สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูป ..... ฌ

บทที่

1. บทนำ 1

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3

1.3. ข้อตกลงเบื้องต้น 4

1.4. ขอบเขตของงานวิจัย 4

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

1.6. การจัดรูปเล่มรายงานวิจัยวิทยานิพนธ์ 5

2. ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7

2.1. บทนำ 7

2.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสถานีอัดประจุสำหรับการชาร์จยานยนต์ไฟฟ้า 7

2.3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ 10

2.4. สรุป 14

3. การตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 15

3.1. บทนำ 15

3.2. ระบบที่พิจารณา 15

3.2.1. เซลล์แสงอาทิตย์ 16

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.2. วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบลดทอนแรงดัน 22

3.2.3. แบตเตอร์รี่ 23

3.3. หลักการเบื้องต้นของการออกแบบสำหรับสถานีอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า 27

3.4. การตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการรบกวนและสังเกต 29

3.4.1. หลักการทำงานของวิธีการรบกวนและสังเกต 30

3.5. การตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการเพิ่มค่าความนำแบบคงค่าขั้นการเปลี่ยนแปลง 33

3.5.1. หลักการทำงานของวิธีการเพิ่มค่าความนำแบบคงค่าขั้นการเปลี่ยนแปลง 33

3.5.2. การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink 38

3.6. การเปรียบเทียบผลการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีต่างๆ 39

3.7. สรุป 44

4. การตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีเพิ่มค่าความนำแบบปรับตัว 45

4.1. บทนำ 45

4.2. การตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีเพิ่มค่าความนำแบบปรับตัว 45

4.2.1. หลักการออกแบบของวิธีเพิ่มค่าความนำแบบปรับตัว 46

4.2.2. การจำลองสถานการณ์ผ่านโปรแกรม MATLAB/Simulink 48

4.3. เปรียบเทียบการจำลงสถานการณ์ของวิธีเพิ่มค่าความนำแบบคงค่าขั้นการเปลี่ยนแปลงกับวิธีเพิ่มค่าความนำแบบปรับตัว 49

4.3.1. ผลการจำลองสถานการณ์ของวิธีเพิ่มค่าความนำแบบคงค่าขั้นการเปลี่ยนแปลง 49

4.3.2. ผลการจำลองสถานการณ์ของวิธีเพิ่มค่าความนำแบบปรับตัว 51

4.3.3. ผลการจำลองสถาณการณ์ของวิธีเพิ่มค่าความนำแบบทั่วไปเทียบกับวิธีเพิ่มค่าความนำแบบปรับตัว 53

4.4. สรุป 54

5. การสร้างชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ 40 W 55

5.1. บทนำ 55

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.2. การออกแบบชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ 40 W 55
5.2.1. เซลล์แสงอาทิตย์ พิกัด 40 W 57
5.2.2. วงจรตรวจวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า 58
5.2.3. วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบลดทอนแรงดัน 61
5.2.4. วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 62
5.2.5. วงจรแยกโดดสัญญาณ 62
5.2.6. วงจรชุดบอร์ดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ 63
5.2.7. เครื่องมือวัดแสงและอุณหภูมิ 65
5.3. ผลการจำลองสถานการณ์ 66
5.3.1. วิธีการเพิ่มค่าความนำแบบคงค่าขั้นการเปลี่ยนแปลงเทียบกับ
วิธีการรบกวนและสังเกต 68
5.3.2. การเลือกค่าขั้นการเปลี่ยนแปลงของวิธีการเพิ่มค่าความนำ
แบบคงค่าขั้นการเปลี่ยนแปลง 69
5.3.3. วิธีการเพิ่มค่าความนำแบบปรับตัวเทียบกับวิธีเพิ่มค่าความนำ
แบบคงค่าขั้นการเปลี่ยนแปลง 70
5.4. ผลการทดสอบจากชุดทดสอบพิกัด 40 W 71
5.4.1. วิธีการเพิ่มค่าความนำแบบคงค่าขั้นการเปลี่ยนแปลงเทียบกับ
วิธีการรบกวนและสังเกต 72
5.4.2. การเลือกค่าขั้นการเปลี่ยนแปลงของวิธีการเพิ่มค่าความนำ
แบบคงค่าขั้นการเปลี่ยนแปลง 73
5.4.3. วิธีการเพิ่มค่าความนำแบบปรับตัวเทียบกับวิธีเพิ่มค่าความนำ
แบบคงค่าขั้นการเปลี่ยนแปลง 74
5.5. สรุป 75

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6. การสร้างชุดต้นแบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดใช้งานกับสถานีอัดประจุแบบเร็วสำหรับการชาร์จยานยนต์ไฟฟ้า 76
6.1. บทนำ 76
6.2. การออกแบบชุดต้นแบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ 3 kW 76
6.2.1. เซลล์แสงอาทิตย์พิกัด 3 kW 77
6.2.2. วงจรตรวจวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า 78
6.2.3. วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบลดทอนแรงดัน 81
6.2.4. เบรกเกอร์และฟิวส์สำหรับไฟฟ้ากระแสตรง 82
6.2.5. วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 83
6.2.6. วงจรแยกโดดสัญญาณ 84
6.2.7. วงจรชุดบอร์ดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ 85
6.3. ผลการทดสอบ 86
6.4. สรุป 88
7. สรุปและข้อเสนอแนะ 89
7.1. สรุป 89
7.2. ข้อเสนอแนะ 91
รายการอ้างอิง 92
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. ชุดบล็อกไฟฟ้ากำลังและโค้ดการทำงานของการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink ที่พิกัด 40 W และ 3 kW 95
ภาคผนวก ข. โค้ดการทำงานของชุดทดสอบพิกัด 40 W และชุดต้นแบบพิกัด 3 kW 100
ภาคผนวก ค. การออกแบบและสร้างชุดต้นแบบ ด้วยโปรแกรม Altium Designer 113
ภาคผนวก ง. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่ในระหว่างการศึกษา 116
ประวัติผู้เขียน 138

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสถานีอัดประจุสำหรับการชาร์จยานยนต์ไฟฟ้า 8

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ 10

3.1 พารามิเตอร์แบตเตอรี่ Lithium titanate (LTO) model: EQ48V40Ah 25

3.2 พารามิเตอร์ชุดอัดประจุไฟฟ้า (Sirius capacitor module) 26

3.3 พารามิเตอร์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Bifacial solar cell (model: LR4-72HBD-43M) 27

3.4 พารามิเตอร์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Bifacial solar cell (model: LR4-72HBD-43M) จำนวน 6 แผง ปรับคูณจากค่าการสะท้อนที่ 20 % 29

3.5 ค่าพารามิเตอร์การจำลองสถานการณ์ด้วย MATLAB/Simulink 39

5.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในชุดทดสอบพิกัด 40 W 57

5.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ด้วย MATLAB/Simulink 40 W 66

6.1 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบลดทดอนแรงดัน 81

6.2 ผลการทดสอบวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบลดทดอนแรงดัน 82

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 สถานีอัดประจุแบบเร็วสำหรับการชาร์จยานยนต์ไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 2

1.2 โครงสร้างระบบควบคุมพลังงานของสถานีอัดประจุแบบเร็วสำหรับการชาร์จยานยนต์ไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 3

3.1 ระบบที่ทำการพิจารณา 16

3.2 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ 17

3.3 กราฟคุณลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ 19

3.4 กราฟคุณลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่ออุณหภูมิคงที่ ที่ 25°C และความเข้มของแสงมีการเปลี่ยนแปลง 20

3.5 กราฟคุณลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อความเข้มของแสงคงที่ ที่ 1000 W/m^2 และอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลง 21

3.6 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบลดทดอนแรงดัน 22

3.7 แบตเตอรี่ Lithium titanate (LTO) model: EQ48V40Ah 25

3.8 แบตเตอรี่ Lithium titanate (LTO) model: EQ48V40Ah 26

3.9 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า 3 Series box 2 parallel string 28

3.10 กราฟคุณลักษณะเฉพาะแรงดันไฟฟ้ากับกำลังไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ของวิธีการรบกวนและสังเกต 30

3.11 แผนภาพการทำงานของการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการรบกวนและสังเกต 32

3.12 กราฟคุณลักษณะเฉพาะแรงดันไฟฟ้ากับกำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ของวิธีการเพิ่มค่าความนำแบบคงค่าขั้นการเปลี่ยนแปลง 34

3.13 แผนภาพการทำงานของการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการเพิ่มค่าความนำแบบคงค่าขั้นการเปลี่ยนแปลง 37

3.14 การจำลองสถานการณ์ด้วย MATLAB/Simulink ของวิธีวิธีเพิ่มค่าความนำแบบคงค่าขั้นการเปลี่ยนแปลง 38

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.15 กราฟคุณลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ของการจำลองสถานการณ์ด้วย MATLAB/Simulink เมื่ออุณหภูมิคงที่ ที่ 25°C 40

3.16 ผลการจำลองสถาณการณ์การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่ค่า Δd = 0.05 ที่อุณหภูมิ 25°C (ก) แรงดันไฟฟ้า (ข) กระแสไฟฟ้า (ค) กำลังไฟฟ้า 41

3.17 ผลการจำลองสถาณการณ์การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่ค่า Δd = 0.03 ที่อุณหภูมิ 25°C (ก) แรงดันไฟฟ้า (ข) กระแสไฟฟ้า (ค) กำลังไฟฟ้า 42

3.18 ผลการจำลองสถาณการณ์การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่ค่า Δd = 0.01 ที่อุณหภูมิ 25°C (ก) แรงดันไฟฟ้า (ข) กระแสไฟฟ้า (ค) กำลังไฟฟ้า 43

4.1 แผนภาพการทำงานของการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการเพิ่มค่าความนำแบบปรับตัว 47

4.2 การจำลองสถานการณ์ด้วย MATLAB/Simulink ของวิธีวิธีการเพิ่มค่าความนำแบบปรับตัว 48

4.3 ผลการจำลองสถาณการณ์ของวิธีเพิ่มค่าความนำแบบคงค่าขั้นการเปลี่ยนแปลง ที่อุณหภูมิ 25°C (ก) แรงดันไฟฟ้า (ข) กระแสไฟฟ้า (ค) กำลังไฟฟ้า 50

4.4 ผลการจำลองสถาณการณ์ของวิธีเพิ่มค่าความนำแบบปรับตัว ที่อุณหภูมิ 25°C (ก) แรงดันไฟฟ้า (ข) กระแสไฟฟ้า (ค) กำลังไฟฟ้า 52

4.5 ผลการจำลองสถาณการณ์ของวิธีเพิ่มค่าความนำแบบคงค่าขั้นการเปลี่ยนแปลงเทียบกับวิธีเพิ่มค่าความนำแบบปรับตัว ที่อุณหภูมิ 25°C (ก) แรงดันไฟฟ้า (ข) กระแสไฟฟ้า (ค) กำลังไฟฟ้า 53

5.1 ชุดทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์พิกัด 40 W 56

5.2 ชุดตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 56

5.3 กราฟคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ชุดทดสอบ 40 W 40°C 58

5.4 การต่อใช้งานวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า 59

5.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า 60

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

5.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า 60

5.7 การต่อใช้งานวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบลดทอนแรงดัน 61

5.8 วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าต่อใช้งานร่วมกับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบลดทอนแรงดัน 62

5.9 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 63

5.10 การต่อใช้งานวงจรแยกโดดสัญญาณ 63

5.11 วงจรชุดบอร์ดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรแยกโดดสัญญาณ 63

5.12 เครื่องมือวัดแสงและอุณหภูมิ 65

5.13 การจำลองสถานการณ์ด้วย MATLAB/Simulink ของชุดทดสอบพิกัด 40 W 66

5.14 กราฟคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ (ก) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า (ข) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกำลังไฟฟ้า 67

5.15 ผลการจำลองสถาณการณ์การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดเปรียบเทียบระหว่างวิธีการเพิ่มค่าความนำแบบคงค่าขั้นการเปลี่ยนแปลงเทียบกับวิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 1000 W/m^2 ที่อุณหภูมิ 25^{O}C (ก) แรงดันไฟฟ้า (ข) กระแสไฟฟ้า (ค) กำลังไฟฟ้า 68

5.16 ผลการจำลองสถาณการณ์การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดการเลือกค่าขั้นการเปลี่ยนแปลงของวิธีการเพิ่มค่าความนำแบบคงค่าขั้นการเปลี่ยนแปลงที่ความเข้มแสง 1000 W/m^2 ที่อุณหภูมิ 25^{O}C (ก) แรงดันไฟฟ้า (ข) กระแสไฟฟ้า (ค) กำลังไฟฟ้า 69

5.17 ผลการจำลองสถาณการณ์การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดวิธีการเพิ่มค่าความนำแบบปรับตัวเทียบกับวิธีเพิ่มค่าความนำแบบคงค่าขั้นการเปลี่ยนแปลงที่ความเข้มแสง 1000 W/m^2 ที่อุณหภูมิ 25^{O}C (ก) แรงดันไฟฟ้า (ข) กระแสไฟฟ้า (ค) กำลังไฟฟ้า 70

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

5.18 ผลการทดสอบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดเปรียบเทียบระหว่างวิธีการเพิ่มค่าความนำแบบคงค่าขั้นการเปลี่ยนแปลงเทียบกับวิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 1000 W/m^2 ที่อุณหภูมิ 40^{O}C (ก) แรงดันไฟฟ้า (ข) กระแสไฟฟ้า (ค) กำลังไฟฟ้า 72

5.19 ผลการทดสอบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดการเลือกค่าขั้นการเปลี่ยนแปลงของวิธีการเพิ่มค่าความนำแบบคงค่าขั้นการเปลี่ยนแปลงที่ความเข้มแสง 1000 W/m^2 ที่อุณหภูมิ 40^{O}C (ก) แรงดันไฟฟ้า (ข) กระแสไฟฟ้า (ค) กำลังไฟฟ้า 73

5.20 ผลการทดสอบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดวิธีการเพิ่มความนำแบบปรับตัวเทียบกับวิธีเพิ่มค่าความนำแบบคงค่าขั้นการเปลี่ยนแปลงที่ความเข้มแสง 1000 W/m^2 ที่อุณหภูมิ 40^{O}C (ก) แรงดันไฟฟ้า (ข) กระแสไฟฟ้า (ค) กำลังไฟฟ้า 74

6.1 ชุดต้นแบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ 3 kW 76

6.2 กราฟคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์พิกัด 3 kW 77

6.3 การต่อใช้งานวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า 78

6.4 วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า 79

6.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า 80

6.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า 80

6.7 วงจรวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบลดทอนแรงดันใช้งานกับชุดต้นแบบ3 kW 81

6.8 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 83

6.9 การต่อใช้งานวงจรแยกโดดสัญญาณ 84

6.10 สัญญาณอินพุตของวงจรแยกโดดสัญญาณ 84

6.11 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรแยกโดดสัญญาณ 85

6.12 วงจรชุดบอร์ดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ 85

6.13 โซล่าชาร์จเจอร์ พิกัด 60 A 3 kW 86

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

6.14 ผลการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีเพิ่มค่าความนำแบบปรับตัวเทียบกับโซล่าชาร์จเจอร์ (ก) ความเข้มแสง (ข) กำลังไฟฟ้า 87

ก.1 ชุดบล็อกไฟฟ้ากำลัง MATLAB/Simulink ที่พิกัด 40 W และ 3 kW 96

ก.2 บล็อกไฟฟ้ากำลัง MPPT ของวิธีการเพิ่มค่าความนำแบบคงค่าขั้นการเปลี่ยนแปลง 96

ก.3 บล็อกไฟฟ้ากำลัง MPPT ของวิธีการรบกวนและสังเกต 96

ก.4 บล็อกไฟฟ้ากำลัง MPPT ของวิธีการเพิ่มค่าความนำแบบปรับตัว 97

ค.1 วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าออกแบบด้วยโปรแกรม Altium Designer 114

ค.2 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบลดทอนแรงดันออกแบบด้วยโปรแกรม Altium Designer 114

ค.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงออกแบบด้วยโปรแกรม Altium Designer 115

ค.4 วงจรชุดบอร์ดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรแยกโดดสัญญาณออกแบบด้วยโปรแกรม Altium Designer 115