สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(7)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญภาพ	(10)
บทที่ 1 บทนำ	**1**
ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	6
ขอบเขตของการวิจัย	6
คำนิยามศัพท์เฉพาะ	6
ประโยชน์ที่ได้รับ	7
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**9**
ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์	9
การควบคุมเฟส	34
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	57
การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน	63
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	67
กรอบแนวคิดในการวิจัย	78
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	**81**
แบบแผนงานวิจัย	81
การออกแบบระบบขับเคลื่อนยานพาหนะไฟฟ้า	82
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	89
การวิเคราะห์ข้อมูล	91
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	**97**
ผลการวิเคราะห์เครื่องอัดประจุไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงสำหรับยานพาหนะไฟฟ้า	97
ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์สำหรับการขับเคลื่อนยานพาหนะไฟฟ้า	100

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมในการใช้ซุปเปอร์	109

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ **111**
สรุปผล 111
อภิปรายผล 113
ข้อเสนอแนะ 115
บรรณานุกรม 117
ประวัติการศึกษาและการทำงาน 121

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ข้อมูลซุปเปอร์คาปาซิเตอร์และบริษัทผู้ผลิต 11
2.2 เปรียบเทียบอิเล็กโทรไลต์แบบน้ำกับสารอินทรีย์ 15
2.3 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของวัสดุแต่ละชนิด 17
2.4 ความคงทนของวัตถุแต่ละชนิด 17
2.5 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ใช้สำหรับการคำนวณ bep ต่างๆ 67
3.1 กระแสและเวลาในการชาร์จซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ 85
4.1 แสดงพลังงานที่ใช้ชาร์จและขับเคลื่อนยานพาหนะไฟฟ้าที่กระแสชาร์จต่างกัน 108

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์	10
2.2	เปรียบเทียบความแตกต่างของอุปกรณ์เก็บสะสมพลังงานไฟฟ้า	10
2.3	โครงสร้างตัวเก็บประจุแบบธรรมดา	12
2.4	เปรียบเทียบโครงสร้างตัวเก็บประจุแต่ละชนิด	12
2.5	เซลล์ตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่มีการเรียงตัวของประจุแบบสองชั้น (EDLCs)	13
2.6	โครงสร้างซุปเปอร์คาปาซิเตอร์	13
2.7	พลังงานที่สะสมในซุปเปอร์คาปาซิเตอร์	18
2.8	เปรียบเทียบความจุและความต้านทานช่วงอุณหภูมิ -40 °C ถึง +65 °C	20
2.9	วงจรสมมูลซุปเปอร์คาปาซิเตอร์	20
2.10	วงจรของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์	21
2.11	ช่วงการเก็บประจุ/ปล่อยประจุ	22
2.12	การทดลองปล่อยประจุด้วยกระแสคงที่	22
2.13	การต่อตัวต้านทานในการปรับสมดุลแรงดัน	24

2.14	การต่อซีเนอร์ไดโอดในการปรับสมดุลแรงดัน	25
2.15	อุณหภูมิและแรงดันมีผลต่ออายุการใช้งานของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์	26
2.16	ความจุกับวัฏจักรการนำกลับมาใช้งาน	27
2.17	ตัวเก็บประจุต่ออนุกรม	27
2.18	ตัวเก็บประจุต่ออนุกรม n ตัว	28
2.19	วงจรตัวเก็บประจุต่อขนาน	29
2.20	ตัวเก็บประจุต่อขนาน n ตัว	29
2.21	วงจร RC ในภาวะชั่วครู่	30
2.22	แทนที่ตัวเก็บประจุโดยการเปิดวงจร	31
2.23	วงจร RC ไม่มีแหล่งกำเนิดพลังงาน	31
2.24	คุณลักษณะของตัวเก็บประจุ	32
2.25	วงจรควบคุมครึ่งคลื่นหนึ่งเฟส โหลดความต้านทาน	35
2.26	วงจรควบคุมครึ่งคลื่นโหลด RL	36

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

2.27	วงจรควบคุมครึ่งคลื่นโหลด RL มีไดโอด fly – wheel คร่อมโหลด	37
2.28	วงจรบริดจ์ควบคุมครึ่งเดียวหนึ่งเฟสแบบสมมาตร โหลด ความต้านทาน	39
2.29	วงจรบริดจ์ควบคุมครึ่งเดียวหนึ่งเฟสแบบสมมาตรโหลด RL	40
2.30	วงจรบริดจ์ควบคุมครึ่งเดียวหนึ่งเฟสแบบสมมาตรไดโอดต่อคร่อมโหลด RL	41
2.31	วงจรบริดจ์ควบคุมครึ่งเดียวหนึ่งเฟสแบบไม่สมมาตร โหลดความต้านทาน	42
2.32	วงจรบริดจ์ควบคุมครึ่งเดียวหนึ่งเฟสแบบไม่สมมาตรโหลด RL	43
2.33	วงจรบริดจ์ควบคุมเต็มที่หนึ่งเฟสโหลดความต้านทาน	44
2.34	วงจรบริดจ์ควบคุมเต็มที่หนึ่งเฟสโหลด RL	45
2.35	วงจรบริดจ์ควบคุมเต็มที่หนึ่งเฟสโหลด RLต่อไดโอด fly–wheel คร่อมโหลด	46
2.36	วงจรควบคุมเต็มคลื่นโดยใช้หม้อแปลงแท็ปกลางโหลดความต้านทาน	47
2.37	วงจรควบคุมเต็มคลื่นโดยใช้หม้อแปลงแท็ปกลาง โหลด RL	48
2.38	วงจรควบคุมเต็มคลื่นโดยใช้หม้อแปลงแท็ปกลางโหลด RL มีไดโอด fly–wheel คร่อมโหลด	50
2.39	วงจรควบคุมครึ่งคลื่นสามเฟสโหลดความต้านทาน	51
2.40	รูปคลื่นแรงดันคร่อมโหลดความต้านทาน และ SCR_1 ที่มุมจุดชนวน α= 0 องศา	52
2.41	วงจรควบคุมครึ่งคลื่นสามเฟส โหลด RL	54
2.42	วงจรควบคุมครึ่งคลื่นสามเฟส โหลด RL มีไดโอด fly – wheel คร่อมโหลด	55
2.43	รูปคลื่นแรงดันคร่อมโหลด RL และกระแสโหลด เมื่อมีไดโอด fly – wheel คร่อมโหลด	56

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

2.44	Brushless DC Motors (BLDC)	59
2.45	Brushless DC Motors control (BLDC)	60
2.46	แสดงแผนภูมิการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน	64
2.47	แสดงแผนภูมิของการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน	65
2.48	กราฟแสดงระยะเวลาจุดคุ้มทุน	67
2.49	ระบบขับเคลื่อนรถยกรวมถึงระบบแบตเตอรี่สำรอง	68
2.50	Bidirectional boost converter	69

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

2.51	Bidirectional non inverting buck-boost converter	69
2.52	ระบบการอัดประจุไฟฟ้าให้กับซุปเปอร์คาปาซิเตอร์และการขับเคลื่อนยานพาหนะไฟฟ้า	79
3.1	วิธีดำเนินงานวิจัย	82
3.2	โครงสร้างการออกแบบระบบขับเคลื่อนยานพาหนะไฟฟ้า	83
3.3	วงจรชาร์จซุปเปอร์คาปาซิเตอรปริมาณกระแสสูง	86
3.4	วงจรควบคุมเต็มคลื่นสามเฟส	87
3.5	รูปคลื่นแรงดันคร่อมโหลด และกระแสโหลด เมื่อต่อไดโอด fly – wheel คร่อมโหลด	88
3.6	การต่อขนานซุปเปอร์คาปาซิเตอร์	89
3.7	แบตเตอรี่ยี่ห้อ TROJAN รุ่น T-1275 ขนาด 12V, 150A	90
3.8	แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	90
3.9	อุปกรณ์เก็บข้อมูล AGILENT 34970a BENCHLINK DATA LOGGER	90
3.10	อิเล็กทรอนิกส์โหลด รุ่น KEYSIGH N3300A SYSTEM	91
3.11	ยานพาหนะไฟฟ้าขนาด 4 ที่นั่ง จำนวน 1 คัน	91
4.1	การเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกระแสชาร์จที่ 50V, 20A	97
4.2	การเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกระแสชาร์จที่ 50V, 40 A	98
4.3	การเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกระแสชาร์จที่ 50V, 60 A	99
4.4	การเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกระแสที่ 50V, 80 A	100
4.5	แผนผังการทดลองวิ่งของยานพาหนะไฟฟ้ารวมระยะทาง 505 กิโลเมตร	101
4.6	ชาร์จที่แรงดัน 50.52V กระแส 20.33A ทดลองวิ่งที่น้ำหนักรวม 480 kg	102
4.7	พลังงานช่วงชาร์จ 50.52V กระแส 20.33Aทดลองวิ่งที่น้ำหนักรวม 480 kg	102
4.8	ชาร์จที่แรงดัน 50.53V กระแส 39.53A ทดลองวิ่งน้ำหนักรวม 415 kg	103
4.9	พลังงานช่วงชาร์จ 50.53V กระแส 39.53A ทดลองวิ่งที่น้ำหนัก 415 kg	104
4.10	ชาร์จที่ แรงดัน 50.50V กระแส 57.41A ทดลองวิ่งที่น้ำหนักรวม 480 kg	105

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

4.11 พลังงานช่วงชาร์จ 50.50V กระแส 57.41Aทดลองวิ่งที่น้ำหนักรวม 480 kg 105

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.12 ชาร์จที่แรงดัน 50.49V กระแส 79.15A ทดลองวิ่งที่น้ำหนัก 405 kg 106
4.13 พลังงานช่วงชาร์จ 50.49V กระแส 79.15A ทดลองวิ่งที่น้ำหนัก 405 kg 107
4.14 กระแส แรงดันช่วงเบรกและชะลอเบรก 107
4.15 ประสิทธิภาพของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ 108

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี