รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การออกแบบชุดทดสอบวัดกระแสไฟฟ้าสำหรับประแจกลไฟฟ้า S700K
The Design of Current Detector for Point Machine S700K

นายปวราสิทธิ์ ทรัพย์สัณฐิติกุล
นายเสกสรรค์ ชูเปรม

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การออกแบบชุดทดสอบวัดกระแสไฟฟ้าสำหรับประแจกลไฟฟ้า S700K

The Design of Current Detector for Point Machine S700K

นายปวราสิทธิ์ ทรัพย์สัณฐิติกุล

นายเสกสรรค์ ชูเปรม

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2561
สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบชุดทดสอบวัดกระแสไฟฟ้า สำหรับประแจกลไฟฟ้า S700K
The Design and Construction of Current Detector Device for Point Machine S700K

ผู้จัดทำ
1.นายปวราสิทธิ์ ทรัพย์สัณฐิติกุล รหัสประจำตัว 58010757
2.นายเสกสรรค์ ชูเปรม รหัสประจำตัว 58011375

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.ณัฐวุฒิ เรืองตระกูล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบชุดทดสอบวัดกระแสไฟฟ้า สำหรับประแจกลไฟฟ้า S700K

นายปวราสิทธิ์ ทรัพย์สัณฐิติกุล 58010757
นายเสกสรรค์ ชูเปรม 58011375
ดร.ณัฐวุฒิ เรืองตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ดร.อุนนัต พิณโสภณ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

โครงงานนี้นำเสนอการศึกษาการทำงานของประแจสับรางกลไฟฟ้า S700K และทำการออกแบบและสร้างชุดทดสอบวัดกระแสไฟฟ้า 3 เฟส ของตัวมอเตอร์ประแจสับรางกลไฟฟ้า S700K เพื่อศึกษาการทำงานของมอเตอร์ประแจสับรางกลไฟฟ้า โดยนำไปทดสอบติดตั้งในห้อง Interlocking มีฟังชั่นการทำงานคือตรวจวัดและแสดงค่ากระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าตลอดการทำงาน คำนวณและแสดงค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด เมื่อประแจสับรางกลไฟฟ้าสิ้นสุดการทำงาน

ชุดทดสอบถูกตั้งค่าให้มีการแจ้งเตือนเมื่อมีการใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าเกินกว่าพิกัดที่กำหนดไว้ โดยใช้เซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าในการวัดค่ากระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ ไมโครคอนโทรเลอร์ Arduino UNO R3 ถูกเลือกมาใช้เป็นตัวประมวลผลและควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ทั้งหมดภายในชุดทดสอบ เซ็นเซอร์วัดกระแสที่เลือกมาใช้เป็นเซนเซอร์แบบคล้องสายทำให้มีความปลอดภัยสูงและไม่รบกวนการทำงานของระบบ โดยชุดทดสอบนี้จะช่วยให้เข้าใจหลักการทำงานของประแจกลไฟฟ้าได้ดียิ่งขึ้น และสามารถตรวจสอบการทำงานของมอเตอร์ว่าทำงานได้ปกติหรือไม่ โดยนำข้อมูลจากการทดสอบมาวิเคราะห์การทำงานของมอเตอร์ประแจกลไฟฟ้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Design and Construction of Current Detector Device for Point Machine S700K

PAWARASIT SAPSANTHITIKUL 58010757
SEKSAN CHUPREM 58011375
Prof. Dr.Natthawut Ruangtrakoon Advisor
Asst.Prof. Dr.Unnat Pinsopon Co. Advisor
Year 2018

ABSTRACT

The aim of this project is to study the operation of the Point machine S700K. The current detector for three-phase motor of Point machine S700K was designed and constructed for monitoring the working condition of three-phase motor. The current detector device was installed in the interlocking room. According to the working function of this device, the current and power consumed throughout the operation of three-phase motor could be detected. Then all detected data were calculated and converted to root mean square of consumed current and power via microcontroller. The peak of consumed current and power was also obtained when the operation of the point machine was ended.

The device was set to alarm when the average amount of consumed current exceeds the specified value. The microcontroller Arduino UNO R3 was used as a processor and to control the operation of all equipment within the current detector device. Non-invasive AC current clamp sensor was used because it does not disturb the operation of the system. By using this device, it could help us to better understand the operation of the Point machine S700K. Moreover, by analyzing the collected data, the operating condition of the motor could be monitored.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่ายที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ คำชี้แนะ และคอยให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับการดำเนินงานต่างๆ ซึ่งผู้จัดทำขอขอบคุณ อาจารย์ณัฐวุฒิ เรืองตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ และอาจารย์อุนนัต พิณโสภณ เป็นอย่างสูง ที่คอยให้คำปรึกษา และคำแนะนำเป็นอย่างดี ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบคุณ บริษัท ซีเมนต์ จำกัด ที่ให้ความกรุณาสนับสนุน คำแนะนำ คำชี้แนะ ให้ประสบการณ์ในการทำงาน และการทำวิจัยปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณพี่วิศวกรจาก บริษัท ซีเมนต์ จำกัด ที่คอยให้คำปรึกษาปัญหาต่างๆ ช่วยเหลือข้อมูล โปแกรม และ อุปกรณ์ ในการทำปริญญานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ที่คอยดูแลเอาใจใส่และให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าด้วยดีเสมอมาจนกระทั่งมีวิทยานิพนธ์เล่มนี้

นายปวราสิทธิ์ ทรัพย์สัณฐิติกุล
นายเสกสรรค์ ชูเปรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VI
สารบัญรูป VIII
บทที่ 1 1
1.1 ความเป็นมา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 1
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย 2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน 2
บทที่ 2 3
2.1 หัวข้อที่ศึกษา 3
2.2 หลักการทำงานของประแจกลไฟฟ้า S700K 3
2.2.1 ส่วนประกอบของประแจกลไฟฟ้า S700K 3
2.2.2 กระบวนการเคลื่อนประแจกลไฟฟ้า (Throwing Process) 5
2.2.3 กระบวนการรีดประแจกลไฟฟ้า (Trailing Process) 5
2.2.4 การเคลื่อนประแจกลโดยใช้มือหมุน 6
2.2.5 การควบคุมประแจกลไฟฟ้า 6
2.2.6 ข้อมูลเชิงเทคนิคของประแจกลไฟฟ้า S700K 11
2.3 ระบบโมดูลอินเทอร์เฟซอิเล็กทรอนิกส์ (ESTT) 11
2.3.1 โมดูลอินเทอร์เฟซประแจกลไฟฟ้า (WESTE) 12
2.3.2 ฟิวส์สำหรับโมดูลอินเทอร์เฟซประแจกลไฟฟ้า (SIWE) 13
2.3.3 เคเบิลเทอร์มินัลแร็ค (CTR) และเคเบิลดิสทริบิวชันแร็ค (CDR) 13
2.4 หลักการของเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าแบบดิจิตอล 14
2.4.1 โครงสร้างของเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าแบบดิจิตอล 15
2.4.2 อุปกรณ์อื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการวัดทางไฟฟ้า 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 ประเด็นที่ควรคำนึงถึงในการวัด 28
2.5 ทฤษฎีทางไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง 29
2.5.1 ระบบไฟฟ้าสามเฟส และสูตรคำนวณสำหรับมอเตอร์สามเฟส 29
2.5.2 ไตรแอก (Triac) และไดแอก (Diac) 31
บทที่ 3 38
3.1 บทนำ 38
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน 38
3.3 โครงสร้างของชุดทดสอบวัดกระแสไฟฟ้า 38
3.3.1 เซนเซอร์ตรวจจับกระแสไฟฟ้า 39
3.3.2 ส่วนประมวลผล 41
3.3.3 ส่วนของการแสดงผล 42
3.4 หลักการทำงานของชุดทดสอบ 44
บทที่ 4 46
4.1 บทนำ 46
4.2 การสอบเทียบเซนเซอร์ 46
4.3 วิธีการทดลอง 49
4.4 ผลการทดลอง 51
4.5.1 ผลการทดลองจากการวัดกระแสไฟฟ้าในสายนิวทรัล (N) 51
4.5.2 ผลการทดลองการวัดกระแสไฟฟ้าในการสับประแจปกติ 52
4.5.3 ผลการทดลองการวัดกระแสไฟฟ้าในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร 56
4.5.4 ผลการทดลองการเปรียบเทียบปริมาณกำลังไฟฟ้าระหว่างการสับประแจไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย กับการสับประแจไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา 61
บทที่ 5 65
5.1 บทนำ 65
5.2 สรุปผลการทดลอง 65
5.3 ปัญหาจากการศึกษา 65
5.4 ข้อเสนอแนะ 67
บรรณานุกรม 69
ภาคผนวก 70
ภาคผนวก ก โค้ดที่ใช้ควบคุมการทำงานของชุดทดสอบ 70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงข้อมูลทางเทคนิคของ ไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูอิโน่ ยูโน....15
4.1 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่คำนวณได้จากเซนเซอร์เทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าทฤษฎี....47
4.2 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่คำนวณได้จากเซนเซอร์เทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าที่จากมัลติมิเตอร์....48
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3217 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย....52
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3217 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา....53
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3213 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย....54
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3213 ไป สิ้นสุดตำแหน่งขวา....54
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3223 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย....55
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3223 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา....56
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3217 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร....56
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3217 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร....57
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3213 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร....58
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3213 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร....59
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3223 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร....59
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3223 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร....60
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3217....61
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3217 ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร....61
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3213....62
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3213 ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร....63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3223.....63
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3223 ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร.....64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงส่วนประกอบของประแจกลไฟฟ้า S700K....3
2.2 ประแจกลอยู่ในตำแหน่งสิ้นสุดทางด้านขวา....7
2.3 ทำการตัดการจ่ายไฟตรวจสอบสถานะ....7
2.4 ทำการจ่ายไฟขับมอเตอร์....7
2.5 ประแจกลเริ่มเคลื่อนที่....7
2.6 ประแจกลกำลังเคลื่อนที่....7
2.7 ประแจกลถึงตำแหน่งสิ้นสุดทางด้านซ้าย....8
2.8 เตรียมตัดการจ่ายไฟขับมอเตอร์....8
2.9 ประแจกลถูกตัดการจ่ายไฟ....8
2.10 ทำการจ่ายไฟเลี้ยงเพื่อตรวจสอบสถานะ....9
2.11 ประแจกลอยู่ในตำแหน่งสิ้นสุดทางด้านซ้าย....9
2.12 ทำการตัดการจ่ายไฟไฟตรวจสอบ....9
2.13 ทำการจ่ายไฟขับมอเตอร์....9
2.14 ประแจกลเริ่มเคลื่อนที่....9
2.15 ประแจกลกำลังเคลื่อนที่....9
2.16 ประแจกลถึงตำแหน่งสิ้นสุดทางด้านขวา....9
2.17 เตรียมตัดการจ่ายไฟขับมอเตอร์....10
2.18 ประแจกลถูกตัดการจ่ายไฟ....10
2.19 ทำการจ่ายไฟตรวจสอบสถานะ....10
2.20 แสดงข้อมูลเชิงเทคนิคของประแจกลไฟฟ้า S700K....11
2.21 ตู้สำหรับติดตั้งการ์ดควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ตามทาง....12
2.22 โมดูลอินเทอร์เฟซประแจกลไฟฟ้า (WESTE)....13
2.23 ฟิวส์สำหรับโมดูลอินเทอร์เฟซประแจกลไฟฟ้า (SIWE)....13
2.24 แสดงจุดเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างอุปกรณ์ที่ติดตั้งภายในอาคารและภายนอกอาคาร....14
2.25 แสดงหน้าจอโปรแกรมอาร์ดูอิโน่....16
2.26 แสดงส่วนประกอบและพอร์ทของบอร์ดอาร์ดูอิโน่....16
2.27 แสดงการต่อวงจรสำหรับโมดูลวัดการใช้พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ....18
2.28 แสดงหน้าต่างซีเรียลมอนิเตอร์ของโปรแกรมอาร์ดูอิโน่....18
2.29 แสดงรูปโมดูลวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และการต่อโมดูลเข้ากับบอร์ดอาร์ดูอิโน่....18
2.30: แสดงรูปเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าสำหรับไฟฟ้ากระแสสลับ....19
2.31 แสดงภาพส่วนประกอบเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า....20
2.32 แสดงการต่อวงจรสำหรับเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า....21
2.33 แสดงการต่อเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าเข้ากับบอร์ดอาร์ดูอิโน่....22
2.34 แสดงการต่อจอ LCD 4 บิต แบบขนานเข้ากับบอร์ดอาร์ดูอิโน่....23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.35 แสดงตารางขาของจอ LCD 16x2 แบบขนาน....24
2.36 แสดงการต่อจอ LCD แบบอนุกรมเข้ากับบอร์ดอาร์ดูอิโน่....25
2.37 แสดงตารางขาของจอ LCD 16x2 แบบอนุกรม....25
2.38 แสดงรูปโมดูลเสียงหรือบัซเซอร์โมดูล....26
2.39 แสดงรูปร่างและสัญลักษณ์ของรีเลย์....26
2.40 แสดงวงจรการใช้งานแบบ NC และแบบ NO....27
2.41 แสดงกราฟกระแสไฟฟ้าและแรงบิดเทียบกับความเร็วรอบมอเตอร์ เปรียบเทียบ....30
2.42 แสดงโครงสร้างของไตรแอก....31
2.43 แสดงสัญลักษณ์ของไตรแอก....32
2.44 แสดงกราฟคุณลักษณะของไตรแอก....32
2.45 แสดงโครงสร้างของไดแอก....33
2.46 แสดงสัญลักษณ์ของไดแอก....33
2.47 แสดงกราฟคุณลักษณะของไดแอก....34
2.48 แสดงวงจรที่มีการต่อไตรแอกเข้าไปในวงจร....34
2.49 วงจรไตรแอกในการทำงานต่อแรงดันไฟสลับ....35
2.50 วงจรไตรแอกในการควบคุมเฟสแรงดันไฟสลับ....36
2.51 วงจรใช้ SCR ในการควบคุมเฟสแรงดันไฟสลับ....36
2.52 แสดงสัญญาณที่จุดต่างๆของวงจรควบคุมแรงดันไฟสลับด้วยไตรแอกและ SCR ชนิดเฟสเดียว....37
3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมทางฮาร์ดแวร์ของชุดทดสอบวัดกระแสไฟฟ้าแบบดิจิตอล....39
3.2 แสดงฮาร์ดแวร์ของชุดทดสอบวัดกระแสไฟฟ้าแบบดิจิตอล....39
3.3 แสดงรูปเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าแบบคล้อง....40
3.4 แสดงวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า....40
3.5 แสดงการต่อชิลด์เข้ากับบอร์ด Arduino....41
3.6 แสดงขาพอร์ตอินพุตเอาท์พุตของ Atmega328....42
3.7 แสดงการเชื่อมต่อชุดทดสอบเข้ากับคอมพิวเตอร์....43
3.8 แสดงการแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์....43
3.9 แสดงแผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของชุดทดสอบ....44
4.1 แสดงการต่อ Signal generator กับอินพุทของไมโครคอนโทรลเลอร์....46
4.2 แสดงการสอบเทียบอินพุทของไมโครคอนโทรลเลอร์....47
4.3 แสดงไดอะแกรมการต่อวงจรสอบเทียบเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า....48
4.4 แสดงการต่อเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าของหลอดไฟ เพื่อเปรียบเทียบกับมัลติมิเตอร์....48
4.5 แสดงการนำเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าไปคล้องสาย....49
4.6 แสดงการนำชุดทดสอบมาต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์....49
4.7 แสดงตัวอย่างการแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์....50
4.8 แสดงตัวอย่างการแสดงผลบนซีเรียลมอนิเตอร์....50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.9 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา
ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3223 51
4.10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา
ในระหว่างการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร T3223 52
4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า
T3217 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย 53
4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า
T3217 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา 53
4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า
T3213 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย 54
4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า
T3213 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา 55
4.15 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า
T3223 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย 55
4.16 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า
T3223 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา 56
4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า
T3217 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร 57
4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า
T3217 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร 58
4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า
T3213 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร 58
4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า
T3213 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร 59
4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า
T3223 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร 60
4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า
T3223 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร 60
4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา
ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3217 61
4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา
ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3217 ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร 62
4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา
ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3213 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา
ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3213 ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร.....63
4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา
ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3223.....64
4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา
ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3223 ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร.....65
5.1 แสดงชุดทดสอบที่ออกแบบเครื่องที่ 1 ที่นำไปทดสอบภายในห้อง Interlocking.....66
5.2 แสดงการเกิด failure ที่หน้าการ์ดควบคุม (WESTE).....66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา

การพัฒนาการขนส่งทางระบบรางเข้ามามีบทบาทสำคัญในแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการคมนาคมขนส่ง เพื่อสร้างการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคม และพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชน เช่นแผนงานการพัฒนาโครงข่ายขนส่งสาธารณะเพื่อแก้ปัญหาการจราจรในกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล การพัฒนาระบบรางอย่างเช่น รถไฟฟ้าใต้ดิน ทั้งนี้นอกจากการคำนึงถึงความสะดวกสบาย ความตรงต่อเวลาในการให้บริการ ความปลอดภัยของผู้ใช้บริการก็ถือเป็นปัจจัยที่ต้องคำนึงเป็นอันดับแรก

ประแจกลไฟฟ้า (Point Machine) ถูกใช้งานอยู่ในระบบรถไฟฟ้าเพื่อทำหน้าที่หลักคือการสับรางให้รถไฟสามารถวิ่งไปยังทิศทางหรือจุดหมายปลายทางที่ต้องการ ซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่ดังกล่าวแล้ว ประแจกลไฟฟ้ายังต้องทำหน้าที่ยึดรางในส่วนของจุดสับราง (Turnout) ให้อยู่ในตำแหน่งเมื่อเวลามีรถไฟวิ่งผ่าน เพื่อป้องกันการเกิดรถไฟตกราง ประแจกลไฟฟ้าที่ใช้ใน MRT project นั้นคือรุ่น S700K การทำงานของประแจกลไฟฟ้า นี้จะได้รับคำสั่งทำงานจากระบบ Interlocking โดยมีการ์ด WESTE เป็นการ์ดควบคุม

เพื่อให้เกิดความเข้าใจในหลักการทำงานของประแจกลไฟฟ้าสำหรับระบบรถไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยศึกษาจากหลักการทำงานของประแจกลไฟฟ้า โดยมีการ์ด WESTE ควบคุมการจ่ายไฟสำหรับการทำงานของมอเตอร์ภายในประแจกลไฟฟ้า

หนึ่งในวิธีที่ช่วยให้เข้าใจการทำงานของประแจกลไฟฟ้า คือการสร้างชุดทดสอบเพื่อตรวจวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าในระหว่างที่มีการเคลื่อนประแจกลไฟฟ้า ว่ามีความสัมพันธ์กับการทำงานของมอเตอร์ประแจกลอย่างไร โดยนำข้อมูลปริมาณกระแสไฟฟ้ามาสร้างกราฟเพื่อวิเคราะห์การทำงานของประแจกลไฟฟ้า

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาการทำงานของประแจกลไฟฟ้า S700K

1.2.2 เพื่อออกแบบชุดทดสอบวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าและคำนวณกำลังไฟฟ้าของประแจกล แสดงค่ากระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ และค่าพิกัดกระแสไฟฟ้าสูงสุดของการทำงาน

1.2.3 เพื่อใช้ตรวจเช็คว่ามอเตอร์ประแจกลทำงานปกติหรือไม่

1.2.4 ช่วยในการซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน โดยชุดทดสอบมีการแจ้งเตือนเมื่อกระแสไฟฟ้าเกินพิกัดสูงสุด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 เลือกประแจกลไฟฟ้า S700K ในการศึกษาและออกแบบชุดทดสอบ

1.3.2 ออกแบบชุดทดสอบสำหรับประแจกลไฟฟ้า โดยมีฟังก์ชันการทำงานดังต่อไปนี้

- สามารถตรวจวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าในช่วงที่มีการสับประแจกลไฟฟ้าได้
- คำนวณกำลังที่ใช้ของมอเตอร์ 3 เฟส ในประแจกลไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แจ้งเตือนเมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้าเกินค่าพิกัดสูงสุดที่กำหนดไว้
- แสดงผลการวัดและการคำนวณ ผ่านทางหน้าจอ LCD ของชุดทดสอบ และหน้าจอคอมพิวเตอร์หากมีการเชื่อมต่อ

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาชนิดของประแจกลในระบบรถไฟฟ้า

1.4.2 ศึกษาข้อมูลของประแจกลไฟฟ้า S700K

1.4.3 ศึกษาการทำงานของการ์ด WESTE ที่ควบคุมการทำงานของประแจกลไฟฟ้า S700K

1.4.4 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับโปรแกรม Arduino และโมดูลที่ใช้ในการสร้างชุดทดสอบ

1.4.5 ออกแบบและสร้างชุดทดสอบสำหรับใช้ในการวัดปริมาณกระแสไฟฟ้า

1.4.6 ติดตั้งและทำการทดสอบการทำงานของชุดทดสอบวัดปริมาณกระแสไฟฟ้า

1.4.7 ทำการบันทึกผลที่ได้จากการทำงานชุดทดสอบ และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลกับการทำงานของประแจกลไฟฟ้า

1.4.8 สรุปและจัดทำรายงานวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน

1.5.1 ช่วยเพิ่มความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการทำงานของประแจกลไฟฟ้าในระบบรถไฟฟ้า

1.5.2 สามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้า และสามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าสูงสุดในการทำงานของมอเตอร์ประแจกลไฟฟ้าได้

1.5.3 สามารถนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการดูประสิทธิภาพในการทำงาน และช่วยในการซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance)

1.5.4 ให้ความรู้แก่ผู้ที่มาดูโครงงานให้เข้าใจภาพรวมของการทำงานของประแจกลไฟฟ้าได้มากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หัวข้อที่ศึกษา

ในการสร้างชุดทดสอบวัดปริมาณกระแสไฟฟ้า สำหรับมอเตอร์ประแจกลไฟฟ้า จำเป็นต้องมีความเข้าใจในหลักการทำงานของประแจกลไฟฟ้า และพื้นฐานการเขียนโปรแกรมสำหรับการสร้างชุดทดสอบอิเล็กทรอนิกส์ รวมถึงความรู้ทางไฟฟ้าเบื้องต้นเกี่ยวกับไฟฟ้าและมอเตอร์ 3 เฟส

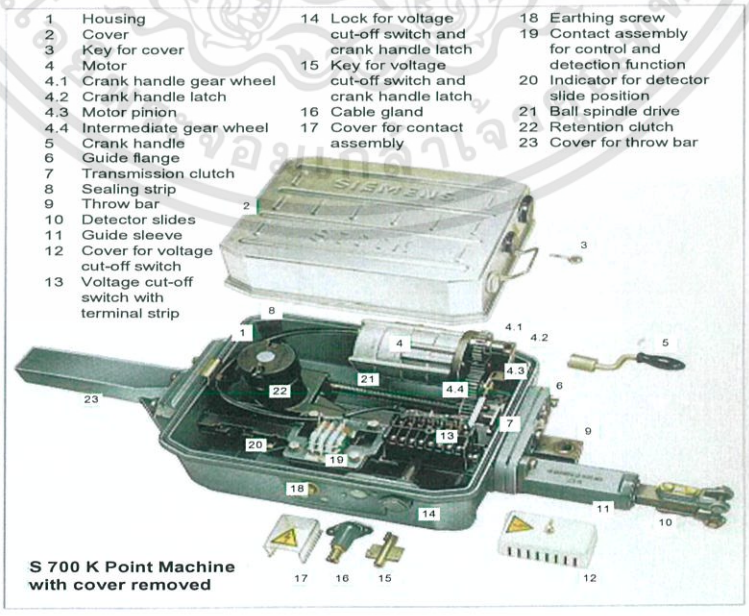
2.2 หลักการทำงานของประแจกลไฟฟ้า S700K

ประแจกลไฟฟ้าที่ใช้ใน MRTA Project คือรุ่น S700K เป็นประแจกลไฟฟ้าแบบระบบล็อคติดตั้งภายนอก (external point lock) สามารถใช้ได้ทั้งสำหรับจุดสับรางแบบรีดได้ (trailable) และรีดไม่ได้ (non trailable)

การทำงานของประแจกลไฟฟ้านี้จะรับคำสั่งทำงานจากระบบ Interlocking โดยมีการ์ด WESTE เป็นตัวควบคุมการทำงาน ซึ่งจะปล่อยไฟ 3 เฟส ผ่านทางสายไฟ 3 เฟส 4 สาย ไปยังประแจกลไฟฟ้า เข้าสู่ contact set เพื่อผ่านไปยังมอเตอร์ เมื่อประแจกลไฟฟ้าเคลื่อนรางจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งจนสุดแล้ว มอเตอร์จะหยุดและกระแสจะสูงขึ้น และอุปกรณ์จับกระแสไฟฟ้าบนการ์ด WESTE ก็จะตรวจจับค่ากระแสที่สูงขึ้นนี้ แล้วทำการตัดไฟ 3 เฟส หลังจากนั้นการ์ด WESTE ก็จะตรวจสอบสถานะตำแหน่งของรางว่าอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องหรือไม่ โดยการส่งสัญญาณไฟตรวจสอบอีกชุดผ่านไปบน cable ชุดเดียวกับที่ใช้สำหรับส่งไฟ 3 เฟสในครั้งแรก เพื่อตรวจสอบตำแหน่ง contact set บนตัวประแจกลไฟฟ้า

ในการเคลื่อนที่ของรางนี้ จะมีการตั้งค่าเวลาที่การ์ด WESTE 7 วินาที เพื่อให้ตัดไฟ 3 เฟส ในกรณีที่ใช้เวลาในการเคลื่อนรางมากเกินไป โดยที่รางไม่อยู่ในตำแหน่งที่แนบกับรางหลัก (stock rail)

2.2.1 ส่วนประกอบของประแจกลไฟฟ้า S700K



รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของประแจกลไฟฟ้า S700K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์

มอเตอร์แบบซิงโครนัสแบบลัดวงจร สำหรับ 3 เฟส ถูกดัดแปลงเป็นพิเศษเพื่อใช้งานกับประแจกลไฟฟ้า มอเตอร์ถูกออกแบบสำหรับทำงานช่วงสั้นๆ มีแรงบิดเริ่มต้นสูง และกระแสเริ่มต้นจะถูกปรับลดลง เพื่อให้สามารถทำงานได้กับค่าความต้านทานในสายค่าต่างๆ

แกนโรเตอร์บนตลับลูกปืนรองรับเฟืองมอเตอร์ โดยมีช่องสำหรับใส่ที่หมุนมือ (crank handle) ถูกยึดเข้ากับมอเตอร์เช่นเดียวกันกับเฟืองมอเตอร์

ทรานสมิชชันคลัตช์ (Transmission Clutch)

ทำหน้าที่เป็นชุดเชื่อมต่อระหว่างมอเตอร์และแกนลูกหมุน (ball spindle) เพื่อทำหน้าที่ทดเกียร์ระหว่างอุปกรณ์ทั้งสอง และรับแรงจากมอเตอร์ชั่วขณะ ในกรณีที่ลิ้นรางเลื่อนมาหยุด แต่มอเตอร์ยังทำงานอยู่

แกนลูกหมุน (Ball Spindle)

เป็นชุดอุปกรณ์ที่เป็นสกรู (screw) และนัท (nut) เมื่อตัวสกรูหมุนตามแรงจากมอเตอร์จะส่งผลให้นัท ซึ่งยึดติดอยู่กับบาร์เลื่อนประแจ (throw bar) เลื่อนเข้าออกได้ตามทิศทางการหมุนของสกรู

รีเทนชันคลัตช์ (Retention Clutch)

ทำหน้าที่เพื่อกำหนดแรงยึดระหว่างบาร์เลื่อนตรวจจับตำแหน่ง (detector slide) กับแกนลูกหมุน (ball spindle) ไว้ด้วยกันด้วยแรงเสียดทาน เพื่อจุดประสงค์ในกรณีที่เกิดเหตุการณ์ประแจถูกรีด (trail point) จะทำให้ บาร์เลื่อนตรวจจับตำแหน่งหลุดออกจากบาร์เลื่อนประแจ (throw bar) เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับประแจกลไฟฟ้าในกรณีดังกล่าว รีเทนชันคลัทช์นี้จะเป็นอุปกรณ์ที่บอกกับเราได้ว่าประแจกลไฟฟ้าเป็นแบบรีดได้ (trailable) หรือรีดไม่ได้ (non trailable) โดยแบบรีดได จะเป็นการกำหนดแรงเสียดทานโดยใช้สปริงเพื่อกำหนดแรง แต่ในแบบรีดไม่ได้จะเป็นการยึดบาร์เลื่อนตรวจจับตำแหน่งกับแกนลูกหมุน ไว้ด้วยสกรู

บาร์เลื่อนประแจ (Throw bar)

มีหน้าที่ยึดกับลิ้นราง (switch rail) เพื่อเคลื่อนรางตามแรงจากประแจกลไฟฟ้า โดยมีส่วนที่ยึดติดกับแกนลูกหมุน (ball spindle) เพื่อนเคลื่อนเข้าออกตามสกรูที่ถูกขับโดยมอเตอร์

บาร์เลื่อนตรวจจับตำแหน่ง (Detector Slide)

มีหน้าที่จับยึดกับรางเช่นกัน แต่ทำหน้าที่เพื่อตรวจสอบตำแหน่งว่าลิ้นราง อยู่ในตำแหน่งที่แนบกับรางหลัก (stock rail) หรือไม่ โดยบาร์เลื่อนตรวจจับตำแหน่งนี้ จะต่อเชื่อมกับชุดหน้าสัมผัสวงจร (contact set) เพื่อส่งสัญญาณตำแหน่งของประแจกลไฟฟ้า กลับไปให้ระบบ Interlocking เพื่อใช้ในการทำงานต่อไป

ชุดหน้าสัมผัสวงจร (Contact Set)

จะมีหน้าที่ตัดต่อสัญญาณไฟฟ้าที่เข้าออกจากประแจกลไฟฟ้า ซึ่งทำหน้าที่หลัก 2 อย่างคือ อย่างแรกจะเป็นการตัดต่อวงจรจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ เพื่อให้ไฟที่จ่ายไปมีลำดับเฟสเปลี่ยนไป มีผลให้มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมุนในทิศทางสลับไปมาเพื่อให้เลื่อนบาร์เลื่อนประแจ (throw bar) เข้าออกได้ตามตำแหน่งสุดท้ายของประแจกลไฟฟ้า ที่รับค่ามาจากบาร์เลื่อนตรวจจับตำแหน่ง ส่วนหน้าที่อีกประการหนึ่ง คือการใช้ตำแหน่งที่ได้มาจากบาร์เลื่อนประแจ ส่งสัญญาณไฟกลับไปที่ระบบ interlocking เพื่อบอกตำแหน่งของประแจกลไฟฟ้าด้วย

ชุดตัดไฟ (Voltage Cut-off)

ทำหน้าที่เพื่อตัดระบบไฟฟ้าออกจากตัวประแจกลไฟฟ้า เพื่อให้ทำการหมุนประแจกลไฟฟ้าด้วยมือเพื่อเลื่อนประแจได้

2.2.2 กระบวนการเคลื่อนประแจกลไฟฟ้า (Throwing Process)

เมื่อมอเตอร์เริ่มต้นทำงาน แรงบิดจะถูกส่งโดยเฟืองมอเตอร์ ผ่านล้อเฟืองกลางไปยังล้อเฟือง และผ่านทรานสมิชชันคลัตช์ไปยังแกนลูกหมุน โดยคลัตช์จะจำกัดแรงบิดซึ่งจะถูกแปลงเป็นแรงตามแนวแกนของแกนลูกหมุน เพื่อให้เคลื่อนไปในทิศทางของแรงผลัก ส่วนของรอยบาก (notch) บนบาร์เลื่อนประแจจะเคลื่อนต้านล้อเลื่อน (roller) ของตัวตรวจจับตำแหน่ง โดยผลักกลับต้านแรงอัดของสปริง เป็นผลให้สแนปสวิตช์ (snap switch) ทำงาน ตัดการเชื่อมต่อจากตัวตรวจจับตำแหน่ง และวงจรจะถูกต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟสำหรับเคลื่อนประแจกลไฟฟ้า รีเทนท์ชันคลัทช์ บาร์เลื่อนตรวจจับตำแหน่งจะถูกปลดล็อค

กระบวนการเคลื่อนประแจกลไฟฟ้าจะเริ่มต้นทันทีที่มีคำสั่งปลดล็อคประแจกล จากนั้นแกนลูกหมุนจะเริ่มหมุน ทำให้รีเทนชันคลัตช์ที่ยึดติดกับบาร์เลื่อนประแจเคลื่อนที่ โดยรีเทนชันคลัตช์จะส่งผ่านการเคลื่อนที่ของแกนลูกหมุนไปยังบาร์เลื่อนประแจ แรงรีเทนชัน (retention force) ที่ตั้งค่าบนรีเทนชันคลัตช์ จำเป็นต้องมากกว่าแรงเคลื่อนประแจ (throwing force) เพื่อป้องกันประแจเลื่อนหลุดออกจากกันในกรณีที่มีแรงต้านการเคลื่อนประแจมาก

ในตอนท้ายของการเคลื่อนที่ของประแจกลไฟฟ้า สปริงแรงอัดจะถูกคลายออกมา ดันเลื่อนบาร์เลื่อนตรวจจับตำแหน่งให้อยู่ในตำแหน่งสิ้นสุด เมื่อบาร์เลื่อนตรวจจับตำแหน่งเลื่อนไปถึงตำแหน่งสิ้นสุด บาร์เลื่อนประแจจะถูกล็อค และหยุดการทำงานของรีเทนชันคลัตช์

สำหรับประแจกลที่มีตัวตรวจจับตำแหน่งบริเวณรอยบากของบาร์เลื่อนตรวจจับตำแหน่ง ตัวตรวจจับตำแหน่งจะสามารถตรวจจับได้เมื่อประแจกลไฟฟ้าอยู่ในตำแหน่งสิ้นสุด (end position) และบาร์เลื่อนอยู่ในตำแหน่งสิ้นสุดเท่านั้น และเมื่อตรวจจับว่าอยู่ในตำแหน่งสิ้นสุดแล้ว สแนปสวิตช์จะทำการตัดการเชื่อมต่อจากแหล่งจ่ายไฟเคลื่อนประแจกล และบาร์เลื่อนประแจจะถูกล็อคในตำแหน่งสิ้นสุด

2.2.3 กระบวนการรีดประแจกลไฟฟ้า (Trailing Process)

ในตำแหน่งเริ่มต้น บาร์เลื่อนตรวจจับตำแหน่ง (detector slide) ยังคงรักษาตำแหน่งของบาร์เลื่อนประแจ (throw bar) ผ่านทางรีเทนชันคลัตช์ (retention clutch) บาร์เลื่อนประแจจะเคลื่อนได้ก็ต่อเมื่อมีแรงที่เข้ามามากกว่าแรงต้านการรีดของประแจกล เมื่อเกิดการรีด ส่วนรอยบาก (notch) ของบาร์เลื่อนประแจจะไปดันล้อเลื่อน (roller) ของรีเทนชันคลัตช์ต้านแรงสปริง รอยบากในตำแหน่งที่สองของบาร์เลื่อนประแจ ทำให้ทราบการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งโดยเชื่อมกับตัวตรวจจับตำแหน่ง โดยตัวตรวจจับตำแหน่งจะสั่งการสแนปสวิชต์ (snap switch) และตัดการเชื่อมต่อของหน้าสัมผัสชุดตรวจจับตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะกระบวนการรีดประแจ บาร์เลื่อนประแจจะเคลื่อนที่สัมพันธ์กับรีเทนชันคลัตช์ เมื่อมีแรงที่เข้ามามากกว่าแรงต้านการรีดของประแจกล ประแจกลไฟฟ้าจะถูกชี้เป็นสถานะถูกรีด (trailed) ทันทีที่บาร์เลื่อนประแจ เคลื่อน แม้ว่าจะยังมีการล็อคของประแจกลไฟฟ้าอยู่

หลังจากประแจกลถูกรีด จำเป็นต้องทำให้ประแจกลไฟฟ้าสามารถกลับมาทำงานได้ โดยต้องมีการเข้าไปแก้ไขให้รีเทนชันคลัตช์จับกับบาร์เลื่อนประแจอีกครั้ง ก่อนจะมีการใช้งาน

2.2.4 การเคลื่อนประแจกลโดยใช้มือหมุน

ประแจกลไฟฟ้า S700K สามารถเคลื่อนไปในทิศทางตรงข้ามได้ โดยใช้ที่หมุนมือ (crank handle) ช่องเสียบที่หมุนมือจะอยู่ด้านซ้ายหรือด้านขวานั้นขึ้นอยู่กับเวอร์ชันของประแจกลไฟฟ้า

ด้วยเหตุผลทางความปลอดภัย ช่องเสียบมือหมุนจะถูกล็อคไม่ให้ใส่ที่หมุนมือได้ เมื่อประแจกลไฟฟ้ายังเชื่อมต่อกับระบบอยู่ จนกว่าจะมีการใช้กุญแจปลดล็อค เพื่อตัดการเชื่อมต่อจากแหล่งจ่ายไฟ

2.2.5 การควบคุมประแจกลไฟฟ้า

คำสั่งการสับประแจกลไฟฟ้าจะถูกส่งอย่างปลอดภัยจาก interlocking ไปยังการ์ด WESTE โดยสายไฟแต่ละสายที่ต่อมาจากการ์ด WESTE ไปยังประแจกลไฟฟ้า (L1 L2 L3 และ neutral) จะต่อเชื่อมกับแหล่งจ่ายไฟ สำหรับ L3 และ N จะต่อกับสวิตช์รีเลย์ US2 ส่วน L1 และ L2 ต่อกับสวิตช์รีเลย์ US1 และ positions contacts SL โดยสวิตช์รีเลย์ มีฟังก์ชันการทำงาน 2 อย่าง คือ

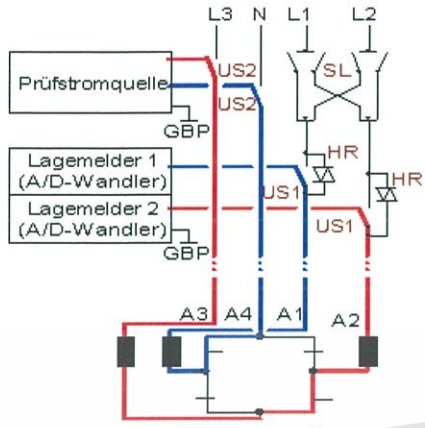
1. เพื่อการกำหนดตำแหน่งที่จะเคลื่อนไปของประแจกลไฟฟ้า
2. เพื่อตัดการเชื่อมต่อจากแหล่งจ่ายไฟ

การทำงานร่วมกันของสวิตช์เซมิคอนดักเตอร์ HR และสวิตช์รีเลย์ US1 ทำให้สามารถต่อกับแหล่งจ่ายไฟได้

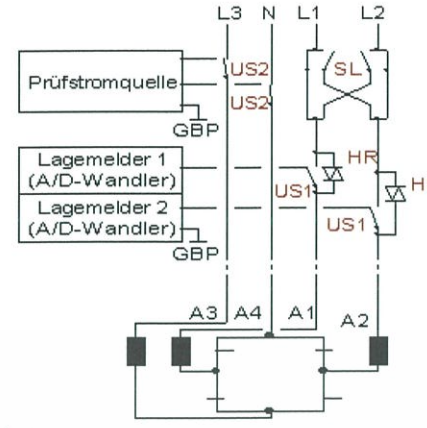
ในสถานะปกติ หรือเวลาที่ประแจกลไฟฟ้าไม่ได้รับคำสั่งเคลื่อนประแจกล จะมีการจ่ายไฟเลี้ยง (supervision signal loop) ที่ L3 และ N เพื่อตรวจสอบสถานะของประแจกล ว่าอยู่ในตำแหน่งสิ้นสุดทางด้านซ้าย หรือสิ้นสุดทางด้านขวา โดยการ์ดควบคุมจะตรวจสอบค่าแรงดันที่ L1 และ L2 (ดังรูปที่ 2.2) และส่งข้อมูลสถานะตำแหน่งกลับไปให้ interlocking

หลังจากได้รับคำสั่งสับประแจกล จาก interlocking โดยการ์ด WESTE จะตั้งค่าตำแหน่งหน้าสัมผัส SL ให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ และทำการปิดสวิตช์รีเลย์ US2 เพื่อทำการตัดไฟ supervision (ดังรูปที่ 2.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

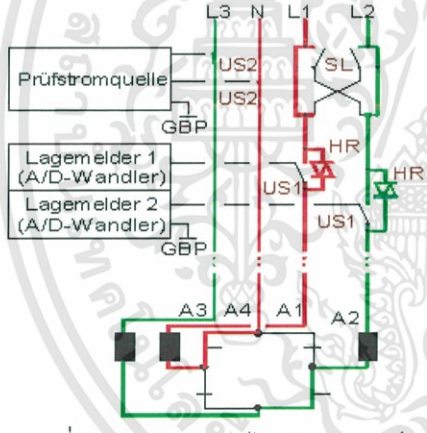


รูปที่ 2.2 ประแจกลอยู่ในตำแหน่งสิ้นสุดทางด้านขวา

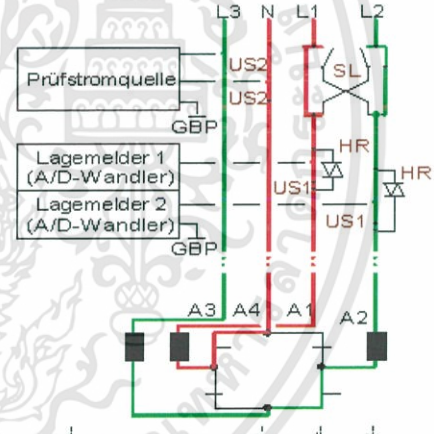


รูปที่ 2.3 ทำการตัดการจ่ายไฟตรวจสอบสถานะ

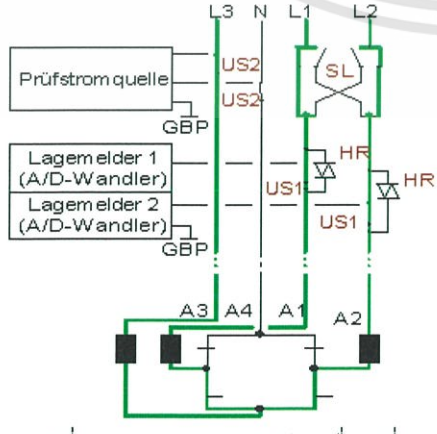
หลังจากนั้น แหล่งจ่ายไฟจะถูกต่อเข้ากับสวิตช์เซมิคอนดักเตอร์ HR (ดังรูปที่ 2.4) ด้วยวิธีนี้จะเป็นการป้องกันหน้าสัมผัสเชิงกลในวงจรทั้งหมด เมื่อประแจกลเริ่มเคลื่อนที่ เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียพลังงานมากเกินไปที่สวิตช์เซมิคอนดักเตอร์ HR สวิตช์รีเลย์ US1 จะถูกปิด หลังจากนั้นสวิตช์เซมิคอนดักเตอร์ HR จะถูกตัดการเชื่อมต่อ และกระแสจะไหลผ่านสวิตช์รีเลย์ US1 (ดังรูปที่ 2.5)



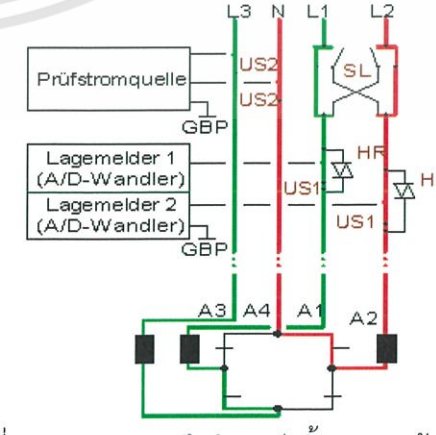
รูปที่ 2.4 ทำการจ่ายไฟขับมอเตอร์



รูปที่ 2.5 ประแจกลเริ่มเคลื่อนที่



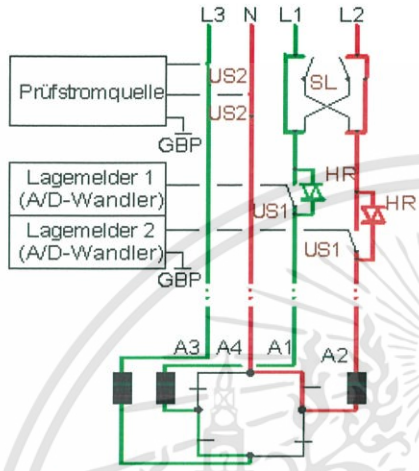
รูปที่ 2.6 ประแจกลกำลังเคลื่อนที่



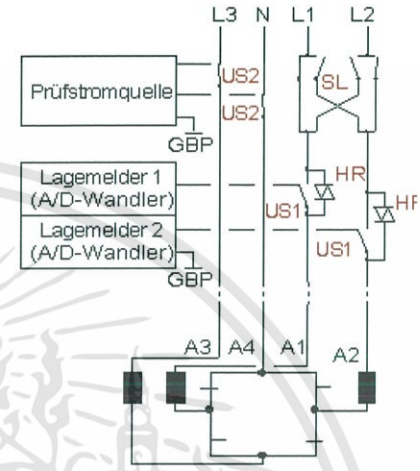
รูปที่ 2.7 ประแจกลถึงตำแหน่งสิ้นสุดทางด้านซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อประแจกลไฟฟ้าถูกตรวจจับว่าอยู่ในตำแหน่งสิ้นสุด สวิตช์เซมิคอนดักเตอร์ HR จะถูกเชื่อมต่ออีกครั้ง และสวิตช์รีเลย์ US1 จะถูกเปิดออก (ดังรูปที่ 2.8) และในสุดท้าย สวิตช์เซมิคอนดักเตอร์ HR จะถูกตัดการเชื่อมต่อจากแหล่งจ่ายไฟ (ดังรูปที่ 2.9) ทำให้มั่นใจได้ว่า รีเลย์สวิตช์ US2 สามารถเปิดได้โดยไม่มีการเกิดประกายไฟที่เป็นอันรายต่อหน้าสัมผัสรีเลย์

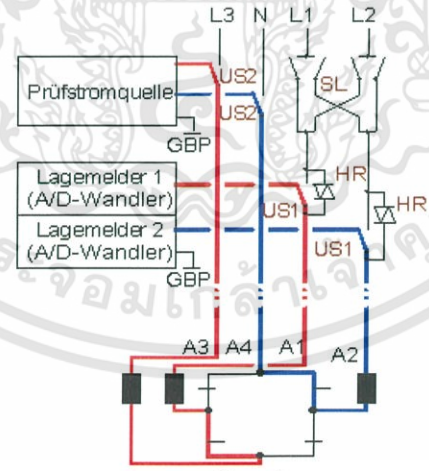


รูปที่ 2.8 เตรียมตัดการจ่ายไฟขับมอเตอร์



รูปที่ 2.9 ประแจกลถูกตัดการจ่ายไฟ

หลังจากนั้นทำการเปิดรีเลย์สวิตช์ US2 เพื่อทำการจ่ายไฟ supervision (ดังรูปที่ 2.10) เพื่อตรวจสอบตำแหน่งของประแจกล เช่นเดียวกันกับในรูปที่ 2.2

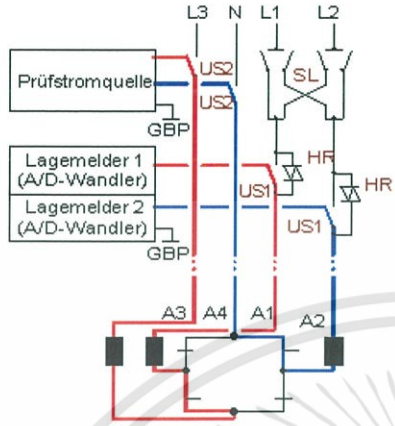


รูปที่ 2.10 ทำการจ่ายไฟเลี้ยงเพื่อตรวจสอบสถานะ

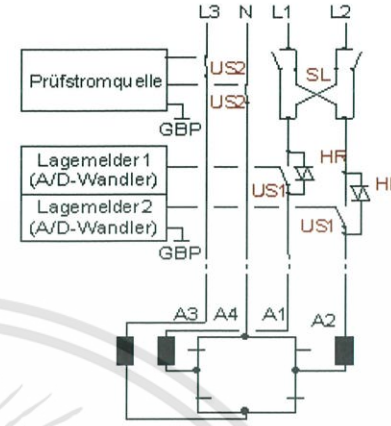
เพื่อตรวจจับว่าประแจกลไฟฟ้า ได้มาถึงตำแหน่งสิ้นสุด ตัวควบคุมจะวัดกระแสที่ไหลใน N ที่ N จะมีกระแสไหลผ่านเมื่อประแจกลไฟฟ้าอยู่ในตำแหน่งสิ้นสุดเท่านั้น ตัวควบคุมจะทำการตัดการจ่ายไฟดังที่อธิบายไว้ข้างต้น ในกรณีที่ตำแหน่งสุดท้ายไม่ถูกตรวจจับ ตัวควบคุมจะตัดการจ่ายไฟหลังจากนั้น 6 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

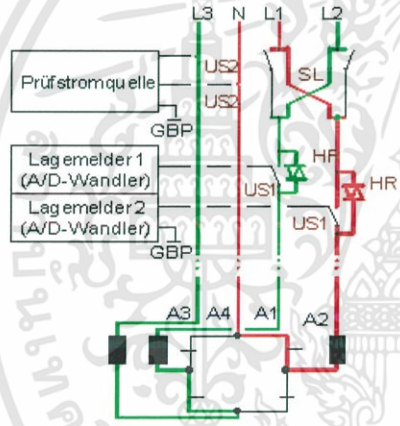
สำหรับการเคลื่อนที่จากตำแหน่งสิ้นสุดทางด้านซ้าย ไปยังตำแหน่งสิ้นสุดทางด้านขวา ถูกอธิบายไว้ใน รูปที่ 2.11 ถึง 2.19 โดยมีขั้นตอนการทำงานเหมือนกัน แตกต่างเพียงตำแหน่งหน้าสัมผัส SL



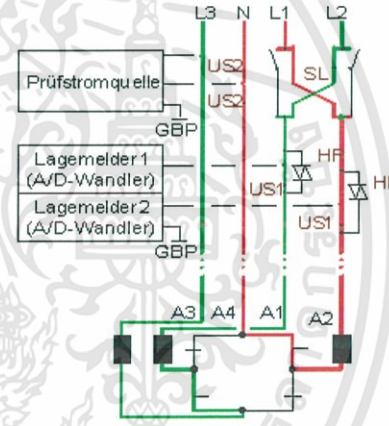
รูปที่ 2.11 ประแจกลอยู่ในตำแหน่งสิ้นสุดทางด้านซ้าย



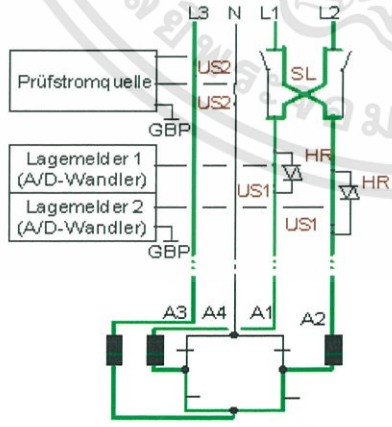
รูปที่ 2.12 ทำการตัดการจ่ายไฟไฟตรวจสอบ



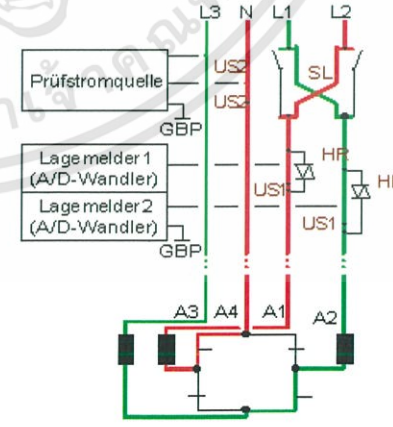
รูปที่ 2.13 ทำการจ่ายไฟขับมอเตอร์



รูปที่ 2.14 ประแจกลเริ่มเคลื่อนที่

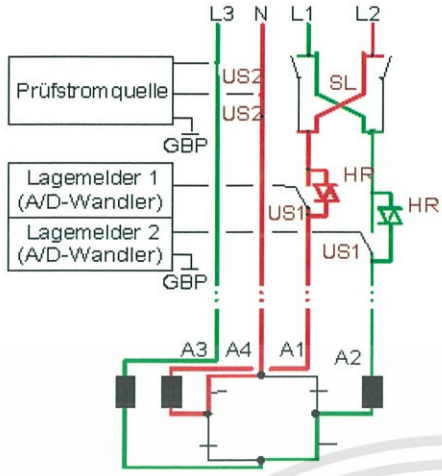


รูปที่ 2.15 ประแจกลกำลังเคลื่อนที่

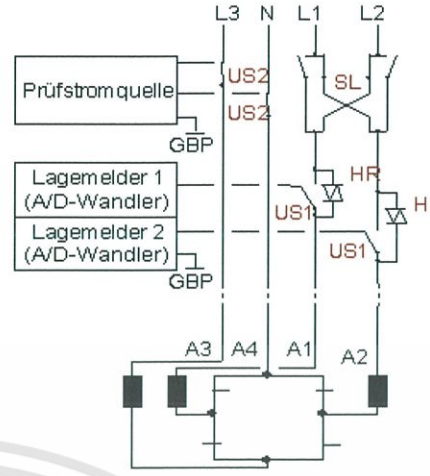


รูปที่ 2.16 ประแจกลถึงตำแหน่งสิ้นสุดทางด้านขวา

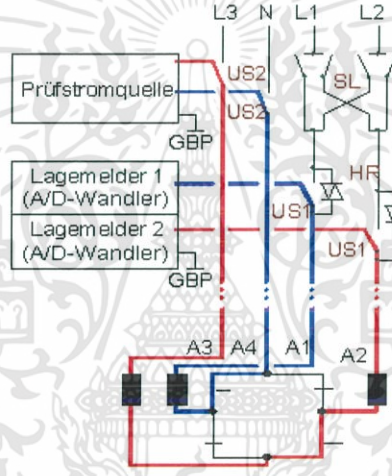
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 เตรียมตัดการจ่ายไฟขับมอเตอร์



รูปที่ 2.18 ประแจกลถูกตัดการจ่ายไฟ



รูปที่ 2.19 ทำการจ่ายไฟตรวจสอบสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6 ข้อมูลเชิงเทคนิคของประแจกลไฟฟ้า S700K

ข้อมูลเชิงเทคนิคของประแจกลไฟฟ้า S700K แสดงดังรูปที่ 2.20

8 Technical Data

Type of current	three-phase AC
Rated voltage	380 V AC ± 10%
Rated current	≤ 2 A
Maximum starting current	≤ 8 A
Frequency	50 Hz or 60Hz ± 2 %
Power output (motor)	≤ 400 W
Insulation class (motor)	B as per DIN EN 60034-1
Throwing stroke	220 mm
Point opening	160 mm (standard) 140mm (for MRTA-Project)
Throwing force	5500 N ± 500 N
Restoring force of point blade (open blade for toggle-type point lock)	≤ 1000 N
Retention force	7000 N ± 500 N 90 kN for non-trailable point machines
Trailing resistance	9000 N + 500 N
For a throwing resistance of 4500 N the following data applies:	
Line resistance	R_L / core ≤ 54 Ω
Throwing time	approx. 6 s
Control range	max. 1900 m for 0.9 mm core diameter max. 4640 m for 1.4 mm core diameter max. 7680 m for 1.8 mm core diameter
IP rating	IP 54 as per EN60529
Protection class	1 as per IEC 60364-4-41
Test voltage	2500 V, 50 Hz or 60Hz for 1s
Width	434 mm
Length	534 mm (basic housing) 1259 mm (standard length incl. cover for throw bar) 1173 mm (shortened version incl. cover) *
Height	290 mm
Weight	120 kg
Temperature range	–25 °C to +70 °C
Service life	10 years or 1 × 10^6 throwing operations

* Main line = shortened version, Depot area = standard length. Cover (12) see Fig. 2.

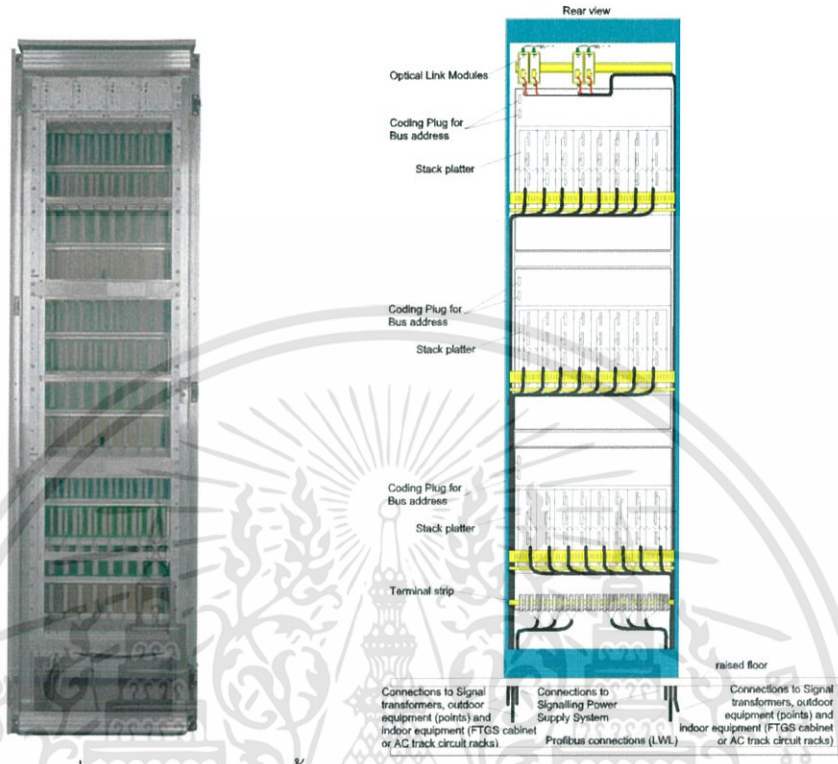
รูปที่ 2.20 แสดงข้อมูลเชิงเทคนิคของประแจกลไฟฟ้า S700K

2.3 ระบบโมดูลอินเทอร์เฟซอิเล็กทรอนิกส์ (ESTT)

ESTT cabinet ดังรูปที่ 2.21 เป็นตู้สำหรับติดตั้งการ์ดควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ตามทาง ซึ่งในที่นี้จะประกอบด้วยการ์ดควบคุมไฟสัญญาณ ประแจกลไฟฟ้า รูทอินดิเคเตอร์ (route indicator) รวมถึงการ์ดที่ทำหน้าที่รับข้อมูลสถานะ ของวงจรไฟตอน จากระบบ FTGS หรือวงจรไฟตอน 60 เฮิรตซ์ โดยการ์ดแต่ละชนิดที่ควบคุมอุปกรณ์ต่างๆนี้ จะมีชุดควบคุมเหมือนกันเรียกว่า FEMES ซึ่งทำงานเป็นแบบ 2 out of 2 ส่วนที่ต่างกันในแต่ละการ์ด คือส่วนพลังงาน (power portion) ซึ่งเป็นส่วนที่ส่งพลังงานไฟฟ้า ไปให้อุปกรณ์ที่ติดตั้งตามทาง (trackside equipment) ทำงาน ซึ่งออกแบบมาให้เหมาะสมกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหลดทางไฟฟ้า เช่น ไฟสัญญาณ และ รูทอินดิเคเตอร์ เป็นลักษณะส่งสัญญาณเปิดปิดหลอดไฟ จึงสามารถใช้การ์ดชนิดเดียวกันได้คือ การ์ด LISTE ส่วนประแจกลไฟฟ้าจะใช้การ์ดอีกชนิดคือการ์ด WESTE



รูปที่ 2.21 ตู้สำหรับติดตั้งการ์ดควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ตามทาง

2.3.1 โมดูลอินเทอร์เฟซประแจกลไฟฟ้า (WESTE)

การ์ดควบคุมระบบไฟ 3 เฟส ของมอเตอร์ประแจกลไฟฟ้า สามารถตรวจจับความถูกต้องตำแหน่งสถานะของประแจกลไฟฟ้า และส่งข้อมูลประมวลผลไปที่ชุดควบคุมระบบคอมพิวเตอร์ (Interlocking computer)

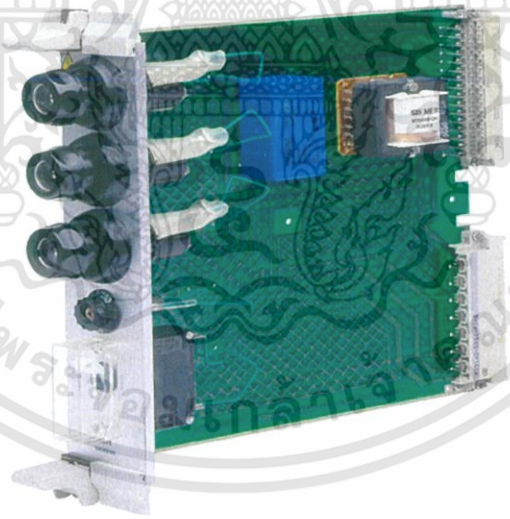
WESTE เป็นการ์ดสำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านสายไฟไปให้ประแจกลไฟฟ้าทำงาน และในขณะที่มอเตอร์ไม่ทำงาน ก็จะใช้สายไฟเส้นเดียวกันนี้ตรวจจับตำแหน่งของจุดสับราง ว่าอยู่ในตำแหน่งซ้ายหรือขวา เพื่อส่งกลับไปให้ Interlocking ในการให้ประแจกลไฟฟ้าทำงานแต่ละครั้งนั้น การ์ด WESTE จะทราบว่าจุดสับรางถึงตำแหน่งสุดท้ายจากการตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่ส่งไปให้ประแจกลไฟฟ้า นอกจากนี้ยังมีการกำหนดเวลาสูงสุดที่จะให้มอเตอร์ของประแจกลไฟฟ้าทำงาน โดยพิจารณาว่า ลิ้นรางจะเคลื่อนจากด้านหนึ่งไปสุดอีกด้านหนึ่งในเวลาไม่เกิน 7 วินาที ถ้าประแจกลไฟฟ้าใช้เวลามากกว่านี้ WESTE ก็จะหยุดการทำงานของมอเตอร์ แล้วส่งข้อมูลความผิดพลาดกลับไปให้ระบบห้องควบคุมการเดินรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.22 โมดูลอินเทอร์เฟซประแจกลไฟฟ้า (WESTE)

2.3.2 ฟิวส์สำหรับโมดูลอินเทอร์เฟซประแจกลไฟฟ้า (SIWE)

SIWE เป็นการ์ดที่ทำงานร่วมกับการ์ด WESTE ทำหน้าที่เป็นการ์ดสำหรับใส่ฟิวส์ เพื่อป้องกันการลัดวงจรจากสายไฟเข้าสู่การ์ด WESTE โดยจะมีทั้งสิ้น 4 ฟิวส์ คือสำหรับสายไฟ 3 เฟส จำนวน 3 ตัว และ 1 ฟิวส์เล็กสำหรับควบคุมพลังงานบนการ์ด WESTE



รูปที่ 2.23 ฟิวส์สำหรับโมดูลอินเทอร์เฟซประแจกลไฟฟ้า (SIWE)

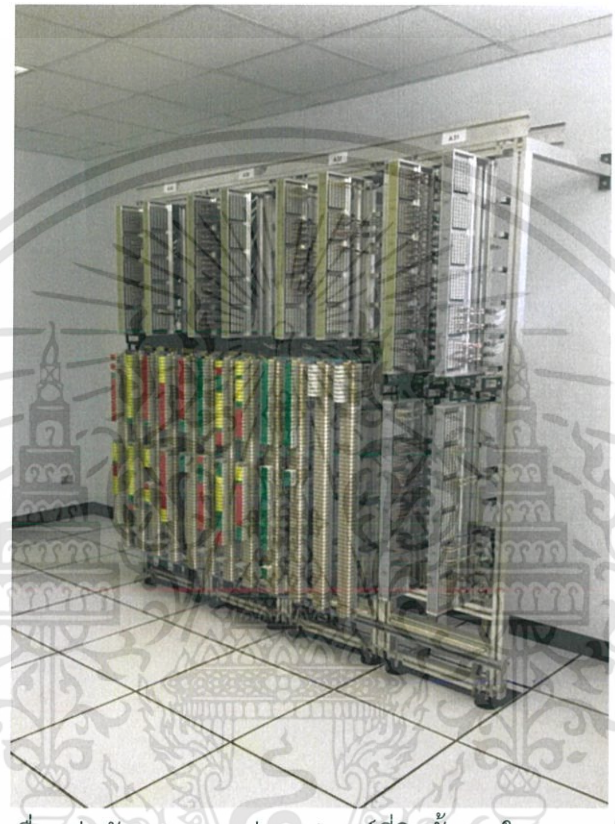
2.3.3 เคเบิลเทอร์มินัลแร็ค (CTR) และเคเบิลดิสทริบิวชันแร็ค (CDR)

ภายใน Interlocking นอกจากจะมีตู้เพื่อการควบคุมการทำงาน เช่น ESTT และ SICAS cabinet แล้วนั้น ตู้ที่สำคัญสำหรับงานติดตั้ง และตรวจสอบการทำงานของระบบ interlocking ก็มีความจำเป็นและต้องถูกติดตั้งอยู่ภายในห้องด้วยเช่นกัน ตู้ดังกล่าวนี้ ทำหน้าที่เป็นปลายทางต่อเชื่อมสัญญาณ จากตู้ควบคุมการทำงาน ไปยังอุปกรณ์ภายนอกห้อง หรือระหว่างตู้จากระบบอื่นภายในอาคาร ซึ่งทำให้ง่ายต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบแยกแยะจุดเสียหายระหว่างภายนอก อาคารและภายในอาคาร ได้ง่ายมากยิ่งขึ้น ตู้ที่กล่าวมาข้างต้นจะเชื่อมต่อระบบต่างๆแยกตามชนิด ได้ดังต่อไปนี้

1. เคเบิลเทอร์มินัลแร็ค (CTR) ทำหน้าที่เชื่อมต่อสายทุกชนิดระหว่างอุปกรณ์ที่ติดตั้งภายนอกอาคารกับภายในอาคาร
2. เคเบิลดิสทริบิวชันแร็ค (CDR) ทำหน้าที่เป็นจุดเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างระบบ interlocking กับระบบอาณัติสัญญาณอื่นๆ โดยจะเชื่อมต่อสายไฟภายในอาคารทั้งหมด



รูปที่ 2.24 แสดงจุดเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างอุปกรณ์ที่ติดตั้งภายในอาคารและภายนอกอาคาร

2.4 หลักการของเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าแบบดิจิตอล

สำหรับรูปแบบการวัดในโครงงานนี้จะเป็นแบบดิจิตอล เพราะฉะนั้นจะต้องมีการเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกที่วัดได้ให้เป็นสัญญาณดิจิตอล (A/D) โดยใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ โดยเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าจะมีอุปกรณ์หลัก 2 ชนิด คือไมโครคอนโทรลเลอร์ และโมดูลวัดพลังงานไฟฟ้า เมื่อโมดูลวัดพลังงานไฟฟ้ารับค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าจากเซนเซอร์แล้ว จะส่งค่าให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลและแสดงผล มีหลักการทำงาน ดังนี้

1. การตรวจจับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและสัญญาณกระแสไฟฟ้า
2. การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล (A/D) โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 โครงสร้างของเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าแบบดิจิตอล

อาร์ดูอิโน ยูโน (Arduino UNO)

อาร์ดูอิโน ยูโน (Arduino UNO) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนามาจาก ATmega328P ของบริษัท Atmel ซึ่งมีพอร์ตดิจิตอล สำหรับ Input / Output ได้ 14 พอร์ต ซึ่ง 6 พอร์ตนั้นสามารถใช้เป็น PWM ได้ทันที พอร์ตสำหรับช่องสัญญาณแอนาลอก อีก 6 พอร์ต สัญญาณความถี่นาฬิกา 16 MHz มีการเชื่อมต่อผ่านพอร์ต USB ซึ่งในการพัฒนาโปรแกรมเพื่อทำให้ อาร์ดูอิโน่-ยูโน ทำงานนั้น เราใช้โปรแกรม Arduino Software(IDE) และเลือกบอร์ดเป็น Arduino/Genuino Uno เพื่ออัพโหลด โปรแกรมเข้าสู่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งในการพัฒนาโปรแกรมนั้น จะใช้ไวยากรณ์โครงสร้าง เป็นภาษา C/C++ ซึ่งง่ายต่อการพัฒนาในการนำไปประยุกต์ใช้งานนั้น สามารถนำไปเชื่อมต่อกับ Module ต่างๆของ Arduino เรียกว่า Arduino-Shield เช่น LCD-IO Shield สำหรับการแสดงผล LCD หรือ จะนำไปเชื่อมต่อกับ Module รูปแบบอื่นๆ โดยการอ่านค่าแบบ แอนาลอกหรือดิจิตอล ข้อมูลทางเทคนิคดังตารางที่ 2.1 และหน้าจอโปรแกรม Arduino ดังรูปที่ 2.25

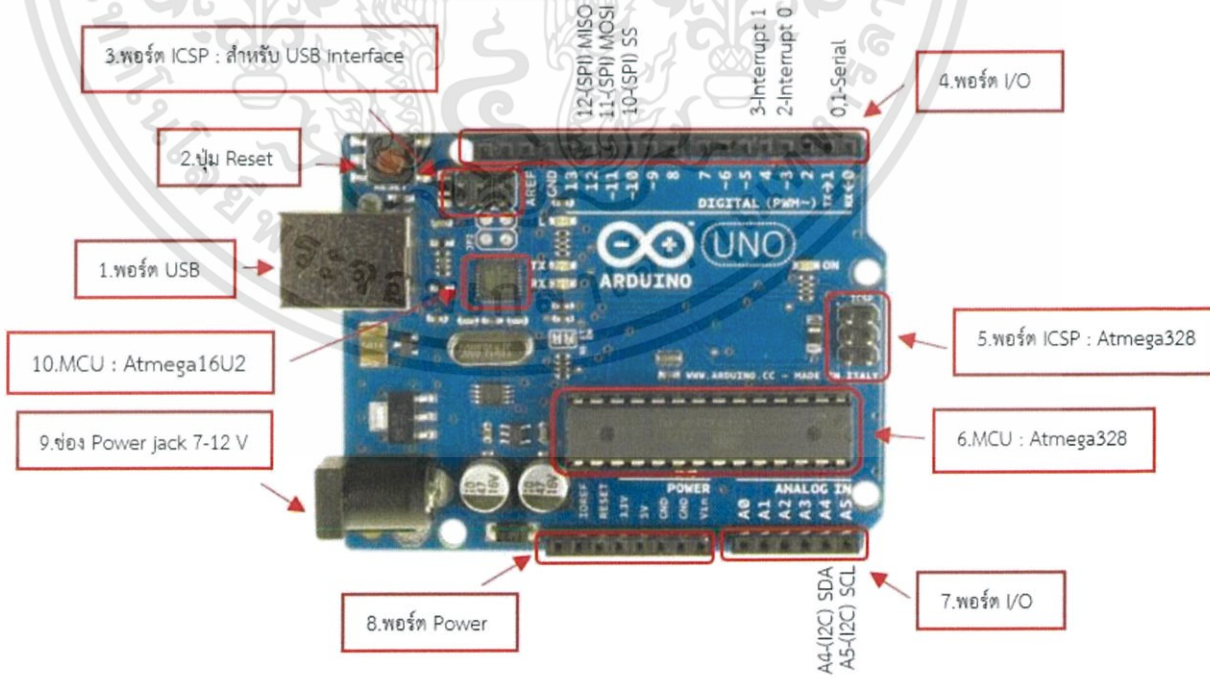
ตารางที่ 2.1 ตารางข้อมูลทางเทคนิคของ ไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูอิโน่ ยูโน

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5 V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.25 แสดงหน้าจอโปรแกรมอาร์ดูอิโน่

(ที่มา https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno)



รูปที่ 2.26 แสดงส่วนประกอบและพอร์ทของบอร์ดอาร์ดูอิโน่

(ที่มา https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. USBPort: ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออับโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
2. Reset Button: เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่
3. ICSP Port ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2
4. I/OPort:Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx,Rx Serial, Pin3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM
5. ICSP Port: Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader
6. MCU: Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
7. I/OPort: นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็น ช่องรับสัญญาณอนาล็อก ตั้งแต่ขา A0-A5
8. Power Port: ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, Vin
9. Power Jack: รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V
10. MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2

โมดูลวัดการใช้พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (PZEM-004T AC Digital power energy meter module)

โมดูลวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า ใช้วัดแรงดันไฟฟ้าของไฟบ้าน วัดค่ากระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ วัดค่ากำลังไฟฟ้า และวัดค่ากำลังไฟฟ้าต่อชั่วโมง (Wh) ซึ่งสามารถนำค่าเหล่านี้ไปใช้คำนวณค่าไฟฟ้าได้ หรือวัดการใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชิ้น

ข้อมูลโมดูล

1. แรงดันไฟฟ้าทำงาน: 80 ~ 260VAC
2. แรงดันไฟฟ้าทดสอบ: 80 ~ 260VAC
3. กำลังไฟ: 100A/22000 วัตต์
4. ความถี่ในการทำงาน: 45-65 เฮิร์ต
5. ความแม่นยำในการวัด: 1.0 เกรด

ฟังก์ชันการทำงาน

1. ฟังก์ชันวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าที่ใช้งานพลังงาน
2. ฟังก์ชันรีเซ็ตพลังงานคีย์
3. จัดเก็บข้อมูลเมื่อปิดเครื่อง (เก็บพลังงานสะสมก่อนปิด)
4 พีซีฟังก์ชั่นการแสดงผล (แรงดันไฟฟ้าแสดงกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานพลังงาน)
5. สื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย UART หรือ serial ฟังก์ชั่นการสื่อสาร (TTL อินเทอร์เฟซแบบอนุกรมตัวเองสามารถสื่อสารกับหลากหลาย terminal ผ่านพินบอร์ดอ่าน และตั้งค่าพารามิเตอร์)
6.วัดค่าโดยการต่อสายไลน์กับนิวทรัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบการแสดงผล

1. กำลังไฟ: ทดสอบช่วง: 0 ~ 22kW

ภายใน 0 ~ 10kW รูปแบบการแสดงผล 0.000 ~ 9.999;

ภายใน 10 ~ 22kW รูปแบบการแสดงผล 10.00 ~ 22.00

2. พลังงาน: ทดสอบช่วง: 0 ~ 9999kWh

ภายใน 0 ~ 10kWh รูปแบบการแสดงผล 0.000 ~ 9.999;

ภายใน 10 ~ 100kWh รูปแบบการแสดงผล 10.00 ~ 99.99;

ภายใน 100 ~ 1000kWh รูปแบบการแสดงผล 100.0 ~ 999.9;

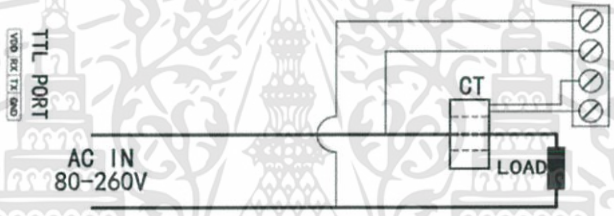
1000 ~ 9999kWh ขึ้นไปรูปแบบการแสดงผล 1000 ~ 9999

3. แรงดันไฟฟ้า: ทดสอบช่วง: 80 ~ 260VAC

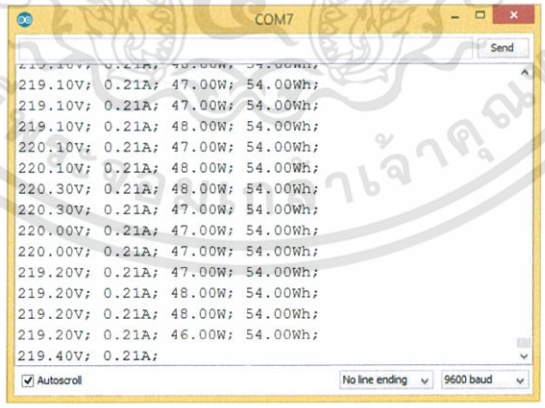
รูปแบบการแสดงผล 110.0 ~ 220.0

4. Current: ทดสอบช่วง: 0 ~ 100A

รูปแบบการแสดงผล 00.00 ~ 99.99



รูปที่ 2.27 แสดงการต่อวงจรสำหรับโมดูลวัดการใช้พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ
(ที่มา https://www.mosfex.com/product/186/pzem-004t-ac-digital-watt-power-energy-meter-module)



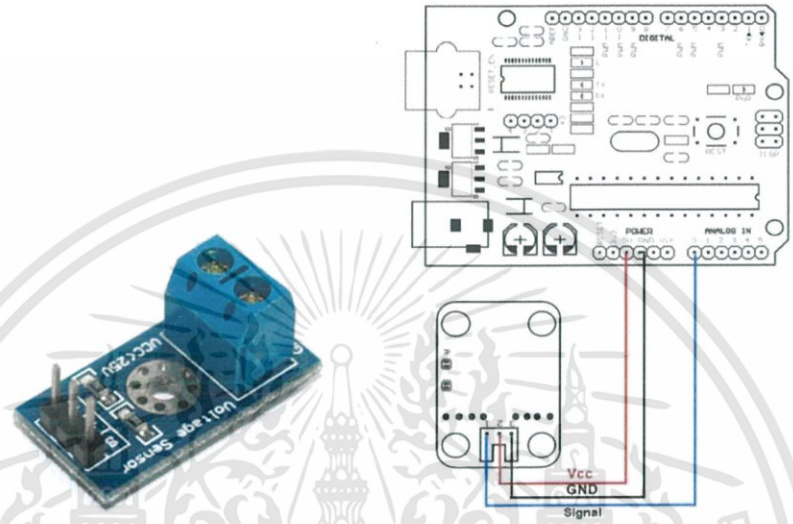
รูปที่ 2.28 แสดงหน้าต่างซีเรียลมอนิเตอร์ของโปรแกรมอาร์ดูอิโน่
(ที่มา https://www.mosfex.com/product/186/pzem-004t-ac-digital-watt-power-energy-meter-module)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 อุปกรณ์อื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการวัดทางไฟฟ้า

โมดูลวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (Standard voltage meter sensor module for Arduino)

โมดูลนี้ใช้หลักการวัดแรงดันไฟฟ้าทางขา Analog ของ Arduino ที่สามารถอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 0-5 โวลต์ออกมาเป็นค่าดิจิตอล 0-1023 โมดูลนี้ใช้วงจรแบ่งแรงดันทำให้สามารถวัดไฟได้สูงสุดถึง 24.9 โวลต์ โดยใช้ไฟเลี้ยงที่ 5 โวลต์ ถ้าบอร์ด Arduino ใช้ไฟเลี้ยงที่ 3.3 โวลต์จะวัดไฟได้สูงสุดที่ 16.5 โวลต์



รูปที่ 2.29 แสดงรูปโมดูลวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และการต่อโมดูลเข้ากับบอร์ดอาร์ดูอิโน่
(ที่มา https://www.arduitronics.com/product/586)

ข้อมูลโมดูล

1. ขนาด: 25 มม. x 13 มม. / 0.98 "x 0.51" (โดยประมาณ)
2. สามารถเพิ่มแรงดันไฟฟ้าของขั้วต่อขั้วต่อสีแดงให้เล็กลงได้ถึง 5 เท่าแรงดันไฟฟ้าอินพุต Arduino อนาล็อกได้ถึง 5 โวลต์แรงดันไฟฟ้าอินพุตของโมดูลตรวจจับแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 5Vx5 = 25V (ถ้า ใช้ระบบ 3.3V แรงดันไฟฟ้าเข้าไม่เกิน 3.3Vx5 = 16.5V) ชิป AVR Arduino มี 10 บิต AD ดังนั้นโมดูลนี้จำลองความละเอียดของ 0.00489V (5V / 1023) ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดของโมดูลตรวจจับแรงดันไฟฟ้าอินพุตคือ 0.00489Vx5 = 0.02445V
3. ช่วงอินพุทแรงดันไฟฟ้า: DC0-25 V
4. ช่วงการตรวจจับกระแสไฟ: DC0.02445 V-25 V
5. ความละเอียดอนาล็อกแบบอิเล็กโทรด: 0.00489 V
6. อินพุตเอาต์พุต: "+" เชื่อมต่อ 5 / 3.3V, "-" เชื่อมต่อ GND, "s" เชื่อมต่อกับหมุด Arduino AD
7. อินพุทอินพุตของ DC: เทอร์มินอลสีแดงบวกกับ VCC, ลบด้วย GND

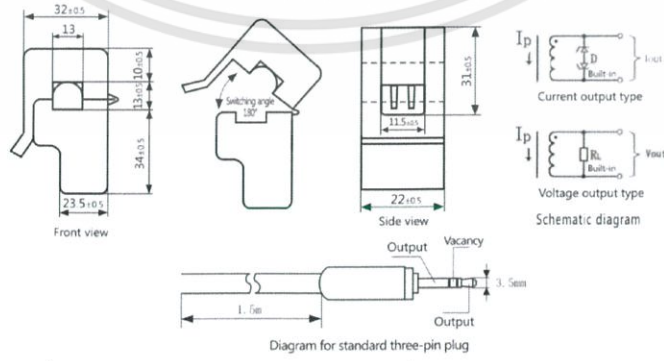
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าสำหรับไฟฟ้ากระแสสลับ (Current transformer sensor)

รูปที่ 2.30: แสดงรูปเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าสำหรับไฟฟ้ากระแสสลับ
(ที่มา https://www.thingbits.net/products/seeedstudio-non-invasive-ac-current-sensor-15a-max)

ข้อมูลโมดูล

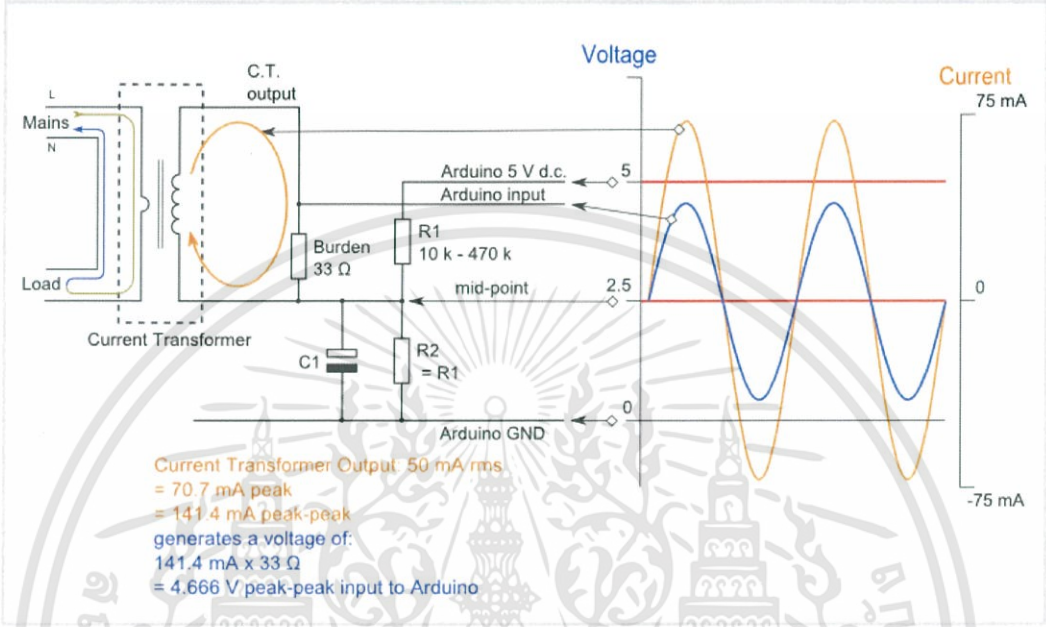
1. สามารถวัดกระแสได้ตั้งแต่ 0 - 15 A.
2. ให้เอาต์พุตเป็นแรงดันผ่านคอนเน็คเตอร์แจ็คแบบหูฟังขนาด 3.5 mm โดยให้ค่าแรงดันสูงสุดที่ 1V เมื่อวัดกระแสได้ 15A ในการใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องต่อผ่านวงจรขยายแรงดันก่อนต่อเข้าอ่านค่าด้วย Analog Input
3. สามารถใช้งานได้ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิ -25 ถึง 70 องศาเซลเซียส
4. ความเป็นฉนวน (ระหว่างเปลือกและขาออก): 1000V AC / 1min 5mA
5. สายไฟยาวที่สุด: 1 เมตร
6. ขนาดที่เปิด: 13 mm x 13 mm
7. Non-linearity : 2 – 3 %
8. Build-in sampling resistance (RL): 62 Ω
9. Turn Ratio: 1800 : 1



รูปที่ 2.31 แสดงภาพส่วนประกอบเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า
(ที่มา https://nicegear.nz/obj/pdf/SCT-013)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งาน Current Sensors (เซ็นเซอร์วัดกระแส) ประเภท Current Transformer Sensor จะมีรหัส ESEN207, ESEN141, ESEN148 ทั้ง 2 ต่างกันตรงย่านการวัด แต่การหลักการใช้งานเหมือนกัน คือวัดค่าออกมาเป็นกระแส แต่ ESEN148 ให้สัญญาณออกมาเป็นแรงดัน ในบทความนี้ จะขอยกตัวอย่าง ESEN141 Non-Invasive Current Sensor - (100A Max) Current Output



รูปที่ 2.32 แสดงการต่อวงจรสำหรับเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า
(ที่มา https://www.thaieasyelec.com)

เนื่องจากตัว ESEN141 ให้สัญญาณออกมาเป็นกระแส ไม่สามารถนำไปต่อกับ MCU โดยตรง ต้องแปลงให้เป็นแรงดันก่อนใช้หลักการ V= I x R ต่อ R Burden เข้ากับเซ็นเซอร์ แล้วให้ MCU วัดแรงดันที่ตกคร่อม R Burden อีกที แต่สัญญาณหลัง R Burden ยังเป็นสัญญาณ AC อยู่ แต่ MCU รับสัญญาณไฟ DC ที่ 0-VCC ดังนั้นต้องยกระดับขึ้นไป 2.5 V จากวงจร R divider

เนื่องจากตัว ESEN141 ให้สัญญาณออกมาเป็นกระแส เราต้องคำนวณค่า R Burden เพื่อให้ได้แรงดันตกคร่อม R ที่มีแอมพลิจูดที่เหมาะสมกับพอร์ต ADC ของ MCU เช่นในบอร์ด o ต้องคำนวณค่า R Burden ให้สัญญาณออกมามีแอมพลิจูดไม่เกิน 5V แต่ถ้าในรุ่น ESEN148 จะให้สัญญาณออกมาเป็นแรงดัน เพราะมี R Burden ต่ออยู่ในเซ็นเซอร์อยู่แล้วไม่ต้องต่อเพิ่ม

1. กำหนดย่านการวัด เราต้องทราบก่อนว่าต้องการวัดกระแสในย่านเท่าไหร่หรือโหลดกินกระแสเท่าไหร่ ถ้ากำหนดย่านสูงเกินไป สัญญาณที่ออกมามีขนาดเล็ก จะไม่เห็นความแตกต่างของสัญญาณมากนัก ในตัวอย่างนี้กำหนดที่ 100 A คือที่เซ็นเซอร์สามารถวัดได้สูงสุด
2. หาค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดในฝั่ง Primary peak-current โดยคูณค่ากระแสไฟฟ้า RMS ด้วย √2

Primary peak-current = RMS current x √2 = 100 A x 1.414 = 141.4 A

3. หาค่ากระแสสูงสุดในฝั่ง Secondary (Secondary peak-current) โดยนำค่า Primary peak-current ไปหารจำนวนรอบของ CT ในรุ่นนี้คือ 2000

Secondary peak-current = Primary peak-current / no. of turns = 141.4 A / 2000 = 0.0707A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

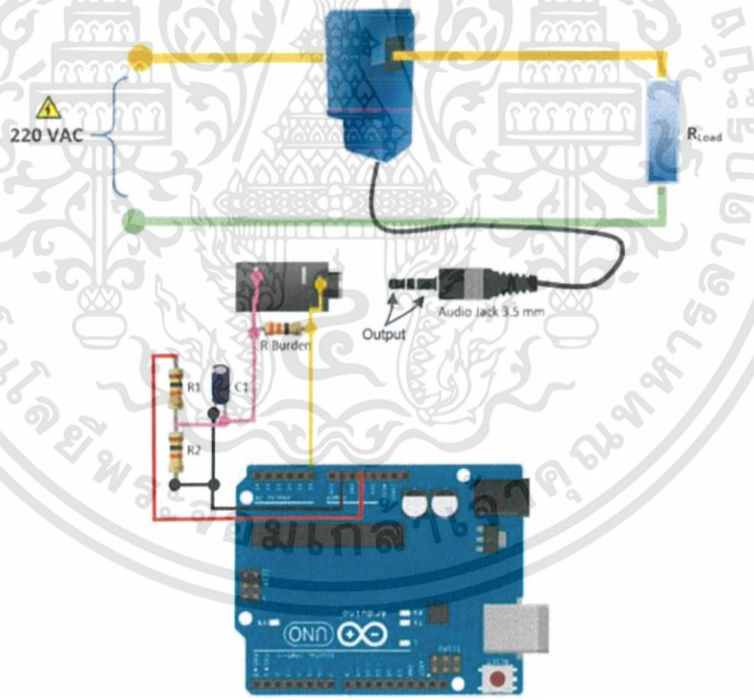
4. หาค่า R Burden เมื่อ CT วัดกระแสได้สูงสุด ค่าแรงดังสูงสุดที่ผ่าน R Burden จะต้องไม่เกินไฟแรงดันอ้างอิงของพอร์ต ADC (analog reference voltage (AREF)) ของ MCU ที่ใช้ โดยนำไปหาร 2 ก่อน ถ้าใช้บอร์ด Arduino UNO R3 แรงดัน AREF คือ 5V : AREF /2 =5/2=2.5V ดังนั้นจะหา ค่าความต้านทาน R Burden ในอุดมคติจะหาได้จาก

Ideal burden resistance = (AREF/2) / Secondary peak-current = 2.5 V / 0.0707 A = 35.4 **Ω**

แต่ค่า R ทั่วไปที่ใกล้เคียงที่สุดนั้นไม่ใช่ 35 **Ω** ดังนั้นค่าที่ใกล้เคียงที่สุด คือ 39 **Ω** หรือ 33 **Ω** แนะนำให้ใช้ 33 **Ω** ±1% ถ้าเลือกใช้ MCU ตัวอื่นที่ใช้ไฟ AREF ที่ 3.3 V ดังนั้นจะหาค่า R Burden ได้จาก

Ideal burden resistance = (AREF/2) / Secondary peak-current = 1.35V / 0.0707A = 19.1 **Ω**

5. ยกระดับแรงดันสัญญาณ ด้วยวิธี DC Bias เมื่อต่อ CT เข้ากับ R burden และทำการวัดกระแสไฟฟ้า สัญญาณที่ออกมาจาก CT จะยังเป็นสัญญาณ AC อยู่ ดังนั้นถ้าต่อเข้ากับ MCU ที่วัดสัญญาณที่วัดสัญญาณ DC เท่านั้น ต้องยกระดับสัญญาณ AC เป็นไฟ DC โดยจะยกไป AREF/2 จากวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) จาก R1 และ R2 จากสูตร Vout = Vin x R2 / (R1 + R2) เช่น ถ้าใช้บอร์ด Arduino Uno DC Bias ขึ้นไป 2.5 V จึงเลือกใช้ค่า R1, R2 ที่ 100k **Ω** เท่ากัน ส่วน Capacitor C1 ทำหน้าเป็น Filter noise แนะนำเป็น 10 uF



รูปที่ 2.33 แสดงการต่อเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าเข้ากับบอร์ดอาร์ดูอิโน่
(ที่มา https://www.thaieasyelec.com)

จอ LCD แบบ I2C

LCD ย่อมาจากคำว่า Liquid Crystal Display ซึ่งเป็นจอที่ทำมาจากผลึกคริสตอลเหลว หลักการคือด้านหลังจอจะมีไฟส่องสว่าง หรือที่เรียกว่า Backlight อยู่ เมื่อมีการปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไปกระตุ้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลึก ก็จะทำให้ผลึกโปร่งแสง ทำให้แสงที่มาจากไฟ Backlight แสดงขึ้นมาบนหน้าจอ ส่วนอื่นที่โดนผลึกปิดกั้นไว้ จะมีสีที่แตกต่างกันตามสีของผลึกคริสตอล เช่น สีเขียว หรือ สีฟ้า ทำให้เมื่อมองไปที่จอก็จะพบกับตัวหนังสือสีขาว แล้วพบกับพื้นหลังสีต่างๆกัน

จอ LCD จะแบ่งเป็น 2 แบบใหญ่ๆตามลักษณะการแสดงผลดังนี้

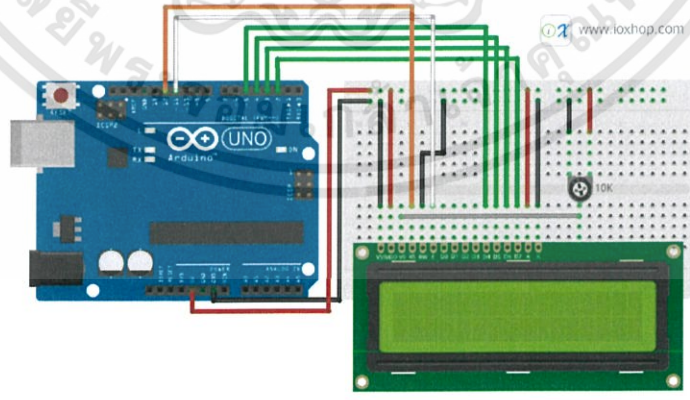
1. Character LCD เป็นจอที่แสดงผลเป็นตัวอักษรตามช่องแบบตายตัว เช่น จอ LCD ขนาด 16x2 หมายถึงใน 1 แถว มีตัวอักษรใส่ได้ 16 ตัว และมีทั้งหมด 2 บรรทัดให้ใช้งาน ส่วน 20x4 จะหมายถึงใน 1 แถว มีตัวอักษรใส่ได้ 20 ตัว และมีทั้งหมด 2 บรรทัด
2. Graphic LCD เป็นจอที่สามารถกำหนดได้ว่าจะให้แต่ละจุดบนหน้าจอกั้นแสง หรือปล่อยแสงออกไป ทำให้จอนี้สามารถสร้างรูปขึ้นมาบนหน้าจอได้ การระบุขนาดจะระบุในลักษณะของจำนวนจุด (Pixels) ในแต่ละแนว เช่น 128x64 หมายถึงจอที่มีจำนวนจุดตามแนวนอน 128 จุด และมีจุดตามแนวตั้ง 64 จุด

การเชื่อมต่อจะมีด้วยกัน 2 แบบ คือ

1. การเชื่อมต่อแบบขนาน เป็นการเชื่อมต่อจอ LCD เข้ากับบอร์ด Arduino โดยตรง โดยจะแบ่งเป็นการเชื่อมต่อแบบ 4 บิต และการเชื่อมต่อแบบ 8 บิต ใน Arduino จะนิยมเชื่อมต่อแบบ 4 บิต เนื่องจากใช้สายในการเชื่อมต่อน้อยกว่า
2. การเชื่อมต่อแบบอนุกรม เป็นการเชื่อต่อกับจอ LCD ผ่านโมดูลแปลงรูปแบบการเชื่อมต่อกับจอ LCD จากแบบขนาน มาเป็นการเชื่อมต่อแบบอื่นที่ใช้สายน้อยกว่า เช่น การใช้โมดูล I2C Serial Interface จะเป็นการนำโมดูลเชื่อมเข้ากับตัวจอ LCD แล้วใช้บอร์ด Arduino เชื่อมต่อกับบอร์ดโมดูลผ่านโปรโตคอล I2C ทำให้ใช้สายเพียง 4 เส้น ก็สามารถทำให้หน้าจอแสดงผลข้อความต่างๆ ออกมาได้

การเชื่อมต่อแบบขนาน

การเชื่อมต่อแบบขนานแบบ 4 บิต สามารถต่อได้ตามวงจรด้านล่างนี้



รูปที่ 2.34 แสดงการต่อจอ LCD 4 บิต แบบขนานเข้ากับบอร์ดอาร์ดูอิโน่
(ที่มา www.thaieasyelec.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin No	Symbol	Description
1	VSS/GND	Ground
2	VDD	+5VDC
3	VO/VEE	LCD Control สำหรับปรับความเข้มของตัวอักษร
4	RS	Register Select เป็นขาอินพุตสำหรับเลือกเขียนอ่านข้อมูลในรีจิสเตอร์
5	RW	Read/Write เป็นขาอินพุตสำหรับเลือกโหมดเขียนหรืออ่านข้อมูล
6	E/EN	Enable เป็นขาอินพุตสำหรับสัญญาณ Pulse เมื่อต้องการเขียนหรืออ่านข้อมูล
7	DB0	Data Pins 8-Bit
8	DB1	
9	DB2	
10	DB3	
11	DB4	
12	DB5	
13	DB6	
14	DB7	
15	A	(LED+) เป็นขา Vcc สำหรับ LED backlight (5V)
16	K	(LED-) เป็นขา Gnd สำหรับ LED backlight (Gnd)

รูปที่ 2.35 แสดงตารางขาของจอ LCD 16x2 แบบขนาน
(ที่มา www.thaieasyelec.com)

การควบคุมการแสดงผลของ LCD

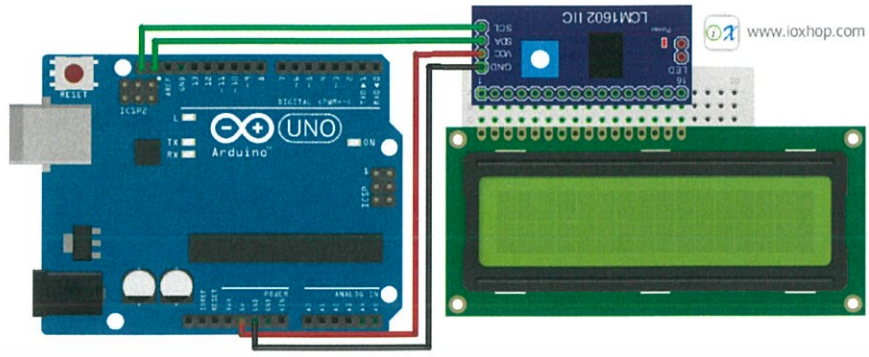
ในการควบคุมหรือสั่งงาน ตัวจอ LCD นั้นมีส่วนควบคุม (Controller) รวมไว้ในตัวแล้ว ผู้ใช้สามารถส่งรหัสคำสั่งควบคุมการทำงานของจอ LCD ผ่าน Controller ว่าต้องการใช้แสดงผลอย่างไร โดย LCD Controller ของจอตัวนี้เป็น Hitachi เบอร์ HD44780 และขาในการเชื่อมต่อระหว่าง LCD กับไมโครคอนโทรลเลอร์ มีดังนี้

1. GND เป็นกราวด์ใช้ต่อระหว่าง Ground ของระบบ Microcontroller กับ LCD
2. VCC เป็นไฟเลี้ยงวงจรที่ป้อนให้กับ LCD ขนาด +5VDC
3. VO ใช้ปรับความสว่างของหน้าจอ LCD
4. RS ใช้บอกให้ LCD Controller ทราบว่า Code ที่ส่งมาทางขา Data เป็นคำสั่งหรือข้อมูล
5. R/W ใช้กำหนดว่าจะอ่านหรือเขียนข้อมูลกับ LCD Controller
6. E เป็นขา Enable หรือ Chips Select เพื่อกำหนดการทำงานให้กับ LCD Controller
7. DB0-DB7 เป็นขาสัญญาณ Data ใช้สำหรับเขียนหรืออ่านข้อมูล/คำสั่ง กับ LCD

การเชื่อมต่อแบบอนุกรม

การเชื่อมต่อแบบอนุกรม จะใช้งานโมดูล I2C Serial Interface Board Module มาเชื่อมต่อระหว่าง Arduino กับจอ LCD วงจรที่เชื่อมต่อจะเป็นดังรูปที่ 2.35 (กรณีใช้บอร์ดรุ่นอื่น จะต้องต่อ SDA เข้า A4 และ SCL เข้ากับ A5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.36 แสดงการต่อจอ LCD แบบอนุกรมเข้ากับบอร์ดอาร์ดูอิโน่
(ที่มา www.thaieasyelec.com)

Pin No	Symbol	Description
1	GND	Ground
2	VCC	+5VDC
3	SDA	Serial Data
4	SCL	Serial Clock

รูปที่ 2.37 แสดงตารางขาของจอ LCD 16x2 แบบอนุกรม
(ที่มา www.thaieasyelec.com)

การควบคุมการแสดงผลของจอ LCD (I2C)

ในการควบคุมหรือสั่งงาน โดยทั่วไปจอ LCD จะมีส่วนควบคุม (Controller) อยู่ในตัวแล้ว ผู้ใช้สามารถส่งรหัสคำสั่งสำหรับควบคุมการทำงานของจอ LCD (I2C) เช่นเดียวกันกับจอ LCD แบบธรรมดา พูดง่ายๆ คือรหัสคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมนั้นเหมือนกัน แต่ต่างกันตรงที่รูปแบบในการรับส่งข้อมูล ในบทความนี้เราจะมาพูดถึงจอ LCD 16x2 ที่มีการส่งข้อมูลรูปแบบ I2C ที่ใช้ขาเพียง 4 ขาที่ใช้ในการเชื่อมต่อเท่านั้น

1. GND เป็น Ground ใช้ต่อระหว่าง Ground ของระบบ Microcontroller กับ LCD
2. VCC เป็นไฟเลี้ยงวงจรที่ป้อนให้กับ LCD มีขนาด +5VDC
3. SDA (Serial Data) เป็นขาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล
4. SCL (Serial Clock) เป็นขาสัญญาณนาฬิกาในการรับส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

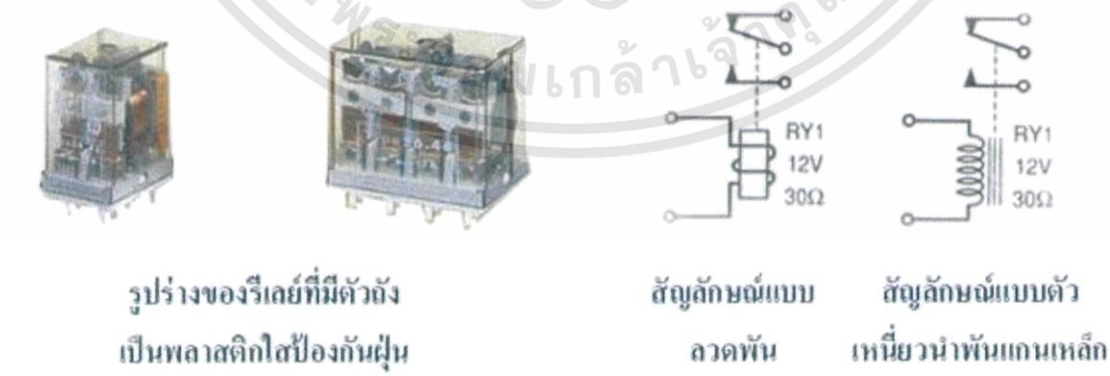
โมดูลเสียง (Active buzzer module 3.3 to 5V)

โมดูล Active Buzzer ใช้ไฟเลี้ยง 3.3 - 5V สามารถสร้างเสียงเตือนได้อย่างง่าย ๆ เพียงแค่จ่ายไฟเข้าไปที่ ขา I/O โมดูลนี้มีทรานซิสเตอร์เบอร์ 9012 ช่วยขยายสัญญาณจึงมีความดังเป็นพิเศษ

รูปที่ 2.38 แสดงรูปโมดูลเสียงหรือบัซเซอร์โมดูล

รีเลย์ (Relay)

รีเลย์เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานแม่เหล็ก เพื่อใช้ในการดึงดูดหน้าสัมผัสของคอนแทคให้เปลี่ยนสภาวะ โดยการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวด เพื่อทำการปิดหรือเปิดหน้าสัมผัส คล้ายกับสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเราสามารถนำรีเลย์ไปประยุกต์ใช้ ในการควบคุมวงจรต่าง ๆ ในงาน ช่างอิเล็กทรอนิกส์มากมาย



รูปร่างของรีเลย์ที่มีตัวถังเป็นพลาสติกใสป้องกันฝุ่น | สัญลักษณ์แบบลวดพัน | สัญลักษณ์แบบตัวเหนี่ยวนำพันแกนเหล็ก

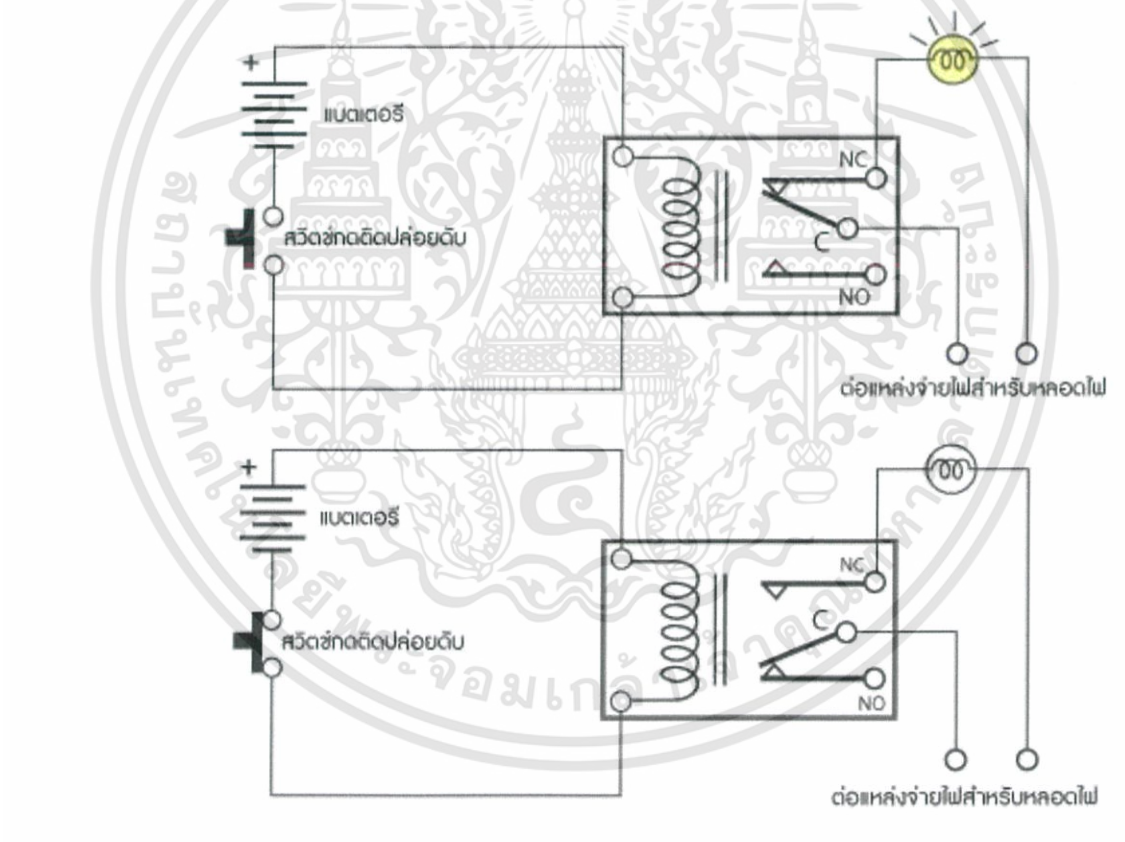
รูปที่ 2.39 แสดงรูปร่างและสัญลักษณ์ของรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีเลย์ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนหลักก็คือ

1. ส่วนของขดลวด (coil) เหนี่ยวนำกระแสต่ำ ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้แกนโลหะไปกระทุ้งให้หน้าสัมผัสต่อกัน ทำงานโดยการรับแรงดันจากภายนอกต่อคร่อมที่ขดลวดเหนี่ยวนำนี้ เมื่อขดลวดได้รับแรงดัน (ค่าแรงดันที่รีเลย์ต้องการขึ้นกับชนิดและรุ่นตามที่ผู้ผลิตกำหนด) จะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้แกนโลหะด้านในไปกระทุ้งให้แผ่นหน้าสัมผัสต่อกัน

2. ส่วนของหน้าสัมผัส (contact) ทำหน้าที่เหมือนสวิตช์จ่ายกระแสไฟให้กับอุปกรณ์ที่เราต้องการ จุดต่อใช้งานมาตรฐานประกอบด้วย จุดต่อ NC ย่อมาจาก Normally Close หมายความว่า ปกติติดปิด หรือหากยังไม่จ่ายไฟให้ขดลวดเหนี่ยวนำหน้าสัมผัสจะติดกัน โดยทั่วไปเรามักต่อจุดนี้เข้ากับอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการให้ทำงานตลอดเวลา จุดต่อ NO ย่อมาจาก Normally Open หมายความว่าปกติเปิดหรือหากยังไม่จ่ายไฟให้ขดลวดเหนี่ยวนำ หน้าสัมผัสจะไม่ติดกัน โดยทั่วไปเรามักต่อจุดนี้เข้ากับอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการควบคุมการเปิดปิด จุดต่อ C ย่อมากจาก Common คือจุดร่วมที่ต่อมาจากแหล่งจ่ายไฟ



รูปที่ 2.40 แสดงวงจรการใช้งานแบบ NC และแบบ NO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อคำถึงในการใช้งานรีเลย์ทั่วไป

1. แรงดันใช้งาน หรือแรงดันที่ทำให้รีเลย์ทำงานได้ หากเราดูที่ตัวรีเลย์จะระบุค่า แรงดันใช้งานไว้ (หากใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนมากจะใช้แรงดันกระแสตรงในการใช้งาน) เช่น 12VDC คือต้องใช้แรงดันที่ 12 VDC เท่านั้นหากใช้มากกว่านี้ ขดลวดภายใน ตัวรีเลย์อาจจะขาดได้ หรือหากใช้แรงดันต่ำกว่ามาก รีเลย์จะไม่ทำงาน ส่วนในการต่อวงจรนั้นสามารถต่อขั้วใดก็ได้ครับ เพราะตัวรีเลย์จะไม่ระบุขั้วต่อไว้ (นอกจากชนิดพิเศษ)

2. การใช้งานกระแสผ่านหน้าสัมผัส ซึ่งที่ตัวรีเลย์จะระบุไว้ เช่น 10A 220AC คือ หน้าสัมผัสของรีเลย์นั้นสามารถทนกระแสได้ 10 แอมแปร์ที่ 220VAC ครับ แต่การใช้ก็ควรจะใช้งานที่ระดับกระแสต่ำกว่านี้จะเป็นการดีกว่าครับ เพราะถ้ากระแสมากหน้าสัมผัส ของรีเลย์จะละลายเสียหายได้

หน้าที่ของรีเลย์ คือ เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ตรวจสอบสภาพการณ์ของทุกส่วน ในระบบกำลังไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลาหากระบบมีการทำงานที่ผิดปกติ รีเลย์จะเป็นตัวสั่งการให้ตัดส่วนที่ลัดวงจรหรือส่วนที่ทำงานผิดปกติ ออกจากระบบทันทีโดยเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit breaker) จะเป็นตัวที่ตัดส่วนที่เกิดข้อผิดพลาด (Fault) ออกจากระบบ

คุณสมบัติที่ดีของรีเลย์

1. ต้องมีความไว (Sensitivity) คือมีความสามารถในการตรวจพบสิ่งที่ผิดปกติเพียงเล็กน้อยได้
2. มีความเร็วในการทำงาน (Speed) คือความสามารถทำงานได้รวดเร็วทันใจ ไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์และไม่กระทบกระเทือนต่อระบบ โดยทั่วไปแล้วเวลา ที่ใช้ในการตัดวงจรจะขึ้นอยู่กับระดับของแรงดันของระบบด้วย
   - ระบบ 6-10 กิโลโวลต์ จะต้องตัดวงจรภายในเวลา 1.5 - 3.0 วินาที
   - ระบบ 100-220 กิโลโวลต์ จะต้องตัดวงจรภายในเวลา 0.15 - 0.3 วินาที
   - ระบบ 300-500 กิโลโวลต์ จะต้องตัดวงจรภายในเวลา 0.1 - 0.12 วินาที

2.4.3 ประเด็นที่ควรคำนึงถึงในการวัด

ในการวัดค่าต่างๆที่เป็นแบบดิจิตอล นั้นมีขั้นตอนหนึ่งที่ทำการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญที่จะชี้วัดว่าเครื่องมือวัดนั้นจะมีประสิทธิภาพในการวัดมากน้อยเพียงใด โดยมีปัจจัยต่างๆดังนี้

การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล ควรพิจารณาถึงคุณสมบัติต่างๆ ของการเลือกอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้งานดังนี้

1. ความแม่นยำ (Accuracy) คือ คุณสมบัติในการแปลงสัญญาณในการทำให้ตัวเลขฐานสองมีค่าใกล้เคียงกับระดับของสัญญาณอนาล็อกมากน้อยเพียงใดอาจมีปัจจัยมาจากความละเอียด (Resolution) หรือการเปลี่ยนแปลงค่าที่น้อยที่สุดของแรงดันที่สามารถตรวจจับได้ นอกจากความคาดเคลื่อนในการแปลงสัญญาณแล้ว การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลยังมีความคาดเคลื่อนเนื่องจากความเปลี่ยนแปลงจุดทำงาน (Offset error) ความคาดเคลื่อนเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้น (Linearity error) และความคาดเคลื่อนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการขยาย (Gain error) เพราะตัวแปรจากกระบวนการและคุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อใช้งานไปในระยะหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความเร็วในการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ (Converse time) คือ ความเร็วหรือเวลาที่อุปกรณ์ใช้ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล

2.5 ทฤษฎีทางไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 ระบบไฟฟ้าสามเฟส และสูตรคำนวณสำหรับมอเตอร์สามเฟส

ระบบไฟฟ้า 3 เฟส

ระบบไฟฟ้า 3 เฟสเป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 4 สาย แรงดัน 380 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ โดยที่ 3 สายจะเป็นสายที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน โดยทั่วไประบบไฟฟ้า 3 เฟสเป็นระบบที่ไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องจักรต่างๆในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ เพราะเครื่องจักรเหล่านี้มักมีขนาดใหญ่จึงต้องการแรงดันไฟฟ้าที่สูง ไฟฟ้าระบบนี้ไม่สามารถนำมาใช้กับระบบแสงสว่างหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าตามบ้านได้โดยตรง แต่สามารถนำมาใช้ได้โดยการนำไฟฟ้า 3 เฟสนั้นมาแบ่งแยกให้เป็นระบบไฟฟ้า 1 เฟส 3 ชุด แล้วกระจายไปตามจุดต่างๆที่มีการใช้ไฟฟ้า การกระจายจุดของการใช้งานเช่นนี้ทำให้ไฟฟ้าแต่ละเฟสไม่ถูกใช้งานมาก ถือเป็นการเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้า การกระจายการใช้ไฟฟ้าออกเป็น 3 ส่วนจากระบบไฟฟ้าที่นำเข้า 3 เฟสดังกล่าว จึงทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละส่วนหรือแต่ละเฟสน้อยลง

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสเป็นมอเตอร์ที่นิยมใช้งานกันทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมโดยเฉพาะมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ชนิดที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอกมีข้อดีคือไม่มีแปรงถ่านทำให้การสูญเสียเนื่องจากความผิดมีค่าน้อยมีตัวประกอบกำลังสูงการบำรุงรักษาต่ำการเริ่มเดินทำได้ไม่ยากความเร็วรอบค่อนข้างคงที่สร้างง่ายทนทานราคาถูกและมีประสิทธิภาพสูงแต่มีข้อเสีย ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของมอเตอร์ทำได้ยากปัจจุบันได้มีการพัฒนาชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์ใช้สำหรับปรับความเร็วรอบของมอเตอร์และเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลนี้พลังงานไฟฟ้าไม่ได้นำเข้าสู่ที่โรเตอร์โดยตรงแต่ได้จากการเหนี่ยวนำ จึงนิยมเรียกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor)

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แบ่งออกได้ 2 แบบ ได้แก่ แบบโรเตอร์กรงกระรอก (Squirrel cage Rotor) และโรเตอร์แบบพันขดลวด (Wound Rotor) มอเตอร์ทั้งสองแบบนี้จะมีส่วนประกอบที่เหมือนๆกันส่วนที่อยู่กับที่แต่จะแตกต่างกันเฉพาะส่วนที่เคลื่อนที่เท่านั้น

การต่อมอเตอร์ 3 เฟส

มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟสสามารถต่อใช้งานได้หลักๆ 2 วิธีคือต่อใช้งานในแบบสตาร์ (Star) และแบบเดลต้า (Delta) ส่วนหากเราอยากรู้ว่ามอเตอร์ของเรานั้นจะต้องต่อใช้งานในแบบสตาร์หรือว่าแบบเดลต้าจะต้องดูข้อมูลที่เนมเพลทของมอเตอร์ (Name plate) และต้องรู้ว่าระบบไฟฟ้าที่เราใช้เป็นแบบไหนแต่โดยส่วนมากในประเทศไทยระบบไฟฟ้าแรงต่ำที่ใช้งานจะเป็นระบบ 400/230 V นั้นก็คือหากเป็นระบบ 3 เฟสจะเป็นแรงดัน 400V หากเป็นระบบเฟสเดียวจะเป็นแรงดัน 230 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

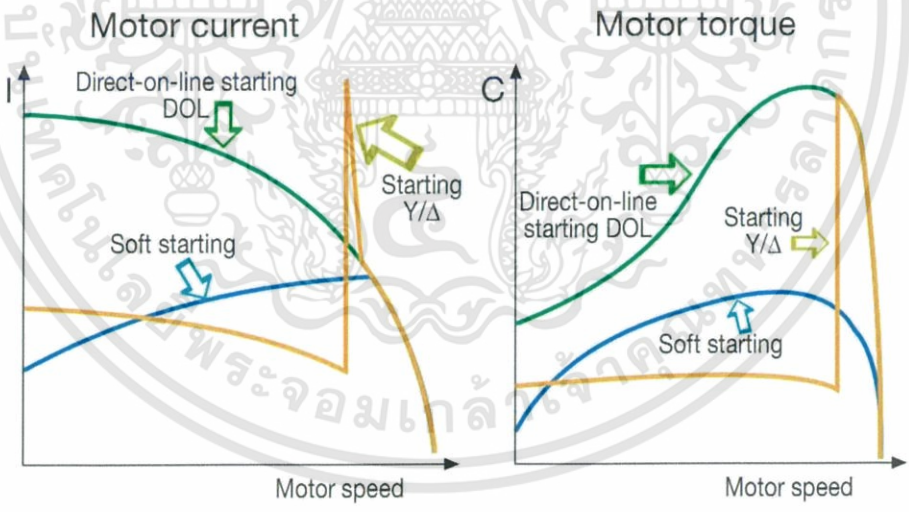
การสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟสแบบสตาร์-เดลต้า

ในการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟสที่มีขนาดใหญ่ เช่น เกินกว่า 7.5 กิโลวัตต์ นั้นถ้าต่อโดยตรงแบบแรกจะมีกระแสสูงมากประมาณ 7 เท่าของกระแสปกติของค่าพิกัดมอเตอร์ ซึ่งจะทำให้เกิดผลเสียแก่ระบบไฟฟ้า เช่น ไฟตก แสงสว่างในโรงงานวูบหรือกระพริบ มีปัญหาในการทำงาน ฟิวส์แรงสูงที่ระบบจ่ายไฟฟ้าขาด อุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าตกทำงาน ระบบจ่ายไฟมีปัญหาจากโอเวอร์โหลดและยังอาจกระทบต่อการทำงานของมอเตอร์อื่นๆ ในโรงงาน ดังนั้นมอเตอร์ที่มีขนาดสูงกว่า 7.5 กิโลวัตต์ ต้องใช้เทคนิคการสตาร์ทมอเตอร์แบบลดกระแสซึ่งมีอยู่ 3 วิธี

1. การสตาร์ทแบบสตาร์-เดลต้า
2. การสตาร์ทแบบลดกระแสแบบตัวต้านทาน
3. การสตาร์ทโดยใช้หม้อแปลงลดแรงดัน

โดยวิธีที่ใช้งานกันมากในอุตสาหกรรมคือการสตาร์ทแบบสตาร์-เดลต้า ในที่นี้จึงจะขอกล่าวถึงเฉพาะการสตาร์ทแบบนี้เท่านั้น

การสตาร์ทแบบสตาร์-เดลต้า ใช้เทคนิคการสตาร์ทมอเตอร์แบบลดกระแสตอนเริ่มต้นเพื่อแก้ปัญหากระแสกระชากสูง ซึ่งเกิดผลเสียดังที่กล่าวมาแล้ว โดยการทำงานมอเตอร์จะถูกสตาร์ททำงานแบบ Star และเมื่อมอเตอร์หมุนไปด้วยความเร็ว 75% ของความเร็วพิกัด มอเตอร์จะถูกสั่งให้ทำงานแบบ Delta แทน เราสามารถดูกราฟกระแสและแรงบิดที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างการสตาร์ทแบบต่อโดยตรงและสตาร์-เดลต้า



รูปที่ 2.41 แสดงกราฟกระแสไฟฟ้าและแรงบิดเทียบกับความเร็วรอบมอเตอร์ เปรียบเทียบระหว่างการสตาร์ทแบบต่อโดยตรงและสตาร์-เดลต้า
(ที่มา https://mall.factomart.com/motor-control-star-delta)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรคำนวณสำหรับมอเตอร์ 3 เฟส

$$P = \sqrt{3} \times I \times PF \times eff$$

โดยที่
I = กระแสมอเตอร์ (A)
V = แรงดันไฟฟ้า (V)
P = กำลังไฟฟ้า (Watt)
PF = ตัวประกอบกำลังของมอเตอร์
eff = ประสิทธิภาพของมอเตอร์

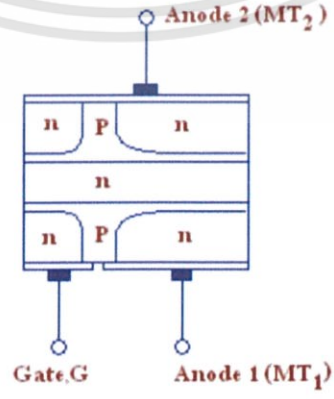
หมายเหตุ:
- ประสิทธิภาพของมอเตอร์ (eff.) และตัวประกอบกำลังของมอเตอร์ (PE) จะบอกค่าไว้ที่เนมเพลทของมอเตอร์หรือที่ data sheet
- หากไม่ทราบค่า eff. และ PF อาจใช้ค่าประมาณคือค่าประสิทธิภาพหรือ eff เป็น 0. 85 ค่าตัวประกอบกาลังหรือ PF เป็น 0. 8

2.5.2 ไตรแอก (Triac) และไดแอก (Diac)

Triac และ Diac

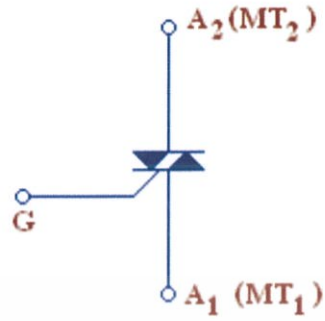
ไตรแอก (Triac) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำจำพวกไทริสเตอร์ (Thyristor) อีกชนิดหนึ่ง เช่นเดียวกับ SCR แต่สามารถนำกระแสได้สองทิศทางโดยมีคุณสมบัติเป็นสวิตช์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถควบคุมขนาดของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับโหลดได้ อีกทั้งในการควบคุมก็กระทำได้ง่าย ไม่เกิดประกายไฟจากหน้าสัมผัส เพราะอาศัยการเคลื่อนที่ของกระแสอิเล็กตรอนผ่านรอยต่อสารกึ่งตัวนำ ส่วนไดแอก (Diac) เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยป้องกันขาเกตของไตรแอก ไม่จัดเป็นอุปกรณ์ไทริสเตอร์แต่กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านตัวมันได้สองทิศทางเช่นเดียวกับไตรแอก

โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไตรแอก

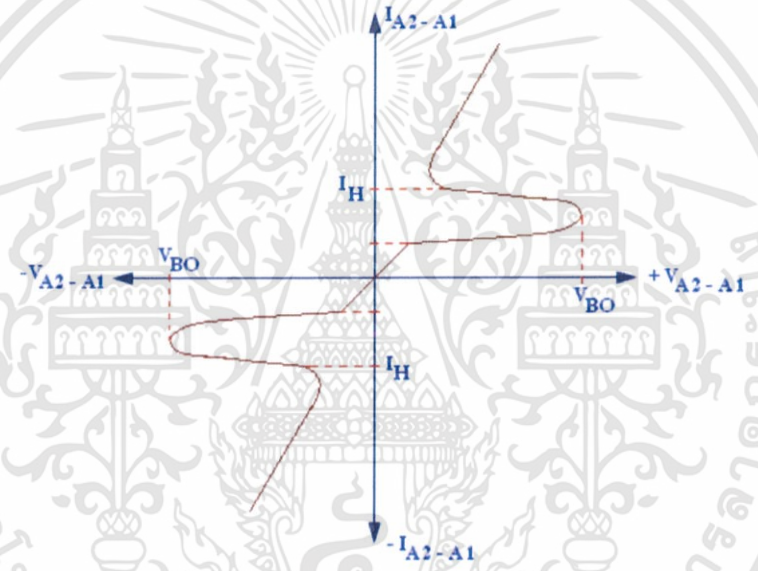


รูปที่ 2.42 แสดงโครงสร้างของไตรแอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.43 แสดงสัญลักษณ์ของไตรแอก



รูปที่ 2.44 แสดงกราฟคุณลักษณะของไตรแอก

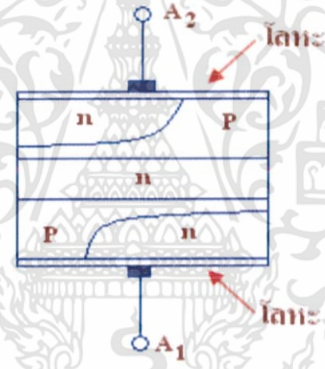
จากรูปที่แสดงกราฟคุณลักษณะของไตรแอก จะเห็นว่าความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่ไหลระหว่างขา A2 ไปยัง A1 หรือจาก A1 ไปยัง A2 สามารถเป็นไปได้ทั้ง 2 ทิศทาง A2 และ A1 สามารถต่อแหล่งจ่ายได้ทั้งที่เป็นไฟบวกและไฟลบ ดังนั้นไตรแอกจึงนิยมนำไปใช้ควบคุมโหลดที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ คุณลักษณะการนำกระแสของไตรแอกโดยทั่วไปจะคล้ายกับ SCR คือเมื่อนำกระแสในวงจรที่มีแหล่งจ่ายเป็นไฟตรงแล้วจะสามารถนำกระแสได้ตลอด เว้นเสียแต่ว่ากระแสที่ไหลผ่านไตรแอกมีค่าต่ำกว่าค่ากระยึด (Holding current ; IH) มันก็จะหยุดนำกระแสเช่นเดียวกับ SCR ในส่วนของการนำไปใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับนั้น การหยุดนำกระแสจะเกิดขึ้นในช่วงที่สัญญาณรูปคลื่นไซน์ของกระแสลดต่ำลงน้อยกว่าค่ากระแสยึด ดังนั้นจึงต้องมีการป้อนสัญญาณทริกที่ขาเกตให้กับไตรแอก โดยปรับเลือกตำแหน่งมุมต่าง ๆ ของรูปคลื่นไซน์ก็จะเป็นการทำให้ไตรแอกควบคุมปริมาณของกระแสและแรงดันที่จะป้อนให้กับโหลดด้วยค่าที่ต่างกัน ตามมุมของการทริกที่ขาเกตนั่นเอง อย่างไรก็ตามถ้าทำการป้อนแรงดันระหว่างขา A2– A1 โดยไม่มีการทริกที่ขาเกตไตรแอก จะสามารถนำกระแสได้ก็ต่อเมื่อแรงดันตกคร่อมตัวมันมีค่าถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

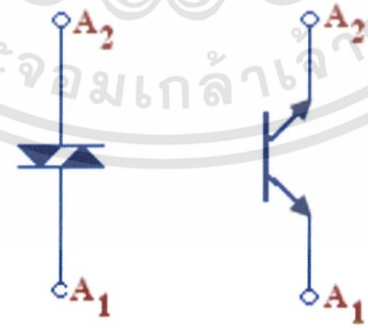
ช่วง “แรงดันพัง” (Break over voltage) เช่นเดียวกับ SCR ซึ่งเป็นการเสี่ยงที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อไตรแอกและโหลด ดังนั้นจึงต้องมีการทริกที่ขาเกตเสมอเพื่อที่จะได้ไม่ต้องป้อนแรงดันในวงจรให้มีค่าสูงจนเกินไป

แม้ว่าไตรแอกจะสามารถนำไปใช้ควบคุมกำลังไฟฟ้าของโหลดไฟฟ้ากระแสสลับไม่ว่าจะเป็นการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ควบคุมแสงสว่างของหลอดไฟฟ้า (Light dimmer) ควบคุมความร้อนของขดลวดความร้อนในเครื่องทำน้ำอุ่นไฟฟ้า หรืองานเกี่ยวกับด้านเครื่องมือแพทย์แต่มันก็มีจุดอ่อนอยู่ที่ตำแหน่งของขาเกต โดยที่ขาเกตไม่สามารถทนต่อแรงดันสูงๆได้ถ้าแรงดันที่เกตสูงเกินไป อาจทำให้รอยต่อที่เกตทะลุ ส่งผลให้ไม่สามารถใช้ขาเกตควบคุมการทำงานของไตรแอกได้อีกต่อไป ดังนั้นที่เกตของไตรแอกจึงมักต่ออุปกรณ์อีกตัวหนึ่งเพิ่ม เข้าไปเพื่อช่วยในการรับแรงดันส่วนหนึ่งไว้ อีกทั้งยังเป็นการป้องกันเกตไม่ให้เกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากแรงดัน ที่เกตมีค่ามากเกินไป อุปกรณ์ตัวนั้นเรียกว่า “ไดแอก” (Diac) ไดแอกเป็นอุปกรณ์ที่ไม่จัดเป็นไทริสเตอร์ แต่จะถูกจัดเป็นอุปกรณ์ช่วยในการทำงานของอุปกรณ์ไทริสเตอร์ โดยมันจะทำ หน้าที่ป้องกันอันตรายอัน เนื่องมาจากแรงดัน ที่ขาเกตและยังเป็นตัวกำหนดค่าแรงดัน ที่จะมากระตุ้น (Trig) ที่เกตอีกทางหนึ่ง เราอาจเรียก Diac ว่า Diode – AC

โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดแอก

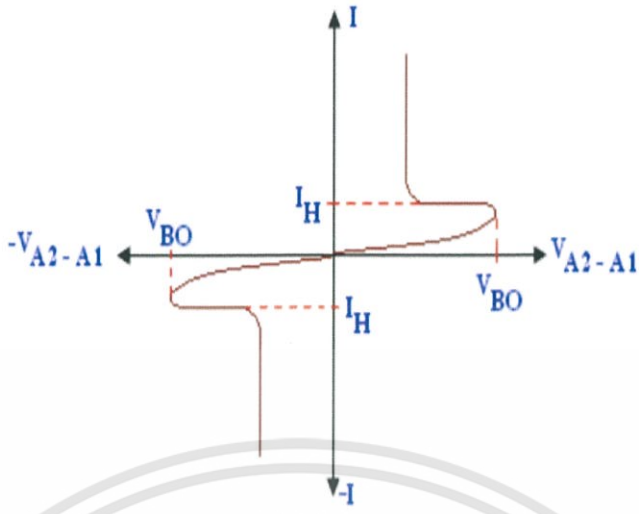


รูปที่ 2.45 แสดงโครงสร้างของไดแอก



รูปที่ 2.46 แสดงสัญลักษณ์ของไดแอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

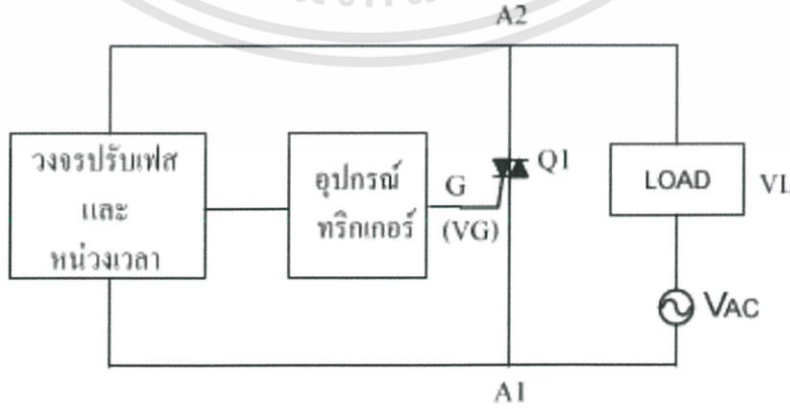


รูปที่ 2.47 แสดงกราฟคุณลักษณะของไดแอก

จากกราฟคุณลักษณะของไดแอก ที่แสดงในรูปที่ 16.4 จะเห็นได้ว่า การนำกระแสของไดแอกสามารถนำ ได้สองทิศทางเช่นเดียวกับไตรแอก เพียงแต่มันไม่มีขาเกต การที่จะทำ ให้มัน นำกระแสได้จะต้องทา ให้แรงดันตกคร่อมที่ตัวมัน มีค่าถึง “แรงดันพัง” (Break over voltage) และเมื่อตัวมันนำกระแส แรงดัน ที่ตกคร่อมตัวมันจะลดลงจากค่าแรงดันพังประมาณ 5 โวลต์ ขา A2 และ A1 สามารถต่อได้ทั้งไฟบวกหรือไฟลบ สลับกัน อย่างไรก็ตามไดแอกก็มีข้อจำ กัด ด้านกระแสและ แรงดันเช่นเดียวกัน ดังนั้น ในการใช้งานจึงควรใช้ไดแอกตามพิกัดกระแสและแรงดัน ที่มันทนได้ ลักษณะของไดแอกจะคล้ายไดโอด คือจะมีแถบคาดที่ตัวไดแอกซึ่งมักอยู่ ตรงกึ่งกลาง ส่วนไดโอด จะมีแถบคาดค่อนข้างชิดกับขาแคโถด

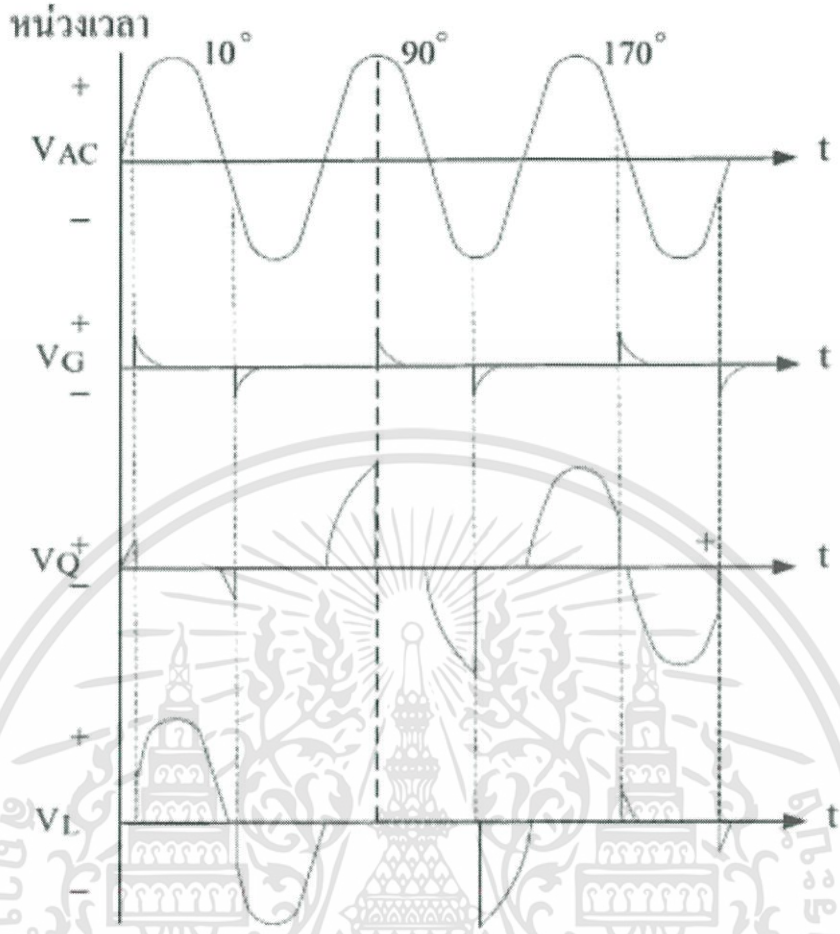
การทำงานของไตรแอกต่อแรงดันไฟสลับ

ไตรแอกนำกระแสได้ทั้งช่วงบวกและช่วงลบ โดยจ่ายแรงดันไฟสลับผ่านทั้งสองช่วงและถ้ามีการควบคุมจังหวะในการกระตุ้นขา G ของไตรแอกอย่างเหมาะสมในมุมเฟสต่างกัน จะได้แรงดันไฟสลับที่จ่ายไปยังโหลดที่มีกำลังไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกันไป วงจรดังรูปที่ 2.45



รูปที่ 2.48 แสดงวงจรที่มีการต่อไตรแอกเข้าไปในวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.49 วงจรไตรแอกในการทำงานต่อแรงดันไฟสลับ
(ที่มา ทฤษฎีอิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม 1. 2537, หน้า 58)

วงจรไตรแอกในการทำงานต่อแรงดันไฟสลับ ไตรแอกนำกระแสได้ทั้งช่วงบวกละช่วงลบขึ้นอยู่กับแรงดันไฟสลับที่ไปกระตุ้นขา G และขึ้นอยู่กับแรงดันไฟสลับที่จ่ายให้ขา A1 และขา A2 โดยทำงานได้ทั้งหมด 4 สภาวะ ช่วงหน่วงเวลา 10 องศา แรงดันไฟสลับที่ป้อนไปกระตุ้นขา G จะกระตุ้นเมื่อแรงดัน VAC ที่ป้อนให้ขา A1 และขา A2 ทำงานไปถึงมุม 10° ไตรแอกจึงเริ่มนำกระแส จึงมีแรงดันตกคร่อมโหลดมากและมีแรงดันตกคร่อมไตรแอกน้อย

รูปที่ 2.46 ในช่วงหน่วงเวลาที่ 90 องศาแรงดันไฟสลับที่ป้อนไปกระตุ้นขา G จะกระตุ้นเมื่อแรงดัน V ที่ป้อนให้ขา A และขา A ทำงานไปถึงมุม 90° ไตรแอกจึงเริ่มนำกระแสโดยนำกระแสเร็วจะช้าลงจึงมีแรงดันตกคร่อมโหลดน้อยลงและมีแรงดันตกคร่อมไตรแอกยิ่งมากขึ้น

รูปที่ 2.46 ช่วงเวลาที่ 170 องศาแรงดันไฟสลับที่ป้อนไปกระตุ้นขา G จะกระตุ้นเมื่อแรงดัน V ที่ป้อนให้ขา A และขา A ทำงานไปถึงมุม 170 องศาไตรแอกจึงเริ่มนำกระแสการนำกระแสจะช้าลงมีแรงดันตกคร่อมโหลดยิ่งน้อยลงและมีแรงดันตกคร่อมไตรแอกยิ่งมากขึ้น

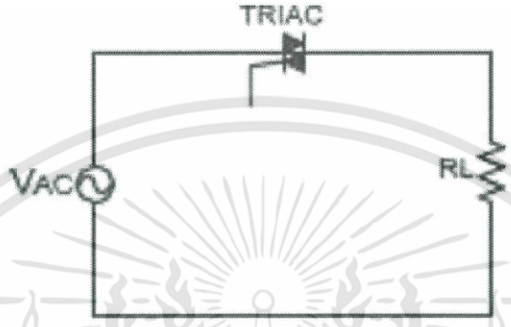
แรงดันที่ตกคร่อมไตรแอกและตกคร่อมโหลดจะสลับกันคือจังหวะไตรแอกไม่นำกระแสไตรแอกมีความต้านทานสูงแรงดันทั้งหมดตกคร่อมไตรแอกไม่มีแรงดันตกคร่อมโหลดและในจังหวะที่ไตรแอกนำกระแสไตรแอกมีความต้านทานต่ำไม่มีแรงดันตกคร่อมไตรแอกแรงดันทั้งหมดจะตกคร่อมดังนั้นการมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

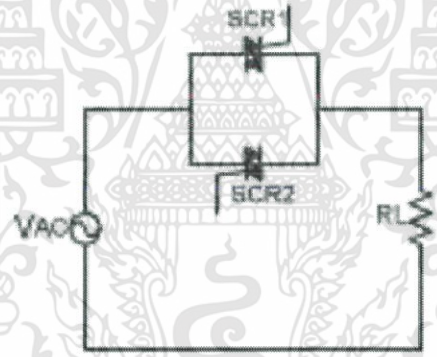
แรงดันตกคร่อมโหลดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาวะการนำกระแสของไตรแอกช้าหรือเร็วที่เวลาเฟสองศาเท่าไรถ้าทำงานที่เวลามุมเฟสองศาน้อยไตรแอกนำกระแสเร็วมีแรงดันตกคร่อมไตรแอกน้อยมีแรงดันตกคร่อมโหลดมากและถ้าทำงานที่เวลามุมเฟสองศาไตรแอกนำกระแสช้ามีแรงดันตกคร่อมไตรแอกมากมีแรงดันตกคร่อมโหลดน้อย

การใช้ไตรแอกควบคุมเฟสแรงดันไฟสลับ

การควบคุมแรงดันไฟสลับชนิดเฟสเดียว วงจรแสดงดังรูปที่ 2.47

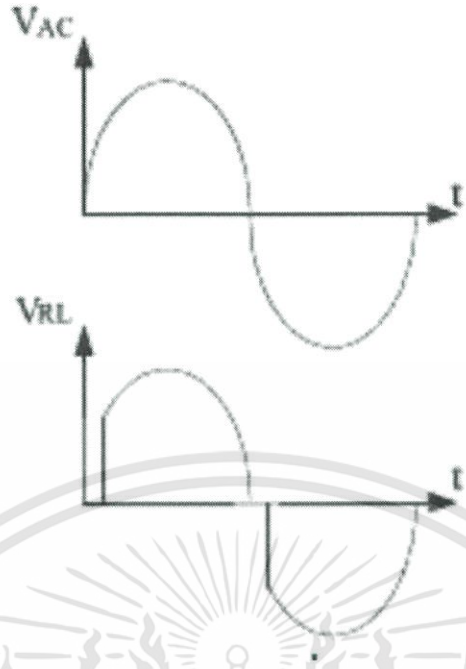


รูปที่ 2.50 วงจรไตรแอกในการควบคุมเฟสแรงดันไฟสลับ



รูปที่ 2.51 วงจรใช้ SCR ในการควบคุมเฟสแรงดันไฟสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.52 แสดงสัญญาณที่จุดต่างๆของวงจรควบคุมแรงดันไฟสลับด้วยไตรแอกและ SCR ชนิดเฟสเดียว (ที่มา ทฤษฎีอิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม 1. 2537, หน้า 71)

การใช้งานไตรแอกและไดแอก

โดยปกติแล้วการใช้งานไตรแอกและไดแอก มักจะใช้งานร่วมกันโดยไตรแอกจะทำหน้าที่เป็นตัวหลักในการจ่ายกำลังงานไฟฟ้าให้กับโหลด ส่วนไดแอกจะทำหน้าที่ป้องกันและควบคุมการทริกที่ขาเกตของไตรแอกและด้วยเหตุที่ไตรแอกสามารถมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไดทั้งสองทิศทางในปริมาณที่มาก ดังนั้นการนำไปใช้ควบคุมการทำงานของโหลดส่วนใหญ่จึงมักเป็นโหลดไฟฟ้ากระแสสลับ เช่น การนำไปใช้ควบคุมความเร็วของมอเตอร์วงจรเครื่องทำน้ำอุ่นไฟฟ้า วงจรการควบคุมความสว่างของหลอดไฟหรือที่เรียกว่า วงจรหรี่ไฟ (Light dimmer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานและการออกแบบชุดทดลอง

3.1 บทนำ

หลักการออกแบบฮาร์ดแวร์ของชุดทดสอบวัดกระแสไฟฟ้าแบบดิจิตอลในโครงงานนี้ ใช้แนวคิด Off-the-shelf คือการนำสิ่งที่หาได้ง่าย มีพร้อมให้ใช้งาน มาดัดแปลงเพื่อสร้างชุดทดสอบ โดยเครื่องมือวัดจะทำการรับอินพุตที่เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัญญาณอนาล็อก จากนั้นจะถูกลดทอนระดับของสัญญาณให้ต่ำลงเพื่อให้สามารถใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีหน้าที่แปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลและคำนวณค่ากระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า แล้วนำค่าที่ประมวลผลได้ไปแสดงผลบนจอ LCD และบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

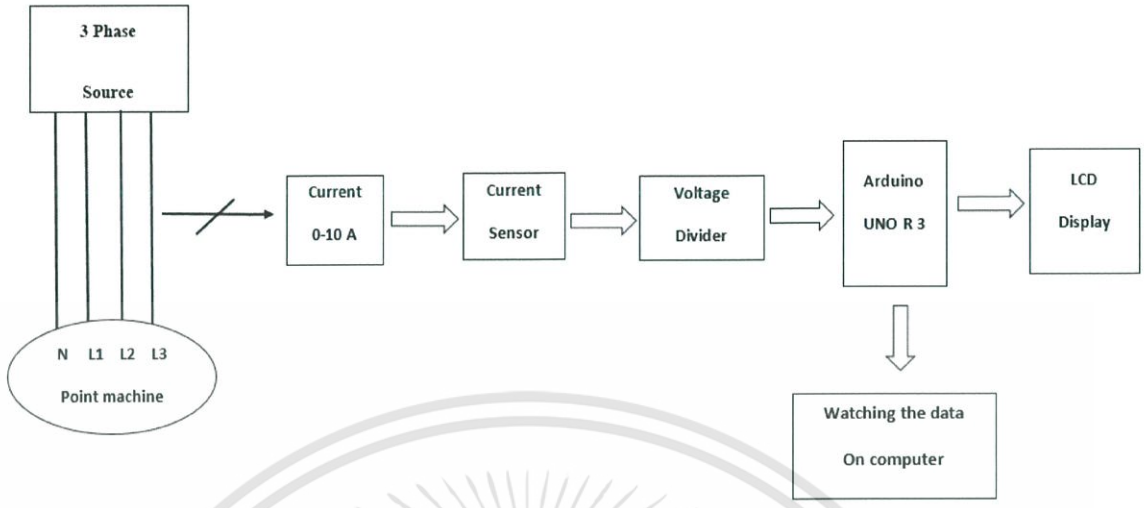
ขั้นตอนการดำเนินงานจะเริ่มตั้งแต่การศึกษาการทำงานของประแจกลไฟฟ้าและศึกษาองค์ประกอบของประแจกลไฟฟ้าว่ามีความสัมพันธ์ในการทำงานอย่างไร ควบคู่กับการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันในแต่ละวันเพื่อศึกษาปัญหาและการใช้งานจริงของประแจกลไฟฟ้า โดยการสร้างชุดทดสอบวัดกระแสไฟฟ้าจะช่วยให้เข้าใจการทำงานของประแจกล และยังสามารถตรวจสอบได้ว่าประแจกลไฟฟ้าทำงานปกติหรือไม่

1. ศึกษาการทำงานของประแจกลไฟฟ้าและองค์ประกอบของประแจกลไฟฟ้า
2. กำหนดขอบเขตของเครื่องมือว่าต้องการตรวจวัดค่าใดบ้าง
3. ศึกษาการใช้งานบอร์ด Arduino และโมดูลที่ใช้ตรวจจับกระแสไฟฟ้า
4. ออกแบบและสร้างชุดทดสอบที่จะนำมาใช้วัดค่ากระแสไฟฟ้า ของมอเตอร์ของประแจกลไฟฟ้า
5. ทำการสอบเทียบเซ็นเซอร์ของชุดทดสอบ
6. นำชุดทดสอบไปทดลองวัดค่ากระแสไฟฟ้าในระหว่างการทำงานจริงของประแจกลไฟฟ้า
7. ทำการเก็บข้อมูลจากการทดสอบ และนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลกับการทำงานของประแจกลไฟฟ้า

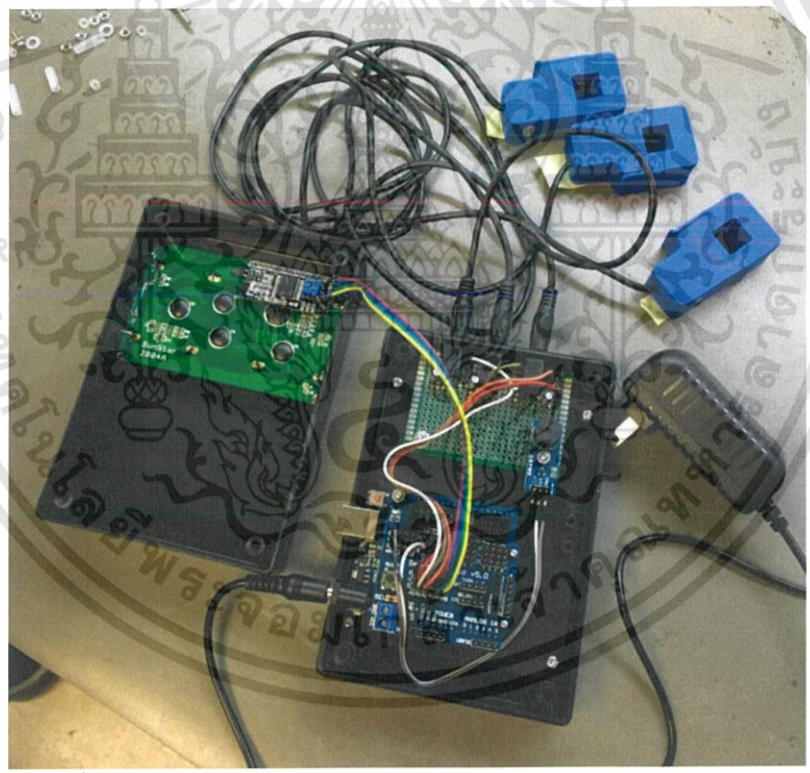
3.3 โครงสร้างของชุดทดสอบวัดกระแสไฟฟ้า

ชุดทดสอบวัดกระแสไฟฟ้า 3 เฟส ที่ได้ทำการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 สามารถนำไปใช้กับพิกัดกระแสสูงสุด 15 แอมแปร์ โดยใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ทั้งหมด โดยเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าจะส่งค่ามาเป็นแรงดันไฟฟ้าที่อนาล็อกอินพุต หลังจากนั้นไมโครคอนโทรเลอร์จะทำการประมวลผลสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล แล้วคำนวณกลับเป็นค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้ และทำการคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย กำลังไฟฟ้า กระแสสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงที่มีการเคลื่อนประแจสับรางกล ค่าเหล่านี้จะถูกนำไปแสดงผลผ่านทางจอ LCD ของชุดทดสอบ และหน้าจอคอมพิวเตอร์ ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์จะสามารถเก็บข้อมูลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมทางฮาร์ดแวร์ของชุดทดสอบวัดกระแสไฟฟ้าแบบดิจิตอล



รูปที่ 3.2 แสดงฮาร์ดแวร์ของชุดทดสอบวัดกระแสไฟฟ้าแบบดิจิตอล

3.3.1 เซนเซอร์ตรวจจับกระแสไฟฟ้า

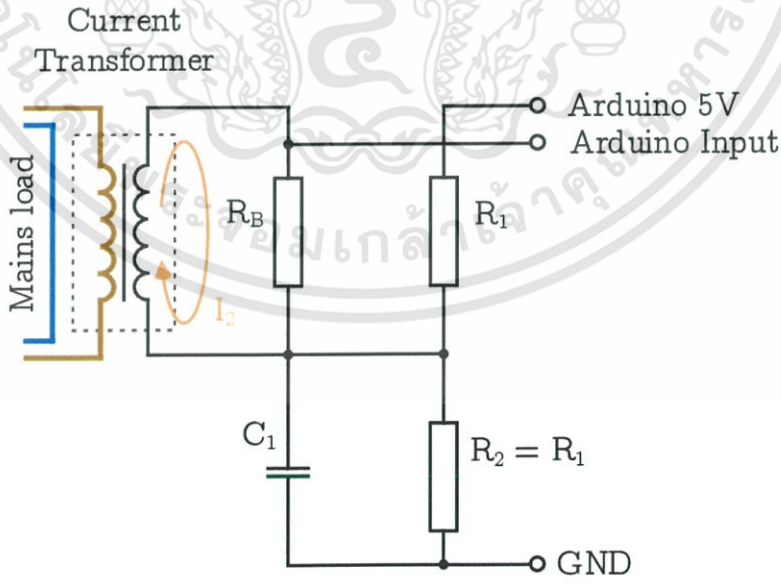
หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (Current transformer, CT) คืออุปกรณ์ที่ลดขนาดของกระแสไฟฟ้าสลับให้ต่ำลง ถูกออกแบบมาให้ใช้งานร่วมกับเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าบอร์ด Arduino หรืออุปกรณ์บางอย่างที่ต้องต่อร่วมกัน ในวงจรนั้นที่ซึ่งต้องการกระแสไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงของการวัดของอุปกรณ์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงพลังงานไฟฟ้า กระแสสลับจากวงจรหนึ่งไปยังอีกวงจรหนึ่งโดยวิธีทางวงจรแม่เหล็กซึ่งไม่มีจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อไฟฟ้าถึงกันและไม่มี ชิ้นส่วนทางกลเคลื่อนที่ การใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องต่อผ่านวงจรขยายแรงดันก่อนต่อเข้า อ่านค่าด้วยอนาล็อกอินพุต สามารถใช้งานได้ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิ -25 ถึง 70 องศาเซลเซียส เหมาะกับการนำไปใช้ตรวจสอบป้องกันมอเตอร์กระแสสลับ

รูปที่ 3.3 แสดงรูปเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าแบบคล้อง
(ที่มา https://thaieasyelec.com)

ในส่วนนี้จะมีหน้าที่ตรวจวัดปริมาณของกระแสไฟฟ้าและลดทอนระดับกระแส โดยเซนเซอร์วัดให้สัญญาณออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า โดยจะใช้หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าใช้ในการส่งผ่านพลังงานจากวงจรไฟฟ้าหนึ่งไปยังอีกวงจรโดย อาศัยหลักการของแม่เหล็กไฟฟ้า หรือเมื่อขดลวดได้รับแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ จะทำให้ขดลวดมี การเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กตามขนาดของรูปคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับ และทำให้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า เหนี่ยวนำเกิดขึ้นที่ขดลวดนี้



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า
(ที่มา https://www.researchgate.net)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R1 และ R2 จากสูตรการแบ่งแรงดัน (Voltage Divider)

$$V_{out} = V_{in} \times R2/(R1 + R2)$$

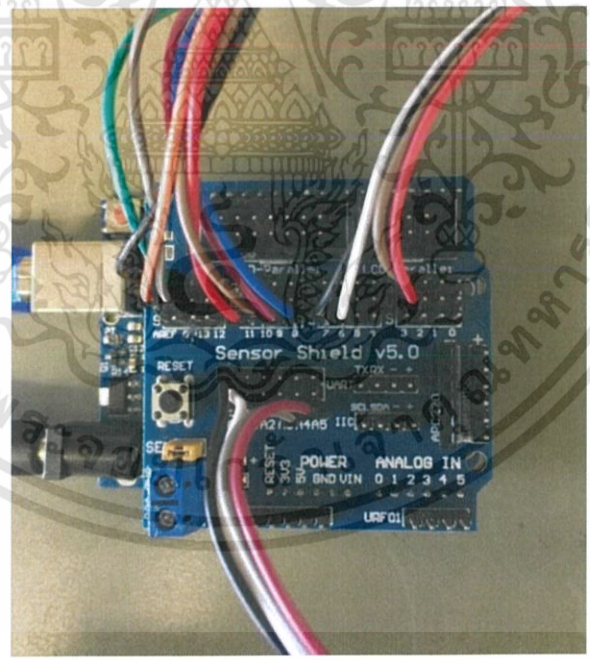
ถ้าใช้บอร์ด Arduino Uno DC Bias ขึ้นไป 2.5 V จะเลือกใช้ค่า R1, R2 ที่ 100k Ω เท่ากัน

ตัวเก็บประจุ C1 ทำหน้าเป็นตัวกรองสัญญาณไฟฟ้า (Filter noise) เลือกใช้เป็น 10 uF ในรุ่น ESEN148 จะให้สัญญาณออกมาเป็นแรงดัน เพราะมี R Burden ต่ออยู่ในเซ็นเซอร์อยู่แล้วไม่ต้องต่อเพิ่ม RB = 62 Ω ±1%

3.3.2 ส่วนประมวลผล

โดยการใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล ARM ของ ATMEL ข้อดีของไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดคือเรื่องของการเป็นแหล่งที่มาแบบเปิด (Open source) ที่สามารถนำไป พัฒนาต่อเป็นอุปกรณ์ต่างๆได้และความสามารถในการเพิ่มบูตโหลดเดอร์เข้าไปที่ตัว ARM จึงทำให้การอัพโหลดโค้ด เข้าตัวบอร์ดสามารถทำได้ง่ายขึ้น และยังมีการพัฒนาซอฟท์แวร์ ที่ใช้ในการควบคุมตัวบอร์ดของ Arduino มีลักษณะเป็นภาษา C++ ที่โปรแกรมเมอร์มีความคุ้นเคยในการใช้งาน อีกทั้งตัวบอร์ดสามารถนำชิลด์ (Shield) มาต่อเพื่อเพิ่มพอร์ทในการต่อ

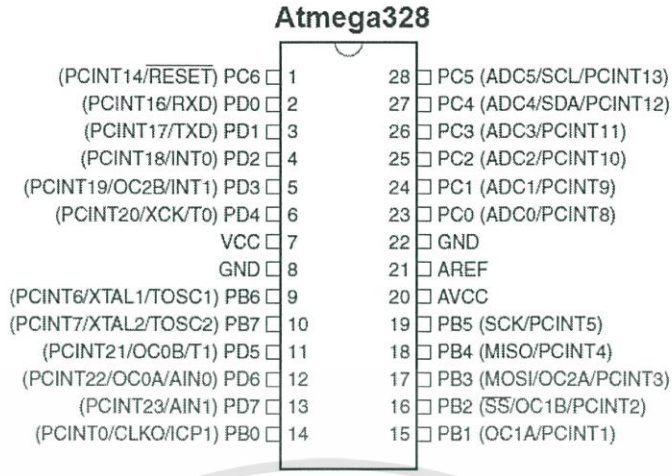
ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในชุดทดสอบสอบนี้คือ Arduino UNO R3 โดยต่อเพิ่มเข้ากับ Sensor Shield V5 เพื่อเพิ่มพอร์ทของแรงดันไฟเลี้ยงโมดูล ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงการต่อชิลด์เข้ากับบอร์ด Arduino

ARM เบอร์ Atmega328 ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการแปลง สัญญาณจากอินพุต และอัตราการสุ่มสัญญาณจากอินพุตที่เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าทั้งสองช่องทาง จากนั้นจะทำการประมวลผลข้อมูลต่างๆ อีกครั้งเพื่อนำไปแสดงผลบนจอ LCD และส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงขาพอร์ตอินพุตเอาท์พุตของ Atmega328
(ที่มา http://www.learningaboutelectronics.com)

3.3.3 ส่วนของการแสดงผล

การแสดงผลผ่านจอ LCD

ในส่วนของการแสดงผลผ่านหน้าจอ LCD จะรับข้อมูลมากจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ผ่านการประมวลผลหลังรับอินพุตจากเซนเซอร์แล้ว โดยจะมีการอัพเดตหน้าจอทุก 1 วินาที
รายละเอียดของแสดงผล

- แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่เซนเซอร์วัดได้ทั้ง 3 ไลน์พร้อมกัน
- แสดงผลการคำนวณเมื่อประแจกลสิ้นสุดการทำงาน โดยจะแสดงค่า rms ของกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า
- แสดงค่ากระแสสูงสุด และกำลังสูงสุด เมื่อประแจกลหยุดการทำงาน และแจ้งเตือนโดยการกระพริบไฟหน้าจอหากค่ากระแสสูงสุดมีค่าเกินพิกัดที่กำหนดไว้

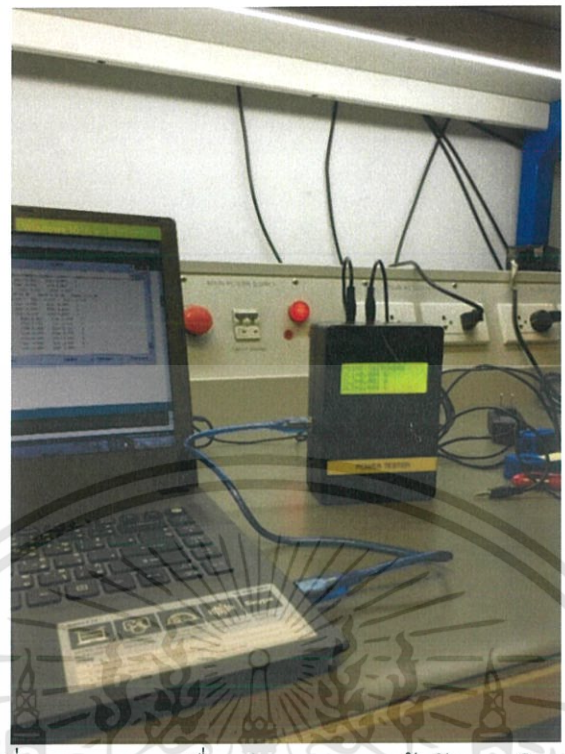
การเชื่อมต่อและแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์

การแสดงผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์จะเป็นการแสดงผลบนหน้าต่าง Serial monitor ของโปรแกรม Arduino.exe โดยรายละเอียดการแสดงผลจะเหมือนกับการแสดงผลบนหน้าจอ LCD แต่จะมีข้อได้เปรียบมากกว่า โดยข้อมูลจะอัพเดตเป็นบรรทัดในแต่ละวินาที ทำให้สามารถเก็บข้อมูล เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้

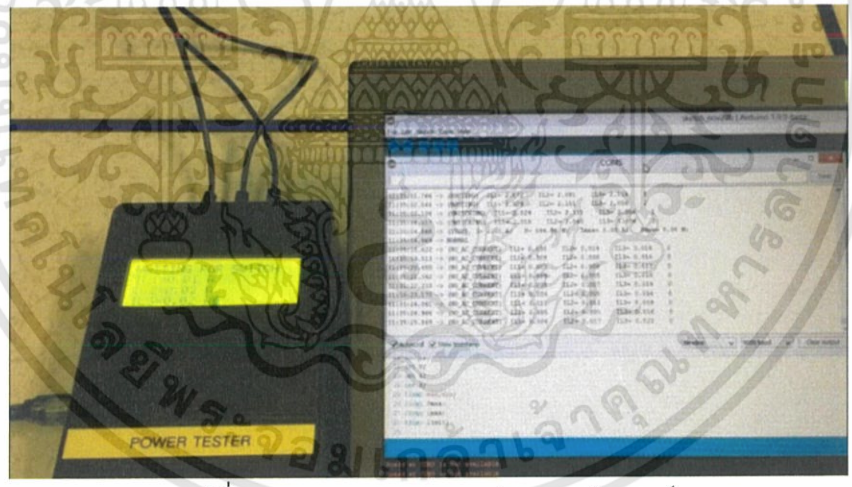
ส่วนการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการเรียกดูค่าของข้อมูลต่างๆของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า และตั้งค่าของเครื่องมือวัด การลงโปรแกรมใหม่ โดยเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ให้ใช้ พอร์ตของ UART ของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ของ Atmega16U2 เป็น ไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ คอมพิวเตอร์ผ่าน Atmega16U2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงการเชื่อมต่อชุดทดสอบเข้ากับคอมพิวเตอร์

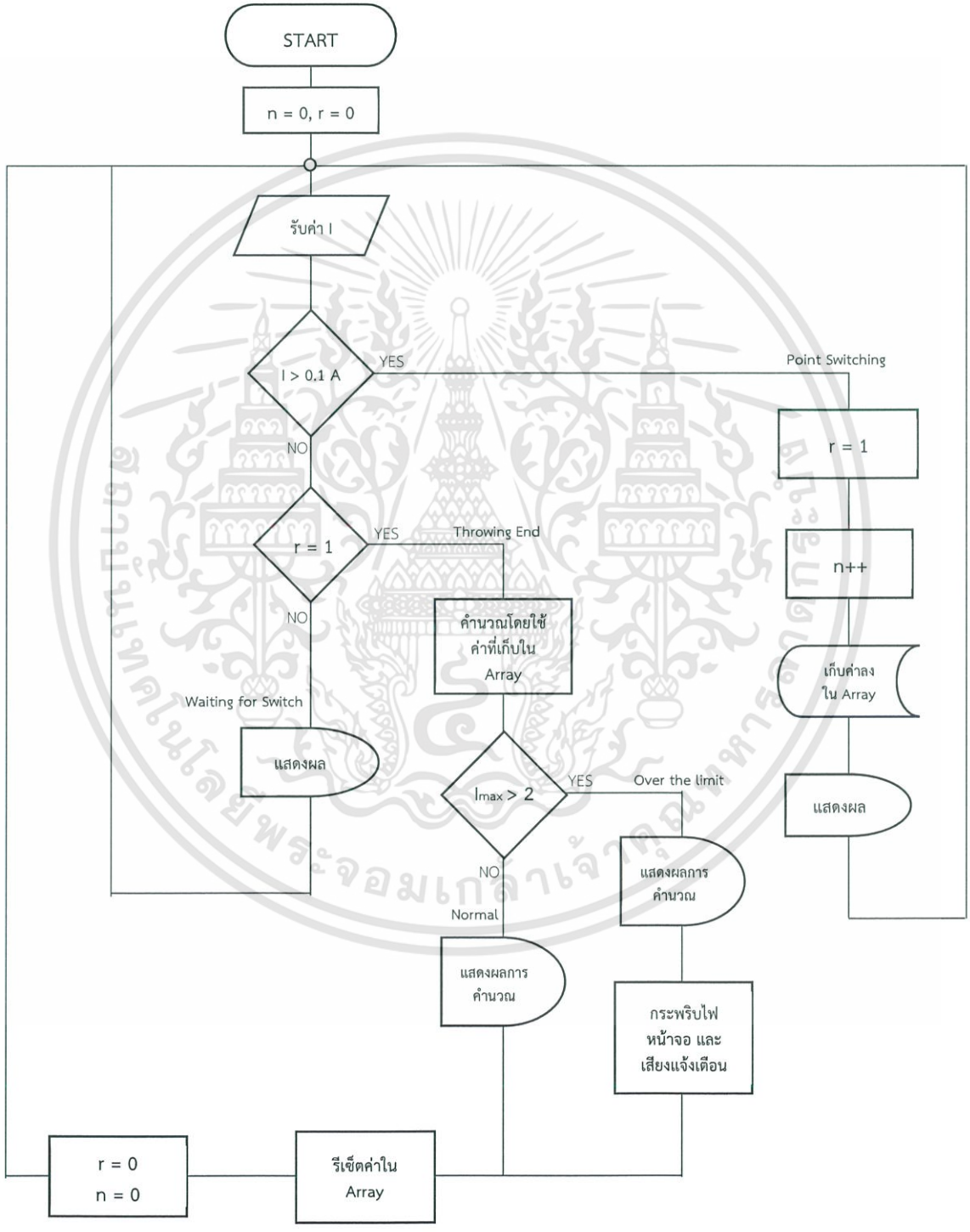


รูปที่ 3.8 แสดงการแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 หลักการทำงานของชุดทดสอบ

ชุดทดสอบวัดกระแสไฟฟ้าทำงานโดยเริ่มจากการรับค่าอนาล็อกอินพุทจากเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า โดยจะส่งเป็นแรงดันไฟฟ้าไปยังพอร์ทอนาล็อกของไมโครคอนโทรลเลอร์ หลังจากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะคำนวณกลับเป็นค่ากระแสไฟฟ้า ทำการเก็บค่ากระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในการคำนวณหลังประแจกลไฟฟ้าสิ้นสุดการทำงาน ชุดทดสอบมีขั้นตอนการทำงานโดยรวมดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงแผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของชุดทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสภาวะที่ประแจกลไฟฟ้ายังไม่มีคำสั่งสับประแจ หรือไม่มีการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ผลจากค่าเริ่มต้นของเซนเซอร์ทำให้มีค่ากระแสไฟฟ้าประมาณ 0.01 – 0.03 แอมแปร์ จึงทำการสร้างเงื่อนไขคือหากมีกระแสไฟฟ้ามากกว่า 0.1 แอมแปร์ เป็นช่วงที่ประแจกลไฟฟ้ามีการทำงาน ซึ่งชุดทดสอบจะทำการเก็บข้อมูลและแสดงผลค่ากระแสไฟฟ้า n คือการนับจำนวนในแต่ละครั้งที่มีการเก็บข้อมูล ซึ่งจะเก็บข้อมูลทุก 1 วินาที กล่าวคือ n คือการจับเวลาในหน่วยวินาที มีการตั้งค่า r = 1 เพื่อให้เข้าลูปการคำนวณหลังจากประแจกลไฟฟ้าสิ้นสุดการทำงาน เมื่อประแจกลไฟฟ้าสิ้นสุดการทำงานจะมีการแสดงผลค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย กระแสไฟฟ้าสูงสุด และกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยหากค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดมีค่าสูงกว่าค่าพิกัดสูงสุดที่ตั้งไว้ ก็จะทำการแจ้งเตือนโดยกระพริบไฟหน้าจอ และมีเสียงเตือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
วิธีการทดลองและผลลัพธ์

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะอธิบายถึงผลการทดลองโครงงานที่ได้จากชุดทดสอบวัดกระแสไฟฟ้า การเก็บข้อมูลการสอบเทียบเซนเซอร์ วิธีการทดลอง และการนำข้อมูลมาสร้างกราฟ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การทำงานของประแจกลไฟฟ้า ว่ามอเตอร์ประแจกลมีความสัมพันธ์กับการใช้กระแสไฟฟ้าอย่างไร

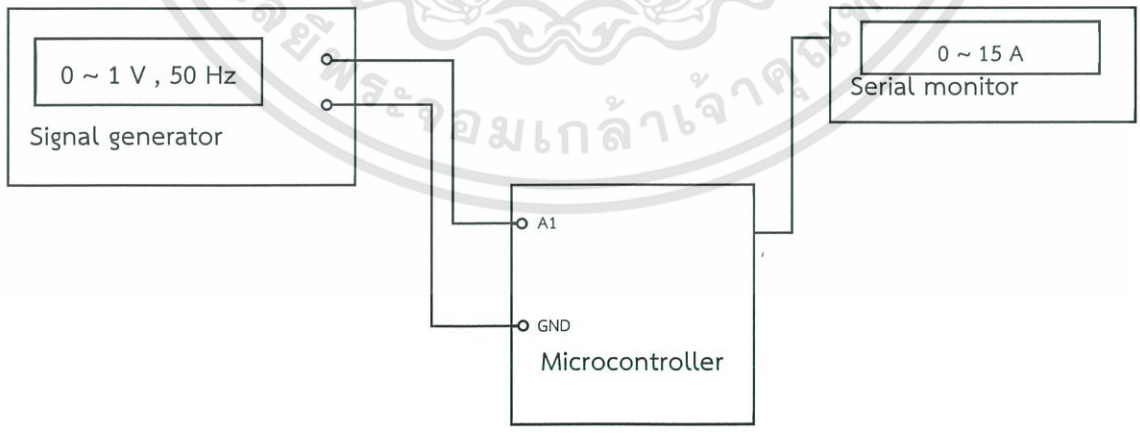
4.2 การสอบเทียบเซนเซอร์

เนื่องจากเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าจะส่งสัญญาณเป็นแรงดันไฟฟ้าไปยังพอร์ทอนาล็อกบนไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะคำนวณกลับเป็นค่ากระแสไฟฟ้าโดยใส่อัตราทดที่โค้ด โดยเซนเซอร์ที่ใช้เป็นแบบ 15 A/1 V ซึ่งหมายความว่าหากมีกระแสไฟฟ้าในสายเท่ากับ 15 แอมแปร์ จะส่งเป็นแรงดันไฟฟ้า 1 โวลต์ ไปยังพอร์ทอนาล็อก ดังนั้นขั้นตอนการสอบเทียบจะเริ่มจากการตรวจสอบพอร์ทอนาล็อก

1. ทำการตรวจสอบพอร์ทอนาล็อกโดยจะเริ่มจาก A1 (A2 และ A3 ทำในรูปแบบเดียวกันกับ A1) ในขั้นตอนนี้จะยังไม่มีมีการเชื่อมต่อเซนเซอร์ เนื่องจากจะทำการตรวจสอบการรับค่าอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการนำ Signal generator มาต่อเข้ากับ A1 เพื่อจำลองแรงดันไฟฟ้าจากเซนเซอร์ โดยทำการปรับค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โวลต์ โดยใช้ความถี่ที่ 50 Hz และอัตราส่วนที่โค้ดไว้ในโปรแกรมคือ 15 :1
เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$I = V \times 15$$

โดยที่ V คือ แรงดันไฟฟ้าอินพุต (V)
I คือ กระแสไฟฟ้าที่คำนวณได้ (A)



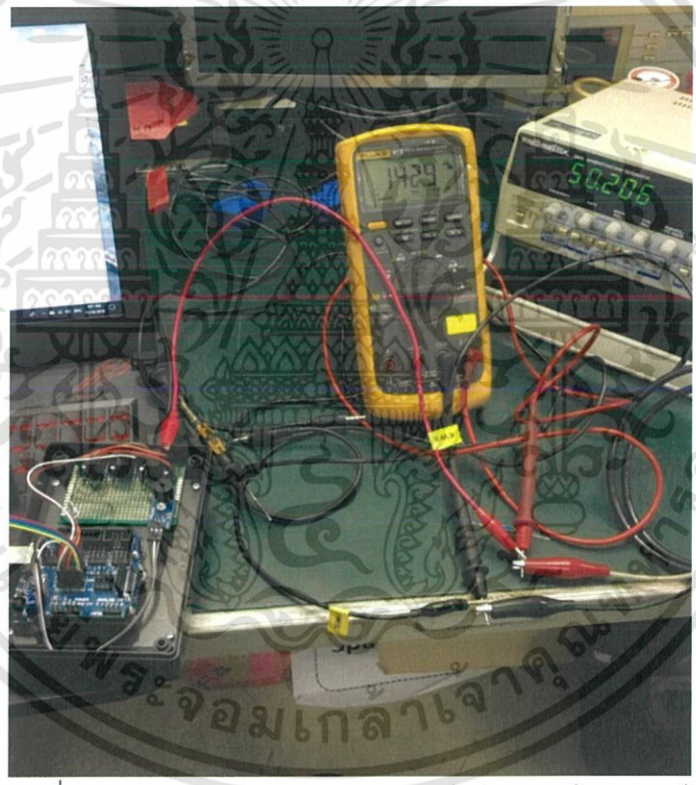
รูปที่ 4.1 แสดงการต่อ Signal generator กับอินพุทของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่คำนวณได้จากเซนเซอร์เทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าทฤษฎี

แรงดันไฟฟ้าอินพุต (V)	ค่ากระแสไฟฟ้าทฤษฎี (A)	ค่ากระแสไฟฟ้าที่คำนวณได้จาก A1 (A)	ค่ากระแสไฟฟ้าที่คำนวณได้จาก A2 (A)	ค่ากระแสไฟฟ้าที่คำนวณได้จาก A3 (A)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
0.25	3.75	3.80	3.82	3.77
0.50	7.50	7.59	7.62	7.55
0.75	11.25	11.30	11.5	11.32
1.00	15.00	15.10	15.3	15.12

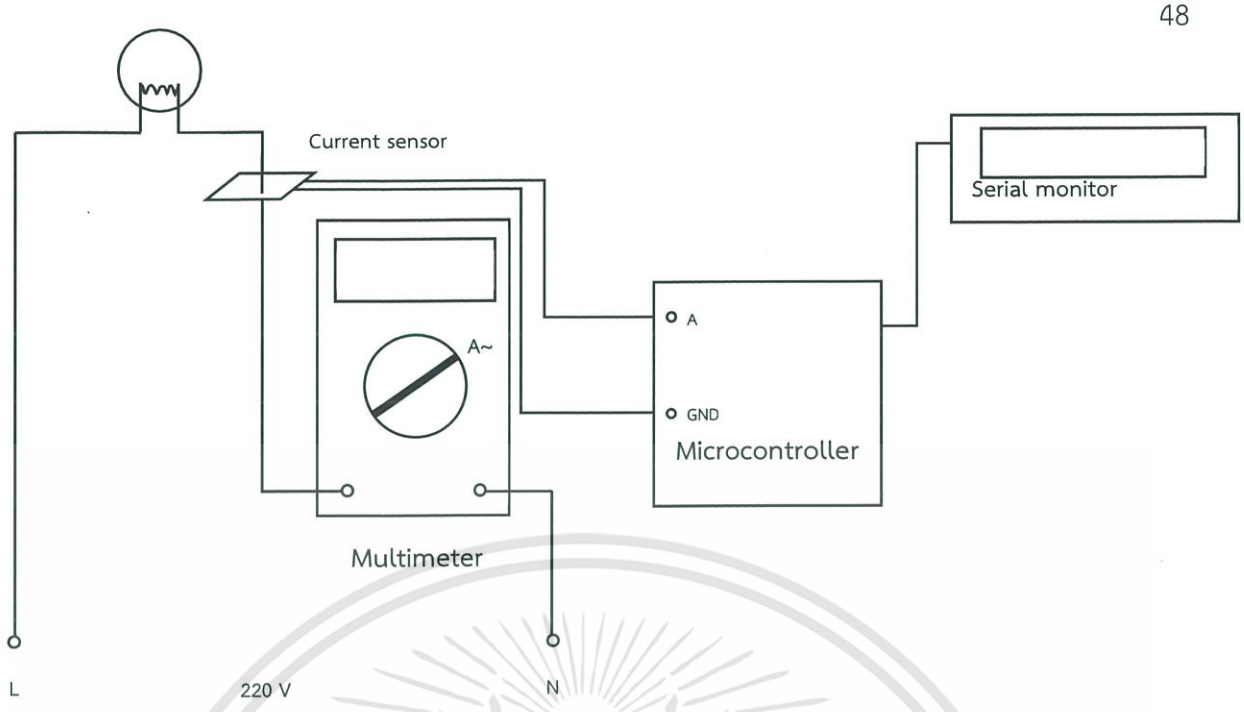
จากตารางจะเห็นได้ว่าการรับค่าจากอนาล็อกอินพุทของไมโครคอนโทรลเลอร์ ค่อนข้างแม่นยำ จึงไม่จำเป็นต้องปรับอัตราส่วนในโปรแกรม



รูปที่ 4.2 แสดงการสอบเทียบอินพุทของไมโครคอนโทรลเลอร์

2. จากนั้นจะทำการสอบเทียบเซนเซอร์ โดยการนำเซนเซอร์ต่อเข้ากับพอร์ทอนาล็อกของไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วนำไปคล้องสายในวงจรเพื่อวัดกระแสไฟฟ้าสำหรับหลอดไฟ ดังรูปที่ 4.3 เพื่อเป็นการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากเซนเซอร์ และมัลติมิตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

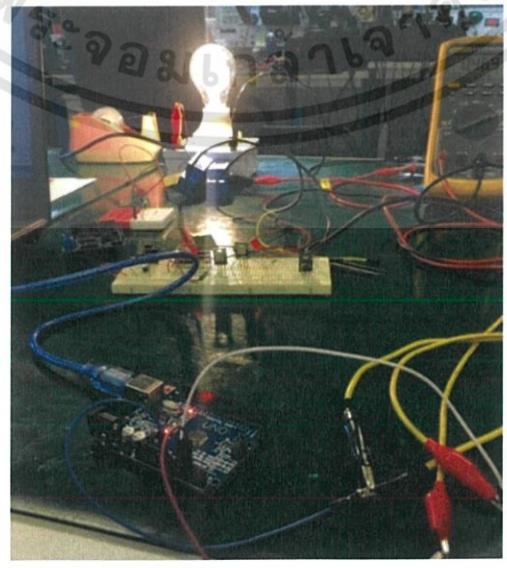


รูปที่ 4.3 แสดงไดอะแกรมการต่อวงจรสอบเทียบเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า

ตารางที่ 4.2 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่คำนวณได้จากเซนเซอร์เทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าที่จากมัลติมิเตอร์

ค่ากระแสไฟฟ้าจากมัลติมิเตอร์ (A)	ค่ากระแสไฟฟ้าที่คำนวณได้จาก Sensor1 (A)	ค่ากระแสไฟฟ้าที่คำนวณได้จาก Sensor2 (A)	ค่ากระแสไฟฟ้าที่คำนวณได้จาก Sensor3 (A)
0.00	0.01	0.00	0.01
0.45	0.47	0.46	0.47

จากตางราง ค่ากระแสไฟฟ้าที่คำนวณได้จากเซนเซอร์แต่ละตัวมีความคลาดเคลื่อนจากค่ากระแสไฟฟ้าจากมัลติมิเตอร์อยู่ แต่ทั้งนี้เซนเซอร์แต่ละตัวมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก จึงทำการปรับอัตราส่วนในโปรแกรมจากเดิม 15:1 เป็น 14.8 :1 เพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงค่าจริงมากขึ้น



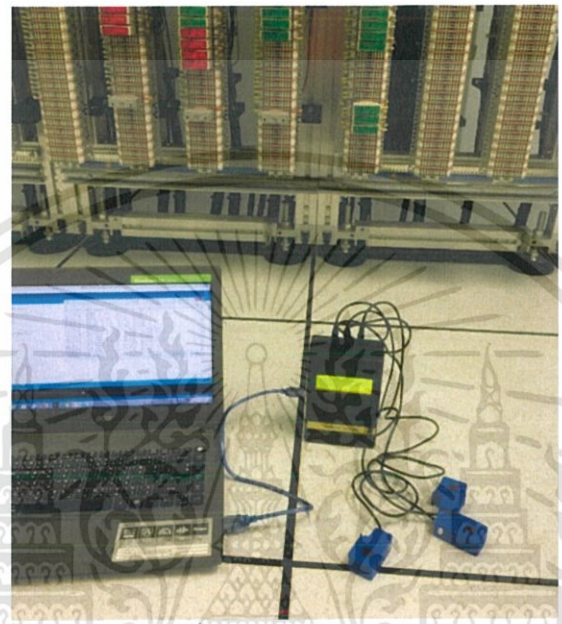
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 แสดงการต่อเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าของหลอดไฟ เพื่อเปรียบเทียบกับมัลติมิเตอร์

4.3 วิธีการทดลอง

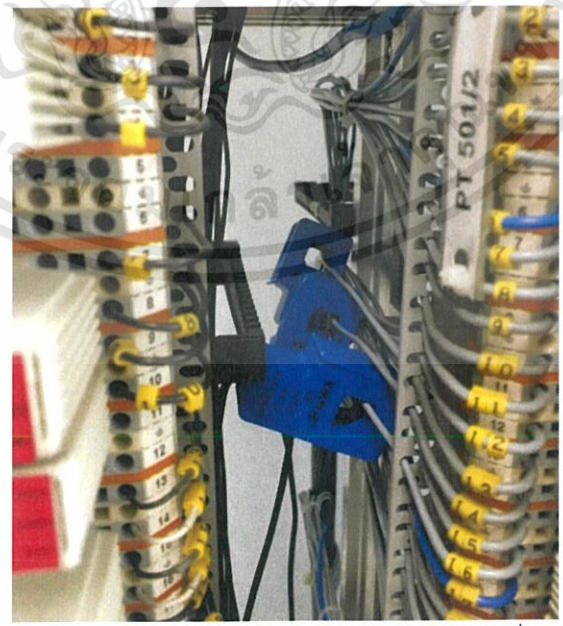
ในการทดลอง ได้ทำการทดสอบประแจกลไฟฟ้าทั้งหมด 3 ตัว คือ T3217 T3213 และ T3223 โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. เตรียมชุดทดสอบ และเปิดโปรแกรม Arduino.exe



รูปที่ 4.5 แสดงการเชื่อมต่อชุดทดสอบเข้ากับคอมพิวเตอร์

2. ติดตั้งชุดทดสอบ โดยนำเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าไปคล้องสายไฟ L1 L2 และ L3 ของประแจกลไฟฟ้าที่ต้องการทดสอบ ที่เคเบิลเทอร์มินัลแร็ค (CTR) ภายในห้อง interlocking ดังรูปที่ 4.6



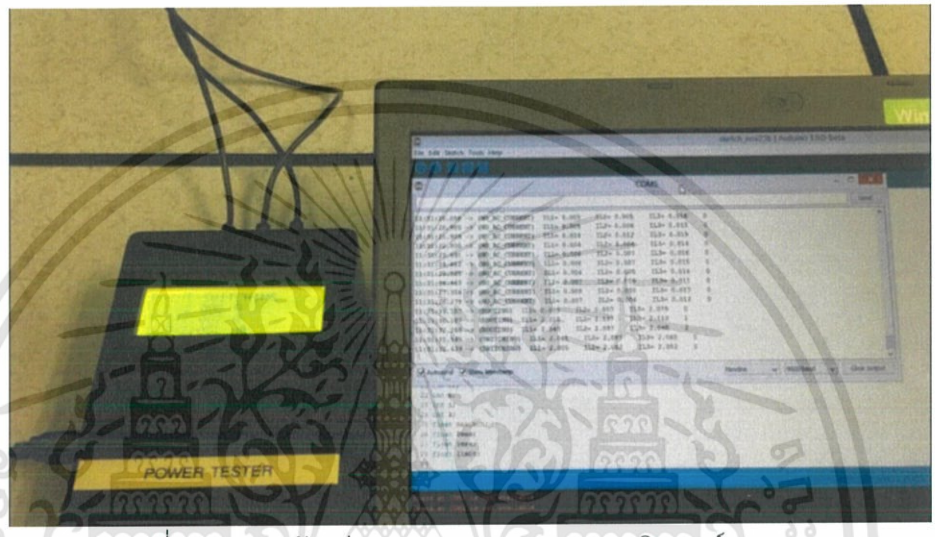
รูปที่ 4.6 แสดงการนำเซนเซอร์ไปคล้องสายไฟของประแจกลไฟฟ้าที่ต้องการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตรวจสอบความเรียบร้อยของสายไฟและอุปกรณ์

4. ติดต่อเจ้าหน้าที่ที่อยู่บริเวณประแจกลไฟฟ้าตัวที่ทำการทดสอบ เพื่อตรวจสอบความปลอดภัยก่อนจะมีการใช้คำสั่งสับประแจกลไฟฟ้า จากนั้นใช้คำสั่งสับประแจกลไฟฟ้า

5. เมื่อประแจกลไฟฟ้าเคลื่อนที่ เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าจะส่งอินพุตเป็นแรงดันเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะประมวลผลกลับเป็นค่ากระแสไฟฟ้า และแสดงผลไปยังหน้าจอ LCD และผ่านทาง serial monitor บนหน้าจอคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.7 แสดงตัวอย่างการแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์

6. ทำการบันทึกค่าข้อมูลจากซีเรียลมอนิเตอร์ (serial monitor)

```
11:15:22.714 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.001    IL2 = 0.001    IL3 = 0.008    0
11:15:23.613 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.001    IL2 = 0.001    IL3 = 0.007    0
11:15:24.504 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.001    IL2 = 0.001    IL3 = 0.005    0
11:15:25.429 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.009    IL2 = 0.007    IL3 = 0.005    0
11:15:26.317 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.004    IL2 = 0.004    IL3 = 0.013    0
11:15:27.250 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.005    IL2 = 0.006    IL3 = 0.011    0
11:15:28.494 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.001    IL2 = 0.002    IL3 = 0.006    0
11:15:29.064 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.002    IL2 = 0.005    IL3 = 0.010    0
11:15:29.957 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.001    IL2 = 0.001    IL3 = 0.009    0
11:15:30.848 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.001    IL2 = 0.004    IL3 = 0.003    0
11:15:31.739 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.001    IL2 = 0.001    IL3 = 0.011    0
11:15:32.623 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.001    IL2 = 0.003    IL3 = 0.006    0
11:15:33.529 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.001    IL2 = 0.003    IL3 = 0.006    0
11:15:34.419 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.002    IL2 = 0.002    IL3 = 0.006    0
11:15:35.357 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.001    IL2 = 0.003    IL3 = 0.008    0
11:15:36.248 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.006    IL2 = 0.006    IL3 = 0.011    0
11:15:37.139 -> (BOOTING)  IL1= 0.001    IL2= 0.001    IL3= 1.512    0
11:15:38.182 -> (BOOTING)  IL1= 2.000    IL2= 2.113    IL3= 2.004    1
11:15:39.206 -> (BOOTING)  IL1= 2.038    IL2= 2.059    IL3= 1.959    2
11:15:39.581 -> (SWITCHING)  IL1= 2.038    IL2= 2.059    IL3= 1.959    1
11:15:40.460 -> (SWITCHING)  IL1= 1.980    IL2= 2.034    IL3= 1.932    2
11:15:41.387 -> (SWITCHING)  IL1= 1.972    IL2= 1.846    IL3= 0.034    3
11:15:42.277 -> (STOP)  I= 1.76 A;   P= 521.74 W;   Imax= 2.02 A;   Pmax= 597.85 W;
11:15:55.914 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.023    IL2 = 0.019    IL3 = 0.009    0
11:15:56.842 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.008    IL2 = 0.005    IL3 = 0.013    0
11:15:57.734 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.002    IL2 = 0.002    IL3 = 0.008    0
11:15:58.655 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.008    IL2 = 0.004    IL3 = 0.009    0
11:15:59.546 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.000    IL2 = 0.008    IL3 = 0.005    0
11:16:00.437 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.000    IL2 = 0.003    IL3 = 0.005    0
11:16:01.374 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.000    IL2 = 0.001    IL3 = 0.004    0
11:16:02.265 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.006    IL2 = 0.001    IL3 = 0.007    0
11:16:03.149 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.001    IL2 = 0.001    IL3 = 0.007    0
11:16:04.086 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.001    IL2 = 0.002    IL3 = 0.006    0
11:16:04.978 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.002    IL2 = 0.001    IL3 = 0.008    0
11:16:05.869 -> (BOOTING)  IL1= 0.002    IL2= 0.001    IL3= 1.381    0
11:16:06.942 -> (BOOTING)  IL1= 1.934    IL2= 2.111    IL3= 2.043    1
11:16:07.961 -> (BOOTING)  IL1= 2.014    IL2= 2.064    IL3= 2.002    2
11:16:08.327 -> (SWITCHING)  IL1= 2.014    IL2= 2.064    IL3= 2.002    1
11:16:09.217 -> (SWITCHING)  IL1= 1.965    IL2= 2.014    IL3= 1.976    2
11:16:10.096 -> (SWITCHING)  IL1= 1.928    IL2= 1.710    IL3= 0.031    3
11:16:10.986 -> (STOP)  I= 1.75 A;   P= 516.85 W;   Imax= 1.99 A;   Pmax= 587.97 W;
11:16:24.666 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.019    IL2 = 0.004    IL3 = 0.011    0
11:16:25.544 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.005    IL2 = 0.001    IL3 = 0.008    0
11:16:26.460 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.002    IL2 = 0.001    IL3 = 0.007    0
11:16:27.352 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.001    IL2 = 0.006    IL3 = 0.005    0
11:16:28.291 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.003    IL2 = 0.000    IL3 = 0.009    0
11:16:29.169 -> (NO AC CURRENT)  IL1 = 0.002    IL2 = 0.000    IL3 = 0.006    0
```

รูปที่ 4.8 แสดงตัวอย่างการแสดงผลบนซีเรียลมอนิเตอร์

7. นำค่าที่ได้จากการบันทึกข้อมูล มาวิเคราะห์การทำงานของมอเตอร์ประแจกลไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดลอง

จากการนำชุดทดสอบไปเก็บค่ากระแสไฟฟ้าตลอดการทำงานของประแจกลไฟฟ้า มีการเก็บข้อมูล 2 ช่วง นั่นคือช่วงการสับประแจกลปกติ และการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร (4 millimeter gauge test) โดยการนำแผ่นเหล็กทดสอบหนา 4 มิลลิเมตร มาคั่นระหว่างลิ้นราง (switch rail) และรางหลัก (stock rail) เพื่อให้ประแจกลไม่สามารถเคลื่อนไปอยู่ในตำแหน่งสิ้นสุดได้ ซึ่งหากประแจกลเคลื่อนที่แล้วไม่อยู่ในตำแหน่งสิ้นสุด การ์ดควบคุมจะทำการตัดการจ่ายไฟฟ้าให้มอเตอร์ใน 6 วินาที เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับมอเตอร์

ในส่วนของผลการทดลองนี้ จะประกอบด้วยผลการทดลอง 2 ช่วง คือ ช่วงของการสับประแจกลปกติ และช่วงของการสับแรกแจกลโดยทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร โดยทั้ง 2 ช่วงจะมีการเก็บข้อมูลกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าตลอดการทำงานจากชุดทดสอบ เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าหรือกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ประแจกลไฟฟ้าเทียบกับเวลา และพิจารณาค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสูงสุด

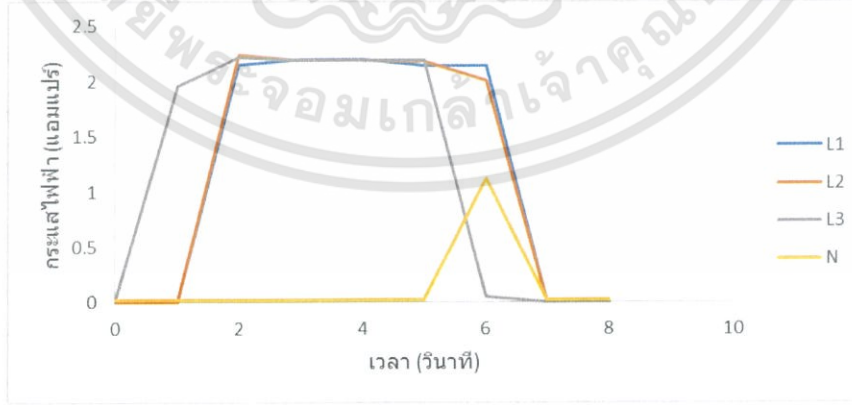
โดยคำนวณกำลังไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ 3 เฟส ได้จากสมการ

$$P = \sqrt{3} \times VI \times cos\emptyset$$

โดยที่ $cos\emptyset$ = 0.45 (อ้างอิงจาก name plate ของมอเตอร์ประแจกลไฟฟ้า S700K)

4.5.1 ผลการทดลองจากการวัดกระแสไฟฟ้าในสายนิวทรัล (N)

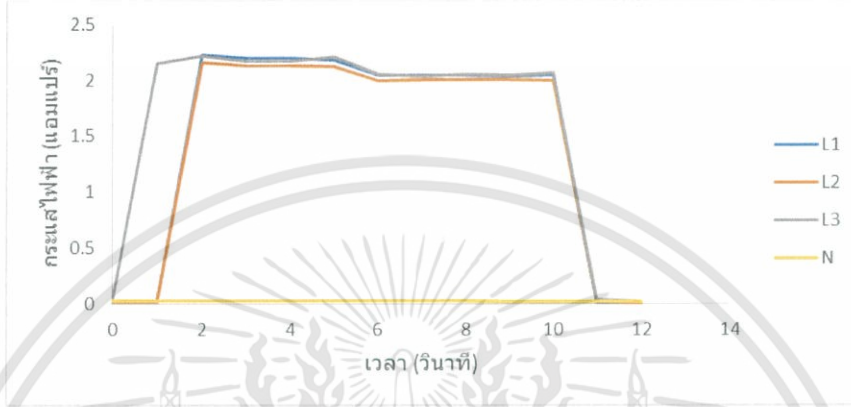
จากหัวข้อ การควบคุมประแจกลไฟฟ้า ในบทที่ 2 การ์ดควบคุมจะรู้ว่าประแจกลไฟฟ้าได้มาถึงตำแหน่งสิ้นสุดโดยตรวจจับจากกระแสที่ไหลในนิวทรัล ในขั้นตอนนี้จึงทำการทดสอบโดยนำเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าไปคล้องสายนิวทรัล เพื่อดูการไหลของกระแสไฟฟ้าในสายนิวทรัล



รูปที่ 4.9 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3223

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.8 เป็นการทำงานของประแจกลไฟฟ้า T3223 พบว่าในการสับประแจปกติ ในช่วงเริ่มต้นจะมีการจ่ายไฟฟ้า 3 เฟสที่ยังไม่สมบูรณ์อันเนื่องมาจากสวิตช์เซมิคอนดักเตอร์ HR และเมื่อประแจกลไฟฟ้าเคลื่อนจนถึงตำแหน่งสิ้นสุดจะเกิดการไม่สมดุลระหว่างเฟส ทำให้มีปริมาณกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นในสายนิวทรัล (N) ซึ่งการ์ดควบคุมประแจกลไฟฟ้าจะตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายนิวทรัลนี้ เพื่อให้ทราบว่าประแจกลไฟฟ้าอยู่ในตำแหน่งสิ้นสุด และทำการตัดการจ่ายไฟ



รูปที่ 4.10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร T3223

จากรูปที่ เป็นการทำงานของประแจกลไฟฟ้า T3223 ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร เมื่อประแจกลไฟฟ้าไม่สามารถเคลื่อนจนถึงตำแหน่งสิ้นสุด ทำให้การ์ดควบคุมไม่สามารถตรวจจับกระแสไฟฟ้าในสายนิวทรัลเพื่อทำการตัดการจ่ายไฟได้ ทั้งนี้การ์ดควบคุมถูกตั้งเวลาไว้เพื่อทำการตัดการจ่ายไฟ เมื่อประแจกลไฟฟ้าไม่ถึงจุดสิ้นสุดตามปกติ โดยจะทำการตัดไฟภายใน 6 วินาที

4.5.2 ผลการทดลองการวัดกระแสไฟฟ้าในการสับประแจปกติ

ผลการทดสอบประแจกลไฟฟ้า T3217

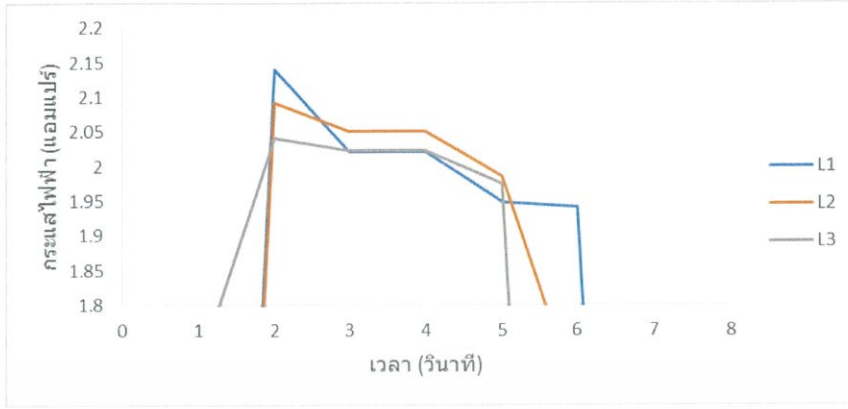
ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3217 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย

เวลา (วินาที)	0	1	2	3	4	5	6	7
กระแสไฟฟ้า L1 (A)	0.00	0.00	2.14	2.02	2.02	1.95	1.94	0.00
กระแสไฟฟ้า L2 (A)	0.00	0.00	2.09	2.05	2.05	1.99	1.66	0.00
กระแสไฟฟ้า L3 (A)	0.00	1.71	2.04	2.02	2.02	1.98	0.02	0.00

เมื่อนำค่ากระแสไฟฟ้าจากตารางมาคำนวณโดยพิจารณาช่วงที่เป็น 3 เฟสสมบูรณ์ คือช่วงวินาทีที่ 2 ถึงวินาทีที่ 5 จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.0 แอมแปร์ และค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด 2.09 แอมแปร์

จากตารางจะทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3217 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



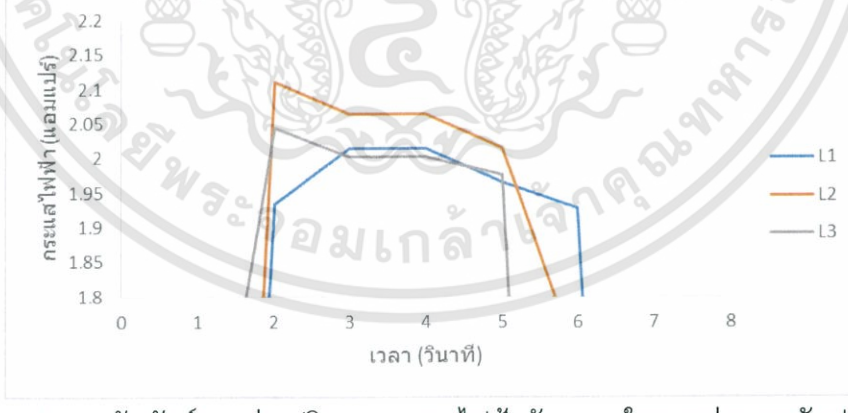
รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3217 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย

ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3217 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา

เวลา(วินาที)	0	1	2	3	4	5	6	7
กระแสไฟฟ้า L1 (A)	0.00	0.00	1.93	2.01	2.01	1.97	1.93	0.00
กระแสไฟฟ้า L2 (A)	0.00	0.00	2.11	2.06	2.06	2.01	1.71	0.00
กระแสไฟฟ้า L3 (A)	0.00	1.38	2.04	2.00	2.00	1.98	0.03	0.00

เมื่อนำค่ากระแสไฟฟ้าจากตารางมาคำนวณโดยพิจารณาช่วงที่เป็น 3 เฟสสมบูรณ์ คือช่วงวินาทีที่ 2 ถึงวินาทีที่ 5 จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.01 แอมแปร์ และค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด 2.03 แอมแปร์

จากตารางจะทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3217 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3217 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

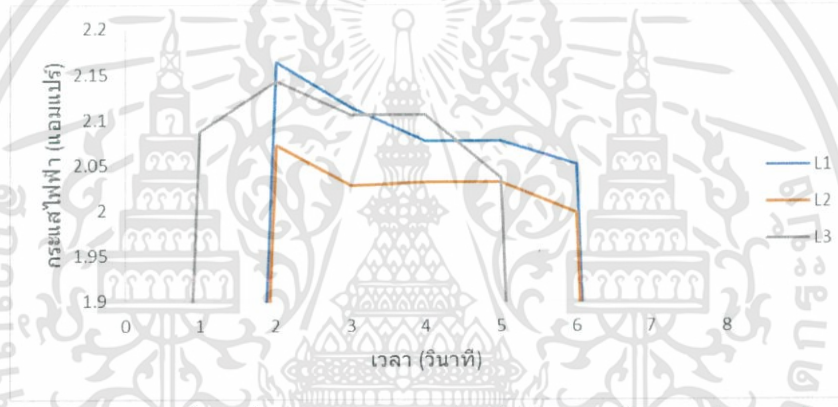
ผลการทดสอบประแจกลไฟฟ้า T3213

ตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3213 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย

เวลา(วินาที)	0	1	2	3	4	5	6	7
กระแสไฟฟ้า L1 (A)	0.00	0.00	2.16	2.11	2.08	2.08	2.05	0.00
กระแสไฟฟ้า L2 (A)	0.00	0.00	2.07	2.03	2.03	2.03	2.00	0.00
กระแสไฟฟ้า L3 (A)	0.00	2.09	2.14	2.11	2.11	2.04	0.03	0.00

เมื่อนำค่ากระแสไฟฟ้าจากตารางมาคำนวณโดยพิจารณาช่วงที่เป็น 3 เฟสสมบูรณ์ คือช่วงวินาทีที่ 2 ถึงวินาทีที่ 5 จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.08 แอมแปร์ และค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด 2.12 แอมแปร์

จากตารางจะทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3213 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย



รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3213 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย

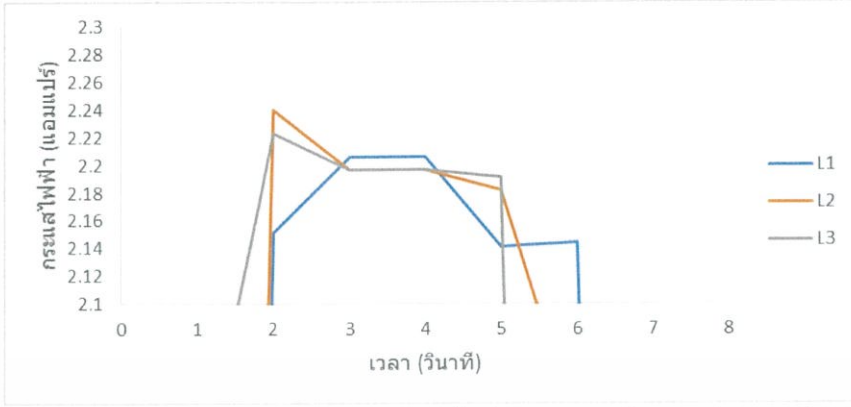
ตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3213 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา

เวลา(วินาที)	0	1	2	3	4	5	6	7
กระแสไฟฟ้า L1 (A)	0.00	0.00	2.06	2.06	2.06	2.02	1.90	0.00
กระแสไฟฟ้า L2 (A)	0.00	0.00	2.11	2.09	2.09	2.07	1.70	0.00
กระแสไฟฟ้า L3 (A)	0.00	1.90	2.10	2.08	2.08	2.08	0.03	0.00

เมื่อนำค่ากระแสไฟฟ้าจากตารางมาคำนวณโดยพิจารณาช่วงที่เป็น 3 เฟสสมบูรณ์ คือช่วงวินาทีที่ 2 ถึงวินาทีที่ 5 จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.08 แอมแปร์ และค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด 2.09 แอมแปร์

จากตารางจะทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3213 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3213 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา

ผลการทดสอบประแจกลไฟฟ้า T3223

ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3223 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย

เวลา (วินาที)	0	1	2	3	4	5	6	7
กระแสไฟฟ้า L1 (A)	0.00	0.00	2.15	2.21	2.21	2.14	2.14	0.00
กระแสไฟฟ้า L2 (A)	0.00	0.00	2.24	2.20	2.20	2.18	2.01	0.00
กระแสไฟฟ้า L3 (A)	0.00	1.96	2.22	2.20	2.20	2.19	0.05	0.00

เมื่อนำค่ากระแสไฟฟ้าจากตารางมาคำนวณโดยพิจารณาช่วงที่เป็น 3 เฟสสมบูรณ์ คือช่วงวินาทีที่ 2 ถึงวินาทีที่ 5 จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.19 แอมแปร์ และค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด 2.20 แอมแปร์

จากตารางจะทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3223 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย

รูปที่ 4.15 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3223 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย

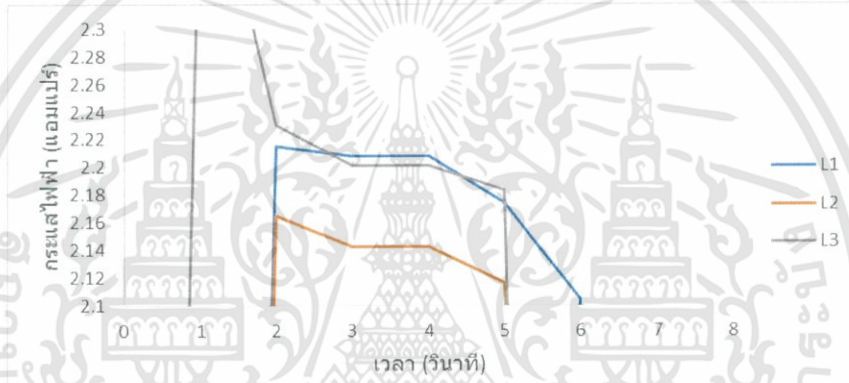
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3223 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา

เวลา(วินาที)	0	1	2	3	4	5	6	7
กระแสไฟฟ้า L1 (A)	0.00	0.00	2.22	2.21	2.21	2.17	2.10	0.00
กระแสไฟฟ้า L2 (A)	0.00	0.00	2.17	2.14	2.14	2.12	1.19	0.00
กระแสไฟฟ้า L3 (A)	0.00	2.46	2.23	2.20	2.20	2.18	0.02	0.00

เมื่อนำค่ากระแสไฟฟ้าจากตารางมาคำนวณโดยพิจารณาช่วงที่เป็น 3 เฟสสมบูรณ์ คือช่วงวินาทีที่ 2 ถึงวินาทีที่ 5 จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.18 แอมแปร์ และค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด 2.20 แอมแปร์

จากตารางจะทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3223 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา



รูปที่ 4.16 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3223 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา

4.5.3 ผลการทดลองการวัดกระแสไฟฟ้าในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร

ผลการทดสอบประแจกลไฟฟ้า T3217

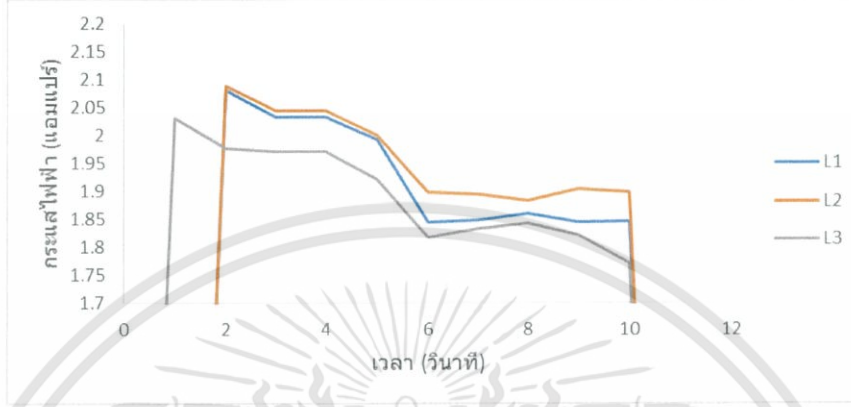
ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3217 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร

เวลา(วินาที)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
กระแสไฟฟ้า L1 (A)	0.00	0.00	2.08	2.03	2.03	1.99	1.85	1.85	1.86	1.85	1.85	0.00
กระแสไฟฟ้า L2 (A)	0.00	0.00	2.09	2.04	2.04	2.00	1.90	1.89	1.88	1.90	1.90	0.00
กระแสไฟฟ้า L3 (A)	0.00	2.03	1.98	1.97	1.97	1.92	1.82	1.83	1.84	1.82	1.77	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่ากระแสไฟฟ้าจากตารางมาคำนวณโดยพิจารณาช่วงที่เป็น 3 เฟสสมบูรณ์ คือช่วงวินาทีที่ 2 ถึงวินาทีที่ 10 จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.93 แอมแปร์ และค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด 2.05 แอมแปร์

จากตารางจะทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3217 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3217 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร

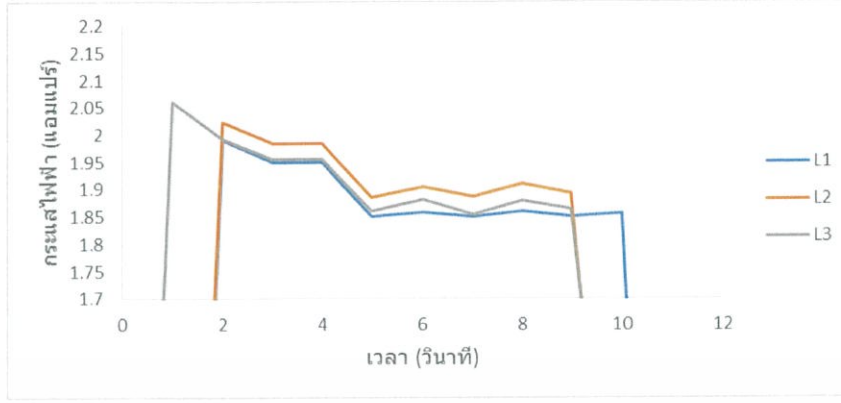
ตารางที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3217 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร

เวลา(วินาที)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
กระแสไฟฟ้า L1 (A)	0.00	0.00	1.99	1.95	1.95	1.85	1.86	1.85	1.86	1.85	1.86	0.00
กระแสไฟฟ้า L2 (A)	0.00	0.00	2.02	1.99	1.99	1.89	1.91	1.89	1.91	1.89	0.92	0.00
กระแสไฟฟ้า L3 (A)	0.00	2.06	1.99	1.96	1.96	1.86	1.88	1.86	1.88	1.86	1.03	0.00

เมื่อนำค่ากระแสไฟฟ้าจากตารางมาคำนวณโดยพิจารณาช่วงที่เป็น 3 เฟสสมบูรณ์ คือช่วงวินาทีที่ 2 ถึงวินาทีที่ 10 จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.85 แอมแปร์ และค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด 2.00 แอมแปร์

จากตารางจะทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3217 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3217 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร

ผลการทดสอบประแจกลไฟฟ้า T3213

ตารางที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3213 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร

เวลา(วินาที)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
กระแสไฟฟ้า L1 (A)	0.00	0.00	2.78	2.12	2.07	2.07	2.05	1.95	1.93	1.95	1.93	0.01
กระแสไฟฟ้า L2 (A)	0.00	0.00	2.01	2.08	2.03	2.03	1.97	1.92	1.91	1.93	1.92	0.00
กระแสไฟฟ้า L3 (A)	0.00	2.16	2.12	2.10	2.10	1.95	1.98	1.97	1.99	1.98	1.98	0.00

เมื่อนำค่ากระแสไฟฟ้าจากตารางมาคำนวณโดยพิจารณาช่วงที่เป็น 3 เฟสสมบูรณ์ คือช่วงวินาทีที่ 2 ถึงวินาทีที่ 10 จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.03 แอมแปร์ และค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด 2.30 แอมแปร์

จากตารางจะทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3213 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3213 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร

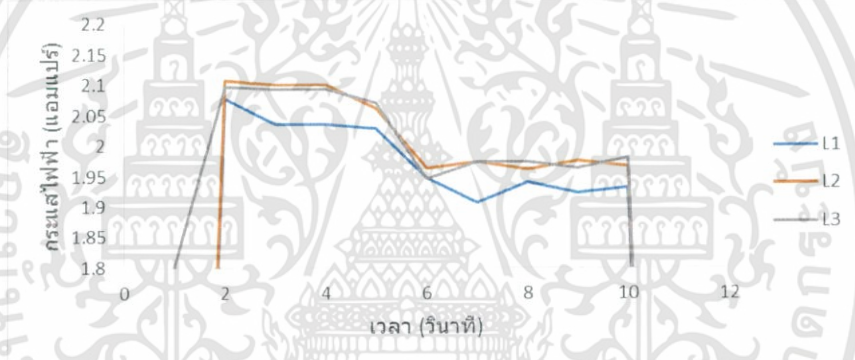
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3213 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร

เวลา(วินาที)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
กระแสไฟฟ้า L1 (A)	0.00	0.00	2.08	2.04	2.04	2.03	1.95	1.91	1.94	1.92	1.93	0.01
กระแสไฟฟ้า L2 (A)	0.00	0.00	2.11	2.10	2.10	2.06	1.96	1.97	1.96	1.98	1.97	0.00
กระแสไฟฟ้า L3 (A)	0.00	1.80	2.10	2.09	2.09	2.07	1.95	1.97	1.97	1.96	1.98	0.00

เมื่อนำค่ากระแสไฟฟ้าจากตารางมาคำนวณโดยพิจารณาช่วงที่เป็น 3 เฟสสมบูรณ์ คือช่วงวินาทีที่ 2 ถึงวินาทีที่ 10 จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.00 แอมแปร์ และค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด 2.01 แอมแปร์

จากตารางจะทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3213 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3213 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร

ผลการทดสอบประแจกลไฟฟ้า T3223

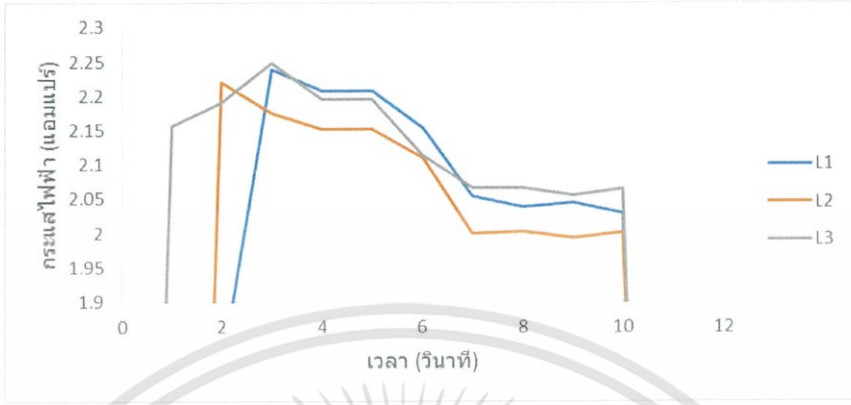
ตารางที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3223 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร

เวลา(วินาที)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
กระแสไฟฟ้า L1 (A)	0.00	0.00	1.80	2.24	2.21	2.21	2.15	2.05	2.04	2.05	2.03	0.00
กระแสไฟฟ้า L2 (A)	0.00	0.00	2.22	2.18	2.15	2.15	2.11	2.00	2.00	1.99	2.00	0.00
กระแสไฟฟ้า L3 (A)	0.00	2.16	2.19	2.25	2.20	2.20	2.11	2.07	2.07	2.06	2.06	0.00

เมื่อนำค่ากระแสไฟฟ้าจากตารางมาคำนวณโดยพิจารณาช่วงที่เป็น 3 เฟสสมบูรณ์ คือช่วงวินาทีที่ 2 ถึงวินาทีที่ 10 จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.10 แอมแปร์ และค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด 2.22 แอมแปร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางจะทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3223 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร



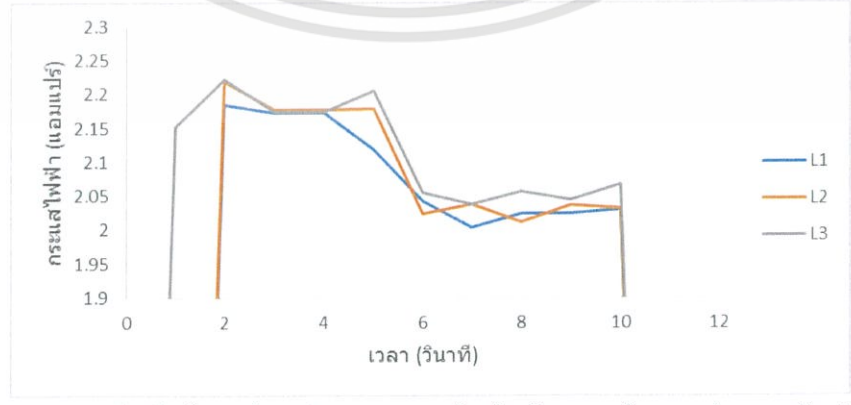
รูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3223 ไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้าย ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3223 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร

เวลา(วินาที)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
กระแสไฟฟ้า L1 (A)	0.00	0.00	2.19	2.17	2.17	2.12	2.04	2.00	2.02	2.02	2.03	0.01
กระแสไฟฟ้า L2 (A)	0.00	0.00	2.22	2.18	2.18	2.18	2.02	2.04	2.01	2.04	2.03	0.00
กระแสไฟฟ้า L3 (A)	0.00	2.15	2.22	2.18	2.18	2.21	2.05	2.04	2.06	2.04	2.07	0.00

เมื่อนำค่ากระแสไฟฟ้าจากตารางมาคำนวณโดยพิจารณาช่วงที่เป็น 3 เฟสสมบูรณ์ คือช่วงวินาทีที่ 2 ถึงวินาทีที่ 10 จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.01 แอมแปร์ และค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด 2.21 แอมแปร์

จากตารางจะทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3223 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3223 ไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.4 ผลการทดลองการเปรียบเทียบปริมาณกำลังไฟฟ้าระหว่างการสับประแจไปสิ้นสุดตำแหน่งซ้ายกับการสับประแจไปสิ้นสุดตำแหน่งขวา

ผลการทดสอบประแจกลไฟฟ้า T3217

ตารางที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3217

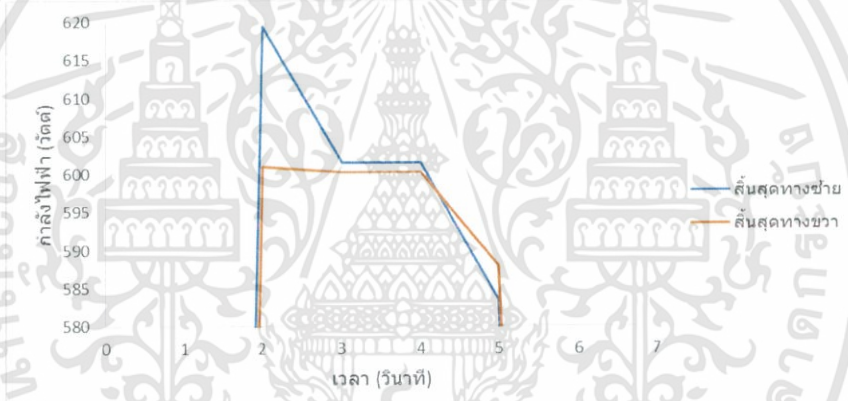
เวลา(วินาที)	2	3	4	5
กำลังไฟฟ้าในการสับประแจไปทางซ้าย (W)	619.4	601.5	601.5	583.4
กำลังไฟฟ้าในการสับประแจไปทางขวา (W)	601	600.2	600.2	587.9

เมื่อนำค่ากำลังไฟฟ้าจากตารางมาคำนวณจะได้ค่ากำลังไฟฟ้าดังนี้

การสับประแจไปทางซ้าย จะมีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 601.5 วัตต์ และกำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 620.4 วัตต์

การสับประแจไปทางขวา จะมีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 597.3 วัตต์ และกำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 601.0 วัตต์

จากตารางจะทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3217



รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3217

ตารางที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3217 ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร

เวลา(วินาที)	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กำลังไฟฟ้าในการสับประแจไปทางซ้าย (W)	607.1	597.2	597.2	583.9	549.0	550.4	551.6	550.0	554.6
กำลังไฟฟ้าในการสับประแจไปทางขวา (W)	592.9	581.6	581.6	552.5	557.4	552.1	557.8	553.5	411.7

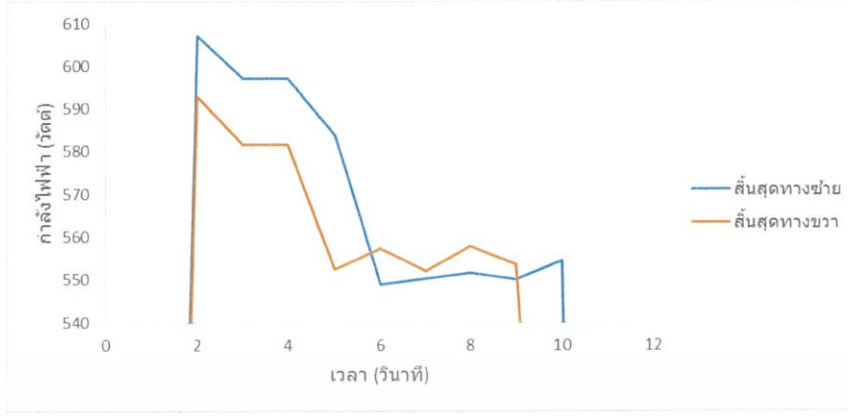
เมื่อนำค่ากำลังไฟฟ้าจากตารางมาคำนวณจะได้ค่ากำลังไฟฟ้าดังนี้

การสับประแจไปทางซ้าย จะมีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 570.1 วัตต์ และกำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 607.0 วัตต์

การสับประแจไปทางขวา จะมีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 545.0 วัตต์ และกำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 592.9 วัตต์

จากตารางจะทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3217 ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3217 ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร

ผลการทดสอบประแจกลไฟฟ้า T3213

ตารางที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3213

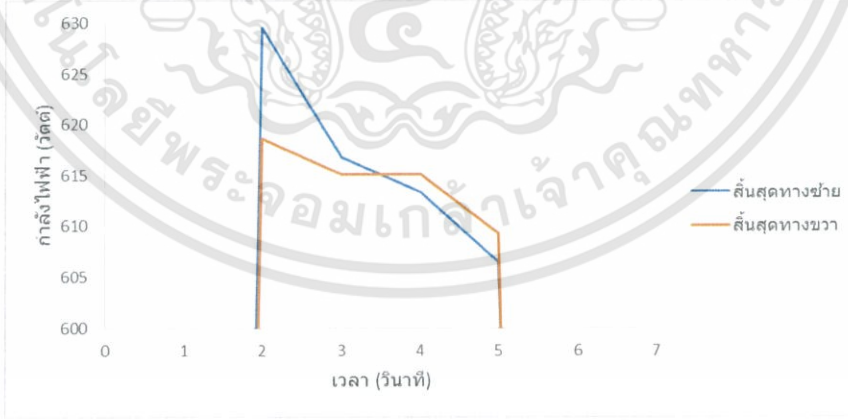
เวลา(วินาที)	2	3	4	5
กำลังไฟฟ้าในการสับประแจไปทางซ้าย (W)	629.6	616.7	613.3	606.5
กำลังไฟฟ้าในการสับประแจไปทางขวา (W)	618.6	615.1	615.1	609.3

เมื่อนำค่ากำลังไฟฟ้าจากตารางมาคำนวณจะได้ค่ากำลังไฟฟ้าดังนี้

การสับประแจไปทางซ้าย จะมีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 616.5 วัตต์ และกำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 629.6 วัตต์

การสับประแจไปทางขวา จะมีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 614.5 วัตต์ และกำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 618.6 วัตต์

จากตารางจะทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3213



รูปที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3213

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3213 ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร

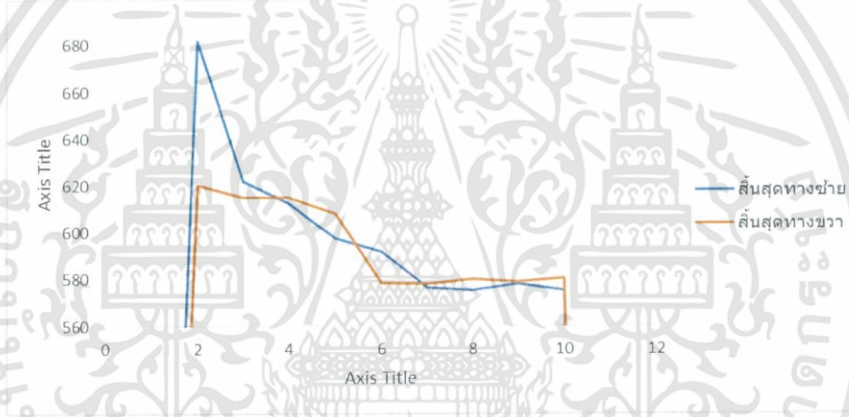
เวลา(วินาที)	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กำลังไฟฟ้าในการสับประแจไปทางซ้าย (W)	681.9	621.9	612.7	597.7	591.9	576.5	575.2	578.1	575.3
กำลังไฟฟ้าในการสับประแจไปทางขวา (W)	620.2	615.1	615.1	608.3	578.3	578.0	580.0	578.7	580.4

เมื่อนำค่ากำลังไฟฟ้าจากตารางมาคำนวณจะได้ค่ากำลังไฟฟ้าดังนี้

การสับประแจไปทางซ้าย จะมีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 601.2 วัตต์ และกำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 681.9 วัตต์

การสับประแจไปทางขวา จะมีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ วัตต์ 594.9 และกำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 620.2 วัตต์

จากตารางจะทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3213 ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3213 ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร

ผลการทดสอบประแจกลไฟฟ้า T3223

ตารางที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3223

เวลา(วินาที)	2	3	4	5
กำลังไฟฟ้าในการสับประแจไปทางซ้าย (W)	653.0	651.6	651.6	643.1
กำลังไฟฟ้าในการสับประแจไปทางขวา (W)	652.6	646.7	646.7	639.0

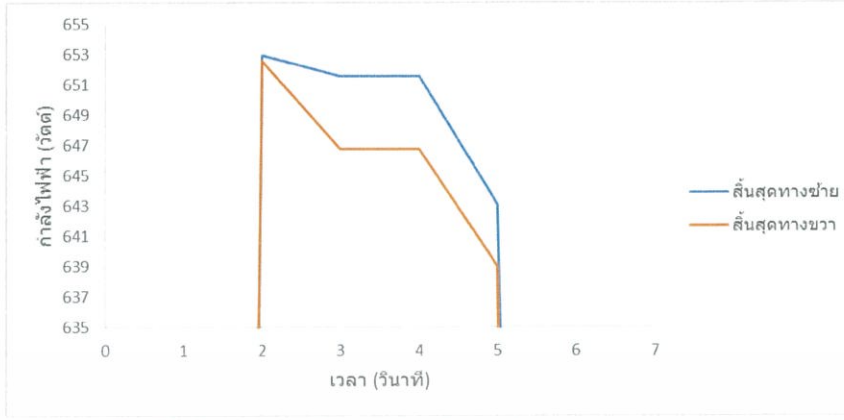
เมื่อนำค่ากำลังไฟฟ้าจากตารางมาคำนวณจะได้ค่ากำลังไฟฟ้าดังนี้

การสับประแจไปทางซ้าย จะมีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 649.8 วัตต์ และกำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 652.9 วัตต์

การสับประแจไปทางขวา จะมีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 646.2 วัตต์ และกำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 652.6 วัตต์

จากตารางจะทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3223

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3223

ตารางที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3223 ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร

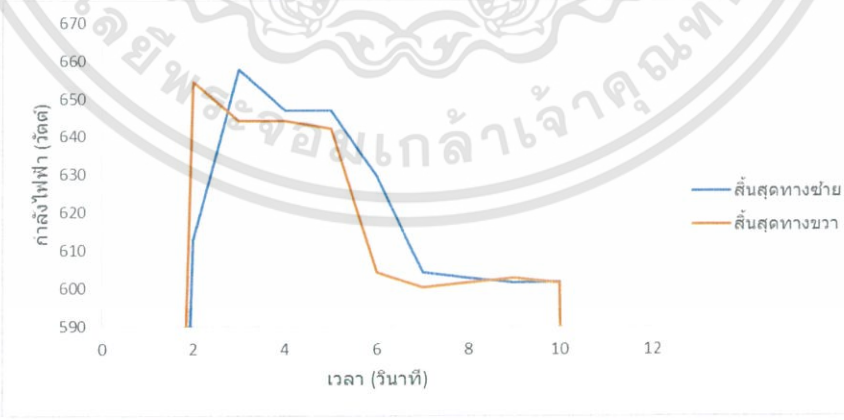
เวลา(วินาที)	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กำลังไฟฟ้าในการสับประแจไปทางซ้าย (W)	612.8	657.6	646.9	646.9	629.5	604.1	602.8	601.5	601.6
กำลังไฟฟ้าในการสับประแจไปทางขวา (W)	654.3	644.1	644.1	642.0	604.1	600.1	601.5	602.6	601.5

เมื่อนำค่ากำลังไฟฟ้าจากตารางมาคำนวณจะได้ค่ากำลังไฟฟ้าดังนี้

การสับประแจไปทางซ้าย จะมีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 622.6 วัตต์ และกำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 657.6 วัตต์

การสับประแจไปทางขวา จะมีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 622.0 วัตต์ และกำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 654.3 วัตต์

จากตารางจะทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3223 ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้ากับเวลา ในระหว่างการสับประแจกลไฟฟ้า T3223 ในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

จากการจัดทำโครงการ การออกแบบชุดทดสอบวัดกระแสไฟฟ้า สำหรับประแจกลไฟฟ้า โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เป็นตัวควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ภายในชุดทดสอบ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับค่าอินพุตจากเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า จากนั้นจะทำการประมวลผลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล คำนวณและแสดงผลผ่านหน้าจอ LCD ของชุดทดสอบ และผ่านซีเรียลมอนิเตอร์ บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ การทดลองสำเร็จตามจุดประสงค์ประโยชน์ที่ได้รับคือ ทำให้เข้าใจหลักการทำงานของประแจกลไฟฟ้า และสามารถตรวจสอบการทำงานของประแจกลไฟฟ้าได้

เมื่อได้ผลการทดลองจากการทดลองมาเปรียบเทียบกับหลักการทำงานของประแจกลแล้ว ผู้ทำการทดลองจะได้ทราบถึงปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นซึ่งจะกล่าวถึงในบทนี้ รวมถึงความผิดพลาดและข้อเสนอแนะในการนำมาซึ่งการพัฒนาชุดทดสอบนี้เป็นลำดับต่อไป

5.2 สรุปผลการทดลอง

1. จากการนำชุดทดสอบวัดกระแสไฟฟ้าไปทดสอบเก็บค่ากระแสไฟฟ้าตลอดช่วงการทำงานของประแจกลไฟฟ้า มีส่วนช่วยให้เข้าใจหลักการทำงานของประแจกลไฟฟ้ามากขึ้น เมื่อนำข้อมูลจากการทดลองมาสร้างกราฟ จะเห็นได้ชัดว่ามอเตอร์ประแจกลไฟฟ้า มีรูปแบบการจ่ายไฟแตกต่างออกไปจากมอเตอร์ 3 เฟสปกติ และจากการนำเซนเซอร์ไปตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่ไหลในนิวทรัล ทำให้เข้าใจการทำงานของการ์ดควบคุมที่จะตัดไฟเมื่อเฟสไม่สมดุล ซึ่งเป็นขณะที่ประแจกลเคลื่อนมาถึงตำแหน่งสิ้นสุด และในการทดสอบเกจ 4 มิลลิเมตร จะไม่เกิดกระแสไหลในนิวทรัล เป็นผลให้การ์ดไม่สามารถตรวจจับและตัดไฟได้ จึงเป็นหน้าที่ของชุดตัดไฟภายในประแจกล ซึ่งส่งผลให้การตัดไฟดีเลย์ออกไปเล็กน้อยจากปกติ

2. จากผลการทดลอง ประแจกลแต่ละตัวจะมีค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ไม่เท่ากันในการสับประแจไปทางซ้ายและไปทางขวา คาดว่าเป็นผลมาจากทิศทางของจุดสับราง โดยที่จุดสับรางจะมีทางหลักซึ่งเป็นทางตรงและทางเบี่ยง หากทำการสับประแจจากทางหลักไปยังทางเบี่ยงอาจจะต้องใช้กำลังในการดัดลิ้นรางมากกว่า หรืออาจเป็นผลมาจากปัจจัยอื่นๆ เช่น ความฝืดของรางในแต่ละจุดไม่เท่ากัน หรืออายุการใช้งานของมอเตอร์ที่มากทำให้มีการใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้ามากขึ้น

3. จากผลการทดลอง พบว่าประแจกลไฟฟ้าแต่ละตัวมีการใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าในการทำงานไม่ต่างกันมากนัก หากมีการเก็บรวบรวมข้อมูลการทำงานของประแจกลไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง จะสามารถกำหนดค่ามาตรฐานในการวัด เพื่อที่จะใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาว่าประแจกลตัวที่ทำการทดสอบยังทำงานได้ดีหรือไม่ ซึ่งมีประโยชน์ในการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันในอนาคต

5.3 ปัญหาจากการศึกษา

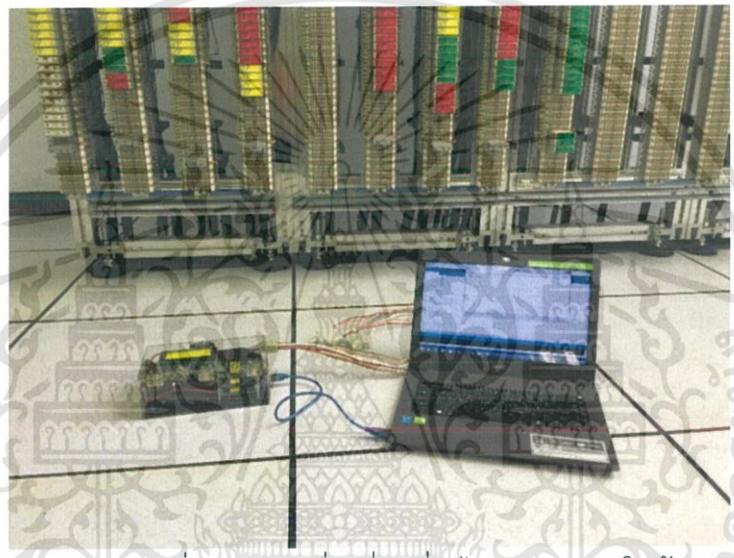
1. ปัญหาที่พบในชุดทดสอบที่ออกแบบเครื่องที่ 1

ในชุดทดสอบเครื่องที่ 1 จะเป็นการใช้โมดูลวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ โดยมีเซนเซอร์วัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้า และยังมีโมดูลสำหรับวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อให้ชุดทดสอบนี้สามารถ

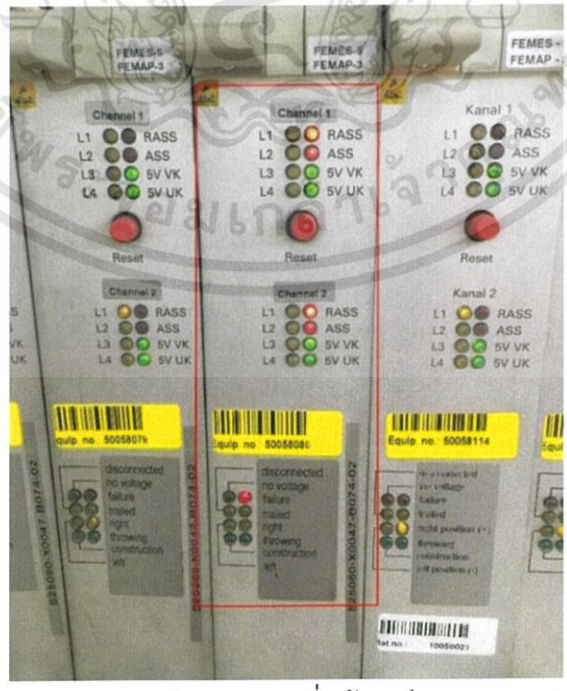
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานได้ทั้งในช่วงที่มีการสับประแจกล โดยมีรีเลย์สลับการทำงาน และในช่วงที่ไม่มีคำสั่งสับประแจกล แต่เมื่อนำชุดทดสอบไปติดตั้งกลับทำให้การ์ด WESTE เกิดการ failure และเนื่องจากทางบริษัทไม่มีข้อมูลภายในของการ์ด WESTE หรือตรรกะการทำงานของการ์ด ทำให้ไม่สามารถรู้ได้แน่ชัดว่าสาเหตุที่เกิดความผิดพลาดเกิดจากอะไร

ในการทดสอบครั้งถัดมาได้มีการตัดวงจรและเซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่คาดว่าเป็นส่วนที่รบกวนระบบออกแต่ไม่เป็นผล และเนื่องจากการเข้าไปทำการทดสอบในห้อง Interlocking นั้นไม่ได้มีโอกาสเข้าไปบ่อยนักจึงไม่ได้ทดลองจนทราบสาเหตุ แต่สันนิษฐานว่ามีวงจรส่วนหนึ่งที่ต่อคร่อมระหว่างไลน์และนิวทรัล อาจส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง และการ์ดควบคุมตรวจจับว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้น จึงเกิด failure



รูปที่ 5.1 แสดงชุดทดสอบที่ออกแบบเครื่องที่ 1 ที่นำไปทดสอบภายในห้อง Interlocking



รูปที่ 5.2 แสดงการเกิด failure ที่หน้าการ์ดควบคุม (WESTE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปัญหาที่พบในชุดทดสอบที่ออกแบบเครื่องที่ 2

- ชุดทดสอบมีข้อจำกัดที่สามารถวัดได้แค่ค่ากระแสไฟฟ้า จึงต้องทำการกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้ามาตรฐานของประแจกลมาอ้างอิงในตอนคำนวณ

- ชุดทดสอบสามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้าได้เฉพาะไฟฟ้ากระแสสลับ ทำให้สามารถวัดค่าได้แค่ในช่วงที่ประแจกลไฟฟ้าทำการสับประแจ ไม่สามารถเช็คสถานะสุดท้ายของประแจกลไฟฟ้าได้

3. ปัญหาที่พบเกี่ยวกับระบบการทำงานของประแจกลไฟฟ้า

- ตัวประแจกลไฟฟ้าตอนทำการสับรางมีการจ่ายไฟเป็น 2 ช่วง ช่วงเริ่มต้นเป็น 3 เฟสไม่สมบรูณ์ จากนั้นจะจ่ายไฟเป็น 3 เฟสปกติ ซึ่งค่าที่เรานำมาคำนวณนั้นใช้ช่วงที่ทำงานเป็น 3 เฟสปกติ ทำให้ได้ตัวอย่างค่าที่นำมาพิจารณาจำนวนน้อย

- ตัวประแจกลไฟฟ้ามีการทำงานที่เริ่มแรกเป็นไฟกระแสตรงในช่วงที่ไม่มีคำสั่งสับประแจ จะมีการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับเมื่อมีคำสั่งสับประแจ และเมื่อสิ้นสุดการทำงานจะมีการจ่ายกลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ทำให้มีความซับซ้อนในการออกแบบเครื่องมือวัดไฟที่นำมาใช้

- จะมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของประแจกลไฟฟ้าคือการ์ด WESTE ซึ่งทางบริษัทไม่มีข้อมูลภายในส่วนของการ์ด WESTE ข้อมูลการทำงาน ข้อมูลวงจรการสั่งงานในตัวการ์ด ทำให้ไม่สามารถทราบตรรกะการทำงานของการ์ดและหาวิธีแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้ เช่น เมื่อนำโมดูลที่ตรวจวัดแรงดันไปต่อเข้าในระบบแล้วการ์ดเกิด error ทำให้ไม่สามารถหาสาเหตุที่แน่ชัดได้

4. ในการนำชุดทดสอบไปทดสอบภายในห้อง interlocking จำเป็นจะต้องมีงานซ่อมบำรุงของประแจกลไฟฟ้า จึงจะสามารถเข้าไปในห้อง interlocking ได้ ทำให้ไม่สามารถทำการทดสอบได้บ่อยครั้ง และได้ผลตัวอย่างการทดสอบมาน้อยครั้ง

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. ในชุดทดสอบเครื่องที่ 1 หากมีการพัฒนาปรับปรุงแก้ไขในจุดที่ผิดพลาด คือแก้ไขในส่วนของวงจรวัดแรงดันไฟฟ้าได้ จะทำให้ชุดทดสอบนี้สามารถทราบตำแหน่งของประแจกลไฟฟ้าในสภาวะปกติได้ กล่าวคือชุดทดสอบจะสามารถทำงานได้ทั้งในช่วงไฟฟ้ากระแสตรง และในช่วงกระแสสลับ โดยมีรีเลย์สลับการทำงานโดยอัตโนมัติ

2. ในชุดทดสอบเครื่องที่ 2 ยังไม่สามารถตัวเช็คสถานะสุดของท้ายของประแจกลไฟฟ้าได้ ในอนาคตหากมีการปรับปรุงหรือพัฒนาหาโมดูลตรวจจับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับโดยที่ไม่รบกวนระบบได้ จะทำให้ได้ค่าการคำนวณที่แม่นยำมากขึ้นเนื่องจากไม่ต้องทำการกำหนดค่าแรงดันคงที่ และหากต่อเพิ่มเข้ากับโมดูลวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จะทำให้สามารถตรวจสอบตำแหน่งสิ้นสุดของประแจกลในขณะที่ไม่มีการสับประแจกลได้

3. ในชุดทดสอบเครื่องที่ 2 เนื่องจากไม่มีการต่อวงจรเข้าไปในระบบ มีเพียงเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าแบบคล้อง ซึ่งไม่มีผลหรือรบกวนระบบ ถ้ามีการนำมาพัฒนาให้เชื่อมต่อกับโมดูลสื่อสาร หรืออัพโหลดข้อมูลแบบเรียลไทม์ จะทำให้สามารถตรวจสอบการทำงานของมอเตอร์ประแจกลได้ตลอดเวลา ซึ่งจะช่วยลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยุ่งยากในการซ่อมบำรุงได้มาก เช่น ถ้าหากมอเตอร์ตัวใดมีการใช้กระแสไฟฟ้ามากเกินกว่าปกติ หรือเกินพิกัดที่กำหนดไว้ สามารถพิจารณาได้ว่าประแจกลมีความฝืดมาก ซึ่งอาจเกิดจากการขาดสารหล่อลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] นคร จันทศร. (2554). **ช่างรถไฟความรู้ทั่วไปด้านวิศวกรรมรถไฟ** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

[2] พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์. (2537). **อิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น, บมจ.

[3] SIEMENS. (2551). **S 700 K point machine.** สืบค้นเมื่อ สิงหาคม 23, 2561, จาก https://www.mobility.siemens.com

[4] SIEMENS. (2551). **Control of the points.** สืบค้นเมื่อ สิงหาคม 26, 2561, จาก https://www.mobility.siemens.com

[5] ThaiEasyElec. (2554). **บทความ Arduino.** สืบค้นเมื่อ สิงหาคม 28, 2561, จาก https://www.thaieasyelec.com

[6] e-Learning Centre. (2546). **Unbalanced Three Phase Systems.** สืบค้นเมื่อ กันยายน 3, 2561, จาก http://elearning.vtu.ac.in

[7] ON Semiconductor. (2543). **Configuring the NCL30000 for TRIAC Dimming.** สืบค้นเมื่อ กันยายน 17, 2561, จาก https://www.onsemi.com/

[8] Technology Remaking the World. (2561). **Introduction to Triacs.** สืบค้นเมื่อ กันยา 20, 2561, จาก http://www.bristolwatch.com

[9] Factomart. (2560). **การสตาร์ทและควบคุมมอเตอร์มอเตอร์.** สืบค้นเมื่อ กันยายน 22,2561, จาก https://mall.factomart.com

[10] ThaiEasyElec. (2554). **การใช้งาน Current Sensors (เซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า) ประเภท Current Transformer Sensor.** สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 3, 2561,จาก https://www.thaieasyelec.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
โค้ดที่ใช้ควบคุมการทำงานของชุดทดสอบ

```
#include<Wire.h>
#include<LiquidCrystal_I2C.h>
#include "EmonLib.h"
EnergyMonitor emon1;
EnergyMonitor emon2;
EnergyMonitor emon3;
int Buzzer = 11;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,3);
float IAR[20];
float Iavg;
float Pavg;
int s;
int r;
int r2;
int n;
int i;
int k;
float max,min;
float Pmax;
float limit;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  emon1.current(1, 14.8);
  emon2.current(2, 14.8);
  emon3.current(3, 14.8);
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("STARTS");
  lcd.blink();
  r=1;
  r2=1;
  i=0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  s=0;
  k=0;
  pinMode(Buzzer,OUTPUT);
  digitalWrite(Buzzer,HIGH);
}
int sec;
void loop()
{
    float Irms1 = emon1.calcIrms(1480);
    float Irms2 = emon2.calcIrms(1480);
    float Irms3 = emon3.calcIrms(1480);
    float I=(Irms1+Irms2+Irms3)/3;
if ((I>0.1)and(n<=19)and(k<=2))
{
   Serial.print("(BOOTING)  ");
    Serial.print("IL1= ");
    Serial.print(Irms1,3);
    Serial.print("    ");
    Serial.print("IL2= ");
    Serial.print(Irms2,3);
    Serial.print("    ");
    Serial.print("IL3= ");
    Serial.print(Irms3,3);
    Serial.print("    ");
    Serial.print(k);
   Serial.println();
   lcd.clear();
   lcd.setCursor(0,0);
   lcd.print("BOOTING..");
   s=1;
   k++;
   delay(250);
}
if ((I>0.1)and(n<=19)and(k>2))
   {
   IAR[n]=I;
   Count();
   Beep2();
   r=0;
   r2=0;
   lcd.clear();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("POINT SWITCHING");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("IL1=");
    lcd.print(Irms1,3);
    lcd.setCursor(10,1);
    lcd.print("A");
    lcd.setCursor(0,2);
    lcd.print("IL2=");
    lcd.print(Irms2,3);
    lcd.setCursor(10,2);
    lcd.print("A");
    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print("IL3=");
    lcd.print(Irms3,3);
    lcd.setCursor(10,3);
    lcd.print("A");

     Serial.print("(SWITCHING)  ");
     Serial.print("IL1= ");
     Serial.print(Irms1,3);
     Serial.print("    ");
     Serial.print("IL2= ");
     Serial.print(Irms2,3);
     Serial.print("    ");
     Serial.print("IL3= ");
     Serial.print(Irms3,3);
     Serial.print("    ");
     Serial.print(n);
     Serial.println();
    }
if (((I<=0.1)or(n>19))and(r!=1)) //AC AVERAGE
  {
Iavg=(IAR[0]+IAR[1]+IAR[2]+IAR[3]+IAR[4]+IAR[5]+IAR[6]+IAR[7]+IAR[8]+IAR[9]+IAR[10]+IAR[11]+IAR[
12]+IAR[13]+IAR[14]+IAR[15]+IAR[16]+IAR[17]+IAR[18]+IAR[19]+IAR[20])/n;
Pavg=(sqrt(3))*380*Iavg*0.45;
if((i>=0)and(i<=20))
{
    if(IAR[i]<=min)
    {
      min = IAR[i];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    }
    if(IAR[i]>=max)
    {
      max = IAR[i];
    }
i++;
}
Pmax=(sqrt(3))*380*max*0.45;
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("THROWING END");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("I=");
lcd.print(Iavg);
lcd.setCursor(7,1);
lcd.print("A");
lcd.setCursor (0,2);
lcd.print("P=");
lcd.print (Pavg,1);
lcd.setCursor(7,2);
lcd.print("W");
lcd.setCursor(9,1);
lcd.print("Imax=");
lcd.print(max);
lcd.setCursor(19,1);
lcd.print("A");
lcd.setCursor (9,2);
lcd.print("Pmax=");
lcd.print (Pmax,1);
lcd.setCursor(19,2);
lcd.print("W");
Serial.print("(STOP)  ");
Serial.print("I= ");Serial.print(Iavg);Serial.print(" A;   ");
Serial.print("P= ");Serial.print(Pavg);Serial.print(" W;   ");
Serial.print("Imax= ");Serial.print(max);Serial.print(" A;   ");
Serial.print("Pmax= ");Serial.print(Pmax);Serial.print(" W;   ");
Serial.println();
n=0;
memset(IAR,0,sizeof(IAR));
r=1;
r2=1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  {if(max>2)
  { lcd.setCursor (0,3);
    lcd.print("-----OVER LIMIT-----");
    lcd.setCursor(12,0);
    Break();
      }}
    {if(max<=2)
  { lcd.setCursor (0,3);
    lcd.print("-------NORMAL-------");
    lcd.setCursor(12,0);
    Normal();
      }}
max=0;
Pmax=0;
s=0;
k=0;
delay(4000);
  }
if ((r2!=0)and(I<=0.1)) //NO CUR
{
    Serial.print("(NO AC CURRENT)  ");
    Serial.print("IL1= ");
    Serial.print(Irms1,3);
    Serial.print("    ");
    Serial.print("IL2= ");
    Serial.print(Irms2,3);
    Serial.print("    ");
    Serial.print("IL3= ");
    Serial.print(Irms3,3);
    Serial.print("    ");
    Serial.print(n);
    Serial.println();
   lcd.clear();
   lcd.setCursor(0,0);
   lcd.print("WAITING FOR SWITCH");
   lcd.setCursor(0,1);
   lcd.print("IL1=");
   lcd.print(Irms1);
   lcd.setCursor(8,1);
   lcd.print("A");
   lcd.setCursor(0,2);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
   lcd.print("IL2=");
   lcd.print(Irms2);
   lcd.setCursor(8,2);
   lcd.print("A");
   lcd.setCursor(0,3);
   lcd.print("IL3=");
   lcd.print(Irms3);
   lcd.setCursor(8,3);
   lcd.print("A");
}
}
void Count()
{n++;
}
void Normal()
{lcd.noBacklight();delay(500);lcd.backlight();digitalWrite(Buzzer,LOW); delay(1000);
  digitalWrite(Buzzer,HIGH);
delay(8000);
}
void Break()
{lcd.noBacklight();delay(500);lcd.backlight();Beep();delay(500);
lcd.noBacklight();delay(500);lcd.backlight();Beep();delay(500);
lcd.noBacklight();delay(500);lcd.backlight();Beep();delay(500);
lcd.noBacklight();delay(500);lcd.backlight();Beep();delay(500);
lcd.noBacklight();delay(500);lcd.backlight();Beep();delay(500);
delay(2000);
}
void Beep()
  {
  digitalWrite(Buzzer,LOW); delay(500);
  digitalWrite(Buzzer,HIGH);
  }
 void Beep2()
  {
  digitalWrite(Buzzer,LOW); delay(20);
  digitalWrite(Buzzer,HIGH);
  }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้