



รถไฟฟ้า AC
ELECTRIC VEHICLE AC

โดย

นาย	เขมชาติ	หวังกิจจามร
นาย	ฉัตรชัย	ประกิจอุทธานนท์
นาย	คิตตพงษ์	สภาคกุล
นาย	ศิเรก	ประสิทธิ์แสงอารีย์
นาย	ศุริต	ตันศิริ
นาย	ทศพล	โอวารรินทร์
นาย	เทอดศักดิ์	พิริยะวิศรุต
นาย	ธนะชาติ	กิติชัยขนานนท์
นาย	ธนากร	เก่งตรง
นางสาว	ชราภรณ์	วงษ์ยอด
นาย	รัตนินทร์	วรรณน้อภิบาล

วัน เดือน ปี..... 30 กย ๑๕.๖๖
เลขทะเบียน..... ๐๒๒๒๒๖
เลขเรียกหนังสือ..... 139256 ๗๖๖๖๖

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2539

038236

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไปว่ากรณิดอก หนึ่งสี่ง ลึกซึ้งหว่านเป็ให้อัดแปลงเงื่อหว่าและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทกดั้งพีมีการบ่งไปให้

ปีการศึกษา 2539

รถไฟฟ้า

ELECTRIC VEHICLE

โดย

นาย	เขมชาติ	หวังกิจจามร
นาย	ฉัตรชัย	ประกิจฤทธานนท์
นาย	คิตตพงษ์	สภาคกุล
นาย	ดิเรก	ประสิทธิ์แสงอารีย์
นาย	ศุริต	ตันศิริ
นาย	ทศพล	โอวารินทร์
นาย	เทอดศักดิ์	พิริยะวิศรุต
นาย	ธนะชาติ	กิติชัยชานนท์
นาย	ธนากร	เก่งตรง
นางสาว	ธราภรณ์	วงษ์ยอด
นาย	รัตนินทร์	วรรัตน์อภิบาล

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศศ.ประภาพร ไพรสวรรณา

อ. อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2539


ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

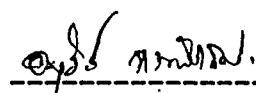
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง รถไฟฟ้า

ผู้จัดทำ

1. นาย เชมชาติ หวังกิจจามร
2. นาย ฉัตรชัย ประกิจอุทธานนท์
3. นาย คีตพงษ์ สภาคกุล
4. นาย คิเรก ประสิทธิ์แสงอารีย์
5. นาย คุริต ดันศิริ
6. นาย ทศพล โอวารินทร์
7. นาย เทอดศักดิ์ พิริยะวิศรุต
8. นาย ธนะชาติ กิติชัยขนานนท์
9. นาย ธนากร เก่งตรง
10. นางสาว ธราภรณ์ วงษ์ยอด
11. นาย รัตนิษฐ์ วรรัตน์อภิบาล


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ประภาส ไพรสุวรรณ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ.อนุวัฒน์ อางวนิชเลิศ)

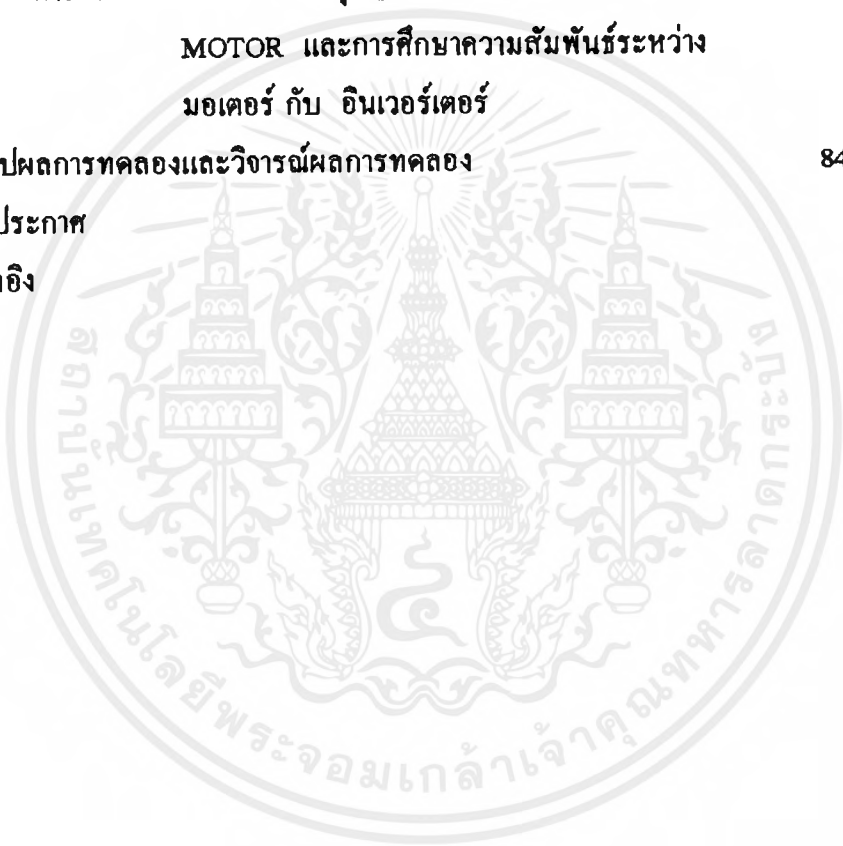
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	III
สารบัญตาราง	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 โครงสร้าง ตัวถัง และระบบต่าง ๆ ในรถ	3
2.1 บทนำ	3
2.2 โครงสร้างรถแบบแชสซีส์	4
2.3 โครงสร้างรถแบบโมโนค็อก	5
2.4 ขอบเขตของรถไฟฟ้า	7
บทที่ 3 มอเตอร์อินดักชัน	9
3.1 บทนำ	9
3.2 โครงสร้างของมอเตอร์อินดักชัน 3 เฟส	10
3.3 หลักการทำงานของมอเตอร์อินดักชัน	12
3.4 คุณลักษณะของมอเตอร์อินดักชัน	14
3.5 การหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรเทียบเคียง	15
- การทดสอบขณะไม่มีโหลด	15
- การทดสอบยึดโรเตอร์	17
3.6 เทคนิคในการเริ่มต้นหมุน	20
- ต่อมอเตอร์โดยตรงกับสาย	21
- ควบคุมแรงดันไฟฟ้าขณะเริ่มต้นหมุน	21
- ต่อขลวดแบบ Y - Δ	21
3.7 การพิจารณาวิเคราะห์สมบัติของโหลด	23
3.8 การคำนวณหากำลังที่ต้องการขับโหลดคงที่	26
3.9 การหาค่าพิกัดต่าง ๆ ของมอเตอร์	26

	หน้า
บทที่ 4 แบตเตอรี่	30
4.1 บทนำ	30
4.2 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว - กรด	30
4.3 ขนาดความจุของแบตเตอรี่	31
4.4 แรงดันแบตเตอรี่	31
4.5 ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่	32
4.6 คุณสมบัติของอุณหภูมิ	32
4.7 คุณสมบัติของการอัดไฟ	33
4.8 คุณสมบัติในการจ่ายไฟ	34
4.9 ข้อควรระวังในการใช้งานและการบำรุงรักษา แบตเตอรี่	36
4.10 ขั้นตอนในการอัดไฟเข้าแบตเตอรี่	37
บทที่ 5 ระบบปรับอากาศในรถยนต์	39
5.1 บทนำ	39
5.2 อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในรถ	39
5.3 เทคนิคการทำ	53
- การคำนวณ	53
- การติดตั้ง	53
5.4 คุณสมบัติของระบบแอร์ที่ต้องปรับปรุง	56
5.5 หลักการทำงานของระบบ	56
5.6 หลักการทำงานของอุปกรณ์	56
บทที่ 6 อินเวอร์เตอร์ และ คอนเวอร์เตอร์	58
6.1 บทนำ	58
6.2 วงจรชอปเปอร์	59
6.3 อินเวอร์เตอร์	61
6.4 คอนเวอร์เตอร์	65

	หน้า
บทที่ 7 การทดลอง และ ผลการทดลอง	70
7.1 บทนำ	70
7.2 ระบบขับเคลื่อน	70
7.3 ระบบควบคุมความเร็ว	70
7.4 การทดลอง เรื่องการควบคุมความเร็วของ INDUCTION MOTOR และการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมอเตอร์ กับ อินเวอร์เตอร์	76
บทที่ 8 สรุปผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง กิตติกรรมประกาศ เอกสารอ้างอิง	84



รถไฟฟ้า

นาย	เชมชาติ	หวังกิจจามร
นาย	ฉัตรชัย	ประกิจอุทธานนท์
นาย	คิดตพงษ์	สภาคกุล
นาย	ศิเรก	ประสิทธิ์แสงอารีย์
นาย	คูริต	ตันศิริ
นาย	ทศพล	โอวารินทร์
นาย	เทอดศักดิ์	พิริยะวิสูตร
นาย	ธนะชาติ	กิติชัยชานานนท์
นาย	ชนากร	เก่งตรง
นางสาว	ธราภรณ์	วงษ์ยอด
นาย	รัตนิษฐ์	วรรรัตน์อภิบาล
ผศ.	ประภาส	ไพรสวรรณา อาจารย์ที่ปรึกษา
อ.	อนุวัฒน์	จางวนิชเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษา
	ปีการศึกษา 2539	

บทคัดย่อ

ในโลกปัจจุบันปัญหาภาวะทางอากาศ ยังคงเป็นสิ่งที่ทั่วโลกให้ความสนใจ เนื่องจากยังไม่สามารถที่จะหาหนทางแก้ไขให้หมดสิ้นไปได้ ดังนั้นแนวความคิดในการนำรถยนต์ไฟฟ้ามาใช้ ก็เป็นส่วนหนึ่งที่นักประดิษฐ์ทั่วโลกพยายามค้นคว้าเพื่อเป็นส่วนช่วยในการลดปัญหาเหล่านี้

รถยนต์ไฟฟ้าต่างจากรถยนต์ปกติทั่วไป คือการใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนแทนที่จะใช้น้ำมัน โดยพลังงานไฟฟ้านี้จะเปลี่ยนเป็นพลังงานกล ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดสารพิษต่างๆ ทำให้สภาวะแวดล้อมทางอากาศดีขึ้น จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจควรศึกษาเป็นอย่างยิ่ง

Electric Vehicle

Kemchat Whangkitjamorn
 Chatchai Prakirritanon
 Dittapong Saparkakul
 Direk Prasittsaengaree
 Durit Tansiri
 Tosapol Ovararinth
 Terdsak Piriysarut
 Thanachat Kitichaichananon
 Thanakorn Kengtrong
 Tharaporn Wongyod
 Rattanin Worraratapibarn
 Asst prof. Prapas Prisuwanna Advisor
 Mr. anuwat Changwanitlert Advisor
 Year 1996

ABSTRACT

In our world today. Pollution is a big problem we face. Air pollution is the one problem which can not solve right now. Most of the inventor try to research and develop in reducing these one. The difference between electrical vehicle and regular vehicle is using motor instead of gasoline for motive force. This electric power shall be change to mechanical power which produce none of all toxic. These would create more better pollution.

สารบัญภาพ

	หน้า
รูป 2.1 แสดงโครงสร้างของรถโดยทั่วไป	3
รูป 2.2 แสดงโครงสร้างของรถแบบแชสซีส์	4
รูป 2.3 แสดงโครงสร้างของรถแบบโมโนค็อก	5
รูป 2.4 ภาพแสดงการเพิ่มความแข็งแรงตามข้อต่อต่าง ๆ	6
รูป 2.5 รถไฟฟ้า AC	8
รูป 3.1 มอเตอร์อินดักชัน	9
รูป 3.2 แสดงสเตเตอร์ของมอเตอร์อินดักชัน	10
รูป 3.3 แสดงโรเตอร์แบบกรงกระรอก	11
รูป 3.4 แสดงโรเตอร์แบบพันขดลวด	12
รูป 3.5 แสดงคุณลักษณะของมอเตอร์อินดักชัน	14
รูป 3.6 แสดงการทดสอบขณะไม่มีโหลด	15
รูป 3.7 แสดงวงจรเทียบเคียงของมอเตอร์อินดักชันในการทดสอบ ขณะไม่มีโหลด	17
รูป 3.8 แสดงวงจรเทียบเคียงการทดสอบฮีดโรเตอร์	18
รูป 3.9 เทคนิคในการเริ่มต้นหมุนโดยการต่อความต้านทานภายนอก	20
รูป 3.10 เทคนิคในการเริ่มต้นหมุนโดยการต่อขดลวดแบบ Y - Δ	21
รูป 3.11 สมบัติความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงบิดขณะ โหลดต่าง ๆ	23
รูป 3.12 จุดสมมูลย์	25
รูป 3.13 จุดสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	26
รูป 3.14 ชนิดของภาระโหลด	29
รูป 4.1 แสดงความสัมพันธ์ผลของอุณหภูมิที่มีต่อความต้านทานของ สารละลายกรดซัลฟูริก	32
รูป 4.2 กราฟแสดงการอัดไฟในแต่ละระบบ	34
รูป 4.3 Ragone plots for various energy sources	35
รูป 4.4 Constant current discharge test	35

	หน้า
รูป 5.1 อีวาพอเรเตอร์	40
รูป 5.2 อีวาพอเรเตอร์แบบแขวน	41
รูป 5.3 แสดงการถอดประกอบชุดอีวาพอเรเตอร์	41
รูป 5.4 ชนิดของมอเตอร์โบลเวอร์	42
รูป 5.5 คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ	43
รูป 5.6 แสดงรูปตัดขวางของคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ	43
รูป 5.7 โครงสร้างภายในของคอมเพรสเซอร์แบบสวอชเพลด	44
รูป 5.8 คอมเพรสเซอร์แบบโรตารี	45
รูป 5.9 แสดงการคูัดของคอมเพรสเซอร์แบบโรตารี	45
รูป 5.10 คอนเดนเซอร์	47
รูป 5.11 คอนเดนเซอร์แบบท่อสองชั้น	48
รูป 5.12 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งท่อรีซีฟเวอร์ครายเออร์ในระบบ	49
รูป 5.13 ท่อรีซีฟเวอร์ครายเออร์	50
รูป 5.14 ตัวอย่างของท่อรีซีฟเวอร์ครายเออร์	51
รูป 5.15 แสดงลักษณะการติดตั้ง COMPRESSOR ไคซาร์จ และเครื่องย่นต้มอเตอร์ไซค์ เข้าด้วยกัน	54
รูป 5.16 การเดินสายไฟของระบบแอร์ในตัวรถ	55
รูป 5.17 การเดินระบบท่อส่งแอร์	55
รูป 5.18 แสดงการติดตั้งระบบปรับอากาศในรถไฟฟ้า	57
รูป 6.1 แสดงวงจรและหน้าที่การแปลงผันพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ	58
รูป 6.2 แสดงวงจรชอปเปอร์พื้นฐาน	59
รูป 6.3 แสดงหลักการพื้นฐานที่ใช้วงจรชอปเปอร์ควบคุมมอเตอร์ ไฟกระแสตรง	60
รูป 6.4 ไอจีบีที (IGBT)	61
รูป 6.5 อินเวอร์เตอร์ 1 เฟสที่ใช้หลักการของวงจรชอปเปอร์	62
รูป 6.6 อินเวอร์เตอร์ 1 เฟสที่ใช้แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่มีจุดต่อกึ่งกลาง	62
รูป 6.7 อินเวอร์เตอร์ 1 เฟสที่ใช้โพลที่มีจุดต่อกึ่งกลาง	63

รูป 6.8 อินเวอร์เตอร์ 1 เฟสแบบบริดจ์	63
รูป 6.9 อินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบบริดจ์ครึ่งคลื่น	64
รูป 6.10 อินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบบริดจ์	64
รูป 6.11 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ผลิตความถี่ 400 Hz	65
รูป 6.12 แสดงหลักการของวงจรแปลงผันไฟกระแสตรงเป็นไฟกระแสตรงแบบโดยตรง	65
รูป 6.13 แสดงหลักการของวงจรแปลงผันไฟกระแสตรงเป็นไฟกระแสตรงแบบโดยอ้อม	66
รูป 6.14 แสดงหลักการของวงจรแปลงผันไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสสลับแบบโดยตรง	66
รูป 6.15 แสดงหลักการของวงจรแปลงผันไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสสลับแบบโดยอ้อม	67
รูป 6.16 แสดงอินเวอร์เตอร์ แบบเปลี่ยนแรงดัน (VVI)	67
รูป 6.17 แสดงอินเวอร์เตอร์ แบบแหล่งจ่ายกระแส (CSI) ระบบ 3 เฟส	68
รูป 6.18 แสดงการควบคุมด้วยควมกว้างของพัลส์	69
รูป 7.1 รูปแบบและโครงสร้างของอินเวอร์เตอร์	71
รูป 7.2 OPERATION PANEL	72
รูป 7.3 แสดงโปรแกรมภายในอินเวอร์เตอร์	73
รูป 7.4 ภาพแสดงแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถไฟฟ้าทั้งหมด	75
รูป 7.5 Basic Wiring Diagram Of Inverter	76
รูป 7.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความเร็วยรอบของมอเตอร์	78
รูป 7.7 Terminal Connection Diagram Of Inverter	79
รูป 7.8 แสดงการต่อวงจรในการนำไปใช้งานจริง	81
รูป 7.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความเร็วยรถ	83
รูป 8.1 แสดงการต่อวงจรชาร์จแบตเตอรี่	85
รูป 8.2 กราฟแสดงการปรับค่า TORQUE BOOST (V กับ f)	86
รูป 8.3 กราฟแสดงการปรับค่า TORQUE BOOST (T กับ N)	86

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2.1 วิเคราะห์ และ สรุปผลข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างรถ	7
ตาราง 3.1 สมบัติแรงบิดและความเร็วรอบของโหลด	24
ตาราง 3.2 ชนิดของฟิสิกส์ใช้งาน	29
ตาราง 4.1 เปรียบเทียบขนาดความจุของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว - กรด ที่อุณหภูมิปกติและที่ต่ำกว่าปกติ	33
ตาราง 7.1 แสดงการทำงานอย่างง่ายของอินเวอร์เตอร์	71
ตาราง 7.2 ตัวอย่างการตั้งโปรแกรม	73
ตาราง 7.3 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ กับ ความเร็วรอบของมอเตอร์	77
ตาราง 7.4 DETAIL OF CONTROL CIRCUIT TERMINALS	80
ตาราง 7.5 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความเร็วรถ	83

บทที่ 1

บทนำ

เนื่องด้วยทุกวันนี้ผลของเทคโนโลยีที่ล้ำยุคขึ้นเรื่อยๆและวิวัฒนาการที่ถูกพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้งที่เพิ่มขึ้นเพื่อตอบสนองกับความต้องการของมนุษย์ที่ไม่รู้จักจบสิ้นจนเป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมากมาย เมื่อมีการพัฒนาเพื่อตอบสนองมนุษย์มากเท่าใดก็ก่อให้เกิดผลเสียกับสิ่งต่างๆ ได้มากเท่านั้นสภาวะแวดล้อมที่เป็นพิษก็เป็นอีกผลกระทบหนึ่งที่เกิดขึ้นจากการกระทำของมนุษย์ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

สภาวะแวดล้อมทางมลพิษก็เป็นอีกผลพวงของการพัฒนาการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ของมนุษย์ ที่เราเห็นกันอย่างชัดเจนก็คือสภาวะแวดล้อมทางอากาศเป็นมลพิษที่เกิดจากการใช้รถยนต์วิ่งพาหนะต่างๆ ซึ่งพาหนะที่ทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศที่เราเห็นได้ชัดเจนที่สุดก็คือ รถยนต์วิ่งทั่วๆ ไปตามท้องถนนซึ่งรถยนต์เหล่านี้ได้ปล่อยเขม่าควันที่เป็นสารคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และสารอื่นๆออกมา ซึ่งสารเหล่านี้เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิด ภาวะเรือนกระจก (Green House Effect) และเป็นผลให้ชั้นบรรยากาศได้ถูกทำลายลง ซึ่งเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถยนต์วิ่งพาหนะในปัจจุบันนี้คือ น้ำมัน แม้ว่าในปัจจุบันนี้จะมีการพัฒนาน้ำมันที่ใช้เป็นสารเชื้อเพลิงออกมาเพื่อลดสารพิษที่จะปล่อยออกมาจากรถยนต์นั้นก็ตามที แต่เนื่องจากใช้รถยนต์ของมนุษย์นั้นตามเมืองใหญ่ยังมีการใช้รถยนต์มากอยู่นั้น ทำให้เราต้องหาวิธีการใหม่เพื่อไม่ให้เกิดมลพิษในการใช้รถยนต์นั้น ดังนั้นเราจึงพยายามคิดค้นวิธีการที่เปลี่ยนจากการใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนรถยนต์

รถไฟฟ้าเป็นสิ่งที่จะมาแทนที่รถยนต์ที่เห็นวิ่งในท้องถนนในปัจจุบัน สิ่งที่จะศึกษาก็คือจะทำอย่างไรที่จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลในการขับเคลื่อน และควบคุมความเร็วอย่างไร โดยทั่วไปก็รู้ดีว่ามอเตอร์มีคุณสมบัติดังกล่าว การที่จะควบคุมความเร็วของมอเตอร์นั้นก็ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมอเตอร์ที่นำมาใช้ (ในโครงการนี้ใช้ Induction motor เนื่องจากราคาถูก ดูแลง่าย และความเร็วเปลี่ยนแปลงน้อยมากจากสภาพไม่มีโหลด กับโหลดเต็มพิกัด ในการควบคุมความเร็วก็ใช้ Invertor เป็นตัวควบคุม ซึ่งในปัจจุบันนี้มีมากมายหลายแบบและใช้งานง่าย) ในทางด้านโครงสร้างรถนั้นใช้ไฟเบอร์กลาส เพราะมีความแข็งแรงและน้ำหนักเบาเหมาะ

กับรถไฟฟ้า เนื่องจากขนาดแรงม้าของมอเตอร์ สุดท้ายในเรื่องของระบบแอร์นั้นปัจจุบันยังเป็นปัญหาในเรื่องการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มากซึ่งจะทำให้รถไฟฟ้่ากับรถยนต์ที่ใช้น้ำมันแล้ว รถไฟฟ้าให้ผลดีกว่าในเรื่องการสูญเสียพลังงานต่อระยะทางต่ำกว่ารถยนต์ธรรมดา แต่ในเรื่องอัตราเร่งและความเร็ว และในเรื่องการของระบบแอร์ให้สามารถใช้พลังงานน้อยที่สุดได้เหมาะกับพลังงานของรถไฟฟ้าแล้วทุกคนหันมาใช้รถไฟฟ้าแทน มลภาวะเป็นพิษทางอากาศก็จะลดลง ซึ่งเป็นสิ่งที่มนุษย์ทุกคนต้องการที่จะเห็นสิ่งเหล่านี้ในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

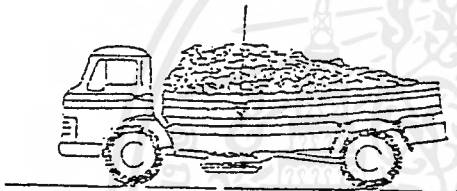
บทที่ 2

โครงสร้าง ตัวถัง และระบบต่าง ๆ ในรถ

2.1 บทนำ

โครงสร้างของรถยนต์นั่งมีหน้าที่สำคัญดังนี้:

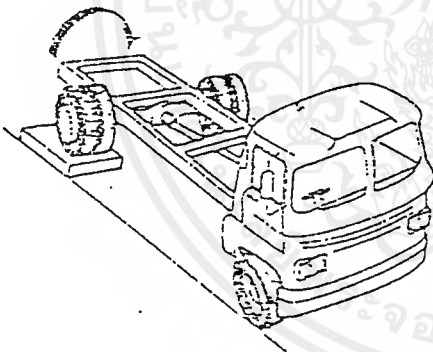
1. รับน้ำหนักโดยสาร (บรรทุก) ทั้งหมด ต้องมีความแข็งแรงสามารถรับน้ำหนักของเครื่องยนต์ ตัวถัง คนนั่งโดยสาร สัมภาระบรรทุกต่างๆ
2. รับแรงบิดตัวอันเกิดจากสภาพถนน
3. รับแรงกระแทกอันเกิดจากการชน ทั้งหมดรอบคัน



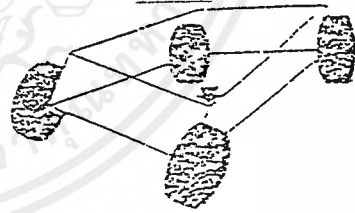
bending



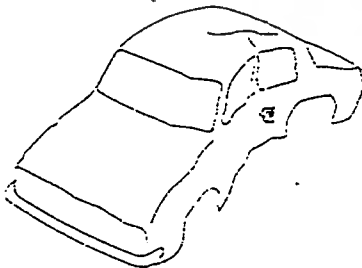
Beam stiffness The body can be likened to a beam supported at each end by the wheels. Without adequate strength from end to end, it would sag in the middle, causing the doors to jam or latch with difficulty, also a body with low beam stiffness is unlikely to be torsionally stiff either



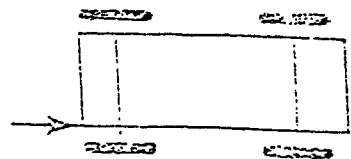
twisting (torsion)
Frame distortion



Torsional stiffness The body must resist twisting between front and back, or it will flex on bad roads. This will affect the handling qualities of the car and will give rise to squeaks and rattles



Resistance to side impact The doors, body sills and sides of a car should be strong enough to resist side impact in an accident



longitudinal

รูป 2.1 แสดงโครงสร้างของรถโดยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างรถยนต์นั่งโดยทั่วไป ถือเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ เพราะหน้าที่หลักคือ ปกป้องและสร้างความสะดวกสบายให้แก่ผู้โดยสาร

โครงสร้างรถยนต์มีอยู่ ๒ ประเภท

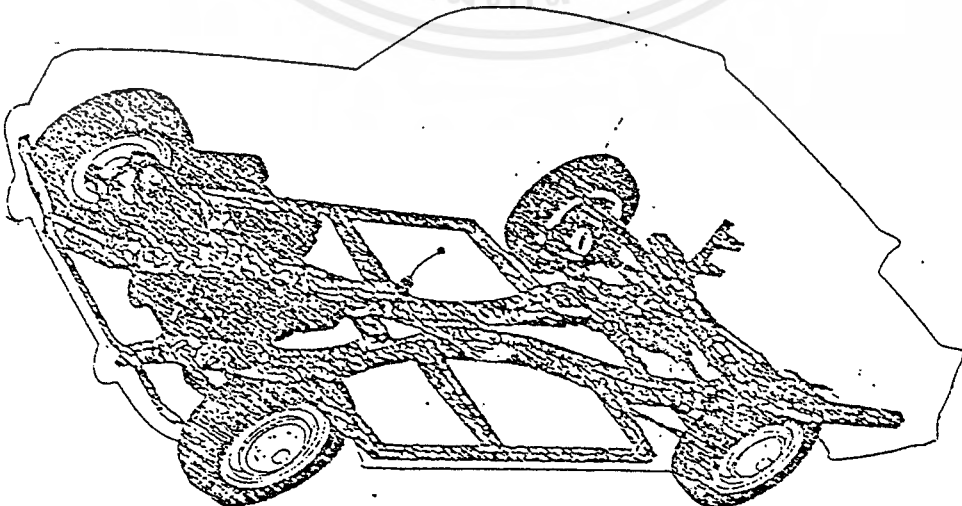
1. โครงสร้างแบบแชสชีส์
2. โครงสร้างแบบโมโนค็อก

2.2 โครงสร้างรถยนต์แบบมีแชสชีส์

คือ โครงสร้างของรถยนต์ที่มีโครงสร้างหลัก เพื่อรับแรงต่าง ๆ ทั้งหมด คือ

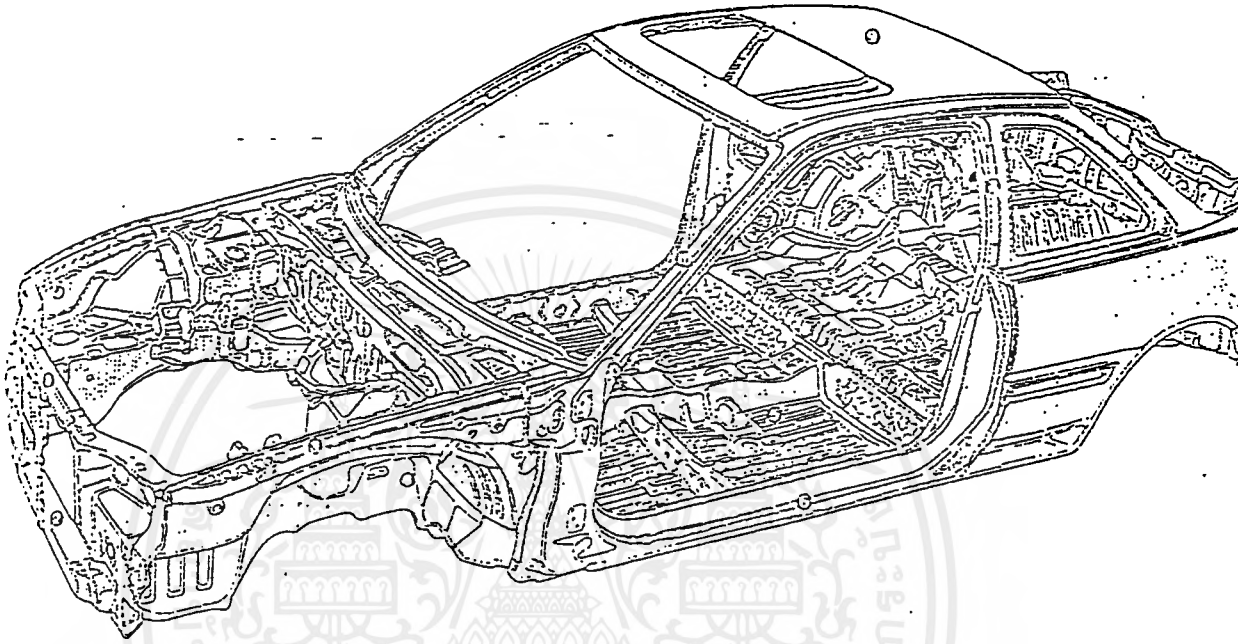
- รองรับเครื่องยนต์และเกียร์
- รองรับตัวถัง
- รองรับล้อและระบบกันสะเทือน
- รองรับการบิดตัวและแรงกระทำจากพื้นถนน

โครงสร้างแชสชีส์ประกอบด้วยเหล็ก ๒ แท่ง วางตามยาวของตัวถังและมีเหล็กท่อนวางขวาง ประกอบขึ้นเป็นกล่อง แท่งเหล็กเหล่านี้มีรูปร่างต่าง ๆ กันท่อนเหล็กตามขวางส่วนมากเป็นรูปแท่งเหล็กตามขวางจะยึดกับแท่งเหล็กตามยาวโดยเชื่อม หรือสกรูและรอยต่อจะเสริมด้วยแผ่นเหล็กหรือเหล็กฉากแท่งเหล็กด้านข้างหรือตามยาวเป็นสำคัญ และต้องแข็งแรงมากเพราะต้องรับความเครียดจากการบิดตัว



รูป 2.2 แสดงโครงสร้างของรถแบบแชสชีส์

2.3 โครงสร้างแบบโมโนค็อก



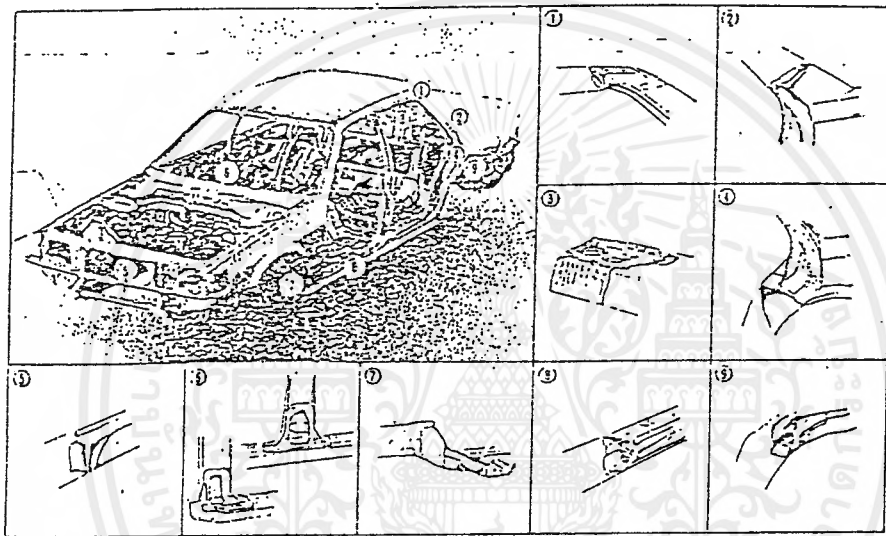
รูป 2.3 แสดงโครงสร้างของรถแบบโมโนค็อก

เป็นโครงสร้างที่เสริมความแข็งแรงให้กับตัวถัง เพื่อสามารถรับแรงต่างๆ ดังนี้

- รองรับเครื่องยนต์เกียร์
- รองรับล้อและระบบกันสะเทือน
- รองรับแรงจากการบรรทุกการนั่งโดยสาร
- รองรับแรงกระแทกจากการชนได้
- รองรับแรงจากการบิดตัวได้

เป็นการใช้วัสดุเหล็กแผ่นขึ้นรูปเช่นเดียวกับตัวถังหลักการคือเสริมความแข็งแรงให้กับตัวถังต่อเนื่องตลอดทั้งคัน เพื่อถ่ายแรงให้กระจายไปทั่วทุกส่วนของโครงสร้างบนตัวถัง การเสริมความแข็งแรงให้กับตัวถังทำได้โดยการเพิ่มรอยพับลงบนพื้นแผ่นเหล็ก เช่น การพับพื้นที่เป็นลอนสามารถรับแรงกดคั้นได้มากขึ้น

โครงสร้างแบบโมโนค็อกนี้จะมีน้ำหนักเบาเพราะใช้เหล็กแผ่นเหล็กปั๊มขึ้นรูปและสามารถใช้ประโยชน์จากพื้นที่ใช้สอยที่มากกว่าโครงสร้างแบบ ใช้กับรถที่ไม่ต้องบรรทุกของมากมาย เหมาะกับการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม การผลิตทีละมาก ๆ



รูป 2.4 ภาพแสดงการเพิ่มความแข็งแรงตามข้อต่อต่าง ๆ

ข้อดีของโครงสร้างแบบโมโนค็อก

- มีการกระจายน้ำหนักได้ดี
- ใช้พื้นที่ประโยชน์ใช้สอยได้มาก
- มีน้ำหนักเบากว่าทำให้ประหยัดเชื้อเพลิง
- เหมาะกับการผลิตจำนวนมาก ๆ

ข้อเสียของโครงสร้างแบบโมโนค็อก

- การผลิตมีขั้นตอนมาก ต้นทุนสูง
- มีชิ้นส่วนมาก
- อายุการใช้งานน้อยกว่า

ตาราง 2.1 วิเคราะห์และสรุปผลข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้าง

โครงสร้างที่นำมาพิจารณา 1. แบบแซตชีส์

2. แบบโมโนค็อก

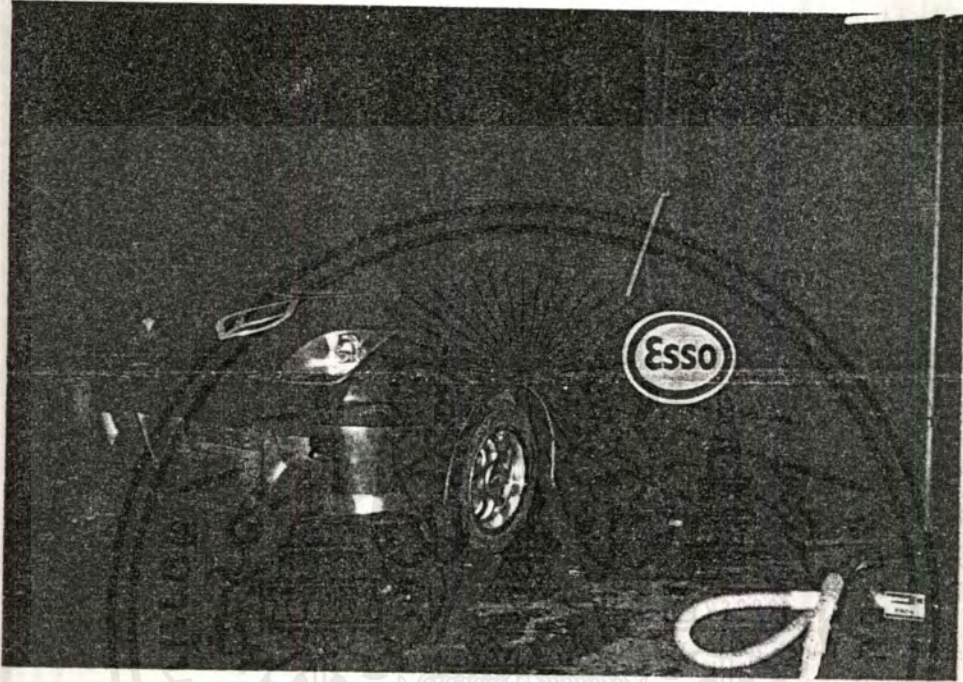
ข้อพิจารณา	ค่าความสำคัญ	แซตชีส์	โมโนค็อก
ความแข็งแรง	4	4	3
น้ำหนักเบา	4	2	4
ใช้พื้นที่ใช้สอยคุ้มค่า	4	3	4
ซ่อมแซมง่าย	3	3	2
มีการกระจากน้ำหนักดี	3	2	3
ต้นทุนการผลิตต่ำ	3	3	2
	รวม	60	65

สรุป เลือกโครงสร้างแบบ แซตชีส์ ใช้ไฟเบอร์กลาสทำตัวถัง

2.4 ขอบเขตของรถไฟฟ้า อาจกล่าวคร่าว ๆ ได้ดังนี้

โครงสร้าง	แบบแซตชี
ตัวถังรถ	ทำด้วยไฟเบอร์กลาส
ระบบขับเคลื่อน	ใช้มอเตอร์อินดักชัน
ระบบควบคุมความเร็ว	มีอินเวอร์เตอร์เป็นตัวควบคุม โดยมีเบตเตอร์ เป็นแหล่งจ่ายไฟ DC ให้กับอินเวอร์เตอร์
คันเร่ง	นำที่ถีบจักรของจักรเย็บผ้ามาประยุกต์ใช้
ระบบปรับอากาศ	นำเครื่องย่นคัมอเตอร์ไซค์มาปั่นคอมเพรสเซอร์แอร์ พร้อมทั้งปั่นไคซาร์จ ไปชาร์จเบตเตอร์อีกด้วย

ในส่วน of รายละเอียดของแต่ละระบบนั้นจะได้กล่าวในบทต่อไป



รูป 2.5 รถไฟฟ้า AC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

มอเตอร์อินดักชัน

(Induction Motor)

3.1 บทนำ

ปกติเครื่องกลอินดักชันเป็นได้ทั้งมอเตอร์และเครื่องกำเนิดแต่ถ้านำมาใช้เป็นเครื่องกำเนิดจะมีข้อเสียมากจึงไม่ค่อยนิยมใช้กัน ดังนั้นเมื่อกล่าวถึงเครื่องกลอินดักชัน จึงมักหมายถึงมอเตอร์อินดักชัน

คำว่า "อินดักชัน" (induction) หมายถึงการเหนี่ยวนำบางครั้งเราเรียกมอเตอร์อินดักชันว่า มอเตอร์เหนี่ยวนำ สาเหตุที่เรียกเช่นนี้เพราะการหมุนของมอเตอร์ดังกล่าว เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กหมุนของขดลวดที่สเตเตอร์ที่มีต่อตัวนำในโรเตอร์



รูป 3.1 มอเตอร์อินดักชัน

มอเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนมากเป็นมอเตอร์อินดักชัน 3 เฟส เพราะมอเตอร์ชนิดนี้มีราคาไม่แพงมากนัก ต้องการการดูแลรักษาน้อยและมีความเร็วเกือบคงที่ คือ ความเร็วลดลงจากสภาพไม่มีโหลดจนกระทั่งขั้วโหลด เต็มที่เพียงไม่กี่เปอร์เซ็นต์ แต่มีข้อเสียคือ

1. ความคุมความเร็วได้ยาก
2. ขณะมีโหลดน้อยจะทำงานที่ power factor ต่ำและต่ำหลัง
3. กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุน มักจะเป็น 5 เท่า หรือ 7 เท่าของกระแสไฟฟ้า ขณะขั้วโหลด

เต็ม(หรือกระแสไฟฟ้าที่พิกัด)

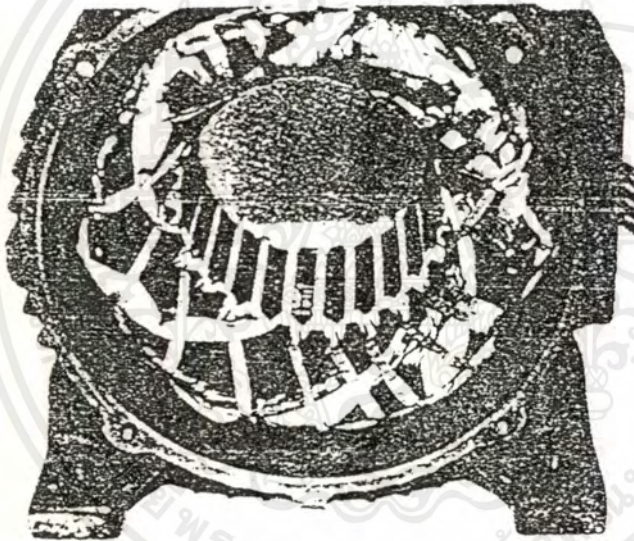
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 โครงสร้างของมอเตอร์อินดักชัน 3 เฟส

(Induction Motor Construction)

มอเตอร์อินดักชันมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ส่วนอยู่กับที่ (stator) และ ส่วนที่หมุน (rotor)

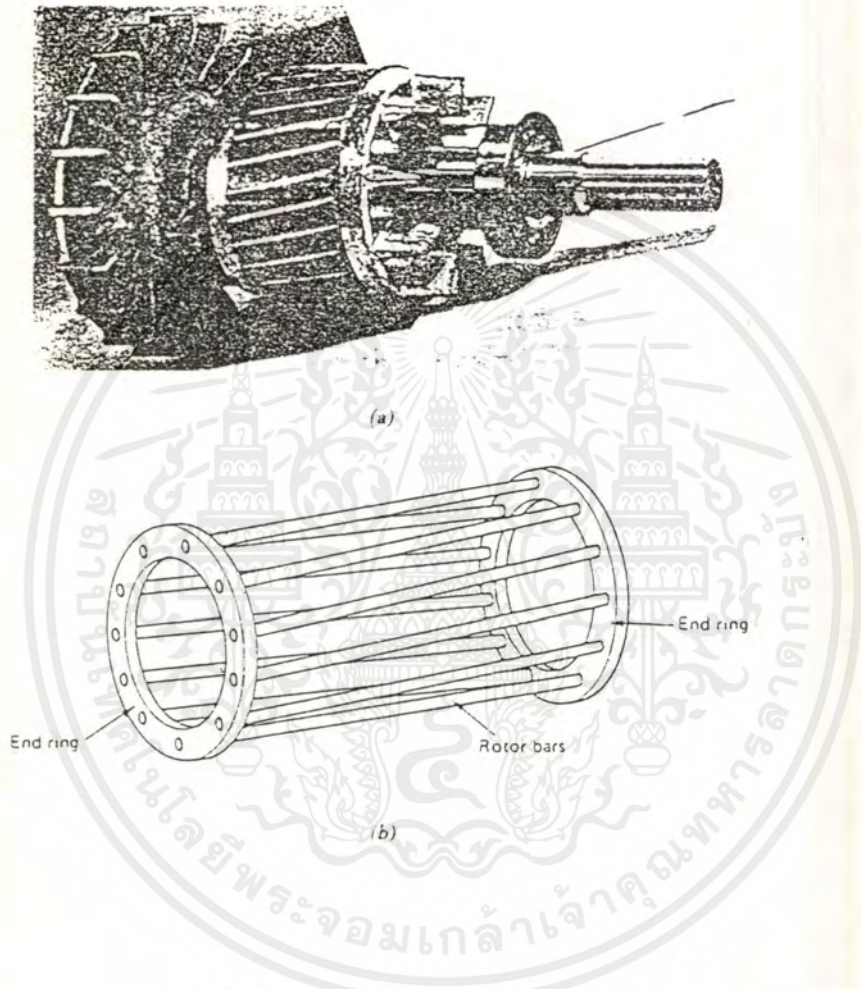
-สเตเตอร์มีหน้าที่ยึดขดลวดอาร์เมเจอร์ที่บรรจุอยู่ในสล็อต ทำด้วยแผ่นลามิเนตบางๆ อัดเป็นรูปทรงดังรูป 3.2



รูป 3.2 แสดงถึงสเตเตอร์ของมอเตอร์อินดักชัน

-โรเตอร์แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

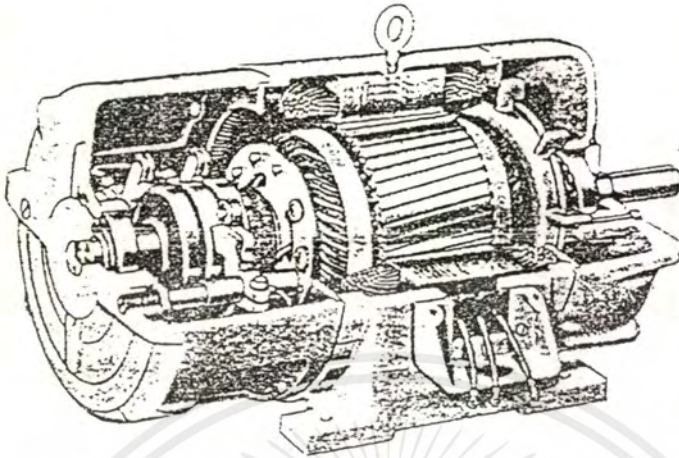
1. แบบกรงกระรอก (squirrel cage) มีแท่งตัวนำ (rotor bar) คล้ายกรงกระรอก ฝังอยู่ในโรเตอร์ ที่ปลายทั้งสองด้านของแท่งตัวนำถูกัดวงจรด้วยตัวนำรูปวงแหวน (End ring) ดังรูป 3.3



รูป 3.3 แสดงโรเตอร์แบบกรงกระรอก

แท่งนำของโรเตอร์มักมีลักษณะเฉียงเพราะจะทำให้โรเตอร์หมุนได้ราบเรียบและลดปัญหาเสียงฮัมของแม่เหล็ก (magnetic hum)

2.แบบขดลวดพันรอบโรเตอร์ (wound rotor) โรเตอร์แบบนี้แตกต่างกับแบบกรงกระรอก คือ มีขดลวดทองแดงพันรอบตัวโรเตอร์ ส่วนปลายของขดลวดนี้จะ ต่อกับสลีบริงซึ่งมีแปรงถ่านติดตั้งอยู่คงรูป และมีข้อจำกัดคือ โรเตอร์ต้องมีจำนวนขั้วเท่ากับจำนวนขั้วที่เกิดจากสเตเตอร์



รูป 3.4 แสดง โรเตอร์แบบพันขดลวด

3.3 หลักการทำงาน

(Principle of Operation)

ถ้าจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสให้ขดลวดอาร์เมเจอร์ที่สเตเตอร์ จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนเมื่อฟลักแม่เหล็กของสนามแม่เหล็กหมุนเคลื่อนตัวตัดตัวนำที่ฝังอยู่ในโรเตอร์จะเกิดการเหนี่ยวนำ และเนื่องจากโรเตอร์ถูกมัดวงจรจึงเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำและแรงบิดเป็นผลให้โรเตอร์หมุนไปในทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กหมุน กล่าวคือ

สนามแม่เหล็กหมุนดังกล่าวจะหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส (N_s) ซึ่งหาค่าได้จาก

$$N_s = \frac{120f_e}{P} \dots\dots\dots(3.1)$$

P

เมื่อ

f_e = ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์

P = จำนวนขั้วของมอเตอร์

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ที่ตัวนำของโรเตอร์ (e_{ind}) หาค่าได้ดังนี้

$$e_{ind} = (v * BS).l \dots\dots\dots (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

v = ความเร็วของโรเตอร์

BS = ความหนาแน่นของฟลักแม่เหล็กของขดลวดที่สเตเตอร์

l = ความยาวของโรเตอร์

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะสร้างกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดความหนาแน่นของฟลักแม่เหล็กในตัวนำของโรเตอร์ (BR) และเกิดปฏิสัมพันธ์กับความหนาแน่นของฟลักแม่เหล็กของสเตเตอร์จึงเกิดแรงบิดที่โรเตอร์ (TdR) ซึ่งหาค่าได้ดังนี้

$$TdR = kBR * BS \dots\dots\dots(3.3)$$

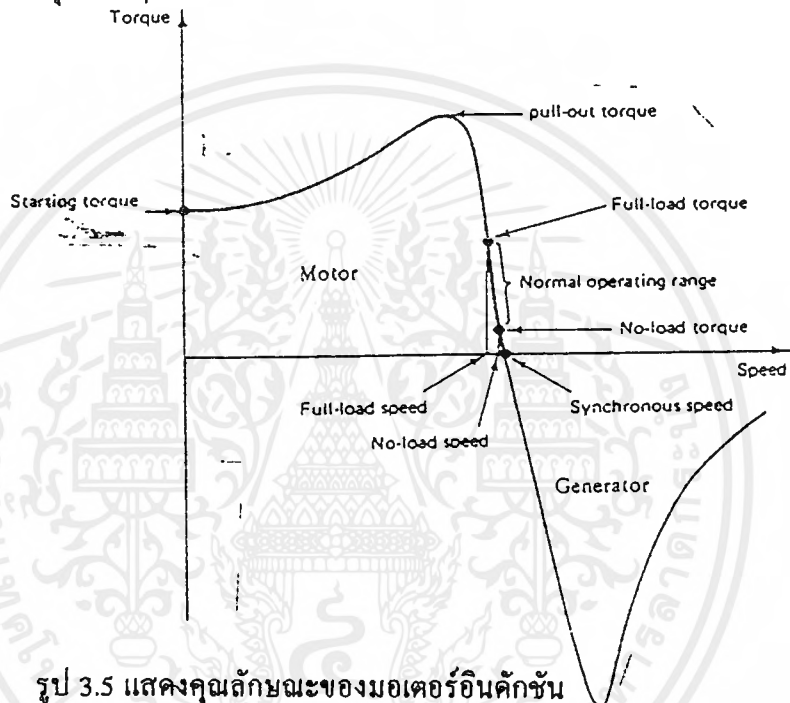
แรงบิด TdR จะทำให้โรเตอร์หมุนไปด้วยความเร็วต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัส ถ้าความเร็วของโรเตอร์เท่ากับความเร็วซิงโครนัส ค่า $eind$ และ TdR จะเท่ากับศูนย์ โรเตอร์จึงหยุดหมุน ดังนั้นการเร่งความเร็วของมอเตอร์อินดักชันจึงไม่สามารถทำให้ความเร็วของโรเตอร์เท่ากับความเร็วซิงโครนัสได้

การกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์อินดักชันทำได้ง่ายเพียงแต่สลับสายไฟคู่ใดคู่หนึ่ง ที่จ่ายให้ขดลวดที่สเตเตอร์เท่านั้นก็จะทำให้สนามแม่เหล็กหมุนและโรเตอร์หมุนกลับทิศทางได้นับว่าเป็นข้อดีอีกข้อหนึ่งของมอเตอร์ชนิดนี้

3.4 คุณสมบัติ

(Induction Motor Characteristic)

มอเตอร์อินดักชันแบบ wound rotor ที่ปรับความเร็วได้จะให้ความต้านทานที่ปรับค่าจากภายนอกได้ค่าอนุกรมเข้ากับขั้วลวดโรเตอร์หรือเพิ่มแรงบิดเริ่มต้นหมุนมอเตอร์แบบนี้ไปใช้กับโหลดที่ต้องเริ่มหมุนบ่อยๆ เช่น ปั่นจั่น เป็นต้น



รูป 3.5 แสดงคุณสมบัติของมอเตอร์อินดักชัน

ส่วนงานที่ต้องการกำลังกลค่อนข้างคงที่และเริ่มหมุนไม่บ่อยนัก เช่น มอเตอร์ที่ใช้ขับปั๊มเครื่องเป่าอากาศ พัดลม เป็นต้น จะใช้มอเตอร์อินดักชันที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก จากรูป เป็น curve แสดงคุณสมบัติแรงบิด-ความเร็วในมอเตอร์อินดักชัน 3 เฟสทำให้ทราบข้อมูลในการทำงานของมอเตอร์อินดักชันดังนี้

1. แรงบิดที่เกิดขึ้น (developed torque) เป็นศูนย์ที่ความเร็วซิงโครนัส
2. curve แรงบิด-ความเร็วเป็นเชิงเส้นในช่วงระหว่างแรงบิดขณะไม่มีโหลด (no load torque) เราเรียกช่วงนี้ว่า ย่านทำงานปกติ (normal operating range) ของมอเตอร์
3. มีแรงบิดสูงสุด (maximum torque ; T_{max} ซึ่งบางครั้งเรียกว่า pull-out torque) เป็น 2-3 เท่าของแรงบิดที่พิกัดขณะจ่ายโหลดเต็มที่
4. มีแรงบิดเริ่มต้นหมุน (starting torque) มากกว่าแรงบิดที่พิกัดเล็กน้อย ดังนั้นมอเตอร์จึงเริ่มหมุนได้ทันที โดยแรงบิดที่โหลดนั้นจะต้องไม่มากกว่าแรงบิดที่พิกัด

5. การสลับสายคู่ใดคู่หนึ่งจะทำให้สนามแม่เหล็กเปลี่ยนทิศทางมอเตอร์จึงหมุนกลับทิศทางได้ แต่ก่อนที่จะกลับทิศทางนั้นจะมีอยู่จุดหนึ่งที่มอเตอร์หยุดอยู่กับที่อย่างรวดเร็วซึ่ง เราเรียกว่า plugging ซึ่งนำไปสู่หลักการควบคุมมอเตอร์แบบหนึ่ง

6. ถ้าโรเตอร์ของมอเตอร์อินดักชันถูกขับเคลื่อนด้วยความเร็วสูงกว่าความเร็วซิงโครนัส แรงบิดที่เกิดขึ้นในโรเตอร์จะกลับทิศทางและมอเตอร์ดังกล่าวจะทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเปลี่ยนกำลังกลเป็นกำลังไฟฟ้า

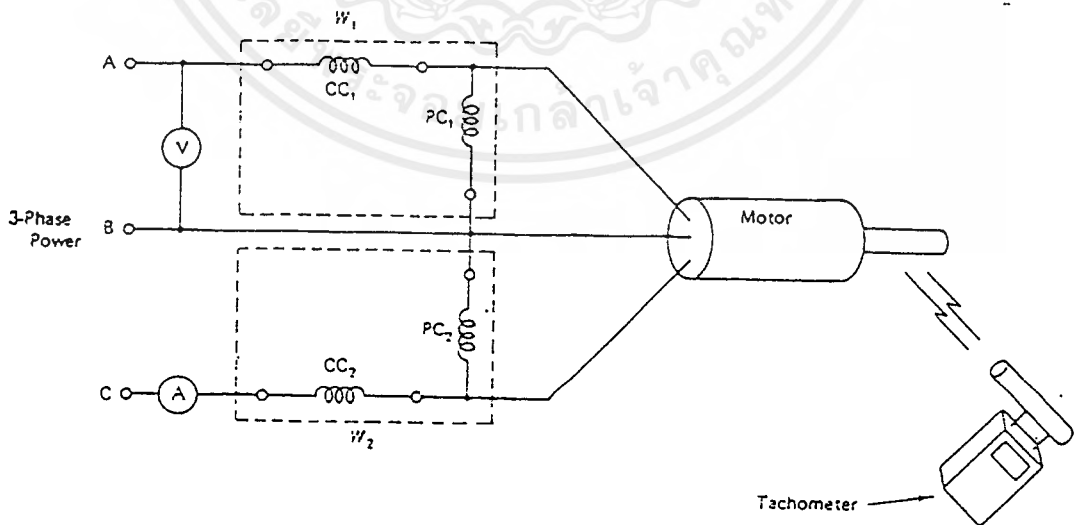
3.5 การหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรเทียบเคียง

(Determination of Equivalent Circuit Parameters)

การคำนวณคุณลักษณะของมอเตอร์อินดักชันจะต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ มอเตอร์อินดักชันลงในวงจรเทียบเคียง ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้หาได้จากการทดสอบขณะไม่มีโหลด และทดสอบยัดโรเตอร์ ซึ่งเปรียบได้กับการทดสอบเปิดวงจรและการทดสอบลัดวงจรในหม้อแปลงไฟฟ้า

การทดสอบขณะไม่มีโหลด

(No-load Test)



รูป 3.6 แสดงการทดสอบขณะไม่มีโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบนี้ต้องจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่พิกัดให้กับขลวดที่สเตเตอร์ขณะไม่มีโหลดต่อที่แกนของมอเตอร์ ดังรูปค่าที่ต้องการทราบคือ

V_{nl} = แรงดันไฟฟ้าที่สายของสเตเตอร์ (อ่านได้จากโวลมิเตอร์ : V)

I_{nl} = กระแสไฟฟ้าที่สาย (อ่านได้จากแอมมิเตอร์ : A)

P_{nl} = กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ขณะไม่มีโหลดทั้ง 3 เฟส (อ่านได้จากผลรวมของวัตต์มิเตอร์ทั้ง 2 ตัว หรือ $P_{nl} = W_1 + W_2$)

การทดสอบนี้ไม่มีโหลดต่ออยู่ที่แกน ดังนั้นความเร่งของแกนโรเตอร์ (N_r) จึง (วัดได้จาก Tachometer) ส่งผลให้ค่าสลิปต่ำ (จากสมการ $S = N_s - N_r / N_s$) นอกจากนี้กระแสไฟฟ้าของโรเตอร์มีค่าต่ำทำให้กำลังสูญเสียในขลวดทองแดงของโรเตอร์ (P_{cur}) มีค่าต่ำมาก (จากสมการ $P_{cur} = (I_r)^2 R_r$) เราจึงไม่คิดค่ากำลังสูญเสียในส่วนนี้ ดังนั้น P_{nl} จึงประกอบด้วยกำลังสูญเสียในแกนเหล็ก (P_{core}), กำลังสูญเสียทางกล (P_{mech}) และกำลังสูญเสียในขลวดทองแดงของสเตเตอร์ทั้ง 3 เฟส เขียนเป็นสมการได้ดังนี้ คือ

$$P_{cus} = 3 (I_{nl})^2 R_s \quad \dots\dots\dots(3.4)$$

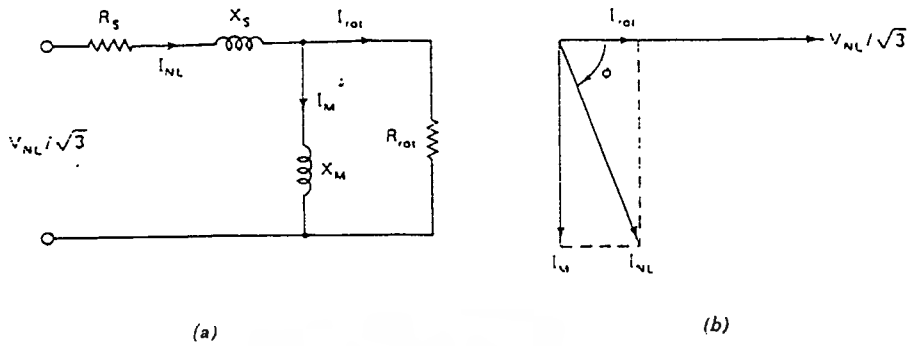
$$P_{nl} = P_{core} + P_{mech} + 3 (I_{nl})^2 R_s \quad \dots\dots\dots(3.5)$$

ผลรวมของ P_{mech} และ P_{core} เราเรียกว่ากำลังสูญเสียในการหมุน (rotational loss ; P_{rot}) ซึ่งเป็นค่าคงที่หาได้จาก

$$P_{rot} = P_{nl} - 3 (I_{nl})^2 R_s \quad \dots\dots\dots(3.6)$$

ความต้านทานของสเตเตอร์ (R_s) หาค่าได้จากการวัดความต้านทานของขลวดที่สเตเตอร์ (Resistance Test) ดังที่อธิบายในหัวข้อต่อไป

สำหรับวงจรเทียบเคียงของมอเตอร์อินดักชันในการทดสอบขณะไม่มีโหลดคงรูป



รูป 3.7 แสดงวงจรเทียบเคียงของมอเตอร์อินดักชันในการทดสอบขณะไม่มีโหลด
 ขณะไม่มีโหลด มอเตอร์ชนิดนี้มีค่า power factor ต่ำแสดงว่าองค์ประกอบของวงจรเทียบ
 เคียงส่วนใหญ่เป็นรีแอกแตนซ์ ซึ่งย่อหมายถึงรีแอกแตนซ์ที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก (X_m)
 เพราะค่า R_s และ X_s มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับ X_m [ถ้าเป็นมอเตอร์แบบดั้งเดิม
 (conventional motor) ค่า $X_m \gg X_s$] ดังนั้นกระแสไฟฟ้า I_m จะต้องล่าหลังแรงดันไฟฟ้า
 V_{NL} เขียนเฟสเซอร์ไดอะแกรมได้ดังรูป

แต่สำหรับความต้านทานที่เป็นองค์ประกอบของ P_{rot} (คือ R_{rot}) จะมีค่าสูงเมื่อ
 เทียบกับ X_m ทำให้กระแสไฟฟ้าที่เป็นองค์ประกอบของ P_{rot} (คือ I_{rot}) มีค่าต่ำ
 มาก เมื่อเทียบกับ I_m ซึ่งแสดงว่าภายใต้ข้อสมมตินี้จะได้ว่า

$$X_m = V_{NL} / \sqrt{3} I_m \dots\dots\dots (3.7)$$

เมื่อ

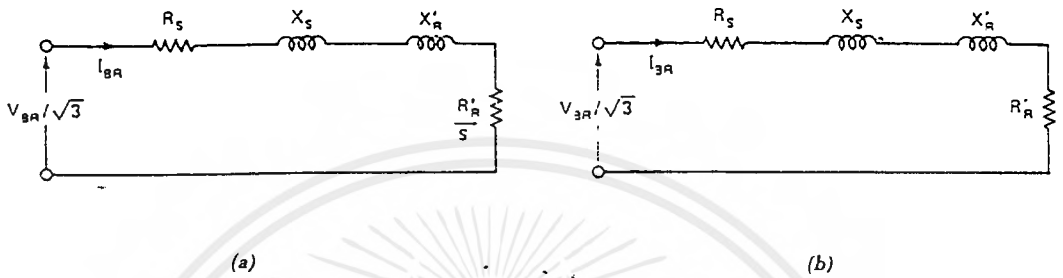
X_m = รีแอกแตนซ์ที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก

การทดสอบซีคโรเตอร์

(Blocked-rotor Test)

ขณะทำการทดสอบจะต้องปรับแรงดันไฟฟ้าจนได้กระแสไฟฟ้าที่พิกัดของสเตเตอร์
 (เช่นเดียวกับกรณีทดสอบลัดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้า) สมมติแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้
 การทดสอบมีค่า 10-20 % ของแรงดันไฟฟ้าที่พิกัด ฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่ Air gap
 มีค่าน้อยแสดงว่า X_m มีปริมาณมากกว่าปกติ ดังนั้นเราจึงไม่สนใจค่า X_m ทำให้เขียน
 วงจรเทียบเคียงได้ใหม่ดังรูป และเนื่องจากการทดสอบนี้โรเตอร์ถูกยึดไม่ให้หมุน ($N_r = 0$)

ทำให้ค่าสลิปเท่ากับ 1 หรือ 100 % ส่งผลให้ $R'_R / s = R'_R$ จึงเขียนวงจรเทียบเคียงใหม่ดังรูป



รูป 3.8 แสดงวงจรเทียบเคียงการทดสอบยัดโรเตอร์

การทดสอบนี้ทำเพื่อหาค่าต่อไปนี้

V_{BR} = แรงดันไฟฟ้าที่สายขมะยัดโรเตอร์

I_{BR} = กระแสไฟฟ้าที่สายขมะยัดโรเตอร์

P_{BR} = กำลังไฟฟ้าทั้งสามเฟสขมะยัดโรเตอร์

เมื่อทราบค่าดังกล่าวประกอบกับการพิจารณารูป ทำให้หาค่าเทียบเคียงของมอเตอร์

ดังนี้คือ

$$Z_e = \frac{V_{BR}}{\sqrt{3} I_{BR}} = (R_s + R'_r) + j(X_s + X'_r) \quad \dots\dots(3.8)$$

$$R_e = \frac{P_{BR}}{3 (I_{BR})^2} = R_s + R'_r \quad \dots\dots(3.9)$$

$$X_e = \sqrt{Z_e^2 - R_e^2} = X_s + X'_r \quad \dots\dots(3.10)$$

เมื่อ

Z_e = อิมพีแดนซ์เทียบเคียงต่อเฟสของมอเตอร์

R_e = ความต้านทานเทียบเคียงต่อเฟสของมอเตอร์

X_e = รีแอกแตนซ์เทียบเคียงต่อเฟสของมอเตอร์

Z_s = อิมพีแดนซ์ต่อเฟสของขดลวดที่สเตเตอร์



R_s = ความต้านทานต่อเฟสของขดลวดที่สเตเตอร์

X_s = รีแอกแตนซ์ต่อเฟสของขดลวดที่สเตเตอร์

การวัดค่า R_s จะแยกต่างหากทำให้ได้ความต้านทานของโรเตอร์ที่ย้ายค่ามายังด้านสเตเตอร์ (R_r) มีค่าเป็น

$$R_r = R_e - R_s \quad \dots\dots\dots(3.11)$$

มีข้อสมมติเกี่ยวกับมอเตอร์แบบ wound rotor ที่ยอมรับกันทั่วไปว่า

$$X_s = X_r = 0.5 X_e \quad \dots\dots\dots(3.12)$$

การหาค่ารีแอกแตนซ์และความต้านทานที่แท้จริงของโรเตอร์ (X_r และ R_r) จะต้องทราบค่า X_r และ R_r รวมทั้งค่าอัตราส่วนจำนวนรอบของขดลวดหรืออัตราส่วนของการย้ายค่า (turnsratio or transformation ratio ; a) เสียก่อน

การหาค่า a ทำได้เช่นกับหม้อแปลงไฟฟ้า คือ ใช้อัตราส่วนระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่สายที่จ่ายให้กับสเตเตอร์ (V_L) กับแรงไฟฟ้าที่โรเตอร์หรือแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากสลิตบริง(VSR)หรือหาได้จากอัตราส่วนจำนวนรอบของขดลวดทั้งสองซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$a = V_L / VSR = N_s / N_r \quad \dots\dots\dots(3.13)$$

เมื่อ N_s = จำนวนรอบของขดลวดต่อเฟสในสเตเตอร์

N_r = จำนวนรอบของขดลวดต่อเฟสในโรเตอร์

เมื่อนำหลักการย้ายค่าของหม้อแปลงไฟฟ้ามาใช้ ค่ารีแอกแตนซ์ที่แท้จริงของโรเตอร์ (X_r) จึงมีค่าเป็น

$$X_r = X_r' / a^2 \quad \dots\dots\dots(3.14)$$

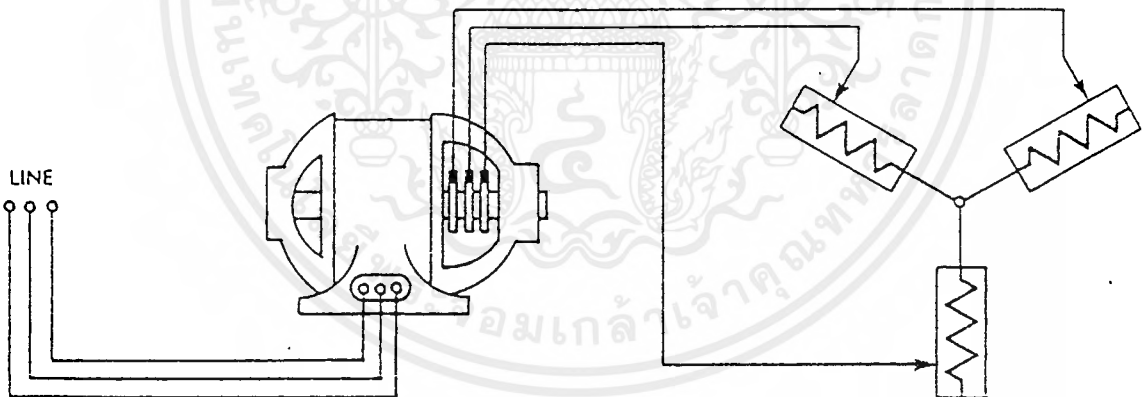
ในการทำงานเดียวกัน ความต้านทานแท้จริงของโรเตอร์ (R_r) จะมีค่าเป็น

$$R_r = R'_r / a^2 \quad \dots\dots\dots(3.15)$$

3.6 เทคนิคการเริ่มต้นหมุน (Induction Motor Starting Technique)

มอเตอร์อินดักชันมีโรเตอร์ 2 ชนิด คือ แบบ wound rotor และแบบกรงกระรอก โดยมอเตอร์แบบ wound rotor มีสลิบริงและแปรงถ่าน ส่วนอีกแบบหนึ่งจะไม่มีในการอธิบายเกี่ยวกับเทคนิคการเริ่มต้นหมุนนั้นจะกล่าวถึงมอเตอร์ที่มีสลิบริงและไม่มีสลิบริงแยกกันเพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น

1. เทคนิคในการเริ่มต้นหมุนมอเตอร์อินดักชันที่มีสลิบริงทำได้โดยต่อความต้านทานที่ปรับค่าได้จากภายนอกอนุกรมกับขดลวดที่โรเตอร์ (โดยผ่านสลิบริง) ทั้ง 3 เฟสแล้วลัดวงจรที่จุดต่อร่วมดังรูป



รูป 3.9 เทคนิคในการเริ่มต้นหมุนโดยการต่อความต้านทานภายนอก

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่พิกัดให้ขดลวดที่สเตเตอร์ กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุนจะถูกจำกัดให้มีค่าต่ำลงเนื่องจากความต้านทานดังกล่าว ถ้าปรับค่าความต้านทานลดลงเรื่อย ๆ ความเร็วของมอเตอร์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และเมื่อปรับความต้านทานให้มีค่าเท่ากับ 0 มอเตอร์ก็จะหมุนด้วยความเร็วที่พิกัด

2. เทคนิคในการเริ่มต้นหมุนมอเตอร์อินดักชันที่ไม่มีสลิบริง ทำได้ 3 วิธีคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ต่อมอเตอร์โดยตรงกับสาย
- ควบคุมแรงดันไฟฟ้าขณะเริ่มต้นหมุน
- ต่อขดลวดแบบ Y - DELTA

ต่อมอเตอร์โดยตรงกับสาย (across the line starting)

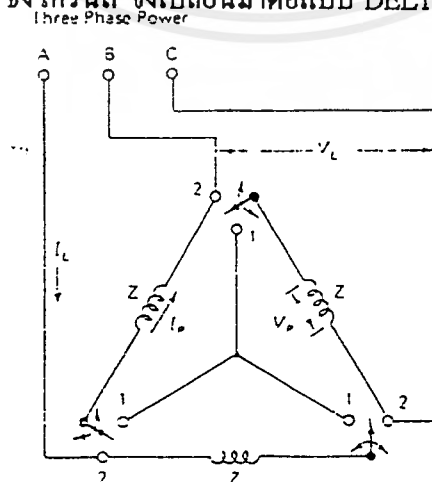
เทคนิคนี้จะมีปัญหาเกี่ยวกับค่ากระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุนเพราะมอเตอร์ขณะเริ่มต้นหมุนจะใช้กระแสไฟฟ้า 5-10 เท่า ของกระแสไฟฟ้าขณะขับโหลดเต็มที่เช่น มอเตอร์มีขนาด 220V. และกระแสไฟฟ้าขณะขับโหลดเต็มที่ 10A ต้องใช้กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุน 50-100A ถ้ากระแสไฟฟ้าขณะขับโหลดเต็มที่ที่มีขนาด 50A ต้องใช้กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุน 250-500A ทั้งนี้ ลักษณะเช่นนี้จะทำให้เกิดปัญหาต่าง ๆ เช่น การมีคลื่นชั่วขณะของแสงสว่างและการตัดอัตโนมัติของอุปกรณ์ป้องกัน ดังนั้นการเริ่มต้นหมุนแบบนี้จึงใช้ได้กับมอเตอร์ขนาดเล็กที่มีพิกัดไม่เกิน 5 hp หรือ 3.5 kW เท่านั้น

ควบคุมแรงดันไฟฟ้าขณะเริ่มต้นหมุน

วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดซึ่งใช้ในห้องทดลอง คือการใช้ variac 3 เฟส ปรับค่าแรงดันไฟฟ้า หรือการใช้ autotransformer 3 เฟส ที่ปรับค่าได้ด้วยมือ

ต่อขดลวดแบบ Y - DELTA(wye-delta starting)

วิธีการ คือ ขณะเริ่มต้นหมุนขดลวดที่สเตเตอร์จะต่อแบบ Y เมื่อความเร็วของมอเตอร์เป็น 75% ของความเร็วซิงโครนัส จึงเปลี่ยนมาต่อแบบ DELTA ด้วยสวิตช์ที่อยู่ใน relay



รูป 3.10 เทคนิคในการเริ่มต้นหมุนในการต่อขดลวดแบบ Y - Δ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(คังรูป; เมื่อสวิตช์อยู่ที่ตำแหน่ง 1 ขดลวดที่สเตเตอร์ จะต่อแบบ Y และเมื่อสวิตช์อยู่ที่ตำแหน่ง 2 ขดลวดที่สเตเตอร์จะต่อแบบ DELTA) วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้ในทางปฏิบัติจริง

ขณะเริ่มต้นหมุนเหตุผลที่ต่อขดลวดแบบ Y ก็เพราะจะทำให้กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุน มีค่าต่ำกว่าการต่อขดลวดแบบ DELTA การพิสูจน์ว่าเมื่อต่อขดลวดที่สเตเตอร์แบบ Y กระแสไฟฟ้าขณะเริ่มต้นหมุนต่ำกว่าการต่อแบบ DELTA ทำได้โดยพิจารณา

เมื่อ

V_L = แรงดันไฟฟ้าที่สาย

V_p = แรงดันไฟฟ้าที่เฟส

Z = อิมพีแดนซ์ต่อเฟส

I_L = กระแสไฟฟ้าที่สาย

I_p = กระแสไฟฟ้าที่เฟส

การเริ่มต้นหมุนที่ต่อขดลวดแบบ Δ

$$I_p = V_L / Z \quad \text{.....(3.16)}$$

$$I_{L\Delta} = \sqrt{3} I_p = \sqrt{3} V_L / Z \quad \text{.....(3.17)}$$

การเริ่มต้นหมุนที่ต่อขดลวดแบบ Y

$$V_p = V_L / \sqrt{3} \quad \text{.....(3.18)}$$

$$I_p = V_p / Z \quad \text{.....(3.19)}$$

$$I_{LY} = I_p = V_L / \sqrt{3} Z \quad \text{.....(3.20)}$$

หารกระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุนขณะที่ต่อขดลวดแบบ Y ด้วยกระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุนขณะ

ที่ต่อขดลวดแบบ Δ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{LY} / I_{L\Delta} = (V_L / \sqrt{3} Z) / (\sqrt{3} V_L / Z) \dots\dots\dots(3.21)$$

$$= 1 / \sqrt{3} \sqrt{3} = 1 / 3$$

$$I_{LY} = 1 / 3 I_{L\Delta} \dots\dots\dots(3.22)$$

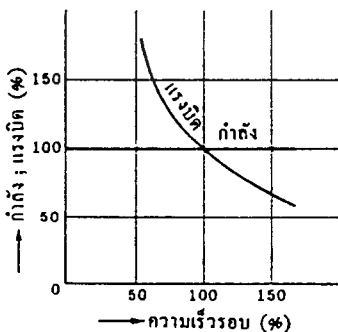
จะเห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุนของการต่อขดลวดแบบ Y เป็น 1/3 ของการต่อขดลวดแบบ DELTA

แต่อย่างไรก็ตามการต่อขดลวดแบบ Y จะมีแรงบิดเริ่มต้นหมุนต่ำกว่าแรงบิดที่พิกัด 1/3 เท่า ทั้งนี้เพราะแรงบิดเริ่มต้นหมุนจะเป็นสัดส่วนกับแรงดันไฟฟ้าที่สายขดกำลัง 2 นอกจากนี้การต่อขดลวดแบบ Y นั้น มีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดที่สเตเตอร์เท่ากับ $V_L / \sqrt{3}$

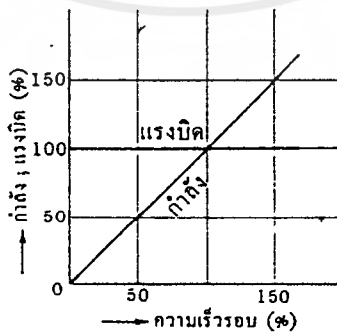
3.7 การพิจารณาวิเคราะห์สมบัติของโหลด

1. สมบัติแรงบิด-ความเร็วรอบ

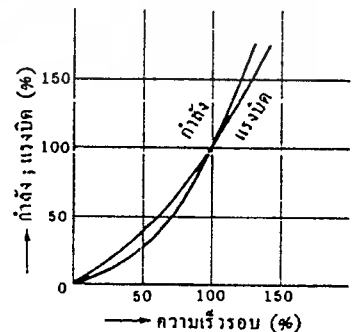
ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของโหลดและแรงบิดที่ใช้ในการขับโหลดที่ความเร็วต่างๆ เรียกว่า สมบัติความสัมพันธ์ความเร็วรอบ-แรงบิดของโหลด เครื่องจักรโหลดมีสมบัติความเร็วรอบ-แรงบิด ตามสภาพเฉพาะของโครงสร้าง, สมบัติขณะเดินเครื่อง ฯลฯ ซึ่งจะเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการเลือกใช้มอเตอร์



(ก) ชนิดโหลดมีกำลังคงที่



(ข) ชนิดโหลดมีแรงบิดคงที่



(ค) ชนิดโหลดมีแรงบิดลดลงเป็นกำลังสองของความเร็วรอบ

รูป 3.11 สมบัติความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ และแรงบิดขณะโหลดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.1 สมบัติแรงบิด - ความเร็วรอบของโหลด

สมบัติ	ความเกี่ยวข้องระหว่างความเร็วรอบและแรงบิด หรือกำลัง		ตัวอย่างโหลด
	กับแรงบิด	กับกำลัง	
โหลด กำลังคงที่	แรงบิดแปรกับความ เร็วรอบ $T \propto \frac{1}{n}$	กำลังคงที่ $P = \text{คําคงค่า}$	(โหลดแบบพิเศษ) บันจัน, เครื่องปั้นไฟแบบกำลังคงที่, เครื่องไสดัดเหล็ก
โหลด แรงบิดคงที่	แรงบิดคงที่ $T = \text{คําคงค่า}$	กำลังแปรตามความเร็ว รอบ $P \propto n$	(โหลดความฝืดต่าง ๆ โหลดแรงดึงดู น้ำหนัก ฯลฯ) สายพานส่งของเครื่องพิมพ์, เครื่องทำกระดาษ, เครื่องปั้นด้วย, เครื่อง กระทุ้งอัดโนมิต, บีมลูกสูบ
ขณะแปรตามกำลังสองของ ความเร็วรอบ เมื่อแรงบิด โหลดลดลง	แรงบิดแปรตามกำลัง สองของความเร็วรอบ $T \propto n^2$	กำลังแปรตามกำลังสาม ของความเร็วรอบ $P \propto n^3$	(โหลดของโหลด) โบลเวอร์ บีมแรงเหวี่ยง

2. แรงบิดขณะเริ่มสตาร์ทและแรงบิดสูงสุดของเครื่องจักรโหลด

ในการเลือกมอเตอร์ค่าแรงบิดขณะเริ่มสตาร์ท และแรงบิดสูงสุดของเครื่องจักรโหลด และขนาดกำลัง ที่มีอยู่มีส่วนในการพิจารณารวมอย่างละเอียดเพื่อใช้ในการเลือกมอเตอร์ ให้มีสมบัติแรงบิดที่เหมาะสม ขนาดของแรงบิดขณะเริ่มสตาร์ทและแรงบิดสูงสุดของมอเตอร์มักแสดงไว้ในรูปเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบให้ค่าแรงบิดเต็มพิกัดเป็น 100% ถ้าทราบพิกัดกำลัง (kw) และพิกัดความเร็วรอบ (รอบต่อนาที) ซึ่งบอกไว้ที่ป้ายชื่อค่าของแรงบิดเต็มพิกัดจะสามารถหาได้จากการคำนวณโดยอาศัยสมการ

$$\text{ค่าแรงบิดเต็มพิกัด} = \frac{\text{ค่าพิกัดกำลัง(kw)}}{\text{ค่าความเร็วรอบเต็มพิกัด(rpm)}} * 974(\text{kg/m})$$

3. สมบัติแรงบิดที่ต้องการในการเดินเครื่องอย่างมีประสิทธิภาพ

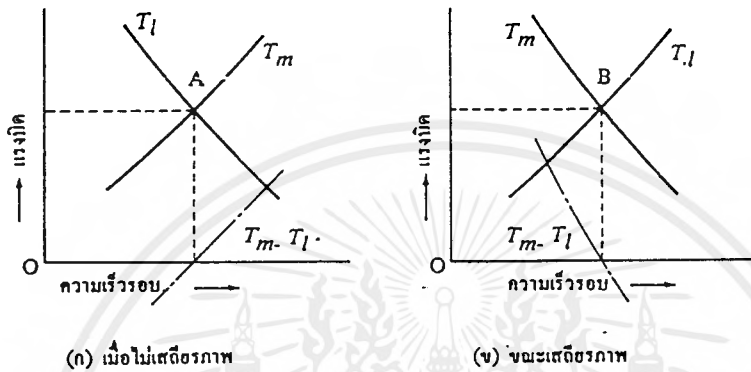
ถ้าที่เพลลาของมอเตอร์มีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยรวมเท่ากับ J (kg m^2) และมีค่าแรงบิดของมอเตอร์เท่ากับ T_m (Nm) และมีค่าแรงบิดที่ต้องการของโหลดเท่ากับ T_l (Nm) สมการของการเคลื่อนที่จะได้เป็น

$$J a \theta = T_m - T_l$$

เมื่อ $a \theta$ เป็นค่าอัตราเร่งเชิงมุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า $T_m = T_l$ ที่จุดความเร็วรอบอันใดอันหนึ่งจะทำให้ $a\theta = 0$ ทำให้ไร้อัตราเร่งและการเดินเครื่องใช้งานก็จะอยู่ในสภาพสมดุลที่จุดดังกล่าว (จุด A หรือ B ของรูป 3.12)



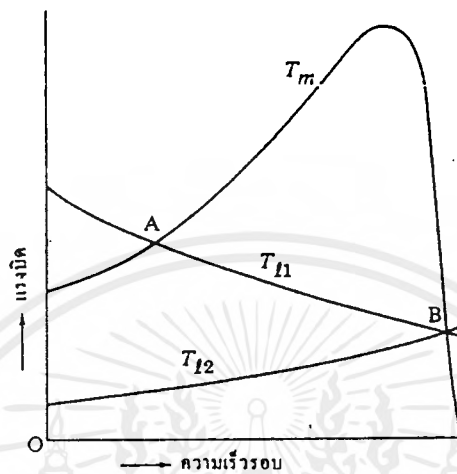
รูป 3.12 จุดสมดุล

อย่างไรก็ดีถ้าความเร็วรอบเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ดูรูป 3.12 ก) จะทำให้ $T_m - T_l$ เพิ่มขึ้นทำให้เกิด ความเร่งซึ่งจะทำให้เกิดการเสถียรภาพขึ้นคั้งนั้นมอเตอร์ที่มีสมบัติแรงบิดคั้งแสดงไว้จะไม่เหมาะสมกับโหลดซึ่งมีสมบัติแรงบิดคั้งกล่าวเช่นกัน

ในการเดินเครื่องให้เกิดเสถียรภาพจะต้องให้มอเตอร์และโหลดมีสมบัติแรงบิดคั้งแสดงไว้ในรูป 3.12 ข

ยกตัวอย่างรูป 3.13 พิจารณากรณีขณะโหลดซึ่งมีคุณสมบัติความเร็วรอบ-แรงบิด T_{l1} โดยมี มอเตอร์เหนี่ยวนำโรเตอร์พันขดลวดเป็นกำลัง มีสมบัติความเร็วรอบ T_m จะเห็นว่าค่าของแรงบิดขณะเริ่มสตาร์ทของมอเตอร์มีขนาดต่ำกว่าแรงบิดที่โหลดต้องการ ดังนั้นระบบรวมจะไม่สามารถสตาร์ทขึ้นได้อย่างไรก็ดีขณะปรับค่าความต้านทานด้านทุติยภูมิของมอเตอร์ให้สูงขึ้น จะสามารถสตาร์ทได้ที่ จุด A เป็นจุดสมดุลที่ไม่มีเสถียรภาพซึ่งเป็นไปตามรูป (3.12 ก) อย่างไรก็ดีถ้าเกิดการเร่งและนำเข้าสู่จุดที่มีเสถียรภาพใหม่ที่จุด B (ซึ่งพิจารณาตามรูป 3.12 ข) จะสามารถเดินเครื่องใช้งานที่จุดนั้นได้เหมาะสม

ถ้าสมบัติความเร็วรอบและแรงบิดของโหลดเป็นไปตาม T_{l2} ในรูป 3.13 เสถียรภาพในการเดินเครื่องใช้งานจะดีตลอดโดยไม่มีปัญหา และอยู่ที่จุด B เพียงจุดเดียว



รูป 3.13 จุดสมดุลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

3.8 การคำนวณหาค่ากำลังที่ต้องการขับ โหลดคงที่ การเคลื่อนย้ายวัสดุในด้านแนวนอน

เมื่อวัสดุมีขนาด $W(kg)$ เคลื่อนย้ายไปตามแนวนอนด้วยความเร็วคงที่ $v(m/s)$ กำหนดให้สัมประสิทธิ์ของความฝืดเท่ากับ μ ขนาดกำลังที่ต้องใช้ของมอเตอร์ P หาได้จากสมการ 3.23 คือ

$$P_m = \frac{\mu W V}{102} * 100 \dots\dots\dots(3.23)$$

อย่างไรก็ดีเช่นเดียวกับการคำนวณในหัวข้อที่แล้วการเลือกขนาดกำลังของมอเตอร์ที่จะใช้ต้องคำนึงรวมถึงความไม่สม่ำเสมอของแรงบิดเริ่มสตาร์ทจากค่าของศักดาไฟฟ้าป้อนเข้าและแฟคเตอร์ความปลอดภัยในการออกแบบและการสร้างด้วยประกอบกันไป

3.9 การหาค่าพิกัดต่างๆของมอเตอร์

1. ความสำคัญของพิกัดต่างๆ

พิกัดต่างๆของมอเตอร์หมายถึงค่าสูงสุดของมอเตอร์ที่รับประกันโดยผู้ผลิตพิกัดต่างๆ จะเขียนไว้ที่ป้ายชื่อของมอเตอร์นั้นๆ

พิกัดกำลัง ตัวอย่าง เช่น ถ้าเขียนไว้ว่า 5 กิโลวัตต์มอเตอร์นั้น จะสามารถประกันการทำงานโดยส่งจ่ายกำลังออกได้สูงสุดถึง 5 กิโลวัตต์ค่าพิกัดกำลังของมอเตอร์จะบอกไว้ในหน่วยวัตต์ (W) , กิโลวัตต์ (KW) ,แรงม้า (HP)

พิกัดความถี่และพิกัดศักดา ถ้าเขียนไว้ว่า 50 HZ และ 220 โวลต์ หมายถึง มอเตอร์จะรับประกันว่าจะให้กำลังได้ถึง 5 กิโลวัตต์ เมื่อต่อกับแหล่งจ่ายไฟ 50 HZ และ 220 โวลต์

พิกัดความเร็วรอบเป็นความเร็วรอบขณะจ่ายโหลดเต็มพิกัดค่าพิกัดความเร็วรอบบอกไว้ในหน่วย rpm ถ้าสมมุติเขียนไว้ว่า 1450 rpm แสดงว่า เมื่อมอเตอร์จ่ายกำลังเต็มพิกัด 5 กิโลวัตต์ จะรับประกันได้ว่าความเร็วรอบของมอเตอร์นั้นจะเท่ากับหรือมากกว่า 1450 rpm เมื่อมอเตอร์นั้นต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ 50 Hz และ 220 โวลต์

ค่าพิกัด ถ้าเขียนกำกับไว้ว่า "ต่อเนื่อง (continuous)" แสดงว่ามอเตอร์จะประกันได้ว่า จะสามารถใช้งานต่อเนื่องกันได้เป็นเวลานาน เมื่อต่อเข้าสู่แหล่งจ่ายไฟ 50 HZ , 220 โวลต์ และให้กำลัง 5 กิโลวัตต์ ที่ความเร็วรอบ 1450 rpm

2. การเลือกขนาดของพิกัดศักดาและพิกัดกำลังของมอเตอร์

ในการเลือกมอเตอร์ให้ใช้งานได้ตามความมุ่งหมายและมีการเลือกใช้พลังงานอย่างประหยัดจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้มอเตอร์ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดศักดาและพิกัดกำลัง ยกตัวอย่างถ้าเลือกมอเตอร์ที่มีพิกัดศักดาต่ำขณะพิกัดกำลังที่ต้องการสูงหรือเลือกมอเตอร์ที่มีพิกัดศักดาสูงขณะพิกัดกำลังต่ำก็จะเป็นการเลือกที่ไม่ถูกต้อง ตัวอย่างขนาดของมอเตอร์ที่พิกัดศักดาและพิกัดกำลังที่มีใช้อยู่ในห้องตลาดคือ

ถ้าพิกัดศักดาประมาณ 200 โวลต์ , พิกัดกำลังจาก 0.2-90 kw

ถ้าพิกัดศักดาประมาณ 400 โวลต์ , พิกัดกำลังจาก 3.7-250 kw

ถ้าพิกัดศักดาประมาณ 3000 โวลต์ , พิกัดกำลังจาก 90-1000 kw

3. การเลือกพิกัดเวลาใช้งาน

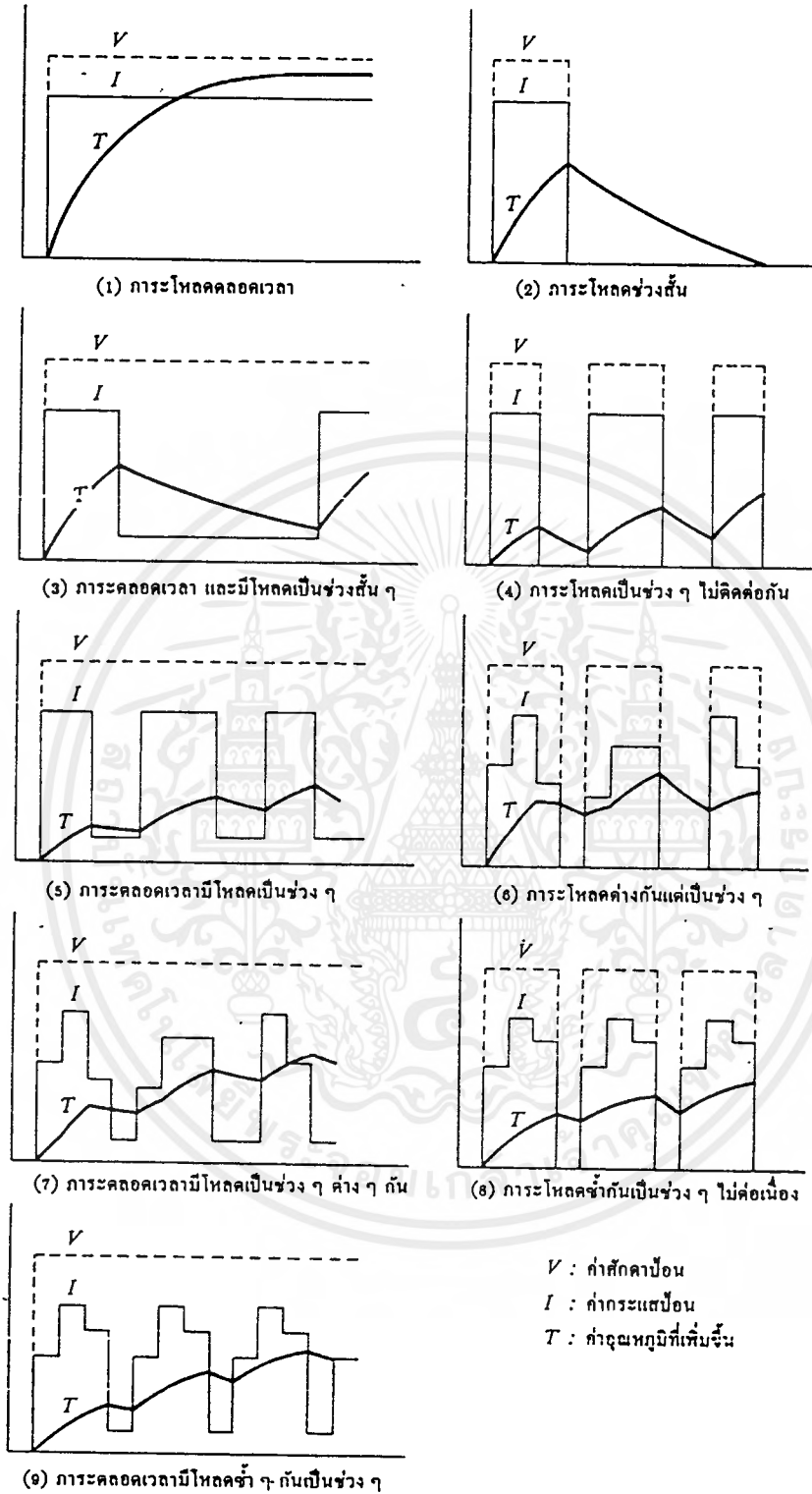
การใช้มอเตอร์มีการใช้หลายอย่างซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดและสภาพของเครื่องจักร โหลดเป็นสำคัญ ยกตัวอย่างเช่น มอเตอร์ที่ใช้ในโบลเวอร์เป่าอากาศจะสตาร์ทขณะเริ่มงานและทำงานเรื่อยไปที่โหลดคงที่ตลอดเวลาจนกระทั่งเลิกงานเป็นเวลาติดต่อกันหลายชั่วโมง

หรือมอเตอร์เครื่องสูบน้ำขณะเดินเครื่องจะมีโหลดเกือบคงที่เช่นเดียวกันอาจเดินครั้งละ 15 นาทีแล้วหยุดพักส่วนมอเตอร์เครื่องกลึงอาจเดินติดต่อกันเป็นช่วงๆ โดยมีการสแตร์ทโหลดเต็มที โหลดเบาและหยุดเครื่องคังนั้นจะเห็นว่ามีความจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้มอเตอร์ตามประเภทของงานที่ต้องการ(ตาราง3.2) และลักษณะของการใช้งานโหลด ประเภทต่างๆแสดงไว้ในกราฟของรูป 3.14

ตาราง 3.2 ชนิดของฟักัดใช้งาน

ชนิดของฟักัด	การใช้งาน
ฟักัดใช้งานต่อเนื่อง	สามารถใช้งานต่อเนื่องที่ฟักัดกำลังได้ (รูป 2.25 (1))
ฟักัดใช้งานช่วงสั้น	สามารถใช้งานในช่วงสั้น (เช่น 30 นาทีหรือ 1 ชั่วโมง) ที่ฟักัดกำลัง (รูป 2.25 (2))
ฟักัดใช้งานเป็นช่วง ๆ	สามารถใช้งานต่อเนื่องเป็นช่วง ๆ ปิดเปิด สลับกันไป หรือใช้งานมีโหลดและไร้โหลดในระหว่างการทำงานต่อเนื่องกัน (รูป 2.25 (8) (9))

ถ้าพิจารณาชนิดการใช้งานในรูป 3.14 (3)-(7) จะเห็นว่ามอเตอร์ที่เหมาะสมในการเลือกใช้จะเป็นมอเตอร์ที่มีฟักัดต่อเนื่อง หรือฟักัดกำลังช่วงเวลาสั้น ทั้งนี้ประกอบกับการ พิจารณานาครวมของการใช้งานในแต่ละกรณีผลคดยอาศัยการพิจารณาจากหัวข้ออื่นๆดังกล่าวแล้วด้วย



รูป 3.14 ชนิดของภาระโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

แบตเตอรี่

4.1 บทนำ

แบตเตอรี่นับได้ว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากที่สุดของรถไฟฟ้าเลยทีเดียว เพราะนอกจากแบตเตอรี่จะเป็นแหล่งจ่ายพลังงานแล้ว ยังเป็นตัวที่บอกถึงอายุการใช้งานของรถไฟฟ้าในแต่ละรอบของการอัดและจ่ายไฟของแบตเตอรี่ ทั้งยังเป็นตัวบอกประสิทธิภาพของรถไฟฟ้าด้วย การพัฒนาประสิทธิภาพของรถไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับความสามารถในการพัฒนาแบตเตอรี่เป็นส่วนใหญ่ แต่การพัฒนาแบตเตอรี่เป็นไปได้ยาก เมื่อเทียบกับการพัฒนาส่วนอื่นๆ ในระบบส่งกำลัง

แหล่งจ่ายพลังงานที่ใช้สำหรับรถไฟฟ้าในโครงการนี้ เป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-Acid Battery) มีแรงดันระหว่างขั้ว 12 V 26 ตัวมาอนุกรมกัน เพื่อให้ได้แหล่งจ่ายที่สามารถจ่ายแรงดันสูงสุดได้ 310 V ตามต้องการ

4.2 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว - กรด

แผ่นบวกของเซลล์ไฟฟ้าจะทำด้วยตะกั่วไดออกไซด์ (PbO_2) มีสีน้ำตาล และแผ่นลบทำด้วยตะกั่วพูน (Pb) มีสีเทา มีกรดซัลฟูริกทำหน้าที่เป็นตัวอิเล็กโทรไลต์

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้ คือ



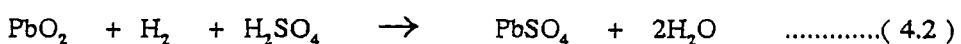
ขณะจ่ายไฟ จะมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นดังนี้ คือ

ที่แผ่นบวก

1. ออกซิเจน (O) จากตะกั่วไดออกไซด์ (PbO_2) จะรวมตัวกับไฮโดรเจน (H) จากกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) กลายเป็นน้ำ (H_2O)

2. ตะกั่ว (Pb) จากตะกั่วไดออกไซด์ (PbO_2) จะรวมตัวกับอนุมูลซัลเฟต (SO_4) กลายเป็นตะกั่วซัลเฟต ($PbSO_4$)

ทำให้ได้ปฏิกิริยาเคมีรวมที่แผ่นบวกเป็นดังนี้

ที่แผ่นลบ

ตะกั่ว (Pb) จะรวมตัวกับอนุมูลซัลเฟต (SO_4) กลายเป็นตะกั่วซัลเฟต ($PbSO_4$)

ได้ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นที่แผ่นลบ เป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้ง $Pb + SO_4$ มีให้ดัดแปลงเป็น $PbSO_4$ ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร.....(4.3)

จะเห็นว่า เมื่อจ่ายไฟแล้วจะทำให้เกิดตะกั่วซัลเฟตขึ้นที่ทั้ง 2 แผ่น และน้ำที่เกิดขึ้นจะ
ไปเจือจางความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก ฉะนั้น เมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมีไปนานๆ กระแสที่ได้ก็จะ
ลดลง

ขณะที่อัดไฟ จะเกิดปฏิกิริยาเคมีตรงกันข้ามกับตอนจ่ายไฟ คือ ตะกั่วซัลเฟต ($PbSO_4$)
จะแตกตัวเป็นตะกั่ว (Pb) กับอนุมูลซัลเฟต (SO_4) ที่แผ่นทั้งสอง ส่วนน้ำจะแตกตัวเป็น
ไฮโดรเจน (H) กับออกซิเจน (O) โดยที่ไฮโดรเจนจะจับตัวกับอนุมูลซัลเฟต ใต้เป็นกรด
ซัลฟูริก และออกซิเจนจะจับตัวกับตะกั่วเป็นตะกั่วไดออกไซด์

4.3 ขนาดความจุ (Capacity)

ขนาดความจุของแบตเตอรี่ แสดงเป็นค่าแอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere-hour) หรือ Ah
ซึ่งค่า Ah นี้จะหมายถึง ปริมาณไฟฟ้าที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายออกมาได้ ภายใต้อุณหภูมิ กระแส
และแรงดันสุดท้าย (Cut Off Voltage) ที่กำหนดให้

วิธีการวัดขนาดความจุของแบตเตอรี่ จากมอก. ฉบับที่ 9 ว่าด้วยเรื่อง แบตเตอรี่ชนิด
ตะกั่ว-กรด ให้ระบุนอัตราการจ่ายไฟต่อ 20 ชั่วโมง (20 hour rating) เป็นมาตรฐาน

ความจุที่อัตรา 20 ชั่วโมงหรือ C คือ ขนาดความจุที่ได้จากการจ่ายไฟ (discharge)
เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ซึ่งจะเป็นค่าขนาดความจุที่ระบุไว้ที่ตัวแบตเตอรี่

ขนาดความจุในการจ่ายไฟ (Discharge Capacity) หรือ C สามารถหาได้จากสมการ

$$C = \int I dt \quad \dots\dots\dots(4.4)$$

เมื่อ

t : discharge time คือ เวลาเริ่มจ่ายไฟจนถึงสถานะ end of cell หรือ จนถึงระดับแรงดัน
สุดท้าย

ในห้องปฏิบัติการหรือในทางทฤษฎี มักจะกำหนดค่านระดับแรงดันสุดท้าย สำหรับ
แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด แรงดัน 12 V ระดับแรงดันสุดท้ายจะเท่ากับ 10.5 V หรือ 1.75 V/cell

4.4 แรงดันแบตเตอรี่ (Battery Voltage)

แรงดันแบตเตอรี่เป็นค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วของแบตเตอรี่ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วที่
สภาพไร้อิทธิพล (แบตเตอรี่เปิดวงจร) จะเป็นฟังก์ชันของการเกิดประจุของแบตเตอรี่ แต่ขณะที่มี

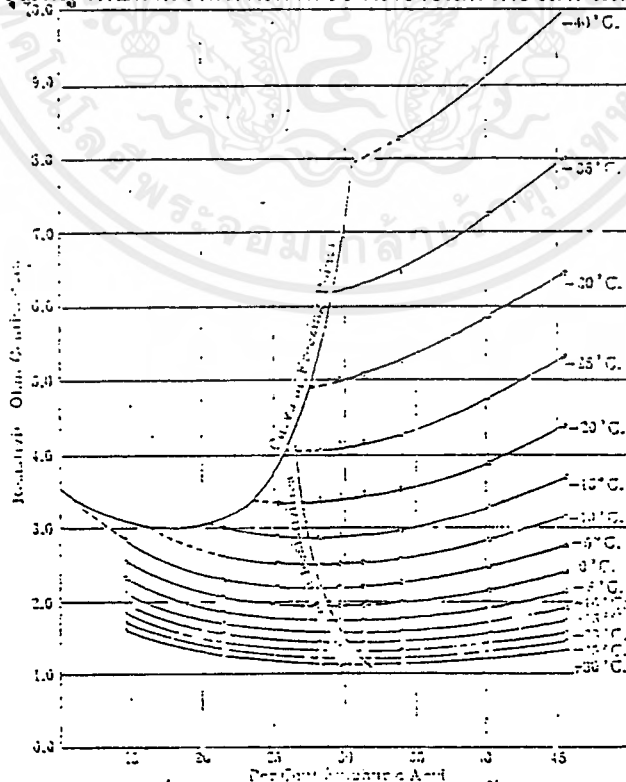
โหลด แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วจะเป็นฟังก์ชันของกระแสโหลด การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันของแบตเตอรี่ จะมีผลต่อการควบคุมความเร็วของรถไฟฟ้ามาก

4.5 ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ (Battery Internal Impedance)

ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ ขณะมีโหลด ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่นั้น เกิดจากปรากฏการณ์ทางเคมีที่เกิดขึ้นภายในของแบตเตอรี่ ในขณะที่เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้า เช่น ปรากฏการณ์โพลาไรเซชัน ซึ่งจะทำให้เกิดประจุไฟฟ้าใกล้ๆ ผิวของแผ่นขั้วอิเล็กโทรดซึ่งจะทำให้กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการไหลของไอออนระหว่างแผ่นขั้วอิเล็กโทรดมีค่าลดลง ดังนั้นปรากฏการณ์นี้จึงเสมือนค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่นั่นเอง

4.6 คุณสมบัติของอุณหภูมิ (Temperature Characteristics)

อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในตัวแบตเตอรี่ จะมีผลต่อการทำงาน และขนาดความจุของแบตเตอรี่มาก เนื่องจากอุณหภูมิมิผลต่อความต้านทานของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าความต้านทานของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ แสดงดังรูป



รูป 4.1 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่มีต่อความต้านทานของสารละลายกรดซัลฟูริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแบตเตอรี่ถูกอัดไฟเต็มที่ ค่าความถ่วงจำเพาะถูกจำกัดอยู่ประมาณ 1.280 และเมื่อแบตเตอรี่ถูกนำไปจ่ายไฟ ค่าความถ่วงจำเพาะก็จะลดต่ำลง แต่ไม่ควรที่จะต่ำกว่าเส้น freezing-point curve จากรูปกราฟ จะเห็นว่า ค่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมากเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส (32 องศาฟาเรนไฮต์)

ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิต่ำจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ช้า ทำให้พลังงานที่ได้ลดลง ตารางแสดงถึงค่าประสิทธิภาพเมื่อคิดเป็น % ของขนาดความจุของแบตเตอรี่ เมื่อเปรียบเทียบกันที่อุณหภูมิต่าง ๆ

RELATIVE CAPACITY OF LEAD-ACID STORAGE BATTERIES AT NORMAL AND LOW TEMPERATURES

Temperatures		Percentage of Capacity at 80° F, 20-Hr Rate	
°C	°F	20-Hr Rate	50-Min Rate
27	81	100	46
15	60	90	41
0	32	77	31
-7	20	66	24
-15	9	4.3	1.1
-17	-3	3.5	0
-40	-40	2.1	0
-51	-50	0	0

ตาราง 4.1 เปรียบเทียบขนาดความจุของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ที่อุณหภูมิต่ำและ ที่ต่ำกว่าปกติ

จากการศึกษาพบว่าขนาดความจุของแบตเตอรี่ มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง (Linear function) กับอุณหภูมิ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้น 1 องศา ขนาดความจุจะเพิ่มขึ้น 1 % ของความจุที่ 15 องศาเซลเซียส

จากตาราง ทำให้ทราบว่าอุณหภูมิต่ำที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด คือ ประมาณ 26.7 องศาเซลเซียส หรือ 80 องศาฟาเรนไฮต์

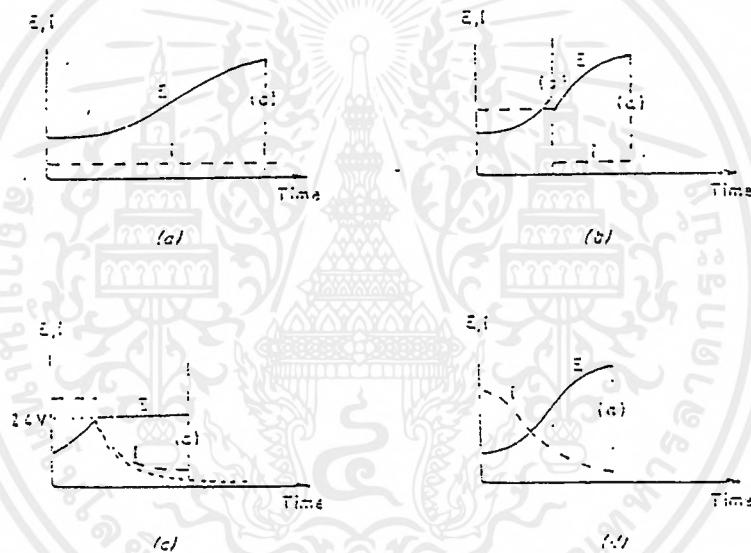
4.7 คุณสมบัติของการอัดไฟ (Charge Characteristics)

ในการอัดไฟเข้าแบตเตอรี่นั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงมากที่สุด คือ ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจน เป็นก๊าซที่ไวไฟ ดังนั้น จึงต้องมีระบบการระบายก๊าซที่เกิดขึ้นให้

ดี ในการอัดไฟที่กระแสสูงก็จะยิ่งทำให้เกิดความร้อนขึ้น เป็นผลให้เกิดก๊าซมากขึ้นด้วย 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)

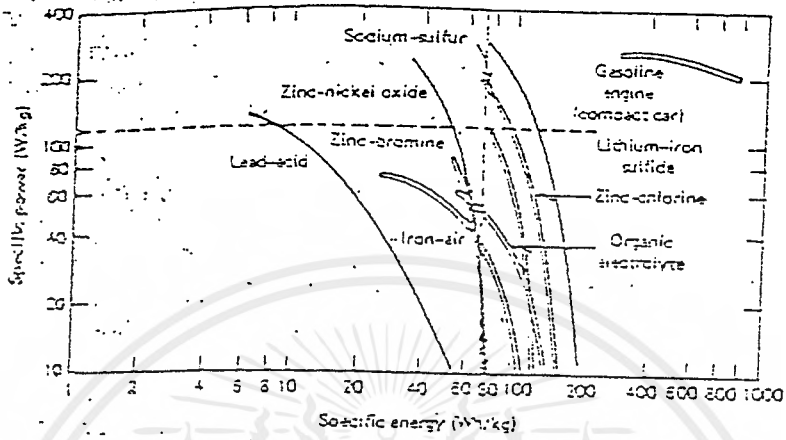


รูป 4.2 กราฟ แสดงการอัดไฟในแต่ละระบบ

การอัดไฟด้วยกระแสคงที่ จะใช้เวลาในการอัดไฟนาน (มากกว่า 12 ชั่วโมง) ส่วนการอัดไฟที่ต้องการเวลาในการอัดไฟสั้น (Fast Charge) โดยทั่วไป มักจะใช้วิธี IE characteristic มากกว่า W characteristic

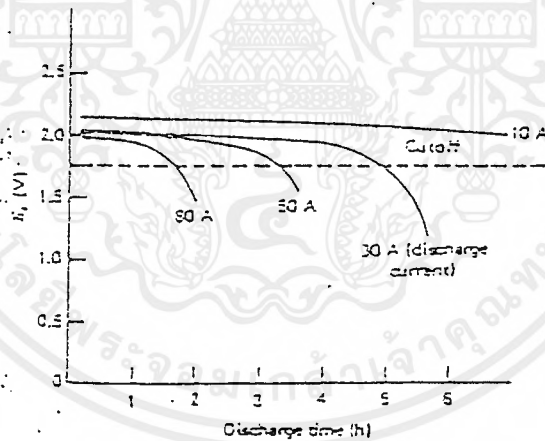
4.8 คุณสมบัติในการจ่ายไฟ (Discharge Characteristic)

ขณะที่การใช้กำลังงานเพิ่มมากขึ้น พลังงานที่เก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่ก็จะค่อยๆ ลดลงตามไปด้วย การที่พลังงานเหล่านี้ลดลง เนื่องจากการลดลงของระดับแรงดันที่ขึ้นแบตเตอรี่ ซึ่งเกิดจากการเพิ่มของกระแสไหลค ประจุในตัวของแบตเตอรี่ก็จะค่อยๆ ลดลงโดยมีความสัมพันธ์กันตาม Ragone relationship ซึ่งสามารถนำมาเขียนกราฟที่เรียกว่า Ragone plots ดังรูป



รูป 4.3 Ragone plots for various energy sources

โดยปกติแล้ว Ragone plot จะได้มาจากการทดสอบในขณะที่มีการจ่ายไฟด้วยกระแสที่แสดงดังรูป



รูป 4.4 Constant current discharge test

จาก Ragone plot ในรูป แสดงให้เห็นว่า พลังงานในแบตเตอรี่จะค่อยๆ ลดลง ในขณะที่มีการใช้กำลังงานเพิ่มขึ้น ซึ่งการที่พลังงานในแบตเตอรี่ลดลงนี้ มีสาเหตุมาจาก

1. พลังงานลดลงเนื่องจากการลดลงของประจุในแบตเตอรี่ตามขนาดของกระแสที่จ่ายออกไป

2. พลังงานลดลงเนื่องจากแรงดันที่ขั้วลดลง

จากสาเหตุทั้งสองนี้ ทำให้เกิดความสัมพันธ์ของความจุของแบตเตอรี่กระแสที่จ่ายออกไปและเวลาที่ใช้ ซึ่งเรียกว่า สมการของ Peukert ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้ คือ

$$I^n t = C \dots\dots\dots(4.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

n และ t เป็นค่าคงที่

I คือ กระแสที่จ่ายออกไปมีค่าคงที่ มีหน่วยเป็นแอมแปร์

ค่า n และ C นั้นหาได้จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบที่กระแสคงที่

$$I_1^n t_1 = C \quad \dots\dots\dots(4.6)$$

$$I_2^n t_2 = C \quad \dots\dots\dots(4.7)$$

$$n \log I_1 = \log C - \log t_1 \quad \dots\dots\dots(4.8)$$

$$n \log I_2 = \log C - \log t_2 \quad \dots\dots\dots(4.9)$$

$$n = \frac{\log t_2 - \log t_1}{(\log I_1 - \log I_2)} \quad \dots\dots\dots(4.10)$$

โดยที่ $n = 1.0$ สำหรับกระแสต่ำมากๆ

$n = 2.0$ สำหรับกระแสสูงมากๆ

4.9 ข้อควรระวังในการใช้งานและการบำรุงรักษาแบตเตอรี่

1. อย่าทำการอัดไฟเข้าแบตเตอรี่ ด้วยขนาดกระแสที่มากเกินไป การอัดไฟด้วยขนาดกระแสที่มากเกินไปนี้ จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นสูงในแบตเตอรี่ เป็นเหตุให้น้ำยาอิเล็กโตรไลต์ กลายเป็นไอ และเกิดกาซไฮโดรเจนมาก เกิดปฏิกิริยาเคมีอย่างรุนแรง เป็นเหตุให้แผ่นตะกั่ว เกิดการบิดตัวสารที่เคลือบไว้หลุดร่วง และเปลือกแบตเตอรี่เกิดความเสียหาย

2. อย่าปล่อยให้แบตเตอรี่จ่ายไฟออกมากเกินไป การปล่อยให้แบตเตอรี่จ่ายไฟออกจนหมด จะทำให้เกิดเกลือกำมะถัน (ตะกั่วซัลเฟต) ไปจับที่แผ่นตะกั่ว การที่มีเกลือกำมะถันไปจับแผ่นตะกั่วมากๆ จะทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดลง และการแก้ไขคืนสู่สภาพปกติทำได้ยาก

3. ระวังรักษาขั้วแบตเตอรี่ให้สะอาด และแน่นอยู่เสมอ หากมีเกลือกำมะถันจับอยู่ที่ขั้วให้ใช้น้ำร้อนล้างทำความสะอาด และควรเคลือบขั้วแบตเตอรี่ไว้ด้วยจารบีซิลิโคน หรือวาสลีน เพื่อป้องกันการสึกกร่อน

4. ทำการตรวจสอบความถ่วงจำเพาะตามระยะเวลา (1 หรือ 2 สัปดาห์ต่อครั้ง) และรักษาให้ระดับน้ำยาอิเล็กโตรไลต์ อยู่เหนือแผ่นตะกั่ว 10-15 มม. เสมอ หากทิ้งให้แผ่นตะกั่วแห้ง

เป็นเวลานาน จะทำให้ประสิทธิภาพของแผ่นตะกั่วเสื่อมลง ขนาดความจุของแบตเตอรี่จะลดลงด้วย หากน้ำยาพร่องให้เติมน้ำกลั่นบริสุทธิ์

5. อย่าปล่อยให้แบตเตอรี่มีการจ่ายไฟด้วยกระแสจำนวนมาก เป็นเวลานานติดต่อกันควรหยุดทิ้งช่วงระยะเวลาประมาณ 30 วินาที เพื่อให้แบตเตอรี่มีเวลาปรับตัวคืนสภาพ

6. อย่าทำให้เกิดประกายไฟ หรือนำเปลวไฟเข้ามาใกล้แบตเตอรี่ ในขณะที่ทำการอัดไฟ เนื่องจากว่าในขณะที่มีทำการอัดไฟนั้น จะมีก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้น ซึ่งก๊าซไฮโดรเจนนี้เป็นสารไวไฟ หากมีประกายไฟ หรือเปลวไฟอยู่ใกล้ จะทำให้เกิดการระเบิดขึ้น

7. เมื่อไม่ได้มีการใช้งานแบตเตอรี่เป็นเวลานาน ให้ปลดขั้วแบตเตอรี่ออก และนำแบตเตอรี่ไปทำการอัดไฟให้เต็มทุก ๆ 2 สัปดาห์ เพื่อป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่เกิดการเสื่อมสภาพ

8. แบตเตอรี่ใหม่ที่ยังไม่มีการเติมน้ำยาอิเล็กโทรไลต์มา เมื่อทำการอัดไฟ ให้เติมน้ำยาอิเล็กโทรไลต์แล้วทิ้งไว้ประมาณ 8 ชั่วโมง เพื่อให้แผ่นตะกั่วได้อาบน้ำยาจนอิ่มตัว แล้วจึงทำการจ่ายไฟด้วยกระแสประมาณ 3-5 แอมแปร์ (หรือ 1 ใน 10 ของขนาดความจุ) เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 8 ชั่วโมง

4.10 ขั้นตอนในการอัดไฟเข้าแบตเตอรี่ (Charging Method)

การอัดไฟแบบกระแสคงที่ (Constant Current Charging)

1. ทำความสะอาดสิ่งสกปรกหรือ สิ่งแปลกปลอมอื่นๆ ที่จับอยู่บนแบตเตอรี่ โดยเฉพาะที่ขั้วของแบตเตอรี่

2. เปิดฝาจากน้ำเติมน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ออก เพื่อให้ก๊าซที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการอัดไฟระบายออกไปได้โดยง่าย

3. ตรวจสอบระดับน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ จะต้องอยู่เหนือแผ่นตะกั่ว 10-15 มม. ถ้าขาดให้เติมน้ำกลั่นบริสุทธิ์

4. ต่อขั้วเครื่องประจุเข้ากับขั้วของแบตเตอรี่ให้ถูกต้อง โดยต่อขั้วบวก (+) ของเครื่องประจุเข้ากับขั้วบวก (+) ของแบตเตอรี่ และต่อขั้วลบของเครื่องประจุเข้ากับขั้วลบ (-) ของแบตเตอรี่

5. ทำการอัดไฟด้วยกระแสประมาณ 1/10 ของขนาดความจุแบตเตอรี่

6. ในขณะที่ทำการอัดไฟ ต้องคอยระวัง อย่าให้อุณหภูมิของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ สูงเกินกว่า 40 องศาเซลเซียส ถ้าเกินให้ลดกระแสในการอัดไฟให้ต่ำลง หรือหยุดทำการอัดไฟจนกว่าอุณหภูมิของน้ำยาลดลง

7. อย่าทำให้เกิดประกายไฟ หรือนำเปลวไฟเข้ามาใกล้แบตเตอรี่ในขณะที่ทำการอัดไฟ เพราะมีก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้น แม้จะระจายในขณะที่ทำการอัดไฟ

8. การอัดไฟจะเสร็จสิ้น เมื่อค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ สูงขึ้นถึงค่าที่กำหนด และยังคงอ่านค่าสูงสุดนั้นได้ อยู่เมื่อหยุดทำการอัดไฟไปแล้ว 1 ชั่วโมง

9. เมื่อการอัดไฟเสร็จสิ้นลง หากค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ สูงกว่าค่าที่กำหนดให้ คุณน้ำยาออกทิ้งบางส่วน แล้วเติมน้ำกลั่น ในทางตรงกันข้าม ถ้าค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าค่าที่กำหนดให้ คุณน้ำยาทิ้งแล้วเติมน้ำกรดกำมะถันเจือจาง



บทที่ 5 ระบบเครื่องปรับอากาศในรถยนต์

5.1 บทนำ

ทุกวันนี้เครื่องปรับอากาศรถยนต์นับว่าเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับชีวิตประจำวัน การเดินทางโดยรถยนต์ปรับอากาศช่วยให้ประสิทธิภาพในการทำงานของคนดีขึ้น เพราะไม่ต้องหงุดหงิด อารมณ์เสีย ในขณะที่รถติดและร้อนจัด ภายในรถปรับอากาศจะปราศจากควันไอเสียของรถยนต์และลดความดังของเสียงจากรถอื่น ๆ ในห้องถนนอีกด้วย

ในการทำให้อากาศภายในรถมีอุณหภูมิลดต่ำลงเพื่อทำความเย็นเป็นสิ่งที่ยากมากสำหรับเครื่องปรับอากาศรถยนต์ -จำนวนความร้อนภายในรถจะถูกถ่ายเทออกนอกรถโดยกระบวนการทำความเย็นแต่ในช่วงเวลาที่ผู้ใช้รถเปิดประตูด (เข้า - ออก) อากาศร้อนจากภายนอกจะไหลเข้าสู่ภายในรถซึ่งเย็นกว่า และเครื่องปรับอากาศรถยนต์ก็ต้องเริ่มทำงานตลอดเวลาอีกครั้งหนึ่ง เครื่องปรับอากาศภายในบ้านหรือในอาคารจะสามารถสะสมผลทำความเย็นไว้ได้มากกว่าแม้เมื่อระบบเครื่องปรับอากาศหยุดทำงาน แต่ในเครื่องปรับอากาศรถยนต์แล้วจะสามารถทำความเย็นไว้ได้น้อยกว่า เมื่อประตูดถูกเปิดอุณหภูมิจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

ระบบเครื่องปรับอากาศรถยนต์ถูกประกอบด้วยชิ้นส่วนอุปกรณ์หลายอย่าง และใช้น้ำยาหรือสารความเย็นชนิดพิเศษ อุปกรณ์เหล่านี้ทำหน้าที่ในการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ การพา และการแผ่รังสีความร้อน เพื่อดึงเอาความร้อนออกจากภายในรถและส่งถ่ายความร้อนจำนวนนี้ออกไปทิ้งนอกรถภายในรถจะถูกทำให้เย็นด้วยการถ่ายเทความร้อนจากภายในออกไปทิ้งภายนอกนี้เอง และทำให้อากาศภายในรถมีการหมุนเวียนเพื่อให้มีการปรับระดับความสบายของผู้โดยสาร มีการลดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และทำให้อากาศสะอาดอีกด้วย

ในส่วนเครื่องปรับอากาศในรถไฟฟ้านี้แตกต่างจากรถยนต์ทั่ว ๆ ไป กล่าวคือในรถยนต์ทั่ว ๆ ไปใช้เครื่องยนต์เป็นตัวปั่นคอมเพรสเซอร์ แต่ในรถไฟฟ้าใช้มอเตอร์อินดักชันเป็นระบบขับเคลื่อน จึงทำให้ต้องเพิ่มเครื่องยนต์อเนกประสงค์เข้าไปเพื่อช่วยในการปั่นคอมเพรสเซอร์แทนเครื่องยนต์ของรถยนต์ทั่วไป

5.2 อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในรถปรับอากาศ

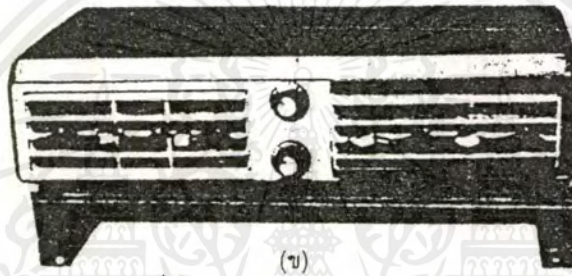
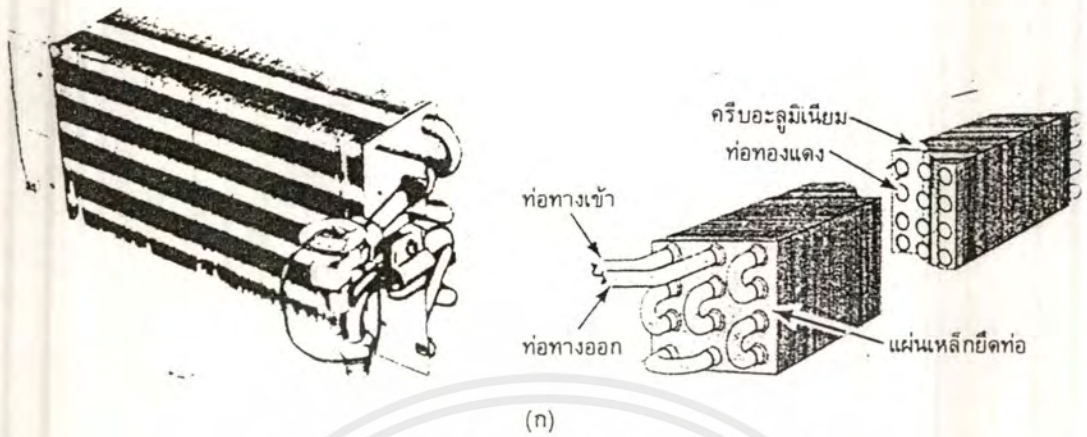
1. FRONT แบบแวนที่มีมอเตอร์ในตัวหรือหน่วยทำความเย็น (อีวาพอเรเตอร์)

อิวาพอเรเตอร์คือ อุปกรณ์ในระบบการทำความเย็น ซึ่งจะช่วยให้สารทำความเย็นขยายตัวหรือกลายเป็นไอทำให้เกิดความเย็น อิวาพอเรเตอร์เป็นส่วนที่ทำความเย็นของระบบ น้ำยาเหลวซึ่งถูกกลดแรงดันโดย T.B.V. จะเข้ามาระเหยตัวเปลี่ยนสถานะเป็นไอ ดูดรับปริมาณความร้อนจากอากาศโดยรอบอิวาพอเรเตอร์ ดังรูป



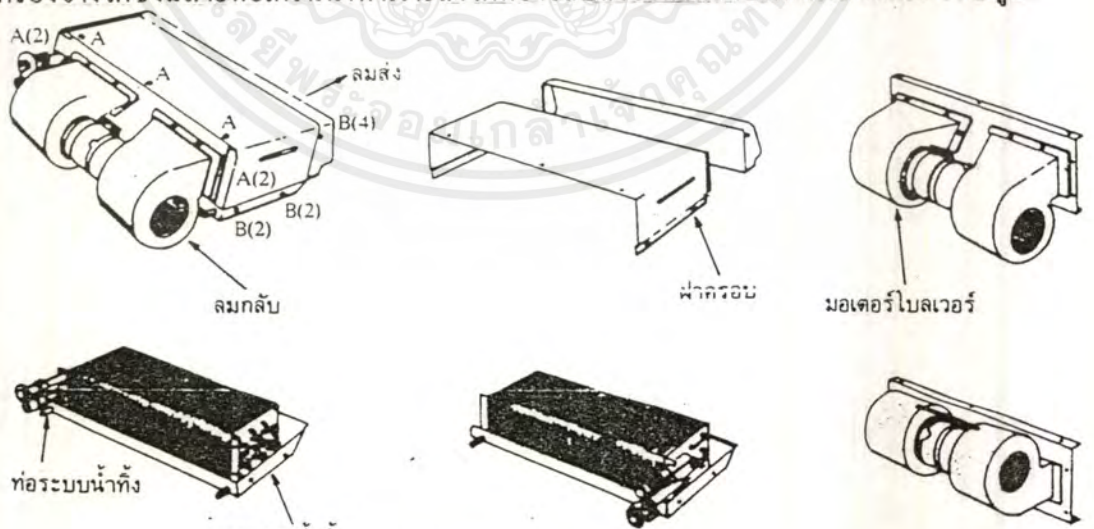
รูป 5.1 อิวาพอเรเตอร์

อิวาพอเรเตอร์ประกอบด้วยขดท่อทองแดงหรืออะลูมิเนียม และมีครีบบอะลูมิเนียมเป็นตัวช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อน เหตุผลที่ใช้ทองแดงหรืออะลูมิเนียมเป็นท่อทางเดินน้ำยาก็คเพราะเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำความร้อนได้ดี ขณะที่น้ำยา (R - 12) ไหลผ่านท่อทางเดิน น้ำยาในอิวาพอเรเตอร์ระเหยตัวดูดรับปริมาณความร้อนจากอากาศโดยรอบ และอิวาพอเรเตอร์นี้จะอยู่ภายใน โครงวงมีมอเตอร์โบลเวอร์ทำหน้าที่เป่าอากาศผ่านครีบบของอิวาพอเรเตอร์ และผิวของท่อทางเดินน้ำยาถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำยาภายในอิวาพอเรเตอร์ ซึ่งกำลังระเหยตัวดูดรับปริมาณความร้อนอยู่ ทำให้อุณหภูมิของอากาศที่ถูกเป่าผ่านออกมา มีอุณหภูมิต่ำลงและเป่าเข้าภายในรถ โดยตรง



รูป 5.2 อิวาพอเรเตอร์แบบแฉวน

อิวาพอเรเตอร์ยังประกอบด้วยถาดรองน้ำที่ตั้งอยู่ใต้ขดท่ออิวาพอเรเตอร์ ความชื้นของอากาศภายในรถจะถูกกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ขณะที่อากาศดูดเป่าผ่านอิวาพอเรเตอร์ น้ำนี้จะหยดลงในถาดรองข้างใต้ซึ่งมีสายท่อครนน้ำทิ้งเจาะลงใต้ห้องรถปล่อยน้ำทิ้งนี้ลงบนถนนอีกที่หนึ่ง ดังรูป



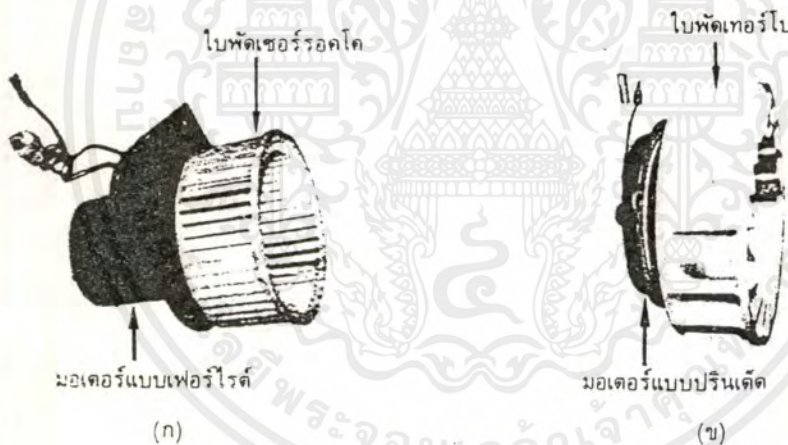
รูป 5.3 แสดงการถอดประกอบชุดอิวาพอเรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิวาพอเรเตอร์ไม่มีส่วนที่เคลื่อนไหวใด ๆ ทำให้ข้อขัดข้องที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ส่วนนี้มีเพียงเกิดการรั่วที่ท่อทางเดินน้ำยา ซึ่งการแก้ไขอาจต้องถอดเปลี่ยนหรือซ่อมอิวาพอเรเตอร์ใหม่เท่านั้น

มอเตอร์โบลเวอร์ ใบพัดโบลเวอร์จะถูกขับให้หมุนโดยตรงด้วยมอเตอร์ซึ่งจะทำให้อากาศภายในรถเกิดการหมุนเวียนผ่านอิวาพอเรเตอร์ ลมกลับซึ่งเป็นลมที่ถูกดูดกลับเข้ามาจะเป็นลมที่รับปริมาณความร้อนจากตัวคนและปริมาณความร้อนอื่น ๆ ที่ถ่ายเทเข้าภายในรถ เป่าผ่านอิวาพอเรเตอร์และคายความร้อนให้น้ำยาภายในอิวาพอเรเตอร์ ทำให้ลมส่งที่เป่าผ่านออกมาเป็นลมเย็นทำให้อุณหภูมิภายในรถลดต่ำลง

สำหรับอิวาพอเรเตอร์แบบติดตั้งค้ำหน้ารถ มอเตอร์ที่ใช้จะเป็นแบบมอเตอร์เฟอร์ไรต์ และใบพัดเซอร์รอกโค ส่วนอิวาพอเรเตอร์แบบติดตั้งหลังรถมอเตอร์ที่ใช้จับจะเป็นแบบปรินเท็คและใบพัดเทอร์โบ



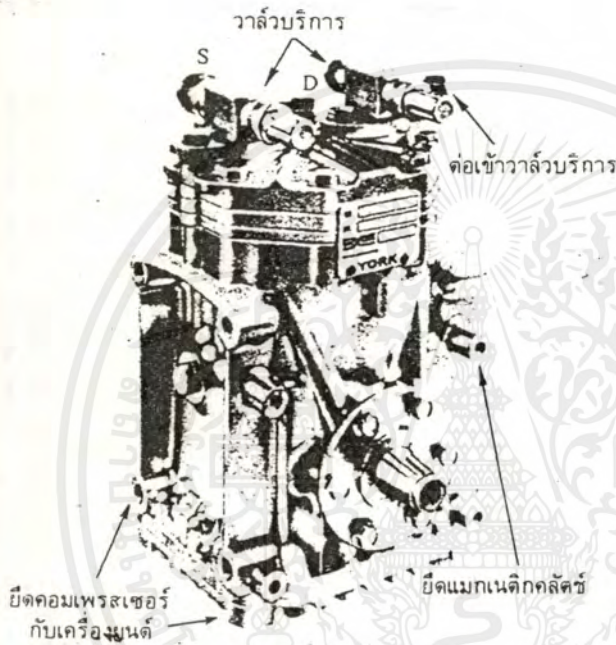
รูป 5.4 ชนิดของมอเตอร์โบลเวอร์

2. COMPRESSOR รุ่น SUK 8051T

คอมเพรสเซอร์หรือ “ เครื่องอัด ” คืออุปกรณ์ที่เพิ่มความดันของสารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะที่เป็นไอ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการดูดและอัดน้ำยาในสถานะที่เป็นแก๊สคือดูดน้ำยาที่เป็นซูเปอร์ฮีตแก๊สความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำจากอิวาพอเรเตอร์ผ่านเข้ามาทางท่อชักชั้น เข้ายังทางดูดของคอมเพรสเซอร์ แล้วอัดแก๊สนี้ให้มีความดันสูงขึ้นและมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย ส่งเข้ายังคอนเดนเซอร์โดยผ่านเข้าทางท่อคิสซาร์จเพื่อไปกลั่นตัวเป็นของเหลวในคอนเดนเซอร์ด้วยการระบายความร้อนออกจากรถอีกทีหนึ่ง

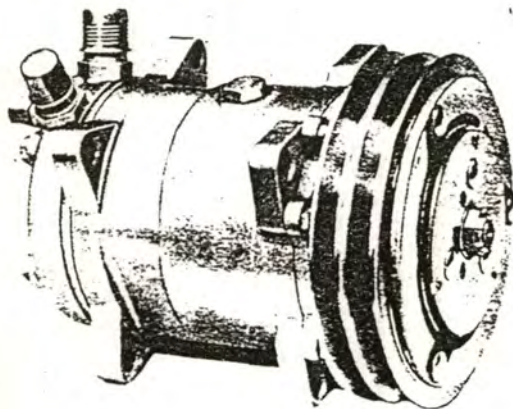
คอมเพรสเซอร์ที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศยนต์แบ่งได้ 3 แบบคือ

1. แบบลูกสูบ หน้าที่และการทำงานของคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบคือจะดูดและอัดน้ำยาในสถานะที่เป็นแก๊ส โดยดูดน้ำยาในสถานะที่เป็นแก๊สที่มีความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำจากอีวาพอเรเตอร์เข้ามาอัดตัวให้เป็นแก๊สที่มีความดันสูงและอุณหภูมิสูงขึ้นแล้วส่งไปยังคอนเดนเซอร์

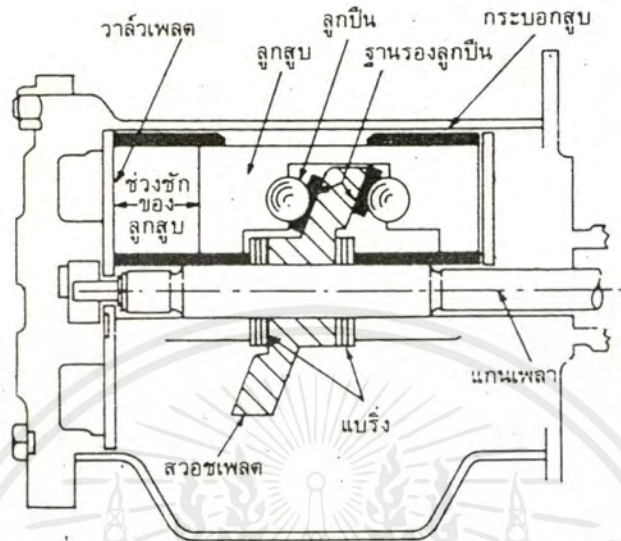


รูป 5.5 คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ

2. คอมเพรสเซอร์แบบสวอชเพลต ปัจจุบันคอมเพรสเซอร์แบบสวอชเพลตนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ เพราะคอมเพรสเซอร์แบบนี้มีขนาดเล็กกะทัดรัดมีประสิทธิภาพในการทำงานสูง และลดแรงเครื่องยนต์น้อยกว่าแบบลูกสูบในขนาดของการทำความเย็นจำนวนบีทียูที่เท่ากัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูป 5.6 แสดงรูปตัดขวางของคอมเพรสเซอร์แบบสวอชเพลต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

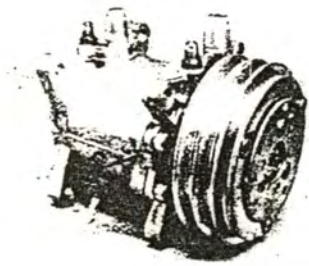


รูป 5.7 โครงสร้างภายในของคอมเพรสเซอร์แบบสวอชเฟลต

โครงสร้างของคอมเพรสเซอร์แบบสวอชเฟลตนี้ประกอบด้วยกระบอกสูบ 5 กระบอก มีสวอชเฟลตเป็นเฟลตเอียงหมุนกวาดลูกสูบทั้ง 5 ทำหน้าที่ดูดน้ำยาในสถานะแก๊ส การเคลื่อนที่ของลูกสูบเพื่อดูดอัดน้ำยาของคอมเพรสเซอร์แบบนี้ไม่ต้องมีเพลลาข้อเหวี่ยงเป็นตัวช่วยให้ลูกสูบเคลื่อนที่ในกระบอกสูบ แต่จะใช้เฟลตเอียงทำหน้าที่แทน แต่เดิมนั้นคอมเพรสเซอร์แบบสวอชเฟลตนี้มีโครงสร้างประกอบด้วยกระบอกสูบ 3 กระบอกสูบ มีเฟลตเอียงหมุนกวาดให้ลูกสูบทำหน้าที่ดูดอัดน้ำยาในกระบอกสูบหัวท้าย

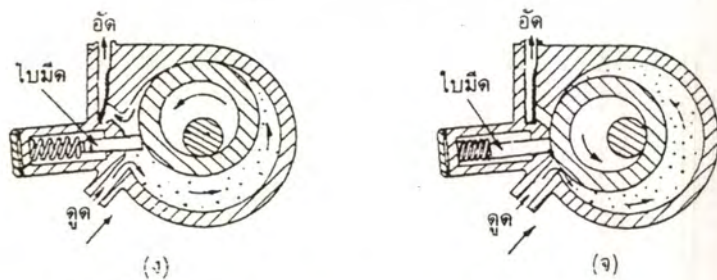
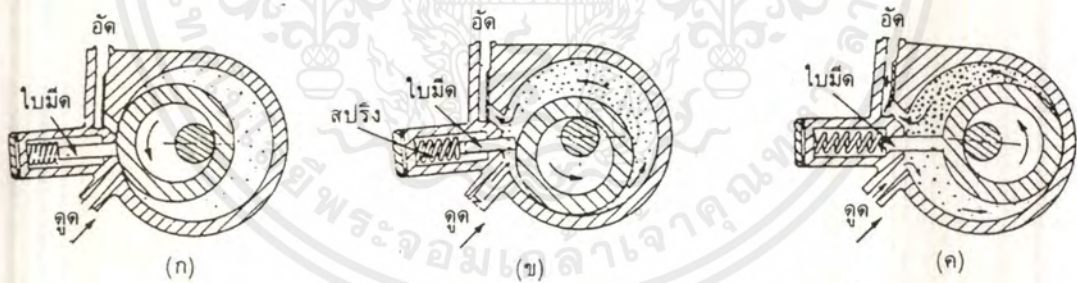
ในขณะที่แกนเพลลาของคอมเพรสเซอร์หมุน เฟลตเอียงจะถูกหมุนตามไปด้วย ซึ่งมีผลให้ลูกสูบเคลื่อนที่กลับไปกลับมาภายในกระบอกสูบเกิดการดูดและอัดค้ำน้ำยาเช่นเดียวกับคอมเพรสเซอร์

3. คอมเพรสเซอร์แบบโรตารี คอมเพรสเซอร์แบบนี้จะขนาดกำลังเครื่องยนต์น้อยกว่าแบบอื่น ๆ มีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงกว่า แต่ขีดจำกัดของคอมเพรสเซอร์แบบโรตารีคือขนาดของเครื่องปรับอากาศถ้าจำนวนปีที่อายุของเครื่องมีขนาดมากกว่า 12000 ปีที่ขูดต่อชั่วโมงประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์แบบนี้จะลดลง



รูป 5.8 คอมเพรสเซอร์แบบโรตารี

หลักการการทำงานของคอมเพรสเซอร์แบบโรตารีก็คือ จะดูดน้ำยาในสถานะแก๊สโดยอาศัยการกวาดตัวตามแกนโรเตอร์



รูป 5.9 แสดงการดูดอัดของคอมเพรสเซอร์แบบโรตารี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป (ก) เป็นตำแหน่งเริ่มการดูดอัด ภายในกระบอกสูบมีน้ำยาที่มีสถานะเป็นแก๊สอยู่เต็ม

- (ข) แก๊สในกระบอกสูบถูกกวาดอัดตัวพร้อม ๆ กับการเริ่มจังหวะดูด
- (ค) ช่วงจังหวะการดูดอัดอยู่ระหว่างครึ่งต่อครึ่ง
- (ง) ลิ้นทางอัดเปิดในช่วงจังหวะอัดพร้อม ๆ กับสารความเย็นถูกดูดเข้ามาเพิ่มมากขึ้นในกระบอกสูบ
- (จ) จังหวะการดูดและอัดครบรอบ

คอมเพรสเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่แบ่งความดันในระบบระหว่างด้านความดันสูงและด้านความดันต่ำ น้ำยาที่ถูกดูดเข้าจะมีสถานะเป็นแก๊สซึ่งมีความดันต่ำ และน้ำยาที่ถูกอัดส่งจากคอมเพรสเซอร์จะมีสถานะเป็นแก๊สซึ่งมีความดันสูง

ที่ท่อดูดและท่ออัดของคอมเพรสเซอร์ มักประกอบด้วยวาล์วบริการซึ่งใช้สำหรับซ่อม - ตรวจเช็ค ระบบเครื่องปรับอากาศรถยนต์ โดยต่อสายท่อจากเกจแมนิโฟลด์ เข้ากับวาล์วบริการนี้เพื่อทำการแวคคัมหรือชาร์จน้ำยาเข้าไป

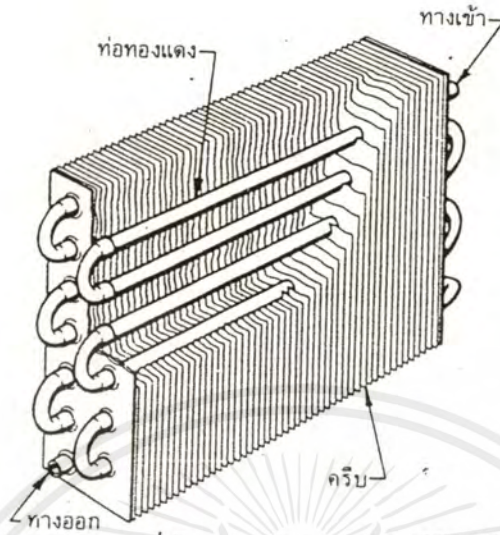
น้ำยาในท่อที่ถูกอัดส่งจากคอมเพรสเซอร์มีสถานะเป็นแก๊สที่มีความดันสูง ท่อดังกล่าวนี้ทำด้วยยาง โดยทั่วไปมีขนาด 1/2 นิ้ว เรียกว่าท่อคิซชาร์จปลายอีกด้านหนึ่งของท่อนี้จะต่อเข้ากับทางเข้าของคอนเดนเซอร์ซึ่งต้องต่ออยู่ทางด้านบนของคอนเดนเซอร์เสมอ

3. คอนเดนเซอร์

คอนเดนเซอร์หรือ “อุปกรณ์ควบแน่น” คือ อุปกรณ์ที่ทำให้สารความเย็นในสภาพที่เป็นไอเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวโดยการระบายความร้อนออกจากสารความเย็น*น้ำยาหรือสารความเย็นในสถานะที่เป็นไอมีความดันสูง อุณหภูมิสูง ซึ่งถูกอัดส่งมาจากคอมเพรสเซอร์ เมื่อถูกระบายความร้อนออกจะกลั่นตัวเป็นน้ำยาเหลวภายในคอนเดนเซอร์แต่ยังคงมีความดันและอุณหภูมิสูงอยู่

คอนเดนเซอร์ประกอบด้วยขดท่อทองแดงหรืออะลูมิเนียมและมีครีป (fins) เป็นตัวช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อน โดยอากาศซึ่งผ่านเข้ามาบนผิวหน้าของคอนเดนเซอร์

อากาศที่ผ่านคอนเดนเซอร์นี้เป็นอากาศที่ปะทะเข้ามาทางด้านหน้ารถ และสวนทางกับทิศทางการเคลื่อนที่ของรถ (ram air) หรืออาจเป็นอากาศที่ได้จากพัดลมหรือใบพัดโบลเวอร์



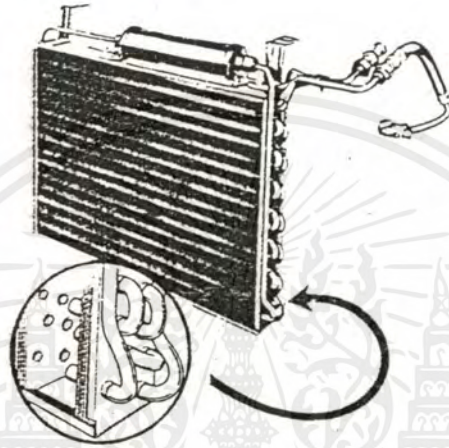
รูป 5.10 คอนเดนเซอร์

เนื่องจากคอนเดนเซอร์ติดตั้งอยู่ทางด้านหน้าสุดก่อนหม้อน้ำรถยนต์ ฉะนั้นขณะที่รถวิ่งจึงเป็นส่วนที่ปะทะกับอากาศก่อน และมักจะมีแมลง ผื่นหรือสิ่งสกปรกอื่น ๆ อุดตันที่ครีบบของคอนเดนเซอร์ ถ้าเกิดการอุดตันเช่นนี้แล้วจะทำให้การระบายความร้อนออกของน้ำยาเพื่อกลั่นตัวเป็นน้ำยาเหลวไม่ดีเท่าที่ควร ทำให้ความดันในระบบด้านความดันสูงจะสูงเกินเกณฑ์และเครื่องยนต์ต้องทำงานหนัก ในขณะเดียวกันเครื่องยนต์จะเกิดร้อนจัด (overheating) เนื่องจากอากาศผ่านคอนเดนเซอร์เข้ามาก่อนถึงหม้อน้ำรถยนต์

การทำความสะอาดภายนอกของคอนเดนเซอร์ทำได้โดยใช้น้ำเย็นล้าง (หรือฉีด) และใช้แปรงถูเอาฝุ่นหรือแมลงออกจากครีบบของคอนเดนเซอร์ ถ้าพบว่าเกิดการรั่วที่คอนเดนเซอร์ (ข้อต่อทางเข้า-ทางออกของน้ำยา) ให้ขันข้อต่อต่าง ๆ ให้แน่น แต่ถ้าเกิดแตกหรือรั่วที่ท่อทางเข้า-ออกของคอนเดนเซอร์และไม่สามารถซ่อมได้ ให้ทำการถอดเปลี่ยนใหม่ โปรดจำไว้ว่าคอนเดนเซอร์ควรทนความดันได้ถึง 400 ถึง 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) ถ้าเกินกว่านี้จะเกิดรั่ว ตามปกติแล้วขณะระบบทำงาน ความดันภายในคอนเดนเซอร์จะอยู่ระหว่าง 150 ถึง 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ขนาดของคอนเดนเซอร์มักจะถูกจำกัด โดยเนื้อที่สำหรับการติดตั้ง ขดท่อทางเดินน้ำยาอาจเป็นชั้นเดียวหรือสองชั้น บางครั้งอาจถึงสามชั้น ซึ่งการเพิ่มจำนวนชั้นเป็นการเพิ่มปริมาตรภายในท่อทางเดินน้ำยาของคอนเดนเซอร์ ช่วยให้การระบายความร้อนกระทำได้ดียิ่งขึ้น

เราไม่สามารถกล่าวได้ว่าน้ำยาที่ออกจากคอนเดนเซอร์จะมีสถานะเป็นน้ำยาเหลวหมด 100 เปอร์เซ็นต์ แม้ว่าคอนเดนเซอร์นั้นจะใหญ่แต่อาจจะมีน้ำยาประมาณ 2-3 เปอร์เซ็นต์ที่ออกจากคอนเดนเซอร์ยังคงสถานะเป็นแก๊ส อย่างไรก็ตามน้ำยานี้จะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ตัวต่อไปคือ ท่อพักน้ำยาเหลวและตัวดูดซับความชื้น



รูป 5.11 คอนเดนเซอร์แบบท่อสองชั้น

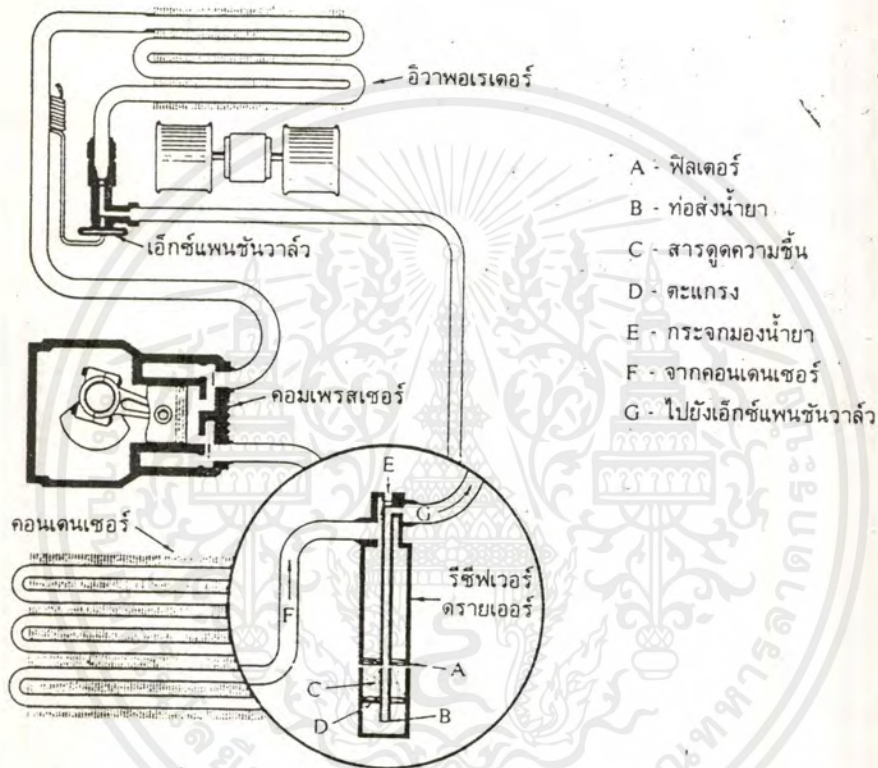
ดังได้กล่าวมาแล้วว่าท่อทางน้ำยาที่เข้ายังคอนเดนเซอร์จะอยู่ข้างบนเสมอ เพื่อว่าเมื่อน้ำยาเคลื่อนตัวเป็นน้ำยาเหลวแล้วจะตกลงมาด้านล่างและส่งต่อเข้ายังรีซีฟเวอร์และครายเออร์ต่อไป ซึ่งถ้าท่อคอนเดนเซอร์เข้าทางด้านล่างแล้ว น้ำยาในสถานะแก๊สจะต้องคั้นผ่านน้ำยาเหลวทำให้ความคั้นในคอนเดนเซอร์สูงเกินเกณฑ์

ในการซ่อมบริการเกี่ยวกับคอนเดนเซอร์ต้องมีความระมัดระวังให้มาก เพราะสถานะของน้ำยาในคอนเดนเซอร์มีสถานะเป็นทั้งของเหลวและแก๊สที่มีความคั้นสูง ถ้าน้ำยาเหลวถูกผิวหนังหรือเข้าตาจะเกิดอันตรายได้

4. ท่อรีซีฟเวอร์ครายเออร์

ท่อรีซีฟเวอร์ครายเออร์หรือท่อพักน้ำยาและตัวดูดซับความชื้น (receiver and dehydrator) หรือบางครั้งเรียกครายเออร์ เป็นอุปกรณ์ตัวหนึ่งของระบบที่ใช้สำหรับเป็นที่พักน้ำยาเหลว ทำด้วยกระบอกโลหะ มีข้อต่อทางเข้าและทางออกของน้ำยา ส่วนมากมีกระจกมองน้ำยา (sight glass) ติดอยู่ด้วย รีซีฟเวอร์ครายเออร์ติดตั้งอยู่ทางด้านความคั้นสูงของระบบ (high-pressure side) ในช่วงที่ต่อจากคอนเดนเซอร์น้ำยาที่เข้ามาพักในรีซีฟเวอร์ครายเออร์และครายเออร์อาจแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ รีซีฟเวอร์ทำหน้าที่เป็นที่พักน้ำยาเหลว และครายเออร์เป็นตัวดูดซับความชื้นในระบบ

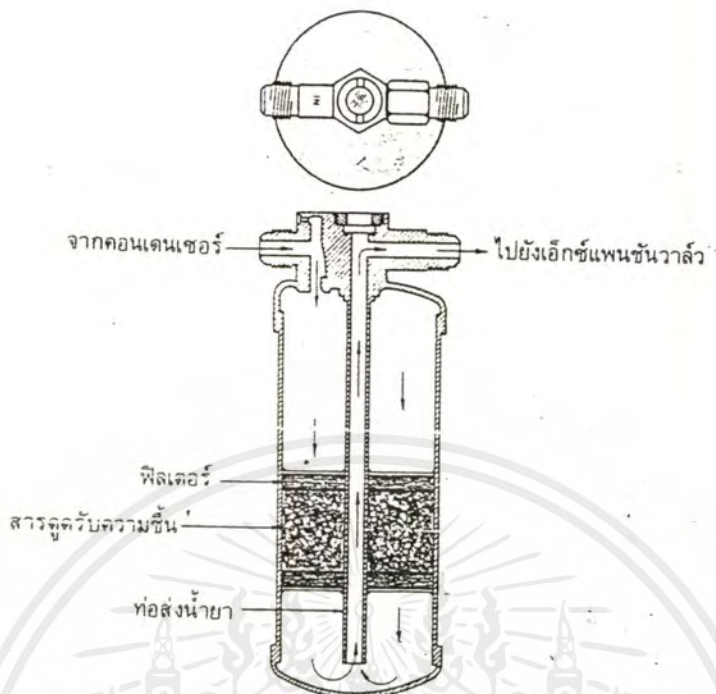
ทอรีซีฟเวอร์ทรายเออร์นับว่าเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอันหนึ่งของระบบเครื่องปรับอากาศรถยนต์ เพราะจะทำหน้าที่เก็บน้ำยาเหลวให้มีมากเพียงพอสำหรับฉีดเข้าไปในอีวาพอเรเตอร์ ระบายตัวควบรับปริมาณความร้อนจากภายในรถ



รูป 5.12 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งทอรีซีฟเวอร์ทรายเออร์ในระบบ

เครื่องปรับอากาศรถยนต์รุ่นแรก ๆ ถูกออกแบบให้มีท่อพักน้ำยาเหลวแยกต่างหากจากตัวควบรับความชื้นและกระจกมองน้ำยา ซึ่งตัวควบรับความชื้นมักจะมีฟลิวเตอร์ (filter) และอยู่ในระบบต่อจากท่อพักน้ำยาเหลว ส่วนกระจกมองน้ำยาต่ออยู่กับทางออกของตัวควบรับความชื้นอีกทีหนึ่งก่อนที่น้ำยาจะถูกส่งเข้ายังเอ็กซ์แพนชันวาล์ว

ที่ท่อทางเข้าของท่อพักน้ำยาและตัวควบรับความชื้นจะมีตะแกรงหรือสกรีนกรอง (screen) ป้องกันฝุ่นผงที่อาจหลงเหลืออยู่ภายในระบบ มิให้ไปอุดตันที่ลิ้นของเอ็กซ์แพนชันวาล์ว ตะแกรงกรองนี้จะถอดออกมาล้างหรือเปลี่ยนใหม่ได้เมื่อเกิดการอุดตัน



รูป 5.13 ท่อรีซีฟเวอร์ครายเออร์

สารดูดซับความชื้น (desiccant) จะเป็นสารในสถานะของแข็ง ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับความชื้นจากแก๊สหรือของเหลวหรือแม้แต่ของแข็ง

ปกติสารดูดซับความชื้นในระบบเครื่องปรับอากาศรถยนต์จะใช้ซิลิกาเจล (Silica-Gel) หรือ โมบิลเจล (Mobil-Gel) ซึ่งสารนี้มักบรรจุอยู่ระหว่างตะแกรงกรองภายในท่อพักน้ำยาเหลวหรืออาจบรรจุอยู่ในถุง โลหะพรมภายในท่อพักน้ำยาเหลวเช่นกัน ช่วยป้องกันมิให้สารดูดซับความชื้นหลุดออกจากภายในท่อพักเข้าไปในระบบ

ความสามารถในการดูดซับความชื้นจะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารที่ใช้ เช่น ซิลิกาเจลจำนวน 5 ลูกบาศก์นิ้วจะสามารถดูดซับความชื้นได้ประมาณ 100 หยคของน้ำที่อุณหภูมิ 150 องศาฟาเรนไฮต์

ฟิลเตอร์ (filter) ตามปกติฟิลเตอร์ทำด้วยสารซึ่งสามารถให้น้ำยาทำความเย็นผ่านได้แต่จะป้องกันสารดูดความชื้น ผุ่นผง หรือสิ่งสกปรกอื่น ๆ ที่ติดมากับน้ำยาทำความเย็นมิให้ผ่านไปได้ ตัวดูดซับความชื้นบางแบบจะมีฟิลเตอร์ทั้งสองด้าน ซึ่งน้ำยาจะต้องผ่านฟิลเตอร์ทั้งสองและสารดูดซับความชื้นก่อนออกจากท่อพักน้ำยาเหลวนี้ แต่สารดูดซับความชื้นบางแบบจะไม่มีฟิลเตอร์เลย แต่จะมีตะแกรงกรอง(strainer) ทำหน้าที่แทนในท่อพักน้ำยาและตัวดูดซับความชื้น

ท่อส่งน้ำยา (pickup tube) น้ำยาที่ถูกส่งเข้ามาพักในท่อพักน้ำยานี้ ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำยาเหลวแต่จะมีบางส่วนที่ยังคงสถานะเป็นแก๊สอยู่ ท่อพักน้ำยานี้จะทำหน้าที่แบ่งให้น้ำยาเหลวอยู่ที่ส่วนล่างของท่อพัก และส่วนที่เป็นแก๊สจะอยู่ที่ส่วนบนของท่อพัก สำหรับท่อส่งน้ำยาจะเริ่มจากส่วนล่างของท่อพักทำให้แน่ใจได้ว่าที่ส่งผ่านขึ้นมาจะเป็นน้ำยาเหลวทั้งหมด 100 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีแก๊สผสมติดขึ้นมาด้วยก่อนส่งผ่านเข้ายังเอ็กซ์แพนชันวาล์ว

ตะแกรงกรอง (strainer) ตะแกรงกรองทำด้วยลวดเล็ก ๆ สานเป็นตะแกรงอยู่ในท่อพักน้ำยาทำหน้าที่ป้องกันมิให้ฝุ่นผงผ่านทอร์ชี่ฟเวอร์ครายเออร์ เข้าไปในระบบหรือทำหน้าที่เช่นเดียวกับฟิลเตอร์นั่นเอง ท่อพักน้ำยาบางแบบจะมีตะแกรงกรองสองอันปิดครอบหัวท้ายของสารดูดความชื้น ถ้าตัวดูดความรับความชื้นใดไม่มีฟิลเตอร์อยู่ก็ต้องมีตะแกรงกรองทำหน้าที่แทนเสมอ น้ำยาเหลวจะต้องผ่านตะแกรงกรองนี้ก่อนส่งออกจกสกท่อพักน้ำยาเหลว

กระจกมองน้ำยา มีไว้สำหรับดูว่า

1. น้ำยาในระบบมีเพียงพอหรือไม่
2. มองเห็นว่าในระบบไม่มีน้ำยาหรือน้อย

กระจกมองน้ำยามักจะติดอยู่ที่ท่อพักน้ำยาเหลวหรือที่ท่อทางออกของทอร์ชี่ฟเวอร์ครายเออร์กระจกมองน้ำยานี้ใช้สำหรับให้ช่างบริการดูน้ำยาภายในระบบว่ามีเพียงพอและไม่มีฟองอากาศผ่าน ณ จุดนี้ ถ้าพบว่ามีฟองอากาศผ่าน แสดงว่าน้ำยาในระบบมีน้อยและอาจเกิดการรั่วที่จุดใดจุดหนึ่งของท่อทางเดินภายในระบบวงจรน้ำยาของเครื่องปรับอากาศ



รูป 5.14 ตัวอย่างของทอร์ชี่ฟเวอร์ครายเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เครื่องยนต์อเนกประสงค์ ยี่ห้อ KAWASAKI รุ่น FG 230

ขนาด 232 cc 6 Hp

1500 รอบ

6. ไคซาร์จ มี SPEC ดังนี้

AC VOLT	220	KVA	2
AMP	4.5	CYCLES	50
PHASE	1	RPM	1500

7. ท่อแอร์

8. พัดลมไฟฟ้า 2 ตัว

9. มอเตอร์แบบ 2 ร่อง 1 ตัว

แบบร่องเดี่ยว 1 ตัว

5.3 เทคนิคการทำ

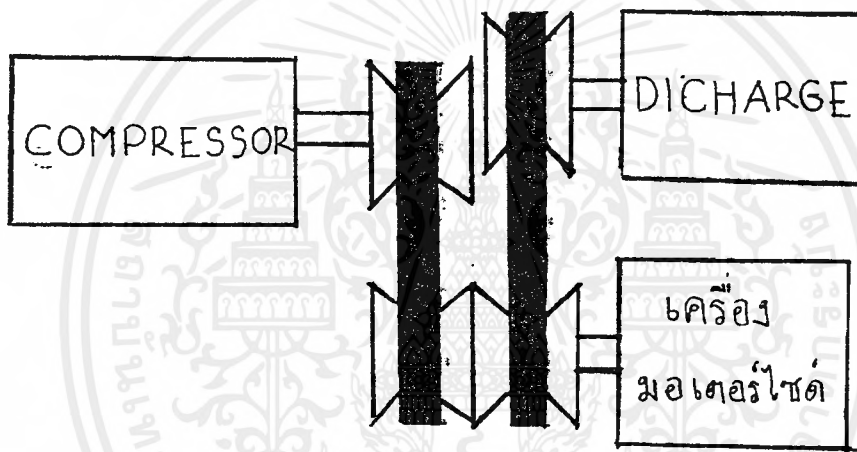
การคำนวณ

1. เริ่มจากการคำนวณรอบเดินเบาของเครื่องยนต์อเนกประสงค์ ให้เหมาะสมกับ อัตราการหมุนของมุเลย์ของ COMPRESSOR โดยคำนึงถึงขนาดของมุเลย์ของ COMPRESSOR ความกว้างของห้องโดยสาร ความเย็นที่ต้องการ ขนาดของCOMPRESSOR เพื่อหาความเร็ว รอบของเครื่องยนต์อเนกประสงค์ที่เหมาะสม โดยเรากำหนดได้ = 1,100 รอบ/นาที
2. นำความเร็วรอบของการหมุนของเครื่องยนต์อเนกประสงค์ ไปหาขนาดมุเลย์ ของเครื่องยนต์อเนกประสงค์เอง และขนาดมุเลย์ของไดชาร์จที่มีไว้สำหรับชาร์จแบตเตอรี่ โดยขนาดของมุเลย์ทั้งสองต้องสามารถ ทำให้
 - COMPRESSORจ่ายแอร์ที่เย็น
 - ไดชาร์จจ่ายไฟเพื่อชาร์จแบตเตอรี่ด้วยกระแสคงที่ 4 แอมแปร์ซึ่งเราต้องคำนึง ถึงระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ทั้งสามชิ้นนี้ด้วย
3. เรืองของมุเลย์นี้จะช่วยทำให้ทั้งแอร์และการชาร์จแบตเตอรี่สามารถทำไปได้ โดยพร้อมเพียงกัน เพราะเราให้มุเลย์แบบ 2 ร่องติดตั้งเข้าไปที่เครื่องยนต์อเนกประสงค์

การติดตั้ง

1. เราต้องรู้ถึงขนาดพื้นที่ของห้องเครื่องด้านหน้า
2. นำอุปกรณ์ -COMPRESSOR
 - ไดชาร์จ
 - เครื่องยนต์อเนกประสงค์
 มาหาขนาดมุเลย์และระยะห่างของอุปกรณ์ทั้งสาม
3. เมื่อหาได้แล้วนำอุปกรณ์ทั้งสามมาเชื่อมต่อกันด้วยมุเลย์และสายพาน โดยการ ติดตั้งจะต้องยึดกับตัวถังรถให้แน่นเพราะป้องกันการสั่นขณะรถวิ่ง
4. ขนาดมุเลย์ที่ได้ของเครื่องยนต์อเนกประสงค์จะมีขนาดใหญ่ที่สุด และมี 2 ร่อง ส่วนอีกสองชิ้น จะเป็นมุเลย์ชนิดช่องเดียว เพื่อให้มีทั้งการปั่น COMPRESSORไปพร้อมๆ กับการชาร์จแบตเตอรี่ โดยเราต้องมีการเปลี่ยนแปลงขนาดและลักษณะของช่องใส่เพลลา ของมุเลย์แต่ละอันให้มีลักษณะที่สามารถใช้กับเพลลาของเครื่องยนต์อเนกประสงค์และไดชาร์จได้

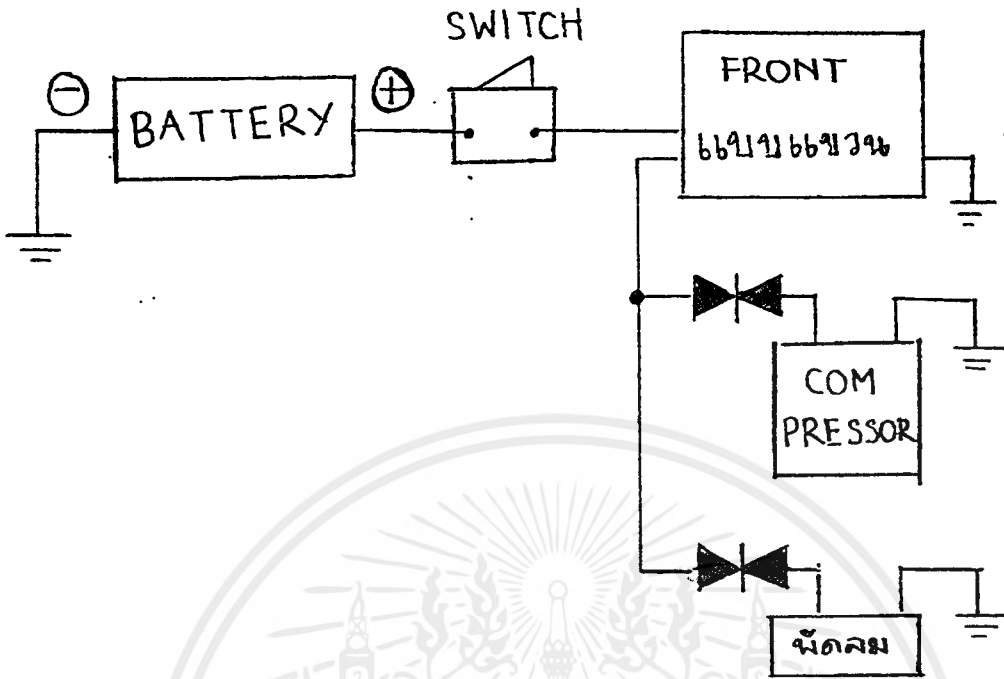
5. เมื่อถึงเวลาติดตั้งอุปกรณ์ทั้งสามชนิดนี้จะคำนึงถึงความเป็นแนวเดียวกัน ของมุลย์ ของอุปกรณ์ทั้งสามคังรูป โดยยังมีหลักการติดตั้งเครื่องยนต์อเนกประสงค์ อยู่อีกอย่างหนึ่งก็คือ ต้องติดตั้งลงไปแล้ว สามารถสตาร์ทเครื่องยนต์ ได้อย่างสะดวกเพราะ การสตาร์ทนั้น ต้องใช้การ คึงสายที่ยาวและคึงอย่างรวดเร็ว จึงต้องติดตั้งให้ทำการสตาร์ท โดยการคึงสายออกนอกตัวรถ



รูป 5.15 แสดงลักษณะการติดตั้ง COMPRESSOR ไคชาร์จ และเครื่องยนต์มอเตอร์ไซค์ เข้าด้วยกัน

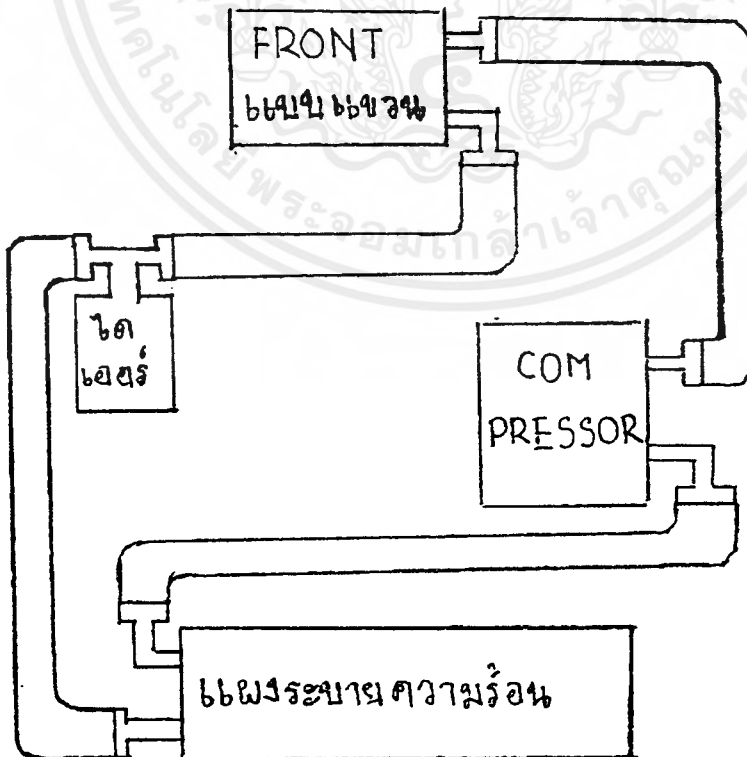
6. ต่อไปเป็นการติดตั้งFRONT แบบแขวนเข้าไปภายในห้องโดยสารและ อีอกแผงระบาย ความร้อน กับไคเอร์เข้ากับตัวถังรถ โดยที่แผงระบายความร้อนจะมีพัดลมไฟฟ้า 2 ตัว ติดตั้งอยู่ใกล้ เพื่อช่วยระบายความร้อน

7. การเดินสายไฟในตัวรถนั้น จะเป็นการเดินสายไฟเส้นเดียวไปที่ตัวอุปกรณ์ที่ต้อง ใช้ไฟและ จะทำการต่อสายลบลงกราวนด์ ทั้งหมดโดยใช้ตัวถังรถเป็นกราวนด์ ส่วนไคชาร์จ นั้นจะไปทำหน้าที่ชาร์จ แบตเตอร์ทั้งหมดที่เราคึงใช้เพื่อขับเคลื่อนรถไฟฟ้าให้สามารถ วิ่งได้นานที่สุด โดยไม่ต้องจอดเพื่อชาร์จ แบตเตอร์ใหม่



รูป 5.16 การเดินสายไฟของระบบแอร์ในตู้รถ

8. เมื่อเดินระบบไฟเสร็จเรียบร้อยแล้วต่อไปจะเป็นการเดินระบบท่อส่งแอร์ โดยมีหลักการง่ายๆ คือ มีท่อ HIGH กับท่อ LOW ซึ่งต่อดังรูป



5.4 คุณสมบัติของระบบแอร์ที่ต้องปรับปรุง

1. การสั้นของเครื่องย่นค้อเนกประสงค้ทำให้การหมุนของมูเลย์ มีความเร็วไม่คงที่นัก
2. เสียงดังของเครื่องย่นค้อเนกประสงค้เพราะมันเป็นเครื่องที่ทำมาสำหรับใช้ใด้กับหลาย ๆ งาน ประสิทธิภาพที่ออกมาจึงไม่เต็มร้อย
3. ขนาดที่ใหญ่ของเครื่องย่นค้อและการสตาร์ท ที่ต้องใ้การดึงสายที่ยาวและคิ่งอย่างรวดเร็วจึงทำให้พื้นที่ของห้องเครื่องมีขนาดเกือบไม่เพียงพอในการติดตั้งไป

5.5 หลักการทำงานของระบบ

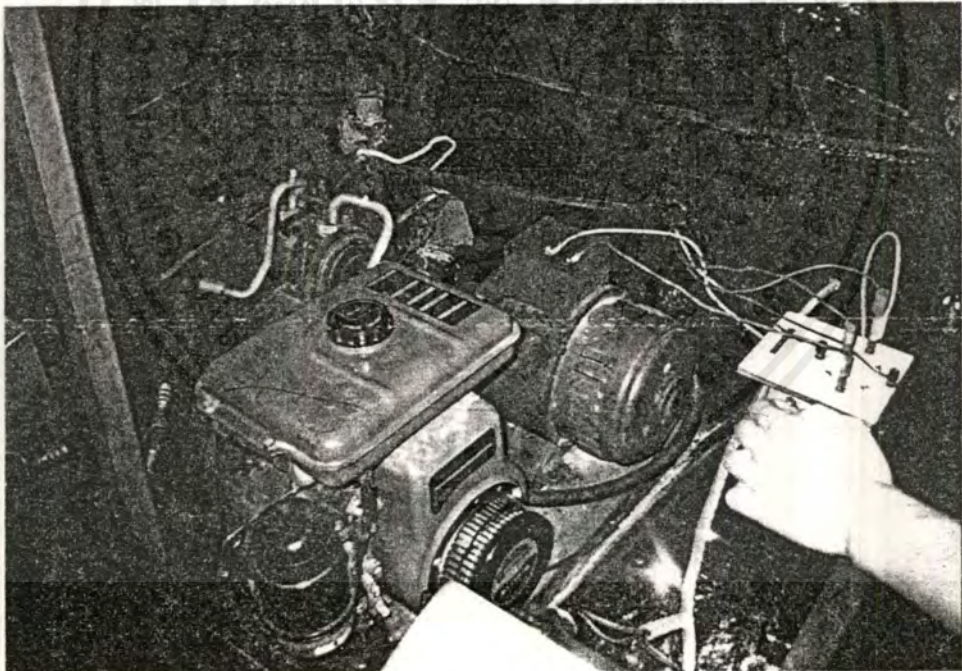
ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ (VAPOR COMPRESSOR SYSTEM) เป็นวัฏจักรการทำงานแบบทวนเข็มนาฬิกาโดยที่ COMPRESSOR จะทำงานโดยดูดสารทำความเย็นเข้าทางด้านดูด และ COMPRESSOR จะอัดสารทำความเย็นใ้มีความร้อนสูงและความดันสูง ออกทางด้านออกไปที่CONDENSER เพื่อระบายความร้อนออก สารทำความเย็นจะกลายเป็นของเหลวที่มีความดันสูงแต่ยังร้อนอยู่ ไหลออกไปยังครายเออร์เพื่อรองความชื้นและสิ่งสกปรกในระบบทำความร้อน จากนั้นสารทำความเย็นเหลวก็จะไหลไปที่ EXPANSION วาล์ว แล้วฉีดออกเป็นฝอยละอองเข้าไปใน อีวาพอเรเตอร์ โดยมันจะดูดความร้อนจากภายนอกใ้ให้ฝอยละอองนั้นกลายเป็นไอหรือก๊าซที่มีความร้อนเพิ่มขึ้น จากการดูดความร้อนแฝงกลายเป็นไอนี้จะใ้อุณหภูมิกายนอกรอบๆลดลง แล้ว อีวาพอเรเตอร์นี้ก็จะฉีดไอนี้เข้าไปใน COMPRESSOR เพื่อเริ่มวัฏจักรการทำงานใหม่ต่อไป

5.6 หลักการทำงานของอุปกรณ์

1. COMPRESSOR หรือเครื่องอัดเป็นอุปกรณ์ที่ใ้ ความดันของสารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะ เป็นก๊าซ โดยการดูดและอัดสารทำความเย็น ในสถานะเป็นก๊าซที่มีความดันและอุณหภูมิต่ำ ผ่านเข้าทางด้าน ถิ่นดูดและ อัดก๊าซใ้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น โดยมี ความดันมากกว่า 14.1 กิโลกรัม ต่อ ตารางเซนติเมตร ส่งไปยัง CONDENSER
2. CONDENSER ทำหน้าที่ระบายความร้อน โดยใช้ความร้อนถ่ายเทออกสารทำความเย็น ซึ่งเป็นก๊าซ ในขณะที่ COMPRESSOR อัดสารทำความเย็น ภายในอุณหภูมิและความดันสูง สารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะจากก๊าซ เป็นสารทำความเย็นเหลว

3. RECEIVER DRIER ทำหน้าที่เก็บสารทำความเย็นไว้ชั่วคราว หลังจากถูกทำให้เป็นของเหลวโดย CONDENSER โดยจะถ่ายให้กับระบบขึ้นอยู่กับภาระการทำความเย็น และทำหน้าที่กรองสิ่งสกปรก ความชื้นที่เข้าไปในระบบ เพื่อมิให้เสียหายแก่ระบบทำความเย็น

4. หน่วยทำความเย็น (COOLING UNIT) ประกอบด้วย อีวาพอเรเตอร์ โบล์เวอร์ มอเตอร์ พัดลม EXPANSION วาล์ว และอ่างน้ำทิ้ง โดย อีวาพอเรเตอร์ ทำให้อสารทำความเย็นซึ่งเป็นของเหลว มีแรงดันสูง ผ่าน EXPANSION วาล์ว หนีออกมาที่ อีวาพอเรเตอร์ โดยจะเป็นห้องกว้าง ทำให้แรงดัน ลดลงทันทีทันใด ทำให้อสารทำความเย็น ขยายตัวเปลี่ยนสถานะ กลายเป็นไอหรือก๊าซเป็น เหตุทำให้จุด เดือด ของสารทำความเย็นต่ำลง



รูป 5.18 แสดงการติดตั้งระบบปรับอากาศในรถไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

อินเวอร์เตอร์ และ คอนเวอร์เตอร์

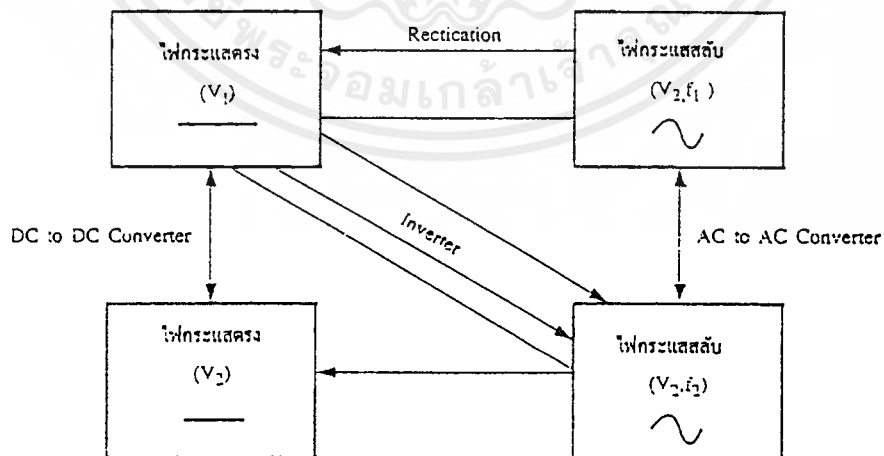
6.1 บทนำ

ในงานอุตสาหกรรมการควบคุมกำลังไฟฟ้าจะมีทั้งรูปแบบที่เป็นไฟกระแสตรงและไฟกระแสสลับซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์กำลังอันได้แก่ จีตคอนโคโอด ทรานซิสเตอร์ทรานซิสเตอร์เฟต และ ไอซี (INTEGRATED CIRCUIT) ได้เข้าไปมีบทบาทอย่างมากที่จะใช้ในการควบคุมการสวิตซ์ซึ่ง (SWITCHING) และการเปลี่ยนแปลงรูปของพลังงานไฟฟ้าอันอาจจะกล่าวได้ว่าวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง มีหน้าที่แปลงผันพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ที่เรียกโดยทั่วไปว่า CONVERTER แต่เนื่องจากคอนเวอร์เตอร์จะเป็นอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ต่อเชื่อมอยู่ระหว่างระบบไฟตรงและไฟกระแสสลับซึ่งจะมีชื่อเรียกตามหน้าที่การทำงานของมัน เช่น

- วงจรแปลงผันไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรง (RECTIFIER)
- วงจรแปลงผันไฟกระแสตรงเป็นไฟกระแสสลับ (INVERTER)
- วงจรแปลงผันไฟกระแสตรงเป็นไฟกระแสตรง (DC TO DC CONVERTER)

หรือวงจรชอปเปอร์ (CHOPPER)

- วงจรแปลงผันไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสสลับ (AC TO AC CONVERTER)



รูป 6.1 แสดงวงจรและหน้าที่การแปลงผันพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ

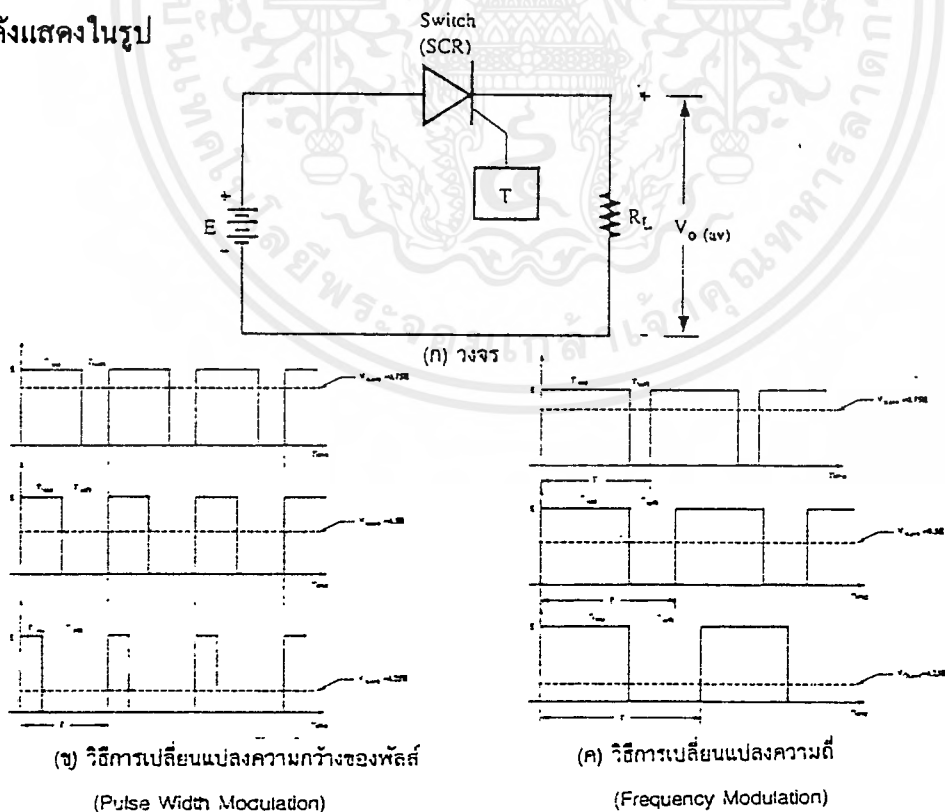
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากหน้าที่ของคอนเวอร์เตอร์ดังกล่าวข้างต้นจะเป็นการแปลงผันโดยตรงของวงจร นอกจากนี้ การแปลงผันอาจจะกระทำได้โดยทางอ้อม เช่น การแปลงผันไฟกระแสตรงเป็นไฟกระแสตรงโดยทางอ้อมกระทำได้โดยแปลงผันไฟกระแสตรงเป็นไฟกระแสสลับ แล้วตามด้วยการแปลงผันไฟกระแสสลับเป็น ไฟกระแสตรง ดังแสดงในรูป 6.1

6.2 วงจรชอปเปอร์ (CHOPPER)

เป็นการเปลี่ยนแรงดันไฟกระแสตรงจากค่าหนึ่งให้เป็นแรงดันไฟกระแสตรงอีกค่าหนึ่งที่มีระดับสูงกว่า หรือต่ำกว่า โดยอาศัยหลักการ ปิด เปิด วงจรที่ใช้สวิทช์ให้เป็นจังหวะ อันมีผลทำให้แรงดันเอาต์พุตที่ได้เป็นแรงดันเฉลี่ย (AVERAGE VOLTAGE) สูงหรือต่ำลงด้วยการควบคุมระยะเวลาของการสวิทช์นี้

วงจรชอปเปอร์พื้นฐานจะประกอบด้วยสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์ อันได้แก่ ทรานซิสเตอร์ หรือไทรสเตอร์ (เอส ซี อาร์) ที่ต่ออยู่ระหว่างแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง และโหลด ดังแสดงในรูป



รูป 6.2 วงจรชอปเปอร์พื้นฐาน

วิธีการทำให้แรงดันเฉลี่ยของวงจรถอปปเปอร์มีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงด้วยการควบคุมการสวิตช์สามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ

1. วิธีการเปลี่ยนแปลงความกว้างของพัลส์ (PULSE WIDTH MODULATION : PWM) คือ เมื่อช่วงเวลานำกระแส (Ton) และช่วงเวลาที่ครุส (Toff) เปลี่ยนแปลงแต่คาบเวลาคงที่ดังแสดงในรูป

2. วิธีการเปลี่ยนแปลงความถี่ (FREQUENCY MODULATION) คือเมื่อช่วงเวลาที่ครุส (Toff) คาบเวลา (T) เปลี่ยนแปลง แต่ช่วงเวลานำกระแส (Ton) คงที่ดังแสดงในรูป

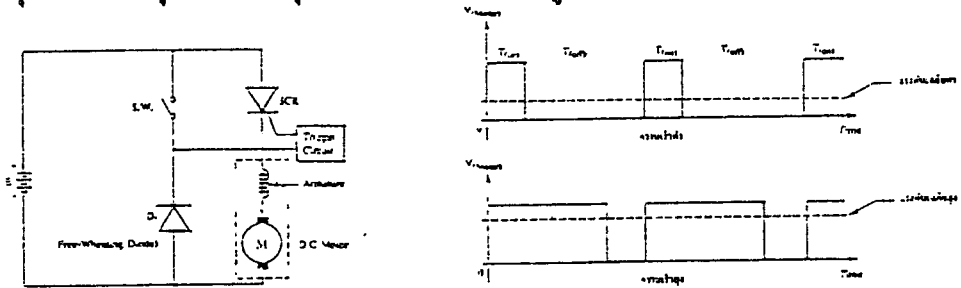
ค่าแรงดันเฉลี่ยของวงจรถอปปเปอร์ สามารถคำนวณหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$V_{o(av)} = \frac{T_{on} * E}{T} \dots\dots\dots(7.1)$$

เมื่อ

- $V_{o(av)}$ = แรงดันเฉลี่ย (AVERAGE VOLTAGE)
- T_{on} = ช่วงเวลานำกระแส (TURN-ON TIME)
- T = คาบเวลา (TIME PERIOD)
- E = แรงดันทางด้านอินพุต (INPUT VOLTAGE)

การนำเอาวงจรถอปปเปอร์ไปใช้งาน ส่วนมากจะใช้ในการควบคุมแรงดันไฟฟ้า อย่างเช่นใช้เป็นแหล่ง จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่เปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าได้หรือที่เรียกว่า “ ตัวคุมค่าการสวิตช์ ” (SWITCHING REGULATOR) หรือการควบคุมแรงดันไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้แก่อาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟกระแสตรง (DC MOTOR) ในการควบคุมการเริ่มหมุนและควบคุมความเร็วดังแสดงในรูป 6.3



(ก) วงจรถอปปเปอร์

(ข) แรงดันเฉลี่ยที่จ่ายให้แก่มอเตอร์ที่ถูกควบคุมด้วยสวิตช์ (SW)

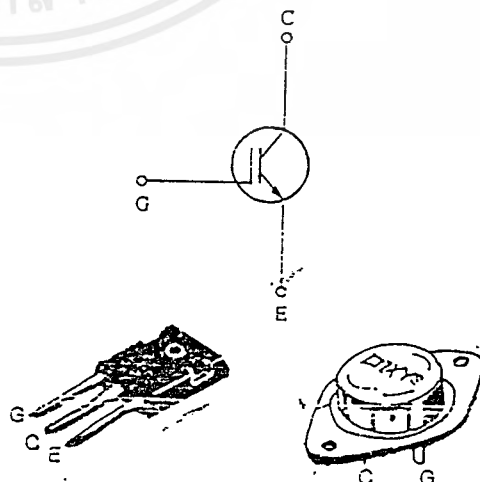
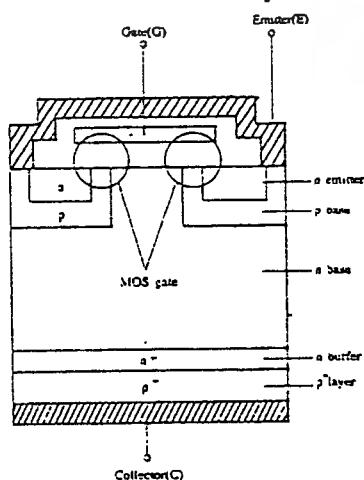
รูป 6.3 แสดงหลักการพื้นฐานที่ใช้วงจรถอปปเปอร์ควบคุมมอเตอร์ไฟกระแสตรง

6.3 อินเวอร์เตอร์ (INVERTER)

เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟกระแสตรงเป็นแรงดันไฟกระแสสลับ ซึ่งสามารถควบคุมแรงดัน เอาต์พุตให้มีขนาด หรือความถี่เปลี่ยนแปลงได้ตามต้องการ อินเวอร์เตอร์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ หลายอย่าง อาทิเช่น

1. ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับสำรองหรือที่เรียกกันว่า “ ยู พี เอส (UPS : UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY) ”
2. ใช้ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟกระแสสลับ
3. ใช้ในระบบเตาหลอมโลหะที่อาศัยการเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กทำให้เกิดความร้อน (INDUCTION HEATING)
4. ใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในอากาศยานหรือยานพาหนะ

ในปัจจุบันทรานซิสเตอร์กำลัง และ ไอจีบีที (IGBT : INSULATED GATE BIPOLAR TRANSISTOR) ได้มีการผลิตให้สามารถทนพิกัดทางกระแสและแรงดัน ได้สูงขึ้นทัดเทียมกับไทรสเตอร์จึงสามารถนำมาใช้เป็นวงจรอินเวอร์เตอร์ได้สะดวกกว่า วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ เอส ซี อาร์ เพราะการใช้เอส ซี อาร์ ในวงจรไฟกระแสตรงจะต้องมีวิธีการทำให้ เอส ซี อาร์ หยุดนำกระแสหลังจากการจุดชนวนที่เรียกว่า “ การสับเปลี่ยนแบบบังคับ ” (FORCED COMMUTATION) ซึ่งเป็นสิ่งที่มีความยุ่งยาก แต่การใช้ทรานซิสเตอร์ยังมีข้อจำกัดในการใช้กระแสควบคุมที่สูงกว่ากระแสจุดชนวน เอส ซี อาร์ หรือการใช้ไอจีบีที คือเป็นอุปกรณ์ที่รวมคุณลักษณะที่ดีของทรานซิสเตอร์และเฟดเข้าด้วยกัน แต่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของความถี่ที่ใช้งานคือความถี่สูงสุดไม่เกิน 20 กิโลเฮิร์ตซ์ ดังแสดงโครงสร้างไว้ในรูป 6.4



รูป 6.4 ไอจีบีที (IGBT)

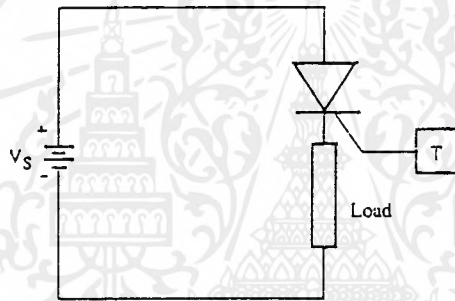
(ข) สัญลักษณ์และรูปร่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งถ้าพิจารณาคุณสมบัติของ เอส ซี อาร์ ให้คิดแล้วจะเห็นว่าพิกัดทางกระแสและแรงดันของเอส ซี อาร์จะสูงกว่าทรานซิสเตอร์กำลัง และไอบีจีที่ อยู่มาก และในปัจจุบันอินเวอร์เตอร์ที่มีขนาดกิโลวัตต์สูง ๆ ก็ยังคงที่ ใช้ เอส ซี อาร์ เป็นอุปกรณ์สวิตช์หลักอยู่ดังนั้นในหลักการพื้นฐานของอินเวอร์เตอร์ที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้จะขอยกตัวอย่างวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ เอส ซี อาร์เป็นตัวควบคุมการสวิตช์เท่านั้น

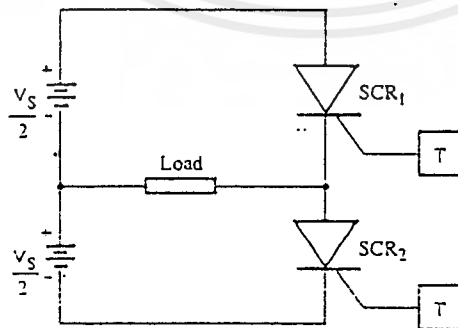
วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้งานโดยทั่วไปมีด้วยกันหลายแบบซึ่งถ้าจัดแบ่งตามลักษณะการต่อโหลดและแหล่งจ่ายแรงดันจะสามารถแบ่งชนิดออกได้ดังนี้

1. อินเวอร์เตอร์ชนิด 1 เฟสที่ใช้หลักการของวงจรชอปเปอร์คิงแสดงในรูป 6.5



รูป 6.5

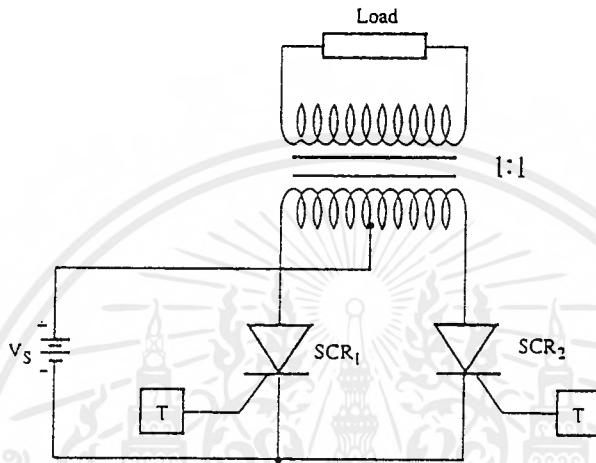
2. อินเวอร์เตอร์ชนิด 1 เฟสที่ใช้แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่มีจุดต่อกึ่งกลาง (SINGLE - PHASE CENTER - TAPPED SUPPLY INVERTER) ดังแสดงในรูป 6.6



รูป 6.6

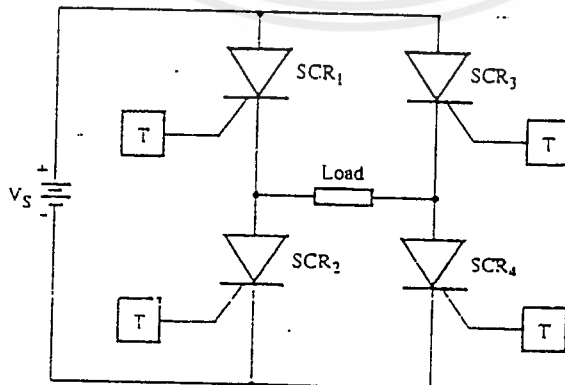
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อินเวอร์เตอร์ชนิด 1 เฟสที่ใช้โหลดที่มีจุดต่อกึ่งกลาง (SINGLE - PHASE CENTER - TAPPED LOAD CENTER) ดังแสดงในรูป 6.7



รูป 6.7

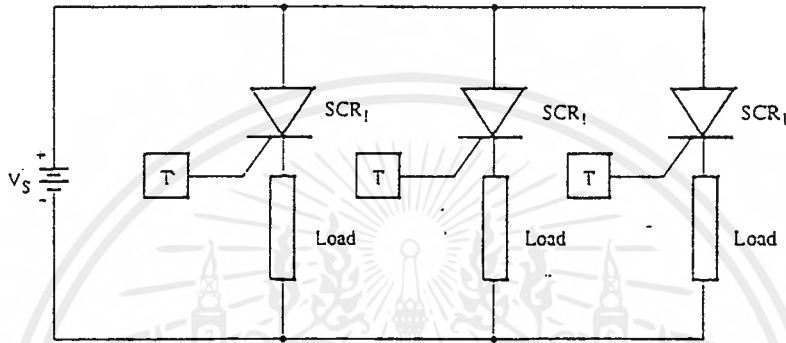
4. อินเวอร์เตอร์ชนิด 1 เฟส แบบบริดจ์ (SINGLE - PHASE BRIDGE INVERTER) ดังแสดงในรูป 6.8



รูป 6.8

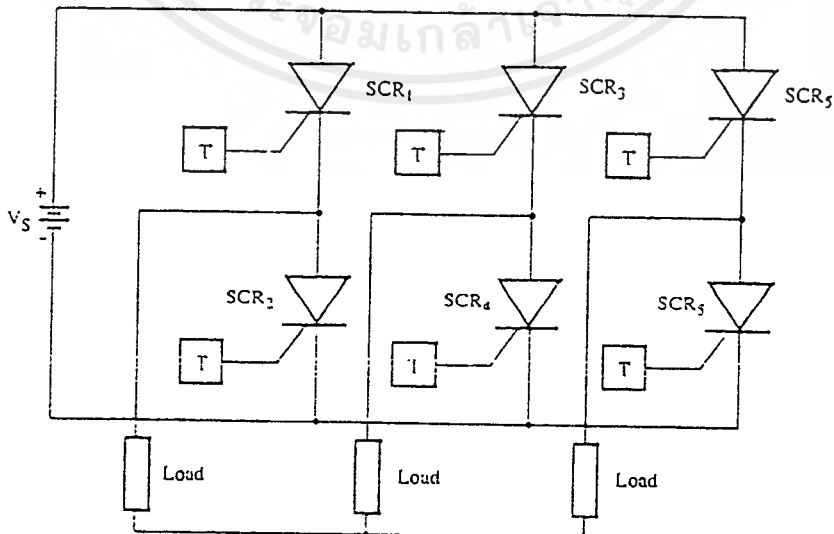
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. อินเวอร์เตอร์ชนิด 3 เฟส แบบบริดจ์ครึ่งคลื่น (THREE PHASE HALF - WAVE BRIDGE INVERTER) ดังแสดงในรูป 6.9



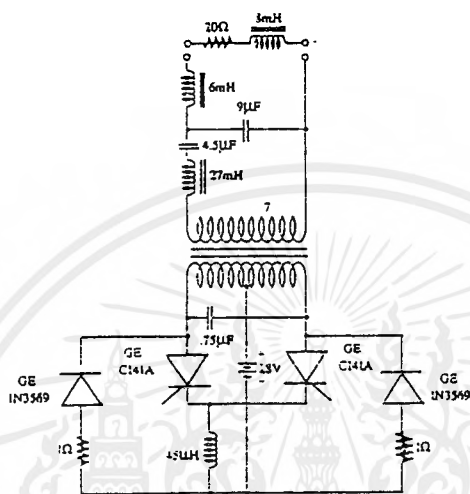
รูป 6.9

6. อินเวอร์เตอร์ชนิด 3 เฟส แบบบริดจ์ (THREE - PHASE BRIDGE INVERTER) ดังแสดงในรูป 6.10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 6.10 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปเป็นตัวอย่างของวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้งานจริง ที่มีการทำให้ เอส ซี อาร์
หยุดนำกระแสด้วยการเปลี่ยนแบบบังคับ ซึ่งเป็นการทำงานในแบบ ซี (CLASS : C C
OR LC SWITCHED BY ANOTHER LOAD CARRYING SCR)



รูป 6.11 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ผลิตความถี่ 400 Hz

6.4 คอนเวอร์เตอร์

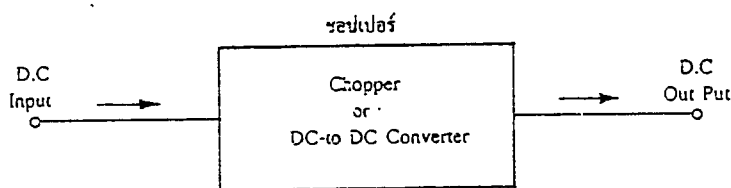
เป็นวงจรที่มีลักษณะการทำงานแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

1. วงจรแปลงผันไฟกระแสตรงเป็นไฟกระแสตรง (DC TO DC CONVERTER)
2. วงจรแปลงผันไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสสลับ (AC TO AC CONVERTER)

วงจรแปลงผันไฟกระแสตรงเป็นไฟกระแสตรง (DC TO DC CONVERTER)

คือวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟกระแสตรงค่าหนึ่งเป็นแรงดันไฟกระแสตรงอีกค่าหนึ่ง
ที่สามารถปรับระดับของแรงดันได้ตามต้องการซึ่งจะแบ่งลักษณะการทำงานได้ 2 แบบคือ

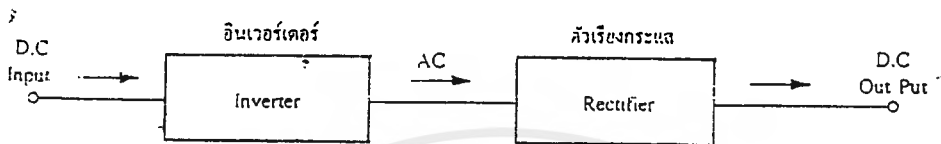
1. วงจรแปลงผันไฟกระแสตรงเป็นไฟกระแสตรงแบบโดยตรง (DIRECT DC TO DC CONVERTER) คือวงจรเปลี่ยนแรงดันไฟกระแสตรงเป็นแรงดันไฟกระแสตรงได้โดยตรง หรือ
วงจรชอปเปอร์



รูป 6.12 แสดงหลักการของวงจรแปลงผันไฟกระแสตรงเป็นไฟกระแสตรงแบบโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติเหินาไปเซประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วงจรแปลงผันไฟกระแสตรงเป็นไฟกระแสตรงแลลโดยทางอ้อม(INDIRECT DC TO DC CONVERTER) คือวงจรเปลี่ยนแรงดันไฟกระแสตรงเป็นแรงดันไฟกระแสสลับก่อน แล้วผ่านวงจรเรียงกระแส(RECTIFIER CIRCUIT) ให้เป็นวงจรกระแสตรงอีกทีหนึ่ง

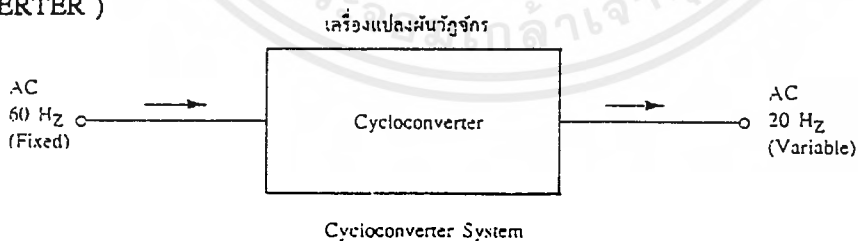


รูป 6.13 แสดงหลักการของวงจรแปลงผันไฟกระแสตรงเป็นไฟกระแสตรงแบบโดยอ้อม

วงจรแปลงผันไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสสลับ (AC TO AC CONVERTER)

คือวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟกระแสสลับ (M) เฟส ความถี่ (f_1) เป็นแรงดันไฟกระแสสลับ (f_2) ซึ่งแบ่งลักษณะการทำงานได้ 2 แบบคือ

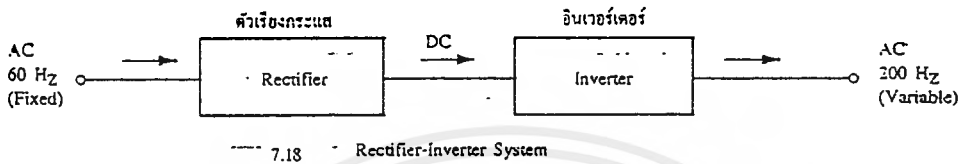
1. วงจรแปลงผันไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสสลับแบบโดยตรง (DIRECT AC - TO - AC CONVERTER) คือการเปลี่ยนแรงดันไฟกระแสสลับความถี่หนึ่งเป็นแรงดันไฟกระแสสลับอีกความถี่หนึ่งโดยตรง ด้วยวิธีการควบคุมเฟสของไฟกระแสสลับแบบเอฟ (CLASS : F AC LINE COMMUTATION) ซึ่งตัวที่ทำให้ความถี่ของไฟกระแสสลับ มีค่าต่ำกว่าความถี่เดิมเรียกว่า “ เครื่องแปลงผันวัฏจักร ” (CYCLOCONVERTER) และตัวที่ทำให้ความถี่ของไฟกระแสสลับมีค่าสูงขึ้นกว่าความถี่เดิมเรียกว่า “ เครื่องผกผันวัฏจักร ” (CYCLO INVERTER)



รูป 6.14 แสดงหลักการวงจรแปลงผันไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสสลับโดยตรง

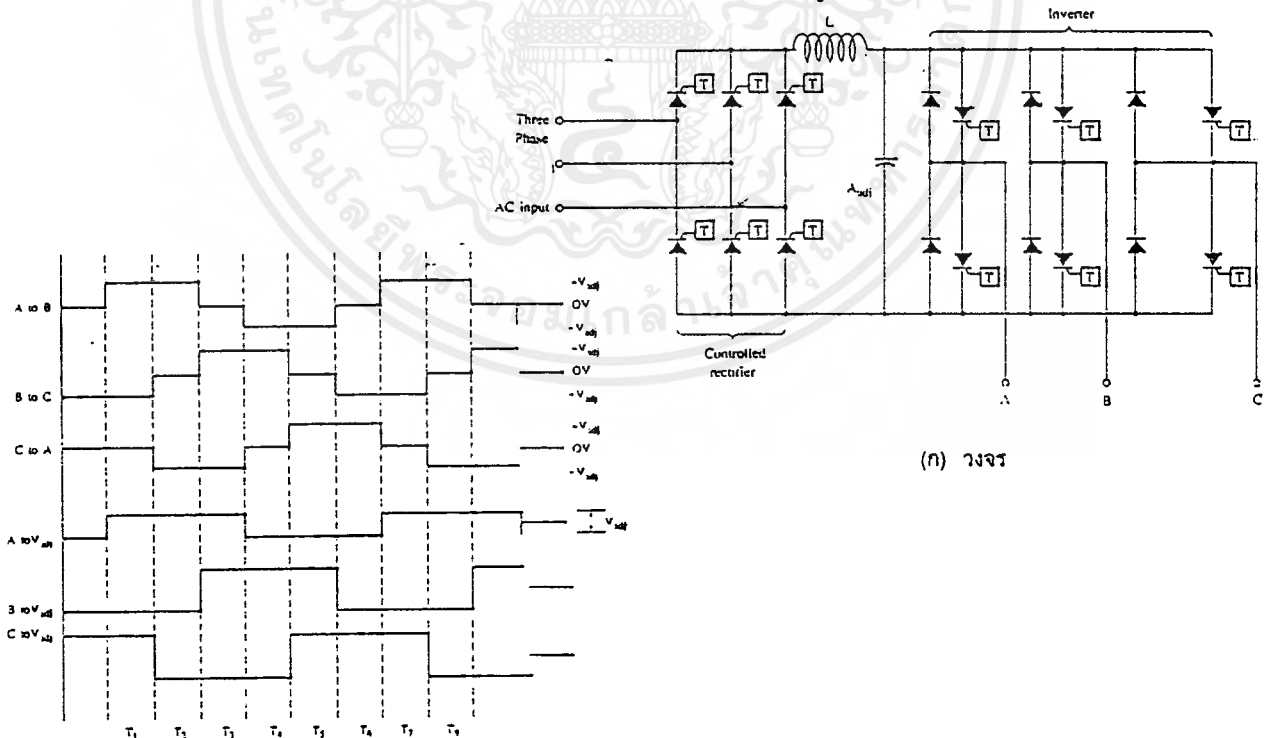
การใช้งานของเครื่องแปลงผันวัฏจักร ส่วนใหญ่จะนิยมใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟกระแสสลับที่ความเร็วต่ำ ซึ่งเครื่องแปลงผันวัฏจักรขนาดใหญ่สามารถขับเคลื่อนที่กำลังสูงถึง 15 เมกะวัตต์ แต่ความถี่ทางเอาต์พุตอาจแปรผันได้โดยใช้เทคนิคของการควบคุมเฟส

2. วงจรแปลงผันไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสสลับแบบโดยทางอ้อม (INDIRECT AC TO AC CONVERTER) คือการเปลี่ยนแรงดันไฟกระแสสลับเป็นแรงดันไฟกระแสตรงก่อน ด้วยวงจรการเรียงกระแสแล้วใช้วงจรอินเวอร์เตอร์เปลี่ยนแรงดันไฟกระแสตรงเป็นแรงดันไฟกระแสสลับ ที่มีความถี่ตามต้องการได้



รูป 6.15 แสดงหลักการวงจรแปลงผันไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสสลับโดยทางอ้อม การควบคุมวิธีการเปลี่ยนแปลงความถี่ในปัจจุบัน ซึ่งจะสามารถจัดแบ่งได้ 3 แบบ คือ

1. อินเวอร์เตอร์แบบเปลี่ยนแปลงแรงดัน (VARIABLE - VOLTAGE INVERTER : VVI) เป็นวงจรที่มีการเปลี่ยนแรงดันไฟกระแสสลับระบบ 3 เฟส ให้เป็นแรงดันไฟกระแสตรง ด้วยการควบคุมเฟส การเรียงกระแสแบบบริดจ์ และแรงดันไฟกระแสตรงที่ได้จะถูกการควบคุมด้วยอินเวอร์เตอร์ชนิด 3 เฟส แบบบริดจ์ เพื่อเปลี่ยนแรงดันไฟกระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟกระแสสลับที่มีเฟส และความถี่ที่เปลี่ยนแปลงได้ ดังแสดงในรูป



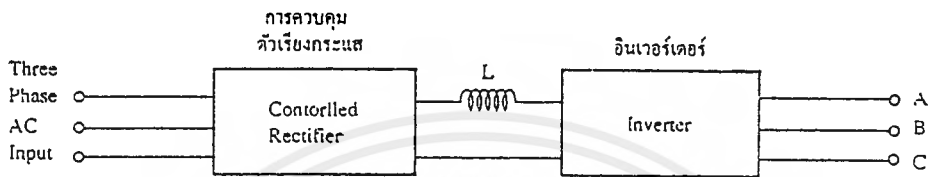
(ช) รูปคลื่น

รูป 6.16 แสดงอินเวอร์เตอร์ แบบเปลี่ยนแปลงแรงดัน (VVI)

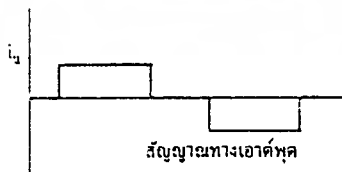
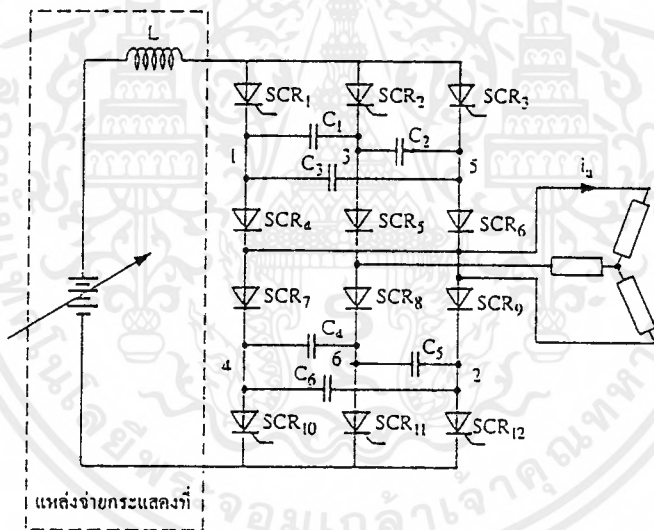
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส (CSI)

เป็นวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้แหล่งจ่ายไฟที่จ่ายกระแสได้คงที่ซึ่งทำได้โดยการมีต่อตัวเหนี่ยวนำขนาดใหญ่อันดับเข้ากับแรงดัน ดังแสดงในรูป



(ก) หลักการ



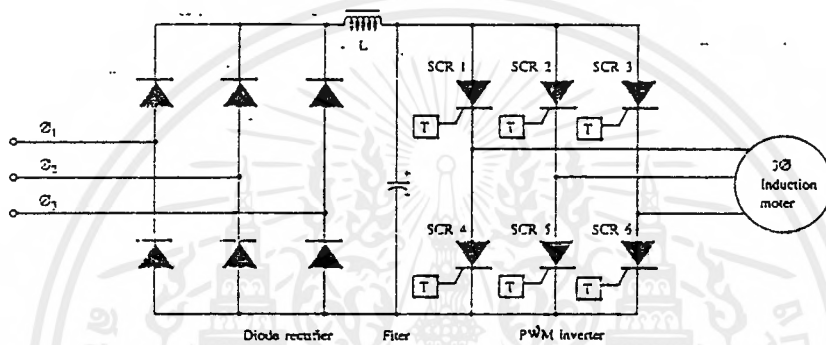
(ข) วงจรและสัญญาณทางเอาต์พุต

รูป 6.17 แสดงอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส (CSI) ระบบ 3 เฟส

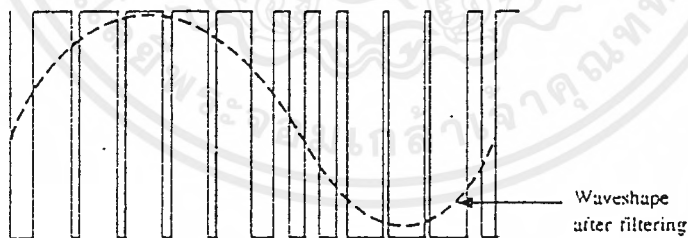
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การควบคุมด้วยความกว้างพัลส์ (PWM)

เป็นการควบคุมให้เอส ซี อาร์ นำกระแสและหยุดนำกระแส เพื่อให้ได้รูปคลื่นของแรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงตามความกว้างของพัลส์ ดังแสดงในรูป



(ก) วงจร



(ข) รูปคลื่นพัลส์ทางเอาต์พุต

รูป 6.18 แสดงการควบคุมด้วยความกว้างของพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

การทดลอง และ ผลการทดลอง

7.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวระบบที่เป็นหัวใจหลักสำคัญของรถไฟฟ้า ได้แก่ระบบขับเคลื่อนและระบบควบคุมความเร็วของรถ ซึ่งมีอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในส่วนนี้มีอยู่ 3 ชนิดคือ แบตเตอรี่ที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟ มอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้เป็นระบบขับเคลื่อน และอินเวอร์เตอร์ที่ใช้เป็นระบบควบคุมความเร็ว

7.2 ระบบขับเคลื่อน

ใช้มอเตอร์อินดักชัน ขนาด 7.5 Hp 220 / 380 V 20.11 / 11.61 A

powerfactor = 0.88 2880 RPM

IP 54 52 Kg Nr = 1408

ข้อดีและข้อเสียของมอเตอร์ AC เมื่อเทียบกับมอเตอร์ DC
ข้อดี

1. ราคาถูก
2. ดูแลรักษาง่าย
3. ทนทาน
4. ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ง่ายกว่าโดยใช้คุณสมบัติของ INVERTER

มาควบคุม V/F ให้คงที่และปรับค่าความถี่ จะได้ค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ต่าง ๆ กัน

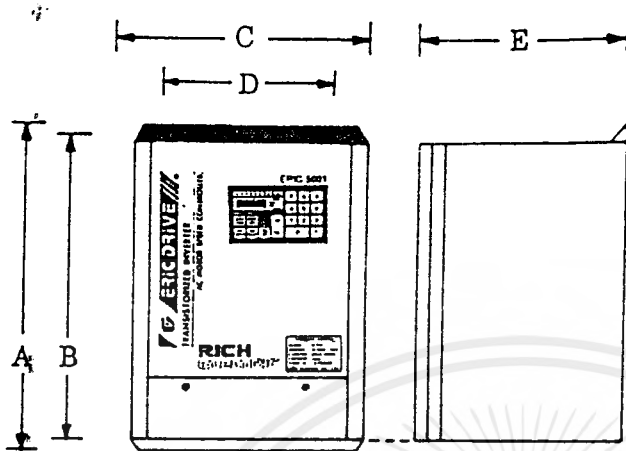
ข้อเสีย

แรงบิดขณะสตาร์ทต่ำ

ในการติดตั้งมอเตอร์นั้นให้นำมอเตอร์อินดักชันมาต่อเข้ากับเพลากลางของ โครงรถแบบแชสชีส์โดยตรงเลย ในส่วนของการควบคุมความเร็วของมอเตอร์และแหล่งจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ จะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

7.2 ระบบควบคุมความเร็ว

มี INVERTER ชนิด ERIC - 5001 SERIES ขนาด 10 Hp เป็นตัวควบคุมความเร็วของมอเตอร์อินดักชัน โดยมีแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟ



รูป 7.1 รูปแบบและโครงสร้างของอินเวอร์เตอร์

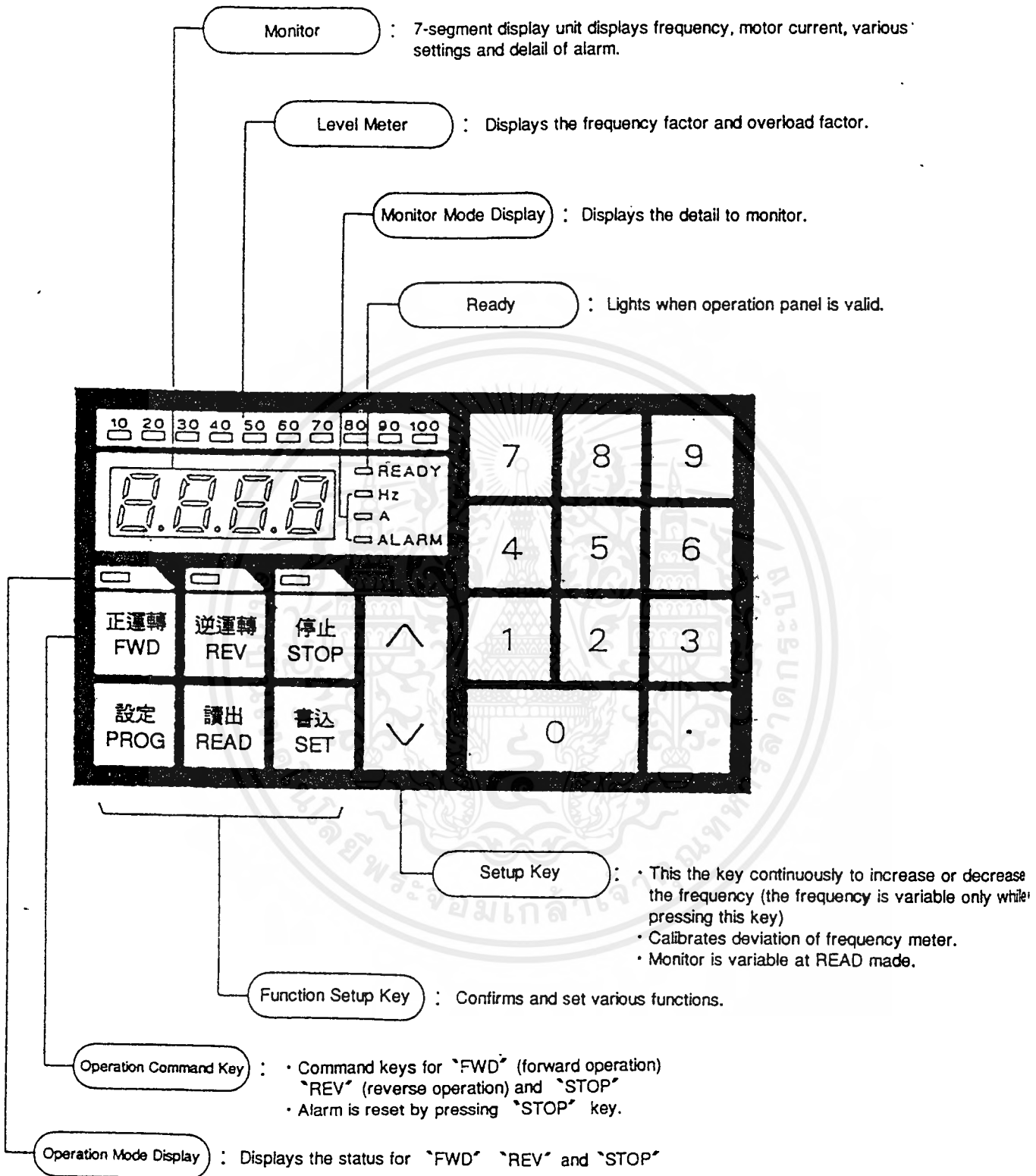
หลักการทำงานอย่างง่ายของอินเวอร์เตอร์

* Operation shows the case at 50Hz.

	Operation	Monitor Display	Status
Sel Frequency	5 · 0 · 書込 SET		Flickers 50Hz
Operation	正運転 FWD (or 逆運転 REV)		Lights 50Hz
Stop	停止 STOP		Flickers 50Hz

ตาราง 7.1 แสดงการทำงานอย่างง่ายของอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้








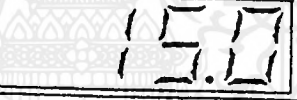


รูป 7.2 OPERATION PANEL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้แล้วอินเวอร์เตอร์ตัวนี้ยังสามารถตั้ง โปรแกรมการทำงานได้อีกด้วย ดังตัวอย่าง
ในตาราง 7.2

ตาราง 7.2 ตัวอย่างการตั้ง โปรแกรม

Operation	Monitor Display	Remarks
 設定 PROG · 8		Displays code No.
 讀出 READ		Displays the present setting.
1 · 5		Displays new setting. (inputtable up to 4 digits).
 書込 SET	 	Lights for 5 sec. alternately.

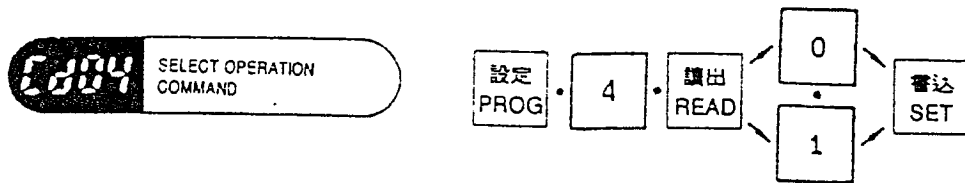
อินเวอร์เตอร์มี โปรแกรมที่สามารถตั้ง ได้อยู่มากมายแต่ในที่นี้จะกล่าวถึง โปรแกรมที่
ใช้โครงงานนี้เท่านั้น ได้แก่



■ This is the function to select operation panel or external analogue signal to set the output frequency of inverter.

Cd01-0: Set frequency on operation panel.

Cd01-1: Set frequency by external analogue signal (4 ~ 20mA, 0 ~ 10V, etc.)

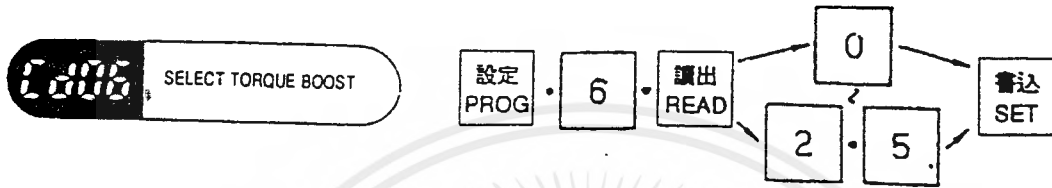


■ The function to select operation panel or external signal to perform the inverter operation.

Cd04-0: Operation on operation panel.

Cd04-1: Operation by external signal.

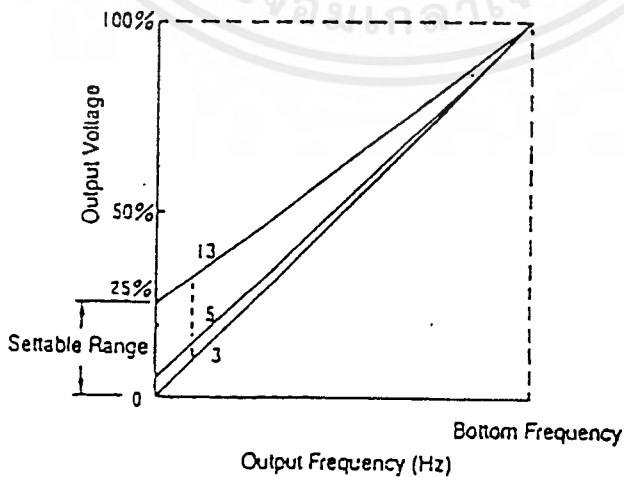
Note: It cannot set this command even if the inverter is at stop if external operation signal FR or RR is input.



■ Select any one from 0 ~ 25 patterns.

Data No.	Description
0	Auto boost
1, 2	For reducing torque load
3 ~ 13	Lower frequency boost
14 ~ 25	For voltage change

Note: Auto boost rises the voltage automatically at the time of acceleration and increases the start torque so as to make acceleration smoothly. This operation functions only at the time of acceleration but does not function at steady state and during deceleration.



รูป 7.3 แสดงโปรแกรมภายในอินเวอร์เตอร์ (ต่อ)

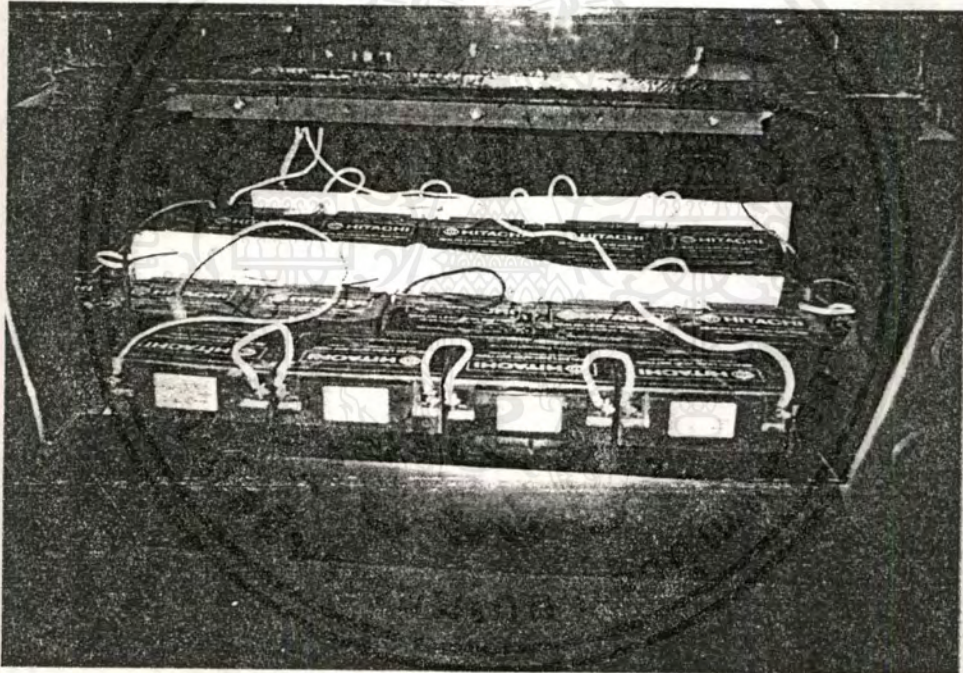
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาจำนวนของแบตเตอรี่

$$\begin{aligned} V_{ac} &= 220 \text{ V}_{rms} \\ &= 220 * \sqrt{2} \text{ V}_{peak} \\ &= 311.0 \text{ V}_{peak} \end{aligned}$$

ทำให้ต้องใช้ BATTERY ทั้งหมด

$$\begin{aligned} &= 312 / 12 \\ &= 26 \text{ ลูก} \end{aligned}$$



รูป 7.4 ภาพแสดงแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถไฟฟ้าทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 การทดลอง การควบคุมความเร็วของ INDUCTION MOTOR และการศึกษา ความสัมพันธ์ระหว่าง มอเตอร์ กับ อินเวอร์เตอร์

วัตถุประสงค์

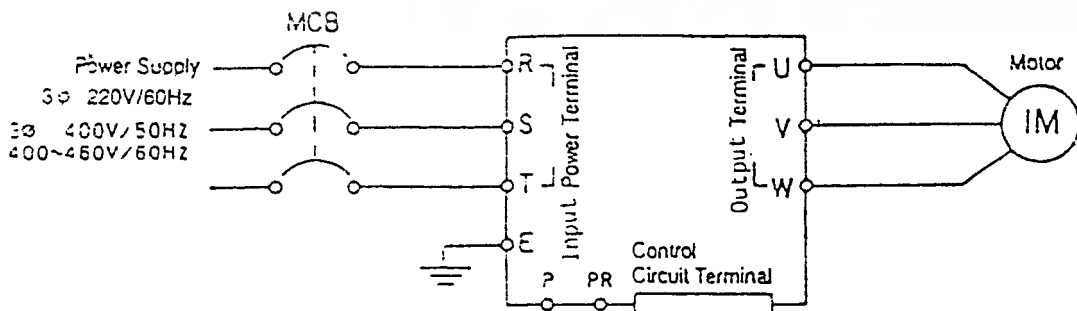
1. เพื่อศึกษาการทำงานของ INVERTER
2. เพื่อศึกษาว่า INVERTER ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ได้อย่างไร
3. การนำ INVERTER ไปประยุกต์ใช้ในระบบขับเคลื่อนของรถไฟฟ้า

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. INVERTER ชนิด ERIC - 5001 SERIES ขนาด 10 Hp
2. INDUCTION MOTOR 7.5 Hp
3. AMPMETER AC 0 - 30 A
4. สายไฟ แทนต่อสาย
5. BATTERY
6. RPM METER

ขั้นตอนการทดลอง แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

1. ทดลองดูความสัมพันธ์ระหว่าง INVERTER กับ INDUCTION MOTOR
- ตัวอย่างตามรูป



รูป 7.5 Basic Wiring Diagram Of Inverter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ดูความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความเร็วรอบของมอเตอร์ ทำการทดลอง โดยการเพิ่มค่าความถี่ที ละ 10 Hz จนถึงค่าที่พิกัด (ในที่นี้คือ 50 Hz)
- พล็อตกราฟระหว่าง ความถี่ กับ RPM ของมอเตอร์

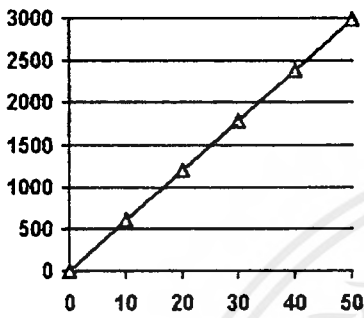
ตารางบันทึกผลการทดลอง

ความถี่ (f)	กระแส (A)	ความเร็วรอบ
10	7	598.5
20	8	1195
30	5.5	1792
40	5	2390
50	5	2986

ตาราง 7.3 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความเร็วรอบของมอเตอร์

- จะได้ว่าที่ความถี่ 20 Hz เป็นความถี่ที่มอเตอร์เริ่ม START สังเกตได้จากกระแส ณ จุดนี้มีค่าสูงสุดคือเท่ากับ 8 A

- นำความสัมพันธ์ของความถี่กับความเร็วยรอบของมอเตอร์ไปพล็อตกราฟ
จะได้ว่าความสัมพันธ์จะเป็น LINEAR



รูป 7.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความเร็วยรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ขั้นตอนการนำไปใช้งานจริง

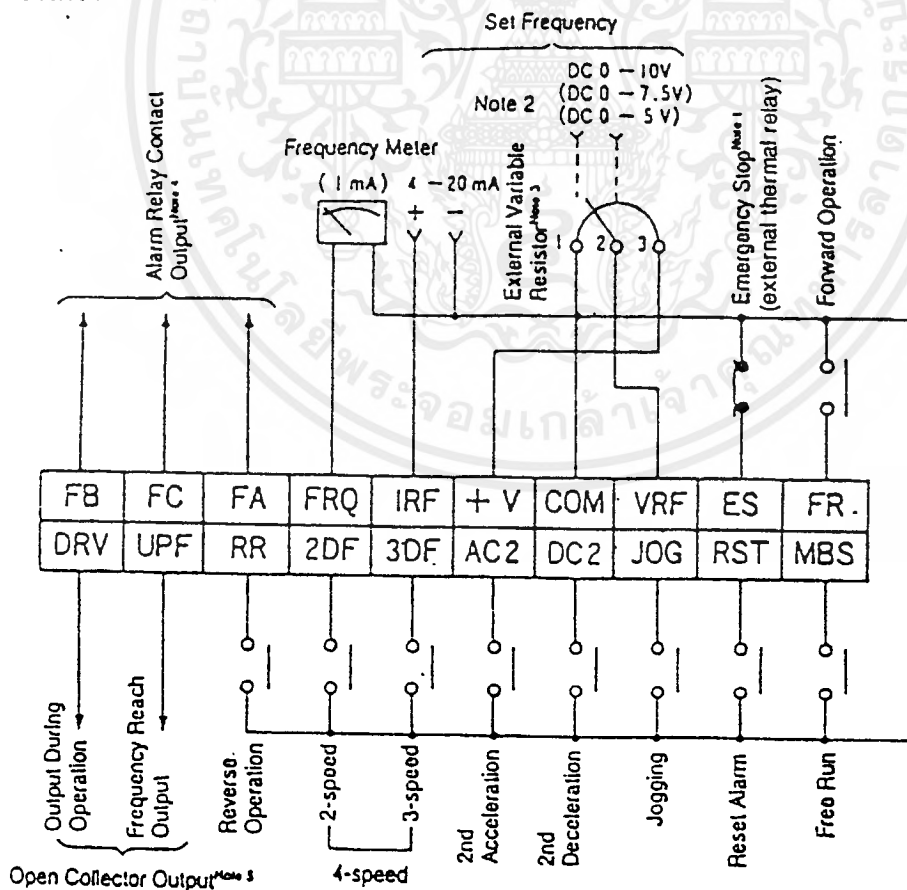
- การควบคุมโดยสัญญาณภายนอก

เนื่องจากการนำไปใช้งาน จริงนั้นจะต้องไปใช้ในระบบขับเคลื่อนจำเป็นอย่างอื่น ที่จะต้องมีการควบคุมโดยสัญญาณภายนอกโดยจะต้อง ให้ความสัมพันธ์กับคันเร่งและ เบรค ด้วย

การควบคุมโดยสัญญาณภายนอกของอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้มีหลายแบบด้วยกันแต่ที่จำเป็น สำหรับ การทดลองอาจพอสรุปได้ดังนี้

- FORWARD AND REVERSE RUN นำเอาสวิทช์ 2 ทางมาประยุกต์ใช้เป็นเกียร์ใช้ สำหรับควบคุมมอเตอร์ให้หมุนเดินหน้าหรือถอยหลัง

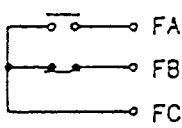
- การควบคุมความเร็วโดยการเปลี่ยนความถี่ นำ R ปรับค่าแบบสไลด์มาประยุกต์ เป็นคันเร่ง โดยอาศัย หลักการการเปลี่ยนค่าความต้านทาน และต่อเข้าวงจรควบคุมของ อินเวอร์เตอร์



รูป 7.7 Terminal Connection Diagram Of Control Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 7.4 DETAIL OF CONTROL CIRCUIT TERMINALS

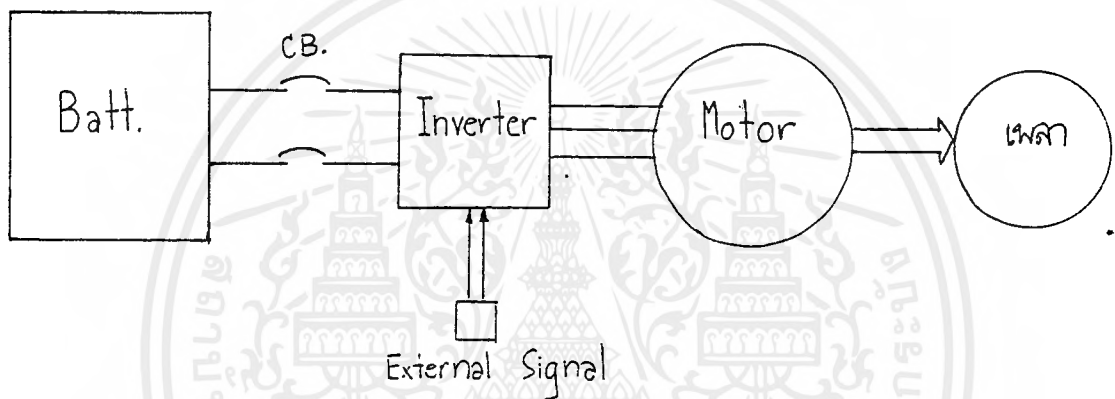
Control Circuit Input Terminal	+V ^{*1}	Variable resistor connection terminal for setting frequency	Connect the variable resistor.	
	VRF ^{*1}	Terminal for setting frequency	Frequency reach maximum at 0 - 10VDC or 10VDC and output is in proportion to this. Input impedance: Approx. 20K Ω (5VDC and 7.5VDC are capable by internal changeover.)	
	IRF ^{*1}	Frequency setting terminal by 4 - 20mA current signal	Frequency reach maximum at 4 - 20mA or 20mA and output is in proportion to this. Input impedance: Approx. 270 Ω	
	COM	Common terminal	Common terminal to control signal	
	FR ^{*2}	Forward operation terminal	Forward operation with FR-COM short-circuit and stop by opening.	
	RR ^{*2}	Reverse operation terminal	Reverse operation with RR-COM short-circuit and stop by opening.	
	2DF ^{*2}	2nd frequency select terminal	2nd frequency is selected with 2DF-COM short-circuit.	4th frequency is selected if both 2DF-COM and 3DF-COM are short-circuited simultaneously.
3DF ^{*2}	3rd frequency select terminal	3rd frequency is selected with 3DF-COM short-circuit.		
Control Circuit Output Terminal	AC2 ^{*2}	2nd acceleration time select terminal	2nd acceleration time selected with AC2-COM short-circuit.	
	DC2 ^{*2}	2nd deceleration time select terminal	2nd deceleration time selected with DC2-COM short-circuit.	
	JOG ^{*2}	Jogging terminal	Jog mode is selected with JOG-COM short-circuit.	
	RST	Reset signal terminal	Alarm is reset with RST-COM short-circuit.	
	ES	Emergency stop terminal (such as external thermal relay)	This is terminal to incorporate the external trouble condition into inverter. Jumper ES-COM if you do not use this.	
	MBS	Free run stop terminal	Motor stops free run with MBS-COM short-circuit.	
	DRV	Output terminal during inverter operation	Open collector: 24V, 50mA	
	UPP	Frequency reach output terminal	Open collector: 24V, 50mA	
	FRQ	Terminal for frequency meter	0VDC - 1mA : 1mA at maximum frequency	
FA FB FC	Alarm signal output terminal.	 <p>(Relay output specification)</p> <p>At normal operation: FA-FC open, 1C contact, contact capacity: 250VAC, 0.3A</p> <p>At faulty operation: FA-FC close</p>		

*1. mark: Valid only at Cd01-1 (external analogue command of frequency)

*2. mark: Valid only at Cd04-1 (external command of operation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การต่อวงจร



รูป 7.8 แสดงการต่อวงจรในการนำไปใช้งานจริง

เมื่อนำไปใช้งานจริงโดยต่อวงจรตามรูปข้างต้นกล่าวคือ แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับอินเวอร์เตอร์เพื่อไปควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ มอเตอร์จะต่อเข้ากับเพลาของโครงสร้างรถโดยตรง

- ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความเร็วรถ

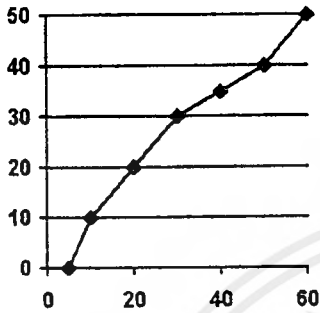
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 7.5 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความเร็วรอบ

ความถี่ (Hz)	กระแส (A)	ความเร็วรถ (km\ hr)
5	18	ขณะสตาร์ท
10	12	10
20	15	20
30	22	30
40	30	35
50	36	40
60	40	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำค่าที่ได้จากตารางไปพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความเร็วรถ



รูป 7.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความเร็วรถ

สรุป

สามารถนำมอเตอร์มาใช้เป็นระบบขับเคลื่อนในรถไฟฟ้าได้ นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมความเร็วของรถได้โดยใช้อินเวอร์เตอร์อีกด้วย

- รถไฟฟ้าสามารถวิ่งได้ด้วยความเร็วสูงสุด = 50 km/hr .
- แบตเตอรี่สามารถใช้ได้ประมาณ 1 ชั่วโมงจากการชาร์จแบตเตอรี่เต็ม

บทที่ 8

สรุปผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

สรุปผลการทดลอง

1. ความเร็วของรถ

การควบคุมความเร็วรถโดยใช้ R ปรับค่าความต้านทานแบบสไลด์เป็นตัวปรับค่าความถี่

$$\text{จากสูตร } P = \frac{\mu W v}{102 \eta}$$

$$P \text{ (กำลังงาน) } = 5.5 \text{ kw}$$

$$\mu \text{ กำหนด } = 0.03$$

$$W \text{ (น้ำหนัก) } = 800 \text{ kg}$$

$$\eta \text{ (ประสิทธิภาพ) } = 80 \%$$

$$v = ?$$

แทนค่าจะได้ค่า

$$v = 18.7 \text{ m / s}$$

$$= 67.32 \text{ km / hr}$$

$$\text{ความเร็วสูงสุดของรถ} = 67.32 \text{ km / hr}$$

ในทางปฏิบัติจะพบว่าค่าความเร็วสูงสุดของรถไฟฟ้าที่ทำการ TEST ได้สามารถวิ่งได้ที่ความเร็วสูงสุดคือ 50 km/hr ทั้งนี้เนื่องจากในการทดลองจริงค่า W กับ μ ที่เรากำหนดนั้นอาจมีการคลาดเคลื่อนทำให้ค่าความเร็วรถที่ออกมาต่างจากทฤษฎี

2. แบตเตอรี่ที่ใช้สามารถใช้ได้เท่าไร

แบตเตอรี่ที่ใช้ขนาด 26 ตัวต่ออนุกรมกันอยู่ได้ 312 V แต่ละตัวมีขนาด 24 Ah

มอเตอร์ที่ใช้กินกระแสเฉลี่ยประมาณ 10 A

$$\therefore \text{แบตเตอรี่ที่ชาร์จเต็ม 1 ครั้งสามารถจ่ายไฟได้} = 24 / 10$$

$$= 2.4 \text{ hr}$$

เมื่อทำการทดลองจะพบว่าค่ากระแสเมื่อตอนต่อโหลดกับตอน NO LOAD มีค่าแตกต่างกันมาก นอกจากนี้ยังมีการตั้งค่า TORQUE BOOST ซึ่งจะทำให้ค่ากระแสเพิ่มขึ้นอีก ดังนั้นเมื่อนำมาต่อโหลดจะพบว่าแบตเตอรี่จะสามารถใช้ได้ 1 hr ซึ่งจะพบว่าค่าจะแตกต่างจากตอน NO LOAD มากดังที่ได้อธิบายเหตุผลไปแล้ว

3. โดชาร์จที่นำมาประยุกต์ใช้ชาร์จแบตเตอรี่

การที่นำโดชาร์จมาป้อนเป็นแหล่งจ่ายไฟชาร์จแบตเตอรี่นั้น โดยต่อเข้ากับเครื่องยนต์มอเตอร์ไซค์ซึ่งจะป้อนเป็นไฟกระแสสลับออกมาแล้วต่อผ่าน BRIDGE RECTIFIER แปลงเป็นไฟกระแสตรงเพื่อชาร์จแบตเตอรี่ ซึ่งจะช่วยให้แบตเตอรี่สามารถจ่ายไฟได้นานขึ้น แต่ต้องตั้งค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์มอเตอร์ไซค์ให้ได้ค่า V ออกมาดังนี้

แบตเตอรี่ 1 ตัวขนาด 12 V

$$V_{\text{charge}} / \text{เซลล์} = 2.25 * 6 = 13.5 \text{ V}$$

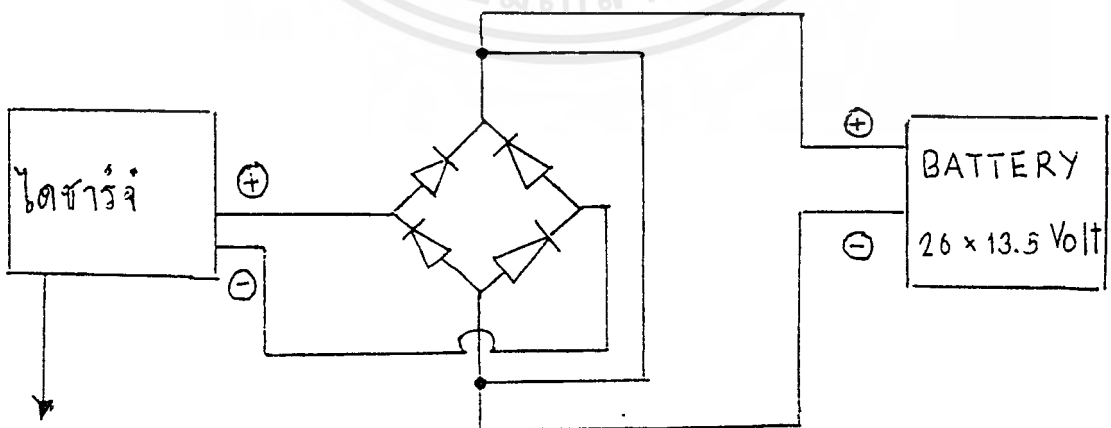
$$V_{\text{charge}} \text{ สูงสุด} = 2.3 * 6 = 13.8 \text{ V}$$

ใช้แบตเตอรี่ 26 ตัว

$$V_{\text{charge}} = 351 \text{ V}$$

$$V_{\text{charge}} \text{ สูงสุด} = 358.8 \text{ V}$$

∴ ตั้งค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ไซค์ไว้ที่ค่า 700 RPM จะได้ค่า $V_{\text{charge BATT}}$ ที่ต้องการ ใต้ไฟ DC ชาร์จ BATTERY 350 Volt



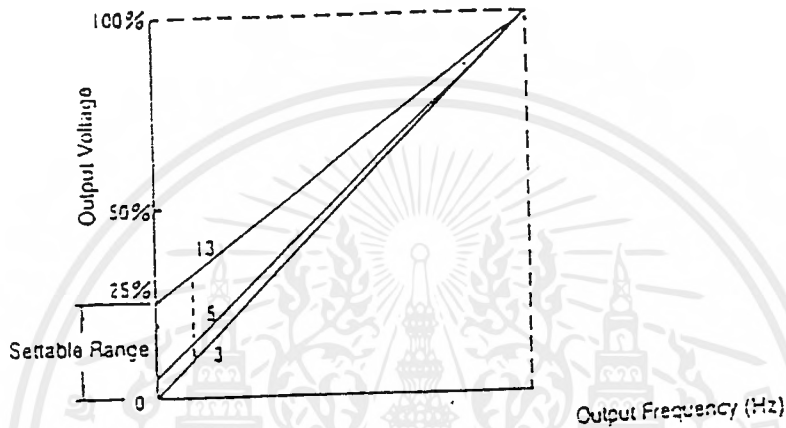
ชาร์จไฟ AC 220V 250 Volt

รูป 8.1 แสดงการต่อวงจรชาร์จแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาที่เกิดขึ้นในโครงการนี้

1. การที่เราเลือกใช้มอเตอร์แบบ AC มีข้อดีมากมายแต่ก็มีข้อเสียที่สำคัญอยู่ 1 ข้อคือ แรงบิดขณะสตาร์ทต่ำ ซึ่งเราต้องใช้ INVERTER เข้ามาช่วยในการปรับค่า TORQUE BOOST เพื่อช่วยให้แรงบิดขณะสตาร์ทมีค่ามากขึ้น ในส่วนของรายละเอียดของการปรับค่า TORQUE BOOST แสดงได้ตามกราฟ

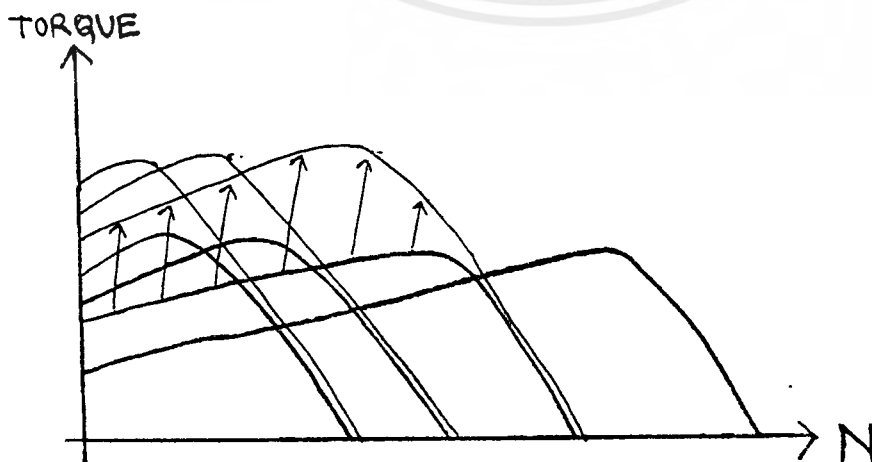


รูป 8.2 กราฟแสดงการปรับค่า TORQUE BOOST (V กับ f)

จากรูปจะพบว่า การที่เราปรับค่า TORQUE BOOST คือการที่เราเพิ่มค่าของโวลต์จิ้น

จาก $E/f = \text{constant} = 4.44 N\phi$ ซึ่งค่า TORQUE จะคงที่ด้วย

เมื่อเราปรับค่า TORQUE BOOST จะพบว่าค่า E/f เพิ่มขึ้นจะทำให้ TORQUE เพิ่มขึ้นจากรูป 7.12 จะพบว่าแรงบิดจะช่วยในจังหวะสตาร์ทของมอเตอร์ได้ แต่ในช่วงปลาย จะพบว่าค่าที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกัน



รูป 8.3 กราฟแสดงการปรับค่า TORQUE BOOST (T กับ N)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ฐานรองมอเตอร์ที่อยู่ใต้ห้องรถอยู่ต่ำเกินไป ปัญหานี้เกิดขึ้นเนื่องจากในช่วงที่เราทำการติดตั้งฐานรองมอเตอร์เราติดตั้งในขณะที่ยังเป็นแค่ในส่วนของโครงสร้างรถเท่านั้น ทำให้เราไม่ได้คำนึงถึงน้ำหนักในส่วนของตัวเองรถ แบตเตอรี่ เครื่องยนต์อเนกประสงค์ และน้ำหนักของโหลด จึงมีผลทำให้เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวเข้าไปทำให้ฐานรองมอเตอร์อยู่ต่ำเกินไป

การแก้ไข ทำได้โดยการเสริมแหวนเข้าไปที่บริเวณล้อหลังซึ่งจะช่วยทำให้รถสูงขึ้น

3. ปัญหาพวงมาลัยมีลักษณะไม่ค่อยมั่นคง ไม่สามารถใช้ได้ในประสิทธิภาพสูงสุด ปัญหานี้เกิดขึ้นเนื่องจากเรากำหนดถึงลักษณะของตัวเองรถและการจัดวางเครื่องยนต์อเนกประสงค์มากเกินไปทำให้การติดตั้งพวงมาลัยสามารถทำได้ในเนื้อที่จำกัด

การแก้ไข ทำได้ค่อนข้างลำบากเนื่องจากต้องนำตัวถังรถและเครื่องยนต์อเนกประสงค์ออกจึงจะทำการติดตั้งพวงมาลัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. การสั่นของเครื่องยนต์อเนกประสงค์ทำให้การหมุนของมูเลย์ มีความเร็วไม่คงที่

5. เสียงดังของเครื่องยนต์อเนกประสงค์เพราะเป็นเครื่องที่ทำมาสำหรับใช้กับหลาย ๆ งาน ทำให้ประสิทธิภาพที่ใช้ได้ออกมาไม่เต็มที่

6. ขนาดที่ใหญ่ของเครื่องยนต์และการสตาร์ท ที่ต้องใช้การดึงสายที่ยาวและดึงอย่างรวดเร็วทำให้ไม่สะดวกในการเปิดแอร์เนื่องจากต้องไปสตาร์ทเครื่องยนต์ในส่วนหน้าของรถก่อน นอกจากนี้ขนาดที่ใหญ่ของเครื่องยนต์ทำให้มีปัญหาในการติดตั้งเครื่องยนต์เข้าไปในส่วนหน้าของตัวรถอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากความช่วยเหลือจากบุคคลเหล่านี้ทางด้าน
เงินทุน และให้คำปรึกษาทางด้านต่าง ๆ อันได้แก่

- อ. ประภาส ไพรสรวรณา
- อ. อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ
- บริษัท ESSO
- บริษัท ช.การช่าง จำกัด
- ธ. กรุงเทพ จำกัด

จึงเรียนมาเพื่อขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย



เอกสารอ้างอิง

1. มงคล ทองสงคราม “ เครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ ” มกราคม 2535
2. อนันต์ คัมภีรานนท์ “ อิเลคทรอนิกส์อุตสาหกรรม I ” สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนนทบุรี
3. INSTRUCTION MANUAL FOR ERIC - 5001 SERIES
RICH ELECTRIC CO; LTD
4. สมศักดิ์ สุโมตยกุล “ หลักการทำงานและเทคนิคการตรวจสอบเครื่องปรับอากาศ ” 2538