

การตรวจสอบระบบช่วงล่างสำหรับรถแข่งขนาดเล็ก  
SUSPENSION SYSTEM MONITORING FOR FORMULA STUDENT

นิติพัฒน์ ลิสุวรรณกุล  
ศิวรุจ จิรภิญโญภาส

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2557

การตรวจสอบระบบช่วงล่างสำหรับรถแข่งขนาดเล็ก  
SUSPENSION SYSTEM MONITORING FOR FORMULA STUDENT

นิติพัฒน์ ลิสวรรณ์กุล

ศิวรุจ จิรภิญโญภาส

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2557

# SUSPENSION SYSTEM MONITORING FOR FORMULA STUDENT

NITIPAT LISUWANKUL

SIWARUJ JIRAPINYOPAS

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHATRONICS ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2014

## ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การตรวจสอบระบบช่วงล่างสำหรับรถแข่งขนาดเล็ก

SUSPENSION SYSTEM MONITORING FOR FORMULA STUDENT

ผู้จัดทำ นายนิติพัฒน์ ลีสุวรรณกุล 54010707

นายศิวรุจ จิรภิญโญภาส 54011276

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพดล มณีรัตน์

# การตรวจสอบระบบช่วงล่างสำหรับรถแข่งขนาดเล็ก

โดย

นายนิติพัฒน์ ลิสุวรรณกุล 54010707

นายศิวรุจ จิรภิญโญภาส 54011276

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล มณีรัตน์

ปีการศึกษา 2557

## บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการตรวจสอบระบบการทำงานของระบบช่วงล่างในรถแข่งขนาดเล็ก โดยใช้เซนเซอร์ในการตรวจสอบ 2 ชนิด คือ Infrared Sensor และ Potentiometer ซึ่ง Infrared Sensor จะวัดอุณหภูมิบริเวณผิวยางรถทั้ง 4 ล้อ ล้อละ 3 จุด คือ ใน, กลาง และนอก เพื่อตรวจสอบหน้าสัมผัสระหว่างยางกับพื้น และ Potentiometer จะตรวจสอบในส่วนของ Shock Absorber เพื่อวัดระยะยุบ-ยืดของโช้คทุกสภาวะการขับขี่ ซึ่งการตรวจสอบด้วยเซนเซอร์ทั้ง 2 อย่างนี้จะช่วยให้วิเคราะห์การทำงานของระบบช่วงล่าง และทำการปรับแต่งค่าต่างๆ ของระบบช่วงล่าง เพื่อให้ได้ค่าที่ดีที่สุดของตัวรถ ซึ่งสังเกตจากการที่รถวิ่งแล้วใช้เวลาได้สั้นที่สุด

# SUSPENSION SYSTEM MONITORING FOR FORMULA STUDENT

By

Mr. Nitipat Lisuwankul 54010707

Mr. Siwaruj Jirapinyopas 54011276

Advisor

Asst.Prof. Dr. Noppadol Maneerat

Academic Year 2014

## ABSTRACT

This thesis presents the suspension monitoring system of formula student car by using 2 sensor types, Infrared sensor and Potentiometer. Infrared sensor will be used to measure temperature of surface of all 4 tires, 3 positions for each tire. It will be set at inside, middle and outside of each tire for checking the contact between tire and ground. Potentiometer will be used to check the deflating-stretching stroke of shock absorber for driving conditions. Checking by using these two sensors will help to analysis in working of suspension system and configuration of suspension for the best result for the vehicle.

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปฏิญานិพนธ์ฉบับนี้ จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้หากปราศจากคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล มณีรัตน์ ที่ได้สละเวลาอันมีค่า เพื่อให้คำปรึกษาดูแล มาโดยตลอด อีกทั้งยังให้คำแนะนำต่างๆ ในยามจำเป็น ตลอดจนการตรวจสอบความถูกต้องทาง เนื้อหาวิชาการและแก้ไขข้อบกพร่อง เพื่อให้งานออกมามีคุณภาพมากที่สุด

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์ ที่คอยช่วยเหลือในด้านสถานที่ในการทำวิจัย และการออกแบบต่างๆ

ขอขอบคุณ คณาจารย์ทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่คอยประสานวิชาต่างๆ ตลอดสี่ปีในรั้วสถาบันแห่งนี้ จนทางผู้จัดทำสามารถผลิตผลงานชิ้นนี้ออกมาสำเร็จได้ทั้งทางตรง และทางอ้อม

ขอขอบคุณ บิดา และมารดาผู้ให้กำเนิด ผู้คอยสนับสนุน อบรมสั่งสอน และส่งเสริมจนจบ การศึกษาในระดับปริญญาตรีนี้ ถ้าไม่ได้พวกท่านก็คงไม่สามารถมีวันนี้ได้

ขอขอบคุณ คุณศักร์ปณชัย เกศศิชาปกรณ์ และคุณศิวะพงษ์ แสงขำ ที่คอยช่วยเหลือและให้ความเห็นกับงานวิจัยชิ้นนี้ในด้านการพัฒนาโปรแกรม การออกแบบทางอิเล็กทรอนิกส์ และคำปรึกษาที่ดีมาโดยตลอด ถ้าไม่ได้รับคำปรึกษาที่ดีจากทั้ง 2 ท่าน ทางผู้จัดทำก็ไม่สามารถสร้างผลงานวิจัยชิ้นนี้ออกมาได้

ขอขอบคุณ อุปสรรคนานับประการที่ผ่านเข้ามาในชีวิต ที่ทำให้ผู้จัดทำมีการพัฒนาตนเองในด้านต่างๆ มีความสุข ความทุกข์ และประสบการณ์ในการดำรงชีวิตต่อไป

ผู้จัดทำ

นายนิติพัฒน์ ลิสสุวรรณกุล

นายศิวรุจ จิรภิญโญภาส

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการศึกษา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	1
1.4 ขอบเขตการศึกษา	1
1.5 ขั้นตอนการศึกษา	2
1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์	2
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ระบบช่วงล่าง	3
2.1.1 Kingpin Angle	5
2.1.2 Scrub Radius	5
2.1.3 Caster Angle	6
2.1.4 Camber Radius	6
2.1.5 Roll Center	7
2.2 สมการการกระจายน้ำหนัก	7
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์	8
2.3.1 การติดต่อสื่อสารแบบ I <sup>2</sup> C	9

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 3 การออกแบบ</b>	<b>10</b>
3.1 การสร้างแบบจำลองระบบช่วงล่าง	10
3.2 การออกแบบระบบการทำงานและตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ	12
3.3 จุดยึดเซนเซอร์	15
3.3.1 จุดยึด Melexis Contact-less Infrared Sensor	15
3.3.2 จุดยึด Potentiometer	15
3.4 อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์	16
3.4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์	16
3.4.2 Melexis Contact-less Infrared Sensor (MLX90614)	17
3.4.3 Potentiometer (B10K Series)	17
3.5 หน้าจอแสดงผล	18
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง</b>	<b>19</b>
4.1 ปรับแต่งระบบและวิเคราะห์ผลด้วย Melexis Contact Infrared Sensor	19
4.2 ปรับแต่งระบบและวิเคราะห์ผลด้วย Potentiometer	23
4.3 ปรับแต่งระบบและวิเคราะห์ผลด้วย Accelerometer	24
<b>บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป</b>	<b>25</b>
5.1 สรุปผลการปฏิบัติงาน	25
5.2 ปัญหาในการทำงานและการแก้ไข	25
5.4 แนวทางในการพัฒนา	25
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>26</b>
<b>ภาคผนวก</b>	<b>28</b>
ภาคผนวก ก	29
ภาคผนวก ข	64
ภาคผนวก ค	65
ภาคผนวก ง	66
ภาคผนวก จ	70
ภาคผนวก ฉ	65
<b>ประวัติผู้แต่ง</b>	<b>76</b>

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างทั้งหมดของรถ	3
2.2 ระบบช่วงล่างแบบ Double Wishbone	4
2.3 โครงสร้างช่วงล่างของรถ	4
2.4 Kingpin Angle & Scrub Radius	5
2.5 Caster Angle	6
2.6 Camber Angle	6
2.7 ตำแหน่งของการวาง A-Arm และจุดศูนย์กลางการโคลงตัว (Roll Center) ของรถ	7
2.8 Weight Distribution	7
2.9 ลักษณะทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์	8
2.10 แผนภาพวงจรของการติดต่อสื่อสารแบบ I <sup>2</sup> C	9
2.11 ลักษณะสัญญาณของการติดต่อสื่อสารแบบ I <sup>2</sup> C แปลง Wireless เข้า Monitor	9
3.1 แผนผังแสดงการออกแบบระบบช่วงล่าง	10
3.2 Assembly ของระบบช่วงล่าง	11
3.3 ระบบช่วงล่าง	11
3.4 แผนผังภาพรวมการทำงานของระบบ	12
3.5 ตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ	13
3.6 ตำแหน่งของเซนเซอร์ทั้งหมด	13
3.7 ตำแหน่งของ Potentiometer	14
3.8 ตำแหน่งของ Melexis Contact-less Infrared Sensor	14
3.9 จุดยึด Melexis Contact-less Infrared Sensor	15
3.10 จุดยึด Potentiometer	15
3.11 ลักษณะของบอร์ด Arduino MEGA 2560	16
3.12 Melexis Contact-less Infrared Sensor (MLX90614)	17
3.13 Potentiometer	17
3.14 ตัวอย่างหน้าจอแสดงผล	18
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเทียบกับตำแหน่งยาง	22
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของระยะยุบ-ยืดของโช้คทั้ง 4 ตัวเทียบกับเวลา	23
4.3 กราฟ Traction Circle	24

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ข้อมูลพื้นฐานของระบบช่วงล่าง	12
3.2 คุณสมบัติของบอร์ด Arduino MEGA 2560	16
3.3 แสดงส่วนต่างๆ ของหน้าจอ Processing 2	18
4.1 การตรวจสอบอุณหภูมิที่ผิวยางจากการวิ่งครั้งที่ 1	19
4.2 การวิเคราะห์ระบบช่วงล่างจากการวัดอุณหภูมิผิวยางและการแก้ไขอาการของระบบช่วงล่างหลังการวิ่งครั้งที่ 1	20
4.3 การวิเคราะห์ระบบช่วงล่างจากการวัดอุณหภูมิผิวยางและการแก้ไขอาการของระบบช่วงล่างหลังการวิ่งครั้งที่ 2	21
4.4 การวิเคราะห์ระบบช่วงล่างจากการวัดอุณหภูมิผิวยางและการแก้ไขอาการของระบบช่วงล่างหลังการวิ่งครั้งที่ 3	21
4.5 การวิเคราะห์ระบบช่วงล่างจากการวัดอุณหภูมิผิวยางและการแก้ไขอาการของระบบช่วงล่างหลังการวิ่งครั้งที่ 4	22

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการศึกษา

สมาคมวิศวกรรมยานยนต์แห่งประเทศไทย ได้ดำเนินการจัดแข่งพัฒนา วิจัย และออกแบบยานยนต์ TSAE Auto Challenge เพื่อเป็นการแลกเปลี่ยนความรู้และพัฒนาบุคลากรทางด้านยานยนต์ของประเทศ ให้มีความสามารถทัดเทียมต่างประเทศ ในโครงการนี้เป็นการออกแบบรถแข่งตามลักษณะการแข่งขันที่ต้องใช้ความเร็วสูง การออกแบบดังกล่าวจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ และวิเคราะห์ลักษณะการวิ่งของรถ รวมถึงการทำงานของระบบช่วงล่าง ซึ่งมีผลอย่างมากต่อการเพิ่มสมรรถนะให้กับตัวรถเพื่อให้สามารถทำเวลาได้ดีที่สุด

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษา เพื่อนำไปพัฒนาระบบช่วงล่างของรถแข่งขนาดเล็กให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดในทุกสภาวะการขับขี่ โดยมีจุดประสงค์หลัก ดังนี้

1. ตรวจสอบการทำงาน และแก้ไขได้รวดเร็วยิ่งขึ้น เพื่อให้ระบบช่วงล่างทำงานอย่างมีประสิทธิภาพเป็นผลให้รถแข่งทำเวลาได้ดีที่สุด
2. เพื่อเป็นต้นแบบให้เกิดการต่อยอดความคิด มุมมอง และนำไปใช้พัฒนาการออกแบบทางวิศวกรรมให้ดียิ่งขึ้นจากการทำงานจริง

### 1.3 เป้าหมายของการศึกษา

ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษา เพื่อนำไปพัฒนาระบบช่วงล่างของรถแข่งขนาดเล็ก ให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดในทุกสภาวะการขับขี่ โดยมีจุดประสงค์หลัก ดังนี้

1. ตรวจสอบการทำงาน และแก้ไขได้รวดเร็วยิ่งขึ้น เพื่อให้ระบบช่วงล่างทำงานอย่างมีประสิทธิภาพเป็นผลให้รถแข่งทำเวลาได้ดีที่สุด
2. เพื่อเป็นต้นแบบให้เกิดการต่อยอดความคิด มุมมอง และนำไปใช้พัฒนาการออกแบบทางวิศวกรรมให้ดียิ่งขึ้นจากการทำงานจริง

### 1.4 ขอบเขตการศึกษา

ในการออกแบบระบบตรวจสอบของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ มีจุดมุ่งหมายในการตรวจสอบการทำงานของระบบช่วงล่างรถยนต์ โดยเริ่มพัฒนาจากตรวจสอบระบบช่วงล่างในรถแข่งขนาดเล็ก (Formula Student) เพื่อให้การทำงานที่ง่ายขึ้น และสามารถมองเห็นภาพได้ชัดเจนมากกว่ารถยนต์บ้านทั่วๆ ไป เนื่องจากรถแข่งเป็นรถที่ต้องใช้ความเร็วในการขับ ดังนั้นระบบช่วงล่างในรถแข่งจึงแสดงอาการออกมาชัดเจน และสามารถสังเกตอาการได้ง่ายกว่ารถยนต์ทั่วไป โดยขอบเขตการศึกษาหลักในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะประกอบไปด้วยการศึกษา และตรวจสอบการทำงานของระบบช่วงล่าง

โดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิที่ผิวยางทั้ง 4 ล้อ และใช้เซนเซอร์วัดระยะบริเวณ Shock Absorber ทั้ง 4 ตัวและส่งข้อมูลแบบไร้สายมาที่จอมอนิเตอร์

## 1.5 ขั้นตอนการศึกษา

การออกแบบระบบช่วงล่างของรถ จำเป็นต้องรู้เรื่องการออกแบบระบบช่วงล่าง (Suspension System) และระบบบังคับเลี้ยว (Steering System) โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับระบบช่วงล่าง (Suspension System) และระบบบังคับเลี้ยว (Steering System) สำหรับรถแข่งขนาดเล็ก
2. ทำการออกแบบระบบโดยใช้โปรแกรม CATIA และ Lotus Suspension Analysis
3. กำหนดเป้าหมายในการตรวจสอบ
4. สร้างชิ้นงาน และติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบการทำงานของระบบ เช่น เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ เซนเซอร์วัดระยะเคลื่อนที่
5. ทดลอง เก็บค่า ปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้ระบบทำงานได้ดีที่สุด
6. สรุปผลการทดลอง

## 1.6 รายละเอียดวิทยานิพนธ์

เนื้อหาที่จะกล่าวในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย

บทที่ 1 บทนำ กล่าวนำถึงวัตถุประสงค์ ขั้นตอนการศึกษา ขอบเขตการศึกษา และการทำโครงการ พร้อมทั้งรายละเอียดของวิทยานิพนธ์ของแต่ละบท

บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึงหลักการ ทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบระบบช่วงล่างสำหรับรถแข่งขนาดเล็ก รวมถึงหลักการที่ใช้ออกแบบ

บทที่ 3 หลักการออกแบบ กล่าวถึงหลักการในการออกแบบระบบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการวิจัย

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง กล่าวถึงวิธีการทดสอบองค์ประกอบต่างๆ ในระบบ ตลอดจนผลการทดลองที่ได้

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป กล่าวถึงผลสรุปจากการดำเนินงาน ปัญหาที่เกิดขึ้น และแนวทางในการปรับปรุงพัฒนาโครงการนี้ต่อไป

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจถึงการวางแผนและระบบการทำงานอย่างเป็นขั้นตอน
2. สามารถนำความรู้ที่ได้มาปฏิบัติงานได้จริง และสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้
3. ได้นำความรู้ที่ได้จากการศึกษาและทำโครงการนี้ไปประยุกต์ใช้ในงานอื่นๆ
4. มีความรับผิดชอบต่อนหน้าที่ที่ได้รับมอบหมายจนสำเร็จ

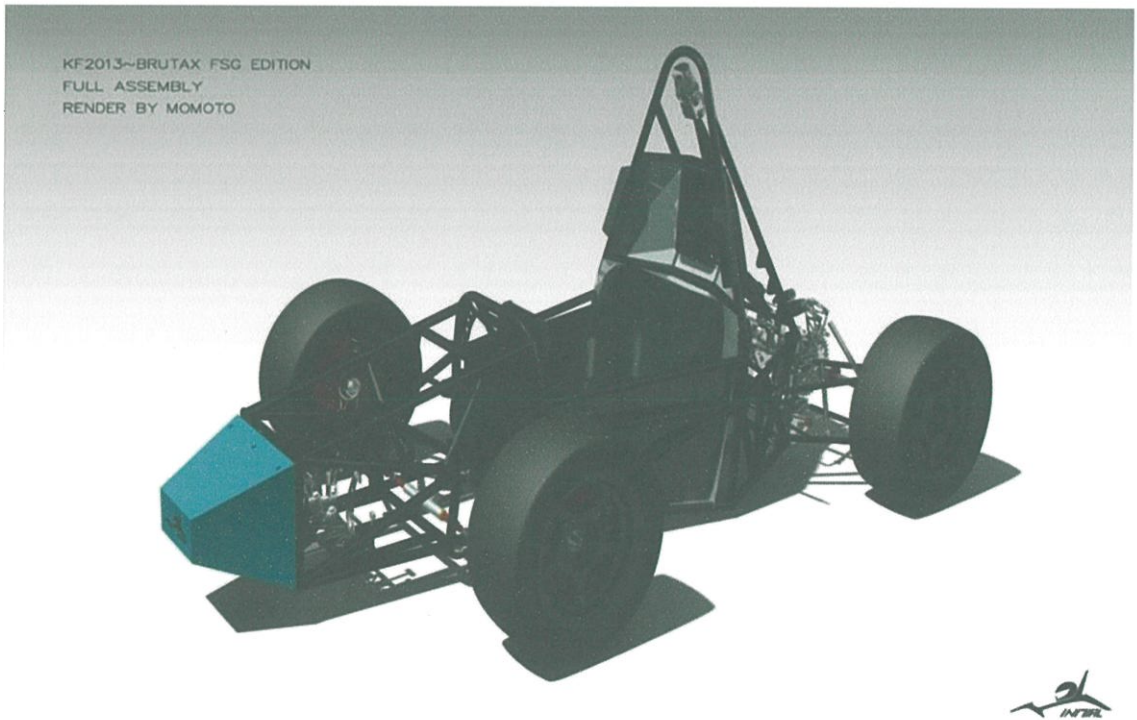
## บทที่ 2

# ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

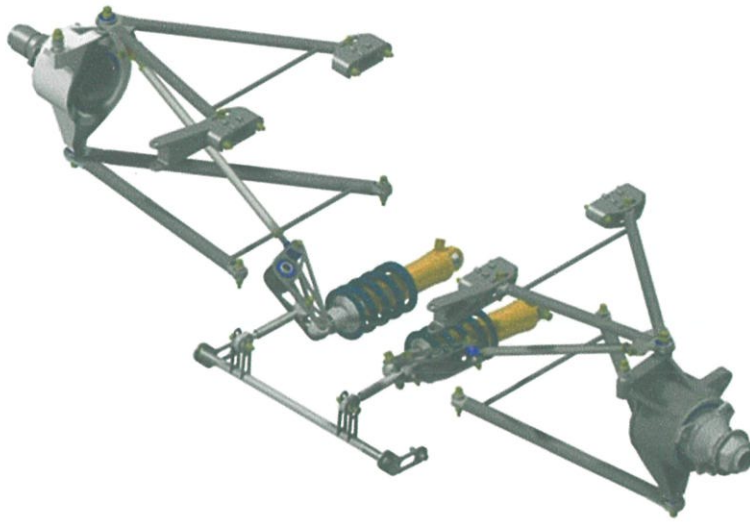
จากที่กล่าวไปแล้วในบทที่ 1 ก่อนที่จะออกแบบและพัฒนาระบบช่วงล่างของรถแข่งขนาดเล็กนั้น จำเป็นต้องทราบทฤษฎี หลักการ และพื้นฐานที่เกี่ยวข้องในด้านต่างๆ

### 2.1 ระบบช่วงล่าง [1]

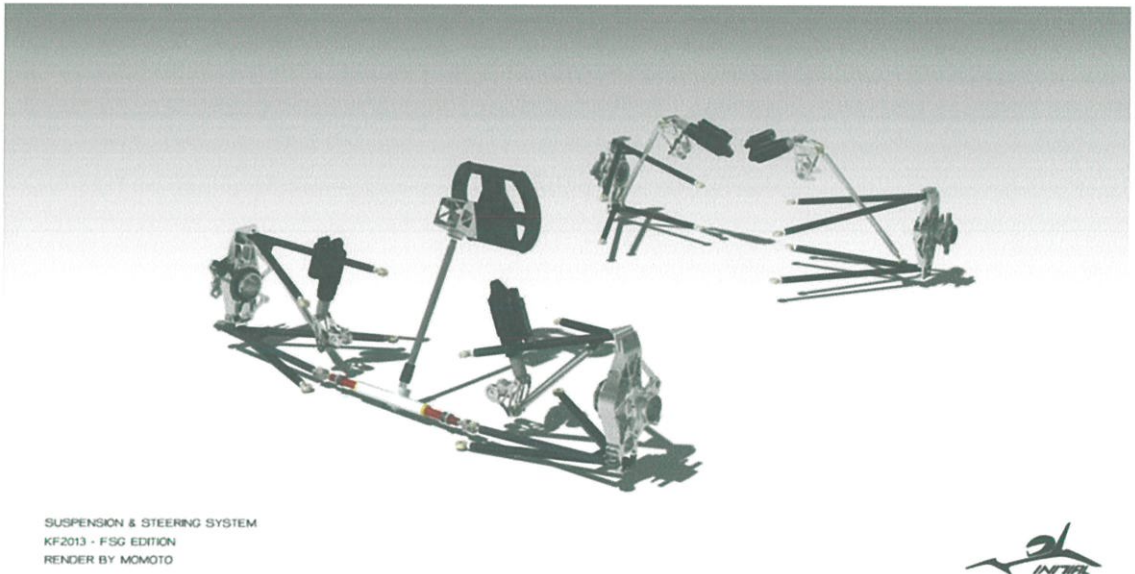
จากการได้ศึกษา ในส่วนของระบบช่วงล่างที่ใช้ติดตั้งในรถแข่งขนาดเล็ก (Formula Student) ซึ่งมีที่มาจากหลายแหล่งทั้ง ประสบการณ์จากการแข่งขันในประเทศและต่างประเทศ หรือจากข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต แล้วทำการนำมาประยุกต์เพื่อให้เหมาะสมกับการติดตั้ง การใช้งาน รวมไปถึงการบำรุงรักษาและการซ่อมแซม การเลือกใช้ระบบช่วงล่างแบบ Double Wishbone, Push Rod to Damper, Adj. Anti-roll Bar ในการแข่งขันเป็นการแข่งขันในลักษณะทางเรียบ เป้าหมายในการออกแบบเพื่อให้หน้ายางสัมผัสกับพื้นถนนมากที่สุดในทุกสภาวะการขับไม่ว่าจะเป็นการเข้าโค้ง เร่งทางตรง เบรก การเคลื่อนที่ทุกอย่างนั้นระบบช่วงล่างสำคัญที่สุด ซึ่งทำให้มีผลต่อเรื่องเวลา จึงตั้งเป้าหมายว่า ทำอย่างไรให้รถวิ่งทำเวลาได้ดีที่สุด ดังรูปที่ 2.1-2.3



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทั้งหมดของรถ



รูปที่ 2.2 ระบบช่วงล่างแบบ Double Wishbone



รูปที่ 2.3 โครงสร้างช่วงล่างของรถ

การออกแบบจะเริ่มจากการกำหนดหรือเลือกใช้ค่ามุมทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และใช้ในการออกแบบระบบช่วงล่างโดยที่ค่ามุมทางทฤษฎีนั้นมีตัวแปรหลักๆ ที่ส่งผลต่อการขับขี่ ดังนั้นในการออกแบบจึงกำหนดค่าดังต่อไปนี้ Caster Angle, Kingpin Angle, Scrub Radius, Toe Angle

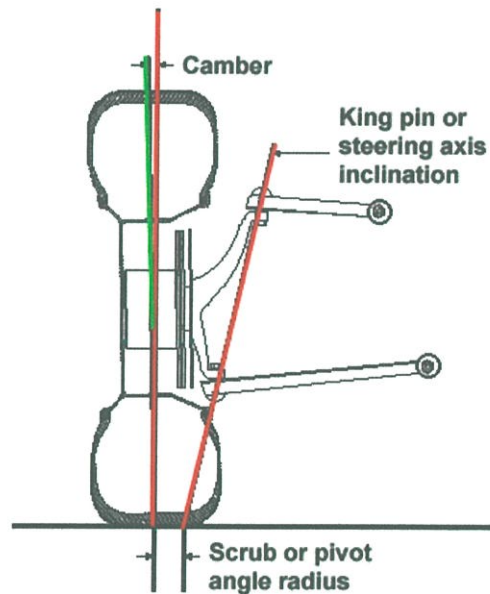
### 2.1.1 Kingpin Angle [2]

หรือเรียกอีกอย่างว่า Steering Axis เป็นมุมที่เกิดจากการลากจุดยึดปีกนกบนเฉียงลงมาที่จุดยึดปีกนกลาง Kingpin Angle ดังรูปที่ 2.4 มีผลดังนี้คือ

1. เพื่อให้น้ำหนักของรถลงใกล้จุดกึ่งกลางมากที่สุด
2. ช่วยให้พวงมาลัยคืนตัวกลับหลังจากเลี้ยว
3. เพื่อให้รถพยายามวิ่งตรงอยู่เสมอ ไม่ต้องคอยขยับพวงมาลัยแก้ตลอดการขับ

### 2.1.2 Scrub radius [3]

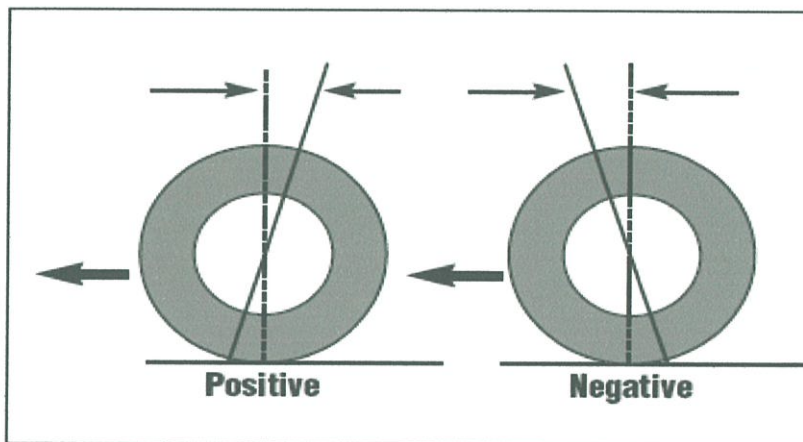
1. เกิดจากระยะระหว่างเส้น Kingpin Angle (ที่ลากลงมาตัดกับพื้น) กับเส้นกลางล้อ
2. มีผลต่อน้ำหนักพวงมาลัยในการเลี้ยว เนื่องจากการที่ความผิดที่จุดหมุนลดลง การที่พวงมาลัยเบาลงนั้นจะส่งผลดีต่อคนขับในแง่ของความสะดวกในการควบคุมพวงมาลัย ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 Kingpin Angle & Scrub Radius

### 2.1.3 Caster Angle [4]

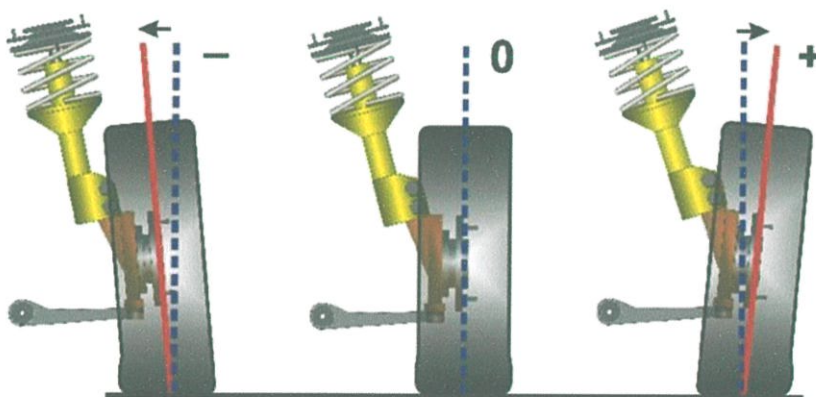
Caster Angle มีหน้าที่เลี้ยงล้อให้พยายามอยู่ตรงเสมอเพื่อให้ขับได้สะดวกสบายขึ้น ซึ่งมุมนี้ทำงานร่วมกับมุม Kingpin จะให้ผลเหมือนกันแต่มีผลคนละจังหวะการเลี้ยว โดย Caster Angle โดยทั่วไปจะตั้งไว้ให้เป็นบวก และไม่สามารถปรับค่าได้ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 Caster Angle

### 2.1.4 Camber Angle [5]

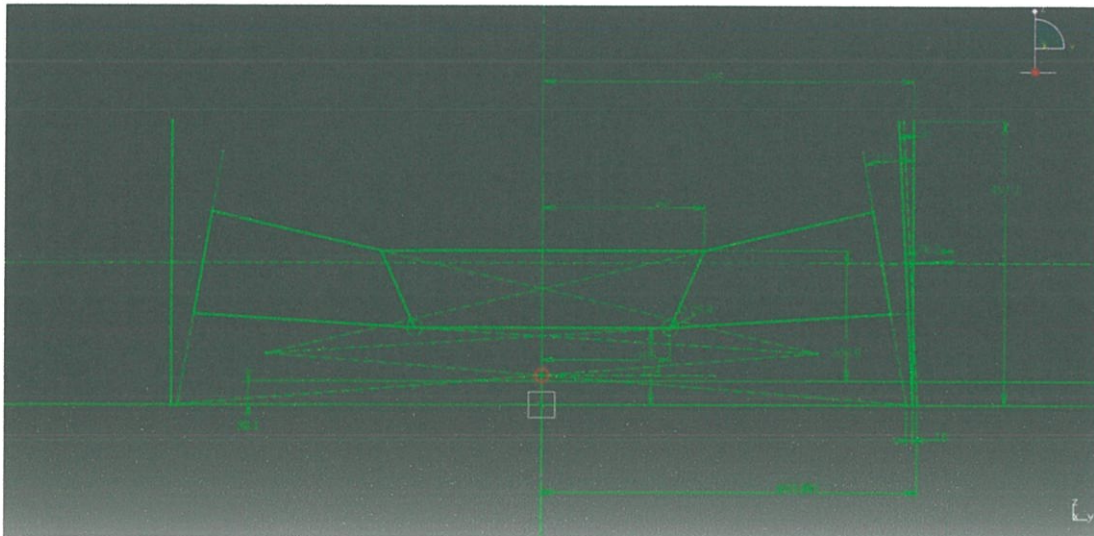
เป็นมุมที่ส่งผลต่อตัวรถและยางอย่างมากเพื่อประสิทธิภาพในการเข้าโค้ง ดังนั้นโดยทั่วไปในรถแข่ง ซึ่งจะต้องเข้าโค้งด้วยความเร็ว นั้น สมควรจะตั้ง Camber เริ่มต้นเป็นลบ เพื่อให้สามารถปรับค่าเพิ่มหรือลดองศาได้ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 Camber Angle

### 2.1.5 Roll Center

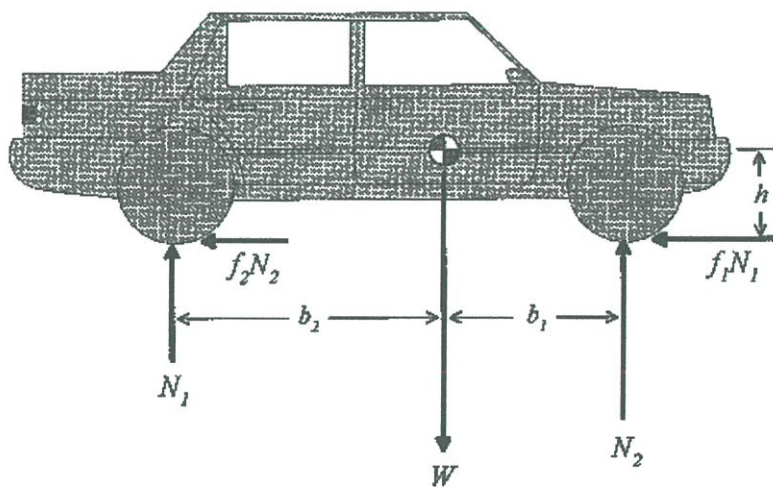
ระบบช่วงล่างทำงานมากที่สุดคือ ตอนรถเข้าโค้งจะเกิดการโคลง (Roll) ของตัวรถ เนื่องจากแรงหนีศูนย์กลาง ดังนั้นเราจึงหาจุดศูนย์กลางการโคลงตัว (Roll Center) ของตัวรถโดยใช้โปรแกรม CATIA วาด และวิเคราะห์ (วงกลมสีแดงคือจุด Roll Center) ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ตำแหน่งของการวาง A-Arm และจุดศูนย์กลางการโคลงตัว (Roll Center) ของรถ

### 2.2 สมการการกระจายน้ำหนัก [10]

หลักการออกแบบระบบช่วงล่างโดยพื้นฐานนั้นอ้างอิงความรู้ จากสมการการกระจายน้ำหนัก (Weight Distribution) ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 Weight Distribution

$$W_f = W_{f0} + W\left(\frac{a}{g}\right) + \left(\frac{h}{L}\right) \quad (2.1)$$

$$W_r = W_{r0} + W\left(\frac{a}{g}\right) + \left(\frac{h}{L}\right) \quad (2.2)$$

เมื่อ  $h$  = Height of Center of Gravity (m)

$L$  = Wheelbase (m)

$W_f$  = Front Wheel Dynamic Load (N)

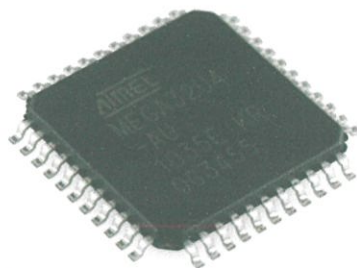
$W_r$  = Rear Wheel Dynamic Load (N)

$W$  = Overall Weight (N) [Car + Driver]

โดยการคำนวณนั้นจะได้ค่าการถ่ายเทน้ำหนักตามสภาวะต่างๆ ที่รถวิ่ง เช่น การเบรก การเร่ง ออกตัว การเลี้ยว เป็นต้น ซึ่งนำไปใช้คำนวณเพื่อออกแบบชิ้นส่วนของระบบช่วงล่างได้ และความรู้เรื่อง Mechanical Kinematic (ในที่นี่จะใช้ค่าจากการคำนวณการเคลื่อนที่ของระบบช่วงล่างจากโปรแกรม Lotus Suspension Analysis) ซึ่งจะทำให้ทราบค่าการเปลี่ยนแปลงมุมต่างของล้อรถ ระยะยุบ-ยืดของโช้ค วงเลี้ยวแคบสุดของรถ ฯลฯ

### 2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ [6]

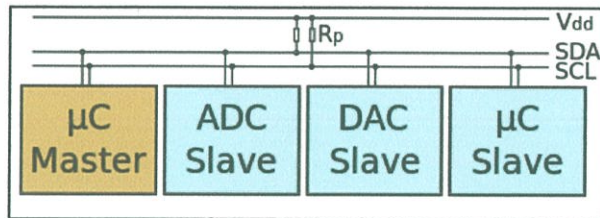
ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller: MCU,  $\mu\text{C}$ ,  $\text{uC}$ ) เป็นคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก มีขนาดเท่าวงจรรวม (Integrated Circuit: IC, Chip, Microchip) มีประสิทธิภาพในการทำงานที่สูง ทำงานได้หลากหลายรูปแบบมีลักษณะดังรูปที่ 2.9 โดยทั่วไปจะมีหน้าที่ในการประมวลผล และจัดการข้อมูล โดยสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อทำการควบคุมการทำงานได้โดยอิสระ โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้ฟังก์ชันการทำงานต่างๆ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.9 ลักษณะทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์

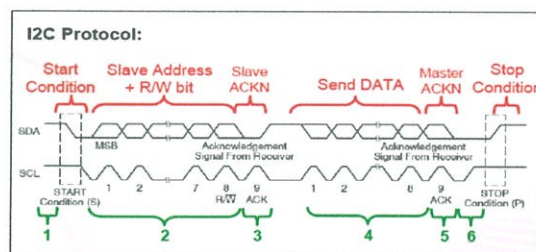
### 2.3.1 การติดต่อสื่อสารแบบ I<sup>2</sup>C

การติดต่อสื่อสารแบบ I<sup>2</sup>C หรือการติดต่อสื่อสารแบบ Inter-Integrate Circuit ถูกคิดค้นโดยบริษัท Philips Semiconductor หรือปัจจุบันคือ บริษัท NXP Semiconductors โดยเป็นการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยกัน โดยการติดต่อสื่อสารแบบ I<sup>2</sup>C นี้จะเป็นการติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม ใช้สายสัญญาณ 2 สายในการติดต่อสื่อสาร (ไม่นับสาย GND) คือสาย Serial Data Line (SDA) ทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูล และสาย Serial Clock Line (SCL) ทำหน้าที่ในการรับส่งสัญญาณนาฬิกา โดยสายสัญญาณทั้งสองสายจะต้องต่อพ่วงกับไฟเลี้ยง (5V หรือ 3.3V) ด้วยตัวต้านทานค่าประมาณ 50k $\Omega$  โดยในการติดต่อสื่อสารแบบ I<sup>2</sup>C นี้จะแบ่งอุปกรณ์ได้เป็น 2 ประเภทคือ มาสเตอร์ (Master) และสเลฟ (Slave) ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แผนภาพวงจรของการติดต่อสื่อสารแบบ I<sup>2</sup>C

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็น I<sup>2</sup>C Master จะเป็นตัวเริ่มการสื่อสารข้อมูล และสร้างสัญญาณ SCL มาควบคุมจังหวะ มีอัตราการส่งข้อมูลอยู่ที่ 100kHz และ 400kHz เมื่อไม่มีการสื่อสาร สถานะลอจิกของ SCL และ SDA จะเป็น 1 หรือ High เมื่อบัส I<sup>2</sup>C เริ่มต้นสื่อสาร อุปกรณ์ I<sup>2</sup>C Master จะส่งบิต Start (Start Condition) ตามด้วยการส่งไบต์ควบคุม (Control Byte) ออกไป ซึ่งจะเป็นการระบุหมายเลขของอุปกรณ์ Slave ที่อุปกรณ์ Master ต้องการจะสื่อสารด้วย และในไบต์ดังกล่าวจะมีบิตที่เรียกว่า Read/Write (R/W) Bit ที่ระบุว่า จะเป็นการเขียนหรืออ่านข้อมูลต่อจากนั้น ถ้าเป็นบิตเขียน (R/W Bit = 0) อุปกรณ์ Master จะส่งข้อมูลไบต์ไปยังอุปกรณ์ Slave เท่านั้น แต่ถ้าเป็นบิตอ่าน (R/W Bit = 1) จะเป็นการรับข้อมูลไบต์จากอุปกรณ์ Slave เพียงอย่างเดียว นอกจากนั้นในการรับส่งข้อมูลแต่ละไบต์ ฝ่ายรับจะต้องทำการส่งบิตที่เรียกว่า ACK (Acknowledge) Bit ซึ่งจะต้องเป็นลอจิก 0 (ดึงสัญญาณ SDA ลง GND) เมื่อ SCL เป็น 1 เพื่อแจ้งให้ส่งทราบว่า ได้รับข้อมูลไบต์แล้ว และพร้อมจะทำงานต่อไป ถ้าจบการสื่อสาร ก็จะต้องส่งบิต Stop (หรือเรียกว่า Stop Condition) โดยลักษณะสัญญาณการติดต่อสื่อสารแบบ I<sup>2</sup>C จะเป็นดังรูปที่ 2.11



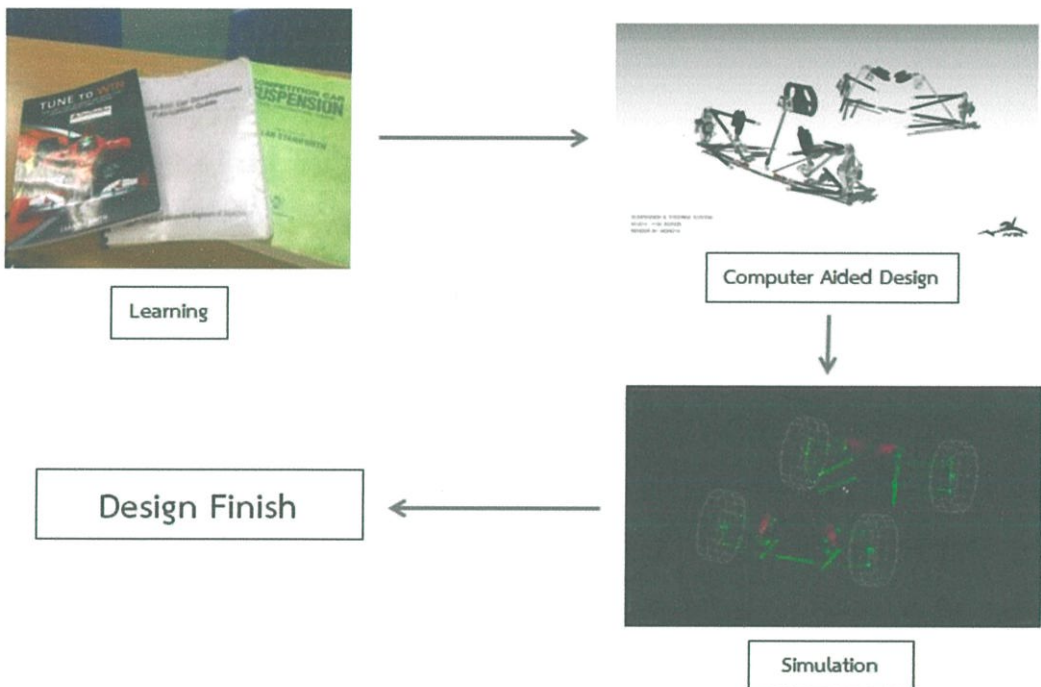
รูปที่ 2.11 ลักษณะสัญญาณของการติดต่อสื่อสารแบบ I<sup>2</sup>C แปลง Wireless เข้า Monitor [8]

## บทที่ 3

### การออกแบบ

ในการออกแบบระบบช่วงล่าง เบื้องต้นต้องเข้าใจหลักการทำงาน และคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ เพื่อให้สามารถออกแบบระบบได้อย่างเหมาะสม

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า มีหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การออกแบบ อาทิเช่น ความยากในการหาข้อมูล, ประสบการณ์การทำงาน, ความยากในการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ เป็นต้น จึงได้ทำการออกแบบโดยการอ้างอิงจากหนังสือเฉพาะทาง เพื่อลดปัญหา และใช้เวลาให้น้อยลง โดยมีขั้นตอนหลักๆ ดังแผนผังในรูปที่ 3.1



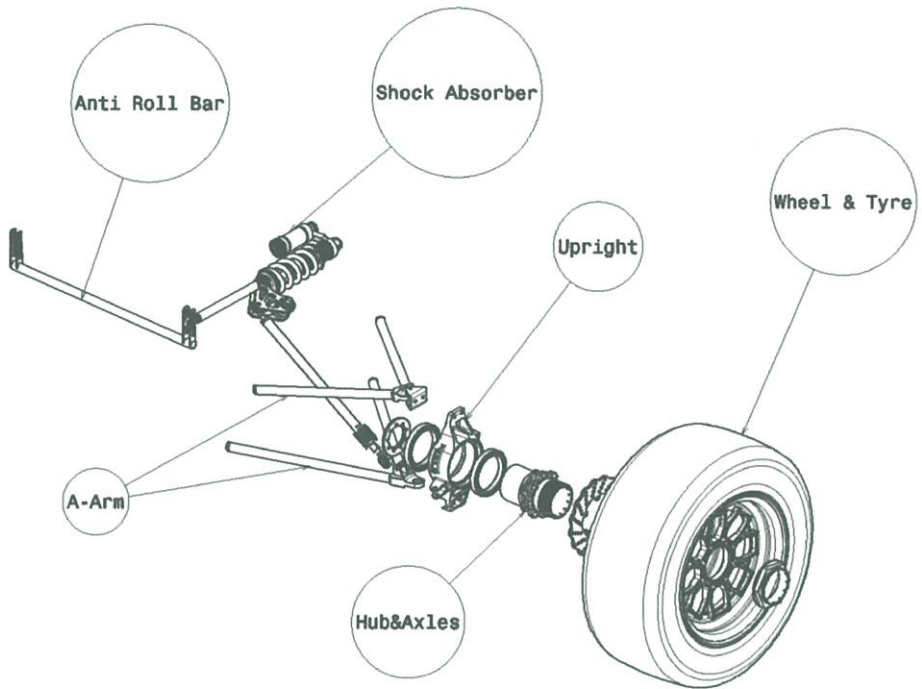
รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงการออกแบบระบบช่วงล่าง

#### 3.1 การสร้างแบบจำลองระบบช่วงล่าง

ระบบช่วงล่างมีหน้าที่เพื่อดูดซับแรงสั่นสะเทือนจากพื้นถนนที่ส่งมายังตัวรถ และยังสร้างเสถียรภาพ และความสะดักสบายในการขับขี่ยานพาหนะ โดยได้ทำการออกแบบระบบช่วงล่างดังรูปที่ 3.2-3.3 และมีค่าข้อมูลพื้นฐานดังตารางที่ 3.1 ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

1. ปีกนก (Double Wish Bone) มีหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างล้อทั้ง 4 กับโครงรถ
2. คอหม้า (Upright) และแกนล้อ (Hub & Axles) มีหน้าที่เชื่อมระหว่างล้อกับปีกนก และตัวปรับมุมล้อต่างๆ
3. โช้ค (Shock Absorber) ช่วยซับแรงสั่นสะเทือนการเคลื่อนที่ของรถบนพื้นถนน
4. Bell Crank ทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนแนวการเคลื่อนที่ และการส่งถ่ายแรง และตัวทตรระยะยุบ-ยืดระหว่างช่วงล่าง และโช้ค

5. กันโคลง (Anti-Roll Bar) ช่วยลด Roll Angle ของรถเวลาเกิด Weight Distribution ซึ่ง  
เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของรถ เช่น แรงออกตัว เลี้ยว เบรก ฯลฯ



รูปที่ 3.2 Assembly ของระบบช่วงล่าง



รูปที่ 3.3 ระบบช่วงล่าง

โดยการออกแบบ ได้กำหนดค่าต่างๆ ของระบบช่วงล่างดังนี้

- Wheel Base: 1530 mm
- Weight Distribution (Target): 45% Front & 55% Rear
- CG (Approx.): 200mm (Height from Ground)
- Minimum Turning Radius – 2987.63 mm
- Tires: 18.0 x 6.0 – 10 LC0 Hoosier
- Bump: 30mm
- Rebound: 30mm

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลพื้นฐานของระบบช่วงล่าง

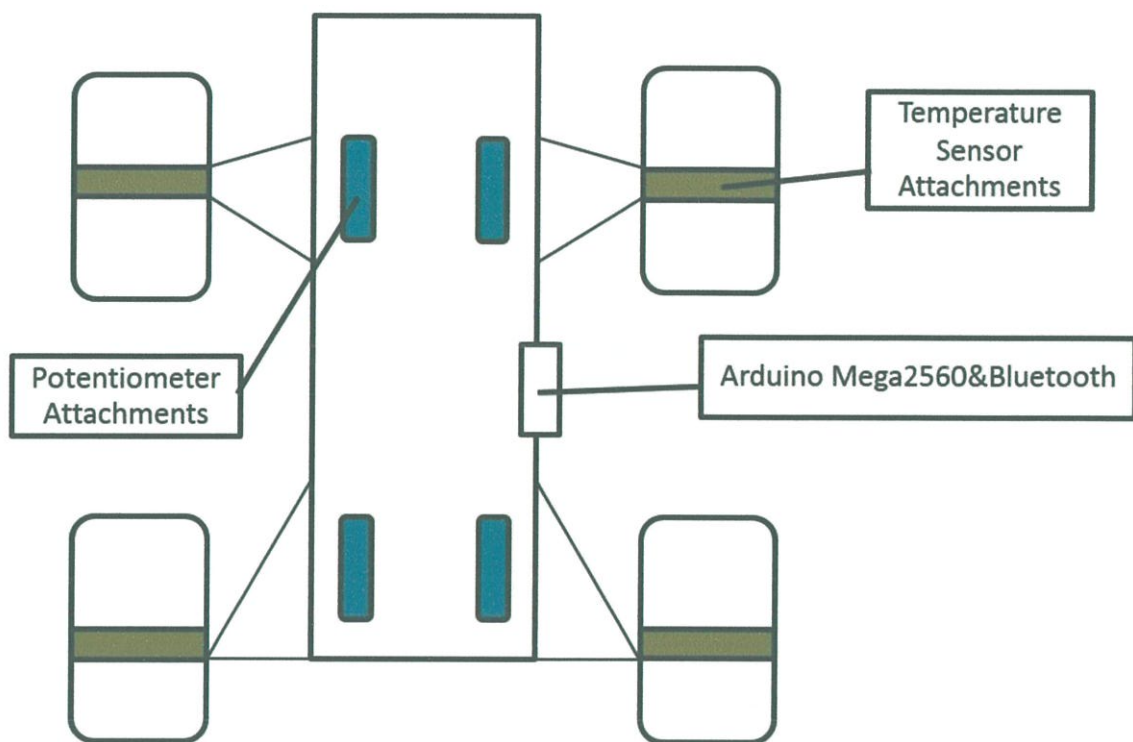
Suspensions Value	Front Suspension	Rear Suspension
Track Base (mm.)	1190	1150
Initial Camber (Degree)	-3	-3
Static Toe (Degree)	0	0
Caster (Degree)	4	0
Caster Offset (mm.)	10	0
Kingpin Angle (Degree)	10	7
Scrub Radius (mm.)	7	5.3
Roll Center (Height from Ground) (mm.)	47.48	62.58

### 3.2 การออกแบบระบบการทำงานและตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ

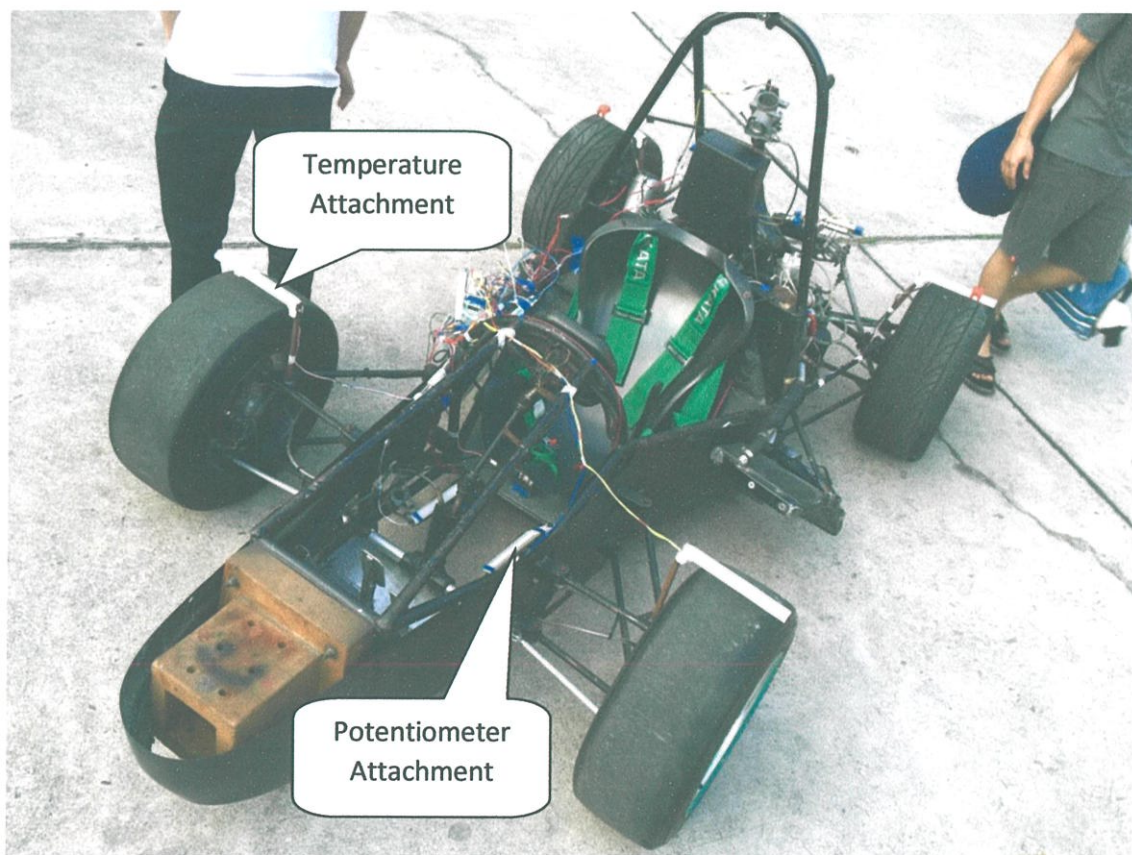
หลักการทำงานในภาพรวมจะใช้ Melexis Contact-less Infrared Sensor, Potentiometer และ Accelerometer ในการวัดค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการปรับจูนรถ แล้วส่งค่ามายังมอนิเตอร์ด้วย Bluetooth เพื่อศึกษาปัญหาและดำเนินการแก้ไข แผนผังภาพรวมการทำงานของระบบสามารถและตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ต่างแสดงในรูปที่ 3.4-3.8



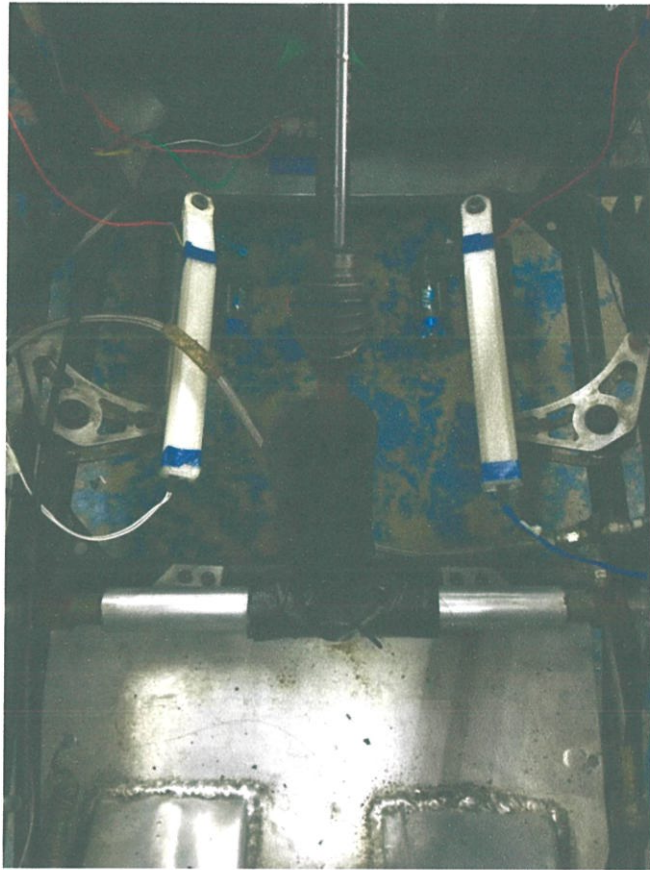
รูปที่ 3.4 แผนผังภาพรวมการทำงานของระบบ



รูปที่ 3.5 ตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ



รูปที่ 3.6 ตำแหน่งของเซนเซอร์ทั้งหมด



รูปที่ 3.7 ตำแหน่งของ Potentiometer

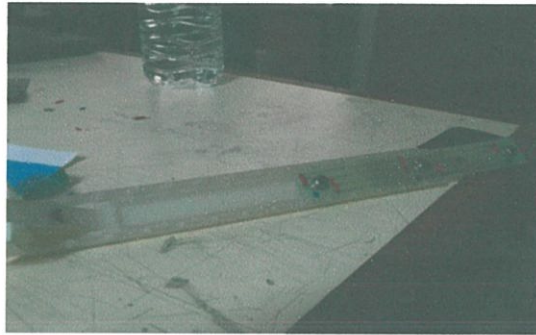


รูปที่ 3.8 ตำแหน่งของ Melexis Contact-less Infrared Sensor

### 3.3 จุดยึดเซนเซอร์

#### 3.3.1 จุดยึด Melexis Contact-less Infrared Sensor

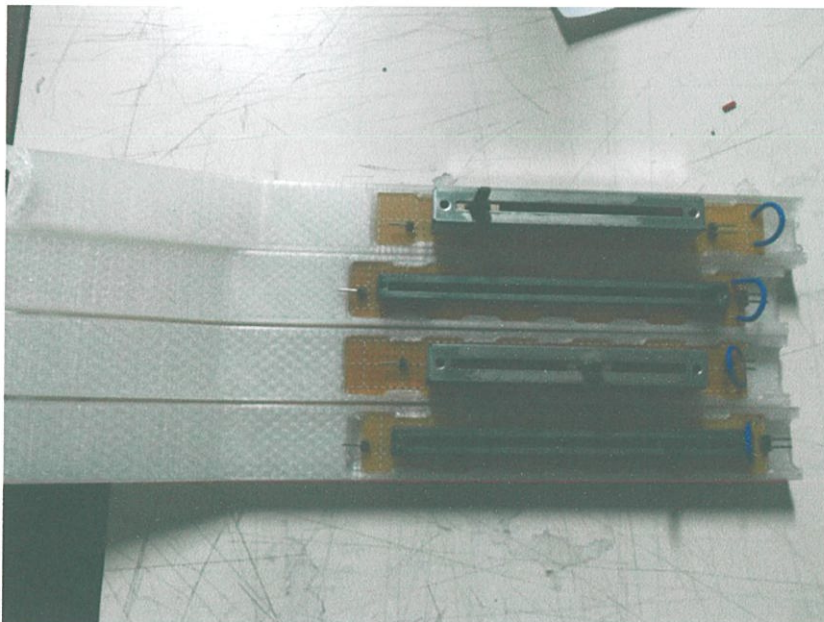
เพื่อให้เกิดค่าที่แม่นยำที่สุด โดยได้ออกแบบให้หน้าของ Melexis Contact-less Infrared Sensor ตั้งฉากกับหน้าสัมผัส โดยจะห่างจากผิวยางประมาณ 35 มิลลิเมตร เซนเซอร์แต่ละ ตัวจะห่างกัน 65 มิลลิเมตร แผงวงจรจึงต้องกว้าง 29 มิลลิเมตร และยาวประมาณ 150 มิลลิเมตร ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบจุดยึดให้สามารถเลื่อนบอร์ดเข้าออกได้ เพื่อง่ายต่อการแก้ปัญหา ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 Melexis Contact-less Infrared Sensor Attachment

#### 3.3.2 จุดยึด Potentiometer

จุดยึด Potentiometer มีลักษณะคล้ายกับจุดยึด Melexis Contact-less Infrared Sensor เพื่อแต่มีลูกปืนเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เนื่องจาก Shock Absorber มีการเคลื่อนที่เชิงมุมด้วย ดังรูปที่ 3.10



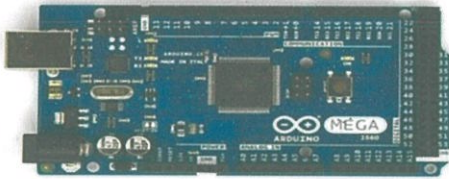
รูปที่ 3.10 Potentiometer Attachment

### 3.4 อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์

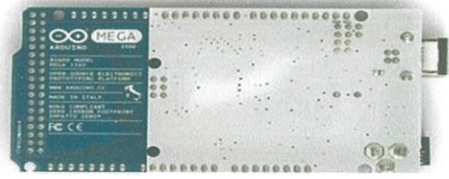
#### 3.4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการประมวลผล และจัดการข้อมูลต่างๆ โดยมีหน้าที่ในการอ่านค่าข้อมูลจากอุปกรณ์รับค่าต่างๆ ในที่นี้คือ อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิของล้อ อุปกรณ์ตรวจวัดการเคลื่อนที่ โดยจะนำค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์มาตีความ และประมวลผลต่อไป โดยได้ทำการเลือกใช้บอร์ด Arduino MEGA 2560 [9] ของ Arduino ที่ใช้ชิพ Atmega 2560 ในการประมวลผล เนื่องจากง่ายในการพัฒนา มีความทนทานที่ดี และมีทรัพยากรเบื้องต้นที่ต้องการรวมอยู่ครบ โดยบอร์ด Arduino MEGA 2560 มีลักษณะดังรูปที่ 3.11 และมีคุณสมบัติดังตารางที่ 3.2

### Arduino Mega 2560



Arduino Mega 2560 R3 Front



Arduino Mega2560 R3 Back

รูปที่ 3.11 ลักษณะของบอร์ด Arduino MEGA 2560

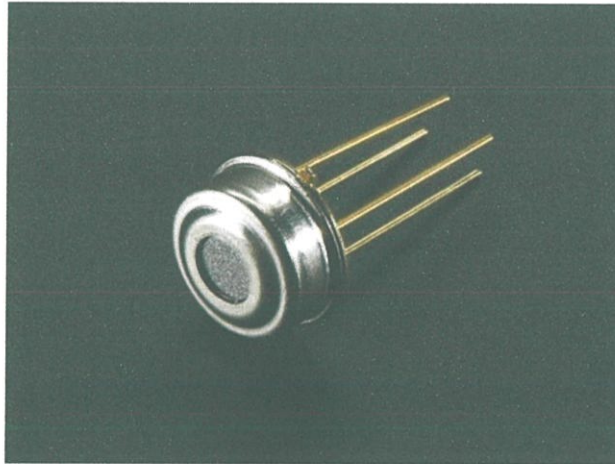
ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของบอร์ด Arduino MEGA 2560

คุณสมบัติของ Arduino MEGA 2560	
Microcontroller	ATmega 2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (Recommended)	7 – 12 V
Input Voltage (Limits)	6 – 20 V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pin	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	2.5 KB (ATmega32u4)
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

### 3.4.2 Melexis Contact-less Infrared Sensor (MLX90614)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับอุณหภูมิโดยอาศัยหลักการแผ่รังสีความร้อน โดยให้ตัวอุปกรณ์ตั้งฉากกับพื้นที่ที่ต้องการ ซึ่งอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่นั้นๆ ระดับอุณหภูมิที่จับได้ต้องอยู่ระหว่าง  $-70^{\circ}\text{C}$  ถึง  $380^{\circ}\text{C}$  เท่านั้น โดย Melexis Contact-less Infrared Sensor จะมีลักษณะดังรูปที่ 3.12 และมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1.  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$  for Sensor Temperature
2.  $-70^{\circ}\text{C}$  to  $+380^{\circ}\text{C}$  for Object Temperature
3.  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  Accuracy Around Room Temperatures
4. High Accuracy of  $0.5^{\circ}\text{C}$  Over Wide Temperature
5.  $90^{\circ}$  Field of View
6. 4.5 to 5.5V Power



รูปที่ 3.12 Melexis Contact-less Infrared Sensor (MLX90614)

### 3.4.3 Potentiometer (B10K Series)

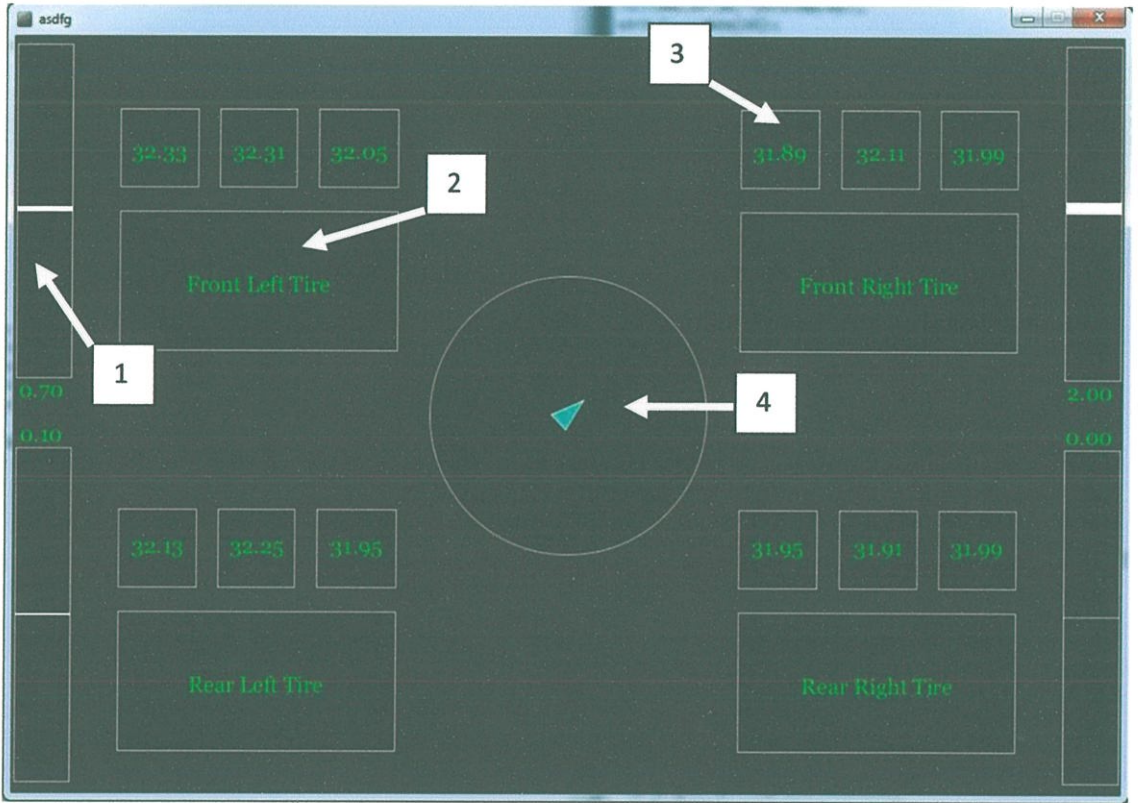
เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับระยะการเคลื่อนที่โดยอาศัยค่าความต้านทานที่เปลี่ยนค่าตามระยะเคลื่อนที่ มีลักษณะดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 Potentiometer

### 3.5 หน้าจอการแสดงผล

การแสดงผลได้เลือกใช้โปรแกรม Processing 2 เพราะใช้หลักการเขียนเดียวกับภาษา Java และสามารถเชื่อมโยงกับ Arduino ได้ง่าย มีลักษณะดังรูปที่ 3.14 และมีส่วนประกอบดังตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างหน้าจอแสดงผล

ตารางที่ 3.3 ส่วนประกอบของหน้าจอ Processing 2

1	Potentiometer
2	Wheel
3	Melexis Contact-less Infrared Sensor
4	G Sensor

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

ในการทดลอง และตรวจสอบระบบช่วงล่างของรถแข่งขนาดเล็กในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีกระบวนการในการเก็บข้อมูล ทั้งสิ้น 3 ส่วนประกอบ คือ การเก็บค่าอุณหภูมิของผิวยาง, การเก็บค่าระยะยุบ-ยืดของโช้ค และค่าความเร่งขณะรถเลี้ยว ซึ่งตัวแปรทั้ง 3 อย่างส่งผลอย่างมากต่อการปรับแต่งระบบช่วงล่างให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีรายละเอียดการทดลองดังต่อไปนี้

#### 4.1 ปรับแต่งระบบและวิเคราะห์ผลด้วย Melexis Contact-less Infrared Sensor

เนื่องจากข้อมูลมีมากกว่า 200 ค่า จึงนำค่าบางส่วนที่พบปัญหาชัดเจนมาแสดงเป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์ ซึ่งเป็นการแก้ไขปัญหากจากเหตุการณ์ที่ต่อเนื่องกัน ดังตารางที่ 4.1-4.5

##### ตารางที่ 4.1 การตรวจสอบอุณหภูมิที่ผิวยางจากการวิ่งครั้งที่ 1

#### TIRES TEMPERATURE

DATE: TIRES PRESSURE (psi): 15, 15 / 15, 15 [F/R]  
AMBIENT TEMPERATURE (°c): 33.8° SHOCK ABSORBER PRESSURE (psi): 200,200 / 200,200 [F/R]  
TOE ANGEL (deg): 0,0, 0,0 / 0,0, 0,0 [F/R] WEIGHT DISTRIBUTION (%): 43/57 [F/R]

ADJUSTMENT : -					
DRIVE : Skid Pad (Dry Track)					
INITIAL CAMBER(deg) : -3,-3 / -3,-3 [F/R]					
OUT	MID	IN	IN	MID	OUT
FL			FR		
33.6	36.4	37.0	35.9	33.9	33.4
RL			RR		
34.5	37.7	36.9	36.0	35.7	33.2
RESULT : Tires pressure too high, Too much camber, Understeer , Car Slip while cornering, Rear Wheel Float,					
AVERAGE TIMES : 5.73s					

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าลมยางมากเกินไป สังเกตได้จากอุณหภูมิตรงกลางจะมีค่ามากกว่าจุดอื่น และมุม Camber มีค่ามากไป โดยสังเกตได้จากอุณหภูมิของยางด้านในสูงกว่ายางด้านนอก ซึ่งการแก้จะแสดงในตารางที่ 4.2 ต่อไป

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ระบบช่วงล่างจากการวัดอุณหภูมิผิวยางและการแก้ไขอาการของระบบช่วงล่างหลังการวิ่งครั้งที่ 1

ADJUSTMENT : Reduce tires pressure to 12 psi for all, Reduce camber to -2.5, Reduce F-Anti Roll Bar Stiffness, Increase Rebound Stroke of rear Shock Abs. and bottom out and Reduce Rear Shock Abs. to 180 psi (both side)					
DRIVE : Skid Pad (Dry Track)					
INITIAL CAMBER(deg) : -2.5,-2.5 / -2.5,-2.5 [F/R]					
OUT	MID	IN	IN	MID	OUT
FL			FR		
34.9	40.5	38.8	36.9	40.7	37.0
RL			RR		
40.4	44.9	39.1	39.4	43.8	38.9
RESULT : Lower understeer, Rear Camber is OK!, Front camber still too high, Tires pressure still too high, Slip lower than previous, but the times Av. Still much					
AVERAGE TIMES : 5.66s					

จากตารางที่ 4.2 ได้ทำการลดลมยางลงเหลือ 12 psi และปรับมุม Camber เป็น -2.5 และปรับกันโคลงหน้าให้อ่อนลง เพื่อลดอาการ Understeer หลังจากแก้ไขแล้ววิ่งทดสอบเพื่อดูอาการแล้ว พบว่าเกิด Understeer น้อยลง มุม Camber ด้านหลังใช้ได้ แต่มุม Camber ด้านหน้าทำมุมมากเกินไป และลมยางก็ยังมีมากไป

**ตารางที่ 4.3** การวิเคราะห์ระบบช่วงล่างจากการวัดอุณหภูมิผิวยางและการแก้ไขอาการของระบบช่วงล่างหลังการวิ่งครั้งที่ 2

ADJUSTMENT : Reduce tires pressure to 9 psi for all, Reduce Front camber to -2.0, Reduce F-Anti Roll Bar Stiffness					
DRIVE : Skid Pad (Dry Track)					
INITIAL CAMBER(deg) : -2.0,-2.0 / -2.5,-2.5 [F/R]					
OUT	MID	IN	IN	MID	OUT
FL			FR		
42.8	44.6	41.5	41.2	45.7	40.7
RL			RR		
44.2	48.4	45.6	45.6	49.4	46.7
RESULT : tire pressure still too high Front camber is OK!, No understeer , Oversteer @Mid-Corner					
AVERAGE TIMES : 5.42s					

จากตารางที่ 4.3 ได้ทำการลดลมยางลงเหลือ 9 psi และปรับมุม Camber ด้านหน้าเป็น -2 และปรับกันโคลงหลังให้อ่อนลง หลังจากแก้ไขแล้ววิ่งทดสอบเพื่อดูอาการแล้ว พบว่าลมยางยังมากเกินไป มุม Camber ด้านหน้าใช้ได้ ไม่มีอาการ Understeer แต่เกิด Oversteer แทนในขณะเข้าโค้ง

**ตารางที่ 4.4** การวิเคราะห์ระบบช่วงล่างจากการวัดอุณหภูมิผิวยางและการแก้ไขอาการของระบบช่วงล่างหลังการวิ่งครั้งที่ 3

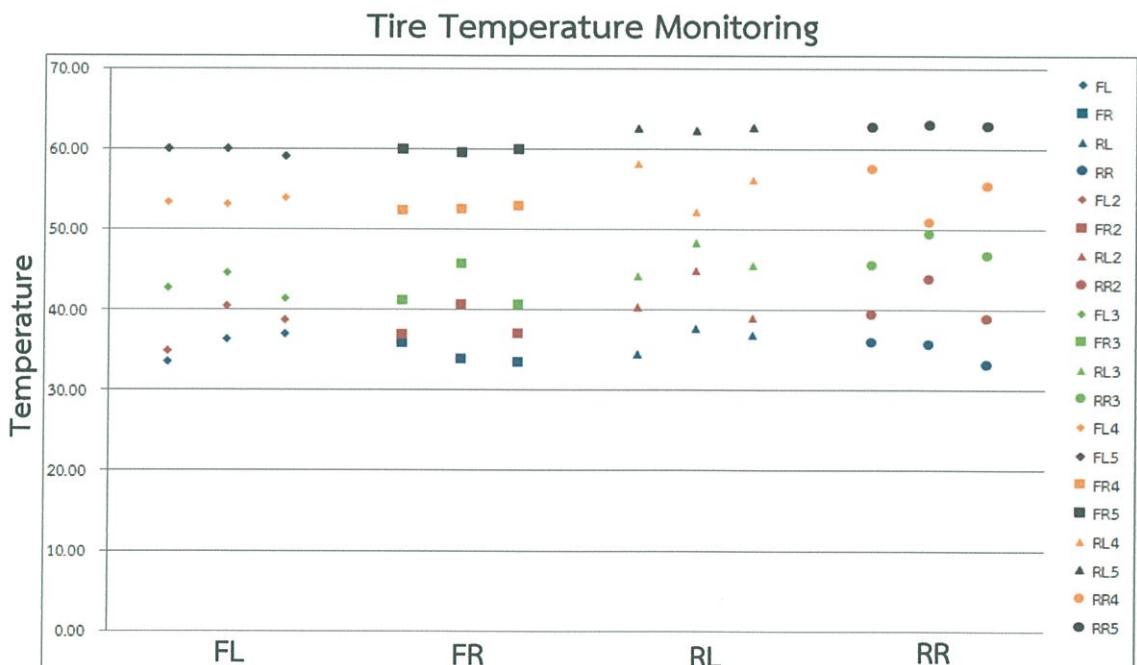
ADJUSTMENT : Reduce tire pressure to 5 psi					
DRIVE : Skid Pad (Dry Track)					
INITIAL CAMBER(deg) : -2.0,-2.0 / -2.5,-2.5 [F/R]					
OUT	MID	IN	IN	MID	OUT
FL			FR		
53.4	53.1	53.9	52.4	52.5	52.9
RL			RR		
58.2	52.2	56.2	57.5	50.9	55.4
RESULT : Rear tires pressure too low, No Oversteer					
AVERAGE TIMES : 5.2s					

จากตารางที่ 4.4 ได้ทำการลดลมยางลงเหลือ 5 psi หลังจากแก้ไขแล้ววิ่งทดสอบเพื่อดูอาการแล้ว พบว่าลมยางหลังน้อย สังเกตได้จากอุณหภูมิตรงกลางของล้อหลังมีค่าต่ำกว่าบริเวณอื่น

**ตารางที่ 4.5** การวิเคราะห์ระบบช่วงล่างจากการวัดอุณหภูมิผิวยางและการแก้ไขอาการของระบบช่วงล่างหลังการวิ่งครั้งที่ 4

ADJUSTMENT : Increase rear tires pressure to 7 psi					
DRIVE : Skid Pad (Dry Track)					
INITIAL CAMBER(deg) : -2.0,-2.0 / -2.5,-2.5 [F/R]					
OUT	MID	IN	IN	MID	OUT
FL			FR		
60.1	60.1	59.2	59.9	59.5	60.0
RL			RR		
62.6	62.4	62.7	62.7	63.0	62.9
RESULT : Everything is OK!, Ready to race!!					
AVERAGE TIMES : 5.1s					

จากตารางที่ 4.5 ได้ทำการเพิ่มลมยางด้านหลังเป็น 7 psi หลังจากแก้ไขแล้ววิ่งทดสอบเพื่อดูอาการแล้ว พบว่าอาการของรถเข้าที่ ทำเวลาดีขึ้นและพร้อมจะลงแข่ง

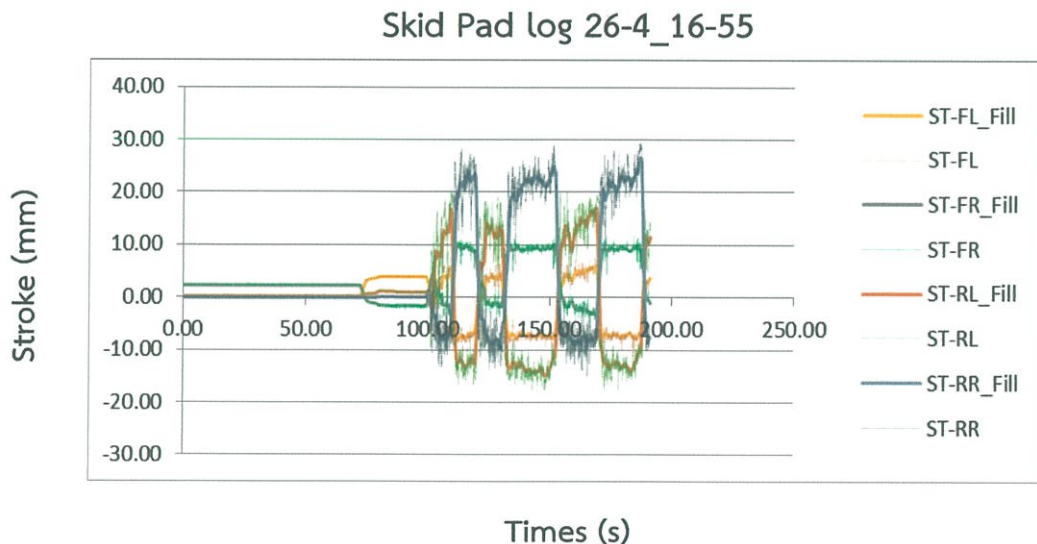


**รูปที่ 4.1** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเทียบกับตำแหน่งยาง

จากรูปที่ 4.1 เป็นการนำค่าอุณหภูมิที่ได้จากตารางที่ 4.1-4.5 มาพล็อตเป็นกราฟ ในการทดสอบวิ่งครั้งแรก จะเห็นว่าอุณหภูมิตรงกลางสูงกว่าบริเวณอื่น และอุณหภูมิบริเวณด้านในของยางสูงเกินไป จึงได้ทำการแก้ไขดังที่ระบุไว้ในตารางที่ 4.2 ในการวิ่งครั้งที่ 2 อุณหภูมิตรงกลางก็ยังสูงอยู่ในทุกๆ ล้อ แต่อุณหภูมิล้อหน้าด้านนอกต่ำ แสดงว่าปรับมุม Camber เป็น - มากเกินไป จึงได้ทำการแก้ไขดังที่ระบุไว้ในตารางที่ 4.3 สำหรับการวิ่งในครั้งที่ 3 พบว่าอุณหภูมิที่กลางล้อยังสูงอยู่ จึงได้ทำการลดลมยางลงอีกดังที่ระบุไว้ในตารางที่ 4.4 หลังจากการแก้ไขแล้วทดสอบวิ่งครั้งที่ 4 พบว่าอุณหภูมิตรงกลางของล้อหลังต่ำกว่าบริเวณโดยรอบ แสดงว่าลมยางในล้อหลังน้อยเกินไป จึงทำการเพิ่มลมยางเฉพาะล้อหลังดังที่กล่าวไว้ในตารางที่ 4.5 หลังการแก้ไขจะเห็นว่าค่าอุณหภูมิจากการวิ่งทดสอบครั้งที่ 5 ใกล้เคียงกันทั้ง 3 จุด สังเกตได้จากตำแหน่ง FL (Front Left), FR (Front Right), RL (Rare Left) และ RR (Rare Right) ที่มีลักษณะเกือบจะเป็นเส้นตรง แสดงว่ายางสัมผัสพื้นเต็มหน้า

#### 4.2 ปรับแต่งระบบและวิเคราะห์ผลด้วย Potentiometer

จากผลการทดลอง ได้นำค่าระยะยุบ-ยิด ของโช๊คทั้ง 4 ตัว มาพล็อตเป็นกราฟระยะเคลื่อนที่ (มม.) เทียบกับเวลา (วินาที) ซึ่งแสดงให้เห็นอาการของรถในการวิ่งแต่ละสภาวะ ยกตัวอย่างรูปที่ 4.2 จากการวิ่งแบบ Skid Pad (การวิ่งวนเป็นเลข 8) โดยจังหวะยุบ (Bump) จะแสดงค่า - และจังหวะยิด (Rebound) แสดงค่า + จะเห็นว่าค่าจะเป็นบวกลบสลับกันซึ่งเกิดจากการเลี้ยวซ้าย-ขวานั้นเอง โดยเมื่อเลี้ยวซ้าย รถจะโยนตัวไปด้านขวาทำให้น้ำหนักถ่ายเทไปด้านขวามากขึ้นซึ่งเป็นผลให้โช๊คด้านซ้ายยุบตัว ส่วนด้านซ้ายจะยิดออก และเมื่อรถเลี้ยวขวาจะเกิดเหตุการณ์ต่างๆ เหมือนกัน เพียงแต่จะสลับด้านกันนั่นเอง

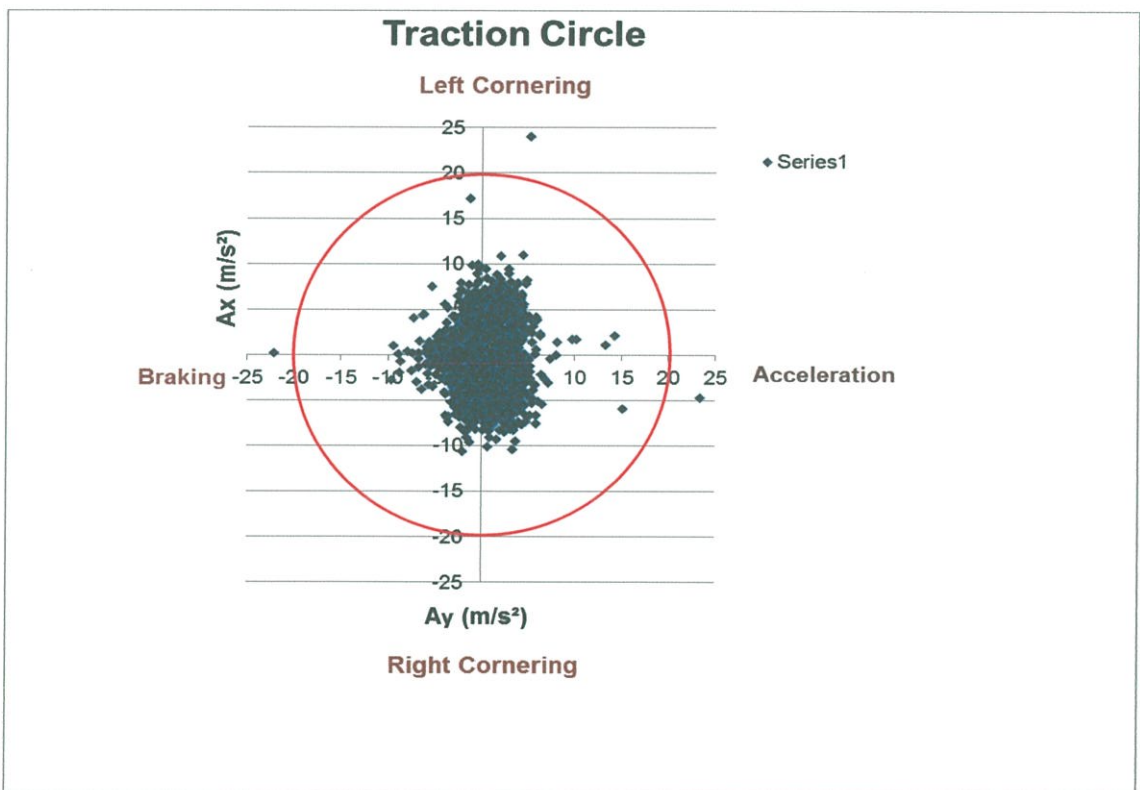


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของระยะยุบ-ยิดของโช๊คทั้ง 4 ตัวเทียบกับเวลา

จากกราฟตัวอย่างจะเห็นว่าช่วง Rebound มากกว่าช่วง Bump แปลว่า ลมโช๊คด้านขวาน้อยกว่า ทำให้เวลาเลี้ยวซ้ายตัวรถเกิดการโคลงมากกว่า ช่วงล่างตอบสนองช้า ทำให้น้ำหนักในการเลี้ยวซ้ายกับเลี้ยวขวาไม่เท่ากัน เป็นผลให้ทำเวลาไม่ดีเท่าที่ควร แก้ไขโดยการเพิ่มความแข็งของโช๊คด้านขวาทั้งหน้าและหลัง โดยการสับลมเพิ่มเข้าไป

#### 4.3 ปรับแต่งระบบและวิเคราะห์ผลด้วย Accelerometer

จากผลของ Accelerometer อธิบายโดย Traction Circle ซึ่งตรวจสอบจากการวิ่งแบบ Skid Pad จะเห็นว่าจากค่าความเร่งตอนเลี้ยวซ้าย และขวามีค่าเท่ากันที่ประมาณ 1g เพราะฉะนั้นสรุปได้ว่าการเลี้ยวซ้ายและขวามีความสมดุลกัน ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟ Traction Circle

## บทที่ 5

# บทวิจารณ์และสรุป

### 5.1 สรุปผลการปฏิบัติงาน

ตลอดระยะเวลาในการพัฒนาโครงการนี้ ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อลดระยะเวลาการปรับแต่งระบบ ช่วงล่างของรถแข่งขนาดเล็ก โดยการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวยาง และระยะยุบ-ยืดของโช้ค ซึ่งในระหว่างการดำเนินโครงการนี้ได้เกิดอุปสรรคมากมายและสิ่งที่ได้เรียนรู้เพิ่มเติมจากการศึกษาในห้องเรียนที่จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจในการพัฒนาต่อยอดโครงการนี้

หลังจากได้มีการปรับแต่งระบบช่วงล่าง โดยอาศัยค่าอุณหภูมิ และระยะยุบ-ยืดของโช้คผลที่ได้คือสามารถลดระยะเวลาของการปรับแต่งให้น้อยลงจากเดิมคือ 2 อาทิตย์ เหลือไม่ถึง 1 อาทิตย์ ซึ่งเกินความคาดหมายที่คาดว่าจะเร็วขึ้นเพียง 2-3 วันเท่านั้น

### 5.2 ปัญหาในการทำงานและการแก้ไข

1. Potentiometer ในการจัดหาเซ็นเซอร์ชนิดนี้ ไม่สามารถหาให้เหมือนกันทั้ง 4 ตัวได้ เนื่องจากขาดตลาด ดังนั้นจึงใช้ขนาดที่ต่างกัน แต่สามารถอ่านค่าได้เหมือนกันแทน

2. ความล่าช้าในการส่งรถคันเก่าที่ใช้แข่งขันจากครั้งก่อน ซึ่งทำให้การวิจัยต้องยืดเยื้อจากที่วางแผนไว้

3. ปัญหาโครงขโมยชุกชุมในพื้นที่ ระหว่างการทำวิจัย ได้มีคอมพิวเตอร์หายไป 1 เครื่อง ทำให้การวิจัยต้องเริ่มใหม่เกือบทั้งหมด และมีการตัดสายคาลิปเปอร์เบรก ซึ่งมีราคาสูง ส่งผลให้ไม่สามารถทำการวิจัยได้ จึงแก้ปัญหาโดยการนำรถคันเก่าที่มีระบบช่วงล่างที่คล้ายคลึงกันมาทำการวิจัยแทน

4. ปัญหาการเกิด Noise Frequency บริเวณโช้คตัวหลัง เพราะอยู่ใกล้กับเครื่องยนต์มากเกินไป ทำให้ค่าที่ได้ในบางครั้งสูงกว่า 50 มิลลิเมตร แต่อยู่ในเกณฑ์ที่รับได้

### 5.3 แนวทางในการพัฒนา

เนื่องจากโครงการนี้เป็นการศึกษาเก็บข้อมูล แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยตัวเอง แต่สามารถพัฒนาต่อได้ โดยการนำค่ามาคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และทำการส่งค่าป้อนกลับเพื่อไปควบคุมระบบช่วงล่าง ซึ่งจะทำให้ระบบช่วงล่างสามารถทำงานด้วยตัวเองได้ หรือเรียกว่า Active Suspension

## เอกสารอ้างอิง

- [1] “ระบบกันกระเทือน Suspension System”. [Online]. Available :  
<http://www.supradit.com/contents/carscare/basic/basic-e1.html>
- [2] Wikipedia the free encyclopedia. “Kingpin (Automotive Part)”. [Online].  
 Available : [http://en.wikipedia.org/wiki/Kingpin\\_%28automotive\\_part%29](http://en.wikipedia.org/wiki/Kingpin_%28automotive_part%29)
- [3] Wikipedia the free encyclopedia. “Scrub Radius”. [Online]. Available :  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Scrub\\_radius](http://en.wikipedia.org/wiki/Scrub_radius)
- [4] Wikipedia the free encyclopedia. “Caster Angle”. [Online]. Available :  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Caster\\_angle](http://en.wikipedia.org/wiki/Caster_angle)
- [5] Wikipedia the free encyclopedia. “Camber Angle”. [Online]. Available :  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Camber\\_angle](http://en.wikipedia.org/wiki/Camber_angle)
- [6] Wikipedia the free encyclopedia. “Microcontroller”. [Online]. Available :  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Microcontroller>
- [7] Wikipedia the free encyclopedia. “I<sup>2</sup>C”. [Online]. Available :  
[http://en.wikipedia.org/wiki/I<sup>2</sup>C](http://en.wikipedia.org/wiki/I%C2)
- [8] John Electronic Design Engineer. “I<sup>2</sup>C BUS”. [Online]. Available :  
<http://www.johnheritage.co.uk/i2c-bus/>
- [9] “Arduino MEGA 2560”. [Online]. Available :  
<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>
- [10] Carroll Smith. “Tune to Win”. Aero Publishers, Inc. 1978.
- [11] Yukio Shimada. “Motor Car Development/Fabrication Guide”. Society of Automotive Engineers of Japan, Inc. 2007.
- [12] Allan Staniforth. “Competition Car Suspension Design, Construction, Tuning”. (3th.) Haynes Publishing, Inc. 1978.

[12] DataSheet MLX90614. [Online]. Available :

<http://www.melexis.com/Assets/IR-sensor-thermometer-MLX90614-Datasheet-5152.aspx>

[13] ชีระยุทธ สุวรรณประทีป. “วิศวกรรมยานยนต์ (AUTOMOTIVE ENGINEERING)”.  
กรุงเทพฯ: วิทยพัฒน์, 2542.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

## เอกสารคู่มือของ Melexis Contact-less Infrared Sensor



## MLX90614 family

Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer in TO-39

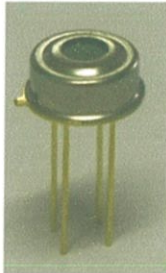
### Features and Benefits

- Small size, low cost
- Easy to integrate
- Factory calibrated in wide temperature range:
  - 40 to 125 °C for sensor temperature and
  - 70 to 380 °C for object temperature.
- High accuracy of 0.5°C over wide temperature range (0..+50°C for both Ta and To)
- High (medical) accuracy calibration optional
- Measurement resolution of 0.02°C
- Single and dual zone versions
- SMBus compatible digital interface
- Customizable PWM output for continuous reading
- Available in 3V and 5V versions
- Simple adaptation for 8 to 16V applications
- Power saving mode
- Different package options for applications and measurements versatility
- Automotive grade

### Applications Examples

- High precision non-contact temperature measurements;
- Thermal Comfort sensor for Mobile Air Conditioning control system;
- Temperature sensing element for residential, commercial and industrial building air conditioning;
- Windshield defogging;
- Automotive blind angle detection;
- Industrial temperature control of moving parts;
- Temperature control in printers and copiers;
- Home appliances with temperature control;
- Healthcare;
- Livestock monitoring;
- Movement detection;
- Multiple zone temperature control – up to 100 sensors can be read via common 2 wires
- Thermal relay/alert
- Body temperature measurement

### Ordering Information



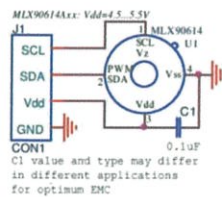
Part No. MLX90614 X X X  
(1) (2) (3)

(1) Supply Voltage:  
A - 5V power  
(adaptable for 12V)  
B - 3V power

(2) Number of thermopiles:  
A – single zone  
B – dual zone

(3) Package type:  
A – Filter inside  
B – Filter outside

### 1 Functional diagram



#### MLX90614 connection to SMBus

Figure 1 Typical application schematics

### 2 General Description

The MLX90614 is an Infra Red thermometer for non contact temperature measurements. Both the IR sensitive thermopile detector chip and the signal conditioning ASSP are integrated in the same TO-39 can.

Thanks to its low noise amplifier, 17-bit ADC and powerful DSP unit, a high accuracy and resolution of the thermometer is achieved.

The thermometer comes factory calibrated with a digital PWM and SMBus output.

As a standard, the 10-bit PWM is configured to continuously transmit the measured temperature in range of -20 to 120 °C, with an output resolution of 0.14 °C.

The POR default is SMBus interface



## MLX90614 family

*Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer in TO-39*

### **General description (continued)**

The MLX90614 is built from 2 chips developed and manufactured by Melexis:

The Infra Red thermopile detector MLX81101.

The signal conditioning ASSP MLX90302, specially designed to process the output of IR sensor.

The device is available in an industry standard TO-39 package.

Thanks to the low noise amplifier, high resolution 17-bit ADC and powerful DSP unit of MLX90302 high accuracy and resolution of the thermometer is achieved. The calculated object and ambient temperatures are available in RAM of MLX90302 with resolution of 0.01 °C. They are accessible by 2 wire serial SMBus compatible protocol (0.02 °C resolution) or via 10-bit PWM (Pulse Width Modulated) output of the device.

The MLX90614 is factory calibrated in wide temperature ranges: -40 to 125 °C for the ambient temperature and -70 to 382.2 °C for the object temperature. The 10-bit PWM is as a standard configured to transmit continuously the measured object temperature for an object temperature range of -20 to 120 °C with an output resolution of 0.14 °C. The PWM can be easily customized for virtually any range desired by customer by changing the content of 2 EEPROM cells. This has no effect on the factory calibration of the device.

The PWM pin can also be configured to act as a thermal relay (input is To), thus allowing for an easy and cost effective implementation in thermostats or temperature (freezing/boiling) alert applications. The temperature threshold is user programmable. In an SMBus system this feature can act as a processor interrupt that can trigger reading all slaves on the bus and to determine the precise condition.

As a standard, the MLX90614 is calibrated for an object emissivity of 1. It can be easily customized by the customer for any other emissivity in the range 0.1-1.0 without the need of recalibration with a black body.

The thermometer is available in 2 supply voltage options: 5V compatible or 3V (battery) compatible. The 5V can be easily adopted to operate from a higher supply voltage (8-16V, for example) by use of few external components (refer to "Applications information" section for details).

An optical filter (long-wave pass) that cuts off the visible and near infra-red radiant flux is integrated in the package to provide sunlight immunity.



# MLX90614 family

Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer in TO-39

## Table of Contents

1 Functional diagram .....	1
2 General Description .....	1
General description (continued) .....	2
3 Glossary of Terms .....	4
4 Maximum ratings .....	4
5 Pin definitions and descriptions .....	5
6 Electrical Specifications .....	6
6.1 MLX90614Axx .....	6
6.2 MLX90614Bxx .....	8
7 Detailed description .....	10
7.1 Block diagram .....	10
7.2 Signal processing principle .....	10
7.3 Block description .....	11
7.3.1 Amplifier .....	11
7.3.2 Supply regulator and POR .....	11
7.3.3 EEPROM .....	11
7.3.4 RAM .....	13
7.4 SMBus compatible 2-wire protocol .....	13
7.4.1 Functional description .....	13
7.4.2 Differences with the standard SMBus specification (reference [1]) .....	14
7.4.3 Detailed description .....	14
7.4.4 AC specification for SMBus .....	15
7.4.5 Bit transfer .....	16
7.4.6 Commands .....	16
7.4.7 Sleep Mode .....	17
7.5 PWM .....	18
7.5.1 Single PWM format .....	18
7.5.2 Extended PWM format .....	19
7.5.3 Customizing the temperature range for PWM output .....	20
7.6 Switching Between PWM and SMBus communication .....	21
7.6.1 PWM is enabled .....	21
7.6.2 Request condition .....	21
7.6.3 PWM is disabled .....	21
7.7 Computation of ambient and object temperatures .....	22
7.7.1 Ambient temperature $T_a$ .....	22
7.7.2 Object temperature $T_o$ .....	22
7.7.3 Calculation flow .....	22
7.8 Thermal relay .....	24
8 Unique Features .....	24
9 Performance Graphs .....	25
9.1 Temperature accuracy of the MLX90601AAA .....	25
9.2 Field Of View (FOV) .....	27
10 Applications Information .....	28
10.1 Use of the MLX90614 thermometer in SMBus configuration .....	28
10.2 Use of multiple MLX90614s in SMBus configuration .....	28
10.3 Thermal alert / thermostat .....	29
10.4 High voltage source operation .....	29
11 Application Comments .....	30
12 ESD Precautions .....	32
13 FAQ .....	32
14 Package Information .....	34
15 References .....	35
16 Disclaimer .....	35



## MLX90614 family

Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer in TO-39

### 3 Glossary of Terms

PTAT	Proportional To Absolute Temperature sensor (package temperature)
PTC	Positive Temperature Coefficient sensor (package temperature)
POR	Power On Reset
HFO	High Frequency Oscillator (RC)
DSP	Digital Signal Processing
FIR	Finite Impulse Response. Digital filter
IIR	Infinite Impulse Response. Digital filter
IR	Infra-Red
PWM	Pulse With Modulation
DC	Duty Cycle (of the PWM) ; Direct Current (for settled conditions specifications)
FOV	Field Of View
SDA,SCL	Serial DAta, Serial CLock – SMBus compatible communication pins
Ta	Ambient Temperature measured from the chip – (the package temperature)
To	Object Temperature, 'seen' from IR sensor
ESD	Electro-Static Discharge
EMC	Electro-Magnetic Compatibility
TBD	To Be Defined

Note: sometimes the MLX90614xxx is referred to as "the module".

### 4 Maximum ratings

Parameter	MLX90614AAA MLX90614ABA	MLX90614BAA MLX90614BBA	MLX90614AAB MLX90614ABB	MLX90614BAB MLX90614BBB
Supply Voltage, V <sub>DD</sub> (over voltage)	7V	5V	7V	5V
Supply Voltage, V <sub>DD</sub> (operating)	5.5 V	3.6V	5.5V	3.6V
Reverse Voltage	0.4 V			
Operating Temperature Range, T <sub>A</sub>	-40 to +125°C		-40...+85°C	
Storage Temperature Range, T <sub>S</sub>	-40...+125 °C		-40...+105°C	
ESD Sensitivity (AEC Q100 002)	2kV			
DC current into SCL/Vz (Vz mode)	2 mA			
DC sink current, SDA /PWM pin	25 mA			
DC source current, SDA/PWM pin	25 mA			
DC clamp current, SDA/PWM pin	25 mA			
DC clamp current, SCL pin	25 mA			

Table 1: Absolute maximum ratings for MLX90614

Exceeding the absolute maximum ratings may cause permanent damage. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

### 5 Pin definitions and descriptions

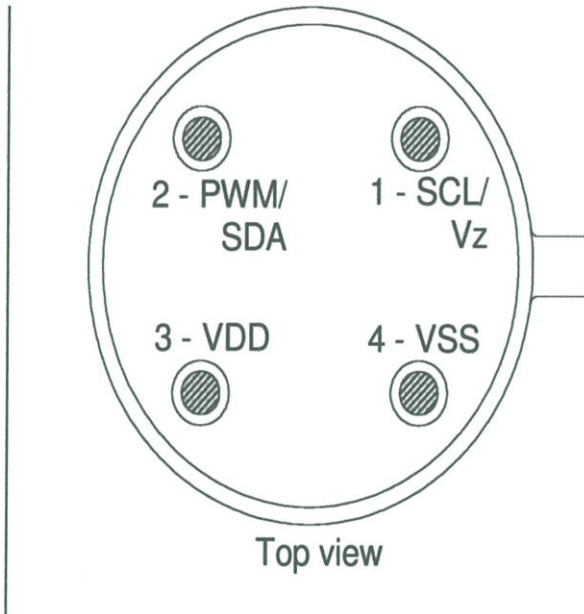


Figure 2: Pin description

Pin Name	Function
VSS	Ground. The metal can is also connected to this pin.
SCL / Vz	Serial clock input for 2 wire communications protocol. 5.7V zener is available at this pin for connection of external bipolar transistor to MLX90614A to supply the device from external 8 -16V source.
PWM / SDA	Digital input / output. In normal mode the measured object temperature is available at this pin Pulse Width Modulated.
VDD	External supply voltage.

Table 2: Pin description MLX90614

*Note: for +12V (+8...+16V) powered operation refer to the Application information section. For EMC and isothermal conditions reasons it is highly recommended not to use any electrical connection to the metal can except by the Vss pin.*

*With the SCL/Vz and PWM/SDA pins operated in 2-wire interface mode, the input Schmidt trigger function is automatically enabled.*

## 6 Electrical Specifications

### 6.1 MLX90614Axx

All parameters are preliminary for  $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $V_{DD} = 5\text{V}$  (unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
Supplies						
External supply	$V_{DD}$		4.5	5	5.5	V
Supply current	$I_{DD}$	No load			1	mA
Supply current (programming)	$I_{DDpr}$	No load, erase/write EEPROM operations			1.5	mA
Zener voltage	$V_Z$	$I_Z = 75 \dots 400\text{ }\mu\text{A}$	5.6	5.75	5.8	V
Zener voltage	$V_Z(T_A)$	$I_Z = 70 \dots 400\text{ }\mu\text{A}$ , full temperature range	5.15	5.75	6.24	V
Power On Reset						
POR level	$V_{POR}$	Power-up, power-down and brown-out	2.7	3.0	3.3	V
$V_{DD}$ rise time	$T_{POR}$	Ensure POR signal			3	ms
Output valid (result in RAM)	$T_{valid}$	After POR		0.15		s
Pulse width modulation <sup>1</sup>						
PWM resolution	$PWM_{res}$	Data band		10		bit
PWM output period	$PWM_{T,def}$	Factory default, internal oscillator factory calibrated		1.024		ms
PWM period stability	$dPWM_T$	Internal oscillator factory calibrated, over the entire operation range and supply voltage	-4		+4	%
Output high Level	$PWM_{HI}$	$I_{source} = 2\text{ mA}$	$V_{DD} - 0.2$			V
Output low Level	$PWM_{LO}$	$I_{sink} = 2\text{ mA}$			$V_{SS} + 0.2$	V
Output drive current	$I_{drive\_PWM}$	$V_{out,H} = V_{DD} - 0.8\text{V}$		20		mA
Output sink current	$I_{sink\_PWM}$	$V_{out,L} = 0.8\text{V}$		20		mA
Output settling time	$T_{set}$	100 pF capacitive load, full operating $T_A$ range		500	TBD	ns
Output settling time	$T_{setRC}$	220 Ohm in series with 47nF load on the wire, full $T_A$ operating range	20		50	us



## MLX90614 family

Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer in TO-39

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
SMBus compatible 2-wire interface <sup>2</sup>						
Input high voltage	$V_{IH}$		1.8	2	2.2	V
Input high voltage	$V_{IH}(Ta, V)$	Over temperature and supply	1.6		2.4	V
Input low voltage	$V_{IL}$		0.7	1.0	1.3	V
Input low voltage	$V_{IL}(Ta, V)$	Over temperature and supply	0.5		1.5	V
Output low voltage	$V_{OL}$	SDA pin in open drain mode, over temperature and supply, $I_{sink} = 2mA$			0.2	V
SCL leakage	$I_{SCL, leak}$	$V_{SCL}=4V, Ta=+85^{\circ}C$			30	$\mu A$
SDA leakage	$I_{SDA, leak}$	$V_{SDA}=4V, Ta=+85^{\circ}C$			0.3	$\mu A$
SCL capacitance	$C_{SCL}$				10	pF
SDA capacitance	$C_{SDA}$				10	pF
Slave address	SA	Factory default		5Ah		hex
SMBus Request	$t_{REQ}$	SCL low	1.024			ms
Timeout, low	$T_{timeout, L}$	SCL low			30	ms
Timeout, high	$T_{timeout, H}$	SCL high			50	us
Acknowledge setup time	$T_{suac}(MD)$	8-th SCL falling edge, Master	0.5		1.5	us
Acknowledge hold time	$T_{hdac}(MD)$	9-th SCL falling edge, Master	1.5		2.5	us
Acknowledge setup time	$T_{suac}(SD)$	8-th SCL falling edge, Slave	2.5			us
Acknowledge hold time	$T_{hdac}(SD)$	9-th SCL falling edge, Slave	1.5			us
EEPROM						
Data retention		$Ta = +85^{\circ}C$	10			years
Erase/write cycles		$Ta = +25^{\circ}C$	100,000			Times
Erase/write cycles		$Ta = +125^{\circ}C$	10,000			Times
Erase cell time	$T_{erase}$			5		ms
Write cell time	$T_{write}$			5		ms

Notes: All the communication and refresh rate timings are given for the nominal calibrated HFO frequency and will vary with this frequency's variations.

1. All PWM timing specifications are given for single PWM output (factory default for MLX90614xAx). For the extended PWM output (factory default for the MLX90614xBx) each period has twice the timing specifications (refer to the PWM detailed description section). With large capacitive load lower PWM frequency is recommended. Thermal relay output (when configured) has the PWM DC specification and can be programmed as push-pull, or NMOS open drain. PWM is free-running, power-up factory default is SMBus, refer to 7.6, "Switching between PWM and SMBus communication" for details..

2. For SMBus compatible interface on 12V application refer to Application information section. SMBus compatible interface is described in details in the SMBus detailed description section. Maximum number of MLX90614xxx devices on one bus is 127, higher pullup currents are recommended for higher number of devices, faster bus data transfer rates, and increased reactive loading of the bus.

MLX90614xxx is always a slave device on the bus. MLX90614xxx can work in both low-power and high-power SMBus communication.

All voltage are with respect to the Vss (ground) unless otherwise noted.

Power saving mode is not available on the 5V version (MLX90614Ax).

## 6.2 MLX90614Bxx

All parameters are preliminary for  $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $V_{DD} = 3\text{V}$  (unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
Supplies						
External supply	$V_{DD}$		2.4	3	3.6	V
Supply current	$I_{DD}$	No load			1	mA
Supply current (programming)	$I_{DDpr}$	No load, erase/write EEPROM operations			1.5	mA
Power-down supply current	$I_{sleep}$	no load	1	2.5	5	$\mu\text{A}$
Power-down supply current	$I_{sleep}$	Full temperature range	1	2.5	6	$\mu\text{A}$
Power On Reset						
POR level	$V_{POR}$	Power-up, power-down and brown-out	1.6	1.85	2.1	V
$V_{DD}$ rise time	$T_{POR}$	Ensure POR signal			1	ms
Output valid	$T_{valid}$	After POR		0.15		s
Pulse width modulation						
PWM resolution	$PWM_{res}$	Data band		10		bit
PWM output period	$PWM_{T,def}$	Factory default, internal oscillator factory calibrated		1.024		ms
PWM period stability	$dPWM_T$	Internal oscillator factory calibrated, over the entire operation range and supply voltage	-4		+4	%
Output high Level	$PWM_{HI}$	$I_{source} = 2\text{ mA}$	$V_{DD}-0.25$			V
Output low Level	$PWM_{LO}$	$I_{sink} = 2\text{ mA}$			$V_{SS}+0.25$	V
Output drive current	$I_{drive_{PWM}}$	$V_{out,H} = V_{DD} - 0.8\text{V}$		15		mA
Output sink current	$I_{sink_{PWM}}$	$V_{out,L} = 0.8\text{V}$		15		mA
Output settling time	$T_{set}$	100 pF capacitive load, full operating $T_a$ range			150	ns
Output settling time	$T_{set_{RC}}$	220 Ohm in series with 47nF load on the wire, full $T_a$ operating range		500	TBD	ns



## MLX90614 family

Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer in TO-39

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
SMBus compatible 2-wire interface <sup>1</sup>						
Input high voltage	V <sub>IH</sub>		1.6	2	2.4	V
Input high voltage	V <sub>IH</sub> (Ta,V)	Over temperature and supply	1.2	2	2.8	V
Input low voltage	V <sub>IL</sub>		0.7	1.0	1.3	V
Input low voltage	V <sub>IL</sub> (Ta,V)	Over temperature and supply	0.5	1.0	1.5	V
Output low voltage	V <sub>OL</sub>	SDA pin in open drain mode, over temperature and supply, I <sub>sink</sub> = 2mA			0.25	V
SCL leakage	I <sub>SCL,leak</sub>	V <sub>SCL</sub> =3V, Ta=+85°C			20	µA
SDA leakage	I <sub>SDA,leak</sub>	V <sub>SDA</sub> =3V, Ta=+85°C			0.25	µA
SCL capacitance	C <sub>SCL</sub>				10	pF
SDA capacitance	C <sub>SDA</sub>				10	pF
Slave address	SA	Factory default		5Ah		hex
SMBus Request	I <sub>REQ</sub>	SCL low	1.024			ms
Timeout, low	T <sub>timeout,L</sub>	SCL low			30	ms
Timeout, high	T <sub>timeout,H</sub>	SCL high			50	µs
Acknowledge setup	T <sub>suac</sub> (MD)	8-th SCL falling edge, Master	0.5		1.5	µs
Acknowledge hold	T <sub>hdac</sub> (MD)	9-th SCL falling edge, Master	1.5		2.5	µs
Acknowledge setup	T <sub>suac</sub> (SD)	8-th SCL falling edge, Slave	2.5			µs
Acknowledge hold	T <sub>hdac</sub> (SD)	9-th SCL falling edge, Slave	1.5			µs
EEPROM						
Data retention		Ta = +85°C	10			years
Erase/write cycles		Ta = +25°C	100,000			Times
Erase/write cycles		Ta = +125°C	10,000			Times
Erase cell time	T <sub>erase</sub>			5		ms
Write cell time	T <sub>write</sub>			5		ms

Note: refer to MLX90614Ax notes.

## 7 Detailed description

### 7.1 Block diagram

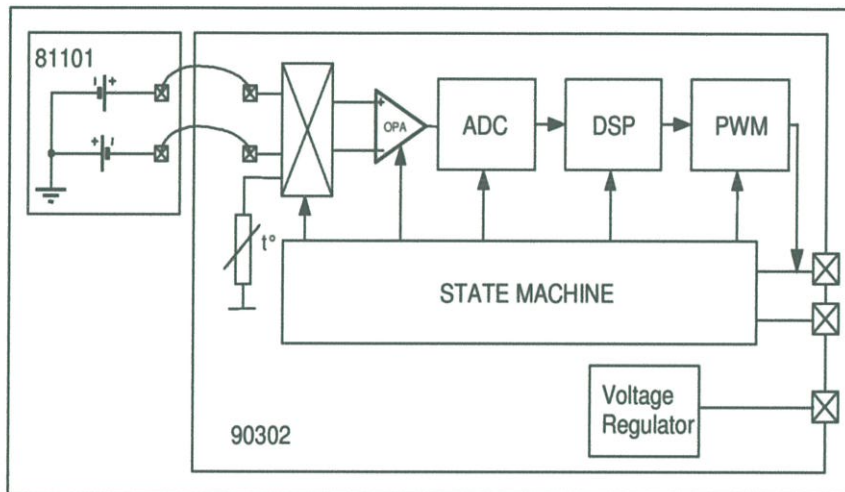


Figure 3: block diagram

### 7.2 Signal processing principle

The operation of the MLX90614 is controlled by an internal state machine, which controls the measurements and calculations of the object and ambient temperatures and does the post-processing of the temperatures to output them through the PWM output or the SMBus compatible interface.

The ASSP supports 2 IR sensors (second one not implemented in the MLX90614xAx). The output of the IR sensors is amplified by a low noise low offset chopper amplifier with programmable gain, converted by a Sigma Delta modulator to a single bit stream and fed to a powerful DSP for further processing. The signal is treated by programmable (by means of EEPROM content) FIR and IIR low pass filters for further reduction of the band width of the input signal to achieve the desired noise performance and refresh rate. The output of the IIR filter is the measurement result and is available in the internal RAM. 3 different cells are available: One for the on-board temperature sensor (on chip PTAT or PTC) and 2 for the IR sensors.

Based on results of the above measurements, the corresponding ambient temperature  $T_a$  and object temperatures  $T_o$  are calculated. Both calculated temperatures have a resolution of 0.01 °C. The data for  $T_a$  and  $T_o$  can be read in two ways: Reading RAM cells dedicated for this purpose via the 2-wire interface (0.02°C resolution, fixed ranges), or through the PWM digital output (10 bit resolution, configurable range). In the last step of the measurement cycle, the measured  $T_a$  and  $T_o$  are rescaled to the desired output resolution of the PWM) and the recalculated data is loaded in the registers of the PWM state machine, which creates a constant frequency with a duty cycle representing the measured data.



## MLX90614 family

Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer in TO-39

### 7.3 Block description

#### 7.3.1 Amplifier

A low noise low offset amplifier with programmable gain is implemented for amplification of the IR sensor voltage. With a carefully designed input modulator and balanced input impedance, an offset as low as 0.5 $\mu$ V is achieved.

#### 7.3.2 Supply regulator and POR

The module can operate from 2 different supplies:

VDD= 5V => MLX90614Axx

VDD=3.3V => MLX90614Bxx (battery or regulated supply)

Refer to "Applications information" section for information about adopting higher voltage supplies.

The Power On Reset (POR) is connected to Vdd supply. The on-chip POR circuit provides an active (high) level of the POR signal when the Vdd voltage rises above approximately 0.5V and holds the entire MLX90614xxx in reset until the Vdd is higher than the specified POR threshold  $V_{POR}$  (note that this level is different for MLX90614Axx and MLX90614Bxx). During the time POR is active, the POR signal is available as an open drain (active high) at the PWM/SDA pin. After the MLX90614xxx exits the POR condition, the function programmed in EEPROM takes precedence for that pin.

#### 7.3.3 EEPROM

A limited number of addresses in the EEPROM memory can be changed by the customer. The whole EEPROM can be read via SMBus interface.

EEPROM (32X16)		
Name	Address	Write acces
$T_{max}$	000h	Yes
$T_{min}$	001h	Yes
PWMCTRL	002h	Yes
Ta range	003h	Yes
Ke	004h	Yes
Config Register1	005h	Yes
Melexis reserved	006h	No
...	...	...
Melexis reserved	00Dh	No
SMBus address	00Eh	Yes
Melexis reserved	00Fh	Yes
Melexis reserved	010h	No
...	...	...
Melexis reserved	018	No
Melexis reserved	019h	Yes
Melexis reserved	01Ah	No
Melexis reserved	01Bh	No
ID number	01Ch	No
ID number	01Dh	No
ID number	01Eh	No
ID number	01Fh	No

The addresses  $T_{max}$ ,  $T_{min}$  and Ta range are for customer dependent object and ambient temperature ranges. For details see point 7.5.3 below in this document



## MLX90614 family

Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer in TO-39

The address **PWMCTRL** consists of control bits for configuring the PWM/SDA pin:

Bit 0	Select the type of PWM mode:	1 - Single PWM, factory default for MLX90614xAx	0 - Extended PWM, factory default for MLX90614xBx
Bit 1	Enable/disable the PWM:	1 - Enable PWM, disable SMBus	0 - Disable PWM (Enable SMBus), Factory default
Bit 2	Configuration of the pin PWM:	1 - Push-Pull,	0 - OpenDrain NMOS, factory default
Bit 3	Mode selection	1 - ThermoRelay,	0 - PWM, Factory default
Bits[8:4]	Extended PWM definition	Number of repetitions divided by 2 of sensor 1 and 2 in Extended PWM mode. The number of repetitions can vary from 0 to 64 times.	
Bits[15:9]	PWM clock configuration	2MHz divided by number written in this place. (128 in case the number is 0.) A single PWM period consists of 2048 clocks and extended PWM of 4096 clocks for each period (2T in figure 6). The 2 MHz clock is valid for the nominal HFO frequency.	

The address **ConfigRegister1** consist of control bits for configuring the analog and digital parts:

Bits[2:0]	- Configure coefficients of IIR digital filter:	Bit 2	Bit 1	Bit 0	a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>
		0	x	x	0.5	0.5
		1	1	1	0.571428571	0.428571428
		1	1	0	0.666(6)	0.333(3)
		1	0	1	0.8	0.2
1	0	0	1	0 (IIR bypassed)		
Bit 3	- Configure the type of ambient temperature sensor:	1 - PTC,			0 - PTAT.	
Bits[5:4]	- Configure the type of data transmitted through PWM:	Bit 5	Bit 4	Data 1	Data 2	
		0	0	Ta	IR 1	
		0	1	Ta	IR 2	
		1	1	IR 1	IR 2	
		1	0	IR 2	Undefined*	
Bit 6	- Define the number IR sensors:	1 - 2 sensors,			0 - 1 sensor.	
Bit 7	- Define the sign Ks (Ks=dAlpha/dTobj) :	Factory calibration, do not alter				
Bits[10:8]	- Configure coefficient N of FIR digital filter:	Bit 10	Bit 9	Bit 8	N	
		0	0	0	8	
		0	0	1	16	
		0	1	0	32	
		0	1	1	64	
		1	0	0	128	
		1	0	1	256	
		1	1	0	512	
		1	1	1	1024	
Bits[13:11]	- Configure the gain of amplifier:	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Gain	
		0	0	0	1 (preamplifier bypassed)	
		0	0	1	3	
		0	1	0	6	
		0	1	1	12.5	
		1	0	0	25	
		1	0	1	50	
		1	1	0	100	
		1	1	1	100	
Bit 14	Unused					
Bit 15	- Define the sign of thermo-shock compensation:	1 - negative,			0 - positive.	

Note: The following bits/registers should not be altered (except with special tools - contact Melexis for such tools availability) in order to keep the factory calibration relevant:

Ke [15..0] ; Config Register1 [13..11;7;3] ; addresses 00Fh and 019h.

\* not recommended for extended PWM mode



## MLX90614 family

Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer in TO-39

### 7.3.4 RAM

It is not possible to write into the RAM memory. It can only be read and only a limited number of RAM registers are of interest to the customer.

RAM (32x17)		
Name	Address	Read access
Melexis reserved	000h	Yes
...	...	...
Melexis reserved	005h	Yes
T <sub>A</sub>	006h	Yes
T <sub>OBJ1</sub>	007h	Yes
T <sub>OBJ2</sub>	008h	Yes
Melexis reserved	009h	Yes
...	...	...
Melexis reserved	01Fh	Yes

### 7.4 SMBus compatible 2-wire protocol

The chip supports a 2 wires serial protocol, build with pins PWM/SDA and SCL.

- SCL – digital input, used as the clock for SMBus compatible communication. This pin has the auxiliary function for building an external voltage regulator. When the external voltage regulator is used, the 2-wire protocol is available only if the power supply regulator is overdriven.
- PWM/SDA – Digital input/output, used for both the PWM output of the measured object temperature(s) or the digital input/output for the SMBus. The pin can be programmed in EEPROM to operate as Push/Pull or open drain NMOS (open drain NMOS is factory default).

#### 7.4.1 Functional description

The SMBus interface is a 2-wire protocol, allowing communication between the Master Device (MD) and one or more Slave Devices (SD). In the system only one master can be presented at any given time [1]. The MLX90614 can only be used as a slave device.

Generally, the MD initiates the start of data transfer by selecting a SD through the Slave Address (SA).

The MD has read access to the RAM and EEPROM and write access to 9 EEPROM cells (at addresses 0x20h, 0x21h, 0x22h, 0x23h, 0x24h, 0x25h\*, 0x2Eh, 0x2Fh, 0x39h). If the access to the MLX90614 is a read operation it will respond with 16 data bits and 8 bit PEC only if its own slave address, programmed in internal EEPROM, is equal to the SA, sent by the master. The SA feature allows connecting up to 127 devices with only 2 wires, unless the system has some of the specific features described in paragraph 5.2 of reference [1]. In order to provide access to any device or to assign an address to a SD before it is connected to the bus system, the communication must start with zero SA followed by low RWB bit. When this command is sent from the MD, the MLX90614 will always respond and will ignore the internal chip code information.

**Special care must be taken not to put two MLX90614 devices with the same SD addresses on the same bus as MLX90614 does not support ARP[1].**

The MD can force the MLX90614 into low consumption mode "sleep mode" (3V version only).

Read flags like "EEBUSY" (1 – EEPROM is busy with executing the previous write/erase), "EE\_DEAD" (1 – there is fatal EEPROM error and this chip is not functional\*\*).

Note\*: This address is readable and writable. Bit 3 should not be altered as this will cancel the factory calibration.

Note\*\*: EEPROM error signalling is implemented in automotive grade parts only.

#### 7.4.2 Differences with the standard SMBus specification (reference [1])

There are eleven command protocols for standard SMBus interface. The MLX90614 supports only two of them. Not supported commands are:

- Quick Command
- Byte commands - Sent Byte, Receive Byte, Write Byte and Read Byte
- Process Call
- Block commands – Block Write and Write-Block Read Process Call

Supported commands are:

- Read Word
- Write Word

#### 7.4.3 Detailed description

The PWM/SDA pin of MLX90614 can operate also as PWM output, depending on the EEPROM settings. If PWM is enabled, after POR the PWM/SDA pin is directly configured as PWM output. The PWM mode can be avoided and the pin can be restored to its Data function by a special command. That is why hereafter both modes are treated separately.

##### 7.4.3.1 Bus Protocol

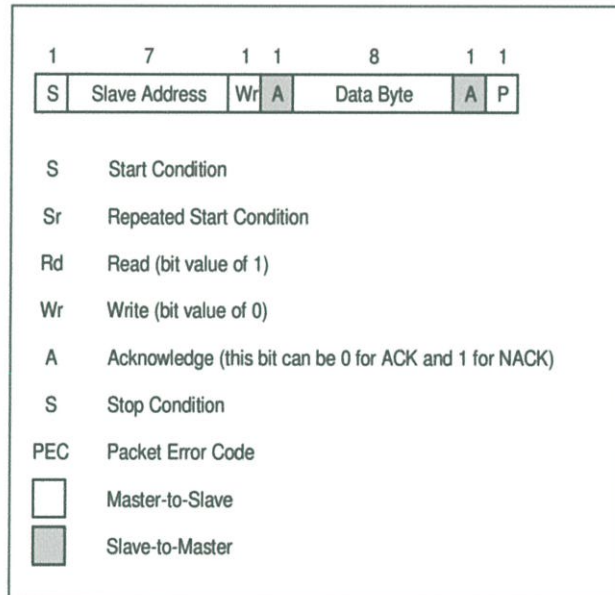


Figure 4: SMBus packet element key

After every 8 bits received by the SD an ACK/NACK takes place. When a MD initiates communication, it first sends the address of the slave and only the SD which recognizes the address will ACK the rest will remain silent. If the SD NACKs one of the bytes, the MD should stop the communication and repeat the message. A NACK could be received after the PEC. This means that there is error in the received message and the MD should try sending the message again. The PEC calculation includes all bits except the START, REPEATED START, STOP, ACK, and NACK bits. The PEC is a CRC-8 with polynomial  $X^8+X^2+X+1$ . The Most Significant Bit of every byte is transferred first.

### 7.4.3.1.1 Read Word (depending on the command – RAM or EEPROM)

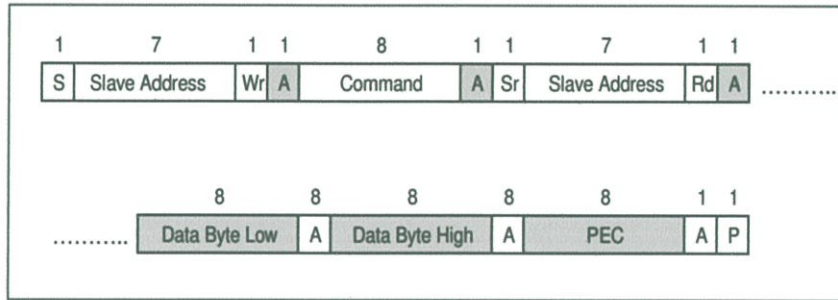


Figure 5: SMBus read word format

### 7.4.3.1.2 Write Word (depending on the command – RAM or EEPROM)

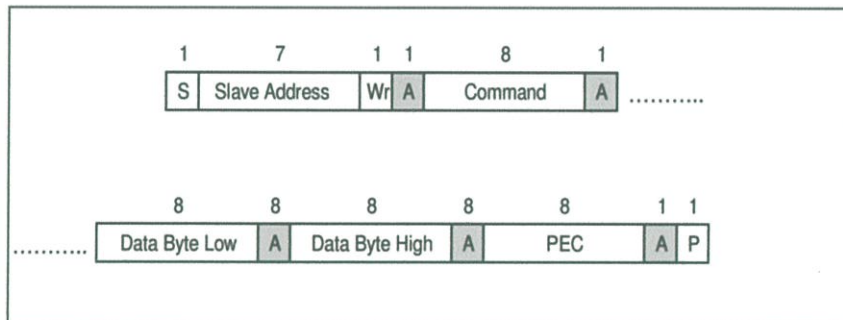


Figure 6: SMBus write word format

## 7.4.4 AC specification for SMBus

### 7.4.4.1 Timing

The MLX90614 meets all the timing specifications of the SMBus [1]. The maximum frequency of the MLX90614 SMBus is 100KHz and the minimum is 10KHz.

The specific timings in MLX90614's SMBus are:

**SMBus Request ( $t_{REQ}$ )** is the time that the SCL should be forced low in order to switch MLX90614 from PWM mode to SMBus mode;

**Timeout L** is the maximum allowed time for SCL to be low. After this time the MLX90614 will reset its communication block and will be ready for new communication;

**Timeout H** is the maximum time for which it is allowed for SCL to be high during communication. After this time MLX90614 will reset its communication block assuming that the bus is idle (according to the SMBus specification).

**Tsuac(SD)** is the time after the eighth falling edge of SCL that MLX90614 will force PWM/SDA low to acknowledge the last received byte.

**Thdac(SD)** is the time after the ninth falling edge of SCL that MLX90614 will release the PWM/SDA (so the MD can continue with the communication).

**Tsuac(MD)** is the time after the eighth falling edge of SCL that MLX90614 will release PWM/SDA (so that the MD can acknowledge the last received byte).

**Thdac(MD)** is the time after the ninth falling edge of SCL that MLX90614 will take control of the PWM/SDA (so it can continue with the next byte to transmit).

The indexes MD and SD for the latest timings are used – MD when the master device is making acknowledge; SD when the slave device is making acknowledge). For other timings see [1].

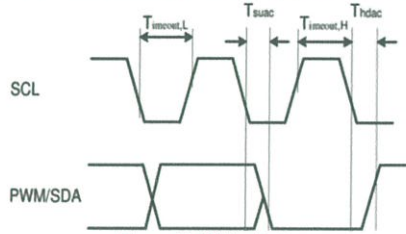


Figure 7: SMBus timing

#### 7.4.5 Bit transfer

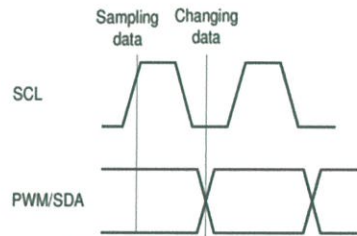


Figure 8: Bit transfer on SMBus

The data on PWM/SDA must be changed when SCL is low (min 300ns after the falling edge of SCL). The data is fetched by both MD and SDs on the rising edge of the SCL.

#### 7.4.6 Commands

In application mode RAM and EEPROM can be read both with 32x16 sizes. If the RAM is read, the data are divided by two, due to a sign bit in RAM (for example,  $T_{OB,1}$  - RAM address 0x07h will sweep between 0x27ADh to 0x7FFF as the object temperature rises from -70.01 °C to +382.19 °C). The MSB read from RAM is an error flag (active high) for the linearized temperatures ( $T_{OB,1}$ ,  $T_{OB,2}$  and  $T_a$ ). The MSB for the raw data (e.g. IR sensor1 data) is a sign bit (sign and magnitude format).

Opcode	Command
000x xxxx*	RAM Access
001x xxxx*	EEPROM Access
1111 0000**	Read Flags
1111 1111	Enter SLEEP mode

Note\*: The xxxxx are the 5 LSBits of the memory map address to be read/written.

Note\*\*: Behaves like read command. The MLX90614 returns PEC after 16 bits data of which only 4 are meaningful and if the MD wants it, it can stop the communication after the first byte. The difference between read and read flags is that the latter does not have a repeated start bit.

Flags read are:

- Data[15] – EEBUSY – the previous write/erase EEPROM access is still in progress. High active.
- Data[14] – Unused
- Data[13] – EE\_DEAD – EEPROM double error has occurred. High active.
- Data[12] – INIT – POR initialization routine is still ongoing. High active.
- Data[11] – not implemented..
- Data[10..0] – all zeros.

Flags read is a diagnostic feature. The MLX90614 can be used regardless of these flags.

#### 7.4.7 Sleep Mode

MLX90614 can enter Sleep Mode via command "Enter SLEEP mode" sent via the SMBus interface. This mode is not available for the 5V supply version. To limit the current consumption to 2.5uA (typ), the SCL pin should be kept low during sleep. MLX90614 goes back into power-up default mode (via POR reset) by setting SCL pin high and then PWM/SDA pin low for at least  $t_{DDq}=13\text{ms}$ . **If EEPROM is configured for PWM (EN\_PWM is high), the PWM interface will be selected after awakening and if PWM control [2], PPODB is 1 the MLX90614 will output a PWM pulse train with push-pull output.**

##### 7.4.7.1 Enter Sleep Mode

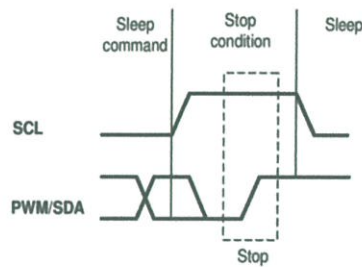


Figure 9: Enter sleep

##### 7.4.7.2 Exit from Sleep Mode

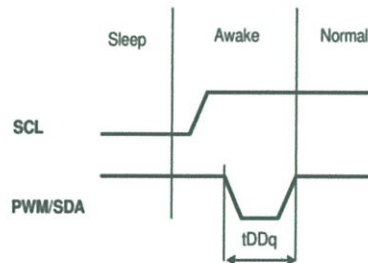


Figure 10: Exit Sleep Mode

## 7.5 PWM

The MLX90614 can be read via PWM or SMBus compatible interface. Selection of PWM output is done in EEPROM configuration (factory default is PWM). PWM output has two programmable formats, single and dual data transmission, providing single wire reading of two temperatures (dual zone object or object and ambient). The PWM period is derived from the on-chip oscillator and is programmable.

Config Register[5:4]	PWM1 data	PWM2 data	$T_{min,1}$	$T_{max,1}$	$T_{min,2}$	$T_{max,2}$
00	$T_a$	$T_{obj1}$	$T_{a,range,L}$	$T_{a,range,H}$	$T_{O,min}$	$T_{O,max}$
01	$T_a$	$T_{obj2}$	$T_{a,range,L}$	$T_{a,range,H}$	$T_{O,min}$	$T_{O,max}$
11	$T_{obj1}$	$T_{obj2}$	$T_{O,min}$	$T_{O,max}$	$T_{O,min}$	$T_{O,max}$
10*	$T_{obj2}$	Undefined	$T_{O,min}$	$T_{O,max}$	N.A.	N.A.

Note: Serial data functions (2-wire / PWM) are multiplexed with a thermal relay function (described in the "Thermal relay" section).

\* not recommended for extended PWM format operation

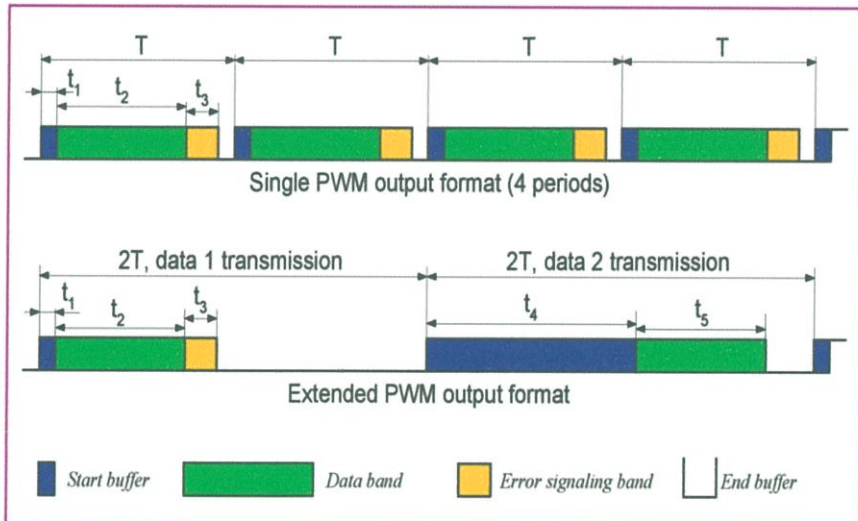


Figure 11: PWM timing

### 7.5.1 Single PWM format

In single PWM output mode the settings for PWM1 data only are used. The temperature reading can be calculated from the signal timing as:

$$T_{out} = \left[ \frac{2t_2}{T} * (T_{max} - T_{min}) \right] + T_{min},$$

where  $T_{min}$  and  $T_{max}$  are the corresponding rescale coefficients in EEPROM for the selected temperature output ( $T_a$ , object temperature range is valid for both  $T_{obj1}$  and  $T_{obj2}$  as specified in the previous table) and  $T$  is the PWM period.  $T_{out}$  is  $T_{obj1}$ ,  $T_{obj2}$  or  $T_a$  according to Config Register [5:4] settings.

The different time intervals  $t_1$ - $t_3$  have the following functions:

$t_1$ : Start buffer. During this time the signal is always high.  $t_1 = 0.125 \cdot T$  (T is the PWM period, refer to fig. 11).

$t_2$ : Valid Data Output Band, 0 to 1/2T. PWM output data resolution is 10 bit.

$t_3$ : Error band – information for Fatal error in EEPROM (double error detected, not correctable).  $t_3 = 0.25 \cdot T$ . Therefore a PWM pulse train with a duty cycle of 0.875 will indicate a fatal error in EEPROM (for single PWM format).

Example:

$T_{obj1} \Rightarrow$  Config Reg[5:4] = 11'b

$T_{min} = 0^\circ\text{C} \Rightarrow T_{Omin} [\text{EEPROM}] = 100 \cdot (t_{min} + 273.15) = 6\text{AB}3\text{h}$

$T_{max} = +50^\circ\text{C} \Rightarrow T_{Omax} [\text{EEPROM}] = 100 \cdot (t_{max} + 273.15) = 7\text{E}3\text{Bh}$

Captured PWM high duration is  $0.495 \cdot T \Rightarrow t_2 = (0.495 - 0.125) \cdot T = 0.370 \cdot T \Rightarrow$

measured object temperature =  $2X0.370 \cdot (50^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) + 0^\circ\text{C} = +37.0^\circ\text{C}$ .

### 7.5.2 Extended PWM format

The PWM format for extended PWM is shown in Figure 11. Note that with bits  $\text{DUAL}[5:1] > 00\text{h}$  each period will be repeated  $2N+1$  times, where N is the decimal value of the number written in  $\text{DUAL}[5:1]$  ( $\text{DUAL}[5:1] = \text{PWM control \& clock } [8:4]$ ), like shown on Figure 12.

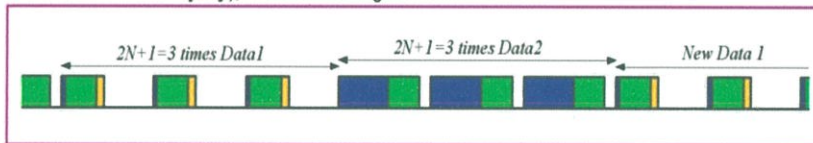


Figure 12: Extended PWM format with  $\text{DUAL}[5:1] = 01\text{h}$  (2 repetitions for each data)

The temperature transmitted in Data 1 field can be calculated using the following equation:

$$T_{out1} = \left[ \frac{2t_2}{T} \cdot (T_{max1} - T_{min1}) \right] + T_{min1}$$

For Data 2 field the equation is:

$$T_{out2} = \left[ \frac{2t_5}{T} \cdot (T_{max2} - T_{min2}) \right] + T_{min2}$$

Where  $T_{min1}$ ,  $T_{max1}$ ,  $T_{min2}$  and  $T_{max2}$  are given in Table 9,  $t_2 = t_{high1} - t_1$ , and  $t_5 = t_{high2} - t_4$ .

Time bands are:  $t_1 = 0.125 \cdot T$ ,  $t_3 = 0.25 \cdot T$  and  $t_4 = 1.125 \cdot T$ . As shown in Figure 11, in extended PWM format the period is twice the period for the single PWM format. All equations provided herein are given for the single PWM period T. The EEPROM Error band signalling will be 43.75% duty cycle for Data1 and 93.75% for Data2.

Note: EEPROM error signalling is implemented in automotive grade parts only.

Example:

Configuration:  $T_a : T_{obj1} @ \text{Data1} : \text{Data2} \Rightarrow$  Config Reg[5:4] = 00b,

$T_{amin} = -5^\circ\text{C} \Rightarrow T_{arange, L} [\text{EEPROM}] = 100 \cdot (T_{amin} + 38.2) / 64 = 33\text{h}$ ,

$T_{amax} = +105^\circ\text{C} \Rightarrow T_{arange, H} [\text{EEPROM}] = 100 \cdot (T_{amax} + 38.2) / 64 = \text{DFh}$ ,

$T_{arange} [\text{EEPROM}] = \text{DF}33\text{h}$

$T_{min} = 0^\circ\text{C} \Rightarrow T_{Omin} [\text{EEPROM}] = 100 \cdot (T_{min} + 273.15) / 64 = 6\text{AB}3\text{h}$

$T_{max} = +50^\circ\text{C} \Rightarrow T_{Omax} [\text{EEPROM}] = 100 \cdot (T_{max} + 273.15) / 64 = 7\text{E}3\text{Bh}$

Captured high durations are  $0.13068 \cdot (2T)$  and  $0.7475 \cdot (2T)$ , where  $2T$  is each captured PWM period. Time band  $t_4$  is provided for reliable determination between Data1 and Data2 data fields. Thus Data1 is represented by  $0.13068 \cdot (2T)$  and Data2 – by  $0.7475 \cdot (2T)$ , and the temperatures can be calculated as follows:

$t_2/T = (t_{high1}/T) - 0.125 = 0.13636 \Rightarrow T_a = +25.0^\circ\text{C}$ ,

$t_5/T = (t_{high2}/T) - 1.125 = 0.370 \Rightarrow T_{obj1} = +37.0^\circ\text{C}$ .

### 7.5.3 Customizing the temperature range for PWM output

The calculated ambient and object temperatures are stored in RAM with a resolution of 0.01 °C (16 bit). The PWM operates with a 10-bit word so the transmitted temperature is rescaled in order to fit in the desired range.

For this goal 2 cells in EEPROM are foreseen to store the desired range for To ( $T_{o_{min}}$  and  $T_{o_{max}}$ ) and one for Ta ( $T_{a_{range}}$ : the 8MSB are foreseen for  $T_{a_{max}}$  and the 8LSB for  $T_{a_{min}}$ ).

Thus the output range for To can be programmed with an accuracy of 0.01 °C, while the corresponding Ta range can be programmed with an accuracy of 2.56 °C.

The **object** data for PWM is rescaled according to the following equation:

$$T_{PWM_{obj}} = \frac{T_{RAM} - T_{MIN_{EEPROM}}}{K_{PWM_{obj}}}, K_{PWM_{obj}} = \frac{T_{MAX_{EEPROM}} - T_{MIN_{EEPROM}}}{1023}$$

The  $T_{RAM}$  is the linearised  $T_{obj}$ , 16-bit (0000...FFFFh, 0000 for -273.15°C and FFFFh for +382.2°C) and the result is a 10-bit word, in which 000h corresponds to  $T_{o_{min}}$ [°C], 3FFh corresponds to  $T_{o_{max}}$ [°C] and 1LSB

corresponds to  $\frac{T_{o_{MAX}} - T_{o_{MIN}}}{1023}$  [°C]

$$T_{MIN_{EEPROM}} = T_{MIN} * 100 \text{ LSB}$$

$$T_{MAX_{EEPROM}} = T_{MAX} * 100 \text{ LSB}$$

The **ambient** data for PWM is rescaled according to the following equation:

$$T_{PWM_{ambient}} = \frac{T_{RAM} - T_{MIN_{EEPROM}}}{K_{PWM_{ambient}}}, K_{PWM_{ambient}} = \frac{T_{MAX_{EEPROM}} - T_{MIN_{EEPROM}}}{1023}$$

The result is a 10-bit word, where 000h corresponds to -38.2 °C (lowest Ta that can be read via PWM), 3FFh

corresponds to 125 °C (highest Ta that can be read via PWM) and 1LSB corresponds to  $\frac{T_{MAX} - T_{MIN}}{1023}$  [°C]

$$T_{MIN_{EEPROM}} = [T_{MIN} - (-38.2)] * \frac{100}{64} \text{ LSB}$$

$$T_{MAX_{EEPROM}} = [T_{MAX} - (-38.2)] * \frac{100}{64} \text{ LSB}$$

## 7.6 Switching Between PWM and SMBus communication

### 7.6.1 PWM is enabled

The diagram below illustrates the way of switching to SMBus if PWM is enabled (factory programmed POR default for MLX90614 is SMBus, PWM enabled). Note that the SCL pin needs to be kept high in order to use PWM.

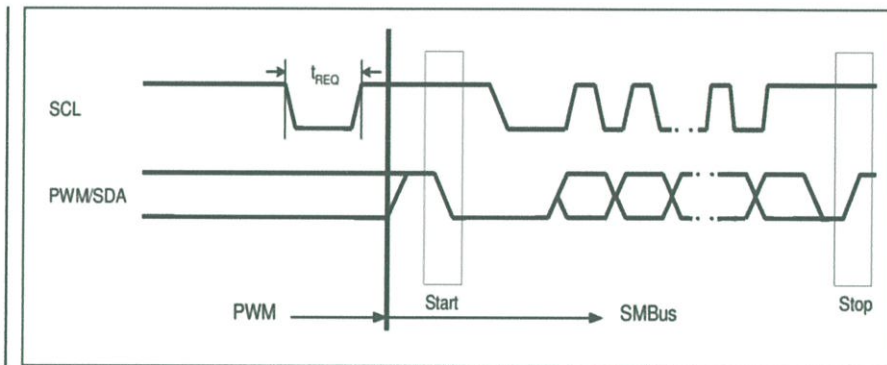


Figure 13: Switching from PWM mode to SMBus

### 7.6.2 Request condition

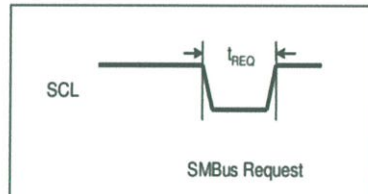


Figure 14: Request (switch to SMBus) condition

If PWM is enabled, the MLX90614's SMBus Request condition is needed to disable PWM and reconfigure PWM/SDA pin before starting SMBus communication. Once disabled PWM, it can be only enabled by switching Off-On of the supply or exit from Sleep Mode. The MLX90614's SMBus request condition requires forcing LOW the SCL pin for period longer than the request time ( $t_{REQ}$ ). The SDA line value is ignored in this case.

### 7.6.3 PWM is disabled

If PWM is disabled by means of EEPROM the PWM/SDA pin is directly used for the SMBus purposes after POR. **Request condition should not be sent in this case.**



## MLX90614 family

Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer in TO-39

### 7.7 Computation of ambient and object temperatures

The IR sensor consists of serial connected thermo-couples with cold junctions placed at thick chip substrate and hot junctions, placed over thin membrane. The IR radiation absorbed from the membrane heats (or cools) it. The thermopile output signal is

$$V_{ir}(T_a, T_o) = A \cdot (T_o^4 - T_a^4),$$

Where  $T_o$  is the object temperature absolute (Kelvin) temperature,  $T_a$  is the sensor die absolute (Kelvin) temperature, and  $A$  is the overall sensitivity.

An additional temperature sensor is needed for measuring the temperature of the chip temperature. After measurement of the output of both sensors, the corresponding ambient and object temperatures can be calculated. These calculations are done by the internal DSP, which produces digital outputs, linearly proportional to measured temperatures.

#### 7.7.1 Ambient temperature $T_a$

The Sensor die temperature is measured with a PTC or a PTAT element. All the sensors' conditioning and data processing is handled on-chip and the linearized sensor die temperature  $T_a$  is made available in memory.

The resolution of the calculated  $T_a$  is 0.01 °C. The sensor is factory calibrated for the full automotive range (-40 to 125 °C). In RAM cell ,006h, 0000h corresponds to -40 °C and 4074h (16500d) corresponds to 125 °C. The conversions from RAM content to real  $T_a$  is easy using the following relation:

$$T_a[^\circ K] = T_{areg} \times 0.01 \text{ Note that via SMBus } T_a \text{ is read divided by 2, or } T_a, \text{SMBus}[^\circ K] = T_{areg} \times 0.02$$

#### 7.7.2 Object temperature $T_o$

The result has a resolution of 0.01 °C and is available in RAM.  $T_o$  is derived from RAM as:

$$T_o[^\circ K] = T_{oreg} \times 0.01 \text{ Note that via SMBus } T_o \text{ is read divided by 2, or } T_o, \text{SMBus}[^\circ K] = T_{oreg} \times 0.02$$

#### 7.7.3 Calculation flow

The measurement, calculation and linearization are held by core, which executes a program from ROM. After POR the chip is initialized with calibration data from EEPROM. During this phase the number of IR sensor is selected and which temperature sensor will be used. Measurements, compensation and linearization routines run in a closed loop afterwards.

Processing ambient temperature includes:

- Offset measurement with fixed length FIR filter
- Additional filtering with fixed length IIR filter. The result is stored into RAM as  $T_{OS}$
- Temperature sensor measurement using programmable length FIR \*
- Offset compensation
- Additional processing with programmable length IIR \*\*. The result is stored into RAM as  $T_D$ .
- Calculation of the ambient temperature. The result is stored into RAM as  $T_A$

Processing of the object temperature consists of three parts. The first one is common for both IR sensors, the third part can be skipped if only one IR sensor is used.

IR offset:

- Offset measurement with a fixed length FIR
- Additional filtering with a fixed length IIR. The result is stored into RAM as  $IR_{OS}$ .

- Gain measurement with fixed length FIR filter  
 Offset compensation  
 Additional gain filtering with fixed length IIR, storing the result into RAM as  $IR_G$ .  
 Gain compensation calculation, the result is stored into RAM as  $K_G$
- Object temperature:  
 IR1 sensor:  
 IR sensor measurement with programmable length FIR filter \*.  
 Offset compensation  
 Gain compensation  
 Filtering with programmable length IIR filter\*\*, storing the result into RAM as  $IR1_D$ .  
 Calculation of the object temperature. The result is available in RAM as  $T_{OBJ1}$ .
- IR2 sensor:  
 IR sensor measurement with programmable length FIR filter \*.  
 Offset compensation  
 Gain compensation  
 Filtering with programmable length IIR filter\*\*, storing the result into RAM as  $IR2_D$ .  
 Calculation of the object temperature. The result is available in RAM as  $T_{OBJ2}$ .
- PWM calculation:  
 Recalculate the data for PWM with 10 bit resolution  
 Load data into PWM module

Note\*: The measurements with programmable filter length for FIR filter use the same EEPROM's sell for N.  
 Note\*\*: The IIR filter with programmable filter length uses the same EEPROM's sell for L.

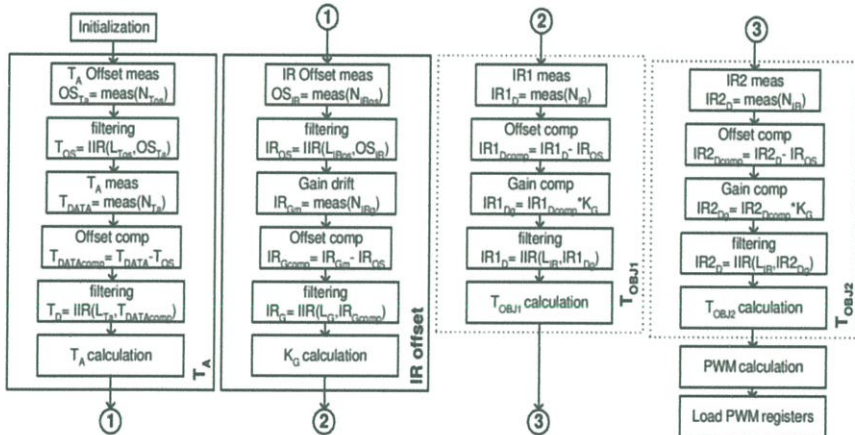


Figure 15: Software flow

## 7.8 Thermal relay

The MLX90614 can be configured to behave as a thermo relay with programmable threshold and hysteresis on the PWM/SDA pin. The input for the comparator unit of the relay is the object temperature from sensor 1. **The output of the MLX90614 is NOT a relay driver but a logical output which should be connected to a relay driver if necessary.**

In order to configure the MLX90614 to work as thermal relay two conditions must be met:

- Set bit TRPWMB high at address 002h in EEPROM
- Enable PWM output i.e. EN\_PWM is set high

The PWM/SDA pin can be programmed as a push-pull or open drain NMOS (via bit PPODB in EEPROM PWMCTRL), which can trigger an external device. The temperature threshold data is determined by EEPROM at address 021h ( $T_{min}$ ) and the hysteresis at address 020h ( $T_{max}$ ).

The logical state of the PWM/SDA pin is as follows:

PWM/SDA pin is high if  $T_{obj} \geq \text{threshold} + \text{hysteresis}$

PWM/SDA pin is low if  $T_{obj} \leq \text{threshold} - \text{hysteresis}$

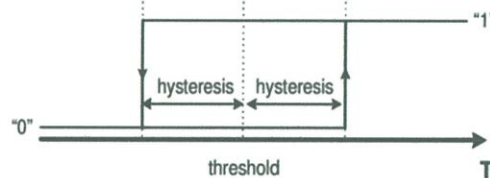


Figure 16: Thermal relay : "PWM" pin versus  $T_{obj}$

The MLX90614 preserves its normal operation when configured as a thermal relay (PWM configuration and specification applies as a general rule also for the thermal relay) and therefore it can be read using the SMBus (entering the SMBus mode from both PWM and thermal relay configuration is the same).

For example, the MLX90614 can generate a wake-up alert for a system upon reaching a certain temperature and then be read as a thermometer. A reset condition (enter-and exit Sleep, for example) will be needed in order to return to the thermal relay configuration.

Example: threshold  $5\text{ }^{\circ}\text{C} \Rightarrow (5 + 273.15) * 100 = 27815 = 6CA7\text{h}$   
 hysteresis is  $1\text{ }^{\circ}\text{C} \Rightarrow 1 * 100 = 100 = 64\text{h}$   
 PWM/SDA pin will be low at object temperature below  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$   
 PWM/SDA pin will be high at object temperature higher than  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$

## 8 Unique Features

The MLX90614 is a ready-to use low-cost non contact thermometer provided from Melexis with output data linearly dependent on the object temperature with high accuracy and extended resolution.

It supports versatile customization to a very wide range of temperatures, power supplies and refresh rates.

The user can program the internal object emissivity correction for objects with a low emissivity. An embedded error checking and correction mechanism provides high memory reliability.

The sensor is housed in an industry standard TO39 package for both single- and dual-zone IR thermometers. The thermometer is available in automotive grade and can use two different packages for wider applications' coverage.

The low power consumption and sleep mode make the thermometer ideally suited for handheld mobile applications.

The digital sensor interface can be either a power-up-and-measure PWM or an enhanced access SMBus compatible protocol. Systems with more than 100 devices can be built with only two signal lines. Dual zone non contact temperatures measurements available via a single line (extended PWM).

A built-in thermal relay function further extends the easy implementation of wide variety of freezing/boiling prevention and alert systems, as well as thermostats (no MCU is needed).

## 9 Performance Graphs

### 9.1 Temperature accuracy of the MLX90601AAA

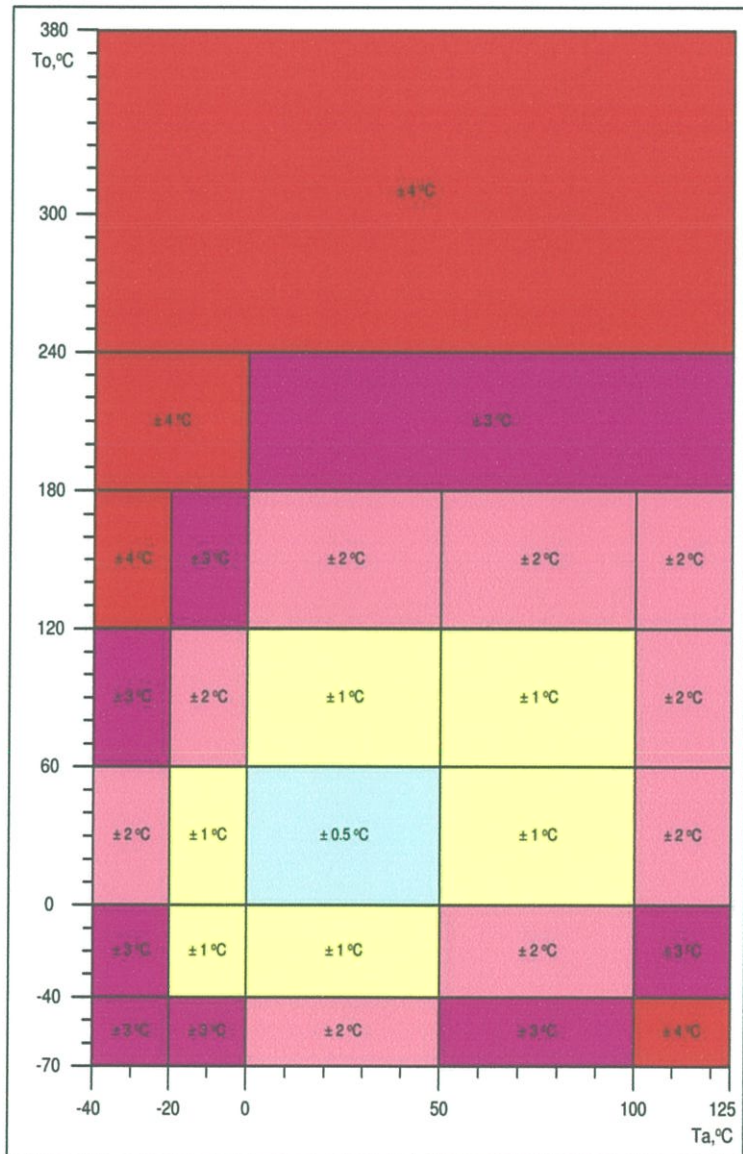


Figure 17: Preliminary accuracy of MLX90601AAA (Ta, To)

All accuracy specifications apply under settled isothermal conditions only.



## MLX90614 family

*Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer in TO-39*

A version of the MLX90614 with accuracy suited for medical applications is available upon request. The accuracy in the range  $T_a$  10°C - 40°C and  $T_o$  32°C - 42°C is shown in diagram below. The accuracy for the rest ranges is same as in previous diagram.

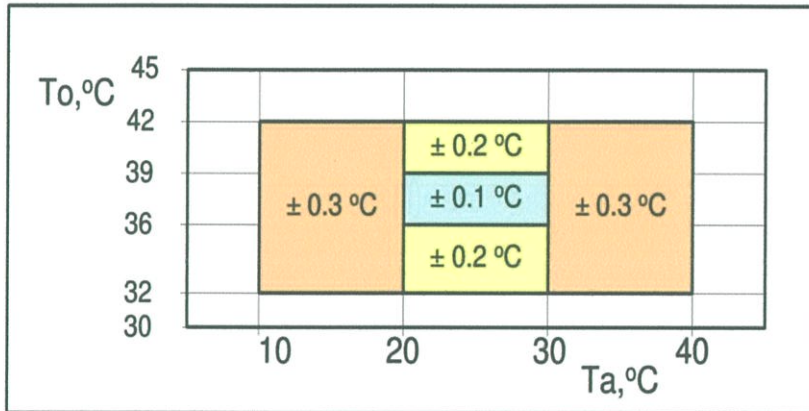


Figure 18: Preliminary accuracy of MLX90601BAA ( $T_a, T_o$ ) for medical applications.

## 9.2 Field Of View (FOV)

Field of view is determined at 50% thermopile signal and with respect to the sensor main axis.

Parameter	MLX90614xAA	MLX90614xAB	MLX90614xBA	MLX90614xBB
Peak zone 1	$\pm 0^\circ$	$\pm 0$	$-25^\circ$	$-30^\circ$
Width zone 1	$72^\circ$	$80^\circ$	$70^\circ$	$70^\circ$
Peak zone 2	Not applicable		$-25^\circ$	$+30^\circ$
Width zone 2			$70^\circ$	$70^\circ$

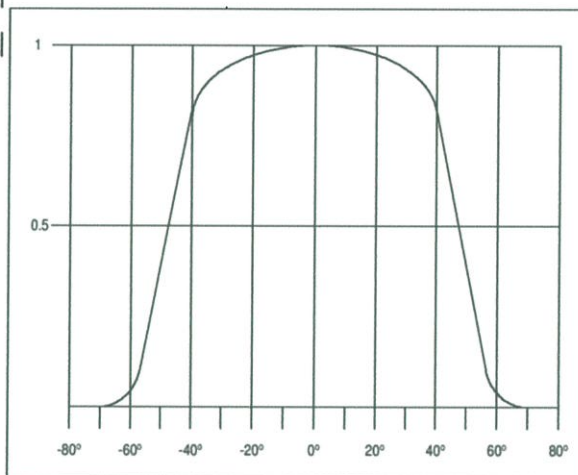


Figure 19: FOV of MLX90614xAA

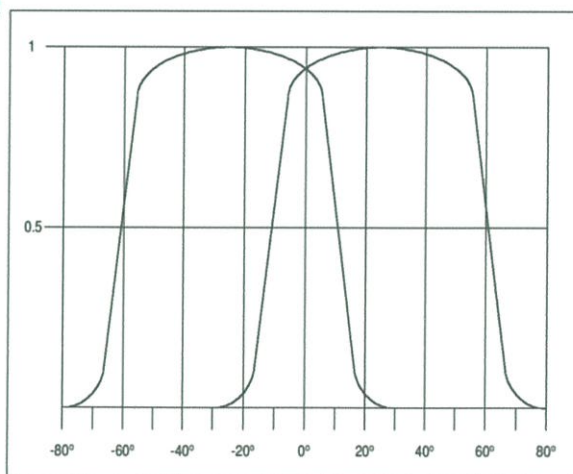


Figure 20: FOV of MLX90614xBA



Figure 21: identification of zone 1&2 relative to alignment tab.

## 10 Applications Information

### 10.1 Use of the MLX90614 thermometer in SMBus configuration

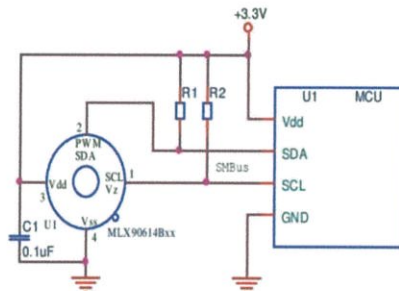


Figure 22: Connection of MLX90614 to SMBus, 3.3V power supply.

The MLX90614 has diode clamps SDA/SCL to Vdd so it is necessary to provide MLX90614 with power in order not to load the SMBus lines.

### 10.2 Use of multiple MLX90614s in SMBus configuration

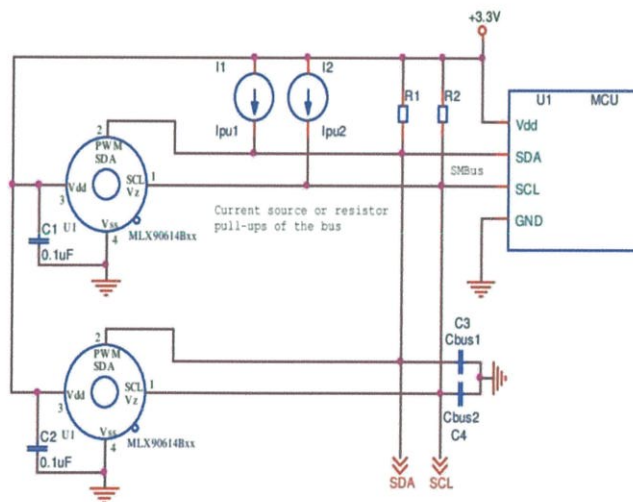


Figure 23: SMBus configuration of multiple sensors.

The MLX90614 supports a 7-bit slave address in EEPROM, thus allowing up to 127 devices to be read via two common wires. With the MLX90614BBx this results in 254 object temperatures measured remotely and an additional 127 ambient temperatures which are also available. Current source pull-ups may be preferred with higher capacitive loading on the bus (C3 and C4 represent the lines' parasitics), while simple resistive pull-ups provide the obvious low cost advantage.

### 10.3 Thermal alert / thermostat

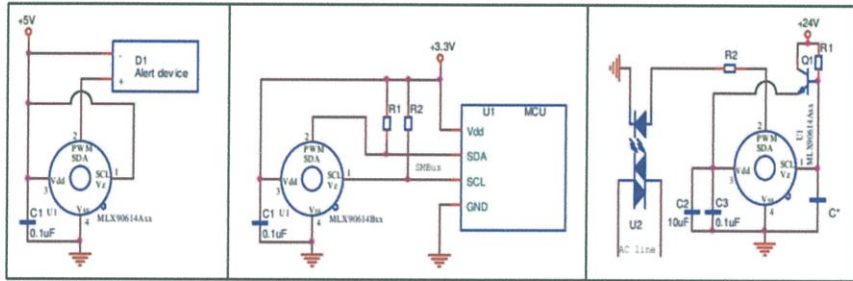


figure 24: Possible thermal relay configurations.

The MLX90614 can be configured in EEPROM to operate as a thermal relay. A non contact freezing or boiling prevention with 1 mA quiescent current can be built with two components only – the MLX90614 and a capacitor. The PWM/SDA pin can be programmed as a push-pull or open drain NMOS, which can trigger external device, such as a relay (refer to electrical specifications for load capability), buzzer, RF transmitter or a LED. This feature allows very simple thermostats to be built without the need of any MCU and zero design overhead required for firmware development. In conjunction with a MCU, this function can operate as a system alert that wakes up the MCU. Both object temperature and sensor die temperature can be also read in this configuration.

### 10.4 High voltage source operation

As a standard, the module MLX90614xx works with a supply voltage of 5V. In addition, thanks to the integrated internal reference regulator available at pin SCL/Vz, this module can easily be powered from higher voltage source (like VDD=8...16V). Only a few external components as depicted in the diagram below are required to achieve this.

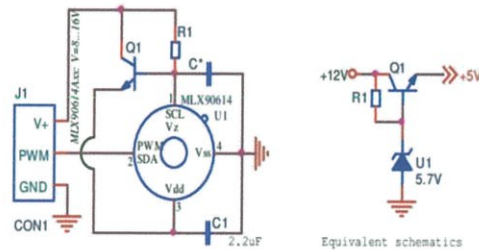


Figure 25: 12V regulator implementation

With the second (synthesized zener diode) function of the SCL/Vz pin used the 2-wire interface function is available only if the voltage regulator is overdriven (5V regulated power is forced to Vdd pin). When the zener diode function of the SCL/Vz pin is used, the 2-wire SMBus function is only available if the voltage regulator is overdriven (5V regulated power is forced to the VDD pin).



## MLX90614 family

*Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer in TO-39*

### 11 Application Comments

Significant **contamination** at the optical input side (sensor filter) might cause unknown additional filtering/distortion of the optical signal and therefore result in unspecified errors.

IR sensors are inherently susceptible to errors caused by **thermal gradients**. There are physical reasons for that phenomena and, in spite of the careful design of the MLX90614xxx, it is recommended not to subject the MLX90614 to heat transfer and especially transient conditions.

Upon **power-up** the MLX90614 passes embedded checking and calibration routines. During these routines the output is not defined and it is recommended to wait for the specified POR time before reading the module. Very slow power-up may cause the embedded POR circuitry trigger on inappropriate levels, resulting in unspecified operation and is not recommended.

The MLX90614xxx is designed and calibrated to operate as a non contact thermometer in **settled conditions**. Using the module in very different way will result in unknown results.

**Capacitive loading on a SMBus** can degrade the communication. Some improvement is possible with use of current sources compared to resistors in pull-up circuitry. Further improvement is possible with specialized commercially available bus accelerators. With the MLX90614xxx additional improvement is possible with increasing the pull-up current (decreasing the pull-up resistor values). Input levels for SMBus compatible mode have higher overall tolerance than the SMBus specification, but the output low level is rather low even with the high-power SMBus specification for pull-up currents. Another option might be to go for a slower communication (clock speed), as the MLX90614xxx implements Schmidt triggers on its inputs in SMBus compatible mode and is therefore not really sensitive to rise time of the bus (it is more likely the rise time to be an issue than the fall time, as far as the SMBus systems are open drain with pull-up).

For **ESD protection** there are clamp diodes between the Vss and Vdd and each of the other pins. This means that the MLX90614 might draw current from a bus in case the SCL and/or SDA is connected and the Vdd is lower than the bus pull-ups' voltage.

In **12V powered systems SMBus usage is constrained** because the SCL pin is used for the zener diode function. Therefore, higher than 5V applications are likely to use PWM output or external regulator. Nevertheless, in the 12V powered applications MLX90614 can be programmed (configured and customized) by forcing the Vdd to 5V externally and running the SMBus communication.

**Sleep** mode is available in MLX90614Bxx. This mode is entered and exited via the SMBus compatible 2-wire communication. On the other hand, the extended functionality of the SCL pin yields in increased leakage current through that pin. As a result, this pin needs to be forced low in power-down mode and the pull-up on the SCL line needs to be disabled in order to keep the overall power drain in power-down really small.

The **PWM pin is not designed for direct drive of inductive loads** (such as electro-magnetic relays). Some driver needs to be implemented for higher load, and auxiliary protection might be necessary even for light but inductive loading.

It is possible to use the MLX90614xxx in applications, powered directly from the AC line (transformerless). In such cases it is very important not to forget that **the metal package of the sensor is not isolated** and therefore may occur to be connected to that line, too. Melexis can not be responsible for any application like this and highly recommends not to use the MLX90614xxx in that way.

Power dissipation within the package may affect performance in two ways: by heating the "ambient" sensitive element significantly beyond the actual ambient temperature, as well as by causing gradients over the package that will inherently cause thermal gradient over the cap. Loading the outputs also causes increased power dissipation. In case of using the MLX90614Axx internal zener voltage feature, the regulating external transistor should also not cause heating of the TO39 package.



## MLX90614 family

*Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer in TO-39*

**High capacitive load on a PWM line** will result in significant charging currents from the power supply, bypassing the capacitor and therefore causing EMC, noise, level degradation and power dissipation problems. A simple option is adding a series resistor between the PWM/SDA pin and the capacitive loaded line, in which case timing specifications have to be carefully reviewed. For example, with a PWM output that is set to 1.024 ms and the output format that is 11 bit, the time step is 0.5  $\mu$ s and a settling time of 2  $\mu$ s would introduce a 4 LSBs error.

Check [www.melexis.com](http://www.melexis.com) for most current application notes about MLX90614.

Standard information regarding manufacturability of Melexis products with different soldering processes. Our products are classified and qualified regarding soldering technology, solderability and moisture sensitivity level according to following test methods:

#### **Reflow Soldering SMD's (Surface Mount Devices)**

- IPC/JEDEC J-STD-020  
Moisture/Reflow Sensitivity Classification for Nonhermetic Solid State Surface Mount Devices (classification reflow profiles according to table 5-2)
- EIA/JEDEC JESD22-A113  
Preconditioning of Nonhermetic Surface Mount Devices Prior to Reliability Testing (reflow profiles according to table 2)

#### **Wave Soldering SMD's (Surface Mount Devices) and THD's (Through Hole Devices)**

- EN60749-20  
Resistance of plastic- encapsulated SMD's to combined effect of moisture and soldering heat
- EIA/JEDEC JESD22-B106 and EN60749-15  
Resistance to soldering temperature for through-hole mounted devices

#### **Iron Soldering THD's (Through Hole Devices)**

- EN60749-15  
Resistance to soldering temperature for through-hole mounted devices

#### **Solderability SMD's (Surface Mount Devices) and THD's (Through Hole Devices)**

- EIA/JEDEC JESD22-B102 and EN60749-21  
Solderability

For all soldering technologies deviating from above mentioned standard conditions (regarding peak temperature, temperature gradient, temperature profile etc) additional classification and qualification tests have to be agreed upon with Melexis.

The application of Wave Soldering for SMD's is allowed only after consulting Melexis regarding assurance of adhesive strength between device and board.

Melexis is contributing to global environmental conservation by promoting **lead free** solutions. For more information on qualifications of **RoHS** compliant products (RoHS = European directive on the Restriction Of the use of certain Hazardous Substances) please visit the quality page on our website:

<http://www.melexis.com/quality.asp>

**The MLX90614 is RoHS compliant**



## MLX90614 family

Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer in TO-39

### 12 ESD Precautions

Electronic semiconductor products are sensitive to Electro Static Discharge (ESD). Always observe Electro Static Discharge control procedures whenever handling semiconductor products.

### 13 FAQ

#### When I measure aluminium and plastic parts settled at the same conditions I get significant errors on aluminium. Why?

Different materials have different emissivity. A typical value for aluminium (roughly polished) is 0.18 and for plastics values of 0.84...0.95 are typical. IR thermometers use the radiation flux between the sensitive element in the sensor and the object of interest, given by the equation

$$q = \varepsilon_1 \cdot \alpha_1 \cdot (T_1^4) \cdot \sigma \cdot A_1 \cdot F_{a-b} - \varepsilon_2 \cdot (T_2^4) \cdot \sigma \cdot A_2,$$

where

$\varepsilon_1$  and  $\varepsilon_2$  are the emissivities of the two objects,  
 $\alpha_1$  is the absorptivity of the sensor (in this case),  
 $\sigma$  is the Stefan-Boltzmann constant,  
 $A_1$  and  $A_2$  are the surface areas involved in the radiation heat transfer,  
 $F_{a-b}$  is the shape factor,

$T_1$  and  $T_2$  are known temperature of the sensor die (measured with specially integrated and calibrated element) and the object temperature that we need.

Note that these are all in Kelvin, heat exchange knows only physics.

When a body with low emissivity (such as aluminium) is involved in this heat transfer, the portion of the radiation incident to the sensor element that really comes from the object of interest decreases – and the reflected environmental IR emissions take place. (This is all for bodies with zero transparency in the IR band.) The IR thermometer is calibrated to stay within specified accuracy – but it has no way to separate the incoming IR radiation into real object and reflected environmental part. Therefore, measuring objects with low emissivity is a very sophisticated issue and infra-red measurements of such materials is a specialised field. What can be done to solve that problem? Look at paintings – for example, oil paints are likely to have emissivity of 0.85...0.95 – but keep in mind that the stability of the paint emissivity has inevitable impact on measurements.

It is also a good point to keep in mind that not everything that looks black is "black" also for IR. For example, even heavily oxidized aluminium has still emissivity as low as 0.30.

How high is enough? Not an easy question – but, in all cases the closer you need to get to the real object temperature the higher the needed emissivity will be, of course.

With the real life emissivity values the environmental IR comes into play via the reflectivity of the object (the sum of Emissivity, Reflectivity and Absorptivity gives 1.00 for any material). The larger the difference between environmental and object temperature is at given reflectivity (with an opaque for IR material reflectivity equals 1.00 minus emissivity) the bigger errors it produces.

#### After I put the MLX90614 in the dashboard I start getting errors larger than specified in spite that the module was working properly before that. Why?

Any object present in the FOV of the module provides IR signal. It is actually possible to introduce error in the measurements if the module is attached to the dashboard with an opening that enters the FOV. In that case portion of the dashboard opening will introduce IR signal in conjunction with constraining the effective FOV and thus compromising specified accuracy. Relevant opening that takes in account the FOV is a must for accurate measurements. Note that the basic FOV specification takes 50% of IR signal as threshold (in order to define the area, where the measurements are relevant), while the entire FOV at lower level is capable of introducing lateral IR signal under many conditions.



## MLX90614 family

*Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer in TO-39*

**When a hot (cold) air stream hits my MLX90614 some error adds to the measured temperature I read. What is it?**

IR sensors are inherently sensitive to difference in temperatures between the sensitive element and everything incident to that element. As a matter of fact, this element is not the sensor package, but the sensor die inside. Therefore, a thermal gradient over the sensor package will inevitably result in additional IR flux between the sensor package and the sensor die. This is real optical signal that can not be segregated from the target IR signal and will add errors to the measured temperature.

Thermal gradients with impact of that kind are likely to appear during transient conditions. The sensor used is developed with care about sensitivity to this kind of lateral phenomena, but their nature demands some care when choosing place to use the MLX90614 in order to make them negligible.

**I measure human body temperature and I often get measurements that significantly differ from the +37 °C I expect.**

IR measurements are true surface temperature measurements. In many applications this means that the actual temperature measured by an IR thermometer will be temperature of the clothing and not the skin temperature. Emissivity (explained first in this section) is another issue with clothes that has to be considered. There is also the simple chance that the measured temperature is adequate – for example, in a cold winter human hand can appear at temperatures not too close to the well known +37°C.

**I consider using MLX90614AAA to measure temperature within car compartment, but I am embarrassed about the Sun light that may hit the module. Is it a significant issue?**

Special care is taken to cut off the visible light spectra as well as the NIR (near IR) before it reaches the sensitive sensor die. Even more, the glass (in most cases) is not transparent to the IR radiation used by the MLX90614. Glass has temperature and really high emissivity in most cases – it is “black” for IR of interest. Overall, Sun behind a window is most likely to introduce relatively small errors. Why is it not completely eliminated after all? Even visible light partially absorbed in the filter of the sensor has some heating potential – and there is no way that the sensor die will be “blind” for that heating right in front of it.



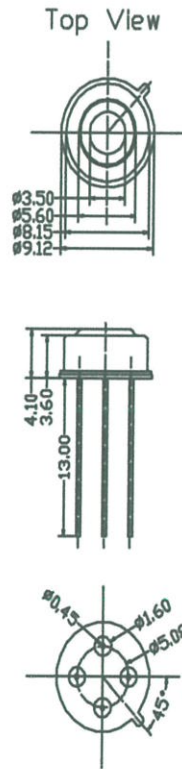
## MLX90614 family

Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer in TO-39

### 14 Package Information

The MLX90614 is packaged in an industry standard TO-39 can.

MLX90614xxA



MLX90614xxB

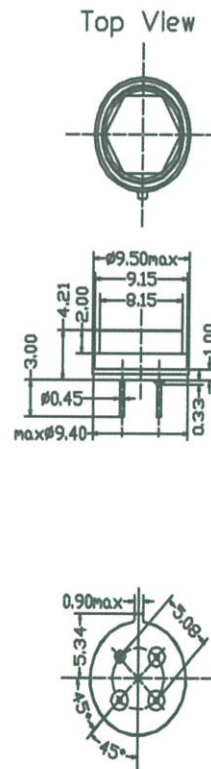


Figure 26: Packaging options



## MLX90614 family

*Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer in TO-39*

### 15 References

[1] **System Management Bus (SMBus) Specification** Version 2.0 August 3, 2000  
SBS Implementers Forum Copyright . 1994, 1995, 1998, 2000  
Duracell, Inc., Energizer Power Systems, Inc., Fujitsu, Ltd., Intel Corporation, Linear Technology Inc., Maxim Integrated Products, Mitsubishi Electric Semiconductor Company, PowerSmart, Inc., Toshiba Battery Co. Ltd., Unitrode Corporation, USAR Systems, Inc.

### 16 Disclaimer

Devices sold by Melexis are covered by the warranty and patent indemnification provisions appearing in its Term of Sale. Melexis makes no warranty, express, statutory, implied, or by description regarding the information set forth herein or regarding the freedom of the described devices from patent infringement. Melexis reserves the right to change specifications and prices at any time and without notice. Therefore, prior to designing this product into a system, it is necessary to check with Melexis for current information. This product is intended for use in normal commercial applications. Applications requiring extended temperature range, unusual environmental requirements, or high reliability applications, such as military, medical life-support or life-sustaining equipment are specifically not recommended without additional processing by Melexis for each application.

The information furnished by Melexis is believed to be correct and accurate. However, Melexis shall not be liable to recipient or any third party for any damages, including but not limited to personal injury, property damage, loss of profits, loss of use, interrupt of business or indirect, special incidental or consequential damages, of any kind, in connection with or arising out of the furnishing, performance or use of the technical data herein. No obligation or liability to recipient or any third party shall arise or flow out of Melexis' rendering of technical or other services.

© 2006 Melexis NV. All rights reserved.

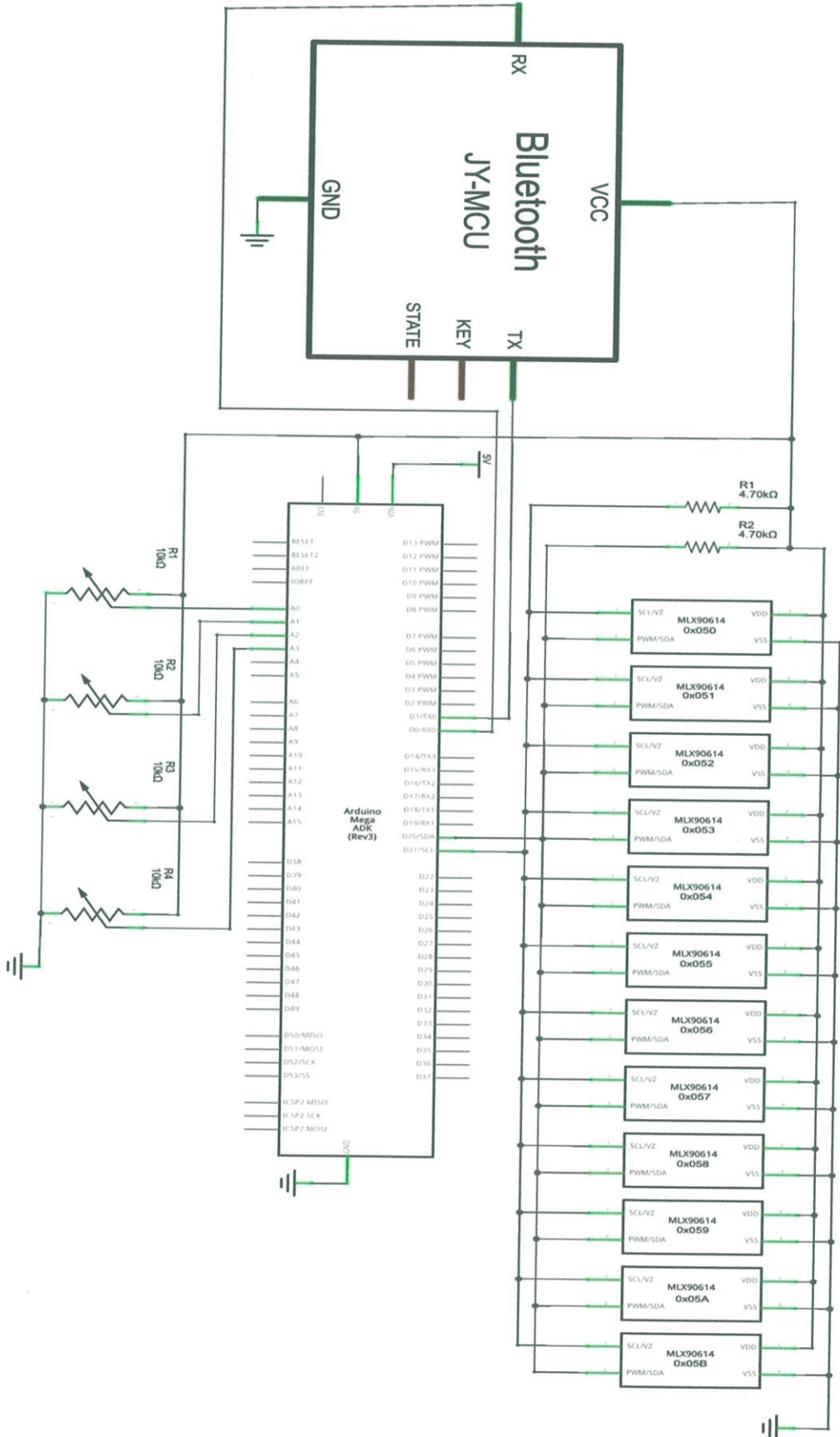
For the latest version of this document, go to our website at  
[www.melexis.com](http://www.melexis.com)

Or for additional information contact Melexis Direct:

Europe, Africa, Asia:	America:
Phone: +32 1367 0495	Phone: +1 603 223 2362
E-mail: <a href="mailto:sales_europe@melexis.com">sales_europe@melexis.com</a>	E-mail: <a href="mailto:sales_usa@melexis.com">sales_usa@melexis.com</a>

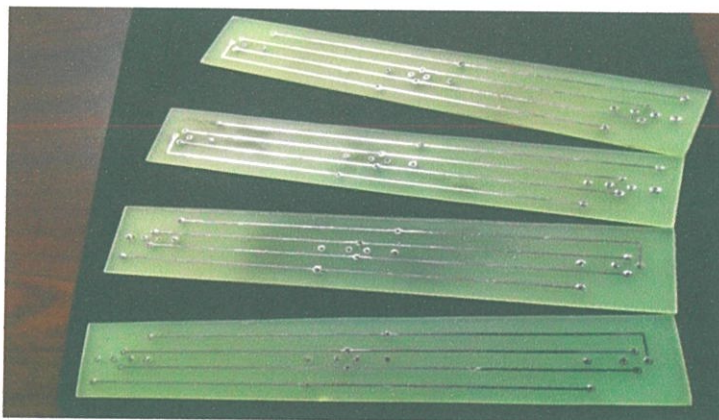
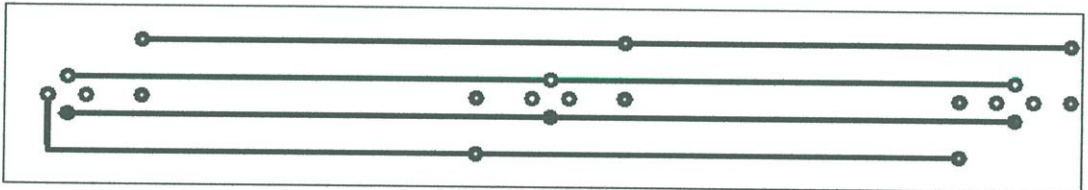
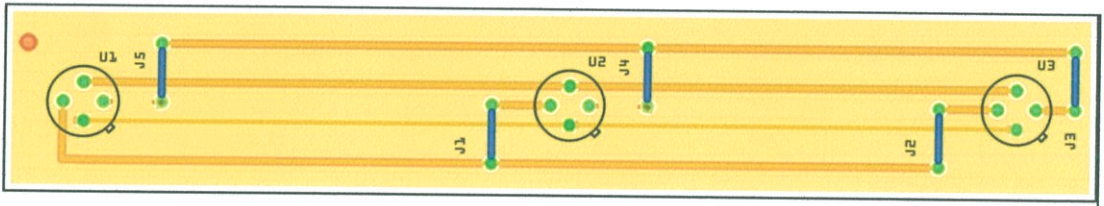
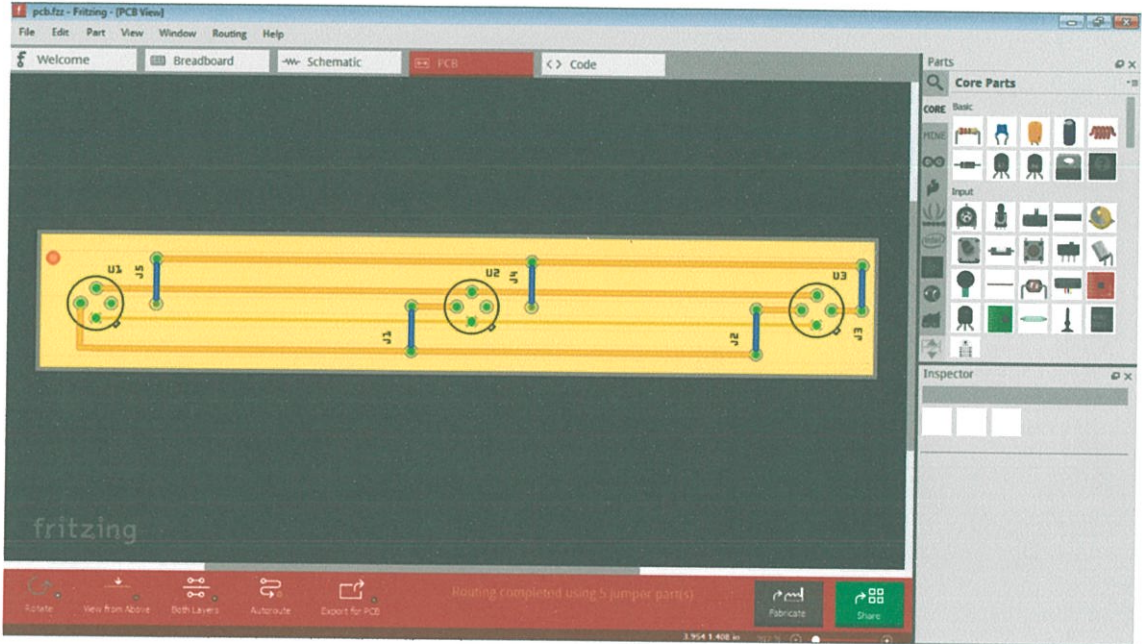
ISO/TS 16949 and ISO14001 Certified

## ภาคผนวก ข Circuit Diagram



# ภาคผนวก ค

## วงจร PCB



## ภาคผนวก ง

### โปรแกรมการทำงาน

#### ง.1 โปรแกรมส่วนประกาศตัวแปร

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_MLX90614.h>

Adafruit_MLX90614 mlx_1 = Adafruit_MLX90614(0x50); // default address is 0x5A
Adafruit_MLX90614 mlx_2 = Adafruit_MLX90614(0x51);
Adafruit_MLX90614 mlx_3 = Adafruit_MLX90614(0x5E);
Adafruit_MLX90614 mlx_4 = Adafruit_MLX90614(0x53);
Adafruit_MLX90614 mlx_5 = Adafruit_MLX90614(0x54);
Adafruit_MLX90614 mlx_6 = Adafruit_MLX90614(0x55);
Adafruit_MLX90614 mlx_7 = Adafruit_MLX90614(0x57);
Adafruit_MLX90614 mlx_8 = Adafruit_MLX90614(0x58);
Adafruit_MLX90614 mlx_9 = Adafruit_MLX90614(0x59);
Adafruit_MLX90614 mlx_10 = Adafruit_MLX90614(0x5A);
Adafruit_MLX90614 mlx_11 = Adafruit_MLX90614(0x5C);
Adafruit_MLX90614 mlx_12 = Adafruit_MLX90614(0x5D);

int sensorValue = 0; // variable to store the value coming from the sensor
int sensorPin1 = A0; // select the input pin for the potentiometer
int sensorPin2 = A1; // select the input pin for the potentiometer
int sensorPin3 = A2; // select the input pin for the potentiometer
int sensorPin4 = A3; // select the input pin for the potentiometer

float val1,val2,val3,val4,cal1,cal2,cal3,cal4,buff1,buff2,buff3,buff4,offset=0;

char buff[64];
String imu;
```

#### ง.2 โปรแกรมส่วนการทำงาน

```
void setup()
{
  Wire.begin();
  Serial.begin(57600);
  Serial3.begin(57600);
  // mlx_1.begin();
```

```
// mlx_2.begin();
// mlx_3.begin();
// mlx_4.begin();
// mlx_5.begin();
// mlx_6.begin();
// mlx_7.begin();
// mlx_8.begin();
// mlx_9.begin();
// mlx_10.begin();
// mlx_11.begin();
// mlx_12.begin();
  // Serial.println(analogRead(sensorPin));
  float val1 = analogRead(sensorPin1);
  val1 = map(val1, 0, 1023, 0, 6000)/100.00;
  buff1 = val1;

  // Serial.println(analogRead(sensorPin));
  float val2 = analogRead(sensorPin2);
  val2 = map(val2, 0, 1023, 0, 6000)/100.00;
  buff2 = val2;

  // Serial.println(analogRead(sensorPin));
  float val3 = analogRead(sensorPin3);
  val3 = map(val3, 0, 1023, 0, 10230)/100.00;
  buff3 = val3;

  // Serial.println(analogRead(sensorPin));
  float val4 = analogRead(sensorPin4);
  val4 = map(val4, 0, 1023, 0, 10230)/100.00;
  buff4 = val4;
}
void loop()
{
  Serial.print(mlx_1.readObjectTempC());
  Serial.print(',');
  Serial.print(mlx_2.readObjectTempC());
  Serial.print(',');
  Serial.print(mlx_3.readObjectTempC());
```

```
Serial.print(',');
Serial.print(mlx_4.readObjectTempC());
Serial.print(',');
Serial.print(mlx_5.readObjectTempC());
Serial.print(',');
Serial.print(mlx_6.readObjectTempC());
Serial.print(',');
Serial.print(mlx_9.readObjectTempC());
Serial.print(',');
Serial.print(mlx_8.readObjectTempC());
Serial.print(',');
Serial.print(mlx_7.readObjectTempC());
Serial.print(',');
Serial.print(mlx_10.readObjectTempC());
Serial.print(',');
Serial.print(mlx_11.readObjectTempC());
Serial.print(',');
Serial.print(mlx_12.readObjectTempC());
Serial.print(',');
val1 = analogRead(sensorPin1);
val1 = map(val1, 0, 1023, 0, 10230)/100.00;
cal1 = (val1 - buff1);
Serial.print(cal1);
Serial.print(',');
val2 = analogRead(sensorPin2);
val2 = map(val2, 0, 1023, 0, 10230)/100.00;
cal2 = (val2 - buff2) ;
Serial.print(cal2);
Serial.print(',');
val3 = analogRead(sensorPin3);
val3 = map(val3, 0, 1023, 0, 6000)/100.00;
cal3 = (val3 - buff3) ;
Serial.print(cal3);
Serial.print(',');
val4 = analogRead(sensorPin4);
val4 = map(val4, 0, 1023, 0, 6000)/100.00;
cal4 = (val4 - buff4) ;
Serial.print(cal4);
```

```
Serial.print(',');

if(Serial3.available()){
  for(int i=0;i<64;i++)
  {
    buff[i]= '\0';
  }
  Serial3.readBytesUntil('\n',buff,62);
  Serial.println(buff);
}
}
```

## ภาคผนวก จ

### โปรแกรมการแสดงผล

#### จ.1 โปรแกรมส่วนประกาศตัวแปร

```
import processing.serial.*;

PrintWriter output;

PFont f;

Serial port;

String val = "";

String[] data;

float roll,pitch,yaw,ax,ay,az;

float gravity =9.81;

float pax,pay;

float yawCalib=0;

float str1,str2,str3,str4;

String logdir;
```

#### จ.2 โปรแกรมส่วนการทำงาน

```
void setup(){
  port = new Serial(this, "COM7", 57600);
  f = createFont("Georgia", 20);
  textFont(f);
  textAlign(CENTER, CENTER);
  size(1000,680);
  data = new String[16];
  logdir = "Log-"+day()+"-"+month()+"_" +hour()+"-"+minute()+".csv";
  output = createWriter(logdir);
}

void draw()
{
```

```

if ( port.available() > 1) { // If data is available,
    val = port.readStringUntil('\n');    // read it and store it in val

    if(val != null){
        data = split(val,'#');
        val = data[0];
        data = split(val,',');
        if(data.length == 23){
//    println(data);
            output.println(val);
        }
    }
}
//println(data.length);

if(data.length == 23){
background (64);
stroke(255);
fill(51);
rectMode(CORNER);
rect(2,7,50,300);
rectMode(CORNER);
rect(2,370,50,300);
rectMode(CORNER);
rect(948,7,50,300);
rectMode(CORNER);
rect(948,370,50,300);
ellipseMode(CENTER);
ellipse(500,340,250,250);
rectMode(CENTER);
rect(220,220,250,125);
rectMode(CENTER);
rect(780,220,250,125);
rectMode(CENTER);
rect(220,580,250,125);
rectMode(CENTER);
rect(780,580,250,125);
rectMode(CENTER);

```

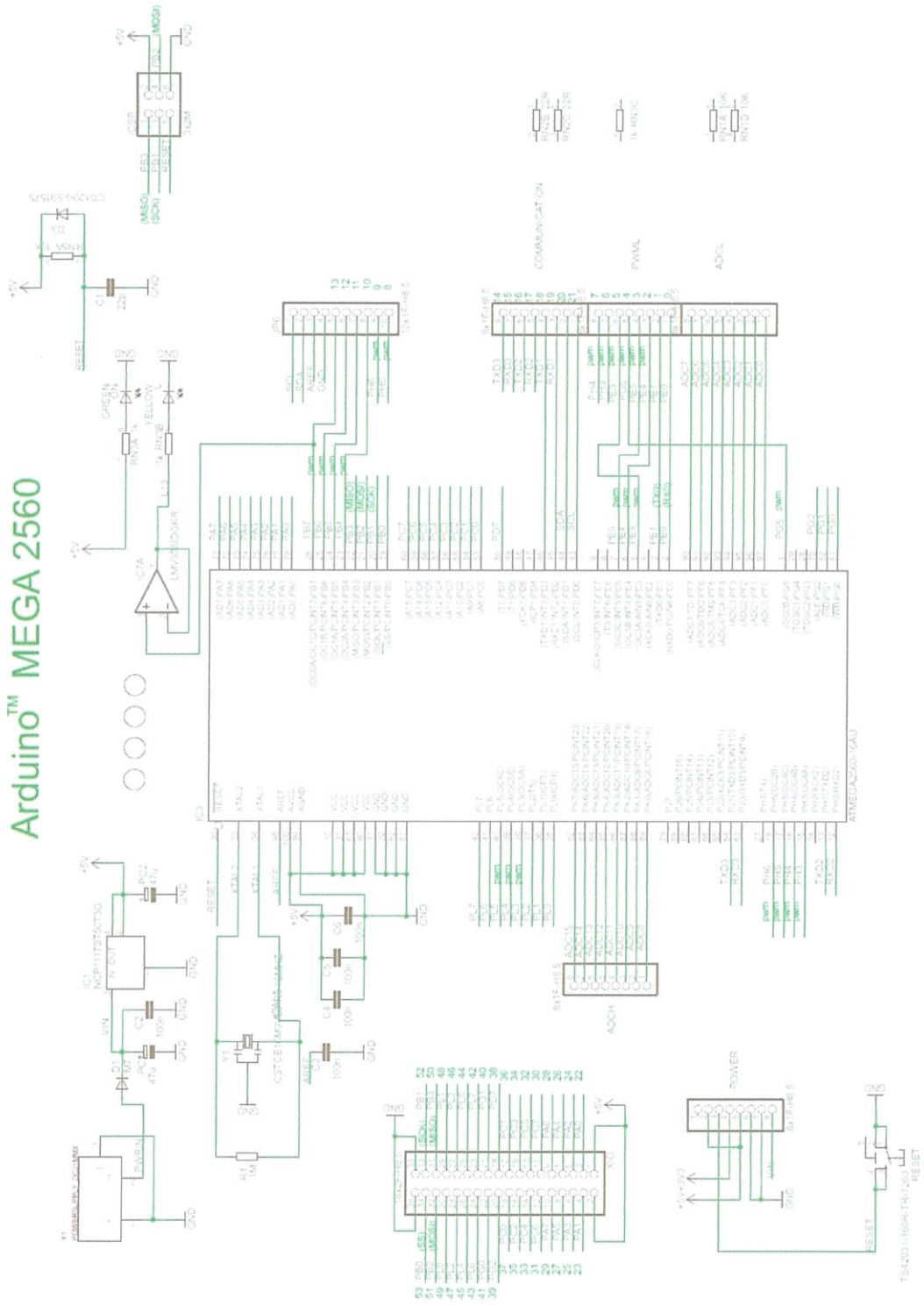
```
rect(220,100,70,70);
rectMode(CENTER);
rect(130,100,70,70);
rectMode(CENTER);
rect(310,100,70,70);
rectMode(CENTER);
rect(780,100,70,70);
rectMode(CENTER);
rect(690,100,70,70);
rectMode(CENTER);
rect(870,100,70,70);
rectMode(CENTER);
rect(220,460,70,70);
rectMode(CENTER);
rect(130,460,70,70);
rectMode(CENTER);
rect(310,460,70,70);
rectMode(CENTER);
rect(780,460,70,70);
rectMode(CENTER);
rect(690,460,70,70);
rectMode(CENTER);
rect(870,460,70,70);
fill(255);
str1=float(data[12]);
rectMode(CORNER);
rect(2,157,50,-(str1*300/60));
str2=float(data[13]);
rectMode(CORNER);
rect(948,157,50,-(str2*300/60));
str3=float(data[14]);
rectMode(CORNER);
rect(2,520,50,-(str3*300/60));
str4=float(data[15]);
rectMode(CORNER);
rect(948,520,50,-(str4*300/60));

pushMatrix();
```

```
fill(64,255,64);
text(data[0], 130, 100);
text(data[1], 220, 100);
text(data[2], 310, 100);
text(data[3], 690, 100);
text(data[4], 780, 100);
text(data[5], 870, 100);
text(data[6], 130, 455);
text(data[7], 220, 455);
text(data[8], 310, 455);
text(data[9], 690, 455);
text(data[10], 780, 455);
text(data[11], 870, 455);
text(data[12], 25, 315);
text(data[13], 970, 315);
text(data[14], 25, 355);
text(data[15], 970, 355);
text("Front Left Tire",220,220);
text("Front Right Tire",780,220);
text("Rear Left Tire",220,580);
text("Rear Right Tire",780,580);
roll = float(data[17]);
pitch = float(data[18]);
yaw = float(data[19]);
ax = float(data[20]);
ay = float(data[21]);
az = float(data[22]);
ax*=gravity/255;
ay*=gravity/255;
az*=gravity/255;
ax=ax+gravity*(sin(pitch));
ay=ay-gravity*cos(pitch)*sin(roll);
az=az-gravity*cos(pitch)*cos(roll);
popMatrix();
pushMatrix();
translate(width/2,height/2);
pax=ax*250/20;
pay=ay*250/20;
```

```
stroke(255);  
strokeWeight(1);  
fill(64,220,220);  
rotate(yaw);  
triangle(-pay-10,pax+10,-pay+10,pax+10,-pay,pax-20);  
popMatrix();  
}  
}
```

# ภาคผนวก จ วงจรภายในของ Arduino MEGA 2560



## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ นายนิติพัฒน์ ลิสุวรรณกุล  
 วันเดือนปีเกิด 9 ตุลาคม พ.ศ. 1992  
 ที่อยู่ปัจจุบัน 42/482 ซอยเทศบาล 10 ถนนเพชรเกษม แขวงไร่ขิง เขตสามพราน นครปฐม 73210  
 เบอร์โทรศัพท์ (+66) 97-131-4468  
 E-mail holicspitter@gmail.com

### ประวัติการศึกษา

2008 - 2010 โรงเรียนบางประกอกวิทยา  
 สายวิทยาศาสตร์ - คณิตศาสตร์  
 2010 - 2014 หลักสูตรวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม  
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ชื่อ นายศิวรุจ จิรภิญโญภาส  
 วันเดือนปีเกิด 10 ธันวาคม พ.ศ. 1992  
 ที่อยู่ปัจจุบัน 119/11 ม.1 หมู่บ้านแกรนด์โฮมเพลส ต.เหมือง อ.เมือง จ.ชลบุรี 20130  
 เบอร์โทรศัพท์ (+66) 88-194-3903  
 E-mail shouhenshin@gmail.com , petong\_gundam@hotmail.com

#### ประวัติการศึกษา

2008 - 2010 โรงเรียนชลราษฎรอำรุง  
 สายวิทยาศาสตร์ - คณิตศาสตร์  
 2010 - 2014 หลักสูตรวิศวกรรมแม่คคาทรอนิกส์ สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม  
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง