



รถไฟฟ้าไฮบริด

ELECTRIC HYBRID VEHICLES

โดย

นายจตุรงค์

เกรียงไกรเพชร

นายชยเมธ

พุดคลองคัน

นายพิเชษฐ์

หริรักษ์

นายภาณุพันธ์

ทรัพย์จรัสแสง

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.มงคล

มงคลวงศ์โรจน์

วัน เดือน ปี ๑1 ๓๑๐ ๒5๔๐

เลขทะเบียน ๐๓๗๐๔๔

เลขเรียกหนังสือ T ๑๘1๖๗ ก.1๖๘ ๖

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับปีการศึกษา 2538 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2538

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง รถไฟฟ้าไฮบริด

ผู้จัดทำ

1. นายจตุรงค์ เกรียงไกรเพ็ชร
2. นายชยเมธ พูลคลองคั่น
3. นายพิเชษฐ์ หริรักษ์
4. นายภาณุพันธ์ ทรัพย์จรัสแสง

(.....) อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

โครงการนี้จะกล่าวถึง การพัฒนาต้นแบบไฟฟ้าไฮบริด เป็นการนำเอาระบบของเครื่องยนต์และไฟฟ้ามาเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานร่วมกัน เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ประหยัด และลดมลภาวะ รักษาสิ่งแวดล้อมในการดำเนินงานครั้งนี้ เราได้นำรถสามล้อมาเป็นรถต้นแบบ โดยใช้เครื่องยนต์เบนซินขนาด 550 ลูกบาศก์เซนติเมตร 30 แรงม้า เกียร์ธรรมดาเกียร์หน้า 4 สปีด และใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 19 แรงม้า 120 โวลต์ ใช้แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว - กรด ในการเก็บและจ่ายไฟ ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ 8051 ในการควบคุม เพื่อให้ได้ผลตอบสนองดังต้องการและคุ้มค่าที่สุด เมื่อใช้เครื่องยนต์จะมีความเร็วสูงสุด 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และเมื่อใช้ไฟฟ้าจะมีความเร็วสูงสุด 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ไม่น้อยกว่า 200 กิโลกรัม



ABSTRACT

This article examine preliminary requirement for a heat-engine hybrid vehicle,the system of engine electric motor and battery are combined to be the source of energy in order that it becomes most efficient, economical, and minimize pollution. As a result, this car will help to save the environment. In this project, we use three-wheel vehicle to be the model. It has a 550 cc. benzine engine with 30 horsepower. Manual transmission with sychromesh 4-spreed is used. We use 36 volt DC electric motor with 6.5 horsepower (dry battery is used to charge and discharge electricity). The highest speed is 80 km/hr when use engine mode, and it is 60 km/hr when use electric mode. the minimum load is 200 kg. Microprocessor 8051 is utilized to control this system in order to have the result we expect and to make the vehicle as efficient as possible.

คำนำ

รถไฟฟ้าไฮบริดเป็นการนำเอาแหล่งกำเนิดพลังงานตั้งแต่ 2 แหล่งขึ้นไปมาใช้ร่วมกันอย่างเหมาะสม เพื่อตอบสนองความต้องการในการขับเคลื่อนและให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับรถไฟฟ้าทั่วไป และยังสามารถขับเคลื่อนได้ไกลกว่ารถไฟฟ้าทั่วไป เมื่อเปรียบเทียบกับรถยนต์ทั่วไปจะประหยัด ลดมลพิษ และรักษาสิ่งแวดล้อม

ในรถไฟฟ้าไฮบริดจะมีแหล่งพลังงานตั้งแต่สองแหล่งขึ้นไป เช่น เครื่องยนต์สันดาปภายนอกกับมอเตอร์ หรือเครื่องยนต์สันดาปภายในกับมอเตอร์ หรือเครื่องยนต์กับมอเตอร์ และระบบพลังงานแสงอาทิตย์

การทำงานของรถไฟฟ้าไฮบริดแบบเครื่องยนต์สันดาปภายในกับมอเตอร์ไฟฟ้าจะแบ่งการทำงานเป็น การขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้า (Electric Mode) การขับเคลื่อนด้วยระบบเครื่องยนต์ (Engine Mode) การขับเคลื่อนด้วยระบบไฮบริด (Hybrid Mode) ระบบเก็บประจุไฟฟ้า (Battery-Charge Mode) การประจุไฟฟ้าเมื่อเบรก (Regenerative Braking)

ในปัจจุบันได้มีการนำเอารถไฟฟ้าไฮบริดเป็นรถยนต์แบบเพื่อการใช้ในอนาคตข้างหน้า เนื่องจากให้ประสิทธิภาพที่สูง ลดมลภาวะ สะดวกสบาย จึงได้มีการทำการวิจัยทดลองเกิดขึ้นและได้มีการนำเอาคอมพิวเตอร์เข้ามาควบคุมในการทำงาน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ

ABSTRACT

คำนำ

สารบัญ

สารบัญแสดงรูปภาพ

สารบัญแสดงตาราง

บทที่ 1 INTRODUCTION	1
1.1 จุดประสงค์การดำเนินงาน	1
1.2 ขอบเขตการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 การออกแบบรถไฟฟ้าไฮบริด	3
2.1 แหล่งพลังงาน สภาวะแวดล้อมกับการใช้รถยนต์	3
2.2 ความสำคัญของรถไฟฟ้า	3
2.3 ความจำเป็นของรถไฟฟ้าไฮบริด	4
2.3.1 ระบบของรถไฟฟ้าไฮบริด	4
2.3.2 โหมดการทำงานของรถไฟฟ้าไฮบริด	7
2.4 ความแตกต่างระหว่างรถยนต์ รถไฟฟ้าและรถไฟฟ้าไฮบริด	8
2.5 การพิจารณาเครื่องยนต์สำหรับรถไฟฟ้าไฮบริด	9
2.5.1 เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยหัวเทียน	9
2.5.2 เครื่องยนต์ดีเซล	11
2.5.3 เครื่องยนต์โรตารี	12
2.5.4 เครื่องยนต์สเตอร์ลิง	14
2.5.5 เครื่องยนต์กังหันก๊าซ	15
2.5.6 บทสรุป	17
2.6 การพิจารณามอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับรถไฟฟ้าไฮบริด	17
2.6.1 มอเตอร์กระแสตรง	18
2.6.2 มอเตอร์กระแสสลับ	23

บทที่ 3 การพัฒนารถไฟฟ้าไฮบริด	29
-------------------------------	----

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
3.1 ระบบเครื่องยนต์ 29
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 เครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ	29
3.1.2 ระบบหล่อลื่น	37
3.1.3 ระบบป้อนน้ำมันเชื้อเพลิง	40
3.1.4 ระบบระบายความร้อน	47
3.1.5 ระบบจุดระเบิด	51
3.1.6 ระบบส่งกำลัง	56
3.1.7 ระบบกันสะเทือน	67
3.1.8 ระบบเบรก	71
3.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	80
3.2.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์กระแสตรง	80
3.2.2 หลักการของมอเตอร์กระแสตรง	81
3.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และ Simulation	101
3.3.1 แบบจำลองกลศาสตร์ของรถ	101
3.3.2 แบบจำลองของมอเตอร์กระแสตรง	107
3.3.3 แบบจำลองคุณสมบัติของแบตเตอรี่	116
3.4 ระบบควบคุม	121
3.5 แบตเตอรี่	128
ตอนที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินงานและผลการทดลอง	134
4.1 การออกแบบ	
การออกแบบระบบไฮบริด	134
การออกแบบอุปกรณ์	136
4.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน	
การติดตั้งอุปกรณ์	137
การทดสอบเครื่องยนต์	138
FLOW CHART	144
DRAWING	149

ตอนที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

หนังสืออ้างอิง

กิจกรรมประกาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญแสดงรูปภาพ

บทที่ 2 การออกแบบรถไฟฟ้าไฮบริด

รูปที่ 2-1	รถไฟฟ้าไฮบริดแบบอนุกรม	5
รูปที่ 2-2	รถไฟฟ้าไฮบริดแบบขนาน	6
รูปที่ 2-3	เครื่องยนต์โรตารี	13
รูปที่ 2-4	ชนิดของมอเตอร์	18
รูปที่ 2-5	ส่วนประกอบและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 19	
รูปที่ 2-6	วงจรสตาร์ทขั้นที่มอเตอร์	20
รูปที่ 2-7	บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	27

บทที่ 3 การพัฒนารถไฟฟ้าไฮบริด

รูปที่ 3-2	วัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ	30
รูปที่ 3-3	ศัพท์เทคนิคของเครื่องยนต์	32
รูปที่ 3-4	โครงสร้างลูกสูบ	34
รูปที่ 3-5	การเปิด-ปิดวาล์วของ OHC	36
รูปที่ 3-6	ฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นหนา	37
รูปที่ 3-7	ฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นบาง	37
รูปที่ 3-8	ระบบหล่อลื่นแบบป้อนด้วยความดัน	38
รูปที่ 3-9	ระบบกรองน้ำมันหล่อลื่น	40
รูปที่ 3-10	ระบบการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิง	41
รูปที่ 3-11	ปั๊มกลไก	42
รูปที่ 3-12	ชุดวาล์วเข็มในห้องลูกสูบ	43
รูปที่ 3-13	การทำงานของคาร์บูเรเตอร์	44
รูปที่ 3-14	ระบบเสริมอากาศของคาร์บูเรเตอร์	45
รูปที่ 3-15	ระบบเสริมน้ำมันเชื้อเพลิงของคาร์บูเรเตอร์	46
รูปที่ 3-16	ปั๊มน้ำ	48
รูปที่ 3-17	ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ	50
รูปที่ 3-18	คอยล์จุดระเบิด	52
รูปที่ 3-19	โครงสร้างของคอนเดนเซอร์	54

รูปที่ 3-20	ผังระบบจตุระเบ็ดอย่างง่าย	55
รูปที่ 3-21	แผนภาพรถยนต์ขับเคลื่อนล้อหลัง เครื่องยนต์หน้า	57
รูปที่ 3-22	รูปตัดของคลัตช์ แสดงส่วนประกอบต่างๆ	57
รูปที่ 3-23	ชุดส่งกำลัง	60
รูปที่ 3-24	การส่งกำลังในตำแหน่งเกียร์ว่าง	60
รูปที่ 3-25	ขบวนเฟืองแสดงการส่งถ่วงกำลังขณะเป็นเกียร์ 1	61
รูปที่ 3-26	ขบวนเฟืองแสดงการส่งถ่วงกำลังขณะเป็นเกียร์ 2	61
รูปที่ 3-27	ขบวนเฟืองแสดงการส่งถ่วงกำลังขณะเป็นเกียร์ 3	62
รูปที่ 3-28	ขบวนเฟืองแสดงการส่งถ่วงกำลังขณะเป็นเกียร์ 4	63
รูปที่ 3-29	ขบวนเฟืองแสดงการส่งถ่วงกำลัง ขณะเป็นเกียร์ถอยหลัง	63
รูปที่ 3-30	แสดงอาการเต้นขึ้น-ลงของล้อหลัง	64
รูปที่ 3-31	แสดงให้เห็นผลจากการเต้นขึ้น-ลงของล้อหลัง	64
รูปที่ 3-32	แสดงเพลากลางแบบ 2 ท่อน ใช้ข้อต่ออ่อน 3 ตัว	65
รูปที่ 3-33	เพลาย้ายและเฟืองย้าย	66
รูปที่ 3-34	รูปตัดแสดงให้เห็นส่วนประกอบภายใน ของเฟืองย้ายและเพลาเบร้ง	67
รูปที่ 3-35	แหวนหลายแผ่น	68
รูปที่ 3-36	สปริงแบบขด	69
รูปที่ 3-37	อุณหภูมิมีผลต่อสัมประสิทธิ์ของความฝืด ของผ้าเบรก 3 ชนิดใช้กับจานเบรกแบบดรัม ซึ่งทำด้วยเหล็กหล่อที่อุณหภูมิค่าสัมประสิทธิ์ ของความฝืดเท่ากันแต่ที่อุณหภูมิสูงจะแตกต่างกัน	73
รูปที่ 3-38	ระบบเบรกไฮดรอลิก	74
รูปที่ 3-39	แสดงแรงที่กระทำบนคันเบรกทำให้ของเหลว ในระบบเกิดกำลังดัน	74
รูปที่ 3-40	อาการที่เกิดขึ้นเมื่อล้อหมุนหรือกลิ้งตัว และเมื่อล้อสั่นไถล	76
รูปที่ 3-41	ขนาดของลูกศรแสดงแรงดันที่เพิ่มขึ้น ทางด้านโท (Toe) ไปยังด้านฮิล (Heel)	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารซึ่งจุดหมุนของขาเบรกอยู่ใกล้ศูนย์กลางมากขึ้นนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3-42	แสดงแรงเบียดของขาเบรกด้านกับงานเบรกดรัม	77
รูปที่ 3-43	แสดงรูปแยกบางส่วนของงานเบรกดรัมและการ รองรับน้ำหนักทางด้านหลัง	78
รูปที่ 3-44	โครงของมอเตอร์กระแสตรง	80
รูปที่ 3-45	อาร์เมเจอร์	81
รูปที่ 3-46	กฏมือซ้าย	82
รูปที่ 3-47	หลักการของมอเตอร์กระแสตรง	82
รูปที่ 3-48	ทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ	83
รูปที่ 3-49	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงเคลื่อน ไฟฟ้ากลับในวงจรอาร์เมเจอร์	84
รูปที่ 3-50	โมเมนต์ซึ่งลวดตัวนำอาร์เมเจอร์กระทำ รอบจุดศูนย์กลาง	86
รูปที่ 3-51	เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด และความเร็วรอบกับกระแสจากแหล่งจ่าย	91
รูปที่ 3-52	มอเตอร์กระแสตรงแบบฟิลด์เป็นแม่เหล็กถาวร	94
รูปที่ 3-53	แสดงถึงรูปหน้าตัดซึ่งมองด้านข้าง ของมอเตอร์กระแสตรงแบบมีโรเตอร์ เป็นขดลวดเคลื่อนที่	95
รูปที่ 3-54	ความสามารถทำงานของมอเตอร์กระแสตรง	96
รูปที่ 3-55	สตาร์ทเตอร์	98
รูปที่ 3-56	การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์อนุกรม ด้วยการปรับวงจรสนาม	99
รูปที่ 3-57	ระบบโซ่	100
รูปที่ 3-58	โมเดลของมอเตอร์กระแสตรง	107
รูปที่ 3-59	แสดงถึงแรงบิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นต่อโหลดของมอเตอร์	108
รูปที่ 3-60	บล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์กระแสตรงโมเดล	110
รูปที่ 3-61	การไหลของกำลังงานผ่านมอเตอร์	112
รูปที่ 3-62	แรงเคลื่อน, กระแสและลักษณะของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	116
รูปที่ 3-63	แบบจำลองของแบตเตอรี่ในสถานะประจุไฟเข้าแบตเตอรี่	120
รูปที่ 3-64	แบบจำลองของแบตเตอรี่ในสถานะการใช้ไฟจากแบตเตอรี่	120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3-65	แสดงวงจรสำหรับปรับความต้านทาน ของตัวควบคุมแบบเป็นขั้นๆ	124
รูปที่ 3-66	แสดงวงจรปรับความต้านทานของ ตัวควบคุมโดยไม่จำกัด	124
รูปที่ 3-67	การต่อขานาน-อนุกรมของเบตเตอร์ โดยใช้สวิตช์ควบคุม	125 **
รูปที่ 3-68	แสดงวงจร Regenerative Braking	127

สารบัญแสดงตาราง

บทที่ 2 การออกแบบรถไฟฟ้าไฮบริด

ตารางที่ 2-1	เปรียบเทียบรถยนต์ รถไฟฟ้าและรถไฟฟ้าไฮบริด	8
ตารางที่ 2-2	เครื่องยนต์สำหรับรถไฟฟ้าไฮบริด	16
ตารางที่ 2-3	วัสดุกันความร้อนที่ใช้กับมอเตอร์	25

บทที่ 3 การพัฒนารถไฟฟ้าไฮบริด

ตารางที่ 3-1	ส่วนผสมของสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนใน น้ำมันหล่อลื่นระยะทาง 10,000 กิโลเมตร	39
ตารางที่ 3-2	ข้อมูลสำหรับการประจุไฟเข้าเบตเตอร์ตะกั่ว-กรด	118
ตารางที่ 3-3	ข้อมูลสำหรับการใช้กระแสไฟฟ้าจากเบตเตอร์ ตะกั่ว-กรด	119

บทที่ 1

INTRODUCTION

1.1 จุดประสงค์การดำเนินงาน

ในการสร้างและทดสอบรถไฟฟ้าไฮบริด เป็นการค้นคว้าและศึกษาวิจัยยานยนต์ชนิดซึ่ง คาดว่าจะให้ประสิทธิภาพดีกว่าเดิมและประหยัดพลังงานมากกว่าเดิม ซึ่งเป็นการออกแบบส่วน ต่างๆที่ต้องใช้ติดตั้ง และปรับปรุงเพื่อให้ใช้งานได้ตามจุดประสงค์ แล้วนำรถที่ติดตั้งเสร็จแล้วมา ทำการทดสอบเพื่อเก็บค่าต่าง ๆ มาประมวลผล ป้อนค่าข้อมูลเข้าไปเก็บไว้แล้วนำมาพัฒนาเพิ่มประ สิทธิภาพและวางระบบส่วนที่ต้องใช้ค่าจากผลการทดลองเพื่อมาเป็นค่าตัวแปร ซึ่งเป็นการพัฒนา ระบบยานยนต์ไปอีกระดับหนึ่ง เพื่อวันข้างหน้าซึ่งพลังงานที่จะนำมาใช้อาจมีน้อยลงหรือไม่มีเลย ทำให้เราพร้อมที่จะรับสถานการณ์ที่จะมาถึง โดยในรถยนต์ปัจจุบัน รถไฟฟ้า หรือรถพลังแสง อาทิตย์ จะใช้การทำงานของระบบ 1-2 ระบบ โดยในรถยนต์จะไม่สามารถเก็บหรือผลิตพลังงาน หรือใช้พลังงานส่วนที่เหลือได้ซึ่งเป็นการสูญเปล่า และในรถไฟฟ้าจะใช้ 2 ระบบ คือ ขับเคลื่อน และผลิตกำลังงานมาเก็บไว้ แต่เป็นส่วนน้อย

ในระบบรถไฟฟ้าไฮบริดจะสามารถให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าและแบ่งการทำงานที่ สมบูรณ์ นำพลังงานส่วนที่เหลือมาใช้ผลิตพลังงานสะสมและสามารถสร้างพลังงานได้ด้วยตัวเอง โดยแบ่งเป็น 7 ระบบการทำงาน ได้แก่

- 1.ระบบขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ (Engine Mode)
- 2.ระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Mode)
- 3.ระบบขับเคลื่อนด้วยไฮบริด (Hybrid Mode)
- 4.ระบบการทำงานเสริมด้วยไฟฟ้า (Engine Primary Mode)
- 5.ระบบการทำงานเสริมด้วยเครื่องยนต์ (Electric Primary Mode)
- 6.ระบบประจุไฟฟ้า (Battery Charge Mode)
- 7.ระบบการเบรก (Brake Charge Mode)

1.2 ขอบเขตการดำเนินงาน

ในการสร้างและทดสอบครั้งนี้เป็นการดำเนินงานแค่เพียงบางส่วนเพราะไม่สามารถดำเนินงานได้ครบทุกส่วน เนื่องจากแต่ละส่วนต้องใช้เวลาและการทดลองทดสอบ ปรับปรุงเปลี่ยนแปลง และแก้ไขเพื่อพัฒนามาใช้ร่วมกันให้ดีขึ้น ในการดำเนินครั้งนี้ได้ทำการติดตั้ง 3 ใน 7 ระบบการทำงาน โดยระบบการทำงานที่ 1 และ 2 เป็นอิสระต่อกัน ส่วนระบบการทำงานที่ 3-7 เป็นการทำงานที่ต้องทำร่วมกันซึ่งต้องใช้เวลาและการปรับปรุงแก้ไขจากผู้เชี่ยวชาญ และกำลังงานอีกบางส่วนในการพัฒนา เพื่อให้ระบบสมบูรณ์ และได้ประสิทธิภาพต่าง ๆ ตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ ซึ่งในระบบการทำงานที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าต้องผู้เชี่ยวชาญงานเกี่ยวกับระบบไฟฟ้า และระบบควบคุมก็ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญงานในทางด้านนี้มาทำงาน เพื่อให้ได้ผลที่ดีตามจุดมุ่งหมาย



บทที่ 2

การออกแบบรถไฟฟ้าไฮบริด

2.1 แหล่งพลังงาน สภาพแวดล้อมกับการใช้รถยนต์

ในปัจจุบันนี้ไม่ว่าประเทศใดในโลก รถยนต์เป็นพาหนะที่สำคัญมากในการเดินทางและนับวันยังเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างไร้ขีดจำกัด โดยเฉพาะประเทศที่พัฒนาแล้ว ประชากรส่วนใหญ่นิยมใช้รถยนต์ส่วนตัวในการเดินทางไปทำงาน ติดต่อธุรกิจ หรือไปพักผ่อน สาเหตุจากความสะดวกสบายและความคล่องตัวนั่นเอง จากการวิจัยในปี 1980 พบว่า ในสหรัฐฯ และยุโรปตะวันตก 30% ของน้ำมันปิโตรเลียมทั้งหมดที่ใช้ในประเทศถูกใช้หมดไปกับรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์เผาไหม้ภายในไม่ว่าจะเป็น เครื่องยนต์เบนซิน หรือเครื่องยนต์ดีเซล อัตราการใช้ น้ำมันปิโตรเลียมในรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์เผาไหม้ภายในนี้จะยังคงเพิ่มขึ้นอย่างมหาศาลตามอัตราการเจริญเติบโตของจำนวนประชากรในโลกที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

ความเสียหายอย่างใหญ่หลวงอีกอย่างหนึ่งที่มีสาเหตุมาจากรถยนต์ เนื่องจาก แก๊สไอเสียที่ขับออกมาจากเครื่องยนต์ ซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะต่อสภาพแวดล้อมอย่างมากในทันที และในอนาคต การก่อความรำคาญเนื่องจากเสียงดังจากเครื่องยนต์ สารพิษในไอเสียทำลายระบบประสาท สุขภาพ และก่อให้เกิดโรคมะเร็ง ทำให้อุณหภูมิในบรรยากาศสูงขึ้น ความเสียหายเหล่านี้เป็นตัวอย่างส่วนหนึ่งที่เกิดจากรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์เผาไหม้ภายในนั่นเอง

2.2 ความสำคัญของรถไฟฟ้า

ความห่วงใยในปัญหาที่เกิดจากรถยนต์เผาไหม้ภายในที่ใช้กับรถยนต์ในปัจจุบันนี้ ซึ่งก็คือ ปัญหาเกี่ยวกับมลพิษของไอเสียที่ขับออกมาและเสียงดังจากเครื่องยนต์ ทำให้มีการศึกษาค้นคว้าระบบขับเคลื่อนรถยนต์แบบใหม่ขึ้นมา

รถไฟฟ้าเป็นระบบขับเคลื่อนรถยนต์แบบใหม่ที่มีการค้นคว้าขึ้นมาแทนเครื่องยนต์ด้วยจุดประสงค์ ช่วยลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิง และไม่ก่อให้เกิดมลพิษกับสภาพแวดล้อมมากเท่ารถยนต์ เนื่องจากว่า ของเสียพวกไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และซัลเฟอร์ออกไซด์จากรถไฟฟ้าสามารถกำจัดได้ง่ายกว่าของเสียจากรถยนต์เผาไหม้ภายในของรถยนต์

ยิ่งไปกว่านั้นเสียงของรถไฟฟ้ายังเงียบกว่ารถที่ใช้เครื่องยนต์ ซึ่งจะช่วยลดระดับเสียงของการจราจรที่แออัด ไม่ทำให้อุณหภูมิในบริเวณรอบ ๆ สูงขึ้นมากนัก มีการใช้น้ำมันหล่อลื่นน้อยมากในรถไฟฟ้า และไม่มีกระบวนการระบายน้ำมันหล่อลื่นทิ้งไปในสภาวะแวดล้อมอย่างรถยนต์อีกด้วย

2.3 ความจำเป็นของรถไฟฟ้าไฮบริด

ไม่มีแหล่งพลังงานใดแหล่งเดียวที่จะให้พลังงานได้ดีที่สุดและเหมาะสมที่สุดสำหรับความต้องการในการขับเคลื่อน การพัฒนาของระบบไฮบริดก็เพื่อค้นหาและพัฒนาข้อได้เปรียบและหลีกเลี่ยงข้อเสียโดยการนำระบบ 2 ระบบมาใช้ร่วมกันเพื่อให้เกิดผลที่ดีที่สุด

ในความสามารถซึ่งระบบรถไฟฟ้าไม่สามารถทำงานได้ เช่น ความเร็ว อัตราเร่ง ความสามารถในการไต่เขา และระยะเวลาของการขับเคลื่อนรถที่สั้นของรถไฟฟ้า เราสามารถทดแทนได้ด้วยระบบเครื่องยนต์ และเครื่องยนต์ยังมีส่วนที่เหลือของพลังงานส่งกลับมาเก็บเอาไว้ในรูปกระแสไฟฟ้าประจุในแบตเตอรี่ของระบบไฟฟ้าได้อีกด้วย นั่นคือคำตอบที่ว่ารถไฟฟ้าไฮบริดจะให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่ารถไฟฟ้า

ในการเดินทางในเมือง ระบบเครื่องยนต์จะเผาผลาญน้ำมันทำให้เกิดไอเสียและมลภาวะที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ดังนั้นระบบไฮบริดจึงได้ใช้ระบบไฟฟ้าในเมือง เพื่อลดมลภาวะที่เกิดจากเครื่องยนต์ และเป็นการลดมลภาวะทางเสียงด้วย ส่วนการเดินทางนอกเมืองนั้น รถไฟฟ้าไม่สามารถที่จะให้การเดินทางที่ยาวไกลและความเร็วที่เหมาะสมได้ อีกทั้งยังต้องมีสถานที่สำหรับประจุกระแสไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ในระหว่างการเดินทางที่ยาวไกล ซึ่งเป็นการยากต่อการที่จะใช้งาน ดังนั้นเราจึงเลือกใช้เครื่องยนต์ซึ่งเป็นระบบที่สามารถหาจุดเติมน้ำมันได้ง่าย และก็ยังสามารถแบ่งพลังงานส่วนหนึ่งมาประจุไฟฟ้าเข้าไปเก็บไว้ในแบตเตอรี่ได้อีกด้วย และนี่คือคำตอบของระบบรถไฟฟ้าไฮบริด ซึ่งเป็นระบบขับเคลื่อนแบบใหม่ซึ่งให้ประสิทธิภาพสูง ไม่สร้างมลภาวะ เดินทางได้ยาวไกล และให้ความเร็วสูงในการขับขี่

2.3.1 ระบบของรถไฟฟ้าไฮบริด มี 2 ระบบ

ระบบอนุกรม (Series System)

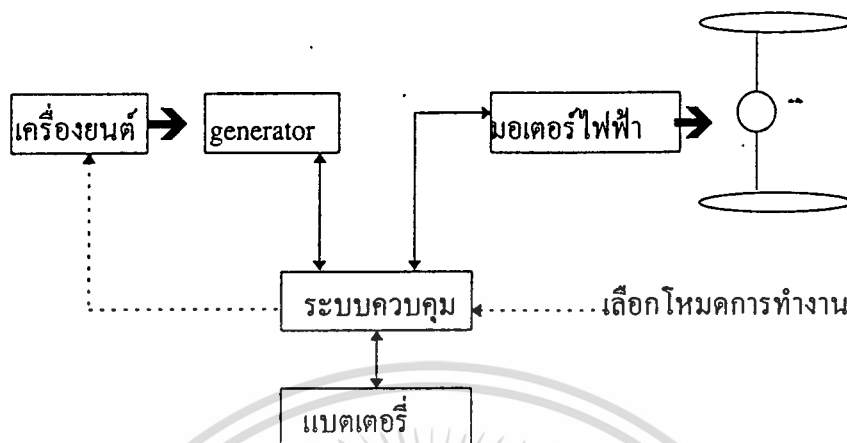
ระบบนี้จะมี 2 โหมดการทำงานหลัก คือ โหมดการทำงานระบบไฟฟ้า และโหมดการทำงานระบบไฮบริด ในระบบนี้จะต้องมี generator เพื่อเปลี่ยนพลังงานกลของเครื่องยนต์เป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ และประจุกระแสไฟฟ้าเก็บไว้ในแบตเตอรี่ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ จะได้จาก 2 ส่วน คือ เครื่องยนต์และแบตเตอรี่

ระบบขนาน (Parallel System)

ระบบนี้จะมี 3 โหมดการทำงานหลัก คือ โหมดการทำงานระบบเครื่องยนต์ ระบบไฟฟ้า และระบบไฮบริด ในระบบนี้ มอเตอร์ไฟฟ้าจะมี 2 หน้าที่ คือ เป็นมอเตอร์ขับเคลื่อนและเป็น generator ผลิตกระแสไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ จะได้จากแบตเตอรี่เท่านั้น

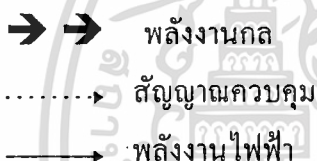
ระบบอนุกรม (Series System)

เริ่มต้นที่ความต้องการของผู้ใช้งาน ผู้ใช้งานสามารถเลือกการทำงานได้ 2 ระบบ



รูปที่ 2-1 รถไฟฟ้าไฮบริดระบบอนุกรม

สัญลักษณ์:



ระบบไฟฟ้า เมื่อผู้ใช้งานเลือกการทำงานด้วยระบบไฟฟ้า แบตเตอรี่จะเป็นตัวจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ เพื่อให้มอเตอร์ใช้ในการขับเคลื่อน ซึ่งการทำงานด้วยระบบไฟฟ้านี้เครื่องยนต์จะไม่ทำงาน

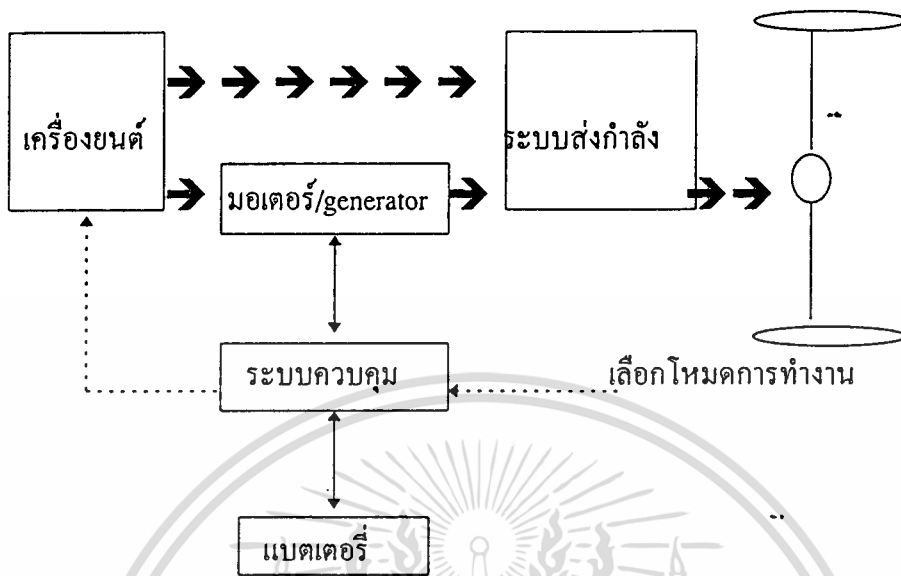
ระบบไฮบริด เมื่อผู้ใช้งานเลือกการทำงานด้วยระบบไฮบริดนี้โดยส่งไปที่ระบบควบคุม ระบบควบคุมนี้จะสั่งให้เครื่องยนต์ทำงาน เครื่องยนต์จะผลิตพลังงานกล และพลังงานกลทั้งหมดนี้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดย generator พลังงานไฟฟ้านี้จะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนด้วยระบบควบคุม พลังงานไฟฟ้าส่วนแรกจะถูกส่งไปขับมอเตอร์ มอเตอร์นี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกลเพื่อใช้ในการขับเคลื่อน พลังงานไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่งจะเป็นพลังงานไฟฟ้าส่วนที่เหลือจากพลังงานไฟฟ้าส่วนแรก พลังงานไฟฟ้าส่วนนี้จะถูกส่งไปประจุไว้ในแบตเตอรี่เพื่อเก็บไว้ใช้ในการทำงานของมอเตอร์ แต่ถ้ากำลังของเครื่องยนต์ไม่พอใช้ขับเคลื่อน มอเตอร์จะใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่มาช่วยเครื่องยนต์ขับเคลื่อนอีกขั้นหนึ่ง ด้วยการทำงานของระบบไฮบริดนี้จะสามารถทำให้เครื่องยนต์ทำงานด้วยอัตราเร็วคงที่ ที่ Optimum point เพื่อช่วยในการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง โดยใช้มอเตอร์เป็นตัวเสริมกำลังที่ขาดไป และแบตเตอรี่เป็นตัวเก็บกำลังที่เกินออกมาประจุเก็บไว้ในรูปของพลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบขนาน (Parallel System)

ผู้ใช้งานสามารถเลือกการทำงานได้ 3 ระบบ



รูปที่ 2-2 รถไฟฟ้าไฮบริดระบบขนาน

สัญลักษณ์:
 ➡ ➡ พลังงานกล
 สัญญาณควบคุม
 ————— พลังงานไฟฟ้า

ระบบเครื่องยนต์ เมื่อเครื่องยนต์ทำงาน พลังงานกลจากเครื่องยนต์จะถูกส่งผ่านระบบส่งกำลังไปขับเคลื่อน เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนโดยตรง ส่วนพลังงานกลที่เหลือจากการขับเคลื่อนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยมอเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็น generator ประจุเก็บไว้ในแบตเตอรี่

ระบบไฟฟ้า แบตเตอรี่จะเป็นตัวจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ ซึ่งมอเตอร์จะเป็นตัวเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลเพื่อใช้ขับเคลื่อน

ระบบไฮบริด จะเป็นการทำงานร่วมกันของทั้งเครื่องยนต์และมอเตอร์ในการขับเคลื่อน โดยที่เครื่องยนต์และมอเตอร์จะส่งกำลังขับเคลื่อนไปบนเพลาดียวกัน โดยเราจะต้องควบคุมแรงบิดที่เครื่องยนต์และมอเตอร์จะส่งออกมาให้มีขนาดเท่ากัน หรืออาจออกแบบให้ใช้งานด้วยระบบที่เหมือนกับระบบไฮบริดของรถไฟฟ้าไฮบริดระบบอนุกรมก็ได้

2.3.2 โหมดการทำงานของรถไฟฟ้าไฮบริด

1. Electric Mode กำลังทั้งหมดที่ใช้ขับเคลื่อนจะได้อาจจากการส่งกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าอย่างเดียว
2. Internal Combustion Engine Mode กำลังทั้งหมดที่ใช้ขับเคลื่อนจะได้อาจจากการส่งกำลังของเครื่องยนต์อย่างเดียว
3. Primary Electric Mode ในสภาพปกติมอเตอร์จะเป็นกำลังหลักในการขับเคลื่อนแต่ในสถานะที่ต้องการแรงบิดสูงสุด จะใช้เครื่องยนต์เป็นตัวช่วยแบ่งภาระจากมอเตอร์
4. Primary Internal Combustion Engine Mode คล้ายกับแบบ Primary Electric Mode โดยเปลี่ยนกำลังที่ใช้ขับเคลื่อน ระบบนี้จะใช้เครื่องยนต์เป็นตัวส่งกำลังหลัก และเมื่อต้องการกำลังเสริมหรือต้องการแรงบิดสูงสุด จะใช้มอเตอร์เป็นตัวช่วยแบ่งภาระ
5. Hybrid Mode การทำงานในโหมดนี้ จะใช้ทั้งเครื่องยนต์และมอเตอร์ร่วมกันส่งกำลังขับเคลื่อน ซึ่งมีข้อจำกัดอยู่ว่าจะต้องควบคุมแรงบิดของทั้งเครื่องยนต์และมอเตอร์ที่ส่งออกมาให้มีขนาดเท่ากัน
6. Battery-Charge Mode ในสถานะการใช้เครื่องยนต์ในการขับเคลื่อน เครื่องยนต์นี้จะมีหน้าที่อีกอย่างหนึ่งไปพร้อม ๆ กับหน้าที่ขับเคลื่อน คือ การประจุไฟเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้มอเตอร์เป็น generator ซึ่งหน้าที่นี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีพลังงานเหลือจากการขับเคลื่อน
7. Regenerative Braking ในระหว่างการเบรก พลังงานจลน์ของรถจะไปขับ มอเตอร์ ซึ่งในโหมดนี้มอเตอร์จะทำหน้าที่เป็น generator ประจุไฟเข้าแบตเตอรี่

2.4 ความแตกต่างระหว่างรถยนต์ รถไฟฟ้าและรถไฟฟ้าไฮบริด

ตารางที่ 2-1
เปรียบเทียบรถยนต์ รถไฟฟ้า และรถไฟฟ้าไฮบริด

	รถยนต์	รถไฟฟ้า	รถไฟฟ้าไฮบริด
1.ระบบขับเคลื่อน	เครื่องยนต์	มอเตอร์	เครื่องยนต์ และมอเตอร์
2.แหล่งพลังงาน	น้ำมัน	กระแสไฟฟ้าจาก แบตเตอรี่	น้ำมันและกระแสไฟ จากแบตเตอรี่
3.การประจุแบตเตอรี่	ใช้เครื่องยนต์ประจุไฟ เข้าแบตเตอรี่ (แบตเตอรี่ใช้ในการ สตาร์ทเครื่อง)	ใช้แหล่งจ่ายพลังงาน จากภายนอกประจุไฟ แบตเตอรี่ เช่น พลัง งานแสงอาทิตย์ เป็นต้น	ใช้เครื่องยนต์ประจุไฟ เข้าแบตเตอรี่ เป็นการประหยัดพลัง งาน
4.เสียงรบกวน	เสียงดัง	ไม่มีเสียงรบกวน	เสียงรบกวนน้อยเนื่อง จากใช้มอเตอร์ขับเคลื่อน กับเครื่องยนต์
5.กลิ่นเหม็นรบกวน	มีกลิ่นน้ำมัน	ไม่มีกลิ่นเหม็นรบกวน	มีกลิ่นเหม็นรบกวน น้อย
6.ควันขาวและ คราบน้ำมัน	มีควันขาวและคราบ น้ำมันจากเครื่องยนต์	ไม่มี	มีน้อย
7.สารพิษที่เป็น อันตรายต่อสุขภาพ	มีสารพิษหลายชนิด	ไม่มีสารพิษ	มีเฉพาะช่วงที่ใช้ เครื่องยนต์
8.การใช้เชื้อเพลิง	เปลืองน้ำมัน	ไม่ใช้น้ำมัน	ไม่เปลืองน้ำมัน
9.การซ่อมบำรุง	ต้องหมั่นซ่อมบำรุง	ค่าซ่อมบำรุงต่ำ	ค่าซ่อมบำรุงสูง
10.ประสิทธิภาพ การใช้งาน	ต่ำ	สูง	สูงทั้งเครื่องยนต์ที่ optimum และมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การพิจารณาเครื่องยนต์สำหรับรถไฟฟ้าไฮบริด

การทำงานของเครื่องยนต์ที่ใช้ในรถไฟฟ้าไฮบริดจะต่างจากในรถยนต์ทั่วไป เครื่องยนต์ในรถไฟฟ้าไฮบริดจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงความเร็วแบบทันทีทันใด และจะต้องทำงานที่กำลังสูงคงที่เป็นระยะเวลานาน เครื่องยนต์ที่เหมาะสมในการใช้งานจะต้องเป็นเครื่องยนต์ที่มีน้ำหนักเบา และขนาดจะต้องไม่ใหญ่เกินไป ควรใช้ขนาดที่เพียงพอกับความต้องการกำลังเฉลี่ยในการขับเคลื่อนเท่านั้นเนื่องจากมีระบบไฟฟ้าจะเป็นตัวหากำลังเสริมที่เครื่องยนต์ต้องการในคราวจำเป็น เช่น การเร่งความเร็ว หรือการปีนเขา

ในรถยนต์ทั่วไปที่มีน้ำหนัก 1810 กิโลกรัม ต้องการกำลังในการขับเคลื่อนที่ 88 กิโลวัตต์ ต่อชั่วโมง ประมาณ 4 ถึง 22 กิโลวัตต์ (5 ถึง 30 แรงม้า) แต่เครื่องยนต์ที่ใช้ในรถยนต์คันนี้ เราจะต้องใช้เครื่องยนต์ที่มีกำลังถึง 112 กิโลวัตต์ (150 แรงม้า) ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพที่ 45 ถึง 68 กิโลวัตต์ (60 ถึง 90 แรงม้า) สาเหตุที่ต้องใช้เครื่องยนต์ที่มีกำลังมากขนาดนี้เนื่องจาก ความต้องการกำลังจากเครื่องยนต์เมื่อเร่งความเร็ว หรือปีนเขาตัวเอง ส่วนในรถไฟฟ้าไฮบริด เพื่อความประหยัดการใช้เชื้อเพลิง เราจะใช้เพียงเครื่องยนต์ที่มีขนาดเล็กกว่า ความต้องการการใช้เชื้อเพลิงน้อยกว่า แต่เครื่องยนต์ที่ใช้จะต้องมีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากการใช้งานในรถไฟฟ้าไฮบริดเราจะขับเคลื่อนด้วยกำลังเกือบสูงสุดของเครื่องยนต์ด้วยระยะเวลานานแต่ใช้งานที่กำลังคงที่

เครื่องยนต์ของรถยนต์ทั่วไปจะไม่เหมาะกับการใช้งานในรถไฟฟ้าไฮบริด เนื่องจากว่าเครื่องยนต์ของรถทั่วไปมีประสิทธิภาพการใช้งานต่ำ และถูกออกแบบมาเพื่ออายุการใช้งานที่ยาวนาน โดยจะเดินเครื่องที่กำลังเฉลี่ยที่ระดับ 20% ของกำลังสูงสุดของเครื่องยนต์

การควบคุมไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้ในรถไฟฟ้าไฮบริด สามารถทำได้ง่าย เนื่องจากเครื่องยนต์จะทำงานที่ระดับกำลังที่คงที่ ทำให้ไอเสียที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์มีไม่มากนัก

ชนิดของเครื่องยนต์ที่สามารถนำมาพิจารณาเพื่อใช้ในรถไฟฟ้าไฮบริด

2.5.1 เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยหัวเทียน

ในขณะที่รถยนต์ทั่วไปต้องการระดับกำลังของเครื่องยนต์ขณะใช้งานในระดับกำลังที่แตกต่างกันตามสถานการณ์การใช้งาน ซึ่งถ้านำเครื่องยนต์ของรถยนต์ทั่วไปมาใช้งานที่กำลังสูงสุดเป็นระยะเวลานานอย่างต่อเนื่อง ก็จะทำให้อายุการใช้งานของเครื่องยนต์สั้นลงไป

เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยหัวเทียนที่มีความทนทาน จะสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องที่เปอร์เซ็นต์สูงของกำลังสูงสุด ซึ่งเครื่องยนต์เหล่านี้จะถูกนำมาใช้งานในเครื่องบินและในอุตสาหกรรมหนักทั่วไป โดยเครื่องยนต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรม จะมีน้ำหนักมาก ซึ่งมีน้ำหนักจำเพาะ

ประมาณ 6.6 ถึง 13.2 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ (10 ถึง 20 ปอนด์ต่อแรงม้า) และเครื่องยนต์ที่ใช้ในเครื่องบิน จะมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา ซึ่งมีน้ำหนักจำเพาะน้อยกว่า 1.2 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ (2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปอนด์ต่อแรงแม้) แต่เครื่องยนต์สามารถผลิตกำลังได้ถึง 45, 75 และ 85 กิโลวัตต์(60, 100 และ 115 แรงแม้) หรือมากกว่านั้น ซึ่งเครื่องยนต์ที่ใช้ในเครื่องบินเหล่านี้ สามารถทำงานที่ประสิทธิภาพสูงถึง 50-65% ของกำลังเครื่องยนต์ และถูกออกแบบให้สามารถทำงานด้วยประสิทธิภาพที่สูงถึง 75% ของกำลังเครื่องยนต์ และเครื่องยนต์เหล่านี้จะทนทาน และมีน้ำหนักเบาว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมหนัก แต่ราคาก็สูงตามไปคุณสมบัติที่พิเศษนี้ด้วยเช่นกัน

การพัฒนาเครื่องยนต์เพื่อให้ลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงและลดมลภาวะ โดยใช้อุปกรณ์เสริมหรือเทคนิคพิเศษ ดังนี้

ระบบหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Injection System)

น้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกจ่ายให้กับเครื่องยนต์ด้วยหัวฉีด ฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปผสมกับอากาศในท่อไอดี ด้วยปริมาณน้ำมันตามความต้องการของเครื่องยนต์ กรณีที่เครื่องยนต์เดินเบา หัวฉีดจะฉีดน้ำมันน้อยลง และเมื่อเร่งความเร็วของเครื่องยนต์ หัวฉีดก็จะฉีดน้ำมันมากขึ้น

ใช้วาล์วEGR (Exhaust Gas Recirculation)

เป็นการทำให้ไอเสียวนกลับมาใช้ในการเผาไหม้อีกครั้ง ช่วยลดมลภาวะ เนื่องจากอุณหภูมิไอเสียลดลง วาล์วEGR จะถูกควบคุมด้วยระบบสุญญากาศ และจะมีตัว Sensor ช่วยวัดระดับไอเสียที่วนกลับเข้ามาเผาไหม้ เพื่อควบคุมปริมาณไอเสียไม่ให้เข้ามามากเกินไป เพราะจะทำให้เครื่องยนต์ดับ ขณะที่เดินเครื่องเบา ไม่ต้องการกำลังจากเครื่องยนต์มากนัก ไม่เหยียบคันเร่ง ปีกผีเสื้อไม่เปิด สุญญากาศสูง วาล์วEGRเปิด ไอเสียเข้าเผาไหม้ ส่วนขณะที่เร่งความเร็ว ต้องการกำลังจากเครื่องยนต์มาก เหยียบคันเร่ง ปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่ สุญญากาศต่ำ วาล์วEGRปิด ไอดีเข้าเผาไหม้อย่างเดียว

เพิ่มจำนวนวาล์ว และลดขนาดวาล์ว การเพิ่มจำนวนวาล์ว จะทำให้ช่วยการดูดและคายไอดี-ไอเสียได้ตามต้องการ การลดขนาดวาล์ว จะช่วยความคล่องตัวในการเปิด-ปิดวาล์ว ซึ่งการเพิ่มจำนวนและลดขนาดของวาล์ว ทำให้ไอเสียออกจากห้องเผาไหม้ได้ดี และไอดีเข้าห้องเผาไหม้ได้เต็มที่ จะได้การเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้น เพิ่มกำลังเครื่องยนต์ให้สูงขึ้น และลดมลภาวะ

การเปลี่ยนแปลงความยาวท่อไอดี (Variable Induction System)

ทำให้อากาศเข้าห้องเผาไหม้ได้ตามความต้องการ ขณะที่เครื่องยนต์เดินเบาที่รอบต่ำปกติ แต่ในเวลาที่เครื่องยนต์เดินเร็วขึ้น จะควบคุมให้ท่อสั้นกว่าปกติ เพื่อให้อากาศเข้าห้องเผาไหม้ได้มากขึ้น การเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปิดวาล์วล่วงหน้าตามการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์

(Variable Valve Timing System)

เป็นการตั้งเวลาการเปิดวาล์วไอดีล่วงหน้า ในกรณีที่เร่งความเร็วเครื่องยนต์ หรือเมื่อเครื่องยนต์มีความเร็วรอบมากๆ เพื่อให้อากาศเข้าห้องเผาไหม้ได้ทันกับความต้องการของเครื่องยนต์ เราจะควบคุมเพลาลูกเบี้ยวให้ไปเตะวาล์วไอดีเปิดล่วงหน้า โดยใช้เซ็นเซอร์(Sensor) เป็นตัวควบคุมการทำงานของเพลาลูกเบี้ยวให้สัมพันธ์กับจังหวะการเปิดวาล์วไอดีที่ความเร็วรอบสูง

Lean Burn Engine System

เป็นการควบคุมการเปิด-ปิดลิ้นไอดี หรือควบคุมปริมาณอากาศที่เข้าห้องเผาไหม้ เพื่อความประหยัดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง โดยขณะต้องการสตาร์ทเครื่องยนต์ จะควบคุมให้ลิ้นไอดีเปิดเพียงตัวเดียว เพื่อควบคุมปริมาณอากาศเข้าห้องเผาไหม้น้อย ทำให้ส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงหนา สามารถสตาร์ทเครื่องยนต์ได้ง่าย หลังจากทีสตาร์ทเครื่องยนต์ติดแล้ว จะควบคุมให้เปิดลิ้นไอดีทั้ง 2 ตัว เพื่อควบคุมปริมาณอากาศเข้าห้องเผาไหม้เต็มที่ ทำให้ได้การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ เป็นการลดมลภาวะและประหยัดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง

จะเห็นว่าเครื่องยนต์จุระเบิดด้วยหัวเทียน ได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างมาก จนกระทั่งในปัจจุบันนี้ ความประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์อยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก ซึ่งเหมาะสมกับการใช้งานในรถไฟฟ้าไฮบริดอย่างมาก ทั้งในด้านประสิทธิภาพการใช้งาน น้ำหนักจำเพาะของเครื่องยนต์ ความประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง การลดมลภาวะในสถานะเวดล่อม อีกทั้งยังสามารถหาซื้อได้ทั่วไปในท้องตลาดอีกด้วย

2.5.2 เครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์ดีเซลถูกออกแบบมาสำหรับการใช้งานหนัก จุดเด่นที่เห็นได้ชัดของเครื่องยนต์ชนิดนี้ ซึ่งได้เปรียบเครื่องยนต์ประเภทอื่น คือ ความประหยัดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และความทนทานของเครื่องยนต์ ประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่องยนต์จะประมาณ 40 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ของกำลังการใช้งาน และประสิทธิภาพของเครื่องยนต์จะยังคงสูงเช่นนี้ ถึงแม้ว่าเครื่องยนต์จะทำงานด้วยกำลังที่สูงขึ้นอีก พบว่าเครื่องยนต์ทำงานที่ 80% ของกำลังสูงสุด ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์จะลดลงมาเพียง 10% เท่านั้น เป็นข้อยืนยันว่าเครื่องยนต์ดีเซลมีความทนทานและให้กำลังสูง

ด้วยเหตุนี้ การนำเครื่องยนต์ดีเซลมาใช้งานในรถยนต์ทั่วไปจึงเป็นที่นิยมมาก กับการใช้งานที่ต้องเดินทางเป็นระยะทางไกล ๆ ที่ต้องการความทนทานของเครื่องยนต์ หรือใช้ในงานขนส่งสินค้าจำนวนมาก ๆ ที่ต้องการกำลังของเครื่องยนต์สูง ที่สำคัญคือความประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบเครื่องยนต์ดีเซลที่พบในปัจจุบันมีแบบ 2 แบบ คือ การฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงโดยตรง(Direct Injection,DI) และ การฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงโดยอ้อม(Indirect Injection,IDI) ซึ่งสามารถแยกความแตกต่าง ได้ดังนี้

แบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงโดยตรง(Direct Injection) คือ การใช้หัวฉีด ฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้โดยตรง

แบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงโดยอ้อม(Indirect Injection) คือ การใช้หัวฉีด ฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้ล่วงหน้า ก่อนเข้าห้องเผาไหม้จริง

ความสูญเสีย(Loss) เครื่องยนต์แบบ IDI มีความสูญเสียมากกว่า เนื่องจากมีห้องเผาไหม้ล่วงหน้า และเนื่องจากมีความสูญเสียมากกว่า ทำให้เครื่องยนต์แบบ IDI มีความประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยกว่าเครื่องยนต์แบบ DI

อุณหภูมิและความดันการเผาไหม้สูงสุดของเครื่องยนต์แบบ IDI ต่ำกว่า ทำให้เสี่ยงการทำงานเครื่องยนต์เสียบกว่า น้ำหนักเบากว่า และมลภาวะต่ำกว่ แต่ประสิทธิภาพการใช้งานจะต่ำกว่าเครื่องยนต์แบบ DI ประมาณ 10%

และได้มีการพัฒนาเครื่องยนต์ดีเซลด้วยเทอร์โบชาร์จเจอร์(Turbocharger) ซึ่งมีอุปกรณ์ที่สำคัญคือ กังหันต่อตรงกับคอมเพรสเซอร์(Compressor) และหลักการทำงานคือ การให้อากาศผ่านเข้ากังหัน ความเร็วและการขยายตัวของอากาศจะส่งแรงกระทำกับใบพัดของกังหัน ทำให้กังหันหมุนได้ อัตราเร็วรอบของกังหันจะแปรผันตามแรงทั้งหมดของอากาศที่กระทำบนกังหัน และเมื่อกังหันหมุนจะทำให้คอมเพรสเซอร์(Compressor) ซึ่งต่อตรงกับกังหันหมุนตามไปด้วยอัตราเร็วรอบเท่ากัน โดยคอมเพรสเซอร์(Compressor) นี้มีหน้าที่อัดอากาศเข้าห้องเผาไหม้ ทำให้ได้ปริมาณอากาศมากขึ้นกว่าปกติ

ข้อเสียของเครื่องยนต์ดีเซล พบว่า น้ำหนักและปริมาตรจำเพาะของเครื่องยนต์ดีเซลจะมากกว่าของเครื่องยนต์เบนซิน ประมาณ 20%

สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล ด้วยคุณสมบัติประสิทธิภาพการใช้งานที่สูง สามารถหาซื้อได้ง่าย และความสามารถในการใช้งานด้วยกำลังสูงเป็นระยะเวลาที่ยาวนาน เครื่องยนต์ดีเซลจึงเหมาะสำหรับการใช้งานในรถไฟฟ้าไฮบริด ถ้าไม่มีข้อเสียในเรื่องน้ำหนักจำเพาะของเครื่องยนต์

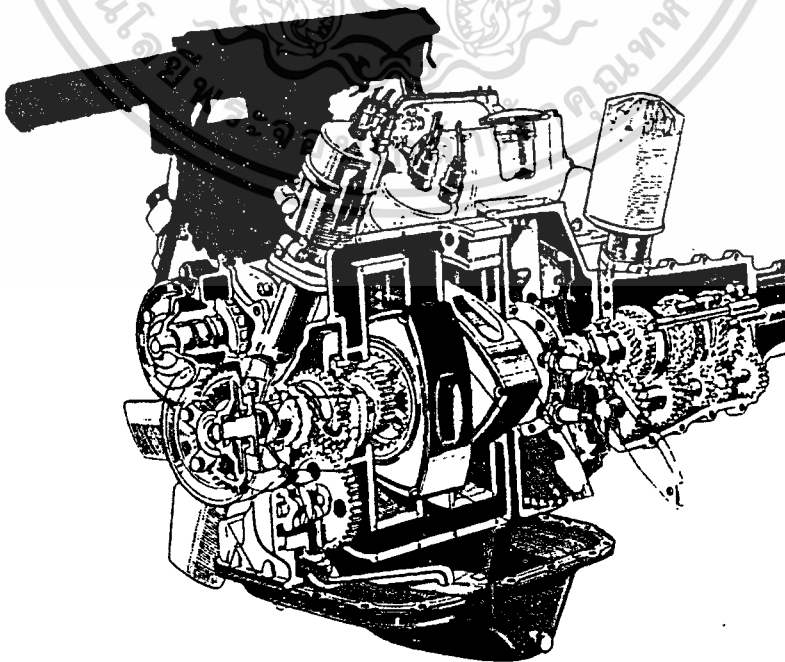
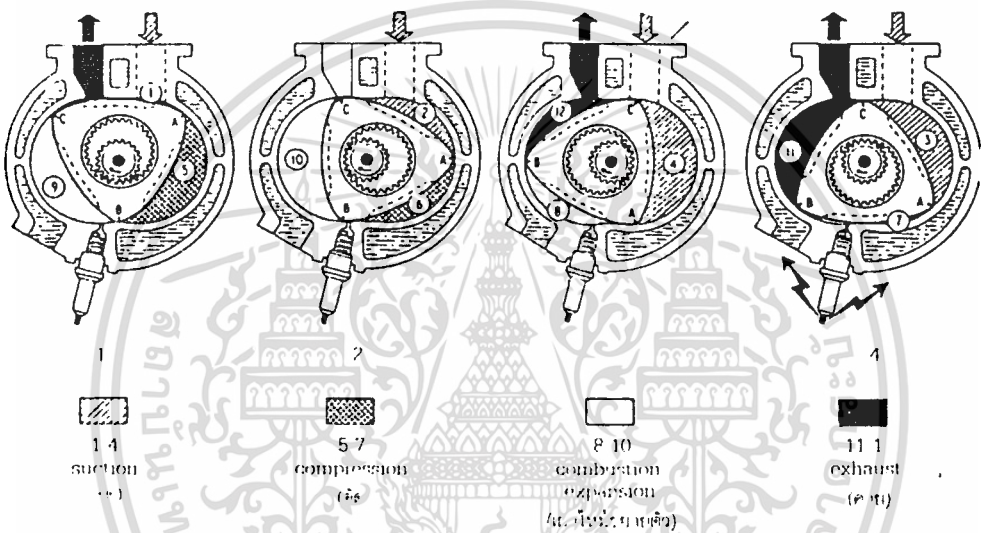
2.5.3 เครื่องยนต์โรตารี (Rotary Engine)

เราสามารถเรียกเครื่องยนต์แบบนี้ได้อีกอย่างหนึ่งว่า เครื่องยนต์แบบลูกสูบหมุน ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ที่แตกต่างไปจากเครื่องยนต์ลูกสูบชักทั่วไป ลูกสูบของเครื่องยนต์โรตารีเรียกว่าโรเตอร์(rotor) มีลักษณะคล้ายรูปสามเหลี่ยมและยึดติดกับเพลลา ส่งกำลังด้วยลูกเบี้ยวเยื้องศูนย์ โรเตอร์ติดตั้งอยู่ภายในเสื้อโรเตอร์ซึ่งมีห้องเผาไหม้ภายในเป็นรูปไข่ จุดสัมผัสของมุมทั้งสามของโรเตอร์กับผนังห้องเผาไหม้ จะต้องได้รับการออกแบบให้สามารถหมุนได้และอุดรอยรั่วได้ดี เสื้อโรเตอร์มี

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องไอดีและช่องไอเสีย และช่องสำหรับติดตั้งหัวเทียน ในขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน โรเตอร์จะหมุนอยู่ภายในห้องเผาไหม้

คุณสมบัติของเครื่องยนต์โรตารี คือ มีน้ำหนักเบา ขนาดของเครื่องยนต์กะทัดรัด และการทำงานไม่ซับซ้อน สามารถทำงานได้ที่ความเร็วรอบสูงๆ และสามารถนำเครื่องยนต์ไปต่อได้โดยตรงกับ generator ความเร็วรอบสูง โดยไม่ต้องผ่านตัวทดกำลัง ส่วนด้านความทนทานของเครื่องยนต์โรตารี นั้น จะไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบได้กับเครื่องยนต์แบบอื่นๆ เนื่องจากว่าเครื่องยนต์โรตารีนี้มีส่วนที่เคลื่อนที่น้อยกว่า ไม่มีวาล์วและเพลาลูกเบี้ยว การเคลื่อนที่ของเครื่องยนต์จะเป็นไปแบบเรียบๆ ซึ่งโดยส่วนมากจะเป็นการเคลื่อนที่แบบหมุน



ชนิดของเครื่องยนต์โรตารี มี 2 แบบ คือ แบบโรเตอร์ 2 ตัว และแบบโรเตอร์ตัวเดียว แบบโรเตอร์ 2 ตัว จะเป็นเครื่องยนต์ที่มีกำลังอยู่ระหว่าง 75 ถึง 125 กิโลวัตต์ (100 ถึง 170 แรงม้า) และเป็นเครื่องยนต์ที่นำไปใช้ในรถยนต์ทั่วไป ความประหยัคน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ตัวอย่างเช่น ในรถยนต์ มาสด้า ปี 1977 ซึ่งใช้เครื่องยนต์ขนาด 85 กิโลวัตต์ (115 แรงม้า) สามารถประหยัคน้ำมันเชื้อเพลิงได้เท่ากับหรือประหยัดได้มากกว่าเครื่องยนต์แบบลูกสูบ โดยเปรียบเทียบกันที่เครื่องยนต์ขนาดเดียวกัน และในรถยนต์ Audi #871 ที่ใช้เครื่องยนต์โรตารี ที่มีกำลังขนาด 125 กิโลวัตต์ (170 แรงม้า) สามารถหาประสิทธิภาพสูงสุดได้ 56% ของกำลังการใช้งานสูงสุด เป็นเครื่องยนต์ระบายความร้อนด้วยอากาศ และมีน้ำหนัก 140 กิโลกรัม (313 ปอนด์) ซึ่งสามารถนำมาใช้ได้กับทั้งในรถยนต์และในเครื่องบิน

แบบโรเตอร์ตัวเดียว ความประหยัคน้ำมันเชื้อเพลิงและมลภาวะจะเหมือนกับแบบโรเตอร์ 2 ตัว เป็นเครื่องยนต์ที่ใช้สำหรับการใช้งานในรถจักรยานยนต์ เรือ และในอุตสาหกรรม ซึ่งจะใช้เครื่องยนต์ที่มีกำลังขนาด 45 กิโลวัตต์ (60 แรงม้า) เป็นเครื่องยนต์ขนาดเล็ก มีทั้งแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ และแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ น้ำหนักจำเพาะของเครื่องยนต์แบบนี้จะน้อยมาก ซึ่งอยู่ระหว่าง 1.3 ถึง 1.8 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ (2.2 ถึง 3 ปอนด์ต่อแรงม้า)

จะเห็นได้ว่า เครื่องยนต์โรตารี จะไม่นิยมนำมาใช้งานในรถยนต์ ซึ่งโดยส่วนมากแล้วจะนิยมนำไปใช้งานในเครื่องบิน ด้วยเหตุนี้ จึงไม่เหมาะสมที่จะนำเครื่องยนต์โรตารี มาใช้งานในรถไฟฟ้าไฮบริดเช่นกัน

2.5.4 เครื่องยนต์สเตอร์ลิง (Stirling Engine)

เป็นเครื่องยนต์เผาไหม้ภายนอกโดยอาศัยความร้อนไหลผ่านผนังห้องเผาไหม้ ซึ่งก๊าซภายในห้องเผาไหม้จะถูกทำให้ร้อนและเย็นสลับกัน ลูกสูบในกระบอกสูบจึงเคลื่อนที่กลับไปกลับมาได้ เครื่องยนต์สเตอร์ลิง เป็นเครื่องยนต์ในทางทฤษฎีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาจากห้องทดลอง และเป็นเครื่องยนต์ที่มีศักยภาพตามทฤษฎี คือ มีประสิทธิภาพการใช้งานสูง และไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ การพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิง เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้จริง ถูกกระทำขึ้นระหว่างทศวรรษที่ 1960 ถึงต้นทศวรรษที่ 1970 โดยในปี 1968 มีการใช้เครื่องยนต์สเตอร์ลิง ดัดดั่งและทดสอบในรถโอเปิลคาเดต โดยใช้เครื่องยนต์ที่มีกำลังขนาด 6 กิโลวัตต์ (8 แรงม้า) และต่อมา บริษัท ฟอร์ดมอเตอร์ ได้มีการพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเป็นเครื่องยนต์ที่มีกำลังขนาด 128 กิโลวัตต์ (170 แรงม้า) เพื่อใช้งาน และขณะเดียวกันได้มีการใช้เครื่องยนต์สเตอร์ลิง ดัดดั่งและทดสอบกับรถยนต์หลายประเภท ตัวอย่างเช่น ในประเทศสวีเดน ได้พัฒนาเครื่องยนต์ที่มีกำลังขนาด 30 ถึง 112 กิโลวัตต์ (40 ถึง 150 แรงม้า) เพื่อทำการทดสอบการใช้งาน โดยเครื่องยนต์ขนาด 30 กิโลวัตต์ (40 แรงม้า) ถูกดัดดั่งและทดสอบในรถยนต์เยอรมัน ส่วนเครื่องยนต์ขนาดอื่นๆ ถูกคิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ที่ใช้ในรถยนต์ที่สามารถหาได้นั้นมีน้อยมาก เนื่องจากไม่นิยมนำเครื่องยนต์ชนิดนี้มาใช้กับรถยนต์ทั่วไป จึงไม่มีการพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิง เพื่อใช้ในรถยนต์กันอย่างกว้างขวางเหมือนกับเครื่องยนต์เบนซินหรือเครื่องยนต์ดีเซล ข้อมูลที่สามารถหาได้เป็นเครื่องยนต์ที่มีกำลังขนาด 40 กิโลวัตต์(53.6 แรงม้า) ซึ่งมีน้ำหนัก 180 กิโลกรัม(396 ปอนด์) และให้ประสิทธิภาพการใช้งานสูงสุดที่ 35% ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ที่ถูกคิดค้นในรอโอเปิดปี 1968 และสามารถทำประสิทธิภาพได้สูงสุด 26.4% หลังจากทำการติดตั้งและทดสอบ ส่วนข้อมูลด้านมลภาวะของเครื่องยนต์ไม่สามารถหาได้

จะเห็นว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิง มีศักยภาพสูงตามทฤษฎี คือ มีความประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงอย่างมาก และมีมลภาวะต่ำมาก แต่การพัฒนาเครื่องยนต์นั้นยังนิยมนำมาใช้งานในรถยนต์ จึงทำให้เครื่องยนต์สเตอร์ลิง ไม่เหมาะสมที่นำมาใช้งานในรถไฟฟ้าไฮบริด

2.5.5 เครื่องยนต์กังหันก๊าซ (Gas-Turbine Engine)

เป็นเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิง คุณสมบัติของเครื่องยนต์กังหันก๊าซ คือ มีน้ำหนักเบา ขนาดของเครื่องยนต์กะทัดรัด ทนทานต่อการใช้งาน และมีมลภาวะต่ำ เครื่องยนต์กังหันก๊าซ ที่มีขนาดใหญ่ตั้งแต่กำลังการใช้งาน 375 กิโลวัตต์(500 แรงม้า) ขึ้นไป เป็นเครื่องยนต์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาด้วยเทคโนโลยีขั้นสูงสำหรับการใช้งานในเครื่องบิน

ส่วนเครื่องยนต์กังหันก๊าซ ที่มีเป้าหมายที่จะพัฒนาขึ้นมาเพื่อการใช้งานในรถยนต์ จะยังอยู่ในภาณณญฎี ยังไม่สามารถนำไปใช้งานจริงได้ ซึ่งจากทฤษฎี เครื่องยนต์กังหันก๊าซ ที่จะพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้งานในรถยนต์ จะมีกำลังอยู่ระหว่าง 75 ถึง 150 กิโลวัตต์(100 ถึง 200 แรงม้า) การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงประมาณ 0.3 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง(0.5 ปอนด์ต่อแรงม้า-ชั่วโมง) น้ำหนักจำเพาะประมาณ 1.8 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์(3 ปอนด์ต่อแรงม้า) และปริมาตรจำเพาะประมาณ 2.8 ลิตรต่อกิโลวัตต์(0.1 ลูกบาศก์ฟุตต่อแรงม้า) ส่วนประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องยนต์กังหันก๊าซ เราไม่สามารถหาได้ เนื่องจากว่า เรายังไม่สามารถพัฒนาเครื่องยนต์จนกระทั่งสามารถใช้งานจริงในรถยนต์ได้ แต่จากการประมาณค่าทางทฤษฎี ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ เท่ากับ 50% ของกำลังการใช้งาน

ตารางที่ 2-2
เครื่องชนิดสำหรับรถไฟฟ้าไฮบริด

เครื่องชนิด	กำลังการใช้ งาน, กิโลวัตต์ (แรงม้า)	ประสิทธิ ภาพสูง สุด, % ของ กำลังการ ใช้งาน	น้ำหนัก, กิโลกรัม ต่อกิโล วัตต์ (ปอนด์ ต่อแรง ม้า)	การใช้เชื้อ เพลิง, กรัมต่อ เมกกะจูล (ปอนด์ต่อ แรงม้า-ชั่วโมง)	ความ สะดวก ในการ หาซื้อ มาใช้ งาน	มล ภาวะ
เครื่องชนิดจุดระเบิดด้วย หัวเทียน:						
รถยนต์	30-90 (40-120)	40-50	2.4-4.3 (4-7)	76-101 (0.45-0.6)	Yes	เกิด มล ภาวะ
อุตสาหกรรม	19-45 (25-60)	45-55	3.0-9.1 (5-15)	95-98 (0.56-0.58)		
เครื่องบิน	45,75,86 (60,100,115)	50-65	<1.2 (<2)	เปลืองมาก		
เครื่องชนิดดีเซล	30-75 (40-100)	40-50	3.6-4.9 (6-8)	76-84 (0.45-0.5)	Yes	เกิด มล ภาวะ
เครื่องชนิดโรตารี:						
โรเตอร์ 2 ตัว	75-127 (100-170)	56	0.79-1.3 (1.3-2.2)	74-95 (0.44-0.56)	Yes	
โรเตอร์ตัวเดียว	37-63 (50-85)		1.4-1.5 (2.3-2.5)	95-101 (0.56-0.60)		
	15-45 (20-60)		1.3-1.8 (2.2-3.0)	101-117 (0.60-0.69)		
เครื่องชนิดสเตอร์ลิง	7-112 (10-150)		4.3-9.1 (7-15)	64-88 (0.38-0.52)	No	มล ภาวะ
เครื่องชนิดกังหันก๊าซ	75-150 (100-200)	25-50	1.5-1.8 (2.5-3)	84 (0.5)	No	ต่ำ มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น หรือจะนำข้อมูลนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากหน่วยงานต้นทางก็ไม่ได้

2.5.6 บทสรุป

ลักษณะที่สำคัญของเครื่องยนต์ที่จะนำมาพิจารณาเพื่อนำมาใช้งานในรถไฟฟ้าไฮบริด สรุปไว้ในตาราง 2-2 ซึ่งแสดงลักษณะต่างๆ ดังนี้ กำลังการใช้งาน ประสิทธิภาพ น้ำหนัก การใช้น้ำมัน เชื้อเพลิง และมลภาวะ

เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยหัวเทียน มีราคาค่ามาก หาซื้อง่าย และเหมาะสมที่สุดกับการใช้งานในรถไฟฟ้าไฮบริดในทุกคุณสมบัติ ยกเว้น อายุการใช้งานของเครื่องยนต์ เนื่องจากเครื่องยนต์ชนิดนี้ไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานอย่างต่อเนื่องที่ประสิทธิภาพการใช้งานสูงที่ 50 ถึง 70% ของกำลังการใช้งาน อย่างที่รถไฟฟ้าไฮบริดต้องการ แต่ถึงอย่างไรก็ตามเราก็สามารถนำเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยหัวเทียนมาใช้กับรถไฟฟ้าไฮบริดได้ ในการทำงานที่ประสิทธิภาพต่ำกว่า 50% ของกำลังการใช้งาน ซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานของเครื่องยนต์ยาวนานขึ้น ถึงแม้ประสิทธิภาพการใช้งานจะต่ำไปบ้างก็ตาม

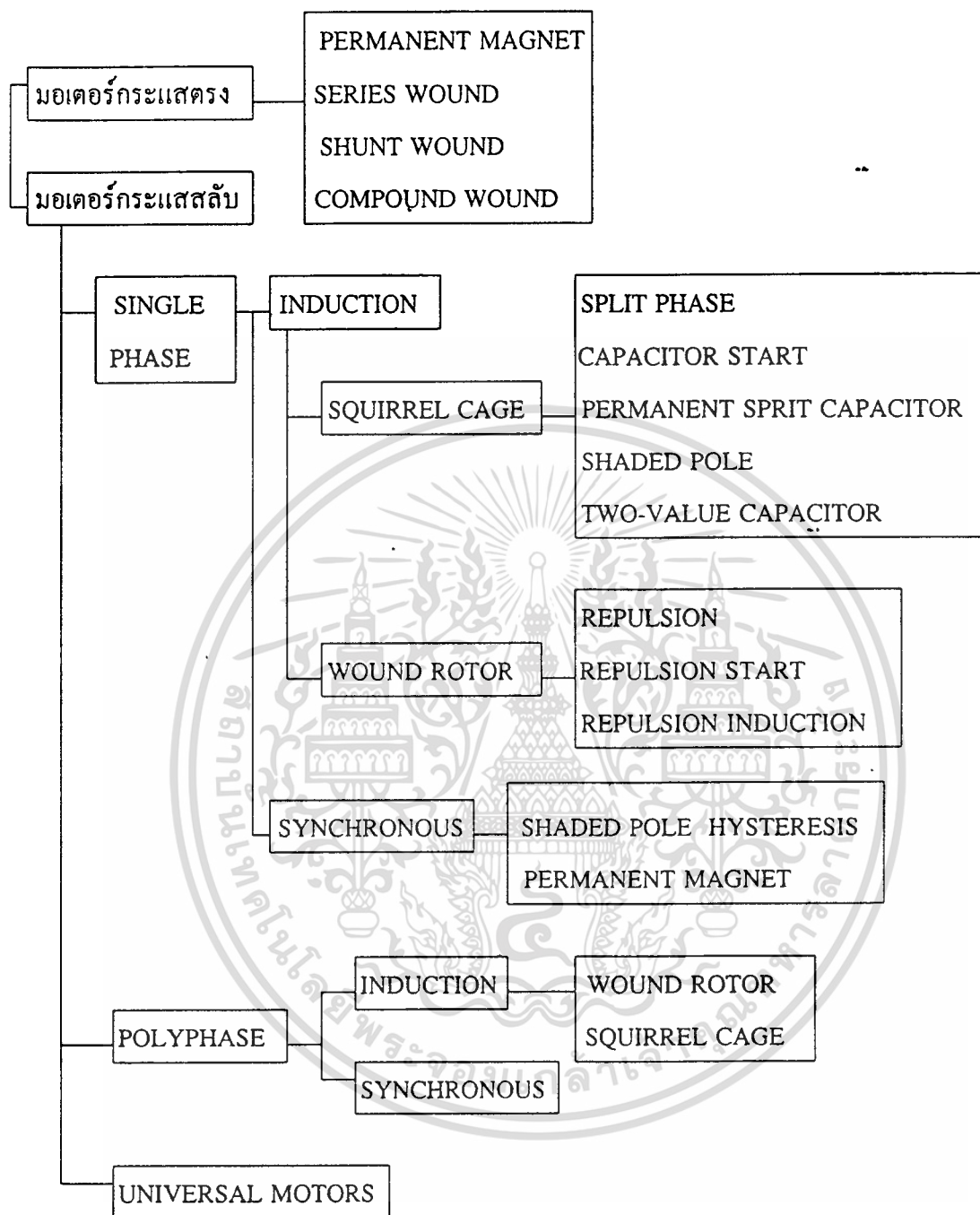
เครื่องยนต์ดีเซล เป็นเครื่องยนต์ที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้งานในรถไฟฟ้าไฮบริด เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานในรถยนต์นั้น คุณสมบัติตรงกับความต้องการในการใช้งานกับรถไฟฟ้าไฮบริด ทั้งในด้านความทนทานต่อการใช้งานที่ประสิทธิภาพสูงเป็นระยะเวลานาน และความประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง ยกเว้นในเรื่องน้ำหนักจำเพาะของเครื่องยนต์ จึงทำให้เครื่องยนต์ดีเซลด้อยกว่าเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยหัวเทียน

เครื่องยนต์โรตารี เห็นได้ชัดว่าไม่มีคุณสมบัติใดๆ ของเครื่องยนต์ชนิดนี้ที่ดีกว่าเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยหัวเทียนและเครื่องยนต์ดีเซล สำหรับการนำไปใช้งานในรถไฟฟ้าไฮบริด ยกเว้น คุณสมบัติด้านน้ำหนักของเครื่องยนต์ที่เบากว่า และเครื่องยนต์มีขนาดกะทัดรัดกว่า

เครื่องยนต์กังหันก๊าซ และเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นเครื่องยนต์ที่มีศักยภาพการใช้งานสูง เป็นเครื่องยนต์สำหรับอนาคต และระดับไอเสียของเครื่องยนต์อยู่ในระดับต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ และในระดับไอเสียที่ต่ำนี้ไม่มีผลกระทบกับประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ แต่ปัญหาสำคัญที่เราไม่สามารถนำเครื่องยนต์ทั้ง 2 ชนิดนี้มาใช้งานในรถไฟฟ้าไฮบริด ก็คือ เครื่องยนต์ทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นเครื่องยนต์ที่อยู่ในขั้นทดลองใช้งานซึ่งยังไม่สามารถนำมาใช้งานจริงได้

2.6 การพิจารณามอเตอร์สำหรับรถไฟฟ้าไฮบริด

มอเตอร์สามารถจำแนกได้ 2 ระบบ ตามหน้าที่การทำงานของโครงสร้างทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 2-4 ซึ่งจะแบ่งเป็น มอเตอร์กระแสตรง(DC Motor) และมอเตอร์กระแสสลับ(AC Motor) และแบ่งย่อยเป็นชนิดต่าง ๆ ออกไปอีก ด้วยลักษณะการทำงานที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2-4 ชนิดของมอเตอร์

2.6.1 มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor)

มอเตอร์กระแสตรงมีลักษณะสร้างปกติประกอบด้วย ขดสนามแม่เหล็ก และทุ่นตัวนำเป็นตัวหมุน ทุ่นตัวนำคือทุ่นอาร์เมเจอร์ หรือเรียกสั้นๆว่า “ทุ่น”

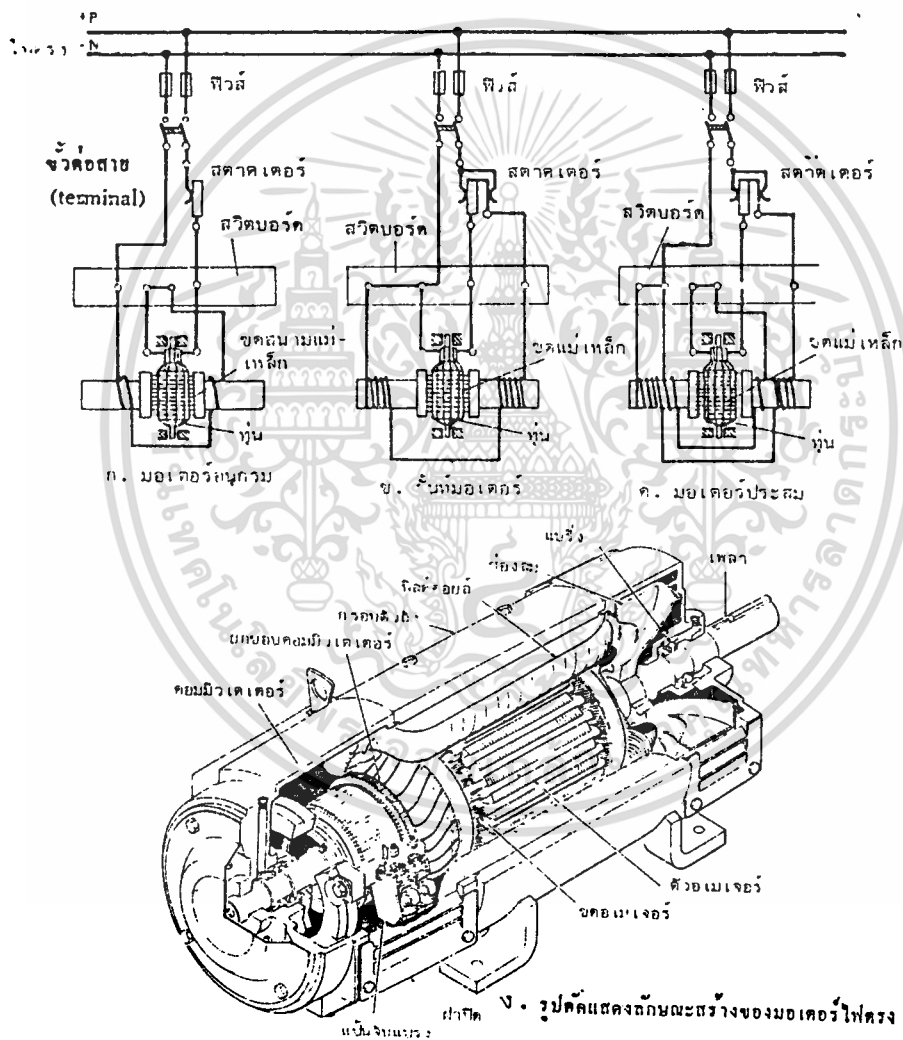
ไฟฟ้ากระแสตรงจะต้องไหลผ่านเข้าไปใน “ทุ่น” โดยไหลผ่านคอมมิวเตเตอร์เป็นสะพานไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เสมอ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มอเตอร์ขดสนามแม่เหล็กลูกกรง (Series Wound Motor) หรือเรียกสั้นๆว่า “มอเตอร์อนุกรม”
- มอเตอร์ขดสนามแม่เหล็กล้วน (Shunt Wound Motor) หรือเรียกสั้นๆว่า “ขั้นทมอเตอร์”
- มอเตอร์ขดสนามแม่เหล็กลูกกรง-ล้วน (Compound Wound Motor) หรือเรียกสั้นๆว่า “มอเตอร์ประสม”



รูปที่ 2-5 ส่วนประกอบและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์อนุกรม (Series Motor)

มอเตอร์ชนิดนี้ ขดสนามแม่เหล็กและ “ทุ่น” คือเป็นอนุกรมของกันและกันดังรูปที่ 2-5ก

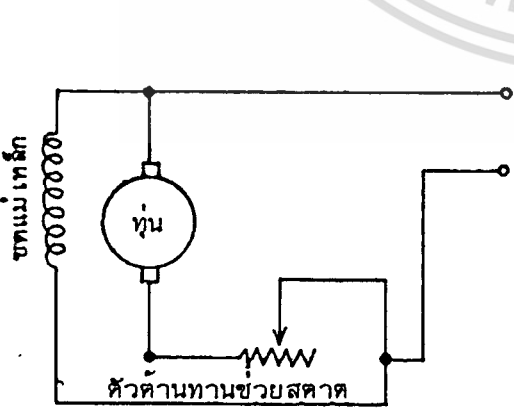
ปริมาณกระแสที่ไหลผ่านทุ่นแปรเป็นสัดส่วนกับจำนวนภาระ ภาระมากกระแสมาก และเมื่อลดภาระหรือโหลดลง กระแสก็จะลดลงตาม ส่วนความเร็วรอบของทุ่นจะยิ่งลดลงหากมีภาระเพิ่มมากขึ้น และหากหมุนโดยไม่มีโหลดเลย ความเร็วรอบจะยิ่งหมุนเร็วเลยเดี๋ยวจึงออกไปจนควบคุมไม่ได้ เรียกว่าเป็น “ความเร็ววิ่งหนี” (Runaway speed) ซึ่งเป็นอันตรายมาก เพราะจะเกิดแรงเหวี่ยงจำนวนมากขึ้นภายในเนื้อทุ่น ตัวทุ่นอาจชำรุดโดยมีบางส่วนกระเด็นหนีออกมาได้เป็นอันตรายทั้งในเชิงกลและเชิงไฟฟ้าอย่างยิ่งจริงๆ ด้วยเหตุนี้เอง มอเตอร์อนุกรมจะต้องไม่ให้หมุนโดยไม่มีโหลดเลยเป็นอันขาด เผลอมอเตอร์ชนิดนี้จะต้องต่อตรงเข้ากับคัปปลิงขั้วภาระไว้อย่างแข็งแรง เช่น ต่อผ่านคัปปลิงตรง หรือผ่านชุดฟันเฟือง หรือชุดล้อยโซ่ และ ห้าม ต่อเข้ากับชุดสายพานใดๆเป็นอันขาด เพราะสายพานนั้นมีโอกาสของหรือเลื่อนสลিপได้

คุณสมบัติพิเศษ : มอเตอร์อนุกรมให้แรงบิดสูงมาก แม้ภาระจะสูงมอเตอร์ก็ยังหมุนอยู่ แต่ยิ่งภาระมีมาก ความเร็วรอบจะลดลง หากหมุนโดยไม่มีโหลดเลย มอเตอร์จะหมุนเร็วไม่รู้เรื่องและเป็นอันตราย

ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้สามารถพบการใช้งานมอเตอร์อนุกรมทั่วไปในการขับเคลื่อนไฟฟ้าไฮบริด เนื่องจากแรงบิดและความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้าชนิดนี้ จะตรงกับความต้องการในการใช้งานในรถไฟฟ้าไฮบริดได้ดีกว่าชั้นท์มอเตอร์ และมอเตอร์ประสม อีกทั้งแรงบิดของมอเตอร์อนุกรมขณะเริ่มสตาร์ทยังมีค่าสูง โดยไม่จำเป็นต้องมีทอร์คคอนเวอร์เตอร์(Torque Converter)

ชั้นมอเตอร์ (Shunt Motor)

ภายในชั้นมอเตอร์ ทุ่นและขดสนามแม่เหล็กต่อขนานกันอยู่ แต่ปกติจะมีตัวต้านทานช่วยสตาร์ทสอดแทรกไว้ในวงจรที่ต่อกับทุ่นเพื่อช่วยให้สตาร์ทมอเตอร์ได้สำเร็จ ดูรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 วงจรสตาร์ทชั้นท์มอเตอร์

โดยที่แรงบิดที่เกิดขึ้นมีค่าเป็นสัดส่วนกับความเข้มของสนามแม่เหล็ก ฉะนั้นขณะเริ่มสตาร์ทจะต้องจัดให้มีปริมาณกระแสไหลผ่านขดแม่เหล็กให้มากที่สุด ข้อนี้กระทำได้โดยหาทางทำให้ความต้านทานในวงจรขดแม่เหล็กมีค่าต่ำสุด หรือลดค่าตัวต้านทานทางจากรีโอสแตตให้มีค่าเป็นศูนย์ในวงจรขดแม่เหล็กนั่นเอง เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนเราจะเพิ่มความต้านทานเพื่อลดกระแสที่ไหลผ่านขดแม่เหล็กลง สนามแม่

เหล็กก็จะลดลงด้วย ผลคือแรงบิดก็จะลดลง แต่ต่อมาไม่นานปริมาณกระแสจะไหลผ่านทุ่นมากขึ้น ทำให้มีแรงบิดเกิดมากขึ้นตามไปอีก แรงบิดที่เกิดขึ้นในช่วงนี้จะแข็งแรงกว่าภาระ ทำให้หมุนขับโหลดนั้นๆได้ จำนวนกระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ขณะไม่มีโหลดเทียบกับขณะมีโหลดสูงสุดของมอเตอร์ชนิดนี้มีค่าประมาณเท่าๆกัน มอเตอร์ชนิดนี้ให้แรงบิดขณะสตาร์ทต่ำกว่ามอเตอร์อนุกรม

คุณสมบัติพิเศษ : ชั้้นท์มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ ณ ทุกสภาวะของโหลดเรียกว่าเป็น Constant-Speed Motor

มอเตอร์ชนิดนี้สามารถปรับตัวไปใช้งานในโหมด Regenerative Braking ได้ และสามารถพบได้ในการใช้งานกับรถไฟฟ้าไฮบริดอยู่บ้าง และในความเป็นจริงแล้ว มอเตอร์ชนิดนี้ดีกว่ามอเตอร์อนุกรม เนื่องจากมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าในระดับแรงบิดที่ต่ำ และมีแรงบิดที่สูงกว่าที่ระดับความเร็วสูง ซึ่งเป็นประโยชน์ในการใช้งานด้านประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ความเร็วต่ำ และใช้งานด้านแรงบิดที่ความเร็วสูง แต่การควบคุมชั้้นท์มอเตอร์จะซับซ้อนกว่า ซึ่งเราจะต้องควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์ที่ระดับความเร็วต่ำ แล้วเปลี่ยนมาควบคุมสนามแม่เหล็กที่ความเร็วสูง ส่วนการใช้งานของชั้้นท์มอเตอร์ในโหมด Regenerative Braking เราจะต้องควบคุมทิศทางกระแสของสนามแม่เหล็ก

มอเตอร์ ประสม (Compound Motor)

มอเตอร์ประสมแบ่งขดลวดสนามแม่เหล็กออกเป็นสองตอน ตอนที่หนึ่งต่ออนุกรมกับทุ่น ตอนที่สองต่อขนานกับขดลวดตอนที่หนึ่ง ดูรูปที่ 2-5ก จึงมอเตอร์ที่รวมคุณสมบัติของทั้งมอเตอร์อนุกรม และชั้้นท์มอเตอร์ไว้ด้วยกัน ความหมายคือ มอเตอร์สามารถใช้งานได้เหมือนกับ มอเตอร์อนุกรม สำหรับการใช้งานเพื่อการขับเคลื่อนรถ และสามารถใช้งานได้เหมือนกับชั้้นท์มอเตอร์สำหรับการใช้งานในโหมด Regenerative Braking

ความสามารถในการดึงโหลดได้ ของมอเตอร์ กระแสตรง

รถไฟฟ้าไฮบริดที่ใช้มอเตอร์กระแสตรงขับเคลื่อน จะต้องมีความสามารถดึงโหลดหรือห้ามล้อโหลดได้ด้วย โดยใช้มอเตอร์นั้นๆควบคู่กับ ระบบห้ามล้อเชิงกล หรือห้ามล้อแม่เหล็ก หรือห้ามล้อไฮดรอลิกประกอบกัน ตัวมอเตอร์เองก็จะต้องสามารถดึงโหลดหรือห้ามล้อตนเอง และจะต้องสามารถรักษาโหลดไว้ได้ด้วยแรงบิดที่จำนวนเพียงพอด้วยพร้อมกัน

สภาพส่งกำลัง หยุด-เดิน เดิน-หยุดเช่นนี้ใช้ชุดดีซีมอเตอร์เอนเนเรเตอร์จะเหมาะกับงานที่สุดเพราะขณะดึงโหลด มอเตอร์จะกินกำลังน้อยลง จำนวนกำลังที่เคยดึงออกมาจะต้องส่งคืนกลับเข้าระบบดันกำลังด้วยโหมด Regenerative Braking เป็นการประหยัดกำลังงาน

ลักษณะงานที่ นิยมใช้มอเตอร์ กระแสตรง

ลักษณะงานที่นิยมใช้มอเตอร์กระแสตรงเป็นต้นกำลังขับ ได้แก่

1. งานที่ต้องใช้ค่าความเร็วรอบต่ำสุดและสูงสุดที่แตกต่างกันได้มาก กล่าวคือ เป็นงานที่ต้องใช้พิสัย(Range)ความเร็วรอบกว้าง และสามารถปรับค่าความเร็วรอบได้ตามต้องการ
2. งานที่ต้องการแรงบิดคงที่หรือปรับค่าได้ หรือกระทำทั้งสองอย่างพร้อมกัน
3. งานที่ต้องการการเร่งหรือลดความเร็วรอบได้เร็ว หรือกลับทางหมุนได้เร็ว
4. งานที่ต้องการความคุมความเร็วรอบได้ละเอียดใกล้เคียงความต้องการได้มากที่สุด และเร็วที่สุด เช่น ล้อคิงลวดด้วยแรงดึงที่สม่ำเสมอ
5. งานที่ต้องการแรงบิดโอเวอร์ดโหลดจำนวนสูงๆ
6. งานที่ต้องการแรงบิดห้ามลื้อ

ส่วนลักษณะการใช้งานของมอเตอร์กระแสตรงขับล้อพาหนะ จะต้องมึลักษณะสร้างที่แข็งแรงมาก ทนต่อความร้อน ความชื้น ความลั่นสะเทือน และความเร็วรอบสูงได้ดี ซึ่งโดยปกติแล้วมอเตอร์อนุกรมจะเหมาะสมที่สุดในการใช้งานประเภทนี้

เนื่องจากมอเตอร์กระแสตรงมีน้ำหนักมาก เราจึงสามารถใช้งานได้ที่ความเร็วจำกัด ด้วยข้อจำกัดนี้การใช้งานมอเตอร์ เราจึงนำมาใช้กับรถไฟฟ้าไฮบริดที่มีขนาดเล็ก เพราะถ้าจะนำไปใช้งานในรถทั่วไปแล้ว เราจะต้องใช้มอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก อีกทั้งจะเกิดปัญหาเรื่องการระบายความร้อน ด้วยเหตุนี้มอเตอร์กระแสตรงจึงถูกจำกัดการใช้งานในรถที่เคลื่อนที่ช้าและมีขนาดใหญ่มาก หรือในรถสมรรถนะต่ำที่มีขนาดเล็ก มอเตอร์อนุกรมจะมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางในรถขนาดเล็กในประเทศญี่ปุ่น ทวีปยุโรป และประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับรถทั่วไปที่มีขนาดใหญ่กว่านั้น เราจะต้องใช้มอเตอร์ที่มีกำลังมาก ซึ่งในกรณีนี้มอเตอร์กระแสสลับจะเป็นตัวเลือกที่ดีกว่า

ข้อเสียต่างๆ ของมอเตอร์กระแสตรงในด้านการใช้งานนั้น ซึ่งในที่นี้เราจะขอกกล่าวถึงชั้นมอเตอร์เป็นตัวอย่าง ดังนี้

-สมรรถนะของมอเตอร์จะลดลง ขณะที่ความเร็วเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นข้อเสียที่สำคัญสำหรับการใช้งานในช่วงความเร็วสูง

-ในช่วงภาระที่เพิ่มขึ้นของมอเตอร์เป็นช่วงๆ เช่น การเร่งความเร็ว กระแสอาร์มเจอร์จะต้องป้อนให้กับมอเตอร์ในขณะที่ภาระเพิ่มขึ้นในแต่ละครั้งเป็นช่วงๆ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดความสูญเสียโดยเปล่าประโยชน์

-สำหรับในกรณีที่มอเตอร์เปลี่ยนการทำงานเป็น ดีซีเจนเนอเรเตอร์ในโหมด Regenerative

Braking เราจะต้องควบคุมสนามแม่เหล็กไฟฟ้าย้อนกลับด้วยวงจรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสจวณไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-การนำพลังงานระหว่างการเบรคกลับคืนมาใช้ประโยชน์จะเป็นไปได้ที่ประสิทธิภาพการ
ใช้งานต่ำเท่านั้น

สภาพการใช้งานของมอเตอร์ กระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขณะใช้งานด้วยกำลังที่ต่อเนื่อง(Continuous Rating) จะสามารถ
ใช้งานโอเวอร์โหลดได้อย่างปลอดภัยภายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง กล่าวคือ

ด้วยระยะเวลา 60 นาที ด้วยโหลด 135%

30 นาที ด้วยโหลด 140%

15 นาที ด้วยโหลด 145%

5 นาที ด้วยโหลด 150%

พิสัยของระยะเวลาโอเวอร์โหลด คือ 5-60 นาที

มอเตอร์ทุกตัวที่ขณะใช้งาน ได้รับแรงดันเข้าที่ทันตามค่าที่กำหนดไว้ จะสามารถให้
สมรรถนะกำลังคลาดเคลื่อน 10% ของค่านสมรรถนะกำลังที่กำหนดไว้ทุกครั้ง หากค่าแรงดัน
เปลี่ยน ค่ากำลังก็จะเปลี่ยนด้วย

มอเตอร์ตัวใดที่ใช้งาน ณ อุณหภูมิห้องร้อนกว่า 40 องศาเซลเซียส จะให้ค่าสมรรถนะ
กำลังลดลงจากค่าที่กำหนดไว้เพราะช่วง Temperature Rise ลดลง

อย่างไรก็ตามเรื่องโอเวอร์โหลดนี้ NEMA ได้กำหนดไว้ว่ามอเตอร์ทุกตัวจะต้องสามารถใช้
โอเวอร์โหลดได้ 150% ด้วยค่ากระแสที่โหลดสูงสุดนาน 1 นาที ได้ทุกความเร็รรอบ

2.6.2 มอเตอร์กระแสสลับ (AC Motor)

มอเตอร์กระแสสลับถูกออกแบบมามากมายหลายชนิดขึ้นอยู่กับการใช้งานซึ่งสามารถแยก
ออกเป็นชนิดพื้นฐานได้ 3 ชนิด คือ

- มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor)
- มอเตอร์ซิงโครนัส (Synchronous Motor)
- มอเตอร์คอมมิวเตเตอร์ (Commutator Motor)

มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor)

มอเตอร์เหนี่ยวนำถูกใช้งานอย่างแพร่หลายมาก จำแนกได้เป็นสองประเภทใหญ่ ๆ คือ
มอเตอร์ขนาดเล็กเฟสเดียว และมอเตอร์โพลิเฟสขนาดใหญ่ มอเตอร์เหนี่ยวนำใช้เป็นต้นกำลังขับ
เคลื่อน ที่ต้องการใช้ทั้งความเร็วรอบคงที่ หรือความเร็วรอบที่ช้าลงกว่าเดิม และหมุนกลับทางได้
ด้วย(ในบางกรณี) หรือความเร็วรอบหลายชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบสำคัญของมอเตอร์เหนี่ยวนำได้แก่ ขดสเตเตอร์และทุ่นโรเตอร์ ขดสเตเตอร์นั้นปกติจะติดอยู่กับกรอบตัวถังมอเตอร์ สร้างเป็นแท่งขดแม่เหล็กหรือแกนแม่เหล็ก เป็นแหล่งรวมเส้นแรงแม่เหล็กให้มีความเข้มข้น สันับสนุนพลังงานอำนาจแม่เหล็กของขดปฐมภูมิ ส่วนทุ่นโรเตอร์เป็นแกนทุ่นหมุน แกนแม่เหล็กในทุ่นจะต้องช่วยสร้างทางวงจรแม่เหล็กให้ครบวงจร เรียกว่า ขดทุติยภูมิ ทุ่นโรเตอร์ต้องหมุนเพียงอยู่ภายในขดสเตเตอร์ โดยให้มีระยะช่องว่างอากาศห่างกันแคบมาก อย่าให้ทุ่นโรเตอร์และสเตเตอร์ต้องสัมผัสกันเป็นอันขาด ตัวแกนคอร์ที่ทำเป็นร่องฝังขดสเตเตอร์อาจสร้างจากแผ่นเหล็กไฟฟ้าที่นำเส้นแม่เหล็กได้ดีและมีความสูญเสียต่ำ โดยนำแผ่นเหล็กนั้นหลายๆแผ่นมาวางซ้อนกันจนหนาได้ตามความยาวที่ต้องการ ลวดตัวนำสเตเตอร์จะต้องวางหรือสอดไว้ในร่องขดสเตเตอร์ในกรอบโครงตัวถังมอเตอร์ดังกล่าว กระแสปฐมภูมิที่ผ่านเข้าขดสเตเตอร์จะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าสลับ ขั้วเหนือและใต้สลับกันอยู่เรื่อยไป เส้นแรงแม่เหล็กจะต้องผ่านแกนคอร์ของขดสเตเตอร์ ผ่านช่องว่างอากาศ เข้าสู่แกนคอร์ของทุ่นโรเตอร์แล้วผ่านข้ามช่องว่างอากาศ เข้าสู่แกนคอร์ของขดสเตเตอร์ที่อยู่ตรงข้าม ครบวงจรแม่เหล็ก ลักษณะการเกิดของกระแสเหนี่ยวนำในขดทุติยภูมิในทุ่นโรเตอร์นี้เองเป็นตัวให้ชื่อมอเตอร์ชนิดนี้ว่า “มอเตอร์เหนี่ยวนำ” มอเตอร์จะหมุนเมื่อมีการเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าในตัวนำ ซึ่งความเร็วในการหมุนของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะเป็นความเร็วเชิงโคจรนี้ของมอเตอร์โดยสามารถกำหนดได้จากจำนวนขั้วในสเตเตอร์และความถี่ของกระแสที่ป้อนเข้าไป ความเร็วเชิงโคจรนี้คือความเร็วสูงสุดของมอเตอร์ มอเตอร์จะสามารถหมุนได้ด้วยความเร็วไม่เกินความเร็วในการหมุนของสนามแม่เหล็ก ในขณะที่ทุ่นโรเตอร์อยู่กับที่เนื่องจากไม่มีการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก ไม่มีเส้นแรงผ่านตัวนำของทุ่นโรเตอร์ ซึ่งก็คือแรงบิดเท่ากับศูนย์ และเมื่อทุ่นโรเตอร์หมุน ความเร็วในการหมุนของจะช้ากว่าการหมุนของสนามแม่เหล็กเสมอ ความแตกต่างของความเร็วในการหมุนระหว่างทุ่นโรเตอร์และสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เรียกว่า สลิป ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความเร็วเชิงโคจร

มอเตอร์เหนี่ยวนำที่นำมาใช้งานในรถไฟฟ้าไฮบริดจะเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด Squirrel cage ด้วยความเหมาะสมในการใช้งาน คือ สามารถทำงานได้ที่ความเร็วสูง (10,000 ถึง 20,000 รอบต่อนาที) น้ำหนักเบา มีขนาดเล็ก อีกทั้งยังมีอัตราส่วนของกำลังต่อน้ำหนักดีกว่ามอเตอร์กระแสตรง และให้ประสิทธิภาพมากกว่า ซึ่งเราจะใช้มอเตอร์ชนิดนี้แทนมอเตอร์กระแสตรงสำหรับการใช้งานในรถไฟฟ้าไฮบริด เมื่อต้องการกำลังในการขับเคลื่อนรถตั้งแต่ 40 แรงม้าขึ้นไป และได้มีการพัฒนาปรับปรุงวัสดุสำหรับใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อให้มีความสามารถในการทนความร้อนที่อุณหภูมิสูง วัสดุที่พัฒนาขึ้นมานั้นแสดงในตารางที่ 2-3

มอเตอร์ซิงโครนัส (Synchronous Motor)

มอเตอร์ซิงโครนัส คือ มอเตอร์ที่หมุนด้วยความเร็วรอบซิงโครนัสตลอดเวลา มีความเร็วในการหมุนที่จำกัด ทำให้สามารถใช้ประโยชน์ได้น้อยกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำ แต่สิ่งหนึ่งที่เหมือนๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีข้อผิดพลาดเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันกับมอเตอร์เหนี่ยวนำคือ จะต้องมิชดสเตรเตอร์รับป้อนไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อให้กำเนิดสนามแม่เหล็กหมุนตามจำนวนความถี่เสมอ

ตารางที่ 2-3
วัสดุกันความร้อนที่ใช้กับมอเตอร์

ผลของอุณหภูมิสำหรับวัสดุกันความร้อนที่ใช้กับมอเตอร์จะลดลงถ้าวัสดุนั้นยังคงคุณสมบัติการกันความร้อนที่อุณหภูมิสูง วัสดุกันความร้อนแบ่งเป็น 4 จำพวกตามอุณหภูมิการกันความร้อน คือ A,B,F, และ H			
A-105°C	B-130°C	F-155°C	H-180°C
Varnish			
Modified phenolic	Polyester	Modified polyester	Silicone
Modified asphalt	Epoxy	Epoxy	Polyimide
Alkyd polyester	Modified phenolic		Modified polyester
Wire Insulation			
Vinyl acetal	Enamel plus	Modified polyester	Class yarn silicone
enamel	glass yarn	enamel	varnish covered
Polyurethane	Polyurethane-nylon	Esterimide	Polyimide enamel
		Polyester-amide	
Other			
Rag paper	Polyester film	Varnished glass	Glass cord Mica flake
Kraft paper	Polyester mat	Laminated glass	or paper
Acetate film	Varnished glass	Mica flake or paper	Laminated glass
Varnished cambric	Polyester glass	Glass cord	Polyamide fillm
Wood	Asbestos	Polyester glass	Polyamide varnished
Fiber	Melamine	Tetrafluoroethylene	glass
Cotten cord	glass cord	resin	Polyamide filament
	Polyamide cord	Aromatic polyamid	Aromatic polyamide
		Polyamid cord	Polyamide cord

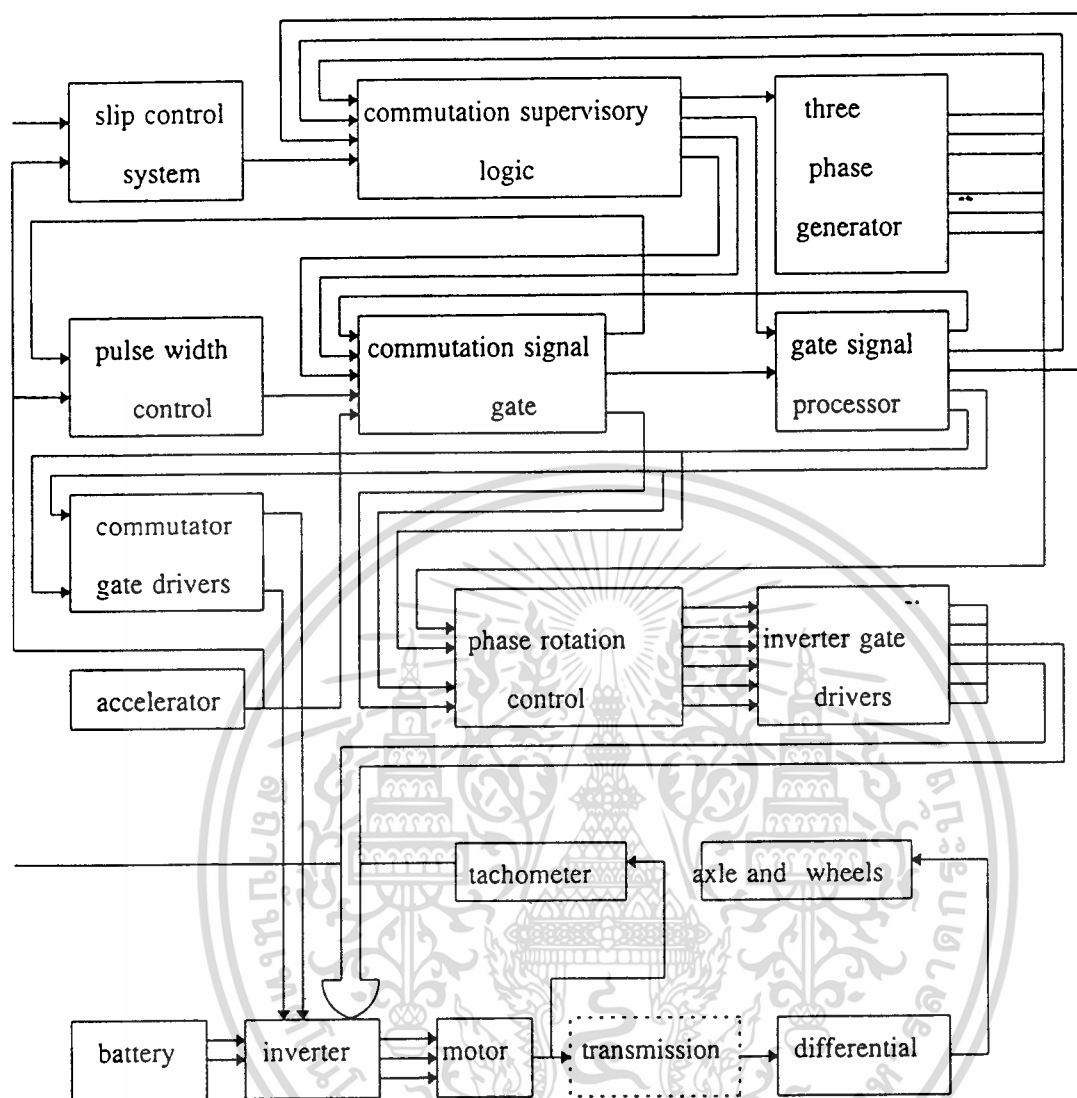
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ คอมมิวเตเตอร์ (Commutator Motor)

เป็นมอเตอร์ที่รวมคุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำและมอเตอร์ซิงโครนัสไว้ด้วยกัน สามารถนำมาใช้งานในระดับความเร็วที่แตกต่างกัน โดยใช้แหล่งจ่ายกำลังคงที่ แต่มีข้อเสีย คือ หลักการทำงานซับซ้อนและราคาแพง จึงทำให้ไม่นิยมนำมาดัดแปลงใช้งานในรถไฟฟ้าไฮบริด

ประโยชน์ของมอเตอร์กระแสสลับนอกเหนือจากการสามารถใช้งานได้ที่ความเร็วและประสิทธิภาพสูงแล้ว มอเตอร์ยังใช้กระแสไฟฟ้าขณะเริ่มสตาร์ทน้อย ในขณะที่ให้แรงบิดขณะเริ่มสตาร์ทสูง และการไม่มีแปรงถ่านและคอมมิวเตเตอร์ของมอเตอร์กระแสสลับ ทำให้ไม่เกิดปัญหาในด้านความสึกหรอของอุปกรณ์เหล่านี้ ซึ่งลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา อีกทั้งในระหว่างการทำงานของมอเตอร์ยังมีเสียงเงียบและสมรรถนะคงที่ แต่ที่ระดับความเร็วสูงมอเตอร์ต้องการการระบายความร้อน ซึ่งบริษัท ฟอร์ดมอเตอร์ ได้ทดลองใช้การระบายความร้อนด้วยน้ำมันในรถไฟฟ้าขนาดใหญ่ พบว่า ให้ประสิทธิภาพสูงและราคาไม่แพง แต่ในรถไฟฟ้าไฮบริดขนาดเล็ก จะมีความต้องการในการระบายความร้อนที่น้อยกว่า เราจึงสามารถใช้พัดลมระบายความร้อนก็เพียงพอแล้ว

มีการพัฒนาทางด้านเทคนิคขึ้นมาเพื่อที่จะสร้างระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้คอนแทคเตอร์(Contactors) จึงเป็นการกำจัดเสียงรบกวนในระบบขับเคลื่อน อีกทั้งยังไม่ต้องใช้ตัวต้านทานในการจำกัดกระแสไฟฟ้า ทำให้มีประสิทธิภาพการใช้งานที่สูงขึ้น และมอเตอร์เหนี่ยวนำยังมีราคาต่ำ ในขณะที่กำลังการขับเคลื่อนสูง และการบำรุงรักษาน้อยอีกด้วย แต่เนื่องจากการใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาควบคุมนี้ จึงทำให้การใช้งานมอเตอร์เหนี่ยวนำมีระบบการควบคุมที่ซับซ้อนมากกว่าการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงอย่างมาก รูปที่ 2-7 แสดงบล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมของมอเตอร์เหนี่ยวนำอย่างง่าย เพลาขับจะถูกต่อเข้ากับมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยมีอินเวอร์เตอร์(Inverter)ทำหน้าที่แปลงพลังงานจากแบตเตอรี่ ซึ่งพลังงานเป็นไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ส่งให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำในสัดส่วนของกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการใช้งาน เพื่อใช้ในการขับเคลื่อน เพลา ซึ่งการทำงานของอินเวอร์เตอร์นี้จะถูกกำหนดตามความต้องการของผู้ขับขี่ในการเร่งหรือลดความเร็ว ด้วยระบบควบคุมการทำงานย้อนกลับแบบปิด (Feedback Closed-loop system)



รูปที่ 2-7 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ข้อพิจารณาในการเลือกใช้งานมอเตอร์

ข้อพิจารณาในการกำหนดมอเตอร์เพื่อใช้งานคือ ต้องทราบปริมาณภาระที่มอเตอร์นั้นจะต้องขับทั้งหมดและแรงบิด มอเตอร์ที่เลือกกำหนดให้ใช้งาน จะต้องให้แรงบิดพอเพียงกับงาน แม้ว่าขณะใช้งานแรงดันอาจลดลงบ้าง มอเตอร์นั้นก็ยังจะต้องสามารถสตาร์ทและขับโหลดได้เสมอ

ข้อควรสังเกตอย่างยิ่งอีกข้อหนึ่ง คือ บริษัทผู้ผลิตมอเตอร์จะมักให้ค่ากำหนดสมรรถนะกำลังและแรงบิดต่ำกว่าค่าจริงเสมอ ซึ่งหมายความว่าถึงการกำหนดค่าความสามารถในการรับภาระที่ปลอดภัยไว้ เป็นการคูณกำลังม้าเฉลี่ยด้วยตัวคูณที่บอกภาระปลอดภัยที่มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถรับได้โดยไม่เกิดความเสียหาย เหตุผลคือเพื่อเป็นการประกันคุณภาพอย่างปลอดภัยไว้ก่อน ฉะนั้นเมื่อนำมาใช้งานจริง ๆ มอเตอร์ตัวนั้นจะทำงานด้วยโหลดเพียงบางส่วนไม่ใช่ที่โหลดสูงสุดและด้วยประสิทธิภาพที่ลดลงกว่าค่าที่ควรเป็นจริง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานมอเตอร์ให้ได้ประโยชน์มากที่สุด จะขึ้นอยู่กับ การเลือกมอเตอร์ให้เหมาะสมกับความต้องการในการใช้งาน ความต้องการกำลังและแรงบิดในการขับเคลื่อน โดยไม่เกิดความร้อนที่มอเตอร์มากเกินไปหรืออยู่ในขีดจำกัดของแรงบิดที่มอเตอร์สามารถผลิตได้ และการเปลี่ยนแปลงกำลังของมอเตอร์ก็สิ่งสำคัญในการเลือกใช้งาน ซึ่งควรมีช่วงการเปลี่ยนแปลงของกำลังการใช้งานมอเตอร์กว้างเพื่อการใช้ขับเคลื่อนพาหนะ ซึ่งในส่วนนี้เราอาจใช้ล้อยูนกำลังช่วย โดยล้อยูนกำลังจะทำหน้าที่สำรองกำลังเพื่อการใช้งานที่กำลังสูงสุดในช่วงระยะเวลาที่ต้องการ เช่น การเร่งความเร็ว และหลังจากนั้นมอเตอร์ก็จะสร้างกำลังที่สูญเสียไปให้กับล้อยูนกำลังขึ้นใหม่

ในการเลือกใช้งานมอเตอร์ เราจะต้องพิจารณาถึงแรงบิดของมอเตอร์ 2 ชนิด คือ แรงบิดขณะเริ่มสตาร์ท และแรงบิดขณะขับเคลื่อน แรงบิดของมอเตอร์จะต้องมีค่ามากกว่าความต้องการของรถขณะเริ่มสตาร์ทไปจนถึงที่ความเร็วสูงสุดของรถ และควรจะมีค่ามากพอเมื่อมีการเพิ่มภาระของรถขณะเริ่มสตาร์ท และอีกกรณีหนึ่ง แรงบิดจะต้องมีค่ามากพอที่จะสามารถเร่งความเร็วด้วยอัตราเร่งที่แตกต่างกัน ซึ่งก็คือ มอเตอร์จะต้องมีแรงบิดส่วนเกินที่ค่ามากกว่าค่าใช้งานเพื่อไว้ในกรณีต่างๆ

ดังกล่าวข้างต้น เพื่อเวลาเร่งความเร็วแบบทันทีทันใด เพื่อความต้องการแรงบิดของการเร่งความเร็วที่เพียงพอ เวลาในการเร่งความเร็วของมอเตอร์ จะแปรผันโดยตรงกับความเฉื่อยของรถ และแปรผกผันกับแรงบิดของมอเตอร์ใช้งาน นอกเหนือจากนี้ในกรณีการเร่งความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง แรงบิดจะมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของความเร็วในการหมุนมอเตอร์ด้วยลักษณะกราฟเส้นตรง ในขณะที่ มอเตอร์กระแสสลับจะไม่ใช้กราฟเส้นตรง ดังนั้น เวลาของการเร่งความเร็วของมอเตอร์กระแสสลับ เราจะต้องใช้วิธีการประมาณค่า และในการเลือกกำลังของมอเตอร์เพื่อใช้งานจะต้องคำนึงถึงภาระที่มอเตอร์จะต้องรับหรือแรงม้าที่ต้องการเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนรถ ซึ่งจะได้ว่ากำลังของมอเตอร์โดยปกติแล้วควรจะมีค่ามากกว่ากำลังที่จะต้องรับภาระสูงสุดของรถ และในบางกรณีเราอาจจะต้องใช้งานมอเตอร์ที่ภาระสูงสุดเป็นเวลานาน ๆ ซึ่งอาจทำให้มอเตอร์ร้อนจากการรับภาระมากและนานเกินไป ซึ่งการเลือกใช้งานมอเตอร์เราจะต้องคำนึงถึงกรณีนี้ด้วย

บทที่ 3

การพัฒนารถไฟฟ้าไฮบริด

3.1 ระบบเครื่องยนต์

ข้อมูลจำเพาะระบบเครื่องยนต์ของรถไฟฟ้าไฮบริดต้นแบบ
เครื่องยนต์

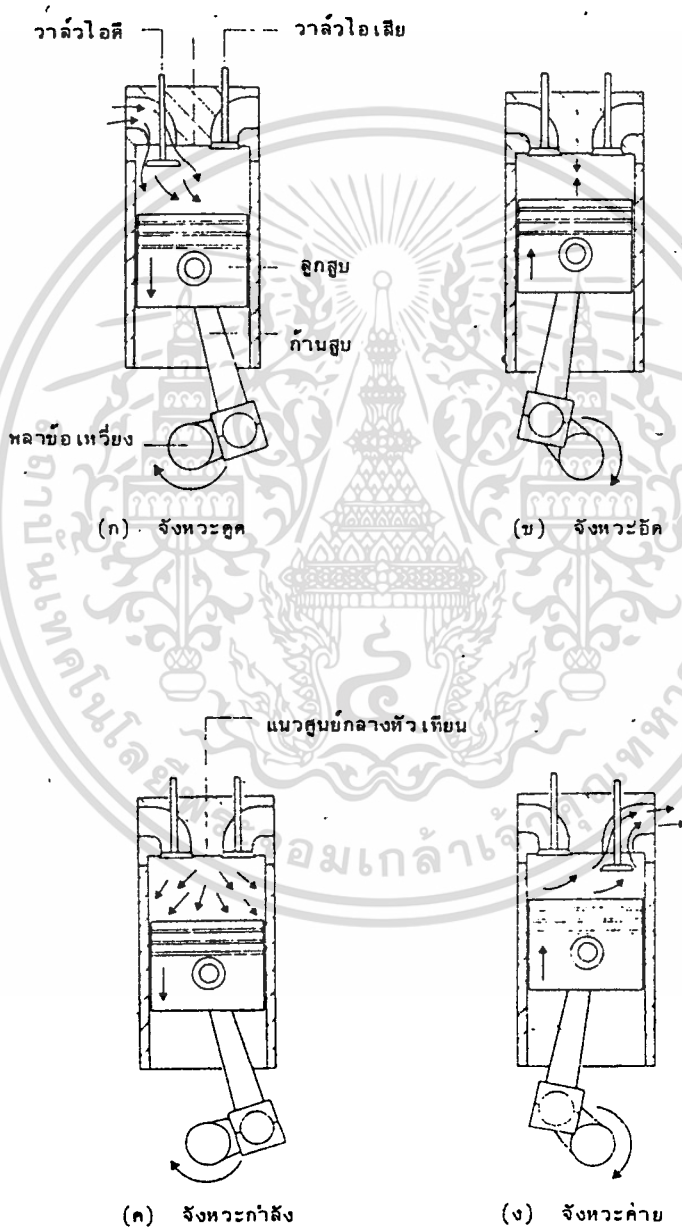
เครื่องยนต์ DAIHATSU AB	4 จังหวะ
ความจุ	550 ซีซี
คาร์บูเรเตอร์	
ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ	
จำนวนกระบอกสูบและการจัด	2 สูบแบบเรียง
ชนิดห้องเผาไหม้	multi-spherical
เส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ*ช่วงชัก	71.6*68.0
อัตราส่วนการอัด	9.2:1
ความดันการอัด (kg/cm ต่อ rpm)	12.5/400
กำลังสูงสุด (Ps/rpm)	30/5000
แรงบิดสูงสุด (kg-m/rpm)	4.2/4000
ความเร็วสูงสุด (km/hr)	100
การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (ที่ 60 km/hr)	18 km/l
คลัตช์ Dry	
Diameter	160
เกียร์	เดินหน้า 4 อัตราทด all synchromesh
	ถอยหลัง 1 อัตราทด manual gear box
เบรก	Rear-Drum Brake decelerator
	brake pressure regulator
กันสะเทือน	
	หน้า โช้คคู่ ไฮโดรลิก รับภาระได้ 250 กิโลกรัม
	หลัง แหนบหลายชั้น และโช้ค

Rear Axle Hijet

3.1.1 เครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ

วัฏจักรการทำงาน

เพลาคือเหวี่ยงหมุนสองรอบจึงจะครบวัฏจักรการทำงาน 4 จังหวะ นั่นคือลูกสูบ เครื่องยนต์เคลื่อนที่ขึ้นสองครั้งและเคลื่อนที่ลงสองครั้งสลับกัน เครื่องยนต์จะทำงานหนึ่งจังหวะ เมื่อเพลาคือเหวี่ยงหมุนครึ่งรอบ ลำดับการทำงานของจังหวะทั้ง 4 มีดังนี้



รูปที่ 3-2 วัฏจักรการทำงาน of เครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ

จังหวะดูด ลูกสูบเคลื่อนที่ลงในขณะที่เพลาค้อเหวี่ยงหมุนครึ่งรอบ ในขณะเดียวกันวาล์วไอดีเปิดออกและไอดี (ส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิง) ถูกดูดเข้ากระบอกสูบ รูปที่ 3-2(ก) หลังจากสิ้นสุดจังหวะดูด วาล์วไอดีจะปิด ไอดีจะถูกกักไว้ในกระบอกสูบ

จังหวะอัด เพลาค้อเหวี่ยงหมุนต่อไปอีกครึ่งรอบ วาล์วไอดีและวาล์วไอเสียปิด ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นอัดไอดีจนมีปริมาตรเล็กลงเหนือลูกสูบภายในห้องเผาไหม้ เมื่อสิ้นสุดจังหวะอัด จะเกิดประกายไฟที่หัวเทียนซึ่งทำให้ไอดีที่ถูกอัดนั้นเผาไหม้ รูปที่ 3-2(ข)

จังหวะกำลัง เมื่อสิ้นสุดจังหวะอัด ไอดีภายในห้องเผาไหม้จะเกิดการเผาไหม้เนื่องจากประกายไฟที่หัวเทียน และเกิดแรงดันกระทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลง รูปที่ 3-2(ค) แรงที่กระทำกับลูกสูบส่งต่อไปยังเพลาค้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ซึ่งนำไปใช้งาน เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงจนเข้าใกล้จุดต่ำสุด วาล์วไอเสียจะเปิดออกเพื่อปล่อยให้ไอเสียไหลออกจากกระบอกสูบ

จังหวะคาย หลังจากวาล์วไอเสียเปิดออกแล้ว ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นและดันให้ไอเสียภายในกระบอกสูบออกไปทางช่องไอเสีย รูปที่ 3-2(ง) อย่างไรก็ตามยังมีไอเสียจำนวนเล็กน้อยติดค้างอยู่ในห้องเผาไหม้เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ถึงจุดสูงสุด เมื่อสิ้นสุดจังหวะคายลูกสูบเริ่มเคลื่อนที่ลงเป็นการเริ่มต้นจังหวะดูดใหม่อีกครั้งหนึ่ง

ศัพท์เทคนิคของเครื่องยนต์

เครื่องยนต์มีศัพท์เทคนิคเฉพาะซึ่งจำเป็นต้องทำความเข้าใจ รูปที่ 3-3 แสดงชิ้นส่วนภายในของเครื่องยนต์ซึ่งได้แก่กระบอกสูบ ลูกสูบ ก้านสูบ และเพลาค้อเหวี่ยง พร้อมศัพท์เทคนิคที่ควรทราบบางคำ

ศูนย์ตายบน (Top Dead Center)

ศูนย์ตายบนเขียนย่อว่า TDC เป็นตำแหน่งสูงสุดของลูกสูบที่สามารถเคลื่อนที่ขึ้นไปได้ในกระบอกสูบ ศูนย์ตายบนจะเกิดเมื่อสิ้นสุดจังหวะอัดและจังหวะคาย

ศูนย์ตายล่าง (Bottom Dead Center)

ศูนย์ตายล่างเขียนย่อว่า BDC เป็นตำแหน่งต่ำสุดของลูกสูบที่สามารถเคลื่อนที่ลงไปได้ในกระบอกสูบ เมื่อสิ้นสุดจังหวะดูดและจังหวะกำลัง ลูกสูบจะอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ตายล่าง

ช่วงชัก (Stroke)

ในเครื่องยนต์แบบลูกสูบชัก ระยะการเคลื่อนที่ของลูกสูบจาก TDC ถึง BDC หรือกลับกันคือ ช่วงชักของลูกสูบ

ระยะเหวี่ยงเพลาค้อเหวี่ยง (Crankshaft Throw)

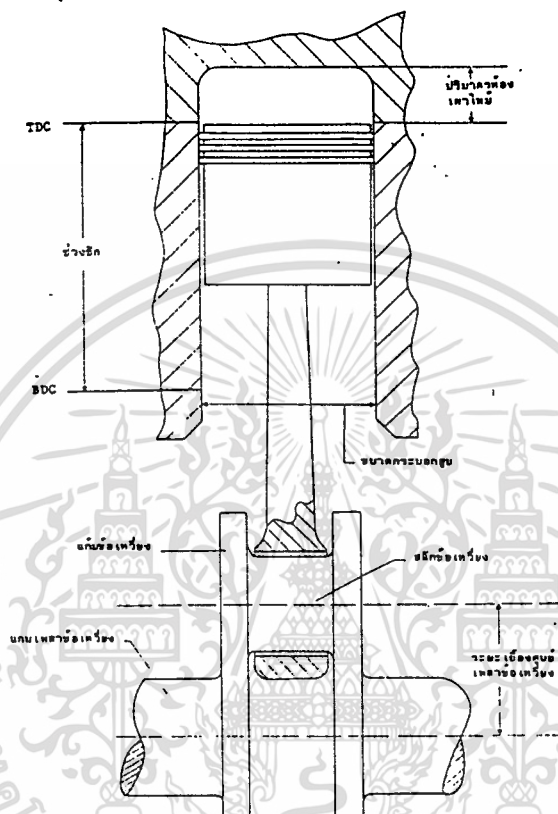
เป็นระยะห่างระหว่างศูนย์กลางแบร็งเพลาค้อเหวี่ยงกับศูนย์กลางสลักข้อเหวี่ยง ระยะเหวี่ยง

ศูนย์กลางข้อเหวี่ยงมีความยาวเป็นครึ่งหนึ่งของช่วงชัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดกระบอกสูบ (Cylinder Bore)

เป็นความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ ถ้าขนาดกระบอกสูบเท่ากับช่วงชักเรียกว่า “สแควร์” (square) ถ้าขนาดกระบอกสูบยาวกว่าช่วงชักเรียกว่า “โอเวอร์สแควร์” (oversquare) ถ้าขนาดกระบอกสูบสั้นกว่าช่วงชักเรียกว่า “อันเดอร์สแควร์” (undersquare)



รูปที่ 3-3 ศัพท์เทคนิคของเครื่องยนต์

ปริมาตรขจัด (Displacement Volume)

เป็นปริมาตรที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของลูกสูบในกระบอกสูบระหว่าง TDC และ BDC ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$V = (\pi b^2 sn)/4 \quad \text{เมื่อ } V = \text{ปริมาตรขจัด}$$

b = ขนาดกระบอกสูบ

s = ช่วงชัก

n = จำนวนกระบอกสูบ

โดยทั่วไปนิยมบอกปริมาตรขจัดเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งเขียนย่อว่า ซีซี

อัตราส่วนการอัด (Compression Ratio)

ลูกสูบเครื่องยนต์เคลื่อนที่ระหว่าง TDC และ BDC ทำให้เกิดปริมาตรขจัดตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ในขณะที่ลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่ง TDC จะมีช่องว่างระหว่างส่วนบนของลูกสูบกับฝาสูบซึ่งเรียกว่าห้องเผาไหม้ ปริมาตรห้องเผาไหม้รวมกับปริมาตรขจัดเรียกว่า ปริมาตรกระบอกสูบ ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างปริมาตรกระบอกสูบกับปริมาตรห้องเผาไหม้เรียกว่า อัตราส่วนการอัด

นั่นคือ

$$\text{อัตราส่วนการอัด} = (\text{ปริมาตรกระบอกสูบ})/(\text{ปริมาตรห้องเผาไหม้})$$

แรงบิดเครื่องยนต์ (Engine Torque)

แรงบิด คือ ความพยายามในการหมุน ความดันที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบเนื่องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ทำให้เกิดแรงกระทำกับลูกสูบและแรงนี้ส่งผ่านไปยังเพลาคือเพลาข้อเหวี่ยงโดยก้านสูบ จึงเกิดแรงบิดเพลาคือเพลาข้อเหวี่ยงให้หมุน หน่วยของแรงบิดคือ นิวตัน-เมตร (N.-m)

ส่วนประกอบหลักของเครื่องยนต์

เสื้อสูบและเรือนเครื่องยนต์ (Cylinder Block and Crankcase)

เสื้อสูบมีกระบอกสูบซึ่งทำหน้าที่นำการเคลื่อนที่ของลูกสูบที่อยู่ภายใน ส่วนล่างของเสื้อสูบคือเรือนเครื่องยนต์ซึ่งทำหน้าที่รองรับเพลาคือเพลาข้อเหวี่ยงเครื่องยนต์ ส่วนล่างสุดของเรือนเครื่องยนต์ยึดกับอ่างน้ำมันหล่อลื่นด้วยหมุดเกลียว

อ่างน้ำมันหล่อลื่น (Crankcase Sump, Oil Pan)

ทำจากเหล็กกล้าและยึดติดกับส่วนล่างของเรือนเครื่องยนต์ด้วยสลักเกลียว โดยมีปะเก็นป้องกันการรั่วไหลของน้ำมันหล่อลื่น ทำหน้าที่ปิดส่วนล่างของเรือนเครื่องยนต์ และเป็นแหล่งเก็บน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในระบบหล่อลื่น ภายในอ่างน้ำมันหล่อลื่นจะมีแผ่นกันกระลอกเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมันหล่อลื่นกระลอกขึ้นมาส่วนบน และทำให้ปั้มน้ำมันหล่อลื่นไม่ขาดน้ำมันหล่อลื่นเป็นช่วงๆ ส่วนล่างของอ่างน้ำมันมีช่องถ่ายน้ำมันหล่อลื่นซึ่งใช้ในการเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่น ช่องดังกล่าวจะมีหมุดเกลียวอุดไว้เพื่อไม่ให้ น้ำมันรั่วไหลออกมา

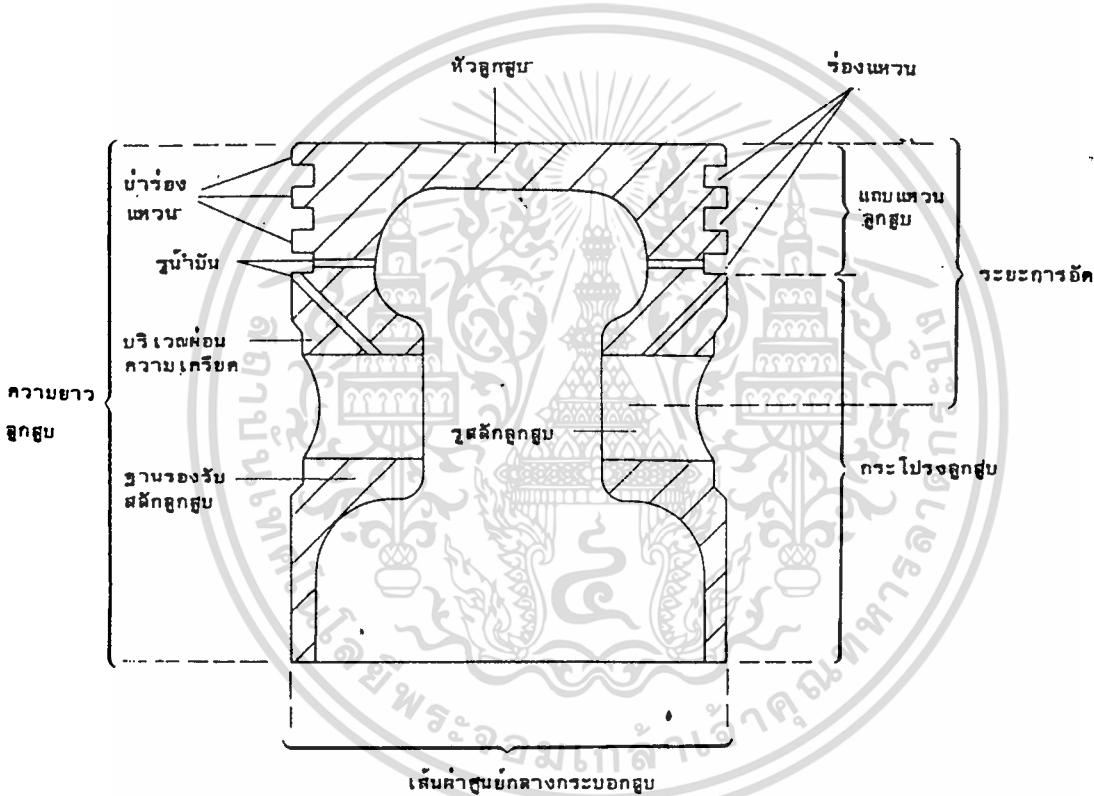
ฝาสูบ (Cylinder Head)

ส่วนบนสุดของเครื่องยนต์คือฝาสูบ ซึ่งยึดติดกับเสื้อสูบด้วยหมุดเกลียวหรือสตั๊ด โดยมีปะเก็นคั่นกลาง ทำหน้าที่ปิดส่วนเปิดด้านบนของกระบอกสูบ ประกอบด้วยห้องเผาไหม้และวาล์ว

ปะเก็นฝาสูบ (Cylinder Head Gasket)

ปะเก็นฝาสูบซึ่งอยู่ระหว่างฝาสูบกับเสื้อสูบ ทำหน้าที่ ซีลไม่ให้ความดันและน้ำหล่อเย็นรั่วไหล ถึงแม้ว่าผิวหน้าของฝาสูบและเสื้อสูบจะได้รับการตัดแต่งจนเรียบและขนานกัน แต่ก็ยังคงมีบางแห่งไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นปะเก็นจึงทำหน้าที่ชดเชยส่วนที่ไม่สม่ำเสมอดังกล่าว และทำให้สามารถป้องกันการรั่วไหลของความดันจากกระบอกสูบได้ ปะเก็นจะมีรูเจาะไว้ซึ่งตรงกับช่องเปิดต่าง ๆ บนฝาสูบและเสื้อสูบ

ลูกสูบ (Piston)



รูปที่ 3-4 โครงสร้างลูกสูบ

ลูกสูบ ทำหน้าที่ อัดไอดีหรืออากาศภายในกระบอกสูบ และเป็นตัวกลางส่งผ่านพลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไปยังก้านสูบ ลูกสูบทำจากอลูมิเนียมผสม เพราะมีความแข็งแรงและน้ำหนักเบา ลูกสูบต้องได้รับการออกแบบให้สามารถทนต่อความดันและความร้อนสูงได้ดีและต้องมีน้ำหนักเบา ลูกสูบมีรูเจาะในแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง สำหรับสอดสลักลูกสูบเพื่อยึดให้ลูกสูบติดกับก้านสูบโดยที่ลูกสูบสามารถขยับหมุนได้รอบสลักลูกสูบ โครงสร้างลูกสูบ รูปที่ 3-4 หัวลูกสูบมักแบนแต่อาจมีรูปร่างที่ได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับการออกแบบห้องเผาไหม้ หัวลูกสูบอาจเป็นหลุมหรือนูนขึ้นเพื่อควบคุมการเผาไหม้และอัตราส่วนการอัดภายในกระบอกสูบ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากหัวลูกสูบลงมาก็คือแถบแหวนลูกสูบซึ่งประกอบด้วยร่องแหวนจำนวน 3 ร่อง สำหรับสวมแหวนลูกสูบ ซึ่งแหวนลูกสูบ 2 อันบนเป็นแหวนอัด และแหวนอันล่างเป็นแหวนน้ำมัน ส่วนนูนระหว่างร่องแหวนเรียกว่าบาร่องแหวน ส่วนของลูกสูบถัดจากแถบแหวนลูกสูบลงมาเรียกว่ากระโปรงลูกสูบ ได้หัวลูกสูบด้านในอาจมีสันหรือครีบบนยื่นออกมาสำหรับช่วยในการกระจายความร้อนออกจากหัวลูกสูบไปยังแหวนลูกสูบ ฐานรองรับสลักลูกสูบซึ่งอยู่ใต้รูสลักลูกสูบทำหน้าที่ช่วยรับแรงที่สลักลูกสูบกระทำกับลูกสูบ

แหวนลูกสูบ (Piston Ring)

แหวนลูกสูบซึ่งสวมอยู่ในร่องแหวนส่วนบนของลูกสูบ แบ่งออกเป็นสองพวกใหญ่ๆ คือ แหวนอัดและแหวนน้ำมัน โดยที่แหวนอัด ทำหน้าที่ ซีลระยะช่องว่างระหว่างลูกสูบกับผนังกระบอกสูบ ช่วยในการอัดก๊าซภายในกระบอกสูบ ป้องกันการรั่วไหลของความดันออกจากลูกสูบ และแหวนน้ำมัน ทำหน้าที่ ควบคุมปริมาณน้ำมันหล่อลื่นบริเวณแหวนอัดและลูกสูบ และป้องกันไม่ให้มีน้ำมันหล่อลื่นส่วนเกินไหลเข้าไปในห้องเผาไหม้ ช่วยในการระบายความร้อนออกจากลูกสูบ และช่วยในการปรับปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่บริเวณผนังกระบอกสูบให้เหมาะสม

สลักลูกสูบ (Piston Pin)

ลูกสูบยึดต่อกับก้านสูบด้วยสลักลูกสูบซึ่งสอดผ่านรูสลักลูกสูบบนลูกสูบและบนก้านสูบ โดยที่ก้านสูบอยู่ตรงศูนย์กลางสลักลูกสูบ สลักลูกสูบมักทำจากเหล็กกล้าผสมนิเกิลและหล่อแข็งเพื่อให้มีอายุการใช้งานยาวนาน สลักลูกสูบมีลักษณะกลวงเพื่อลดน้ำหนักและแรงเฉื่อย

ก้านสูบ (Connecting Rod)

ทำหน้าที่ เชื่อมต่อระหว่างลูกสูบกับเพลาคือเหวี่ยงและเปลี่ยนการเคลื่อนที่ในแนวกลับไปกลับมาของลูกสูบเป็นการเคลื่อนที่แบบหมุนของเพลาคือเหวี่ยง ทำจากเหล็กกล้าผสมและทำส่วนตัดขวางเป็นรูปตัว “I” เพื่อความแข็งแรงแต่น้ำหนักเบา ปลายด้านบนของก้านสูบยึดติดกับลูกสูบด้วยสลัก ส่วนปลายด้านล่างยึดกับสลักข้อเหวี่ยงของเพลาคือเหวี่ยงโดยมีแบริ่งเป็นตัวกลางรองรับ

เพลาคือเหวี่ยงและแบริ่ง (Crankshaft and Bearing)

เพลาคือเหวี่ยง ทำหน้าที่ เปลี่ยนการเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมาของลูกสูบไปเป็นการเคลื่อนที่แบบหมุนโดยอาศัยก้านสูบ เพลาคือเหวี่ยงมีเรือนเครื่องยึดรองรับโดยใช้แบริ่งเป็นตัวกลางในการรับแรงและลดความฝืดของการหมุน

การคำนวณจำนวนองศาของการหมุนของเพลาคือเหวี่ยงก่อนเกิดจังหวะกำลัง ให้ใช้สูตรดังนี้
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต
นี่ไม่ใช่วิธีเดียวที่ถูกต้องอีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนองศา = $720/n$ เมื่อ n = จำนวนกระบอกสูบ
 ดังนั้น เครื่องยนต์ของรถไฟฟ้าไฮบริดคันแบบ จะได้

$$\text{จำนวนองศา} = 720/2 = 360 \text{ องศา} = 1 \text{ รอบ}$$

หมายความว่า เฟลาข้อเหวี่ยงหมุน 1 รอบ จะเกิด จังหวะกำลัง 1 ครั้ง

วาล์วและชุดกลไกวาล์ว (Valve and Valve Train)

การไหลของไอดีเข้ากระบอกสูบและไอเสียออกจากกระบอกสูบควบคุมโดยวาล์วไอดีและวาล์วไอเสียตามลำดับ การเปิดและปิดวาล์วไอดีและวาล์วไอเสียควบคุมด้วยชุดกลไกวาล์วซึ่งเป็นแบบโอเวอร์เฮดแคม (Overhead cam) หรือเขียนย่อว่า OHC โดยมีเฟลาถูกเบี่ยงติดตั้งอยู่เหนือฝาสูบ แทนการติดตั้งในเสื้อสูบ โอเวอร์เฮดแคมช่วยในการตอบสนองต่อการเปิดและปิดวาล์วรวดเร็วทันใจ เป็นการช่วยเพิ่มสมรรถนะเครื่องยนต์ ดังรูปที่ 3-5



รูปที่ 3-5 การเปิด-ปิดวาล์วของ OHC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

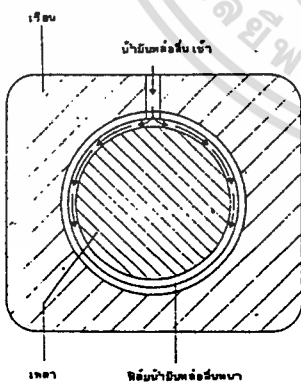
ล้อช่วยแรง (Flywheel)

แรงบิดที่หมุนเพลาคือเหวี่ยงของเครื่องยนต์จะเปลี่ยนแปลงอย่างมากในระหว่างการทำงานของแต่ละวัฏจักร ดังนั้นจึงต้องมีล้อช่วยแรงเพื่อสะสมพลังงานให้กับเพลาคือเหวี่ยง เพื่อรักษาให้เพลาคือเหวี่ยงยังคงหมุนได้ต่อไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอัตราเร็วรอบต่ำ ๆ

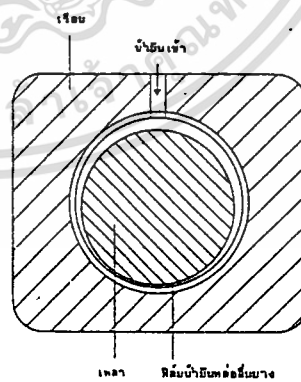
3.1.2 ระบบหล่อลื่น

ชิ้นส่วนต่างๆ ที่เคลื่อนของเครื่องยนต์ทำงานที่อุณหภูมิสูงและอัตราเร็วสูง บางชิ้นส่วนอยู่ภายใต้ความดันสูง การหล่อลื่นจึงมีความสำคัญอย่างมากเพื่อหลีกเลี่ยงการสึกหรออย่างผิดปกติและการกัดกร่อน และยืดอายุการใช้งานของเครื่องยนต์

หน้าที่เบื้องต้นของน้ำมันหล่อลื่นคือแยกหน้าสัมผัสที่เคลื่อนที่ไม่ให้สัมผัสกัน โดยแทรกตัวเป็นฟิล์มบางๆ ซึ่งจะป้องกันไม่ให้โลหะเสียดสีกับโลหะโดยตรง ความหนาของฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นขึ้นอยู่กับความหนืดของน้ำมัน รูปที่ 3-6 แสดงฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นซึ่งแทรกตัวระหว่างหน้าสัมผัสของเพลากับแบร็ง โดยความหนาของฟิล์มสม่ำเสมอตลอดเส้นรอบวงของเพลาคือซึ่งเป็นสภาพในอุดมคติ รูปที่ 3-7 แสดงฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นซึ่งมีความบางมากที่ส่วนล่างของเพลาคือเนื่องจาก การขาดน้ำมันหล่อลื่นที่ป้อนเข้าแบร็ง ฟิล์มน้ำมันอาจบางน้อยกว่า 0.00635 มิลลิเมตร กรณีเช่นนี้ มักพบภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์เมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ใหม่ๆ ในขณะที่เครื่องเย็น ดังนั้นในขณะที่สตาร์ทเครื่องยนต์ใหม่ๆ ไม่ควรเร่งเครื่องยนต์จนมีอัตราเร็วรอบสูง เพราะฟิล์มน้ำมันยังบางมากซึ่งจะทำให้เครื่องยนต์สึกหรอเร็วกว่าปกติ



รูปที่ 3-6 ฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นหนา



รูปที่ 3-7 ฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นบาง

ระบบน้ำมันหล่อลื่นแบบป้อนด้วยความดัน

ระบบน้ำมันหล่อลื่นของรถไฟฟ้าไฮบริดคันแบบเป็นแบบป้อนด้วยความดัน แสดงตามรูปที่ 3-8 น้ำมันหล่อลื่นถูกดูดจากอ่างน้ำมันหล่อลื่นซึ่งขับเคลื่อนด้วยเพลาลูกเบี้ยว ปัมส่งน้ำมันหล่อลื่นไปหล่อ

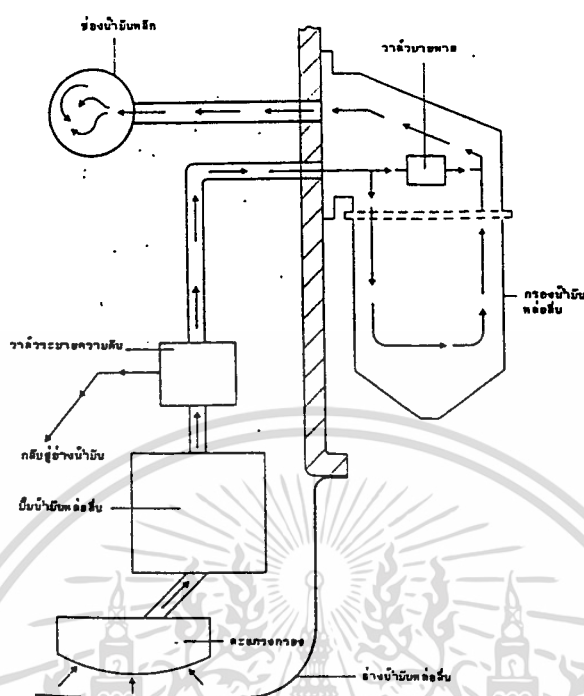
ถ้าความดันน้ำมันสูงเกินกว่านี้ สปริงในวาล์วระบายความดันจะถูกกดเพื่อระบายความดันส่วนเกินออก น้ำมันหล่อลื่นบางส่วนจะไหลผ่านวาล์วระบายความดันกลับสู่อ่างน้ำมันระบบกรองน้ำมันหล่อลื่น

เมื่อใช้งานน้ำมันหล่อลื่นภายในเครื่องยนต์ น้ำมันหล่อลื่นจะมีสิ่งแปลกปลอมเข้าปะปน เช่น คาร์บอนซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการเผาไหม้ กรดและวานิชซึ่งเกิดจากการกลั่นตัวของไอภายในเรือนเครื่องยนต์ อนุภาคของโลหะซึ่งเกิดจากการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ และฝุ่นละอองซึ่งผ่านเข้าเรือนเครื่องยนต์หรือช่องอากาศของคาร์บูเรเตอร์ ถ้าใช้น้ำมันหล่อลื่นอย่างต่อเนื่องเป็นระยะทาง 10,000 กิโลเมตร แล้วนำมาวิเคราะห์สิ่งแปลกปลอมที่เข้าปะปนในน้ำมันหล่อลื่น จะได้ส่วนผสมโดยประมาณ ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1
ส่วนผสมของสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในน้ำมันหล่อลื่นระยะทาง 10,000 กิโลเมตร

สิ่งแปลกปลอม	%
1. สารที่เป็นยางเหนียว	37.5
2. คาร์บอน	30.0
3. ตะกั่วออกไซด์	17.5
4. เหล็กออกไซด์	5.0
5. ทราช (ฝุ่นบนถนน)	2.5
6. สารอื่น ๆ	7.5
	100

ถ้าสิ่งแปลกปลอมเหล่านี้ไม่ได้นำออกไปจากน้ำมันหล่อลื่น มันจะไหลเวียนไปพร้อมกับน้ำมันหล่อลื่นและจะทำให้แข็งและชิ้นส่วนต่างๆที่เคลื่อนที่เกิดการสึกหรออย่างรวดเร็ว อายุการใช้งานของเครื่องยนต์จึงสั้นกว่าปกติ ดังนั้นในระบบหล่อลื่น เพื่อกรองสิ่งแปลกปลอมออกจากน้ำมันหล่อลื่นก่อนนำไปใช้งาน ผังทางเดินน้ำมันหล่อลื่นของระบบกรองน้ำมันหล่อลื่นแสดงตามรูปที่ 3-9



รูปที่ 3-9 ระบบกรองน้ำมันหล่อลื่น

3.1.3 ระบบน้ำมันเชื้อเพลิง

หน้าที่ของระบบน้ำมันเชื้อเพลิง คือ ป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงและผสมน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศ ก่อนลำเลียงเข้าเครื่องยนต์ภายใต้การทำงานทุกสภาพ

ระบบความดัน

ถ้าน้ำมันเชื้อเพลิงอยู่ต่ำกว่าระดับของคาร์บูเรเตอร์ จะต้องใช้ปั๊มเพื่อดูดน้ำมันเชื้อเพลิงจากถังแล้วส่งไปยังคาร์บูเรเตอร์ ระบบการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิง ประกอบด้วย

1. ถังน้ำมันเชื้อเพลิง
2. ท่อลำเลียงน้ำมัน
3. ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง
4. กรองน้ำมันเชื้อเพลิง
5. คาร์บูเรเตอร์

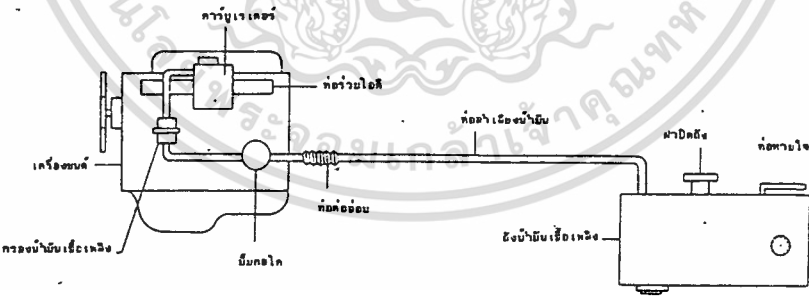
ถังน้ำมันเชื้อเพลิง

ทำหน้าที่ เก็บน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับป้อนเข้าเครื่องยนต์ ในรถไฟฟ้าไฮบริดต้นแบบเป็นรถที่มีเครื่องยนต์อยู่ด้านหน้า ดังนั้นถังน้ำมันจึงอยู่ด้านหลัง ถังน้ำมันทำจากเหล็กกล้าและเคลือบด้วยสารป้องกันการกัดกร่อน ภายในถังจะมีแผ่นกันกระลอก ซึ่งทำหน้าที่ลดการกระลอกไปมาของน้ำมันเชื้อเพลิงในถัง และยังทำให้ถังน้ำมันมีความแข็งแรงมากขึ้นอีกด้วย ถังน้ำมันเป็นแอ่งสำหรับสะสมตะกอนต่างๆภายในถัง ปลายท่อลำเลียงน้ำมันอยู่สูงจากก้นถังเล็กน้อยเพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนก้นถังถูกดูดเข้าไปในท่อซึ่งจะทำให้คาร์บูเรเตอร์อุดตันได้ ถังน้ำมันมีท่อหายใจสำหรับปรับความดันภายในถังให้เท่ากับบรรยากาศภายนอกตลอดเวลาทั้งในขณะเต็มและใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ถังน้ำมันส่วนมากมีชุดกลอยขอบกระดับน้ำมันเชื้อเพลิงภายในถังซึ่งทำงานด้วยระบบไฟฟ้า

ท่อลำเลียงน้ำมัน

ท่อลำเลียงน้ำมันเชื้อเพลิงจากถังน้ำมัน ไปยังคาร์บูเรเตอร์มักทำจากเหล็กกล้าอ่อนและเคลือบสารกันการกัดกร่อน ท่อลำเลียงน้ำมันมักอยู่ด้านตรงข้ามกับท่อไอเสียเพื่อป้องกันการเกิดไฟไหม้และการกลายเป็นไปของน้ำมันเชื้อเพลิง และเพื่อป้องกันไม่ให้ท่อเสียหายเนื่องจากการสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์จึงใช้ท่อค่ออ่อนระหว่างท่อเหล็กกล้ากับปั้มน้ำมันเชื้อเพลิงและระหว่างปั้มน้ำมันกับคาร์บูเรเตอร์

ระบบการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิง



รูปที่ 3-10 ระบบการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิง

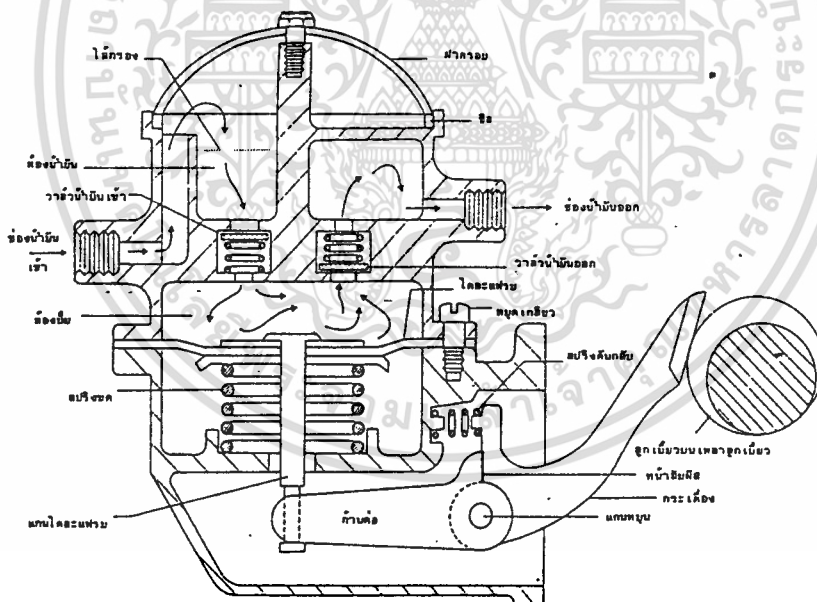
รูปที่ 3-10 แสดงระบบการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งทำงานได้เนื่องจากการหมุนของลูกเบี้ยวบนเพลาลูกเบี้ยว มีปั้มกลไกทำหน้าที่ดูดน้ำมันเชื้อเพลิงจากถังและลำเลียงผ่านท่อเข้าสู่คาร์บูเรเตอร์ ก่อนเข้าคาร์บูเรเตอร์มักมีกรองน้ำมันเชื้อเพลิงคั่นอยู่เพื่อกรองสิ่งแปลกปลอมชิ้นเล็กๆออกจากน้ำมันเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดการอุดตัน ควรเปลี่ยนกรองน้ำมันเชื้อเพลิงดังกล่าวเมื่อใช้งานเป็นระยะทาง 16,000 กิโลเมตร มิฉะนั้นอาจทำให้การไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าคาร์บูเรเตอร์ไม่เพียงพอเพราะการอุดตันที่กรองน้ำมันเชื้อเพลิง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปั๊มกลไก

ปั๊มกลไกที่ใช้ดูดน้ำมันเชื้อเพลิงจากถังน้ำมันและส่งไปคาร์บูเรเตอร์ จะเป็นแบบแผ่นไคอะเฟรม ตามแสดงในรูปที่ 3-11 ในขณะที่เพลาลูกเบี้ยวหมุน กระเดื่องถูกดันให้สูงขึ้นโดยหมุนไปรอบแกนหมุน ก้านค่อจะดึงแผ่นไคอะเฟรมทำให้ไคอะเฟรมเคลื่อนที่ลง น้ำมันเชื้อเพลิงจึงถูกดูดผ่านวาล์วน้ำมันเข้าลงสู่ห้องปั๊ม และในขณะนั้นวาล์วน้ำมันยังคงปิดอยู่ ห้องปั๊มจึงมีน้ำมันเต็มพร้อมที่จะส่งออกต่อไป จึงหว่าดั่งกล่าวเรียกว่าจังหวะดูด

เมื่อเพลาลูกเบี้ยวหมุนต่อไป กระเดื่องจะเคลื่อนที่ต่ำลงไคอะเฟรมจะถูกดันด้วยสปริงขดให้เคลื่อนที่ขึ้น น้ำมันเชื้อเพลิงในห้องปั๊มจะถูกดันออกจากห้องปั๊มผ่านวาล์วน้ำมันออกไปยังห้องลูกลอยในคาร์บูเรเตอร์ จังหวะดังกล่าวเรียกว่าจังหวะลำเลียงออก

ถ้ามีน้ำมันในห้องลูกลอยมีมากเพียงพอ วาล์วเข็มในห้องลูกลอยจะตัดไม่ให้น้ำมันเข้าห้องลูกลอย ดังนั้นจึงไม่มีน้ำมันไหลออกจากปั๊มทำให้ห้องปั๊มมีความดันเพิ่มขึ้น และมีความดันสูงกว่าความดันของสปริงขด ไคอะเฟรมจึงถูกกดให้อยู่ที่ตำแหน่งต่ำ ดังนั้นการเคลื่อนที่ขึ้นและลงของกระเดื่องจึงไม่มีผลกระทบต่อไคอะเฟรมลักษณะเช่นนี้เรียกว่าจังหวะเดินเบาของปั๊ม



รูปที่ 3-11 ปั๊มกลไก

คาร์บูเรเตอร์

ทำหน้าที่ผสมน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศในสัดส่วนที่เหมาะสมแล้วป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์ภายใน

ได้การทำงานทุกสภาพ สัดส่วนที่เหมาะสมกับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ตามทฤษฎีคือ อากาศ 15 ส่วน

ต่อน้ำมันเชื้อเพลิง 1 ส่วน(โดยน้ำหนัก) แต่อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติจำเป็นต้องเปลี่ยนสัดส่วนให้

ไม่วากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

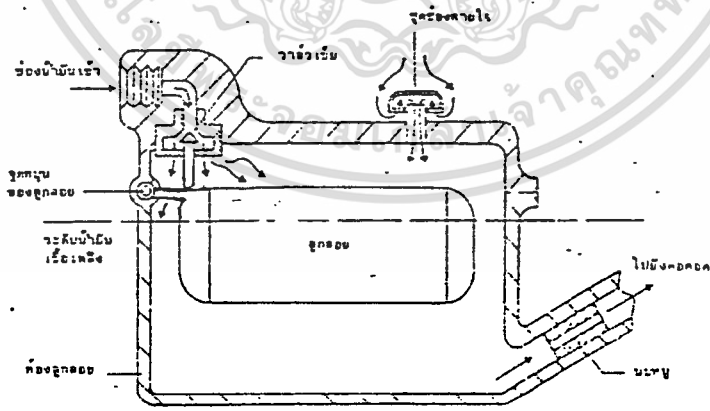
เหมาะสมกับสภาพการทำงานของเครื่องยนต์ เช่น ในขณะสตาร์ทเครื่องยนต์ เมื่ออากาศเย็นมาก สัดส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงอาจเท่ากับ 4:1 และในขณะเครื่องยนต์เดินเบา สัดส่วนอาจเป็น 11:1 ถึง 13:1 และในขณะที่วาล์วปีกผีเสื้อเปิดบางส่วนและเครื่องยนต์วิ่งด้วยอัตราเร็วรอบคงที่ สัดส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงจะอยู่ในช่วง 14:1-17:1

หลักการทำงานของคาร์บูเรเตอร์

โครงสร้างของคาร์บูเรเตอร์แบ่งออกเป็นสองส่วนใหญ่ๆ คือส่วนที่เกี่ยวข้องกับการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงและส่วนที่เกี่ยวข้องกับการป้อนอากาศ ส่วนที่เกี่ยวข้องกับการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงประกอบด้วยห้องลูกลอยและท่อนิดน้ำมัน ห้องลูกลอยทำหน้าที่ 2 อย่าง คือ

1. ปรับและรักษาระดับน้ำมันเชื้อเพลิงภายในคาร์บูเรเตอร์
2. ควบคุมการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าเครื่องยนต์

ห้องลูกลอยของคาร์บูเรเตอร์รับน้ำมันเชื้อเพลิงจากถังโดยอาศัยปั้ม ระดับน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องลูกลอยต้องคงที่เสมอ ถ้าระดับน้ำมันต่ำเกินไปอาจทำให้ส่วนผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันจางเกินไป แต่ถ้าระดับน้ำมันสูงเกินไปอาจทำให้ส่วนผสมหนาเกินไป วาล์วเข็มทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำมันที่ไหลเข้าสู่ห้องลูกลอย เมื่อน้ำมันไหลเข้าห้องลูกลอยมากขึ้น ลูกลอยจะลอยตัวสูงขึ้นและทำให้วาล์วเข็มปิดช่องน้ำมันเข้า ชุดวาล์วเข็มแสดงในรูปที่ 3-12 ระดับน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องลูกลอยจะต้องต่ำกว่าระดับปากท่อนิดน้ำมัน ถ้าระดับน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องลูกลอยอยู่สูงกว่าปากท่อนิดน้ำมัน จะทำให้น้ำมันบางส่วนกระฉอกออกจากท่อนิดน้ำมันในขณะที่เบรคหรือเร่งความเร็ว

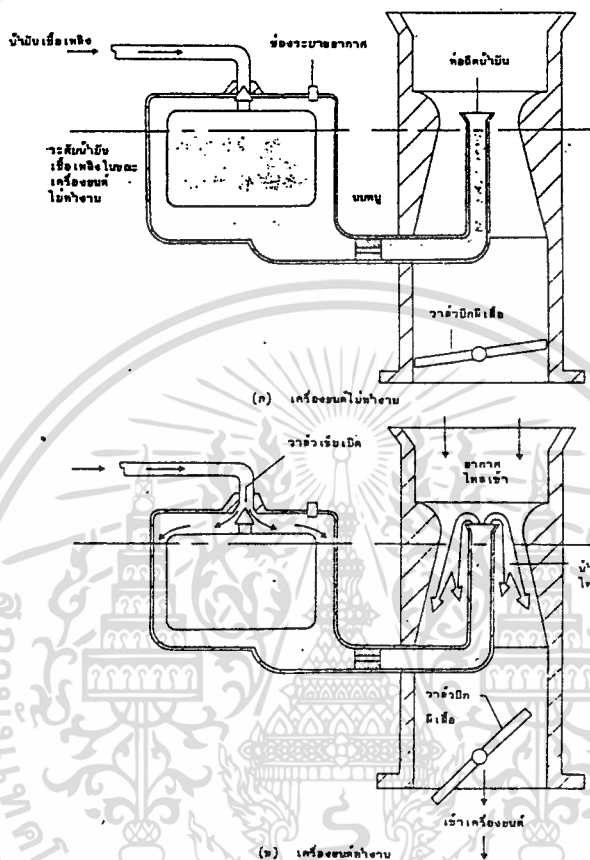


รูปที่ 3-12 ชุดวาล์วเข็มในห้องลูกลอย

ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกดูดออกจากห้องลูกลอยต้องสมดุลกับปริมาณที่ไหลเข้าห้องลูกลอย ซึ่งควบคุมด้วยการเปิดและปิดของวาล์วเข็ม ห้องลูกลอยมีช่องหายใจเชื่อมต่อกับบรรยากาศภายนอกเพื่อปรับความดันภายในห้องลูกลอยไม่ให้สูงกว่าหรือต่ำกว่าบรรยากาศ

ภายในห้องอากาศจะมีลักษณะเป็นคอคอดในขณะที่อากาศไหลผ่านคอคอด อัตราเร็วของอากาศจะเพิ่มขึ้นและในขณะเดียวกันความดันของอากาศบริเวณคอคอดจะลดลง

การทำงานของคาร์บูเรเตอร์



รูปที่ 3-13 การทำงานของคาร์บูเรเตอร์

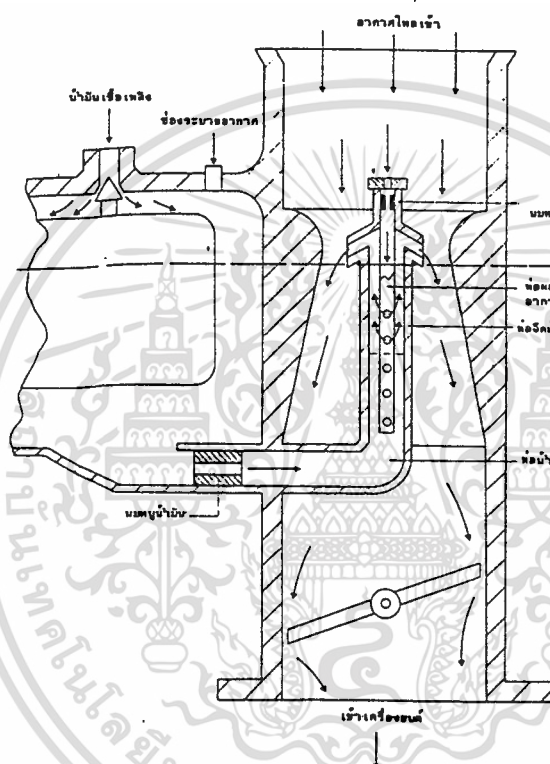
การทำงานของคาร์บูเรเตอร์แสดงให้เห็นตามรูปที่ 3-13(ก) จากห้องลูกลอยมีท่อน้ำมันต่อไปยังบริเวณคอคอดของห้องอากาศ ในขณะที่เครื่องยนต์ยังไม่ได้ใช้งานความดันในห้องลูกลอยเท่ากับกับความดันที่บริเวณคอคอด จึงไม่มีน้ำมันเชื้อเพลิงไหลออกจากท่อน้ำมัน แต่ในขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน อากาศจะถูกดูดผ่านคอคอด ทำให้บริเวณคอคอดมีความดันต่ำกว่าความดันในห้องลูกลอย น้ำมันเชื้อเพลิงในห้องลูกลอยจึงถูกดูดออกจากท่อน้ำมันตามแสดงในรูปที่ 3-13(ข) และผสมกับอากาศเข้าสู่กระบอกสูบของเครื่องยนต์

ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ออกจากท่อน้ำมันจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอัตราเร็วของอากาศที่ไหลผ่านคอคอด ถ้าเปิดวาล์วปีกผีเสื้อออก อากาศจะไหลเข้าด้วยอัตราเร็วสูงขึ้น น้ำมันเชื้อเพลิงจึงถูกดูดออกจากท่อน้ำมันมากขึ้น แต่ในทางกลับกันถ้าปิดวาล์วปีกผีเสื้อ น้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกดูดออกมาน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อความสามารถของคาร์บูเรเตอร์ในการทำงานได้ดีในทุกสภาพการทำงานของเครื่องยนต์ ก็คือสามารถให้ส่วนผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงได้อย่างเหมาะสมทุกๆอัตราเร็วรอบของเครื่องยนต์ จึงต้องออกแบบระบบเสริมอากาศ และระบบเสริมน้ำมันเชื้อเพลิง ขึ้นมาใช้กับคาร์บูเรเตอร์เพื่อการทำงานที่สมบูรณ์

ระบบเสริมอากาศ



รูปที่ 3-14 ระบบเสริมอากาศของคาร์บูเรเตอร์

รูปที่ 3-14 แสดงระบบเสริมอากาศของคาร์บูเรเตอร์ ท่อน้ำมันติดตั้งอยู่ที่ศูนย์กลางคอคอดภายในท่อน้ำมันมีท่อผสมอากาศซึ่งปลายข้างหนึ่งเปิดออกสู่บรรยากาศโดยมีนมหนูอากาศควบคุมปริมาณอากาศที่ไหลเข้าท่อผสมอากาศ ตลอดความยาวท่อผสมอากาศมีรูอากาศเป็นระยะๆ อากาศจะผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนออกจากท่อน้ำมัน เป็นการเพิ่มอากาศให้กับส่วนผสมเมื่ออัตราเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น น้ำมันเชื้อเพลิงก่อนออกจากห้องลูกลอยจะผ่านนมหนูน้ำมันซึ่งเป็นตัวกำหนดปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ไหลออกจากห้องลูกลอยเข้าสู่เครื่องยนต์ สิ่งที่มีผลต่ออัตราส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งจะต้องออกแบบให้เหมาะสมคือขนาดของนมหนูน้ำมัน ขนาดของรูอากาศบนท่อผสมอากาศ และขนาดของนมหนูอากาศ คาร์บูเรเตอร์จะต้องทำหน้าที่ป้อนส่วน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานกลับกันของนมหนูทั้ง 2 ชนิดเป็นผลดีต่อเครื่องยนต์ คือทำให้เครื่องยนต์ได้รับส่วนผสมที่เหมาะสมในช่วงอัตราเร็วรอบของการทำงานเครื่องยนต์

3.1.4 ระบบระบายความร้อน

ในรถไฟฟ้าไฮบริดคันแบบระบบระบายความร้อนเป็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

จุดประสงค์ของการระบายความร้อน

ความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงภายในกระบอกสูบสามารถละลายโลหะได้ ดังนั้นจึงต้องมีระบบระบายความร้อนทำหน้าที่ระบายความร้อนบางส่วนออกจากเครื่องยนต์ เพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องยนต์ร้อนจัดเกินไป จนทำให้น้ำมันหล่อลื่นไม่สามารถหล่อลื่นได้อย่างเหมาะสม และป้องกันไม่ให้ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ร้อนจัดจนทำให้ไม่ปลอดภัยต่อการใช้งานเนื่องจากความแข็งแรงของชิ้นส่วนเหล่านั้นลดลง

พลังงานที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงประมาณ 30% เปลี่ยนเป็นงานที่เพลาช้อเหวี่ยงเครื่องยนต์ และประมาณ 30% ถูกนำออกไปในระบบระบายความร้อนและที่เหลือประมาณ 40% ถูกนำออกไปกับไอเสียเครื่องยนต์

ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

ในระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ความร้อนถ่ายเทจากกระบอกสูบเข้าสู่ น้ำหล่อเย็นซึ่งบรรจุอยู่ในโพรงน้ำรอบกระบอกสูบ น้ำหล่อเย็นไหลผ่านหม้อน้ำและระบายความร้อนออกสู่อากาศที่พัดผ่านหม้อน้ำ

ชิ้นส่วนสำคัญของระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ได้แก่

1. โพรงน้ำ
2. หม้อน้ำ
3. ปั๊มน้ำ
4. พัดลม
5. เทอร์โมสแตต
6. ฝาหม้อน้ำ

โพรงน้ำ

โพรงน้ำของเครื่องยนต์จะหล่อขึ้นมาเป็นโพรงพร้อมกับการหล่อเสื้อสูบและฝาสูบ โพรงน้ำอยู่โดยรอบกระบอกสูบ ห้องเผาไหม้และบ่าวาล์ว น้ำหล่อเย็นไหลเวียนภายในโพรงน้ำจะพาความร้อนออกจากเครื่องยนต์และระบายสู่บรรยากาศด้วยการทำงานของหม้อน้ำ เนื่องจากบางจุดเอกสารเป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ภายในเครื่องยนต์มีความร้อนสูงกว่าส่วนอื่นๆ เช่น บริเวณโดยรอบหัวเทียนและบ่าวาล์วไอเสีย เพื่อ

ป้องกันไม่ให้จุดดังกล่าวร้อนจัดจนเกินไปซึ่งจะมีผลเสียต่อประสิทธิภาพเครื่องยนต์ จุดป้อนน้ำหล่อเย็นจากปั้มน้ำโดยตรงผ่านหัวฉีดลงบริเวณดังกล่าว

หม้อน้ำ

หน้าที่ของหม้อน้ำคือถ่ายเทความร้อนจากน้ำหล่อเย็นให้กับบรรยากาศโดยรอบ หม้อน้ำประกอบด้วยถังรับน้ำส่วนบนและส่วนล่าง โดยมีรังผึ้งเชื่อมต่อตรงกลาง น้ำหล่อเย็นไหลผ่านท่อน้ำรังผึ้งและถ่ายเทความร้อนสู่ครีบบนรังผึ้ง อากาศที่พัดผ่านรังผึ้งจะพาความร้อนออกไปตาม

ปั้มน้ำ

ปั้มน้ำช่วยในการหมุนเวียนน้ำหล่อเย็นในระบบระบายความร้อนซึ่งช่วยให้การระบายความร้อนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ปั้มน้ำติดตั้งอยู่ที่ส่วนหน้าของเสื้อสูบและมักขับเคลื่อนด้วยสายพานจากเพลาข้อเหวี่ยง



รูปที่ 3-16 ปั้มน้ำ

โครงสร้างของปั้มน้ำแสดงตามรูปที่ 3-16 ซึ่งประกอบด้วยใบพัดติดตั้งบนแกนเพลา ในขณะที่ใบพัดหมุน น้ำหล่อเย็นจากหม้อน้ำถูกดูดเข้าปั้มน้ำที่บริเวณศูนย์กลางใบพัด และออกจากปั้มน้ำเข้าสู่โพรงน้ำในเสื้อสูบ ถ้าวาล์วเทอร์โมสแตตปิด น้ำหล่อเย็นจะไหลผ่านช่องบายพาสซึ่งอาจอยู่ภายในหรือภายนอกเครื่องยนต์

พัดลม

พัดลมของระบบระบายความร้อนด้วยน้ำจะติดตั้งอยู่ด้านหลังหม้อน้ำบนหน้าแปลนมุมเล่สายพาน พัดลมอาจมีจำนวนใบพัดแตกต่างกันตามการออกแบบ ใบพัดอาจทำจากโลหะหรือพลาสติก ในขณะที่รถยนต์กำลังเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วค่อนข้างสูง อากาศที่ไหลผ่านรังผึ้งหม้อน้ำจำนวนมาก แต่ในขณะที่เครื่องยนต์เดินเบาหรือขับช้าด้วยอัตราเร็วต่ำ อากาศที่ไหลผ่านรังผึ้งหม้อน้ำอาจไม่เพียงพอกับการระบายความร้อน ดังนั้นจุดประสงค์ของพัดลมก็เพื่อให้มีอากาศไหลผ่านรังผึ้งหม้อน้ำอย่างเพียงพอในขณะที่เครื่องยนต์เดินเบาหรือขับช้าด้วยอัตราเร็วต่ำ

พัดลมต้องผ่านการทดสอบสมดุลก่อนนำมาติดตั้ง พัดลมที่งอหรือบิดอาจทำให้เสียสมดุล ในขณะที่หมุนซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นส่วนอื่น ๆ

เทอร์โมสแตต

การออกแบบเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในจะต้องควบคุมให้เครื่องยนต์ทำงานด้วยประสิทธิภาพสูงมากที่สุดที่อุณหภูมิทำงาน ดังนั้นเมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ เครื่องยนต์จะต้องมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิทำงานด้วยเวลาสั้นที่สุด และคงอุณหภูมิทำงานนี้ตลอดไป เหตุผลที่ต้องควบคุมอุณหภูมิดังกล่าวเพราะว่าเครื่องยนต์ซึ่งทำงานที่อุณหภูมิเหมาะสมมีแนวโน้มที่จะประหยัดน้ำมัน เชื้อเพลิงและน้ำมันหล่อลื่นมีอุณหภูมิเหมาะสมต่อการหล่อลื่น นอกจากนี้ยังช่วยลดการสึกหรอที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่อุณหภูมิกำลังเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิทำงานเพราะใช้เวลาสั้นมาก

เทอร์โมสแตตจึงทำหน้าที่ควบคุมปริมาณความร้อนที่ระบายออกจากเครื่องยนต์ โดยการควบคุมอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นที่ผ่านหม้อน้ำ การเปิดและปิดของเทอร์โมสแตตควบคุมโดยอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นในระบบ ในขณะที่เครื่องเย็นและช่วงอุ่นเครื่อง เทอร์โมสแตตยังคงปิดอยู่น้ำหล่อเย็นจึงไหลเวียนผ่านเฉพาะกระบอกสูบและฝาสูบเท่านั้น เมื่อน้ำหล่อเย็นร้อนขึ้นถึงอุณหภูมิทำงาน เทอร์โมสแตตจะเปิดออกเพื่อให้ น้ำหล่อเย็นไหลผ่านหม้อน้ำ เทอร์โมสแตตมักมีเครื่องหมายแสดงอุณหภูมิที่เทอร์โมสแตตเริ่มเปิด ช่วงอุณหภูมิมาตรฐานที่ใช้ในเครื่องยนต์สมัยใหม่อาจอยู่ในช่วง 80-90 องศาเซลเซียส และเทอร์โมสแตตจะเปิดเต็มที่เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 93 องศาเซลเซียส

ฝาหม้อน้ำ

ฝาหม้อน้ำเป็นเสมือนซีลของระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ทำให้ความดันในระบบสูงกว่าความดันบรรยากาศ ซึ่งช่วยให้ประสิทธิภาพของระบบระบายความร้อนสูงขึ้น

น้ำสามารถเดือดกลายเป็นไอได้ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันบรรยากาศ แต่ถ้าความดันเพิ่มขึ้นจะช่วยเพิ่มจุดเดือดของน้ำหล่อเย็นให้สูงขึ้น สำหรับความดันที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 10 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร จะช่วยเพิ่มจุดเดือดของน้ำประมาณ 2.5 องศาเซลเซียส ดังนั้นถ้าไม่วอร์มเครื่องยนต์ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เติมน้ำหล่อเย็น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.เมื่อน้ำหล่อเย็นสูญเสียและประสิทธิภาพของการระบายความร้อนเพิ่มขึ้น จึงสามารถใช้หม้อน้ำที่มีขนาดเล็กลงได้ และผลที่ตามมาคือใช้พัดลมขนาดเล็กซึ่งใช้กำลังขับเคลื่อนน้อยส่งกำลังเครื่องยนต์ที่นำไปใช้งานจึงมีเหลือมากขึ้น

6.การเกิดตะกอนในระบบเป็นไปอย่างช้า ๆ

ฝาหม้อน้ำประกอบด้วยวาล์วสองชุด วาล์วตัวใหญ่เป็นวาล์วความดันซึ่งจะทำงานก็ต่อเมื่อความดันในหม้อน้ำสูงเกินกว่าความดันของสปริงที่ตั้งไว้ วาล์วตัวเล็กเป็นวาล์วสุญญากาศซึ่งจะทำงานเมื่อความดันภายในหม้อน้ำต่ำกว่าความดันบรรยากาศภายนอกโดยความแตกต่างของความดันมีค่ามากกว่าความดันของสปริง

ในขณะที่น้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น น้ำในหม้อน้ำจะขยายตัวและระเหยเป็นไอแต่เนื่องจากระบบถูกซีลไว้ด้วยฝาหม้อน้ำ จึงทำให้ความดันภายในหม้อน้ำเพิ่มขึ้น ความดันเพิ่มขึ้นมากกว่าความดันของสปริงซึ่งอยู่ในช่วง 28-104 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร วาล์วจะเปิดออกและระบายความดันส่วนเกินออกไปทางท่อระบายน้ำด้าน เมื่อเครื่องยนต์เย็นลงหลังจากหยุดการใช้งานแล้วภายในระบบจะเกิดสุญญากาศขึ้น วาล์วสุญญากาศจะเปิดออกเพื่อลดสุญญากาศภายในระบบก็ต่อเมื่อความดันภายในระบบน้อยกว่าความดันบรรยากาศถึง 6.9 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร สุญญากาศที่เกิดขึ้นภายในระบบอาจทำความเสียหายให้แก่หม้อน้ำและท่อน้ำ

คำแนะนำอย่าเปิดฝาหม้อน้ำในขณะที่เครื่องยนต์ยังคงร้อนอยู่เพราะอาจทำอันตรายต่อร่างกายได้ เนื่องจากไอน้ำร้อนที่พุ่งออกมาจากหม้อน้ำ ควรเปิดในขณะที่เครื่องเย็นแล้ว

3.1.5 ระบบจุดระเบิด

ระบบจุดระเบิดของเครื่องยนต์รถไฟฟ้าไฮบริดคันแบบเป็นระบบจุดระเบิดแบบทองขาวประกอบด้วยชิ้นส่วนสำคัญ ดังนี้

1.แบตเตอรี่ เป็นแหล่งป้อนกระแสไฟฟ้าแรงดันต่ำเข้าวงจรของระบบจุดระเบิด

2.คอยล์จุดระเบิด ทำหน้าที่คล้ายหม้อแปลงและเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าแรงดันต่ำเป็นกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อการจุดระเบิดที่หัวเทียน

3.คอนเดนเซอร์ ต่อขนานกับหน้าทองขาวและช่วยลดประกายไฟที่บริเวณหน้าทองขาวในขณะที่หน้าทองขาวแยกจากกัน

4.หน้าทองขาว ทำหน้าที่คล้ายสวิตช์เพื่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงออกจากคอยล์จุดระเบิด

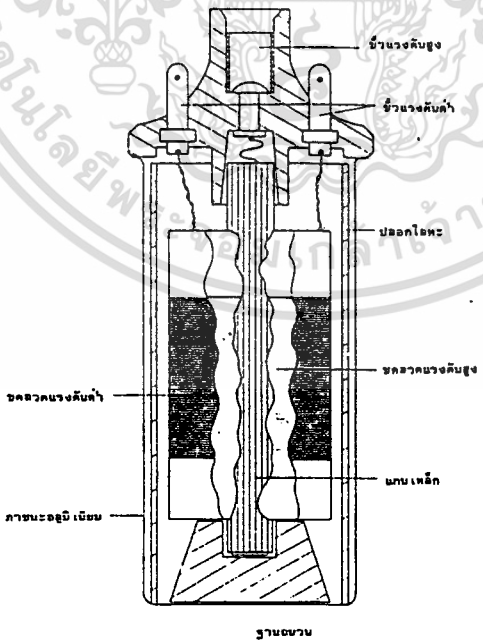
5.จานจ่าย เป็นกลไกซึ่งทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงไปตามหัวเทียน แต่ละอันด้วยลำดับการจุดระเบิดที่ถูกต้อง

6.หัวเทียน กระแสไฟฟ้าแรงดันสูงไหลผ่านขั้วกลางแล้วกระโดดข้ามช่องว่างไปยังขั้วดิน หรือเรียกว่าเชื้อหัวเทียน การกระโดดดังกล่าวจะเกิดเป็นประกายไฟขึ้นซึ่งใช้ในการจุดระเบิดน้ำมันเชื้อเพลิง

คอยล์ จุดระเบิด

การเกิดประกายไฟที่หัวเทียน จำเป็นต้องป้อนกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงเข้าหัวเทียน คอยล์จุดระเบิดจะเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าแรงดันต่ำจากแบตเตอรี่ไปเป็นกระแสไฟฟ้าแรงดันสูง ซึ่งเพียงพอกับการกระโดดข้ามเชื้อหัวเทียน

โครงสร้างโดยทั่วไปของคอยล์แสดงตามรูปที่ 3-18 ซึ่งประกอบด้วยแกนเหล็กจำนวนประมาณ 20,000 รอบ ขดลวดแรงดันสูงประกอบด้วยเส้นลวดขนาดใหญ่พันรอบขดลวดแรงดันสูงจำนวน 350 รอบ โดยมีความต้านทานประมาณ 3 โอห์ม การพันขดลวดแรงดันต่ำไว้รอบนอกขดลวดแรงดันสูงเพื่อให้ความร้อนที่เกิดขึ้นในขดลวดแรงดันต่ำระบายออกได้ง่าย ชิ้นส่วนทั้งหมดบรรจุในภาชนะทรงกระบอกซึ่งทำจากอลูมิเนียม โดยมีฐานรองรับภายในเป็นกระเบื้องซึ่งเป็นฉนวนระหว่างแกนเหล็กกับภาชนะ ปลายข้างหนึ่งของขดลวดแรงดันสูงต่อกับขดลวดแรงดันต่ำ และปลายอีกข้างหนึ่งต่อกับแกนเหล็กซึ่งต่อกับขั้วแรงดันสูงของคอยล์ ปลายทั้งสองข้างของขดลวดแรงดันต่ำต่อเข้ากับขั้วแรงดันต่ำทั้งสองของคอยล์



รูปที่ 3-18 คอยล์จุดระเบิด

เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดแรงดันต่ำ จะเกิดสนามแม่เหล็กโดยรอบขดลวดทั้งสอง และแกนเหล็ก และถ้ากระแสไฟฟ้าหยุดไหลผ่านขดลวดแรงดันต่ำอย่างทันทีทันใด จะทำให้สนามแม่เหล็กดังกล่าวสลายตัวอย่างทันทีทันใดซึ่งมีผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นภายในขดลวดแรงดันต่ำ และขดลวดแรงดันสูง แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขดลวดแรงดันต่ำประมาณ 300 โวลต์ ส่วนแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขดลวดแรงดันสูงประมาณ 25,000-30,000 โวลต์ ทั้งนี้เพราะว่าขดลวดแรงดันสูงมีจำนวนขดลวดมากกว่าขดลวดแรงดันต่ำตามที่ได้กล่าวมาแล้ว แรงดันไฟฟ้างกล่าวเกิดขึ้นเพียงช่วงเวลาสั้นๆซึ่งมีค่าเพียงพอที่จะทำให้เกิดประกายไฟที่หัวเทียน

แต่อย่างไรก็ตามยังมีสภาพต่างๆหลายอย่างที่มีผลต่อการเกิดประกายไฟที่หัวเทียน ซึ่งได้แก่

1. อุณหภูมิทำงานของหัวเทียน
2. อัตราส่วนการอัดภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์
3. อัตราเร็วรอบเครื่องยนต์
4. ธรรมชาติและโครงสร้างของก๊าซซึ่งอยู่โดยรอบหัวเทียน
5. สภาพของเชื้อเพลิงหัวเทียน

งานจ่าย

ทำหน้าที่ 3 อย่าง ได้แก่

1. หน้าทองขาวในงานจ่ายทำหน้าที่ตัดและต่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดแรงดันต่ำในคอยล์ ซึ่งมีผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าสูงสำหรับการจุดระเบิดของหัวเทียน
2. หัวนกกระจอกในงานจ่ายทำหน้าที่จ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงไปตามหัวเทียนต่างๆ ตามจังหวะการทำงานที่ถูกต้องของเครื่องยนต์
3. งานจ่ายมีอุปกรณ์ปรับไทมมิ่งของการจุดระเบิดให้เหมาะสมกับอัตราเร็วรอบเครื่องยนต์ สำหรับเครื่องยนต์ 4 จังหวะ กระบอกสูบแต่ละอันต้องการประกายไฟที่หัวเทียนทุกๆสองรอบของการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง ดังนั้นหัวนกกระจอกต้องหมุนด้วยอัตราเร็วรอบเป็นครึ่งหนึ่งของเพลาข้อเหวี่ยง โดยทั่วไปกำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนมาจากเพลาลูกเบี้ยว

คอนเดนเซอร์

หน้าที่ของคอนเดนเซอร์ในระบบจุดระเบิดแบบทองขาว มีดังนี้

1. ช่วยลดประกายไฟที่กระโดดข้ามหน้าทองขาว ซึ่งมีผลช่วยยืดอายุการใช้งานของหน้าทองขาว
2. ช่วยเร่งและควบคุมการสลายตัวของสนามแม่เหล็กในคอยล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้คอนเดนเซอร์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ควรติดตั้งคอนเดนเซอร์ให้ใกล้กับหน้าทองขาวมากที่สุด เพื่อให้สายไฟที่ใช้ต่อสั้นที่สุดซึ่งจะมีความต้านทานน้อยมาก โดยต่อคอนเดนเซอร์ขนานกับหน้าทองขาว

โครงสร้างโดยทั่วไปของคอนเดนเซอร์ประกอบด้วยแผ่นกระดาษเคลือบโลหะทั้งสองด้าน ซึ่งมักใช้โลหะประเภทอลูมิเนียม แผ่นกระดาษเคลือบโลหะดังกล่าวพันซ้อนกันโดยมีแผ่นกระดาษบางเป็นฉนวนตามรูปที่ 3-19(ก) ปลายข้างหนึ่งของแผ่นกระดาษเคลือบโลหะต่อกับสายไฟแรงดันต่ำที่ต่อมายังงานจ่าย ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งต่อกับปลอกโลหะซึ่งเป็นสายดิน คอนเดนเซอร์ต้องปิดผนึกอย่างแน่นหนาเพื่อป้องกันไม่ให้ความชื้นเข้าภายในซึ่งจะมีผลเสียต่อกระดาษเคลือบโลหะ ความจุของคอนเดนเซอร์โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 0.18-0.25 ไมโครฟารัด รูปที่ 3-19(ข) แสดงโครงสร้างโดยทั่วไปของคอนเดนเซอร์



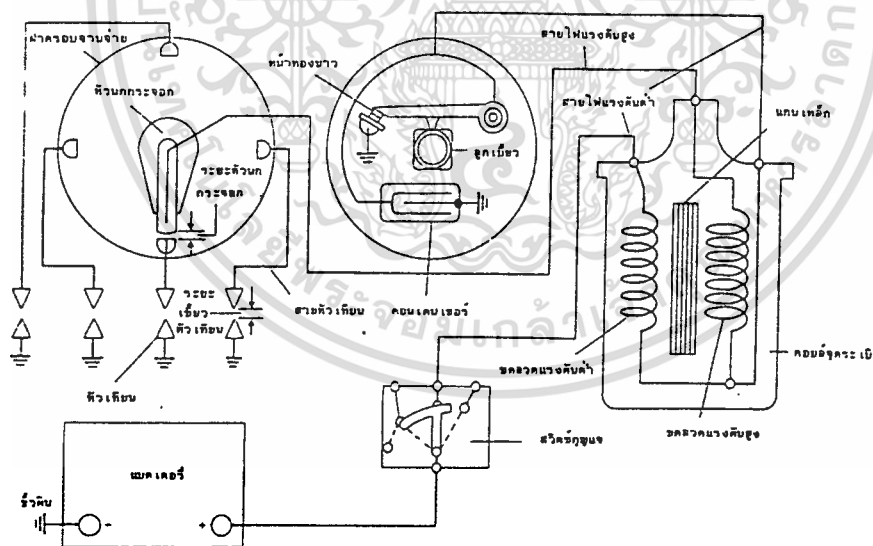
รูปที่ 3-19 โครงสร้างของคอนเดนเซอร์

ในขณะที่หน้าทองขาวสัมผัสกัน จะมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรไฟแรงดันต่ำ คือ กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดแรงดันต่ำในคอยล์และหน้าทองขาวแล้วกลับสู่แบตเตอรี่ ภายใต้สภาพดังกล่าว คอนเดนเซอร์ยังอยู่ในลักษณะวงจรเปิด แต่ในขณะที่หน้าทองขาวแยกจากกัน จะเกิดแรงดันไฟฟ้าประมาณ 300-400 โวลต์ในขดลวดแรงดันต่ำ และกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟแรงต่ำมีแนวโน้มที่ไหลอายุการใช้งานสั้นลง เมื่อมีคอนเดนเซอร์ต่อขนานกับหน้าทองขาว ก็จะมีทางเดินของกระแสไฟฟ้าทางใหม่ซึ่งจะช่วยลดประจุไฟฟ้าที่หน้าทองขาวได้มาก ในขณะที่เดียวกันคอนเดนเซอร์จะถูกชาร์จและจะปล่อยประจุออกไหลกลับผ่านขดลวดแรงดันต่ำในคอยล์ เป็นการเร่งการสลายตัวของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของระบบจุดระเบิด

รูปที่ 3-20 แสดงผังของระบบจุดระเบิดอย่างง่ายซึ่งประกอบด้วยวงจรไฟแรงต่ำ และวงจรไฟแรงสูง วงจรไฟแรงต่ำประกอบด้วย แบตเตอรี่ สวิตช์กุญแจ ขดลวดแรงดันต่ำในคอยล์ หน้าทองขาว และคอนเดนเซอร์]

สำหรับวงจรไฟแรงต่ำประกอบด้วย ขดลวดแรงดันสูงในคอยล์ หัวนกระจอก ฝาครอบจานจ่าย สายหัวเทียน และหัวเทียน เมื่อเปิดสวิตช์กุญแจและหมุนกุญแจ ระบบจุดระเบิดจะเริ่มทำงานดังนี้ ในขณะที่หน้าทองขาวสัมผัสกับ กระแสไฟฟ้าจะไหลจากแบตเตอรี่ผ่านสวิตช์กุญแจผ่านขดลวดแรงดันต่ำ และผ่านหน้าทองขาวลงสายดินกลับสู่แบตเตอรี่ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดแรงดันต่ำดังกล่าว จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กโดยรอบขดลวด การหมุนของลูกเบี้ยวในจานจ่ายทำให้หน้าทองขาวแยกจากกัน กระแสไฟฟ้าจึงหยุดไหลและสนามแม่เหล็กในคอยล์สลายตัว การสลายตัวของสนามแม่เหล็กก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าสูงในขดลวดแรงดันสูงของคอยล์ ไฟฟ้าแรงดันสูงจะไหลจากคอยล์ผ่านหัวนกระจอก และผ่านสายหัวเทียนเข้าสู่หัวเทียน เป็นการเริ่มการจุดระเบิดเผาไหม้เชื้อเพลิงในจังหวะกำลัง หลังจากนั้นหน้าทองขาวจะสัมผัสกันอีกครั้งหนึ่งเพื่อเริ่มต้นวัฏจักร



รูปที่ 3-20 ผังระบบจุดระเบิดอย่างง่าย

ระบบจุดระเบิดที่กล่าวมาแล้วเป็นอย่างง่ายซึ่งไม่คำนึงถึงอัตราเร็วรอบเครื่องยนต์ แต่ในทางปฏิบัติแล้ว จะต้องมียุทธวิธีปรับไหม้การจุดระเบิดซึ่งเปลี่ยนแปลงตามอัตราเร็วรอบ และภาระของเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวเทียน

หน้าที่ของหัวเทียน คือ ทำให้ไฟฟ้าแรงดันสูงกระโดดข้ามช่องหัวเทียนเพื่อให้เกิดประกายไฟในการจุดระเบิดส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงในการบอกลูกสูบ คุณสมบัติของหัวเทียนที่ดีต้อง

- 1.สามารถให้ประกายไฟได้หลายล้านครั้งภายใต้ความร้อนและความดันสูง
- 2.สามารถนำกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงซึ่งอาจสูงถึง 25,000-30,000 โวลต์เข้าสู่ห้องเผาไหม้ได้หลายครั้งติดต่อกัน
- 3.มีช่องหัวเทียนที่ทนทานและมีประสิทธิภาพในการให้ประกายไฟเพื่อจุดระเบิดเผาไหม้เชื้อเพลิง

หัวเทียนมีส่วนที่ยื่นเข้าไปในห้องเผาไหม้ซึ่งได้แก่ช่องหัวเทียน ในขณะที่ส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงเผาไหม้ อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งสูงกว่า 1650 องศาเซลเซียส และหลังจากนั้นจะเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน เมื่ออากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงถูกดูดเข้ากระบอกสูบในจังหวะดูด หลังจากการเผาไหม้เกิดขึ้น จะมีสิ่งตกค้างภายในห้องเผาไหม้ในรูปของคาร์บอน ตะกั่ว ฯลฯ โดยจะจับตัวบนผนังห้องเผาไหม้และบริเวณช่องหัวเทียนซึ่งเป็นการเพิ่มภาระให้กับหัวเทียน นอกจากนี้หัวเทียนยังต้องมีความสามารถในการระบายความร้อนออกจากบริเวณช่องหัวเทียนได้ดี เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการชิงจุดระเบิด

ไฟฟ้าแรงดันสูงที่ไหลมาจากคอยล์ผ่านหัวนกระบอกเข้าหัวเทียนที่ขั้วปลาย กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขั้วกลางและกระโดดข้ามระยะช่องหัวเทียนไปยังขั้วดิน การกระโดดของไฟฟ้าแรงดันสูงทำให้เกิดประกายไฟสำหรับจุดระเบิดเผาไหม้เชื้อเพลิง

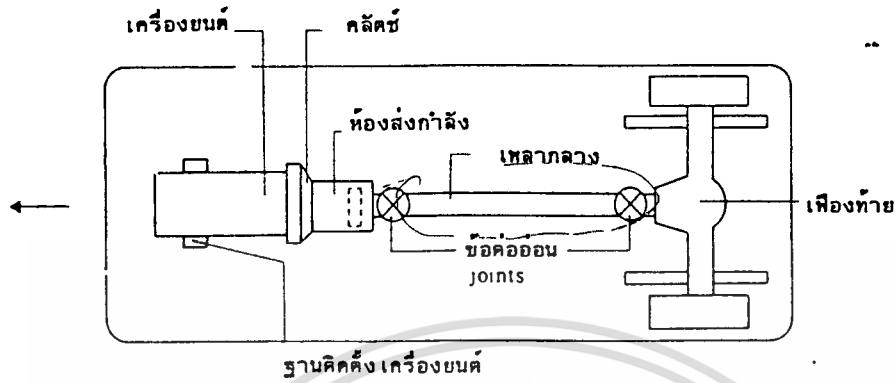
3.2.6 ระบบส่งกำลัง

ระบบส่งกำลังทำหน้าที่ส่งกำลังจากเครื่องยนต์ไปยังล้อด้วยอัตราทดของเฟือง ในอัตราต่าง ๆ กันระหว่างเพลาลูกเบี้ยวและเพลาลูกของรถยนต์ อัตราทดที่ออกแบบไว้อาจเป็นเกียร์เดินหน้า 4 อัตราทด และถอยหลัง 1 อัตราทด

ระบบขับเคลื่อนล้อหลัง เครื่องยนต์หน้า

รถยนต์ประเภทขับเคลื่อนล้อหลังและเครื่องยนต์ติดตั้งไว้ข้างหน้า เป็นแบบที่ใช้ในรถไฟ ไฟฟ้าไฮบริดต้นแบบ รูปที่ 3-21 แสดงแผนภาพการส่งกำลังของรถยนต์ โดยเริ่มจากเครื่องยนต์ซึ่งเป็นแหล่งให้กำลังขับเคลื่อน และติดตั้งอยู่ที่ส่วนหน้าของรถยนต์ คลัตช์ติดตั้งอยู่ด้านหลังเครื่องยนต์ โดยทำหน้าที่ตัดและต่อกำลังขับเคลื่อนจากเครื่องยนต์ ถัดจากคลัตช์ออกมาเป็นห้องส่งกำลังซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงแรงบิดตามสภาพการขับขี่ แล้วส่งผ่านเพลากลางเข้าสู่ชุดเฟืองท้าย โดยมีข้อ
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่ออ่อนเป็นจุดต่อระหว่างเพลากลางกับเพลาชองห้องส่งกำลังและเพลาชองชุดเฟืองท้ายชุดเฟืองท้ายทำหน้าที่เปลี่ยนทิศทางการขับเคลื่อนไปจากแนวเดิม 90 องศาแล้วออกสู่ล้อขับเคลื่อน

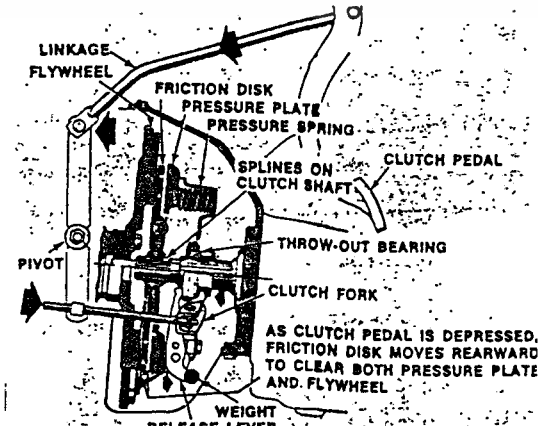


รูปที่ 3-21 แผนภาพรถยนต์ขับเคลื่อนล้อหลัง เครื่องยนต์หน้า

ในทางปฏิบัติแล้วรถยนต์ขับเคลื่อนล้อหลังแต่เครื่องยนต์อยู่หน้าให้การกระจายน้ำหนักที่ล้อทั้งสี่ค่อนข้างสม่ำเสมอ นอกจากนี้การจัดว่าชิ้นส่วนต่างๆที่สำคัญของรถยนต์ช่วยให้ง่ายต่อการติดตั้งและบำรุงรักษา

ส่วนประกอบของระบบส่งกำลัง
คลัตช์

รูปที่ 3-22 แสดงให้เห็นส่วนประกอบต่าง ๆ ของคลัตช์ซึ่งทำหน้าที่ ตัด-ต่อ กำลังขับเคลื่อนระหว่างเครื่องยนต์กับกระปุกเกียร์ การที่ต้องมีคลัตช์ก็เนื่องจาก การติดเครื่องยนต์แต่ละครั้งจะต้องกระทำขณะที่เครื่องยนต์ไม่มีภาระ นอกจากนี้เพื่อความสะดวกและความปลอดภัยในการเปลี่ยนเกียร์ หรือเลื่อนชุดเฟืองในกระปุกเกียร์เข้า-ออกในแต่ละครั้ง ซึ่งจำเป็นจะต้องตัดกำลังขับเคลื่อน



คลัตช์ติดตั้งอยู่ระหว่างเครื่องยนต์กับกระปุกเกียร์ ประกอบด้วยแผ่นคลัตช์ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตประมาณ 30 ซม. ผิวหน้าทั้งสองด้านเป็นแผ่นความฝืด ตรงกลางของแผ่นคลัตช์มีรูที่เจาะเป็นร่อง เพื่อสวมเข้ากับร่องของเพลาคลัตช์ นอกจากนี้มีสปริง (Pressure spring) และแผ่นกดคลัตช์ (Pressure plate) สำหรับดันแผ่นคลัตช์ให้ติดกับผิวหน้าของล้อช่วยแรง และเนื่องจากแผ่นคลัตช์สวมกับเพลาคลัตช์โดยมีร่องหรือสไปล์สวมกันดังกล่าวแล้ว แผ่นคลัตช์จึงเลื่อนไป-มา และหมุนรวมกันไปได้กับเพลาคลัตช์ เมื่อเพลาคลัตช์ถูกบีบให้ติดแน่นกับล้อช่วยแรงมันจะหมุนไปกับล้อช่วยแรง และพาเพลาคลัตช์หมุนไปด้วย เพลาคลัตช์ซึ่งติดกับเฟืองในกระปุกเกียร์ก็จะพาเฟืองในกระปุกเกียร์หมุนและส่งกำลังต่อไป

จากรูปที่ 3-22 เมื่อคนขับรถเหยียบคันคลัตช์ (Clutch pedal) ลงไป กลไกของชุดบังคับคลัตช์ก็จะบังคับให้แผ่นกดคลัตช์ถอยออกมา แผ่นคลัตช์ไม่ถูกกดหรือบีบก็จะหลุดตัวไม่ต่อกำลังจากล้อช่วยแรง เมื่อเป็นเช่นนี้คลัตช์จะหยุดหมุน ถ้าคนขับปล่อยคันคลัตช์ สปริง และแผ่นกดคลัตช์จะดันแผ่นคลัตช์ให้ติดกับล้อช่วยแรง แผ่นคลัตช์ก็จะต่อกำลังและหมุนไปกับล้อช่วยแรง

กระปุกเกียร์

ในที่นี้หมายถึงชุดเฟืองภายในกระปุกเกียร์ ซึ่งประกอบด้วยชุดเฟืองหลายชุดที่ต่อกันอย่างมีระบบ เฟืองแต่ละชุดจะให้อัตราทดแตกต่างกัน เพื่อให้ผู้ขับรถเลือกได้ตามต้องการและความเหมาะสม การที่ต้องมีกระปุกเกียร์ก็เนื่องจากเครื่องยนต์ไม่สามารถผลิตกำลังงานได้สูงพอในขณะที่เครื่องมีความเร็วรอบต่ำ ดังนั้นอัตราทดของเฟืองในขนาดต่าง ๆ ย่อมเป็นสิ่งจำเป็น เครื่องยนต์จะต้องหมุนด้วยความเร็วค่อนข้างสูงเพื่อที่จะส่งกำลังขับไปบังคับให้รถเคลื่อนที่โดยเริ่มต้นครั้งแรกจะอยู่ในตำแหน่งเกียร์ต่ำดังนั้นเพลาข้อเหวี่ยงของรถยนต์จะหมุนประมาณ 7 รอบ ล้อจะหมุนไป 1 รอบ ความเร็วของรถจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วของเครื่องยนต์ จนกระทั่งความเร็วของรถประมาณ 8 ถึง 16 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเครื่องยนต์อาจจะหมุนถึง 2,000 รอบต่อนาที ผู้ขับรถจะเหยียบคันคลัตช์ ทำให้แผ่นคลัตช์หลุดตัวตัดกำลังขับจากเครื่องยนต์ ผู้ขับรถจะเปลี่ยนเกียร์โดยเลื่อนชุดเฟืองในกระปุกเกียร์ไปตามตำแหน่งเกียร์สอง เมื่อคันคลัตช์ถูกปล่อย แผ่นคลัตช์จะถูกบีบติดกับล้อช่วยแรง กำลังขับจากเครื่องยนต์จะถูกส่งไปใช้งาน เมื่อเครื่องยนต์และรถมีความเร็วสูงขึ้นไปอีก ผู้ขับรถจะเปลี่ยนไปใช้เกียร์สูง

เฟือง

ก่อนที่จะพิจารณาถึงกระปุกเกียร์ต่อไป เราลองดูการทำงานของเฟืองก่อน โดยพิจารณาดูว่าเมื่อไรเกิดขึ้นเมื่อมีการส่งกำลังจากเฟืองตัวหนึ่งไปยังเฟืองอีกตัวหนึ่งที่ขบกันอยู่ ความสัมพันธ์ของการหมุนระหว่างเฟืองสองตัวที่ขบกันอยู่ (อัตราทดของเกียร์) คำนวณจากจำนวนฟันเฟือง เช่น

ถ้าเฟืองตัวหนึ่งมีจำนวนฟันมากกว่าเฟืองอีกตัวหนึ่ง เฟืองตัวเล็ก เรียกว่า “เฟืองขับ” จะหมุนเร็วกว่าเฟืองตัวใหญ่ เรียกว่า “เฟืองตาม” เช่นเฟือง 12 ฟันจะหมุนเป็นสองเท่าของเฟืองที่มี 24 ฟัน อัตราทดของเกียร์ระหว่างเฟืองทั้งสองคือ 2:1 ถ้าเฟือง 12 ฟันขับกับเฟือง 36 ฟัน เฟือง 12 ฟันจะหมุน 3 รอบ เมื่อเฟือง 36 ฟันหมุน 1 รอบ อัตราทดของเกียร์ทั้งสองนี้คือ 3:1

$$\text{อัตราทดของเกียร์} = \frac{\text{จำนวนฟันของเฟืองตาม}}{\text{จำนวนฟันของเฟืองขับ}}$$

การทำงานของกระปุกเกียร์

กระปุกเกียร์ที่ใช้จะเป็นแบบมี 3 เพลา คือ เพลาคลัตช์ เพลารอง และเพลาส่งกำลัง แต่ละเพลา มีเฟืองประกอบอยู่และทำหน้าที่ดังนี้

1. เพลาคลัตช์(Clutch Shaft) เป็นเพลาที่รับกำลังขับจากคลัตช์เพื่อส่งถ่ายกำลังให้เฟืองเพลารอง เพลาตัวนี้มีเฟืองอยู่ตัวหนึ่งเรียกว่า เฟืองเพลาคลัตช์(Clutch Gear)

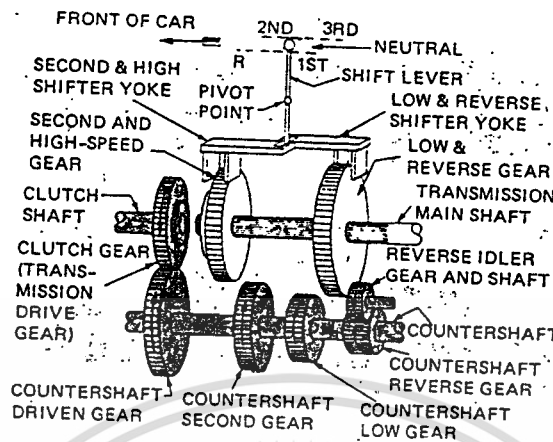
2. เพลารอง(Countershaft) เป็นเพลาที่รับกำลังจากเพลาคลัตช์ และส่งกำลังไปยังเพลาส่งกำลัง เพลาตัวนี้มีเฟืองอยู่หลายตัวขึ้นอยู่กับจำนวนเกียร์ของรถ ตามรูปที่ 3-23 มีเฟืองอยู่ที่เพลารอง 4 ตัว ตัวแรกคือเฟืองรับกำลังขับ(Countershaft drive gear) ทำหน้าที่ทดรอบและรับกำลังจากเฟืองเพลาคลัตช์ เฟืองตัวที่สองคือเฟืองเกียร์สอง(Countershaft second gear) ทำหน้าที่ส่งกำลังจากเพลารองให้เฟืองเกียร์สองของเพลาส่งกำลัง

ตัวที่สามคือเฟืองเกียร์ต่ำหรือเฟืองเกียร์หนึ่ง(Countershaft low gear) ทำหน้าที่ส่งกำลังให้เฟืองเกียร์หนึ่งของเพลาส่งกำลัง เฟืองตัวที่สี่คือเฟืองเกียร์ถอยหลัง(Countershaft reverse gear) ทำหน้าที่ส่งกำลังผ่านเฟืองกลับทางหมุน(Reverse idler gear) ไปยังเฟืองเกียร์หนึ่งและถอยหลัง ของเพลาส่งกำลัง เป็นเกียร์ถอยหลัง เฟืองทั้งสี่ตัวนี้เป็นเนื้อเดียวกันทำให้หมุนไปด้วยกัน ขนาดของเฟืองสี่ตัวนี้ลดหลั่นกันตั้งแต่ใหญ่ไปหาเล็กตามลำดับคือเฟืองเกียร์รับกำลังขับ เฟืองเกียร์สอง เฟืองเกียร์หนึ่ง และเฟืองเกียร์ถอยหลัง ทำให้อัตราทดของเฟืองเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเข้าเกียร์

3. เพลาส่งกำลัง(Main Shaft) เป็นเพลาที่รับกำลังจากเฟืองเพลารอง(Countershaft gear) ส่งไปยังเพลากลาง(Propeller shaft) ที่เพลาส่งกำลังนี้ทำเป็นร่องสไปลน์(Spline) ไว้ ทำให้เฟืองที่สวมอยู่สามารถเปลี่ยนไป-มาได้ แต่เมื่อเฟืองบนเพลาส่งกำลังหมุนไป เพลาส่งกำลังจะหมุนไปด้วย ตามรูปมีเฟือง 2 ตัวคือ เฟืองเกียร์สองและเกียร์สูง และเฟืองเกียร์หนึ่งและถอยหลัง เฟืองทั้งสองตัวนี้มีก้ามปู(Shifter yoke)บังคับไว้ ถ้าก้ามปูเลื่อนจะทำให้เฟืองเลื่อนเข้า-ออกได้ ก้ามปูถูกบังคับให้ทำงานด้วยคันเกียร์(Shift lever) ซึ่งเลือกเกียร์ได้ 6 ตำแหน่งคือ เกียร์หนึ่ง เกียร์สอง เกียร์สาม เกียร์สี่ เกียร์ถอยหลัง และเกียร์ว่าง เมื่อเข้าเกียร์ก้ามปูจะเลื่อนเฟืองบนเพลาส่งกำลังเข้าขบกับเฟืองบนเพลากลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพลารอง เพลาลัตซ์ หรือเฟืองกลับทางหมุน สุดแล้วแต่ตำแหน่งที่เลือก ตามรูป 3-28 เกียร์อยู่ในตำแหน่งว่างจึงไม่มีเฟืองตัวใดบนเพลาส่งกำลังขบกับเฟืองตัวอื่นเลย

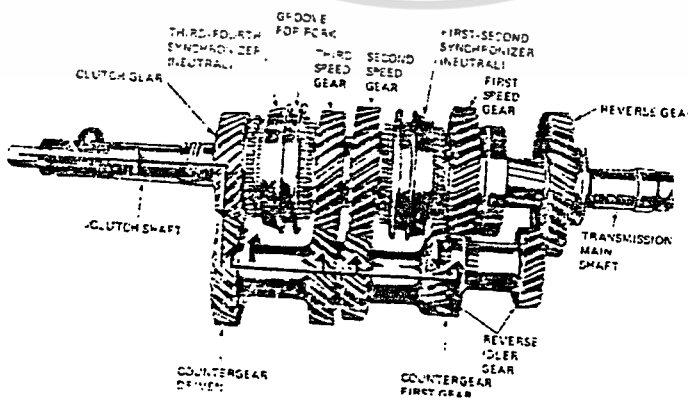


รูปที่ 3-23 ชุดส่งกำลัง

การส่งถ่ายกำลังของเกียร์

เกียร์ว่าง (Neutral)

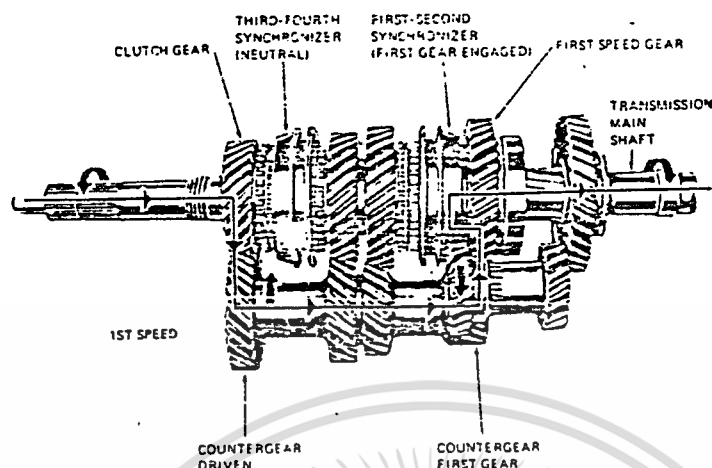
รูปที่ 3-24 ปลอกเลื่อนของทุก ๆ เกียร์จะอยู่ในตำแหน่งว่าง(Neutral) กำลังงานที่จะส่งไปขับเคลื่อนล้อถูกตัดที่กระปุกเกียร์ ถึงแม้ว่าเพลาลัตซ์จะหมุนก็ไม่สามารถส่งกำลังงานให้เป็นเพลาส่งกำลังได้สภาพเช่นนี้จะยอมให้เริ่มติดเครื่องยนต์หรือเมื่อรถจอดอยู่กับที่ ขณะนี้กำลังงานจากเครื่องยนต์จะส่งผ่านแผ่นคลัตซ์มายังเพลาลัตซ์ เฟืองเพลาลัตซ์ เฟืองเพลารองทุกตัว (เฟืองเพลารองที่ตัวใดที่สุดขบอยู่กับเฟืองเพลาลัตซ์ตลอดเวลา) ทำให้เฟืองบนเพลาส่งกำลังทุกตัวที่ขบอยู่กับเฟืองบนเพลารองหมุนด้วย แต่เนื่องจากเฟืองบนเพลาส่งกำลังกับเฟืองบนเพลารองนั้นไม่ได้เข้าชะรอง(Spline)ไว้ จึงทำให้หมุนฟรี ด้วยเหตุนี้ถึงแม้ว่าเฟืองเหล่านี้จะหมุนไปแต่ก็ไม่ได้พาให้เพลาส่งกำลังหมุนไปด้วย



รูปที่ 3-24 การส่งกำลังในตำแหน่งเกียร์ว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

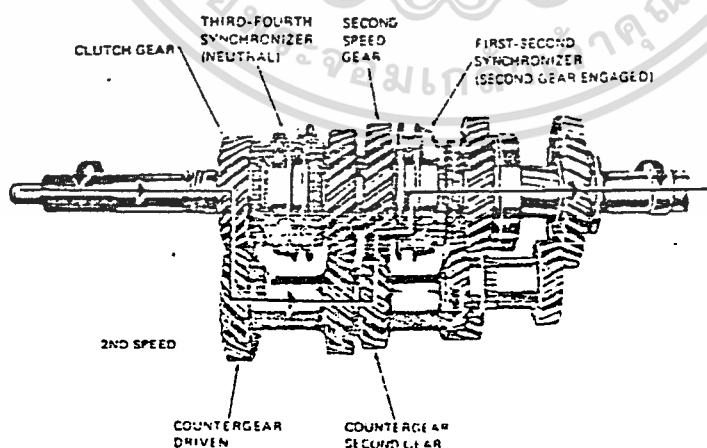
เกียร์ 1 (First gear)



รูปที่ 3-25 ขบวนการแสดงการส่งถ่ายกำลังขณะเป็นเกียร์ 1

รูปที่ 3-25 เมื่อเข้าเกียร์ 1 ปลอกเลื่อนเกียร์ 1-2 ของชุดซิงโครไนเซอร์ (First-second synchronizer) จะเลื่อนเข้าสวมกับพื้นผิวของเฟืองเกียร์ 1 (First speed gear) บนเพลาส่งกำลัง (Main shaft) ส่วนเฟืองคู่อื่นจะอยู่ในตำแหน่งว่าง (Neutral) ในชุดเฟืองเกียร์ 1 บนเพลารอง (Counter gear first gear) ซึ่งขณะนี้เป็นเฟืองขับ มีขนาดเล็กที่สุด และเฟืองเกียร์ 1 บนเพลาส่งกำลัง (First speed gear) ซึ่งขณะนี้เป็นเฟืองรับกำลังขับ มีขนาดใหญ่ที่สุด ฉะนั้นอัตราทดจึงสูงสุด

เกียร์ 2 (Second gear)

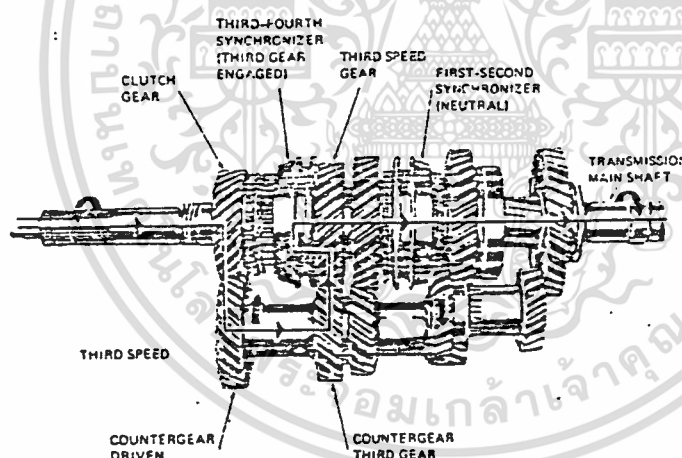


รูปที่ 3-26 ขบวนการแสดงการส่งถ่ายกำลังขณะเป็นเกียร์ 2

รูปที่ 3-26 เมื่อเข้าเกียร์ 2 ปลอกเลื่อนเกียร์ 1-2 ของชุดซิงโครไนเซอร์(First-second synchronizer) จะปลดจากชุดเฟืองเกียร์ 1 มาตำแหน่งว่าง แล้วเลื่อนเลยไปสวมกับฟันหน้าเฟืองของเฟืองเกียร์ 2 (Second speed gear) บนเพลาส่งกำลัง อัตราทดจะลดลง (ความเร็วของเพลาส่งกำลังจะเพิ่มขึ้น) เพราะเฟืองเกียร์ 2 บนเพลาส่งกำลัง(Countergear second gear) มีขนาดโตขึ้น แต่เฟืองเกียร์ 2 บนเพลาส่งกำลัง(Second speed gear) มีขนาดเล็กลง

เกียร์ 3 (Thrid gear)

รูปที่ 3-27 เมื่อเข้าเกียร์ 3 ปลอกเลื่อนเกียร์ 1-2 ของชุดซิงโครไนเซอร์(First-second synchronizer) ถูกปลดมาอยู่ตำแหน่งว่าง(Neutral) คันเลือกเกียร์จะเลื่อนปลอกเกียร์ 3-4 ของชุดซิงโครไนเซอร์(Thrid-fourth synchronizer) เข้าสวมกับฟันหน้าเฟืองเกียร์ 3 (Thrid speed gear) บนเพลาส่งกำลัง อัตราทดจะลดลงจากเกียร์ 2 ทำให้ความเร็วของเพลาส่งกำลังเพิ่มขึ้น เพราะเฟืองเกียร์ 3 บนเพลารอง(Countergear thrid gear) มีขนาดโตขึ้น และเฟืองเกียร์ 3 บนเพลาส่งกำลัง(Thrid speed gear) มีขนาดเล็กลง



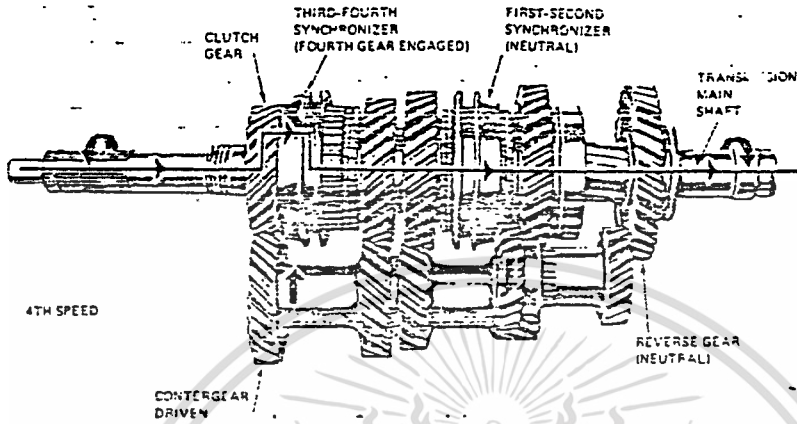
รูปที่ 3-27 ขบวนการแสดงการส่งถ่ายกำลังขณะเป็นเกียร์ 3

เกียร์ 4 (Fourth or high gear)

หรือที่เรียกว่าขับโดยตรง(Direct drive) รูป 3-28 เมื่อเข้าเกียร์ 4 ปลอกเลื่อนเกียร์ 3-4 ของชุดซิงโครไนเซอร์(Thrid-fourth synchronizer) จะปลดจากชุดเฟืองเกียร์ 3 มาตำแหน่งว่าง(Neutral) แล้วเลื่อนเลยไปสวมกับฟันหน้าเฟืองเพลาคลัตช์(Clutch gear) กำลังงานจะส่งตรงจากเพลาคลัตช์ไปยังเพลาส่งกำลัง ความเร็วของเพลาทั้งสองจะเท่ากัน อัตราทดจะเท่ากับ 1:1

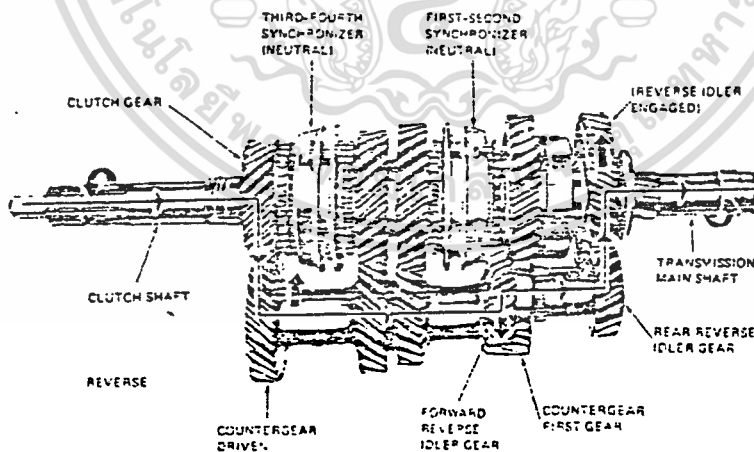
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่เป็นเกียร์เดินหน้าทุกเกียร์ การส่งกำลังจะผ่าน 3 เฟลา คือ เฟลาคัตซ์ เฟลารอง เฟลาส่งกำลัง ยกเว้นเกียร์ 4 ซึ่งส่งกำลังตรงจากเฟลาคัตซ์ไปยังเฟลาส่งกำลัง ทิศทางหมุนของเฟลาส่งกำลังจะไปทางเดียวกับเฟลาคัตซ์ ทำให้รถเดินหน้า



รูปที่ 3-28 ขบวนการแสดงการส่งกำลังขณะเป็นเกียร์ 4

เกียร์ ดอยหลัง (Reverse gear)



รูปที่ 3-29 ขบวนการแสดงการส่งกำลังขณะเป็นเกียร์ดอยหลัง

รูปที่ 3-29 ปลอกเลื่อนของทุก ๆ เกียร์จะอยู่ตำแหน่งว่าง (Neutral) เพื่อเกียร์ดอยหลังบนเฟลาส่งกำลัง (เฟืองตัวขวามือสุด) จะเลื่อนเข้าขบกับเฟืองเปลี่ยนทางหมุนตัวหลัง (Rear reverse idler gear) ตัวหน้าของเฟืองเปลี่ยนทางหมุนขบอยู่กับเฟืองเกียร์ 1 บนเฟลารองตลอดเวลา (เฟลาคัตซ์) ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟืองเปลี่ยนทางหมุนนี้จะมียู 2 ตัว) กำลังงานจากเพลาคลัตช์จะส่งผ่านมายังเพลารองที่เฟืองเกียร์ 1 ส่งผ่านไปยังเฟืองเปลี่ยนทางหมุนตัวหน้าและตัวหลัง แล้วไปยังเฟืองดอยหลังบนเพลาส่งกำลัง เนื่องจากตรงกลางเฟืองดอยหลังบนเพลาส่งกำลังจะร่อนไว้และสวมอยู่กับร่องหรือสไปลันบนเพลาส่งกำลัง ดังนั้นเมื่อเฟืองดอยหลังนี้หมุนไปจะพาเพลาส่งกำลังหมุนไปด้วย แต่หมุนในทิศทางสวนกับเพลาคลัตช์ ดังนั้นจึงดอยหลังได้ ถ้าเฟืองดอยหลังมีขนาดเท่ากับเฟืองเกียร์ 1 บนเพลาส่งกำลัง อัตราทดของเกียร์ดอยหลังจะเท่ากับเกียร์ 1 แต่ถ้าเฟืองกลับทางหมุนเป็นแบบเฟือง 2 ชั้น (มีเฟือง 2 ตัว) และเฟืองดอยหลังบนเพลาส่งกำลังโตกว่าเฟืองเกียร์ 1 บนเพลาส่งกำลัง อัตราทดของเกียร์ดอยหลังจะมากกว่าอัตราทดของเกียร์ 1

การที่เพลาส่งกำลังและเพลาคลัตช์หมุนสวนทางกันขณะเป็นเกียร์ดอยหลัง เป็นเพราะว่าขนาดของเฟืองที่ใช้ส่งถ่ายกำลังมี 4 เพลา คือ เพลาคลัตช์ (Clutch shaft) เพลารอง (Countershaft) และเฟืองเปลี่ยนทางหมุน (Reverse idler gear shaft) และเพลาส่งกำลัง (Transmission main shaft)

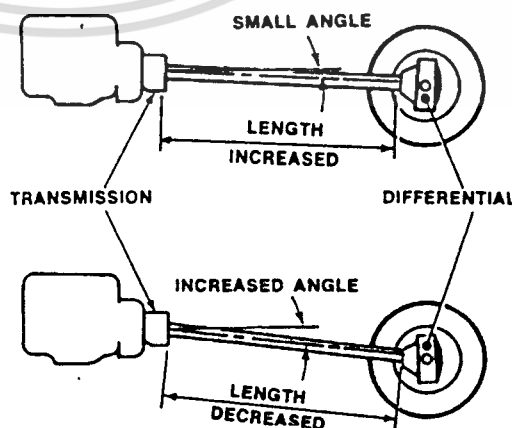
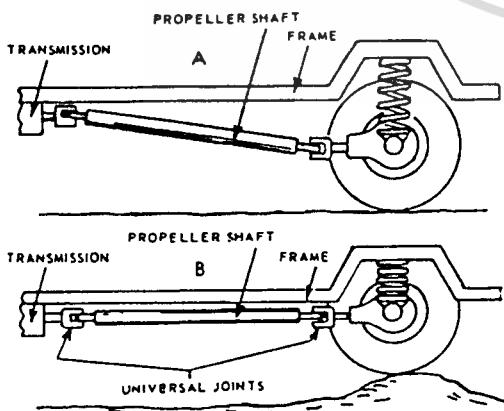
สำหรับเกียร์เดินหน้า การส่งถ่ายกำลังจะผ่านเพียง 3 เพลา คือ เพลาคลัตช์, เพลารอง และเพลาส่งกำลัง ทำให้ทิศทางการหมุนของเพลาคลัตช์และเพลาส่งกำลังเหมือนกัน

เพลากลาง (Propeller shaft)

เนื่องจากเพลากลางต่ออยู่ระหว่างเพลาส่งกำลังและกระปุกเกียร์ (Transmission output shaft) กับเพลาเฟืองเคี้ยวหมู (Driving pinion shaft) ของชุดเฟืองท้าย ดังนั้นเพลากลางจึงทำหน้าที่ส่งถ่ายแรงขับ (แรงบิดและอาการหมุน) จากเพลาส่งกำลังของกระปุกเกียร์ไปยังชุดเฟืองท้าย และลือตามลำดับ

การออกแบบเพลากลางจะต้องคำนึงถึงหลักความจริง 2 ประการคือ

1. เครื่องยนต์และกระปุกเกียร์ถูกยึดติดอยู่กับโครงรถ (Frame)
2. ชุดเฟืองท้าย เพลาท้าย และเสื้อเพลาท้ายถูกยึดติดกับแหนบหรือสปริง



รูปที่ 3-30 แสดงอาการเดินขึ้น-ลงของล้อหลัง รูปที่ 3-31 แสดงให้เห็นผลจากการเดินขึ้น-ลงของล้อหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน (1) มุมระหว่างกระปุกเกียร์กับเพลากลางเปลี่ยนไป ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข (2) ระยะห่างระหว่างกระปุกเกียร์กับชุดเฟืองท้ายเปลี่ยนไป นำไปใช้

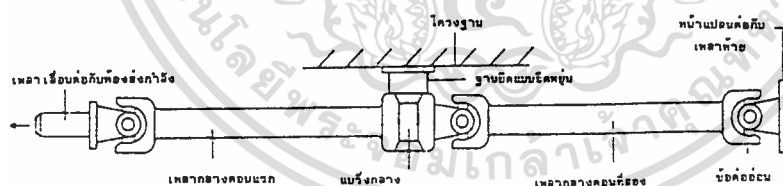
เมื่อล้อหลังกลิ้งไปบนผิวถนนที่ไม่เรียบหรือเป็นหลุม-บ่อ จะทำให้ล้อหลังเดินขึ้น-ลง รูปที่ 3-30 อาการเดินของล้อหลังนี้ก่อให้เกิดปัญหาคือ นอกจากจะทำให้มุมการส่งแรงขับเคลื่อนระหว่างเพลาส่งกำลังของกระปุกเกียร์กับเพลากลางเปลี่ยนไปแล้ว ยังทำให้ระยะห่างระหว่างกระปุกเกียร์กับชุดเฟืองท้ายเปลี่ยนไปอีกด้วย รูปที่ 3-31 ในกรณีที่ระยะห่างเปลี่ยนไปนั้น เนื่องจากเฟืองชุดท้ายไม่ได้เคลื่อนที่ไปตามเส้นรอบวงของวงกลมซึ่งมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ปลายเพลาส่งกำลังของกระปุกเกียร์ หากแต่เป็นการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงตรง ๆ หรือเป็นการเคลื่อนที่ตามเส้นรอบวงของวงกลมซึ่งมีสัดกันเหินเป็นจุดศูนย์กลาง

ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจึงต้องมีการออกแบบอุปกรณ์ประกอบเข้ากับเพลากลางเพิ่มขึ้น คือการใช้ข้อต่ออ่อน (Universal joint) แก้ปัญหาเรื่องมุม และการใช้ข้อต่อเลื่อน (Slip joint) แก้ปัญหาระยะห่างที่เปลี่ยนไป

โครงสร้างของเพลากลาง (Propeller shaft construction)

เพลากลางทำด้วยเหล็กกล้า มีขนาดรูปร่างและความแข็งแรงพอที่จะทนต่อความเค้นต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นขณะใช้งานได้ นอกจากนี้เพลากลางจะต้องมีน้ำหนักเบาและได้สมดุล มิฉะนั้นขณะที่เพลาหมุนด้วยความเร็วสูง จะทำให้เกิดการแกว่งและมีอาการสั่นสะเทือนได้ เพลากลางที่ใช้งานจะออกแบบเป็น 2 ท่อน ดังรูปที่ 3-32 โดยใช้วัสดุ 2 แบบคือ

1. แบบเป็นท่อนเหล็กตัน (Solid shaft)
2. แบบเป็นท่อ (Tubular)



รูปที่ 3-32 แสดงเพลากลางแบบ 2 ท่อน ใช้ข้อต่ออ่อน 3 ตัว

ข้อต่ออ่อน (Universal joint)

ข้อต่ออ่อนเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ได้รับการออกแบบและสร้างมาให้ทำหน้าที่ต่อเพลา 2 ท่อนที่ไม่ได้อยู่ในระนาบเดียวกัน (ทำมุมต่อกัน) และสามารถส่งถ่ายกำลังขับเคลื่อน (Driving power) จากเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่งได้

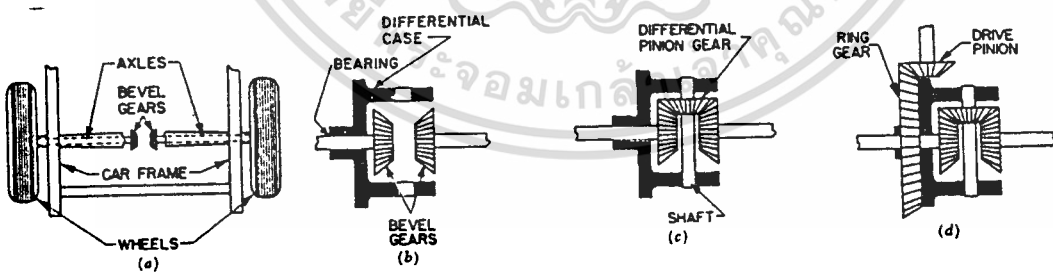
ลักษณะการทำงานของข้อต่ออ่อนก็คือ มันจะทำให้เพลาตามหรือเพลาที่ถูกขับ (Driven shaft) หมุนด้วยความเร็วในรอบหนึ่ง ๆ ไม่คงที่ (หมายความว่าใน 1 รอบ ซึ่งเท่ากับ 360 องศา จะนิยิบช่วงช้าบางช่วงเร็ว) ทั้ง ๆ ที่ความเร็วรอบของเพลาขับเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟืองท้าย (Differential)

ถ้าขับรถในแนวตรงไม่มีการเลี้ยวเลย ก็ไม่จำเป็นต้องใช้เฟืองท้าย แต่เมื่อมีการเลี้ยว ล้อด้านนอกจะต้องเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทางมากกว่าล้อด้านใน ถ้าล้อหลังทั้งสองข้างยึดติดแน่นกับเพลาหลังท่อนเดียวกัน ล้อทั้งสองจะเคลื่อนที่เป็นระยะทางเท่า ๆ กัน เมื่อรถเลี้ยว ล้อจะไถลหรือครูดไปกับถนนซึ่งทำให้ยางสึกหรอมาก นอกจากนี้ยังทำให้การบังคับรถขณะเลี้ยวทำได้ยาก เฟืองท้ายจะขจัดปัญหานี้ให้หมดไป เพราะเฟืองท้ายจะทำให้ล้อหมุนไม่เท่ากันขณะเลี้ยว

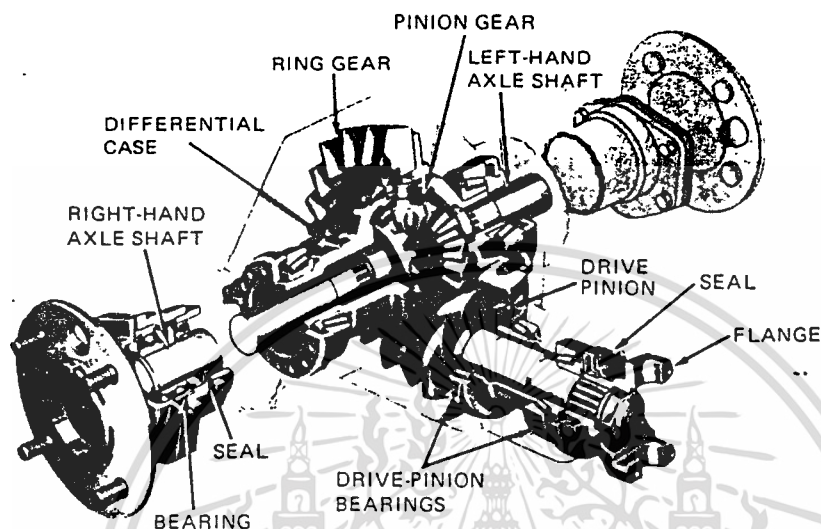
ในการศึกษาโครงสร้างและการทำงานของเฟืองท้าย เราลองพิจารณาเฟืองท้ายแบบง่าย ๆ รูปที่ 3-33 ล้อทั้งสองยึดอยู่กับเพลาล้อละหนึ่งท่อน ซึ่งมีเฟืองเพลาท้ายหรือเฟืองหัวเพลา (Bevel gears or side gears) สวมอยู่ที่ปลายเพลา รูปที่ 3-33(a) และเฟืองทั้งสองนี้สวมอยู่ในเรือนเฟืองดอกจอก (Differential case) รูปที่ 3-33(b) เพลาด้านซ้ายหมุนเป็นอิสระกับตัวเรือนเฟืองดอกจอก มีเฟืองดอกจอกตัวเล็ก (Differential pinion gear) ขบอยู่ระหว่างเฟืองเพลาทั้งสอง โดยมีแกน (Shaft) สอดยึดติดกับตัวเรือน รูปที่ 3-33(c) ดังนั้นเมื่อเรือนเฟืองดอกจอกหมุนไปก็จะพาเอาเฟืองทั้งสามหมุนไปด้วย ทำให้ล้อทั้งสองหมุนไปพร้อมกัน สมมติว่าล้อข้างหนึ่งอยู่กับที่ เมื่อเรือนเฟืองดอกจอกหมุนไป แกนเฟืองดอกจอกตัวเล็กจะพาเฟืองดอกจอกเคลื่อนที่ตามไป แต่เนื่องจากเฟืองเพลาท้ายข้างหนึ่งอยู่กับที่ (ตามที่สมมติ) ฉะนั้นเฟืองดอกจอกตัวเล็กจะหมุนรอบแกนของมันได้ไปตามฟันเฟืองที่อยู่กับที่ ขณะเดียวกันนี้ฟันของเฟืองดอกจอกตัวเล็กก็จะขบฟันเพลาท้ายอีกด้านหนึ่งให้หมุนเร็วขึ้น อาการเช่นนี้จะเห็นได้จากเมื่อล้อหลังข้างหนึ่งหมุนเร็วกว่าล้อหลังอีกข้างหนึ่ง อย่างไรก็ตามถ้าล้อแฉ่นทางตรงล้อทั้งสองจะหมุนด้วยความเร็วเท่า ๆ กัน อาการเช่นนี้แสดงว่าเฟืองดอกจอกตัวเล็กไม่หมุนรอบแกนของมัน



รูปที่ 3-33 เพลาท้ายและเฟืองท้าย (a)เพลาท้ายยึดติดกับล้อและมีเฟืองเพลาท้ายอยู่ที่ปลายด้านใน (b)เรือนเฟืองดอกจอกประกอบอยู่ทางเพลาด้านซ้าย แต่หมุนได้เป็นอิสระกับเพลา (c)ภายในเรือนเฟืองดอกจอกตัวเล็กขบอยู่กับเฟืองเพลาท้ายทั้งสองโดยมีแกนสวมติดกับตัวเรือน (d)เฟืองวงแหวนยึดติดอยู่กับตัวเรือนเฟืองดอกจอกและขบอยู่กับเฟืองขับ

การที่เฟืองดอกจอกหมุนไปได้ก็มีเฟืองวงแหวน (Ring gear) ยึดติดอยู่ เฟืองวงแหวนนี้ขบอยู่กับเฟืองขับ (Drive pinion) ซึ่งค่ออยู่กับปลายเพลากลางดังรูปที่ 3-33(d) เมื่อรถแล่นทางตรง

เฟืองวงแหวน เรือนเฟืองคอกจอก เฟืองคอกจอก และเฟืองเพลาท้ายหรือเฟืองหัวเพลาทิ้งสอง จะหมุนไปคล้ายกับเป็นโลหะแท่งเดียวกัน ต่อเมื่อรถเริ่มเลี้ยว เฟืองคอกจอกตัวเล็กจะหมุนรอบแกนของมัน ทำให้เพลาท้ายทั้งสองข้างหมุนด้วยความเร็วไม่เท่ากัน เฟืองท้ายที่ใช้กับรถยนต์ที่แท้จริงนั้นจะมีส่วนประกอบที่ยุ่งยากและซับซ้อนมาก ดังรูป



รูป 3-34 รูปตัดแสดงให้เห็นส่วนประกอบภายในของเฟืองท้ายและเพลาท้าย

3.1.7 ระบบกันสะเทือน

ระบบกันสะเทือนของรถยนต์เป็นอุปกรณ์อีกส่วนหนึ่งที่จำเป็นมากสำหรับรถยนต์ เพื่อช่วยลดแรงกระแทกและดูดซับการสั่นสะเทือน ทำให้ผู้ขับขี่รู้สึกสบายและป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนต่างๆ ได้อีกด้วย

ระบบกันสะเทือนคือชุดสปริงที่ติดตั้งอยู่ระหว่างโครงฐานกับเพลาท้าย ทำหน้าที่ป้องกันแรงกระแทกไม่ให้ส่งผ่านจากถนนเข้าสู่ตัวถังรถยนต์และห้องผู้โดยสาร ความยืดหยุ่นของชิ้นส่วนในระบบกันสะเทือน จะยอมให้ล้อเคลื่อนที่ขึ้นลงได้อย่างอิสระซึ่งช่วยลดแรงกระแทกที่กระทำต่อตัวถังรถยนต์

สปริงที่ใช้ในระบบกันสะเทือนมักนิยมใช้สปริงแบบขดและแบบแผ่น

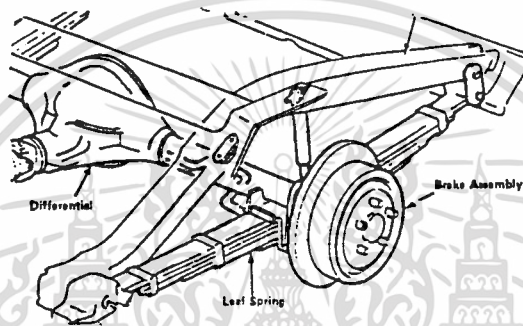
สปริงแบบแผ่นหรือแหนบ

มี 2 แบบ คือ แบบหลายแผ่น (Multileaf Spring) และ แบบแผ่นเดี่ยว (Single-leaf Spring)

แหนบหลายแผ่น

เป็นแบบที่นิยมใช้กันมากในอดีตถึงปัจจุบัน ทำด้วยเหล็กกล้าเป็นแผ่นวางซ้อนกัน ความยาวของแต่ละแผ่นไม่เท่ากัน โดยแผ่นบนจะเป็นแผ่นที่ยาวที่สุดเรียกว่า แหนบหู แผ่นถัดไปจะมีความยาวลดหลั่นกันลงไปโดยทุกแผ่นจะเจาะรูตรงกลาง มีสลักเกลียวร้อยขันติดไว้ด้วยกัน

แหนบจะเปลี่ยนแปลงความโค้งของแผ่นตลอดเวลาตามสภาพการเปลี่ยนแปลงภาระที่กระทำกับสปริง ดังนั้นระยะห่างระหว่างห้วงที่ปลายทั้งสองจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา จึงไม่สามารถยึดห้วงที่ปลายทั้งสองให้คงที่ได้ โดยทั่วไปจึงออกแบบให้ห้วงด้านหลังยึดติดกับฐานโดยใช้สลักเกลียว ส่วนห้วงด้านหน้ายึดติดกับฐานยึดโดยใช้หูยึดสปริงซึ่งสามารถแกว่งไปแกว่งมาได้



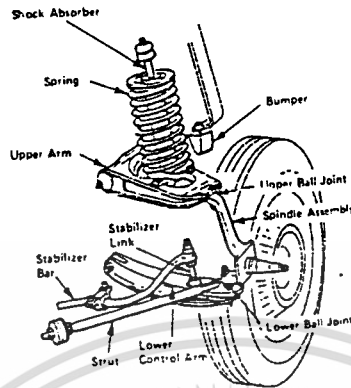
รูปที่ 3.35 แหนบหลายแผ่น

การโค้งตัวและการยืดหยุ่นของแหนบ แหนบจะลื่นไถลเสียดสีซึ่งกันและกัน แรงเสียดทานระหว่างแผ่นสปริงขึ้นอยู่กับภาระที่กระทำกับแหนบ เนื่องจากแหนบไม่มีการหล่อลื่น ดังนั้นแรงเสียดทานทำให้สปริงมีความแข็งเพิ่มขึ้น ซึ่งสภาพดังกล่าวจะทำให้ประสิทธิภาพและความสามารถในการรับภาระของแหนบลดลง ดังนั้นเพื่อควบคุมความเสียหายที่เกิดขึ้น จึงสอดแผ่นกันระหว่างแหนบด้วยแถบพลาสติก สังกะสี หรือ ยางสังเคราะห์ ทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพ

แหนบแผ่นเดียว

หรืออาจเรียกว่า แหนบแผ่นเรียบ ตรงกลางของแผ่นจะหนา แล้วค่อยๆ เรียวไปยังปลาย แผ่นทั้งสองข้าง เหมาะสมสำหรับใช้ในรถพ่วงทั่วไป

สปริงแบบขด (Coil Spring)



รูปที่ 3-36 สปริงแบบขด

สปริงขดสามารถรับแรงกดของภาระต่างๆ ได้ดี แต่ไม่สามารถรับแรงกระทำด้านข้างได้ ดังนั้นจะต้องมีแขนเสริมในระบบกันสะเทือนเพื่อรับแรงกระทำที่ไม่สามารถรับได้ด้วยสปริง

สปริงขดเป็นชิ้นเดียวจึงไม่มีความฝืดระหว่างแผ่นแหนบ จึงไม่มีความฝืดไปด้านการยุบตัวหรือยืดออกของสปริง ใช้เพียงความต้านทานของแรงความเครียดภายในของวัสดุที่ใช้ทำสปริงเท่านั้น ถ้าสปริงมีความยืดหยุ่นสูงจึงต้องใช้โช้คอัพเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการยืดตัวหรือคืนกลับมากเกินไป

โช้คอัพ (Shock Absorbers)

เป็นอุปกรณ์ช่วยเสริมการทำงานของสปริง ให้มีการทำงานที่นุ่มนวลขึ้น เนื่องจากสปริงถ้ามีการยืดหยุ่นมากเกินไปทำให้เกิดการโค้งตัวและคืนตัวกลับมากเกินไป หรือถ้าสปริงแข็งกระด้างก็ จะไม่โค้งหรือคืนตัวกลับมากนักหลังจากที่ล้อรถตกหลุม ทำให้การขับขี่ไม่นุ่มนวล

โช้คอัพจึงเป็นอุปกรณ์ที่เข้ามาช่วยหน่วงหรือด้านการยุบและการยืดตัวของสปริงที่เกิดขึ้นซ้ำๆ กันให้เหลือน้อยที่สุด หรือหมดไปโดยเร็ว เมื่อล้อผ่านหลุมหรือสิ่งกีดขวางบนถนน

โช้คอัพมีการทำงานหลายอย่างเช่น ทำงานด้วยความฝืด(Friction) อากาศอัด(Compressed Air) หรือ ไฮดรอลิก(Hydraulic) ในปัจจุบันนิยมใช้แบบไฮดรอลิกซึ่งบรรจุของเหลวและใช้แรงดันดันผ่านรูเล็ก ๆ เมื่อโช้คอัพทำงานโดยการยุบตัวและยืดตัวของสปริง ความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของของเหลวผ่านรูเล็กๆจะหน่วงการทำงานของสปริง ซึ่งจะทำให้การเคลื่อนที่ที่กลับไปกลับมา (การยุบหรือยืดตัว) ของสปริงหมดไปโดยเร็ว

โช้กอัพจึงเป็นอุปกรณ์ที่เข้ามาช่วยหน่วงหรือด้านการยุบและการยืดตัวของสปริงที่เกิดขึ้นซ้ำๆ กันให้เหลือน้อยที่สุด หรือหมดไปโดยเร็ว เมื่อล้อยผ่านหลุมหรือสิ่งกีดขวางบนถนน

โช้กอัพมีการทำงานหลายอย่างเช่น ทำงานด้วยความฝืด(Friction) อากาศอัด(Compressed Air) หรือ ไฮดรอลิก(Hydraulic) ในปัจจุบันนิยมใช้แบบไฮดรอลิกซึ่งบรรจุของเหลวและใช้แรงดันดันผ่านรูเล็ก ๆ เมื่อโช้กอัพทำงานโดยการยุบตัวและยืดตัวของสปริง ความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของของเหลวผ่านรูเล็กๆจะหน่วงการทำงานของสปริง ซึ่งจะทำให้การเคลื่อนที่กลับไปที่กลับมา (การยุบหรือยืดตัว) ของสปริงหมดไปโดยเร็ว

ชนิดของโช้กอัพ

โช้กอัพทำงานโดยตรงแบบทำงานหลายทาง (Direct-acting shock absorber)

หลักการทำงานแบบง่ายๆคือ เมื่อสปริงยุบหรือยืดตัว ลูกสูบจะดันของเหลวภายในกระบอกสูบผ่านรูเล็กๆ ทำให้เกิดความฝืดของของเหลวซึ่งจะเปลี่ยนพลังงานที่รับไว้เป็นความร้อน ซึ่งความร้อนจะถูกของเหลวพาออกไปสู่บรรยากาศ

เมื่อล้อปะทะกับสิ่งกีดขวางบนถนน จะทำให้ล้อเคลื่อนที่ขึ้นข้างบน สปริงจะยุบตัว ในขณะเดียวกันโช้กอัพจะถูกดันให้หดสั้นเข้ามา ทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลงข้างล่าง การเคลื่อนที่ลงของลูกสูบจะดันของเหลว หรือน้ำมันไฮดรอลิกที่อยู่ทางด้านล่างของลูกสูบ ทำให้น้ำมันมีแรงดัน ในขณะเดียวกันที่ห้องด้านบนจะเกิดสุญญากาศ น้ำมันจึงไหลผ่านรูเล็กๆ ขึ้นไปยังห้องทางด้านบน น้ำมันส่วนที่เหลือที่ไม่สามารถไหลขึ้นไปทางห้องข้างบนได้ก็จะไหลกลับเข้าไปยังห้องเก็บน้ำมัน

โช้กอัพทำงานโดยตรงแบบทำงานทางเดียว (Direct-acting shock absorber)

โครงสร้างของการทำงานแบบทางเดียวคล้ายกับแบบทำงานสองทาง แต่แบบทำงานทางเดียวไม่มีลิ้นอัด มีแต่ลิ้นยืด ดังนั้นในขณะที่สปริงยุบตัวจะไม่มี ความต้านทานของโช้กอัพเลย แต่จะมีความต้านทานเมื่อสปริงเริ่มยืดตัว

โช้กอัพแบบมี ห้องบรรจุแก๊ส (Gas-fill cell in shock absorber)

ข้อบกพร่องของการใช้โช้กอัพแบบน้ำมันเกิดจากการเคลื่อนที่ที่รวดเร็วของน้ำมันระหว่างห้องทางด้านบนและด้านล่าง ทำให้เกิดฟองน้ำมันขึ้นในน้ำมัน ซึ่งจะทำให้โช้กอัพมีความหนืดน้อยลง เนื่องจากลูกสูบเคลื่อนที่ผ่านฟองอากาศ ทำให้ความต้านทานน้อยลง การควบคุมการเดินของล้อก็จะลดลง จึงหาวิธีแก้โดยใช้ห้องบรรจุแก๊ส แก๊สจะเข้ามาแทนอากาศในโช้กอัพ ทำให้ไม่มีฟองอากาศในน้ำมัน

โช้กอัพแบบกระบอกสูบขนานกัน (Parallel-cylinder shock absorber)

หรือเรียกว่า โช้กอัพไฮดรอลิก ซึ่งจะมีกระบอกสูบสองกระบอกอยู่ข้างกัน แต่ละกระบอกจะมีลูกสูบหนึ่งสูบ แขนโช้กอัพยึดกับสลักล้อ การเคลื่อนที่ขึ้นลงทำให้แขนของโช้กอัพขยับตัวทำให้ลูกสูบลูกใดลูกหนึ่งเคลื่อนที่ในกระบอกสูบของมัน ซึ่งการเคลื่อนที่จะถูกต้านทานด้วยน้ำมันไฮดรอลิก

โช้กอัพทำงานสองทางแบบใช้ลูกเบี้ยวผลักดันลูกสูบ (Cam actuated piston type shock absorber)

โช้กอัพแบบนี้ประกอบด้วย ตัวเรือน ซึ่งบรรจุห้องเก็บน้ำมันและกระบอกสูบ แต่ละกระบอกจะอยู่ตรงข้ามกัน เมื่อสปริงทำงาน (ยุบหรือยืดตัว) น้ำมันจะถูกดันจากกระบอกสูบหนึ่งไปยังอีกกระบอกสูบหนึ่งโดยผ่านรูเล็กๆ ทำให้เกิดความหน่วงหรือต้านทานการทำงานของสปริง ลื่นควบคุมถูกออกแบบให้เปิดเป็นองศาต่างๆตามความเร็ว ทำให้ควบคุมการทำงานของสปริงให้เหมาะสมกับสภาพถนนได้

โช้กอัพแบบใช้ใบพัดหมุน (Rotary vane type shock absorber)

โช้กอัพแบบนี้คล้ายคลึงกับแบบอื่น แต่ใช้ใบพัดแทนลูกสูบ

3.1.8 ระบบเบรก

ในรถไฟฟ้าไฮบริด ใช้เบรกหรือห้ามล้อไฮดรอลิกแบบดรัม(Drum) ซึ่งทางเบรกหรือฝักเบรกจะกางออกให้ผ้าเบรกเสียดสีกับผิวหน้าของดรัม

ห้ามล้อรถยนต์เป็นอุปกรณ์ความฝืด ทำหน้าที่เปลี่ยนกำลังงาน(Power) ให้เป็นความร้อน ดังนั้นอาจจะอธิบายห้ามล้อได้ในรูปของอุปกรณ์ทางกล(Mechanical devices) เพื่อลดหรือหน่วงความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถลงในรูปของความฝืด เครื่องยนต์เปลี่ยนความร้อนของการเผาไหม้ซึ่งเป็นผลจากการลุกไหม้ของเชื้อเพลิงให้เป็นกำลังงานใช้ในการขับเคลื่อนรถ ห้ามล้อเปลี่ยนกำลังงานของโมเมนตัม (พลังงานจลน์) ของรถที่กำลังเคลื่อนที่ ให้เป็นความร้อนในรูปของความฝืด

ตัวประกอบที่ ควบคุมการหยุดของรถ

ความเร็วของรถ ชนิดและสภาพของถนนจะเป็นตัวประกอบที่สำคัญที่ต้องพิจารณาในการควบคุมการหยุดของรถ นอกจากนี้ยังมีตัวประกอบอื่น ๆที่เกี่ยวข้องอีก ได้แก่

1.ความเร็วและน้ำหนักของรถ เนื่องจากการหยุดรถเกี่ยวข้องกับการรับเอาพลังงานมาสะสมไว้ความเร็วยิ่งสูง และน้ำหนักยิ่งมาก พลังงานที่จะต้องใช้เพื่อทำให้รถหยุดยิ่งมาก

2.ผิวหนาดถนน งานสูงสุดที่ห้ามล้อสามารถทำงานได้คือยึดล้อไว้ไม่ให้หมุน อย่างไรก็ตามการหยุดรถที่รวดเร็วที่สุดไม่ใช่เกิดขึ้นในขณะที่ล้อหยุดหมุนหรือลื่นไถล แต่เกิดขึ้นในขณะที่ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามล้อให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ล้อกำลังจะหยุดหมุนหรือลื่นไถล สัมประสิทธิ์ทางความฝืดระหว่างผิวหน้าถนนกับยางรถจะมีค่าสูงที่สุดคือ ก่อนที่ล้อจะเริ่มคันลื่นไถลเล็กน้อย สัมประสิทธิ์ทางความฝืดระหว่างยางกับถนนจะแตกต่างกันตาม ความแตกต่างของแบบและสภาพของผิวหน้าถนน

3.ดอกยาง สภาพของดอกยางเป็นตัวยุทธปัจจัยสำคัญในการควบคุมการหยุดของรถ ดอกยางใหม่มีร่องระบายน้ำลึกมาก จะให้สัมประสิทธิ์ของความฝืดสูงกว่ายางหัวโล้น

4.สภาพถนน ถ้ารถแล่นขึ้นเขาและทำการห้ามล้อในช่วงนี้ แรงโน้มถ่วงจะช่วยให้การหยุดรถได้เร็วขึ้น แต่ถ้ารถแล่นลงเขาและทำการห้ามล้อแรงโน้มถ่วงก็จะพยายามทำให้รถเคลื่อนที่ ดังนั้นต้องเพิ่มแรงในการเหยียบเบรกมากขึ้น

5.จำนวนล้อที่ถูกเบรก ล้อทุกล้อควรจะมีอุปกรณ์ในการเบรกอยู่ด้วยเพื่อทำให้เกิดการห้ามล้อได้ดีที่สุด เพราะถ้าล้อที่ไม่มีอุปกรณ์เบรกประกอบอยู่จะต้องใช้เวลาในการหยุดรถเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้รถยนต์จึงมีอุปกรณ์เบรกประกอบอยู่ทุกล้อ (เบรกทั้ง 4 ล้อ)

6.ความฝืดระหว่างผ้าเบรกและจานเบรกครัม สัมประสิทธิ์ความฝืดระหว่างผ้าเบรกกับจานเบรกครัมจะเป็นตัวควบคุมความสามารถของห้ามล้อที่จะป้องกันล้อไม่ให้หมุนต่อไป

7.แรงดันในการห้ามล้อตัวประกอบที่สำคัญอีกประการหนึ่ง ได้แก่ แรงที่ใช้ในการเหยียบเบรกและการได้เปรียบเชิงกลของก้านต่อ (จากคันเหยียบเบรกและแม่ปั๊ม กระบอกเบรกที่ล้อ และขาเบรก)

8.การเพิ่มแรงดันในตัวเองและขาเบรก (Self energizing) จานเบรกครัมเบรกเท่านั้น) เมื่อขาเบรกถูกดันออกด้านกับจานเบรกครัม ขาเบรกมีแนวโน้มที่จะหมุนตามจานเบรกครัมไป จึงเกิดแรงในรูปลิ้ม ทำให้ผ้าเบรกอัดกับครัมแน่นขึ้น อาการดังกล่าวนี้คือการเพิ่มกำลังดันในตัวเองของขาเบรก ตำแหน่งที่ติดตั้งสลักยึด (Anchor pin) เป็นตัวประกอบที่สำคัญในการทำให้เกิดการเพิ่มกำลังดันในตัวเองของขาเบรก

9.การถ่ายเทน้ำมัน น้ำหนักที่ลงบนระบบการรองรับน้ำหนักล้อหน้าและระบบการรองรับน้ำหนักล้อหลังของรถส่วนมากจะเท่ากันหรือเท่าเทียมกัน แต่เมื่อห้ามล้อทำงาน น้ำหนักของล้อหลังจะถ่ายเทไปยังล้อหน้า ซึ่งเกิดขึ้นโดยความโน้มเอียงของรถที่จะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าต่อไป ถ้าห้ามล้อทำงานรุนแรงมากขึ้น (คือเบรกให้รถหยุดเร็วขึ้น) การถ่ายเทน้ำหนักจากล้อหลังไปยังล้อหน้าจะยิ่งมากขึ้น ดังนั้นการออกแบบห้ามล้อจะออกแบบให้ล้อหน้ามีแรงเบรกมากกว่าล้อหลัง ซึ่งอาจจะทำได้โดยทำให้กระบอกเบรกที่ล้อหน้าใหญ่กว่าล้อหลัง

10.แรงในการเบรกของเครื่องยนต์ (Engine brake) ใช้เครื่องยนต์ในการเบรกให้รถช้าลงได้ ผลของการเบรกของเครื่องยนต์จะเกิดขึ้นน้อยในขณะที่ขับด้วยเกียร์สูง (เกียร์ 4 หรือเกียร์สูงสุด) แต่ในตำแหน่งเกียร์ต่ำการใช้เครื่องยนต์เบรกจะมีผลมากกว่า หรือในกรณีที่รถแล่น เกียร์ 4 แล้วเปลี่ยนเป็นเกียร์ 3 รถจะแล่นช้าลง เรียกว่า ใช้เกียร์ช่วยในความเร็วยของรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงในการห้ามล้อ (Braking forces)

เมื่อทำการห้ามล้อรถจะต้องใช้แรงเป็นจำนวนมหาศาล ทั้งนี้เพราะจะต้องหยุดรถในเวลาที่สั้นกว่าเมื่อเร่งความเร็ว วิธีง่าย ๆ ที่จะอธิบายก็คือการเปรียบเทียบระหว่างแรงม้าที่ต้องการในการเร่งความเร็วของรถ และแรงม้าที่ต้องการในการหยุดรถ

รถที่ใช้เครื่องยนต์ขนาด 100 แรงม้า จะต้องใช้เวลาประมาณ 60 นาติ เพื่อเร่งความเร็วของรถขึ้นไปถึง 60 ไมล์/ชั่วโมง แต่รถคันนี้จะต้องสามารถหยุดจากความเร็ว 60 ไมล์/ชั่วโมง ในเวลาไม่เกิน 6 วินาที ซึ่งอาจจะกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่า ห้ามล้อต้องทำงานเท่ากับเครื่องยนต์ แต่ใช้เวลาเพียง 1/10 ของเครื่องยนต์ นั่นคือ ห้ามล้อจะต้องสร้างแรงม้าขึ้นประมาณ 1,000 แรงม้า เพื่อหยุดรถ

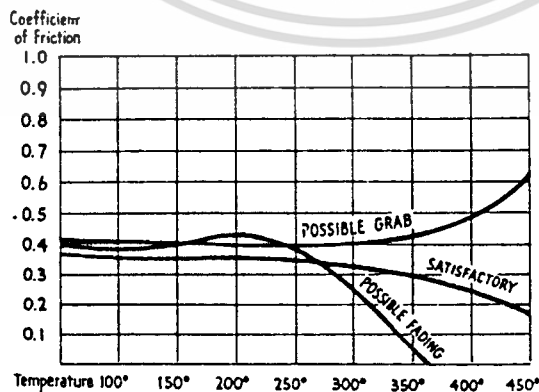
ผลเนื่องจากน้ำหนักและความเร็ว (Effect of weight and speed)

น้ำหนักและความเร็วของรถมีผลในการห้ามล้อ ถ้าน้ำหนักของรถเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า พลังงานของการเคลื่อนที่ซึ่งจะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนจะเป็นสองเท่าด้วย หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่า ถ้าน้ำหนักเป็นสองเท่าจำนวนความร้อนที่ได้รับมาและกระจายไปจะเป็นสองเท่าด้วย ด้วยเหตุนี้ไม่ควรบรรทุกน้ำหนักมากเกินไป

ความเร็วที่เพิ่มขึ้นยังเป็นอันตรายมากกว่า เพราะถ้าความเร็วเป็นสองเท่า ความเร็วที่จะทำให้รถหยุดจะเพิ่มเป็นสี่เท่า และห้ามล้อต้องรับแรงและกระจายความร้อนเป็นสี่เท่าด้วย

ความฝืดของยางและห้ามล้อ (Brake and tire friction)

เมื่อเหยียบคันเบรกให้เบรกทำงาน ขาเบรก (Brake shoes) จะถูกดันให้กางออกไปสัมผัสหรือเสียดสีกับจานเบรกดรัม ทำให้การหมุนของล้อช้าลง พร้อมกันนั้นความฝืดระหว่างยางกับพื้นถนนทำให้ความเร็วของรถช้าลง อย่างไรก็ตาม ความฝืดระหว่างขาเบรกกับจานเบรกจะไม่อยู่คงที่ แต่พยายามเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จากผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ของความฝืดของผ้าเบรกจะอยู่ในช่วง 0.35-0.50 ความแตกต่างกันอยู่ที่วัสดุที่ใช้ทำผ้าเบรกและจานเบรกดรัมความฝืดของยางกับถนนจะมีประมาณ 0.02 แต่ก็แตกต่างกันระหว่างผิวหน้าถนน เช่นกัน



รูปที่ 3-37 อุณหภูมิมีผลต่อสัมประสิทธิ์ของความฝืดของผ้าเบรก 3 ชนิดใช้กับจานเบรกดรัมซึ่งทำด้วยเหล็กหล่อ ที่อุณหภูมิค่าสัมประสิทธิ์ของความฝืดเท่ากันแต่ที่อุณหภูมิสูงจะแตกต่างกัน

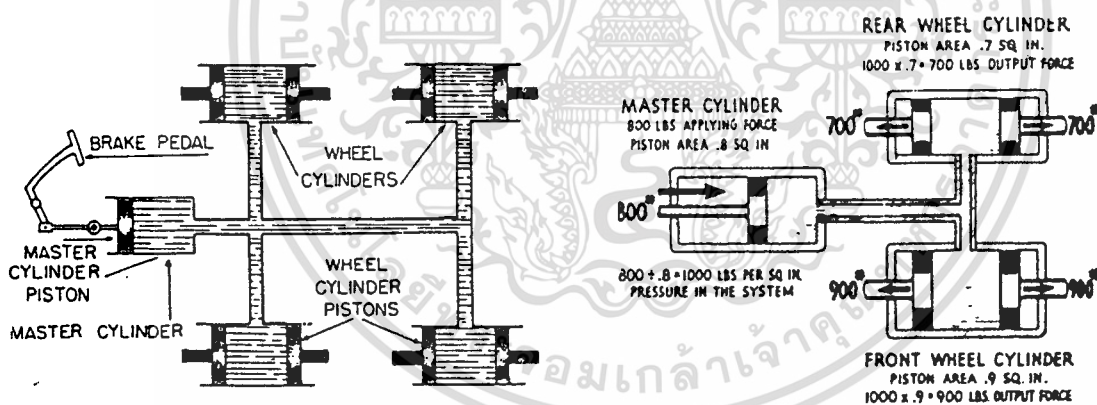
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการหยุดรถให้ได้รวดเร็วที่สุดนั้นจะกระทำได้อันเนื่องมาจากการกดปุ่มเหยียบในทันทีที่ล้อถูกล็อกหรือถูกจับแน่นไม่สามารถหมุนได้ จะมีความฝืดน้อย และรถจะไม่หยุดโดยรวดเร็ว (ล้อจะลื่นไถลไปอีกเป็นระยะทางจำนวนหนึ่ง)

สัมประสิทธิ์ของความฝืดของผ้าเบรกส่วนมากจะเพิ่มตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น แต่ก็ไม่เสมอไป ดังรูปที่ 3-37 แสดงสัมประสิทธิ์ของความฝืดของผ้าเบรกชนิดหนึ่งซึ่งเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น เป็นผลให้เบรกตาย (Grabbing brakes) ผ้าเบรกอันที่สองค่อนข้างคงที่ แต่ผ้าเบรกอันที่สาม สัมประสิทธิ์ตกต่ำลงอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้เบรกไม่อยู่ (Fading brakes)

ห้ามล้อไฮดรอลิก (Hydraulic brakes)

เนื่องจากของเหลวยุบตัวไม่ได้ และแรงดันในระบบที่ไม่มีทางรั่วไหลจะเท่ากันทุกจุด หลักการนี้ได้นำมาใช้ในระบบห้ามล้อไฮดรอลิก ดังรูปที่ 3-38 ระบบนี้คันเหยียบเบรกจะยึดติดกับแม่ปั๊ม (Master cylinder) เมื่อเหยียบหรือกดคันเหยียบเบรกจะทำให้ลูกสูบเคลื่อนเข้าไปในกระบอกสูบของแม่ปั๊ม การเคลื่อนที่ของลูกสูบนี้จะดันน้ำมันเบรกตลอดระบบ และเข้าไปยังกระบอกเบรกที่ล้อแต่ละล้อ เมื่อเป็นเช่นนี้ลูกสูบในกระบอกเบรกที่ล้อแต่ละล้อจะถูกแรงดันน้ำมันเบรกดันให้เคลื่อนออก ซึ่งจะไปดันขาเบรกให้กางออกต้านกับงานเบรกด้วย



รูปที่ 3-38 ระบบเบรกไฮดรอลิก

รูป 3-39 แสดงแรงที่กระทำบนคันเบรก ทำให้ของเหลวในระบบเกิดกำลังดัน

รูปที่ 3-39 แสดงแรงกดลงบนคันเหยียบเบรก ทำให้น้ำมันเบรกในระบบมีแรงดันไปดันลูกสูบในกระบอกเบรกที่ล้อ ตามตัวอย่างนี้เมื่อออกแรงเหยียบคันเหยียบเบรกด้วยแรง 800 ปอนด์ ลูกสูบแม่ปั๊มมีพื้นที่ 0.8 ตารางนิ้ว ทำให้เกิดแรงดันในระบบ 1,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว กระบอกเบรกล้อหลังลูกสูบมีพื้นที่ 0.7 ตารางนิ้ว แรงที่ดันออกที่ลูกสูบแต่ละลูกจะเท่ากับ 900 ปอนด์

การถ่ายเทน้ำหนัก (Weight transfer)

ในรูปที่ 3-39 การที่ทำกระบอกเบรกล้อหน้า (Wheel cylinder) ใหญ่กว่าที่ล้อหลัง เหตุผลก็คือเพื่อชดเชยการถ่ายเทน้ำหนักไปทางข้างหน้าของรถเมื่อเหยียบเบรก ให้ห้ามล้อทำงานเพื่อหยุดรถอย่างรวดเร็ว จากผลของการถ่ายเทน้ำหนักนี้เบรกของล้อหน้าจะต้องทำงานมากกว่าเบรกของล้อหลัง

ผลของการถ่ายเทน้ำหนักนี้เกิดขึ้นเพราะจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity) ของรถอยู่เหนือจุดศูนย์กลางของล้อรถ ผลลัพธ์ของอาการดังกล่าวนี้สังเกตได้จากการที่ส่วนหน้าของรถต่ำลง และส่วนท้ายของรถยกขึ้นเมื่อทำการเบรกอย่างรุนแรง

ประสิทธิภาพของห้ามล้อ (Brake effectiveness)

มีองค์ประกอบหลายอย่างที่มีผลต่อการห้ามล้อดังนี้

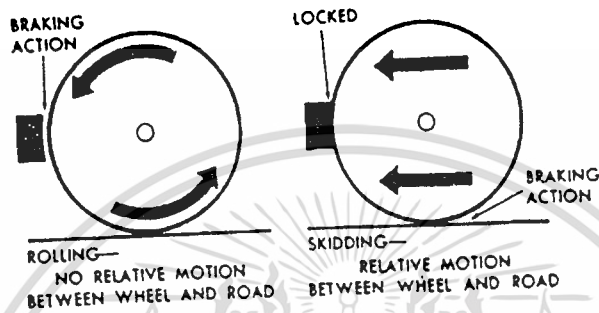
1. พื้นที่ของผ้าเบรก
2. จำนวนแรงดันที่กระทำต่อผ้าเบรก
3. รัศมีของจานเบรกครัม
4. รัศมีของล้อรถ (จากศูนย์กลางของล้อถึงดอกยางด้านนอก)
5. สัมประสิทธิ์ของความฝืดระหว่างผิวหน้าของการเบรก
6. สัมประสิทธิ์ของความฝืดระหว่างผิวหน้าของยางกับถนน

ในข้อ 3 และ 4 เป็นเรื่องของการได้เปรียบเชิงกล ถ้าใช้จานเบรกครัมที่รัศมีสั้นกับล้อที่มีรัศมียาวจะต้องการพื้นที่ผิวหน้าผ้าเบรกมากขึ้น หรือจะต้องใช้แรงดันกดผ้าเบรกสูงขึ้นมากกว่าใช้จานเบรกครัมขนาดใหญ่กับล้อขนาดเล็ก

ถ้าผิวถนนเป็นโคลนหรือน้ำมันมันลื่นอยู่ในสภาพที่คล้ายคลึงกันนี้ ความฝืดระหว่างยางกับผิวหน้าถนนจะมีเพียงเล็กน้อย ผลของการห้ามล้อจะลดลงมาก นอกจากนี้ถ้าดอกยางข้างหนึ่งสึกหรอมากและดอกยางข้างหนึ่งยังใหม่อยู่จะทำให้การห้ามล้อไม่เท่ากัน ดังได้กล่าวแล้วว่าแรงพยายามในการห้ามล้อสูงสุดจะเกิดขึ้นตรงเท่าที่ล้อยังคงหมุนอยู่ เมื่อเหยียบคันเหยียบเบรกแล้วยังคงลื่นตัว (Roll) หรือลื่นไถล (Skid) ขึ้นอยู่กับค่าความสัมพัทธ์ของสัมประสิทธิ์ของความฝืดระหว่างผิวหน้ากับเบรก (ผ้าเบรกกับจานเบรก) และระหว่างยางกับถนน การกดคันผิวหน้าการเบรกเข้าด้วยกันอย่างรุนแรงเพื่อพยายามเพิ่มความฝืดให้ถึงจุดที่ล้อจะถูกล็อก (ไม่หมุน) และเกิดการลื่นไถล เมื่อเป็นเช่นนี้ อาการเบรกจะเกิดขึ้นระหว่างยางกับถนน ซึ่งทำให้เกิดความร้อนสูง ทำให้ยางสึกหรอ นั่นคือ เมื่อล้อถูกล็อกผลของการเบรกจะลดลงด้วย

ผลของการห้ามล้อจะดีที่สุดที่สุดเมื่อความฝืดของผิวหน้าจานเบรกทำให้ล้อเกือบจะถูกล็อก ที่จุดนี้ความฝืดระหว่างผิวหน้าจานเบรกกับผ้าเบรก และผิวหน้ายางกับถนนเกือบจะเท่ากันหรือเท่ากัน การนี้เป็นการฝืดที่เกิดขึ้นนี้คือความฝืดสูงสุดที่ใช้ในการหน่วงหรือทำให้การเคลื่อนที่ของรถช้าลง การคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความผิดที่เกิดขึ้นระหว่างยางกับถนนเป็นตัวบังคับทิศทางของการเบรก รูปที่ 3-40 แสดงอาการที่เกิดขึ้นเมื่อล้อหมุนหรือล้อล็อกอยู่ และเมื่อล้อถูกล็อกเกิดการลื่นไถล เมื่อล้อล็อกไปตามถนนส่วนของยางที่สัมผัสกับถนนจะไม่มี การเคลื่อนที่สัมพันธ์กัน (Relative motion) แต่เมื่อล้อลื่นไถลจะมีการเคลื่อนที่สัมพันธ์กันเกิดขึ้นที่จุดของยางจะสัมผัสกับถนนเนื่องจากล้อไม่ได้หมุนในขณะที่เคลื่อนที่ไป ดังนั้นเมื่อล้อลื่นไถล อย่างไรก็ตาม ห้ามล้อก็ยังได้รับการออกแบบให้ผู้ขับรถสามารถที่จะล็อกล้อได้ ถ้าคนขับออกแรงเหยียบคันเหยียบเบรกมากพอ

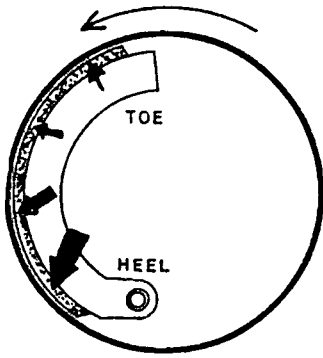


รูปที่ 3-40 อาการที่เกิดขึ้นเมื่อล้อหมุนหรือล้อล็อกตัวและเมื่อล้อลื่นไถล

ในข้อ 2 มีความสำคัญมากซึ่งจะต้องพิจารณาลำหรับผลของห้ามล้อ แรงดันออกที่ขาเบรกด้านกับจานเบรกจะเริ่มเกิดขึ้นเมื่อผู้ขับรถเหยียบเบรก แรงที่ดันขาเบรคนี้อาจเพิ่มขึ้นอีก ถ้าใช้ชุดห้ามล้อกำลัง (Power brake unit) ช่วย แรงดันไฮดรอลิกหรือน้ำมันเบรคนี้อาจเพิ่มขนาดแม่ปั๊มและขนาดกระบอกเบรกที่ล้อ นอกจากนี้ยังมีตัวประกอบอื่น ๆ ที่สำคัญคือการเพิ่มแรงดันในตัวเอง (Self-energization) และอาการเซอร์โว (Servo action) ซึ่งจะเพิ่มแรงดันในการดันขาเบรกด้านกับจานเบรกมากขึ้น

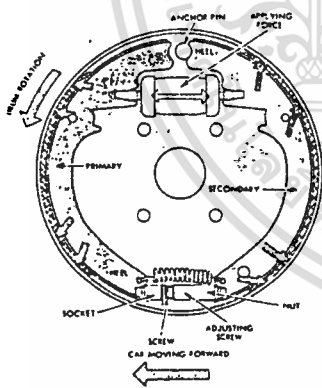
อาการเซอร์โวและการเพิ่มแรงดันในตัวเองนี้เกิดจากตำแหน่งของสลักยึด (Anchor pin) และการหมุนของจานเบรกคัมซึ่งลากขาเบรกตามไปด้วย เมื่อจานเบรกหมุนไป แรงดันที่เกิดจากขาเบรกจะถูกดันให้ด้านกับจานเบรกมากขึ้นซึ่งมากกว่าแรงดันที่ใช้ในการผลักดันขาเบรก ลักษณะเช่นนี้เรียกว่าการเพิ่มกำลังงานในตัวเอง (Self-energization)

ยิ่งใกล้สลักยึดมากเท่าไร กำลังงานที่เกิดขึ้นในขณะรูปลิ่มจะยิ่งมากขึ้น กำลังงานนี้เริ่มจากด้านโท (Toe) ของขาเบรก และเพิ่มมากขึ้นตามลำดับเมื่อใกล้สลักยึดดังรูปที่ 3-41 ถ้าจานเบรกคัมหมุนไปในทิศทางตรงข้ามจะไม่มี การเพิ่มกำลังงานในตัวเอง แต่เนื่องจากขาเบรกมีสองอัน ดังนั้นจะมีขาเบรกขาหนึ่งทำให้เกิดกำลังงานในตัวเอง ไม่ว่าจานเบรกคัมจะหมุนไปในทิศทางใด



รูปที่ 3-41 ขนาดของลูกศรแสดงแรงดันที่เพิ่มขึ้นทางด้านโท (Toe) ไปยังด้านฮิล (Heel) ซึ่งจุดหมุนของขาเบรกอยู่ใกล้ศูนย์กลางมากขึ้น

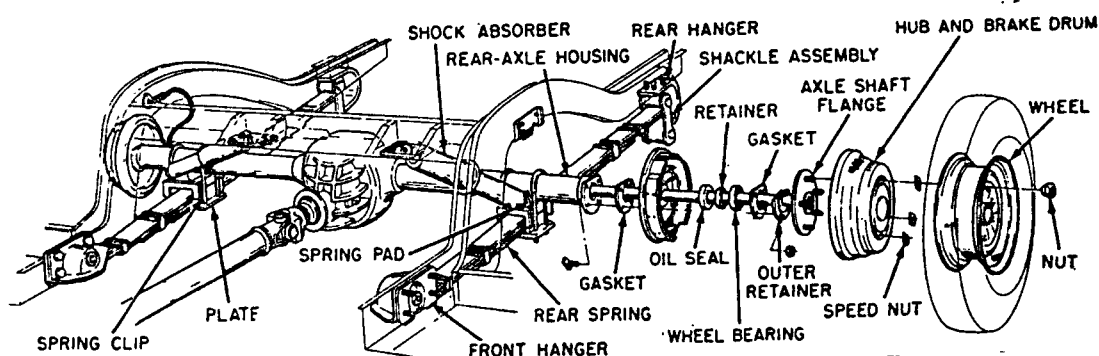
การเพิ่มกำลังงานในตัวเองของขาเบรกนี้สามารถทำได้ทั้ง 2 ขา โดยให้ขาเบรกข้างหนึ่งช่วยผลักดันขาเบรกอีกข้างหนึ่งดังรูปที่ 3-42 ในลักษณะเช่นนี้เรียกว่า อาการเซอร์โว (Servo-action) เพื่อทำให้เกิดอาการเซอร์โวดังกล่าวนี้ ปลายด้านล่างของขาเบรกทั้งสองจะยึดติดเข้าด้วยกันโดยใช้สปริงและสกรูปรับแต่ง ส่วนปลายด้านบนของขาเบรกทั้งสองสามารถเคลื่อนไปได้เล็กน้อย เพื่อสัมพันธ์กับเพลาลูกเบี้ยวหรือแกนล้อ เมื่อห้ามล้อทำงานขาเบรกทั้งสองจะเคลื่อนที่ไปกับจานเบรกครัม จนกระทั่งปลายด้านบนของขาเบรกอันหลังยันกับสลักยึดไม่สามารถเคลื่อนที่ต่อไปได้ และขาเบรกอันหน้าก็หยุดเคลื่อนที่ เพราะยึดอยู่กับเบรกอันหลัง ขาเบรกที่เริ่มต้นทำให้เกิดอาการเซอร์โวเรียกว่า ขาเบรกไพรมารี (Primary shoe) ขาเบรกอีกขาหนึ่งเรียกว่า ขาเบรกเซคันดารี (Secondary shoe)



รูปที่ 3-42 แสดงแรงเบียดของขาเบรกหน้ากับจานเบรกครัมซึ่งแรงเบียดเพิ่มขึ้นโดยอาการของเซอร์โว [การเพิ่มแรงดันในตัวเองเกิดขึ้นจากขาเบรกไพรมารี แล้วส่งผ่านสกรูปรับแต่งไปยังขาเบรกเซคันดารี ทำให้ขาเบรกเซคันดารีมีการเพิ่มแรงดันในตัวเองมากกว่า (ดูขนาดลูกศร)]

หน้าที่และชนิดของห้ามล้อ

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าห้ามล้อเป็นกลไกสำหรับทำให้รถแล่นช้าลงหรือทำให้รถหยุด ซึ่งทำงานโดยไฮดรอลิก (Hydraulic) กลไกในการทำงานจะดันขาเบรก หรือแผ่นเบรก (Pads) ด้านการหมุนของจานเบรกครัม ที่ล้อเมื่อผู้ขับรถเหยียบคันเหยียบเบรก ความฝืดระหว่างขาเบรก (ฝักเบรก) หรือแผ่นเบรก กับจานเบรกครัม ทำให้ล้อช้าลงหรือหยุด



รูปที่ 3-43 แสดงรูปแยกบางส่วนของจานเบรกดรัม และการรองรับน้ำหนักทางด้านหลัง

เนื่องจากขาเบรกมีผ้าเบรกทำด้วยวัตถุเอสเบสทอส (ใยหิน) สามารถทนต่อความร้อนและอาการดิ่งหรือลากได้เป็นอย่างดี เมื่อขาเบรกถูกดันให้ด้านกับจานเบรกดรัมในระหว่างการห้ามล้ออย่างรุนแรงขาเบรกหรือแผ่นเบรกอาจจะถูกกดด้านกับดรัมด้วยแรงดันสูงถึง 1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (70.31 กก./ตร.ซม.) เนื่องจากความฝืดเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักหรือกำลังดันที่เพิ่มขึ้นจะเกิดอาการลากที่เกิดจากความฝืดรุนแรงขึ้นที่ดรัม ทำให้ล้อได้รับการเบรกอย่างรุนแรงเช่นเดียวกัน

ดังได้กล่าวแล้วว่า ผลของความฝืดระหว่างผ้าเบรกกับแผ่นเบรกกับดรัม ทำให้เกิดความร้อนสูง เมื่อเราดูมือไปมาแรง ๆ หลาย ๆ ครั้งจะรู้สึกอุ่นขึ้น ในทำนองเดียวกันเมื่อจานเบรกดรัมถูกด้านกับแผ่นเบรกหรือขาเบรก ดรัมและขาเบรกจะอุ่นหรือร้อนขึ้นเช่นกัน และถ้าทำการห้ามล้ออย่างรุนแรงอุณหภูมิจะสูงถึง 500 องศาฟาเรนไฮต์ (260 องศาเซนเซียล) ความร้อนนี้จะกระจายออกไปหลายทาง ในแบบดรัมความร้อนบางส่วนจะไปยังผ้าเบรกและไปยังขาเบรก และแผ่นจานรองรับชุดเบรก (Backing plate) แล้วกระจายไปในอากาศ แต่ความร้อนส่วนใหญ่จะถูกดรัมรับเอาไว้ ถ้าความร้อนมากเกินไปเกิดผลเสียต่อการห้ามล้อ เพราะอาจทำให้ผ้าเบรกไหม้ได้ นอกจากนี้การที่ผ้าเบรกและขาเบรกร้อน จะทำให้ประสิทธิภาพของการเบรกลดลง คือ เบรกไม่ค่อยอยู่ เช่น ในกรณีขับรถลงเขาเป็นระยะทางยาว และเหยียบเบรกดัดต่อกันเป็นระยะเวลานาน

จานเบรกดรัม (Brake drum)

จานเบรกแบบนี้ยึดติดกับคุมล้อ (Wheel hub) ด้วยสลักโดยอยู่ระหว่างคุมล้อกับล้อ จานเบรกดรัมจะสวมอยู่รอบ ๆ ชุดขาเบรก และอยู่ใกล้ชิดกับแผ่นจานรองรับชุดเบรกมาก และอยู่ใกล้ชิดกับแผ่นจานรองรับชุดเบรกมาก ดังนั้นน้ำและฝุ่นละอองจะเข้าไปข้างในได้ยาก

ส่วนตรงกลางของจานเบรกดรัมเป็นโครงสร้างของเหล็กกล้าอัดขึ้นรูป แต่ขอบที่ใช้ในการเบรกทางด้านนอกเป็นหล่อ บางแบบใช้อลูมิเนียมเป็นขอบทางด้านนอกเพื่อช่วยระบายความร้อน

ในกรณีที่ใช้อลูมิเนียม ผิวหน้าที่ใช้ในการเบรกซึ่งเป็นเหล็กหล่อจะถูกหลอมละลายเข้ากับขอบอลูมิเนียม ขอบทางด้านนอกจะถูกหล่อเข้ากับส่วนตรงกลางซึ่งเป็นเหล็กกล้า สำหรับครีประบายความร้อนไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนจะหล่อเข้ากับขอบ (Rim) พื้นที่ที่ใช้ในการเบรกของจานเบรคครัมจะต้องเรียบ กลม และขนานกับผิวหน้าของขาเบรก

เมื่อล้อจะพาจานเบรกให้หมุนไปรอบ ๆ ขาเบรกที่อยู่กับที่ จานเบรกบางแบบมีสปริงรัดอยู่รอบตัวมัน (ทางขอบด้านนอก) เพื่อช่วยลดอาการสั่นของตัวจานเบรคครัม

..

การทำงานของชุดเบรก

เมื่อกระบอกเบรกที่ล้อได้รับกำลังดันจากแม่ปั้ม ลูกสูบและก้านต่อจะดันขาเบรกให้กางออกด้านกับจานเบรคครัมที่หมุนอยู่ เนื่องจากขาเบรกหมุนไม่ได้ มันจะทำให้จานเบรกและล้อหยุดหมุน

พลังงานจลน์ (พลังงานที่สะสมอยู่ในวัตถุเคลื่อนที่) ของรถที่กำลังเคลื่อนที่ จะถูกเปลี่ยนความร้อนโดยเบรก รถที่เคลื่อนที่เร็วจะมีพลังงานจำนวนมาก การที่จะทำให้มันหยุดได้จะทำให้เกิดความร้อนจำนวนมากด้วยเช่นเดียวกัน ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้เกือบทั้งหมดจะกระจายออกไปยังอากาศ โดยผ่านจานเบรกความร้อนบางส่วนจะผ่านไปยังขาเบรกและผ่านการรองรับชุดเบรก

เมื่อผ้าเบรกร้อนจัดจะทำให้สูญเสียคุณสมบัติทางความฝืดไปจำนวนมาก ทำให้เกิดอาการที่เรียกว่าเบรกไม่อยู่ (Brake fade) ถึงแม้จะออกแรงเหยียบเบรกเพิ่มขึ้นก็ไม่สามารถทำให้รถหยุดได้อย่างรวดเร็ว

รถบางคันออกแบบสำหรับให้เล่นด้วยความเร็วสูง จะใช้ผ้าเบรกทำด้วยโลหะพิเศษที่มีความต้านทานสูงต่อการเบรกไม่อยู่เนื่องจากความร้อน (Brake fade) ดังกล่าว

3.2 มอเตอร์กระแสตรง

ข้อมูลจำเพาะมอเตอร์กระแสตรงของรถไฟฟ้าไฮบริดต้นแบบ

มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม 4 ขั้ว มีแปรงถ่าน

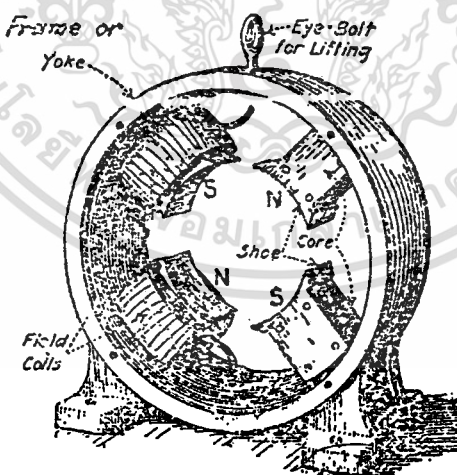
เฟสเดียว 120 โวลต์ 19 แรงม้า

3.2.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์กระแสตรง

1. โครง
2. ขั้วสนามแม่เหล็ก
3. แปรงถ่าน
4. อาร์เมเจอร์
5. คอมมิวเตเตอร์
6. ฝาครอบ

โครง

เป็นโครงสำหรับยึดขั้วสนามแม่เหล็ก ทำหน้าที่เชื่อมวงจรแม่เหล็กให้ครบวงจร ซึ่งจะนำเอาวัสดุชนิดที่ไม่ใช่สารแม่เหล็กมาสร้างเป็นโครงไม่ได้ ดูรูปที่ 3-44



รูปที่ 3-44 โครงของมอเตอร์กระแสตรง

ขั้วสนามแม่เหล็ก

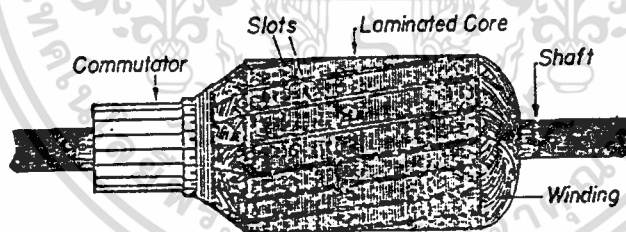
เป็นเหล็กแผ่นบาง ๆ หนาประมาณ 0.025 นิ้วอบน้ำยาแล้วนำมาอัดกันเป็นปึก เมื่อสร้างเป็นขั้วสนามแม่เหล็ก ทำหน้าที่ให้เกิดสนามแม่เหล็ก เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดที่พันรอบตัวมัน

แปรงถ่าน

เป็นส่วนผสมของถ่านแกรไฟท์ทำเป็นแท่งสี่เหลี่ยม ทำหน้าที่เป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าเข้ายังคอมมิวเตเตอร์ แปรงถ่านจะต้องกดอยู่ในตำแหน่งที่เลื่อนไปมาไม่ได้ ต้องมีสปริงกดแท่งแปรงถ่านเพื่อกันหลุดและมีช่องถ่าน ซึ่งทำด้วยโลหะบังคับไว้เรียกว่า Brush Holder สปริงมีแรงกดประมาณ 1.5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จากแปรงถ่านมีสายทองแดงเล็ก ๆ หลายเส้นขั้วนั้นเป็นเกลียวต่อไปยังขั้วต่อสาย

อาร์เมเจอร์

สร้างด้วยเหล็กแผ่นบาง ๆ เรียกว่า Laminated Iron Core แต่ละแผ่นหนาประมาณ 0.025 นิ้ว การทำด้วยเหล็กแผ่นบาง ๆ หลาย ๆ แผ่นอัดแน่นก็เพื่อลดกระแสไหลวนในแกนเหล็ก รอบตัวอาร์เมเจอร์จะมีช่องว่างขนาดกว้างเท่า ๆ กัน สำหรับพันขดลวดเรียกว่า Slot ปลายของขดลวดทุกปลายต่อไปยังคอมมิวเตเตอร์ ดูรูปที่ 3-45



รูปที่ 3-45 อาร์เมเจอร์

คอมมิวเตเตอร์

การสร้างประกอบด้วยชิ้นส่วนของทองแดงหลาย ๆ ชิ้นส่วนมีไมก้า (Mica) เป็นฉนวนคั่นระหว่างชิ้นส่วนของทองแดงเหล่านี้ มีหน้าที่เป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวด (Coil) ของอาร์เมเจอร์และเป็นหัวต่อขั้วของขดลวดทั้ง 2 ปลาย ดูรูปที่ 3-45

ฝาคกรอบ

คือ ฝาคกรอบมอเตอร์ หน้าที่เพื่อบังคับให้อาร์เมเจอร์หมุนตรงอยู่ในแนวเส้นแรงแม่เหล็ก และให้อยู่ในแนวศูนย์กลางของมอเตอร์ด้วย

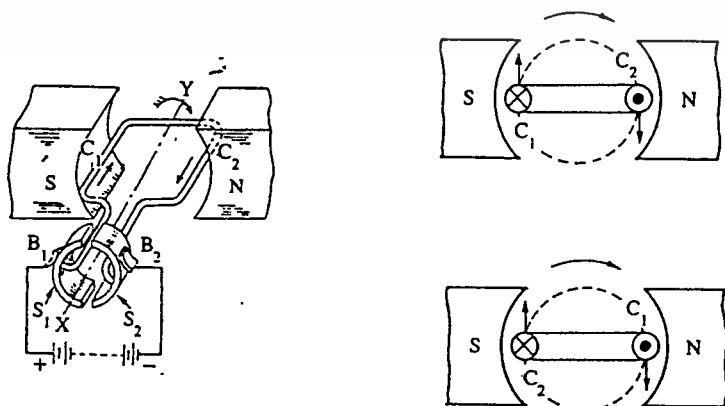
3.2.2 หลักการของมอเตอร์กระแสตรง

มอเตอร์กระแสตรง คือ อุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล และขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อป้อนกระแสให้กับมอเตอร์ ทิศทางการหมุนของมอเตอร์จะเป็นไปตามกฎมือซ้าย ดังรูปที่ 3-46



รูปที่ 3-46 กฎมือซ้าย

เมื่อใช้กฎมือซ้ายจะได้ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ในทิศตามเข็มนาฬิกา ดังรูปที่ 3-47



รูปที่ 3-47 หลักการของมอเตอร์กระแสตรง

เมื่อขดลวดหมุนจากตำแหน่งเดิมไปเป็นมุม 90 องศา ลวดตัวนำ C_1 จะอยู่ด้านบนสุดโดยที่ขั้วคอมมิวเตเตอร์ S_2 ของลวดตัวนำ C_2 จะเริ่มไม่แตะกับแปรงถ่าน B_2 และหลังจากนั้นจะเริ่มแตะกับแปรงถ่าน B_1 ทำให้กระแสเริ่มไหลกลับทิศโดยไหลจากแปรงถ่าน B_1 ผ่านขั้วคอมมิวเตเตอร์ S_2 เข้าลวดตัวนำ C_1 และ C_2 มาออกที่ขั้วคอมมิวเตเตอร์ S_1 และแปรงถ่าน B_2 กระแสในลวดตัวนำ C_1 จะมีทิศทางเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ ดังรูป (ข) จนกระทั่ง C_1 อยู่ในตำแหน่งที่ต่ำสุด เมื่อเลขตำแหน่งนี้ไปกระแสในลวดตัวนำ C_1 จะไหลกลับทิศอีกโดยมีทิศทางดังรูป (ก) และจะคงทิศทางนี้ไปเรื่อย ๆ จนถึงตำแหน่งที่ C_1 อยู่สูงสุด จากรูป (ก) และ (ข) จะเห็นว่าลวดตัวนำวิ่งอยู่ได้ชั่ว N จะมีกระแสไหลในทิศทางออก (.) ขณะที่ลวดตัวนำซึ่งอยู่ได้ชั่ว S มีทิศทางเข้า (x) นั่นคือขณะที่ลวดตัวนำหมุนเคลื่อนที่ไป แม้จะอยู่ที่ตำแหน่งใดก็ตาม เนื่องจากทิศทางสัมพัทธ์ระหว่างกระแสและเส้นแรงแม่เหล็กไม่เปลี่ยนแปลง แรงที่กระทำต่อขดลวดจะมีทิศทางที่เสริมไปในทิศทางเดียวกันเสมอ

แรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ

เมื่อมอเตอร์กระแสตรงหมุน ลวดตัวนำแต่ละเส้นซึ่งมีกระแสไหลผ่านจะตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กใหญ่ ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นมาจำนวนหนึ่งในทิศทางที่สวนกับทิศทางของกระแสที่ป้อนให้กับมอเตอร์ ลองพิจารณาทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับดังรูปที่ 3-48



รูปที่ 3-48 ทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ

สมมติให้เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กใหญ่ และการหมุนของขดลวดมีทิศทางดังแสดงในรูปที่ 3-48(ก) ขณะนี้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นในลวดตัวนำ C_1 และ C_2 จะมีทิศทางเข้า (x) และพุ่งออก (.) ตามลำดับ แต่การที่ลวดตัวนำจะยังคงหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกาได้นั้น จากกฎมือซ้าย กระแสที่ไหลในลวดตัวนำ C_1 และ C_2 จะต้องมีความดังแสดงในรูปที่ 3-48(ข) เท่านั้น นั่นคือมีทิศทางของกระแสที่ตรงข้ามกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าในรูปที่ 3-48(ก) แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นในรูปที่ 3-48(ก) สำหรับกรณีมอเตอร์เท่านั้นที่เรียกว่า “แรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ” เนื่องจากแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับเกิดจากการที่ลวดตัวนำหมุนตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กใหญ่ มีสมการเป็นเอกสารที่ส่งงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การดังนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_b = p\phi \times \frac{n}{60} \times \frac{Z_c}{a} \quad (3.1)$$

เมื่อให้ ϕ คือ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อหนึ่งขั้วแม่เหล็ก (Wb) ..

Z คือ จำนวนเส้นลวดตัวนำทั้งหมดบนอาร์เมเจอร์

p คือ จำนวนขั้วแม่เหล็ก

a คือ จำนวนวงจรขนานระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ

n คือ จำนวนรอบหมุนต่อนาที

จากสมการ (3.1) เนื่องจากแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับแปรผันโดยตรงกับจำนวนรอบหมุนของมอเตอร์ ดังนั้นในกรณีที่มอเตอร์ยังไม่เริ่มหมุน ($n=0$) แรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับจะมีค่าเท่ากับศูนย์ด้วย กำหนดมอเตอร์กระแสตรงขนาด 4 กิโลวัตต์ 200 โวลต์ ความต้านทานภายในของอาร์เมเจอร์ 0.5 โอห์ม ถ้าป้อนไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งจ่ายขนาด 200 โวลต์ ให้กับมอเตอร์ในสภาพที่หยุดหมุน จะเห็นว่ากระแสจะไหลในขดอาร์เมเจอร์ทันทีถึง 400 แอมแปร์ ($200/0.5$) แต่เนื่องจากกระแสที่ไหลในขดอาร์เมเจอร์ แม้ที่ในขดอาร์เมเจอร์ขณะที่มอเตอร์หมุนด้วยขนาดของกระแสเพียง 25 แอมแปร์ เป็นอย่างสูง การที่กระแสซึ่งไหลในขดอาร์เมเจอร์ขณะที่มอเตอร์หมุนด้วยขนาดของกระแสเพียง 25 แอมแปร์ได้นั้น เนื่องจากแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับที่เกิดขึ้นนี้จะพยายามต้านการจ่ายกระแสจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

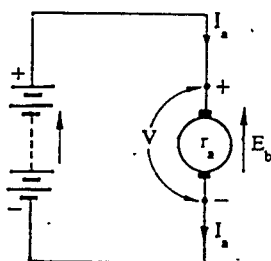
ความสัมพันธ์ ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับและกระแส

เมื่อกำหนดให้ V คือ แรงดันจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงระหว่างคู่แปรงถ่าน

E_b คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ

r_a คือ ความต้านทานภายในทั้งหมดในวงจรของอาร์เมเจอร์

I_a คือ กระแสอาร์เมเจอร์



รูปที่ 3-49 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับในวงจรอาร์เมเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3-49 จะได้ว่า

$$I_a = \frac{V - E_b}{r_a} \quad (3.2)$$

หรือ

$$V = E_b + I_a r_a$$

$$E_b = V - I_a r_a \quad (3.3)$$

กรณีที่มอเตอร์ทำงานที่โหลดเต็มที่แรงดันตกคร่อม $I_a r_a$ จะมีค่าประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของ V ขณะที่มอเตอร์หยุดหมุน เนื่องจาก $E_b = 0$ จะได้

$$I_s = \frac{V}{r_a} \quad (3.4)$$

โดยที่ I_s คือ กระแสตอนเริ่มเดินเครื่องมีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

จาก สมการที่ (3.2) และ (3.4) สามารถอธิบายได้ว่า ขณะที่มอเตอร์ยังไม่เริ่มหมุน เมื่อป้อนไฟฟ้ากระแสตรงจะมีกระแสจำนวนมากไหลในขดอาร์เมเจอร์ มอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วรอบสูงในทันที ทำให้ E_b มีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว กระแสในอาร์เมเจอร์จะมีค่าลดลงเรื่อยๆจนมีค่าคงที่ในที่สุด

สมการเอาต์ พุตของอาร์เมเจอร์

จากสมการที่ (3.3) ได้ว่า

$$V = E_b + I_a r_a \quad (V)$$

หรือ $E_b = V - I_a r_a \quad (V)$

เมื่อคูณ I_a ตลอดจะได้

$$V I_a = E_b I_a + I_a^2 r_a \quad (W)$$

หรือ $E_b I_a = V I_a - I_a^2 r_a \quad (W)$

โดยที่ $V I_a$ คือ กำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุตที่ป้อนให้กับอาร์เมเจอร์

$I_a^2 r_a$ คือ การสูญเสียจากลวดตัวนำในอาร์เมเจอร์

เมื่อหัก $I_a^2 r_a$ ออกจาก $V I_a$ จะเหลือ $E_b I_a$ ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าส่วนที่เปลี่ยนไปเป็นกำลังกล

ภายในอาร์เมเจอร์ กำหนดให้เป็น P_{ar} ดังนั้นจะได้

$$P_{ar} = E_b I_a$$

(3.5)

กำลังกล (P_{ar}) บางส่วนจะสูญเสียไปในรูปของการสูญเสียทางกล และการสูญเสียในแกน เหล็กจึงไม่สามารถปรากฏออกมาให้เห็นได้หมด จากสมการที่ (3.1)

$$E_b = \phi \times Z_c \times \frac{n}{60} \times \frac{p}{a} \quad (v)$$

เนื่องจากมอเตอร์ซึ่งสร้างสำเร็จรูป นอกจาก n และ ϕ แล้วค่าอื่น ๆ คือ p/a , Z_c มีค่าคงที่หมด จึงสามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$E_b = K n \phi$$

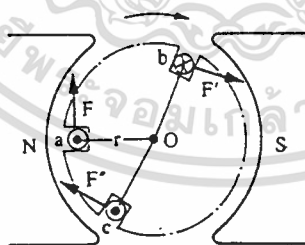
(3.6)

โดยที่ $K = \frac{Z_c}{60} \times \frac{p}{a}$
เมื่อคูณ I_a ตลอดจะได้

$$E_b I_a = K n \phi I_a = P_{ar}$$

(3.7)

แรงบิด



รูปที่ 3-50 โมเมนต์ซึ่งลวดตัวนำอาร์เมเจอร์กระทำรอบจุดศูนย์กลาง

รูปที่ 3-50 แสดงแรงที่กระทำบนลวดตัวนำ (a) ซึ่งห่างจากจุดศูนย์กลาง (O) เป็นระยะ r (หน่วยเป็นเมตร) ในทิศทางสัมผัสกับเส้นรอบวงของแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ ที่ตำแหน่งนี้กำหนดให้มีค่าเป็น F นิวตัน ดังนั้นแรงที่กระทำบนลวดตัวนำนี้จะมีโมเมนต์เท่ากับ $F \cdot r$ ซึ่งจะพยายามขับเคลื่อนแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ให้หมุนเคลื่อนที่ไป แต่เนื่องจากในแกนเหล็กอาร์เมเจอร์มีสล๊อตเป็น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนมาก และแต่ละสล็อตก็มีลวดตัวนำจำนวนมากเช่นกัน ดังนั้นแรงที่กระทำบนลวดตัวนำทั้งหมดนี้เข้าด้วยกัน จะได้ผลรวมของโมเมนต์ ดังนี้

$$T_a = (Fr + F'r + F''r + \dots)$$

โดยที่ T_a คือ แรงบิดที่เกิดขึ้นมีหน่วยเป็น N-m

ดังนั้นแรงบิดคือ ผลรวมของโมเมนต์ของแรงที่กระทำต่อลวดตัวนำรอบจุดศูนย์กลาง

สมการของแรงบิด

จากรูปที่ 3-50 กำลังกล P_a ของลวดตัวนำ (a) ที่เกิดขึ้นจะเท่ากับผลคูณระหว่างแรง (F) มีหน่วยเป็นนิวตันกับระยะทาง $(2\pi r)(n/60)$ มีหน่วยเป็นเมตร ซึ่งเป็นระยะทางที่ลวดตัวนำ (a) เคลื่อนที่ไปในแนวแรงในช่วงเวลา 1 วินาที ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} P_a &= 2\pi r \times \frac{n}{60} \times F \\ &= 2\pi \times \frac{n}{60} \times Fr \quad (W) \end{aligned}$$

แต่เนื่องจาก $2\pi r/60 = \omega$ ซึ่งเป็นความเร็วเชิงมุม (rad/sec) และ Fr คือ โมเมนต์ของแรง (F) รอบจุดศูนย์กลาง (O) จะได้

$$P_a = \omega Fr \quad (W)$$

ดังนั้นผลรวมของกำลังกลที่เกิดขึ้น (P_{ar}) ของลวดตัวนำทั้งหมดจะมีค่าดังสมการ คือ

$$\begin{aligned} P_{ar} &= P_a + P_b + P_c + \dots \\ &= (\omega Fr) + (\omega F'r) + (\omega F''r) + \dots \\ &= \omega(Fr + F'r + F''r + \dots) \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$P_{ar} = \omega T_a \quad (W)$$

และจากสมการที่ (3.7) ได้ว่า

$$Kn\phi I_a = P_{ar}$$

ดังนั้น

$$Kn\phi I_a = \omega T_a$$

เมื่อแทนค่า K และ $\omega (K = \frac{p}{a} \times \frac{Z_c}{60}, \omega = 2\pi \frac{n}{60})$

$$n \frac{p}{a} \times \frac{Z_c}{60} \times \phi I_a = 2\pi \left(\frac{n}{60} \right) T_a$$

$$T_a = \frac{1}{2\pi} \times \frac{p}{a} \times Z_c \times \phi \times I_a \quad (N-m) \quad (3.8)$$

$$K' = \frac{1}{2\pi} \times \frac{p}{a} \times Z_c$$

นั่นคือ แรงบิดของมอเตอร์กระแสตรงจะแปรผันโดยตรงกับผลคูณระหว่างจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กกับกระแสอาร์เมเจอร์

ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยที่ใช้จริงของแรงบิดกับเอาต์พุต

หน่วยที่ใช้จริงของแรงบิด คือ m-kg ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยที่ใช้งานจริงกับหน่วย MKS สามารถแสดงได้ดังนี้

เนื่องจาก น้ำหนัก 1 kg = แรง 9.8 N

$$1 \text{ (m-kg)} = 9.8 \text{ (m-N)}$$

$$\text{หรือ } 1 \text{ (m-N)} = 1/9.8 \text{ (m-kg)}$$

จากสมการที่ (3.8) จะได้

$$\begin{aligned} T_a &= \frac{1}{9.8 \times 2\pi} \times \frac{p}{a} \times Z_c \times \phi \times I_a \text{ (m-kg)} \\ &= 0.01623 \times \frac{p}{a} \times Z_c \times \phi \times I_a \text{ (m-kg)} \\ &= K'' \phi I_a \text{ (m-kg)} \end{aligned}$$

$$\text{โดยที่ } K'' = 0.01623 \times \frac{p}{a} \times Z_c$$

ความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุต แรงบิด และความเร็วนำเข้า สามารถหาได้ดังนี้

กำหนดให้ P คือ กำลังเอาต์พุตของมอเตอร์มีหน่วยเป็น kW

T คือ แรงบิดซึ่งใช้งานได้จริงกับโหลดมีหน่วยเป็น m-kg

n คือ ความเร็วรอบหมุนมีหน่วยเป็น rpm

$$\text{จาก } 1 \text{ (m-kg)} = 9.8 \text{ (m-N)}$$

$$1 \text{ (m-kg/sec)} = 9.8 \text{ (m-N/sec)} \quad (3.9)$$

$$\text{เนื่องจาก } 10^3 \times P = \omega \text{ (rad/sec)} \times T \text{ (m-N)} \quad (W)$$

$$\text{หรือ } 10^3 \times P = 2\pi(n/60) \times T \quad (W)$$

$$T = (60/2\pi) \times 10^3 \times (P/n) \quad (N-m)$$

จากสมการที่ (3.9) จะได้

$$T = \frac{60 \times 10^3}{2\pi \times 9.8} \times \frac{P}{n} = 974 \times \frac{P}{n} \quad (m-kg) \quad (3.10)$$

จะเห็นว่าแรงบิดแปรผันโดยตรงกับเอาต์พุต P(kW) แต่จะแปรผกผันกับจำนวนรอบหมุน n

(rpm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการของความเร็รรอบ

จากสมการที่ (3.3) และ (3.7) จะได้

$$E_b = V - I_a r_a$$

และ

$$E_b = K \phi n$$

ดังนั้น

$$n = E_b / K \phi = (V - I_a r_a) / K \phi$$

$$n = V / K \phi \quad (\text{rpm}) \quad (3.11)$$

$I_a r_a$ ในสมการนี้ประมาณว่ามีค่าน้อยมาก ซึ่งควรใช้เฉพาะกรณีที่มี I_a หรือกระแสไหลดไม่มากนักเท่านั้น จะเห็นว่าความเร็รรอบแปรผันโดยตรงกับแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ และแปรผกผันกับจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก

ความสามารถในการปรับกระแสได้เองตามขนาดของโหลด

เมื่อป้อนแรงดัน V คงที่ให้กับมอเตอร์แบบอนุกรม และให้ทำงานที่โหลดต่ำ ๆ มอเตอร์จะหมุนที่ความเร็รรอบ (n) ค่าหนึ่ง และจะดึงกระแสจากแหล่งจ่ายไฟด้วยค่า I_a ค่าหนึ่ง เนื่องจากกำลังงานที่ด้านเอาต์พุตของมอเตอร์ในขณะนี้มีน้อย $V I_a$ จึงมีค่าน้อยด้วย นั่นคือกระแส I_a ที่แหล่งจ่ายไฟจ่ายออกจะต้องมีค่าต่ำด้วย เมื่อให้มอเตอร์ทำงานที่โหลดมาก ๆ $V I_a$ จะต้องมียค่ามากขึ้น สำหรับกรณีที่แรงดันของแหล่งจ่ายมีค่าคงที่ I_a จำเป็นต้องมีค่ามากขึ้นด้วย นั่นคือเมื่อโหลดน้อยมอเตอร์จะดึงกระแสจากแหล่งจ่ายไฟน้อย และเมื่อโหลดมากจะดึงกระแสมากขึ้นโดยอัตโนมัติ

ความสามารถในการเร่งหรือหน่วงความเร็รรอบ

ลองพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างโหลดแรงบิดซึ่งเป็นแรงบิดที่โหลดต้องการกับมอเตอร์แรงบิดซึ่งเป็นแรงบิดที่มอเตอร์จ่ายให้กับโหลด การหมุนของมอเตอร์ในขณะที่มีโหลดทางกลนั้นจะเท่ากับการใส่แรงเบรกระหว่างแกนของอาร์เมเจอร์ เมื่อโหลดแรงบิดสูงขึ้น ก็เท่ากับแรงเบรกระหว่างแกนอาร์เมเจอร์มีค่ามากขึ้น นั่นคือขณะที่มอเตอร์กำลังหมุนภายใต้โหลดค่าหนึ่งด้วยเสถียรภาพที่ดี ถ้าให้โหลดแรงบิดมีค่าสูงขึ้น หรือแรงเบรกระหว่างแกนมีค่ามากขึ้น จะทำให้เกิดความหน่วงขึ้น ความเร็รรอบ (n) จะมีค่าลดลง ดังนั้นถ้าความเร็รรอบน้อยลงแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ (E_b) จะมีค่าต่ำลง แต่เนื่องจาก $I_a = (V - E_b) / r_a$ และแรงบิด (T) = $K' \phi I_a$ มอเตอร์แรงบิดจะมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นความเร็รรอบจะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งทำให้แรงบิดเท่ากับโหลดแรงบิดพอดี จากนั้นมอเตอร์จะเริ่มทำงานที่ตำแหน่งใหม่นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางตรงข้ามถ้าโหลดแรงบิดมีค่าน้อยกว่ามอเตอร์แรงบิด แรงที่หมุนแกนอาร์เมเจอร์จะมากกว่าแรงเบรก ทำให้เกิดความเร่งขึ้นและความเร็วรอบจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับจะมีค่ามากขึ้น กระแส (I_a) = $(V - E_b)/r_a$ จะมีค่าน้อยลง แรงบิด (T) = $K' \phi I_a$ จะมีค่าลดลง ความเร่งจะน้อยลงจนเป็น 0 เมื่อแรงบิดจากมอเตอร์มีค่าเท่ากับโหลดแรงบิดพอดี จากนั้นมอเตอร์จะเริ่มทำงานที่ตำแหน่งใหม่นี้ ในการเริ่มเดินมอเตอร์จากสภาพที่หยุดนิ่ง จนกระทั่งหมุนนั้น แรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จาก $E_b = 0$ ในช่วงแรกสุดนั้นเนื่องจากมีกระแสสูงมาก แรงบิดจากมอเตอร์จะมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งโหลดแรงบิดเท่ากับมอเตอร์แรงบิดและความเร็วรอบจะคงที่ โหลดแรงบิดจะเปลี่ยนแปลงตามความเร็วรอบ หรือมีค่าคงที่เมื่อความเร็วรอบเปลี่ยนไปหรือไม่มันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของโหลด ตัวอย่างเช่น พัดลมมันยิ่งหมุนที่ความเร็วรอบสูงขึ้น โหลดแรงบิดที่โหลดต้องการจะยังมีค่ามากขึ้น ในขณะที่เครื่องกลึงไม่ว่าความเร็วรอบจะเปลี่ยนไปอย่างไรก็ตาม โหลดจะต้องการแรงบิดเกือบคงที่โดยตลอด

คุณสมบัติ ของมอเตอร์ กระแสตรงแบบอนุกรม

มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม ϕ จะไม่คงที่แต่จะมีค่าเพิ่มลดตามกระแส I_a และในบริเวณเส้นตรงที่อยู่ต่ำกว่าส่วนโค้งงอของเส้นโค้งแมกเนโตเซชันลงมา เนื่องจาก

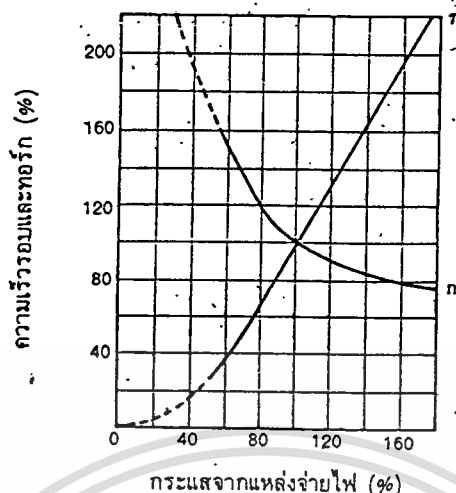
$$\begin{aligned} \phi &\propto I_a \\ \text{และ} \quad T_a &\propto \phi \\ \text{ดังนั้น} \quad T_a &\propto I_a^2 \end{aligned}$$

แต่ถ้า I_a มีค่ามากจนทำให้ทุก ๆ ส่วนของแกนเหล็กอิ่มตัวแล้ว แม้จะเพิ่มกระแสให้มากกว่านี้ก็ตาม ϕ จะมีค่าเกือบคงที่ นั่นคือหลังจากที่แกนเหล็กเริ่มอิ่มตัวจะได้สมการของแรงบิดดังนี้

$$T_a \propto I_a$$

ดังนั้นเมื่อกระแส I_a มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้างแล้ว ในย่านที่กระแส I_a มีค่าน้อย ๆ จะได้ $T_a \propto I_a^2$ และในย่านที่กระแส I_a มีค่ามาก ๆ จะได้ $T_a \propto I_a$ ในทางปฏิบัติเนื่องจากบริเวณเส้นโค้งงอของเส้นโค้งแมกเนโตเซชัน จะได้รับการออกแบบให้อยู่ใกล้เคียงกับโหลดปกติ ถ้าใช้งานในย่านที่ต่ำกว่านี้จะได้ $T_a \propto I_a^2$ ดังรูปที่ 3-51

โดยทั่วไปมอเตอร์จะใช้กระแส 1.3 ถึง 1.7 เท่าของกระแสพิคในการขับเคลื่อนให้หมุน ดังนั้นแรงบิดที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ให้หมุนจะมีค่ามากกว่าแรงบิดที่กระแสพิคมาก ยิ่งให้กระแสขับเคลื่อนมีค่ามากแรงบิดขับเคลื่อนจะยังมีค่ามากขึ้นเช่นกัน กรณีของมอเตอร์อนุกรมแล้วจะได้แรงบิดขับเคลื่อนมากกว่า 1.5 เท่า (เนื่องจาก $T_a \propto I_a^2$ จะได้แรงบิดขับเคลื่อนเป็น 2.25 เท่า แต่ถ้า $T_a \propto I_a^{1.7}$ แรงบิดขับเคลื่อนเป็น 2 เท่า) ในการใช้กระแสขับเคลื่อนในอัตราส่วนที่เท่า ๆ กันมอเตอร์อนุกรมจะให้แรงบิดขับเคลื่อนได้มากกว่าชั้นหุ้มมอเตอร์



รูปที่ 3-51 เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วรอบกับกระแสจากแหล่งจ่าย

สำหรับสปีดรูเรชั่นจะเห็นว่ามอเตอร์แบบอนุกรมจะให้ความเร็วรอบที่เปลี่ยนไปมาก เมื่อกระแสมีค่าเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะแม้ว่า V จะมีค่าคงที่ก็ตาม เมื่อกระแสโหลด I_a จะเปลี่ยนแปลงไป ϕ จะเปลี่ยนแปลงตาม I_a ด้วย และจากสมการ

$$n \propto [V - I_a(r_s + r_a)]/\phi$$

จะเห็นว่าเมื่อ I_a เพิ่มขึ้นไม่เพียงแต่จำนวนเส้นมีค่าลดลง แต่ในขณะเดียวกันจำนวนส่วนจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นมอเตอร์อนุกรมจึงจัดอยู่ในประเภทที่สามารถเปลี่ยนค่าความเร็วรอบได้ดังแสดงในรูปที่ 3-51

จากเส้นโค้งซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสมอเตอร์อนุกรมนี้ จะเห็นว่า ไม่ว่าจะทำการขับเคลื่อนมอเตอร์ขณะที่ไม่มีหรือมีโหลดต่ออยู่น้อยมาก โดยการป้อนกระแสที่แรงดันปกติ หรือจะทำการปลดโหลดออกหมด หรือเพียงบางส่วนในขณะการทำงานของมอเตอร์ก็ตาม ความเร็วรอบของมอเตอร์จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นมากอย่างน่ากลัว ซึ่งลักษณะเช่นนี้เรียกว่า “รันอะเวย์” (run away) และจำเป็นที่จะต้องหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดขึ้น ดังนั้นในกรณีของมอเตอร์อนุกรมจึงตั้งเป็นกฎห้ามไม่ให้ใช้สายพานในการหมุนขับเคลื่อนระหว่างตัวมอเตอร์กับโหลด ทั้งนี้เพราะถ้าสายพานขาดหรือหลวมคลายตัวออกจะทำให้มอเตอร์เกิดการรันอะเวย์ได้

สปีดเรกูเลชัน

สปีดเรกูเลชันคือ เทอมซึ่งแสดงขนาดการเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโหลดในมอเตอร์ที่ให้ความเร็วรอบคงที่ และหมายถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนรอบหมุนจากสภาวะโหลดเต็มที่มาเป็นสภาวะไร้โหลดภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดไว้ และ อัตราการเปลี่ยนแปลงนี้จะอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ของความเร็วยรอบในสภาวะโหลดเต็มที่

ประสิทธิภาพ

ให้ η คือ ประสิทธิภาพของมอเตอร์ ดังนั้นจะได้สมการ

$$\begin{aligned}\eta &= [(เอาต์พุต)/(อินพุต)] * 100\% \\ &= \frac{(\text{เอาต์พุต}) - (\text{การสูญเสียขณะมีโหลด}) - (\text{การสูญเสียคงที่})}{(\text{อินพุต})} * 100\%\end{aligned}$$

กำหนดให้ V คือแรงดันระหว่างขั้วไฟฟ้า

I คือกระแสที่ป้อนจากแหล่งจ่าย

I_a คือกระแสอาร์เมเจอร์

r_a คือความต้านทานในวงจรอาร์เมเจอร์ระหว่างขั้วแปร่งด้านที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส

r_s คือความต้านทานในวงจรขดลวดสนามแบบอนุกรมที่อุณหภูมิ 75 องศา เซลเซียส

ประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ค่ากระแส I ใน η ภายใต้แรงดันระหว่างขั้วไฟฟ้า V ที่คงที่สามารถแสดงให้เห็นได้ดังนี้

การสูญเสียในลวดตัวนำของขดลวดอนุกรมและขดอาร์เมเจอร์ $= I_a^2(r_a + r_s)$

P_k เป็นค่าการสูญเสียคงที่ที่ที่แรงดันไฟฟ้าและความเร็วยรอบไฟฟ้าจะได

$$\eta = \frac{VI - [I_a^2 r_s + I_a^2 r_a + P_k]}{VI} \times 100 \quad (\%)$$

ประสิทธิภาพสูงสุด

$$\begin{aligned}\text{จาก} \quad \eta &= \frac{VI - [I_a^2 r_s + P_k]}{VI} \times 100 \\ &= \left(1 - \frac{I_a^2 r_s + P_k}{VI}\right) \times 100\end{aligned}$$

แต่ $I = I_a$

$$\text{ดังนั้น} \quad \eta = \left[1 - \frac{1}{V} \left(I_a r_s + \frac{P_k}{I_a}\right)\right] \times 100$$

นั่นคือประสิทธิภาพที่ค่าสูงสุดเมื่อ $\left(I_a r_s + \frac{P_k}{I_a}\right)$ มีค่าต่ำสุด

$$\text{เนื่องจาก} \quad (I_a r_s)(P_k/I_a) = r_s P_k = \text{ค่าคงที่} \quad (3.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{และ} \quad (I_a r_a)^2 + \left(\frac{P_K}{I_a}\right)^2 &= \left(I_a r_a - \frac{P_K}{I_a}\right)^2 + 2I_a r_a \times \frac{P_K}{I_a} \\
 &= \left(I_a r_a - \frac{P_K}{I_a}\right)^2 + \text{ค่าคงที่} \quad (3.13)
 \end{aligned}$$

ดังนั้นจากสมการที่ (3.12) และ (3.13) จะได้ว่า $[I_a r_a + (P_K/I_a)]^2$ หรือ $I_a r_a + (P_K/I_a)$ มีค่าต่ำสุด เมื่อ $[I_a r_a - (P_K/I_a)]^2$ มีค่าเท่ากับ 0

นั่นคือ $I_a r_a = P_K/I_a$

ดังนั้น $I_a^2 r_a = P_K$ จะได้ประสิทธิภาพสูงสุด

โดยทั่ว ๆ ไปมอเตอร์กระแสตรงจะได้รับการออกแบบให้บริเวณโหลดพิกัดมีประสิทธิภาพสูงสุดด้วยการพิจารณาค่าการสูญเสียคงที่ และการสูญเสียของลวดตัวนำในอาร์เมเจอร์ (การสูญเสียขณะโหลด)

3.2.3 ระบบควบคุมมอเตอร์

กล่าวโดยทั่ว ๆ ไป ระบบควบคุมและป้องกันอันตรายมอเตอร์นั้นใช้ระบบประสมแม่เหล็กไฟฟ้าให้สตาร์ทมอเตอร์คล่อมคู่สายต้นกำลัง วิธีสตาร์ทและหยุดมอเตอร์ควรกระทำจากแผงสวิตบอร์ดที่อยู่ใกล้ ๆ ตำแหน่งใช้งานมอเตอร์ เพื่อความปลอดภัยสวิตสตาร์ทควรมีทั้งที่ใกล้มอเตอร์นั้น ๆ เอง และที่แผงคอนโทรล

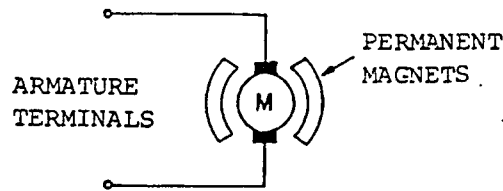
ระบบควบคุมมอเตอร์นอกจากจะใช้ควบคุมสตาร์ทและหยุดเดินมอเตอร์แล้ว ยังจะต้องสามารถป้องกันอันตรายอื่น ๆ ได้อีก เช่นจากการโอเวอร์โหลด แรงดันต่ำลงเกินไปจนมอเตอร์เริ่มเดินสลด ในสภาวะดังกล่าวสวิตไฟจะต้องเปิดออกตัดไฟได้โดยอัตโนมัติ เพื่อป้องกันมิให้มอเตอร์ต้องชำรุดเสียหายหรือในกรณีเกิดวงจรลัดขึ้นในมอเตอร์อีกด้วยเช่นกัน ระบบควบคุมมอเตอร์จะต้องยอมให้กระแสขณะสตาร์ทโอเวอร์โหลดมอร์นาน ๆ ไม่ได้เด็ดขาด ฉะนั้นการที่จะตั้งปริมาณกระแสที่ยอมให้ผ่านไปได้ จะตั้งต่ำเกินไปไม่ได้ มิฉะนั้นกระแสสตาร์ทจะผ่านไปได้ มอเตอร์ก็จะสตาร์ทหมุนไม่ติด

มอเตอร์ที่โอเวอร์โหลดในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เป็นการชั่วคราวขณะใช้งาน จะทำให้อายุใช้งานลดลง เช่นลดจาก 12 ปี เหลือ 10 ปี ในกรณีเช่นนี้อาจยอมให้โอเวอร์โหลดได้บ้าง และคุ้มค่ากว่าต้องหยุดการทำงาน

มอเตอร์ กระแสตรงแบบเส้นแรงแม่เหล็กคงที่

ระบบการกระตุ้นฟลักซ์ของมอเตอร์โดยทั่วไปในปัจจุบันมักใช้เป็นแบบ แม่เหล็กถาวร ดังแสดงในรูปที่ 3-52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-52 มอเตอร์กระแสตรงแบบฟิวด์เป็นแม่เหล็กถาวร

ในระบบนี้เส้นแรงของฟิวด์มีค่าคงที่ ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างกระแสอาร์มาเจอร์และแรงบิดจะมีค่าคงที่ ดังนั้นสมการ (3.8) เขียนให้ง่ายขึ้นเป็น

$$T = K'I \quad (3.14)$$

และสมการ (3.1) ได้เป็น

$$E = K_e \omega \quad (3.15)$$

ระบบนี้จะให้ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์มาเจอร์ แรงบิดและความเร็วอยู่ในลักษณะลิเนียร์ สมการทางไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรงแบบนี้เขียนได้เป็น

$$V = K_e \omega + L(di/dt) + Ri \quad (3.16)$$

เมื่อ V คือโวลต์เตจที่ป้อนให้กับมอเตอร์

K_e คือค่าคงที่ของโวลต์เดจย้อนกลับ

L คืออินดักแตนซ์ของอาร์มาเจอร์

R คือความต้านทานที่ขั้วของมอเตอร์

สมการไดนามิกของมอเตอร์คือ

$$T_g = J(d\omega/dt) + B\omega + T_f + T_L \quad (3.17)$$

เมื่อ T_g คือแรงบิดที่กำเนิดโดยมอเตอร์

J คือผลรวมของโมเมนต์ของแรงเฉื่อยของมอเตอร์และโหลด

B คือสัมประสิทธิ์ของวิสคอสแดมป์ปั๊ง

T_f คือแรงบิดเสียดทานภายใน

T_L คือแรงบิดโหลด

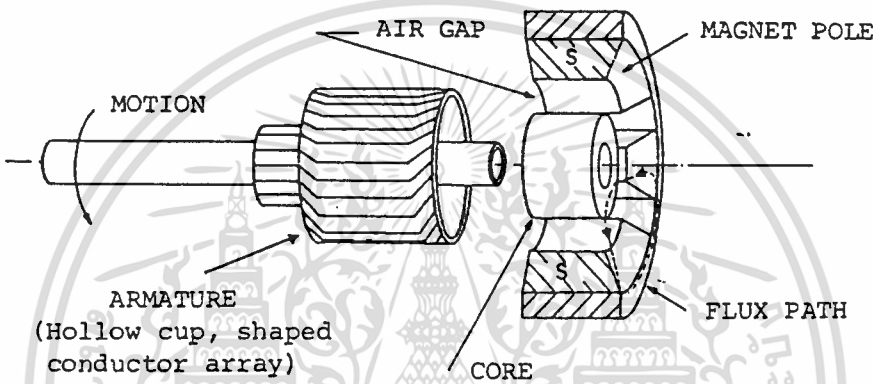
สมการต่างๆของมอเตอร์แบบแยกกระตุ้นฟิวด์จะเหมือนกับแบบกระตุ้นฟิวด์คงที่ อย่างไรก็ตามข้อดีของมอเตอร์แบบฟิวด์แม่เหล็กถาวรซึ่งเหนือกว่ามอเตอร์แบบมีโครงสร้างของฟิวด์ด้วยการพันของขดลวดคือ ไม่มีกำลังสูญเสียในฟิวด์ มีประสิทธิภาพสูงกว่าและมีขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับมอเตอร์ที่มีขนาดของกำลังม้าเท่ากัน นอกจากนั้นความสัมพันธ์เชิงเส้นในสมการ (3.8) ยัง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ค่าของกระแสอาร์มาเจอร์ที่สูงกว่ามอเตอร์กระแสตรงแบบฟิลด์เป็นขดลวด การประยุกต์ใช้งาน
เหมาะกับระบบที่ต้องการแรงบิดของโหลดสูง

มอเตอร์ กระแสตรงแบบอาร์เมเจอร์เป็น ขดลวดหมุน

มอเตอร์แบบขดลวดหมุนนี้ได้รับการออกแบบเพื่อให้มีโมเมนต์ของแรงเฉื่อยน้อยมาก
โดยรูปหน้าตัดด้านข้างแสดงได้ดังรูปที่ 3-53



รูปที่ 3-53 แสดงถึงรูปหน้าตัดซึ่งมองด้านข้างของมอเตอร์กระแสตรง
แบบมีโรเตอร์เป็นขดลวดเคลื่อนที่

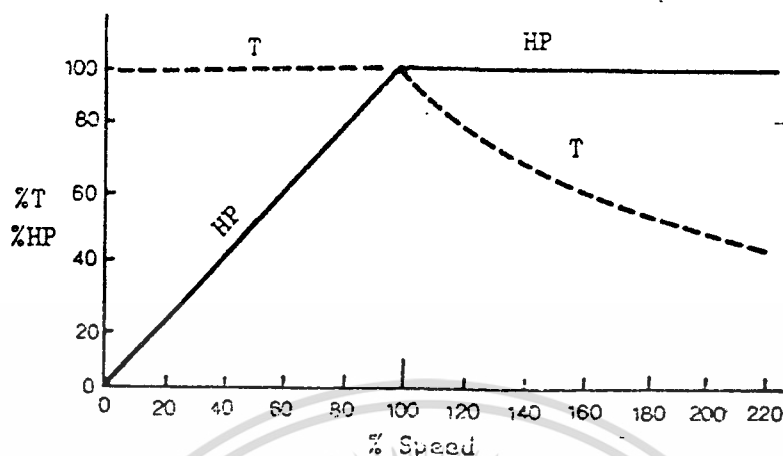
โครงสร้างของมอเตอร์แบบนี้จะมีช่องว่างอากาศระหว่างแม่เหล็กมากกว่ามอเตอร์แบบ
อื่นๆ ดังนั้นจำเป็นต้องออกแบบโครงสร้างของแม่เหล็กให้ใหญ่ขึ้นเพื่อให้ได้ช่องว่างของอากาศ
ระหว่างเส้นแรงของแม่เหล็กที่เท่ากับกับของมอเตอร์ทั้งสองแบบดังกล่าว ดังนั้นราคาของมอเตอร์
แบบนี้จึงมีราคาค่อนข้างแพง นอกจากนี้โครงสร้างของโรเตอร์มีความจุความร้อนต่ำมาก ถ้าหาก
เกิดโอเวอร์โหลดก็จะทำให้มอเตอร์เสียได้ง่ายและโรเตอร์ลักษณะนี้จะมีค่าอินดักแตนซ์ต่ำมากคือ
น้อยกว่า 10 ไมโครเฮนรี่

กราฟความสามารถทำงานของมอเตอร์ กระแสตรง

ความสามารถทำงานของมอเตอร์กระแสตรง จะต้องสามารถทำงานได้ตามลักษณะโหลด
ซึ่งจำแนกได้ 2 ประการ คือ

- ก. โหลดที่ต้องการแรงบิดคงที่
- ข. โหลดที่ต้องการกำลังคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-54 ความสามารถทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

ความสามารถของมอเตอร์กระแสตรงดูได้จากกราฟในรูปที่ 3-54 ในรูปนี้พื้นฐานของกราฟคือ เบสสปีด (Base Speed) หรือ “ความเร็วรอบกำหนด” ของมอเตอร์นั้น

Base Speed คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงขณะใช้กับแรงดันและกระแสที่กำหนดด้วยสนามแม่เหล็กที่เต็มที

มอเตอร์ ที่จะต้องให้แรงบิดคงที่

ได้แก่กราฟส่วนที่อยู่ทางซ้ายของเบสสปีดในรูปที่ 3-54 ซึ่งให้แรงบิดคงที่ และปรับค่า

ความเร็วรอบได้ด้วย และโดยสมการ

$$HP = Speed * Torque * Constant$$

วิธีควบคุมมอเตอร์ชนิดนี้จะต้องควบคุมให้ความเร็วรอบแปรได้ แต่ไม่สูงกว่าค่าเบสสปีด โดยควบคุมเฉพาะด้านอาร์เมเจอร์ ดังได้บรรยายข้างต้น

มอเตอร์ ที่จะต้องให้กำลังหรือ HP คงที่

ได้แก่กราฟส่วนที่อยู่ทางขวาของเบสสปีดในรูปที่ 3-54 ซึ่งให้ค่าสมรรถนะกำลังคงที่ แต่ค่าแรงบิดเปลี่ยนแปลงได้ วิธีควบคุมจะต้องควบคุมด้วยฟีดแบ็คและค่าความเร็วรอบจะต้องหมุนเร็วกว่าเบสสปีด วิธีเร่งความเร็วรอบกระทำได้โดยลดกำลังสนามแม่เหล็กของฟีดแบ็ค แต่รักษาแรงดันที่อาร์เมเจอร์ให้คงที่ไว้ด้วยสมการ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{HP} &= (\text{kW}/0.746) * \text{Efficiency} \\ &= (V_a I_a / 0.746) * \text{Efficiency} = K_1 \\ &= \text{A constant (โดยประมาณ)} \end{aligned}$$

หรือ $\text{Torque} = (\text{HP} / \text{Speed}) * K_2$

หรือ $\text{Torque} = (K_3 / \text{Speed})$ โดยที่ $(K_1, K_2, K_3 = \text{ค่าคงที่})$

ดังนั้นค่าแรงบิด ณ ความเร็วรอบเหนือเบสปีดจะเป็นสัดส่วนผกผันกับค่าความเร็วรอบ

นั้นๆ

ข้อสังเกต

การใช้งานมอเตอร์กระแสตรง จะต้องทราบว่า

(1) ค่าเบสปีดของมอเตอร์ตัวนั้น ๆ มีค่าเท่าใด

(2) การปฏิบัติงานด้วยโหลดที่มี ต้องใช้แรงบิดคงที่ หรือสมรรถนะกำลังคงที่อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือทั้งสองอย่าง

กลวิธีควบคุมมอเตอร์ของแต่ละโหลดนั้นแตกต่างกัน

มอเตอร์กระแสตรงที่ต้องการให้แรงบิดคงที่ จะใช้ความเร็วรอบต่ำกว่าเบสปีด และจะควบคุมด้วยกระแสที่ผ่านเข้าอาร์เมเจอร์ด้วยค่า R_{ax}

มอเตอร์ที่ต้องการให้ค่าสมรรถนะกำลัง จะต้องใช้ความเร็วรอบสูงกว่าเบสปีด และจะควบคุมเฉพาะทางด้านขดลวดฟิลด์เท่านั้น กับจะต้องรักษาแรงดันที่อาร์เมเจอร์ให้คงที่ด้วย

การสตาร์ทมอเตอร์

การทำให้อัตราการหมุนของมอเตอร์ขึ้นหรือลงโดยการเปลี่ยนแรงดันระหว่างขั้วอินพุตนั้นเรียกว่า การเดินเครื่องหรือสตาร์ท

กำหนดให้

V คือแรงดันแหล่งจ่าย

E_b คือแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ

I_a คือกระแสอาร์มาเจอร์

จะได้
$$I_a = \frac{V - E_b}{r_a + r_s}$$

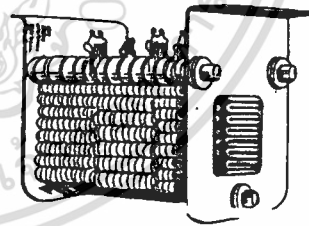
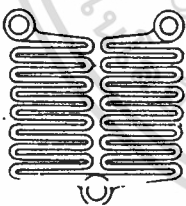
โดยที่ r_a คือความต้านทานในขดลวดอาร์มาเจอร์

r_s คือความต้านทานของขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่า เมื่อรักษาแรงดัน V ให้คงที่ ขณะที่ E_b มากขึ้น I_a มีค่าน้อยลง ดังนั้นที่ V คงที่ที่ค่าแรงดันพิกัดนั้น กรณีที่ความเร็วรอบ n มีค่ามาก E_b ซึ่งแปรผันโดยตรงกับ n จะมีค่ามากทำให้ $(V-E_b)$ มีค่าน้อย และแม้ $(r_s + r_a)$ มีค่าน้อยก็ตาม I_a ก็จะมีค่าจำกัดค่าหนึ่ง แต่ในขณะที่เริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ให้หมุนนั้น เนื่องจากความเร็วรอบ $n = 0$, $E_b = 0$ ด้วย และถ้าป้อน $\bar{V}$ ที่ค่าแรงดันพิกัดโดยทันทีแล้ว I_a จะมีค่าสูงเกินค่าพิกัดมาก (หลายสิบเท่าของค่าพิกัด) ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อขดอาร์มาเจอร์ได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการจำกัด I_a ให้มีค่าต่ำลงในระยะแรกสุดของการเดินเครื่อง จะป้อนแรงดันระหว่างขั้ว V ให้มีค่าต่ำกว่าค่าแรงดันพิกัดมาก หลังจากนั้นจึงค่อย ๆ เพิ่ม V ให้มีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ยังคงความเร็วรอบ n สูงขึ้นจนถึงค่าแรงดันพิกัด

แต่ในทางปฏิบัติแรงดันระหว่างขั้วจะมีค่าคงที่ที่แรงดันพิกัดตลอดนับตั้งแต่เริ่มทำการเดินเครื่องและในวงจรอาร์มาเจอร์จะมีสตาร์ทติงรีโอสตัท (starting rheostat) หรือสตาร์ทเตอร์ต่ออนุกรมกับอาร์มาเจอร์ ในขณะที่ยังเดินเครื่องจะปรับสตาร์ทติงรีโอสตัทและฟิลล์รีโอสตัทในวงจรสนามจะต่างกันไม่มากนัก ในกรณีของสตาร์ทติงรีโอสตัท เนื่องจากมีกระแสอาร์มาเจอร์ไหลผ่านลวดความต้านทานที่ใช้จึงต้องเป็นเส้นหนาหรือมีลักษณะเป็นแถบ ในกรณีที่กระแสไหลผ่านมีค่ามาก ๆ นั้นจะใช้แผ่นความต้านทานซึ่งได้จากการหล่อลักษณะดังรูปที่ 3-55(ก) เมื่อนำมาประกอบกันเข้าจะได้ดังรูปที่ 3-55(ข)



รูปที่ 3-55 สตาร์ทเตอร์

กำหนดให้ R คือความต้านทานทั้งหมดของสตาร์ทติงรีโอสตัท

I_s คือกระแสในขณะที่ยังเริ่มเดินเครื่อง

$$I_s = \frac{V}{(r_s + r_a) + R}$$

ในสมการนี้จะเห็นว่า I_s มีค่าขึ้นกับขนาดของ R เท่านั้น ถ้าให้ I เป็นค่ากระแสที่ไหลพิกัด R จะมีขนาดต่าง ๆ เพื่อให้ได้ค่า I_s ตามลักษณะการใช้งานดังนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ทำการหยุดและเดินเครื่องไม่บ่อยครั้ง : $I_s = (2 \text{ ถึง } 2.5)I$

ในกรณีที่ทำการหยุดและเดินเครื่องบ่อยครั้ง : $I_s = (1.2 \text{ ถึง } 1.3)I$

ในกรณีเฉลี่ยโดยทั่ว ๆ ไป : $I_s = 1.5 I$

การควบคุมความเร็วรอบ

ความเร็วรอบของมอเตอร์ดีซีสามารถเขียนแสดงได้ดังสมการที่ (3.18)

$$\frac{E}{K\phi} = \frac{V - I_a r_a}{K\phi} \quad (3.18)$$

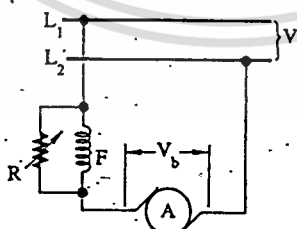
ดังนั้นในการปรับความเร็วรอบมอเตอร์จึงสามารถทำได้โดยการปรับ V , $I_a r_a$ หรือ ϕ อย่างใดอย่างหนึ่ง การปรับความเร็วรอบจึงสามารถแบ่งคร่าว ๆ ออกได้ 3 ชนิด คือ

1. การปรับวงจรสนาม เป็นวิธีปรับความเร็วรอบโดยการปรับกระแสของสนามแม่เหล็ก ϕ
 2. การปรับความต้านทาน เป็นวิธีปรับความเร็วรอบโดยการปรับค่า R ซึ่งต่ออนุกรมอยู่กับอาร์มาเจอร์ เพื่อเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันตกคร่อม $I_a R$
 3. การปรับแรงดัน เป็นวิธีปรับความเร็วรอบโดยการปรับแรงดันแหล่งจ่าย V
- การปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ดีซีแต่ละแบบสามารถอธิบายได้ในหัวข้อต่อไป

การปรับความเร็วรอบของมอเตอร์อนุกรม

การปรับความเร็วรอบของมอเตอร์อนุกรม มีด้วยกัน 2 วิธี ดังนี้

1. การปรับวงจรสนาม จะใช้ตัวต้านทานซึ่งปรับเปลี่ยนค่าได้ ต่อคร่อมชุดขดลวดสนามไว้ เพื่อให้ส่วนหนึ่งของกระแสกระตุ้นไหลผ่านตัวต้านทาน ดังรูปที่ 3-56



รูปที่ 3-56 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์อนุกรมด้วยการปรับวงจรสนาม

กระแสกระตุ้นหรือ ϕ ที่ได้จึงมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตามค่าความต้านทานที่ปรับไว้ซึ่ง

จะเท่ากับการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

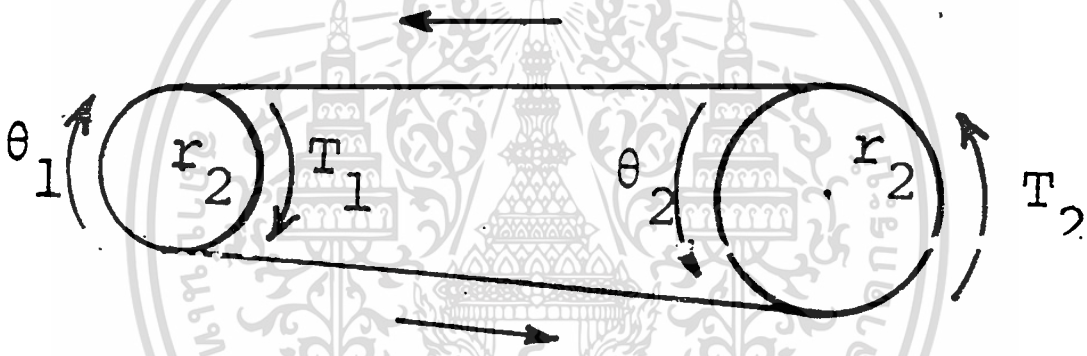
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากจะใช้ความต้านทานช่วยในการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบแล้วยังสามารถใช้วิธีการเพิ่มหรือลดจำนวนรอบสของชุดขับเคลื่อนด้วยการดึงจุดเท้าไปหลาย ๆ จุดออกจากขดซีรี เพื่อที่จะลดวงจรหรือตัดบางส่วนของขดซีรีออกก็สามารถทำให้ ϕ เปลี่ยนแปลงได้เช่นกัน

2. การปรับความต้านทาน จะใช้ความต้านทาน R ซึ่งปรับค่าได้ ต่ออนุกรมกับอาร์มาเจอร์ และอาศัยชุดควบคุมในการเปลี่ยนค่าความต้านทาน

ระบบสายพาน

ระบบการขับเคลื่อนด้วยสายพานโซ่ก็มีจุดมุ่งหมายเดียวกับระบบเกียร์ นอกจากว่าระบบโซ่สามารถส่งผ่านพลังงานไปได้ระยะทางไกลกว่าโดยที่ไม่ต้องใช้เกียร์จำนวนมาก รูปที่ 3-57 แสดงถึงไดอะแกรมของระบบการขับเคลื่อนด้วยโซ่ระหว่างลูกกรอกทั้งสอง สมมติว่าไม่มีการเลื่อนไปไ้ระหว่างโซ่และลูกกรอก



รูปที่ 3-57 ระบบโซ่

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด T_1 และ T_2 การเคลื่อนที่เชิงมุม θ_1 และ θ_2 และจำนวนฟันเฟืองโซ่ N_1 และ N_2 สามารถหาได้จากหลักเกณฑ์ต่อไปนี้

(1) จำนวนซี่ฟันของเฟืองโซ่จะเป็นสัดส่วนกับรัศมี r_1 และ r_2 ของเฟืองโซ่

$$r_1 N_2 = r_2 N_1 \quad (3.19)$$

(2) ระยะทางการเคลื่อนที่ไปของเฟืองโซ่แต่ละตัวจะมีค่าเท่ากัน ดังนั้น

$$\theta_1 r_1 = \theta_2 r_2 \quad (3.20)$$

(3) แรงงานที่ได้จากเฟืองโซ่ตัวหนึ่งจะเท่ากับแรงงานที่ได้จากเฟืองโซ่อีกตัวหนึ่ง เนื่องจากสมมติให้ว่าไม่มีการสูญเสียแรงงาน ดังนั้น

$$T_1 \theta_1 = T_2 \theta_2 \quad (3.21)$$

ถ้าความเร็วเชิงมุมของเฟืองโซ่ทั้งสองคือ ω_1 และ ω_2 ในรูปที่ 3-57 สมการ (3.19) (3.20) และ (3.21) เขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{r_1}{r_2} \quad (3.22)$$

3.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และ Simulation

รถไฟฟ้าไฮบริด มีแบบจำลองประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้

1. แบบจำลองกลศาสตร์ของรถ
2. แบบจำลองของมอเตอร์กระแสตรง
3. แบบจำลองคุณสมบัติของแบตเตอรี่

3.3.1 แบบจำลองกลศาสตร์ของรถ

มีองค์ประกอบหลาย ๆ อย่าง ที่มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่และความต้องการกำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้าไฮบริด องค์ประกอบที่สำคัญที่สุด คือ ความสามารถในการแทรกตัวในกระแสลมของรถ ซึ่งอยู่ในรูปสัมประสิทธิ์การดูดกลืน (C_d) และรวมถึงความเสียดทานระหว่างรถกับกระแสลม โดยทั่วไป รถที่มีความสูงมาก และรถที่มีรูปร่างเป็นรูปสี่เหลี่ยม จะมีผลทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน (C_d) สูง หรือเรียกได้ว่า มีความสามารถในการแทรกตัวในกระแสลมของรถต่ำ ความต้องการกำลังของรถไฟฟ้าไฮบริดเพื่อใช้ขับเคลื่อน ขึ้นอยู่กับ แรงต้านทาน 4 แรงที่ต้องเอาชนะเพื่อการเคลื่อนที่ของรถ

- | | |
|---------------------------------------|-----------------|
| 1. แรงต้านทานเนื่องจากล้อ | สัญลักษณ์ F_r |
| 2. แรงต้านทานเนื่องจากลม | สัญลักษณ์ F_w |
| 3. แรงต้านทานเนื่องจากความชัน | สัญลักษณ์ F_g |
| 4. แรงต้านทานเนื่องจากการเร่งความเร็ว | สัญลักษณ์ F_a |

แรงต้านทานเนื่องจากล้อ

ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นผิวถนน เช่น ชนิดของพื้นผิว หรือสภาพพื้นผิวถนนที่เปียกหรือแห้ง เป็นต้น ความดันยาง และความเร็วในการหมุนของล้อ โดยปกติมีค่า 1-2% ของแรงกดหรือน้ำหนักของรถยนต์

แรงต้านทานเนื่องจากลม

เป็นแรงต้านทานที่สำคัญ โดยขึ้นอยู่กับ

1. พื้นที่หน้ารถ
2. สัมประสิทธิ์การฉุดลาก (C_d)

เป็นค่าของความเสียดทานที่เกิดจากกระแสลมกับตัวรถ ถ้าการออกแบบรูปร่างของรถที่ทำให้กระแสลมผ่านตัวรถไปได้ง่าย จะทำให้ค่า C_d ต่ำ

3. ความเร็วของรถ
4. ความเร็วและทิศทางลม

แรงต้านทานเนื่องจากความชัน

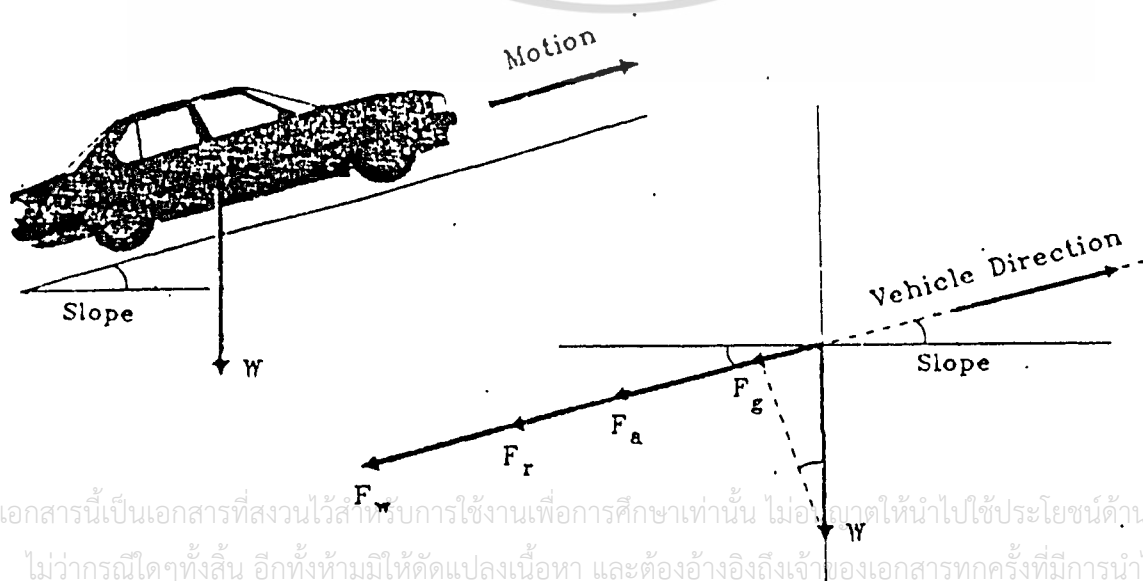
ถ้ารถวิ่งในที่ราบ ความชันเท่ากับศูนย์ จะไม่เกิดแรงต้านทานนี้ แต่ถ้ารถวิ่งในที่ที่มีความชันจะมี 2 กรณี

1. วิ่งขึ้น น้ำหนักของรถจะตกลงมาตรงข้ามกับทิศการเคลื่อนที่ของรถ แรงนี้จะเป็นแรงต้านการเคลื่อนที่
2. วิ่งลง น้ำหนักของรถจะตกลงมาทิศเดียวกับการเคลื่อนที่ของรถ แรงนี้จะเป็นแรงช่วยในการเคลื่อนที่

แรงต้านทานเนื่องจากการเร่งความเร็ว

ใช้กฎทั้ง 2 ข้อของนิวตัน แรง = มวลของรถ * อัตราเร่ง

การคำนวณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_r = (9.81W/65)(1+0.0013S+10^{-5}S^2)$$

$$F_w = \rho C_d A_f V^2 / 2$$

$$F_g = 9.81W \sin \theta$$

$$F_a = W(dv/dt)$$

$$F_t = F_r + F_w + F_g + F_a$$

โดยที่ W = น้ำหนักของรถ หน่วย กิโลกรัม (kg)

S = ความเร็วของรถ หน่วย กิโลเมตรต่อชั่วโมง (km/hr)

C_d = สัมประสิทธิ์การฉุดลากของลม

A_f = ความหนาแน่นของอากาศ

$$= 1.125 \text{ kg/m}^3$$

θ = ความชันหรือมุมถนน หน่วย องศา

dv = อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็ว หน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

dt = อัตราการเปลี่ยนแปลงของเวลา หน่วย วินาที (sec)

dv/dt = อัตราเร่งของรถ หน่วย เมตรต่อวินาทีกำลังสอง (m/s²)

F_t = ความต้องการกำลังในการเอาชนะแรงต้านทั้งหมด
หน่วย นิวตัน (N)

เมื่อรถวิ่งบนพื้นราบ $\theta = 0$ จะได้ว่า

$$F_t = F_r + F_w + F_a$$

จากที่กล่าวมาทั้งหมดจะเป็นแรงต้านทานการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นกับตัวรถ หรือจะกล่าวได้ว่าเป็นแรงที่ของล้อที่ใช้ในการขับเคลื่อน แต่เนื่องจากในระบบส่งกำลังจะมีการสูญเสียแรงไปเนื่องจากความเสียดทานต่าง ๆ ในระบบ ดังนั้นจึงทำให้ต้นกำลังขับต้องออกแรงมากกว่าแรงที่ต้องการที่ของล้อซึ่งเราสามารถคำนวณแรงขับของต้นกำลังขับได้ดังนี้

P_b คือ กำลังเบรคของต้นกำลังขับ หน่วย วัตต์ (W)

F คือ แรงขับเคลื่อนของต้นกำลังขับ หน่วย นิวตัน (N)

T_e คือ แรงบิดของต้นกำลังขับ หน่วย นิวตัน-เมตร (N-m)

T_w คือ แรงบิดที่เพลาขับเคลื่อน หน่วย นิวตัน-เมตร (N-m)

η คือ ประสิทธิภาพของระบบส่งกำลัง

g_r คือ อัตราทดของเฟืองในกระปุกเกียร์

a_r คือ อัตราทดของเฟืองท้าย

G คือ อัตราทดของเฟืองทั้งระบบ ($g_r * a_r$)

r คือ รัศมีของยาง หน่วย เมตร (m)

N คือ ความสมเร็วรอบของเพลาดันกำลังขับ

จากสูตร

$$P_b = \frac{2\pi T_e N}{60}$$

$$T_e = 60P_b / 2\pi N$$

แรงบิดของดันกำลังขับ $T_e = \frac{9.55P_b}{N} \text{ N-m}$

แรงบิดที่เพลาลัง $T_w = (g_r * a_r) \eta_i T_e$

$$T_w = \eta_i G T_e$$

ดังนั้น $T_e = \frac{T_w}{G \eta_i} \text{ N-m}$

และเนื่องจาก $T = F * r \text{ N-m}$
 $F = \frac{T_w * r}{G \eta_i} \text{ W}$

กำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อน

เมื่อรถยนต์เคลื่อนที่ไปจะต้องใช้กำลังจากดันกำลังขับทำให้ล้อหมุนเพื่อให้เกิดกำลังขับเคลื่อนกำลังนี้จะต้องมากพอที่เอาชนะกำลังที่สูญเสียไปเนื่องจากแรงต้านทานต่างๆรถจึงจะเคลื่อนที่ไปได้

กำหนดให้ คือ P_r กำลังดันกำลังที่ใช้ขับเคลื่อน หน่วย วัตต์ (W)

P_v กำลังที่ล้อขับเคลื่อน หน่วย วัตต์ (W)

V ความเร็วของรถ หน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

η_i ประสิทธิภาพของระบบส่งกำลัง

F_r แรงต้านทานทั้งหมด หน่วย นิวตัน (N)

กำลังที่ล้อขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังของต้นกำลังขับที่ใช้ขับเคลื่อนรถไฟฟ้าไฮบริดนั้นจะต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของระบบส่งกำลังด้วย กำลังของต้นกำลังขับที่ใช้ขับเคลื่อน

$$P_v = \frac{P_v}{\eta_t} = \frac{F_t V}{\eta_t}$$

จากสูตร P_r นั้น เป็นค่ากำลังขณะวิ่งด้วยความเร็ว V คงที่ (ไม่มีอัตราเร่ง) ซึ่งในรถไฟฟ้าไฮบริด เราใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนก็จะสามารถหาขนาดของมอเตอร์ได้จากสูตรข้างต้น โดยขนาดของมอเตอร์ที่เล็กที่สุดที่ต้องการที่จะทำให้รถมีความเร็วถึง V_{max} ขณะโหลดเต็มที่ m_{max} จะต้องมีความเร็วไม่ต่ำกว่า

$$P_{min} = F_t V_{max}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของต้นกำลังกับความเร็วรถ

ให้ N = ความเร็วรอบของต้นกำลัง หน่วย รอบต่อนาที (rpm)

S = ความเร็วของรถ หน่วย กิโลเมตรต่อชั่วโมง (km/hr)

r = รัศมีของล้อ หน่วย เมตร (m)

G = อัตราทดของระบบส่งกำลัง

จะได้

$$\frac{2\pi r N}{G} = \frac{1000 S}{60} \text{ m/min}$$
$$\frac{N}{S} = \frac{1000 G}{60(2\pi r)} = \frac{2.65 G}{r}$$

ถ้าคิดแฟคเตอร์การเลื่อนไถล μ ด้วย จะได้

$$\frac{N}{V} = \frac{2.65 G}{\mu r}$$

สำหรับอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (LEAST-SQUARE METHOD) เพื่อสร้างสมการ โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วเครื่องยนต์ ในหน่วย กิโลเมตรต่อชั่วโมง (km/hr) กับ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ในหน่วย กิโลเมตรต่อลิตร (km/l)

$km/l = a_0 + a_1(km/hr) + a_2(km/hr)^2$ โดยที่ a_0, a_1, a_2 = ค่าคงที่

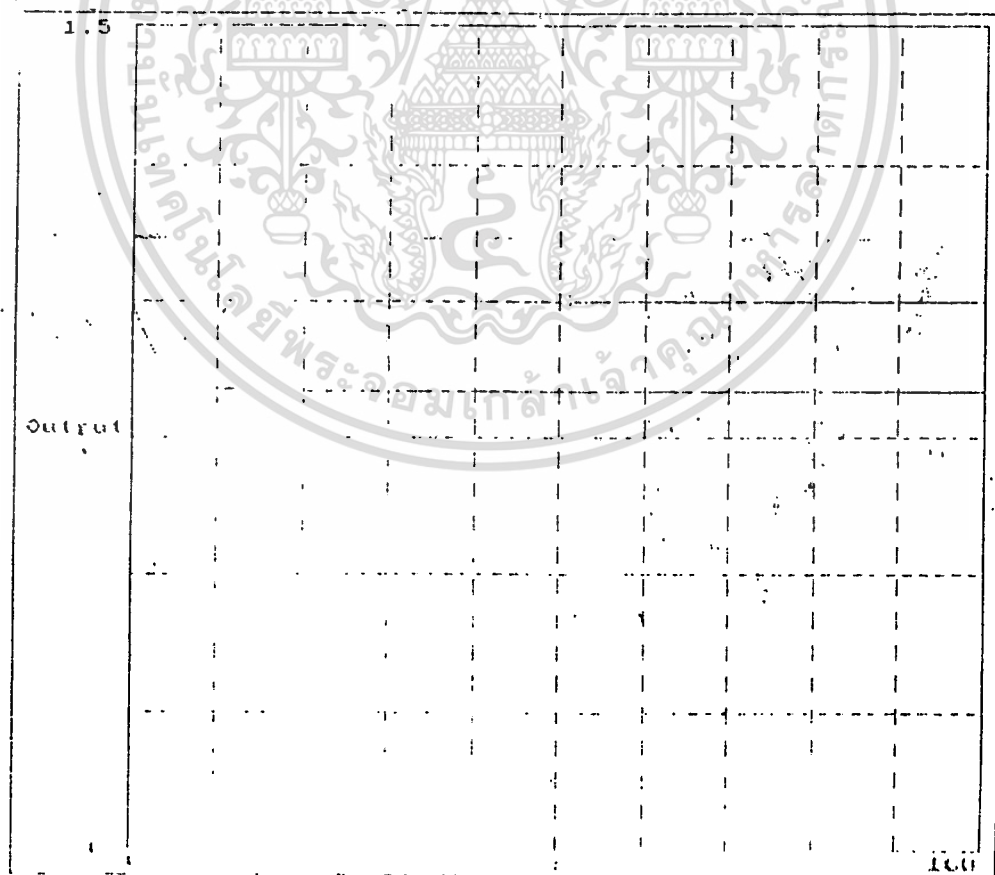
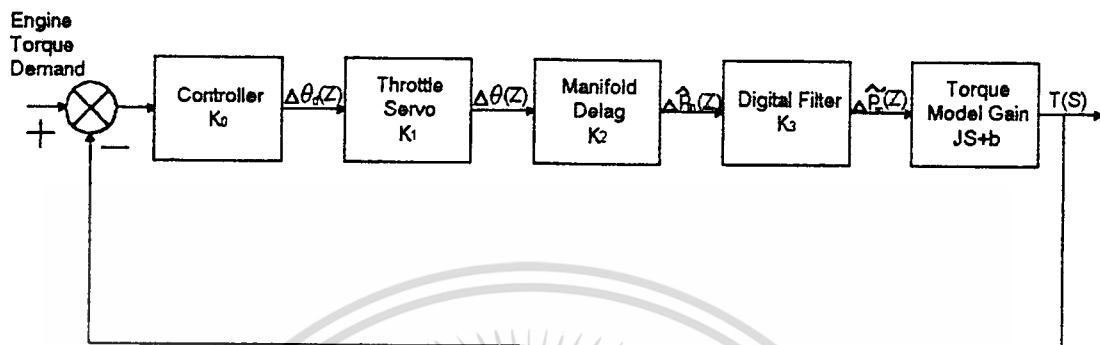
ให้ $y = km/hr$

$x = km/l$

จะได้ $y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2$

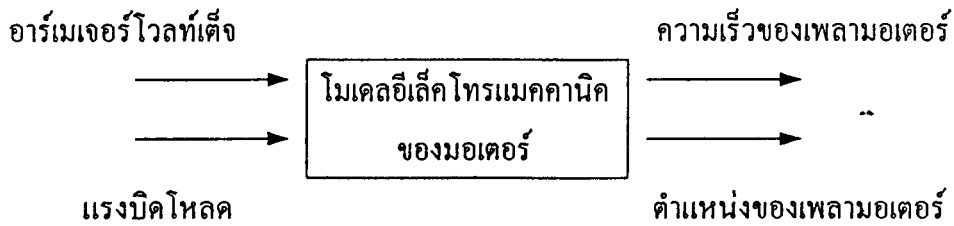
เมื่อใช้ข้อมูลจำนวน n ข้อมูล จะได้ค่าคงที่ (a_0, a_1, a_2) อีกมาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Simulation ของเครื่องยนต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 แบบจำลองของมอเตอร์กระแสตรง



รูปที่ 3-58 โมเดลของมอเตอร์กระแสตรง

โมเดลอิเล็กทรอนิกส์ของมอเตอร์

กำหนดให้ R_a คือ ความต้านทานของอาร์เมเจอร์

L_a คือ อินдукแตนซ์ของอาร์เมเจอร์

V_g คือ โวลต์เตจกำเนิดในอาร์เมเจอร์ (แรงเคลื่อนกลับ)

R_f คือ ความต้านทานของฟิลด์

L_f คือ อินдукแตนซ์ของฟิลด์

ϕ คือ ช่องว่างอากาศของเส้นแรงสนามแม่เหล็ก

ω คือ ความเร็วของเพลารูปร่าง

T_g คือ แรงบิดที่พัฒนาขึ้นในมอเตอร์

T_f คือ แรงบิดเสียดทานของมอเตอร์

T_j คือ แรงเฉื่อยของมอเตอร์

T_L คือ แรงบิดโหลดบนเพลามอเตอร์

ขั้นแรกเราจะหาสมการพื้นฐานโมเดลของมอเตอร์กระแสตรงได้จากกฎฟลักซ์ของอาร์เมเจอร์

$$V_i(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + V_g(t) \quad (3-23)$$

เทอมโวลต์เตจ $V_g(t)$ ในสมการ (3-23) คือแรงเคลื่อนกลับของมอเตอร์ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อเส้นลวดตัวนำของอาร์เมเจอร์หมุนตัดเส้นแรงแม่เหล็กซึ่งเกิดขึ้นโดยกระแสของฟิลด์ ตามกฎของฟาราเดย์ฟลักซ์ของเส้นลวดตัวนำหมุนในฟิลด์แม่เหล็กคงที่จะมีการเหนี่ยวนำโวลต์เตจขึ้นในขดลวดนั้น

$$V(t) = \frac{d\lambda(t)}{dt} \quad (3-24)$$

เมื่อ $\lambda(t)$ เส้นแรงแม่เหล็กที่ลิงเคจ (linkages) ไปยังขอลวดและ t คือเวลาในการหมุนของคอมเตเตอร์ของมอเตอร์ การควบคุมวงจรของแต่ละส่วนของตัวนำในโรเตอร์จะเกิดโวลต์เตจขึ้นในส่วนของตัวนำนั้นตามสมการ (3-24) เมื่อ $d\lambda(t)/dt$ จะเป็นสัดส่วนต่อเส้นแรงแม่เหล็กในช่องว่างอากาศและความเร็วเชิงมุม $\omega(t)$ หรือเราจะได้ว่า

$$V_g(t) = K \phi(t) \omega(t) \quad (3-25)$$

สมมติให้กระแสของฟิลด์มีค่าคงที่และไม่คิดถึงส่วนการเปลี่ยนแปลงในเส้นแรงฟิลด์เนื่องจากอาร์เมเจอร์รีแอคชั่นเส้นแรงฟิลด์ก็จะมีค่าคงที่ ดังนั้นสมการ (3-25) ก็จะกลายเป็น

$$V_g(t) = K_e \omega(t) \quad (3-26)$$

เมื่อเราสมมติให้เส้นแรงของฟิลด์มีค่าคงที่ แรงบิดของแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นแก่โรเตอร์ของมอเตอร์จะเป็นสัดส่วนกับกระแสอาร์เมเจอร์

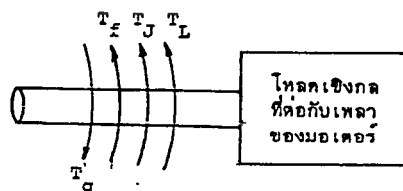
$$T_g(t) = K_t i_a(t) \quad (3-27)$$

เมื่อ K_t คือ ค่าคงที่ของแรงบิดของมอเตอร์

กำลังงานเชิงกลที่เกิดขึ้นในโรเตอร์คือผลคูณของแรงบิดที่เกิดขึ้นและความเร็วเชิงมุม

$$P_g(t) = T_g(t) \omega(t) \quad (3-28)$$

กำลังงานเชิงกลที่เกิดขึ้นในโรเตอร์ทั้งหมดนี้จะจ่ายไปยังโหลดที่ต่ออยู่กับเพลลาของมอเตอร์ แต่กำลังงานนี้บางส่วนจะสูญเสียไปในมอเตอร์ การสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน หมายถึงความหน่วงเนื่องจากลมที่มีต่อโรเตอร์ แรงเสียดทานตัวรองรับโรเตอร์ กระแสที่ไหลวนในเหล็กของโรเตอร์และฮีสเทรีซิส จากรูปที่ 3-59 แสดงให้เห็นถึงแรงบิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นต่อโหลดของมอเตอร์ คือ



รูปที่ 3-59 แสดงถึงแรงบิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นต่อโหลดของมอเตอร์

$T_g(t)$ คือ แรงบิดของมอเตอร์

$T_f(t)$ คือ แรงบิดที่ด้องขณะการสูญเสียเนื่องจากการเสียดทาน

$T_J(t)$ คือ แรงบิดเพื่อใช้เพิ่มอัตราเร่งแก่ ความเฉื่อยของโหลด

$T_L(t)$ คือ แรงบิดโหลด

ในช่วงเวลาใด ๆ ก็ตาม แรงบิดของมอเตอร์จะต้องเท่ากับและมีทิศทางตรงข้ามกับผลรวมของแรงบิด $T_f(t)$, $T_J(t)$ และ $T_L(t)$ ดังนั้น

$$T_g(t) = T_f(t) + T_L(t) + J \frac{d\omega(t)}{dt} \quad (3-29)$$

เมื่อ J คือ ผลรวมของโมเมนต์แรงเฉื่อยของโรเตอร์และโหลดที่ต่ออยู่ที่เพลลาของมอเตอร์ ผลรวมของแรงบิดเสียดทานที่ประกอบกันขึ้นที่เพลลาของมอเตอร์ซึ่งเป็นลิเนียร์ฟังก์ชันกับความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์เรียกว่า ส่วนประกอบของวิสกอสฟริกชันและมักจะอยู่ในเทอมที่แยกออกจากฟริกชันอื่น ๆ ซึ่งแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$T_g(t) = T_f(t) + T_L(t) + J \frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t) \quad (3-30)$$

เมื่อ B คือ สัมประสิทธิ์ของวิสกอสฟริกชันของมอเตอร์และโหลดที่ต่ออยู่กับเพลลาของมอเตอร์ $T_f(t)$ คือผลรวมของฟริกชันของโหลดและของมอเตอร์ทั้งหมด มีแรงต้านของลมและการสูญเสียกำลังในเหล็กของเพลลามอเตอร์ยกเว้นวิสกอสฟริกชัน

สมการ (3-23) (3-26) (3-27) และ (3-30) เป็นชุดสมการพื้นฐานของมอเตอร์กระแสตรงโมเดลและจากสมการเหล่านี้เราสามารถจะหาทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของมอเตอร์กระแสตรงได้ โดยใส่ลาปลาซทรานฟอร์มทั้งสองข้างของชุดสมการพื้นฐานและเขียนได้ใหม่เป็น

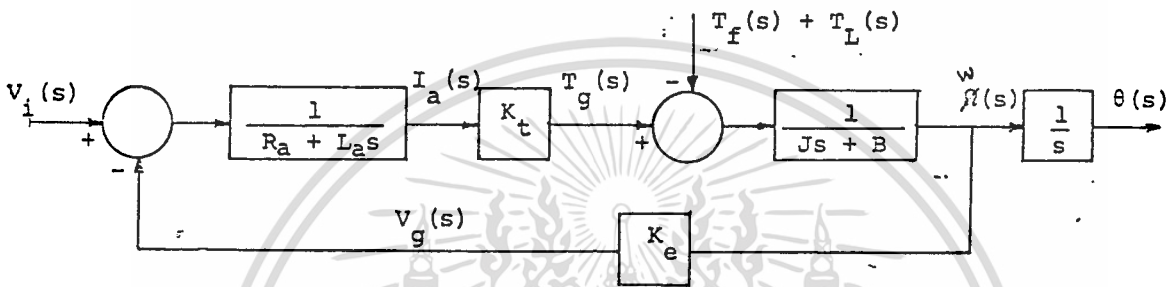
$$V_1(s) - V_g(s) = (R_a + sL_a) I_a(s) \quad (3-31)$$

$$V_g(s) = K_e \omega(s) \quad (3-32)$$

$$T_g(s) = K_t I_a(s) \quad (3-33)$$

$$T_g(s) - T_f(s) - T_L(s) = (B + sJ) \omega(s) \quad (3-34)$$

บล็อกไดอะแกรมที่แสดงถึงสมการพื้นฐานเหล่านี้แสดงได้ดังในรูปที่ 3-60



รูปที่ 3-60 บล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์กระแสตรงโมเดล

ทรานสเฟอร์ ฟังก์ชันของมอเตอร์ กระแสตรง

บล็อกไดอะแกรมของรูปที่ 3-60 แสดงถึงระบบที่มีสองอินพุตและมีเอาต์พุตเป็นทั้งความเร็วเชิงมุม ω และการเคลื่อนที่แบบเชิงมุม θ จากรูปที่ 60 ความเร็วเอาต์พุตของระบบเขียนได้เป็น

$$\omega(s) = G_1(s)V_i(s) + G_2(s) [T_f(s) + T_L(s)] \quad (3-35)$$

เมื่อ

$$G_1(s) = \left. \frac{\omega(s)}{V_i(s)} \right|_{T_f(s) + T_L(s) = 0} \quad (3-36)$$

$$G_2(s) = \left. \frac{\omega(s)}{T_f(s) + T_L(s)} \right|_{V_i(s) = 0} \quad (3-37)$$

$G_1(s)$ คือทรานสเฟอร์ฟังก์ชันระหว่างโวลต์เดจและความเร็ว

$$\begin{aligned} G_1(s) &= \frac{\omega}{V_i(s)} = \frac{K_t}{(L_a s + R_a)(J s + B) + K_t K_e} \\ &= \frac{K_m}{\alpha s^2 + \beta s + 1} \end{aligned} \quad (3-38)$$

เมื่อ

$$K_m = \frac{K_t}{R_a B + K_t K_e}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\beta = \frac{R_a J + L_a B}{R_a B + K_t K_e}$$

สมการ (3-38) เป็นโวลต์เตจทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของมอเตอร์กระแสตรงในเมื่อสมมติว่า T_f และ T_L มีค่าเป็นศูนย์ สมการ (3-38) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$G_1(s) = \frac{K_t}{R_a B(1 + \tau_e s) + K_e K_t}$$

เมื่อ $\tau_e = L_a / R_a =$ ไทม์คอนสแตนต์ทางไฟฟ้า

$\tau_m = J / B =$ ไทม์คอนสแตนต์ทางเชิงกล

ถ้าอินดักเต้นซ์ของอาร์เมเจอร์มีค่าน้อย ไทม์คอนสแตนต์ทางไฟฟ้าสามารถตัดทิ้งได้และสมการ (3-38) ได้เป็น

$$G_v(s) = \frac{\omega(s)}{V_i(s)} = \frac{K_t}{R_a (Js + B) + K_t K_e} \quad \dots$$

$$= \frac{K_m}{\tau s + 1} \quad (3-39)$$

เมื่อ $\tau = \frac{R_a J}{R_a B + K_t K_e}$

ในสมการ (3-39) ค่าคงที่ K_m อาจเรียกได้ว่าเป็นค่าคงที่ของมอเตอร์ ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันแรงบิดโหลด $G_2(s)$ หาได้เป็น

$$G_2(s) = \frac{\omega(s)}{T_f(s) + T_L(s)} = \frac{1}{1 + \frac{K_t K_e}{(Js + B)(L_a s + R_a)}} \quad \dots$$

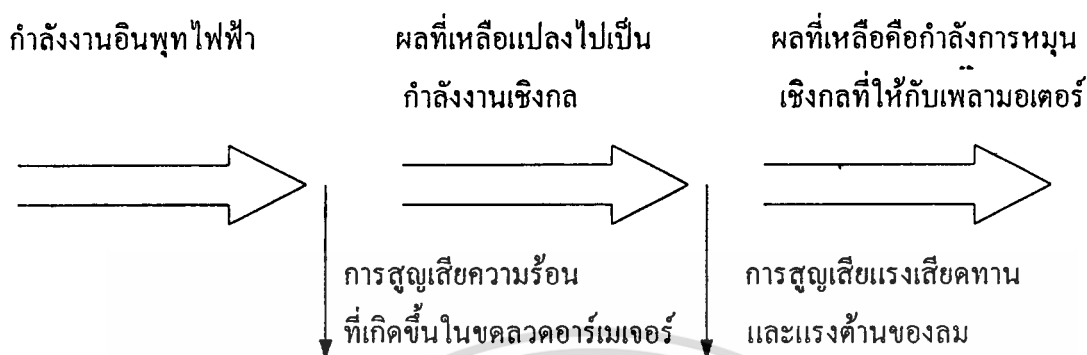
$$G_2(s) = \frac{-\frac{R_a}{K_t} K_m \left[\frac{L_a}{R_a} s + 1 \right]}{\alpha s^2 + \beta s + 1} \quad (3-40)$$

ซึ่งถ้าอินดักเต้นซ์ของอาร์เมเจอร์ไม่นำมาคิดถึง สมการ (3-40) ก็ลดลงได้

$$G_L(s) = \frac{\omega(s)}{T_f(s) + T_L(s)} = \frac{-\frac{R_a}{K_t} K_m}{\tau s + 1}$$

การสูญเสียกำลังงานของดี ซี มอเตอร์

ในหัวข้อนี้เราจะได้กำหนดให้มอเตอร์กระแสเป็นเสมือนอุปกรณ์แปลงพลังงาน คือ จะแปลงพลังงานอินพุตทางไฟฟ้าไปเป็นพลังงานเอาต์พุตทางเชิงกล ในรูปที่ 3-61 แสดงการไหลของกำลังงานผ่านอุปกรณ์แปลงพลังงาน(มอเตอร์) ดังกล่าว



รูปที่ 3-61 การไหลของกำลังงานผ่านมอเตอร์

ผลรวมของกำลังงานไฟฟ้าอินพุตเท่ากับ ผลคูณของอาร์มาเจอร์โวลต์เตจและกระแสอาร์มาเจอร์ ดังนั้นผลรวมของอินพุตเพาเวอร์ได้เท่ากับ

$$P_i(t) = V_i(t) i_a(t) \quad (3.41)$$

รวมสมการ (3.23) และสมการ (3.26) เข้าด้วยกัน เราจะได้สมการโวลต์เตจของวงจรอาร์มาเจอร์ซึ่งสัมพันธ์กับโวลต์เตจอินพุตและกระแสอาร์มาเจอร์

$$V_i(t) = R_a i_a(t) + L_a (di_a(t) / dt) + K_e \omega(t) \quad (3.42)$$

แทนค่าสมการ (3.42) ลงในสมการ (3.41) จะได้นิพจน์ของกำลังงานอินพุตรวมในเทอมของกระแสอาร์มาเจอร์และความเร็วเชิงมุมของเพลา

$$P_i(t) = R_a i_a^2(t) + L_a i_a(t) \frac{di_a(t)}{dt} + K_e i_a(t) \omega(t) \quad (3.43)$$

กระแสอาร์มาเจอร์สามารถเขียนให้อยู่ในเทอมของพารามิเตอร์เชิงกลของมอเตอร์และแรงบิดของเพลาด้วยการรวมสมการ (3.27) และสมการ (3.30)

$$i_a(t) = \frac{1}{K_t} [J \frac{d\omega(t)}{dt} + B \omega^2(t) + T_f(t) + T_L(t)] \quad (3.44)$$

ซึ่งเมื่อเราแทนค่าลงในสมการ (3.43) จะได้ดังนี้

$$P_i(t) = \frac{R_a i_a^2(t)}{K_t} + \frac{K_e B \omega^2(t)}{K_t} + \frac{K_e \omega(t) T_f(t)}{K_t} + \frac{K_e \omega(t) T_L(t)}{K_t} + \frac{K_e J \omega(t) \frac{d\omega(t)}{dt}}{K_t} + L_a i_a(t) \frac{di_a(t)}{dt} \quad (3.45)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาถึงผลรวมของอินพุทเพาเวอร์ในสมการ (3.45)

เทอมแรก (ทางด้านขวามือ)

$I^2 R$: การสูญเสียในขดลวดอาร์มาเจอร์เนื่องจากการไหลของกระแสอาร์มาเจอร์
การสูญเสียทางเชิงกลในตัวมอเตอร์ ประกอบด้วย การสูญเสียของกำลังในเทอมที่สองและเทอมที่สาม

เทอมที่สอง แสดงถึงการสูญเสียกำลังงานเนื่องจากวิสตอสฟริกชัน

เทอมที่สาม แสดงถึงการสูญเสียกำลังงานเนื่องจากแรงบิดเสียดทานอื่น ๆ ทั้งหมด

เทอมที่สี่ แสดงถึงเอาต์พุตเชิงกลของมอเตอร์

สองเทอมหลัง แสดงถึงการไหลเข้าหรือออกของกำลังงานในอุปกรณ์สะสมพลังงานในที่นี้ ได้แก่ อินดักเต้นซ์และแรงเฉื่อยของเพลลา ถ้าในช่วงเริ่มต้นจนกระทั่งสิ้นสุดของคาบเวลาที่กำหนดให้ใด ๆ พลังงานที่สะสมอยู่ในส่วนของอินดักเต้นซ์และแรงเฉื่อยของเพลลาจะมีค่าคงที่ ดังนั้นจึงไม่มีผลการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่สะสมอยู่ ซึ่งก็จะไม่เกิดผลของการสูญเสียกำลังงาน ดังนั้นผลของกำลังเฉื่อยที่สูญเสียให้แก่ แรงเฉื่อยของเพลลาและอินดักเต้นซ์มีค่าเป็นศูนย์
ประสิทธิภาพ (efficient) ของมอเตอร์ที่กำหนดให้เป็นเสมือนตัวแปลงพลังงาน สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนของเพาเวอร์เอาต์พุตเชิงกลต่อ ผลรวมของเพาเวอร์อินพุทเฉลี่ย

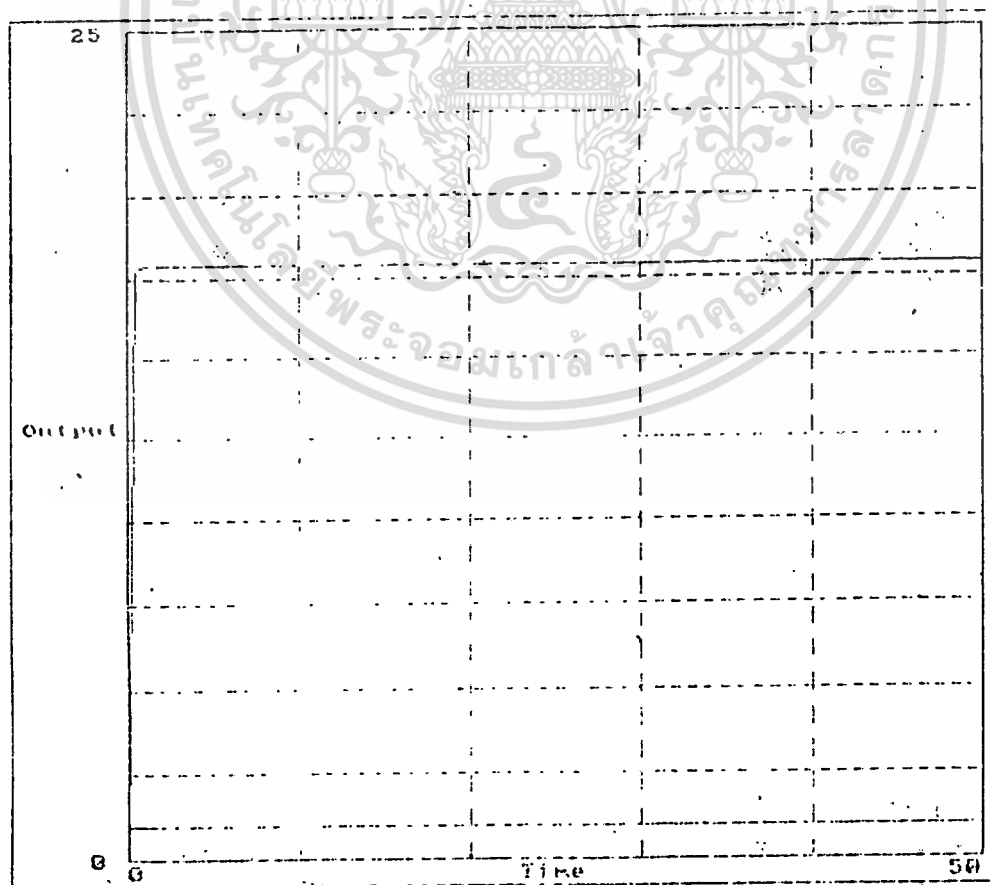
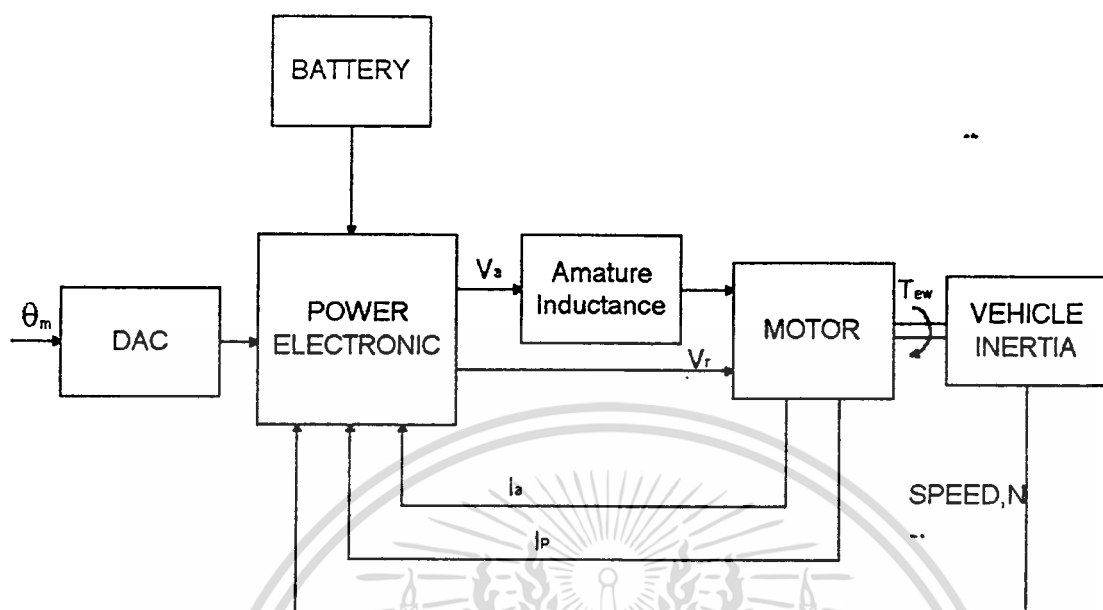
$$\text{ประสิทธิภาพ (กำลังงาน)} = \frac{T_L}{\frac{R_a I_a^2 K_t + B\omega + T_r + T_L}{K_e}} * 100\%$$

เมื่อพารามิเตอร์ทั้งหมดพิจารณาได้ว่ามีค่าคงที่

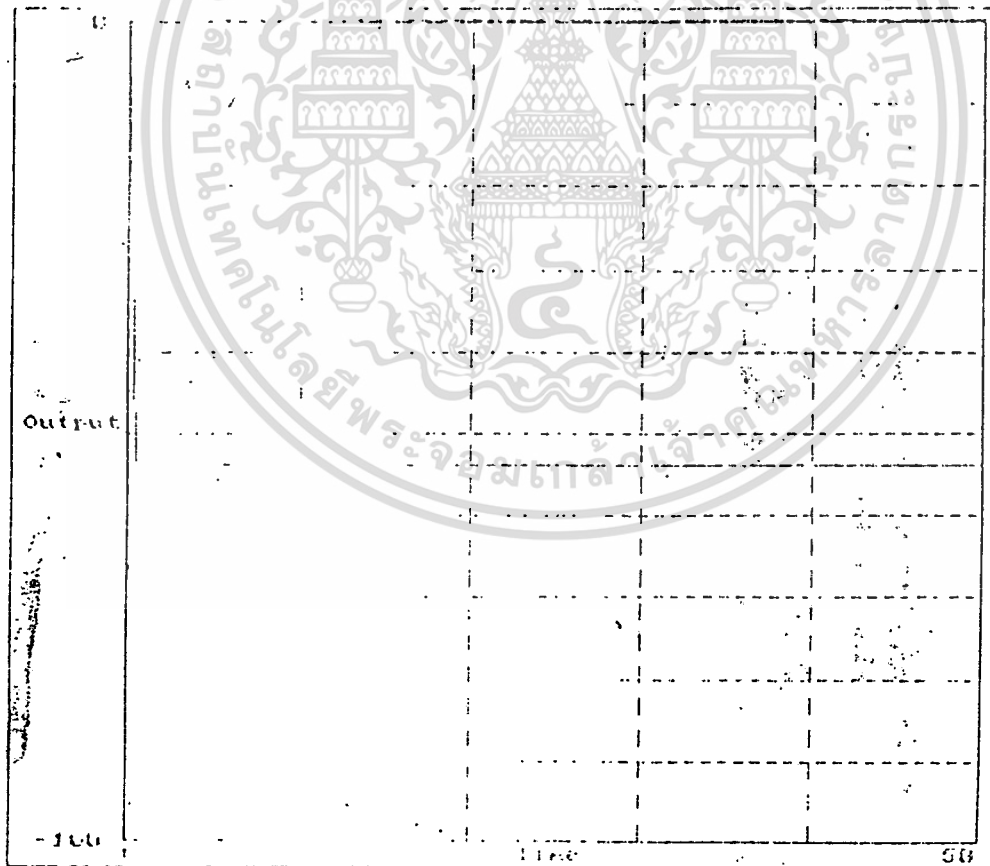
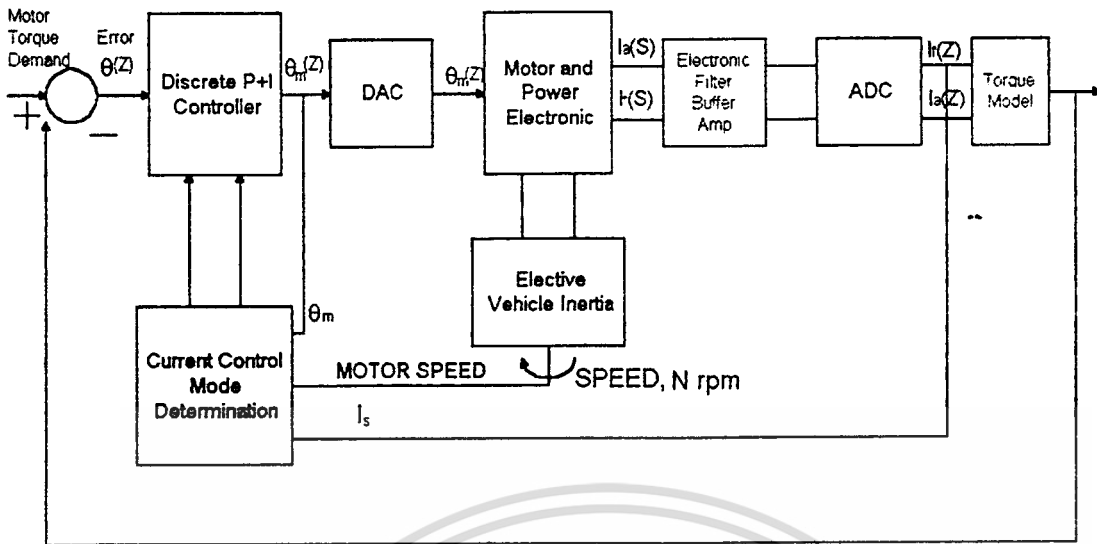
ประสิทธิภาพของการแปลงกำลังไฟฟ้าเป็นพลังงานเชิงกลสามารถหาได้จากอัตราส่วนของเพาเวอร์เอาต์พุตเชิงกลที่พัฒนาขึ้นโดยโรเตอร์

$$\text{ประสิทธิภาพในการแปลงทางกำลังงานเชิงกล} = \frac{T_L}{B\omega + T_r + T_L} * 100\%$$

Simulation ของมอเตอร์ กระแสตรง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

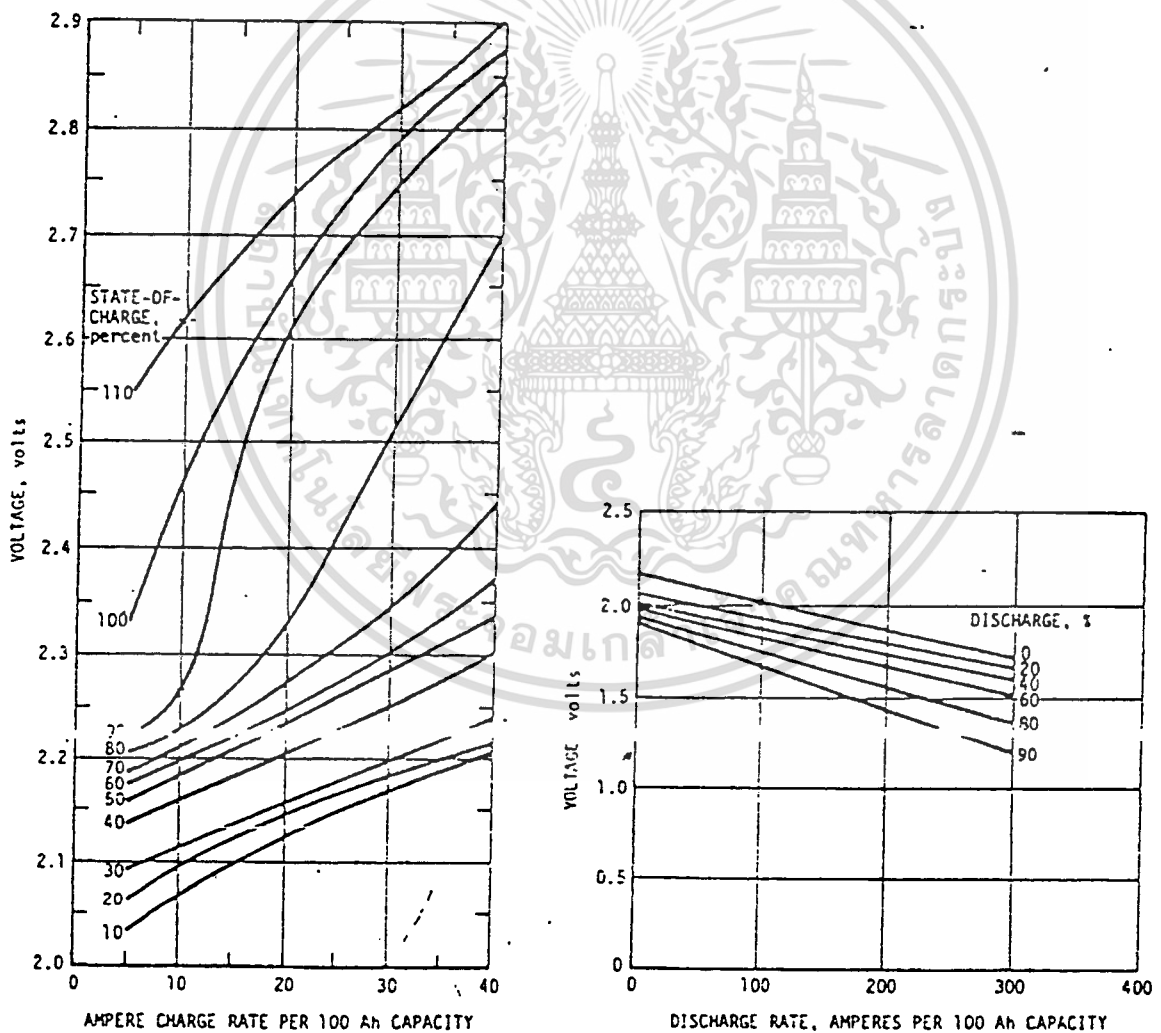


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 แบบจำลองคุณสมบัติของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ที่ใช้สารต่างชนิดกัน เช่น ตะกั่ว-กรด, โซเดียม-ซัลเฟต, ลิเทียม-ซัลเฟต เป็นต้น จะมีความจุประจุไฟฟ้าแตกต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อกำลังการจุผลากที่แตกต่างกันด้วย พบว่าแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จะมีราคาถูกที่สุดและหาง่ายที่สุด

ในการศึกษาแบตเตอรี่ตะกั่วกรด 8 units โดยแต่ละ unit มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 120 โวลต์ ความจุกระแสไฟฟ้า 100 แอมแปร์-ชั่วโมง และมี 6 cells ต่อ 1 unit นำไปใช้ขับเคลื่อนรถ ซึ่งการต่อแบตเตอรี่จะต่อกันแบบอนุกรม จะได้พลังงานเฉลี่ย 9.6 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ที่แรงเคลื่อนไฟฟ้า 96 โวลต์ ในสถานะการประจุและการใช้กระแสไฟฟ้าและจำนวนกระแสไฟฟ้าที่ประจุเข้าไปหรือที่ถูกริ้อออกมา ถูกแสดงในรูปที่ 3-62



รูปที่ 3-62 แรงเคลื่อน, กระแสและลักษณะของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดสำหรับ

(a) การประจุแบตเตอรี่ (b) การใช้ไฟจากแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จะเป็นการวิเคราะห์ลักษณะของแบตเตอรี่ แต่อาจมีข้อผิดพลาดจากการใช้งานจริงบ้างเล็กน้อย เนื่องมาจากองค์ประกอบหลายๆอย่าง

ให้ V = แรงดันในการประจุหรือการใช้กระแสไฟฟ้าในแบตเตอรี่ หน่วย โวลต์

I = กระแสไฟฟ้าที่ถูกประจุหรือที่ปล่อยออกมาจากแบตเตอรี่ หน่วย แอมแปร์

SOC = STATE OF CHARGE (%)

a) สถานะการประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่

แบบจำลองของแรงดันไฟฟ้าจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันไฟฟ้า(V) กระแสไฟฟ้า(I) และ STATE OF CHARGE(SOC) ดังนี้

$$V = a + b(I/100) + c(I/100)^2 + d(I/100)^3$$

$$a = a_0 + a_1(SOC/100) + a_2(SOC/100)^2$$

$$b = b_0 + b_1(SOC/100) + b_2(SOC/100)^2$$

$$c = c_0 + c_1(SOC/100) + c_2(SOC/100)^2$$

$$d = d_0 + d_1(SOC/100) + d_2(SOC/100)^2$$

โดยที่ค่าคงที่ a, b, c, d และสัมประสิทธิ์ a, b, c, d สามารถหาได้โดย least-square method จากข้อมูลในตารางที่ 3-2 ซึ่งข้อมูลในตารางได้จากรูปที่ 3-62

จาก least-square method เราจะได้สมการ ดังนี้

$$a = 2.0409 - 0.0179(SOC/100) + 0.2481(SOC/100)^2$$

$$b = 1.1014 - 4.1061(SOC/100) + 5.0848(SOC/100)^2$$

$$c = -2.5787 + 15.3361(SOC/100) - 14.216(SOC/100)^2$$

$$d = 1.675 - 11.6868(SOC/100) + 9.7299(SOC/100)^2$$

และ $V = a + b(I/100) + c(I/100)^2 + d(I/100)^3$

ตารางที่ 3-2
ข้อมูลสำหรับการประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

		กระแสไฟฟ้าที่ถูกระจุ (A)							
		5	10	15	20	25	30	35	40
SOC (%)	10	2.030	2.070	2.100	2.125	2.150	2.175	2.185	2.205
	20	2.060	2.090	2.125	2.140	2.160	2.185	2.200	2.220
	30	2.090	2.115	2.130	2.155	2.175	2.200	2.225	2.240
	40	2.135	2.155	2.180	2.205	2.230	2.255	2.275	2.300
	50	2.155	2.180	2.210	2.235	2.265	2.285	2.315	2.335
	60	2.175	2.198	2.225	2.245	2.275	2.305	2.340	2.370
	70	2.185	2.215	2.240	2.275	2.310	2.350	2.390	2.440
	80	2.210	2.230	2.275	2.330	2.420	2.515	2.610	2.700
	90	2.225	2.265	2.475	2.615	2.690	2.750	2.790	2.845
	100	2.325	2.455	2.580	2.655	2.730	2.790	2.840	2.875
	110	2.550	2.625	2.685	2.740	2.780	2.825	2.860	2.910
		แรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่ 1 cell (V)							

b) สถานะการใช้กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่

จากรูปที่ 3-62 ความสัมพันธ์ของการใช้กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ กับกระแสไฟฟ้าที่ใช้ ที่ SOC คงที่ จะได้สมการเส้นตรง ดังนี้

$$V = A + B(I/100)$$

$$\text{โดยที่ } A = A_0 + A_1(\text{SOC}/100) + A_2(\text{SOC}/100)^2$$

$$B = B_0 + B_1(\text{SOC}/100) + B_2(\text{SOC}/100)^2$$

และจากข้อมูลในตารางที่ 3-3 ใช้ least-square method จะได้สมการของสัมประสิทธิ์ A,B ดังนี้

$$A = 1.8634 + 0.0388(\text{SOC}/100) + 0.2923(\text{SOC}/100)^2$$

$$B = -0.2366 + 0.358(\text{SOC}/100) - 0.2956(\text{SOC}/100)^2$$

$$\text{และ } V = A + B(I/100)$$

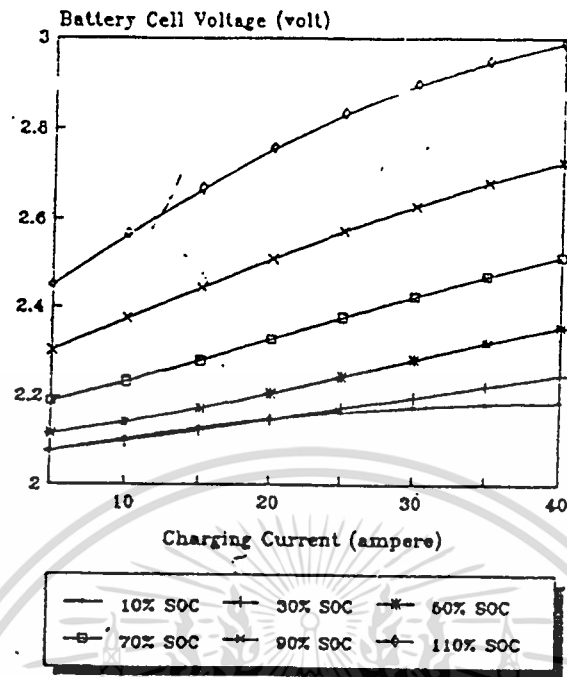
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-3

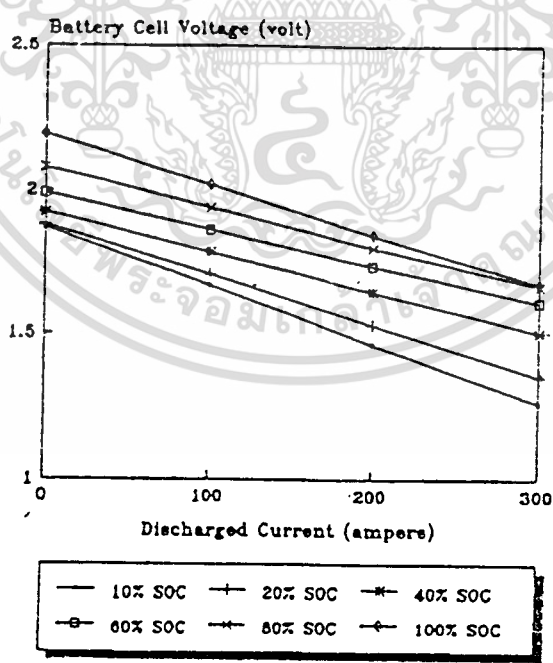
ข้อมูลสำหรับการใช้กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

		กระแสไฟฟ้าที่ถูกใช้ (A)			
		0	100	200	300
SOC (%)	10	1.85	1.65	1.42	1.20
	20	1.90	1.75	1.55	1.45
	40	1.95	1.78	1.65	1.50
	60	2.00	1.80	1.75	1.60
	80	2.10	1.90	1.78	1.65
	100	2.22	2.02	1.82	1.72
		แรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่ 1 cell (V)			

รูปที่ 63 และ รูปที่ 64 แสดงแบบจำลองของแบตเตอรี่ทั้งในสภาวะการประจุกระแสไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่และในสภาวะการใช้กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ ตามลำดับ เปรียบเทียบกราฟ 2 รูปนี้กับรูปที่ 62 ในค่า SOC = 90% ของการประจุกระแสไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่เท่านั้นที่กระทำได้ยากในทางปฏิบัติ และที่สภาวะการประจุกระแสไฟฟ้า และการใช้กระแสไฟฟ้าคงที่ จะได้ค่า ประสิทธิภาพการประจุกระแสไฟฟ้า และประสิทธิภาพการใช้กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ตามลำดับ ประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งสองสภาวะ มีค่าเท่ากับ 80% และประสิทธิภาพการใช้งานทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 64%



รูปที่ 3-63 แบบจำลองของแบตเตอรี่ในสภาวะประจุไฟเข้าแบตเตอรี่



รูปที่ 3-64 แบบจำลองของแบตเตอรี่ในสภาวะการใช้ไฟจากแบตเตอรี่

c) กำลังทั้งหมดที่เบตเตอร์ต้องการ

$$P_b = (P_r / E_m \cdot E_e) + (P_a / E_{ae})$$

โดยที่ P_b = กำลังทั้งหมดที่เบตเตอร์ต้องการ

P_r = กำลังที่ต้องใช้เอาชนะแรงต้าน

P_a = กำลังของอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมด

E_m = ประสิทธิภาพทางกลในระบบขับเคลื่อน

E_e = ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าในระบบขับเคลื่อน

E_{ae} = ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าทั้งหมด

3.4 ระบบควบคุม

ตัวควบคุมจะควบคุมการไหลของพลังงานจากเบตเตอร์ไปยังมอเตอร์ในการทำงานโดยตรง ถ้าใช้ระบบ Regenerative Braking ตัวควบคุมจะควบคุมการไหลของพลังงานในทิศทางกลับกัน

ในตัวควบคุมที่ใช้ในรถไฟฟ้าไฮบริดจะต้องกำหนด

- (1) การทำงานต้องราบเรียบที่ความเร็วเท่ากับศูนย์และใกล้ศูนย์
- (2) สามารถเร่งความเร็วขึ้นไปทีความเร็วต่าง ๆ ได้อย่างราบเรียบ
- (3) สามารถทำงานได้ที่ความเร็วคงที่
- (4) สามารถหน่วงความเร็วได้อย่างราบเรียบขณะที่ใช้ Regenerative Braking
- (5) มีประสิทธิภาพ, ความปลอดภัย และมีความน่าเชื่อถือสูงขณะใช้งาน
- (6) ป้องกันการเกิด Overload, การย้อนกลับของกระแสในมอเตอร์ และการกินไฟเปลือง

ระบบควบคุมในรถไฟฟ้า

ระบบควบคุมในรถไฟฟ้าไฮบริดเป็นการเชื่อมโยงระหว่างแหล่งจ่ายพลังงาน(เบตเตอร์)กับมอเตอร์ ระบบนี้มีหน้าที่หลัก 7 อย่างที่เกี่ยวข้องกันสองหน้าที่หลักที่ได้รับความสนใจเป็นพิเศษ คือ การควบคุมความเร็วและการใช้พลังงานอย่างเหมาะสม การควบคุมความเร็วในขั้นต้นจะใช้ตำแหน่งจำกัดกระแสของมอเตอร์ และใช้สวิตช์กลไกทางไฟฟ้าด้วย วิธีเหล่านี้เป็นการใช้พลังงานซึ่งบ่อยครั้งการจ่ายพลังงานให้มอเตอร์จะไม่ราบเรียบ จึงมีการเพิ่มอุปกรณ์พวก Power semiconductor โดยเฉพาะ Diodes และ Thyristors มาใช้ในการเปิดปิดแหล่งจ่ายพลังงานเพื่อช่วยในการเก็บรักษาพลังงาน การเปิดปิดก็จะราบเรียบขึ้น

หน้าที่ของตัวควบคุม

(1) เชื่อมโยงแหล่งจ่ายพลังงานกับมอเตอร์

หน้าที่นี้ได้รับการพิจารณาอย่างน้อยที่สุดจากนักพัฒนารถไฟฟ้าตั้งแต่ระบบส่วนใหญ่ใช้แหล่งพลังงานกระแสตรงและมอเตอร์กระแสตรง ระบบ Hybrid หลายระบบจะใช้แหล่งกำเนิดกระแสสลับกับแหล่งจ่ายกระแสตรง และมอเตอร์กระแสตรง ในทางกลับกันระบบอื่น ๆ จะใช้แหล่งกำเนิดกระแสสลับมอเตอร์กระแสตรงและใช้ Inverter ร่วมด้วย

(2) เปลี่ยนแปลงโวลต์เตจของมอเตอร์และกำหนดการควบคุมความเร็วเฉลี่ย

หน้าที่นี้ได้รับการสนใจเป็นพิเศษอยู่ 2 เหตุผล คือ ขณะไฟเต็มและมอเตอร์ไม่มีโหลด มอเตอร์อาจเกิดการไหม้ได้ ซึ่งจะต้องจำกัดโวลต์เตจที่ตกคร่อมมอเตอร์ระหว่างการสตาร์ทเพื่อความราบรื่น คือ เร่งความเร็วขึ้นอย่างช้า ๆ และเกิดการสั่นหรืออย่างน้อยที่สุด อีกข้อหนึ่ง คือ ขณะที่มอเตอร์เคลื่อนที่มันจะทำความเร็วได้ต่ำกว่าความเร็วที่เกิดขึ้นถ้ามอเตอร์มีไฟเต็ม ปัจจุบันหน้าที่นี้ได้รับความสนใจมากในจุดที่จะทำให้สำเร็จได้อย่างไร

(3) ควบคุมการใช้พลังงานอย่างเหมาะสม

ในแบตเตอรี่จะมีพลังงานอยู่จำกัด และในการ Start ต้องการพลังงานสูงสุด แต่ในความเป็นจริงพลังงานที่จ่ายออกมาในขณะสตาร์ท มีค่าน้อยกว่าค่าพลังงานสูงสุดที่มอเตอร์ต้องการ ระบบนี้จะใช้ตัวต้านทานในการเปลี่ยนแปลงพลังงานส่วนเกินไปเป็นความร้อน ซึ่งทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงาน ขณะที่ถ้าเก็บไว้ได้จะขยายระยะเวลาในการทำงานมากขึ้น ปัจจุบันในการพัฒนาในจุดที่จะหยุดการไหลของพลังงานแหล่งกำเนิดชั่วขณะ และได้มีการสร้างพลังงานไฟฟ้าจากตัวนำทางไฟฟ้าซึ่งรับพลังงานอย่างค่อนเนื่องแต่พลังงานที่จ่ายไหลเข้ามอเตอร์มีการเบี่ยงเบนซึ่งจากสาเหตุนี้ทำให้การหยุดหรือการสตาร์ทมอเตอร์ การไหลของพลังงานจะต้องถูกควบคุมจากคำสั่งของตัวควบคุมอีกตัวหนึ่งที่โวลต์เตจเฉลี่ยของมอเตอร์และพลังงานส่วนที่เหลือก็จะถูกนำไปใช้อย่างอื่นต่อไป

(4) กำหนดให้มอเตอร์ใช้งานกลับทิศ

มีเหตุผลเบื้องต้น 2 ประการ สำหรับการกลับทิศของมอเตอร์ในระบบของรถไฟฟ้าข้อแรก คือ การกลับทิศของมอเตอร์สามารถทำได้ง่ายในระบบกระแสตรง โดยใช้อิเล็กทรอนิกส์

สวิตช์ ในวงจรเบื้องต้นหรือวงจรควบคุม ส่วนในระบบกระแสสลับหน้าที่การกลับทิศจะถูกใช้น้อยกว่าการควบคุมความเร็ว

(5) การใช้ระบบ Regenerative Braking

เหตุผลเบื้องต้นในการใช้ระบบ Regenerative Braking คือ การได้พลังงานกลับคืนมาซึ่งระบบนี้จะต้องการการกำลังทิศของมอเตอร์เพื่อให้กำเนิดพลังงานไหลย้อนกลับเข้าไปสู่แบตเตอรี่ เหตุผลข้อที่สองสำหรับการใช้ Regenerative Braking จะช่วยลดการสึกหรอเนื่องจากการเบรก หน้าที่นี้จะได้รับการกล่าวถึงเป็นพิเศษและจะได้รับการออกแบบที่ดียิ่งขึ้นต่อไปเพราะในปัจจุบันประสิทธิภาพของระบบทั่วไปส่วนใหญ่จะต่ำและราคาในการควบคุมจะมากกว่าราคาในการรวมแหล่งพลังงาน

(6) ควบคุมการทำงานของระบบให้สมบูรณ์

1. ป้องกันการเกิด Overcharge หรือ Excessive Discharge ของระบบแบตเตอรี่
2. ป้องกันกระแสที่เพิ่มขึ้น ๆ ลง ๆ ที่จะทำลายการควบคุมหรือชิ้นส่วนที่สำคัญ กระแสที่ขึ้น ๆ ลง ๆ นี้จะเกิดในขณะที่รถเคลื่อนที่เมื่อมอเตอร์เป็นแหล่งจ่ายพลังงาน
3. ป้องกันการลัดวงจรที่เกิดจากส่วนประกอบของรถและความเสียหายที่จะเกิดกับส่วนประกอบเหล่านั้น

(7) ควบคุมการทำงานของรถขณะเคลื่อนที่ได้เหมาะสม

การรวมหน้าที่ก่อนหน้าที่ใช้ในระบบขับเคลื่อนของรถ ตัวควบคุมอาจจะไม่ต่อร่วมกับระบบ ซึ่งการ Charge ระบบแบตเตอรี่อาจใช้จากภายนอกได้ และการทำงานต้องใช้อุปกรณ์ทางไฟฟ้าช่วยเหลือ สำหรับระบบของรถทั่วไปในระบบขับเคลื่อนจะไม่เป็นไฟฟ้าทั้งหมด ตัวควบคุมสามารถรวมส่วนประกอบสำหรับตัวสตาร์ทไฟฟ้าของทั้งเครื่องยนต์สันดาปภายในและระบบขับเคลื่อนทางไฟฟ้า

ระบบควบคุม

โดยปกติชนิดของตัวควบคุมความเร็วเป็นพื้นฐานของชนิดของกระแสไฟ ไม่กระแสสลับก็กระแสตรง ตัวควบคุมอาจเป็นอุปกรณ์ตัวเดียว หรืออาจมีหลายตัวอยู่ในระบบหนึ่ง หัวข้อนี้จะอธิบายถึงหลักการพื้นฐานในการควบคุมความเร็วและแสดงให้เห็นถึงวงจรที่ใช้

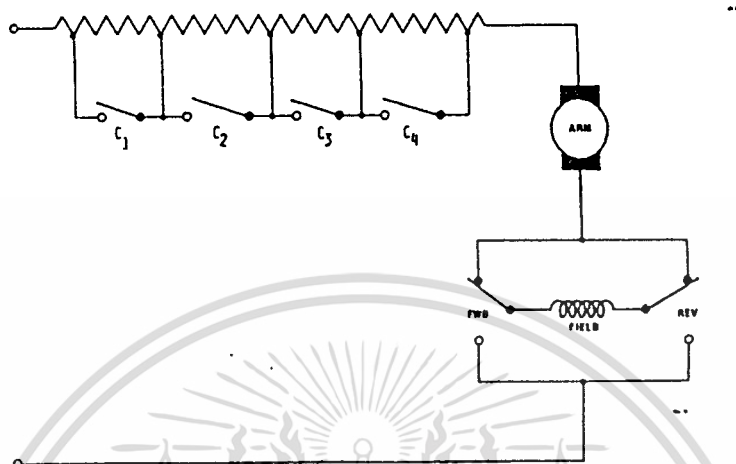
ระบบกระแสตรง

1. การต่ออนุกรมลดการจำกัดความต้านทาน เป็นวิธีที่ง่ายในการควบคุมโวลต์แดงของมอเตอร์โดยต่ออนุกรมความต้านทานเข้ากับมอเตอร์ ระหว่างการสตาร์ทหรือขณะทำงานมีความเร็วต่ำจะใช้ความต้านทานมากในวงจร ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับระบบมีดังนี้

- พลังงานสูญเสียสูง โดยเฉพาะสภาวะที่ต้องการแรงบิดสูง ๆ

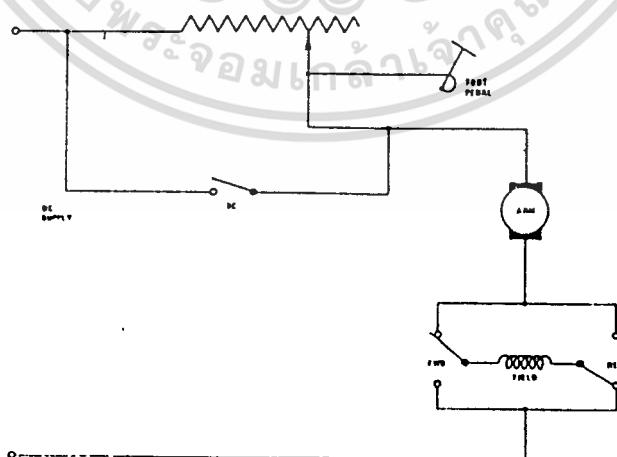
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จะเกิดปัญหาด้านความร้อนตามมาเมื่อมีพลังงานสูญเสีย
- เกิดการสึกหรอขึ้นกับส่วนประกอบตามมา เมื่อมีการปรับโวลต์เตจเป็นขั้น ๆ



รูปที่ 3-65 แสดงวงจรสำหรับปรับความต้านทานของตัวควบคุมแบบเป็นขั้น ๆ

ปัญหาต่าง ๆ สามารถลดลงได้โดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ที่เคลือบผิวด้วยคาร์บอน (Carbon pile variable resistors) ตัวอย่างวงจรสำหรับปรับความต้านทานของตัวควบคุมเป็นขั้น ๆ แสดงดังในรูปที่ 3-65 และวงจรปรับความต้านทานของตัวควบคุมโดยไม่จำกัด แสดงในรูปที่ 3-66



รูปที่ 3-66 แสดงวงจรปรับความต้านทานของตัวควบคุมโดยไม่จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การต่อขานาน-อนุกรมของแบตเตอรี่โดยใช้สวิตช์ควบคุม

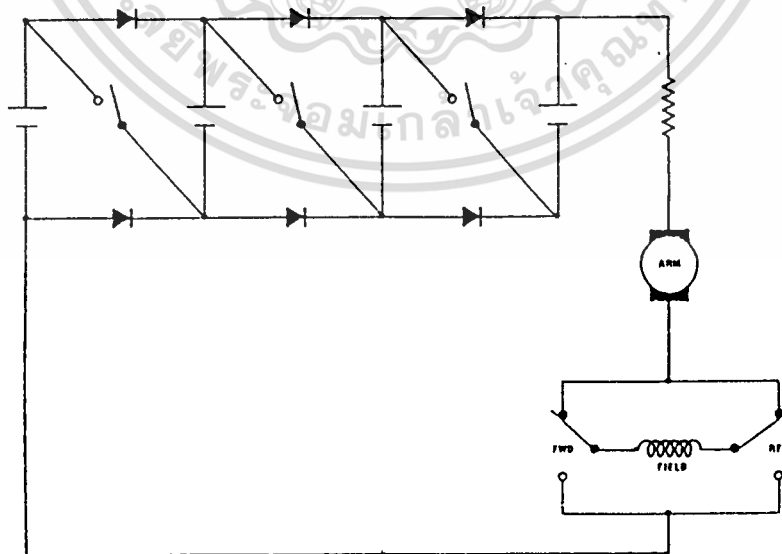
ในการรวมแบตเตอรี่ของระบบ แบตเตอรี่จะต่อขานานในการทำงานที่ความเร็วต่ำ และสับสวิตช์เปลี่ยนเป็นอนุกรม เมื่อต้องทำงานที่ความเร็วรอบสูงหรือแรงบิดมาก ๆ วิธีนี้จะมีประสิทธิภาพมากกว่าการจำกัดความต้านทาน อย่างไรก็ตามจะเกิดปัญหาในการปรับโวลต์แดงเป็นขั้น ๆ บางส่วนใช้อุปกรณ์ Solid-State มากกว่าสวิตช์ทางกล ซึ่งจะใช้ในบางวงจรของแบตเตอรี่ที่ใช้สวิตช์ควบคุม

3. การต่อขานาน-อนุกรมของมอเตอร์โดยใช้สวิตช์ควบคุม

วิธีควบคุมแบบนี้จะใช้ในรถแบบมอเตอร์หลายตัวเท่านั้น สำหรับการทำงานที่ความเร็วรอบต่ำ มอเตอร์จะถูกต่อเป็นแบบอนุกรม สำหรับที่ความเร็วรอบสูง สวิตช์จะควบคุมให้ต่อแบบในแบบขนาน ซึ่งจะคล้ายกับแบตเตอรี่ ระบบนี้จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบต่ออนุกรมความต้านทาน แต่ยังคงมีปัญหาในการปรับโวลต์แดงและกระแสเป็นขั้น ๆ

4. การควบคุมฟิวส์ของมอเตอร์

มีหลายวิธีในการควบคุมฟิวส์ หนึ่งในนั้นจะความต้านทานที่สามารถต่อขานานคร่อมฟิวส์เพื่อให้กระแสแยกไหลออกมา หรือสร้างทางเชื่อมกระแสของอาร์เมเจอร์ฟิวส์ ความแตกต่างคือการแยกกระดุนฟิวส์ลดการควบคุมกระแสของฟิวส์ ทำให้สามารถกำหนดแรงบิดและความเร็วได้ วิธีที่สามคือการรวบขดฟิวส์ โดยใช้สวิตช์ควบคุมการต่ออนุกรมไปเป็นการต่อแบบขนาน กระแสของฟิวส์ก็จะเปลี่ยนไป วิธีเหล่านี้จะปรับระบบทำให้การกระโดดของพลังงานเพิ่มขึ้นและอาจทำให้การเร่งสะดุด และเกิดความเครียดขึ้นในส่วนประกอบที่ใช้ขับเคลื่อน



ระบบกระแสลับ

ในสหรัฐอเมริกาการใช้มอเตอร์กระแสลับเป็นที่นิยมมาก วิธีการควบคุมมอเตอร์กระแสลับมีดังนี้

ควบคุมความถี่ของทั้ง Squirrel-cage induction และ Synchronous motor ความถี่ของมอเตอร์จะนำไปใช้ในการควบคุมความถี่อินพุต ดังนั้นจะมีความแตกต่างเล็กน้อยสำหรับทั้งสองแบบ

ผลกระทบในการควบคุมโวลต์เตจ ปกติจะทำให้สำเร็จได้โดยใช้วงจรทางไฟฟ้า

ระบบควบคุม สำหรับหน้าที่ ของตัวควบคุมอื่น ๆ

(1) การใช้พลังงานอย่างเหมาะสม

ระบบควบคุมในหน้าที่นี้จะไม่ทำงานร่วมกับควบคุมความเร็ว ในการพัฒนาจากเครื่องมือที่เป็นกลไกทางไฟฟ้า ซึ่งจะหักเหพลังงานจากมอเตอร์ที่จะเข้าไปยังวงจรควบคุมที่สามารถจำกัดการไหลของมันได้ การใช้พลังงานก็จะเหมาะสม วงจรไฟฟ้าจะไม่สามารถจำกัดการสูญเสียพลังงานได้อย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม ความร้อนที่พิจารณาจะเกิดขึ้นในเครื่องทางไฟฟ้า ซึ่งจะลดความร้อนได้โดยการป้องกันการเกิด Breakdown

(2) การเชื่อมต่อการทำงานของรถได้อย่างเหมาะสม

แต่ก่อนกลไกควบคุมทางไฟฟ้าจะมีตัวทำงานของรถเชื่อมวงจรปฐมภูมิในการกำเนิดพลังงานกับส่วนควบคุมทางไฟฟ้า อย่างไรก็ตามการเชื่อมต่อจะเกิดที่วงจรทุติยภูมิที่มีพลังงานต่ำ

(3) วงจรและการควบคุมที่ปลอดภัย

เป็นวงจรที่ทำให้เข้าใจการไหลของพลังงานในการควบคุมเบื้องต้นและวงจรแหล่งจ่ายการไหลเบื้องต้นจะเป็นส่วนเกินขึ้นหรือเกิดย้อนกลับขึ้นอยู่กับสวิตช์กลไกทางไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ Solid-State ซึ่งจะสามารถหยุดการไหลได้โดยอัตรานำเข้า Diode และ thyristors จะใช้ในวงจรปฐมภูมิ

(4) วงจรเบรก

มี 3 วิธีในการเบรคด้วยไฟฟ้า

Plug braking

จะเป็นแรงเบรคทางไฟฟ้าโดยการกลับทิศของกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ และสามารถทำงานได้ทั้งในวงจรความต้านทานและวงจร Solid-State ไม่ที่ขดฟิวส์ก็ขดอาร์เมเจอร์จะถูกกลับทิศกับแหล่งจ่ายพลังงานและพลังงานก็จะจ่ายออกมาสร้างแรงทางไฟฟ้าตรงข้ามกับขดอาร์เมเจอร์ ในวงจรของตัวต้านทานพลังงานสามารถแยกไปที่ความต้านทานแต่ละตัว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

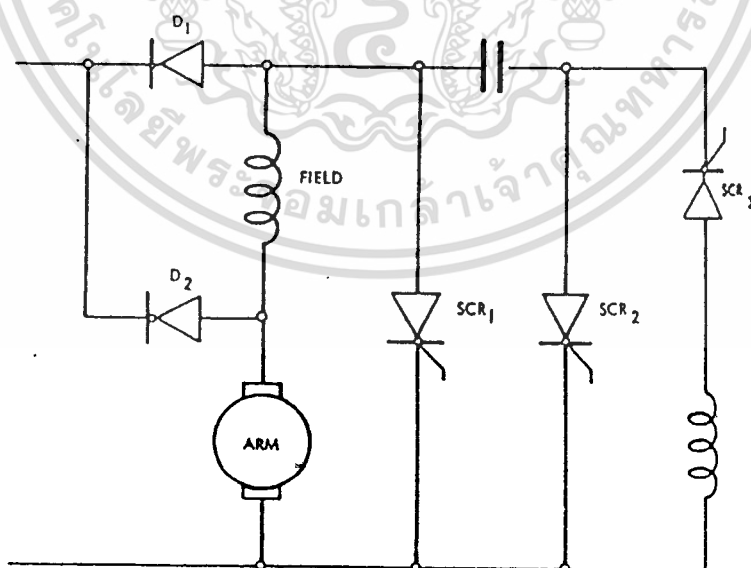
แต่ในวงจร Solid-State มันจะถูกแยกที่มอเตอร์ด้วยตัวเอง Plug braking เป็นระบบที่สามารถหยุดรถได้อย่างสมบูรณ์เมื่อพลังงานถูกส่งให้อยู่ตลอดเวลา

Rheostate braking

เป็นระบบการเบรกแบบ “Free wheeling” ในขณะที่แหล่งจ่ายพลังงานไม่เชื่อมต่อกับมอเตอร์การเชื่อมต่อของฟิวส์หรืออาร์เมเจอร์จะถูกกลับทิศและต่ออนุกรมกับโหลดความต้านทานมอเตอร์จะกลายเป็น generator ผลิตแรงบิดในการเบรก และพลังงานจะถูกแยกเข้าโหลดความต้านทานระบบนี้ไม่สามารถหยุดรถได้อย่างสมบูรณ์ เพราะว่าแรงบิดที่ใช้เบรกจะลดตามความเร็วที่ลดลง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการควบคุมเบรกโดยลดความต้านทานไปพร้อมกับการลดความเร็ว

Regenerative braking

เป็นวิธีที่นำแหล่งจ่ายพลังงานกลับมายังแหล่งจ่ายพลังงาน(แบตเตอรี่) ในขณะที่เกิดการเบรกขึ้น ถึงแม้จะเป็นที่น่าพอใจ แต่พลังงานที่ได้เพียง 12% ของแหล่งที่จ่ายออกมา ประกอบกับราคาของส่วนควบคุมแต่ก่อนมีราคาแพง ทำให้ระบบ Regenerative Braking นั้นยังไม่สมบูรณ์นัก เมื่อเร็ว ๆ นี้ได้มีการพัฒนาพลังงานที่ได้ และราคาของอุปกรณ์ Solid-State ที่ใช้ในการควบคุมได้ลดลง จึงทำให้ระบบนี้มีการใช้มากขึ้น รถส่วนใหญ่โดยเฉพาะรถบัสจะใช้ระบบ regenerative braking โดยมีวงจร ดังแสดงในรูปที่ 3-68



รูปที่ 3-68 แสดงวงจร regenerative braking

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่ถือว่าเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอีกส่วนในรถไฟฟ้า เนื่องจากแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับมอเตอร์ นอกจากนี้แบตเตอรี่ยังเป็นตัวบ่งบอกความสามารถและประสิทธิภาพการทำงานของรถไฟฟ้าอีกด้วย เพราะฉะนั้นการพัฒนาระบบของรถไฟฟ้า จึงขึ้นอยู่กับการพัฒนาแบตเตอรี่ด้วยเป็นส่วนใหญ่

หลักการทำงานของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ประกอบด้วย หนึ่งเซลล์ หรือ หลายๆเซลล์ ต่ออนุกรมกัน ในแต่ละเซลล์จะมีแผ่นธาตุอยู่ 2 แผ่น คือแผ่นบวก และแผ่นลบ และจะแช่อยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อแบตเตอรี่ดิสชาร์จ องค์ประกอบ ทางเคมีของทั้งสามส่วนนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อชาร์จ สภาวะต่างๆจะกลับมาเหมือนเดิม ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ที่ใช้มากที่สุด คือ ชนิดตะกั่ว-กรด เพราะจะทำให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงสุด

แรงดันที่ขั้วเซลล์ จะเพิ่มขึ้น เมื่อมีการชาร์จ และจะตกลงเมื่อถูกดิสชาร์จ แรงดันของแบตเตอรี่หาได้จากผลคูณของแรงดันต่อเซลล์และจำนวนเซลล์ที่ต่ออนุกรมกัน การต่อเวลล์มี 3 แบบ ได้แก่

1. การต่อแบบอนุกรม
2. การต่อแบบขนาน
3. การต่อแบบอนุกรมขนาน

ความจุของแบตเตอรี่ของเซลล์ประมาณว่าขึ้นอยู่กับ พื้นที่ของแผ่นธาตุ อัตราการดิสชาร์จ ซึ่งถูกกำหนดโดยแอมแปร์-ชั่วโมง ที่อุณหภูมิมาตรฐาน 25°C ความจุของเซลล์จะลดลง เมื่ออัตราการดิสชาร์จสูงขึ้น

ส่วนประกอบและโครงสร้างของแบตเตอรี่ ชนิดตะกั่ว-กรด

ส่วนประกอบที่สำคัญของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ประกอบด้วย

1. แผ่นธาตุบวก (Position Plate) เป็นแผ่นอิเล็กโทรดที่มีศักย์สูง
2. แผ่นธาตุลบ (Negative Plate) เป็นแผ่นอิเล็กโทรดที่มีศักย์ต่ำ จะมีจำนวนแผ่นมากกว่าจำนวนแผ่นในเซลล์บวกอยู่หนึ่งแผ่นในแต่ละเซลล์
3. อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) เป็นสารละลายที่แตกตัวเป็นไอออนบวกและไอออนลบ ทำหน้าที่เป็นตัวนำกระแสไฟฟ้า
4. น้ำกรดกำมะถันชนิดเจือจาง (Sulfuric acid dill) ต้องมีความบริสุทธิ์มากกว่าปกติ คือ มี

ส่วนผสมของแร่ธาตุต่างๆน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.แผ่นกั้น (Separator) ใส่ระหว่างแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ ป้องกันแผ่นธาตุทั้ง 2 ชนิดติดกัน

6.แผ่นใยแก้ว (Strap) ทำหน้าที่เป็นฉนวนสัมผัสกับแผ่นธาตุบวก ป้องกันการหลุดร่วงของวัสดุไวปฏิกิริยา

7.เปลือกหม้อ (Container) เป็นภาชนะสำหรับใส่ส่วนประกอบแบบต่างๆ แบ่งออกตามวัสดุ ได้เป็น 4 ชนิด ได้แก่ พลาสติก ยาง แก้ว และ ไม้บุแผ่นตะกั่ว

8.ฝาหม้อ (Cover) ทำหน้าที่ป้องกันอิเล็กโทรไลต์กระเด็นออกจากเซลล์ภายในออกสู่ภายนอกของเปลือกหม้อ

9.จุดที่ใช้ปิดช่องในฝาหม้อแบตเตอรี่ (Plug) ทำไว้เพื่อการเติมอิเล็กโทรไลต์

10.ระบบอุปกรณ์ป้องกันแก๊ส (Vent Plug)

ขนาดความจุของแบตเตอรี่ (Capacity)

ขนาดความจุของแบตเตอรี่จะกำหนดเป็นค่า แอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere-Hour) หรือ Ah ซึ่ง Ah นี้หมายถึง ปริมาณไฟฟ้าที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายออกมาได้ ภายใต้อุณหภูมิที่กำหนดด้วยค่ากระแส และแรงดันสุดท้ายที่กำหนด

จากการกำหนดของ มอก. ฉบับที่ 9 ว่าด้วยเรื่องแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ขนาดความจุของแบตเตอรี่ ให้ระบุอัตราการจ่ายไฟต่อ 20 ชั่วโมง เป็นมาตรฐาน

ความจุที่อัตรา 20 ชั่วโมง หรือ C20 คือ ขนาดความจุที่ได้จากการจ่ายไฟ (Discharge) เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ซึ่งจะเป็นค่าความจุที่ระบุไว้ที่ตัวแบตเตอรี่

ขนาดความจุของการจ่ายไฟ (Discharge Capacity) หรือ C สามารถหาได้จากสมการ

$$C = \int_0^t I(t) dt$$

เมื่อ t คือ Discharge Time คือ เวลาตั้งแต่เริ่มจ่ายไฟจนถึงระดับแรงดันสุดท้ายที่กำหนด
(t) คือ กระแสที่จ่ายออกจากแบตเตอรี่ โดยทั่วไปถือว่าคงที่ เท่ากับ 1

ดังนั้น

$$C = I.t$$

จุดสิ้นสุดการใช้งานของแบตเตอรี่ จะถูกกำหนดด้วยแรงดันสุดท้ายสำหรับแบตเตอรี่ ชนิดตะกั่ว-กรด ระดับแรงดันสุดท้ายจะประมาณ 1.8-1.9 โวลต์ต่อเซลล์

ความจุของแบตเตอรี่จะสูงขึ้นถ้า Discharge ต่ำกว่าพิกัด ในทางกลับกัน ความจุของแบตเตอรี่จะลดลง ถ้าการ Discharge สูงกว่าพิกัด

แรงดันแบตเตอรี่

แรงดันแบตเตอรี่เป็นค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วของแบตเตอรี่ ค่าแรงดันที่ไฟฟ้าที่ขั้วของ 'ไร้โหลด' (แบตเตอรี่ปิดวงจร) จะเป็นฟังก์ชันของการเกิดประจุของแบตเตอรี่ แต่ขณะที่มีโหลด แรงดันที่ขั้วจะเป็นฟังก์ชันของกระแสโหลด การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันของแบตเตอรี่ จะมีผลต่อการควบคุมความเร็วของรถไฟฟ้าเป็นอย่างมาก

ความต้านทานภายในแบตเตอรี่

ค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่ จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า ที่ขั้วของแบตเตอรี่ขณะมีโหลด รวมทั้งมีผลต่อความจุของแบตเตอรี่ด้วย ค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่นั้น เกิดจากปรากฏการณ์ทางเคมีที่เกิดขึ้นภายในของแบตเตอรี่ในขณะที่เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้า เช่น ปรากฏการณ์โพลาไรเซชัน ซึ่งจะทำให้เกิดประจุไฟฟ้าใกล้ๆผิวของแผ่นขั้วอิเล็กโทรด ซึ่งจะทำให้กระแสไฟฟ้าที่เกิดการไหลของไอออนระหว่างแผ่นขั้วอิเล็กโทรด มีค่าลดลง ดังนั้นปรากฏการณ์นี้จึงเปรียบเสมือนค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่นั่นเอง

คุณสมบัติการอัดไฟ

ในการอัดไฟเข้าแบตเตอรี่นั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงมากที่สุดคือ ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนเป็นก๊าซไวไฟ ดังนั้น จึงต้องมีระบบระบายที่เกิดขึ้นให้ดี การอัดไฟที่ใช้กระแสวิ่งสูง ก็จะทำให้เกิดความร้อนขึ้น เป็นผลทำให้เกิดก๊าซมากขึ้นด้วย ความร้อนที่เกิดขึ้นในช่วงระหว่างการอัดไฟไม่ควรเกิน 55 องศาเซลเซียส

วิธีการอัดไฟ มีด้วยกัน 4 วิธี คือ

- 1.การอัดไฟด้วยกระแสคงที่ (Charging With Constant Current)
- 2.การอัดไฟด้วยกระแสเป็นช่วงๆ (Charging With Intermittent Constant Current)
- 3.การอัดไฟด้วยแรงดันคงที่และจำกัดกระแส (Charging With Constant Voltage and Current Limitation)
- 4.การอัดไฟด้วยกระแสไม่คงที่ (Charging With Tapered Current)

การอัดไฟด้วยกระแสคงที่ จะใช้เวลาในการอัดไฟนาน (มากกว่า 12 ชั่วโมง) ส่วนการอัดไฟที่ต้องการเวลาในการอัดสั้น (Fast Charge) โดยทั่วไปมักใช้วิธี IE Characteristic มากกว่า W Characteristic

คุณสมบัติในการจ่ายไฟ

ขณะที่ใช้กำลังงานมากขึ้น พลังงานที่สะสมไว้ในแบตเตอรี่จะค่อยๆลดลง ตามไปด้วย การที่พลังงานเหล่านี้ลดลง เนื่องจากการลดลงของแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่ ซึ่งเกิดจากการเพิ่มของกระแสไหลด ประจุในตัวแบตเตอรี่จะค่อยๆลดลง ในขณะที่มีการใช้กำลังงานมากขึ้น ซึ่งการที่พลังงานในแบตเตอรี่ ลดลงนี้มีสาเหตุมาจาก

1. พลังงานลดลงเนื่องจาก การลดลงของประจุในแบตเตอรี่ตามขนาดของกระแสที่จ่ายออกไป

2. พลังงานลดลงเนื่องจาก ระดับแรงดันที่ขั้วลดลง

จากสาเหตุทั้งสองนี้ ทำให้เกิดความสัมพันธ์ของประจุของแบตเตอรี่ กระแสที่จ่ายออกไป และเวลาที่ใช้ ซึ่งเรียกว่า สมการของ Peukert ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้ คือ

$$I^n \cdot t = C$$

เมื่อ n และ C เป็นค่าคงที่

I คือ กระแสที่จ่ายออกไปมีค่าคงที่ มีหน่วยเป็นแอมแปร์

ค่า n และ C นั้นหาได้จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบที่กระแสคงที่

$$I_1^n \cdot t_1 = C$$

$$I_2^n \cdot t_2 = C$$

$$n \log I_1 = \log C - \log t_1$$

$$n \log I_2 = \log C - \log t_2$$

$$n = (\log t_2 - \log t_1) / (\log I_1 - \log I_2)$$

โดยที่ $n = 1.0$ สำหรับกระแสดำรง

$n = 2.0$ สำหรับกระแสสูงมาก

ขั้นตอนในการอัดไฟเข้าแบตเตอรี่

การอัดไฟแบบกระแสคงที่ (Constant Current Charging)

1. ทำความสะอาดสิ่งสกปรก หรือ สิ่งแปลกปลอมอื่นๆที่จับอยู่บนแบตเตอรี่โดยเฉพาะที่ขั้วแบตเตอรี่

2. เปิดฝาจุกเติมน้ำยาลีกลีโคโรไลน์ออก เพื่อให้ก๊าซที่เกิดขึ้นในขณะอัดไฟระบายออกไปได้โดยง่าย

3. ตรวจระดับน้ำยาลีกลีโคโรไลน์ จะต้องอยู่เหนือแผ่นตะกั่ว 10 - 15 มม. ถ้าขาด ให้เติมน้ำกลั่นบริสุทธิ์

4. ต่อขั้วเครื่องบรรจุเข้ากับขั้วของแบตเตอรี่ให้ถูกต้อง โดยต่อขั้วบวก (+) ของเครื่องประจุเข้ากับ ขั้วบวก (+) ของแบตเตอรี่ และขั้วลบ (-) ของเครื่องประจุเข้ากับ ขั้วลบ (-) ของแบตเตอรี่
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.ทำการอัดไฟด้วยกระแสประมาณ 1/10 ของขนาดความจุแบตเตอรี่

6.ในขณะที่ทำการอัดไฟ ต้องคอยระวัง อย่าให้อุณหภูมิของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์สูงเกินกว่า 40 องศาเซลเซียส ถ้าเกินให้ลดกระแสในการอัดไฟให้ต่ำลง หรือ หยุดการอัดไฟ จนกว่าอุณหภูมิของน้ำยาจะต่ำลง

7.อย่าให้เกิดประกายไฟ หรือ นำเปลวไฟมาเข้าใกล้แบตเตอรี่ ในขณะที่ทำการอัดไฟ เพราะจะมีก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้น แม้กระจายในขณะที่ทำการอัดไฟ

8.การอัดไฟจะเสร็จสิ้น เมื่อค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์สูงกว่าที่กำหนด คุณนำยาออกทั้งบางส่วน แล้วเติมน้ำกลั่น ในทางตรงกันข้าม ถ้าค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าค่าที่กำหนด ให้คุณนำยาทิ้ง แล้วเติมน้ำกรดก่้ามะถันเจือจาง

ข้อควรระวังในการใช้งาน และการบำรุงรักษาแบตเตอรี่

1.อย่าทำการอัดไฟเข้าแบตเตอรี่ด้วยกระแสไฟที่มากเกินไป เพราะจะทำให้เกิดความร้อนสูงในแบตเตอรี่ เป็นเหตุให้น้ำยาอิเล็กโทรไลต์กลายเป็นไอและเกิดก๊าซไฮโดรเจนมาก เกิดปฏิกิริยาเคมีอย่างรุนแรง เป็นเหตุให้แผ่นตะกั่วเกิดการบิดตัว สารที่เครื่องลิบไว้จะหลุดร่วงและเปลือก แบตเตอรี่จะเกิดความเสียหาย

2.อย่าปล่อยให้แบตเตอรี่ปล่อยไฟออกมามากเกินไป การปล่อยให้แบตเตอรี่ปล่อยไฟออกมามาก จะทำให้เกิดเกลือกำมะถัน (ตะกั่วซัลเฟต) ไปจับที่แผ่นตะกั่ว การที่มีเกลือกำมะถันไปจับที่แผ่นตะกั่วมากๆ จะทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดลง และการแก้ไขให้กลับสู่สภาพเดิมทำได้ยาก

3.รักษาขั้วแบตเตอรี่ให้สะอาด และแน่นอยู่เสมอ หากมีเกลือกำมะถันไปจับอยู่ที่ขั้ว ให้ใช้น้ำร้อนล้างทำความสะอาด และควรเคลือบขั้วแบตเตอรี่ไว้ด้วยจารบีซิลิโคน หรือ วาสลิน เพื่อป้องกันการสึกกร่อน

4.ทำการตรวจสอบค่าความถ่วงจำเพาะตามระยะเวลา (1 หรือ 2 สัปดาห์ต่อครั้ง) และรักษาให้ระดับของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์อยู่เหนือแผ่นตะกั่ว 10 - 15 มม. เสมอ หากทิ้งให้แผ่นตะกั่วแห้งเป็นเวลานาน จะทำให้ประสิทธิภาพของแผ่นตะกั่วเสื่อมลง ขนาดความจุของแบตเตอรี่จะลดลงด้วย หากเครื่องเติมน้ำยาค่าเกินไปให้เติมน้ำกลั่น

5.อย่าปล่อยให้แบตเตอรี่จ่ายไฟด้วยกระแสไฟจำนวนมากๆ เป็นเวลานานๆติดต่อกัน ควรหยุดทิ้งช่วงระยะเวลาประมาณ 30 วินาที เพื่อให้แบตเตอรี่มีเวลาคืนสภาพ

6.เมื่อไม่ได้ใช้แบตเตอรี่เป็นเวลานานๆ ให้ปลดขั้วแบตเตอรี่ออก และนำแบตเตอรี่ไปอัดไฟให้เต็มทุกๆ 2 สัปดาห์ เพื่อป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่เกิดการเสื่อมสภาพ

7. แบคเตอร์รี่ใหม่ที่ยังไม่มีการเติมน้ำยาอิเล็กทรอนิกส์โรลนมา เมื่อทำการอัดไฟให้เติมน้ำยาอิเล็กทรอนิกส์โรลนแล้วทิ้งไว้ประมาณ 8 ชั่วโมง เพื่อให้แผ่นตะกั่วอาบน้ำยาจนอิ่มตัว แล้วจึงทำการจ่ายไฟเข้าด้วยกระแสไฟฟ้าประมาณ 3 - 5 แอมแปร์ (หรือขนาด 1/10 ของขนาดความจุ) เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 8 ชั่วโมง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบและดำเนินงาน

การออกแบบระบบรถไฮบริด

ในการออกแบบได้แบ่งระบบออกเป็น 7 ระบบ ได้แก่

Engine Mode

เวลาที่เลือกใช้ระบบนี้ จะมีการสั่งการให้ CLUTCH2 จับ เมื่อหน้าคลัตช์จับจะสามารถส่งกำลังจากเครื่องยนต์ไปยังระบบส่งกำลังได้ ในระบบนี้จะทำการขับเคลื่อนเหมือนรถยนต์ทั่วไป

Electric Mode

เวลาเลือกใช้ระบบนี้ CLUTCH2 จะจากและ CLUTCH1 จะจับและจะมีกระแสไฟจ่ายไปยังมอเตอร์ การส่งผ่านกำลังจะผ่านเพลา คลัตช์ เฟืองโซ่ มายังเพลากลางและไปสู่ระบบขับเคลื่อน โดยการเพิ่มความเร็วจะถูกแยกออกจากระบบเครื่องยนต์ โดยจะใช้การกดเพื่อเพิ่มความเร็ว และกดเพื่อลดความเร็วเช่นกัน การห้ามล้อจะใช้ระบบเบรกเหมือนรถทั่วไป

Engine Primary Mode

ในการทำงานด้วยระบบนี้ จะเริ่มต้นการทำงานด้วยเครื่องยนต์โดย CLUTCH2 จะสัมผัส และมีการส่งกำลังไปยังระบบขับเคลื่อนและเมื่อมีการเร่งเครื่องจนรอบสูงขึ้นหรือต้องการกำลังเพิ่มขึ้น SENSOR ที่วัดสัญญาณ จะส่งสัญญาณไปยังระบบประมวลผล แล้วจะส่งสัญญาณเพื่อจ่ายไฟให้แก่ มอเตอร์ และ CLUTCH2 เมื่อมอเตอร์ทำงานจะส่งกำลังมาเสริมแก่เครื่องยนต์

Electric Primary Mode

ในระบบนี้จะกลับกันกับ Engine Primary Mode โดยในระบบนี้จะเริ่มต้นการทำงานด้วยมอเตอร์โดย CLUTCH1 จะจับและส่งกำลังมาผ่านโซ่มายังเพลากลางเพื่อขับเคลื่อน และเมื่อต้องการกำลังเพิ่มหรือเร่งความเร็ว SENSOR จะส่งสัญญาณมายังระบบประมวลผล จากนั้นระบบประมวลผลจะจ่ายไฟเพื่อให้ CLUTCH2 จับ และกำลังจากเครื่องยนต์จะมาเสริมมอเตอร์

Hybrid Mode

เป็นระบบการทำงานร่วภาพดีที่สุด ในการทำงาน CLUTCH1 และ CLUTCH2 จะจับและส่งกำลัง โดยมีการประมวลผลของ อัตราเร็ว ความเร่ง อัตราการกินน้ำมัน แรงม้า แรงบิด ก่อนแล้วจึงส่งสัญญาณไปยังเครื่องยนต์และมอเตอร์พร้อมกัน เพื่อให้การทำงานสัมพันธ์กัน ในระบบนี้เราอาจไม่ต้องเพิ่มความเร็วเองเพราะ ระบบจะค่อยๆทำการเพิ่มความเร็วจนถึง Optimum Speed แล้วรถจะวิ่งด้วยความเร็วคงที่จนกว่าจะมีการเพิ่มหรือลดความเร็ว หรือเบรคซึ่งจะทำให้ระบบประมวลผลทำงานใหม่

BatteryCharge Mode

ในระบบการทำงานนี้ถ้าต้องการให้การทำงานมีการเลือกใช้ได้มากขึ้นควรมี CLUTCH3 โดยการทำงานแบบนี้ ถ้า CLUTCH3 ไม่จับจะเป็นการประจุไฟโดยรถไม่เคลื่อนที่ ถ้า CLUTCH3 จับจะเป็นการทำงานในขณะรถวิ่งโดยจะแบ่งพลังงานส่วนเกินมาประจุไฟฟ้า เพราะกำลังงานที่หมุนมอเตอร์จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำทำให้เกิดการประจุไฟฟ้าไปยังแบตเตอรี่ มอเตอร์จะทำหน้าที่เป็นเจนเนอเรเตอร์

Brake Charge Mode

ทุกครั้งที่ทำการเบรคจะมีแรงเฉื่อยเกิดขึ้นที่มอเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนและเกิดการเหนี่ยวนำจะเกิดการประจุไฟฟ้าไปยังแบตเตอรี่ ดังนั้นพลังงานที่สูญเสียจะกลายเป็นพลังงานไฟฟ้า

การออกแบบ

ในการออกแบบจะแบ่งออกเป็น

การออกแบบกำลังขับเคลื่อน

$$POWER = V (F_R + F_W + F_G + F_A)$$

$$F_A = (9.81 \text{ W/65}) (1 + 0.0013S + 10^{-5} S^2)$$

$$F_W = \rho C_d A_T V^2 / 2$$

$$F_G = 9.81 \text{ W} \sin \theta$$

$$F_A = W (dv/dt)$$

ในการทดลองครั้งนี้ได้เลือกใช้เครื่องยนต์แบบ 2 สูบ 4 จังหวะ 547 CC เพื่อเป็นการลดมลภาวะ และเลือกใช้มอเตอร์สำหรับสามล้อขนาด 19 แรงม้า ซึ่งเป็นสิ่งที่สามารถหามาใช้ได้โดยไม่ต้องดัดแปลงมาก

การออกแบบระบบไฮบริด

การออกแบบคลัทช์

เมื่อเราสามารถหา Torque ได้จาก

$$TORQUE = W / (2\pi n)$$

เมื่อได้ค่า Torque ก็นำไปเทียบกับสินค้าที่มีขายแล้วนำมาใช้

การออกแบบโซ่

เมื่อรู้ค่า Torque แรงม้า และ อัตราทด จะสามารถเลือกเฟืองโซ่และขนาดของโซ่ชนิดและจำนวนชั้นของโซ่ได้ และจะรู้แรงที่กระทำบนเฟืองโซ่

$$F_T = W_p / V$$

การออกแบบเพลลา

จากแรงที่กระทำบนเฟืองโซ่ จะสามารถออกแบบเพลลาได้ตามสมการในการออกแบบ แต่ในการทดลองครั้งนี้ได้นำเอาเครื่องยนต์และมอเตอร์ของสามล้อ ที่มีโซ่อยู่ มาใช้ ทำให้มีขนาดเพลลาของเก่าอยู่แล้ว จึงเพียงแต่นำเพลลามาแบ่งเป็นสองส่วน และทำส่วนใหม่ด้วยเพลลาด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร และเจาะร่องลิ้มสำหรับติดเฟือง และคลัทช์ ดังนั้นจึงต้องมีการคิดแบร์ริงเพื่อรองรับเพลลาส่วนที่ออกแบบใหม่ และเลือกใช้แบร์ริงแบบตุ๊กตา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 40 มิลลิเมตร และสามารถคำนวณอายุการใช้งานของแบร์ริงได้ตามการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทำงาน

1. การติดตั้งเครื่องยนต์

จากโครงรถที่มีอยู่ ได้เลือกใช้เครื่องยนต์ 2 สูบ 4 จังหวะ ตามที่ออกแบบเพื่อให้เหมาะสมกับตัวรถและสมรรถนะการเบรคและการกันสะเทือน โดยเริ่มทำแท่นเครื่อง เปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่อง ติดตั้งเครื่องและชุดเกียร์ ติดตั้งถังน้ำมัน เค็นสายน้ำมัน ติดตั้งระบบไฟฟ้า คอยล์ หัวเทียน จานจ่าย และเค็นสายไฟเชื่อมระบบต่างๆ ติดตั้งระบบไอเสีย ติดตั้งแบตเตอรี่

2. การติดตั้งเพลา

จะทำการติดตั้งแท่นรองรับเบร้ง ทำเพลา กัดเฟืองโซ่ ร่องลิ้ม ติดตั้งคลัตช์ ตามที่ได้ออกแบบ

3. การติดตั้งมอเตอร์

เลือกมอเตอร์ตามที่ได้ออกแบบขนาด 19 แรงม้า ทำแท่นมอเตอร์ ทำเพลาจักรร่องลิ้ม ติดมอเตอร์ ติดคลัตช์ ติดเฟืองโซ่ ติดโซ่

4. การติดตั้งระบบควบคุม

ติดตั้งระบบควบคุม คอมพิวเตอร์ ระบบการจ่ายไฟ วงจรระบบการเร่ง การเก็บพลังงาน การควบคุมทิศทางการหมุน การจ่ายไฟให้คลัตช์ การควบคุมคลัตช์

5. การทดสอบและปรับปรุง

นำรถที่ได้มาทำการทดสอบหาค่าแรงม้า อัตราการกินน้ำมัน แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณและป้อนเข้าคอมพิวเตอร์ควบคุม ทดสอบรถหลังป้อนข้อมูล ทำการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง

การทดสอบเครื่องยนต์

เป็นการนำรถไฮบริดต้นแบบมาทดสอบสมรรถนะในส่วนการทำงานของเครื่องยนต์ในสถานะต่าง ๆ เพื่อหาค่ากำลังที่เครื่องยนต์ให้ออกมาในช่วงความเร็วต่าง ๆ โดยในการทดสอบเราได้นำรถมาทดสอบกับเครื่องทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ที่มีอยู่ในโรงประลองในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ซึ่งจะได้ผลการทดสอบ แสดงค่าความเร็วสูงสุดของเครื่องยนต์

และกำลังของเครื่องยนต์ที่ความเร็วต่าง ๆ ทั้งในสถานะไม่มีภาระ(No load) และมีภาระ(Load) ดังแสดงในกราฟ

วิธีการทดสอบ

1. นำรถทดสอบขึ้นไปวางบนแท่นทดสอบ และยึดรถทดสอบให้แน่นกับแท่นยึด
2. ตั้งค่าสถานะต่าง ๆ ที่ต้องการทดสอบกับเครื่องยนต์ โดยขั้นแรก เราจะทดสอบความเร็วสูงสุดของเครื่องยนต์ที่สถานะไม่มีภาระ(No load) ตั้งค่าภาระของเครื่องทดสอบที่ศูนย์
3. สตาร์ทเครื่องยนต์และเร่งความเร็วของเครื่องยนต์ จนกระทั่งค่าความเร็วของเครื่องยนต์บนเครื่องทดสอบเพิ่มขึ้นจนไม่มีการเปลี่ยนแปลง จะได้ค่าความเร็วสูงสุดของเครื่องยนต์
4. ตั้งค่าสถานะของเครื่องทดสอบขณะมีภาระ(Load) เพื่อทำการทดสอบกำลังของเครื่องที่ค่าความเร็วต่าง ๆ โดยกำหนดค่าความเร็วสูงสุดที่ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
5. เมื่อทดสอบเครื่องยนต์ จะได้กราฟแสดงกำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ที่ความเร็วต่าง ๆ
6. อ่านค่าที่ได้จากกราฟ และบันทึกผลลงในตาราง
7. เปลี่ยนค่าความเร็วสูงสุดเป็น 80 และ 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และนำค่าต่าง ๆ ที่ได้จากกราฟมาเปรียบเทียบ เพื่อหาค่ากำลังสูงสุดของเครื่องยนต์

ตารางแสดงกำลังของรถที่สถานะไม่มีโหลด (ความเร็วสูงสุด)

จังหวะเกียร์	ความเร็วรถ (km/h)	กำลังที่ได้ (kW)
1	10	2.4
2	20	3.5
	30	5
3	40	8
	50	9.8
4	60	12.8
	70	14
	75	14.5
	80	14
	90	12
	100	9.4
	105	7

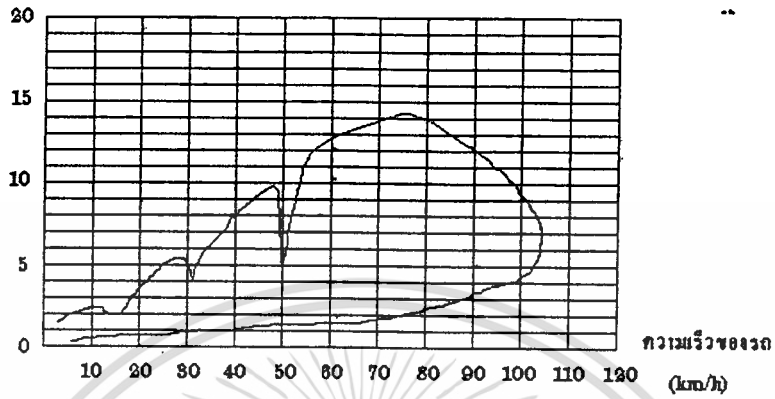
ตารางแสดงกำลังของรถที่ความเร็วค่าต่างๆ

ความเร็วสูงสุด	จังหวะเกียร์	ความเร็วรถ(km/h)	กำลังที่ได้(kW)
1. 60 km/h	1	10	2.2
	2	20	4.8
	3	30	8
		40	9.5
		50	11.2
		55	12
2. 80 km/h	1	10	3.2
	2	20	5.2
	3	30	7.8
	4	40	10.5
		50	12
		60	13
		70	14
		75	14.2
3. 100 km/h	1	10	2
	2	20	4
		30	6.8
	3	40	9.5
		50	10.8
	4	60	11.2
		70	13.2
		80	14
		90	12
		97	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ให้ผู้อื่นได้ประโยชน์ด้านการค้า

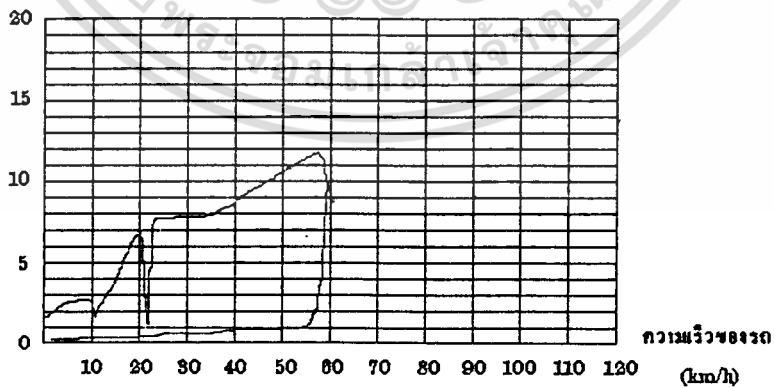
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังที่ได้ (KW)



กราฟแสดงกำลังที่ได้ขณะรถขับเคลื่อนในสถานะที่ไม่มีโหลด (ความเร็วสูงสุด)

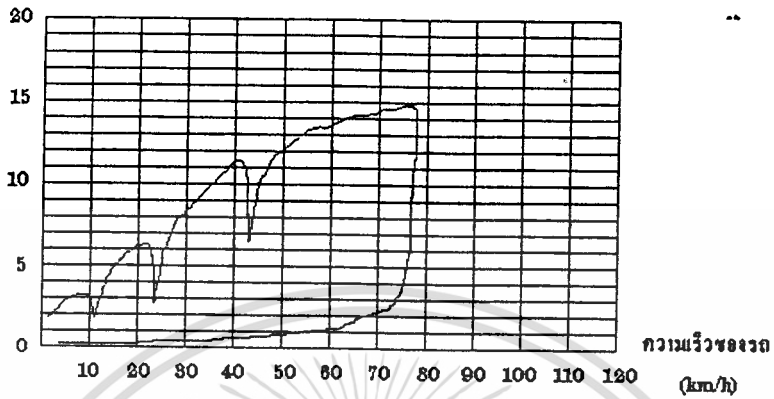
กำลังที่ได้ (KW)



กราฟแสดงกำลังที่ได้ออกมาขณะที่รถขับเคลื่อนที่ความเร็ว 60 km/h

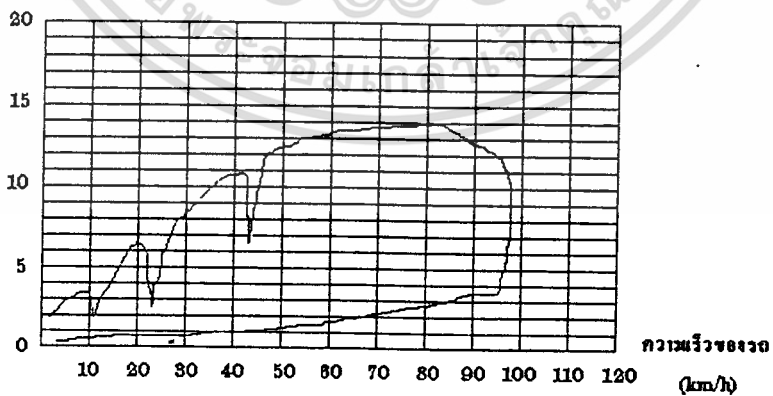
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังที่ได้ (KW)



กราฟแสดงกำลังที่ได้ออกมาในขณะที่รถขับเคลื่อนที่ความเร็ว 80 km/h

กำลังที่ได้ (KW)



กราฟแสดงกำลังที่ได้ออกมาในขณะที่รถขับเคลื่อนที่ความเร็ว 100 km/h

จากผลการทดสอบเครื่องยนต์ จะได้ข้อมูลของสมรรถนะเครื่องยนต์ ดังนี้

ที่สถานะไม่มีภาระ(No load)

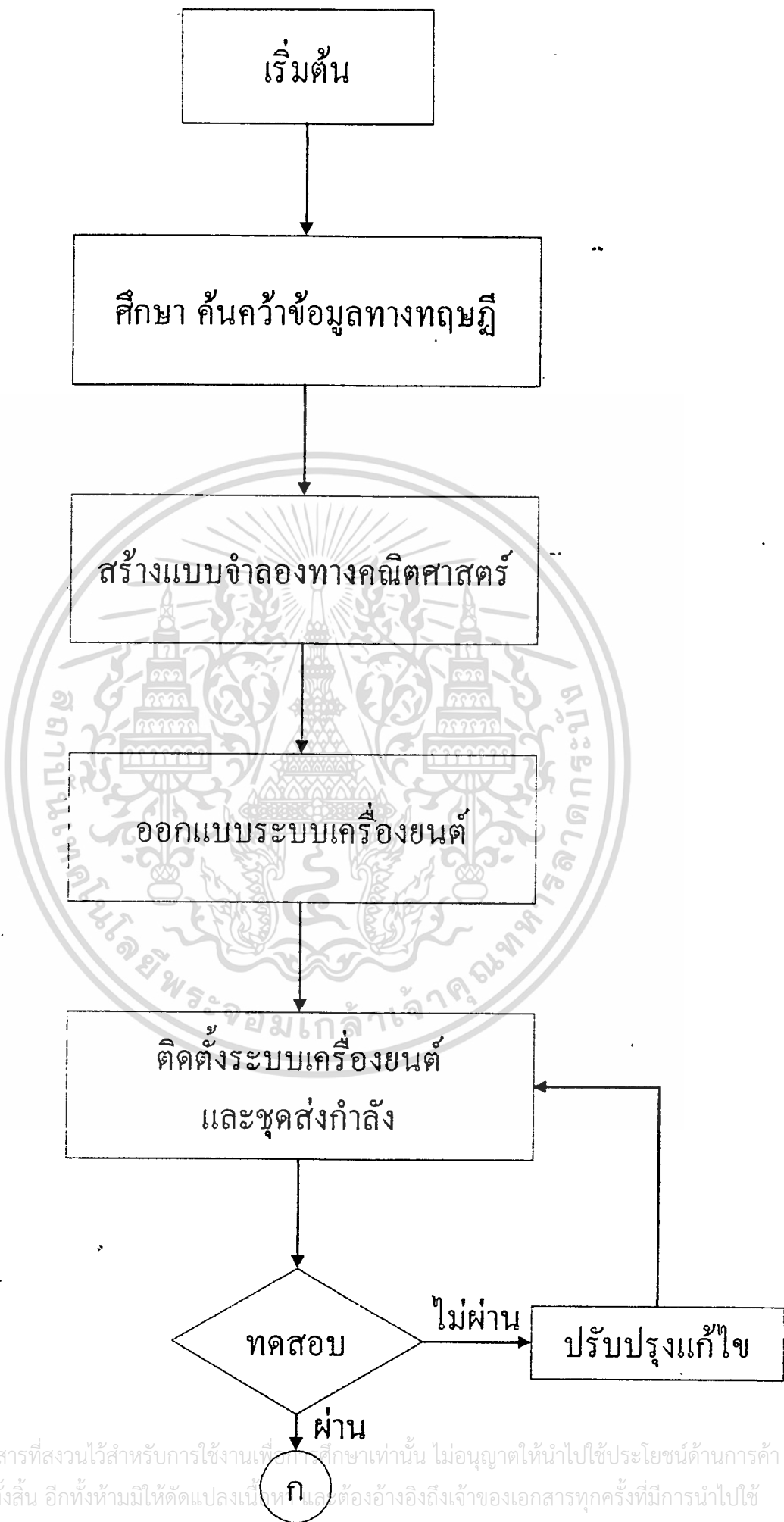
จะได้ค่าความเร็วสูงสุดของเครื่องยนต์ เท่ากับ 105 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ที่สถานะมีภาระ(Load)

จะได้กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ เท่ากับ 14.2 กิโลวัตต์ ที่ความเร็ว 75 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



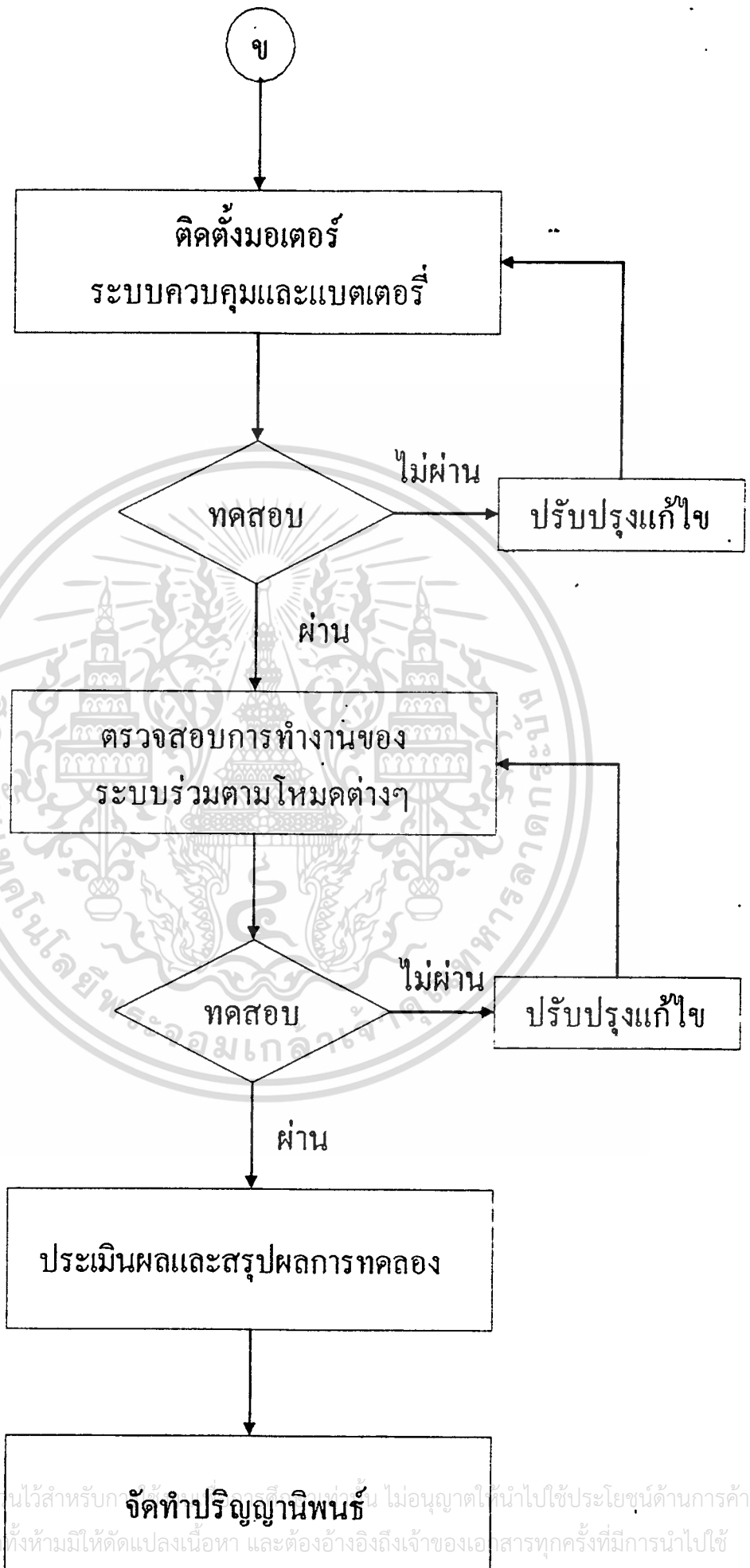
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

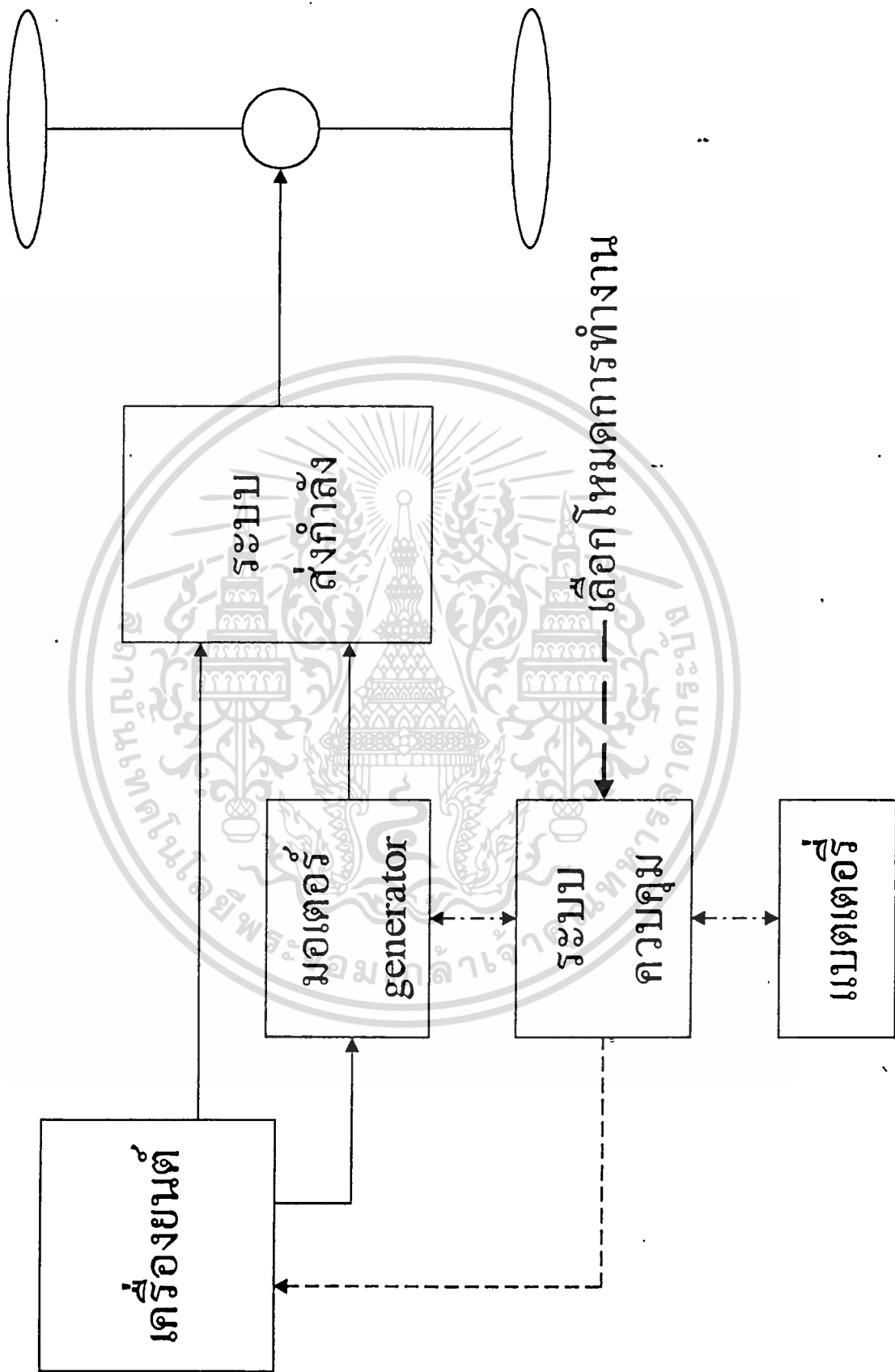


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

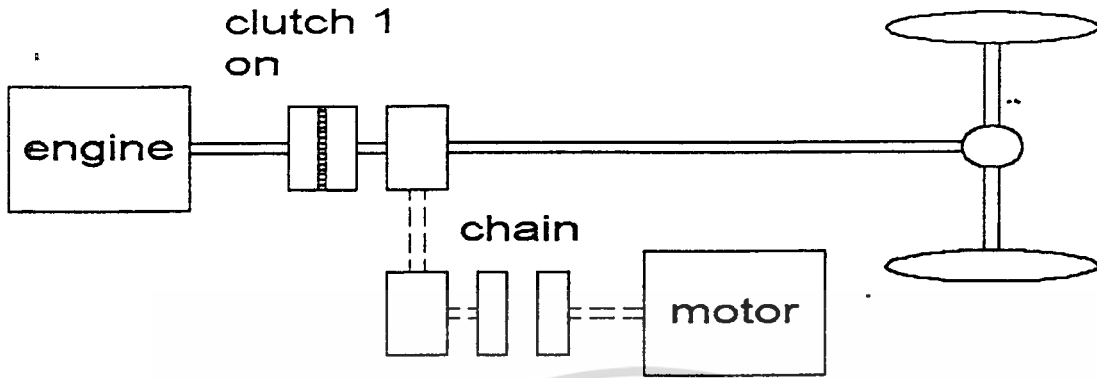


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

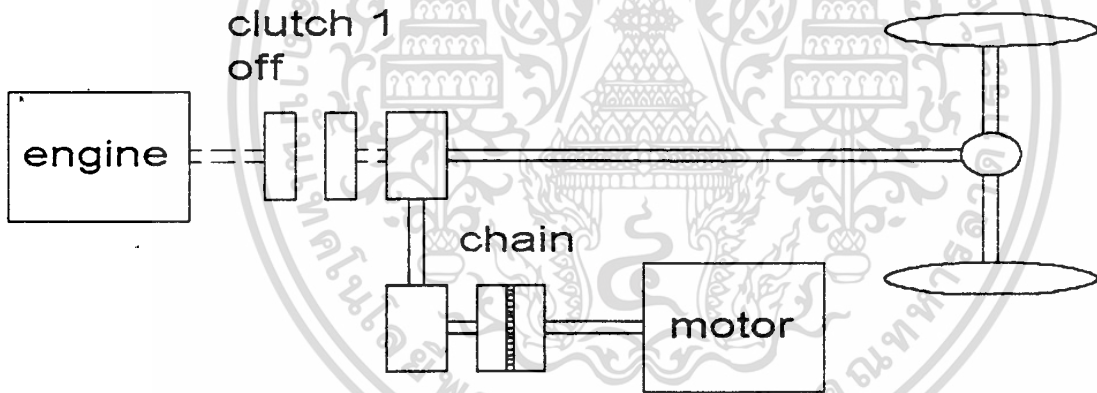




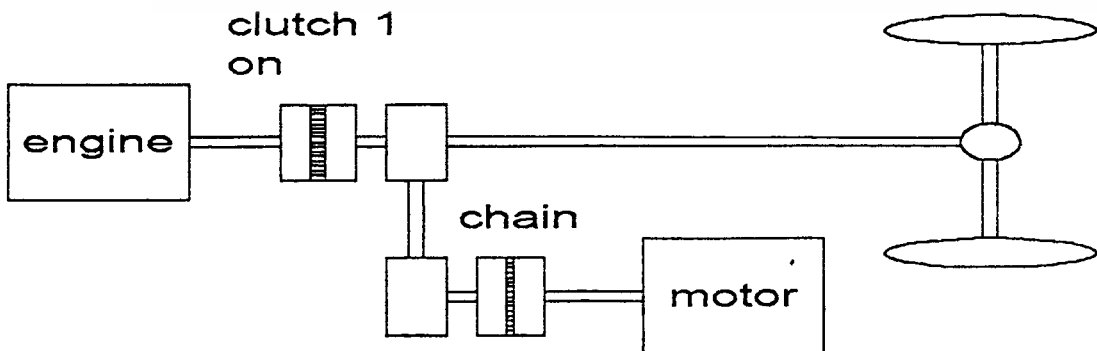
โหมดที่ 1 เครื่องยนต์



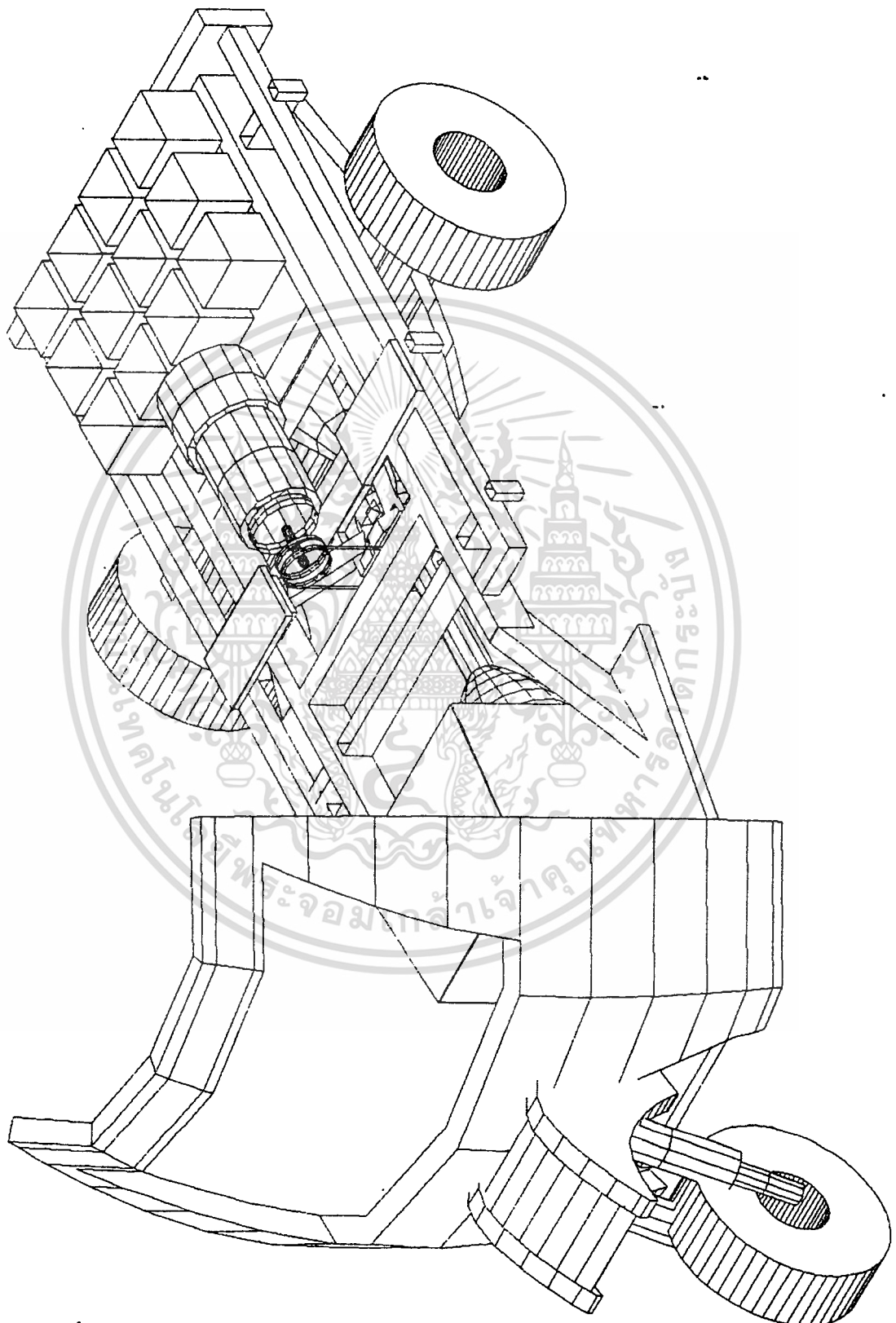
โหมดที่ 2 มอเตอร์



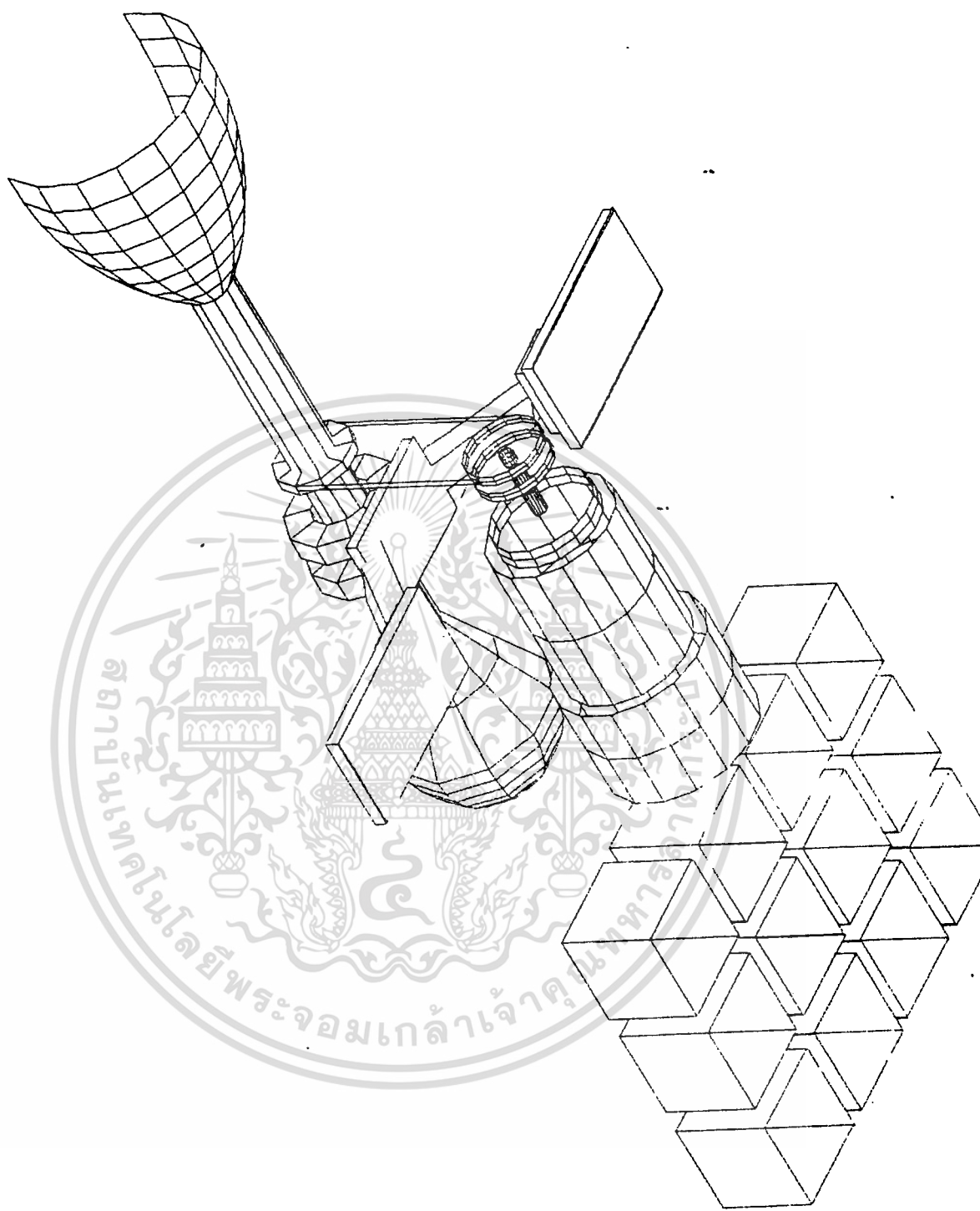
โหมด 3 การประจุไฟให้แบตเตอรี่



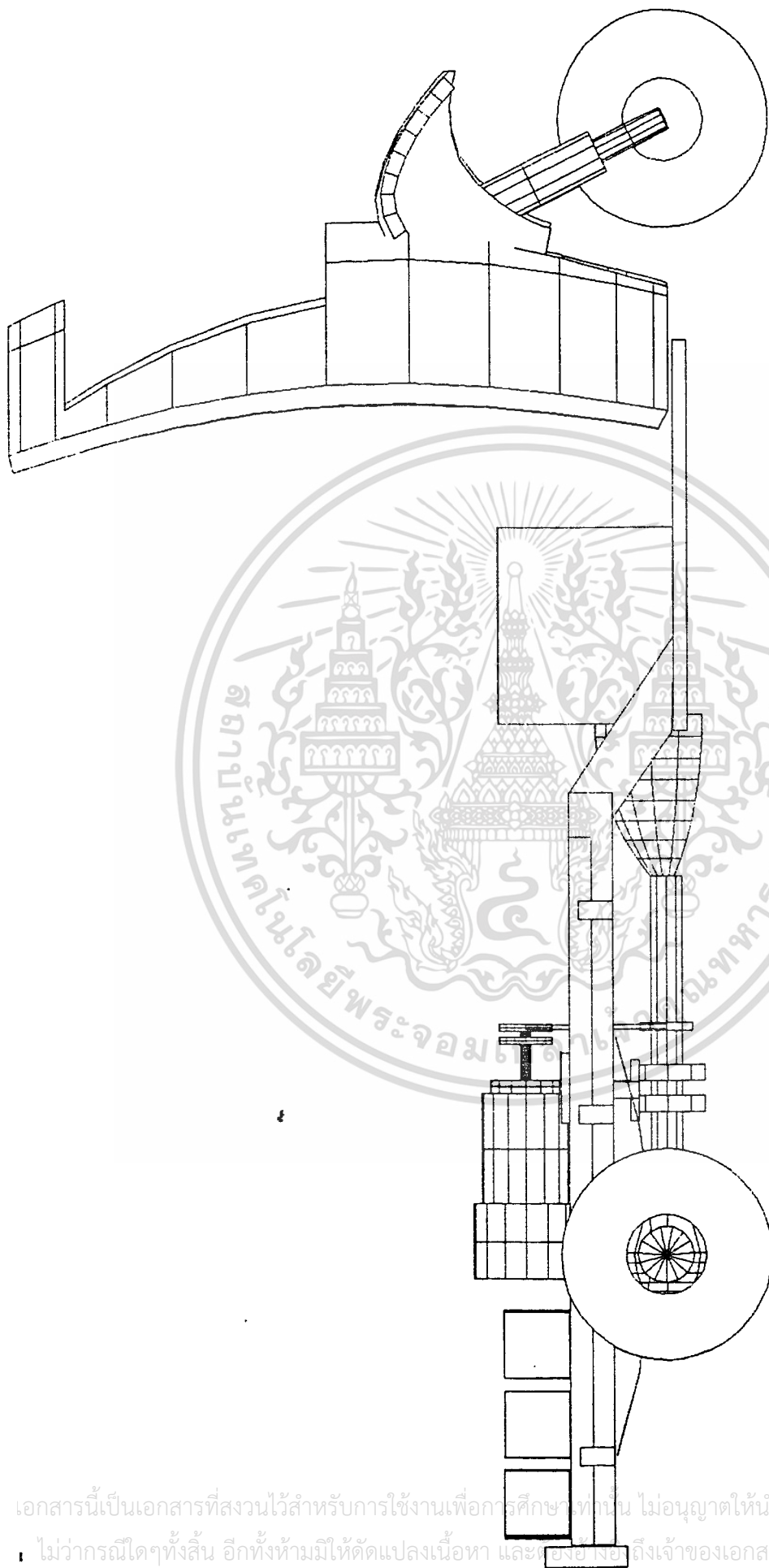
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



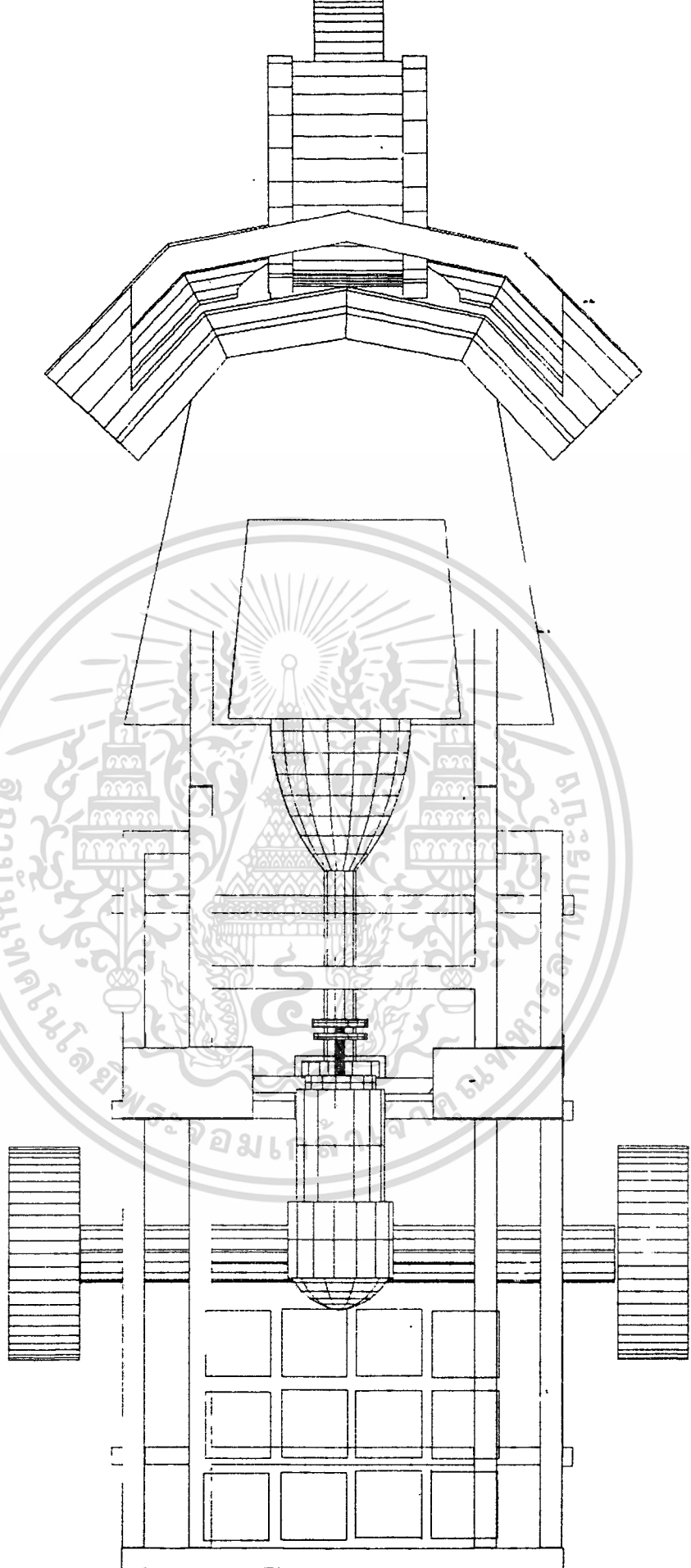
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



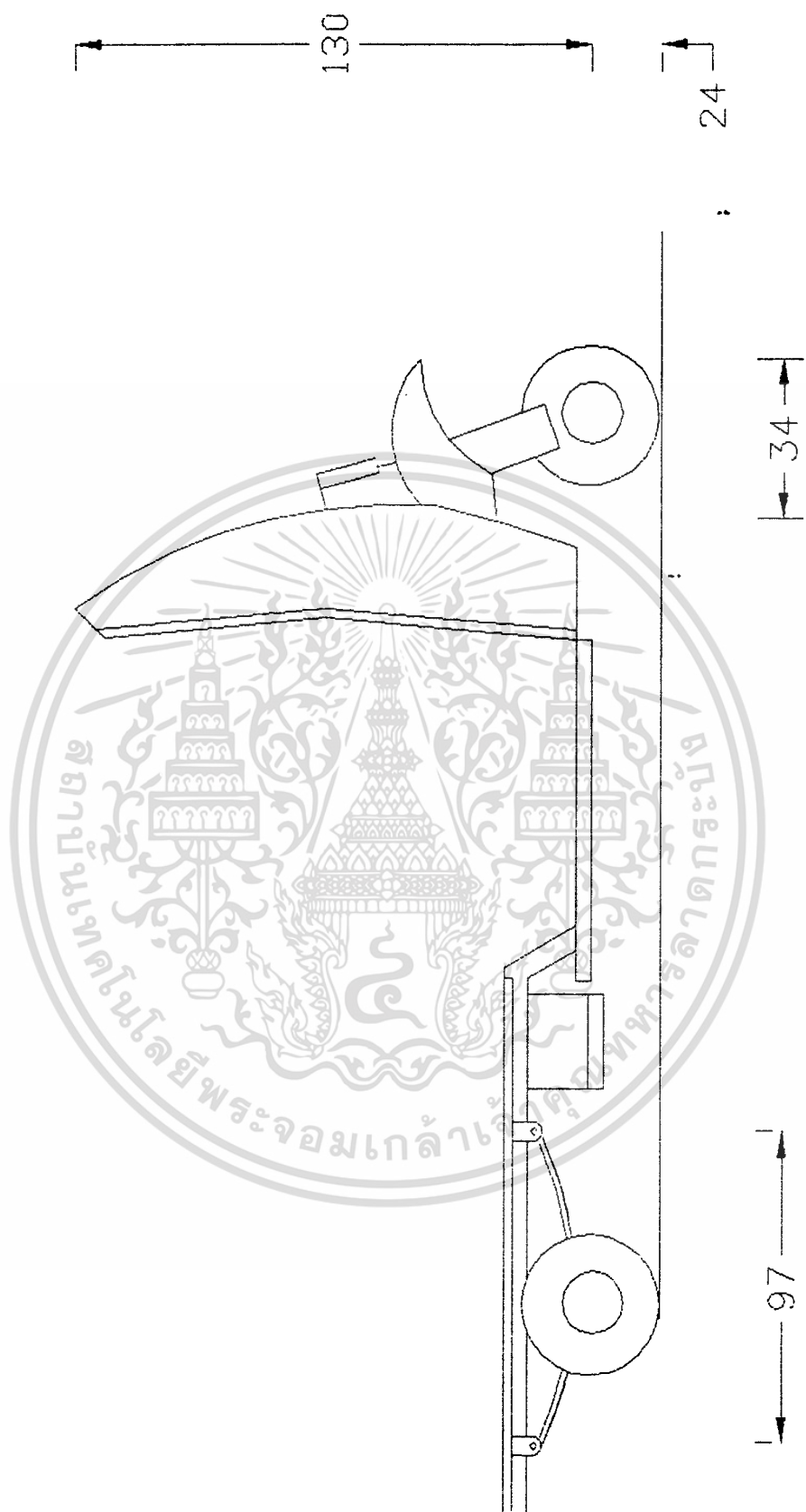
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



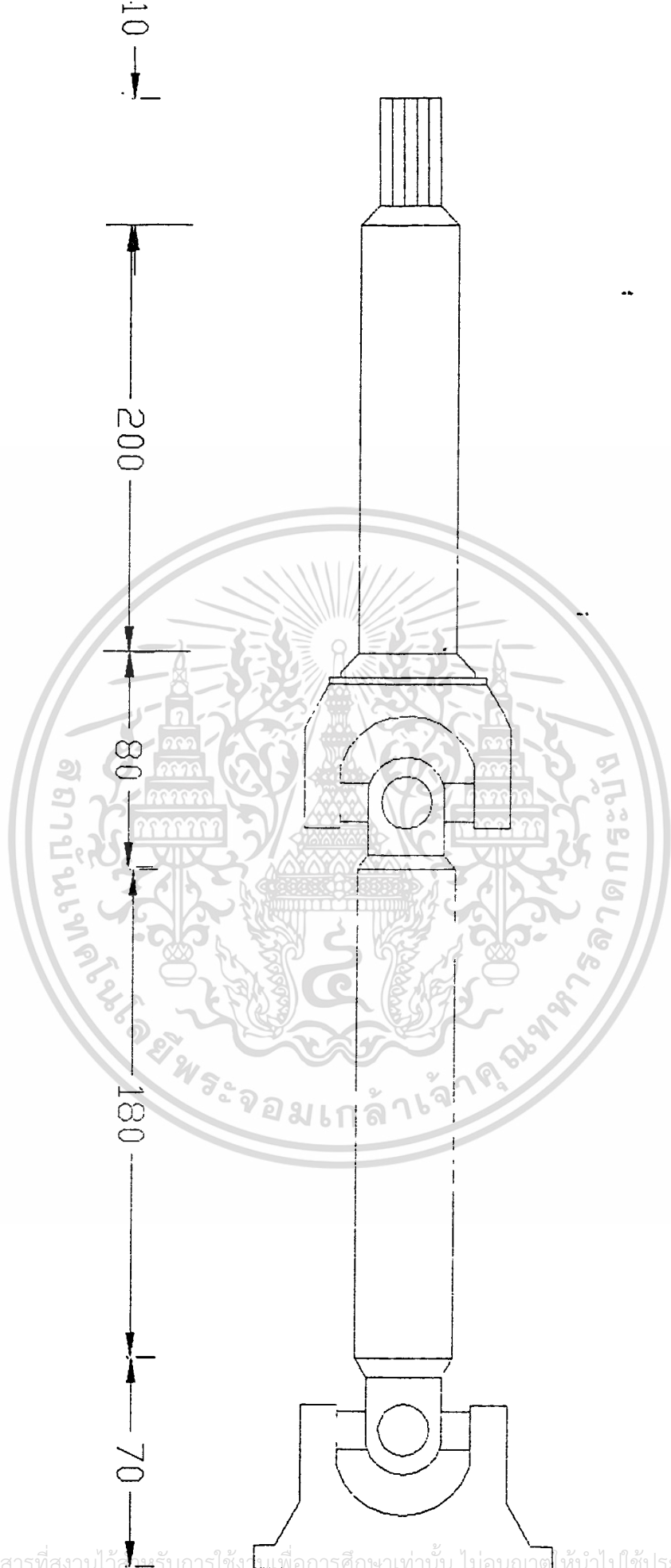
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และเผยแพร่ไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



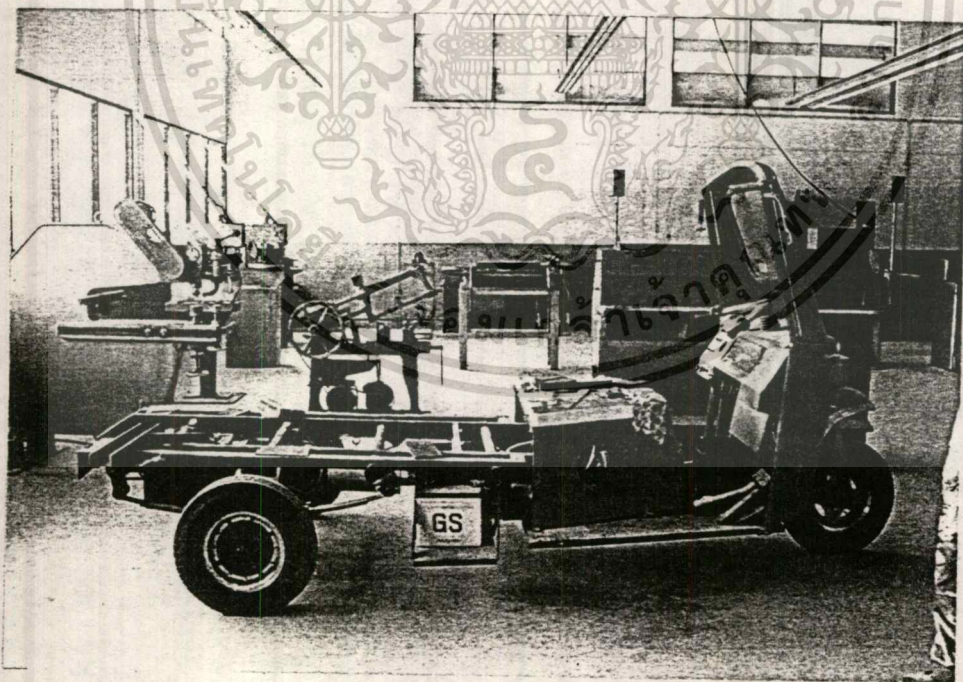
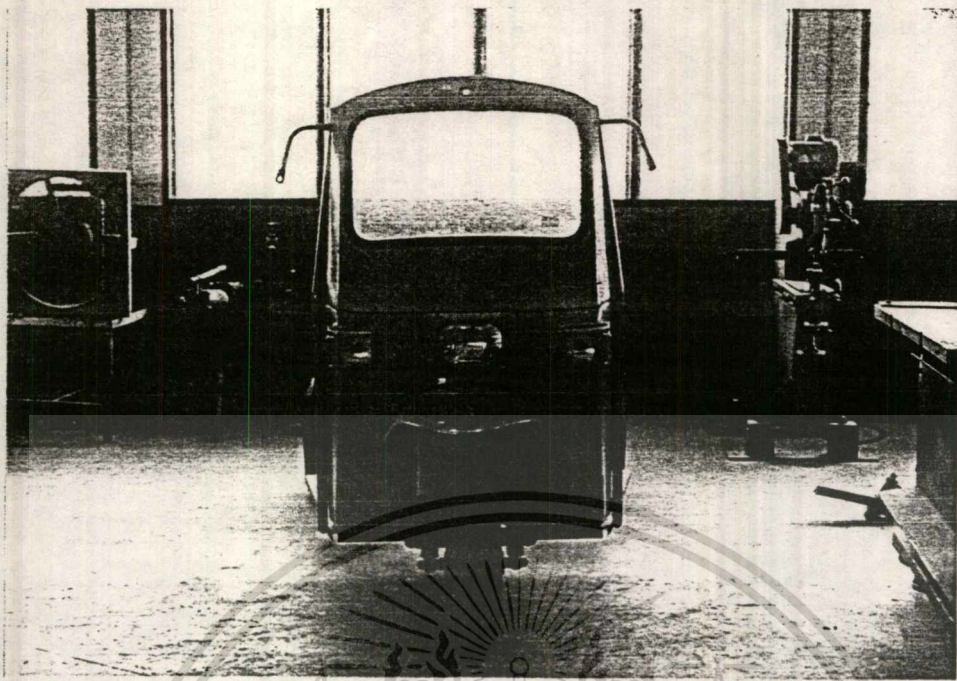
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



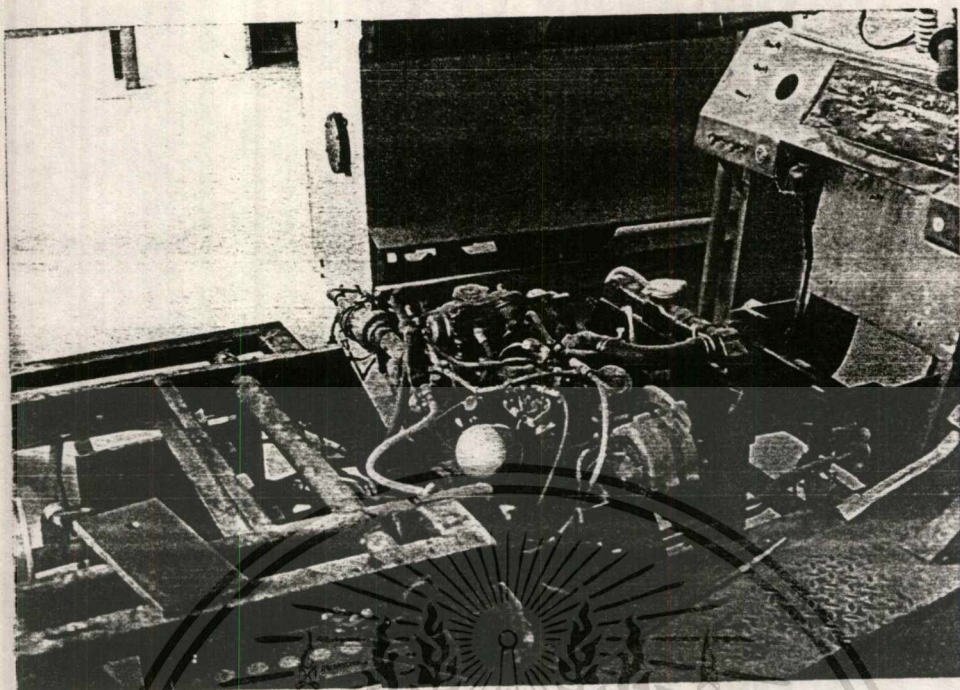
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อแนะนำ

สรุป

ในการดำเนินการออกแบบ ติดตั้งและทดสอบครั้งนี้ เป็นการดำเนินงานแต่เพียงบางระบบเพราะในการที่จะทำการติดตั้งให้ครบทุกระบบ จำเป็นต้องใช้เวลา และผู้เชี่ยวชาญในด้านต่างๆ โดยเฉพาะ และอุปกรณ์บางตัวไม่มีทั่วไป ต้องใช้เวลาในการออกแบบและทำการผลิตโดยเฉพาะ ทำให้เป็นการลำบากที่จะหาอุปกรณ์ต่างมาใช้งานร่วมกัน และบางทีเมื่อได้มาแล้วนำมาติดตั้งแล้วเกิดปัญหา จึงต้องทำการแก้ไข ซึ่งต้องใช้เวลา การติดต่อ การติดตั้ง และทุนทรัพย์ทำให้การติดตั้งและทดสอบได้เพียง 2 ระบบ ได้แก่ Engine Mode และ Electric Mode

ข้อแนะนำ

ในการออกแบบ ติดตั้ง และทดสอบ รถไฮบริด ควรร่วมมือกันระหว่างผู้เชี่ยวชาญในแขนงต่างๆ เพื่อให้เกิดชิ้นงานที่สมบูรณ์ที่สุด และควรใช้เวลาในการทดสอบ ปรับปรุง แก้ไขให้มาก และ เลือกใช้หรือสร้างอุปกรณ์ที่เหมาะสมที่สุด

หนังสืออ้างอิง

1. ศาสตราจารย์บุญศักดิ์ ใจจงกิจ, อนุกรมเครื่องต้นกำลัง 4 มอเตอร์ไฟฟ้า พิมพ์ครั้งที่ 1, 2521
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
2. รศ.ดร.วิริยะ พิเชฐจำเริญ, เครื่องจักรกลไฟฟ้า 1 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรม
ศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด,
2535
3. พงศ์ สุวรรณปฎิภ, มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสสลับ พิมพ์ครั้งที่ 2, 2525
4. คำนึ่ง สาขากร, ระบบเครื่องล่างรถยนต์, 2536
5. ชีระยุทธ สุวรรณประทีป, ศัพท์วิศวกรรมยานยนต์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องยนต์ มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, 2536
6. ชีระยุทธ สุวรรณประทีป, วิศวกรรมยานยนต์ภาคบรรยาย ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องยนต์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ฟลิคส์เซนเตอร์ การพิมพ์
7. เกษม ประพตติธรรม, อำพร ภักดีชาติ, คำนึ่ง สาขากร, บุญทัน สมนึก, ระบบส่งกำลัง
รถยนต์ พิมพ์ครั้งที่ 5, 2538
8. เผด็จ แส่นเกษม, กลศาสตร์ยานยนต์ สถาบันเทคโนโลยี ราชมนคล, 2530
9. ผศ.โยธิน เปรมปรางค์รัชต์, วิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรม
ระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง,
กันยายน 2526
10. Mathmatic Modeling Of Solar/Heat Engine Hybrid Electric Vehicle, AIT
11. M.J.collie, Electric And Hybrid Vehicles, Noyes Data Corporation, New Jersey, 1979

กิตติกรรมประกาศ

โครงการรถไฟฟ้าไฮบริดสามารถสำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือและอุปการะจาก
รศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์ ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ช่วยประสานงานด้านต่าง ๆ
NECTEC ที่ให้โครงการสามล้อคันแบบ
บริษัท พลติษฐ์ดีบุก ที่ให้ความอนุเคราะห์มอเตอร์ไฟฟ้า
คุณ มณฑา เทียมเมือง ที่ได้ให้คำปรึกษาทางด้านเทคนิคต่าง ๆ
พี่พงษ์ศักดิ์ ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านเทคนิค และการทดสอบเครื่องยนต์
เพื่อนเล็ก ภาคไฟฟ้ากำลัง ที่ได้ให้ข้อมูลและคำปรึกษาทางด้านไฟฟ้า
เพื่อนด้อม จากพระนครเหนือ ให้คำปรึกษาทางด้านไฟฟ้า และอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ
คุณ เอกอนงค์ จากธรรมศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านการพิมพ์งาน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ประสิทธิประ
ศาสตร์วิชาความรู้ต่าง ๆ จนกระทั่งพวกเราสามารถทำโครงการนี้จนสำเร็จลุล่วง
และเพื่อน ๆ ที่ภาควิชาเครื่องกล ที่ให้ความช่วยเหลืออื่น ๆ และกำลังใจในการทำโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้