

การออกแบบและสร้างระบบควบคุมรถไฟไฟฟ้าแบบไร้คนขับขนาดเล็ก

**DESIGN AND BUILD A DRIVERLESS MINIATURE ELECTRIC  
TRAIN GUIDING CONTROL SYSTEM**

พนนตรี์ สุขสิงห์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

# การออกแบบและสร้างระบบควบคุมไฟฟ้าแบบไร้คนขับขนาดเล็ก

พนธ์ สุขสิงห์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและสร้างระบบควบคุมรถไฟฟ้าแบบไร้คนขับขนาดเล็ก Design and Build a Driverless Miniature Electric Train Guiding Control System
ชื่อ - นามสกุล	นายพนธ์ สุขสิงห์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันชัย ทรัพย์สิงห์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2555

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....	ประธานกรรมการ (อาจารย์จักรชัย ศุภพิทักษ์สกุล, Ph.D.)
.....	กรรมการ (รองศาสตราจารย์ปราโมทย์ ศรีน้อย, Ph.D.)
.....	กรรมการ (อาจารย์สุรินทร์ แห่งมงาม, Ph.D.)
.....	กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันชัย ทรัพย์สิงห์, Ph.D.)
.....	กรรมการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมหมาย ผิวสอาด, Ph.D.)  
วันที่ 19 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2556

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและสร้างระบบควบคุมรถไฟฟ้าแบบไร้คนขับขนาดเล็ก
ชื่อ – นามสกุล	นายพนธ์ สุขสิงห์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันชัย ทรัพย์สิงห์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2555

## บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการออกแบบและสร้างระบบควบคุมการเคลื่อนที่สำหรับรถไฟฟ้าแบบไร้คนขับเพื่อเป็นต้นแบบรถไฟฟ้าขนาดเล็กขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าที่ความเร็วต่ำ โดยสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ตัวรถจากศูนย์ควบคุมกลางการเดินรถ ซึ่งเหมาะสมที่ใช้เป็นต้นแบบการเดินรถไฟฟ้าสำหรับ การขนส่งมวลชนสำหรับชุมชนขนาดเล็กในอนาคต

รถไฟฟ้าต้นแบบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นแบบ 4 ที่นั่ง ความเร็วไม่เกิน 40 กิโลเมตร/ชั่วโมง ขับเคลื่อนโดยใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้า 3 เฟส ขนาด 5 กิโลวัตต์ แรงดัน 220/380 โวลต์ ควบคุมความเร็วด้วยอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ขนาด 5.5 กิโลวัตต์ แรงดัน 230/400 โวลต์ ระบบควบคุมในตัวรถ (Unit Controller) ประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F8722 เป็นตัวประมวลผล เพื่อควบคุมระบบขับเคลื่อน ระบบการเดินรถจะใช้เซนเซอร์ชนิด Reflective Optical เป็นตัวตรวจจับสัญญาณ ส่วนระบบรับ/ส่งข้อมูลไร้สายจะเป็นแบบ GSM/GPRS เพื่อเชื่อมต่อสื่อสารกับศูนย์ควบคุมกลางในการแสดงผลการเดินรถ ทั้งนี้ยังสามารถควบคุมการเดินรถได้ทั้งในกรณีปกติและในกรณีเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉิน

ผลการทดสอบระบบพบว่ารถไฟฟ้าสามารถเข้าจอดสถานีได้ตรงตามตำแหน่งที่ต้องการ โดยแสดงตำแหน่งรถบนจอแสดงผลที่ศูนย์ควบคุมการเดินรถ รถไฟฟ้าสามารถออกตัวได้ในทางราบขณะมีน้ำหนักบรรทุกเต็มพิกัดตามที่ได้ออกแบบไว้ และสามารถออกตัวในทางชันที่ 7 องศาได้ขณะมีน้ำหนักบรรทุกไม่เกินกว่า 500 กิโลกรัม ทั้งนี้น้ำหนักบรรทุกสูงสุดของรถไฟฟ้าขณะวิ่งทางราบเท่ากับ 1540 กิโลกรัม ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลการทดสอบเชิงปฏิบัติ ระบบสามารถควบคุมความเร็วรถไฟฟ้า และควบคุมการเดินรถไฟฟ้าได้ตรงตามจุดประสงค์

**คำสำคัญ:** แบบจำลองรถไฟฟ้าขนาดเล็กชนิดไร้คนขับ ระบบควบคุมการเดินรถ ระบบรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย



<b>Thesis Title</b>	Design and Build a Driverless Miniature Electric Train Guiding Control System
<b>Name - Surname</b>	Mr.Panet Suksing
<b>Program</b>	Electrical Engineering
<b>Thesis Advisor</b>	Assistant Professor Wanchai Subsingha, Ph.D.
<b>Academic Year</b>	2012

## ABSTRACT

This thesis presents the design and build a guiding control system for a driverless miniature electric train model, in order to act as a miniature low speed train model. The train can be controlled via the central control room. It may result in a suitable train model for a local small scale mass transportation in the near future.

This thesis a miniature low speed electric train in built for a employed or used 4 seat model, which its locomotive speed about 40 km/hr The prime mover of the train is a 3 phase 220/380V, 5 kW induction motor. The motor speed is controlled by a 3 phase inverter at 230/400V, 5.5 kW rating. The Unit Controller that controls inside the train is implemented by PIC18F8722 micro-controller, in order of a driving control. A guiding control system is operated together with the utilization of the reflection optical sensors. The communication of such control system was by GSM/GPRS wireless communication, which is interfacing with the central control room in order to monitor the operations of the train, both in normal and abnormal operating conditions.

The results show that the driverless miniature electric train can operate on a guiding control system correctly. It can be parked on a desired station. Besides, the monitoring system can show the train along the operation. Therefore, the train can drive horizontally with its maximum carrying load at 1540 kg It also drives a 500 kg of carrying load while driving on 7 degree of slope. Finally, it shows that the performance of the train's speed control and overall operations of the system in this thesis is quite good as desired.

**Keywords :** driverless miniature electric train, guiding control system, General packet radio service (GPRS)

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยได้รับคำแนะนำ คำปรึกษา และเอาใจใส่เป็นอย่างดีจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ทรัพย์สิงห์ ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และคุณสมพร โพธิ์อยู่ กรรมการผู้จัดการ บริษัท อำพันเทคโนโลยี จำกัด ที่อนุเคราะห์ข้อมูล จัดหาอุปกรณ์ รวมทั้งแนะนำแนวทางการวิจัยผลงานชิ้นนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง คณะกรรมการสอบ ดร.สุรินทร์ แห่งมงาม ดร.ฉัตรชัย สุภพิทักษ์สกุล และผู้ทรงคุณวุฒิรองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ ศรีน้อย ที่ได้ให้โอกาสและให้ความรู้แก่ผู้จัดทำ รวมทั้งขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ช่วยเหลือแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านเป็นอย่างสูงที่กรุณาตรวจสอบ และให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ ครูบาอาจารย์ ที่ได้ให้การอบรมสั่งสอน เกี่ยวกับองค์ความรู้และศาสตร์ต่างๆ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทั้งที่กล่าวถึงและไม่ได้กล่าวถึงทุกท่าน

พนนตรี สุขสิงห์



# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ง
กิตติกรรมประกาศ .....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ช
สารบัญภาพ .....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและปัญหา .....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....	2
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	4
1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	5
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย.....	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 บทนำ .....	7
2.2 แบบจำลองรถไฟฟ้าต้นแบบ.....	7
2.3 หลักการระบบการควบคุมรถไฟฟ้า .....	8
2.4 หลักการพื้นฐานด้านกลศาสตร์การเคลื่อนที่ของยานพาหนะ .....	11
2.5 มอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้า .....	14
2.6 วงจรอินเวอร์เตอร์.....	24
2.7 หลักการจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบขับเคลื่อน .....	29
2.8 โพรโทคอล TCP/IP.....	31
2.9 อุปกรณ์ควบคุมระบบ และรับ/ส่งสัญญาณ .....	34
2.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด .....	37
2.11 การส่งสัญญาณไร้สายแบบ GPRS .....	38

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.12 อุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณ GSM/GPRS รุ่น SIM300CZ .....	41
2.13 เอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	46
2.14 สรุป.....	47
3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 บทนำ .....	48
3.2 โครงสร้างแบบจำลองตัวรถไฟฟ้า.....	49
3.3 การคำนวณหาพิกัดกำลังการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า.....	53
3.4 ระบบควบคุมการขับเคลื่อน .....	57
3.5 ระบบตรวจจับสัญญาณสำหรับการควบคุมการเดินรถ.....	62
3.6 ศูนย์ควบคุมการเดินรถ.....	68
3.7 สรุป.....	70
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล หรือผลการวิจัย	
4.1 บทนำ.....	71
4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดพื้นฐานที่ใช้ในการทดสอบ.....	71
4.3 การทดสอบระบบควบคุมการเดินรถไฟฟ้า.....	72
4.4 การทดสอบระบบขับเคลื่อนรถไฟฟ้า .....	79
4.5 สรุป.....	91
5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 ปัญหาและแนวทางแก้ไข.....	93
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	94
รายการอ้างอิง .....	95
ภาคผนวก .....	98
ภาคผนวก ก ข้อมูลจำเพาะอุปกรณ์ .....	99
ภาคผนวก ข โปรแกรมภาษาซีที่ใช้ในการเขียน .....	123
ภาคผนวก ค ประมวลภาพกระบวนการดำเนินงานวิจัย .....	132
ภาคผนวก ง ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ .....	138
ประวัติผู้เขียน .....	149

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.2 ช่วงของเลขที่อยู่ของไอพีแต่ละคลาส.....	34
2.3 สถานะของ LED ในโหมดทำงานต่างๆ ของโมดูลSIM 300CZ .....	43
2.4 การต่อสายสัญญาณระหว่าง ET-GSM SIM 300 CZ กับคอมพิวเตอร์.....	45
2.5 การต่อสายสัญญาณระหว่าง ET-GSM SIM 300 CZ กับไมโครคอนโทรลเลอร์ .....	45
4.1 ผลการทดสอบระยะสะท้อนแสงของเซนเซอร์.....	77
4.2 ผลการทดลองระยะความยาวของวัตถุสะท้อนกับเซนเซอร์.....	78
4.3 ผลการทดสอบค่าพลังงานที่ป้อนเข้าอินเวอร์เตอร์และออกจากอินเวอร์เตอร์ .....	82
4.4 ผลการทดสอบความเร็วรอบที่แกนเพลลาและล้อของรถไฟฟ้า .....	83
4.5 ผลการทดสอบการขับเคลื่อนรถไฟฟ้าขณะมีภาระทางกล .....	83
4.6 ค่าแรงดัน กระแส และกำลังไฟตรงที่ป้อนอินเวอร์เตอร์ขณะรถไฟฟ้าทำงานที่ความถี่ 10 Hz.....	85
4.7 ค่าแรงดัน กระแส และกำลังไฟตรงที่ป้อนอินเวอร์เตอร์ขณะรถไฟฟ้าทำงานที่ความถี่ 20 Hz.....	85
4.8 ค่าแรงดัน กระแส และกำลังไฟตรงที่ป้อนอินเวอร์เตอร์ขณะรถไฟฟ้าทำงานที่ความถี่ 30 Hz.....	85
4.9 ค่าแรงดัน กระแส และกำลังไฟตรงที่ป้อนอินเวอร์เตอร์ขณะรถไฟฟ้าทำงานที่ความถี่ 40 Hz.....	86
4.10 ค่าแรงดัน กระแส และกำลังไฟตรงที่ป้อนอินเวอร์เตอร์ขณะรถไฟฟ้าทำงานที่ความถี่ 50 Hz.....	86
4.11 ผลการทดสอบความสามารถในการเริ่มเดินรถบนทางชัน 7 องศาใน 2 กรณี.....	90
4.12 ผลการทดสอบหาค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดขณะเคลื่อนที่ทางราบ.....	91

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	ภาพรวมของระบบควบคุมรถไฟฟ้า.....	3
1.2	องค์ประกอบของระบบย่อยในการควบคุมรถไฟฟ้า.....	4
2.1	ตัวอย่างโมเดลตัวรถไฟฟ้าในงานวิจัย .....	8
2.2	ตัวอย่างระบบจำลองเส้นทางการเดินรถไฟฟ้า .....	8
2.3	ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ในรถไฟฟ้า .....	10
2.4	ตัวอย่างแรงที่กระทำต่อตัวรถขณะเคลื่อนที่ในทางลาด .....	11
2.5	โครงสร้างมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส .....	14
2.6	วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ .....	16
2.7	วงจรสมมูลอย่างง่ายของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	19
2.8	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด ความเร็วและค่าสลลิปของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	20
2.9	คุณลักษณะความเร็ว-แรงบิดมอเตอร์ เมื่อควบคุมด้วยหลักการ V/F Control.....	24
2.10	การขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยอินเวอร์เตอร์ .....	24
2.11	วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบ 2 ระดับ.....	25
2.12	ตัวอย่างของสัญญาณควบคุมและแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส แบบ SPWM ..	26
2.13	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $(V_{Line})_1/V_d$ กับค่า $m_a$ ในวงจรอินเวอร์เตอร์ .....	27
2.14	ตัวอย่างแรงดันขาออกและสเปคตรัมของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส แบบ SPWM.....	28
2.15	ระบบป้อนกำลังไฟฟ้าแบบ Third Rail System .....	29
2.16	ระบบป้อนกำลังไฟฟ้าแบบ Overhead Wire System .....	30
2.17	ความสัมพันธ์ระหว่างโปรโตคอลต่างๆ ใน TCP/IP .....	32
2.18	การตรวจจับแบบ Thru- Beam .....	35
2.19	การตรวจจับแบบ Retro-Reflective .....	35
2.20	การตรวจจับแบบ Diffuse-Reflective .....	36
2.21	การตรวจจับแบบ Limited-Distance Diffuse Reflective .....	36
2.22	ตัวอย่างเซนเซอร์แบบสวิตช์ลำแสงรุ่น E3F-DS10C4.....	37
2.23	โครงสร้างของชิพเบอร์ PIC 18F8722 .....	37
2.24	ไมโครคอนโทรลเลอร์ ET-BASE PIC8722 .....	38

## สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.25 อุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณ GSM/GPRS รุ่น SIM300CZ.....	41
3.1 ตัวอย่างระบบจำลองเส้นทางการเดินรถไฟฟ้า.....	49
3.2 ลักษณะของรางรถไฟฟ้าในงานวิจัย.....	49
3.3 โครงร่างและการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ในรถไฟฟ้า.....	50
3.4 ส่วนประกอบฐาน โครงสร้างรถไฟฟ้า.....	50
3.5 การติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟสในรถไฟฟ้า.....	51
3.6 ส่วนประกอบของตัวรถไฟฟ้าขณะอยู่บนราง.....	51
3.7 ขนาดชิ้นส่วนต่างๆ ของฐาน โครงสร้างรถไฟฟ้า.....	52
3.8 ลักษณะของรางรถไฟฟ้าในแนวระนาบและแนวลาดชัน 7 องศา.....	52
3.9 เวกเตอร์ของแรงต่างๆที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของวัตถุนบนแนวทางลาด.....	53
3.10 มอเตอร์ไฟฟ้าพร้อมชุดเกียร์.....	54
3.11 อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	54
3.12 แผนภาพของระบบขับเคลื่อนในรถไฟฟ้า.....	58
3.13 ผังการเชื่อมต่อวงจรระหว่างอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ ภายในรถไฟฟ้า.....	59
3.14 ผังการควบคุมระบบขับเคลื่อนของ Unit Controller.....	59
3.15 ผังการทำงานของระบบขับเคลื่อน ขณะทำงานร่วมกับเซ็นเซอร์.....	60
3.16 วงจรการเชื่อมต่อวงจรระหว่าง แผงวงจรควบคุมกับชุดควบคุมระบบขับเคลื่อน.....	61
3.17 การติดตั้งชุดควบคุมของระบบขับเคลื่อน.....	61
3.18 ผังการทำงานของระบบตรวจจับทิศทางการเดินรถ.....	64
3.19 ชุดตัวเลข 4 บิตที่ใช้ระบุตำแหน่งสถานี.....	65
3.20 ผังการทำงานของระบบตรวจจับการเข้าจอดสถานีรถไฟฟ้า.....	65
3.21 ผังการทำงานของระบบตรวจจับการเปิด/ปิดประตูรถไฟฟ้า.....	66
3.22 ผังการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางการเดินรถไฟฟ้า.....	67
3.23 ผังการทำงานของการสื่อสารไร้สายระหว่าง Unit Controller กับศูนย์ควบคุมด้วยระบบ GPRS.....	68
3.24 การเชื่อมต่อสื่อสารระหว่างตัวรถและศูนย์ควบคุม.....	69
3.25 การเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ที่ติดตั้งในรถและศูนย์ควบคุม.....	69

## สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.26 อุปกรณ์ที่ติดตั้งในศูนย์ควบคุม.....	70
4.1 แบบจำลองรถไฟฟ้าขนาดเล็กในงานวิจัยเพื่อใช้ในการทดสอบการเคลื่อนที่.....	71
4.2 การทดสอบการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้าขณะผ่านสถานีต่างๆ .....	73
4.3 ตำแหน่งของรถที่สถานีต่างๆ ที่แสดงบนจอคอมพิวเตอร์ ณ. ศูนย์ควบคุมการเดินรถ .....	75
4.4 ผลการกำหนดพอร์ตสำหรับการควบคุมรถไฟฟ้า .....	76
4.5 ผลการรับสัญญาณการเคลื่อนที่จากตัวรถไฟฟ้า .....	76
4.6 ผลการส่งสัญญาณการเคลื่อนที่จากศูนย์ควบคุมไปยังตัวรถไฟฟ้า.....	76
4.7 สัญญาณแรงดัน Line และกระแสเฟสขาเข้ามอเตอร์ที่ความถี่ 10Hz.....	79
4.8 สัญญาณแรงดัน Line และกระแสเฟสขาเข้ามอเตอร์ที่ความถี่ 20Hz.....	80
4.9 สัญญาณแรงดัน Line และกระแสเฟสขาเข้ามอเตอร์ที่ความถี่ 30Hz.....	80
4.10 สัญญาณแรงดัน Line และกระแสเฟสขาเข้ามอเตอร์ที่ความถี่ 40Hz.....	81
4.11 สัญญาณแรงดัน Line และกระแสเฟสขาเข้ามอเตอร์ที่ความถี่ 50Hz.....	81
4.12 แผนภาพการควบคุมมอเตอร์ในการทดสอบ .....	82
4.13 ความสัมพันธ์ของแรงดัน กระแส และกำลังไฟตรงที่ป้อนอินเวอร์เตอร์ขณะรถไฟฟ้าทำงานที่ความถี่ 10 Hz.....	87
4.14 ความสัมพันธ์ของแรงดัน กระแส และกำลังไฟตรงที่ป้อนอินเวอร์เตอร์ขณะรถไฟฟ้าทำงานที่ความถี่ 20 Hz.....	87
4.15 ความสัมพันธ์ของแรงดัน กระแส และกำลังไฟตรงที่ป้อนอินเวอร์เตอร์ขณะรถไฟฟ้าทำงานที่ความถี่ 30 Hz.....	88
4.16 ความสัมพันธ์ของแรงดัน กระแส และกำลังไฟตรงที่ป้อนอินเวอร์เตอร์ขณะรถไฟฟ้าทำงานที่ความถี่ 40 Hz.....	88
4.17 ความสัมพันธ์ของแรงดัน กระแส และกำลังไฟตรงที่ป้อนอินเวอร์เตอร์ขณะรถไฟฟ้าทำงานที่ความถี่ 50 Hz.....	89
4.18 ลักษณะการเริ่มเคลื่อนรถไฟฟ้าในการทดสอบ.....	90



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและปัญหา

ปัญหาการจราจรในกรุงเทพฯและปริมณฑล รวมทั้งตามหัวเมืองเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย สะสมเรื้อรังมานับสิบปี เนื่องจากไม่มีการวางแผนผังเมืองที่ดี การขาดระบบการขนส่งมวลชนที่เหมาะสมและเชื่อถือได้ รวมทั้งปริมาณพื้นที่ถนนปกติหรือทางด่วนก็ไม่เพียงพอต่อปริมาณจำนวนรถที่เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งโครงข่ายของการเดินทางในถนนยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ แม้การสร้างถนนหรือทางด่วนจะเป็นวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหาต่างๆ เหล่านี้ แต่ตัดขาดเรื่องผังเมืองและความเจริญจนจัดหาพื้นที่สร้างได้ยาก นอกจากนั้นการแก้ไขด้วยวิธีนี้จะเป็นการอำนวยความสะดวกให้กับรถยนต์ส่วนบุคคลเท่านั้น ไม่ได้เป็นการอำนวยความสะดวกต่อการคมนาคมสาธารณะ ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของรถยนต์ส่วนบุคคล และเกิดวัฏจักรการจราจรที่ติดขัดมากขึ้น ไม่มีที่สิ้นสุด

จากปัญหาดังกล่าว เป็นผลให้ผู้วิจัยได้พิจารณาถึงงานวิจัยในหัวข้อของรถไฟฟ้าขนาดเล็กแบบขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้า ที่จะสามารถอำนวยความสะดวกต่อการบรรเทาปัญหาด้านการคมนาคมสาธารณะได้ ทั้งนี้รถไฟฟ้าในโครงการวิจัยเป็นต้นแบบรถไฟฟ้าขนาดเล็ก จำนวน 4 ที่นั่ง ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าบนระบบราง ซึ่งโดยทั่วไปรถไฟฟ้าประเภทนี้จะขับเคลื่อนในระบบรางเดี่ยว หรือรางคู่ในระบบรถไฟฟ้ายกระดับเหนือพื้นดิน โดยรางรถไฟฟ้าจะต้องเป็น โลหะที่แข็งซึ่งแขวนอยู่บนเสาที่เรียงรายกันเหนือพื้นดิน ซึ่งตัวรถไฟฟ้าจะมีรูปร่างเหมือนกับรถไฟฟ้าในปัจจุบัน แต่จะมีจำนวนที่นั่งของผู้โดยสาร ประมาณ 4 ที่นั่ง ต่อรถไฟฟ้า 1 คัน เนื่องจากต้องการออกแบบให้มีน้ำหนักเบา ข้อดีของรถไฟฟ้าในระบบรางเหนือพื้นดิน คือ สามารถผ่อนคลาปัญหาการจราจรในเมืองใหญ่ๆ ที่มีความแออัด เนื่องจากสามารถก่อสร้างให้อยู่เหนือถนน หรืออยู่เหนือเส้นทาง การเดินทางอื่นๆ ที่มีก่อนอยู่แล้ว

รถไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ เป็นการออกแบบระบบที่ไม่ต้องใช้คนขับ ซึ่งควบคุมการเดินรถด้วยความเร็วคงที่ จากศูนย์ควบคุมการเดินรถ ทั้งนี้รถไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้ากระแสตรงขนาด แรงดัน 550-750 โวลต์ ส่งกำลังผ่านชุดขับเคลื่อนเกียร์ เป็นระบบขนส่งมวลชนด้วยพลังงานไฟฟ้าผ่านรางตัวรถไฟฟ้าอาจเป็น โครงสร้างไฟเบอร์ขึ้นรูปหรืออลูมิเนียม ระบบรางเป็นแบบโครงสร้างเหล็ก ทั้งนี้ระบบขับเคลื่อนจะควบคุมด้วยไมโคร คอนโทรลเลอร์ และรับ/ส่งข้อมูลผ่านระบบการสื่อสารข้อมูลไร้สาย (GPRS) เพื่อแจ้งตำแหน่งการเดินรถ และติดต่อกับศูนย์ควบคุมการเดินรถ โดยระบบความ

ปลอดภัยจะประกอบด้วยระบบเบรก ประตูปower และระบบแจ้งเตือนเหตุฉุกเฉิน เป็นต้น ซึ่งระบบควบคุมรถไฟดังกล่าวจะมีคุณสมบัติเด่น ดังนี้

- 1.1.1 เป็นยานพาหนะที่ใช้ในการคมนาคมสาธารณะที่ไม่สร้างปัญหาด้านมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม
- 1.1.2 ควบคุมความเร็วและควบคุมการเดินรถจากศูนย์กลางควบคุม ทำให้ระบบเดินรถมีความปลอดภัยสูง
- 1.1.3 ผู้โดยสารมีหน้าที่เลือกสถานีที่ต้องการขึ้น/ลง และการเดินรถไม่สามารถวิ่งออกนอกเส้นทางได้ ในกรณีมีเหตุฉุกเฉิน ระบบไฟฟ้าสำรองจะรองรับให้วงจรควบคุมในตัวรถยังสามารถทำงานต่อเนื่องได้เพื่อใช้ในการแจ้งตำแหน่ง และเหตุการณ์ต่างๆกลับไปยังศูนย์กลางควบคุมกลาง

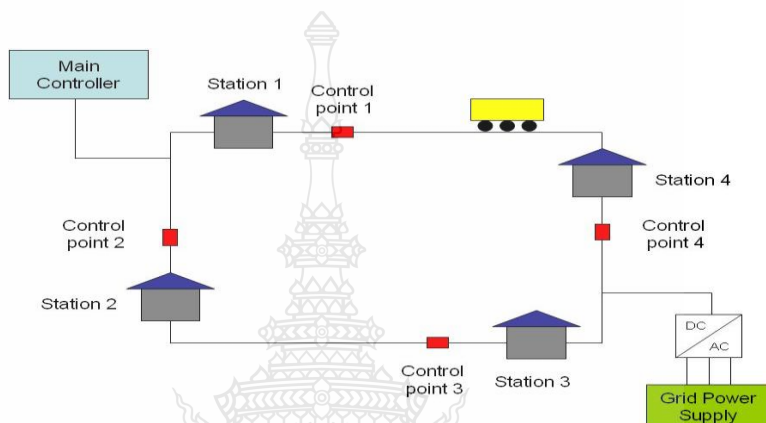
## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

- 1.2.1 ศึกษา ค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของรถไฟ
- 1.2.2 กำหนดเงื่อนไข ขอบเขต และออกแบบระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของรถไฟ
- 1.2.3 กำหนดเงื่อนไขและออกแบบระบบเลือกตำแหน่งของสถานีที่จะจอดโดยอัตโนมัติ
- 1.2.4 ทดสอบพร้อมเก็บข้อมูลประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคุมรถไฟ

## 1.3 สมมุติฐานการวิจัย

ทฤษฎีสมมุติฐาน เป็นการ วิจัยออกแบบระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของรถไฟ ไฟฟ้าที่ประกอบด้วยสองระบบหลัก คือ (1) ระบบควบคุมของตัวรถไฟฟ้า (2) ระบบควบคุมจากส่วนกลาง โดยมีการแสดงภาพรวมในภาพที่ 1.1 ให้การทำงานของระบบรถไฟไฟฟ้านี้สามารถนำไปพัฒนาต่อเป็นรถที่ใช้ขนส่งผู้โดยสารไปยังสถานีที่ต้องการเดินทางโดยตรง โดยไม่ต้องแวะจอดสถานีระหว่างทาง เพื่อเป็นการประหยัดเวลาในการขนส่งให้สั้นที่สุด ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่ของระบบควบคุมกลาง ที่จะต้องบอกตำแหน่งของรถไฟไฟฟ้ามืดเคลื่อนที่ผ่านเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งไว้ในทางวิ่งเป็นระยะ นอกจากนั้นแล้วระบบควบคุมกลางจะต้องสั่งการให้รถไฟไฟฟ้ามืดหยุดจอดยังสถานีที่ต้องการอีกด้วย โดยระบบรถไฟไฟฟ้ามืดคันขับดังกล่าวใช้รางเหล็กความกว้าง 47 ซม. มีความยาวประมาณ 2 กม. โดยมีสถานีจอด 4 สถานี บรรทุกผู้โดยสารได้ครั้งละ 4-5 คนต่อเที่ยว เป็นระบบที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อน โดยผ่านระบบตัวนำไฟฟ้ากระแสตรงที่แรงดัน 550-750 โวลต์ ซึ่งปลอดภัยต่อผู้ใช้ ในแต่ละขบวนประกอบด้วยห้องโดยสาร 1 โบกี้ ทำจากไฟเบอร์พร้อมระบบระบายอากาศ และระบบประตูปower อัตโนมัติ มีระบบเบรกพร้อมระบบควบคุมผ่านคอนโทรลเลอร์ ภายในวิทยานิพนธ์นี้เป็นการนำ

ข้อดีของระบบรถไฟฟ้ารางเดี่ยวมาปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้ประกอบการที่ได้ทำการพัฒนา และติดตั้งใช้งานในปัจจุบันให้เป็นแบบอัตโนมัติซึ่งไม่ต้องใช้คนขับหรือผู้ควบคุมการขับเคลื่อนบนตัวรถ แต่จะให้ผู้ใช้บริการทำหน้าที่เลือกสถานีที่จะทำการขึ้นลงได้จากปุ่มการเลือกจุดที่ติดตั้งบนตัวรถ และทั้งนี้ผู้ควบคุมจากส่วนกลางจะสามารถเข้าทำการควบคุมระบบการขับเคลื่อนต่างๆ เมื่อเกิดเหตุการณ์ขัดข้องได้ในรูปแบบของรีโมทระยะไกลผ่านทางข้อมูลเครือข่ายไร้สาย (GPRS)

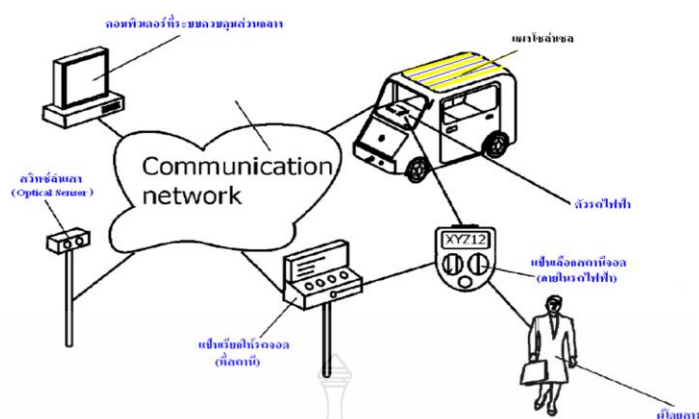


ภาพที่ 1.1 ภาพรวมของระบบควบคุมรถไฟฟ้า

การควบคุมของตัวรถไฟฟ้าประกอบไปด้วยระบบย่อยๆ ดังนี้

1. ระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้า
2. ระบบจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงไปตามรางเพื่อใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ สำหรับรถไฟฟ้า
3. ระบบตรวจสอบสัญญาณควบคุมและระบบเบรกฉุกเฉินควบคุมจากระบบควบคุมกลาง

ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นการสร้างและออกแบบระบบที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อน โดยผ่านระบบตัวนำไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่ 550-750 โวลต์ และมีการประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ในการจ่ายไฟเพื่อสนับสนุนการควบคุม อาทิ เช่น เซ็นเซอร์ ระบบแสงสว่าง และไฟสำรองภายในตัวรถ



ภาพที่ 1.2 องค์ประกอบของระบบย่อยในการควบคุมรถไฟฟ้า

ระบบควบคุมส่วนกลาง มีหน้าที่บอกตำแหน่งของรถไฟฟ้าเมื่อเคลื่อนที่ผ่านจุดควบคุม (Control Point) และ สถานี (Station) ซึ่งตรวจจับตำแหน่งรถโดยอาศัยเซ็นเซอร์แบบแสง (Optical Sensor) และส่งสัญญาณไปยังคอมพิวเตอร์ส่วนกลาง โดยจุดควบคุมนี้จะถูกติดตั้งไว้ในบริเวณก่อนถึงสถานี เพื่อรับคำสั่งจากระบบควบคุมส่วนกลางให้รถไฟฟ้าลดความเร็วและหยุดจอดที่สถานีต่อไปตามระยะทางที่ได้กำหนดไว้ในกรณีที่ผู้โดยสารเลือกลงสถานีนั้นหรือสั่งให้รถไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านสถานีไปในกรณีที่สถานีนั้นไม่ได้ถูกเลือกจอด โดยมีรายละเอียดของอัตราเร่งและอัตราลดความเร็วของรถไฟฟ้า ซึ่งมีการกำหนดไว้ในคอมพิวเตอร์ของระบบควบคุมส่วนกลาง ดังนั้นหากมีความผิดพลาดในการส่งข้อมูลจาก Optical Sensor ระบบควบคุมส่วนกลางจะส่งสัญญาณเตือนไปยังพนักงานเพื่อตรวจสอบตำแหน่งของรถไฟฟ้าและเพื่อการซ่อมแซมต่อไป

#### 1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

- 1.4.1 เป็นรถไฟฟ้าต้นแบบชนิดไร้คนขับขนาด 4 ที่นั่งผู้โดยสาร
- 1.4.2 ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าที่สามารถปรับความเร็วได้ ไม่เกิน 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- 1.4.3 สามารถเลือกสถานีเพื่อจอดรถไฟฟ้าเพื่อรับ/ส่งได้จากผู้ใช้บริการ โดยตัวรถวิ่งในรูปแบบเดินทางเดียว

## 1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการพิจารณาออกแบบและสร้าง โมเดลใหม่ที่จำลองขนาดและการทำงานจริงของตัวรถไฟฟ้าที่สามารถควบคุมการเคลื่อนของตัวรถด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการเดินรถไฟฟ้าจะวิ่งไปในทิศทางเดียวจนเสร็จสิ้นคำสั่งและเริ่มการทำงานใหม่เมื่อมีผู้ใช้บริการ โดยผู้ใช้บริการกำหนดเลือกสถานีเข้าจอด เบื้องต้น ได้ออกแบบระบบให้ทำงานในรูปแบบการเดินรถโดยไม่หยุดจอดรับผู้ใช้บริการตามสถานีจนกว่าจะเสร็จสิ้นคำสั่ง เนื่องจากการออกแบบระบบเพื่อให้เกิดความรวดเร็วและเป็นส่วนตัว พร้อมทั้งมีการเพิ่มระบบการทำงานการแจ้งเตือนสถานะและแจ้งตำแหน่งของรถ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความปลอดภัยผู้ใช้บริการ โดยวิธีการตรวจจับไร้สายระยะไกล โดยประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อช่วยสนับสนุนในการควบคุมระบบของอุปกรณ์สัญญาณต่างๆ ภายในตัวรถ เช่น เซ็นเซอร์ติดต่อกับสถานีหลัก ตลอดจนระบบ GPS เพื่อแจ้งตำแหน่งของรถที่มีการตรวจสอบขณะการเคลื่อนที่ในสถานีต่างๆ ข้อดีของ โครงการงาน วิจัยนี้คือเป็นระบบอัตโนมัติเมื่อเทียบกับระบบรถไฟฟ้าทั่วไปที่ต้องมีคนขับ โดยนำเอาประสบการณ์จากการใช้รถไฟฟ้าในสวนสัตว์จังหวัดเชียงใหม่มาปรับปรุง เพื่อให้สามารถควบคุมการเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติได้ และยังสามารถตรวจสอบความปลอดภัยได้จากการควบคุมทางระยะไกล ด้วยการเชื่อมต่อของสัญญาณส่วนแสดงภาพ (Monitoring) แบบ GUI ซึ่งสามารถใช้ในการแก้ปัญหาได้ทันทีที่เกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินขึ้น โดยเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบจากศูนย์ควบคุมหลักสามารถเข้าไปควบคุมอีกทางหนึ่ง

## 1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.6.1 ศึกษา ค้นคว้าและสำรวจงานวิจัยต่างๆ ที่มีความเกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นความรู้พื้นฐาน
- 1.6.2 ศึกษาหลักการควบคุมการขับเคลื่อนด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
- 1.6.3 ศึกษาหลักการจ่ายกำลังไฟฟ้าสู่ชุดขับเคลื่อนรถไฟฟ้า
- 1.6.4 ติดตั้งระบบและอุปกรณ์ ลงในโมเดลรถไฟฟ้าต้นแบบที่ได้กำหนดไว้
- 1.6.5 ทดสอบระบบการควบคุม โมเดลรถไฟฟ้าต้นแบบ ในสถานะต่างๆ พร้อมทั้งบันทึกเปรียบเทียบผลการทดสอบการทำงาน
- 1.6.6 สรุปผลและวิจารณ์ ผลการวิจัยเพื่อจัดทำรายงานวิทยานิพนธ์และนำเสนองานวิจัย

## 1.7 ประโยชน์ที่จะได้รับ

- 1.7.1 ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้าแบบระบบล้อ
- 1.7.2 ระบบเลือกตำแหน่งของสถานีจอร์รถไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ
- 1.7.3 แนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีของประเทศ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนางานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอนาคต



## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บทนำ [1]

ลักษณะของตัวโมเดลรถไฟฟ้าในวิทยานิพนธ์ มีลักษณะเหมือนตู้โบกี้รถไฟฟ้าขนาดเล็ก ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้ได้ออกแบบมาเป็นโมเดลต้นแบบที่สามารถใช้งานได้จริง ภายในตู้โดยสารจะทำการติดตั้งที่นั่งผู้โดยสารจำนวน 4 ที่นั่ง ใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนขนาดพิกัดกำลังประมาณ 5.5 kW โดยติดตั้งบริเวณคู่ล้อหลังของตัวรถให้เป็นตัวขับเคลื่อนรถให้วิ่งไปบนราง และมีการติดตั้งชุดแปลงผันกำลังไฟฟ้า ชุดควบคุมการขับเคลื่อนมอเตอร์ไว้บนตัวรถ เนื่องจากงานวิจัยชิ้นนี้ได้ออกแบบให้ตัวรถไฟฟ้าสามารถทำงานได้ด้วยตัวเองโดยผู้โดยสารมีหน้าที่เพียงเลือกสถานีที่จะลงเท่านั้น จึงทำการติดตั้งชุดควบคุมต่างๆไว้บนตัวรถ พร้อมทั้งได้ดำเนินการติดตั้งระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำรองกรณีที่เกิดกระแสไฟฟ้าดับ หรือเกิดเหตุฉุกเฉิน ซึ่งระบบควบคุมการทำงานบนตัวรถจะติดต่อกับศูนย์ควบคุมกลางโดยอัตโนมัติเพื่อแจ้งข้อบกพร่องและสามารถนำเข้าสู่สถานีรับส่งผู้โดยสารที่ใกล้ที่สุดได้โดยเร็ว

#### 2.1 แบบจำลองรถไฟฟ้าต้นแบบ [2,3]

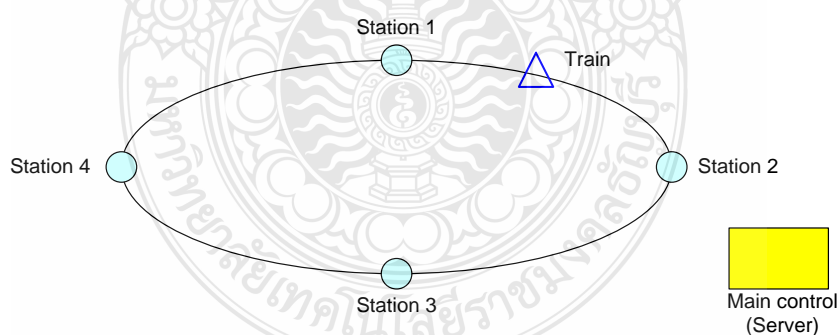
โมเดลรถไฟฟ้าขนาด 4 ที่นั่งในโครงการจะออกแบบให้มีล้อที่ใช้สำหรับวิ่งบนราง จำนวน 4 ล้อ คือ ล้อตาม 2 ล้อ และล้อขับเคลื่อน 2 ล้อ พร้อมล้อประคองข้างป้องกันการเสียดสีกับราง ตัวโมเดลจะสร้างโดยการใช้โครงเหล็กเชื่อม และใช้แผ่นไฟเบอร์สำหรับทำเป็นบอดี ประตูเปิด-ปิดไฟฟ้าอัตโนมัติเมื่อเข้าจอด และออกจากสถานี ส่วนสำคัญของโมเดลรถไฟฟ้า เป็นชุดควบคุมการขับเคลื่อน ชุดเชื่อมต่อสัญญาณควบคุมระหว่างตัวรถและศูนย์ควบคุม ทั้งนี้ศูนย์ควบคุมจะทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารรับ-ส่งข้อมูลด้วยระบบอินเทอร์เน็ต และสามารถควบคุมระบบบางส่วนจากระยะไกลได้ด้วย โดยใช้โปรโตคอลไอพี เพื่อกำหนดการเข้ารหัสของรถแต่ละคันเพื่อให้สามารถควบคุมและติดต่อสื่อสารกับรถแต่ละคันได้



ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างโมเดลตัวรถไฟฟ้าในงานวิจัย

### 2.3 หลักการระบบการควบคุมรถไฟฟ้า [4,5,6]

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการออกแบบระบบจำลองของระบบรถไฟฟ้า (Train) ขนาด 4 ที่นั่ง ขับเคลื่อนบนรางคู่ที่ความเร็วสูงสุดไม่เกิน 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทั้งนี้ โครงการจะกำหนดเส้นทางการเดินรถเป็นวงรอบ โดยมีสถานีรับ/ส่งผู้โดยสาร แต่ละสถานีควบคุมการเปิดปิดประตูตัวรถ โดยสามารถควบคุมความเร็วของตัวรถและควบคุมการเริ่มเดินรถ/หยุดเดินรถ ผ่านศูนย์ควบคุม (Main Control) โดยเส้นทางการเดินรถไฟฟ้ามีเส้นทางเดินเป็นวงรอบในทิศทางเดียว ตัวอย่างในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างระบบจำลองเส้นทางการเดินรถไฟฟ้า



ระบบควบคุมระบบรถไฟฟ้าประกอบด้วย

1. ระบบควบคุมในตู้รถ (Unit Controller)
2. ศูนย์ควบคุมกลาง (Main Control)
3. ชุดควบคุมสำหรับการเดินรถ
4. ชุดควบคุมระบบขับเคลื่อน

### 2.3.1 ระบบควบคุมในตู้รถ

เป็นชุดควบคุมที่ใช้สำหรับควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ภายในตู้รถไฟฟ้า โดยสามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลสั่งการและแก้ไขระบบได้โดยเจ้าหน้าที่จากศูนย์ควบคุมกลาง ชุดควบคุมนี้จะเป็นหน่วยประมวลผลกลางที่จะทำหน้าที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ภายในรถ เช่น ระบบสื่อสารรับ-ส่งข้อมูล และการควบคุมแบบรีโมท โดยประยุกต์ใช้ระบบติดตามแบบระบุตำแหน่ง เพื่อให้ทราบสถานะทำงานของรถไฟฟ้าและทิศทางการเดินรถ โดยสามารถรับ-ส่งข้อมูล แบบรีโมทระยะไกล กับศูนย์ควบคุมกลาง เพื่อตรวจสอบการทำงานของรถไฟฟ้า

### 2.3.2 ศูนย์ควบคุมกลาง

ทำหน้าที่ควบคุมการเดินทางของรถไฟฟ้า และรับแจ้งข้อมูลสถานะทำงานของรถไฟฟ้าจาก Unit Controller เพื่อเก็บลงในหน่วยความจำของส่วนประมวลผลกลาง ในศูนย์ควบคุมการเดินรถไฟฟ้า ซึ่งทำหน้าที่รับ-ส่งข้อมูลกับ Unit Controller เนื่องจากระบบควบคุมการขับเคลื่อนจะเป็นการสื่อสารผ่านระบบอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงในรูปแบบของ Internet Network เพื่อใช้รายงานเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นบนรถไฟฟ้าและแก้ปัญหาฉุกเฉินต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นในขณะที่เดินรถ

การรับ-ส่ง ข้อมูลระหว่างศูนย์ควบคุมกับ Unit Controller เป็นการสื่อสารด้วยระบบอินเทอร์เน็ตไร้สาย ที่เรียกว่า GPRS (General Packet Radio Service) เพื่อให้ระบบทำหน้าที่เป็นรีโมทระยะไกลสำหรับการควบคุมรถ ที่ติดตั้งไว้ภายในรถไฟฟ้าเช่นกัน

### 2.3.3 ชุดควบคุมสำหรับการเดินรถ

ในการเดินทางด้วยรถไฟฟ้า ผู้โดยสารจะทำหน้าที่รอรถไฟฟ้าที่สถานี และเลือกสถานีที่ต้องการจอด ดังนั้นประตูรถไฟฟ้าจะต้องเปิดให้ผู้โดยสารขึ้นและลงเท่านั้น เพื่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุดในการใช้บริการ ของผู้โดยสาร การตรวจจับสภาวะทำงานของรถไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระทำใน 3 รูปแบบ

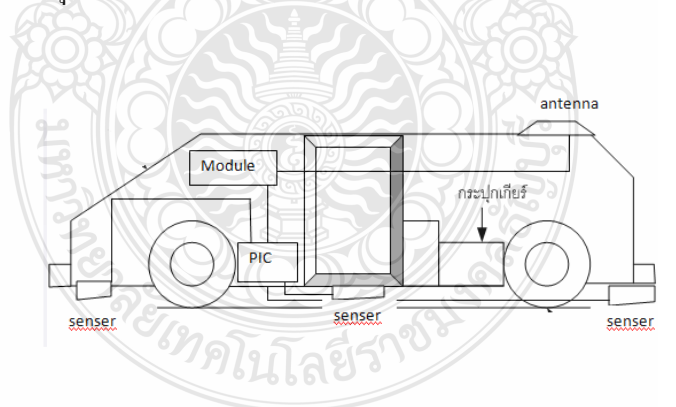
- 1) ตรวจจับสภาวะขณะรถเข้าจอดในสถานี
- 2) ตรวจจับสภาวะเปิด/ปิดของประตูรถ
- 3) ตรวจจับสิ่งกีดขวางขณะเดินรถ

ประตูดไฟฟ้าจะเปิด-ปิดตามคำสั่งผู้โดยสาร (และเจ้าหน้าที่จากศูนย์ควบคุมกลาง ในกรณีจำเป็น) โดยทำงานร่วมกับ Unit Controller และ Main Controller ทั้งนี้ตัวตรวจจับ ที่ติดตั้งบริเวณประตูจะเป็นตัวบ่งบอกสถานะการทำงานของประตุนั้นๆ อย่างไรก็ตาม จะต้องมีการติดตั้ง Sensor ที่บริเวณด้านหน้าและด้านหลังของตัวรถไฟฟ้าด้วยเช่นกัน สำหรับใช้เป็นระบบป้องกันการชนกันระหว่างรถไฟฟ้า หรือสิ่งกีดขวาง หรือ มีสิ่งของตกบนรางในขณะที่เดินรถ ในส่วนระบบเปิดปิดประตูอัตโนมัติจะใช้ Sensor ในการตรวจสอบการขึ้น-ลงของผู้โดยสารและการเข้าจอดสถานีของรถไฟฟ้าด้วยเช่นกัน

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้ตัวตรวจจับแบบลำแสงสะท้อนกลับ สำหรับระบบป้องกันการชนสิ่งกีดขวางของรถไฟฟ้า ทั้งนี้เมื่อเกิดกรณีดังกล่าว Sensor จะเป็นตัวส่งสัญญาณไปยัง Unit Controller ภายในตัวรถเพื่อส่งลดระดับความเร็วของรถไฟฟ้าลงด้วย

### 2.3.4 ชุดควบคุมระบบขับเคลื่อน

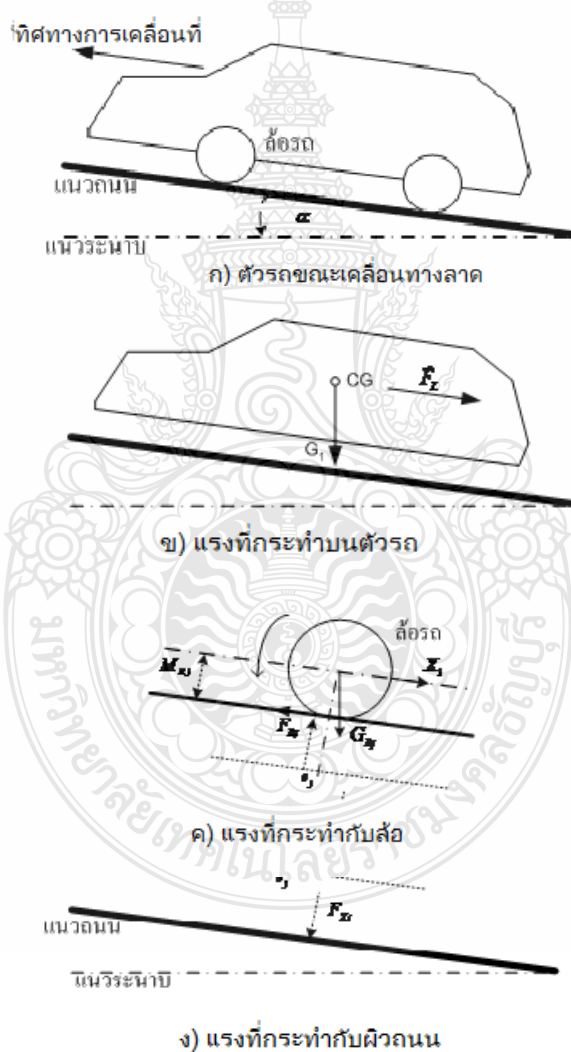
รถไฟฟ้าในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้การขับเคลื่อนจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ขนาด 220/380V พิกัดกำลังไฟฟ้า 5 kW ความคุมความเร็วด้วยอินเวอร์เตอร์ชนิดพีดับบลิวเอ็ม และควบคุมการขับเคลื่อนจากศูนย์ควบคุมกลางและระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางขณะเดินรถ โดยผ่านทาง Unit Controller ซึ่งติดตั้งอยู่ภายในตัวรถเช่นกัน Unit Controller โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดรุ่น PIC 18F8722 ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมการเริ่มทำงาน หยุดทำงาน เดินหน้า ถอยหลัง และควบคุมความเร็วของมอเตอร์



ภาพที่ 2.3 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆในรถไฟฟ้า

## 2.4 หลักการพื้นฐานด้านกลศาสตร์การเคลื่อนที่ของยานพาหนะ [7,8]

การคำนวณหาพิกัดกำลังที่ต้องการในการขับเคลื่อนตัวรถ ต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของรถยนต์เป็นพื้นฐาน เนื่องจากเป็นตัวกำหนดขนาดโมเมนต์ของแรง และพิกัดกำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อน และยังเป็นตัวกำหนดอัตราการใช้กำลังของตัวรถด้วย ทั้งนี้การเขียนสมการการเคลื่อนที่ของตัวรถ ต้องอาศัยหลักการพิจารณาส่วนล้อและตัวรถว่าเป็นวัตถุอิสระ ในการพิจารณาแรงที่กระทำบนวัตถุนั้น ซึ่งแรงในแนวตั้งฉากกับพื้นของตัวรถบางตัวจะถูกละไว้ เพราะไม่มีความสำคัญต่อการพิจารณาขนาดแรงต้านทานการเคลื่อนที่



ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างแรงที่กระทำต่อตัวรถขณะเคลื่อนที่ในทางลาด

จากสมการทั่วไปตามหลักพลศาสตร์

$$ma = -\vec{F}_L - G_1 \sin \theta + \sum_{j=1}^n X_j \quad (2.1)$$

กำหนดให้

$G_1, G_2$  เป็นน้ำหนักตัวรถ และรถพ่วง ตามลำดับ (N)

$\sum_{j=1}^n X_j$  เป็นผลรวมของแรงในแนวแกน X โดย j เป็นจำนวนเพลลา (N)

$\vec{F}_L$  เป็นแรงต้านของอากาศ (N)

จากภาพที่ 2.3 (ค) เมื่อพิจารณาที่เพลลา ( $j$ ) จะได้ความสัมพันธ์ ตามสมการที่ 2.2

$$m_{Rj}a_{Rj} = -X_j + \vec{F}_{Xj} - G_{Rj} \sin \alpha \quad (2.2)$$

สมการเคลื่อนที่เชิงมุมของล้อจะให้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.3

$$J_{Rj}\varphi_{Rj} = M_{Rij} - \vec{F}_{Xj} \cdot r_j - \vec{F}_{Zj} \cdot e_j \quad (2.3)$$

เมื่อ	$G_{Rj}$	เป็นน้ำหนักของล้อทั้งหมดที่เพลลา $j$ [N]
	$M_{Rij}$	เป็นมวลรวมของล้อทุกล้อที่เพลลา $j$ kg]
	$J_{Rj}$	เป็นผลรวมของโมเมนต์ความเฉื่อยทั้งหมดของล้อที่เพลลา $j$ [kgm <sup>2</sup> ]
	$\vec{F}_{Xj}$	เป็นแรงรวมในแนวสัมผัสของแต่ละล้อ [N]
	$\vec{F}_{Zj}$	เป็นแรงรวมในแนวตั้งของล้อทุกล้อ [N]
	$M_{Rij}$	เป็นโมเมนต์แรงขับของเพลลา $j$ [N-m]
	$a$	เป็นความเร่งเชิงเส้นของตัวรถ [ $m/s^2$ ]
	$e$	เป็นระยะเยื้องของภาระในแนวตั้งจากกับพื้น
	$r$	เป็นรัศมีของล้อ [m]

สำหรับการเคลื่อนที่เชิงเส้นจะได้  $a_{Rj} = a$  และเมื่อกำจัดเทอม  $X_j$  และ  $\vec{F}_{Xj}$  ออกจากสมการที่ 2.1 ถึงสมการที่ 2.3 จะได้สมการรวมดังนี้

$$(m + \sum_{j=1}^n m_{Rj})a + \sum_{j=1}^n \frac{J_{Rj}}{r_j} \varphi_{Rj} = \sum_{j=1}^n \frac{M_{Rj}}{r_j} - G_1 + \sum_{j=1}^n \vec{F}_{Zj} \frac{e_j}{r_j} \quad (2.4)$$

เมื่อกำหนดให้มวลทั้งหมดของตัวรถเป็น  $m$  จะได้

$$(m + \sum_{j=1}^n m_{rj}) = m \quad (2.5)$$

$$G_1 + \sum_{j=1}^n G_{Rj} = G = mg \quad (2.6)$$

เมื่อแทนค่าความเร่งเชิงมุม ( $\varphi$ ) ด้วยความเร่งเชิงเส้น ( $a$ ) ในสมการที่ 2.4 จะได้สมการที่ 2.7

$$\sum_{j=1}^n \frac{M_{Rj}}{r_j R_j} = \left( m + \sum_{j=1}^n \frac{M_{Rj}}{r_j R_j} \right) a + G \sin \alpha + \vec{F}_L + \sum_{j=1}^n \frac{\vec{F}_{Zj} e_j}{r_j R_j} \quad (2.7)$$

ทั้งนี้ด้านขวาของสมการ จะประกอบด้วยแรงต่างๆ จำนวน 4 พจน์ ดังนี้

$$\text{แรงต้านจากการกลิ้งของล้อ} \quad \vec{F}_R = \sum_{j=1}^n \vec{F}_{Zj} \frac{e_j}{r_j} \quad (2.8)$$

$$\text{แรงต้านจากอากาศ} \quad \vec{F}_L \cong 0.29 \quad (2.9)$$

$$\text{แรงต้านเนื่องจากความชัน} \quad \vec{F}_{ST} = G \sin \alpha \quad (2.10)$$

$$\text{แรงต้านจากความเร่ง} \quad \vec{F}_B = \left( m + \sum_{j=1}^n \frac{J_{Rj}}{r_j R_j} \right) a \quad (2.11)$$

จากสมการที่ 2.7 จะเห็นว่าด้านซ้ายสมการเป็นผลรวมโมเมนต์ในการขับเคลื่อนต่อคาร์ซีมีล้อ ( $r_j$ ) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าแรงจลน์รวมของตัวรถ ทั้งนี้แรงจลน์ของตัวรถจะต้องมีค่ามากกว่าแรงต้านการเคลื่อนที่รวมซึ่งอยู่ด้านขวาของสมการ ตัวรถจึงจะเคลื่อนที่ไปได้ ดังแสดงในสมการที่ 2.12

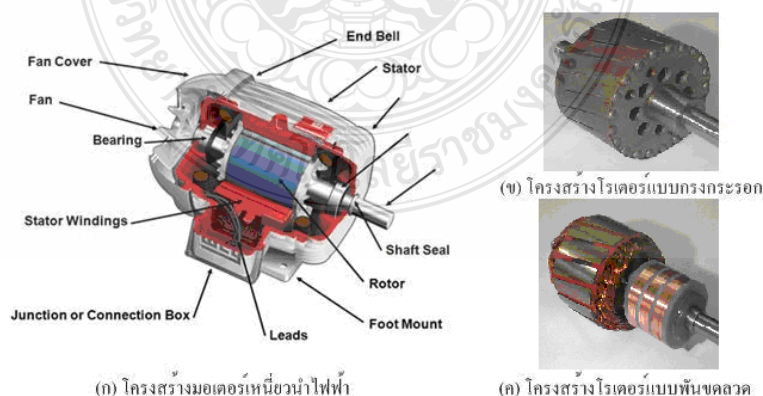
$$\Sigma \vec{F} = \vec{F}_R + \vec{F}_L + \vec{F}_{ST} + \vec{F}_B \quad (2.12)$$

โดยที่	$\Sigma \vec{F}$	เป็นแรงรวมที่ใช้ในการขับเคลื่อนตัวรถ [N]
	$\vec{F}_B$	เป็นแรงที่ใช้ในการเร่งความเร็ว [N]
	$\vec{F}_R$	เป็นแรงต้านจากการกลิ้งของล้อรถ [N]
	$\vec{F}_L$	เป็นแรงต้านจากอากาศ [N]
	$\vec{F}_{ST}$	เป็นแรงต้านที่เกิดจากรถเคลื่อนตามแนวชัน [N]

อย่างไรก็ตามการนำสมการทางพลศาสตร์ไปคำนวณหาพิกัดกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าสำหรับระบบขับเคลื่อนในโครงการ จะแสดงไว้ในบทที่ 3

## 2.5 มอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้า [9]

มอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้า 3 เฟส (3 phase Induction Motor) ประกอบด้วยขดลวดสเตเตอร์และโรเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 2.5 ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะ โครงสร้าง คือแบบโรเตอร์กรงกระรอก (Squirrel Cage Rotor) และแบบพันขดลวดโรเตอร์ (Wound Rotor) ที่ใช้งานอุตสาหกรรมทั่วไปจะเป็นแบบกรงกระรอกขดลวด สเตเตอร์ 3 ขดจะวางห่างกัน 120 องศาไฟฟ้า เมื่อจ่ายแรงดันไฟสลับ 3 เฟสเข้าสู่ขดลวดสเตเตอร์ จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนเคลื่อนตัวตัดกับตัวนำไฟฟ้าในโรเตอร์ เกิดกระแสเหนี่ยวนำไหลวนในขดลวดตัวนำของโรเตอร์ เป็นผลให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำและแรงบิดที่เพลลา ทำให้โรเตอร์สามารถหมุนไปได้ในทิศทางเดียวกันสนามแม่เหล็กหมุนจากสเตเตอร์



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

ที่ ทั้งนี้สนามแม่เหล็กจากสเตเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วเชิงโคโรน่า ( $\omega_s$ ) ซึ่งหาได้จากสมการ

$$\omega_s = \frac{2\omega}{p} \quad (2.13)$$

เมื่อ  $p$  เป็นจำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์  
 $\omega$  เป็นความเร็วเชิงมุมของแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย  $\omega = 2\pi f$

ขดลวดสเตเตอร์แต่ละเฟสจะสร้างเส้นแรงแม่เหล็กค้ำ (Flux Linkage) ขึ้นในโรเตอร์ ดังสมการ

$$\phi(t) = \phi \cos(\omega_m t + \delta - \omega_s t) \quad (2.14)$$

โดยแรงดันเหนี่ยวนำต่อเฟสที่เกิดขึ้นในขดลวดโรเตอร์ จะมีสมการเป็น

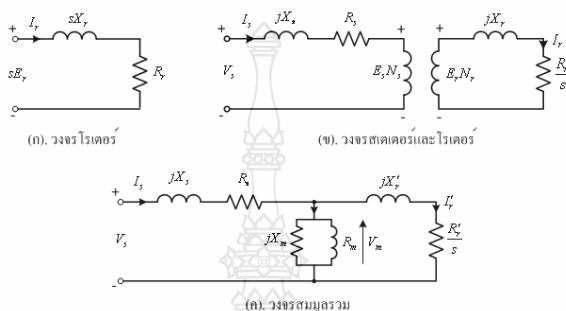
$$\begin{aligned} e_r &= N_r \frac{d\phi}{dt} = N_r \frac{d}{dt} \{ \phi \cos(\omega_m t + \delta - \omega_s t) \} \\ &= N_r \phi (\omega_m - \omega_s) \sin\{(\omega_m - \omega_s)t - \delta\} \\ &= s E_r \sin(s\omega_s t - \delta) \\ &= -s\sqrt{2} E_r \sin(s\omega_s t - \delta) \end{aligned} \quad (2.15)$$

เมื่อ  $N_r$  เป็นจำนวนรอบของขดลวดโรเตอร์ต่อเฟส  
 $\omega_m$  เป็นความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์  
 $\delta$  เป็นตำแหน่งมุมสัมพันธ์ (Relational Position) ของโรเตอร์  
 $E_r$  เป็นค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในโรเตอร์  
 $E_r$  เป็นค่าสูงสุดของแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในโรเตอร์  
 $s$  เป็นค่าสลลิป (Slip) ระหว่างความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนกับความเร็วยโรเตอร์ หาได้จากสมการที่ 2.16

$$S = \frac{(\omega_s - \omega_m)}{\omega_s} \tag{2.16}$$

### 2.5.1 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามารถเขียนได้ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

- เมื่อ  $V_s$  เป็นค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดันสเตเตอร์ต่อเฟส
- $R_s$  เป็นค่าความต้านทานต่อเฟสของขดลวดสเตเตอร์
- $X_s$  เป็นค่ารีแอกแตนซ์ต่อเฟสของขดลวดสเตเตอร์ที่ความถี่หลักมูล
- $R'_r$  เป็นค่าความต้านทานต่อเฟสของขดลวดโรเตอร์ที่เทียบเคียงมาทางสเตเตอร์
- $X'_r$  เป็นค่ารีแอกแตนซ์ต่อเฟสของขดลวดโรเตอร์ที่ความถี่หลักมูลที่เทียบเคียงมาทางสเตเตอร์
- $E_r$  เป็นค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดันเหนี่ยวนำต่อเฟสที่เกิดขึ้นในโรเตอร์ขณะความเร็วเป็นศูนย์ {หรือขณะอยู่นิ่ง; ( $s = 0$ ) }
- $R_m$  เป็นค่าความต้านทานของแกนเหล็กต่อเฟส
- $X_m$  เป็นค่ารีแอกแตนซ์ต่อเฟสของสนามแม่เหล็กค้ำ (Linkage Reactance) ที่ความถี่หลักมูล

ทั้งนี้กระแสเหนี่ยวนำในโรเตอร์ที่เกิดขึ้น เมื่อเทียบเคียงมาทางสเตเตอร์ ( $I'_r$ ) หาได้

ดังนี้



$$\begin{aligned}
 I'_r &= \frac{E_r}{R'_r/s + jsX'_r} \\
 &= \frac{E_r}{R'_r/s + jsX'_r}
 \end{aligned}
 \tag{2.17}$$

จากการพิจารณาจะเห็นว่าเมื่อมอเตอร์ทำงานที่ความเร็วปกติ จะเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กสเตเตอร์และแกนเหล็กโรเตอร์ ( $P_c$ ) ซึ่งแปรเปลี่ยนตามค่าสลลิป (Slip;  $s$ ) และขณะที่มอเตอร์ไม่มีโหลดอาจมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากความถี่ตก และความต้านลมของงานกลที่เพลอีกด้วย ที่เรียกว่า ค่า  $P_{no\ load}$

### 2.5.2 คุณลักษณะการทำงานและสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

พิจารณาจากวงจรสมมูลในภาพที่ 2.5 (ค) สามารถหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำได้ดังนี้

สมการกำลังสูญเสียในขดลวดสเตเตอร์ ( $P_s$ ) เท่ากับ

$$P_{su} = 3I_s^2 R_s \tag{2.18}$$

สมการกำลังสูญเสียในขดลวดโรเตอร์ ( $P_r$ ) เท่ากับ

$$P_{ru} = 3I_s'^2 R'_s \tag{2.19}$$

สมการกำลังสูญเสียในแกนเหล็ก ( $P_c$ ) เท่ากับ

$$P_c = \frac{3V_m^2}{R_m} \approx \frac{3V_s^2}{R_m} \tag{2.20}$$

สมการกำลังสูญเสียในช่องอากาศ (Air Gap power loss;  $P_g$ ) เท่ากับ

$$P_g = 3I_s'^2 \frac{R'_r}{\omega_s} \tag{2.21}$$

สมการกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้น (Developed Power;  $P_d$ ) เท่ากับ

$$\begin{aligned} P_d &= P_g - P_r = 3I_s'^2 \frac{R_r'}{s} (1 - s) \\ &= P_g (1 - s) \end{aligned} \quad (2.22)$$

สมการแรงบิดที่เกิดขึ้น (Developed Torque;  $T_d$ ) เท่ากับ

$$T_d = \frac{P_d}{\omega_m} = \frac{P_g(1-s)}{\omega_s(1-s)} = \frac{P_g}{\omega_s} \quad (2.23)$$

สมการกำลังไฟฟ้าขาเข้า ( $P_i$ ) ของมอเตอร์ เท่ากับ

$$P_i = 3V_s I_s \cos \theta_s = P_c + P_s + P_g \quad (2.24)$$

เมื่อ  $\theta_s$  เป็นมุมต่างเฟสระหว่างแรงดันและกระแสต้นสเตเตอร์ ( $V_s$  และ  $I_s$ )

สมการกำลังไฟฟ้าขาออก ( $P_o$ ) ของมอเตอร์ หาได้จาก

$$P_o = P_d - P_{no\ load} \quad (2.25)$$

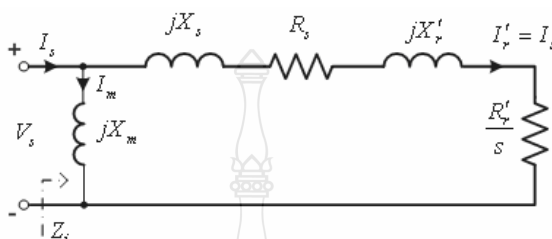
ดังนั้นค่าประสิทธิภาพ ( $\eta$ ) หาได้จากสมการ

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{(P_d - P_{no\ load})}{(P_c + P_s + P_g)} \quad (2.26)$$

เมื่อพิจารณาให้  $P_g = (P_c + P_s)$  และ  $P_d = P_{no\ load}$  สมการประสิทธิภาพจะเป็นดังนี้

$$\eta \approx \frac{P_d}{P_g} = \frac{P_g(1-s)}{P_g} = (1 - s) \quad (2.27)$$

เนื่องจากความต้านทานแกนเหล็ก ( $R_m$ ) มีผลกระทบต่อกระแสและแรงดันเข้ามอเตอร์ต่ำมาก ดังนั้นในการวิเคราะห์หม้อเตอร์เหนี่ยวนำด้วยวงจรสมมูล จะสามารถตัดค่า  $R_m$  ออกไปได้และเนื่องจากค่า  $X_m^2 = (R_s^2 + X_s^2)$  จะเป็นผลให้ค่า  $V_s \approx V_m$  ซึ่งเป็นเหตุผลให้สามารถโอนย้ายค่า  $X_m$  มาไว้ทางด้านขาเข้าของวงจรได้ ดังแสดงในวงจรสมมูลภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 วงจรสมมูลอย่างง่ายของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

จากวงจรสมมูลอย่างง่าย อิมพีแดนซ์ด้านขาเข้า จะเท่ากับ

$$Z_i = \frac{-X_m(X_s + X_r') + j(X_m + R_s + R_r')}{R_s + R_r'/s + j(X_m + X_s + X_r')} \quad (2.28)$$

ซึ่งค่ามุมต่างเฟส (Phase displacement) ในมอเตอร์ และกระแสโรเตอร์ ( $I_r$ ) เท่ากับ

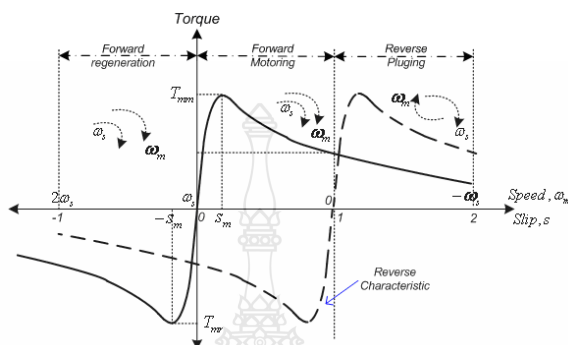
$$\theta_m = \pi - \tan^{-1} \left( \frac{R_s + R_r'/s}{X_s + X_r'} \right) + \tan^{-1} \frac{(X_m + X_s + X_r')}{(R_s + R_r'/s)} \quad (2.29)$$

$$I_r' = \frac{V_s}{\sqrt{(R_s + R_r'/s)^2 + (X_s + X_r')^2}} \quad (2.30)$$

แทนค่าสมการ  $I_r$  ลงในสมการ  $P_g$  และในสมการ  $T_d$  จะได้

$$T_d = \frac{3R_r'V_s^2}{s\omega_s \{ (R_s + R_r'/s)^2 + (X_s + X_r')^2 \}} \quad (2.31)$$

จากสมการ ถ้าแรงดันและความถี่เข้ามอเตอร์เหนี่ยวนำมีค่าคงที่ แรงบิดที่เพลามอเตอร์จะแปรผันไปตามค่าสลิป (Slip;  $s$ ) ซึ่งเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $T_d$ ,  $\omega_m$  และสลิป ( $s$ ) ได้ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด ความเร็ว และค่าสลิปของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

จากภาพที่ 2.8 จะเห็นว่า การทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบ่งออกได้เป็น 3 ย่านการทำงาน ดังนี้

1. ย่านการทำงานเป็นมอเตอร์ (Motoring Region) เมื่อ  $0 \leq s \leq 1$
2. ย่านการทำงานแบบรีเจนเนอเรชั่น (Regenerative Region) เมื่อ  $s < 0$
3. ย่านการทำงานแบบปลั๊กกิ้ง (Plugging Region) เมื่อ  $1 \leq s \leq 2$

จากภาพที่ 2.8 สามารถหาค่าที่จุดต่างๆ ได้ดังนี้

ที่จุดเริ่มหมุนมอเตอร์ ( $s = 1$  และ  $\omega_m = 0$ ) สามารถหาค่าแรงบิดเริ่มหมุน ( $T_s$ ) ได้จากสมการ

$$T_d = \frac{3R_r'V_s^2}{s\omega_s\{(R_s+R_r')^2+(X_s+X_r')^2\}} \quad (2.32)$$

ค่าสลิปขณะแรงบิดสูงสุด ( $s_m$ ) หาได้โดยกำหนดค่า  $\frac{dT_d}{ds} = 0$  จากสมการที่ 2.31 ซึ่งจะได้

$$s_m = \pm \frac{R_r'}{\sqrt{(R_s)^2+(X_s+X_r')^2}} \quad (2.33)$$

แทน  $s = s_m$  ลงในสมการที่ 2.31 จะได้ค่าแรงบิด Pull-Out Torque ขณะทำงานในย่านทำงานเป็นมอเตอร์

$$T_{mn} = \frac{3V_s^2}{2\omega_s \left\{ R_s + \sqrt{(R_s)^2 + (X_s + X_r')^2} \right\}} \quad (2.34)$$

ทั้งนี้สมการแรงบิดสูงสุดในย่านรีเจนเนอเรทีฟ ( $T_{mr}$ ) จะหาได้ในทำนองเดียวกัน ดังนี้

$$T_{mr} = \frac{3V_s^2}{2\omega_s \left\{ -R_s + \sqrt{(R_s)^2 + (X_s + X_r')^2} \right\}} \quad (2.35)$$

เนื่องจากค่า  $R_s$  มีค่าต่ำมาก ทำให้ค่าสลิปและค่าแรงบิดต่างๆ เขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$T_d = \frac{3R_r' V_s^2}{s\omega_s \left\{ (R_s/s)^2 + (X_s + X_r')^2 \right\}} \quad (2.36)$$

$$T_s = \frac{3R_r' V_s^2}{s\omega_s \left\{ R_r'^2 + (X_s + X_r')^2 \right\}} \quad (2.37)$$

$$s_m = \pm \frac{R_r'}{(X_s + X_r')} \quad (2.38)$$

$$T_{mn} = -T_{mr} = \frac{3V_s^2}{2\omega_s (X_s + X_r')} \quad (2.39)$$

ดังนั้น สมการอัตราส่วนแรงบิดต่างๆ จะเป็นดังนี้

$$\frac{T_d}{T_{mn}} = \frac{2R_r' (X_s + X_r')}{s \left\{ (R_s/s)^2 + (X_s + X_r')^2 \right\}} = \frac{2s \cdot s_m}{s_s^2 + s^2} \quad (2.40)$$

$$\frac{T_s}{T_{mn}} = \frac{2R_r' (X_s + X_r')}{R_r'^2 + (X_s + X_r')^2} = \frac{2s_m}{s_s^2 + 1} \quad (2.41)$$

ทั้งนี้ ถ้า  $s < 1$  และ  $s^2 = s_m^2$  สมการที่ 9.63 สามารถเขียนโดยประมาณได้ดังนี้

$$\frac{T_d}{T_{mn}} = \frac{2s}{s_m} = \frac{2(\omega_s - \omega_m)}{\omega_s s_m} \quad (2.42)$$

ทำให้ได้สมการความเร็วเชิงมุม เป็นดังนี้

$$\omega_m = \omega_s \left( 1 - \frac{s_m}{2T_{mn}} T_d \right) \quad (2.43)$$

พิจารณาจากสมการที่ 2.42 และ 2.43 จะเห็นว่าถ้ามอเตอร์ทำงานขณะค่าสลิปต่ำ จะทำให้ค่าแรงบิด ( $T_d$ ) มีค่าลดลง ซึ่งจะทำให้ความเร็วมีค่าลดลงตามค่าแรงบิด  $T_d$

### 2.5.3 หลักการควบคุมแรงดันและความถี่ขาเข้ามอเตอร์เหนี่ยวนำ

การควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำเพื่อให้ได้แรงบิดขาออกก่อนข้างคงที่นั้น สามารถทำได้โดยการควบคุมความถี่และแรงดันเข้าของมอเตอร์ไปพร้อมๆกัน ทั้งนี้อัตราส่วนแรงดันต่อความถี่ขาเข้าของมอเตอร์จะต้องมีค่าคงที่ ซึ่งเรียกว่า การควบคุมแบบโวลต์/เฮิรตซ์ (V/F Control) การควบคุมด้วยหลักการนี้ สามารถทำได้โดยการใช้วงจรอินเวอร์เตอร์เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ

โดยทั่วไปแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนกับเส้นแรงแม่เหล็กและค่าความถี่ ดังนั้นค่าอาร์เอ็มเอซของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในช่องอากาศ (Air Gap) จะเท่ากับ

$$V_a = bV_s = k_m \omega \phi \quad (2.44)$$

$$\phi = \frac{V_a}{k_m \omega} = \frac{bV_s}{k_m \omega} \quad (2.45)$$

เมื่อ  $k_m$  เป็นค่าคงที่ในส่วนสเตเตอร์

$V_a$  เป็นค่าแรงดันขาเข้า

จากสมการที่ 2.44 และ สมการที่ 2.45 จะเห็นว่าถ้าอัตราส่วนของแรงดันต่อความถี่ขาเข้ามอเตอร์มีค่าคงที่แล้ว จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในมอเตอร์จะมีค่าคงที่ไปด้วย นอกจากนี้ยัง

พิจารณาได้ว่าค่าแรงบิดขาออกที่ได้จากสมการที่ 2.39 จะมีค่าคงที่เช่นกัน สมการแรงบิดและค่าสลิปเมื่อพิจารณา  $V/f$  คงที่ พิจารณาได้ดังนี้

$$\text{กำหนดให้} \quad \omega_s = \beta \omega_b \text{ และ } d = V_a / \omega_s \quad (2.46)$$

$$\text{จะได้สมการสลิป} \quad s = \frac{\beta \omega_b - \omega_m}{\beta \omega_b} \quad (2.47)$$

$$\text{และสมการแรงบิด} \quad T_d = \frac{3 R_r' V_a^2}{s \beta \omega_b \{ (R_s + R_r' / s)^2 + (\beta X_s + X_r')^2 \}} \quad (2.48)$$

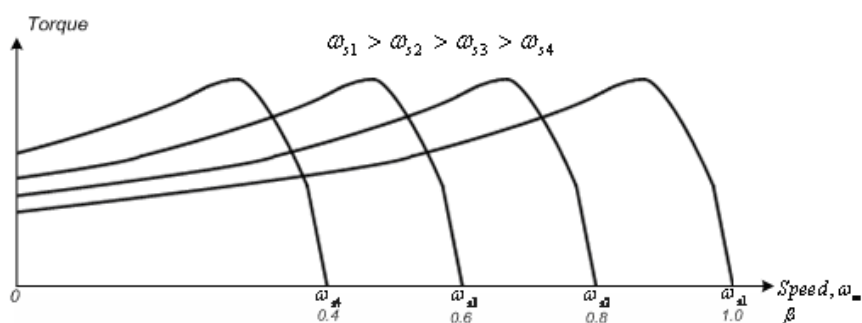
เมื่อ  $d$  เป็นอัตราส่วนของแรงดันต่อความถี่เข้า  
 $\beta$  เป็นอัตราส่วนความเร็วระหว่างค่าความเร็วจริง ( $\omega_s$ ) กับความเร็วซิงโครนัส ( $\omega_b$ )

แทนค่าสมการที่ 2.47 ลงในสมการที่ 2.48 จะได้

$$T_d = \frac{3 R_r' (d \omega_b)^2 (\beta \omega_b - \omega_m)}{\omega_b^2 (R_s + R_r')^2 + (\beta \omega_b - \omega_m) (X_s + X_r')} \quad (2.49)$$

ซึ่งค่าสลิปขณะแรงบิดสูงสุด ( $s_m$ ) เท่ากับ

$$s_m = \frac{R_r'}{\sqrt{R_s^2 + \beta^2 (X_s + X_r')}} \quad (2.50)$$

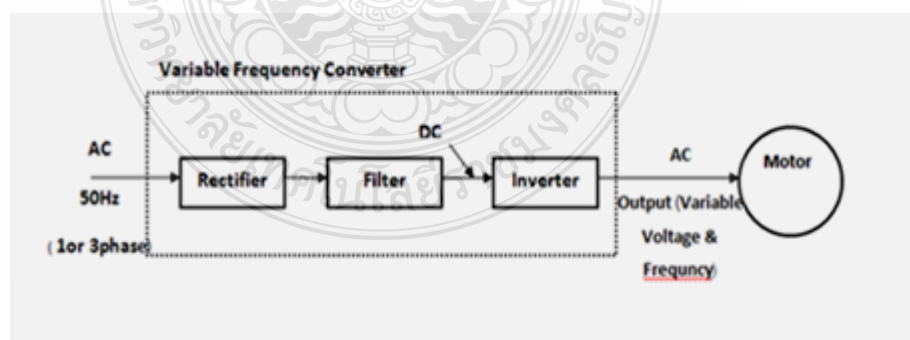


ภาพที่ 2.9 คุณลักษณะความเร็ว-แรงบิดมอเตอร์ เมื่อควบคุมด้วยหลักการ V/F Control

## 2.6 วงจรอินเวอร์เตอร์ [10,11,12]

อินเวอร์เตอร์ซึ่งจะทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างระบบไฟฟ้าหลัก และมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้ากระแสสลับในโครงการวิจัยนี้ เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ซึ่งเมื่อนำมาใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ เพื่อควบคุมความเร็วและแรงบิดนั้น ต้องสามารถเปลี่ยนแปลงแรงดันและความถี่ขาออกได้ตามต้องการ ทั้งนี้อินเวอร์เตอร์ที่ดีต้องมีคุณสมบัติพื้นฐานที่สอดคล้องกับความต้องการของมอเตอร์ดังต่อไปนี้

1. สามารถปรับความถี่ขาออกได้เป็นสัดส่วนกับความเร็วรอบที่ต้องการ
2. สามารถปรับแรงดันขาออกเพื่อรักษาอัตราส่วน V/F ให้คงที่ตลอดช่วงแรงบิดคงที่ตามต้องการ
3. สามารถจ่ายกระแสได้ตามพิกัดที่ความถี่ใดๆ ซึ่งอยู่ในช่วงแรงบิดคงที่ที่ต้องการ

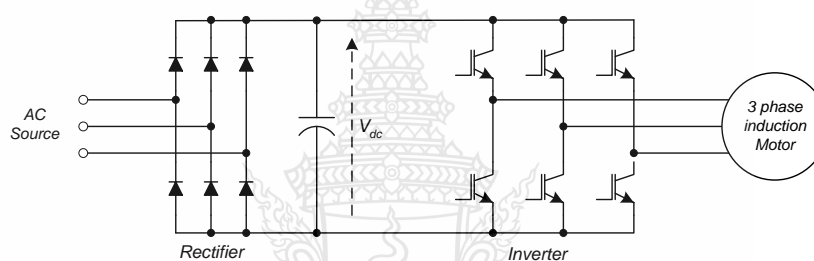


ภาพที่ 2.10 แผนภาพการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยอินเวอร์เตอร์

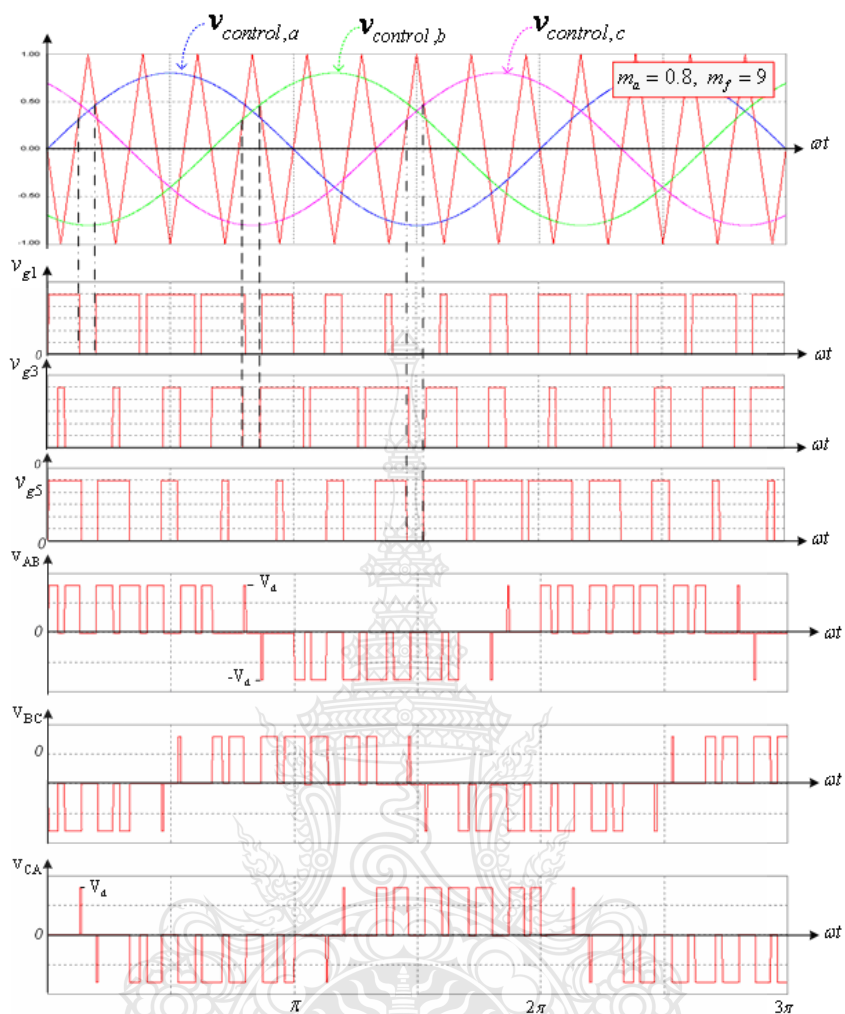


### 2.6.1 อินเวอร์เตอร์แบบพีดับบลิวเอ็มรูปคลื่นซายน์ (SPWM Inverter)

วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในโครงการเป็นชนิด 2 ระดับแบบเชื่อมโยงไฟตรง (DC Linked Two Level Inverter) ซึ่งมีโครงสร้างวงจรดังแสดงในภาพที่ 2.11 โดยวงจรเรียงกระแสด้านเข้าจะทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขาเข้าให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ด้วยหลักการสร้างสัญญาณแรงดันขาออกแบบพีดับบลิวเอ็มรูปคลื่นซายน์ (Sinusoidal Pulse Width Modulation: SPWM) เพื่อควบคุมขนาด แรงดันและความถี่ขาออกจ่ายเข้าสู่มอเตอร์ ทำให้สามารถควบคุมความเร็วและแรงบิดมอเตอร์ได้ตามต้องการ



ภาพที่ 2.11 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบ 2 ระดับ



ภาพที่ 2.12 ตัวอย่างของสัญญาณควบคุมและแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบ SPWM

### 2.8.2 หลักการอินเวอร์เตอร์แบบ SPWM

ตามหลักการพื้นฐาน สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 6 ตัวในวงจรอินเวอร์เตอร์จะได้รับสัญญาณควบคุม แบบ SPWM โดยใช้  $V_{control}$  ซึ่งเป็นรูปคลื่นไซน์ 3 สัญญาณห่างกัน  $120^\circ$  ไฟฟ้าเปรียบเทียบกับ  $V_{tri}$  ซึ่งเป็นรูปคลื่นสามเหลี่ยม ทำให้ได้แรงดันขาออกดังแสดงในภาพที่ 2.12

จากหลักการสร้างสัญญาณพีดับลิวเอ็มแบบรูปคลื่นไซน์ กำหนดให้

$v_{tri} , \hat{v}_{tri}$  สัญญาณสามเหลี่ยมซึ่งเป็นตัวกำหนดความถี่สวิตซิ่งและค่ายอดคลื่น

$f_s$  ค่าความถี่สวิตซิ่งของอินเวอร์เตอร์

$v_{control} , \hat{v}_{control}$  เป็นตัวกำหนดขนาดแรงดันและความถี่ขาออกและค่ายอดคลื่นสัญญาณชานซ์

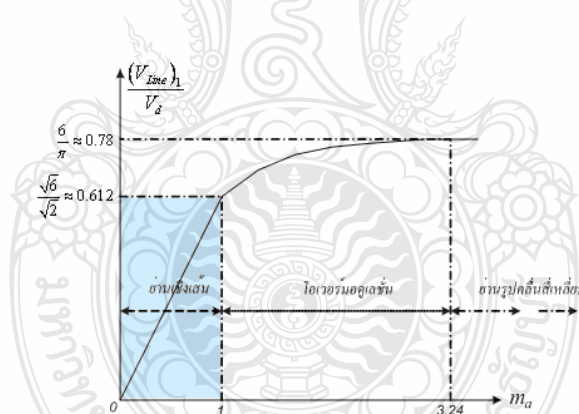
$f_1$  ค่าความถี่หลักมูลขาออกของอินเวอร์เตอร์

จะได้ว่า 
$$m_a = \frac{\hat{v}_{control}}{\hat{v}_{tri}} \quad (2.51)$$

$$m_f = \frac{f_s}{f_1} \quad (2.52)$$

เมื่อ  $m_a$  เป็นอัตรากรมอดูเลตด้านขนาด หรือ “Amplitude Modulation Ratio”

$m_f$  เป็นอัตรากรมอดูเลตด้านความถี่ หรือ “Frequency Modulation Ratio”



ภาพที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $(V_{Line})_1/V_d$  กับค่า  $m_a$  ในวงจรอินเวอร์เตอร์

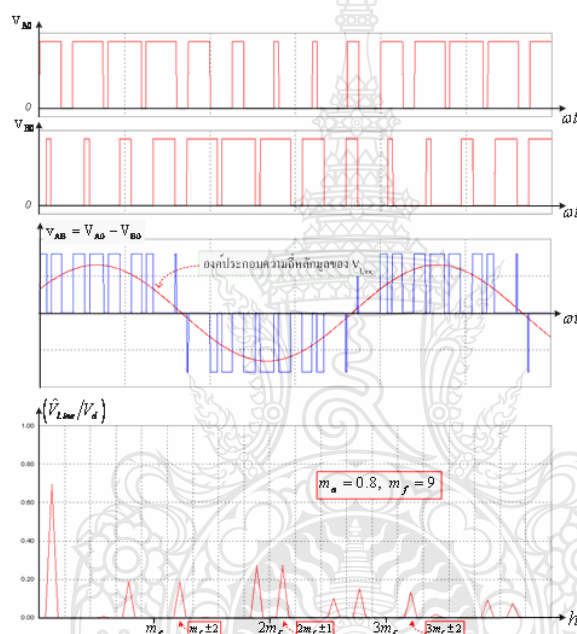
ข้อกำหนดในการสร้างสัญญาณชานซ์พีดับบลิวเอ็มสำหรับวงจรอินเวอร์เตอร์

1. ค่า  $m_a$  ควรอยู่ในย่านเชิงเส้น ( $0 < m_a \leq 1$ ) ซึ่งแรงดัน

$$(V_{A0})_1 = m_a \frac{V_d}{2} \Big|_{m_a < 1} \quad \text{หรือ} \quad V_{LL1} = 0.612 \times m_a \times V_d \Big|_{m_a < 1} \quad (2.53)$$

แต่ถ้ากรณี  $m_a > 1$  จะเป็นช่วงโอเวอร์มอดูเลชัน แรงดันขาออกจะแปรผันไม่เป็นเชิงเส้นกับค่า  $m_a$  ดังแสดงในรูปที่ 2.13

2.ค่า  $m_f$  ควรเป็นจำนวนคี่ตัวคูณสาม เพื่อให้ทำให้ความถี่ฮาร์โมนิกส์เกิดขึ้นที่ค่า  $1m_f, 2m_f, 3m_f$  ตามลำดับ ส่วนความถี่ฮาร์โมนิกส์ข้างเคียงจะเกิดขึ้นที่  $f_h = (j \cdot m_f \pm k)f_1$  เมื่อ  $h = (j \cdot m_f) \pm k$  และ  $f_h$  เป็นความถี่ฮาร์โมนิกส์อันดับที่  $h$  ทั้งนี้เมื่อ  $j$  เป็นเลขคี่ค่า  $k$  จะใช้เป็นเลขคู่ และถ้า  $j$  เป็นเลขคู่ ค่า  $k$  จะใช้เป็นเลขคี่



ภาพที่ 2.14 ตัวอย่างแรงดันขาออกและสเปกตรัมของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบ SPWM

จากภาพที่ 2.14 จะเห็นว่าที่  $m_a \leq 1$  ความถี่ฮาร์โมนิกส์จะเกิดขึ้นตามข้อกำหนด ความถี่ฮาร์โมนิกส์ที่อันดับตัวคูณสามจะถูกกำจัดออกไปจากแรงดันสายไฟ ( $V_{LL}$ ) ขณะโหลด 3 เฟสอยู่ในสภาวะสมดุล

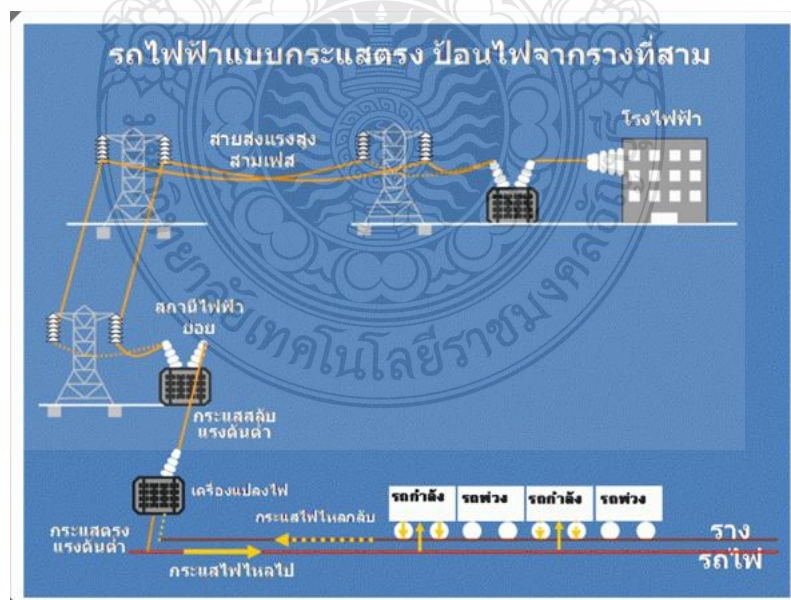
## 2.7 หลักการจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบขับเคลื่อน [13]

รถไฟฟ้าต่างจากรถไฟทั่วไปที่จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวต้นกำลัง โดยจะใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าหลักของการไฟฟ้าฯ ดังนั้นการควบคุมการขับเคลื่อนรถไฟฟ้าจึงต้องมีการสร้างสถานีจ่ายกระแสไฟฟ้าย่อยเพื่อควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าหลักให้มีขนาดแรงดันเหมาะสม สำหรับระบบขับเคลื่อน

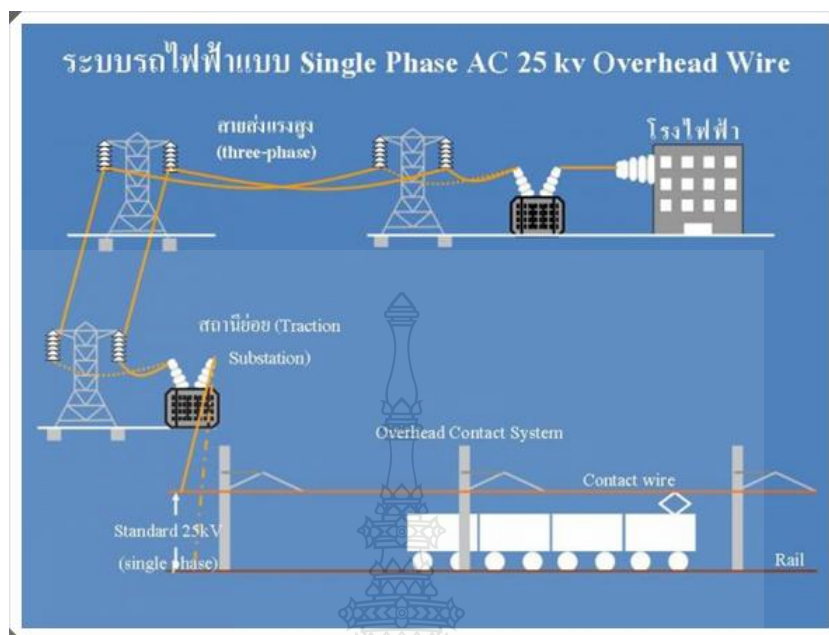
ระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนขบวนรถไฟฟ้า โดยทั่วไปมีอยู่ 2 ระบบคือ ระบบไฟฟ้ากระแสตรง และระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ส่วนระบบการป้อนกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบขับเคลื่อนรถไฟฟ้า มี 2 ระบบเช่นกันคือ

1. ระบบรางที่สาม หรือ ระบบ Third Rail System
2. ระบบสายส่งเหนือหัว หรือระบบ Overhead Wire System

ระบบ Third Rail System มีข้อดีด้านมลพิษ (Visual Impact) เพราะไม่มีโครงสร้างของระบบป้อนกำลังไฟฟ้ารุงรังอยู่เหนือรางรถไฟ แต่มีข้อจำกัดด้านความปลอดภัย ระบบนี้จึงมักใช้กับรถใต้ดินหรือระบบขนส่งมวลชนที่อยู่ในเมืองซึ่งไม่มีคนและสัตว์เลี้ยงเดินผ่าน เพราะอาจได้รับอันตรายจากกระแสไฟฟ้าได้ สำหรับระบบ Overhead Wire System จะมีโครงสร้างของระบบสายส่งรุงรังอยู่เหนือราง มักใช้กับการเดินรถไฟระยะทางไกลซึ่งต้องติดตั้งระบบเดินรถไฟฟ้าแบบแรงดันสูง ซึ่งไม่สามารถใช้ระบบ Third Rail ได้



ภาพที่ 2.15 ระบบป้อนกำลังไฟฟ้าแบบ Third Rail System



ภาพที่ 2.16 ระบบป้อนกำลังไฟฟ้าแบบ Overhead Wire System

ระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการป้อนกำลังไฟฟ้าสู่รถไฟฟ้านิยมใช้กันมาก เป็นระบบไฟฟ้ากระแสตรง ขนาดแรงดัน 750/1500 โวลต์ ซึ่งอาจใช้ควบคู่กับระบบป้อนกำลังไฟฟ้าแบบ Third Rail System และระบบไฟฟ้ากระแสตรงขนาดแรงดัน 1500/3000 โวลต์ ซึ่งมักจะใช้กับระบบ Over-Head Wire System เนื่องจากมีแรงดันสูง และมีอันตรายในการใช้งานมากกว่า

ส่วนระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่นิยมใช้ คือขนาดแรงดัน 25,000 โวลต์ หรือ ระบบ 25 kV (เป็น Single Phase ที่ความถี่ในงานอุตสาหกรรม) ทั้งนี้ระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าแต่ละประเทศอาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับข้อกำหนดมาตรฐานความถี่ของแต่ละประเทศ ซึ่งมีให้เลือกอยู่ 2 ระดับความถี่ คือ ความถี่ 50 Hz และความถี่ 60 Hz เป็นต้น

เนื่องจากระบบไฟฟ้ากระแสตรงขนาดแรงดัน 750/1,500 โวลต์ ต้องติดตั้งสถานีไฟฟ้าย่อยจำนวนมาก ซึ่งแต่ละสถานีไฟฟ้าย่อยหนึ่งสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ภายในรัศมีประมาณ 5 กิโลเมตรเท่านั้น จึงทำให้มีค่าต้นทุนสำหรับระบบการป้อนกำลังไฟฟ้าค่อนข้างสูง ในทางตรงกันข้าม การป้อนกำลังไฟฟ้าด้วยระบบไฟฟ้ากระแสสลับจะมีการติดตั้งสถานีไฟฟ้าย่อยจำนวนน้อยกว่า แต่ละสถานีไฟฟ้าย่อยมีรัศมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ไกลประมาณ 50 กิโลเมตร ทำให้ต้นทุนการติดตั้งระบบ

ป้อนกระแสไฟฟ้าถูกกว่ามาก อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้ระบบป้อนกำลังไฟฟ้าแบบกระแสสลับหรือกระแสตรงนั้น จะต้องขึ้นอยู่กับ การวิเคราะห์ความคุ้มค่า (Cost Justification) เป็นหลักเสมอ

ระบบป้อนกำลังไฟฟ้าแบบ Third Rail System ในระบบขนส่งมวลชนไม่มีความซับซ้อนมากนัก แต่ถ้าเป็นรถไฟไฟฟ้าที่วิ่งระยะทางไกล และมีความเร็วสูง ระบบส่งกำลังไฟฟ้าก็จะซับซ้อนมากขึ้น ดังนั้นการระบบสายส่งไฟฟ้าจึงต้องออกแบบให้เหมาะสมกับความเร็วขบวนรถไฟนั้นด้วย ทั้งนี้ระบบการป้อนกระแสไฟฟ้าทั้ง 2 ระบบจะมีโครงสร้างคล้ายคลึงกัน เพียงแต่ระบบ Third Rail System นั้น จะมีการแปลงแรงดันจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่สถานีย่อยเพื่อส่งยังรางที่สาม ซึ่งวางทอดขนานไปกับรางรถไฟ ขั้วไฟฟ้าซึ่งติดตั้งอยู่ที่ตัวรถจะออกแบบให้ยื่นลงมาสัมผัสกับรางที่สาม เพื่อนำกระแสไฟฟ้าไปใช้ในตัวรถ โดยผ่านอุปกรณ์ควบคุมกำลังไฟฟ้า สำหรับจ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งเป็นต้นกำลังการขับเคลื่อน รถไฟฟ้าต่อไป

## 2.8 โพรโทคอล TCP/IP [14] [15]

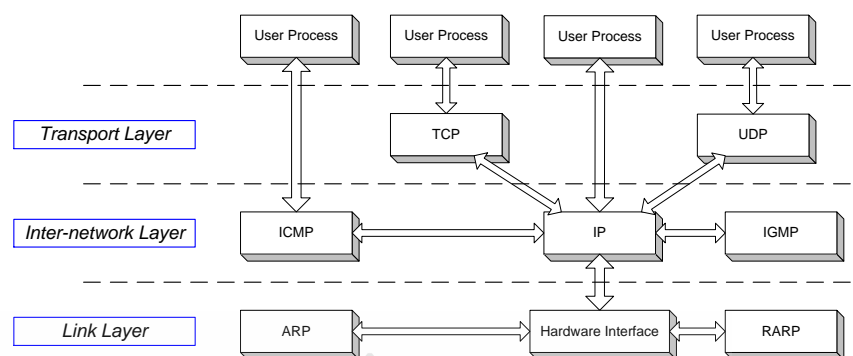
TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) เป็นชุดของโพรโทคอลที่ถูกใช้ในการสื่อสารผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งถูกใช้เป็นครั้งแรกในเครือข่าย ARPANET ซึ่งต่อมาได้ขยายการเชื่อมต่อไปทั่วโลกเป็นเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทำให้ TCP/IP เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง โดยทั่วไป โพรโทคอล TCP/IP เป็นกลุ่มของโพรโทคอลหลายตัวที่ประกอบกันเป็นชุดสำหรับใช้งานร่วมกัน ซึ่งทำให้ทราบว่าโพรโทคอลประกอบร่วมกันทำงาน 2 โพรโทคอล คือ TCP และ IP

### 2.8.1 โครงสร้างของโพรโทคอล TCP/IP

เนื่องจาก TCP/IP เป็นชุดของโพรโทคอลประกอบด้วยโพรโทคอลหลายตัวทำงานร่วมกันใน layer ต่างๆ และมีหน้าที่แตกต่างกันออกไป ได้แก่

1. TCP (Transmission Control Protocol) อยู่ใน Transport Layer ทำหน้าที่จัดการและควบคุมการรับส่งข้อมูล และมีกลไกการควบคุมการรับส่งข้อมูลให้มีความถูกต้อง (Reliable) และมีการสื่อสารอย่างเป็นกระบวนการ (Connection-Oriented)
2. UDP (User Datagram Protocol) อยู่ใน Transport Layer ทำหน้าที่จัดการและควบคุมการรับส่งข้อมูล แต่ไม่มีกลไกการควบคุมการรับ/ส่งข้อมูลให้มีเสถียรภาพและเชื่อถือได้ โดยปล่อยให้ เป็นหน้าที่ของแอปพลิเคชันเลเยอร์ แต่ UDP มีข้อได้เปรียบในการส่งข้อมูลได้ทั้งแบบ Unicast, Multicast และ Broadcast อีกทั้งยังทำการติดต่อสื่อสารได้เร็วกว่า TCP เนื่องจาก TCP ต้องเสีย overhead ให้กับขั้นตอนการสื่อสารที่ทำให้ TCP มีความน่าเชื่อถือในการรับส่งข้อมูลนั่นเอง





ภาพที่ 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างโปรโตคอลต่างๆ ใน TCP/IP

3. IP (Internet Protocol) อยู่ใน Inter-network Layer เป็นโปรโตคอลหลักในการสื่อสารข้อมูล มีหน้าที่ค้นหาเส้นทางระหว่างผู้รับและผู้ส่ง โดยใช้ IP Address ซึ่งมีลักษณะเป็นเลขสี่ชุด แต่ละชุดมีค่าตั้งแต่ 0-255 เช่น 172.17.3.12 ในการอ้างอิง Host ต่างๆ และกลไกการ Route เพื่อส่งต่อข้อมูลไปจนถึงจุดหมายปลายทาง

4. ICMP (Internet Control Message Protocol) อยู่ใน Inter-Network Layer มีหน้าที่ส่งข่าวสารและแจ้งข้อผิดพลาดให้แก่ IP

5. IGMP (Internet Group Management Protocol) อยู่ใน Inter-Network Layer ทำหน้าที่ในการส่ง UDP ดาต้าแกรมไปยัง กลุ่มของ Host หรือ หลาย Host พร้อมกัน

6. ARP (Address Resolution Protocol) อยู่ใน Link Layer ทำหน้าที่ที่เปลี่ยนแอดเดรสของ IP Address ให้เป็นแอดเดรสของ Network Interface เรียกว่า MAC Address ในการติดต่อระหว่างกัน MAC Address คือหมายเลขประจำของ Hardware Interface ซึ่งในโลกนี้จะไม่มี MAC Address ที่ซ้ำกัน มีลักษณะเป็นเลขฐาน 16 ยาว 6 ไบต์ เช่น 23:43:45:AF:3D:78 โดย 3 ไบต์แรกจะเป็นรหัสของผู้ผลิต และ 3 ไบต์หลังจะเป็นรหัสของผลิตภัณฑ์

7. RARP (Reverse ARP) อยู่ใน Link Layer เช่นกัน แต่ทำหน้าที่ที่กลับกันกับ ARP คือเปลี่ยนระหว่างแอดเดรสของ Network Interface ให้ เป็นแอดเดรสที่ใช้โดย IP Address

## 2.8.2 อินเทอร์เน็ตโปรโตคอล (Internet Protocol; IP)

Internet Protocol (IP) เป็นโปรโตคอลหลักในการสื่อสารข้อมูล และถือเป็นหัวใจสำคัญของโปรโตคอล TCP/IP ซึ่งจำเป็นต้องอธิบายก่อน เพื่อให้ง่ายต่อการอธิบายโปรโตคอลตัวอื่น ๆ



เกี่ยวกับหน้าที่และลักษณะของ โพรโทคอล IP Internet Address รูปร่างของ IP Header การ Routing และ การจัดสรร IP ด้วย Subnet Internet Protocol เป็นโพรโทคอลที่ทำหน้าที่รับภาระในการนำข้อมูลไปส่งยังผู้รับ ที่เชื่อมต่ออยู่ในระบบเครือข่าย ซึ่งทั้งสองฝั่งอาจอยู่คนละเน็ตเวิร์กกันก็ได้ นอกจากนั้นยังมีโพรโทคอลอื่น ๆ อีกที่อยู่ในระดับ Network Layer ขึ้นไป ทั้ง TCP, UDP และ ICMP ต้องอาศัยโพรโทคอล Internet Protocol ในการรับส่งข้อมูล

Internet Protocol มีความสามารถในการค้นหาเส้นทางจากผู้รับไปยังผู้ส่ง มีกลไกที่ชาญฉลาดในการค้นหาเส้นทาง สามารถค้นหาเส้นทางได้ไปถึงผู้รับได้เอง หากมีเส้นทางที่สามารถไปได้ แต่ไม่ได้ติดต่อกันระหว่างผู้รับกับผู้ส่งโดยตรง และไม่มีการยืนยันว่า ข้อมูลถึงผู้รับจริงหรือไม่ ทั้งนี้อาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น ที่อยู่ของผู้รับไม่มีการเชื่อมต่ออยู่ในระบบ Internet กล่าวได้ว่า Internet Protocol มีหน้าที่ค้นหาเส้นทางเท่านั้น ไม่มีการยืนยันผลสำเร็จในการส่งข้อมูล หากเกิดข้อผิดพลาดในการส่งข้อมูล แม้ว่าจะมีการส่ง ICMP Message กลับมารายงาน ข้อผิดพลาดแต่ก็รับประกันไม่ได้ว่า ICMP Message จะกลับมาถึงเรียบร้อยหรือไม่ ด้วยเหตุนี้ จึงถือว่า Internet Protocol เป็นโพรโทคอลที่ยังไม่มีความน่าเชื่อถือ (Unreliable)

### 2.8.3 IP Addressing

การเชื่อมต่อสัญญาณ (Interface) ทุกครั้งบนอินเทอร์เน็ตจะต้องมีหมายเลขประจำตัวเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูล เรียกว่า Internet Address หรือเรียกย่อๆว่า IP Address โดยค่า IP Address นี้จะเป็นหมายเลขจำนวน 32 บิต โดยจะแบ่งหมายเลขดังกล่าวออกเป็นกลุ่มเลขขนาด 8 บิตจำนวน 4 ชุด และกันแต่ละชุดด้วยจุด ตัวอย่างเช่น 172.17.3.12 นอกจากนี้ใน IP Address นั้นยังถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นแอดเดรสของเน็ตเวิร์ก (Network ID) และส่วนที่เป็นแอดเดรสของโฮสต์ (Host ID) ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้จะถูกใช้สำหรับ ค้นหาเส้นทางของ IP ในการที่จะขนส่งข้อมูลจากต้นทางให้ถึงปลายทางอย่างถูกต้อง เพื่อเป็นการกำหนดขนาดของเน็ตเวิร์ก สำหรับ IP Address ต่างๆดังนั้นจึงมีการจัด IP Address ในแต่ละช่วงออกเป็นคลาส (Class) ต่างๆกันจาก A ถึง E เพื่อจะได้ทำการจัดสรร IP Address ได้อย่างเหมาะสมกับขนาดของเน็ตเวิร์ก

จากข้อกำหนดในการแบ่งคลาสของ IP Address หากลองนำบิตที่อยู่ในตอนต้นของ IP Address ในแต่ละคลาสมาแปลงเป็น IP Address เลขฐานสิบ ซึ่งจะเห็นว่าแต่ละคลาสครอบคลุม IP Address ช่วงต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ช่วงของเลขที่อยู่ของไอพีแต่ละคลาส

Class	IP Range
A	0.0.0.0 – 127.255.255.255
B	128.0.0.0 – 191.255.255.255
C	192.0.0.0 – 223.255.255.255
D	224.0.0.0 – 239.255.255.255
E	240.0.0.0 – 255.255.255.255

## 2.9 อุปกรณ์ควบคุมระบบ และรับ/ส่งสัญญาณ

ในโครงการวิจัยนี้ ประยุกต์ใช้ตัวตรวจจับสัญญาณ ร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการแจ้งเตือนสถานะทำงานของรถไฟฟ้า โดยส่งสัญญาณควบคุมผ่านเครือข่ายไร้สาย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบควบคุม และความปลอดภัยของผู้ใช้บริการ กรอบแนวคิดการควบคุมระบบ ในโครงการ ประกอบด้วย

1. ระบบการตรวจจับสถานะทำงานของรถไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ
2. ระบบควบคุมรถไฟฟ้าอัตโนมัติจากศูนย์การควบคุม

### 2.9.1 อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ (Sensor) [16]

การตรวจสถานะทำงานของรถไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ มี 3 รูปแบบคือ

- 1) ตรวจจับสถานะขณะรถเข้าจอดในสถานี
- 2) ตรวจจับสถานะเปิด/ปิดของประตูรถ
- 3) ตรวจจับสิ่งกีดขวางขณะเดินรถ

ทั้งนี้โดยการติดตั้งตัวตรวจจับสัญญาณรุ่นที่เหมาะสมในตำแหน่งที่เหมาะสม อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณในปัจจุบันมีหลายชนิดและหลายรูปแบบ เช่น ตัวตรวจจับชนิดสวิตช์ลำแสง ชนิดตรวจจับด้วยอุณหภูมิจึงหรือ ชนิดสะท้อนคลื่นจากวัตถุ เป็นต้น ซึ่งพิจารณาแล้วเห็นว่า ตัวตรวจจับสัญญาณชนิดลำแสงมีความเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานในโครงการวิจัยนี้

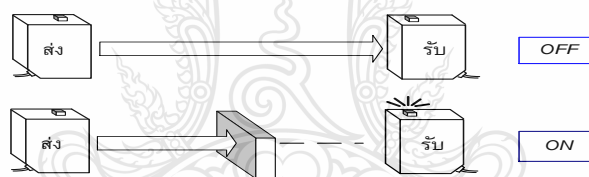
## 2.9.2 ตัวตรวจจับสัญญาณด้วยลำแสง

ตัวตรวจจับสัญญาณในระบบควบคุม หรือที่เรียกว่า “เซนเซอร์” มีหลายรูปแบบ ซึ่งแบบที่ใช้ในโครงการวิจัยนี้เป็นแบบสวิทช์ลำแสง (Photoelectric Sensor) หรือที่เรียกสั้นๆว่า “สวิทช์ลำแสง” เป็นอุปกรณ์ตัวตรวจจับสัญญาณของวัตถุที่เคลื่อนที่ตัดผ่านลำแสง ซึ่งตัวตรวจจับสัญญาณชนิดนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญคือ ตัวส่งแสงและตัวรับแสง การทำงานของตัวตรวจจับชนิดนี้เกิดจากการที่ลำแสงจากตัวส่งแสงถูกขวางกั้นด้วยวัตถุ หรือถูกสะท้อนด้วยวัตถุ หรือถูกดูดซับโดยวัตถุที่ต้องการตรวจจับ ซึ่งมีผลทำให้ตัวรับแสงรับรู้สถานะที่เกิดขึ้น โดยจะเปลี่ยนแปลงสถานะของสัญญาณเอาต์พุตของสวิทช์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆต่อไป

### หลักการตรวจจับสัญญาณในสวิทช์ลำแสง

การตรวจจับวัตถุในสวิทช์ลำแสง มีหลายแบบดังนี้

วิธีการตรวจจับแบบ Thru-Beam เป็นแบบที่ตัวรับและตัวส่งแสง อยู่ตรงกันข้าม โดยให้วัตถุที่จะตรวจจับ เคลื่อนผ่านระหว่างกลาง ดังแสดงในภาพที่ 2.27



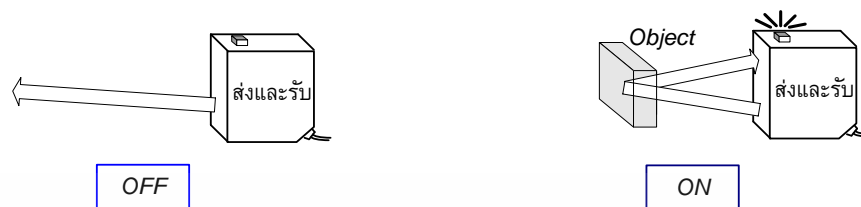
ภาพที่ 2.18 การตรวจจับแบบ Thru-Beam

วิธีการตรวจจับแบบ Retro-Reflective เป็นแบบที่ตัวรับ และตัวส่งแสงอยู่รวมกันในตัวเดียวกัน และใช้แผ่นสะท้อนแสงช่วยในการทำงานของสวิทช์ ดังแสดงในภาพที่ 2.28



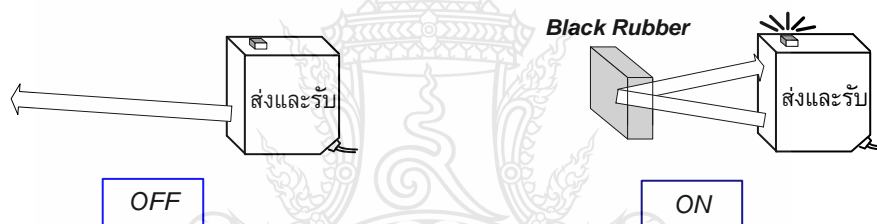
ภาพที่ 2.19 การตรวจจับแบบ Retro-Reflective

วิธีการตรวจจับแบบ Diffuse-Reflective เป็นแบบที่ตัวรับและตัวส่งแสง อยู่รวมภายในตัวเดียวกันและใช้การสะท้อนกลับของแสงที่ตัววัตถุในการทำงานของสวิทช์ ดังแสดงในภาพที่ 2.29



ภาพที่ 2.20 การตรวจจับแบบ Diffuse-Reflective

วิธีการตรวจจับแบบ Limited-Distance Diffuse Reflective ซึ่งวิธีการนี้จะเหมือนกับแบบ Distance Diffuse Reflective แต่สามารถจำกัดระยะการตรวจจับที่แน่นอนได้ดีกว่า ดังแสดงในภาพที่ 2.30



ภาพที่ 2.21 การตรวจจับแบบ Limited-Distance Diffuse Reflective

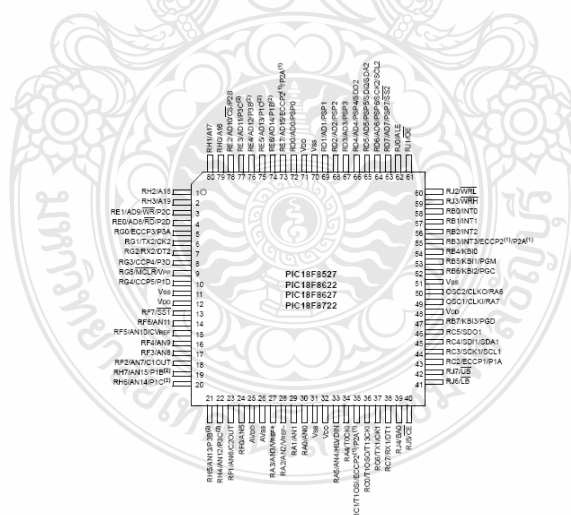
ในโครงการวิจัยนี้เลือกใช้เซนเซอร์ชนิดสวิทช์ลำแสง แบบ Reflective Optical Sensor with Transistor Output รุ่น E3F-DS10C4 ของบริษัท Omron จำกัด มีระยะตรวจจับสัญญาณที่ 10 ซม. เอาท์พุทเป็นทรานซิสเตอร์ชนิด NPN สวิทช์ขาออกเป็นแบบ Normally Open ดังแสดงในภาพที่ 2.31



ภาพที่ 2.22 ตัวอย่างเซนเซอร์แบบสวิตช์ลำแสงรุ่น E3F-DS10C4

## 2.10 ไมโครคอนโทรเลอร์บอร์ด ET BASE PIC 8722 [16,17]

ไมโครคอนโทรเลอร์บอร์ด ET BASE PIC8722 ที่นำมาใช้เป็น Unit Controller ในโครงการวิจัยนี้เป็นแผงวงจรควบคุมที่ใช้ชิปไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล PIC รุ่น PIC18F8722 ของบริษัท Microchip Inc. เป็นตัวประมวลผล ซึ่งเป็นชิปขนาด 80 ขา ขนาดการประมวลผล 1 เมกะบิตดังแสดงในภาพที่ 2.34



ภาพที่ 2.23 โครงสร้างของชิปเบอร์ PIC 18F8722

ทั้งนี้บอร์ด ET BASE PIC 8722 เป็นที่สามารถใช้กับเครื่องโปรแกรม ET-PGM PIC USB V1 หรือ V1 PLUS ที่ต่อกับ PORT USB ของคอมพิวเตอร์ได้ มีลักษณะเป็นบอร์ดสำเร็จรูปทำให้สะดวกต่อการประยุกต์ใช้งาน ดังแสดงในภาพที่ 2.35



ภาพที่ 2.24 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ET-BASE PIC8722

#### คุณสมบัติของ ET BASE PIC 8722

1. ใช้ MCU เบอร์ PIC18F8722-I/P ขนาด 80 PIN
2. หน่วยความจำแบบ FLASH 128 KBYTE RAM 3936 BYTE EEPROM 1024BYTE
3. RUN XTAL ON BOARD 10MHZ, สามารถตั้งให้ RUN ได้เร็วถึง 40 MHz ได้ในตัว
4. จำนวน I/O PORT ใช้งาน 70 BIT
5. ขั้ว 10 PIN ET BUS I/O 7 ชุด
6. 14 PIN LCD PORT แบบ CHARACTER TYPE
7. ขั้วต่อแบบ RJ-11 (ICD2) สำหรับ Download โปรแกรม
8. มี RS232 PORT จำนวน 2 ช่อง แบบขั้ว 4 PIN ETT (ICL3232 ON BOARD)
9. มี A/D ขนาด 10 BIT 16 Channel
10. มีตัวตั้งเวลา ทั้งแบบ TIMER / COUNTER, PWM, WATCH DOG

#### 2.11 การส่งสัญญาณไร้สายแบบ GPRS [17,18]

General Packet Radio Service หรือ GPRS เป็นเทคโนโลยีที่มีการรับส่งข้อมูลเป็น Package ย่อยแล้วส่งผ่านช่องสัญญาณต่างๆ เมื่อไม่มีการรับส่งข้อมูล ผู้ใช้คนอื่นก็สามารถใช้ช่องว่างนี้ได้ทำให้การรับส่งมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงสุดของระบบนี้คือ 171.2 กิโลบิตต่อวินาที จากเดิมช่องสัญญาณจะสูญเปล่าขณะไม่มีการรับส่งข้อมูล ปัจจุบัน GPRS ถูกกำหนดเป็น

มาตรฐาน และมีการใช้งานทั่วโลก โดยวางระบบเพื่อรองรับการใช้งานงานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 และทดสอบให้บริการที่ความเร็ว 56 Kbps และ 112 Kbps ในปี พ.ศ. 2544 โดยทำงานอยู่บนเครือข่ายโทรศัพท์ GSM

อย่างไรก็ตาม ผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่จะเปิดใช้ในระบบ GPRS จะต้องทำการติดตั้งระบบเครือข่าย ที่ประกอบด้วย 2 หน่วยหลัก คือ

1. SGSN (Serving GPRS Supports Node)
2. GGSN (Gateway GPRS Supports Node)

โดยทั้งสองหน่วยหลักจะถูกเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน โดยมีอุปกรณ์อื่นๆเป็นตัวช่วยเพื่อร่วมกันใช้ Radio Interface จาก Base Station โดยผ่านตัวควบคุม เรียกว่า Packet Control Unit (PCU) ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ Base Station Controller (BSC)

### 2.11.1 จุดเด่นของระบบ GPRS

1. เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นบนเครือข่ายเดิม ทำให้ส่งข้อมูลได้สะดวก และรวดเร็ว
2. สามารถใช้ได้กับเครือข่ายระบบ GSM ทำให้ง่ายต่อการติดตั้ง
3. สามารถรับ-ส่งข้อมูลต่างๆ ได้อย่างสะดวกโดยผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่
4. สามารถในการ รับ-ส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้สูงถึง 9 - 40 kbps ซึ่งจะทำให้สามารถรับ-ส่งข้อมูลที่เป็น VDO Mail หรือ ภาพเคลื่อนไหวต่างๆ ได้ พร้อมทั้งเชื่อมเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเร็วและมีประสิทธิภาพกว่าเดิมรวมถึงการ Download/Upload ได้ดียิ่งขึ้น
5. การเชื่อมต่อเครือข่ายและสามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ต่อเนื่อง แม้ขณะมีสัญญาณเข้ามาในสาย ทำให้การโอนถ่ายข้อมูลไม่ขาดตอน (Always On)
6. สามารถรับ-ส่งข้อมูลผ่าน Wireless Internet เข้ากับ Terminal อื่นๆ เช่น PDA หรือ Note Book ทำให้สะดวกต่อการใช้งานยิ่งขึ้น

### 2.11.2 รูปแบบบริการในระบบ GPRS

ด้วยโทรศัพท์มือถือในระบบ GPRS สามารถเข้าสู่บริการ Non Voice ที่ทำงานได้หลากหลายจาก MobileLIFE โดยบริการใหม่ล่าสุดคือบริการ mClose2me, mDiscount, และ Advanced Mail จาก mMail นอกจากนี้คุณยังสามารถใช้บริการอื่นๆ ที่มีอยู่เดิม เช่น mInfo, mEntertain, mBanking, mMail, mChat, mShopping และ mMessaging ด้วยความเร็วที่สูงขึ้นได้อีกด้วย

มากไปกว่านั้นคือถ้าใช้โทรศัพท์มือถือระบบ GPRS ต่อเชื่อมเข้ากับ PDA หรือ Computer Notebook ของคุณ คุณจะสามาร Browse ทั่วโลกอินเทอร์เน็ตได้อย่างง่ายดายทุกที่ ทุกเวลา และคุณยังสามารถรับข้อมูล ข่าวสารในรูปแบบของ Video ไม่ว่าจะเป็นรายการกีฬา ละคร ข่าว และข้อมูลสภาพการจราจร ที่จะทำให้ชีวิตของคุณ ต่อดัดกับโลกที่เปลี่ยนแปลง ไปอย่างรวดเร็วอยู่เสมอ โดยรูปแบบบริการในระบบ GPRS มีการให้บริการดังนี้

1. **Text and Visual Information** บริการนี้เป็นจุดขายที่ GPRS เหนือกว่าระบบโทรศัพท์ GSM ทั่วไป โดยสามารถส่งข้อมูลตัวอักษรหรือรูปภาพกราฟิกไปยังโทรศัพท์มือถือได้อย่างสะดวก รวดเร็ว ทำให้ GPRS เป็นที่นิยมใช้ทั่วไปในการโอนถ่ายข้อมูลหลากหลายรูปแบบ รวมทั้งบริการต่างๆ ที่จะเสริมเข้ามาในอนาคต

2. **Still Images** เป็นการส่งภาพนิ่งความละเอียดสูงระหว่างโทรศัพท์ในเครือข่าย รวมทั้งภาพที่ถ่ายได้จากกล้องดิจิทัล

3. **Moving Images** เป็นการส่งภาพเคลื่อนไหวระหว่างโทรศัพท์ในเครือข่ายได้เช่นกัน เช่น ภาพเคลื่อนไหวการประชุมทางไกล หรือ การส่งภาพจากกล้องวงจรปิดไปยังโทรศัพท์มือถือในกรณีประยุกต์ใช้กับระบบรักษาความปลอดภัย

4. **Chat** เป็นบริการพื้นฐานที่ผู้ใช้สามารถสนทนากันได้ทั้งแบบเป็นคู่ หรือเป็นกลุ่มได้ โดยการใช้ข้อมูลตัวอักษร

5. **Web Browsing** เป็นการเข้าสู่โลกอินเทอร์เน็ตด้วยการใช้โทรศัพท์มือถือ ซึ่งความเร็วมีให้เลือกตั้งแต่ 56 Kbps ไปจนถึง 112 Kbps แม้รูปแบบการแสดงผลจะแตกต่างจากการเข้าสู่เว็บไซต์ โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์

6. **E-Mail** เป็นบริการพื้นฐานที่มีคนนิยมใช้งานมากที่สุดสำหรับการรับ-ส่งข้อความ โดยจะมีการใช้ในรูปแบบของ SMS (Short Message Service)

7. **File Transfer** บริการโอนถ่ายไฟล์ข้อมูลในระบบ GPRS กำลังแพร่หลายมากขึ้น เพราะมีความเร็วสูงกว่าการใช้งานผ่านโมเด็มกับโทรศัพท์พื้นฐานมาก โดยรองรับกับโปรโตคอล FTP และ แอปพลิเคชันที่ใช้อ่านข้อความ เช่น Acrobat Reader เป็นต้น

8. **Audio** บริการด้านข้อมูลเสียงของ GPRS มีคุณภาพดีกว่าโทรศัพท์มือถือรุ่นเก่า เนื่องจากมีความคมชัดของสัญญาณเสียง และยังสามารถเก็บไฟล์เสียงเพื่อนำไปใช้งานในด้านต่างๆ ได้

9. **Remote LAN Access** ระบบ GPRS ทำให้สามารถที่จะเข้าถึงเครือข่ายคอมพิวเตอร์โดยใช้โทรศัพท์มือถือได้ โดยความเร็วในการส่งถ่ายข้อมูลก็สูงกว่าการใช้กับโทรศัพท์พื้นฐานทั่วไป



10. **Vehicle positioning** ระบบ GPRS ยังใช้ในการบอกตำแหน่งยานพาหนะที่เราใช้อยู่ โดยจะเชื่อมต่อกับสัญญาณกับดาวเทียม และสามารถบอกตำแหน่งที่เราอยู่โดยอ้างอิงกับเครื่องโทรศัพท์มือถือได้

## 2.12 อุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณ GSM/GPRS รุ่น SIM300CZ [18,19]



ภาพที่ 2.25 อุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณ GSM/GPRS รุ่น SIM300CZ

การใช้ระบบการส่งสัญญาณในโครงการวิจัยนี้ ทางคณะผู้วิจัยเลือกใช้ระบบการสื่อสารไร้สาย โมดูล GSM/GPRS รุ่น SIM300CZ ของบริษัท SIMCom เป็นอุปกรณ์หลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.36 ซึ่ง SIM300CZ นี้เป็น โมดูลสื่อสารระบบ GSM/GPRS ขนาดเล็ก รองรับระบบสื่อสาร GSM ความถี่ 900/1800/1900MHz โดยสั่งงานผ่านทางพอร์ต RS232 ด้วยชุดคำสั่ง AT Command สามารถประยุกต์ใช้งานได้มากมายหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นการรับส่งสัญญาณแบบ Voice, SMS, Data, FAX และยังสามารถสื่อสารด้วย Protocol TCP/IP ด้วย ตามปกติแล้ว โมดูล SIM300CZ จะมีวงจรและ Firmware บรรจุภายในตัวเรียบร้อยแล้ว แต่ก็ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ทันที เนื่องจากในการใช้งาน จำเป็นต้องออกแบบวงจรรอบนอกที่จำเป็นมาเชื่อมต่อกับขาสัญญาณของตัวโมดูลอีกบางส่วน ทั้งในภาค Power Supply วงจรเชื่อมต่อ SIM Card และ วงจร Line Driver ของ RS232 เป็นต้น จึงได้จัดทำแผงวงจรสำหรับเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อโมดูล SIM300CZ กับอุปกรณ์ภายนอกเพื่อให้สามารถนำไปทดลองและใช้งานได้โดยสะดวก อย่างไรก็ตามถ้าต้องการพัฒนา Application ที่สูงขึ้นก็สามารถประยุกต์ตัดแปลงหรือทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์เพิ่มเติมให้กับบอร์ดได้

## การแสดงผลสถานะทำงานของโมดูล SIM300CZ

บอร์ด ET-GSM SIM300CZ V1.0 มีอุปกรณ์สำหรับแสดงผลการทำงานของบอร์ดไว้เพื่อใช้แสดงผลสถานะของการทำงานต่างๆ ดังนี้

1. **Buzzer** แสดงการทำงานของโมดูลเมื่อมีสายเรียกเข้า โดย Buzzer จะถูกควบคุมการทำงานด้วยสัญญาณ BUZZER (Pin23) และสามารถปรับระดับความดังของเสียงได้จากคำสั่ง “Alt+Ctrl”

2. **LED VBAT** แสดงสถานะของแหล่งจ่ายไฟจากภายนอกที่ต่อมาให้กับบอร์ด โดย LED นี้จะสว่างเมื่อมีการจ่ายไฟให้กับบอร์ด

3. **LED POWER** แสดงสถานะความพร้อมของโมดูล ว่าอยู่ในสถานะ Power ON หรือ OFF โดย LED จะถูกควบคุมการทำงานด้วยสัญญาณ VDD\_EXT (Pin15) เมื่อทำงานจะมีสถานะลอจิกเป็น “1” ถ้า LED สว่าง แสดงว่าโมดูลอยู่ในสถานะ Power ON และพร้อมทำงาน แต่ถ้า LED Power ดับ แสดงว่าโมดูล อยู่ในสถานะ Power OFF

4. **LED NETLIGHT** แสดงสถานะของโมดูล ในขณะที่ทำการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอยู่ โดย LED นี้จะถูกควบคุมด้วยสัญญาณ NETLIGHT (Pin16) เมื่อทำงานจะมีสถานะลอจิกเป็น “1” เมื่อโมดูลอยู่ในสถานะพร้อมทำงาน LED นี้จะกะพริบด้วยความเร็วต่างๆ ซึ่งมีความหมายดังนี้

- OFF แสดงว่าโมดูลอยู่ในสถานะของ Power OFF (ไม่ทำงาน)
- 64mS ON / 800mS OFF แสดงว่า โมดูลทำงานปกติและไม่ได้อยู่ระหว่างทำการค้นหาเครือข่าย
- 64mS ON / 3000mS OFF แสดงว่าโมดูลกำลังทำการค้นหาเครือข่ายเพื่อทำการเชื่อมต่อสัญญาณ
- 64mS ON / 300mS OFF แสดงว่าโมดูล อยู่ระหว่างการเชื่อมต่อกับเครือข่ายหรืออุปกรณ์อื่นๆ ด้วย GPRS อยู่

5. **LED STATUS** แสดงสถานะของโมดูลว่าพร้อมทำงานหรือไม่ โดย LED นี้จะถูกควบคุมด้วยสัญญาณ STATUS (Pin19) เมื่อทำงานจะมีสถานะลอจิกเป็น “1” ซึ่งเมื่อ LED นี้สว่าง แสดงว่าโมดูลพร้อมรับคำสั่งได้ แต่ถ้า LED ดับแสดงว่าโมดูลยังไม่พร้อมทำงาน

## การสั่ง เปิด และ ปิด การทำงานของโมดูล

ตามปกติแล้ว โมดูล SIM300CZ จะมีอยู่หลายโหมดทำงาน สามารถทำงานสั่ง เปิดและปิดการทำงานของโมดูลได้หลายวิธี เช่น Switch ON/OFF เป็นการสั่ง เปิดและปิดการทำงานของ

โมดูลด้วยการกดสวิตช์แบบ Push-Button Switch ทั้งนี้เป็นการกำหนดสถานะลอจิกให้กับขา PWRKEY (Pin17) ของโมดูล โดยเมื่อกดสวิตช์จะเป็นลอจิก “0” เมื่อปล่อยสวิตช์จะเป็นลอจิก “1”

เมื่อต้องการให้โมดูลทำงาน ให้กดสวิตช์เป็นเวลานานอย่างน้อย 2000mS (2 วินาที) แต่ถ้าโมดูลอยู่ในสถานะของ Power OFF อยู่แล้วทำการกดสวิตช์เป็นเวลาอย่างน้อย 2000mS (2 วินาที) จะเป็นการสั่งให้โมดูลกลับเข้าสู่ Power On เนื่องจากสวิตช์เป็นแบบ Toggle

### ตารางที่ 2.3 สถานะของ LED ในโหมดทำงานต่างๆ ของโมดูล SIM300CZ

LED สถานะ	Power-ON	Power-OFF
VBAT (แดง)	ติดสว่าง	ติดสว่าง
POWER (แดง)	ติดสว่าง	ดับ
NETLIGHT (เหลือง)	กระพริบ	ดับ
STATUS (เขียว)	ติดสว่าง	ดับ

หลังจากทำการสั่ง Power-ON ก่อนเริ่มต้นส่งคำสั่งใดๆ ให้กับโมดูล ควรรอให้ตัวโมดูลพร้อมเสียก่อน โดยจะมีข้อความ “Call Ready” ปรากฏให้เห็น ในกรณีที่กำหนด Baudrate เป็นแบบ Auto Baudrate ไว้ (AT+IPR=0”) เมื่อทำการ Power-ON จะได้ผลดังตัวอย่าง Call Ready ในกรณีที่กำหนด Baudrate เป็นแบบ Fix Baudrate ไว้ (AT+IPR=ค่า Baudrate) เมื่อทำการ สั่งให้โมดูล Power-ON แต่ครั้งจะได้ผลดังตัวอย่าง

**RDY**

**+CFUN: 1**

**+CPIN: READY**

**Call Ready**

### การติดต่อสื่อสารกับโมดูล SIM300CZ

การติดต่อสื่อสารกับโมดูล SIM300CZ ของบอร์ด ET-GSM SIM300CZ นั้นจะเชื่อมต่อผ่านพอร์ต RS232 โดยใช้ขั้วต่อแบบ DB9 ตัวเมีย จัดเรียงสัญญาณตามมาตรฐาน RS232-DCE สามารถนำไปเชื่อมต่อกับสัญญาณ RS232-DTE มาตรฐาน โดยใช้สาย DB9 แบบต่อตรงได้ทันที โดยสัญญาณทั้งหมดที่ DB9 นี้ได้ผ่านวงจร Line Driver เพื่อแปลงสัญญาณระดับลอจิกจากโมดูล ให้เป็น

สัญญาณระดับมาตรฐาน RS232 เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ซึ่งถ้าต้องการนำไปเชื่อมต่อกับ RS232 (Com Port) ของคอมพิวเตอร์ ก็สามารถทำการเชื่อมต่อกันโดยตรงได้ทันที โดยไม่ต้องทำการสลับสายสัญญาณใดๆทั้งสิ้น โดยสัญญาณเชื่อมต่อทางด้านโมดูล SIM300CZ นั้น จะมีทั้งหมด 8 เส้น สัญญาณ ซึ่งในการเชื่อมต่อใช้งานนั้น จะต่อให้ครบทั้ง 8 เส้น หรือ จะเลือกต่อเพียง 3 เส้น (RXD, TXD และ GND) ก็ได้เช่นเดียวกัน โดยสามารถกำหนดได้จากการ Setup ค่า Configuration และคำสั่งใช้งาน โดยสัญญาณการเชื่อมต่อ RS232 ด้านโมดูล SIM300CZ จะมีดังนี้

1. Pin1 เป็นขา DCD (Data Carrier Detect) ของโมดูล ซึ่งเป็น Output ที่ได้ผ่านการแปลงระดับสัญญาณเป็น RS232 แล้ว ซึ่งปกติจะต่อเข้ากับ DCD Input ของอุปกรณ์ด้าน Host หรือคอมพิวเตอร์
2. Pin2 เป็นขา TXD (Transmit Data) ของโมดูล ซึ่งเป็น Output ที่ได้ผ่านการแปลงระดับสัญญาณเป็น RS232 แล้ว ซึ่งปกติจะต่อเข้ากับ RXD (Receive Data) ของอุปกรณ์ด้าน Host หรือคอมพิวเตอร์
3. Pin3 เป็นขา RXD (Receive Data) ของโมดูล ซึ่งเป็น Input ของ SIM300CZ สามารถรับสัญญาณระดับ RS232 ได้โดยตรง ซึ่งปกติจะต่อเข้ากับ TXD (Transmit Data) จากอุปกรณ์ด้าน Host หรือคอมพิวเตอร์
4. Pin4 เป็นขา DTR (Data Terminal Ready) ของโมดูล ซึ่งเป็น Input ของ SIM300CZ ซึ่งปกติจะต่อเข้ากับ DTR จากอุปกรณ์ด้าน Host หรือคอมพิวเตอร์
5. Pin5 เป็นสัญญาณ GND ของโมดูล ต้องต่อเข้ากับ GND ของอุปกรณ์ด้าน Host หรือคอมพิวเตอร์
6. Pin6 ตามปรกติแล้วเป็นสัญญาณ DSR (Data Set Ready) แต่ในกรณีของ SIM300CZ จะไม่ได้ต่อใช้งาน แต่อย่างไรก็ตามในบอร์ดได้ทำการป้อนสัญญาณย้อนกลับหรือ Loop Back สัญญาณ DTR (Data Terminal Ready) ซึ่งเป็น Output ส่งมาจาก Host หรือ คอมพิวเตอร์ กลับไปแทน โดยจะถูกต่อไปเข้ากับสัญญาณ DSR Input ของอุปกรณ์ด้าน Host หรือคอมพิวเตอร์
7. Pin7 เป็นขาสัญญาณ RTS (Request To Send) ของโมดูล ซึ่งเป็น Input ซึ่งปกติจะต่อเข้ากับ RTS ของอุปกรณ์ด้าน Host หรือคอมพิวเตอร์
8. Pin8 เป็นขาสัญญาณ CTS (Clear To Send) ของโมดูล ซึ่งเป็น Output ซึ่งปกติจะต่อเข้ากับ CTS ของอุปกรณ์ด้าน Host หรือคอมพิวเตอร์
9. Pin9 เป็นขาสัญญาณ RI (Ring Indicator) ของโมดูล ซึ่งเป็น Output ซึ่งปกติจะต่อเข้ากับ RI ของอุปกรณ์ด้าน Host หรือ คอมพิวเตอร์ ดังตารางที่ 2.4 และตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 การต่อสายสัญญาณระหว่าง ET-GSM SIM300CZ กับ คอมพิวเตอร์ PC

DB9 Female (SIM300CZ)		Signal Direction	DB9 Male(Computer PC)	
Pin	Signal		Signal	Pin
1	DCD	→	DCD	1
2	TXD	→	RXD	2
3	RXD	←	TXD	3
4	DTR	←	DTR	4
5	GND	—	GND	5
6	(DSR)	→	DSR	6
7	RTS	→	RTS	7
8	CTS	→	CTS	8
9	RI	←	RI	9

ตารางที่ 2.5 การต่อสายสัญญาณระหว่าง ET-GSM SIM300CZ กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์

DB9 Female (SIM300CZ)		Signal Direction	ไมโครคอนโทรลเลอร์
Pin	Signal		Signal
2	TXD	→	RXD
3	RXD	←	TXD
5	GND	—	GND

ในกรณีที่ใช้การเชื่อมต่อสัญญาณแบบ 3 เส้น (RXD, TXD, GND) ต้องกำหนดเงื่อนไขของ Flow Control ให้กับโมดูล SIM300CZ เป็น XON/XOFF โดยใช้คำสั่ง “AT+IFC=1,1”

### 2.13 เอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

[1] ภูวเดช แก้วมณี และคณะ “รถต้นแบบไร้คนขับ” คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นำเสนอรถต้นแบบไร้คนขับ เป็นการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC18F485 มาควบคุมและคำนวณทิศทางการเคลื่อนที่หุ่นยนต์ ไปยังพิกัดเป้าหมายที่ต้องการ โดยอาศัยโมดูลจีพีเอสทำงานร่วมกับโมดูลเข็มทิศดิจิทัล ในการกำหนดค่าพิกัดละติจูดและลองจิจูด และแสดงค่าพิกัดผ่านจอแสดงผลแบบ LCD display หุ่นยนต์สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางโดยอาศัยโมดูลตรวจจับระยะทางอินฟราเรด GP2D12 ผลทำให้ได้รถต้นแบบชนิด 4 ล้อ ขับเคลื่อนโดยใช้มอเตอร์กระแสตรง ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ขนาด 6 โวลต์ 10 แอมป์ และรับน้ำหนักไม่เกิน 30 กิโลกรัม เคลื่อนที่ได้ต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยความเร็ว 3.6 กิโลเมตร/ชั่วโมง ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานพบว่ารถต้นแบบสามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้ โดยมีความผิดพลาดประมาณ 10 % ค่าความแม่นยำของพิกัดที่อ่านได้มีค่าผิดพลาด 0.05 % นอกจากนี้การแสดงผลพิกัดบนพื้นโลกมีความละเอียดในการวัด 50 เซนติเมตร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างรถต้นแบบไร้คนขับโดยใช้จีพีเอส (Driverless Guiding Car) เป็นรถชนิด 4 ล้อ ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ สามารถวิ่งไปตามทิศทางที่กำหนดโดยใช้โมดูลเข็มทิศ โดยใช้ระบบ GPS เพียงระบุพิกัดที่จะให้รถเดินทางไป รถก็สามารถขับเคลื่อนไปหาจุดที่กำหนดได้โดยอัตโนมัติ ขณะที่กำลังเคลื่อนที่หากพบสิ่งกีดขวางก็สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ โดยตัวตรวจจับที่ตั้งอยู่บริเวณด้านหน้าตัวรถต้นแบบ ซึ่งในการควบคุมการทำงานจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เป็นตัวควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด

[2] อลิสา คุณากินันท์ “ระบบการขับเคลื่อนรถอัจฉริยะด้วยกล้อง และระบบช่วยเหลือ” สำนักงานเครือข่ายวิจัยประยุกต์ทางเทคโนโลยีหุ่นยนต์และชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ได้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติบนรถ เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนยานพาหนะระบบที่คิดค้นขึ้นนี้ เป็นระบบที่อาศัยภาพจากกล้องในการหาขอบถนน พื้นถนน สัญญาณจราจร และสิ่งกีดขวางต่างๆ กล้องด้านข้าง ตรวจจับว่ากำลังจะตกขอบถนนหรือไม่ รวมทั้งระบบเสริมอื่นๆ ได้แก่จีพีเอสในการตรวจสอบเส้นทาง ระบบตรวจวัดระยะทาง และเข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ ในการตรวจสอบหาระยะทางและทิศทางในการเคลื่อนที่ เมื่อนำระบบทั้งหมดมาประมวลผลรวมกัน ทำให้ยานพาหนะที่ติดตั้งระบบนี้สามารถขับเคลื่อนไปได้ตามเส้นทาง ขับเคลื่อนได้ถึงจุดหมายที่ต้องการ และสามารถปฏิบัติตามกฎได้

[19] กัทรพล เมืองก้อน “แบบจำลองการจัดการระบบขนส่งรถไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัยนเรศวร” คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร นำเสนอแบบจำลองการจัดการระบบขนส่งรถไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัยนเรศวร โดยใช้หลักการ Polling ในการรับ-ส่งข้อมูลขอใช้บริการจากป้ายหยุดรถมายังศูนย์ควบคุมรถไฟฟ้าส่วนกลาง สำหรับระบบที่เสนอนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่หนึ่ง ป้ายการขอใช้บริการรถไฟฟ้า ประกอบด้วยกล่องส่งสัญญาณขอใช้บริการซึ่งประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 และส่งสัญญาณร้องขอผ่านภาคมอดูเลตเชิงความถี่ (Frequency Shift Keying: FSK) ในย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ส่วนที่สอง ศูนย์ควบคุมการจัดการรถไฟฟ้าส่วนกลางทำหน้าที่ตรวจสอบการร้องขอจากป้ายผ่านวงจรมอดูเลตและแสดงผลป้ายที่ร้องขอบนหน้าจอของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วย Visual Basic ซึ่งศูนย์ควบคุมจะทำการจัดรถไฟฟ้าให้บริการ ผลจากระบบดังกล่าวช่วยลดการสูญเสียพลังงาน ในช่วงที่รถไฟฟ้าให้บริการโดยไม่มีผู้โดยสาร

## 2.14 สรุป

จากทฤษฎีที่กล่าวมา การที่มีระบบควบคุมอัตโนมัติ และการสื่อสารไร้สาย เพื่อทำหน้าที่ควบคุมโอนถ่ายข้อมูลการทำงาน สามารถออกแบบและสร้างรถไฟฟ้าต้นแบบไร้คนขับ เพื่อให้สามารถนำไปพัฒนาเป็นระบบขนส่งมวลชนรอง จากระบบขนส่งสาธารณะหลักที่มีอยู่ ซึ่งเราสามารถนำเอาข้อมูลการทำงานจากระบบควบคุมการขับเคลื่อนอัตโนมัติต้นแบบไร้คนขับไปใช้พัฒนาระบบขนส่งสาธารณะในพื้นที่การจราจรแออัด หรือในพื้นที่เอกชนที่ระบบขนส่งหลักเข้าไม่ถึง เพื่อบริการอำนวยความสะดวกในการเดินทาง หลีกเลี่ยงการใช้รถยนต์ส่วนตัว และแก้ไขปัญหาสถานะที่เกิดจากการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ระบบความปลอดภัยในการใช้บริการ การเดินทางขนส่งสาธารณะ เป็นต้น และเพื่อให้ระบบควบคุมอัตโนมัติมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดี ศูนย์กลางควบคุมรถไฟฟ้าจะสามารถควบคุมรถไฟฟ้าได้จากระยะไกลผ่านเครือข่ายสัญญาณอินเทอร์เน็ตไร้สาย โครงข่ายสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ เมื่อเกิดเหตุขัดข้องกับตัวรถหรือมีการแจ้งเหตุจากผู้ใช้บริการเพื่อนำรถเข้าสู่สถานีที่ใกล้ที่สุดเพื่อดำเนินการแก้ไขต่อไป

การเลือกประเภทของระบบการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการทำงานของรถไฟฟ้า จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้นในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบควบคุม ระบบขับเคลื่อนรถไฟฟ้าไร้คนขับ เนื่องจากระบบไฟฟ้ามีความจำเป็นในการจ่ายพลังงานให้รถเคลื่อนที่ไปยังจุดหมายที่กำหนด หากเลือกระบบการจ่ายพลังงานไม่ตรงตามหลักการทำงานจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลงหรือทำให้ระบบควบคุมและระบบการขับเคลื่อนได้รับความเสียหาย

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 บทนำ

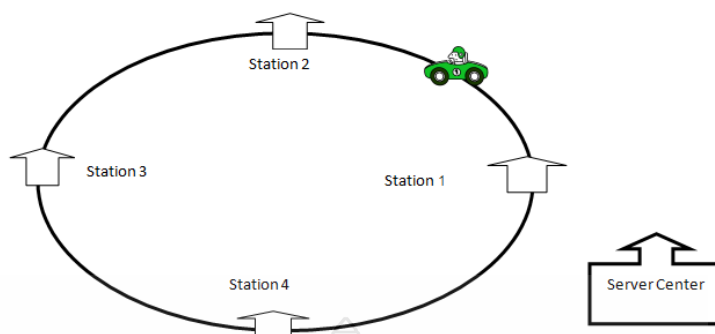
ในการออกแบบรถไฟฟ้าจะต้องใช้หลักกลศาสตร์เข้ามาช่วยในการคำนวณขนาดของต้นกำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนงานกลทั้งหมดของตัวรถ จากนั้นจึงนำไปคำนวณหาขนาดของเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ใช้เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนรวมไปถึงระบบการควบคุมการขับเคลื่อนอัตโนมัติ โดยระบบขับเคลื่อนจะแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือระบบการควบคุมจากตัวรถ และระบบควบคุมจากศูนย์ควบคุมกลาง

ระบบควบคุมจากตัวรถจะประกอบด้วย ชุดควบคุมการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า ชุดเซนเซอร์สำหรับตรวจจับสัญญาณเพื่อใช้ในการควบคุมระบบการเดินรถ ชุดแสดงตำแหน่งเช่น ตำแหน่งของตัวรถ สถานีที่รถจอด และสถานีที่จะจอด เป็นต้น เพื่อใช้ในการรักษาความปลอดภัยตลอดจนการซ่อมบำรุงยามกรณีฉุกเฉิน ชุดโมดูลสื่อสารไร้สายสำหรับส่งสัญญาณติดต่อสื่อสารกับส่วนควบคุมกลาง และแหล่งพลังงานสำรองที่ใช้ในการควบคุมและสื่อสารในกรณีฉุกเฉิน

ระบบควบคุมจากศูนย์ควบคุมกลางจะสามารถควบคุมการขับเคลื่อนและการเดินรถได้เช่นกัน โดยควบคุมผ่านบอร์ดสื่อสารไร้สาย (GPRS) และ ชุดควบคุม (Unit Controller) ที่ติดตั้งอยู่ในตัวรถ การขับเคลื่อนรถไฟฟ้าในโครงการนี้จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสเป็นตัวต้นกำลัง ทั้งนี้ขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ที่ใช้จะต้องเหมาะสมกับการรับภาระน้ำหนักทั้งหมดของตัวรถไฟฟ้า อุปกรณ์ทั้งหมดที่ติดตั้งในรถไฟฟ้า และความเร็วในการขับเคลื่อนทั้งแนวทงระนาบ และแนวทงลาดที่ต้องการ ซึ่งจะต้องพิจารณาขนาดของล้อที่ใช้กับรถไฟฟ้าด้วยเช่นกัน

รถไฟฟ้าในโครงการเป็นการเคลื่อนที่ในระบบล้อและราง ซึ่งรางของรถไฟฟ้าจะมีลักษณะเป็นรางเหล็กคู่ วางห่างกันประมาณ 1 เมตร ซึ่งจะแปรตามความกว้างของตัวรถไฟฟ้า ลักษณะตัวอย่างการเดินรถแสดงดังในภาพที่ 3.1 ส่วนลักษณะของรางรถไฟฟ้าในโครงการแสดงดังในภาพที่ 3.2





ภาพที่ 3.1 ตัวอย่างระบบจำลองเส้นทางการเดินรถไฟฟ้า

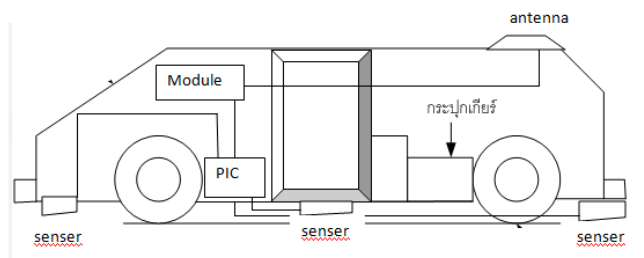


ภาพที่ 3.2 ลักษณะของรางรถไฟฟ้าในงานวิจัย

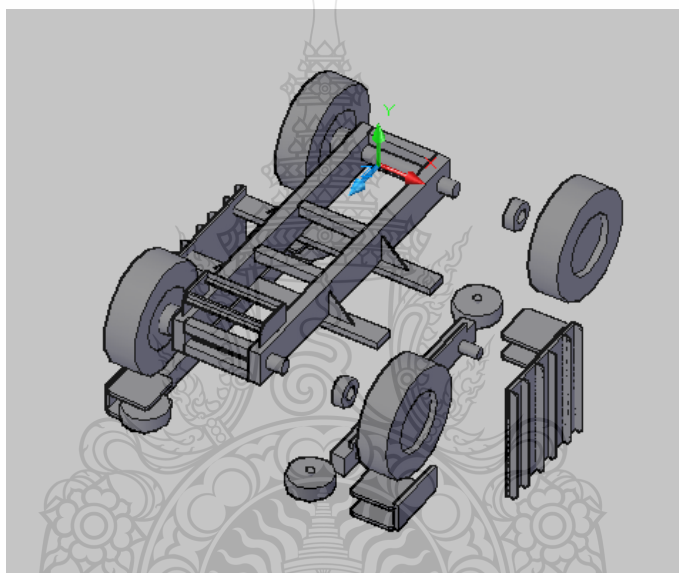
### 3.2 โครงสร้างตัวแบบจำลอง

โครงสร้างตัวรถและรางรถไฟฟ้า

โครงร่างของรถไฟฟ้าและตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ติดตั้งในตัวรถจะเป็นดังภาพที่ 3.3



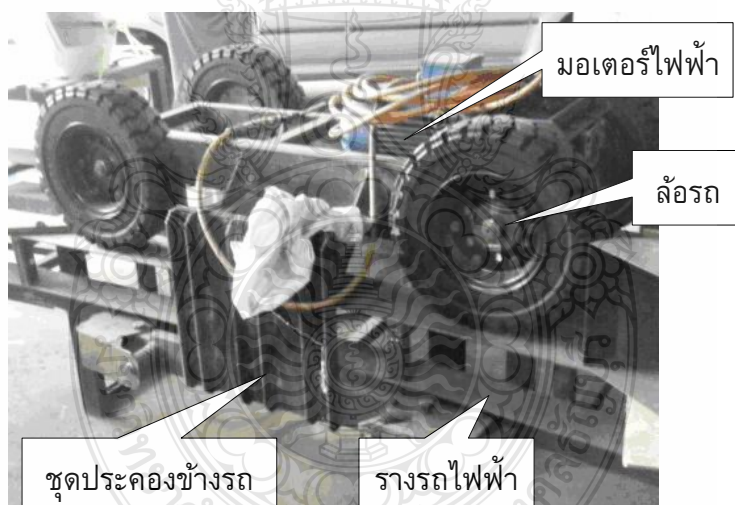
ภาพที่ 3.3 โครงร่างและการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ในรถไฟฟ้า



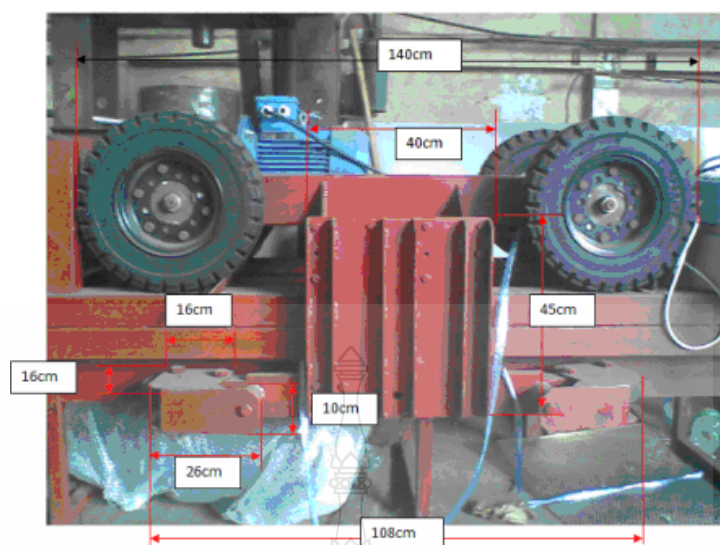
ภาพที่ 3.4 ส่วนประกอบฐานโครงสร้างรถไฟฟ้า



ภาพที่ 3.5 การติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟสในรถไฟฟ้า



ภาพที่ 3.6 ส่วนประกอบของตัวรถไฟฟ้าขณะอยู่บนราง



ภาพที่ 3.7 ขนาดชิ้นส่วนต่างๆ ของฐาน โครงรถไฟฟ้า

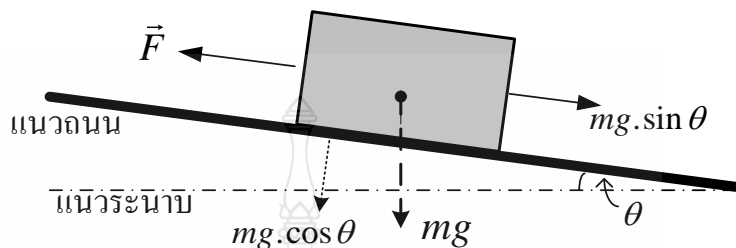
### ลักษณะของรางรถไฟที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์



ภาพที่ 3.8 ลักษณะของรางรถไฟในแนวระนาบและแนวลาดชัน 7 องศา

### 3.3 การคำนวณหาพิกัดกำลังการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า

จากสมการผลรวมของแรงที่เกิดขึ้นการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ดังแสดงในภาพที่ 3.9 จะได้ว่า



ภาพที่ 3.9 เวกเตอร์ของแรงต่างๆที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของวัตถุบนแนวทาลาด

$$\Sigma \vec{F} = \vec{F}_R + \vec{F}_L + \vec{F}_{ST} + \vec{F}_B \quad (3.1)$$

โดยที่  $\vec{F}_{ST} = m \cdot g \sin \theta \quad (3.2)$

$$\vec{F}_R = \mu \cdot m \cdot g \cos \theta g \quad (3.3)$$

$$\vec{F}_B = \frac{3}{2} \cdot m \cdot a \quad (3.4)$$

$$\vec{F}_L = 0.29 \quad (3.5)$$

ทั้งนี้กำหนดให้ค่าคงที่ต่างๆเป็นดังนี้

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2, \quad a = 0.5 \text{ m/s}^2$$

$$\mu = 0.01, \quad v = 30 \text{ km/hr} \text{ และ } r = 0.0104 \text{ m}$$

เมื่อ	$\Sigma \vec{F}$	เป็นแรงรวมที่ใช้ในการขับเคลื่อนตัวรถ	[N]
	$\vec{F}_B$	เป็นแรงที่ใช้ในการเร่งความเร็ว	[N]
	$\vec{F}_R$	เป็นแรงต้านจากการกลิ้งของล้อรถ	[N]
	$\vec{F}_L$	เป็นแรงต้านจากอากาศ	[N]
	$\vec{F}_{ST}$	เป็นแรงต้านที่เกิดจากการเคลื่อนที่ในแนวชัน	[N]
	$m$	เป็นมวลน้ำหนักรวมของตัวรถไฟฟ้า	[kg]
	$g$	เป็นแรงโน้มถ่วงของโลก	[m / s <sup>2</sup> ]
	$a$	เป็นค่าอัตราเร่งของรถไฟฟ้าในโครงการ	[m / s <sup>2</sup> ]
	$\mu$	เป็นอัตราแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของล้อ	
	$v$	เป็นความเร็วของรถไฟฟ้าในโครงการ	[km / hr]
	$r$	เป็นค่ารัศมีของล้อรถไฟฟ้า	[m]

และกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของตัวรถไฟฟ้าเป็นดังนี้

- น้ำหนักตัวรถและอุปกรณ์ 450 Kg
- น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 250 Kg
- รัศมีล้อรถไฟฟ้า ( $r$ ) แต่ละล้อ 10.4 cm
- ความเร็วสูงสุด ( $v$ ) 30 Km/Hr ที่ความถี่มอเตอร์ 50 Hz
- ระดับการไต่ทางชัน ( $\theta$ ) ประมาณ 7 องศา

ทั้งนี้เมื่อกำหนดให้ รถไฟฟ้าเริ่มเคลื่อนที่จากในแนวราบ ค่ามุม  $\theta$  จะเท่ากับศูนย์ ( $\theta = 0^\circ$ ) ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าผลรวมของแรงได้ดังนี้

$$\Sigma \vec{F} = 593.89 \text{ N}$$

จากสมการ  $T = |F| \cdot r$  ทำให้สามารถคำนวณหาแรงบิดขณะรถเริ่มเคลื่อนที่ได้

$$T_d = 6.176 \text{ N-m}$$

อย่างไรก็ตาม ขณะรถวิ่งขึ้นทางชันที่  $7^\circ$  ( $\theta = 7^\circ$ ) ที่ความเร็วคงที่ (อัตราเร่ง  $a = 0$ ) ทำให้สามารถคำนวณหาแรงที่ใช้ในการขับเคลื่อนได้ดังนี้

$$\Sigma \vec{F} = 904.41 \quad \text{N}$$

และสามารถคำนวณหาแรงบิดในการวิ่งขึ้นทางชัน  $7^\circ$  นี้ได้เท่ากับ

$$T = 9.406 \quad \text{N-m}$$

เนื่องจากชุดเกียร์ที่ใช้ร่วมกับมอเตอร์ไฟฟ้าในโครงการนั้น มีขนาดอัตราทดเฟืองท้าย เท่ากับ 1: 2.5 ดังนั้นจะต้องใช้แรงบิดจากมอเตอร์เมื่อออกตัวบนทางเรียบ เท่ากับ

$$T = \frac{6.176}{2.5} = 2.47 \quad \text{N-m}$$

และค่าแรงบิดของมอเตอร์ขณะขับเคลื่อนรถขึ้นทางชันที่ 7 องศา จะเท่ากับ

$$T = \frac{9.406}{7.5} = 3.7624 \quad \text{N-m}$$

ขณะรถไฟฟ้าบรรทุกน้ำหนักผู้โดยสารเต็มพิกัด 250 กิโลกรัม การขับเคลื่อนในทางราบ จะต้องใช้แรงบิดไม่น้อยกว่า 2.47 N-m

เมื่อพิจารณาที่ความเร็วเฉลี่ย 30 กิโลเมตร/ชั่วโมง ขณะรับน้ำหนักบรรทุกเต็มพิกัด ทำให้สามารถคำนวณความเร็วรถ ( $v$ ) ได้ดังนี้

$$v = \frac{\text{Max speed}(km/hr) \times 1000}{3600} \quad \text{m/s}$$

$$= \frac{30 \times 1000}{3600} = 8.333 \quad \text{m/s}$$

ความเร็วรอบล้อรถเท่ากับ

$$n = \frac{v}{2\pi r} = \frac{8.333}{2\pi \times 0.02} = 66.31456 \quad \text{rps}$$

ซึ่งจะได้ค่าความเร็วเชิงมุม ( $\omega$ ) เท่ากับ

$$\omega = 2\pi n = 416.65 \quad \text{rad/s}$$

สามารถคำนวณหาค่ากำลังของมอเตอร์ ขณะออกตัวบนทางเรียบได้จากสมการ

$$P = T\omega = 6.176 \times 416.65 = 2,573.23 \quad \text{W}$$

และสามารถคำนวณหาค่ากำลังของมอเตอร์ ขณะวิ่งขึ้นทางชัน  $7^\circ$  ได้จากสมการ

$$P = T\omega = 9.406 \times 416.65 = 3,919.01 \quad \text{W}$$

**พิกัดของมอเตอร์และอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในโครงการ**

ในงานวิจัยนี้ จะเลือกใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้า 3 เฟส พิกัด 5 kW แรงดัน 220/380 V 50 Hz กระแสเต็มพิกัด 9.89 A เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ราคาถูก บำรุงรักษาง่าย และควบคุมความเร็วได้โดยการควบคุมความถี่ผ่านอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ทั้งนี้ยังสามารถกลับทางหมุนของมอเตอร์ได้โดยง่ายเช่นกัน

อินเวอร์เตอร์ที่ใช้เป็นแบบพีดีบีบลิวเอ็ม (PWM Inverter) ของบริษัท ABB จำกัด รุ่น ACS355 AC Inverter ที่มีขนาดพิกัด 3 phase 5.5 kW 400 V ซึ่งใช้หลักการควบคุมแรงดันและความถี่ขาออกแบบ แรงดัน-ความถี่ (Voltage-Frequency หรือ V/F Control)





ภาพที่ 3.10 มอเตอร์ไฟฟ้าพร้อมชุดเกียร์

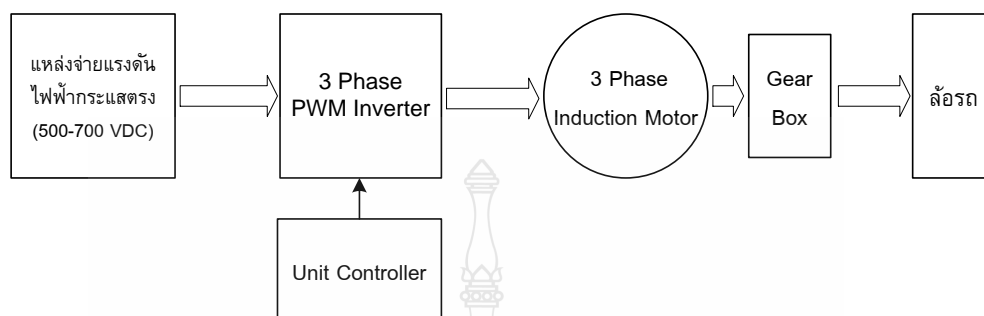


ภาพที่ 3.11 อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

### 3.4 ระบบควบคุมการขับเคลื่อน

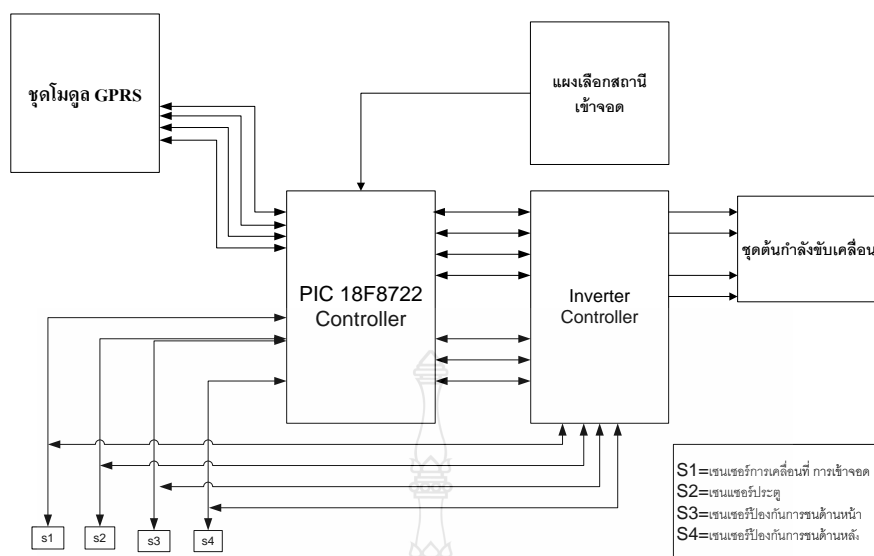
รถไฟฟ้าในโครงการเป็นขนาดเล็กขับเคลื่อนด้วย 3 Phase Induction Motor พิกัด 220/380V 50 Hz กำลังไฟฟ้า 5 kW ควบคุมความเร็วด้วยหลักการ V/F Control จาก 3 Phase PWM Inverter โดยรับกระแสไฟฟ้ามาจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 500-700 VDC ผ่านเข้ามาทาง Third Rail ซึ่งเป็นแท่งตัวนำไฟฟ้าจำนวน 2 แท่งติดตั้งอยู่กับรางรถ การควบคุมความเร็วมอเตอร์อาศัยการควบคุมความถี่และแรงดันขาออกจากอินเวอร์เตอร์ ซึ่งควบคุมโดยตรงจาก Unit Controller ซึ่งเป็นแผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น PIC 18F8722 ในการทำหน้าที่ควบคุมการเริ่ม

ทำงาน หยุดทำงาน เดินหน้า ถอยหลัง และควบคุมความเร็วของมอเตอร์เช่นกัน อย่างไรก็ตามระบบขับเคลื่อนรถไฟฟ้านี้ยังสามารถควบคุมได้จากศูนย์ควบคุมการเดินรถได้อีกทางหนึ่งด้วย

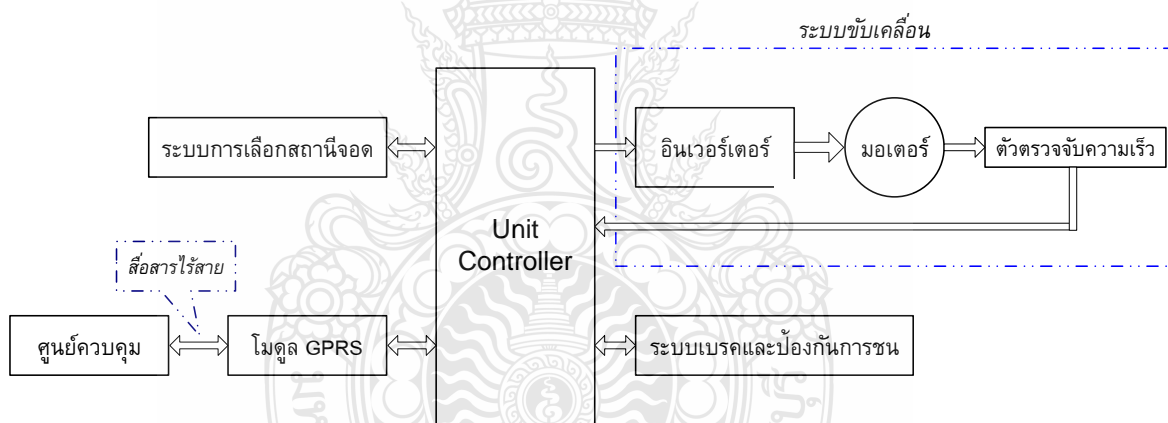


ภาพที่ 3.12 แผนภาพของระบบขับเคลื่อนในรถไฟฟ้า

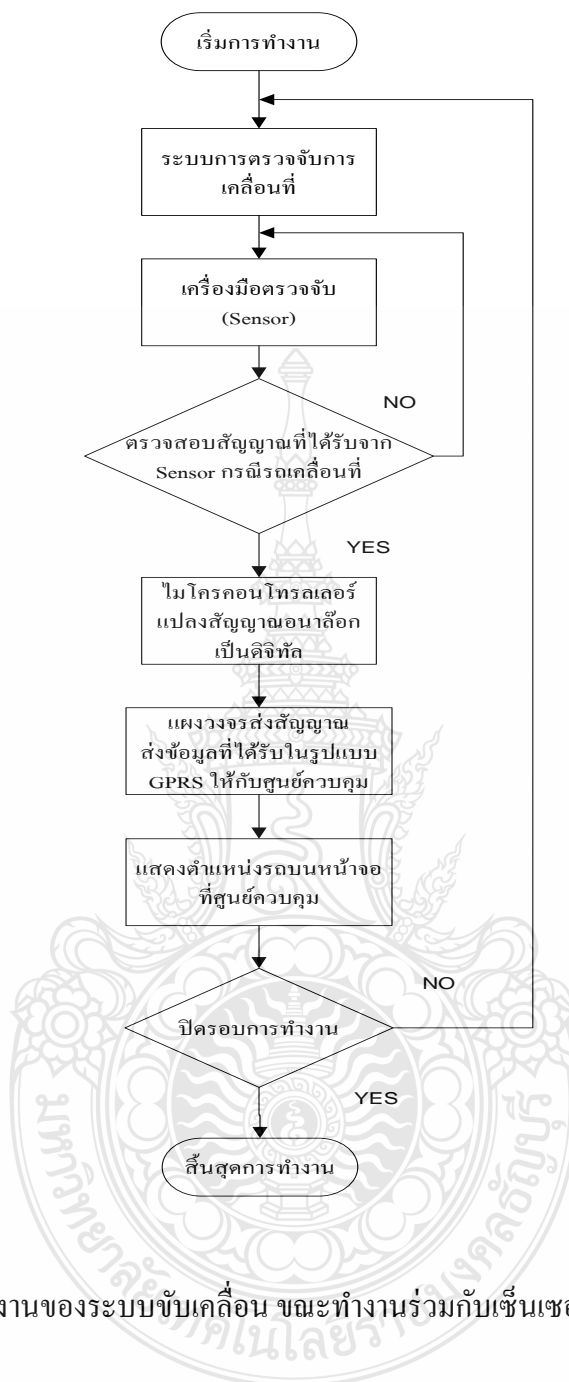
ทั้งนี้ Unit Controller ยังมีหน้าที่อีกหลายประการในการควบคุม เช่น ควบคุมระบบขับเคลื่อนการเข้าจอดสถานี การส่งข้อมูลเพื่อสื่อสารกับศูนย์ควบคุม เป็นต้น ฟังก์ชันเชื่อมต่อวงจรระหว่าง Unit Controller ซึ่งใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F8722 กับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เซ็นเซอร์ บอร์ด GPRS แผงสวิทช์เลือกสถานี ที่ติดตั้งภายในตัวรถ แสดงดังในรูปที่ 3.13 ซึ่งแผนภาพระบบควบคุมของ Unit Controller และฟังก์ชันการทำงานของระบบควบคุมการขับเคลื่อนร่วมกับเซ็นเซอร์และ IP Camera แสดงดังภาพที่ 3.14 และภาพที่ 3.15 ตามลำดับ



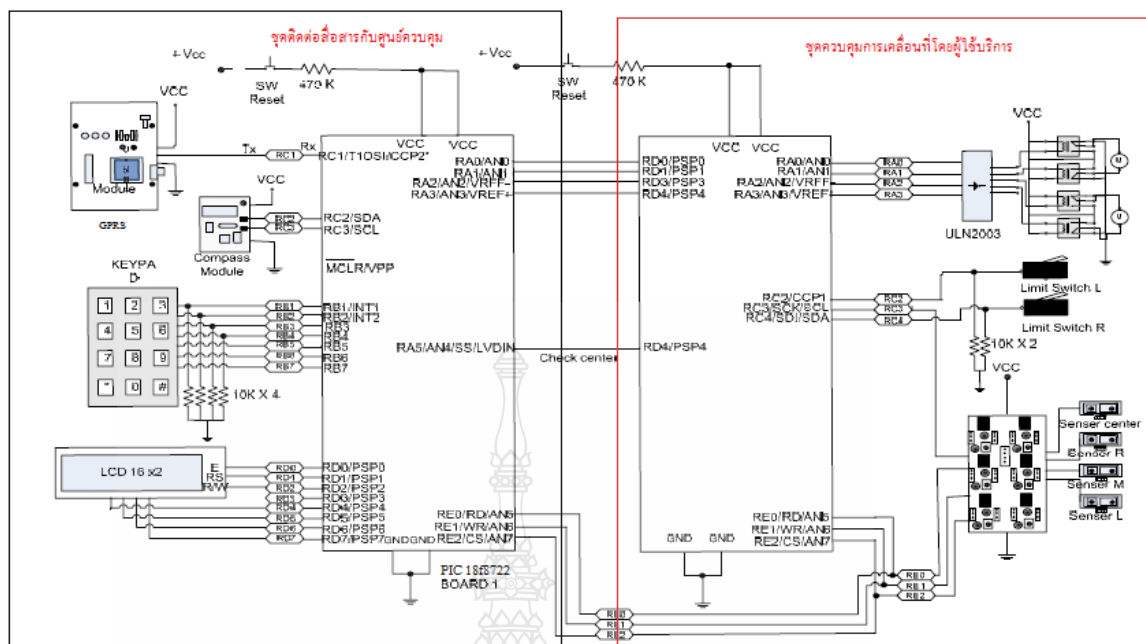
ภาพที่ 3.13 แผนผังเชื่อมต่อวงจรระหว่างอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ ภายในรถไฟฟ้า



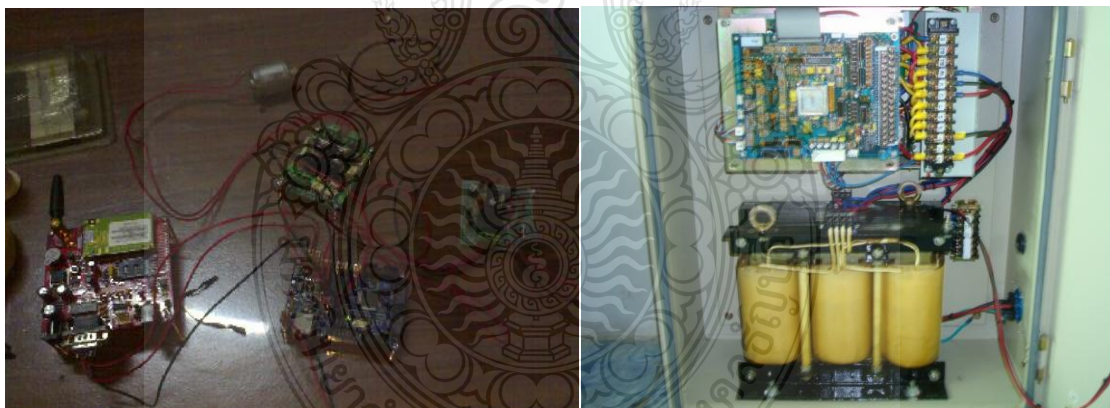
ภาพที่ 3.14 แผนผังควบคุมระบบขับเคลื่อนของ Unit Controller



ภาพที่ 3.15 ผังการทำงานของระบบจับเคลื่อน ขณะทำงานร่วมกับเซ็นเซอร์



ภาพที่ 3.16 วงจรการเชื่อมต่อวงจรระหว่างแผงวงจรควบคุมกับชุดควบคุมระบบขับเคลื่อน



ภาพที่ 3.17 การติดตั้งชุดควบคุมของระบบขับเคลื่อน

### 3.5 ระบบตรวจจับสัญญาณสำหรับการควบคุมการเดินรถ

การตรวจจับสถานะทำงานเพื่อการควบคุมการเดินรถไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ มีหลายรูปแบบ ดังนี้

- การตรวจจับทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวรถ
- การตรวจจับสถานะขณะรถเข้าจอดสถานี
- การตรวจจับสถานะเปิด/ปิดของประตูรถ
- การตรวจจับสิ่งกีดขวางขณะเดินรถ
- ระบบสื่อสารระหว่าง Unit Controller กับศูนย์ควบคุมด้วยระบบไร้สาย (GPRS)

ผังการเชื่อมต่อวงจรส่วนต่างๆ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งภายในรถไฟฟ้าทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 3.14 จะเห็นได้ว่าบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ EZ BASE PIC8722 ทำหน้าที่เป็น Unit Controller ซึ่งเป็นตัวประมวลผลสัญญาณในการทำงานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น เซอร์โวมอเตอร์ 4 ชุด ที่ใช้ในการตรวจสอบการทำงานของรถไฟฟ้าที่สถานะต่างๆตามลำดับ และส่งสัญญาณสถานะการทำงานของระบบการเคลื่อนที่ การเข้าจอดสถานี ให้กับชุดคอนโทรลเลอร์ และแปลงสัญญาณที่ได้รับสถานะต่างๆ ส่งให้กับ บอร์ด GSM/GPRS ทำหน้าที่สื่อสารข้อมูลระหว่าง Unit Controller กับศูนย์ควบคุมการเดินรถ

#### 3.5.1 การตรวจจับการเคลื่อนที่ของตัวรถ

ในงานวิทยานิพนธ์ ได้ทำการติดตั้งเซ็นเซอร์แบบตรวจจับการเคลื่อนที่ชนิดตรวจจับตลอดเวลา โดยติดตั้งไว้ที่ด้านข้างของตัวรถ ซึ่งเซ็นเซอร์จะทำการตรวจจับทิศทางการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้า และจะตรวจจับสถานีที่ตัวรถไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่าน พร้อมทั้งส่งสัญญาณไปยังชุดคอนโทรลเลอร์เพื่อแจ้งให้ทราบตำแหน่งของรถไฟฟ้าใน Flow Chart การทำงานของระบบตรวจจับทิศทางการเดินรถ แสดงดังภาพที่ 3.18

#### 3.5.1 การตรวจจับสำหรับการเข้าจอดสถานี

ในงานวิทยานิพนธ์นี้ ใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับตำแหน่งการเข้าจอดของตัวรถ เพื่อแจ้งสัญญาณไปยังศูนย์ควบคุม เมื่อรถไฟฟ้ามีการเคลื่อนตัวเข้าสู่สถานีก่อนรถจะเข้าจอดประมาณ 2 เมตร ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการส่งสัญญาณของสถานีนั้นให้เซ็นเซอร์ตรวจสอบแผ่นป้ายรหัสคำสั่งที่ติดตั้งไว้เสียก่อน เพื่อส่งสัญญาณให้ชุดขับเคลื่อนลดความเร็วเพื่อเข้าจอดสถานีอย่างนิ่มนวล รหัสคำสั่งจะใช้ตัวเลข 4 บิตดังแสดงในภาพที่ 3.19 ในการตัดสินใจ และเมื่อเข้าจอดสถานีแล้ว เซ็นเซอร์จะดำเนินการตรวจสอบตำแหน่งการหยุดรถไฟฟ้าให้ตรงกับทางขึ้นลง และแจ้งสัญญาณไปยังระบบ

เปิด/ปิดประตูรถไฟ Flow Chart การทำงานของระบบตรวจจัดการเข้าจอดสถานีรถไฟ แสดงดังภาพที่ 3.20

### 3.5.3 การตรวจจับสำหรับการเปิด/ปิดประตู

ในงานวิทยานิพนธ์นี้ใช้ เซ็นเซอร์สำหรับเปิด/ปิดประตูจะทำการติดตั้งไว้บริเวณเหนือศีรษะด้านบนของประตู เมื่อรถได้เข้าจอดตามตำแหน่งแล้ว เซ็นเซอร์จะเปลี่ยนสถานะสัญญาณและจะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งสัญญาณควบคุมเพื่อเปิด/ปิดประตูให้ผู้โดยสารขึ้นลงตามต้องการ โดยประตูจะหน่วงเวลาประมาณ 1 นาที และหลังจากที่ไม่มีมีการเคลื่อนไหวใดๆแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ควบคุมชุดขับเคลื่อนให้เดินรถไฟไปยังสถานีที่ผู้โดยสารได้ทำการเลือกไว้ หรือที่ได้รับจากศูนย์ควบคุมต่อไป Flow Chart การทำงานของระบบตรวจจัดการเปิด/ปิดประตูรถไฟ แสดงดังภาพที่ 3.21

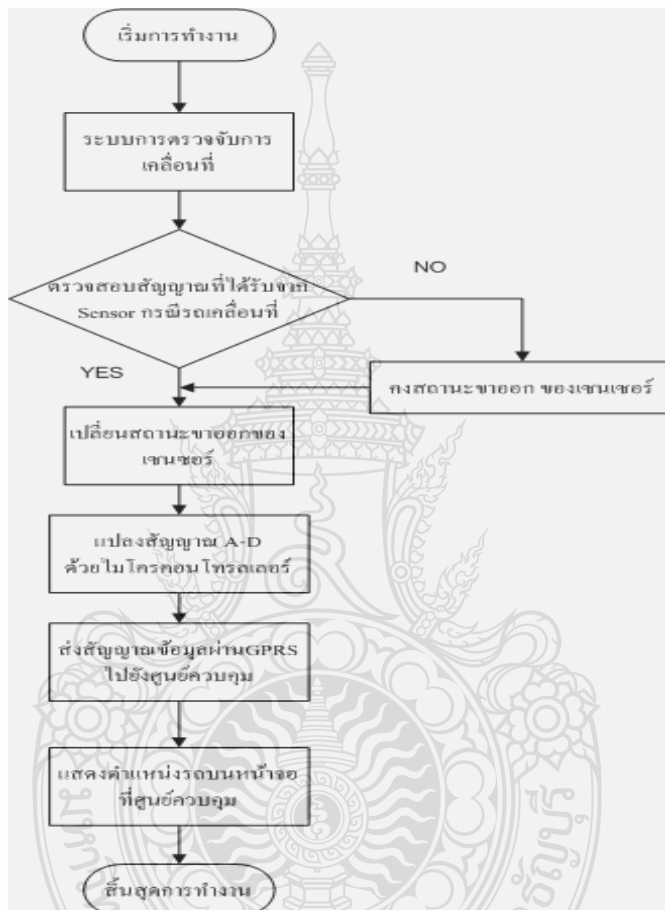
### 3.5.4 การตรวจจับสิ่งกีดขวางขณะเดินรถ

งานวิจัยนี้ ยังได้คำนึงถึงระบบความปลอดภัยของผู้โดยสารรถไฟขณะเดินทาง เพื่อให้ระบบมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น โดยได้ติดตั้งชุดตรวจจับเพื่อป้องกันการชนกันของรถไฟไว้บริเวณด้านหน้าและด้านหลังของตัวรถ โดยใช้เซ็นเซอร์แบบตรวจจับแสงสะท้อน โดยที่เมื่อมีสิ่งกีดขวางในระยะการทำงาน เซ็นเซอร์จะทำการตรวจสอบและหน่วงเวลา เมื่อตรวจจับพบสิ่งกีดขวางการเดินรถ เซ็นเซอร์จะส่งสัญญาณให้ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่งสัญญาณไปยังระบบขับเคลื่อนเพื่อลดความเร็วและหยุดรถ พร้อมทั้งแจ้งเหตุขัดข้องให้กับศูนย์ควบคุมผ่านระบบ GPRS เพื่อดำเนินการแก้ไขเหตุขัดข้องที่เกิดขึ้น Flow Chart การทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางการเดินรถไฟ แสดงดังภาพที่ 3.22

### 3.5.5 ระบบสื่อสารระหว่าง Unit Controller กับศูนย์ควบคุมด้วยระบบไร้สาย (GPRS)

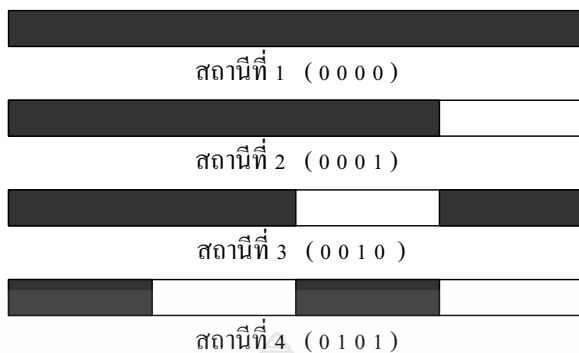
เนื่องด้วยระบบควบคุมรถไฟได้กำหนดวัตถุประสงค์ในการทำงานแบบไร้สาย ดังนั้นในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้เลือกใช้ชุดโมดูล GPRS มาใช้งาน โดยที่ข้อกำหนดของงานจะต้องสามารถส่งสัญญาณการทำงานกลับมายังศูนย์ควบคุมและสามารถรับสัญญาณสั่งการทำงาน ระยะไกล จากศูนย์ควบคุมเพื่อให้สามารถควบคุมรถไฟในรูปแบบของรีโมทควบคุมระยะไกล เพื่อให้ระบบมีความน่าเชื่อถือ การเลือกใช้ชุดส่งสัญญาณดังกล่าวมาใช้งาน มีคุณสมบัติในการเชื่อมต่อที่มีความน่าเชื่อถือ โดยทำงานในรูปแบบของเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไร้สาย ตัดข้อกำหนดของการเชื่อมต่อและการติดตั้งถูกขายนี้อาจใช้สัญญาณการส่งข้อมูลแบบแพ็คเกจจากระบบผู้ให้บริการมือถือ ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งระบบจะมีความน่าเชื่อที่มีการเข้ารหัสของสัญญาณของเบอร์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อ ซึ่งยาก

ต่อการแทรกสัญญาณจากภายนอก และระบบจะไม่สามารถทำงานได้จากวงจรภายนอกเนื่องจากระบบการเชื่อมของรถไฟไฟฟ้าได้ทำการเชื่อมต่อโดยตรงกับศูนย์ควบคุมการเดินรถ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ Flow Chart การทำงานของระบบส่งสัญญาณแบบไร้สายด้วย GPRS ระหว่าง Unit Controller ในรถไฟไฟฟ้า กับศูนย์ควบคุม แสดงดังภาพที่ 3.23

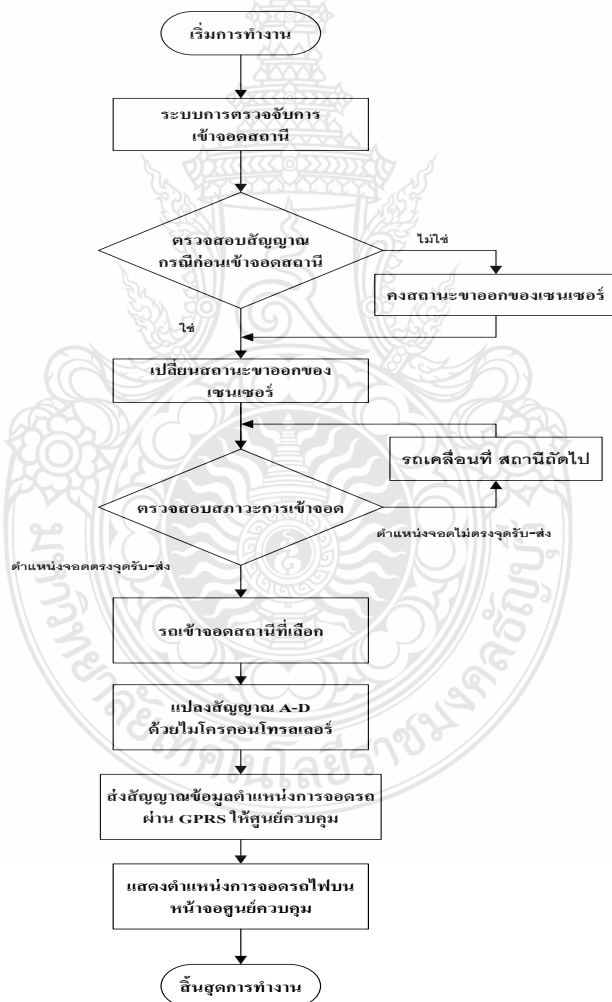


ภาพที่ 3.18 ผังการทำงานของระบบตรวจจับทิศทางการเดินรถ

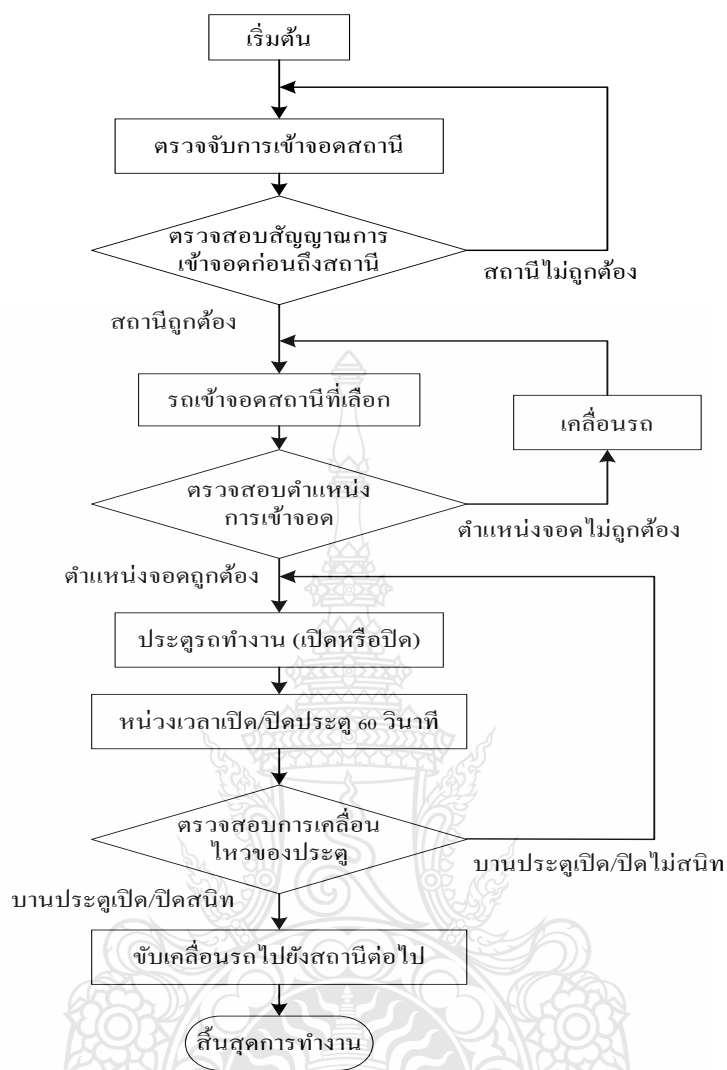




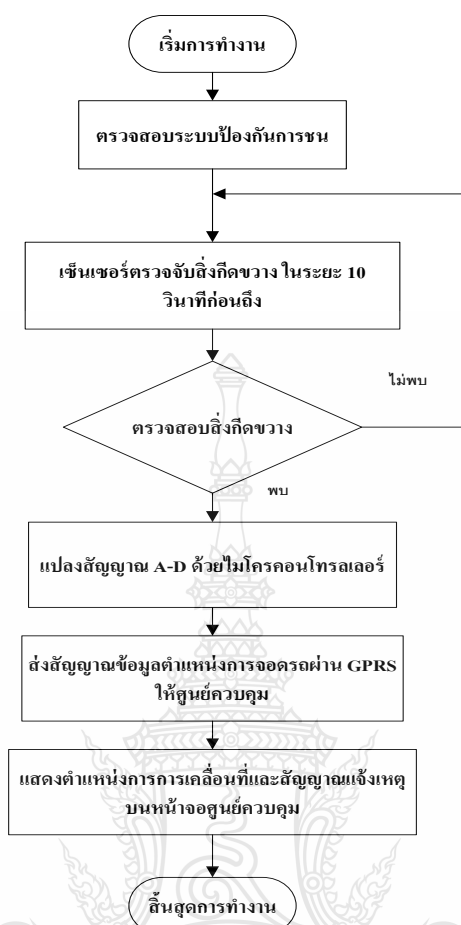
ภาพที่ 3.19 ชุดตัวเลข 4 บิตที่ใช้ระบุตำแหน่งสถานี



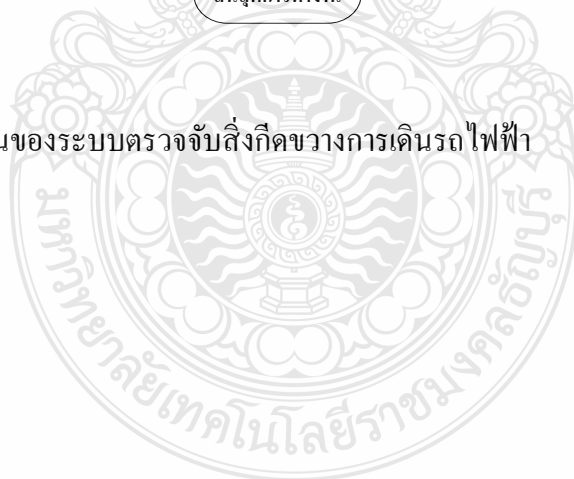
ภาพที่ 3.20 การทำงานของระบบตรวจจัดการเข้าจอดสถานีรถไฟฟ้า

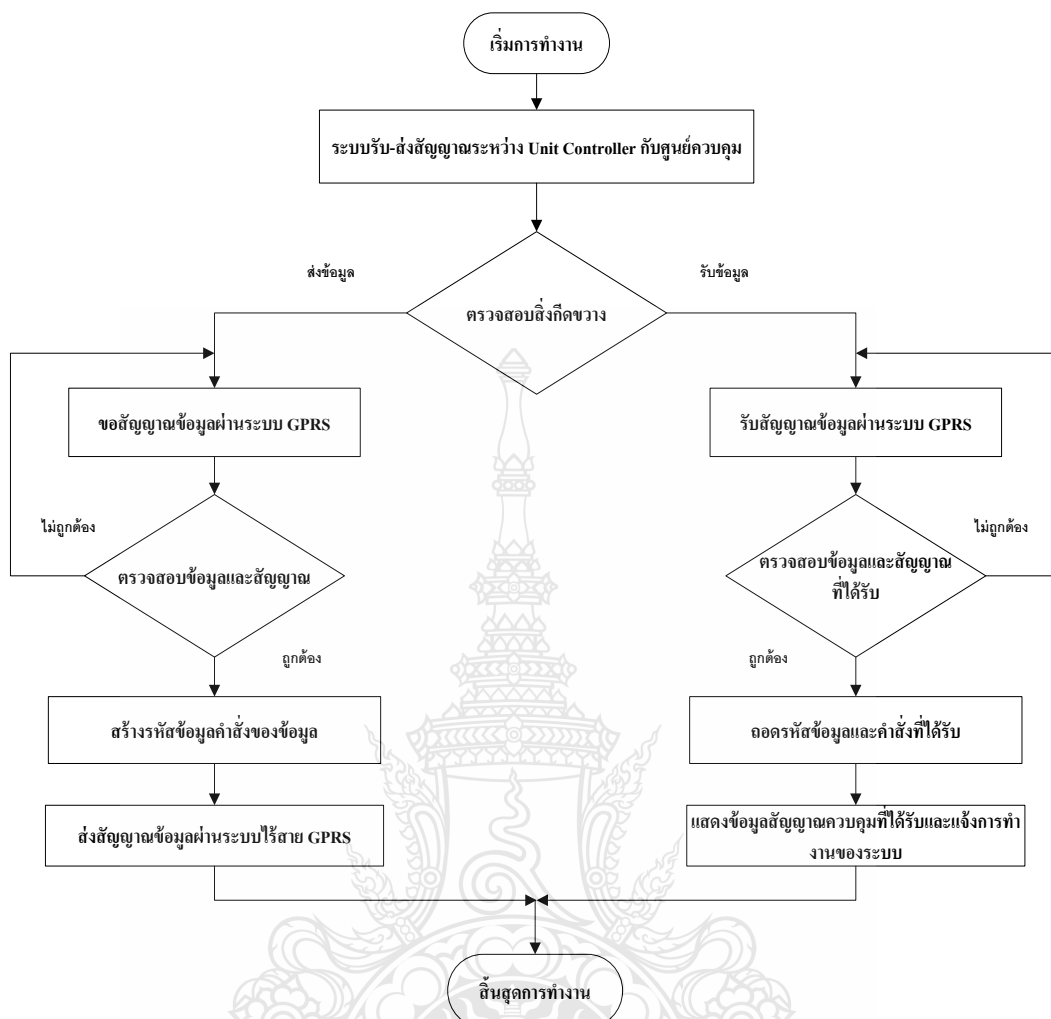


ภาพที่ 3.21 การทำงานของระบบตรวจจับการเปิด/ปิดประตูไฟฟ้า



ภาพที่ 3.22 การทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางการเดินรถไฟฟ้า



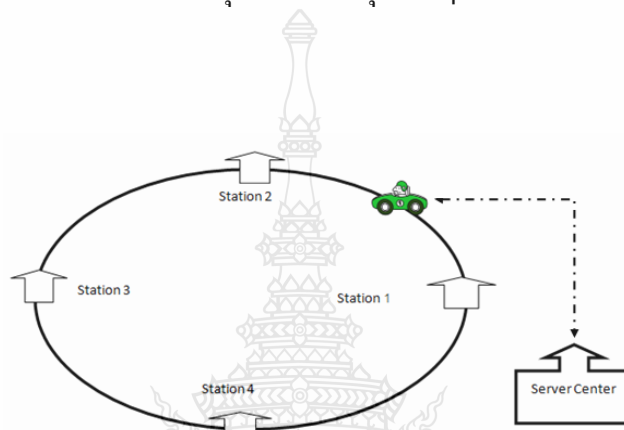


ภาพที่ 3.23 การทำงานของการสื่อสาร ไร้สายระหว่าง Unit Controller กับศูนย์ควบคุมด้วยระบบ GPRS

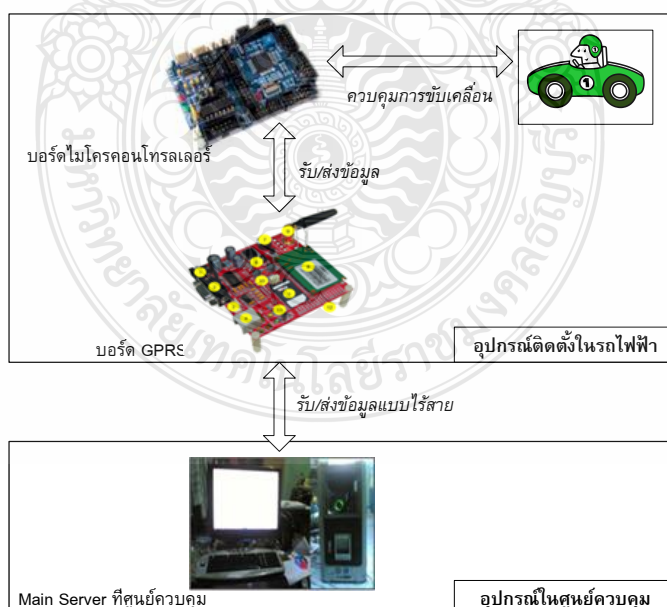
### 3.6 ศูนย์ควบคุมการเดินรถ (Main Controller)

ระบบการควบคุมรถไฟแบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วนคือการทำงานแบบอัตโนมัติที่ตัวรถภายใต้การควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดที่ทำหน้าที่เป็น Unit Controller และการควบคุมระยะไกลจากศูนย์ควบคุมผ่านบอร์ด GPRS ซึ่งการควบคุมที่ตัวรถด้วย Unit Controller เป็นการควบคุมตามโปรแกรมที่ตั้งค่าไว้ พร้อมทำการส่งข้อมูลมายังศูนย์ควบคุมด้วยเพื่อรายงานผลการทำงานของรถไฟฯ ทั้งนี้ภายในศูนย์ควบคุมทำการติดตั้งคอมพิวเตอร์และชุดเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตเพื่อให้สามารถทำการติดต่อสื่อสารทาง GPRS กับระบบควบคุมในรถได้ ซึ่งศูนย์ควบคุมนี้จะทำหน้าที่รับข้อมูลต่างๆที่ได้รับเก็บลงในฐานข้อมูลเพื่อทำการเรียกดูข้อมูลการทำงาน และเหตุการณ์ที่

เกิดขึ้นในกรณีที่ได้รับข้อมูลการแจ้งเหตุขัดข้องที่เกิดขึ้นจากตัวรถไฟฟ้า เพื่อให้ศูนย์ควบคุมทำการตรวจสอบเหตุขัดข้อง ถ้าเหตุขัดข้องที่เกิดขึ้นไม่กระทบต่อระบบขับเคลื่อน ศูนย์ควบคุมจะทำงานในส่วนของการควบคุมแบบฉุกเฉิน โดยจะรับข้อมูลความผิดพลาดที่เกิดขึ้น และเมื่อเจ้าหน้าที่ได้รับแจ้งข้อมูลแล้วจะดำเนินการตรวจสอบเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นบนรถ ผ่านทางกล้อง IP Camera ที่ติดตั้งในตัวรถ เมื่อตรวจสอบแล้วและพบเหตุการณ์ขัดข้องที่เกิดขึ้น ซึ่งเจ้าหน้าที่จะทำการแจ้งหน่วยซ่อมบำรุงเพื่อดำเนินการแก้ไขต่อไป การเชื่อมต่ออุปกรณ์ควบคุมต่างๆ เพื่อรับ/ส่งข้อมูล แสดงดังภาพที่ 3.24 ถึงภาพที่ 3.26



ภาพที่ 3.24 การเชื่อมต่อสื่อสารระหว่างตัวรถและศูนย์ควบคุม



ภาพที่ 3.25 การเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ที่ติดตั้งในรถและศูนย์ควบคุม



ภาพที่ 3.26 อุปกรณ์ที่ติดตั้งในศูนย์ควบคุม

### 3.7 สรุป

จากวัตถุประสงค์ที่กำหนดขึ้นและการค้นคว้าข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ประกอบการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำให้สามารถออกแบบระบบควบคุมการขับเคลื่อนรถไฟฟ้าขนาดเล็กไร้คนขับ ซึ่งระบบควบคุมที่ออกแบบจะมีการทำงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) ชุดควบคุมระบบการขับเคลื่อนแบบอัตโนมัติที่ติดตั้งไว้บนตัวรถไฟฟ้าขนาดเล็ก 2) ชุดควบคุมการเดินรถไฟฟ้าจากศูนย์ควบคุมกลาง โดยระบบควบคุมทั้ง 2 ส่วนจะสามารถติดต่อสื่อสารและส่งข้อมูลด้วยระบบการเชื่อมโยงแบบไร้สายด้วยโครงข่ายสัญญาณอินเทอร์เน็ต (GPRS) ระบบควบคุมที่ได้ทำการออกแบบจะต้องสามารถทำงานตามขั้นตอนที่ได้เขียนเป็นแผนภาพแสดงการทำงาน ภาพที่ 3.12 – ภาพที่ 3.23 ซึ่งแสดงขั้นตอนการทำงานของระบบควบคุมการขับเคลื่อน การเข้าจอด และแสดงการทำงานของระบบป้องกันการชนสิ่งกีดขวางบนเส้นทางเดินรถ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการสร้างแบบจำลองของรถไฟฟ้าขนาดเล็ก และทำการจำลองสถานะการทำงานของระบบควบคุมการขับเคลื่อนของตัวรถไฟฟ้าเพื่อให้ทราบค่าการทำงานของระบบและทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบขับเคลื่อนรถไฟฟ้าแบบไร้คนขับในสถานะการทำงานที่เสมือนจริง โดยทำการทดสอบในขณะที่ตัวรถไม่มีภาระโหลด การทดสอบขณะมีภาระโหลด การทดสอบการเคลื่อนที่ในทางลาดชัน และการทดสอบการรับภาระโหลดสูงสุด

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล หรือผลการวิจัย

#### 4.1 บทนำ

การทดสอบรถไฟฟ้าในวิทยานิพนธ์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอนคือ

1. การทดสอบระบบควบคุมการเดินรถไฟฟ้า
2. การทดสอบระบบขับเคลื่อนรถไฟฟ้า

#### 4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดพื้นฐานที่ใช้ในการทดสอบ

ลักษณะโครงสร้างแบบจำลองรถไฟฟ้าของวิทยานิพนธ์ในระยะแรกเพื่อใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ แสดงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แบบจำลองรถไฟฟ้าขนาดเล็กในงานวิจัยเพื่อใช้ในการทดสอบการเคลื่อนที่

อุปกรณ์และเครื่องวัดทางไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบระบบควบคุมรถไฟฟ้าในวิทยานิพนธ์ประกอบด้วย

1. ออสซิลโลสโคป
2. โวลต์มิเตอร์และแอมป์มิเตอร์
3. เครื่องวัดความเร็วรอบ
4. เครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้า
5. แบบจำลองรถไฟฟ้า
6. แหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงขนาด 500-750 โวลต์ 20 แอมป์

#### 4.3 การทดสอบระบบควบคุมการเดินรถไฟฟ้า

การเข้าจอดสถานี จังหวะการหยุด การเริ่มเดิน ตลอดจนระบบป้องกันการชนของรถไฟฟ้า จะถูกควบคุมด้วยเซนเซอร์ (Sensor) แบบการสะท้อนวัตถุ ซึ่งจะติดตั้งไว้ที่ตัวรถตั้งกล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ทั้งนี้เมื่อควบคุมให้มีการเดินรถเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งต่างๆที่กำหนดไว้ Sensor จะส่งสัญญาณกลับมายัง Unit Controller เพื่อควบคุมการทำงานให้รถไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปตามที่กำหนดได้อย่างถูกต้อง ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้าไปยังสถานีต่างๆ คณะผู้วิจัยได้กระทำกับแบบจำลองรถไฟฟ้าต้นแบบซึ่งเป็นขนาดเล็กเสียก่อน ดังแสดงในภาพที่ 4.2 (ก) ถึงภาพที่ 4.2 (ง) ส่วนตำแหน่งของรถจะแสดงให้เห็นบนจอ คอมพิวเตอร์ที่ศูนย์ควบคุมการเดินรถ ดังแสดงในภาพที่ 4.3 (ก) ถึงภาพที่ 4.3 (ง)

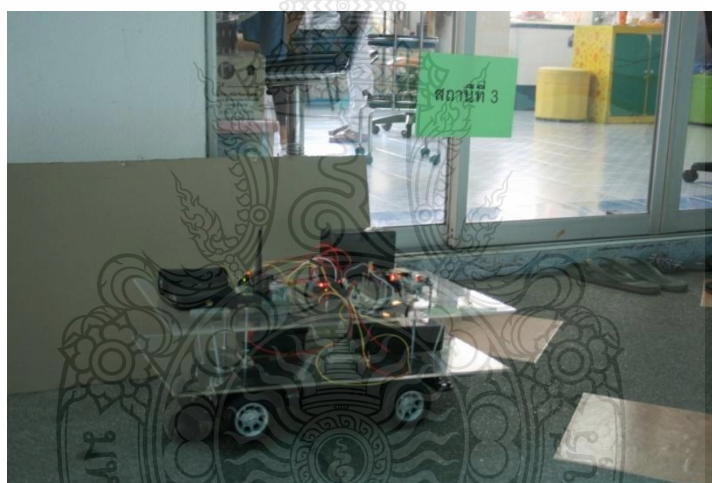


(ก) การเคลื่อนที่ ณ สถานีที่ 1





(ข) การเคลื่อนที่ ณ สถานีที่ 2

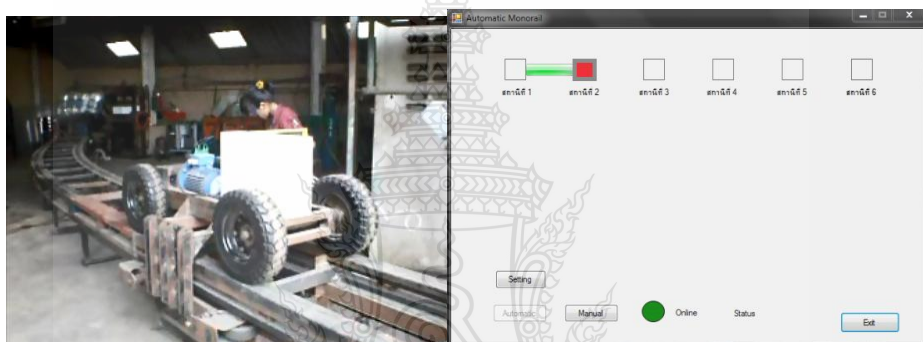


(ง) การเคลื่อนที่ ณ สถานีที่ 4

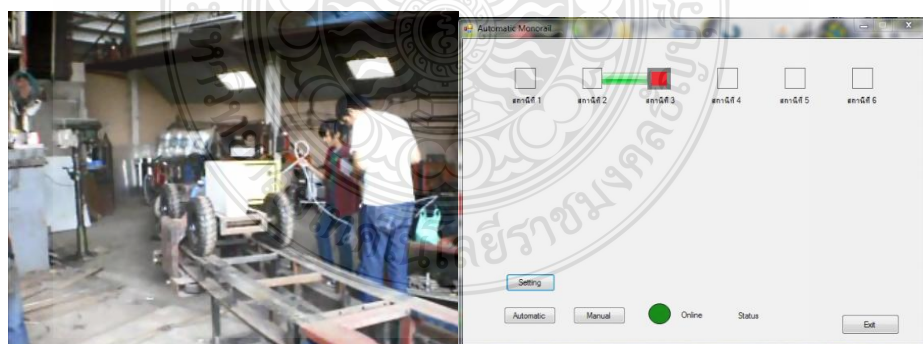
ภาพที่ 4.2 การทดสอบการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้าขณะผ่านสถานีต่างๆ



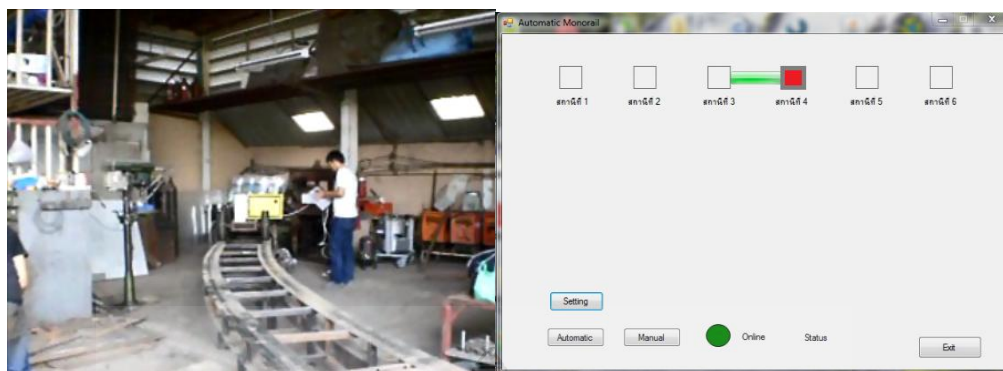
(ก) ตำแหน่งของรถไฟฟ้าไปถึงสถานีที่ 1



(ข) ตำแหน่งของรถไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปถึงสถานีที่ 2



(ค) ตำแหน่งของรถไฟฟ้าไปถึงสถานีที่ 3

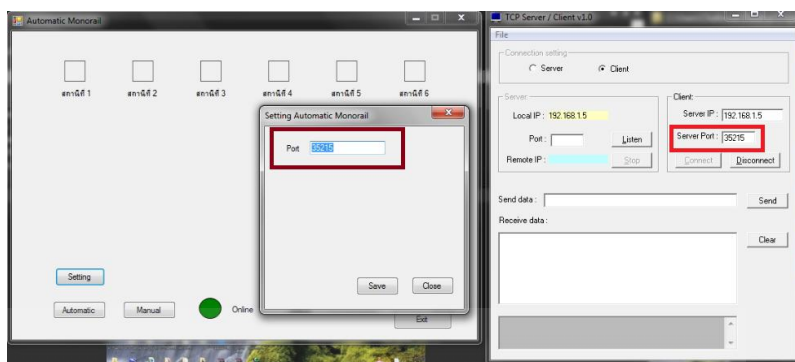


(ง) ตำแหน่งของรถไฟไฟฟ้าไปถึงสถานีที่ 4

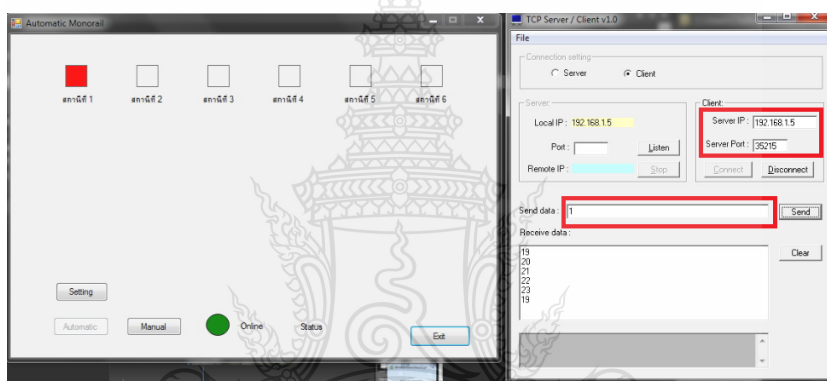
ภาพที่ 4.3 ตำแหน่งของรถไฟที่สถานีต่างๆ ที่แสดงบนจอคอมพิวเตอร์ ณ. ศูนย์ควบคุมการเดินรถ

ขณะเริ่มเดินรถ โปรแกรมตรวจจับการเคลื่อนที่และส่งสัญญาณควบคุมรถไฟไฟฟ้า จะต้องดำเนินการกำหนดพอร์ตของรถไฟไฟฟ้าแต่ละคันเสียก่อน เพื่อให้ทราบถึงตำแหน่งของรถ ทิศทางการเคลื่อนที่ รวมทั้งให้ศูนย์ควบคุมสามารถทำการควบคุมรถจากระยะไกลได้ โดยการรับ/ส่งข้อมูล จะทำการส่งข้อมูลรถแต่ละคันผ่านทางพอร์ตที่กำหนดไว้ เพื่อป้องกันสัญญาณแทรกไปยังรถคันอื่นที่วิ่งอยู่บนราง ซึ่งรถแต่ละคันจะทำการส่งข้อมูลและโค้ดการเข้าจอดสถานีและการเคลื่อนที่ส่งกลับมายังศูนย์ควบคุม และศูนย์ควบคุมยังสามารถส่งข้อมูลการควบคุมผ่านทางพอร์ตที่กำหนดไว้แล้วนี้ เพื่อส่งสัญญาณควบคุมรถไฟในรูปแบบของรีโมทระยะไกลผ่านทางพอร์ตที่กำหนดของรถแต่ละคันได้เช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.4 ถึง ภาพที่ 4.6

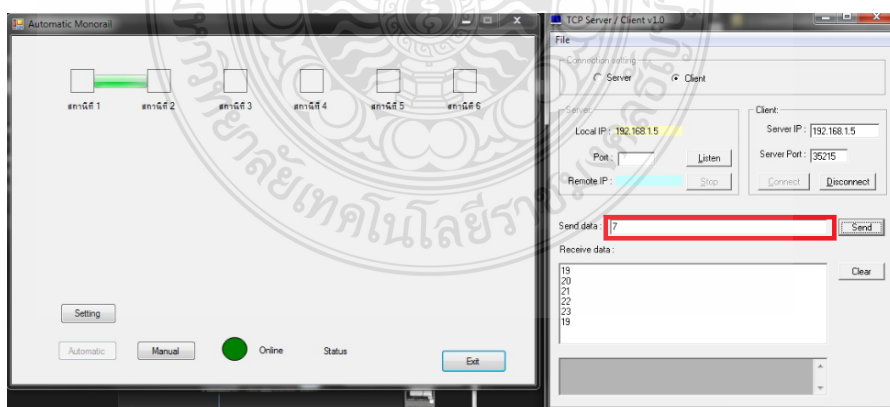
อย่างไรก็ตาม การทำงานของเซนเซอร์แบบสะท้อนแสงที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นั้น จะต้องได้รับการทดสอบเสียก่อน ก่อนการติดตั้งใช้งานจริง โดยทดสอบจากระยะสะท้อนแสงของเซนเซอร์นั้น ผลการทดสอบดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 4.1



ภาพที่ 4.4 การแสดงผลการกำหนดพอร์ตสำหรับการควบคุมไฟฟ้า



ภาพที่ 4.5 การแสดงผลการรับสัญญาณการเคลื่อนที่จากตัวรถไฟฟ้า



ภาพที่ 4.6 การแสดงผลการส่งสัญญาณการเคลื่อนที่จากศูนย์ควบคุมไปยังตัวรถไฟฟ้า

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบระยะสะท้อนแสงของเซนเซอร์ในโครงการ

ครั้งที่	ระยะจากตัวสะท้อนกับ Sensor (ซม.)	ผลการทดลอง	
		สามารถทราบตำแหน่ง	Sensor ส่งสัญญาณ
1	50	ไม่มีการตรวจจับสัญญาณ	ไม่ส่งสัญญาณ
2	45	ตรวจจับสัญญาณบางครั้ง	ไม่ส่งสัญญาณ
3	40	ตรวจจับสัญญาณบางครั้ง	ไม่ส่งสัญญาณ
4	36	มีการตรวจจับสัญญาณ	ส่งบ้างไม่ส่งบ้าง
5	34	มีการตรวจจับสัญญาณ	ส่งสัญญาณบางครั้ง
6	32	มีการตรวจจับสัญญาณ	ส่งสัญญาณบางครั้ง
7	30	มีการตรวจจับสัญญาณ	ส่งสัญญาณ
8	28	มีการตรวจจับสัญญาณ	ส่งสัญญาณ
9	26	มีการตรวจจับสัญญาณ	ส่งสัญญาณ
10	24	มีการตรวจจับสัญญาณ	ส่งสัญญาณ
11	22	มีการตรวจจับสัญญาณ	ส่งสัญญาณ
12	20	มีการตรวจจับสัญญาณ	ส่งสัญญาณ
13	18	มีการตรวจจับสัญญาณ	ส่งสัญญาณ
14	16	มีการตรวจจับสัญญาณ	ส่งสัญญาณ
15	14	มีการตรวจจับสัญญาณ	ส่งสัญญาณ
16	12	มีการตรวจจับสัญญาณ	ส่งสัญญาณ
17	10	มีการตรวจจับสัญญาณ	ส่งสัญญาณ
18	3	มีการตรวจจับสัญญาณ	ส่งสัญญาณ
19	2	มีการตรวจจับสัญญาณ	ไม่ส่งสัญญาณ
20	1	ไม่พบการตรวจจับสัญญาณ	ไม่ส่งสัญญาณ

ทั้งนี้ความยาวของวัตถุสะท้อนแสงก็เป็นสาเหตุหนึ่งของประสิทธิภาพในการตรวจจับสัญญาณ ผลการทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ที่ระยะห่างระหว่างเซนเซอร์กับวัตถุสะท้อนแสงเท่ากับ 30 ซม. ที่ความยาววัตถุสะท้อนแสงต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองระยะความยาวของวัตถุสะท้อนกับเซนเซอร์

ครั้งที่	ความยาวของวัตถุสะท้อน (มม.)	ผลการทดลอง
1	30	Sensor ไม่ส่งสัญญาณ
2	35	Sensor ไม่ส่งสัญญาณ
3	40	Sensor ไม่ส่งสัญญาณ
4	45	Sensor ไม่ส่งสัญญาณ
5	50	Sensor ไม่ส่งสัญญาณ
6	55	Sensor ไม่ส่งสัญญาณ
7	60	Sensor ไม่ส่งสัญญาณ
8	65	Sensor ไม่ส่งสัญญาณ
9	70	Sensor ส่งสัญญาณบ้าง
10	75	Sensor ส่งสัญญาณบ้าง
11	80	Sensor ส่งสัญญาณบ้าง
12	85	Sensor ส่งสัญญาณบ้าง
13	90	Sensor ส่งสัญญาณ
14	95	Sensor ส่งสัญญาณ
15	100	Sensor ส่งสัญญาณ
16	105	Sensor ส่งสัญญาณ
17	110	Sensor ส่งสัญญาณ
18	115	Sensor ส่งสัญญาณ
19	120	Sensor ส่งสัญญาณ
20	125	Sensor ส่งสัญญาณ

จากตารางที่ 4.2 พบว่าแถบวัตถุสะท้อนที่มีความยาวตั้งแต่ 90 มม. ขึ้นไป จะทำให้เซนเซอร์สามารถตรวจจับสัญญาณได้ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงใช้แถบสะท้อนแสงในแต่ละจุดที่ติดตั้งให้มีความยาวมากกว่า 90 มม. เพื่อให้เซนเซอร์ทำงานได้อย่างสมบูรณ์



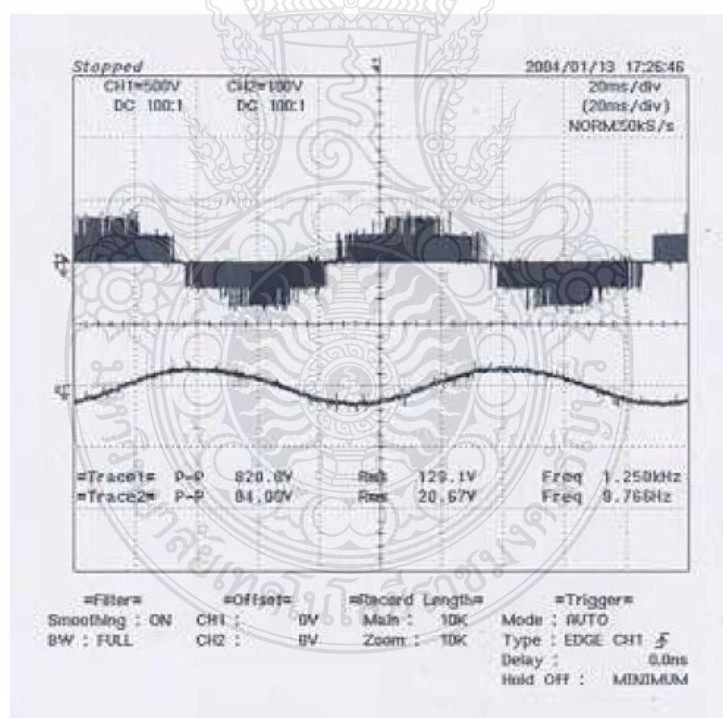
#### 4.4 การทดสอบระบบขับเคลื่อนไฟฟ้า

การทดสอบระบบขับเคลื่อนของรถไฟฟ้าในวิทยานิพนธ์ แบ่งออกได้เป็น

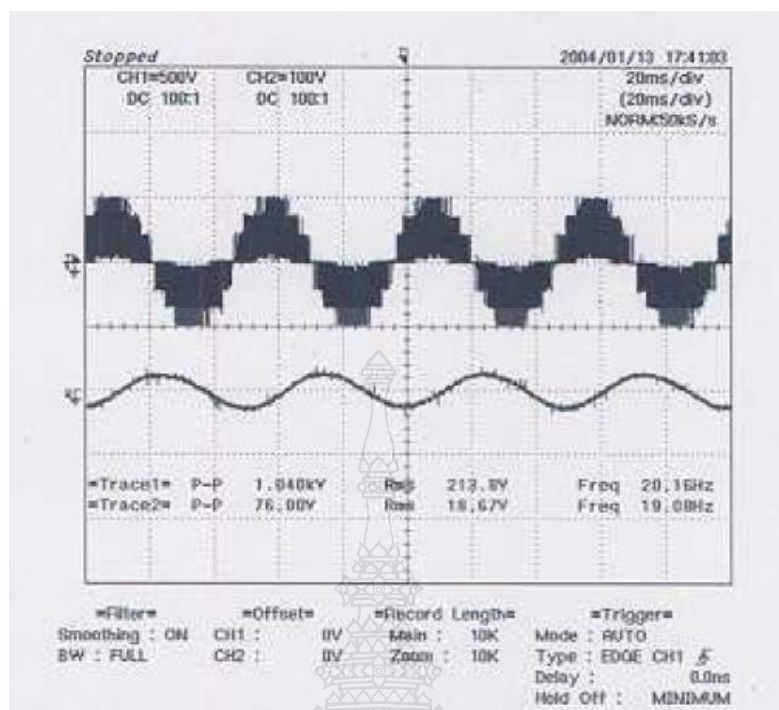
1. การทดสอบการทำงานของอินเวอร์เตอร์
2. การทดสอบขณะมอเตอร์ไม่มีภาระทางกล
3. การทดสอบขณะมอเตอร์มีภาระทางกล
4. การทดสอบประสิทธิภาพการขับเคลื่อน

##### 4.4.1 การทดสอบการทำงานของอินเวอร์เตอร์

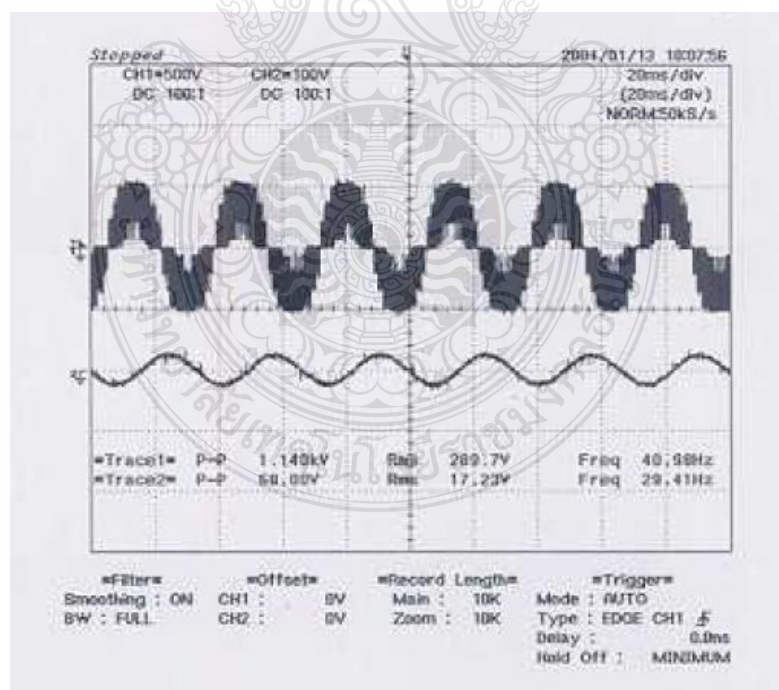
เนื่องจากในระบบขับเคลื่อน จะใช้อินเวอร์เตอร์รุ่น ACS355 ของบริษัท ABB Co. Ltd. เป็นตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสขนาด 5 kW 220/380 V ขณะไม่มีภาระทางกล ซึ่งในการทดสอบนี้ จะทำการปรับค่าความถี่ขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่ 10–50 Hz เพื่อพิจารณา รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่มอเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 4.7 ถึงภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.7 สัญญาณแรงดัน Line และกระแสเฟสขาเข้ามอเตอร์ที่ความถี่ 10Hz

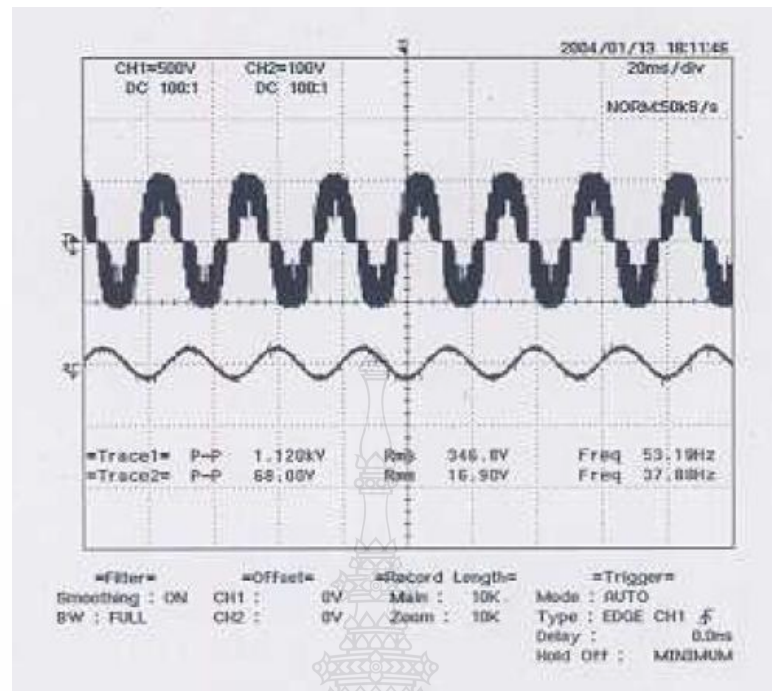


ภาพที่ 4.8 สัญญาณแรงดัน Line และกระแสเฟสขาเข้ามอเตอร์ที่ความถี่ 20Hz

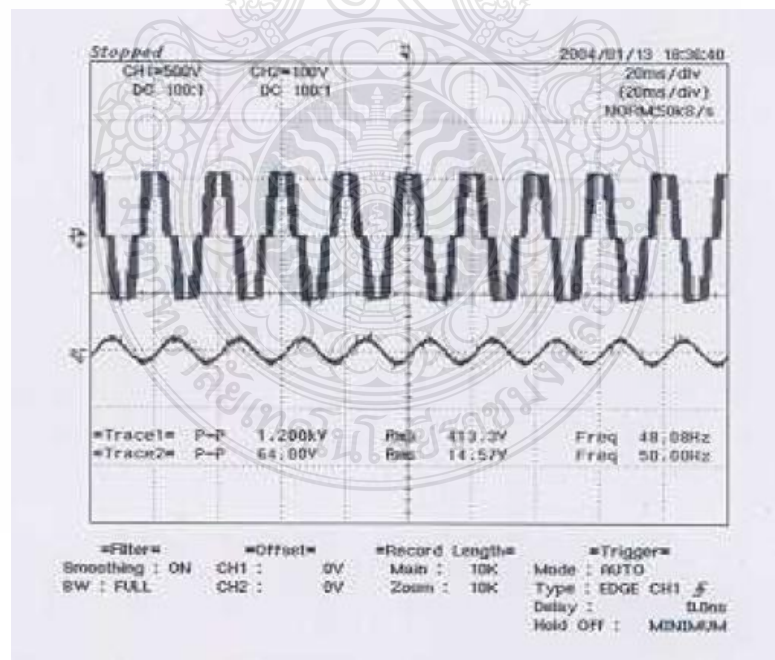


ภาพที่ 4.9 สัญญาณแรงดัน Line และกระแสเฟสขาเข้ามอเตอร์ที่ความถี่ 30Hz





ภาพที่ 4.10 สัญญาณแรงดัน Line และกระแสเฟสขาเข้ามอเตอร์ที่ความถี่ 40Hz

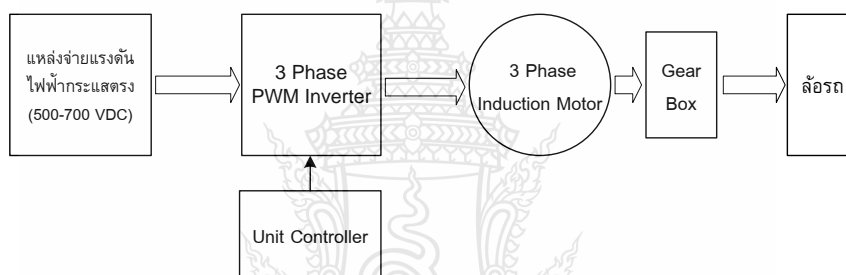


ภาพที่ 4.11 สัญญาณแรงดัน Line และกระแสเฟสขาเข้ามอเตอร์ที่ความถี่ 50Hz

จากรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ความถี่ขาออกค่าต่างๆ จะเห็นว่าแรงดันมีรูปคลื่นเปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่กระแสเข้ามอเตอร์มีรูปคลื่นใกล้เคียงสัญญาณชานันมากกว่า อย่างไรก็ตามพบว่า ทั้งรูปคลื่นแรงดัน และกระแส ที่ค่าความถี่ต่างๆนี้มีค่า %THD (Total Harmonics Distortion) ไม่สูงเกินกว่าค่ามาตรฐานอุตสาหกรรม ซึ่งจะทำให้มอเตอร์ไฟฟ้าทำงานได้อย่างปกติ อีกทั้งความถี่ฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นก็ไม่สูงจนเกินไปที่จะเป็นอันตรายต่อการทำงานของระบบต่างๆที่ทำงานอยู่ในสถานที่ใกล้เคียงด้วย

#### 4.4.2 การทดสอบขณะมอเตอร์ไม่มีภาระทางกล

การทดสอบการทำงานของรถไฟฟ้าขณะไม่มีภาระทางกลใดๆ เพื่อให้ทราบค่าแรงดันกระแส และกำลังไฟฟ้าขณะที่มีมอเตอร์ไม่มีโหลด ทั้งนี้การทดสอบกระทำโดยการยกตัวรถให้สูงขึ้นโดยไม่แตะกับราง ซึ่งผลการทดสอบจะได้ตามตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.12 แผนภาพการควบคุมมอเตอร์ในการทดสอบ

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบค่าพลังงานที่ป้อนเข้าอินเวอร์เตอร์และออกจากอินเวอร์เตอร์

ความถี่ (Hz)	DC Input			AC Output						
	Vin (V)	Iin (A)	Po (kW)	Vrms (V)			Irms (A)			Ptotal (kW)
				A	B	C	A	B	C	
10	551	1.56	0.859	91.01	90.87	90.64	19.73	19.17	20.3	0.707
20	548	2.12	1.128	173.21	173.29	173.95	17.84	17.17	17.96	0.931
30	540	2.561	1.285	255.25	255.3	255.97	16.82	16.52	17.43	1.085
40	540	2.793	1.425	314.7	314.5	314.2	16.54	16.24	3.178	1.223
50	543	3.131	1.622	387.6	387.1	387.3	13.807	13.582	14.49	1.423

#### ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบความเร็วรอบที่แกนเพลาล้อของรถไฟฟ้า

ความถี่ (Hz)	ความเร็วเพลาล้อ (rpm)	ความเร็วล้อ (rpm)	อัตราเฟืองทด
10	198.8	81.9	2.427
20	398.2	164.6	2.419
30	598.7	164.6	2.426
40	787.5	325.6	2.419
50	998.6	410	2.436

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าขณะรถไฟฟ้าไม่มีภาระ มอเตอร์ใช้กำลังไฟฟ้าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าที่ 5 kW ค่าแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์จะแปรผันโดยตรงกับค่าความถี่ที่จัดตั้งไว้ (อัตราส่วนแรงดันต่อความถี่ค่าคงที่) ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 2.6 เป็นผลให้สามารถควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ให้เป็นไปตามต้องการได้ อย่างไรก็ตามอัตราทดของเกียร์ซึ่งเป็นอัตราส่วนของความเร็วเพลาล้อต่อความเร็วล้อจะมีค่าค่อนข้างคงที่อยู่ที่ประมาณ 2.42 : 1

#### 4.4.3 การทดสอบขณะมอเตอร์มีภาระทางกล

การทดสอบการทำงานของรถไฟฟ้าขณะรับภาระทางกล เพื่อให้ทราบค่าแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าขณะที่มีโหลดเต็มพิกัด โดยกำหนดภาระทางกลรวมของน้ำหนักตัวรถ (โครงสร้างตัวรถ เฟอ์นเจอร์ และอุปกรณ์ต่างที่ติดตั้งในตัวรถ) เท่ากับ 1,200 กก. ซึ่งผลการทดสอบจะได้ตามตารางที่ 4.5

#### ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบการขับเคลื่อนรถไฟฟ้าขณะมีภาระทางกล

ความถี่ (Hz)	Pdc (kW)	Iin (V)	Vin (V)	Pin (kW)	ความเร็วล้อ (rpm)	Speed (kW/hr)	Pout (kW)	%η Motor	%η System
10	1.92	19.8	90	1.6	198	6	0.9	56.25	46.87
20	2.67	20.2	171	2.2	398.4	9	1.2	54.55	44.94
30	3.55	17.9	252	3	598	14	1.7	56.67	47.88
40	5.13	17.8	333	4.4	798	19	2.3	52.27	44.83
50	6.72	17.7	415	5.9	997.6	24	3.2	54.24	47.61

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.5 เป็นการทดสอบด้วยเครื่อง Chassis Dynamometer สามารถวัดกำลังงานที่และความเร็วที่ล้อรถได้ ซึ่งจากการทดสอบนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มความถี่ขาออกจากอินเวอร์เตอร์สูงขึ้นจะทำให้ความเร็วมอเตอร์สูงขึ้นเช่นกัน ประสิทธิภาพมอเตอร์ (%  $\eta$ ) ซึ่งเป็นอัตรากำลังงานกลขาออกเทียบกับกำลังไฟฟ้าขาเข้า ที่ได้จากการทดสอบจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 54.8 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพรวมของทั้งระบบตั้งแต่กำลังไฟฟ้าขาเข้าถึงกำลังงานกลที่ล้อมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 46.42 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้จะเห็นว่าประสิทธิภาพที่ได้จากตัวรถก่อนข้างต่ำและความเร็วที่ได้ก็มีค่าน้อยกว่าที่ใช้ในการออกแบบ เป็นเพราะน้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบนั้นมีค่าน้อยกว่าน้ำหนักจริงที่วัดได้อยู่ถึงประมาณ 300 กก. และอัตราเฟืองทดที่ใช้จริงต่างกับค่าที่ใช้ในการออกแบบจึงทำให้ความเร็วของรถลดลง

#### 4.4.4 การทดสอบประสิทธิภาพในการขับเคลื่อน

การทดสอบการขับเคลื่อนรถไฟฟ้าบนราง เพื่อหาประสิทธิภาพในการใช้งานรับส่งผู้โดยสาร โดยวัดค่าการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานที่จ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์และมอเตอร์ต้นกำลัง การขับเคลื่อน ทั้งขณะไม่มีภาระและขณะบรรทุกทุกภาระเต็มพิกัด ทั้งนี้รวมทั้งทดสอบการเริ่มเดินของมอเตอร์ในรูปแบบต่างๆ การหาค่าอัตราเร่งของรถไฟฟ้าพิกัดสูงสุดของรถไฟฟ้า เป็นต้น

##### การทดสอบขณะขับเคลื่อนในแนวราบ

การทดสอบและใช้งานบนรางเดินรถนั้นเพื่อหาจุดเหมาะสมในการเริ่มเดินเครื่องและลักษณะการขับเคลื่อนที่เหมาะสมกับการใช้งานรวมถึงการใช้พลังงานของรถไฟฟ้า ซึ่งสภาพการทดสอบการเดินรถนั้นต้องใช้พื้นที่สำหรับการติดตั้งรางเดินรถเป็นพื้นที่กว้าง ดังนั้นจึงได้สร้างเส้นทางเดินรถในลักษณะเส้นทางตรงและลาดเอียงเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานตามสภาพจริง ซึ่งมีระยะทางโดยประมาณเท่ากับ 25 ม. โดยการทดสอบจะเริ่มทำการปรับเปลี่ยนความถี่ตั้งแต่ 10 Hz จนกระทั่งถึงพิกัดความถี่ใช้งาน 50 Hz และทำการเปรียบเทียบการใช้กำลังงานเมื่อเปลี่ยนแปลงน้ำหนักบรรทุกจนถึงพิกัด ผลการทดสอบขณะปรับความถี่อินเวอร์เตอร์แสดงดังตารางที่ 4.6 - ตารางที่ 4.10 โดยกราฟความสัมพันธ์ต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 4.13 – ภาพที่ 4.17 ตามลำดับ

**ตารางที่ 4.6** ค่าแรงดัน กระแส และกำลังไฟตรงที่ป้อนอินเวอร์เตอร์ขณะรถไฟฟ้าทำงานที่ความถี่  
10 Hz

น้ำหนักบรรทุก (kg)	ความถี่ (Hz)	ความเร็วรอบที่เพลา (rpm)	I <sub>in</sub> (A)	V <sub>in</sub> (V)	Pin (kW)
no – load*	10	197	2.38	559	1.33
250 +*	10	198	5.14	559	2.87
500 +*	10	197	7.36	559	4.12
750 +*	10	196	9.36	559	5.23
1000 +*	10	195	12.34	559	6.90

**ตารางที่ 4.7** ค่าแรงดัน กระแส และกำลังไฟตรงที่ป้อนอินเวอร์เตอร์ขณะรถไฟฟ้าทำงานที่ความถี่  
20 Hz

น้ำหนักบรรทุก (kg)	ความถี่ (Hz)	ความเร็วรอบที่เพลา (rpm)	I <sub>in</sub> (A)	V <sub>in</sub> (V)	Pin (kW)
no – load*	20	396	4.30	559	2.40
250 +*	20	396	6.73	559	3.76
500 +*	20	398	9.89	559	5.53
750 +*	20	395	11.60	559	6.49
1000 +*	20	395	14.04	559	7.85

**ตารางที่ 4.8** ค่าแรงดัน กระแส และกำลังไฟตรงที่ป้อนอินเวอร์เตอร์ขณะรถไฟฟ้าทำงานที่ความถี่  
30 Hz

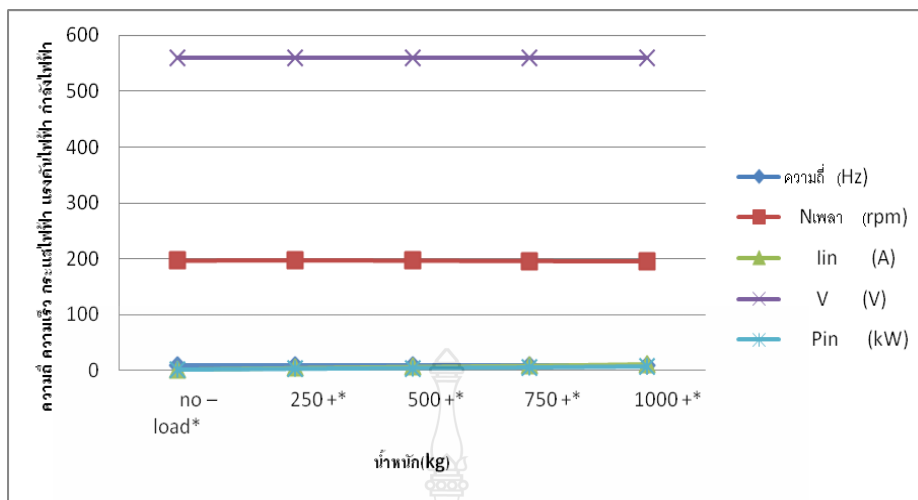
น้ำหนักบรรทุก (kg)	ความถี่ (Hz)	ความเร็วรอบที่เพลา (rpm)	I <sub>in</sub> (A)	V <sub>in</sub> (V)	Pin (kW)
no – load*	30	596	6.39	559	3.57
250 +*	30	595	8.68	559	4.85
500 +*	30	596	11.39	559	6.37
750 +*	30	594	13.51	559	7.55
1000 +*	30	594	15.98	559	8.93

ตารางที่ 4.9 ค่าแรงดัน กระแส และกำลังไฟตรงที่ป้อนอินเวอร์เตอร์ขณะรถไฟฟ้าทำงานที่ความถี่  
40 Hz

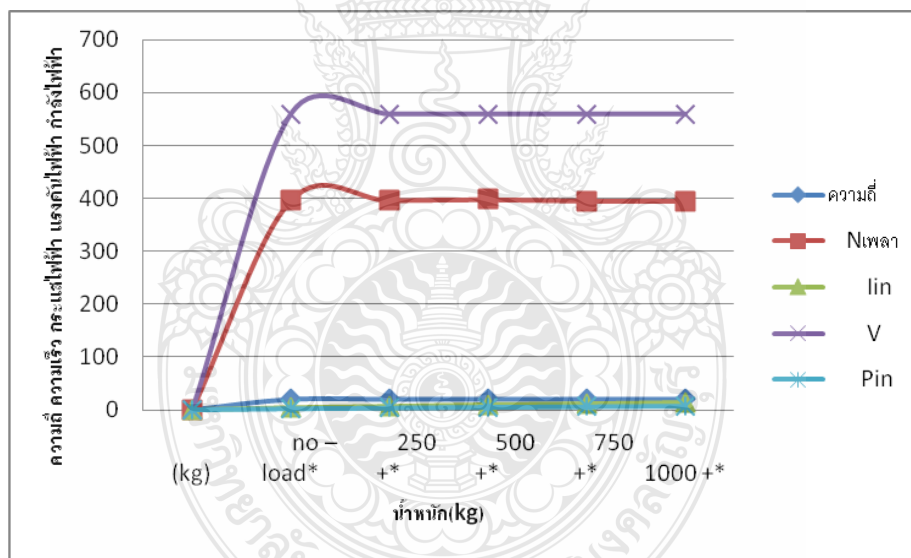
น้ำหนักบรรทุก (kg)	ความถี่ (Hz)	ความเร็วรอบที่เพลารpm	Iin (A)	Vin (V)	Pin (kW)
no – load*	40	794	7.78	559	4.35
250 +*	40	794	10.28	559	5.75
500 +*	40	794	13.76	559	7.69
750 +*	40	794	15.13	559	8.46
1000 +*	40	794	17.58	559	9.83

ตารางที่ 4.10 ค่าแรงดัน กระแส และกำลังไฟตรงที่ป้อนอินเวอร์เตอร์ขณะรถไฟฟ้าทำงานที่ความถี่  
50 Hz

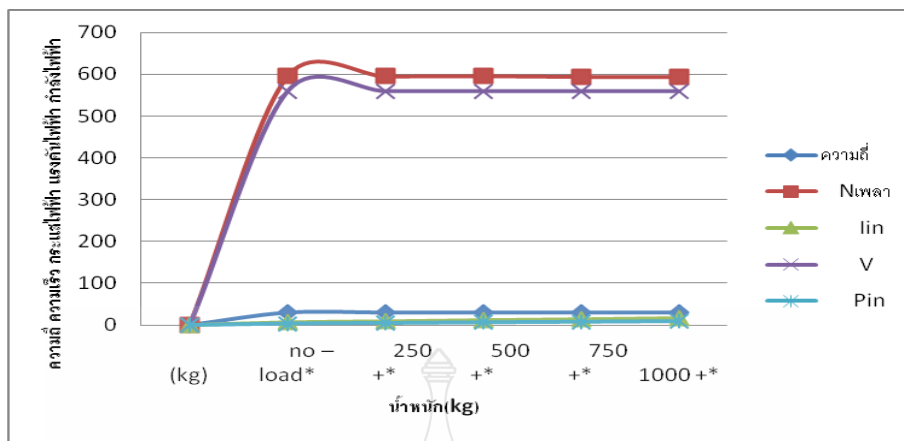
น้ำหนักบรรทุก (kg)	ความถี่ (Hz)	ความเร็วรอบที่เพลารpm	Iin (A)	Vin (V)	Pin (kW)
no – load*	50	994	9.62	559	5.76
250 +*	50	991	12.40	559	6.93
500 +*	50	989	16.93	559	9.46
750 +*	50	987	18.50	559	10.34
1000 +*	50	987	20.89	559	11.68



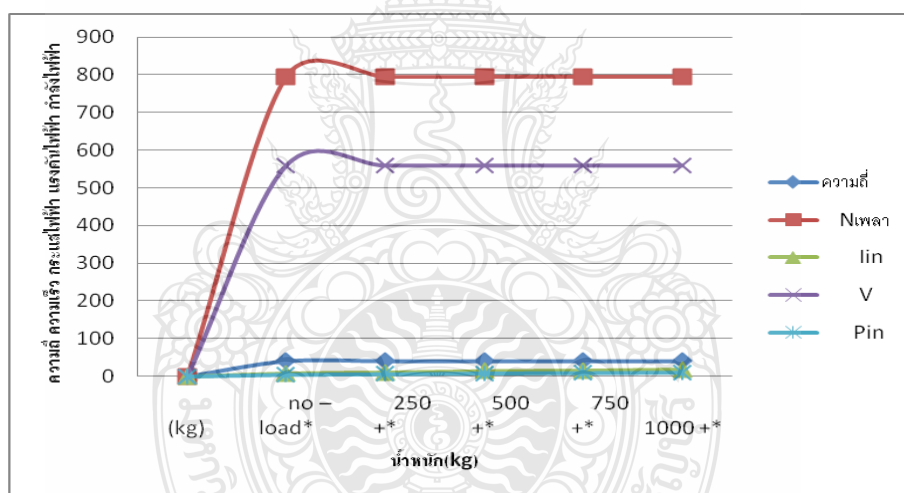
ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ของแรงดัน กระแส และกำลังไฟตรงที่ป้อนอินเวอร์เตอร์ขั้วแรงไฟฟ้าทำงานที่ความถี่ 10 Hz



ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ของแรงดัน กระแส และกำลังไฟตรงที่ป้อนอินเวอร์เตอร์ขั้วแรงไฟฟ้าทำงานที่ความถี่ 20 Hz

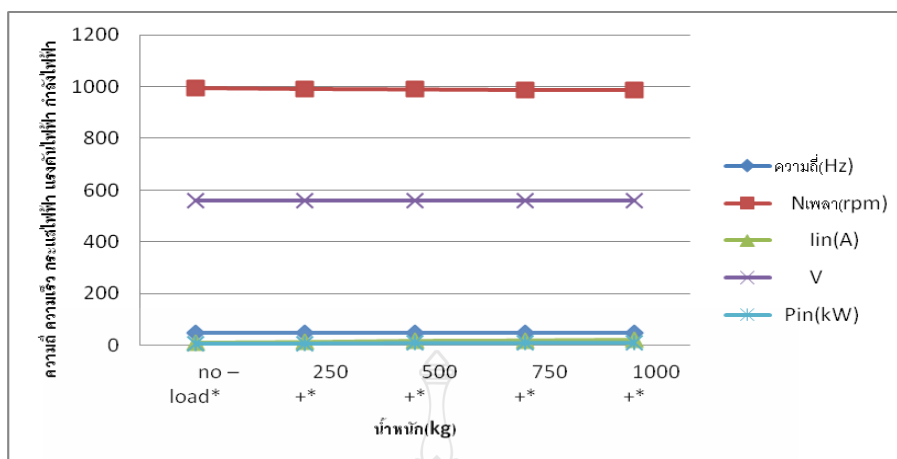


ภาพที่ 4.15 ความสัมพันธ์ของแรงดัน กระแส และกำลังไฟตรงที่ป้อนอินเวอร์เตอร์ขณะรถไฟฟ้าทำงานที่ความถี่ 30 Hz



ภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ของแรงดัน กระแส และกำลังไฟตรงที่ป้อนอินเวอร์เตอร์ขณะรถไฟฟ้าทำงานที่ความถี่ 40 Hz





ภาพที่ 4.17 ความสัมพันธ์ของแรงดัน กระแส และกำลังไฟตรงที่ป้อนสู่อินเวอร์เตอร์ขณะรถไฟฟ้าทำงานที่ความถี่ 50 Hz

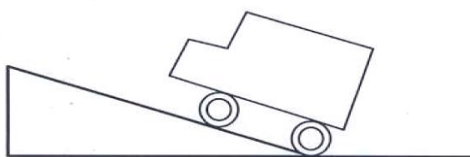
จากผลการทดสอบการทำงานของรถไฟฟ้าโดยการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกให้กับรถไฟฟ้าขณะทำงานที่ความถี่ต่าง ๆ นั้นจะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าขาเข้าของมอเตอร์สูงขึ้นขณะน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นที่ทุกๆ ความถี่ขาเข้า อย่างไรก็ตามในช่วงการเริ่มออกวิ่งและการหยุดวิ่งของรถไฟฟ้านั้นจะต้องอาศัยอัตราเร่งและอัตราหน่วงในการเริ่มเดินรถและการหยุดเดินรถตามลำดับ ซึ่งค่า Acceleration Time และ De-Acceleration Time ที่จัดตั้งไว้ในโครงการวิจัยนี้อยู่ที่ประมาณ 10 วินาที เพื่อให้ช่วงเวลาดังกล่าวหน่วยงานขับเคลื่อนสัมพันธ์กับความเร็วที่เปลี่ยนแปลงของรถไฟฟ้านั้น

#### การทดสอบขณะขับเคลื่อนในแนวลาดชัน

เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของรถขณะขับเคลื่อนในสถานะไต่ทางชันซึ่งในการออกแบบได้กำหนดไว้ 7 องศา เนื่องจากในการใช้งานจริงไม่มีทางลาดชันมากนัก การทดสอบกระทำใน 2 กรณี คือ ขณะเริ่มเดินรถจากทางราบขึ้นทางชัน และขณะเริ่มเดินรถขณะจอดอยู่บนทางชัน ดังแสดงในภาพที่ 4.18 (ก) และ (ข) ตามลำดับ ทั้งนี้โดยมีการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกขึ้นจนถึงค่าเต็มพิกัดที่ออกแบบ ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.4



(ก) กรณีเริ่มเคลื่อนรถจากทางราบ



(ข) กรณีเริ่มเคลื่อนรถจากทางลาดชัน 7 องศา

ภาพที่ 4.18 ลักษณะการเริ่มเคลื่อนรถไฟฟ้าในการทดสอบ

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบความสามารถในการเริ่มเดินรถบนทางชัน 7 องศาใน 2 กรณี

Load (กก.)	1.กรณีขึ้นทางชันจากพื้น			2.กรณีออกตัวบนทางชัน 7 องศา		
	Tmax (%)	Iac,max (A)	Pmax (kW)	Tmax (%)	Iac,max(A)	Pmax (kW)
น้ำหนักรถ	115.8	42	8.3	129	48	9.5
น้ำหนักรถ + 250 กก.	119	43	8.4	139	56	12.5
น้ำหนักรถ + 500 กก.	119	43	8.4	139	56	12.5
น้ำหนักรถ + 750 กก.	130	54	10	N/A	N/A	N/A
น้ำหนักรถ + 1000 กก.	134	55	11	N/A	N/A	N/A

หมายเหตุ N/A หมายถึง รถไม่สามารถขึ้นได้และถอยหลังลง

Tmax (%) เป็นค่าแรงบิดที่อ่านได้จากอินเวอร์เตอร์

จากตารางที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าในกรณีที่รถไฟฟ้าออกตัวในแนวราบจะสามารถขับเคลื่อนไปได้โดยง่ายและสามารถไต่ทางชัน 7 องศาได้โดยไม่มีปัญหาแม้ทำงานที่เต็มพิกัดน้ำหนักบรรทุกทุกส่วนในกรณีที่ 2. ถ้ารถไฟฟ้าไม่มีน้ำหนักบรรทุก จะสามารถออกตัวในทางชันได้ตามปกติ และถ้ารถไฟฟ้ามีน้ำหนักบรรทุกที่ประมาณ 500 กก. รถไฟฟ้ายังสามารถออกตัวได้เช่นกัน ทั้งนี้เมื่อน้ำหนักบรรทุกเกินกว่า 500 กก. แล้ว รถไฟฟ้าจะไม่สามารถออกตัวในทางชันได้ อย่างไรก็ตามในขณะที่น้ำหนักบรรทุกเกินกว่า 500 กก. นั้น รถไฟฟ้าในวิทยานิพนธ์ไม่สามารถทำงานได้เนื่องจากมอเตอร์เกินกระแสเกินกว่าพิกัดที่ 60 A ซึ่งทำให้อุปกรณ์ตัดตอนไฟฟ้าในระบบวงจรอินเวอร์เตอร์ตัดการทำงานออกจากระบบ

### การทดสอบความสามารถในการบรรทุก

เพื่อหาน้ำหนักภาระสูงสุดที่รถไฟฟ้าจะบรรทุกได้ ขณะเดินรถในทางราบ โดยที่กระแสขาเข้าของมอเตอร์ไม่เกินพิกัด ขณะขับเคลื่อนที่ความถี่ 50 Hz การทดสอบกระทำโดยการการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกของรถไฟฟ้าขึ้นเรื่อยๆ จนกว่าอุปกรณ์ป้องกันในระบบของอินเวอร์เตอร์จะทำงานตัดวงจร ซึ่งจากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.12 จะเห็นว่าพิกัดบรรทุกสูงสุดของรถไฟฟ้าในโครงการเท่ากับ 1540 กก.

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบหาค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดขณะเคลื่อนที่ทางราบ

น้ำหนักสูงสุด(กิโลกรัม)	Iac,max(A)	Pmax(kW)
1540	5.8	2.5

### 4.5 สรุปผลการทดสอบ

การทดสอบมีหลายขั้นตอน ซึ่งสามารถสรุปเป็นแต่ละประเด็นได้ดังนี้

**ระบบควบคุมการเดินรถไฟฟ้า** รถไฟฟ้าในโครงการสามารถเดินรถได้ตามจุดประสงค์ โดยตำแหน่งของรถ เช่นการเดินทางระหว่างสถานี และตำแหน่งสถานีที่จอด ก็สามารถทราบได้จากจอแสดง ผลที่ศูนย์ควบคุมกลางอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การทดสอบเซนเซอร์ที่ใช้ในโครงการ ได้ผลว่าจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากตัวสะท้อนแสงมีขนาดความยาวไม่น้อยกว่า 90 มม. ทั้งนี้ระยะสะท้อนแสงไม่ควรเกินกว่า 30 ซม.

**ระบบขับเคลื่อนรถไฟฟ้า** แบ่งออกเป็น 4 การทดสอบย่อย ซึ่งพบว่าความเร็วรถไฟฟ้าจะแปรผันโดยตรงกับค่าความถี่ขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่ถูกส่งผ่าน Unit Controller ซึ่งขณะทำงานเต็มพิกัดน้ำหนักผู้โดยสาร (ประมาณ 250-300 กก. ทั้งนี้ น้ำหนักตัวรถประมาณ 1,200 กก.) ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์อยู่ที่ประมาณ 50-55% เท่านั้น ซึ่งยังมีค่าต่ำอยู่ เนื่องจากทำงานยังไม่ถึงขนาดเต็มพิกัดกำลังของมอเตอร์และอินเวอร์เตอร์ ส่วนการทดสอบประสิทธิภาพการขับเคลื่อนเป็นการทดสอบการเริ่มเดินรถ ทั้งขณะในทางราบและทางชัน จะเห็นว่ารถไฟฟ้าที่ออกแบบไว้สามารถเริ่มออกตัวขณะรับน้ำหนักบรรทุกเต็มพิกัดได้ทั้งในทางราบและในทางชัน ในการทดสอบพบว่าถ้า น้ำหนักบรรทุกเกินกว่า 500 กก. แล้วรถไฟฟ้าจะไม่สามารถออกตัวในแนวทางชัน 7 องศาได้ อย่างไรก็ตาม น้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่รถไฟฟ้าในโครงการรับภาระได้ จะอยู่ที่ประมาณ 1,540 กก. ซึ่งรถไฟฟ้าไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ เนื่องจากกระแสอินเวอร์เตอร์มีค่าเกินพิกัด

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างรถไฟฟ้าต้นแบบไร้คนขับ โดยใช้จีพีอาร์เอสส่งสัญญาณการควบคุม เป็นรถชนิด 4 ล้อ ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับใช้พลังงานไฟฟ้าจากรางที่สาม จ่ายพลังงานขับเคลื่อนและชุดควบคุมสำหรับรถไฟฟ้า ตัวรถไฟฟ้าจะทำการยกระดับเหนือพื้นดิน เพื่อให้เกิดความรวดเร็ว ปลอดภัยในการเดินทาง ซึ่งรถสามารถเคลื่อนที่ไปยังสถานีที่กำหนดจากการสั่งงานภายในตัวรถ โดยขณะที่ตัวรถเคลื่อนที่และเข้าจอดระบบจะทำการส่งข้อมูลกลับไปทีคอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง ซึ่งระบบในการควบคุมการทำงานจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC และชุดโมดูลจีพีอาร์เอสในการทำหน้าที่รับและส่งข้อมูล

#### 5.1 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

จากการออกแบบและสร้างระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้าไร้คนขับขนาดเล็ก ซึ่งการทดสอบสามารถสรุปปัญหาที่เกิดขึ้นของงานวิจัย การออกแบบและสร้างระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้าไร้คนขับขนาดเล็ก ดังนี้

5.1.1 ข้อมูลที่ใช้ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ยังเป็นระบบปิด ไม่สามารถที่จะหาข้อมูลในการประกอบการวิจัยได้ครบถ้วน ต้องดำเนินการใช้งานวิจัยประกอบในหลายส่วนเพื่อให้เกิดความครอบคลุมงานวิจัยที่สมบูรณ์

5.1.2 แบบจำลองที่ใช้ในการทำงานวิจัยเป็น โมเดลเทียบเท่าของจริง ทำให้การจัดทำแบบจำลองมีความล่าช้า และเคลื่อนย้ายไม่สะดวก ส่งผลให้การจัดหาอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลองต้องใช้ระยะเวลาในการสั่งซื้อ

5.2.3 การติดตั้งโปรแกรมเพื่อติดต่อกับตัวรถลงบนคอมพิวเตอร์ บางครั้งไม่สามารถติดตั้งได้ เนื่องจากตัวโปรแกรมได้ทำการเขียนขึ้นจากภาษาซีและ โปรแกรมวิซวลเบสิก (Visual Basic) ในการจัดทำ เมื่อนำโปรแกรมไปติดตั้งยังเครื่องอื่น จะไม่สามารถติดตั้งได้ถ้าไม่มีตัวโปรแกรมวิซวลเบสิกติดตั้งในเครื่องหรือเป็นเวอร์ชันที่เก่า

แนวทางแก้ไข ปรับปรุงตัวโปรแกรมที่สร้างขึ้นใหม่และทำการติดตั้ง โปรแกรมวิซวลเบสิก รุ่นที่ใช้งานลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อให้สามารถใช้งานได้

5.2.4 การเชื่อมต่อสัญญาณข้อมูลจีพีอาร์เอสบนตัวรถกับศูนย์กลาง เมื่อนำตัวรถและระบบไปใช้งานการส่งข้อมูลจะขาดหายหรือมีความล่าช้าของการส่งข้อมูล ในระหว่างรถเคลื่อนที่หรือผ่านช่วงรอยต่อของสัญญาณ

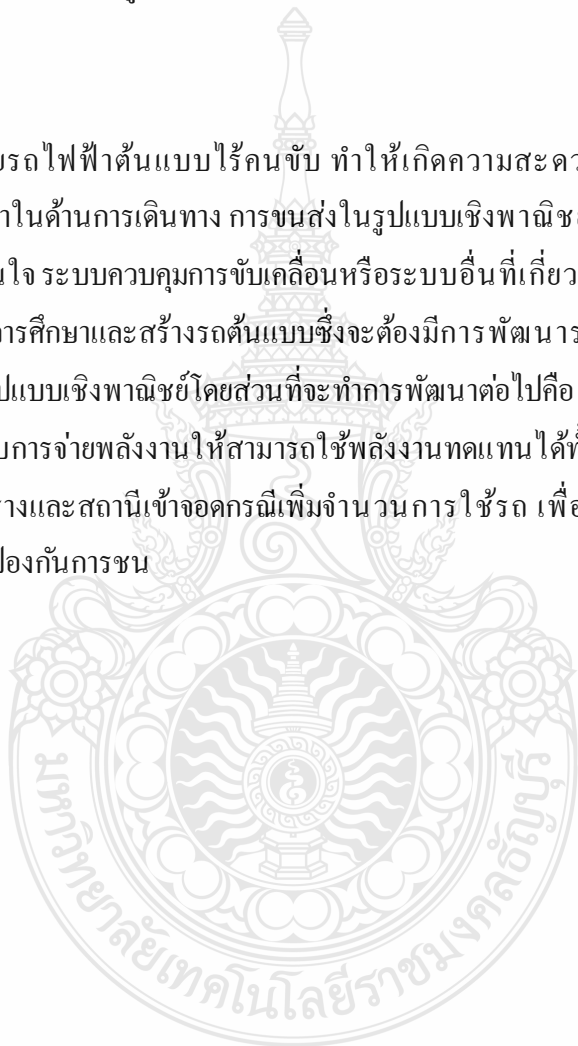
แนวทางแก้ไข ทำการปรับตั้งค่าโมเด็มการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตโดยการฟอร์เวิร์ดพอร์ตที่โมเด็มของศูนย์ควบคุมและนำค่าดีเอ็นเอส (DNS server) และค่าไอพีแอดเดรส (IP Address) ที่ได้จากศูนย์ควบคุมไปกำหนดค่าให้กับโมดูล GPRS สำหรับการติดต่อสื่อสารกับศูนย์ควบคุม

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยรถไฟฟ้าต้นแบบไร้คนขับ ทำให้เกิดความสะดวกรวดเร็วในการเดินทางสามารถนำไปพัฒนาในด้านการเดินทาง การขนส่งในรูปแบบเชิงพาณิชย์ และวิจัยต่อยอดในด้านการศึกษาสำหรับผู้สนใจ ระบบควบคุมการขับเคลื่อนหรือระบบอื่นที่เกี่ยวข้องกับรถไฟฟ้ารางเดี่ยว ซึ่งการวิจัยนี้เป็นเพียงการศึกษาและสร้างรถต้นแบบซึ่งจะต้องมีการพัฒนาระบบอื่นประกอบเพื่อให้สามารถใช้งานได้ในรูปแบบเชิงพาณิชย์โดยส่วนที่จะทำการพัฒนาต่อไปคือ

5.3.1 พัฒนาระบบการจ่ายพลังงานให้สามารถใช้พลังงานทดแทนได้ทั้งระบบ

5.3.2 พัฒนาระบบรางและสถานีเข้าจอดกรณีเพิ่มจำนวนการใช้รถ เพื่อให้เกิดความรวดเร็วและสามารถหลบหลีกเพื่อป้องกันการชน

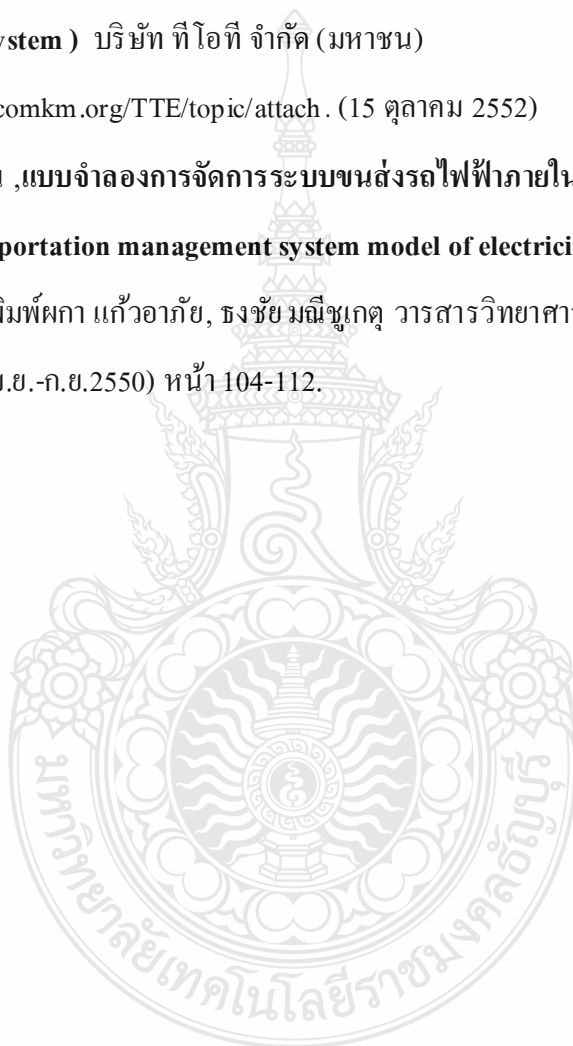


## รายการอ้างอิง

- [1] ภูวเดช แก้วมณี **รุดตันแบบไร้คนขับ** วุฒิชัย คงแก้ว, สนธิยา กาศา, อุดมศักดิ์ รัตตภูมิ,ไชยยะ  
ธนพัฒน์ศิริ ขจรศักดิ์ พงศ์ธนา หลักสูตรสาขาวิชา เทคโนโลยีโทรคมนาคม สาขาวิศวกรรม  
ไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 2549
- [2] PRT – Personal Rapid Transport – and a Telenor Involvement. EINARFLIYDAL  
,ERIKBACH,ERIKFENSTAD, JANERIKHAGELUND,UNNIHALLERAKER  
,JANORSTEEN,DANGSANNEANDERLINGWIJK,. TRB 84th Annual Meeting January  
9-13, 2005 Paper 05-0432
- [3] กุลชาติ วงศ์วรรณ .**การประยุกต์ใช้จีพีเอสกับการกำหนดเส้นทางการเดินทางเดินรถ**. ปริญญาานิพนธ์  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง 2545
- [4] B. Caulfield and M. O’Mahoney, “**An examination of the Public Transport Information  
Requirements of Users,**”IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems,vol. 8, no. 1,  
pp. 21–30, Mar 2007
- [5] อลิสา คุณานันท์ **ระบบการขับเคลื่อนรถอัจฉริยะด้วยกล้อง และระบบช่วยเหลือนำทางอื่นๆ**  
อรนุช หล่อสกุล, ชีรพงษ์ สุขจิตร, สุรธนา จันทร์จิตต์, วิชร์วิทย์ แสนสุโพธิ์,ฝนทิพย์  
ศากรวิมล Syed Saqib Hussian Shah, ชวพล ดิเรกวัฒน์ และ ผศ.ดร. จักรกฤษณ์ สุทธากรณ์  
สำนักงานเครือข่ายวิจัยประยุกต์ทางเทคโนโลยีหุ่นยนต์และชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรม  
ศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล 2549
- [6] Anttalainen Tarmo. **Introduction to telecommunication network engineering**, USA: Artech  
House, 2003.
- [7] พูนศรี วรรณการ และ ศาคร วุฒิพัฒน์พันธุ์,**ชุดจำลองรถไฟฟ้าลอยเหนือรางขับเคลื่อนในแนว  
เส้นตรงด้วยสนามแม่เหล็ก.**, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย  
เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 2545
- [8] เผด็จ แสนเกษม “**กลศาสตร์ยานยนต์**” วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา วิทยาเขตพระนคร  
กรุงเทพฯ ซีเอ็ดดูเคชั่น 2541 pp.24 –28.

- [9] Alfredo Muñoz-García, Thomas A. Lipo, Fellow, IEEE, and Donald W. Novotny, Fellow, IEEE “A New Induction Motor V/f Control Method Capable of High-Performance Regulation at Low Speeds”, **IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS**, VOL. 34, NO. 4, JULY/AUGUST 1998
- [10] Power Electronics, PWM Inverter Control Circuit, Version October 20, 2008. **Rail Transit In America, A Comprehensive Evaluation of Benefits**, By Todd Litman Victoria transport Policy Institute, 20 October 2008
- [11] Dragan Maksimovic and Robert W. Erickson, **Design and Implementation of a Digital PWM Controller for a High-Frequency Switching DC-DC Power Converter**, Aleksandar Prodic, Colorado Power Electronics Center Department of Electrical and Computer Engineering University of Colorado at Boulder Boulder, CO 80309-0425, USA, IECON'01: The 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2001
- [12] H. W. van der Broeck, H. C. Skudelny, and G. V. Stanke, “Analysis and realization of a pulsewidth modulator based on voltage space vectors,” **IEEE Trans. Ind. Applicant.**, vol. 24, pp.142-150, Feb. 1998.
- [13] วุฒิไกร วัชชังเงิน วิศวกร 8 การรถไฟแห่งประเทศไทย เอกสาร โครงการระบบขนส่งทางรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ, Railway Technology, 2552.  
<http://portal.rotfaithai.com>. (15 ตุลาคม 2552)
- [14] Anttalainen Tarmo. Introduction to telecommunication network engineering, USA: Artech House, 2003. <http://thaitelecomkm.org/TTE> (15 ตุลาคม 2552)
- [15] ศูนย์การฝึกอบรม องค์การ โทรศัพท์แห่งประเทศไทย. คู่มือช่าง โทรศัพท์เคลื่อนที่ Cellular Mobile Telephone System (เล่มที่ ๑,๒,๓)  
[http://thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/470MHz\\_Cellular\\_Mobile\\_Telephone\\_System](http://thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/470MHz_Cellular_Mobile_Telephone_System). (15 ตุลาคม 2552)
- [16] ดอนสัน ปงผาบ, การควบคุมการทำงานของรีเลย์และดีซีมอเตอร์ คัมภีร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ และการประยุกต์ใช้งาน 2. กรุงเทพฯ:สำนัก ศ.ส.ท, 2549. หน้า 57-76

- [17] ญัฐพล กล้าแข็ง , พนิดา พงษ์ไพบูลย์ และ วสันต์ ภัทรอภิกม **เทคนิคการพัฒนาโปรแกรมติดต่อ GPS บน Pocket PC เพื่อเก็บข้อมูลและรายงานสภาพจราจร(Road Traffic Data Collection from GPS on Pocket PC)**, ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ 2551. หน้า 55-65
- [18] พันธุ์ศักดิ์ อากาศจร **ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ๔๗๐ เมกกะเฮิร์ตซ์ ( 470 MHz. Cellular Mobile Telephone System )** บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน)  
<http://thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach> . (15 ตุลาคม 2552)
- [19] ภัทรพล เมืองก้อน , **แบบจำลองการจัดการระบบขนส่งรถไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัยนเรศวร Traffic transportation management system model of electricity bus in Naresuan University**, พิมพ์ภา แก้วอาภัย, ธงชัย มณีชูเกตุ วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ฉบับพิเศษ (เม.ย.-ก.ย.2550) หน้า 104-112.





ภาคผนวก



ภาคผนวก ก  
ข้อมูลจำเพาะอุปกรณ์



## ET-BASE PIC8722 (ICD2)



รูปที่ 1 ET-BASE PIC8722 (ICD2)

**ET-BASE PIC8722** คือ มอर्ड PIC รุ่นใหม่ที่ใช้กับเครื่องโปรแกรม ET-PGM PIC USB V1 หรือ V1 PLUS ที่ต่อกับ PORT USB ของเครื่องคอมพิวเตอร์ พีซี ของทาง ฮีทีที ผ่านทางมาตรฐานของบริษัท MICROCHIP บอร์ด RJ-11 (ICD2) ใช้ไมโคร PIC18F8722 เป็น MCU ประจำบอร์ด ออกแบบเป็น PCB ขนาด SIZE BASE สามารถนำไปใช้งานอิสระ หรือใช้กับมอर्ड ET-BASIC I/O V1 ก็ได้

- [ ] ใช้ MCU ไมโคร PIC18F8722-I/P, ขนาด 80 PIN TQFP TYPE
- [ ] หมายเหตุความจำแบบ FLASH 128 KBYTE, RAM 3936 BYTE, EEPROM 1024 BYTE
- [ ] RUN X' TAL ON BOARD 10MHz, สามารถตั้งให้ RUN ได้เร็วถึง 40MHz ได้ในตัว
- [ ] จำนวน I/O PORT ใช้งาน 70 BIT
- [ ] ขั้ว 10 PIN ET BUS I/O 7 ขด
- [ ] 14 PIN LCD PORT แบบ CHARACTER TYPE
- [ ] RJ-11 (ICD2) ใช้ DOWNLOAD โปรแกรมเข้าตัว MCU ด้วยชุด **ET-PGM PIC USB V1 หรือ V1 PLUS** พร้อม SW. เลือการทำงาน
- [ ] RS232 PORT 2 ขด แบบขั้ว 4 PIN ETT (ICL3232 ON BOARD)
- [ ] A TO D ขนาด 10 BIT 16 CH
- [ ] TIMER / COUNTER, PWM, WATCH DOG
- [ ] POWER SUPPLY 5VDC สามารถใช้กับชุด POWER SUPPLY ของ ETT รุ่น ET-SWITCHING ADAPTER 5V/1.2A TYPE H ( A-AP-A-00058 ราคา \* 170.- OPTION ชื่อเพิ่มเติม )
- [ ] ขนาด PCB 6.2 x 8.1 ซม. มาตรฐาน ET-BASE SIZE
- [ ] ET-BASE PIC8722 (ICD2) ประกอบด้วย มอर्ड ET-BASE PIC8722 (ICD2), แผ่น CD-ROM คู่มือโปรแกรม

ET-BASE PIC8722 (ICD2)

ETT

## ET-BASE PIC18F8722 (ICD2)

**ET-BASE PIC8722 (ICD2)** is PIC Microcontroller Board of Microchip Co., Ltd. that uses Microcontroller PIC18F8722 80-PIN TQFP to arrange devices into compact size and uses resources of Microcontroller mainly. Moreover, it is deigned to support applications with Test Board "ET-BASIC I/O".

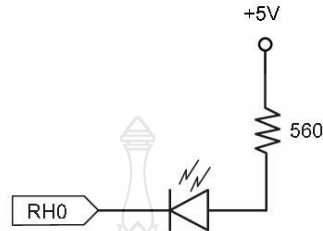
*Table shows specifications of Microcontroller PIC18F8722*

Specifications	PIC18F8722
Operating Frequency	DC - 40 MHz
Program Memory (Bytes)	128K
Data Memory (Bytes)	3936
Data EEPROM Memory (Bytes)	1024
Interrupt Sources	29
I/O Ports	Ports A, B, C, D, E, F, G, H, I
Timers	5
Capture/Compare/PWM Modules	2
Enhanced Capture/Compare/ PWM Modules	3
Enhanced USART	2
Serial Communications	MSSP, Enhanced USART
Parallel Communications (PSP)	Yes
10-bit Analog-to-Digital Module	16 Input Channels
Resets (and Delays)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT
Programmable High/Low-Voltage Detect	Yes
Programmable Brown-out Reset	Yes
Instruction Set	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled
Packages	80-pin TQFP

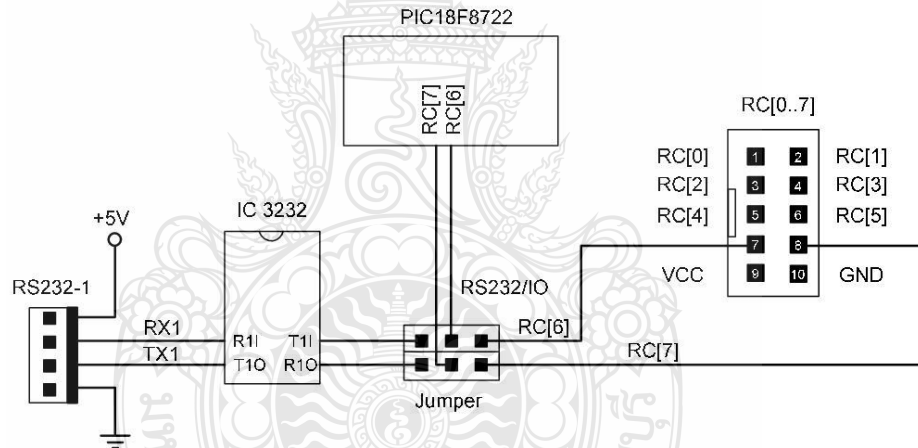
ET-BASE PIC8722 (ICD2)



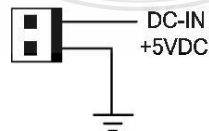
- **No.12** is PIC18F8722 Microcontroller.
- **No.13** is LED that is interfaced with RH0 Pin for writing program to test operation of board simply.



- **No.14** is Port ICD2 to download Code Program into Microcontroller and uses with external Programmer such as ET-PGMPIC USB.
- **No.15** is Jumper to select interfacing signals between I/O Pin; RC6 and RC7 and Driver MAX232.



- **No.16** is RESET Program Switch.
- **No.17** is Connector Power Supply of Board and must be interfaced with Power Supply that is not higher than 5VDC. If Power Supply is higher than 5VDC, component maybe damaged.

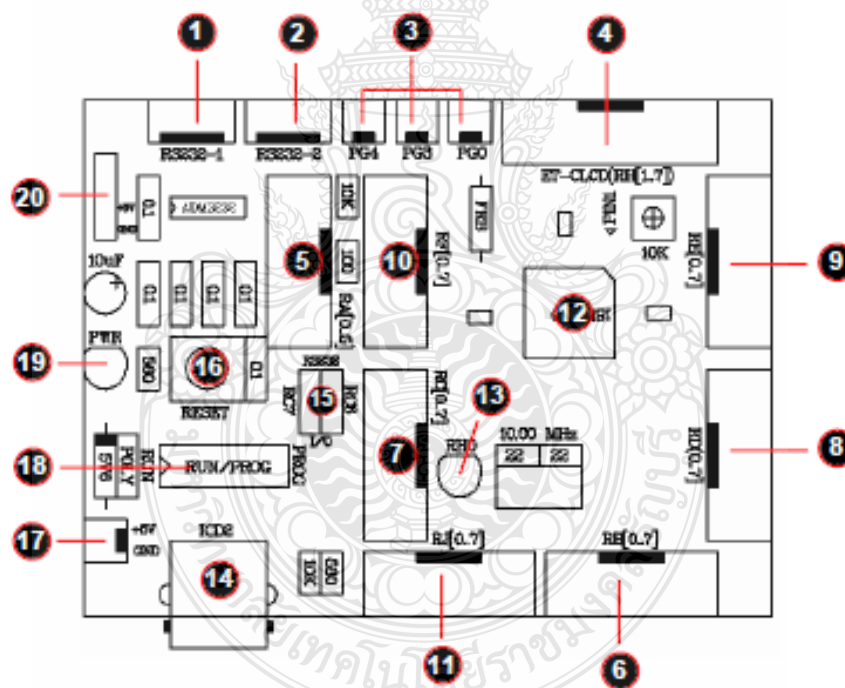




### ▪ Specifications of Board

- Support Microcontroller PIC18F8722 80 PIN
- Signal Clock Crystal Oscillator 10 MHz for PIC18F8722 (can use x4 from PLL to be 40 MHz)
- 7 I/O Port 10 PIN (be arranged under standard of ETT)
- 3 I/O Port 2 PIN
- 2 Port Driver RS232
- 1 Port LCD that is arranged under standard of ETT (ET-CLCD)
- Port Download ICD2 supports external Programmer (ET-PGMPIC USB)
- Connector VCC and GND

### Structure of Board ET-BASE PIC8722 (ICD2)



### Detailed Description

- No.1 is Connector Port RS232 the first Channel.

#### RS232-1



TXD=RC6 RXD=RC7

- No.2 is Connector Port RS232 the second Channel.

#### RS232-2

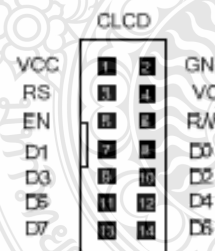


TXD=RC1 RXD=RC2

- No.3 is Connector I/O 2 PIN to interface PG0, PG3 and PG4. Its Pin arrangement is shown below.



- No. 4 is Connector LCD Display as Character 14 PIN that is arranged under standard of ETT and uses 4 data bit Interface.



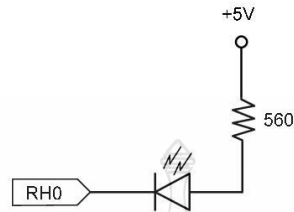
LCD	MCU
RS	RH1
R/W	RH2
EN	RH3
D0	GND
D1	GND
D2	GND
D3	GND
D4	RH4
D5	RI15
D6	RH6
D7	RH7



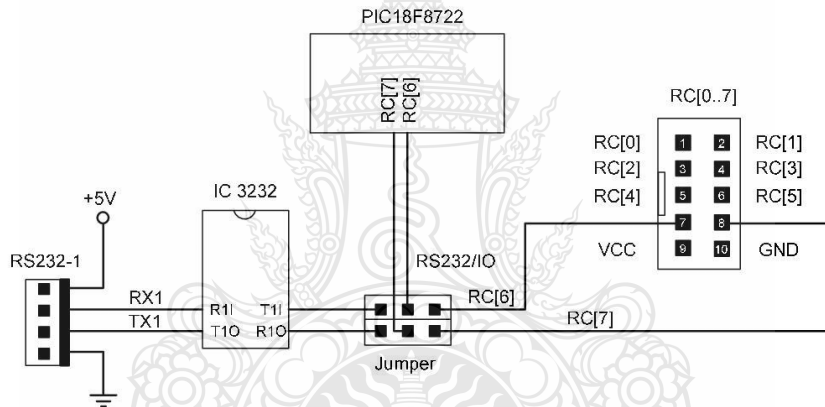
ET-BASE PIC8722 (ICD2)



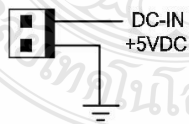
- **No.12** is PIC18F8722 Microcontroller.
- **No.13** is LED that is interfaced with RH0 Pin for writing program to test operation of board simply.

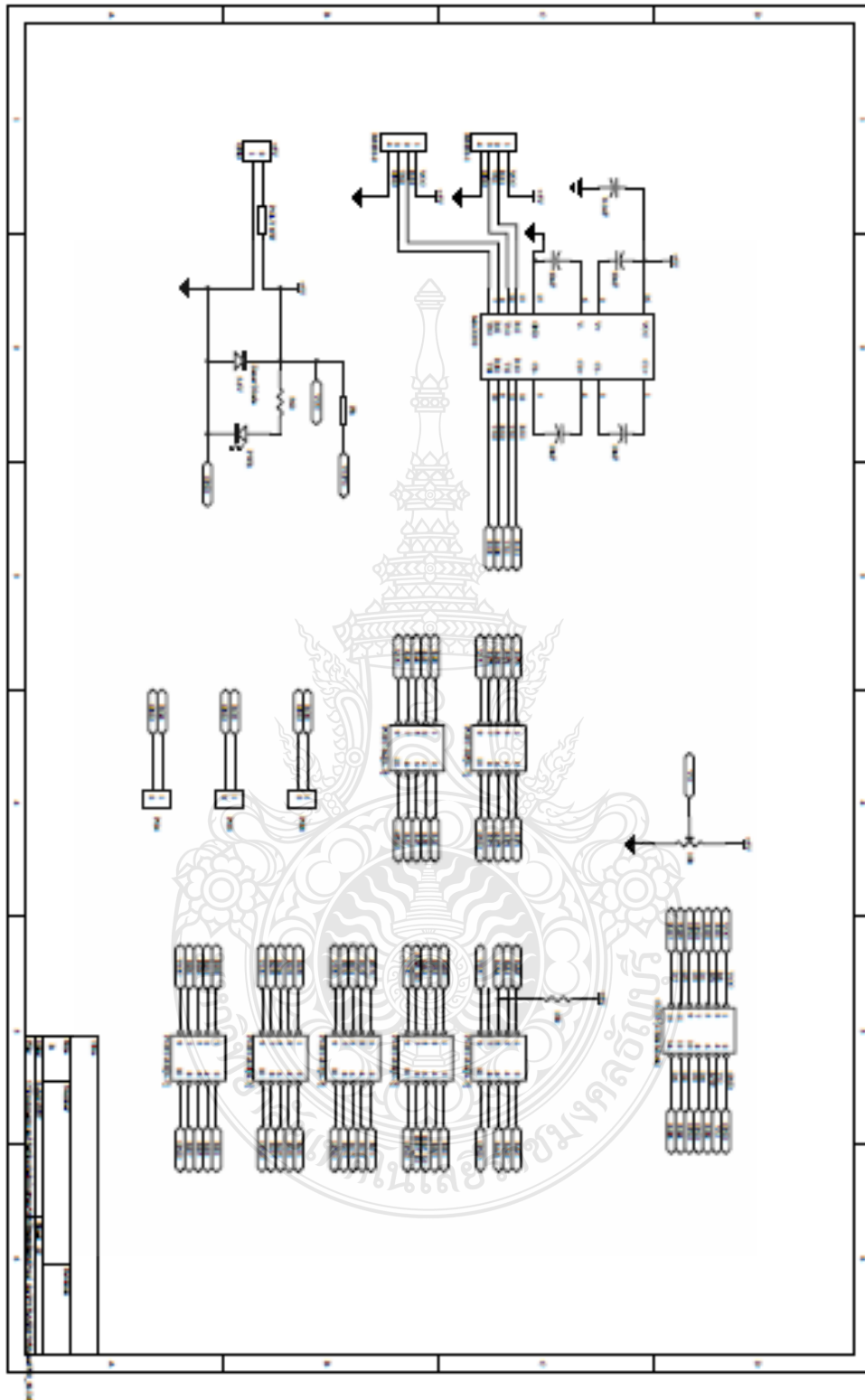


- **No.14** is Port ICD2 to download Code Program into Microcontroller and uses with external Programmer such as ET-PGMPIC USB.
- **No.15** is Jumper to select interfacing signals between I/O Pin; RC6 and RC7 and Driver MAX232.



- **No.16** is RESET Program Switch.
- **No.17** is Connector Power Supply of Board and must be interfaced with Power Supply that is not higher than 5VDC. If Power Supply is higher than 5VDC, component maybe damaged.





## GSM MODULE

# คู่มือการใช้งาน

## User's Manual

### ET-GSM SIM300CZ V1.0

www.etteam.com

**ET-GSM SIM300CZ V1.0**

**ANTENNA L-TYPE**

**SIM300CZ MODULE**

POWER : 3.4 - 4.5V.  
SLEEP MODE 2.5mA

FREQUENCY : TRI-BAND  
EGSM900  
DCS1800  
PCS1900

TRANSMIT POWER : CLASS 4 (2W)  
CLASS 1 (1W)

DATA GPRS : GPRS DATA DOWNLINK  
TRANSFER MAX.  
85.6 KBPS  
GPRS DATA UPLINK  
TRANSFER MAX.  
42.8 KBPS

SUPPORT THE PROTOCOLS PAP  
TCP/IP  
FAX : GROUP 3 CLASS 1  
SIM : SUPPORT SIM CARD 1.8, 3V

**ETT**

TRI-BAND EGSM900 DCS1800 PCS1900

**ETT** บริษัท อีทีที จำกัด **ETT CO., LTD.**

1112/96-98 ถนนสุขุมวิท แขวงพระโขนง เขตคลองเตย กรุงเทพฯ 10110 <http://www.etteam.com>

1112/96-98 Sukhumvit Rd., Phrakonong Klongtoey Bangkok 10110

<http://www.ett.co.th>

[www.etteam.com](http://www.etteam.com)

Tel : 02-7121120 Fax : 02-3917216

email : sale@etteam.com

## ET-GSM SIM300CZ

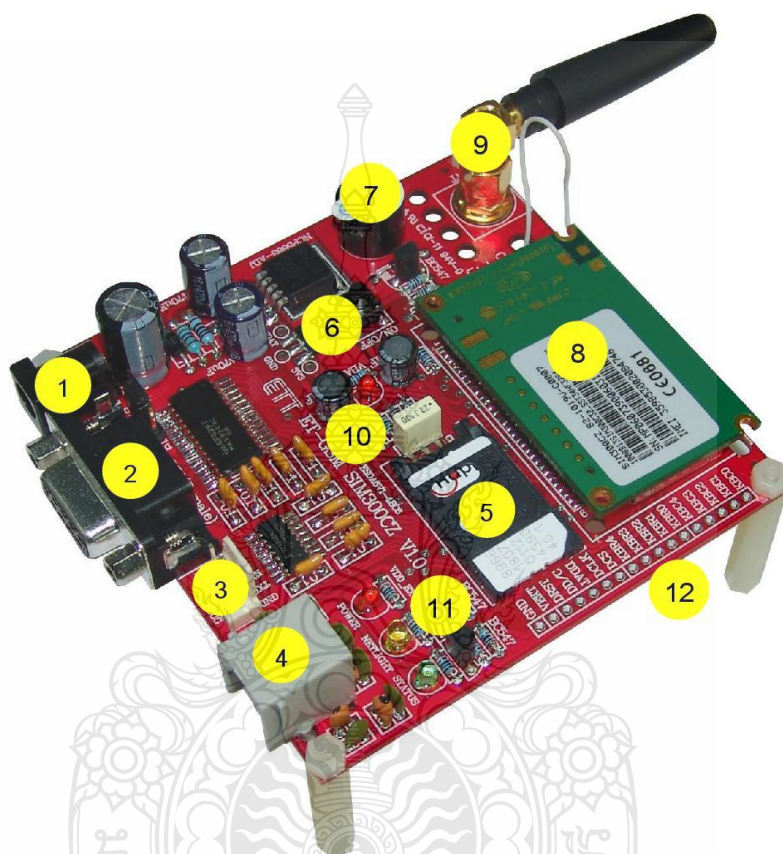


ET-GSM SIM300CZ เป็นชุดเรียนรู้และพัฒนาาระบบการสื่อสารไร้สาย โดยใช้โมดูล GSM/GPRS รุ่น SIM300CZ ของ "SIMCom Ltd." เป็นอุปกรณ์หลัก ซึ่ง SIM300CZ เป็นโมดูลสื่อสารระบบ GSM/GPRS ขนาดเล็ก รองรับระบบสื่อสาร GSM ความถี่ 900/1800/1900MHz โดยส่งงานผ่านทางพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS232 ด้วยชุดคำสั่ง AT Command สามารถประยุกต์ใช้งานได้มากมายหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นการรับส่งสัญญาณแบบ Voice, SMS, Data, FAX และยังรวมถึงการสื่อสารด้วย Protocol TCP/IP ด้วย ซึ่งตามปกติแล้ว ถึงแม้ว่าโมดูล SIM300CZ จะมีวงจร และ Firmware บรรจุไว้ภายในตัวเป็นที่เรียบร้อยแล้วก็ยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้โดยตรงทันที เนื่องจากในการใช้งานจริงนั้น ผู้ใช้งานเองจำเป็นต้องออกแบบวงจรรอบนอกที่จำเป็นมาเชื่อมต่อกับขาสัญญาณของตัวโมดูลอีกในบางส่วน ไม่ว่าจะเป็นวงจรภาค Power Supply, วงจรเชื่อมต่อกับ SIM Card รวมไปถึงวงจร Line Driver ของ RS232 เป็นต้น ดังนั้นทางทีมงาน อีทีที จึงได้จัดสร้างบอร์ดสำหรับเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อระหว่างโมดูล SIM300CZ กับอุปกรณ์ภายนอก เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถนำโมดูล GSM ของ SIM300CZ ไปทำการทดลองและศึกษาเรียนรู้การสั่งงานต่างๆ ได้โดยสะดวก ก่อนที่จะนำเอาโมดูลตัวนี้ไปออกแบบตัดแปลงและประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ได้ต่อไปในอนาคต ซึ่งถึงแม้ว่าวงจรการเชื่อมต่อทั้งหมดที่ทาง อีทีที ได้จัดทำขึ้นมาจะยังไม่สามารถรองรับการใช้งานทรัพยากรต่างๆ ที่มีอยู่ภายในโมดูลได้ครบถ้วนทั้งหมดก็ตามที แต่ในส่วนของการใช้งานโมดูลในส่วนที่เป็นความสามารถหลักๆ ที่จำเป็นนั้น มีไว้รองรับอย่างครบถ้วนเพียงพอแล้ว

อย่างไรก็ตามถ้าผู้ใช้งาน ต้องการพัฒนา Application ที่สูงขึ้นไป ก็สามารถประยุกต์ตัดแปลงหรือทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์เพิ่มเติมให้กับบอร์ดได้โดยง่าย ทั้งนี้ก็เพราะว่าขาสัญญาณต่างๆ จากโมดูล ในส่วนที่ยังไม่ได้ทำการออกแบบวงจรเตรียมไว้ให้ภายในบอร์ด เช่น ขาสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับ Keyboard , LCD Display และ GPIO ต่างๆ นั้น ทางอีทีที เองก็ได้จัดทำเป็นจุดต่อ Connector เตรียมไว้ให้เป็นที่เรียบร้อยแล้วผู้ใช้เพียงแต่ทำการเชื่อมต่อสัญญาณต่างๆ จากจุดเชื่อมต่อที่เตรียมไว้ไปยังวงจรส่วนที่ได้ทำการออกแบบไว้ได้โดยสะดวกอยู่แล้ว



## โครงสร้างของบอร์ด ET-GSM SIM300CZ V1.0



- หมายเลข 1 เป็น JACK DC-IN แบบมีขั้ว โดยมีด้านนอกเป็นขั้วบวก และด้านในเป็น GND ใช้สำหรับรับแหล่งจ่ายไฟจากภายนอกโดยออกแบบให้ใช้กับ แหล่งจ่ายไฟขนาด 5V ขึ้นไปที่จ่ายกระแสได้ 1A ถึง 3A
- หมายเลข 2 เป็น ขั้วต่อ RS232(DCE) แบบ DB9 ตัวเมีย สำหรับใช้เชื่อมต่อกับสัญญาณ RS232(DTE) แบบ DB9 ตัวผู้ จากคอมพิวเตอร์ PC หรืออุปกรณ์ภายนอกอื่นๆ โดยใช้สาย 9 Pin แบบต่อตรง

- **หมายเลข 3** เป็น ขั้วต่อ DEBUG ใช้สำหรับพัฒนา และ DEBUG โปรแกรม สำหรับต่อกับ RS232 ในกรณีที่ต้องการพัฒนาโปรแกรมเพิ่มเติมให้กับโมดูล SIM300CZ เอง
- **หมายเลข 4** เป็น ขั้วต่อ RJ11 สำหรับใช้เชื่อมต่อกับชุด Handset ในกรณีที่ต้องการใช้งานโมดูล SIM300CZ เพื่อโทรออกและรับสาย โดยสามารถเชื่อมต่อกับ Handset มาตรฐานได้ทั่วไป
- **หมายเลข 5** เป็น Socket สำหรับติดตั้ง SIM Card ให้กับโมดูล
- **หมายเลข 6** เป็น Switch Push-Button สำหรับใช้ Power-On และ Power-OFF ตัวโมดูล
- **หมายเลข 7** เป็น Buzzer สำหรับสร้างเสียงเรียกเข้าในกรณีที่มีการโทรเข้ามายังโมดูล SIM300CZ
- **หมายเลข 8** เป็น จุดรองรับโมดูล SIM300CZ พร้อมเสาและสกรูสำหรับยึดโมดูลกับบอร์ด
- **หมายเลข 9** เป็น จุดยึด Connector เสาอากาศ GSM/GPRS ย่านความถี่ 900/1800/1900MHz
- **หมายเลข 10** เป็น LED แสดงแหล่งจ่าย VBAT โดยจะติดสว่างเมื่อมีการจ่ายไฟให้บอร์ดแล้ว
- **หมายเลข 11** เป็น LED แสดงสถานะของบอร์ด ซึ่งมีด้วยกัน 3 ดวงคือ
  - POWER สีแดง จะติดสว่าง เมื่อโมดูลอยู่ในสถานะ Power-ON
  - NETLIGHT สีเหลือง จะกะพริบเมื่อโมดูลอยู่ในสถานะ Power-ON
  - STATUS สีเขียว จะติดสว่างเมื่อโมดูลอยู่ในสถานะ Power-ON
- **หมายเลข 12** เป็น จุดต่อสัญญาณเพิ่มเติมในกรณีที่ต้องการประยุกต์ใช้งานโมดูลเพิ่มเติม

#### คุณสมบัติของโมดูล SIM300CZ

- รองรับความถี่ GSM/GPRS 900/1800/1900MHz
- รองรับ GPRS Multi-Slot Class10 และ GPRS Mobile Station Class B
- รองรับมาตรฐานคำสั่ง AT Command (GSM 07.07 / 07.05 และคำสั่งเพิ่มเติมจาก SIMCOM)
- รองรับ SIM Applications Toolkit
- ทำงานที่ย่านแรงดัน 3.4V ถึง 4.5V
- รองรับการเชื่อมต่อภายนอก
  - ใช้ได้กับ SIM 3V และ 1.8V
  - มีวงจร Analog Audio (MIC & Speaker) จำนวน 2 ชุด
  - รองรับ 5x5 Keypad Interface & SPI LCD Interface
  - มีระบบ RTC หรือวงจร Backup
  - มีขั้วต่อเสาอากาศภายนอกแบบ Connector และจุดเชื่อมต่อแบบ PAD
  - มีระบบ Battery Charge ในตัว

## ตัวอย่างการใช้งาน AT Command เพื่อสั่งงานโมดูล SIM300CZ

โมดูล GSM/GPRS รุ่น SIM300CZ ถูกออกแบบให้ทำหน้าที่เหมือน Modem โดยจะใช้การติดต่อสั่งงานและสื่อสารกับโมดูล ผ่านทางพอร์ตสื่อสาร RS232 รองรับ Baudrate ตั้งแต่ 1200-115200 BPS โดยใช้ชุดคำสั่งแบบ AT Command ซึ่งจะมีรูปแบบการใช้งานเหมือนกับ Modem มาตรฐานทั่วไป เพียงแต่จะมีการเพิ่มเติม Option และคำสั่งพิเศษอื่นๆเพิ่มเติมขึ้นมาอีก เพื่อให้เหมาะสมและสอดคล้องกับความสามารถในการทำงานของโมดูลได้อย่างครบถ้วน

สำหรับรายละเอียดการใช้งานคำสั่ง AT Command ที่จะใช้ สำหรับติดต่อสั่งงานโมดูล SIM300CZ ไม่ว่าจะเป็น รูปแบบคำสั่ง และ หน้าที่การทำงานของแต่ละคำสั่ง ผู้ใช้สามารถศึกษารายละเอียดต่างๆได้จากคู่มือคำสั่ง AT Command (ไฟล์เอกสารชื่อ SIM300C\_ATC\_V1.06.PDF) ในแผ่น CD-ROM ซึ่งในที่นี้จะขอแนะนำถึงวิธีการและรูปแบบการใช้งานคำสั่งแบบย่อๆ แบบพอสังเขป เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้เริ่มต้นได้ใช้เป็นแนวทางและประกอบความเข้าใจในการศึกษาการทำงานคำสั่งต่างๆต่อไป โดยรูปแบบของคำสั่งต่างๆที่เป็น AT Command นั้น จะเริ่มต้นคำสั่งด้วยรหัส ASCII ของตัวอักษร 2 ตัว คือ "A" และ "T" ซึ่งจะใช้ตัวอักษรแบบพิมพ์เล็ก หรือ พิมพ์ใหญ่ก็ได้ มีความหมายเหมือนกัน จากนั้นก็จะตามด้วยรหัสคำสั่ง และ Option ต่างๆของคำสั่ง(ถ้ามี) โดยทุกๆคำสั่งจะต้องจบด้วยรหัส Enter หรือ ODH (13) เสมอ เช่นคำสั่ง รีเซ็ต จะใช้รูปแบบคำสั่งเป็น "ATZ" หรือ "atz" ก็สามารถใช้งานได้ถูกต้องเหมือนกัน โดยรูปแบบคำสั่งทั้งหมดจะแบ่งออกเป็น 4 แบบด้วยกัน คือ

การใช้งาน	รูปแบบคำสั่ง	รายละเอียด
ทดสอบคำสั่ง	AT+<x>=?	รูปแบบการใช้คำสั่งแบบนี้ จะใช้สำหรับสั่งอ่านค่ารูปแบบและพารามิเตอร์ต่างๆของคำสั่ง โดยถ้าคำสั่งนั้นเมื่ออยู่จริง โมดูลจะตอบรับด้วยการพิมพ์ค่าของพารามิเตอร์ต่างๆของคำสั่งที่มีอยู่ทั้งหมดให้ทราบ
อ่านค่าพารามิเตอร์	AT+<x>?	รูปแบบการใช้คำสั่งแบบนี้ จะใช้สำหรับสั่งอ่านค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้แล้วของคำสั่งนั้นๆ โดยโมดูลจะตอบรับด้วยการพิมพ์ค่าพารามิเตอร์ปัจจุบันที่กำหนดไว้แล้วให้ทราบ
กำหนดค่าการทำงาน	AT+<x>=<...>	รูปแบบการใช้คำสั่งแบบนี้ จะใช้สำหรับสั่งเขียนหรือกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับคำสั่ง เช่น การกำหนดค่า Baudrate
สั่งให้ทำงาน	AT+<x>	รูปแบบการใช้คำสั่งแบบนี้ จะใช้สำหรับสั่งงานให้โมดูลปฏิบัติตามคำสั่งที่ต้องการ เช่น การรีเซ็ต (ATZ)

ตารางแสดง รูปแบบการใช้งาน AT Command (เมื่อ <x> คือ รหัสคำสั่ง)

ABB machinery drives

User's manual  
ACS355 drives



Power and productivity  
for a better world™ **ABB**



## 3

## Operation principle and hardware description

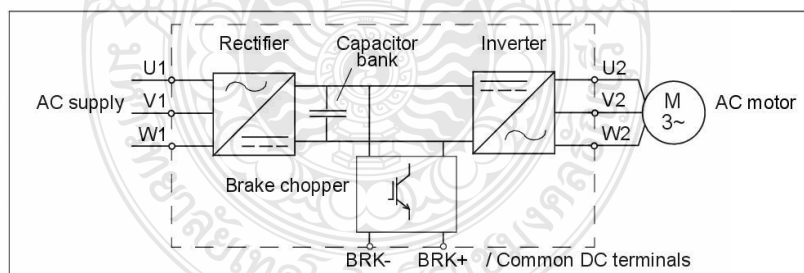
### What this chapter contains

The chapter briefly describes the operation principle, layout, type designation label and type designation information. It also shows a general diagram of power connections and control interfaces.

### Operation principle

The ACS355 is a wall or cabinet mountable drive for controlling asynchronous AC induction motors and permanent magnet synchronous motors.

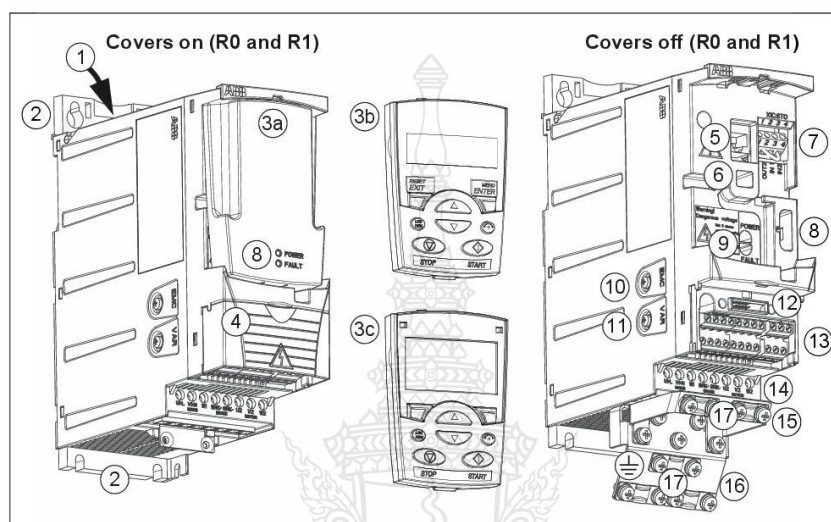
The figure below shows the simplified main circuit diagram of the drive. The rectifier converts three-phase AC voltage to DC voltage. The capacitor bank of the intermediate circuit stabilizes the DC voltage. The inverter converts the DC voltage back to AC voltage for the AC motor. The brake chopper connects the external brake resistor to the intermediate DC circuit when the voltage in the circuit exceeds its maximum limit.



## Product overview

### Layout

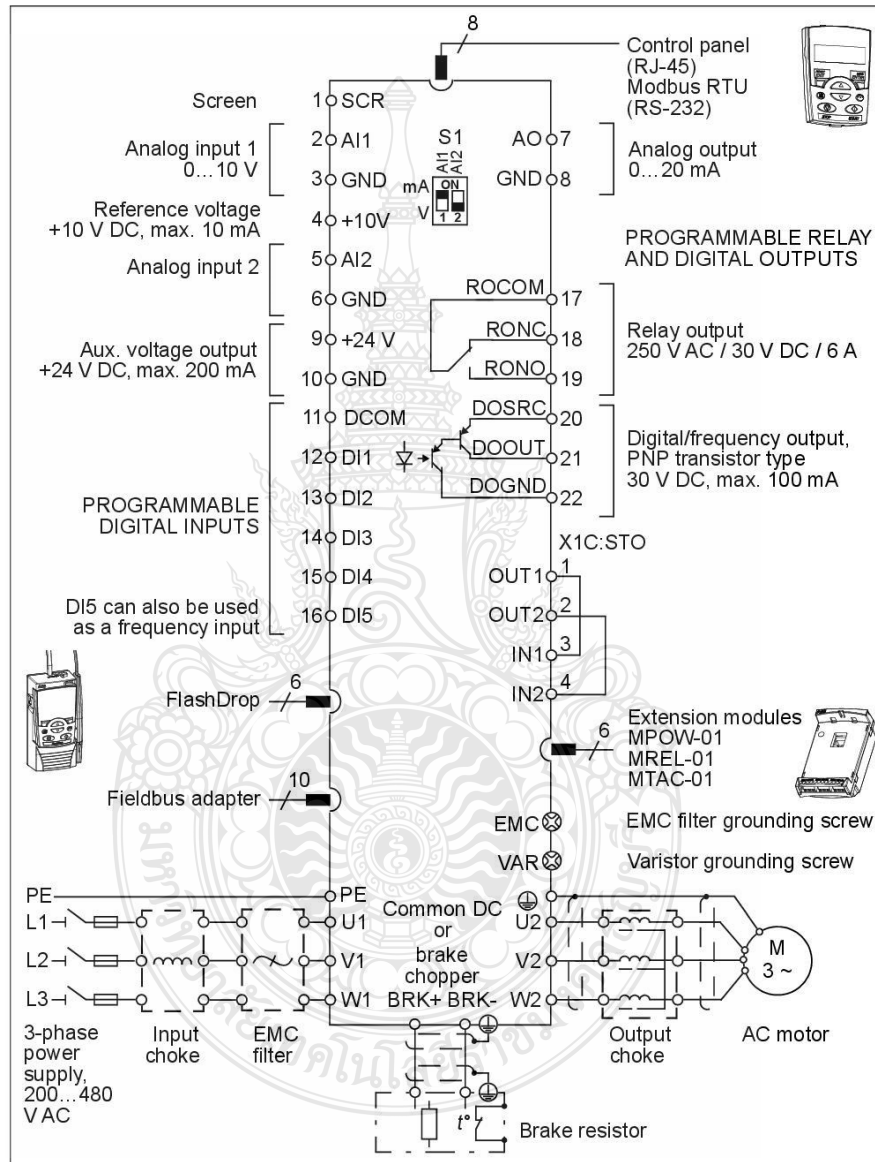
The layout of the drive is presented below. The construction of the different frame sizes R0...R4 varies to some extent.



1	Cooling outlet through top cover	10	EMC filter grounding screw (EMC). <b>Note:</b> The screw is on the front in frame size R4.
2	Mounting holes	11	Varistor grounding screw (VAR)
3	Panel cover (a) / basic control panel (b) / assistant control panel (c)	12	Fieldbus adapter (serial communication) connection
4	Terminal cover (or optional potentiometer unit MPOT-01)	13	I/O connections
5	Panel connection	14	Input power connection (U1, V1, W1), brake resistor connection (BRK+, BRK-) and motor connection (U2, V2, W2).
6	Option connection	15	I/O clamping plate
7	STO (Safe torque off) connection	16	Clamping plate
8	FlashDrop connection	17	Clamps
9	Power OK and Fault LEDs. See section <a href="#">LEDs</a> on page 370.		

**Overview of power and control connections**

The diagram gives an overview of connections. I/O connections are parameterable. See chapter [Application macros](#) on page 111 for I/O connections for the different macros and chapter [Electrical installation](#) on page 49 for installation in general.

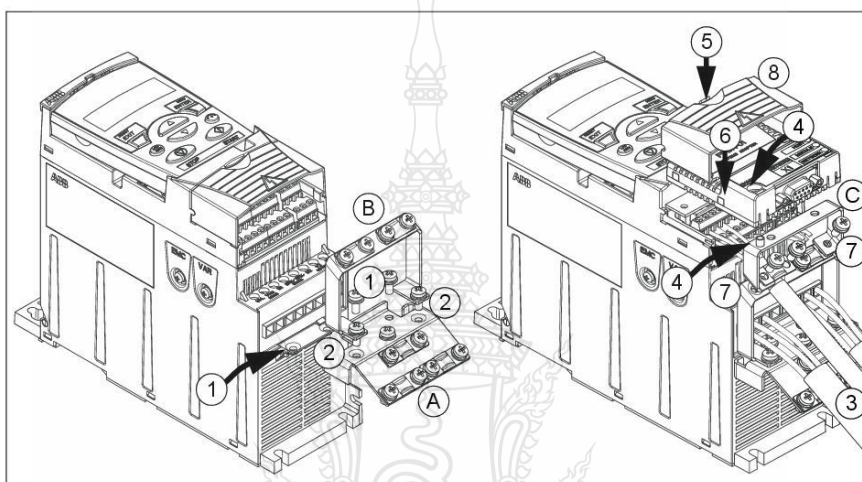


## 38 Mechanical installation

## ■ Fasten clamping plates

**Note:** Make sure that you do not throw the clamping plates away as they are required for proper grounding of the power and control cables as well as the fieldbus option.

1. Fasten the clamping plate (A) to the plate at the bottom of the drive with the provided screws.
2. For frame sizes R0...R2, fasten the I/O clamping plate (B) to the clamping plate with the provided screws.



## ■ Attach the optional fieldbus module

1. Connect the power and control cables as instructed in chapter [Electrical installation](#) on page 49.
2. Place the fieldbus module on the option ground plate (C) and tighten the grounding screw on the left corner of the fieldbus module. This fastens the module to the option ground plate (C).
3. If the terminal cover is not already removed, push the recess in the cover and simultaneously slide the cover off the frame.
4. Snap the fieldbus module attached to the option ground plate (C) in position so that the module is plugged to the connection on the drive front and the screw holes in the option ground plate (C) and the I/O clamping plate (B) are aligned.
5. Fasten the option ground plate (C) to the I/O clamping plate (B) with the provided screws.
6. Slide the terminal cover back in place.



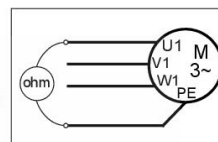
## 50 Electrical installation

### Motor and motor cable

Check the insulation of the motor and motor cable as follows:

1. Check that the motor cable is connected to the motor and disconnected from the drive output terminals U2, V2 and W2.

2. Measure the insulation resistance between each phase conductor and the Protective Earth conductor using a measuring voltage of 500 V DC. The insulation resistance of an ABB motor must exceed 100 Mohm (reference value at 25 °C or 77 °F). For the insulation resistance of other motors, please consult the manufacturer's instructions.



**Note:** Moisture inside the motor casing will reduce the insulation resistance. If moisture is suspected, dry the motor and repeat the measurement.

### Checking the compatibility with IT (ungrounded) and corner-grounded TN systems

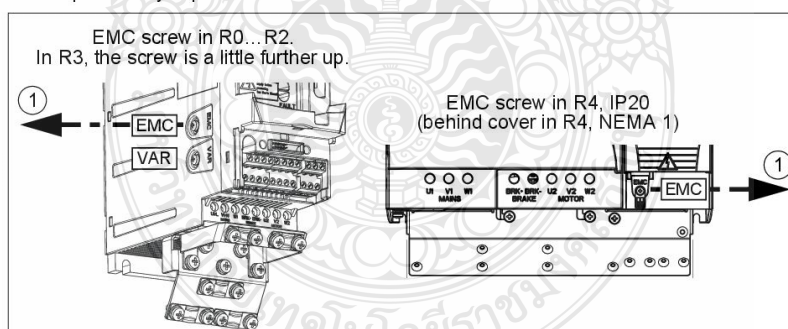
**WARNING!** Disconnect the internal EMC filter when installing the drive on an IT system (an ungrounded power system or a high-resistance-grounded [over 30 ohms] power system), otherwise the system will be connected to ground potential through the EMC filter capacitors. This may cause danger or damage the drive.

Disconnect the internal EMC filter when installing the drive on a corner-grounded TN system, otherwise the drive will be damaged

**Note:** When the internal EMC filter is disconnected, the drive is not EMC compatible without an external filter.

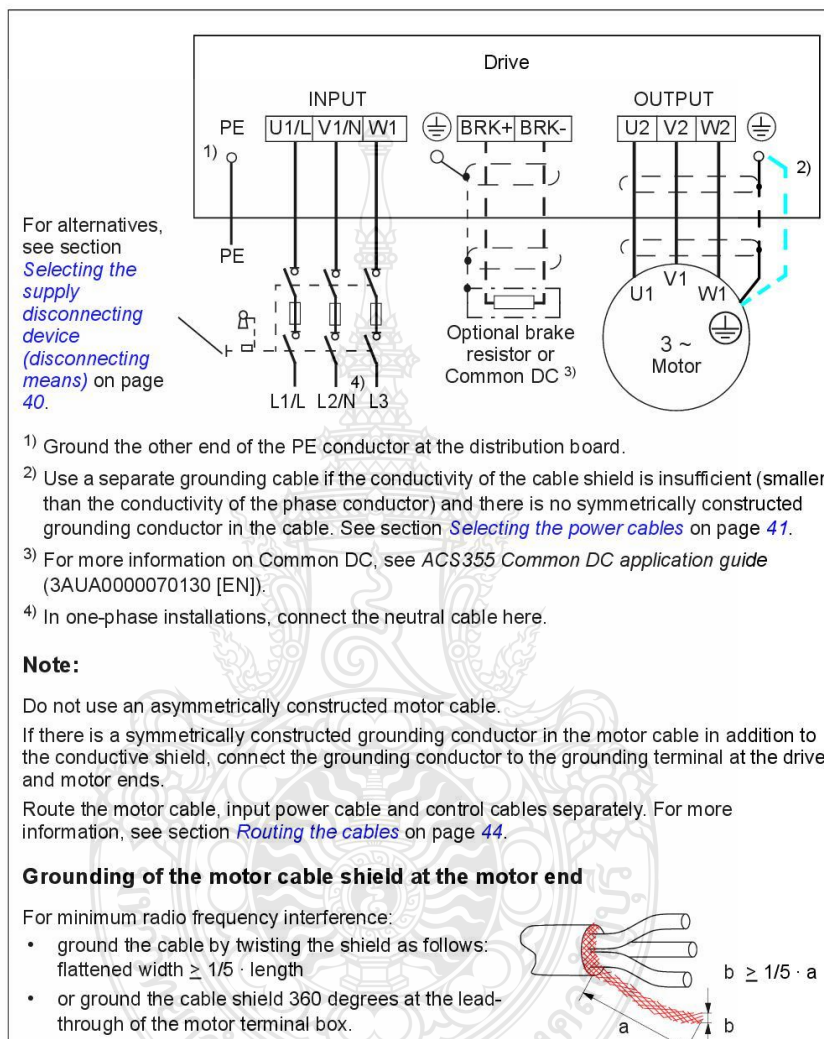


1. If you have an IT (ungrounded) or corner-grounded TN system, disconnect the internal EMC filter by removing the EMC screw. For 3-phase U-type drives (with type designation ACS355-03U-), the EMC screw is already removed at the factory and replaced by a plastic one.



## Connecting the power cables

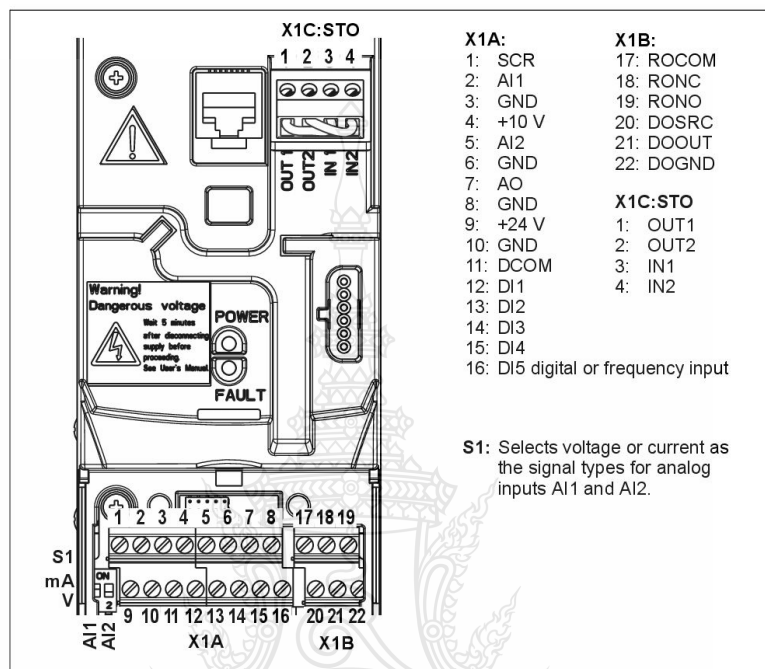
### ■ Connection diagram



### Connecting the control cables

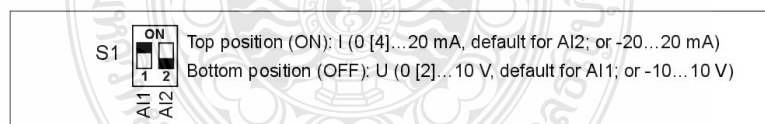
#### I/O terminals

The figure below shows the I/O terminals. Tightening torque is 0.4 N·m / 3.5 lbf·in.



#### Voltage and current selection for analog inputs

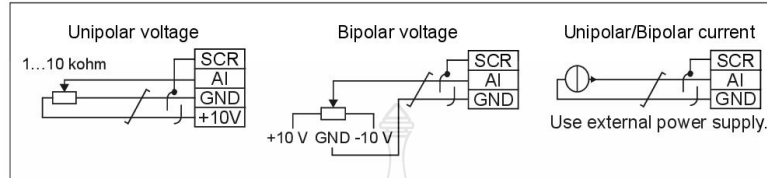
Switch S1 selects voltage (0 [2]... 10 V / -10... 10 V) or current (0 [4]... 20 mA / -20... 20 mA) as the signal types for analog inputs AI1 and AI2. The factory settings are unipolar voltage for AI1 (0 [2]... 10 V) and unipolar current for AI2 (0 [4]... 20 mA), which correspond to the default usage in the application macros. The switch is located to the left of I/O terminal 9 (see the I/O terminal figure above).



54 Electrical installation

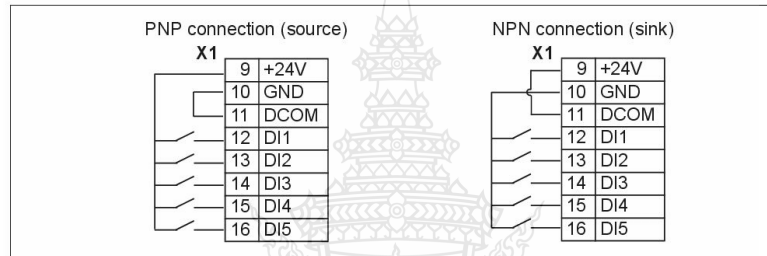
**Voltage and current connection for analog inputs**

Bipolar voltage (-10...10 V) and current (-20...20 mA) are also possible. If a bipolar connection is used instead of a unipolar one, see section [Programmable analog inputs](#) on page 135 for how to set parameters accordingly.



**PNP and NPN configuration for digital inputs**

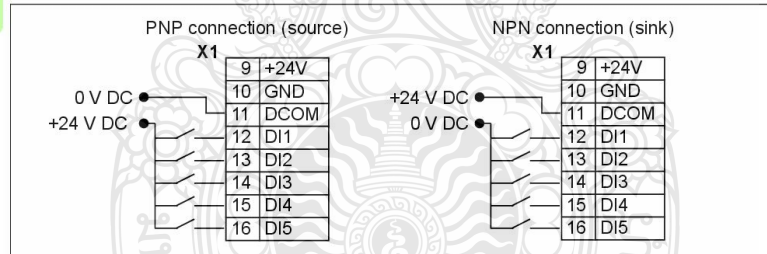
You can wire the digital input terminals in either a PNP or NPN configuration.



**External power supply for digital inputs**



For using an external +24 V supply for the digital inputs, see the figure below.



**Frequency input**

If DI5 is used as a frequency input, see section [Frequency input](#) on page 138 for how to set parameters accordingly.



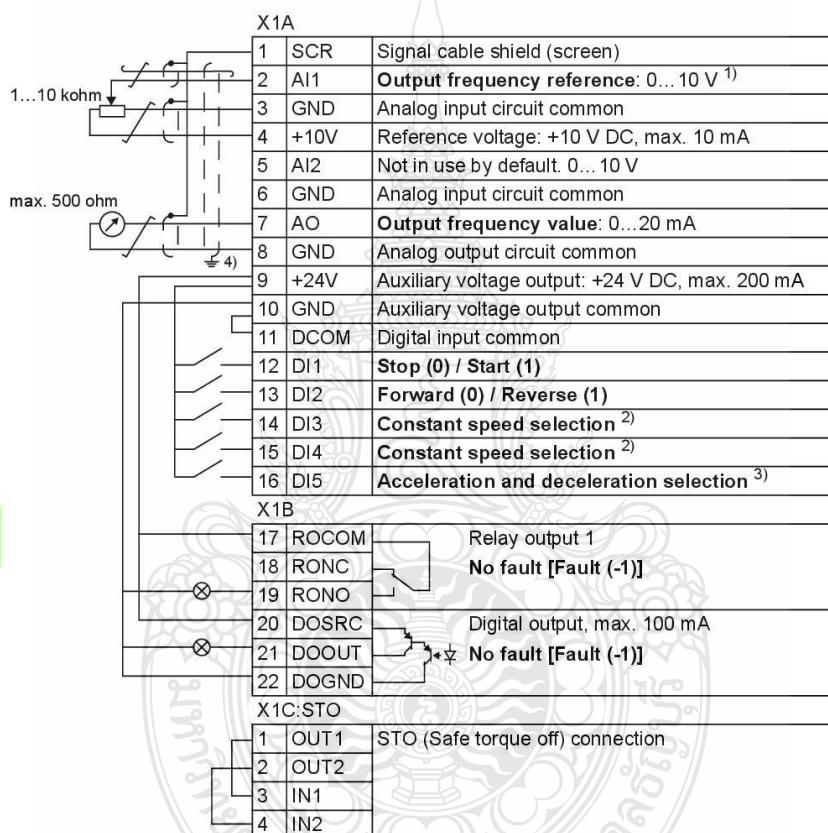
## 56 Electrical installation

### ■ Default I/O connection diagram

The default connection of the control signals depends on the application macro in use, which is selected with parameter [9902 APPLIC MACRO](#).

The default macro is the ABB standard macro. It provides a general purpose I/O configuration with three constant speeds. Parameter values are the default values given in section [Default values with different macros](#) on page 182. For information on other macros, see chapter [Application macros](#) on page 111.

The default I/O connections for the ABB standard macro are given in the figure below.





ภาคผนวก ข

โปรแกรมภาษาซีที่ใช้ในการเขียน

## Source Code ของการรับสัญญาณจาก Sensor แล้วควบคุมการทำงานด้วยคอนโทรลเลอร์เพื่อสั่งให้ โมดูลทำงาน

```

#include <18f8720.h> // เรียกค่าที่เกี่ยวกับ IC
#include <string.h> // เรียกค่าเกี่ยวกับ อักขระ
#define HS,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP
#define delay(clock=6000000) // ตั้งค่าความเร็ว CPU ของ IC
#define rs232(baud=9600,xmit=pin_g1,rcv=pin_g2, stream = GPRS,bits=8,errors) // ประกาศการใช้งาน RS232 ทางพอร์ต G1, G2

#define Enter 0x0d
#define ctrlJ 0x0a
#define ctrlZ 0x1a

void setmicro() // เริ่มฟังก์ชันตั้งค่าโมดูล
{
    printf("at+ifc=1,1%c%c", Enter, ctrlJ);
    delay_ms(500);
    printf("at+csclk=0%c%c", Enter, ctrlJ);
    delay_ms(500);
} // สิ้นสุดฟังก์ชันตั้งค่าโมดูล

void config() // เริ่มฟังก์ชันตั้งค่าโมดูลเพื่อเปิดใช้งาน GPRS
{
    printf("at+creg=1%c%c", Enter, ctrlJ);
    delay_ms(500);
    printf("at+cgdcont=1,\"IP\", \"www.dtac.co.th\"%c%c", Enter, ctrlJ);
    delay_ms(500);
    printf("at+cstt=\"www.dtac.co.th\"%c%c", Enter, ctrlJ);
    delay_ms(500);
    printf("at+ciicr%c%c", Enter, ctrlJ);
    delay_ms(7000);
    printf("at+cifsr%c%c", Enter, ctrlJ);
    delay_ms(500);
    printf("at+cdnsfcfg=\"203.155.33.1\", \"202.44.144.33\"%c%c", Enter, ctrlJ);
    delay_ms(500);
}

```

```

printf("at+cdnsorip=1%%c%%c", Enter, ctrlJ);
delay_ms(500);
printf("at+cipstatus%%c%%c", Enter, ctrlJ);
delay_ms(500);
} // สิ้นสุดฟังก์ชันการตั้งค่าโมดูลเพื่อเปิดใช้งาน GPRS

void connectserver() // เริ่มฟังก์ชันติดต่อกับเครื่องเครื่องศูนย์กลาง
{
printf("at+cipstart="TCP","rtmms.no-ip.info","35215"%%c%%c", Enter, ctrlJ);
delay_ms(8000);
} // สิ้นสุดฟังก์ชันติดต่อกับเครื่องเครื่องศูนย์กลาง

void main() // ฟังก์ชันหลัก
{
int check, i; i = 1; // ประกาศตัวแปร i มีค่าเท่ากับ 1
output_toggle(pin_h0); // จ่ายไฟออกทางขา H0 เพื่อตรวจสอบสถานะไมโครคอนโทรลเลอร์
output_high(PIN_A0); // จ่ายไฟออกทางขา A0 เพื่อเช็คสถานะเซ็นเซอร์
setmicro(); // เรียกใช้งานฟังก์ชันตั้งค่าโมดูล
config(); // เรียกใช้งานฟังก์ชันตั้งค่าโมดูลเพื่อเปิดใช้งาน GPRS
connectserver(); // เรียกใช้งานฟังก์ชันติดต่อกับเครื่องเครื่องศูนย์กลาง

printf("at+cipsend%%c%%c", Enter, ctrlJ); // คำสั่งโมดูลเพื่อเริ่มส่งข้อความ
delay_ms(500); // หน่วงเวลา 0.5 วินาที
printf("%d*8%%c%%c",i ,ctrlZ ,ctrlJ); // คำสั่งโมดูลส่งข้อความ
output_high(PIN_D0); // จ่ายไฟออกทางขา D0 ให้รถไฟฟ้าเดินหน้า

i++, check = 1; // เพิ่มค่า i ขึ้น 1 และให้ check มีค่าเท่ากับ 1
while(1){ // เริ่มการวนลูปเพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงาน
if(input(PIN_A1)==1) // เช็คค่าเซ็นเซอร์ที่ขา A1
{
if(input(PIN_A2)==0) // เช็คค่าเซ็นเซอร์ที่ขา A2
{
if(check < 6) // เช็คค่า check ว่าน้อยกว่า 6 หรือไม่
{

```



```

Private Sub Timer2_Timer()
    Select Case StrvalueC
    Case 1
        station1.FillColor = &HFF&
        station2.FillColor = &HFFFFFF
        station3.FillColor = &HFFFFFF
        station4.FillColor = &HFFFFFF
        station5.FillColor = &HFFFFFF
        station6.FillColor = &HFFFFFF
        Timer2.Enabled = False
        Timer3.Enabled = True
    Case 2
        station1.FillColor = &HFFFFFF
        station2.FillColor = &HFF&
        station3.FillColor = &HFFFFFF
        station4.FillColor = &HFFFFFF
        station5.FillColor = &HFFFFFF
        station6.FillColor = &HFFFFFF
        Timer2.Enabled = False
        Timer3.Enabled = True
    Case 3
        station1.FillColor = &HFFFFFF
        station2.FillColor = &HFFFFFF
        station3.FillColor = &HFF&
        station4.FillColor = &HFFFFFF
        station5.FillColor = &HFFFFFF
        station6.FillColor = &HFFFFFF
        Timer2.Enabled = False
        Timer3.Enabled = True
    Case 4
        station1.FillColor = &HFFFFFF
        station2.FillColor = &HFFFFFF
        station3.FillColor = &HFFFFFF
        station4.FillColor = &HFF&
        station5.FillColor = &HFFFFFF

```

```

; เมื่อ Time2 ทำงาน
; ตรวจสอบทางเลือกให้ StrvalueC
; เมื่อ StrvalueC เท่ากับ 1
; กำหนดให้สถานี 1 เป็นสีแดง
; กำหนดให้สถานี 2 เป็นสีขาว
; กำหนดให้สถานี 3 เป็นสีขาว
; กำหนดให้สถานี 4 เป็นสีขาว
; กำหนดให้สถานี 5 เป็นสีขาว
; กำหนดให้สถานี 6 เป็นสีขาว
; หยุดการทำงาน Time2
; เริ่มการทำงาน Time3
; เมื่อ StrvalueC เท่ากับ 2
; กำหนดให้สถานี 1 เป็นสีขาว
; กำหนดให้สถานี 2 เป็นสีแดง
; กำหนดให้สถานี 3 เป็นสีขาว
; กำหนดให้สถานี 4 เป็นสีขาว
; กำหนดให้สถานี 5 เป็นสีขาว
; กำหนดให้สถานี 6 เป็นสีขาว
; หยุดการทำงาน Time2
; เริ่มการทำงาน Time3

```

```
station6.FillColor = &HFFFFFF
```

```
Timer2.Enabled = False
```

```
Timer3.Enabled = True
```

```
Case 5
```

```
station1.FillColor = &HFFFFFF
```

```
station2.FillColor = &HFFFFFF
```

```
station3.FillColor = &HFFFFFF
```

```
station4.FillColor = &HFFFFFF
```

```
station5.FillColor = &HFF&
```

```
station6.FillColor = &HFFFFFF
```

```
Timer2.Enabled = False
```

```
Timer3.Enabled = True
```

```
Case 6
```

```
station1.FillColor = &HFFFFFF
```

```
station2.FillColor = &HFFFFFF
```

```
station3.FillColor = &HFFFFFF
```

```
station4.FillColor = &HFFFFFF
```

```
station5.FillColor = &HFFFFFF
```

```
station6.FillColor = &HFF&
```

```
Timer2.Enabled = False
```

```
Timer3.Enabled = True
```

```
End Select
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Timer3_Timer()
```

```
; เมื่อ Time3 ทำงาน
```

```
    Select Case StrvalueC
```

```
; ตรวจสอบทางเลือกให้ StrvalueC
```

```
    Case 1
```

```
; เมื่อ StrvalueC เท่ากับ 2
```

```
        station1.FillColor = &HFFFFFF
```

```
; กำหนดให้สถานี 1 เป็นสีขาว
```

```
        station2.FillColor = &HFFFFFF
```

```
; กำหนดให้สถานี 2 เป็นสีขาว
```

```
        station3.FillColor = &HFFFFFF
```

```
; กำหนดให้สถานี 3 เป็นสีขาว
```

```
        station4.FillColor = &HFFFFFF
```

```
; กำหนดให้สถานี 4 เป็นสีขาว
```

```
        station5.FillColor = &HFFFFFF
```

```
; กำหนดให้สถานี 5 เป็นสีขาว
```

```
        station6.FillColor = &HFFFFFF
```

```
; กำหนดให้สถานี 6 เป็นสีขาว
```

```
        Timer2.Enabled = True
```

```
; เริ่มการทำงาน Time2
```

```
        Timer3.Enabled = False
```

```
; หยุดการทำงาน Time3
```



## Case 2

station1.FillColor = &HFFFFFF  
station2.FillColor = &HFFFFFF  
station3.FillColor = &HFFFFFF  
station4.FillColor = &HFFFFFF  
station5.FillColor = &HFFFFFF  
station6.FillColor = &HFFFFFF  
Timer2.Enabled = True  
Timer3.Enabled = False

## Case 3

station1.FillColor = &HFFFFFF  
station2.FillColor = &HFFFFFF  
station3.FillColor = &HFFFFFF  
station4.FillColor = &HFFFFFF  
station5.FillColor = &HFFFFFF  
station6.FillColor = &HFFFFFF  
Timer2.Enabled = True  
Timer3.Enabled = False

## Case 4

station1.FillColor = &HFFFFFF  
station2.FillColor = &HFFFFFF  
station3.FillColor = &HFFFFFF  
station4.FillColor = &HFFFFFF  
station5.FillColor = &HFFFFFF  
station6.FillColor = &HFFFFFF  
Timer2.Enabled = True  
Timer3.Enabled = False

## Case 5

station1.FillColor = &HFFFFFF  
station2.FillColor = &HFFFFFF  
station3.FillColor = &HFFFFFF  
station4.FillColor = &HFFFFFF  
station5.FillColor = &HFFFFFF  
station6.FillColor = &HFFFFFF  
Timer2.Enabled = True





```

Timer3.Enabled = False

Case 6
    station1.FillColor = &HFFFFFF
    station2.FillColor = &HFFFFFF
    station3.FillColor = &HFFFFFF
    station4.FillColor = &HFFFFFF
    station5.FillColor = &HFFFFFF
    station6.FillColor = &HFFFFFF
    Timer2.Enabled = True
    Timer3.Enabled = False
End Select
End Sub

Private Sub Winsock1_Close()
    ; เมื่อไม่มีการเชื่อมต่อ GPRS
    If Winsock1.State <> sckClosed Then
        ; เมื่อไม่มีการเชื่อมต่อ
        Winsock1.Close
        ; ปิดการเชื่อมต่อ GPRS
    End If
End Sub

Private Sub Winsock1_ConnectionRequest(ByVal requestID As Long)
    ; เมื่อ GPRS ติดต่อมายังโปรแกรม
    If Winsock1.State <> sckClosed Then Winsock1.Close
    ; ตรวจสอบการเชื่อมต่อ
    Winsock1.Accept requestID
    ; ยอมรับการเชื่อมต่อ
End Sub

Private Sub Winsock1_DataArrival(ByVal bytesTotal As Long)
    ; รับข้อมูลจาก GPRS

    If Me.WindowState = 1 Then Me.WindowState = 0
    Winsock1.GetData Strvalue
    ; รับข้อความที่รับได้เก็บไว้ในตัวแปร Strvalue

    Dim cStation As String
    ; ประกาศตัวแปรชื่อ cStation เป็นลักษณะอักขระ
    Dim cMotor As String
    ; ประกาศตัวแปรชื่อ cMotor เป็นลักษณะอักขระ

```

```

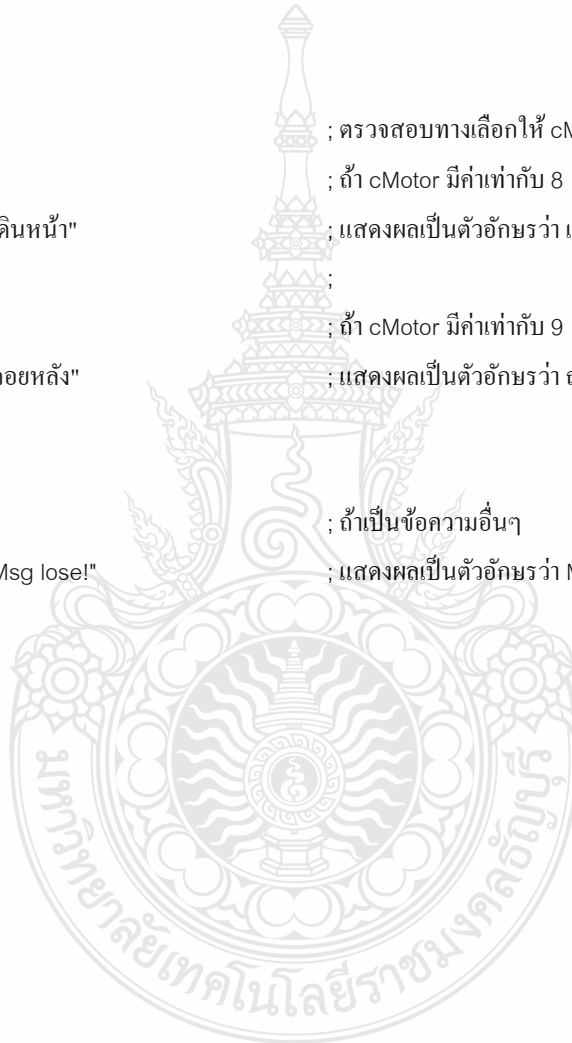
cStation = Left(Strvalue, 1) ; เก็บตัวอักษรตัวแรกไว้ในตัวแปร cStation
cMotor = Right(Strvalue, 1) ; เก็บตัวอักษรตัวสุดท้ายไว้ในตัวแปร cMotor

Select Case cStation ; ตรวจสอบทางเลือกให้ cStation
Case 1 To 6 ; ถ้า cStation มีค่าเท่ากับ 1 ถึง 6
    StrvalueC = cStation ; ให้ StrvalueC มีค่าเท่ากับ cStation
Case Else
End Select

Select Case cMotor ; ตรวจสอบทางเลือกให้ cMotor
Case 8 ; ถ้า cMotor มีค่าเท่ากับ 8
    sMotor.Caption = "เดินหน้า" ; แสดงผลเป็นตัวอักษรว่า เดินหน้า
    sMotor.Refresh ;
Case 9 ; ถ้า cMotor มีค่าเท่ากับ 9
    sMotor.Caption = "ถอยหลัง" ; แสดงผลเป็นตัวอักษรว่า ถอยหลัง

    sMotor.Refresh
Case Else ; ถ้าเป็นข้อความอื่นๆ
    sMotor.Caption = "Msg lose!" ; แสดงผลเป็นตัวอักษรว่า Msg Lose!
    sMotor.Refresh
End Select
End Sub

```



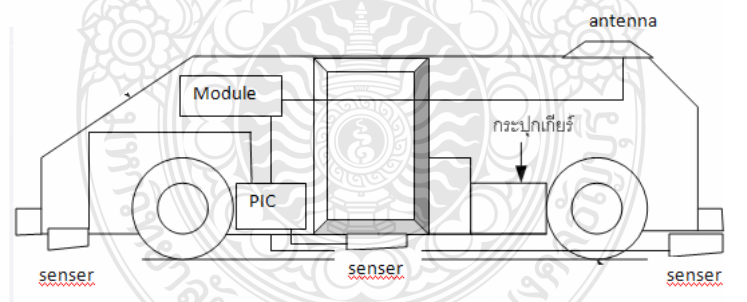


ภาคผนวก ค

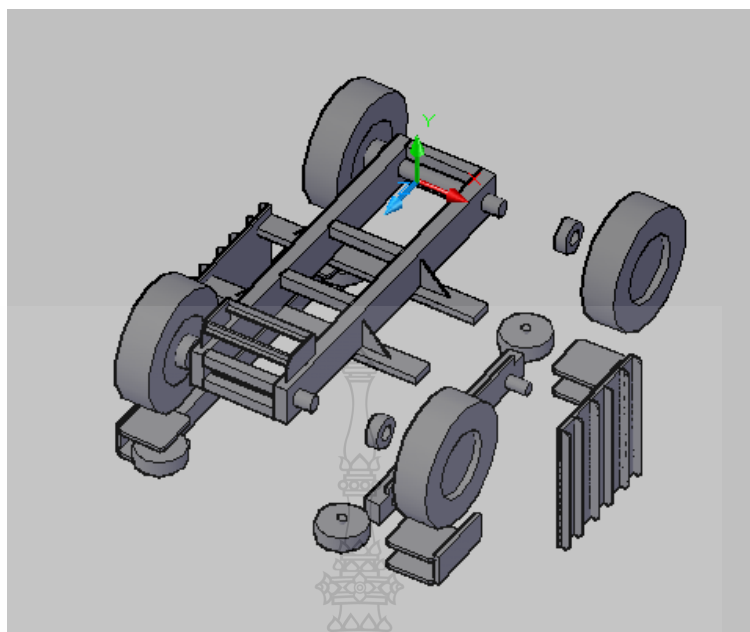
ประมวลภาพกระบวนการดำเนินงานวิจัย



ภาพที่ ค.1 ลักษณะของรางรถไฟฟ้าในงานวิจัย



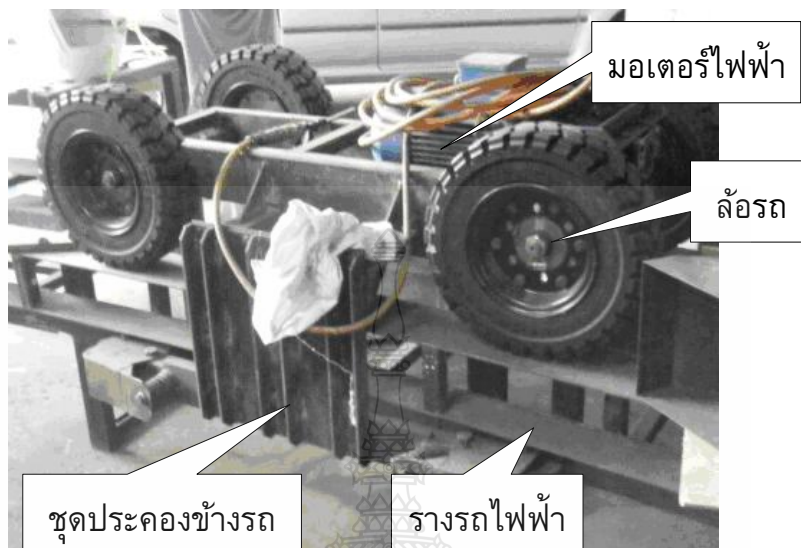
ภาพที่ ค.2 โครงร่างและการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ในรถไฟฟ้า



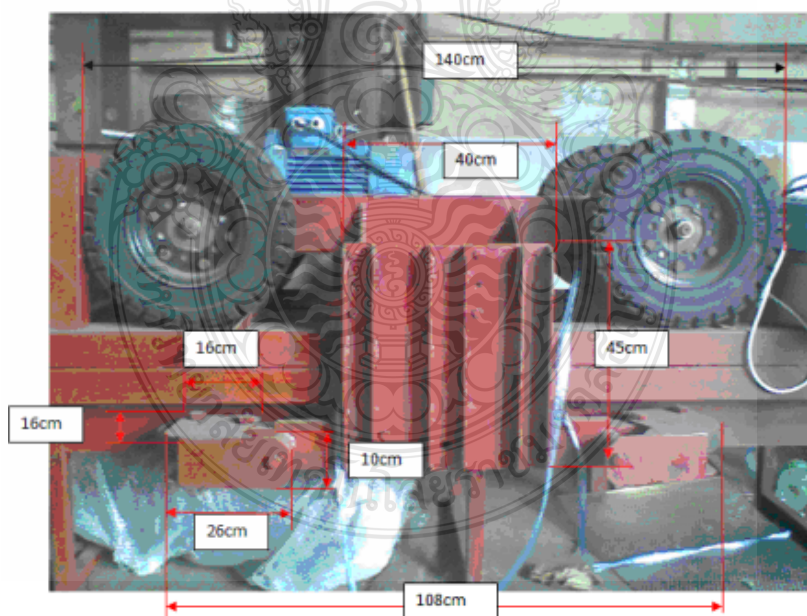
ภาพที่ ค.3 ส่วนประกอบฐานโครงสร้างรถไฟฟ้า



ภาพที่ ค.4 การติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟสในรถไฟฟ้า



ภาพที่ ค.5 ส่วนประกอบของตัวรถไฟฟ้าขณะอยู่บนราง



ภาพที่ ค.6 Dimension ต่างๆ ของฐานโครงรถไฟฟ้า

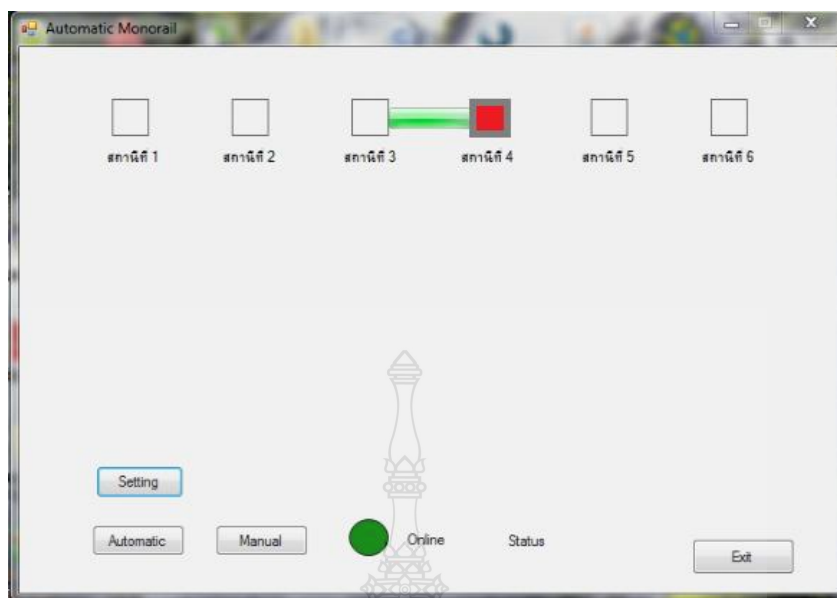




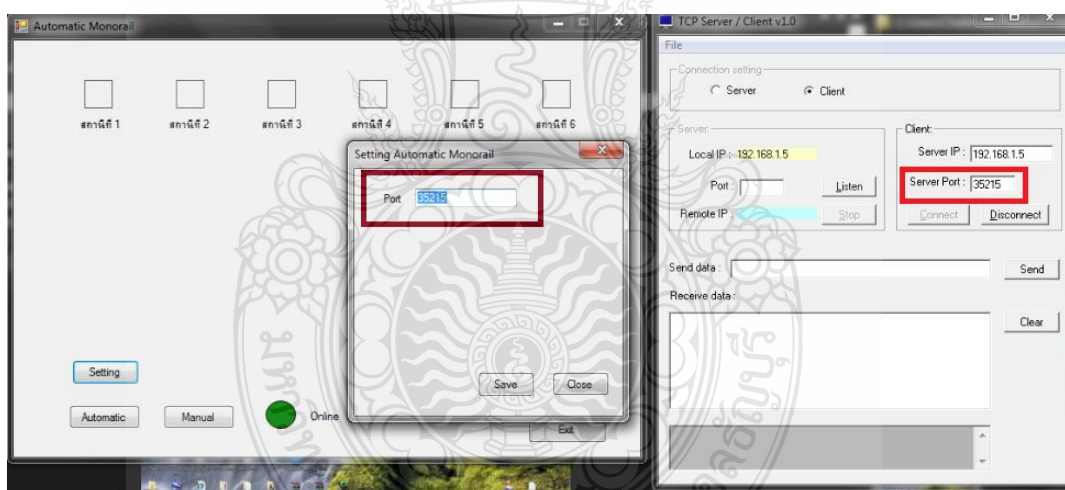
ภาพที่ ค.7 ลักษณะของรางรถไฟฟ้าในแนวระนาบและแนวลาดชัน 7 องศา



ภาพที่ ค.8 การทดสอบการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้าขณะผ่านสถานีต่างๆ



ภาพที่ ค.9 ตำแหน่งของรถที่สถานีต่างๆ ที่แสดงบนจอคอมพิวเตอร์ ณ. ศูนย์ควบคุมการเดินรถ



ภาพที่ ค.10 การแสดงผลการกำหนดพอร์ตสำหรับการควบคุมรถไฟฟ้า



ภาคผนวก ง  
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



# E-NETT 2011

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7

The 7<sup>th</sup> Conference on Energy Network of Thailand

- Renewable Energy
- Energy Conservations
- Applied Energy
- Energy Materials
- Environmental Management

3-5 พฤษภาคม 2554

ณ ภูเก็ต ออร์คิด รีสอร์ทแอนด์สปา หาดกะรน จังหวัดภูเก็ต

ดำเนินการโดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



E-NETT 2011

## ผู้ทรงคุณวุฒิเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย

ชื่อ	นามสกุล	มหาวิทยาลัย/สถาบันองค์กร
ผศ.ดร.ติงะ	บุณนาค	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
ผศ.ดร.ไชยณรงค์	จักรธรานนท์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
ผศ.ดร.อชิตพล	ศศิธรานูวัฒน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ	คุษฎ์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผศ.ดร.สุรจิตรี	พระเมือง	มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
ผศ.ดร.สุนทรีพร	ควนใหญ่	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผศ.ดร.สมบูรณ์	สารสิทธิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ผศ.ดร.สมชาย	มณีวรรณ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.ดร.นริส	ประทีนทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.บัลลังก์	เนียมมณี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.ชัยพล	ธงชัยสุริยศักดิ์กุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.สุธรรม	ปทุมสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.ปัญชา	กัณฑ์กุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.เกียรติชัย	รักษาชาติ	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.ดร.กิตติ	สถาพรประสาธน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.ดร.กุสกาภา	ภูภาอา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.หิระ	อัจฉริยวิริยะ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผศ.ดร.กอดขวัญ	นามสงวน	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผศ.ดร.ฉัตรชัย	นิมมล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.ณัฐวี	ภาคย์ปัทม์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.นิพนธ์	เกตุจ้อย	วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.ดร.วราณี	อริยวิริยะนันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชภัฏธนบุรี
ผศ.ดร.อาทิตย์	โสทรโยม	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
ดร.กอบศักดิ์	ศรีประภา	สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
ดร.อนุสรณ์	แสงประจักษ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ดร.ประภาพงษ์	วางทุกย์	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
ดร.พิสิษฐ์	มณีโชติ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ดร.ประพิฑารีย์	ธนาวิทย์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ดร.ผดุงศักดิ์	รัตนเดโช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
ดร.วิภา	ยงประยูร	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
อ.ณรงค์	วัชรเสถียร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อ.วิภา	พงสมปิติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ดร.สุผุติ	สุใจ	วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร
ดร.วเรศ	วิระสัย	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ดร.จันทนา	กัญชรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ศิรินุช	จินตารักษ์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ดร.นพนันท์	นานางเนม	ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
ดร.ชนากานต์	อาษาสุจิต	มหาวิทยาลัยสยาม
ดร.อัมพร	กัญชรัตน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



## ผู้ทรงคุณวุฒิเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย

E-NETT 2011

ชื่อ	นามสกุล	มหาวิทยาลัย/สถาบันองค์กร
ศ.ดร.บัณฑิต	เอื้ออาภรณ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศ.ดร.ทงเกียรติ	เกียรติศิริโรจน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศ.ดร.มดุดักดิ์	วิฑณะเคโซ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
ศ.ดร.สมชาติ	โสภณรณฤทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.วัฒน์พงษ์	วัชรวิเชียร	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รศ.ดร.นำยุทธ	สงฆ์ชนาพิทักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.จูไรรัตน์	ดวงเดือน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.อุดมเกียรติ	นันทแก้ว	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.ธนาคม	สุนทรชัยนาคแสง	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.สินชัย	ชินวรัตน์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.พินิจ	งามสม	มหาวิทยาลัยรังสิต
รศ.ดร.วิทยา	ยงเจริญ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.คณิต	วัฒน์วิเชียร	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.วาวูณี	เตีย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.พงษ์เจต	พรหมวงศ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.จาวุวัตร	เจริญสุข	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.สมิทธิ	เยี่ยมสอาด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
รศ.ดร.เสวิม	จันทร์ฉาย	มหาวิทยาลัยศิลปากร
รศ.ดร.สมรัฐ	เกิดสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รศ.ดร.ธนัชชัย	กุลสุวรรณิชพงษ์	มหาวิทยาลัยสุรนารี
รศ.ดร.ศุภาชาติ	จงไพบูลย์พัฒนา	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
รศ.ดร.อดิศักดิ์	นาคกรณกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.รัชชวัล	ต้นทกิตติ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.ดร.ลักขมณ	เทพหัสดิน ณ อยุธยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.สุรัชย์	มัจฉาชีพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าสุวรรณภูมิ
รศ.ดร.สมรัฐ	เกิดสุวรรณ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.ศิริชัย	เทพา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.เวกิน	ปิยรัตน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.ดร.สมชัย	หิรัญญาโรตม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.สมหมาย	ผิวสะอาด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.พูลเกียรติ	นาคะวิวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.ภาวูณี	ศักดิ์สุนทรศิริ	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผศ.ดร.เจริญพร	เลิศสถิตธนก	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร.ณัฐพล	ภูมิสะอาด	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร.กุลเชษฐ์	เพ็ญทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.อำไพศักดิ์	ทิบุญมา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.ชวลิต	ถิ่นวงศ์พิทักษ์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ประชาสันติ	ไตรยสุทธิ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.นุภาพ	แย้มไตรพัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

## ผู้ทรงคุณวุฒิเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย

E-NETT 2011

ชื่อ	นามสกุล	มหาวิทยาลัย/สถาบัน/องค์กร
อ.วัฒนากร	ระวีงกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อ.บริสุทธิ์	สุทธิสงค์	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
ดร.วิรัชชัย	โรยรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.สถาพร	ทองวิค	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.กฤษณ์ชนม์	ภูมิภักดีพิชญ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.สุรินทร์	แหงมงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.วินัย	จันทร์เพ็ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.สโรชา	เจริญวัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.มนทิพย์	ลือสุริยนค	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.ฉันทิพย์	คำนวมทิพย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.ฉัตรชัย	วิระนิตสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.สุมนมาลย์	เนียมหลวง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.จักรี	ศรีนทีฉัตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อ.ประชุม	คำพุด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.ณรงค์ชัย	โอเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.พงษ์ศักดิ์	อำภา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.อำนาจ	เรืองวารี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.ณัฐภัทร	พันธ์คง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.ศิริชัย	ต่อสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.บุญยง	ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.สพพงษ์	ภาสุปรีย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.กิตติ	สถาพรประสาธน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.วิษชากร	จารุศิริ	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.ธนาริป์	สุ่มอัม	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.อาจวี	ศุภสุริกุล	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.นฤภัทร	ตั้งมันคงวรกุล	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.ฉันทนา	พันธุ์เหล็ก	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ดร.วรวัดน์	ปัตรประกร	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ดร.วิศิษฐ์	ลีลาผาดิกุล	มหาวิทยาลัยสยาม
ดร.พัฒนนะ	รักความสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ณรงค์	อังกิมบัวน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ชาญณรงค์	อัครเทพานภาพ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ดร.ชลธิศ	เอี่ยมวรวิฑูล	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ดร.วรวณี	เอกศิลป์	มหาวิทยาลัยรังสิต
ดร.ประชา	บุญยวานิชกุล	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.ธนาริป์	สุ่มอัม	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
อ.อำนาจ	ผดุงศิลป์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
นายอำนาจ	องสฤติย์	กระทรวงพลังงาน
ดร.ยุทธนา	ข้าสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

## สารบัญ

Session	Applied Energy 04	หน้า
ประธาน	รองศาสตราจารย์ ดร.ธนัชชัย กุลรวานิชพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
เวลา	10:30-12:00 วันพุธ ที่ 4 พฤษภาคม 2554	
ห้องบรรยาย	Orchid B	
BEN19	Design and Simulation of PD and PID Controller for Hybrid Actuator <i>Boontan Sriboonrueng Rajamangala University of Technology Thanyaburi</i>	355
BEN20	การประยุกต์ใช้คัตติงอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการไหลกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด <i>อุเทน สัติน ษนัชชัย กุลรวานิชพงษ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี</i>	360
BEN21	การประยุกต์ใช้แผ่น Peltier Thermoelectric ในการควบคุมอุณหภูมิ <i>เดชา สุขมา เอกสิทธิ์ ชนินทรภูมิ ประภาด หงษาชาติ มหาวิทยาลัยศิลปากร</i>	366
BEN22	การศึกษาคุณลักษณะเครื่องยนต์อากาศอัด <i>ไอสด คนชื้อ ทราวุธ ดีเสมอ นพรัตน์ คุณพัฒน์ คณาวุฒิ พันธะบุญ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร</i>	371
BEN23	การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์แกโซลิ้นขนาดเล็กที่ใช้แกโซฮอล์ E10 <i>ชนาพล สุขชนะ ณัฐพงศ์ หล้าทอง มหาวิทยาลัยปทุมธานี</i>	376
BEN24	การออกแบบและสร้างระบบควบคุมรถไฟฟ้แบบไร้คนขับขนาดเล็ก <i>นายพนเดร์ สุขสิงห์ วันชัย ทรัพย์สิงห์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี</i>	380



### การออกแบบและสร้างระบบควบคุมรถไฟฟ้าแบบไร้คนขับขนาดเล็ก Design and Building of a Miniature E.V. Train Guiding Control

นายพนธ์ สุขสิงห์ ดร.วันชัย ทรัพย์สิงห์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี  
จังหวัดปทุมธานี 12110 โทร 0-2549-3571 โทรสาร 0-2549-3422 E-mail: w\_subsingha@hotmail.com

BEN24

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอรถไฟต้นแบบไร้คนขับ เป็นการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมการเคลื่อนที่รถไฟไร้คนขับ โดยการนำเอาหลักการทางของลิฟต์แนวนอนมาประยุกต์ใช้เพื่อให้รถไฟสามารถควบคุมการทำงานได้โดยตรงจากผู้โดยสาร ศูนย์ควบคุมโดยอาศัยการบอกตำแหน่ง และการควบคุมการส่งถ่ายข้อมูลแบบแพ็คเกจด้วยระบบจีพีอาร์เอส(GPRS) เพื่อควบคุมและสื่อสารข้อมูลระหว่างตัวรถและศูนย์ควบคุม ผลจากการทำโครงการวิจัยนี้ทำให้ได้รถไฟรางเดี่ยวต้นแบบชนิด 4 ที่นั่งขับเคลื่อนโดยใช้อินเวอร์ชันมอเตอร์และชุดเกียร์ต่อกับเพลาขับเคลื่อนโดยตรง โดยการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยรางที่สามพร้อมทั้งระบบไฟฟ้าสำรองจากเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งนี้สามารถรับน้ำหนักได้ไม่เกิน 500 กิโลกรัม เคลื่อนเคลื่อนที่ไปยังจุดหมายที่ระบุไว้แบบสถานีต่อสถานี ด้วยความเร็วประมาณ 20 กิโลเมตรชั่วโมง ผลจากการทดสอบประสิทธิภาพโครงการวิจัยพบว่ารถไฟต้นแบบนี้สามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ทั้งสามารถส่งถ่ายข้อมูลตำแหน่งรถ การควบคุมจากศูนย์และจากผู้โดยสารมายังศูนย์ควบคุมตามต้องการได้ทันทีเมื่อเกิดการฉุกเฉิน

คำสำคัญ: รถไฟ, จีพีอาร์เอส, เซลล์แสงอาทิตย์

#### Abstract

This article is presented for the design and building of miniature automatic guided train The project is implemented by the horizontal elevator control. Using microcontroller and GPRS remote control. The vehicle can be controlled by either from the control center or a commuter in case of emergency or reflection of a train station The project composes of a miniature 4 seat train vehicle is driven by an inverter AC Drive Electrical utility of the train is supplied from the third rail beneath the train model. The train model of the project is about 500 kg of customer weight which speed up to 20 kg/hr.

The results show that the train can work property in both normal care and emergency care.

Keywords: Automatic guided train , GPRS , Solar Cell

#### 1. คำนำ

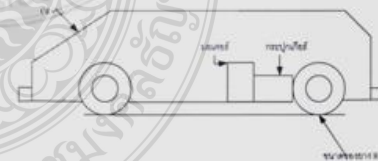
เนื่องจากปัจจุบันการเดินทางเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันซึ่งหนีไม่พ้นในเรื่องของการจราจร รูปแบบการเดินทางส่วนใหญ่นำมาใช้คือ รถยนต์ส่วนตัว รถยนต์โดยสารสาธารณะ และรถไฟลอยฟ้า แม้ว่าจะมีการนำเอาเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการเดินทาง แต่ก็ยังมีการจราจรติดขัด การขยายเส้นทางของรถไฟลอยฟ้า ซึ่งเทคโนโลยีที่มีอยู่ถูกจำกัดให้อยู่ภายในตัวเมืองหลวง แต่ตามหัวเมืองสำคัญยังพบปัญหาในเรื่องของการจราจร การเดินทางและการเชื่อมต่อกับระบบโดยสารหลัก ซึ่งไม่สามารถเดินทางไปยังจุดหมายได้ทันที ดังนั้นจึงมีแนวความคิดและต้องการศึกษาวิจัยรถไฟรางเดี่ยวซึ่งเป็นรถไฟขนาดเล็กคาดว่าน่าจะไปพัฒนาเพื่อนำไปใช้ในอนาคต ทั้งในสถานที่ที่มีผู้โดยสารไม่หนาแน่นนัก เนื่องจากมีขนาดเล็กและมีอัตราการลงทุนต่ำ และมีโครงสร้างทั้งตัวรถและฐานล่างของรางไม่ซับซ้อน รถไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปยังจุดหมายปลายทางได้โดยการควบคุมจากศูนย์หรือจากผู้โดยสาร โดยที่ส่งข้อมูลและตำแหน่งตัวรถกลับไปยังสถานีควบคุมด้วยระบบ GPRS เพื่อให้ทราบสถานะ ตำแหน่งของตัวรถ

#### 2. วัตถุประสงค์

##### 2.1 รถไฟฟ้าไร้คนขับ แบบขับเคลื่อนด้วยล้อ

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์หลักการควบคุมลิฟต์ในแนวนอนเพื่อควบคุมรถไฟให้เคลื่อนตามสถานีที่ต้องการได้ นอกจากนี้ยังได้ประยุกต์การสื่อสารแบบไร้สายด้วยการใช้การ์ดแบบ GPRS เพื่อควบคุมการเดินทางและเกิดสภาวะฉุกเฉินอีกด้วย

##### 2.1.1 มอเตอร์



ภาพที่ 1. โครงสร้างอย่างง่ายของตัวรถในโครงการรถไฟรางเดี่ยวใช้ขับเคลื่อนด้วยล้อตัวรูปที่ 1 โดยการใช้อินเวอร์ชันไฟฟ้ากระแสสลับและชุดเกียร์จำนวน 1 ชุดเป็นตัวขับเคลื่อนติดตั้งที่ด้านหลังตัวรถตรงส่วนของฐานเพื่อรับน้ำหนักได้อย่างสมดุล

โดยมอเตอร์และชุดเกียร์จะติดตั้งอยู่ในแนวกึ่งกลางเพื่อทำให้เกิดประสิทธิภาพการทำงานขับเคลื่อนที่ดีที่สุด

ขนาดมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อน สามารถคำนวณหาได้ดังนี้

$$R_r = K_r W$$

$$R_w = (\rho v^2 A C_d) / 2$$

$$F = R_r + (R_r + R_w)$$

เมื่อ  $F$  เป็น แรงขับเคลื่อนตัวรถ

$R_r$  เป็น แรงต้านการขับเคลื่อนจากน้ำหนักรถ

$R_w$  เป็น แรงต้านการขับเคลื่อนทางพลศาสตร์

$W$  เป็น น้ำหนักรถยนต์

$C_d$  สัมประสิทธิ์แรงจุดอากาศ เท่ากับ 0.29.

$K_r$  สัมประสิทธิ์สภาพแรงต้านการหมุนของล้อ เท่ากับ = 0.012

$\eta_t$  ประสิทธิภาพการส่งกำลัง = 85 %

$r$  รัศมียางรถยนต์ เท่ากับ 0.14 ม.

$A$  พื้นที่หน้าตัดรถยนต์ = 0.8FH

$H$  ความสูงของตัวรถ

$\rho$  ความหนาแน่นของอากาศ = 1.18 kg / m<sup>3</sup>

$v$  อัตราความเร็วรถยนต์ = 5.56 m / sec

ทั้งนี้

$P_e = F \cdot v$  เป็นค่ากำลังที่ใช้ขับเคลื่อนที่ล้อ

$P_m = (100 \times P_e) / \eta_t$  เป็นค่ากำลังที่ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้า

$T_m = (100 \times T_e) / (\eta_t \cdot i_g)$  เป็นค่าแรงบิดของมอเตอร์

$T_g = F \cdot r$  เป็นค่าแรงบิดที่ล้อรถ และ

$i_g = 1 : 7.5$  เป็นค่าอัตราทดของเกียร์

ซึ่งในโครงการ ตัวรถจะมีน้ำหนักรวม 500 kg กำหนดให้ความเร็วรถอยู่ที่ 20 km / hr. และใช้ล้อที่มีรัศมีวงเท่ากับ 0.14 เมตร ทำให้ต้องเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนที่พิกัด 2 kW โดยประมาณ

2.1.2 ล้อรถ

ฐานของรถไฟฟ้าในโรงงาน จะรองรับด้วยล้อยางเพื่อรองรับแรงกระแทกและเพิ่มประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ของตัวรถและการยึดเกาะ เนื่องจากล้อยางจะมีหน้าสัมผัสของล้อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดเกาะและลดค่าแรงสั่นสะเทือนที่กระทำต่อตัวรถ

2.1.3 รูปแบบพลังงาน

รูปแบบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในรถไฟฟ้าควรอยู่ในสภาวะเสถียร ดังนั้นในโรงงานจึงมีการส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับจากระบบไฟฟ้าหลักเข้าสู่ตัวรถไฟฟ้าผ่านรางที่สาม ซึ่งเป็นทางเดินของระบบไฟฟ้าที่อยู่ใต้ (ตอนกลาง) ตัวรถ อย่างไรก็ตามในสภาวะฉุกเฉิน ระบบไฟฟ้าหลักอาจเกิดอาการขาดตอน ทำให้รถไฟฟ้าทำงานไม่ปกติได้ รถไฟฟ้าควรสามารถขับเคลื่อนในสภาวะนี้ได้ด้วยแหล่งจ่ายไฟสำรอง (เช่น แบตเตอรี่) ดังนั้นในโครงการจึงเลือกใช้ระบบการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบ AC Inverter Drive ที่สามารถขับเคลื่อนมอเตอร์ได้ทั้งการแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรง

2.2 หลักการขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า

ชุดต้นกำลังที่ใช้การขับเคลื่อนรถไฟฟ้าในโครงการเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งสามารถควบคุมความเร็วและแรงบิดขาของมอเตอร์ได้โดยการประยุกต์ใช้กับระบบแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะได้นำส่งถึงในหัวข้อถัดไป

2.2.1 หลักการพื้นฐาน

มอเตอร์ไฟฟ้าและชุดเกียร์เป็นส่วนประกอบที่มีน้ำหนักมาก จำเป็นต้องกระจายน้ำหนักให้เกิดความเหมาะสมมากที่สุด ในการออกแบบจะใช้มอเตอร์และชุดเกียร์ในการขับเคลื่อน 1 ชุด เป็นตัวขับเคลื่อนให้ตัวรถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าหรือถอยหลัง การวางตำแหน่งของชุดต้นกำลังขับเคลื่อนจะวางไว้ทางด้านหลังก่อนถึงเพลาน้ำหนัก เพื่อให้ตัวแกนเพลาน้ำหนักยึดกับชุดเกียร์ได้โดยตรง

2.2.2 การควบคุมทิศทาง

เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้เป็นตัวขับเคลื่อน เป็นอุปกรณ์ที่ง่ายต่อการควบคุมทิศทางการหมุน ดังนั้นในการควบคุมมอเตอร์ดังกล่าวสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้มอเตอร์หมุนได้โดยตรง และถ้าต้องการให้มอเตอร์กลับทิศทางการหมุนสามารถทำได้โดยการสลับสายแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าเพียงคู่ใดคู่หนึ่งเท่านั้น ยกตัวอย่างเช่น เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงเฟสมอเตอร์จะทำงานในลักษณะตามเข็มนาฬิกา เมื่อต้องการให้มอเตอร์หมุนกลับทางทำได้โดยการสลับคู่ของสายไฟเพียง 1 คู่ มอเตอร์จะหมุนกลับทางในลักษณะทวนเข็มนาฬิกา



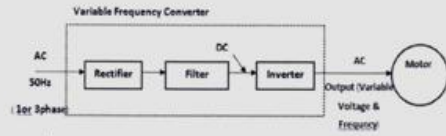
ภาพที่ 2 การควบคุมทิศทางเคลื่อนที่ของมอเตอร์และล้อ

2.2.3 การควบคุมความเร็วมอเตอร์

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์มีหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีสามารถนำมาควบคุมความเร็วของมอเตอร์ได้ทั้งสิ้น ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้เลือกใช้การควบคุมความเร็วด้วยอินเวอร์เตอร์แบบ VVVF (Variable Voltage - Variable Frequency) เนื่องจากอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์นั้นสามารถเปลี่ยนแปลงแรงดันและความถี่ซึ่งจะทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างระบบจ่ายไฟและมอเตอร์ ดังนั้นอินเวอร์เตอร์ที่ดีควรมีคุณสมบัติพื้นฐานที่สอดคล้องกับความต้องการของมอเตอร์ดังต่อไปนี้

1. สามารถที่จะปรับความถี่ได้เป็นสัดส่วนกับความเร็วรอบที่ต้องการ
2. สามารถปรับแรงดันเอาท์พุทเพื่อรักษายัตตส่วนแรงดันต่อความถี่ (V/f) ให้คงที่ตลอดช่วงแรงบิดคงที่ตามต้องการ
3. สามารถจ่ายกระแสได้ตามพิกัดที่ความถี่ใด ๆ ซึ่งอยู่ในช่วงแรงบิดคงที่





ภาพที่ 3 นวัตกรรมระบบอินเวอร์เตอร์การขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ

**2.3 การระบุตำแหน่งและส่งถ่ายข้อมูล (GPRS)**

การระบุตำแหน่งและส่งถ่ายข้อมูล (General Packet Radio Service-GPRS) เป็นบริการที่ผ่านทาง Radio Interface ในระหว่างผู้ใช้งานทางและปลายทางไม่ว่าจะเป็น Application Server หรือเน็ตเวิร์กตัวโทรศัพท์เคลื่อนที่เองก็สามจะถูกแปลงเป็น Packet มี IP Address ที่ขึ้นอยู่กับภายใน ซึ่งจะไม่เหมือนเดิมที่เคยใช้กัน ( เดิมทีเคยใช้กันคือระบบ-Radio Frame ที่ใช้ในการส่งข้อมูลเสียงพูดบนระบบ GSM )  
GPRS ไม่ได้เป็นลักษณะที่จะสามารถให้บริการได้ด้วยตัวของระบบเอง แต่ตัวมันเองเป็นเพียงแค่ Bearer ให้กับ Application ต่างๆ ที่ต้องการใช้ความเร็วที่เพิ่มมากกว่าปกติในระบบ GSM ที่เคยรองรับอยู่เดิมมาตอนและระบบ GPRS จะต้องต่อไปยัง Packet Data Network ที่เป็น IP Network อีกต่อหนึ่ง เพื่อให้สามารถโอนถ่ายข้อมูลและควบคุมการทำงานต่างๆ ไปได้ในระดับโลก

**2.3.1 ชุดควบคุมรับและส่งสัญญาณ**

ปัจจุบันชุดโมดูลรับส่งสัญญาณ GPRS มีหลายแบบ แต่ชุดของโมดูลจะมีหน้าที่และความสามารถในการทำงานแตกต่างกันออกไป ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ ระบบการสื่อสารไร้สาย โดยโมดูล GSM/GPRS รุ่น SIM300CZ เป็นโมดูลสื่อสารระบบ GSM/GPRS ขนาดเล็ก รองรับระบบสื่อสาร GSM ความถี่ 900/1800/1900MHz สามารถประยุกต์ใช้งานได้มากมายหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นการรับส่งสัญญาณเสียง Voice, SMS, Data, FAX และรองรับการสื่อสารด้วย Protocol TCP/IP



ภาพที่ 4 ชุดโมดูลจีพีอาร์เอส (General Packet Radio Service-GPRS)

**2.4 การตรวจนับ และการเข้าออกสถานี**

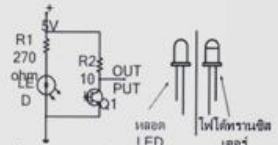
ในการตรวจนับและหาค่าการทำงานของระบบหลายวิธีที่นำมาใช้งานทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของงานที่นำไปใช้

**2.5.1 การตรวจนับแบบสวิตช์ (Bumper Switch)**

สวิตช์กันชนสร้างอย่างง่าย ๆ โดยใช้สปริงสวิตช์ติดกับโครงสร้างของสวิตช์แบบกดคิดป้อนยัด ซึ่งสวิตช์จะถูกกดลงเมื่อหุ่นยนต์ชนกับวัตถุ

**2.5.2 การตรวจนับด้วยเซ็นเซอร์**

จากหลักการของแสงที่เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงแล้วสะท้อนกลับเมื่อกระทบกับวัตถุซึ่งสามารถนำมาใช้สร้างระบบการหลีกเลี่ยงการชนของหุ่นยนต์ โดยใช้หลักการสะท้อนกลับของแสงอินฟราเรด เพื่อให้บอกว่ามีวัตถุมาขวางเส้นทางเคลื่อนที่หรือการแจ้งการเคลื่อนที่ผ่านในแต่ละสถานีกลับไปยังศูนย์ควบคุมกลาง โดยเซ็นเซอร์จะทำการติดตั้งบนตัวรถไฟฟ้า 3 ด้านคือ ด้านหน้าตัวรถไฟฟ้า ด้านหลังตัวรถไฟฟ้าและด้านข้างตัวรถไฟฟ้าทั้งประตูเพื่อใช้ในการตรวจนับสถานะการทำงานของระบบการเคลื่อนที่และการเข้าจอดที่ไฟฟ้า



ภาพที่ 5 วงจรอุปกรณ์ตรวจนับแบบใช้แสงอินฟราเรด

**2.5 หนุฏิกการทำงานของ PLC ( Programmable Logic Controller)**

PLC เป็นเครื่องควบคุมอัตโนมัติในโรงงานอุตสาหกรรมที่สามารถจะโปรแกรมได้ ถูกสร้างและพัฒนาขึ้นมาเพื่อทดแทนวงจรรีเลย์ อันเนื่องมาจากความต้องการที่จะได้เครื่องควบคุมที่มีราคาถูกสามารถใช้งานได้อย่างทนทาน ประหยัด และสามารถเรียนรู้การใช้งานได้ง่ายโครงสร้างภายในของ PLC ประกอบด้วยตัวประมวลผล หน่วยความจำ พอร์ตเชื่อมต่ออุปกรณ์อื่นทุก-สถานี จากคุณสมบัติทำให้สามารถนำอุปกรณ์เชื่อมต่อกันมาใช้งานร่วมกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้ดีขึ้น

**2.6 หนุฏิกการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 18F8722**

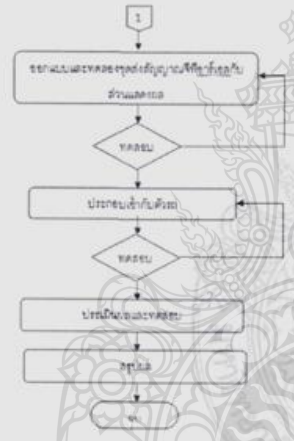
ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC มีสถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด (Harward architecture) คือมีการแยกหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลออกจากกัน ซึ่งจัดอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อกับหน่วยความจำส่วนที่เป็นโปรแกรมด้วยบัสแคชเชสและบัสนข้อมูล และจะใช้กระบวนการที่เรียกว่า ไปป์ไลน์ (Pipeline) ทำให้สามารถเสด็จค่าส่งออกไปในขณะที่กำลังอีกตัวในปัจจุบันได้ ส่งผลให้มีควมเร็วเพิ่มขึ้น เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีโครงสร้างการทำงานอย่างง่ายค่าส่งน้อย ค่าส่งแต่ละค่าส่งจะทำงานอย่างง่ายๆ Concept ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ คือพยายามรวมทุกอย่างเข้าไว้ด้วยกัน โดยไม่จำเป็นต้องส่งอุปกรณ์เสริมจากภายนอกจึงเสมือนเป็นคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กเครื่องหนึ่ง

**3.วิธีการดำเนินงาน**

การดำเนินงานวิจัยนี้เป็นการสร้างรถคันแบบไร้คนขับโดยใช้พีซีอาร์เอส ซึ่งได้ดำเนินการศึกษาโดยมีขั้นตอนดังนี้



ภาพที่ 6 ขั้นตอนการดำเนินงาน



ภาพที่ 7 ขั้นตอนการดำเนินงาน(ต่อ)

**3.1 กรอบแนวคิดและหลักการ**

จากกรอบแนวคิดในการสร้างรถไฟฟ้รางเดี่ยวคันแบบไร้คนขับ โดยใช้ซีทีอาร์เอส ในการสร้างสามารถที่จะอธิบายการทำงาน ได้ดังภาพ



ภาพที่ 8 กรอบแนวคิดระบบรถไฟฟ้รางเดี่ยวคันแบบไร้คนขับ

**3.2 ขั้นตอนการออกแบบโครงการ**

การออกแบบรถไฟฟ้รางเดี่ยวคันแบบไร้คนขับ ได้ทำการสร้างตัวรถไฟฟ้รางเดี่ยวขึ้นใหม่โดยแบ่งโครงสร้างออกเป็นสองส่วนคือส่วนของฐานและส่วนของบอดี ส่วนของฐานจะประกอบด้วยค้ำซี ระบบจุดคันกำลัง ล้อขับเคลื่อนและชุดล้อประกอบ ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 โครงสร้างรถไฟฟ้รางเดี่ยว

**3.3 ขั้นตอนการประกอบโครงงาน**

นำชุดวงจรต่าง ๆ ประกอบรวมกันตามแผงวงจรของชุดควบคุมหลัก และประกอบเข้ากับโครงรถคันแบบที่ได้ออกแบบไว้



ภาพที่ 10 ประกอบชุดวงจรส่งสัญญาณและการควบคุม

**4.4 ผลการดำเนินงาน**

ในการสร้างรถไฟฟ้รางเดี่ยวคันแบบไร้คนขับโดยใช้ซีทีอาร์เอส ในการคิดต่อสื่อสารข้อมูลสามารถสรุปผลการดำเนินงาน ได้ดังนี้

**4.1 ผลของโครงงาน**

ผลการดำเนินงานรถคันแบบไร้คนขับสามารถเคลื่อนที่ได้โดยการควบคุมมอเตอร์ผ่าน PIC และชุดอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วมอเตอร์ ให้ดินหนักหรือออกหนักได้อย่างมีประสิทธิภาพเหมาะที่จะใช้สำหรับรถเคลื่อนที่บนรางหรือเส้นทางดินรุดเฉพาะของรถไฟฟ้รางเดี่ยว เพื่อให้เกิดความรวดเร็วในการเดินทางและปลอดภัย ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 โครงรถคันข้าง



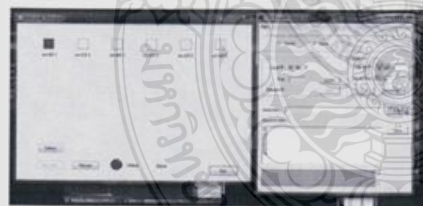
ภาพที่ 12 เครื่องกำเนิดและแรงสำหรับโรงทดสอบ

**4.2 ผลการทดสอบ**

จากการทดสอบระบบในการเคลื่อนและการรับ-ส่งข้อมูลจากซีพียูหรือสในการส่งข้อมูลการเคลื่อนและการเข้าชุดคอมพิวเตอร์ที่ได้กำหนดไว้ เมื่อดำเนินการส่งการทำงานที่ตัวรถต้นแบบไปไปยังสถานีที่ตั้งไว้ ระบบทำการส่งข้อมูลจะทำการส่งข้อมูลการเคลื่อนที่และแจ้งตำแหน่งของรถส่งกลับไปยังศูนย์ควบคุมการเดินรถ เพื่อระบุตำแหน่งที่ทิศทางเคลื่อนที่ของตัวรถต้นแบบ และการหยุดรถในสถานีที่คอมพิวเตอร์ศูนย์กลางโคจรการส่งผ่านข้อมูลด้วยชุด โมดูลซีพียูหรือส ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 โปรแกรมควบคุมการเดินรถให้ไฟรางเดี่ยว



ภาพที่ 13 การส่งสัญญาณการเข้าชุดสถานี



ภาพที่ 14 การส่งสัญญาณการเคลื่อนที่ของตัวรถ

**5.สรุปผลอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ**

**5.1 สรุปผลโครงการ**

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างรถต้นแบบไฟฟ้ารางเดี่ยวต้นแบบไว้คนขับ โดยใช้ซีพียูหรือสส่งสัญญาณควบคุม เป็นรถชนิด 4 ล้อ ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบที่สาม และระบบไฟฟ้าสำรองจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การขับเคลื่อนบนรางสำหรับรถไฟฟ้ารางเดี่ยวเพื่อให้เกิดความเร็ว ปลอดภัยในการเดินทาง ซึ่งรถสามารถเคลื่อนที่ไปยังสถานีที่กำหนดจากการส่งงานภายในตัวรถ โดยขณะที่ตัวรถเคลื่อนที่และเข้าชุดระบบจะทำการส่งข้อมูลกลับไปคอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง ซึ่งระบบในการควบคุมการทำงานจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC และชุดโมดูลซีพียูหรือสในการทำหน้าที่รับและส่งข้อมูล

**5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข**

5.2.1 การติดตั้งโปรแกรมเพื่อติดต่อกับตัวรถบนคอมพิวเตอร์บางครั้งไม่สามารถติดตั้งได้นื่องจากตัวโปรแกรมได้ทำการเขียนขึ้นจากภาษาซีและโปรแกรมวิซวลเบสิก(Visual Basic) ในการจัดทำ เมื่อนำโปรแกรมไปติดตั้งเครื่องอื่น จะไม่สามารถติดตั้งได้ถ้าไม่มีตัวโปรแกรมวิซวลเบสิกติดตั้งในเครื่องหรือเป็นเวอร์ชันที่เก่า

แนวทางแก้ไข ปรีมิ่งผู้จัดทำโปรแกรมที่สร้างขึ้นใหม่และทำการติดตั้งโปรแกรมวิซวลเบสิกรุ่นที่ใช้งานลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อให้สามารถใช้งานได้

5.2.2 การเชื่อมคอกสัญญาณข้อมูลซีพียูหรือสบนตัวรถกับศูนย์กลาง เมื่อนำตัวรถและระบบไปใช้งานการส่งข้อมูลจะขาดหายหรือมีความล่าช้าของการส่งข้อมูล ในระหว่างรถเคลื่อนที่หรือผ่านช่วงรอยต่อของสัญญาณ

แนวทางแก้ไข ทำการปรับตั้งค่าโมด็มการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ต โคจรการฟอร์เวิร์ดพอร์ตที่โมด็มของศูนย์กลางและนำค่าดีเอ็นเอส(DNS server และค่าไอพีแอดเดรส(IP Address)ที่ได้จากศูนย์กลางไปกำหนดค่าให้กับ โมดูลGPRS สำหรับการติดต่อสื่อสารกับศูนย์กลาง

**5.3 ข้อเสนอแนะ**

การวิจัยนี้เป็นเพียงการศึกษาและสร้างรถต้นแบบซึ่งจะต้องมีการพัฒนาระบบอื่นประกอบเพื่อให้สามารถใช้งานได้ในรูปแบบเชิงพาณิชย์ โดยส่วนที่จะทำการพัฒนาต่อไปคือ



### 5.3.1 พัฒนาระบบการจ่ายพลังงานให้สามารถใช้งานได้ทั้งงาน

ทดแทนได้ทั้งระบบ

### 5.3.2 พัฒนาระบบรางและสถานีเจ้าของครุณีเพิ่มจำนวนการใช้ รถ เพื่อให้เกิดความรวดเร็วและสามารถหลบหลีกเพื่อป้องกันกรชน

#### กิตติกรรมประกาศ

##### เอกสารอ้างอิง

- [1] อธิสา คุณากินันท์. (2007). "ระบบการขับเคลื่อนรถอัจฉริยะด้วย  
กลิ้งและระบบช่วยเหื่อนำทางอื่นๆ,"คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยอิมพิดล.Proceeding of the CRIT 2007.
- [2] ธงชัย เกตุมณี.(2007). "แบบจำลองการจัดการระบบขนส่ง  
รถไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัยนครสวรรค์",คณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ . NU Science Journal 2007 .4(S1):104-  
112.
- [3] ภูวเดช แก้วมณี, "รถต้นแบบไร้คนขับ", เทคโนโลยีคมนาคม  
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- [4] ULTra PRT. "Advance Transport Systems ULTra PRT".  
October 20,2009 . www.ultraprt.com.
- [5] Scomi. "Monorail Threcution of Urbantransit".  
[www.scomiengineering.com.my](http://www.scomiengineering.com.my)
- [6] นายอดิศักดิ์ คิวแก้ว. "การออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมหรือ  
ต้นแบบเคลื่อนที่เดินสามล้ออัตโนมัติที่ใช้ในกรณีขนส่งสัมภาระ  
กรณีศึกษา : กระบวนการผลิตถนนบอร์คคอนกรีต".  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ  
อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการศึกษา  
2551

##### ประวัติผู้เขียนบทความ

นายพนศรี สุขสิงห์ ปัจจุบันกำลังศึกษาต่อที่  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ความสนใจ : ด้านการประเห็ดพลังงาน การควบคุมแบบแกว่ง

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นายพนตร์ สุขสิงห์
วัน เดือน ปีเกิด	16 มิถุนายน 2525
ที่อยู่	64/3 ม.13 ซ.จำพยนต์ 1 ตำบลบางบัวทอง อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี 11110
การศึกษา	
พ.ศ.2549	สำเร็จการศึกษาระดับครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2556-ปัจจุบัน	ตำแหน่งอาจารย์ประจำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี
พ.ศ.2548 – 2555	ตำแหน่งอาจารย์ประจำ ช่างอุตสาหกรรม สาขาไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีโพลีเทคกรุงเทพ

