

การตรวจจับอาร์คฟอลต์ในระบบแรงต่ำ
LOW – VOLTAGE ARC FAULT DETECTION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

การตรวจจับอาร์คฟอลต์ในระบบแรงต่ำ
LOW- VOLTAGE ARC FAULT DETECTION



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LOW – VOLTAGE ARC FAULT DETECTION



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
2016

ปีการศึกษา 2559

การตรวจจับอาร์คฟอลต์ในระบบแรงต่ำ

LOW – VOLTAGE ARC FAULT DETECTION



อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.สมภพผลไม้

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

รศ.ดร. สุพัฒน์กิตติรัตน์สัจจา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2559

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง อุปกรณ์ตรวจจับอาร์คฟอลต์ในระบบแรงต่ำ

ผู้จัดทำ

1. นายปริญญา ลำไค้
2. นางสาวพรทิพย์ ล้วนศรี



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.สมภพ ผลไม้)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ (รองศาสตราจารย์ ดร. สุวัฒน์ กิตติรัตน์ส์จัจ) การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจจับอาร์คฟอลต์ในระบบแรงต่ำ

นายปริญญา ลำโคล้าย

นางสาวพรทิพย์ ล้วนศรี

ดร.สมภพ ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

โครงการวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการตรวจจับอาร์คฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันต่ำโดยอาศัยการวิเคราะห์รูปคลื่นของกระแสและแรงดันไฟฟ้า อาร์คเกิดจากการเบรกดาว์นผ่านก๊าซหรือผ่านอากาศซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อหน้าสัมผัสทางไฟฟ้าแยกออกจากกันในขณะที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน อาร์คที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องสามารถทำให้เกิดไฟไหม้และนำมาซึ่งความเสียหายแก่ชีวิตและทรัพย์สิน การตรวจจับอาร์คฟอลต์อย่างแม่นยำจะช่วยป้องกันความสูญเสียเหล่านี้ได้ โครงการนี้ได้ทำการสร้างเครื่องต้นแบบเพื่อจำลองการเกิดอาร์คแบบอนุกรมในวงจรไฟฟ้า และวิเคราะห์รูปคลื่นของกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะการเกิดอาร์คและสภาวะที่ไม่เกิดการอาร์ค สำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการแยกแยะระหว่างสภาวะอาร์คและสภาวะปกติ โดยผลจากการวิเคราะห์พบว่าอาร์คแบบอนุกรมสามารถเกิดขึ้นได้แม้กำลังไฟฟ้าของโหลดในระดับหลายสิบบวัตต์และพบความไม่ต่อเนื่องของกระแสไฟฟ้าที่เป็นเชิงคาบเนื่องจากการติดดับของอาร์คตามความถี่ระบบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Low - Voltage Arc Fault Detection

Parinya

Lumkholud

Pohnthip

Luansri

Dr. Sompob

Polmai

Advisor

Assoc.Prof.Dr. Supat

Kittiratsatcha

Co-Advisor

2016

Abstract

This engineering project present low-voltage AC arc fault detection by analyzing current and voltage waveforms. Arc is the breakdown through air or gas when the electrical contacts are separated during current conducting. Continuing arcing can cause fire that could result in life and property losses. These losses can be prevented by accurate detection of the arc fault. In this project, arc fault simulator circuit is constructed for series arc fault study in the low-voltage AC circuit. The waveforms of the current and voltage are analyzed to find the parameters that can be used to discriminate between arc fault and normal conditions for various types of load. It is found that the series arc fault can occur for load as low as a few ten Watts load. The periodic discontinuities of the load currents are observed when arc is ignited and extinguished at power system frequency.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จไปด้วยความช่วยเหลือของบุคคลหลายท่านด้วยกันจึงขออนุญาตกล่าวถึงเพื่อเป็นการขอบคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ ดร.สมภพ ผลไม้ และรศ.ดร.สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา ที่เป็นที่ปรึกษาและคอยให้คำแนะนำ ถ้าปราศจากท่านโครงการนี้ก็คงไม่สำเร็จลุล่วงไปได้

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดาของสมาชิกทุกคนในกลุ่มโครงการนี้ที่มอบความรักและปรารถนาดี กำลังใจ และให้โอกาสในการศึกษามาจนถึงในระดับนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกๆ ท่านที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้และอบรมสั่งสอนซึ่งสมาชิกภายในกลุ่มได้นำความรู้และประสบการณ์มาประยุกต์ใช้กับการทำโครงการนี้จนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณนายเอกบุรินทร์ ศรีตรัย ที่ได้คอยให้คำปรึกษาในการทำโครงการโดยตลอดมา

โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการ MEIDENSHA CORPORATION ENDOWED COURSE IN KMITL

ขอบคุณเพื่อนสมาชิกในกลุ่มที่มีความสามัคคี ความเอื้อเฟื้อเผื่อแผ่ และให้ความร่วมมือกันทำงานอย่างเต็มที่ รวมไปถึงเพื่อนๆ ภายในห้อง PEARL LAB และเพื่อนๆ กลุ่มอื่น ๆ ที่ให้คำแนะนำและคอยช่วยเหลือซึ่งกันและกัน สร้างบรรยากาศที่ดีในการทำงาน และรวมไปถึงน้ำใจที่มีต่อกันตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังแห่งนี้ที่ให้เราคณะผู้จัดทำ เป็นบุคลากรที่มีคุณภาพ ไม่ว่าจะด้านการศึกษา ด้านสังคมหรือประสบการณ์ชีวิตหลายๆ ด้าน ทางเราคณะผู้จัดทำได้ขอขอบคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	2
1.5 แผนการดำเนินงาน	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ	3
1.7 การจัดโครงสร้างเนื้อหาภายในปฏิญานัพนธ์	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 สภาวะที่ทำให้เกิดการอาร์ค	7
2.2 ชนิดของอาร์คฟอสต์ในวงจรภายในที่อยู่อาศัย	10
2.3 อาร์คที่ไม่เป็นอันตราย	10
2.3.1 หลอดไฟและสวิตช์หรีไฟ	11
2.3.2 Air Compressor	11
2.3.3 เครื่องดูดฝุ่น	12
2.3.4 ส่วนไฟฟ้า	12
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างระบบอุปกรณ์ตรวจจับอาร์คฟอสต์ในระบบแรงดันต่ำ	15
3.1 วิธีการจำลองวงจรตรวจจับอาร์คฟอสต์	15
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	17
4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของโหลดประเภท Resistive Load	17
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของโหลดประเภท Electronic Load	22
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของโหลดประเภท Electric Motor load	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	31
5.1 สรุปผลการวิจัย	31
5.2 ข้อเสนอแนะและปัญหา	32
5.2.1 ปัญหา	32
5.2.2 แนวทางแก้ไขปัญหา	32
บรรณานุกรม	33
ภาคผนวก	34
ประวัติผู้เขียน	47



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 เส้นโค้งของ Paschen ในกรณีของอากาศ	5
รูปที่ 2.2 ผลการทดลองหาแรงดันเบรกดาวนของภาคที่ความดันบรรยากาศ เมื่อเปรียบเทียบกับกฎของ Paschen	6
รูปที่ 2.3 สายไฟชำรุดเนื่องจากการกดทับของโต๊ะ	8
รูปที่ 2.4 สายไฟชำรุดเนื่องจากการตอกตะปูทะลุสายไฟ	8
รูปที่ 2.5 สายไฟชำรุดเนื่องจากการเดินสายไฟ	8
รูปที่ 2.6 สายไฟชำรุดเนื่องจากสัตว์กัดแทะ	9
รูปที่ 2.7 อาร์คที่เกิดจากการหลวมของสายไฟ	9
รูปที่ 2.8 สายไฟชำรุดเนื่องจากการเจาะทะลุสายไฟ	9
รูปที่ 2.9 อาร์คฟลัดแบบอนุกรมและแบบขนานในวงจรภายในที่อยู่อาศัย	10
รูปที่ 2.10 รูปคลื่นกระแสของ (A) สวิตช์หรือและ (B) AIR COMPRESSOR	11
รูปที่ 2.11 ลักษณะของโพลดเครื่องดูดฝุ่นเมื่อเทียบกับอาร์คฟลัด	12
รูปที่ 2.12 ลักษณะของ Broadband Energy ของอาร์คฟลัดและสว่านไฟฟ้า	13
รูปที่ 3.1 ไดอะแกรมของอุปกรณ์จำลองการเกิดอาร์คฟลัดแบบอนุกรม	14
รูปที่ 3.2 อุปกรณ์จำลองอาร์คฟลัดชนิดอนุกรมที่สร้างขึ้น	15
รูปที่ 3.3 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อการทดลอง	15
รูปที่ 3.4 ขณะเกิดการอาร์คฟลัดในอุปกรณ์การทดลอง	16
รูปที่ 4.1 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโพลดกระแสไฟฟ้าปกติใช้งาน 100% (บน) และรูปกราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโพลดกระแสไฟฟ้าขณะเกิดอาร์คใช้งาน 100% (ล่าง)	17
รูปที่ 4.2 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโพลดกระแสไฟฟ้าปกติใช้งาน 25% (บน) และรูปกราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโพลดกระแสไฟฟ้าขณะเกิดอาร์คใช้งาน 25% (ล่าง)	18
รูปที่ 4.3 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโพลดหม้อหุงข้าวปกติ (บน) และกราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโพลดหม้อหุงข้าวขณะเกิดอาร์ค (ล่าง)	19
รูปที่ 4.4 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโพลดกาต้มน้ำร้อนปกติ (บน) และกราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโพลดกาต้มน้ำร้อนขณะเกิดอาร์ค (ล่าง)	20
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส(สีแดง) และแรงดัน(สีน้ำเงิน) ของโพลดหลอดไส้ขนาด 100 วัตต์)	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส(สีแดง) และแรงดัน(สีน้ำเงิน) ของโหลดตลอดไส้ขนาด 1500 วัตต์)	21
รูปที่ 4.7 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโหลด HP 8600 PRINTER ปกติ (บน) และกราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโหลด HP 8600 PRINTER ขณะเกิดอาร์ค (ล่าง)	22
รูปที่ 4.8 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโหลด HP 8600 PRINTER ปกติ (บน) และกราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโหลด HP 8600 PRINTER ขณะเกิดอาร์ค (ล่าง)	23
รูปที่ 4.9 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโหลด HP 8600 PRINTER ปกติ (บน) และกราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโหลด HP 8600 PRINTER ขณะเกิดอาร์ค (ล่าง)	24
รูปที่ 4.10 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโหลด MICROWAVE OVEN ปกติ (บน) และกราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโหลด MICROWAVE OVEN ขณะเกิดอาร์ค (ล่าง)	25
รูปที่ 4.11 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโหลด LAPTOP POWER ADAPTER ปกติ (บน) และกราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโหลด LAPTOP POWER ADAPTER ขณะเกิดอาร์ค (ล่าง)	26
รูปที่ 4.12 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโหลดพัดลมปกติ เบอร์1 (บน) และรูปภาพกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโหลดพัดลมขณะเกิดอาร์ค เบอร์1 (ล่าง)	27
รูปที่ 4.12 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโหลดพัดลมปกติ เบอร์2 (บน) และรูปภาพกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโหลดพัดลมขณะเกิดอาร์ค เบอร์2 (ล่าง)	28
รูปที่ 4.12 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโหลดพัดลมปกติ เบอร์3 (บน) และรูปภาพกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโหลดพัดลมขณะเกิดอาร์ค เบอร์3 (ล่าง)	29
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส(สีแดง) และแรงดัน(สีน้ำเงิน) ของโหลดเครื่องดูดฝุ่น	30
รูปที่ ก.1 วงจรทดลองการเกิดอาร์คฟอลต์แบบอนุกรม	36
รูปที่ ก.2 วงจรตรวจจับการเกิดอาร์คฟอลต์แบบอนุกรม	36
รูปที่ ค.1 เครื่องจำลองขณะเกิดการอาร์ค	42
รูปที่ ค.2 อุปกรณ์จำลองการอาร์ค	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและที่มาของโครงการ

สาเหตุในการเกิดเพลิงไหม้อาจเกิดได้จากหลายสาเหตุโดยส่วนใหญ่จะสรุปว่าเกิดจากไฟฟ้าลัดวงจรซึ่งกระแสไฟฟ้าลัดวงจร คือ การที่ จุด 2 จุด ในวงจรไฟฟ้าหรือส่วนของวงจรไฟฟ้า ซึ่งมีศักดาไฟฟ้าต่างกัน (มีแรงดันไฟฟ้าต่างกัน) มาแตะหรือสัมผัสกัน หรือมีตัวนำซึ่งมีค่าความต้านทานต่ำ ๆ มาสัมผัสกันระหว่าง 2 จุดนั้นทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลระหว่าง 2 จุด นั้นจำนวนมาก (เกิดการถ่ายเทพลังงานกัน) เรียกว่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรหรือเกิดไฟฟ้าลัดวงจร[1] แต่ก็มีอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้บ่อยครั้งโดยไม่ได้คาดการณ์ไว้ เช่น อาร์คทางไฟฟ้าเป็นสภาวะที่เกิดขึ้นได้เป็นปกติในวงจรไฟฟ้าจำนวนมาก โดยส่วนใหญ่ของสภาวะเหล่านี้สามารถพิจารณาได้ว่าปลอดภัยหรือถูกควบคุมในสภาพแวดล้อมที่ออกแบบมาเพื่อให้ทำงานได้อย่างปลอดภัยและสามารถทนต่อการเกิดอาร์คดังกล่าวได้ การอาร์คถูกให้คำนิยามโดยมาตรฐาน UL1699 ว่าคือ “การดิสนอร์จที่ส่องสว่างของไฟฟ้าที่ผ่านตัวกลางที่เป็นฉนวน ซึ่งโดยปกติจะมาพร้อมความเสียหายบางส่วนของขั้วไฟฟ้า” นอกจากนี้ UL ยังกำหนดอีกว่าอาร์คฟอลต์ “เป็นสภาวะการอาร์คที่ไม่ได้ตั้งใจให้เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้า” เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างนี้จากอุปกรณ์ที่การอาร์คเป็นส่วนหนึ่งของการทำงานในสภาวะปกติของตัวมันเอง

โหลดและอุปกรณ์ที่พบในวงจรย่อยต่างๆไป ทำให้เกิดสภาวะการเกิดที่มองเห็นได้ชัดเจน ตัวอย่างเช่น การมองเห็นประกายไฟขนาดเล็กและเข้าไปซุ่มในโหลดประเภทมอเตอร์ที่มีแปลงถ่านและรีเลย์ เช่น สว่านและเครื่องดูดฝุ่น ความรุนแรงของอาร์คจะเพิ่มขึ้นเมื่อมอเตอร์ถูกใช้งานใกล้ถึงอายุการใช้งาน ในทางกลับกันก็มีสถานการณ์ที่อาจนำไปสู่สภาวะการอาร์คที่รุนแรงที่ก่อให้เกิดไฟไหม้จากการเผาไหม้ของวัสดุที่ติดไฟได้หรือก๊าซไวไฟที่มีอยู่ในขณะที่อาร์คฟอลต์กำลังเกิดขึ้น ในปี ค.ศ.2006 สำนักงานการจัดการไฟไหม้ของประเทศสหรัฐอเมริกา (USFA) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกระทรวงความมั่นคงแห่งมาตุภูมิได้รายงานว่าได้เกิดเหตุไฟไหม้ในที่อยู่อาศัยกว่า 67,800 แห่ง ซึ่งเกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าทั้งสิ้น มีผู้เสียชีวิต 485 ราย บาดเจ็บมากกว่า 2,300 ราย และสูญเสียทรัพย์สินรวมมูลค่ากว่า 868 ล้านดอลลาร์สหรัฐ นอกจากนี้ USFA ยังระบุอีกว่าการเดินสายไฟภายในบ้านเป็นสาเหตุของการเกิดไฟไหม้มากกว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าถึง 2 เท่า[1] หนึ่งในสาเหตุสำคัญของการเกิดอาร์คนั้น คือการเชื่อมต่อสายไฟที่หลวม การขาดของฉนวน ความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มระดับความปลอดภัยภายในบ้านส่งผลให้สถาบันต่างๆ เช่น คณะกรรมการความปลอดภัยสำหรับสินค้าของผู้บริโภค (CPSC) สมาคมเจ้าหน้าที่ดับเพลิงแห่งชาติ (NASFM) กรมพัฒนาที่อยู่อาศัย (HUD) และสมาคมผู้ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าแห่งชาติ (NEMA) สนับสนุนให้ใช้มาตรฐานความปลอดภัยที่สูงมากขึ้น เช่นการใช้อุปกรณ์ตัดวงจรอาร์คฟอลต์ (AFCI) เป็นต้น HUD ได้แนะนำให้ใช้ AFCI ซึ่งเป็นหนึ่งในอุปกรณ์หลายชนิดที่สามารถใช้เพื่อป้องกันไฟไหม้ได้อย่างอิงจากรายงานของ CPSC ในปี ค.ศ. 1999 ที่แนะนำให้ใช้ AFCI เพื่อ “ยับยั้งหรือลดการเกิดไฟไหม้จากไฟฟ้าลัดวงจรอาจจะเกิดขึ้น” [2] เริ่มต้นในปีค.ศ. 1999 National Electrical Code (NEC) ได้ออกข้อกำหนดของการใช้ AFCI ในการตรวจจับอาร์คฟอลต์ที่มีกระแสที่ 75 A หรือมากกว่านั้น

แต่การนำ AFCI มาใช้นั้นยังคงถูกคัดค้านจากกลุ่มคนหรือสถาบันต่างๆ เช่น สมาคมผู้สร้างบ้านแห่งชาติ (NHBA) อ้างว่าเทคโนโลยีนี้ยังไม่ได้รับการพิสูจน์ว่าเป็นวิธีการป้องกันการเกิดไฟไหม้ที่มีประสิทธิภาพ[3] อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีการตรวจจับอาร์คฟอลต์เริ่มได้รับการยอมรับเมื่อมกราคม

เอกส...
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รัฐและส่วนปกครองท้องถิ่นต่างๆ เริ่มเห็นประโยชน์ของการกำหนดให้มี AFCI ในงานก่อสร้างใหม่ ต่อมาในปี ค.ศ.2005 NEC ประกาศว่า AFCI แบบผสมต้องถูกติดตั้งในวงจรไฟฟ้าของห้องนอนและเริ่มใช้ตั้งแต่ 1 มกราคม ค.ศ. 2008 เป็นต้นไป [4]

อาร์คฟอลต์แบบอนุกรม (Series Arc Fault) ก็เป็นหนึ่งในฟอลต์ที่สร้างความเสียหายให้แก่อุปกรณ์ โดยเมื่อมีการเกิดอาร์คฟอลต์อนุกรม จะส่งผลให้เกิดความร้อนขึ้นที่บริเวณจุดที่ก่อให้เกิดอาร์ค เมื่อเกิดความร้อนสะสมเป็นปริมาณมาก จะทำให้อุปกรณ์ อาทิเช่น สายไฟ ปลอกสายไฟลุกไหม้ขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดเพลิงไหม้ได้ ในปฏิญญาพันธนี้ จึงเลือกที่จะศึกษาลักษณะของอาร์คฟอลต์อนุกรม เพื่อตรวจจับฟอลต์ที่เกิดขึ้นและป้องกันปัญหาเพลิงไหม้โดยทั่วไปนอกจากนั้น อาร์คฟอลต์อนุกรมจะเกิดขึ้นเมื่อมีระยะห่างระหว่างสายไฟ เช่น สายไฟมีการชำรุด ซึ่งการป้องกันนั้นทำได้ยากเนื่องจาก อาร์คฟอลต์อนุกรมนั้นจะอยู่ในรูปของฮาร์โมนิกส์ อีกทั้งเมื่อกระแสจากอาร์คฟอลต์อนุกรมเกิดขึ้น เซอร์กิตเบรกเกอร์จะไม่รับรู้ถึงความปกติ ทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่ตัดการทำงาน จึงต้องมีการวิเคราะห์โพลดิฟเฟอเรนเชียลรูปแบบต่างๆ เทียบกับอาร์คฟอลต์อนุกรมที่เกิดขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงได้วิจัยปฏิญญาพันธโดยจะวิเคราะห์โพลดิฟเฟอเรนเชียลที่อยู่อาศัยเนื่องจากหากเราหลับอยู่แล้วเกิดอาร์คฟอลต์อนุกรมอย่างรุนแรง จะเกิดเพลิงไหม้แล้วผู้ที่หลับอยู่อาจเกิดอันตรายได้ ดังนั้นอุปกรณ์ตรวจจับอาร์คฟอลต์จึงสามารถช่วยลดความเสียหายเกี่ยวกับเพลิงไหม้ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการแยกแยะระหว่างสภาวะอาร์คและสภาวะปกติ
2. เพื่อศึกษาการสร้างและออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับอาร์คฟอลต์ในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์จำลองการเกิดอาร์ค
2. ศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับอาร์คฟอลต์ในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ โดยใช้การวิเคราะห์รูปคลื่นของกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะการเกิดอาร์คและสภาวะที่ไม่เกิดการอาร์ค

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1. ศึกษาทฤษฎีของการเกิดอาร์คฟอลต์และแนวทางการจำลองอาร์คฟอลต์ในวงจร
2. จำลองวงจรไฟฟ้าเมื่อเกิดการอาร์ค
3. ศึกษาการใช้โปรแกรม MATLAB โดยศึกษาจากหนังสือ และตัวอย่างในงานวิจัยต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการเขียนโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์แยกแยะการเกิดอาร์ค
4. ศึกษาการใช้ฮาร์ดแวร์ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อนำมาใช้ตรวจจับการเกิดอาร์ค โดยนำมาใช้งานร่วมกับแผงโซล่าเซลล์
5. สรุปผลการศึกษา และจัดทำรูปเล่มโครงการแบบสมบูรณ์ เพื่อรวบรวมข้อมูลที่ได้จากศึกษาค้นคว้า เพื่อเป็นประโยชน์ในการศึกษาต่อของโครงการต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	พ.ศ.2559					พ.ศ.2560				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
ศึกษาเกี่ยวกับการเกิดอาร์คฟอลต์	■									
ศึกษาวงจรการเกิดอาร์คฟอลต์		■								
สร้างแบบจำลองการเกิดอาร์คฟอลต์			■							
ศึกษาแยกแยะการเกิดอาร์คฟอลต์และสัญญาณรบกวนจากฮาร์โมนิก				■						
สร้างอุปกรณ์ตรวจจับการเกิดอาร์คฟอลต์						■				
บันทึกผลการทดลองและปรับปรุงงาน								■		
สรุปผลการวิจัย									■	
นำเสนอผลงานการวิจัย										■
จัดทำรูปเล่มงานวิจัย										■

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ

1. สามารถเข้าใจและออกแบบจำลองอุปกรณ์ตรวจจับอาร์คฟอลต์ได้
2. สามารถแยกแยะวงจรทั้งที่มีการอาร์คและไม่เกิดอาร์คได้
3. สร้างอุปกรณ์ตรวจจับอาร์คฟอลต์และช่วยลดความเสียหายจากการเกิดไฟไหม้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 การจัดโครงสร้างเนื้อหาภายในปฏิญญาพันธ

ปฏิญญาพันธฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกัน คือ

บทที่ 1 ความเป็นมาของโครงการงาน วัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงการงาน วิธีการที่ใช้ แผนการดำเนินงาน และประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการงาน

บทที่ 2 หลักการเกิดอาร์คฟอลต์แบบ Series และการแยกแยะการเกิดอาร์ค

บทที่ 3 การออกแบบระบบอุปกรณ์การตรวจจับอาร์คฟอลต์

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

บทที่ 5 บทสรุปผลโครงการงานและข้อเสนอแนะ

บรรณานุกรม

ภาคผนวก

ประวัติผู้เขียน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

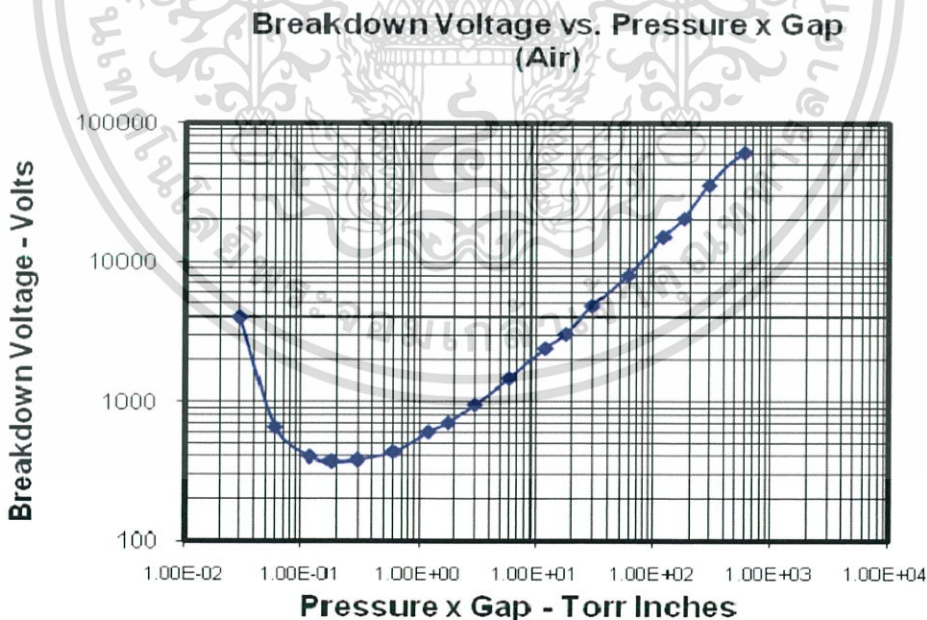
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

อาร์คเป็นปรากฏการณ์ที่เริ่มจากการเบรกดาวนผ่านอากาศที่มีการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงและความร้อน การเบรกดาวนผ่านอากาศที่มีระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดที่มากกว่า 10 ไมครอน (10 μm) สามารถอธิบายแนวโน้มได้โดยใช้กฎของ Paschen (Paschen's Law) ดังสมการที่ 2.1 [6]

$$V_B = \frac{B pd}{\ln(A pd) - \ln(\ln(1 + \frac{1}{\gamma_{se}}))} \quad (2.1)$$

โดยที่ V_B คือแรงดันเบรกดาวนของก๊าซ pd คือผลคูณของแรงดันก๊าซและระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด A, B เป็นค่าคงที่ และ γ_{se} เป็นค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัวอันดับสองของอิเล็กตรอนในอะตอมของก๊าซ (secondary electron emission coefficient)

สำหรับก๊าซชนิดเดียวกันแรงดันเบรกดาวนจะเป็นฟังก์ชันของ pd ดังแสดงในรูปที่ 2.1 สำหรับอากาศ

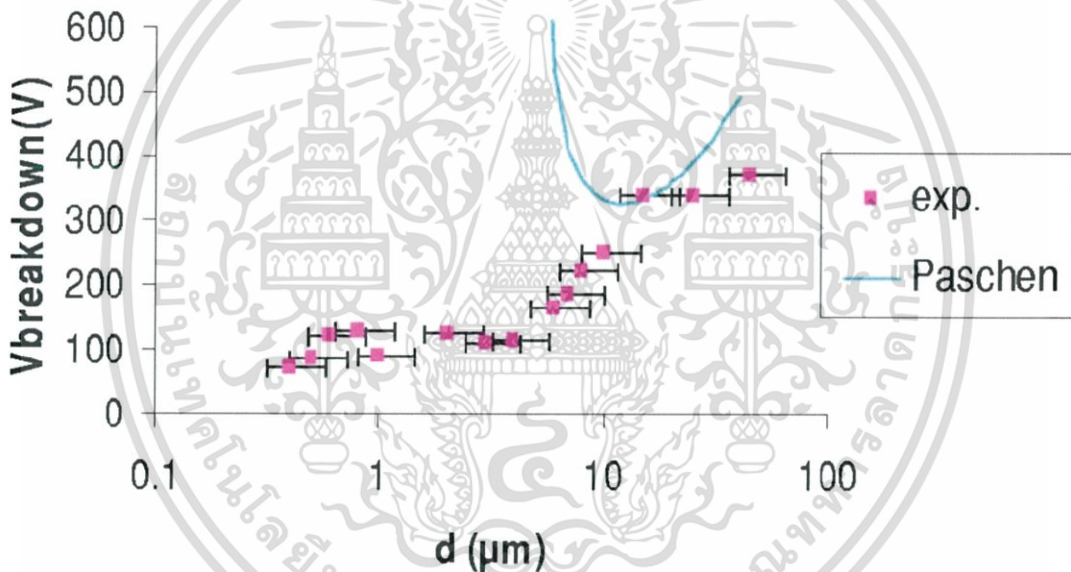


รูปที่ 2.1 เส้นโค้งของ Paschen ในกรณีของอากาศ

อย่างไรก็ดีกฎของ Paschen จะสามารถใช้ได้ดีในสิ่งแวดล้อมที่ควบคุมเท่านั้น และเป็นการอธิบายการเบรกดาวนที่เกิดจากอิเล็กตรอนอิสระที่ถูกเร่งจากสนามไฟฟ้าให้ชนเข้ากับอะตอมของก๊าซระหว่างอิเล็กโทรดเพื่อสร้างไอออนขั้นที่สองทำให้เกิดสตรีมของพาหะไฟฟ้า (ไอออน) ระหว่างไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กโทรดจนนำไปสู่การนำกระแสของก๊าซ (เบรกดาวน) ดังนั้นแรงดันเบรกดาวนจึงขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นของการชนกันของอิเล็กตรอนอิสระและอะตอมของก๊าซเพื่อสร้างอออน ซึ่งอธิบายเส้นโค้งในรูปที่ 2.1 ในช่วงที่ค่า pd มีค่าต่ำแต่แรงดันเบรกดาวนเพิ่มขึ้น เนื่องจากระยะห่างอิเล็กโทรดที่สั้นหรือปริมาณอะตอมของก๊าซที่น้อยทำให้อิเล็กตรอนความน่าจะเป็นของการชนกันของอิเล็กตรอนอิสระและอะตอมของก๊าซเพื่อสร้างอออนต่ำจึงทำให้แรงดันเบรกดาวนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ในสภาวะทั่วไปที่ไม่สามารถควบคุมพารามิเตอร์ เช่น ความดัน ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิ ได้ั้นแรงดันเบรกดาวนก็อาจมีแนวโน้มที่แตกต่างไปจากกฎของ Paschen ได้เป็นอย่างมาก

อย่างไรก็ดีจากผลการศึกษากการแรงดันเบรกดาวนของอากาศในกรณีที่ระยะห่างของอิเล็กโทรดที่ต่ำกว่า $10 \mu\text{m}$ [3] พบว่าแรงดันเบรกดาวนของอากาศไม่เป็นไปตามกฎของ Paschen โดยพบว่าแรงดันเบรกดาวนมีแนวโน้มลดลงตามระยะห่างของอิเล็กโทรดที่ลดลงดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ผลการทดลองหาแรงดันเบรกดาวนของอากาศที่ความดันบรรยากาศ เมื่อเปรียบเทียบกับกฎของ Paschen

ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาอาร์คแบบอนุกรมซึ่งสามารถสังเกตการเกิดอาร์คได้ที่ค่าแรงดันบนคลื่นที่ต่ำกว่า 100V ในความดันบรรยากาศและภายใต้สิ่งแวดล้อมที่ไม่ได้ควบคุม เช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ [3]

หลังจากเบรกดาวนความหนาแน่นของกระแสที่อิเล็กโทรดจะถูกควบคุมด้วยพารามิเตอร์ของวงจรภายนอก เช่น ความต้านทานและแรงดันของวงจร กระแสไฟฟ้าความหนาแน่นสูงจะทำให้เกิดการปลดปล่อยแสงในย่านที่มองเห็นได้และมีอุณหภูมิสูง ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของอาร์คที่แตกต่างจากโกลวดิสชาร์จ ความร้อนที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลของก๊าซ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้หาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้มากขึ้น และทำให้เกิดส่วนผสมระหว่าง ของแข็ง ของเหลว ก๊าซ และพลาสมา ขึ้นระหว่าง อิเล็กโทรดและก๊าซ พลังงานจากอิเล็กตรอนพลังงานสูงจำนวนมากจะถูกถ่ายเทไปยังอนุภาคหนักที่ชนกับอิเล็กตรอนทำให้เกิดประกายไฟ

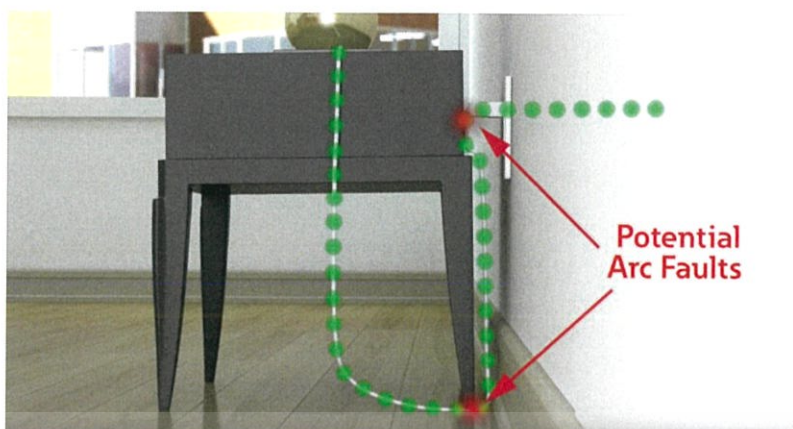
กรณีไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำ อาร์คเอชจะคล้ายคลึงกับอาร์คดีซี โดยในแต่ละไซเคิล อาร์คจะเริ่มต้นจากเบรกดาว์น และอิเล็กโทรดจะถูกสลับขั้วระหว่างแอนอดและคาโธด ในขณะที่กระแสไหลกลับทิศทาง อาร์คไฟฟ้าเป็นการเกิดอย่างต่อเนื่องซึ่งแตกต่างจากการดีสชาร์จสปาร์กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นชั่วคราว เช่นขณะเสียบหรือถอดปลั๊ก หรือเปิดปิดสวิตช์ [3]

ความร้อนสูงที่เกิดขึ้นอาจทำให้อิออนที่เป็นพลาสติกโพลิเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบคาร์บอนเกิดการสลายตัวทำให้เกิดเขม่าคาร์บอนสะสมซึ่งมีความต้านทานสูงและนำไฟฟ้าได้ กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านเขม่าเหล่านี้จนทำให้เกิดความร้อนสูงและลุกติดไฟได้ การสลายตัวของพลาสติกโพลิเมอร์ยังทำให้เกิดการสะสมของก๊าซที่ติดไฟได้ซึ่งเมื่อถึงอุณหภูมิสันดาปก็จะติดไฟขึ้นมา เป็นสาเหตุให้เกิดอัคคีภัยได้

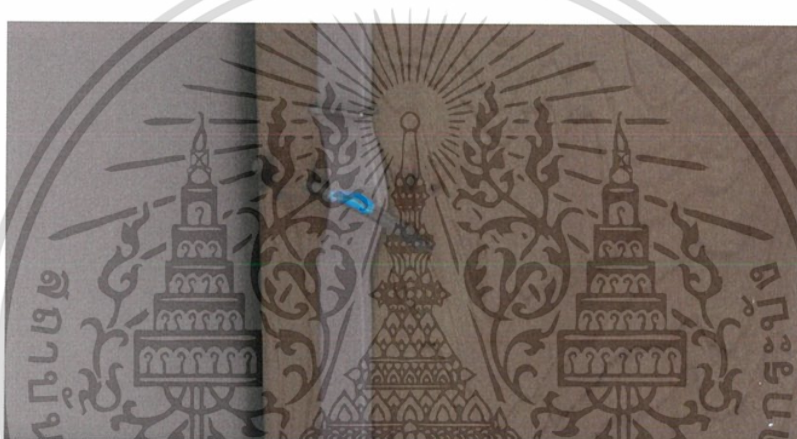
ดังนั้นการตรวจจับอาร์คในวงจรไฟฟ้าจึงมีความสำคัญในอันที่จะป้องกันความสูญเสียอันเนื่องมาจากอัคคีภัยที่เกิดจากอาร์ค ในปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการศึกษาคุณลักษณะของการเกิดอาร์คชนิดอนุกรมซึ่งมีความซับซ้อนในการตรวจจับกว่าอาร์คชนิดขนาน เนื่องจากสามารถเกิดขึ้นได้ที่ระดับกระแสต่ำๆ และโหนดบางชนิดมีการเกิดอาร์คที่ไม่เป็นอันตรายโดยปกติอยู่แล้ว เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการตรวจจับและแยกแยะสถานะอาร์คที่ผิดปกติ (Arc fault) กับอาร์คที่ไม่เป็นอันตรายหรือสถานะโหนดปกติได้ เพื่อความแม่นยำและป้องกันความผิดพลาดในการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน

2.1 สถานะที่ทำให้เกิดการอาร์ค

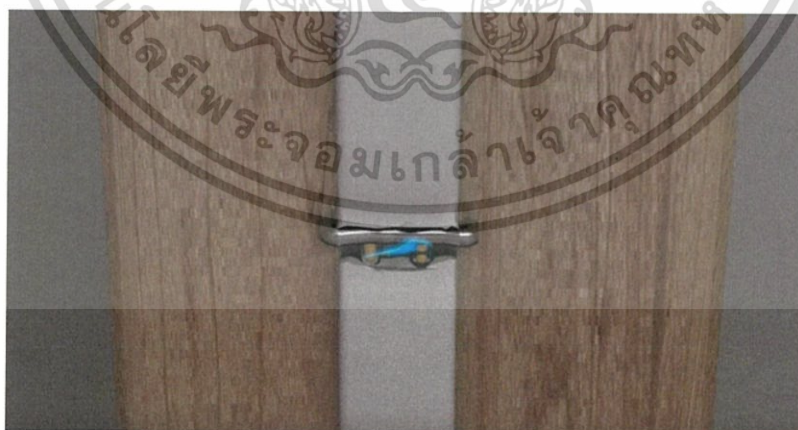
อาร์คฟอลต์เกิดขึ้นโดยไม่ได้มีเจตนาซึ่งเกิดจาก ความร้อน สามารถที่จะจุดชนวนได้ง่ายจากสถานะโดยรอบ อาร์คเกิดได้บ่อยโดยมองไม่เห็นและสามารถเกิดได้หลายสาเหตุ เช่น กรอบไม้กดทับสายไฟ สายต่อพวงปลั๊กไฟ หรือหนูกัดแทะสายไฟ การตอกตะปู การเจาะผนังโดยใช้สกรูแล้วทะลุผนัง



รูปที่ 2.3 สายไฟชำรุดเนื่องจากการกดทับของโต๊ะ[15]



รูปที่ 2.4 สายไฟชำรุดเนื่องจากการตอกตะปูทะลุสายไฟ[15]



รูปที่ 2.5 สายไฟชำรุดเนื่องจากการเดินสายไฟ[15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 สายไฟชำรุดเนื่องจากสัตว์กัดแทะ[15]



รูปที่ 2.7 อาร์คที่เกิดจากการหลวมของสายไฟ[15]

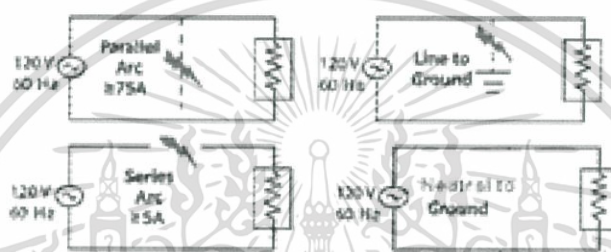


รูปที่ 2.8 สายไฟชำรุดเนื่องจากการเจาะทะลุสายไฟ[15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ชนิดของอาร์คฟอลต์ในวงจรภายในที่อยู่อาศัย

ตามที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ อาร์คฟอลต์ในวงจรย่อยสามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือแบบอนุกรมและแบบขนาน อาร์คอนุกรมจะเกิดขึ้นจากอาร์คของสายตัวนำ ส่วนอาร์คขนานจะเกิดระหว่างสายตัวนำสองเส้น อย่างไรก็ตามพฤติกรรมของทั้งสองรูปแบบนี้ก็ สามารถอธิบายด้วยสมการเดียวกันแต่แตกต่างกันที่ขนาดของกระแสขณะเกิดอาร์ค อาร์คแบบอนุกรมกระแสจะขึ้นอยู่กับโหลด ส่วนอาร์คแบบขนานกระแสจะขึ้นอยู่กับขนาดของแหล่งจ่ายไม่ใช่ โหลด



รูปที่ 2.9 อาร์คฟอลต์แบบอนุกรมและแบบขนานในวงจรภายในที่อยู่อาศัย

ปริมาณกระแสที่ไหลผ่านวงจรเพียงพอที่จะแยกความแตกต่างพฤติกรรมของ อาร์คทั้ง 2 ประเภท ซึ่งจะช่วยให้เราสามารถทดสอบอาร์คทั้ง 2 ประเภทให้แยกจากกันได้อย่าง ชัดเจน อาร์คแบบขนานมีขนาดของกระแสประมาณ 75 A ซึ่งจะนำกระแสทั้งหมดมาจากฝั่ง แหล่งจ่ายแต่จะถูกจำกัดกระแสไว้ด้วยขนาดอิมพีแดนซ์ของสายตัวนำละองค์ประกอบในวงจรย่อย นั้นๆ เท่านั้นเอง นอกจากนี้ก็ยังคงคำนึงถึงค่าของอิมพีแดนซ์ที่เพิ่มขึ้นจาก thermal magnetic breaker ที่ถูกออกแบบให้ป้องกันวงจรที่ระดับกระแส 15-30 A ด้วย ส่วนอาร์คแบบอนุกรมจะ นำกระแสตามปกติ ซึ่งจะถูกจำกัดด้วยกระแสอิมพีแดนซ์ของสายและโหลดที่ต่อกับวงจรย่อยนั้น นอกจากนี้อาร์คฟอลต์ที่ไหลจากสายตัวนำไปยังกราวด์ก็จะถูกพิจารณาให้เป็นอาร์คแบบขนาน

2.3 อาร์คที่ไม่เป็นอันตราย

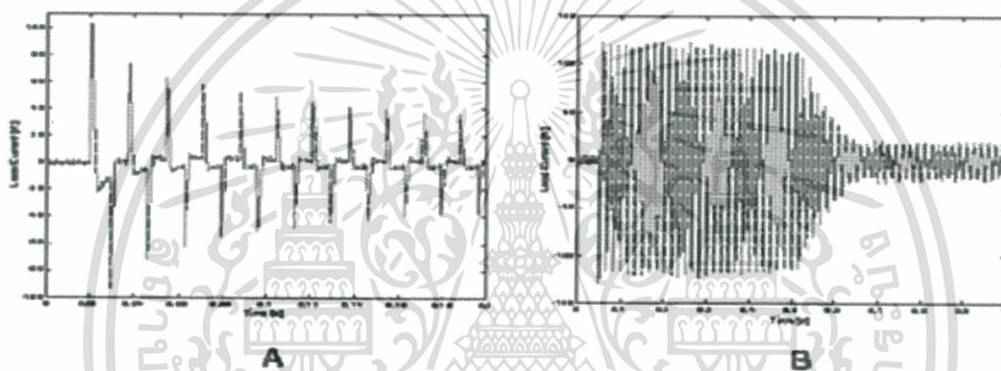
ความสามารถของอุปกรณ์ในการตรวจจับอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมยังคงต้องการ ความสามารถที่จะแยกแยะอาร์คฟอลต์จริงๆ กับ false positive ซึ่งมาจากการทำงานตามปกติของ วงจรย่อย โดยทั่วไปโหลดภายในบ้านสามารถสร้าง broadband noise ที่สัมพันธ์กับความถี่ 60 Hz และมีกระแสเพียงพอที่จะตรงกับสภาวะที่ได้กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดและมันก็ยังไม่เป็นอันตราย ต่อวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีของการอาร์คแบบขนาน สภาวะที่ต้องระมัดระวังเกี่ยวกับกระแสที่พุ่งเกินที่สร้างจากโหลดบางชนิดและ ความสามารถของโหลดที่สามารถตัดกระแสแบบไตรแอก เช่นการเพิ่มโหลดไฟ 1000 W เข้าไปในวงจรที่ควบคุมด้วยสวิตช์หรือไฟ

2.3.1 หลอดไฟและสวิตช์หรือไฟ

หลอดไฟที่ไม่ได้รับพลังงานและอยู่ที่อุณหภูมิห้องเมื่อเปิดใช้งานสามารถสร้างปริมาณกระแสที่สูงจนกระทั่งมัน กลับมาใช้งานที่ระดับปกติ โดยปกติหลอดไฟขนาด 1000 W สามารถสร้างกระแสได้สูงสุด 100 A ในช่วงครึ่งคาบแรกและจะลู่เข้าสู่ Steady state ประมาณ 8 A RMS ในรูปแบบ exponential สวิตช์หรือไฟจะมีผลต่อระดับของการกระชากของกระแสและอัตราการลู่เข้าแบบ exponential ของหลอดไฟเข้าสู่ steady state



รูปที่ 2.10 รูปคลื่นกระแสของ (A) สวิตช์หรือไฟ และ (B) Air Compressor

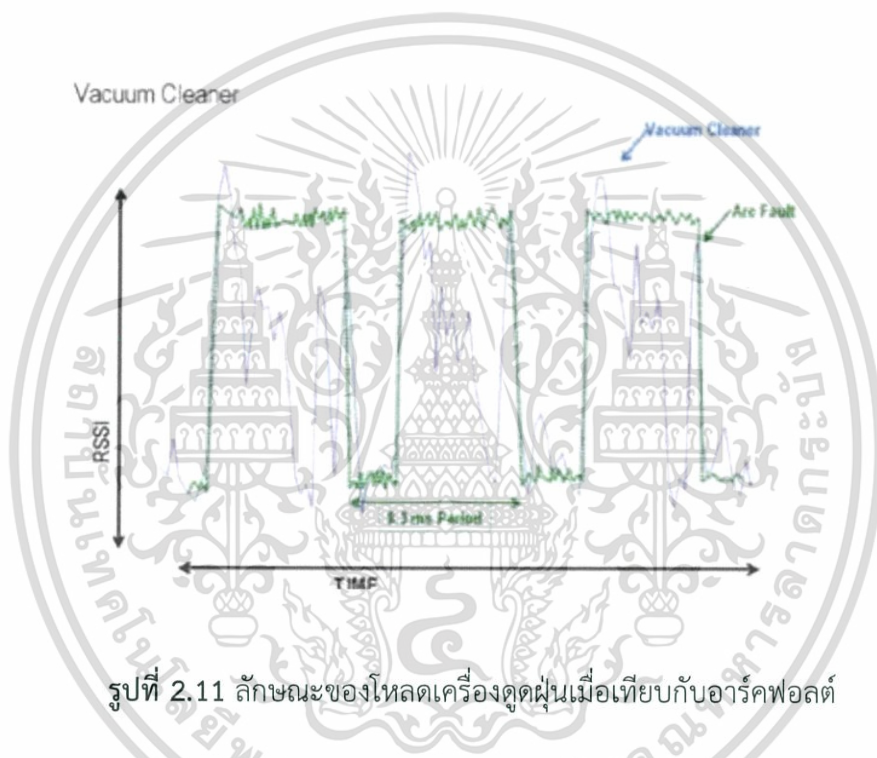
ในกรณีของหลอดหรือไฟที่ทำให้กระแสพุ่ง (รูปที่ 2.8 A.) อุปกรณ์ AFCI พิจารณาในช่วงสองสามครั้งคลื่นแรกเนื่องจากมันตรงกับภาระช่วงที่ฉับพลันและมีขนาดกระแสตรงตามที่กำหนดเมื่อกระแสลดต่ำกว่า 75 A เหตุการณ์ครั้งคลื่นเหล่านี้จะไม่ถูกพิจารณาว่าเกี่ยวข้องกับการอาร์คแบบขนาน ในกรณีของอาร์คฟอลต์ที่กระแสน้อยสุดประมาณ 100 A ต้องเป็นเหตุการณ์ที่มีระยะเวลาอย่างต่ำ 5 ครั้งคลื่นจึงจะจัดว่าเป็นอาร์คฟอลต์ โดยธรรมชาติพฤติกรรมแบบนี้ สัญญาณรบกวนแถบความถี่กว้างจึงไม่ถูกใช้เป็นตัวจำแนกไปทั้งหมด

2.3.2 Air Compressor

Air Compressor เป็นโหลดมอเตอร์ทั่วไปซึ่งเมื่อเดินเครื่องจะการกระชากของกระแสในตอนแรก กระแสกระชากจะมีค่าประมาณ 150 A peak และจะคงค่าไว้นาน 200-500 ms ปริมาณต่ำสุดของ broadband noise จะถูกสร้างขึ้นระหว่างการทำงานของอุปกรณ์ตัวนี้ กระแสสูงสุดจะถูกคงค่าไว้ขณะหนึ่งซึ่งไม่เพียงพอจะให้พิจารณาสภาวะกระแสเกิน ที่ต้องใช้เวลาหลายวินาทีในการตรวจจับโดย thermal magnetic circuit breaker ข้อแตกต่างที่สำคัญจากอาร์คฟอลต์แบบขนานที่แท้จริงนั้นคือจะไม่มีภาระหายไป (รูปคลื่นไซน์สมบูรณ์) ของกระแส เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 เครื่องดูดฝุ่น

เครื่องดูดฝุ่นโดยทั่วไปจะมีกระแสกระชากประมาณ 50 A peak แล้วจะเข้าสู่ steady state แบบ exponential ที่ค่า 20 A rms ตามปกติแล้วเครื่องดูดฝุ่นจะมีมอเตอร์ 1 ตัว และจะทำหน้าที่สร้างแรงดูดซึ่งเครื่องดูดฝุ่นจะไม่ค่อยสร้าง broadband noise และมักไม่ได้เป็นปัญหาเพราะการกระชากของกระแสต่ำพอที่จะหลีกเลี่ยงไม่ทำให้ AFCI สับสน เครื่องดูดฝุ่นรุ่นใหม่ๆ จะมีคุณสมบัติที่มาพร้อมกลไกที่เพิ่มประสิทธิภาพมากขึ้นแต่ก็จะมีเสียงดังมากขึ้นตามมาด้วย broadband noise ของเครื่องดูดฝุ่นจะถูกปรับตั้งโดยคาบเวลาของแหล่งจ่ายให้เหมือนกับอาร์คที่ควรจะเป็นแต่ noise ที่เกิดขึ้นนั้นจะมีรูปแบบไม่เหมือนกับอาร์คฟอลต์



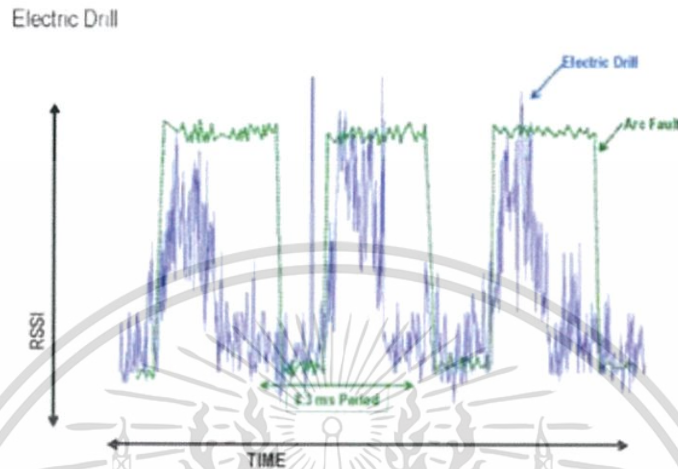
รูปที่ 2.11 ลักษณะของโหลดเครื่องดูดฝุ่นเมื่อเทียบกับอาร์คฟอลต์

ในกรณีของโหลดที่ส่งเสียงดังรบกวนเช่นเครื่องดูดฝุ่น การคงอยู่ของ broadband noise จะอยู่ไม่ถึงครึ่งคาบทั้งหมดของแหล่งจ่าย อาร์คฟอลต์แบบอนุกรมจะมีแนวโน้มที่จะนำกระแสอย่างเต็มที่จนกว่าพลังงานจะไม่สามารถคงสภาวะนี้ไว้ได้ (ที่จุด zero-crossing) และเพื่อสร้าง broadband noise ให้ต่อเนื่องเป็นผลมาจากการนำกระแสผ่านอาร์ค

2.3.4 ส่วนไฟฟ้า

ส่วนไฟฟ้าเป็นโหลดที่พบการเกิดอาร์คมากที่สุดแล้วความจริงที่ว่าอาร์คของ ส่วนระหว่างทำงานเหมาะแก่การใช้อุปกรณ์ AFCI โดยเฉพาะการตรวจจับในช่วงที่ต่ำกว่า 30 A เหมือนกับว่าสภาวะของอาร์คฟอลต์แต่ภายในส่วนจะสร้าง noise ในสายไฟเพียงพอที่จะตรวจสอบ โดย broadband RF receiver ความแตกต่างที่สำคัญนั้นคือ การอาร์คที่เกิดขึ้นภายในส่วนจะเกิดขึ้นและดับไปขึ้นกับอัตราการทำงานต่อนาทีของส่วน การอาร์คภายในของส่วนไม่ได้มีความสัมพันธ์กันโดยตรงกับแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับเมื่อเกิดการอาร์คที่ gap ใน stator เมื่อความเร็วไม่ถูกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสว่านลดลง(ใกล้ 60 Hz) อาร์คจะมีการเกิดขึ้นเพียงเวลาสั้นมากๆ และสร้าง broadband noise ขึ้นมาซึ่งจะไม่ต่อเนื่องผ่านครึ่งคาบส่วนใหญ่ของ 60 Hz เมื่อ tigger ถูกแบบและสว่านเกิดการอาร์คมากพอความสัมพันธ์ของอาร์คจะผันตรงกับความเร็วรอบต่อนาทีของสว่านและไม่ขึ้นกับคาบเวลาของแหล่งจ่ายไฟ



รูปที่ 2.12 ลักษณะของ Broadband Energy ของอาร์คฟอลต์และสว่านไฟฟ้า

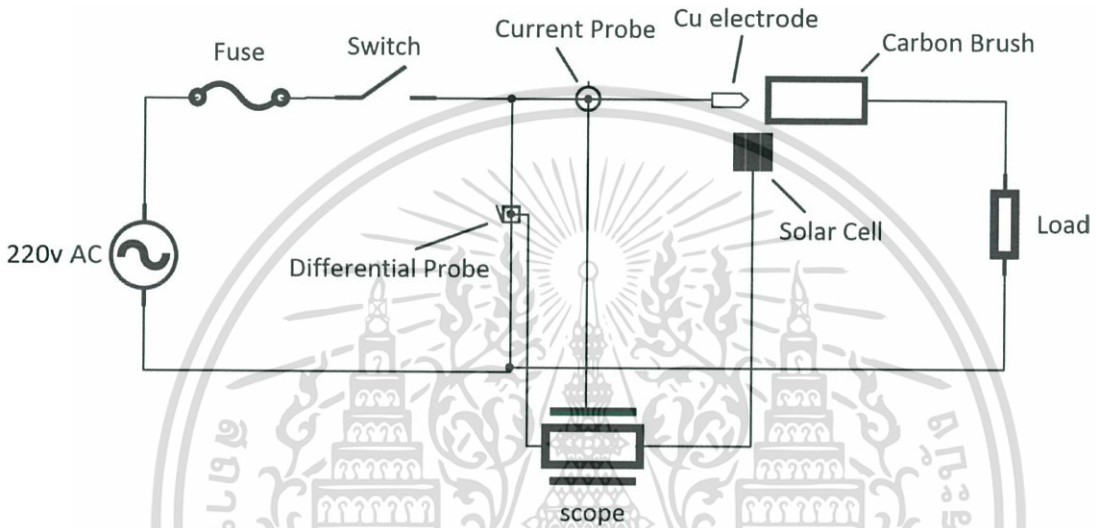
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์จำลองอาร์คพอลต์ในระบบแรงดันต่ำ

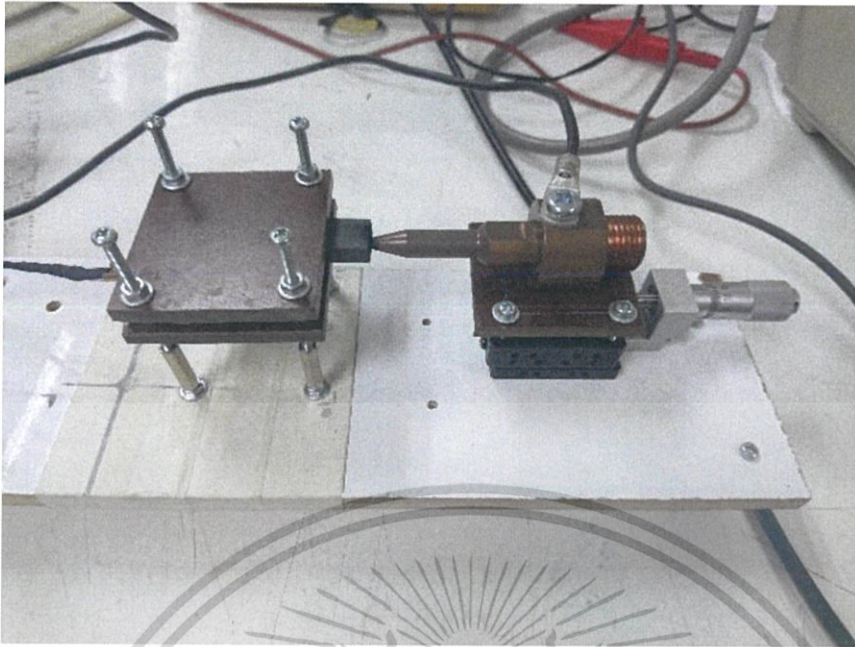
ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบ การสร้างอุปกรณ์ การทดลอง อุปกรณ์ที่ใช้ในการ การตรวจจับอาร์คพอลต์ในระบบแรงดันต่ำ

3.1 อุปกรณ์จำลองการเกิดอาร์คพอลต์แบบอนุกรม



รูปที่ 3.1 ไดอะแกรมของอุปกรณ์จำลองการเกิดอาร์คพอลต์แบบอนุกรม

ในรูปที่ 3.1 เป็นการแสดงไดอะแกรมของอุปกรณ์จำลองการเกิดอาร์คพอลต์แบบอนุกรม ซึ่งใช้อิเล็กโทรดชนิดทองแดงและแปรงถ่าน สามารถปรับระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดกับแปรงถ่าน โดยใช้ไมโครมิเตอร์ความละเอียดระดับ $\pm 3\mu\text{m}$ เพื่อให้การตรวจจับสัญญาณกระแสและแรงดันขณะเกิดอาร์ค แผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็กถูกนำมาใช้ โดยเมื่อเกิดแสง จะทำให้แรงดันของโซลาร์เซลล์สูงขึ้น ใช้ระดับแรงดันนี้ในการเริ่มต้นการบันทึกสัญญาณของออสซิลอสโคป

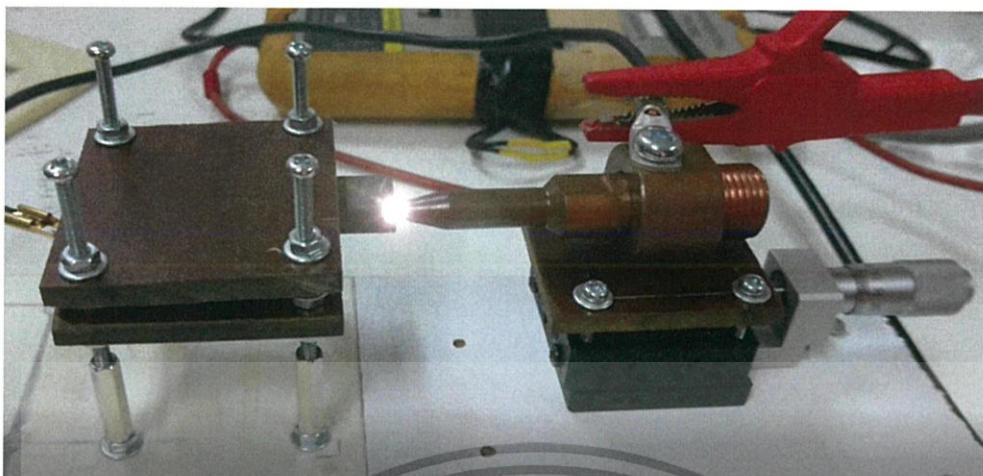


รูปที่ 3.2 อุปกรณ์จำลองอาร์คพอลต์ชนิดอนุกรมที่สร้างขึ้น



รูปที่ 3.3 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ขณะเกิดการอาร์คฟอล์ตในอุปกรณ์การทดลอง

โดยการทดลอง จะดำเนินการกับโหลดชนิดต่างๆ โดยทั้งหมดเป็นโหลดที่พบในอาคารบ้านพักอาศัย และจะทำการทดลองที่ระดับการใช้งานที่ต่างกัน เพื่อหาคุณสมบัติเฉพาะและนำไปวิเคราะห์ต่อไป โดยโหลดที่นำมาใช้ในการทดลองได้แก่

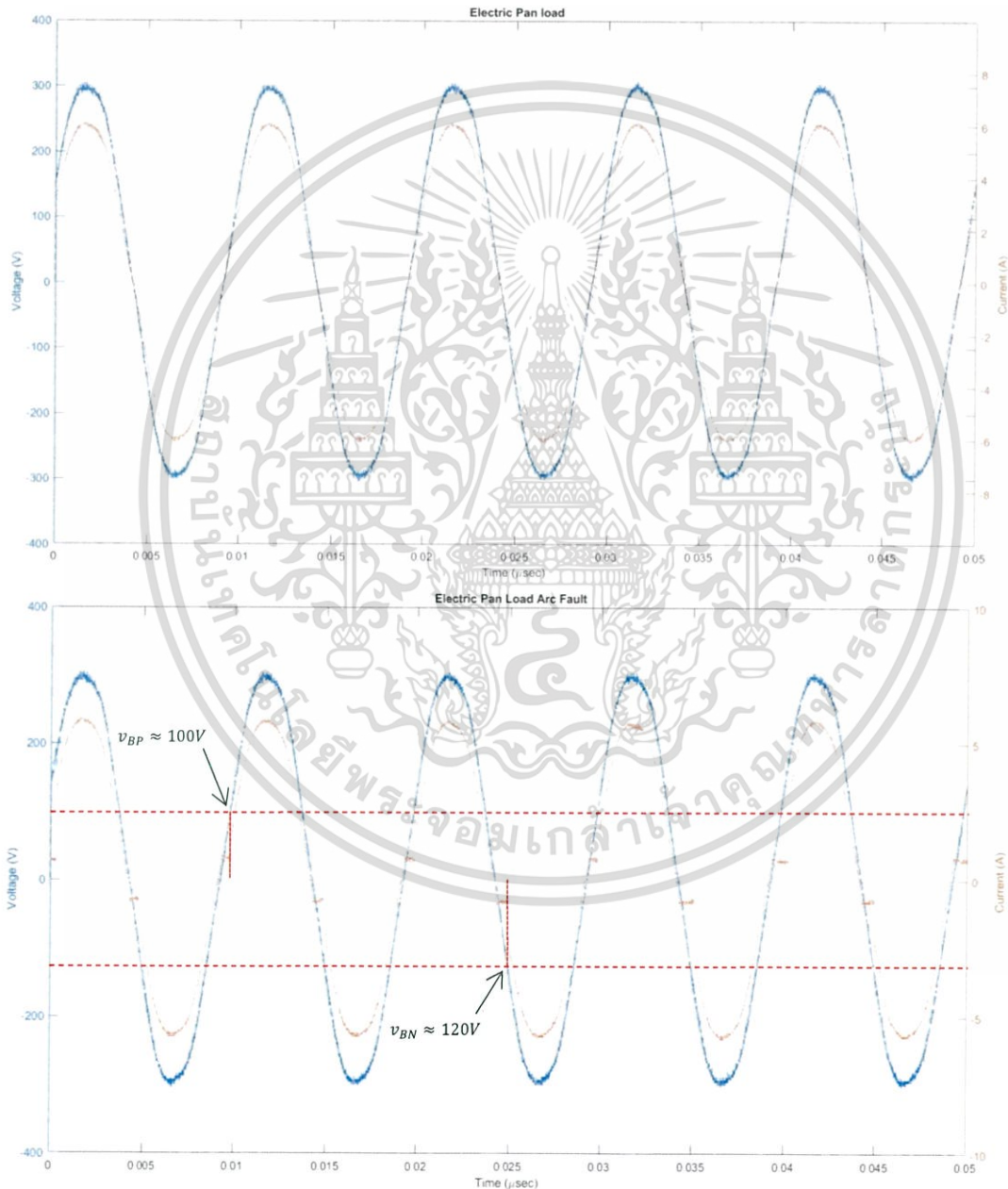
1. Resistive Load
 1. กระดาษไฟฟ้า
 2. หม้อหุงข้าว
 3. กาดม้มน้ำ
 4. หลอดไส้
2. Electronic Load (Non – Liner Load)
 1. Notebook Power Supply
 2. LED Lamp
 3. Computer Monitor
 4. Microwave Oven
3. Electric Motor Load
 1. พัดลม
 2. เครื่องดูดฝุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองการเกิดอาร์คฟอลต์แบบอนุกรมโดยใช้ การวิเคราะห์ กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้า ทั้งขณะที่เกิดอาร์คและไม่เกิดอาร์ค ของโหลดชนิดต่างๆ

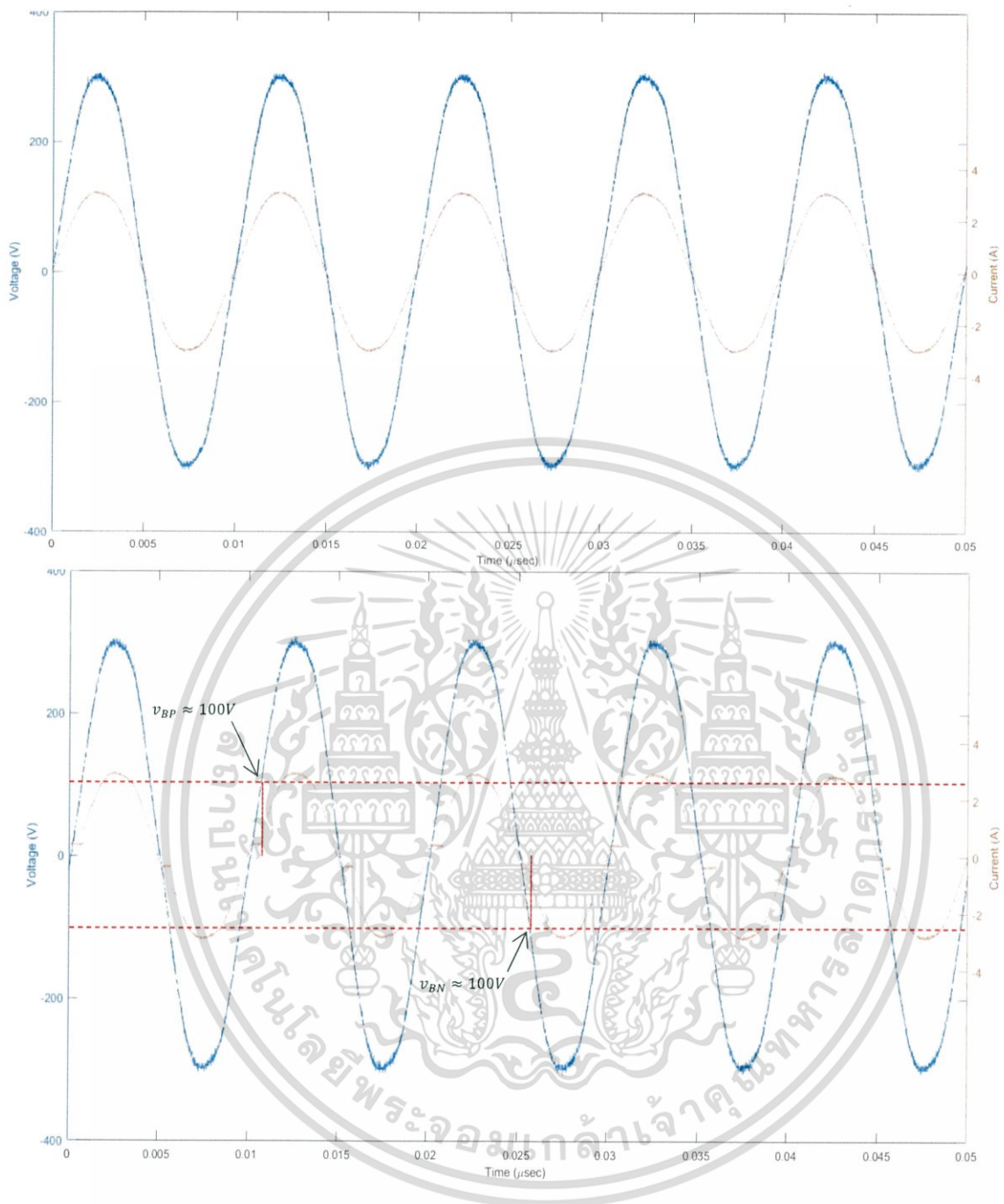
4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของโหลดประเภท Resistive Load



รูปที่ 4.1 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โหลดกระทะไฟฟ้าปกติ ใช้งาน 100% (บน)

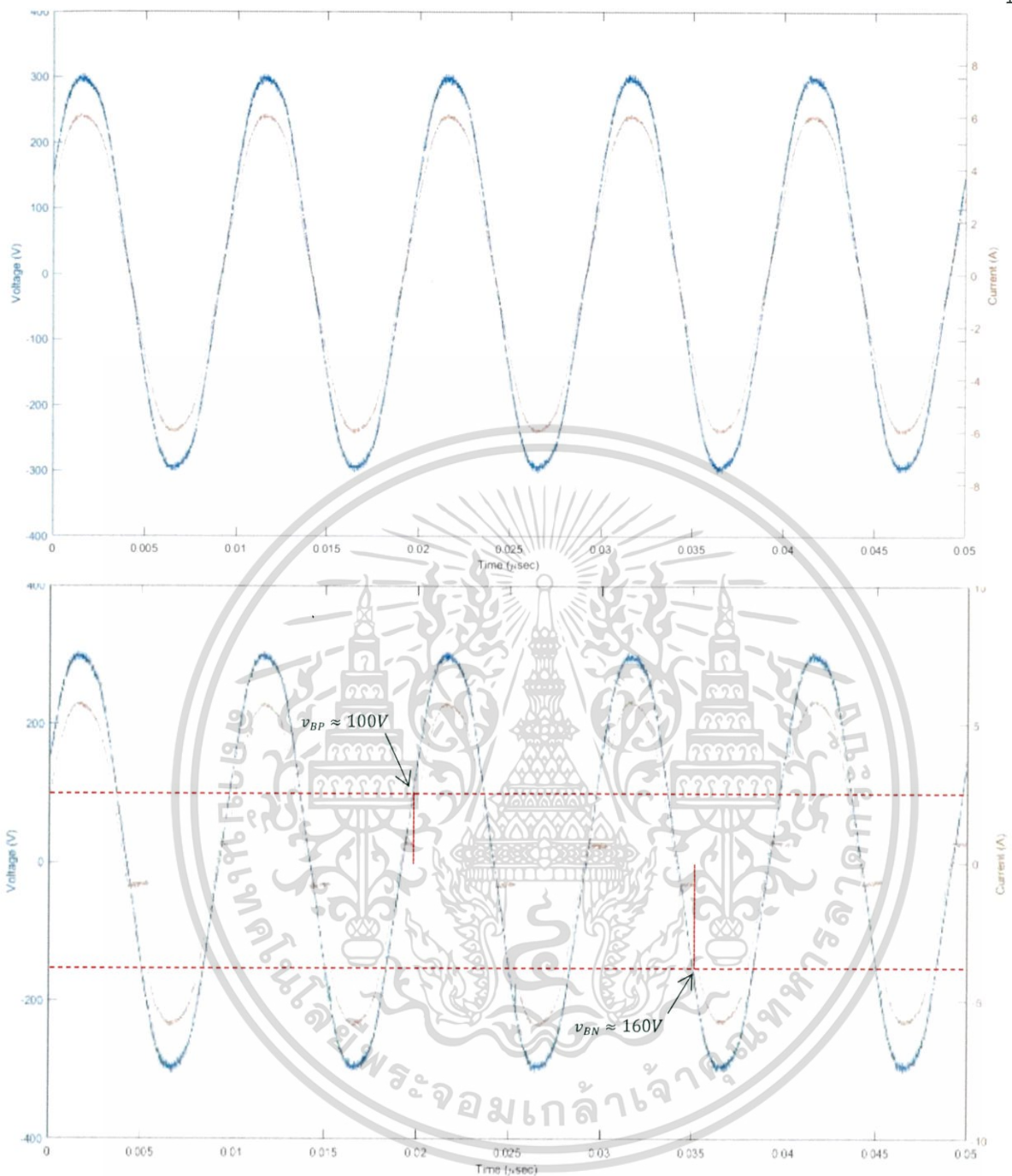
กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โหลดกระทะไฟฟ้าขณะเกิดอาร์ค ใช้งาน 100% (ล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



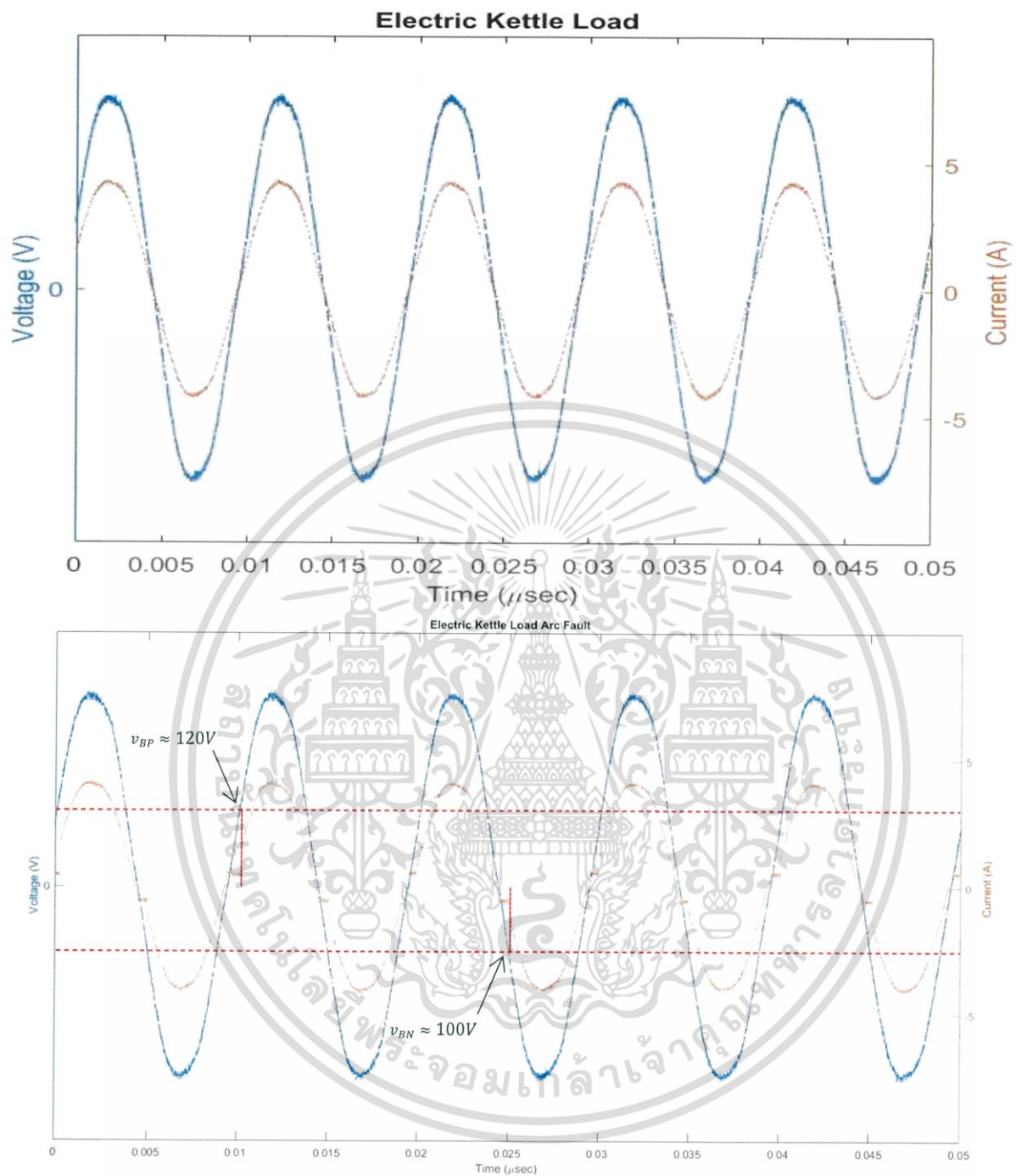
รูปที่ 4.2 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โหลดกระทะไฟฟ้า ปกติ ใช้งาน 25% (บน)
 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โหลดกระทะไฟฟ้าขณะเกิดอาร์ค ใช้งาน 25% (ล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



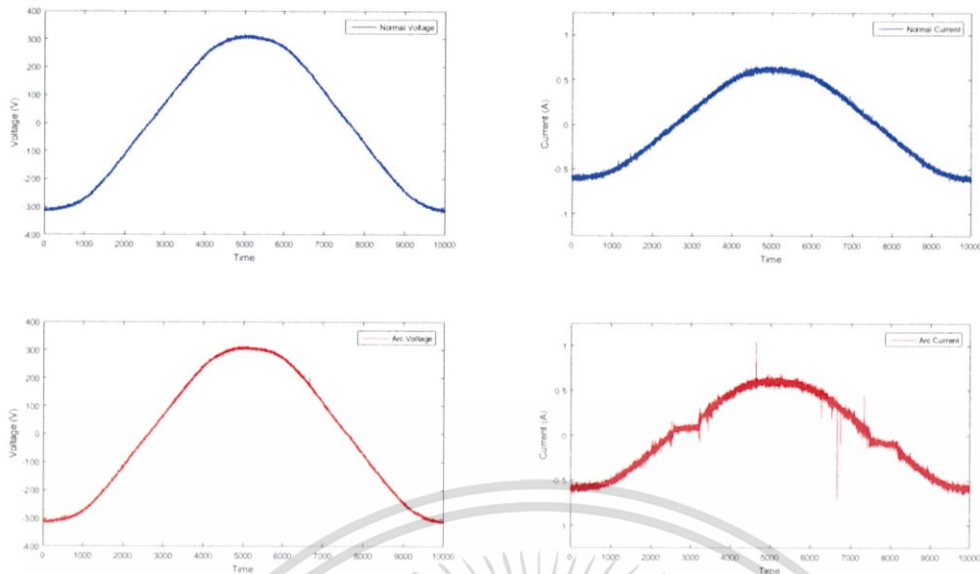
รูปที่ 4.3 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โหลดหม้อหุงข้าว ปกติ (บน)
กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โหลดหม้อหุงข้าวขณะเกิดอาร์ค (ล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โหลดกาน้ำร้อน ปกติ (บน)
กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โหลดกาน้ำร้อนขณะเกิดอาร์ค (ล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส(สีแดง) และแรงดัน(สีน้ำเงิน) ของโหลดหลอดไส้ขนาด 100 วัตต์

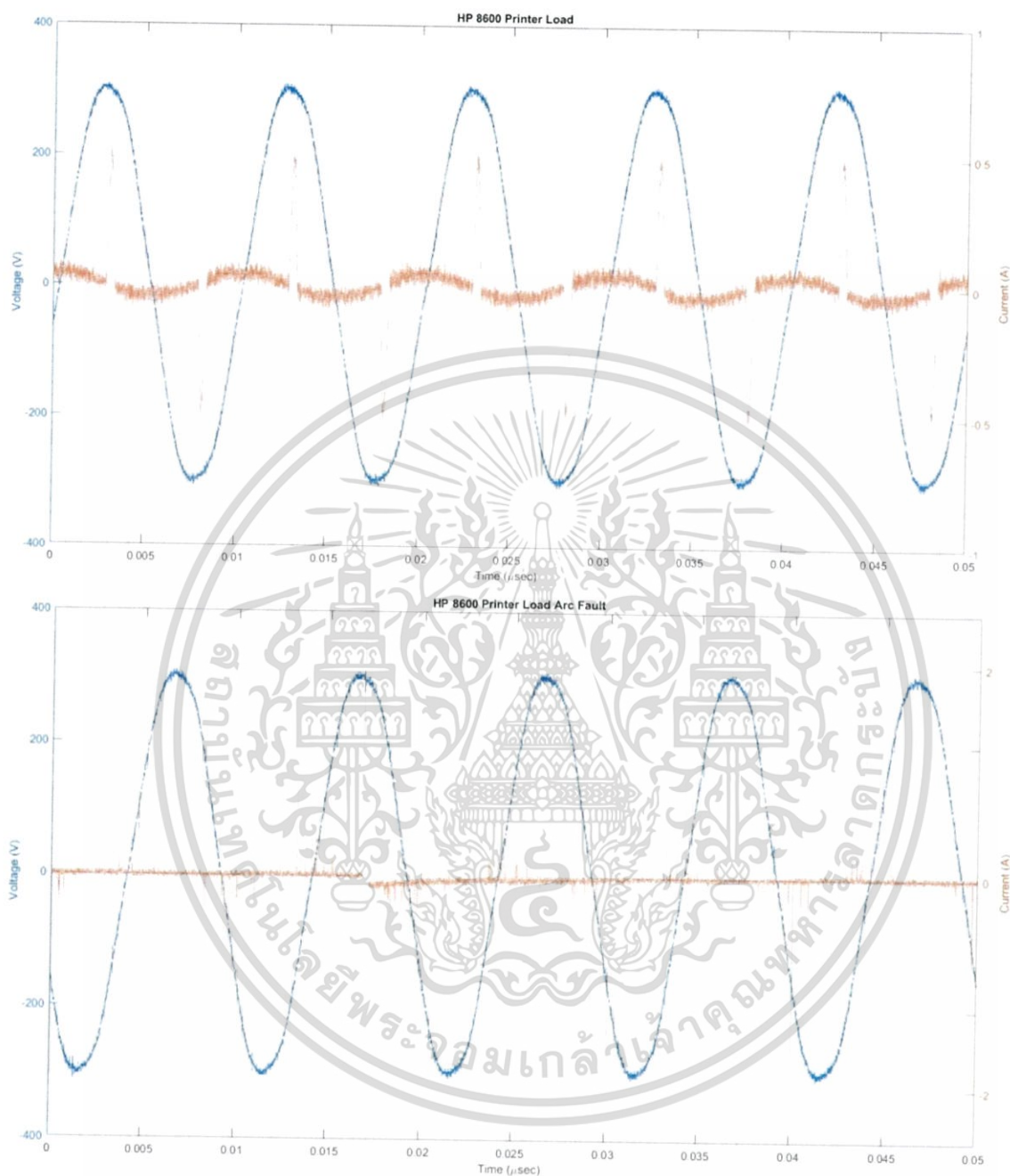


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส(สีแดง) และแรงดัน(สีน้ำเงิน) ของโหลดหลอดไส้ขนาด 150 วัตต์

จากกราฟแสดงลักษณะการเกิดอาร์คของโหลดชนิด Resistive Load จะเห็นว่าทุก ๆ ครั้ง รอบของกระแสไฟฟ้าที่ใกล้จุดผ่านศูนย์ของความต่างศักย์ไฟฟ้าจะมีกระแสไฟฟ้าช่วงหนึ่งได้หายไป ลักษณะของกราฟในช่วงขณะนั้นจะเป็นเส้นตรงและกระแสของโหลดจะลดลงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับโหลดเดียวกัน ขณะที่ไม่เกิดอาร์คและจากการสังเกตรูปคลื่นกระแสและแรงดันพบว่า แรงดันเบรกดาว์นด้านบวก $v_{BP} = 100V$ และแรงดันเบรกดาว์นด้านลบ $v_{BP} = 120V$ (รูปที่ 4.1) ซึ่งต่ำกว่าแรงดันเบรกดาว์นตามกฎของ Paschen และขนาดของแรงดันเบรกดาว์นไม่ขึ้นอยู่กับกำลังไฟฟ้าของโหลด

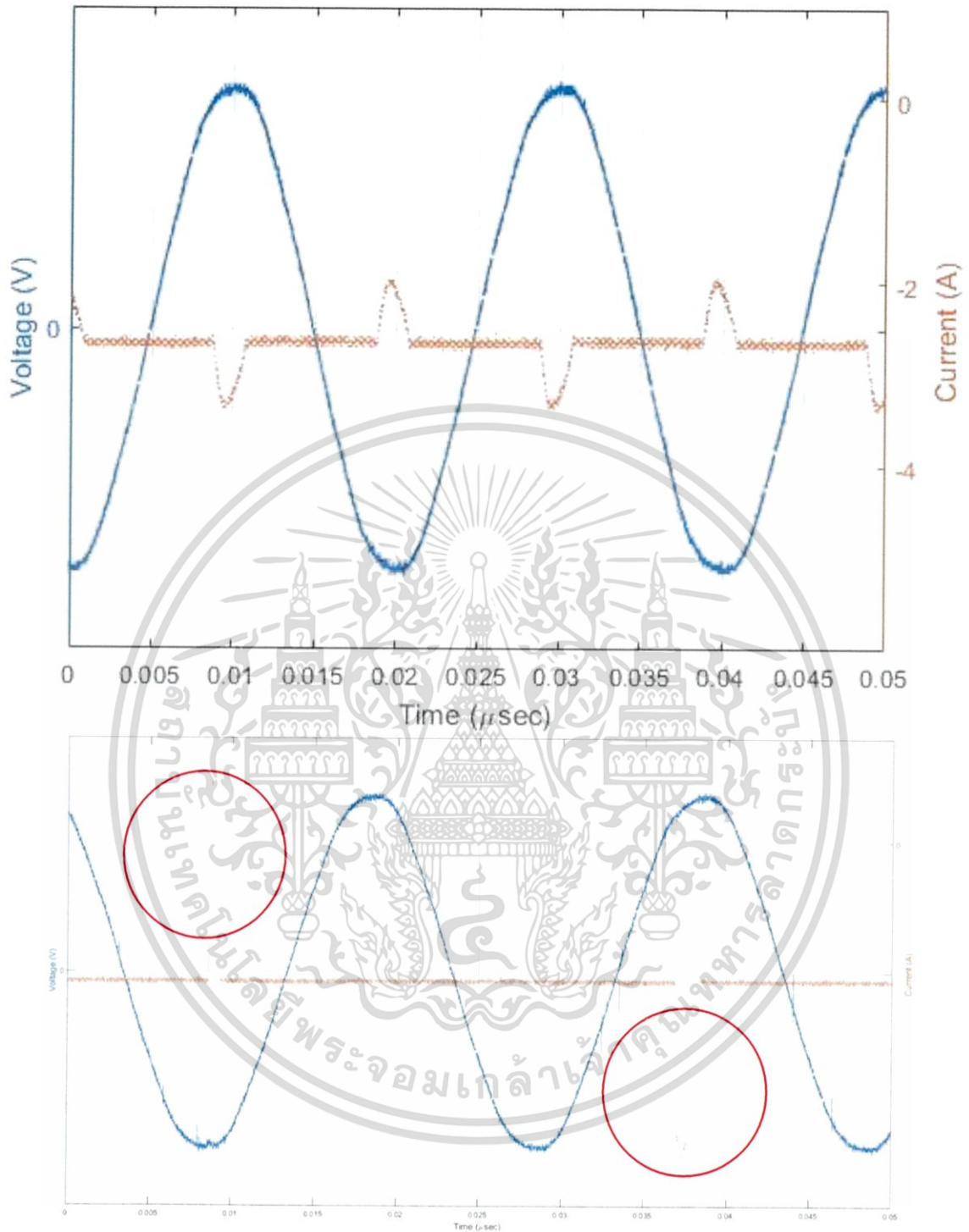
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของโหลดประเภท Electronic Load



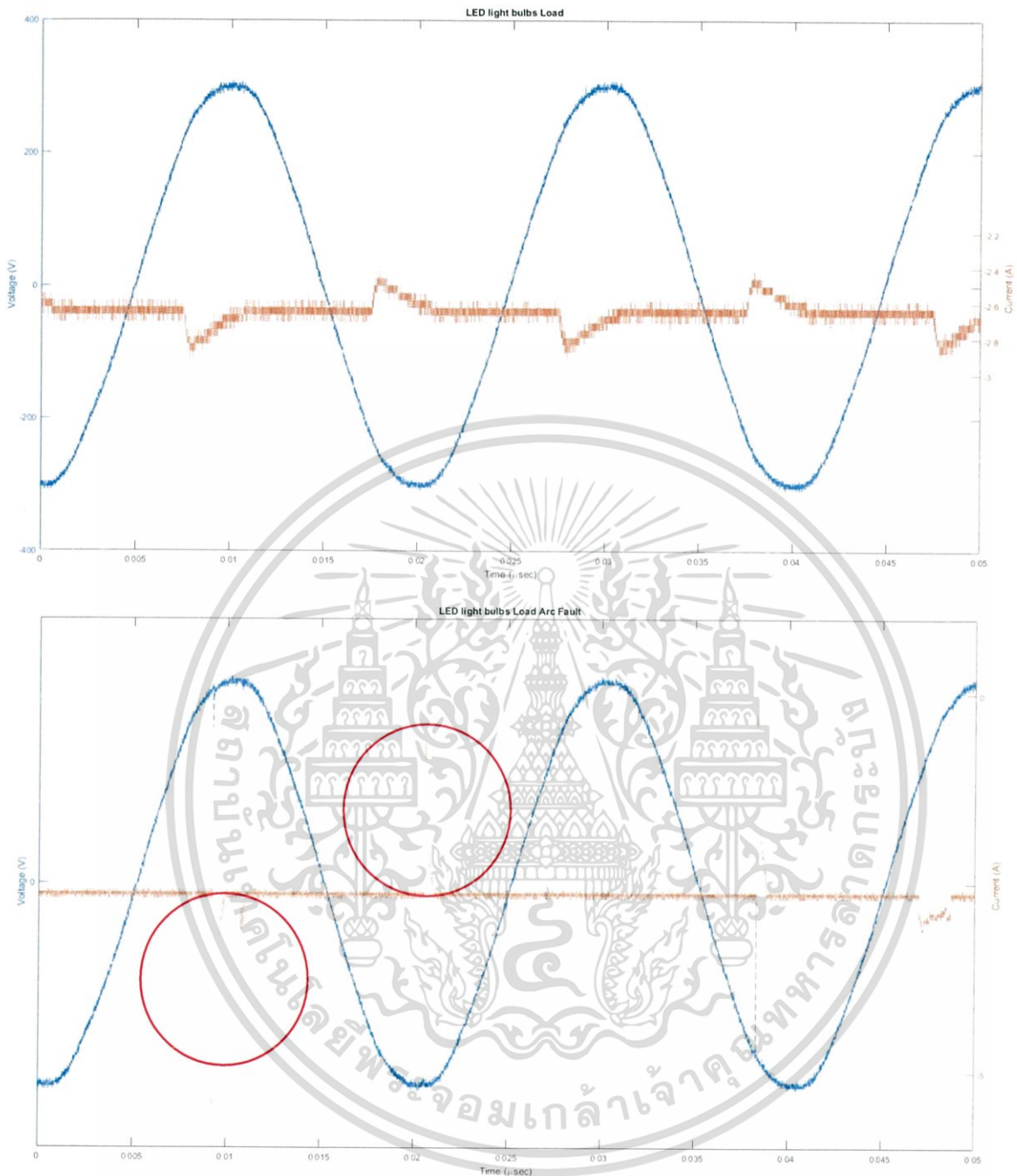
รูปที่ 4.7 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โหลด HP 8600 Printer ปกติ (บน)
กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โหลด HP 8600 Printer ขณะเกิดอาร์ค (ล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



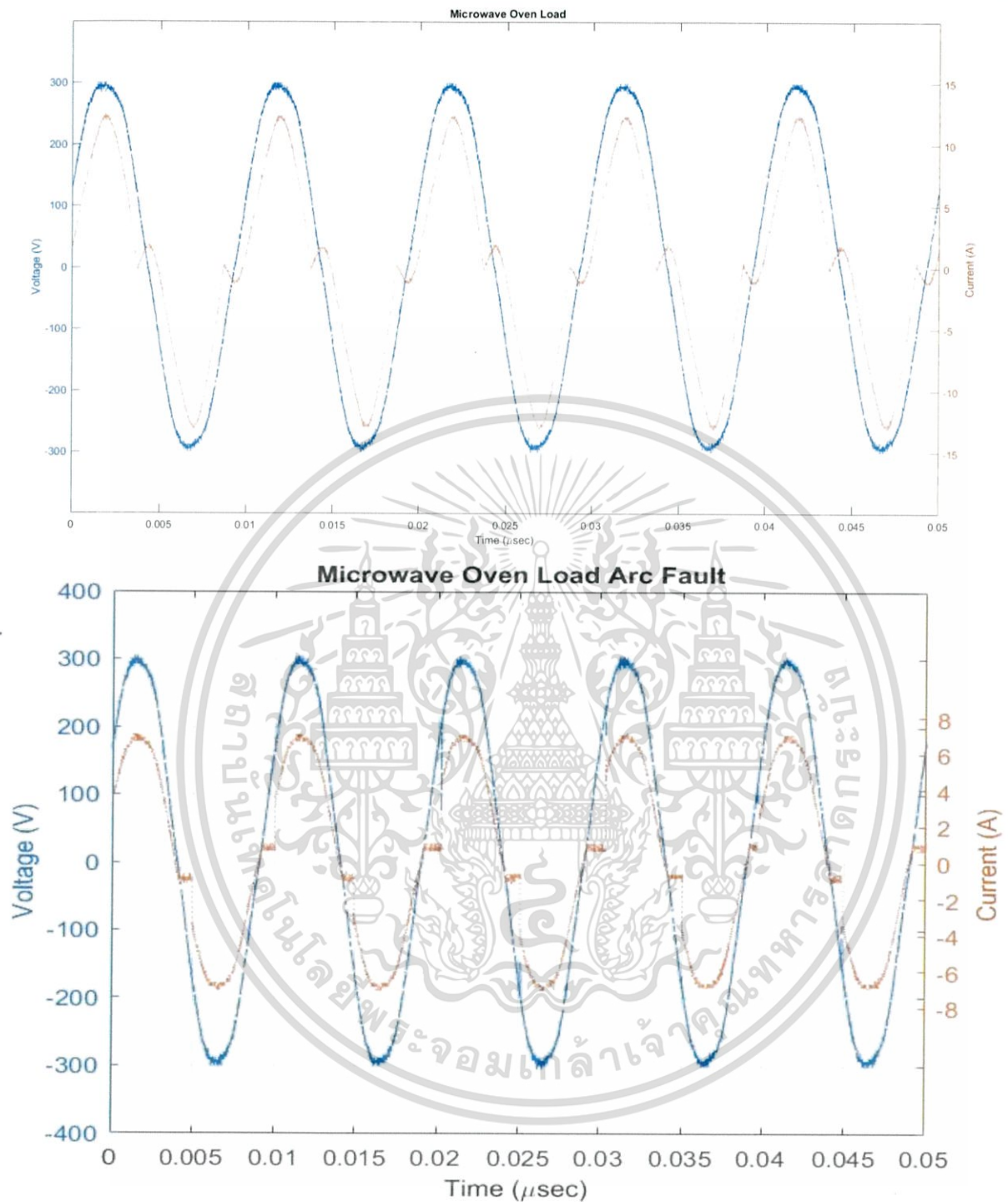
รูปที่ 4.8 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โหลดจอกคอมพิวเตอร์ ปกติ (บน)
 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โหลดจอกคอมพิวเตอร์ ขณะเกิดอาร์ค (ล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



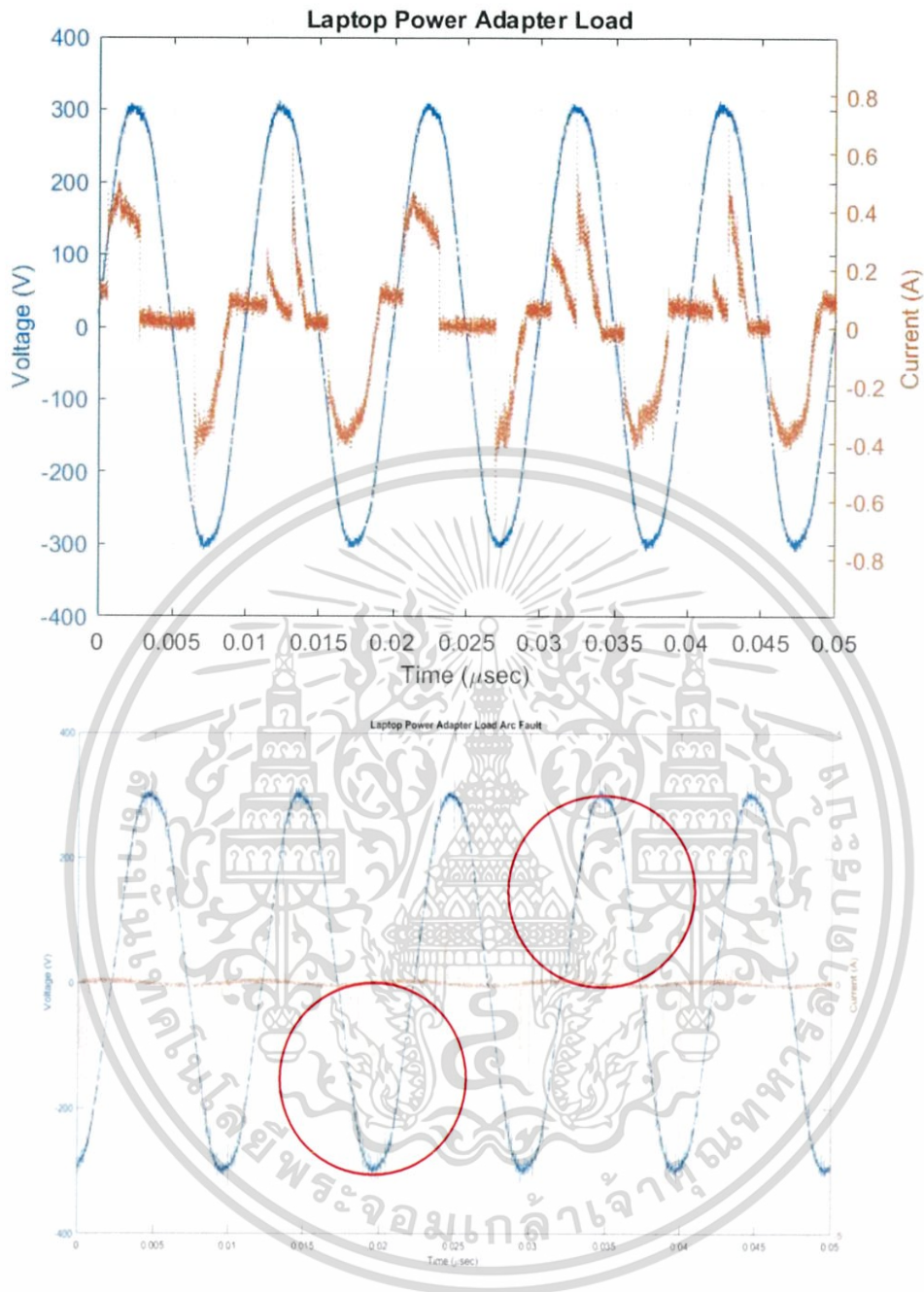
รูปที่ 4.9 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โหลด หลอดไฟLED 7W ปกติ (บน)
 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โหลด หลอดไฟLED 7W ขณะเกิดอาร์ค (ล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โหลด Microwave Oven ปกติ (บน)
กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โหลด Microwave Oven ขณะเกิดอาร์ค (ล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



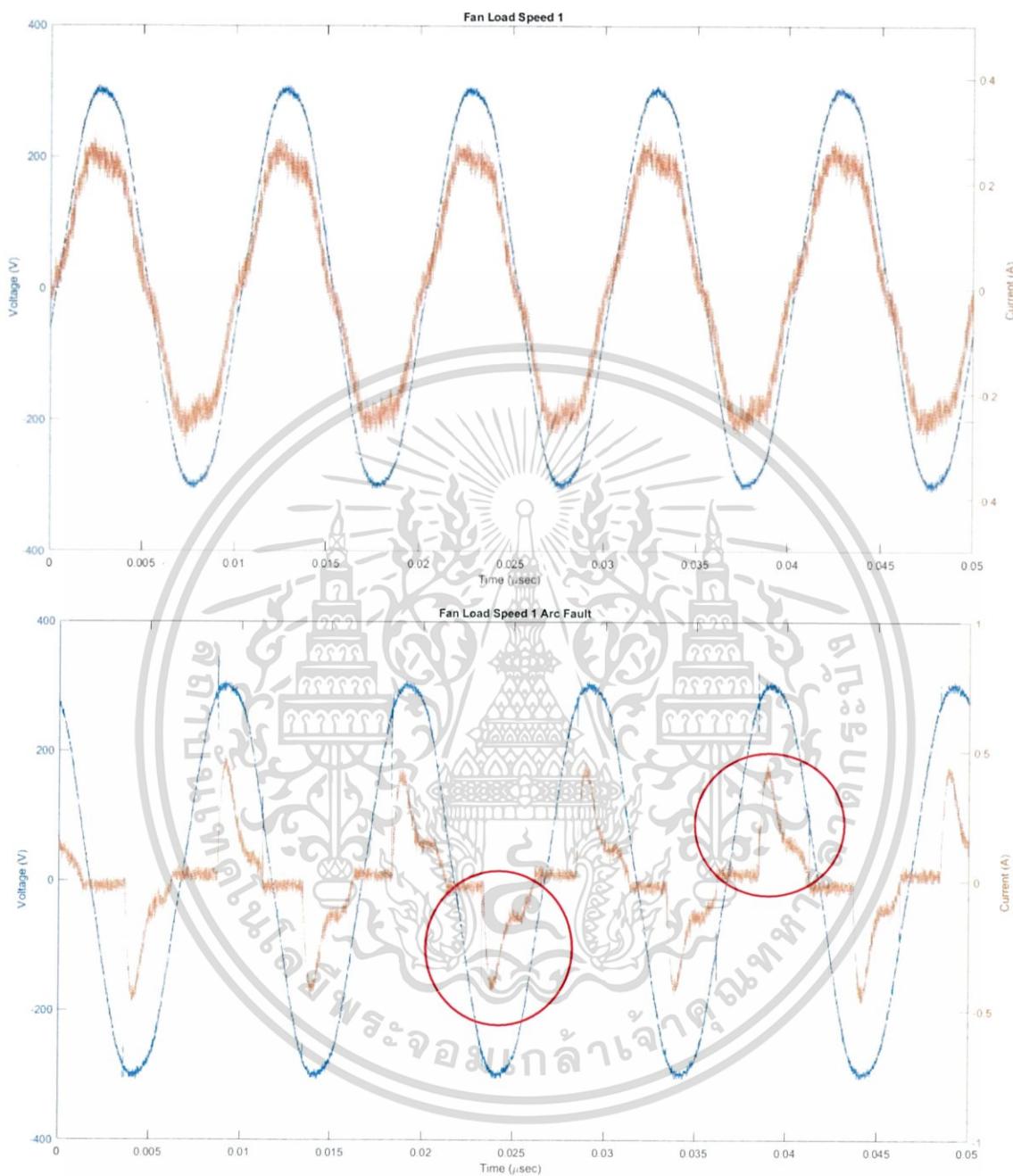
รูปที่ 4.11 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โหลดLaptop Power Adapter ปกติ (บน)
กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โหลดLaptop Power Adapter ขณะเกิดอาร์ค (ล่าง)

โหลดอิเล็กทรอนิกส์จะประกอบไปด้วยวงจรเรกติไฟเออร์จะมีช่วงที่กระแสเป็นศูนย์ที่แรงดันต่ำ เนื่องจากการเริ่มนำกระแสจะเกิดขึ้นที่แรงดันใกล้ๆค่ายอด ทำให้เมื่อเริ่มนำกระแสจะทำให้มีความชันของกระแสสูง ทำให้เมื่อเริ่มนำกระแสความหนาแน่นกระแสในช่องอากาศสูง จึงเกิดอาร์คได้แม้แต่กระแสเล็กน้อย เช่น หลอด LED ขนาด 7W (รูปที่ 4.9)

นอกจากนี้ ผลของตัวแก้ตัวประกอบกำลังในอุปกรณ์บางชนิดเช่นแหล่งจ่ายไฟของคอมพิวเตอร์ จะทำให้เกิดสัญญาณกระแสวิ่งความถี่สูงกระจายไปตลอดคาบของกระแส (รูปที่ 4.11) เมื่อเกิดอาร์ค

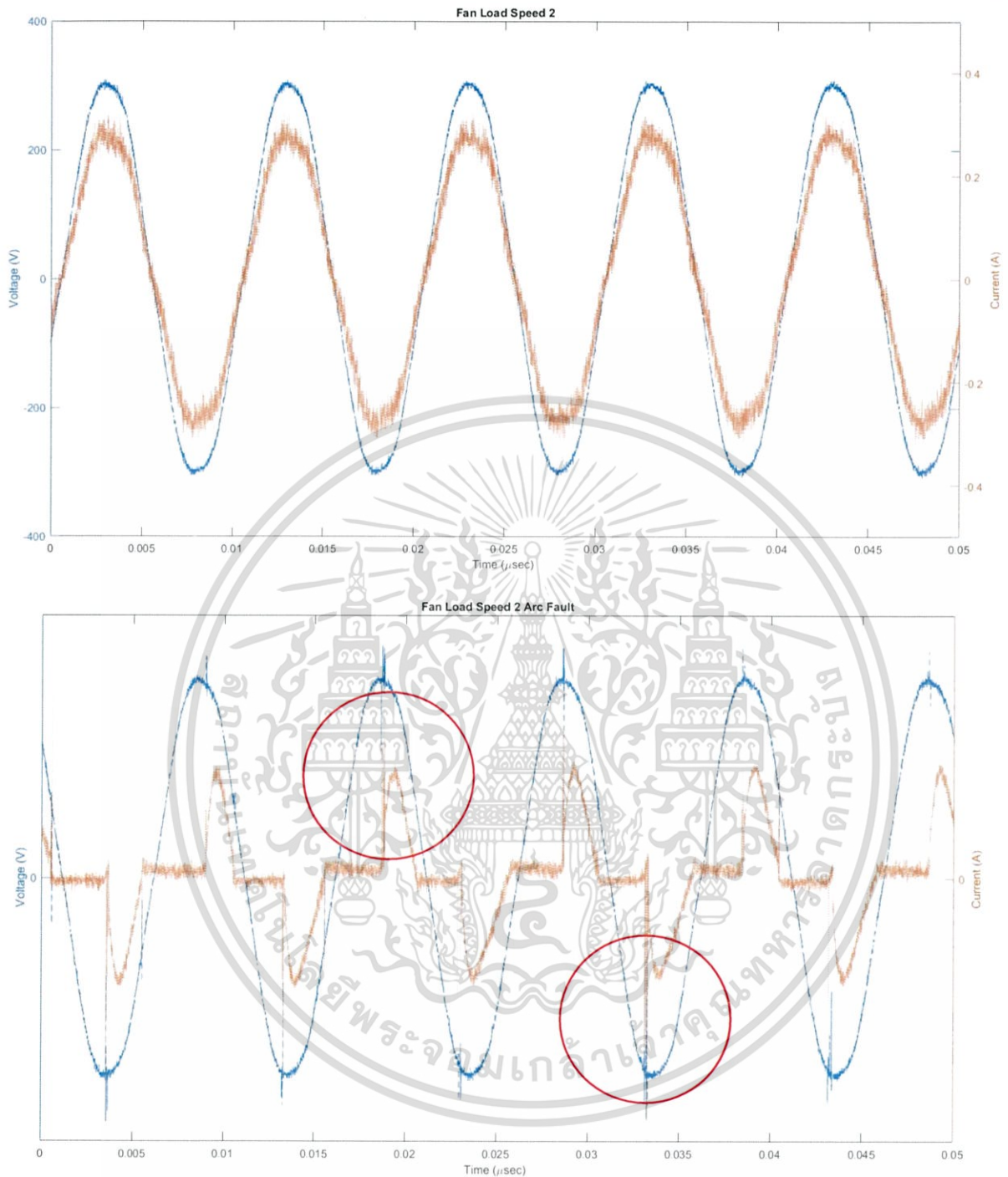
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของโหลดประเภท Electric Motor Load



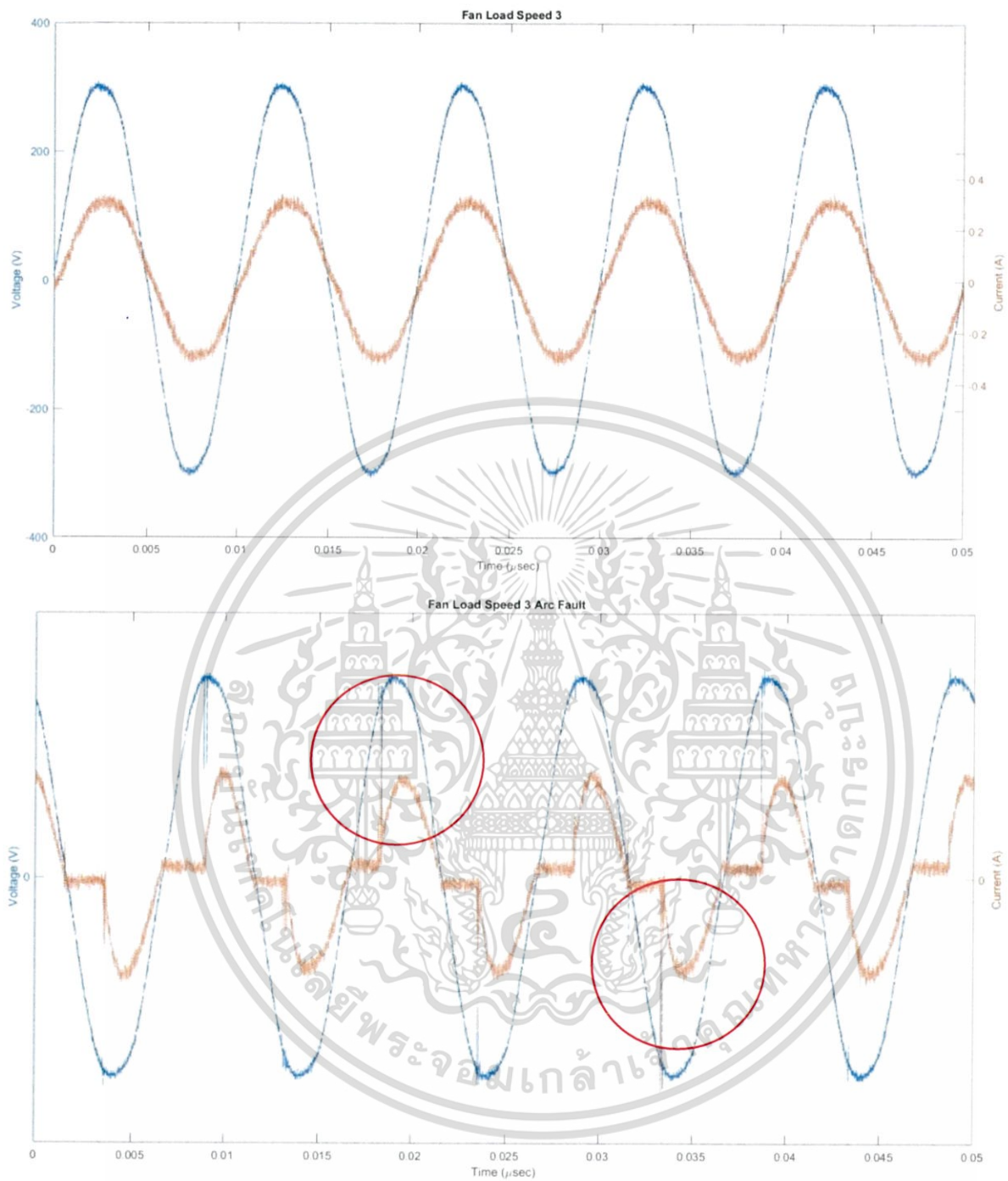
รูปที่ 4.12 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โหลดพัดลม ปกติ เบอร์1 (บน)
กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โหลดพัดลมขณะเกิดอาร์ค เบอร์1 (ล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



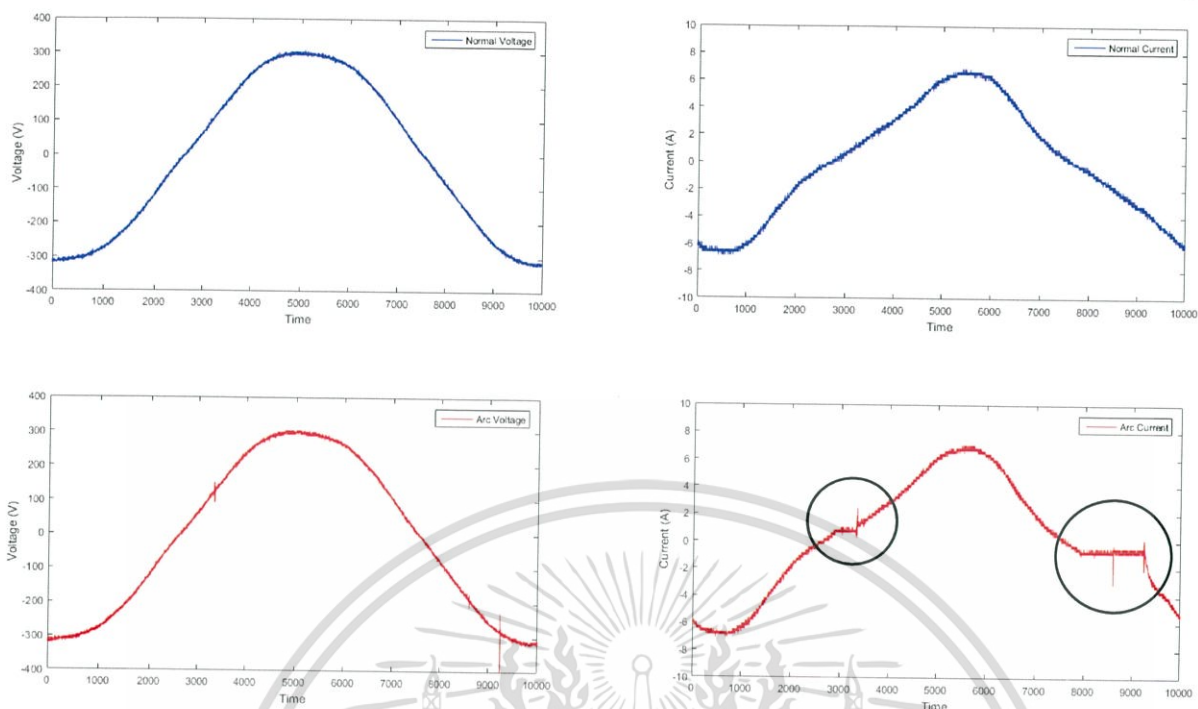
รูปที่ 4.13 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โหลดพัดลม ปกติ เบอร์2 (บน)
กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โหลดพัดลมขณะเกิดอาร์ค เบอร์2 (ล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โหลดพัดลม ปกติ เบอร์3 (บน)
 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โหลดพัดลมขณะเกิดอาร์ค เบอร์3 (ล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส(ขวา) และแรงดัน(ซ้าย) ของโหลดเครื่องดูดฝุ่น

จากกราฟการทดลองแสดงลักษณะการเกิดอาร์คของโหลดชนิด Electric Motor Load กล่าวคือมีกระแสขาดหายไปในช่วงแรงดันผ่านศูนย์ และเมื่อเริ่มนำกระแสจะมีความชันกระแสสูง ทำให้เกิดการอาร์คขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

อาร์คเป็นปรากฏการณ์ที่เริ่มจากการเบรกดาวนผ่านอากาศที่มีการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงและความร้อน การเบรกดาวนผ่านอากาศที่มีระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดที่มากกว่า 10 ไมครอน (10 μm) สามารถอธิบายแนวโน้มได้โดยใช้กฎของ Paschen (Paschen's Law)

อย่างไรก็ดีจากผลการศึกษาการแรงดันเบรกดาวนของอากาศในกรณีที่มีระยะห่างของอิเล็กโทรดที่ต่ำกว่า 10 μm พบว่าแรงดันเบรกดาวนของอากาศไม่เป็นไปตามกฎของ Paschen โดยพบว่าแรงดันเบรกดาวนมีแนวโน้มลดลงตามระยะห่างของอิเล็กโทรดที่ลดลง ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาอาร์คแบบอนุกรมซึ่งสามารถสังเกตการเกิดอาร์คได้ที่ค่าแรงดันบนคลื่นที่ต่ำกว่า 100V ในความดันบรรยากาศและภายใต้สิ่งแวดล้อมที่ไม่ได้ควบคุม เช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

อาร์คฟอสต์แบบอนุกรม (Series Arc Fault) ก็เป็นหนึ่งในฟอสต์ที่สร้างความเสียหายให้แก่อุปกรณ์ โดยเมื่อมีการเกิดอาร์คฟอสต์อนุกรม จะส่งผลให้เกิดความร้อนขึ้นที่บริเวณจุดที่ก่อให้เกิดอาร์ค เมื่อเกิดความร้อนสะสมเป็นปริมาณมาก จะทำให้อุปกรณ์ อาทิเช่น สายไฟ ปลอกสายไฟลุกไหม้ขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดเพลิงไหม้ได้

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาค้นคว้าการตรวจจับอาร์คฟอสต์ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันต่ำ โดยอาศัยการวิเคราะห์รูปคลื่นของกระแสและแรงดันไฟฟ้า โดยได้ทำการสร้างเครื่องต้นแบบเพื่อจำลองการเกิดอาร์คแบบอนุกรมในวงจรไฟฟ้า และวิเคราะห์รูปคลื่นของกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะการเกิดอาร์คและสภาวะที่ไม่เกิดการอาร์ค สำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการแยกแยะระหว่างสภาวะอาร์คและสภาวะปกติ

อุปกรณ์จำลองการเกิดอาร์คฟอสต์แบบอนุกรม ซึ่งใช้อิเล็กโทรดชนิดทองแดงและแปรงถ่าน สามารถปรับระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดกับแปรงถ่าน โดยใช้ไมโครมิเตอร์ความละเอียดระดับ $\pm 3\mu\text{m}$ ถูกสร้างขึ้นเพื่อทดสอบการเกิดอาร์คแบบอนุกรมกับโหลดชนิดต่าง ๆ ได้แก่ Resistive Load, Electronic Load (Non - Liner Load), Electric Motor Load ผลการทดลองพบว่า

1. โหลดชนิด Resistive Load จะเห็นว่าทุก ๆ เครื่องรอบของกระแสไฟฟ้าที่ใกล้จุดผ่านศูนย์ของความต่างศักย์ไฟฟ้า จะมีกระแสไฟฟ้าช่วงหนึ่งได้หายไป ลักษณะของกราฟในช่วงขณะนั้นจะเป็นเส้นตรงและกระแสของโหลดจะลดลงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับโหลดเดียวกันขณะที่ไม่เกิดอาร์คและจากการสังเกตรูปคลื่นกระแสและแรงดันพบว่า แรงดันเบรกดาวนด้านบวก $v_{BP} = 100V$ และแรงดันเบรกดาวนด้านลบ $v_{BP} = 120V$ (รูปที่ 4.1) ซึ่งต่ำกว่าแรงดันเบรกดาวนตามกฎของ Paschen และขนาดของแรงดันเบรกดาวนไม่ขึ้นอยู่กับกำลังไฟฟ้าของโหลด

2. โหลดอิเล็กทรอนิกส์จะประกอบไปด้วยวงจรเรกติไฟเออร์จะมีช่วงที่กระแสเป็นศูนย์ที่แรงดันต่ำ เนื่องจากการเริ่มนำกระแสจะเกิดขึ้นที่แรงดันใกล้ๆค่ายอด ทำให้เมื่อเริ่มนำกระแสจะทำให้มีความชันของกระแสสูง ทำให้เมื่อเริ่มนำกระแสความหนาแน่นกระแสในช่องอากาศสูง จึงเกิดอาร์คได้แม้แต่กระแสเล็กน้อย เช่น หลอด LED ขนาด 7W (รูปที่ 4.9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ ผลของตัวแก๊ตั่วประกอบกำลังในอุปกรณ์บางชนิดเช่นแหล่งจ่ายไฟของคอมพิวเตอร์ จะทำให้เกิดสัญญาณกระแสความถี่สูงกระจายไปตลอดคาบของกระแส (รูปที่ 4.11) เมื่อเกิดอาร์ค

3. โหลดชนิด Electric Motor Load มีกระแสขาดหายไปในช่วงแรงดันผ่านศูนย์ และเมื่อเริ่มนำกระแสจะมีความชันกระแสสูง ทำให้เกิดการอาร์คขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะและปัญหา

5.2.1 ปัญหา

การสร้างแบบจำลองการเกิดอาร์คเพื่อทำการจำลองการเกิดอาร์คโดยใช้โซล่าเซลล์ ในการตรวจจับอาร์คอาจมีความคลาดเคลื่อนได้ ซึ่งแสงจากภายนอกและตำแหน่งการวางโซล่าเซลล์จะมีผลต่อการตรวจจับสัญญาณได้

5.2.2 แนวทางแก้ไขปัญหา

- 1.) สร้างที่ครอบสำหรับเครื่องจำลองอาร์คเพื่อไม่ให้แสงภายนอกมารบกวนการตรวจจับอาร์ค
- 2.) ตำแหน่งของโซล่าเซลล์ให้วางไว้ที่ตำแหน่งของการเกิดอาร์ค โดยกำหนดจุดไว้และไม่ให้คลาดเคลื่อน

บรรณานุกรม

- [1] Anuum test & Measurement. Hioki 3280-20: **AC Current Clamp Meter (True RMS)**. สืบค้นจาก<http://www.anaum.ae/product-p/hk3280-20.htm>
- [2] C. Restrepo, Arc Fault Detection and Discrimination Methods. **The 53rd IEEE Holm Conference On Electrical Contacts.**, Pittsburgh, September 2007.
- [3] E. Hourdak, 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 , [DOI: 10.1063/1.2185149]
- [4] Equanalysis UG, **Paschen's Law**. สืบค้นจาก <http://www.fxsolver.com/browse/formulas/Paschen's+Law>
- [5] 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.
- [6] Healthy Home Issues: Injury Hazards, **U.S. Department of Housing and Urban Development**, version 3, March 2006
- [7] J. Shea, "Conditions for Series Arcing Phenomena in PVC Wiring." **Proceeding of the 51st Holm Conference of Electrical Contacts**, pp.167-175,Sept.2005.
- [8] J.Slepain and R.C. Marson, "The Experimental Validity of Paschen's Law and of a Similar Relation for the Reignition Potential of an Alternating Current Arc" **Journal of Applied Physics**, Vol. 8, Issue 9, pp.619-621,Sept.1937.
- [9] KEYSIGHT TECHNOLOGIES. **33120A Function / Arbitrary Waveform Generator**, 15 MHz. สืบค้นจาก<http://www.keysight.com/en/pd-1000001289%3Aeapsg%3Apro/function-arbitrary-waveform-generator-15-mhz?cc=TH&lc=eng>
- [10] KOMECO, **LCR METER**. สืบค้นจาก http://www.komeco.net/bbs/board.php?bo_table=equipment&wr_id=20&page=.16
- [11] NEPA 70 Report on Comments NEC 2005 May 2004, and NFPA 70 Report on Proposals NEC 2005 May 2004.**National Electric Code (NEC)**,2005.
- [12] P.G. Slade, Electrical Contacts, **Marcel Dekker**, New York, NY, 1999,pages 438-445.
- [13] R. Dollar and W. Strickland, "Circuit interrupter including an electric arc monitoring circuit," **United States Patent**,5,706,Jan.6,1998.
- [14] **UL Standard for Safety for Arc Fault Circuit Interrupters**, UL 1699, 2nd Edition. April 7 2006.
- [15] Understanding the 2014 National Electrical Code® for AFCI Protection, 20 ต.ค. 2015. **AFCI Educational Video**. สืบค้นจาก<https://www.youtube.com/watch?v=1Z5-U-A4frU>
- [16] USFA., **On the Safety Circuit: A Factsheet on Home Electrical Fire Prevention**. United States Fire Administration, 2006.
- [17] **เซฟ ที คัท โกลด์, อันตรายจาก ไฟลัดวงจร**. สืบค้นจาก http://safetycutgold.com/knowledge/knowledge_p14.html

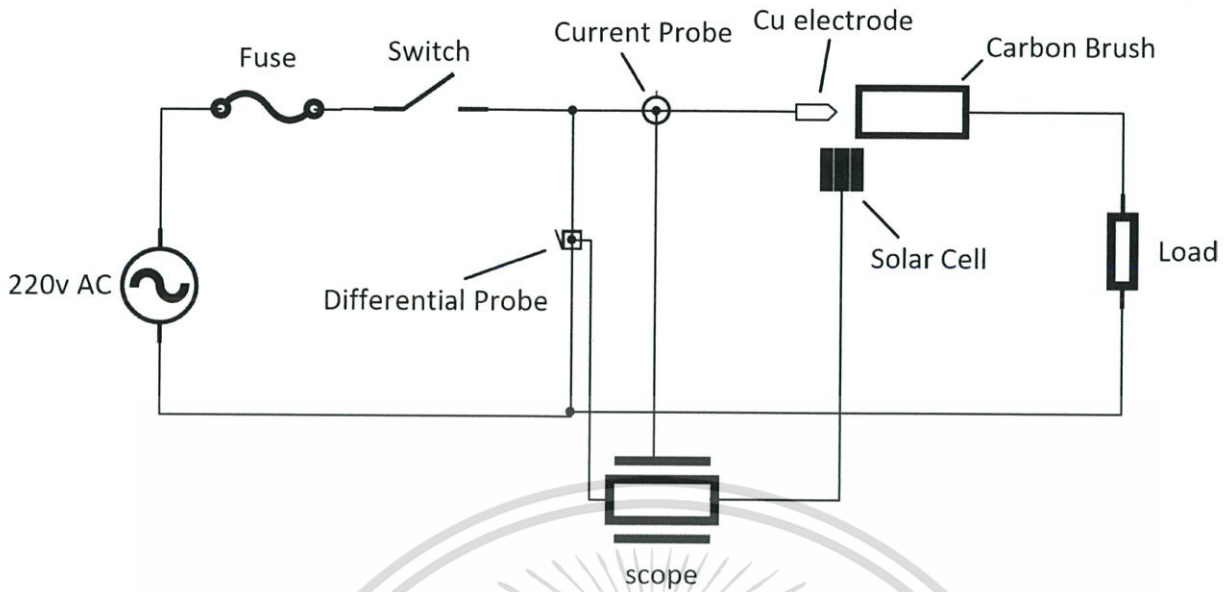
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ เพื่อใช้ในการเรียนการสอน และเพื่อเผยแพร่ความรู้ให้แก่ผู้สนใจ
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 วงจรทดลองการเกิดอาร์คฟอลต์แบบอนุกรม



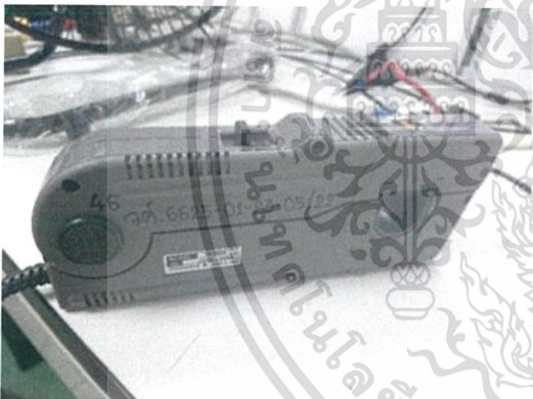
รูปที่ ก.2 วงจรตรวจสอบการเกิดอาร์คฟอลต์แบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

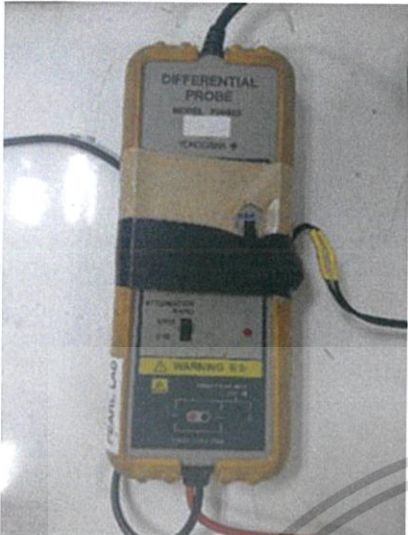



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ผลิตภัณฑ์: Digital Oscilloscope (YOKOGAWA)
	รุ่น: DL1740E
	รายละเอียด: 500MHz Analog Bandwidth 2MW/ch Max. record length 1 GS/s Max. sampling rate 400V(DC+AC peak) \pm 1.5% DC accuracy

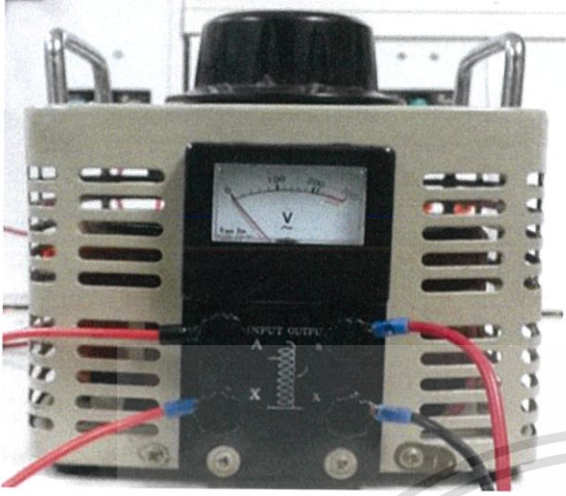
	ผลิตภัณฑ์: Current Probe (YOKOGAWA)
	รุ่น: 701930
	รายละเอียด: Current ranges :Bandwidth :DC to 10 MHz; Current measurement: Max 30/150/500A Maximum continuous input range: 150Arms Amplitude accuracy (DC, and 45 to 66 Hz,0to150Arms): \pm 1% of rdg \pm 1 mV Output voltage rate: 0.01 V/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ผลิตภัณฑ์: Differential Probe
	รุ่น: 700925
	รายละเอียด: 1000V / 15 MHz Frequency bandwidth: DC to 15 MHz Maximum continuous input range: 1000 Volts Attenuation Ratios: 100:1 or 10:1 Functions with Digital Oscilloscopes, ScopeCorders and other waveform measuring instruments.

	ผลิตภัณฑ์: AC Current Clamp Meter (Hioki)
	รุ่น: 3280-20
	รายละเอียด: 42A to 1000A AC Current Clamp Meters Model 3280-10: Measure the fundamental waveform component using the average rectified method Model 3280-20: Measure even harmonic waveform components using the True RMS method Wide range of max. 1000 A Drop proof design withstands drop from a height of 1 meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

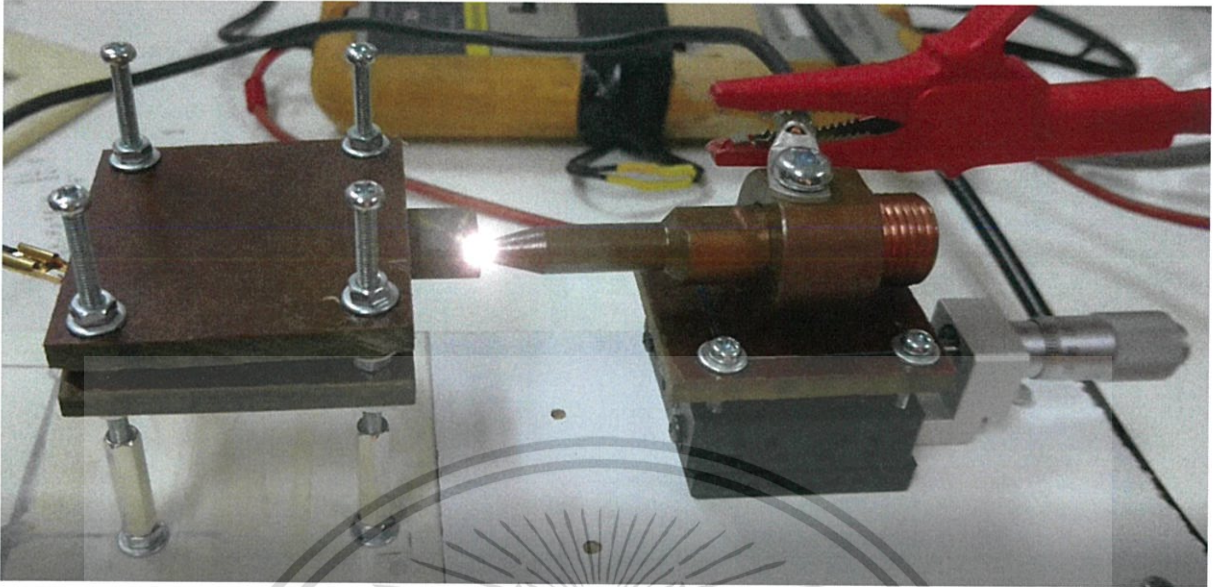
	ผลิตภัณฑ์: Variable Voltage Transformer
	รุ่น: SD-16
	รายละเอียด: Capacity 4KVA Input Voltage 220V Output 0-250 V Current 16 A



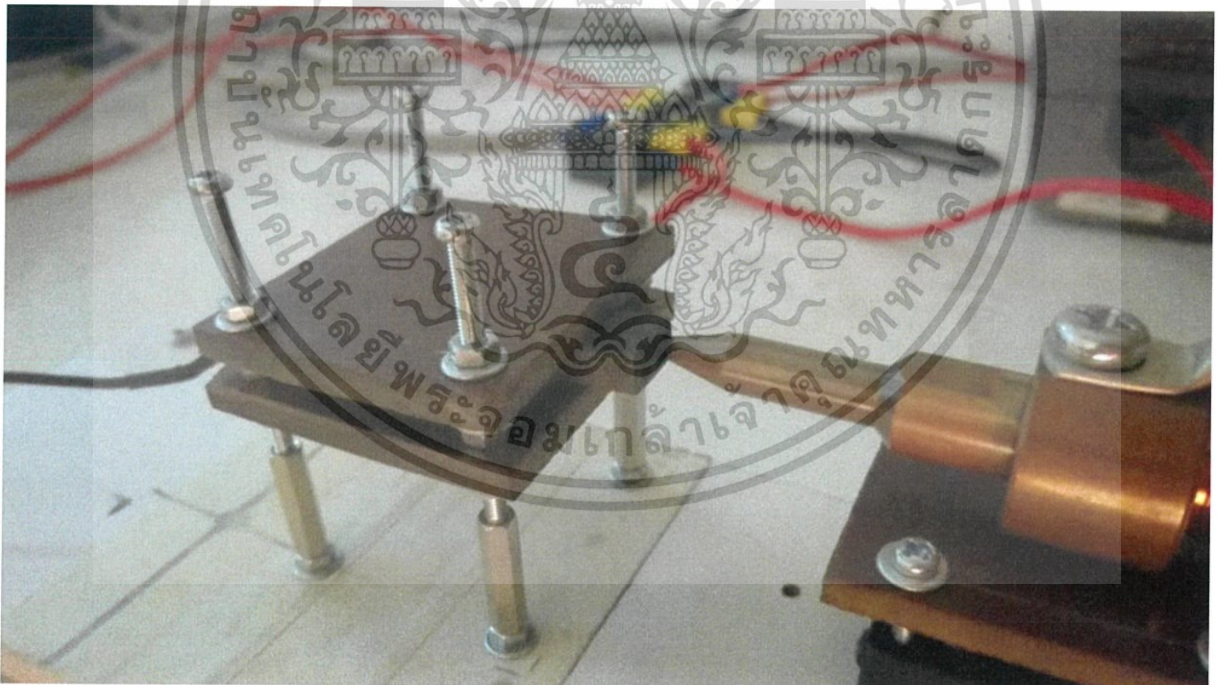
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.1 เครื่องจำลองขณะเกิดการอาร์ค



รูปที่ ค.2 อุปกรณ์จำลองการอาร์ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทความวิชาการ Low-Voltage Arc Fault Detector

ปริญญาลำโลัด และ พรทิพย์ ล้วนศรี

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

l.paryna@hotmail.com, Pohnthip_16@hotmail.co.th

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงการวิศวกรรมนี้นำเสนอการตรวจจับอาร์คฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันต่ำโดยอาศัยการวิเคราะห์รูปคลื่นของกระแสและแรงดันไฟฟ้า อาร์คเกิดจากการเบรกดาวน์ผ่านก๊าซหรือผ่านอากาศซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อหน้าสัมผัสทางไฟฟ้าแยกออกจากกันในขณะที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน อาร์คที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องสามารถทำให้เกิดไฟไหม้และนำมาซึ่งความเสียหายแก่ชีวิตและทรัพย์สิน การตรวจจับอาร์คฟอลต์อย่างแม่นยำจะช่วยป้องกันความสูญเสียเหล่านี้ได้ โครงการนี้ได้ทำการสร้างเครื่องต้นแบบเพื่อจำลองการเกิดอาร์คแบบอนุกรมในวงจรไฟฟ้าและวิเคราะห์รูปคลื่นของกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะการเกิดอาร์คและสภาวะที่ไม่เกิดการอาร์ค สำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่างๆเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการแยกแยะระหว่างสภาวะอาร์คและสภาวะปกติ โดยผลจากการวิเคราะห์พบว่าอาร์คแบบอนุกรมสามารถเกิดขึ้นได้แม้กำลังไฟฟ้าของโหลดในระดับหลายสิบลวัตต์และพบความไม่ต่อเนื่องของกระแสไฟฟ้าที่เป็นเชิงคาบเนื่องจากการติดดับของอาร์คตามความถี่ระบบไฟฟ้า

Abstract

This engineering project present low-voltage AC arc fault detection by analyzing current and voltage waveforms. Arc is the breakdown through air or gas when the electrical contacts are separated during current conducting. Continuing arcing can cause fire that could result in life and property losses. These losses can be prevented by accurate detection of the arc fault. In this project, arc fault simulator circuit is constructed for series arc fault study in the low-voltage AC circuit. The waveforms of the current and voltage are analyzed to find the parameters that can be used to discriminate between arc fault and normal conditions for various types of load. It is found that the series arc fault can occur for load as low as a few ten Watts load. The periodic discontinuities of the load currents are observed when arc is ignited and extinguished at power system frequency.

1. บทนำ

สาเหตุในการเกิดเพลิงไหม้อาจเกิดได้จากหลายสาเหตุโดยส่วนใหญ่จะสรุปว่าเกิดจากไฟฟ้าลัดวงจรซึ่งกระแสไฟฟ้าลัดวงจร คือ การที่จุด 2 จุด ในวงจรไฟฟ้าหรือส่วนของวงจรไฟฟ้าซึ่งมีศักดาไฟฟ้าต่างกัน (มีแรงดันไฟฟ้าต่างกัน) มาแตะหรือสัมผัสกัน หรือมีตัวนำซึ่งมีความต้านทานต่ำๆ มาสัมผัสกันระหว่าง 2 จุดนั้นทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลระหว่าง 2 จุด นั้นจำนวนมาก (เกิดการถ่ายเทพลังงานกัน) เรียกว่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรหรือเกิดไฟฟ้าลัดวงจร แต่ก็มีอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้บ่อยครั้งโดยไม่ได้คาดการณ์ไว้ เช่น อาร์คทางไฟฟ้าเป็นสภาวะที่เกิดขึ้นได้เป็นปกติในวงจรไฟฟ้าจำนวนมาก โดยส่วนใหญ่ของสภาวะเหล่านี้สามารถพิจารณาได้ว่าปลอดภัย หรือถูกควบคุมในสภาพแวดล้อมที่ออกแบบมาเพื่อให้ทำงานได้อย่างปลอดภัยและสามารถทนต่อการเกิดอาร์คดังกล่าวได้ การอาร์คถูกให้คำนิยามโดยมาตรฐาน UL1699 ว่าเป็น “การดิซชาร์จที่ส่องสว่างของไฟฟ้าที่ผ่านตัวกลางที่เป็นฉนวน ซึ่งโดยปกติจะมาพร้อมความเสียหายบางส่วนของขั้วไฟฟ้า” นอกจากนี้ UL ยังกำหนดอีกว่าอาร์คฟอลต์ “เป็นสภาวะการอาร์คที่ไม่ได้ตั้งใจให้เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้า” เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างนี้จากอุปกรณ์ที่การอาร์คเป็นส่วนหนึ่งของการทำงานในสภาวะปกติของตัวเอง อาร์คฟอลต์อนุกรมจะเกิดขึ้นเมื่อมีระยะห่างระหว่างสายไฟ เช่น สายไฟมีการชำรุด ซึ่งการป้องกันนั้นทำได้ยากเนื่องจากอาร์คฟอลต์อนุกรมนั้นจะอยู่ในรูปของฮาร์มอนิกส์ อีกทั้งเมื่อกระแสจากอาร์คฟอลต์อนุกรมเกิดขึ้น เซอร์กิตเบรกเกอร์จะไม่รับรู้ถึงความปกติ ทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่ตัดการทำงาน จึงต้องมีวิธีการห้โหลดรูปแบบต่างๆเทียบกับอาร์คฟอลต์อนุกรมที่เกิดขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงได้วิจัยพินิจนิพนธ์โดยจะวิเคราะห์โหลดที่อยู่อาศัยเนื่องจากหากเราหลับอยู่แล้วเกิดอาร์คฟอลต์อนุกรมอย่างรุนแรง จะเกิดเพลิงไหม้แล้วผู้ที่หลับอยู่อาจเกิดอันตรายได้ ดังนั้นอุปกรณ์ตรวจจับอาร์คฟอลต์จึงสามารถช่วยลดความเสียหายเกี่ยวกับเพลิงไหม้ได้

2. ทฤษฎี

การเกิดอาร์คเป็นปรากฏการณ์ที่เราเรารู้กันดีว่าสามารถอธิบายรูปแบบส่วนใหญ่ของอาร์คได้โดย Paschen 's Law สองปัจจัยที่สำคัญที่สุดของ Paschen 's Law ที่มีความเกี่ยวข้องกับการเบรกดาวน์ในการเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาร์คนั้นคือ แรงดันของก๊าซและระยะห่างของ gap ระหว่างขั้วไฟฟ้า บ้างก็กฎของ Paschen นี้ใช้ได้กับสภาพแวดล้อมที่ได้รับการควบคุมเท่านั้น ในสิ่งแวดล้อมที่เป็นไฟฟ้าสลับ โดยทั่วไปนั้นได้รับการพิสูจน์ออกมาแล้วว่าแตกต่างจากการวิเคราะห์ตามกฎของ Paschen อย่างมาก สิ่งแวดล้อมอื่นเช่น อุณหภูมิ ความชื้น และสภาพของขั้วไฟฟ้านั้นก็แสดงให้เห็นว่า มีผลต่อการเกิดอาร์คฟลัดด้วยเช่นกัน

$$V_B = \frac{B pd}{\ln(A pd) - \ln\left(\ln\left(1 + \frac{1}{\gamma_{se}}\right)\right)} \dots (1)$$

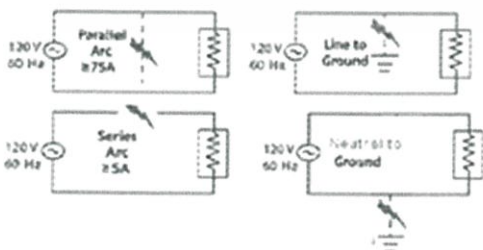
สภาวะการอาร์คสามารถนำไปสู่การเกิดไฟไหม้ได้จากการเผาไหม้ของวัสดุที่ติดไฟได้ พลังงานจากการอาร์คนี้สามารถทำให้ฉนวนที่หุ้มสายไฟเสื่อมสภาพและไหม้ได้แล้วยังก่อให้เกิดก๊าซที่ติดไฟได้ซึ่งจะก่อให้เกิดการเผาไหม้

3. สภาวะที่ทำให้เกิดการอาร์ค

อาร์คฟลัดเกิดขึ้นโดยไม่ได้มีเจตนาซึ่งเกิดจาก ความร้อน สามารถที่จะจุดชนวนได้ง่ายจากสภาวะ โดยรอบ อาร์คเกิดได้บ่อยโดยมองไม่เห็น และสามารถเกิดได้หลายสาเหตุ เช่น กรอบไม้กดทับสายไฟ สายต่อพ่วง ปลั๊กไฟ หรือหนูกัดแทะสายไฟ การตอกตะปู การเจาะผนังโดยใช้สกรู แล้วทะลุผนัง

4. ชนิดของอาร์คฟลัดในวงจรภายในที่อยู่อาศัย

อาร์คฟลัดในวงจรย่อยสามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือแบบอนุกรมและแบบขนาน อาร์คอนุกรมจะเกิดขึ้นจากอาร์คของสายตัวนำ ส่วนอาร์คขนานจะเกิดระหว่างสายตัวนำสองเส้น อย่างไรก็ตาม พฤติกรรมของทั้งสองรูปแบบนี้ก็สามารถอธิบายด้วยสมการเดียวกันแต่แตกต่างกันที่ขนาดของกระแสขณะเกิดอาร์ค อาร์คแบบอนุกรมกระแสจะขึ้นอยู่กับโหลด ส่วนอาร์คแบบขนานกระแสจะขึ้นอยู่กับขนาดของแหล่งจ่ายไม่ใช่โหลด



รูปที่ 1. อาร์คฟลัดแบบอนุกรมและแบบขนานในวงจรภายในที่อยู่อาศัย

ปริมาณกระแสที่ไหลผ่านวงจรเพียงพอที่จะแยกความแตกต่าง

พฤติกรรมของอาร์คทั้ง 2 ประเภท ซึ่งจะช่วยให้เราสามารถทดสอบอาร์คการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

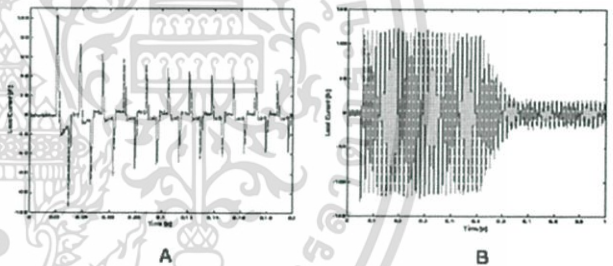
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้ง 2 ประเภทให้แยกจากกันได้อย่างชัดเจน อาร์คแบบขนานมีขนาดของกระแสประมาณ 75 A ซึ่งจะนำกระแสทั้งหมดมาจากฝั่งแหล่งจ่ายแต่ละถูกจำกัดกระแสไว้ด้วยขนาดอิมพีแดนซ์ของสายตัวนำของคัพประกอบในวงจรย่อยนั้นๆ เท่านั้นเอง นอกจากนี้ก็ยังคงคำนึงถึงค่าของอิมพีแดนซ์ที่เพิ่มขึ้นจาก thermal magnetic breaker ที่ถูกออกแบบให้ป้องกันวงจรที่ระดับกระแส 15-30 A ด้วย ส่วนอาร์คแบบอนุกรมจะนำกระแสตามปกติ ซึ่งจะถูกจำกัดด้วยกระแสอิมพีแดนซ์ของสายและโหลดที่ต่อกับวงจรย่อยนั้น นอกจากนี้อาร์คฟลัดที่ไหลจากสายตัวนำไปยังกราวด์ก็จะถูกพิจารณาให้เป็นอาร์คแบบขนาน

5. อาร์คที่ไม่เป็นอันตราย

ความสามารถของอุปกรณ์ในการตรวจจับ อาร์คฟลัดแบบอนุกรมยังคงต้องการความสามารถที่จะแยกแยะอาร์คฟลัดจริงๆ กับ false positive ซึ่งมาจากการทำงานตามปกติของวงจรย่อย โดยทั่วไปโหลดภายในบ้านสามารถสร้าง broadband noise ที่สัมพันธ์กับความถี่ 60 Hz และมีกระแสเพียงพอที่จะตรงกับสภาวะที่ได้กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดและมันก็ยังไม่เป็นอันตรายต่อวงจร เช่น

1.4.1 หลอดไฟและสวิตช์รีไฟ



รูปที่ 2. รูปคลื่นกระแสของ (A) สวิตช์รีไฟ และ (B) Air Compressor

ในกรณีของหลอดรีไฟที่ทำให้กระแสพุ่ง (รูปที่ 2. A.) อุปกรณ์ AFCI พิจารณาในช่วงสองสามครั้งคลื่นแรกเนื่องจากมันตรงกับภาระช่วงที่ดับปลั๊กและมีขนาดกระแสตรงกับที่กำหนดเมื่อกระแสลดต่ำกว่า 75 A เหตุการณ์ครั้งคลื่นเหล่านี้จะไม่ถูกพิจารณาว่าเกี่ยวข้องกับการอาร์คแบบขนาน ในกรณีของอาร์คฟลัดที่กระแสอดสูงประมาณ 100 A ต้องเป็นเหตุการณ์ที่มีระยะเวลาอย่างต่ำ 5 ครั้งคลื่นจึงจะจัดว่าเป็นอาร์คฟลัด โดยธรรมชาติพฤติกรรมแบบนี้ สัญญาณรบกวนแถบความถี่กว้างจึงไม่ถูกใช้เป็นตัวจำแนกไปทั้งหมด

6. เอกสารอ้างอิง

[1] [1] USFA .2006. On the Safety Circuit: A Factsheet on Home Electrical Fire Prevention. United States Fire Administration
 [2] Healthy Home Issues: Injury Hazards, U.S. Department of Housing and Urban Development, version 3, March 2006

[3] NEPA 70 Report on Comments NEC 2005, and NFPA 70 Report on Proposals NEC 2005 May 2004. National Electric Code (NEC),2005.

[4] National Electric Code(NEC),2005.

[5] P.G. Slade, Electrical Contacts, Marcel Dekker, New York, NY, 1999,pages 438-445.

[6] J. Slepain and R. C. Marson, “ The Experimental Validity of Paschen’s Law and of a Similar Relation for the Reignition Potential of an Alternating Current Arc” Journal of Applied Physics Vol. 8, Issue 9, pp.619-621,Sept.1937.

[7] J. Shea, ”Conditions for Series Arcing Phenomena in PVC Wiring.” Proceeding of the 51 st Holm Conference of Electrical Contacts, pp.167-175,Sept.2005.

[8] 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.

[9] UL Standard for Safety for Arc Fault Circuit Interrupters, UL 1699, 2nd Edition. April 7 2006.

[10] R. Dollar and W. Strickland,” Circuit interrupter including an electric arc monitoring circuit,” United States Patent,5,706,Jan.6,1998.

[11] C. Restrepo, Arc Fault Detection and Discrimination Methods. The 53rd IEEE Holm Conference On Electrical Contacts., Pittsburgh, September 2007.

[12] Equanalysis UG, Paschen’s Law. สืบค้นจาก <http://www.fxsolver.com/browse/formulas/Paschen's+Law>

[13] Understanding the 2014 National Electrical Code® for AFCI Protection, 20 ค.ศ. 2015. AFCI Educational Video. สืบค้นจาก <https://www.youtube.com/watch?v=1Z5-U-A4frU>

[14] เซฟ ที คัท โกลด์, อันตรายจาก ไฟลัดวงจร. สืบค้นจาก http://safecutgold.com/knowledge/knowledge_p14.html

[15] anaum test & Measurement. Hioki 3280-20: AC Current Clamp Meter (True RMS). สืบค้นจาก <http://www.anaum.ae/product-p/hk3280-20.htm>

[16] KOMECO, LCR METER. สืบค้นจาก http://www.komeco.net/bbs/board.php?bo_table=equipment&wr_id=20&page=.16

[17] KEYSIGHT TECHNOLOGIES. 33120A Function / Arbitrary Waveform Generator, 15 MHz. สืบค้นจาก <http://www.keysight.com/en/pd1000001289%3Aeps%3Apro/function-arbitrary-waveform-generator-15-mhz?cc=TH&lc=eng>



เกี่ยวกับผู้เขียน

นายปริญญา ถ้าโคสัด ชื่อเล่น ต้น
สำเร็จชั้นมัธยมศึกษาปีที่6 โรงเรียนศึกษานารีวิทยา
ระดับปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เกี่ยวกับผู้เขียน

นางสาวพรทิพย์ ถ้วนศรี ชื่อเล่น บิว
สำเร็จชั้นมัธยมศึกษาปีที่6 โรงเรียนพศัฒมภูมิวิทวิทยา
ระดับปริญญาตรีสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นาย ปริญญา ลำไคลัด วัน/เดือน/ปีเกิด 27 ธันวาคม 2537

ที่อยู่ 20/1 ซ.เอกชัย101 ถ.เอกชัย แขวงบางบอน เขตบางบอน กทม. 10150

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนศึกษานารีวิทยา

E-mail: l.parinya@hotmail.com

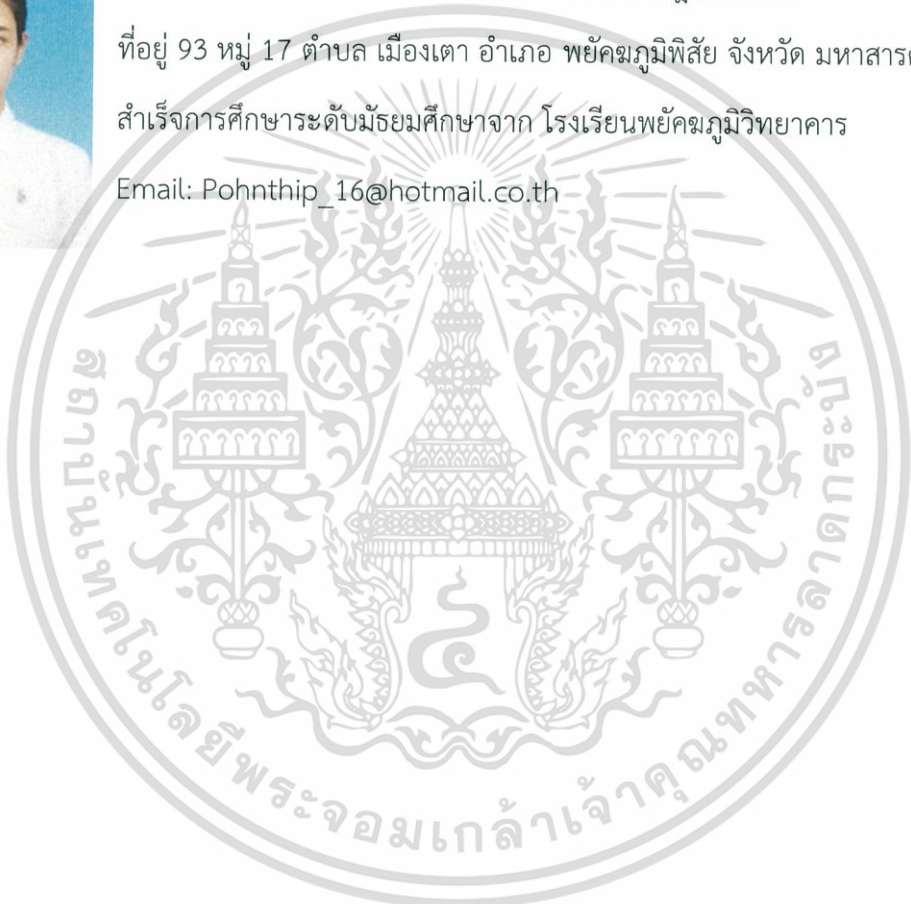


นางสาว พรทิพย์ ล้วนศรี วัน/เดือน/ปีเกิด 15 กรกฎาคม 2537

ที่อยู่ 93 หมู่ 17 ตำบล เมืองเตา อำเภอ พัคคภูมิพิสัย จังหวัด มหาสารคาม 44110

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนพัคคภูมิพิสัยวิทยา

Email: Pohnthip_16@hotmail.co.th



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้