

อุปกรณ์ตรวจจับกระแสอาร์คฟอลต์
ARC FAULT DETECTION DEVICE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

อุปกรณ์ตรวจจับกระแสอาร์คฟอลต์
ARC FAULT DETECTION DEVICE

โดย



นายแบงค์ชาติ

แย้มเกตุ

นายพลภัทร

ภักดีโยธิน

นายพลาริป

สิทธิศักดิ์

นายศรัณยุทธิ์

ไชยมงคล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ARC FAULT DETECTION DEVICE



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

2018

ปีการศึกษา 2561

อุปกรณ์ตรวจจับกระแสอาร์คฟอลต์
ARC FAULT DETECTION DEVICE



อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.สมภพ

ผลไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2561

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อุปกรณ์ตรวจจับกระแสอาร์คฟอลต์

ผู้จัดทำ

- | | |
|-----------------|-------------|
| 1. นายแบงค์ชาติ | แย้มเกตุ |
| 2. นายพลภัทร | ภักดีโยธิน |
| 3. นายพลาริป | สิทธิศักดิ์ |
| 4. นายศรัณยุทธ | ไชยมงคล |



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.สมภพ ผลไม้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ตรวจจับอาร์คฟอลต์

นาย แบนด์ชาติ	แย้มเกตุ
นาย พลภัทร	ภักดีโยธิน
นาย พลาธิป	สิทธิศักดิ์
นาย ศรัณยุทธ	ไชยมงคล
ดร. สมภพ	ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2561	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนออุปกรณ์ตรวจจับอาร์คฟอลต์ (AFDD) เพื่อที่จะตรวจจับและป้องกันอาร์คที่เป็นอันตรายหรือที่เป็นที่รู้จักในชื่อ “อาร์คฟอลต์” ในวงจรไฟฟ้า ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดอัคคีภัยภายในที่อยู่อาศัย อาร์คถูกแบ่งเป็น อาร์คที่ไม่เป็นอันตราย และอาร์คที่เป็นอันตราย อย่างไรก็ตาม โครงงานนี้เน้นการตรวจจับอาร์คที่เป็นอันตรายโดยเฉพาะ ในโครงงานนี้ขดลวดโรกอฟสกีถูกนำมาใช้ในการรับสัญญาณอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแส ในการวิเคราะห์เพื่อที่จะตรวจจับอาร์คซึ่งเป็นสัญญาณความถี่สูงในย่าน ๑ MHz โดยถูกออกแบบให้มีแถบความถี่ในย่านที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับที่ครอบคลุมเงื่อนไขของความยาวของวงจรไฟฟ้าระยะ 30 เมตรและเงื่อนไขเอ็มซีตามมาตรฐาน IEC สำหรับการทดลองโครงงานนี้ได้แบ่งการทดสอบในสภาวะปกติ กับสภาวะที่เกิดอาร์คในภาระไฟฟ้าหลายชนิด ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ถูกนำมาใช้เพื่อตัดสินใจอันตรายของอาร์คฟอลต์โดยกำหนดให้สัญญาณอาร์คต่อเนื่องใน 5 ครั้งไซเคิลเป็นอาร์คที่เป็นอันตราย และไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้รีเลย์ตัดไฟของวงจรไฟฟ้า ผลการทดสอบเมื่ออาร์คฟอลต์เกิดขึ้นอุปกรณ์ตรวจจับอาร์คฟอลต์สามารถตรวจจับอาร์คฟอลต์ และส่งสัญญาณไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมรีเลย์ในการสั่งตัดวงจรก่อนที่อัคคีภัยจะเกิดขึ้นได้อย่างถูกต้องและภายในระยะเวลาที่กำหนดตามมาตรฐาน

ARC FAULT DETECTION DEVICE

Mr.Bankchart	Yamgate
Mr.Ponlaphat	Phakdeeyotin
Mr.Phalathip	Sitthisak
Mr.Saranyoot	Chaimongkol
Dr.Sompob	Polmai Advisor

Year 2018

ABSTRACT

This thesis presents arc fault detection device (AFDD) for detecting and protecting hazardous arc also known as "arc fault" in an electric circuit, which is a cause of the electrical fire in the household. Arc can be divided into a non-hazardous arc and a hazardous arc. However, this project focuses on detection hazardous arc especially. In this project, Rogowski coil is used for sensing the MHz range derivative of the current signal, and its magnitude is used for arc fault decision. The Rogowski coil is designed with suitable bandwidth for 30 meters electric circuit distance and EMC conditions according to IEC standard. In the experiments, this project has divided the test into normal and arc conditions under various types of load. Microcontroller is used for hazardous arc decision by defining 5 consecutive half-cycles arc signal as a hazardous arc and the microcontroller will command the relay to trip. The experimental results show that the proposed AFDD can detect the arc fault and the microcontroller can decide the hazardous arc properly, the relay trips to open circuit within the time defined by the standard.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จและลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องขอขอบพระคุณ ดร.สมภพ ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ที่คอยให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา แนวทาง และการแก้ไขปัญหาต่างๆ ในการทำโครงการชิ้นนี้ ตลอดจนการให้ความกรุณาตรวจแก้ไขปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณนายเอกบุรินทร์ ศรีตรัย พี่บัณฑิตปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่คอยให้คำแนะนำต่างๆตลอดโครงการชิ้นนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ ให้แก่ทางคณะผู้จัดทำมีความรู้ความสามารถและประสบการณ์ในการดำเนินการโครงการชิ้นนี้ให้ลุล่วงสำเร็จ

ขอขอบคุณเพื่อนๆพี่ๆ สมาชิกทุกคนในห้องปฏิบัติการ Power Electronic Applications and Energy Conversion Research Laboratory (PEARL LAB) ห้อง ECC-407 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำด้านต่างๆ ร่วมทุกข์ร่วมสุขให้กำลังใจกันและกัน ตลอดจนการสร้างบรรยากาศในการทำงานที่ดี

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่ง ที่คอยเป็นกำลังใจให้ และสนับสนุนด้านการศึกษา การเงิน พร้อมทั้งเอาใจใส่ในทุกๆเรื่องเสมอมา ให้ปริญญาานิพนธ์นี้ ลุล่วงสำเร็จ

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	VII
สารบัญ	VIII
สารบัญรูป	XI
สารบัญตาราง	XVII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	2
1.5 แผนการดำเนินงาน	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของอาร์คฟอลต์	5
2.2 สาเหตุการเกิดอาร์ค	5
2.3 Arcing arccos cabonized path	8
2.4 ชนิดของอาร์คฟอลต์ในวงจรภายในที่อยู่อาศัย	9
2.4.1 อาร์คฟอลต์แบบอนุกรม	9
2.4.2 อาร์คฟอลต์แบบขนาน	9
2.5 คุณลักษณะของอาร์ค ฟอลต์	10
2.6 ขดลวดโรกอฟสกี	11
บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง	14
3.1 Arc generator	14
3.2 Cable spacimen	15
3.3 การออกแบบขดลวดโรกอฟสกี	16
3.4 Arc fault circuit simulation	19
3.5 วงจรทดสอบความไวในการปลดวงจรของอุปกรณ์ตรวจจับอาร์ค	20

	หน้า
3.6 Detection circuit	21
3.7 วงจรสร้างสัญญาณจุดตัดศูนย์	22
3.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์	23
บทที่ 4 ผลการทดลอง	25
4.1 การทดลองวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรม	28
4.2 การทดลองกับ EMI filter	61
4.3 การทดลองวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์กับ Steel armored Cable	64
4.4 การทดลองวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์กับสาย Cable Specimen	67
4.5 การทดลองวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์กับสาย Cable Specimen และ EMI Filter	74
4.6 การทดลองวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์กับสาย Cable Specimen และ Steel armored Cable ระยะ 30 เมตร	77
4.7 ความไวในการปลดวงจรของอุปกรณ์ตรวจจับอาร์คแบบอนุกรม	80
4.8 การทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อใช้เครื่องกำเนิดอาร์ค	80
4.9 การทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อวงจรมี EMI filter	84
4.9.2 การทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อใช้ Cable Specimen และมี EMI Filter	85
4.10 การทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อใช้สาย Steel armored cable ระยะ 30 เมตร	85
4.10.1 การทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อใช้เครื่องกำเนิดอาร์ค ด้วยสาย Steel armored Cable	86
4.10.2 การทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อใช้ Cable Specimen ด้วยสาย Steel armored Cable	86
4.11 การทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อใช้ Cable specimen	87
4.11.1 ผลการทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อต่อโหลดความต้านทาน กรณีเมื่อ S1 S4 S3 ปิดอยู่แล้วเปิด S4	87
4.11.2 ผลการทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อต่อโหลดความต้านทาน กรณีเมื่อ S1 S4 ปิดและ S3 เปิดอยู่ แล้วเปิด S4	88

	หน้า
4.11.3 ผลการทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อต่อโหลดความ ต้านทาน กรณีเมื่อ S1 S4 เปิด และS3 ปิดอยู่ แล้วปิด S1	88
4.12 การทดลองที่ไม่ต้องการให้อุปกรณ์ตรวจจับอาร์คปลดวงจร	89
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง ข้อเสนอแนะ และแนวทางพัฒนา	90
5.1 สรุปผลการทดลอง	90
5.2 ข้อเสนอแนะ	91
5.3 แนวทางการพัฒนา	91
เอกสารอ้างอิง	92
ภาคผนวก	94
ประวัติผู้จัดทำ	118



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 การเสื่อมสภาพของฉนวนของสายไฟฟ้าที่เกิดจากการกดทับ	6
รูปที่ 2.2 การเสื่อมสภาพของฉนวนของสายไฟฟ้าที่เกิดจากการขดงอ	6
รูปที่ 2.3 การเสื่อมสภาพของฉนวนของสายไฟฟ้าที่เกิดจากสัตว์กัดแทะ	6
รูปที่ 2.4 การเสื่อมสภาพของฉนวนของสายไฟฟ้าที่เกิดจากฉีกขาดของสายไฟ เนื่องจากส่วาน	7
รูปที่ 2.5 การเชื่อมต่อที่หลวมของขั้วไฟฟ้า	7
รูปที่ 2.6 สภาพการเกิดอาร์คที่สายไฟ	8
รูปที่ 2.7 การเกิดอาร์ค ฟลลต์แบบอนุกรม	9
รูปที่ 2.8 การเกิดอาร์ค ฟลลต์แบบขนาน	9
รูปที่ 2.9 ลักษณะสเปกตรัมของความถี่ ของอาร์คฟลลต์บนแกนของเวลา	10
รูปที่ 2.10 ขดลวดโรกอฟสกี	11
รูปที่ 2.11 วงจรสมมูลของขดลวดโรกอฟสกี	12
รูปที่ 3.1 Arc Generator	14
รูปที่ 3.2 Cable specimen	15
รูปที่ 3.3 การเตรียม Cable Specimen	15
รูปที่ 3.4 วงจรบ่มสายเพื่อสร้างทางเดินคาร์บอน	16
รูปที่ 3.5 การออกแบบขดลวดโรกอฟสกี	16
รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง f (Hz) และ Z (Ω)	18
รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง f (Hz) และ L_s (H)	18
รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง f (Hz) และ R_s (Ω)	18
รูปที่ 3.9 วงจรจำลองการเกิดอาร์ค	19
รูปที่ 3.10 วงจรทดสอบในการปลดวงจร	20
รูปที่ 3.11 วงจรตรวจจับอาร์ค	21
รูปที่ 3.12 วงจรสร้างสัญญาณจุดตัดศูนย์	22
รูปที่ 3.13 Flow chart การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์	23
รูปที่ 3.14 เงื่อนไขของไมโครคอนโทรลเลอร์	24
รูปที่ 4.1 อุปกรณ์สร้างอาร์ค	25

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.2 วงจรทดสอบการเกิดอาร์คแบบอนุกรม	25
รูปที่ 4.3 ชุดอุปกรณ์ทดลอง (1)	26
รูปที่ 4.4 ชุดอุปกรณ์ทดลอง (2)	26
รูปที่ 4.5 ชุดอุปกรณ์ทดลอง (3)	27
รูปที่ 4.6 ชุดอุปกรณ์ทดลอง (4)	27
รูปที่ 4.7 วงจรทดสอบอาร์คฟอลต์อนุกรม (1)	29
รูปที่ 4.8 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อเครื่องดูดฝุ่น ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์	30
รูปที่ 4.9 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อสว่านไฟฟ้า ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์	32
รูปที่ 4.10 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อโหลตประเภทตัด้านทาน ที่เปิด-ปิดด้วย สวิตซ์หรีไฟ ที่มุ่มจุดชนวน 60 องศา ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์	34
รูปที่ 4.11 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อโหลตหลอด ฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 40 W 2 หลอด และโหลตตัวต้านทาน 5 A ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์	36
รูปที่ 4.12 วงจรทดสอบอาร์คฟอลต์อนุกรม (2)	37
รูปที่ 4.13 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อเครื่องดูดฝุ่น ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์	38
รูปที่ 4.14 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อสว่านไฟฟ้า ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์	40
รูปที่ 4.15 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อโหลตประเภท ตัวต้านทานที่ เปิด-ปิด ด้วยสวิตซ์หรีไฟที่มุ่มจุดชนวน 60 องศา ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์	42
รูปที่ 4.16 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อโหลตหลอด ฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 40 W 2 หลอด และโหลตตัวต้านทาน 5 A ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์	44
รูปที่ 4.17 วงจรทดสอบอาร์คฟอลต์อนุกรม (3)	45

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.18 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อเครื่องดูดฝุ่น ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์	46
รูปที่ 4.19 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อส่วไฟฟ้า ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์	48
รูปที่ 4.20 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อโหนดประเภท ตัวต้านทานที่ เปิด-ปิดด้วย สวิตซ์หรีไฟ ที่มีมจุดขนวน 60 องศา ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์	50
รูปที่ 4.21 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อโหนดหลอด ฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 40 W 2 หลอด และโหนดตัวต้านทาน 5 A ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์	52
รูปที่ 4.22 วงจรทดสอบอาร์คฟอลต์อนุกรม (4)	53
รูปที่ 4.23 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อเครื่องดูดฝุ่น ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์	54
รูปที่ 4.24 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อส่วไฟฟ้า ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์	56
รูปที่ 4.25 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อโหนดประเภท ตัวต้านทานที่ เปิด-ปิดด้วย สวิตซ์หรีไฟ ที่มีมจุดขนวน 60 องศา ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์	58
รูปที่ 4.26 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อโหนดหลอด ฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 40 W 2 หลอด และโหนดตัวต้านทาน 5 A ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์	60
รูปที่ 4.27 วงจรทดสอบกับ EMI Filter	61
รูปที่ 4.28 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมกับ EMI Filter ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์	63
รูปที่ 4.29 วงจรทดสอบกับ Steel armored Cable ระยะ 30 เมตร	64
รูปที่ 4.30 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมกับ Steel armored Cable ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์	66
รูปที่ 4.31 วงจรทดสอบกับสาย Cable Specimen	67

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.32 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมสภาวะเกิดอาร์คฟอลต์ แบบฉับพลันในส่วนวงจร ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์	69
รูปที่ 4.33 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมสภาวะเกิดอาร์คฟอลต์ แบบฉับพลันในส่วน ภาะระไฟฟ้า ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์	71
รูปที่ 4.34 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมสภาวะเกิดอาร์คฟอลต์ แบบฉับพลันในการจ่ายพลังงานไฟฟ้า ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์	73
รูปที่ 4.35 วงจรทดสอบกับสาย Cable Specimen และ EMI Filter	74
รูปที่ 4.36 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมกับ EMI Filter และ Cable Specimen ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์	76
รูปที่ 4.37 วงจรทดสอบกับสาย Steel armored Cable ระยะ 30 เมตร	77
รูปที่ 4.38 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมกับ Steel armored Cable และ Cable Specimen ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์	79
รูปที่ 4.39 วงจรทดสอบความไวในการปลดวงจรเมื่อใช้เครื่องกำเนิดอาร์ค	80
รูปที่ 4.40 สัญญาณกระแสไหลออกจาก Current probe (บน) และสัญญาณจาก รีเลย์ (ล่าง) เมื่อต่อโหลดความต้านทานขนาด 2.5 A	81
รูปที่ 4.41 สัญญาณกระแสไหลออกจาก Current probe (บน) และสัญญาณจาก รีเลย์ (ล่าง) เมื่อต่อโหลดความต้านทานขนาด 8 A	81
รูปที่ 4.42 สัญญาณกระแสไหลออกจาก Current probe (บน) และสัญญาณจาก รีเลย์ (ล่าง) เมื่อต่อโหลดประเภทมอเตอร์ (เครื่องดูดฝุ่น)	82
รูปที่ 4.43 สัญญาณกระแสไหลออกจาก Current probe (บน) และสัญญาณจาก รีเลย์ (ล่าง) เมื่อต่อโหลดประเภทมอเตอร์ (ส่วนไฟฟ้า)	82
รูปที่ 4.44 สัญญาณกระแสไหลออกจาก Current probe (บน) และสัญญาณจาก รีเลย์ (ล่าง) เมื่อต่อโหลดประเภทตัวต้านทานที่ เปิด-ปิดด้วยสวิตซ์หรือไฟ มุกจุดขนวน 60 องศา	83

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.45 สัญญาณกระแสไหลจาก Current probe (บน) และสัญญาณจาก รีเลย์ (ล่าง) เมื่อต่อโหลดหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 40 W 2 หลอด และโหลดตัวต้านทาน 5 A	83
รูปที่ 4.46 วงจรทดสอบความไวในการปลดวงจรเมื่อวงจรมี EMI filter	84
รูปที่ 4.47 สัญญาณกระแสไหลจาก Current probe (บน) และสัญญาณจาก รีเลย์ (ล่าง) เมื่อต่อโหลดความต้านทานขนาด 5 A	84
รูปที่ 4.48 สัญญาณกระแสไหลจาก Current probe (บน) และสัญญาณจาก รีเลย์ (ล่าง) เมื่อใช้ Cable Specimen และมี EMI Filter ต่อโหลด ความต้านทานขนาด 2.5 A	85
รูปที่ 4.49 วงจรทดสอบความไวในการปลดวงจรเมื่อใช้สาย Steel armored cable ระยะ 30 เมตร	85
รูปที่ 4.50 สัญญาณกระแสไหลจาก Current probe (บน) และสัญญาณจาก รีเลย์ (ล่าง) ต่อโหลดความต้านทานขนาด 5 A	86
รูปที่ 4.51 สัญญาณกระแสไหลจาก Current probe (บน) และสัญญาณจาก รีเลย์ (ล่าง) ต่อโหลดความต้านทานขนาด 2.5	86
รูปที่ 4.52 วงจรทดสอบความไวในการปลดวงจรเมื่อใช้ Cable specimen	87
รูปที่ 4.53 สัญญาณกระแสไหลจาก Current probe (บน) และสัญญาณจาก รีเลย์ (ล่าง) ต่อโหลดความต้านทานขนาด 2.5 A	87
รูปที่ 4.54 สัญญาณกระแสไหลจาก Current probe (บน) และสัญญาณจาก รีเลย์ (ล่าง) เมื่อต่อโหลดความต้านทานขนาด 2.5 A	88
รูปที่ 4.55 สัญญาณกระแสไหลจาก Current probe (บน) และสัญญาณจาก รีเลย์ (ล่าง) เมื่อต่อโหลดความต้านทานขนาด 2.5 A	88
รูปที่ 4.56 วงจรทดสอบที่ไม่ต้องการให้อุปกรณ์ตรวจจับอาร์คปลดวงจร	89
รูปที่ 4.57 สัญญาณกระแสไหลจาก Current probe (บน) และสัญญาณจาก รีเลย์ (ล่าง) เมื่อต่อโหลดตัวต้านทานขนาด 5A	89
รูปที่ ข.1 Transformer	101
รูปที่ ข.2 Variable Voltage Transformer	101
รูปที่ ข.3 AC Current Clamp Meter	102

รูปที่	หน้า
รูปที่ ข.4 Super Transformer	102
รูปที่ ข.5 Pico scope	103
รูปที่ ข.6 Digital Oscilloscope	103
รูปที่ ข.7 Relay	104
รูปที่ ข.8 Current Probe	104
รูปที่ ข.9 Microcontroller	105
รูปที่ ค.1 เครื่องจำลองการเกิดอาร์คฟอลต์	107
รูปที่ ค.2 เครื่องจำลองการเชื่อมสภาพสายไฟ	107



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน	3
ตารางที่ 3.1 แสดงเวลาที่ AFDD ต้องสั่งเซอร์กิตเบรกเกอร์เพื่อปลดวงจร โดยมีแรงดัน 230 V	19
ตาราง ง.1 ค่าพารามิเตอร์ของขดลวดโรกอฟสกีที่ความถี่ต่างๆ	109



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและที่มาของโครงการ

ในปัจจุบัน สาเหตุหลักๆที่สำคัญของการเกิดเพลิงไหม้ในครัวเรือน นั้นมีสาเหตุมาจากการเกิด กระแสลัดวงจร และอีกหนึ่งสาเหตุที่หลายคนอาจไม่รู้ นั่นคือการเกิดอาร์ค(Arc) โดยอาร์คนั้นถูกให้ค่านิยามภายใต้มาตรฐาน UL1699 และ IEC62606 ว่า “การดิสชาร์จที่ส่องสว่างของไฟฟ้าผ่านตัวกลางที่เป็นฉนวน ซึ่งโดยปกติจะมาพร้อมความเสี่ยงบางอย่างที่ชั่วไฟฟ้า” ชนิดของอาร์คนั้นถูกแบ่งเป็น 2 ประเภท ก็คือ สภาวะอาร์คปกติที่เกิดจากการทำงานของอุปกรณ์ประเภทมอเตอร์ที่มีแปรงถ่านและรีเลย์ เช่น สว่านไฟฟ้าและเครื่องดูดฝุ่น เป็นต้น ซึ่งการเกิดอาร์คในสภาวะปกตินี้จะสามารถสังเกตเห็นประกายไฟขนาดเล็กที่เกิดขึ้นเข้าไปเข้ามาได้ และอีกประเภทคือ สภาวะอาร์คที่เป็นอันตราย ซึ่งก็คือ อาร์คฟอลต์(Arc Fault) ซึ่งถือว่าเป็น “สภาวะการอาร์คที่ไม่ได้ต้องการให้เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้า” [1] ตัวอย่างของอาร์คฟอลต์ที่สามารถพบได้บ่อยๆในชีวิตประจำวันคือประกายไฟที่เกิดขึ้นขณะที่กำลังจะเสียบปลั๊กกับเต้าเสียบ ความรุนแรงของอาร์คจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุปกรณ์ถูกใช้งานอย่างหนักและเริ่มที่จะเสื่อมสภาพ โดยอาร์คฟอลต์นั้นจะเกิดได้ง่ายขึ้นและรุนแรงกว่าเดิมจนนำไปสู่การเกิดไฟลุกไหม้ในวัสดุที่ติดไฟได้หรือก๊าซไวไฟที่มีอยู่ในขณะที่กำลังเกิดอาร์คฟอลต์ขึ้น ในปีค.ศ. 2015 จากสถิติในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าเกิดอุบัติเหตุเพลิงไหม้จากระบบไฟฟ้าเฉลี่ย 51,000 ครั้งต่อปี มีผู้เสียชีวิตราวๆ 500 ราย และผู้ได้รับบาดเจ็บราวๆ 1,400 ราย ต่อมาจึงได้เห็นความสำคัญและข้อดีของ Arc Fault Detection Device(AFDD) เพื่อใช้ในการตรวจสอบการเกิดอาร์คฟอลต์ที่ไม่สามารถตรวจสอบจากเซอร์กิตเบรกเกอร์ธรรมดาได้[2]

ในปีการศึกษา 2559 วิทยานิพนธ์ “การตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมแรงดันต่ำโดยใช้ขดลวดโรกอฟสกี” ของนายเอกบุรินทร์ ศรีตรัย นั้นมีปัญหาในการตรวจจับอาร์คฟอลต์ในวงจรที่มีความยาวไม่น้อยกว่า 30 เมตร และปัญหาในการตรวจจับวงจรที่มี EMI filter ที่ต่อขนานวงจรอยู่ ซึ่งปริญาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความตั้งใจที่จะต่อยอดและแก้ไขข้อบกพร่องของอุปกรณ์ตรวจจับอาร์คฟอลต์ โดยการออกแบบขดลวดโรกอฟสกีให้มีค่าความเหนี่ยวนำมากพอที่จะสามารถตรวจจับการเกิดอาร์คฟอลต์ในวงจรที่เป็นปัญหาทั้ง 2 วงจร และรวมถึงวงจรอื่นๆเพิ่มเติมที่จะทำในปีการศึกษานี้ด้วย นอกจากนี้ โครงการนี้จะต่อยอดในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับการสั่งตัดกระแสออกจากวงจรเมื่อ AFDD ตรวจจับอาร์คฟอลต์ตามเงื่อนไขที่ได้ตั้งไว้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาคุณลักษณะของอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมในระบบไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันต่ำ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาสภาวะการทำงานของอาร์คฟอลต์รวมถึงการแยกแยะสภาวะปกติและสภาวะในการเกิดอาร์คฟอลต์
- 1.2.3 เพื่อศึกษาการสร้างและออกแบบอุปกรณ์ในการตรวจจับโดยใช้ขดลวดโรกอฟสกีเมื่อมีการเกิดอาร์คฟอลต์ขึ้นในระบบไฟฟ้า
- 1.2.4 เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ตัวแปรต่างๆที่สำคัญในการออกแบบวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์
- 1.2.5 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมกับโหลดหลายๆประเภทเพื่อนำมาใช้ออกแบบวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์
- 1.2.6 นำไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้ในการสั่งตัดกระแสออกจากวงจรในขณะที่เกิดอาร์คฟอลต์มานานพอที่จะเกิดความอันตราย

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

- 1.3.1 ศึกษาคุณลักษณะของกระแสและแรงดันที่แตกต่างกันระหว่างสภาวะปกติกับสภาวะที่เกิดอาร์คฟอลต์ โดยอาศัยการวิเคราะห์จากลูกคลื่นกราฟ
- 1.3.2 เพื่อศึกษาการออกแบบอุปกรณ์ในการตรวจจับอาร์คฟอลต์อย่างมีประสิทธิภาพ
- 1.3.3 ทดสอบระบบและอุปกรณ์ในการตรวจจับกระแสอาร์คฟอลต์
- 1.3.4 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสั่งให้อุปกรณ์ตัดวงจรตัดกระแสที่อยู่ในสภาวะอาร์คฟอลต์มานานพอที่จะทำให้เกิดอันตรายออกจากวงจร

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

- 1.4.1 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับอาร์คฟอลต์และวงจรที่ใช้ในระบบ
- 1.4.2 ออกแบบจำลองการเกิดอาร์คฟอลต์แบบอนุกรม โดยการจำลองเครื่องกำเนิดอาร์คฟอลต์ (Arc Generator)
- 1.4.3 ทำการจัดเตรียมสายไฟทดสอบตามมาตรฐาน IEC 62606 เพื่อใช้เป็นตัวกำเนิดอาร์คเพื่อใช้ทดสอบ การทำงานของ AFDD ตามมาตรฐานการทดสอบของ IEC
- 1.4.4 นำสายไฟที่ได้ไปทดสอบกับวงจรไฟฟ้าเพื่อหาลักษณะกราฟของแรงดันและกระแสในสภาวะการเกิดอาร์คฟอลต์จากวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์ โดยมีการใช้ขดลวดโรกอฟสกีเป็นตัวกลางในการสร้างสัญญาณเข้าสู่เครื่องตรวจจับ

1.4.5 วิเคราะห์ผลการทดสอบและเขียนโปรแกรมใหม่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ตัวจริง

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการทำงาน	พ.ศ.2561					พ.ศ.2562				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
ศึกษาทฤษฎีอาร์คฟอลต์	■	■								
ศึกษาวงจรเกี่ยวกับอาร์คฟอลต์	■	■	■							
ออกแบบจำลองการเกิดอาร์คฟอลต์	■	■	■	■						
การเตรียมและบ่มสายไฟให้พร้อมสำหรับการทดสอบวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์					■	■				
สร้างวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์						■				
เขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ตัวจริง							■			
วิเคราะห์และบันทึกผลการทดลองจากการทดสอบวงจร								■		
แก้ไขและปรับปรุงวงจรที่ใช้ทำการทดลอง									■	
ทำรูปเล่มปริญาานิพนธ์										■

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ

- 1.6.1 เข้าใจคุณลักษณะและความอันตรายของอาร์คฟอลต์
- 1.6.2 สามารถออกแบบอุปกรณ์ในการตรวจจับและป้องกันในสภาวะการเกิดอาร์คฟอลต์ในวงจรไฟฟ้าได้
- 1.6.3 สามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้ตรวจจับและป้องกันสภาวะการเกิดอาร์คฟอลต์ในชีวิตประจำวันได้



บทที่ 2

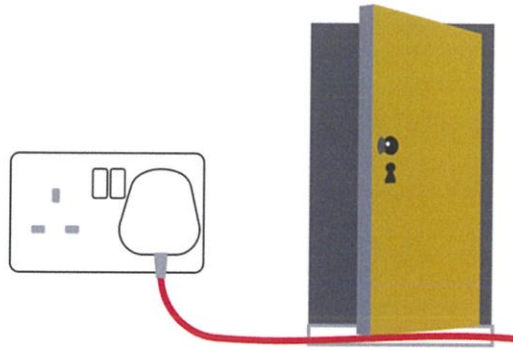
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของอาร์คฟอลต์

“อาร์ค” นั้นถูกให้คำนิยามภายใต้มาตรฐาน UL1699 และ IEC62606 ว่า “การดีสชาร์จที่ส่องสว่างของไฟฟ้าผ่านตัวกลางที่เป็นฉนวน ซึ่งโดยปกติจะมาพร้อมความเสียหายบางส่วนที่ขั้วไฟฟ้า” ชนิดของอาร์คนั้นถูกแบ่งเป็น 2 ประเภท ก็คือ สภาวะอาร์คปกติที่เกิดจากการทำงานของอุปกรณ์ประเภทมอเตอร์ที่มีแปรงถ่านและรีเลย์ เช่น สว่านไฟฟ้าและเครื่องดูดฝุ่น เป็นต้น ซึ่งการเกิดอาร์คในสภาวะปกตินี้จะสามารถสังเกตเห็นประกายไฟขนาดเล็กที่เกิดขึ้นเข้าไปเข้ามาได้ และอีกประเภทคือ สภาวะอาร์คที่เป็นอันตราย ซึ่งก็คือ อาร์คฟอลต์ (Arc Fault) ซึ่งถือว่าเป็น “สภาวะการอาร์คที่ไม่ได้ต้องการให้เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้า” [1] ตัวอย่างของอาร์คฟอลต์ที่สามารถพบได้บ่อยๆในชีวิตประจำวันคือประกายไฟที่เกิดขึ้นขณะที่กำลังจะเสียบปลั๊กกับเต้าเสียบ ความรุนแรงของอาร์คจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุปกรณ์ถูกใช้งานอย่างหนักและเริ่มที่จะเสื่อมสภาพ โดยอาร์คฟอลต์นั้นจะเกิดได้ง่ายขึ้นและรุนแรงกว่าเดิมจนนำไปสู่การเกิดไฟลุกไหม้ในวัสดุที่ติดไฟได้หรือก๊าซไวไฟที่มีอยู่ในขณะที่กำลังเกิดอาร์คฟอลต์ขึ้น

2.2 สาเหตุการเกิดอาร์ค

เครื่องใช้ไฟฟ้าส่วนใหญ่ในปัจจุบันยังใช้สายไฟในการเป็นตัวกลางในการนำไฟฟ้าเนื่องจากการใช้งานของผู้ใช้ทั่วไปที่ไม่ทันสังเกตอาจทำให้สายไฟเกิดการกดทับหรือหนีบที่จุดเปราะบางของสายไฟแล้วทำให้เกิดรอยฉีกขาด ขำรุดของสายไฟจนเกิดการบิดงอของสายไฟและฉนวน หรืออาจเกิดจากการใช้งานเป็นระยะเวลานานโดยไม่ได้รับการบำรุงรักษาหรือเปลี่ยนทำให้ฉนวนบนสายไฟแตกหักเนื่องจากอายุการใช้งาน ความร้อน ปฏิกิริยาเคมี และความเครียดจากการดึงรวมทั้งการเชื่อมต่อที่ไม่เหมาะสม อุปกรณ์ที่ใช้งานมีความเสียหาย สายไฟสัมผัสกับวัตถุที่มีความฉนวนและอาจเกิดจากสภาพแวดล้อมด้วยอย่างเช่นความชื้นหรือสิ่งสกปรกกระหว่างตัวนำและฉนวนสายไฟอยู่ใกล้กับความร้อนและแสงอาทิตย์ สาเหตุเหล่านี้ทำให้เกิดปรากฏการณ์อาร์คฟอลต์ได้ทั้งสิ้น



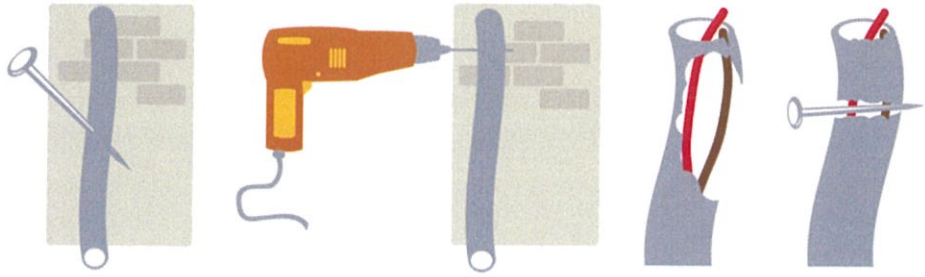
รูปที่ 2.1 การเสื่อมสภาพของฉนวนของสายไฟฟ้าที่เกิดจากการกดทับ [3]



รูปที่ 2.2 การเสื่อมสภาพของฉนวนของสายไฟฟ้าที่เกิดจากการขบกัด [3]



รูปที่ 2.3 การเสื่อมสภาพของฉนวนของสายไฟฟ้าที่เกิดจากสัตว์กัดแทะ [3]



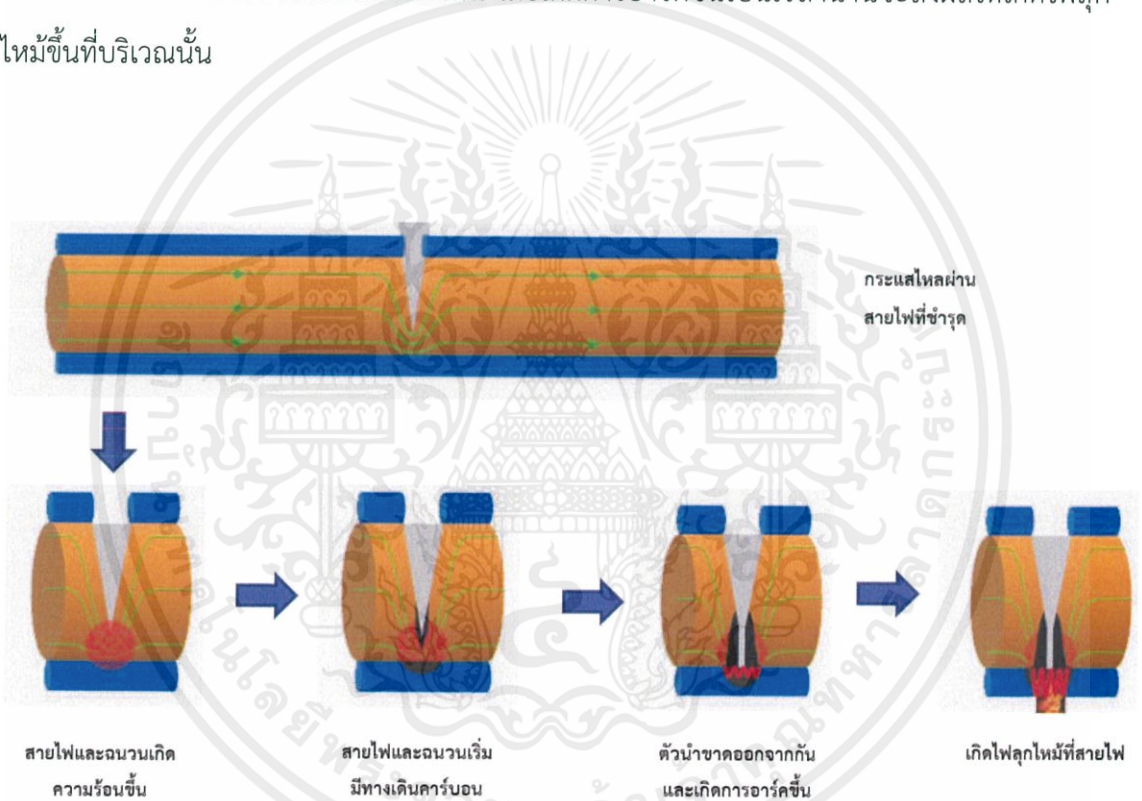
รูปที่ 2.4 การเชื่อมสภาพของฉนวนของสายไฟฟ้าที่เกิดจากฉีกขาดของสายไฟเนื่องจากส่วน [3]



รูปที่ 2.5 การเชื่อมต่อที่หลวมของขั้วไฟฟ้า [3]

2.3 Arcing across carbonized path

สายไฟชำรุดเนื่องจากหลายสาเหตุไม่ว่าจะเป็น การชำรุดของฉนวนของสายไฟฟ้าที่เกิดจากการกดทับ การขูดหรือการฉีกขาดของสายไฟ โดยบริเวณที่สายไฟชำรุดนั้นขณะที่มีกระแสไหลผ่าน จะมีความร้อนมากกว่าปกติ เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของตัวนำลดลง เมื่อความร้อนสะสมไปเรื่อยๆทำให้ฉนวนที่ทำจากวัสดุ Polyvinyl chloride(PVC) ซึ่งมีองค์ประกอบของธาตุคาร์บอนอยู่หลอมละลาย หลังจากนั้นจะเริ่มมีคราบคาร์บอน(Carbonized path) เกิดขึ้นที่ฉนวนและตัวนำ เมื่อตัวนำโดนความร้อนสะสมไปเรื่อยๆจนตัวนำขาดออกจากกันและคราบคาร์บอน(Carbonized path) ของทั้งสองฝั่งเชื่อมถึงกัน จะเกิดการอาร์คขึ้นที่บริเวณนั้น เมื่อเกิดการอาร์คขึ้นเป็นเวลานานจะส่งผลให้เกิดไฟลุกไหม้ขึ้นที่บริเวณนั้น



รูปที่ 2.6 สถานะการเกิดอาร์คที่สายไฟ [5]

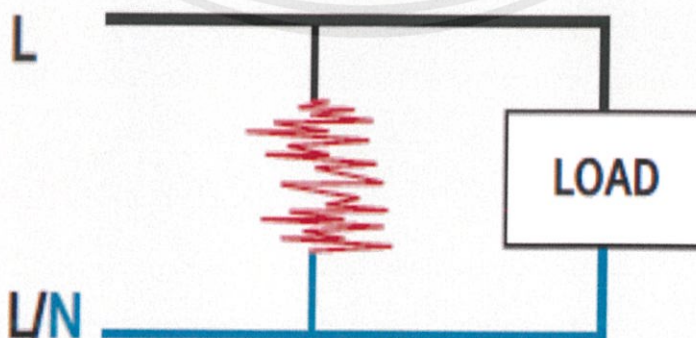
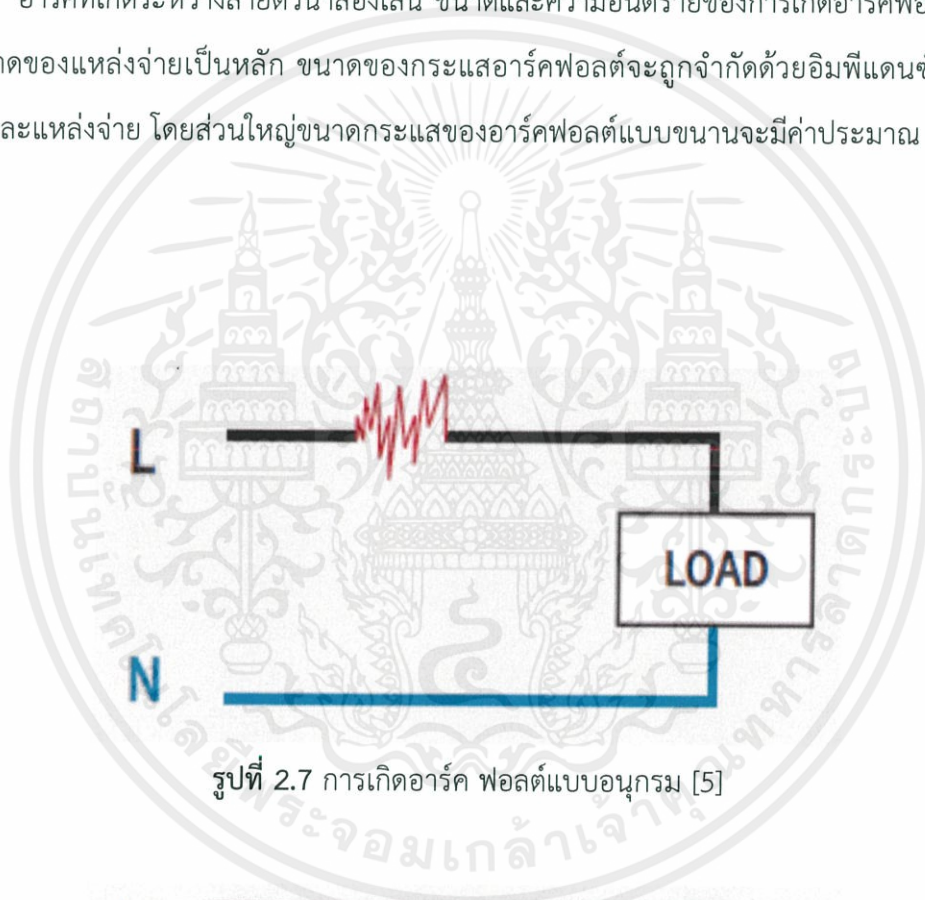
2.4 ชนิดของอาร์คฟอลต์ในวงจรภายในที่อยู่อาศัย

2.4.1 อาร์คฟอลต์แบบอนุกรม

อาร์คที่เกิดจากการขาดตอนของสายตัวนำในวงจรย่อย ขนาดและความอันตรายของการเกิดอาร์คฟอลต์ขึ้นอยู่กับขนาดของโหลดเป็นหลัก ขนาดของกระแสอาร์คฟอลต์จะถูกจำกัดด้วยอิมพีแดนซ์ของสายตัวนำและโหลดที่ต่อกับวงจรย่อย โดยส่วนใหญ่ขนาดกระแสของอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมจะมีค่าประมาณ 5 A ขึ้นไป

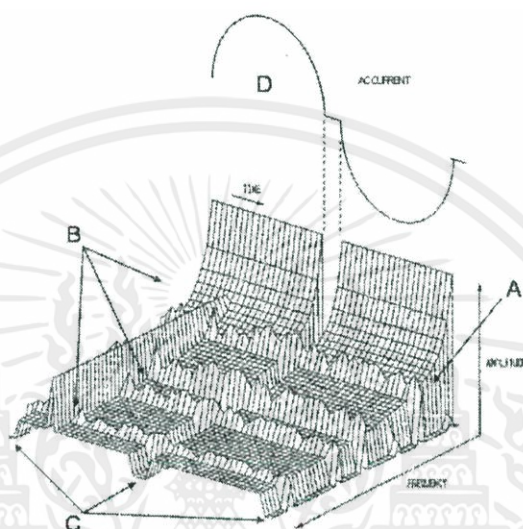
2.4.2 อาร์คฟอลต์แบบขนาน

อาร์คที่เกิดระหว่างสายตัวนำสองเส้น ขนาดและความอันตรายของการเกิดอาร์คฟอลต์ขึ้นอยู่กับขนาดของแหล่งจ่ายเป็นหลัก ขนาดของกระแสอาร์คฟอลต์จะถูกจำกัดด้วยอิมพีแดนซ์ของสายตัวนำและแหล่งจ่าย โดยส่วนใหญ่ขนาดกระแสของอาร์คฟอลต์แบบขนานจะมีค่าประมาณ 75 A ขึ้นไป



2.5 คุณสมบัติของอาร์ค ฟอลต์

คุณสมบัติของอาร์ค ฟอลต์นั้นมีความสามารถในการสร้างคลื่นรบกวนที่บรอดแบนด์ ได้โดยกระแสที่ไหลผ่านสัญญาณรบกวนแถบความถี่กว้าง (Broadband noise) สามารถส่งกระจายคลื่นได้หลายสิบลีตซ์จนถึง 1 GHz ข้อมูลที่เกี่ยวกับสัญญาณรบกวนแถบความถี่กว้าง และความเป็นคาบ (Periodicity) ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับนั้นมีความหมายอย่างมากในการกำหนดพฤติกรรมของสถานะอาร์คฟอลต์ในวงจรภายในที่อยู่อาศัย



รูปที่ 2.9 ลักษณะสเปกตรัมของความถี่ ของอาร์คฟอลต์บนแกนของเวลา [1]

อาร์คฟอลต์สามารถสร้างสัญญาณรบกวนแถบความถี่กว้าง ในระหว่างการนำกระแสไฟฟ้า สเปกตรัมของคลื่นอยู่ในช่วงตั้งแต่หลัก 10 kHz จนถึงประมาณ 1 GHz ในลักษณะที่สอดคล้องกัน สัญญาณรบกวนชนิดนี้จะมีเฉพาะในช่วงการนำของกระแสในขณะที่เกิดอาร์คเท่านั้น และสัญญาณรบกวนชนิดนี้จะหายไปเมื่อไม่ได้เกิดอาร์ค ฟอลต์แล้ว

2.6 ขดลวดโรกอฟสกี

ขดลวดโรกอฟสกี คือขดลวดที่ใช้วัดอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า การวัดกระแสด้วยขดลวดโรกอฟสกีจะใช้หลักการคล้ายคลึงกับของหม้อแปลงกระแสแบบพิเศษ ซึ่งหลักการคือเมื่อนำขดลวดโรกอฟสกีไปคล้องล้อมรอบแท่งหรือสายตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าที่ต้องการวัดไหลผ่าน เส้นฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านแท่งตัวนำจะไปเกี่ยวคล้อง ผ่านขดลวดโรกอฟสกี และเมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแท่งตัวนำมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ก็จะส่งผลให้เส้นฟลักซ์แม่เหล็กที่คล้องผ่านขดลวดโรกอฟสกีเกิดการเปลี่ยนแปลงตามเวลาเช่นกัน ส่งผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นภายในขดลวดโรกอฟสกี นั่นก็คือ E_m ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงของกระแส $\frac{di}{dt}$ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.10 ขดลวดโรกอฟสกี [9]

ในรูปที่ 2.3 จากกฎของแอมแปร์ คือ เมื่อขดลวดโรกอฟสกีคล้องล้อมรอบแท่งตัวนำที่มี กระแส i_{in} ไหลผ่าน จะทำให้ความเข้มสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นที่ขดลวดโรกอฟสกีซึ่งอยู่ห่างจากแท่ง ตัวนำในแนวรัศมีเท่ากับ r คือ

$$H_r = \frac{i_{in}}{2\pi r} \quad (2.1)$$

หากขดลวดวางอยู่ในอากาศจะมีค่าซึมซาบแม่เหล็กของอากาศ (μ_0) เท่ากับ $4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ จะได้ ความหนาแน่นเส้นฟลักซ์แม่เหล็ก ณ จุดนั้น คือ

$$B = \mu_0 H_r = \frac{\mu_0 i_{in}}{2\pi r} \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และหากขดลวดมีพื้นที่ภาคตัดขวางเท่ากับ A จะสามารถหาค่าฟลักซ์แม่เหล็กที่คล้องผ่านขดลวดที่มีจำนวนรอบทั้งหมด N รอบ และมีความยาวของขดลวดเท่ากับ $L = 2\pi r$ ได้คือ

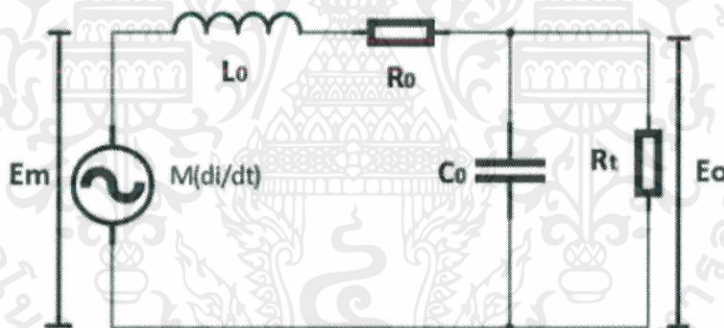
$$\Phi = \frac{N\mu_0 A i_{in}}{l} \quad (2.3)$$

จากกฎเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ทำให้สามารถหาค่าแรงดันเหนี่ยวนำบนขดลวดจำนวน N รอบได้ดังนี้

$$E_m = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{N\mu_0 A}{l} \times \frac{di_{in}}{dt} \quad (2.4)$$

$$E_m = -M \frac{di_{in}}{dt} \quad (2.5)$$

โดยที่ $M = \frac{N\mu_0 A}{l}$, M คือ ความเหนี่ยวนำร่วมระหว่างขดลวดโรกอฟสกีกับตัวนำที่มีกระแส i_{in} ไหลผ่าน วงจรสมมูลของขดลวดโรกอฟสกี สามารถเขียนได้ดังในรูปที่ 2.



รูปที่ 2.11 วงจรสมมูลของขดลวดโรกอฟสกี [9]

จากวงจรสมมูล จะสามารถหาค่า L_0 และค่า C_0 ได้ดังนี้

$$L_0 = MN \quad (2.6)$$

$$C_0 = \frac{16\epsilon_0\epsilon_r l}{\pi \ln\left(\frac{A}{a}\right)} \quad (2.7)$$

$$R_0 = \frac{\rho_w l_w}{A_w} \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$M \frac{di_{in}}{dt}$ คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (V)

R_0 คือ ความต้านทานของขดลวดโรกอฟสกี (Ω)

L_0 คือ ความเหนี่ยวนำของขดลวดโรกอฟสกี (H)

C_0 คือ ความจุไฟฟ้าของขดลวดโรกอฟสกี (F)

a คือ พื้นที่หน้าตัดของขดลวด (m^2)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของแกนขดลวด (m^2)

N คือ จำนวนรอบขดลวดทั้งหมด (turn)

n คือ จำนวนรอบต่อความยาวแกน (turn/m)

ϵ_r คือ เปรอริมิตติวิตีสัมพัทธ์ของแกนที่ใช้พันขดลวด (F/m)

ϵ_0 คือ เปรอริมิตติวิตีสัมพัทธ์ของอากาศ (F/m)

ρ_w คือ ความต้านทานจำเพาะของลวด ($\Omega\cdot m$)

A_w คือ พื้นที่หน้าตัดของลวด (mm^2)

l_w คือ ความยาวของลวด (m)

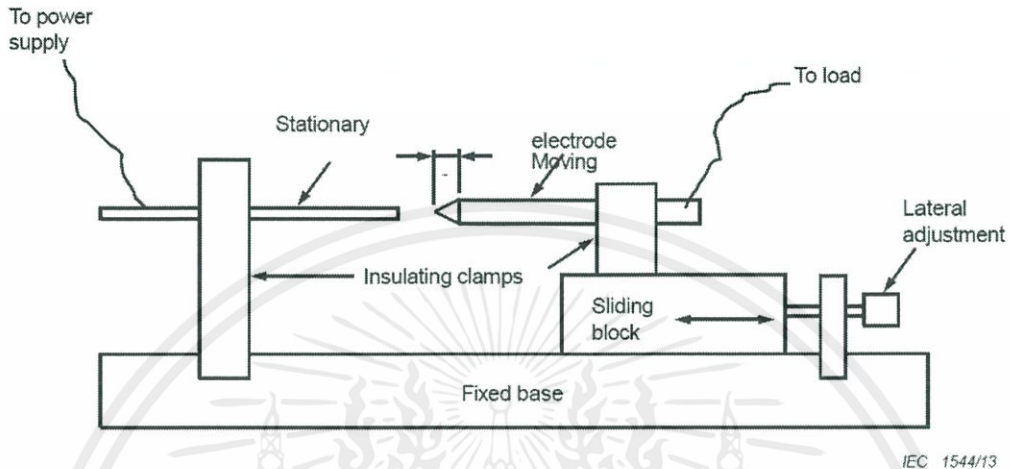
R_t คือ Terminating Resistor (Ω)

ลักษณะการพันขดลวดโรกอฟสกีก็มีส่วนสำคัญในการวัดกระแสขาเข้าไม่น้อย โดยจะต้องคำนึงถึงความสม่ำเสมอของพื้นที่หน้าตัดของแกนที่ทำจากยางหรือแกนอากาศและจำนวนรอบที่พันขดลวดด้วย และหลักที่สำคัญคือการพันขดลวดย้อนกลับเข้าไปข้างในแกนอีกครั้งเพื่อให้แรงดันเหนี่ยวนำจากภายนอกสนามแม่เหล็กหักล้างกัน

บทที่ 3

การออกแบบการทดลอง

3.1 Arc generator

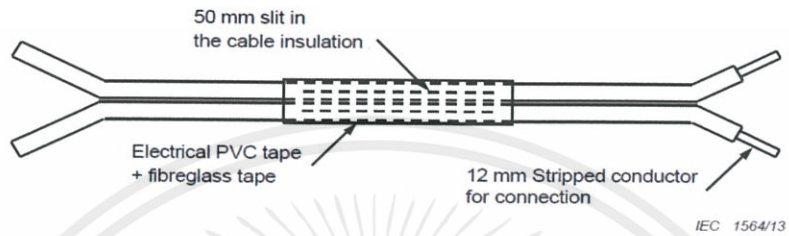


รูปที่ 3.1 Arc Generator [4]

ชุดจำลองการเกิดอาร์คพอลต์แบบอนุกรม (Arc Generator) สร้างขึ้นโดยใช้แท่งตัวนำที่อยู่กับที่และแท่งตัวนำที่สามารถเคลื่อนได้ โดยแท่งตัวนำที่อยู่กับที่ซึ่งในที่นี้จะใช้แท่งตัวนำคาร์บอนซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm โดยจะยึดอยู่กับฐานที่เป็นฉนวนไฟฟ้าซึ่งได้ใช้ Bakelite ซึ่งมีคุณสมบัติทนความร้อนในสภาวะปกติได้ 160 – 180 องศาฟาเรนไฮต์ ในส่วนแท่งตัวนำที่สามารถเคลื่อนได้จะใช้แท่งตัวนำทองแดงโดยจะถูกยึดอยู่บนฐานที่สามารถปรับระยะห่างกับแท่งตัวนำคาร์บอนได้ซึ่งจะสามารถทำให้เกิดประกายไฟระหว่างขั้วไฟฟ้าเปรียบเสมือนจำลองการเชื่อมต่อที่หลวมของสายไฟเป็นผลทำให้เกิดการอาร์คขึ้น โดยสามารถต่อ Arc Generator เข้าไปในวงจรย่อยที่เราจะใช้ทดลองเพื่อจำลองการเกิดอาร์คได้

3.2 Cable Specimens

ทำการบ่มสายไฟเพื่อใช้จำลองสายไฟที่ชำรุดเสียหายจริงในบ้านเรือน โดยอิงตามมาตรฐาน IEC62062 ซึ่งจะใช้สายไฟที่มีตัวนำแบบคู่ โครงงานนี้จึงใช้สายชนิด VAF 300/500 V 2x2.5 mm²



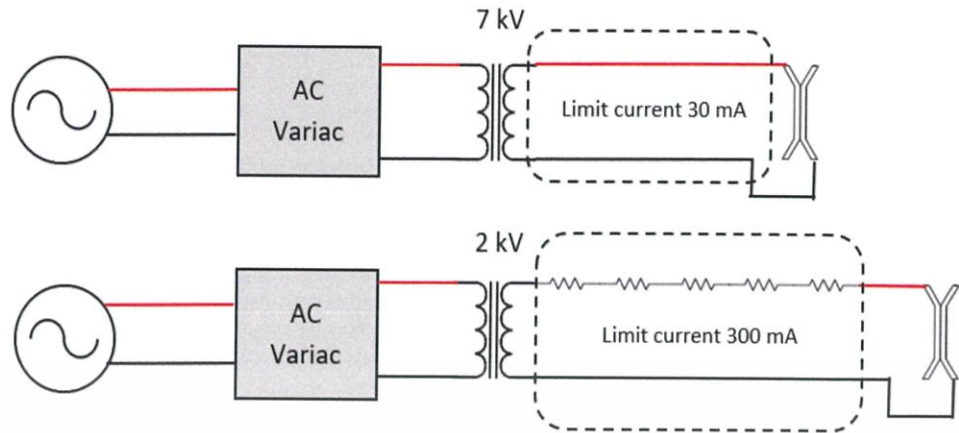
รูปที่ 3.2 Cable Specimens [4]

1. เตรียมสายไฟความยาว 200 mm ทำการปลอกฉนวนที่หัวและปลายสายประมาณ 12 mm
2. ปลอกฉนวนที่กึ่งกลางสายความยาว 50 mm และใช้คัตเตอร์กรีดที่ฉนวนที่หุ้มสายทองแดงอย่างระมัดระวังตั้งแต่ต้นถึงท้าย
3. ใช้เทปพันสายไฟสีดำและเทปใยแก้วหุ้มสายไฟช่วงที่โดนกริดอย่างละสองรอบ
4. ทำการสร้างเส้นทางนำไฟฟ้าคาร์บอนโดยการนำสายไฟที่เตรียมไว้ไปเชื่อมต่อกับวงจรแรงสูง 7 kV เป็นเวลา 10 วินาที และ 2 kV อีกเป็นเวลา 10 วินาที



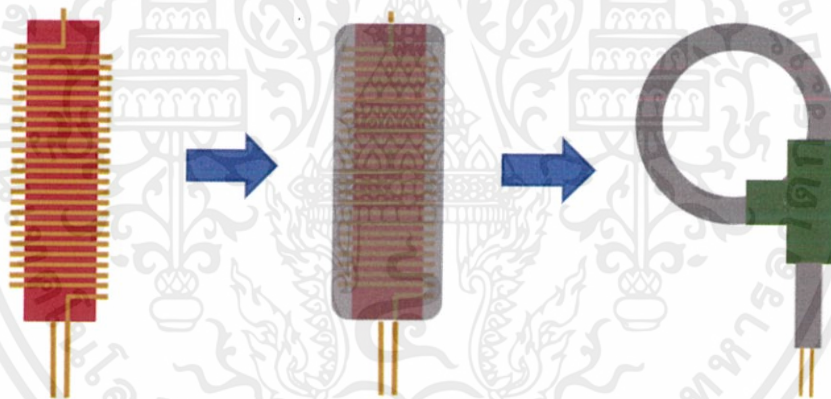
รูปที่ 3.3 การเตรียม Cable Specimen

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรบ่มสายเพื่อสร้างทางเดินคาร์บอน

3.3 การออกแบบขดลวดโรกอฟสกี



รูปที่ 3.5 การออกแบบขดลวดโรกอฟสกี

สำหรับการตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรเราจะใช้ขดลวดโรกอฟสกีเป็นหลัก โดยออกแบบให้ขดลวดมีขนาดเล็กเพื่อเหมาะสมกับขนาดของวงจรตรวจจับอาร์ค โดยขั้นตอนการออกแบบมีดังนี้

1. เตรียมแกนของขดลวดโรกอฟสกีในที่นี้จะใช้เป็นฉนวนเปล้าของสายไฟความยาวประมาณ 10-14 cm
2. พันตัวนำ (ลวดทองแดง) ตามทฤษฎีของขดลวดโรกอฟสกีเป็นจำนวนประมาณ 400 รอบ
3. นำท่อหดมาหุ้มขดลวดที่ได้จากข้อที่ 2
4. ม้วนขดลวดโรกอฟสกีเป็นวงกลมเข้ากับข้อต่อและสามารถนำไปใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในที่นี้จะเลือกใช้ขดลวดขนาด AWG 39 และแกนของขดลวดโรกอฟสกีเป็นฉนวนของสายไฟ VSF $1 \times 1.5 \text{ mm}^2$ และพันขดลวดเพื่อให้ได้ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดโรกอฟสกีประมาณ $30 \text{ }\mu\text{H}$ ค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลของขดลวดโรกอฟสกีในรูปที่ 2.11 สามารถหาได้ดังนี้

โดยที่ ค่า C คำนวณได้จากสมการ

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0 C_0}} \quad (3.1)$$

โดยที่

f คือ ความถี่แบนด์วิธ (Hz)

L_0 คือ ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดโรกอฟสกี (H)

C_0 คือ ค่าความจุไฟฟ้าของขดลวดโรกอฟสกี (F)

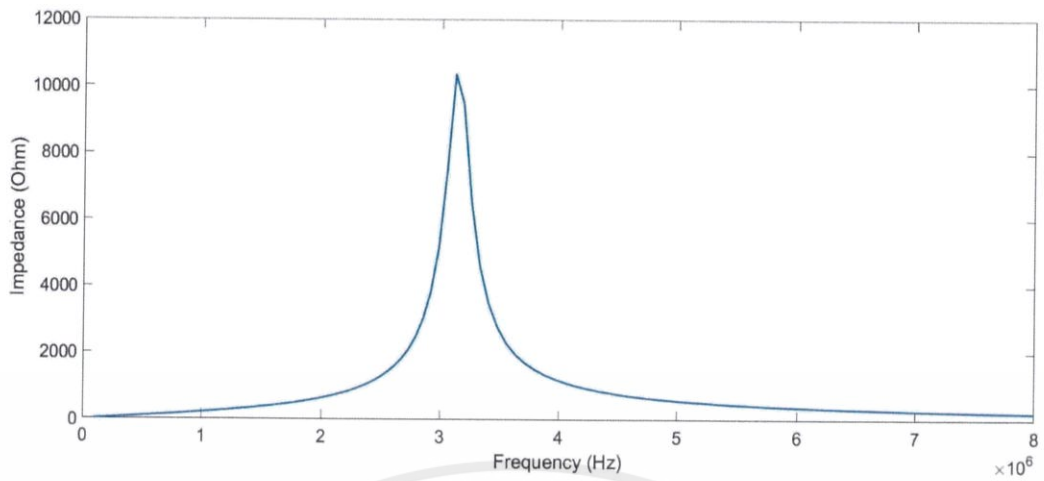
จะได้ว่า

$$C_0 = \frac{1}{4\pi^2 L f^2}$$

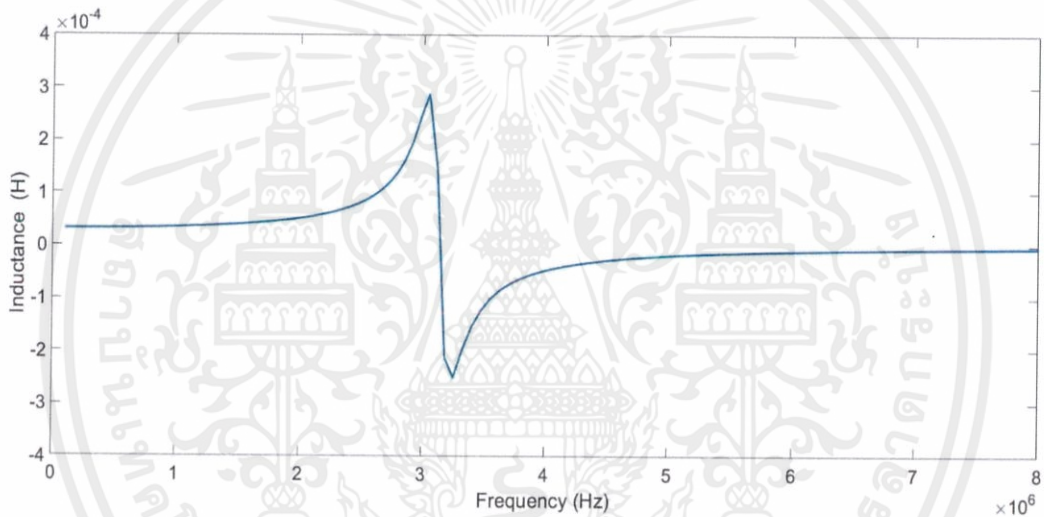
โดยที่ $f = 3050800 \text{ Hz}$, $L_0 = 0.000287826 \text{ H}$ (อ้างอิงข้อมูลจากภาคผนวก ง.)

$$\begin{aligned} C_0 &= \frac{1}{4\pi^2 \times 0.000287826 \times 3050800^2} \\ &= 9.46 \text{ pF} \end{aligned}$$

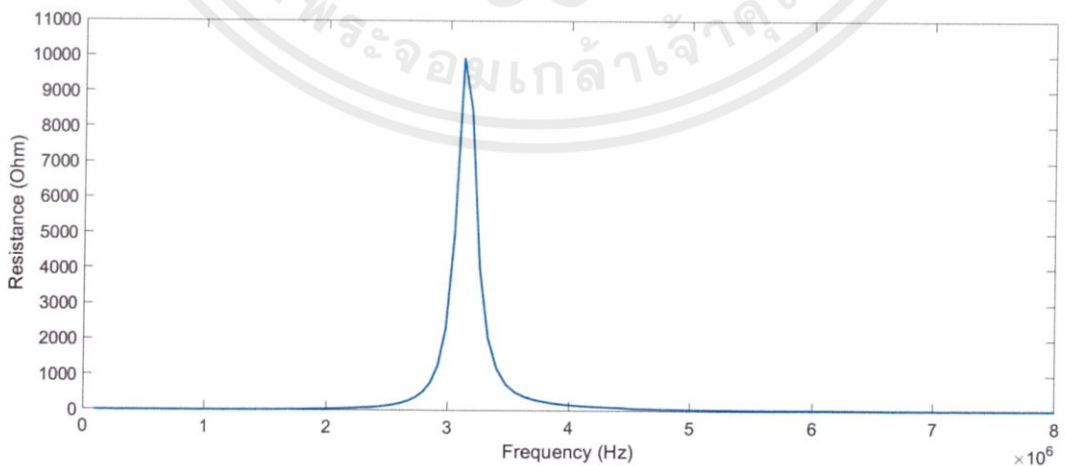
ค่า $L_0 = 0.000287826 \text{ H}$ ซึ่งตรงกับความถี่ $f = 3050800 \text{ Hz}$ จากตารางค่าพารามิเตอร์ของขดลวดโรกอฟสกีในภาคผนวก ง. ซึ่งค่า L_0 นี้คือค่าสูงสุดของทุกย่านความถี่ที่วัดได้จากเครื่องวัด LCR Meter ทำให้ขดลวดโรกอฟสกีมีแบนด์วิธประมาณ 3 MHz โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และค่าพารามิเตอร์ R_s , L_s และ Z แสดงในกราฟดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง f (Hz) และ Z (Ω)



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง f (Hz) และ L_s (H)

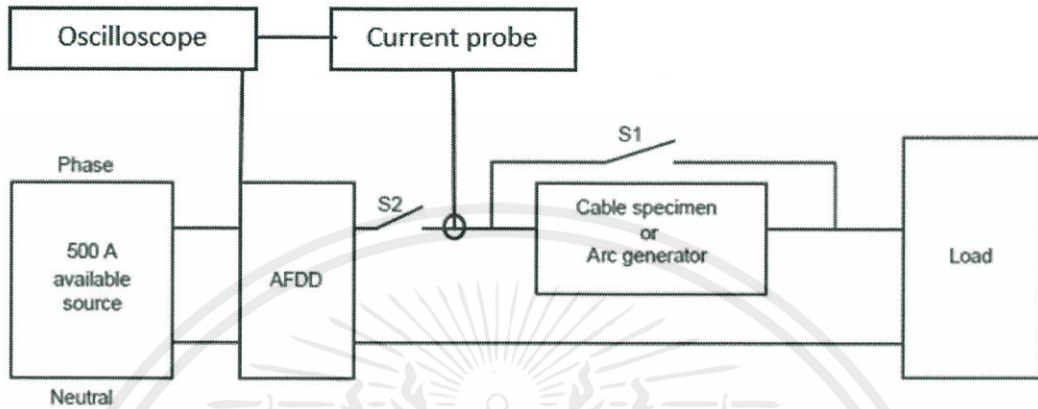


รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง f (Hz) และ R_s (Ω)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 Arc fault circuit simulation

เชื่อมต่อกับอุปกรณ์กำเนิดอาร์คหรือ Cable specimen กับวงจรทดลอง เพื่อทดสอบการเกิดอาร์คและการตรวจจับอาร์คเพื่อศึกษาลักษณะของอาร์คฟอลต์เมื่อต่อด้วยโหลดประเภทต่างๆ



รูปที่ 3.9 วงจรจำลองการเกิดอาร์ค

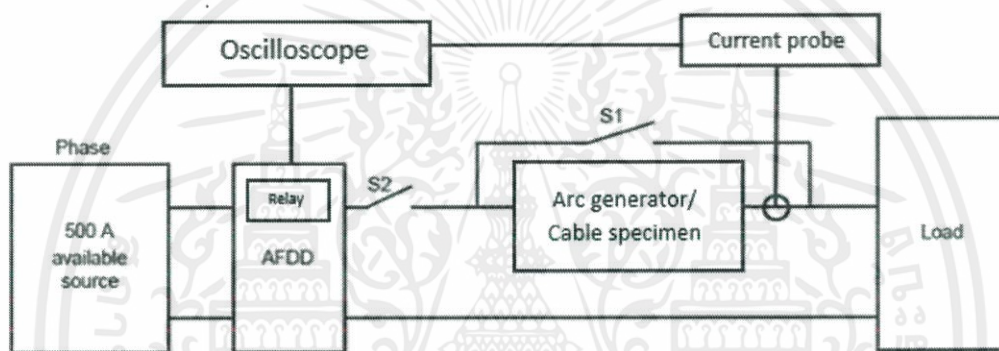
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วงจรทดสอบความไวในการปลดวงจรของอุปกรณ์ตรวจจับอาร์คแบบอนุกรม

โดยเมื่อเกิดอาร์คอุปกรณ์ตรวจจับอาร์คแบบอนุกรมจะต้องปลดวงจรภายในระยะเวลา 2.5 เท่าของเวลาในตารางที่ 4. กรณีใช้เครื่องกำเนิดอาร์ค และปลดวงจรภายในระยะเวลาในตารางที่ 3.1 กรณีใช้ Cable specimen

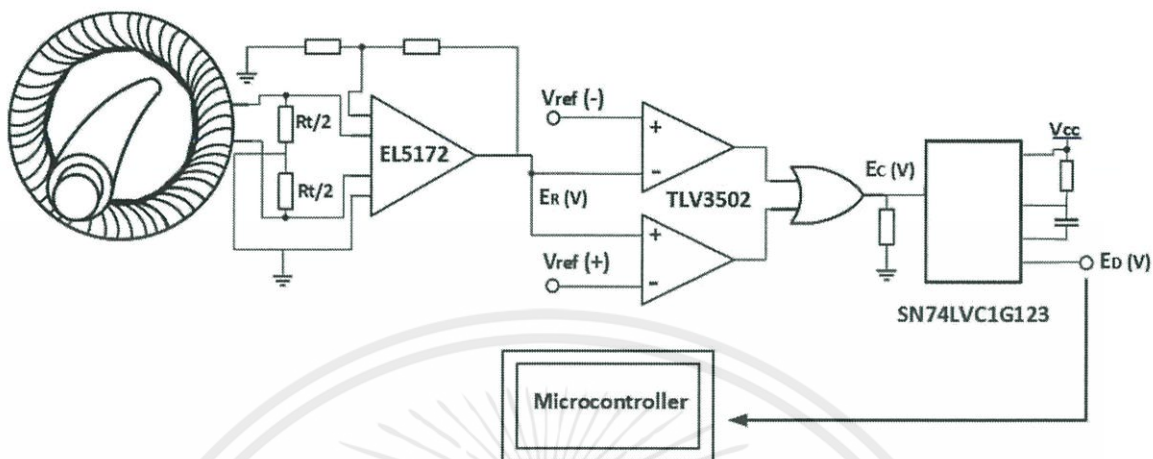
ตารางที่ 3.1 แสดงเวลาที่ AFDD ต้องสั่งอุปกรณ์ตัดวงจรเพื่อปลดวงจร โดยมีแรงดัน 230 V

Test arc current (r.m.s. values)	2,5 A	5A	10 A	16 A	32 A	63 A
Maximum break time	1s	0,5 s	0,25 s	0,15 s	0,12s	0,12 s



รูปที่ 3.10 วงจรทดสอบในการปลดวงจร

3.6 Detection circuit

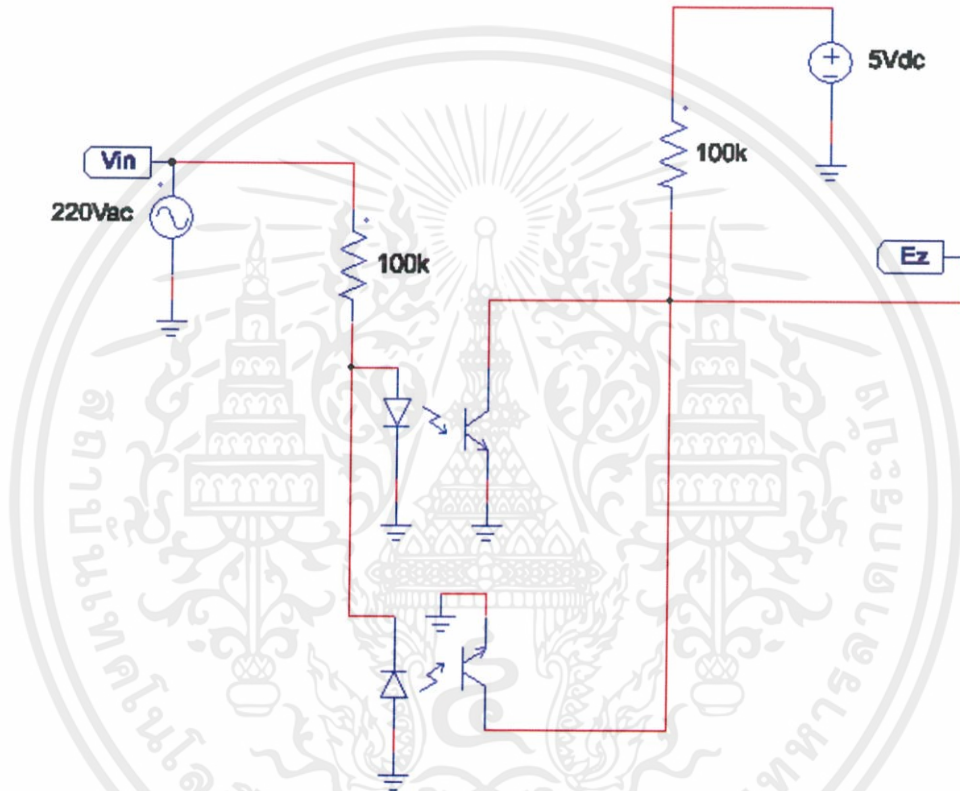


รูปที่ 3.11 วงจรตรวจจับอาร์ค [9]

สำหรับวงจรการตรวจจับอาร์คฟอลต์จะเชื่อมต่อขดลวดโรกอล์ฟที่เข้ากับวงจร Differential to Single-Ended Amplifier(EL5172) เพื่อทำการขยายสัญญาณและลดทอนสัญญาณรบกวนทั้งหมดเพื่อที่จะได้สัญญาณที่ถูกต้องสำหรับนำไปวิเคราะห์และพิจารณาขนาดของสัญญาณความถี่สูง ในวงจร Window Comparator(TLV3502) เพื่อป้องกันเกิดอาร์คฟอลต์ขึ้นหรือไม่ โดยสัญญาณขาออกของตัวเปรียบเทียบระดับลอจิกสูงเป็นตัวบ่งชี้ว่าได้เกิดสภาวะอาร์คฟอลต์ขึ้น วงจร Retriggerable Monostable Multivibrator(SN74LVC1G123) ได้ถูกนำมาใช้เพื่อยืดความกว้างพัลส์ของสัญญาณให้เหมาะแก่การเชื่อมต่อกับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

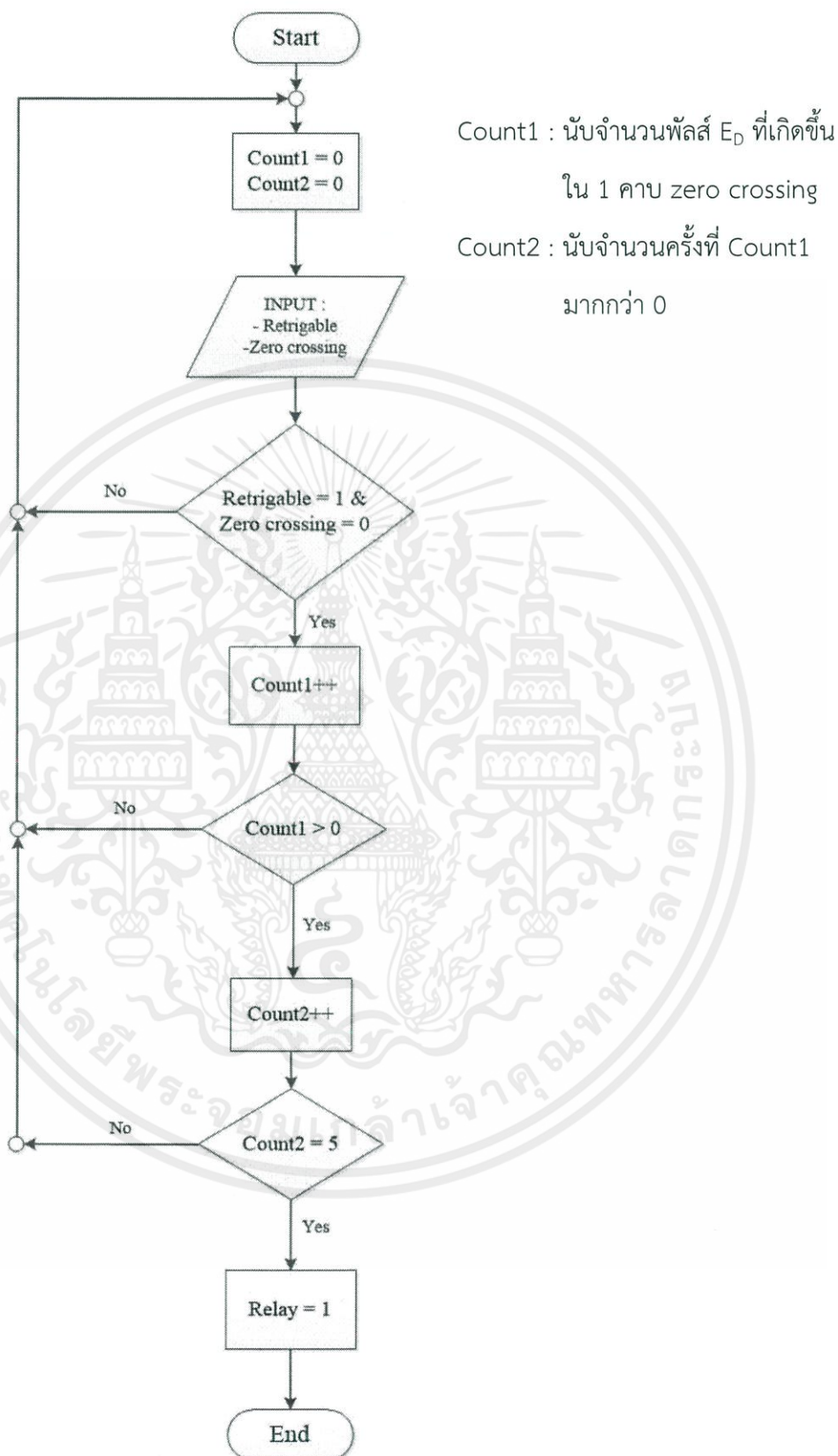
3.7 วงจรสร้างสัญญาณจุดตัดศูนย์

วงจรสร้างสัญญาณจุดตัดศูนย์ เป็นวงจรที่สร้างพัลส์ที่มีความกว้างระยะหนึ่งขึ้นมาที่จุดตัดศูนย์ (Zero Crossing) เพื่อที่จะมาเปรียบเทียบกับสัญญาณ อีกสัญญาณหนึ่งจากวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์ และให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผล ในการส่งอุปกรณ์ตัดวงจรตัดกระแสออกจากวงจร โดยวงจรมีจะประกอบไปด้วย PC817 หรือ Opto couple จำนวน 2 ตัว และความต้านทาน 100k จำนวน 2 ตัว ดังรูปที่ 3.9



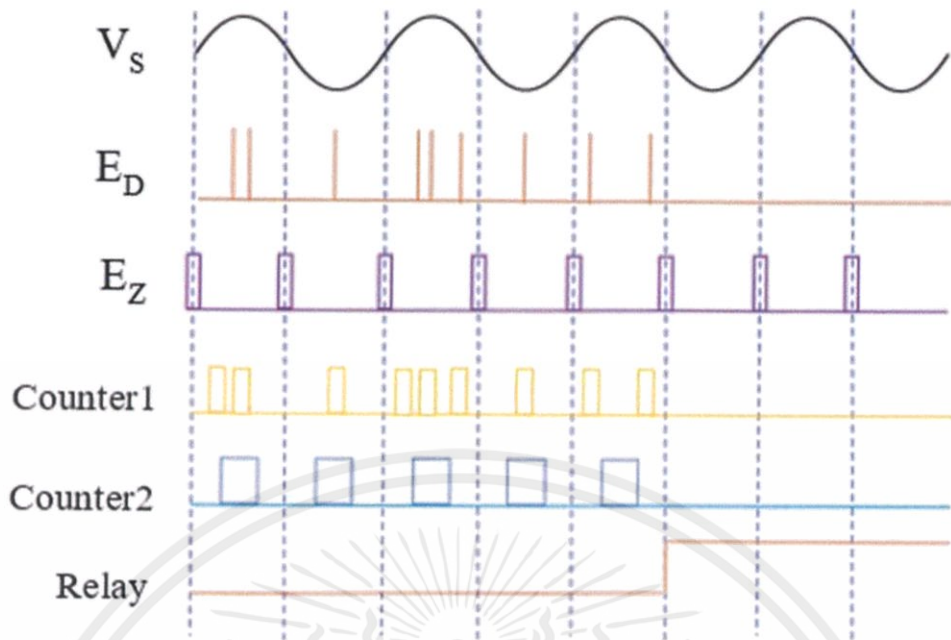
รูปที่ 3.12 วงจรสร้างสัญญาณจุดตัดศูนย์

3.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.13 Flow chart การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 เงื่อนไขของไมโครคอนโทรลเลอร์

โดยที่

V_s คือ แรงดันที่นำมาสร้างสัญญาณ Zero crossing

E_D คือ สัญญาณ Retriggerable Monostable Multivibrator

E_Z คือ สัญญาณ Zero crossing

Counter1 คือ จำนวนพัลส์ E_D ที่เกิดขึ้นใน 1 คาบ Zero crossing

Counter2 คือ จำนวนครั้งที่ Counter1 มากกว่า 0

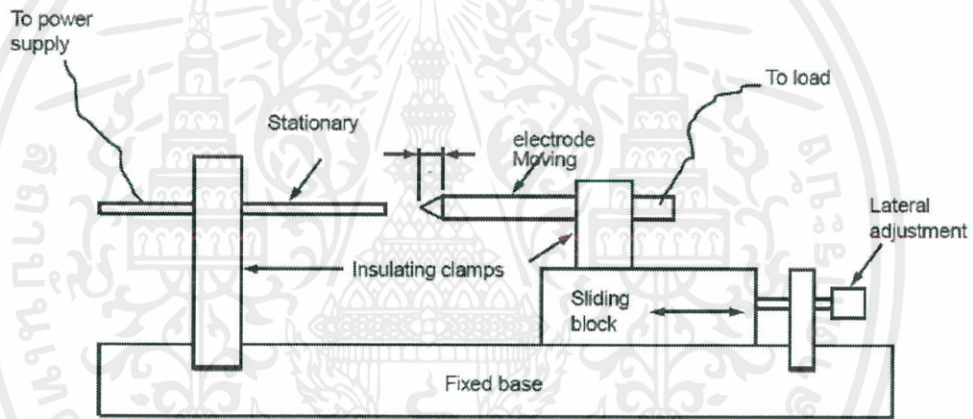
Relay คือ สัญญาณรีเลย์

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ที่ถูกเขียนโปรแกรมให้รับสัญญาณ E_D และ สัญญาณ E_Z ซึ่งขณะเกิดอาร์คฟลลต์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะตรวจพบสัญญาณ E_D ในขณะที่สัญญาณ E_Z เป็น 0 แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์จะประมวลผลให้สั่งตัดรีเลย์เมื่อตรวจพบว่ามีสัญญาณ E_D ในช่วงที่สัญญาณ E_Z เป็นศูนย์ 5 คาบ Zero crossing ติดกัน แต่ถ้าหากตรวจพบได้แต่ไม่ถึง 5 คาบ Zero crossing ติดกันก็จะทำการเริ่มตรวจใหม่

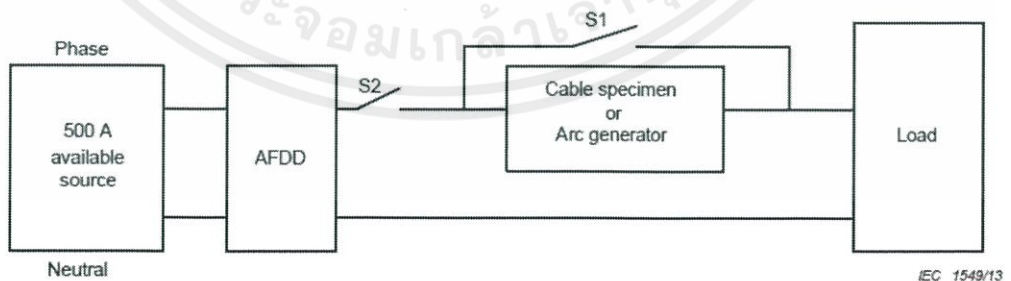
บทที่ 4

ผลการทดลอง

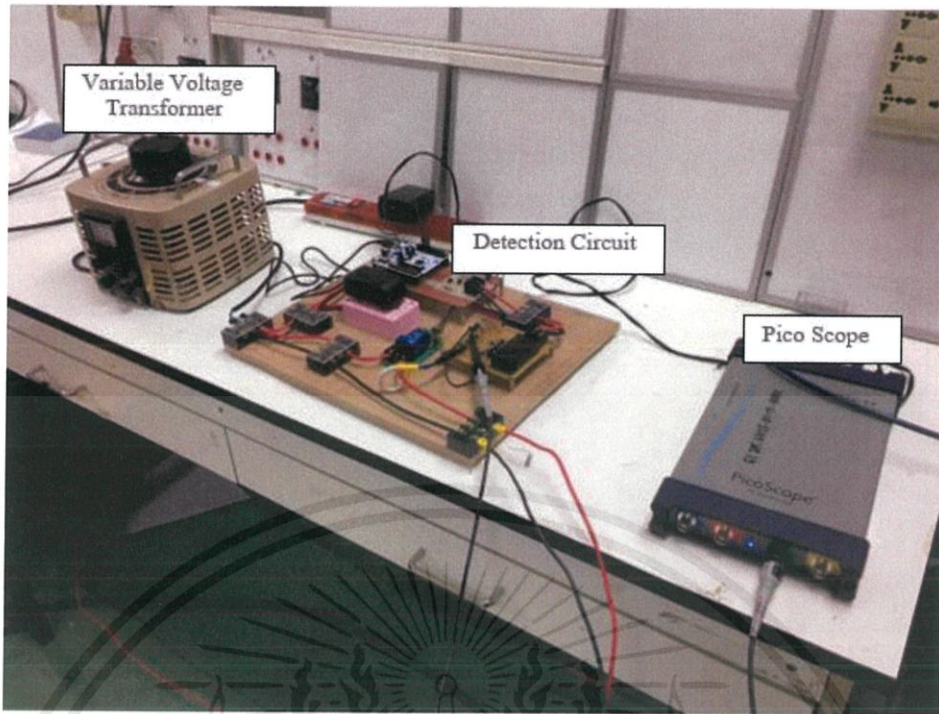
ในงานวิจัยนี้จะใช้ชุดทดลองจำลองการเกิดอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมขึ้นโดยใช้อุปกรณ์สร้างอาร์ค (Arc Generator) ที่สร้างขึ้นโดยใช้แท่งตัวนำที่อยู่กับที่และแท่งตัวนำที่สามารถเคลื่อนที่ได้ โดยแท่งตัวนำที่อยู่กับที่ ซึ่งในที่นี้จะใช้แท่งตัวนำคาร์บอนซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm ยึดอยู่กับฐานที่เป็นฉนวนไฟฟ้าและในส่วนของตัวนำแท่งทองแดงจะถูกยึดอยู่บนฐานที่สามารถปรับระยะห่างกับแท่งตัวนำคาร์บอนได้ โดยในส่วนนี้จะทำให้เกิดประกายระหว่างขั้วไฟฟ้าเปรียบเสมือนการจำลองการเชื่อมต่อที่หลวมของสายไฟซึ่งจะทำให้เกิดการอาร์คขึ้นดังรูปที่ 4.1 ต่อเข้าไปในวงจรย่อยที่เราจะใช้ทดลองก่อนจะเชื่อมต่อไปยังโหลดประเภทต่างๆ ซึ่งจะทำให้การต่อชุดทดลองตามรูปที่ 4.2 โดยชุดทดลองกับขั้นตอนทดลองนี้จะอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 62606



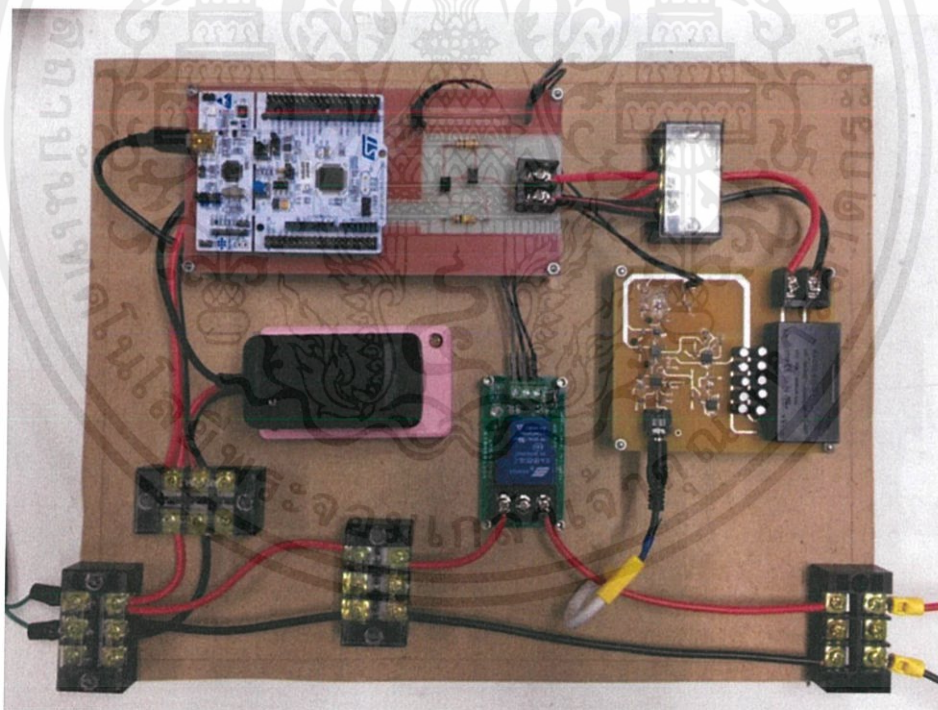
รูปที่ 4.1 อุปกรณ์สร้างอาร์ค [4]



รูปที่ 4.2 วงจรทดสอบการเกิดอาร์คแบบอนุกรม [4]

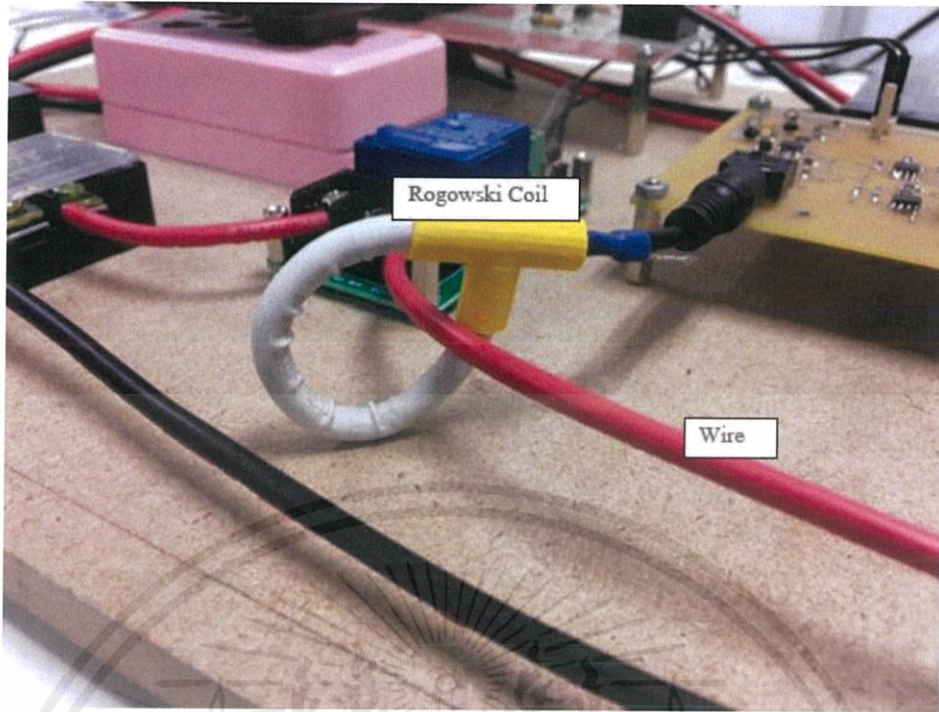


รูปที่ 4.3 ชุดอุปกรณ์ทดลอง (1)

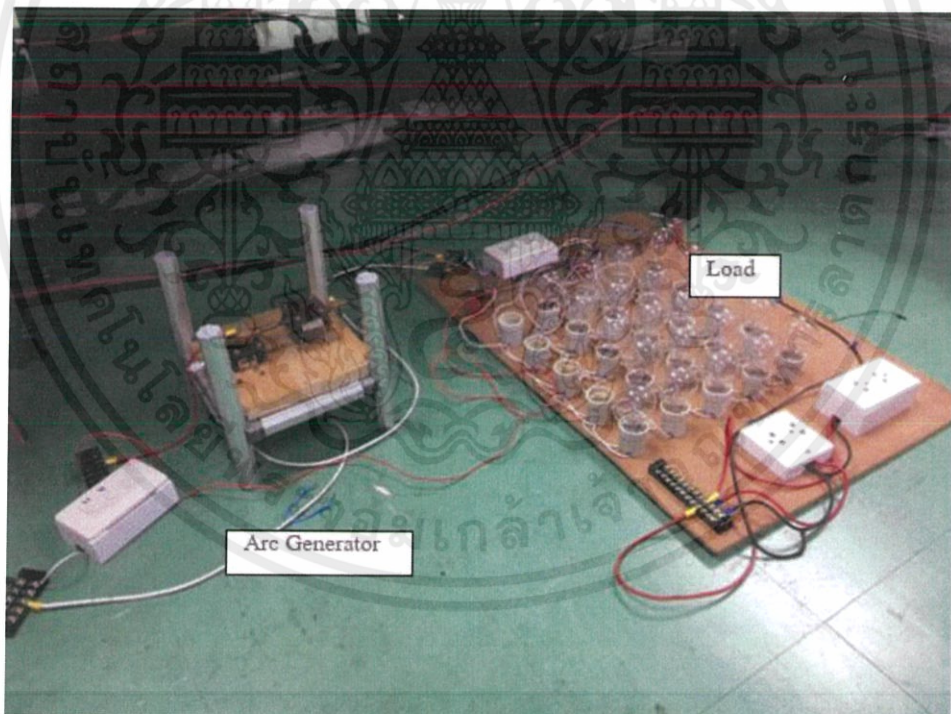


รูปที่ 4.4 ชุดอุปกรณ์ทดลอง (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ชุดอุปกรณ์ทดลอง (3)



รูปที่ 4.6 ชุดอุปกรณ์ทดลอง (4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การทดลองวงจรตรวจจ็ับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรม

ในการทดลองนี้ได้ทำการทดลองโดยขั้นตอนทดลองจะอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 62606 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวงจรตรวจจ็ับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมเพื่อนำสัญญาณพัลส์ที่ได้ไปวิเคราะห์และประมวลผลต่อในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป โดยในส่วนนี้จะทดลองโดยให้ตำแหน่งของอาร์คฟอลต์ (ตำแหน่งของอุปกรณ์กำเนิดอาร์ค) เปลี่ยนไปที่ตำแหน่งต่างๆของวงจรร้อย โดยจะทดลองกับโหลดประเภทต่างๆที่ระยะ 15 เมตร เพื่อทดลองว่าตำแหน่งของจุดกำเนิดอาร์คจะส่งผลอย่างไรต่อการตรวจจ็ับของวงจรตรวจจ็ับหรือไม่ รูปชุดการทดลองจะเป็นไปตามรูปที่ 4.7 4.12 4.17 4.22

โหลดที่ใช้ในการทดลองนี้จะประกอบไปด้วย

1. โหลดประเภทมอเตอร์ คือ ส่วนไฟฟ้า และเครื่องดูดฝุ่น
2. โหลดประเภทตัวต้านทานที่ทำงานร่วมกับสวิตซ์หรือไฟขนาด 600 W
3. โหลดประเภทตัวต้านทาน(หลอดเผาไส้) ที่ขนาดกระแส 5 A และหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 40 W 2 หลอด

โดยที่

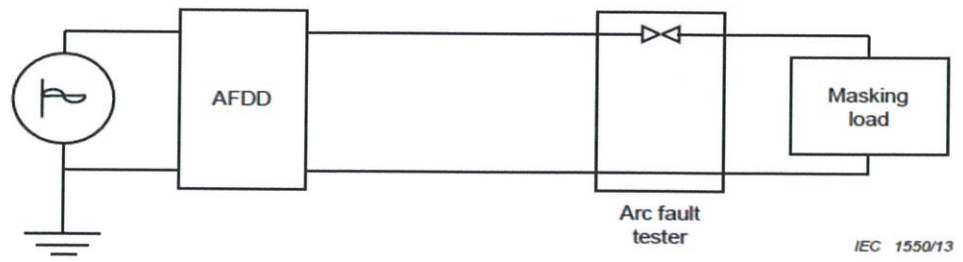
I_L คือ กระแสไฟฟ้าของโหลดที่ วัดโดย Current probe Yokogawa 701930 1 MHz bandwidth

E_R คือ สัญญาณแรงดันอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสจากขดลวดโรกอฟสกีที่ผ่านวงจร

Differential to Single-Ended Amplifier แล้ว

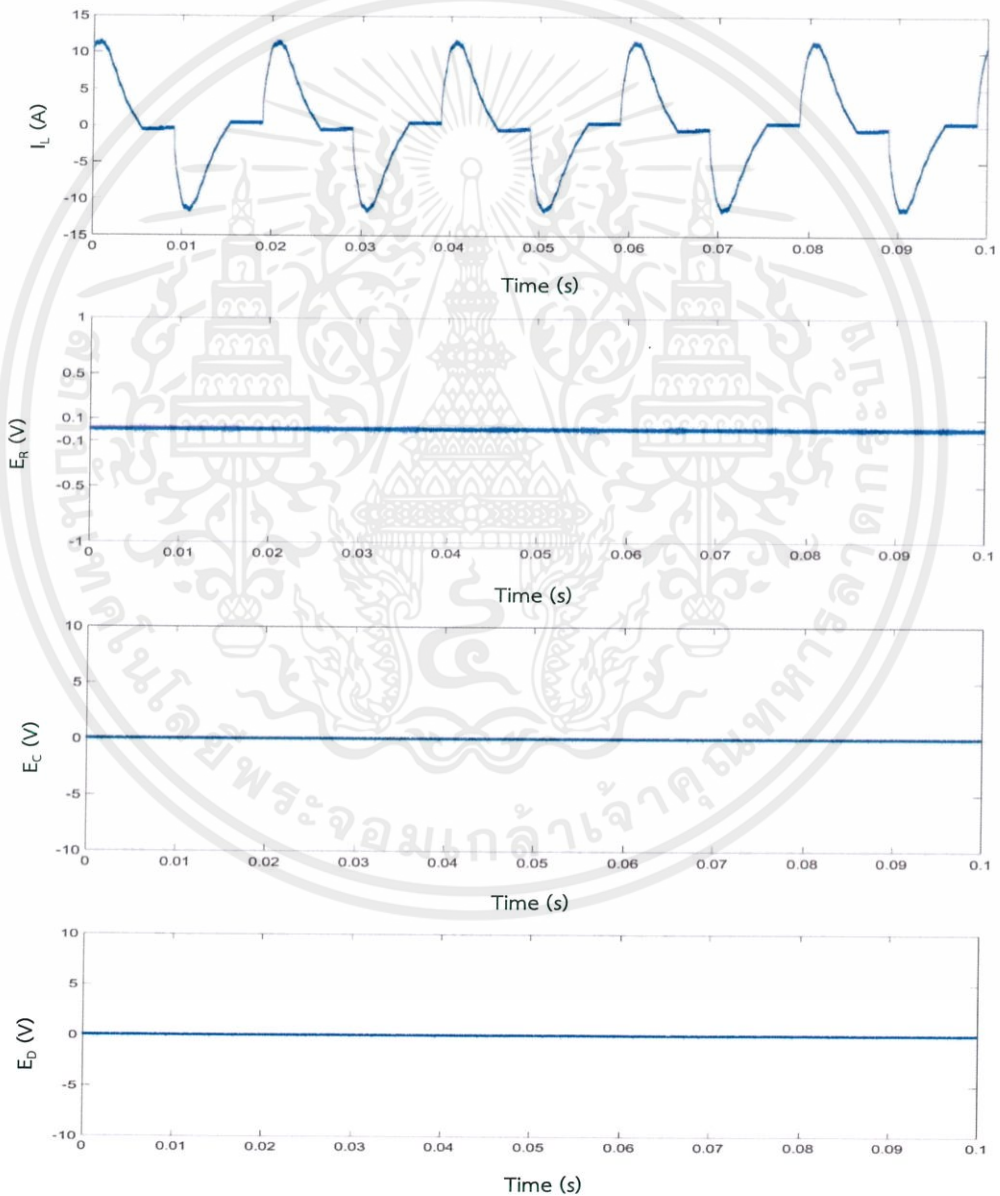
E_C คือ สัญญาณแรงดันเอาต์พุตของวงจร Window Comparator

E_D คือ สัญญาณแรงดันพัลส์ของวงจรตรวจจ็ับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรม



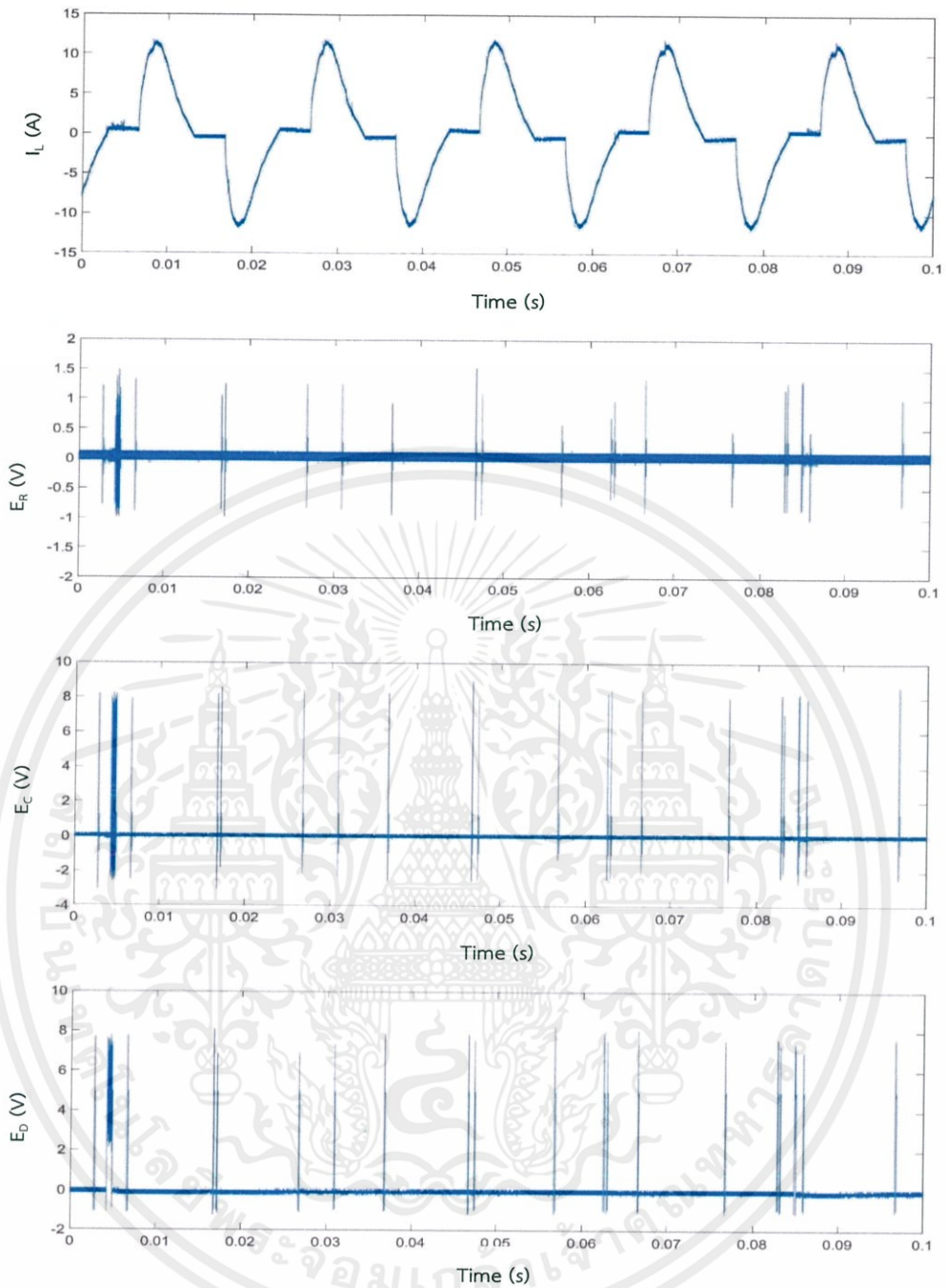
รูปที่ 4.7 วงจรทดสอบอาร์คฟอลต์อนุกรม (1) [4]

ผลการทดลองวงจรต่อโหลดประเภทมอเตอร์ (เครื่องดูดฝุ่น)



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



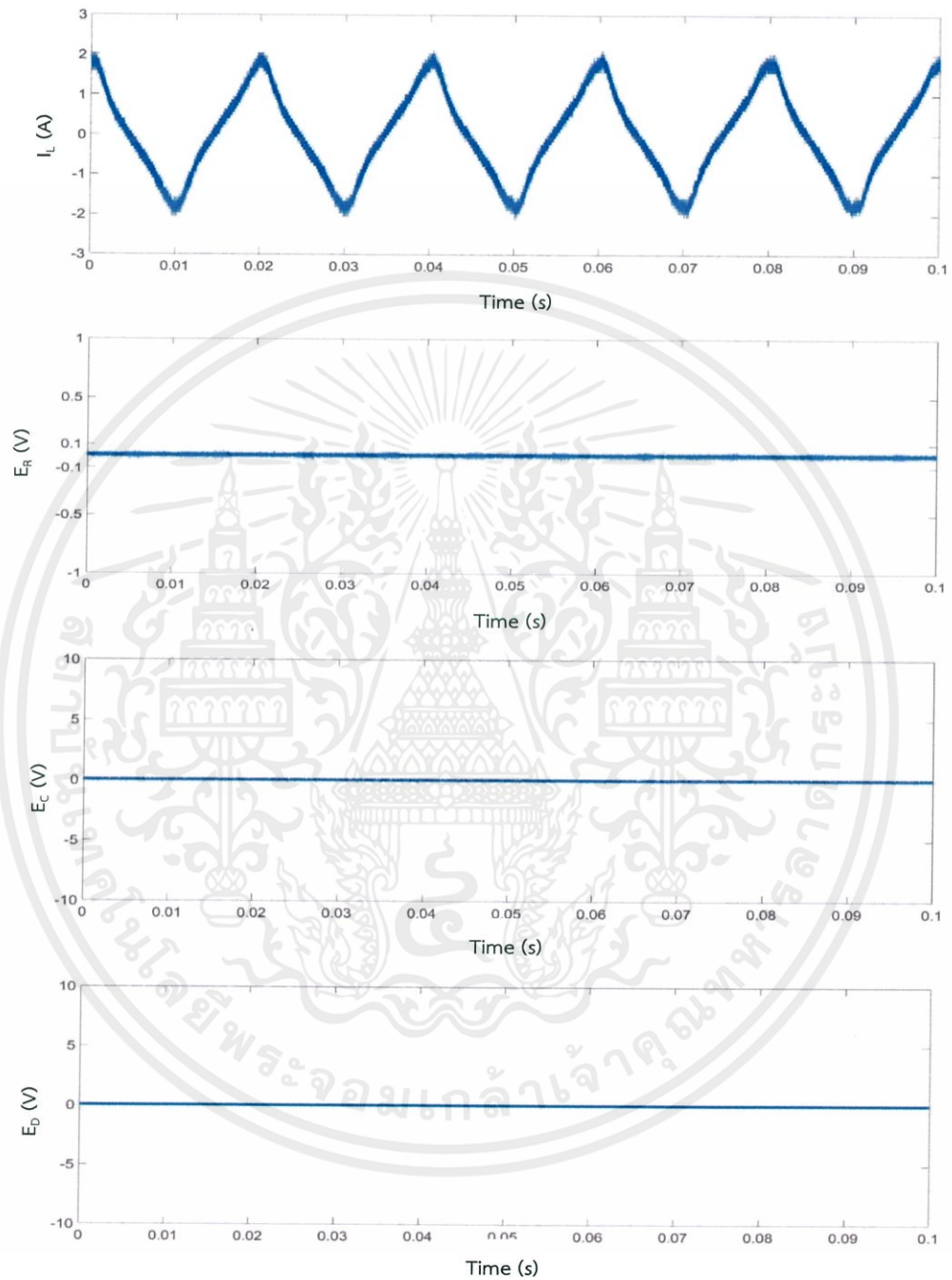
(จ)

รูปที่ 4.8 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อเครื่องดูดฝุ่น ก) สภาวะปกติ

ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

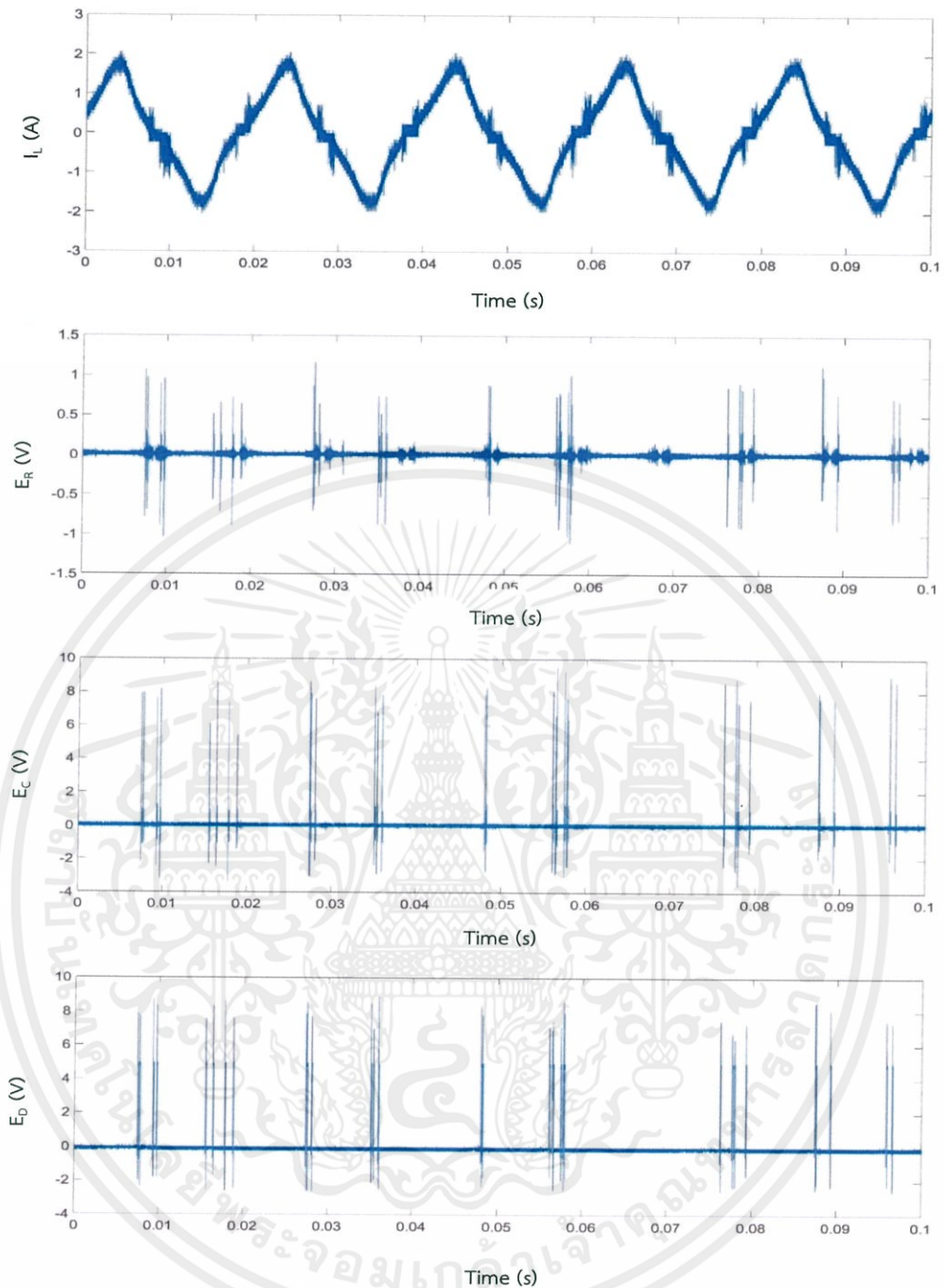
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองวงจรต่อโหลดประเภทมอเตอร์ (ส่วนไฟฟ้า)



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

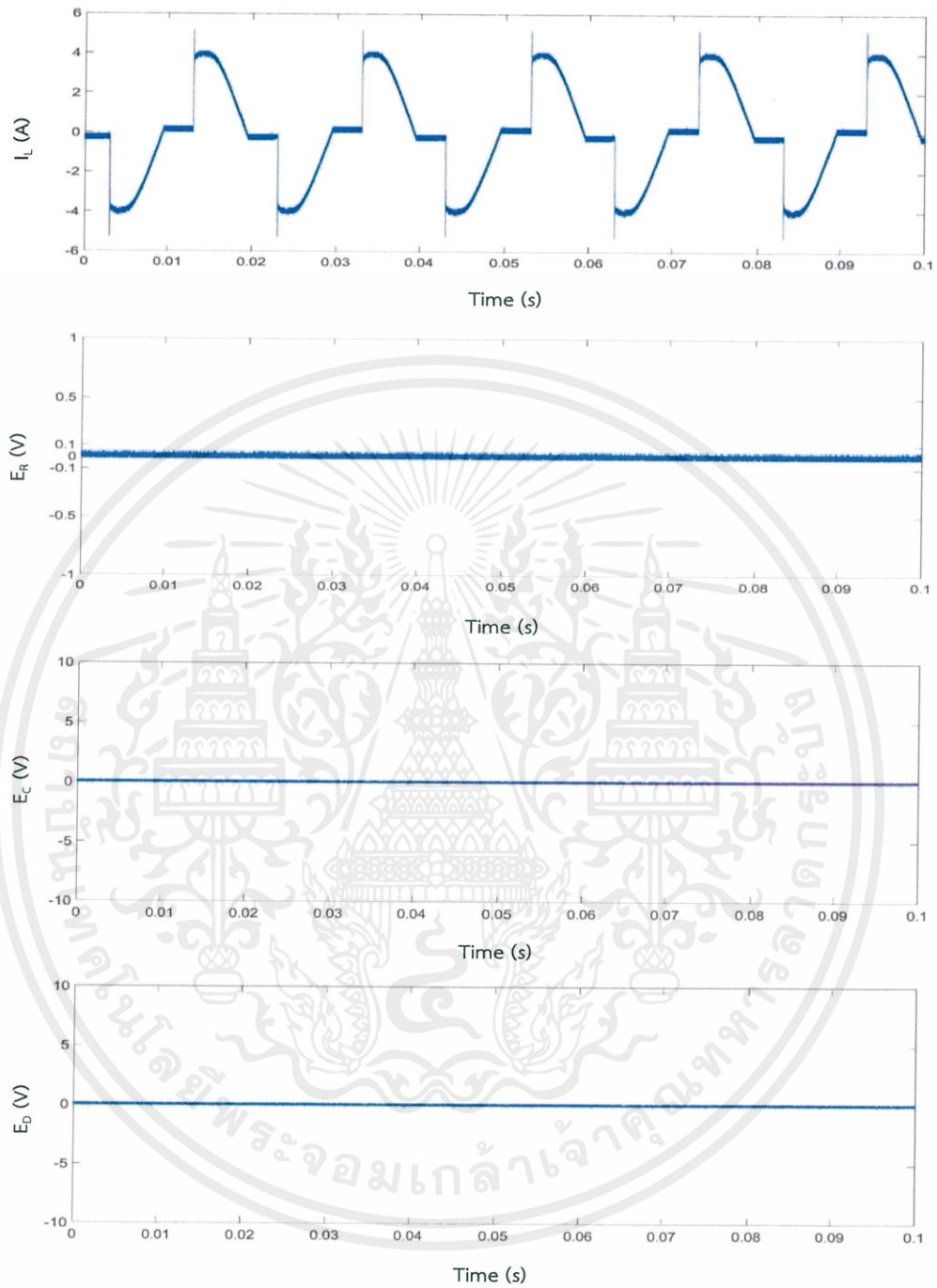


(จ)

รูปที่ 4.9 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อส่วนไฟฟ้า ก) สภาวะปกติ
ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

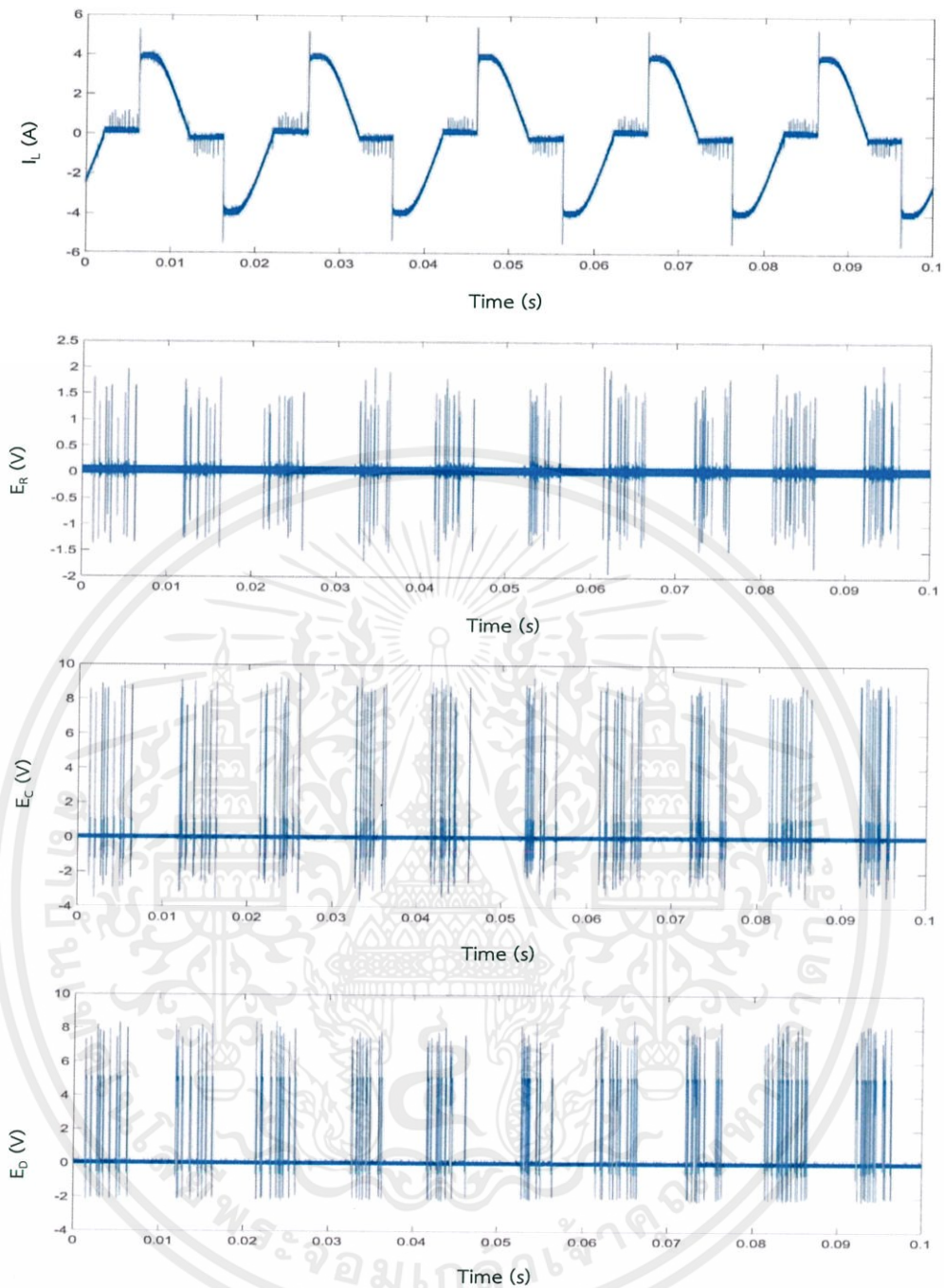
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองต่อโหลดประเภทตัวต้านทานที่ เปิด-ปิดด้วยสวิตซ์หรีไฟ ที่ มุมจุดชนวน 60 องศา



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

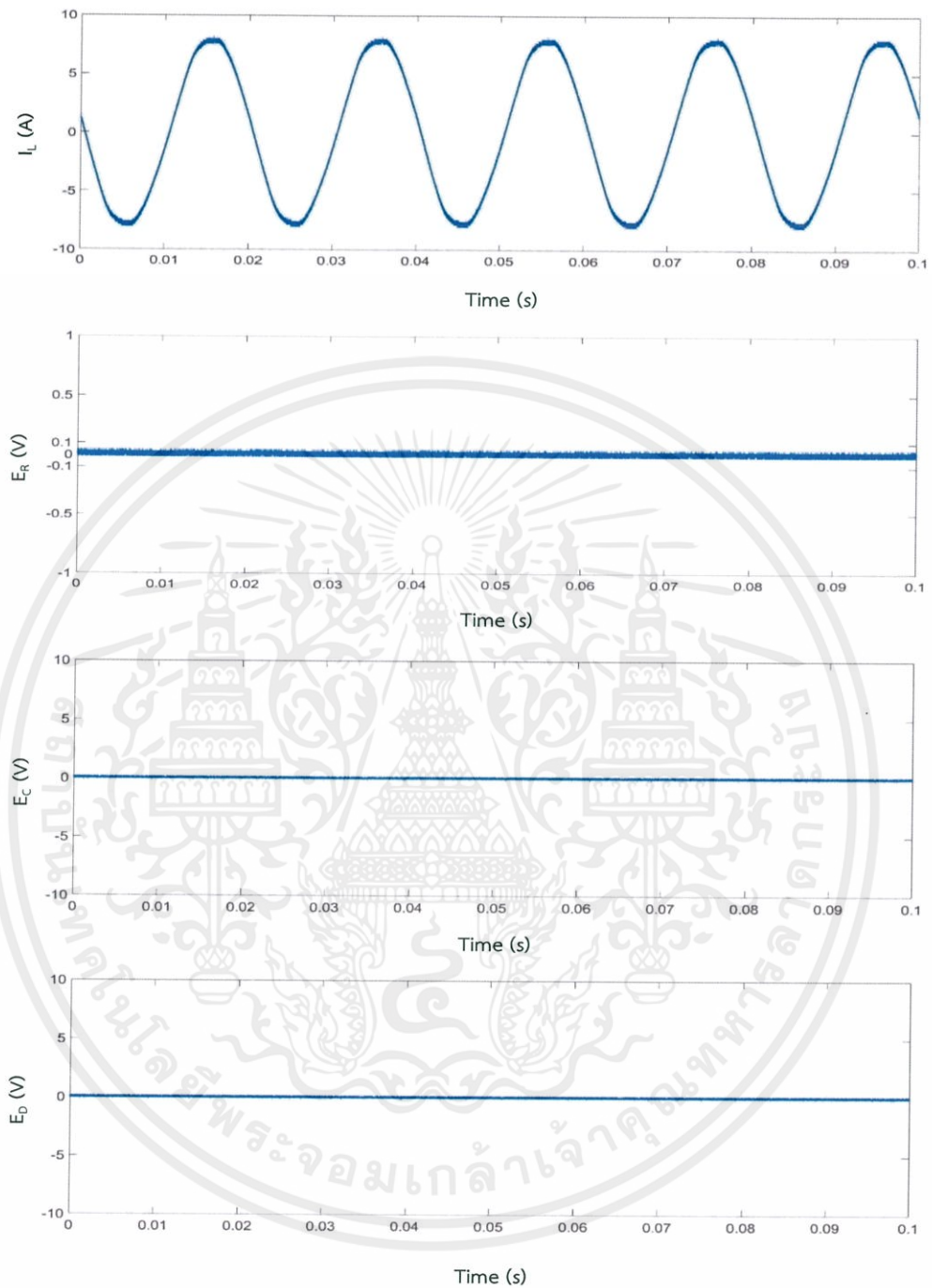


(ข)

รูปที่ 4.10 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อโหลดประเภทตัวต้านทานที่เปิด-ปิดด้วย สวิตซ์รีไฟ ที่มีจุดชนวน 60 องศา ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

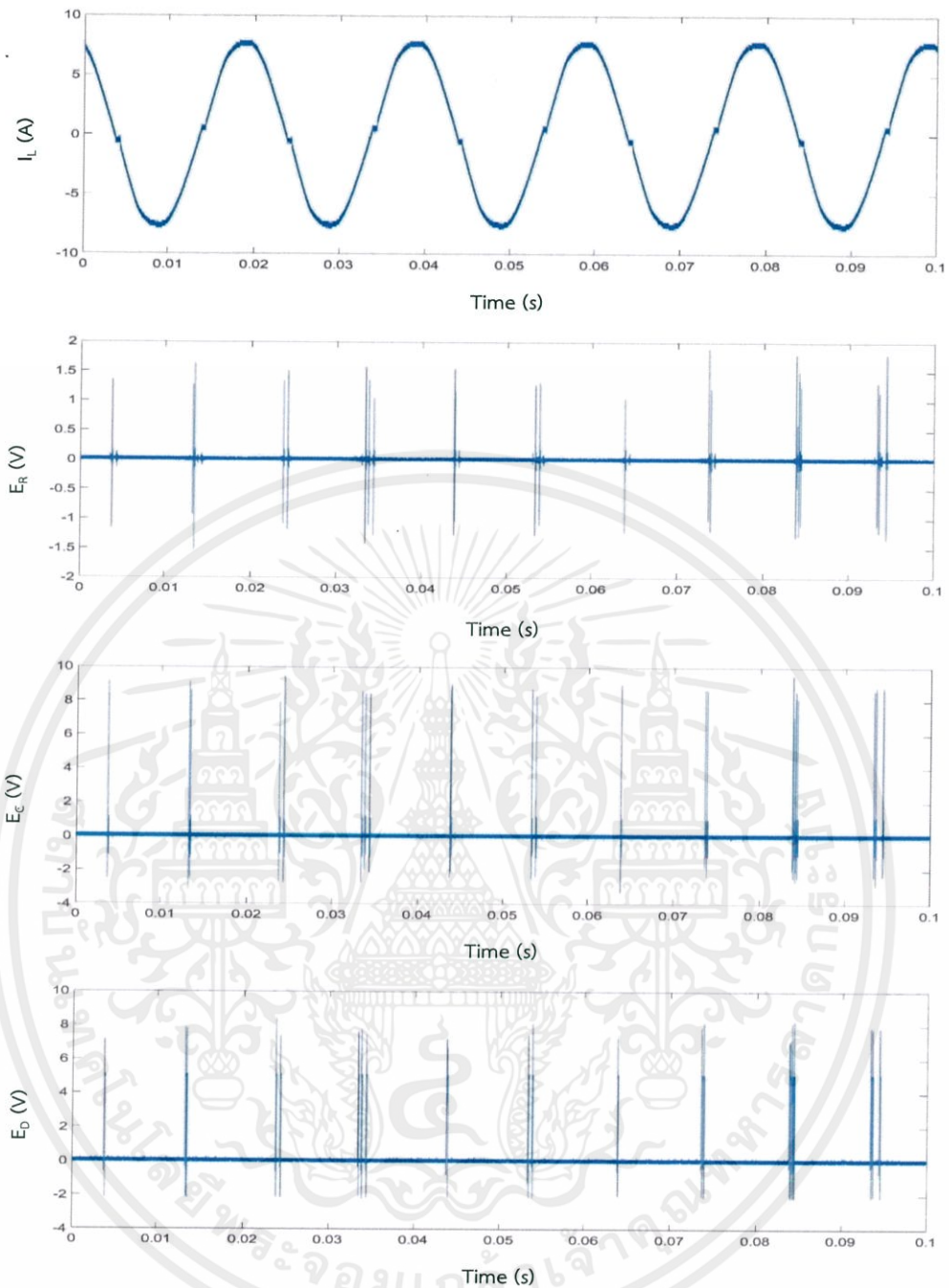
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองต่อโหลดหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 40 W 2 หลอด และโหลดตัวต้านทาน 5 A



(ก)

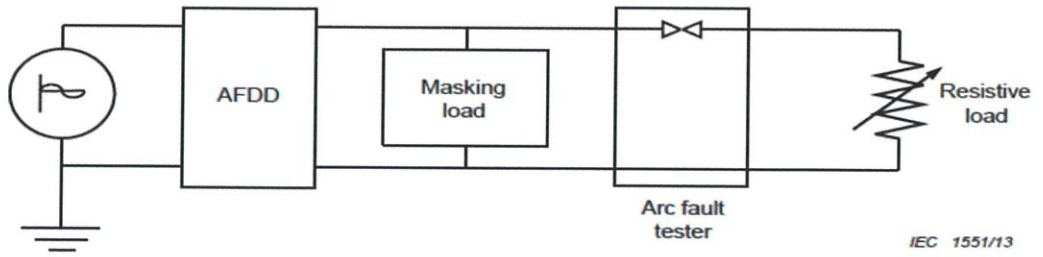
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

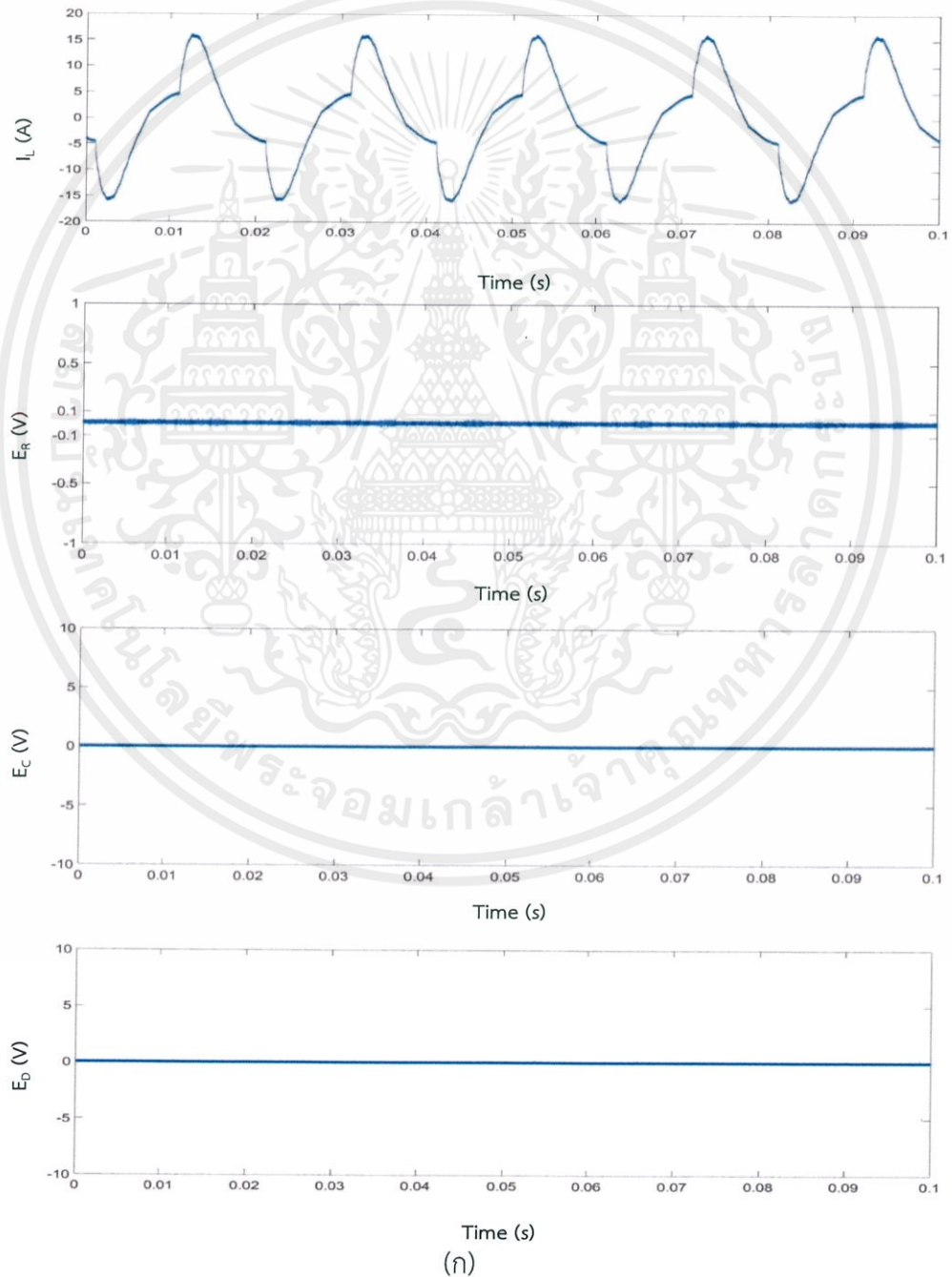
รูปที่ 4.11 ผลของวงจรตรวจจ็ับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อโหลดหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 40 W
2 หลอด และโหลดตัวต้านทาน 5 A ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

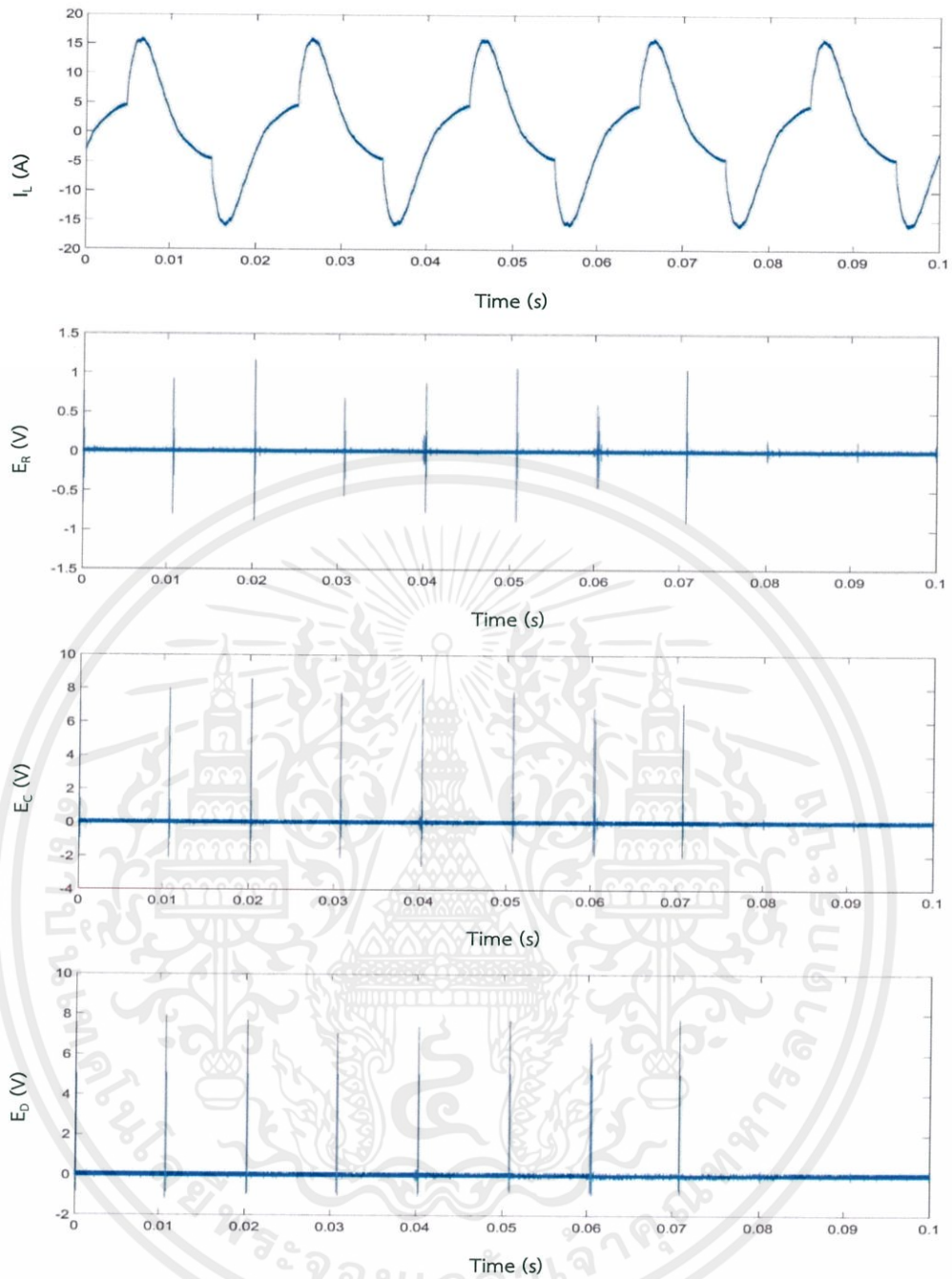


รูปที่ 4.12 วงจรทดสอบอาร์คฟอลต์อนุกรม (2) [4]

ผลการทดลองวงจรต่อโหนดประเภทมอเตอร์ (เครื่องดูดฝุ่น)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

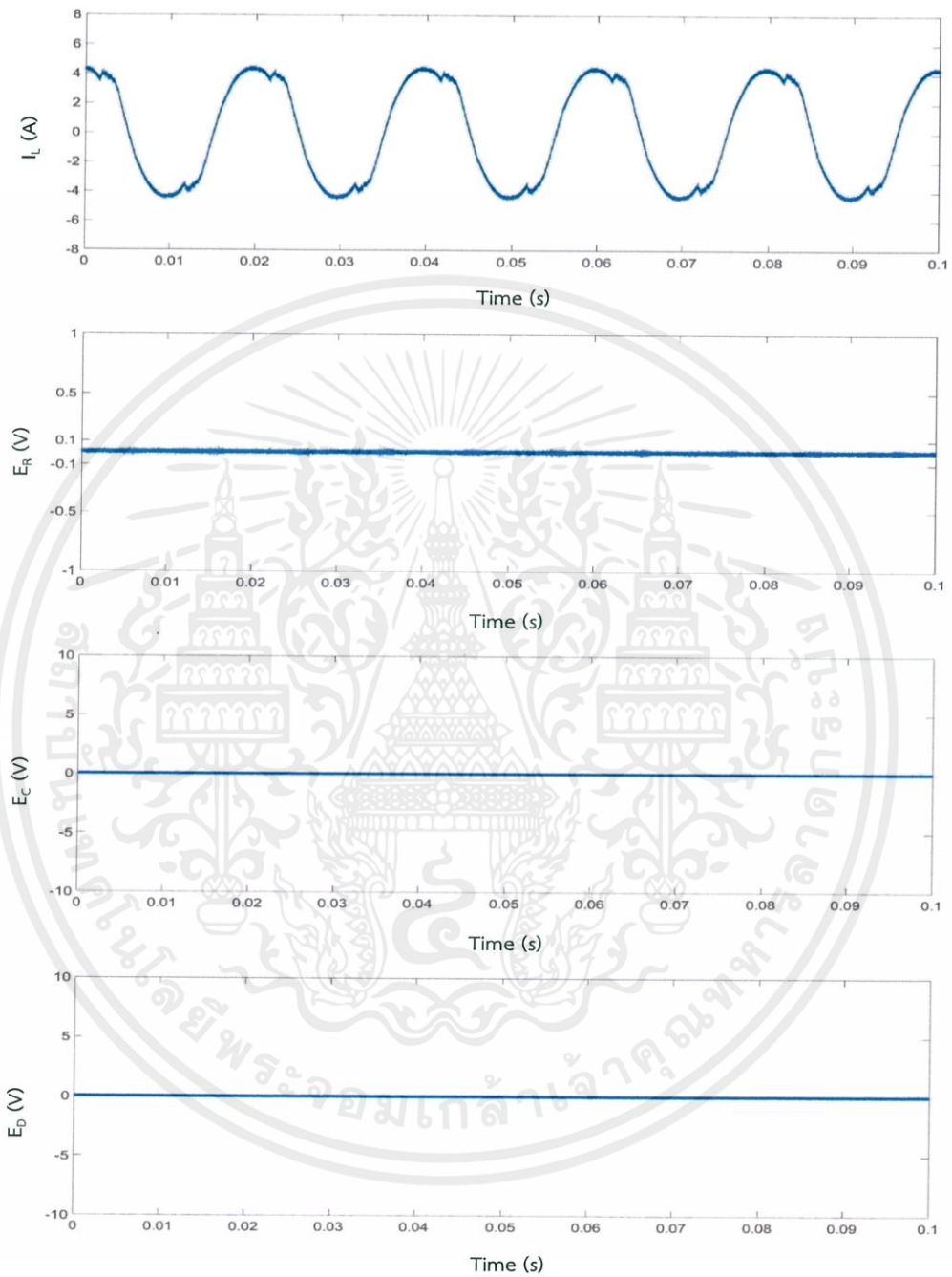


(ข)

รูปที่ 4.13 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อเครื่องดูดฝุ่น ก) สภาวะปกติ

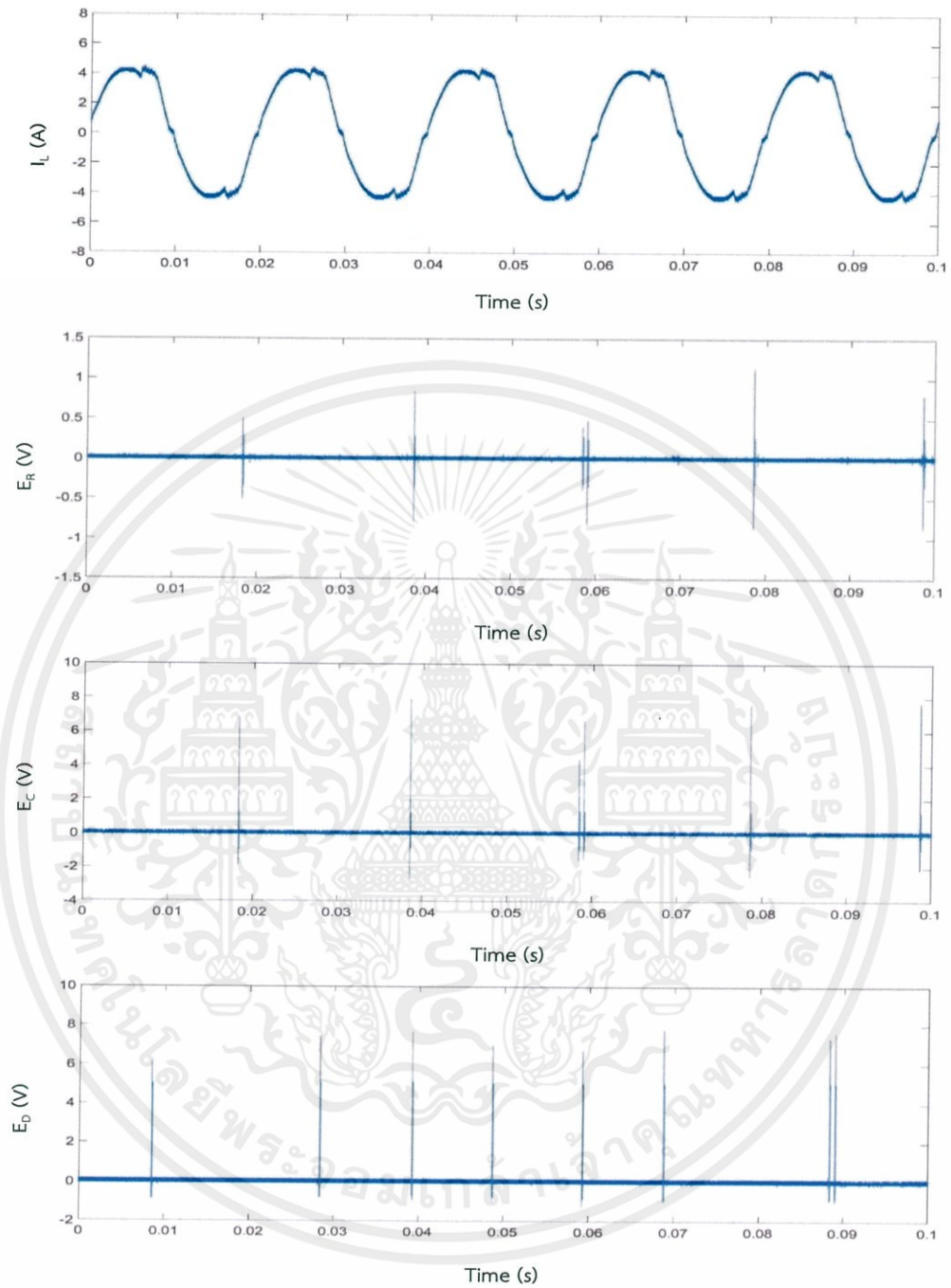
ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

ผลการทดลองวงจรต่อโหนดประเภทมอเตอร์ (ส่วนไฟฟ้า)



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



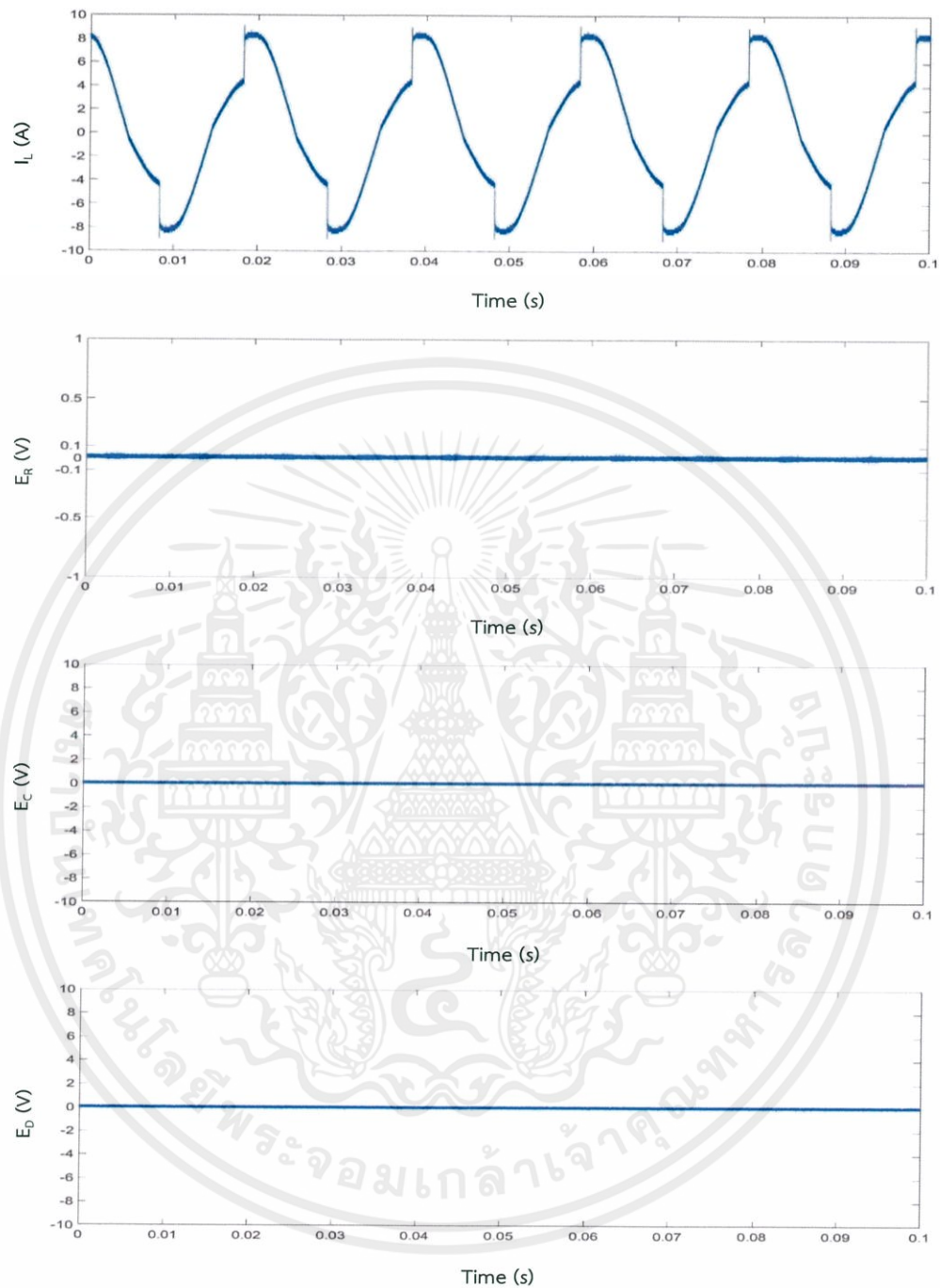
(ข)

รูปที่ 4.14 ผลของวงจรตรวจจ็อาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อส่วนไฟฟ้า ก) สภาวะปกติ

ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

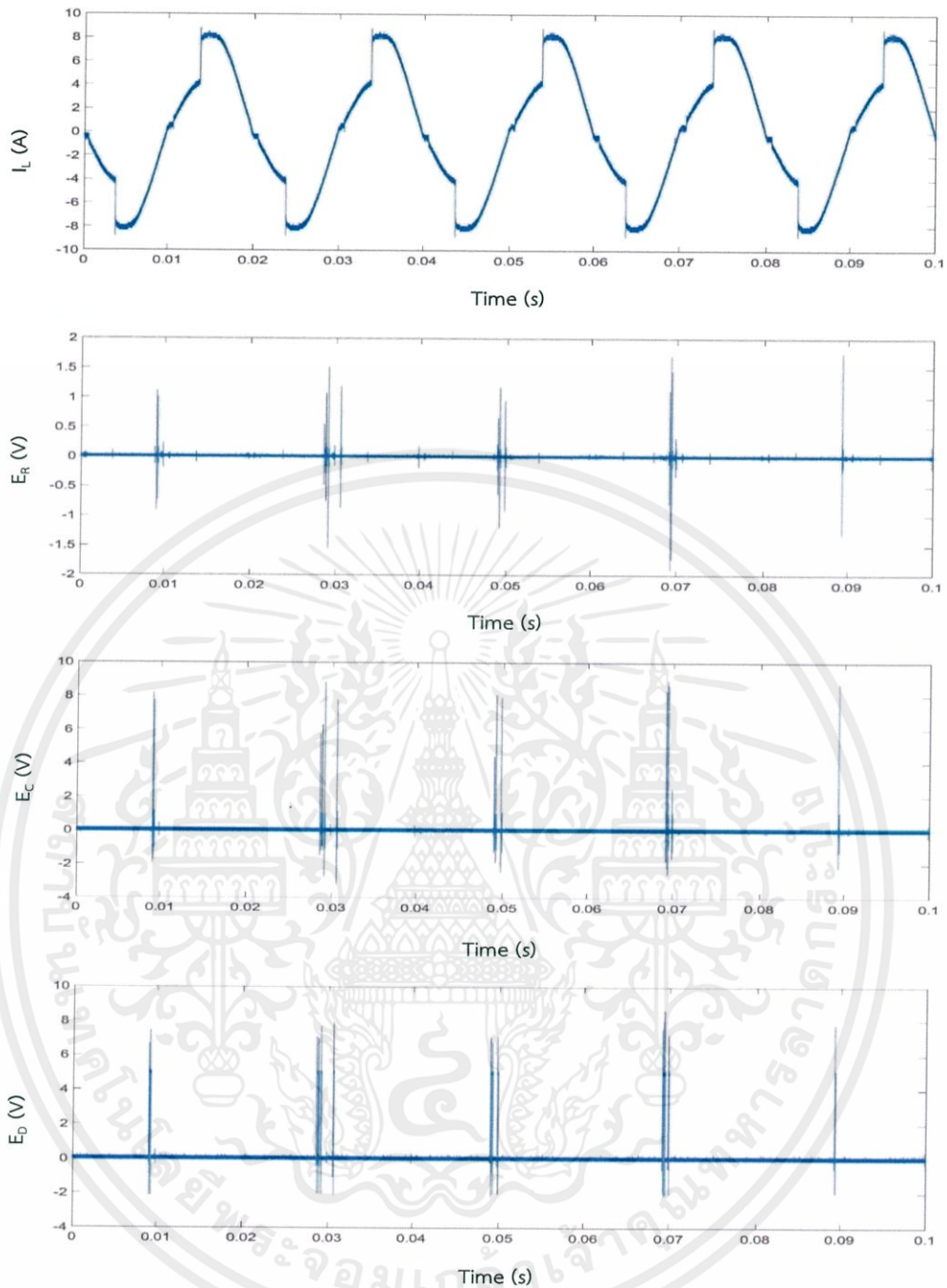
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองต่อโหลดประเภทตัวต้านทานที่ เปิด-ปิดด้วยสวิตซ์รีเฟ ที่ มุมจุดชนวน 60 องศา



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



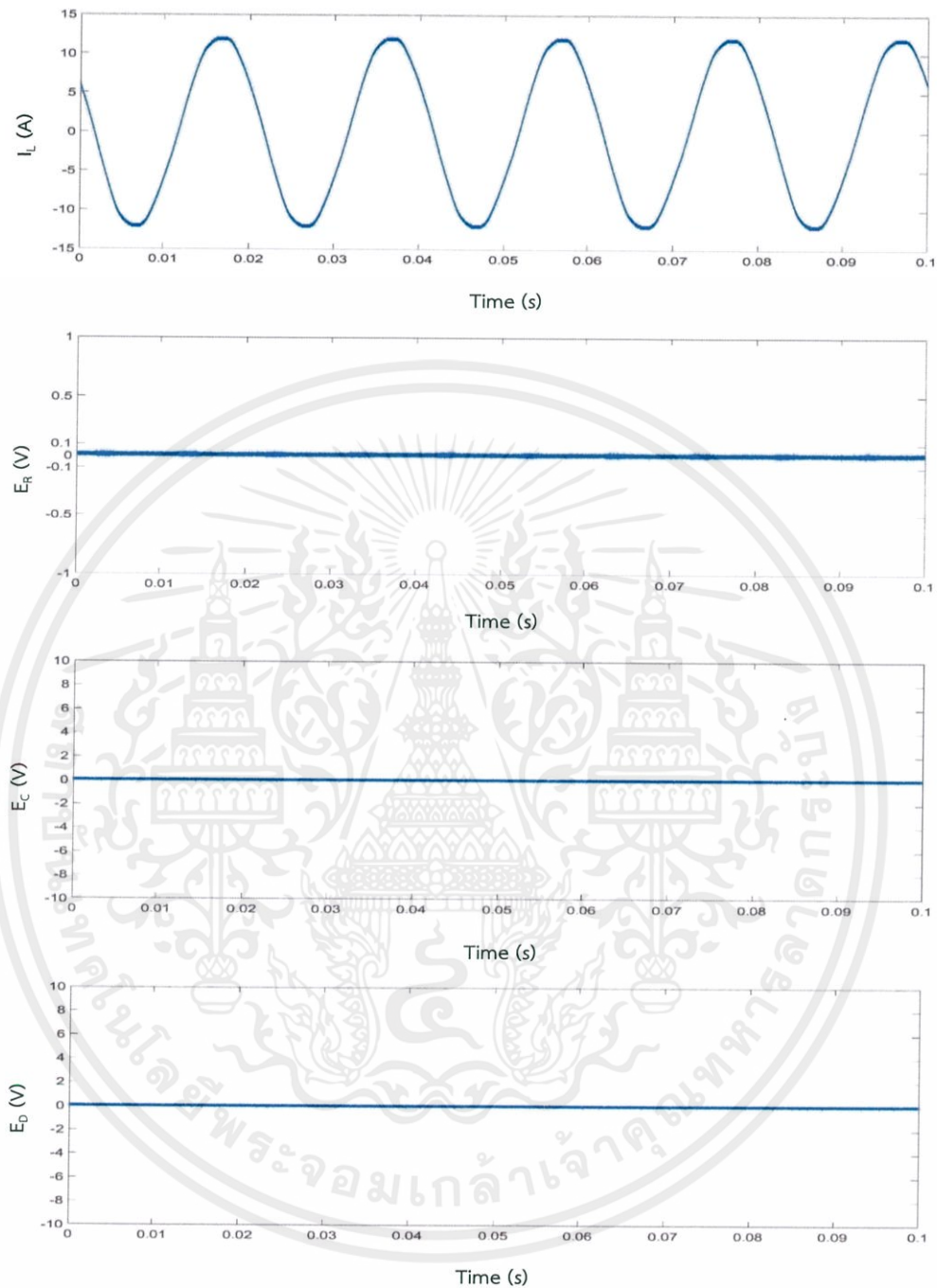
(ข)

รูปที่ 4.15 ผลของวงจรตรวจจ่ายอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อโหลดประเภทตัวต้านทานที่ เปิด-ปิด

ด้วยสวิตซ์หรือไฟที่มุ่มจุดขนาด 60 องศา ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

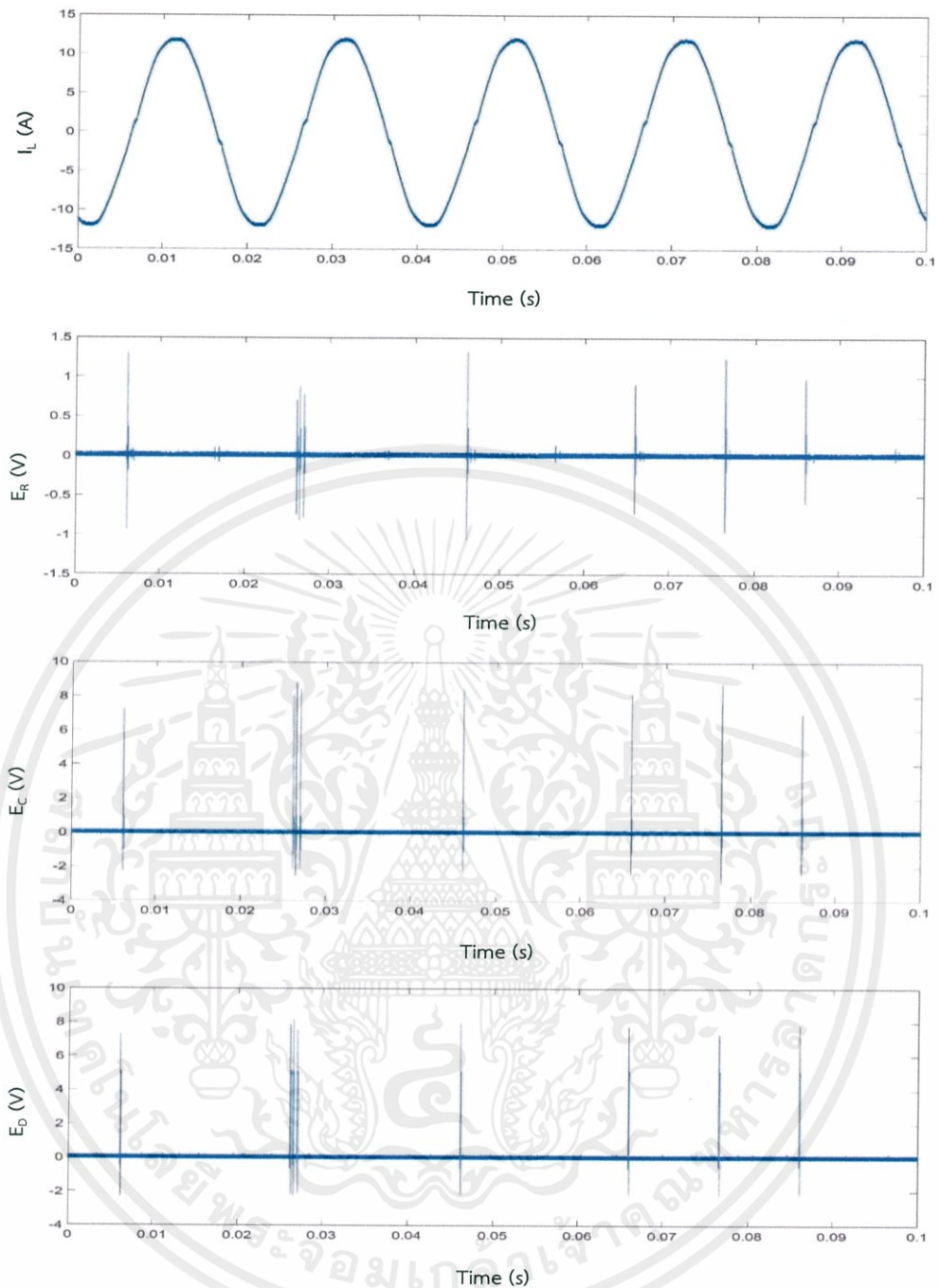
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองต่อโหลดหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 40 W 2 หลอด และโหลดตัวต้านทาน 5 A



(ก)

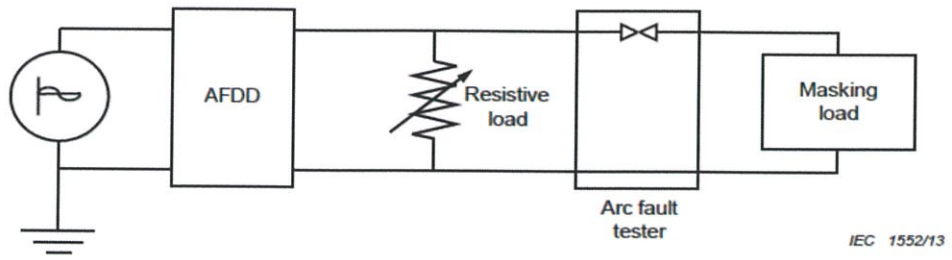
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

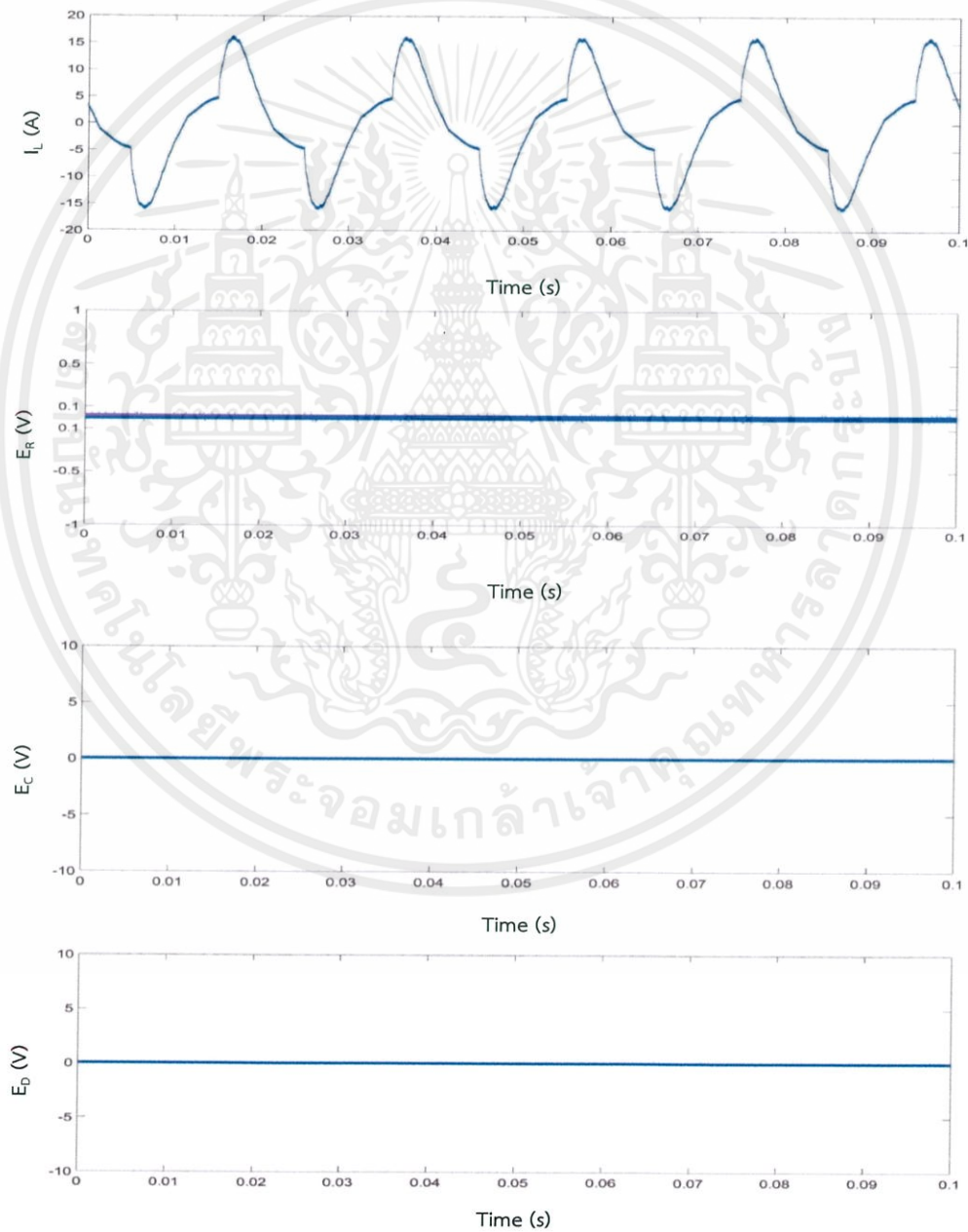
รูปที่ 4.16 ผลของวงจรตรวจจ็ับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อโหลดหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 40 W
2 หลอด และโหลดตัวต้านทาน 5 A ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



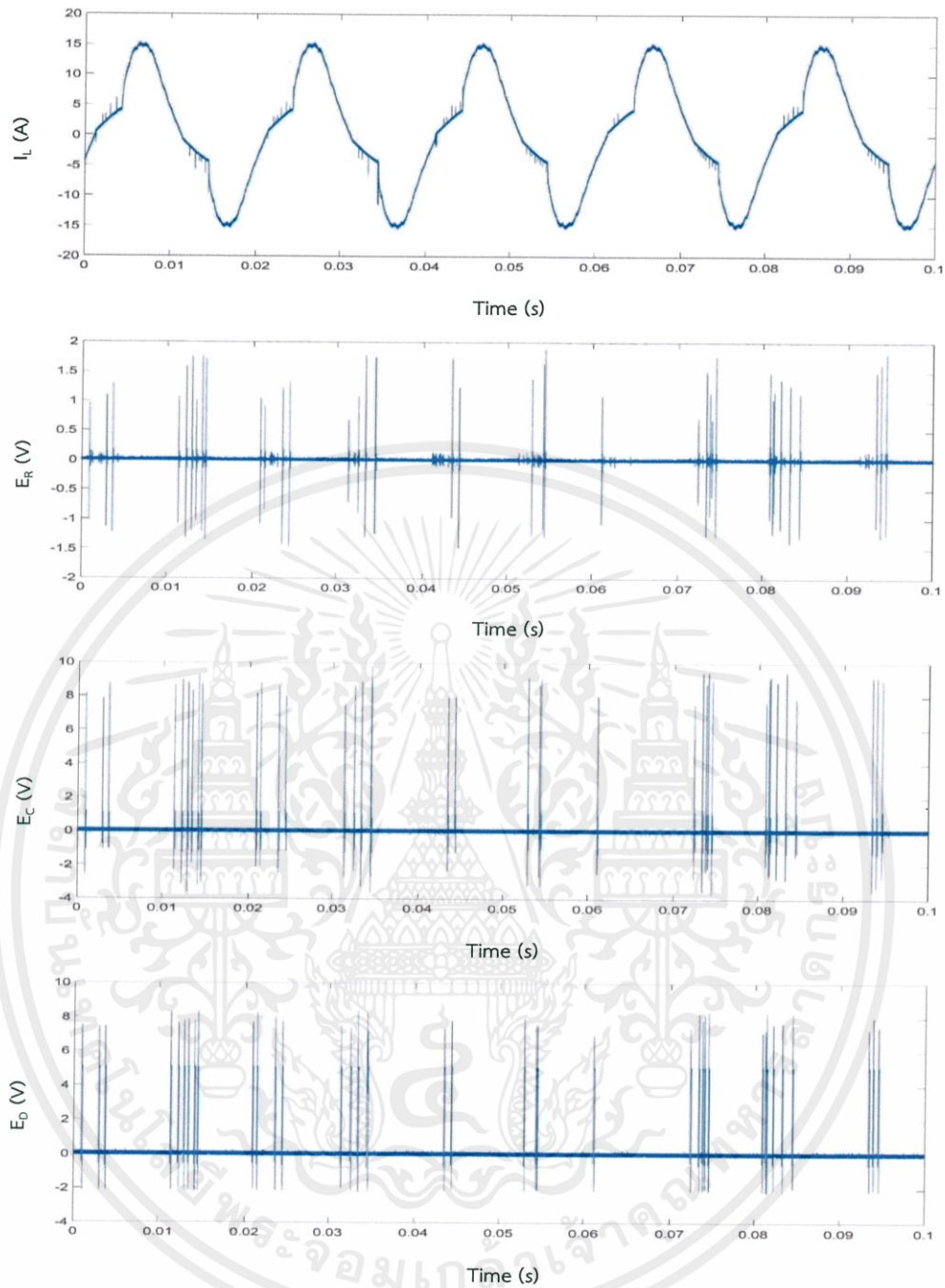
รูปที่ 4.17 วงจรทดสอบอาร์คฟอลต์อัตโนมัติ (3) [4]

ผลการทดลองวงจรต่อโหลดประเภทมอเตอร์ (เครื่องดูดฝุ่น)



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



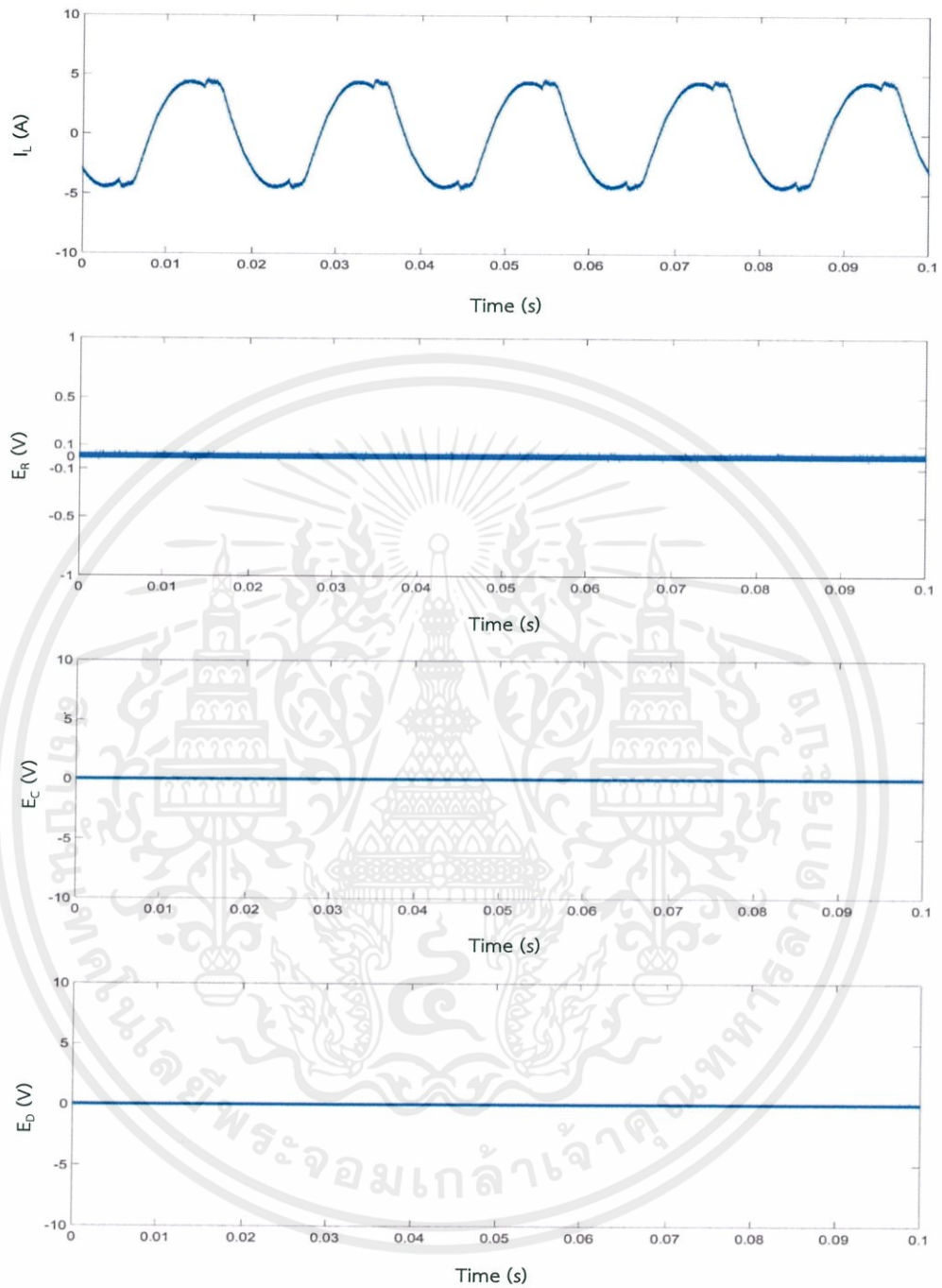
(ข)

รูปที่ 4.18 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อเครื่องดูดฝุ่น ก) สภาวะปกติ

ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

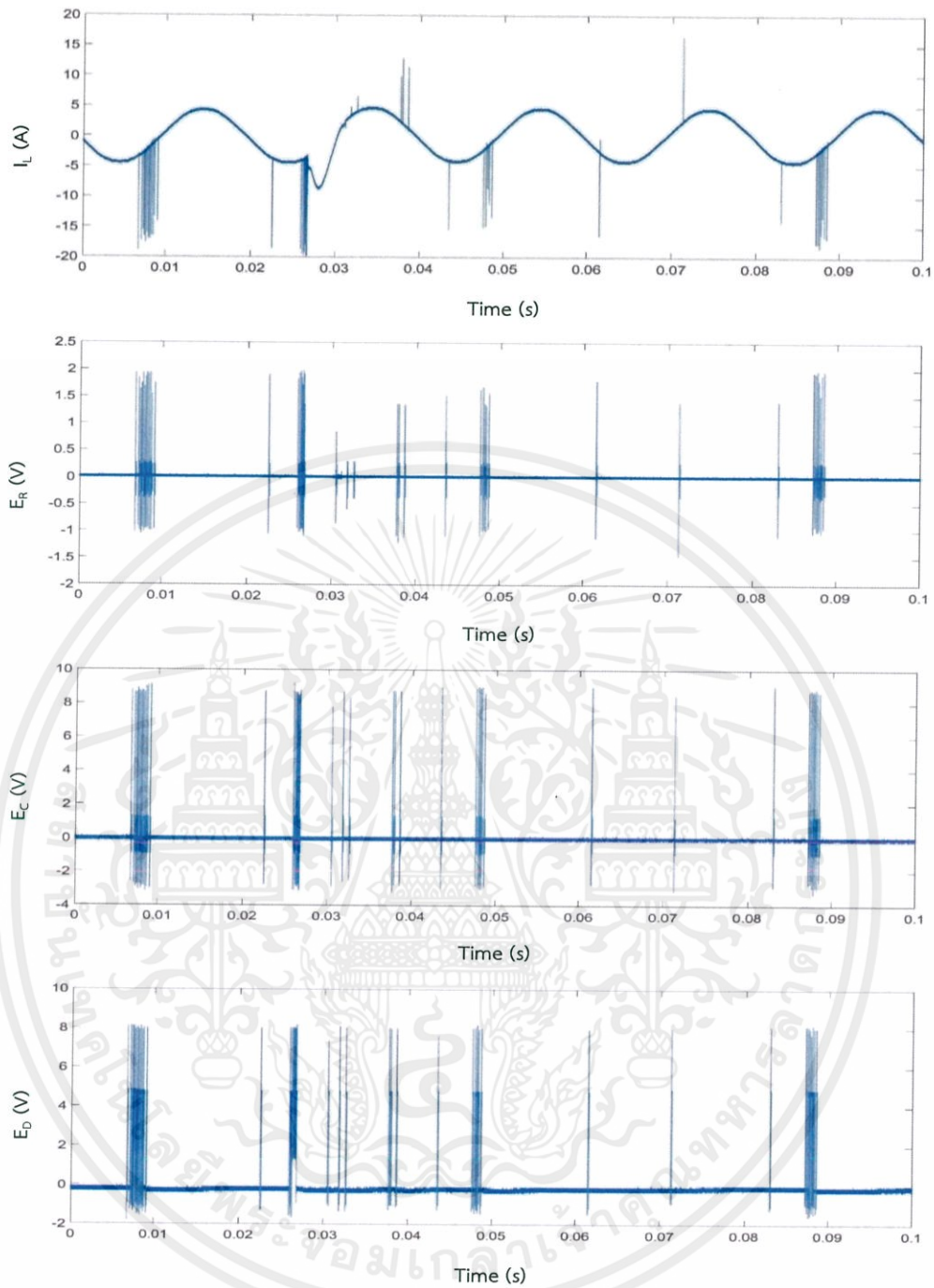
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองวงจรต่อโหลดประเภทมอเตอร์ (ส่วนไฟฟ้า)



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



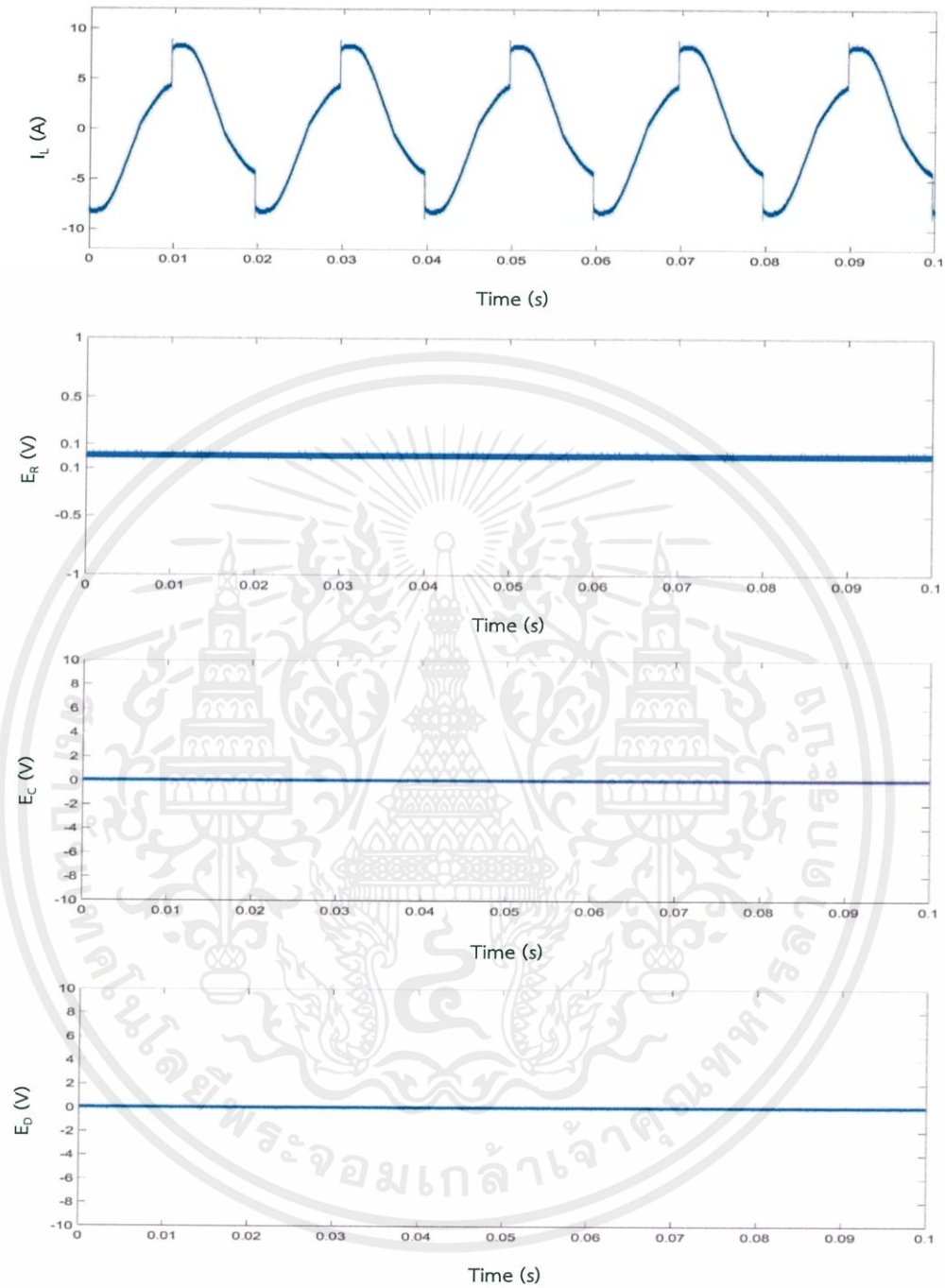
(จ)

รูปที่ 4.19 ผลของวงจรตรวจจ็บอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อส่วนไฟฟ้า ก) สภาวะปกติ

ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

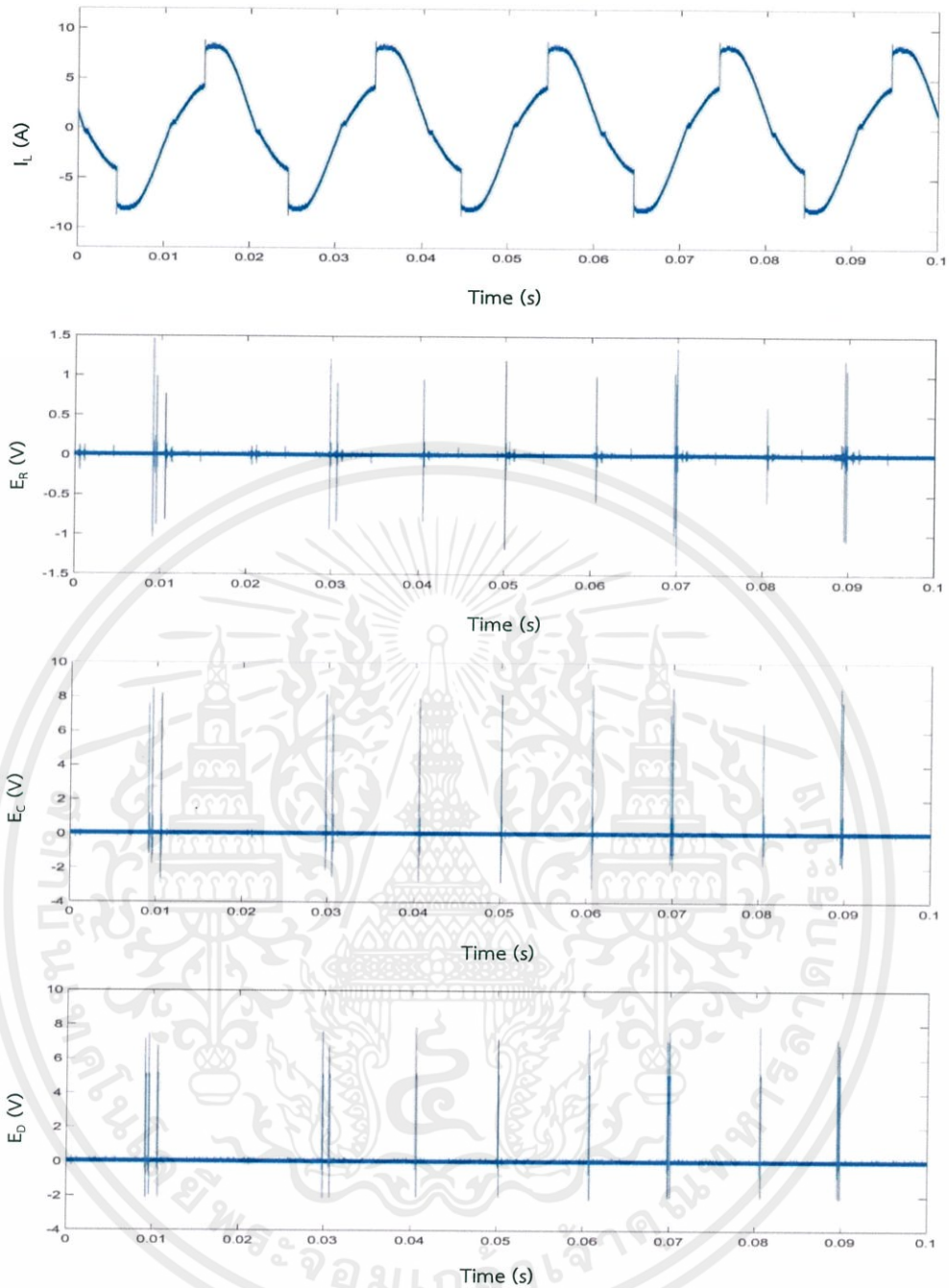
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองวงจรต่อโหลดประเภทตัวต้านทานที่ เปิด-ปิดด้วยสวิตซ์รีเฟ ที่ มุมจุดชนวน 60 องศา



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

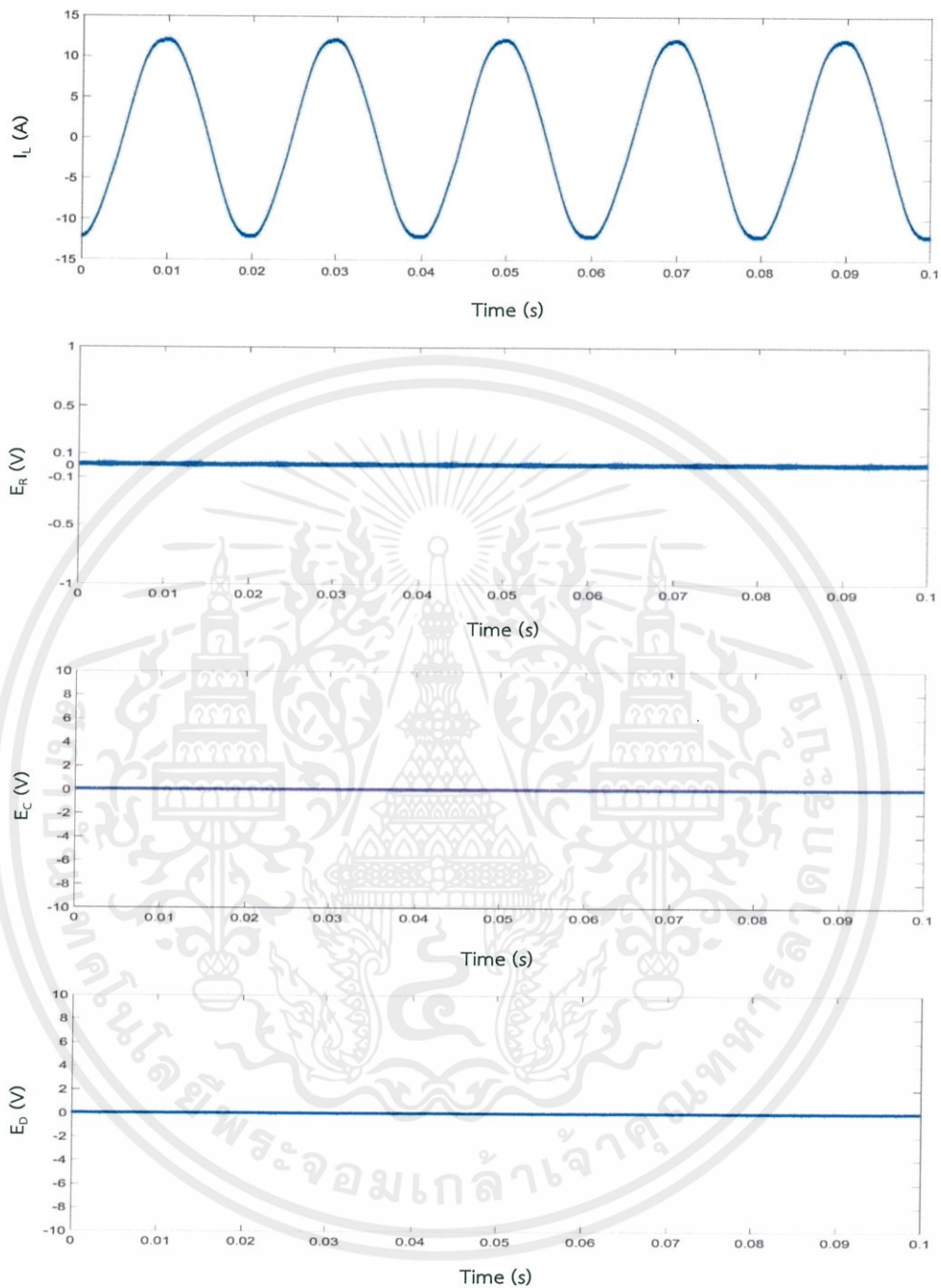


(ข)

รูปที่ 4.20 ผลของวงจรตรวจจบบาร์คฟอสต์แบบอนุกรมต่อโหลดประเภทตัวต้านทานที่ เปิด-ปิดด้วย สวิตซ์รีเฟ ที่มุมจุดชนวน 60 องศา ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอสต์

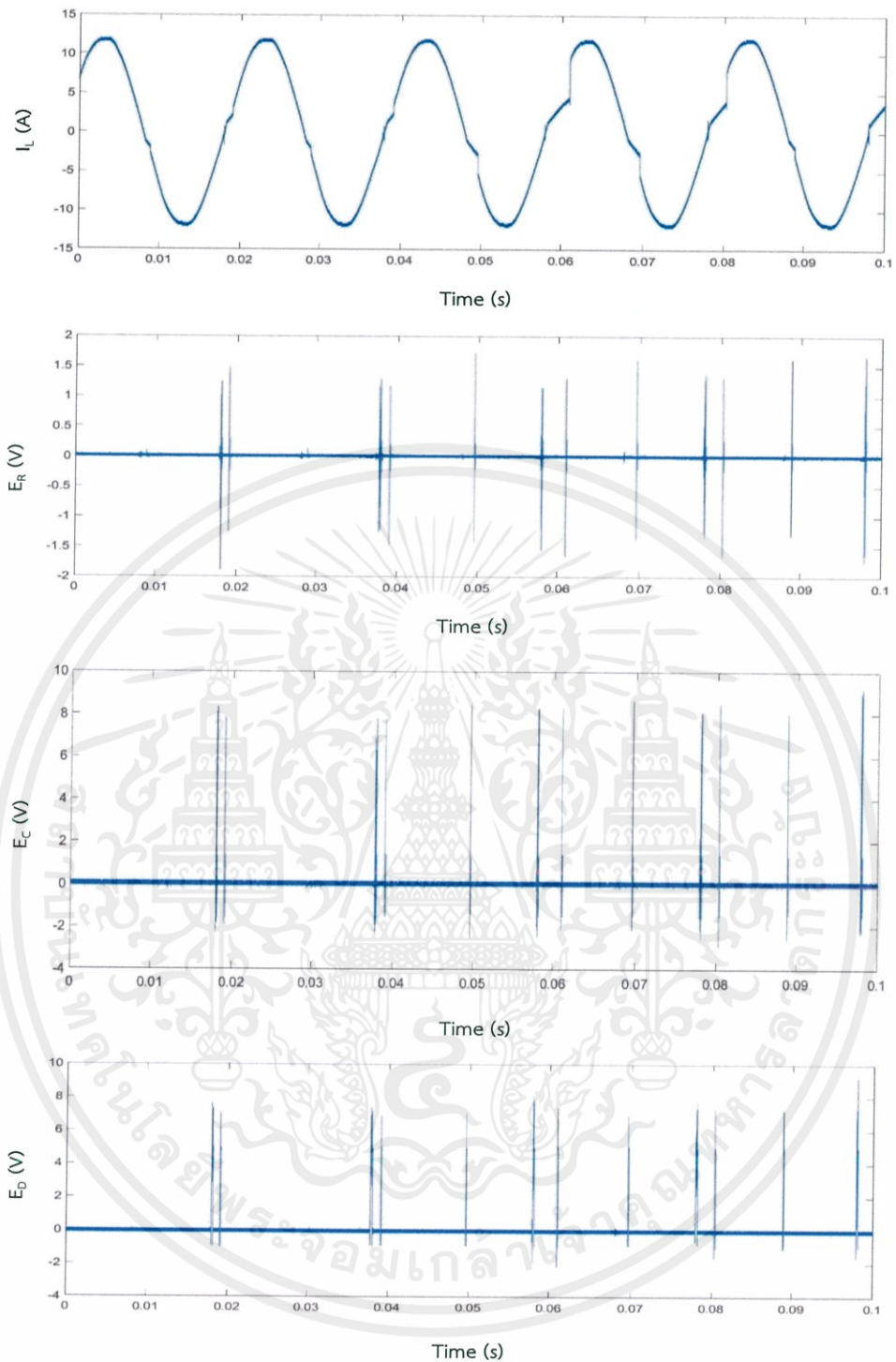
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองวงจรต่อโหลดหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 40 W 2 หลอด และโหลดตัวต้านทาน 5 A



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

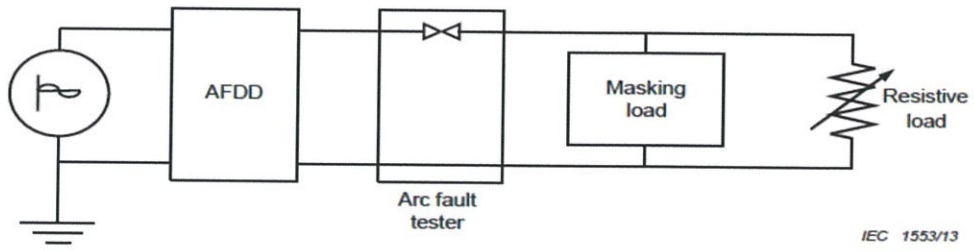


(ข)

รูปที่ 4.21 ผลของวงจรตรวจจ็ับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อโหลดหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 40 W

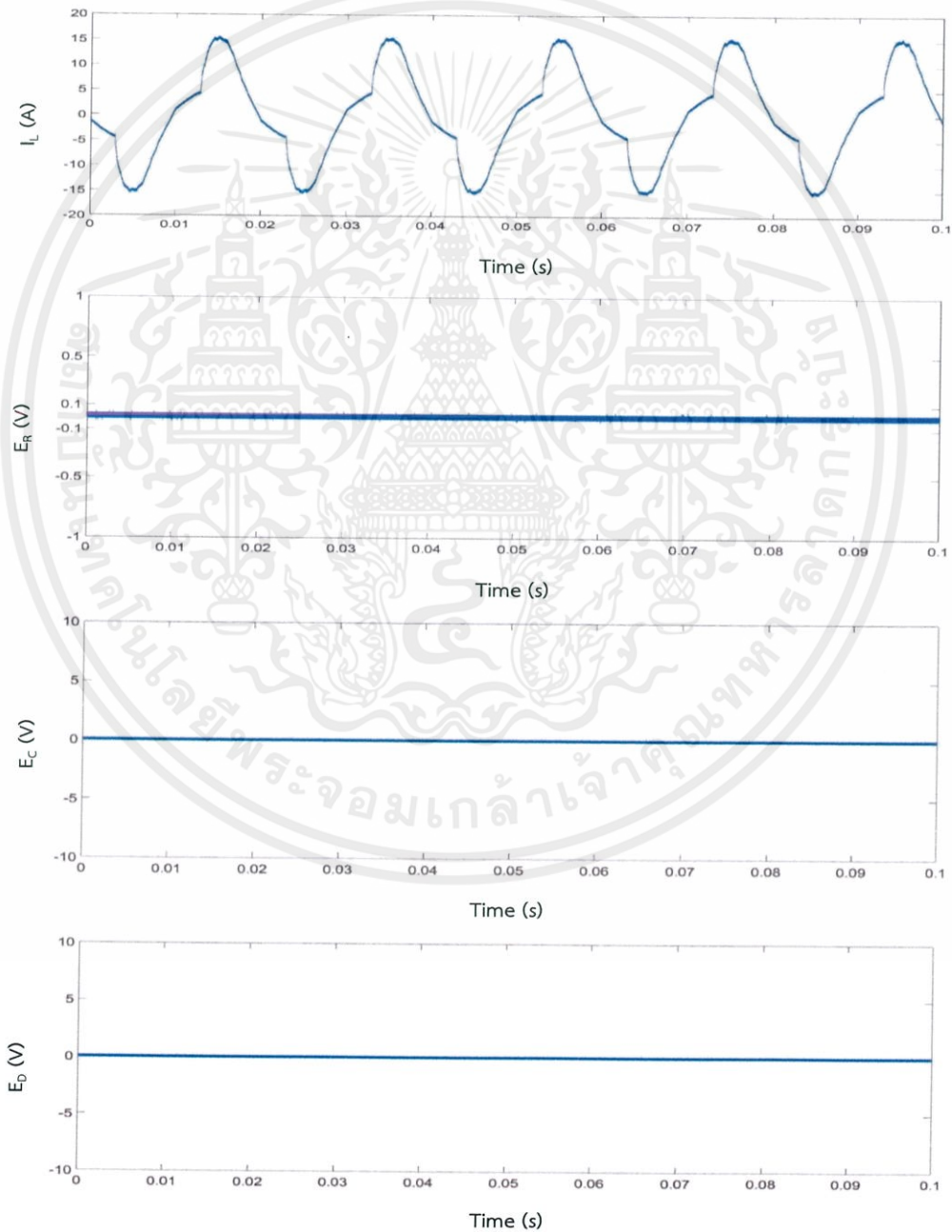
2 หลอด และโหลดตัวต้านทาน 5 A ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

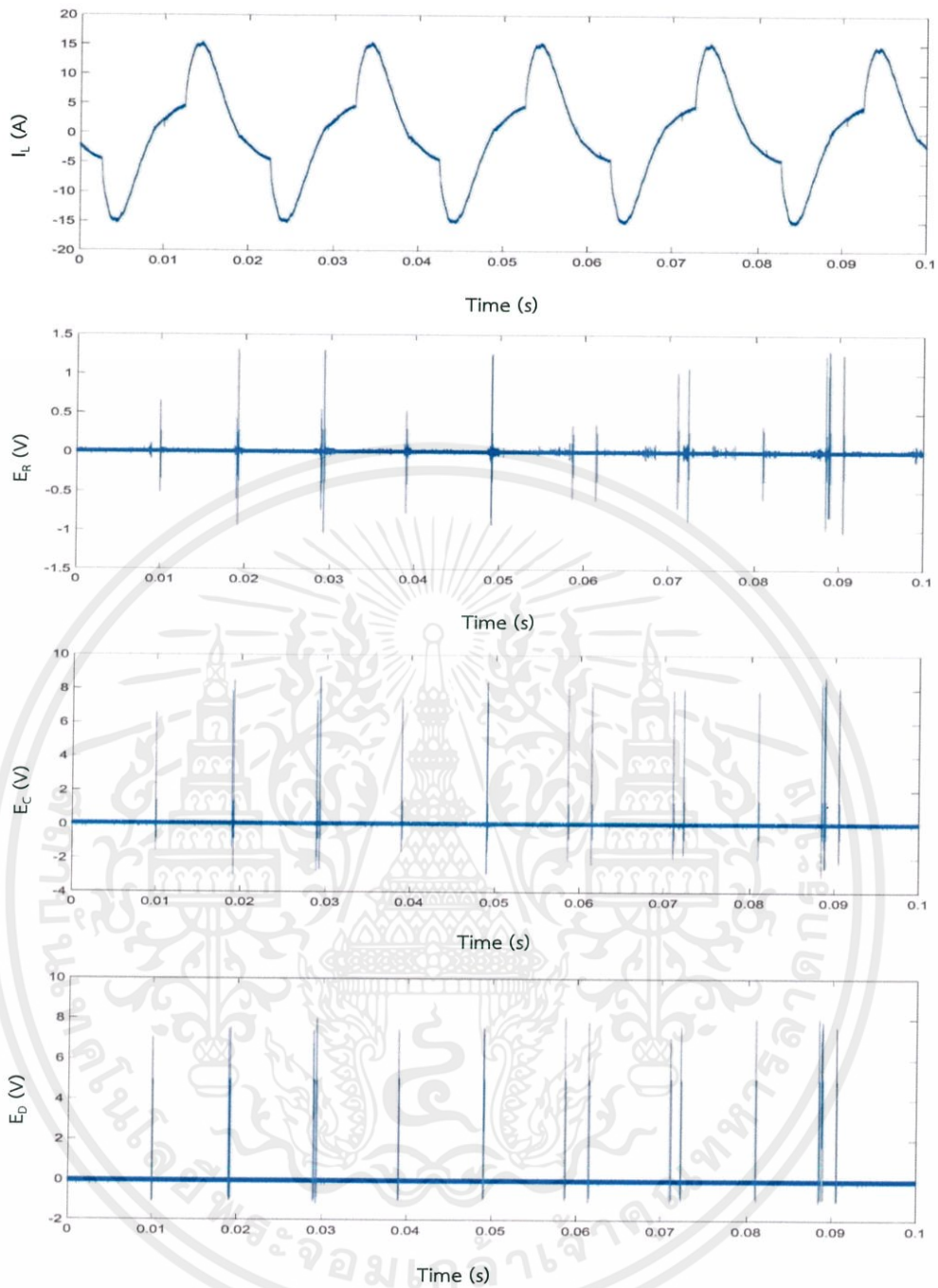


รูปที่ 4.22 วงจรทดสอบอาร์คฟอลต์อนุกรม (4) [4]

ผลการทดลองวงจรต่อโวลต์ประเภทมอเตอร์ (เครื่องดูดฝุ่น)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



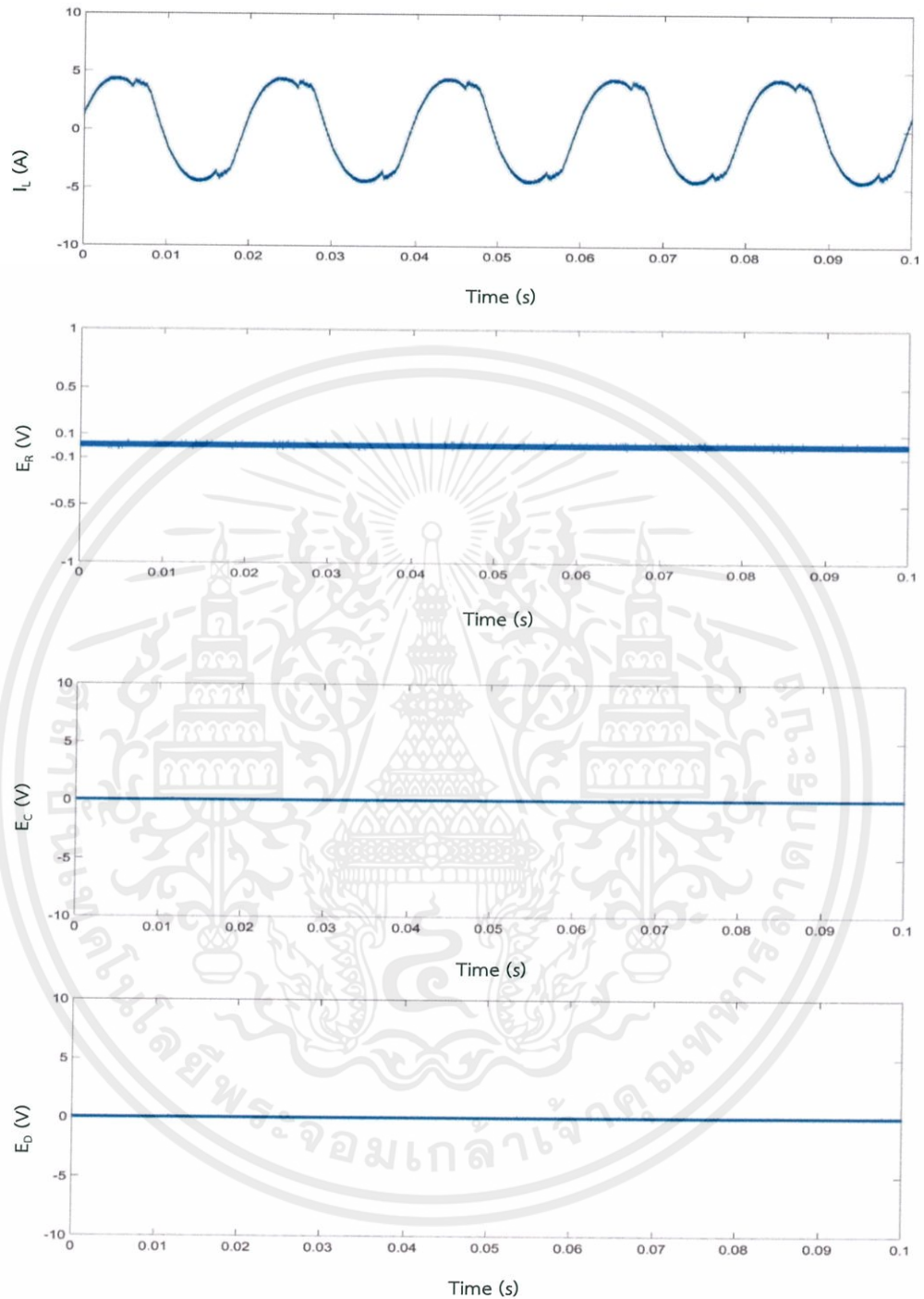
(ข)

รูปที่ 4.23 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อเครื่องดูดฝุ่น ก) สภาวะปกติ

ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

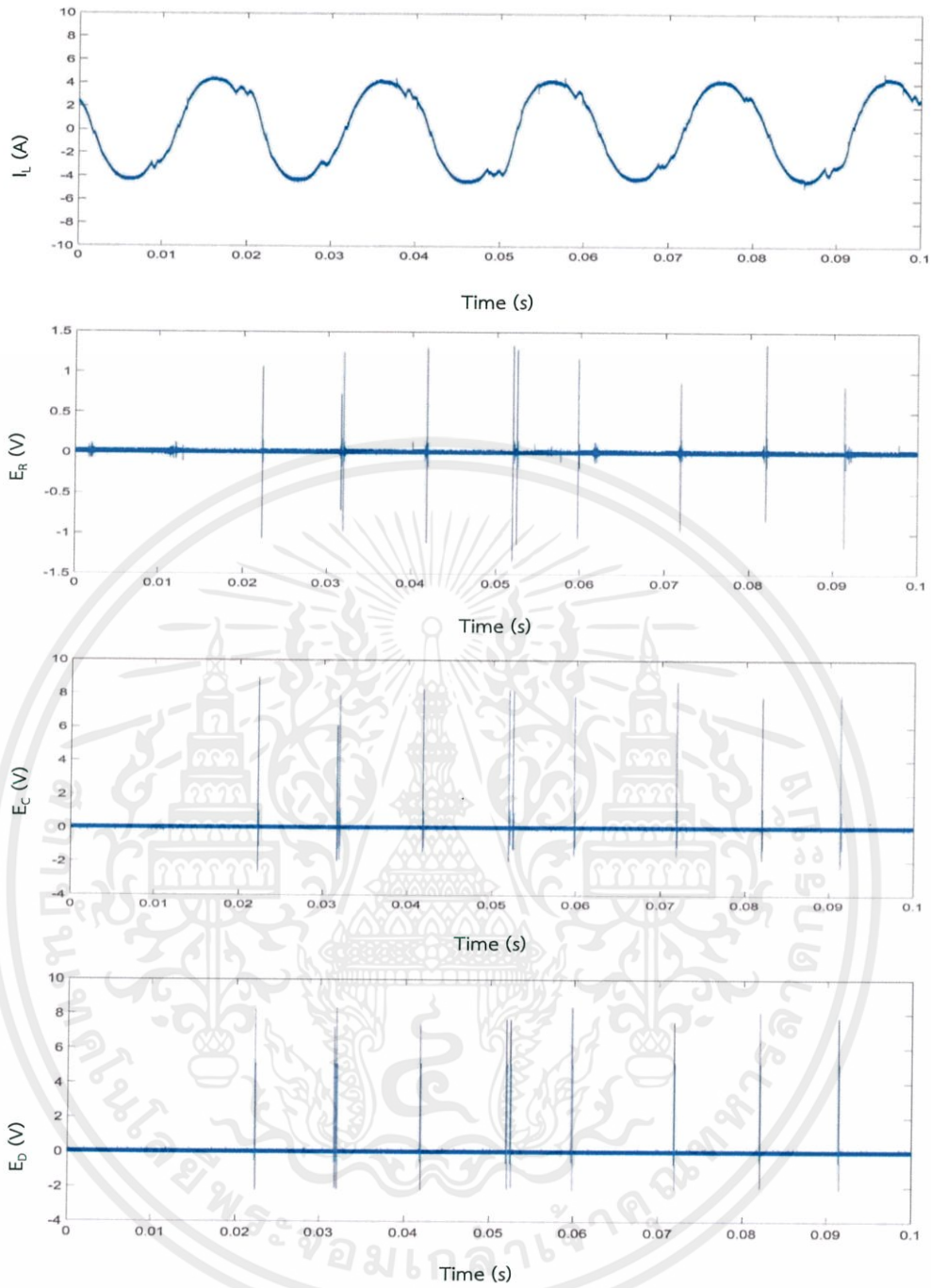
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองวงจรต่อโหลดประเภทมอเตอร์ (ส่วนไฟฟ้า)



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



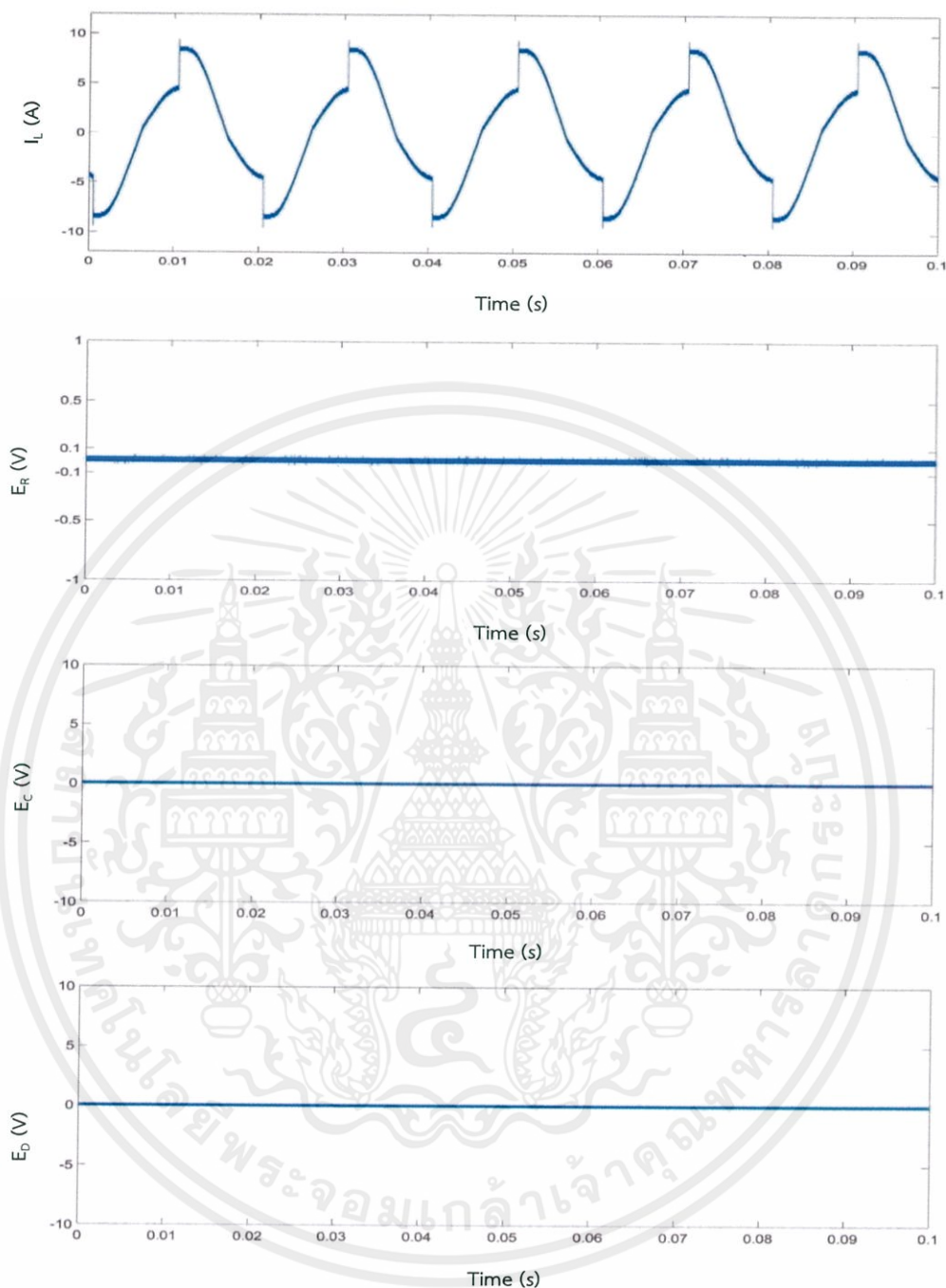
(ข)

รูปที่ 4.24 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อส่วนไฟฟ้า ก) สภาวะปกติ

ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

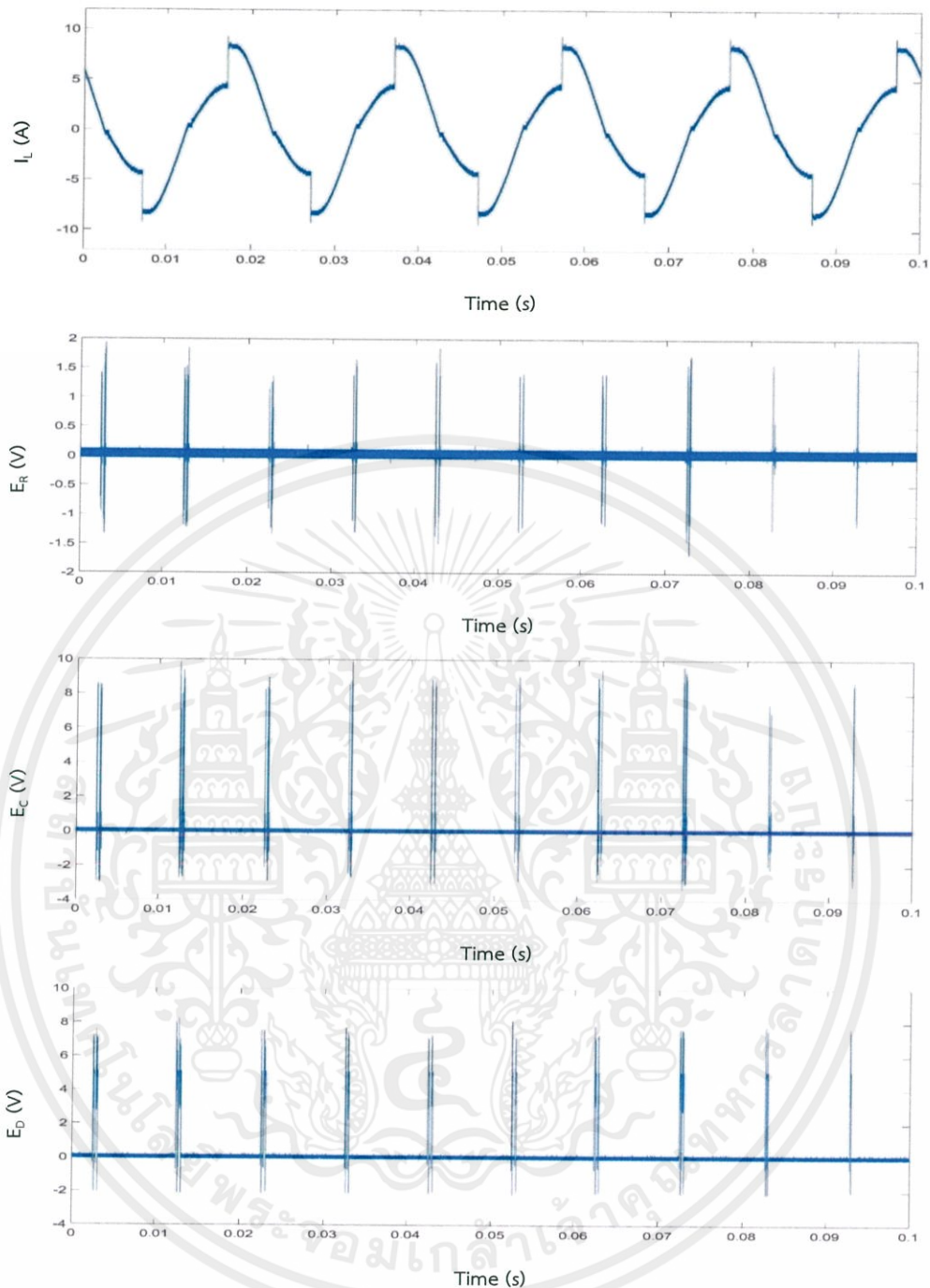
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหลดประเภทตัวต้านทานที่ เปิด-ปิดด้วยสวิตซ์รีไฟ มุมจุดชนวน 60 องศา



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

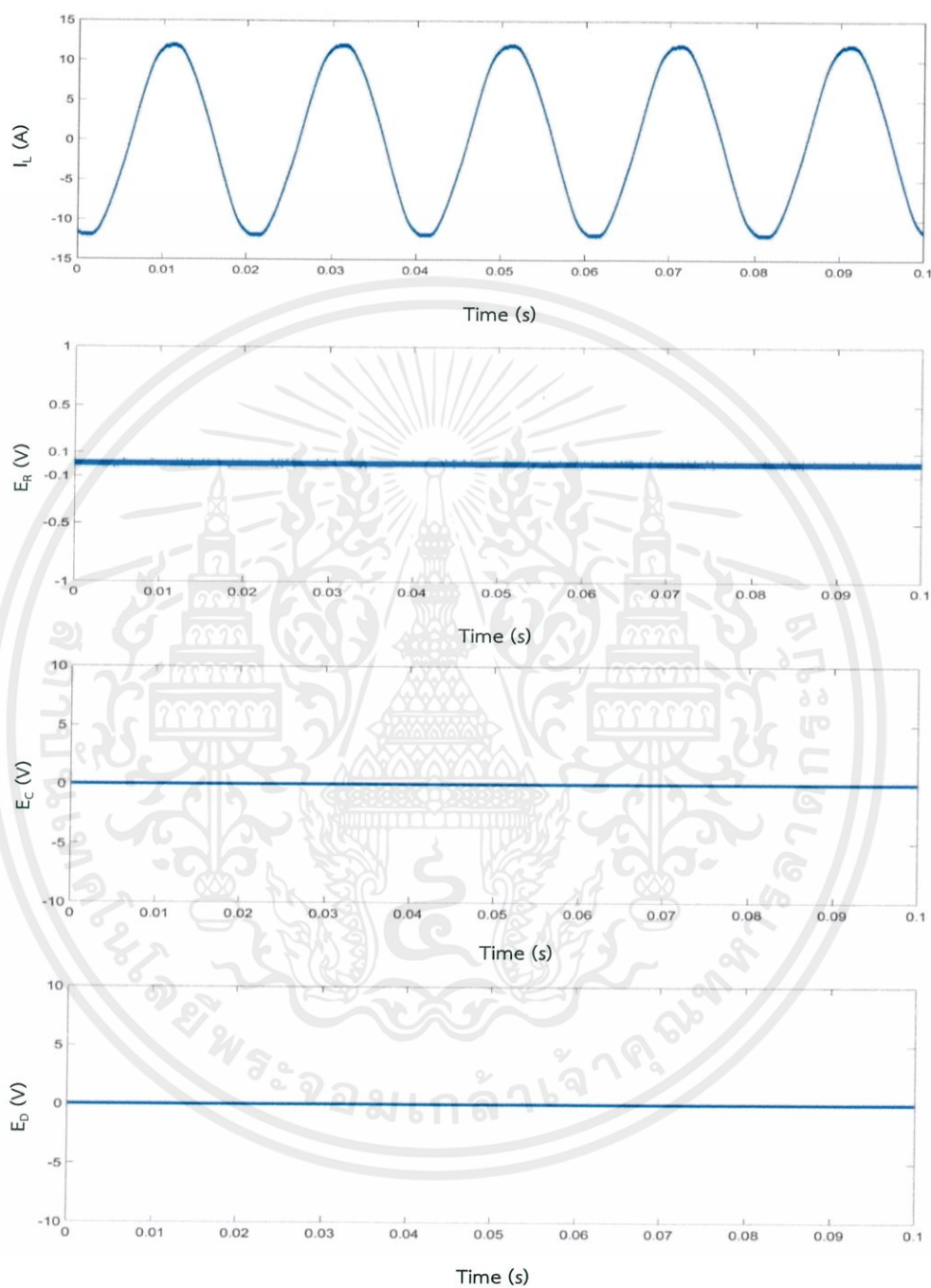


(ข)

รูปที่ 4.25 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อโหลดประเภทตัวต้านทานที่ เปิด-ปิดด้วย สวิตซ์หรีไฟ ที่มีมุมจุดชนวน 60 องศา ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

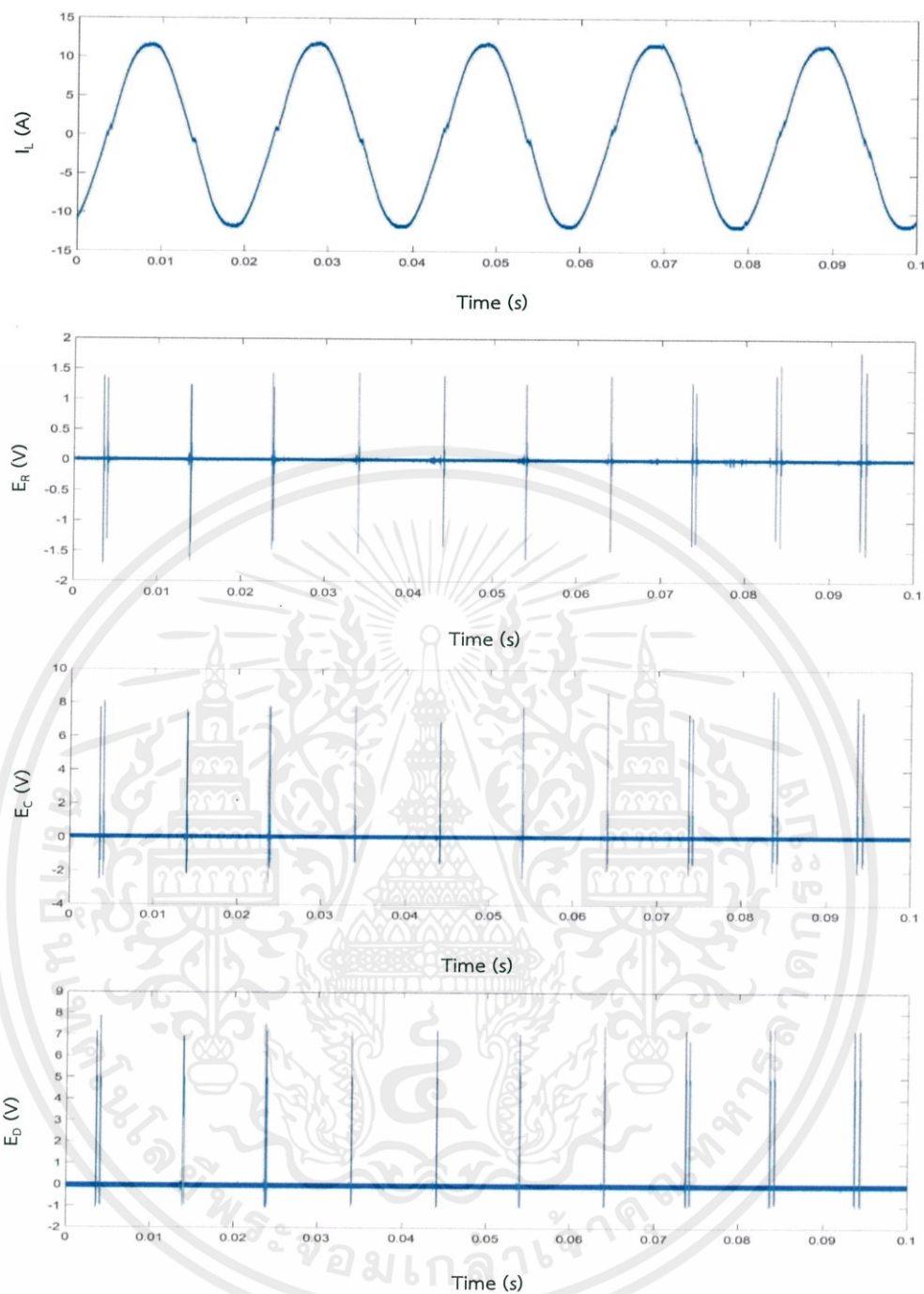
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองวงจรต่อโหนดหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 40 W 2 หลอด และโหนดตัวต้านทาน 5 A



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



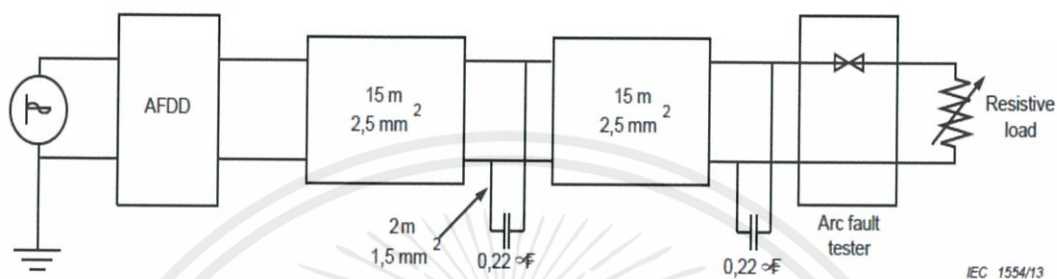
(ข)

รูปที่ 4.26 ผลของวงจรตรวจจ็ับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อโหลดหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 40 W
2 หลอด และโหลดตัวต้านทาน 5 A ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

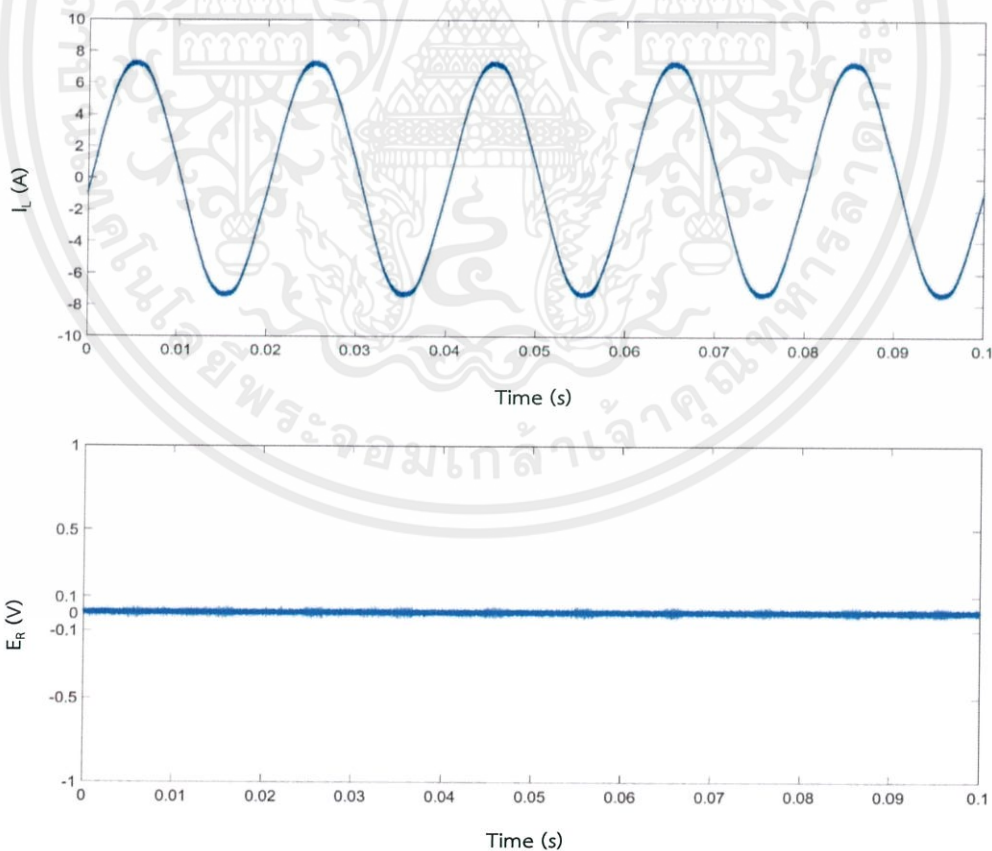
4.2 การทดลองกับ EMI filter

ในการทดลองนี้ได้ทำการทดลองโดยขั้นตอนทดลองจะอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 62606 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมเมื่อต่อ EMI Filter เข้าไปในวงจรดังรูปที่ 4.27 โดยจะทดลองกับโหลดความต้านทานที่ระยะ 30 เมตร

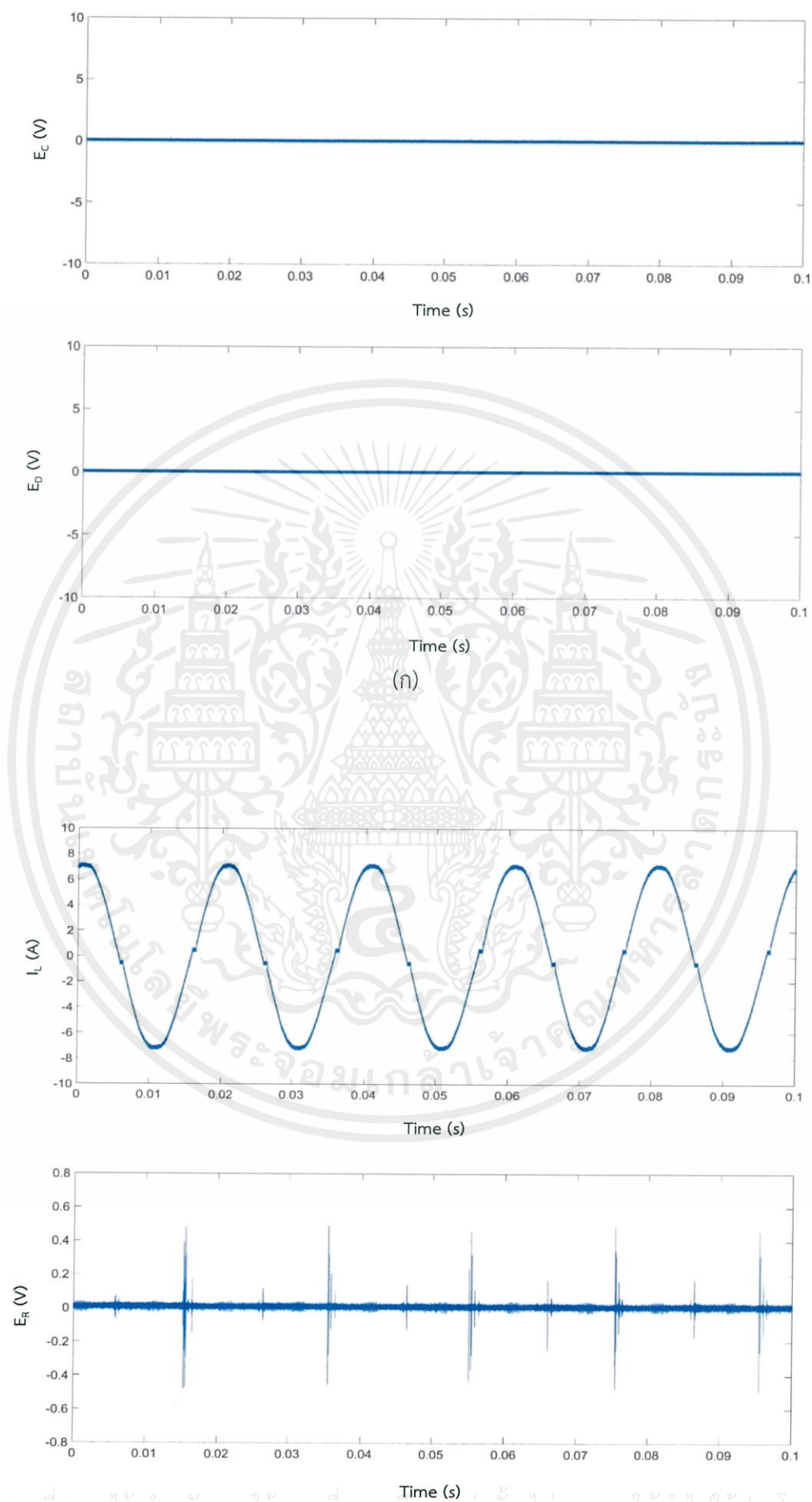


รูปที่ 4.27 วงจรทดสอบกับ EMI Filter [4]

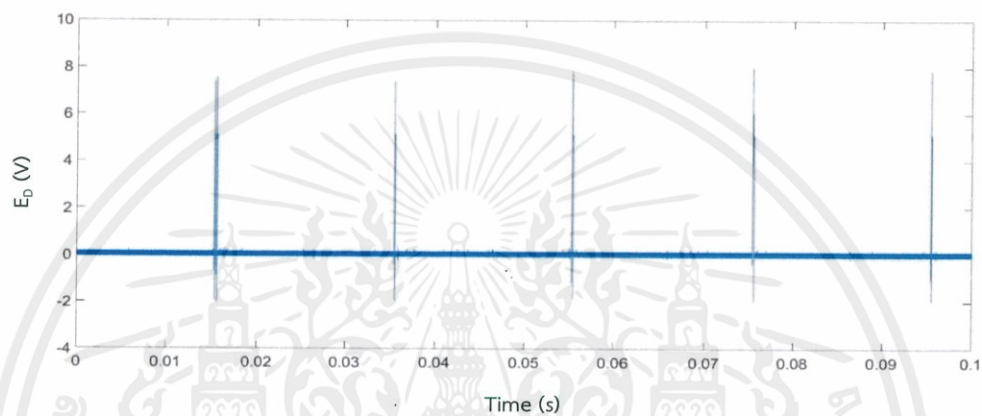
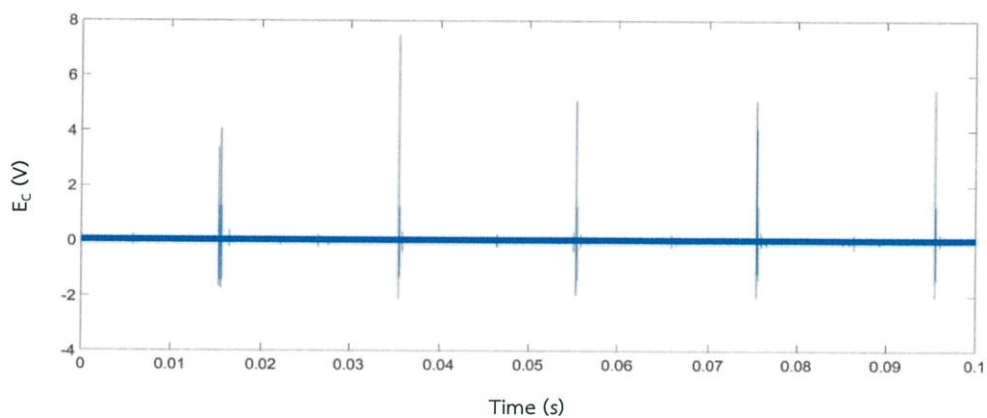
ผลการทดลองการทำงานของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์กับ EMI Filter



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

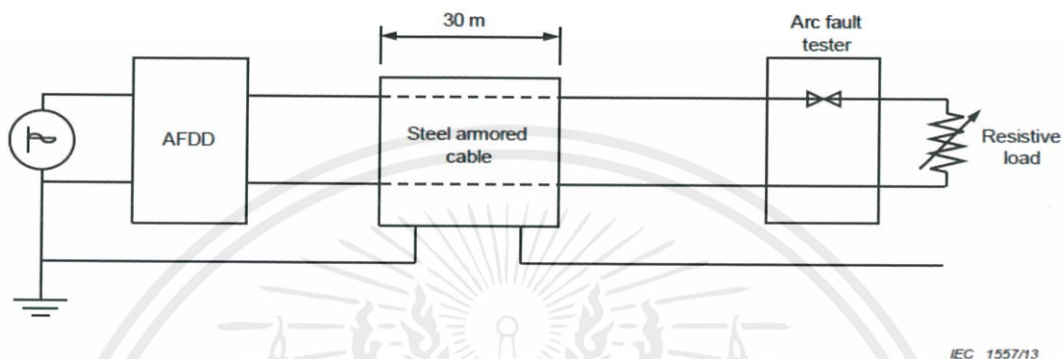


(ข)

รูปที่ 4.28 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมกับ EMI Filter ก) สภาวะปกติ
ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

4.3 การทดลองวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมกับ Steel armored Cable ระยะ 30 เมตร

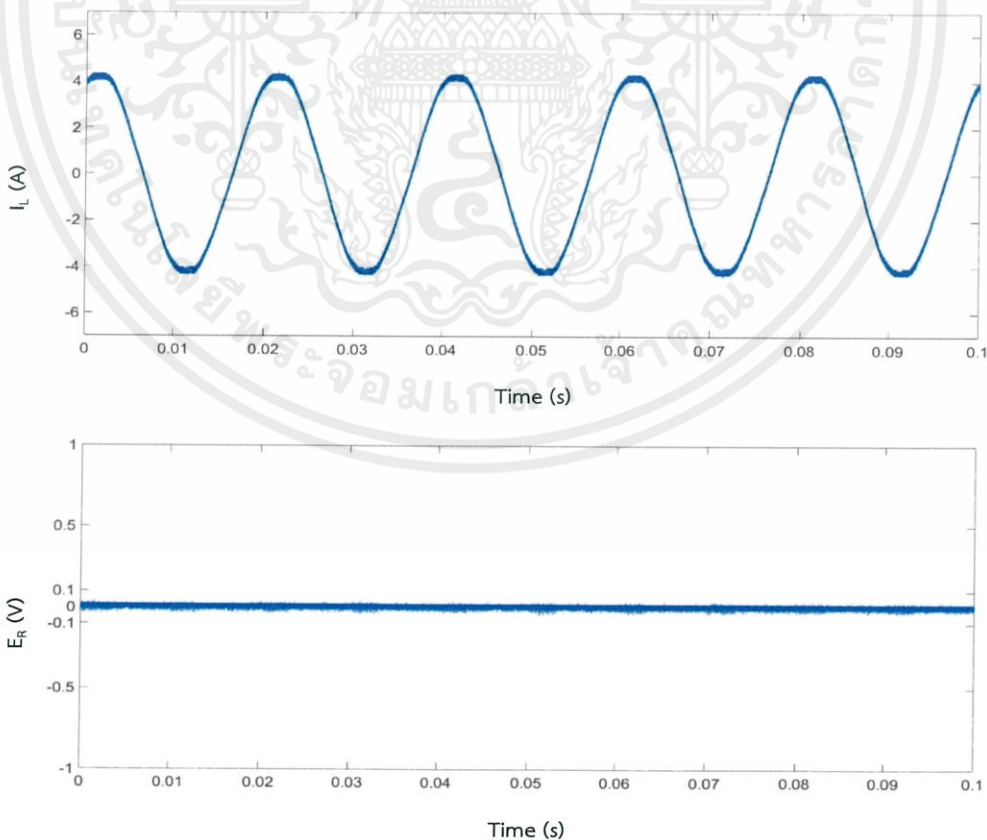
ในการทดลองนี้ได้ทำการทดลอง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมด้วยสายไฟชนิด CW-S 2x2.5 mm² แบบมีชีลด์ ระยะ 30 เมตร โดยจะทดลองกับโหลดความต้านทานที่ระยะ 30 เมตร



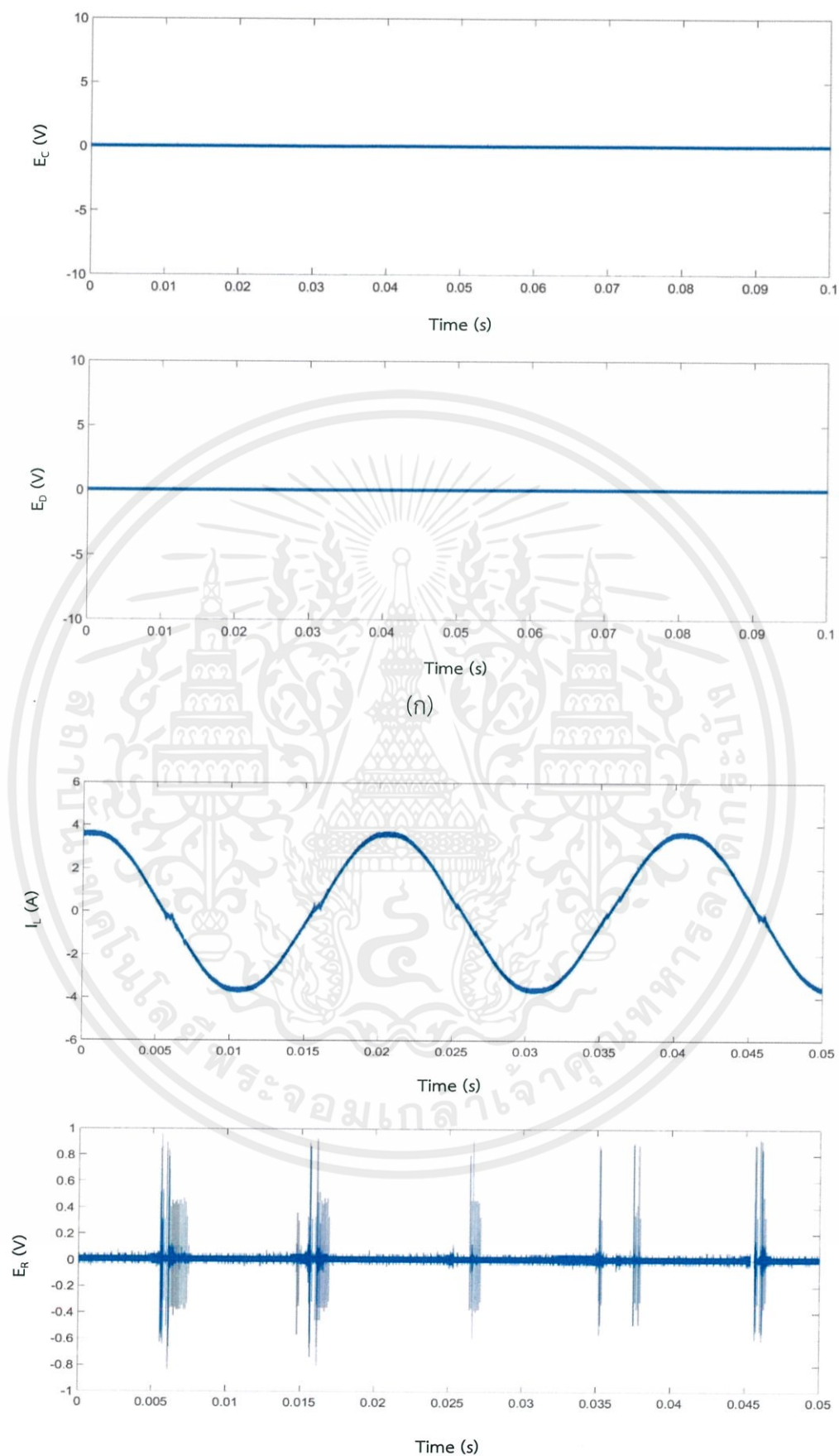
IEC 1557/13

รูปที่ 4.29 วงจรทดสอบกับ Steel armored Cable ระยะ 30 เมตร [4]

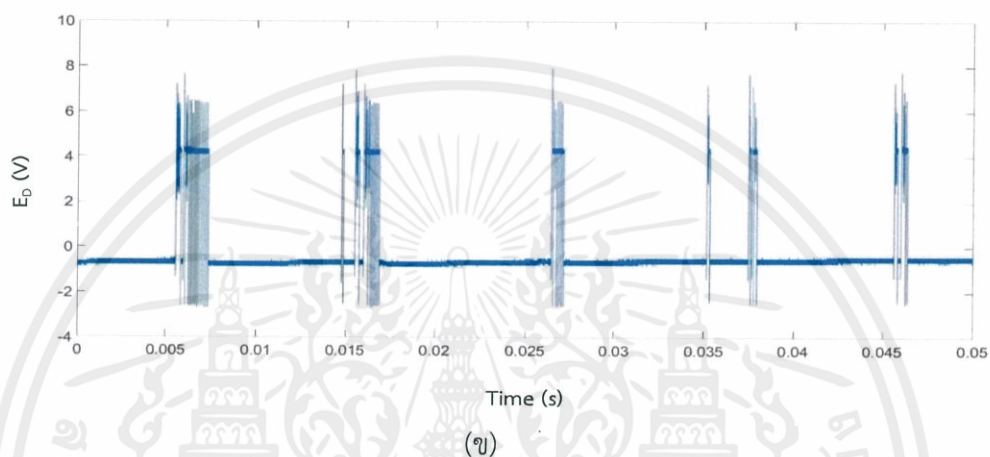
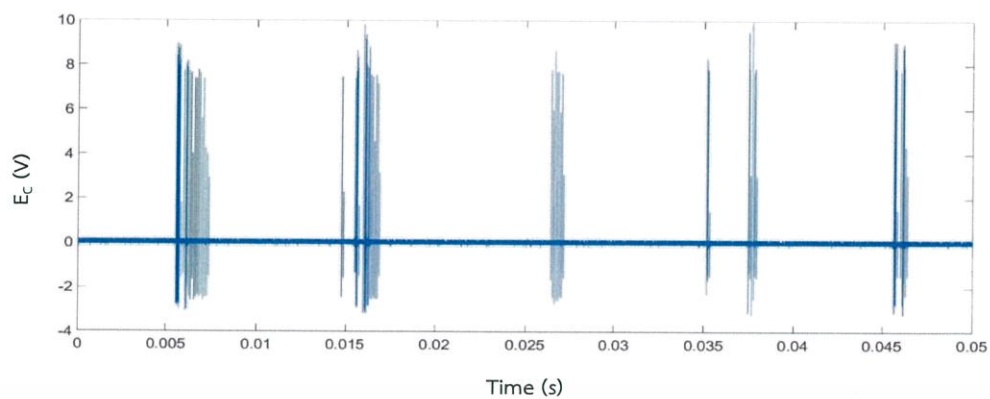
ผลการทดลองการทำงานของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์กับ Steel armored Cable



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



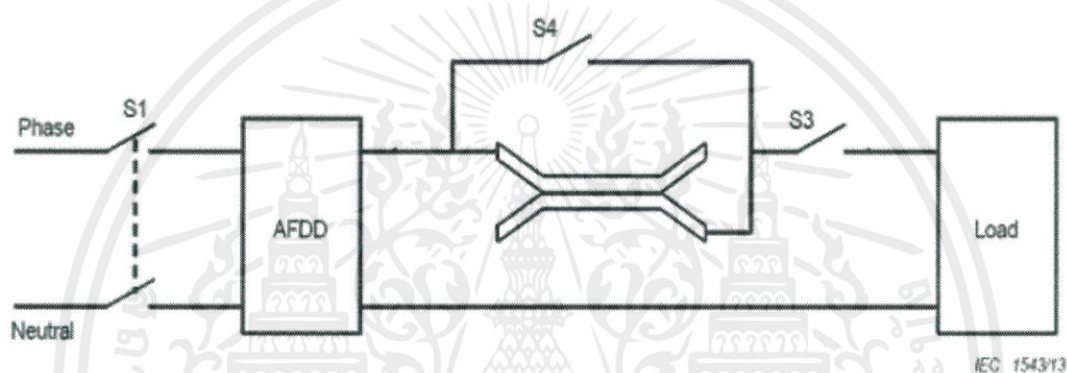
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมกับ Steel armored Cable ก) สภาวะปกติ
ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

4.4 การทดลองวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมกับสาย Cable Specimen

เป็นการทดลองวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมในสถานะต่างๆ ดังรูปที่ 4.31 โดยจะทำการเปลี่ยนในส่วนอุปกรณ์กำเนิดอาร์คฟอลต์เป็น Cable Specimen แทนเพื่อให้การทดลองนี้เสมือนอยู่ในสถานการณ์ที่สายไฟเกิดชำรุดเสียหายและเกิดอาร์คฟอลต์ขึ้นจริงจนทำให้สายไฟไหม้ โดยจะทำการบ่มสายไฟเพื่อใช้จำลองสายไฟที่ชำรุดเสียหายจริงในบ้านเรือน โดยในมาตรฐาน IEC62606 จะใช้สายไฟที่มีตัวนำแบบคู่ ในโครงงานนี้จะใช้สายชนิด VAF 2x2.5 mm²

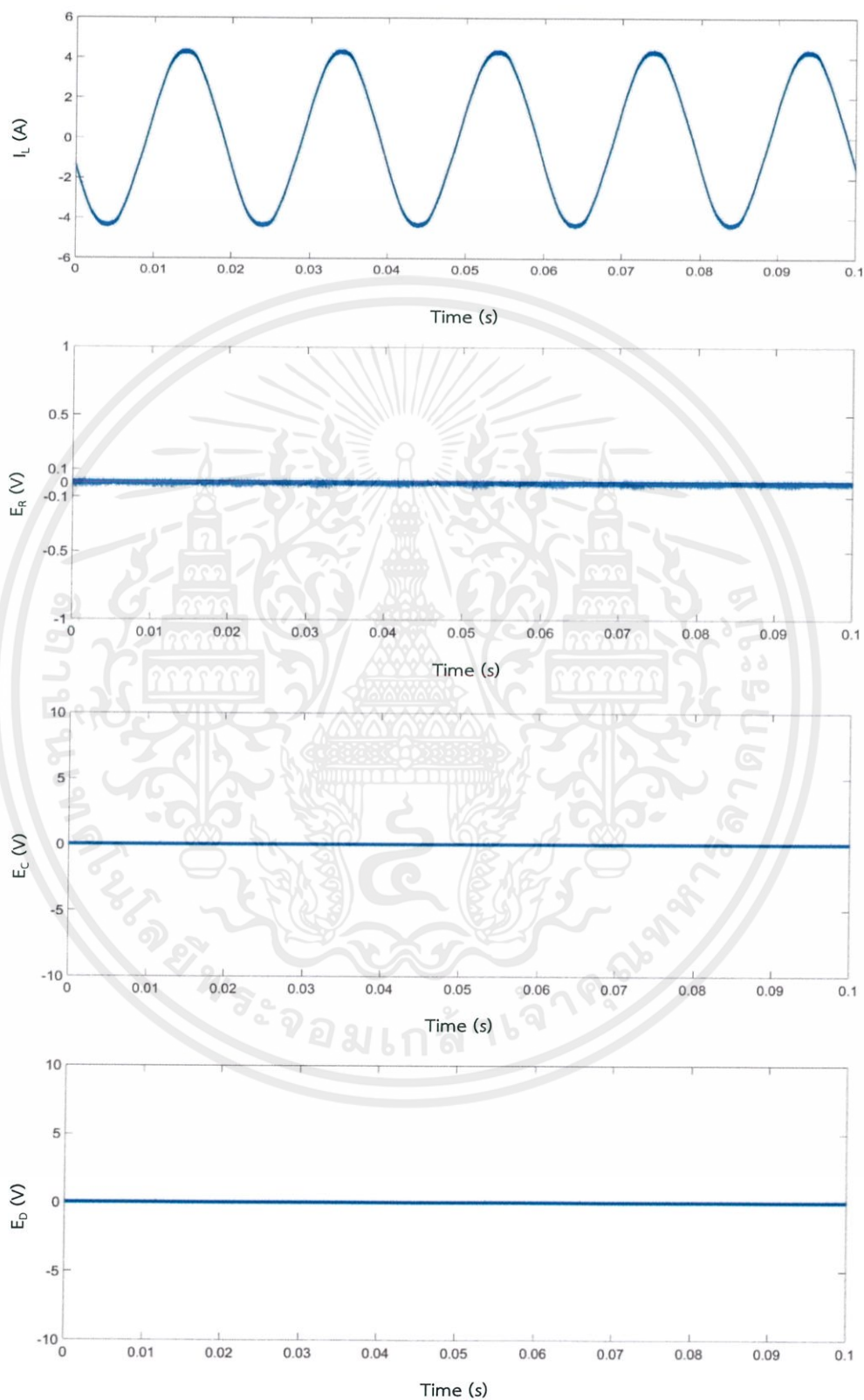


รูปที่ 4.31 วงจรทดสอบกับสาย Cable Specimen [4]

โดยโหลดที่จะทำการทดลองจะเป็นโหลดประเภทตัวต้านทานคือ หลอดเผาไส้ที่ขนาดกระแส

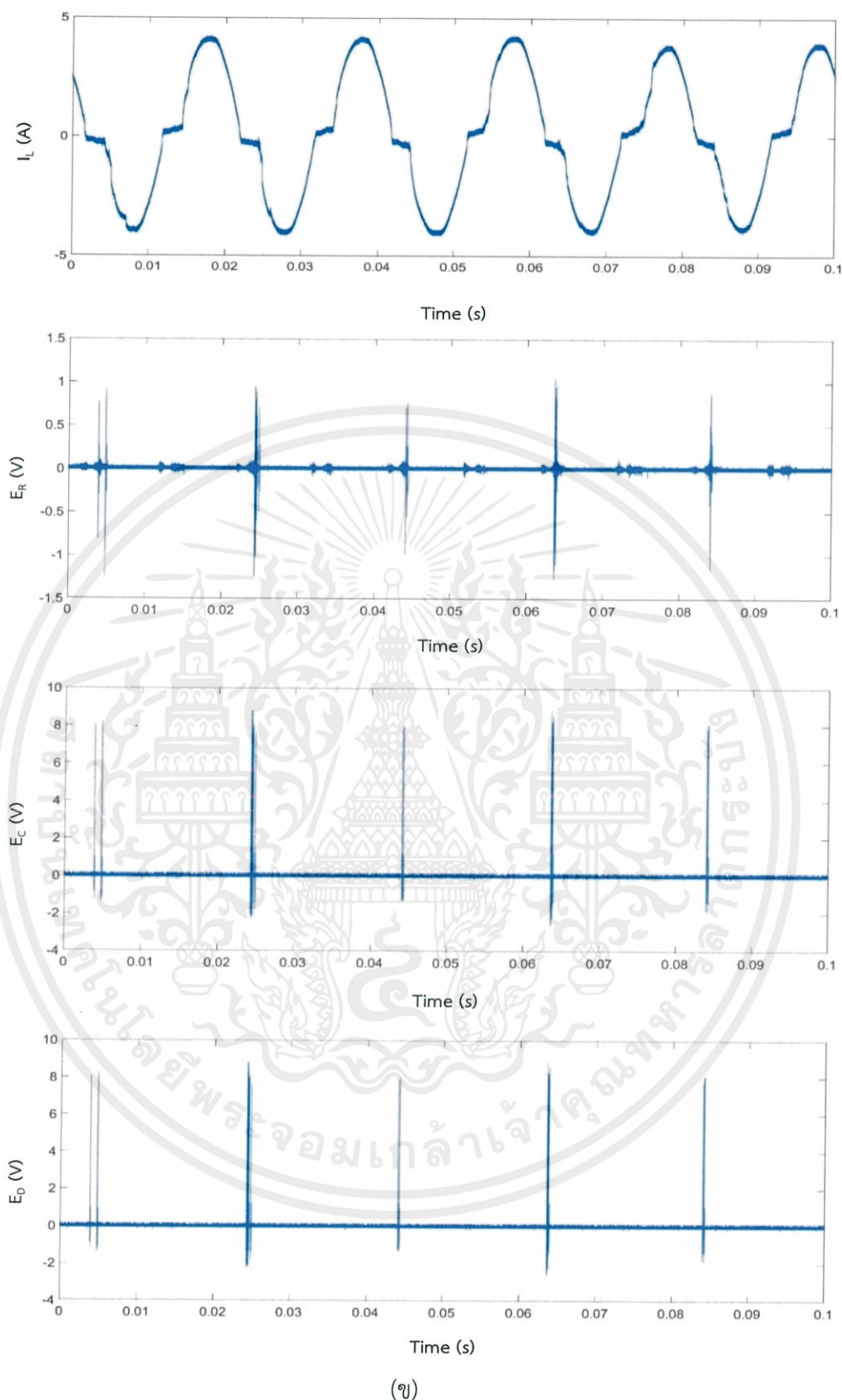
2.5 A โดยจะทำการทดลองในสถานะต่างๆ ตามที่กำหนดในมาตรฐาน IEC 62606

ผลการทดลองการทำงานของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์ กรณีอาร์คฟอลต์เกิดขึ้นฉับพลันใน
ส่วนวงจร



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

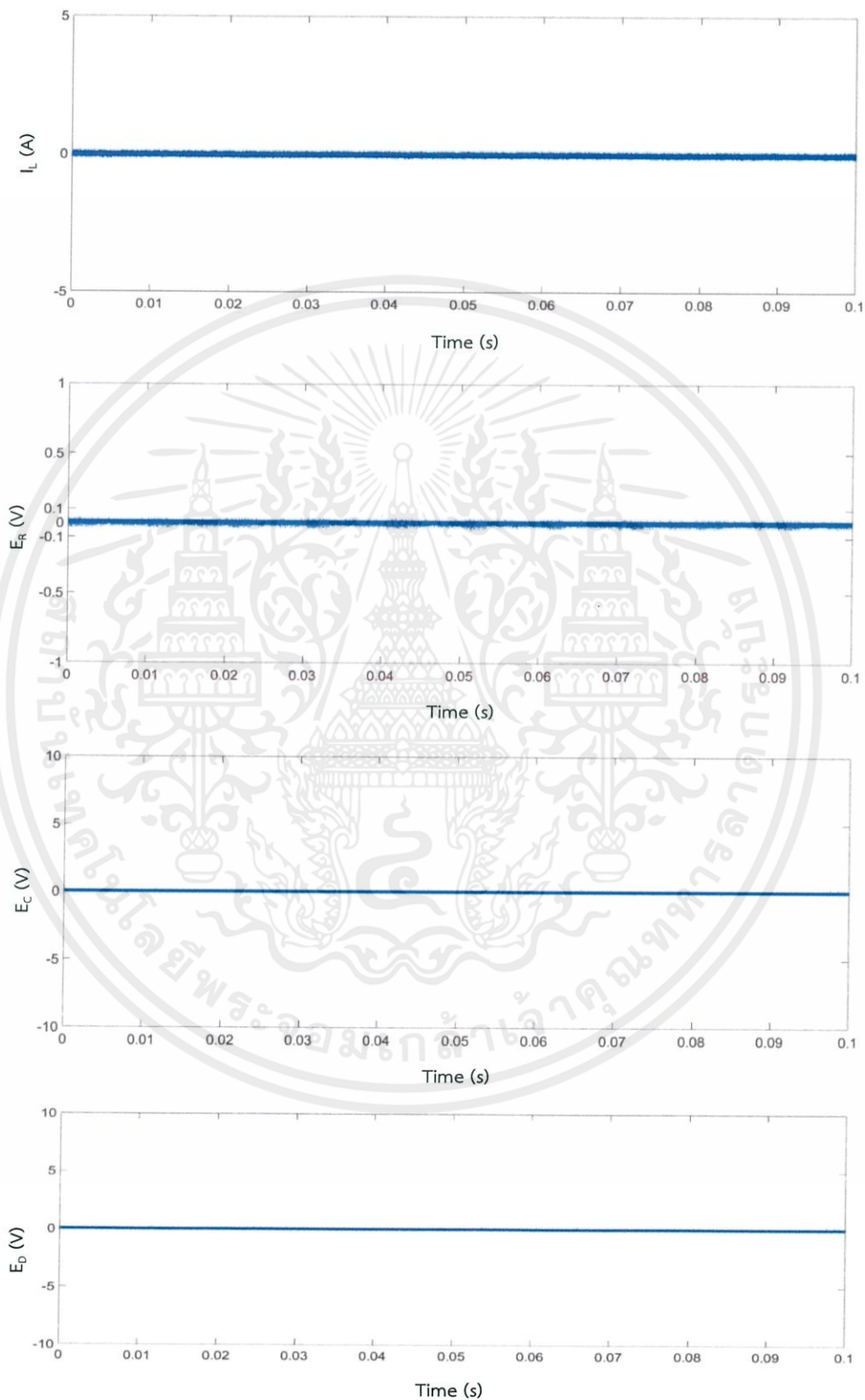


(ข)

รูปที่ 4.32 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมสภาวะเกิดอาร์คฟอลต์แบบฉับพลันในส่วน
วงจร ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

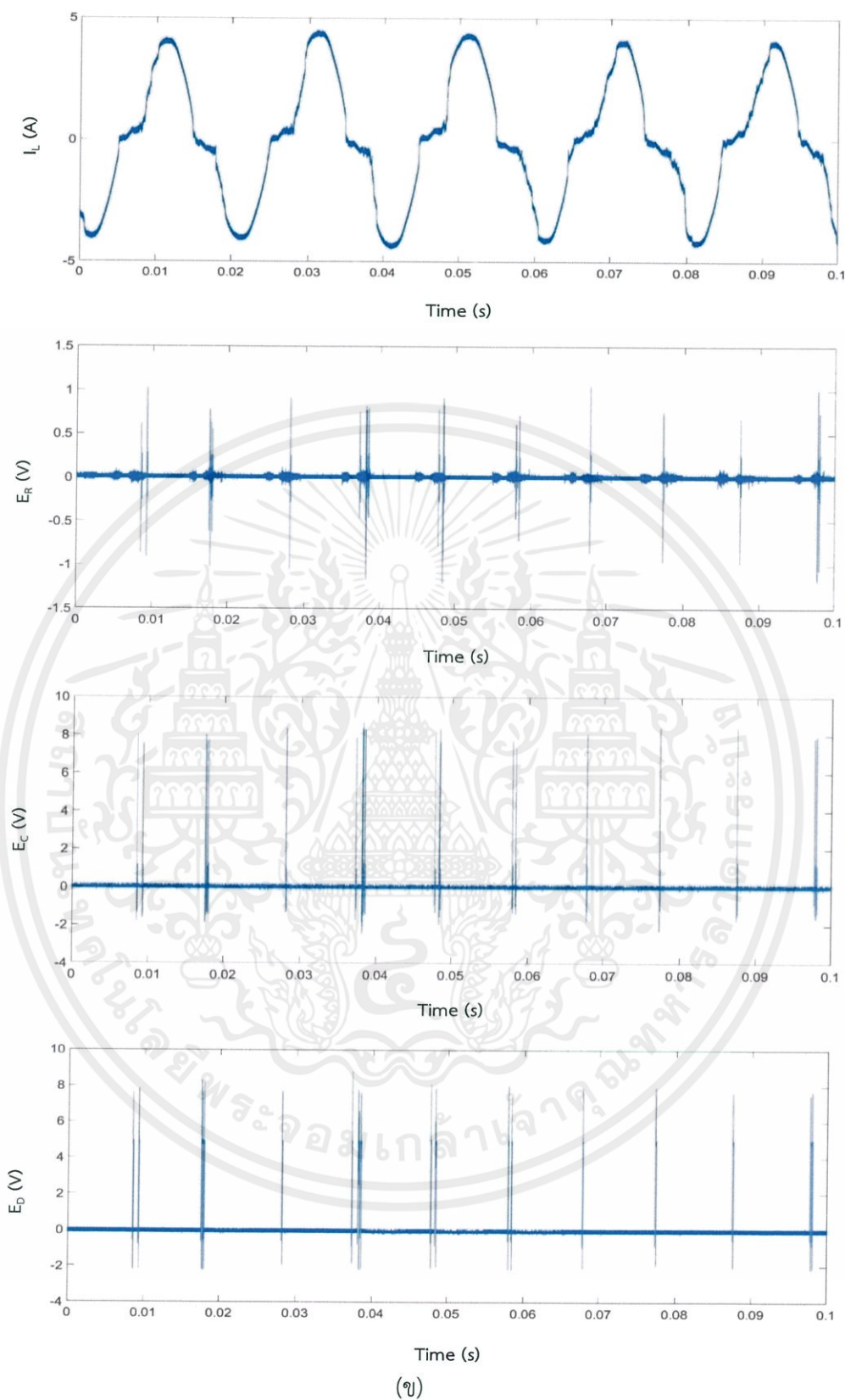
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองการทำงานของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์ กรณีอาร์คฟอลต์เกิดขึ้นฉับพลันใน ส่วนภาระไฟฟ้า



(ก)

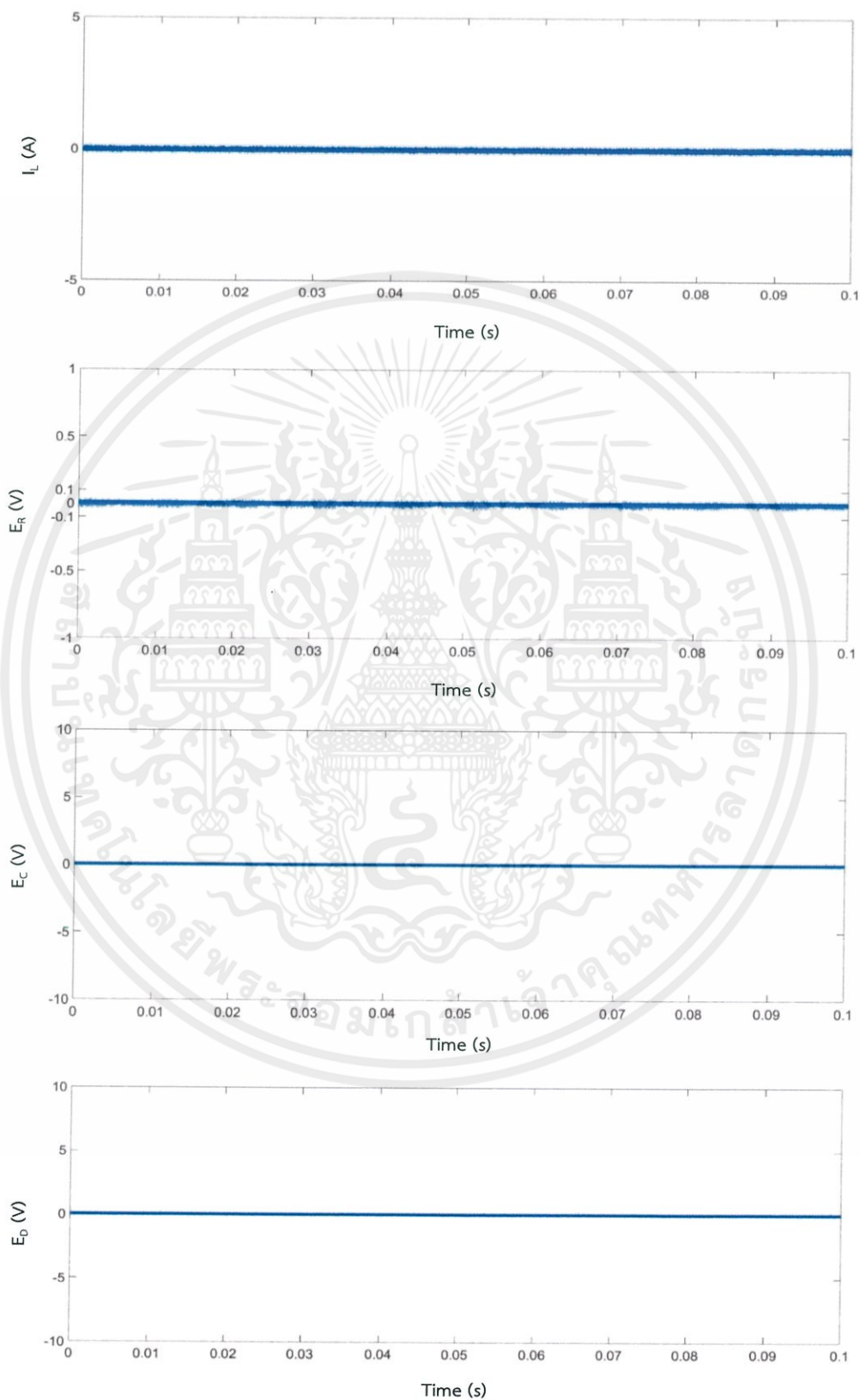
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมสภาวะเกิดอาร์คฟอลต์แบบฉับพลันในส่วน
 ภาวะไฟฟ้า ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

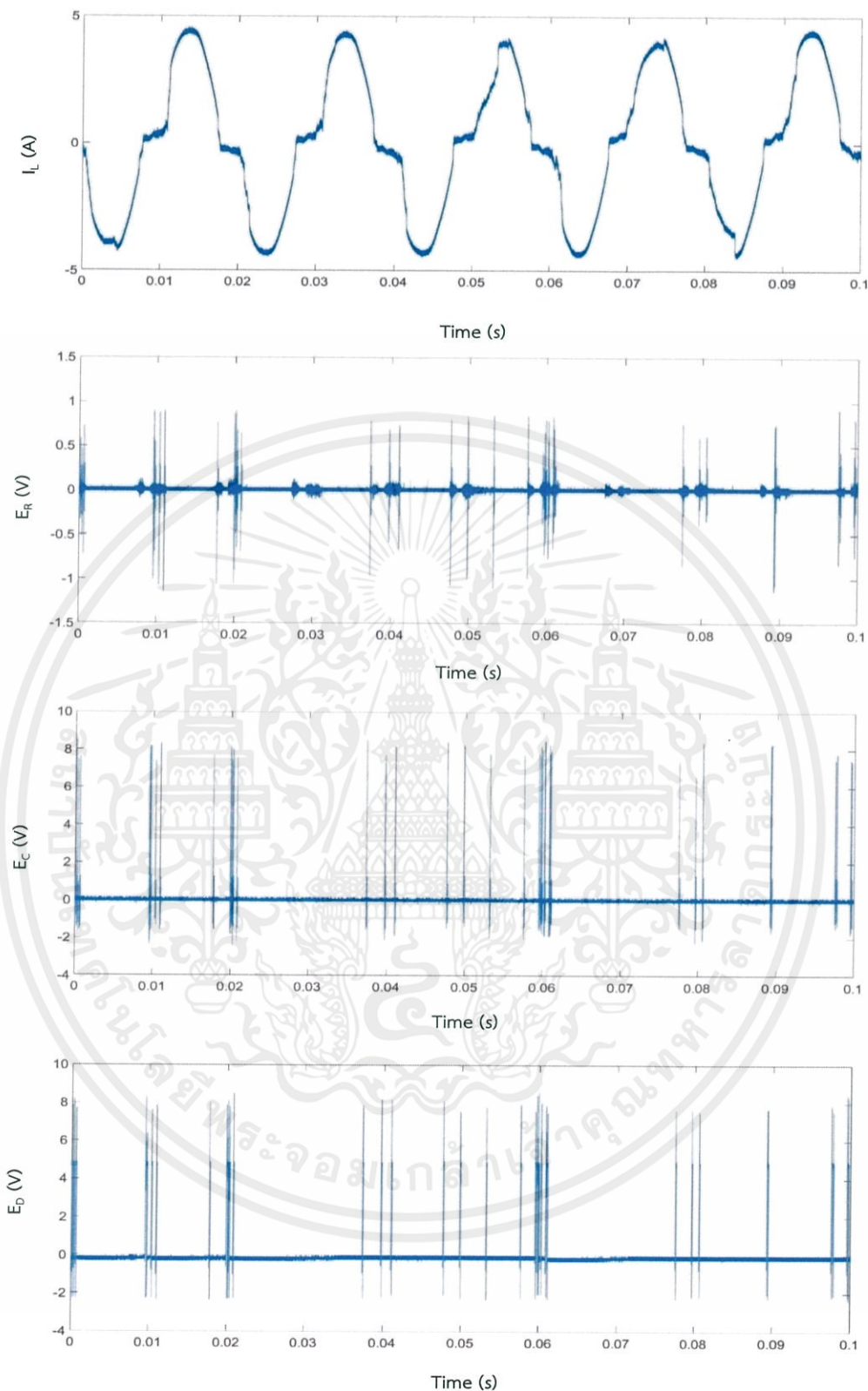
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองการทำงานของวงจรตรวจจับอาร์คพอลต์ กรณีอาร์คพอลต์เกิดขึ้นฉับพลันใน
การจ่ายพลังงานไฟฟ้า



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



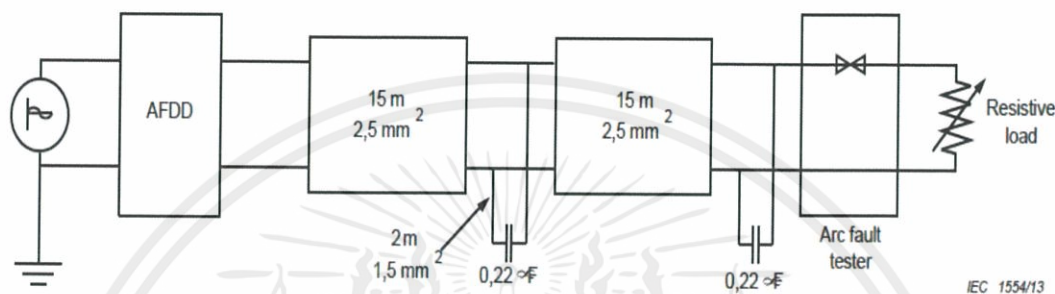
(ข)

รูปที่ 4.34 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมสภาวะเกิดอาร์คฟอลต์แบบฉับพลันในการ
จ่ายพลังงานไฟฟ้า ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดลองวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมกับสาย Cable Specimen และ EMI Filter

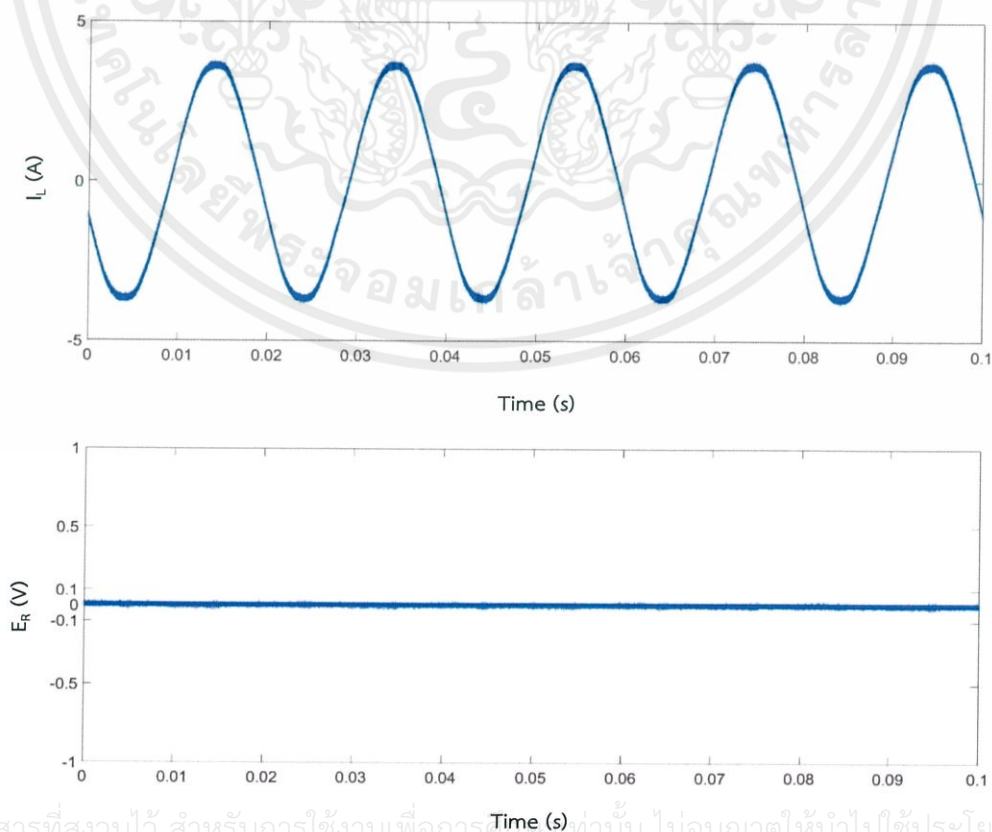
เป็นการทดลองวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมกับ EMI Filter ดังรูปที่ 4.35 ลักษณะเหมือนกับการทดลองใน 4.2 โดยจะทำการเปลี่ยนในส่วนอุปกรณ์กำเนิดอาร์คฟอลต์เป็น Cable Specimen แทนเพื่อให้การทดลองนี้เสมือนอยู่ในสถานการณ์ที่สายไฟเกิดชำรุดเสียหายและเกิดอาร์คฟอลต์ขึ้นจริงจนทำให้สายไฟไหม้



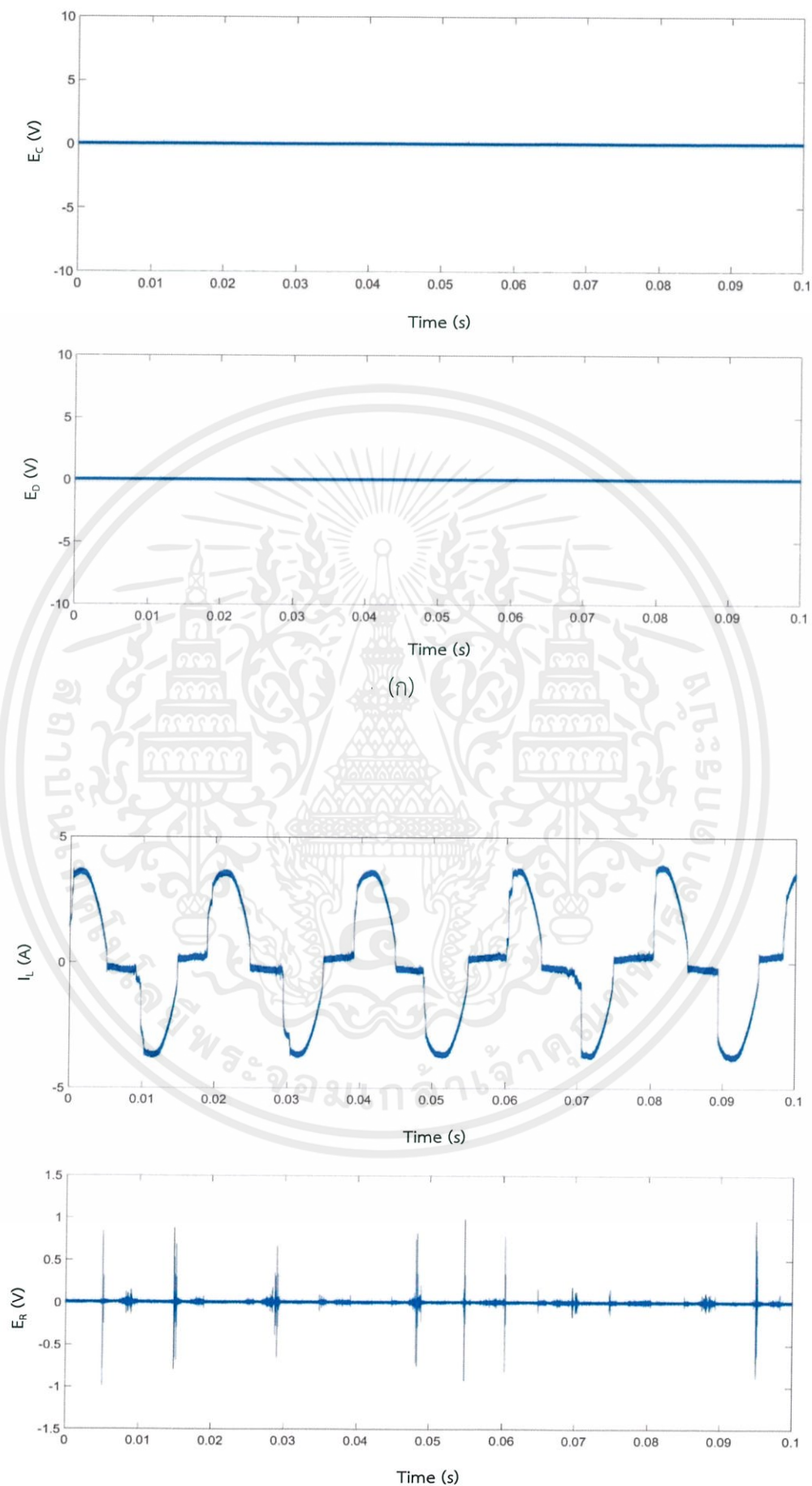
รูปที่ 4.35 วงจรทดสอบกับสาย Cable Specimen และ EMI Filter [4]

โดยโหลดที่ทำการทดลองเป็นโหลดประเภทตัวต้านทานคือหลอดเผาไส้ที่ขนาดกระแส 2.5 A

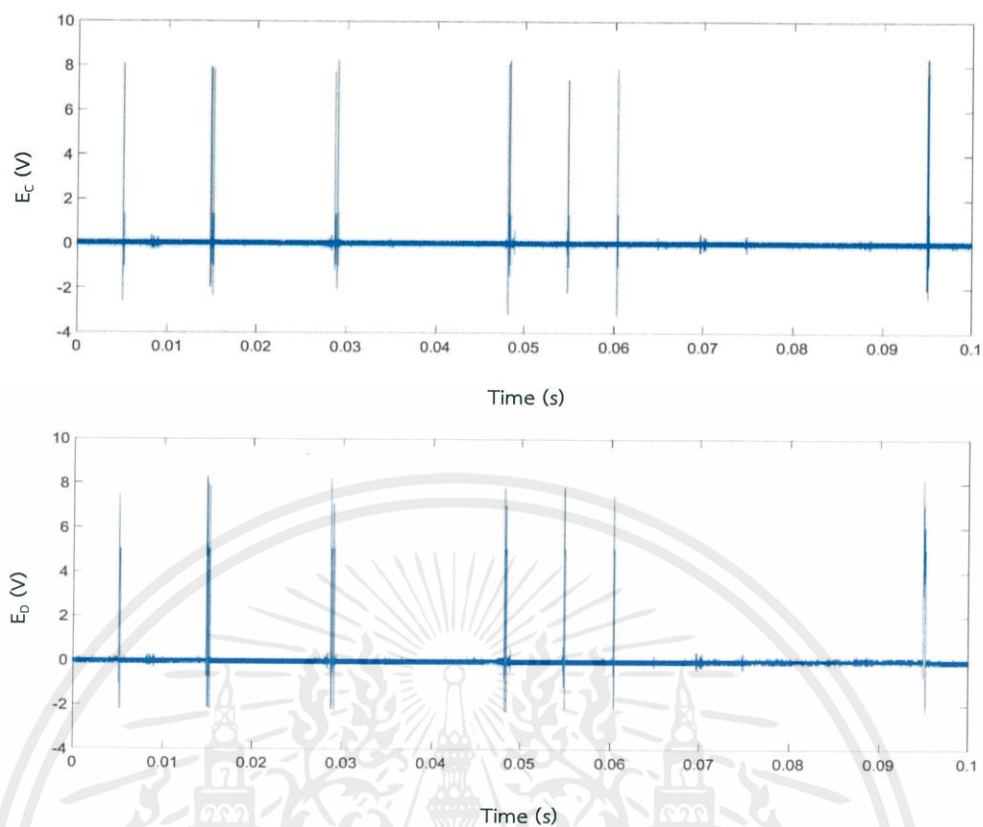
ผลการทดลองการทำงานของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์กับ EMI Filter



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



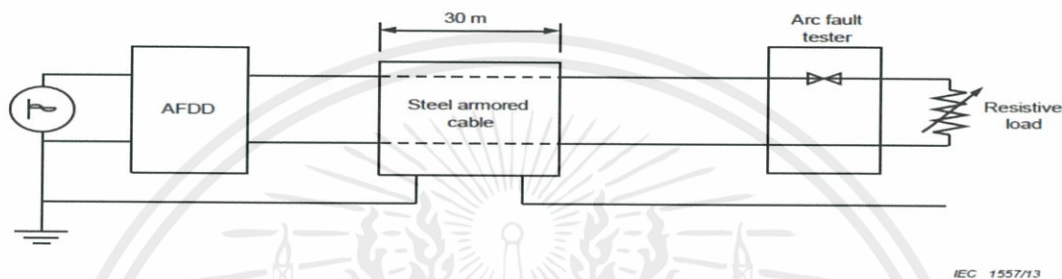
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.36 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมกับ EMI Filter และ Cable Specimen
 ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

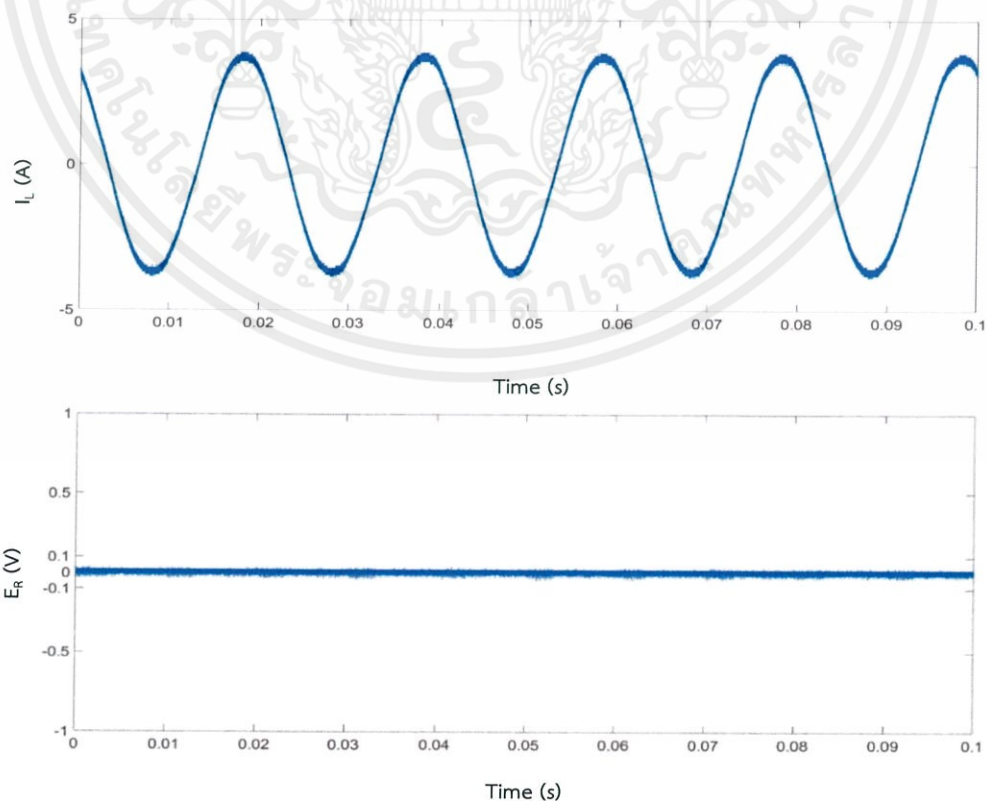
4.6 การทดลองวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมกับสาย Cable Specimen และ Steel armored Cable ระยะ 30 เมตร

เป็นการทดลองวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมด้วยสาย Steel armored Cable ดังรูปที่ 4.37 ลักษณะเหมือนกับการทดลองใน 4.3 โดยจะทำการเปลี่ยนในส่วนอุปกรณ์กำเนิดอาร์คฟอลต์เป็น Cable Specimen แทนเพื่อให้การทดลองนี้เสมือนอยู่ในสถานการณ์ที่สายไฟเกิดชำรุดเสียหายและเกิดอาร์คฟอลต์ขึ้นจริงจนทำให้สายไฟไหม้

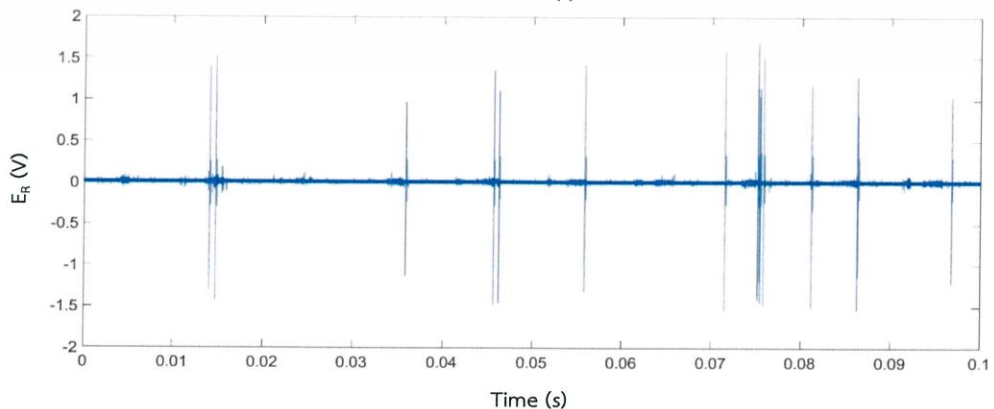
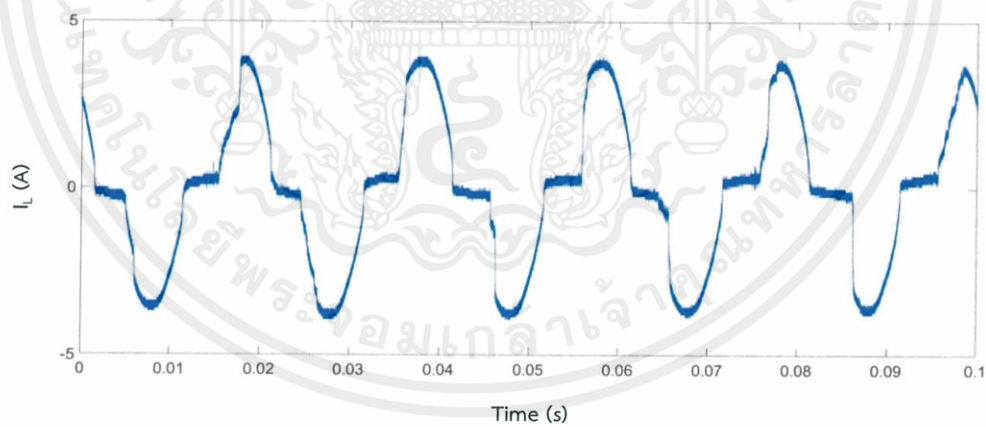
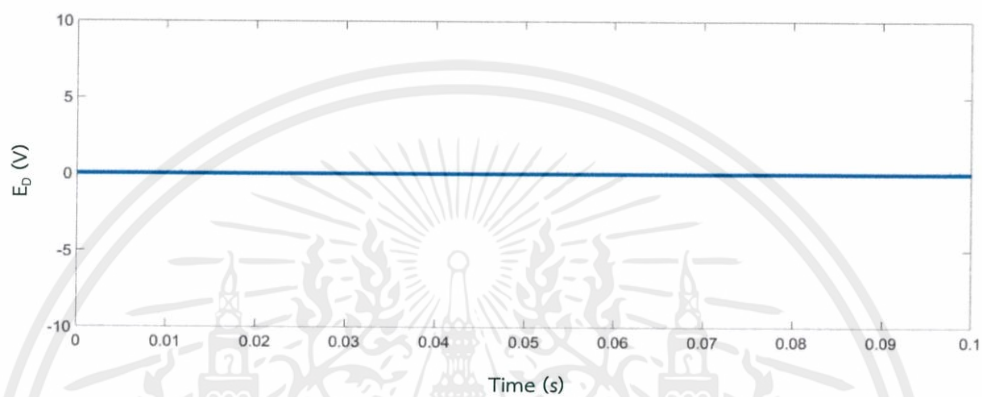
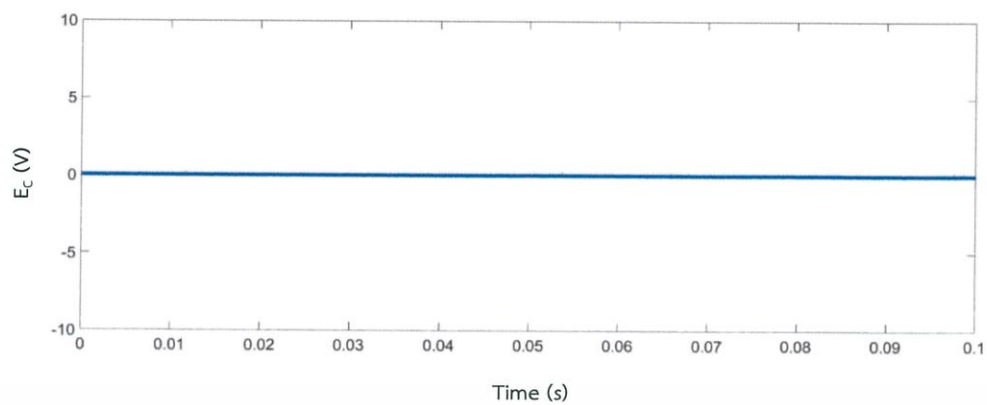


รูปที่ 4.37 วงจรทดสอบกับสาย Steel armored Cable ระยะ 30 เมตร [4]

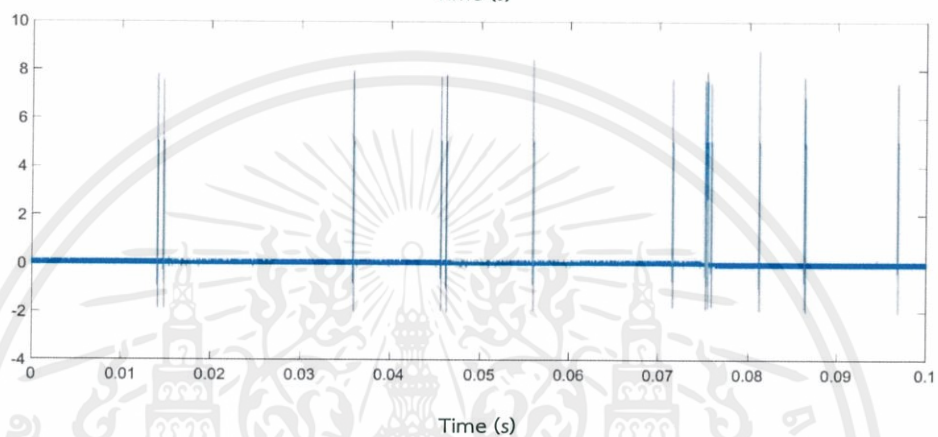
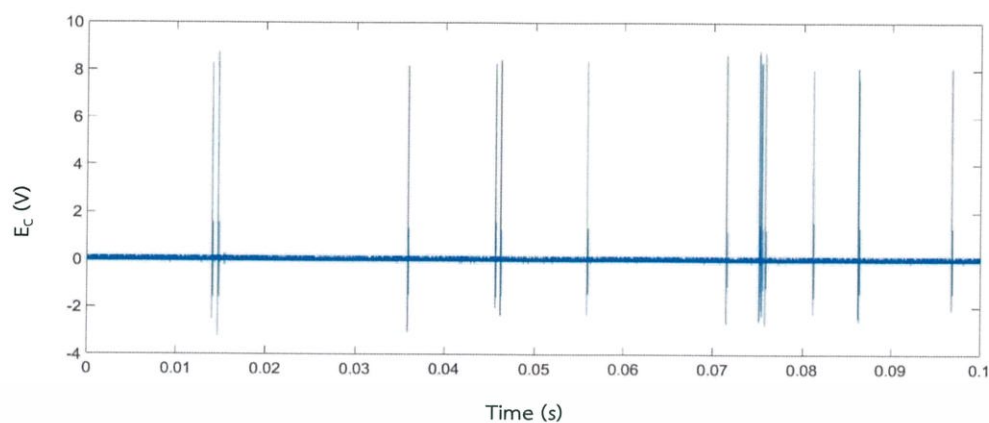
โดยโหนดที่ทำการทดลองคือโหนดประเภทตัวต้านทาน(หลอดเผาไส้) ขนาดกระแส 2.5 A ผลการทดลองการทำงานของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์กับ Steel armored Cable



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 4.38 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟลลต์แบบอนุกรมกับ Steel armored Cable และ Cable Specimen ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟลลต์

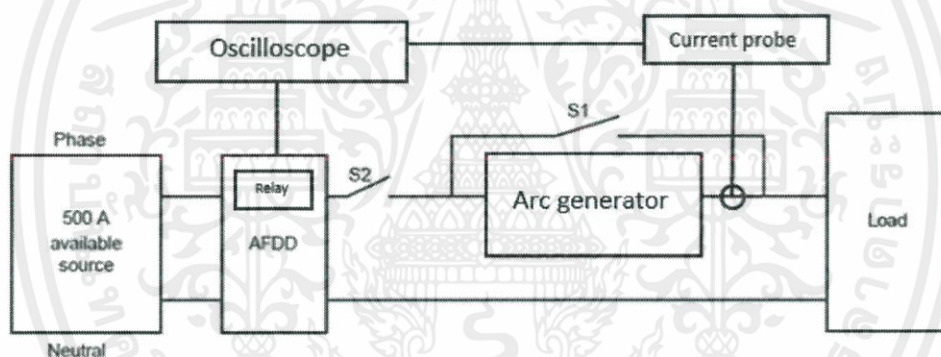
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ความไวในการปลดวงจรของอุปกรณ์ตรวจจับอาร์คแบบอนุกรม

อุปกรณ์ตัดวงจรที่ใช้ในการทดลองนี้ คือรีเลย์รุ่น SLA-05VDC-SL-C รับคำสั่งมาจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่ปลดวงจร เมื่อเกิดอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมขึ้น โดยเมื่อเกิดอาร์ค อุปกรณ์ตรวจจับอาร์คแบบอนุกรมจะต้องปลดวงจรภายในระยะเวลา 2.5 เท่าของเวลาในตารางที่ 4.1 กรณีใช้เครื่องกำเนิดอาร์ค และปลดวงจรภายในระยะเวลาในตารางที่ 4.1 กรณีใช้ Cable specimen ตารางที่ 4.1 แสดงเวลาที่ AFDD ต้องสั่งอุปกรณ์ตัดวงจรเพื่อปลดวงจร โดยมีแรงดัน 230 V

Test arc current (r.m.s. values)	2.5 A	5A	10 A	16 A	32 A	63 A
Maximum break time	1s	0,5 s	0,25 s	0,15 s	0,12s	0,12 s

4.8 การทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อใช้เครื่องกำเนิดอาร์ค

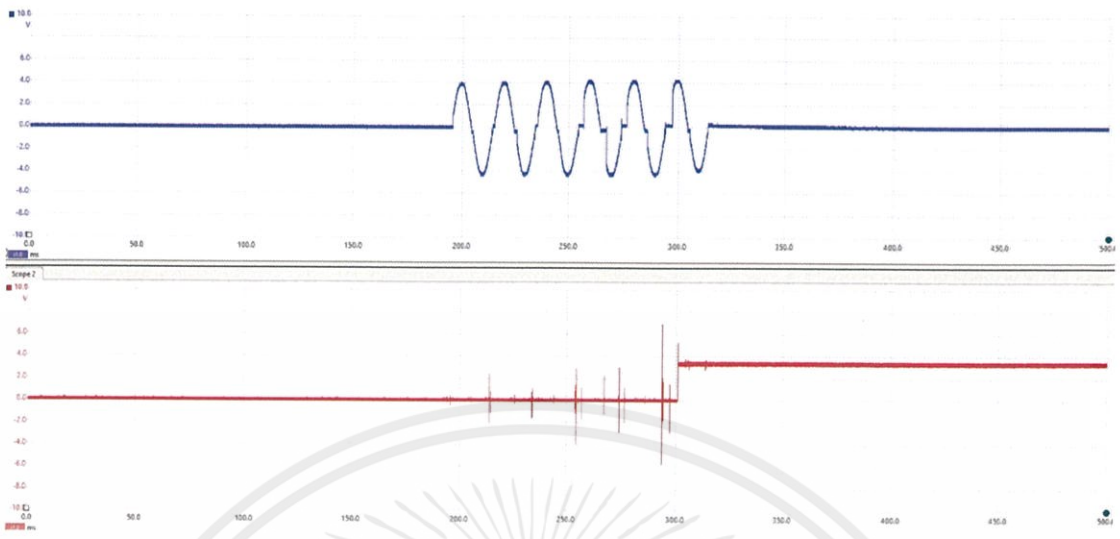


รูปที่ 4.39 วงจรทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อใช้เครื่องกำเนิดอาร์ค

โหลดที่ใช้ในการทดลองนี้จะประกอบไปด้วย

1. โหลดประเภทตัวต้านทานขนาด 2.5 A และ 8 A
2. โหลดประเภทมอเตอร์ คือ สว่านไฟฟ้า และเครื่องดูดฝุ่น
3. โหลดประเภทตัวต้านทานที่ทำงานร่วมกับสวิตซ์หรี่ไฟขนาด 600 W
4. โหลดประเภทตัวต้านทาน(หลอดเผาไส้) ที่ขนาดกระแส 5 A และหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 40 W 2 หลอด

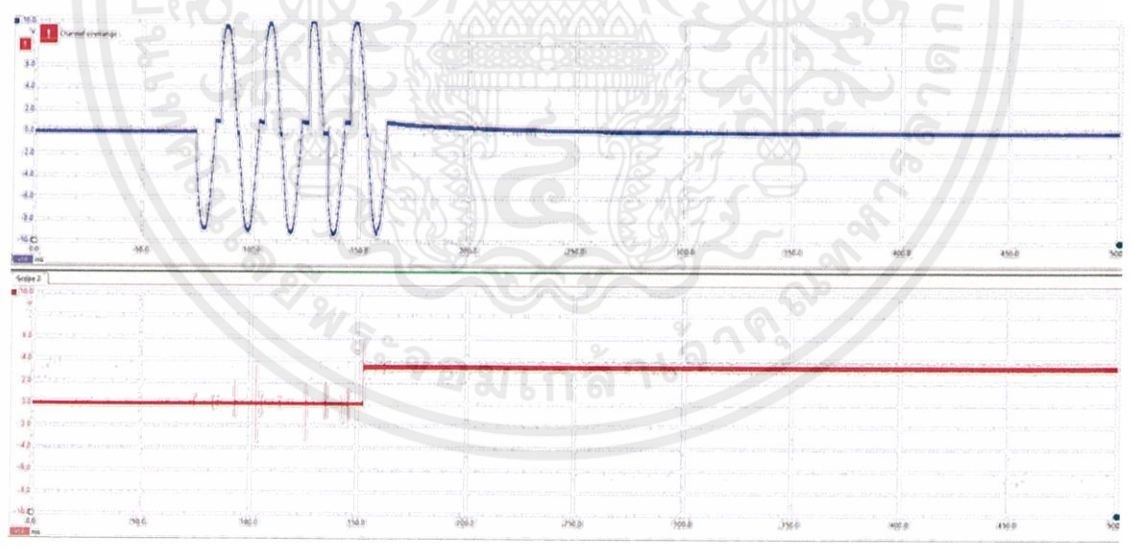
ผลการทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อต่อโหลดความต้านทานขนาด 2.5 A



รูปที่ 4.40 สัญญาณกระแสไหลจาก Current probe (บน) และสัญญาณจากรีเลย์ (ล่าง) เมื่อต่อโหลดความต้านทานขนาด 2.5 A

พบว่า AFDD ทำการปลดวงจรโดยใช้เวลาประมาณ 120 ms

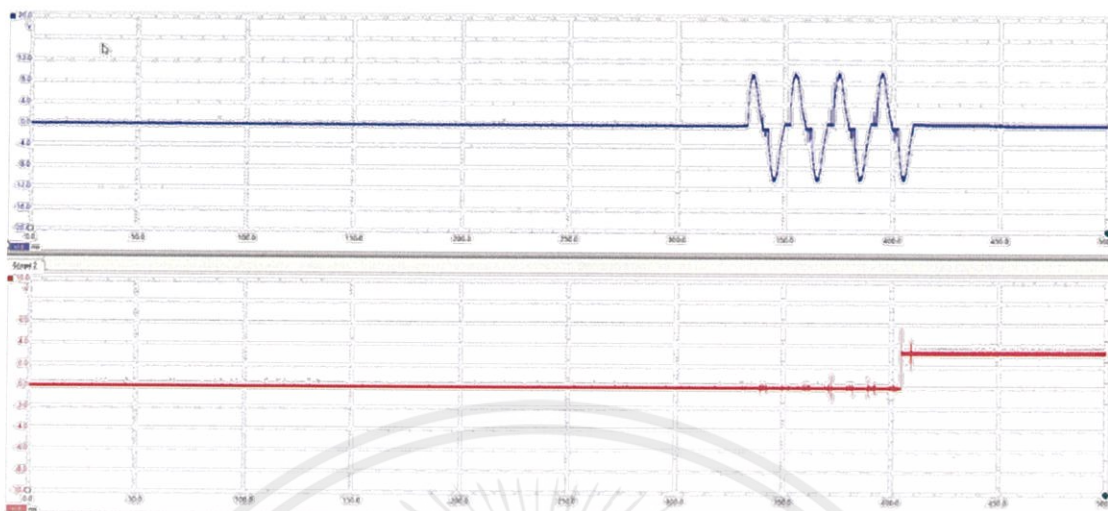
ผลการทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อต่อโหลดความต้านทานขนาด 8 A



รูปที่ 4.41 สัญญาณกระแสไหลจาก Current probe (บน) และสัญญาณจากรีเลย์ (ล่าง) เมื่อต่อโหลดความต้านทานขนาด 8 A

พบว่า AFDD ทำการปลดวงจรโดยใช้เวลาประมาณ 90 ms

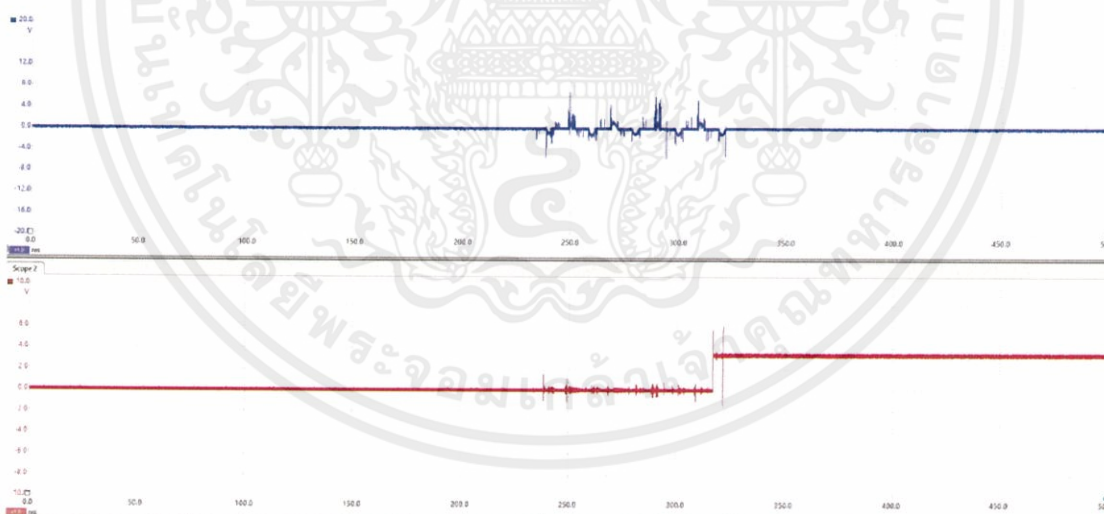
ผลการทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อต่อโหลดประเภทมอเตอร์ (เครื่องดูดฝุ่น)



รูปที่ 4.42 สัญญาณกระแสไหลจาก Current probe (บน) และสัญญาณจากรีเลย์ (ล่าง) เมื่อต่อโหลดประเภทมอเตอร์ (เครื่องดูดฝุ่น)

พบว่า AFDD ทำการปลดวงจรโดยใช้เวลาประมาณ 80 ms

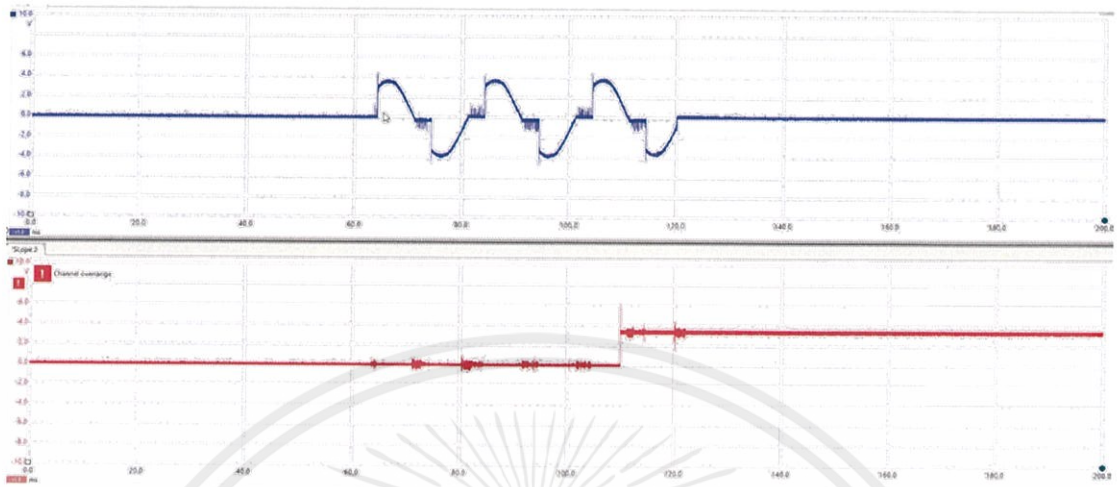
ผลการทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อต่อโหลดประเภทมอเตอร์ (ส่วนไฟฟ้า)



รูปที่ 4.43 สัญญาณกระแสไหลจาก Current probe (บน) และสัญญาณจากรีเลย์ (ล่าง) เมื่อต่อโหลดประเภทมอเตอร์ (ส่วนไฟฟ้า)

พบว่า AFDD ทำการปลดวงจรโดยใช้เวลาประมาณ 80 ms

ผลการทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อต่อโหลดประเภทตัวต้านทานที่ เปิด-ปิดด้วยสวิตซ์รีไฟ
มุ่มจุดชนวน 60 องศา

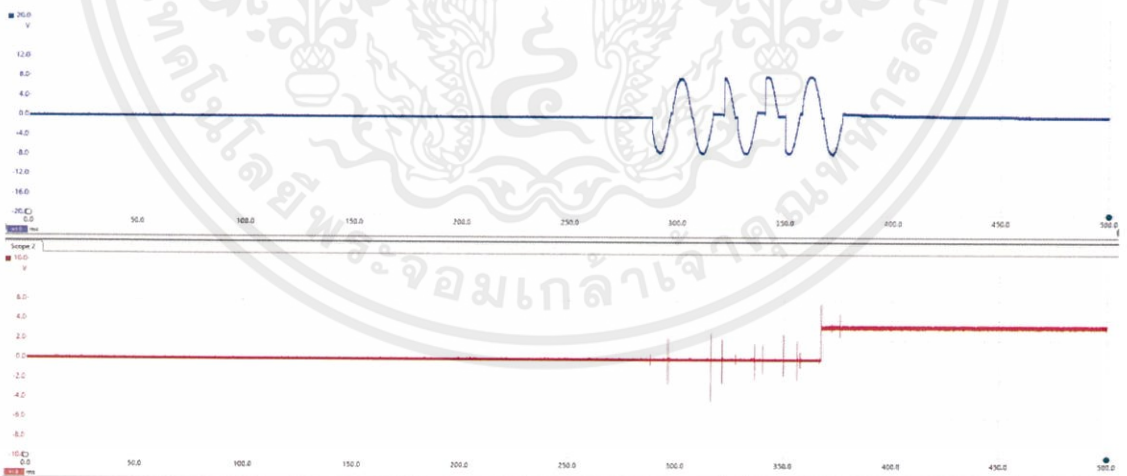


รูปที่ 4.44 สัญญาณกระแสไหลจาก Current probe (บน) และสัญญาณจากรีเลย์ (ล่าง)

เมื่อต่อโหลดประเภทตัวต้านทานที่ เปิด-ปิดด้วยสวิตซ์รีไฟ มุ่มจุดชนวน 60 องศา

พบว่า AFDD ทำการปลดวงจรโดยใช้เวลาประมาณ 50 ms

ผลการทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อต่อโหลดหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 40 W 2 หลอด และ
โหลดตัวต้านทาน 5 A



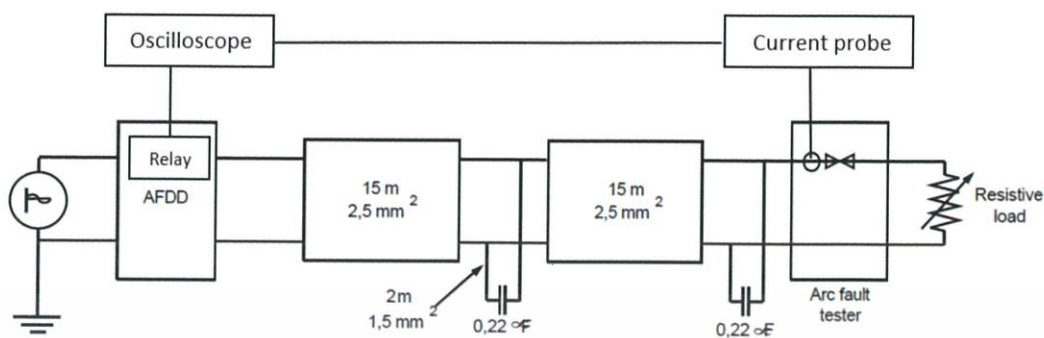
รูปที่ 4.45 สัญญาณกระแสไหลจาก Current probe (บน) และสัญญาณจากรีเลย์ (ล่าง)

เมื่อต่อโหลดหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 40 W 2 หลอด และโหลดตัวต้านทาน 5 A

พบว่า AFDD ทำการปลดวงจรโดยใช้เวลาประมาณ 90 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

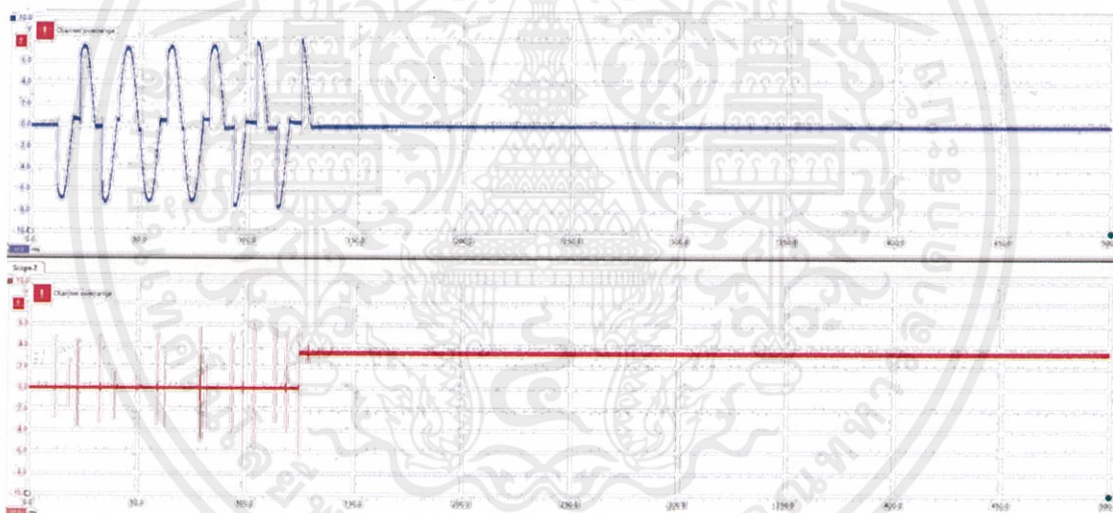
4.9 การทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อวงจรมี EMI filter



รูปที่ 4.46 วงจรทดสอบความไวในการปลดวงจรเมื่อวงจรมี EMI filter

4.9.1 การทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อใช้เครื่องกำเนิดอาร์ค เมื่อวงจรมี EMI Filter

ผลการทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อต่อโหลดความต้านทานขนาด 5 A

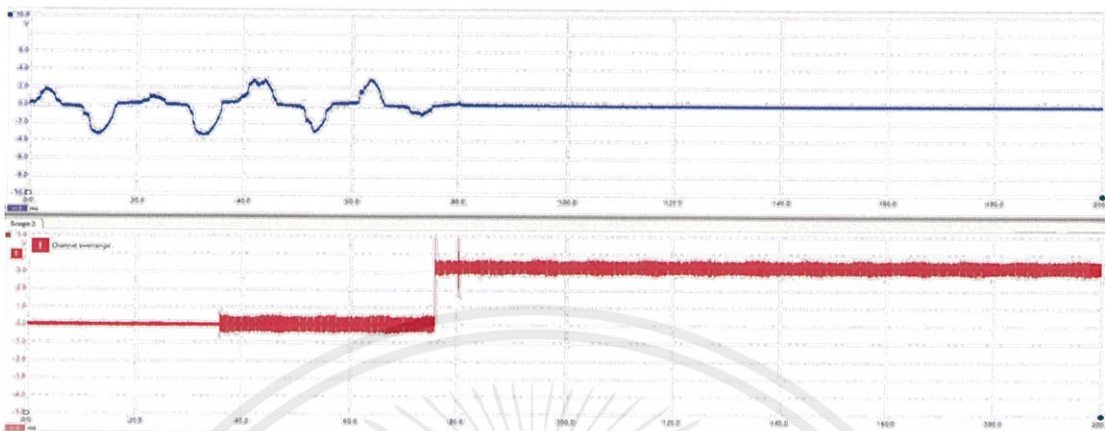


รูปที่ 4.47 สัญญาณกระแสไหลออกจาก Current probe (บน) และสัญญาณจากรีเลย์ (ล่าง)
เมื่อต่อโหลดความต้านทานขนาด 5 A

พบว่า AFDD ทำการปลดวงจรโดยใช้เวลาประมาณ 120 ms

4.9.2 การทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อใช้ Cable Specimen และมี EMI Filter

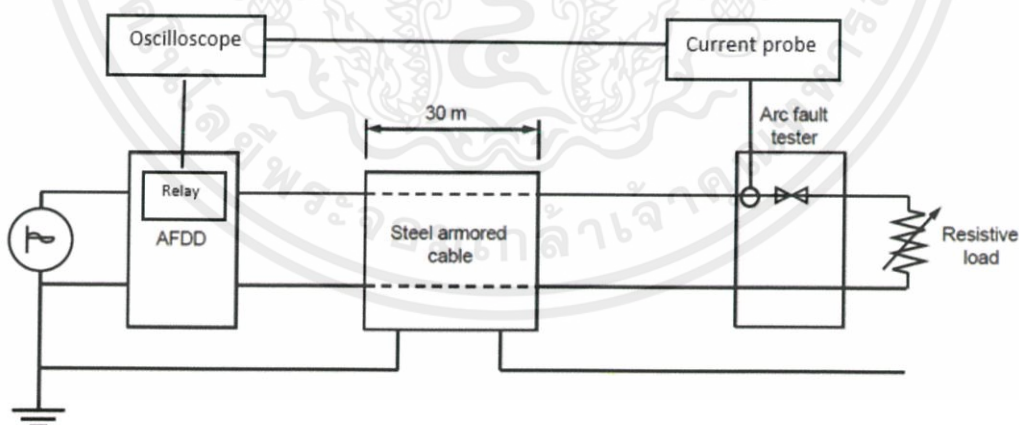
ผลการทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อต่อโหลดความต้านทานขนาด 2.5 A



รูปที่ 4.48 สัญญาณกระแสไหลจาก Current probe (บน) และสัญญาณจากรีเลย์ (ล่าง)
เมื่อใช้ Cable Specimen และมี EMI Filter ต่อโหลดความต้านทานขนาด 2.5 A

พบว่า AFDD ทำการปลดวงจรโดยใช้เวลาประมาณ 100 ms

4.10 การทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อใช้สาย Steel armored cable ระยะ 30 เมตร

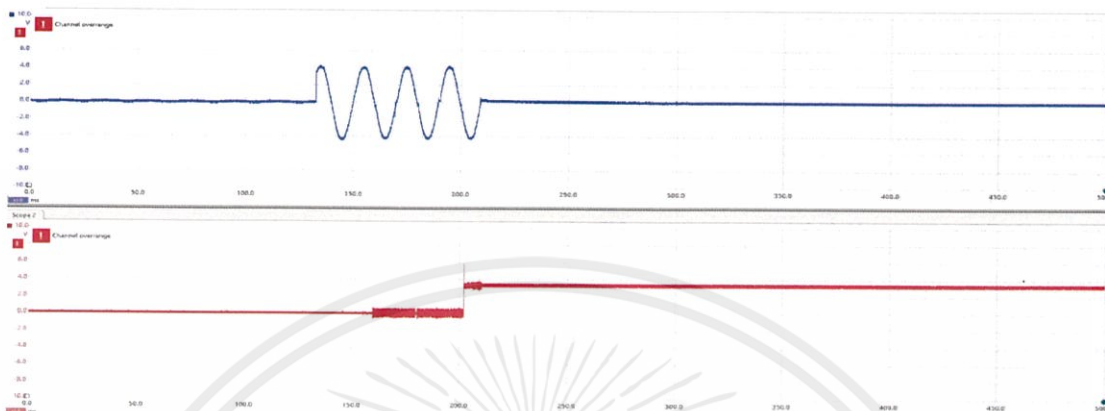


รูปที่ 4.49 วงจรทดสอบความไวในการปลดวงจรเมื่อใช้สาย Steel armored cable ระยะ 30 เมตร

4.10.1 การทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อใช้เครื่องกำเนิดอาร์ค ด้วยสาย

Steel armored Cable ระยะ 30 เมตร

ผลการทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อต่อโหลดความต้านทานขนาด 5 A



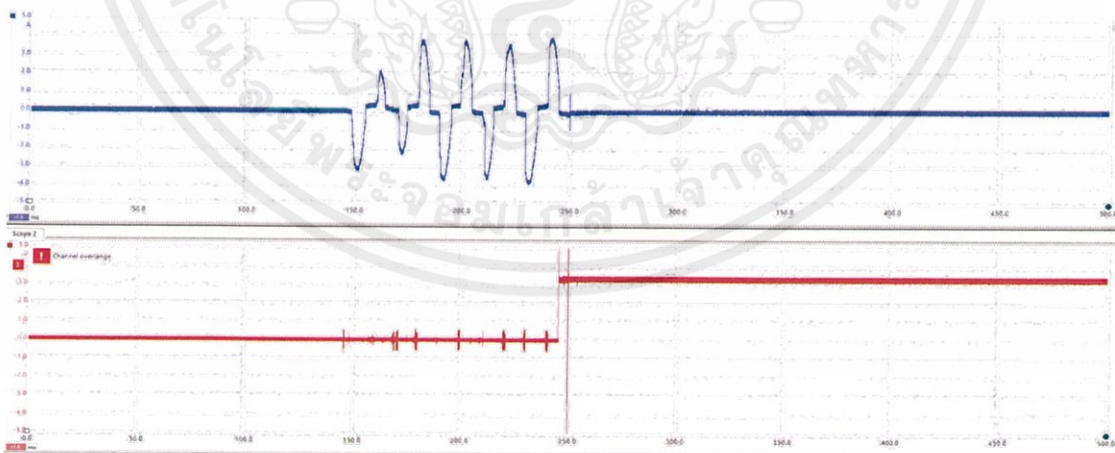
รูปที่ 4.50 สัญญาณกระแสไหลจาก Current probe (บน) และสัญญาณจากรีเลย์ (ล่าง)
ต่อโหลดความต้านทานขนาด 5 A

พบว่า AFDD ทำการปลดวงจรโดยใช้เวลาประมาณ 80 ms

4.10.2 การทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อใช้ Cable Specimen ด้วยสาย

Steel armored Cable ระยะ 30 เมตร

ผลการทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อต่อโหลดความต้านทานขนาด 2.5

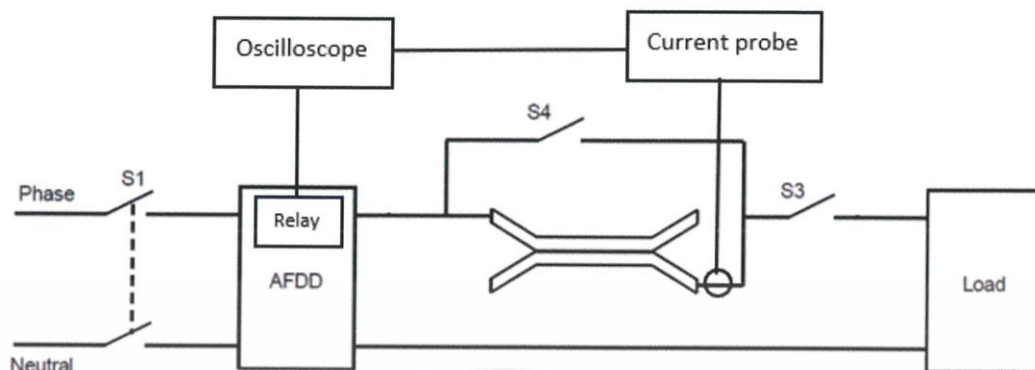


รูปที่ 4.51 สัญญาณกระแสไหลจาก Current probe (บน) และสัญญาณจากรีเลย์ (ล่าง)
ต่อโหลดความต้านทานขนาด 2.5

พบว่า AFDD ทำการปลดวงจรโดยใช้เวลาประมาณ 100 ms

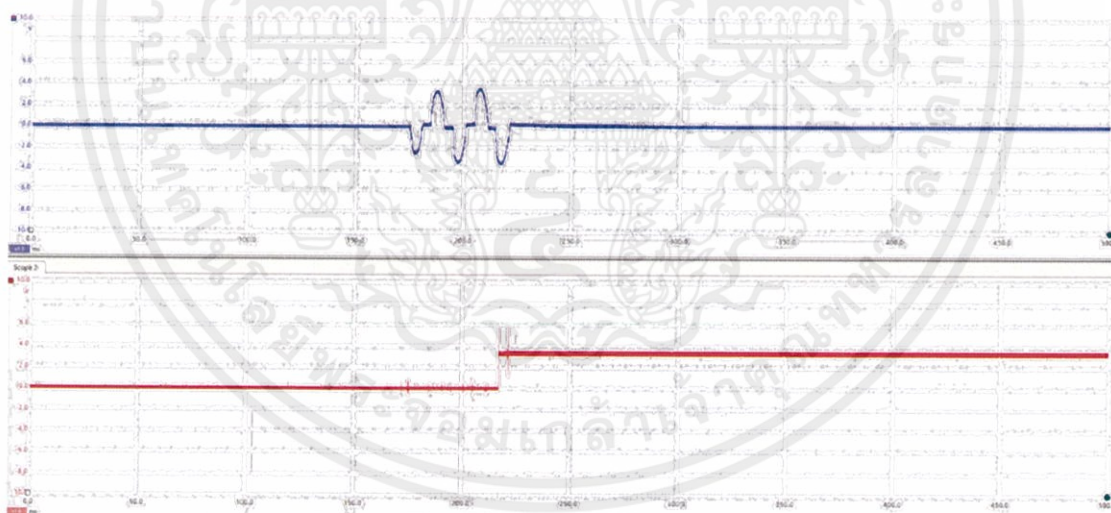
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.11 การทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อใช้ Cable specimen



รูปที่ 4.52 วงจรทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อใช้ Cable specimen

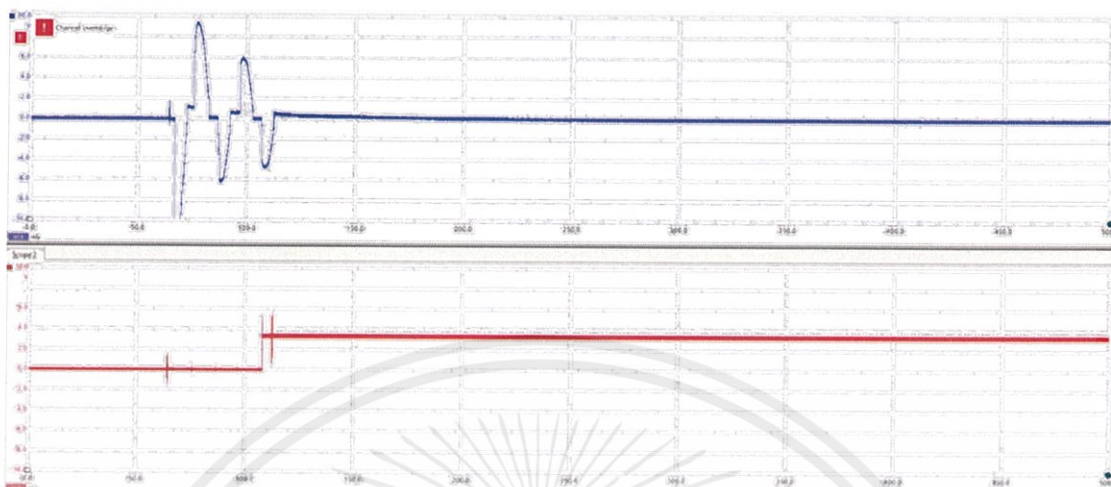
4.11.1 ผลการทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อต่อโหลดความต้านทานขนาด 2.5 A กรณีเมื่อ S1 S4 S3 ปิดอยู่แล้วเปิด S4



รูปที่ 4.53 สัญญาณกระแสไหลจาก Current probe (บน) และสัญญาณจากรีเลย์ (ล่าง) ต่อโหลดความต้านทานขนาด 2.5 A

พบว่า AFDD ทำการปลดวงจรโดยใช้เวลาประมาณ 50 ms

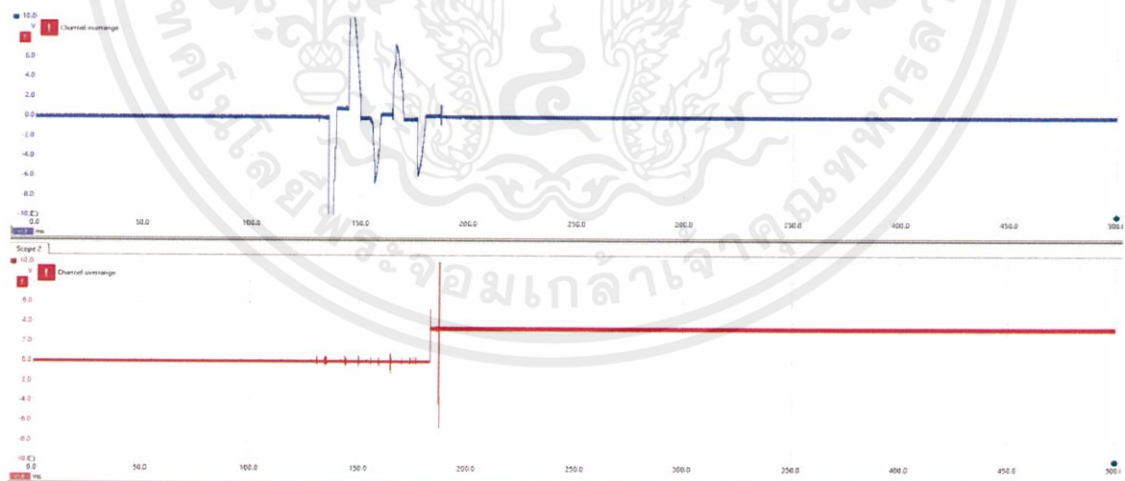
4.11.2 ผลการทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อต่อโหลดความต้านทานขนาด 2.5 A กรณีเมื่อ S1 S4 ปิดและ S3 เปิดอยู่ แล้วปิด S4



รูปที่ 4.54 สัญญาณกระแสไหลจาก Current probe (บน) และสัญญาณจากรีเลย์ (ล่าง) เมื่อต่อโหลดความต้านทานขนาด 2.5 A

พบว่า AFDD ทำการปลดวงจรโดยใช้เวลาประมาณ 50 ms

4.11.3 ผลการทดลองความไวในการปลดวงจรเมื่อต่อโหลดความต้านทานขนาด 2.5 A กรณีเมื่อ S1 S4 เปิด และ S3 ปิดอยู่ แล้วปิด S1

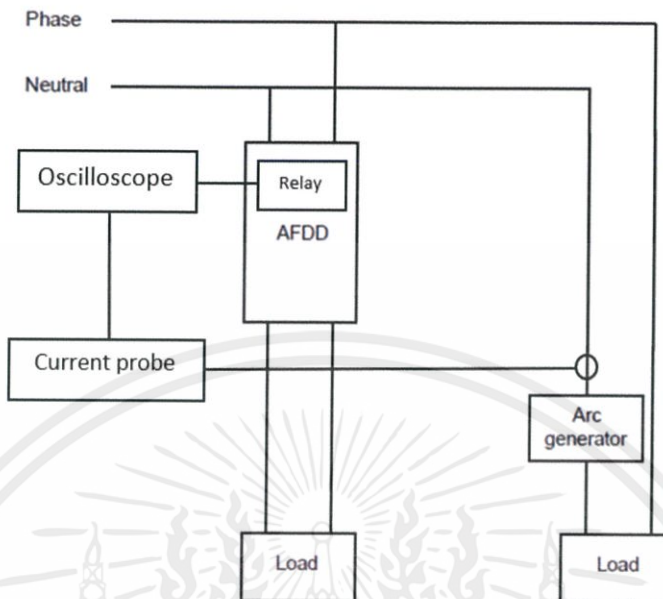


รูปที่ 4.55 สัญญาณกระแสไหลจาก Current probe (บน) และสัญญาณจากรีเลย์ (ล่าง) เมื่อต่อโหลดความต้านทานขนาด 2.5 A

พบว่า AFDD ทำการปลดวงจรโดยใช้เวลาประมาณ 50 ms

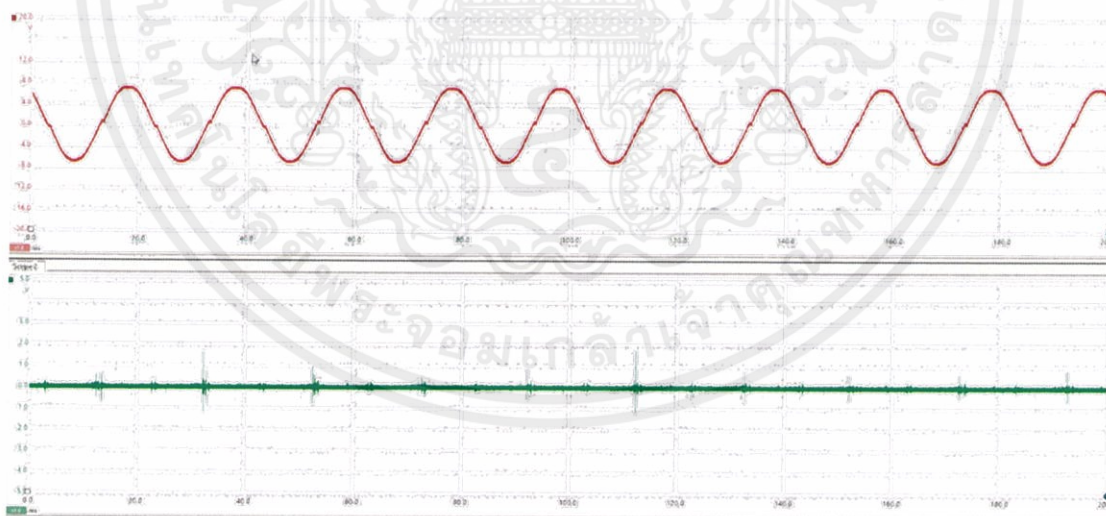
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.12 การทดลองที่ไม่ต้องการให้อุปกรณ์ตรวจจับอาร์คปลดวงจร



รูปที่ 4.56 วงจรทดสอบที่ไม่ต้องการให้อุปกรณ์ตรวจจับอาร์คปลดวงจร

ผลการทดลองไม่ต้องการให้อุปกรณ์ตรวจจับอาร์คปลดวงจร โหลดตัวต้านทานขนาด 5A



รูปที่ 4.57 สัญญาณกระแสไหลตจาก Current probe (บน) และสัญญาณจากรีเลย์ (ล่าง)

เมื่อต่อโหลดตัวต้านทานขนาด 5A

พบว่า AFDD ไม่ปลดวงจร

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการนี้ได้ดำเนินการแล้วเสร็จบรรลุตามเป้าหมายที่ได้กล่าวไว้คือ สามารถออกแบบวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์และจำลองการเกิดอาร์คฟอลต์ที่มีอยู่ในชีวิตประจำวัน รวมถึงใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสั่งอุปกรณ์ตัดวงจรในที่นี้คือรีเลย์ SLA-05VDC-SL-C ได้ ในส่วนของการทดสอบการเกิดอาร์คฟอลต์ ทำการต่อวงจรทดสอบอาร์คฟอลต์ตามมาตรฐาน IEC62606 โดยได้มีการใช้สายไฟชนิด IEC01-6 mm² ในการเดินวงจรไฟฟ้าระยะทาง 30 m โดยแบ่งเป็นระยะ 15 m, 30 m และอีกวงจรทดสอบได้ใช้สายไฟชนิด CVW-S 2x2.5 mm² แบบมีชีลด์ ในการเดินวงจรไฟฟ้าระยะทาง 30 m นำขดลวดโรกอฟสกีจำนวน 400 รอบมาคล้องกับสายไฟ เพื่อส่งค่าไปยัง PICOSCOPE รุ่น 6404D และมีการใช้ Current Probe รุ่น FLUKE 80i-110s ในการวัดกระแสที่เกิดขึ้นในวงจร ค่าที่ได้จาก PICOSCOPE จะถูกกรองสัญญาณโดย EL5712 และจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับ TLV3502

ผลการทดลองจากวงจรตรวจจับกระแสอาร์คฟอลต์ ในสภาวะปกติสัญญาณที่ได้จากวงจรกรองสัญญาณรบกวนและวงจร Comparator กราฟกระแสจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง แต่เมื่อลักษณะของกราฟกระแสเปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยแอมพลิจูดของกระแสจะอยู่ที่ 0.1 V และ -0.1 V ถ้ากราฟในวงจร Differential ที่ได้มีค่าเกินนี้ แสดงว่ามีอาร์คเกิดขึ้นในวงจรมานั้น สัญญาณที่ได้จากวงจร Comparator นี้ จะถูกส่งไปที่ SN74LVC1G123 สำหรับขยายสัญญาณเพื่อนำไปประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32 โดยเป็นการเช็คสัญญาณ Retriggerable เทียบกับสัญญาณ Zero Crossing ว่าถ้ามีสัญญาณ Retriggerable เกิดขึ้นระหว่างช่วง Zero Crossing ติดกัน 5 คาบ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้รีเลย์ตัดวงจรได้อย่างรวดเร็วตามตารางที่ 3.1 จะเห็นว่าผลการทดลองของการตรวจจับและป้องกันอาร์คฟอลต์นี้มีความน่าเชื่อถือ โดยสามารถตรวจจับอาร์คฟอลต์ได้ไม่ผิดพลาดโดยที่ไม่ขึ้นกับขนาดของกระแส ประเภทของโหลด และตำแหน่งที่เกิดอาร์คฟอลต์อีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการที่ได้ทำโครงการนี้ ทางกลุ่มสมาชิกพบว่ามีปัญหา และข้อเสนอแนะในการทำโครงการหลายอย่าง ดังนี้

- 5.2.1. เนื่องจากการทำโครงการนี้มีสมาชิกทั้งหมด 4 คน ทำให้ในบางครั้งมีความคิดเห็นและเวลาทำงานไม่ตรงกัน ส่งผลให้การสื่อสารหรือปฏิบัติงานมีปัญหาในบางครั้ง
- 5.2.2. ในตอนทำ Cable Specimen พบว่ามีความแตกต่างกันในแต่ละสาย บางทีก็เกิดไฟก็ลุกไหม้ในตอนบ่ม หรือไม่ก็ไม่ได้เกิดอะไรขึ้นเลยตอนบ่ม ส่งผลให้ใช้ในการทดลองไม่ได้ ทำให้ต้องเตรียมสายที่ใช้ในการทดลองมาเพื่อเป็นจำนวนมาก
- 5.2.3. ปัญหาในส่วนผลการทดลองที่เป็นกราฟ กราฟที่ได้มีลักษณะไม่เหมือนกับที่คาดการณ์ไว้ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในวงจรมีขนาดเล็กทำให้เวลาบัดกรีอาจจะผิดพลาด ส่งผลทำให้กราฟผิดเพี้ยนไปจากที่คาดการณ์ไว้

5.3 แนวทางการพัฒนา

โครงการนี้สามารถทำการพัฒนาต่อยอดและเพิ่มความสามารถในการทำงานได้มากขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดอาร์คฟอลต์ ดังนี้

- 5.3.1. ตรวจสอบอาร์คแบบขนานที่มีลักษณะคล้ายกับการเกิดไฟฟ้าลัดวงจร ซึ่งตรวจสอบยากและมีความรุนแรงมากกว่าอาร์คแบบอนุกรม
- 5.3.2. ทดลองกับโหลดหลายๆประเภทภายในที่พักอาศัยนอกเหนือจากที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน IEC62606 โดยเฉพาะโหลดที่ไม่ได้ใช้เต้ารับอย่างเช่น แอร์ เครื่องทำน้ำอุ่น ฯลฯ
- 5.3.3. ตรวจสอบอาร์คในระยะที่ไกลขึ้นกว่าเดิม เพื่อให้ครอบคลุมในหลายๆสถานที่นอกเหนือจากในที่อยู่อาศัย เช่น ห้างสรรพสินค้า ที่มีระยะในแต่ละวงจรร้อยยาว
- 5.3.4. ทำการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์หรือเว็บไซต์เมื่อเกิดอาร์คฟอลต์ขึ้นสามารถส่งข้อมูลไปเก็บสถิติได้ง่ายและปลอดภัยขึ้น โดยที่ไม่ต้องรอให้เกิดอาร์คฟอลต์จนทำให้เกิดอัคคีภัยแล้วค่อยมานับสถิติทีหลัง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Carlos E. Restrepo, "Arc Fault Detection and Discrimination Methods," *Electrical Contacts – 2007 Proceedings of the 53rd IEEE Holm Conference on Electrical Contacts*, Pittsburgh, PA, 2007, pp. 115-12.
- [2] "Home Electrical Fires," 4 February 2015, Electrical Safety Foundation International (ESFI), [Online] Available : https://www.esfi.org/resource/home-electrical-fires-184?fbclid=IwAR0UTFujhBUCzvQX2mlipZGqLreSTU912MRe9u6oqAO2lu5q_GACXzKblhE
- [3] BEAMA, "CAUSES OF SERIES AND PARALLEL ARC FAULTS." *GUIDE TO ARC FAULT DETECTION DEVICES (AFDD)*, 2017, pp. 10-11.
- [4] IEC 62606 International Standard, General requirements for arc fault detection devices
- [5] Energy Management Siemensstr, "5SM6 AFD units Technology Primer," 2016, pp. 16-17
- [6] M. Argueso, G. Robles, J. Sanz, "Measurement of high frequency currents with a Rogowski coil"
- [7] Vytenis Babrauskas, "MECHANISMS AND MODES FOR IGNITION OF LOW-VOLTAGE PVC WIRES, CABLES, AND CORDS," *Fire & Materials 2005*, 2005, pp. 291-309
- [8] Gerard Healy, Glenn Roemer, "Arc Fault Detection Using Rogowski Coils," *PCIM Europe 2014; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management*

- [9] เอกบุรินทร์ ศรีตรัย, “การตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมแรงดันต่ำโดยใช้ขดลวดโรกอฟสกี,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2559



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
บทความทางวิชาการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ตรวจจับอาร์คฟอลต์ Arc Fault Detection Device

แบงศ์ชาติ แยมเกตุ, พลภัทร ภักดีโยธิน, พลาธิป สิทธิศักดิ์ และศรัณยูทร ไชยมงคล

ดร. สมภพ ผลไม้

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ : 02-329-8203 E-Mail : registrar@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนออุปกรณ์ตรวจจับอาร์คฟอลต์ (AFDD) เพื่อที่จะตรวจจับและป้องกันอาร์คที่เป็นอันตรายหรือที่เป็นที่รู้จักในชื่อ “อาร์คฟอลต์” ในวงจรไฟฟ้า ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดอัคคีภัยภายในที่อยู่อาศัย อาร์คถูกแบ่งเป็น อาร์คที่ไม่เป็นอันตราย และอาร์คที่เป็นอันตราย ในโครงการนี้ ขดลวดโรกอฟสกีถูกนำมาใช้ในการรับสัญญาณอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแส ในการวิเคราะห์เพื่อที่จะตรวจจับอาร์ค ซึ่งเป็นสัญญาณความถี่สูงในย่าน MHz สำหรับการทดลอง โครงการนี้ได้แบ่งการทดสอบในสภาวะที่แตกต่างกัน ซึ่งก็คือสภาวะปกติกับสภาวะที่เกิดอาร์คในกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ขณะที่อาร์คฟอลต์เกิดขึ้น อุปกรณ์ตรวจจับอาร์คฟอลต์สามารถตรวจจับอาร์คฟอลต์ ส่งสัญญาณไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมรีเลย์ในการสั่งตัดวงจรก่อนที่จะเกิดอัคคีภัยจะเกิดขึ้น

Abstract

This project presents Arc Fault Detection Device (AFDD) to detecting and protecting hazardous arc also known as "Arc Fault" in an electric circuit, which is a cause of the electrical fire in the household. Arc can be divided into a non-hazardous arc and a hazardous arc. In this project, Rogowski coil is used to receive the derivative of the current signal to analyze for detecting arc fault, which is a high frequencies signal in MHz range. For the experiment, this project have divided the test into different conditions those are normal condition and arc condition in various load. When the arc fault is occurring, AFDD can detect the arc fault and send the signal to a microcontroller for control relay to open circuit before the electrical fire occurs.

1.บทนำ

ในปัจจุบัน สาเหตุหลักๆที่สำคัญของการเกิดเพลิงไหม้ในครัวเรือน นั้นมีสาเหตุมาจากการเกิดกระแสลัดวงจร และอีกหนึ่งสาเหตุที่หลายคนอาจไม่รู้ นั่นคือการเกิดอาร์ค(Arc) โดยอาร์คนั้นถูกให้คำนิยามภายใต้มาตรฐาน UL1699 และ IEC62606 ว่า “การดิซซาร์จที่ส่องสว่างของไฟฟ้าผ่านตัวกลางที่เป็นฉนวน ซึ่งโดยปกติจะมาพร้อมความเสียหายบางส่วนที่ขั้วไฟฟ้า” ชนิดของอาร์คนั้นถูกแบ่งเป็น 2 ประเภท ก็คือ สภาวะอาร์คปกติที่ไม่เป็นอันตราย และอีกประเภทคือ สภาวะอาร์คที่เป็นอันตราย ซึ่งก็คือ อาร์คฟอลต์(Arc Fault) ซึ่งถือว่าเป็น “สภาวะการอาร์คที่ไม่ได้ต้องการให้เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้า”[1] ความรุนแรงของอาร์คจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุปกรณ์ถูกใช้งานอย่างหนักและเริ่มที่จะเสื่อมสภาพ โดยอาร์คฟอลต์นั้นจะเกิดได้ง่ายขึ้นและมีความรุนแรงกว่าเดิมจนนำไปสู่การเกิดไฟลุกไหม้ในวัสดุที่ติดไฟได้หรือก๊าซไวไฟที่มีอยู่ในขณะที่กำลังเกิดอาร์คฟอลต์ขึ้น

ดังนั้น อุปกรณ์ Arc Fault Detection Device จะต้องมีความสามารถในการตรวจจับและยับยั้งอาร์คฟอลต์ที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โครงการนี้จะนำเสนออุปกรณ์ที่มีการออกแบบให้ตรวจจับการเกิดอาร์คฟอลต์ และสั่งให้อุปกรณ์ตัดวงจรตัดกระแสออกจากวงจรเมื่อเกิดสภาวะอาร์คฟอลต์ที่นานพอที่จะทำให้เริ่มเกิดอันตรายซึ่งก็คือการเกิดเพลิงไหม้ได้

2.ทฤษฎี

2.1.ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของอาร์คฟอลต์

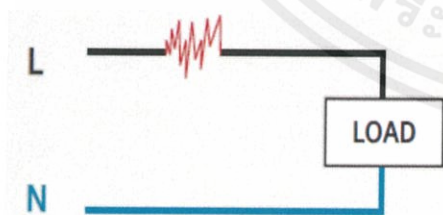
“อาร์ค”นั้นถูกให้คำนิยามภายใต้มาตรฐาน UL1699 และ IEC62606 ว่า “การดิซซาร์จที่ส่องสว่างของไฟฟ้าผ่านตัวกลางที่เป็นฉนวน ซึ่งโดยปกติแล้วจะมาพร้อมความเสียหายบางส่วนที่ขั้วไฟฟ้า” ชนิดของอาร์คนั้นถูกแบ่งเป็น 2 ประเภท ก็คือ สภาวะอาร์คปกติที่เกิดจากการทำงานของอุปกรณ์ประเภทมอเตอร์ ที่มีแปรงถ่านและรีเลย์ เช่น สว่านไฟฟ้าและเครื่องดูดฝุ่น เป็นต้น ซึ่งการเกิดอาร์คในสภาวะปกตินี้จะสามารถสังเกตเห็นประกายไฟขนาดเล็กที่เกิดขึ้นซ้ำ

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

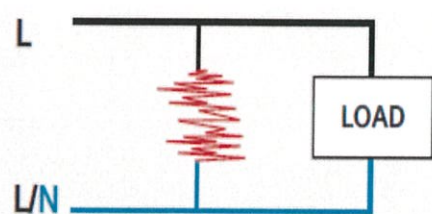
ไปเข้ามาได้ และอีกประเภทคือ สภาวะอาร์คที่เป็นอันตราย ซึ่งก็คือ อาร์คฟอลต์(Arc Fault)

เครื่องใช้ไฟฟ้าส่วนใหญ่ในปัจจุบัน ยังใช้สายไฟในการเป็นตัวกลางในการนำไฟฟ้า เนื่องจากการใช้งานของผู้ใช้งานทั่วไปที่ไม่ทันสังเกตอาจจะทำให้สายไฟเกิดการกดทับหรือหนีบที่จุดประาะบางของสายไฟแล้วทำให้เกิดรอยฉีกขาด ขาด ขำรุดของสายไฟจนเกิดการบิดงอของสายไฟและฉนวน หรืออาจเกิดจากการใช้งานเป็นระยะเวลานานโดยไม่ได้รับการบำรุงรักษา และความเครียดจากการดึงรวมทั้งการเชื่อมต่อที่ไม่เหมาะสม ทำให้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ถูกใช้งานมีความเสียหายและอาจเกิดจากสภาพแวดล้อมด้วยอย่างเช่นความชื้นหรือสิ่งสกปรกระหว่างตัวนำ และฉนวนสายไฟอยู่ใกล้กับความร้อนและแสงอาทิตย์ สาเหตุต่างๆเหล่านี้ทำให้เกิดปรากฏการณ์อาร์คฟอลต์ได้ทั้งสิ้น

อาร์คฟอลต์ที่เกิดขึ้นภายในวงจรของที่อยู่อาศัยนั้นหลักๆ มี 2 ประเภท ซึ่งก็คืออาร์คฟอลต์แบบอนุกรม ซึ่งเป็นอาร์คที่เกิดจากการขาดของสายตัวนำในวงจรรย่อย โดยที่ขนาดและความอันตรายของการเกิดอาร์คฟอลต์ขึ้นอยู่กับขนาดของโหลดเป็นหลัก ขนาดของกระแสอาร์คฟอลต์จะถูกจำกัดด้วยความต้านทานของสายตัวนำและโหลดที่ต่อกับวงจรรย่อย โดยส่วนใหญ่ขนาดกระแสของอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมจะมีค่าประมาณ 5 A ขึ้นไป และอาร์คอีกชนิดก็คืออาร์คฟอลต์แบบขนาน ซึ่งเป็นอาร์คที่เกิดระหว่างสายตัวนำสองเส้น ขนาดและความอันตรายของการเกิดอาร์คฟอลต์ขึ้นอยู่กับขนาดของแหล่งจ่ายเป็นหลัก ขนาดของกระแสอาร์คฟอลต์จะถูกจำกัดด้วยความต้านทานของสายตัวนำและแหล่งจ่าย โดยส่วนใหญ่ขนาดกระแสของอาร์คฟอลต์แบบขนานจะมีค่าประมาณ 75 A ขึ้นไป



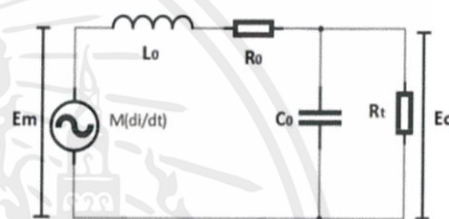
รูปที่ 1. การเกิดอาร์ค ฟอลต์แบบอนุกรม [2]



รูปที่ 2. การเกิดอาร์ค ฟอลต์แบบขนาน [2]

2.2.ทฤษฎีพื้นฐานของขดลวดโรกอสกี

ขดลวดโรกอสกี คือขดลวดที่ใช้วัดอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า การวัดกระแสด้วยขดลวดโรกอสกีจะใช้หลักการคล้ายคลึงกับของหม้อแปลงกระแสแบบพิเศษ ซึ่งหลักการคือ เมื่อนำขดลวดโรกอสกีไปคล้องล้อมรอบสายตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าที่ต้องการวัดไหลผ่าน เส้นฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านแท่งตัวนำจะไปเกี่ยวขดล้อง ผ่านขดลวดโรกอสกีและเมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแท่งตัวนำมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ก็จะส่งผลให้เส้นฟลักซ์แม่เหล็กที่คล้องผ่านขดลวดโรกอสกีนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงตามเวลาเช่นกัน ส่งผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นภายในขดลวดโรกอสกี โดยขดลวดโรกอสกีนั้น มีวงจรมุมมุลย์ตามรูปที่ 3.



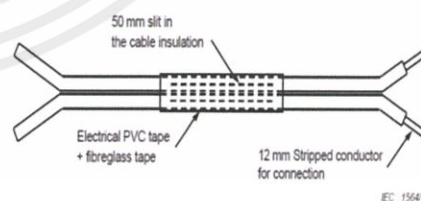
รูปที่ 3. วงจรสมมูลย์ของขดลวดโรกอสกี [3]

3.การจำลองการเกิดอาร์คฟอลต์

ในการจำลองการเกิดอาร์คฟอลต์ มีอุปกรณ์ที่สร้างสภาวะการเกิดอาร์คฟอลต์ได้แก่

3.1.Cable Specimen

ทำการบ่มสายไฟเพื่อจำลองสายไฟที่มีการชำรุดเสียหายจริงภายในที่อยู่อาศัย โดยอ้างอิงมาจากมาตรฐาน IEC6206 ใช้สายไฟที่มีตัวนำแบบคู่ โดยในโครงการนี้จะใช้สาย VAF 2x2.5 mm² ในการทดลอง

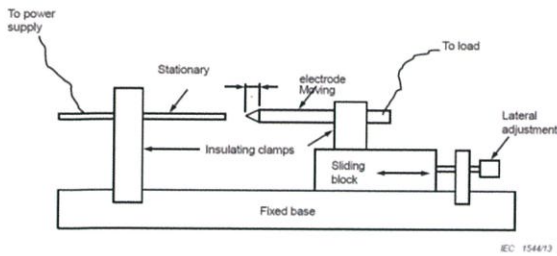


รูปที่ 4. การทำ Cable Specimen [4]

3.2.Arc Generator

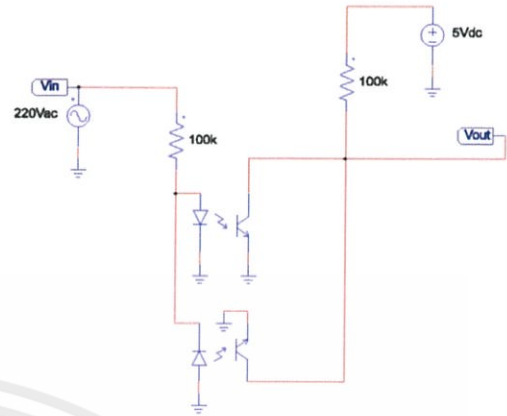
เป็นอุปกรณ์ที่จำลองการเชื่อมต่อที่หลวมของตัวนำ โดยอ้างอิงมาจากมาตรฐาน IEC6206 สามารถสร้างอาร์คฟอลต์ได้ทันที โดยการหมุนหัวทองแดงออกเล็กน้อยจากแท่งคาร์บอน ทำให้เกิดช่องว่างขึ้น

ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5. Arc Generator [4]

ตรวจจับอาร์คฟอลต์ แล้วนำเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลในการสั่งอุปกรณ์ตัดวงจรตัดกระแสออกจากวงจร



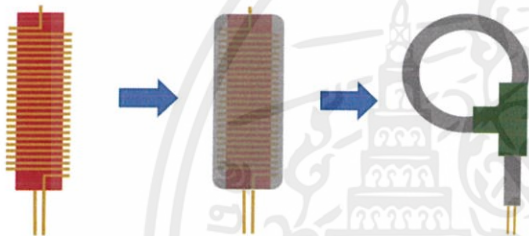
รูปที่ 8. วงจรสร้างสัญญาณจุดตัดศูนย์

4. การตรวจจับอาร์คฟอลต์

การตรวจจับและป้องกันอาร์คฟอลต์นั้น มีอุปกรณ์ที่ใช้หลายชนิด ประกอบไปด้วย

4.1. ขดลวดโรกอฟสกี

ขดลวดโรกอฟสกีในการทดลองนี้ ทำหน้าที่รับสัญญาณอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแส มาวิเคราะห์การเกิดขึ้นของอาร์คฟอลต์ ซึ่งมีการพันขดลวดดังรูปที่ 6.



รูปที่ 6. วิธีการพันขดลวดโรกอฟสกี

4.4. อุปกรณ์ตัดวงจร

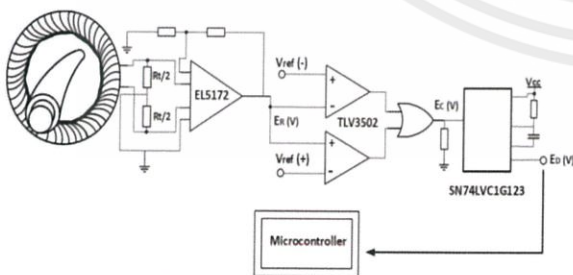
อุปกรณ์ตัดวงจรที่ใช้ในการทดลองนี้ คือรีเลย์รุ่น SLA-05VDC-SL-C รับคำสั่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่ตัดกระแสออกจากวงจร เมื่อเกิดอาร์คฟอลต์ขึ้นในระยะเวลาสั้นๆ ก่อนที่จะเกิดเพลิงไหม้ขึ้น



รูปที่ 9. Relay SLA-05VDC-SL-C

4.2. วงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์

วงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์ที่ใช้ในการทดลองนี้ ประกอบไปด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หลายชนิด เพื่อช่วยในเรื่องรับสัญญาณเข้ามาจากขดลวดโรกอฟสกี ถดสัญญาณรบกวนต่างๆ เปรียบเทียบและขยายสัญญาณออกมาเป็นสัญญาณลอจิกเพื่อนำเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลในการสั่งอุปกรณ์ตัดวงจรตัดกระแสออกจากวงจร



รูปที่ 7. วงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์

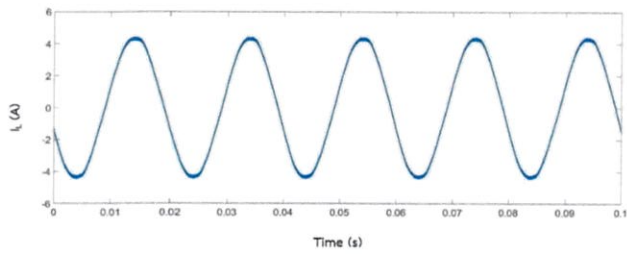
4.3. วงจรสร้างสัญญาณจุดตัดศูนย์

วงจรสร้างสัญญาณจุดตัดศูนย์ เป็นวงจรที่สร้างพัลส์ที่มีความกว้างระยะหนึ่งขึ้นมาที่จุดตัดศูนย์ (Zero Crossing) เพื่อที่จะเอ็กสารเป็นเอ็กสารให้ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า มาเปรียบเทียบกับสัญญาณ ที่ถูกส่งมาอีกสัญญาณหนึ่งจากวงจรไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

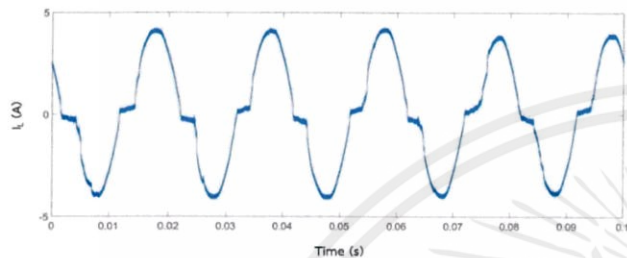
5. ผลการทดลอง

จากการทดลองโดยใช้โหลดเบื้องต้นอย่างหลอดไฟทั้งสแตนขนาด 100 W ขนาดกระแสรวมตั้งแต่ 1 - 10 A พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับอาร์คฟอลต์สามารถตรวจพบสัญญาณอาร์คเมื่อเกิดอาร์คฟอลต์ขึ้นในวงจรไฟฟ้าทุกขนาดกระแส นอกจากนี้ อุปกรณ์ตรวจจับอาร์คฟอลต์ยังตรวจจับอาร์คฟอลต์ได้ดีในโหลดประเภทอื่นๆ อีกด้วย

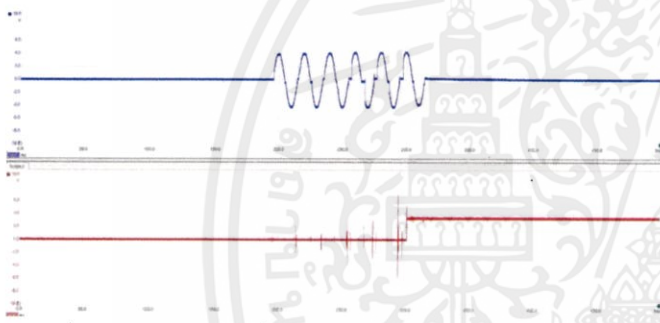
ในส่วนของการตัดวงจรเมื่อเกิดอาร์คฟอลต์ พบว่าเมื่อเกิดอาร์คฟอลต์ขึ้นอย่างฉับพลันในวงจร ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็วและสั่งให้อุปกรณ์ตัดวงจรในที่นี้คือรีเลย์ตัดวงจรได้ภายในระยะเวลาสั้นๆ ในหน่วยมิลลิวินาที



รูปที่ 9. กราฟกระแสที่สภาวะปกติ



รูปที่ 10. กราฟกระแสที่สภาวะเกิดอาร์คฟอลต์



รูปที่ 11. กราฟกระแสที่สภาวะเกิดอาร์คฟอลต์หลังสับสวิตช์ให้

เกิดอาร์คฟอลต์แบบฉับพลัน (สีน้ำเงิน)

กราฟของรีเลย์ที่สภาวะเกิดอาร์คฟอลต์หลังสับสวิตช์ให้

เกิดอาร์คฟอลต์แบบฉับพลัน (สีแดง)

6.สรุป

อาร์คฟอลต์นั้นเป็นสาเหตุหลักของการเกิดอัคคีภัยภายในที่อยู่อาศัย โดยเฉพาะอาร์คอนุกรมที่เป็นอันตรายที่ผู้ใช้งานอย่างเราไม่ทันระวังตัว แต่อุปกรณ์ตรวจจับอาร์คฟอลต์นั้นสามารถตรวจจับอาร์คได้ในระยะราวๆ 30 เมตร ได้ทุกขนาดกระแส และทุกประเภทของโหลด นอกจากนี้ยังสามารถสั่งตัดกระแสได้อย่างรวดเร็วก่อนที่จะเกิดอัคคีภัยอีกด้วย

7.อ้างอิง

- [1] Carlos E. Restrepo, "Arc Fault Detection and Discrimination Methods," *Electrical Contacts – 2007 Proceedings of the 53rd IEEE Holm*

- [2] Energy Management Siemensstr, "5SM6 AFD units Technology Primer," 2016, pp. 16-17

- [3] เอกบุรินทร์ ศรีตรัย, "การตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมแรงดันต่ำโดยใช้ขดลวดโรกอฟสกี," วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2559

- [4] IEC 62606 International Standard, General requirements for arc fault detection devices



เกี่ยวกับผู้เขียน

นายเบงค์ชาติ แยมเกตุ ชื่อเล่น เบงค์
ระดับชั้นปริญญาตรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง



เกี่ยวกับผู้เขียน

นายพลภัทร ภัคติโยธิน ชื่อเล่น นิว
ระดับชั้นปริญญาตรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง



เกี่ยวกับผู้เขียน

นายพลาธิป สิทธิศักดิ์ ชื่อเล่น พี
ระดับชั้นปริญญาตรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง



เกี่ยวกับผู้เขียน

นายศรันยยุทธ ไขยมงคล ชื่อเล่น ก๊อต
ระดับชั้นปริญญาตรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง



ภาคผนวก ข.

อุปกรณ์ที่ใช้ในปริยญาณิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 Transformer

ผลิตภัณฑ์ : Transformer

รุ่น : GAL-1000E-4

รายละเอียด

Input Voltage : 230-240V Output : 3 kV Power : 800W



รูปที่ ข.2 Variable Voltage Transformer

ผลิตภัณฑ์ : Variable Voltage Transformer

รุ่น : SD-16

รายละเอียด

Capacity : 4 KVA Input Voltage : 220V Output : 0-250 V Current : 16 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



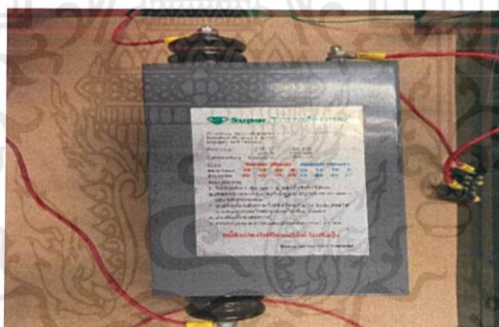
รูปที่ ข.3 AC Current Clamp Meter

ผลิตภัณฑ์ : AC Current Clamp Meter

รุ่น : 3280-20

รายละเอียด

42A to 1000A AC Current Clamp Meters, Wide range of max : 100A, Drop proof design withstands drop form a height of 1 meter



รูปที่ ข.4 Super Transformer

ผลิตภัณฑ์ : Super Transformer

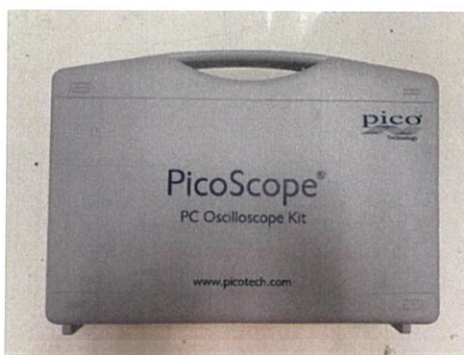
รุ่น : NT 15030

รายละเอียด

Input Voltage : 0-230 V Input Current : 0-2 A Output Voltage : 15,000 V Output

Current : 30 mA Frequency : 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.5 Pico scope

ผลิตภัณฑ์ : Pico scope

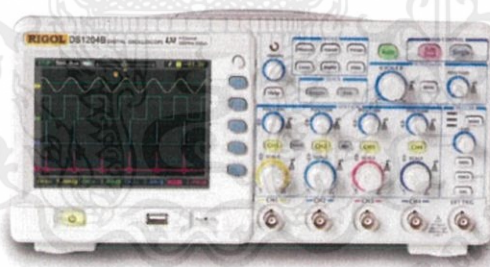
รุ่น : PC Oscilloscope Kit

รายละเอียด

Channels : 4 Bandwidth : 20 MHz Resolution : 12 bits(16 bits enhanced)

Sampling rate : 400 MS/s Buffer memory : 250 M samples

Input ranges (full scale) : ± 50 mV to ± 200 V in 12 ranges



รูปที่ ข.6 Digital Oscilloscope

ผลิตภัณฑ์ : Digital Oscilloscope

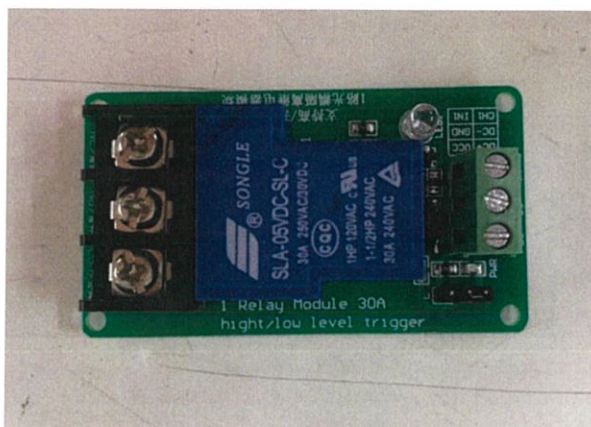
รุ่น : RIGOL-DS1204B

รายละเอียด

Bandwidth : 200MHz Memory Depth : 16 Kpoints Vertical Sensitivity : 2mV/div –

10mV/div Vertical Resolution : 8 bits

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.7 Relay

ผลิตภัณฑ์ : Relay

รุ่น : SLA-05VDC-SL-C

รายละเอียด

Input current : 30A Input voltage : 250VAC/30VDC



รูปที่ ข.8 Current Probe

ผลิตภัณฑ์ : Current Probe

รุ่น : YOKOGAWA 701930

รายละเอียด

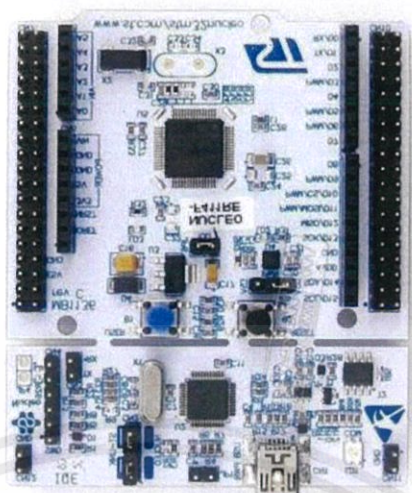
Current ranges : Bandwidth : DC to 10 MHz

Current measurement : Max/30/150/500A

Maximum continuous input range :150Arms

Output voltage rate : 0.01 V/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.9 Microcontroller

ผลิตภัณฑ์ : Microcontroller

รุ่น : NUCLEO-F411RE

รายละเอียด

- STM32F411RET6 in LQFP64 package
- ARM®32-bit Cortex®-M4 CPU with FPU
- 100 MHz max CPU frequency
- VDD from 1.7 V to 3.6 V
- 512 KB Flash
- 128 KB SRAM
- GPIO (50) with external interrupt capability
- 12-bit ADC with 16 channels
- RTC
- Timers (8)
- I2C (3)
- USART (3)
- SPI (5)
- USB OTG Full Speed
- SDIO

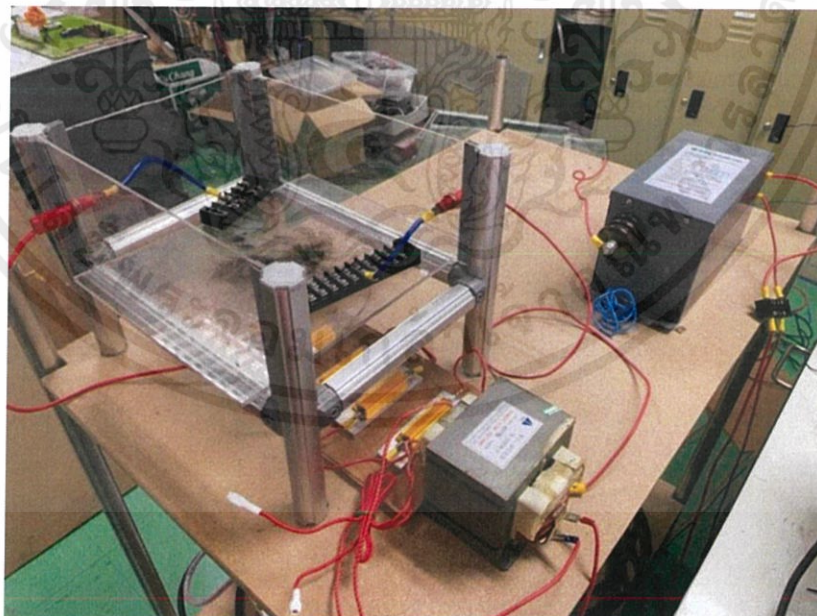
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.1 เครื่องจำลองการเกิดอาร์คฟอลต์



รูปที่ ค.2 เครื่องจำลองการเสื่อมสภาพสายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง.1 ค่าพารามิเตอร์ของขดลวดโรกอล์ฟสกีที่ความถี่ต่างๆ

Frequency (Hz)	Z (Ω)	Ls (μ H)	Rs (Ω)
100000	20.19	31.59	3.67
102220	20.61	31.58	3.68
104480	21.05	31.58	3.68
106790	21.51	31.58	3.68
109160	21.97	31.58	3.69
111580	22.45	31.58	3.69
114050	22.93	31.58	3.70
116580	23.43	31.58	3.70
119160	23.94	31.59	3.71
121800	24.45	31.59	3.71
124500	24.99	31.59	3.72
127250	25.53	31.59	3.72
130070	26.09	31.59	3.73
132950	26.65	31.59	3.73
135900	27.23	31.59	3.74
138910	27.83	31.60	3.74
141990	28.44	31.60	3.75
145130	29.06	31.60	3.76
148350	29.70	31.60	3.76
151630	30.34	31.60	3.77
154990	31.01	31.61	3.78
158430	31.69	31.61	3.79
161930	32.39	31.61	3.79
165520	33.10	31.61	3.80
169190	33.82	31.62	3.81
172940	34.57	31.62	3.82
176770	35.33	31.62	3.83
180680	36.11	31.63	3.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Frequency (Hz)	Z (Ω)	Ls (μ H)	Rs (Ω)
184690	36.91	31.63	3.85
188780	37.72	31.63	3.86
192960	38.55	31.64	3.87
197230	39.40	31.64	3.88
201600	40.27	31.64	3.89
206070	41.16	31.65	3.91
210630	42.07	31.65	3.92
215300	43.01	31.66	3.93
220070	43.96	31.66	3.95
224940	44.93	31.67	3.96
229930	45.93	31.67	3.98
235020	46.95	31.68	3.99
240220	47.99	31.68	4.01
245550	49.06	31.69	4.03
250990	50.15	31.70	4.05
256550	51.27	31.70	4.06
262230	52.41	31.71	4.08
268040	53.58	31.72	4.10
273970	54.77	31.73	4.13
280040	55.99	31.73	4.15
286250	57.25	31.74	4.17
292590	58.53	31.75	4.20
299070	59.83	31.76	4.23
305690	61.17	31.77	4.25
312470	62.55	31.78	4.28
319390	63.95	31.79	4.30
326460	65.38	31.81	4.33
333700	66.86	31.82	4.37
341090	68.36	31.83	4.40
348640	69.90	31.84	4.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Frequency (Hz)	Z (Ω)	Ls (μ H)	Rs (Ω)
356370	71.47	31.86	4.47
364260	73.08	31.87	4.50
372330	74.73	31.89	4.54
380580	76.43	31.90	4.58
389010	78.16	31.92	4.62
397620	79.93	31.94	4.66
406430	81.74	31.96	4.71
415440	83.60	31.98	4.75
424640	85.50	32.00	4.80
434050	87.45	32.02	4.85
443660	89.45	32.04	4.90
453490	91.49	32.06	4.96
463530	93.59	32.09	5.02
473800	95.74	32.11	5.07
484300	97.94	32.14	5.13
495030	100.20	32.17	5.20
505990	102.51	32.20	5.26
517200	104.89	32.23	5.34
528660	107.31	32.27	5.41
540370	109.80	32.30	5.47
552340	112.37	32.34	5.55
564570	114.99	32.38	5.63
577080	117.68	32.42	5.72
589860	120.44	32.46	5.81
602930	123.28	32.50	5.90
616290	126.19	32.55	5.99
629940	129.17	32.60	6.09
643890	132.24	32.65	6.18
658160	135.40	32.71	6.29
672740	138.64	32.76	6.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Frequency (Hz)	Z (Ω)	Ls (μ H)	Rs (Ω)
687640	141.97	32.83	6.52
702870	145.39	32.89	6.63
718440	148.92	32.96	6.77
734350	152.54	33.03	6.89
750620	156.28	33.10	7.03
767250	160.11	33.18	7.17
784250	164.06	33.26	7.31
801620	168.15	33.35	7.46
819380	172.34	33.44	7.62
837530	176.68	33.54	7.78
856080	181.14	33.64	7.95
875040	185.75	33.75	8.14
894430	190.50	33.87	8.33
914240	195.42	33.99	8.53
934490	200.50	34.11	8.73
955190	205.76	34.25	8.95
976350	211.19	34.39	9.18
997980	216.82	34.54	9.43
1020100	222.65	34.71	9.69
1042700	228.69	34.87	9.96
1065800	234.95	35.05	10.23
1089400	241.46	35.24	10.54
1113500	248.21	35.44	10.84
1138200	255.24	35.66	11.18
1163400	262.53	35.88	11.53
1189200	270.16	36.12	11.90
1215500	278.07	36.37	12.31
1242400	286.35	36.65	12.72
1270000	295.01	36.93	13.18
1298100	304.05	37.24	13.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Frequency (Hz)	Z (Ω)	Ls (μ H)	Rs (Ω)
1326900	313.52	37.57	14.18
1356200	323.41	37.91	14.74
1386300	333.85	38.29	15.35
1417000	344.79	38.68	15.99
1448400	356.35	39.11	16.69
1480500	368.47	39.57	17.46
1513300	381.27	40.05	18.29
1546800	394.84	40.58	19.21
1581100	409.24	41.14	20.24
1616100	424.49	41.75	21.36
1651900	440.70	42.40	22.55
1688500	458.02	43.11	23.94
1725900	476.52	43.88	25.45
1764100	496.30	44.71	27.10
1803200	517.59	45.61	28.95
1843100	540.51	46.60	31.14
1884000	565.45	47.68	33.44
1925700	592.31	48.86	36.18
1968300	621.67	50.17	39.30
2011900	653.89	51.62	42.66
2056500	689.31	53.22	46.77
2102100	728.47	55.02	51.57
2148600	771.88	57.02	57.28
2196200	820.41	59.27	64.02
2244900	875.21	61.84	72.07
2294600	936.89	64.73	82.13
2345400	1011.65	68.41	85.09
2397400	1094.24	72.34	99.54
2450500	1190.96	76.97	117.71
2504800	1306.18	82.50	141.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Frequency (Hz)	Z (Ω)	Ls (μ H)	Rs (Ω)
2560300	1444.89	89.17	173.69
2617000	1615.64	97.36	218.27
2675000	1831.21	107.65	282.22
2734200	2109.35	120.80	377.30
2794800	2487.67	138.42	529.75
2856700	3019.99	162.38	790.81
2920000	3824.88	196.40	1282.77
2984700	5142.16	243.94	2348.14
3050800	7444.84	287.83	4998.55
3118400	10363.70	148.04	9949.48
3187400	9475.87	-212.25	8468.95
3258000	6528.34	-250.54	4039.36
3330200	4616.90	-197.76	2047.52
3404000	3503.43	-154.15	1185.19
3479400	2788.88	-122.89	748.30
3556500	2291.33	-99.83	523.38
3635200	1950.98	-83.60	400.63
3715800	1701.38	-71.60	316.95
3798100	1506.45	-62.20	257.28
3882200	1350.20	-54.65	214.03
3968200	1222.16	-48.48	180.57
4056100	1114.33	-43.30	155.19
4146000	1023.30	-38.94	135.48
4237800	945.04	-35.21	119.43
4331700	876.70	-31.97	106.80
4427600	817.34	-29.18	96.41
4525700	754.75	-26.42	73.64
4626000	707.66	-24.24	66.95
4728500	665.45	-22.30	60.91
4833200	627.27	-20.57	56.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Frequency (Hz)	Z (Ω)	Ls (μ H)	Rs (Ω)
4940300	592.84	-19.02	52.28
5049700	561.14	-17.62	48.54
5161600	532.05	-16.35	45.40
5275900	505.30	-15.19	42.72
5392800	480.54	-14.13	40.36
5512200	457.52	-13.16	38.32
5634300	435.97	-12.27	36.43
5759100	415.82	-11.45	34.85
5886700	396.96	-10.69	33.41
6017100	379.13	-9.99	32.04
6150400	362.40	-9.34	30.93
6286700	346.42	-8.74	29.99
6425900	331.39	-8.18	29.09
6568300	317.08	-7.65	28.37
6713800	303.35	-7.16	27.67
6862500	290.30	-6.70	27.01
7014500	277.76	-6.27	26.46
7169900	265.67	-5.87	26.00
7328700	254.13	-5.49	25.65
7491100	242.97	-5.13	25.32
7657000	232.19	-4.80	25.04
7826600	221.73	-4.48	24.81
8000000	211.60	-4.18	24.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Arc Fault Detection Device

Bankchart Yamgate, Ponlaphat Phakdeeyotin, Phalathip Sitthisak,
Saranyoot Chaimongkol and Dr. Sompob Polmai

Abstract

This project presents Arc Fault Detection Device (AFDD) to detecting and protecting hazardous arc also known as "Arc Fault" in an electric circuit, which is a cause of the electrical fire in the household. Arc can be divided into a non-hazardous arc and a hazardous arc. However, this project focus on detect hazardous arc especially. In this project, Rogowski coil is used to receive the derivative of the current signal to analyze for detecting arc fault, which is a high frequencies signal in MHz range. For the experiment, This project have divided the test into different conditions those are normal condition and arc condition in various load. When the arc fault is occurring, AFDD can detect the arc fault and send the signal to a microcontroller to control relay to open circuit before the electrical fire occurs.

Introduction

In the present, the main cause of the electrical fire in the household not only short circuit but also arcing. These advanced new safety devices recognize dangerous conditions that are not detected by standard circuit breakers.

The AFDD must be effective in detecting and inhibiting arc faults that occur well. This engineering project will present a device that is designed to detect the occurrence of an arc fault and cut off the current from the circuit when the arc fault condition is long enough to cause a danger.

Methodology

1. Study the theory of arc fault and the circuit used in the system.
2. Designing simulations for series arc fault by simulating the arc generator.
3. Prepare the test wiring according to IEC 62606 to use as an arc generator to test the operation of AFDD according to IEC testing standards.

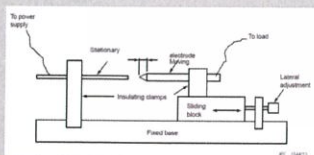


Fig. 1 Arc Generator

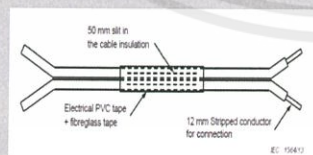
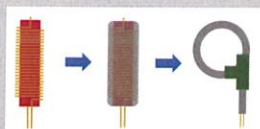


Fig. 2 Cable Specimen

4. Take the power cable that has been tested with the circuit to find the graph of the voltage and current in the arc fault condition from the arc fault detection circuit. With the use of the Rogowski coil is an intermediary to create signals into the detector.

Fig. 3 Designing of Rogowski coil



5. Analyze the results of the test and write the program to the microcontroller to control the operation of the relay.

Results

For the experiment, We are using the general load, such as a 100 W tungsten lamp with the various current about 1 - 10 A, Our AFDD can detect arc signals when the arc fault occurs in every electrical circuit. In addition, AFDD is able to detect arc fault well in other types of loads as well.

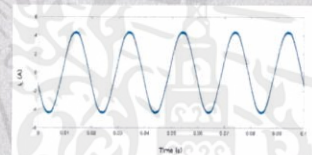


Fig. 4 General Current Waveform

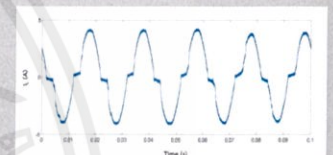


Fig. 5 Current Waveform of Arc Fault Condition

In the part of the cut off current when the arc fault occurs. It was found that when the arc fault of the sudden rise in the circuit. The microcontroller can process quickly and order the relay cut off current in a short time in milliseconds.

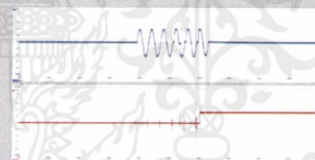


Fig. 6 Current waveform of Arc Fault Condition after switch Arc Fault Condition occur suddenly. (above)
Relay waveform after switch Arc Fault Condition occur suddenly. (below)

Conclusion

The Arc fault is the main cause of electrical fire in the household. Especially the dangerous series arc fault that the people are not careful. But AFDD can detect arc fault in the 30 meters distance in all current sizes and all types of loads. In addition, our microcontroller can be ordered to cut off current quickly before the electrical fire occurs.

References

- [1] Carlos E. Restrepo, "Arc Fault Detection and Discrimination Methods," Electrical Contacts – 2007 Proceedings of the 53rd IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, Pittsburgh, PA, 2007, pp. 115-12.
- [2] IEC 62606 International Standard, General requirements for arc fault detection Devices
- [3] Gerard Healy, Glenn Roemer, "Arc Fault Detection Using Rogowski Coils," PCIM Europe 2014; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management



ประวัติผู้เขียน



นาย แบงค์ชาติ แยมเกตุ วัน/เดือน/ปีเกิด : 6 กรกฎาคม 2539

ที่อยู่ : 1 ซ.เศรษฐสัมพันธ์ 1 ถ.เศรษฐสัมพันธ์ ต.หนองแค

อ.หนองแค จ.สระบุรี 18140

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนหนองแค”สกรกิจ”พิทยา



นายพลภัทร ภัคดีโยธิน วัน/เดือน/ปีเกิด : 29 เมษายน 2539

ที่อยู่ : 66 หมู่ 3 ต.บ้านหม้อ อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนเบญจมเทพอุทิศ
จังหวัดเพชรบุรี



นายพลาธิป สิทธิศักดิ์ วัน/เดือน/ปีเกิด : 21 ธันวาคม 2539

ที่อยู่ : 555/608 ม.14 ต.ในเมือง อ.เมืองขอนแก่น

จ.ขอนแก่น 40000

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนสาธิต
มหาวิทยาลัยขอนแก่น (มอดินแดง)



นายศรัณยูทธ์ ไชยมงคล วัน/เดือน/ปีเกิด : 20 มกราคม 2540

ที่อยู่ : 82 ม.8 ต.บวกค้าง อ.สันกำแพง จ.เชียงใหม่ 50130

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนสันกำแพง