



จักรยานพลังงานไฟฟ้าที่ติดตั้งแผง Solar Cell
Electric Bicycle with Solar Panels

นายนิธิศ	ชูช่วย
นางสาวจิรภัทร์	หริ่มฉำ
นายอริชา	การถวิล

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนเพื่อการวิจัย
ภายใต้โครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2564
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

หัวข้อโครงการ	จักรยานพลังงานไฟฟ้าที่ติดตั้งแผง Solar Cell
จัดทำโดย	นายนิธิศ ชูช่วย
	นางสาวจิรภัทร์ หริ่มฉ่ำ
	นายอชิชา การถวิล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.พูนศรี วรรณการ
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	วิศวกรรมไฟฟ้า
	วิศวกรรมศาสตร์
	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ปี	2564

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอจักรยานพลังงานไฟฟ้าที่ติดตั้งโซลาร์เซลล์ โดยจะทำการอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ด้วยแผงโซลาร์เซลล์ เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนจักรยานพลังงานไฟฟ้าโดยจักรยานพลังงานไฟฟ้าจะสามารถขับเคลื่อนได้สองระบบโดยจะขับเคลื่อนได้จากการปั่นของผู้ใช้งาน และจากมอเตอร์กระแสตรงแบบมีแปรงถ่านจากการอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ด้วยแผงโซลาร์เซลล์ โดยวิธีการทดสอบจะทดสอบโดยการอัดประจุเข้าแผงโซลาร์เซลล์โดยจะมีช่วงเวลาว่าค่าแรงดันเอาต์พุต จากแผงโซลาร์เซลล์ช่วงเวลาไหนมีค่าใกล้เคียงกับแผงจริงที่ขนาด 24 โวลต์ และทำการอัดประจุเข้าแบตเตอรี่เพื่อใช้ในการทดสอบว่ารถจักรยานพลังงานไฟฟ้าสามารถใช้งานได้จริงโดยทำการทดสอบขับโดยที่เริ่มจากการจำกัดความเร็วที่ 10 และ 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง ที่ระยะทาง 100 เมตร โดยใช้ผู้ทำการทดลองขนาดน้ำหนักที่ 50 60 และ 70 กิโลกรัมตามลำดับ พบว่ารถจักรยานพลังงานไฟฟ้าสามารถใช้งานได้จริง แต่ทั้งนี้โครงการข้างต้นได้ทำชิ้นงานออกเป็นสองส่วน คือส่วนที่เป็นการชาร์จแบตเตอรี่จากแผงโซลาร์เซลล์ และส่วนที่สองที่เป็นรถจักรยานพลังงานไฟฟ้าแยกออกจากกัน

Project Title	Electric Bicycle with Solar Panels	
Researcher	Mr. Nitit	Chuchuey
	Ms. Jirapat	Hrimchum
	Mr. Athicha	kanthawil
Project Advisor	Asst. Dr. Poonsri	Wannakarn
Major Field/ Faculty/University	Electrical Engineering	
	Engineering	
	Rajamangala	University of
	Technology Phra Nakhon	
Year	2021	

Abstract

This project presents an electric bicycle equipped with Solar Cell, which will charge the battery with a solar panel. To be used to drive electric bicycles, electric bicycles can be powered by two systems that are powered by the user's cycling and from brushed DC motors from battery charging with solar panels, the test will be tested by charging the panel with a time interval that the output voltage value From the solar panel which time interval is closer to the actual panel at 24 volts and charged into the battery, to test whether the electric bike can actually be used by a test drive starting with a displacement speed of 10 and 20 km/h at a distance of 100 meters. Using experiments with weight sizes of 50, 60 and 70 kg respectively, it was found that electric bicycles can actually be used. However, the above project has been made into two parts. is the part that charges the battery from the solar panel and the second part is a separate electric bicycle.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการ จักรยานพลังงานไฟฟ้าที่ติดตั้งแผง Solar Cell นี้ได้รับทุนสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนเพื่อการวิจัยภายใต้โครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2564 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร โดยประสบความสำเร็จจุลวงได้ด้วยดี เป็นเพราะได้รับการชี้แนะทางวิชาการที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง รวมทั้งเครื่องมืออุปกรณ์และสถานที่ ตลอดจนความเอาใจใส่และขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พูนศรี วรรณการ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการและขอขอบคุณ ผศ.ดร.สาคร วุฒิพัฒน์พันธุ์ และเพื่อนๆ ที่ได้ให้คำแนะนำและสนับสนุนให้คำปรึกษาในด้านการสร้าง และการทดลองรวมทั้งอาจารย์และเจ้าหน้าที่สาขาวิศวกรรมภาควิชาไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้อำนวยความสะดวกในการจัดหาวัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำโครงการ จนทำให้โครงงานนี้สำเร็จจุลวงได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้กราบขอขอบคุณ บิดา มารดา ครูอาจารย์ทุกท่านรวมถึงญาติพี่น้อง ที่ให้ความรู้และให้โอกาสทางการศึกษาจนถึงวันนี้ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ทุนสนับสนุนโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 ซึ่งผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงงานเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ และเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

นายนิธิศ ชูช่วย
นางสาวจิรภัทร์ หริ่มฉ่ำ
นายอชิชา การถวิล

สารบัญเรื่อง

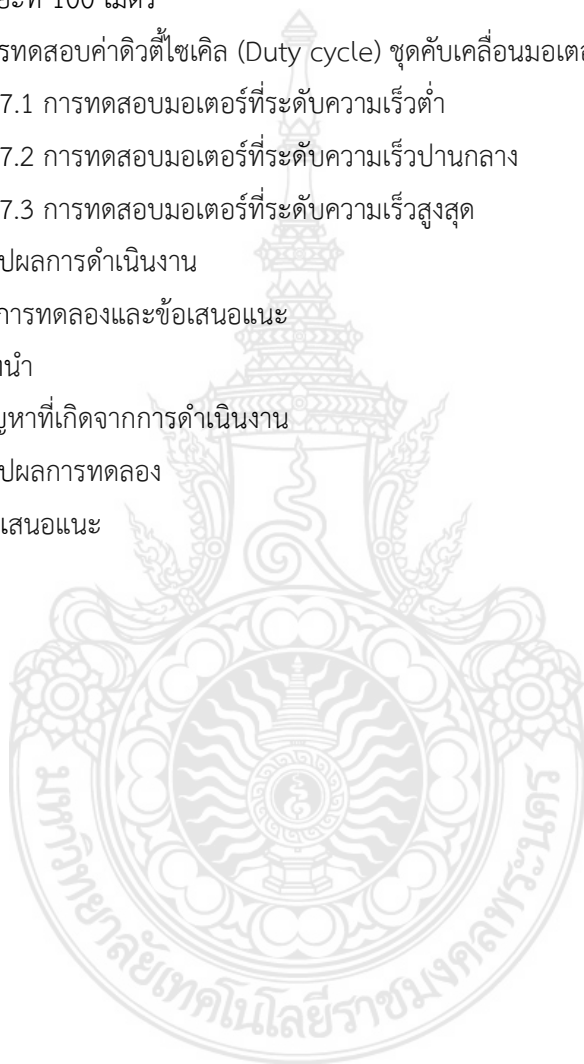
	หน้า
บทคัดย่อไทย	ก
บทคัดย่ออังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนการทำงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 บทนำ	4
2.2 มอเตอร์ไฟฟ้า	4
2.2.1 มอเตอร์กระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน (Brushed DC Motor)	4
2.2.2 มอเตอร์กระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน (Brushless DC Motor)	5
2.3 แบตเตอรี่	7
2.3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.3.2 สูตรการคำนวณแรงบิด กำลังและประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	9
2.3.3 การเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	10
2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)	10
2.4.1 การทำงานของแผงโซลาร์เซลล์	11
2.4.2 ชนิดและเทคโนโลยี	13
2.4.3 พิกัดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	14
2.4.4 วิธีการวัดพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	15
2.4.5 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอาร์เรย์	15
2.5 ชุดคั่นแรง	18

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	19
3.1 บทนำ	19
3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	19
3.3 ออกแบบการทำงานของรถจักรยานพลังงานไฟฟ้า	20
3.3.1 ออกแบบวงจรชาร์จแบตเตอรี่	21
3.3.2 ออกแบบชุดควบคุม	21
3.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน	22
3.5 ออกแบบและสร้างวงจรจ่ายไฟ (Switching Power Supply)	22
3.6 การออกแบบโครงสร้างรถจักรยานพลังงานไฟฟ้า	23
3.7 กล่องใส่อุปกรณ์ควบคุม	25
3.8 ประกอบอุปกรณ์และวงจรทั้งหมดเข้ากับจักรยาน	26
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	27
4.1 บทนำ	27
4.2 การทดลองอัดประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่	27
4.2.1 อุปกรณ์การทดลอง	27
4.2.2 รูปการทดลอง	27
4.2.3 การทดลอง	28
4.2.4 ผลการทดลอง	30
4.3 ลักษณะของรถจักรยานสามล้อไฟฟ้า	31
4.3.1 คุณสมบัติของรถจักรยาน	31
4.3.2 คุณสมบัติของชุดขับเคลื่อน	31
4.3.3 คุณสมบัติที่ทดสอบได้	31
4.4 ลักษณะสมบัติของชุดวัตต์ระดับแรงดันไฟฟ้า	34
4.5 ลักษณะสมบัติของชุดควบคุมมอเตอร์	34
4.6 การทดสอบความเร็วของรถจักรยานสามล้อไฟฟ้า	35
4.6.1 การทดสอบด้วยความเร็วคงที่ทางเรียบที่ 10 กิโลเมตร / ชั่วโมง โดยระยะที่ 100 เมตร	35

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
4.6.2 การทดสอบด้วยความเร็วคงที่ทางเรียบที่ 20 กิโลเมตร / ชั่วโมง โดย ระยะที่ 100 เมตร	35
4.7 การทดสอบค่าดิวตี้ไซเคิล (Duty cycle) ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ขณะไม่มีโหลด	36
4.7.1 การทดสอบมอเตอร์ที่ระดับความเร็วต่ำ	36
4.7.2 การทดสอบมอเตอร์ที่ระดับความเร็วปานกลาง	37
4.7.3 การทดสอบมอเตอร์ที่ระดับความเร็วสูงสุด	38
4.8 สรุปผลการดำเนินงาน	39
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	40
5.1 บทนำ	40
5.2 ปัญหาที่เกิดจากการดำเนินงาน	40
5.3 สรุปผลการทดลอง	40
5.4 ข้อเสนอแนะ	40
เอกสารอ้างอิง	42
ประวัติผู้เขียน	44



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ขั้นตอนการทำงาน	2
2.1	ความแตกต่างของ Brushed DC Motor และ Brushless DC Motor	6
4.1	ผลการทดลองครั้งที่ 1 ทดสอบประสิทธิภาพการอัดประจุเข้าแบตเตอรี่	30
4.2	ผลการทดลองครั้งที่ 2 ทดสอบประสิทธิภาพการอัดประจุเข้าแบตเตอรี่	30
4.3	ตารางการทดสอบด้วยความเร็วคงที่ทางเรียบที่ 10 km/h โดยระยะที่ 100 เมตร	35
4.4	ตารางการทดสอบด้วยความเร็วคงที่ทางเรียบที่ 20 km/h โดยระยะที่ 100 เมตร	36



สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน	5
2.2	แสดงการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน	5
2.3	แบตเตอรี่เซลล์เปียกแบบทั่วไป 12 โวลต์	8
2.4	แบตเตอรี่เซลล์แห้ง 12 โวลต์	8
2.5	ประเภทและประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ	10
2.6	แสดงการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์	11
2.7	แผงเซลล์แสงอาทิตย์	11
2.8	อาร์เรย์แผงเซลล์แสงอาทิตย์	12
2.9	อาร์เรย์แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มากกว่าหนึ่งอาร์เรย์	12
2.10	ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์	13
2.11	ประเภทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	13
2.12	ฉลากบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 85 วัตต์สูงสุด (Wp)	14
2.13	การวัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์: กระแสไฟฟ้าลัดวงจร	15
2.14	การวัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์: แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร	15
2.15	ตัวอย่างการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอาร์เรย์	16
2.16	ตัวอย่างการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมือนกันแบบอนุกรม	16
2.17	ตัวอย่างการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมือนกันแบบขนาน	17
2.18	ตัวอย่างการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดต่างกันมาต่อกันแบบอนุกรม	17
2.19	ตัวอย่างการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดต่างกันมาต่อกันแบบขนาน	18
2.20	ชุดคั้นแร่	18
3.1	แผงผังขั้นตอนการดำเนินงาน	19
3.2	แผงผังขั้นตอนการดำเนินงาน (ต่อ)	20
3.3	บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงาน	20
3.4	วงจรชาร์จแบตเตอรี่	21
3.5	บล็อกไดอะแกรมของชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้งาน	21
3.6	Brushed DC Motor 24V250W	22
3.7	โครงสร้างและส่วนประกอบหลักของมอเตอร์เกียร์แบบมีแปรงถ่าน	22

สารบัญรูปรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.8	วงจรจ่ายไฟ (Switching Power Supply) ที่ใช้งาน	23
3.9	รถจักรยานที่ใช้ในโครงการ	23
3.10	การวางมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อน	24
3.11	การแยกเฟือง	24
3.12	แสดงการนำมอเตอร์มาประกอบกับเฟืองและโซ่ที่เชื่อมติดกับจักรยาน	25
3.13	กล่องใส่ชุดอุปกรณ์ควบคุม	25
3.14	ทำการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ทำมุมที่ 15 องศา	26
3.15	จักรยานพลังงานไฟฟ้าที่สำเร็จ	26
4.1	แสดงวงจรการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของวงจรชาร์จประจุ	27
4.2	การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ทำมุมที่ 15 องศา	28
4.3	การต่อแรงดันกระแสจากแผงโซลาร์เซลล์เข้าสู่ชาร์จเจอร์	28
4.4	วงจรชาร์จแบตเตอรี่ 24 V	29
4.5	วงจรตัดไฟ ตัดที่แรงดัน 26.0 V เมื่อจ่ายแรงดันและกระแสเข้าแบตเตอรี่	29
4.6	ขนาดต่างๆ ของรถจักรยานพลังงานไฟฟ้า	32
4.7	ด้านหน้าของรถจักรยานพลังงานไฟฟ้า	32
4.8	ด้านข้างของรถจักรยานพลังงานไฟฟ้า	33
4.9	ชุดแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 2 ลูก	33
4.10	ชุดวัดระดับแบตเตอรี่	34
4.11	ชุดควบคุมมอเตอร์	34
4.12	สัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมของมอเตอร์ที่ระดับความเร็วต่ำ	36
4.13	ค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ระดับต่ำ	37
4.14	สัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมของมอเตอร์ที่ระดับความเร็วปานกลาง	37
4.15	ค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ระดับปานกลาง	38
4.16	สัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมของมอเตอร์ที่ระดับความเร็วสูงสุด	38
4.17	ค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ระดับสูงสุด	39

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีการใช้ยานพาหนะขนส่งกันเป็นจำนวนมาก ยานพาหนะเหล่านั้นใช้เชื้อเพลิงในการสันดาปในปัจจุบันน้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาสูงมากและมีแนวโน้มการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากน้ำมันลดลง จึงได้มีการพัฒนาการนำพลังงานไฟฟ้ามาใช้ในการขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าและเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริงและนำไฟฟ้ามาเป็นพลังงานขับเคลื่อนยานพาหนะ เป็นการลดมลภาวะทางอากาศและเป็นการประหยัดพลังงานมากขึ้น

โครงการนี้นำเสนอจักรยานพลังงานไฟฟ้าที่ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ โดยแนวคิดในการริเริ่มทำโครงการนี้มาจากการพัฒนาจักรยานไฟฟ้าทั่วไป ที่อาศัยการเคลื่อนที่ด้วยแรงปั่นของคนเปลี่ยนมาใช้พลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ในการใช้เป็นพลังงานป้อนให้กับมอเตอร์ไฟตรง ในการส่งกำลังไปยังล้อจักรยานทำให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้โดยช่วยผ่อนแรงของคนในการปั่นจักรยาน ทำให้อำนวยความสะดวกในการสัญจรทางบกแก่ผู้คนที่ใช้พาหนะนี้

โดยในโครงการนี้ได้มีการนำจักรยาน 3 ล้อ มาทำการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์และอุปกรณ์ต่างๆ ประกอบด้วย มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ชุดควบคุม และแบตเตอรี่ ในการทำให้จักรยาน 3 ล้อไฟฟ้าที่ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์เคลื่อนที่ได้ จึงมีแนวคิดที่จะผลิตจักรยานไฟฟ้าพลังงานสะอาดที่เป็นยานพาหนะในการนำพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานจากการปั่นจักรยานมาใช้เพื่อลดพลังงานและลดภาวะโลกร้อนในปัจจุบันนำพลังงานที่บริสุทธิ์มาประยุกต์ใช้ให้เข้ากับพลังงานในอนาคตที่อาจจะมีการใช้อย่างแพร่หลาย พลังแสงอาทิตย์กับจักรยานเมื่อนำมารวมกันจะเกิดเป็นพลังงานทดแทนที่มีบทบาทมากขึ้นทุกทีในปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการทำงานของระบบจักรยานพลังงานไฟฟ้าที่นำอุปกรณ์ไฟฟ้ามาประกอบเข้าด้วยกัน
- 1.2.2 เพื่อสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้งานได้จริงในชีวิตประจำวัน
- 1.2.3 เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในชีวิตประจำวัน

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 จักรยานพลังงานไฟฟ้า สามารถเคลื่อนที่ได้จากการปั่นของผู้ขับขี่ และจากมอเตอร์ไฟฟ้า
- 1.3.2 จักรยานพลังงานไฟฟ้ารับน้ำหนักรวมได้ 110 กิโลกรัม รวมน้ำหนักของรถ
- 1.3.3 รถจักรยานต้องเคลื่อนที่ด้วยความเร็วอย่างต่ำ 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง ด้วยความเร็วระบบขับเคลื่อน
- 1.3.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีพิกัดกำลังขนาด 24 โวลต์ 250 วัตต์
- 1.3.5 แบตเตอรี่ที่นำมาใช้ต้องมีขนาด 12 โวลต์ จำนวน 2 ลูก

1.4 ขั้นตอนการทำงาน

สำหรับขั้นตอนการทำงานแสดงดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการทำงาน

กิจกรรม	ปีการศึกษา 2563-2564												
	2563			2564									
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	
กำหนดหัวข้อโครงการ	←→												
ศึกษาและรวบรวมข้อมูล	←→	←→	←→	←→									
ศึกษาหลักการการทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัวเมื่อใช้งานร่วมกัน				←→	←→	←→							
ออกแบบโครงสร้างของรถจักรยาน					←→	←→	←→						
ออกแบบวงจรควบคุม						←→	←→	←→					
ประกอบอุปกรณ์เข้ากับโครงสร้างรถจักรยาน							←→	←→			←→	←→	
ทดสอบการใช้งานของชิ้นงาน									←→	←→	←→	←→	
วิเคราะห์ และสรุปการดำเนินการ												←→	←→

←→ ตามแผน

←---→ ปฏิบัติงานจริง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 รู้และเข้าใจถึงระบบการทำงานของจ็กรยานไฟฟ้า
- 1.5.2 ได้มีสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถใช้ในชีวิตประจำวันได้
- 1.5.3 ได้เรียนรู้เกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์และการประยุกต์ใช้



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานโครงการที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

จักรยานไฟฟ้า(E-Bike) หมายถึง จักรยานที่ใช้มอเตอร์เป็นกำลังในการขับเคลื่อนและจะใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานเพื่อจ่ายให้กับมอเตอร์ โดยจักรยานไฟฟ้าแบบทั่วไปสามารถทำความเร็วได้ตั้งแต่ 24 ถึง 40 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในต่างประเทศจักรยานไฟฟ้าเริ่มเข้ามามีบทบาทแทนที่ตลาดของจักรยานแบบปั่นทั่วไปและรถจักรยานยนต์อย่างรวดเร็ว

การใช้จักรยานไฟฟ้าเติบโตขึ้นในปี 1998 จากการประมาณการ พบว่าเฉพาะในประเทศจีนเพียงประเทศเดียวมีจักรยานไฟฟ้าประมาณ 120 ล้านคัน ซึ่งในช่วงต้นปี 2010 ที่ผ่านมามียอดขายจักรยานไฟฟ้าเติบโตแล้วทั้งในอินเดีย อเมริกา เนเธอร์แลนด์ และสวีเดน ส่วนในทวีปยุโรปมีจักรยานไฟฟ้าที่ได้จำหน่ายไปแล้วในปี 2010 กว่า 700,000 คัน เพิ่มขึ้นจากในปี 2007 กว่า 200,000 คัน และปี 2009 กว่า 500,000 คัน

การจัดสร้างจักรยานไฟฟ้าสามารถทำได้ไม่ยุ่งยาก เนื่องจากมีอุปกรณ์ประกอบค่อนข้างน้อย เป็นพลังงานสะอาดไม่ก่อให้เกิดมลพิษ การดูแลบำรุงรักษาทำได้ง่ายมีความประหยัดและปลอดภัยสูง ซึ่งจะมีส่วนประกอบหลักในการทำงาน อยู่ 4 ส่วน คือ ชุดมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor), ชุดกล่องควบคุมความเร็ว, ชุดคันบิดเร่ง และชุดแบตเตอรี่

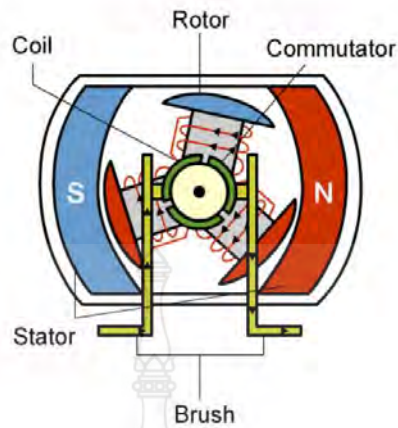
2.2 มอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ที่นิยมใช้ในจักรยานไฟฟ้าจะมีอยู่ 2 แบบคือ มอเตอร์แบบมีแปรงถ่านและไม่มีแปรงถ่าน โดยทั้งสองแบบจะเป็นมอเตอร์ชนิดไฟฟ้ากระแสตรง(DC Motor) ซึ่งจะรับพลังงานจากแบตเตอรี่ [1]

2.2.1 มอเตอร์กระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน (Brushed DC Motor)

จะหมุนได้โดยใช้ขดลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กมาหลักกับชุดแม่เหล็กถาวรภายในตัวของมอเตอร์ โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านชุดแปรงถ่านมายังชุดคอมมิวเตเตอร์ ซึ่งจะเป็นหน้าสัมผัสและนำกระแสไฟฟ้าไปสู่ขดลวดอาร์มาเจอร์ ซึ่งจะพันอยู่บนแกนเพลลาของมอเตอร์ การทำงานจะแสดงดังรูปที่ 2.1

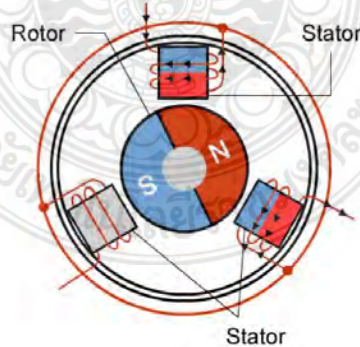
[1]



รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน [2]

2.2.2 มอเตอร์กระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน (Brushless DC Motor)

ซึ่งจะไม่มีชุดแปรงถ่าน มอเตอร์แบบนี้จะติดตั้งอยู่ที่ศูนย์กลางของล้อหรือดุมล้อ โดยมอเตอร์แบบนี้จะมีราคาสูงกว่าแบบมีแปรงถ่านและวงจรของชุดควบคุมจะมีการทำงานที่ซับซ้อนกว่า โดยภายในมอเตอร์ชนิดนี้จะมีขดลวดอยู่ 3 ชุดแต่ละชุดจะประกอบด้วยขดลวดหลายขดและมีการป้อนกลับของสัญญาณจาก Hall Sensor ทั้งหมด 3 ตัว จะทำงานในระดับ Low และ High ตามขั้วของแม่เหล็ก โดย Hall Sensor นี้จะวางลักษณะใกล้ๆกัน ซึ่งมุมของเฟสไฟฟ้าจะต่างกันอยู่ 2 แบบ คือ 60 องศา และ 120 องศา การทำงานจะแสดงดังรูปที่ 2.2 [1],[2]



รูปที่ 2.2 แสดงการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน [2]

และบางรุ่นอาจมีระบบเกียร์ เพิ่มขึ้นมา (Planetary Gear) คือทำให้เวลาปั่นจักรยานจะรู้สึกเบาแรงและขนาดเล็กกะทัดรัดกว่า Hub Motor แบบธรรมดา แต่เนื่องจากอุปกรณ์ภายในมีความซับซ้อนและระบบเกียร์ไม่ทนทานเมื่อต้องรับแรงบิดสูงๆ การนำไปประยุกต์ใช้ปั่นไฟกระทำได้ยาก อีกทั้งราคาค่อนข้างแพงกว่าแบบไม่มีเกียร์เมื่อเทียบกับกำลังวัตต์ที่เท่ากันและมอเตอร์แบบไม่มีเกียร์นั้นมักจะนิยมนำมาใช้มากกว่าเนื่องจากการดูแลบำรุงรักษากระทำได้ง่ายและสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ค่อนข้างสูงคือตั้งแต่ 5 – 10 A เมื่อนำมาประยุกต์เพื่อใช้ปั่นไฟสามารถนำมาทำเป็นกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าหรือนำมาทำจักรยานปั่นไฟ และสามารถนำมาออกแบบให้มีระบบชาร์จไฟกลับขณะปั่นได้ลักษณะของมอเตอร์ชนิดไม่มีแปรงถ่าน (Brushless DC Motor) โดยความแตกต่างของมอเตอร์กระแสตรงทั้งสองแบบจะสรุปได้ดังตารางที่ 2.1 [1]

ตารางที่ 2.1 ความแตกต่างของมอเตอร์ที่มีแปรงถ่านและไม่มีแปรงถ่าน [3]

มอเตอร์กระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน	มอเตอร์กระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน
มีโอกาสเกิดประกายไฟหากใช้งานนานเกินไป	ไม่มีโอกาสเกิดประกายไฟ
ขนาดใหญ่	ขนาดเล็ก
มีน้ำหนัก	น้ำหนักเบา
มีเสียงดังกว่า	เสียงเงียบกว่า
อาจจะมีการฟีดหรือดีเลย์เล็กน้อย	บังคับง่าย ไม่ค่อยฟีด
สามารถต่อไฟใช้งานได้เลย	ใช้งานยุ่งยากกว่าเพราะมันจำเป็นต้องใช้งานกับ ESC(Electronics Speed Controller)
ราคาถูกลงกว่า	ราคาสูงกว่า
กินไฟมากกว่า	กินไฟฟ้าน้อยกว่า
ใช้งานได้สั้นกว่า เพราะแปรงถ่านเมื่อใช้งาน จะเกิดการเสียดสีจนสึกหลอ ทำให้กระแสไฟฟ้าเดินไม่สะดวก มอเตอร์ไม่ทำงานจึงทำให้ต้องเปลี่ยนใหม่	ใช้ได้นานกว่า เพราะมันไม่มีแปรงถ่าน ไม่ต้องเปลี่ยนถ่าน

ประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับแรงดัน	มีประสิทธิภาพสูงกว่าเพราะไม่มีแรงดันทำให้เกิดการสูญเสียแรงดันที่แรงดัน (Voltage Drop)
ระยะเวลาใช้งาน 1-3 ปี(ขึ้นอยู่กับการใช้งานของแรงดัน)	ระยะเวลาใช้งาน 2-3 ปี

2.3 แบตเตอรี่

หนึ่งในองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดในการออกแบบและใช้งานยานพาหนะพลังงานแสงอาทิตย์คือ แบตเตอรี่ ต้องใช้แบตเตอรี่ในการจ่ายไฟและขับเคลื่อนยานพาหนะและสามารถชาร์จโดยแผงโซลาร์เซลล์การกำหนดค่านี้อาจต้องปลอดภัยสำหรับผู้ขับขี่ที่ใช้งานรถนี้คือปัจจัยหลักควรพิจารณาเมื่อเลือกแบตเตอรี่[4] แบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับใช้กับระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์มี 2 ประเภท ได้แก่

1) แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน (Li-Ion)

เป็นเทคโนโลยีล่าสุดในตลาดมักพบในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ระดับสูง เช่น โทรศัพท์มือถือและแล็ปท็อป แบตเตอรี่ Li-Ion ไม่ได้ถูกใช้ในแอปพลิเคชันโซลาร์ PV ในบ้านเนื่องจากมีราคาสูง และเมื่อเทียบกับขนาดและน้ำหนักของแบตเตอรี่ Li-Ion มีอายุการใช้งานที่ยาวนานและความจุพลังงานสูง โดยเฉลี่ยแบตเตอรี่ Li-Ion สามารถใช้งานได้ยาวนานถึง 5 ปีนับจากวันผลิต ขึ้นอยู่กับวิธีการใช้งาน

2) แบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead Acid)

เป็นแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์มากที่สุด อายุการใช้งานตั้งแต่ 2 ถึง 10 ปี แบตเตอรี่ตะกั่วกรดสามารถพบได้ในช่วงแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกัน เช่น 2 โวลต์ 6 โวลต์และ 12 โวลต์ แบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นแบตเตอรี่ที่คุ้มค่าที่สุดในตลาด การติดตั้งแบตเตอรี่ชนิดนี้ต้องติดตั้งในสถานที่ที่มีการระบายอากาศเพียงพอ แบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

2.1) ประเภทลักษณะการใช้งาน ได้แก่ แบตเตอรี่แบบสตาร์ทเตอร์ มักใช้ในการสตาร์ทเครื่องยนต์รถยนต์ ถูกออกแบบมาให้มีความสามารถจ่ายกระแสได้สูงในระยะเวลาสั้นๆ ไม่เหมาะสำหรับการใช้เก็บพลังงานแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่แบบดีฟไซเคิล (Deep Cycle Battery) เป็นแบตเตอรี่ที่มีความสามารถในการจ่ายพลังงานได้ลึกหรือมากกว่าแบตเตอรี่แบบธรรมดา มักจะใช้ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์หรือพลังงานทางเลือกอื่นๆ

2.2) ประเภทของเซลล์ ได้แก่ แบตเตอรี่เซลล์เปียก (Flooded) เป็นแบตเตอรี่ชนิดที่มีอยู่ทั่วไป กรดแบตเตอรี่ในแบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นของเหลวตั้งแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งแบตเตอรี่เซลล์เปียกจำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาเป็นประจำ และแบตเตอรี่แห้ง (Sealed) ซึ่งมี 2 แบบ ตามลักษณะของกรดที่บรรจุในแบตเตอรี่ คือ กรดแบบเจล (Gel) และกรดแบบ Absorbed Glass Mat (AGM) เป็น

วัสดุพิเศษลักษณะคล้ายฟองน้ำดูดซับกรดไว้ แบตเตอรี่แห่งนี้เป็นแบตเตอรี่ที่ถูกปิดผนึกโดยสนิทไม่ต้องบำรุงรักษา ดังแสดงในรูปที่ 2.4 [5]



รูปที่ 2.3 แบตเตอรี่เซลล์เปียกแบบทั่วไป 12 โวลต์



รูปที่ 2.4 แบตเตอรี่เซลล์แห้ง 12 โวลต์

2.3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเกี่ยวกับการทำงานและการควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากเครื่องจักรกลไฟฟ้าดังกล่าว สามารถทำงานได้ทั้งเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในเครื่องเดียวกัน ผู้ทำการวิจัยจึงนำหลักการดังกล่าวมาจัดสร้างอุปกรณ์ที่สามารถคืนพลังงานให้แก่จกัรยานไฟฟ้า ซึ่งโดยส่วนขอระบบควบคุมการทำงานจะแบ่งออกเป็นสองระบบ คือ ระบบจ่ายพลังงานจากแบตเตอรี่ให้แก่มอเตอร์เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนจกัรยานไฟฟ้า และระบบคืนพลังงานโดยการประจุแบตเตอรี่เพิ่มจากการปั่นด้วยเท้าและการเบรก จากผลการทดสอบจกัรยานไฟฟ้าที่สร้างขึ้นสามารถวิ่งได้ความเร็วสูงสุด 22.28 กิโลเมตร/ชั่วโมง และการประจุแบตเตอรี่เพิ่มจากการปั่นด้วยเท้าจะได้ปริมาณพลังงานมากกว่าการประจุแบตเตอรี่โดยใช้การเบรก [6]

ได้ทำการศึกษาออกแบบและจัดสร้างจกัรยานไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนล้อหน้า 2 ล้อ ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบปราศจากแปรงถ่าน (Brushless DC Motor) โดยใช้มอเตอร์ขนาด 36 โวลต์

และมีกำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ จำนวน 2 ตัว ซึ่งมอเตอร์จะทำหน้าที่เป็นคัมล้อย โดยใช้มอสเฟสเป็น อุปกรณ์กำลังทำหน้าที่เป็นสวิตช์ที่ความถี่ 10 kHz การควบคุมมอเตอร์จะใช้วงจรควบคุมชนิด 6 คิว แดรนท์ และเป็นการควบคุมแบบลูปปิด (Closed Loop) ชนิด Cascade Control การทำงานของมอเตอร์ทั้ง 2 ตัวนั้นมีการควบคุมแยกออกจากกัน ในการขับเคลื่อนโดยใช้การหมุนจากคันเร่งและคำสั่งจากการเลี้ยวทางกล สำหรับการขับเคลื่อนไปข้างหน้า ของรถจักรยานไฟฟ้า ใช้คันเร่งเป็น อุปกรณ์ควบคุมและการชะลอความเร็วของจักรยานไฟฟ้าจะชะลอด้วยระบบเบรกทางกล ซึ่งจะทำงานร่วมกับการตัดสัญญาณไฟฟ้า และการควบคุมทิศทางการเลี้ยวใช้คันบังคับเป็นตัวควบคุม จักรยานไฟฟ้าที่จัดสร้างมีน้ำหนักตัวรวมแบตเตอรี่เท่ากับ 80 กิโลกรัม จากผลการทดสอบการทำงานของจักรยานไฟฟ้าที่น้ำหนักของผู้ขับขี่ที่ 80 กิโลกรัม สามารถวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด 32 กิโลเมตร/ชั่วโมงและสามารถไต่ระดับได้ที่มีความชัน 20,27 และ 32 องศา 15 [7]

ศึกษาเกี่ยวกับการจัดสร้างจักรยานออกกำลังกายผลิตไฟฟ้าและเป็นการศึกษาการทำงาน ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีกำลังไฟจ่ายออกขนาด 12 โวลต์ เนื่องจากมีอุปกรณ์ที่สามารถกำเนิดไฟฟ้า จากแรงปั่นได้ ผู้วิจัยจึงนำหลักการดังกล่าว มาจัดสร้างอุปกรณ์ที่สามารถคืนพลังงานให้แก่แบตเตอรี่ จากการปั่นด้วยเท้า จากผลของการทดสอบรถจักรยานไฟฟ้า ที่สร้างขึ้นได้ปริมาณไฟที่จ่ายออก คือ ขนาด 12 โวลต์ และนำไปใช้งานได้ [8]

2.3.2 สูตรการคำนวณแรงบิด กำลังและประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การคำนวณแรงบิด กำลังและประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง หาได้ดังนี้ [9]

แรงบิด (Torque)	$T = F \times R$	(N.M.)	2.1
งานที่ได้จากแรงใน 1 รอบการหมุน = แรง x ระยะทาง	$= F \times 2\pi r$	(Jule)	2.2
กำลังที่เกิดขึ้น (PO)	$= F \times 2\pi r \times \frac{N}{60}$	(Jule/s)	
	$= (F \times r) \left(\frac{2\pi N}{60} \right)$	(Jule/s)	2.3
เมื่อความเร็วเชิงมุม	$\omega = \frac{2\pi N}{60}$	(Rad/s)	2.4
ดังนั้นกำลังที่เกิดขึ้น	$P = T \times \omega$	(Jule/s, W)	2.5
กำลังไฟฟ้า (P)	$= V \times I$	(W)	2.6
ประสิทธิภาพ (h)	$= \left(\frac{PO}{PI} \right) \times 100$		2.7

เมื่อ PO = กำลังด้าน Output

PI = กำลังด้าน Input

2.3.3 การเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

หลักการเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้ายังขดลวดอาร์เมเจอร์ จะเป็นไปตามสูตรกฎของโอห์มดังนี้ [10]

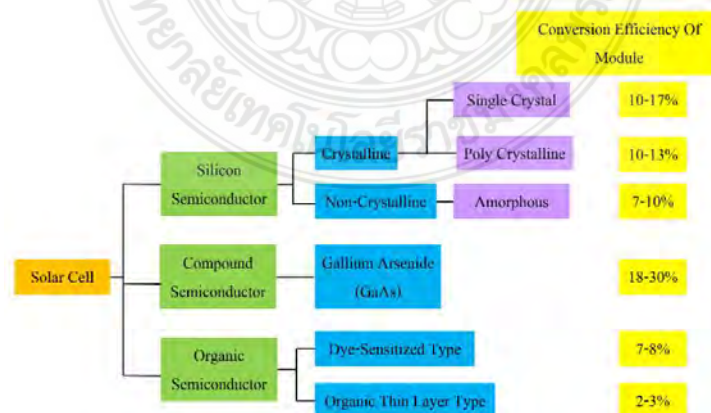
$$I_a = \frac{V}{R_a} \quad 2.8$$

เมื่อ I_a = กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าขดลวดอาร์เมเจอร์
 V = แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์
 R_a = ความต้านทานภายในขดลวดอาร์เมเจอร์

2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ แบบที่ใช้สารกึ่งตัวนำซิลิกอน(Silicon Semiconductor) และชนิดหนึ่งที่ใช้สารกึ่งตัวนำแบบผสม(Compound Semiconductor) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 [5]

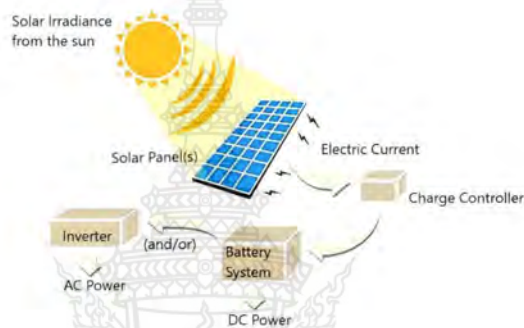
เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สารกึ่งตัวนำซิลิกอนจะถูกแบ่งออกเป็น สารกึ่งตัวนำเป็นผลึก(Crystal) และไม่เป็นผลึก(Amorphous) สารกึ่งตัวนำชนิดผลึกซิลิกอนจะใช้กันอย่างแพร่หลาย สำหรับอัตราการผลิตสูงและความน่าเชื่อถือติดตาม เซมิคอนดักเตอร์ไม่เป็นผลึกทำงานได้ดีแม้ภายใต้หลอดฟลูออเรสเซนต์ ดังนั้นจึงใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับเครื่องคิดเลขและนาฬิกาข้อมือ ในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ องค์ประกอบหลักของระบบคือ “แผงเซลล์แสงอาทิตย์” ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ปรากฏการณ์โฟโตวอลเทอิก โดยในท้องตลาดมีเทคโนโลยีของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ 3 ชนิดหลักๆ คือ โมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline) โพลีคริสตัลไลน์(Polycrystalline) และฟิล์มบาง(Thin film) [5]



รูปที่ 2.5 ประเภทและประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ

2.4.1 การทำงานของแผงโซลาร์เซลล์

ดวงอาทิตย์ให้พลังงานที่แผ่ออกมาในรูปของโฟตอนแสงซึ่งแผงโซลาร์เซลล์แปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วย เซมิคอนดักเตอร์ที่มีซิลิกอนเป็นส่วนประกอบ และเมื่อรังสีสัมผัสกับอะตอมของซิลิกอน โฟตอนจะถูกดูดซับและอิเล็กตรอนจะถูกแยกออกจากส่วนที่เหลือของอะตอม อิเล็กตรอนอิสระเหล่านี้มีหน้าที่ในการจัดเก็บและสร้างกระแสไฟฟ้า ไฟฟ้าที่ผลิตได้ส่วนใหญ่มักจะเก็บไว้ในแบตเตอรี่เพื่อใช้ในภายหลัง การกำหนดมุมเอียงของแผงจะเพิ่มสูงขึ้นตามตำแหน่งละติจูด [11]



รูปที่ 2.6 แสดงการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ เซลล์ ประกอบเข้าด้วยกันเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 โดยลักษณะการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับขนาดแผงและปริมาณพลังงานที่ต้องการ แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นพื้นฐานของทุกระบบพลังงานแสงอาทิตย์ทุก ๆ ระบบ ซึ่งซิลิคอนถูกนำมาใช้เพื่อสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ และต่อรวมกันเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [5]



รูปที่ 2.7 แผงเซลล์แสงอาทิตย์

อาร์เรย์แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array) อาร์เรย์ คือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์หลายแผงมาเชื่อมต่อกันดังแสดงในรูปที่ 2.8 ในระบบที่ใหญ่ขึ้นต้องการอาร์เรย์เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการ ซึ่งในบางกรณีจำเป็นต้องมีอาร์เรย์มากกว่าหนึ่งอาร์เรย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 [5]



รูปที่ 2.8 อาร์เรย์แผงเซลล์แสงอาทิตย์

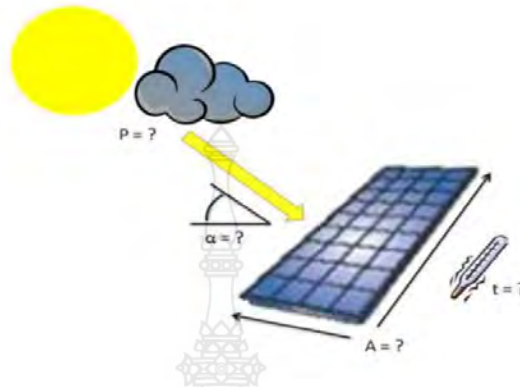


รูปที่ 2.9 อาร์เรย์แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มากกว่าหนึ่งอาร์เรย์

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ได้แก่

- 1) พื้นที่รับแสงของแผง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่จะผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้น ถ้าเพิ่มพื้นที่ผิวของแผงเป็นสองเท่าเราก็จะเพิ่มกำลังไฟฟ้าเป็นสองเท่า
- 2) ทิศทางแผง เพื่อให้ผลิตพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด แผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะต้องหันหน้าเข้าหาแสงอาทิตย์ในทิศทางตามดวงอาทิตย์
- 3) ความร้อน การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในที่ที่มีอุณหภูมิสูงจะทำให้ตัวแผงและเซลล์ที่อยู่ในแผงเกิดการเสื่อมสภาพทำให้รับพลังงานความเข้มจากแสงอาทิตย์ได้ลดลง

4) ความสว่าง ยังมีแสงแดดตกกระทบมากขึ้น แผงยังมีการผลิตกระแสไฟฟ้ามากขึ้น หากมีการบังแดดหรือเงาบนแผง แผงจะผลิตกระแสไฟฟ้าได้ลดลงอย่างมาก [5]



รูปที่ 2.10 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ปัญหาที่สำคัญในการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ปริมาณแสงอาทิตย์ใน 1 วัน ไม่ได้มีตลอด 24 ชั่วโมง และปริมาณของพลังงานแสงอาทิตย์ที่นำมาใช้ผลิตไฟฟ้านั้นแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับเวลาในแต่ละวัน เวลาของแต่ละปี ตำแหน่งที่ตั้งแผง และสภาพอากาศ [5]

2.4.2 ชนิดและเทคโนโลยี

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากซิลิคอนมีอยู่ 3 ประเภทซึ่งใช้ในเชิงพาณิชย์ ได้แก่ [12]

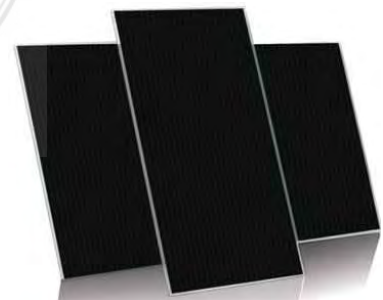
- 1) โมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline) ดังแสดงในรูปที่ 2.11-a
- 2) โพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline) ดังแสดงในรูปที่ 2.11-b
- 3) อะมอร์ฟัส (Amorphous) ดังแสดงในรูปที่ 2.11-c



a แบบโมโนคริสตัลไลน์



b แบบโพลีคริสตัลไลน์



c แบบอะมอร์ฟัส

รูปที่ 2.11 ประเภทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

โดยแผงแบบโมโนคริสตัลไลน์จะมีสีดำและมีลักษณะเวเฟอร์สีเหลี่ยมจัตุรัส แผงแบบโพลีคริสตัลไลน์มีสีน้ำเงินและมีลักษณะเป็นคริสตัลสี่รู้ง และแผงแบบอะมอร์ฟัสมีลักษณะสีดำซึ่งบางครั้งก็มีเส้นที่มองเห็นได้รางๆ แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีหลายขนาดตามกำลังไฟฟ้าขาออก โดยฉลากทางด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะระบุกำลังเอาต์พุตหรือกำลังไฟฟ้าขาออกซึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์ (W) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม นั่นคือ เมื่อดวงอาทิตย์มีพลังงานรังสี 1 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร(ตอนเที่ยงไม่มีเมฆ) และที่อุณหภูมิแผง 25 องศาเซลเซียส ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีคุณภาพดีสามารถใช้งานได้ยาวนานกว่า 20 ปี [12]

2.4.3 พิกัดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวอย่างฉลากบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปที่ 2.12 แสดงค่าดังนี้



รูปที่ 2.12 ฉลากบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 85 วัตต์สูงสุด (Wp)

- 1) กำลังไฟ P_{max} 85 วัตต์
- 2) กระแสขณะเกิดกำลังสูงสุด (P_{max}) I_{mp} 4.98 แอมป์
- 3) แรงดันไฟฟ้าขณะเกิดกำลังสูงสุด (P_{max}) V_{mp} 17.1 โวลต์
- 4) แรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด V_{oc} 21.5 โวลต์
- 5) I_{sc} กระแสไฟฟ้าลัดวงจร 5.67 แอมป์

กำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแสไฟฟ้าที่ระบุไว้ที่ฉลากบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น เป็นค่าที่ได้รับการทดสอบที่ความเข้มแสง 1 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร และที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ดังนั้น พิกัดกำลังมักจะกำหนดที่ "วัตต์สูงสุด" (Wp) โมดูลที่มีพิกัด 85 วัตต์สูงสุด (Wp) คือ โมดูลที่สามารถ

จ่ายกำลังได้สูงสุดที่ 85 วัตต์ ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด หากความเข้มแสงน้อยกว่า 1 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร หรืออุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียสแสดงว่าโมดูลนั้นจะจ่ายพลังงานได้น้อยกว่าปกติ [5]

2.4.4 วิธีการวัดพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกผลิตขึ้นจะมีการทดสอบเพื่อให้แน่ใจว่าตรงตามมาตรฐานที่กำหนด มีพารามิเตอร์ที่สำคัญสองตัวที่ต้องพิจารณาระหว่างการทดสอบ

- 1) กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc}) เป็นกระแสที่วัดได้เมื่อขั้วของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ขั้วบวกและขั้วลบ) ถูกเชื่อมต่อเข้าด้วยกันและไม่มีโหลด ดังแสดงในรูปที่ 2.13
- 2) แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร (V_{oc}) คือแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วบวกและขั้วลบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อไม่ได้ต่อกับโหลดใดๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.14 [5]



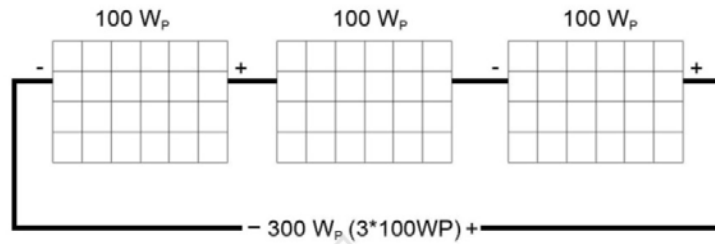
รูปที่ 2.13 การวัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์: กระแสไฟฟ้าลัดวงจร



รูปที่ 2.14 การวัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์: แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร

2.4.5 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอาร์เรย์

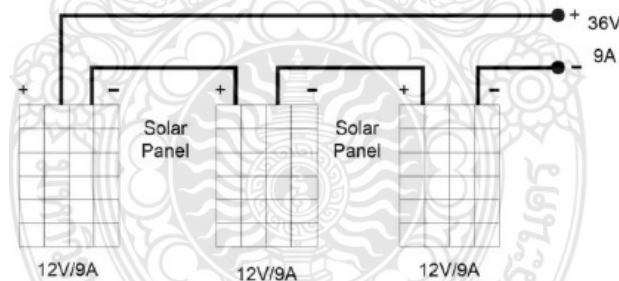
เมื่อเชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อสร้างอาร์เรย์ พลังงานทั้งหมดจากอาร์เรย์ คือผลรวมของพลังงานของแต่ละแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตัวอย่างเช่น มีแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามแผงขนาด 100 วัตต์สูงสุดและจะต้องเชื่อมต่อทั้งแบบอนุกรมหรือแบบขนานกำลังไฟฟ้าทั้งหมดจากอาร์เรย์จะเท่ากับ 300 วัตต์สูงสุดดังแสดงในรูปที่ 2.15 [5]



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอาร์เรย์

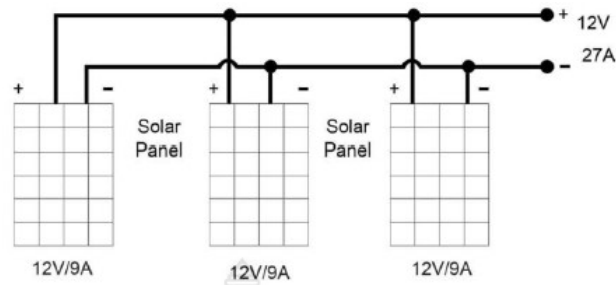
การเชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อสร้างอาร์เรย์สามารถทำได้ 3 วิธี ดังนี้

1) การต่อแบบอนุกรม เพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขาออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมือนกัน(มีพารามิเตอร์เดียวกัน) แบบอนุกรมจะได้แรงดันไฟฟ้าขาออกที่สูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจะมีค่าเท่ากับผลรวมของแรงดันไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผง และกระแสไฟฟ้าขาออกของแต่ละแผงจะมีค่าเท่ากัน ในการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรมขั้วบวก (+) ของแผงจะต้องต่อกับขั้วลบ (-) ของแผงถัดไปในอาร์เรย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ตัวอย่างเช่น มีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แผง แต่ละแผงมีขนาด 12 โวลต์ และ 9 แอมป์ ต่อแบบอนุกรม แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟขาออกของอาร์เรย์นั้น 36 โวลต์ / 9 แอมป์ ตามลำดับ [5]



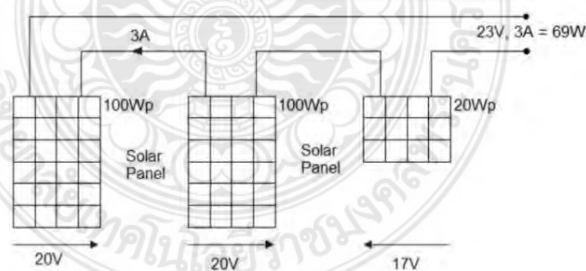
รูปที่ 2.16 ตัวอย่างการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมือนกันแบบอนุกรม

2) การต่อแบบขนาน เพื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าขาออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมือนกันแบบขนาน กระแสไฟฟ้าขาออกจะสูงขึ้น กระแสไฟฟ้าขาออกจะเพิ่มขึ้นเท่ากับผลรวมของกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผง และแรงดันไฟฟ้าขาออกของแต่ละแผงจะมีค่าเท่ากัน ในการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน ขั้วบวก (+) ของแต่ละแผงจะต่อเข้าด้วยกัน และขั้วลบ (-) ของแต่ละแผงก็จะต่อเข้าด้วยกันในอาร์เรย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ตัวอย่างเช่น มีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แผง แต่ละแผงมีขนาด 12 โวลต์ และ 9 แอมป์ ต่อแบบขนาน แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟขาออกของอาร์เรย์นั้น 12 โวลต์ / 27 แอมป์ ตามลำดับ [5]



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมือนกันแบบขนาน

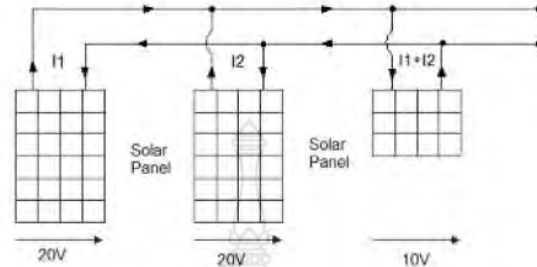
3) การต่อแบบผสม เพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขาออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ถ้าต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพิกัดกำลังไฟฟ้าต่างกัน กำลังไฟฟ้าขาออกจากรีเลย์ จะได้น้อยกว่าผลรวมของกำลังไฟฟ้าของแต่ละโมดูล กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปนั้นขึ้นอยู่กับแบบของการต่อ ความแตกต่างระหว่างโมดูล และโหมดการทำงาน เมื่อต่อโมดูลที่มีกระแสต่างกันแบบอนุกรมกับโหลด (ตัวควบคุมการประจุและแบตเตอรี่) ดังแสดงในรูปที่ 2.18 โมดูลที่มีกระแสไฟต่ำจะกลายเป็นตัวต้านทานหรือโหลดในวงจร โมดูลที่มีกระแสสูงจะสร้างกระแสที่ไหลผ่านวงจร กระแสจะลดลงเนื่องจากความต้านทานของโมดูลกระแสต่ำและสร้างแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมโมดูลกระแสต่ำ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมนี้มีขั้วไฟฟ้าในทิศทางตรงกันข้าม ดังนั้นจึงลดแรงดันไฟฟ้ารวมของการเชื่อมต่ออนุกรมของโมดูลทั้งหมด นอกจากนี้ยังใช้พลังงานของโมดูลอื่นๆ ตัวอย่างเช่น แรงดันตกคร่อมโมดูลกระแสต่ำปรับตัวลดลง คือ 17 โวลต์ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้ารวมของวงจร คือ $(2 \times 20) \text{ โวลต์} - 17 \text{ โวลต์} = 23 \text{ โวลต์}$ กำลังทั้งหมดได้น้อยกว่ากำลังของโมดูลที่กระแสสูงรวมกัน [5]



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดต่างกันมาต่อกันแบบอนุกรม

หรือหากนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เหมือนกัน แต่มีแรงดันไฟฟ้าเท่ากันต่อขนานกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.19 กำลังไฟฟ้ารวมจะเท่ากับผลรวมของกำลังไฟฟ้าของแต่ละโมดูล ซึ่งจะไม่มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้า แต่เมื่อต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เหมือนกัน มีแรงดันเอาต์พุตต่างกันต่อขนาน

กัน หากไม่มีการเชื่อมต่อโหลดเข้ากับวงจร ดังนั้น กระแสของโมดูลที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าจะไหลเข้าสู่โมดูลที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำ ถ้ากระแสที่ไหลสูงอาจทำให้โมดูลที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าเสียหายได้ [5]



รูปที่ 2.19 ตัวอย่างการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดต่างกันมาต่อกันแบบขนาน

2.5 ชุดคันเร่ง

หลักการทำงานของคันเร่งก็เหมือนวอลลุ่มทั่วไป คือสามารถเร่งหรือ ปรับแรงดันขาออกได้ 1 - 4 โวลต์ โดยประมาณ แต่ภายในจะไม่ใช้วอลลุ่มแต่จะใช้ Hall Sensor (เซ็นเซอร์สนามแม่เหล็ก) แทน เนื่องจากคงทนและแม่นยำกว่าวอลลุ่มที่เราพบเห็น Hall Sensor มีลักษณะเหมือนทรานซิสเตอร์มี 3 ขา คือ ขาไฟเลี้ยง 5 โวลต์ ขากราวด์ และขาไฟออก ซึ่งภายในคันเร่งจะมีแม่เหล็กลักษณะทรงโค้งฝังอยู่ในตัวบิต บางตัวก็วางแม่เหล็กเป็น 2 ชั้น โดยมีเซนเซอร์วงรับสนามแม่เหล็กอยู่ตรงกลาง เมื่อเราบิดคันเร่งก็จะเกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำที่ต่างกันออกไปให้ Hall Sensor แปรผันเป็นแรงดันไฟส่งไปให้ชุดควบคุมรับรู้อีกทีหนึ่ง โดยจะส่งเป็นพัลส์ธรรมดา ไม่ใช่พัลส์สามเหลี่ยมได้เลย ชุดคันเร่งบางรุ่นพิเศษมีวงจรตรวจระดับแรงดันแบตเตอรี่ติดมาด้วย [13]

ไฟ LED ตรงคันเร่งบิตจะบอกไฟต่างๆ แสดงดังในรูปที่ 2.20 ดังนี้

- สีเขียว ด้านบนแสดงสถานะแบตเตอรี่เต็มพร้อมใช้งาน
- สีเหลือง แสดงสถานะเตรียมตัวชาร์จแบตเตอรี่ได้พลังงานกำลังจะหมด
- สีแดง ด้านล่างแสดงสถานะให้ชาร์จไฟได้แล้ว [13]



รูปที่ 2.20 ชุดคันเร่ง

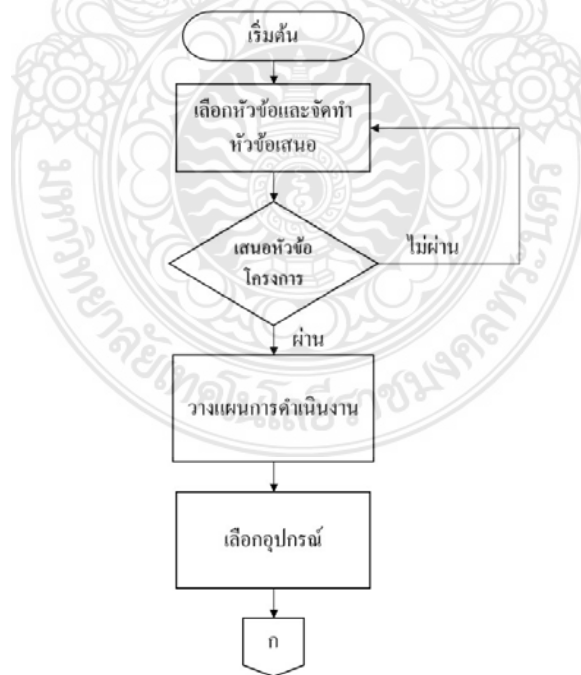
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ

3.1 บทนำ

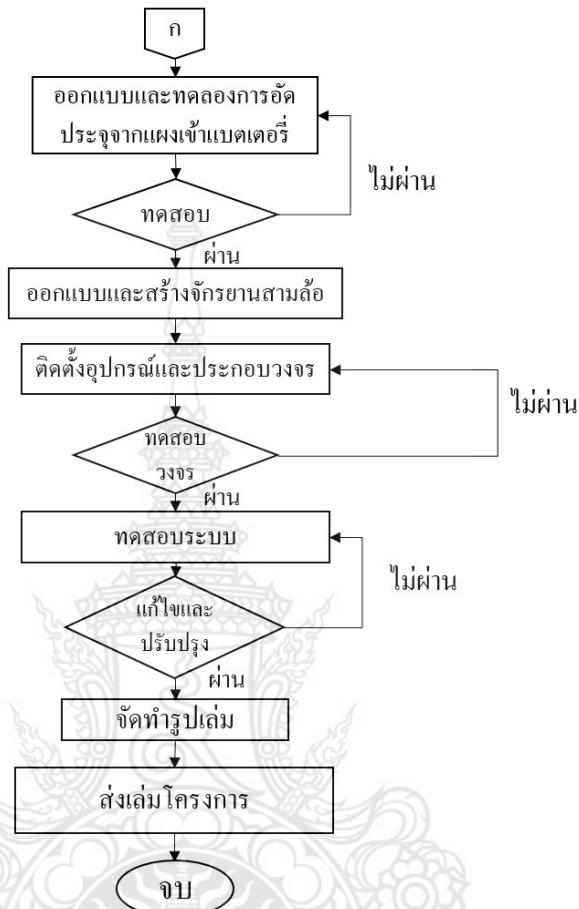
ในบทนี้กล่าวถึง หลักการการออกแบบวงจรควบคุมมอเตอร์ วงจรชาร์จแบตเตอรี่ รวมไปถึง การแสดงผลของแบตเตอรี่ สำหรับโครงการนี้ใช้มอเตอร์ขนาด 24 V 250 W จำนวน 1 ตัว แบตเตอรี่ ขนาด 12 V จำนวน 2 ลูก โครงการนี้ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆคือ ส่วนควบคุมมอเตอร์(Motor controller) ซึ่งจะควบคุมในส่วนการกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เข้าสู่มอเตอร์ ซึ่งเป็นการควบคุม ความเร็วของมอเตอร์ ในวงจรส่วนนี้ จะทำให้จักษยานขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้า การควบคุมการ ประจุกระแสไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่ และการควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่

3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

กระบวนการสร้างจักษยานพลังงานไฟฟ้าที่ติดตั้งโซลาร์เซลล์ มีขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน ดังแสดงไว้ด้วยแผนผังขั้นตอนการทำงาน (Flow chart) โดยรายละเอียดต่างๆ มีดังนี้



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.2 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน (ต่อ)

3.3 ออกแบบการทำงานของรถจักรยานพลังงานไฟฟ้า

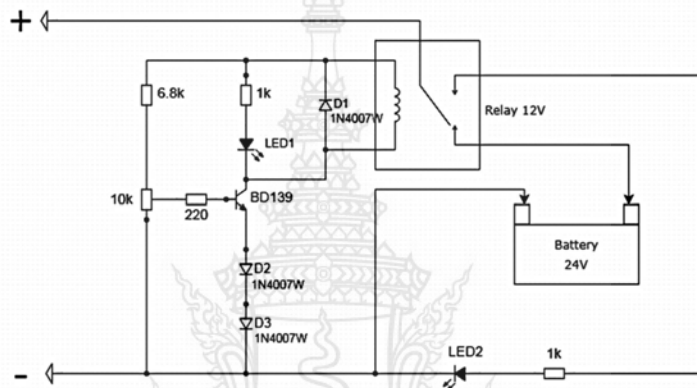
ในการศึกษาข้อมูลต่างๆ ในการออกแบบสร้างรถจักรยานพลังงานไฟฟ้าที่ติดตั้งโซลาร์เซลล์ สามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงาน

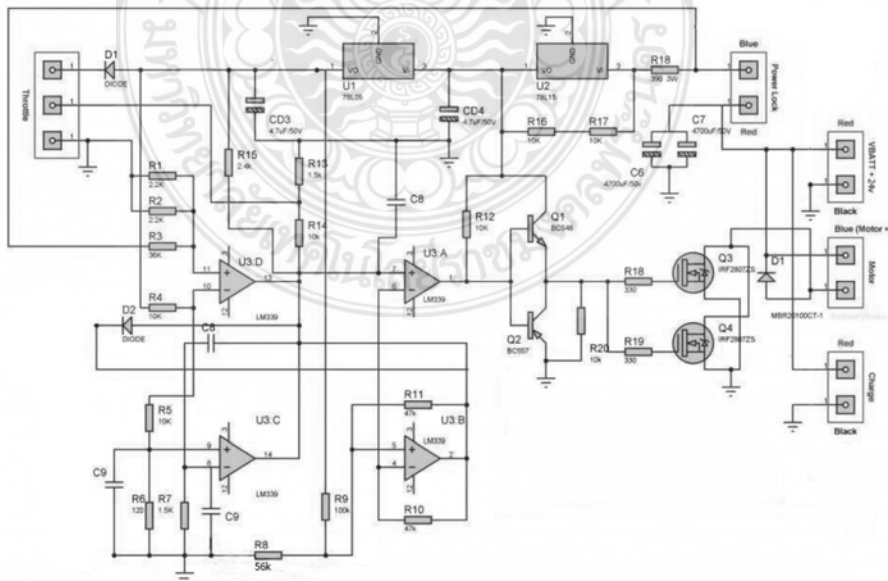
3.3.1 ออกแบบวงจรชาร์จแบตเตอรี่

ทำวงจรตัดไฟชาร์จแบตเตอรี่ 24 โวลต์ เมื่อชาร์จไฟเต็มจะมีแรงดันไฟฟ้าเป็น 26.0 V_{dc} จะสั่งตัดไฟชาร์จด้วยรีเลย์ และ LED1 เป็นตัวบอกสถานะการทำงาน หากยังไม่ต่อแบตเตอรี่เพื่อชาร์จประจุ จะเห็น LED1 เปล่งแสงติดสว่างค้างแต่ในขณะชาร์จ LED1 จะเปล่งแสงเพิ่มขึ้น และถ้าชาร์จจนแบตเตอรี่เต็ม LED2 ก็จะไม่เปล่งแสงและวงจรก็หยุดการจ่ายไฟชาร์จ เพื่อป้องกันไฟเกิน ป้องกันแบตเตอรี่พัง ใช้งานได้กับกระแสสูงๆ ไม่ต้องออกแบบวงจรให้ซับซ้อน เพื่อทนกระแสสูงๆ เป็นเพียงวงจรเล็กๆ ที่ใช้ตัดวงจรเมื่อไฟแบตเตอรี่เต็ม ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วงจรชาร์จแบตเตอรี่

3.3.2 ออกแบบชุดควบคุม



รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมของชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้

3.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน

ในโครงการนี้ ได้เลือกใช้มอเตอร์กระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน (Brushed DC Motor) ขนาด 250 วัตต์ 24 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ในการขับเคลื่อนรถจักรยานพลังงานไฟฟ้า ซึ่งสามารถใช้ทดเพื่อได้และเหมาะสมกับการนำมาใช้งานในการขับเคลื่อนรถจักรยานสามล้อไฟฟ้า



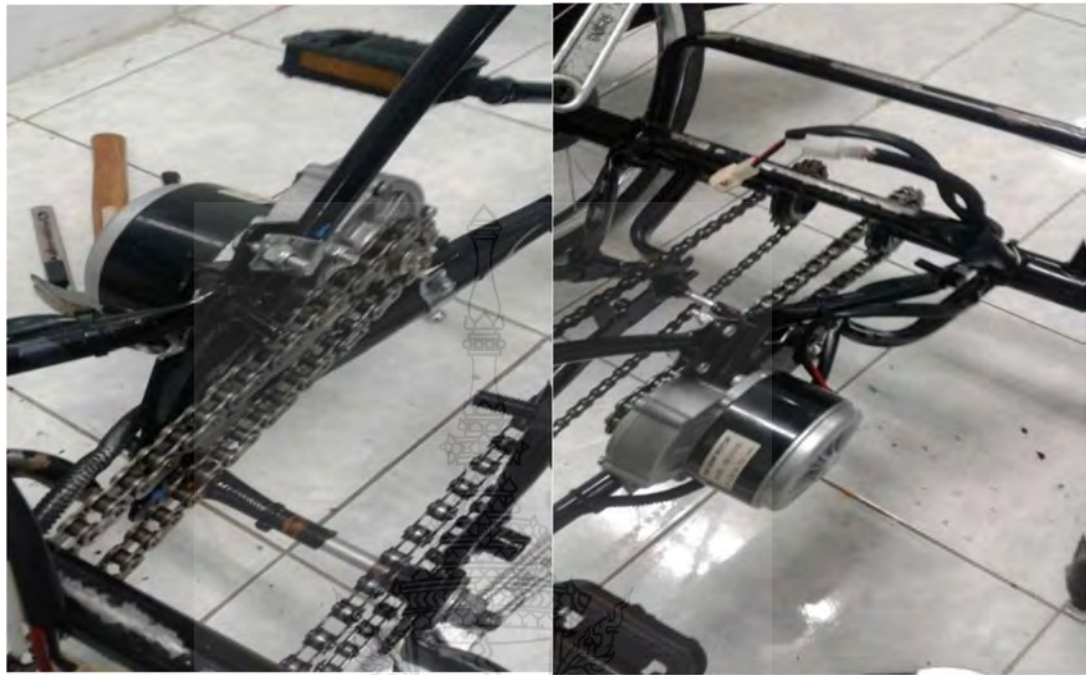
รูปที่ 3.6 Brushed DC Motor 24V250W



รูปที่ 3.7 โครงสร้างและส่วนประกอบหลักของมอเตอร์เกียร์แบบมีแปรงถ่าน

3.5 ออกแบบและสร้างวงจรจ่ายไฟ (Switching Power Supply)

สวิตซ์ซิงเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply) เป็นแหล่งจ่ายไฟตรงคงค่าแรงดันแบบหนึ่ง และสามารถเปลี่ยนแรงดันไฟจากไปสลับโวลต์สูง ให้เป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำ เพื่อใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ได้ เช่นเดียวกันแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น (Linear Power Supply) ถึงแม้เพาเวอร์ซัพพลายทั้งสองแบบจะต้องมีการใช้หม้อแปลงในการลดทอนแรงดันสูงให้เป็นแรงดันต่ำเช่นเดียวกันแต่สวิตซ์



รูปที่ 3.10 การวางมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อน



รูปที่ 3.11 การแยกเฟือง

นำจักรยานมาดัดแปลงเพื่อให้มอเตอร์ขับเคลื่อนได้โดยทำการออกแบบโครงสร้างรถจักรยานพลังงานไฟฟ้าและทำการประกอบรถจักรยานพลังงานไฟฟ้าตามที่ได้ออกแบบไว้ และทำการติดตั้งมอเตอร์ขนาด 24V 250W ไว้กับตัวรถจักรยานพลังงานไฟฟ้าดังรูปที่ 3.10

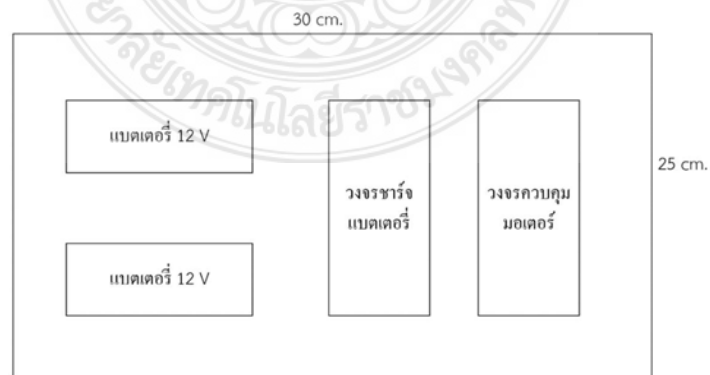
ใช้เฟืองตายสองด้านเพื่อให้ขับเคลื่อนได้ทั้งสองทางโดยติดไว้กับด้านตรงข้ามจานปั่นส่วนด้านจานปั่นยังคงเป็นเฟืองฟรี 1 ด้านเหมือนเดิม ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงการนำมอเตอร์มาประกอบกับเฟืองและโซ่ที่เชื่อมติดกับจักรยาน

3.7 กล่องใส่อุปกรณ์ควบคุม

ในโครงการนี้เลือกใช้กล่องเหล็กเพื่อทนต่อการใช้งานซึ่งกล่องมีขนาดความยาว 30 เซนติเมตร กว้าง 25 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร ในการยึดอุปกรณ์ในกล่องใช้สกรูยึดกับแผ่นวงจรติดกับกล่องและมีแผ่นขนวนลวงและมีกล่องอลูมิเนียมใส่แผ่นวงจรเพื่อระบายความร้อนยึดติดกับกล่อง และในกล่องจะมีวงจรควบคุมมอเตอร์ แบตเตอรี่ วงจรชาร์จแบตเตอรี่



รูปที่ 3.13 กล่องใส่ชุดอุปกรณ์ควบคุม

3.8 ประกอบอุปกรณ์และวงจรทั้งหมดเข้ากับจักรยาน

ประกอบอุปกรณ์ทั้งหมดเข้ากับจักรยาน ได้แก่ วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์(Driver) วงจรชาร์จแบตเตอรี่(charger) วงจรแสดงผลของแบตเตอรี่ (LED) มอเตอร์ (Motor) แบตเตอรี่(Battery) และสวิตช์ปิดเปิดการทำงาน และนำทั้งหมดมาประกอบลงในรถจักรยานและทดสอบเป็นขั้นตอนสุดท้าย ส่วนแผงโซลาร์เซลล์ยังไม่ได้นำมาประกอบกับรถจักรยานเป็นเพราะว่าตอนนี้เกิดสถานการณ์โควิด 19 ทำให้โครงการไม่สามารถดำเนินไปตามแผนการทำงานที่วางไว้ได้ จึงทำให้ชิ้นงานแยกออกเป็นสองส่วนคือส่วนที่ถอดแผงโซลาร์เซลล์ และส่วนของรถจักรยานที่ต่อมอเตอร์ ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ทำการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ทำมุมที่ 15 องศา



รูปที่ 3.15 จักรยานพลังงานไฟฟ้าที่สำเร็จ

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

4.1 บทนำ

ในการทดสอบการใช้งานของจักรยานพลังงานไฟฟ้า ทดสอบโดยการวิ่งใช้งานของจักรยานว่ามีความเร็วที่ใช้ในการขับเคลื่อนจากการอัดประจุว่าสามารถวิ่งได้ความเร็วเท่าไร และสามารถวิ่งใช้งานได้จริงกี่ชั่วโมง และเวลาในการอัดประจุเข้าแบตเตอรี่จากแผงโซลาร์เซลล์ใช้เวลากี่ชั่วโมง

4.2 การทดลองอัดประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่

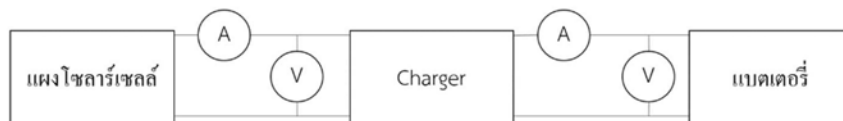
เพื่อต้องการทดสอบประสิทธิภาพของวงจรการชาร์จประจุแบตเตอรี่ จึงทำการอัดประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ให้มีไฟเพียงพอในการจ่ายโหลด

4.2.1 อุปกรณ์การทดลอง

1. แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 50 วัตต์ จำนวน 2 แผง
2. สายไฟ
3. ชุดชาร์จประจุไฟแบตเตอรี่
4. โวลต์มิเตอร์ไฟกระแสดตรง
5. แอมมิเตอร์ไฟกระแสดตรง
6. แบตเตอรี่
7. วงจรตัดไฟ 24 V

4.2.2 รูปการทดลอง

การแสดงผลการอัดประจุจากแผงโซลาร์เซลล์เข้าแบตเตอรี่จะแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 วงจรการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของวงจรชาร์จประจุ

4.2.3 การทดลอง

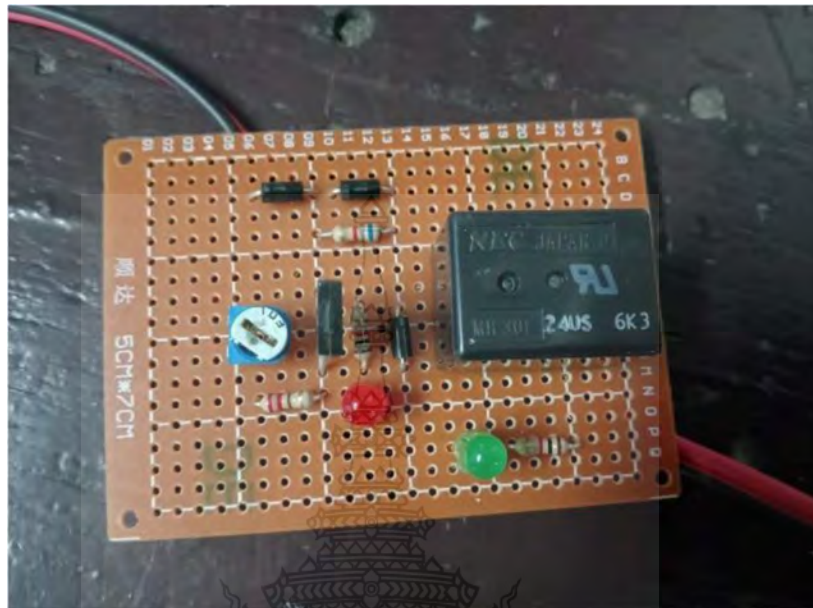
1. ทำการทดลองต่อวงจรการทดลอง ดังรูปที่ 4.2
2. วัดแรงดันและกระแสก่อนผ่านชุดชาร์จประจุทุกๆ 1 ชั่วโมง พร้อมบันทึกผล
3. วัดแรงดันและกระแสหลังผ่านชุดชาร์จประจุทุกๆ 1 ชั่วโมง พร้อมบันทึกผล
4. หาประสิทธิภาพของวงจร
5. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง



รูปที่ 4.2 การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ทำมุมที่ 15 องศา



รูปที่ 4.3 การต่อแรงดันกระแสจากแผงโซลาร์เซลล์เข้าสู่ชาร์จเจอร์



รูปที่ 4.4 วงจรชาร์จแบตเตอรี่ 24 V



รูปที่ 4.5 วงจรตัดไฟ ตัดที่แรงดัน 26.0 V เมื่อจ่ายแรงดันและกระแสเข้าแบตเตอรี่

4.2.4 ผลการทดลอง ทำการทดลองทั้งหมด 2 รอบโดยตารางที่ 4.1 จะทำการทดลอง
ช่วงเวลา 10.00-14.00 และตารางที่ 4.2 จะทำการทดลองช่วงเวลา 14.00-17.30

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองครั้งที่ 1 ทดสอบประสิทธิภาพการอัดประจุเข้าแบตเตอรี่

เวลา	Output Solar Cell		
	แรงดัน (V)	กระแส (I)	กำลังงาน (W)
10.00	28.45	1.81	51.49
10.30	29.99	1.92	57.58
11.00	29.67	1.99	56.96
11.30	30.64	2.12	64.96
12.00	31.15	2.22	69.15
12.30	31.10	2.18	67.80
13.00	30.76	2.11	64.90
13.30	32.99	2.07	68.29
14.00	33.62	2.01	67.57

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองครั้งที่ 2 ทดสอบประสิทธิภาพการอัดประจุเข้าแบตเตอรี่

เวลา	Output Solar Cell		
	แรงดัน (V)	กระแส (I)	กำลังงาน (W)
14.00	33.62	2.01	67.57
14.30	30.60	2.03	62.12
15.00	30.99	1.99	61.67

15.30	29.61	1.78	52.71
16.00	27.60	1.61	44.44
16.30	27.74	1.62	44.95
17.00	25.81	1.58	40.78
17.30	24.00	1.32	31.68

จากการทดลอง จะเห็นว่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์มีขนาดเฉลี่ยที่ 29.90 โวลต์ และกระแสทางด้านเอาต์พุตโซลาร์เซลล์ค่อนข้างคงที่ ค่ากระแสสามารถดูได้จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อแผงร้อนขึ้นประสิทธิภาพในการผลิตกระแสจะลดลง

4.3 ลักษณะของรถจักรยานสามล้อไฟฟ้า

ลักษณะของรถจักรยานสามล้อไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

4.3.1 คุณสมบัติของรถจักรยาน

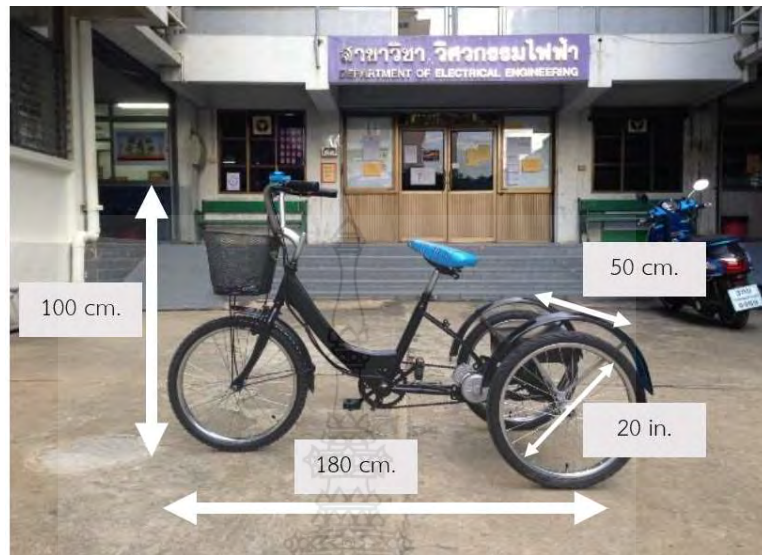
- มีบันไดสำหรับผู้ขับขี่ที่สามารถปั่นเองได้
- น้ำหนักโดยรวมของรถจักรยานสามล้อไฟฟ้าทั้งหมด ประมาณ 30 กิโลกรัม
- สามารถรับน้ำหนัก โดยรวมน้ำหนักของจักรยานทั้งหมด ประมาณ 110 กิโลกรัม

4.3.2 คุณสมบัติของชุดขับเคลื่อน

- มีแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์จำนวน 2 ลูก ต่ออนุกรมกันเพื่อให้ได้แรงดัน 24 โวลต์
- สามารถทำความเร็วสูงสุด 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง ที่น้ำหนักบรรทุก 110 กิโลกรัม โดยรวมน้ำหนักรถ
- ในการขับเคลื่อน 1 ล้อหลังด้วยมอเตอร์ 1 ตัว

4.3.3 คุณสมบัติที่ทดสอบได้

- ตามตารางการทดสอบ



รูปที่ 4.6 ขนาดต่างๆ ของรถจักรยานพลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 4.7 ด้านหน้าของรถจักรยานพลังงานไฟฟ้า



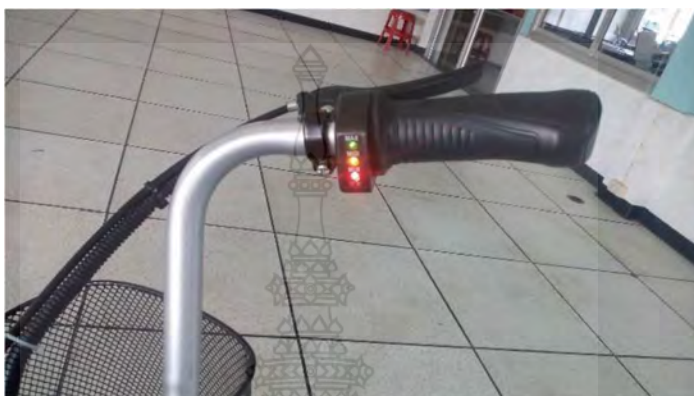
รูปที่ 4.8 ด้านข้างของรถจักรยานพลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 4.9 ชุดแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 2 ลูก

4.4 ลักษณะสมบัติของชุดวัดระดับแรงดันไฟฟ้า

- ใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์
- มีหลอดไฟ (LED) โชน้ขณะเปิดเครื่อง
- เมื่อแรงดันต่ำกว่าค่าที่กำหนดจะตัดสัญญาณไฟฟ้าที่ไปเลี้ยงวงจร



รูปที่ 4.10 ชุดวัดระดับแบตเตอรี่

4.5 ลักษณะสมบัติของชุดควบคุมมอเตอร์

- ใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์
- ขับเคลื่อนด้วยความเร็วสูงสุด 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง



รูปที่ 4.11 ชุดควบคุมมอเตอร์

4.6 การทดสอบความเร็วของรถจักรยานสามล้อไฟฟ้า

- การทดสอบด้วยความเร็วคงที่ 10 กิโลเมตร / ชั่วโมง
- การทดสอบด้วยความเร็วคงที่ 20 กิโลเมตร / ชั่วโมง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบโครงการ มีดังนี้

1. แอมมิเตอร์
2. ไมล์แบบไร้สาย

วิธีการทดสอบรถจักรยานสามล้อไฟฟ้า

เป็นการทดสอบความเร็วเฉลี่ยของรถจักรยานสามล้อไฟฟ้าเทียบกับเวลา ด้วยการออกตัวรถ โดยการปั่นพร้อมกับบิดคันเร่งสูงสุด และการออกตัวรถโดยการบิดคันเร่งสูงสุด การทดสอบด้วยทางเรียบโดยใช้ความเร็วคงที่ 10 และ 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง

4.6.1 การทดสอบด้วยความเร็วคงที่ทางเรียบที่ 10 กิโลเมตร/ชั่วโมง โดยระยะที่ 100 เมตร

เป็นการวัดความเร็วเฉลี่ยของรถจักรยานพลังงานไฟฟ้า ซึ่งทดสอบที่โหลดน้ำหนัก 50 60 70 กิโลกรัม โดยการทดสอบจะใช้ ไมล์แบบไร้สายเป็นตัวตรวจข้อมูล การทดสอบจะทำการจำกัดความเร็วไว้ที่ 10 km/h และบิดคันเร่งอย่างเดียวเพื่อให้ได้ค่าของกระแสขณะวิ่งของรถจักรยานพลังงานไฟฟ้า แสดงผลตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การทดสอบด้วยความเร็วคงที่ทางเรียบที่ 10 กิโลเมตร/ชั่วโมง โดยระยะที่ 100 เมตร

น้ำหนักผู้ทดสอบ	ความเร็ว (km/h)	ระยะทาง (m)	เวลาในการขับ (s)
50	10	100	60
60	10	100	65
70	10	100	68

จากตารางการทดสอบ แสดงผลการทดสอบการบิดคันเร่งในการออกตัวจากจุดเริ่มต้นเพื่อให้ความเร็วคงที่ ที่ 10 กิโลเมตร/ชั่วโมง สรุปผลการทดลองได้ว่า ที่น้ำหนักผู้ขับขี่ 50 60 70 กิโลกรัม การออกตัวบิดคันเร่งให้ความเร็วคงที่ที่ 10 กิโลเมตร/ชั่วโมง รถจักรยานสามล้อไฟฟ้าสามารถขับได้ปกติ

4.6.2 การทดสอบด้วยความเร็วคงที่ทางเรียบที่ 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง โดยระยะที่ 100 เมตร

เป็นการวัดความเร็วเฉลี่ยของรถจักรยานพลังงานไฟฟ้า ซึ่งทดสอบที่โหลดน้ำหนัก 50 60 70 กิโลกรัม โดยการทดสอบจะใช้ ไมล์แบบไร้สาย เป็นตัวตรวจข้อมูล การทดสอบจะทำการจำกัดความเร็วไว้ที่ 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง และบิดคันเร่งอย่างเดียวเพื่อให้ได้ค่าของกระแสขณะวิ่งของจักรยานพลังงานไฟฟ้า แสดงผลตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การทดสอบด้วยความเร็วคงที่ทางเรียบที่ 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง โดยระยะที่ 100 เมตร

น้ำหนักผู้ทดสอบ	ความเร็ว (km/h)	ระยะทาง (m)	เวลาในการขับ (s)
50	20	100	30
60	20	100	35
70	20	100	38

จากตารางการทดสอบ แสดงผลการทดสอบการบิดคันเร่งในการออกตัวจากจุดเริ่มต้นเพื่อให้ความเร็วคงที่ที่ 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง สรุปผลการทดลองได้ว่า ที่น้ำหนักผู้ขับขี่ 50 60 70 กิโลกรัม การออกตัวบิดคันเร่งให้ความเร็วคงที่ที่ 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง รถจักรยานสามล้อไฟฟ้าสามารถขับได้ปกติ

4.7 การทดสอบค่าดีวตี้ไซเคิล (Duty cycle) ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ขณะไม่มีโหลด

การควบคุมความเร็วมอเตอร์จะทำได้ด้วยการสร้างคลื่นสี่เหลี่ยมขึ้นมา จากนั้นทำการปรับค่าดีวตี้ไซเคิล (Duty cycle) ซึ่งการสร้างคลื่นสี่เหลี่ยมขึ้นมาเพื่อควบคุมความเร็วมอเตอร์นี้ เรียกว่าการสร้างคลื่นแบบ PWM (Pulse Width Modulation) จากการทดสอบจะทำการปรับความเร็วของมอเตอร์เป็น 3 ระดับ พร้อมกับวัดเปรียบเทียบความเร็วรอบทางกลของมอเตอร์ ดังนี้

4.7.1 การทดสอบมอเตอร์ที่ระดับความเร็วต่ำ



รูปที่ 4.12 สัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมของมอเตอร์ที่ระดับความเร็วต่ำ



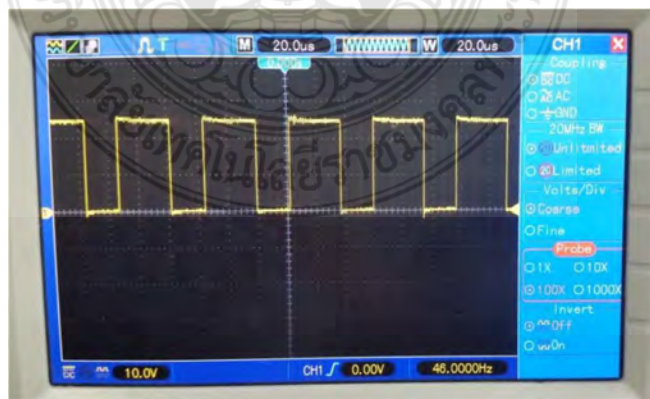
รูปที่ 4.13 ค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ระดับต่ำ

จากการทดสอบที่ระดับความเร็วต่ำ มอเตอร์จะหมุนที่ความเร็ว 60 รอบต่อนาที ค่าตัวชี้ไขเคลคาบเวลาช่วงขาขึ้น T_{on} ของคลื่นพัลส์ หรือเวลาที่เป็นลอจิก 1 จะมีค่า $60 \mu s$ เทียบกับ คาบเวลาขาลง T_{off} หรือลอจิก 0 มีค่า $240 \mu s$ สามารถคำนวณค่าตัวชี้ไขเคลเป็นเปอร์เซ็นต์ ได้ดังนี้

$$\left(\frac{20 \mu s \times 3}{300 \mu s} \right) \times 100 = 20\% \quad 4.1$$

แสดงว่า คลื่นพัลส์รูปนี้ จะมีช่วงอัตราส่วนของ Duty Cycle ช่วงขาขึ้น T_{on} เป็น 20% และ Duty Cycle ในช่วงขาลง T_{off} เป็น 80% ใน 1 คาบเวลา

4.7.2 การทดสอบมอเตอร์ที่ระดับความเร็วปานกลาง



รูปที่ 4.14 สัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมของมอเตอร์ที่ระดับความเร็วปานกลาง



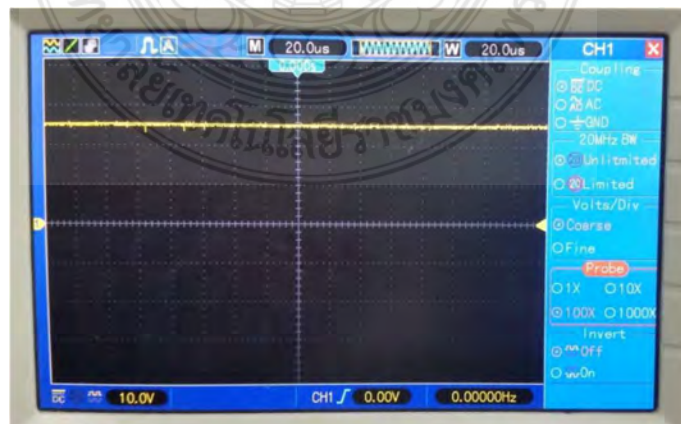
รูปที่ 4.15 ค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ระดับปานกลาง

จากการทดสอบที่ระดับความเร็วปานกลาง มอเตอร์จะหมุนที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที ค่าตัวชี้ ไชเคิลคาบเวลาช่วงขาขึ้น T_{on} ของคลื่นพัลส์ หรือเวลาที่เป็นลอจิก 1 จะมีค่า $180 \mu s$ เทียบกับคาบเวลา ขาลง T_{off} หรือลอจิก 0 มีค่า $120 \mu s$ สามารถคำนวณค่าตัวชี้ไชเคิลเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ดังนี้

$$\left(\frac{20 \mu s \times 9}{300 \mu s} \right) \times 100 = 60\% \quad 4.2$$

แสดงว่า คลื่นพัลส์รูปนี้ จะมีช่วงอัตราส่วนของ Duty Cycle ช่วงขาขึ้น T_{on} เป็น 60% และ Duty Cycle ในช่วงขาลง T_{off} เป็น 40% ใน 1 คาบเวลา

4.7.3 การทดสอบมอเตอร์ที่ระดับความเร็วสูงสุด



รูปที่ 4.16 สัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมของมอเตอร์ที่ระดับความเร็วสูงสุด



รูปที่ 4.17 ค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ระดับสูงสุด

จากการทดสอบมอเตอร์ที่ระดับความเร็วสูงสุด มอเตอร์จะหมุนที่ความเร็วประมาณ 200 รอบต่อนาที จะเห็นว่าคลื่นพัลส์เป็นเส้นตรง แสดงว่าคลื่นพัลส์รูปนี้จะมีช่วงของ Duty Cycle เป็น 100% ใน 1 คาบเวลา

4.8 สรุปผลการดำเนินงาน

ผลการทดสอบรถจักรยานพลังงานไฟฟ้าเริ่มจากการอัดประจุจากแผงโซลาร์เซลล์เข้าแบตเตอรี่เพื่อนำมาใช้ในการขับเคลื่อนของรถจักรยานพลังงานไฟฟ้าและทำการทดสอบความเร็วเฉลี่ยของรถจักรยานพลังงานไฟฟ้าเทียบกับเวลาการทดสอบด้วยทางเรียบโดยการใช้ความเร็ว คงที่ 10 และ 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง ซึ่งทดสอบที่น้ำหนักผู้ขับขี่ 50, 60, 70 กิโลกรัม เพื่อเปรียบเทียบการใช้งานของช่วงเวลาการอัดประจุแบตเตอรี่และการนำมาใช้งานได้จริง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

โครงการนี้เป็นโครงการเกี่ยวกับจักรยานพลังงานไฟฟ้าที่ใช้มอเตอร์กระแสตรงแบบมีแปรงถ่านโดยการอัดประจุจากแผงโซลาร์เซลล์เข้าแบตเตอรี่ วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทำงานของระบบจักรยานพลังงานไฟฟ้าที่นำอุปกรณ์ไฟฟ้ามาประกอบเข้าด้วยกันโดยการนำพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยเกิดเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถใช้ได้จริงในชีวิตประจำวัน

5.2 ปัญหาการดำเนินงาน

1. การทำงานล่าช้าเนื่องจาก เวลาการอัดประจุเข้าแบตเตอรี่เพราะต้องขึ้นอยู่กับความเข้มและอุณหภูมิของแสง
2. บั๊กการขับเคลื่อนของจักรยานพลังงานไฟฟ้าค่อนข้างยากอาจเป็นเพราะการปรับศูนย์ในการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน
3. การทดสอบอัดประจุเข้าแบตเตอรี่สำหรับจักรยานพลังงานไฟฟ้า การทำงานมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับพอใช้

5.3 สรุปผลการทดลอง

ผลการอัดประจุจากแผงโซลาร์เซลล์เข้าแบตเตอรี่ พบว่ามีการอัดประจุได้จริงทำให้ผลการทดสอบจักรยานพลังงานไฟฟ้าใช้ได้จริง

การออกแบบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์สำหรับการขับเคลื่อนมอเตอร์จักรยานพลังงานไฟฟ้า ใช้การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน และความเร็วที่สามารถบิดได้สูงสุดอยู่ที่ 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง และขึ้นอยู่กับน้ำหนักของคนขับด้วย และน้ำหนักที่รับได้รวมตัวรถอยู่ที่ 110 กิโลกรัมและแบตเตอรี่ที่ใช้ในการขับเคลื่อนจักรยานสามล้อไฟฟ้าสามารถใช้งานได้เต็มที่ถึง 2 ชั่วโมง และการชาร์จแบตเตอรี่ใช้เวลาในการชาร์จอยู่ที่ 2 ชั่วโมง และจักรยานพลังงานไฟฟ้าเมื่อแบตเตอรี่หมดยังสามารถใช้พลังงานคนในการปั่นให้ขับเคลื่อนต่อไปได้

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากการทำงานของโซลาร์เซลล์รับแสงอาทิตย์ มีปัจจัยทางกายภาพจึงควรดูแลหลักการทำงานของระบบแปลงพลังงานไม่เกิดการชำรุดหรือเสียหาย
2. กระแสเริ่มเดินของมอเตอร์สูงมาก เพราะฉะนั้นสายไฟต้องใหญ่เพียงพอที่จะรับกระแสได้

3. ปรับศูนย์ในการขับให้ตรง
4. พัฒนาระบบควบคุมแรงบิดในการขับเคลื่อนของมอเตอร์ได้อย่างเหมาะสมกับความเร็วและภาระในการขับเคลื่อนนั้น



เอกสารอ้างอิง

- [1] กฤษณะ จันทสิทธิ์, คมสัน มุ่ยสี และสนั่น เกาซารี. (2557). การพัฒนารถจักรยานไฟฟ้า กิ่งอัตโนมัติเพื่อชุมชนบ้านท่าศาลา อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี. (ปริญญาณิพนธ์ สังกัดคณะ เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและอัญมณีศาสตร์, มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี).
- [2] RENESA. [n.d]. สืบค้นเมื่อ 1 กรกฎาคม 2564. จาก <https://www.renesas.com/>.
- [3] Elife. [n.d]. สืบค้นเมื่อ 1 กรกฎาคม 2564. จาก <https://www.elifegear.com/brushless-motor-brushed>
- [4] Brandon Kretchmer, Ryan Monahan, Aldo Garcia, Eric Garner, Brian Sims, Nnadozie Njoku, Michael Lahey, and Nicolau Monteiro, “ Solar Powered Electric Vehicle”, 2017.
- [5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2560). การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ การถ่ายทอดและการเผยแพร่การใช้พลังงานแสงอาทิตย์. กรุงเทพมหานคร : กระทรวงพลังงาน.
- [6] ประภาส แก้วพิทักษ์ และ ไตรรัตน์ กฤษณะโลม. (2551). จักรยานไฟฟ้าแบบใช้การอัดประจุ แบตเตอรี่เพิ่มจากการเบรกและการปั่นด้วยเท้า. (ปริญญาณิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา).
- [7] กิตติศักดิ์หมึกแดง และ อติศักดิ์คามพินิจ. (2557). จักรยานไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วย Brushless DC Motor 2 ตัว (Electric Tricycle by Double Brushless DC Motor). (ปริญญาณิพนธ์ ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ).
- [8] ประวิช บุญเจริญ และ เอกชัย นามวงศ์. (2555). จักรยานออกกำลังกายผลิตไฟฟ้า. (ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ปวส. (สาขาการติดตั้งไฟฟ้า).สมุทรปราการ, วิทยาลัยเทคนิคกาญจนาภิเษก).
- [9] เกียรติศักดิ์เพชรมี. (2556).การคำนวณแรงบิด กำลังและประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรง, สืบค้นเมื่อ 9 กรกฎาคม 2564. จาก <http://9arduino.blogspot.com/2013/07/blogpost.html>.
- [10] วิทยาลัยเทคนิคพัทลุง. (2557). การเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง. สืบค้นเมื่อ 9 กรกฎาคม 2564. จาก http://e-power.ptl.ac.th/index.php?option=com_docman&task=doc.

- [11] Tarik M. Abdullah Khan, Srea Rahman, Monzurul Karim Afgani, and Khairul Eahsun Fahim, “Solar car”, 2019.
- [12] Solar Quotes. (2552). SOLAR PANELS. สืบค้นเมื่อ 10 กรกฎาคม 2564. จาก <https://www.solarquotes.com.au/panels/photovoltaic/?fbclid=IwAR0q36BRBD9z>
- [13] บัณฑิต วิชาวนิชและพิสุทธิ์ จันทร์ชัยชนะกุล. (2540). ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงแบบปราศจากแปรงถ่าน. (ปริญญาณิพนธ์ วิศวกรรมบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมศาสตร์อุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ)



ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-สกุล	นายนิติศ ชูช่วย
ชื่อเล่น	โดม
เกิดเมื่อ	11 เมษายน 2543
อายุ	21 ปี
ที่อยู่	6008/5 ถ.ประชาสงเคราะห์ ซ.ประชาสงเคราะห์11 เขตดินแดง แขวงดินแดง จังหวัดกรุงเทพฯ 10400 เบอร์โทรศัพท์ 061-3861xxx E-mail: nititdome@gmail.com
ประวัติการศึกษา	-พ.ศ.2560 สำเร็จการศึกษาจากวิทยาลัยอาชีวศึกษาเทคนิควิทยา -พ.ศ.2561 เริ่มเข้าศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-สกุล นางสาวจิรภัทร์ หริ่มฉำ
ชื่อเล่น กิต์ตาร์
เกิดเมื่อ 9 เมษายน 2543
อายุ 21 ปี
ที่อยู่ 148 หมู่ 4 ตำบลลี้ซำ อ.เมืองสุพรรณบุรี จังหวัดสุพรรณบุรี
 72230 เบอร์โทรศัพท์ 061-4852xxx
 E-mail: guitar2543jirapat@gmail.com

ประวัติการศึกษา

- พ.ศ.2560 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน
บริหารแจ่มใสวิทยา 1
- พ.ศ.2561 เริ่มเข้าศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-สกุล	นายอริชา การถวิล
ชื่อเล่น	จอห์น
เกิดเมื่อ	20 มิถุนายน 2542
อายุ	22 ปี
ที่อยู่	39 หมู่ 4 ตำบลหนองแวง อ.ท่าเสา สมเด็จ จ.กาฬสินธุ์ 46150 เบอร์โทรศัพท์ 098-4306xxxx E-mail: athichakanthawil@gmail.com
ประวัติการศึกษา	-พ.ศ.2560 สำเร็จการศึกษาจากวิทยาลัยเทคนิคสระบุรี -พ.ศ.2561 เริ่มเข้าศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร