

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

เนื่องจากในปัจจุบันยานพาหนะเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการเดินทางไปไหนมาไหนของมนุษย์ และแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของมนุษย์นั้นก็มีมากขึ้น จึงเป็นเหตุผลการให้ความต้องการในการใช้ยานพาหนะมีมากขึ้นไปด้วย และยานพาหนะในปัจจุบัน โดนส่วนมาก คือ รถยนต์ รถมอเตอร์ไซด์ รถโดยสาร ซึ่งส่วนมากจะมีความจำเป็นต้องใช้น้ำมันทั้งสิ้น

แต่ในปัจจุบันมีวิกฤตการณ์ที่ราคาน้ำมันแปรปรวนอย่างรวดเร็ว และมีราคาแพงมากขึ้น โครงการนี้จึงเล็งเห็นถึงพลังงานทดแทนซึ่งจะนำมาทดแทนการใช้ปริมาณน้ำมัน ซึ่งพลังงานที่ควรจะนำมาใช้ทดแทนควรเป็นพลังงานที่หาได้ง่าย มีราคาถูก ซึ่งได้คิดว่าพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่มีราคาต่อหน่วย ต่ำกว่ามาก อีกทั้งยังหาได้ง่าย และไม่มีปัญหาในเรื่องของมลพิษที่จะเกิดขึ้นอีกด้วย

ในแง่ของสิ่งแวดล้อม การหันมาใช้พลังงานไฟฟ้าแทนนั้นน่าสนใจอย่างยิ่ง เนื่องจาก การใช้พลังงานไฟฟ้าไม่ก่อให้เกิดมลพิษเกิดขึ้นแม้แต่ชนิดเดียว อีกทั้งการหาแหล่งในการเติมพลังงานยังหาได้ง่ายอีกด้วย เนื่องจากสามารถใช้ไฟฟ้าในบ้านเรือนทั่วไปในการชาร์จไฟฟ้าได้ด้วย

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั่วไปนั้นปกติแล้วจะมีน้ำหนักมากและเมื่อนำมาใช้เป็นพาหนะจำเป็นต้องใช้กำลังที่มาก เนื่องจากภาระจากน้ำหนักที่หนัก และอีกแง่หนึ่งอาจมองได้ว่าน้ำหนักพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์จะมีน้ำหนักที่สูงกว่า ใช้มอเตอร์เป็นอย่างมาก

อย่างไรก็ดีในบางประเทศได้นำพาหนะที่ใช้ไฟฟ้านำมาใช้กันอย่างแพร่หลายแล้วบ้าง เช่น ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา เป็นต้น สำหรับในประเทศไทยได้มีการนำมาใช้แล้วบ้างแต่ยังเป็นส่วนน้อย เนื่องจากติดปัญหาตรงที่ยังมีราคาแพงและ ยังไม่มีความรู้ หรือข้อมูลในตัวยานพาหนะเอง

โครงการนี้จึงมีความเห็นที่จะรณรงค์ให้คนทั่วไปหันมาประหยัดพลังงานน้ำมัน โดยการหันมาใช้พลังงานไฟฟ้าแทน เพื่อทดแทนพลังงานน้ำมัน อีกทั้งยังช่วยทำให้ลดมลพิษจากไอเสียตามท้องถนนอีกด้วย ซึ่งจากบทนำข้างต้นนั้น เราจะสามารถสรุปเหตุผลที่ต้องหันมาใช้พาหนะที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นข้อ ๆ ได้คือ

1. นำมาทดแทนพลังงานน้ำมันในปัจจุบันซึ่งราคาต่อหน่วยที่สูงกว่าพลังงานไฟฟ้ามาก
2. สามารถหาที่เติมพลังงานไฟฟ้าได้ง่าย
3. มีน้ำหนักเบากว่าพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์
4. ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม
5. ความเร็วไม่มากเกินไป จึงไม่ก่อให้เกิดอันตรายรุนแรง

1.2 วัตถุประสงค์

1. สามารถเข้าใจหลักการทำงานของจักรยานไฟฟ้าในระบบต่างๆ เช่น ระบบส่งกำลัง, ระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์ เพื่อนำมาออกแบบ, สร้าง และทดสอบ ได้
2. จักรยานไฟฟ้าคันนี้ต้องเป็นพาหนะที่สามารถใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนหรือ สามารถปั่นออกกำลังกายด้วยเท้าได้ด้วย
3. อุปกรณ์ที่ใช้จะต้องมีงบประมาณที่น้อยที่สุด

1.3 ขอบข่ายของโครงการ

1. ออกแบบและเลือกวัสดุที่จะนำมาติดตั้งกับจักรยานเพื่อสร้างจักรยานไฟฟ้า
2. ออกแบบวงจรควบคุมมอเตอร์
3. ทดสอบมอเตอร์ให้มีแรงบิดเพียงพอกับการทำงาน
4. ได้จักรยานขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้า

1.4 แนวทางในการดำเนินงาน

1. ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างจักรยาน
2. ศึกษาเกี่ยวกับการทำงานและขนาดของมอเตอร์ที่จะนำมาใช้
3. ศึกษาเกี่ยวกับระบบควบคุมมอเตอร์
4. สร้างจักรยานไฟฟ้า
5. ทดสอบการทำงานของมอเตอร์ และการทดสอบ
6. แก้ไขปรับปรุง ซ่อมบำรุง

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1-1 ตารางแสดงผลการดำเนินงาน

ลำดับ	กิจกรรม	เดือน											
		ธค	มค	กพ	มีค	เมย	พค	มิย	กค	สค	กย		
1	ศึกษาข้อมูลทั่วไปของ จักรยานไฟฟ้า	■■■■■											
2	กำหนดจุดประสงค์และ แผนการดำเนินการ		■■■■■										
3	ศึกษาและออกแบบ โครงสร้างของจักรยาน		■■■■■										
4	ศึกษาและออกแบบการ ทำงานของมอเตอร์และ ระบบส่งกำลัง			■■■■■									
5	ศึกษาและออกแบบเกี่ยวกับ ระบบควบคุมมอเตอร์				■■■■■	■■■■■							
6	จัดหาอุปกรณ์ในการสร้าง						■■■■■	■■■■■					
7	สร้างจักรยานไฟฟ้า								■■■■■	■■■■■			
8	ทดสอบการทำงานของ จักรยานไฟฟ้า									■■■■■	■■■■■		
9	ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง										■■■■■	■■■■■	
10	สรุปรายงานขั้นสุดท้าย												

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจหลักการทำงานของจักรยานไฟฟ้า
2. สามารถสร้างจักรยานไฟฟ้าที่มีงบประมาณต่ำได้
3. สามารถนำความรู้มาพัฒนาโครงการนี้ต่อไป

1.7 งบประมาณที่ใช้

ตารางที่ 1-2 ตารางแสดงงบประมาณของโครงการ

ลำดับ ที่	รายการ	จำนวน	ราคาต่อ หน่วย(บาท)	รวม (บาท)
1.	รถจักรยาน	1	1,000	1,000
2.	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 250W	1	1,800	1,800
3.	โซ่จักรยาน	1	80	80
4.	ชุดประกับ	1	300	300
4.	เฟืองฟรี(ที่สเตอร์หลัง)	1	150	150
5.	แบตเตอรี่ 12v 9AH	2	430	860
6.	ชุดชาร์ตแบตเตอรี่	1	800	800
7.	อุปกรณ์วงจรควบคุมมอเตอร์	1	440	440
				5,430.-

ลงชื่อผู้เสนอโครงการ

.....
(นายธีรพันธุ์ ลิ้มวัฒนาพิบูลย์)

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประเภทของพาหนะที่ใช้พลังงานไฟฟ้า

2.1.1 สกู๊ตเตอร์ไฟฟ้า เป็นพาหนะใช้มอเตอร์แทนที่การใช้เท้าสไล เพื่อขับเคลื่อนล้อขนาดเล็ก



รูปที่ 2-1 แสดงภาพสกู๊ตเตอร์ไฟฟ้า

2.1.2 รถยนต์ไฟฟ้า และ มอเตอร์ไซค์ไฟฟ้า เป็นพาหนะใช้มอเตอร์แทนที่การใช้เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง



รูปที่ 2-2 แสดงภาพรถยนต์ไฟฟ้า และ มอเตอร์ไซค์ไฟฟ้า

2.1.3 จักรยานไฟฟ้า เป็นพาหนะใช้มอเตอร์แทนที่การถีบจักรยาน แต่ในขณะเดียวกันสามารถถีบจักรยานไปได้อีกด้วยในกรณีเกิดการขัดข้อง



รูปที่ 2-3 แสดงภาพจักรยานไฟฟ้า

2.1.4 รถ Segway เป็นรถ 2 ล้อที่สามารถทรงตัวได้ด้วยตนเอง ซึ่งเป็นพาหนะชนิดใหม่ซึ่งเริ่มมีการใช้บ้างแล้วในบางประเทศ เพื่อใช้ในการกีฬา ช่วยเหลือคนพิการ และรักษาความปลอดภัย แต่ในปัจจุบันยังมีราคาสูงมาก

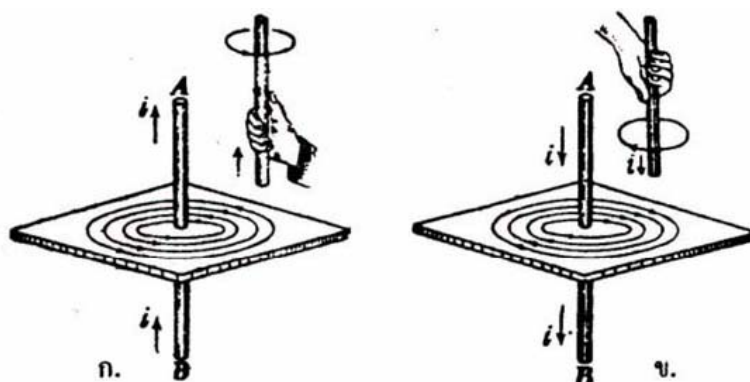


รูปที่ 2-4 แสดงภาพรถ Segway

2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

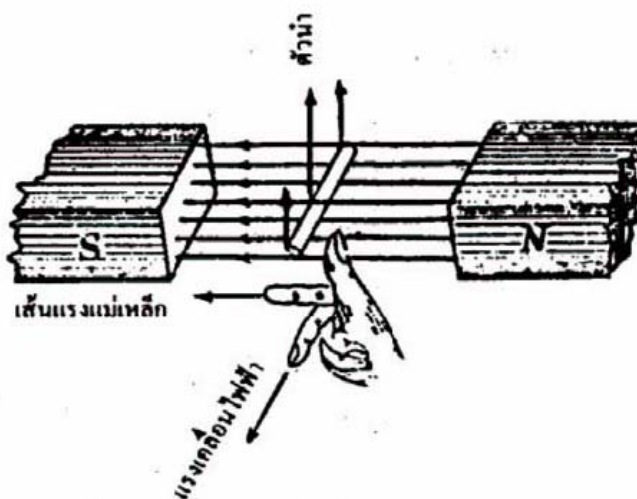
2.2.1 หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้า คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยอาศัยหลักการที่กล่าวว่า เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดตัวนำซึ่งอยู่ตัดผ่านสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงกล



รูปที่ 2-5 แสดงวิธีหาทิศทางของการเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำโดยใช้กฎมือขวา

จากทฤษฎี Electromagnetic พบว่าสนามแม่เหล็กประกอบด้วยเส้นแรงแม่เหล็ก (line of force) ที่มีลักษณะเป็นวงกลมล้อมรอบด้วยตัวนำ เส้นแรงแม่เหล็กที่ล้อมรอบตัวนำนี้จะมีศูนย์กลางอยู่ที่จุดศูนย์กลางของตัวนำด้วย ทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นสามารถที่จะหาได้โดยใช้กฎมือขวากำรอบตัวนำให้หัวแม่มือชี้ไปตามทิศทางของกระแสไฟไหล ส่วนนิ้วที่เหลือกำรอบตัวนำจะแสดงถึงทิศทางของการเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำนั้น



รูปที่ 2-6 การหาทิศทางของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

จากกฎมือซ้ายของเฟลมมิง จะแสดงถึงทิศทางกระแสไฟฟ้า ทิศของสนามแม่เหล็ก และทิศของแรงทางแม่เหล็กได้ โดยนิ้วชี้จะแสดงถึงทิศทางของกระแสไฟฟ้า นิ้วกลางแสดงถึงทิศทางของสนามแม่เหล็ก จะเป็นผลให้เกิดแรงทางแม่เหล็กซึ่งมีทิศทางตามนิ้วหัวแม่มือ โดยแรงที่เกิดขึ้นจะเกิดแรงตามความสัมพันธ์ ดังสมการ

$$F = \ell IB \quad (2.1)$$

เมื่อ F = แรงผลักดัน (N)

ℓ = ความยาวของลวดตัวนำในสนามแม่เหล็ก (m)

I = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านในสนามแม่เหล็ก (A)

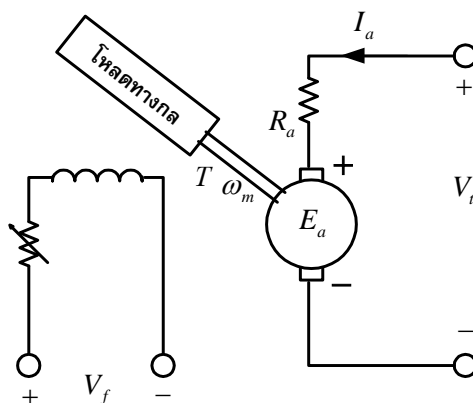
B = ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กในสนามแม่เหล็ก (T)

2.2.2 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์กระแสตรงสามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิดหลัก ๆ ได้แก่

ก. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดสนามแยกกระตุ้น (Separately Excited DC Motor)

วงจรสมมูลของมอเตอร์กระแสตรงแบบขดลวดสนามแยกกระตุ้นดังรูปที่ 2-7 โดยที่วงจรสนามถูกป้อนแรงดันคงที่



รูปที่ 2-7 แสดงวงจรสมมูลมอเตอร์กระแสตรงแบบขดลวดสนามแยกกระตุ้น

จากวงจรสมมูลรูปที่ 2-7 เขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ต่างๆได้ดังนี้ คือ

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} \quad (2.2)$$

$$V_t = E_a + I_a R_a \quad (2.3)$$

และ

$$I_L = I_a$$

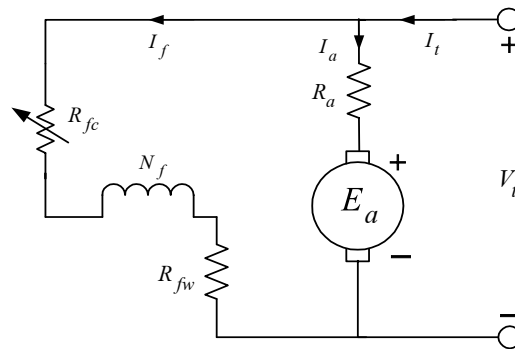
โดยที่ E_a = แรงดันต้านกลับ (Back emf)

I_a = กระแสอาร์เมเจอร์

I_L = กระแสโหลด

ข. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt DC Motor)

การกำหนดคุณลักษณะสมมุติทางด้านเอาต์พุตของมอเตอร์กระแสตรงแบบขนานเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ



รูปที่ 2-8 แสดงวงจรสมมูลของมอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน

$$V_t = E_a + I_a R_a \quad (2.3)$$

เมื่อ $E_a = K_a \phi \omega_m$

ดังนั้น $V_t = K_a \phi \omega_m + I_a R_a \quad (2.4)$

และ $T_d = K_a \phi I_a$

ดังนั้น I_a เขียนได้ดังนี้คือ

$$I_a = \frac{T_d}{K_a \phi} \quad (2.5)$$

จากสมการ (2.3) และ (2.4)

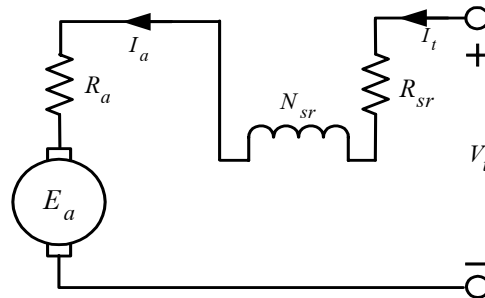
$$V_t = K_a \phi \omega_m + \frac{T_d}{K_a \phi} R_a \quad (2.6)$$

และสมการในการกำหนดค่าความเร็วแสดงได้ดังนี้คือ

$$\omega_m = \frac{V_t}{K_a \phi} - \frac{R_a}{(K_a \phi)^2} T_e \quad (2.7)$$

ค. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (Series DC Motor)

มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรมนั้นเมื่อพิจารณาวงจรสมมูล ดังภาพประกอบที่ 2.9 กำหนดได้ตามสมการ (2.8)



รูปที่ 2-9 แสดงวงจรสมมูลมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม

$$V_t = E_a + I_a (R_a + R_{sr}) \quad (2.8)$$

และสำหรับสมการแรงบิดที่มอเตอร์สร้างขึ้น (T_d) หาได้ดังนี้ คือ

$$T_d = K_a \phi I_a \quad (2.9)$$

เมื่อสมมติให้เส้นแรงในเครื่องจักรกลเปลี่ยนแปลงเป็นเชิงเส้นและกำหนดได้ตามสมการ (2.10)

$$\phi = c I_a \quad (2.10)$$

โดยที่ c คือ ค่าคงที่

จากสมการ (2.9) และ (2.10) ดังนั้นแรงบิด T_d กำหนดใหม่

$$T_e = K_a \phi I_a = K_a c I_a^2 \quad (2.11)$$

สำหรับคุณลักษณะสมบัติที่ชั่วของมอเตอร์กระแสตรงชนิดขดลวดสนามต่ออนุกรมนั้น การคำนวณเป็นการพิจารณา และวิเคราะห์บนพื้นฐานของเส้นโค้งคุณลักษณะสมบัติการทำให้เหล็กเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้น และผลของการอิ่มตัวในวงจรแม่เหล็กจะพิจารณาจากการวิเคราะห์โดยใช้กราฟ ดังนั้นการหาคุณลักษณะของแรงบิด - ความเร็ว กระทำได้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

จากสมการ

$$I_a = \sqrt{\frac{T_d}{cK_a}}$$

แทนค่าสมการ I_a ข้างต้นและ $E_a = K_a \phi \omega_m$ ในสมการแรงเคลื่อนไฟฟ้า

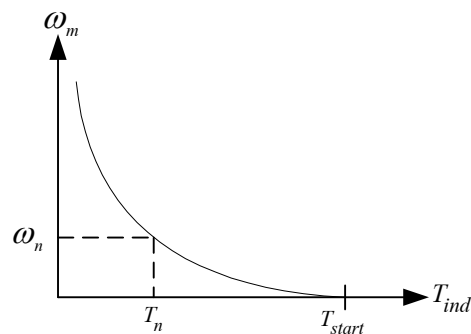
$$V_t = K_a \phi \omega_m + \sqrt{\frac{T_d}{cK_a}} \times (R_a + R_{sr}) \quad (2.12)$$

จากสมการข้างต้นแรงดัน V_t เขียนเป็นสมการใหม่ได้ดังนี้ คือ

$$V_t = K_a \left(\frac{c}{K_a} \right) \times (T_d)^{1/2} \omega_m + \left(\frac{T_d}{K_a} \right)^{1/2} \times (R_a + R_{sr}) \quad (2.13)$$

ดังนั้นสมการความเร็ว ω_m คือ

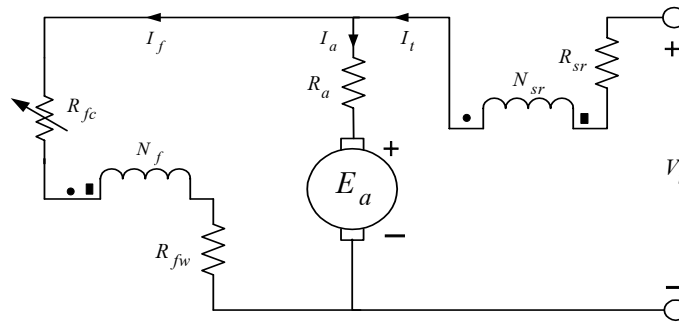
$$\omega_m = \left[\frac{V_t}{(cK_a)^{1/2} \times T_d^{1/2}} - \frac{R_a + R_{sr}}{cK_a} \right] \quad (2.14)$$



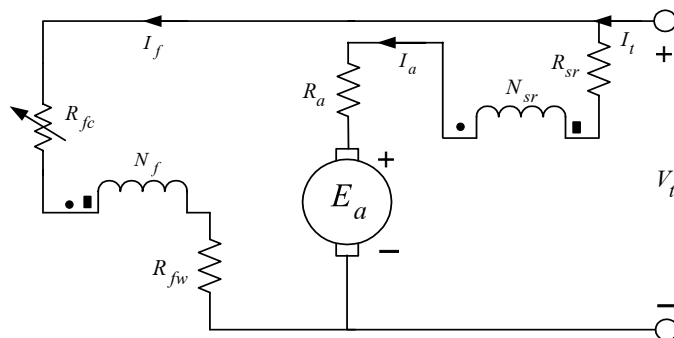
รูปที่ 2-10 แสดงคุณลักษณะสมบัติ แรงบิด - ความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม

ง. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compounded DC Motor)

การต่อมอเตอร์แบบนี้ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กขานานและขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กอนุกรมต่อร่วมกัน ดังภาพประกอบที่ 2.7 (ก) และ (ข) สำหรับการกำหนดจุดที่ขดลวดทั้งสองเหมือนกับการกำหนดในหม้อแปลงถ้าพิจารณากระแสที่ไหลผ่าน Dot ซึ่งทำให้ค่า mmf เป็นบวก โดยที่การไหลของกระแสผ่านขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กทั้งสองส่งผลให้ค่า mmf เสริมกัน ดังนั้นผลรวมของค่า mmf มีค่าสูงขึ้นซึ่งมอเตอร์จะทำงานเป็น Cumulatively Compounded DC motor และถ้าขดลวดทั้งสองมีค่าเป็นลบ เรียกมอเตอร์ว่า Differentially Compounded DC Motor



(ก) Short shunt



(ข) Long shunt

รูปที่ 2-11 แสดงวงจรสมมูลของมอเตอร์แบบผสม

สำหรับสมการแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์กระแสตรงชนิดขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กต่อผสมกำหนดได้ตามสมการดังต่อไปนี้

Short-shunt

$$V_t = E_a + I_a R_a + I_t R_{sr} \quad (2.15)$$

$$I_t = I_a + I_f \quad (2.16)$$

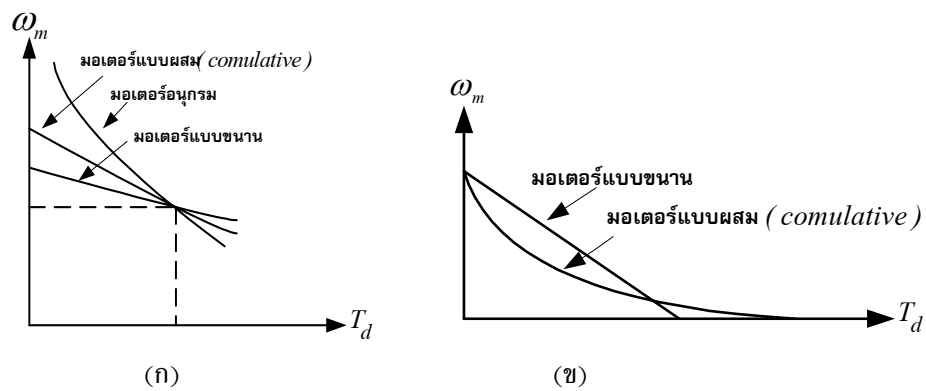
Long-shunt

$$V_t = E_a + I_a (R_a + R_{sr}) \quad (2.17)$$

$$I_t = I_a + I_f \quad (2.18)$$

$$I_f = \frac{V_t}{R_{fw} + R_{fc}} \quad (2.19)$$

สำหรับคุณลักษณะสมบัติ แรงบิด และ ความเร็วของมอเตอร์ทั้งสองแบบแสดงได้ดังภาพที่ 2-12



(ก) เปรียบเทียบระหว่างมอเตอร์แบบขนาน แบบอนุกรมและแบบผสม

(ข) เปรียบเทียบระหว่างมอเตอร์แบบขนานและแบบผสม

รูปที่ 2-12 แสดงคุณลักษณะสมบัติ แรงบิด - ความเร็ว

2.3 การควบคุมมอเตอร์กระแสตรง

หลักการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สามารถควบคุมได้หลายแบบโดยพิจารณาจากสมการ

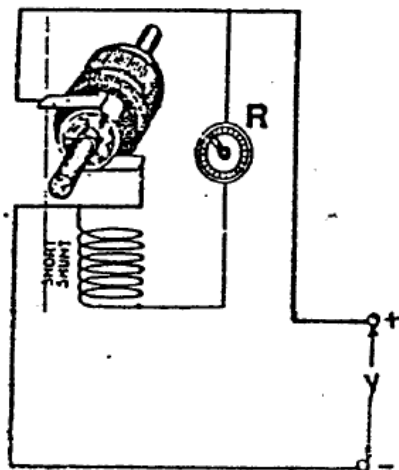
$$N = \frac{V - I_a R_a}{Z} = \frac{E_b}{K\phi} \quad (2.20)$$

ซึ่งการควบคุมความเร็วรอบ จะสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนค่าตัวแปรได้ดังนี้

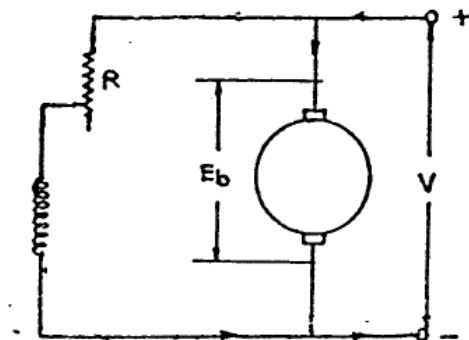
1. การที่ลดค่า ϕ ลง จะทำให้ความเร็วรอบลดลงและถ้าเพิ่ม ϕ ความเร็วรอบจะเพิ่มขึ้น
2. ถ้า I_a และ ϕ คงที่ การที่ลด V จะทำให้ความเร็วรอบลดลง ถ้าเพิ่ม V ความเร็วรอบจะเพิ่มขึ้น
3. ถ้า V และ ϕ คงที่ การที่ลด I_a จะทำให้ความเร็วรอบลดลง ถ้าเพิ่ม I_a ความเร็วรอบจะเพิ่มขึ้น
4. ถ้าเพิ่ม R_a แล้วค่า E_b จะลดลง ทำให้ความเร็วรอบ , N ลดลงด้วย

จากหลักการที่กล่าวมาเราจะสามารถแบ่งการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าออกเป็นดังนี้

2.3.1 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์โดยปรับเส้นแรงแม่เหล็ก (Speed Control by Flux Control Method)



ก.)



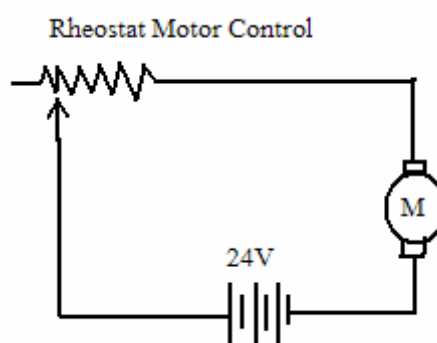
ข.)

รูปที่ 2-13 ภาพแสดงวงจรการควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยปรับเส้นแรงแม่เหล็ก

สามารถควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยการ ปรับ Flux ของมอเตอร์ โดยเมื่อเราปรับเส้นแรงแม่เหล็ก ซึ่งวิธีนี้มีข้อดีข้อเสีย ในการเลือกวิธีนี้ควบคุม คือ

- ข้อดี**
1. ทำได้ง่าย ราคาถูก สามารถทำระบบอัตโนมัติได้
 2. ประสิทธิภาพไม่ลด เพราะ Loss ใน Field Circuit น้อยมากประมาณ 3-5%
 3. ให้ความเร็วรอบคงที่เมื่อใส่ Load เข้าที่เพลง
 4. สามารถควบคุมความเร็วรอบ ได้ราบเรียบตลอดช่วง (Smooth and Stepless Control)
- ข้อเสีย**
1. ไม่สามารถปรับความเร็วรอบต่ำกว่า Base Speed ซึ่ง Base Speed หมายถึง ความเร็วรอบมอเตอร์ที่ Full Voltage และ Full Field Current
 2. ความเร็วรอบไม่เสถียรที่ Speed สูงๆ เนื่องจาก Armature Reaction
 3. มีปัญหาเรื่องการเกิด Commutation

2.3.2 การควบคุมความเร็วรอบโดยการปรับความต้านทานที่อาร์เมเจอร์ (Speed Control by Rheostatic Control Method)



รูปที่ 2-14 ภาพแสดงหลักการควบคุมความเร็วรอบโดยการปรับความต้านทานที่อาร์เมเจอร์

การควบคุมความเร็วโดยการปรับค่า R_a ซึ่งเป็นการเพิ่มความต้านทานรวมในวงจรทำให้ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมกับมอเตอร์มีค่าน้อยลง มีผลทำให้ความเร็วลดต่ำลง ซึ่งในการใช้หลักการนี้ในการควบคุมมอเตอร์มีข้อดีข้อเสีย ดังนี้

- ข้อดี**
1. ทำให้ความเร็วรอบต่ำกว่า Base Speed ได้ซึ่งวิธีการปรับ Field ทำไม่ได้
 2. ต่อวงจรได้ง่าย
 3. อาจใช้ Starting Resistor เป็นความต้านทานที่เราจะนำมาต่ออนุกรมกับ Armature ได้

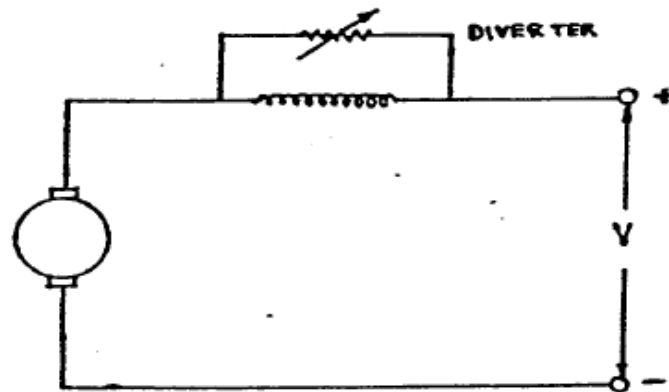
- ข้อเสีย**
1. ความเร็วตกมาก เมื่อใส่ Load
 2. ประสิทธิภาพต่ำจึงไม่นิยมใช้ในการควบคุมเป็นเวลานานๆ
 3. ต้องเสียเงินในการซื้อความต้านทานที่จะทนต่อ Power Loss ให้ได้
 4. มีปัญหาในความราบเรียบในการควบคุมมอเตอร์ขนาดใหญ่

2.3.3 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงแบบ Series

การควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบ Series นี้จะเป็นการปรับเส้นแรงแม่เหล็กโดยการนำตัวต้านทานมาต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์ ปรับความเร็วโดยการนำมอเตอร์มาต่ออนุกรมและขนาน

การปรับเส้นแรงแม่เหล็กสามารถปรับได้ทั้งหมด 4 วิธี

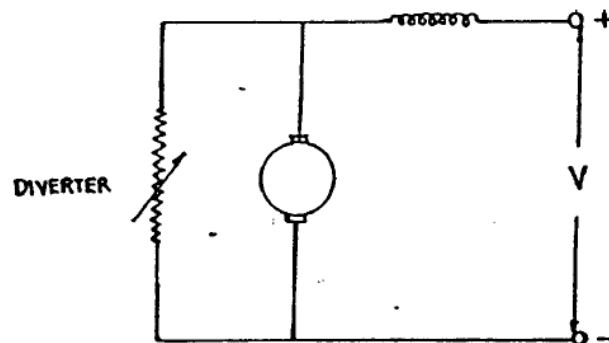
ก. Field Diverters สามารถทำได้โดยการต่อ Shunt กับ Series Field Shunt Resistor ซึ่งสามารถปรับค่าความต้านทานได้



รูปที่ 2-15 แสดงภาพวงจรการปรับเส้นแรงแม่เหล็กแบบ Field Diverters

การต่อแบบนี้จะมีกระแสจำนวนหนึ่งไหลผ่าน Diverter โดยการปรับค่าความต้านทานทาง Diverter ให้ต่ำลง จะมีผลทำให้ Flux ลดลง และทำให้ความเร็วรอบมอเตอร์ลดลงด้วย

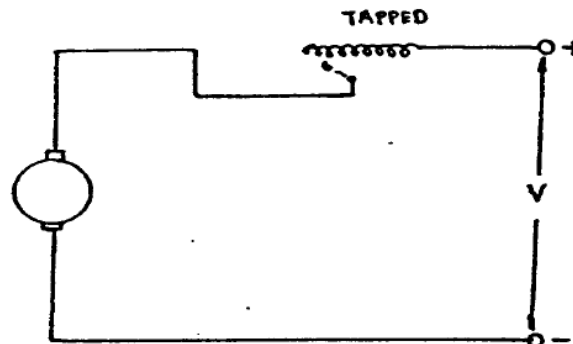
ข. Armature Diverters เป็นการต่อ Diverter คร่อมกับ Armature วิธีนี้จะทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ต่ำกว่าปกติ



รูปที่ 2-16 แสดงภาพวงจรการปรับเส้นแรงแม่เหล็กแบบ Armature Diverters

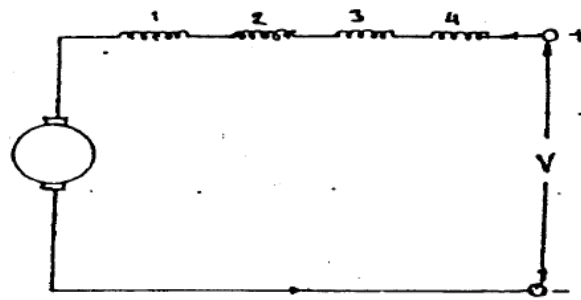
ในกรณีที่เทอร์รกคงที่ การปรับ Diverter เพิ่มขึ้น ทำให้กระแสไฟจ่ายน้อยลง ทำให้ความเร็วรอบลดลง และหากต้องการเพิ่มความเร็วรอบสามารถทำได้โดยการปรับ Diverter ลดลง

ค. Tapped Field Control วิธีนี้ใช้วิธีการเปลี่ยน Tapped Field ขณะที่ Motor ใส่ Field เต็มที่ ความเร็วมอเตอร์จะลดต่ำสุด และความเร็วยกจะเพิ่มขึ้นเมื่อปรับ Field ให้ลดน้อยลงตามลำดับ



รูปที่ 2-17 แสดงภาพวงจรการปรับเส้นแรงแม่เหล็กแบบ Tapped Field Control

ง. ควบคุมมอเตอร์โดยการปรับ Field ให้ขนานกัน วิธีนี้นิยมใช้กับการปรับความเร็วที่คงที่ เช่น พัดลม ความเร็วยกจะขึ้นอยู่กับการจัด Field ในแต่ละ Field Coil



รูปที่ 2-18 ภาพแสดงวงจรควบคุมมอเตอร์โดยการปรับ Field

2.4 แรงต้านการเคลื่อนที่

แรงต้านการเคลื่อนที่ เป็นแรงที่ออกแรงตรงข้ามกับแรงที่ส่งกำลังมา ซึ่งกำลังจากมอเตอร์ที่นำมาขับเคลื่อนอาจนำมาใช้ประโยชน์ได้ไม่เต็มที่ทั้งหมด เนื่องจากเกิดการสูญเสียในการส่งกำลัง และกำลังส่วนที่เหลือจะนำมาใช้ประโยชน์เพื่อเอาชนะแรงต้านการเคลื่อนที่เพื่อที่จะสามารถเคลื่อนที่รถจักรยานไฟฟ้าได้ แรงต้านการเคลื่อนที่ที่สามารถแบ่งออกได้เป็น ดังนี้

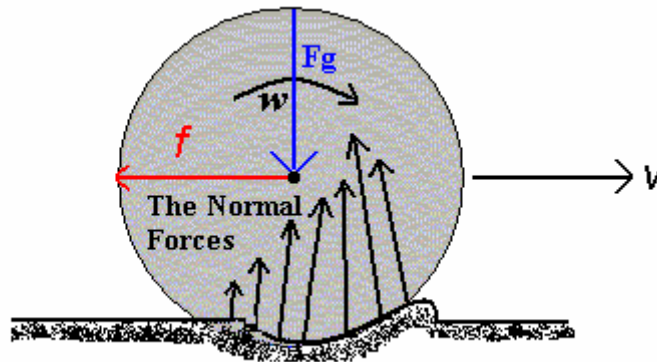
- 1.) แรงต้านการหมุนของล้อ
- 2.) แรงต้านอากาศ
- 3.) แรงต้านจากทางชัน

โดยแรงต้านเหล่านี้จะมีมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับลักษณะการเคลื่อนที่ของจักรยานไฟฟ้าซึ่งการเคลื่อนที่ของจักรยานไฟฟ้ามักมีการเคลื่อนที่ 3 แบบ คือ การเคลื่อนที่ในแนวราบ การเคลื่อนที่ขึ้นทางชัน และ การเคลื่อนที่ลงทางลาด

2.4.1 แรงต้านการหมุนของล้อ

แรงต้านการหมุนของล้อเป็นแรงที่มีความจำเป็นมากที่สุดซึ่งจำเป็นกับการส่งกำลัง เนื่องจากทำให้รถสามารถเคลื่อนที่ออกไปได้ โดยอาศัยแรงเสียดทานที่ล้อกระทำกับพื้นเพื่อทำให้รถสามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ โดยปัจจัยที่มีผลต่อแรงต้านการหมุนของล้อ ได้แก่

1. สภาพของยางล้อจักรยาน ซึ่งหมายถึงวัสดุที่นำมาทำยาง รูปทรงของยาง ความกว้างและขนาดของยาง ความดันของลมยาง รวมถึงดอกยางอีกด้วย ซึ่งยางที่มีขนาดวงล้อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางโต จะมีแรงต้านการหมุนของล้อน้อยกว่ายางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก
2. สภาพของผิวที่ขี่ ซึ่งบริเวณผิวที่ขรุขระจะทำให้แรงต้านการหมุนของล้อนั้นมาก และบริเวณที่มีผิวเรียบจะทำให้แรงต้านการหมุนมีค่าน้อย
3. น้ำหนักของรถจักรยานไฟฟ้า และผู้ขี่ซึ่งซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลมาก ในการขับเคลื่อนของรถจักรยานไฟฟ้า ซึ่งถ้าจักรยานไฟฟ้าและผู้ขี่มีน้ำหนักมาก จะส่งผลให้แรงต้านจากการหมุนมากตามไปด้วย
4. อัตราเร็วของจักรยานไฟฟ้า แรงต้านการหมุนของจักรยานจะมากที่สุดในช่วงเริ่มเคลื่อนที่ เนื่องจากจำเป็นต้องเอาชนะแรงต้านความเฉื่อยด้วย และจะมีแรงต้านการหมุนน้อยลงเมื่ออัตราเร็วของจักรยานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น



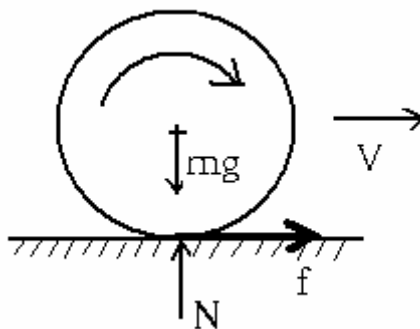
รูปที่ 2-19 แสดงแรงต้านการหมุนของล้อ

แรงต้านการหมุนของล้อสามารถคำนวณได้ตามสูตรต่อไปนี้

$$R_r = K_r N \quad (2.21)$$

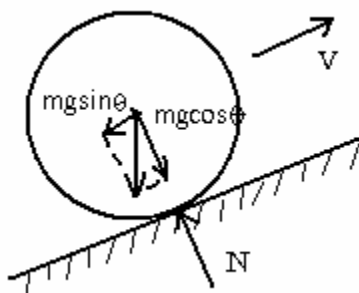
- ซึ่ง
- R_r = แรงต้านการเคลื่อนที่, N
 - K_r = สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ
 - N = แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำกับล้อจักรยาน, N
- โดยที่ ค่า $N = mg$ ถ้ารถจักรยานเคลื่อนที่ในพื้นราบ
 $N = mg \cos \theta$ ถ้ารถจักรยานเคลื่อนที่ในพื้นเอียง

การเคลื่อนที่ในแนวราบ



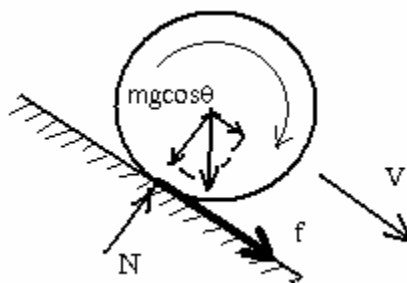
รูปที่ 2-20 แสดงแรงต้านที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนที่ในแนวราบ

การเคลื่อนที่ขึ้นทางชัน



รูปที่ 2-21 แสดงแรงต้านที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนที่ขึ้นทางชัน

การเคลื่อนที่ลงทางลาด



รูปที่ 2-22 แสดงแรงต้านที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนที่ลงทางลาด

ซึ่งค่า K_r เป็นค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพของผิวถนนที่ขั้วนี้ ดังนี้

ตารางที่ 2-1 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในสภาพผิวต่างๆ

ชนิด และ สภาพถนน	K_r (เฉลี่ย)
ถนนลาดยางและถนนคอนกรีต	
สภาพดีเยี่ยม	0.014 - 0.018
สภาพดีพอใช้	0.018 - 0.020
ถนนปูพื้น	0.023 - 0.030
ถนนลูกรัง	0.020 - 0.025
ถนนดิน	
ถนนดินอัดแน่น	0.025 - 0.035
ถนนเปียกหลังฝนตก	0.050 - 0.150
ถนนทราย	0.1 - 0.3

ซึ่งการคำนวณโดยทั่วไปนั้นการนำมาวิเคราะห์หานั้น เราจะนำค่า K_r มาคิดที่ค่าเฉลี่ยโดยทั่วไป และเนื่องจากอัตราเร็วเองก็มีผลกับแรงต้านของการหมุนของล้อ เราจึงสามารถนำมาคำนวณหาค่า K_r โดยใช้สูตร

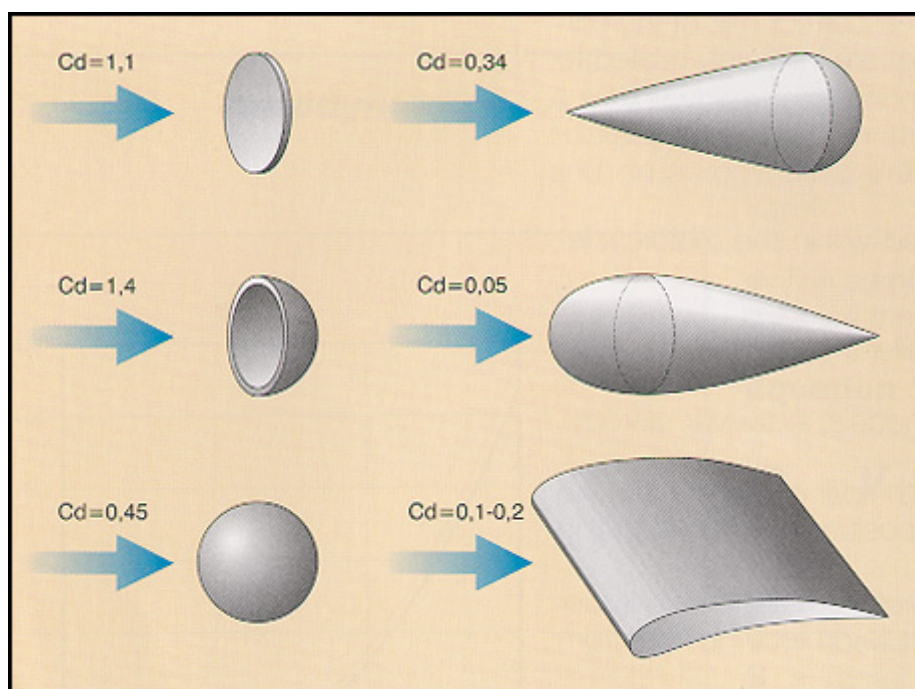
$$K_r = 0.015 + 0.00016V \quad (2.22)$$

ซึ่ง K_r = สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ

V = อัตราเร็วของรถจักรยานไฟฟ้า , km/hr

2.4.2 แรงต้านอากาศ

แรงต้านอากาศ เป็นแรงที่เกิดจากการที่วัตถุเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในอากาศด้วยความเร็วทำให้เมื่อเคลื่อนที่ไปจะมีอัตราเร็วสัมพัทธ์ของอากาศมากระทำกับวัตถุที่เคลื่อนที่นั้น ซึ่งค่าแรงต้านอากาศจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัด และรูปทรงของพาหนะ



รูปที่ 2-23 แสดงลักษณะของรูปทรงที่มีผลต่อแรงต้านอากาศ

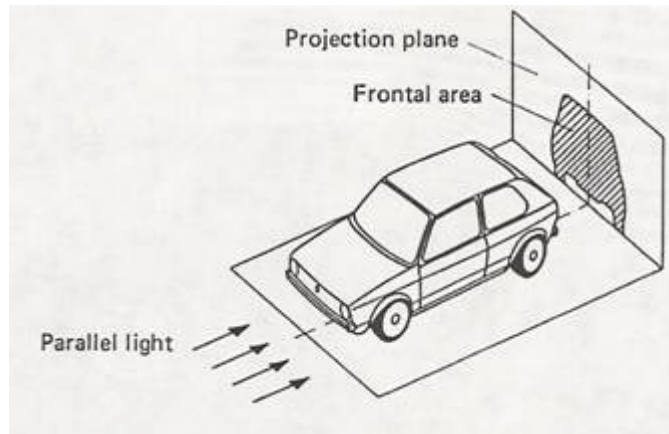
ในปัจจุบันการออกแบบรูปทรงตามหลัก อากาศพลศาสตร์ จะส่งผลให้แรงต้านอากาศลดลงได้ ซึ่งเป็นผลให้เกิดข้อดีหลายประการ คือ ทำให้อัตราเร็วสูงสุดของพาหนะเพิ่มขึ้น และยังทำให้ประหยัดพลังงานมากขึ้นอีกด้วย โดยปัจจัยที่มีผลต่อแรงต้านอากาศ คือ

1. ความเร็วลม ถ้าความเร็วลมมีทิศทางสวนทางกับการเคลื่อนที่จะทำให้เกิดแรงต้าน และในทางกลับกัน ถ้าทิศทางของลมเป็นทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่จะทำให้เกิดแรงเสริม
2. ลักษณะรูปทรงของพาหนะ แรงต้านที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับรูปทรงที่อากาศยานกระทบ แรงต้านอากาศที่เกิดขึ้นนั้น เกิดจากการที่เกิดความดันระหว่างด้านหน้า และด้านหลังของรถแตกต่างกัน ทำให้เกิดแรงกระทำจากบริเวณที่มีความดันที่สูงกว่า ผลักดันการเคลื่อนที่ของรถเอาไว้

สำหรับการขับเคลื่อนของจักรยานไฟฟ้านั้น รูปทรงที่เกิดขึ้นไม่สามารถออกแบบได้ และพื้นที่หน้าตัดก็ไม่ได้เป็นรูปสี่เหลี่ยม แต่เราสามารถคำนวณค่าแรงต้านทานจากอากาศได้ โดยประมาณ จากสมการ

$$R_a = \frac{1}{2} \rho C_D A V^2 \quad (2.23)$$

- ซึ่ง
- R_a = แรงต้านอากาศ , N
 - ρ = ความหนาแน่นอากาศ , kg/m^3 ($\rho_{air} = 1.2 kg/m^3$)
 - C_D = สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (Drag Coefficient)
 - V = ความเร็วของจักรยานไฟฟ้า , m/s
 - A = พื้นที่หน้าตัดของรถจักรยานไฟฟ้า , m^2



รูปที่ 2-24 แสดงวิธีการหาพื้นที่หน้าตัดของพาหนะโดยประมาณ

โดยที่ พื้นที่หน้าตัดสามารถคำนวณหาได้จาก

$$A = 0.8(w \times l) \quad (2.24)$$

- ซึ่ง
- A = พื้นที่หน้าตัดของรถจักรยานไฟฟ้า , m^2
 - w = ความกว้างของรถจักรยานไฟฟ้า , m
 - l = ความยาวของรถจักรยานไฟฟ้า , m

และเมื่อแทนค่า $K_a = \frac{1}{2} \rho C_D$ จะได้สมการของแรงต้านอากาศ ดังนี้

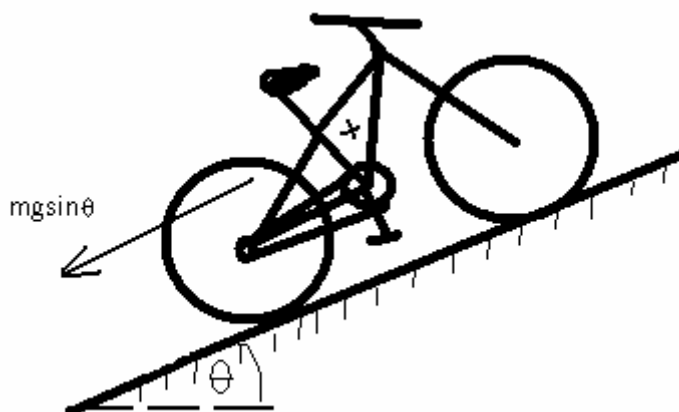
$$R_a = K_a A V^2 \quad (2.25)$$

2.4.3 แรงต้านจากทางชัน

แรงต้านจากทางชัน เกิดจากการที่รถจักรยานเคลื่อนที่ขึ้นไปบนทางชัน แล้วทำให้มีความจำเป็นต้องใช้กำลังบางส่วนเพื่อเอาชนะ แรงต้านซึ่งเกิดจากน้ำหนักของตัวรถจักรยานไฟฟ้าและผู้ขับขี่เอง เพื่อให้รถสามารถเคลื่อนที่ขึ้นไปบนทางชันได้ แต่ในกรณีที่รถจักรยานไฟฟ้าเคลื่อนที่ลงทางลาดนั้นจะเป็นกรณีตรงข้ามกัน เนื่องจากการเคลื่อนที่ลงทางลาดจะทำให้เกิดแรงเสถียร เนื่องจากน้ำหนักรถจักรยานไฟฟ้าและผู้ขับขี่ ปัจจัยที่มีผลต่อแรงต้านที่เกิดจากทางชัน ได้แก่

1. น้ำหนักของรถจักรยานไฟฟ้าและผู้ขับขี่
2. ความชันของพื้นผิวถนน

การคำนวณแรงต้านจากทางชันนั้นเกิดจากการแตกแรงออกเป็น 2 แรง ก็คือ แรงที่ตั้งฉากกับผิวทางชัน และ แรงที่ขนานกับการเคลื่อนที่ของรถจักรยานไฟฟ้า



รูปที่ 2-25 แสดงถึงแรงต้านจากทางชัน

แรงที่ขนานกับการเคลื่อนที่ของรถจักรยานไฟฟ้า สามารถนำมาคำนวณหาแรงต้านจากทางชันได้

$$R_g = W \sin \theta \quad (2.26)$$

ส่วน แรงที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ สามารถนำมาคำนวณหา แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำกับล้อจักรยานได้

$$N = W \cos \theta$$

จากสมการ (2.26) ในกรณีที่มุม มีค่าน้อยๆ จะได้ว่า $\sin \theta \approx \tan \theta$
และกำหนดให้ $G = \% \text{ ความชัน} = \tan \theta \times 100$ จะได้

$$R_g = \frac{WG}{100} \quad (2.27)$$

ซึ่ง $R_g =$ แรงต้านทางชั้น , N
 $W =$ น้ำหนักรถยนต์ , N
 $G =$ เปอร์เซ็นต์ความชัน , %

จากแรงต้านทั้ง 3 ที่กล่าวมาข้างต้นนั้น สามารถนำมาวิเคราะห์หาแรงต้านทั้งหมดได้

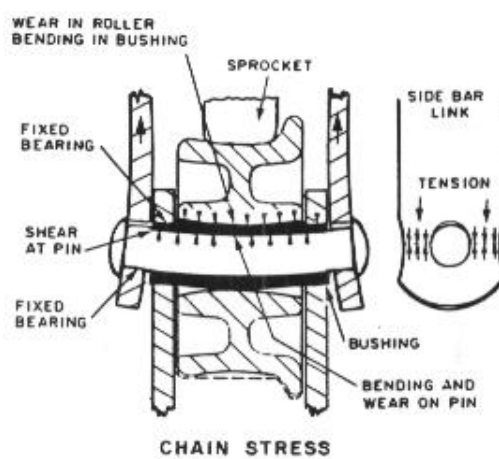
$$R_T = R_r + R_a + R_g \quad (2.28)$$

2.5 ระบบส่งกำลัง

2.5.1 การออกแบบโซ่ (Chain Design)

โซ่ไม่ได้เป็นส่วนรับแรงดึงเพียงอย่างเดียว มันยังเป็นโครงสร้างที่โค้งตัดได้อีกด้วย ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนเคลื่อนที่พร้อมข้อต่อทำหน้าที่เป็นแบริ่ง เป็นความจริงที่ว่า โซ่โดยทั่วไปจะอยู่ภายใต้แรงดึงแต่ภาระทั้งหมดนี้จะทำให้เกิดความเค้นอื่น ๆ อีกมาก ดูรูป 4.5 การโก่ง (Bending) ซึ่งอยู่ในรูปของแรงดึง และแรงอัดที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ยังมีแรงเฉือน แบริ่งตาย (ในรูปของแรงอัด) และในที่สุดความเค้นทั้งหมดจะทำให้เกิดแบริ่งสึกหรอ หรือ อายุแบริ่งสั้นลง

ส่วนประกอบของโซ่จะรับภาระเกี่ยวกับแรงดึง แรงกระแทก ผลของความล้า และการสึกหรอ



รูปที่ 2-26 ความเค้นในข้อต่อและสลักของโซ่

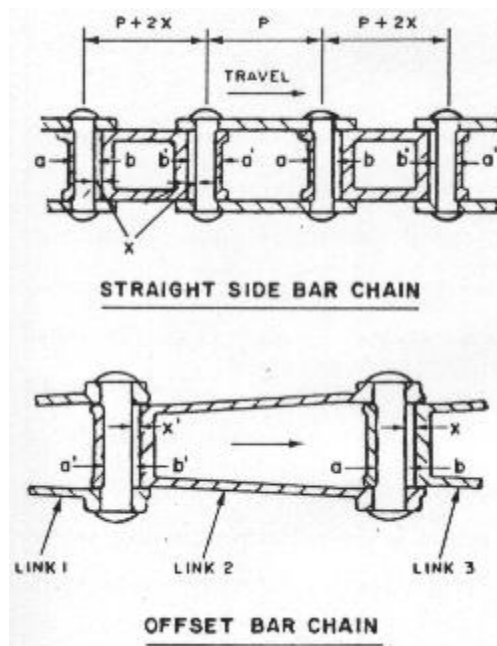
ภาระแรงดึง (Tension Loads)

แรงดึงที่ต้อง สำหรับการเคลื่อนที่ของภาระ (Load) หรือ การส่งถ่ายกำลัง เป็นแรงชนิดแรกที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบโซ่ ส่วนของโซ่ที่เกิดการหมุนไปกับล้อฟันเฟือง (Sprocket) จะทำให้เกิดแรงดึงเพิ่มขึ้นอีก เนื่องจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) ผลจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางนี้อาจจะถูกกระทำเป็นอนุกรมของแรงรวมที่ข้อต่อโซ่ แรงรวมเหล่านี้จะถูกทำให้สมดุลด้วยแรงที่เท่ากันซึ่งกระทำตามเส้นศูนย์กลางในแนวยาวของข้อต่อใกล้เคียงทั้ง 2 อัน แรงนี้จะทำให้แรงดึงรวมในโซ่เพิ่มขึ้น แต่จะไม่มีผลกระทบต่อภาระรับภาระของล้อฟันเฟือง หรือเบร็กร์เพลขนาดของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจะเป็นสัดส่วนกับน้ำหนักของโซ่ และเป็นกำลังสองของความเร็วโซ่ในแนวตรง (Linear Velocity) โซ่จะถูกสร้างขึ้นให้เพียงพอต่อการดึงโดยปลอดภัยในการรองรับแรงดึงที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากผลของแรงเหวี่ยง ที่ความเร็วสูงมาก ๆ นอกขอบเขตการเดินเครื่องที่แนะนำไว้จะทำให้แรงดึงหนีศูนย์กลางนี้กลายเป็นค่าที่สำคัญยิ่ง และจะต้องพิจารณาถึงด้วย

ผลของเส้นโค้งแขวน (Catenary) จะเกิดขึ้นในการเดินเครื่องระหว่างโซ่ด้านหย่อนทำให้อยู่ในรูปคล้าย กับเส้นโค้งแขวน (Catenary) น้ำหนักของโซ่จะทำให้เกิดแรงดึงอย่างสม่ำเสมอตลอดความยาว ดังนั้นจึงทำให้เกิดภาระเพิ่มขึ้นบนโซ่ และล้อฟันเฟืองของชุดขับอีก

การสึกกร่อน (Wear)

การสึกกร่อนในข้อต่อโซ่ จะเป็นแฟคเตอร์จำกัดอายุของโซ่ (Limiting Factor) ดังนั้นการสึกกร่อนมีผลทำให้โซ่ยืดออก กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ระยะพิทของโซ่จะเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของระยะพิทนี้ต้องเผื่อไว้สำหรับให้โซ่ยังเข้าไปบนฟันของล้อฟันเฟืองได้ ซึ่งจะออกแบบให้พิทยึดได้พอประมาณ เมื่อพิทยึดเกินขนาดต้องเปลี่ยนโซ่ก่อนที่มันจะคร่อมข้ามฟันของล้อฟันเฟืองหรือเกิดความเสียหายขึ้น การหล่อลื่นผิวหน้าแบร็กร์ของข้อต่อโซ่ที่เหมาะสม จะสำคัญมากต่อการลดการสึก



รูปที่ 2-27 รูปแบบการลิกของ

ภาวะแบบกระแทก (Shock Loads)

ขนาดของภาวะแบบกระแทกขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์ ตัวอย่างเช่น มอเตอร์ไฟฟ้าจะก่อให้เกิดการกระแทกเล็กน้อยหรือไม่เกิดเลยเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน ภาวะการขับจะเปลี่ยนแปลงไปจากตัวอย่าง เช่น เมื่อขับปั๊มแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal Pump) จะนุ่มนวลกว่าปั๊มแบบสูบเดี่ยวที่มีการสั่นเป็นช่วง ๆ โข่จะถูกประเมินค่าให้มีการกระแทกต่ำสุด สำหรับสถานะอื่น แฟคเตอร์การบำรุงรักษา (Service Factor) จะเป็นตัวชี้ว่าต้องเพิ่มขนาดโข่เพื่อชดเชยสำหรับผลของการกระแทก

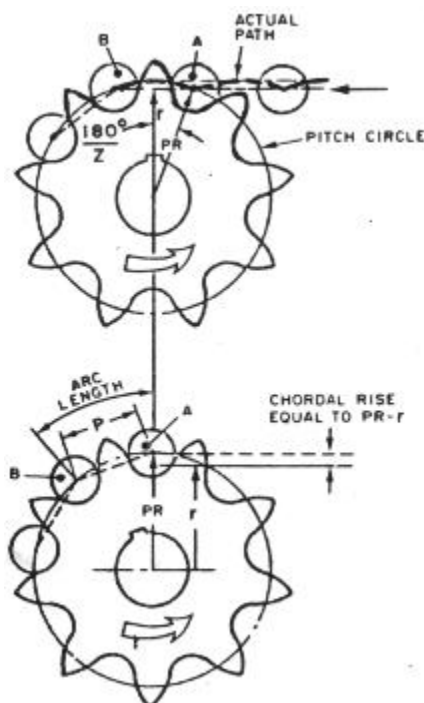
ความล้า (Fatigue)

ตามที่ได้กำหนดให้ข้อต่อเคลื่อนไปบนชุดขับที่ค้ำแน่น มันจะรับภาระแรงดึงสูงสุด และแรงดึงนี้จะลดลงเมื่อข้อต่อไปถึงด้านหย่อน โดยทั่วไปแล้วการเปลี่ยนแปลงความเค้นนี้ จะมีขนาดไม่มากพอที่จะนำมาพิจารณาออกแบบ อย่างไรก็ตาม เมื่อใดที่โข่ถูกใช้งานสูงกว่าสมรรถนะที่กำหนดของมัน หรือรับภาระน้ำหนักในจำนวนรอบที่สูง ๆ แล้วความล้าก็จะกลายเป็นแฟคเตอร์ที่สำคัญมากอีกอย่างหนึ่ง

การแกว่งของโข่ขณะแล่นผ่านล้อฟันเฟือง (Oscillation of Chain Speed at Sprockets)

ในขณะที่โข่ถูกม้วนไปบนล้อฟันเฟือง จุดศูนย์กลางของข้อต่อโข่ที่วางนอนไปบนเส้นโค้งพิต (Pitch Circle) ของล้อฟันเฟือง และเส้นศูนย์กลาง (Centerline) ของข้อต่อแต่ละอัน (เส้นระหว่างจุดศูนย์กลางของข้อต่อ) จะอยู่ในรูปของเส้นตรงตัดเส้นโค้ง (Chord) ของวงกลมนี้ เมื่อลูกกลิ้งเคลื่อน

เข้าใกล้ล้อฟันเฟือง โดยไม่เคลื่อนไปตามเส้นสัมผัสกับเส้นโค้งพิต (Pitch Circle) แต่จะเคลื่อนเป็นส่วนโค้งที่ต่อเนื่องกัน เกิดเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า "Oscillation" หรือ การแกว่ง



รูปที่ 2-28 การแกว่งของโซ่

ขนาดของการแกว่งนี้ หรือการเคลื่อนไหวแบบ Chordal จะขึ้นอยู่กับจำนวนของฟันบนล้อฟันเฟืองฟันยิ่งมาก ความเร็วจะเปลี่ยนแปลงน้อย ส่วนที่ราบเรียบจะผ่านส่วนโค้งตลอด ทำให้ข้อต่อแกว่งเป็นจังหวะและเกิดการสั่นเล็กน้อยการใช้โซ่ที่มีระยะพิทซ์สั้นกว่ากับล้อฟันเฟืองที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากันจะให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกัน

การแกว่งมากเกินไปจะทำให้เกิดเสียงดังขณะเดินเครื่อง และที่ความเร็วสูง ๆ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการหมุนของล้อฟันเฟือง อย่างไรก็ตาม หากเลือกส่วนประกอบที่เหมาะสมแล้วความเร็วที่ไม่สม่ำเสมอจะลดลงด้วยคุณภาพความยืดหยุ่นของโซ่

ในบริเวณทางแล่นของโซ่ มักจะมีการเสริมผิวกันสึกอยู่ครึ่งทางระหว่างจุดสูงและต่ำของการแกว่ง

$$\frac{\Delta V}{V} = 100 \left[\left(\sec \frac{180}{N} \right) - 1 \right] \cos \left(\frac{180}{N} \right) \quad (2.29)$$

เมื่อ $\frac{\Delta V}{V}$ = เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนอัตราเร็วของคอร์ต , %

V = ความเร็วของโซ่ , m/s

N = จำนวนฟันบนจานโซ่ , ฟัน

ในการคำนวณความเร็วของโซ่ เราจะสามารถคำนวณได้จากความเร็วรอบของจานโซ่ที่เคลื่อนที่แบบหมุน และรัศมีของจาน หรืออาจจะคำนวณจากความเร็วรอบของจานโซ่ที่เคลื่อนที่แบบหมุน และจำนวนฟันของจานโซ่ ก็ได้ ดังสมการ

$$V = \frac{\pi Dn}{12} = \frac{Npn}{12} \quad (2.30)$$

ซึ่ง V = ความเร็วของโซ่ , m/s
 D = รัศมีของจานโซ่ , m
 n = ความเร็วรอบของจานโซ่ , rps
 N = จำนวนฟันบนจานโซ่ , ฟัน
 p = ระยะพิทช์ของโซ่ , m



รูปที่ 2-29 แสดงส่วนประกอบของโซ่

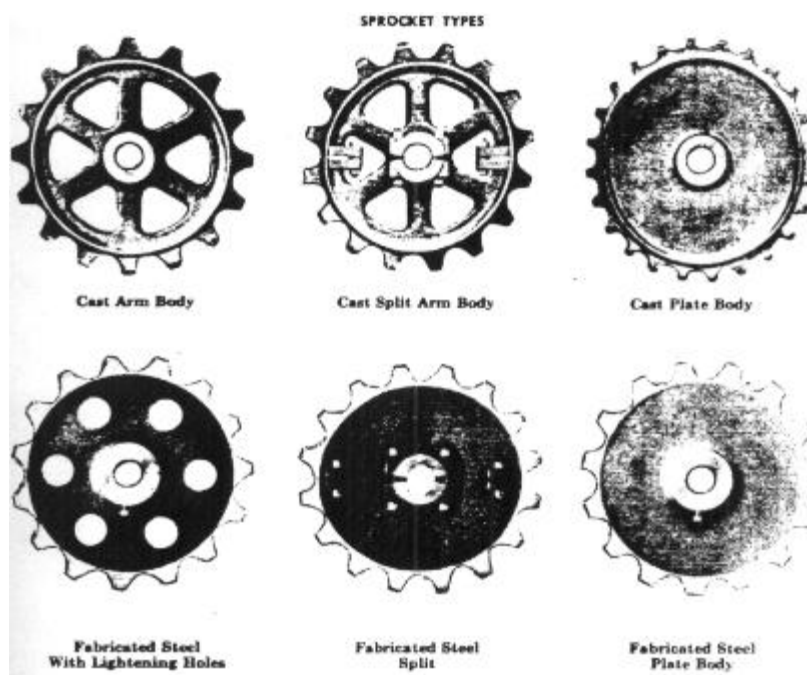
ความยาวของโซ่ ควรหาเป็นจำนวนพิทช์ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้จำนวนพิทช์คู่ มิฉะนั้นจะต้องเพิ่มโซ่พิเศษเข้าไปอีก 1 ซ้อย ความยาวของโซ่โดยประมาณสามารถออกแบบได้จากสมการ

$$\frac{L}{P} = \frac{2C}{P} + \frac{N_s + N_m}{2} + \left[\frac{N_s - N_m}{4\pi^2(C/P)} \right]^2 \quad (2.31)$$

ซึ่ง L = ความยาวของโซ่ , m
 P = ระยะพิทช์ของโซ่ , m
 C = ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของโซ่ , m
 N_m = จำนวนฟันของจานโซ่อันใหญ่ , ฟัน

N_s = จำนวนฟันของจานโซ่อันใหญ่ , ฟัน

2.5.2 จานโซ่และฟันเฟือง(Sprockets)



รูปที่ 2-30 จานโซ่ประเภทต่าง ๆ

จานโซ่สามารถทำขึ้นจากวัสดุหลาย ๆ ชนิดและมีหลายประเภท (รูป 4.9) ขึ้นอยู่กับการใช้งาน และความยากลำบากในการบำรุงรักษาที่ต้องการ จานโซ่สามารถทำขึ้นจากวัสดุหล่อหลายชนิด เช่น เหล็กหล่อสีเทา (Gray Iron) และ Chilled Rim และยังมี Fabricated Steel ที่มีความแข็งแรงสูงสุด และมีความต้านทานการสึกหรอตามที่ต้องการ จานโซ่ที่นิยมใช้กัน 3 ประเภท มีดังนี้

ก. Arm Body

จานโซ่ประเภทนี้ โดยทั่วไปจะใช้เมื่อต้องการให้มีขนาดใหญ่ เพื่อลดน้ำหนักทำให้การขนถ่ายง่ายขึ้น และราคาถูก

ข. Split (Arm or Plate) Body

จานโซ่แบบ Split Body เป็นแบบแยกเป็น 2 ส่วน ออกแบบมาให้สะดวกในการติดตั้งและถอดออกจากเพลลาได้โดยไม่ต้องยุ่งเกี่ยวกับแบริ่งหรืออุปกรณ์ที่ด้านปลายอื่น ๆ ซึ่งลดเวลาในการติดตั้งหรือถอดได้มาก

ค. Plate Body

จานโซ่แบบนี้ โดยทั่วไปจะใช้เมื่อต้องการให้มีขนาดเล็กลง ในเมื่อใช้จานโซ่แบบ Arm ไม่ได้และจะใช้ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อแรงดึงโซ่มากกว่าความแข็งแรงของจานโซ่แบบ Arm Body

จานโซ่แบบ Fabricated Steel โดยทั่วไปเป็นแบบ Flame cut และผลิตขึ้นจากแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา (Plain Carbon) หรือโลหะผสม ฟันเฟืองจะชุบแข็งแบบ Flame หรือแบบกระแส

เหนียวนำ นอกจากนี้งานโซ่ยังสามารถทำได้จากแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ แผ่นเหล็กกล้า Carburized และชุบแข็งแบบ Flame แบบกระแสเหนียวนำหรือ Salt Bath

2.5.3 การหาแรงในการขับเคลื่อน

ในการขับเคลื่อนของจักรยานปกติแล้วเราจะต้องใช้เท้าปั่นเพื่อส่งกำลังไปยังล้อ เพื่อให้ล้อหมุน แต่สำหรับจักรยานไฟฟ้านั้นเราสามารถขับเคลื่อนได้ทั้งการปั่นด้วยเท้า หรืออาจขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ ซึ่งการคำนวณหาภาระแรงที่ต้องใช้เพื่อให้จักรยานเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้นั้น มีการคำนวณที่คล้ายกัน

แรงขับเคลื่อนที่ต้องการนั้นจำเป็นต้องคำนวณหา กำลังที่ต้องใส่เข้าไปอาจจะเป็นการปั่นด้วยเท้า หรือขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ เพื่อให้ได้ความเร็วที่ต้องการ

สมการความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของมอเตอร์กับทอร์กของมอเตอร์ จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$P_m = 2\pi NT_m \quad (2.32)$$

ซึ่ง $P_m =$ กำลังของมอเตอร์ , W
 $N =$ อัตราเร็วรอบของมอเตอร์ , rps
 $T_m =$ แรงบิดของมอเตอร์ , N.m

สมการความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กของล้อกับทอร์กของมอเตอร์

$$T_w = \eta_t \times i_g \times i_f \times T_m \quad (2.33)$$

ซึ่ง $T_w =$ แรงบิดที่ล้อหลังจักรยาน , N.m
 $\eta_t =$ ประสิทธิภาพการส่งกำลัง
 $i_g =$ อัตราการทดระหว่างเฟืองขับมอเตอร์และเฟืองท้ายจักรยาน
 $i_f =$ อัตราการทดระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางเฟืองท้ายกับเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อหลัง
 $T_m =$ แรงบิดของมอเตอร์ , N.m

สมการความสัมพันธ์แรงขับเคลื่อนกับทอร์กของล้อ

$$F = \frac{T_w}{r} \quad (2.34)$$

ซึ่ง $F =$ แรงขับเคลื่อนที่ต้องการเอาชนะแรงต้าน , N

$T_w =$ แรงบิดของล้อหลังจักรยาน , N.m

$r =$ รัศมีของล้อจักรยาน , m

จากสมการที่ (2.33) และสมการที่ (2.34) สามารถสรุปได้ว่า

$$F = \frac{\eta_t i_g i_f T_m}{r} \quad (2.35)$$

หรือ

$$F = \frac{\eta_t i_0 T_m}{r} \quad (2.36)$$

ซึ่ง

$$i_0 = i_g \times i_f = \text{อัตราทดของระบบส่งกำลัง}$$

การหาความเร็วรอบที่ต้องการ

ในการเคลื่อนที่ของรถจักรยานไฟฟ้านั้น อัตราเร็วของจักรยานจะมีความสัมพันธ์กับค่าอัตราเร็วรอบ โดยขึ้นอยู่กับอัตราทดเฟือง ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาอัตราเร็วของจักรยานได้โดย

ถ้า อัตราเร็วรอบของมอเตอร์ = N rps

จะได้ว่า อัตราเร็วของล้อ = $\frac{N}{i_o}$ rps

เส้นรอบวงของยางล้อ 1 รอบ = $2\pi r$ m

$$\text{อัตราเร็วรถจักรยาน} = 2\pi r \left(\frac{N}{i_o} \right) \text{ m/s}$$

$$\text{หรือ} = 2\pi r \left(\frac{N}{i_o} \right) \left(\frac{3600}{1000} \right) \text{ km/hr}$$

ดังนั้นจะได้ว่าสมการการหาอัตราเร็วของจักรยานไฟฟ้าได้เป็น

$$V = \frac{3.6(2\pi r)N}{i_o} \quad (2.37)$$

หลังจากที่เราสามารถคำนวณแรงต้านการเคลื่อนที่ และอัตราเร็วของรถจักรยานไฟฟ้าได้แล้วนั้น เราจะสามารถหากำลังขับเคลื่อนของล้อจากสมการ การหากำลังขับเคลื่อน

$$P_w = \frac{FV}{3.6} \quad (2.38)$$

แต่เนื่องจากการส่งกำลังโดยทั่วไปนั้น เราไม่สามารถส่งกำลังไปสู่ชิ้นส่วนอื่น ๆ ได้ถึง 100% ดังนั้นเราจะมาวิเคราะห์หาค่ากำลังของมอเตอร์ที่ต้องใช้โดยการใช้ค่าประสิทธิภาพในการส่งกำลัง เพื่อใช้การออกแบบ จะได้ประสิทธิภาพการส่งกำลังได้เป็น

$$\eta_t = \frac{P_w}{P_m}$$

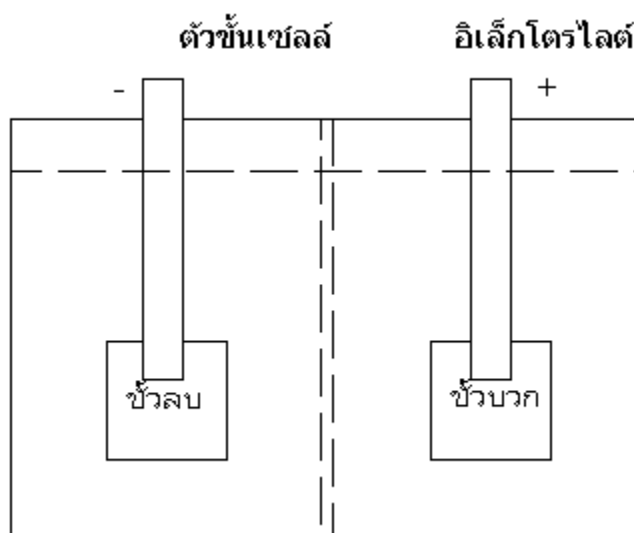
เมื่อแทนค่ากำลังการขับเคลื่อนของล้อแล้วเราได้สมการ

$$P_m = \frac{FV}{3.6\eta_t} \quad (2.39)$$

2.6 แบตเตอรี่ และเซลล์ไฟฟ้า

แบตเตอรี่ เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่อาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้าออกไปใช้งาน เป็นไฟฟ้ากระแสตรง แบตเตอรี่ประกอบด้วยเซลล์ไฟฟ้าตั้งแต่ 1 เซลล์ หรือมากกว่า โดยเซลล์นี้จะเชื่อมต่อเข้าด้วยกันทางไฟฟ้าซึ่งจะประกอบด้วยอุปกรณ์พื้นฐาน 4 ส่วน

1. ขั้วบวก (Positive Electrode)
2. ขั้วลบ (Negative Electrode)
3. อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)
4. ตัวชั้นเซลล์ (Separator)



รูปที่ 2-31 แสดงโครงสร้างแบตเตอรี่

ขั้วบวกเป็นส่วนที่สูญเสียอิเล็กตรอนเนื่องจากการทำปฏิกิริยาทางเคมี ส่วนลบจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ภายหลังจากที่เกิดการทำปฏิกิริยาทางเคมีขึ้น สำหรับอิเล็กโทรไลต์จะเป็นตัวกลางให้อิเล็กตรอนไหลผ่านระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ ส่วนตัวชั้นเซลล์จะใช้แยกส่วนของขั้วบวกและขั้วลบออกจากกันทางไฟฟ้า

โดยทั่วไปแล้วแบตเตอรี่จะประกอบด้วยเซลล์หลายเซลล์ที่มีการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าอยู่ภายใน ซึ่งวิธีการต่อของแต่ละเซลล์และชนิดของวัสดุที่นำมาใช้เป็นเซลล์ จะเป็นปัจจัยที่กำหนดขนาดของแรงดันไฟฟ้าและความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ โดยการต่อทำให้ขั้วบวกของเซลล์หนึ่งต่อกับ ขั้วลบของเซลล์ถัดไป และต่อกันเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ได้เท่ากับผลรวมของแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเซลล์รวมกัน เรียกการต่อแบบนี้ว่าการต่อแบบอนุกรมหรือการต่อ แบบอันดับ ส่วนวิธีการเพิ่มความจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่นั้น จะต้องต่อให้ขั้วบวกของทุกเซลล์ เข้าด้วยกันและขั้วลบของทุกเซลล์เข้าด้วยกัน เรียกการต่อแบบนี้ว่า การต่อแบบขนาน



รูปที่ 2-32 แสดงการต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมและแบบขนาน

เซลล์ไฟฟ้า บางครั้งเรียกว่า แบตเตอรี่แห้ง แต่คนทั่วไปเรียกว่า ถ่านไฟฉาย เซลล์เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เซลล์แบ่งออกเป็น เซลล์เปียก หรือ โวลตาอิตเซลล์ และ เซลล์แห้ง ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 5 ชนิด ดังนี้

- แบบคาร์บอน-สังกะสี
- แบบอัลคาไลน์
- แบบซิลเวอร์ออกไซด์
- แบบเมอร์คิวรี
- แบบนิกเกิลแคดเมียม

1. **แบบคาร์บอน-สังกะสี** ประกอบด้วย ก่อสร้างสังกะสีทรงกระบอก ซึ่งเป็นขั้วลบและเป็นที่ยึดรูอิเล็กโตรไลต์ อิเล็กโตรไลต์ (Electrolyte) เป็นน้ำยาที่ทำปฏิกิริยาเคมีกับอิเล็กโตรดที่จมอยู่ในตัวของมัน อาจเป็นเกลือ (Salt) กรด หรือ ด่าง (Alkaline) ก็ได้

เซลล์แบบคาร์บอนสังกะสีนี้ อิเล็กโตรไลต์อาจจะใช้แอมโมเนียคลอไรด์ สังกะสีคลอไรด์ กรือแมกนีเซียมคลอไรด์ ซึ่งจะต้องผสมกับแป้งเปียกเพื่อให้เหนียวขึ้น ขั้วบวกของเซลล์แห่งนี้มาจากแท่งถ่านกัมมันต์ และมีแมกนีเซียออกไซด์เป็นดีโพลารเซอร์ แล้วใช้น้ำมันดินปิดให้แน่นป้องกันไม่ให้แท่งถ่านสัมผัสกับสังกะสี

2. **แบบอัลคาไลน์** เซลล์ไฟฟ้าแบบนี้เหมาะสมที่สุดทุกอย่าง (ยกเว้นราคา) เพราะให้กระแสไฟฟ้าได้สูงและทำงานได้ดีที่อุณหภูมิปกติ สามารถเก็บไว้ได้นาน เครื่องเล่นของเด็กที่เป็นไฟฟ้าควรใช้ถ่านไฟฉายประเภทนี้ เพราะให้กระแสไฟฟ้ามาก เซลล์ชนิดนี้อยู่ได้นานเฉลี่ยนานกว่าห้าปี

3. **แบบซิลเวอร์ออกไซด์** เซลล์ประเภทนี้ใช้ในงานสำรวจพื้นผิวดวงจันทร์ มีอายุการใช้งานนานกว่าอัลคาไลน์ถึง 3 เท่า ถ้าใช้กับไฟฉายจะไม่ทรี่เลยจนกว่าเซลล์จะหมดอายุไปโดยสิ้นเชิง และค่าใช้จ่ายก็ต้องสูงด้วยคือประมาณ 200 บาท ต่อชั่วโมง คุณสมบัติของเซลล์ชนิดนี้ คือ เมื่อมันหมดกระแสไฟฟ้างี้จะหมดไปเลย คือกระแสไฟฟ้าและแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะไม่ค่อยๆ หมดตามเวลาที่ใช้ เมื่อหมดจะหมดไปเลย คุณสมบัตินี้ช่วยให้นาฬิกาเดินอย่างเที่ยงตรง มิเตอร์วัดได้อย่างแม่นยำ

4. **แบบเมอร์คิวรี** เซลล์ไฟฟ้าแบบนี้ใช้กันอย่างแพร่หลายในเครื่องใช้ที่ใช้เซลล์แบบกระดุม แต่แตกต่างกันตรงราคาเซลล์แบบเมอร์คิวรีจะถูกกว่าครึ่งหนึ่ง ข้อที่แตกต่างกันคือแรงดันไฟฟ้า โดยเมอร์คิวรีจะมีแรงดันไฟฟ้าเซลล์ละ 1.35 - 1.4 โวลต์ ส่วนซิลเวอร์ออกไซด์มีแรงดันไฟฟ้าเซลล์ละ 1.5 โวลต์

วงจรอิเล็กทรอนิกส์หลายชนิดที่ต้องการความเที่ยงตรงแม่นยำ เช่น นาฬิกาอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งวงจรนี้จะใช้แบตเตอรี่มีแรงเคลื่อนแตกต่างกันอย่างเมอร์คิวรี และซิลเวอร์ออกไซด์ไม่ได้เลย

5. **แบบนิกเกิลแคดเมียม** เซลล์ไฟฟ้าที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นชนิดที่เมื่อใช้งานกระแสไฟฟ้าหมดแล้วก็ต้องทิ้งไป แต่เซลล์แบบนิกเกิลแคดเมียม สามารถชาร์จไฟเข้าไปใหม่ได้ เซลล์หนึ่ง ๆ สามารถชาร์จไฟได้ไม่น้อยกว่า 1,000 ครั้ง แบตเตอรี่ชนิดนี้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเพียง 1.25 โวลต์ ซึ่งเครื่องใช้ที่ใช้แบตเตอรี่ส่วนใหญ่ก็มักจะออกแบบให้ใช้ได้กับแรงเคลื่อนไฟฟ้าโดยเฉลี่ยของเซลล์แบบคาร์บอนสังกะสี และอัลคาไลน์พอดี้

วิวัฒนาการของเซลล์แห่งแบบนิกเกิลแคดเมียมเป็นที่นิยมใช้กันมาก เมื่อใช้งานไฟหมดสามารถประจุไฟได้ ทั้งยังมีน้ำหนักเบา และจ่ายกระแสไฟได้สูงมาก จึงนิยมใช้กับเครื่องคิดเลข ไฟแฟลชถ่ายภาพ นาฬิกาอิเล็กทรอนิกส์ตลอดจนอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เป็นต้น

สำหรับการแบ่งกลุ่มของแบตเตอรี่ สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่มหลักดังนี้

1. **แบตเตอรี่แบบปฐมภูมิ (Primary Battery)** เป็นแบตเตอรี่ที่เมื่อผ่านการใช้แล้วไม่สามารถนำกลับมาชาร์จประจุเพื่อกลับมาใช้ใหม่ได้ หรือที่มักเรียกกันว่า “ถ่าน” มีอยู่หลายชนิด เช่น ถ่านอัลคาไลน์ ถ่านลิเทียม เป็นต้น แบตเตอรี่แบบนี้มีหลายขนาด ใช้ในวิทยุ นาฬิกา เก็บพลังงานได้สูง อายุการใช้งานสูง แต่เมื่อถูกใช้หมดจะกลายเป็นขยะมลพิษ

2. **แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ (Secondary Battery)** เป็นแบตเตอรี่ที่เมื่อผ่านการใช้แล้วสามารถนำกลับมาชาร์จประจุเพื่อกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น แบตเตอรี่รถยนต์ แบตเตอรี่มือถือ และถ่านรุ่นใหม่ ๆ เป็นต้น

บทที่ 3

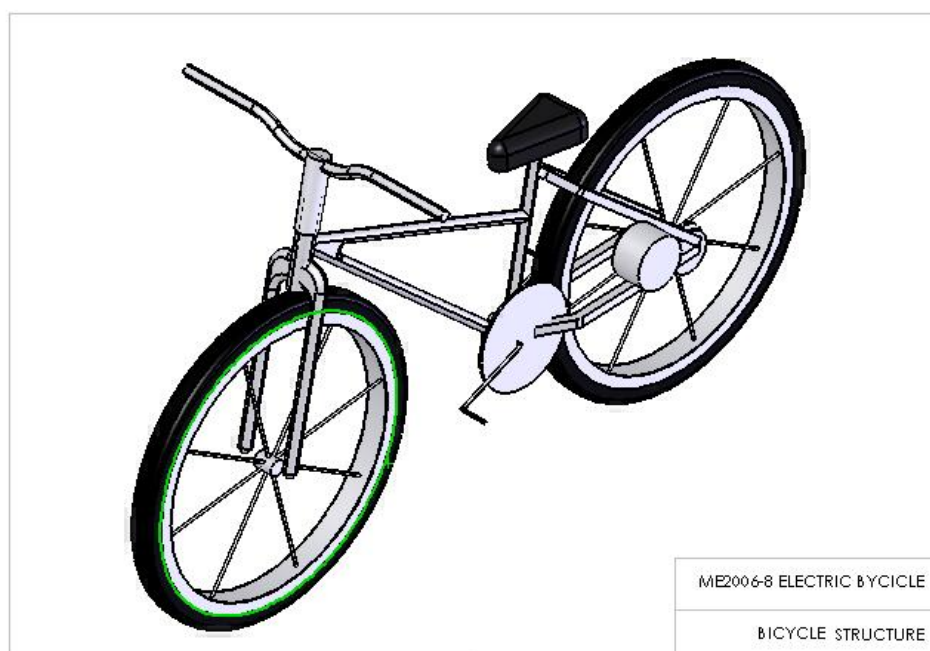
การดำเนินงานโครงการ

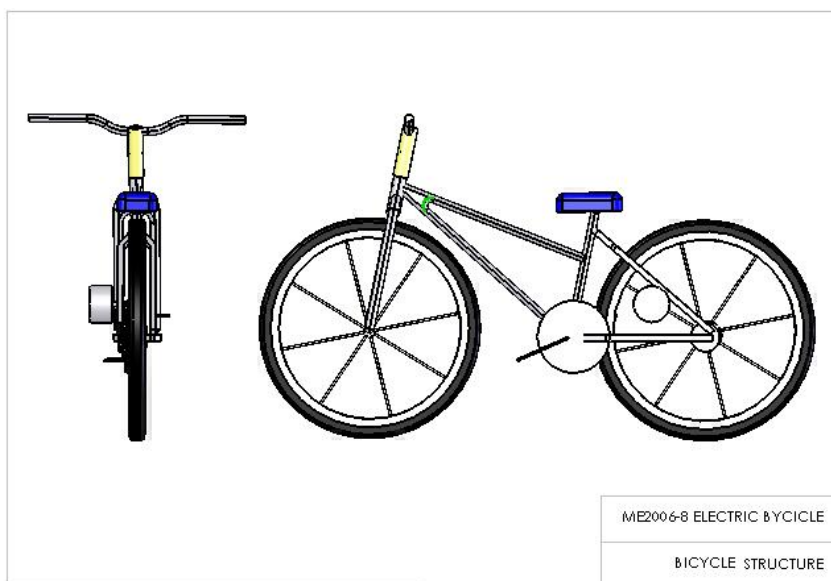
การดำเนินงานของโครงการนี้ จะมีการทำงานออกเป็นหลาย ๆ ส่วน คือ การออกแบบ ,สร้าง และทดสอบ ซึ่งการออกแบบสร้าง และทดสอบนั้น มีความสำคัญต่อโครงการมากและเป็นสิ่งที่ทำให้โครงการสำเร็จ ลุล่วงได้ โดย

3.1 การออกแบบจักรยานไฟฟ้า

ในส่วนการออกแบบจักรยานไฟฟ้านี้ถือเป็นส่วนที่สำคัญมาก เนื่องจากจะทำให้ขั้นตอนในการสร้างและทดสอบเป็นไปได้ด้วยดี เนื่องจาก จะทำให้รู้แผนการ รูปแบบขั้นตอนที่จะทำอย่างเป็นระบบ และมีความผิดพลาดในการทำงานน้อยลง ซึ่งในโครงการนี้มีส่วนการออกแบบทั้งหมด 3 ส่วน ได้แก่

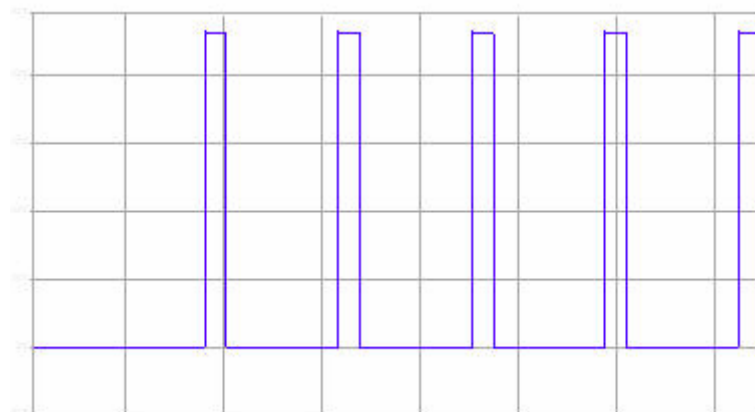
3.1.1 การออกแบบโครงสร้างต่าง ๆ ในการติดตั้ง เช่น ตำแหน่งติดมอเตอร์ หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับความต้องการ เพื่อให้ไม่เกิดปัญหาในการขับขี่ ซึ่งผลจากการออกแบบ ได้ตำแหน่งการติดมอเตอร์ อยู่ที่ล้อหลัง เนื่องจากการติดมอเตอร์ที่ล้อหน้าอาจเกิดปัญหาในการขับขี่ได้



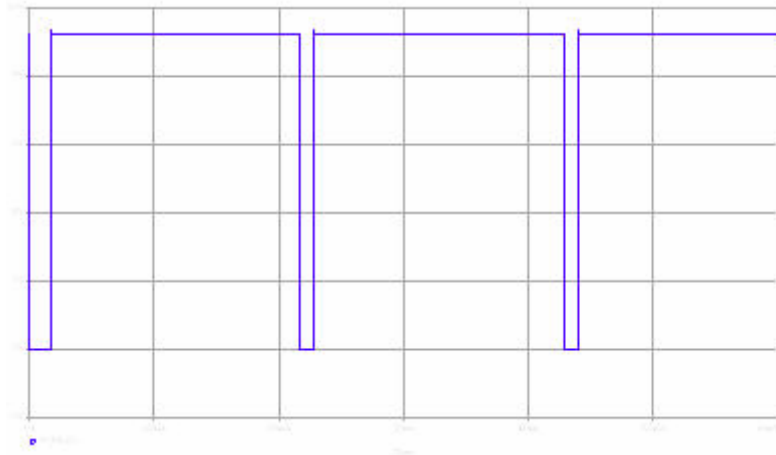


รูปที่ 3-1 ภาพแสดงจักรยาน และตำแหน่งการติดมอเตอร์

3.1.2 การออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์ เช่น ควบคุมมอเตอร์เพื่อให้ความเร็วเหมาะสมกับการขับขี่ ซึ่งในโครงการนี้เราจะเลือกใช้ การควบคุมความเร็วรอบโดยการปรับพัลส์ของวงจรถูก ซึ่งจะมีแผงวงจรถูก 2 แผง คือ วงจรถูกคุม และวงจรถูกคุมมอเตอร์ ซึ่งเป็นตัวควบคุมพัลส์ (Duty Cycle) ของวงจรถูก ซึ่งในการควบคุมพัลส์จะ เป็นการควบคุมการปรับค่าของความกว้างการปล่อยกระแส ได้จากตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ ซึ่งเป็นลักษณะของชุดประกับคั่นแรง เพื่อให้่ายต่อการใช้งาน ซึ่งการที่ความต้านทานน้อยจะทำให้เกิดพัลส์ ออกมาเป็นดังรูป ก. และเมื่อเราทำการเพิ่มค่าความต้านทานจะทำให้ช่วงในการปล่อยกระแสสั้นขึ้น ทำให้ค่าเฉลี่ยของการปล่อยกระแสมีค่ามากขึ้น ดังรูป ข.



(ก)



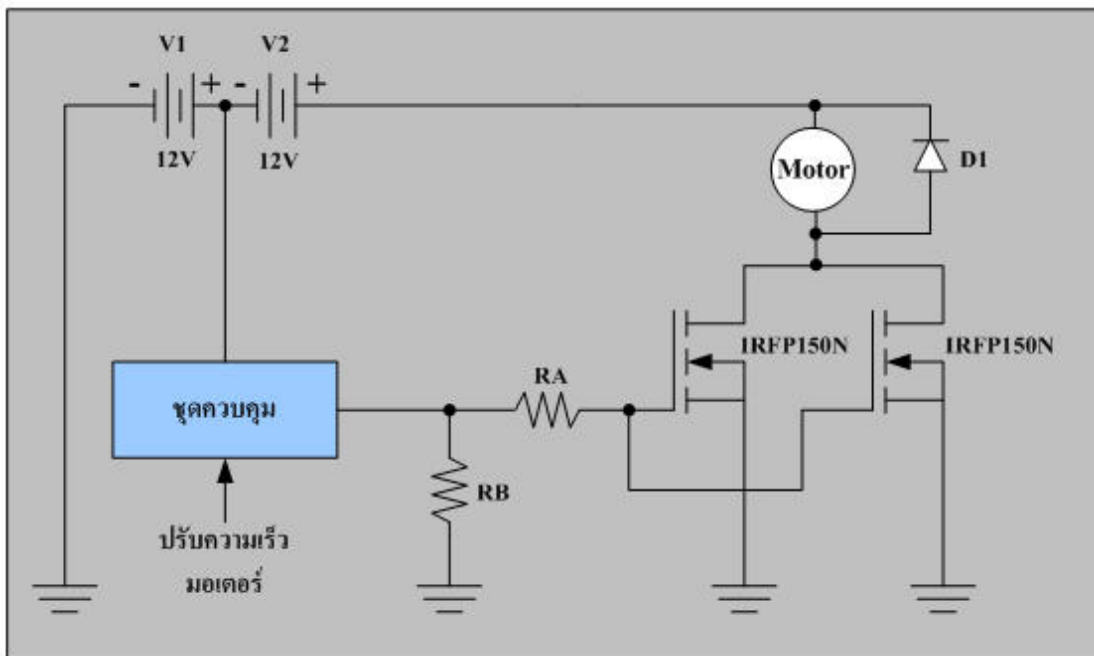
(ข)

รูปที่ 3-2 ผลการทดสอบวงจรควบคุมที่ออกแบบ

(ก) ค่าของ Duty cycle มีค่าน้อย ($R2=1\Omega$)

(ข) ค่าของ Duty cycle มีค่ามาก ($R2=100\Omega$)

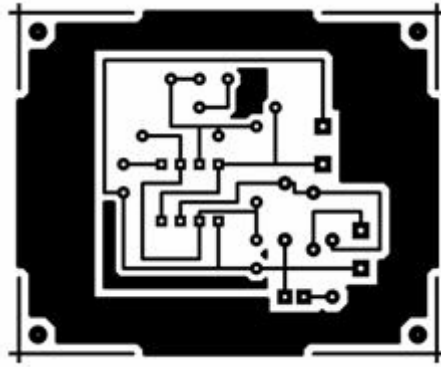
ซึ่งในการสร้างวงจรควบคุมและวงจรขับเคลื่อนมี วงจรดังนี้



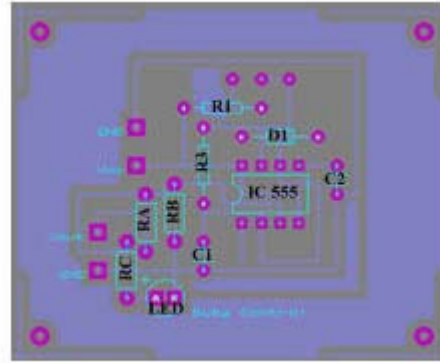
รูปที่ 3-3 แสดงวงจรควบคุมที่ทำการสร้างในโครงการ

จากรูป เป็นลักษณะของวงจรที่ได้ทำการออกแบบ โดยจะเห็นได้ว่าการออกแบบและสร้างรถจักรยานไฟฟ้าสามารถที่จะปรับความเร็วของมอเตอร์ได้ โดยในโครงงานนี้ได้ใช้ซีมอเตอร์ขนาด 24 V (2,500 RPM/250W) เป็นตัวขับเคลื่อนรถจักรยานนี้ โดยได้มีการติดตั้งมอเตอร์ไว้ที่ล้อหลัง

ลายวงจรพิมพ์ของโครงงาน



(ก)



(ข)

รูปที่ 3-4 ลายวงจรและอุปกรณ์ของวงจรควบคุม

จากรูป ก. และ ข. จะเป็นวงควบคุม ซึ่งมีรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ต้องใช้ ดังนี้

ตัวต้านทาน

- | | |
|-----------------------------------|-------|
| 1. $R_1, R_4 = 1 \text{ k}\Omega$ | 2 ตัว |
| 2. $R_2 = 0-100 \text{ k}\Omega$ | 1 ตัว |
| 3. $R_3 = 6 \text{ k}\Omega$ | 1 ตัว |
| 4. $R_C = 330 \Omega$ | 1 ตัว |

ตัวเก็บประจุ

- | | |
|-----------------------------|-------|
| 1. $C_1 = 0.27 \mu\text{F}$ | 1 ตัว |
| 2. $C_2 = 0.1 \mu\text{F}$ | 1 ตัว |

ไดโอด

- | | |
|--------------------------|-------|
| 1. $D_1 = 1\text{N}4148$ | 1 ตัว |
| 2. LED | 1 ตัว |

ไอซี

- | | |
|----------|-------|
| 1. IC555 | 1 ตัว |
|----------|-------|

จากรูปที่ 3-5 จะเป็นวงจรขับมอเตอร์ ซึ่งมีรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ต้องใช้ดังนี้
ตัวต้านทาน

1. RA = 500 Ω 1 ตัว

2. RB = 10 k Ω 1 ตัว

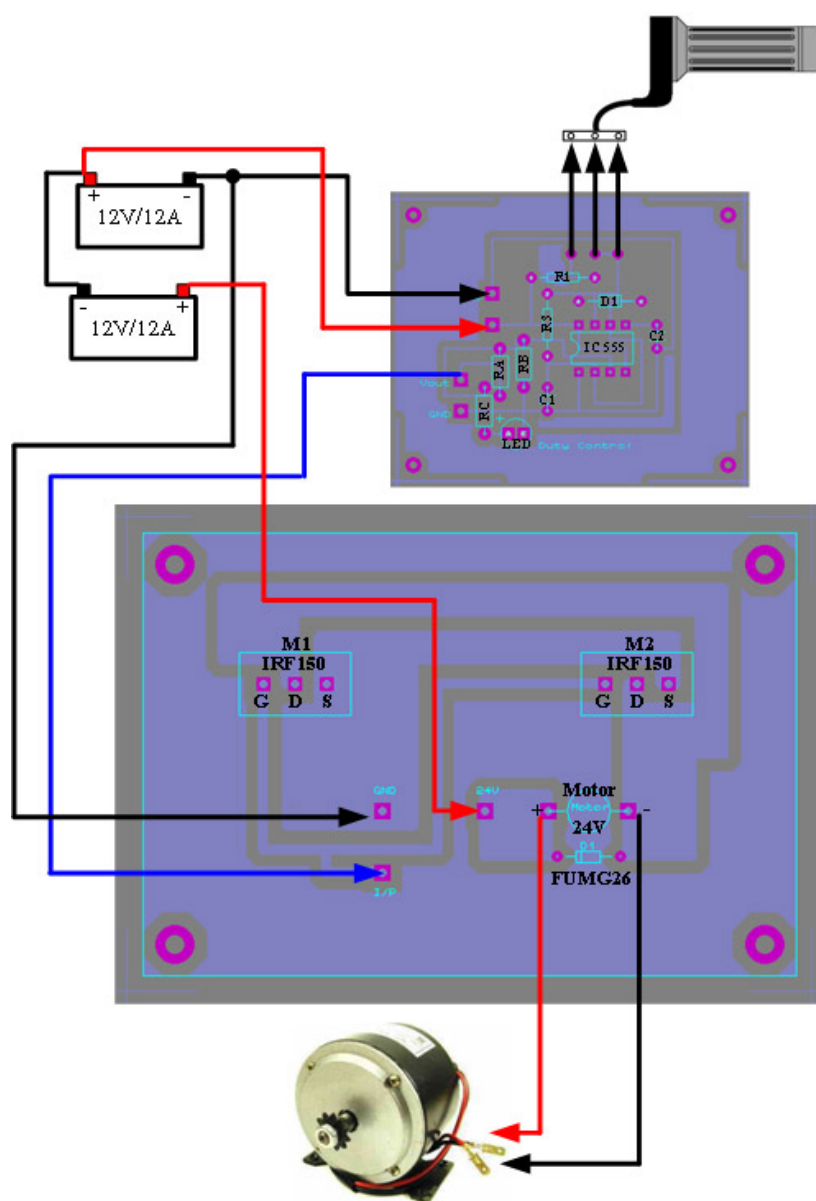
ไดโอด

1. D1 = FUMG26 1 ตัว

MOSFET

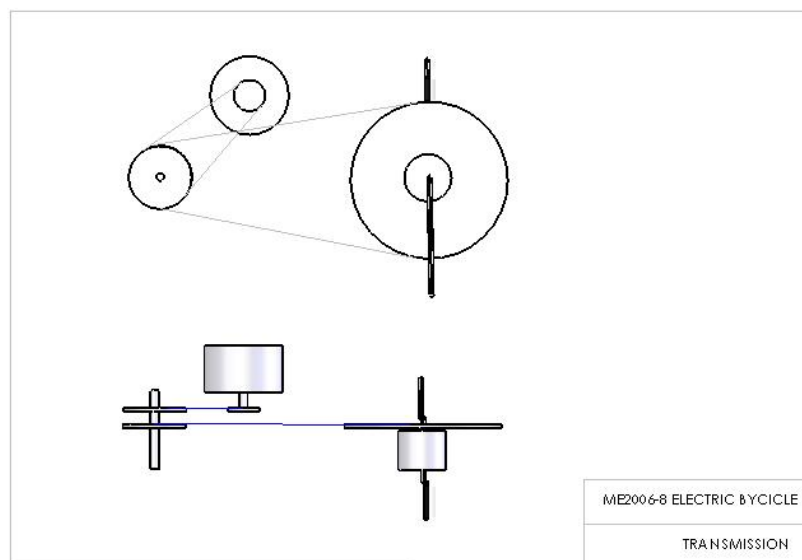
1. M1 , M2 = IRF150 2 ตัว

ซึ่งเมื่อได้วงจรควบคุมและวงจรขับแล้ว จะนำมาติดตั้งในรถจักรยานไฟฟ้า ซึ่งมีการต่อวงจรเข้ากับจักรยานไฟฟ้างดังนี้



รูปที่ 3-6 รูปแสดงการต่อวงจรควบคุมกับวงจรขับเข้าด้วยกัน

3.1.3 การออกแบบระบบส่งกำลัง เช่น ขนาดมอเตอร์,โซ่,เกียร์ หรือสเตอร์ เป็นต้น โดยใช้ความสัมพันธ์ของสมมูล



รูปที่ 3-7 ภาพแสดงการทำงานของระบบส่งกำลัง

ข้อมูลการออกแบบจักรยานไฟฟ้า

ตารางที่ 3-1 ตารางแสดงข้อมูลการออกแบบจักรยานไฟฟ้า

ข้อมูล	ตัวแปร	ปริมาณ	หน่วย
รถจักรยานไฟฟ้า และผู้ขับขี่	m	120	kg
อัตราเร็วที่ออกแบบ	V	25	km/hr
พื้นที่หน้าตัดของการขับขี่	A	0.4	m ²
รัศมีล้อ	d_w	0.3	m
สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ	Ka	0.03	-
จำนวนฟันเฟืองขับเคลื่อน	N_m	9	ฟัน
จำนวนฟันเฟืองเพลาส่งกำลัง	N_s	18	ฟัน
รัศมีเฟืองท้าย	d_s	0.08	m
ประสิทธิภาพการส่งกำลังที่ออกแบบ	η_t	90	%
มุมมองความลาดชัน	θ	0	องศา

การคำนวณหาแรงต้านการเคลื่อนที่

1. แรงต้านจากการหมุน $R_r = K_r N$

จากค่า $K_r = 0.015 + 0.00016V$

$$K_r = 0.015 + 0.00016(25)$$

$$K_r = 0.019$$

และจากค่า $N = mg$ (สำหรับการออกแบบที่เส้นทางราบ)

$$N = 120 \times 9.81$$

$$N = 1177.2 \text{ นิวตัน}$$

นำมาแทนค่าในสูตร $R_r = K_r N$ จะได้

$$R_r = (0.019)(1177.2)$$

$$\therefore R_r = 22.36 \text{ นิวตัน}$$

2. แรงต้านอากาศ $R_a = K_a AV^2$

นำข้อมูลที่ออกแบบมาคำนวณหาค่าแรงต้านอากาศ จะได้

$$R_a = (0.03)(0.4)(25)^2$$

$$\therefore R_a = 7.5 \text{ นิวตัน}$$

3. แรงต้านจากทางชัน $R_g = W \sin \theta$

เนื่องจากการออกแบบเราจะใช้เส้นทางเรียบจะได้ว่า

$$R_g = 0$$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่าแรงต้านการเคลื่อนที่ทั้งหมดได้เป็น

$$R_T = R_r + R_a + R_g$$

$$R_T = 22.36 + 7.5 + 0$$

$$\therefore R_T = 30.13 \text{ นิวตัน}$$

แรงต้านการเคลื่อนที่ทั้งหมดมีค่า 30.13 นิวตัน

การคำนวณหาขนาดของมอเตอร์

$$\text{จาก สมการ } P_w = \frac{FV}{3.6} \quad \text{และ} \quad \eta_t = \frac{P_w}{P_m}$$

$$\text{จะได้ความสัมพันธ์เป็น } P_m = \frac{FV}{3.6\eta_t}$$

$$P_m = \frac{(30.13)(25)}{3.6(0.9)}$$

$$\therefore P_m = 232.48 \text{ W}$$

ดังนั้นมอเตอร์ที่เราเลือกควรจะใช้ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 250 W

การคำนวณหาความเร็วรอบ

$$\text{จากสมการ } V = \frac{3.6(2\pi r)N}{i_o}$$

$$\text{แปลงสมการเพื่อใช้ในการคำนวณความเร็วรอบได้เป็น } N = \frac{Vi_o}{3.6(2\pi r)}$$

$$\text{และจากค่า } i_o = i_g \times i_f$$

$$\text{ค่า } i_g = \frac{N_m}{N_s} = \frac{18}{9} = 2 \quad (\text{อัตราทดรอบของจำนวนเฟืองขับมอเตอร์และ จำนวนเฟืองท้ายจักรยาน})$$

$$i_f = \frac{d_w}{d_s} = \frac{30}{8} = 3.75 \quad (\text{อัตราทดรอบของเส้นผ่านศูนย์กลางเฟืองท้ายจักรยาน กับเส้นผ่านศูนย์กลางล้อหลังจักรยาน})$$

จะสรุปได้ว่าอัตราทดรอบของระบบส่งกำลังมีค่า

$$i_o = 2 \times 3.75 = 7.5$$

แทนค่าตัวแปรต่างๆในสมการ จะได้

$$N = \frac{(25)(7.5)}{3.6(2\pi \times 0.3)} = 27.63 \text{ rps}$$

$$\therefore N = 1657.86 \text{ rpm}$$

การคำนวณหาแรงบิด

จากสมการ $P_m = 2\pi NT_m$

จะทำให้สามารถคำนวณแรงบิดมอเตอร์ได้เป็น $T_m = \frac{P_m}{2\pi N}$

จะได้ $T_m = \frac{232.48}{2\pi(27.63)} = 1.34 \text{ N.m}$

และจากสมการ $T_w = \eta_t \times i_g \times i_f \times T_m$ จะทำให้สามารถคำนวณหาแรงบิดของล้อได้เป็น

$$T_w = 0.9 \times 2 \times 3.75 \times 1.34 = 9.045 \text{ N.m}$$

ดังนั้นจากการคำนวณการออกแบบ จะสรุปได้ว่า

- แรงต้านการเคลื่อนที่, $R_T = 30.13$ นิวตัน
- กำลังของมอเตอร์ที่ต้องการ, $P_m = 232.48$ w
- อัตราส่วนการทดรอบของระบบส่งกำลัง, $i_o = 7.5$
- อัตราเร็วรอบของมอเตอร์, $N = 1657.86$ rpm
- แรงบิดของมอเตอร์, $T_m = 1.34$ N.m
- แรงบิดที่ล้อหลังจักรยาน $T_w = 9.045$ N.m

ดังนั้นมอเตอร์ที่เราควรเลือก คือ มอเตอร์กระแสตรงขนาด 24V 250W 2500rpm

3.2 การสร้างจักรยานไฟฟ้า

ในการสร้างจักรยานไฟฟ้านั้นจะต้องสร้างตามการออกแบบ 3 ส่วน คือ โครงสร้างต่าง ๆ, ระบบควบคุมมอเตอร์ และ ระบบส่งกำลัง โดยให้มีสมรรถนะเพียงพอกับการขับขี่ทั่วไป และมีงบประมาณที่ต่ำด้วย ซึ่งการคำนวณทางงบประมาณที่ใช้ เราจะเปรียบเทียบจากราคาอุปกรณ์ติดตั้งโดยเราจะคำนวณจาก

3.2.1 โครงสร้างของจักรยาน

การสร้างจักรยานไฟฟ้าของโครงการนี้จะใช้ จักรยานที่มีล้อจักรยานขนาด 24 นิ้ว หรือ ล้อที่มาร์คมี 30 เซนติเมตร นั้นเองทางโครงการจึงเลือกที่จะใช้จักรยานทั่วไป ที่มีการใช้งานแล้ว เนื่องจากจะได้เกิดการเปรียบเทียบสภาพการขับขี่ว่ามีสภาพการขับขี่ที่ดีขึ้น หรือลดน้อยลงไปอย่างไร จักรยานที่ใช้จะแสดง ดังรูปที่ 3-8 ซึ่งมีล้อขนาด 24 นิ้วตามที่ออกแบบไว้



รูปที่ 3-8 รูปแสดงจักรยานที่นำมาใช้ในโครงการ

โดยกล่องที่จะใช้ใส่แบตเตอรี่และวงจรควบคุมนั้น จะติดตั้งไว้ที่แกนเหล็กที่ไว้ใช้ซ่อนท้าย เพื่อให้ใกล้กับมอเตอร์ เพื่อที่สายไฟจะได้มีความยาวที่สั้นลง

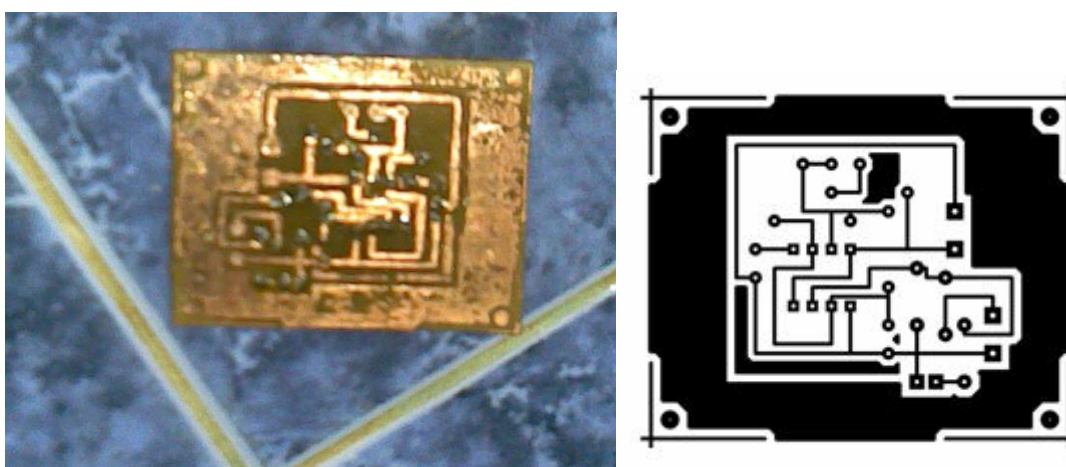
3.2.2 ระบบควบคุมมอเตอร์

วงจรควบคุมมอเตอร์ที่สร้างขึ้นนี้ได้ออกวงจรควบคุมแบบปรับพัลส์ ซึ่งในการควบคุมพัลส์จะเป็นการควบคุมการปรับค่าของความกว้างการปล่อยกระแส ได้จากตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ ซึ่งเป็นลักษณะของชุดปรับกับคันเร่ง เพื่อให้จ่ายต่อการใช้งาน ซึ่งการที่ความต้านทานน้อยจะทำให้เกิดพัลส์ มีช่วงในการปล่อยกระแสไฟฟ้าที่น้อย เมื่อเราทำการเพิ่มค่าความต้านทานจะทำให้ช่วงในการปล่อยกระแสยาวนานขึ้น ทำให้ค่าเฉลี่ยของการปล่อยกระแสมีค่ามากขึ้น

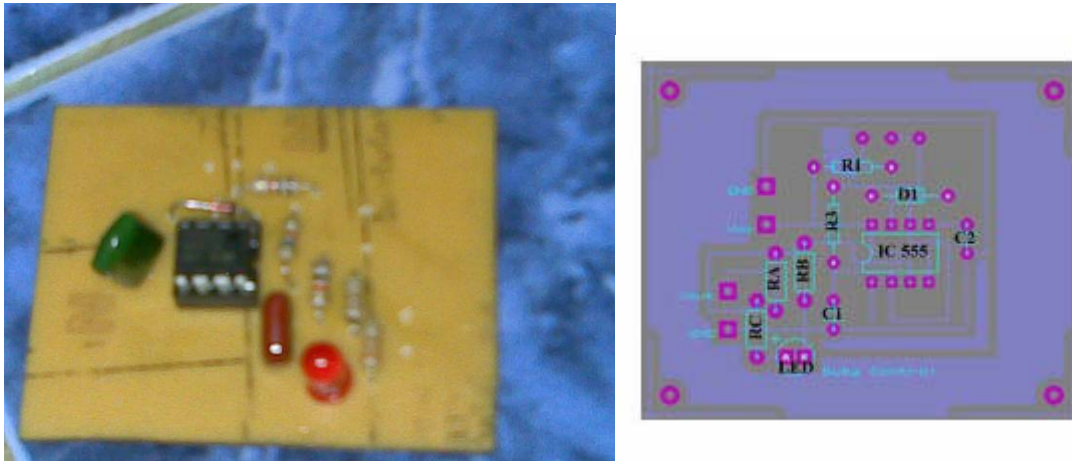
ระบบควบคุมมอเตอร์โดยวิธีการควบคุมพัลส์นี้ จะประกอบด้วยแผงวงจร 2 ชุด คือ วงจรควบคุม และวงจรขับมอเตอร์ ซึ่งการวางแผง Pcb นี้จะใช้ไฟระบบ 12v แรงต่ำ โดยวิธีการสร้างแผงวงจรมีวิธีการ ดังนี้

1. นำลายวงจรไปถ่ายเอกสารใส่แผ่นใสทนความร้อน
2. นำแผ่นปริ้นที่ยังไม่ได้กัดมาตัดให้ได้ขนาดที่เหมาะสม
3. นำแผ่นใสที่ถ่ายเอกสารแล้ว มารีดด้วยเตารีดลงบนแผ่นปริ้นที่ยังไม่ได้กัด
4. ลอกแผ่นใสออกจากแผ่นปริ้น
5. ตรวจเช็คหมึกว่าเข้มหรือไม่ ถ้ายังไม่เข้มหรือขาดให้นำหมึก Permanent เดิมเพิ่มเข้าไป เนื่องจากถ้านำไปกัดปริ้นแล้วน้ำยาจะกัดเฉพาะส่วนที่ไม่มีหมึก
6. นำแผ่นปริ้นลงมาก็ดลายในน้ำยากัดปริ้น จนน้ำยากัดส่วนที่ไม่ได้เคลือบหมึกเอาไว้ทั้งหมดแล้ว
7. นำทินเนอร์มาเช็ดหมึกที่ติดอยู่บนแผ่นปริ้นออก เราจะได้ลายวงจรที่ต้องการ
8. ถ้าต้องการความคงทนของผิว ให้ทำการเคลือบด้วยน้ำยาเคลือบผิววงจร
9. นำส่วนขนาดเล็กมาเจาะบริเวณที่ต้องการนำอุปกรณ์มาติด
10. นำอุปกรณ์ที่ต้องการติดตั้งลงไปมาบัดกรีลงไป และตัดขาของอุปกรณ์เหล่านั้นที่ยาวเกินไปออก
11. นำมาต่อสายไฟเข้ากับอุปกรณ์ของเราได้ตามรูปที่ 3-6

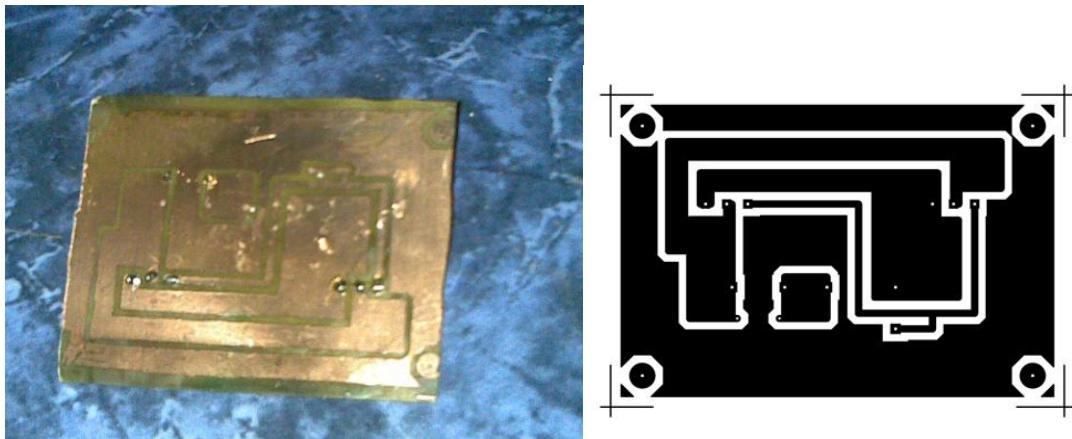
จากขั้นตอนการสร้างแผงวงจรเราสามารถสร้างแผงวงจรควบคุม และวงจรขับ ทั้ง 2 ได้ดังรูปที่ 3-9,3-10,3-11,3-12 ซึ่งเราจะนำวงจรทั้ง 2 มาติดตั้งในจักรยานไฟฟ้า ซึ่งมีค่าเตือนที่สำคัญ คือ ห้ามกลับขั้วไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ เนื่องจากการกลับขั้วจะทำให้วงจรไฟฟ้าไหม้ได้



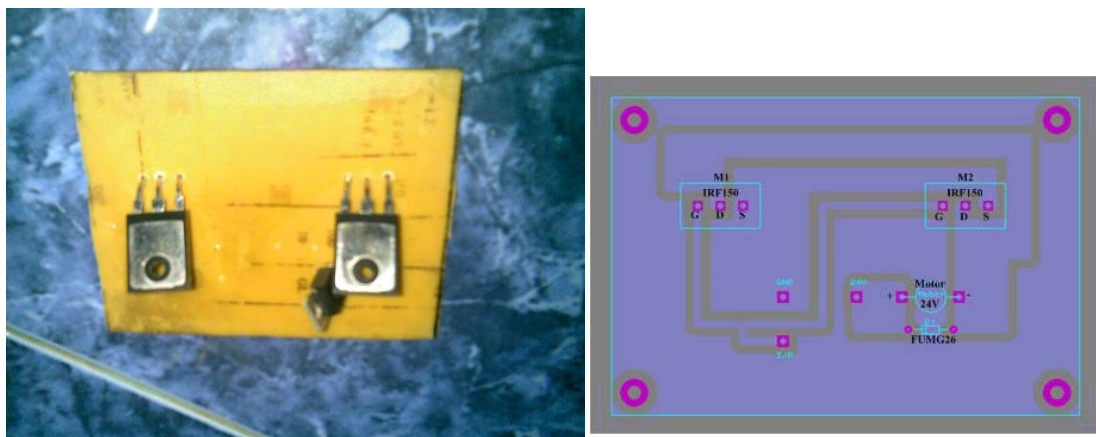
รูปที่ 3-9 ภาพแสดงผลลายวงจรควบคุมที่สร้างขึ้น



รูปที่ 3-10 ภาพแสดงผลอุปกรณ์ที่ติดตั้งในวงจรควบคุม

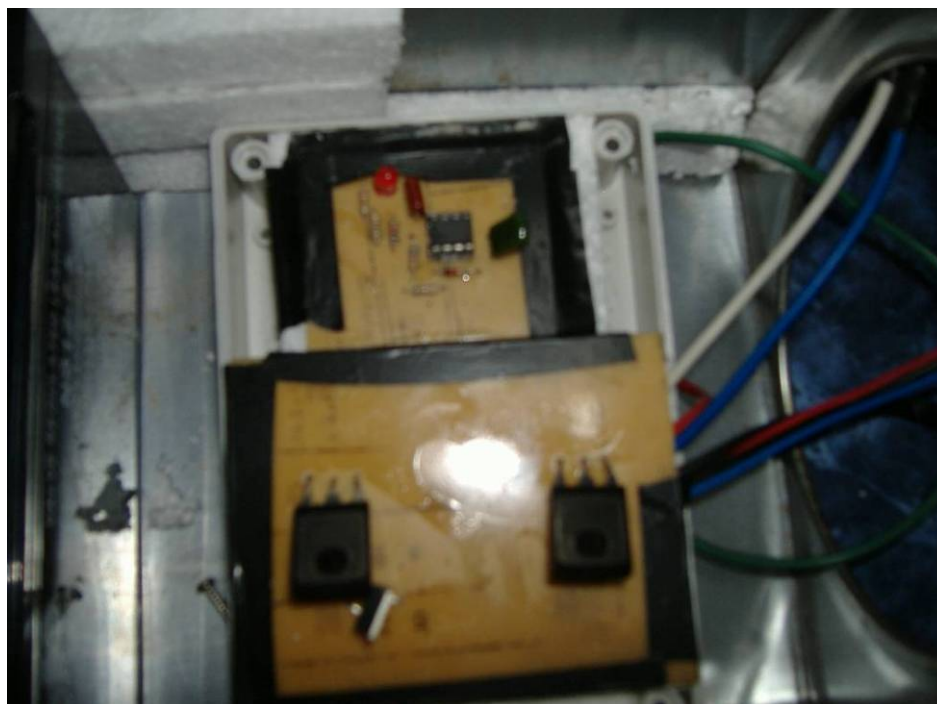


รูปที่ 3-11 ภาพแสดงผลลายวงจรซิปที่สร้างขึ้น

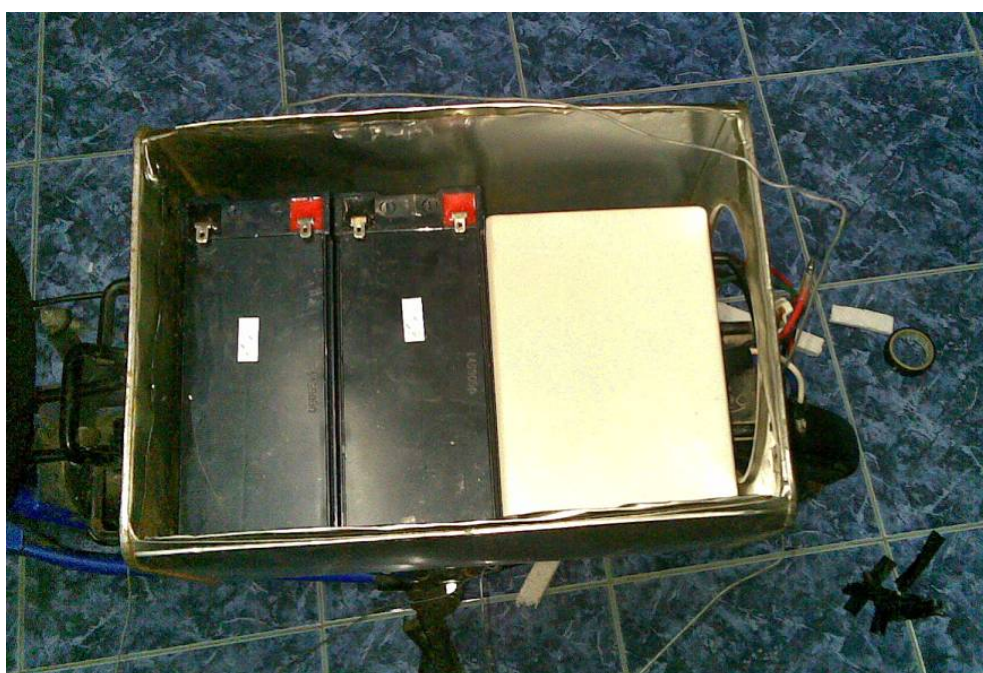


รูปที่ 3-12 ภาพแสดงผลอุปกรณ์ที่ติดตั้งในวงจรซิป

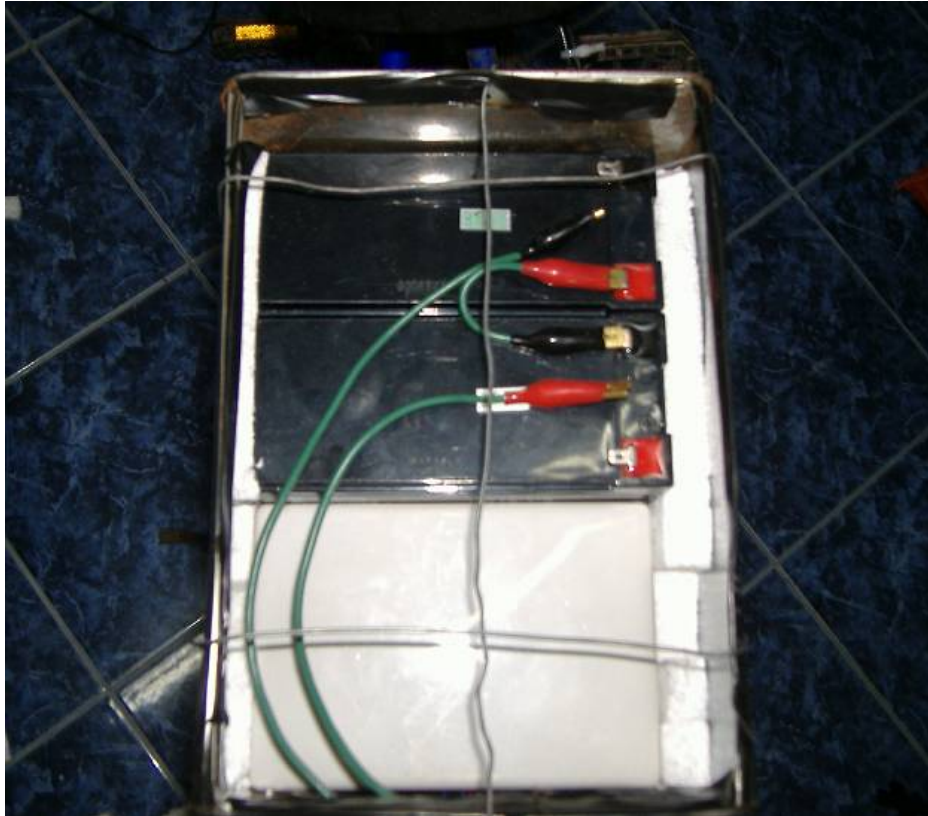
เมื่อนำมาประกอบเข้าด้วยกันในกล่องวงจรเพื่อป้องกันการเสียหายจากการกระทบกระเทือน และนำโฟมมาติดไว้รอบ ๆ กล่องใส่อุปกรณ์ เพื่อป้องกันการสั่นสะเทือน ซึ่งอาจเป็นผลให้วงจรเสียหายได้



รูปที่ 3-13 แสดงการต่อวงจรควบคุม และวงจรขับเข้าด้วยกัน



รูปที่ 3-14 รูปแสดงติดตั้งแบตเตอรี่และกล่องวงจรควบคุม



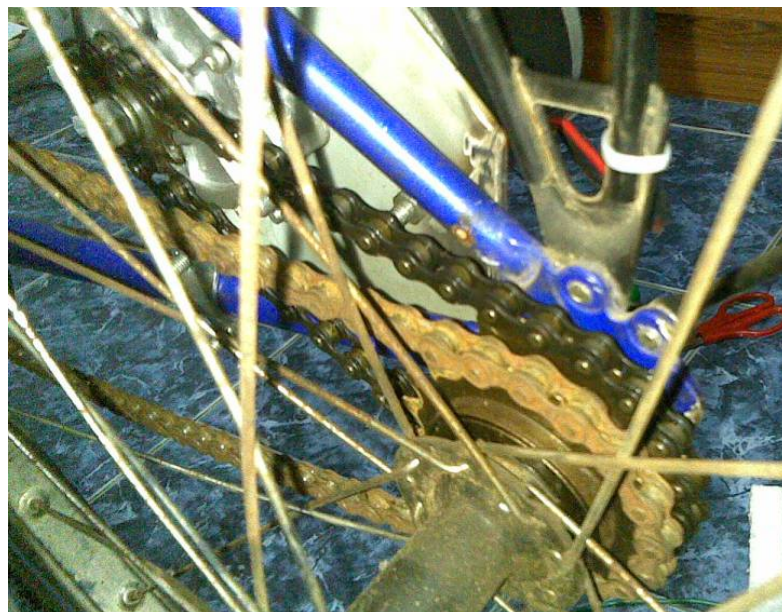
รูปที่ 3-15 รูปแสดงต่อสายไฟเข้าวงจรควบคุม และใช้ไฟมรองป้องกันการสั้นสะพาน

3.2.3 ระบบส่งกำลัง

เนื่องจากการส่งกำลังของจักรยานไฟฟ้านั้นมี 2 ระบบ คือ ขับเคลื่อนโดยใช้แรงคนถีบจักรยาน และ ขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ไฟฟ้า ดังนั้นเฟืองท้ายที่เราจะใช้จะเป็นเฟืองคู่ 2 อันเชื่อมติดกันโดยเฟืองที่ขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าจะอยู่ด้านนอก และเฟืองขับเคลื่อนคนถีบจักรยานจะอยู่ด้านในคงเดิม ดังรูปที่ 3-16 และ มอเตอร์ไฟฟ้านำมาติดนั้นจะอยู่ใกล้กับเฟืองท้ายดังรูปที่ 3-17



รูปที่ 3-16 รูปแสดงผลการติดตั้งเฟืองท้าย



รูปที่ 3-17 รูปแสดงผลการติดตั้งเฟืองท้าย

3.3 การทดสอบการทำงาน

เป็นส่วนที่ใช้ในการทดสอบสภาพในการขับขี่และการทำงานของชิ้นงานที่ทำว่าสามารถทำได้มีคุณภาพมากน้อยเพียงใด จะต้องแก้ไขอย่างไรให้มีการทำงานที่ดียิ่งขึ้น ซึ่งการทดสอบจะเป็นการทดลองการทำงาน รวมถึงการวัดค่าต่างๆที่เป็นคุณสมบัติของจักรยานไฟฟ้า เพื่อให้ทราบถึงข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นเพื่อนำมาแก้ไขปรับปรุงจน มีคุณภาพ สามารถทำงานได้ดีที่สุด

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองคือ ซึ่งสามารถวัดค่าความเร็ว รวมถึงประมวลผลหาค่า ระยะทาง ความเร็วสูงสุด และความเร็วเฉลี่ยอีกด้วย โดยการติดตั้ง เช่น เซอร์ไวท์ที่ล้อจักรยาน ทำให้การทดสอบสามารถวัดได้ทั้งระยะทาง และความเร็ว ไปพร้อมๆ กัน

ซึ่งการทดสอบการทำงานของโครงการนี้จะทำการทดสอบ 3 ส่วน คือ

3.3.1 ทดสอบแบบ No Load

เป็นการทดสอบหาความเร็วขณะที่ไม่มีภาระโหลดมากกระทำ การวัดความเร็ววัดได้จากการหมุนล้อเปล่า แล้วทดสอบความเร็วรอบ โดยใช้เครื่องมือความเร็วของจักรยาน โดยมีเซนเซอร์ตรวจจับวัดความเร็วของล้อหมุน โดยติดเอาไว้ที่ล้อจักรยาน



รูปที่ 3-18 รูปแสดงการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็วที่ล้อหลังเพื่อทดสอบความเร็วที่สภาวะ No Load

ในการทดสอบนั้นจะทำการติดอุปกรณ์วัดความเร็วที่ล้อหลัง โดยติดเซนเซอร์ที่ซี่ล้อหลัง ดังรูปที่ 3-17 ซึ่งจะสามารถวัดความเร็วของล้อเปล่าได้ ในการทดสอบจะทำการทดสอบเป็นจำนวน 3 ครั้ง เพื่อให้ค่าที่ได้มีความแม่นยำขึ้น

ตารางที่ 3-2 ตารางการทดสอบหาความเร็วเฉลี่ยแบบ No Load

อัตราการเร่งโดยประมาณ	ความเร็วเชิงเส้นที่วัดได้ (km/hr)			ความเร็วเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0%	0	0	0	0
10%	0.5	0.6	0.5	0.5
20%	2.3	1.8	2.0	2.0
30%	3.5	3.1	3.3	3.3
40%	4.6	3.9	4.1	4.1
50%	6.7	6.2	6.5	6.5
60%	9.8	9.5	9.5	9.5
70%	14.3	14.0	14.0	14.0
80%	20.8	20.5	20.2	20.2
90%	22.1	22.3	21.9	21.9
100%	27.2	27.1	27.2	27.2

จากผลการทดลองจะสรุปได้ว่าความเร็วที่วัดได้มีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน เนื่องจาก มอเตอร์กระแสตรงมีคุณสมบัติที่ความเร็วค่อนข้างคงที่ ส่วนค่าที่คลาดเคลื่อนอาจเกิดจาก การประมาณอัตราการบิดในแต่ละรอบที่แตกต่างกัน แต่มีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

3.3.2 การทดสอบแบบใช้งานจริง

เป็นการทดสอบที่ภาระโหลดจริง โดยนำไปขับขี่จริง เพื่อวัดความเร็วตามที่ออกแบบ ว่าได้ความเร็วตามที่ออกแบบหรือไม่ มีสภาพการขับขี่ที่คงเดิมหรือไม่ ในการทดสอบหาความเร็วแบบใช้งานจริงนั้นเราจะติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็วไว้ที่ล้อหน้า โดยติดตั้งเซ็นเซอร์ไว้ที่ซี่ล้อหน้า และติดตั้งอุปกรณ์แสดงผลการวัดไว้ที่คั่นบังค้ำจักรยานดังรูปที่ 3-19 โดยที่มีการทดสอบที่ 3 สภาวะ คือ การขับขี่ในทางราบ การขับขี่ในทางชัน และการขับขี่ในทางลาด



รูปที่ 3-19 รูปแสดงการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็วเพื่อทดสอบแบบใช้งานจริง

การขับขี่ในทางราบ

ในการทดสอบการขับขี่ในทางราบนั้น เป็นการนำจักรยานไฟฟ้ามาทดสอบในทางขับขี่ที่มีลักษณะพื้นโดยทั่วไปไม่มีทางชัน ทางราบ หรือโดยเฉลี่ยรวมแล้วเป็นทางที่มีความราบเป็นหลัก ซึ่งในการทดสอบนั้นจะทำการทดสอบ 3 ครั้ง เพื่อให้ได้ค่าความเร็วที่ใกล้เคียงยิ่งขึ้น



รูปที่ 3-20 แสดงสภาพถนนที่ใช้ในการทดสอบในทางราบ

ตารางที่ 3-3 ตารางการทดสอบหาความเร็วเฉลี่ยแบบใช้งานจริงในทางราบ

อัตราการเร่งโดยประมาณ	ความเร็วเชิงเส้นที่วัดได้ (km/hr)			ความเร็วเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0%	0	0	0	0
10%	0.5	0.4	0.4	0.43
20%	1.3	1.5	1.2	1.33
30%	2.5	3.1	2.7	2.77
40%	3.6	4.9	3.1	3.87
50%	6.7	6.3	5.5	6.17
60%	8.8	9.5	9.4	9.23
70%	13.3	14.0	14.0	13.77
80%	20.8	20.6	20.2	20.53
90%	22.8	22.5	21.6	22.3
100%	25.2	25.3	24.8	25.1

จากผลการทดสอบจะสรุปได้ว่าความเร็วที่วัดได้นั้นมีค่าอยู่ที่ประมาณ 25.1 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งค่าที่ออกแบบโดยประมาณนั้นอยู่ที่ 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะเห็นได้ว่าค่าความเร็วที่ได้นั้นมีความเร็วที่ใกล้เคียงกับที่ได้ทำการออกแบบ

การขับขี่ในทางชัน

ในการทดสอบการขับขี่ในทางชันนั้น เป็นการนำจักรยานไฟฟ้ามาทดสอบในทางชันที่มีลักษณะพื้น โดยทั่วไปเป็นทางชันขึ้นประมาณ 5 องศา เพื่อจำลองสถานการณ์จริงเมื่อต้องขับรถขึ้นเนินว่ามีแรงบิดเพียงพอในการขับขี่หรือไม่ ซึ่งในการทดสอบนั้นจะทำการทดสอบ 3 ครั้ง เพื่อให้มีค่าความเร็วที่ใกล้เคียงยิ่งขึ้น



รูปที่ 3-21 แสดงสภาพถนนที่ใช้ในการทดสอบในทางชัน

ตารางที่ 3-4 ตารางการทดสอบหาความเร็วเฉลี่ยแบบใช้งานจริงในทางชัน

อัตราการเร่งโดยประมาณ	ความเร็วเชิงเส้นที่วัดได้ (km/hr)			ความเร็วเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0%	0	0	0	0
10%	0.0	0.2	0.2	0.13
20%	0.9	1.2	1.1	1.07
30%	1.5	3.1	2.2	2.27
40%	2.4	3.7	3.2	3.1
50%	5.7	5.8	5.2	5.57
60%	7.4	8.1	7.8	7.77
70%	12.1	12.1	11.3	11.83
80%	15.8	15.6	14.9	15.43
90%	18.8	19.5	18.5	18.93
100%	20.2	21.3	20.0	20.5

จากผลการทดสอบจะสรุปได้ว่า ค่าความเร็วที่วัดได้ออกมานั้นมีค่าน้อยกว่าค่าที่ออกแบบไว้ 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เนื่องจากแรงต้านการเคลื่อนที่มีค่ามากขึ้นเนื่องจากเกิดแรงต้านจากทางชันเพิ่มเข้ามา ทำให้ค่าความเร็วที่วัดได้ออกมานั้นมีค่าน้อยลง

การขับขี่ในทางลาด

ในการทดสอบการขับขี่ในทางลาดนั้น เป็นการนำจักรยานไฟฟ้ามาทดสอบในทางขับขี่ที่มีลักษณะพื้นโดยทั่วไปเป็นทางลาดประมาณ 5 องศา เพื่อจำลองสถานการณ์ที่ต้องไปขับขี่จริง ซึ่งในการทดสอบนั้นจะทำการทดสอบ 3 ครั้ง เพื่อให้มีค่าความเร็วที่ใกล้เคียงยิ่งขึ้น



รูปที่ 3-22 แสดงสภาพถนนที่ใช้ในการทดสอบในทางลาด

ตารางที่ 3-5 ตารางการทดสอบหาความเร็วเฉลี่ยแบบใช้งานจริงในทางลาด

อัตราการเร่งโดยประมาณ	ความเร็วเชิงเส้นที่วัดได้ (km/hr)			ความเร็วเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0%	0	0	0	0
10%	1.9	1.6	1.8	1.77
20%	3.2	2.9	3.0	3.03
30%	5.4	5.1	4.8	5.1
40%	7.8	7.9	7.1	7.6
50%	9.1	8.5	9.2	8.93
60%	12.4	12.4	12.6	12.46
70%	16.8	15.8	16.0	16.2
80%	20.6	19.5	20.2	20.1
90%	24.2	23.1	24.9	24.06
100%	28.8	28.3	28.1	28.4

จากผลการทดสอบจะสรุปได้ว่า ค่าความเร็วที่วัดได้ออกมานั้นมีค่ามากกว่าค่าที่ออกแบบไว้ 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เนื่องจากแรงต้านการเคลื่อนที่มีค่าน้อยลงเนื่องจากเกิดแรงต้านจากทางชันหักล้างออกไปจากแรงต้านการเคลื่อนที่เดิม ทำให้ค่าความเร็วที่วัดได้ออกมานั้นมีค่ามากขึ้น และความเร็วจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเกินความเร็วในขณะที่ไม่มีแรงต้าน

3.3.3 ทดสอบปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

เป็นส่วนที่ใช้ทดสอบปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมรรถนะการขับขี่ เช่น ระยะเวลาที่สามารถใช้ได้ และระยะทางที่ได้ทั้งหมด ซึ่งปัจจัยเหล่านี้แสดงถึงความสามารถในการใช้งานของยานพาหนะ ซึ่งในการทดสอบส่วนนี้จะใช้การเคลื่อนที่ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าเท่านั้น โดยจะไม่ใช่กำลังปั่นแต่อย่างใด



รูปที่ 3-23 รูปแสดงสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบหาระยะทางและระยะเวลาทั้งหมดที่ทำได้

ระยะเวลา

เป็นการทดสอบระยะเวลาในการใช้งานที่สามารถวิ่งไปได้ทั้งหมดที่ความเร็วสูงสุด นับตั้งแต่ชาร์จแบตเตอรี่เต็ม จนกระทั่งแบตเตอรี่หมด ถ้าจักรยานไฟฟ้าสามารถขับขี่ได้เป็นระยะเวลานานแสดงว่ามีปริมาณการกินไฟที่น้อย

ระยะทาง

เป็นการทดสอบระยะทางที่สามารถวิ่งไปได้ทั้งหมดที่ความเร็วสูงสุด นับตั้งแต่ชาร์จแบตเตอรี่เต็ม จนกระทั่งแบตเตอรี่หมด ถ้าจักรยานไฟฟ้าสามารถขับขี่ได้เป็นระยะทางไกลมากแสดงว่ามีปริมาณการกินไฟที่น้อย เช่นกัน

ตารางที่ 3-6 ตารางหาระยะทาง และระยะเวลา ที่สามารถใช้งานจากแบตเตอรี่เต็ม

ครั้ง	ระยะทางทั้งหมดโดยประมาณ		เวลาทั้งหมดโดยประมาณ	
	กิโลเมตร	เมตร	ชั่วโมง	นาที
ครั้งที่ 1	18	200	1	20
ครั้งที่ 2	17	900	1	5
ครั้งที่ 3	18	100	1	10
ค่าเฉลี่ย	18	66	1	12

จากการทดสอบหาระยะทางและระยะเวลาที่วัดได้ จากแบตเตอรี่ที่เต็ม จะสามารถสรุปได้ว่า เมื่อเราใช้การขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวเราจะได้ระยะทางที่สามารถเดินทางไปได้โดยเฉลี่ย คือ 18 กิโลเมตร 66 เมตร และระยะเวลาที่ใช้ได้โดยเฉลี่ย คือ 1 ชั่วโมง 12 นาที

แต่ถ้าหากกล่าวถึงการใช้ในการขับขี่ทั่วไปนั้น การขับขี่เราจะไม่ได้ทำการบิดคันเร่งตลอดเวลา ดังนั้นทางผู้จัดทำโครงการจึงได้ทดลองใช้ขับขี่ทั่วไป นั่นคือมีการบิดแล้วปล่อยไหลในบางช่วง แล้วปรากฏว่าใช้ได้ระยะทางมากกว่าและระยะเวลานานกว่าการทดสอบข้างต้น ซึ่งได้เป็นระยะทางประมาณ 22 กิโลเมตร 200 เมตร และ เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง 50 นาที

บทที่ 4

สรุปโครงการ

การออกแบบของโครงการจักรยานไฟฟ้านี้ ได้ทำการวิเคราะห์หาขนาดมอเตอร์ที่ใช้ หาอัตราการส่งกำลังที่เพียงพอต่อการขับเคลื่อนให้อัตราเร็วที่ออกแบบไว้ คือ 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังนั้นจะสรุปได้ว่าผลจากการออกแบบที่ได้จะเป็นดังนี้

- แรงต้านการเคลื่อนที่, $R_T = 30.13$ นิวตัน
- กำลังของมอเตอร์ที่ต้องการ, $P_m = 232.48$ W
- อัตราส่วนการทดรอบของระบบส่งกำลัง, $i_o = 7.5$
- อัตราเร็วรอบของมอเตอร์, $N = 1657.86$ rpm
- แรงบิดของมอเตอร์, $T_m = 1.34$ N.m
- แรงบิดที่ล้อหลังจักรยาน $T_w = 9.045$ N.m

และเลือกมอเตอร์ที่เหมาะสม คือ มอเตอร์กระแสตรงขนาด **24V 250W 2500rpm**

การสร้างจักรยานไฟฟ้านั้นมีการใช้งบประมาณทั้งหมด 5,430 บาท ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับท้องตลาดโดยทั่วไป ราคาจักรยานไฟฟ้าจะอยู่ที่เฉลี่ยประมาณ 9,000-12,000 บาท ดังนั้นโครงการนี้ขึ้นมีสร้างที่มีงบประมาณที่ต่ำกว่าท้องตลาดประมาณ 3,570-6,570 บาท รวมถึงได้ทำให้จักรยานที่ใช้ออกกำลังกายมาดัดแปลงให้สะดวกสบายยิ่งขึ้น ใช้งานได้ดีขึ้นอีกด้วย

ในการทดสอบจักรยานไฟฟ้านั้น จะสามารถสรุปได้ว่า ความเร็วในทางราบที่ทดสอบได้เฉลี่ยอยู่ที่ 25.1 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งใกล้เคียงกับความเร็วที่ได้ออกแบบไว้ ส่วนในการทดสอบทางชันและทางลาดจะได้ความเร็วเฉลี่ยที่ 20.5 และ 28.4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

ส่วนระยะทางและเวลาที่สามารถใช้งานได้เมื่อชาร์จแบตเตอรี่เต็ม คือ

- กรณีใช้แรงบิดต่อเนื่อง จะสามารถขี่ได้ไกลเฉลี่ย 18 กิโลเมตร 66 เมตร และได้ระยะเวลาเฉลี่ย 1 ชั่วโมง 12 นาที
- กรณีขี่ทั่วไปมีการปล่อยไหลในบางช่วง จะสามารถขี่ได้ ระยะทางประมาณ 22 กิโลเมตร 200 เมตร และได้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง 50 นาที

จักรยานไฟฟ้าสามารถแก้ปัญหาเรื่องขาดแคลนพลังงานได้ดี เนื่องจากใช้พลังงานต่ำ อีกทั้งยังสามารถลดอุบัติเหตุได้ เนื่องจากความเร็วไม่สูงมากนัก ดังนั้น จักรยานไฟฟ้าน่าจะเป็นทางเลือกที่ดีของพาหนะยุคใหม่ที่ช่วยอนุรักษ์พลังงาน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

จากการทำโครงการจักรยานไฟฟ้านี้ ในบางกรณียังติดข้อจำกัดในเรื่องของสภาพอากาศ เนื่องจากโครงการมีอุปกรณ์หลัก ๆ เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งเสี่ยงต่อการชำรุดจากสภาพฝนฟ้าอากาศ จึงไม่เหมาะกับการขี่ในสภาพฝนตก

ในการพัฒนาโครงการต่อไปของผู้ที่สนใจนั้น อาจมีการเปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ เปลี่ยนเป็น Solar Cell , Fuel Cell หรือพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งอื่นก็ได้

เอกสารอ้างอิง

1. กิตติพงษ์ ตันมิตร, เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง , คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
2. การควบคุมดิซิมอเตอร์สำหรับรถไฟฟ้า , นายชิต เครือพิมาย และ นายเทพประภัทร ว่องวัฒนอนันต์ , อ.ที่ปรึกษา . โครงการหมายเลข EE2002-30 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปี พ.ศ.2545
3. เผด็จ แสนเกษม , กลศาสตร์ยานยนต์ , บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด , กรุงเทพฯ