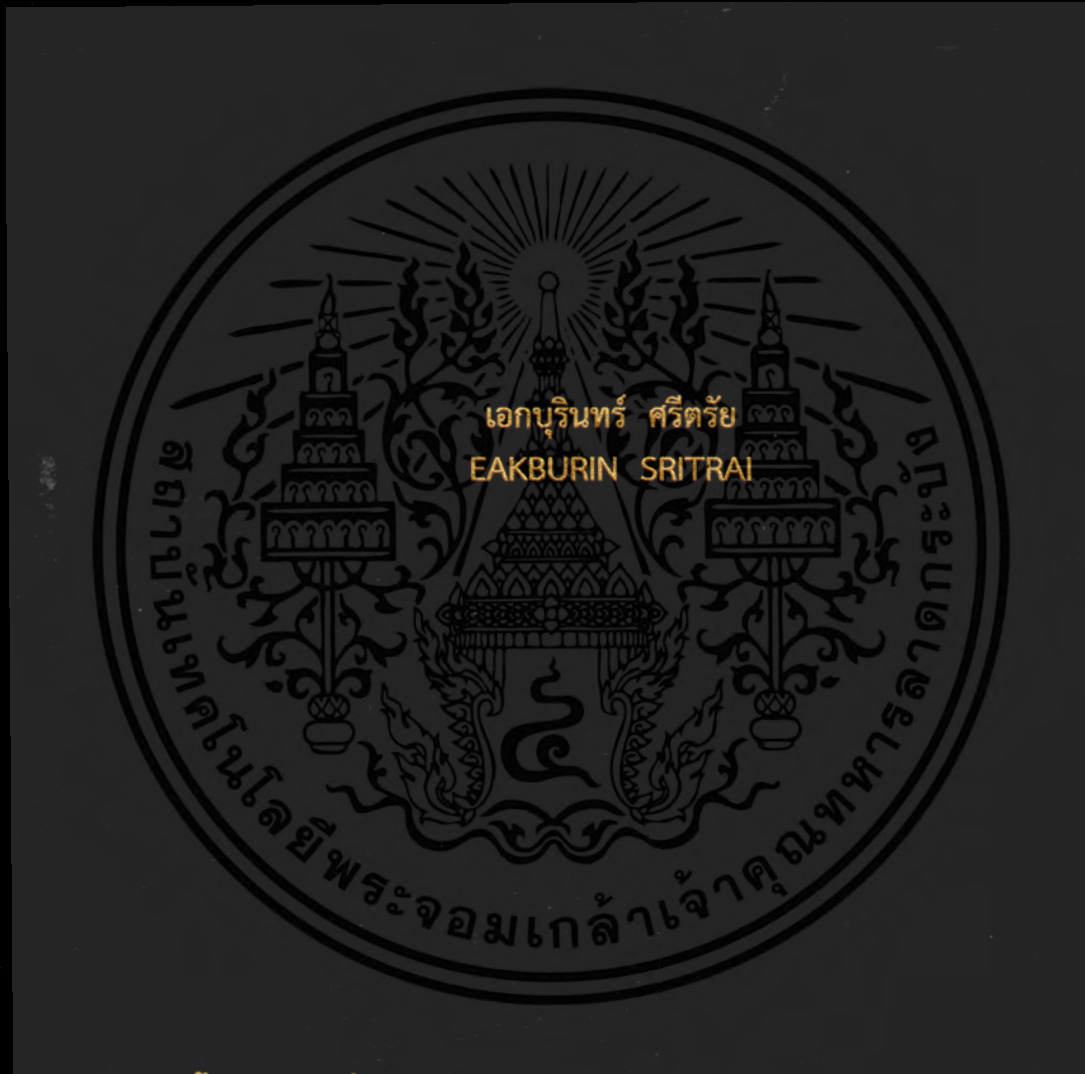


การตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมแรงดันต่ำโดยใช้ขดลวดโรกอฟสกี
LOW VOLTAGE SERIES ARC FAULT DETECTION USING ROGOWSKI COIL



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2561
KMUTL-2018-EN-M-020-98

การตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมแรงดันต่ำโดยใช้ขดลวดโรกอฟสกี
LOW VOLTAGE SERIES ARC FAULT DETECTION USING ROGOWSKI COIL



วิทยานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2561

KMITL-2018-EN-M-020-98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LOW VOLTAGE SERIES ARC FAULT DETECTION USING ROGOWSKI COIL



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2018

KMITL-2018-EN-M-020-98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



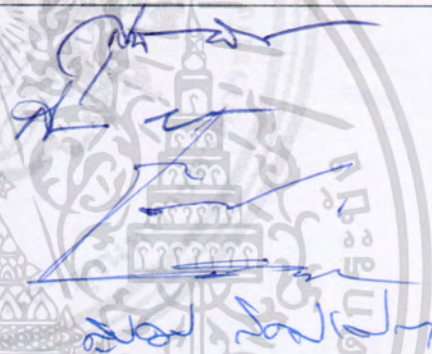
COPYRIGHT 2018

FACULTY OF ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

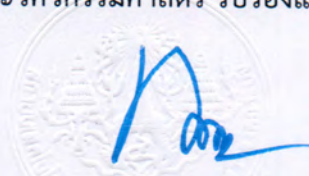
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมแรงดันต่ำโดยใช้ขดลวดโรกอฟสกี
Thesis Title Low Voltage Series Arc Fault Detection using Rogowski Coil
นักศึกษา นายเอกบุรินทร์ ศรีตรัย
รหัสประจำตัว 59601162
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.สุวัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2018-EN-M-020-98

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุเมธ	เนติศักดิ์ดำนนท์	
ดร.สมภพ	ผลไม้	
รศ.ดร.ชรินทร์	บุญลักษณ์นุสรณ์	
ผศ.ดร.วรชาติ	สุวรรณงาม	
รศ.ดร.สุวัฒน์	กิตติรัตน์สัจจา	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 16 กรกฎาคม พ.ศ. 2561 เวลา 09.00-11.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้อง HM-304 อาคารเฉลิมพระเกียรติ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว


(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมแรงดันต่ำโดยใช้ชุดลด โรกอฟสกี
นักศึกษา	นาย เอกบุรินทร์ ศรีตรัย
รหัสประจำตัว	59601162
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ. ดร. สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันต่ำโดยใช้ชุดลดโรกอฟสกีซึ่งทำหน้าที่วัดอัตราการเปลี่ยนแปลงกระแสที่องค์ประกอบความถี่สูง โดยชุดลดโรกอฟสกีถูกออกแบบให้มีขนาดเล็กและมีแบนด์วิธ 16 MHz ทำงานร่วมกับวงจรขยายสัญญาณผลต่าง ซึ่งช่วยลดทอนสัญญาณรบกวนโหมมตร่วม สัญญาณความถี่สูงที่ได้จะถูกเปรียบเทียบกับระดับอ้างอิงด้วยวงจรเปรียบเทียบวินโดว์ โดยสัญญาณขาออกของตัวเปรียบเทียบระดับลอจิกสูงเป็นตัวบ่งชี้ว่าได้เกิดสภาวะอาร์คฟอลต์ขึ้น วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์แบบทรานซิสเตอร์นำมาใช้เพื่อยืดความกว้างพัลส์ของสัญญาณให้เหมาะแก่การเชื่อมต่อกับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับการดำเนินการในขั้นต่อไป ในวิทยานิพนธ์นี้อาร์คฟอลต์แบบอนุกรมได้ถูกจำลองให้เกิดขึ้นกับโหลดหลายประเภทและที่ขนาดกระแสแตกต่างกันรวมทั้งได้ทดลองในเงื่อนไขเกี่ยวกับตำแหน่งของอาร์คฟอลต์และความเร็วในการตอบสนองต่อสภาวะอาร์คฟอลต์ก่อนที่สายเคเบิลทดสอบจะลุกไหม้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมที่นำเสนอนี้มีความน่าเชื่อถือ โดยสามารถตรวจจับอาร์คฟอลต์ได้อย่างไม่ผิดพลาดโดยไม่ขึ้นกับขนาดของกระแสประเภทของโหลด และตำแหน่งของอาร์คฟอลต์ นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าตัวตรวจจับอาร์คฟอลต์ที่ นำเสนอนี้ยังสามารถตอบสนองต่อสภาวะอาร์คฟอลต์ได้อย่างรวดเร็วก่อนที่สายเคเบิลทดสอบจะเกิดการลุกไหม้

Thesis	Low Voltage Series Arc Fault Detection Using Rogowski Coil
Student	Mr. Eakburin Sritrai
Student ID.	59601162
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2018
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Supat Kittiratsatcha

ABSTRACT

This thesis presents series arc fault detection in low voltage ac circuit using Rogowski coil for measuring rate of change of current at high frequency component. The Rogowski coil is designed to be small with 16 MHz bandwidth and operates with a differential to single-end amplifier for common-mode noise attenuation. The obtained high frequency signal is compared with reference voltages using window comparator. The high logic level output of the comparator is an indicator for the arc fault condition. A retriggerable monostable multivibrator is used to extend the pulse width of the signal to suite for microcontroller interfacing. In this thesis, series arc faults are simulated for various types of loads and current levels. Moreover, arc fault position as well as arc fault detection speed before cable Specimen combustion are also investigated. The experimental results clearly show that the proposed arc fault detection can reliably detect series arc faults and it is not affected by branch current level, type of load and arc fault position. Moreover, the experiment results also show that the proposed method can quickly detect the arc before the cable specimen combustion.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำทั้งด้านทฤษฎีและปฏิบัติ ตลอดจนคำปรึกษาในด้านต่างๆเกี่ยวกับภาระดำเนินงาน จากท่านอาจารย์ รศ.ดร.สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา รวมถึงท่านอาจารย์ ดร.สมภพ ผลไม้ ซึ่งท่านทั้งสองได้ให้ทั้งความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากพวกท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆทุกคนในห้อง Power Electronic Applications and Energy Conversion Research Laboratory (PEARL) ห้อง ECC-407 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้คำแนะนำและให้กำลังใจมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดามารดา ที่เป็นกำลังใจ และสนับสนุน จนทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากปริญญาบัตรฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เอกบุรินทร์ ศรีตรัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	4
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	4
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	4
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	5
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 อาร์คฟอลต์.....	7
2.1.1 สภาวะที่ทำให้เกิดอาร์ค.....	7
2.1.2 ชนิดของอาร์คฟอลต์ในวงจรภายในที่ สุก่ออาศัย.....	8
2.1.3 คุณลักษณะของอาร์ค.....	9
2.2 ขดลวดโรกอฟสกี.....	10
บทที่ 3 วงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรม.....	16
3.1 การออกแบบขดลวดโรกอฟสกี.....	16
3.2 การออกแบบวงจร Differential to Single-Ended Amplifier (DSA).....	21
3.3 การออกแบบวงจร Window Comparator (WC).....	22
3.4 การออกแบบวงจร Retriggerable Monostable Multivibrator (RMM).....	27
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	30
4.1 การทดลองวงจร DSA ร่วมกับ WC.....	33
4.1.1 โหลดประเภทตัวต้านทาน.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และเพียงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.1.2 โหลดประเภทตัวต้านทานที่ เปิดปิดด้วยสวิตซ์หรือ ไฟ.....	38
4.1.3 โหลดประเภทสวิตซ์ ึ่ง.....	40
4.1.4 โหลดประเภทมอเตอร์.....	41
4.2 การทดลองวงจรตรวจจ็ับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรม	43
4.2.1 ผลการทดลองวงจรต่อโหลดประเภทตัวต้านทาน	44
4.2.2 ผลการทดลองวงจรต่อโหลดประเภทตัวต้านทานที่ เปิด-ปิดด้วยสวิตซ์หรือ ไฟ.....	45
4.2.3 ผลการทดลองวงจรต่อตัวขาร์จโหลดประเภทสวิตซ์ ึ่ง.....	46
4.2.4 ผลการทดลองวงจรต่อโหลดประเภทมอเตอร์.....	47
4.3 ทดลองวงจรตรวจจ็ับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมที่ ตำแหน่งอาร์คฟอลต์ต่างๆ.....	48
4.3.1 ผลการทดลองที่ ระยะ 3 เมตร	49
4.3.2 ผลการทดลองที่ ระยะ 6 เมตร	49
4.3.3 ผลการทดลองที่ ระยะ 9 เมตร	50
4.4 ทดลองวงจรตรวจจ็ับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมกับสาย Cable Specimen.....	50
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและขอเสนอแนะ.....	63
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	63
5.2 ขอเสนอแนะ.....	64
เอกสารอ้างอิง	65
ภาคผนวก.....	66
ภาคผนวก ก. ผลงานเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ที่ ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	67
ภาคผนวก ข. Schematic ของวงจรตรวจจ็ับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรม	73
ประวัติผู้เขียน.....	75

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 อาร์คฟอลต์แบบอนุกรม.....	2
1.2 รูปคลื่น หาระแสของอาร์คฟอลต์เทียบกับสวิตช์หรือ ไฟและที่ชาร์จแบตเตอรี่.....	3
2.1 ลักษณะของอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมและขนานในวงจรภายในที่ สู้อาศัย.....	8
2.2 ลักษณะสเปกตรัมของความถี่ ของอาร์คฟอลต์บนแกนของเวลา.....	9
2.3 ขดลวดโรกอฟสกี.....	11
2.4 วงจรสมมูลของขดลวดโรกอฟสกี.....	12
2.5 กราฟการจำลองผลตอบสนองต่อความถี่ของขดลวดโรกอฟสกี.....	14
3.1 แผนภาพแนวคิดในการตรวจจับอาร์คฟอลต์	16
3.2 การออกแบบและการขึ้นรูปแกนของขดลวด	17
3.3 การพันขดลวด	18
3.4 ผลการจำลองผลตอบสนองต่อความถี่ที่ τ Rt ต่างๆ	20
3.5 ชุดอุปกรณ์การทดสอบขดลวดโรกอฟสกีกับ Rt.....	20
3.6 ลักษณะการถ่ายโอนของขดลวดโรกอฟสกีเทียบกับที่วัดได้จริง	21
3.7 วงจร Differential to Single-Ended Amplifier โดยใช้ EL5172.....	22
3.8 วงจร Window Comparator โดยใช้ TLV3502	23
3.9 ผลลัพธ์ของวงจร Window Comparator	24
3.10 เปรียบเทียบสัญญาณจาก DSA ของโหนดตัวต้านทาน ก) ก่อนเกิดอาร์ค ข) ขณะเกิดอาร์ค ..	25
3.11 เปรียบเทียบสัญญาณจาก DSA ของโหนดสวิตช์ ก) ก่อนเกิดอาร์ค ข) ขณะเกิดอาร์ค.....	26
3.12 เปรียบเทียบสัญญาณจาก DSA ของโหนดมอเตอร์ ก) ก่อนเกิดอาร์ค ข) ขณะเกิดอาร์ค.....	27
3.13 กราฟเลือกตัวต้านทานและตัวเก็บประจุในวงจร Retriggerable Monostable Multivibrator ที่ แรตตัน 5 Vdc.....	28
3.14 วงจร Retriggerable Monostable Multivibrator	28
3.15 วงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรม.....	29
4.1 อุปกรณ์สร้างอาร์ค (Arc Generator).....	30
4.2 ชุดทดลองการเกิดอาร์คแบบอนุกรม	30
4.3 ชุดอุปกรณ์ทดลอง (1).....	31
4.4 ชุดอุปกรณ์ทดลอง (2).....	31
4.5 ชุดอุปกรณ์ทดลอง (3).....	32
4.6 ชุดอุปกรณ์ทดลอง (4).....	32

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 โหลดประเภทตัวต้านทานที่ ขนาดกระแส 0.5 A ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์.....	34
4.8 โหลดประเภทตัวต้านทานที่ ขนาดกระแส 2.5 A ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์.....	35
4.9 โหลดประเภทตัวต้านทานที่ ขนาดกระแส 5 A ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์.....	36
4.10 โหลดประเภทตัวต้านทานที่ ขนาดกระแส 10A ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์.....	37
4.11 โหลดประเภทตัวต้านทานที่ เปิดปิดด้วยสวิตซ์หรี ไฟ1 ตัว ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์.....	38
4.12 โหลดประเภทตัวต้านทานที่ เปิดปิดด้วยสวิตซ์หรี ไฟ2 ตัว ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์.....	39
4.13 โหลดตัวชาร์จแบตเตอรี่ นิตบุค ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์.....	40
4.14 โหลดสว่านไฟฟ้า ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์.....	41
4.15 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อโหลดตัวต้านทาน ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์.....	44
4.16 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อโหลดตัวต้านทานที่ เปิดปิดด้วย สวิตซ์หรี ไฟ1 ตัว ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์.....	45
4.17 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อตัวชาร์จแบตเตอรี่ นิตบุค ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์.....	46
4.18 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อสว่านไฟฟ้า ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์.....	47
4.19 ชุดทดลองตำแหน่งของอาร์คฟอลต์แบบอนุกรม.....	48
4.20 ผลการทดลองที่ ระยะ 3 เมตร.....	49
4.21 ผลการทดลองที่ ระยะ 6 เมตร.....	49
4.22 ผลการทดลองที่ ระยะ 9 เมตร.....	50
4.23 การเตรียม Cable Specimen (1).....	51
4.24 การเตรียม Cable Specimen (2).....	51
4.25 แผนภาพชุดการเตรียมเส้นทางนำไฟฟ้าคาร์บอนของ Cable Specimen.....	52
4.26 ชุดการเตรียมเส้นทางนำไฟฟ้าคาร์บอนของ Cable Specimen.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ/หรืออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.27 Cable Specimen ที่ เตรียมเสร็จแล้ว	53
4.28 ชุดทดลอง Cable Specimen	53
4.29 ผลการทดลองกับ Cable Specimen โดยภาพรวม	54
4.30 ผลการทดลองกับ Cable Specimen (1)	54
4.31 ผลการทดลองกับ Cable Specimen (2)	55
4.32 ผลการทดลองกับ Cable Specimen (3)	55
4.33 ผลการทดลองกับ Cable Specimen (4)	56
4.34 ผลการทดลองกับ Cable Specimen (5)	56
4.35 สถานการณ์ไฟไหม้จากทดลอง Cable Specimen	57
4.36 ผลการทดลองกับ Cable Specimen ก่อนจ่ายกระแสไฟฟ้า	58
4.37 ผลการทดลองกับ Cable Specimen ขณะจ่ายกระแสไฟฟ้า	58
4.38 ผลการทดลองกับ Cable Specimen ขณะเรี มลัดควัน	59
4.39 ผลการทดลองกับ Cable Specimen ขณะเรี มลัดประกายไฟ	59
4.40 ผลการทดลองกับ Cable Specimen ขณะไฟลุกไหม้	60
4.41 ผลการทดลอง Cable Specimen กับสวิตซ์หรี ไฟ	60
4.42 ผลการทดลอง Cable Specimen กับสายชาร์จโน้ตบุด	61
4.43 ผลการทดลอง Cable Specimen กับสวานไฟฟ้า	61

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

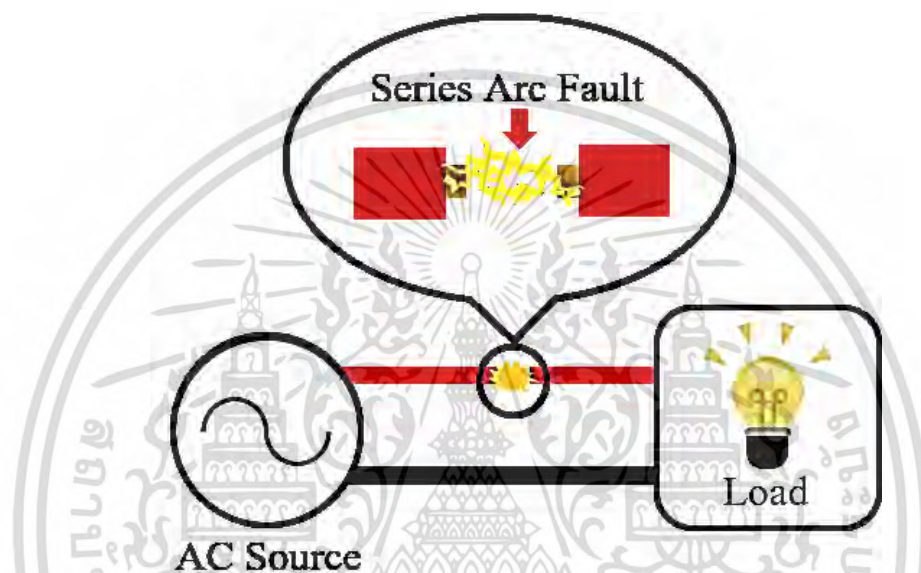
อาร์คนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ภายในวงจรไฟฟ้าทั่วไปแต่โดยส่วนใหญ่แล้วไม่อันตรายหรือไม่อาร์คนั้นก็เป็นส่วนหนึ่งของการทำงานในสภาวะปกติของอุปกรณ์ไฟฟ้าชิ้นนั้นที่ถูกออกแบบมาให้ทนต่อการเกิดอาร์คได้ อาร์คถูกให้ค่านิยามภายใต้มาตรฐาน UL1699 และ IEC62606 ว่า “การดีสชาร์จที่ส่องสว่างของไฟฟ้าผ่านตัวกลางที่เป็นฉนวน ซึ่งโดยปกติจะมาพร้อมความเสียหายบางส่วนที่ชั่วไฟฟ้า” ส่วนอาร์คฟลลต์คือ “เป็นสภาวะการอาร์คที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้า” อาร์คที่สามารถพบเห็นได้อย่างชัดเจนและพบบ่อยครั้งจะพบในโพลีโพรพิลีนที่มีแรงดันและรีเลย์ โดยจะสังเกตเห็นประกายไฟขนาดเล็กที่เกิดขึ้นซ้ำไปซ้ำมา เช่น สว่านไฟฟ้าและเครื่องดูดฝุ่น ส่วนตัวอย่างของอาร์คฟลลต์ที่สามารถพบได้บ่อยคือประกายไฟที่เกิดขึ้นขณะเสียบปลั๊กกับเต้าเสียบ เป็นต้น โดยความรุนแรงของอาร์คจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุปกรณ์ชิ้นนั้นถูกใช้งานเป็นระยะเวลานานและเสื่อมสภาพลง ซึ่งหากอาร์คที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อยๆอาจจะไปสู่สถานการณ์ที่ทำให้อาร์คมีความรุนแรงมากจนก่อให้เกิดไฟไหม้ที่เกิดจากเผาไหม้วัสดุที่ติดไฟได้หรือก๊าซไวไฟที่มีอยู่ในขณะที่กำลังเกิดอาร์คฟลลต์ขึ้น

ในปี ค.ศ. 2006 สำนักงานจัดการไฟไหม้ของประเทศสหรัฐอเมริกา(USFA) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกระทรวงความมั่นคงแห่งมาตุภูมิได้รายงานว่าเกิดไฟไหม้ในที่อยู่อาศัยกว่า 67,800 แห่ง ซึ่งเกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าทั้งสิ้น มีผู้เสียชีวิต 485 ราย บาดเจ็บมากกว่า 2,300 ราย และสูญเสียทรัพย์สินรวมมูลค่ากว่า 868 ล้านดอลลาร์สหรัฐ นอกจากนี้ USFA ยังระบุอีกว่าการเดินสายไฟภายในบ้านที่ไม่เหมาะสมเป็นสาเหตุของการเกิดไฟไหม้มากกว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าถึง 2 เท่า [1] โดยหนึ่งในสาเหตุสำคัญของการเกิดอาร์คฟลลต์นั้นคือการเชื่อมต่อสายไฟที่หลวมและการฉีกขาดของฉนวน ดังนั้นปรากฏการณ์อาร์คฟลลต์คือหนึ่งในสาเหตุสำคัญของการเกิดไฟไหม้ภายในที่อยู่อาศัย ที่เกิดจากการเผาไหม้วัสดุที่ติดไฟได้ด้วยพลังงานความร้อนจากอาร์ค โดยที่พลังงานความร้อนนี้สามารถทำให้ฉนวนของสายไฟละลายได้ เนื่องจากฉนวนของสายไฟคือโพลีเมอร์เมื่อโดนความร้อนจนทำให้ละลายจะเกิดคราบของคาร์บอนขึ้นที่มีคุณสมบัติง่ายต่อการติดไฟซึ่งส่งผลทำให้อาร์คฟลลต์เกิดได้ง่ายและรุนแรงมากขึ้น เมื่อกระบวนการนี้เกิดขึ้นซ้ำไปเรื่อยๆเป็นระยะเวลานานก็จะอาจนำไปสู่อุบัติเหตุไฟไหม้ที่ อันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สิน

อาร์คในวงจรย่อยสามารถแบ่งได้เป็นอาร์คแบบขนานและอาร์คแบบอนุกรม อาร์คแบบขนานที่เกิดขึ้นมีด้วยกัน 3 กรณีคือ โลင်း-นิวทรอล โลင်း-กราวนด์และนิวทรอล-กราวนด์ โดยทั่วไปจะมีกระแสที่มากกว่ากระแสที่ระดับการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์เนื่องจากอิมพีแดนซ์ของอาร์ค ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

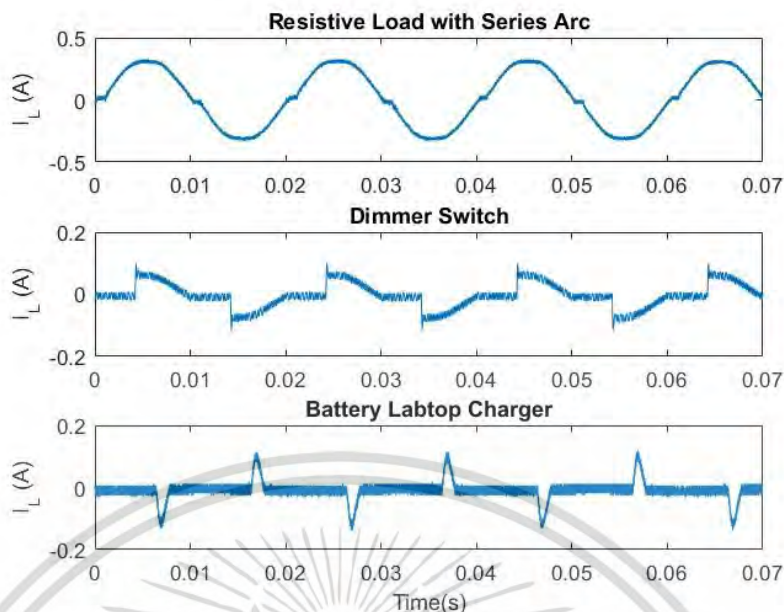
กรณีของอาร์คแบบอนุกรม (รูปที่ 1.1) ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อกระแสเบรกความถี่ผ่านแก๊สระหว่างสายตัวนำซึ่งแอมพลิจูดของกระแสมีขนาดเท่ากับกระแสของวงจรย่อยโดยทั่วไป ซึ่งแสดงว่าหลักการป้องกันกระแสเกินที่ ฐาใช้ในเซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่สามารถตรวจจับอาร์คฟอลต์ได้

การตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมนั้นยากกว่าในกรณีของอาร์คฟอลต์แบบขนานนี้ อกจากอาร์คแบบอนุกรมสามารถเกิดได้ที่ระดับกระแสต่ำมากๆและอุปกรณ์ไฟฟ้าบางตัวเช่น มอเตอร์ที่มีแปรงถ่าน นั้นมีอาร์คภายใต้การทำงานในสภาวะปกติ



รูปที่ 1.1 อาร์คฟอลต์แบบอนุกรม

อาร์คกระแสสลับมีการดับด้วยตัวเองเกิดขึ้นบริเวณจุดตัดศูนย์ (zero-crossing) ของแรงดันกระแสสลับ การขาดหายไปของกระแสที่ จะเกิดขึ้นที่ครึ่งลูกคลื่นของกระแส นอกจากนี้ อุปกรณ์ไฟฟ้าบางชนิดเช่น สวิตช์ไฟและวงจรเรียงกระแสในที่ชาร์จแบตเตอรี่ก็มีการขาดหายไปของกระแสเช่นเดียวกัน ดังนั้นการใช้รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าของวงจรย่อยในการตรวจจับอาร์คฟอลต์จึงไม่มีประสิทธิภาพ รูปที่ 1.2 กราฟที่ 1 จะแสดงรูปคลื่นกระแสของโหลดตัวต้านทานที่เกิดอาร์คแบบอนุกรมขึ้นรูปคลื่นกระแสของสวิตช์ไฟและที่ชาร์จแบตเตอรี่ที่ไม่มีอาร์คแบบอนุกรมจะแสดงในรูปที่ 1.2 กราฟที่ 2 และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 1.2 รูปคลื่น กระแสของอาร์คฟอลต์เทียบกับสวิตช์รีไฟและที่ชาร์จแบตเตอรี่ แล็บท็อป

ขณะที่กระแสถูกนำผ่านช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้า (สายตัวที่ขาด) ก๊าซจะแตกตัวกลายเป็นพลาสมา ที่มีองค์ประกอบความถี่สูงของกระแสจึงถูกนำมาพิจารณาเนื่องจากการศึกษาที่ผ่านมากระแสอาร์คฟอลต์สามารถมีความถี่ในย่านความถี่มากกว่า 10 kHz ถึง 1 GHz [2] แต่โหลดอิเล็กทรอนิกส์บางตัวก็สามารถปล่อยกระแสความถี่สูงได้ถึงกว่า 100 kHz ดังนั้นการตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมที่มีความถี่สูงจึงเหมาะสมมากกว่า โดยทั่วไปในวงจรย่อยจะตรวจจับอาร์คฟอลต์ที่บริเวณแผงแหล่งจ่ายไฟซึ่งอาจไกลจากจุดที่อาร์คเกิดขึ้นทำให้สัญญาณกระแสความถี่สูงที่เดินทางจากจุดที่เกิดอาร์คมาถึงจุดที่ตรวจจับจะถูกกลทอนโดยอิมพีแดนซ์ของวงจรย่อย นอกจากนี้อุปกรณ์ที่นำมาตรวจจับต้องไม่เกิดการอิมิตัวเมื่อต้องตรวจจับกระแสที่มีองค์ประกอบความถี่สูงและแยกจากวงจรย่อยที่ทำการตรวจจับเพื่อไม่ให้อาร์คฟอลต์ที่เกิดขึ้นส่งผลต่อวงจรตรวจจับได้ ด้วยเหตุนี้จึงเกิดแนวคิดที่จะนำขดลวดโรกอฟสกีมาศึกษาเพื่อใช้ในการตรวจจับอาร์คฟอลต์โดยการวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสแทนการวัดกระแส เนื่องจากมีความเหมาะสมสำหรับการวัดสัญญาณกระแสความถี่สูง ขดลวดโรกอฟสกีไม่มีแกนแม่เหล็กทำให้ไม่อิมิตัวโดยกระแสที่สูงและสามารถจับสัญญาณความถี่สูงที่กระแสของโหลดน้อยมากๆได้ นอกจากนี้ยังสามารถทำขนาดของขดลวดโรกอฟสกีให้เล็กมากๆได้ ดังนั้นจึงสามารถรวมเข้ากับวงจรไว้ภายในกล่องขนาดเล็กได้

ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้จึงนำเสนอวิธีการตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมโดยการนำขดลวดโรกอฟสกีมาประยุกต์ใช้ เพื่อลดและยับยั้งอันตรายจากไฟไหม้ที่เกิดจากหนึ่งในสาเหตุหลักคืออาร์คฟอลต์

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาวิธีการตรวจจ็อาร์คฟอลต์แบบอนุกรมในระบบไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันต่ำ ซึ่งเป็นหนึ่งในสาเหตุหลักของไฟไหม้ภายในที่ ศูนย์อาศัยโดยการใช้ขดลวดโรกอฟสกี
2. เพื่อศึกษาคูณลักษณะของอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมในระบบไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันต่ำ
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมกับโหลดหลายๆประเภทรวมถึงที่ขนาดกระแสต่างๆเพื่อ นำมาใช้ออกแบบวงจรตรวจจ็
4. เพื่อศึกษาการออกแบบขดลวดโรกอฟสกีให้มีความสามารถที่จะตรวจจ็สัญญาณอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในช่วงความถี่ที่เหมาะสมรวมถึงขนาดที่สามารถติดตั้งในกล่องขนาดเล็กได้
5. เพื่อศึกษาการวิเคราะห์ข้อมูลที่วัดได้โดยใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์สัญญาณและโปรแกรม MATLAB

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

จากนิยามที่ว่าอาร์คคือการติสซาร์จที่ ส่องสว่างของไฟฟ้าผ่านตัวกลางที่เป็นฉนวนซี ฉนวน ฉนวน ที่นี้คืออากาศ เมื่อกระแสไฟฟ้าไฟเบรคควานผ่านแก้อากาศจะทำให้โมเลกุลของอากาศแตกตัว กลายเป็นพลาสมาและปล่อยพลังงานออกมาในรูปของความร้อนและแสงสว่าง โดยพลังงานดังกล่าวมี องค์ประกอบความถี่ในย่านสูงตั้งแต่ระดับ 10 kHz จนถึง 1 GHz นั้นทำให้การตรวจจ็อาร์คฟอลต์ที่ ความถี่ สูงมีความเหมาะสมมากกว่าที่ จตรวจจ็ที่ ระดับความถี่ ต่ำ มี ษาคุณสมบัติในส่วนนี้ของอาร์ค ฟอลต์มาพิจารณาแล้วอุปกรณ์ที่สามารถตรวจจ็องค์ประกอบความถี่ของกระแสที่สูงได้โดยไม่อิมตัว และตัววงจรตรวจจ็แยกออกจากวงจรย่อยที่จะทำการตรวจจ็เพื่อที่ไม่ให้อาร์คฟอลต์ที่เกิดขึ้น ภายในวงจรย่อยส่งผลกระทบต่อวงจรตรวจจ็ จึงได้เลือกนำขดลวดโรกอฟสกีที่มีคุณสมบัติตอบสนอง ต่อสัญญาณความถี่สูง มีแกนเป็นแกนอากาศซึ่งไม่อิมตัวต่อกระแสที่สูงและแยกตัวออกจากวงจรย่อย มาประยุกต์เพื่อใช้ตรวจจ็อาร์คฟอลต์แบบอนุกรมทำให่วงจรตรวจจ็ที่ ท่ขึ้นสามารถตรวจจ็อาร์ค ฟอลต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักคือการตรวจจ็อาร์คฟอลต์แบบอนุกรมในระบบไฟฟ้า กระแสสลับแรงดันต่ำโดยใช้ขดลวดโรกอฟสกี ซึ่งหลักการคือเมื่อนำขดลวดโรกอฟสกีไปคล้อง ล้อมรอบแท่งหรือสายตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าที่ต้องการวัดไหลผ่าน เส้นฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นจาก กระแสไฟฟ้าไหลผ่านแท่งตัวนำจะไปเกี่ยวคล้องผ่านขดลวดโรกอฟสกีและเมื่อกระแสไฟฟ้าที่ ไหลผ่าน แท่งตัวนำมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ก็จะมีส่งผลให้เส้นฟลักซ์แม่เหล็กที่คล้องผ่านขดลวดโรกอฟสกี เกิดการเปลี่ยนแปลงตามเวลาเช่นกัน ส่งผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นภายในขดลวดโรกอฟ สกี นั่นคือ E_M ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงของกระแส $(\frac{di_m}{dt})$ โดยทั่วไปต้องนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้ไปผ่านวงจรรีทรินทิเกรตเพื่อให้ได้รูปคลื่นของกระแสแต่สิ่งที่ต้องการพิจารณาไม่ใช่ค่าของกระแสแต่เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสขณะเกิดอาร์คฟอลต์จึงไม่จำเป็นจะต้องใช้วงจรรีทรินทิเกรตแต่จะใช้วงจร Differential to Single-Ended Amplifier ลดทอนสัญญาณรบกวน โหมดคร่อมและขยายสัญญาณพร้อมทั้งแปลงสัญญาณผลต่างเป็นสัญญาณเทียบกราวนด์ (single-ended) ก่อนที่จะนำไปเข้าวงจร Window Comparator เป็นวงจรที่เปรียบเทียบขนาดสัญญาณขาเข้ากับแรงดันอ้างอิงของขอบบนกับขอบล่างในย่านแรงดันที่กำหนดเพื่อบ่งชี้ว่าเกิดอาร์คฟอลต์ขึ้น ซึ่งวงจรทั้งสองซึ่งใช้ทฤษฎีพื้นฐานที่นำมาประยุกต์ใช้จาก OP-AMP ซึ่งขึ้นอยู่กับการทำงานแบบใดและเลือกใช้ไอซีตัวใด จากนั้นเมื่อได้สัญญาณเอาต์พุตของ Window Comparator จะนำสัญญาณที่ได้ไปทริก Retriggerable Monostable Multivibrator ที่เป็นวงจรที่พัฒนามาจากการใช้ทรานซิสเตอร์เพื่อสร้างสัญญาณแรงดันพัลส์แล้วส่งสัญญาณที่ได้ไปวิเคราะห์ในระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ในขั้นต่อไป

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการนำเสนอวิธีการตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมในระบบแรงดันต่ำ ซึ่งเป็นหนึ่งในสาเหตุสำคัญของอุบัติเหตุไฟไหม้ภายในที่อยู่อาศัย โดยศึกษาคุณลักษณะของอาร์คฟอลต์โดยจะเน้นที่อาร์คฟอลต์แบบอนุกรมที่ยากต่อการตรวจจับเนื่องจากมีระดับกระแสที่น้อย อีกทั้งโวลต์บางชนิดยังมีรูปคลื่นที่ คล้ายคลึงกับอาร์คฟอลต์รวมถึงโวลต์ที่มีอาร์คเป็นส่วนหนึ่งของการทำงานในสภาวะปกติขอตัวมันเองเช่นโวลต์ประเภทมอเตอร์ที่มีแปรงถ่าน นอกจากนี้อาร์คฟอลต์ยังปล่อยพลังงานที่เกิดจากการแตกตัวของอากาศเป็นพลาสมาโดยเป็นสัญญาณที่มีองค์ประกอบความถี่สูงออกมา จากลักษณะที่กล่าวมาจึงได้ศึกษาและเลือกอุปกรณ์ที่นำมาใช้เพื่อตรวจจับก็คือขดลวดโรกอฟสกีโดยภายในงานวิจัยจะอธิบายหลักการการทำงานของขดลวดโรกอฟสกีนี้พร้อมทั้งหลักการออกแบบเพื่อนำมาใช้ตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมเพื่อบ่งชี้ว่าเกิดสภาวะอาร์คฟอลต์ในวงจรย่อยที่ทำการตรวจจับ รวมไปถึงส่วนประกอบอื่นๆภายในวงจรตรวจจับคือ วงจร Differential to Single-Ended Amplifier, Window Comparator และ Retriggerable Monostable Multivibrator จากนั้นอธิบายถึงแนวทางการนำผลลัพธ์ของวงจรตรวจจับนี้ไปต่อยอดเพื่อพัฒนาการตรวจจับอาร์คฟอลต์นี้ต่อไป

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

จากงานวิจัยชิ้นนี้จะทำให้ทราบถึงคุณลักษณะของอาร์คฟอลต์โดยจะเน้นไปที่อาร์คฟอลต์แบบอนุกรมว่าเกิดขึ้นได้อย่างไร มีคุณสมบัติอะไรบ้างรวมถึงอันตรายที่เกิดจากอาร์คฟอลต์ที่นำไปสู่หนึ่งในสาเหตุหลักของไฟไหม้ภายในที่อยู่อาศัย จากนั้นก็เป็นวิธีการตรวจจับที่นำขดลวดโรกอฟสกีมาใช้โดยเลือกจากการศึกษาคุณสมบัติของอาร์คฟอลต์แล้ว โดยจะได้ทราบถึงคุณสมบัติและหลักการการทำงานของขดลวดโรกอฟสกีว่าเป็นอย่างไรตลอดจนวงจร Differential to Single-Ended

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Amplifier, Window Comparator และ Retriggerable Monostable Multivibrator ที่ประกอบรวมกันเป็นวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมในระบบแรงดันนี้ จากที่กล่าวมาประโยชน์หลักที่จะได้จากงานวิจัยนี้สามารถงานวิจัยนี้ไปพัฒนาต่อยอดให้สามารถตรวจจับอาร์คฟอลต์มีประสิทธิภาพมากขึ้นเพื่ ิวดและยับยั้งอุบัติเหตุไฟไหม้ที่มีความอันตรายทั้งต่อชีวิตและทรัพย์สินที่อาจจะเกิดขึ้นโดยมีอาร์คฟอลต์เป็นหนึ่งในสาเหตุหลักของไฟไหม้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 อาร์คฟอลต์

จากคำนิยามของมาตรฐาน UL1699 และ IEC62606 [3] อาร์คฟอลต์คือสภาวะการดีสชาร์จ์ของกระแสไฟฟ้าที่ส่องสว่างโดยจะมาพร้อมความเสียหายบางส่วนที่บริเวณขั้วไฟฟ้าซึ่งไม่ได้ตั้งใจเกิดขึ้น หากพูดในอีกแบบหนึ่งก็คือการเบรกดาวน์ของกระแสไฟฟ้าผ่านแก๊สซึ่งจะทำให้โมเลกุลของอากาศที่เป็นฉนวนเกิดการแตกตัวเป็นพลาสมาโดยมาพร้อมพลังงานในรูปแบบของแสงและความร้อนที่มีองค์ประกอบความถี่สูง ปกติแล้วอาร์คสามารถเกิดได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือวงจรไฟฟ้าโดยทั่วไปแต่ อาร์คที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะไม่มีอันตรายเนื่องจากว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวนั้นถูกออกแบบมาเพื่อให้มีอาร์คเป็นส่วนหนึ่งของการทำงานในสภาวะปกติตัวมันเองในโหลดประเภทมอเตอร์ที่มีแปรงถ่านและรีเลย์ อย่างเช่น สว่านไฟฟ้าและเครื่องดูดฝุ่น ที่สามารถสังเกตเห็นประกายไฟขนาดเล็กและเกิดเข้าไปเข้ามา ซึ่งอาร์คที่เกิดขึ้นนี้จะรุนแรงมากขึ้นเมื่ออุปกรณ์ถูกใช้เป็นระยะเวลาอันยาวนานจนเสื่อมสภาพลง ส่วนอาร์คฟอลต์ที่ สามารถเห็นได้ในชีวิตประจำวันคือประกายไฟที่ เกิดขึ้นขณะเสียบปลั๊กกับเต้าเสียบ

2.1.1 สภาวะที่ทำให้เกิดอาร์ค

การอาร์คเป็นปรากฏการณ์เบรกดาวน์ผ่านตัวกลางที่เป็นฉนวน(อากาศ)ที่มีรูปแบบซึ่งสามารถอธิบายได้โดย Paschen' Law [4] ด้วย 2 ตัวแปรสำคัญคือ แรงดันของอากาศและระยะห่างของแก๊สระหว่างขั้วไฟฟ้าแต่ว่า Paschen' Law จะใช้ได้เฉพาะกับสภาวะแวดล้อมที่ ถูกควบคุมเท่านั้น โดยได้รับการพิสูจน์แล้วว่าไฟฟ้ากระแสสลับแตกต่างจากการวิเคราะห์ด้วย Paschen' Law อย่างมาก โดยที่ระยะแก๊สที่ต่ำกว่า $10 \mu\text{m}$ [5] พบว่าแรงดันเบรกดาวน์มีแนวโน้มลดลงตามระยะห่างของอิเล็กโทรดที่ลดลง ซึ่งตัวแปรอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และสภาพของขั้วไฟฟ้าก็มีผลต่อการเบรกดาวน์ของอาร์คฟอลต์เช่นกัน โดยอาร์คสามารถเกิดและคงสภาวะการอาร์คที่ ต่อเนื่องได้โดยมีกระแสที่น้อยกว่า 1 A เท่านั้นโดยคุณสมบัตินี้เป็นจุดเรี่งต้นจะสามารถนำไปสู่การเกิดไฟไหม้ภายในที่อยู่อาศัยได้แล้ว โดยอย่างที่กล่าวมาในบทที่ 1 พลังงานความร้อนที่อาร์คปล่อยออกมาสามารถทำให้ฉนวนละลายและเสื่อมสภาพซึ่งส่งผลก่อให้เกิดคราบของคาร์บอนที่ทำให้ง่ายต่อการเกิดอาร์คที่รุนแรงและยาวนานมากขึ้น เมื่อ สภาวะแบบเกิดขึ้นเป็นระยะเวลาอันยาวนานความร้อนที่ เกิดขึ้นอาจทำให้วัสดุที่ติดไฟได้เกิดลุกไหม้แล้วเกิดเป็นอุบัติเหตุไฟไหม้ได้ ปฏิกริยาถูกโซ่นี้สามารถเกิดขึ้นได้จากกระแสเพียง 0.2 A ในวงจรย่อยขนาด 120 Vac ในกรณีของระบบแรงดัน 120 Vac 60 Hz ของสหรัฐอเมริกา [6] ในระบบแรงดัน 220 Vac ก็อยู่ที่ เพียง 0.5 A โดยส่วนใหญ่แล้วอาร์คฟอลต์มักจะเกิดจากจุดเชื่อมต่อของสายไฟที่หลวมระหว่างสายไฟกับเต้าเสียบหรือกับส่วนใดส่วนหนึ่ง ในสายไฟระหว่างทำการเดินสายไฟ

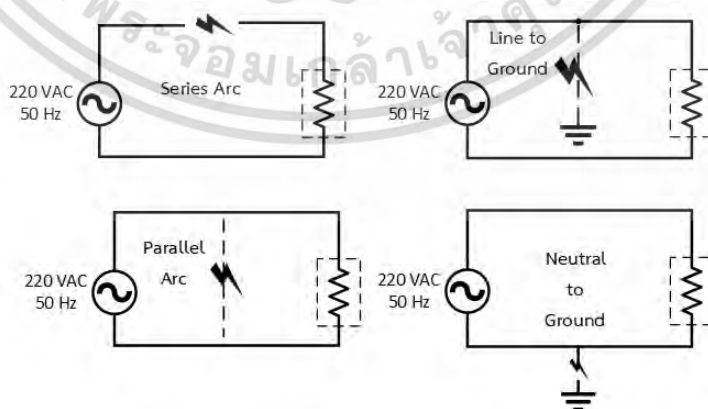
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีของอาร์คที่ไม่เป็นอันตรายเมื่อคิดในเชิงของการเกิดไฟไหม้แล้วถ้าหากเกิดขึ้นซ้ำๆเป็นระยะเวลานานก็มีโอกาสก่อให้เกิดสถานการณ์ที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้ได้เหมือนกันตัวอย่างเช่นการใช้สว่านไฟฟ้าที่มีอาร์คเป็นส่วนหนึ่งของการทำงานในสภาวะปกติที่เสื่อมสภาพหรือมีอายุการใช้งานที่นานมากแล้ว ในกรณีหนึ่งอาร์คที่ถูกคาดการณ์ว่าจะเกิดขึ้นซึ่งพิจารณาแล้วว่าสามารถควบคุมได้อย่างเช่นการทำงานของสวิตช์ไฟที่เกิดอาร์คขึ้นภายในขณะเปิดและปิดวงจร ในกรณีความรุนแรงของอาร์คขึ้นอยู่กับกรอกแบบคือความเร็วในการเปิดปิด การตีกลับของหน้าสัมผัส วัสดุที่นำมาทำหน้าสัมผัสและโหลดที่สวิตช์นั้นทำงานร่วมด้วย เป็นต้น แต่ก็เช่นเดียวกับกรณีของสว่านไฟฟ้าหากสวิตช์ถูกใช้งานไปนานๆจนเสื่อมสภาพแล้วก็มีความเสียหายที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาลุกไหม้ของอาร์คขึ้นก็เป็นได้

สาเหตุของอาร์คฟอลต์มักเริ่มขึ้นจากจุดเล็กๆซึ่งต้องใช้เวลาจนกระทั่งนำไปสู่สภาวะอาร์คฟอลต์ที่เป็นอันตรายไม่ว่าจะเกิดจากจุดเชื่อมต่อของสายไฟที่หลวม การฉีกขาดของฉนวนสายไฟ การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่เสื่อมสภาพ สถานการณ์ดังกล่าวนี้มักจะถูกมองข้ามและยากต่อการสังเกต และถึงแม้ว่าทำการติดตั้งสายไฟของวงจรอย่างถูกต้องหรือใช้งานอุปกรณ์อย่างเหมาะสมก็ยังไม่สามารถรับประกันได้ว่าอาร์คฟอลต์จะไม่เกิดขึ้น และเมื่อเกิดอาร์คฟอลต์ขึ้นแล้วถ้าหากไม่ตรวจพบหรือแก้ไข สภาวะนี้ก็จะเกิดขึ้นซ้ำๆเป็นปฏิกิริยาลุกไหม้ไปเรื่อยๆ อาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุไฟไหม้ซึ่งปฏิกิริยานี้จะไม่หยุดจนกว่าอาร์คจะถูกแก้ไขหรือวัสดุที่ติดไฟจะถูกเผาไหม้จนหมด

2.1.2 ชนิดของอาร์คฟอลต์ในวงจรภายในที่อยู่อาศัย

ตามที่กล่าวมาก่อนหน้านี้อาร์คฟอลต์ในวงจรย่อยสามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทใหญ่ๆคือแบบอนุกรมและแบบขนาน อาร์คอนุกรมจะเกิดขึ้นจากการขาดของสายตัวนำ ส่วนอาร์คขนานจะเกิดระหว่างสายตัวนำสองเส้น อย่างไรก็ตามพฤติกรรมของทั้ง 2 รูปแบบนี้ก็สามารถอธิบายด้วยสมการเดียวกันแต่แตกต่างกันที่ขนาดของกระแสขณะเกิดอาร์ค อาร์คแบบอนุกรมปริมาณกระแสจะขึ้นอยู่กับโหลด ส่วนอาร์คแบบขนานกระแสจะขึ้นอยู่กับขนาดของแหล่งจ่ายไม่ใช่โหลด



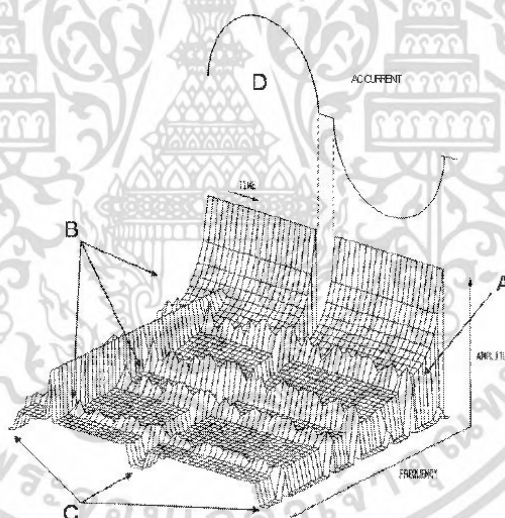
รูปที่ 2.1 ลักษณะของอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมและขนานในวงจรภายในที่อยู่อาศัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณกระแสที่ไหลผ่านวงจรเพียงพอที่จะแยกความแตกต่างพฤติกรรมของอาร์คทั้ง 2 ประเภทซึ่งจะช่วยให้เราสามารถทดสอบอาร์คทั้ง 2 ประเภทให้แยกจากกันได้อย่างชัดเจน อาร์คแบบขนานมีขนาดของกระแสไฟฟ้าโดยทั่วไปมากกว่ากระแสที่ระดับการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์โดยกระแสทั้งหมดไหลมาจากฝั่งแหล่งจ่ายแต่จะถูกจำกัดกระแสไว้ด้วยขนาดอิมพีแดนซ์ของสายตัวนำและองค์ประกอบในวงจรร้อยอื่นๆเท่านั้นเอง ส่วนอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมจะนำกระแสที่ขนาดปกติซึ่งจะถูกจำกัดกระแสด้วยอิมพีแดนซ์ของสายและโหลดที่ต่อกับวงจรร้อยเท่านั้น นอกจากนี้อาร์คฟอลต์ที่ ไหลจากสายตัวนำไปยังกราวด์ก็จะถูกพิจารณาให้เป็นอาร์คแบบขนาน

2.1.3 คุณสมบัติของอาร์ค

การอาร์คในวงจรร้อยจะปล่อยพลังงานออกมาในรูปแบบของแสงและความร้อนอีกทั้งสัญญาณที่มีองค์ประกอบของความถี่ในย่านกว้างออกมาซึ่งเป็นผลจากกระแสที่เบรกตัวนำผ่านแก๊สที่เกิดขึ้นภายในวงจรร้อยนั้นๆ ซึ่งจะทำให้โมเลกุลของอากาศแตกตัวเป็นพลาสมา ซึ่งมีองค์ประกอบความถี่ในย่านตั้งแต่ 10 kHz – 1 GHz รูปแบบพลังงานของสัญญาณมีแนวโน้มที่ คล้ายคลึงกับรูปแบบของ PINK noise [7]



รูปที่ 2.2 ลักษณะสเปกตรัมของความถี่ ของอาร์คฟอลต์บนแกนของเวลา

ในรูปที่ 2.2, A. จะอธิบายแถบสเปกตรัมองค์ประกอบความถี่ของอาร์คฟอลต์ องค์ประกอบความถี่ของสัญญาณที่เกิดจากอาร์คฟอลต์จะเป็นไปตามรูปแบบของ PINK noise นั่นคือความถี่เพิ่มขึ้นแต่ขนาดของสัญญาณจะลดลง B. แสดงให้เห็นถึงกลุ่มสัญญาณความถี่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามแถบสเปกตรัมที่ อาจจะมีอยู่ในวงจรร้อย C. เป็นจุดที่แสดงถึงแก๊สบนแถบความถี่ซึ่งเกิดจากการที่อาร์คดับลงใกล้กับช่วงของจุดตัดศูนย์ของแรงดันกระแสสลับและกลับมาอีกครั้งเมื่อมีแรงดันมากพอที่ ไทเบรกตัวนำผ่านสายตัวนำ D. คือตัวแทนของรูปคลื่น ของกระแสไฟฟ้า AC จะสังเกตเห็นได้ว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาร์คฟอลต์ที่เกิดขึ้นจะมีการเปลี่ยนแปลงตามแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับโดยที่กระแสของอาร์คฟอลต์จะดับหายไปเมื่อแรงดันเข้าใกล้ จุดตัดศูนย์เนือ อจากไม่มีพลังงานมากพอที่จะเบรกตัวนำผ่านแก๊สและเมื่อมีแรงดันออกห่างจุดตัดศูนย์เนือก็จะทำให้มีพลังงานมากพอที่จะเบรกตัวนำข้ามแก๊สได้ โดยจะเกิดปรากฏการณ์ลักษณะเช่นนี้ทุกๆครึ่งลูกคลื่นของแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ โดยคุณลักษณะของอาร์คฟอลต์จะประกอบไปด้วย

1. Broadband Frequency

อาร์คฟอลต์ปล่อยพลังงานที่ ร็องค์ประกอบความถี่ที่อยู่ในย่านตั้งแต่หลาย 10 kHz จนถึงประมาณ 1 GHz ขณะนำกระแสโดยมีพฤติกรรมที่สม่ำเสมอกล่าวคือสัญญาณความถี่สูงนี้จะปรากฏขึ้นในระหว่างการนำกระแสขณะที่อาร์คคงสภาพอยู่และสัญญาณความถี่สูงจะหายไปทันทีที่อาร์คดับไป จากการสังเกตพบว่าระดับพลังงานที่อยู่ภายในสเปกตรัมของสัญญาณความถี่สูง นั้นจะได้รับผลจากปริมาณกระแสที่ไหลผ่านอาร์คฟอลต์ กระแสที่สูงจะทำให้อาร์ครุนแรงกว่าและอาร์คที่คงสภาพได้เองก็เกิดขึ้นยากกว่า กระแสที่สูงกว่าจะทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลของอากาศในแก๊สที่มากกว่า ทำให้ปริมาณของสัญญาณแถบความถี่ กว้างลดน้อยด้วย

2. ความเป็นเชิงคาบและการดับของอาร์คฟอลต์

อาร์คจะเกิดการดับหายไปของกระแสเมื่อแรงดันแหล่งจ่าย AC เข้าใกล้จุดตัดศูนย์เนือ แต่เมื่อมีพลังงานที่เพียงพออาร์คก็จะกลับขึ้นมาใหม่และจะดับไปอีกอย่างต่อเนื่องทุกๆครึ่งคลื่น นูสาคลี นซี จะเกิดในลักษณะเชิงคาบ

3. กระแสไฟฟ้าของอาร์คฟอลต์

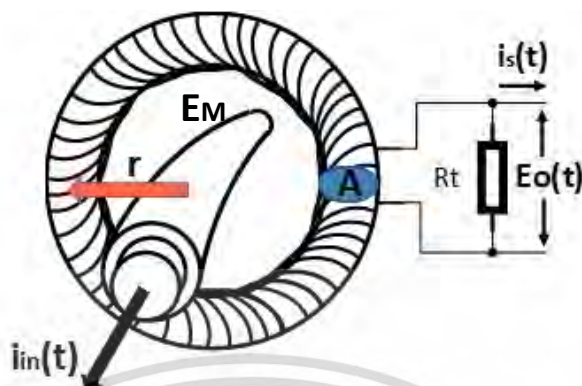
อาร์คฟอลต์ทุกรูปแบบนั้นอันตรายและสามารถก่อให้เกิดไฟไหม้ในที่อยู่อาศัยได้และกระแสที่สูงมากก็ใช้เวลาเพียงไม่นานที่จะทำให้วงจรภายในที่เกิดอาร์คฟอลต์เกิดไฟไหม้ได้ ยิ่งกระแสที่ไหลผ่านอาร์คนั้นมากขึ้นก็จะเพิ่มความรุนแรงของอาร์คมากขึ้นตามไปด้วย กระแสของอาร์คที่มีขนาดใหญ่โดยปกติมีความรุนแรงและมักจะทำให้เวลาการเกิดของอาร์คสั้นลงด้วย ตัวอย่างเช่น กระแสอาร์คฟอลต์ขนาด 500 A สามารถเกิดได้นานหลายครั้ง คาบเวลา ในขณะที่ กระแสขนาด 30 A เกิดนานหลายกิโลวินาที

2.2 ขดลวดโรกอฟสกี

การวัดกระแสด้วยขดลวดโรกอฟสกีจะใช้หลักการคล้ายคลึงกับของหม้อแปลงกระแสแบบพิเศษ ซึ่งหลักการคือเมื่อนำขดลวดโรกอฟสกีไปคล้องล้อมรอบแท่งหรือสายตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าที่ต้องการวัดไหลผ่าน เส้นฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านแท่งตัวนำจะไปเกี่ยวคล้องผ่านขดลวดโรกอฟสกีและเมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแท่งตัวนำมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ก็จะส่งผลให้เส้นฟลักซ์แม่เหล็กที่คล้องผ่านขดลวดโรกอฟสกีเกิดการเปลี่ยนแปลงตามเวลาเช่นกันส่งผลทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นภายในขดลวดโรกอฟสกี นั่นคือ E_M ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงของกระแส ($\frac{di_{in}}{dt}$) ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ขดลวดโรกอฟสกี

ในรูปที่ 2.3 จากกฎของแอมแปร์ คือ เมื่อขดลวดโรกอฟสกีคล้องล้อมรอบแท่งตัวนำที่มีกระแส i_{in} ไหลผ่าน จะทำให้ความเข้มสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นที่ขดลวดโรกอฟสกีซึ่งอยู่ห่างจากแท่งตัวนำในแนวรัศมีเท่ากับ r คือ

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

หากขดลวดวางอยู่ในอากาศจะมีค่าซาบซิมแม่เหล็กของอากาศ (μ_0) เท่ากับ $4\pi \times 10^{-7}$ H/m จะได้ความหนาแน่นเส้นฟลักซ์แม่เหล็ก ณ จุดนั้น คือ

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

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

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

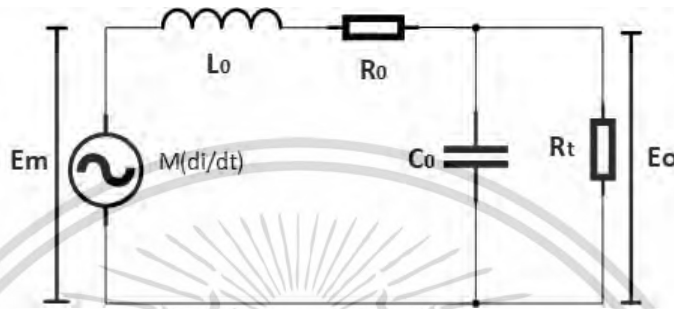
จากกฎเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ทำให้สามารถหาค่าแรงดันเหนี่ยวนำบนขดลวดจำนวน N รอบได้ดังนี้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_m = -M \frac{di_{in}}{dt} \tag{2.5}$$

โดยที่ $M = \frac{N\mu_0 A}{l}$, M คือความเหนี่ยวนำร่วมระหว่างขดลวดโรกอฟสกีกับตัวนำที่มีกระแส i_{in} ไหลผ่าน วงจรสมมูลของขดลวดโรกอฟสกี [8] สามารถเขียนได้ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วงจรสมมูลของขดลวดโรกอฟสกี

สามารถหาค่า L_0 และค่า C_0 ได้ดังนี้

$$L_0 = MN \tag{2.6}$$

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

$$R_0 = \frac{\rho_w l_w}{A_w} \tag{2.8}$$

โดยที่

- $M \frac{di_{in}}{dt}$ คือ แรงเคลื่อน อิมพีไฟฟ้านี้ หมายว่า (V)
- R_0 คือ ความต้านทานของขดลวดโรกอฟสกี (Ω)
- L_0 คือ ความเหนี่ยวนำของขดลวดโรกอฟสกี (H)
- C_0 คือ ความจุไฟฟ้าของขดลวดโรกอฟสกี (F)
- a คือ พื้นที่ หน้าตัดขดลวด (m^2)
- A คือ พื้นที่ หน้าตัดขดลวดแกน (m^2)
- N คือ จำนวนรอบขดลวดทั้งหมด (turn)

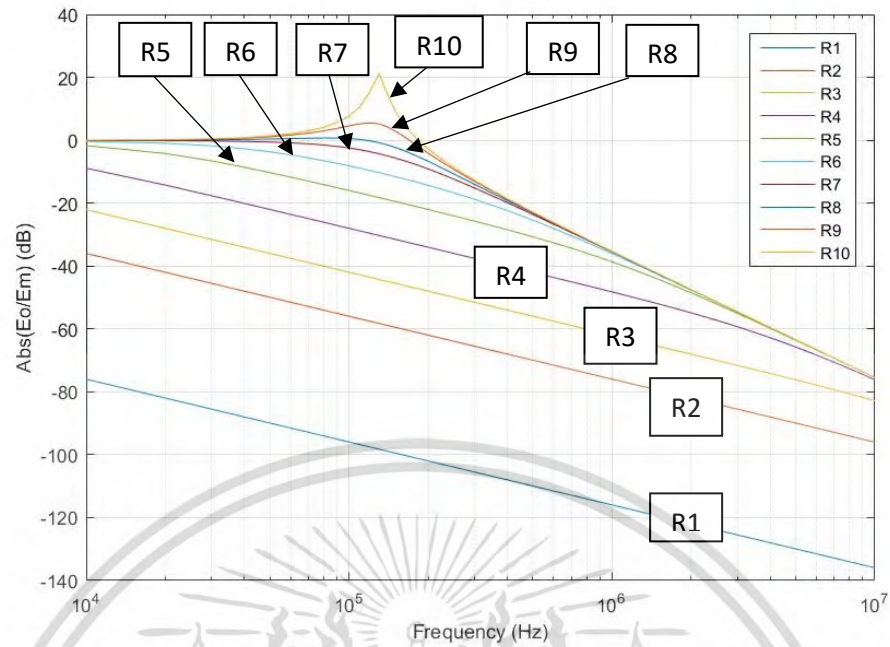
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

n	คือ จำนวนรอบต่อความยาวแกน (turn/m)
ϵ_r	คือ เพอร์มิตติวิตี้สัมพัทธ์ของแกนที่ใช้พันขดลวด (F/m)
ϵ_0	คือ เพอร์มิตติวิตี้สัมพัทธ์ของอากาศ (F/m)
ρ_w	คือ ความต้านทานจำเพาะของลวด (Ω -m)
A_w	คือ พื้นที่หน้าตัดของลวด (mm^2)
l_w	คือ ความยาวของลวด (m)
R_t	คือ <i>Terminating Resistor</i> (Ω)

จากวงจรสมมูลของขดลวดโรกอฟสกีในรูปที่ 2.4 สามารถหาค่าอัตราขยายของขดลวดโรกอฟสกีได้จากฟังก์ชันถ่ายโอนในสมการ (2.9)

$$\frac{E_o}{E_M} = \frac{R_t}{(L_0 C_0 R_t) s^2 + (R_0 C_0 R_t + L_0) s + R_t + R_0} \quad (2.9)$$

R_t จะทำหน้าที่ resistance matching โดยขนาดที่เลือกใช้ต้องมีขนาดที่สอดคล้องกับอิมพีแดนซ์ของขดลวดโรกอฟสกีเพื่อให้เกิดการสะท้อนกลับของสัญญาณน้อยที่สุดและการส่งผ่านสัญญาณไปได้ดีที่สุด โดยจะทำการจำลองฟังก์ชันถ่ายโอนของขดลวดโรกอฟสกีขึ้นโดยใช้สมการที่ (2.9) จำลองในโปรแกรม MATLAB เพื่อดูผลตอบสนองต่อความถี่ที่ค่า R_t ต่างกันซึ่งในงานวิจัยนี้ต้องการพิจารณาสัญญาณอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่องค์ประกอบความถี่สูงจึงต้องการผลตอบสนองต่อความถี่มีแบนด์วิธที่สูงแต่จะให้มึลักษณะเป็น Flat Response เพื่อให้มีคุณสมบัติคล้ายวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่กรองความถี่ช่วงที่ไม่ต้องการออกไป โดยที่ค่า R_t ค่าหนึ่งจะทำให้กราฟไม่เกิด Resonance Peak และยังมีอัตราขยายที่ดีเมื่อความถี่เพิ่มมากขึ้นจะแสดงในรูปที่ 2.5 ทำการปรับค่า R_t ที่จะมีทั้งหมด R_1 ถึง R_{10} ค่าเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก แนวน้มน้ของแบนด์วิธจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มค่า R_t ขึ้นแต่เมื่อถึงจุดๆหนึ่งจะเกิด Resonance Peak แล้วค่อยตกลง ในการพิจารณาแนวน้มน้ของผลตอบสนองต่อความถี่โดยการปรับ R_t นี้ได้กำหนดให้ R_3 มีค่าเท่า R_0 ของขดลวดโรกอฟสกีนี้ซึ่งจะเห็นได้ว่าหากตั้งค่าที่เท่ากับ R_0 จะได้แบนด์วิธที่น้อย ดังนั้นควรที่จะเลือกใช้ค่า R_t ที่สูงกว่า R_0 หลายเท่าเนื่องจากสมการของฟังก์ชันถ่ายโอนของขดลวด R_t จะมีผลต่ออัตราขยายสัญญาณต่อความถี่ของขดลวดมาก



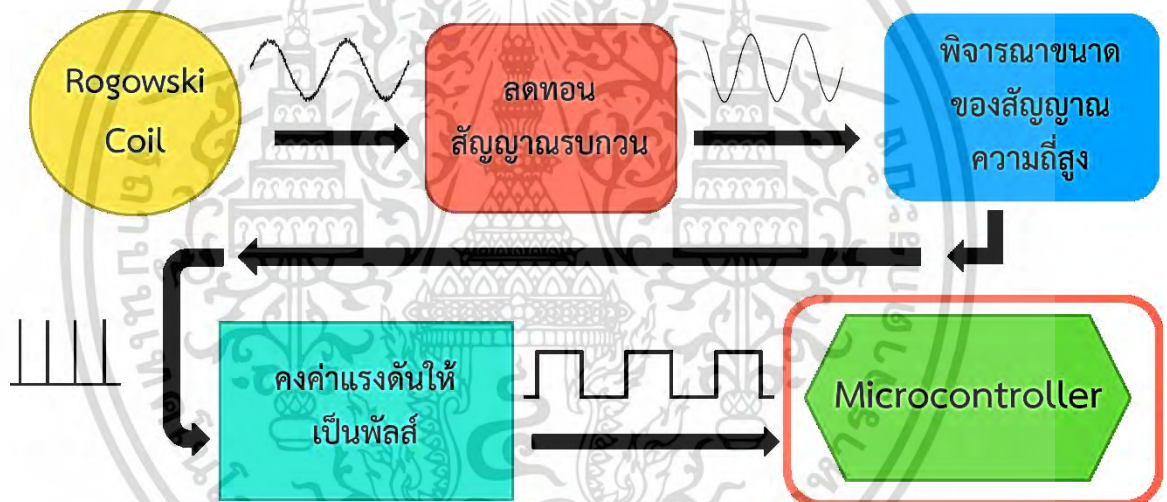
รูปที่ 2.5 กราฟการจำลองผลตอบสนองต่อความถี่ของขดลวดโรกอฟสกี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรม

ในงานวิจัยนี้ทำการตรวจจับอาร์คฟอลต์จากสัญญาณองค์ประกอบความถี่สูงที่อาร์คฟอลต์ปล่อยออกมาจึงมีแนวคิดนำขดลวดโรกอฟสกีมาใช้งานเพื่อตรวจจับสัญญาณอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ความถี่สูงจากนั้นจะนำสัญญาณที่ได้ไปลดทอนสัญญาณรบกวนโหมตร่วมที่อาจจะผสมอยู่ สัญญาณจากนั้นจึงจะพิจารณาว่าเกิดสภาวะอาร์คฟอลต์ขึ้นจากขนาดของสัญญาณความถี่สูง โดยให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นสัญญาณระดับของแรงดันในลักษณะของลอจิกและส่วนสุดท้ายที่เป็นส่วนเสริมจะทำให้สัญญาณระดับของแรงดันเป็นสัญญาณพัลส์เพื่อให้สามารถนำไปวิเคราะห์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ในงานวิจัยต่อไปในอนาคตได้ แผนภาพแนวคิดจะเป็นไปตามรูปที่ 3.1

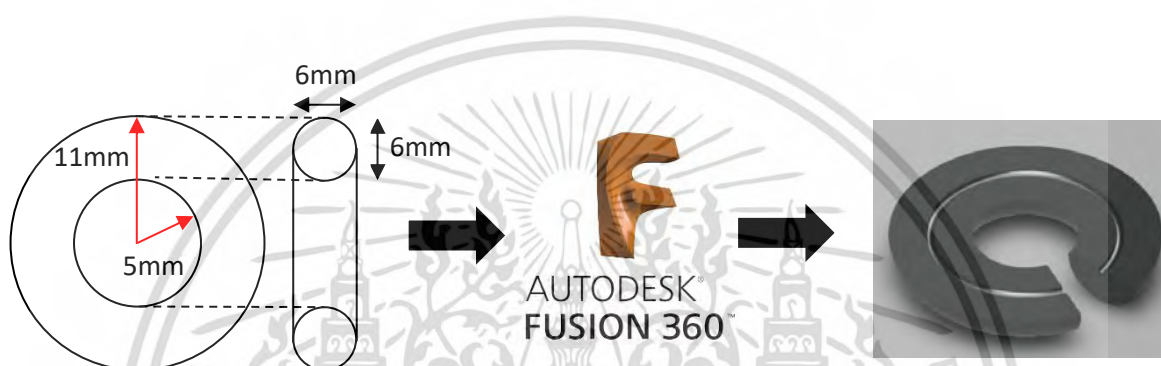


รูปที่ 3.1 แผนภาพแนวคิดในการตรวจจับอาร์คฟอลต์

3.1 การออกแบบขดลวดโรกอฟสกี

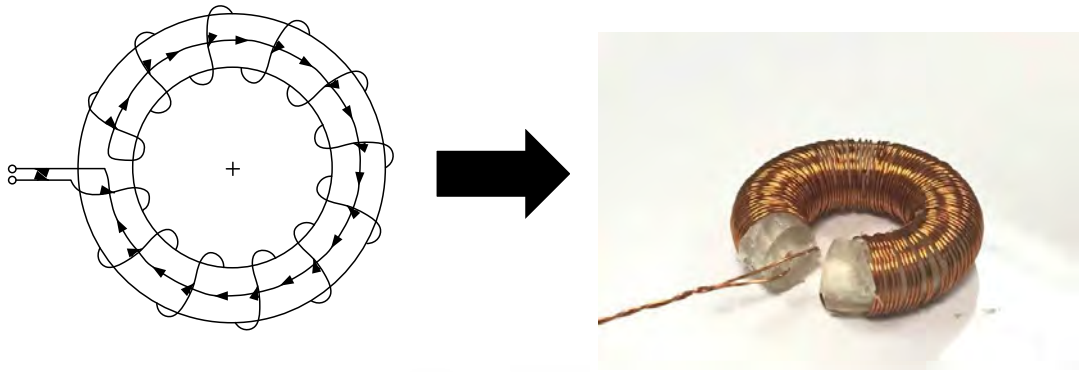
หลักการวัดกระแสด้วยขดลวดโรกอฟสกี จะใช้หลักการของหม้อแปลงกระแส (CT) แบบพิเศษ ซึ่งหลักการคือเมื่อนำขดลวดโรกอฟสกีไปคล้องล้อมรอบแท่งหรือสายตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าที่ต้องการวัดไหลผ่าน เส้นฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านแท่งตัวนำจะไปเกี่ยวค้ำลงผ่านขดลวดโรกอฟสกีและเมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแท่งตัวนำมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ก็จะส่งผลให้เส้นฟลักซ์แม่เหล็กที่คล้องผ่านขดลวดโรกอฟสกีเกิดการเปลี่ยนแปลงตามเวลาเช่นกัน ส่งผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่ปลายขดลวดโรกอฟสกี ดังนั้น แกนของขดลวดใช้พลาสติกเป็นวัสดุที่ไม่ใช่สารแม่เหล็กกล่าวคือมีค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (Permeability) เท่ากับอากาศ ($\mu_0 =$ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$4\pi \times 10^{-7} H/m$) หรือ มีค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ (Relative permeability) เท่ากับหนึ่ง ดังนั้น จึงไม่ทำให้เกิดการอิมตัวของเส้นแรงแม่เหล็กที่ไหลผ่านวัสดุดังกล่าว แกนขดลวดนี้ได้จาก ออกแบบในโปรแกรม Autodesk Fusion 360 จากนั้นทำการ 3D printing โดยใช้วัสดุเป็นอะคริลิก ขึ้นรูปในลักษณะรูปทรงทอรอยด์ โดยออกแบบให้รัศมีนอกของแกนเท่ากับ 11 mm รัศมีในของแกนเท่ากับ 5 mm เพื่อให้ง่ายต่อการพันเส้นลวดทองแดงจึงขึ้นรูปแกนทีละครึ่ง จึงทำให้มีขนาดของ พื้นที่หน้าตัดแกนเท่ากับ 113.1 mm^2 เนื่องจากต้องการให้มีขนาดเล็กสามารถติดตั้งลงในกล่องวงจร ได้สามารถเก็บ ยวคล่องสายที่ใช้ในระบบแรงดันต่ำที่ ไปได้สะดวกจึงออกแบบให้มีขนาดที่ สามารถคล้อง ล้อมรอบสายไฟขนาด $2.5 - 4.0 \text{ mm}^2$ ได้



รูปที่ 3.2 การออกแบบและการขึ้นรูปแกนของขดลวด

การวัดกระแสไฟฟ้าโดยใช้ขดลวดโรกอฟสกี เป็นการวัดกระแสที่อาศัยการเหนี่ยวนำของ สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสที่ไหลผ่านตัวนำที่ขดลวดโรกอฟสกีคล้องอยู่ ซึ่งการวัดจะมีความถูกต้องก็ต่อเมื่อ พื้นที่ภาคตัดขวางและความถี่ของจำนวนรอบขดลวดมีความสม่ำเสมอตลอดช่วงความยาวแกนการพันขดลวดโรกอฟสกีนั้น จะมีลักษณะพิเศษต่างจากการพันขดลวดปกติ คือ มีการพันย้อนกลับเข้าไปภายในขดลวดอีกหนึ่งรอบ เพื่อให้แรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดจากสนามแม่เหล็กภายนอกหักล้างกัน ดังรูปที่ 3.3 และเมื่อสนามแม่เหล็กภายนอกหักล้างกัน แรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นภายในขดลวดจะมาจากสนามแม่เหล็กของกระแสที่ต้องการวัดเพียงอย่างเดียวเท่านั้น จึงทำให้รูปคลื่นกระแสที่วัดได้มีความถูกต้องแม่นยำ



รูปที่ 3.3 การพันขดลวด

ในการออกแบบนี้ได้เลือกใช้ลวดทองแดง AGW32 จำนวนรอบที่พัน $N = 100 \text{ turns}$ และจากวงจรสมมูลในรูปที่ 2.4 ได้ทำการวัดค่า R_0 และ L_0 โดยใช้ LCR meter ที่ความถี่ 1 MHz และค่าความ C_0 โดยใช้สมการที่ 2.7 เนื่องจากเนื่องจาก LCR meter วัดได้ที่มีความถี่ต่ำกว่า Resonance Frequency ของขดลวดทำให้วัดค่า C_0 ไม่ได้ จึงใช้วิธีการประมาณค่าด้วยการคำนวณค่าได้ค่าดังนี้

$$R_0 = 1.667 \Omega, L_0 = 9.1 \mu H \text{ และ } C_0 = 11 pF$$

จากการจำลองผลการตอบสนองต่อความถี่ของขดลวดโรกอฟสกีในงานวิจัยชิ้นนี้ได้เลือกค่า R_t จากหลายๆค่าเพื่อหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดโดยในการวิจัยนี้ต้องการดูสัญญาณอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ความถี่สูงจึงไม่จำเป็นต้องมีวงจรอินทิเกรตตังนั้น R_t ที่เหมาะสมต้องทำให้ผลตอบสนองต่อความถี่ของขดลวดโรกอฟสกีมีลักษณะเป็น Flat Response มีอัตราขยายที่สูงและทำให้ขดลวดโรกอฟสกีเป็นเสมือนวงจรกรองความถี่ ต่ำพาสี มีความถี่แบนด์วิธ

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

$$f = 15.9 \approx 16 \text{ MHz}$$

โดยจากรูปที่ 34 ได้เลือก R_t ที่ขนาด

$$R_t = 660 \Omega$$

เมื่อเลือก R_t ได้แล้วจึงนำขดลวดโรกอฟสกีไปทดสอบว่าเป็นไปตามกับที่ได้จำลองผลตอบสนองต่อความถี่ไว้ในโปรแกรม MATLAB หรือไม่ โดยให้ขดลวดวัดสัญญาณจาก Function Generator ที่จ่ายสัญญาณ Sinusoidal ให้กับโหลดความต้านทาน 10 Ω และทำการเพิ่มระดับความถี่จากระดับ 1MHz – 100 MHz ซึ่งให้ความถี่ที่ 1 MHz เป็นความถี่มูลฐานจากนั้นพล็อตกราฟเพื่อดูผลตอบสนองต่อความถี่ที่เกิดขึ้นโดยการทดสอบนี้จะต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบรวมกับวงจรเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Differential to Single-Ended Amplifier โดยลักษณะการต่อ R_t และวงจรจะเป็นไปตามรูปที่ 3.5 โดยตามฟังก์ชันถ่ายโอนที่เราพิจารณาคือ E_o/E_M แต่ขนาดของ E_M ไม่สามารถวัดได้ ในการทดสอบนี้จึงทำการวัดแรงดัน V_{in} แทนเนื้ อกจาก

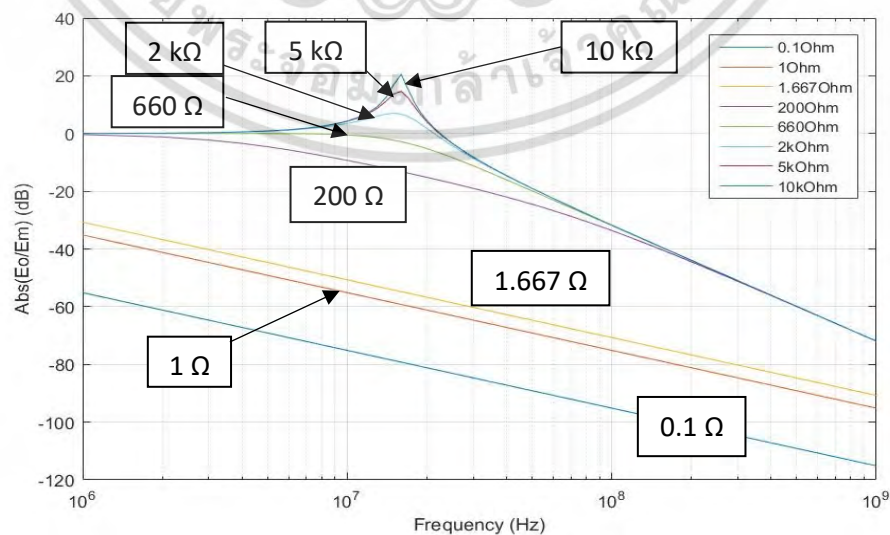
$$i_{in} = \frac{V_{in} \sin \omega t}{R} \quad (3.2)$$

เมื่ วมทนลงสมการที่ (2.5)

$$E_M = -M \frac{\omega V_{in}}{R} \cos \omega t = -M \frac{2\pi f V_{in}}{R} \cos \omega t \quad (3.3)$$

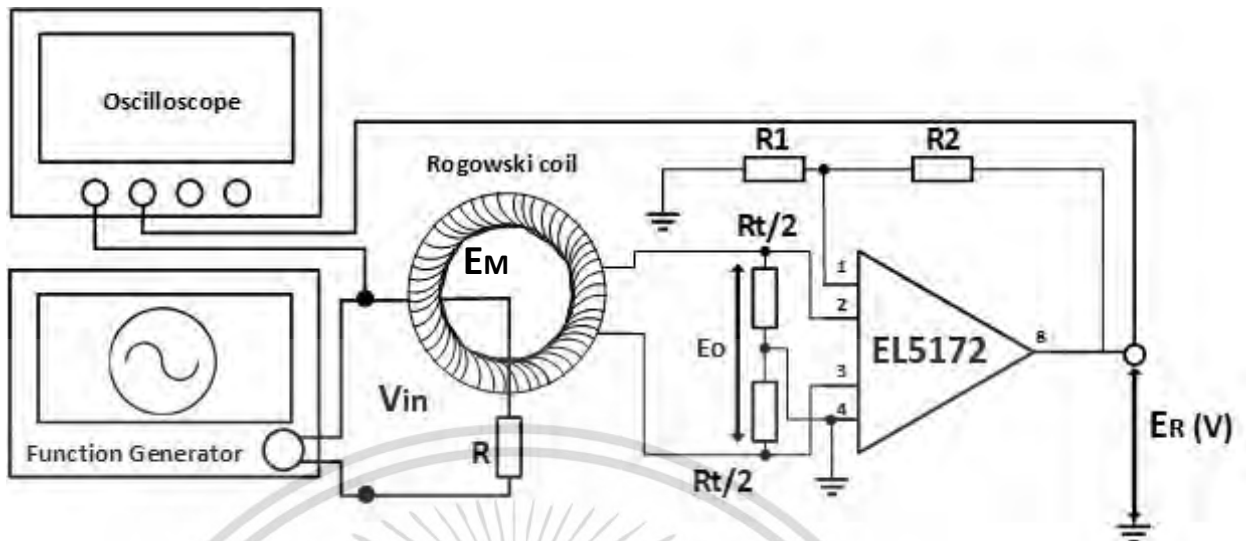
$$|E_M| = \left| M \frac{2\pi f V_{in}}{R} \right| \quad (3.4)$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่าขนาดของ E_M จะสามารถวัดขนาดได้จาก V_{in} ที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกันแต่ ต้องทำการคูณ $2\pi f$ ก่อนจะนำไปวิเคราะห์เพราะความถี่ก็มีผลกับขนาดของ E_M เช่นกัน ส่วน E_o จะทำการวัดที่ตำแหน่ง E_R ที่ผ่านวงจร Differential to Single-Ended Amplifier เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนโหมตรวมที่อาจจะเข้ามาทำให้การวิเคราะห์ผิดพลาด โดยรูปที่ 3.6 จะแสดงคุณลักษณะการถ่ายโอนของขดลวดโรกอฟสกีที่ได้จำลองจากโปรแกรม MATLAB เทียบกับที่วัดและคำนวณได้จริง ซึ่งจากผลการทดสอบของขดลวดนี้จะเห็นได้ว่าขดลวดมีอัตราขยายและการตอบสนองที่ดีถึงที่ระดับ 60 MHz เมื่อเทียบกับกราฟที่ได้จากการจำลองแล้วแสดงว่าขนาด R_t ที่ได้เลือกมาใช้นั้นสอดคล้องกับอิมพีแดนซ์ของขดลวดโรกอฟสกี

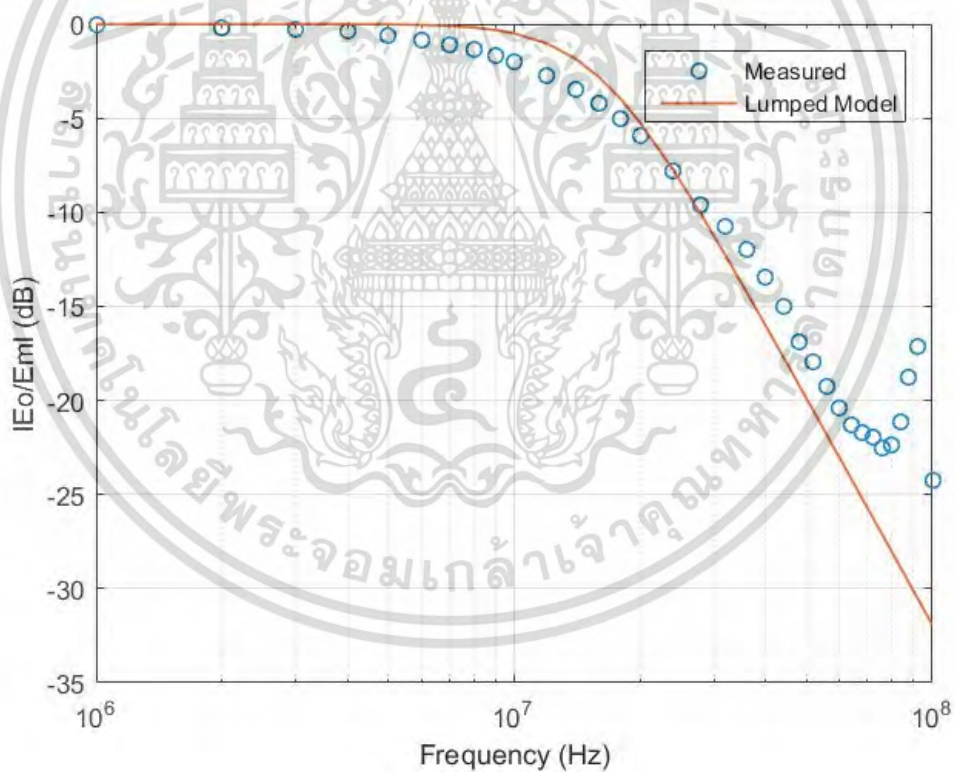


รูปที่ 3.4 ผลการจำลองผลตอบสนองต่อความถี่ที่ ต่ R_t ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ชุดอุปกรณ์การทดสอบขดลวดโรกอฟสกีกับ R_t



รูปที่ 3.6 ลักษณะการถ่ายโอนของขดลวดโรกอฟสกีเทียบกับที่วัดได้จริง

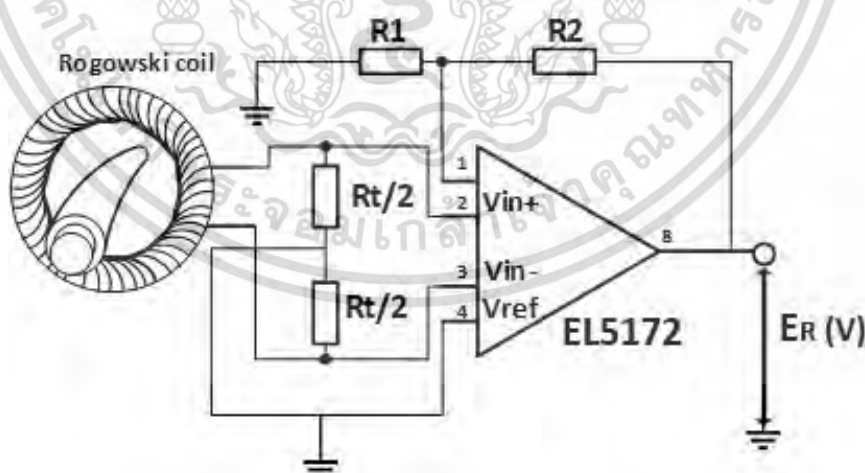
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบวงจร Differential to Single-Ended Amplifier (DSA)

วงจร Differential to single end Amplifier (DSA) ในงานวิจัยชิ้นนี้วงจรนี้มีความสำคัญมากนอกจากนำมาขยายสัญญาณยังมีจุดมุ่งหมายเพื่อลดทอนสัญญาณรบกวนโหมตรงรวมเพื่อที่จะได้สัญญาณที่ถูกต้องแม่นยำสำหรับนำไปวิเคราะห์ และปรับสัญญาณอัตราการเปลี่ยนแปลงกระแสเป็นสัญญาณเทียบกราวด์ (single-ended) เพื่อนำไปใช้ยังวงจร Window Comparator ต่อไป โดยเลือกใช้ไอซี EL5172 250MHz “Differential Line Receivers” ซึ่งจะเลือกใช้ฟังก์ชันการทำงาน DSA มีกำลังขยายแบนด์วิธที่สูงเหมาะสมต่อขดลวดโรกอฟสกีที่ได้ถูกออกแบบมาให้มีแบนด์วิธที่ 16 MHz และรับสัญญาณอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่มีองค์ประกอบความถี่สูงของอาร์คพอลต์ นอกจากนี้ไอซีตัวยังมีขนาดเล็กซึ่งหากนำออปแอมป์มาใช้เพื่อให้ได้ฟังก์ชันเดียวกันนี้ต้องใช้ออปแอมป์ถึงสามตัวเพื่อ ให้ได้ผลลัพธ์ออกมาเหมือนกันนับว่าลดขนาดของวงจรลงไปได้อย่างมาก

จากรูปที่ 3.7 จะเห็นได้ว่า $R_t/2$ ซึ่งเกิดจากการแบ่งค่า R_t ที่เลือกจากการออกแบบขดลวดโรกอฟสกีที่มีแบนด์วิธ 16 MHz เป็นสองค่าให้เท่ากันเพื่อติดตามฟังก์ชันในแผ่นข้อมูลของ EL5172 เพื่อทำการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมตรงรวมออกจากสัญญาณ รวมทั้ง R_1 และ R_2 โดยที่ $R_1 = R_2 = 1\text{ k}\Omega$ ต่อเพื่อปรับ amplifier gain = 2 ตามสมการที่ 3.5

$$v_o = (v_{in+} - v_{in-} + v_{ref}) \times \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (3.5)$$



รูปที่ 3.7 วงจร Differential to Single-Ended Amplifier โดยใช้ EL5172

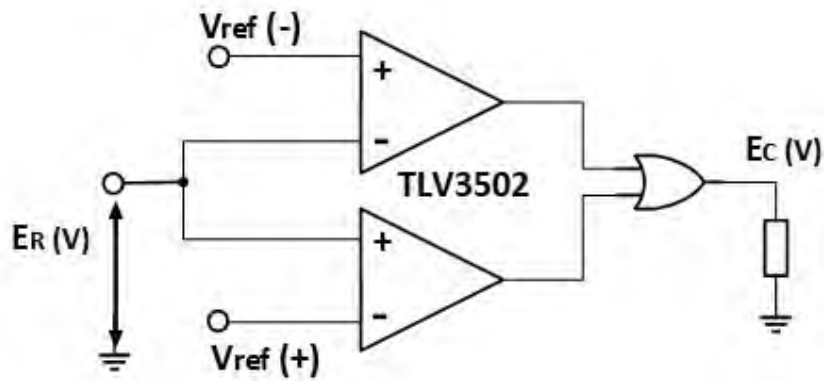
3.3 การออกแบบวงจร Window Comparator (WC)

สัญญาณอัตราการเปลี่ ้นแปลงของกระแสที่ ได้จากวงจร DSA นั้นเป็นสัญญาณที่มีแอมพลิจูด ทั้งในย่านบวกและลบอีกทั้งมีแบนด์วิทที่สูงเมื่อใช้วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบแม่นยำ (Precision Full-Wave Rectifier) เพื่อ ปรึรูปคลื่น นมาที่การวิเคราะห์ในระดับแรงดันย่านบวกเพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำได้เนื่องจากวงจรมีแบนด์วิทไม่สูงพอที่จะเรียงรูปคลื่นของสัญญาณได้ทัน ดังนั้น วงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบกรอบ (Window Comparator, WC) จึงถูกนำมาวิเคราะห์สัญญาณ แรงดันทั้งในย่านบวกและลบโดยไม่ต้องทำการเรียงกระแสของสัญญาณก่อน โดยทำการเปรียบเทียบ ระหว่างแรงดันอ้างอิงที่เราได้ตั้งค่าไว้กับแรงดันจากสัญญาณอัตราการเปรียบเทียบของกระแสที่ผ่าน วงจร DSA เพื่อเปลี่ยนระดับแรงดันของอาร์คที่เกิดขึ้นมาเป็นสัญญาณลอจิกทำให้สามารถบ่งชี้ได้ว่ามี อาร์คฟอลต์เกิดขึ้นหรือไม่ โดยตามปกติแล้วจะเป็นการต่อวงจรโดยนำ OP-AMP 2 ตัวที่ ทำหน้าที่เป็น วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator) ที่เปรียบเทียบแรงดันในทิศทางทางตรงข้ามมาใช้ ร่วมกันทำให้เกิดย่านแรงดันที่เราต้องการเปรียบเทียบนั่นเอง แล้วทั่วไปวงจร WC ต้องนำไปทำงาน ร่วมกับประตูสัญญาณตรรกะ (logic gate) โดยเลือกใช้ประตูสัญญาณตรรกะชนิด OR-GATE ใน งานวิจัยนี้เลือกใช้ไอซี TLV3502 มาใช้เนื่อจากภายตัวไอซีนี้มีฟังก์ชันการทำงานของ OP-AMP 2 ตัว อยู่ภายใน มีขนาดเล็กและนอกจากนี้ยังมีความเร็วในการตอบสนองที่รวดเร็วที่เวลา 4.5 ns โดยใน การต่อวงจรนี้ต้องทำการตั้งค่าแรงดันอ้างอิงซึ่งต้องพิจารณาจากแรงดันของสัญญาณอัตราการ เปลี่ ้นแปลงกระแสว่าไหลแต่ละชนิดที่นำมาทดลองในขณะเกิดอาร์คและไม่เกิดอาร์คมีขนาดเท่าไร ซึ่งสัญญาณอัตราการเปลี่ ้นแปลงของกระแสที่มีทั้งย่านบวกและย่านลบจึงต้องมีแรงดันอ้างอิงในทั้ง สองย่านแรงดันนั้นฉะนั้นจึงมีเงี่ ไขดังนี้

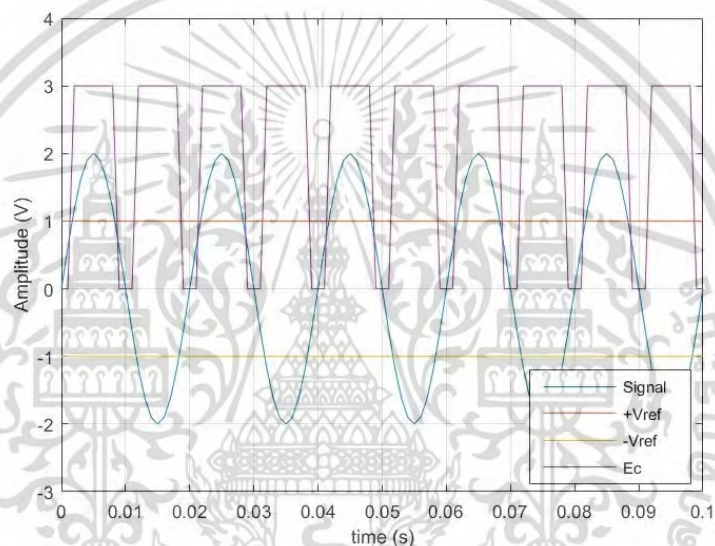
$$|E_R| > |V_{ref}| ; E_C = High$$

$$|E_R| \leq |V_{ref}| ; E_C = Low$$

โดยจะมีผลลัพธ์และรูปวงจร WC จะเป็นตามรูปที่ 3.8 และ 3.9



รูปที่ 3.8 วงจร Window Comparator โดยใช้ TLV3502

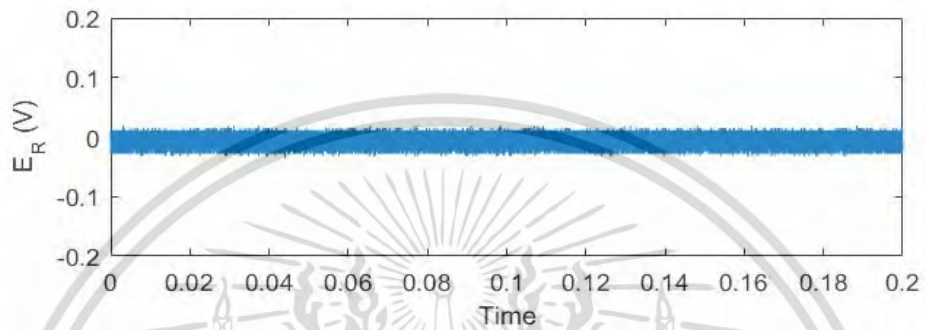
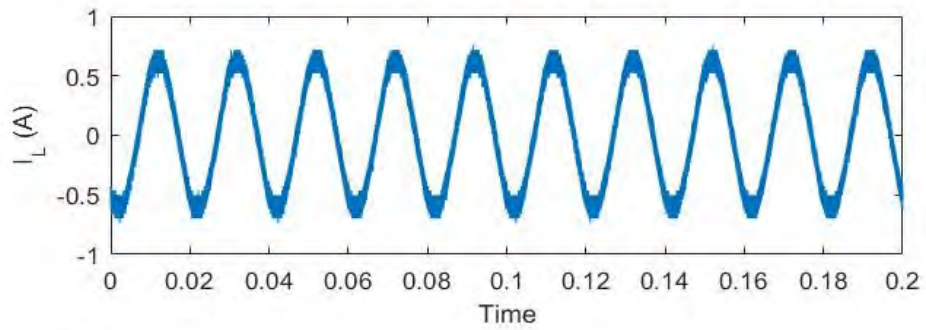


รูปที่ 3.9 ผลลัพธ์ของวงจร Window Comparator

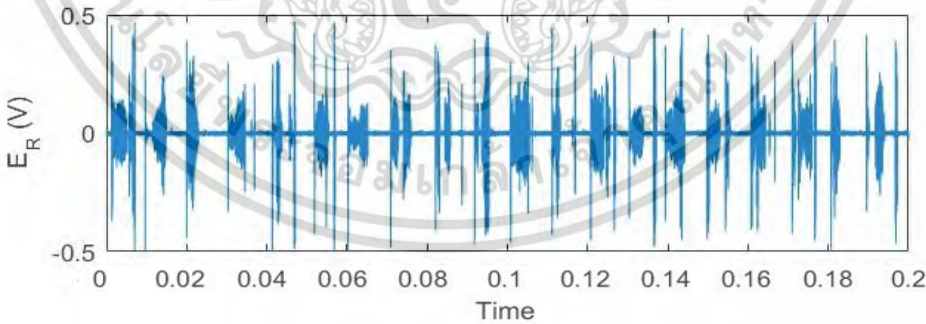
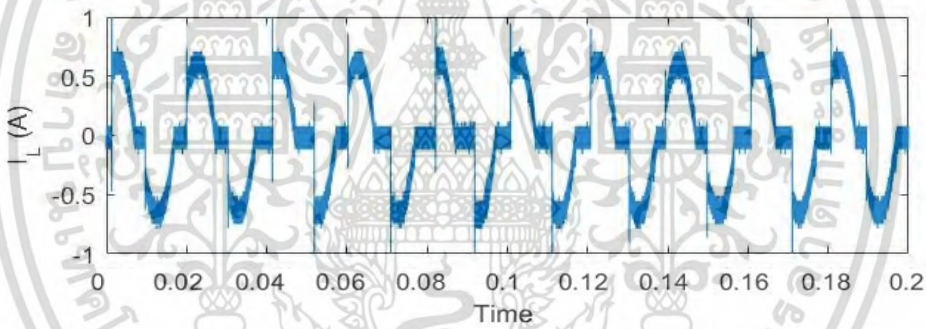
ต่อมาคือต้องเลือกขนาดแรงดันที่ จะทำการตั้งเป็นแรงดันอ้างอิงตั้งนั้นต้องมาดูขนาดสัญญาณ จากวงจร DSA ว่าก่อนเกิดอาร์คและขณะเกิดอาร์คสัญญาณมีขนาดเป็นอย่างไร จึงทำการทดสอบโดย โหลด 3 ชนิดคือ โหลดตัวต้านทาน โหลดสวิตชิงและโหลดมอเตอร์ จะแสดงในรูปที่ 3.10, 3.11 และ 3.12 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าขนาดของสัญญาณความถี่สูงในสถานะที่ไม่มีอาร์คจะมีขนาดสัญญาณที่ ประมาณ 0 V ถึงแม้โหลดอิเล็กทรอนิกส์อย่างสายชาร์จโน้ตบุ๊กและโหลดประเภทมอเตอร์อย่างสว่าน ไฟฟ้าจะมีสัญญาณรบกวนมูลฐานผสมอยู่แต่ขนาดของสัญญาณก็ไม่เกินระดับที่ 0.1 V และเมื่อเกิด อาร์คขึ้นจะเกิดแรงดันพุ่งสูงขึ้นเกินขนาด 0.1 จึงได้ทำการตั้งค่าแรงดันอ้างอิงเท่ากับ

$$V_{ref} = \pm 0.1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



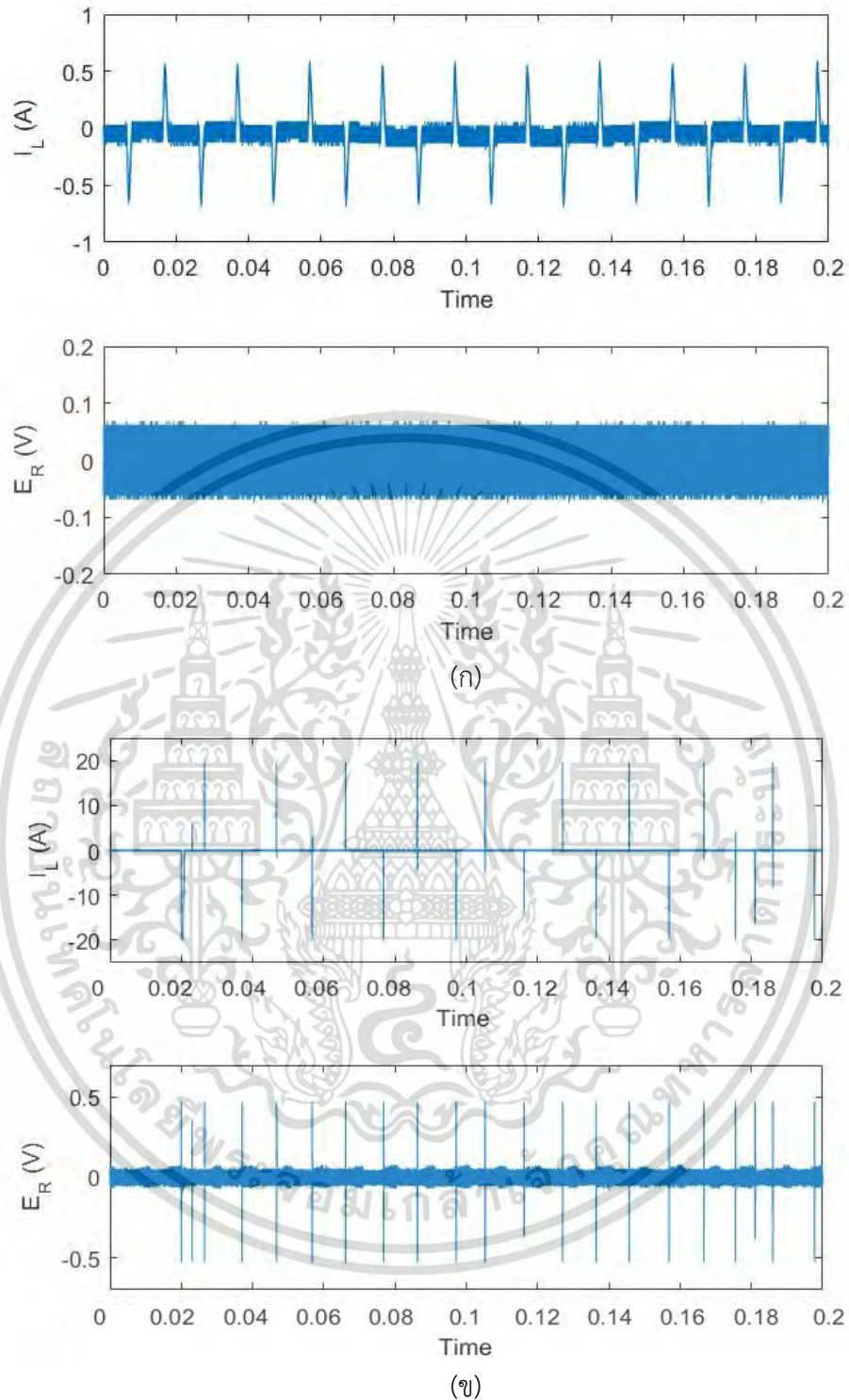
(ก)



(ข)

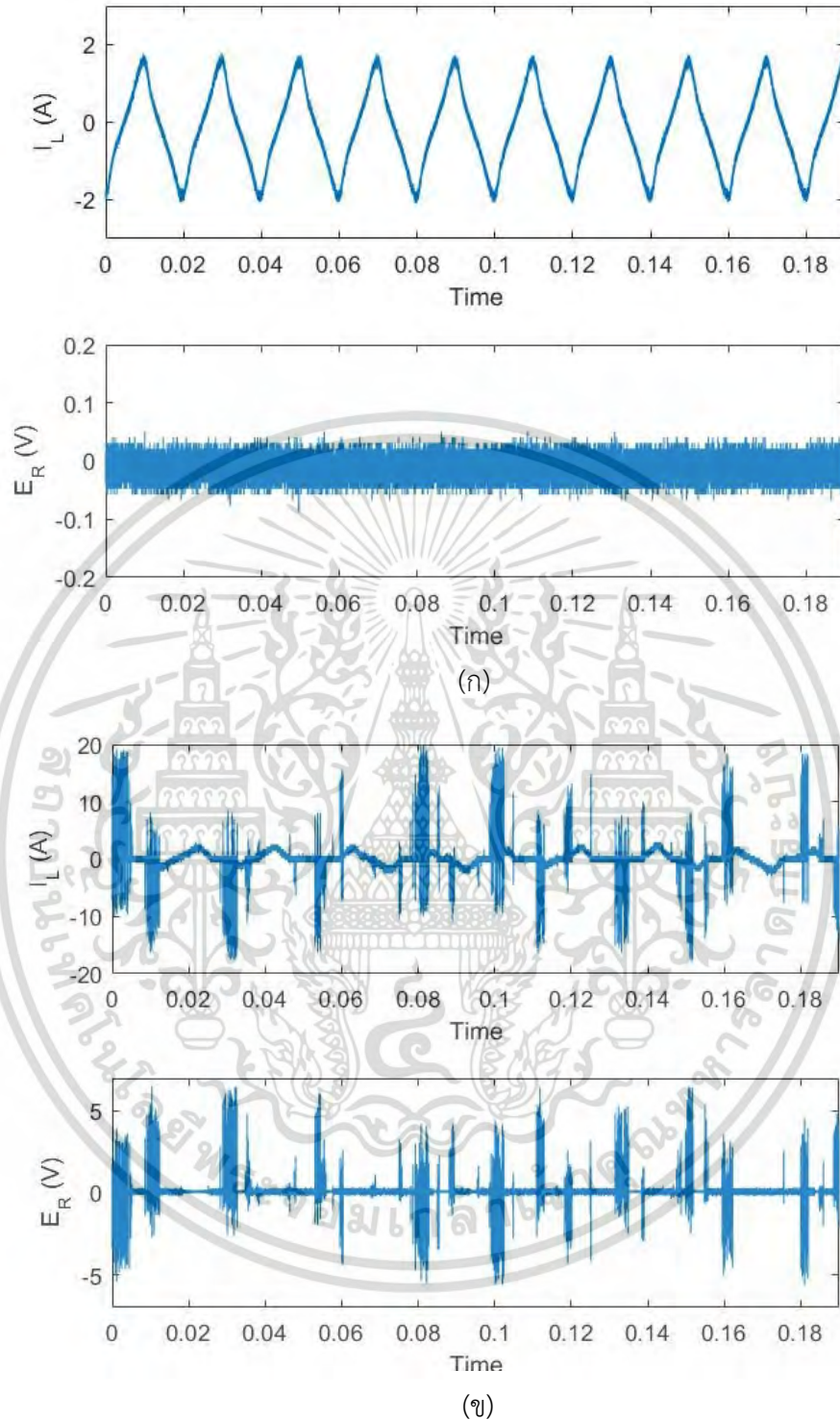
รูปที่ 3.10 เปรียบเทียบสัญญาณจาก DSA ของโหลดตัวต้านทาน ก) ก่อนเกิดอาร์ค ข) ขณะเกิดอาร์ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 เปรียบเทียบสัญญาณจาก DSA ของโหลดสวิตซิง ก) ก่อนเกิดอาร์ค ข) ขณะเกิดอาร์ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

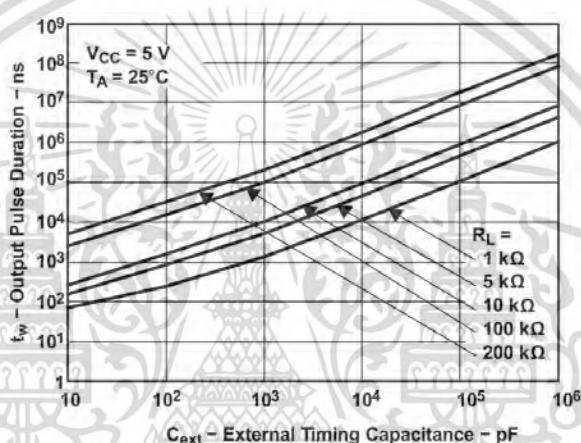


รูปที่ 3.12 เปรียบเทียบสัญญาณจาก DSA ของโหลตมอเตอร์ ก) ก่อนเกิดอาร์ค ข) ขณะเกิดอาร์ค

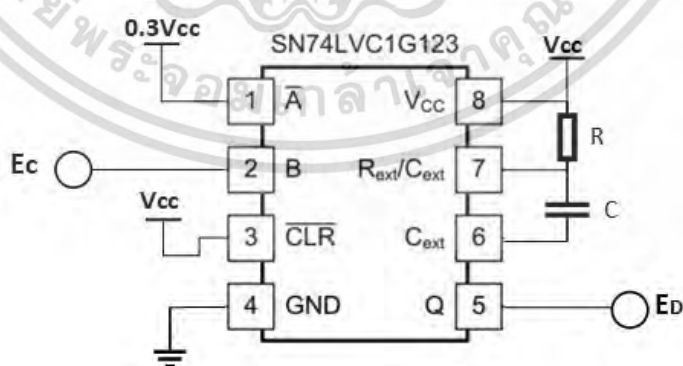
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การออกแบบวงจร Retriggerable Monostable Multivibrator (RMM)

เป็นวงจรที่นำมาใช้สร้างพัลส์แรงดันจากสัญญาณเอาต์พุตของวงจร WC เพื่อให้สามารถนำสัญญาณแรงดันนี้ไปประมวลผลต่อในไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไปได้ในอนาคต ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ไอซี SN74LVC1G123 โดยระยะเวลาของการคงค่าแรงดันนั้นขึ้นกับการเลือกแรงดันไฟเลี้ยง ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุที่ต่อเข้าไปในตัว SN74LVC1G123 โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกจ่ายไฟเลี้ยงที่แรงดัน 5 Vdc มีตารางการเลือกใช้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุดัง รูปที่ 3.13 ซึ่งเลือกใช้ $R_L = 100\text{ k}\Omega$ และ $C_{ext} = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ ดังนั้นจะได้ t_W ประมาณ 10 ms โดยวงจร RMM จะเป็นไปตามรูปที่ 3.14



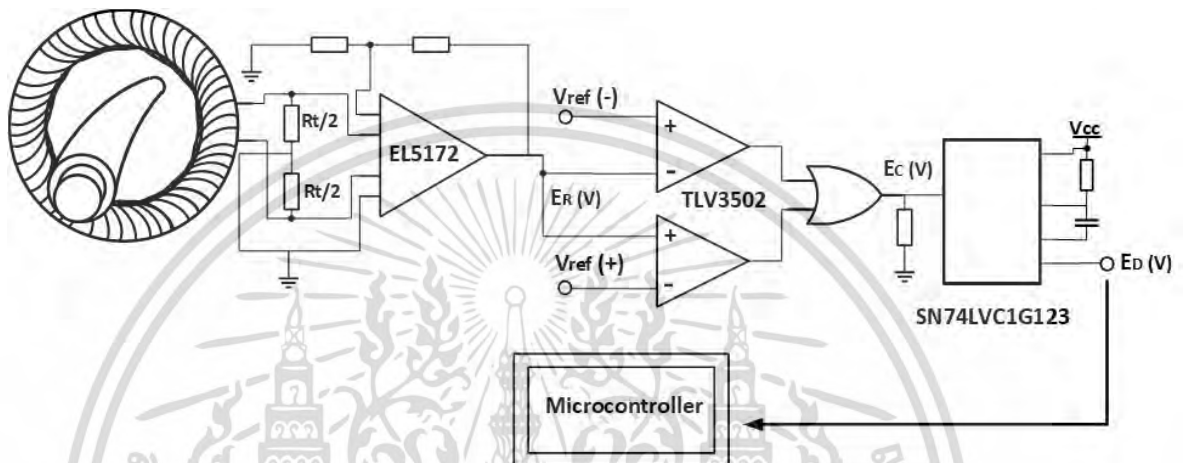
รูปที่ 3.13 กราฟเลือกตัวต้านทานและตัวเก็บประจุในวงจร Retriggerable Monostable Multivibrator ที่ แรงดัน 5Vdc



รูปที่ 3.14 วงจร Retriggerable Monostable Multivibrator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยตามแผ่นข้อมูลของ SN74LVC1G123 เราเลือกให้สัญญาณอินพุตเข้าที่ขา 2(B) ซึ่งจะพิจารณาสัญญาณที่ขาขึ้นของพัลส์ ดังนั้นจึงให้ขา 1(A) มีค่าเป็น Low โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้ไฟเลี้ยงวงจรที่ 5 Vdc จึงทำให้แรงดันที่จ่ายไปที่ขา 1 มีขนาดแรงดันได้ไม่เกิน $0.3V_{cc}$ และขาที่ 3 หรือ CLR มีค่าเป็น High หรือเท่ากับแรงดันไฟเลี้ยง V_{cc} แล้วเมื่อนำวงจรมารวมกันจะได้เป็นวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมดังรูปที่ 3.15



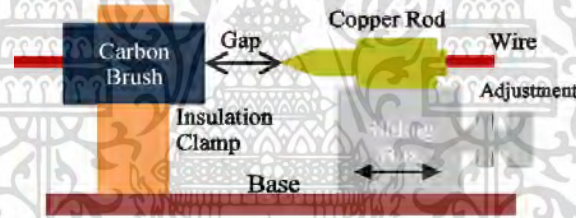
รูปที่ 3.15 วงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

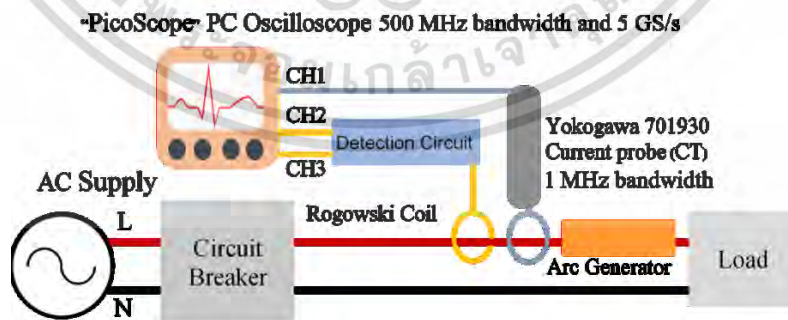
บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้จะทำการเชื่อมต่อชุดทดลองจำลองการเกิดอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมขึ้นโดยใช้อุปกรณ์สร้างอาร์ค (Arc Generator) [3] สร้างขึ้นโดยใช้แปรงถ่านและตัวนำแท่งทองแดงเป็นขั้วไฟฟ้าซึ่งแปรงถ่านจะยึดอยู่กับฐานที่เป็นฉนวนไฟฟ้าโดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เบกาไลต์ (Bakelite) ซึ่งมีคุณสมบัติทนความร้อนในสภาวะปกติได้ 160 – 180 องศาฟาเรนไฮต์และในส่วนของตัวนำแท่งทองแดงจะถูกยึดอยู่บนฐานที่สามารถปรับระยะห่างกับแปรงถ่านได้โดยในส่วนนี้จะทำให้เกิดแก๊สระหว่างของขั้วไฟฟ้าเปรียบเสมือนจำลองการเชื่อมต่อที่หลวมของสายไฟซึ่งจะทำให้เกิดการอาร์คขึ้นดังรูปที่ 4.1 ต่อเข้าไปในวงจรย่อยที่ จะใช้ทดลองก่อนจะเชื่อมต่อไปยังโหลดประเภทต่างๆ โดยในส่วนของโหลดจะติดตั้งเป็นเต้าเสียบเพื่อให้สะดวกต่อการเปลี่ยนโหลด ซึ่งจะทำการต่อชุดทดลองตามรูปที่ 4.2 โดยชุดทดลองกับขั้นตอนทดลองนี้จะอ้างอิงจากมาตรฐาน IEC 62606

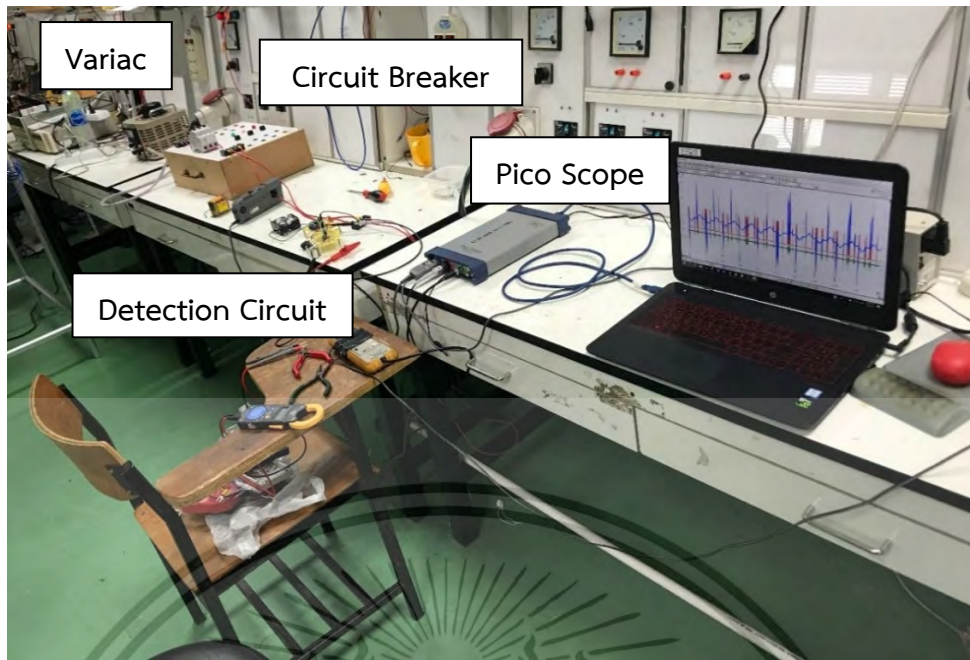


รูปที่ 4.1 อุปกรณ์สร้างอาร์ค (Arc Generator)

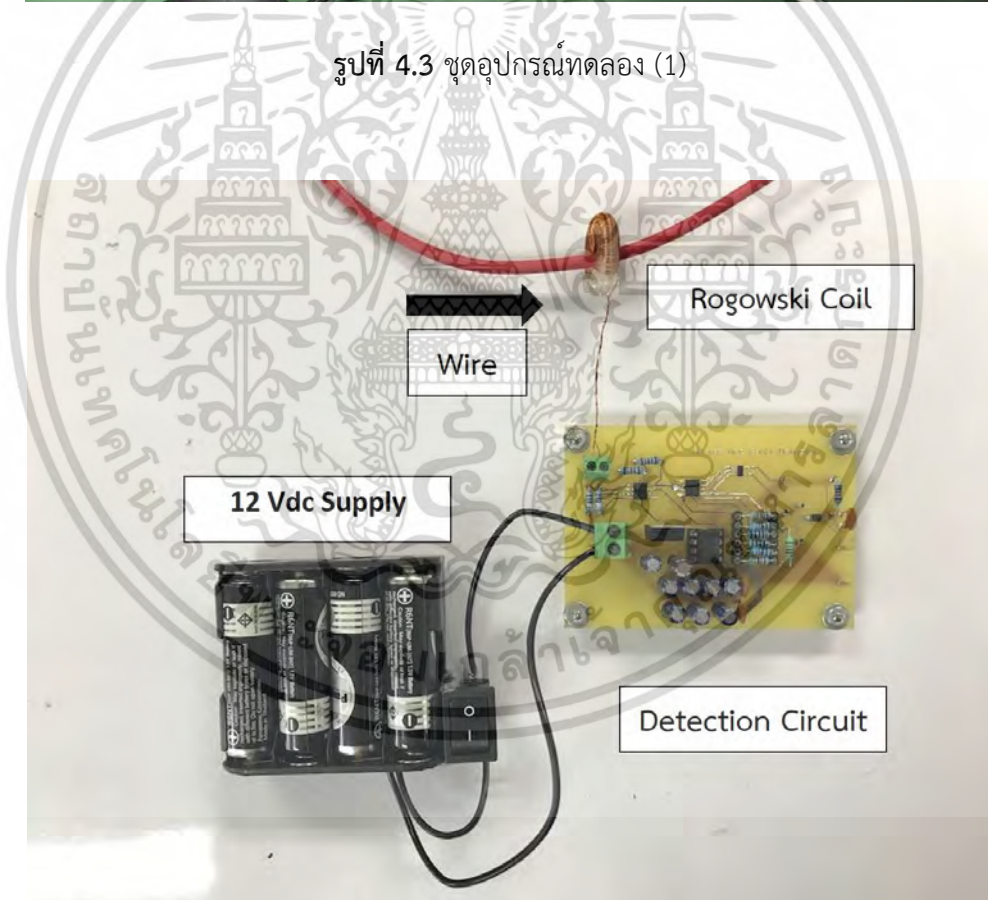


รูปที่ 4.2 ชุดทดลองการเกิดอาร์คแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

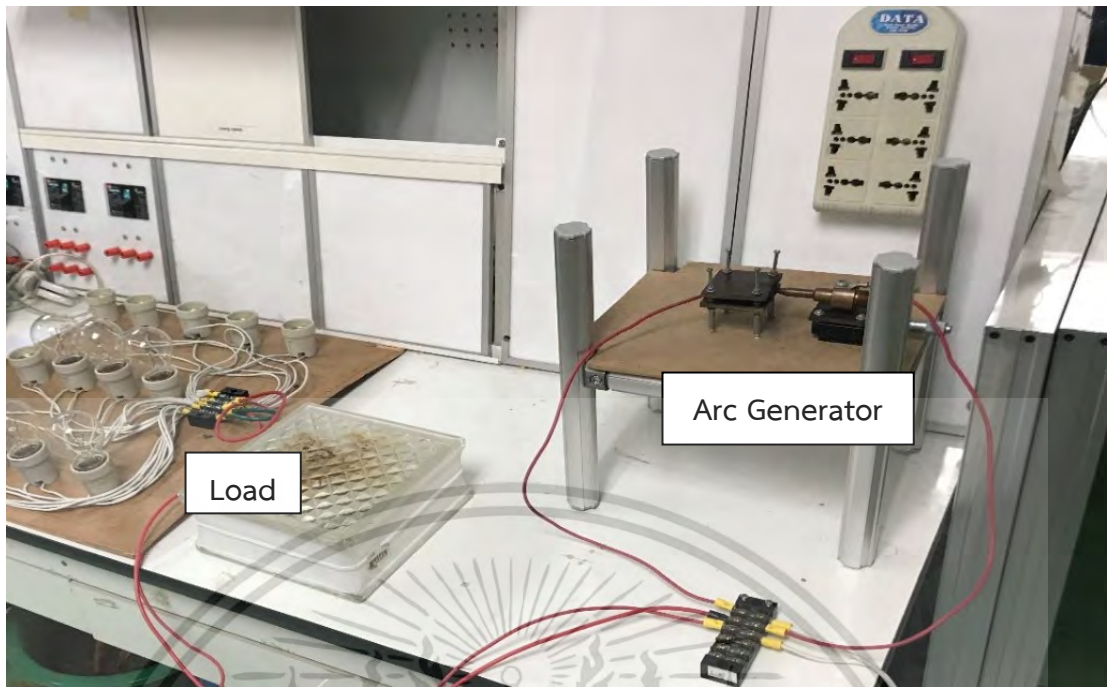


รูปที่ 4.3 ชุดอุปกรณ์ทดลอง (1)



รูปที่ 4.4 ชุดอุปกรณ์ทดลอง (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ชุดอุปกรณ์ทดลอง (3)



รูปที่ 4.6 ชุดอุปกรณ์ทดลอง (4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การทดลองวงจร DSA ร่วมกับ WC

ในการทดลองนี้เราได้ทำการตั้งค่าแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) ของวงจร WC ไว้ที่ ± 0.1 V และในกราฟของสัญญาณ E_R จะมีเส้นเกณฑ์สีแดงของแรงดันอ้างอิงกำกับซึ่งจะทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนเพื่อบ่งบอกว่าหากขนาดของสัญญาณแรงดันของอัตราการเปลี่ยนแปลงกระแสจากขดลวดโรกอฟสกีมีขนาดเกินเส้นแรงดันอ้างอิงที่ตั้งไว้เมื่อเอาต์พุตของ WC จะมีค่าเป็น High (5 V) หากไม่เอาต์พุตจะมีค่าเป็น Low (0 V)

โหลดที่ใช้ในการทดลองนี้จะประกอบไปด้วย

1. โหลดประเภทตัวต้านทาน(หลอดเผาไส้)ที่ขนาดกระแส 0.5, 2.5, 5 และ 10 A
2. โหลดประเภทตัวต้านทานที่ทำงานร่วมกับสวิตซ์หรือไฟโดยแบ่งเป็น 2 กรณีคือ ใช้สวิตซ์หรือไฟหนึ่งตัวและใช้สองตัวต่อขนานกันแต่ให้เปิดไฟที่ มุมจุดชนวนที่ แตกต่างกัน
3. โหลดประเภทสวิตซ์ซิง คือ ตัวชาร์จแบตเตอรี่ นิตบูค
4. โหลดประเภทมอเตอร์ คือ ใช้สว่านไฟฟ้า

โดยที่

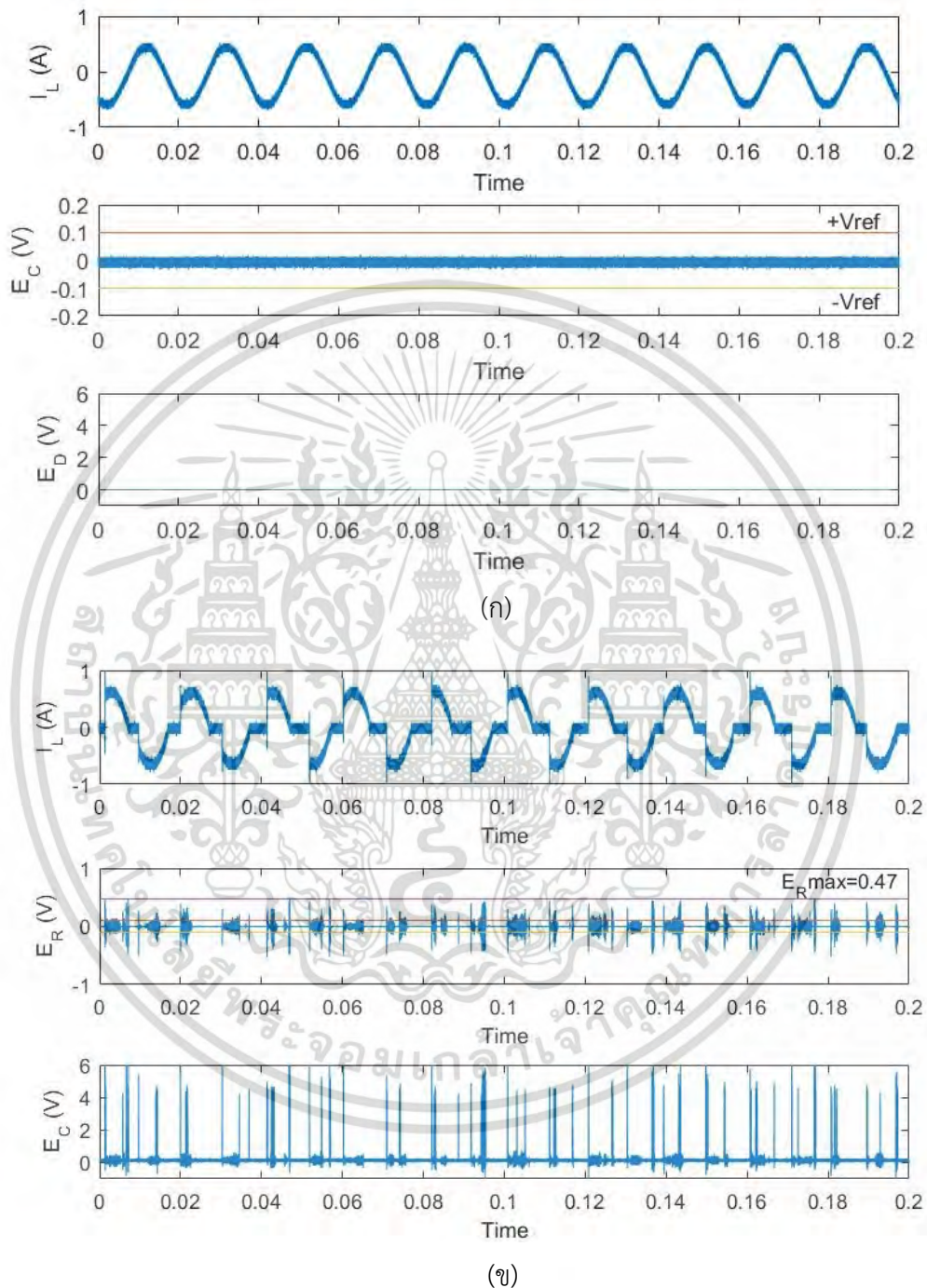
I_L คือ กระแสไฟฟ้าของโหลดที่ วัดโดย Current probe Yokogawa 701930
1 MHz bandwidth

E_R คือ สัญญาณแรงดันอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสจากขดลวดโรกอฟสกีที่ ผ่านวงจร
Differential to Single-Ended Amplifier แล้ว

E_C คือ สัญญาณแรงดันเอาต์พุตของวงจร Window Comparator

4.1.1 โหลดประเภทตัวต้านทาน

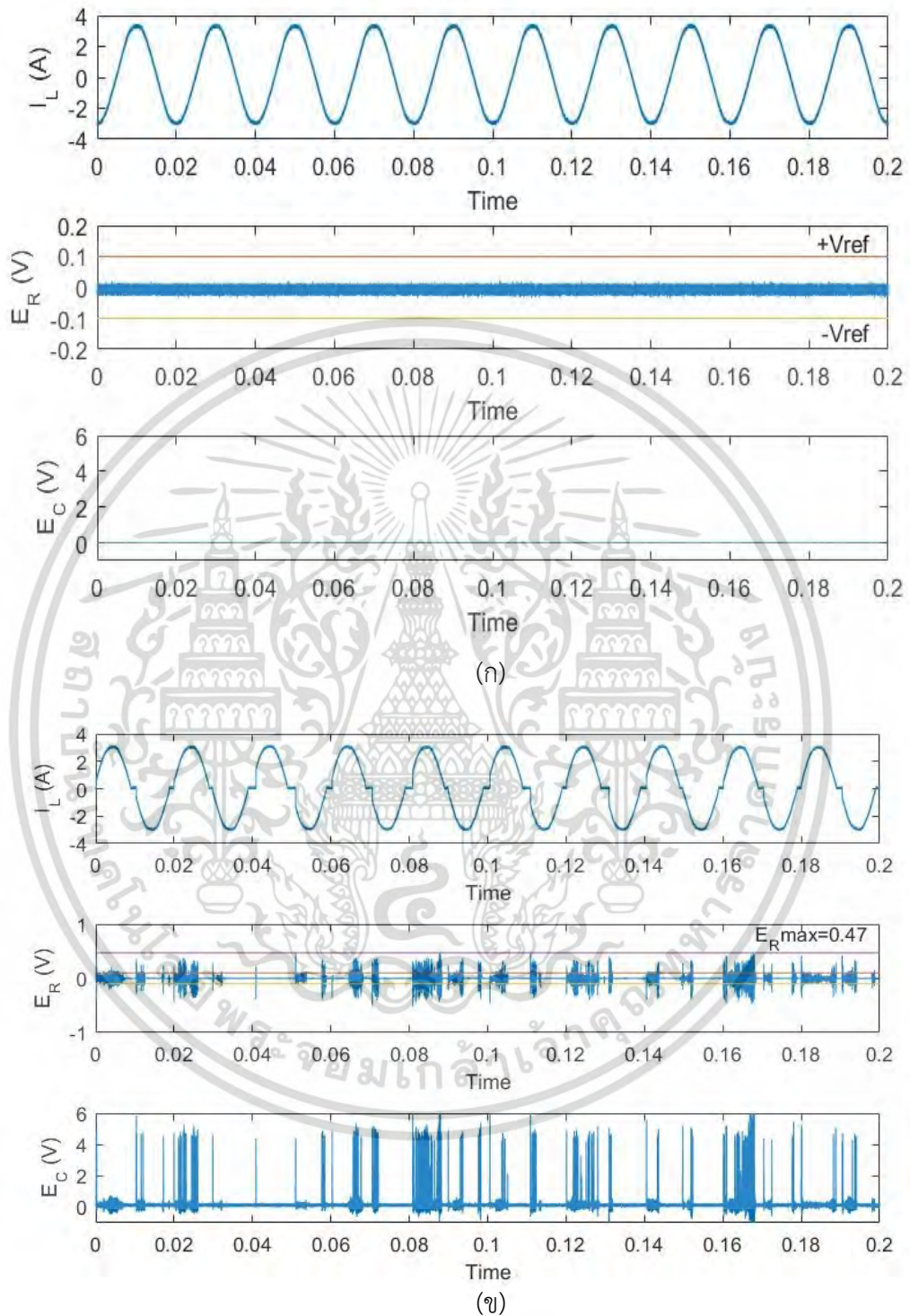
โหลดประเภทตัวต้านทานที่ ขนาดกระแส 0.5 A



รูปที่ 4.7 โหลดประเภทตัวต้านทานที่ ขนาดกระแส 0.5 A ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

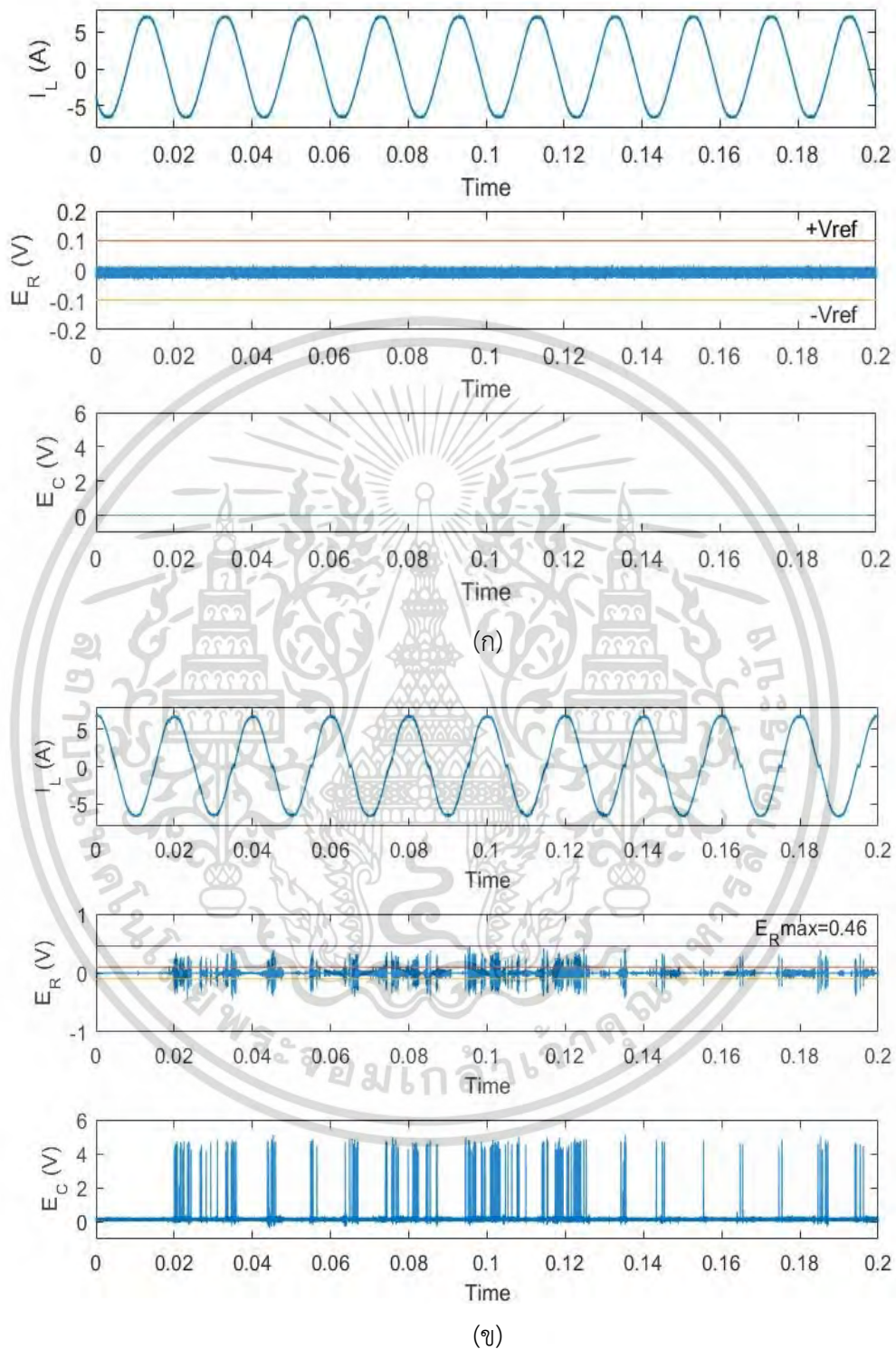
โหลดประเภทตัวต้านทานที่ ขนาดกระแส 2.5 A



รูปที่ 4.8 โหลดประเภทตัวต้านทานที่ ขนาดกระแส 2.5 A ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

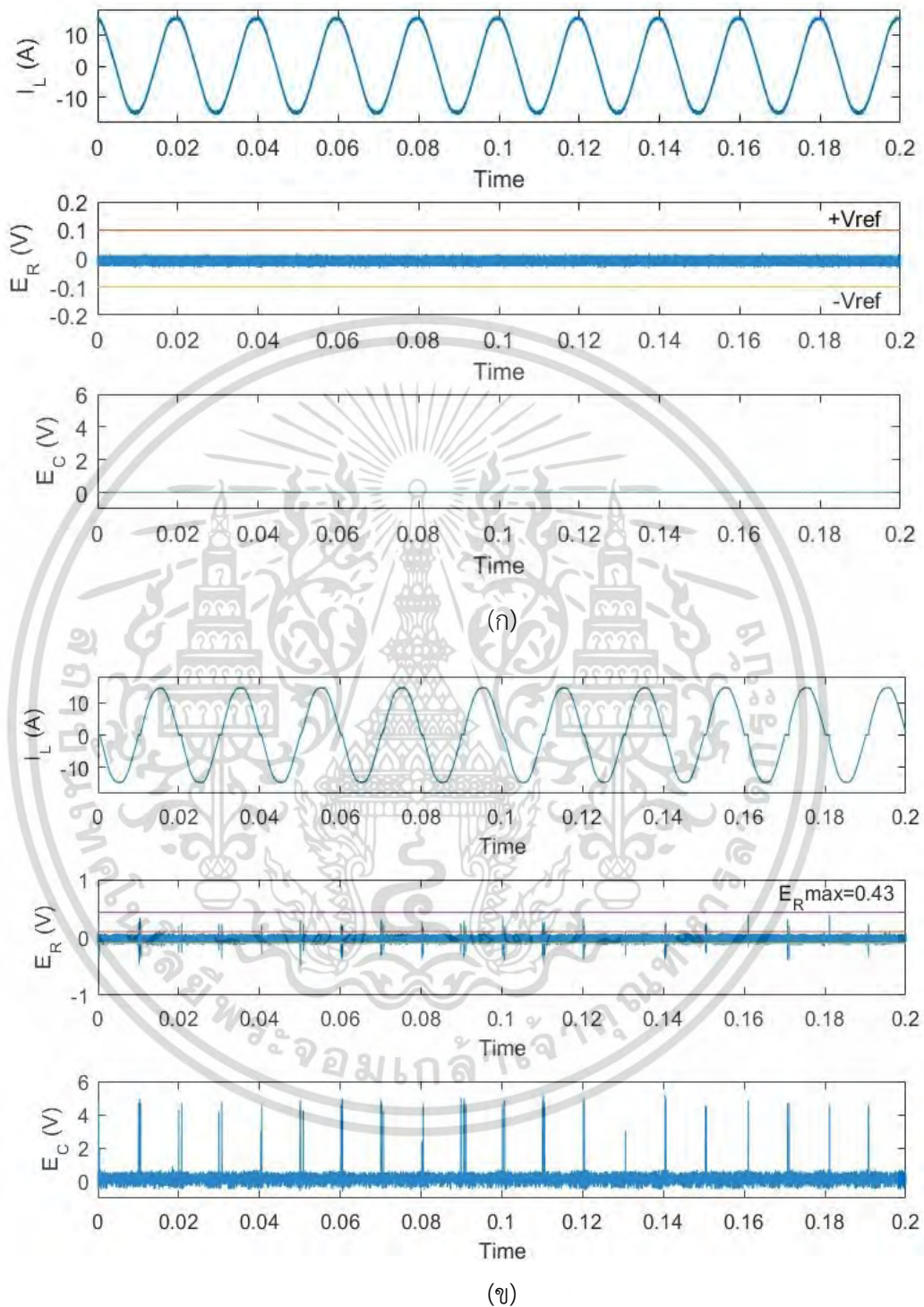
โหลดประเภทตัวต้านทานที่ ขนาดกระแส 5 A



รูปที่ 4.9 โหลดประเภทตัวต้านทานที่ ขนาดกระแส 5 A ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์ค ฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหลดประเภทตัวต้านทานที่ ขนาดกระแส 10 A

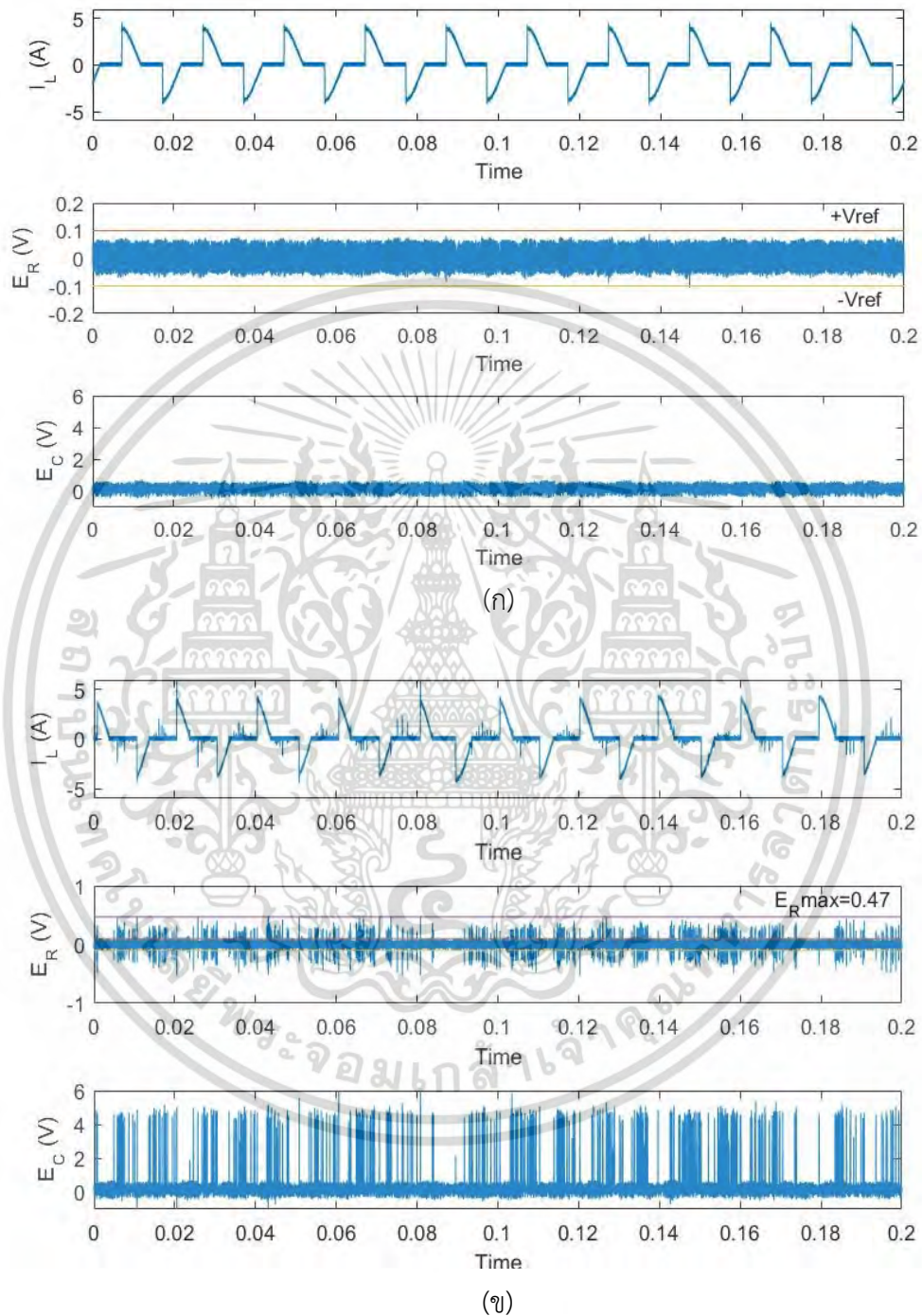


รูปที่ 4.10 โหลดประเภทตัวต้านทานที่ ขนาดกระแส 10A ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์ค ฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 โหลดประเภทตัวต้านทานที่เปิด-ปิดด้วยสวิตซ์หรือไฟ

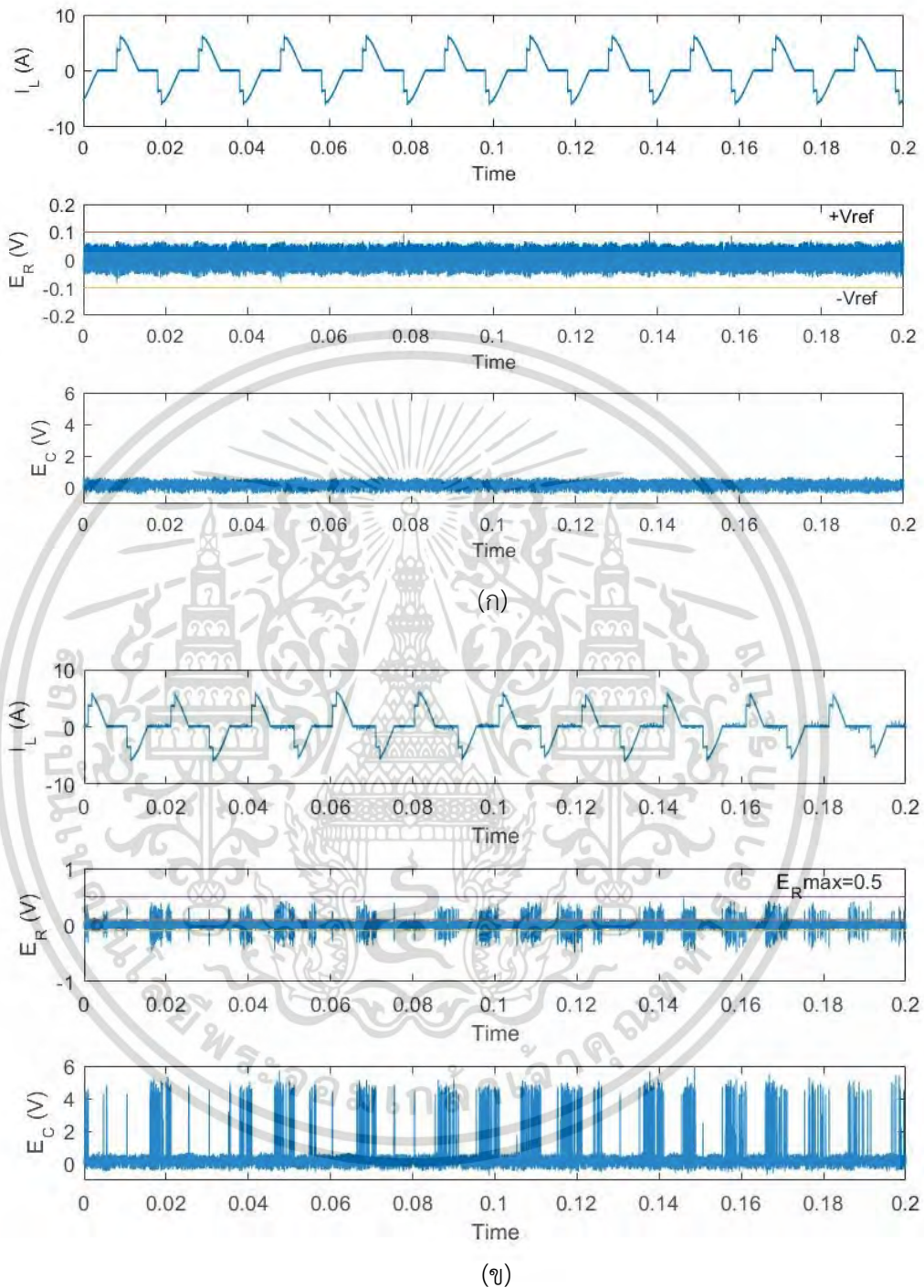
โหลดประเภทตัวต้านทานที่ ปิด-เปิดด้วยสวิตซ์หรือ ไฟ1 ตัว



รูปที่ 4.11 โหลดประเภทตัวต้านทานที่ เปิดปิดด้วยสวิตซ์หรือ ไฟ1 ตัว ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟลลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหลดประเภทตัวต้านทานที่ ปิด-เปิดด้วยสวิตช์หรือ ไฟ2 ตัวต่อขนานกัน

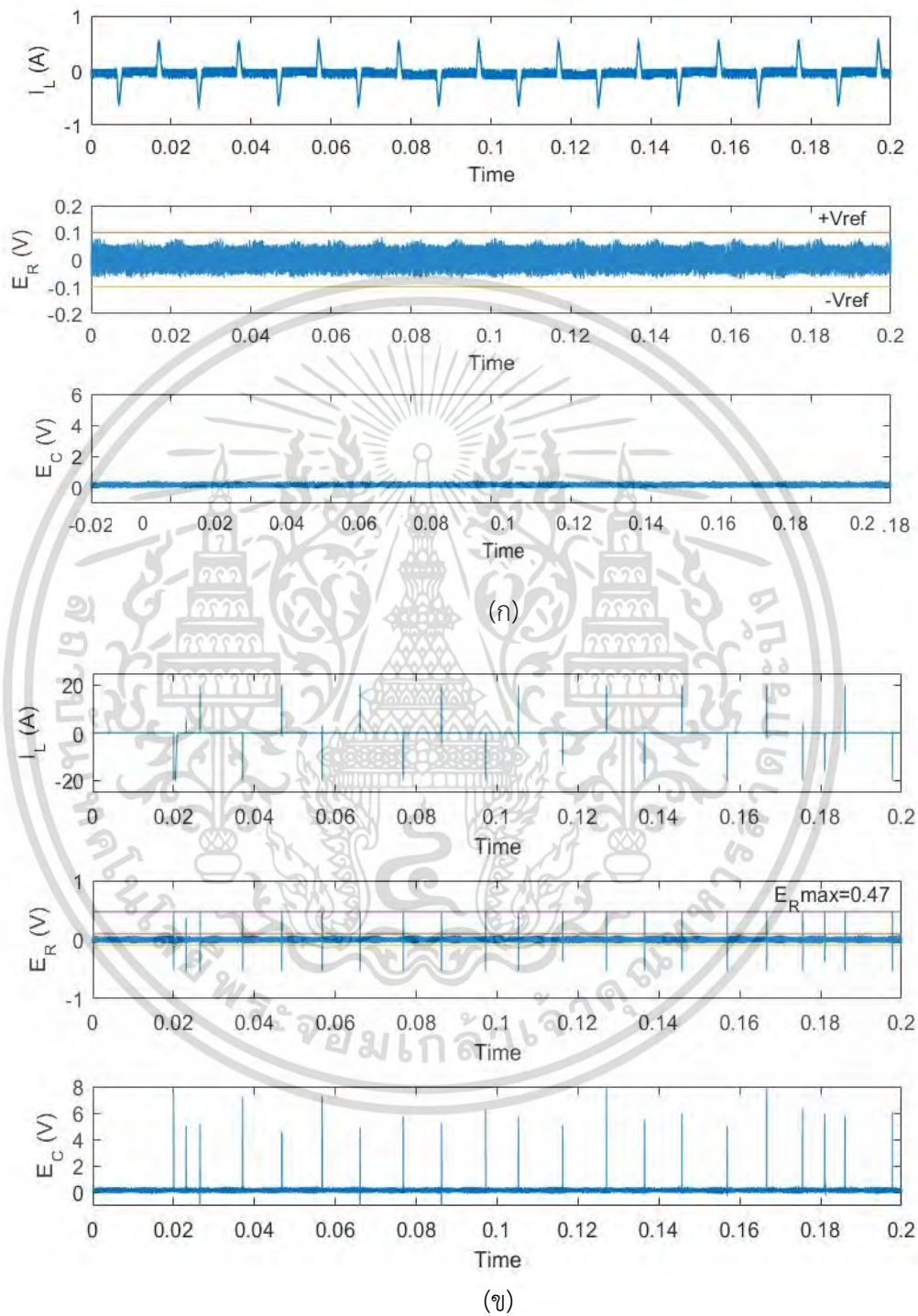


รูปที่ 4.12 โหลดประเภทตัวต้านทานที่ เปิดปิดด้วยสวิตช์หรือ ไฟ2 ตัว ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะ เกิดอาร์คฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 โหลดประเภทสวิตชิง

ตัวชาร์จแบตเตอรี่ ไม้บูค

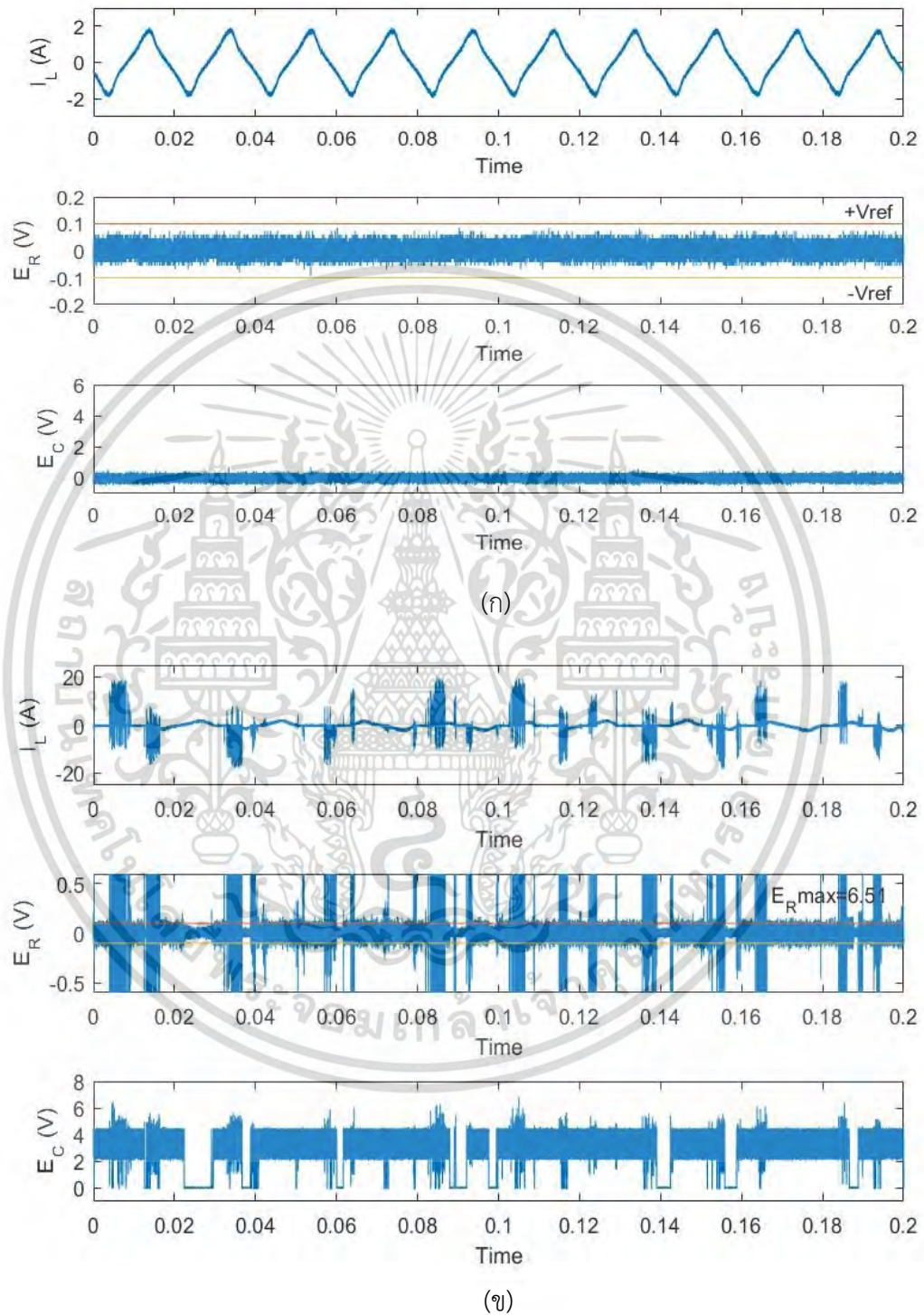


รูปที่ 4.13 โหลดตัวชาร์จแบตเตอรี่ ไม้บูค ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 โหลดประเภทมอเตอร์

ส่วนไฟฟ้า



รูปที่ 4.14 โหลดส่วนไฟฟ้า ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองที่ ผ่านจะสังเกตเห็นได้ว่ากราฟ E_R ของวงจร DSA จะมีการตอบสนองสภาวะของ อาร์คพอลต์โดยเกิดสัญญาณความถี่สูงแต่สำหรับโหลดที่มีสัญญาณรบกวนมูลฐานอยู่แล้วเมื่อเกิด อาร์คพอลต์ขึ้นจะทำให้เกิดสัญญาณความถี่สูงที่มีสัญญาณรบกวนเข้ามาผสมในระดับหนึ่งซึ่งทำให้ สัญญาณความถี่สูงมีความถี่ในการเกิดมากขึ้น นอกจากนี้ยังสังเกตได้อีกว่าในโหลดประเภทตัว ต้านทานหรือหลอดเผาไส้รูปที่ 4.7 - 4.10 ขนาดกระแสโหลดจะไม่มีผลต่อการตรวจจับอาร์คพอลต์ ของวงจร ในกรณีของหลอดเผาไส้ที่ใช้งานร่วมกับสวิตซ์ทรีไฟรูปที่ 4.11 - 4.12 จะมีสัญญาณรบกวน มูลฐาน ที่ มากกว่า สำหรับโหลดประเภทสวิตซ์ รูปที่ 4.13 และมอเตอร์รูปที่ 4.14 นั้นในสภาวะที่ เกิด อาร์คพอลต์นั้นจะมีการอาร์คที่รุนแรงและมีสัญญาณความถี่สูงที่มีขนาดใหญ่ ที่เป็นเช่นนี้อาจจะเป็น ผลมาจากวงจรภายในมีการสวิตซ์เพื่อเรียงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรงจึงทำให้เกิดสัญญาณ รบกวนได้ง่ายเมื่อมี สัญญาณรบกวนจากอาร์คพอลต์เข้ามาผสมเลยทำให้เกิดสัญญาณที่มีขนาดใหญ่ ส่วนโหลดประเภทมอเตอร์ที่นำมาทดสอบนั้นเป็นมอเตอร์ชนิดที่มีแปรงถ่านคือส่วนไฟฟ้า ในสภาวะ ปกติก็มีอาร์คเป็นส่วนหนึ่งของการทำงานในสภาวะปกติของตัวเองอยู่แล้วนั้นก็หมายถึงมีสัญญาณ รบกวนภายในตัวเองอยู่แล้วดังนั้นจึงก็เป็นลักษณะเดียวกับโหลดประเภทสวิตซ์ที่ทำให้สัญญาณ E_R ที่ใหญ่

ต่อมาในส่วนของกราฟ E_C มีการตอบสนองต่อสัญญาณ E_R ที่รวดเร็วซึ่งจะสังเกตได้จากใน ส่วนของกราฟ E_R ที่ได้ใส่เส้นแรงดันอ้างอิงไว้เพื่อให้สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณได้ ง่ายในขณะที่ขนาดของสัญญาณมีขนาดใหญ่กว่าแรงดันอ้างอิงที่ตั้งค่าไว้เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟ E_C จะเห็นสัญญาณเปลี่ยนแปลงที่บริเวณตำแหน่งเดียวกัน แสดงว่าแรงดันอ้างอิงที่ทำการตั้งค่าไว้ที่ 0.1 V ใวนั้นเหมาะสมกับขนาดสัญญาณที่เกิดขึ้นถึงแม้ในภาวะปกติสัญญาณ E_R ของโหลดประเภท มอเตอร์และสวิตซ์ จึงมี สัญญาณรบกวนมูลฐานผสมอยู่ก็ตาม

จากผลการทดลองที่ ผ่านมาสามารถสรุปได้ว่าวงจรตรวจจับสามารถบ่งชี้ได้ว่าเกิดอาร์คพอลต์ ขึ้นได้โดยไม่ขึ้นกับขนาดของกระแสโหลดและประเภทของโหลดซึ่งสามารถตรวจจับได้โดยไม่ผิดพลาด

4.2 การทดลองวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรม

จากการทดลองที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมในส่วนของวงจร Differential to Single-Ended Amplifier และ Window Comparator การตอบสนองต่ออาร์คฟอลต์ที่เกิดขึ้นในวงจรย่อยได้และไม่ตอบสนองต่อสัญญาณกระแสไฟฟ้าของโหลดที่มีลักษณะรูปคลื่นคล้ายคลึงกับอาร์คฟอลต์หรือโหลดที่มีฮาร์โมนิกเป็นส่วนหนึ่ง ของการทำงานในสภาวะปกติ แต่ว่าสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจร Window Comparator ยังไม่สามารถนำไปประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เนื่องจากสัญญาณที่ได้ยังเป็นในลักษณะของลอจิก และมีความเร็วที่สูง เมื่อดูจากผลการทดลองจึงต้องนำสัญญาณแรงดันที่ได้ไปเข้าวงจร Retriggerable Monostable Multivibrator เพื่อทำการเปลี่ยนสัญญาณที่ได้เป็นแรงดันพัลส์ที่จะสามารถนำไปประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ วงจรดังกล่าวได้เลือกใช้ไอซี SN74LVC1G123 โดยทำการต่อวงจรดังรูปที่ 3.7 และในส่วนของการเลือกค่า R และ C ของวงจรมันได้เลือก $R_L = 100\text{ k}\Omega$ และ $C_{ext} = 0.1\ \mu\text{F}$ ซึ่งจะทำให้ t_w (Output Pulse Duration) มีขนาด 10 ms จากรูปที่ 3.12

ในการทดลองส่วนนี้ได้เลือกโหลดคล้ายคลึงกับการทดลองก่อนหน้านี้ซึ่งประกอบไปด้วยโหลดประเภทตัวต้านทาน โหลดตัวต้านทานที่ เปิดปิดด้วยสวิตซ์หรือ ไฟโหลดสวิตซ์ ิ่งและโหลดมอเตอร์

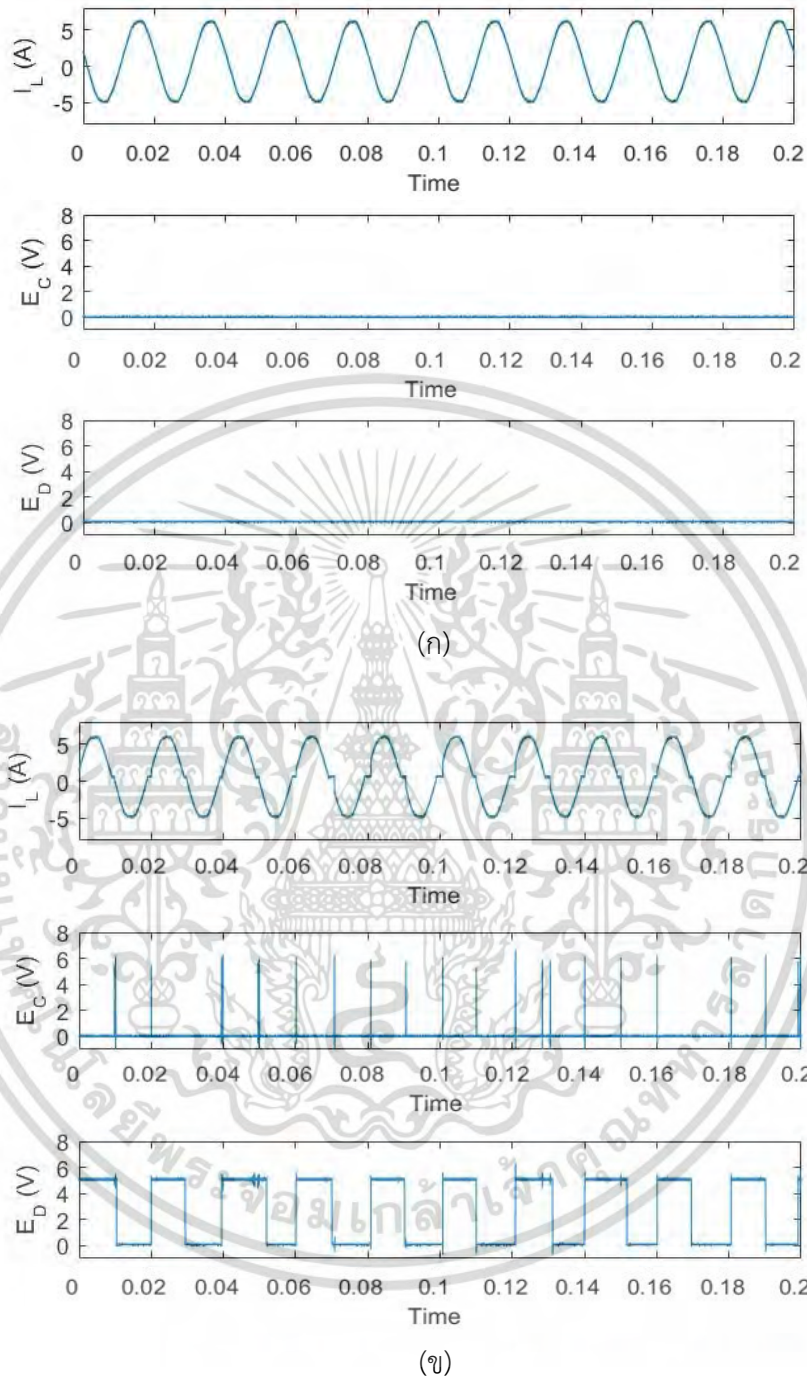
โดยที่

I_L คือ กระแสไฟฟ้าของโหลดที่วัดโดย Current probe Yokogawa 701930
1 MHz bandwidth

E_C คือ สัญญาณแรงดันเอาต์พุตของวงจร Window Comparator

E_D คือ สัญญาณแรงดันพัลส์ของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรม

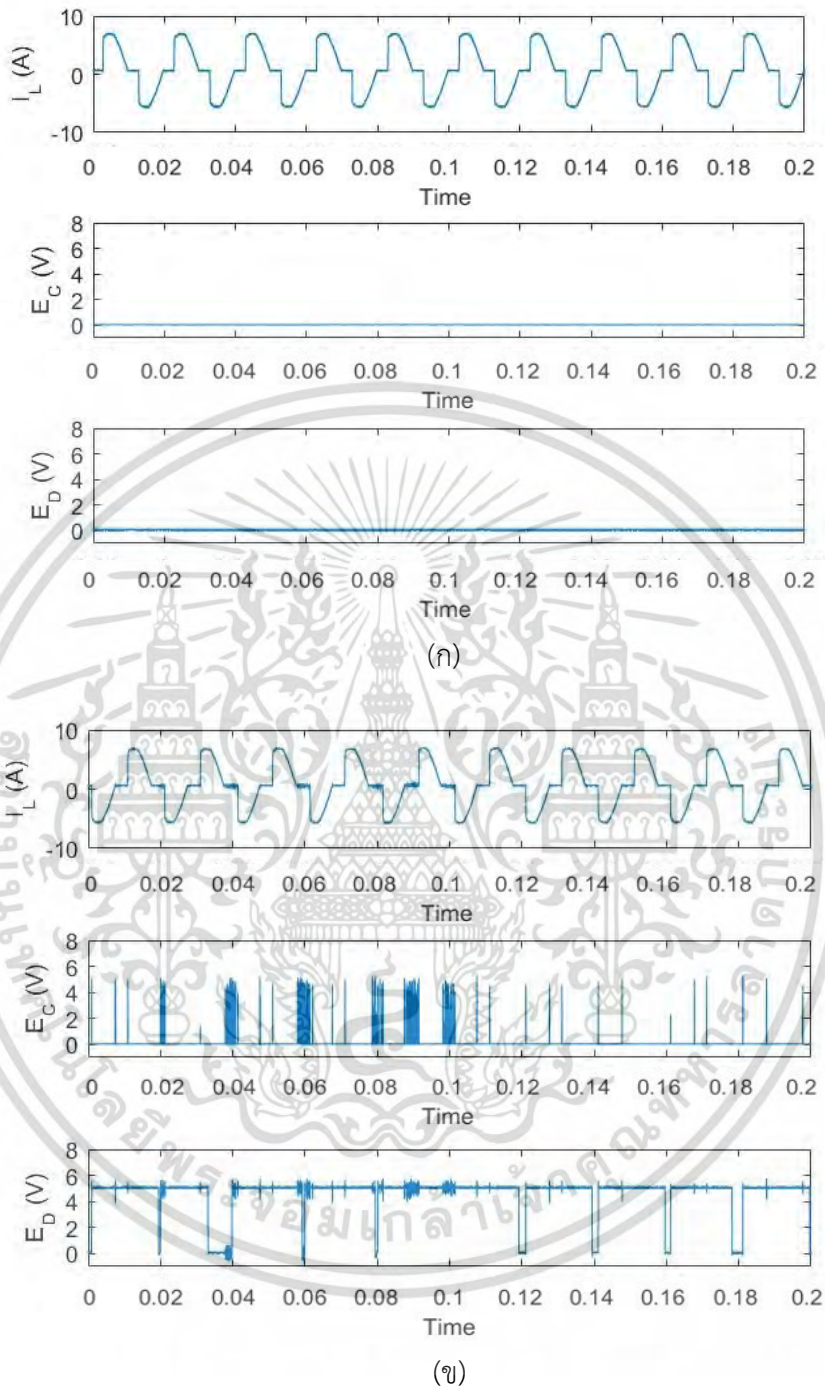
4.2.1 ผลการทดลองวงจรต่อโหลดประเภทตัวต้านทาน



รูปที่ 4.15 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อโหลดตัวต้านทาน ก) สภาวะปกติ
ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

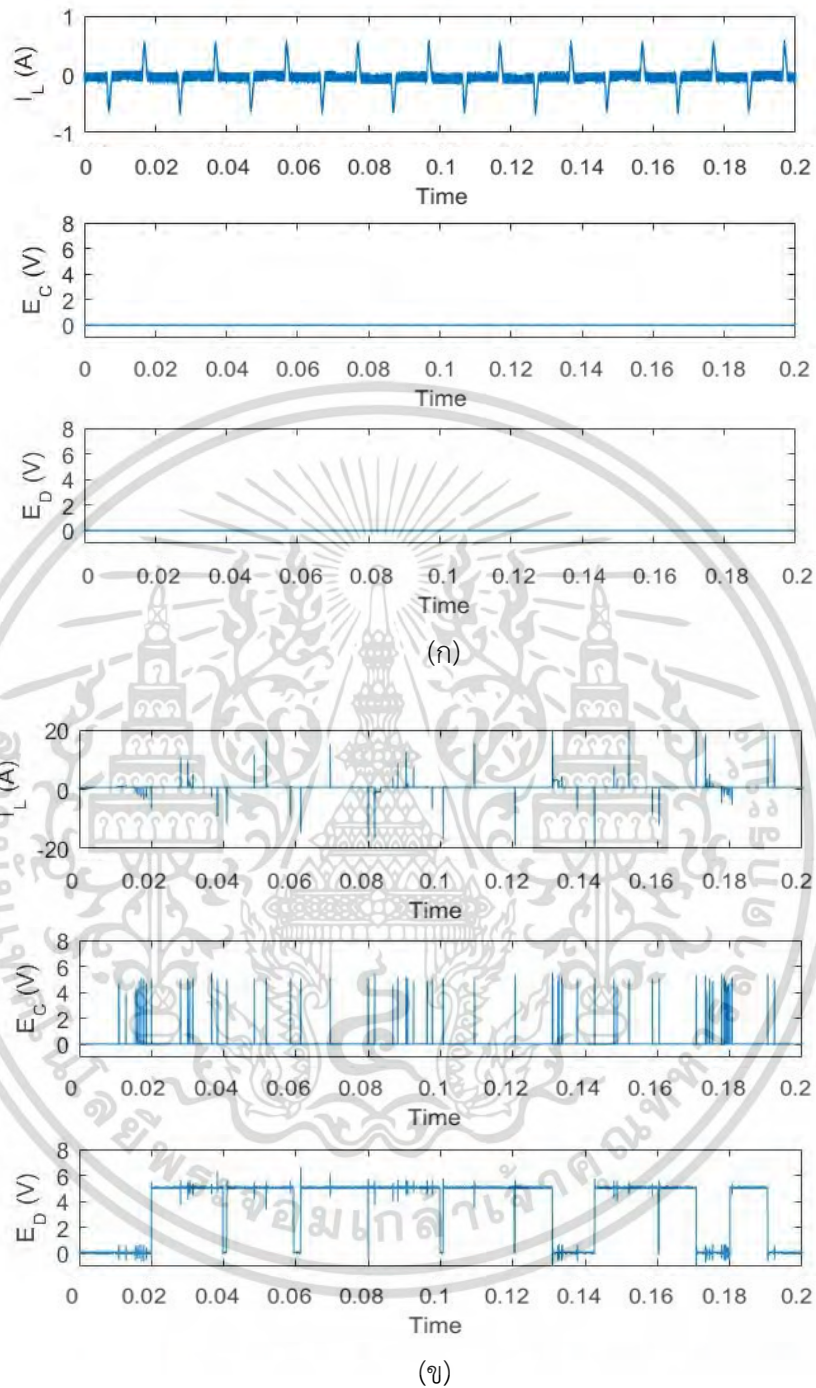
4.2.2 ผลการทดลองวงจรต่อโหลดประเภทตัวต้านทานที่ เปิด-ปิดด้วยสวิตซ์รีไฟ



รูปที่ 4.16 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อโหลดตัวต้านทานที่ เปิดปิดด้วย สวิตซ์รีไฟ 1 ตัว ก) สภาวะปกติ ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

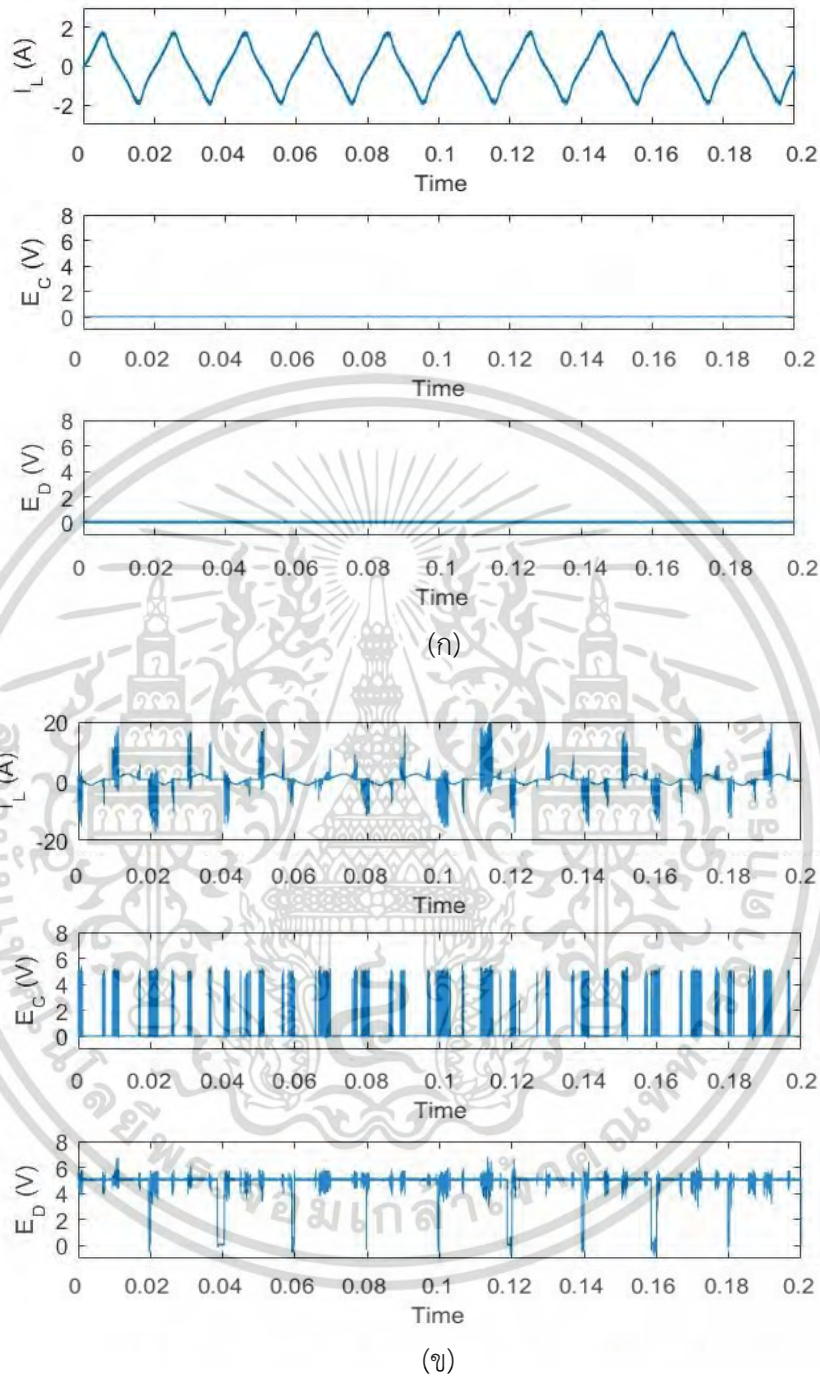
4.2.3 ผลการทดลองวงจรต่อตัวชาร์จโหลดประเภทสวิตชิง



รูปที่ 4.17 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อตัวชาร์จแบตเตอรี่ นิตบุ๊ค ก) สภาวะปกติ
ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ผลการทดลองวงจรต่อโหลดประเภทมอเตอร์



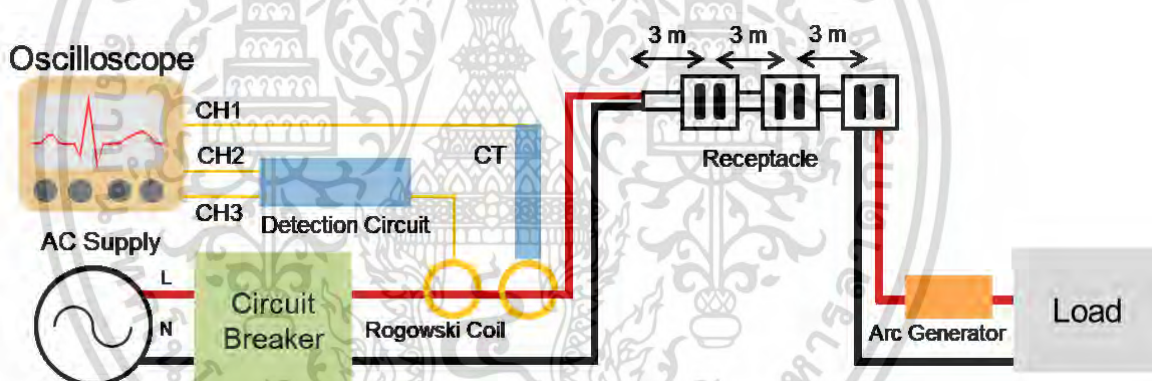
รูปที่ 4.18 ผลของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมต่อสว่านไฟฟ้า ก) สภาวะปกติ
ข) สภาวะขณะเกิดอาร์คฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองที่ผ่านมาจะแสดงให้เห็นถึงการทำงานของวงจร Retriggerable Monostable Multivibrator ร่วมกับวงจรส่วนอื่น โดยในตอนนี้จะมีเพื่อไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถนำสัญญาณพัลส์ไปวิเคราะห์และประมวลผลได้ เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์อาจจะมีความเร็วในการประมวลผลไม่เร็วพอจะจับสัญญาณลจิกจากวงจร Window Comparator ได้ทัน

4.3 ทดลองวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมที่ตำแหน่งอาร์คฟอลต์ต่างๆ

หลังทดลองประสิทธิภาพของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมว่าทำงานได้หรือไม่ จึงนำมาทดสอบในกรณีอื่น ๆ ต่อในตอนนี้จะทดลองโดยให้ตำแหน่งของอาร์คฟอลต์(ตำแหน่งของอุปกรณ์กำเนิดอาร์ค) เปลี่ยนไปจากการทดลองก่อนหน้านี้ โดยจะทดลองกับโหลดประเภทตัวต้านทานที่ระยะ 3, 6 และ 9 เมตร เพื่อทดลองว่าระยะห่างของจุดกำเนิดอาร์คจะส่งผลอย่างไรต่อการตรวจจับของวงจรตรวจจับหรือไม่หากในกรณีที่เกิดอาร์คฟอลต์ขึ้นจริงที่ระยะห่างที่ไกล รูปชุดการทดลองจะเป็นไปตามรูปที่ 4.19 โดยที่ ระยะต่างๆจะทำการต่อเต้าเสียบไว้เพื่อให้ง่ายต่อการย้ายตำแหน่งอุปกรณ์กำเนิดอาร์คฟอลต์



รูปที่ 4.19 ชุดทดลองตำแหน่งของอาร์คฟอลต์แบบอนุกรม

โดยที่

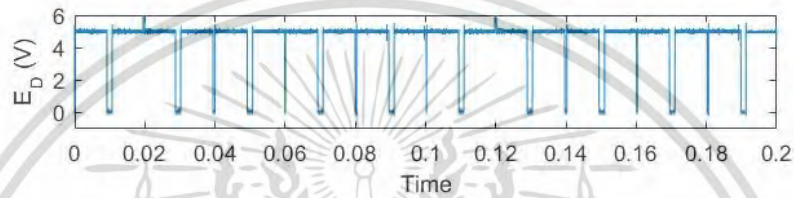
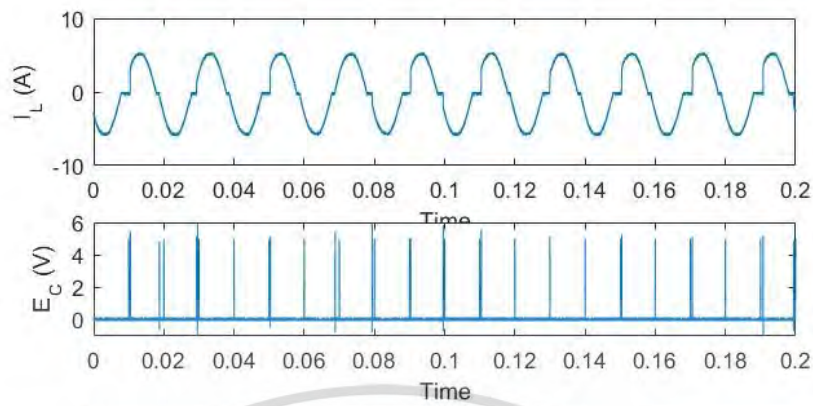
I_L คือ กระแสไฟฟ้าของโหลดที่ วัดโดย Current probe Yokogawa 701930
1 MHz bandwidth

E_C คือ สัญญาณแรงดันเอาต์พุตของวงจร Window Comparator

E_D คือ สัญญาณแรงดันพัลส์ของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรม

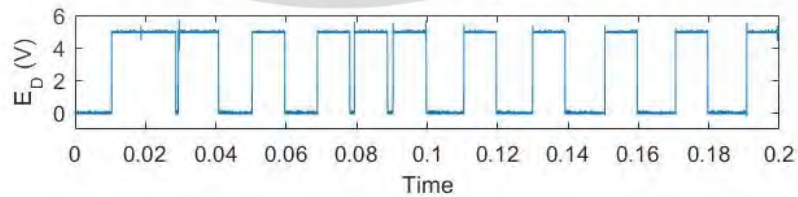
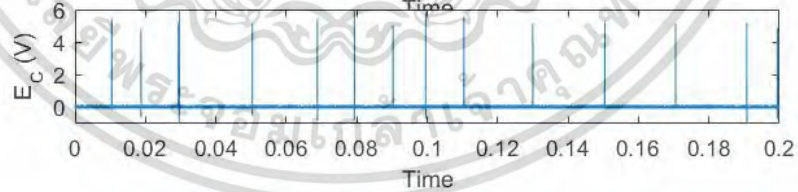
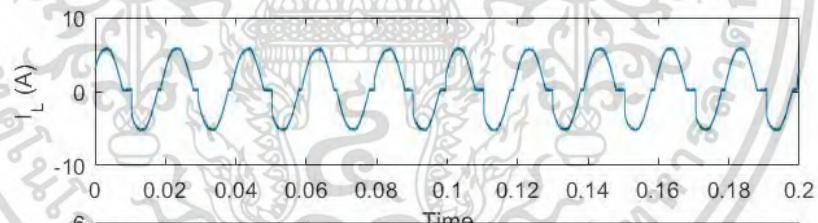
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ผลการทดลองที่ระยะ 3 เมตร



รูปที่ 4.20 ผลการทดลองที่ ระยะ 3 เมตร

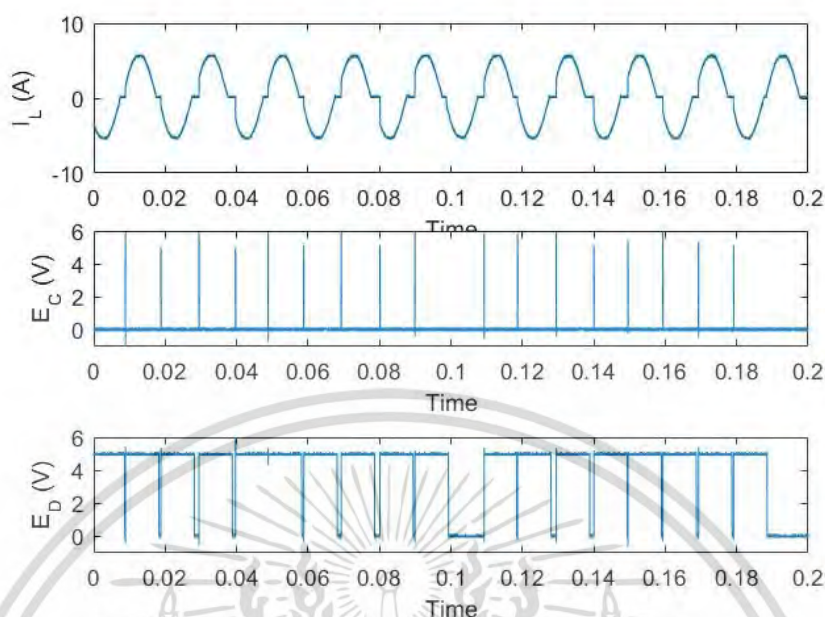
4.3.2 ผลการทดลองที่ระยะ 6 เมตร



รูปที่ 4.21 ผลการทดลองที่ ระยะ 6 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ผลการทดลองที่ระยะ 9 เมตร

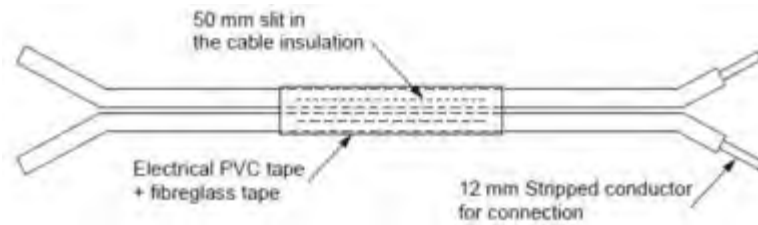


รูปที่ 4.22 ผลการทดลองที่ ระยะ 9 เมตร

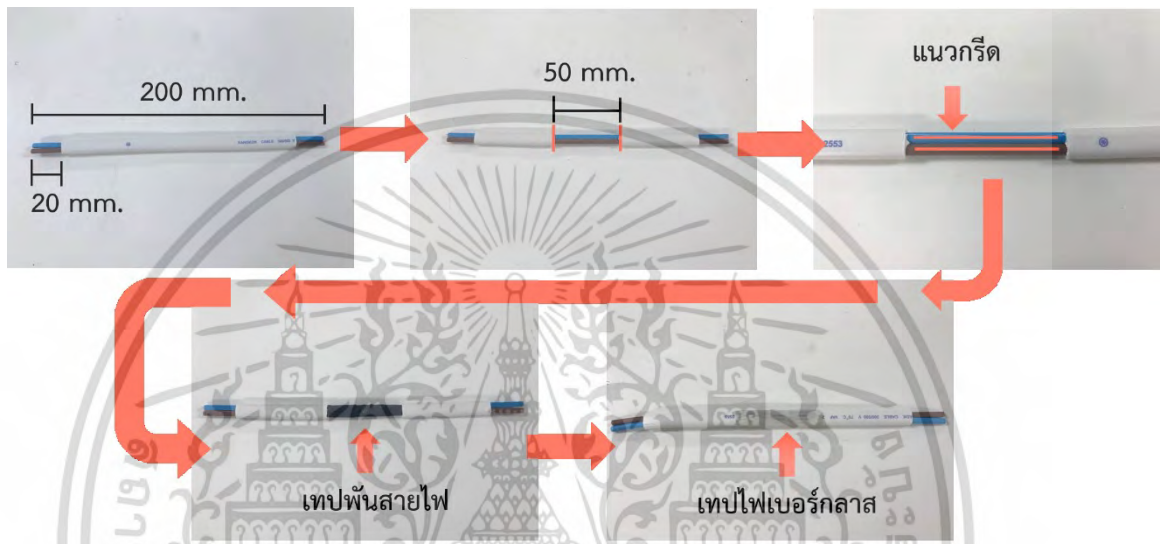
ผลการทดลองในส่วนนี้จะแสดงให้เห็นว่าระยะห่างของตำแหน่งที่เกิดอาร์คฟลัดนั้นส่งผลต่อประสิทธิภาพการตรวจจับของวงจรตรวจจับอาร์คฟลัดน้อยจนเสมือนว่าไม่มีผลเลย ซึ่งแสดงว่าไม่ว่าอาร์คฟลัดจะเกิดที่ ตำแหน่งใดของวงจรรอยยอที่ทำการตรวจจับ วงจรตรวจจับก็สามารถบอกได้ว่าเกิดอาร์คฟลัดขึ้นแต่จะไม่สามารถบอกถึงระยะห่างจากบริเวณที่ ทำการตรวจจับได้

4.4 ทดลองวงจรตรวจจับอาร์คฟลัดแบบอนุกรมกับสาย Cable Specimen

เป็นการทดลองวงจรตรวจจับอาร์คฟลัดลักษณะเหมือนกับการทดลองในหัวข้อ 4.1 – 4.2 แต่จะทำการเปลี่ยนในสนอุปรกรณ์กำเนิดอาร์คฟลัดเป็น Cable Specimen แทนเพื่อ ให้การทดลองนี้เสมือนอยู่ในสถานการณ์ที่สายไฟเกิดชำรุดเสียหายและเกิดอาร์คฟลัดขึ้นจริงจนทำให้สายไฟไหม้ โดยจะทำการบ่มสายไฟเพื่อใช้จำลองสายไฟที่ชำรุดเสียหายจริงในบ้านเรือน โดยในมาตรฐาน IEC62606 จะใช้สายไฟที่มีตัวนำแบบคู่ในการโครงการงานนี้จะใช้สายชนิด VAF 2x2.5 mm²



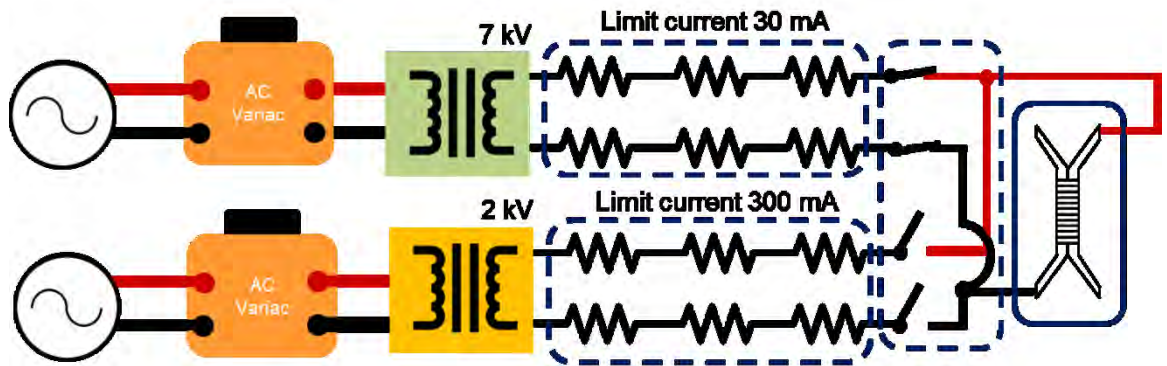
รูปที่ 4.23 การเตรียม Cable Specimen (1)



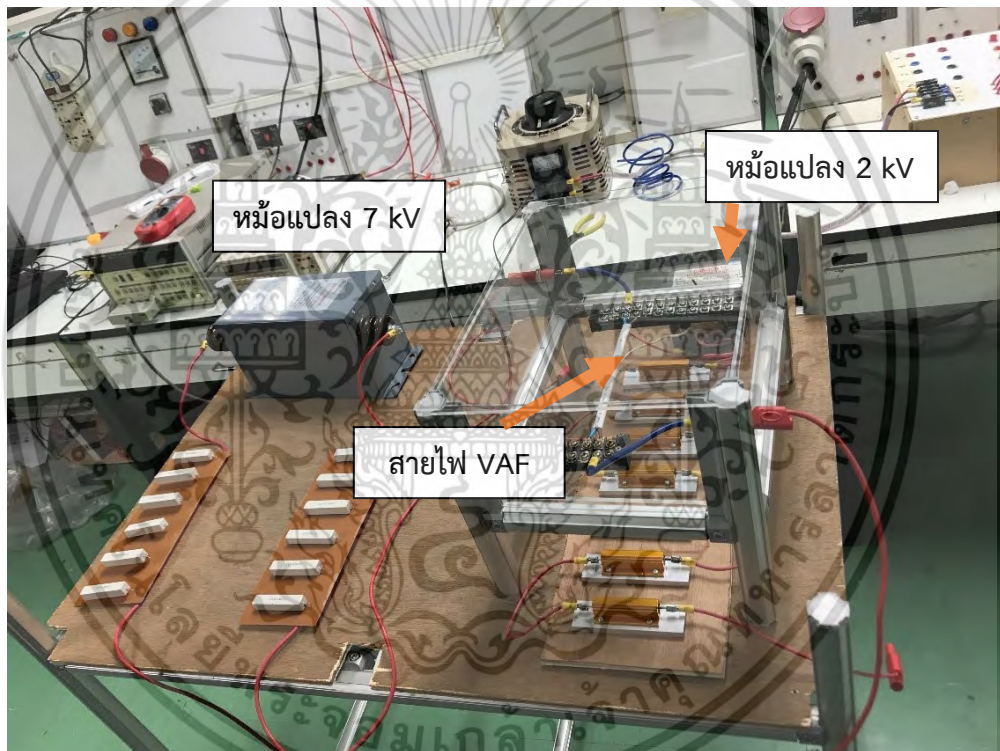
รูปที่ 4.24 การเตรียม Cable Specimen (2)

1. เตรียมสายไฟความยาว 200 mm ทำการปลอกฉนวนที่ หัวและปลายสายประมาณ 12 mm
2. ปลอกฉนวนที่กึ่งกลางสายความยาว 50 mm และใช้คัตเตอร์กรีดที่ฉนวนที่ หุ้มสายของแดง อย่างระมัดระวังตั้งแต่ต้นถึงท้าย
3. ใช้เทปพันสายไฟสีดำและเทปใยแก้วหุ้มสายไฟช่วงที่ โดนกรีดอย่างละสองรอบ
4. ทำการสร้างเส้นทางนำไฟฟ้าคาร์บอนโดยการนำสายไฟที่ เตรียมไว้ไปเชื่อมต่อกับวงจรแรงสูง 7 kV เป็นเวลา 10 วินาที และ 2 kV อีกเป็นเวลา 10 วินาที เป็นการเพิ่มคราบคาร์บอนให้สายโดยการเพิ่มกระแสไฟฟ้าเพื่อ อพิน ความเสียหายให้ฉนวนของสายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

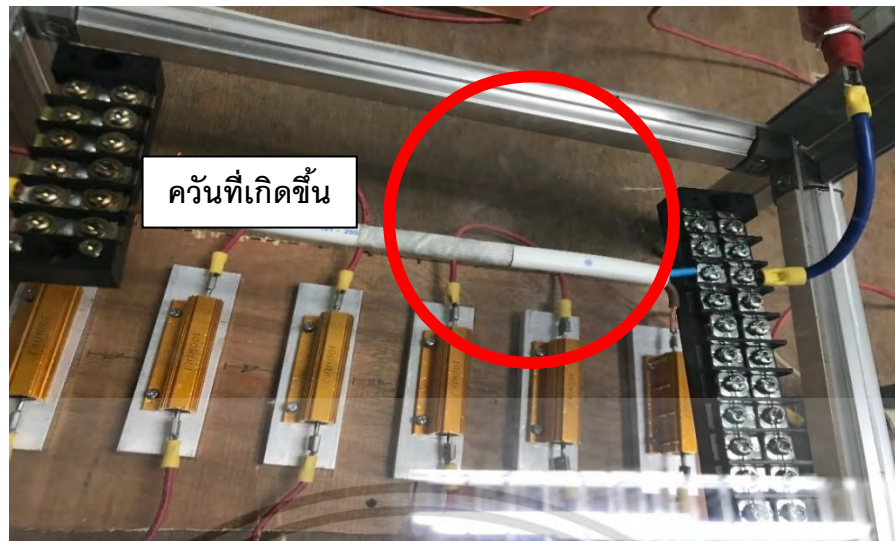


รูปที่ 4.25 แผนภาพชุดการเตรียมเส้นทางนำไฟฟ้าคาร์บอนของ Cable Specimen



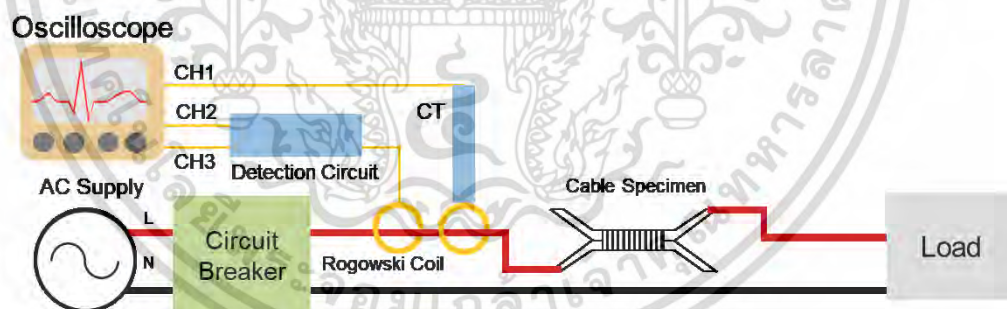
รูปที่ 4.26 ชุดการเตรียมเส้นทางนำไฟฟ้าคาร์บอนของ Cable Specimen

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 Cable Specimen ที่ เตรียมเสร็จแล้ว

เมื่อทำการเตรียม Cable Specimen เสร็จเรียบร้อยแล้วจะนำไปแทนที่อุปกรณ์กำเนิดอาร์คฟอลต์โดยโหลดที่จะทำการทดลองด้วยเป็นโหลดประเภทตัวต้านทานคือ หลอดเผาไส้ที่ขนาดกระแส 5 A โดยสถานะที่ทำการทดลองอยู่ในลักษณะที่ยังไม่ทำการจ่ายไฟให้กับโหลดจากนั้นเมื่อเตรียมชุดทดลอง(รูปที่ 4.28)เสร็จจะทำการจ่ายไฟแล้วสังเกตผลลัพธ์ที่ ถัดขึ้น



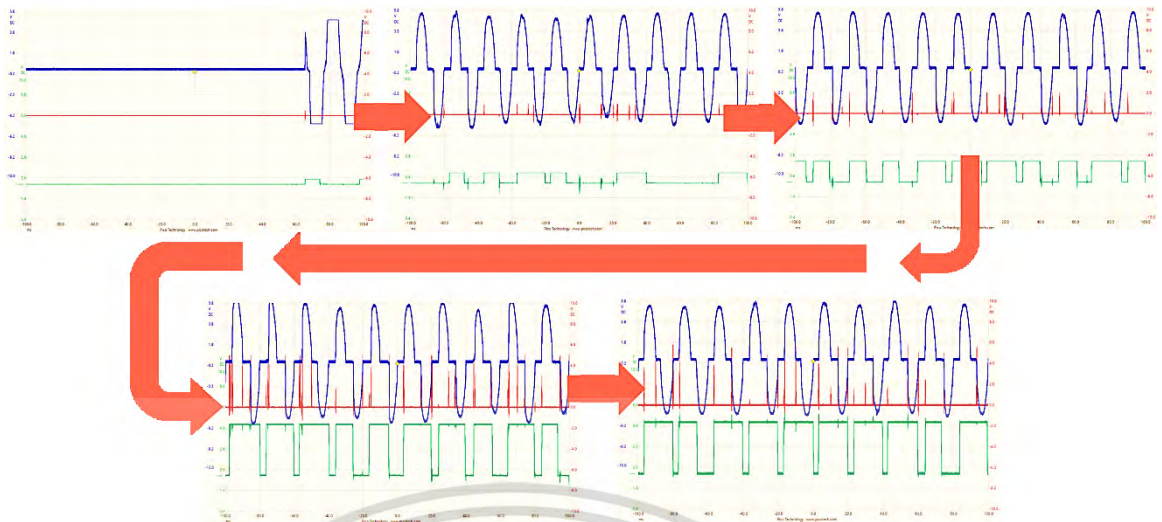
รูปที่ 4.28 ชุดทดลอง Cable Specimen

โดยที่

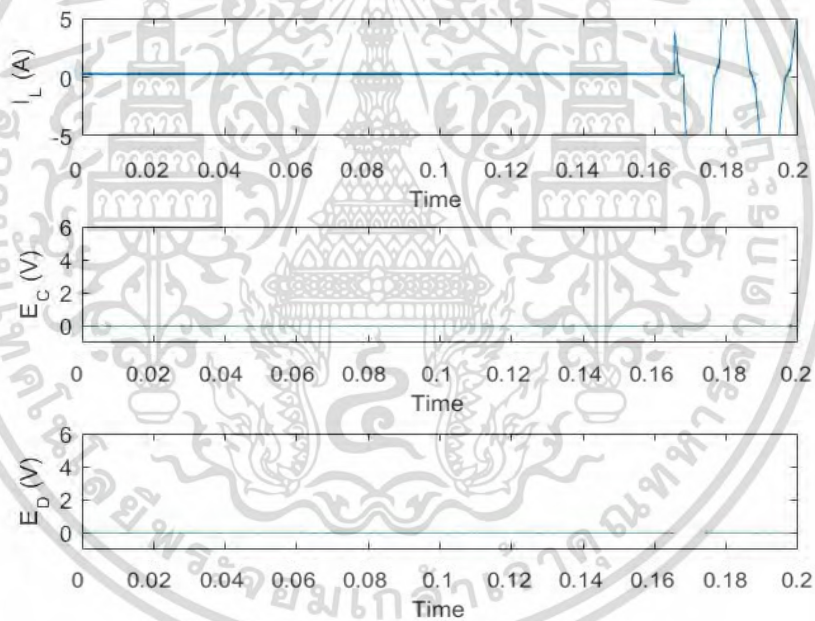
I_L คือ กระแสไฟฟ้าของโหลดที่ วัดโดย Current probe Yokogawa 701930
1 MHz bandwidth

E_C คือ สัญญาณแรงดันเอาต์พุตของวงจร Window Comparator

E_D คือ สัญญาณแรงดันพัลส์ของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรม
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

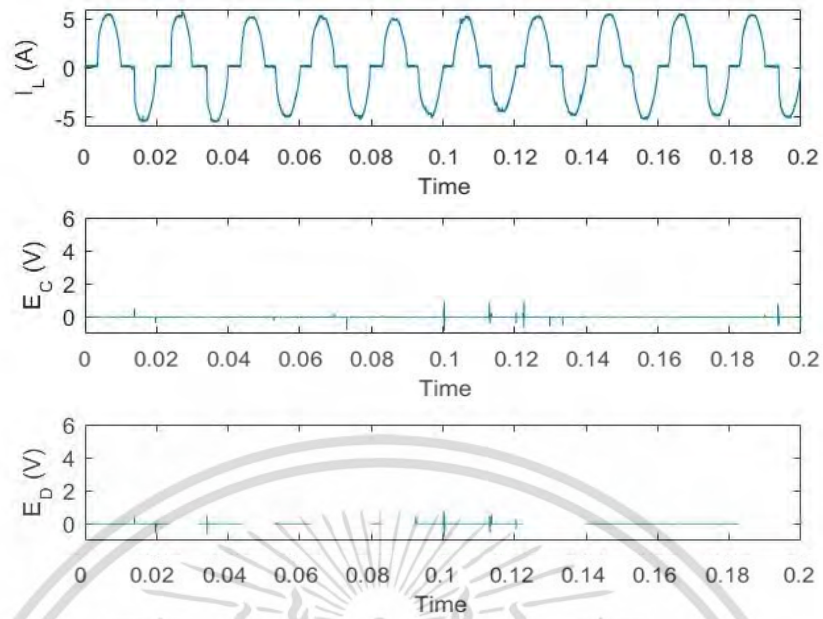


รูปที่ 4.29 ผลการทดลองกับ Cable Specimen โดยภาพรวม

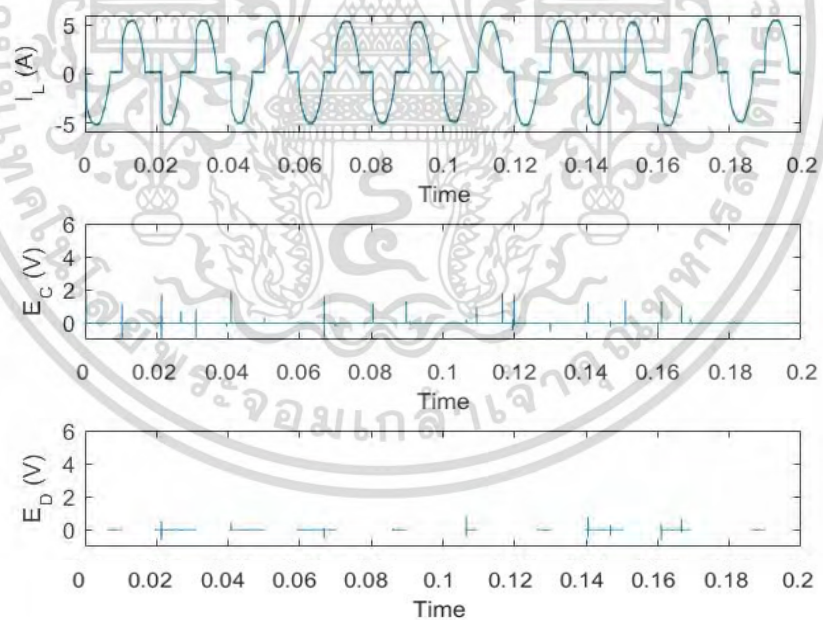


รูปที่ 4.30 ผลการทดลองกับ Cable Specimen (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

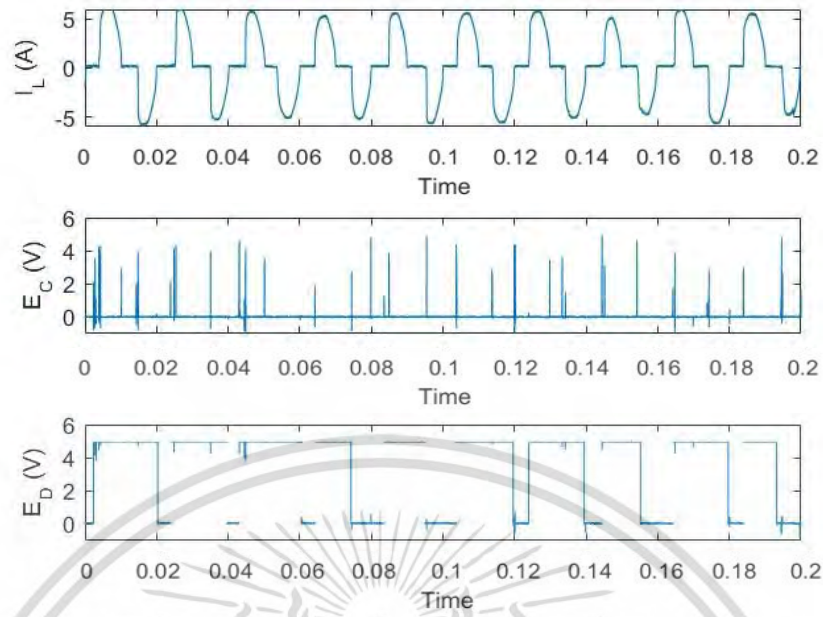


รูปที่ 4.31 ผลการทดลองกับ Cable Specimen (2)

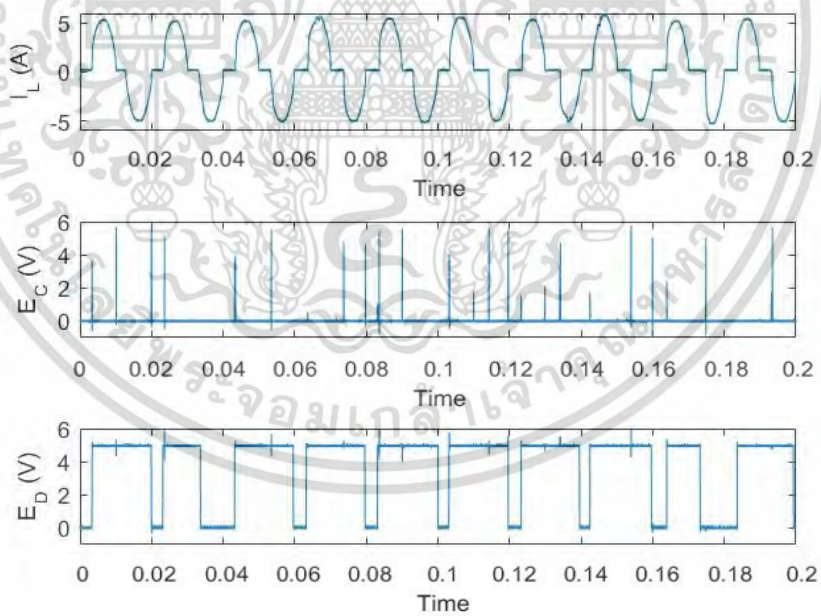


รูปที่ 4.32 ผลการทดลองกับ Cable Specimen (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

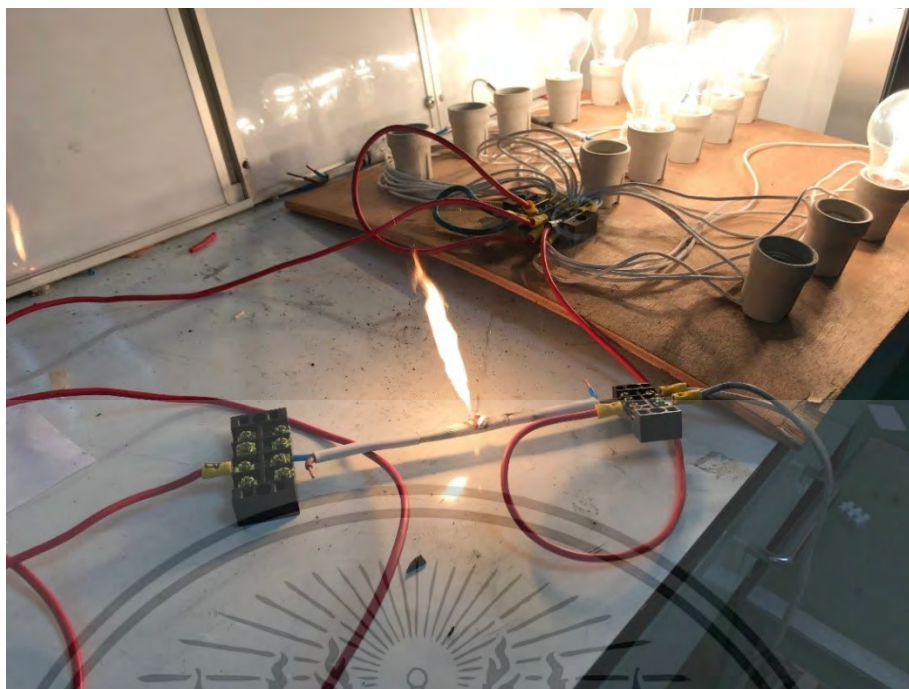


รูปที่ 4.33 ผลการทดลองกับ Cable Specimen (4)



รูปที่ 4.34 ผลการทดลองกับ Cable Specimen (5)

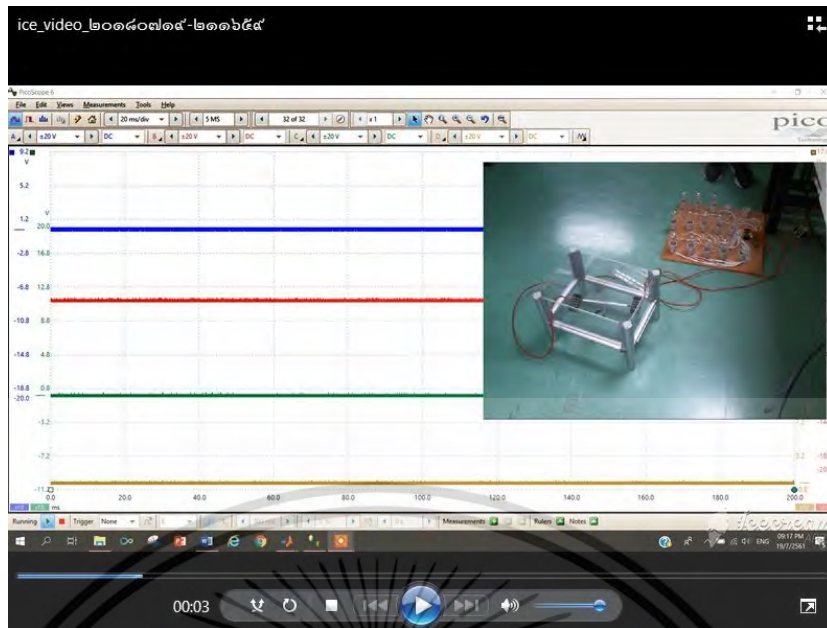
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



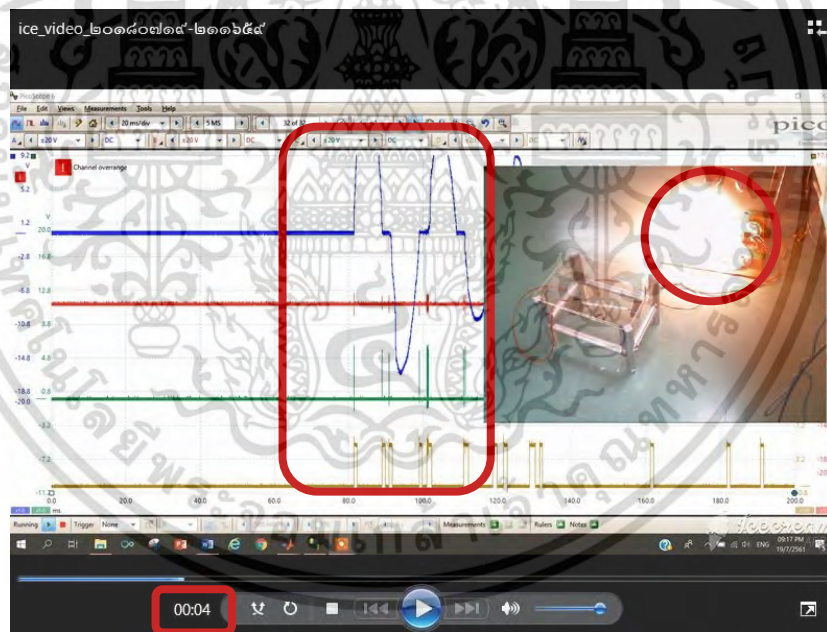
รูปที่ 4.35 สถานการณ์ไฟไหม้จากทดลอง Cable Specimen

จากการทดลองที่ผ่านมาจะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อทำการจ่ายไฟให้กับโหลดนั้นจะเกิดอาร์คขึ้นภายใน Cable Specimen โดยสังเกตจากภาพของกระแสไฟฟ้าจาก Current Probe รูปที่ 4.29 – 4.34 นอกจากนั้นวงจรตรวจจับก็ยังสามารถตอบสนองต่ออาร์คฟอลต์ได้เหมือนกับการทดลองก่อนหน้านี้โดยสามารถตรวจจับอาร์คฟอลต์ได้ก่อนสายเคเบิลทดสอบจะเกิดการเผาไหม้เป็นไปตามรูปที่ 4.36 – 4.40 ซึ่งเป็นภาพจากวิดีโอการทดลองนี้โดยสังเกตจากเวลาในวิดีโอตั้งแต่อ่อนจ่ายไฟฟ้าให้โหลดจนกระทั่งจ่ายไฟให้โหลดแล้วเกิดสภาวะอาร์คฟอลต์ขึ้นและทำการตรวจจับสัญญาณความถี่สูงของอาร์คฟอลต์ได้ ต่อไปคือเกิดควันไฟและสุดท้ายคือสายไฟลุกไหม้ แต่ส่วนที่สำคัญมากกว่านั้นคือการแสดงให้เห็นถึงความอันตรายของอาร์คฟอลต์ ในสถานการณ์ที่ ถัดไฟไหม้โดยอาร์คฟอลต์จากการใช้สายไฟที่ ชั่วๆ ซึ่ง จะเห็นได้ว่าขณะที่ ถัดการลุกไหม้ของฉนวนสายไฟ โหลดที่ ต่อยู่ด้านหลังในรูปที่ 4.35 ก็ยังคงทำงานแสดงว่ามีกระแสไฟฟ้าไหลไปยังโหลดหากเกิดขึ้นในสถานการณ์จริงแล้วจะไม่สามารถสังเกตเห็นสถานการณ์เช่นนี้ได้เนื่องจากการเดินสายไฟนั้นทำการเดินสายภายในท่อในผนังหรือบนเพดาน ดังนั้นกว่าที่จะรู้ถึงความผิดปกตินี้เพลิงก็อาจจะลุกลามเกินจะควบคุมได้ โดยการเผาไหม้ในการทดลองนี้จะหยุดลงเมื่อฉนวนสายไฟถูกเผาไหม้จนหมดหรือคราบคาร์บอนภายในสายไฟที่เกิดจากกระบวนการเตรียมในส่วนก่อนหน้านั้นหมดจนทำให้อาร์คฟอลต์ไม่สามารถเกิดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

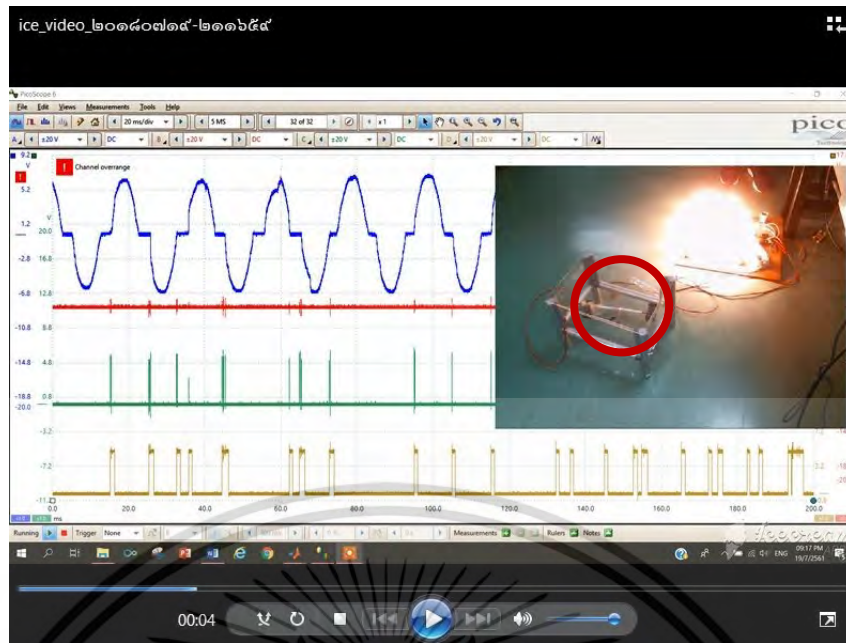


รูปที่ 4.36 ผลการทดลองกับ Cable Specimen ก่อนจ่ายกระแสไฟฟ้า

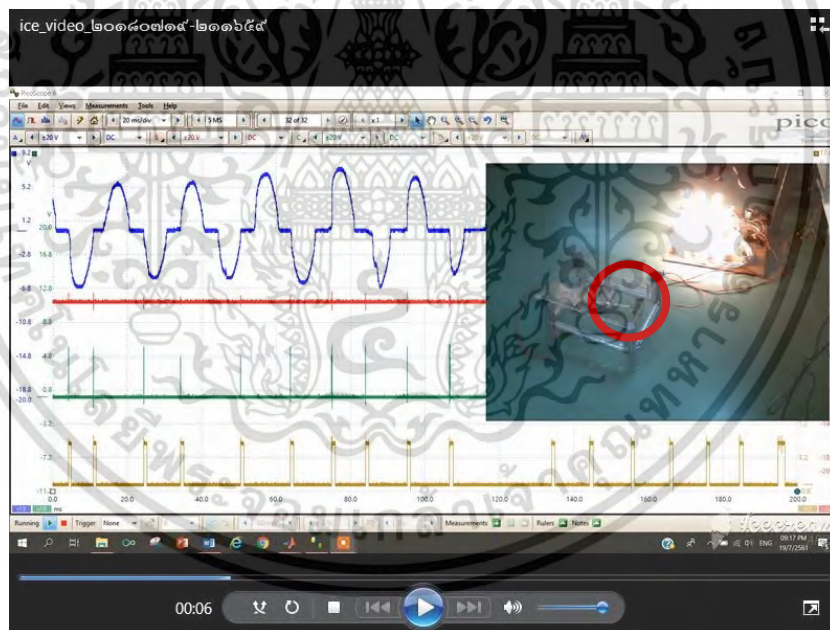


รูปที่ 4.37 ผลการทดลองกับ Cable Specimen ขณะจ่ายกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

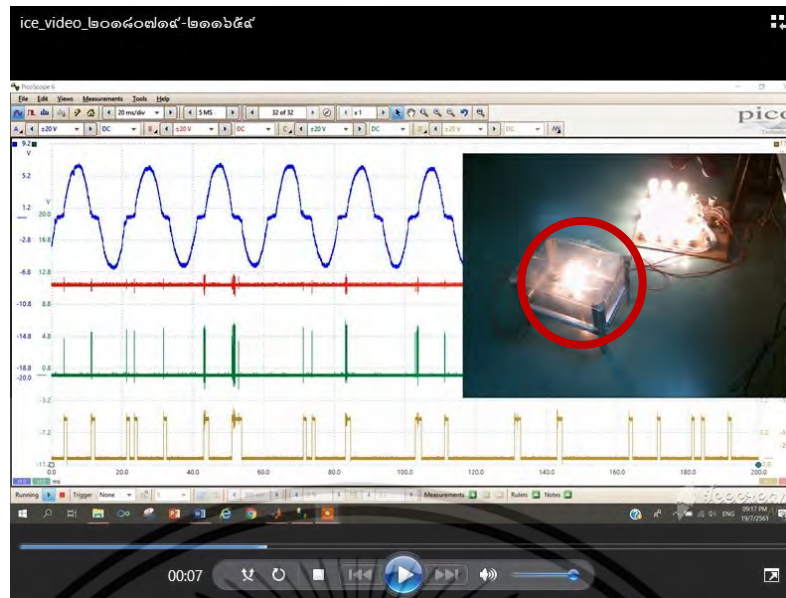


รูปที่ 4.38 ผลการทดลองกับ Cable Specimen ขณะเรี มถีดควัน



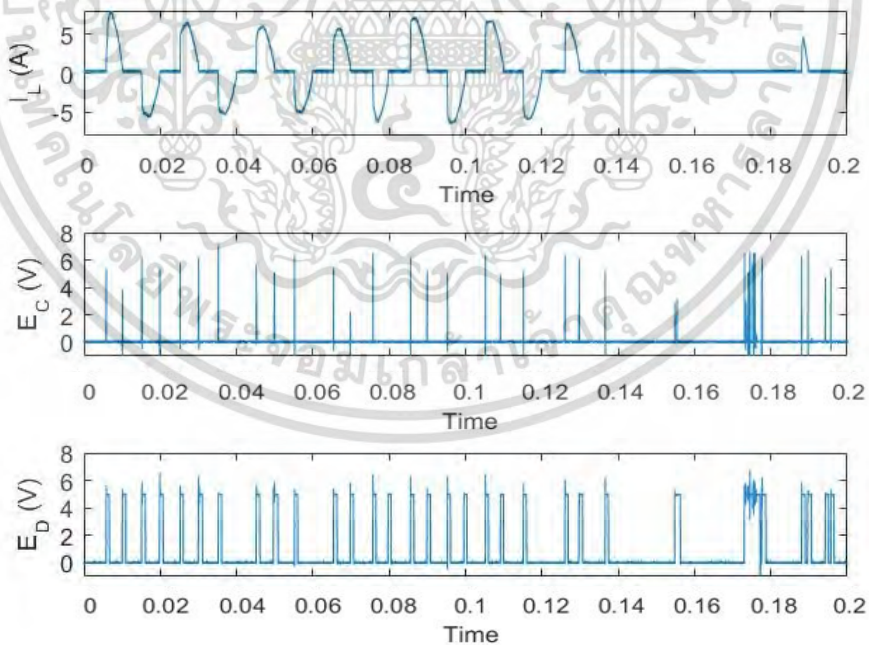
รูปที่ 4.39 ผลการทดลองกับ Cable Specimen ขณะเรี มถีดประกายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



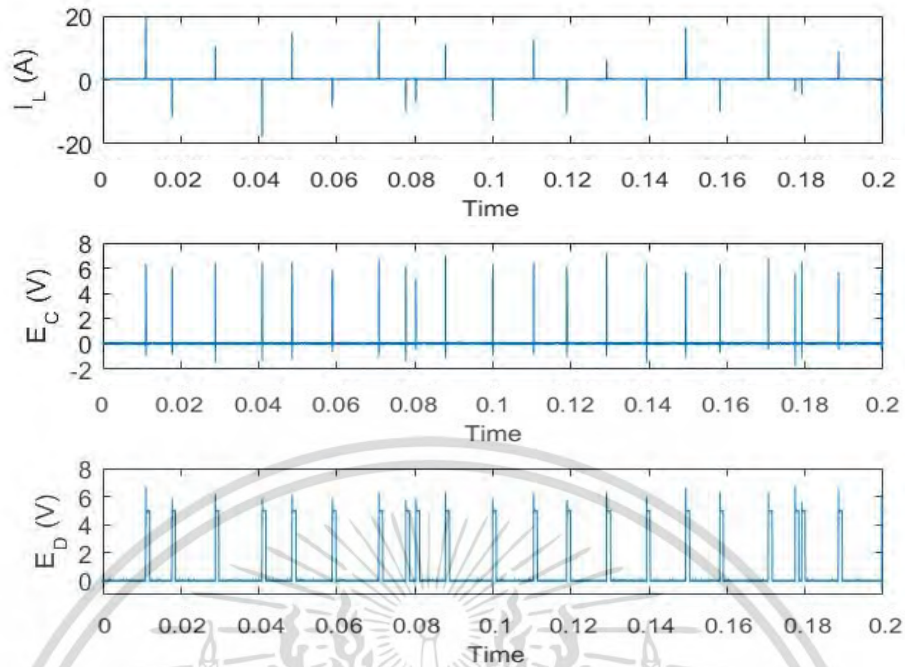
รูปที่ 4.40 ผลการทดลองกับ Cable Specimen ขณะไฟลุกไหม้

ต่อมาคือผลการทดลอง Cable Specimen กับโหลดประเภทคือได้แก่ หลอดเผาไส้ที่ใช้งานร่วมกับสวิตซ์หรี ไฟสายชาร์จโน้ตบุ๊ก และ ส่วนไฟฟ้า ตามลำดับ

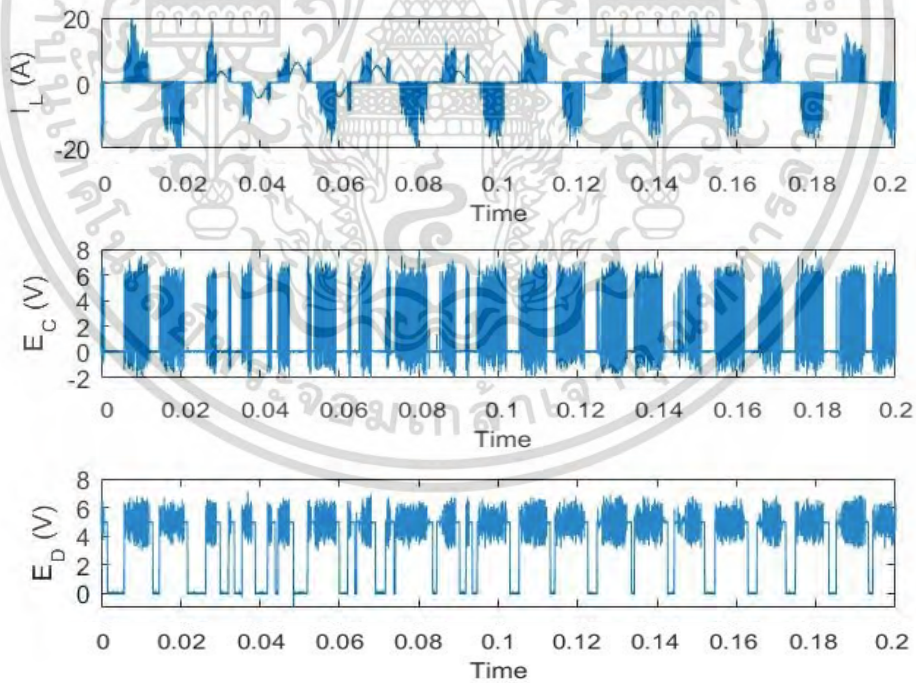


รูปที่ 4.41 ผลการทดลอง Cable Specimen กับสวิตซ์หรี ไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.42 ผลการทดลอง Cable Specimen กับสายชาร์จ์ไฟเบอร์



รูปที่ 4.43 ผลการทดลอง Cable Specimen กับส่วนไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองในกรณีต่างๆที่ผ่านมาทั้งหมดจะสังเกตได้ว่าวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์มีประสิทธิภาพมากพอที่จะตรวจจับอาร์คฟอลต์ที่เกิดขึ้นในวงจรย่อยได้และไม่ตอบสนองต่อสัญญาณกระแสไฟฟ้าของโหลดที่มีลักษณะรูปคลื่นคล้ายคลึงกับอาร์คฟอลต์หรือโหลดที่มีอาร์คเป็นส่วนหนึ่งของการทำงานในสภาวะปกติอีกทั้งจะตอบสนองต่อสภาวะที่เกิดอาร์คฟอลต์ขึ้นได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วหรือก็คือวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมแรงดันต่ำที่ใช้ขดลวดโรกอฟสกีนั้นสามารถบ่งชี้สภาวะของอาร์คฟอลต์ที่ ถัดขึ้นได้อย่างไม่มีผิดพลาดซึ่งจะไม่ขึ้นกับขนาดกระแสและประเภทของโหลดที่นำมาทดลอง ทั้งในกรณีที่เพิ่มระยะห่างระหว่างจุดเกิดของอาร์คฟอลต์กับวงจรตรวจจับและกรณีที่ทำให้เกิดเพลิงลุกไหม้ขึ้นจริงขณะที่อาร์คฟอลต์ยังคงนำกระแสอยู่ผลคือสามารถบ่งชี้สภาวะของอาร์คฟอลต์ได้รวดเร็วก่อนที่ สายเคเบิ้ลทดสอบจะเกิดควันและลุกไหม้ขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการที่ใช้ตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมในระบบไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันต่ำซึ่งใช้คุณลักษณะของอาร์คฟอลต์คือ การดิซซาร์จที่ส่องสว่างของไฟฟ้าผ่านตัวกลางที่เป็นฉนวน ซึ่งฉนวน หนึ่งที่นี้คืออากาศ เมื่อกระแสไฟฟ้าไฟเบรกตัวผ่านช่องว่างอากาศนี้จะทำโมเลกุลของอากาศแตกตัวกลายเป็นพลาสมาและปล่อยพลังงานความร้อนและแสงสว่างออกมา โดยพลังงานดังกล่าวมีองค์ประกอบความถี่ในย่านตั้งแต่ระดับ 10 kHz จนถึง 1 GHz ซึ่งมีโพลีเอทิลีนทรานซิสเตอร์ชนิดสามารถปล่อยสัญญาณที่มีความถี่ได้สูงถึงระดับ 100 kHz นั้นทำให้การตรวจจับอาร์คฟอลต์ที่มีความถี่ สูงมีความเหมาะสมมากกว่าที่ จะตรวจจับที่ ระดับความถี่ ต่ำ มี หมายความว่าคุณสมบัติในส่วนนี้ของอาร์คฟอลต์มาพิจารณาแล้วอุปกรณ์ที่สามารถตรวจจับสัญญาณองค์ประกอบความถี่สูงได้ จึงได้เลือกนำขดลวดโรกอฟสกีที่มีคุณสมบัติสามารถวัดสัญญาณอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่มีความถี่สูงได้ มีแกนขดลวดเป็นแกนอากาศซี ไม้มี ทั่วต่อกระแสที่ สูงและสามารถออกแบบให้มีขนาดเล็กเพื่อให้เกี่ยวคล้องสายไฟแรงต่ำ โดยที่ ไม้ได้ที่ขนาด 2.5-4.0 mm² และให้สะดวกต่อการติดตั้งในกล่องวงจรขนาดเล็ก โดยออกแบบให้มี ผลตอบสนองต่อความถี่ ที่ ำหน้าเสมือนเป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่แบนด์วิธ 16 MHz จากนั้นนำสัญญาณที่ได้ไปเข้าวงจร Differential to Single-Ended Amplifier เพื่อทำการขยายสัญญาณและลดทอนสัญญาณรบกวนโหมตรงร่วมเพื่อที่จะได้สัญญาณที่ถูกต้องสำหรับนำไปวิเคราะห์และพิจารณาขนาดของสัญญาณความถี่สูง ในวงจร Window Comparator เพื่อบ่งชี้ว่าเกิดอาร์คฟอลต์ขึ้นหรือไม่ โดยสัญญาณขาออกของตัวเปรียบเทียบระดับลอจิกสูงเป็นตัวบ่งชี้ว่าได้เกิดสภาวะอาร์คฟอลต์ขึ้น วงจร Retriggerable Monostable Multivibrator ได้ถูกนำมาใช้เพื่ ีขีดความกว้างพัลส์ของสัญญาณให้เหมาะแก่การเชื่อมต่อกับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับการดำเนินการในขั้นต่อไป ในวิทยานิพนธ์นี้อาร์คฟอลต์แบบอนุกรมได้ถูกจำลองให้เกิดขึ้นกับโพลดหลายประเภทและที่ขนาดกระแสแตกต่างกันรวมทั้งได้ทดลองในเงื่อนไขเกี่ยวกับตำแหน่งของอาร์คฟอลต์และความเร็วในการตอบสนองต่อสภาวะอาร์คฟอลต์ก่อนที่สายเคเบิลทดสอบจะลุกไหม้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมที่ นำเสนอนี้มีความน่าเชื่อถือ โดยสามารถตรวจจับอาร์คฟอลต์ได้อย่างไม่ผิดพลาดโดยไม่ขึ้นกับขนาดของกระแส ประเภทของโพลด และตำแหน่งของอาร์คฟอลต์ นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าตัวตรวจจับอาร์คฟอลต์ที่ นำเสนอนี้ยังสามารถทำงานได้ดีและรวดเร็วในการตอบสนองต่อสภาวะอาร์คฟอลต์ก่อนที่สายเคเบิลทดสอบจะเกิดการลุกไหม้

5.2 ข้อเสนอแนะ

วงจรและวิธีการตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมในงานวิจัยนี้ถือว่าค่อนข้างมีประสิทธิภาพสามารถบ่งชี้ถึงสถานะอาร์คฟอลต์ได้อย่างไม่มีผิดพลาดโดยไม่ขึ้นกับขนาดของกระแสและประเภทของโหลด แต่สามารถพัฒนาต่อยอดขึ้นได้หากนำแรงดันพัลส์ขาออกนี้ไปวิเคราะห์ต่อในระบบไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของการตรวจจับอาร์คฟอลต์ที่เกิดขึ้นโดยอาจจะวิเคราะห์จากจำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้นและขนาดกระแสของอาร์คฟอลต์ในขณะนั้น ตัวอย่างเช่น หากเกิดพัลส์ 1-3 ลูกคลื่นจะทำการแจ้งเตือน แต่ถ้าเกิดต่อเนื่องครบ 5 ลูกคลื่นก็จะทำการแจ้งเตือนพร้อมส่งเซอร์กิตเบรกเกอร์ให้ทริป ส่วนระยะเวลาการส่งทริปให้ขึ้นกับขนาดความรุนแรงของอาร์คฟอลต์ซึ่งสามารถดูได้จากขนาดกระแสคือ หากกระแสน้อยให้ทำการหน่วงเวลาไว้ก่อนจะส่ง ทริป แต่ถ้ากระแสมีขนาดใหญ่มากจะส่งให้ทริปแบบทันทีเป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Healthy Home Issues: Injury Hazards, U.S. Department of Housing and Urban Development, version 3, March 2006
- [2] C. 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. 115-122.
- [3] IEC 62606 International Standard, General requirements for arc fault detection devices
- [4] P.G. Slade, Electrical Contacts, Marcel Dekker, New York, NY, 1999, pages 438-445.
- [5] E. Hourdakis, B.J. Simonds, and N.M. Zimmerman, "Submicron gap capacitor for measurement of breakdown voltage in air" Review of Scientific Instruments, Vol. 77, Issue 3, 2006
- [6] J. Shea, "Conditions for Series Arcing Phenomena in PVC Wiring," Proceeding of the 51st Holm Conference of Electrical Contacts, pp. 167-175, Sept. 2005.
- [7] F. Blades, "Method and Apparatus for Detecting Arcing in AC Power Systems by Monitoring High Frequency Noise", United States Patent, 5,729,145, Mar. 17 1998.
- [8] M. Argueso, G. Robles, J. Sanz, "Measurement of high frequency currents with a Rogowski coil"
- [9] พีรจุฑา ยุทธโกวิท และคณะ, "อุปกรณ์วัดกระแสฮาร์มอนิกชนิดขดลวดโรกอฟสกี", โครงการวิจัย, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550.
- [10] Standard for Arc-Fault Circuit Interrupters, UL Standard 1699, Apr. 2006.
- [11] G. Artale, A. Cataliotti, D. Di Cara, G. Tinè, G. Privitera, "A set of indicators for arc faults detection based on low frequency harmonic analysis" Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings (I2MTC), 2016 IEEE International
- [12] 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
- [13] Antonio Massarini and Marian K. Kazimierzuk "Self-capacitance of inductors", IEEE Transactions on Power Electronics (Volume: 12, Issue: 4, Jul 1997)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

ผลงานเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



iceast 2018

The 4th International Conference on Engineering,
Applied Sciences and Technology



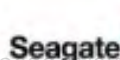
"Exploring Innovative Solutions
for Smart Society"

Swissôtel Resort Phuket Patong Beach
Phuket, Thailand

July 4-7, 2018

iceast2018@kmitl.ac.th

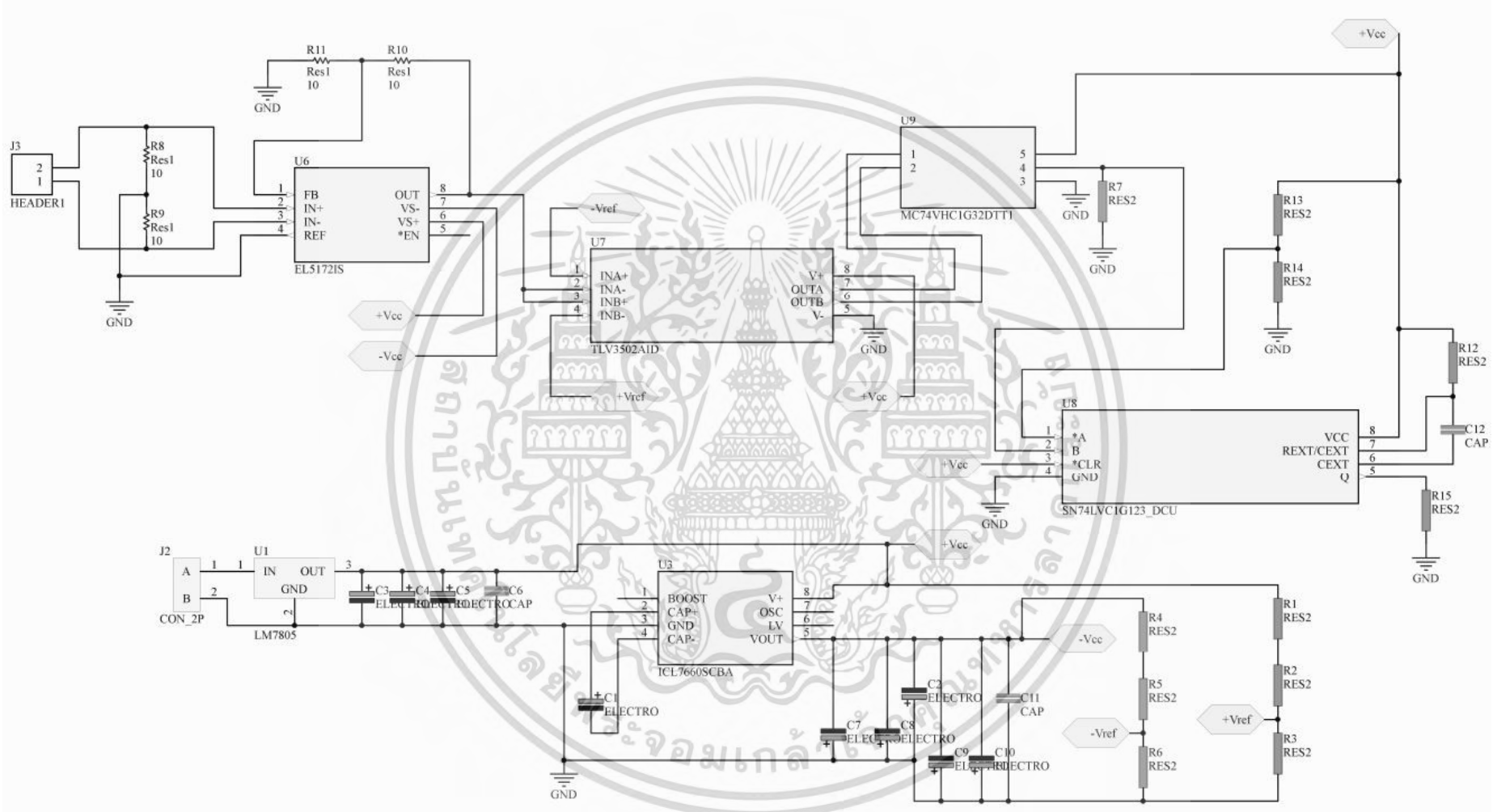
www.iceast.org



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ในกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ประวัติผู้เขียน



ชื่อ นามสกุล นายเอกบุรินทร์ ศรีตรัย
 วัน เดือน ปีเกิด 28 ตุลาคม 2536 ที่ขอนแก่น
 ที่ อยู่ 963 หมู่ 9 ถนนมะลิวัลย์ ตำบลชุมแพ อําเภอุมแพ
 จังหวัดขอนแก่น 40130
 ประวัติการศึกษา 2558 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ผลงานทางวิชาการ

1. Eakburin Sritrai, Supat Kittiratsatcha and Sompob Polmai, "Low Voltage Series Arc Fault Detection Using Rogowski Coil", ICEAST 2018 Conference The 4th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology, page 923 - 926

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้