สารบัญ

	หน้า
บทสรุปผู้บริหาร	**ก**
กิตติกรรมประกาศ	**ข**
บทคัดย่อภาษาไทย	**ค**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	**ง**
สารบัญ	**จ**
สารบัญตาราง	**ช**
สารบัญภาพ	**ซ**
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตการดำเนินงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**3**
2.1 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 ลักษณะการถูกไฟฟ้าดูด	4
2.3 ลักษณะการสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้า	5
2.4 ระดับความรุนแรงของการเกิดกระแสไฟฟ้าดูด	6
2.5 หม้อแปลงจำหน่าย	8
2.6 ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า	9
2.7 การวัดกระแสไฟฟ้ารั่ว	12
2.8 การประมวลผลสัญญาณดิจิตอล (Digital Signal Processing)	14
2.9 การคำนวณทางดิจิตอล	15
2.7 การกระแสไฟฟ้ารั่วด้วยถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย	15
2.8 การกระแสไฟฟ้ารั่วด้วยโพลิโนเมียลที่มีตัวแปรอิสระ 1 ตัวแปร	15

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย **16**

3.1 การออกแบบชุดวัดกระแส 17

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย 22

3.3 วิธีการทดลอง 22

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล **30**

4.1 ผลการทดลองใช้เครื่องวัดกระแสรั่วที่สร้างขึ้นวัดกระแสในห้องปฏิบัติการ 31

4.2 ผลการทดสอบวัดกระแสรั่วลงดินของเครื่องที่สร้างขึ้นที่หม้อแปลงจำหน่าย 36

4.3 ผลของระบบแจ้งเตือนภัยรายงานการวัดกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินไร้สายแบบเวลาจริง 40

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ **41**

5.1 สรุปผลงานวิจัย 41

5.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ 42

เอกสารอ้างอิง **43**

ภาคผนวก **44**

ก คุณสมบัติของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Unicon 45

ข การสื่อสารแบบไร้สายด้วย XBee 48

ค โปรแกรมภาษาซีของไมโครคอนโทรลเลอร์ Unicon 54

ง การใช้งานเครื่องวัดกระแสไฟฟ้ารั่ว 59

ประวัติผู้วิจัย **63**

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	โซนอันตรายจากกระแสไฟฟ้าที่มีต่อคน	6
2.2	ความสัมพันธ์ของเวลาและกระแสที่ยังไม่เป็นอันตรายถึงชีวิตตามมาตรฐาน IEEE 80 – 2000	7
3.1	ผลการทดลองความสัมพันธ์กระแสไฟฟ้ารั่วกับแรงดันเอาต์พุต	24
3.2	เกณฑ์ในแบ่งระดับความรุนแรงการเตือนกระแสไฟฟ้ารั่ว	28
4.1	ผลการสอบเทียบเครื่องวัดกระแสรั่วกับเครื่องมือวัดดิจิตอลมาตรฐาน	32
4.2	ผลการทดสอบเปรียบเทียบระดับกระแสรั่วลงสายดินของหม้อแปลงจำหน่าย	37

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายลงดิน	4
2.2	การสัมผัสไฟฟ้าโดยตรง	5
2.3	การสัมผัสไฟฟ้าโดยอ้อม	6
2.4	กราฟกระแสและเวลาที่กระแสไหลผ่านร่างกายคนที่ยอมรับได้ตาม IEC 479-1	7
2.5	หม้อแปลงจำหน่าย	8
2.6	ลักษณะรูปร่างลูกถ้วยก้านตรง	9
2.7	ลักษณะรูปร่างลูกถ้วยแขวน	10
2.8	ลักษณะรูปร่างลูกถ้วยฟอกไทพ์	10
2.9	ลักษณะรูปร่างลูกถ้วยโพสท์ไทพ์	11
2.10	ลักษณะรูปร่างลูกถ้วยสำหรับสายยึดโยง	11
2.11	ลักษณะรูปร่างลูกถ้วยลูกรอก	12
2.12	วงจรอินทิเกรเตอร์	14
3.1	แผงผังงานวิจัย	16
3.2	ระบบเตือนภัยอันตรายจากกระแสไฟฟ้ารั่วบริเวณหม้อแปลง	17
3.3	ขดลวดวัดกระแสที่ออกแบบ	18
3.4	ขดลวดวัดกระแสที่สร้างขึ้น	18
3.5	วงจรอินทิเกรเตอร์ที่ออกแบบ	19
3.6	ผลการจำลองการทำงานวงจรอินทิเกรเตอร์ที่ความถี่ 50 Hz	19
3.7	วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ออกแบบ	20
3.8	ผลการจำลองการทำงานวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	20
3.9	วงจรขยายแบบกลับเฟสและการออกแบบวงจรปรับยกระดับแรงดัน	21
3.10	ผลการจำลองวงจรขยายแบบกลับเฟสและวงจรปรับยกระดับแรงดัน	21
3.11	ชุดวัดกระแสไฟฟ้ารั่วที่สร้างขึ้น	22
3.12	ไดอะแกรมของระบบทดลองเก็บข้อมูลกระแสไฟฟ้ารั่วกับแรงดันเอาต์พุต	23
3.13	สัญญาณกระแสของชุดวัดกระแสที่สร้างขึ้นเมื่อเทียบกับสัญญาณแรงดันเอาต์พุต	23
3.14	ความสัมพันธ์ค่ากระแส (1 mA – 20 mA) กับแรงดันเอาต์พุต	26

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.15	ความสัมพันธ์ค่ากระแส (20 mA – 200 mA) กับแรงดันเอาต์พุต	26
3.16	ไดอะแกรมของระบบแจ้งเตือนภัยจากกระแสไฟฟ้ารั่ว	28
3.17	ชุดส่งรายงานปริมาณและระดับกระแสไฟฟ้ารั่วแบบไร้สายด้วย XBEE	29
3.19	ชุดรับรายงานผลกระแสไฟฟ้ารั่วแบบไร้สายด้วย XBEE	30
4.1	ไดอะแกรมสอบเทียบเครื่องวัดกระแสรั่วที่สร้างขึ้น	31
4.2	การสอบเทียบเครื่องวัดกระแสรั่วที่สร้างขึ้นในห้องปฏิบัติการ	32
4.3	ผลการทดสอบของเครื่องวัดที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัดมาตรฐานย่านวัด 1 mA-20 mA	34
4.4	ผลการทดสอบของเครื่องวัดที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัดมาตรฐานย่านวัด 20 mA-200 mA	35
4.5	ผลการทดสอบความผิดพลาดของเครื่องมือวัดกระแสรั่วที่สร้างขึ้นในห้องปฏิบัติการ	35
4.6	ทดสอบวัดกระแสรั่วลงดินของเครื่องที่สร้างขึ้นที่หม้อแปลงจำหน่าย	36
4.7	ผลการวัดกระแสรั่วลงดินของเครื่องที่สร้างขึ้นเทียบกับเครื่องมาตรฐานที่หม้อแปลงจำหน่าย	39
4.8	ค่าผิดพลาดของเครื่องวัดกระแสรั่วที่สร้างขึ้น	39
ก.1	บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Unicon	45
ก.2	ส่วนประกอบของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Unicon	46
ก.3	วงจรและจุดต่อต่างๆของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Unicon	46
ข.1	ลักษณะเส้นทางการทำงานของ ZigBee	49
ข.2	รูปแบบเครือข่ายการทำงานของ ZigBee	49
ข.3	XBee ที่ใช้ในงานวิจัยและการวางตำแหน่งขา	50
ข.4	โปรแกรม X-CTU การกำหนดให้ XBee เป็น Coordinator	50
ข.5	โปรแกรม X-CTU ในการกำหนดให้ XBee เป็น End Device	51
ง.1	เครื่องวัดกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินที่สร้างขึ้น	54
ง.2	การต่อชุดขดลวดวัดกระแสเข้ากับเครื่องวัดกระแสรั่ว	55
ง.3	แสดงผลที่จอแสดงผล GLCD บอกปริมาณกระแสรั่วและระดับความรุนแรง	55
ง.4	เครื่องรับการวัดกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินที่สร้างขึ้น	56