

ชุดทดลองเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์

IN-VEHICLE NETWORK LAB KIT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

ชุดทดลองเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์  
IN-VEHICLE NETWORK LAB KIT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IN-VEHICLE NETWORK LAB KIT



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2561  
ชุดทดลองเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์  
IN-VEHICLE NETWORK LAB KIT



อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.สมภพ ผลไม้

รศ.ดร.สุพัฒน์ กิตติรัตน์สังจา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2561

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดทดลองเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์

ผู้จัดทำ

1. นายกนกพงศ์ เตชะพรสิน
2. นายกฤษฎิ์ กิตติคงวัตร
3. นางสาวณัฐร ศรีอุ้นเรือน



  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.สมภพ ผลไม้)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รศ.ดร.สุพัฒน์ กิติรัตน์สัจจา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ชุดทดลองเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์

นายกนกพงศ์ เตชะพรสิน

นายกฤษฎฤทธิ์ กิตติคงวัตร

นางสาวณัฐธร ศรีอุ้นเรือน

ดร.สมภพ ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ปีการศึกษา 2561

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีการนำระบบเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์ เช่น ลิ้นบัส แคนบัส, โมสต์บัส, และ เฟล็กซ์เรย์ เป็นต้น เข้ามาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมยานยนต์เพื่อสื่อสารข้อมูลระหว่างระบบต่าง ๆ ภายในรถยนต์ เช่น ความเร็วรอบ ระดับน้ำมัน ไฟสัญญาณ เป็นต้น ปริมาณงานนี้จึงนำเสนอการศึกษาและจัดทำชุดทดลองเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์ เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถศึกษาและเข้าใจการสื่อสารระหว่างระบบต่าง ๆ ภายในรถยนต์ โดยชุดทดลองจะจำลองการสื่อสารที่เกี่ยวข้องกับ แคนบัส และ ลิ้นบัส เท่านั้น เนื่องจากทั้งสองเครือข่ายนี้เป็นที่นิยมใช้บนเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์ และภายในชุดทดลองจะประกอบด้วยตัวอย่างการสื่อสารข้อมูลเกี่ยวกับระบบอำนวยความสะดวกในรถยนต์ซึ่งเป็นระบบที่เข้าใจง่าย และเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นเรียนรู้

## IN-VEHICLE NETWORK LAB KIT

Mr. Kanokpong	Techapornsin	
Mr. Kritcharit	Kittikongwat	
Ms. Natthatorn	Sriunruan	
Dr. Sompob	Polmai	Advisor
Assoc.Prof.Dr. Supat	Kittiratsatcha	Co-advisor

2018

### ABSTRACT

Nowadays, the use of in-vehicle communication network such as LIN bus, CAN bus, MOST bus and FlexRay have proliferated in the automotive industry for the data communication such as engine speed, fuel level, lamp signaling and so on, between various system in the vehicle. This thesis presents the study and construction of an in-vehicle network lab kit. This lab kit can be used for learning and understanding the communication network in vehicle. Only CAN bus and LIN bus are included in this lab kit because they are the mostly used network in the present vehicles. In this thesis, the demonstrations of the communication between the car convenience system, which is easy to understand and is suitable for the beginner, are presented.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ด้วยการให้คำแนะนำและคำปรึกษาจาก ดร.สมภพ ผลไม้ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของปริญญานิพนธ์ และ รศ.ดร.สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งได้ให้คำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขจนสำเร็จเรียบร้อย ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนพี่น้อง ในห้องวิจัย Power application and energy conversion research (PEARL lab) ห้อง ECC407 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้คำแนะนำ และกำลังใจมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณบิดามารดา ที่เป็นกำลังใจ และสนับสนุน จนทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	3
1.6 โครงสร้างปริญญานิพนธ์	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับโครงข่าย	4
2.1.1 รูปแบบของโครงข่าย	4
2.2 โครงข่ายภายในยานพาหนะ (AUTOMOTIVE NETWORKING)	5
2.2.1 สิ่งที่เป็นข้อกำหนดเลือกใช้ระบบบัส (Requirements for bus systems)	5
2.2.2 การจำแนกประเภทของระบบบัส (Classification of bus systems)	6
2.2.3 การนำระบบบัสมาใช้งานในยานพาหนะ (Applications in vehicle)	7
2.2.4 การทำงานร่วมกันของเครือข่าย (Coupling of networks)	8
2.2.5 ตัวอย่างเครือข่ายภายในยานพาหนะ	9
2.3 ระบบบัส	13
2.3.1 CAN bus	13
2.3.1.1 โครงสร้างการทำงานและลักษณะทางกายภาพของ CAN	13
2.3.1.2 การส่งข้อมูล (Data Transmission)	14
2.3.1.3 การเข้าถึงบัส (Bus access)	16
2.3.1.4 รูปแบบข้อมูลของ CAN (CAN protocol)	16

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.1.5 ลำดับการส่งข้อมูล (Bit arbitration)	19
2.3.2 LIN bus	20
2.3.2.1 การนำไปใช้งาน (Applications)	21
2.3.2.2 การส่งข้อมูล (Data Transmission)	22
2.3.2.3 การเข้าถึงบัส (Bus access)	22
2.3.2.4 รูปแบบข้อมูลของ LIN bus (LIN protocol)	23
<b>บทที่ 3 การออกแบบและสร้างชุดทดลองระบบสื่อสารภายในรถยนต์</b>	<b>25</b>
3.1 ภาพรวมของชุดทดลองระบบสื่อสารภายในยานพาหนะ	25
3.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของชุดจำลองเครือข่ายสื่อสารภายในรถยนต์	26
3.2.1 การออกแบบเกตเวย์	26
3.2.2 การออกแบบ CANความเร็วสูง	26
3.2.2.1 การออกแบบ ECU1	27
3.2.2.2 การออกแบบ ECU2	28
3.2.3 การออกแบบ CANความเร็วต่ำ	28
3.2.3.1 การออกแบบ ECU3	29
3.2.3.2 การออกแบบ ECU4	30
3.2.3.3 การออกแบบ ECU5	30
3.2.4 การออกแบบ LIN BUS	31
3.3 การออกแบบซอฟต์แวร์ของชุดจำลองเครือข่ายสื่อสารภายในรถยนต์	32
3.3.1 การออกแบบซอฟต์แวร์ของเกตเวย์	32
3.3.2 การออกแบบซอฟต์แวร์ของ CAN ความเร็วสูง	32
3.3.2.1 ส่วนของการส่งข้อมูล	33
3.3.2.2 ส่วนของการรับข้อมูล	33
3.3.3 การออกแบบซอฟต์แวร์ของ CAN ความเร็วต่ำ	34
3.3.2.1 ส่วนของการส่งข้อมูล	34
3.3.2.2 ส่วนของการรับข้อมูล	35
3.3.4 การออกแบบซอฟต์แวร์ของ LIN	36
3.3.4.1 ส่วนของการส่งข้อมูล	36

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.2.2 ส่วนของการรับข้อมูล	37
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง</b>	<b>38</b>
4.1 การทดลองวัดสัญญาณภายในสายของ CAN BUS	38
4.1.1 วิธีการทดลอง	38
4.1.2 ผลการทดลอง	40
4.2 การทดลองวัดสัญญาณภายในสายของ LIN BUS	48
4.2.1 วิธีการทดลอง	48
4.2.2 ผลการทดลอง	48
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	<b>49</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง	49
5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหา	50
5.2.1 ปัญหา	50
5.2.2 แนวทางการแก้ไขปัญหา	50
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>51</b>
<b>ภาคผนวก</b>	<b>53</b>
<b>ประวัติผู้เขียน</b>	<b>64</b>

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 (A) เกตเวย์แบบศูนย์กลาง (B) เกตเวย์แบบกระจาย [1]	9
2.2 ตัวอย่างเครือข่ายในยานพาหนะ (A) รถยนต์ทั่วไป (B) รถยนต์หรู [1]	10
2.3 การรับส่งข้อมูลระหว่างเปิดไฟเลี้ยว [1]	11
2.4 การส่งข้อมูลของที่ปิดน้ำฝน [1]	12
2.5 โครงสร้างการทำงานของ CAN [2]	13
2.6 ลักษณะการเชื่อมต่ออุปกรณ์ใน CAN ด้วยการตีเกลียว	14
2.7 ลักษณะสัญญาณข้อมูลแต่ละสถานะ [3]	14
2.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วข้อมูลกับระยะทางที่ส่งได้ [2]	15
2.9 ลักษณะการสื่อสารข้อมูลใน CAN BUS [1]	16
2.10 ส่วนประกอบของเฟรมข้อมูลแบบมาตรฐาน (STANDARD DATA FRAME) [4]	18
2.11 ส่วนประกอบของเฟรมข้อมูลแบบขยาย(EXTENDED DATA FRAME) [4]	19
2.12 สัญญาณในCAN BUS กรณีที่มีโหนดส่งข้อมูลออกมาที่บัสพร้อมกัน 3 โหนด[4]	20
2.13 มาสเตอร์และสเลฟของ LIN BUS [1]	21
2.14 ช่วงที่ยอมรับได้ของระดับแรงดันในการรับและส่งข้อมูล [1]	22
2.15 รูปแบบข้อมูลของ LIN BUS [1]	24
3.1 ภาพรวมของชุดจำลองระบบเครือข่ายในรถยนต์	25
3.2 การต่อวงจรของเกตเวย์	26
3.3 การต่อวงจรของ ECU 1	27
3.4 การต่อวงจรของ ECU 2	28
3.5 การต่อวงจรของ ECU 3	29
3.6 การต่อวงจรของ ECU 4	30
3.7 การต่อวงจรของ ECU 5	30
3.8 การเชื่อมต่อวงจรของ LIN BUS	31
3.9 การต่อวงจรของ LIN SLAVE	31
3.10 หน้าต่างโปรแกรมเกตเวย์	32
4.1 การวัดสัญญาณภายในสายของ CAN BUS ณ ตำแหน่ง HIGH SPEED CAN	38
4.2 การวัดสัญญาณภายในสายของ CAN BUS ณ ตำแหน่ง LOW SPEED CAN	39
4.3 สัญญาณของความเร็วรอบเครื่องรถยนต์	40

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 สัญญาณของความเร็วยนต์	41
4.5 สัญญาณของระดับน้ำมัน	42
4.6 สัญญาณที่สั่งการทำงานของไฟสัญญาณเลี้ยว	43
4.7 สัญญาณที่สั่งการทำงานของไฟฉุกเฉิน	44
4.8 สัญญาณที่สั่งการทำงานของไฟสูงและไฟต่ำ	45
4.9 สัญญาณที่สั่งการทำงานของก้านปัดน้ำฝนและที่พ่นน้ำ	46
4.10 ข้อมูลที่ปรากฏบนหน้าต่างโปรแกรมของเกตเวย์	47
4.11 การวัดสัญญาณภายในสายของ LIN BUS	48
4.12 สัญญาณที่สั่งการทำงานของพัดลม	48



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ประเภทของระบบบัส	6
2.2 ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติสายส่งกับอัตราเร็วข้อมูล	15
3.1 รายละเอียดการส่งข้อมูลภายใน CAN ความเร็วสูง	33
3.2 รายละเอียดการรับข้อมูลภายใน CAN ความเร็วสูง	33
3.3 รายละเอียดการส่งข้อมูลภายใน CAN ความเร็วต่ำ	34
3.4 รายละเอียดการรับข้อมูลภายใน CAN ความเร็วต่ำ	35
3.5 รายละเอียดการส่งข้อมูลภายใน LIN	37
3.6 รายละเอียดการรับข้อมูลภายใน LIN	37



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จุดเริ่มต้นของระบบเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์(In-Vehicle Network)ถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Robert Bosch ในประเทศเยอรมัน เนื่องจากปัญหาในการพัฒนารถยนต์รุ่นใหม่ที่ต้องการสิ่งอำนวยความสะดวกและระบบรักษาความปลอดภัยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ภายในรถยนต์มีความซับซ้อนมากขึ้น มีโมดูลของวงจรต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก ซึ่งต้องมีการสื่อสารส่งข้อมูลระหว่างกันและกัน หากใช้ระบบเดิมคือการเชื่อมต่อสายสัญญาณที่ใช้สื่อสารทุกสายเข้าหากัน (Discrete Connection) จะทำให้มีสายจำนวนมากในการติดต่อสื่อสารซึ่งทำให้เกิดความยุ่งยากซับซ้อนและไม่มีความยืดหยุ่น ด้วยเหตุนี้จึงได้นำระบบเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์มาใช้โดยระบบเครือข่ายนี้มีความน่าเชื่อถือและความยืดหยุ่น รวมทั้งง่ายต่อการใช้งานและมีค่าใช้จ่ายต่ำ ซึ่งทำให้ระบบเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์(In-Vehicle Network)มีความน่าสนใจในการศึกษามากเพื่ออำนวยความสะดวกในการศึกษาจึงได้ทำการจัดทำชุดจำลองระบบเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์(In-Vehicle Network lab kit) [1]

ชุดจำลองระบบเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์จัดทำขึ้นมาโดยจะใช้บัสในการสื่อสารข้อมูลอยู่ 2 ชนิด ชนิดที่ 1. CAN bus ซึ่งเป็นระบบบัสที่นิยมใช้มากที่สุด สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ High speed CAN มีความเร็วในการส่งข้อมูลอยู่ระหว่าง 125 กิโลบิตต่อวินาที ถึง 1 เมกะบิตต่อวินาที ซึ่งเหมาะกับการสื่อสารข้อมูลที่ต้องการการตอบสนองแบบทันที (real-time) ของระบบขับเคลื่อนและระบบส่งกำลัง และ Low speed CAN มีความเร็วในการส่งข้อมูลอยู่ระหว่าง 5 กิโลบิตต่อวินาที ถึง 125 กิโลบิตต่อวินาที ชนิดที่ 2. LIN bus มีความเร็วในการส่งข้อมูลอยู่ระหว่าง 1 กิโลบิตต่อวินาที ถึง 20 กิโลบิตต่อวินาที ซึ่งเหมาะกับการสื่อสารในระบบอำนวยความสะดวกในรถยนต์ ระบบสื่อสารทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นระบบที่ใช้เป็นจำนวนมากในรถยนต์

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษาและนำเสนอรูปแบบการทำงานของระบบเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์ผ่านทางชุดจำลองระบบเครือข่ายสื่อสาร โดยจะมีการนำ CAN bus มาใช้ในการสื่อสารของอุปกรณ์ที่ต้องมีความเร็วและความสำคัญสูง และ LIN bus มาใช้ในการสื่อสารของอุปกรณ์ที่ไม่ต้องการความเร็วในการตอบสนองมากนัก

### 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับระบบเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์ (In-Vehicle Network) โดยจะเน้นที่ระบบสื่อสารที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ CAN bus และ LIN bus

1.3.2 สร้างชุดจำลองระบบเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์ (In-Vehicle Network)

1.3.3 ทดสอบการทำงานและสรุปผล

### 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

ระยะเวลาในการดำเนินการ 9 เดือน ตั้งแต่เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2561 ถึง เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2562

การดำเนินงาน	เดือน										
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	
1.ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย											
2.ออกแบบชุดจำลองระบบสื่อสารในรถยนต์											
3.จัดเตรียมอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการสร้างชุดจำลอง											
4.สร้างชุดจำลอง											
5.ทดสอบการใช้งานของชุดจำลอง											
6.แก้ไขความผิดพลาดที่เกิดขึ้น											
7.สรุปผลการทำโครงการ											
8.จัดทำรูปเล่มปริญาบัตร											

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.5.1 เพื่อเข้าใจหลักการทำงานของระบบเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์โดยใช้ CAN bus และ LIN bus จากชุดทดลองระบบเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์

1.5.2 เพื่อเข้าใจหลักการออกแบบและเขียนโปรแกรมของระบบเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์โดยใช้ภาษา C/C++ และ C#

1.5.3 เพื่อนำชุดทดลองที่สร้างขึ้นไปเผยแพร่ให้ผู้สนใจสามารถศึกษาและเข้าใจเกี่ยวกับระบบเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์

## 1.6 โครงสร้างปริญญาานิพนธ์

โครงสร้างปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งออกเป็น 6 บทคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาความมุ่งหมาย วัตถุประสงค์ของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตการวิจัย ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการทำงานของระบบเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์

บทที่ 3 กล่าวถึงหลักการออกแบบชุดจำลองระบบเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์

บทที่ 4 เป็นการทดสอบการใช้งานและประเมินผล

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับโครงข่าย

ในปัจจุบันเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ได้พัฒนาให้มีความเร็วในการทำงานมากขึ้น ส่งผลให้มีการนำระบบอิเล็กทรอนิกส์มาใช้ในอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับอุตสาหกรรมรถยนต์ที่นำระบบอิเล็กทรอนิกส์มาใช้เพิ่มขึ้น จึงทำให้ระบบภายในรถยนต์ถูกพัฒนาให้มีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น ระบบจัดการเชื้อเพลิง (engine management system) จึงมีการพัฒนาการเครือข่ายสื่อสารระหว่างระบบต่าง ๆ ในรถยนต์ขึ้น โดยข้อมูลที่อยู่ในระบบนั้นจะสามารถนำไปใช้ได้กับทุกส่วนของระบบ ซึ่งเครือข่ายสื่อสารจะประกอบไปด้วยรูปแบบของการสื่อสารหลายประเภท โดยรูปแบบของการสื่อสารแต่ละประเภทจะถูกนำไปใช้กับระบบที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความต้องการของระบบนั้น ๆ

##### 2.1.1 รูปแบบของโครงข่าย

โครงข่ายเป็นระบบที่แลกเปลี่ยนข้อมูลของกลุ่มอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยผ่านตัวกลางในการสื่อสาร ถ้ามองอุปกรณ์เป็นโหนด และมองการสื่อสารเป็นเส้นทาง สามารถมองระบบให้เป็นโหนดต่าง ๆ ที่เชื่อมต่อกันอยู่ โดยโหนดในระบบสื่อสารสามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าสถานี

ในยานพาหนะ หน่วยควบคุมที่ซับซ้อน เช่น หน่วยควบคุมสำหรับระบบจัดการเชื้อเพลิง (engine management system), ระบบรักษาเสถียรภาพ (electronics stability program), ระบบควบคุมการส่งข้อมูล (transmission control system), หรือ โมดูลประตูจะทำหน้าที่เป็นสถานี อย่างไรก็ตาม เซนเซอร์ที่ทำหน้าที่วัดค่าต่าง ๆ ภายในรถสามารถทำหน้าที่เป็นสถานีเพื่อส่งสัญญาณให้กับสถานีอื่นได้ โดยมีตัวกลางในการสื่อสารคือบัส

รูปแบบของโครงข่ายเป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วยโหนดและตัวเชื่อมต่อ ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าโหนดใดบ้างที่เชื่อมต่อกัน แต่ไม่ได้แสดงรายละเอียดอย่างเช่น ความยาวของสายในการเชื่อมต่อ เป็นต้น แต่ละโหนดจะต้องเชื่อมต่อกับโหนดอื่นอย่างน้อยหนึ่งโหนดเพื่อสื่อสารกันในโครงข่าย โดยรูปแบบของโครงข่ายที่นำไปใช้งานนั้นจะขึ้นอยู่กับการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งรูปแบบของโครงข่ายพื้นฐานได้เป็น 4 รูปแบบ คือ

- 1) โครงข่ายแบบบัส (Bus Topology)
- 2) โครงข่ายแบบดาว (Star Topology)
- 3) โครงข่ายแบบวงแหวน (Ring Topology)
- 4) โครงข่ายแบบตาข่าย (Mesh Topology)

นอกจากนี้ยังสามารถนำโครงข่ายพื้นฐานมารวมกันเพื่อสร้างเป็นโครงข่ายแบบผสม (Hybrid Topology) ได้ [1]

## 2.2 โครงข่ายภายในยานพาหนะ (Automotive Networking)

ระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ภายในยานพาหนะมักจะแยกเป็นระบบอิสระ โดยแต่ละระบบจะมีอิทธิพลซึ่งกันและกัน จึงมีสายสัญญาณเพื่อเชื่อมต่อสื่อสารระหว่างระบบ แต่ด้วยในปัจจุบัน มีการพัฒนาระบบอิเล็กทรอนิกส์ภายในยานพาหนะมากขึ้น ส่งผลกระทบให้ต้องใช้สายสัญญาณเป็นจำนวนมากในการเชื่อมต่อเพื่อสื่อสารระหว่างระบบ จึงแก้ปัญหาโดยการพัฒนาระบบบัสสื่อสารแบบอนุกรม (Serial Bus System) เพื่อส่งข้อมูลจำนวนมากจากระบบหนึ่งไปอีกระบบหนึ่ง ซึ่งการนำระบบบัสมาใช้มีข้อดีดังนี้

- 1) ลดต้นทุนในการผลิตเนื่องจากใช้สายสัญญาณน้อยลง ทำให้อายุการใช้งานมีน้ำหนักที่เบาและพื้นที่ในการติดตั้งมากขึ้น
- 2) ระบบมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น เนื่องจากมีความเป็นระเบียบจากการที่มีจุดเชื่อมต่อที่น้อยลง
- 3) ทำให้การประกอบในขั้นตอนการผลิตง่ายขึ้น
- 4) สามารถใช้เซนเซอร์ร่วมกันในแต่ละระบบได้
- 5) ทำให้บำรุงรักษาหรือหาจุดบกพร่องของระบบต่าง ๆ ได้ง่ายขึ้น

### 2.2.1 สิ่งที่ต้องพิจารณาในการเลือกใช้ระบบบัส (Requirements for bus systems)

ในการเลือกระบบบัสแบบต่าง ๆ มาใช้ในระบบภายในยานพาหนะ จำเป็นต้องพิจารณาทั้งด้านเทคนิคและความคุ้มค่า โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณามีดังนี้

- 1) ความเร็วในการรับส่งข้อมูล (Data transfer rate)

ความเร็วในการรับส่งข้อมูล คือ จำนวนข้อมูลที่ส่งได้ในระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งโดยปกติจะมีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (bits/seconds)

การเลือกความเร็วในการรับส่งข้อมูลนั้นจะขึ้นอยู่กับการใช้งานของอุปกรณ์ เช่น ในการเปิดหรือปิดแอร์จะใช้ความเร็วในการรับส่งข้อมูลต่ำ ส่วนการส่งข้อมูลความเร็วเพื่อใช้ในการเปลี่ยนเกียร์และแสดงที่หน้าปัดรถยนต์จะใช้ความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูง

- 2) การป้องกันสัญญาณรบกวน (Interference immunity)

ในทางอุดมคติแล้ว ข้อมูลควรถูกส่งโดยปราศจากสัญญาณรบกวน แต่ในทางปฏิบัติ นั้น ข้อมูลที่ถูกส่งภายในยานพาหนะจะถูกรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จึงพิจารณาให้ระบบที่สำคัญ เช่น ระบบขับเคลื่อน มีการป้องกันสัญญาณรบกวนได้มากกว่าระบบอำนวยความสะดวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3) ความสามารถในการส่งข้อมูลแบบทันที (Real-time Capability)

การส่งข้อมูลแบบทันทีนั้นจะทำให้ข้อมูลที่ส่งออกไปถูกนำไปใช้งานได้ทันทีภายในช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งช่วงเวลาที่ต้องการของแต่ละระบบนั้นจะไม่เท่ากัน เช่น ระบบเบรก (Antilock Brake System : ABS) ต้องตอบสนองต่อการทำงานภายในช่วงเวลา 1-2 มิลลิวินาที ในขณะที่มอเตอร์ที่ใช้ในการเลื่อนหน้าต่างใช้เวลาในการตอบสนอง 100 มิลลิวินาที

## 2.2.2 การจำแนกประเภทของระบบบัส (Classification of bus systems)

เนื่องจากแต่ละระบบมีความต้องการที่แตกต่างกัน ระบบบัสจึงถูกจำแนกเป็นคลาสต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ประเภทของระบบบัส [1]

<b>คลาส A</b>	
ความเร็วในการรับส่งข้อมูล	ความเร็วในการรับส่งข้อมูลต่ำ (สูงสุด 20 กิโลบิตต่อวินาที)
การใช้งาน	ใช้ในเครือข่ายของตัวกระตุ้นและเซ็นเซอร์
ชนิดของบัส	LIN
<b>คลาส B</b>	
ความเร็วในการรับส่งข้อมูล	ความเร็วในการรับส่งข้อมูลปานกลาง (สูงสุด 125 กิโลบิตต่อวินาที)
การใช้งาน	ใช้ในกลไกสำหรับระบบอำนวยความสะดวก
ชนิดของบัส	CANความเร็วต่ำ
<b>คลาส C</b>	
ความเร็วในการรับส่งข้อมูล	ความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูง (สูงสุด 1 เมกะบิตต่อวินาที)
การใช้งาน	ใช้ในระบบขับเคลื่อนและระบบส่งกำลัง
ชนิดของบัส	CANความเร็วสูง

คลาส C+	
ความเร็วในการรับส่งข้อมูล	ความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงมาก (สูงสุด 10 เมกะบิตต่อวินาที)
การใช้งาน	ใช้ในระบบขับเคลื่อนและระบบส่งกำลัง
ชนิดของบัส	FlexRay
คลาส D	
ความเร็วในการรับส่งข้อมูล	ความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงมาก (มากกว่า 10 เมกะบิตต่อวินาที)
การใช้งาน	ใช้ในระบบขับโทรสเนตและมัลติมีเดีย
ชนิดของบัส	MOST

### 2.2.3 การนำระบบบัสมาใช้งานในยานพาหนะ (Applications in vehicle)

ระบบภายในยานพาหนะสามารถแบ่งออกเป็นระบบหลัก ๆ ได้ 4 ระบบ คือ

- ระบบขับเคลื่อน (Drivetrain)
- ตัวถังรถ (Chassis)
- ระบบภายใน (Interior)
- ระบบโทรสเนต (Telematics)

#### 1) ระบบที่ทำงานแบบทันที (Real-time applications)

ระบบนี้เป็นระบบที่ต้องใช้การสื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากต้องตอบสนองต่อการทำงานภายในระยะเวลาที่กำหนด ระบบที่จัดอยู่ในประเภทนี้ได้แก่ ระบบขับเคลื่อนและตัวถังรถ ซึ่งต้องการการรับส่งข้อมูลที่รวดเร็วเพื่อนำข้อมูลไปใช้งาน จึงเหมาะสำหรับ CAN bus ที่มีอัตราการรับส่งข้อมูล 500 กิโลบิตต่อวินาที (kbps) หรือ CANความเร็วสูง (High speed CAN) ซึ่งจัดอยู่ในคลาส C

ตัวอย่างระบบ :

- ระบบควบคุมเครื่องยนต์ (Engine-management system)
- ระบบเบรก (Antilock brake system, ABS)
- ระบบควบคุมตัวถังรถ (Chassis control systems)

## 2) ระบบที่ใช้งานหลากหลาย (Multiplex applications)

ระบบนี้เหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่อยู่ภายในยานพาหนะ และระบบที่ใช้อำนวยความสะดวก เช่น

- ระบบหน้าจอแสดงผล (Displays)
- ระบบแสงสว่าง (Lighting)
- ระบบปรับอากาศ (Air-conditioning)
- ระบบปรับที่นั่งและกระจก (Seat and mirrors adjustment)

ความเร็วในการรับส่งข้อมูลของระบบนี้จะอยู่ในคลาส B ซึ่งมีความเร็วน้อยกว่าระบบที่ใช้คลาส C โดยใช้ CAN ความเร็วต่ำ (Low speed CAN) ที่มีความเร็วในการรับส่งข้อมูล 125 กิโลบิตต่อวินาที หรือใช้ CAN แบบสายเดี่ยว (single-wire CAN) ที่มีความเร็วในการรับส่งข้อมูล 33 กิโลบิตต่อวินาที

ถ้าระบบหรืออุปกรณ์ที่ต้องการความเร็วในการรับส่งข้อมูลน้อยกว่า 20 กิโลบิตต่อวินาที จะนิยมนำ LIN bus มาใช้เนื่องจากมีราคาถูก

## 3) เครือข่ายมัลติมีเดีย (Multimedia networking)

การสื่อสารระยะไกลที่เป็นส่วนประกอบของระบบต่าง ๆ ภายในยานพาหนะ มีดังนี้

- ระบบเสียงภายในรถยนต์ (Car sound system)
- เครื่องใส่แผ่นซีดี (CD changer)
- ระบบนำทาง (Navigation system)
- โทรศัพท์ (Telephone)
- ระบบวิดีโอ (Video system)

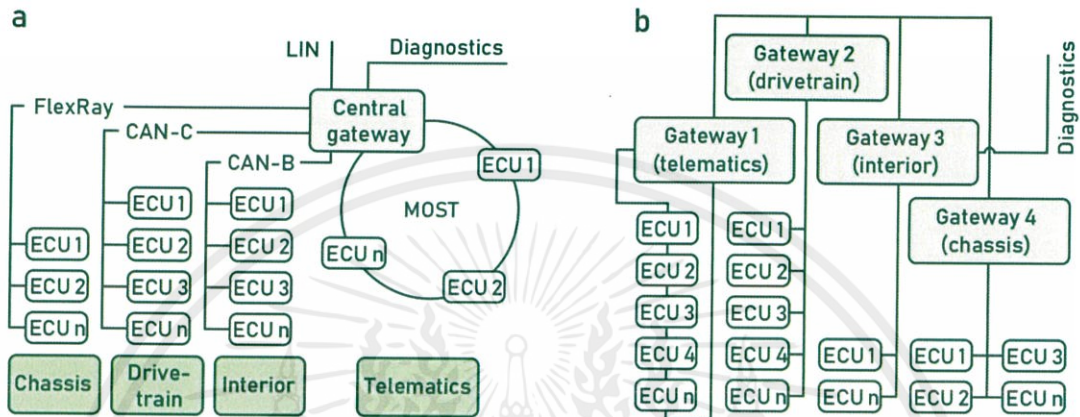
เครือข่ายของส่วนประกอบต่าง ๆ นี้จะรวมอยู่ในหน่วยควบคุม (control unit) ซึ่งสามารถแบ่งข้อมูลได้เป็น 2 ประเภท คือ ข้อมูลที่ใช้ควบคุมและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับมัลติมีเดีย สำหรับข้อมูลที่ใช้ควบคุมจะใช้ CAN ความเร็วต่ำ (Low speed CAN) ซึ่งเพียงพอต่อการทำงานของอุปกรณ์ เช่น เครื่องใส่แผ่นซีดี ในขณะที่ข้อมูลมัลติมีเดีย เช่น ข้อมูลเสียงหรือวิดีโอ ต้องการความเร็วในการรับส่งข้อมูลมากกว่า 10 เมกะบิตต่อวินาที จึงต้องนำ MOST bus มาใช้งานในการรับส่งข้อมูล

### 2.2.4 การทำงานร่วมกันของเครือข่าย (Coupling of networks)

เครือข่ายแบบต่าง ๆ ที่เหมาะกับความต้องการของแต่ละระบบได้ถูกนำมาใช้งานกับระบบนั้น ๆ แต่รูปแบบของเครือข่ายที่ต่างกัน ไม่สามารถสื่อสารหรือรับส่งข้อมูลกันได้ จึงต้องมี “เกตเวย์” (Gateway) ซึ่งทำหน้าที่เป็นล่าม โดยการรับข้อมูลมาจากเครือข่ายหนึ่ง แล้วแปลงข้อมูล

เพื่อส่งให้กับอีกเครือข่ายหนึ่ง เกตเวย์ที่กล่าวถึงนี้คือ คอมพิวเตอร์ที่สามารถอ่านข้อมูลที่ส่งมาแล้วแปลงข้อมูลเป็นอีกรูปแบบหนึ่งเพื่อให้เครือข่ายที่ต่างกันสามารถสื่อสารกันได้

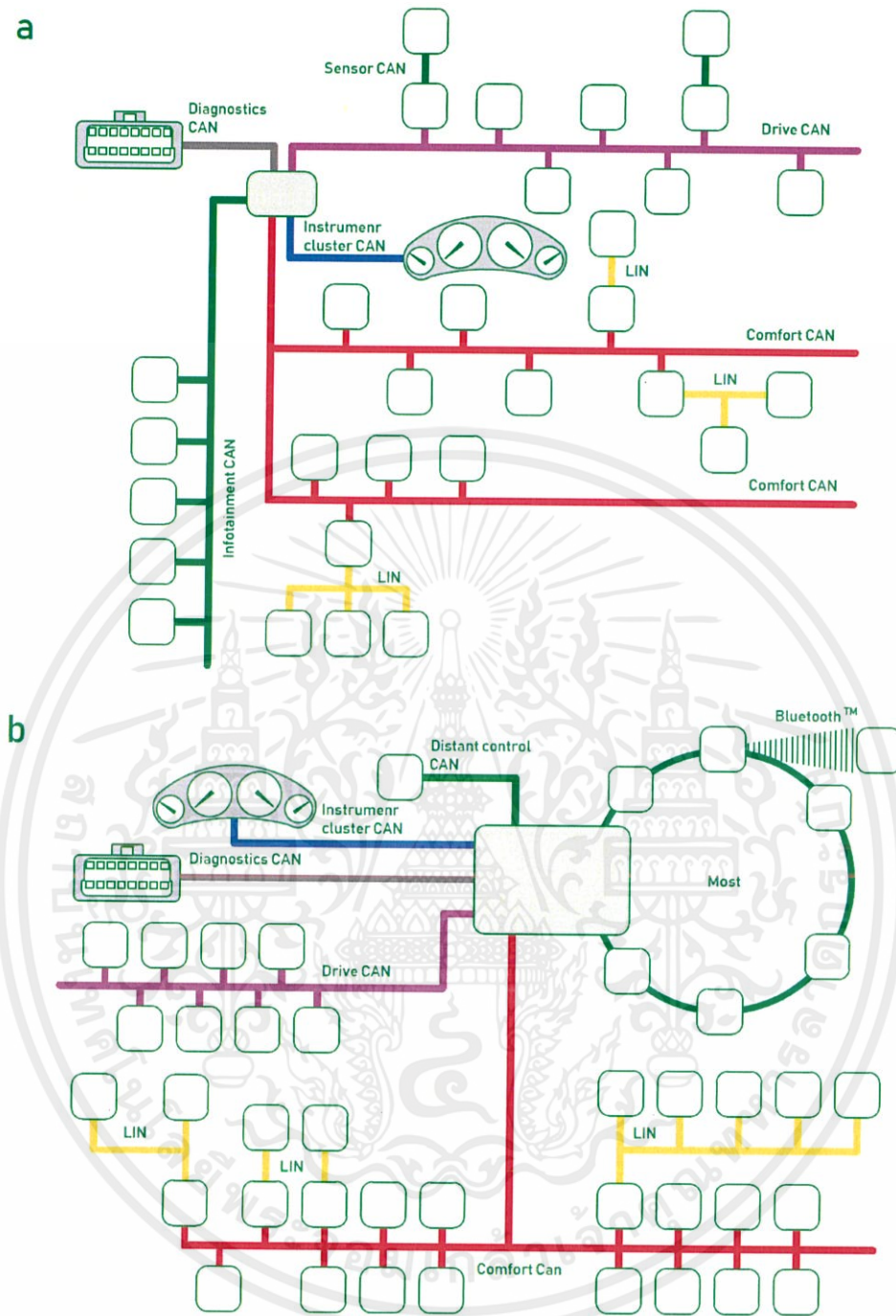
เกตเวย์สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายได้ 2 แบบคือ เกตเวย์แบบศูนย์กลาง (Central gateway) ซึ่งจะนำทุกบัสมารวมกันที่เกตเวย์ และ เกตเวย์แบบกระจาย (Distributed gateway) ซึ่งจะมีเกตเวย์กระจายอยู่หลายตัว โดยแต่ละตัวจะรวมบัส 2 บัสขึ้นไปเข้าด้วยกัน



รูปที่ 2.1 (a) เกตเวย์แบบศูนย์กลาง (b) เกตเวย์แบบกระจาย [1]

## 2.2.5 ตัวอย่างเครือข่ายภายในยานพาหนะ

รูปแบบของเครือข่ายที่ใช้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความต้องการใช้งาน ในบางกรณีอาจขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิตที่อาจจะใช้ระบบบัสที่แตกต่างกันไปจึงทำให้รูปแบบเครือข่ายมีความแตกต่างกัน

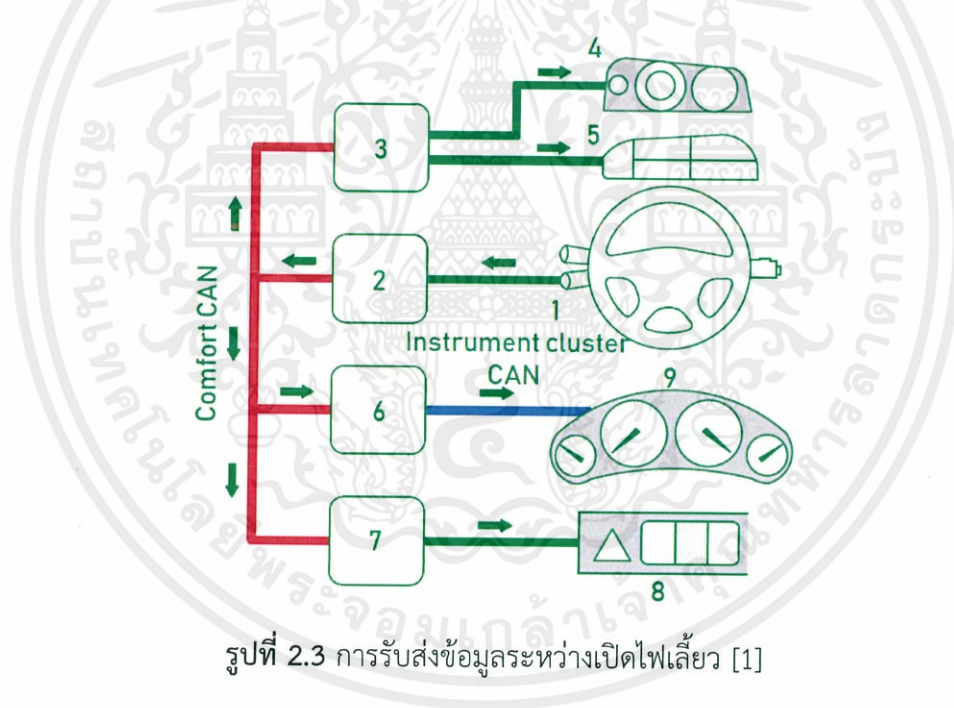


รูปที่ 2.2 ตัวอย่างเครือข่ายในยานพาหนะ (a) รถยนต์ทั่วไป (b) รถยนต์หรู [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1) ตัวอย่างการรับส่งข้อมูลไฟเลี้ยว (Turn signaling)

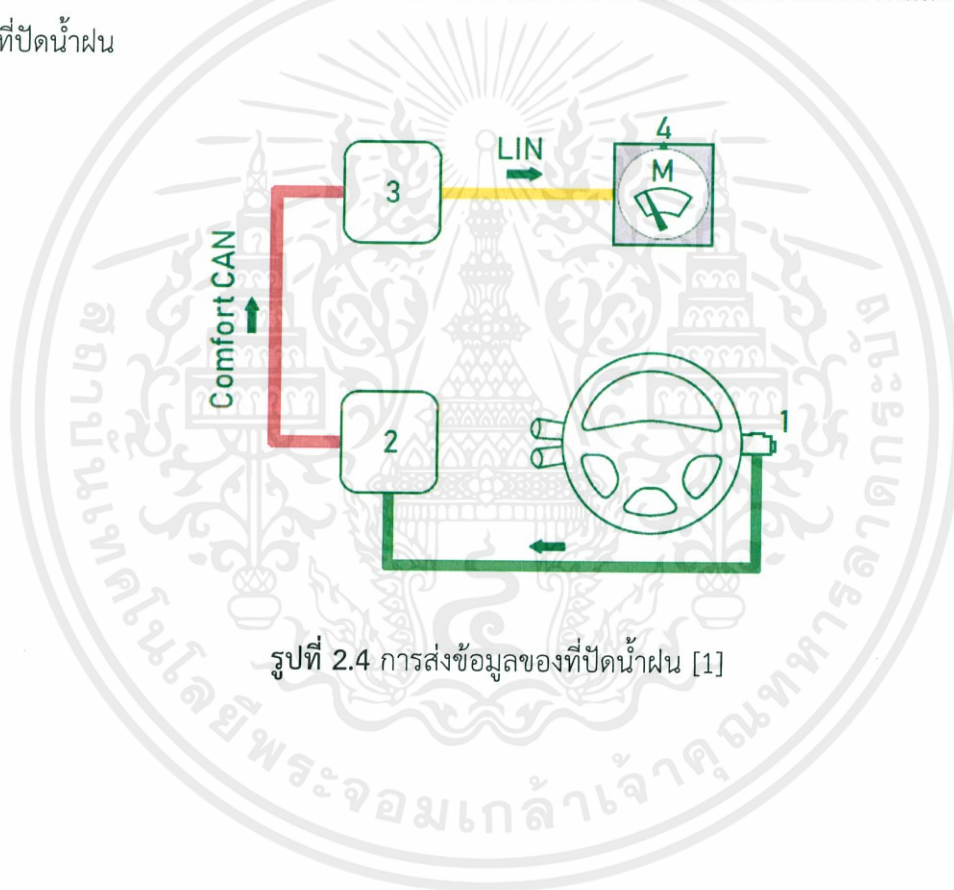
คนขับสั่งการจากก้านไฟเลี้ยว (Turn signal lever) (รูปที่ 2.3 ตัวที่ 1) ข้อมูลสัญญาณจะถูกส่งมาที่หน่วยควบคุมของพวงมาลัย (Steering column control unit) (รูปที่ 2.3 ตัวที่ 2) ผ่านทางสายสัญญาณเพื่อประมวลผลว่าเป็นไฟเลี้ยวซ้ายหรือเลี้ยวขวา จากนั้นข้อมูลจะถูกส่งไปยัง CAN ของระบบอำนวยความสะดวก (Comfort CAN) หน่วยควบคุมระบบไฟฟ้าของยานพาหนะ (Vehicle electrical system control unit) (รูปที่ 2.3 ตัวที่ 3) จะรับข้อมูลมาจาก CAN ของระบบอำนวยความสะดวก เพื่อสั่งการให้ไฟเลี้ยวติด (รูปที่ 2.3 ตัวที่ 4 และ 5) ในขณะเดียวกันเกตเวย์ (รูปที่ 2.3 ตัวที่ 6) จะรับข้อมูลจาก CAN ของระบบอำนวยความสะดวกเพื่อแปลงข้อมูลแล้วส่งไปยัง CAN ของหน้าปัดรถยนต์เพื่อสั่งการให้ไฟเลี้ยวที่หน้าปัดรถยนต์ติด (รูปที่ 2.3 ตัวที่ 9) ถ้าหากรถยนต์มีรถพ่วง ข้อมูลจาก CAN ของระบบอำนวยความสะดวกจะถูกส่งไปยังหน่วยควบคุมของรถพ่วง (Trailer recognition control unit) (รูปที่ 2.3 ตัวที่ 7) เพื่อสั่งการให้ไฟเลี้ยวที่รถพ่วงทำงาน (รูปที่ 2.3 ตัวที่ 8)



รูปที่ 2.3 การรับส่งข้อมูลระหว่างเปิดไฟเลี้ยว [1]

## 2) ตัวอย่างการส่งข้อมูลของที่ปัดน้ำฝน (Wiper)

สวิตช์สำหรับที่ปัดน้ำฝน (Windshield wiper lever) (รูปที่ 2.4 ตัวที่ 1) จะส่งข้อมูลผ่านสายสัญญาณไปยังหน่วยควบคุมของพวงมาลัย (Steering column control unit) (รูปที่ 2.4 ตัวที่ 2) เพื่อประมวลผลสัญญาณ จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งไปยัง CAN ของระบบอำนวยความสะดวก (Comfort CAN) หน่วยควบคุมระบบไฟฟ้าของยานพาหนะ (Vehicle electrical system control unit) (รูปที่ 2.4 ตัวที่ 3) จะรับข้อมูลมาจาก CAN bus และส่งข้อมูลไปยังมอเตอร์ของที่ปัดน้ำฝน (Wiper motor) (รูปที่ 2.4 ตัวที่ 4) ผ่านทาง LIN bus เพื่อสั่งให้มอเตอร์ทำงาน ซึ่ง LIN bus จะทำหน้าที่เป็นเกตเวย์ระหว่าง CAN ของ CAN bus ของระบบอำนวยความสะดวกและ LIN bus ของที่ปัดน้ำฝน



รูปที่ 2.4 การส่งข้อมูลของที่ปัดน้ำฝน [1]

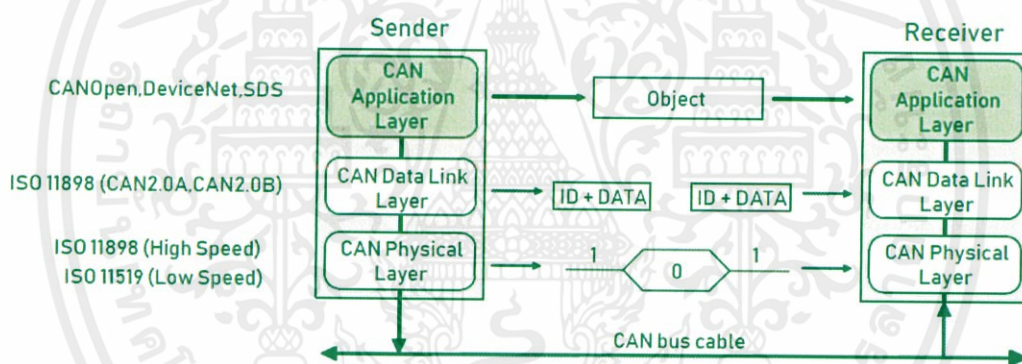
## 2.3 ระบบบัส

### 2.3.1 CAN bus

CAN bus ถูกคิดค้นและพัฒนาขึ้นมาโดย บริษัท Robert Bosch สำหรับใช้ในระบบอิเล็กทรอนิกส์ในรถยนต์ เพื่อให้ระบบมีความน่าเชื่อถือ ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น ซึ่งได้กำหนดมาตรฐาน ISO11898 (CAN ความเร็วสูง) และ ISO11519 (CAN ความเร็วต่ำ) ขึ้นมา [2]

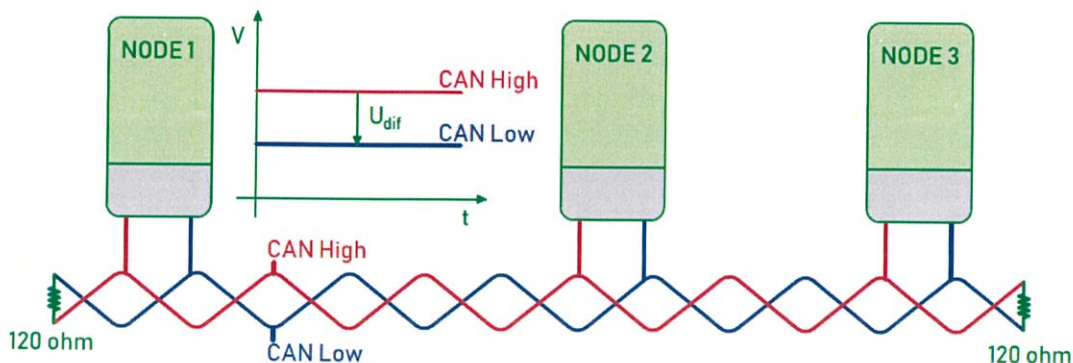
#### 2.3.1.1 โครงสร้างการทำงานและลักษณะทางกายภาพของ CAN

โครงสร้างการทำงานของ CAN เมื่อเทียบกับแบบจำลอง ISO/OSI จะมีสามชั้นหลัก ๆ คือ ชั้นกายภาพ (Physical Layer) ชั้นเชื่อมโยงข้อมูล (Data Link Layer) และชั้นประยุกต์ใช้งาน (Application Layer) โดยลักษณะการทำงานเป็นดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างการทำงานของ CAN [2]

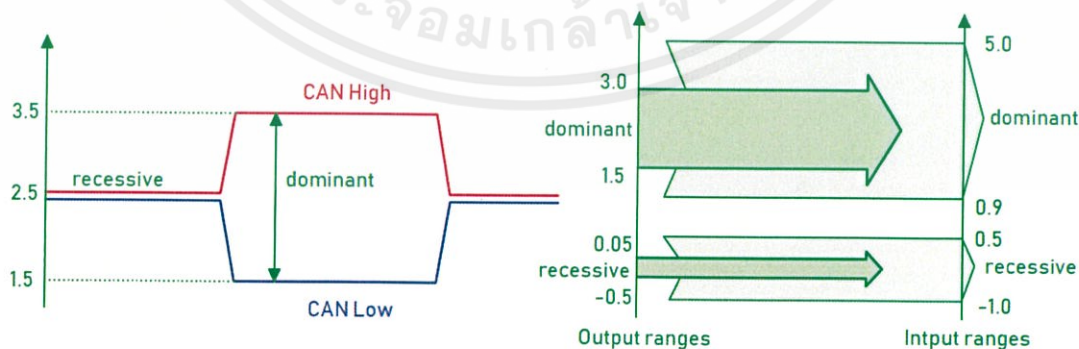
ลักษณะทางกายภาพจะมีตัวกลางที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูลอยู่หลายรูปแบบตั้งแต่การใช้สายสัญญาณ 2 เส้น การใช้สายไฟเส้นเดียว การใช้สายไฟเบอร์ออปติก แต่ที่นิยมใช้กันคือ การใช้สายสัญญาณ 2 เส้นแบบตีเกลียว (Twisted-pair Cable) การส่งผ่านข้อมูลใน CAN มีรูปแบบการส่งข้อมูลเป็นแบบอนุกรมซึ่งมีลักษณะการเชื่อมต่อสายสัญญาณดังรูปที่ 2.6 โดยอุปกรณ์ทุกตัวจะต่อยู่บนสายสัญญาณคู่เดียวกัน และปิดปลายคู่สายสัญญาณทั้งสองข้างด้วยอิมพีแดนซ์ที่จุดปลาย (Termination Impedance)



รูปที่ 2.6 ลักษณะการเชื่อมต่ออุปกรณ์ใน CAN ด้วยการตีเกลียว

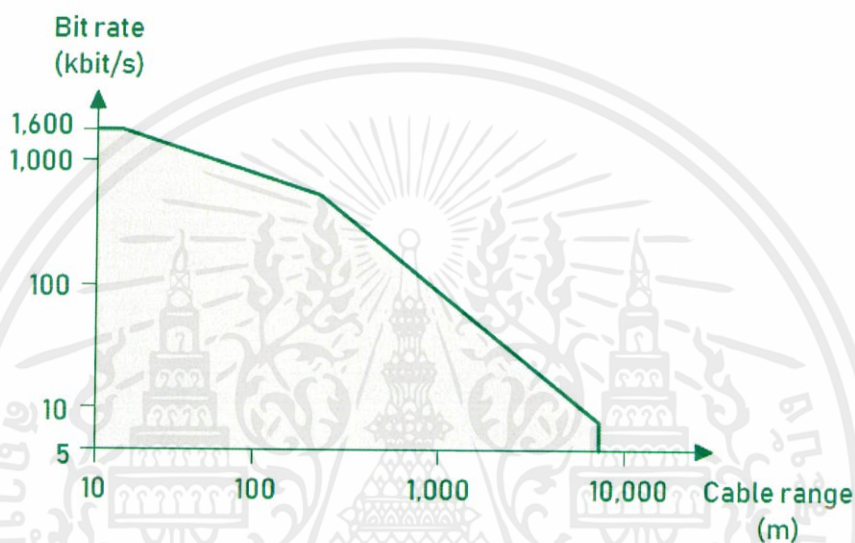
### 2.3.1.2 การส่งข้อมูล (Data Transmission)

สัญญาณข้อมูลที่ส่งจะใช้วิธีการส่งแบบสัญญาณแรงดันผลต่าง (Differential Voltage Signal) หรือการส่งสัญญาณแบบ NRZ (Non-Return-to-Zero) สถานะของสัญญาณในสายส่งได้จากการเปรียบเทียบระดับแรงดันหรือศักย์ไฟฟ้าระหว่างสายสัญญาณทั้งสองเส้น คือ CAN\_H (ศักย์สูง) และ CAN\_L (ศักย์ต่ำ) สถานะของสัญญาณข้อมูลในสายส่ง CAN จะมีอยู่ 2 สถานะคือ สถานะรีเซสซีฟ (Recessive) และสถานะโดมิแนนต์ (Dominant) ระดับแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณในแต่ละเส้น (เทียบกับกราวด์) และผลต่างแรงดันไฟฟ้าระหว่างคู่สายสัญญาณในแต่ละสถานะแสดงดังรูปที่ 2.7 คือถ้าผลต่างของแรงดันระหว่าง CAN\_H และ CAN\_L เป็น 0 โวลต์ (หรือ  $\leq 0.5$  โวลต์) จะเป็นสถานะรีเซสซีฟ ซึ่งจะแทนข้อมูลที่มีลอจิกเป็น “1” แต่ถ้าผลต่างของแรงดันระหว่าง CAN\_H และ CAN\_L เป็น 2 โวลต์ (หรือ  $\geq 0.9$  โวลต์) จะเป็นสถานะโดมิแนนต์ ซึ่งจะแทนข้อมูลที่มีลอจิกเป็น “0”



รูปที่ 2.7 ลักษณะสัญญาณข้อมูลแต่ละสถานะ [3]

การส่งผ่านข้อมูลโค่นใช้ผลต่างแรงดันของคู่สายสัญญาณมีข้อดีคือ จะช่วยลดการรบกวนอันเนื่องมาจากผลของ EMI (Electromagnetic Interference) ลงได้เป็นอย่างมากทำให้สามารถส่งสัญญาณได้ในอัตราเร็วที่สูงขึ้นและได้ระยะทางที่ไกลมากขึ้นซึ่งอัตราเร็วในการส่งข้อมูลและระยะทางที่ส่งได้จะแปรผกผันกันดังกราฟในรูปที่ 2.8 ตามมาตรฐาน ISO 11898 อัตราเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุดคือ 1 เมกะบิตต่อวินาทีที่ความยาวของสายส่งไม่เกิน 40 เมตรสำหรับค่าความต้านทานและขนาดของสายส่ง รวมทั้งขนาดของอิมพีแดนซ์ที่จุดปลายที่แนะนำให้ใช้ [2] ดูได้จากตารางที่ 2.2



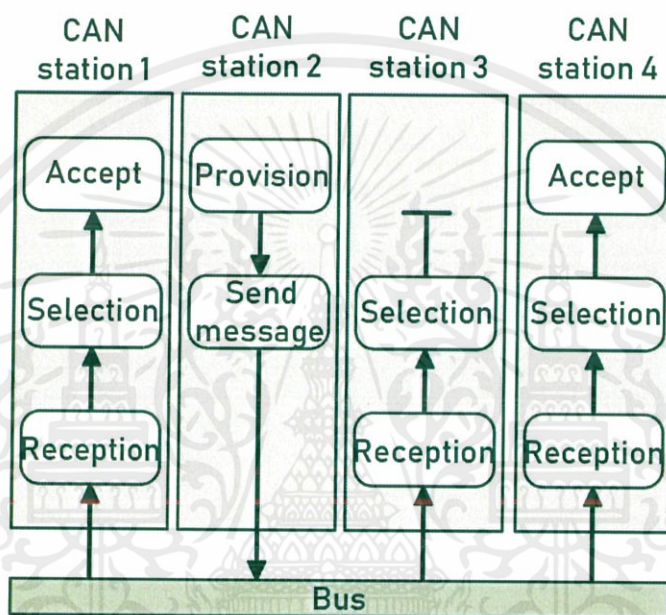
รูปที่ 2.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วข้อมูลกับระยะทางที่ส่งได้ [2]

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติสายส่งกับอัตราเร็วข้อมูล [3]

ความเร็วในการส่งข้อมูล	คุณสมบัติของสายส่ง		อิมพีแดนซ์ที่จุดปลาย	ความยาวสายส่ง
	ความต้านทานต่อเมตร	ขนาด		
50 kbit/s ที่ 1 km	70 m Ω	0.75-0.8 mm <sup>2</sup> (AWG18)	150-300 Ω	600-1,000 m
100 kbit/s ที่ 500 m	< 60 m Ω	0.5-0.6 mm <sup>2</sup> (AWG20)	150-300 Ω	300-600 m
500 kbit/s ที่ 100 m	< 40 m Ω	0.34-0.6 mm <sup>2</sup> (AWG22, AWG 20)	127 Ω	40-300 m
1 Mbit/s ที่ 40 m	< 26 m Ω	0.25-0.34 mm <sup>2</sup> (AWG23, AWG22)	124 Ω	0-40 m

### 2.3.1.3 การเข้าถึงบัส (Bus access)

การส่งข้อมูลใน CAN คือทุกโหนดที่อยู่บนบัสสามารถรับข้อมูลที่ส่งจากโหนดผู้ส่งได้ หลังจากที่ได้รับข้อมูลแล้วเป็นหน้าที่ของแต่ละโหนดที่จะต้องตรวจสอบเองว่าเป็นข้อมูลที่ต้องการหรือไม่ ซึ่งการตรวจสอบตรงจุดนี้จะอาศัยแอกเซปแตนท์ฟิลเตอร์ (Acceptance Filter) ทำหน้าที่สกัดกั้นข้อมูลที่ไม่ต้องการทิ้งไปและยอมรับเฉพาะข้อมูลที่ต้องการเท่านั้น โดยดูจากค่ารหัสประจำตัว (Identifier) ของข้อมูลหรือข้อความนั้น [4] ซึ่งจะแสดงลักษณะการสื่อสารดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ลักษณะการสื่อสารข้อมูลใน CAN Bus [1]

### 2.3.1.4 รูปแบบข้อมูลของ CAN (CAN protocol)

โปรโตคอลการส่งข้อมูลใน CAN จะแบ่งข้อมูลที่ส่งออกเป็น 4 เฟรม ซึ่งประกอบไปด้วย เฟรมข้อมูล(Data Frame), เฟรมร้องขอข้อมูล (Remote Frame) ใช้ในการร้องขอข้อมูลจากโหนดอื่น, เฟรมแสดงความผิดพลาด (Error Frame) ใช้แสดงความผิดพลาดที่เกิดขึ้น และ เฟรมโอเวอร์โหลด(Overload Frame) ใช้เพื่อบอกว่าต้องการเวลาในการประมวลผลข้อมูลที่ได้รับเพิ่มขึ้นในที่นี้จะกล่าวถึง เฟรมข้อมูล กับ เฟรมร้องขอข้อมูลเท่านั้น

เฟรมข้อมูลในเฟรมข้อมูล 1 เฟรมจะประกอบด้วยส่วนย่อย ๆ ที่เรียกว่าฟิลด์ (Fields)ดังรูปที่ 2.10 และ 2.11 ซึ่งแสดงส่วนประกอบของเฟรมข้อมูลแบบมาตรฐาน (Standard Data Frame)และเฟรมข้อมูลแบบขยาย(Extended Data Frame) ตามลำดับเฟรมข้อมูลทั้งสองแบบจะมีข้อแตกต่างกันตรงที่ขนาดของรหัสประจำตัวของข้อมูล (Identifier หรือ ID)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.3.1.4.1 เฟรมข้อมูลแบบมาตรฐาน (CAN 2.0A)

เฟรมข้อมูลแบบมาตรฐาน (CAN 2.0A) ส่วนประกอบต่าง ๆ ในเฟรมข้อมูลมีดังนี้

1) บิตเริ่มต้นเฟรม (Start of Frame : SOF) มีสถานะเป็นโดมิแนนต์หรือลอจิก '0' ซึ่งจะเป็นจุดที่ทุกโหนดในบัสใช้การเริ่มต้นเข้าจังหวะสำหรับการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างกัน

2) ฟیلด์แสดงรหัสข้อมูล (Arbitration Field) มีขนาด 12 บิต ประกอบด้วยหมายเลข ID (Identifier) ขนาด 11 บิต และบิต RTR (Remote Transmission Request) 1 บิต ซึ่งจะมี ID ที่สามารถใช้งานได้  $2^{11}=2,048$  หมายเลขที่แตกต่างกันโดยมีสำรองไว้ 16 หมายเลขสำหรับใช้งานฟังก์ชันพิเศษเฉพาะอย่าง จึงมีเหลือให้ใช้งานได้ 2,032 หมายเลขซึ่งหมายถึงจำนวนข้อมูลที่สามารถรองรับได้นั้นเอง บิต RTR ซึ่งอยู่ถัดจากหมายเลข ID เป็นบิตที่ใช้แสดงชนิดของเฟรมข้อมูล โดยถ้าบิต RTR = '0' หรือโดมิแนนต์แสดงว่าเป็นเฟรมข้อมูล แต่ถ้าบิต RTR = '1' หรือรีเซสซีฟแสดงว่าเป็นเฟรมร้องขอข้อมูล

3) ฟیلด์ควบคุม (Control Field) มีขนาด 6 บิต ประกอบด้วยบิต IDE (Identifier Extension) 1 บิต, บิต RBO (Reserved Bit 0) 1 บิต และ DLC (Data Length Code) จำนวน 4 บิต บิต IDE ใช้ในการบ่งบอกว่าเฟรมข้อมูลนี้เป็นเฟรมข้อมูลแบบใด โดยถ้าบิต IDE = '0' หรือโดมิแนนต์จะเป็นเฟรมข้อมูลแบบมาตรฐาน ถ้าบิต IDE = '1' หรือรีเซสซีฟจะเป็นเฟรมข้อมูลแบบขยาย (ID = 29 บิต) บิต RBO เป็นบิตที่สำรองไว้สำหรับการใช้งานในอนาคต ในการใช้งานจะให้บิตนี้เป็น '0' หรือโดมิแนนต์ ส่วนสุดท้ายในฟیلด์ควบคุมคือ DLC ใช้บอกขนาดของข้อมูลที่ส่งมาโดยข้อกำหนดของ CAN กำหนดให้ข้อมูลที่ส่งมาในแต่ละเฟรมมีขนาดได้ตั้งแต่ 0-8 ไบต์ หรือ 0-64บิต

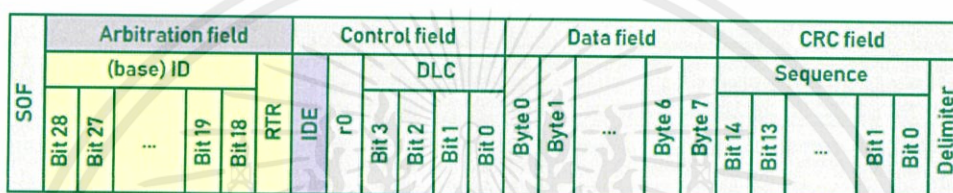
4) ฟیلด์ข้อมูล (Data Field) เป็นส่วนของข้อมูลที่ต้องส่ง มีขนาดไม่เกิน 8 ไบต์ หรือ 64 บิต

5) ฟیلด์ตรวจสอบ (CRC Field) มีขนาด 16 บิต เป็นส่วนที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ส่งในเฟรมนั้นประกอบด้วยค่า CRC (Cyclic Redundancy Check) ขนาด 15 บิต และบิต CRC Delimiter 1 บิต การส่งข้อมูลในแต่ละเฟรมจะมีการคำนวณ CRC เริ่มตั้งแต่บิตเริ่มต้นเฟรมไปจนถึงฟیلด์ข้อมูล โดยสามารถตรวจพบความผิดพลาดของข้อมูลที่เกิดขึ้นในช่วงดังกล่าวได้ หากมีความผิดพลาดไม่เกิน 5 บิต เมื่อส่งค่า CRC ครบทั้ง 15 บิตแล้วจะปิดท้ายฟیلด์ตรวจสอบนี้ด้วยบิต CRC Delimiter โดยจะส่งค่าเป็นค่า '1' หรือรีเซสซีฟ

6) ฟیلด์ตอบสนอง (Acknowledge Field) มีขนาด 2 บิต เป็นส่วนที่โหนดผู้รับใช้ตอบกลับไปยังโหนดผู้ส่งว่าข้อมูลที่ส่งมาได้รับถูกต้องหรือไม่ ประกอบด้วย ACK Slot 1 บิต และ ACK Delimiter 1 บิต โหนดผู้ส่งจะส่งบิต ACK Slot นี้เป็น '1' หรือรีเซสซีฟออกไป ในขณะที่โหนดผู้รับตรวจสอบแล้วว่าข้อมูลที่ได้รับการส่ง ก็ส่งบิต ACK Slot เป็น '0' หรือโดมิแนนต์ ดังนั้นเมื่อ

โหนดผู้ส่งอ่านค่าบิต ACK Slot กลับมาได้เป็น '0' หรือโหนดมีแชนแนลแสดงว่ามีอย่างน้อย 1 โหนดที่ได้รับข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ปิดท้ายฟิลด์ตอบสนองด้วยบิต ACK Delimiter ซึ่งมีค่าเป็น '1' หรือรีเซตสปีฟเสมอ

7) ฟิลด์สิ้นสุดเฟรม (End of Frame : EOF Field) ประกอบด้วยบิต '1' หรือรีเซตสปีฟจำนวน 7 บิตติดต่อกัน หรือมีค่าเท่ากับ "1111111" เป็นส่วนที่ใช้แสดงว่าได้สิ้นสุดเฟรมนี้แล้ว และเพื่อให้เวลากับโหนดผู้รับสำหรับการประมวลผลหรือจัดการกับข้อมูลที่ได้รับมาให้เป็นที่ยอมรับเสียก่อน ดังนั้น หลังจากสิ้นสุดเฟรมแล้ว จึงกำหนดว่าจะต้องส่งค่า '1' หรือรีเซตสปีฟต่อท้ายฟิลด์สิ้นสุดเฟรมอย่างน้อย 3 บิต จึงจะสามารถส่งเฟรมข้อมูลใหม่ได้ต่อไป



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบของเฟรมข้อมูลแบบมาตรฐาน (Standard Data Frame) [4]

#### 2.3.1.4.2 เฟรมข้อมูลแบบขยาย (CAN 2.0B)

เฟรมข้อมูลแบบขยาย (CAN 2.0B) ส่วนประกอบต่าง ๆ ในเฟรมข้อมูลแบบขยายจะต่างจากเฟรมข้อมูลแบบมาตรฐานตรง ฟิลด์แสดงรหัสข้อมูล (Arbitration Field) และฟิลด์ควบคุมเท่านั้น ส่วนฟิลด์ที่เหลือจะเหมือนกัน สำหรับรายละเอียดในส่วนที่แตกต่างกันมีดังนี้

1) ฟิลด์แสดงรหัสข้อมูล (Arbitration field) จะมีขนาด 32 บิต โดยแบ่งเป็นหมายเลข ID (Identifier) ขนาด 29 บิต (ในขณะที่เฟรมข้อมูลแบบมาตรฐานจะมีหมายเลข ID ขนาด 11 บิต), บิต SRR, บิต IDE และบิต RTR ID 29 บิตแบ่งเป็น 2 ส่วนคือส่วนแรกมีขนาด 11 บิต อยู่ถัดจากบิตเริ่มต้นเฟรม และส่วนที่สองมีขนาด 18 บิตอยู่ถัดจากบิต IDE เหตุที่ต้องแบ่งหมายเลข ID ออกเป็น 2 ส่วนโดยส่วนแรกมีขนาด 11 บิตเช่นนี้ ก็เพื่อให้สอดคล้องกับหมายเลข ID ที่ใช้ในเฟรมข้อมูลแบบมาตรฐานนั่นเอง สาเหตุที่ต้องมีการขยายจำนวนหมายเลข ID เพิ่มขึ้น ก็เนื่องมาจากจำนวนหมายเลข ID ในเฟรมข้อมูลแบบมาตรฐานที่มีอยู่ 2,048 หมายเลขนั้นแม้จะดูเหมือนมากแต่ในการใช้งานบางครั้งอาจจะไม่เพียงพอจึงได้มีการกำหนดเฟรมข้อมูลแบบขยาย (CAN 2.0B) ขึ้นมา โดยจะสามารถรองรับการใช้งานได้มากถึง  $2^{29} = 536,870,912$  หมายเลข ด้วยกัน บิต SRR ก็จะเป็นบิต IDE ซึ่งอยู่ตำแหน่งเดียวกับบิต IDE ในเฟรมข้อมูลแบบมาตรฐานและมีหน้าที่เดียวกัน โดยในที่นี้จะมี

ค่าเป็น '1' หรือรีเซตสีฟเนื่องจากเป็นเฟรมข้อมูลแบบขยาย ส่วนบิต RTR จะอยู่ต่อจากหมายเลข ID ส่วนที่สอง (18บิต) และมีค่าเป็น '0' หรือโดมิแนนต์เนื่องจากเป็นเฟรมข้อมูลนั่นเอง

2) ฟิลด์ควบคุม (Control field) มีขนาด 6 บิต เช่นกันแต่แตกต่างกันตรง บิต RB1 (Reserved Bit 1) ซึ่งอยู่ในตำแหน่งเดียวกับบิต IDE ในฟิลด์ควบคุมของเฟรมข้อมูลแบบมาตรฐาน เนื่องจากบิต IDE ในเฟรมข้อมูลแบบขยายได้ถูกย้ายไปอยู่ในส่วนของฟิลด์แสดงรหัสข้อมูลแล้ว ดังนั้นที่ตำแหน่งนี้ในฟิลด์ควบคุมของเฟรมข้อมูลแบบขยายจึงได้กำหนดให้เป็นบิต RB1 ซึ่งสำรองไว้ใช้งานในอนาคต โดยกำหนดให้มีค่าเป็น '0' หรือโดมิแนนต์เอาไว้

SOF	Arbitration field											Control field				Data field				CRC field														
	(base) ID						(extended) ID					RTR	r1	r0	DLC			Byte 0	Byte 1	...	Byte 6	Byte 7	Sequence			Delimiter								
	Bit 28	Bit 27	...	Bit 19	Bit 18	SRR	IDE	Bit 17	Bit 16	...	Bit 1				Bit 0	Bit 3	Bit 2						Bit 1	Bit 0	Bit 14		Bit 13	...	Bit 1	Bit 0				

รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบของเฟรมข้อมูลแบบขยาย(Extended Data Frame) [4]

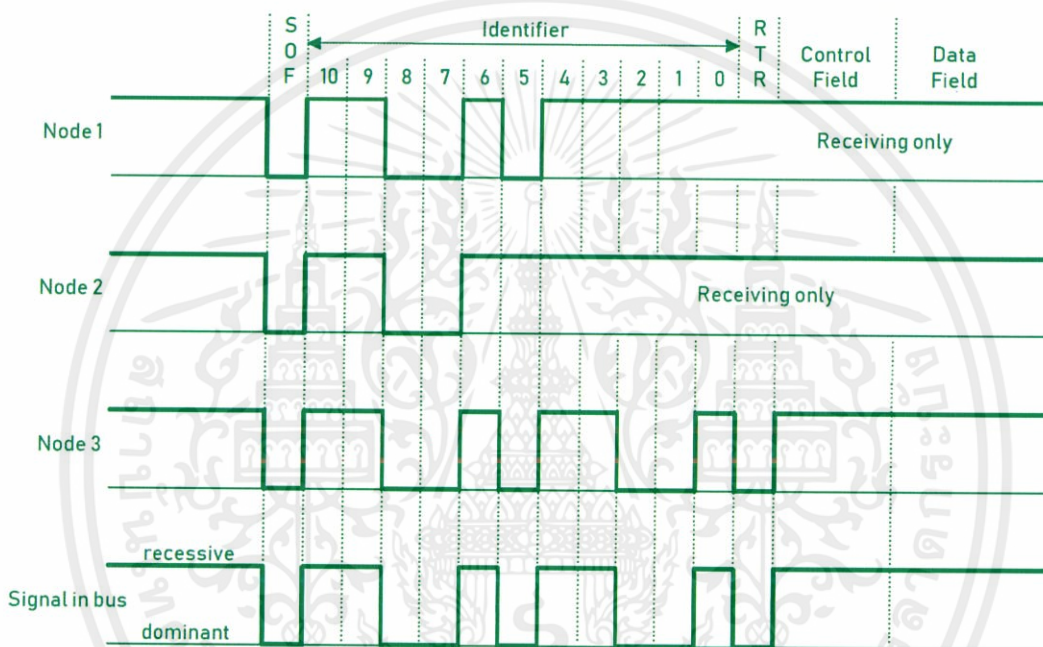
#### 2.3.1.4.3 เฟรมร้องขอข้อมูล (Remote Frame)

เฟรมร้องขอข้อมูล (Remote Frame) โหนดผู้รับสามารถร้องขอข้อมูลจากโหนดที่มีข้อมูลนั้นอยู่ เพื่อให้โหนดนั้นส่งข้อมูลที่ต้องการนั้นมาให้ได้ โดยการส่งเฟรมร้องขอข้อมูลที่มีหมายเลข ID ของข้อมูลที่ต้องการนั้นออกไป หากโหนดใดมีข้อมูลที่มีหมายเลข ID ตรงกับที่ถูกร้องขอมาก็จะทำการส่งข้อมูลนั้นตอบกลับไปลักษณะของเฟรมร้องขอข้อมูลจะคล้ายกับเฟรมข้อมูลแต่จะมีส่วนที่แตกต่างกับเฟรมข้อมูลอยู่สองประการคือ บิต RTR ในเฟรมร้องขอข้อมูลจะมีค่าเป็น '1' หรือรีเซตสีฟ ในขณะที่ในเฟรมข้อมูลจะมีค่าเป็น '0' หรือโดมิแนนต์ และในเฟรมร้องขอข้อมูลนั้นจะไม่มีฟิลด์ข้อมูล

#### 2.3.1.5 ลำดับการส่งข้อมูล (Bit arbitration)

ในกรณีที่มีการส่งข้อมูลออกมาพร้อมกันจะมีการตัดสินชี้ขาดว่าโหนดใดจะมีสิทธิที่จะเข้าใช้บัสข้อมูลในเวลานั้นเพียงโหนดเดียวในขณะที่โหนดอื่นจะต้องหยุดทำการส่งและรอที่จะส่งข้อมูลนั้นผ่านภายหลังเมื่อบัสว่างไม่ถูกใช้งานแล้ว ซึ่งวิธีในการตัดสินว่าข้อมูลไหนจะมีสิทธิได้เข้าใช้บัสจะอาศัยลำดับความสำคัญของข้อมูลเป็นตัวตัดสิน (Arbitration on Message Priority : AMP) ซึ่งลำดับความสำคัญ(Priority) ของข้อมูลจะถูกระบุอยู่ในคำรหัสประจำตัว(Identifier) ของข้อมูลนั้น โดยการตัดสินชี้ขาดจะเกิดขึ้นโดยไม่ทำลายโอกาสในการใช้บัสข้อมูลที่มีลำดับความสำคัญสูงสุด (Nondestructive Arbitration) และการตัดสินจะเกิดขึ้นทันทีในระดับบิตข้อมูล (Bitwise

Arbitration) กระบวนการเช่นนี้จะเกิดขึ้นได้ต้องอาศัยคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการ คือ สถานะของ สัญญาข้อมูลที่เป็นแบบโดมิแนนต์ (Dominant) และรีเซสซีฟ (Recessive) โดย CAN จะกำหนด สถานะโดมิแนนต์แทนลอจิก '0' ในการใช้งานและสถานะรีเซสซีฟแทนลอจิก '1' ในการใช้งานเมื่อ สัญญาณทั้งสองสถานะถูกส่งมาที่บัสพร้อมกัน บัสจะมีสถานะโดมิแนนต์(คืออ่านได้ค่าลอจิกเป็น '0') โหนดผู้ส่งต้องสามารถตรวจสอบสถานะของบัสอยู่ตลอดเวลา ว่าข้อมูลที่อยู่ในบัสตรงกับข้อมูลที่ ส่งออกไปหรือไม่หากไม่ตรงกันแสดงว่ามีการชนกันของข้อมูลหรือมีความผิดพลาดในการส่งข้อมูล เกิดขึ้น ซึ่งจะแสดงตัวอย่างการส่งข้อมูลพร้อมกันในบัส[4]ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 สัญญาณในCAN bus กรณีที่มีโหนดส่งข้อมูลออกมาที่บัสพร้อมกัน 3 โหนด[4]

### 2.3.2 LIN bus

การเพิ่มขึ้นของระบบแมคคาทรอนิกส์ในยานพาหนะ ทำให้ LIN bus ถูกคิดค้น ขึ้นมาเพื่อใช้แทนที่ CAN ความเร็วต่ำ (Low-speed CAN) เนื่องจากมีราคาถูก โดยจะนำ LIN bus มาใช้กับอุปกรณ์จำพวกเซนเซอร์และตัวกระตุ้นสำหรับระบบอิเล็กทรอนิกส์ภายในตัวรถ เช่น ประตู หน้าต่าง

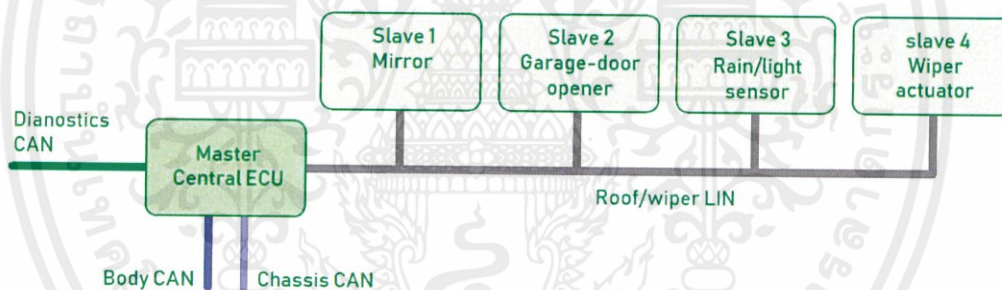
LIN bus มีรูปแบบของเครือข่ายที่เรียบง่าย ซึ่งสามารถนำไปใช้กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความจุต่ำโดยไม่ต้องต่ออุปกรณ์เสริมเพื่อใช้สื่อสาร LIN bus ถูกใช้เป็นระบบ รองเพื่อเสริมการทำงานของ CAN bus ของระบบต่าง ๆ ภายในยานพาหนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LIN bus ใช้สำหรับรับส่งข้อมูลความเร็วต่ำ โดยมีความเร็วสูงสุดอยู่ที่ 20 กิโลบิตต่อวินาที และเชื่อมต่อกันได้มากที่สุดจำนวน 16 โหนด

การสื่อสารโดยใช้ LIN bus สามารถทำได้ง่ายและราคาถูกเมื่อเทียบกับระบบอื่น ซึ่งจะประกอบไปด้วยมาสเตอร์ (Master) ซึ่งโดยทั่วไปคือหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (ECU) ซึ่งจะเชื่อมต่ออยู่กับบัสอื่น ๆ ที่ใช้ภายในยานพาหนะ และสเลฟ (Slave) เช่น เซนเซอร์ ตัวกระตุ้นหรืออุปกรณ์เสริมที่สื่อสารโดยใช้ LIN bus

โหนดที่เชื่อมต่ออยู่กับ LIN bus จะมีรูปแบบเครือข่ายเป็นเส้นตรง ซึ่งแต่ละโหนดจะเชื่อมต่อกันโดยใช้สายสัญญาณเพียง 1 เส้น การสื่อสารแบบ LIN bus นั้นจะมีตัวสั่งการคือมาสเตอร์และมีสเลฟเป็นตัวตอบสนอง ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ซึ่งเป็นตัวอย่างของบัสรองบริเวณหลังคาและที่ปิดน้ำฝน ซึ่งในบัสจะประกอบไปด้วยมาสเตอร์คือหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ และสเลฟจำนวน 4 โหนด คือ กระจก ปุ่มเปิดประตูโรงจอดรถ เซนเซอร์ตรวจจับแสงหรือฝน และตัวกระตุ้นการทำงานของที่ปิดน้ำฝน นอกจากนี้ มาสเตอร์ยังทำหน้าที่เป็นเกตเวย์เพื่อสื่อสารกับ CAN bus ของตัวถังรถ CAN bus ของตัวรถและ CAN bus ของระบบวินิจฉัย



รูปที่ 2.13 มาสเตอร์และสเลฟของ LIN bus [1]

### 2.3.2.1 การนำไปใช้งาน (Applications)

LIN bus ถูกนำไปใช้งานกับระบบแมคคาทรอนิกส์ ซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมากในยานพาหนะ ตัวอย่างของการนำ LIN bus ไปใช้งานมีดังนี้

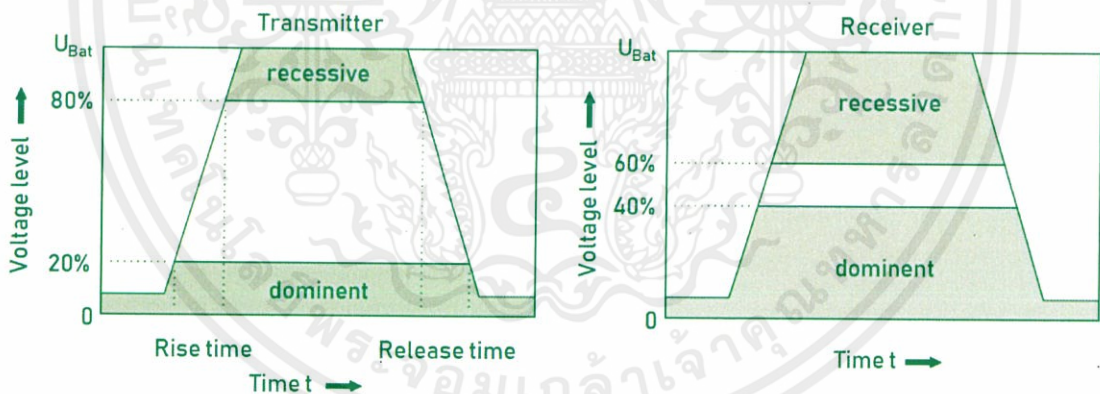
- โมดูลประตูซึ่งประกอบไปด้วยปุ่มล็อคประตู ปุ่มเลื่อนหน้าต่าง และปุ่มปรับกระจก
- ชุดควบคุมหลังคาร์รับแสงอาทิตย์
- ชุดควบคุมมอเตอร์ของที่ปัดน้ำฝน
- เซนเซอร์สำหรับตรวจจับแสงสว่างและฝน
- ปุ่มเปิดประตูโรงจอดรถ

### 2.3.2.2 การส่งข้อมูล (Data Transmission)

LIN bus ถูกออกแบบมาเพื่อใช้สายสัญญาณเพียง 1 เส้นจึงไม่มีการป้องกันสัญญาณรบกวน ซึ่งการส่งข้อมูลจะใช้ลอจิก 2 สถานะคือ

- ระดับโดมิแนนต์ (Dominant level) เป็นระดับที่แรงดันมีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งจะแทนด้วยลอจิก 0
- ระดับรีเซสซีฟ (Recessive level) เป็นระดับที่แรงดันมีค่าเท่ากับแรงดันของแบตเตอรี่ ( $U_{BAT}$ ) ซึ่งจะแทนด้วยลอจิก 1

ในการส่งข้อมูลจะมีความแตกต่างของระดับแรงดันที่ไม่เท่ากัน จึงมีการกำหนดพื้นที่ที่ยอมรับได้ (Tolerance zone) ของโดมิแนนต์และรีเซสซีฟ เพื่อให้การรับและส่งข้อมูลมีความเสถียร ซึ่งพื้นที่ที่ยอมรับได้ของการรับข้อมูลจะมีความกว้างกว่าการส่งข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 2.14 เพื่อให้สามารถรับสัญญาณที่มีคลื่นรบกวนได้



รูปที่ 2.14 ช่วงที่ยอมรับได้ของระดับแรงดันในการรับและส่งข้อมูล [1]

### 2.3.2.3 การเข้าถึงบัส (Bus access)

LIN bus จะใช้หลักการของมาสเตอร์และสเลฟ โดยมาสเตอร์จะเป็นตัวเริ่มต้นข้อมูล จากนั้นข้อมูลจะถูกส่งต่อไปยังสเลฟต่าง ๆ โดยสเลฟมีหน้าที่ในการตอบสนองข้อมูล ซึ่งข้อมูลที่สื่อสารระหว่างมาสเตอร์และสเลฟสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

- ข้อมูลที่ต้องการการตอบสนองจากสเลฟ มาสเตอร์จะเป็นผู้ส่งข้อมูลไปยังสเลฟต่าง ๆ เพื่อร้องขอข้อมูลจากสเลฟนั้น ๆ เช่น สถานะของสวิทช์ หรือค่าที่วัดได้
  - ข้อมูลที่เป็นคำสั่งของมาสเตอร์ เป็นข้อมูลที่มาสเตอร์ใช้สั่งสเลฟให้ทำงาน เช่น เปิดเซอร์โวมอเตอร์
  - ข้อมูลที่ใช้มาสเตอร์เป็นตัวกลางในการสื่อสารระหว่างสเลฟ 2 ตัว
- นอกจากนี้ การใช้ LIN bus ในการสื่อสารไม่ต้องจัดการปัญหาเกี่ยวกับการลำดับความสำคัญข้อมูล เนื่องจากมาสเตอร์เป็นตัวควบคุมการสื่อสารแต่เพียงผู้เดียว จึงไม่เกิดปัญหาการส่งข้อมูลชนกัน

#### 2.3.2.4 รูปแบบข้อมูลของ LIN bus (LIN protocol)

เฟรม (Frame) เป็นข้อมูลที่ถูกส่งเข้าไปใน LIN bus โดยมาสเตอร์จะเป็นผู้เริ่มต้นข้อความโดยเริ่มจากส่วนหัวเรื่อง (Header) ตามด้วยส่วนตอบสนอง (Response) ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของข้อความ ถ้ามาสเตอร์ต้องการสั่งให้สเลฟทำงาน จะส่งข้อความที่มีส่วนตอบสนองสั่งให้สเลฟทำงาน ถ้ามาสเตอร์ต้องการขอข้อมูลจากสเลฟ สเลฟที่ถูกระบุจะส่งข้อความตอบสนองเพื่อส่งข้อมูลที่ต้องการไปยังมาสเตอร์

1) ส่วนหัวเรื่อง (Header) ประกอบไปด้วย ซิงโครไนซ์เบรก (Synchronization break) ซิงโครไนซ์ฟิลด์ (Synchronization field) และ ฟิลด์ระบุตัวตน (The identifier field)

1.1) การซิงโครไนซ์ (Synchronization) ซิงโครไนซ์จะอยู่ด้านหน้าสุดของเฟรม เป็นส่วนที่ทำให้มาสเตอร์และสเลฟสื่อสารกันได้ โดยสเลฟจะปรับสัญญาณนาฬิกาให้ตรงกับสัญญาณนาฬิกาของมาสเตอร์เพื่อให้เกิดการซิงโครไนซ์และสามารถสื่อสารกันได้

1.2) ส่วนระบุตัวตน (Identifier field) เป็นไบนารี 3 ของส่วนหัวเรื่อง เป็นไบนารีที่ใช้สำหรับบอกไอดีของข้อมูลที่ส่งมา เช่น ความเร็วเครื่องยนต์ (engine speed) ซึ่งจะทำให้สเลฟทุกตัวที่ต่ออยู่กับบัสตัดสินใจได้ว่าจจะรับข้อมูลเพื่อตอบสนองหรือไม่

ส่วนระบุตัวตนจะมีขนาด 8 บิตโดยจะใช้เพียง 6 บิตในการระบุตัวตน ซึ่งหมายความว่าไอดีที่เป็นไปได้ทั้งหมด 64 ไอดี โดยแต่ละไอดีมีความหมายดังนี้

- ID = 0 ถึง 59 เป็นสัญญาณสำหรับส่งข้อมูล
- ID = 60 เป็นไอดีที่มาสเตอร์ส่งไปเพื่อสั่งการหรือตรวจสอบ
- ID = 61 เป็นไอดีที่สเลฟใช้ตอบสนองไอดี 60
- ID = 62 เป็นไอดีสำรองสำหรับใช้สื่อสารของผู้ผลิต
- ID = 63 เป็นไอดีสำรองสำหรับรูปแบบข้อมูลเพิ่มเติมในอนาคต

ในส่วนระบุตัวตนจะเหลืออีก 2 บิต ซึ่งเป็นบิตสำหรับตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูลว่าส่งข้อมูลสำเร็จหรือไม่

## 2) ส่วนของข้อมูล (Data field)

หลังจากที่ส่วนหัวเรื่องถูกส่งไปแล้ว ต่อไปจะเป็นส่วนของข้อมูล ซึ่งสเลฟจะรู้จากส่วนระบุตัวตนว่าต้องตอบสนองกลับมาสเตอร์หรือไม่ โดยในส่วนของข้อมูลนี้จะประกอบไปด้วยบิตเริ่มต้น, ข้อมูล 1 ไบต์ (8 บิต), และบิตสิ้นสุด รวมทั้งหมดเป็น 10 บิต ส่วนการตอบสนองต่อข้อมูลของสเลฟนั้นจะสามารถตรวจสอบได้จากบิตตรวจสอบภายในส่วนระบุตัวตน [1]

Header			Response									
Synch Break	Synch Field	Ident Field	Data field 0	Data field 1	Data field 2	Data field 3	Data field 4	Data field 5	Data field 6	Data field 7	Check-sum	

รูปที่ 2.15 รูปแบบข้อมูลของ LIN bus [1]

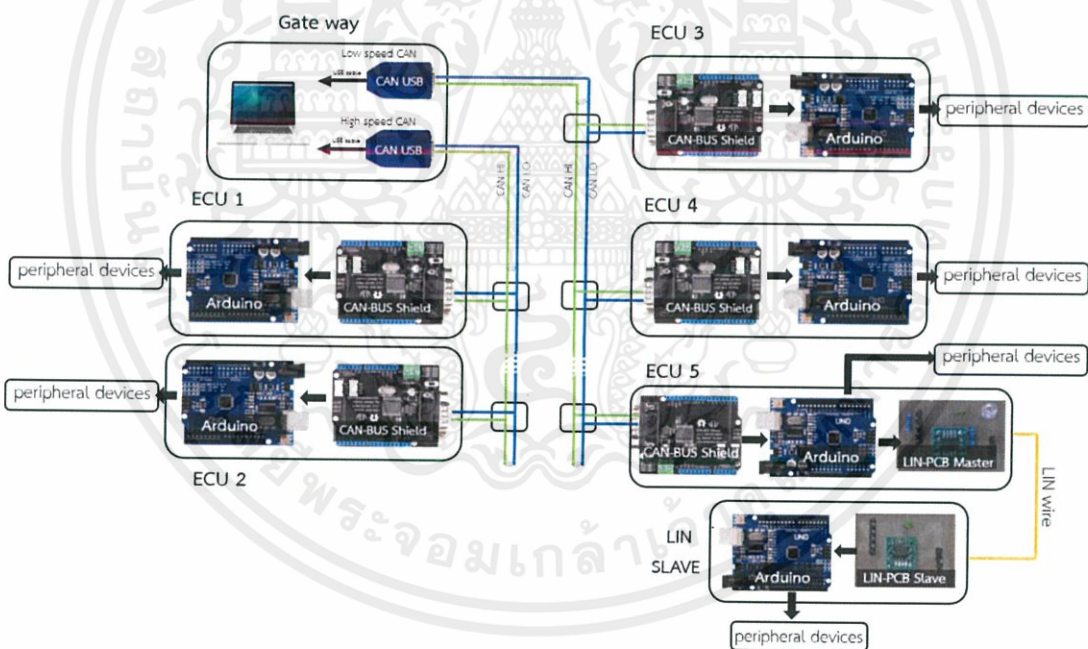
### บทที่ 3

#### การออกแบบและสร้างชุดทดลองระบบสื่อสารภายในรถยนต์

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในชุดทดลองเครือข่ายสื่อสารภายในรถยนต์ โดยแบ่งออกเป็นภาพรวมของชุดทดลอง ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์แต่ละส่วนของชุดทดลอง ซึ่งได้แก่ Gateway, High speed CAN, Low speed CAN และ LIN bus

#### 3.1 ภาพรวมของชุดทดลองระบบสื่อสารภายในยานพาหนะ

ระบบเครือข่ายสื่อสารที่ได้ทำการออกแบบไว้จะประกอบไปด้วยบัสหลักคือ CAN ความเร็วสูงและ CAN ความเร็วต่ำ ซึ่งมีความเร็วที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องมีจุดเชื่อมโยงในกรณีที่ต้องการแปลงความเร็วของข้อมูลที่รับมาให้ตรงกับความเร็วปลายทาง จุดเชื่อมโยงนั้นจะถูกเรียกว่า Gateway และยังมีระบบสำรองคือ LIN Bus โดยมีภาพรวมดังรูปที่ 3.1

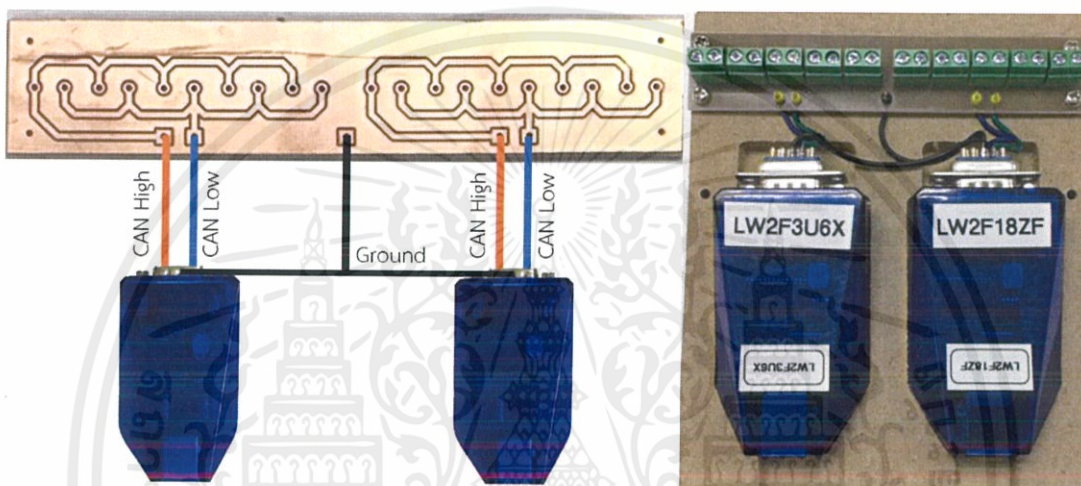


รูปที่ 3.1 ภาพรวมของชุดจำลองระบบเครือข่ายในรถยนต์

### 3.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของชุดจำลองเครือข่ายสื่อสารภายในรถยนต์

#### 3.2.1 การออกแบบเกตเวย์

เกตเวย์เป็นจุดเชื่อมโยงของเครือข่าย ทำหน้าที่รับข้อมูลจาก High speed CAN และ Low speed CAN เข้ามาและแปลงความเร็วของข้อมูลที่รับมาให้ตรงกับความเร็วปลายทางโดยใช้คอมพิวเตอร์ในการทำหน้าที่ประมวลผลและใช้ CANUSB ในการรับและส่งข้อมูลโดยจะมีการออกแบบเกตเวย์ให้สามารถนำอุปกรณ์มาต่อเพิ่มได้ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การต่อวงจรของเกตเวย์

#### 3.2.2 การออกแบบ CANความเร็วสูง

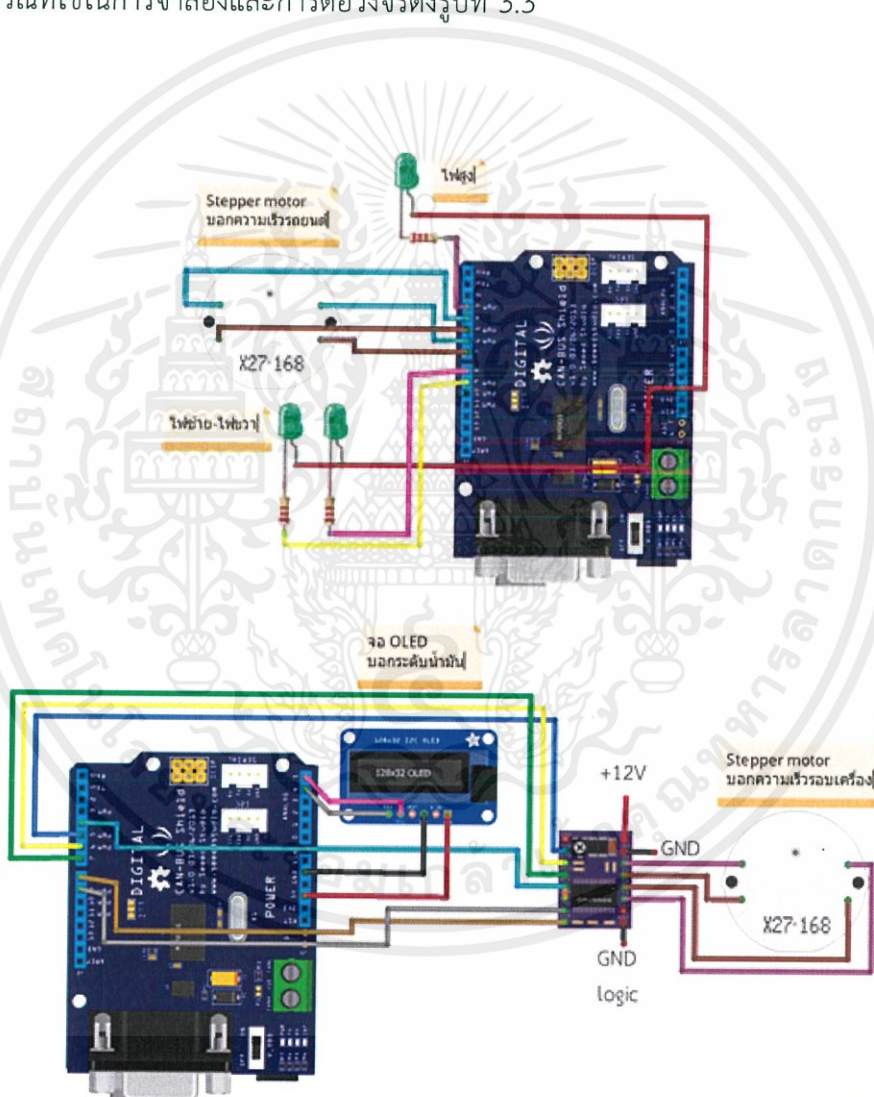
เป็นการส่งข้อมูลที่มีความสำคัญและความเร็วในการส่งข้อมูลสูงตั้งแต่ 125 kBit/s ถึง 1Mbit/s ซึ่งจะใช้ CAN-Bus Shield เป็นตัวรับส่งข้อมูลและใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino) ในการประมวลผลซึ่งเปรียบเสมือนกับหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ภายในรถยนต์ (Electronics Control Unit : ECU) และเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์ต่อพ่วงต่าง ๆ ที่จำลองมาจากอุปกรณ์ภายในรถยนต์ ซึ่งในส่วนนี้จะมี ECU อยู่ 2 ตัว คือ ECU1 และ ECU2

### 3.2.2.1 การออกแบบ ECU1

เป็นหน่วยแสดงสถานะหน้าปัดรถยนต์ (Instrument Cluster) ประกอบไปด้วย

1. การแสดงรอบเครื่องยนต์
2. การแสดงความเร็วของรถยนต์
3. การแสดงระดับน้ำมัน
4. การแสดงสถานะไฟเลี้ยว
5. การแสดงสถานะไฟสูง

โดยมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการจำลองและการต่อวงจรดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การต่อวงจรของ ECU 1

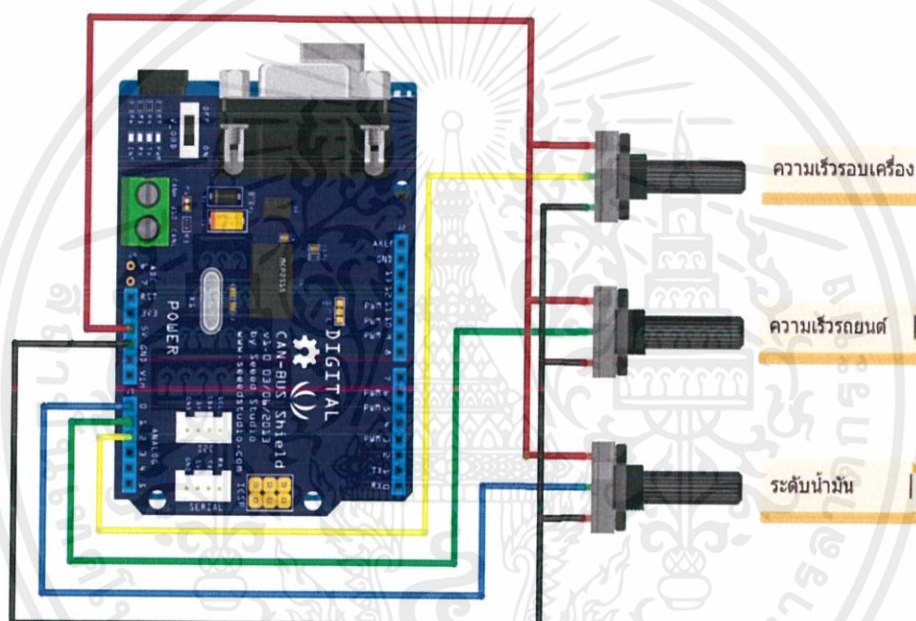
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2.2 การออกแบบ ECU2

เป็นหน่วยรับสัญญาณ (Input unit) ซึ่งจำลองจากอุปกรณ์เครื่องมือวัดภายในรถยนต์ โดยจะรับค่าข้อมูลของ

1. ความเร็วรอบเครื่องยนต์
2. ความเร็วของรถยนต์
3. ระดับน้ำมัน

โดยจะมีการจำลองด้วยการใช้ความต้านทานปรับค่าได้เป็นตัวป้อนค่าเข้าไป มีการต่อวงจรดังรูป 3.4



รูปที่ 3.4 การต่อวงจรของ ECU 2

### 3.2.3 การออกแบบ CANความเร็วต่ำ

เป็นการส่งข้อมูลที่มีความสำคัญรองลงมาและมีความเร็วในการส่งข้อมูลตั้งแต่ 5 ถึง 125 kbps ซึ่งใช้ CAN-Bus Shield เป็นตัวรับส่งข้อมูลและใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผล และเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์ต่อพ่วงต่าง ๆ นอกจากนี้ยังมีการใช้ LIN PCB Master ที่ออกแบบเองจากการใช้ IC SN65HVD100-Q1 ของ TEXAS INSTRUMENTS เพื่อทำหน้าที่เป็น LIN Master สำหรับ

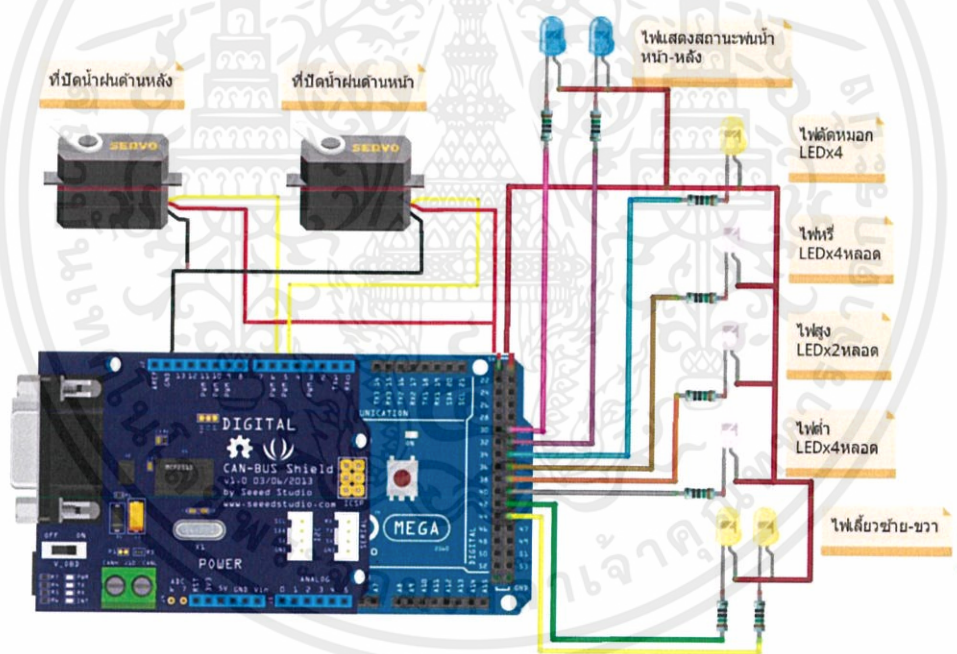
ระบบสำรอง ซึ่งในส่วนนี้จะมี ECU อยู่ 3 ตัวในบัส CANความเร็วต่ำ โดยใช้ชื่อ ECU3, ECU4 และ ECU5

### 3.2.3.1 การออกแบบ ECU3

เป็นหน่วยแสดงผล โดยตอบสนองสัญญาณจากก้านไฟเลี้ยว ประกอบไปด้วยสัญญาณดังต่อไปนี้

1. ไฟเลี้ยว ซ้าย - ขวา
2. ไฟหรี
3. ไฟต่ำ
4. ไฟสูง
5. ไฟตัดหมอก
6. ปิดน้ำฝนด้านหน้าแบบไม่ต่อเนื่อง
7. ปิดน้ำฝนด้านหน้าแบบต่อเนื่อง
8. ปิดน้ำฝนด้านหน้าแบบต่อเนื่องและเร็ว
9. ฉีดน้ำด้านหน้า
10. ปิดน้ำฝนด้านหลังแบบไม่ต่อเนื่อง
11. ปิดน้ำฝนด้านหลังแบบต่อเนื่อง
12. ฉีดน้ำด้านหลัง

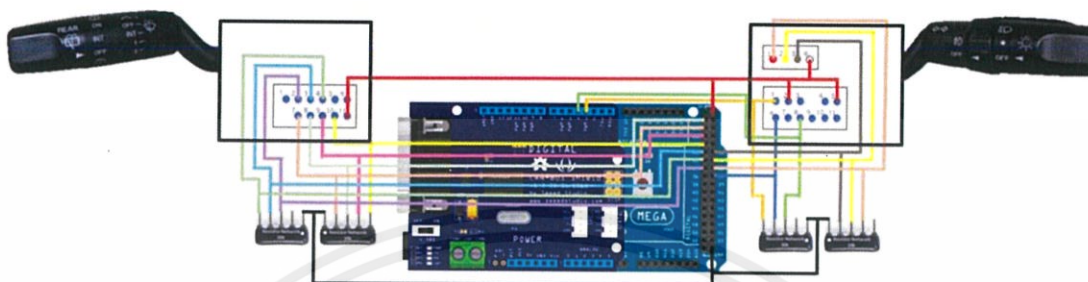
โดยจะมีการต่อวงจรหน่วยแสดงผลดังรูป 3.5



รูปที่ 3.5 การต่อวงจรของ ECU 3

### 3.2.3.2 การออกแบบ ECU4

เป็นหน่วยรับสัญญาณเพื่อแสดงสถานะไฟของรถยนต์และการทำงานของก้านปัดน้ำฝน มีการต่อวงจร ดังรูป 3.6



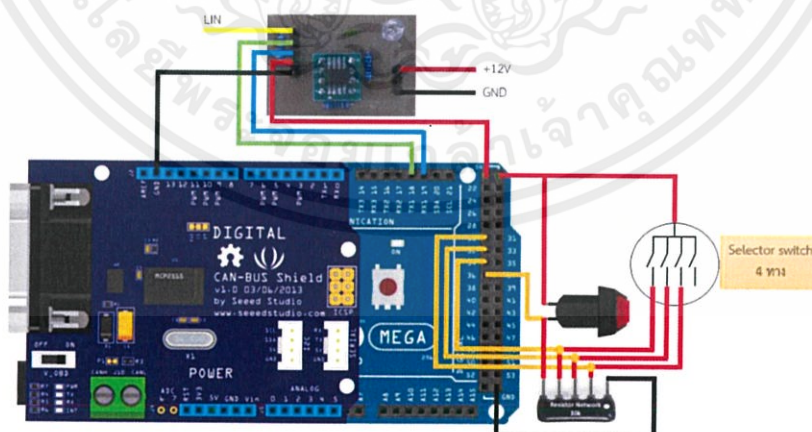
รูปที่ 3.6 การต่อวงจรของ ECU 4

### 3.2.3.3 การออกแบบ ECU5

เป็นหน่วยรับสัญญาณ ซึ่งประกอบไปด้วยสัญญาณต่อไปนี้

1. ปั๊มไฟฉุกเฉิน
2. ปั๊มปรับระดับความเร็วพัดลม (ทำหน้าที่เป็น LIN Master)

โดยจะต่อวงจรดังรูป 3.7

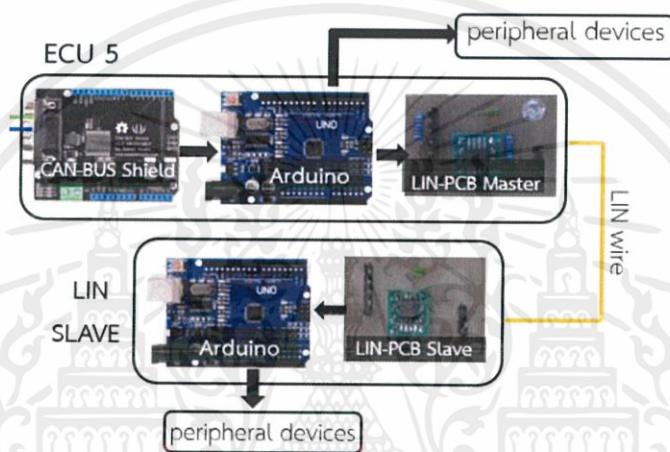


รูปที่ 3.7 การต่อวงจรของ ECU 5

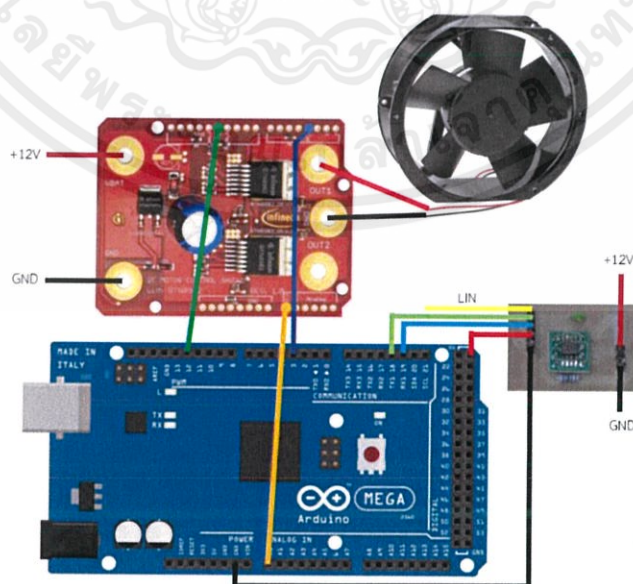
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4 การออกแบบ LIN BUS

เป็นการส่งข้อมูลแบบอนุกรมอย่างง่าย ซึ่งใช้สายสัญญาณเพียงเส้นเดียวและมีความเร็วสูงสุดจำกัดที่ 20 kbps เนื่องจากการส่งข้อมูลแบบมาสเตอร์และสเลฟ จึงสามารถนำมาต่อเป็นบัสได้ โดยต่อกับสเลฟได้มากที่สุด 16 อุปกรณ์ใน 1 เน็ตเวิร์ค และใช้ IC SN65HVDA100-Q1 ของ TEXAS INSTRUMENTS เป็นตัวรับส่งข้อมูลและใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลและเชื่อมไปยังอุปกรณ์ต่อพ่วงต่าง ๆ



รูปที่ 3.8 การเชื่อมต่อวงจรของ LIN bus



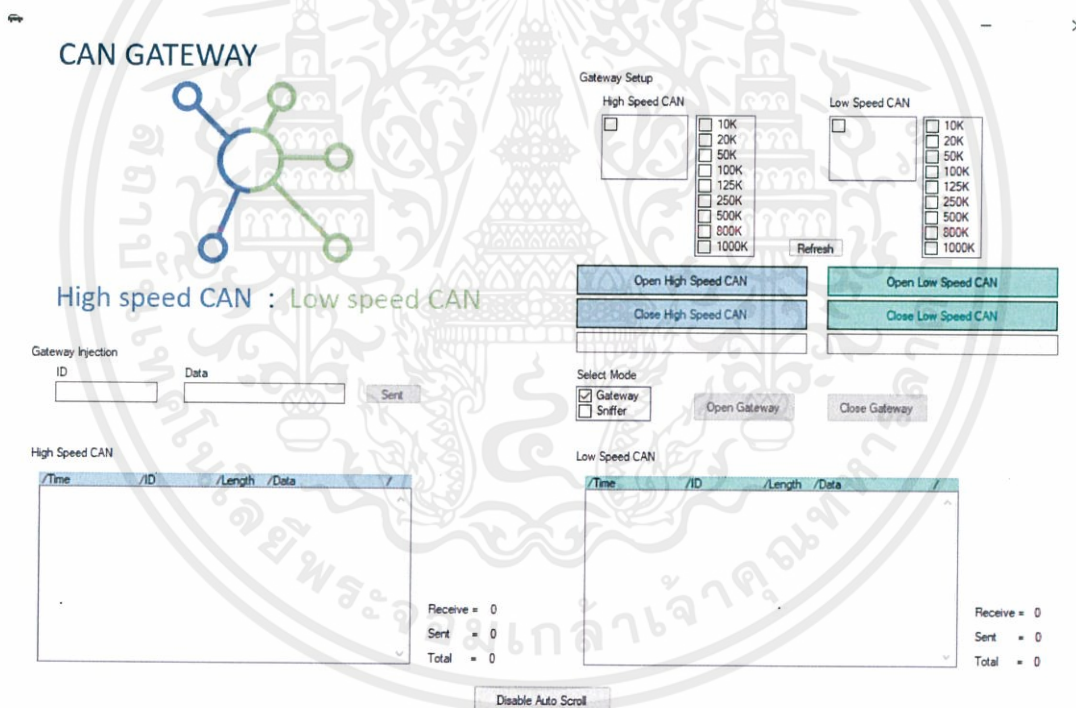
รูปที่ 3.9 การต่อวงจรของ LIN Slave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การออกแบบซอฟต์แวร์ของชุดจำลองเครือข่ายสื่อสารภายในรถยนต์

#### 3.3.1 การออกแบบซอฟต์แวร์ของเกตเวย์

เนื่องจาก CAN ความเร็วสูง และ CAN ความเร็วต่ำ รับส่งข้อมูลที่ความเร็วต่างกัน จึงจำเป็นต้องใช้เกตเวย์เป็นตัวแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่าง 2 บัส โดยในส่วนของเกตเวย์นั้น จะออกแบบซอฟต์แวร์โดยใช้โปรแกรม Visual Studio 2017 ซึ่งจะสร้างโปรแกรมขึ้นมาโดยใช้ภาษา C# เพื่อเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์หรือแล็ปท็อปให้สามารถสื่อสารกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านทาง Lawicel CANUSB ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับสื่อสารผ่าน CAN bus โดยโปรแกรมนี้อาจกำหนดความเร็วในการรับและส่งข้อมูลได้ จึงสามารถใช้เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่าง CAN ความเร็วสูง และ CAN ความเร็วต่ำ ได้นอกจากนี้ โปรแกรมนี้ยังใช้เป็นตัวอ่านข้อมูลต่าง ๆ ที่ถูกส่งเข้ามาภายในบัสได้อีกด้วย โดยข้อมูลที่โปรแกรมสามารถอ่านได้ ประกอบไปด้วย เวลาที่ได้รับข้อมูล, ID, ขนาดของข้อมูล และ Data



รูปที่ 3.10 หน้าต่างโปรแกรมเกตเวย์

#### 3.3.2 การออกแบบซอฟต์แวร์ของ CAN ความเร็วสูง

ในการออกแบบซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการสื่อสารและสั่งการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ

ภายใน CAN ความเร็วสูง จะใช้โปรแกรม Arduino IDE ในการเขียนโปรแกรมเพื่อสั่งการทำงานของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งในการเขียนโปรแกรม จะกำหนดความเร็วในการรับส่งข้อมูลเป็น 1 Mbps และแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของการส่งข้อมูลและส่วนของการรับข้อมูล

### 3.3.2.1 ส่วนของการส่งข้อมูล

ในส่วนของการส่งข้อมูล จะใช้ไลบรารี CAN-BUS Shield ซึ่งเป็นไลบรารีที่ส่งข้อมูลแบบ SPI และใช้กับ CAN bus shield โดยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลใน CAN ความเร็วสูง ได้แก่ ECU2 ซึ่งประกอบไปด้วยความต้านทานปรับค่าได้ 3 ตัว ซึ่งจำลองเป็นเครื่องมือวัดภายในรถยนต์ ได้แก่ รอบเครื่องยนต์, ความเร็วรถ และระดับน้ำมัน โดยในการส่งข้อมูลจะทำการส่งข้อมูลที่เป็น ID, ขนาดของข้อมูล และ Data ดังนี้

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดการส่งข้อมูลภายใน CAN ความเร็วสูง

อุปกรณ์	ID (extended)	Length	Data
รอบเครื่องยนต์	0x1	1	0-255
ความเร็วรถ	0x2	1	0-255
ระดับน้ำมัน	0x3	1	0-100

### 3.3.2.2 ส่วนของการรับข้อมูล

ในส่วนของการรับข้อมูลนั้น จะใช้ไลบรารี CAN-BUS Shield ซึ่งเป็นไลบรารีที่ส่งข้อมูลแบบ SPI และใช้กับ CAN bus shield โดยในการรับข้อมูลนั้น จะรับข้อมูลที่เป็น ID และ Data ซึ่งจะนำข้อมูลที่รับได้มาประมวลผลและสั่งให้อุปกรณ์ทำงาน สำหรับข้อมูลที่ได้รับมานั้นจะนำไปส่งประมวลผลดังนี้

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดการรับข้อมูลภายใน CAN ความเร็วสูง

ID (extended)	Data	การทำงาน
0x1	0 - 255	sที่หน้าปัดรถจะทำงาน
0x2	0 - 255	เข็มความเร็วรถที่หน้าปัดรถจะทำงาน
0x3	0 - 100	หน้าจอแสดงระดับน้ำมันจะเปลี่ยนแปลง

### 3.3.3 การออกแบบซอฟต์แวร์ของ CAN ความเร็วต่ำ

ในการออกแบบซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการสื่อสารและสั่งการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายใน CAN ความเร็วต่ำ จะใช้โปรแกรม Arduino IDE ในการเขียนโปรแกรมเพื่อสั่งการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งในการเขียนโปรแกรม จะกำหนดความเร็วในการรับส่งข้อมูลเป็น 125 kbps และแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของการส่งข้อมูลและส่วนของการรับข้อมูล

#### 3.3.2.1 ส่วนของการส่งข้อมูล

ในส่วนของการส่งข้อมูล จะใช้ไลบรารี CAN-BUS Shield ซึ่งเป็นไลบรารีที่ส่งข้อมูลแบบ SPI และใช้กับ CAN bus shield เช่นเดียวกับใน CAN ความเร็วสูง โดยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลใน CAN ความเร็วต่ำนั้น ได้แก่ ECU4 ซึ่งเป็นหน่วยของก้านไฟเลี้ยงและก้านปิดน้ำฝน และ ECU5 ซึ่งเป็นหน่วยของปุ่มไฟฉุกเฉิน โดยในการส่งข้อมูลจะทำการส่งข้อมูลที่เป็น ID, ขนาดของข้อมูล และ Data ดังนี้

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดการส่งข้อมูลภายใน CAN ความเร็วต่ำ

อุปกรณ์	ID (extended)	Length	ข้อมูลลำดับที่	Data
ไฟเลี้ยง	0xC	2	0	0 และ 1
			1	0 และ 1
ไฟฉุกเฉิน	0xB	1	0	0 และ 1
ไฟสูง-ต่ำ และไฟตัดหมอก	0x16	2	0	0, 1, 2, 3, 4, 5
			1	0 และ 1
ที่ปิดน้ำฝน	0x21	4	0	0, 1, 2, 3
			1	0 และ 1
			2	0, 1, 2
			3	0 และ 1

### 3.3.2.2 ส่วนของการรับข้อมูล

ในส่วนของการรับข้อมูลนั้น จะใช้ไลบรารี CAN-BUS Shield ซึ่งเป็นไลบรารีที่ส่งข้อมูลแบบ SPI และใช้กับ CAN bus shield โดยในการรับข้อมูลนั้น จะรับข้อมูลที่เป็น ID และ Data ซึ่งจะนำข้อมูลที่รับได้มาประมวลผลและส่งให้อุปกรณ์ทำงาน สำหรับข้อมูลที่ได้รับมานั้นจะนำไปส่งประมวลผลดังนี้

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดการรับข้อมูลภายใน CAN ความเร็วต่ำ

ID (extended)	ข้อมูลลำดับที่	Data	การทำงาน
0xB	0	0	ไฟเลี้ยวขวาไม่ทำงาน
		1	ไฟเลี้ยวขวาทำงาน
	1	0	ไฟเลี้ยวซ้ายไม่ทำงาน
		1	ไฟเลี้ยวซ้ายทำงาน
0xC	0	0	ไฟฉุกเฉินไม่ทำงาน
		1	ไฟฉุกเฉินทำงาน
0x16	0	0	ไฟสูง-ต่ำไม่ทำงาน
		1	ไฟหรี่ทำงาน
		2	ไฟต่ำทำงาน
		3	ไฟสูงทำงาน
		4	ไฟสูงกับไฟหรี่ทำงาน
		5	ไฟสูงกับไฟต่ำทำงาน
	1	0	ไฟตัดหมอกไม่ทำงาน
		1	ไฟตัดหมอกทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ID (extended)	ข้อมูลลำดับที่	Data	การทำงาน
0x21	0	0	ที่ปิดน้ำฝนด้านหน้าไม่ทำงาน
		1	ที่ปิดน้ำฝนด้านหน้าปิดไม่ต่อเนื่อง
		2	ที่ปิดน้ำฝนด้านหน้าปิดต่อเนื่อง
		3	ที่ปิดน้ำฝนด้านหน้าปิดต่อเนื่องด้วยความเร็ว
	1	0	ที่ฉีดน้ำด้านหน้าไม่ทำงาน
		1	ที่ฉีดน้ำด้านหน้าทำงาน
	2	0	ที่ปิดน้ำฝนด้านหลังไม่ทำงาน
		1	ที่ปิดน้ำฝนด้านหลังปิดไม่ต่อเนื่อง
		2	ที่ปิดน้ำฝนด้านหลังปิดต่อเนื่อง
	3	0	ที่ฉีดน้ำด้านหลังไม่ทำงาน
		1	ที่ฉีดน้ำด้านหลังทำงาน

### 3.3.4 การออกแบบซอฟต์แวร์ของ LIN

ในการออกแบบซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการสื่อสารและสั่งการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านบัส LIN จะใช้โปรแกรม Arduino IDE ในการเขียนโปรแกรมเพื่อสั่งการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งในการเขียนโปรแกรม จะกำหนดความเร็วในการรับส่งข้อมูลเป็น 19.2 kbps และแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของการส่งข้อมูลและส่วนของการรับข้อมูล

#### 3.3.4.1 ส่วนของการส่งข้อมูล

ในส่วนของการส่งข้อมูล จะเขียนโปรแกรมโดยอ้างอิงจากไลบรารี LIN-stack1 ซึ่งเป็นไลบรารีที่ส่งข้อมูลโดยใช้ขา Tx และ Rx อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลในบัส LIN ได้แก่ ECU5 ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ Selector Switch จำลองเป็นตัวปรับระดับความแรงของพัลสมภายในรถยนต์ โดยในการส่งข้อมูล จะทำการส่งข้อมูลที่เป็น ID, ขนาดของข้อมูล และ Data ดังนี้

ตารางที่ 3.5 รายละเอียดการส่งข้อมูลภายใน LIN

อุปกรณ์	ID	Length	Data
Selector Switch	0x2F	1	0, 1, 2, 3

### 3.3.2.2 ส่วนของการรับข้อมูล

จะเขียนโปรแกรมโดยอ้างอิงจากไลบรารี LIN-stack1 ซึ่งเป็นไลบรารีที่ส่งข้อมูลโดยใช้ขา Tx และ Rx อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับข้อมูลในบัส LIN ได้แก่ LIN Slave ซึ่งจะรับข้อมูลมาสั่งการทำงานของพัลสม โดยในการรับข้อมูลนั้น จะรับข้อมูลที่เป็น ID และ Data และนำข้อมูลที่รับได้มาประมวลผลและสั่งให้อุปกรณ์ทำงาน สำหรับข้อมูลที่ได้รับมานั้นจะนำไปส่งประมวลผลดังนี้

ตารางที่ 3.6 รายละเอียดการรับข้อมูลภายใน LIN

ID	Data	การทำงาน
0x2F	0	พัลสมไม่ทำงาน
	1	พัลสมทำงานในระดับ 1
	2	พัลสมทำงานในระดับ 2
	3	พัลสมทำงานในระดับ 3

## บทที่ 4

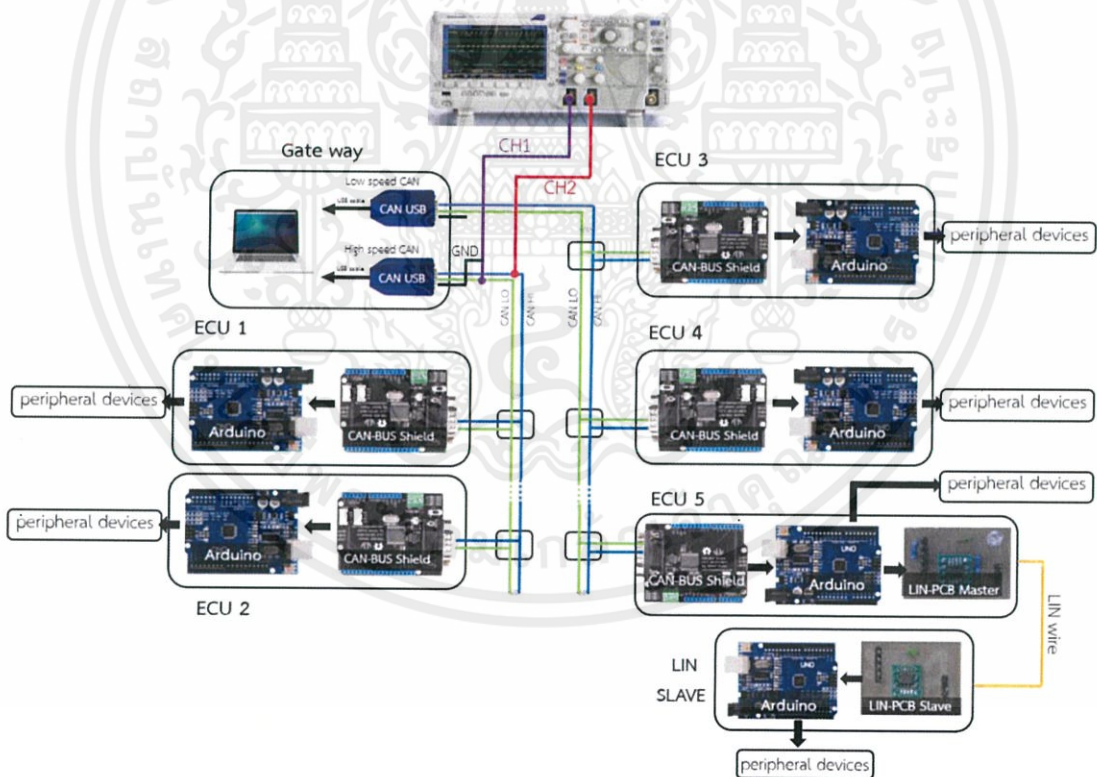
### การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบการทำงานของชุดทดลองเครือข่ายสื่อสารภายในรถยนต์และการทดลองวัดสัญญาณภายในสายของ CAN bus และ LIN bus

#### 4.1 การทดลองวัดสัญญาณภายในสายของ CAN bus

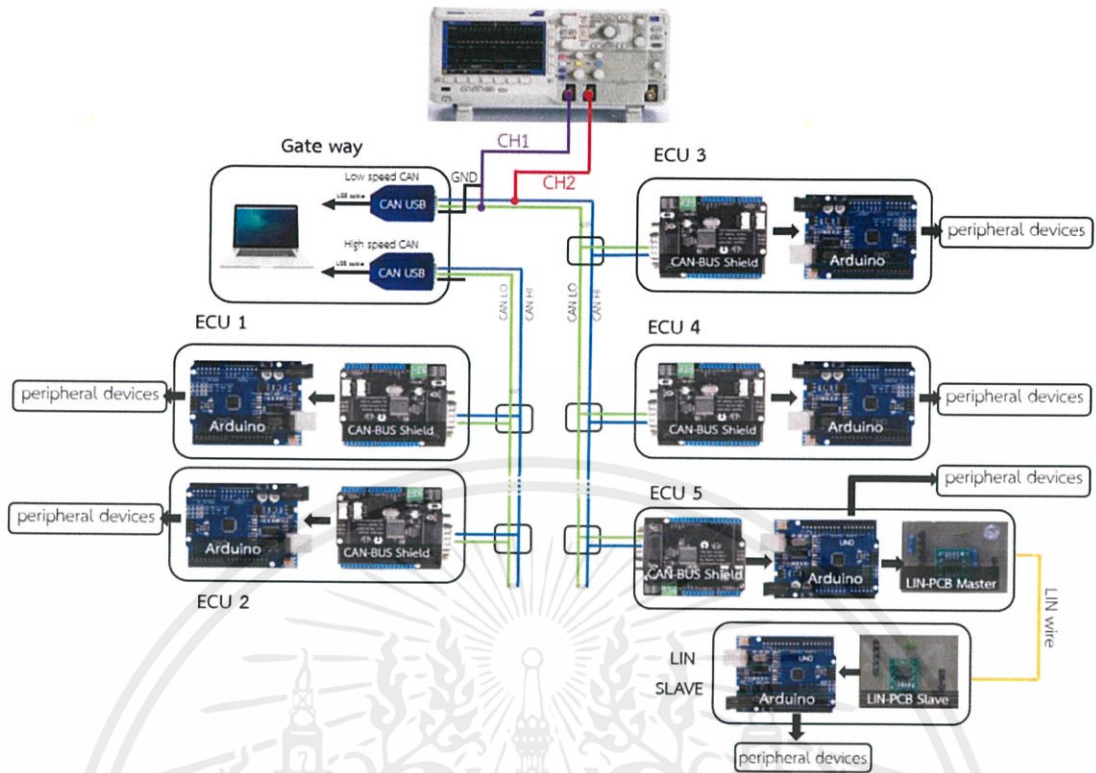
##### 4.1.1 วิธีการทดลอง

นำสายโพรบ Ch1 ไปวัดสัญญาณที่ CAN low และ สายโพรบ Ch2 ไปวัดสัญญาณที่ CAN high ของชุดทดลอง ณ ตำแหน่ง High Speed CAN และ Low Speed CAN จากนั้นทำการสังเกตรูปสัญญาณที่ปรากฏบนออสซิลโลสโคปและข้อมูลที่ปรากฏบนหน้าต่างโปรแกรมของเกตเวย์ และทำการถอดสัญญาณ (decoding) โดยใช้ฟังก์ชันภายในออสซิลโลสโคป



รูปที่ 4.1 การวัดสัญญาณภายในสายของ CAN bus ณ ตำแหน่ง High Speed CAN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

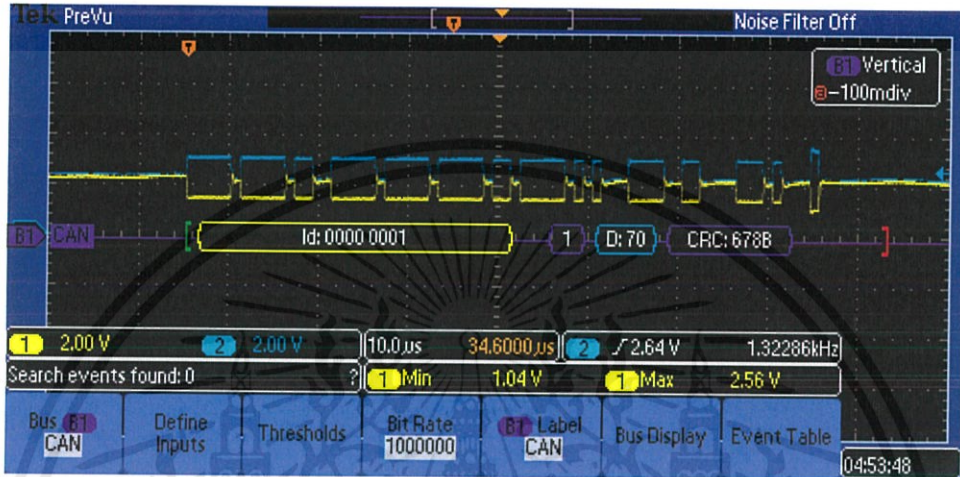


รูปที่ 4.2 การวัดสัญญาณภายในสายของ CAN bus ณ ตำแหน่ง Low Speed CAN

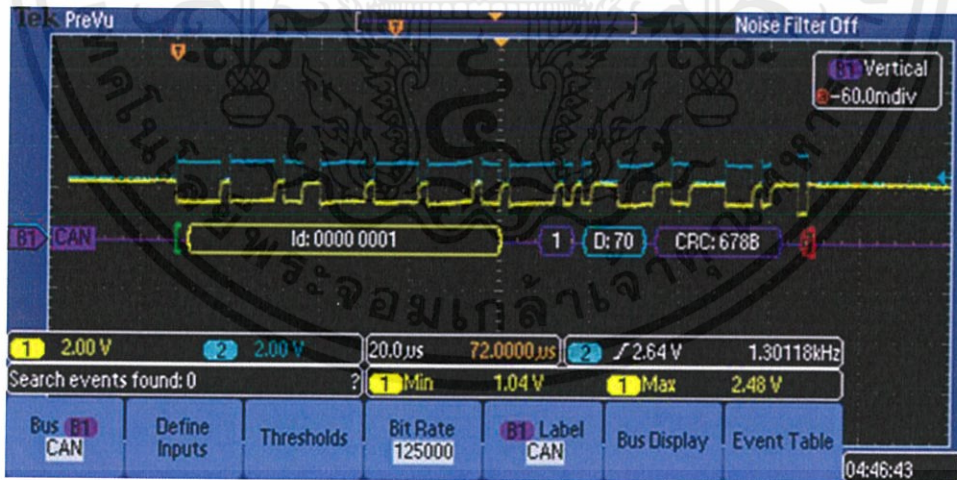
#### 4.1.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองวัดค่าสัญญาณ

ตำแหน่ง High Speed CAN



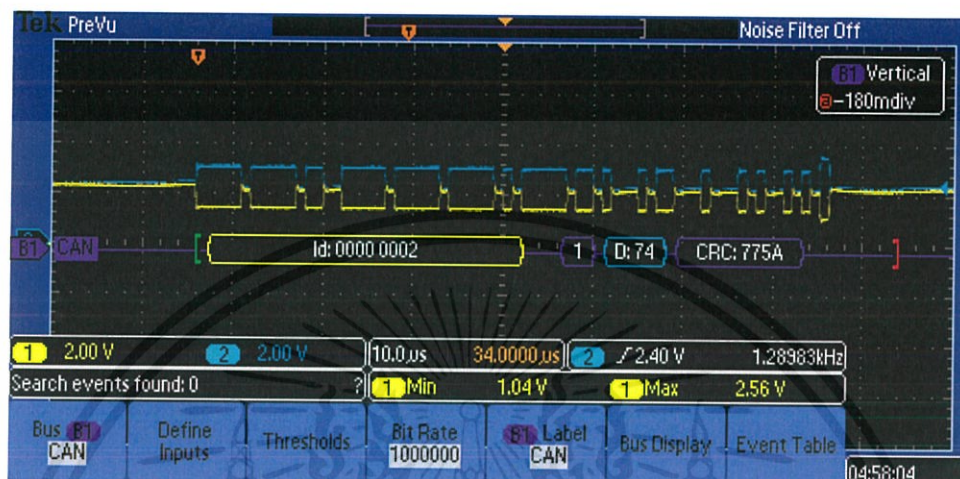
ตำแหน่ง Low Speed CAN



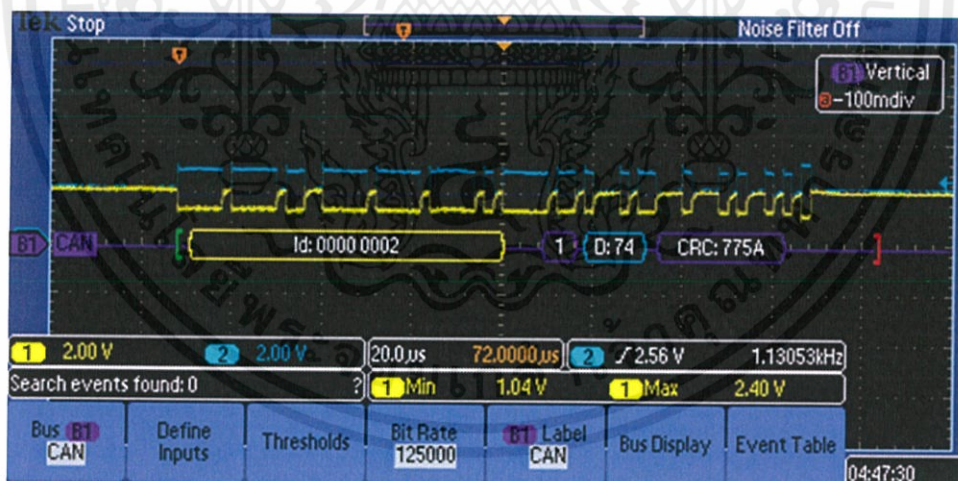
รูปที่ 4.3 สัญญาณของความเร็วรอบเครื่องรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตำแหน่ง High Speed CAN



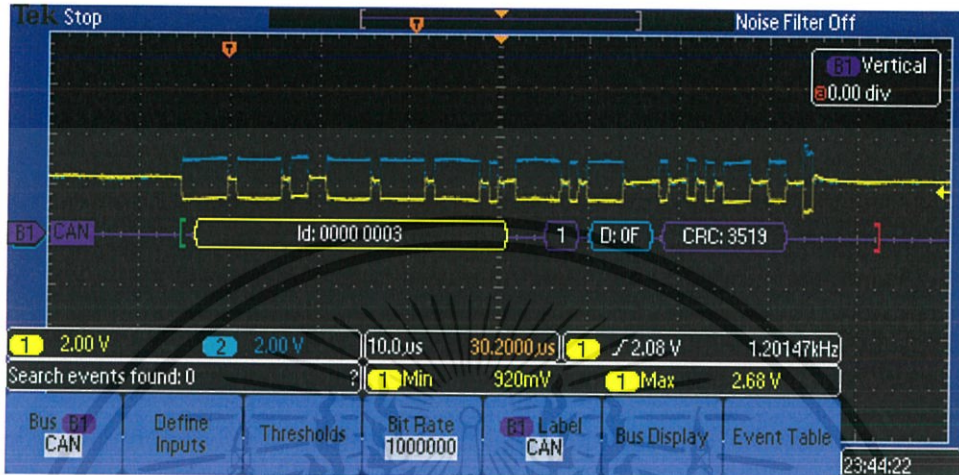
## ตำแหน่ง Low Speed CAN



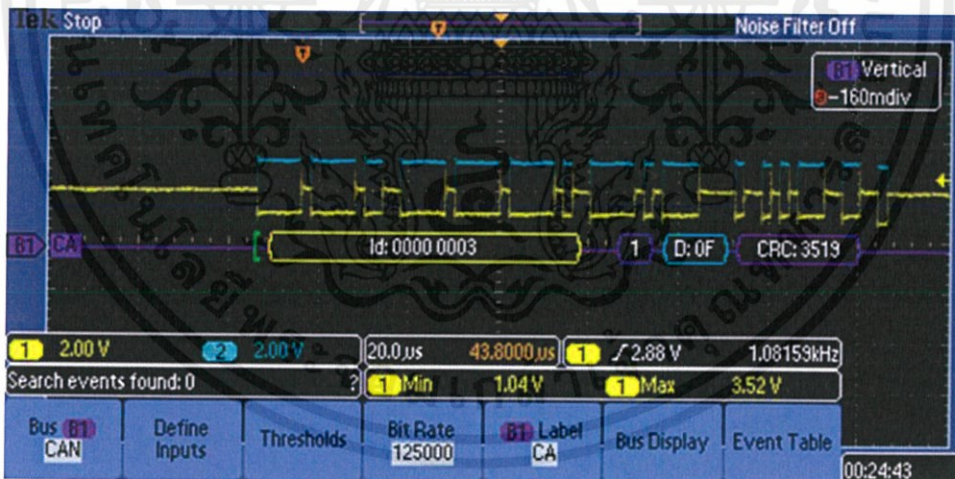
รูปที่ 4.4 สัญญาณของความเร็วยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตำแหน่ง High Speed CAN



## ตำแหน่ง Low Speed CAN



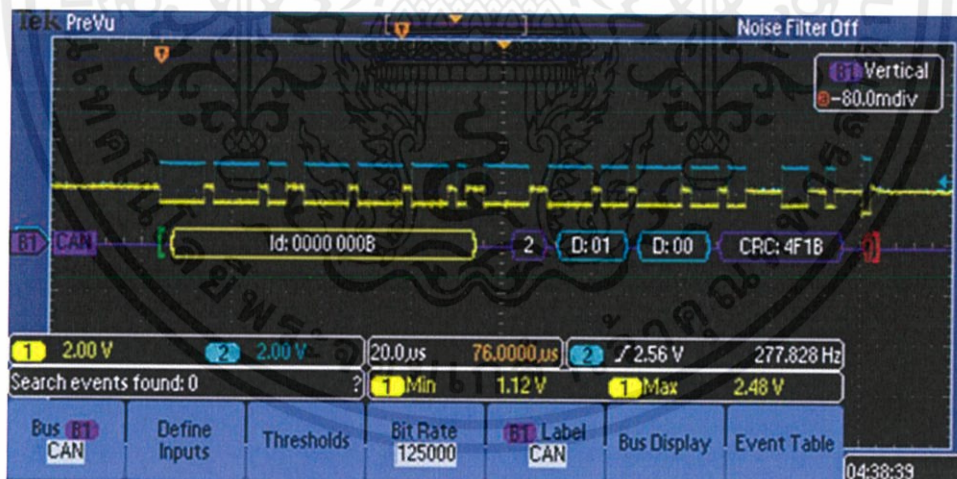
รูปที่ 4.5 สัญญาณของระดับน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตำแหน่ง High Speed CAN



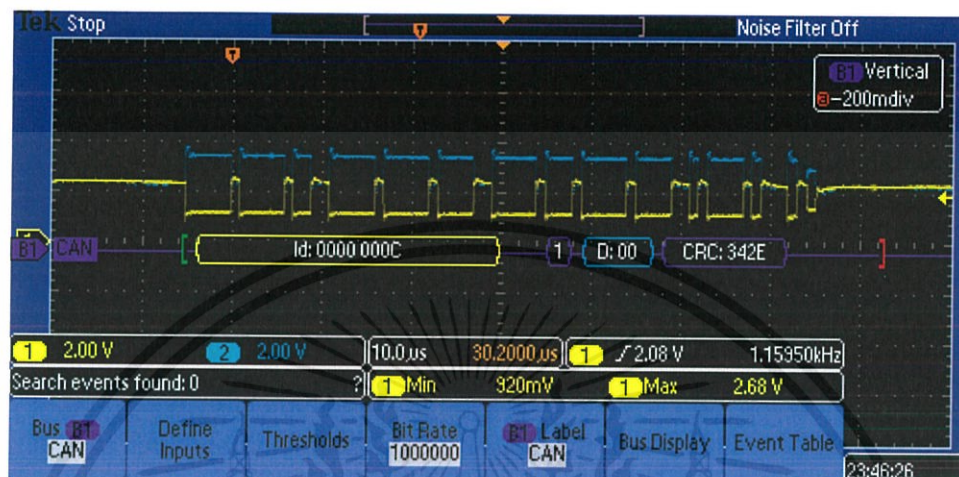
## ตำแหน่ง Low Speed CAN



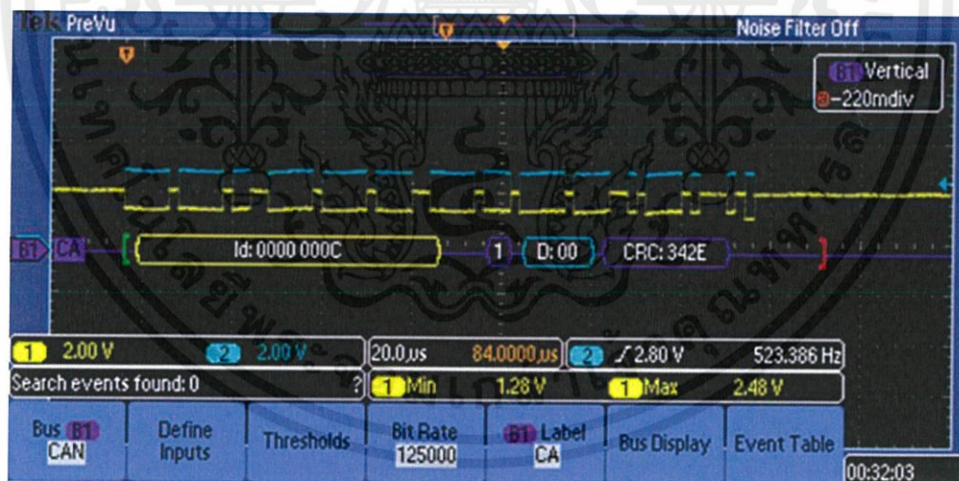
รูปที่ 4.6 สัญญาณที่สั่งการทำงานของไฟสัญญาณเลี้ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตำแหน่ง High Speed CAN



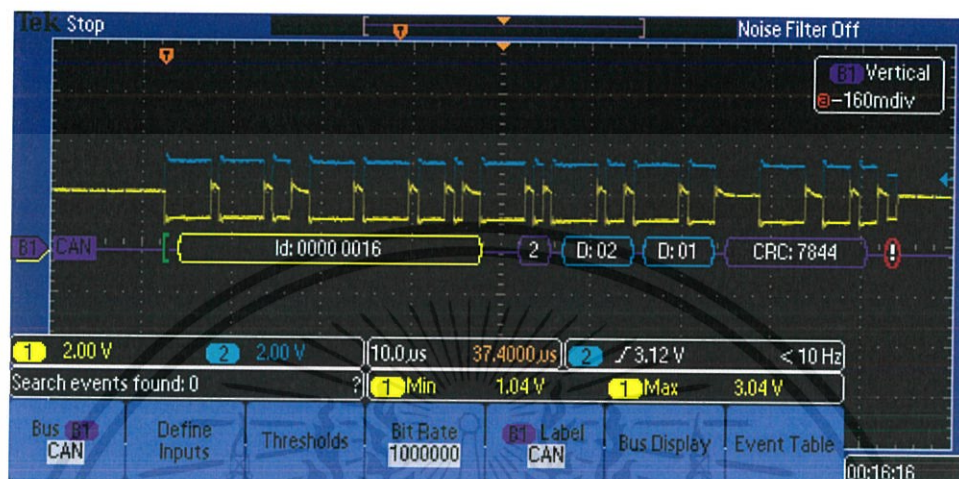
## ตำแหน่ง Low Speed CAN



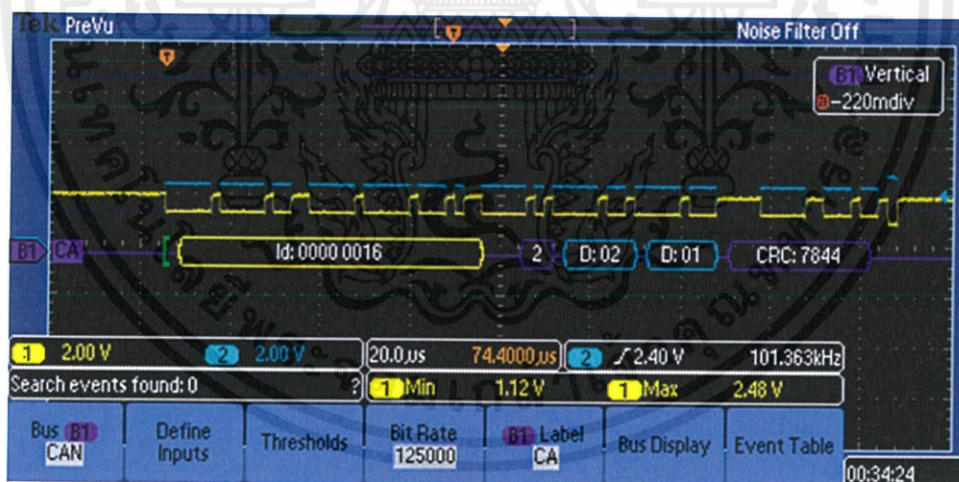
รูปที่ 4.7 สัญญาณที่ส่งการทำงานของไฟฉุกเฉิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตำแหน่ง High Speed CAN



## ตำแหน่ง Low Speed CAN



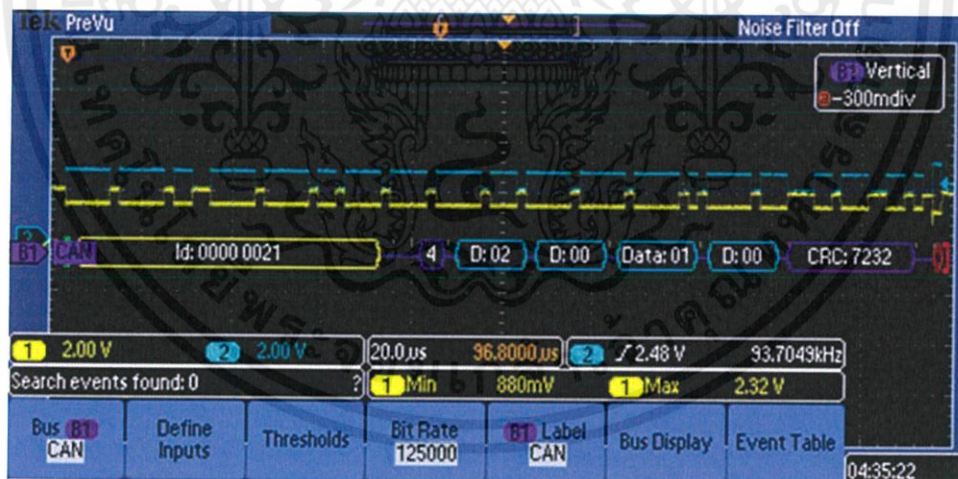
รูปที่ 4.8 สัญญาณที่ส่งการทำงานของไฟสูงและไฟต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตำแหน่ง High Speed CAN



## ตำแหน่ง Low Speed CAN



รูปที่ 4.9 สัญญาณที่ส่งการทำงานของก้านปิดน้ำฝนและที่พ่นน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### CAN GATEWAY



High speed CAN : Low speed CAN

Gateway Injection

ID  Data

High Speed CAN

/Time	/ID	/Length	/Data
20:45:48.1108379	EID:00000003	DLC:1	0F
20:45:48.1231308	EID:00000002	DLC:1	74
20:45:48.1249903	EID:00000001	DLC:1	70
20:45:48.1600268	EID:00000001	DLC:1	70
20:45:48.1869028	EID:00000002	DLC:1	74
20:45:48.1898236	EID:00000003	DLC:1	0F
20:45:48.1908205	EID:00000001	DLC:1	70
20:45:48.2167499	EID:00000001	DLC:1	70
20:45:48.2396938	EID:00000002	DLC:1	74
20:45:48.2516627	EID:00000001	DLC:1	70
20:45:48.2545232	EID:00000003	DLC:1	0F
20:45:48.2825752	EID:00000002	DLC:1	74
20:45:48.2845703	EID:00000001	DLC:1	70

Receive = 3429  
Sent = 207  
Total = 3636

Gateway Setup

High Speed CAN

LW2F182F  
 LW2F3U6X

10K  
 20K  
 50K  
 100K  
 125K  
 250K  
 500K  
 800K  
 1000K

Low Speed CAN

LW2F182F  
 LW2F3U6X

10K  
 20K  
 50K  
 100K  
 125K  
 250K  
 500K  
 800K  
 1000K

LW2F182F is Hi Speed CAN (1000Kbps)

LW2F3U6X is Low Speed CAN (500Kbps)

Select Mode

Gateway

Sniffer

Low Speed CAN

/Time	/ID	/Length	/Data
20:45:45.2087623	EID:00000016	DLC:2	02 01
20:45:45.6432861	EID:00000008	DLC:2	01 00
20:45:45.8626433	EID:00000021	DLC:4	02 00 01 00
20:45:45.9205584	EID:0000000C	DLC:1	01
20:45:46.2349574	EID:00000016	DLC:2	02 01
20:45:46.6452203	EID:00000008	DLC:2	01 00
20:45:46.8885956	EID:00000021	DLC:4	02 00 01 00
20:45:46.9216669	EID:0000000C	DLC:1	01
20:45:47.2487312	EID:00000016	DLC:2	02 01
20:45:47.5062562	EID:00000008	DLC:2	01 00
20:45:47.9081722	EID:0000000C	DLC:1	01
20:45:47.9231318	EID:00000021	DLC:4	02 00 01 00
20:45:48.2805854	EID:00000016	DLC:2	02 01

Receive = 207  
Sent = 3429  
Total = 3636

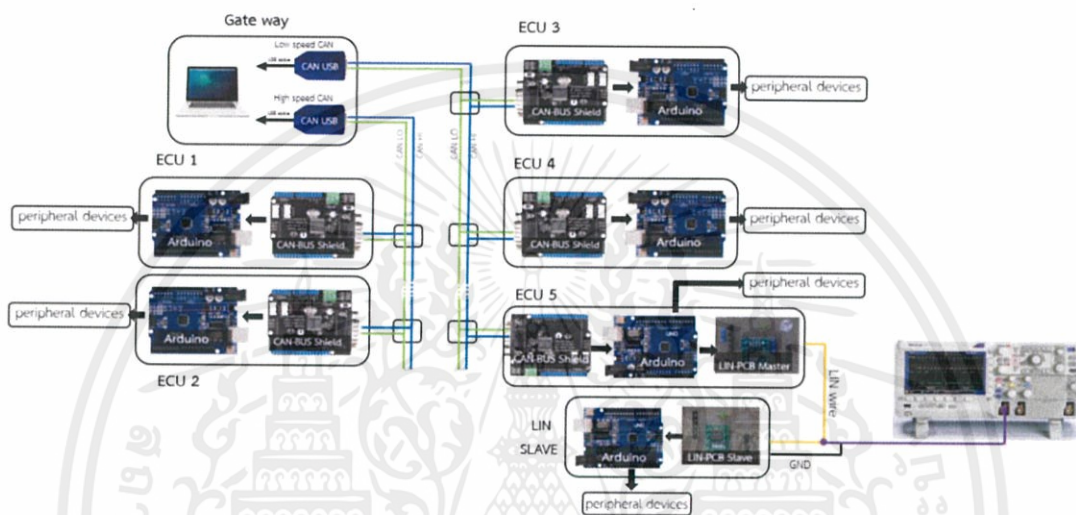
รูปที่ 4.10 ข้อมูลที่ปรากฏบนหน้าต่างโปรแกรมของเกตเวย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การทดลองวัดสัญญาณภายในสายของ LIN bus

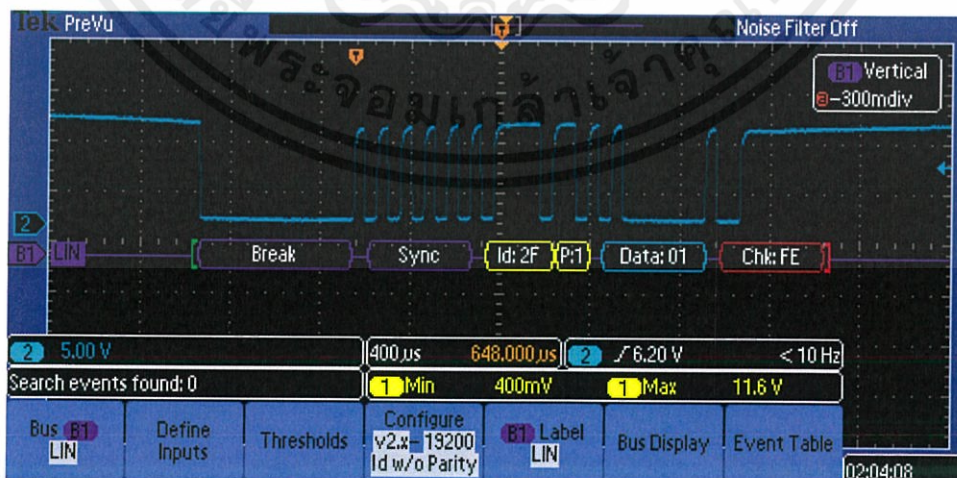
### 4.2.1 วิธีการทดลอง

นำสายโพรบไปวัดสัญญาณที่สาย LIN ในชุดทดลอง จากนั้นทำการสังเกตรูปสัญญาณที่ปรากฏบนออสซิลโลสโคป และทำการถอดสัญญาณ (decoding) โดยใช้ฟังก์ชันภายในออสซิลโลสโคป



รูปที่ 4.11 การวัดสัญญาณภายในสายของ LIN bus

### 4.2.2 ผลการทดลอง



รูปที่ 4.12 สัญญาณที่สั่งการทำงานของพัดลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ชุดทดลองเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์ ถูกสร้างขึ้นเพื่อจำลองการสื่อสารระหว่างระบบต่าง ๆ ภายในรถยนต์ ซึ่งประกอบไปด้วยเกตเวย์ หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ และอุปกรณ์ต่อพ่วงต่าง ๆ โดยเกตเวย์จะจำลองโดยใช้คอมพิวเตอร์หรือแล็ปท็อปเชื่อมต่อด้วย Lawicel CANUSB เพื่อสื่อสารผ่านบัส CAN หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จำลองโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อด้วย CAN bus shield เพื่อสื่อสารผ่านบัส CAN นอกจากนี้ยังมีบัส LIN ซึ่งทำการจำลองโดยใช้ IC SN65HVDA100-Q1 ต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนอุปกรณ์ต่อพ่วงจะจำลองมาจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในรถยนต์ เช่น หลอด LED จำลองเป็นไฟสัญญาณต่าง ๆ เซอร์โวมอเตอร์จำลองเป็นมอเตอร์สำหรับที่ปิดน้ำฝน เป็นต้น

จากการทดลองการสื่อสารระหว่างระบบต่าง ๆ ภายในรถยนต์โดยใช้ชุดการทดลองพบว่า สามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลภายในสายสัญญาณได้ทั้งหมด 3 วิธี คือ การทำงานของอุปกรณ์ปลายทาง สัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป และข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมของเกตเวย์

1. ตรวจสอบจากการทำงานของอุปกรณ์ปลายทาง เป็นการสังเกตการทำงานของชุดทดลองทางกายภาพ เช่น เมื่อปิดไฟเลี้ยวขวาที่ ECU4 จะสังเกตการทำงานที่ ECU3 และ ECU1 โดยพบว่าไฟสัญญาณเลี้ยวขวาทำงานตามที่โปรแกรมไว้

2. ตรวจสอบจากสัญญาณที่วัดจากออสซิลโลสโคป โดยทำการวัดสัญญาณในสายส่งข้อมูลด้วย MSO 2012B Mixed Signal Oscilloscope ซึ่งสามารถถอดรหัสข้อมูล (Decode) ของบัสสื่อสารภายในรถยนต์ได้ นำสัญญาณที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับ ID ความยาวของข้อมูล และข้อมูลที่ได้ทำการป้อนเข้าไป พบว่าสัญญาณที่วัดได้โดยออสซิลโลสโคปกับสัญญาณที่ป้อนเข้าไปมีค่าตรงกัน

3. ตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมของเกตเวย์ โดยโปรแกรมที่สร้างขึ้นมานั้นจะสามารถแสดงข้อมูลที่อยู่ในสายส่งข้อมูลได้ โดยจะแสดงค่า ID ความยาวของข้อมูล และ ข้อมูลจากนั้นนำค่าที่แสดงเหล่านี้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ป้อนเข้าไป พบว่าค่าข้อมูลต่าง ๆ ที่แสดงในเกตเวย์มีค่าตรงกับค่าที่ป้อนเข้าไป

## 5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหา

### 5.2.1 ปัญหา

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำชุดทดลองเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์ คือ ไม่ทราบชื่อของหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (ECU) ID ขนาดข้อมูล และ Data ที่ส่งภายในรถยนต์จริง

### 5.2.2 แนวทางการแก้ไขปัญหา

กำหนดชื่อของหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (ECU) ID ขนาดข้อมูล และ Data ที่ใช้ในชุดทดลองเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์ โดย

1. การกำหนดชื่อหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ จะกำหนดชื่อเป็น ECU1 ECU2 ECU3 ECU4 ECU5 และ LIN SLAVE
2. การกำหนด ID ของข้อมูล จะอ้างอิงจากการลำดับความสำคัญของข้อมูล โดยข้อมูลที่มีความสำคัญมาก จะมีเลข ID ค่าน้อย เช่น ความเร็วรถยนต์จะมี ID ของข้อมูล คือ 2 เป็นต้น
3. การกำหนดขนาดข้อมูล จะกำหนดจากปริมาณข้อมูลที่ต้องการส่งเมื่อทำการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น ข้อมูลของไฟเลี้ยวมีขนาดของข้อมูลเป็น 2 เนื่องจากแยกข้อมูลเป็นของไฟเลี้ยวซ้ายและไฟเลี้ยวขวา เป็นต้น
4. การกำหนด Data ของข้อมูล จะกำหนดจากสถานะลอจิกของข้อมูล หรือ ค่าของข้อมูลที่ป้อนเข้าไปในขณะที่เขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น 0 คือไฟดับ 1 คือไฟติด เป็นต้น

## บรรณานุกรม

- [1] Robert Bosch GmbH, **Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics**. 5<sup>th</sup> Edition. German: Springer Vieweg. 2007.
- [2] อุดมศักดิ์ ใช้ศรีทอง, “CAN บัสข้อมูลอัจฉริยะสำหรับงานอุตสาหกรรมและยานยนต์ ตอนที่ 1 โครงสร้างและลักษณะทั่วไป”, **เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์**, ฉบับที่ 231, 2545, หน้า 155-159.
- [3] Marco Di Natale, Haibo Zeng, Paolo Giusto, Arkadeb Ghosal, **Understanding and Using the Controller Area Network Communication Protocol**. 1<sup>st</sup> Edition. New York: Springer. 2012.
- [4] อุดมศักดิ์ ใช้ศรีทอง, “CAN บัสข้อมูลอัจฉริยะสำหรับงานอุตสาหกรรมและยานยนต์ ตอนที่ 2 โพรโทคอลในการส่งข้อมูล”, **เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์**, ฉบับที่ 234, 2545, หน้า 176-183.
- [5] Wilfried Voss, **SAE J1939 ECU Programming & Vehicle Bus Simulation with Arduino**. Greenfield: Copperhill Technology Corporation. 2015.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# IN-VEHICLE NETWORK LAB KIT

Kanokpong Techapornsin<sup>1</sup>, Kritcharit Kittikongwat<sup>2</sup>, Natthatorn Sriunruan<sup>3</sup>,  
Dr.Sompob Polmai<sup>4</sup>, and Assoc.Prof.Dr.Supat Kittiratsatcha<sup>5</sup>

## Abstract

The objective of this research is to study and make an in-vehicle network lab kit since in the present, many manufacturers use in-vehicle network, such as LIN bus, CAN bus, MOST bus, FlexRay, etc., to communicate among the systems in the vehicle. In-vehicle network lab kit only focuses on CAN bus and LIN bus because these bus systems are mostly used in the car. Because of the examples about area of convenience in the car, which is not complicated, people who are interested in in-vehicle network can easily understand about communication among the systems in the car from this lab kit.

## Introduction

In the past, the systems in car are simple and have a few electronics systems, so each system communicate to one another via discrete lines, but in the present, the systems in car are more complicated and have a lot of electronics systems, so they communicate via bus systems. Nowadays, many car manufacturers use bus systems to communicate among the systems in the car. We can learn about it from books or articles, but we cannot imagine how it works in the cars. So, we create in-vehicle network lab kit to make people easy to understand how the networks in vehicle work.

## Methodology

1. Study about In-vehicle network and bus systems. (Focusing on CAN bus and LIN bus).
2. Choose the systems in a car that we can create.
3. Plan the overall image of lab kit. (Fig.1)
4. Provide the equipment for lab kit.
5. Do the software that contains writing code of each systems to the Arduinos and making an application on computer for the gateway.
6. Test for compatibility of every systems when connect them to one another.
7. Design and do the hardware.
8. Connect all systems in the hardware we provide and do the final test.

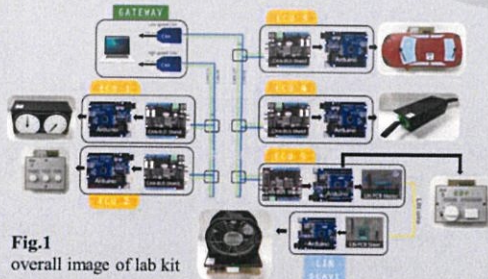


Fig.1  
overall image of lab kit

## Results

We sent the message from ECU, then using an oscilloscope to measure and decode the signal of high speed CAN, low speed CAN, and LIN.



Fig.2  
The signal of high speed CAN.  
(ID = 0x1, length = 1, Data = 54)  
— CAN High  
— CAN Low  
— Decoding signal



Fig.3  
The signal of low speed CAN.  
(ID = 0x16, length = 2, Data = 02 & 01)  
— CAN High  
— CAN Low  
— Decoding signal



Fig.4  
The signal of LIN.  
(ID = 0x2F, length = 1, Data = 01)  
— LIN  
— Decoding signal

## Conclusion

From the results, the messages are sent as we expect because decoding signals are the same as we send from ECU. For the operation of lab kit, all the devices can be operated following our program. And from our lab kit, people can learn about communication via CAN bus and LIN bus from signals in oscilloscope, response of the devices when they send the messages from lab kit, and the information from application in gateway.

## References

- [1] Marco Di Natale, Haibo Zeng, Paolo Giusto, Arkadeb Ghosal. (2012). *Understanding and Using the Controller Area Network Communication Protocol*. 1<sup>st</sup> Edition. New York: Springer.
- [2] Robert Bosch GmbH. (2007). *Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics*. 5<sup>th</sup> Edition. German: Springer Vieweg.
- [3] Wilfried Voss. (2015). *SAE J1939 ECU Programming & Vehicle Bus Simulation with Arduino*. Greenfield: Copperhill Technology Corporation.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ชุดทดลองเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์ In-Vehicle Network Lab Kit

กนกพงศ์ เศษะพรสิน<sup>1</sup> กฤษฤทธิ์ กิตติคงวัตร<sup>2</sup> และ ณัฐธร ศรีอ่อนเรือน<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง  
ถนนลาดกระบัง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520  
Email: 58010007@kmitl.ac.th, 58010026@kmitl.ac.th, 58010387@kmitl.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและจัดทำชุดทดลองเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์ เนื่องจากในปัจจุบันมีการนำระบบเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์ (In-Vehicle Network) เช่น LIN bus, CAN bus, MOST bus, FlexRay เป็นต้น เข้ามาใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อสื่อสารข้อมูลระหว่างระบบต่าง ๆ ภายในรถยนต์ เช่น ความเร็วรอบ ระดับน้ำมัน ไฟสัญญาณ เป็นต้น จึงได้ทำการจัดทำชุดทดลองเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์ เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถศึกษาและเข้าใจการสื่อสารระหว่างระบบต่าง ๆ ภายในรถยนต์ โดยชุดทดลองจะจำลองการสื่อสารที่เกี่ยวข้องกับ CAN bus และ LIN bus เท่านั้น เนื่องจากทั้งสองเครือข่ายนี้เป็นที่นิยมใช้บนเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์ และภายในชุดทดลองจะยกตัวอย่างการสื่อสารข้อมูลเกี่ยวกับระบบอำนวยความสะดวกในรถยนต์ซึ่งเป็นระบบที่ไม่ซับซ้อนและเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นเรียนรู้

**คำสำคัญ:** ระบบเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์, CAN bus, LIN bus

## Abstract

The objective of this paper is to study and make an in-vehicle network lab kit since in the present, many manufacturers use in-vehicle network, such as LIN bus, CAN bus, MOST bus, FlexRay, etc., to communicate among the systems in the vehicle. In-vehicle network lab kit only focuses on CAN bus and LIN bus because these bus systems are mostly used in the car. Because of the examples about area of convenience in the car, which is not complicated, people who are interested in in-vehicle network can easily understand about communication among the systems in the car from this lab kit.

**Keywords:** in-vehicle network, CAN bus, LIN bus

## 1. บทนำ

ปัญหาในการพัฒนารถยนต์รุ่นใหม่ที่ต้องการสิ่งอำนวยความสะดวกและระบบรักษาความปลอดภัยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ภายในรถยนต์มีความซับซ้อนมากขึ้น ไม่มีลูกของวงจร

ต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก ซึ่งต้องมีการสื่อสารส่งข้อมูลระหว่างกันและกัน หากใช้ระบบเดิมคือการเชื่อมต่อสายสัญญาณที่ใช้สื่อสารทุกสายเข้าหากัน (Discrete Connection) จะทำให้มีสายจำนวนมากในการติดต่อสื่อสาร ซึ่งทำให้เกิดความยุ่งยากซับซ้อนและไม่มีความยืดหยุ่น ด้วยเหตุนี้จึงได้นำระบบเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์มาใช้ โดยระบบเครือข่ายนี้มีความน่าเชื่อถือและความยืดหยุ่น รวมทั้งง่ายต่อการใช้งานและมีค่าใช้จ่ายต่ำ ซึ่งทำให้ระบบเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์ (In-Vehicle Network) มีความน่าสนใจในการศึกษา เพื่ออำนวยความสะดวกในการศึกษาจึงได้จัดทำชุดทดลองระบบเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์ (In-Vehicle Network lab kit) ขึ้น

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ระบบเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์

#### 2.1.1 สิ่งที่ต้องพิจารณาในการเลือกใช้ระบบบัส

ในการเลือกระบบบัสแบบต่าง ๆ มาใช้ในระบบภายในยานพาหนะ จำเป็นต้องพิจารณาทั้งด้านเทคนิคและความคุ้มค่า โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณามีดังนี้ 1) ความเร็วในการรับส่งข้อมูล คือ จำนวนข้อมูลที่ส่งได้ในระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งโดยปกติจะมีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (bits/seconds) การเลือกความเร็วในการรับส่งข้อมูลนั้นจะขึ้นอยู่กับการใช้งานของอุปกรณ์ 2) การป้องกันสัญญาณรบกวน (Interference immunity) ในทางอุดมคติแล้ว ข้อมูลควรถูกส่งโดยปราศจากสัญญาณรบกวน แต่ในทางปฏิบัตินั้น ข้อมูลที่ถูกส่งภายในยานพาหนะจะถูกรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จึงพิจารณาให้ระบบที่สำคัญ เช่น ระบบขับเคลื่อน มีการป้องกันสัญญาณรบกวนได้มากกว่าระบบอำนวยความสะดวก 3) ความสามารถในการส่งข้อมูลแบบทันที (Real-time Capability) การส่งข้อมูลแบบทันทีนั้นจะทำให้ข้อมูลที่ส่งออกไปถูกนำไปใช้งานได้ทันทีภายในเวลาที่กำหนด ซึ่งช่วงเวลาที่ต้องการของแต่ละระบบนั้นจะไม่เท่ากัน เช่น ระบบเบรก (Antilock Brake System : ABS) ต้องตอบสนองต่อการทำงานภายในช่วงเวลา 1-2 มิลลิวินาที ในขณะที่การเลี้ยวหน้าต่างใช้เวลาในการตอบสนอง 100 มิลลิวินาที

#### 2.1.2 การจำแนกประเภทของระบบบัส

เนื่องจากแต่ละระบบมีความต้องการที่แตกต่างกัน ระบบบัสจึงถูกจำแนกเป็นคลาสต่าง ๆ ดังนี้ คลาส A (LIN bus) ความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุด 20 กิโลบิตต่อวินาที คลาส B (CANความเร็วต่ำ) ความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงสุด 125 กิโลบิตต่อวินาที คลาส C (CANความเร็วสูง) ความเร็วสูงสุด 1 เมกะบิตต่อวินาที คลาส C+ (FlexRay) ความเร็วสูงสุด 10 เมกะบิตต่อวินาที คลาส D (MOST bus) ความเร็วมากกว่า 10 เมกะบิตต่อวินาที

### 2.1.3 การทำงานร่วมกันของเครือข่าย

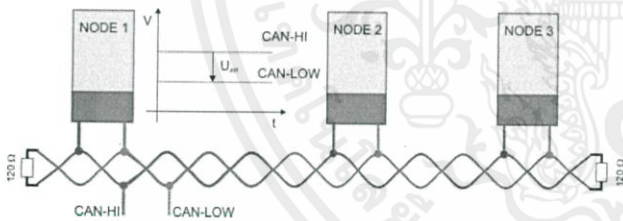
เครือข่ายแบบต่าง ๆ ที่เหมาะกับความต้องการของแต่ละระบบได้ถูกนำมาใช้งานกับระบบนั้น ๆ แต่รูปแบบของเครือข่ายที่ต่างกันไม่สามารถสื่อสารหรือรับส่งข้อมูลกันได้ จึงต้องมี "เกตเวย์" (Gateway) ซึ่งทำหน้าที่เป็นล่าม โดยการรับข้อมูลมาจากเครือข่ายหนึ่ง แล้วแปลงข้อมูลเพื่อส่งให้กับอีกเครือข่ายหนึ่ง เกตเวย์ที่กล่าวถึงนี้คือ คอมพิวเตอร์ที่สามารถอ่านข้อมูลที่ส่งมาแล้วแปลงข้อมูลเป็นอีกรูปแบบหนึ่งเพื่อให้เครือข่ายที่ต่างกันสามารถสื่อสารกันได้

เกตเวย์สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายได้ 2 แบบคือ เกตเวย์แบบศูนย์กลาง (Central gateway) ซึ่งจะนำทุกบัสมารวมกันที่เกตเวย์ และ เกตเวย์แบบกระจาย (Distributed gateway) ซึ่งจะมีเกตเวย์กระจายอยู่หลายตัว โดยแต่ละตัวจะรวมบัส 2 บัสขึ้นไปเข้าด้วยกัน

## 2.2 ระบบบัส

### 2.2.1 CAN BUS

CAN bus ถูกคิดค้นและพัฒนาขึ้นมาสำหรับใช้ในระบบอิเล็กทรอนิกส์ในรถยนต์ เพื่อให้ระบบมีความน่าเชื่อถือ ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น ซึ่งได้กำหนดมาตรฐาน ISO11898 (CAN ความเร็วสูง) และ ISO11519 (CAN ความเร็วต่ำ) ขึ้นมา มีลักษณะการต่อวงจรส่งข้อมูลดังรูปที่ 1

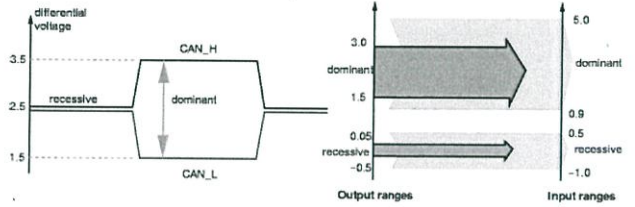


รูปที่ 1 ลักษณะการต่อวงจรส่งข้อมูลของ CAN bus

#### 2.2.1.1 การส่งข้อมูล (Data Transmission)

สัญญาณข้อมูลที่ส่งจะใช้วิธีการส่งแบบสัญญาณแรงดันผลต่าง (Differential Voltage Signal) หรือการส่งสัญญาณแบบ NRZ (Non-Return-to-Zero) สถานะของสัญญาณในสายส่งได้จากการเปรียบเทียบระดับแรงดันหรือศักย์ไฟฟ้าระหว่างสายสัญญาณทั้งสองเส้นคือ CAN\_H (ศักย์สูง) และ CAN\_L (ศักย์ต่ำ) สถานะของสัญญาณข้อมูลในสายส่ง CAN จะมีอยู่ 2 สถานะคือ สถานะรีเซสซีฟ (Recessive) และ สถานะโดมิแนนต์ (Dominant) ระดับแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณในแต่ละเส้น (เทียบกับกราวด์) และผลต่างแรงดันไฟฟ้าระหว่างคู่สายสัญญาณในแต่ละสถานะแสดงดังรูปที่ 2 คือถ้าผลต่างของแรงดันระหว่าง CAN\_H และ CAN\_L เป็น 0 โวลต์ (หรือ  $\leq 0.5$  โวลต์) จะเป็นสถานะรีเซสซีฟ

ซึ่งจะแทนข้อมูลที่มีลอจิกเป็น "1" แต่ถ้าผลต่างของแรงดันแรงดันระหว่าง CAN\_H และ CAN\_L เป็น 2 โวลต์ (หรือ  $\geq 0.9$  โวลต์) จะเป็นสถานะโดมิแนนต์ ซึ่งจะแทนข้อมูลที่มีลอจิกเป็น "0"



รูปที่ 2 ลักษณะสัญญาณข้อมูลแต่ละสถานะ

การส่งผ่านข้อมูลโคจรใช้ผลต่างแรงดันของคู่สายสัญญาณมีข้อดีคือ จะช่วยลดการรบกวนอันเนื่องมาจากผลของ EMI ลงได้เป็นอย่างมากทำให้สามารถส่งสัญญาณได้ในอัตราเร็วที่สูงขึ้น

#### 2.2.1.2 โพรโตคอลการส่งข้อมูลใน CAN

จะแบ่งข้อมูลที่ส่งออกเป็น 4 เฟรม ซึ่งประกอบไปด้วย เฟรมข้อมูล (Data Frame), เฟรมร้องขอข้อมูล (Remote Frame) ใช้ในการร้องขอข้อมูลจากโหนดอื่น, เฟรมแสดงความผิดพลาด (Error Frame) ใช้แสดงความผิดพลาดที่เกิดขึ้น และ เฟรมโอเวอร์โหลด (Overload Frame) ใช้เพื่อบอกว่าต้องการเวลาในการประมวลผลข้อมูลที่ได้รับเพิ่มขึ้นในที่นี้จะกล่าวถึง เฟรมข้อมูล

เฟรมข้อมูลมีอยู่ 2 ชนิดคือ แบบมาตรฐาน กับ แบบขยาย โดยเฟรมข้อมูลจะประกอบด้วยฟิลด์ชนิดต่าง ๆ ได้แก่ 1) บิตเริ่มต้นเฟรม (SOF) 1 บิต 2) ฟิลด์แสดงข้อมูล (Arbitration field) 12 บิตสำหรับเฟรมข้อมูลแบบมาตรฐาน และ 32 บิตสำหรับเฟรมข้อมูลแบบขยาย 3) ฟิลด์ควบคุม (Control Field) มี 6 บิต 4) ฟิลด์ข้อมูล (Data Field) ขนาดไม่เกิน 8 ไบต์หรือ 64 บิต 5) ฟิลด์ตรวจสอบ (CRC Field) มีขนาด 16 บิต 6) ฟิลด์ตอบสนอง (Acknowledge Field) 2 บิต 7) ฟิลด์สิ้นสุดเฟรม (End of Frame) 1 บิต แสดงดังรูปที่ 3 และ 4

Arbitration field (base) ID		Control field			Data field			CRC field											
(base) ID		DLC			Sequence			Sequence											
SOF	Bit 28	Bit 19	RTR	IDE	Bit 0	Byte 0	Byte 1	...	Byte 6	Byte 7	Bit 14	Bit 13	...	Bit 1	Bit 0	Delimiter			
	Bit 27	Bit 18	Bit 17	Bit 16	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Byte 0	Byte 1	...	Byte 6	Byte 7	Bit 14	Bit 13	...	Bit 1	Bit 0	Delimiter

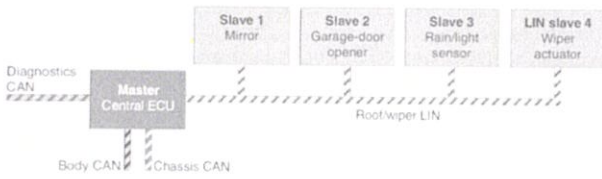
รูปที่ 3 ส่วนประกอบของเฟรมข้อมูลแบบมาตรฐาน

Arbitration field (base) ID		Control field			Data field			CRC field														
(base) ID		(extended) ID			DLC			Sequence														
SOF	Bit 28	Bit 19	SR	IDE	Bit 17	Bit 16	...	Bit 1	Bit 0	Byte 0	Byte 1	...	Byte 6	Byte 7	Bit 14	Bit 13	...	Bit 1	Bit 0	Delimiter		
	Bit 27	Bit 18	Bit 17	Bit 16	Bit 15	Bit 14	...	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Byte 0	Byte 1	...	Byte 6	Byte 7	Bit 14	Bit 13	...	Bit 1	Bit 0	Delimiter

รูปที่ 4 ส่วนประกอบของเฟรมข้อมูลแบบขยาย

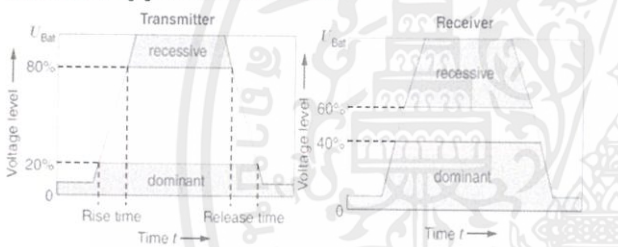
### 2.2.2 LIN bus

การเพิ่มขึ้นของระบบแมคคาทรอนิกส์ยานพาหนะ ทำให้ LIN bus ถูกคิดค้นขึ้นมาเพื่อใช้แทนที่ CAN ความเร็วต่ำ (Low-speed CAN) เนื่องจากมีราคาถูก โดยจะนำ LIN bus มาใช้กับอุปกรณ์จำพวก เซนเซอร์และตัวกระตุ้นสำหรับระบบอิเล็กทรอนิกส์ภายในตัวรถ ซึ่ง LIN bus จะเป็นการส่งข้อมูลแบบ Master กับ Slave โดยจะใช้สายสัญญาณเพียง 1 เส้นในการสื่อสารมีลักษณะการต่อวงจรส่งข้อมูล ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ลักษณะการต่อวงจรส่งข้อมูลของ LIN bus  
2.2.2.1 การส่งข้อมูล (Data Transmission)

LIN bus ถูกออกแบบมาเพื่อใช้สายสัญญาณเพียง 1 เส้นจึงไม่มีการป้องกันสัญญาณรบกวน ซึ่งการส่งข้อมูลจะใช้ลอจิก 2 สถานะคือ 1) ระดับโดมิแนนต์ (Dominant level) เป็นระดับที่แรงดันมีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งจะแทนด้วยลอจิก 0 2) ระดับรีเซสซีฟ (Recessive level) เป็นระดับที่แรงดันมีค่าเท่ากับแรงดันของแบตเตอรี่ ( $U_{BAT}$ ) ซึ่งจะแทนด้วยลอจิก 1 ในการส่งข้อมูลจะมีความแตกต่างของระดับแรงดันที่ไม่เท่ากัน จึงมีการกำหนดพื้นที่ที่ยอมรับได้ (Tolerance zone) ของโดมิแนนต์และรีเซสซีฟ เพื่อให้การรับและส่งข้อมูลมีความเสถียร ซึ่งพื้นที่ที่ยอมรับได้ของส่วนรับข้อมูลจะมีความกว้างกว่าส่วนส่งข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 5 เพื่อให้สามารถรับสัญญาณที่มีคลื่นรบกวนได้



รูปที่ 6 ช่วงที่ยอมรับได้ในการรับส่งข้อมูล

2.2.2.2 โพรโทคอลการส่งข้อมูลใน LIN

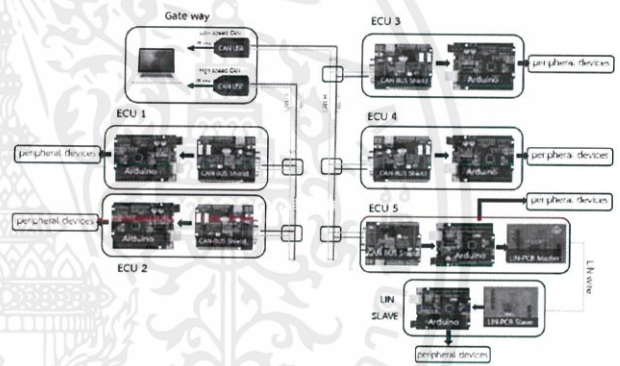
เฟรม (Frame) เป็นข้อมูลที่ถูกส่งเข้าไปใน LIN bus โดยมาสเตอร์จะเป็นผู้เริ่มต้นข้อความโดยเริ่มจากส่วนหัวเรื่อง (Header) ตามด้วยส่วนตอบสนอง (Response) ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของข้อความ ถ้ามาสเตอร์ต้องการสั่งให้สเลฟทำงาน จะส่งข้อความที่มีส่วนตอบสนองสั่งให้สเลฟทำงาน ถ้ามาสเตอร์ต้องการร้องขอข้อมูลจากสเลฟ สเลฟที่ถูกระบุจะส่งข้อความตอบสนองเพื่อส่งข้อมูลที่ต้องการไปยังมาสเตอร์ 1) ส่วนหัวเรื่อง (Header) ประกอบไปด้วย ซิงโครไนซ์เบรก (Synchronization break) ซิงโครไนซ์ฟิลด์ (Synchronization field) และ ฟิลด์ระบุตัวตน (The identifier field) 2) ส่วนของข้อมูล (Data field) หลังจากที่ส่วนหัวเรื่องถูกส่งไปแล้วต่อไปจะเป็นส่วนของข้อมูล ซึ่งสเลฟจะรู้จากส่วนระบุตัวตนว่าต้องตอบสนองกลับมาสเตอร์หรือไม่ โดยในส่วนของข้อมูลนี้จะประกอบไปด้วยบิตเริ่มต้น, ข้อมูล 1 ไบต์ (8 บิต), และบิตสิ้นสุด รวมทั้งหมดเป็น 10 บิต ส่วนการตอบสนองคือข้อมูลของสเลฟนั้นจะสามารถตรวจสอบได้จากบิตตรวจสอบภายในส่วนระบุตัวตน

Header			Response								
Synch Break	Synch Field	Ident Field	Data field 0	Data field 1	Data field 2	Data field 3	Data field 4	Data field 5	Data field 6	Data field 7	Checksum

รูปที่ 7 รูปแบบข้อมูลของ LIN

3. ชุดทดลองเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์

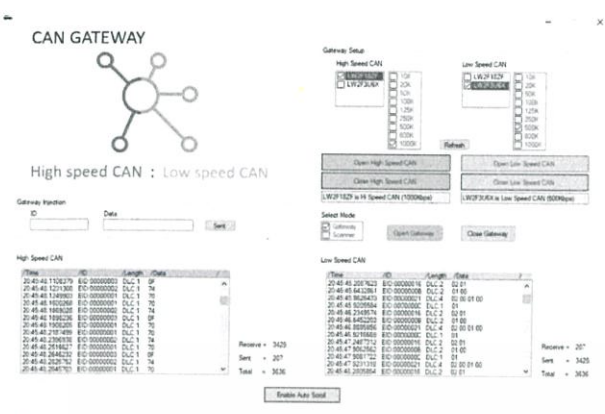
เพื่ออำนวยความสะดวกการศึกษาระบบเครือข่ายสื่อสารที่จึงได้ทำการออกแบบชุดทดลองระบบเครือข่ายสื่อสารไว้ซึ่งประกอบไปด้วยบัสหลักคือ CAN ความเร็วสูง (ความเร็วในการส่งข้อมูลอยู่ที่ 1 เมกะบิตต่อวินาที) และ CAN ความเร็วต่ำ (ความเร็วในการส่งข้อมูลอยู่ที่ 125 กิโลบิตต่อวินาที) ซึ่งมีความเร็วที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องมีจุดเชื่อมโยงในกรณีที่ต้องการแปลงความเร็วของข้อมูลที่ได้รับมาให้ตรงกับความเร็วปลายทาง จุดเชื่อมโยงนั้นจะถูกเรียกว่า Gateway และยังมีระบบสำรองคือ LIN Bus (ความเร็วในการส่งข้อมูลอยู่ที่ 19.2 กิโลบิตต่อวินาที) โดยมีภาพรวมดังรูปที่ 8



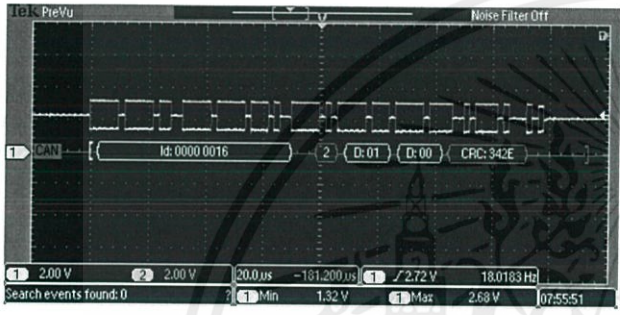
รูปที่ 8 ภาพรวมของชุดทดลองเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์

4. การใช้งานชุดทดลองเครือข่ายสื่อสารในรถยนต์

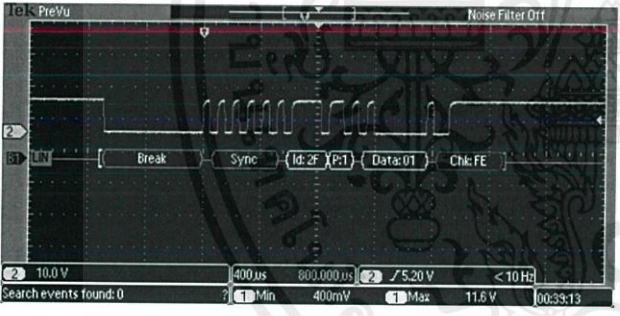
ในเกตเวย์ของชุดทดลองนั้น จะออกแบบโปรแกรมขึ้นมาเพื่อเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์หรือแล็ปท็อปให้สามารถสื่อสารกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านทาง Lawicel CANUSB ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับสื่อสารผ่าน CAN bus โดยโปรแกรมนี้สามารถกำหนดความเร็วในการรับและส่งข้อมูลได้ จึงสามารถใช้เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่าง CAN ความเร็วสูง และ CAN ความเร็วต่ำได้ นอกจากนี้ โปรแกรมนี้ยังใช้เป็นตัวอ่านข้อมูลต่าง ๆ ที่ถูกส่งเข้ามาภายในบัสได้อีกด้วย โดยข้อมูลที่โปรแกรมสามารถอ่านได้ ประกอบไปด้วย เวลาที่ได้รับข้อมูล, ID, ขนาดของข้อมูล และ Data โดยมีหน้าต่างโปรแกรมดัง รูปที่ 9 และนอกจากนี้ในจุดต่อสายสัญญาณของแต่ละ ECU ที่ นั้นได้ทำการออกให้มี test point สำหรับนำออสซิลโลสโคปมาวัดรูปสัญญาณ ซึ่งสามารถวัดได้ดังรูปที่ 10 และ 11



รูปที่ 9 หน้าต่างโปรแกรมเกตเวย์ขณะใช้งาน



รูปที่ 10 รูปสัญญาณ CAN ในสายส่งของชุดทดลอง



รูปที่ 11 รูปสัญญาณ LIN ในสายส่งของชุดทดลอง

5. สรุป

ชุดทดลองการสื่อสารภายในรถยนต์ สามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลภายในสายสัญญาณได้ทั้งหมด 3 วิธี คือ การทำงานของอุปกรณ์ปลายทาง สัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป และข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมของเกตเวย์

1. ตรวจสอบจากการทำงานของอุปกรณ์ปลายทาง เป็นการสังเกตการทำงานของชุดทดลองทางกายภาพ เช่น เมื่อบีบไฟเลี้ยวขวาที่ ECU4 จะสังเกตการทำงานที่ ECU3 และ ECU1 พบว่าไฟเลี้ยวขวาทำงานตามที่โปรแกรมไว้
2. ตรวจสอบจากสัญญาณที่วัดจากออสซิลโลสโคป โดยทำการวัดสัญญาณ ในสายส่งข้อมูลด้วย MSO 2012B Mixed Signal Oscilloscope ซึ่งสามารถถอดรหัสข้อมูล (Decode) ของบัสสื่อสารภายในรถยนต์ได้นำ

สัญญาณที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับ ID ความยาวของข้อมูล และข้อมูลที่ทำการป้อนเข้าไป พบว่าสัญญาณที่วัดได้โดยออสซิลโลสโคปกับสัญญาณที่ป้อนเข้าไปมีค่าตรงกัน

3. ตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมของเกตเวย์ โดยโปรแกรมที่สร้างขึ้นมานั้นจะสามารถแสดงข้อมูลที่อยู่ในสายส่งข้อมูลได้ โดยจะแสดงค่า ID ความยาวของข้อมูล และ ข้อมูล จากนั้นนำค่าที่แสดงเหล่านี้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ป้อนเข้าไป พบว่าค่าข้อมูลต่างๆ ที่แสดงในเกตเวย์มีค่าตรงกับค่าที่ป้อนเข้าไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Robert Bosch GmbH, Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics. 5th Edition. German: Springer Vieweg. 2007.
- [2] อุดมศักดิ์ ไขศรีทอง, “CAN บัสข้อมูลอัจฉริยะสำหรับงานอุตสาหกรรมและยานยนต์ ตอนที่ 1 โครงสร้างและลักษณะทั่วไป”, เขมิกอนดักเคอร์อีเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 231, 2545, หน้า 155-159.
- [3] Marco Di Natale, Haibo Zeng, Paolo Giusto, Arkadeb Ghosal, Understanding and Using the Controller Area Network Communication Protocol. 1st Edition. New York: Springer. 2012.
- [4] อุดมศักดิ์ ไขศรีทอง, “CAN บัสข้อมูลอัจฉริยะสำหรับงานอุตสาหกรรมและยานยนต์ ตอนที่ 2 โปรโตคอลในการส่งข้อมูล”, เขมิกอนดักเคอร์อีเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 234, 2545, หน้า 176-183.
- [5] Wilfried Voss, SAE J1939 ECU Programming & Vehicle Bus Simulation with Arduino. Greenfield: Copperhill Technology Corporation. 2015.



นายกนกพงศ์ เตชะพรศิน  
ระดับปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
E-mail: kanokpong129@hotmail.com



นายกฤษฤทธิ์ กิตติคงวัตร  
ระดับปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
E-mail: kkittikongwat@gmail.com



นางสาวณัฐพร ศรีอ่อนเรือน  
ระดับปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
E-mail: natthatorn.s@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

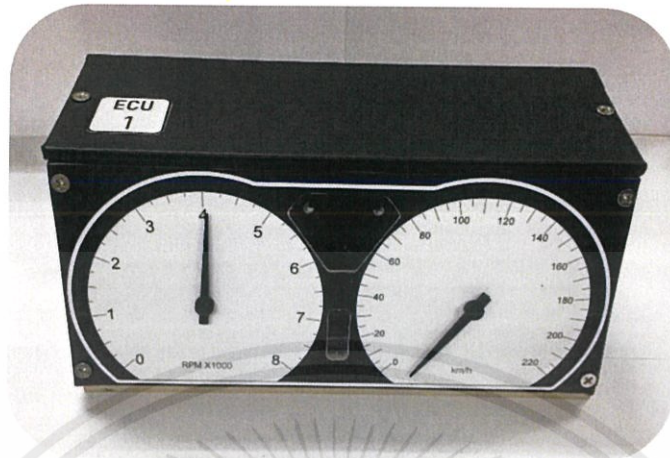


ภาคผนวก ค  
ข้อมูลอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ชุดทดลองระบบเครือข่ายสื่อสารภายในรถยนต์

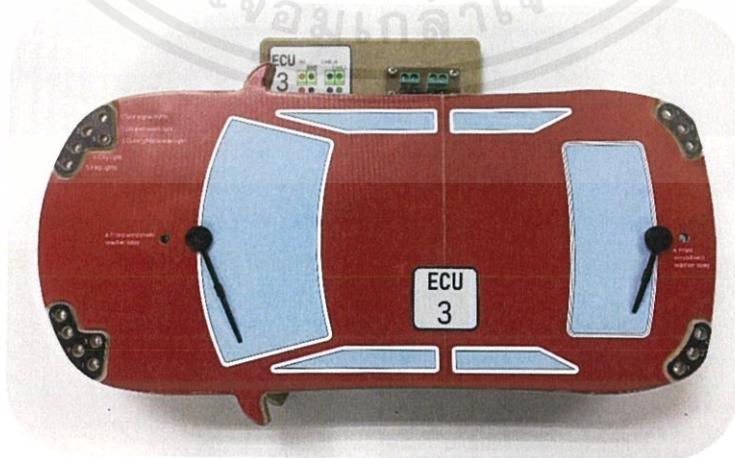
### 1. ECU 1



### 2. ECU 2

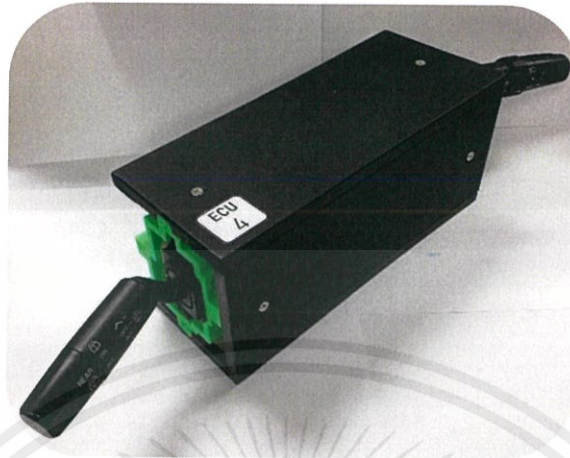


### 3. ECU 3

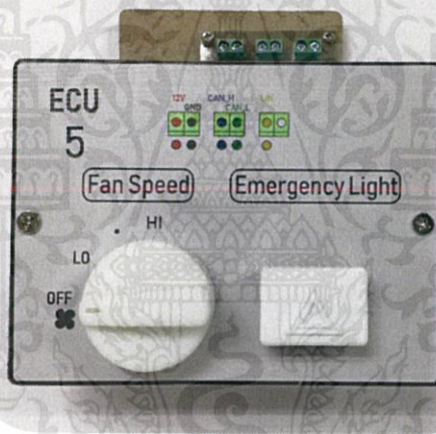


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. ECU 4



#### 5. ECU 5



#### 6. LIN Slave



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7. Gateway



## 8. Tektronix MSO 2012B Mixed Signal Oscilloscope 2 channel



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-สกุล นายกนกพงศ์ เตชะพรสิิน  
วัน เดือน ปีเกิด 6 มิถุนายน 2540  
ที่อยู่ 61 ซอยบางแวก 30 แขวงบางแวก เขตภาษีเจริญ  
กรุงเทพมหานคร 10160  
ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนอัสสัมชัญ  
ระดับปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
E-mail kanokpong129@hotmail.com



ชื่อ-สกุล นายกฤษฎฤทธิ์ กิตติคงวัตร  
วัน เดือน ปีเกิด 11 ตุลาคม 2539  
ที่อยู่ 373/51 ซอยวังหลัง 13 ถนนพรานนก  
แขวงบ้านช่างหล่อ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร  
10700  
ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนอัสสัมชัญ  
ระดับปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
E-mail kkittikongwat@gmail.com



ชื่อ-สกุล นางสาวณัฐร ศรีอ่อนเรือน  
วัน เดือน ปีเกิด 16 มิถุนายน 2540  
ที่อยู่ 267 ซอยตากสิน 8 ถนนตากสิน แขวงบुकโคล เขตธนบุรี  
กรุงเทพมหานคร 10600  
ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนศึกษานารี  
ระดับปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
E-mail natthatorn.s@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้