

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
ABSTRACT	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 สาระสำคัญของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1
1.3 วัตถุประสงค์	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา	4
1.5 ขอบเขตงานวิจัย	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ชนิด วัฏจักร และการตรวจสอบสมรรถนะทางกลของเครื่องอัดอากาศ	5
2.2 วิธีตรวจสอบตัวประกอบกำลังทางไฟฟ้าและการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า	11
2.3 เทคโนโลยีระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System)	13
2.4 หลักการทั่วไปของเครื่องมือวัดค่าไฟฟ้ากระแสสลับ	16
2.5 เทคนิคการปรับเทียบค่าเครื่องมือวัดด้วยวิธีซีโร่และสแปน (Zero Span)	20
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	22
3.1 การสร้างระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าผ่านอินเทอร์เน็ต สำหรับเครื่องอัดอากาศแบบ 3 เฟส	23
3.2 การปรับเทียบและสอบเทียบค่าทางไฟฟ้าจากระบบที่สร้างขึ้น กับเครื่องมือวัดตัวอื่น	36
3.3 การจำลองสภาพพุดตันของตัวกรองอากาศที่มีผลต่อ การใช้กำลังไฟฟ้า	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การติดตั้งและทดสอบระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าผ่านอินเทอร์เน็ตกับเครื่องอัดอากาศ	45
บทที่ 4 ผลดำเนินงานและการวิเคราะห์	49
4.1 ผลการสร้างระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าผ่านอินเทอร์เน็ตสำหรับเครื่องอัดอากาศแบบ 3 เฟส	49
4.2 ผลการจำลองสภาพอุดตันของตัวกรองอากาศที่มีผลต่อการใช้กำลังไฟฟ้า	53
4.3 ผลการติดตั้งและทดสอบระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าผ่านอินเทอร์เน็ตกับเครื่องอัดอากาศ	54
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการศึกษา	65
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการทำวิจัยต่อเนื่อง	66
เอกสารอ้างอิง	68
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ลักษณะและขั้นตอนการสื่อสารแบบไอทูลี	70
ภาคผนวก ข การปรับเทียบด้วยเทคนิคซีโรและสเปน	75
ภาคผนวก ค ตัวอย่างการคำนวณวิธีประเมินความไม่แน่นอน	82
ภาคผนวก ง รายละเอียดการสร้างระบบและหน้าต่างแสดงผล	85
ภาคผนวก จ ค่าทางไฟฟ้าในการจำลองสภาพอุดตันของตัวกรองอากาศ	97
ภาคผนวก ฉ การคำนวณสัดส่วนร้อยละต่อพื้นที่ในการปิดช่องลม	101
ประวัติผู้เขียน	107

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ค่ากระแสทั้ง 3 เฟส จากการคำนวณด้วยเทคนิคซีโรและสแปนเมื่อกำหนด โหลดอ้างอิงขนาด 2.35 กิโลวัตต์ และโหลดไม่ทราบค่าขนาด 0.85 กิโลวัตต์	38
ตารางที่ 3.2 ค่ากระแสทั้ง 3 เฟส จากการคำนวณด้วยเทคนิคซีโรและสแปนเมื่อกำหนด โหลดอ้างอิงขนาด 0.85 กิโลวัตต์ และโหลดไม่ทราบค่าขนาด 2.35 กิโลวัตต์	39
ตารางที่ 3.3 ค่าแรงดันทั้ง 3 เฟส จากการคำนวณด้วยเทคนิคซีโรและสแปนเมื่อกำหนด โหลดอ้างอิงขนาด 2.35 กิโลวัตต์ และโหลดไม่ทราบค่าขนาด 0.85 กิโลวัตต์	39
ตารางที่ 3.4 ผลการสอบเทียบระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าที่สร้างกับอุปกรณ์มาตรฐาน	40
ตารางที่ 4.1 ค่าทางไฟฟ้าจากฐานข้อมูลของวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2556 เวลา 13.11 น.	50
ตารางที่ 4.2 ระยะเลื่อนแผ่นวัดคูปิดช่องลมที่ส่งผลต่อค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์	53
ตารางที่ 4.3 ค่าการใช้กำลังไฟฟ้าเมื่อปิดช่องลม 0 ถึง 30 มิลลิเมตร	56
ตารางที่ 4.4 ค่าการใช้กำลังไฟฟ้าเมื่อปิดช่องลม 40 ถึง 80 มิลลิเมตร	58
ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการใช้พลังงานเมื่อกรองอากาศสภาพปกติ	62
ตารางที่ 4.6 การแจ้งเตือนค่าทางไฟฟ้าที่ผิดปกติของหน้าต่างตารางแสดงผล	63
ตารางที่ ข.1 ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน ทุก 15 วินาที เมื่อเปิดมอเตอร์ 2 ตัว	76
ตารางที่ ข.2 ค่าเฉลี่ยข้อมูลในรีจิสเตอร์กระแสไฟฟ้า ทุก 7 วินาที เมื่อเปิดมอเตอร์ 2 ตัว	76
ตารางที่ ข.3 ค่าเฉลี่ยข้อมูลในรีจิสเตอร์กระแสไฟฟ้า ทุก 7 วินาที เมื่อเปิดมอเตอร์ 1 ตัว	77
ตารางที่ ข.4 ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าจากเครื่องมือวัดมาตรฐานทุก 15 วินาที เมื่อเปิดมอเตอร์ 1 ตัว	79
ตารางที่ ข.5 ค่ากระแสจากการคำนวณด้วยเทคนิคซีโรและสแปน เทียบกับค่าจาก Data Logger เมื่อโหลดอ้างอิงขนาด 2.35 กิโลวัตต์ และโหลดไม่ทราบค่าขนาด 0.85 กิโลวัตต์	79
ตารางที่ ข.6 ค่ากระแสจากการคำนวณด้วยเทคนิคซีโรและสแปน เทียบกับค่าจาก Data Logger เมื่อโหลดอ้างอิงขนาด 0.85 กิโลวัตต์ และโหลดไม่ทราบค่าขนาด 2.35 กิโลวัตต์	80
ตารางที่ ข.7 ข้อมูลในการปรับค่าแรงดันไฟฟ้า เมื่อใช้โหลดมอเตอร์ขนาด 0.85 กิโลวัตต์	80
ตารางที่ ข.8 ข้อมูลในการปรับค่าแรงดันไฟฟ้า เมื่อใช้โหลดมอเตอร์ขนาด 2.35 กิโลวัตต์	81
ตารางที่ ข.9 ค่าแรงดันจากการคำนวณด้วยเทคนิคซีโรและสแปน เทียบกับค่าจาก Data Logger เมื่อโหลดอ้างอิงขนาด 2.35 กิโลวัตต์ และโหลดไม่ทราบค่าขนาด 0.85 กิโลวัตต์	81

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 กราฟแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าในสภาวะมีภาระและปลดภาระ	6
รูปที่ 2.2 วัฏจักรการทำงานของเครื่องแบบอัดอากาศเชิงปริมาตร	6
รูปที่ 2.3 กราฟ P-V Diagram ของวัฏจักรการทำงานแบบอัดอากาศเชิงปริมาตร	7
รูปที่ 2.4 ความแตกต่างของความดันอากาศภายในและภายนอกห้องอัดอากาศกรณีตัวกรองอุดตัน	7
รูปที่ 2.5 กราฟ P-V Diagram ของวัฏจักรการทำงานเมื่อกรองอากาศอุดตัน	8
รูปที่ 2.6 กราฟกำลังไฟฟ้าในช่วงมีโหลดและไม่มีโหลด เมื่อสภาพกรองอากาศปกติ และอุดตัน	9
รูปที่ 2.7 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า	12
รูปที่ 2.8 ลักษณะและจุดเชื่อมต่ออุปกรณ์ของบอร์ด Raspberry-Pi	14
รูปที่ 2.9 โครงสร้างการทำงานของฐานข้อมูลกับตัวบริการเว็บ	15
รูปที่ 2.10 ความสับสนย้อนกลับได้ของเครื่องมือวัด	16
รูปที่ 2.11 กราฟการแจกแจงแบบปกติ	17
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของขั้นตอนการสร้างระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า	23
รูปที่ 3.2 ลักษณะของบอร์ด EVAL-ADE7878	24
รูปที่ 3.3 เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้ายี่ห้อ Talemia รุ่น AC1040	25
รูปที่ 3.4 ขนาดกระแสขาเข้าต่อแรงดันเอาต์พุตของเซนเซอร์วัดกระแส	26
รูปที่ 3.5 วงจรแบ่งแรงดันและวงจรกรองสัญญาณบนบอร์ด EVAL-ADE7878	26
รูปที่ 3.6 ลักษณะของบอร์ด ET-Base AVR Easy32U4	27
รูปที่ 3.7 ลักษณะของบอร์ด MiniPCF8583	28
รูปที่ 3.8 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ของส่วนวัดค่าทางไฟฟ้า	29
รูปที่ 3.9 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ระหว่างส่วนวัดค่าทางไฟฟ้าและส่วนตัวบริการเว็บ	29
รูปที่ 3.10 การประกอบอุปกรณ์ลงกล่องพลาสติกด้านใน	30
รูปที่ 3.11 ลักษณะจุดเชื่อมต่อบริเวณด้านนอกกล่องพลาสติก	30
รูปที่ 3.12 รูปแบบการส่งค่าระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และบอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์	31
รูปที่ 3.13 กราฟหาวันที่ที่เหมาะสมของรอบในการส่งข้อมูล	32
รูปที่ 3.14 ลำดับการทำงานแต่ละโปรแกรมของส่วนตัวบริการเว็บ	33

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.15 แผนภาพการทำงานของโปรแกรม minicom	34
รูปที่ 3.16 แผนภาพการทำงานของโปรแกรม import.php	35
รูปที่ 3.17 ชุดทดสอบในการปรับค่าเทียบค่าทางไฟฟ้าของระบบ	36
รูปที่ 3.18 เครื่องมือวัดตัวอื่นที่ใช้ปรับเทียบค่าทางไฟฟ้าของระบบ	37
รูปที่ 3.19 การติดตั้งระบบตรวจวัดพลังงานที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน	37
รูปที่ 3.20 ลักษณะของชุดกรองอากาศเมื่อประกอบกับมอเตอร์โบลเวอร์	43
รูปที่ 3.21 เครื่องวัดความเร็วรอบมอเตอร์	44
รูปที่ 3.22 มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้า และมิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้า	44
รูปที่ 3.23 การทดลองสภาพอุดตันของตัวกรองอากาศที่มีผลต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้า	45
รูปที่ 3.24 เครื่องอัดอากาศชนิดสกรูยี่ห้อ Ingersoll Rand รุ่น U18-8	45
รูปที่ 3.25 การติดตั้งเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าและสายรับสัญญาณของวงจรแบ่งแรงดัน	46
รูปที่ 3.26 ลักษณะการเชื่อมต่อสัญญาณอินเตอร์เน็ตให้กับระบบตรวจวัดพลังงาน	47
รูปที่ 4.1 กล่องระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าผ่านอินเตอร์เน็ตและจุดเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก	50
รูปที่ 4.2 แผนภาพลำดับการทำงานของหน้าต่างแสดงผล	51
รูปที่ 4.3 หน้าต่างกำลังไฟฟ้าของวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2556 โดยมีการแจ้งเตือนเนื่องจากโปรแกรมตรวจพบค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้อยู่ในช่วงผิดปกติ	52
รูปที่ 4.4 กราฟการใช้กำลังไฟฟ้าขณะเปิดมอเตอร์ต่อระยะในการเลื่อนแผ่นโลหะปิดช่องลม	53
รูปที่ 4.5 ลักษณะการนำแผ่นโลหะเลื่อนปิดช่องลมเข้าที่กล่องครอบตัวกรองอากาศ	54
รูปที่ 4.6 การใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเมื่อเลื่อนแผ่นโลหะปิดช่องลมครั้งละ 10 มิลลิเมตร เป็นสัดส่วนร้อยละตามลำดับของขนาดพื้นที่ช่องลมทั้งหมด	55
รูปที่ 4.7 กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเมื่อเลื่อนแผ่นโลหะปิดช่องลม 0 ถึง 30 มิลลิเมตร	56
รูปที่ 4.8 กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเมื่อเลื่อนแผ่นโลหะปิดช่องลม 40 ถึง 80 มิลลิเมตร	58
รูปที่ 4.9 ตัวอย่างกราฟการใช้กำลังไฟฟ้ากรณีที่ตัวกรองอยู่ในสภาพปกติ	60
รูปที่ 4.10 ขยายกราฟการใช้กำลังไฟฟ้าเมื่อตัวกรองปกติ ในช่วงเวลา 08.42 น. ถึง 08.56 น.	61
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าสะสมและค่าใช้จ่ายของวันที่ 24 มิถุนายน 2557	61

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.12 ตัวอย่างกราฟการใช้กำลังไฟฟ้ากรณีที่ตัวกรองอยู่ในสภาพอุดตัน	62
รูปที่ 4.13 ขยายกราฟการใช้กำลังไฟฟ้าเมื่อตัวกรองอุดตัน ในช่วงเวลา 09.25 น. ถึง 09.36 น.	63
รูปที่ ก.1 การสื่อสารเพื่ออ่านข้อมูลระหว่างบอร์ด ET-BaseAVR Easy32U4 และ ADE7878	71
รูปที่ ก.2 การสื่อสารเพื่ออ่านข้อมูลระหว่างบอร์ด ET-BaseAVR Easy32U4 และ MiniPCF8583	73
รูปที่ ง.1 กล้องระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าผ่านอินเทอร์เน็ตและจุดเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก	86
รูปที่ ง.2 การเชื่อมต่อสัญญาณไอทีซีในระบบ	87
รูปที่ ง.3 การเชื่อมต่อสัญญาณยูอาร์ทีในระบบ	88
รูปที่ ง.4 โปรแกรมฐานข้อมูลของระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า	89
รูปที่ ง.5 หน้าต่างหลักของโปรแกรมฐานข้อมูล	90
รูปที่ ง.6 การแสดงค่าต่างๆ ในโปรแกรมฐานข้อมูล	90
รูปที่ ง.7 หน้าต่าง view.php หรือหน้าต่างกำลังไฟฟ้า	92
รูปที่ ง.8 ลักษณะกราฟเมื่อขยายจุดช่วงเวลาที่ต้องการ	92
รูปที่ ง.9 หน้าต่าง view_ap.php หรือหน้าต่างพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยสะสม	93
รูปที่ ง.10 หน้าต่าง view_table.php หรือหน้าต่างตารางแสดงผลค่าทางไฟฟ้า	94
รูปที่ ง.11 หน้าต่าง setting.php หรือหน้าต่างตั้งค่า	94
รูปที่ ง.12 รายการตั้งค่า	94
รูปที่ ฉ.1 ลักษณะชุดกรองอากาศที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น	102
รูปที่ ฉ.2 ลักษณะการใช้แผ่นโลหะเลื่อนปิดช่องลมตามความยาวครึ่งละ 5 มิลลิเมตร	102
รูปที่ ฉ.3 ลักษณะชุดกรองที่ติดตั้งอยู่กับเครื่องอัดอากาศ	104
รูปที่ ฉ.4 ลักษณะการใช้แผ่นโลหะเลื่อนปิดช่องลมตามความยาวครึ่งละ 10 มิลลิเมตร	104
รูปที่ ฉ.5 พื้นที่วงกลมที่หายไปเมื่อแผ่นโลหะตามแนวยาว	105
รูปที่ ฉ.6 มุมและพื้นที่ระหว่างโค้งวงกลม	105