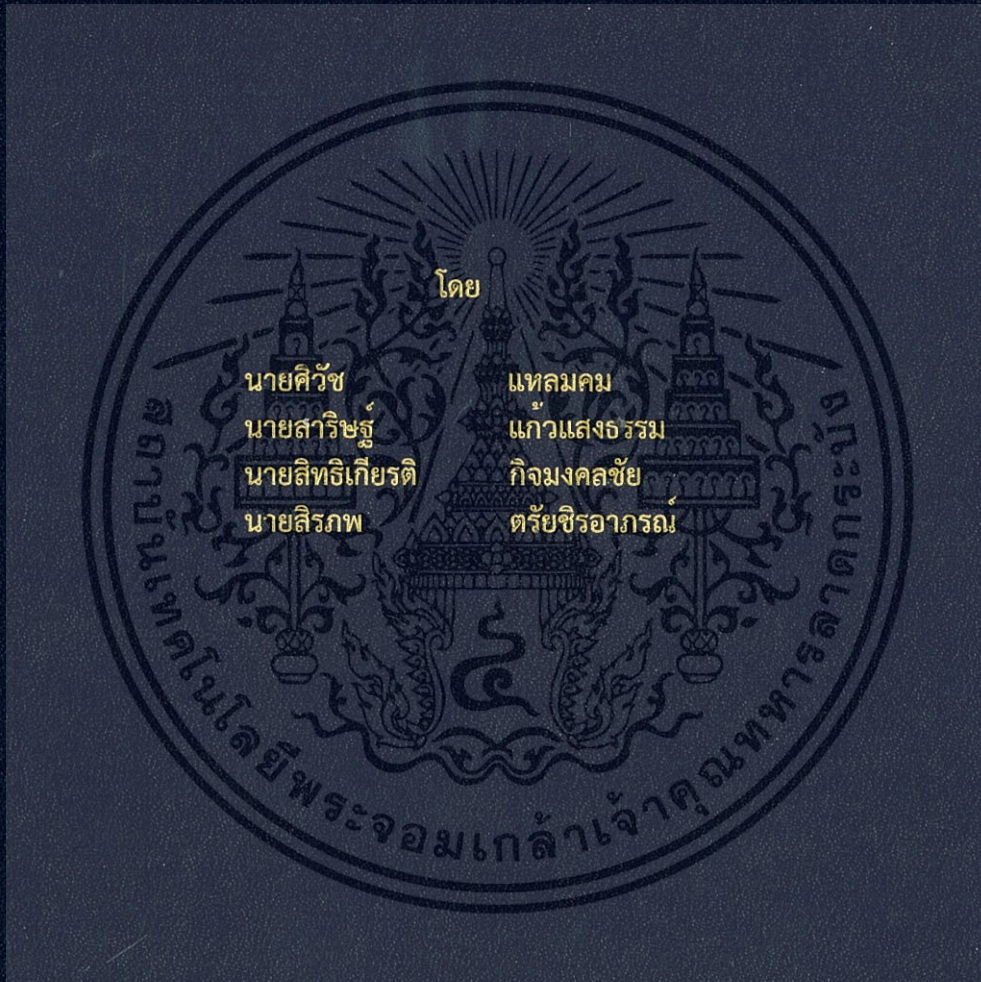


อุปกรณ์ตรวจจับกระแสอาร์คฟอลต์
ARC FAULT DETECTION DEVICE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

อุปกรณ์ตรวจจับกระแสอาร์คฟอลต์

ARC FAULT DETECTION DEVICE

โดย

นายศิวัช

แหลมคม

นายสาริษฐ์

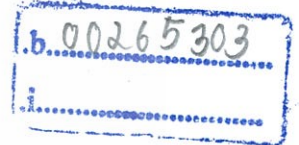
แก้วแสงธรรม

นายสิทธิเกียรติ

กิจมงคลชัย

นายสิรภาพ

ตรีชัยอารมณี



TB00112

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ARC FAULT DETECTION DEVICE

Siwat

Lamkom

Sarit

Kaewsangtham

Sitthikiat

Kitmongkolchai

Siraphob

Trishiraarporn



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

2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2560

อุปกรณ์ตรวจจับกระแสอาร์คฟอลต์

ARC FAULT DETECTION DEVICE



อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.สมภพ

ผลไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อุปกรณ์ตรวจจับกระแสอาร์คฟอลต์

ผู้จัดทำ

1. นายศิวัช แหลมคม
2. นายสาริษฐ์ แก้วแสงธรรม
3. นายสิทธิเกียรติ กิจมงคลชัย
4. นายสิรภพ ตริยชิโรภารณ์





..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.สมภพ ผลไม้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ตรวจจับกระแสอาร์คฟอลต์

นาย ศิวัช	แหลมคม
นาย สาริษฐ์	แก้วแสงธรรม
นาย สิทธิเกียรติ	กิจมงคลชัย
นาย สิริภพ	ตรีชัยธราภรณ์
ดร. สมภาพ	ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2560	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบวงจรที่มีการตัดกระแสภายในวงจรเมื่อเกิดสภาวะอาร์คฟอลต์เพื่อป้องกันอันตรายจากไฟไหม้ที่จะเกิดขึ้นภายในวงจร โดยจะเป็นการออกแบบสภาวะที่พร้อมจะเกิดอาร์คได้ในชีวิตจริงและตรวจสอบวงจรที่เกิดอาร์ค อาร์คสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทคือ อาร์คที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายและอาร์คที่ก่อให้เกิดอันตราย สำหรับโครงการนี้จะเป็นการตรวจจับการเกิดอาร์คฟอลต์ก่อนการเกิดอันตรายโดยมีการใช้ชุดหลอดโรกอฟสกีตรวจจับสัญญาณกระแสที่มีความถี่สูงระดับ MHz ในการทดลองเราได้จำลองสภาวะทั้งสภาวะปกติและสภาวะที่เกิดอาร์ค เมื่อวงจรมีการอาร์คเกิดขึ้นอุปกรณ์ตรวจจับกระแสอาร์คสามารถตรวจพบสัญญาณอาร์คและแจ้งเตือนได้อย่างดีเยี่ยม

ARC FAULT DETECTION DEVICE

Mr.Siwat	Lamkom
Mr.Sarit	Kaewsangtham
Mr.Sitthikiat	Kitmongkolchai
Mr.Siraphob	Trishiraarporn
Dr.Sompob	Polmai Advisor

ABSTARCT

This engineering project presents arc fault detection device (AFDD) for protecting an electric circuit from fire hazard when arc fault occur, by design arc fault state and detecting arc current. Arc fault can be divided into non-hazardous arc fault and hazardous arc fault. In this project, we use Rogowskicoil for detecting arc current wave form at high frequency that is in MHz range. For the testing, we have divided the test into different states those are normal state and arc state. When the arc fault is happening, our AFDD can detect the arc fault characteristic and notify the irregular situation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จและลุล่วงไปได้ด้วยดีจึงต้องขอขอบพระคุณ ดร.สมภพ ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่คอยให้คำแนะนำ คำปรึกษาและแนวทางต่างๆ ในการทำโครงการชิ้นนี้ตลอดจนการให้ความรู้เกี่ยวกับโครงการและการแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นให้ผ่านพ้นไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ นายเอกบุรินทร์ ศรีตรัย พี่นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่คอยให้คำแนะนำต่างๆตลอดโครงการชิ้นนี้

ขอขอบพระคุณคุณอาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ให้แก่ทางคณะผู้จัดทำมีความรู้ความสามารถและประสบการณ์ในการดำเนินการโครงการชิ้นนี้ให้ลุล่วงสำเร็จ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ สมาชิกทุกคนในห้องปฏิบัติการ Power Electronic Applications and Energy Conversion Research Laboratory (PEARL LAB) ที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำด้านต่างๆ ร่วมทุกข์ร่วมสุขให้กำลังใจกันและกัน ตลอดจนการสร้างบรรยากาศในการทำงานที่ดี

และสุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่ง ที่คอยเป็นกำลังใจให้ และสนับสนุนด้านการศึกษา การเงินพร้อมทั้งเอาใจใส่ในทุกๆเรื่องเสมอมา ให้ปริญญานิพนธ์นี้ลุล่วงสำเร็จ

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	2
1.4 วิธีที่ใช้ในโครงการ	2
1.5 แผนดำเนินงาน	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของอาร์คฟอลต์	5
2.2 ชนิดของอาร์คฟอลต์ในวงจรภายในที่อยู่อาศัย	5
2.2.1 อาร์คฟอลต์แบบอนุกรม	5
2.2.2 อาร์คฟอลต์แบบขนาน	5
2.3 สาเหตุการเกิดไฟไหม้ที่เกิดจากอาร์คฟอลต์	6
2.4 คุณลักษณะ	7
2.4.1 Broadband noise	8
2.4.2 Arc Fault Interruption and Periodicity	8
2.4.3 Arc Fault Current	8
2.5 Non-Hazardous Arcing	8
2.5.1 Lights and Dimmers	8
2.5.2 Air Compressors	8
2.5.3 Vacuum Cleaners	9
2.6 Rogowski Coil	9

สารบัญ(ต่อ)

2.7 Transmission line	13
2.8 ตัวอย่างการเกิดอาร์คฟอลต์	14
บทที่ 3 การออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับอาร์คฟอลต์อนุกรม	20
3.1 การเดินสายไฟใต้ดินเพื่อประกอบชุดทดลอง	20
3.2 Arc generator	20
3.3 Arc fault circuit simulation	21
3.4 Cable Specimen	22
3.5 Rogowski Coil	23
3.6 Detecting circuit	24
3.7 วงจรทั้งหมด	25
บทที่ 4 ผลการทดลอง	26
4.1 ค่าพารามิเตอร์ของขดลวดโรโกฟสกีที่ใช้ในการตรวจจับอาร์ค	26
4.2 กราฟกระแสของโหลดประเภทต่างๆที่เปรียบเทียบสภาวะปกติกับสภาวะเกิดอาร์ค	27
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง ผลการดำเนินงานและพัฒนา	37
5.1 สรุปผลการทดลอง	35
5.2 สรุปผลการดำเนินงาน	35
5.3 วิจารณ์ผลการทดลอง	36
5.4 ปัญหาที่พบในระหว่างดำเนินโครงการและข้อเสนอแนะ	36
5.5 แนวทางการพัฒนา	36
บรรณานุกรม	37
ภาคผนวก	38
ประวัติผู้เขียน	53

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 Series arc fault circuit	6
รูปที่ 2.2 Parallel arc fault circuit	6
รูปที่ 2.3 Rogowski coil	9
รูปที่ 2.4 Counter Wound Compensation	10
รูปที่ 2.5 Single Compensation	10
รูปที่ 2.6 วงจรสมมูลของขดลวดโรกอฟสกี	12
รูปที่ 2.7 วงจรสมมูลของสายส่งแบบสายคู่ (2 wires)	13
รูปที่ 2.8 กราฟที่ได้จากเครื่องตรวจจับกระแส	14
รูปที่ 2.9 กราฟที่ได้จากการแปลงเป็นสัญญาณ FFT	15
รูปที่ 2.10 กราฟที่ได้จากเครื่องตรวจจับกระแส	15
รูปที่ 2.11 กราฟที่ได้จากการแปลงเป็นสัญญาณ FFT	15
รูปที่ 2.12 กราฟที่ได้จากเครื่องระยะ 3 m	16
รูปที่ 2.13 กราฟที่ได้จากการแปลงเป็นสัญญาณ FFT ระยะ 3 m	16
รูปที่ 2.14 กราฟที่ได้จากการแปลงเป็นสัญญาณ FFT โดยขยายความถี่เพิ่ม ระยะ 3 m	16
รูปที่ 2.15 กราฟที่ได้จากเครื่องระยะ 6 m	17
รูปที่ 2.16 กราฟที่ได้จากการแปลงเป็นสัญญาณ FFT ระยะ 6 m	17
รูปที่ 2.17 กราฟที่ได้จากการแปลงเป็นสัญญาณ FFT โดยขยายความถี่เพิ่ม ระยะ 6 m	17
รูปที่ 2.18 กราฟที่ได้จากเครื่อง	18
รูปที่ 2.19 กราฟที่ได้จากการแปลงเป็นสัญญาณ FFT	18
รูปที่ 2.20 กราฟที่ได้จากการแปลงเป็นสัญญาณ FFT โดยขยายความถี่เพิ่ม ระยะ 9 m	18
รูปที่ 3.1 ชุดตัวรับ และท่อร้อยสายไฟ	19
รูปที่ 3.2 อุปกรณ์สร้างอาร์คแบบอนุกรม	19
รูปที่ 3.3 วงจรการจำลองการเกิดอาร์ค (diagram)	20
รูปที่ 3.4 วงจรการจำลองการเกิดอาร์ค (single line)	20
รูปที่ 3.5 การเตรียม Cable Specimen	21
รูปที่ 3.6 การออกแบบ Rogowski coil	22
รูปที่ 3.7 Associate circuit	23

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ 3.8	Testing circuit (single line)	24
รูปที่ 3.9	Testing circuit (diagram)	24
รูปที่ 4.1	กราฟกระแสที่ได้จาก current-probe ของโหลดหลอดไฟขณะสภาวะปกติ (บน) กราฟกระแสจากวงจร buffer ของโหลดหลอดไฟขณะสภาวะปกติ (กลาง) กราฟกระแสจาก comparator ของโหลดหลอดไฟขณะสภาวะปกติ (ล่าง)	27
รูปที่ 4.2	กราฟกระแสที่ได้จาก current-probe ของโหลดหลอดไฟขณะสภาวะเกิดอาร์ค (บน) กราฟกระแสจากวงจร buffer ของโหลดหลอดไฟขณะสภาวะเกิดอาร์ค (กลาง) กราฟกระแสจาก comparator ของโหลดหลอดไฟขณะสภาวะเกิดอาร์ค (ล่าง)	28
รูปที่ 4.3	กราฟกระแสที่ได้จาก current-probe ของโหลดพัดลมขณะสภาวะปกติ (บน) กราฟกระแสจากวงจร buffer ของโหลดพัดลมขณะสภาวะปกติ (กลาง) กราฟกระแสจาก comparator ของโหลดพัดลมขณะสภาวะปกติ (ล่าง)	29
รูปที่ 4.4	กราฟกระแสที่ได้จาก current-probe ของโหลดพัดลมขณะสภาวะเกิดอาร์ค (บน) กราฟกระแสจากวงจร buffer ของโหลดพัดลมขณะสภาวะเกิดอาร์ค (กลาง) กราฟกระแสจาก comparator ของโหลดพัดลมขณะสภาวะเกิดอาร์ค (ล่าง)	30
รูปที่ 4.5	กราฟกระแสที่ได้จาก current-probe ของโหลด cut-off machine ขณะสภาวะปกติ (บน) กราฟกระแสจากวงจร buffer ของโหลด cut-off machine ขณะสภาวะปกติ (กลาง) กราฟกระแสจาก comparator ของโหลด cut-off machine ขณะสภาวะปกติ (ล่าง)	31
รูปที่ 4.6	กราฟกระแสที่ได้จาก current-probe ของโหลด cut-off machine ขณะสภาวะเกิดอาร์ค (บน) กราฟกระแสจากวงจร buffer ของโหลด cut-off machine ขณะสภาวะเกิดอาร์ค (กลาง) กราฟกระแสจาก comparator ของโหลด cut-off machine ขณะสภาวะเกิดอาร์ค (ล่าง)	32
รูปที่ 4.7	กราฟกระแสที่ได้จาก current-probe ของโหลด Dimmer 1 ขณะสภาวะปกติ (บน) กราฟกระแสจากวงจร buffer ของโหลด Dimmer 1 ขณะสภาวะปกติ (กลาง) กราฟกระแสจาก comparator ของโหลด Dimmer 1 ขณะสภาวะปกติ (ล่าง)	33
รูปที่ 4.8	กราฟกระแสที่ได้จาก current-probe ของโหลด Dimmer 1 ขณะสภาวะเกิดอาร์ค (บน) กราฟกระแสจากวงจร buffer ของโหลด Dimmer 1 ขณะสภาวะเกิดอาร์ค (กลาง) กราฟกระแสจาก comparator ของโหลด Dimmer 1 ขณะสภาวะเกิดอาร์ค (ล่าง)	34
รูปที่ ก.1	วงจรทดลองการเกิดอาร์ตฟอลต์แบบอนุกรม	40
รูปที่ ก.2	วงจรกำเนิดการเกิดอาร์คฟอลต์แบบอนุกรม	40

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ ค.1 เครื่องจำลองการเกิดอาร์คฟอลต์

47

รูปที่ ค.2 เครื่องจำลองการเชื่อมสภาพสายไฟ

47



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน	3
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ในสายส่ง	14
ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ของขดลวดโลโก้สกี	24



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและที่มาของโครงการ

อาร์ค (Arc) เกิดจากการเบรคดาวนผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศระหว่างตัวนำ 2 ตัวโดยอาร์คที่เกิดขึ้นนี้ทำให้อุณหภูมิโดยรอบสูงขึ้นอาจนำไปสู่การเกิดการเผาไหม้ผ่านวัสดุที่ติดไฟได้ สภาวะอาร์คนั้นสามารถจำแนกได้ 2 ประเภทคือ สภาวะอาร์คปกติโดยอาร์คในสภาวะนี้จะเกิดจากการทำงานของอุปกรณ์ที่มีมอเตอร์อยู่ภายใน และอีกสภาวะคือ สภาวะอาร์คที่เป็นอันตรายหรือสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงการเกิดอาร์ค โดยสภาวะนี้เป็นสาเหตุหลักของการเกิดเพลิงไหม้ในครัวเรือน [1] สาเหตุของการเกิดอาร์คนั้นมีหลายปัจจัยดังเช่น การชำรุดของสายไฟที่อาจเกิดจากการถูกกดทับหรือการใช้ปลั๊กเสียบสายไฟที่มากเกินไป จากสถิติในสหรัฐอเมริกาในแต่ละปี เฉลี่ยเกิดอุบัติเหตุจากระบบไฟฟ้า 40,000 ครั้ง มีผู้เสียชีวิต 350 รายและมีผู้บาดเจ็บอีกกว่า 1,400 ราย [2] ต่อมาได้มีการเพิ่มระดับความปลอดภัยภายในบ้านโดยการใช้ Arc Fault Detection Device หรือ AFDD เพื่อใช้ในการตรวจสอบการเกิดอาร์คและแก้ไขต้นเหตุของการเกิดอาร์คก่อนที่จะก่อให้เกิดอันตรายแต่ชีวิตและทรัพย์สิน [3]

ดังนั้นในปัจจุบัน อุปกรณ์ AFDD ต้องมีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเกิดอาร์คฟอลต์ทั้งในวงจรแบบอนุกรมและขนาน ปริญญาโทฉบับนี้จึงนำเสนอการออกแบบวงจรที่มีการตัดกระแสภายในวงจรเมื่อเกิดสภาวะอาร์คฟอลต์เพื่อป้องกันอันตรายจากไฟไหม้ที่จะเกิดขึ้นภายในวงจร โดยจะเป็นการออกแบบสภาวะที่พร้อมจะเกิดอาร์คได้ในชีวิตจริงและตรวจสอบวงจรที่เกิดอาร์ค อาร์คสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทคือ อาร์คที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายและอาร์คที่ก่อให้เกิดอันตราย สำหรับโครงการนี้จะเป็นการตรวจจับการเกิดอาร์คฟอลต์อนุกรมที่ก่อให้เกิดอันตรายโดยมีการใช้ขดลวดโลกอฟสกีตรวจจับสัญญาณกระแสที่ความถี่สูงระดับ MHz [4] ในการทดลองเราได้จำลองสภาวะทั้งสภาวะปกติและสภาวะที่เกิดอาร์ค เมื่อวงจรมีการอาร์คเกิดขึ้นอุปกรณ์ตรวจจับกระแสอาร์คสามารถตรวจพบสัญญาณอาร์คและแจ้งเตือนได้อย่างดีเยี่ยม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ศึกษาสภาวะการทำงานของอาร์คฟอลต์รวมถึงการแยกแยะสภาวะปกติและสภาวะในการเกิดอาร์คฟอลต์

1.2.2 เพื่อศึกษาการสร้างและออกแบบอุปกรณ์ในการตรวจจับเมื่อมีการเกิดอาร์คฟอลต์ขึ้นในระบบไฟฟ้า

1.2.3 เพื่อศึกษาพารามิเตอร์และตัวแปรต่างๆว่ามีผลกระทบต่อกระแสอาร์คอย่างไร

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1.3.1 ศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับกระแสเมื่อเกิดอาร์คฟอลต์ในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำโดยใช้การวิเคราะห์รูปแบบคลื่นของกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะการเกิดอาร์คฟอลต์และสภาวะที่ไม่เกิดอาร์คฟอลต์

1.3.2 เพื่อศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ในตรวจจับอาร์คฟอลต์อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3.3 ทดสอบระบบและอุปกรณ์ในการตรวจจับกระแสอาร์คฟอลต์

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับอาร์คฟอลต์และวงจรที่ใช้ในระบบ

1.4.2 ออกแบบจำลองการเกิดอาร์คฟอลต์แบบอนุกรม โดยการจำลองเครื่องกำเนิดอาร์คฟอลต์(Arc Generator)

1.4.3 ทำการจัดเตรียมสายไฟเพื่อทดสอบการเกิดอาร์คฟอลต์ในชีวิตประจำวัน โดยการนำสายไฟมากรีดตามยาว 5 cm โดยรอยที่กรีดห้ามโดนเส้นทองแดง และขั้นต่อไปให้นำเทปพันสายไฟมาพันสายไฟที่จะทำการทดสอบจำนวน 2 รอบ

1.4.4 นำสายไฟที่ผ่านมาพันเทปสายไฟมาพันด้วย fiber glass จำนวน 2 รอบ

1.4.5 นำสายไฟไปต่อเข้ากับหม้อแปลงฟ้าแรงดันสูง 7 kV ที่พิกัดกระแส 30 mA ทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่านสายไฟที่ทำการเชื่อมต่ออยู่ รอประมาณ 10 วินาทีหรือจนกว่าจะจางหายหมด และนำสายไฟที่ได้มาเชื่อมต่อเข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง 2 kV ที่พิกัดกระแส 300 mA ทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าประมาณ 10 วินาทีหรือจนกว่าจะจางหาย

1.4.6 นำสายไฟที่ได้ไปทดสอบกับวงจรไฟฟ้าเพื่อหาลักษณะกราฟของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในสภาวะการเกิดอาร์คฟอลต์จากวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์ โดยมีการใช้ชดลวดโรกอฟสกีเป็นตัวกลางในการสร้างผ่านสัญญาณเข้าสู่เครื่องตรวจจับ

1.4.7 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการทำงาน	พ.ศ.2560					พ.ศ.2561				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
ศึกษาทฤษฎีอาร์คฟอลต์										
ศึกษาวงจรเกี่ยวกับอาร์คฟอลต์										
ออกแบบจำลองการเกิดอาร์คฟอลต์										
การเตรียมสายไฟสำหรับจำลองการเกิดอาร์ค										
การบ่มสายไฟให้พร้อมสำหรับการทดสอบจรตรวจจับอาร์คฟอลต์										
สร้างวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์										
วิเคราะห์และบันทึกผลการทดลองจากการทดสอบจร										
แก้ไขและปรับปรุงเกี่ยวกับอาร์คฟอลต์										
ทำรูปเล่มปริยญาณิพนธ์										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ

1.6.1 เข้าใจที่มาและความอันตรายของอาร์คฟอลต์

1.6.2 สามารถเข้าใจและออกแบบอุปกรณ์ในการตรวจจับกระแสในสถานะการเกิดอาร์คฟอลต์ในวงจรไฟฟ้าได้

1.6.3 สามารถจำลองการเกิดอาร์คฟอลต์ในชีวิตประจำวันและสามารถออกแบบวงจรที่ใช้ในการตรวจจับอาร์คฟอลต์ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของอาร์คฟอลต์

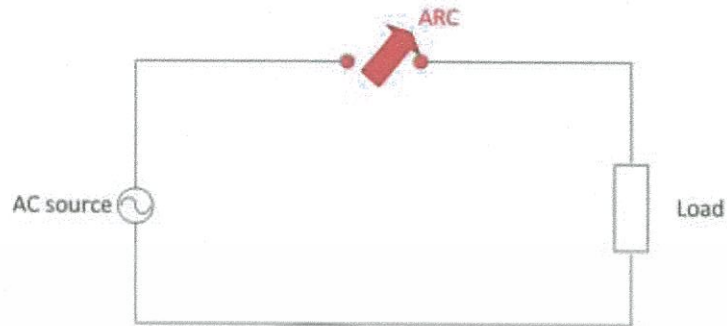
อาร์คคือสภาวะการเบรกดาว์นผ่านก๊าซหรืออากาศจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีแรงดันที่มากเกินไปและอากาศรอบตัวนำมีอุณหภูมิสูง หน้าสัมผัสทางไฟฟ้าแยกออกจากกันในขณะที่มีกระแสไฟฟ้าปริมาณมากไหลผ่านการอาร์คส่งผลให้เกิดการระเบิดซึ่งอาจเกิดอันตรายต่ออุปกรณ์ที่ใช้งานและร่างกายได้อีกด้วย การเกิดอาร์คเกิดได้จากหลายปัจจัย อาทิเช่น ระยะห่าง อุณหภูมิ ระยะเวลา ความยาวอาร์ค พื้นที่หน้าตัดของส่วนที่สัมผัส และมุมตกกระทบ การเกิดพลังงานของการอาร์ค มีอยู่ 3 รูปแบบ คือ พลังงานความร้อน พลังงานทางกล และพลังงานแสง การเกิดอาร์คมีความอันตรายสูงมากต่อร่างกาย ซึ่งอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ที่ถูกใช้งานมาเป็นระยะเวลานานอาจส่งผลให้เกิดอาร์คและก่อให้เกิดความเสียหายต่อร่างกายได้ เช่น เกิดอาการช็อกหรือรุนแรงถึงขั้นเสียชีวิต

อาร์คฟอลต์เป็นพลังงานรูปหนึ่งที่มีค่ามากเกิดจากการคายประจุระหว่างตัวนำ 2 ตัว การคายประจุจะเปลี่ยนเป็นรูปพลังงานความร้อนและเป็นการทำลายสภาพความเป็นฉนวนอาจทำให้เกิดไฟไหม้ได้ อาร์คฟอลต์เกิดได้ในทั้งค่ากระแสต่ำและกระแสสูง ยิ่งค่ากระแสไฟฟ้าที่สูงจะส่งผลต่อความอันตรายและระยะเวลาในการเกิดอาร์คฟอลต์ให้นานมากขึ้น [6]

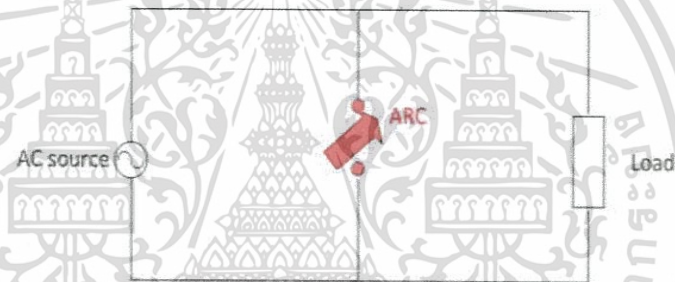
2.2 ชนิดของอาร์คฟอลต์ในวงจรภายในที่อยู่อาศัย

2.2.1 อาร์คฟอลต์แบบอนุกรม คือ อาร์คที่เกิดจากการขาดของสายตัวนำ ขนาดและความอันตรายของการเกิดอาร์คฟอลต์ขึ้นอยู่กับขนาดของโหลด ขนาดของกระแสอาร์คฟอลต์จะถูกจำกัดด้วยอิมพีแดนซ์ของสายและโหลดที่ต่อกับวงจรย่อย [7]

2.2.2 อาร์คฟอลต์แบบขนาน คือ อาร์คที่เกิดระหว่างสายตัวนำสองเส้น ความอันตรายของการเกิดอาร์คฟอลต์ขึ้นอยู่กับขนาดของโหลด โดยส่วนใหญ่ขนาดของอาร์คฟอลต์แบบขนานจะมีค่าประมาณ 75 A ขึ้นไป เมื่ออุปกรณ์ตรวจสอบสภาวะพิจารณาที่ 0-20 A ตัวอย่างของการอาร์ค ฟอลต์แบบขนาน อาร์คฟอลต์ที่เกิดและไหลจากตัวนำไปยังกราวด์



รูปที่ 2.1 Series arc fault circuit



รูปที่ 2.2 Parallel arc fault circuit

2.3 สาเหตุการเกิดไฟไหม้ที่เกิดจากอาร์คฟอลต์

เครื่องใช้ไฟฟ้าส่วนใหญ่ในปัจจุบันยังใช้สายไฟในการเป็นตัวกลางในการนำไฟฟ้า เนื่องจากการใช้งานของผู้ใช้ทั่วไปที่ไม่ทันสังเกตอาจทำให้สายไฟเกิดการกดทับหรือหนีบที่จุดเปราะบางของสายไฟแล้วทำให้เกิดรอยฉีกขาด ขำรุดของสายไฟจนเกิดการบิดงอของสายไฟและฉนวน หรืออาจเกิดจากการใช้งานเป็นระยะเวลานานโดยไม่ได้รับการบำรุงรักษาหรือเปลี่ยนทำให้ฉนวนบนสายไฟแตกหัก เนื่องจากอายุการใช้งาน ความร้อน ปฏิกิริยาเคมี และความเครียดจากการดึง รวมทั้งการเชื่อมต่อที่ไม่เหมาะสม อุปกรณ์ที่ใช้งานมีความเสียหาย สายไฟสัมผัสกับวัตถุที่มีความสั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และอาจเกิดจากสภาพแวดล้อมด้วยอย่างเช่นความชื้นหรือสิ่งสกปรกประหว่งตัวนำและฉนวนสายไฟอยู่ใกล้กับความร้อนและแสงอาทิตย์ สาเหตุเหล่านี้ทำให้เกิดปรากฏการณ์อาร์คฟอลต์ได้ทั้งสิ้น

หลักการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์(Circuit Breaker) จะทำการตัดวงจรในระบบโดยพิจารณาจากการใช้ภาระทางไฟฟ้าที่มากเกินไป(over load) และการลัดวงจร(short-circuit) ส่วน Arc fault circuit interrupter (AFCI) จะทำการตัดวงจรก็ต่อเมื่อเกิดสภาวะการใช้ภาระทางไฟฟ้าที่มากเกินไปผิดปกติ , short-circuit และ arc fault โดยที่ Arc fault circuit interrupter จะใช้ในการตรวจสอบเพื่อแยกแยะระหว่างอาร์คฟอลต์ตามธรรมชาติและการอาร์คฟอลต์ที่ก่อให้เกิดอันตราย สำหรับอาร์คฟอลต์ที่ก่อให้เกิดอันตรายจะถูกตรวจสอบโดยการทริปของ Arc fault circuit interrupter เพื่อป้องกันการเกิดไฟไหม้และArc fault circuit interrupter ถูกออกแบบเพื่อไม่ให้เกิดการทริประหว่างที่เกิดอาร์คตามธรรมชาติ เช่น การเปิด-ปิดสวิตช์ การดึงปลั๊กไฟออกจากเต้ารับ เป็นต้น ในปัจจุบัน AFCI ถูกออกแบบมาให้สามารถใช้งานในพิกัดกระแสที่ 15-20 A ซึ่งการทำงานมีลักษณะคล้ายกับ circuit breaker ดังนั้น AFCI จึงสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ไฟฟ้าพื้นฐานได้เหมือนกับการใช้งาน circuit breaker ตามปกติ และ AFCI ได้ถูกออกแบบโดยการทดสอบความคล้าย circuit breaker ที่สภาวะ ground fault

ซึ่ง AFCI นี้ได้ถูกนำมาใช้งานแพร่หลายมากขึ้นเมื่อเทียบกับแต่ก่อน และมีบริษัทชั้นนำต่างๆที่ได้ทำการผลิต AFCI อาทิเช่น General Electric , Siemens , Square D เป็นต้น

2.4 คุณสมบัติ

คุณสมบัติของอาร์คฟอลต์นั้นมีความสามารถในการสร้างคลื่นรบกวนที่บรอดแบนด์ (Broadband) ได้โดยกระแสที่ไหลผ่านบรอดแบนด์ นอยส์(Broadband noise) สามารถส่งกระจายเสียงได้หลายสิบเฮิรตซ์จนถึง 1GHz โดยรูปแบบของพลังงานของเสียงรบกวนจะดูเหมือน fit ให้เหมาะสมกับ pink noise *

*pink noise เป็นสัญญาณค่าความดัง โดยจะเท่ากันในทุกย่านความถี่ เมื่อความดังมีค่าคงที่แล้วความถี่เพิ่มมากขึ้น ค่าพลังงานที่ได้จะมีค่าลดลง

2.4.1 Broadband noise : ฟอลต์สามารถสร้างบรอดแบนด์ในระหว่างการนำกระแสไฟฟ้า สเปกตรัมของเสียงอยู่ในช่วงหลายสิบ kHz ประมาณ 1 GHz ในลักษณะที่สอดคล้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียงรบกวนชนิดนี้จะมีเฉพาะในช่วงการนำของกระแสในขณะอาร์คจะมั่นคงและเสียงบอร์ดแบนด์จะหายไป

2.4.2 Arc Fault Interruption and Periodicity : เสียงรบกวนบอร์ดแบนด์จะหายไปเมื่อแหล่งกำเนิดกระแสสลับเข้าใกล้จุดศูนย์ เมื่อมีพลังงานมากพอแล้ว อาร์คจะสามารถสร้างใหม่และลดลงได้ตามระยะเวลา

2.4.3 Arc Fault Current : อาร์คฟอลต์ทุกชนิดถือเป็นอันตรายและอาจทำให้เกิดความเสียหายเนื่องจากยิ่งกระแสไฟฟ้ามากเท่าไรยิ่งมีโอกาสเกิดไฟไหม้ได้มากขึ้น กระแสที่ไหลผ่านอาร์คจะมากขึ้น โอกาสที่สภาพความเป็นอาร์คฟอลต์ก็ยิ่งสูงมากขึ้น

2.5 non-hazardous arcing

ความสามารถของอุปกรณ์ในการตรวจจับอาร์คแบบอนุกรมยังต้องการความสามารถในการแยกแยะระหว่างอาร์คฟอลต์จริงๆ กับ false positive เพราะเนื่องจากโดยปกติแล้วโพลดทั่วไปภายในบ้านสามารถสร้าง broadband noise ที่สัมพันธ์กับความถี่ 60 Hz ได้แต่อย่างไรก็ตามสภาวะที่เกิดขึ้นดังกล่าวนั้นยังไม่เป็นอันตรายต่อวงจรมากนัก

แต่ในกรณีของกรณีของอาร์คแบบขนานนั้นอันตรายกว่าแบบอนุกรมเนื่องจากมีกระแสไหลสูงกว่ามาก จึงต้องระมัดระวังเรื่องกระแสที่ติดมากเกินไปจากโพลดบางชนิดและความสามารถของโพลดบางประเภทที่สามารถตัดกระแสแบบไตรแอก เช่นการเพิ่มโหลดไฟ 1000 W เข้าไปในวงจรที่ควบคุมด้วยสวิตช์หรีไฟ

2.5.1 Lights and dimmers

แสงที่ยังไม่ได้รับพลังงานและอยู่ในอุณหภูมิห้อง เมื่อมีการใช้งานจะมีการสร้างกระแสไฟฟ้าเท่ากับจำนวนที่ใช้ โดยทั่วไปแล้ว 1000 วัตต์สามารถสร้างได้ถึง 100 แอมป์ของค่าพีคกระแสใน 1 รอบของครึ่งซีก (half-cycle) และสามารถลดลงเพื่อเข้าสู่สถานะคงที่ (Steady State) มากกว่า 8 แอมป์ RMS ในการหรีไฟจะส่งผลต่อระดับของการไหลและอัตราการสลายตัวของไฟฟ้าให้ถึงจุดสถานะคงตัว

2.5.2 Air Compressors

Air Compressors เป็นมอเตอร์โพลดที่ต้องมีการใส่ค่าเริ่มต้นเข้าไป การไหลของกระแสจะมีค่าประมาณ 150 แอมป์พีค และใช้เวลาประมาณ 200-500 มิลลิเซค(ms.) ค่าต่ำสุดของบอร์ดแบนด์

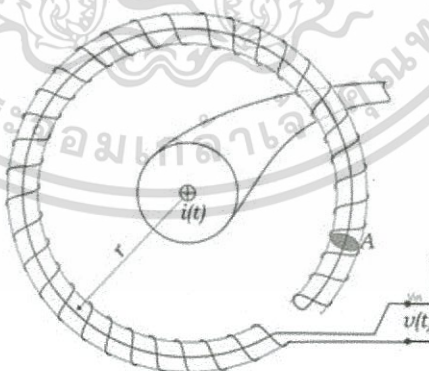
น้อยสีในการสร้างขณะที่ถูกกระทำใช้งาน อย่างไรก็ตามค่ากระแสสูงสุดมีไว้เป็นจำนวนมากถึงจะไม่เพียงพอแต่ก็ถือว่าเป็นสภาพที่มากเกินไปและอาจใช้เวลาในการตรวจสอบเพื่อป้องกันโดยเบรกเกอร์ตรวจจับความร้อน

2.5.3 Vacuum cleaners

โดยทั่วไปเครื่องดูดฝุ่นจะมีการใช้กระแสไฟฟ้าประมาณ 50 แอมป์พีก และมีการลดลงจนถึงสถานะคงที่(Steady State) ที่ 20 แอมป์ RMS เครื่องดูดฝุ่นจะมีมอเตอร์ที่ตอบสนองการจ่ายกำลังโดยหน่วยเหล่านี้ไม่มีความเสถียรต่อบอร์ดแบนด์ นอยส์โดยปกติจะไม่เป็นปัญหาเพราะการไหลเข้าไปจะมีพลังงานที่ต่ำไม่เพียงพอต่อ AFCI

2.6 ROGOWSKI COIL

มีส่วนประกอบสำคัญหลักๆอยู่ 2 ส่วนคือ แกนขดลวด กับ ขดลวด [8] โดยหลักการวัดกระแสด้วยขดลวดโรกอฟสกีนั้นคือการนำขดลวดโรกอฟสกีไปคล้องล้อมรอบแท่งตัวนำกระแสที่เราต้องการวัดกระแส เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแท่งตัวนำมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาแล้ว ก็จะส่งผลทำให้เส้นฟลักซ์แม่เหล็กที่คล้องผ่านขดลวดเปลี่ยนแปลงตามเวลาด้วยเช่นกัน การพันขดลวดโรกอฟสกีก็มีส่วนสำคัญในการวัดกระแสเข้าเหมือนกัน โดยต้องคำนึงถึงความสม่ำเสมอของพื้นที่หน้าตัดและจำนวนรอบที่พันด้วย และหลักสำคัญคือการพันขดลวดย้อนกลับเข้าไปข้างในอีกครั้งเพื่อให้แรงดันเหนี่ยวนำจากภายนอกสนามแม่เหล็กหักล้างกัน [8]

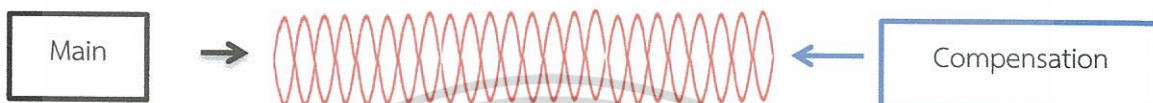


รูปที่ 2.3 Rogowski coil

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โรกอฟสกีคอล์ย (Rogowski coil) คือขดลวดที่มีลักษณะการพันแบบพิเศษ โดยทั่วไปขดลวดจะมีการพันล้อมรอบแท่งตัวนำ แต่โรกอฟสกีคอล์ยจะทำการพันรอบแท่งตัวนำที่ทำจากยางหรือแกนอากาศแล้วพันวนกลับอีกรอบเพื่อทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำหักล้างกันซึ่งการพันขดลวดจะมี 2 แบบหลักคือ

1.Counter Wound Compensation คือ จะเป็นการพันขดลวดแบบสวนทางเดิม(main coil)



รูปที่ 2.4 Counter Wound Compensation

2.Single Compensation คือการพัน compensation coil ที่ผ่านในแกนกลางของขดลวด



รูปที่ 2.5 Single Compensation

หลักการทำงาน : เมื่อมีกระแสไหลผ่านแท่งตัวนำที่มีขดลวดโรกอฟสกีคอล์ยอยู่จะมีเส้นฟลักซ์แม่เหล็กเกิดขึ้นเนื่องจากการไหลของกระแสในแท่งตัวนำ และเมื่อการไหลของกระแสเกิดความเปลี่ยนแปลงตามเวลาจะทำให้เส้นฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นเปลี่ยนแปลงเช่นกัน ส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดลวดโรกอฟสกี และแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นนี้จะถูกส่งต่อไปยังวงจรที่ต่ออยู่กับขดลวด

โรกอฟสกี โดยแรงดันเหนี่ยวนำที่ออกมา นั่นคือ V_{out} หรือ V_{coil} มีค่าเท่ากับ $-M \cdot \frac{dI_p}{dt}$ [8]

สูตรการคำนวณ

ความเข้มสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Intensity) หาได้จาก

$$H = \frac{N_1 i}{l} (\text{A/m})$$

ค่าความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก (Magnetic Flux Density)

$$B = \mu_0 H (\text{tesla})$$

แทนค่าความเข้มสนามแม่เหล็กลงในสมการของค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก จะได้

$$B = \mu_0 \frac{N_1 i}{l} \quad (1)$$

โดยที่ค่า $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$

จากกฎมือขวาของฟาราเดย์ จะได้ขนาดแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดจากสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาดังนี้

$$V_{\text{coil}}(t) = -N \frac{d\phi}{dt}$$

โดยที่ $\phi = \int B ds$

แทนค่า ϕ ลงในสมการแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น จะได้

$$V_{\text{coil}}(t) = -N \int \frac{\partial B}{\partial t} ds$$

สำหรับการพันรอบที่ 2 $V = -N_2 \int \frac{\partial B}{\partial t} ds = -N_2 A \frac{\partial B}{\partial t} \quad (2)$

แทนสมการ 1 ในสมการที่ 2 จะได้

$$V = -N_2 A \frac{\mu N_1 di}{l dt}$$

กำหนด $N_2 = 1$ รอบในกรณีคล้องสายตัวนำจะได้

$$V = -\frac{\mu_0 N A di}{l dt}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ M คือความเหนี่ยวนำระหว่างขดลวดโรกอฟสกีกับตัวนำที่มีกระแสไหลผ่าน โดยที่

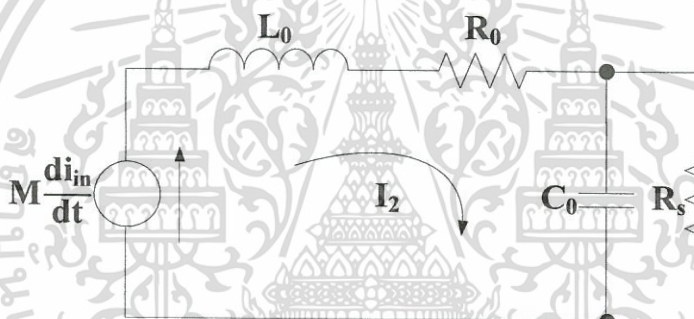
$$M = \frac{N\mu_0 A}{l}$$

ดังนั้นจะได้ค่าแรงดันเหนี่ยวนำเท่ากับ $V_{\text{coil}} = -M \frac{di}{dt}$

และสำหรับกระแสที่ไหลผ่าน จากสมการของแรงดัน จะได้ว่า

$$I_{\text{in}}(t) = -M \int_0^t V_{\text{coil}}(t) dt$$

วงจรสมมูลของขดลวดโรกอฟสกี



รูปที่ 2.6 วงจรสมมูลของขดลวดโรกอฟสกี

$$L_0 = MN$$

$$C_0 = \frac{16\epsilon_0\epsilon_r l}{\pi \ln \frac{A}{a}}$$

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

โดยที่

R_0 คือ ความต้านทานของขดลวดโรกอฟสกี (Ω)

L_0 คือ ความเหนี่ยวนำของขดลวดโรกอฟสกี (H)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C_0	คือ ความจุไฟฟ้าของขดลวดโรกอฟสกี (F)
A	คือ พื้นที่หน้าตัดของแกนขดลวด (m^2)
N_1	คือ จำนวนรอบขดลวดของการพันรอบที่1 (turn)
N_2	คือ จำนวนรอบขดลวดของการพันรอบที่2 (turn/m)
A_w	คือ พื้นที่หน้าตัดของลวด (mm^2)
l_w	คือ ความยาวของลวด (m)
ρ_w	คือ ความต้านทานจำเพาะของลวด ($\Omega\text{-m}$)
ϵ_r	คือ เปรอริมิตติวิตีสัมพัทธ์ของแกนที่ใช้พันขดลวด (F/m)
ϵ_0	คือ เปรอริมิตติวิตีสัมพัทธ์ของอากาศ (F/m)

2.7 Transmission line

ในสายส่งมีพารามิเตอร์ประกอบไปด้วย R, L, และ C โดยมีคุณลักษณะของวงจรคล้ายกับวงจรกรองความถี่ต่ำ (Low pass filter) ซึ่งผลต่อสัญญาณและความถี่สูงขาออก เมื่อสายส่งมีความยาวมากขึ้นจะส่งผลให้พารามิเตอร์ต่างๆเพิ่มขึ้นด้วย ในระบบของ transmission line จะมีตัวคงที่ของระบบอยู่ 2 ประเภท

1. ตัวคงที่ที่เป็นจุด (Lumped Constants) เป็นการสูญเสียที่เกิดขึ้นเป็นจุดๆ ความสูญเสียจะไม่สม่ำเสมอใน transmission line

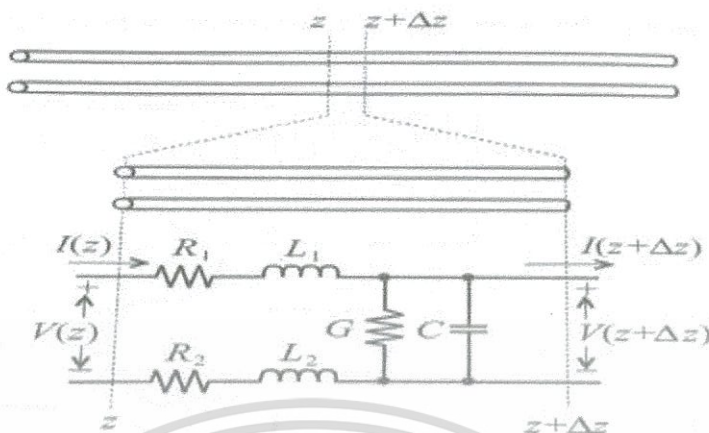
2. ตัวคงที่ที่กระจาย (Distributed Constants) คือตัวคงที่เป็นลักษณะประจำของ transmission line เป็นการสูญเสียสม่ำเสมอตลอดสาย แบ่งได้4อย่าง

2.1 series resistance

2.2 series inductance

2.3 shunt capacitance

2.4 shunt conductance (leakage)



รูปที่ 2.7 วงจรสมมูลของสายส่งแบบสายคู่ (2 wires)

ตารางที่ 1.2 พารามิเตอร์ในสายส่ง

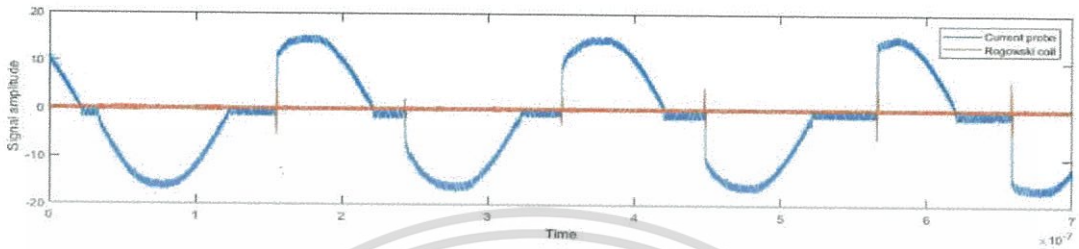
Parameter	Two-Wire Line	Coaxial Line	Parallel-Plate Line	Unit
R	$\frac{1}{\pi \sigma_{\text{cond}} \delta}$	$\frac{1}{2\pi \sigma_{\text{cond}} \delta} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)$	$\frac{2}{w \sigma_{\text{cond}} \delta}$	Ω/m
L	$\frac{\mu}{\pi} \text{acosh} \left(\frac{D}{2a} \right)$	$\frac{\mu}{2\pi} \ln \left(\frac{b}{a} \right)$	$\frac{\mu d}{w}$	H/m
G	$\frac{\pi \sigma_{\text{diel}}}{\text{acosh} (D/(2a))}$	$\frac{2\pi \sigma_{\text{diel}}}{\ln (b/a)}$	$\sigma_{\text{diel}} \frac{w}{d}$	S/m
C	$\frac{\pi \epsilon}{\text{acosh} (D/(2a))}$	$\frac{2\pi \epsilon}{\ln (b/a)}$	$\frac{\epsilon w}{d}$	F/m

2.8 ตัวอย่างการเกิดอาร์คฟลัด

สำหรับการเกิดอาร์คฟลัดจะมี 2 ชนิดคือ 1. อาร์คฟลัดที่ไม่อันตรายและเกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆที่มีการใช้มอเตอร์เป็นส่วนประกอบ 2.อาร์คฟลัดที่ก่อให้เกิดอันตรายได้ สำหรับการเกิดอาร์คฟลัดจะมีลักษณะที่แตกต่างกันไปตามประเภทของอุปกรณ์ [11] ดังรูปต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 หลอดไฟในสถานะไม่เกิดอาร์ค

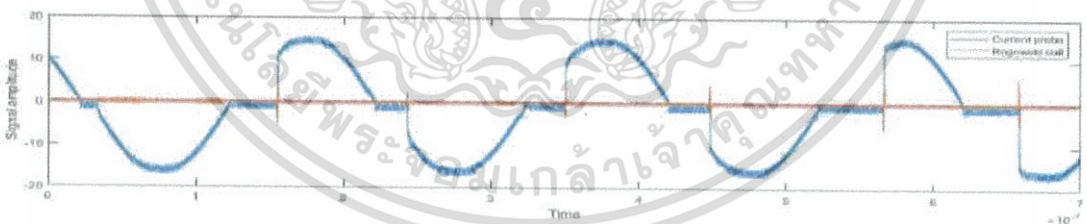


รูปที่ 2.8 กราฟที่ได้จากเครื่องตรวจจับกระแส



รูปที่ 2.9 กราฟที่ได้จากการแปลงเป็นสัญญาณ FFT

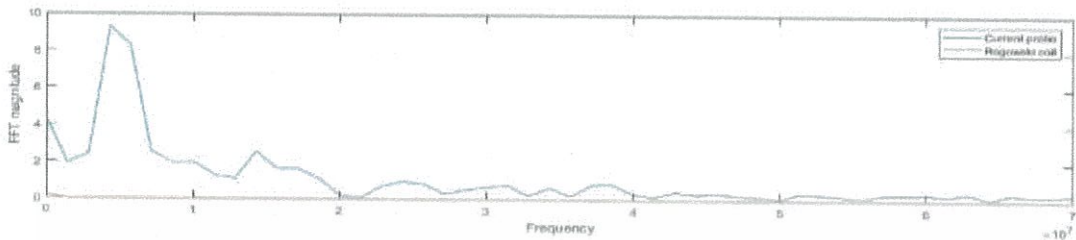
2.8.2 หลอดไฟในสถานะเกิดอาร์ค



รูปที่ 2.10 กราฟที่ได้จากเครื่องตรวจจับกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 หลอดไฟในสภาวะเกิดอาร์คโดยการแปลงเป็นสัญญาณ FFT

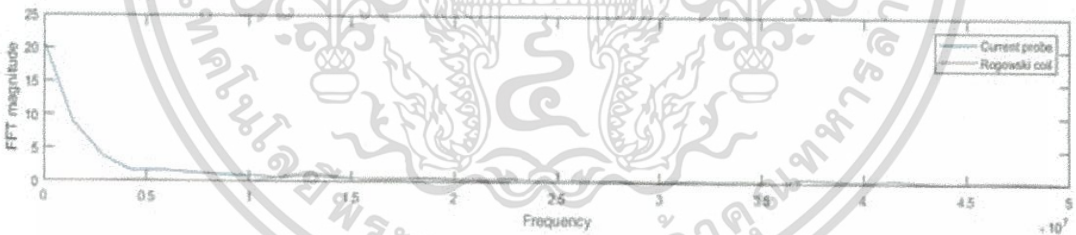


รูปที่ 2.11 กราฟที่ได้จากการแปลงเป็นสัญญาณ FFT

2.8.4 หลอดไฟระยะ 3 เมตรในสภาวะเกิดอาร์ค



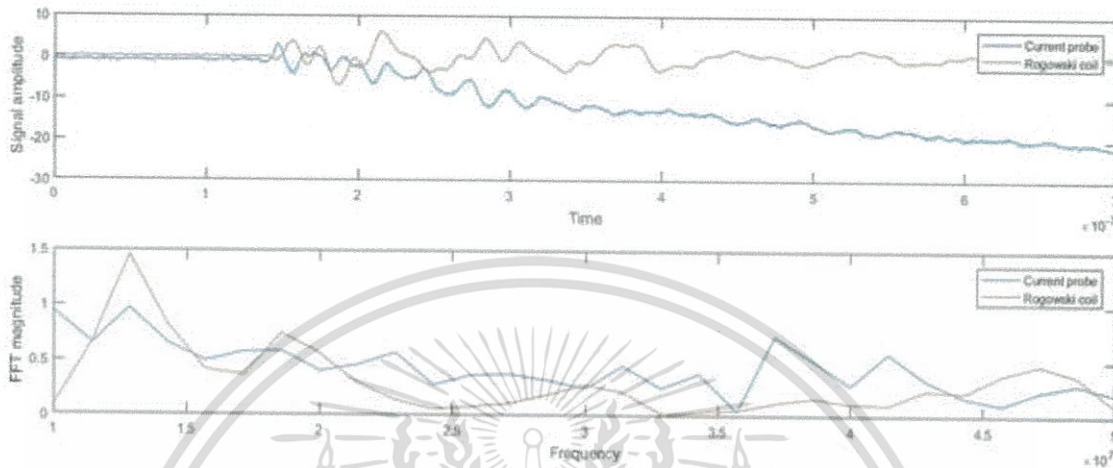
รูปที่ 2.12 กราฟที่ได้จากเครื่องระยะ 3 m



รูปที่ 2.13 กราฟที่ได้จากการแปลงเป็นสัญญาณ FFT ระยะ 3 m

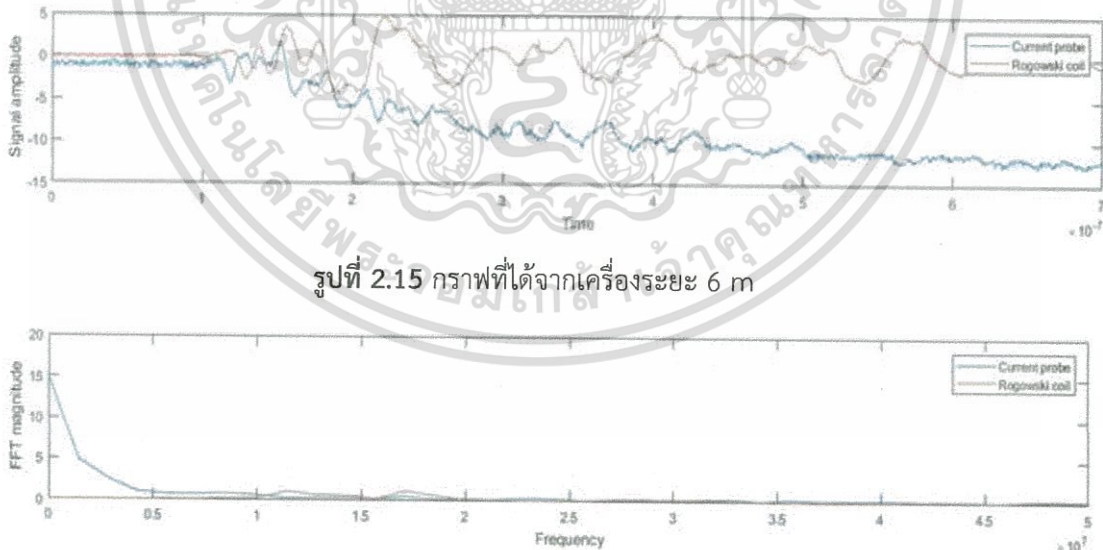
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.5 หลอดไฟระยะ 3 เมตรในสภาวะเกิดอาร์คโดยการขยายที่ช่วงความถี่ 10-50MHZ



รูปที่ 2.14 กราฟที่ได้จากการแปลงเป็นสัญญาณ FFT โดยขยายความถี่เพิ่ม ระยะ 3 m

2.8.6 หลอดไฟระยะ 6 เมตรในสภาวะเกิดอาร์ค

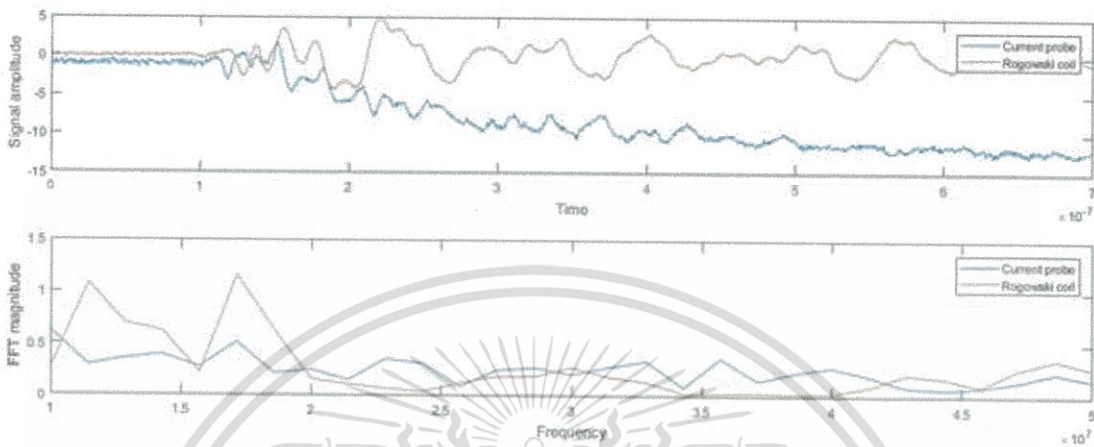


รูปที่ 2.15 กราฟที่ได้จากเครื่องระยะ 6 m

รูปที่ 2.16 กราฟที่ได้จากการแปลงเป็นสัญญาณ FFT ระยะ 6 m

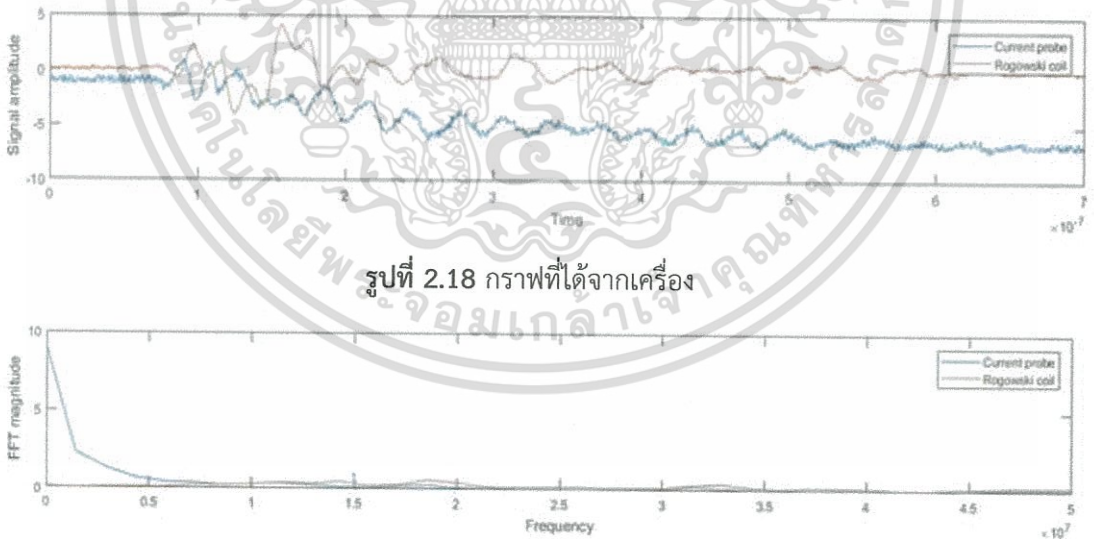
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.7 หลอดไฟระยะ 6 เมตรในสภาวะเกิดอาร์คโดยการขยายที่ช่วงความถี่ 10-50MHZ



รูปที่ 2.17 กราฟที่ได้จากการแปลงเป็นสัญญาณ FFT โดยขยายความถี่เพิ่ม ระยะ 6 m

2.8.8 หลอดไฟระยะ 9 เมตรในสภาวะเกิดอาร์ค

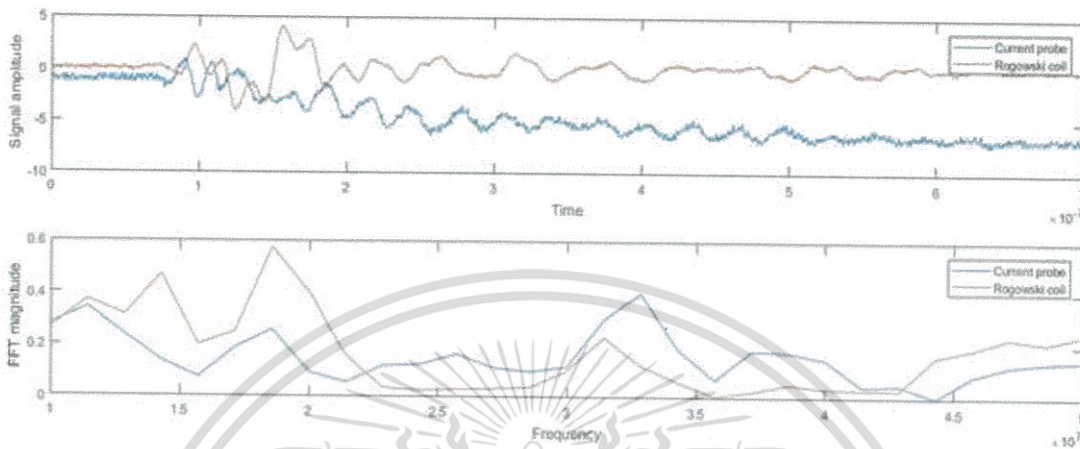


รูปที่ 2.18 กราฟที่ได้จากเครื่อง

รูปที่ 2.19 กราฟที่ได้จากการแปลงเป็นสัญญาณ FFT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.9 หลอดไฟระยะ 9 เมตรในสภาวะเกิดอาร์คโดยการขยายที่ช่วงความถี่ 10-50MHZ



รูปที่ 2.20 กราฟที่ได้จากการแปลงเป็นสัญญาณ FFT โดยขยายความถี่เพิ่ม ระยะ 9 m



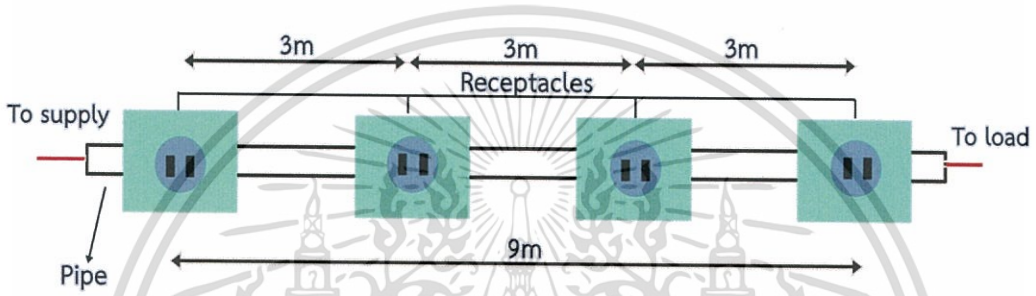
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบอุปกรณ์ตรวจจ็ับอาร์คฟลลต์อุนกรม

3.1 การเดินสายไฟเต้รับเพื่อประกอบชุดทดลอง

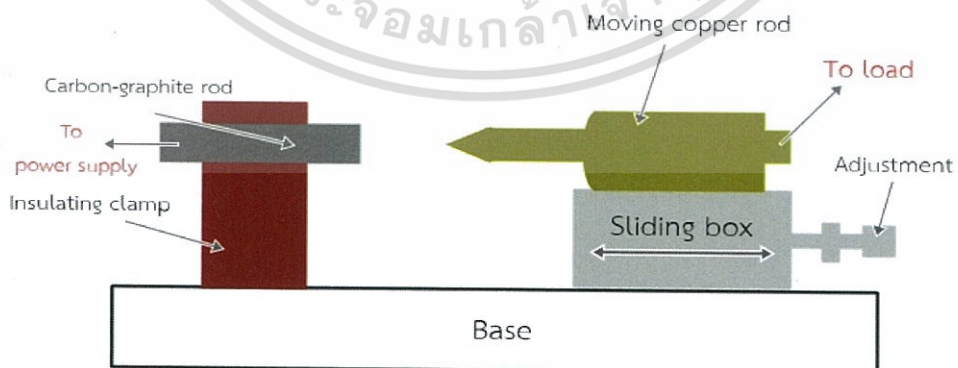
เพื่อทำการทดสอบอาร์คในระยะต่างๆ ซึ่งในการทดสอบนี้จะวัดระยะตั้งแต่ 0, 1, 2 และ 3 เมตร



รูปที่ 3.1 ชุดเต้รับ และท่อร้อยสายไฟ

3.2 Arc generator

อุปกรณ์สร้างอาร์ค (Arc generator) เชื่อมต่ออุนกรมกับโพลด ในการทดสอบตัวสร้างอาร์คจะทำหน้าที่สร้างช่องว่างในวงจร (gap) เสมือนการเกิดลัดวงจร โดยด้านหนึ่งเชื่อมต่อกับ power supply และด้านหนึ่งเชื่อมกับโพลด

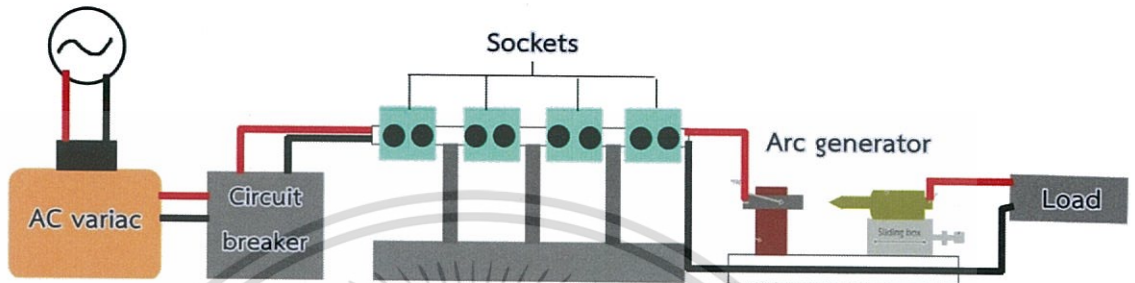


รูปที่ 3.2 อุปกรณ์สร้างอาร์คแบบอุนกรม

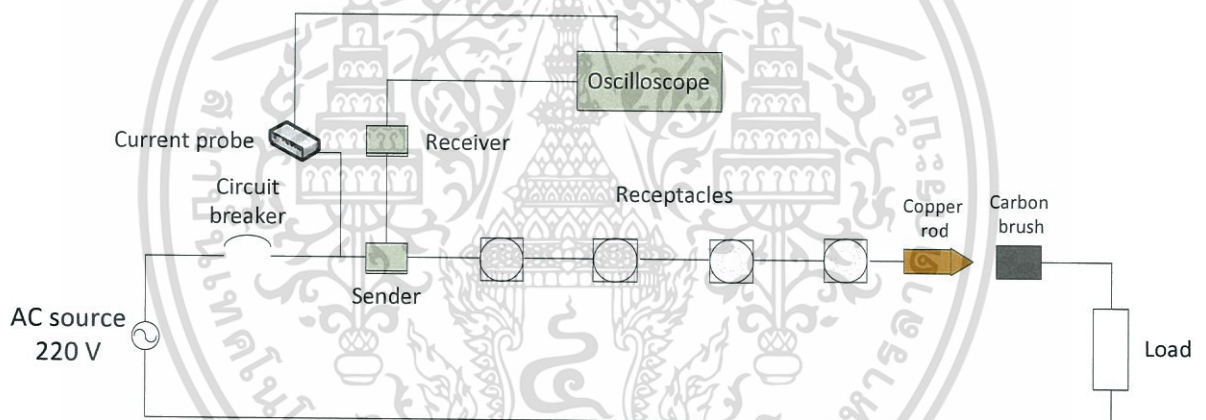
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 Arc fault circuit simulation

เชื่อมต่อ อุปกรณ์กำเนิดอาร์คกับวงจรทดลอง เพื่อทดสอบการเกิดอาร์คและการตรวจจับอาร์คเพื่อศึกษาลักษณะของอาร์คในระยะทางต่างๆกัน



รูปที่ 3.3 วงจรการจำลองการเกิดอาร์ค (diagram)

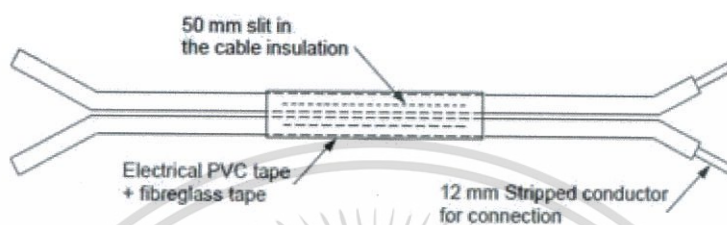


รูปที่ 3.4 วงจรการจำลองการเกิดอาร์ค (single line)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 Cable Specimen

ทำการบ่มสายไฟเพื่อใช้จำลองสายไฟที่ชำรุดเสียหายจริงในบ้านเรือน โดยในมาตรฐาน IEC62062 จะใช้สายไฟที่มีตัวนำแบบคู่ ในการโครงการงานนี้จะใช้สายชนิด VAF 2x4 mm² และ 2x6 mm²

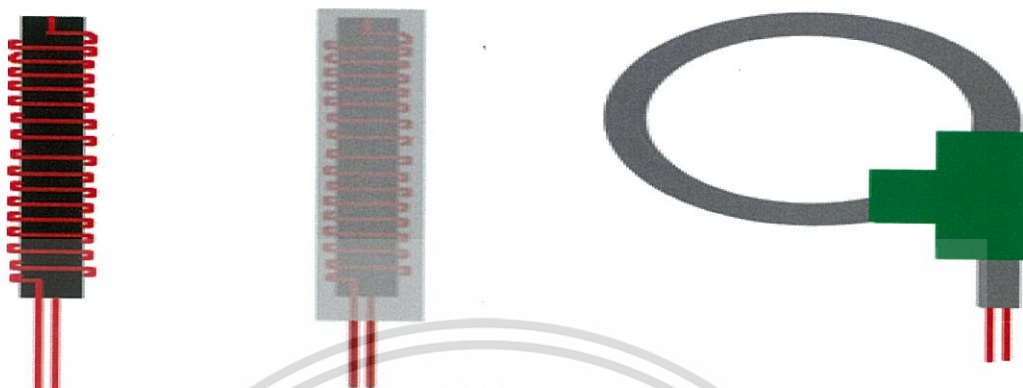


รูปที่ 3.5 การเตรียม Cable Specimen

1. เตรียมสายไฟความยาว 200 mm ทำการลอกฉนวนที่หัวและปลายสายประมาณ 12 mm
2. ลอกฉนวนที่กึ่งกลางสายความยาว 50 mm และใช้คัตเตอร์กรีดที่ฉนวนที่หุ้มสายทองแดงอย่างระมัดระวังตั้งแต่ต้นถึงท้าย
3. ใช้เทปพันสายไฟสีดำและเทปใยแก้วหุ้มสายไฟช่วงที่โดนกริดอย่างละสองรอบ
4. ทำการสร้างเส้นทางนำไฟฟ้าคาร์บอนโดยการนำสายไฟที่เตรียมไว้ไปเชื่อมต่อกับวงจรแรงสูง 7kV เป็นเวลา 10 วินาที และ 2kV จนกระทั่งควันหายไปหมด ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 Rogowski coil



รูปที่ 3.6 การออกแบบ Rogowski coil

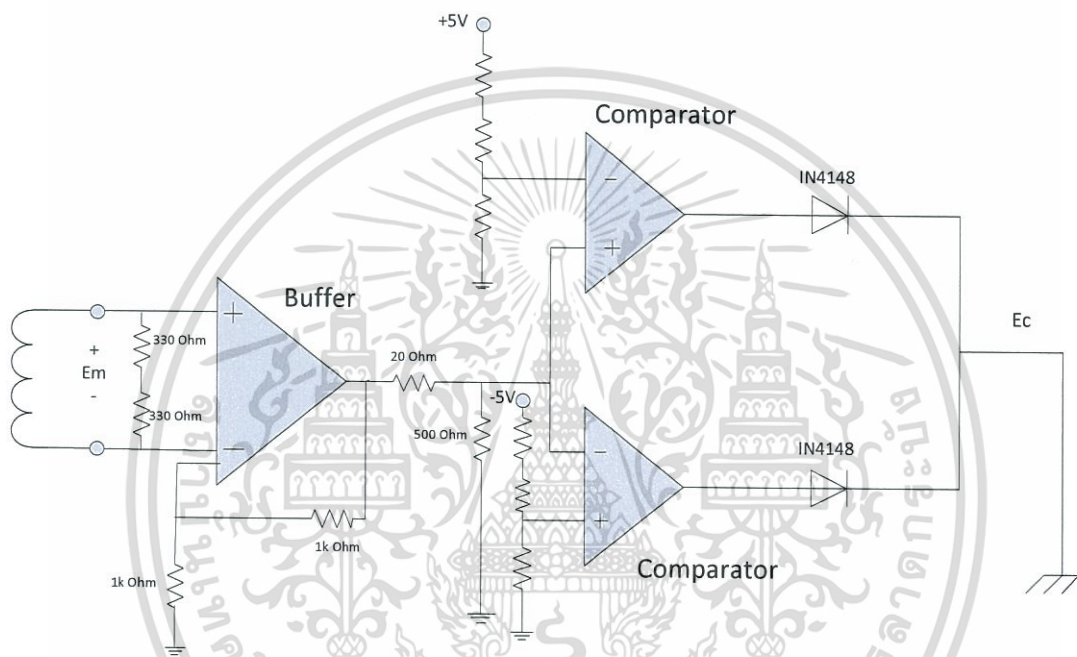
สำหรับการตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรเราจะใช้ Rogowski coil เป็นหลัก โดยออกแบบมีขั้นตอนการออกแบบดังนี้

1. เตรียมแกนของขดลวดโรกอฟสกีในโครงการนี้จะใช้เป็นฉนวนเปล้าของสายไฟความยาวประมาณ 8-12 cm
2. พันตัวนำ(ทองแดง)ตามทฤษฎีของขดลวดโรกอฟสกีเป็นจำนวน 220 รอบ
3. นำท่อหดมาหุ้มขดลวดที่ได้จากข้อที่ 2
4. ม้วนขดลวดโรกอฟสกีเป็นวงกลมเข้ากับข้อต่อและสามารถนำไปใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 Detecting circuit

สำหรับวงจรการตรวจจับอาร์คโพลต์จะเชื่อมต่อขดลวดโรกอฟสกีเข้ากับวงจรบัฟเฟอร์และคอมพาราเตอร์ โดยวงจรบัฟเฟอร์จะทำให้สัญญาณขาเข้าจากขดลวดโรกอฟสกีที่มีสัญญาณรบกวนที่น้อยลง พร้อมทั้งขยายสัญญาณขึ้นด้วย สัญญาณที่ออกจากบัฟเฟอร์จะไปเข้าคอมพาราเตอร์เพื่อเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันจากขดลวดโรกอฟสกีและสัญญาณแรงดันอ้างอิง โดยมีวงจรดังรูป

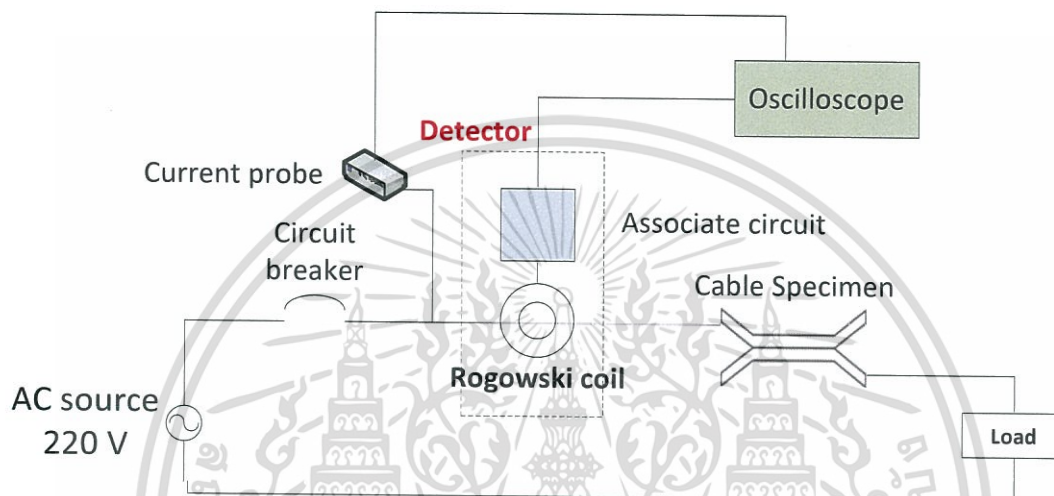


รูปที่ 3.7 Associate circuit (Buffer and comparator)

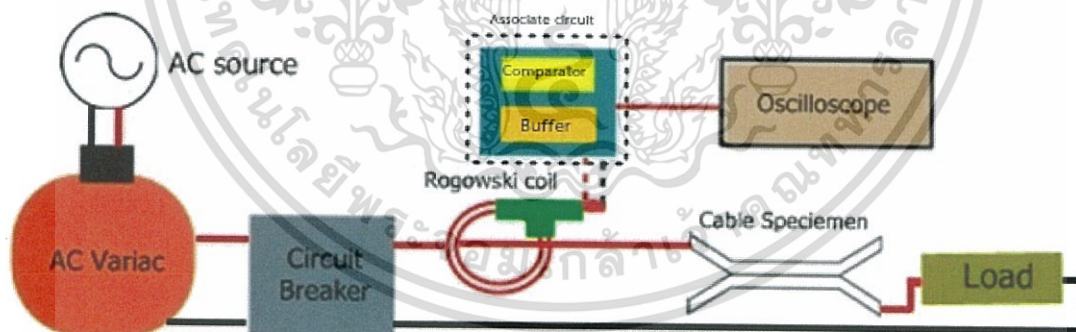
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 วงจรทดสอบ

วงจรทดสอบทำได้โดยการเชื่อมต่อวงจรการเกิดอาร์คฟอลต์และวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์เข้าด้วยกันโดยการตรวจจับสัญญาณอาร์คฟอลต์ผ่านขดลวดโรกอฟสกีและรูปกราฟเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อได้จากการอ่านใน Oscilloscope ดังรูป



รูปที่ 3.8 Testing circuit (single line)



รูปที่ 3.9 Testing circuit (diagram)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

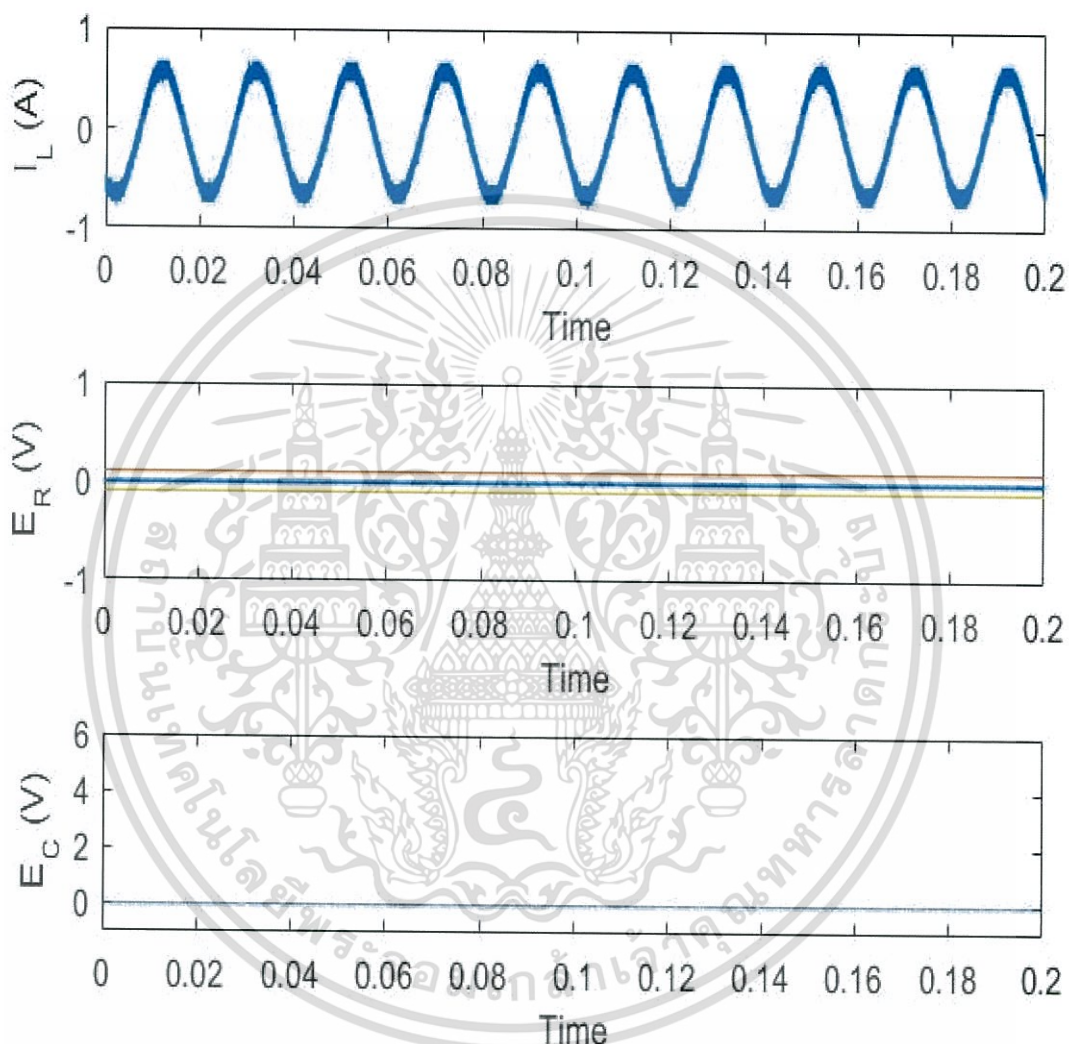
บทนี้จะกล่าวถึง ผลการทดลองที่ได้เป็นการเปรียบเทียบระหว่างกราฟที่สมภาวะปกติกับสถานะที่เกิดอาร์คจากโหลดหลายๆประเภทโดยใช้ขดลวดโรโกฟสกีเป็นตัวตรวจจับกระแสอาร์คที่เกิดขึ้นผ่านวงจรตรวจจับกระแสแสดงที่กล่าวถึงไปในบทที่แล้ว ผลที่ได้เกิดจากการวัดโรโกฟสกี โดยนำไปทดสอบที่ความถี่ต่างๆที่เราต้องการโดยใช้อุปกรณ์ RLC มิเตอร์ ซึ่งผลที่ได้เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ของขดลวดโรโกฟสกีที่ใช้ในการตรวจจับอาร์ค

RLC KHZ	RS (mΩ)	LS (μH)	θ	Z (Ω)
1	570.36	5.3210	3.355	0.5713
5	569.00	5.3411	13.277	0.5883
10	569.40	5.3407	30.514	0.6608
50	588.24	5.3300	70.648	1.7750
100	643.95	5.3070	79.073	3.3965
500	1365.40	5.0430	85.074	15.9021
1000	1907.20	4.9060	86.465	30.8950
2000	2472.46	4.7948	87.647	60.2727
4000	2417.69	4.7025	88.829	118.2120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

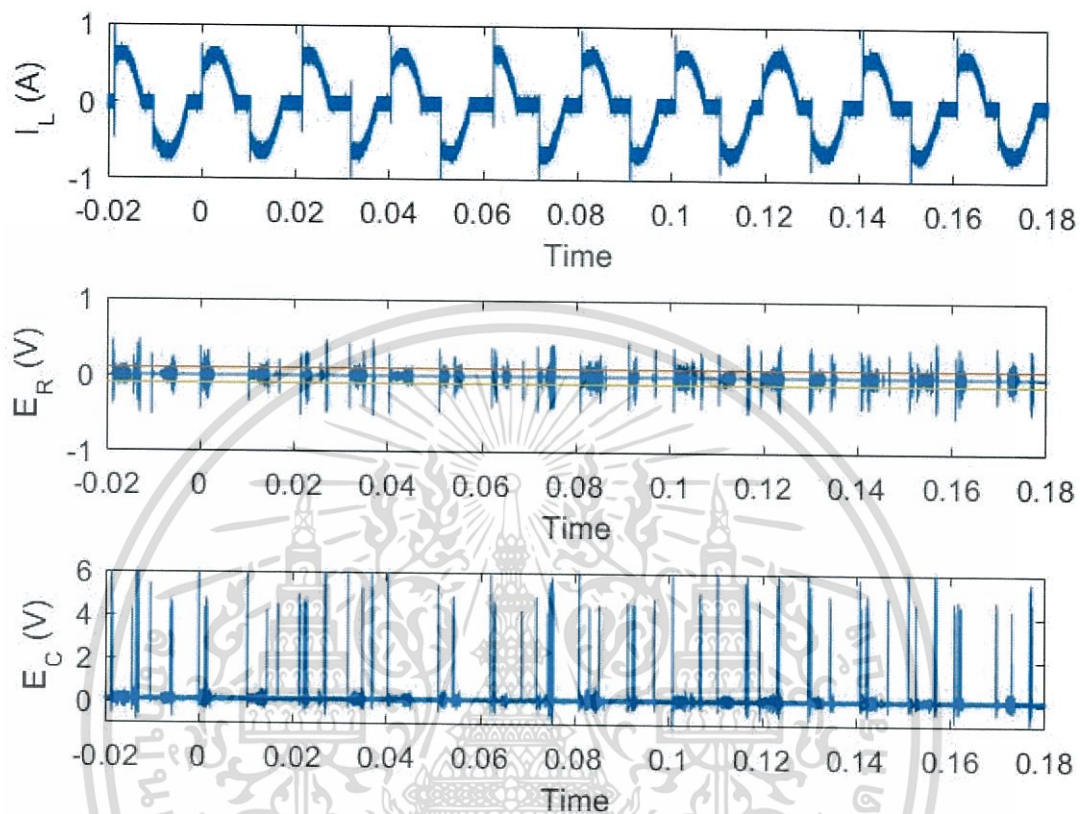
4.2 กราฟกระแสของโหลดประเภทต่างๆที่เปรียบเทียบระหว่างสภาวะที่ปกติและสภาวะที่เกิดอาร์ค



รูปที่ 4.1 กราฟกระแสที่ได้จาก current-probe ของโหลดหลอดไฟขณะสภาวะปกติ (บน)

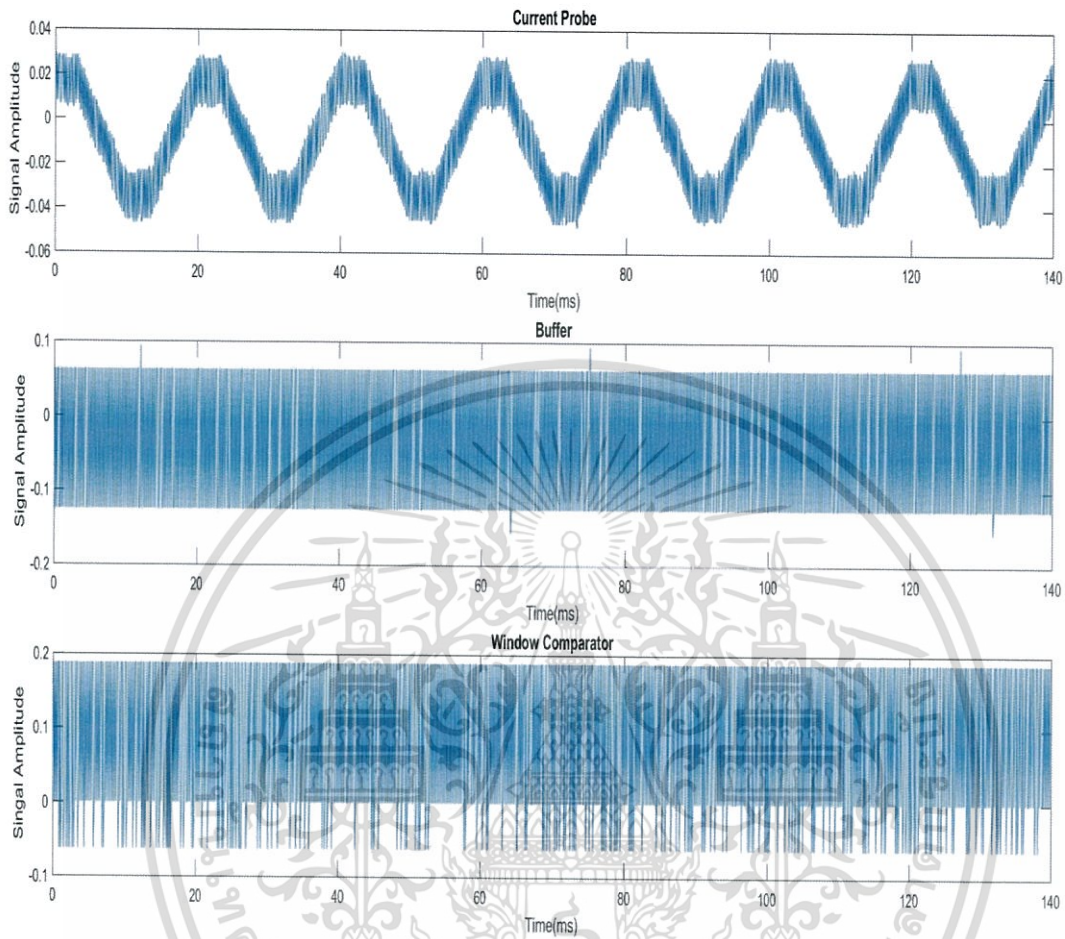
กราฟกระแสจากวงจร buffer ของโหลดหลอดไฟขณะสภาวะปกติ (กลาง)

กราฟกระแสจาก comparator ของโหลดหลอดไฟขณะสภาวะปกติ (ล่าง)



รูปที่ 4.2 กราฟกระแสที่ได้จาก current-probe ของโหลดหลอดไฟขณะสภาวะเกิดอาร์ค (บน)
 กราฟกระแสจากวงจร buffer ของโหลดหลอดไฟขณะสภาวะเกิดอาร์ค (กลาง)
 กราฟกระแสจาก comparator ของโหลดหลอดไฟขณะสภาวะเกิดอาร์ค (ล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

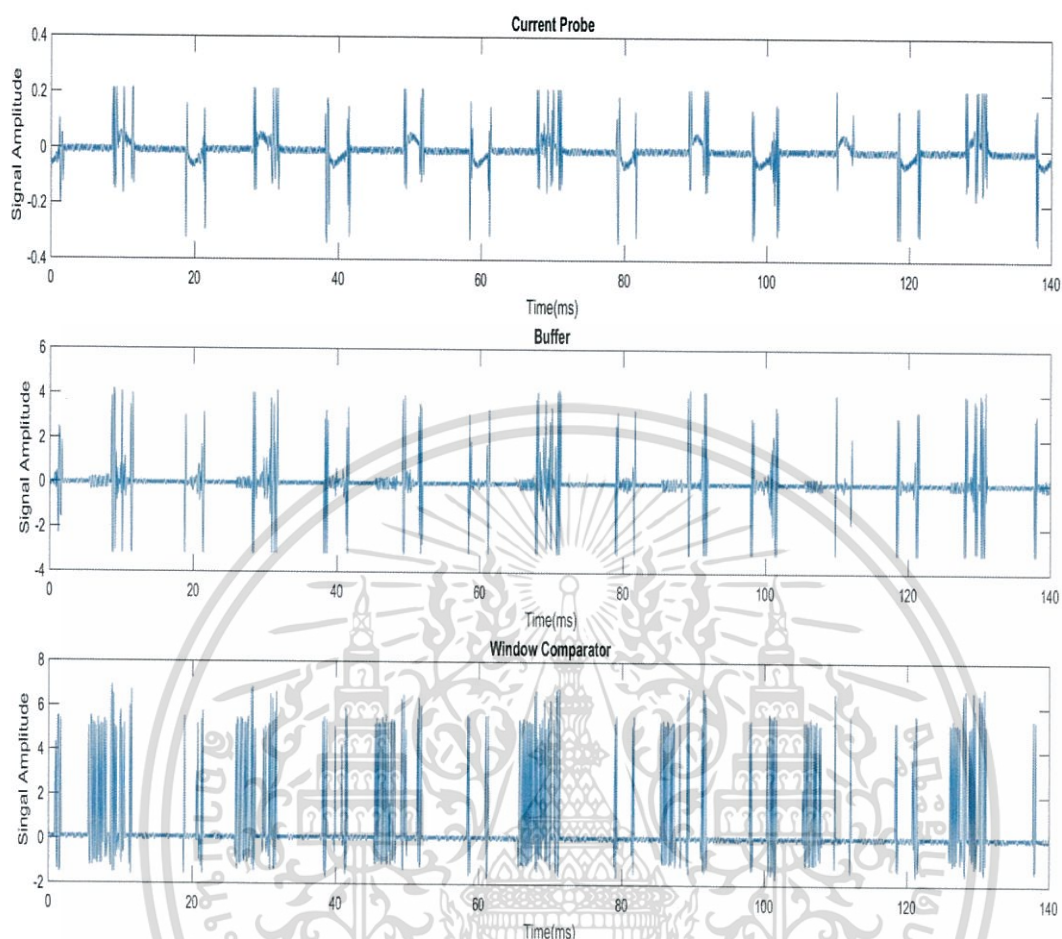


รูปที่ 4.3 กราฟกระแสที่ได้จาก current-probe ของโหลดพัสดมขณะสภาวะปกติ (บน)

กราฟกระแสจากวงจร buffer ของโหลดพัสดมขณะสภาวะปกติ (กลาง)

กราฟกระแสจาก comparator ของโหลดพัสดมขณะสภาวะปกติ (ล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

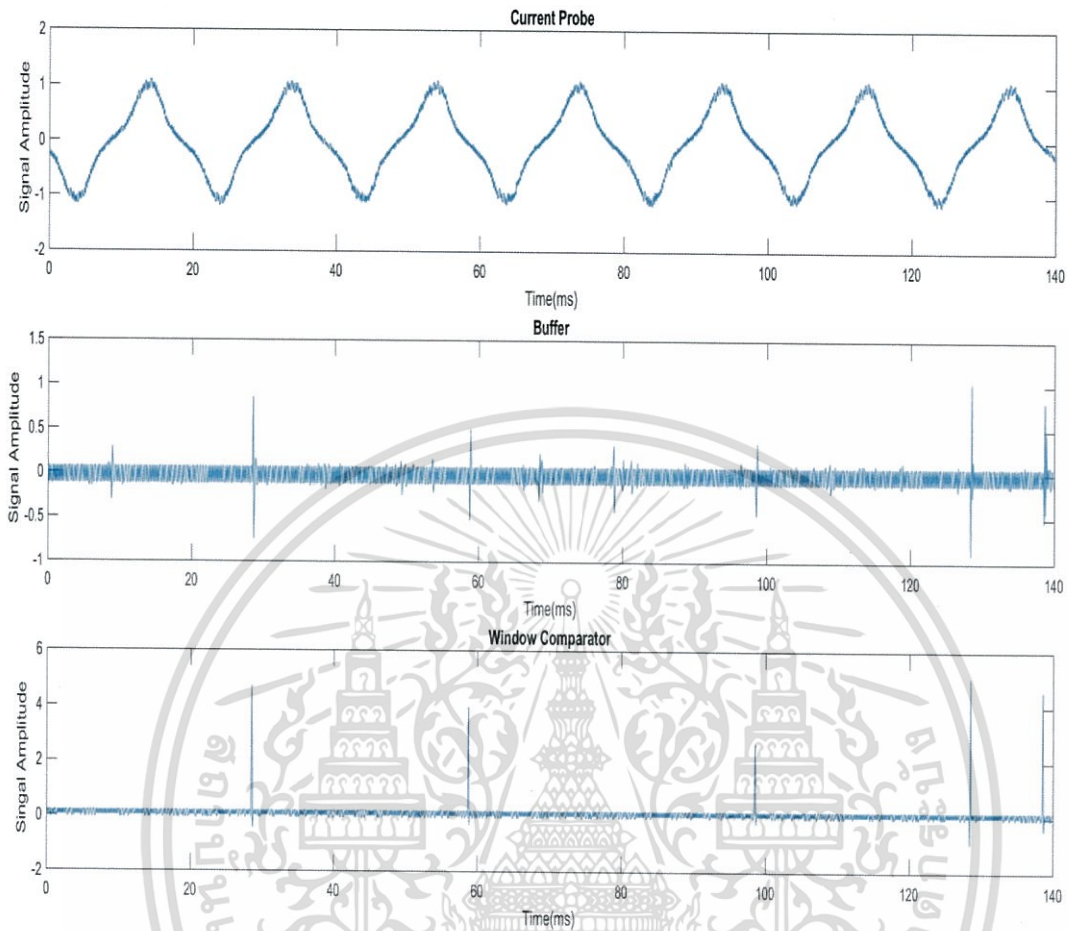


รูปที่ 4.4 กราฟกระแสที่ได้จาก current-probe ของโหลดพัลสมขณะสภาวะเกิดอาร์ค (บน)

กราฟกระแสจากวงจร buffer ของโหลดพัลสมขณะสภาวะเกิดอาร์ค (กลาง)

กราฟกระแสจาก comparator ของโหลดพัลสมขณะสภาวะเกิดอาร์ค (ล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

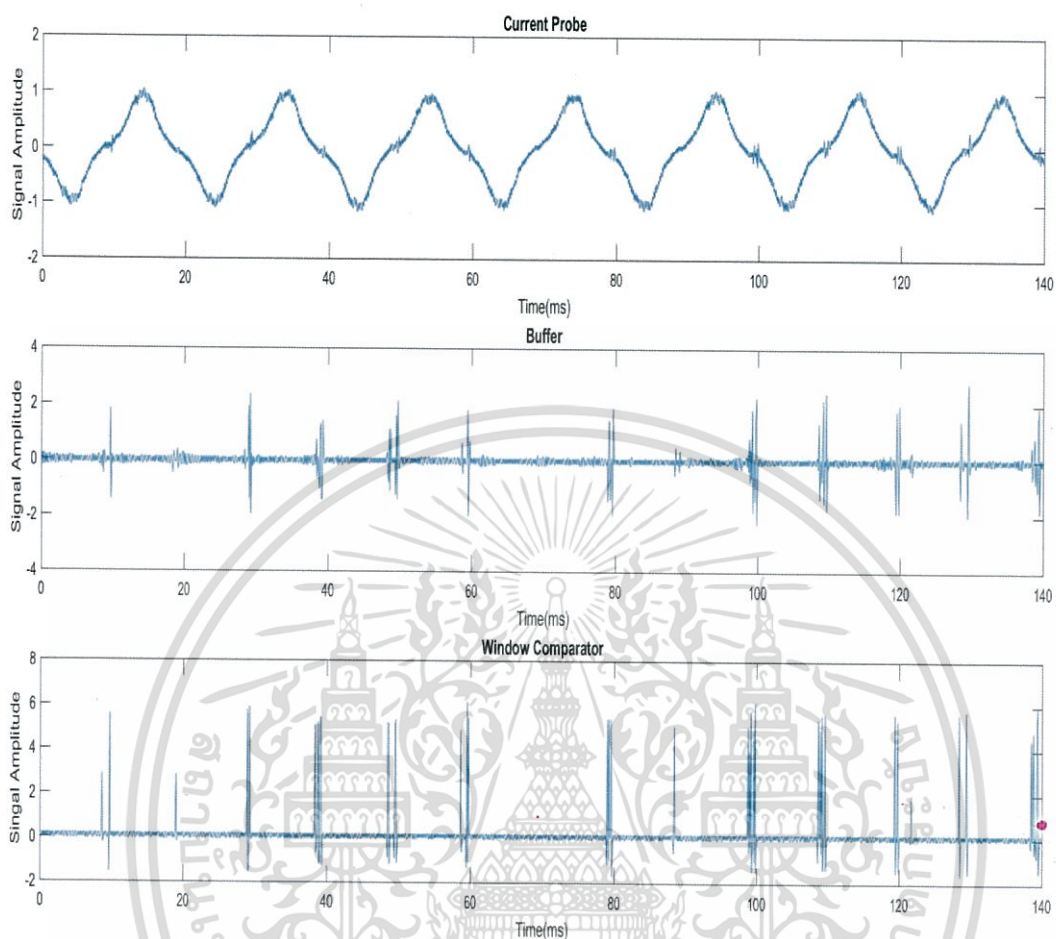


รูปที่ 4.5 กราฟกระแสที่ได้จาก current-probe ของโหนด cut-offmachine ขณะสภาวะปกติ (บน)

กราฟกระแสจากวงจร buffer ของโหนด cut-off machine ขณะสภาวะปกติ (กลาง)

กราฟกระแสจาก comparator ของโหนด cut-off machine ขณะสภาวะปกติ (ล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

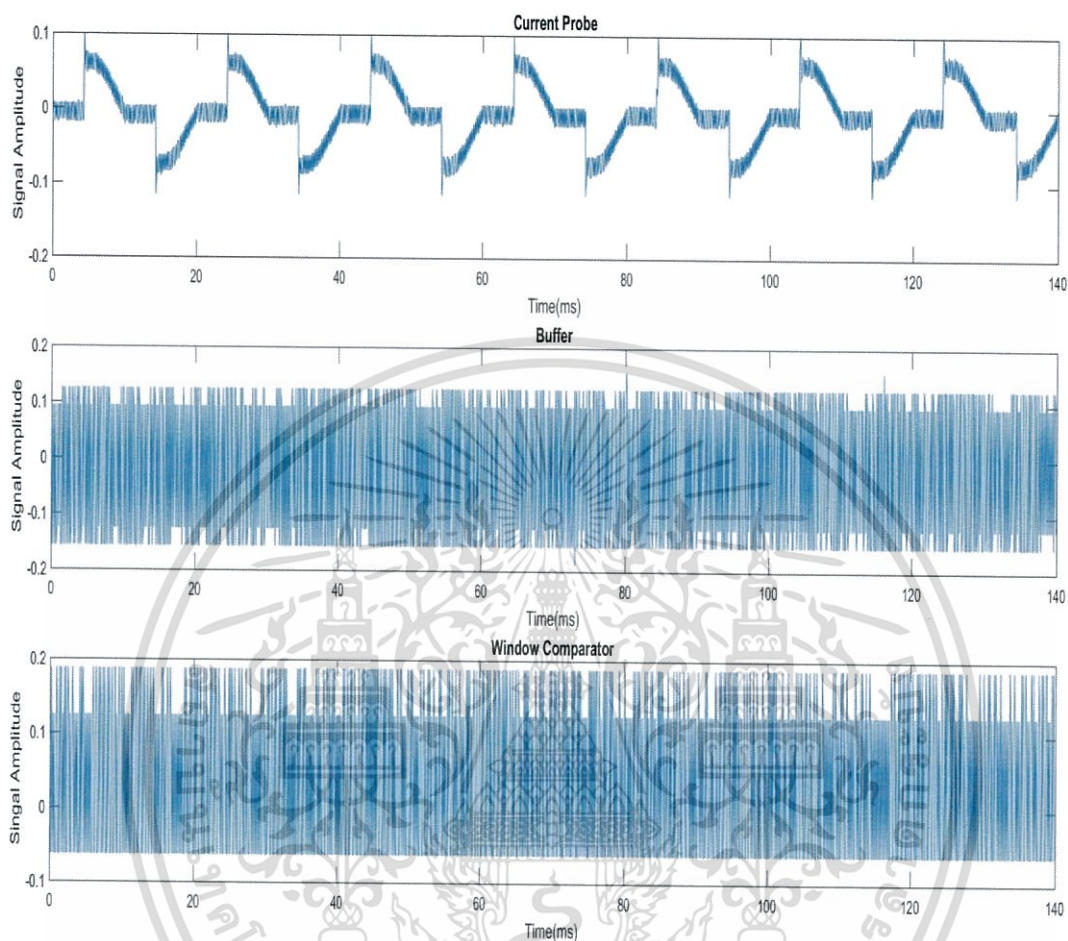


รูปที่ 4.6 กราฟกระแสที่ได้จาก current-probe ของโหลด cut-off machine ขณะสภาวะเกิดอาร์ค (บน)

กราฟกระแสจากวงจร buffer ของโหลด cut-off machine ขณะสภาวะเกิดอาร์ค (กลาง)

กราฟกระแสจาก comparator ของโหลด cut-off machine ขณะสภาวะเกิดอาร์ค (ล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

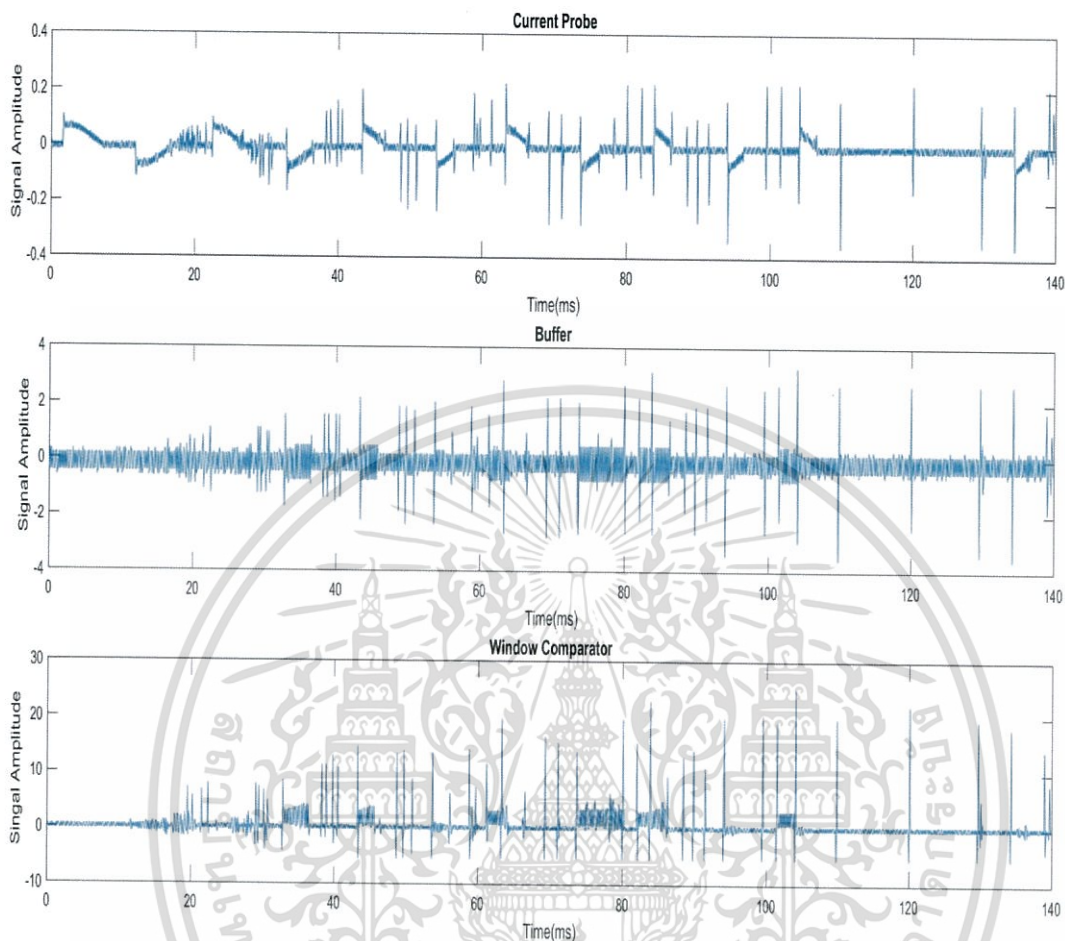


รูปที่ 4.7 กราฟกระแสที่ได้จาก current-probe ของโหลด Dimmer 1 ขณะสภาวะปกติ (บน)

กราฟกระแสจากวงจร buffer ของโหลด Dimmer 1 ขณะสภาวะปกติ (กลาง)

กราฟกระแสจาก comparator ของโหลด Dimmer 1 ขณะสภาวะปกติ (ล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟกระแสที่ได้จาก current-probe ของโหลด Dimmer 1 ขณะสภาวะเกิดอาร์ค (บน)
 กราฟกระแสจากวงจร buffer ของโหลด Dimmer 1 ขณะสภาวะเกิดอาร์ค (กลาง)
 กราฟกระแสจาก comparator ของโหลด Dimmer 1 ขณะสภาวะเกิดอาร์ค (ล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง ผลการดำเนินงานและแนวทางพัฒนา

ในปฏิญญาพันธบัตรนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลการทดลอง ผลการดำเนินงานและแนวทางพัฒนาในการจัดทำโครงการอุปกรณ์ตรวจจับกระแสอาร์คฟอลต์

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการนี้ได้ดำเนินการแล้วเสร็จบรรลุตามเป้าหมายที่ได้กล่าวไว้คือ สามารถออกแบบวงจรและจำลองการเกิดอาร์คฟอลต์ที่มีอยู่ในชีวิตประจำวัน ในส่วนของอาร์คฟอลต์อนุกรม เพื่อใช้ในการสำหรับการป้องกันไฟฟ้าลัดวงจรซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดไฟไหม้บ้านเรือน ในส่วนของการทดสอบอาร์คฟอลต์ ได้มีการใช้สายไฟชนิด IEC01-6 mm ในการเดินวงจรไฟฟ้าผ่านท่อPVC ระยะทาง 9 m นำขดลวดโรกอฟสกีจำนวน 230 รอบมาคล้องกับสายไฟ เพื่อส่งค่าไปยัง Oscilloscope รุ่น RIGOL DS1204B และมีการใช้ Current probe รุ่น FLUKE 80i-110s ในการวัดกระแสที่เกิดในวงจร ค่าที่ได้จาก oscilloscope จะถูกกรองสัญญาณโดย EL5712 และจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับ TLV3502 โดย

ผลการทดลองจากวงจรตรวจจับกระแสอาร์คฟอลต์ ในสภาวะปกติกระแสที่ได้จากวงจรกรองสัญญาณรบกวนและวงจรComparator กราฟกระแสจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง แต่เมื่อลักษณะของกราฟกระแสเปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยแอมพลิจูดของกระแสจะอยู่ที่ 0.1v และ -0.1V แสดงว่า มีอาร์คเกิดขึ้นในวงจรมัน

5.2 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการที่ได้ศึกษาค้นคว้าและทดลองเกี่ยวกับการตรวจจับการเกิดอาร์คฟอลต์ ซึ่งวงจรที่ได้ออกแบบโดยการใช้ EL5712 และ TLV3502 มีการส่งค่า Characteristic ของอาร์คฟอลต์มายังเครื่อง oscilloscope สามารถทราบได้ทันทีว่า วงจรที่ได้ใช้งานอยู่นั้นมีการเกิดอาร์คฟอลต์ชนิดอนุกรม ทำให้ผู้ที่ติดตั้งวงจรตรวจจับการเกิดอาร์คฟอลต์นี้ทราบโดยทันทีว่า ขณะนี้วงจรเกิดความผิดพลาดอาจนำไปสู่การเกิดเพลิงไหม้ได้และสามารถทำการแก้ไขเพื่อให้วงจรสามารถกลับมาใช้งานปกติได้ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อการพัฒนาปริญาานิพนธ์เรื่องอุปกรณ์ตรวจจับกระแสอาร์คฟอลต์ พบว่า ขั้นตอนในการเตรียมสายไฟสำหรับการทดสอบอาร์คฟอลต์นั้นมีความแตกต่างกันในแต่ละสาย ในเรื่องของขนาดสายไฟ ระยะรอยกรีดสายไฟ ความลึกของรอยกรีด ทำให้ต้องมีการเตรียมสายไฟที่จะใช้ในการทดสอบเป็นจำนวนมากเพื่อหาสายไฟที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดสอบ

5.4 ปัญหาที่พบในระหว่างดำเนินโครงการและข้อเสนอแนะ

5.4.1 เนื่องจากการทำโครงการนี้มีสมาชิกทั้งหมด 4 คน ทำให้ในบางครั้งมีความคิดเห็นไม่ตรงกัน ส่งผลให้การสื่อสารหรือปฏิบัติงานมีปัญหาในบางครั้ง ดังนั้นให้การทำโครงการจึงต้องอาศัยความมีเหตุผลและความเข้าใจซึ่งกันและกัน

5.4.2 ปัญหาในส่วนของกราฟที่ได้จากการทดลอง ในบางครั้งกราฟที่ได้มีลักษณะไม่มั่นคงและผิดไปจากการคาดการณ์ซึ่งเกิดจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆมีขนาดเล็ก ทำให้การบัดกรีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เกิดความผิดพลาดส่งผลต่อสัญญาณที่ได้จากการทดลองและในส่วนส่วนตัวด้านทานในการทดลองบางครั้ง มีการใช้ค่าความต้านทานที่ผิดจากการคำนวณทำให้กราฟที่ได้มีลักษณะผิดเพี้ยนไปจากการคาดการณ์เล็กน้อย

5.5 แนวทางการพัฒนา

โครงการวิจัยนี้สามารถทำการพัฒนาและเพิ่มความสามารถในการทำงานได้มากขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันปัญหาไฟฟ้าลัดวงจร ดังนี้

- 1.สามารถต่อยอดในส่วนของการตรวจจับกระแสอาร์คฟอลต์ทั้งประเภทที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและประเภทที่ก่อให้เกิดอันตราย
- 2.การต่อยอดในเรื่องของการแจ้งเตือนในสภาวะการเกิดอาร์คฟอลต์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ เช่น การแจ้งเตือนบนหน้าจอโทรศัพท์มือถือ

เอกสารอ้างอิง

- [1] ทักษิณ โสภานิชะ, “สภาวะผิดปกติและคุณภาพของระบบไฟฟ้า,” วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า, 2017.
- [2] ธนากร น้ำหอมจันทร์, “อันตรายของอาร์คไฟฟ้า,” EAU Heritage Journal, 2006.
- [3] การไฟฟ้านครหลวง, “การใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย,” 2016.
- [4] Alex Pokryvailo, “Design of Rogowski coil with integrator,” High voltage generation and measurement, 2006.
- [5] TISI Library, “International Standard,” 2013.
- [6] Carlos Restrepo, “Arc Fault Detection and Discrimination Methods,” Siemens Energy and Automation.
- [7] A. F. Husain and I. J. Kyncl, “Series Arc Fault Detection in the Presence of Household Electrical Loads,” 2017, pp. 19-25.
- [8] W. N. Clark, “Arc Fault Circuit Interrupters The Next Generation of Fire Prevention – The Next Generation of Recovery Opportunities,” Cozen O’CONNOR, 2003.
- [9] ธนารัตน์ ตันมณี ประเสริฐ ดลรวี ธนิต มาละวรรณโณ และ พันธวิศ กมลพันธ์, “โพรบวัดกระแสไฟฟ้าสลับแบบขดลวดโรโกสกีขนาด 1 kA,” มทรพระนคร ฉบับพิเศษ.
- [10] G. Healy and G. Roemer, “Arc Fault Detection Using Rogowski Coils,” PCIM Europe, 2014.
- [11] ปริญญา ลำโคกดี และ พรทิพย์ ล้วนศรี, “การตรวจจับอาร์คฟอลต์ในระบบแรงต่ำ,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2559

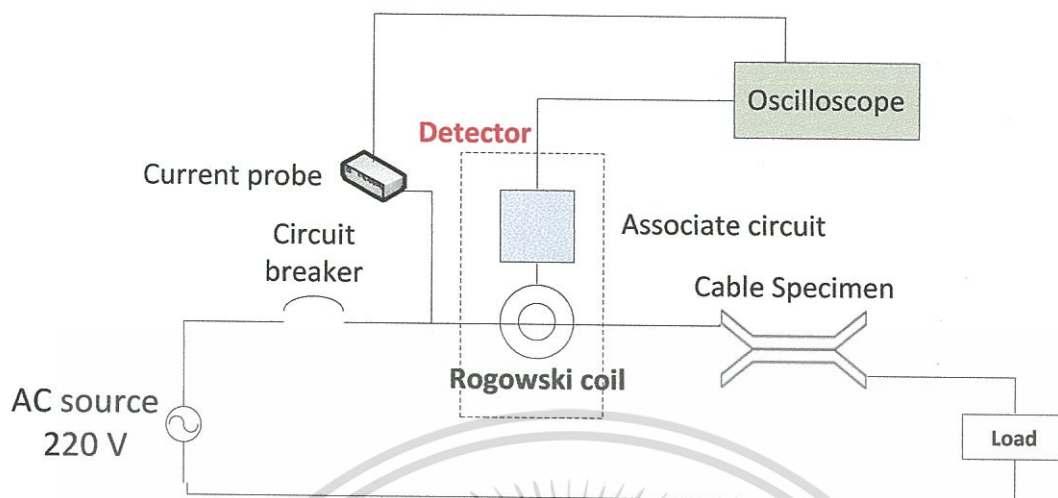
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 วงจรทดลองการเกิดอาร์คฟอลต์แบบอนุกรม





รูปที่ ก.2 วงจรกำเนิดการเกิดอาร์คฟอลต์แบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	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


	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


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ผลิตภัณฑ์ : Variable Voltage Transformer
	รุ่น : SD-16
	รายละเอียด Capacity : 4 KVA Input Voltage : 220V Output : 0-250 V Current : 16 A

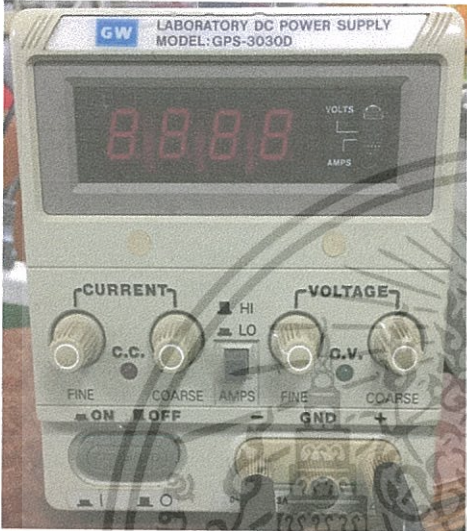
	ผลิตภัณฑ์ : Transformer
	รุ่น : GAL-1000E-4
	รายละเอียด Input Voltage : 230-240V Output : 3 kV Power : 800W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	<p>ผลิตภัณฑ์ : Super Transformer</p> <p>รุ่น : NT 15030</p> <p>รายละเอียด</p> <p>Input Voltage : 0-230 V</p> <p>Input Current : 0-2 A</p> <p>Output Voltage : 15,000 V</p> <p>Output Current : 30 mA</p> <p>Frequency : 50 Hz</p>
---	--

	<p>ผลิตภัณฑ์ : Digital Oscilloscope</p> <p>รุ่น : RIGOL-DS1204B</p> <p>รายละเอียด</p> <p>Bandwidth : 200MHz</p> <p>Memory Depth : 16 kpoints</p> <p>Vertical Sensitivity : 2mV/div – 10mV/div</p> <p>Vertical Resolution : 8 bits</p>
---	--

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ผลิตภัณฑ์ : DC Power Supply
	รุ่น : GPS-3030D
	รายละเอียด

Power : 90W
 Single Output Linear
 Output Voltage : 0-30 V
 Output Current : 0-3 A
 3-1/2 Digit 0.5 Inch

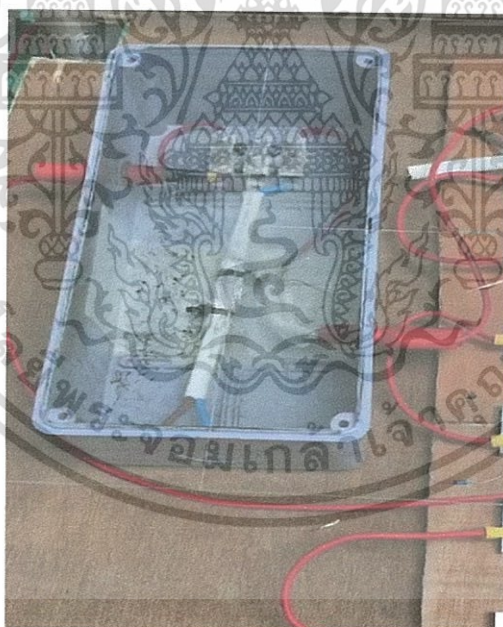
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.1 เครื่องจำลองการเกิดอาร์คฟอลต์



รูปที่ ค.2 เครื่องจำลองการเชื่อมต่อสายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Arc Fault Detection Device

ศิวัช แหลมคม, สาริษฐ์ แก้วแสงธรรม, สิทธิเกียรติ กิจมงคลชัย และ สิริภพ ตรีชัยอารมณ

1.siwatlamkom@gmail.com, sarit.kae@gmail.com, sirapob.Tz@gmail.com,

Sitthikiat.kitmongkolchai@gmail.com

คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขา วิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณ

บทคัดย่อ

โครงการวิศวกรรมนี้นำเสนออุปกรณ์ตรวจจับอาร์คฟอลต์ (Arc Fault Detection Device :AFDD) เพื่อป้องกันวงจรไฟฟ้าจากอัคคีภัยเมื่อเกิดอาร์คฟอลต์ขึ้นในระบบ โดยการออกแบบวงจรที่จำลองการเกิดอาร์คฟอลต์และออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับกระแสอาร์คฟอลต์ โดยอาร์คฟอลต์สามารถแบ่งได้เป็นสองประเภทหลักคืออาร์คฟอลต์ที่ไม่เป็นอันตรายและอาร์คฟอลต์ที่เป็นอันตรายโดยแบ่งเป็นอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมและขนาน อาร์คฟอลต์แบบอนุกรมนั้นเบรกเกอร์ทั่วไปไม่สามารถตรวจจับและตัดวงจรได้ ดังนั้นในโครงการนี้ได้ใช้ขดลวดโรกอฟสกีเพื่อตรวจจับกระแสอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมที่องค์ประกอบความถี่สูงในหน่วยเมกะเฮิร์ต สำหรับการทดสอบได้แบ่งการทดลองออกเป็นสองสถานะ คือสถานะปกติและสถานะที่เกิดอาร์ค เมื่อมีกระแสอาร์คฟอลต์เกิดขึ้นอุปกรณ์ตรวจจับกระแสอาร์คสามารถตรวจจับสัญญาณของอาร์คฟอลต์ได้และสามารถแจ้งให้ผู้ใช้ทราบถึงสถานการณ์ที่ผิดปกตินี้ด้วย

Abstract

This engineering project presents arc fault detection device (AFDD) for protecting an electric circuit from fire hazard when arc fault occur, by design arc fault state and detecting arc current. Arc fault can be divided into non-hazardous arc fault and hazardous arc fault. In this project, we use Rogowski coil for detecting arc current wave form at high frequency that is in MHz range. For the testing, we have divided the test into different states those are normal state and arc state. When the arc fault is happening, our AFDD can detect the arc fault characteristic and notify the irregular situation

1. บทนำ

อาร์คฟอลต์ คือ สถานะการเบรกคาวนของแรงดันสูงเกินพิกัดจนทำให้อากาศหรือก๊าซที่เป็นฉนวนไฟฟ้ากลายเป็นตัวนำไฟฟ้า

ความรุนแรงของการเบรกคาวนจะสูงมากอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายได้โดยการสัมผัส อาร์คฟอลต์เกิดจากแรงดันที่เกินพิกัด อุณหภูมิรอบตัวนำที่สูงขึ้น และการสัมผัสกันของแท่งตัวนำ โดยสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการอาร์คฟอลต์ภายในบ้านเรือนคือ การบิดงอของสายไฟ การกดทับสายไฟ เช่น สายไฟที่ถูกเก้าอี้กดทับทำให้สายไฟงอและเสีयरูปร่าง ซึ่งอาร์คฟอลต์เป็นสาเหตุหลักของไฟฟ้าลัดวงจรและส่งผลให้เกิดเหตุไฟไหม้ในครัวเรือน เนื่องจากเบรกเกอร์ที่ทำการตัดวงจรไฟฟ้าตามบ้านเรือนนั้น จะทำงานเมื่อมีกระแสที่สูงเกินขนาดพิกัด แต่อาร์คฟอลต์แตกต่างกันออกไป สำหรับอาร์คฟอลต์จะมี 2 ประเภทคือ 1.อาร์คฟอลต์แบบขนาน(Parallel Arc Fault) จะมีลักษณะเหมือนไฟฟ้าลัดวงจร(Short-Circuit)ทำให้เบรกเกอร์ทำงานปกติ 2. อาร์คฟอลต์แบบอนุกรม(Series Arc Fault) อาร์คฟอลต์ประเภทจะมีกระแสที่สูงเล็กน้อยไม่มากพอที่จะทำให้เบรกเกอร์ทำงาน แต่กระแสที่สูงขึ้นเล็กน้อยนี้เมื่อมีการใช้งานอย่างต่อเนื่องจะส่งผลให้สายไฟมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นและส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่สายไฟ ดังนั้นโปรเจกต์นี้จึงเป็นการศึกษาและออกแบบวงจรตรวจสอบการเกิดอาร์คแบบอนุกรม

2. ทฤษฎี

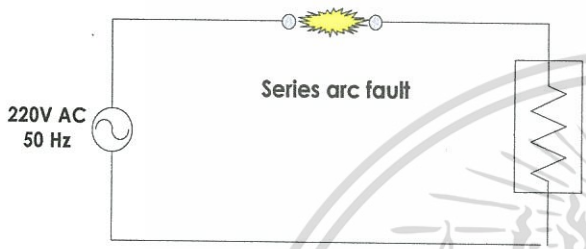
อาร์คคือสถานะการเบรกคาวนผ่านก๊าซหรืออากาศจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีแรงดันที่มากเกินและ อากาศรอบตัวนำมีอุณหภูมิสูง หน้าสัมผัสทางไฟฟ้าแยกออกจากกันในขณะที่มีกระแสไฟฟ้าปริมาณมากไหลผ่าน การอาร์คส่งผลให้เกิดการระเบิดซึ่งอาจเกิดอันตรายต่ออุปกรณ์ที่ใช้งานและร่างกายได้อีกด้วย การเกิดอาร์คเกิดได้จากหลายปัจจัย อาทิเช่น ระยะห่าง อุณหภูมิ ระยะเวลา ความยาวอาร์ค พื้นที่หน้าตัดของส่วนที่สัมผัส และมุมตกกระทบ การเกิดพลังงานของการอาร์ค มีอยู่ รูปแบบ คือ พลังงานความร้อน พลังงานทางกล 3 และพลังงานแสง การเกิดอาร์คมีความอันตรายสูงมากต่อร่างกาย ซึ่งอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ที่ถูกใช้งานมาเป็นระยะเวลาอันอาจส่งผลให้เกิดอาร์คและก่อให้เกิดความเสียหายต่อร่างกายได้ เช่น เกิดอาการช็อกหรือรุนแรงถึงขั้นเสียชีวิต อาร์คฟอลต์เป็นพลังงานรูปหนึ่งที่มีค่ามากเกิดจากการคายประจุระหว่างตัวนำ ตัว การคายประจุจะ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนเป็นรูปพลังงานความร้อนและเป็นการทำลายสภาพความเป็นฉนวนอาจทำให้เกิดไฟไหม้ได้ อาร์คฟอลต์เกิดได้ในทั้งค่ากระแสต่ำและกระแสสูง ยิ่งค่ากระแสไฟฟ้าที่สูงจะส่งผลต่อความอันตรายและระยะเวลาในการเกิดอาร์คฟอลต์ให้นานมากขึ้น

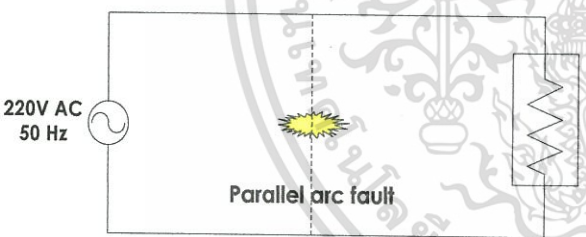
2.1 ชนิดของอาร์คฟอลต์ที่เป็นอันตราย

2.1.1 อาร์คฟอลต์แบบอนุกรม คือ อาร์คที่เกิดจากการขาดของสายตัวนำ ขนาดและความอันตรายของการเกิดอาร์คฟอลต์ขึ้นอยู่กับขนาดของโหลด ขนาดของกระแสอาร์คฟอลต์จะถูกจำกัดด้วยอิมพีแดนซ์ของสายและโหลดที่ต่อกับวงจรย่อย



รูปที่ 1. อาร์คฟอลต์แบบอนุกรม

2.1.2 อาร์คฟอลต์แบบขนาน คือ อาร์คที่เกิดระหว่างสายตัวนำสองเส้น ความอันตรายของการเกิดอาร์คฟอลต์ขึ้นอยู่กับขนาดของโหลด โดยส่วนใหญ่ขนาดของอาร์คฟอลต์แบบขนานจะมีค่าประมาณ 75 A ขึ้นไป

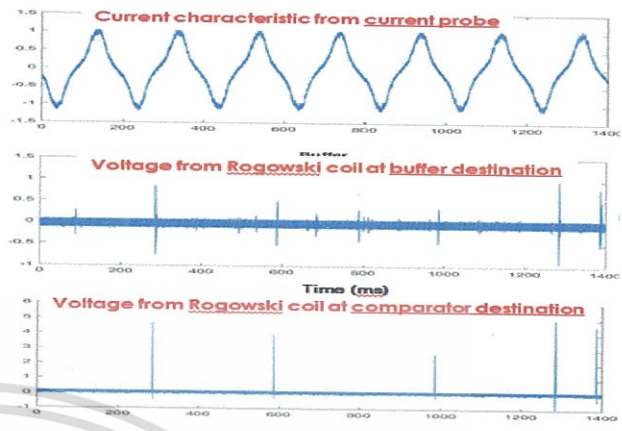


รูปที่ 2. อาร์คฟอลต์แบบขนาน

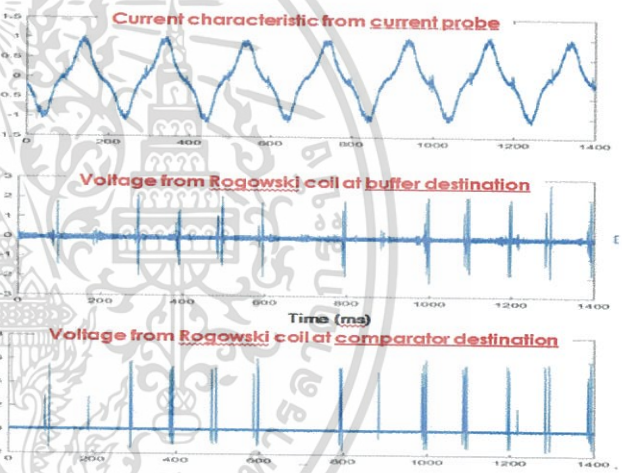
2.2 อาร์คที่ไม่อันตราย

ความสามารถของอุปกรณ์ที่จะป้องกันวงจรอาร์คฟอลต์เหมือนกับความสามารถในการเปรียบเทียบทรู อาร์คฟอลต์ (True Arc Fault) กับศักยภาพของตำแหน่งการจำลอง (ได้ด้วย การ normal operation ของวงจรโหลดทั่วไปที่ใช้ในครัวเรือนจะสามารถสร้างบอร์ดแบนด์ นอยส์ ที่มีค่าเท่ากับ 60 Hz ด้วยกระแสไฟฟ้าที่มีค่ามากพอสำหรับกฎต่างๆที่ได้กล่าวมาและไม่มีอันตรายต่อวงจรไฟฟ้า ในกรณีของวงจรขนานจะมีค่าความคงสภาพมากกว่า โดยค่าความคงสภาพจะเกี่ยวข้องกับปริมาณการไหลของกระแสในการผลิตของโหลดและผลกระทบที่มาจากค่าความสามารถของโหลดในการตัดกระแส

โหลดบางชนิดจะเกิดอาร์คโดยธรรมชาติ เช่น เครื่องตัดเหล็กหรือ cut-off machine



รูปที่ 3. กราฟสภาวะปกติของเครื่อง cut-off machine



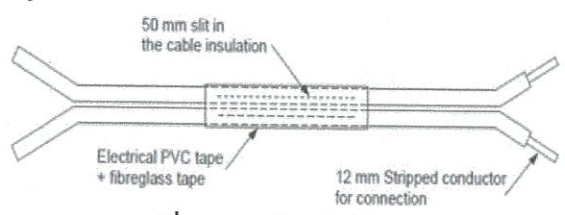
รูปที่ 4. กราฟสภาวะอาร์คของเครื่อง cut-off machine

3. การจำลองการเกิดอาร์คฟอลต์

สร้างอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดสภาวะอาร์คขึ้นสองอุปกรณ์ได้แก่

3.1 สายไฟ Specimen

ทำการบ่มสายไฟเพื่อใช้จำลองสายไฟที่ชำรุดเสียหายจริงในบ้านเรือน โดยอ้างอิงจากมาตรฐานIEC62062 จะใช้สายไฟที่มีตัวนำแบบคู่

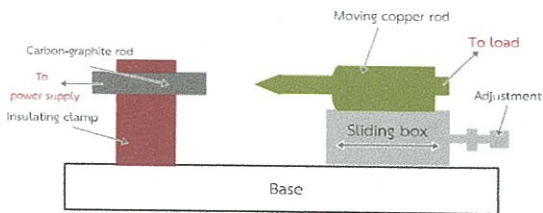


รูปที่ 5. การเตรียมสายไฟ Specimen

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องกำเนิดอาร์ค

เป็นอุปกรณ์ที่สามารถสร้างอาร์คฟอลต์ได้ทันที โดยการหมุนหัวทองแดงออกจากแปรงถ่านทำให้เกิดช่องว่างขึ้น

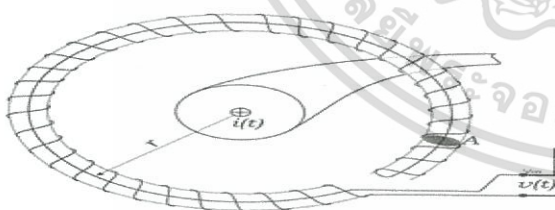


รูปที่ 6. การออกแบบเครื่องกำเนิดอาร์ค

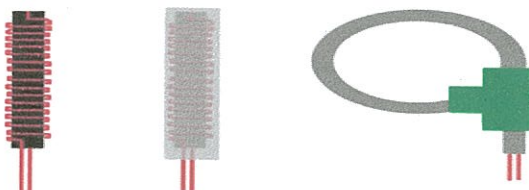
4. การตรวจจับกระแสอาร์คฟอลต์

4.1 โรกอฟสกีคอล์ย

เป็นอุปกรณ์สำหรับการเหนี่ยวนำกระแส โดยในโครงงานนี้ได้ใช้ขดลวดโรกอฟสกีเป็นส่วนหนึ่งของวงจรตรวจจับอาร์คฟอลต์ มีส่วนประกอบสำคัญหลักๆอยู่ โดย ส่วนคือ แกนขดลวด กับ ขดลวด 2 หลักการวัดกระแสด้วยขดลวดโรกอฟสกีนั้นคือการนำขดลวดโรกอฟสกีไปคล้องล้อมรอบแท่งตัวนำกระแสที่เราต้องการวัดกระแส เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแท่งตัวนำมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาแล้ว ก็จะส่งผลทำให้เส้นฟลักซ์แม่เหล็กที่คล้องผ่านขดลวดเปลี่ยนแปลงตามเวลาด้วยเช่นกัน การพันขดลวดโรกอฟสกีก็มีส่วนสำคัญในการวัดกระแสเข้าเหมือนกัน โดยต้องคำนึงถึงความสม่ำเสมอของพื้นที่หน้าตัดและจำนวนรอบที่พันด้วย และหลักสำคัญคือการพันขดลวดย้อนกลับเข้าไปข้างในอีกครั้งเพื่อให้แรงดันเหนี่ยวนำจากภายนอกสนามแม่เหล็กหักล้างกัน



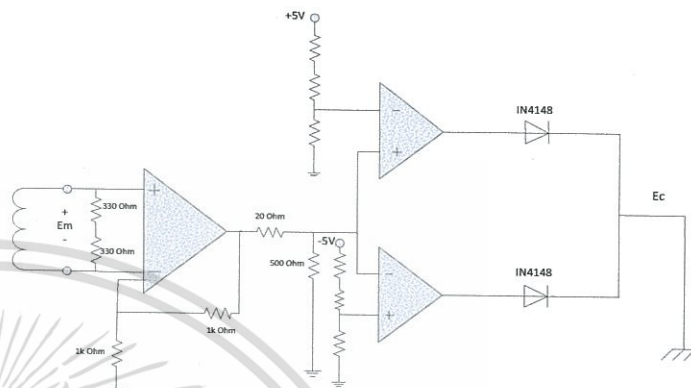
รูปที่ 7. การพันขดลวดโรกอฟสกี



รูปที่ 8. การออกแบบการพันขดลวดโรกอฟสกี

4.2 วงจรที่เกี่ยวข้อง

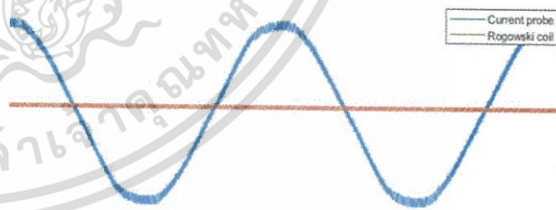
เป็นวงจรซึ่งประกอบด้วย IC หลายชนิด เพื่อช่วยในเรื่องสัญญาณขาออก รวมถึงลดสัญญาณรบกวนด้วยประกอบด้วย วงจรบัฟเฟอร์ และ คอมพาราเตอร์โดยขดลวดโรกอฟสกีจะทำงานร่วมกับวงจรเหล่านี้เพื่อตรวจจับกระแสอาร์คฟอลต์



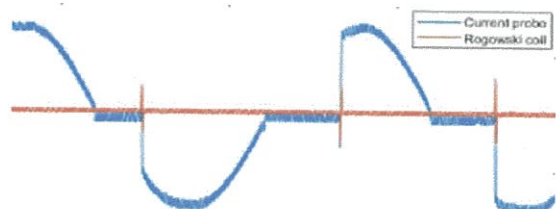
รูปที่ 9. วงจรที่เกี่ยวข้องเมื่อต่อกับขดลวดโรกอฟสกี

5. ผลลัพธ์

จากการทดลองโดยใช้หลอดไฟ 1-35 หลอดเป็นโหลดเพื่อให้ค่ากระแสอยู่ในช่วง 1-16 แอมแปร์ (หลอดไฟขนาดหลอดละ 100 วัตต์ หรือ 0.45 แอมแปร์) ค้นพบว่าอุปกรณ์ตรวจจับกระแสสามารถตรวจพบสัญญาณอาร์คเมื่ออาร์คฟอลต์แบบอนุกรมเกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้า และได้ทำการทดสอบจนกระทั่งกระแสมีค่าถึง 16 แอมแปร์ อุปกรณ์ตรวจจับอาร์คฟอลต์ยังทำงานได้ดีในโหลดอื่นๆ



รูปที่ 10. กราฟกระแสที่สภาวะปกติ



รูปที่ 11. กราฟกระแสที่สภาวะอาร์คฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สรุป

อาร์คฟอลต์เป็นสาเหตุหลักของการเกิดเพลิงไหม้ในบ้านเรือนซึ่งเป็นอันตรายกับผู้อยู่อาศัย โดยเฉพาะอาร์คอนุกรมเพราะเป็นภัยเงียบ ผู้อยู่อาศัยทั่วไปมักไม่รับรู้ถึงประกายไฟเล็กๆ นานี้ แต่อุปกรณ์ตรวจจับอาร์คฟอลต์ของเราสามารถค้นพบสัญญาณอาร์คฟอลต์ได้ก่อนที่จะเกิดอันตรายขึ้นได้ คนส่วนใหญ่ยังไม่ตรวจสอบและบำรุงรักษาสายไฟที่ชำรุดเสียหายซึ่งเป็นการประมาทอย่างยิ่งและนำไปสู่ความเสียหายที่ใหญ่ได้ เพราะฉะนั้นการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับอาร์คฟอลต์ไว้ภายในครัวเรือนเพื่อป้องกันอันตรายที่กล่าวมานั้นเป็นเรื่องสำคัญอย่างมาก

7. อ้างอิง

[1] ทักษิณ โสภานิชะ, “สภาวะผิดปกติและคุณภาพของระบบไฟฟ้า,” วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า, 2017.

[2] ธนากร น้ำหอมจันทร์, “อันตรายของอาร์คไฟฟ้า,” EAU Heritage Journal, 2006.

[3] การไฟฟ้านครหลวง, “การใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย,” 2016.

[4] Alex Pokryvailo, “Design of Rogowski coil with integrator,” High voltage generation and measurement, 2006.

[5] TISI Library, “International Standard,” 2013.

[6] Carlos Restrepo, “Arc Fault Detection and Discrimination Methods,” Siemens Energy and Automation.

[7] A. F. Husain and I. J. Kyncl, “Series Arc Fault Detection in the Presence of Household Electrical Loads,” 2017, pp. 19-25

[8] W. N. Clark, “Arc Fault Circuit Interrupters The Next Generation of Fire Prevention – The Next Generation of Recovery Opportunities,” Cozen O’CONNOR, 2003.

[9] ธนารัตน์ ตันมณี ประเสริฐ ดลรวี ธนิต มาละวรรณโณ และ พันธวิศ กมลพันธ์, “โพรบวัดกระแสไฟฟ้าสลับแบบขดลวดโรโกสกี ขนาด 1 kA,” มทรพระนคร ฉบับพิเศษ.

[10] G. Healy and G. Roemer, “Arc Fault Detection Using Rogowski Coils,” PCIM Europe, 2014.

[11] ปริญญา ลำไค้ และ พรทิพย์ ล้วนศรี, “การตรวจจับอาร์คฟอลต์ในระบบแรงต่ำ,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต,

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2559



เกี่ยวกับผู้เขียน

นายศิวัช แหลมคม ชื่อเล่น แตม
ระดับชั้นปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์
วิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เกี่ยวกับผู้เขียน

นายสาริษฐ์ แก้วแสงธรรม ชื่อเล่น เจ็ม
ระดับชั้นปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์
วิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เกี่ยวกับผู้เขียน

นายสิทธิเกียรติ กิจมงคลชัย ชื่อเล่น เมฆ
ระดับชั้นปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์
วิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เกี่ยวกับผู้เขียน

นายสิรภาพ ตรีชัยอรารณ์ ชื่อเล่น ไอซ์
ระดับชั้นปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์
วิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นายศิวัช แหลมคม วัน/เดือน/ปีเกิด 20 กรกฎาคม 2538

ที่อยู่ 123/298 หมู่ 3 หมู่บ้านชัยพฤกษ์ ช.ชนสิทธิ์ ถ.เทพารักษ์ ตำบลบางปลา อำเภอบางพลี สมุทรปราการ 10540

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนพระโขนงพิทยาลัย



นายสาริษฐ์ แก้วแสงธรรม วัน/เดือน/ปีเกิด 21 มีนาคม 2539

ที่อยู่ 94/188 หมู่ 4 หมู่บ้านฟลอราวิลล์ ซ.ทิวลิป 2 ถ.สุวินทวงศ์ เขตหนองจอก แขวงลำผักชี กทม.10530

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนบดินทรเดชา(สิงห์ สิงหเสนี)๒



นายสิทธิเกียรติ กิจมงคลชัย วัน/เดือน/ปีเกิด 4 กันยายน 2538

ที่อยู่ 2079 ถนนลาดพร้าว ซอยลาดพร้าว 49 เขต วังทองหลาง แขวง สะพานสอง กทม. 10310

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ บดินทรเดชา



นายสิรภพ ตริยชิราภรณ์

ที่อยู่ 52/176 หมู่ 7 หมู่บ้านเมืองเอก ต.หลักหก อ.เมืองปทุมธานี จ.ปทุมธานี 12000

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนสายปัญญา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้