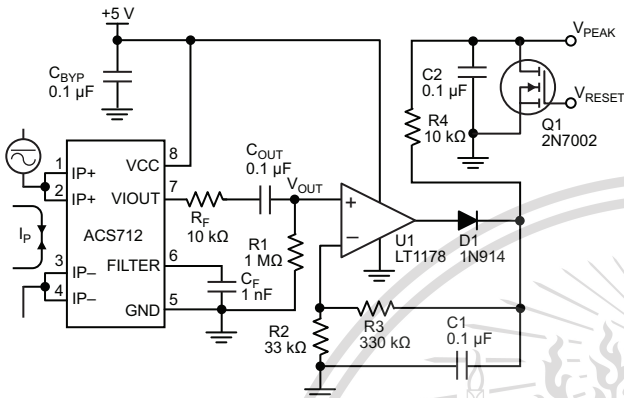
the filter. As a result of this chopper stabilization approach, the output voltage from the Hall IC is desensitized to the effects of temperature and mechanical stress. This technique produces devices that have an extremely stable Electrical Offset Voltage, are immune to thermal stress, and have precise recoverability after temperature cycling.

This technique is made possible through the use of a BiCMOS process that allows the use of low-offset and low-noise amplifiers in combination with high-density logic integration and sample and hold circuits.

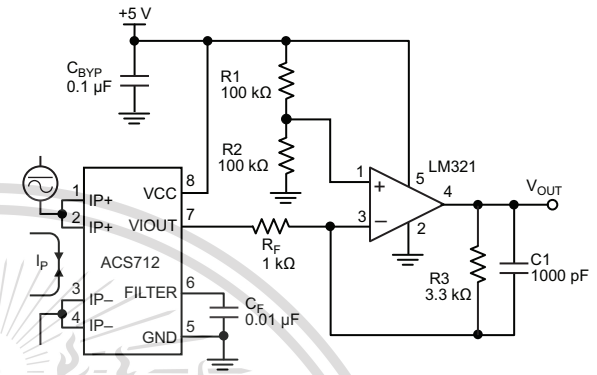


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

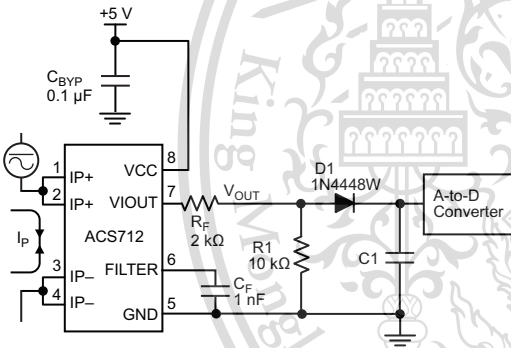
TYPICAL APPLICATIONS



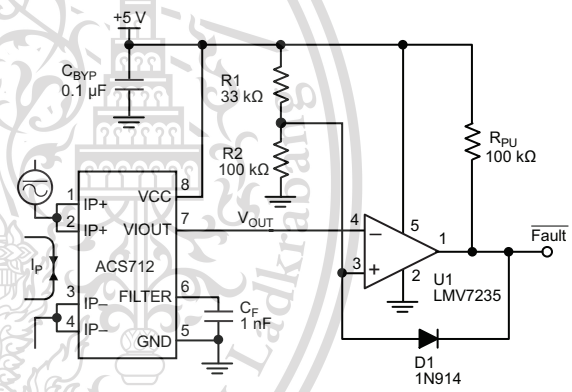
Application 2. Peak Detecting Circuit



Application 3. This configuration increases gain to 610 mV/A (tested using the ACS712ELC-05A).



Application 4. Rectified Output. 3.3 V scaling and rectification application for A-to-D converters. Replaces current transformer solutions with simpler ACS circuit. C1 is a function of the load resistance and filtering desired. R1 can be omitted if the full range is desired.



Application 5. 10 A Overcurrent Fault Latch. Fault threshold set by R1 and R2. This circuit latches an overcurrent fault and holds it until the 5 V rail is powered down.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPROVING SENSING SYSTEM ACCURACY USING THE FILTER PIN

In low-frequency sensing applications, it is often advantageous to add a simple RC filter to the output of the device. Such a low-pass filter improves the signal-to-noise ratio, and therefore the resolution, of the device output signal. However, the addition of an RC filter to the output of a sensor IC can result in undesirable device output attenuation — even for DC signals.

Signal attenuation, ΔV_{ATT} , is a result of the resistive divider effect between the resistance of the external filter, R_F (see Application 6), and the input impedance and resistance of the customer interface circuit, R_{INTFC} . The transfer function of this resistive divider is given by:

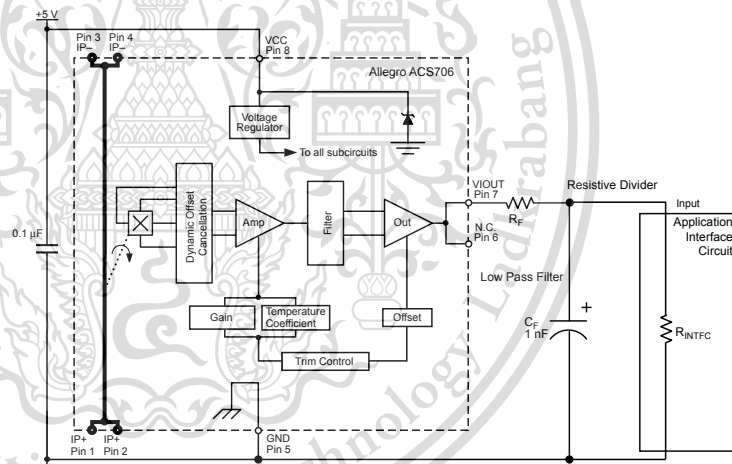
$$\Delta V_{ATT} = V_{OUT} \left(\frac{R_{INTFC}}{R_F + R_{INTFC}} \right)$$

Even if R_F and R_{INTFC} are designed to match, the two individual resistance values will most likely drift by different amounts over

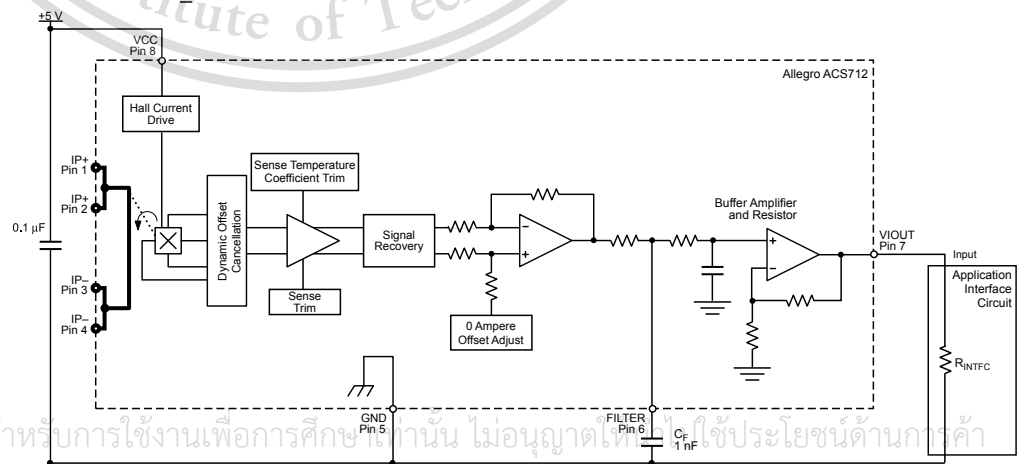
temperature. Therefore, signal attenuation will vary as a function of temperature. Note that, in many cases, the input impedance, R_{INTFC} , of a typical analog-to-digital converter (ADC) can be as low as 10 k Ω .

The ACS712 contains an internal resistor, a FILTER pin connection to the printed circuit board, and an internal buffer amplifier. With this circuit architecture, users can implement a simple RC filter via the addition of a capacitor, C_F (see Application 7) from the FILTER pin to ground. The buffer amplifier inside of the ACS712 (located after the internal resistor and FILTER pin connection) eliminates the attenuation caused by the resistive divider effect described in the equation for ΔV_{ATT} . Therefore, the ACS712 device is ideal for use in high-accuracy applications that cannot afford the signal attenuation associated with the use of an external RC low-pass filter.

Application 6. When a low pass filter is constructed externally to a standard Hall effect device, a resistive divider may exist between the filter resistor, R_F , and the resistance of the customer interface circuit, R_{INTFC} . This resistive divider will cause excessive attenuation, as given by the transfer function for ΔV_{ATT} .

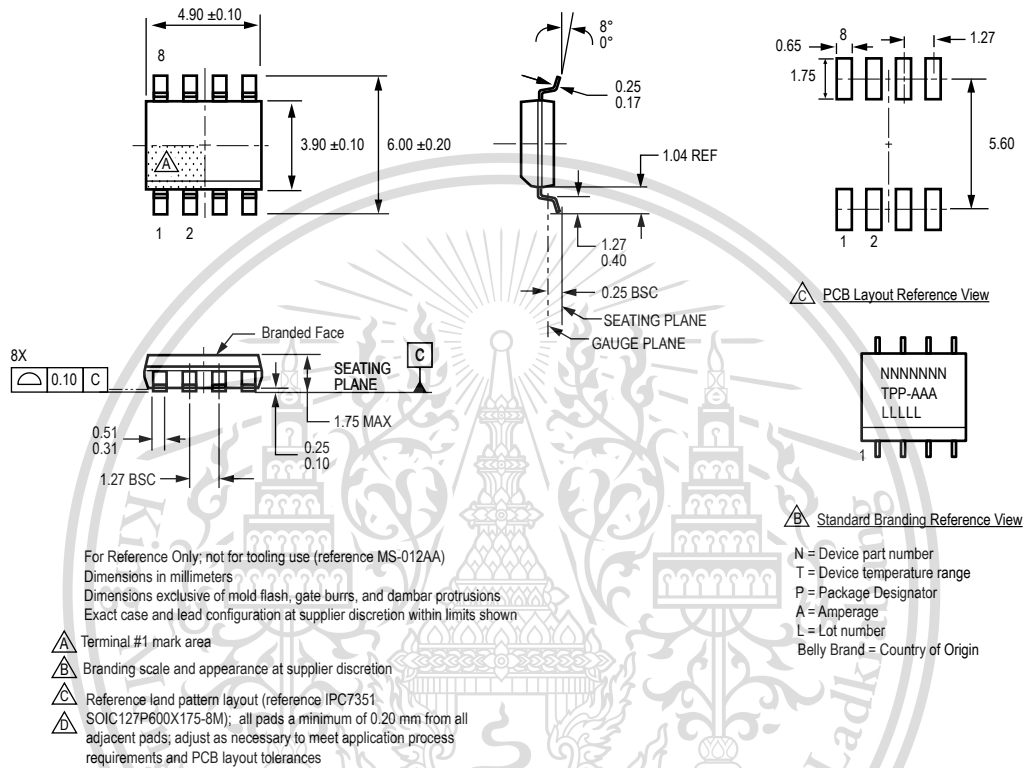


Application 7. Using the FILTER pin provided on the ACS712 eliminates the attenuation effects of the resistor divider between R_F and R_{INTFC} , shown in Application 6.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ผู้อื่นใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package LC, 8-pin SOIC



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

REVISION HISTORY

Number	Date	Description
15	November 16, 2012	Update rise time and isolation, I _{OUT} reference data, patents
16	June 5, 2017	Updated product status
17	December 10, 2018	Updated certificate numbers
18	May 17, 2019	Updated TUV certificate mark, and minor editorial updates
19	January 30, 2020	Updated product status and minor editorial updates



The products described herein are protected by U.S. patents: 5,621,319; 7,598,601; and 7,709,754.

Copyright 2020, Allegro MicroSystems.

Allegro MicroSystems reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the performance, reliability, or manufacturability of its products. Before placing an order, the user is cautioned to verify that the information being relied upon is current.

Allegro's products are not to be used in any devices or systems, including but not limited to life support devices or systems, in which a failure of Allegro's product can reasonably be expected to cause bodily harm.

The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems assumes no responsibility for its use; nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use.

Copies of this document are considered uncontrolled documents.

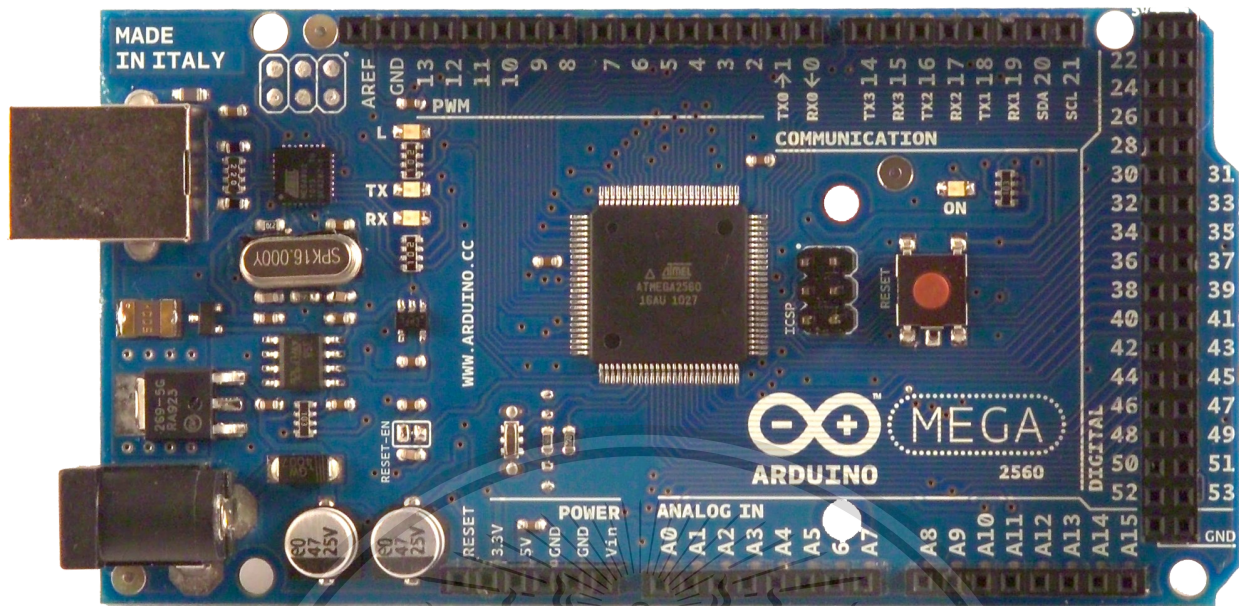
For the latest version of this document, visit our website:

www.allegromicro.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Arduino MEGA 2560



Product Overview

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 ([datasheet](#)). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.

Index

Technical Specifications

Page 2

How to use Arduino
Programming Environment, Basic Tutorials

Page 6

Terms & Conditions

Page 7

Environmental Policies
half sqm of green via Impatto Zero®

Page 7

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



radiospares RADIONICS



Technical Specification

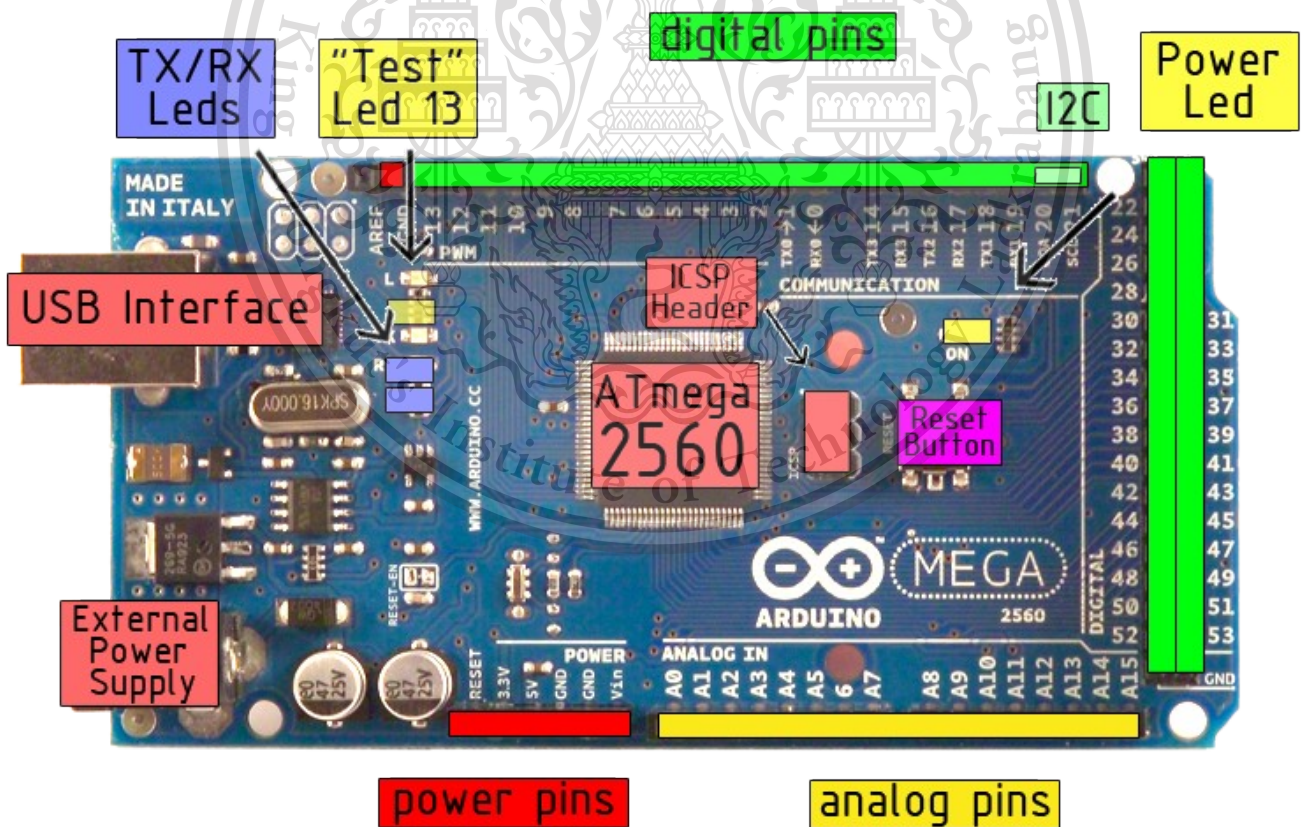


EAGLE files: [arduino-mega2560-reference-design.zip](#) Schematic: [arduino-mega2560-schematic.pdf](#)

Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

the board



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



radiospares

RADIONICS



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 Mega2560 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 Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

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 ATmega2560 has 256 KB of flash memory for storing code (of which 8 KB is used for the bootloader), 8 KB of SRAM and 4 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 54 digital pins on the Mega 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); Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. Pins 0 and 1 are also connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), and 21 (interrupt 2).** 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: 0 to 13.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS).** These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language. The SPI pins are also broken out on the ICSP header, which is physically compatible with the Duemilanove and Diecimila.
- **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.
- **I²C: 20 (SDA) and 21 (SCL).** Support I²C (TWI) communication using the [Wire library](#) (documentation on the Wiring website). Note that these pins are not in the same location as the I²C pins on the Duemilanove.

The Mega2560 has 16 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 [analogReference\(\)](#) function.

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.



radiospares

RADIONICS



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

Communication

The Arduino Mega2560 has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega2560 provides four hardware UARTs for TTL (5V) serial communication. An ATmega8U2 on the board channels one of these over USB and provides a virtual com port to software on the computer (Windows machines will need a .inf file, but OSX and Linux machines will recognize the board as a COM port automatically). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the ATmega8U2 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 Mega's digital pins.

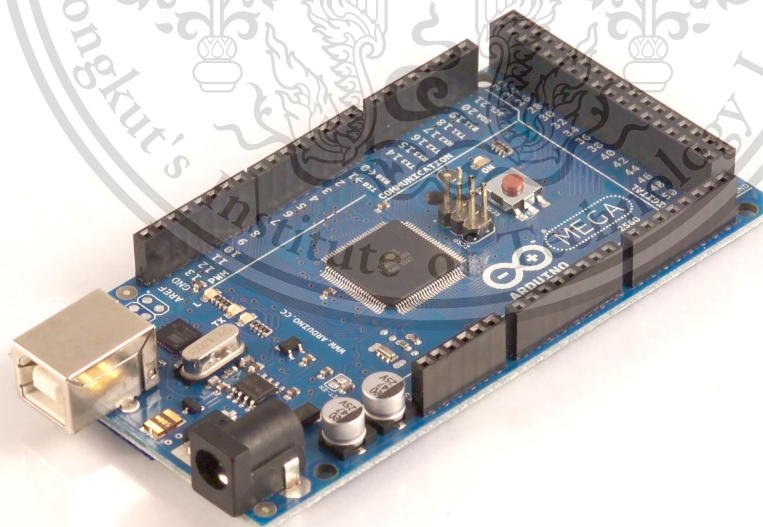
The ATmega2560 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation on the Wiring website](#) for details. To use the SPI communication, please see the ATmega2560 datasheet.

Programming

The Arduino Mega2560 can be programmed with the Arduino software ([download](#)). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega2560 on the Arduino Mega 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.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่  **Radiospares** **RADIONICS**  **ALLIED ELECTRONICS**
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 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.

Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Mega2560 is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2 is connected to the reset line of the ATmega2560 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Mega2560 is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Mega2560. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Mega contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

USB Overcurrent Protection

The Arduino Mega has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics and Shield Compatibility

The maximum length and width of the Mega PCB are 4 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Three screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

The Mega is designed to be compatible with most shields designed for the Diecimila or Duemilanove. Digital pins 0 to 13 (and the adjacent AREF and GND pins), analog inputs 0 to 5, the power header, and ICSP header are all in equivalent locations. Further the main UART (serial port) is located on the same pins (0 and 1), as are external interrupts 0 and 1 (pins 2 and 3 respectively). SPI is available through the ICSP header on both the Mega and Duemilanove / Diecimila. **Please note that I²C is not located on the same pins on the Mega (20 and 21) as the Duemilanove / Diecimila (analog inputs 4 and 5).**

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.



radiospares

RADIONICS



How to use Arduino



Arduino can sense the environment by receiving input from a variety of sensors and can affect its surroundings by controlling lights, motors, and other actuators. The microcontroller on the board is programmed using the [Arduino programming language](#) (based on [Wiring](#)) and the Arduino development environment (based on [Processing](#)). Arduino projects can be stand-alone or they can communicate with software on running on a computer (e.g. Flash, Processing, MaxMSP).

Arduino is a cross-platform program. You'll have to follow different instructions for your personal OS. Check on the [Arduino site](#) for the latest instructions. <http://arduino.cc/en/Guide/HomePage>

Linux Install

Windows Install

Mac Install

Once you have downloaded/unzipped the arduino IDE, you can Plug the Arduino to your PC via USB cable.

Blink led

Now you're actually ready to "burn" your first program on the arduino board. To select "blink led", the physical translation of the well known programming "hello world", select

**File>Sketchbook>
Arduino-0017>Examples>
Digital>Blink**

Once you have your sketch you'll see something very close to the screenshot on the right.

In **Tools>Board** select MEGA

Now you have to go to **Tools>SerialPort** and select the right serial port, the one arduino is attached to.

```
Blink | Arduino 0017
File Edit Sketch Tools Help
Blinks
int ledPin = 13; // LED connected to digital pin 13
// The setup() method runs once, when the sketch starts
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output:
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
}
// the loop() method runs over and over again,
// as long as the Arduino has power
void loop() {
  digitalWrite(ledPin, HIGH); // set the LED on
  delay(1000); // wait for a second
  digitalWrite(ledPin, LOW); // set the LED off
  delay(1000); // wait for a second
}
```



Done compiling.

Press Compile button
(to check for errors)



Upload



TX RX Flashing



Blinking Led!

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

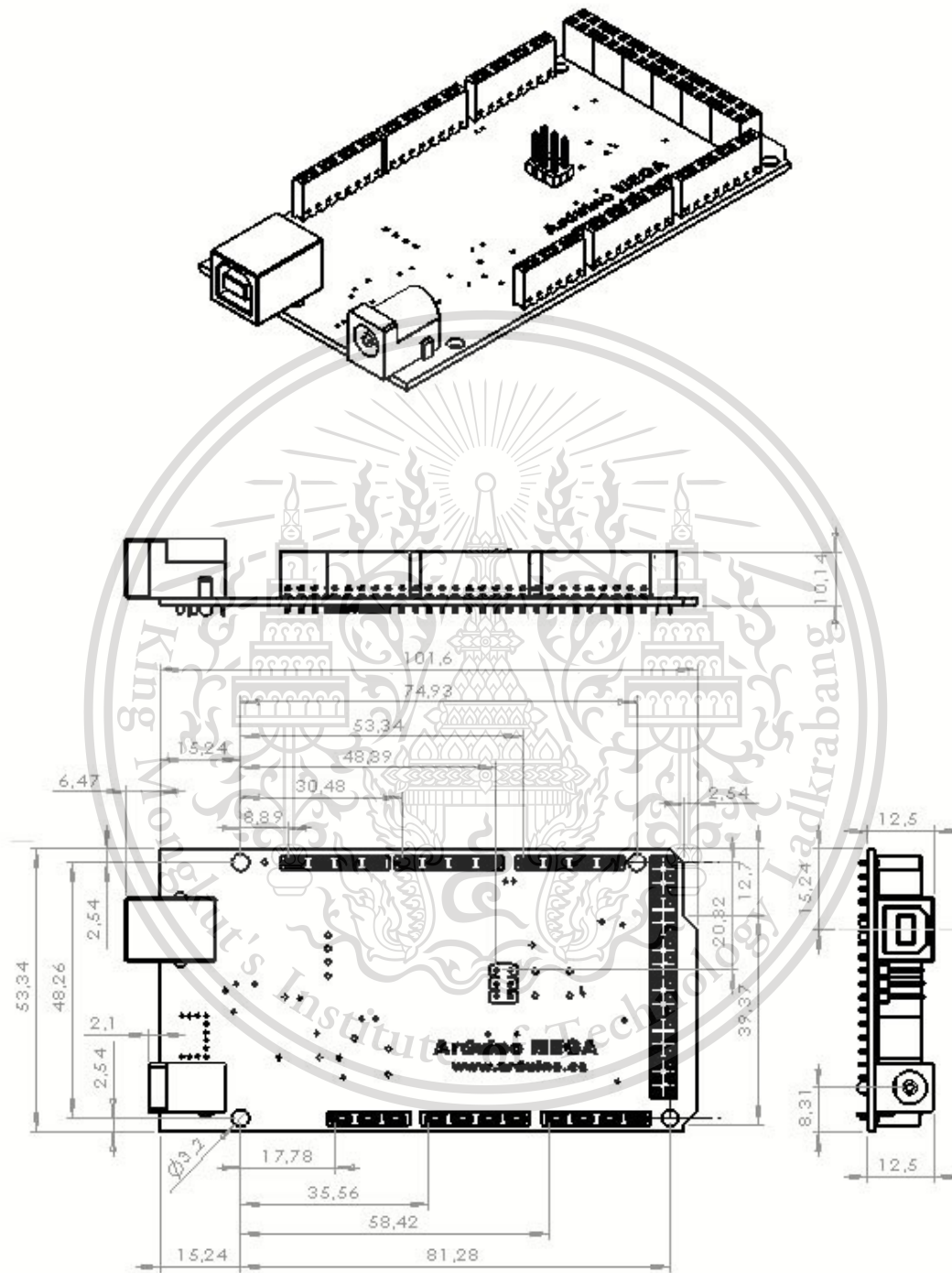
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.



Radiospares

RADIONICS





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
Radiospares RADIONICS



Terms & Conditions



1. Warranties

1.1 The producer warrants that its products will conform to the Specifications. This warranty lasts for one (1) years from the date of the sale. The producer shall not be liable for any defects that are caused by neglect, misuse or mistreatment by the Customer, including improper installation or testing, or for any products that have been altered or modified in any way by a Customer. Moreover, The producer shall not be liable for any defects that result from Customer's design, specifications or instructions for such products. Testing and other quality control techniques are used to the extent the producer deems necessary.

1.2 If any products fail to conform to the warranty set forth above, the producer's sole liability shall be to replace such products. The producer's liability shall be limited to products that are determined by the producer not to conform to such warranty. If the producer elects to replace such products, the producer shall have a reasonable time to replacements. Replaced products shall be warranted for a new full warranty period.

1.3 EXCEPT AS SET FORTH ABOVE, PRODUCTS ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS." THE PRODUCER DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE

1.4 Customer agrees that prior to using any systems that include the producer products, Customer will test such systems and the functionality of the products as used in such systems. The producer may provide technical, applications or design advice, quality characterization, reliability data or other services. Customer acknowledges and agrees that providing these services shall not expand or otherwise alter the producer's warranties, as set forth above, and no additional obligations or liabilities shall arise from the producer providing such services.

1.5 The Arduino™ products are not authorized for use in safety-critical applications where a failure of the product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death. Safety-Critical Applications include, without limitation, life support devices and systems, equipment or systems for the operation of nuclear facilities and weapons systems. Arduino™ products are neither designed nor intended for use in military or aerospace applications or environments and for automotive applications or environment. Customer acknowledges and agrees that any such use of Arduino™ products which is solely at the Customer's risk, and that Customer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

1.6 Customer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products and any use of Arduino™ products in Customer's applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by the producer.

2. Indemnification

The Customer acknowledges and agrees to defend, indemnify and hold harmless the producer from and against any and all third-party losses, damages, liabilities and expenses it incurs to the extent directly caused by: (i) an actual breach by a Customer of the representation and warranties made under this terms and conditions or (ii) the gross negligence or willful misconduct by the Customer.

3. Consequential Damages Waiver

In no event the producer shall be liable to the Customer or any third parties for any special, collateral, indirect, punitive, incidental, consequential or exemplary damages in connection with or arising out of the products provided hereunder, regardless of whether the producer has been advised of the possibility of such damages. This section will survive the termination of the warranty period.

4. Changes to specifications

The producer may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined." The producer reserves these for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this information.



Environmental Policies



The producer of Arduino™ has joined the Impatto Zero® policy of LifeGate.it. For each Arduino board produced is created / looked after half squared Km of Costa Rica's forest's.

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหา 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.



radiospares

RADIONICS



ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล จิระพงศ์ ทองน้อย
วัน เดือน ปีเกิด 2 มิถุนายน พ.ศ. 2541
ที่อยู่ 101 หมู่ 5 ต. หวายเหนียว อ.ท่ามะกา
จ. กาญจนบุรี 71120

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2559 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสารสิทธิ์พิทยาลัย

ปีการศึกษา 2563 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ฝึกงานภาคฤดูร้อน ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง



ชื่อ-นามสกุล ณัฐพล มะปัญญา
วัน เดือน ปีเกิด 4 มกราคม พ.ศ. 2542
ที่อยู่ 124/134 ถนนเสือป่า ต.หน้าเมือง อ.เมือง
ราชบุรี จ.ราชบุรี 70000

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2559 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเบญจมราชูทิศ
ราชบุรี

ปีการศึกษา 2563 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด

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-นามสกุล ปรีดา ชมภูไชยเกิด
 วัน เดือน ปีเกิด 7 พฤศจิกายน พ.ศ. 2541
 ที่อยู่ 18 ซอยเอกชัย 76 ถนนเอกชัย แขวงบางบอน
 เขตบางบอน จ.กรุงเทพฯ 10150

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2559 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย
 ปีการศึกษา 2563 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ฝึกงานภาคฤดูร้อน ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, 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.