

อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหวมนุษย์

Human Motion Detector Device



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหวมนุษย์

Human Motion Detector Device



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหวมนุษย์

Human Motion Detector Device



ปฏิญานินพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองวิชาโครงการ 2

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหวมนุษย์

Human Motion Detector Device

ผู้จัดทำ นายธีรเดช หลิมพันธุ์โชติ รหัสประจำตัว 58010593

นายปฏิภาณ ภัคทีบุรี รหัสประจำตัว 58010712

ปริญญาานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



(Handwritten signature)

(ดร.เทอดศักดิ์ ลีวาทอง)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาานิพนธ์	อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหวของมนุษย์
นักศึกษา	นายธีรเดช หลิมพันธุ์โชติ รหัสประจำตัว 58010593
	นายปฏิภาณ ภัคทีปური รหัสประจำตัว 58010712
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์	ดร.เทอดศักดิ์ ลีวาททอง

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์นี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหว เพื่อนำสัญญาณการเคลื่อนไหวมาวิเคราะห์ความผิดปกติต่างๆ ของร่างกายทุกช่วงอายุ โดยมีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนคือ 1) อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหว ประกอบด้วย เซนเซอร์ตรวจจับแรงเฉื่อย มี 2 ชนิดคือ Accelerometer 3 แกน ทำหน้าที่ตรวจจับความเร่ง และ Gyroscope 3 แกน ทำหน้าที่ตรวจจับความเร็วเชิงมุม 2) Microcontroller ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับ, แปลงสัญญาณแบบอนาล็อกของเซนเซอร์ให้เป็นสัญญาณดิจิทัล และส่งสัญญาณการเคลื่อนไหวไปเก็บไว้ยัง Micro SD Card เมื่อต้องการนำสัญญาณการเคลื่อนไหวมาวิเคราะห์ สามารถเปิดดูข้อมูลสัญญาณการเคลื่อนไหวในรูปแบบของกราฟโดยคอมพิวเตอร์ 3) Software เพื่ออ่านข้อมูลสัญญาณการเคลื่อนไหวที่ตรวจจับได้ แสดงผลออกมาเป็นกราฟสัญญาณ 6 แกน โดยกราฟจะแสดงผลแตกต่างกันตามอริยาบถต่างๆ

Thesis Title	Human Motion Detector Device
Student	Mr. Teeradet Limpachot Student ID 58010593 Mr. Patiphan Phakdeeburi Student ID 58010712
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Electronics Engineering
Year	2018
Thesis Advisor	Dr.Thurdsak Leauhatong

Abstract

This project aims to study and design Human Motion Detector Devices For bringing motion signals to analyze abnormality of the body at all ages with three main components 1) Human Motion Detector Device consists of two types of inertial sensors: 3-axis Accelerometer that measures proper acceleration and 3-axis Gyroscope that measuring angular velocity. 2) Microcontroller control function of inertial sensors, signal transfer from analog to digital and sends the motion signal to the Micro SD Card. When the movement signal is used to perform the analysis motion data can be viewed by computer. 3) Software to read the captured motion signal data. Output to 6-axis signal graph, The graph will show different results according to various movements.

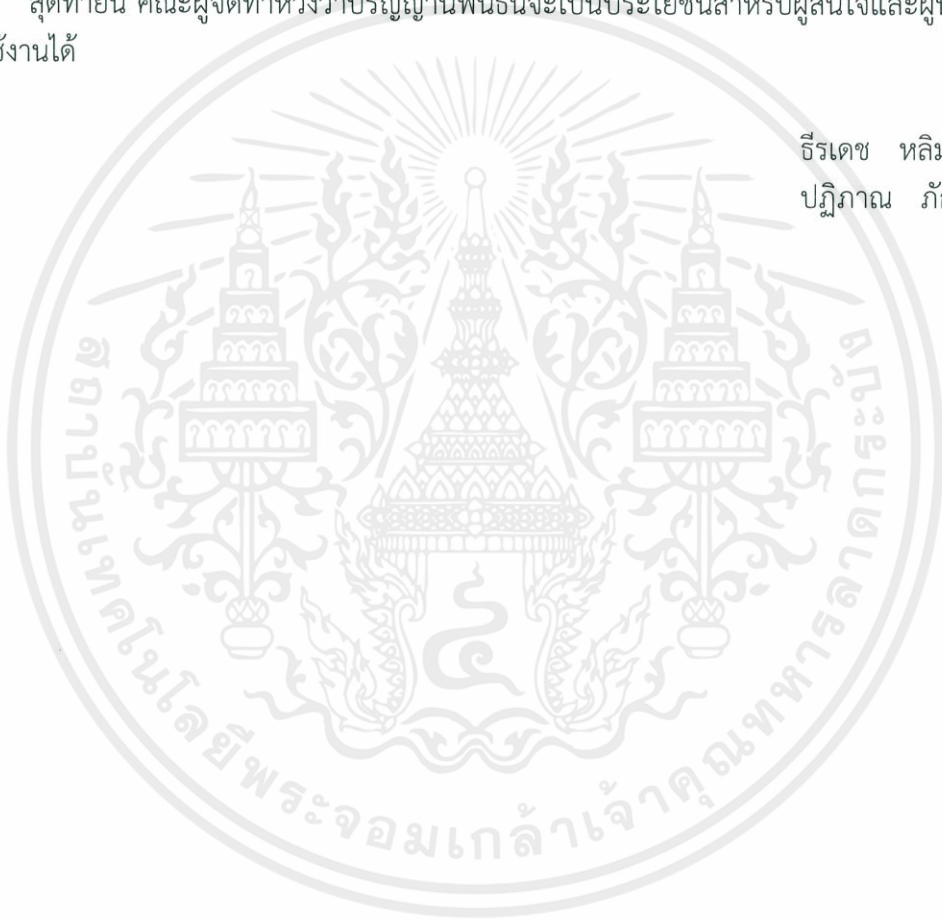
กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหวมนุษย์ สามารถบรรลุเป้าหมายได้ด้วยความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาจาก ดร.เทอดศักดิ์ ลีวหาทอง อาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยให้คำปรึกษาทางทฤษฎี รวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้ทำเครื่องตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหวมนุษย์นี้ คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณบิดาและมารดาของคณะผู้จัดทำที่คอยเป็นกำลังใจหลักและเป็นผู้สนับสนุนเงินทุนหลักในการดำเนินงาน ให้คำแนะนำ รวมทั้งช่วยกันในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำโครงการนี้ทั้งหมดทำให้ผลของโครงการสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำหวังว่าปริญญาานิพนธ์นี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจและผู้นำผลงานนี้ไปใช้งานได้

ธีรเดช หลิมพันธุ์โชติ
ปฏิภาณ ภัคตีบุรี



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	1
1.5 ระยะเวลาในการทำโครงการ.....	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	3
2.1 หลักการของเครื่องตรวจจับคนล้ม.....	4
2.1.1 เซนเซอร์ (Sensor).....	5
2.1.2 เอสดีการ์ด (SD Card).....	10
2.1.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	11
2.2 หลักการของคอมพิวเตอร์.....	12
บทที่ 3 วิธีการเลือกอุปกรณ์และการออกแบบ.....	13
3.1 วงจรรีขาระดับแรงดันไฟฟ้า.....	13
3.2 เซนเซอร์.....	14
3.3 วงจรอัดประจุไฟฟ้า.....	15
3.4 วงจรถ่ายโอนข้อมูลแบบ USB to UART.....	16
3.5 โมดูลหน่วยความจำ Micro SD Card Module.....	17
3.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	18
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	20
4.1 การทดสอบการทำงานและการเก็บข้อมูลของเซนเซอร์ลงใน Micro SD Card.....	21
4.1.1 ทดสอบการทำงานของ Accelerometer และ Gyroscope โดยใช้ Serial Monitor และ Serial Plotter ของโปรแกรม Arduino IDE.....	21
4.1.2 ทดสอบการเก็บข้อมูลสัญญาณการเคลื่อนไหวไปยัง Micro SD Card.....	22
4.2 การทดสอบการทำงานของ Accelerometer พร้อมกับแสดงกราฟทั้ง 3 แกน.....	24
4.3 การทดสอบการทำงานของ Gyroscope พร้อมกับแสดงกราฟทั้ง 3 แกน.....	26

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	28
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	28
5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	29
บรรณานุกรม.....	30
ภาคผนวก.....	32



สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

1.1 แสดงระยะเวลาในการทำโครงการ.....2



สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของระบบตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหว.....	3
2.2 โครงสร้างของเครื่องตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหว.....	4
2.3 หลักการทำงานของเซนเซอร์วัดความเร็ว.....	5
2.4 โครงสร้างของจีเซลล์.....	6
2.5 หลักการทำงานของจีเซลล์.....	6
2.6 หลักการทำงานภายในของเซนเซอร์ตรวจจับความเร็วเชิงมุม.....	7
2.7 โครงสร้างภายในของเซนเซอร์ตรวจจับความเร็วเชิงมุม.....	8
2.8 การเคลื่อนที่ของมวลภายในเซนเซอร์ตรวจจับความเร็วเชิงมุม.....	8
2.9 การทำงานของโครอิริสเซนฟิงเกอร์.....	9
2.10 หน่วยความจำเอสดีการ์ด.....	10
2.11 กระบวนการทำงานของ A to D Converter.....	11
2.12 หลักการทำงานของคอมพิวเตอร์.....	12
3.1 วงจรรวม AP2112.....	13
3.2 ลำดับขา AP2112.....	13
3.3 วงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า +3.3 V.....	13
3.4 เซนเซอร์วัดความเร็วและความเร็วเชิงมุม เบอร์ LSM9DS1.....	14
3.5 วงจรเซนเซอร์ LSM9DS1.....	14
3.6 วงจรรวม MCP73831.....	15
3.7 วงจรอัดประจุไฟฟ้า.....	15
3.8 วงจรรวมเบอร์ CP2102N.....	16
3.9 วงจรถ่ายข้อมูลแบบ USB to UART.....	16
3.10 Micro SD Card Module.....	17
3.11 การต่อวงจร Micro SD Card.....	17
3.12 ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ ESP32 Pico D4.....	18
3.13 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 Pico D4.....	19
4.1 ทิศทางของเซนเซอร์บนอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหวมนุษย์.....	20
4.2 การตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหวจาก Accelerometer และ Gyroscope โดย Serial Monitor ของ Arduino IDE.....	21
4.3 การตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหวจาก Accelerometer และ Gyroscope โดย Serial Plotter ของ Arduino IDE.....	21
4.4 เมื่อไม่ได้ติดตั้ง SD Card ในอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหว.....	22
4.5 เมื่อทำการติดตั้ง SD Card ลงในอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหว.....	22

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 ข้อมูลใน Micro SD Card ซึ่งอุปกรณ์ได้ทำการเก็บไว้.....	23
4.7 การรับข้อมูลจาก Accelerometer แกน X, แกน Y และ แกน Z.....	24
4.8 การรับข้อมูลจาก Accelerometer แกน X (สีน้ำเงิน), แกน Y (สีแดง) และ แกน Z (สีเขียว) แสดงเป็นกราฟการเคลื่อนไหว.....	24
4.9 ข้อมูล Accelerometer แกน X (สีน้ำเงิน), แกน Y (สีส้ม) และ แกน Z (สีเทา) ใน Micro SD Card ซึ่งอุปกรณ์ได้ทำการเก็บไว้.....	25
4.10 การรับข้อมูลจาก Gyroscope แกน X, แกน Y และ แกน Z.....	26
4.11 การรับข้อมูลจาก Gyroscope แกน X (สีน้ำเงิน), แกน Y (สีแดง) และ แกน Z (สีเขียว) แสดงเป็นกราฟการเคลื่อนไหว.....	26
4.12 ข้อมูล Gyroscope แกน X (สีส้ม), แกน Y (สีเหลือง) และ แกน Z (สีเขียว) ใน Micro SD Card ซึ่งอุปกรณ์ได้ทำการเก็บไว้.....	27



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การล้มเป็นสาเหตุหลักอย่างหนึ่งที่ทำให้คนสูงอายุได้รับบาดเจ็บ นอกจากจะส่งผลกระทบต่อทางด้านร่างกาย ยังสามารถส่งผลกระทบต่อจิตใจต่อผู้สูงอายุ และครอบครัวด้วยเช่นกัน ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุ ผลกระทบของการหกล้มต่อร่างกาย อาจนำไปสู่การบาดเจ็บ หมดสติ รวมไปถึงการเสียชีวิต การล้มเป็นอุบัติเหตุที่สามารถป้องกัน หรือหลีกเลี่ยงได้หากผู้สูงอายุ คนในครอบครัว หรือผู้ดูแลให้ความสนใจ เอาใจใส่แต่สำหรับคนที่ไม่มีเวลาพอที่จะดูแล อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหวจึงมีความสำคัญอย่างมากสำหรับการช่วยเหลือผู้สูงอายุได้ทันเวลาที่ในขณะที่เราไม่ได้อยู่ด้วยกันกับตัวผู้สูงอายุ

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อสร้างเครื่องตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหวที่สามารถนำข้อมูลสัญญาณการเคลื่อนไหวของผู้สูงอายุหรือผู้ป่วยมาทำการวิเคราะห์ประกอบกับข้อมูลทางกายภาพ เช่น ประวัติการล้มป่วย ประวัติการเกิดอุบัติเหตุ รวมทั้งประวัติการใช้ยา

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เครื่องตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหวจะตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหวในแต่ละอิริยาบถต่างๆ และเก็บข้อมูลสัญญาณการเคลื่อนไหวเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความผิดปกติของการเคลื่อนไหวของผู้สูงอายุที่อาจเป็นสาเหตุให้ผู้สูงอายุมีโอกาสที่จะมีการล้มเกิดขึ้นได้ในภายภาคหน้า การทราบข้อมูลโอกาสที่จะเกิดการล้มจะทำให้ญาติหรือผู้ใกล้ชิดสามารถเตรียมความพร้อมเตรียมการป้องกัน หรือเกิดการระมัดระวังให้มากขึ้นเพื่อไม่ให้ผู้สูงอายุเกิดการล้ม โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับการล้มดังกล่าว จะมีการติดตั้งเซนเซอร์วัดความเร่ง (Accelerometer) และ เซนเซอร์วัดความเร็วเชิงมุม (Gyroscope) ใช้ในการตรวจจับความเร่งและความเร็วเชิงมุมที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเคลื่อนไหว วิเคราะห์และควบคุมด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นจะนำสัญญาณที่ตรวจจับได้เก็บไว้ในอุปกรณ์หน่วยความจำ ซึ่งจะสามารถนำข้อมูลในอุปกรณ์หน่วยความจำนั้นมาแสดงและทำการวิเคราะห์ได้ในภายภาคหน้า

1.4 ขอบเขตการศึกษา

โครงการนี้จะทำการตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหว โดยอาศัยการตรวจจับของเซนเซอร์ประกอบไปด้วยเซนเซอร์ตรวจจับความเร่ง และเซนเซอร์ตรวจจับความเร็วเชิงมุม โดยการทดลองจะให้อาสาสมัครติดเครื่องตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหว ทำการเก็บข้อมูลโดยสมมติจากอิริยาบถต่างๆของอาสาสมัคร และนำข้อมูลที่เก็บได้มาทำการวิเคราะห์ในลักษณะของกราฟสัญญาณการเคลื่อนไหวบนโปรแกรมที่จัดทำขึ้น

1.5 ระยะเวลาในการทำโครงการ

ตั้งแต่วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2562 ถึง 22 เมษายน 2562

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาในการทำโครงการ

รายละเอียด	มกราคม 2562				กุมภาพันธ์ 2562				มีนาคม 2562				เมษายน 2562			
1.ได้รับโครงสร้างของงาน				↔												
2.จัดเตรียมอุปกรณ์และโปรแกรม				←				→								
3.โปรแกรมและทดสอบวงจร								←				→				
4.วิเคราะห์และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น								←				→				
5.สรุปผลโครงการ																↔
6.จัดทำรูปเล่ม																↔

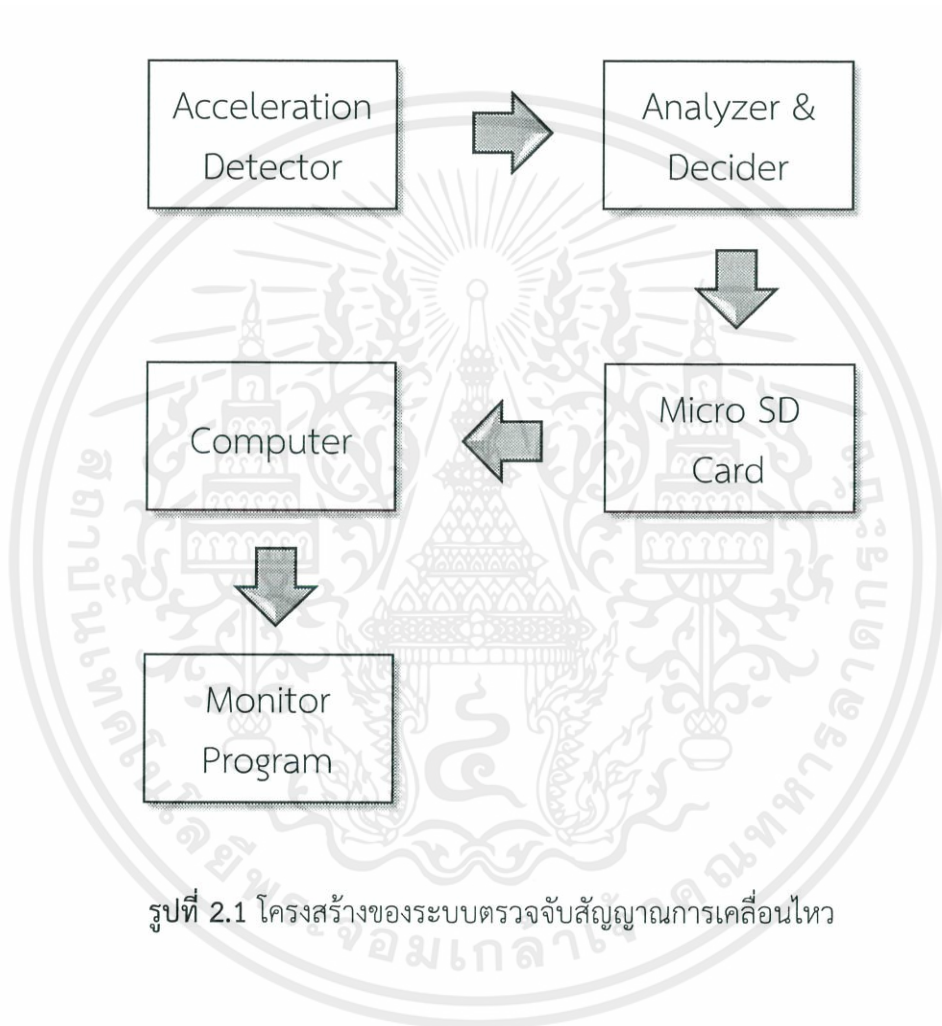
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหวมนุษย์สามารถตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหวในท่าทางอิริยาบถต่างๆ และเก็บสัญญาณนั้น ๆ ไว้ในหน่วยความจำเพื่อรวบรวมข้อมูลสัญญาณการเคลื่อนไหวของผู้สูงอายุ และนำสัญญาณนั้นมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ และสังเคราะห์ออกมาว่าสัญญาณแต่ละรูปแบบเป็นลักษณะเฉพาะของอาการป่วยแบบใดที่มีผลต่อการเคลื่อนไหว และโอกาสที่จะเกิดการล้มได้ในภายภาคหน้า

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

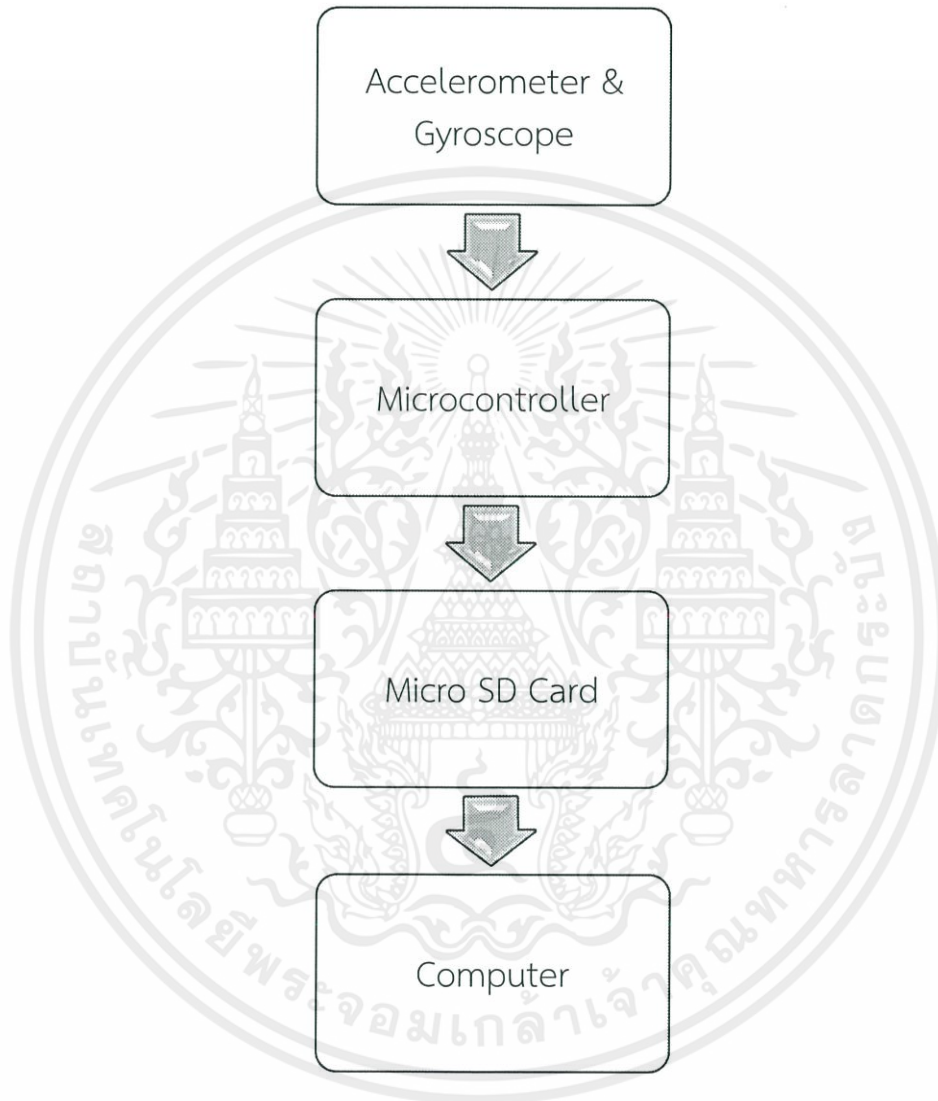
ระบบตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหวของมนุษย์ โดยแสดงดังรูปที่ 2.1 ประกอบด้วย ส่วนที่ทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหว ส่วนเก็บข้อมูลสัญญาณการเคลื่อนไหว โดยจะเก็บข้อมูลสัญญาณการเคลื่อนไหวนี้ไปยัง Micro SD Card เพื่อนำสัญญาณการเคลื่อนไหวของมนุษย์ ไปทำการวิเคราะห์ โดยใช้คอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของระบบตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหว

2.1 หลักการของเครื่องตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหว

โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหวโดยแสดงดังรูปที่ 2.2 ซึ่งภายในประกอบไปด้วยส่วนเซ็นเซอร์ความเร่งที่ใช้ในการตรวจจับความเร่งตามแนวแกนต่างๆ และความเร่งเชิงมุม ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาล็อกที่ได้จากเซ็นเซอร์ให้เป็นสัญญาณดิจิทัลและเก็บไว้ใน Micro SD Card จากนั้น จะเปิดดูข้อมูลสัญญาณการเคลื่อนไหวในรูปแบบของกราฟ โดยคอมพิวเตอร์

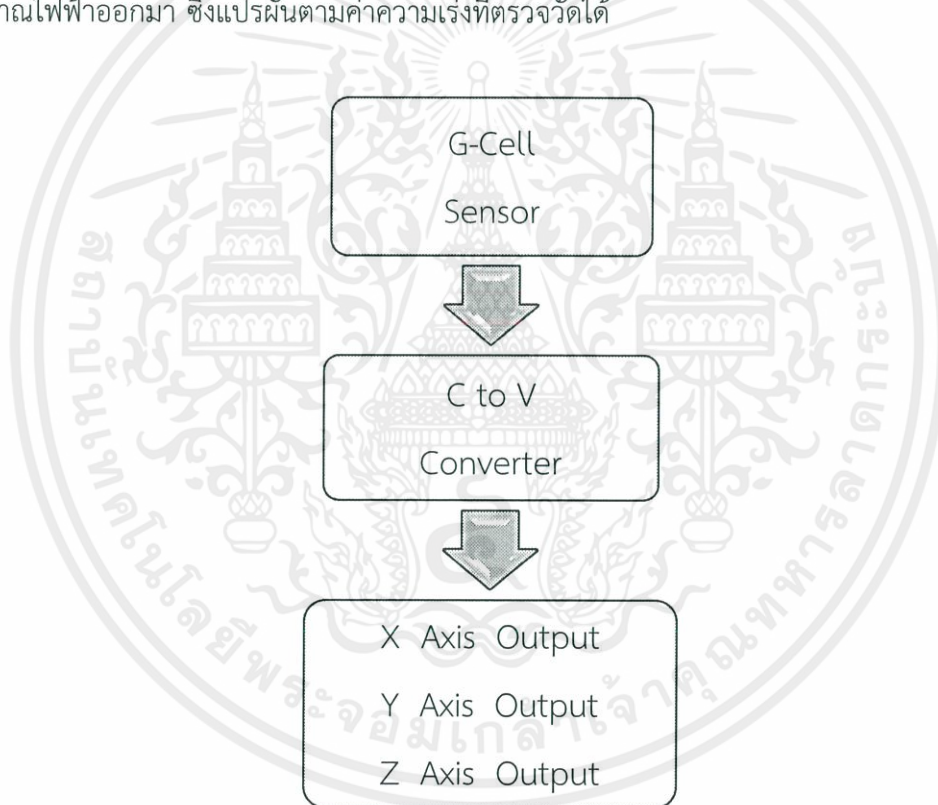


รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเครื่องตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหว

จากรูปที่ 2.2 แสดงหลักการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหว คือ เซนเซอร์ตรวจจับความเร่ง และเซนเซอร์ตรวจจับความเร็วเชิงมุม จะส่งข้อมูลไปยัง ไมโครคอนโทรลเลอร์และทำการแปลงสัญญาณข้อมูลจากสัญญาณอนาล็อก เป็นสัญญาณดิจิทัลและทำการนำข้อมูลไปเก็บไว้ใน Micro SD Card และเมื่อต้องการข้อมูล ก็จะใช้คอมพิวเตอร์ในการเปิดดูข้อมูลสัญญาณการเคลื่อนไหวที่เก็บไว้ใน Micro SD Card ในรูปแบบของกราฟเส้น โดยใช้โปรแกรม Excel ในการแสดงกราฟเพื่อทำการสังเกตผล และสังเกตค่าความเร่งที่เปลี่ยนแปลงไปจากอิริยาบถที่แตกต่างกัน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อแพทย์เพื่อใช้ในการวินิจฉัยลักษณะพฤติกรรมต่างๆ ต่อไป

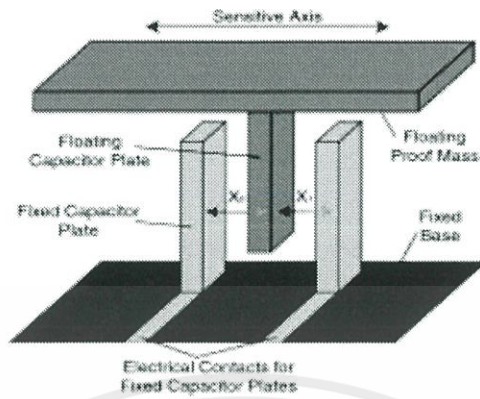
2.1.1 เซนเซอร์ (Sensor)

2.1.1.1 เซนเซอร์ตรวจจับความเร่ง (Accelerometer Sensor) คือ เซนเซอร์ที่ใช้วัดความเร่งหรือการสั่นสะเทือนสำหรับการตรวจวัดข้อมูลการเคลื่อนที่ ในระบบควบคุมตัวทำงานแบบเชิงเส้นหรือใช้วัดการสั่นสะเทือนในเครื่องจักรต่างๆ โดยมีการตอบสนองต่อความเร่งด้วยการส่งสัญญาณไฟฟ้าออกมา ซึ่งแปรผันตามค่าความเร่งที่ตรวจวัดได้



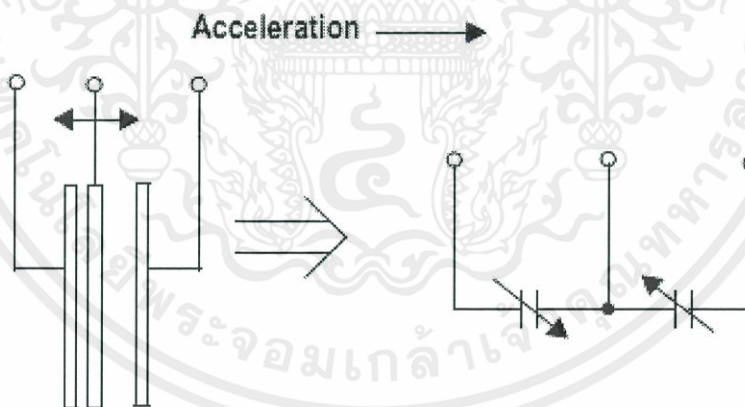
รูปที่ 2.3 หลักการทำงานของเซนเซอร์วัดความเร่ง

จีเซลล์(G-Cell)



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของจีเซลล์

จากรูปที่ 2.4 เป็นโครงสร้างเชิงกลที่สร้างขึ้นจากวัสดุสารกึ่งตัวนำ(Polysilicon)ตามกระบวนการทางเคมีคอนดักเตอร์ โดยสามารถจำลองได้เป็นชุดคานาติดมวลกลางและสามารถเคลื่อนที่ไปมาระหว่างคานถาวรได้ ในกรณีที่คานาติดมวลกลางเคลื่อนที่ของเข้าหาคานถาวรด้านใดด้านหนึ่ง จะทำให้ระยะทางห่างระหว่างคานถาวรด้านนั้นกับคานาติดมวลกลางลดลง ในขณะที่เดียวกันก็จะทำหาคานถาวรด้านอื่นให้มีระยะห่างเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของระยะห่างจะเป็นตัวชี้วัดถึงความเร่งที่เกิดขึ้นและเปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 2.5 หลักการทำงานของจีเซลล์

จากรูปที่ 2.5 คานถาวรของ จีเซลล์ จะอยู่ในรูปแบบของ ตัวเก็บประจุกลับไปกลับมา(Capacitors back-to-back) ซึ่งระยะห่างของคานถาวรกับคานติดมวลกลางที่เปลี่ยนแปลงไป จะมีผลทำให้ค่าการเก็บประจุเปลี่ยนแปลงตามสมการที่ (2.1)

$$C = \frac{\epsilon A}{D} \quad (2.1)$$

โดยที่

- A คือ พื้นที่คาน มีหน่วยเป็น (m^2)
 E คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก มีหน่วยเป็น (F/m)
 D คือ ระยะทางระหว่างคาน มีหน่วยเป็น (μm)

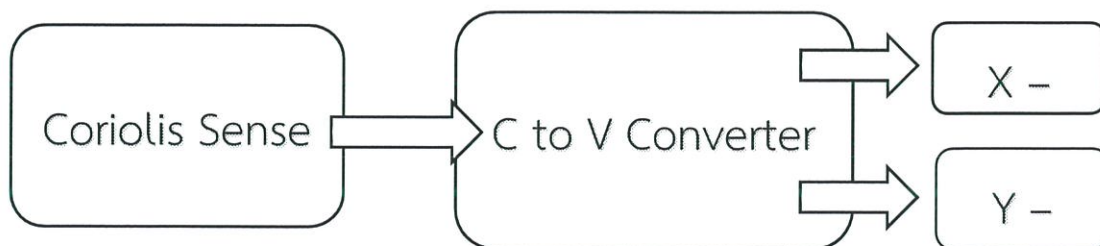
การแปลงค่าการเก็บประจุเป็นแรงดัน (C to V Converter) จะทำการแปลงค่าการเก็บประจุที่ได้รับจากจีเซลล์ เป็นค่าแรงดัน ตามสมการที่ (2.2)

$$V = \frac{Q}{C} \quad (2.2)$$

โดยที่

- C คือ ค่าการเก็บประจุ มีหน่วยเป็น (F)
 Q คือ ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน มีหน่วยเป็น (C)

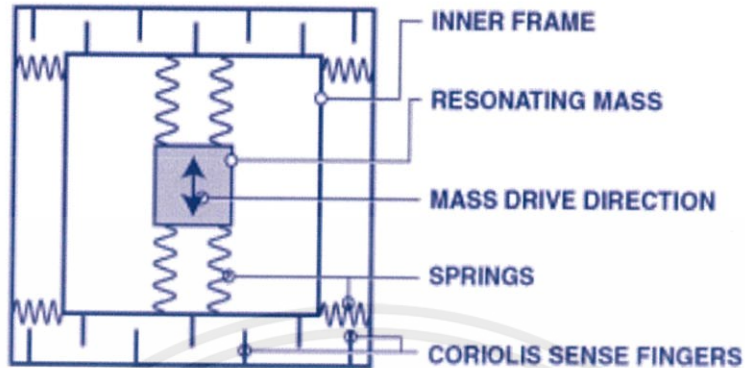
2.1.1.2 เซนเซอร์ตรวจจับความเร็วเชิงมุม (Gyroscope Sensor) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเดินเรือหรือการนำทางบนเครื่องบินและการวัดความเร็วเชิงมุมเป็นส่วนใหญ่ เซนเซอร์ตรวจจับความเร็วเชิงมุมสามารถวัดความเร็วในการหมุนได้ตั้งแต่ 1, 2 หรือ 3 ทิศทาง เซนเซอร์ตรวจจับความเร็วเชิงมุม ที่ใช้แรงสั่นสะเทือนเป็นอุปกรณ์จำพวก MEMS (Micro-Machined Electro-Mechanical Systems) พื้นฐานการทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับความเร็วเชิงมุมชนิดนี้อยู่ที่แรงโคริโอลิส (Coriolis) ของระบบการหมุน ซึ่งทุกจุดจะหมุนด้วยความเร็วรอบเท่ากันโดยที่รอบความเร็วยังคงเท่าเดิมแต่ความเร็วในทิศทางที่ตั้งฉากกับแกนหมุนลดลง ดังนั้นเพื่อให้การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงออกไปจากแกนหมุนในขณะที่ยังอยู่นั้นความเร็วด้านข้างจะต้องเพิ่มขึ้นหรือลดลงเพื่อรักษาตำแหน่งเดิมในแนวตั้งของการเคลื่อนที่ การเคลื่อนที่ช้าลงหรือเร็วขึ้นทำให้มีความเร่งเกิดขึ้นและแรงโคริโอลิส ในความเร่ง ณ ช่วงเวลานี้ของวัตถุจะมีการเก็บรักษาไว้ ซึ่งแรงโคริโอลิส นี้เป็นส่วนสำคัญของความเร็วเชิงมุมในการหมุนของวัตถุกับความเร็วยังคงเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่ออกจากแกนหมุนหรืออยู่รอบๆ แกนหมุน



รูปที่ 2.6 หลักการทำงานภายในของเซนเซอร์ตรวจจับความเร็วเชิงมุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในเซนเซอร์ตรวจจับความเร็วเชิงมุม มีโครงสร้าง 2 ชั้นโดยชั้นในมีมวลขนาดเล็กต่ออยู่กับชุดสปริง ส่วนชั้นนอกจะต่อกับแผงวงจรโดยมีชุดสปริงชุดที่สองเชื่อมต่อระหว่างชั้น



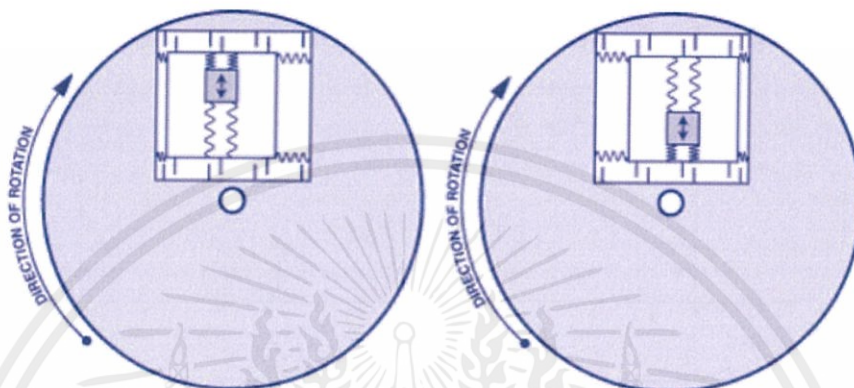
รูปที่ 2.7 โครงสร้างภายในของเซนเซอร์ตรวจจับความเร็วเชิงมุม

มวลภายในจะมีการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องแบบสัญญาณไซน์ซอยด์ (Sinusoidally) ไปกับชุดของสปริงที่ติดอยู่กับมวล การเคลื่อนที่หมุนของระบบจะทำให้เกิดแรงโคริโอลิส ขึ้นภายในมวลผลึกให้มวลเคลื่อนที่ไปทางชุดสปริงชุดที่สอง โดยมวลจะเคลื่อนที่ออกจากแกนหมุนซึ่งถูกผลึกในทิศทางตั้งฉากและจะเคลื่อนที่กลับไปยังแกนหมุนดั้งเดิมโดยถูกผลึกในทิศทางตรงกันข้ามเนื่องจากแรงโคริโอลิส ที่กระทำต่อมวล



รูปที่ 2.8 การเคลื่อนที่ของมวลภายในเซนเซอร์ตรวจจับความเร็วเชิงมุม

โคริออริสเซนฟิงเกอร์(Coriolis Sense Fingers) แรงแคริออริส ถูกตรวจจับด้วยโคริออริสเซนฟิงเกอร์ซึ่งอยู่ตรงด้านที่ไม่มีชุดสปริงชั้นนอกติดอยู่ โดยมวลที่ถูกผลักด้วยแรงแคริออริสส่งผลให้ค่าความจุที่แตกต่างกันจะถูกตรวจจับด้วย โคริออริสเซนฟิงเกอร์ที่มาอยู่ใกล้กันระหว่างภายในกับภายนอก เมื่อมวลถูกผลักในทิศทางตรงกันข้าม โคริออริสเซนฟิงเกอร์ของด้านภายในกับด้านภายนอกจะมาอยู่ใกล้กันจึงทำให้เซนเซอร์สามารถตรวจจับขนาดและทิศทางของความเร็วเชิงมุมของระบบได้



รูปที่ 2.9 การทำงานของโคริออริสเซนฟิงเกอร์

การเคลื่อนที่ไปมาระหว่างโคริออริสเซนฟิงเกอร์นั้น ในกรณีที่โคริออริสเซนฟิงเกอร์เคลื่อนที่เข้าหาโคริออริสเซนฟิงเกอร์ชั้นนอกจะทำให้ระยะห่างระหว่างโคริออริสเซนฟิงเกอร์ชั้นในกับโคริออริสเซนฟิงเกอร์ชั้นนอกลดลง ในขณะที่เดียวกันก็ทำให้โคริออริสเซนฟิงเกอร์อีกอันของชั้นเดียวกันมีระยะห่างเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของระยะห่างจะเป็นตัวชี้วัดถึงความเร่งที่เกิดขึ้นและเปลี่ยนแปลงไปตามสมการที่ (2.3)

$$C = \frac{\epsilon A}{D} \quad (2.3)$$

โดยที่

A คือ พื้นที่คาน มีหน่วยเป็น (m^2)

E คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก มีหน่วยเป็น (F/m)

D คือ ระยะทางระหว่างคาน มีหน่วยเป็น (μm)

การแปลงค่าการเก็บประจุเป็นแรงดัน (C to V Converter) จะทำการแปลงค่าการเก็บประจุที่ได้รับจากโคริออริสเซนฟิงเกอร์เป็นค่าแรงดัน ตามสมการ ที่ (2.4)

$$V = \frac{Q}{C} \quad (2.4)$$

โดยที่

C คือ ค่าการเก็บประจุ มีหน่วยเป็น (F)

Q คือ ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน มีหน่วยเป็น (C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 เอสดีการ์ด (SD Card)

เอสดีการ์ด (SD Card) ย่อมาจาก Secure Digital Card เป็นการ์ดหน่วยความจำพัฒนาโดยสมาคมเอสดีการ์ดสำหรับใช้กับอุปกรณ์พกพา รุ่นมาตรฐานเปิดตัวในเดือนสิงหาคม ค.ศ. 1999 เป็นรุ่นปรับปรุงของ Multimedia Card (MMC) และกลายเป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมโดยพฤตินัย

เอสดีการ์ดประกอบด้วยตระกูลการ์ด 4 ตระกูลใน 3 ขนาด การ์ด 4 ตระกูลนี้ได้แก่ การ์ดความจุมาตรฐานดั้งเดิม (SDSC) การ์ดความจุสูง (SDHC) การ์ดความจุขยาย (SDXC) และเอสดีไอโอ (SDIO) ซึ่งรวมฟังก์ชันอินพุต และเอาต์พุตสำหรับหน่วยความจำด้วยการ์ด 3 ขนาด ได้แก่ขนาดดั้งเดิม ขนาดมินิ และขนาดไมโคร การ์ดสามารถเสียบเข้ากับตัวปรับต่อ และสามารถทำงานในการ์ดขนาดใหญ่กว่าได้

เอสดีการ์ดเป็นอุปกรณ์ในการจัดเก็บข้อมูล แบบ nand Flash Memory ที่มีการนำไปใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หลายอย่าง เช่น กล้องดิจิทัล โทรศัพท์มือถือ หรือแม้กระทั่งแท็บเล็ต สาเหตุสำคัญที่ทำให้มันเป็นที่นิยม คือ ราคาที่ค่อนข้างถูก เมื่อเทียบกับหน่วยความจำอื่นๆ ผู้ผลิตสมาร์ตโฟนจึงเลือกใช้ microSD Card เป็นส่วนใหญ่ และปัจจุบันมีการพัฒนา microSD ให้ดีขึ้น โดยเฉพาะในเรื่องของความเร็วในการบันทึก ซึ่งมีการแบ่งออกเป็น Class ต่างๆ ดังต่อไปนี้

- Class 2 โอนถ่ายข้อมูลขั้นต่ำได้ที่ความเร็ว 2 MB / วินาที
- Class 4 โอนถ่ายข้อมูลขั้นต่ำได้ที่ความเร็ว 4 MB / วินาที
- Class 6 โอนถ่ายข้อมูลขั้นต่ำได้ที่ความเร็ว 6 MB / วินาที
- Class 10 โอนถ่ายข้อมูลขั้นต่ำได้ที่ความเร็ว 10 MB / วินาที

อุปกรณ์ที่สามารถอ่านเอสดีการ์ดได้จะสามารถอ่านมัลติมีเดียการ์ดได้เช่นกัน แต่เอสดีการ์ดไม่สามารถใส่ในช่องใส่มัลติมีเดียการ์ดที่มีขนาดบางกว่าได้ เอสดีการ์ดสามารถใช้ในช่องใส่คอมแพกต์แฟลช (Compact Flash) หรือ พีซีการ์ด (PC Card-PCMCIA) โดยการใช้ตัวแปลง ส่วนมินิเอสดี (miniSD) และไมโครเอสดี (microSD) สามารถใช้ตัวแปลงโดยตรงใส่ในช่องใส่เอสดีการ์ดได้นอกจากนี้

เอสดีการ์ดยังสามารถอ่านผ่านเครื่องอ่านที่จะใช้กับพอร์ตยูเอสบี, ไฟร์ไวร์ รวมถึงพอร์ตแบบขนาน และยังสามารถใช้ผ่านฟลอปปีดิสก์ ผ่านตัวแปลงได้เช่นกัน



รูปที่ 2.10 หน่วยความจำเอสดีการ์ด (SD Card)

2.1.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์

เป็นอุปกรณ์ไอซี (IC: Integrated Circuit) ที่สามารถโปรแกรมการทำงานได้ซับซ้อน สามารถรับข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัลเข้าไปทำการประมวลผลแล้วส่งผลลัพธ์ข้อมูลดิจิทัลออกมาเพื่อนำไปใช้งานตามที่ต้องการได้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ภายในชิพจะมีหน่วยความจำ, Port อยู่ในชิพเพียงตัวเดียวซึ่งอาจจะเรียกได้ว่าเป็นคอมพิวเตอร์ชิพเดี่ยว ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ชนิดหนึ่งเช่นเดียวกับหน่วยประมวลผลกลาง (CPU : Central Processing Unit) ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ แต่ได้รับการพัฒนาแยกออกมาภายหลังเพื่อนำไปใช้ในวงจรทางด้านงานควบคุม คือ แทนที่ในการใช้งานจะต้องต่อวงจรภายนอกต่าง ๆ เพิ่มเติมเช่นเดียวกับไมโครโปรเซสเซอร์ ก็จะทำให้การรวมวงจรที่จำเป็นเช่น หน่วยความจำ , ส่วนอินพุท/เอาต์พุท บางส่วนเข้าไปในตัว ไอซีเดียวกัน และเพิ่มวงจรบางอย่างเข้าไปด้วยเพื่อให้มีความสามารถเหมาะสมกับการใช้งานควบคุม เช่น วงจรตั้งเวลา , วงจรการสื่อสารอนุกรม วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล เป็นต้น สรุปคือ

$$\text{Microcontroller} = \text{Microprocessor} + \text{Memory} + \text{I/O}$$

ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยมักจะเป็นการนำไปใช้ฝังในระบบของอุปกรณ์อื่น ๆ (Embedded Systems) เพื่อใช้ควบคุมการทำงานบางอย่างเช่น ใช้ในรถยนต์, เต้าอบไมโครเวฟ, เครื่องปรับอากาศ, เครื่องซักผ้าอัตโนมัติ เป็นต้น เพราะว่าไมโครคอนโทรลเลอร์มีข้อดีเหมาะสมต่อการใช้งานควบคุมหลายประการ

ในโครงการนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณเอาต์พุทจากเซนเซอร์วัดความแรงและเซนเซอร์วัดแรงสั่นสะเทือน เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลต่อไปยังคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะมีค่าความละเอียดของแรงดันในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (R_{ADV}) ตามสมการที่ (2.5)

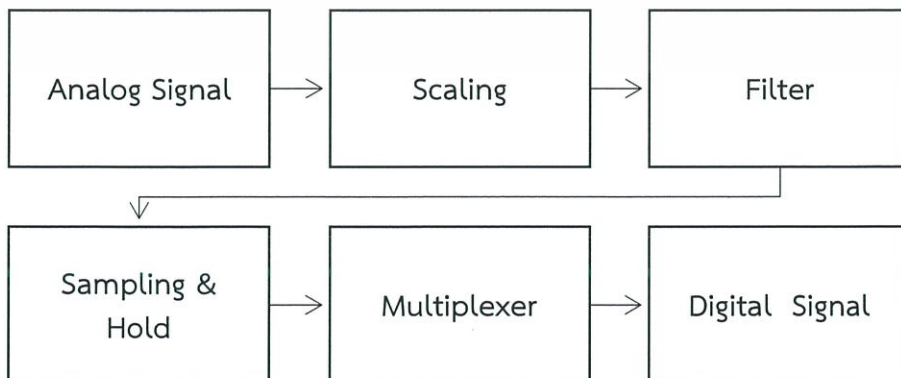
$$R_{ADV} = \frac{V_{DD} - V_{SS}}{2^N - 1} \tag{2.5}$$

โดยที่

V_{DD} คือ ไฟเลี้ยงสูงสุดของไมโครคอนโทรลเลอร์

V_{SS} คือ ไฟเลี้ยงต่ำสุดของไมโครคอนโทรลเลอร์

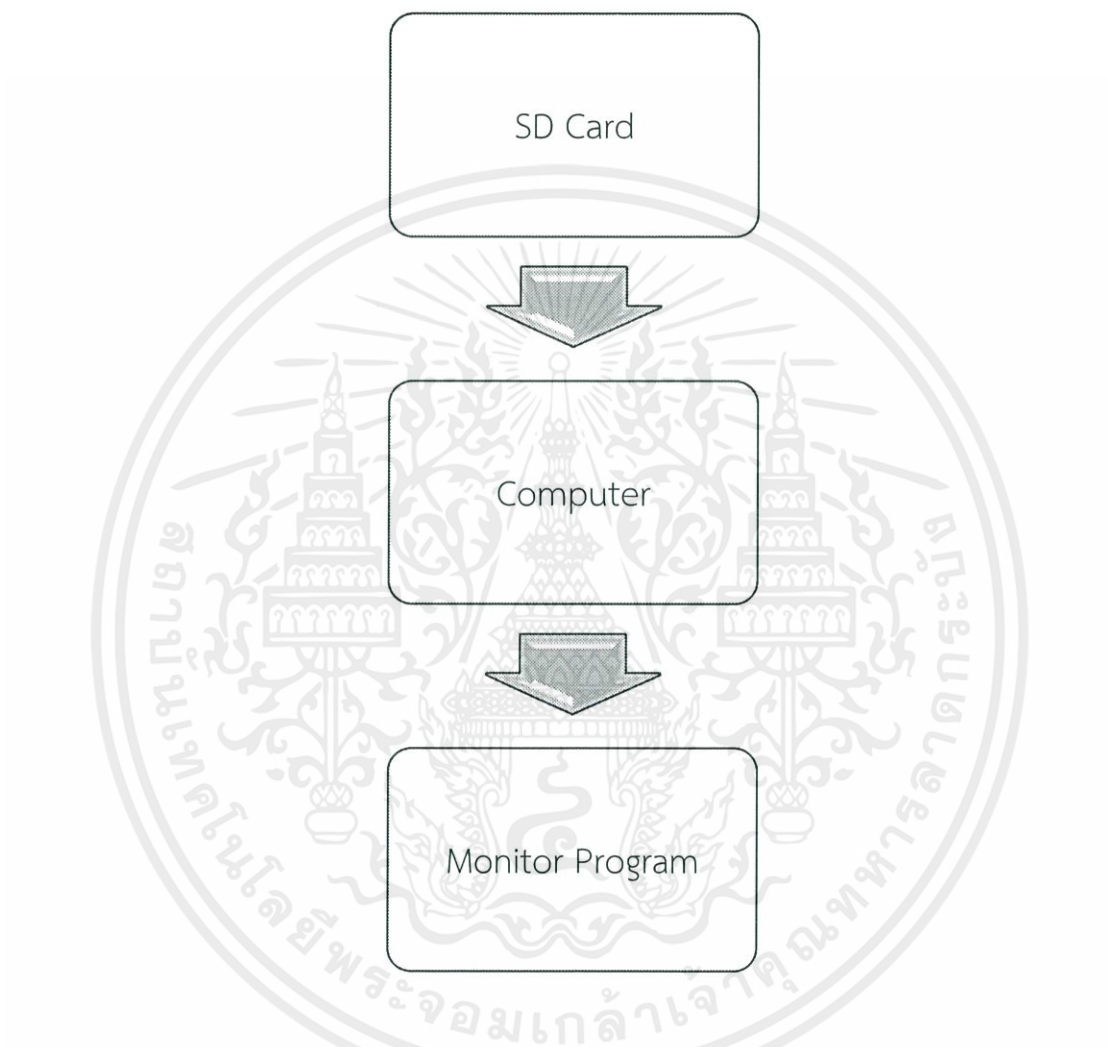
N คือ จำนวนบิตที่ได้จากการแปลงสัญญาณ



รูปที่ 2.11 กระบวนการทำงานของ A to D Converter

2.2 หลักการของคอมพิวเตอร์

คอมพิวเตอร์ทำหน้าที่แสดงข้อมูลจากเครื่องตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหวซึ่งเก็บไว้ในหน่วยความจำ SD Card โดยใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel แสดงในรูปภาพสัญญาณทั้งหมดที่เกิดการเคลื่อนไหว ซึ่งจะเป็นประโยชน์ทางการแพทย์เพื่อนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้ในการวินิจฉัยลักษณะพฤติกรรมต่างๆต่อไป



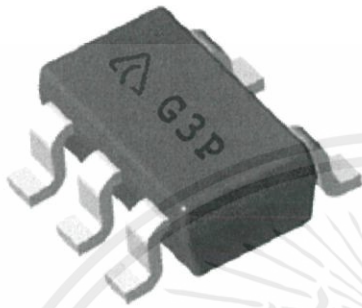
รูปที่ 2.12 หลักการทำงานของคอมพิวเตอร์

บทที่ 3

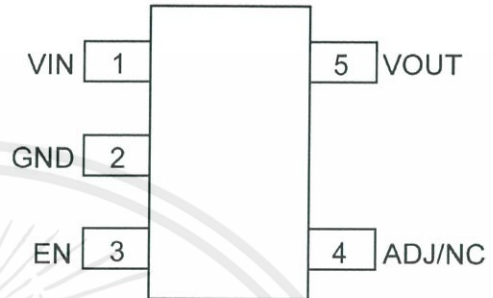
วิธีการเลือกอุปกรณ์และการออกแบบ

3.1 วงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า

อุปกรณ์รักษาระดับแรงดันในรายงานฉบับนี้ คือวงจรรวมเบอร์ AP2112 โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์ ดังต่อไปนี้

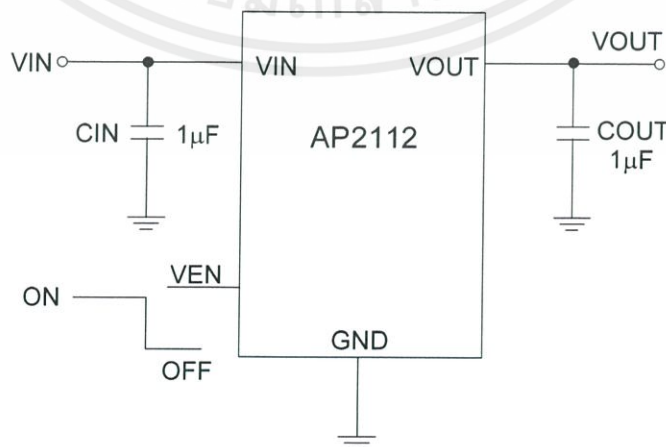


รูปที่ 3.1 วงจรรวม AP2112



รูปที่ 3.2 ลำดับขา AP2112

1. Output Voltage Accuracy: $\pm 1.5\%$
2. Output Current: 600 mA (Min.)
3. Foldback Short Current Protection: 50 mA
4. Enable Function to Turn ON/OFF V_{OUT}
5. Low Dropout Voltage (3.3V): 250mV at Output Current = 600 mA
6. Excellent Load Regulation: 0.2%/A
7. Excellent Line Regulation: 0.02%/V
8. Low Standby Current: 0.01 μA
9. Low Output Noise: 50 μV_{RMS}
10. PSRR: 100 Hz – 65 dB, 1 kHz – 65 dB
11. Operation Temperature Range: -40°C to 85°C



รูปที่ 3.3 วงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า +3.3 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

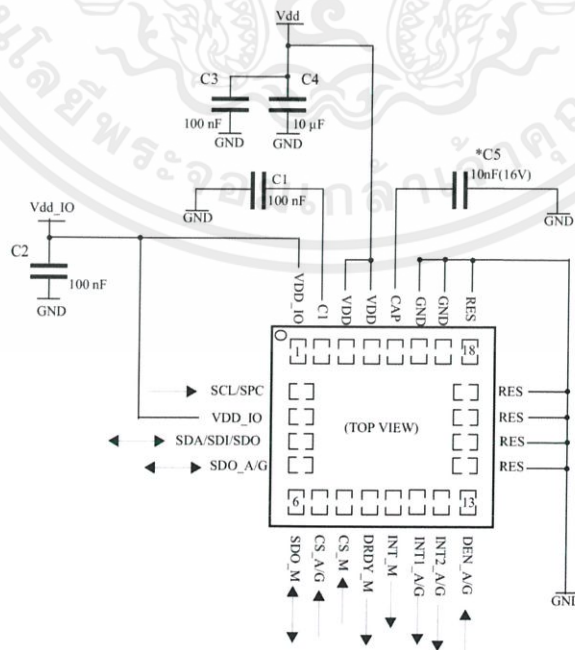
3.2 เซนเซอร์

เซนเซอร์วัดความเร่งและวัดความเร็วเชิงมุมที่ใช้วัดค่าในรายงานฉบับนี้ คือวงจรรวมเบอร์ LSM9DS1 โดยมีรายละเอียดของเซนเซอร์ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.4 เซนเซอร์วัดความเร่งและวัดความเร็วเชิงมุม เบอร์ LSM9DS1

1. $\pm 2/\pm 4/\pm 8/\pm 16$ g linear acceleration full scale
2. $\pm 4/\pm 8/\pm 12/\pm 16$ gauss magnetic full scale
3. $\pm 245/\pm 500/\pm 2000$ dps angular rate full scale
4. 16-bit data output
5. SPI / I2C serial interfaces
6. Analog supply voltage 1.9 V to 3.6 V
7. “Always-on” eco power mode down to 1.9 mA
8. Embedded temperature sensor
9. Position and motion detection functions
10. Intelligent power saving for handheld devices
11. Operation Temperature Range: -40°C to 85°C

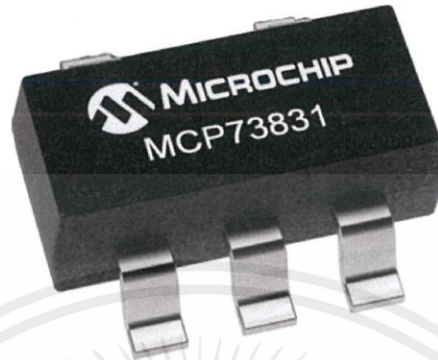


รูปที่ 3.5 วงจรเซนเซอร์ LSM9DS1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

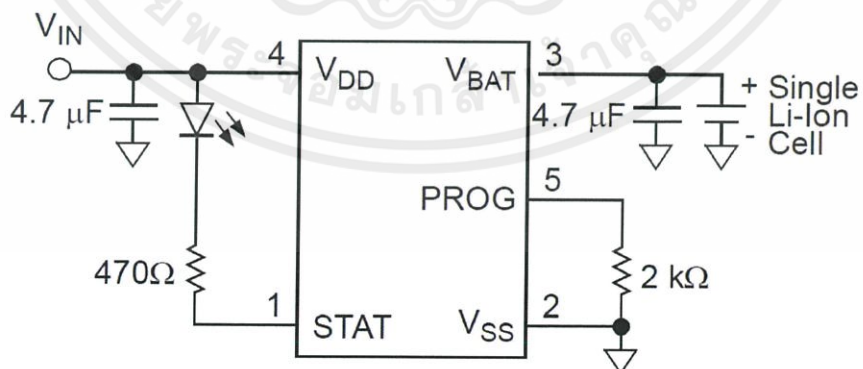
3.3 วงจรอัดประจุไฟฟ้า

อุปกรณ์อัดประจุไฟฟ้าในรายงานฉบับนี้ คือวงจรรวมเบอร์ MCP73831 โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.6 วงจรรวม MCP73831

1. Linear Charge Management Controller:
 - Integrated Pass Transistor
 - Integrated Current Sense
 - Reverse Discharge Protection
2. Four Voltage Regulation Options:
 - 4.20V, 4.35V, 4.40V, 4.50V
3. Programmable Charge Current: 15 mA to 500 mA
4. Automatic Power-Down
5. Temperature Range: -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 3.7 วงจรอัดประจุไฟฟ้า

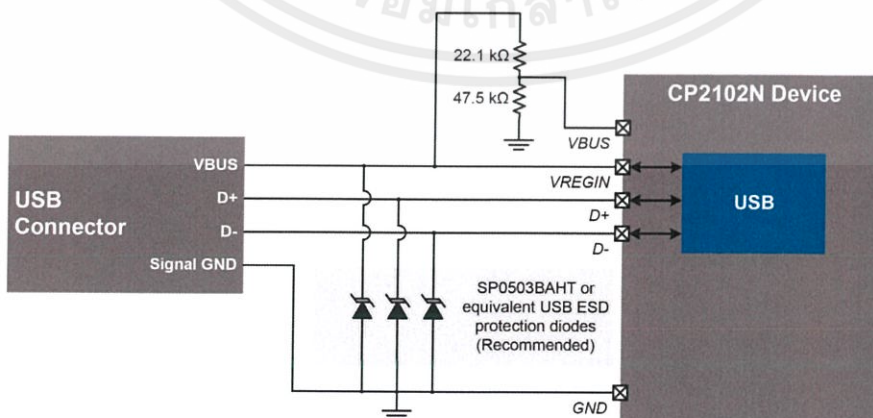
3.4 วงจรถ่ายโอนข้อมูลแบบ USB to UART

อุปกรณ์ทำหน้าที่ถ่ายโอนข้อมูลในรายงานฉบับนี้ คือวงจรรวมเบอร์ CP2102N โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.8 วงจรรวมเบอร์ CP2102N

1. Integrated USB transceiver; no external resistors required
2. Integrated clock; no external crystal required
3. On-chip power-on reset circuit
4. On-chip voltage regulator — 3.3 V output
5. USB Battery Charger Detection
6. Single power supply of 3.0 to 3.6 V or 3.0 to 5.25 V
7. Data formats supported
 - Data bits — 5, 6, 7, and 8
 - Stop bits — 1, 1.5, and 2
 - Parity — odd, even, mark, space, no parity
8. Baud rates: 300 baud to 3 Mbaud
 - 512 byte receive buffer
 - 512 byte transmit buffer
9. Works with existing COM port Applications
10. Supported on Windows, Mac, and Linux



รูปที่ 3.9 วงจรถ่ายโอนข้อมูลแบบ USB to UART

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 โมดูลหน่วยความจำ Micro SD Card

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลสัญญาณการเคลื่อนไหวในรายงานฉบับนี้คือ Micro SD Card โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์ดังนี้

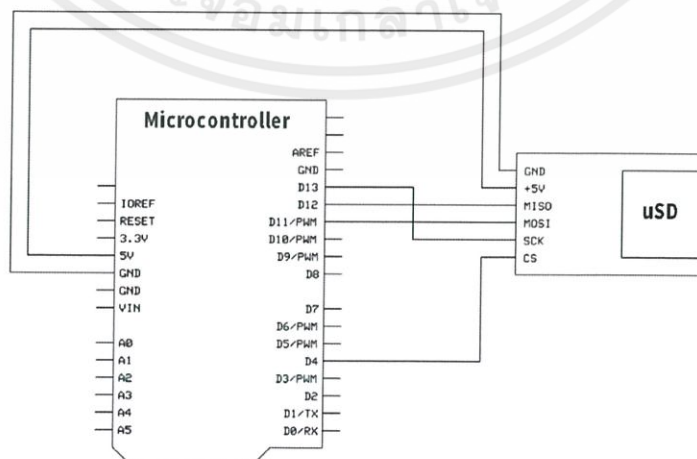


รูปที่ 3.10 Micro SD Card module

1. Voltage Supply 3.3 V to 5V
2. Compatible: Micro SD Card
3. Maximum data transfer speed: 25mb/s - theoretical, practical they get to around 10mb/s write speed and about 20mb/s read speed for good cards
 - SDHC card - from 4 to 32GB in size and available in three main speed classes.

Max. possible transfer speeds:

- Class 2 – 2 mb/s
- Class 4 – 4 mb/s
- Class 6 – 6 mb/s
- Class 8 – 8 mb/s
- Class 10 – 10 mb/s



รูปที่ 3.11 การต่อวงจร Micro SD Card

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

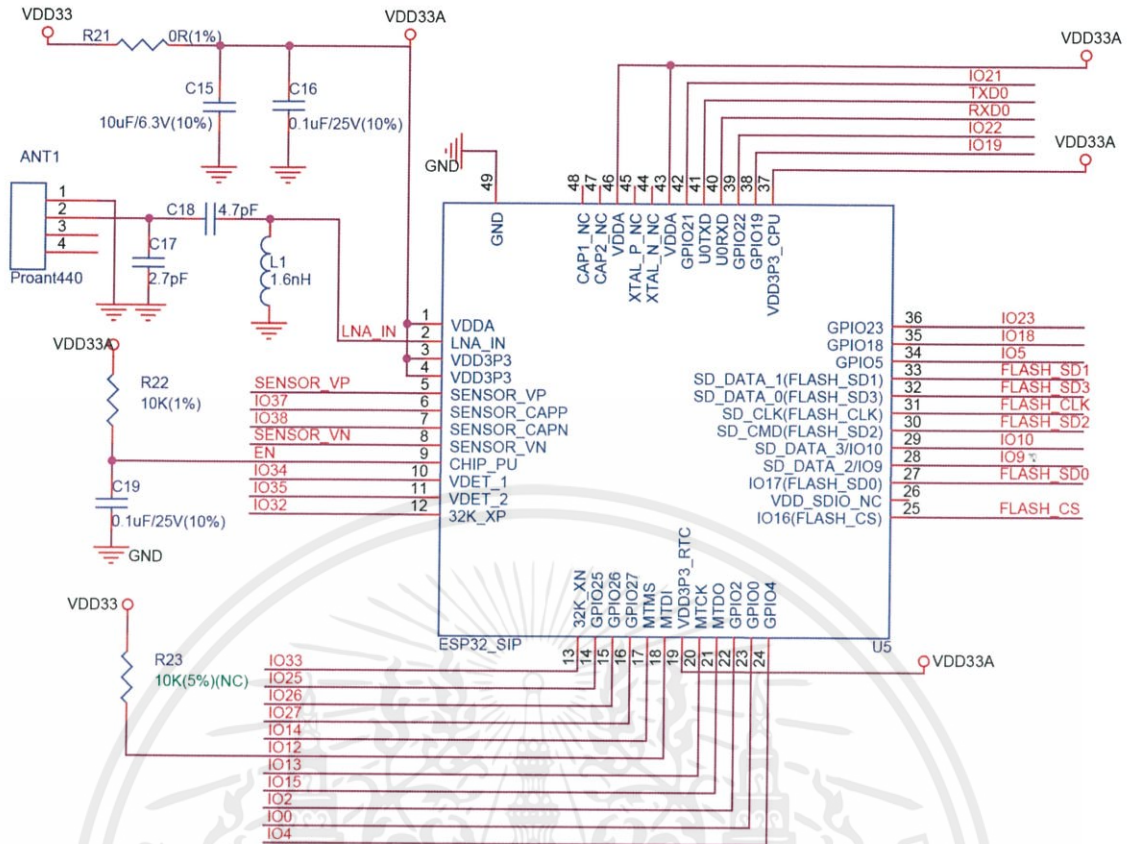
3.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานส่วนต่างๆของอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหวมนุษย์ อาทิ เช่น วงจรเซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว การเก็บข้อมูลไปยัง Micro SD Card เป็นต้น ในรายงานฉบับนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ ESP32 Pico D4 โดยมีรายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.12 ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ ESP32 Pico D4

1. CPU and Internal Memory
 - ESP32 contains two low-power Xtensa® 32-bit LX6 microprocessors. The internal memory includes:
 - 448 KB of ROM for booting and core functions.
 - 520 KB of on-chip SRAM for data and instructions.
 - 8 KB of SRAM in RTC, which is called RTC FAST Memory and can be used for data storage; it is accessed by the main CPU during RTC Boot from the Deep-sleep mode.
 - 8 KB of SRAM in RTC, which is called RTC SLOW Memory and can be accessed by the co-processor during the Deep-sleep mode.
 - 768 bits are reserved for customer applications, including flash-encryption and chip-ID.
2. 40 MHz crystal oscillator.
3. Providing complete Wi-Fi and Bluetooth functionalities.
 - Wi-Fi frequency range: 2.4 ~ 2.5 GHz
 - Bluetooth V4.2 BR/EDR and BLE specification
4. Operating voltage/Power supply: 2.7 V to 3.6 V
5. Operating current: Average 80 mA
6. Operating temperature range: -40 °C ~ 85 °C



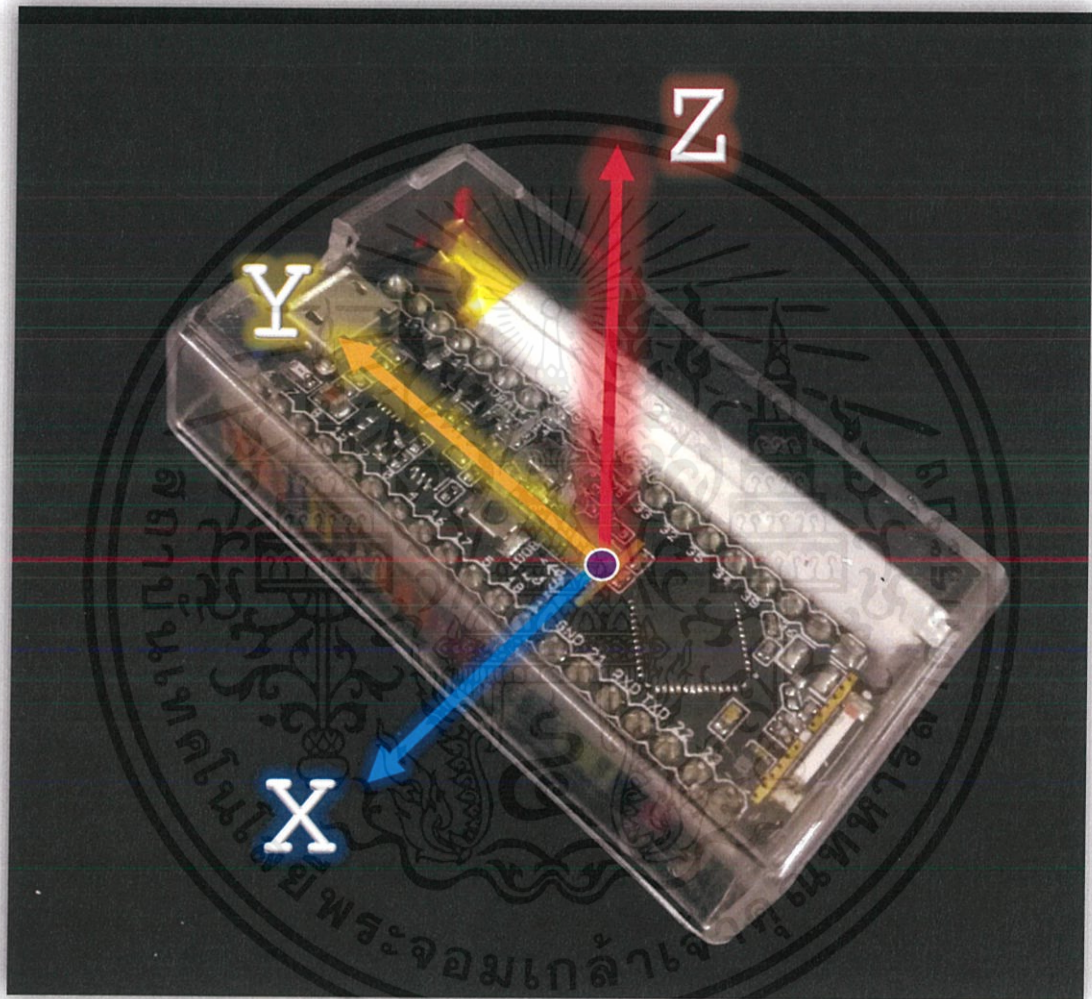
รูปที่ 3.13 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด ESP32 Pico D4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์ลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งและความเร็วเชิงมุมตามแนวแกนต่างๆ กับเวลาที่ได้โดยทดลองจากการหมุนและเลื่อนอุปกรณ์ตามแกน X, Y และ Z จากนั้นทำการทดลองการเก็บข้อมูลไปยังหน่วยความจำ SD Card

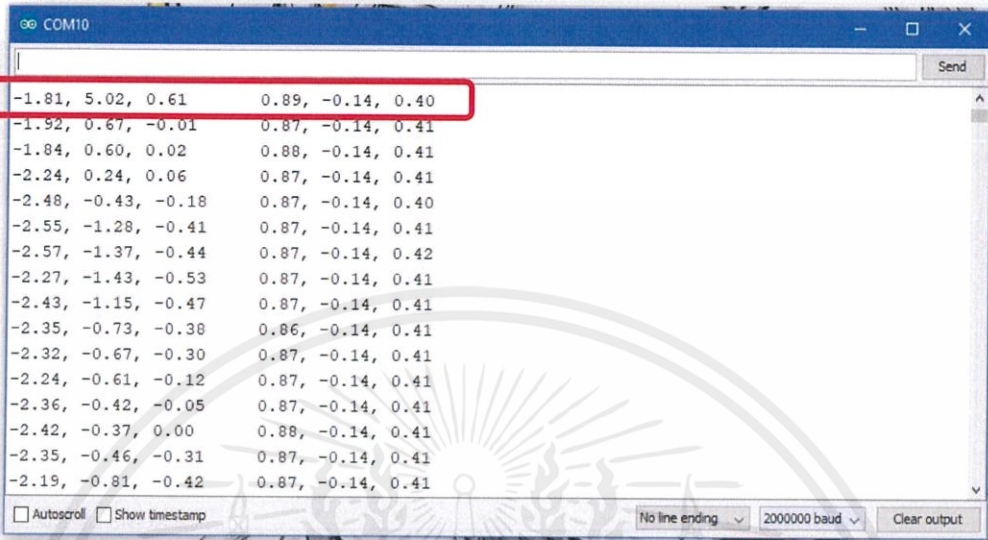


รูปที่ 4.1 ทิศทางของเซนเซอร์บนอุปกรณ์ตรวจจับความเคลื่อนไหวมนุษย์

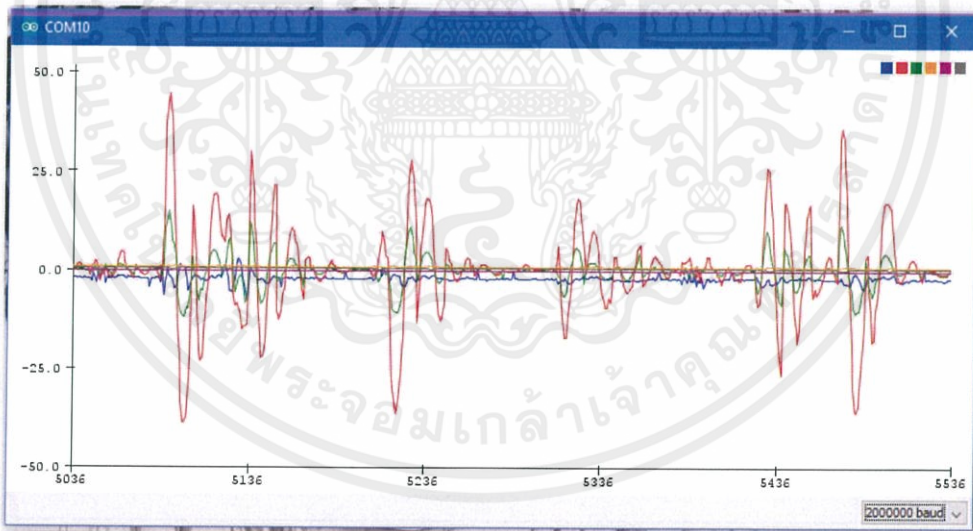
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การทดสอบการทำงานและการเก็บข้อมูลของเซนเซอร์ลงใน Micro SD Card

4.1.1 ทดสอบการทำงานของ Accelerometer และ Gyroscope โดยใช้ Serial Monitor และ Serial Plotter ของโปรแกรม Arduino IDE



รูปที่ 4.2 การตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหวจาก Accelerometer และ Gyroscope โดย Serial Monitor ของโปรแกรม Arduino IDE

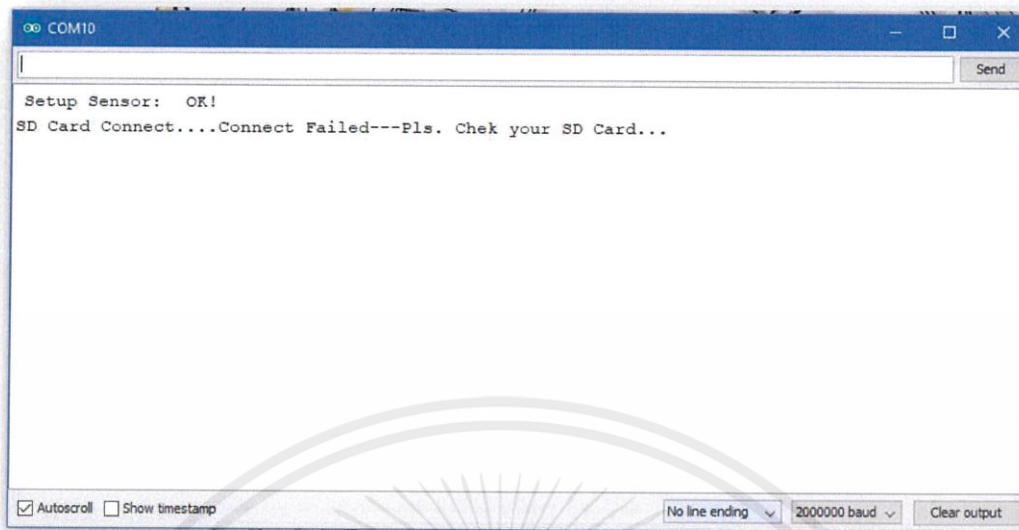


รูปที่ 4.3 การตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหวจาก Accelerometer และ Gyroscope โดย Serial Plotter ของโปรแกรม Arduino IDE แสดงเป็นกราฟการเคลื่อนไหว

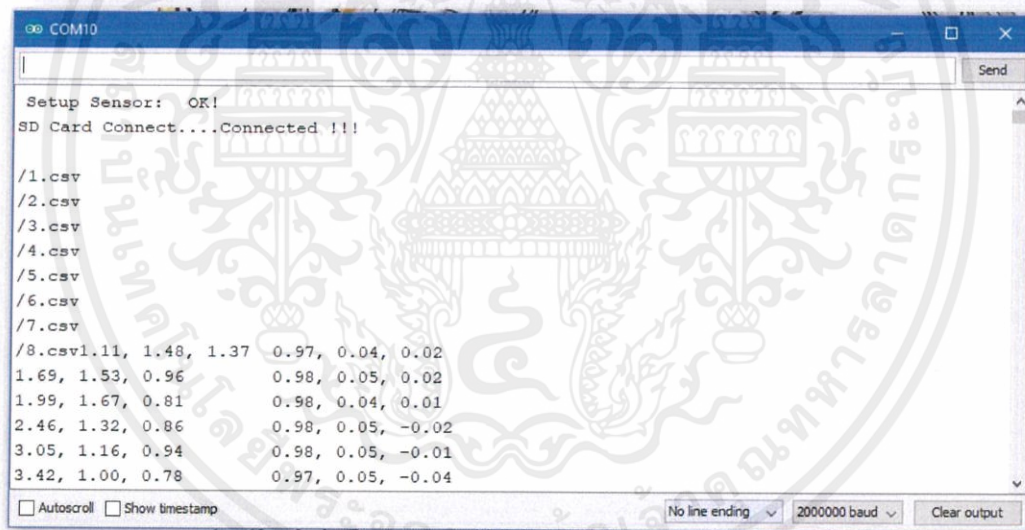
สัญญาณการเคลื่อนไหวที่ตรวจจับได้จากเซนเซอร์ จะแสดงบน Serial Monitor เป็นตัวเลข 6 ชุด ดังรูปที่ 4.2 แสดงค่าความเร่งในแกน X, Y, Z และค่าความเร็วเชิงมุมในแกน X, Y, Z ตามลำดับ คั่นด้วยสัญลักษณ์ “,” เพื่อเป็นตัวแยกค่าต่างๆ ในการนำมาพล็อตเป็นกราฟการเคลื่อนไหว ดังรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

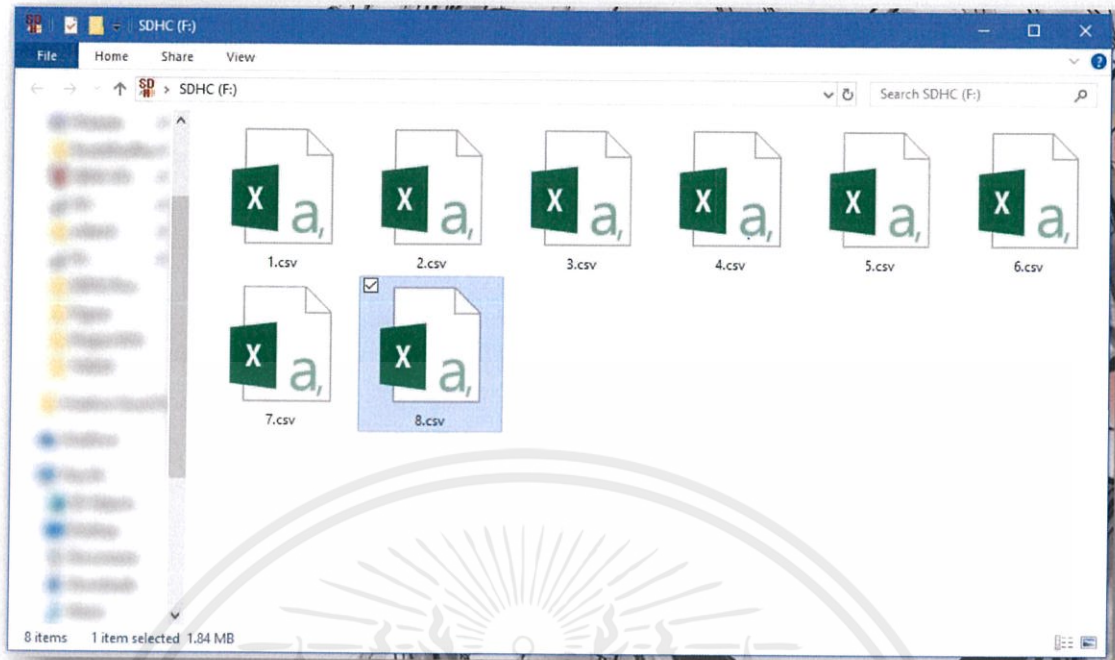
4.1.2 ทดสอบการเก็บข้อมูลสัญญาณการเคลื่อนไหวไปยัง Micro SD Card



รูปที่ 4.4 เมื่อไม่ได้ติดตั้ง Micro SD Card ในอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหว



รูปที่ 4.5 เมื่อทำการติดตั้ง Micro SD Card ลงในอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหว

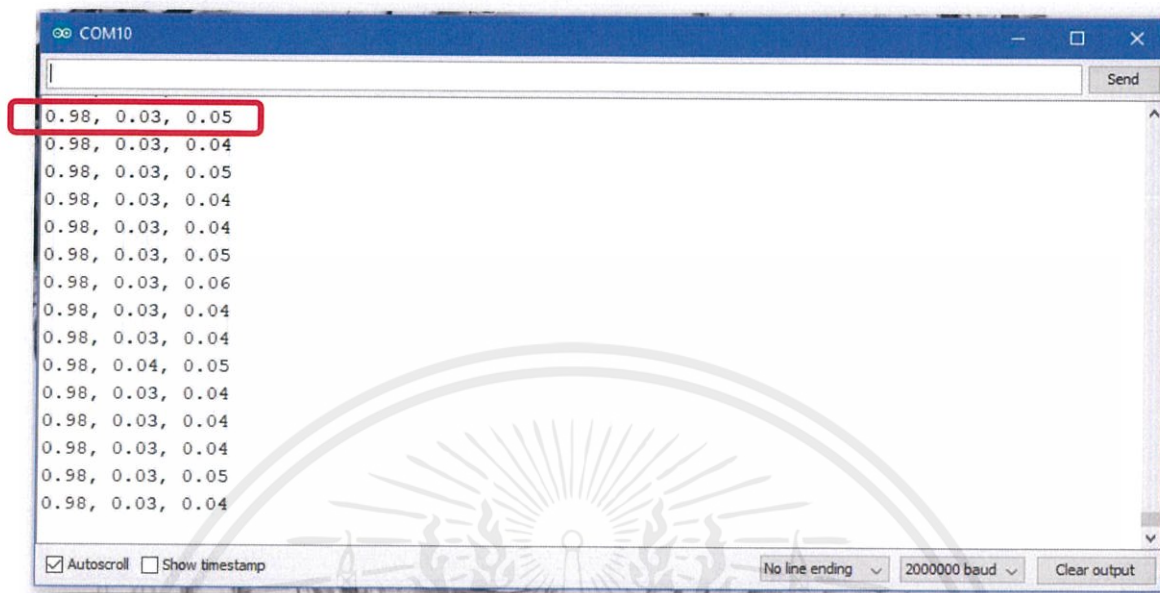


รูปที่ 4.6 ข้อมูลใน Micro SD Card ซึ่งอุปกรณ์ได้ทำการเก็บไว้

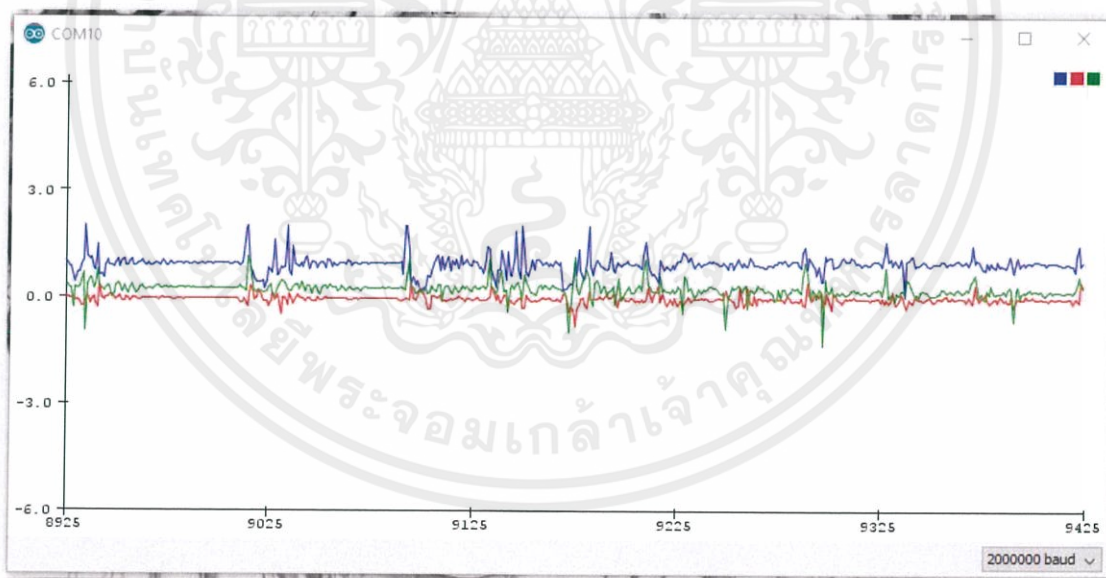
ทดสอบการทำงาน และการเก็บข้อมูลลงใน Micro SD Card โดยขณะที่ยังไม่ได้ติดตั้ง Micro SD Card ในอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหว จะมีข้อความแสดงว่าให้ทำการตรวจสอบการติดตั้ง Micro SD Card ดังรูปที่ 4.4 เมื่อทำการติดตั้ง Micro SD Card เข้าไป อุปกรณ์จะตรวจพบ Micro SD Card และจะมีข้อความแสดงว่าติดตั้งสำเร็จ แล้วอุปกรณ์จะเริ่มทำการตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหวทันที ดังรูปที่ 4.5 จากนั้นสามารถตรวจสอบได้ว่าข้อมูลได้ถูกเก็บเข้ามาใน Micro SD Card แล้วโดยการนำ Micro SD Card ออกมาเปิดในคอมพิวเตอร์ จะเห็นไฟล์ข้อมูลที่เก็บได้ ดังรูปที่ 4.6

4.2 การทดสอบการทำงานของ Accelerometer พร้อมกับแสดงกราฟทั้ง 3 แกน

ทดสอบการทำงานของ Accelerometer ด้วยการเคลื่อนที่ไปในแกน X แกน Y และ แกน Z

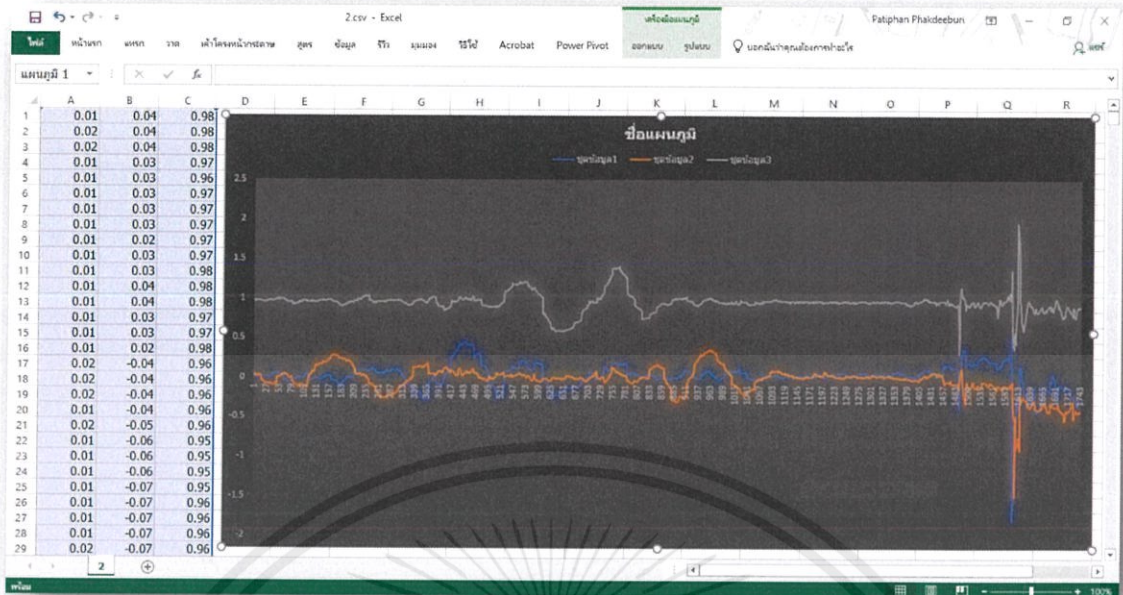


รูปที่ 4.7 การรับข้อมูลจาก Accelerometer แกน X, แกน Y และ แกน Z



รูปที่ 4.8 การรับข้อมูลจาก Accelerometer แกน X (สีน้ำเงิน), แกน Y (สีแดง) และ แกน Z (สีเขียว) แสดงเป็นกราฟการเคลื่อนไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

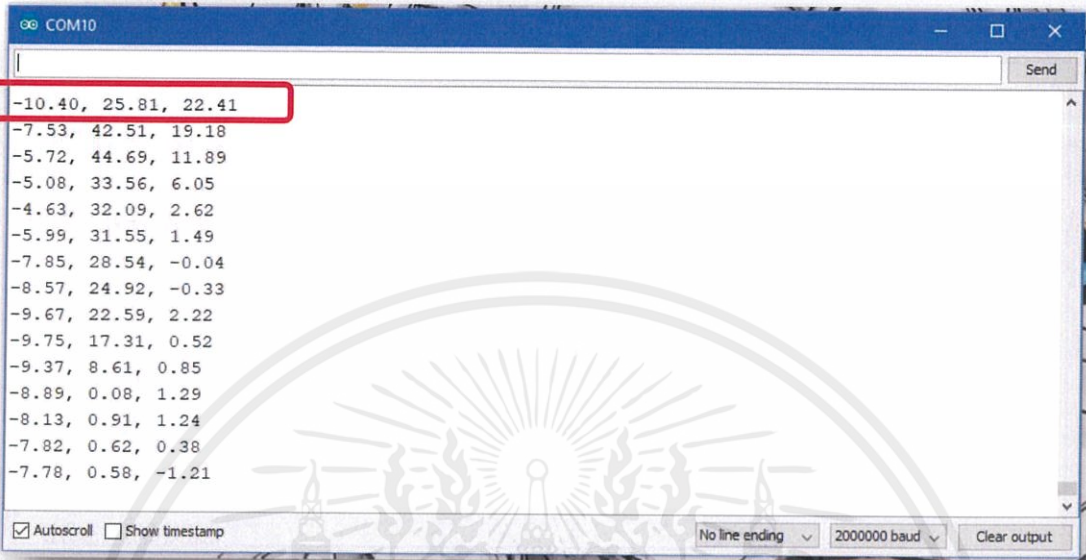


รูปที่ 4.9 ข้อมูล Accelerometer แกน X (สีน้ำเงิน), แกน Y (สีส้ม) และ แกน Z (สีเทา) ใน Micro SD Card ซึ่งอุปกรณ์ได้ทำการเก็บไว้

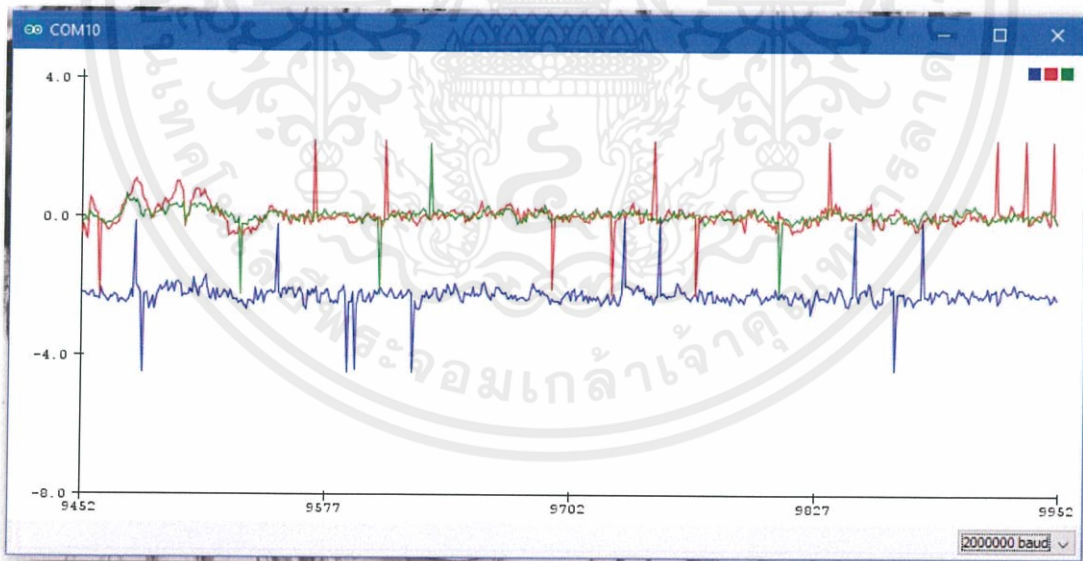
การทดสอบนี้เป็นการทดสอบการทำงานของ Accelerometer สัญญาณที่ถูกเก็บมาแสดงเป็นตัวเลขทั้งหมด 3 ชุด แสดงค่าที่ตรวจจับได้จาก Accelerometer แกน X, Y, Z ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.7 แสดงเป็นกราฟสัญญาณ ดังรูปที่ 4.8 และเมื่อนำ Micro SD Card มาเปิดบนคอมพิวเตอร์ จะใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel เป็นตัวแสดงกราฟของข้อมูลที่เก็บมา ดังรูปที่ 4.9

4.3 การทดสอบการทำงานของ Gyroscope พร้อมกับแสดงกราฟทั้ง 3 แกน

ทดสอบการทำงานของ Gyroscope ด้วยการหมุนอุปกรณ์รอบแกน X แกน Y และ แกน Z

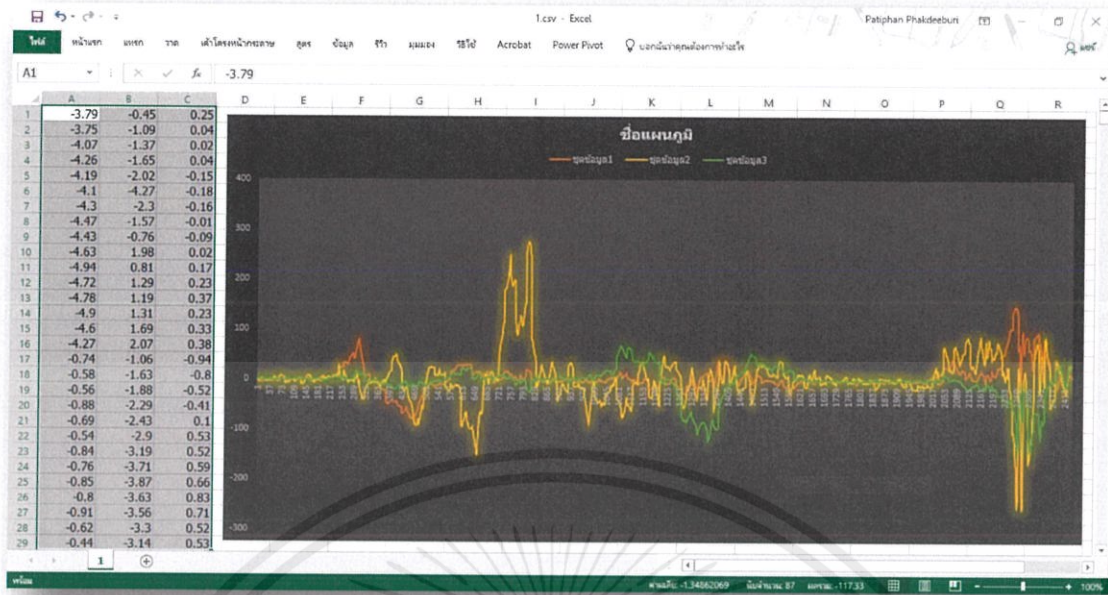


รูปที่ 4.10 การรับข้อมูลจาก Gyroscope แกน X, แกน Y และ แกน Z



รูปที่ 4.11 การรับข้อมูลจาก Gyroscope แกน X (สีน้ำเงิน), แกน Y (สีแดง) และ แกน Z (สีเขียว) แสดงเป็นกราฟการเคลื่อนไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ข้อมูล Gyroscope แกน X (สีส้ม), แกน Y (สีเหลือง) และ แกน Z (สีเขียว) ใน Micro SD Card ซึ่งอุปกรณ์ได้ทำการเก็บไว้

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบการทำงานของ Gyroscope สัญญาณที่ถูกเก็บมา แสดงเป็นตัวเลขทั้งหมด 3 ชุด แสดงค่าที่ตรวจจับได้จาก Gyroscope แกน X, Y, Z ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.10 แสดงเป็นกราฟสัญญาณ ดังรูปที่ 4.11 และเมื่อนำ Micro SD Card มาเปิดบนคอมพิวเตอร์ จะใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel เป็นตัวแสดงกราฟของข้อมูลที่เก็บมา ดังรูปที่ 4.12

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาและจัดทำอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหวมนุษย์ อุปกรณ์สามารถตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหวได้ และสามารถนำข้อมูลที่อุปกรณ์เก็บไว้ในหน่วยความจำมาทำการวิเคราะห์ได้ โดยก่อนการนำอุปกรณ์มาใช้ตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหว ผู้จัดทำได้ทำการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์เพื่อตรวจสอบว่าอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหวนี้มีการทำงานของส่วนต่างๆถูกต้องหรือไม่ ทั้งการตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหวของเซนเซอร์ และการเก็บข้อมูลไปยัง Micro SD Card ซึ่งผู้จัดทำได้แบ่งการทดสอบเป็นการทดลองหลัก 3 การทดลอง ประกอบด้วย

การทดลองที่ 4.1 เป็นการทดสอบการทำงานของและการเก็บข้อมูลของเซนเซอร์ไปยังหน่วยความจำ Micro SD Card โดยใช้ Serial Monitor และ Serial Plotter ของโปรแกรม Arduino IDE ซึ่งสัญญาณที่ตรวจจับได้จากเซนเซอร์จะแสดงในรูปแบบตัวเลขทั้ง 6 ชุด บน Serial Monitor โดยตัวเลขทั้ง 6 ชุดนั้นคือ สัญญาณจากเซนเซอร์ตรวจจับความเร่ง (Accelerometer) 3 แกน และสัญญาณจากเซนเซอร์ตรวจจับความเร็วเชิงมุม (Gyroscope) 3 แกน ดังรูปที่ 4.2 และจะแสดงในรูปแบบของกราฟการเคลื่อนไหวบน Serial Plotter ดังรูปที่ 4.3 หลังจากนั้นเป็นการทดสอบการเชื่อมต่อและการเก็บข้อมูลสัญญาณการเคลื่อนไหวไปยังหน่วยความจำ SD Card โดยใช้ Serial Monitor เป็นซอฟต์แวร์ในการตรวจสอบ โดยหากยังไม่มีติดตั้ง Micro SD Card บนอุปกรณ์ อุปกรณ์จะแจ้งบน Serial Monitor ว่า “Connect Failed ---> Pls Check your SD Card ...” ดังรูปที่ 4.4 เมื่อมีการติดตั้ง Micro SD Card อุปกรณ์จะแจ้งบน Serial Monitor ว่า “Connect !!!” และจะเริ่มทำการตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหวทันที ดังรูปที่ 4.5 ขั้นตอนสุดท้ายของการทดลองจะเป็นการถอด SD Card บนอุปกรณ์เพื่อทำการเช็คข้อมูลว่าได้มีการเก็บข้อมูลเข้ามาหรือไม่ โดยทำการเช็คบนคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่ามีไฟล์นามสกุล CSV เก็บเข้ามาแล้ว สามารถเปิดแสดงสัญญาณเพื่อวิเคราะห์ได้

การทดลองที่ 4.2 และการทดลองที่ 4.3 เป็นการทดสอบการทำงานของ Accelerometer และ Gyroscope ตามลำดับ โดยจะแสดงเป็นตัวเลข 3 ชุด ซึ่งคือแกนทั้ง 3 ของเซนเซอร์แต่ละชนิด บน Serial Monitor ดังรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.10 แสดงเป็นกราฟการเคลื่อนไหวบน Serial Plotter ดังรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.11 และเมื่อนำ SD Card มาตรวจสอบในคอมพิวเตอร์ จะสามารถนำสัญญาณมาวิเคราะห์ได้ภายหลัง โดยจะแสดงทั้งตัวเลขค่าสัญญาณที่ตรวจจับได้ และสามารถสร้างกราฟการเคลื่อนไหวจากตัวเลขค่าสัญญาณได้ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel ดังรูป 4.9 และรูปที่ 4.12

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

การทดสอบการทำงานของ Gyroscope เป็นการเก็บลักษณะสัญญาณที่ยากที่สุดเนื่องจากการหมุนในแต่ละแกนลักษณะสัญญาณของการหมุนในแกน 180 กับ 360 องศา นั้นสัญญาณจะไม่เหมือนกันแต่ก็สามารถบ่งบอกการหมุนที่มีการหมุนไปแนวเดียวกันได้

ลักษณะสัญญาณของทั้ง 6 สัญญาณ (ได้แก่ Accelerometer ใน แกน X, แกน Y และ แกน Z และ Gyroscope ใน แกน X, แกน Y และ แกน Z มาวิเคราะห์รวมกันแล้วอาจจะต้องนำข้อมูลของแต่ละแกนมาวิเคราะห์แยกซึ่งมีลักษณะสัญญาณที่ซับซ้อนมากขึ้น



บรรณานุกรม

- [1] Alasdair Allan. (24 สิงหาคม 2560). **Introducing the New ESP32-PICO-D4 SIP**. สืบค้นเมื่อวันที่ 13 เมษายน 2562, จาก <https://blog.hackster.io/introducing-the-new-esp32-pico-d4-sip-99476238bc07>
- [2] Andreadevo. (14 สิงหาคม 2558). **Sparkfun LSM9DS1 Arduino Library**. สืบค้นเมื่อวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2562, จาก https://github.com/sparkfun/SparkFun_LSM9DS1_Library
- [3] Arduino. **SD Library**. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2562, จาก <https://www.arduino.cc/en/reference/SD>
- [4] Arduitrronics. (26 พฤษภาคม 2557). **การต่อใช้งาน SD Card Module**. สืบค้นเมื่อวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2562, จาก <https://www.arduitronics.com/article/10/การต่อใช้งาน-sd-card-module-ตอนที่-1>
- [5] Arduitrronics. (26 ตุลาคม 2561). **USB2.0 to TTL(CP2102)**. สืบค้นเมื่อวันที่ 13 เมษายน, จาก <https://www.arduitronics.com/product/115/usb-2-0-to-ttl-cp2102-uart-5-pin-module-serial-converter>
- [6] Codemobiles. (16 สิงหาคม 2561). **Micro SD Card Module**. สืบค้นเมื่อวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2562, จาก <http://www.arduino.codemobiles.com/product/222/โมดูลบันทึกข้อมูล-data-logger-micro-sdcard-reader-spi-module>
- [7] Digi-Key. (มิถุนายน 2560). **AP2112 Voltage Regulator**. สืบค้นเมื่อวันที่ 13 เมษายน 2562, จาก <https://www.digikey.hu/en/datasheets/diodes-incorporated/diodes-incorporated-ap2112>
- [8] Dogan Ibrahim และ Ahmet Ibrahim. (2560). **The Official ESP32 Book**. สืบค้นเมื่อวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2562, จาก <https://www.elektor.com/the-official-esp32-book>
- [9] ESPRESSIF. **ESP32-PICO-KIT V4 / V4.1 Getting Started Guide**. สืบค้นเมื่อวันที่ 13 เมษายน 2562, จาก <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/get-started/get-started-pico-kit.html>
- [10] FTDI Chip. **FTDI Chip FT231XQ-R, USB Transceiver**. สืบค้นเมื่อวันที่ 13 เมษายน 2562, จาก <https://th.rs-online.com/web/p/universal-asynchronous-receiver-transmitter>
- [11] Jimblom. (5 พฤศจิกายน 2558). **LSM9DS1 breakout hookup guild**. สืบค้นเมื่อวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2562, จาก <https://learn.sparkfun.com/tutorials/lsm9ds1-breakout-hookup-guide>
- [12] Microchip. **MCP73831**. สืบค้นเมื่อวันที่ 13 เมษายน 2562, จาก <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/en024903>
- [13] Paul Smith. (18 กุมภาพันธ์ 2560). **How to install FTDI driver**. สืบค้นเมื่อวันที่ 13 เมษายน 2562, จาก <https://learn.sparkfun.com/tutorials/how-to-install-ftdi-drivers>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

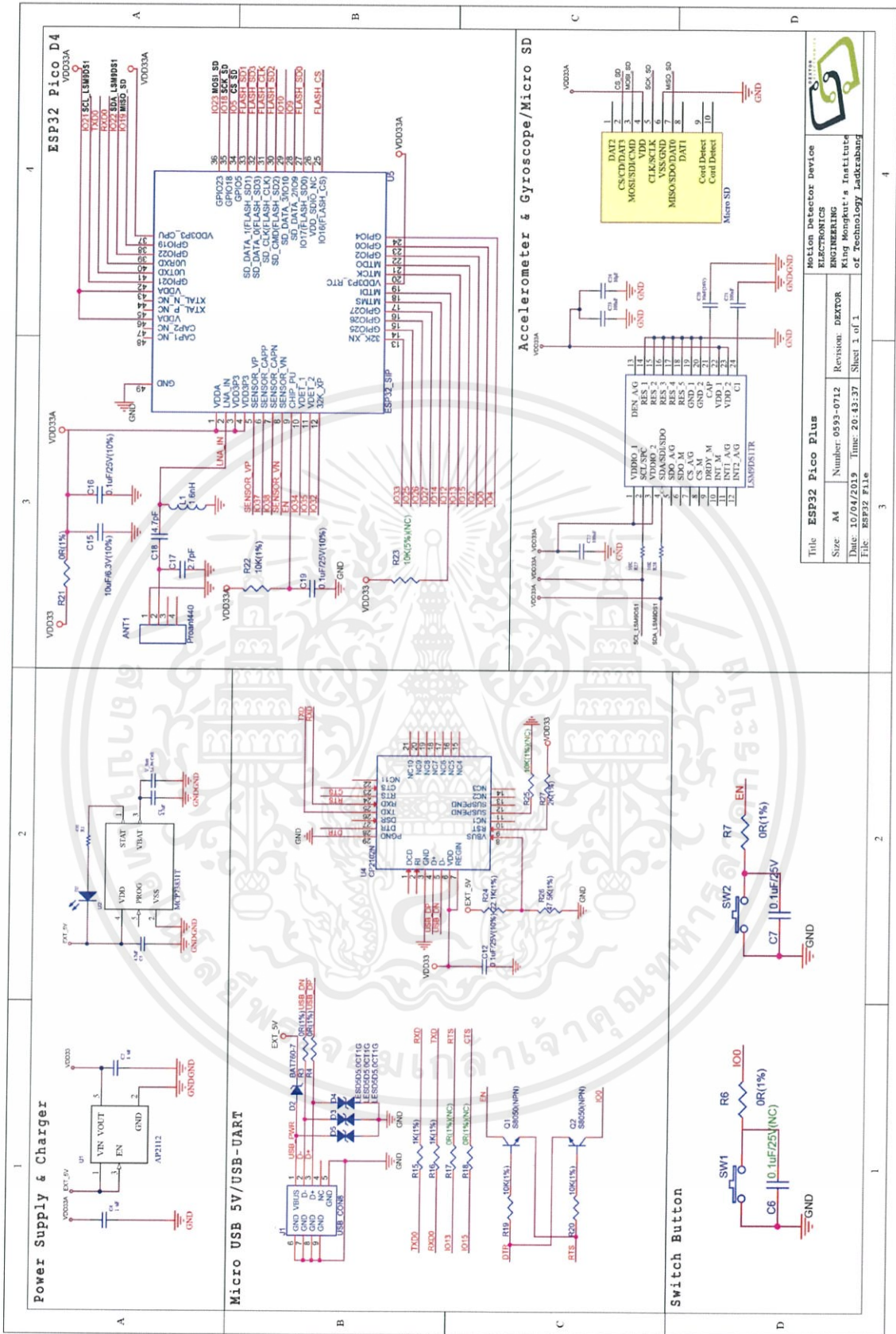
- [14] Silicon Labs. **USB to UART Bridge**. สืบค้นเมื่อ วันที่ 13 เมษายน 2562, จาก <https://www.silabs.com/products/development-tools/software/usb-to-uart-bridge-vcp-drivers>
- [15] Sontaya Nongnuch. (2560). **Introduction of ESP32 Ebook**. สืบค้นเมื่อ วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2562, จาก <https://randomnerdtutorials.com/getting-started-with-esp32/>
- [16] STMicroelectronics. (มีนาคม 2558). **LSM9DS1**. สืบค้นเมื่อ วันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2562, จาก <https://www.st.com/en/mems-and-sensors/lsm9ds1.html>
- [17] Vishnu M Aiea. (9 มีนาคม 2560). **Micro SD Card Module**. สืบค้นเมื่อ วันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2562, จาก <https://www.vishnumaiea.in/projects/hardware/interfacing-catalex-micro-sd-card-module>





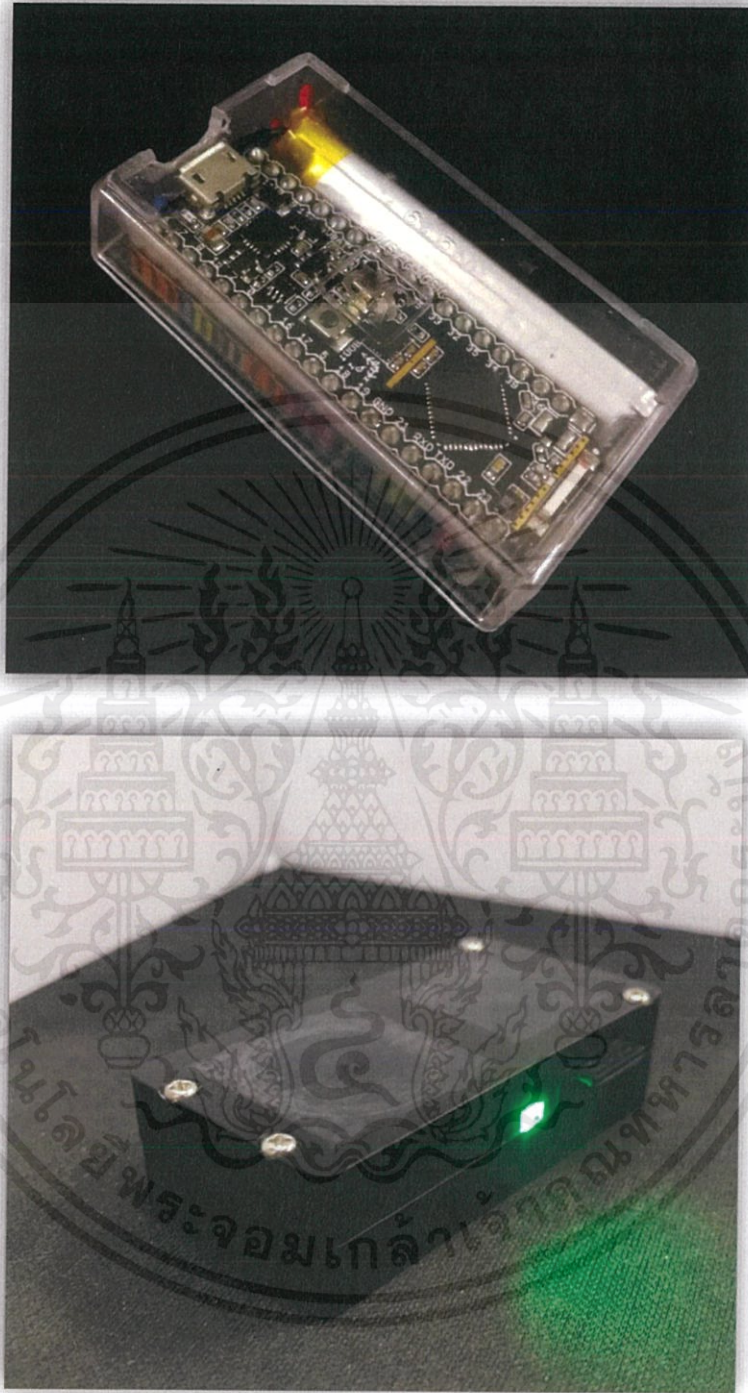
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



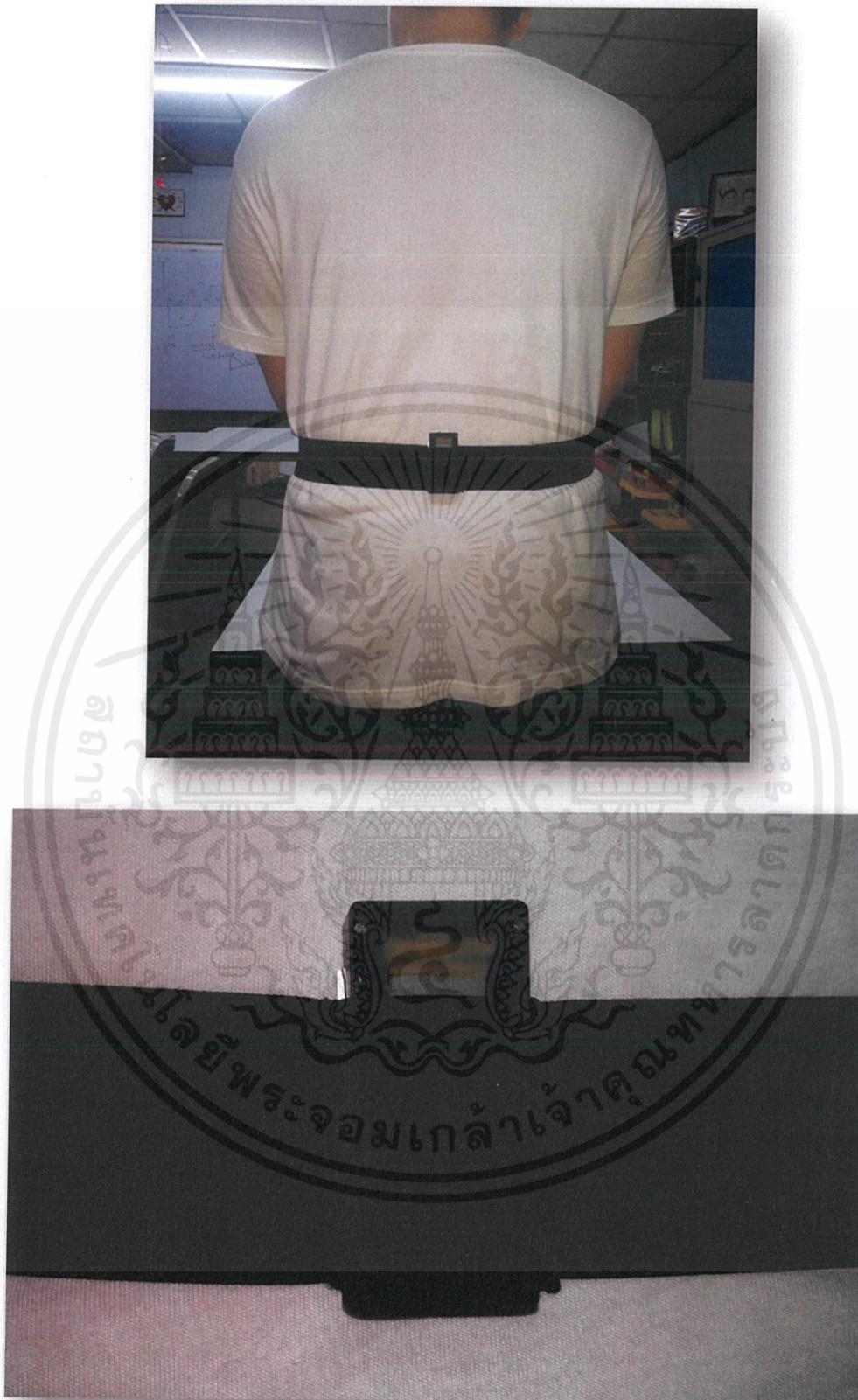
แผงจอร์อุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหวมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การสวมใส่อุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหวมนุษย์ในรูปแบบเข็มขัดยางยืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา.และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ESP32-PICO-D4

Datasheet



Version 1.5
Espressif Systems
Copyright © 2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

www.espressif.com

1. Overview

The ESP32-PICO-D4 is a System-in-Package (SiP) module that is based on ESP32, providing complete Wi-Fi and Bluetooth functionalities. The module has a size as small as (7.000 ± 0.100) mm \times (7.000 ± 0.100) mm \times (0.940 ± 0.100) mm, thus requiring minimal PCB area. The module integrates a 4-MB SPI flash.

At the core of this module is the ESP32 chip*, which is a single 2.4 GHz Wi-Fi and Bluetooth combo chip designed with TSMC's 40 nm ultra-low power technology. ESP32-PICO-D4 integrates all peripheral components seamlessly, including a crystal oscillator, flash, filter capacitors and RF matching links in one single package. Given that no other peripheral components are involved, module welding and testing is not required either. As such, ESP32-PICO-D4 reduces the complexity of supply chain and improves control efficiency.

With its ultra-small size, robust performance and low-energy consumption, ESP32-PICO-D4 is well suited for any space-limited or battery-operated applications, such as wearable electronics, medical equipment, sensors and other IoT products.

Note:

* For details on ESP32, please refer to the document [ESP32 Datasheet](#).

Table 1 provides the specifications of the ESP32-PICO-D4 module.

Table 1: ESP32-PICO-D4 Specifications

Categories	Items	Specifications
Wi-Fi	Protocols	802.11 b/g/n (802.11n up to 150 Mbps) A-MPDU and A-MSDU aggregation and 0.4 μ s guard interval support
	Frequency range	2.4 ~ 2.5 GHz
	Bluetooth	Protocols
Bluetooth	Radio	NZIF receiver with -97 dBm sensitivity
		Class-1, class-2 and class-3 transmitter AFH
	Audio	CVSD and SBC
Hardware	Module interfaces	ADC, DAC, touch sensor, SD/SDIO/MMC Host Controller, SPI, SDIO/SPI Slave Controller, EMAC, motor PWM, LED PWM, UART, I ² C, I ² S, infrared remote controller, GPIO, pulse counter
	On-chip sensor	Hall sensor
	Integrated crystal	40 MHz crystal
	Integrated SPI flash	4 MB
	Operating voltage/Power supply	2.7 V ~ 3.6 V
	Operating current	Average: 80 mA
	Minimum current delivered by power supply	500 mA
	Operating temperature range	-40 °C ~ 85 °C
Package size	(7.000 ± 0.100) mm \times (7.000 ± 0.100) mm \times (0.940 ± 0.100) mm	

2. Pin Definitions

2.1 Pin Layout

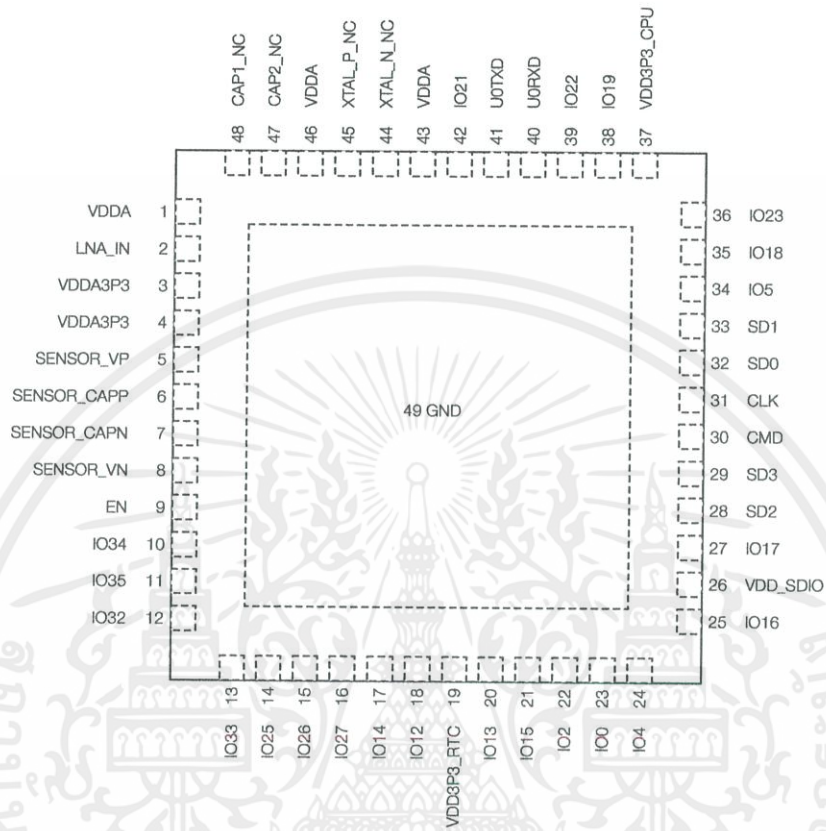


Figure 1: ESP32-PICO-D4 Pin Layout (Top View)

2.2 Pin Description

The ESP32-PICO-D4 module has 48 pins. See pin definitions in Table 2.

Table 2: Pin Description

Name	No.	Type	Function
Analog			
VDDA	1	P	Analog power supply (2.3 V ~ 3.6 V)
LNA_IN	2	I/O	RF input and output
VDDA3P3	3	P	Analog power supply (2.3 V ~ 3.6 V)
VDDA3P3	4	P	Analog power supply (2.3 V ~ 3.6 V)
SENSOR_VP	5	I	GPIO36, ADC1_CH0, RTC_GPIO0
SENSOR_CAPP	6	I	GPIO37, ADC1_CH1, RTC_GPIO1
SENSOR_CAPN	7	I	GPIO38, ADC1_CH2, RTC_GPIO2
SENSOR_VN	8	I	GPIO39, ADC1_CH3, RTC_GPIO3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Name	No.	Type	Function
EN	9	I	High: On; enables the module Low: Off; the module powers off Note: Do not leave this pin floating.
IO34	10	I	ADC1_CH6, RTC_GPIO4
IO35	11	I	ADC1_CH7, RTC_GPIO5
IO32	12	I/O	32K_XP (32.768 kHz crystal oscillator input), ADC1_CH4, TOUCH9, RTC_GPIO9
IO33	13	I/O	32K_XN (32.768 kHz crystal oscillator output), ADC1_CH5, TOUCH8, RTC_GPIO8
IO25	14	I/O	GPIO25, DAC_1, ADC2_CH8, RTC_GPIO6, EMAC_RXD0
IO26	15	I/O	GPIO26, DAC_2, ADC2_CH9, RTC_GPIO7, EMAC_RXD1
IO27	16	I/O	GPIO27, ADC2_CH7, TOUCH7, RTC_GPIO17, EMAC_RX_DV
IO14	17	I/O	ADC2_CH6, TOUCH6, RTC_GPIO16, MTMS, HSPICLK, HS2_CLK, SD_CLK, EMAC_TXD2
IO12	18	I/O	ADC2_CH5, TOUCH5, RTC_GPIO15, MTDI, HSPIQ, HS2_DATA2, SD_DATA2, EMAC_TXD3
VDD3P3_RTC	19	P	Input power supply for RTC IO (2.3 V ~ 3.6 V)
IO13	20	I/O	ADC2_CH4, TOUCH4, RTC_GPIO14, MTCK, HSPID, HS2_DATA3, SD_DATA3, EMAC_RX_ER
IO15	21	I/O	ADC2_CH3, TOUCH3, RTC_GPIO13, MTDO, HSPICS0, HS2_CMD, SD_CMD, EMAC_RXD3
IO2	22	I/O	ADC2_CH2, TOUCH2, RTC_GPIO12, HSPIWP, HS2_DATA0, SD_DATA0
IO0	23	I/O	ADC2_CH1, TOUCH1, RTC_GPIO11, CLK_OUT1, EMAC_TX_CLK
IO4	24	I/O	ADC2_CH0, TOUCH0, RTC_GPIO10, HSPIHD, HS2_DATA1, SD_DATA1, EMAC_TX_ER
IO16	25	I/O	GPIO16, HS1_DATA4, U2RXD, EMAC_CLK_OUT
VDD_SDIO	26	P	Output power supply: the same voltage as VDD3P3_RTC
IO17	27	I/O	GPIO17, HS1_DATA5, U2TXD, EMAC_CLK_OUT_180
SD2	28	I/O	GPIO9, SD_DATA2, SPIHD, HS1_DATA2, U1RXD
SD3	29	I/O	GPIO10, SD_DATA3, SPIWP, HS1_DATA3, U1TXD
CMD	30	I/O	GPIO11, SD_CMD, SPICS0, HS1_CMD, U1RTS
CLK	31	I/O	GPIO6, SD_CLK, SPICLK, HS1_CLK, U1CTS
SD0	32	I/O	GPIO7, SD_DATA0, SPIQ, HS1_DATA0, U2RTS
SD1	33	I/O	GPIO8, SD_DATA1, SPID, HS1_DATA1, U2CTS
IO5	34	I/O	GPIO5, VSPICS0, HS1_DATA6, EMAC_RX_CLK
IO18	35	I/O	GPIO18, VSPICLK, HS1_DATA7
IO23	36	I/O	GPIO23, VSPID, HS1_STROBE
VDD3P3_CPU	37	P	Input power supply for CPU IO (1.8 V ~ 3.6 V)
IO19	38	I/O	GPIO19, VSPIQ, U0CTS, EMAC_TXD0
IO22	39	I/O	GPIO22, VSPIWP, U0RTS, EMAC_TXD1
U0RXD	40	I/O	GPIO3, U0RXD, CLK_OUT2
U0TXD	41	I/O	GPIO1, U0TXD, CLK_OUT3, EMAC_RXD2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Name	No.	Type	Function
IO21	42	I/O	GPIO21, VSPIHD, EMAC_TX_EN
VDDA	43	P	Analog power supply (2.3 V ~ 3.6 V)
XTAL_N_NC	44	-	NC
XTAL_P_NC	45	-	NC
VDDA	46	P	Analog power supply (2.3 V ~ 3.6 V)
CAP2_NC	47	-	NC
CAP1_NC	48	-	NC

Notice:

- Pins IO16, IO17, CMD, CLK, SD0 and SD1 are used for connecting the embedded flash, and are not recommended for other uses. For details, please see Section 6 Schematics.
- For connecting external PSRAM, SD3 (GPIO10) is recommended for PSRAM_CS. For details, please see Section 7 Peripheral Schematics.

2.3 Strapping Pins

ESP32 has five strapping pins, which can be seen in Chapter 6 Schematics:

- MTDI
- GPIO0
- GPIO2
- MTDO
- GPIO5

Software can read the values of these five bits from register "GPIO_STRAPPING".

During the chip's system reset release (power-on-reset, RTC watchdog reset and brownout reset), the latches of the strapping pins sample the voltage level as strapping bits of "0" or "1", and hold these bits until the chip is powered down or shut down. The strapping bits configure the device's boot mode, the operating voltage of VDD_SDIO and other initial system settings.

Each strapping pin is connected to its internal pull-up/pull-down during the chip reset. Consequently, if a strapping pin is unconnected or the connected external circuit is high-impedance, the internal weak pull-up/pull-down will determine the default input level of the strapping pins.

To change the strapping bit values, users can apply the external pull-down/pull-up resistances, or use the host MCU's GPIOs to control the voltage level of these pins when powering on ESP32.

After reset release, the strapping pins work as normal-function pins.

Refer to Table 3 for a detailed boot-mode configuration by strapping pins.

Table 3: Strapping Pins

		Voltage of Internal LDO (VDD_SDIO)	
Pin	Default	3.3 V	1.8 V

3. Functional Descriptions

This chapter describes the modules integrated in ESP32-PICO-D4, and their functions.

3.1 CPU and Internal Memory

ESP32 contains two low-power Xtensa® 32-bit LX6 microprocessors. The internal memory includes:

- 448 KB of ROM for booting and core functions.
- 520 KB of on-chip SRAM for data and instructions.
- 8 KB of SRAM in RTC, which is called RTC FAST Memory and can be used for data storage; it is accessed by the main CPU during RTC Boot from the Deep-sleep mode.
- 8 KB of SRAM in RTC, which is called RTC SLOW Memory and can be accessed by the co-processor during the Deep-sleep mode.
- 1 Kbit of eFuse: 256 bits are used for the system (MAC address and chip configuration) and the remaining 768 bits are reserved for customer applications, including flash-encryption and chip-ID.

3.2 External Flash and SRAM

ESP32 supports multiple external QSPI flash and SRAM chips. More details can be found in Chapter SPI in the [ESP32 Technical Reference Manual](#). ESP32 also supports hardware encryption/decryption based on AES to protect developers' programs and data in flash.

ESP32 can access the external QSPI flash and SRAM through high-speed caches.

- The external flash can be mapped into CPU instruction memory space and read-only memory space simultaneously.
 - When external flash is mapped into CPU instruction memory space, up to 11 MB + 248 KB can be mapped at a time. Note that if more than 3 MB + 248 KB are mapped, cache performance will be reduced due to speculative reads by the CPU.
 - When external flash is mapped into read-only data memory space, up to 4 MB can be mapped at a time. 8-bit, 16-bit and 32-bit reads are supported.
- External SRAM can be mapped into CPU data memory space. Up to 4 MB can be mapped at a time. 8-bit, 16-bit and 32-bit reads and writes are supported.

The ESP32-PICO-D4 module integrates 4 MB of external SPI flash.

3.3 Crystal Oscillators

ESP32-PICO-D4 integrates a 40 MHz crystal oscillator.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. Peripheral Schematics

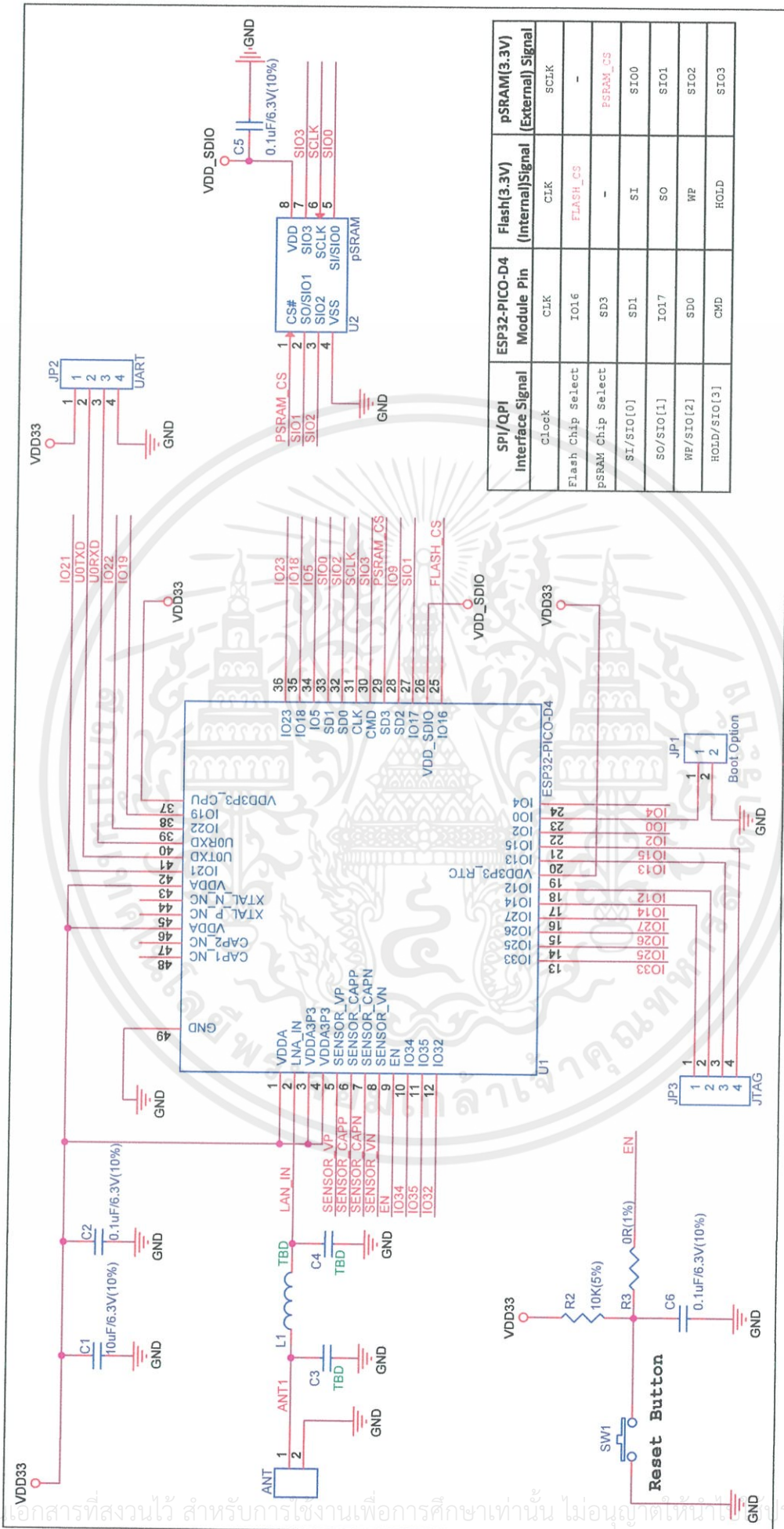


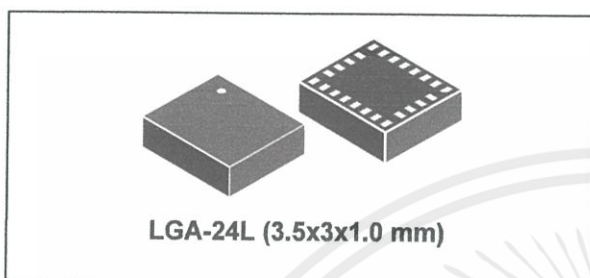
Figure 4: ESP32-PICO-D4 Module Peripheral Schematics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปภายนอกโดยไม่ได้รับอนุญาตจาก Espressif Systems

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

iNEMO inertial module: 3D accelerometer, 3D gyroscope, 3D magnetometer

Datasheet - production data



Applications

- Indoor navigation
- Smart user interfaces
- Advanced gesture recognition
- Gaming and virtual reality input devices
- Display/map orientation and browsing

Features

- 3 acceleration channels, 3 angular rate channels, 3 magnetic field channels
- $\pm 2/\pm 4/\pm 8/\pm 16$ g linear acceleration full scale
- $\pm 4/\pm 8/\pm 12/\pm 16$ gauss magnetic full scale
- $\pm 245/\pm 500/\pm 2000$ dps angular rate full scale
- 16-bit data output
- SPI / I²C serial interfaces
- Analog supply voltage 1.9 V to 3.6 V
- “Always-on” eco power mode down to 1.9 mA
- Programmable interrupt generators
- Embedded temperature sensor
- Embedded FIFO
- Position and motion detection functions
- Click/double-click recognition
- Intelligent power saving for handheld devices
- ECOPACK[®], RoHS and “Green” compliant

Description

The LSM9DS1 is a system-in-package featuring a 3D digital linear acceleration sensor, a 3D digital angular rate sensor, and a 3D digital magnetic sensor.

The LSM9DS1 has a linear acceleration full scale of $\pm 2/\pm 4/\pm 8/\pm 16$ g, a magnetic field full scale of $\pm 4/\pm 8/\pm 12/\pm 16$ gauss and an angular rate of $\pm 245/\pm 500/\pm 2000$ dps.

The LSM9DS1 includes an I²C serial bus interface supporting standard and fast mode (100 kHz and 400 kHz) and an SPI serial standard interface.

Magnetic, accelerometer and gyroscope sensing can be enabled or set in power-down mode separately for smart power management.

The LSM9DS1 is available in a plastic land grid array package (LGA) and it is guaranteed to operate over an extended temperature range from -40 °C to +85 °C.

Table 1. Device summary

Part number	Temperature range [°C]	Package	Packing
LSM9DS1	-40 to +85	LGA-24L	Tray
LSM9DS1TR	-40 to +85	LGA-24L	Tape and reel

1 Pin description

Figure 1. Pin connections

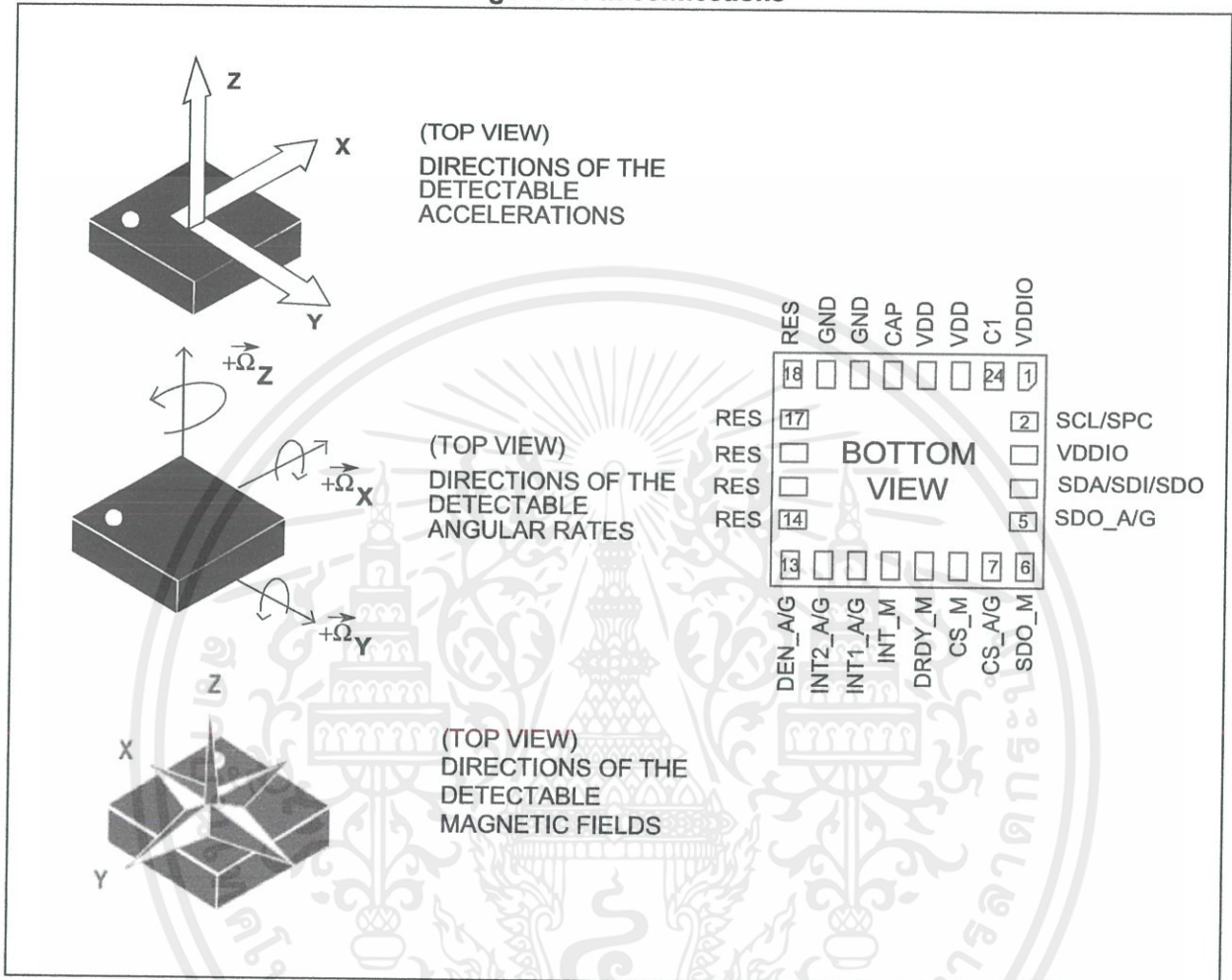


Table 2. Pin description

Pin #	Name	Function
1	VDDIO ⁽¹⁾	Power supply for I/O pins
2	SCL/SPC	I ² C serial clock (SCL) / SPI serial port clock (SPC)
3	VDDIO ⁽²⁾	Power supply for I/O pins
4	SDA/SDI/SDO	I ² C serial data (SDA) SPI serial data input (SDI) 3-wire interface serial data output (SDO)
5	SDO_A/G	SPI serial data output (SDO) for the accelerometer and gyroscope I ² C least significant bit of the device address (SA0) for the accelerometer and gyroscope
6	SDO_M	SPI serial data output (SDO) for the magnetometer I ² C least significant bit of the device address (SA0) for the magnetometer
7	CS_A/G	SPI enable I ² C/SPI mode selection for the accelerometer and gyroscope (1: SPI idle mode / I ² C communication enabled; 0: SPI communication mode / I ² C disabled)
8	CS_M	SPI enable I ² C/SPI mode selection for the magnetometer (1: SPI idle mode / I ² C communication enabled; 0: SPI communication mode / I ² C disabled)
9	DRDY_M	Magnetic sensor data ready
10	INT_M	Magnetic sensor interrupt
11	INT1_A/G	Accelerometer and gyroscope interrupt 1
12	INT2_A/G	Accelerometer and gyroscope interrupt 2
13	DEN_A/G	Accelerometer and gyroscope data enable
14	RES	Reserved. Connected to GND.
15	RES	Reserved. Connected to GND.
16	RES	Reserved. Connected to GND.
17	RES	Reserved. Connected to GND.
18	RES	Reserved. Connected to GND.
19	GND	0 V supply
20	GND	0 V supply
21	CAP	Connected to GND with ceramic capacitor ⁽³⁾
22	VDD ⁽⁴⁾	Power supply
23	VDD ⁽⁵⁾	Power supply
24	C1	Capacitor connection (C1 = 100 nF)

1. Recommended 100 nF filter capacitor.
2. Recommended 100 nF filter capacitor.
3. 10 nF ($\pm 10\%$), 16 V. 1 nF minimum value has to be guaranteed under 11 V bias condition.
4. Recommended 100 nF plus 10 μ F capacitors.
5. Recommended 100 nF plus 10 μ F capacitors.

2 Module specifications

2.1 Sensor characteristics

@ Vdd = 2.2 V, T = 25 °C unless otherwise noted^(a)

Table 3. Sensor characteristics

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ. ⁽¹⁾	Max.	Unit
LA_FS	Linear acceleration measurement range			±2		g
				±4		
				±8		
				±16		
M_FS	Magnetic measurement range			±4		gauss
				±8		
				±12		
				±16		
G_FS	Angular rate measurement range			±245		dps
				±500		
				±2000		
LA_So	Linear acceleration sensitivity	Linear acceleration FS = ±2 g		0.061		mg/LSB
		Linear acceleration FS = ±4 g		0.122		
		Linear acceleration FS = ±8 g		0.244		
		Linear acceleration FS = ±16 g		0.732		
M_GN	Magnetic sensitivity	Magnetic FS = ±4 gauss		0.14		mgauss/LSB
		Magnetic FS = ±8 gauss		0.29		
		Magnetic FS = ±12 gauss		0.43		
		Magnetic FS = ±16 gauss		0.58		
G_So	Angular rate sensitivity	Angular rate FS = ±245 dps		8.75		mdps/LSB
		Angular rate FS = ±500 dps		17.50		
		Angular rate FS = ±2000 dps		70		
LA_TyOff	Linear acceleration typical zero-g level offset accuracy ⁽²⁾	FS = ±8 g		±90		mg
M_TyOff	Zero-gauss level ⁽³⁾	FS = ±4 gauss		±1		gauss
G_TyOff	Angular rate typical zero-rate level ⁽⁴⁾	FS = ±2000 dps		±30		dps
M_DF	Magnetic disturbance field	Zero-gauss offset starts to degrade			50	gauss
Top	Operating temperature range		-40		+85	°C

1. Typical specifications are not guaranteed
2. Typical zero-g level offset value after soldering
3. Typical zero-gauss level value after test and trimming
4. Typical zero rate level offset value after MSL3 preconditioning

a. The product is factory calibrated at 2.2 V. The operational power supply range is from 1.9 V to 3.6 V.

2.2 Electrical characteristics

@ Vdd = 2.2 V, T = 25 °C unless otherwise noted^(b)

Table 4. Electrical characteristics

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ. ⁽¹⁾	Max.	Unit
Vdd	Supply voltage		1.9		3.6	V
Vdd_IO	Module power supply for I/O		1.71		Vdd+0.1	
Idd_XM	Current consumption of the accelerometer and magnetic sensor in normal mode ⁽²⁾			600		μA
Idd_G	Gyroscope current consumption in normal mode ⁽³⁾			4.0		mA
Top	Operating temperature range		-40		+85	°C
Trise	Time for power supply rising ⁽⁴⁾		0.01		100	ms
Twait	Time delay between Vdd_IO and Vdd ⁽⁴⁾		0		10	ms

1. Typical specifications are not guaranteed
2. Magnetic sensor in high-resolution mode (ODR = 20 Hz), accelerometer sensor in normal mode, gyroscope in power-down mode
3. Accelerometer and magnetic sensor in power-down mode
4. Please refer to [Section 2.2.1: Recommended power-up sequence](#) for more details.

b. LSM9DS1 is factory calibrated at 2.2 V.

2.4.2 I²C - inter-IC control interface

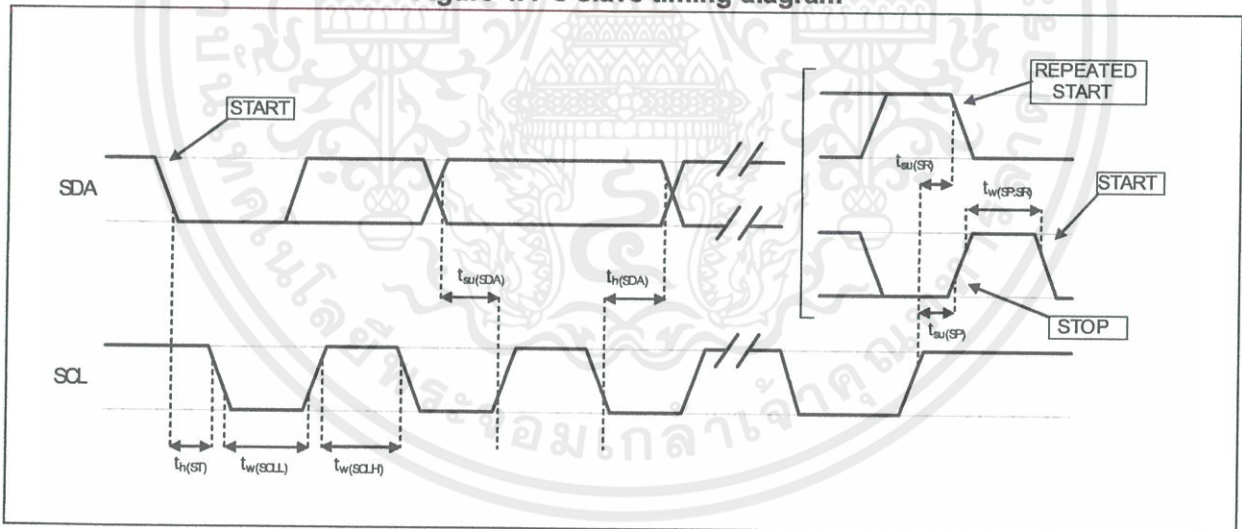
Subject to general operating conditions for Vdd and Top.

Table 7. I²C slave timing values

Symbol	Parameter	I ² C Standard mode ⁽¹⁾		I ² C Fast mode ⁽¹⁾		Unit
		Min	Max	Min	Max	
f _(SCL)	SCL clock frequency	0	100	0	400	kHz
t _{w(SCLL)}	SCL clock low time	4.7		1.3		μs
t _{w(SCLH)}	SCL clock high time	4.0		0.6		
t _{su(SDA)}	SDA setup time	250		100		ns
t _{h(SDA)}	SDA data hold time	0	3.45	0	0.9	μs
t _{h(ST)}	START condition hold time	4		0.6		μs
t _{su(SR)}	Repeated START condition setup time	4.7		0.6		
t _{su(SP)}	STOP condition setup time	4		0.6		
t _{w(SP:SR)}	Bus free time between STOP and START condition	4.7		1.3		

1. Data based on standard I²C protocol requirement, not tested in production.

Figure 4. I²C slave timing diagram



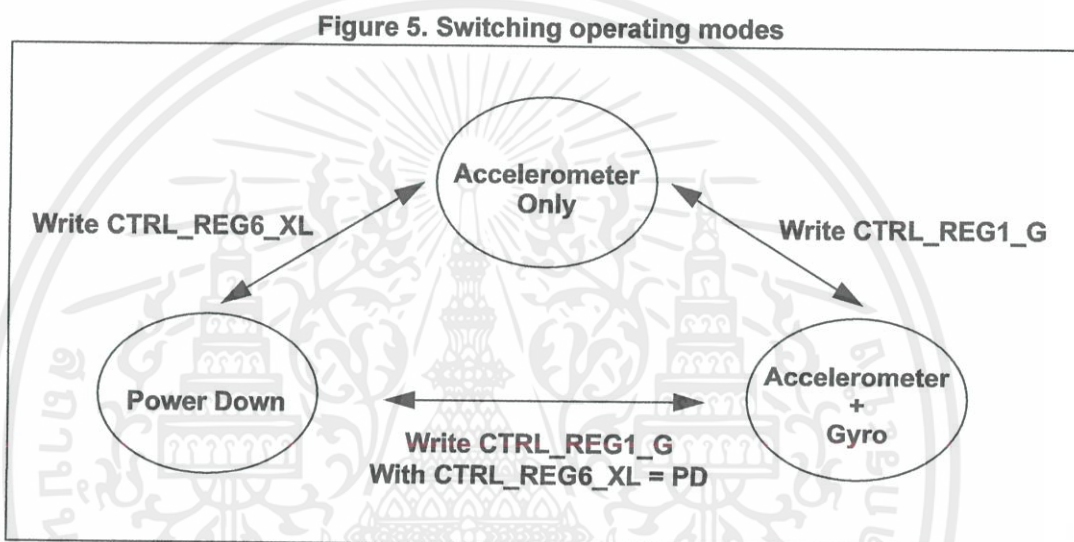
Note: Measurement points are done at 0.2·Vdd_{IO} and 0.8·Vdd_{IO}, for both ports

3 LSM9DS1 functionality

3.1 Operating modes

In the LSM9DS1 the accelerometer and gyroscope have two operating modes available: only accelerometer active and gyroscope in power down or both accelerometer and gyroscope sensors active at the same ODR. Switching from one mode to the other requires one write operation: writing to *CTRL_REG6_XL* (20h), the accelerometer operates in normal mode and the gyroscope is powered down, writing to *CTRL_REG1_G* (10h) both accelerometer and gyroscope are activated at the same ODR.

Figure 5 depicts both modes of operation from power down.



The magnetic sensor has three operating modes available: power-down (default), continuous-conversion mode and single-conversion mode. Switching from power-down to the other modes requires one write operation to *CTRL_REG3_M* (22h), setting values in the MD[1:0] bits. For the output of the magnetic data compensated by temperature, the TEMP_COMP bit in *CTRL_REG1_M* (20h) must be set to '1'.

3.2 Gyroscope power modes

In the LSM9DS1, the gyroscope can be configured in three different operating modes: power-down, low-power and normal mode.

Low-power mode is available for lower ODR (14.9, 59.5, 119 Hz) while for greater ODR (238, 476, 952 Hz) the device is automatically in normal mode. Table summarizes the ODR configuration (ODR_G[2:0] bits set in *CTRL_REG1_G* (10h) and corresponding power modes.

To enable low-power mode, the LP_mode bit in *CTRL_REG3_G* (12h) has to be set to '1'.

Low-power mode allows reaching low power consumption while maintaining the device always on, refer to Table 10.

Table 9. Gyroscope operating modes

ODR_G [2:0]	ODR [Hz]	Power mode
000	Power down	Power-down
001	14.9	Low-power/Normal mode
010	59.5	Low-power/Normal mode
011	119	Low-power/Normal mode
100	238	Normal mode
101	476	Normal mode
110	952	Normal mode

Table 10. Operating mode current consumption

ODR [Hz]	Power mode	Current consumption ⁽¹⁾ [mA]
14.9	Low-power	1.9
59.5	Low-power	2.4
119	Low-power	3.1
238	Normal mode	4.3
476	Normal mode	4.3
952	Normal mode	4.3

1. Typical values of gyroscope and accelerometer current consumption are based on characterization data.

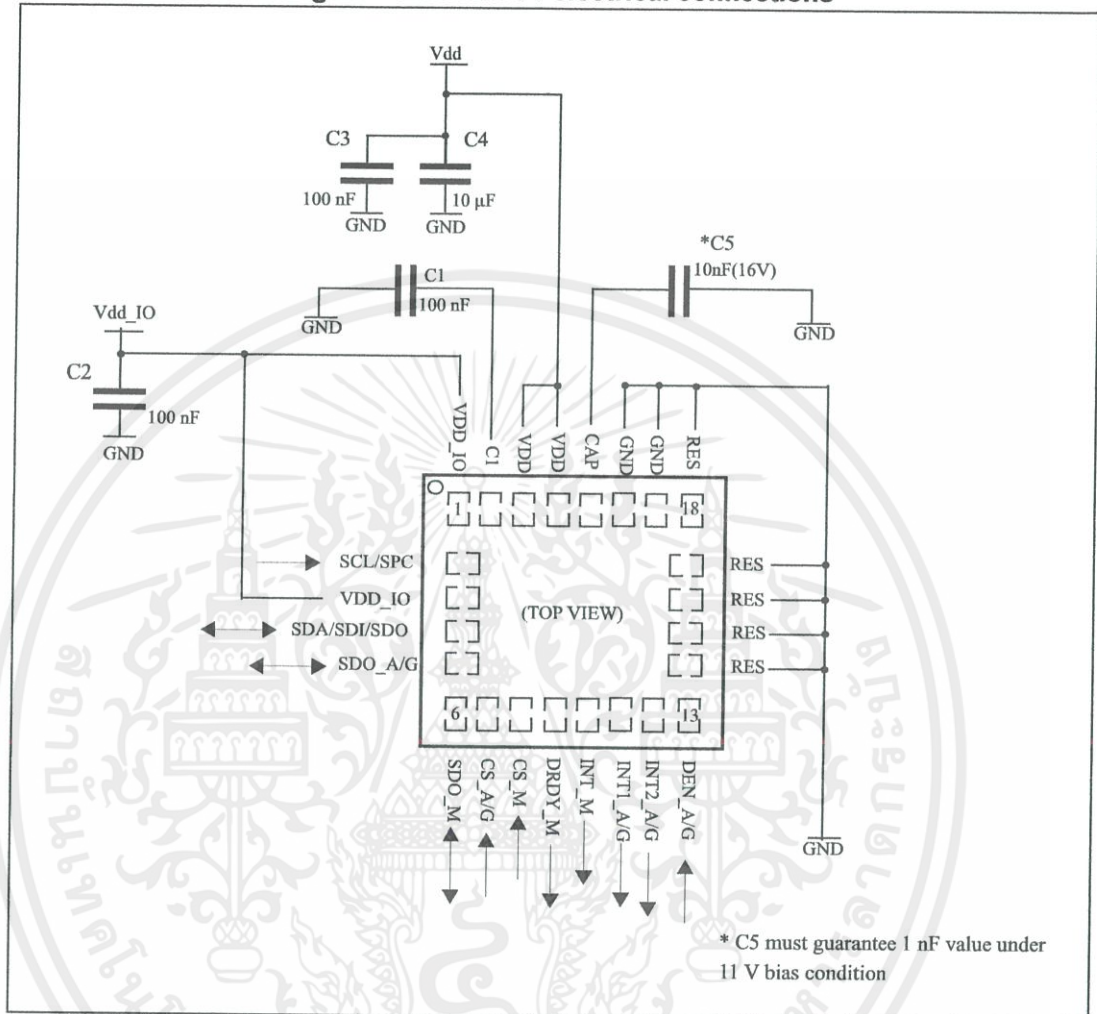
Table 11. Accelerometer turn-on time

ODR [Hz]	BW = 400 Hz ⁽¹⁾	BW = 200 Hz ⁽¹⁾	BW = 100 Hz ⁽¹⁾	BW = 50 Hz ⁽¹⁾
14.9	0	0	0	0
59.5	0	0	0	0
119	1	1	1	2
238	1	1	2	4
476	1	2	4	7
952	2	4	7	14

1. The table contains the number of samples to be discarded after switching between power-down mode and normal mode.

4 Application hints

Figure 15. LSM9DS1 electrical connections



4.1 External capacitors

The device core is supplied through the Vdd line. Power supply decoupling capacitors (C2, C3 = 100 nF ceramic, C4 = 10 μF Al) should be placed as near as possible to the supply pin of the device (common design practice). Capacitor C1 (100 nF) should be a capacitor with low ESR value and should be placed as near as possible to the C1 pin.

All voltage and ground supplies must be present at the same time to achieve proper behavior of the IC (refer to [Figure 15](#)).

6 Register mapping

The table given below provides a list of the 8/16-bit registers embedded in the device and the corresponding addresses.

Table 21. Accelerometer and gyroscope register address map

Name	Type	Register address		Default	Note
		Hex	Binary		
Reserved	--	00-03	--	--	Reserved
ACT_THS	r/w	04	0000100	00000000	
ACT_DUR	r/w	05	0000101	00000000	
INT_GEN_CFG_XL	r/w	06	0000110	00000000	
INT_GEN_THS_X_XL	r/w	07	0000111	00000000	
INT_GEN_THS_Y_XL	r/w	08	00001000	00000000	
INT_GEN_THS_Z_XL	r/w	09	00001001	00000000	
INT_GEN_DUR_XL	r/w	0A	00001010	00000000	
REFERENCE_G	r/w	0B	00001011	00000000	
INT1_CTRL	r/w	0C	00001100	00000000	
INT2_CTRL	r/w	0D	00001101	00000000	
Reserved	--	0E	--	--	Reserved
WHO_AM_I	r	0F	00001111	01101000	
CTRL_REG1_G	r/w	10	00010000	00000000	
CTRL_REG2_G	r/w	11	00010001	00000000	
CTRL_REG3_G	r/w	12	00010010	00000000	
ORIENT_CFG_G	r/w	13	00010011	00000000	
INT_GEN_SRC_G	r	14	00010100	output	
OUT_TEMP_L	r	15	00010101	output	
OUT_TEMP_H	r	16	00010110	output	
STATUS_REG	r	17	00010111	output	
OUT_X_L_G	r	18	00011000	output	
OUT_X_H_G	r	19	00011001	output	
OUT_Y_L_G	r	1A	00011010	output	
OUT_Y_H_G	r	1B	00011011	output	
OUT_Z_L_G	r	1C	00011100	output	
OUT_Z_H_G	r	1D	00011101	output	
CTRL_REG4	r/w	1E	00011110	00111000	
CTRL_REG5_XL	r/w	1F	00011111	00111000	

Table 21. Accelerometer and gyroscope register address map (continued)

Name	Type	Register address		Default	Note
		Hex	Binary		
CTRL_REG6_XL	r/w	20	00100000	00000000	
CTRL_REG7_XL	r/w	21	00100001	00000000	
CTRL_REG8	r/w	22	00100010	00000100	
CTRL_REG9	r/w	23	00100011	00000000	
CTRL_REG10	r/w	24	00100100	00000000	
Reserved	--	25	--	--	Reserved
INT_GEN_SRC_XL	r	26	00100110	output	
STATUS_REG	r	27	00100111	output	
OUT_X_L_XL	r	28	00101000	output	
OUT_X_H_XL	r	29	00101001	output	
OUT_Y_L_XL	r	2A	00101010	output	
OUT_Y_H_XL	r	2B	00101011	output	
OUT_Z_L_XL	r	2C	00101100	output	
OUT_Z_H_XL	r	2D	00101101	output	
FIFO_CTRL	r/w	2E	00101110	00000000	
FIFO_SRC	r	2F	00101111	output	
INT_GEN_CFG_G	r/w	30	00110000	00000000	
INT_GEN_THS_XH_G	r/w	31	00110001	00000000	
INT_GEN_THS_XL_G	r/w	32	00110010	00000000	
INT_GEN_THS_YH_G	r/w	33	00110011	00000000	
INT_GEN_THS_YL_G	r/w	34	00110100	00000000	
INT_GEN_THS_ZH_G	r/w	35	00110101	00000000	
INT_GEN_THS_ZL_G	r/w	36	00110110	00000000	
INT_GEN_DUR_G	r/w	37	00110111	00000000	
Reserved	r	38-7F	--	--	Reserved

7 Accelerometer and gyroscope register description

The device contains a set of registers which are used to control its behavior and to retrieve linear acceleration, angular rate and temperature data. The register addresses, made up of 7 bits, are used to identify them and to write the data through the serial interface.

7.1 ACT_THS (04h)

Activity threshold register.

Table 23. ACT_THS register

SLEEP_ON_	ACT_THS	ACT_THS	ACT_THS	ACT_THS	ACT_THS	ACT_TH	ACT_THS
_INACT_EN	6	5	4	3	2	S1	0

Table 24. ACT_THS register description

SLEEP_ON_	Gyroscope operating mode during inactivity. Default value: 0
INACT_EN	(0: gyroscope in power-down; 1: gyroscope in sleep mode)
ACT_THS [6:0]	Inactivity threshold. Default value: 000 0000

7.2 ACT_DUR (05h)

Inactivity duration register.

Table 25. ACT_DUR register

ACT_DUR	ACT_DUR	ACT_DUR	ACT_DUR	ACT_DUR	ACT_DUR	ACT_DUR	ACT_DUR
7	6	5	4	3	2	1	0

Table 26. ACT_DUR register description

ACT_DUR [7:0]	Inactivity duration. Default value: 0000 0000
---------------	---

7.3 INT_GEN_CFG_XL (06h)

Linear acceleration sensor interrupt generator configuration register.

Table 27. INT_GEN_CFG_XL register

AOI_XL	6D	ZHIE_XL	ZLIE_XL	YHIE_XL	YLIE_XL	XHIE_XL	XLIE_XL
--------	----	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Table 28. INT_GEN_CFG_XL register description

AOI_XL	AND/OR combination of accelerometer's interrupt events. Default value: 0 (0: OR combination; 1: AND combination)
6D	6-direction detection function for interrupt. Default value: 0 (0: disabled; 1: enabled)
ZHIE_XL	Enable interrupt generation on accelerometer's Z-axis high event. Default value: 0 (0: disable interrupt request; 1: interrupt request on measured acceleration value higher than preset threshold)
ZLIE_XL	Enable interrupt generation on accelerometer's Z-axis low event. Default value: 0 (0: disable interrupt request; 1: interrupt request on measured acceleration value lower than preset threshold)
YHIE_XL	Enable interrupt generation on accelerometer's Y-axis high event. Default value: 0 (0: disable interrupt request; 1: interrupt request on measured acceleration value higher than preset threshold)
YLIE_XL	Enable interrupt generation on accelerometer's Y-axis low event. Default value: 0 (0: disable interrupt request; 1: interrupt request on measured acceleration value lower than preset threshold)
XHIE_XL	Enable interrupt generation on accelerometer's X-axis high event. Default value: 0 (0: disable interrupt request; 1: interrupt request on measured acceleration value higher than preset threshold)
XLIE_XL	Enable interrupt generation on accelerometer's X-axis low event. Default value: 0 (0: disable interrupt request; 1: interrupt request on measured acceleration value lower than preset threshold)

7.4 INT_GEN_THS_X_XL (07h)

Linear acceleration sensor interrupt threshold register.

Table 29. INT_GEN_THS_X_XL register

THS_XL_ X7	THS_XL_ X6	THS_XL_ X5	THS_XL_ X4	THS_XL_ X3	THS_XL_ X2	THS_XL_ X1	THS_XL_ X0
---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

Table 30. INT_GEN_THS_X_XL register description

THS_XL_X [7:0]	X-axis interrupt threshold. Default value: 0000 0000
----------------	--

7.5 INT_GEN_THS_Y_XL (08h)

Linear acceleration sensor interrupt threshold register.

Table 31. INT_GEN_THS_Y_XL register

THS_XL_ Y7	THS_XL_ Y6	THS_XL_ Y5	THS_XL_ Y4	THS_XL_ Y3	THS_XL_ Y2	THS_XL_ Y1	THS_XL_ Y0
---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

Table 32. INT_GEN_THS_Y_XL register description

THS_XL_Y [7:0]	Y-axis interrupt threshold. Default value: 0000 0000
----------------	--

7.6 INT_GEN_THS_Z_XL (09h)

Linear acceleration sensor interrupt threshold register.

Table 33. INT_GEN_THS_Z_XL register

THS_XL_Z 7	THS_XL_Z 6	THS_XL_Z 5	THS_XL_Z 4	THS_XL_Z 3	THS_XL_Z 2	THS_XL_Z 1	THS_XL_Z 0
---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

Table 34. INT_GEN_THS_Z_XL register description

THS_XL_Z [7:0]	Z-axis interrupt threshold. Default value: 0000 0000
----------------	--

7.7 INT_GEN_DUR_XL (0Ah)

Linear acceleration sensor interrupt duration register.

Table 35. INT_GEN_DUR_XL register

WAIT_XL	DUR_XL6	DUR_XL5	DUR_XL4	DUR_XL3	DUR_XL2	DUR_XL1	DUR_XL0
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Table 36. INT_GEN_DUR_XL register description

WAIT_XL	Wait function enabled on duration counter. Default value: 0 (0: wait function off; 1: wait for DUR_XL [6:0] samples before exiting interrupt)
DUR_XL [6:0]	Enter/exit interrupt duration value. Default value: 000 0000

7.8 REFERENCE_G (0Bh)

Angular rate sensor reference value register for digital high-pass filter (r/w).

Table 37. REFERENCE_G register

REF7_G	REF6_G	REF5_G	REF4_G	REF3_G	REF2_G	REF1_G	REF0_G
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Table 38. REFERENCE_G register description

REF_G [7:0]	Reference value for gyroscope's digital high-pass filter (r/w). Default value: 0000 0000
-------------	---

7.9 INT1_CTRL (0Ch)

INT1_AG pin control register.

Table 39. INT1_CTRL register

INT1_IG_G	INT1_IG_XL	INT1_FSS5	INT1_OVR	INT1_FTH	INT1_Boot	INT1_DRDY_G	INT1_DRDY_XL
-----------	------------	-----------	----------	----------	-----------	-------------	--------------

Table 40. INT1_CTRL register description

INT1_IG_G	Gyroscope interrupt enable on INT 1_A/G pin. Default value: 0 (0: disabled; 1: enabled)
INT_IG_XL	Accelerometer interrupt generator on INT 1_A/G pin. Default value: 0 (0: disabled; 1: enabled)
INT_FSS5	FSS5 interrupt enable on INT 1_A/G pin. Default value: 0 (0: disabled; 1: enabled)
INT_OVR	Overflow interrupt on INT 1_A/G pin. Default value: 0 (0: disabled; 1: enabled)
INT_FTH	FIFO threshold interrupt on INT 1_A/G pin. Default value: 0 (0: disabled; 1: enabled)
INT_Boot	Boot status available on INT 1_A/G pin. Default value: 0 (0: disabled; 1: enabled)
INT_DRDY_G	Gyroscope data ready on INT 1_A/G pin. Default value: 0 (0: disabled; 1: enabled)
INT_DRDY_XL	Accelerometer data ready on INT 1_A/G pin. Default value: 0 (0: disabled; 1: enabled)

7.10

INT2_CTRL (0Dh)

INT2_A/G pin control register.

Table 41. INT2_CTRL register

INT2_IN ACT	0	INT2_ FSS5	INT2_OVR	INT2_FTH	INT2_ DRDY_ TEMP	INT2_ DRDY_G	INT2_ DRDY_XL
----------------	---	---------------	----------	----------	------------------------	-----------------	------------------

Table 42. INT2_CTRL register description

INT2_INACT	Inactivity interrupt output signal. Default value: 0 (0: no interrupt has been generated; 1: one or more interrupt events have been generated)
INT2_FSS5	FSS5 interrupt enable on INT2_A/G pin. Default value: 0 (0: disabled; 1: enabled)
INT2_OVR	Overflow interrupt on INT2_A/G pin. Default value: 0 (0: disabled; 1: enabled)
INT2_FTH	FIFO threshold interrupt on INT2_A/G pin. Default value: 0 (0: disabled; 1: enabled)
INT2_ DRDY_ TEMP	Temperature data ready on INT2_A/G pin. Default value: 0 (0: disabled; 1: enabled)
INT2_DRDY_G	Gyroscope data ready on INT2_A/G pin. Default value: 0 (0: disabled; 1: enabled)
INT2_DRDY_XL	Accelerometer data ready on INT2_A/G pin. Default value: 0 (0: disabled; 1: enabled)

7.11 WHO_AM_I (0Fh)

Who_AM_I register.

Table 43. WHO_AM_I register

0	1	1	0	1	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

7.12 CTRL_REG1_G (10h)

Angular rate sensor Control Register 1.

Table 44. CTRL_REG1_G register

ODR_G2	ODR_G1	ODR_G0	FS_G1	FS_G0	0 ⁽¹⁾	BW_G1	BW_G0
--------	--------	--------	-------	-------	------------------	-------	-------

1. This bit must be set to '0' for the correct operation of the device.

Table 45. CTRL_REG1_G register description

ODR_G [2:0]	Gyroscope output data rate selection. Default value: 000 (Refer to Table 46 and Table 47)
FS_G [1:0]	Gyroscope full-scale selection. Default value: 00 (00: 245 dps; 01: 500 dps; 10: Not Available; 11: 2000 dps)
BW_G [1:0]	Gyroscope bandwidth selection. Default value: 00

ODR_G [2:0] are used to set ODR selection when both the accelerometer and gyroscope are activated. BW_G [1:0] are used to set gyroscope bandwidth selection.

The following table summarizes all frequencies available for each combination of the ODR_G / BW_G bits after LPF1 (see [Table 46](#)) and LPF2 (see [Table 47](#)) when both the accelerometer and gyroscope are activated. For more details regarding signal processing please refer to [Figure 28](#).

Table 46. ODR and BW configuration setting (after LPF1)

ODR_G2	ODR_G1	ODR_G0	ODR [Hz]	Cutoff [Hz] ⁽¹⁾
0	0	0	Power-down	n.a.
0	0	1	14.9	5
0	1	0	59.5	19
0	1	1	119	38
1	0	0	238	76
1	0	1	476	100
1	1	0	952	100
1	1	1	n.a.	n.a.

1. Values in the table are indicative and can vary proportionally with the specific ODR value.

Table 47. ODR and BW configuration setting (after LPF2)

ODR_G [2:0]	BW_G [1:0]	ODR [Hz]	Cutoff [Hz] ⁽¹⁾
000	00	Power-down	n.a.
000	01	Power-down	n.a.
000	10	Power-down	n.a.
000	11	Power-down	n.a.
001	00	14.9	n.a.
001	01	14.9	n.a.
001	10	14.9	n.a.
001	11	14.9	n.a.
010	00	59.5	16
010	01	59.5	16
010	10	59.5	16
010	11	59.5	16
011	00	119	14
011	01	119	31
011	10	119	31
011	11	119	31
100	00	238	14
100	01	238	29
100	10	238	63
100	11	238	78
101	00	476	21
101	01	476	28
101	10	476	57
101	11	476	100
110	00	952	33
110	01	952	40
110	10	952	58
110	11	952	100
111	00	n.a.	n.a.
111	01	n.a.	n.a.
111	10	n.a.	n.a.
111	11	n.a.	n.a.

1. Values in the table are indicative and can vary proportionally with the specific ODR value.

7.13 CTRL_REG2_G (11h)

Angular rate sensor Control Register 2.

Table 48. CTRL_REG2_G register

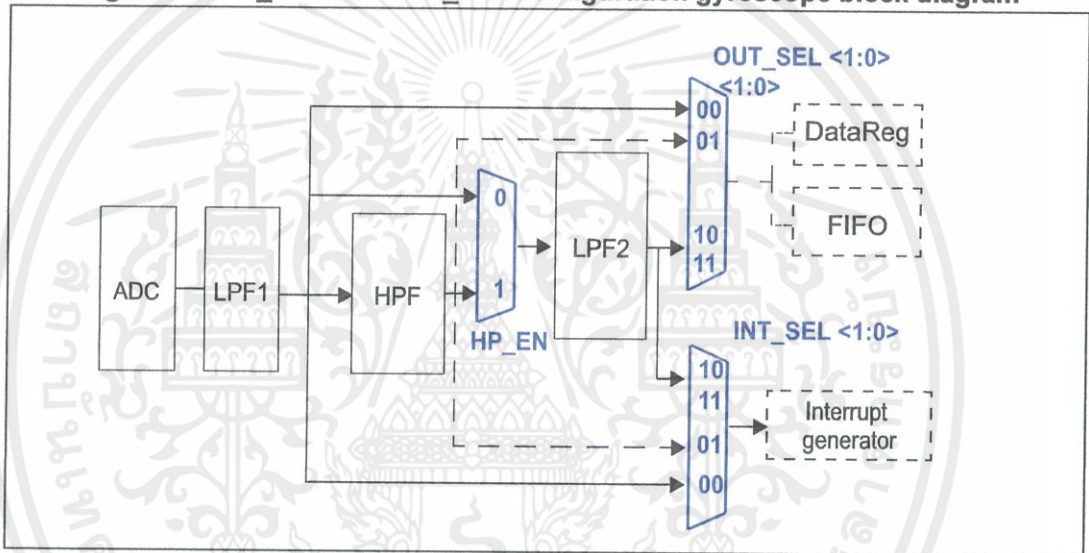
0 ⁽¹⁾	0 ⁽¹⁾	0 ⁽¹⁾	0 ⁽¹⁾	INT_SEL1	INT_SEL0	OUT_SEL1	OUT_SEL0
------------------	------------------	------------------	------------------	----------	----------	----------	----------

1. These bits must be set to '0' for the correct operation of the device

Table 49. CTRL_REG2_G register description

INT_SEL [1:0]	INT selection configuration. Default value: 00 (Refer to Figure 28)
OUT_SEL [1:0]	Out selection configuration. Default value: 00 (Refer to Figure 28)

Figure 28. INT_SEL and OUT_SEL configuration gyroscope block diagram



7.14 CTRL_REG3_G (12h)

Angular rate sensor Control Register 3.

Table 50. CTRL_REG3_G register

LP_mode	HP_EN	0 ⁽¹⁾	0 ⁽¹⁾	HPCF3_G	HPCF2_G	HPCF1_G	HPCF0_G
---------	-------	------------------	------------------	---------	---------	---------	---------

1. These bits must be set to '0' for the correct operation of the device

Table 51. CTRL_REG3_G register description

LP_mode	Low-power mode enable. Default value: 0 (0: Low-power disabled; 1: Low-power enabled)
HP_EN	High-pass filter enable. Default value: 0 (0: HPF disabled; 1: HPF enabled, refer to Figure 28)
HPCF_G [3:0]	Gyroscope high-pass filter cutoff frequency selection. Default value: 0000 Refer to Table 52 .



Table 52. Gyroscope high-pass filter cutoff frequency configuration [Hz]⁽¹⁾

HPCF_G [3:0]	ODR= 14.9 Hz	ODR= 59.5 Hz	ODR= 119 Hz	ODR= 238 Hz	ODR= 476 Hz	ODR= 952 Hz
0000	1	4	8	15	30	57
0001	0.5	2	4	8	15	30
0010	0.2	1	2	4	8	15
0011	0.1	0.5	1	2	4	8
0100	0.05	0.2	0.5	1	2	4
0101	0.02	0.1	0.2	0.5	1	2
0110	0.01	0.05	0.1	0.2	0.5	1
0111	0.005	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5
1000	0.002	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2
1001	0.001	0.005	0.01	0.02	0.05	0.1

1. Values in the table are indicative and can vary proportionally with the specific ODR value.

7.15 ORIENT_CFG_G (13h)

Angular rate sensor sign and orientation register.

Table 53. ORIENT_CFG_G register

0 ⁽¹⁾	0 ⁽¹⁾	SignX_G	SignY_G	SignZ_G	Orient_2	Orient_1	Orient_0
------------------	------------------	---------	---------	---------	----------	----------	----------

1. These bits must be set to '0' for the correct operation of the device.

Table 54. ORIENT_CFG_G register description

SignX_G	Pitch axis (X) angular rate sign. Default value: 0 (0: positive sign; 1: negative sign)
SignY_G	Roll axis (Y) angular rate sign. Default value: 0 (0: positive sign; 1: negative sign)
SignZ_G	Yaw axis (Z) angular rate sign. Default value: 0 (0: positive sign; 1: negative sign)
Orient [2:0]	Directional user orientation selection. Default value: 000

7.16 INT_GEN_SRC_G (14h)

Angular rate sensor interrupt source register.

Table 55. INT_GEN_SRC_G register

0	IA_G	ZH_G	ZL_G	YH_G	YL_G	XH_G	XL_G
---	------	------	------	------	------	------	------

Table 56. INT_GEN_SRC_G register description

IA_G	Interrupt active. Default value: 0 (0: no interrupt has been generated; 1: one or more interrupts have been generated)
ZH_G	Yaw (Z) high. Default value: 0 (0: no interrupt, 1: Z high event has occurred)
ZL_G	Yaw (Z) low. Default value: 0 (0: no interrupt; 1: Z low event has occurred)
YH_G	Roll (Y) high. Default value: 0 (0: no interrupt, 1: Y high event has occurred)
YL_G	Roll (Y) low. Default value: 0 (0: no interrupt, 1: Y low event has occurred)
XH_G	Pitch (X) high. Default value: 0 (0: no interrupt, 1: X high event has occurred)
XL_G	Pitch (X) low. Default value: 0 (0: no interrupt, 1: X low event has occurred)

7.17 OUT_TEMP_L (15h), OUT_TEMP_H (16h)

Temperature data output register. L and H registers together express a 16-bit word in two's complement right-justified.

Table 57. OUT_TEMP_L register

Temp7	Temp6	Temp5	Temp4	Temp3	Temp2	Temp1	Temp0
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Table 58. OUT_TEMP_H register

Temp11	Temp11	Temp11	Temp11	Temp11	Temp10	Temp9	Temp8
--------	--------	--------	--------	--------	--------	-------	-------

Table 59. OUT_TEMP register description

Temp [11:0]	Temperature sensor output data. The value is expressed as two's complement sign extended on the MSB.
-------------	---

7.18 STATUS_REG (17h)

Status register.

Table 60. STATUS_REG register

0	IG_XL	IG_G	INACT	BOOT_STATUS	TDA	GDA	XLDA
---	-------	------	-------	-------------	-----	-----	------

Table 61. STATUS_REG register description

IG_XL	Accelerometer interrupt output signal. Default value: 0 (0: no interrupt has been generated; 1: one or more interrupt events have been generated)
IG_G	Gyroscope interrupt output signal. Default value: 0 (0: no interrupt has been generated; 1: one or more interrupt events have been generated)
INACT	Inactivity interrupt output signal. Default value: 0 (0: no interrupt has been generated; 1: one or more interrupt events have been generated)
BOOT_STATUS	Boot running flag signal. Default value: 0 (0: no boot running; 1: boot running)
TDA	Temperature sensor new data available. Default value: 0 (0: new data is not yet available; 1: new data is available)
GDA	Gyroscope new data available. Default value: 0 (0: a new set of data is not yet available; 1: a new set of data is available)
XLDA	Accelerometer new data available. Default value: 0 (0: a new set of data is not yet available; 1: a new set of data is available)

7.19 OUT_X_G (18h - 19h)

Angular rate sensor pitch axis (X) angular rate output register. The value is expressed as a 16-bit word in two's complement.

7.20 OUT_Y_G (1Ah - 1Bh)

Angular rate sensor roll axis (Y) angular rate output register. The value is expressed as a 16-bit word in two's complement.

7.21 OUT_Z_G (1Ch - 1Dh)

Angular rate sensor Yaw axis (Z) angular rate output register. The value is expressed as a 16-bit word in two's complement.

7.22 CTRL_REG4 (1Eh)

Control register 4.

Table 62. CTRL_REG4 register

0 ⁽¹⁾	0 ⁽¹⁾	Zen_G	Yen_G	Xen_G	0 ⁽¹⁾	LIR_XL1	4D_XL1
------------------	------------------	-------	-------	-------	------------------	---------	--------

1. These bits must be set to '0' for the correct operation of the device.

Table 63. CTRL_REG4 register description

Zen_G	Gyroscope's Yaw axis (Z) output enable. Default value: 1 (0: Z-axis output disabled; 1: Z-axis output enabled)
Yen_G	Gyroscope's roll axis (Y) output enable. Default value: 1 (0: Y-axis output disabled; 1: Y-axis output enabled)
Xen_G	Gyroscope's pitch axis (X) output enable. Default value: 1 (0: X-axis output disabled; 1: X-axis output enabled)
LIR_XL1	Latched Interrupt. Default value: 0 (0: interrupt request not latched; 1: interrupt request latched)
4D_XL1	4D option enabled on Interrupt. Default value: 0 (0: interrupt generator uses 6D for position recognition; 1: interrupt generator uses 4D for position recognition)

7.23 CTRL_REG5_XL (1Fh)

Linear acceleration sensor Control Register 5.

Table 64. CTRL_REG5_XL register

DEC_1	DEC_0	Zen_XL	Yen_XL	Xen_XL	0 ⁽¹⁾	0 ⁽¹⁾	0 ⁽¹⁾
-------	-------	--------	--------	--------	------------------	------------------	------------------

1. These bits must be set to '0' for the correct operation of the device.

Table 65. CTRL_REG5_XL register description

DEC_[0:1]	Decimation of acceleration data on OUT REG and FIFO. Default value: 00 (00: no decimation; 01: update every 2 samples; 10: update every 4 samples; 11: update every 8 samples)
Zen_XL	Accelerometer's Z-axis output enable. Default value: 1 (0: Z-axis output disabled; 1: Z-axis output enabled)
Yen_XL	Accelerometer's Y-axis output enable. Default value: 1 (0: Y-axis output disabled; 1: Y-axis output enabled)
Xen_XL	Accelerometer's X-axis output enable. Default value: 1 (0: X-axis output disabled; 1: X-axis output enabled)

7.24 CTRL_REG6_XL (20h)

Linear acceleration sensor Control Register 6.

Table 66. CTRL_REG6_XL register

ODR_XL2	ODR_XL1	ODR_XL0	FS1_XL	FS0_XL	BW_SCAL_ODR	BW_XL1	BW_XL0
---------	---------	---------	--------	--------	-------------	--------	--------

Table 67. CTRL_REG6_XL register description

ODR_XL [2:0]	Output data rate and power mode selection. default value: 000 (see Table 68)
FS_XL [1:0]	Accelerometer full-scale selection. Default value: 00 (00: $\pm 2g$; 01: $\pm 16g$; 10: $\pm 4g$; 11: $\pm 8g$)
BW_SCAL_ ODR	Bandwidth selection. Default value: 0 (0: bandwidth determined by ODR selection: - BW = 408 Hz when ODR = 952 Hz, 50 Hz, 10 Hz; - BW = 211 Hz when ODR = 476 Hz; - BW = 105 Hz when ODR = 238 Hz; - BW = 50 Hz when ODR = 119 Hz; 1: bandwidth selected according to BW_XL [2:1] selection)
BW_XL [1:0]	Anti-aliasing filter bandwidth selection. Default value: 00 (00: 408 Hz; 01: 211 Hz; 10: 105 Hz; 11: 50 Hz)

ODR_XL [2:0] is used to set power mode and ODR selection. [Table 68](#) indicates all the frequencies available when only the accelerometer is activated.

Table 68. ODR register setting (accelerometer only mode)

ODR_XL2	ODR_XL1	ODR_XL0	ODR selection [Hz]
0	0	0	Power-down
0	0	1	10 Hz
0	1	0	50 Hz
0	1	1	119 Hz
1	0	0	238 Hz
1	0	1	476 Hz
1	1	0	952 Hz
1	1	1	n.a.

7.25 CTRL_REG7_XL (21h)

Linear acceleration sensor Control Register 7.

Table 69. CTRL_REG7_XL register

HR	DCF1	DCF0	0 ⁽¹⁾	0 ⁽¹⁾	FDS	0 ⁽¹⁾	HPIS1
----	------	------	------------------	------------------	-----	------------------	-------

1. These bits must be set to '0' for the correct operation of the device

Table 70. CTRL_REG7_XL register description

HR	High resolution mode for accelerometer enable. Default value: 0 (0: disabled; 1: enabled). Refer to Table 71
DCF[1:0]	Accelerometer digital filter (high pass and low pass) cutoff frequency selection: the bandwidth of the high-pass filter depends on the selected ODR. Refer to Table 71
FDS	Filtered data selection. Default value: 0 (0: internal filter bypassed; 1: data from internal filter sent to output register and FIFO)
HPIS1	High-pass filter enabled for acceleration sensor interrupt function on Interrupt. Default value: 0 (0: filter bypassed; 1: filter enabled)

Table 71. Low pass cutoff frequency in high resolution mode (HR = 1)

HR	CTRL_REG7 (DCF [1:0])	LP cutoff freq. [Hz]
1	00	ODR/50
1	01	ODR/100
1	10	ODR/9
1	11	ODR/400

7.26 CTRL_REG8 (22h)

Control register 8.

Table 72. CTRL_REG8 register

BOOT	BDU	H_LACTIVE	PP_OD	SIM	IF_ADD_INC	BLE	SW_RESET
------	-----	-----------	-------	-----	------------	-----	----------

Table 73. CTRL_REG8 register description

BOOT	Reboot memory content. Default value: 0 (0: normal mode; 1: reboot memory content ⁽¹⁾)
BDU	Block data update. Default value: 0 (0: continuous update; 1: output registers not updated until MSB and LSB read)
H_LACTIVE	Interrupt activation level. Default value: 0 (0: interrupt output pins active high; 1: interrupt output pins active low)
PP_OD	Push-pull/open-drain selection on the INT1_A/G pin and INT2_A/G pin. Default value: 0 (0: push-pull mode; 1: open-drain mode)
SIM	SPI serial interface mode selection. Default value: 0 (0: 4-wire interface; 1: 3-wire interface).
IF_ADD_INC	Register address automatically incremented during a multiple byte access with a serial interface (I ² C or SPI). Default value: 1 (0: disabled; 1: enabled)
BLE	Big/Little Endian data selection. Default value 0 (0: data LSB @ lower address; 1: data MSB @ lower address)
SW_RESET	Software reset. Default value: 0 (0: normal mode; 1: reset device) This bit is cleared by hardware after next flash boot.

1. Boot request is executed as soon as internal oscillator is turned-on. It is possible to set bit while in power-down mode, in this case it will be served at the next normal mode or sleep mode.

7.27 CTRL_REG9 (23h)

Control register 9.

Table 74. CTRL_REG9 register

0 ⁽¹⁾	SLEEP_G	0 ⁽¹⁾	FIFO_TEMP_EN	DRDY_mask_bit	I2C_DISABLE	FIFO_EN	STOP_ON_FTH
------------------	---------	------------------	--------------	---------------	-------------	---------	-------------

1. These bits must be set to '0' for the correct operation of the device

Table 75. CTRL_REG9 register description

SLEEP_G	Gyroscope sleep mode enable. Default value: 0 (0: disabled; 1: enabled)
FIFO_TEMP_EN	Temperature data storage in FIFO enable. Default value: 0 (0: temperature data not stored in FIFO; 1: temperature data stored in FIFO)
DRDY_mask_bit	Data available enable bit. Default value: 0 (0: DA timer disabled; 1: DA timer enabled)
I2C_DISABLE	Disable I ² C interface. Default value: 0 (0: both I ² C and SPI enabled; 1: I ² C disabled, SPI only)
FIFO_EN	FIFO memory enable. Default value: 0 (0: disabled; 1: enabled)
STOP_ON_FTH	Enable FIFO threshold level use. Default value: 0 (0: FIFO depth is not limited; 1: FIFO depth is limited to threshold level)

7.28 CTRL_REG10 (24h)

Control register 10.

Table 76. CTRL_REG10 register

0 ⁽¹⁾	0 ⁽¹⁾	0 ⁽¹⁾	0 ⁽¹⁾	0 ⁽¹⁾	ST_G	0 ⁽¹⁾	ST_XL
------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------	------------------	-------

1. These bits must be set to '0' for the correct operation of the device

Table 77. CTRL_REG10 register description

ST_G	Angular rate sensor self-test enable. Default value: 0 (0: Self-test disabled; 1: Self-test enabled)
ST_XL	Linear acceleration sensor self-test enable. Default value: 0 (0: Self-test disabled; 1: Self-test enabled)

7.29 INT_GEN_SRC_XL (26h)

Linear acceleration sensor interrupt source register.

Table 78. INT_GEN_SRC_XL register

0	IA_XL	ZH_XL	ZL_XL	YH_XL	YL_XL	XH_XL	XL_XL
---	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Table 79. INT_GEN_SRC_XL register description

IA_XL	Interrupt active. Default value: 0. (0: no interrupt has been generated; 1: one or more interrupts have been generated)
ZH_XL	Accelerometer's Z high event. Default value: 0 (0: no interrupt, 1: Z high event has occurred)
ZL_XL	Accelerometer's Z low event. Default value: 0 (0: no interrupt; 1: Z low event has occurred)
YH_XL	Accelerometer's Y high event. Default value: 0 (0: no interrupt, 1: Y high event has occurred)
YL_XL	Accelerometer's Y low event. Default value: 0 (0: no interrupt, 1: Y low event has occurred)
XH_XL	Accelerometer's X high event. Default value: 0 (0: no interrupt, 1: X high event has occurred)
XL_XL	Accelerometer's X low. event. Default value: 0 (0: no interrupt, 1: X low event has occurred)

7.30 STATUS_REG (27h)

Status register.

Table 80. STATUS_REG register

0	IG_XL	IG_G	INACT	BOOT_STATUS	TDA	GDA	XLDA
---	-------	------	-------	-------------	-----	-----	------

Table 81. STATUS_REG register description

IG_XL	Accelerometer interrupt output signal. Default value: 0 (0: no interrupt has been generated; 1: one or more interrupt events have been generated)
IG_G	Gyroscope interrupt output signal. Default value: 0 (0: no interrupt has been generated; 1: one or more interrupt events have been generated)
INACT	Inactivity interrupt output signal. Default value: 0 (0: no interrupt has been generated; 1: one or more interrupt events have been generated)
BOOT_STATUS	Boot running flag signal. Default value: 0 (0: no boot running; 1: boot running)
TDA	Temperature sensor new data available. Default value: 0 (0: a new data is not yet available; 1: a new data is available)
GDA	Gyroscope new data available. Default value: 0 (0: a new set of data is not yet available; 1: a new set of data is available)
XLDA	Accelerometer new data available. Default value: 0 (0: a new set of data is not yet available; 1: a new set of data is available)

7.31 OUT_X_XL (28h - 29h)

Linear acceleration sensor X-axis output register. The value is expressed as a 16-bit word in two's complement.

7.32 OUT_Y_XL (2Ah - 2Bh)

Linear acceleration sensor Y-axis output register. The value is expressed as a 16-bit word in two's complement.

7.33 OUT_Z_XL (2Ch - 2Dh)

Linear acceleration sensor Z-axis output register. The value is expressed as a 16-bit word in two's complement.

7.34 FIFO_CTRL (2Eh)

FIFO control register.

Table 82. FIFO_CTRL register

FMODE2	FMODE1	FMODE0	FTH4	FTH3	FTH2	FTH1	FTH0
--------	--------	--------	------	------	------	------	------

Table 83. FIFO_CTRL register description

FMODE [2:0]	FIFO mode selection bits. Default value: 000 For further details refer to Table 84 .
FTH [4:0]	FIFO threshold level setting. Default value: 0 0000

Table 84. FIFO mode selection

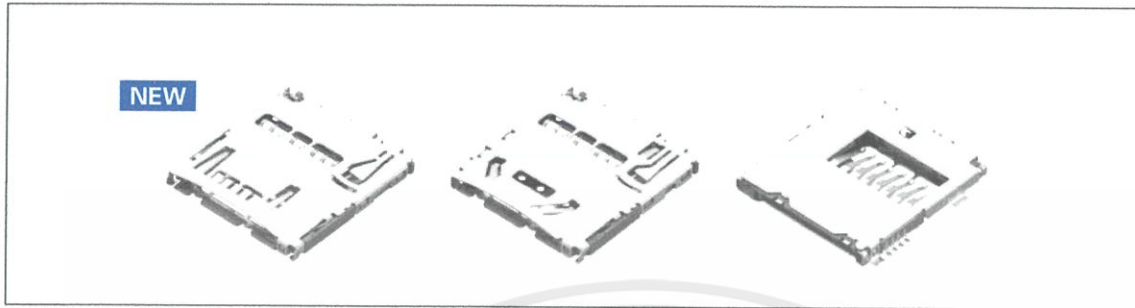
FMODE2	FMODE1	FMODE0	Mode
0	0	0	Bypass mode. FIFO turned off
0	0	1	FIFO mode. Stops collecting data when FIFO is full.
0	1	0	Reserved
0	1	1	Continuous mode until trigger is deasserted, then FIFO mode.
1	0	0	Bypass mode until trigger is deasserted, then Continuous mode.
1	1	0	Continuous mode. If the FIFO is full, the new sample overwrites the older sample.

Connector for microSD™ Card (Push-push Type)

SCHA Series



Compact low-profile type most suitable for mobile phones.



Typical Specifications

Items		Specifications	
Structure	Applicable media	microSD™ Card	
	Mounting type	Surface mounting type	
	Mounting style	Standard mount/ Reverse mount	
	Media ejection structure	Push-push type	
Performance	Operating temperature range	-20°C to +70°C	
	Voltage proof	500V AC 1minute	
	Insulation resistance (Initial)	1,000MΩ min.	
	Contact resistance (Initial)	Connector contacts	100mΩ max.
		Detection switch	500mΩ max.
	Insertion and removal cycle	5,000cycles	

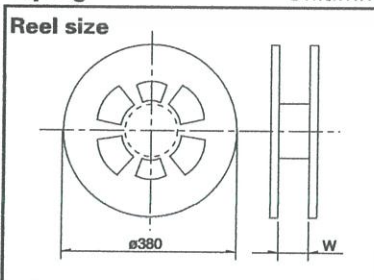
Product Line

Media ejection structure	Mounting system	Features	Stand-off (mm)	Packing system	Product No.	Drawing No.
Push-push type	Standard mount	With switch	0	Taping	SCHA4B0100	1
		With switches and fly-out protection.			SCHA4B0400	2
	Reverse mount	With switch			SCHA5B0200	3

Packing Specifications

Taping

Unit:mm



Product No.	Number of packages (pcs.)			Reel width W (mm)	Tape width (mm)	Export package measurements (mm)
	1 reel	1 case /Japan	1 case /export packing			
SCHA4B0100	2,000	6,000	12,000	24.4	24	403 × 403 × 249
SCHA4B0400						
SCHA5B0200	1,500	4,500	9,000			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

600mA CMOS LDO REGULATOR WITH ENABLE

AP2112

General Description

The AP2112 is CMOS process low dropout linear regulator with enable function, the regulator delivers a guaranteed 600mA (min.) continuous load current.

The AP2112 provides 1.2V, 1.8V, 2.5V, 2.6V, 2.8V and 3.3V regulated output and 0.8V to 5V adjustable output, and provides excellent output accuracy $\pm 1.5\%$, also provides an excellent load regulation, line regulation and excellent load transient performance due to very fast loop response. The AP2112 has built-in auto discharge function.

The regulator features low power consumption, and provides SOT-23-5, SOT-89-5, and SOIC-8 packages.

Features

- Output Voltage Accuracy: $\pm 1.5\%$
- Output Current: 600mA (Min.)
- Foldback Short Current Protection: 50mA
- Enable Function to Turn ON/OFF V_{OUT}
- Low Dropout Voltage (3.3V): 250mV (Typ.) @ $I_{OUT}=600mA$
- Excellent Load Regulation: 0.2%/A (Typ.)
- Excellent Line Regulation: 0.02%/V (Typ.)
- Low Quiescent Current: 55 μA (Typ.)
- Low Standby Current: 0.01 μA (Typ.)
- Low Output Noise: 50 μV_{RMS}
- PSRR: 100Hz -65dB, 1kHz -65dB
- OTSD Protection
- Stable with 1.0 μF Flexible Cap: Ceramic, Tantalum and Aluminum Electrolytic
- Operation Temperature Range: -40°C to 85°C
- ESD: MM 400V, HBM 4000V

Applications

- Laptop Computer
- Portable DVD
- LCD Monitor

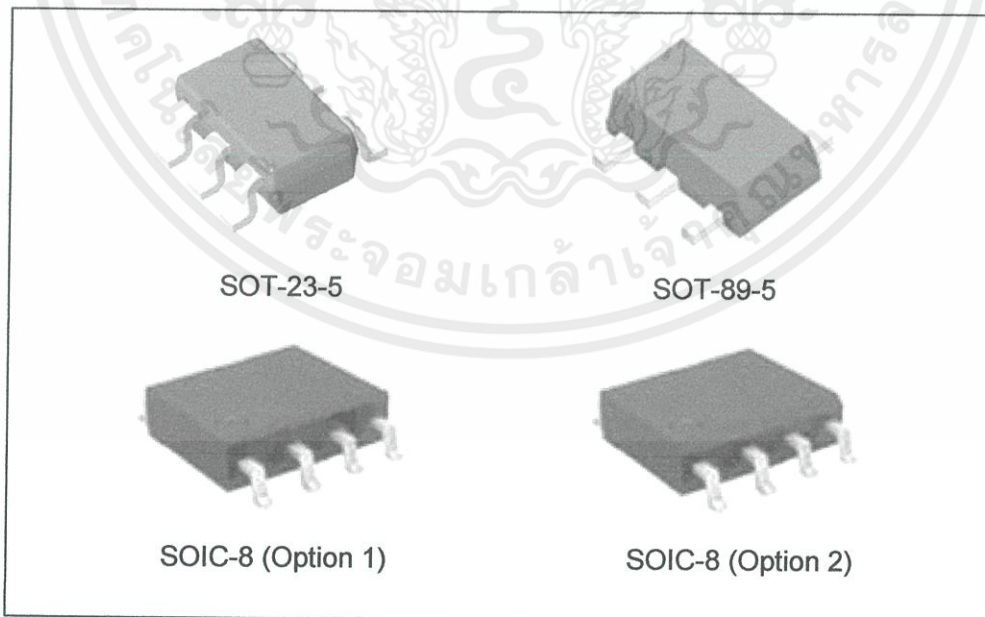


Figure 1. Package Types of AP2112

Pin Configuration

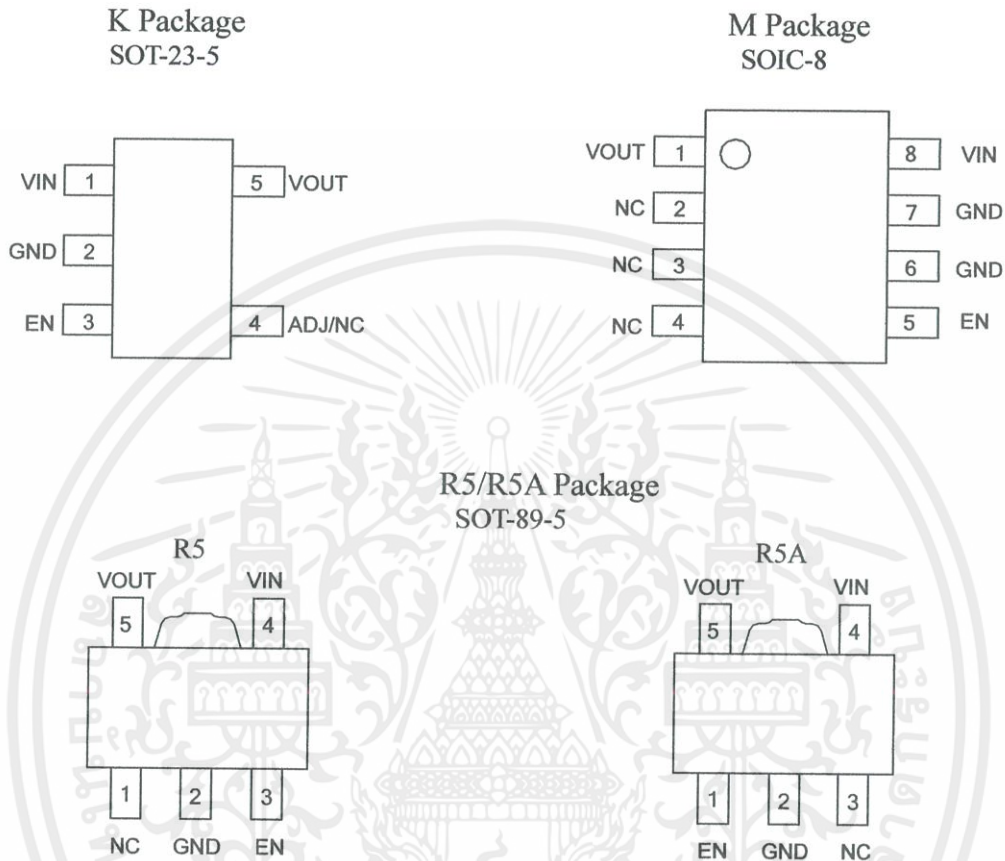
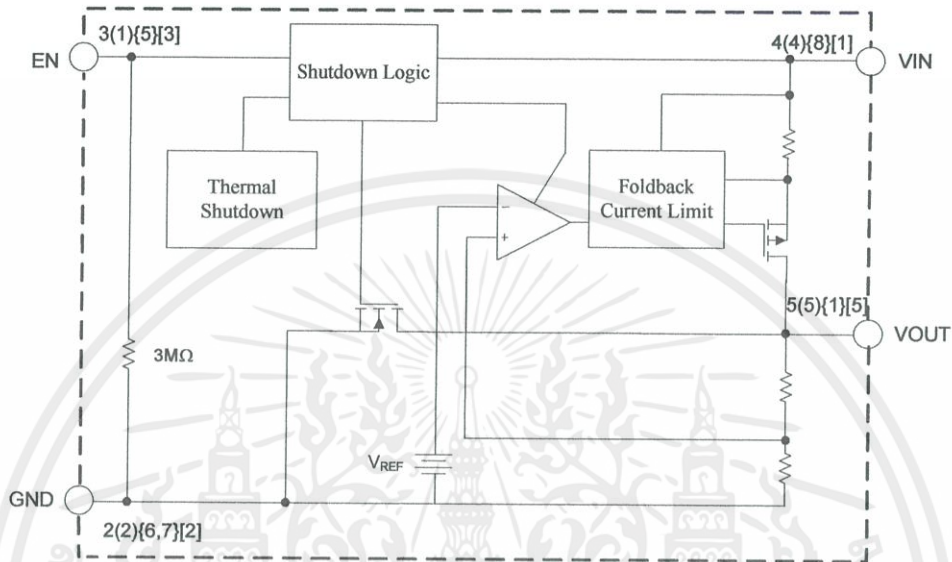


Figure 2. Pin Configuration of AP2112 (Top View)

Pin Descriptions

PIN No.			Name	Descriptions
SOT-23-5	SOT-89-5	SOIC-8		
1	4	8	VIN	Input Voltage
2	2	6, 7	GND	GND
3	3 (R5) 1 (R5A)	5	EN	Chip Enable, H – normal work, L – shutdown output
4			ADJ/NC	Adjust Output for ADJ version/No Connection for Fixed Version
	1 (R5) 3 (R5A)	2, 3, 4	NC	No Connection
5	5	1	VOUT	Output Voltage

Functional Block Diagram



- A (B){C}{D}
 A: SOT-89-5 (R5)
 B: SOT-89-5 (R5A)
 C: SOIC-8
 D: SOT-23-5

Figure 3. Functional Block Diagram of AP2112 for Fixed Version

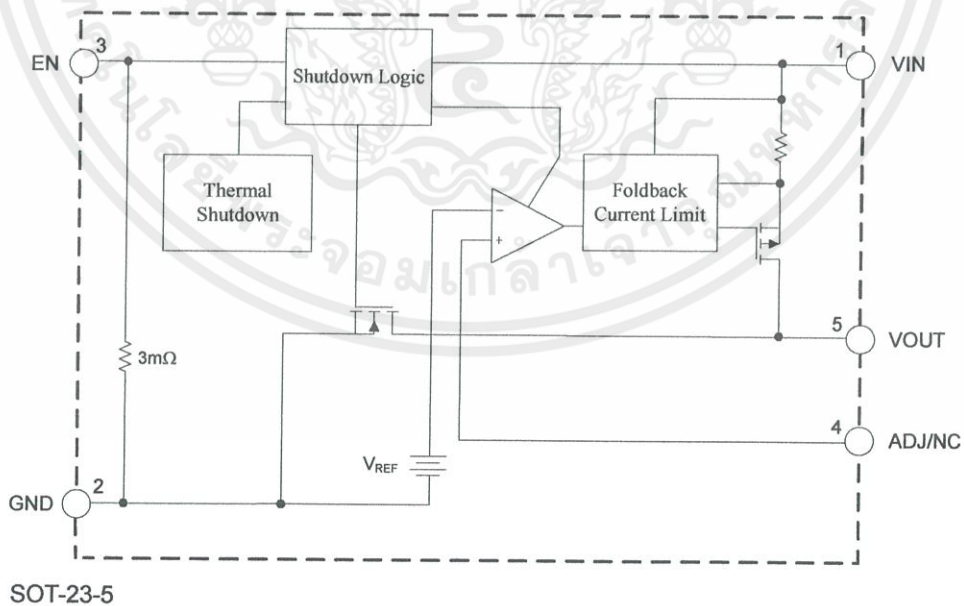
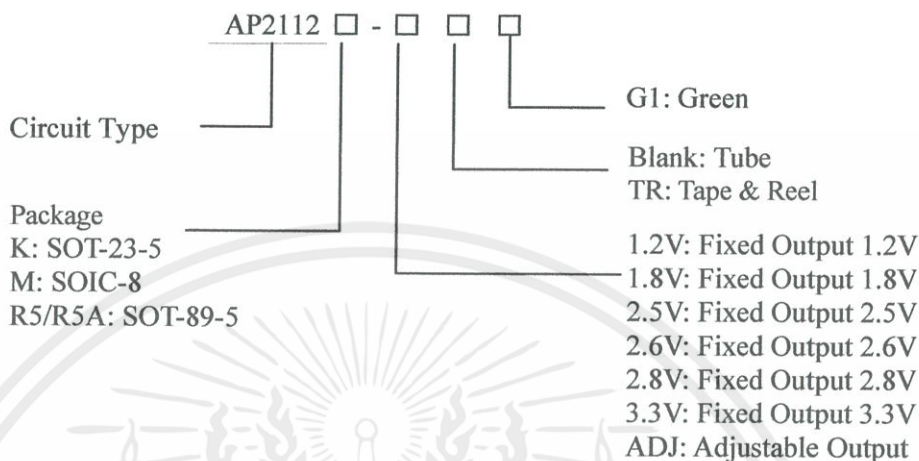


Figure 4. Functional Block Diagram of AP2112 for Adjustable Version

600mA CMOS LDO REGULATOR WITH ENABLE
AP2112
Ordering Information


Package	Temperature Range	Condition	Part Number	Marking ID	Packing Type
SOT-23-5	-40 to 85°C	1.2V	AP2112K-1.2TRG1	G3L	Tape & Reel
		1.8V	AP2112K-1.8TRG1	G3M	Tape & Reel
		2.5V	AP2112K-2.5TRG1	G3N	Tape & Reel
		2.6V	AP2112K-2.6TRG1	G5N	Tape & Reel
		2.8V	AP2112K-2.8TRG1	G3Q	Tape & Reel
		3.3V	AP2112K-3.3TRG1	G3P	Tape & Reel
		ADJ	AP2112K-ADJTRG1	G3T	Tape & Reel
SOIC-8	-40 to 85°C	1.2V	AP2112M-1.2G1	2112M-1.2G1	Tube
			AP2112M-1.2TRG1	2112M-1.2G1	Tape & Reel
		1.8V	AP2112M-1.8G1	2112M-1.8G1	Tube
			AP2112M-1.8TRG1	2112M-1.8G1	Tape & Reel
		2.5V	AP2112M-2.5G1	2112M-2.5G1	Tube
			AP2112M-2.5TRG1	2112M-2.5G1	Tape & Reel
		2.6V	AP2112M-2.6G1	2112M-2.6G1	Tube
			AP2112M-2.6TRG1	2112M-2.6G1	Tape & Reel
		3.3V	AP2112M-3.3G1	2112M-3.3G1	Tube
			AP2112M-3.3TRG1	2112M-3.3G1	Tape & Reel
SOT-89-5	-40 to 85°C	1.2V(R5)	AP2112R5-1.2TRG1	G37D	Tape & Reel
		1.8V(R5)	AP2112R5-1.8TRG1	G37E	Tape & Reel
		2.5V(R5)	AP2112R5-2.5TRG1	G37F	Tape & Reel
		2.6V(R5)	AP2112R5-2.6TRG1	G13F	Tape & Reel
		3.3V(R5)	AP2112R5-3.3TRG1	G37G	Tape & Reel
SOT-89-5	-40 to 85°C	1.2V(R5A)	AP2112R5A-1.2TRG1	G33C	Tape & Reel
		1.8V(R5A)	AP2112R5A-1.8TRG1	G33E	Tape & Reel
		2.5V(R5A)	AP2112R5A-2.5TRG1	G28G	Tape & Reel
		2.6V(R5A)	AP2112R5A-2.6TRG1	G13E	Tape & Reel
		3.3V(R5A)	AP2112R5A-3.3TRG1	G28H	Tape & Reel

BCD Semiconductor's Pb-free products, as designated with "G1" suffix in the part number, are RoHS compliant and Green.

**600mA CMOS LDO REGULATOR WITH ENABLE****AP2112****Absolute Maximum Ratings (Note 1)**

Parameter	Symbol	Value		Unit
Power Supply Voltage	V_{CC}	6.5		V
Operating Junction Temperature Range	T_J	150		°C
Storage temperature Range	T_{STG}	-65 to 150		°C
Lead Temperature (Soldering, 10 Seconds)	T_{LEAD}	260		°C
Thermal Resistance (Junction to Ambient)(No Heatsink)	θ_{JA}	SOT-23-5	184	°C /W
		SOIC-8	114	
		SOT-89-5	120	
ESD (Machine Model)		400		V
ESD (Human Body Model)		4000		V

Note 1: Stresses greater than those listed under “Absolute Maximum Ratings” may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under “Recommended Operating Conditions” is not implied. Exposure to “Absolute Maximum Ratings” for extended periods may affect device reliability.

Recommended Operating Conditions

Parameter	Symbol	Min	Max	Unit
Supply Voltage	V_{IN}	2.5	6.0	V
Ambient Operation Temperature Range	T_A	-40	85	°C

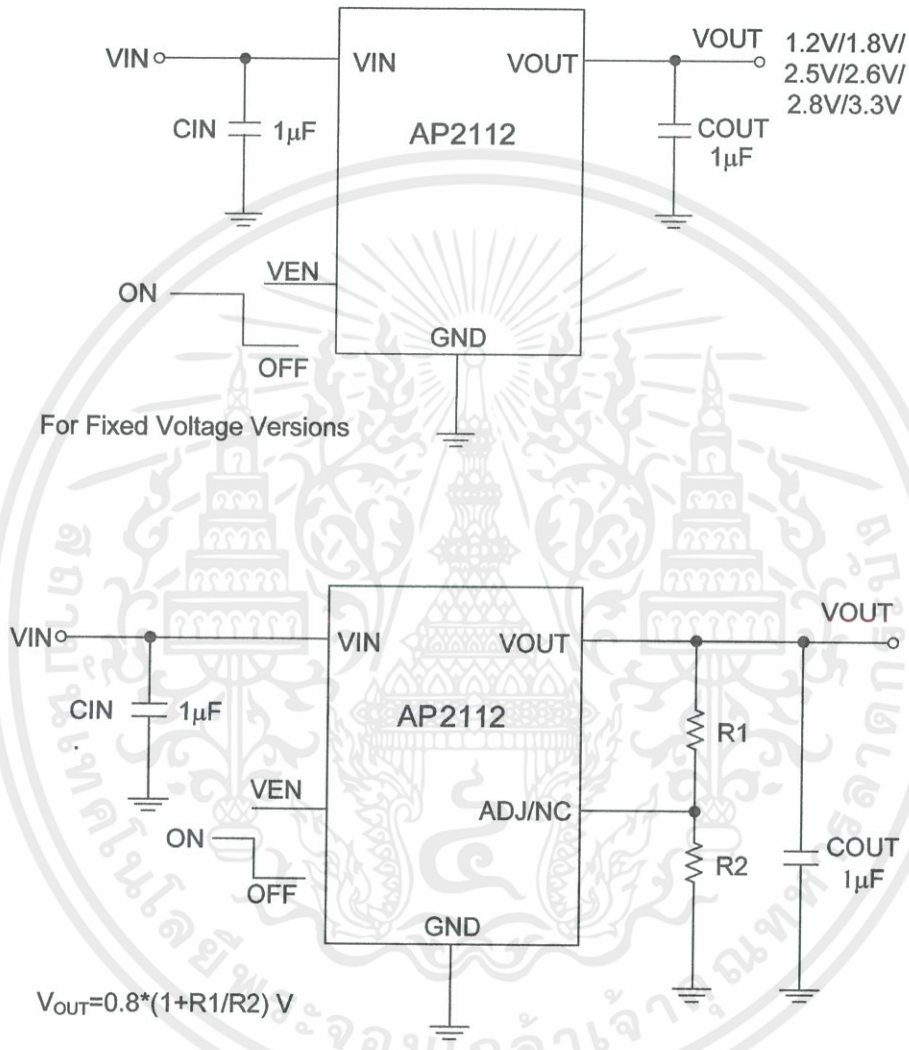
600mA CMOS LDO REGULATOR WITH ENABLE
AP2112
Electrical Characteristics (Continued)
AP2112-3.3 Electrical Characteristic (Note 2)
 $V_{IN}=4.3V$, $C_{IN}=1.0\mu F$ (Ceramic), $C_{OUT}=1.0\mu F$ (Ceramic), Typical $T_A=25^\circ C$, unless otherwise specified (Note 3).

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage	V_{OUT}	$V_{IN}=4.3V$, $1mA \leq I_{OUT} \leq 30mA$	$V_{OUT} * 98.5\%$	3.3	$V_{OUT} * 101.5\%$	V
Maximum Output Current	$I_{OUT(MAX)}$	$V_{IN}=4.3V$, $V_{OUT}=3.251V$ to $3.350V$	600			mA
Load Regulation	$(\Delta V_{OUT}/V_{OUT}) / \Delta I_{OUT}$	$V_{IN}=4.3V$, $1mA \leq I_{OUT} \leq 600mA$	-1	0.2	1	%/A
Line Regulation	$(\Delta V_{OUT}/V_{OUT}) / \Delta V_{IN}$	$4.3V \leq V_{IN} \leq 6V$, $I_{OUT}=30mA$	-0.1	0.02	0.1	%/V
Dropout Voltage	V_{DROP}	$I_{OUT}=10mA$		5	8	mV
		$I_{OUT}=300mA$		125	200	
		$I_{OUT}=600mA$		250	400	
Quiescent Current	I_Q	$V_{IN}=4.3V$, $I_{OUT}=0mA$		55	80	μA
Standby Current	I_{STD}	$V_{IN}=4.3V$, V_{EN} in OFF mode		0.01	1.0	μA
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	Ripple 0.5Vp-p $V_{IN}=4.3V$, $I_{OUT}=100mA$	$f=100Hz$	65		dB
			$f=1KHz$	65		
Output Voltage Temperature Coefficient	$(\Delta V_{OUT}/V_{OUT}) / \Delta T$	$I_{OUT}=30mA$ $T_A=-40^\circ C$ to $85^\circ C$		± 100		ppm/ $^\circ C$
Short Current Limit	I_{SHORT}	$V_{OUT}=0V$		50		mA
RMS Output Noise	V_{NOISE}	No Load, $10Hz \leq f \leq 100kHz$		50		μV_{RMS}
V_{EN} High Voltage	V_{IH}	Enable logic high, regulator on	1.5		6.0	V
V_{EN} Low Voltage	V_{IL}	Enable logic low, regulator off	0		0.4	
Start-up Time	t_S	No Load		20		μs
EN Pull Down Resistor	R_{PD}			3.0		M Ω
V_{OUT} Discharge Resistor	R_{DCHG}	Set EN pin at Low		60		Ω
Thermal Shutdown Temperature	T_{OTSD}			160		$^\circ C$
Thermal Shutdown Hysteresis	T_{HYOTSD}			25		
Thermal Resistance	θ_{JC}	SOT-23-5		96		$^\circ C/W$
		SOIC-8		75		
		SOT-89-5		47		

Note 2: To prevent the Short Circuit Current protection feature from being prematurely activated, the input voltage must be applied before a current source load is applied.

Note 3: Production testing at $T_A=25^\circ C$. Over temperature specifications guaranteed by design only.

Typical Application (Note 4)



Note 4: It is recommended to use X7R or X5R dielectric capacitor if 1.0µF ceramic capacitor is selected as input/output capacitors.

Figure 21. AP2112 Typical Application

Miniature Single-Cell, Fully Integrated Li-Ion, Li-Polymer Charge Management Controllers

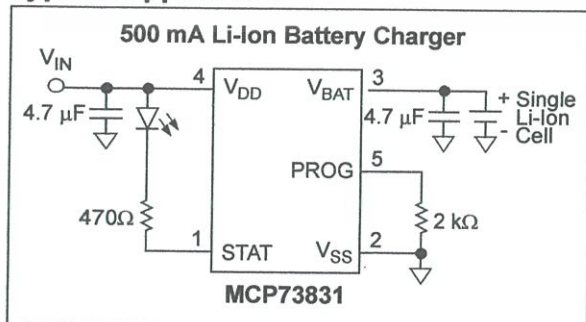
Features:

- Linear Charge Management Controller:
 - Integrated Pass Transistor
 - Integrated Current Sense
 - Reverse Discharge Protection
- High Accuracy Preset Voltage Regulation: $\pm 0.75\%$
- Four Voltage Regulation Options:
 - 4.20V, 4.35V, 4.40V, 4.50V
- Programmable Charge Current: 15 mA to 500 mA
- Selectable Preconditioning:
 - 10%, 20%, 40%, or Disable
- Selectable End-of-Charge Control:
 - 5%, 7.5%, 10%, or 20%
- Charge Status Output
 - Tri-State Output - MCP73831
 - Open-Drain Output - MCP73832
- Automatic Power-Down
- Thermal Regulation
- Temperature Range: -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$
- Packaging:
 - 8-Lead, 2 mm x 3 mm DFN
 - 5-Lead, SOT-23

Applications:

- Lithium-Ion/Lithium-Polymer Battery Chargers
- Personal Data Assistants
- Cellular Telephones
- Digital Cameras
- MP3 Players
- Bluetooth Headsets
- USB Chargers

Typical Application



Description:

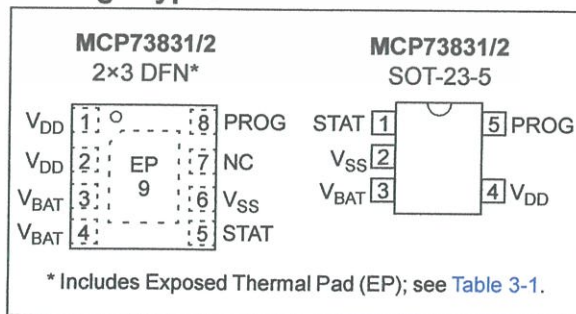
The MCP73831/2 devices are highly advanced linear charge management controllers for use in space-limited, cost-sensitive applications. The MCP73831/2 are available in an 8-Lead, 2 mm x 3 mm DFN package or a 5-Lead, SOT-23 package. Along with their small physical size, the low number of external components required make the MCP73831/2 ideally suited for portable applications. For applications charging from a USB port, the MCP73831/2 adhere to all the specifications governing the USB power bus.

The MCP73831/2 employ a constant-current/constant-voltage charge algorithm with selectable preconditioning and charge termination. The constant voltage regulation is fixed with four available options: 4.20V, 4.35V, 4.40V or 4.50V, to accommodate new, emerging battery charging requirements. The constant current value is set with one external resistor. The MCP73831/2 devices limit the charge current based on die temperature during high power or high ambient conditions. This thermal regulation optimizes the charge cycle time while maintaining device reliability.

Several options are available for the preconditioning threshold, preconditioning current value, charge termination value and automatic recharge threshold. The preconditioning value and charge termination value are set as a ratio or percentage of the programmed constant current value. Preconditioning can be disabled. Refer to [Section 1.0 "Electrical Characteristics"](#) for available options and the [Product Identification System](#) for standard options.

The MCP73831/2 devices are fully specified over the ambient temperature range of -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$.

Package Types



1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Absolute Maximum Ratings†

V_{DD}.....7.0V
 All Inputs and Outputs w.r.t. V_{SS}.....-0.3 to (V_{DD}+0.3)V
 Maximum Junction Temperature, T_J.....Internally Limited
 Storage temperature-65°C to +150°C
 ESD protection on all pins:
 Human Body Model (1.5 kΩ in Series with 100 pF).....≥ 4 kV
 Machine Model (200 pF, No Series Resistance).....400V

† Notice: Stresses above those listed under “Maximum Ratings” may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operational listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

DC CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all limits apply for V_{DD}= [V_{REG}(typical) + 0.3V] to 6V, T_A = -40°C to +85°C. Typical values are at +25°C, V_{DD} = [V_{REG} (typical) + 1.0V]

Parameters	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
Supply Input						
Supply Voltage	V _{DD}	3.75	—	6	V	
Supply Current	I _{SS}	—	510	1500	μA	Charging
		—	53	200	μA	Charge Complete, No Battery
		—	25	50	μA	PROG Floating
		—	1	5	μA	V _{DD} ≤ (V _{BAT} - 50 mV)
		—	0.1	2	μA	V _{DD} < V _{STOP}
UVLO Start Threshold	V _{START}	3.3	3.45	3.6	V	V _{DD} Low-to-High
UVLO Stop Threshold	V _{STOP}	3.2	3.38	3.5	V	V _{DD} High-to-Low
UVLO Hysteresis	V _{HYS}	—	70	—	mV	
Voltage Regulation (Constant-Voltage Mode)						
Regulated Output Voltage	V _{REG}	4.168	4.20	4.232	V	MCP7383X-2
		4.317	4.35	4.383	V	MCP7383X-3
		4.367	4.40	4.433	V	MCP7383X-4
		4.466	4.50	4.534	V	MCP7383X-5
Line Regulation	$\frac{\Delta V_{BAT}}{V_{BAT}} / \frac{\Delta V_{DD}}{V_{DD}}$	—	0.09	0.30	%/V	V _{DD} = [V _{REG} (typical)+1V] to 6V, I _{OUT} = 10 mA
Load Regulation	$\frac{\Delta V_{BAT}}{V_{BAT}}$	—	0.05	0.30	%	I _{OUT} = 10 mA to 50 mA V _{DD} = [V _{REG} (typical)+1V]
Supply Ripple Attenuation	PSRR	—	52	—	dB	I _{OUT} =10 mA, 10Hz to 1 kHz
		—	47	—	dB	I _{OUT} =10 mA, 10Hz to 10 kHz
		—	22	—	dB	I _{OUT} =10 mA, 10Hz to 1 MHz
Current Regulation (Fast Charge Constant-Current Mode)						
Fast Charge Current Regulation	I _{REG}	90	100	110	mA	PROG = 10 kΩ
		450	505	550	mA	PROG = 2.0 kΩ, Note 1
		12.5	14.5	16.5	mA	PROG = 67 kΩ

Note 1: Not production tested. Ensured by design.

MCP73831/2

DC CHARACTERISTICS (CONTINUED)

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all limits apply for $V_{DD} = [V_{REG}(\text{typical}) + 0.3V]$ to 6V, $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$. Typical values are at $+25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = [V_{REG}(\text{typical}) + 1.0V]$

Parameters	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
Preconditioning Current Regulation (Trickle Charge Constant-Current Mode)						
Precondition Current Ratio	I_{PREG} / I_{REG}	7.5	10	12.5	%	PROG = 2.0 k Ω to 10 k Ω
		15	20	25	%	PROG = 2.0 k Ω to 10 k Ω
		30	40	50	%	PROG = 2.0 k Ω to 10 k Ω
		—	100	—	%	No Preconditioning
$T_A = -5^\circ\text{C}$ to $+55^\circ\text{C}$						
Precondition Voltage Threshold Ratio	V_{PTH} / V_{REG}	64	66.5	69	%	V_{BAT} Low-to-High
		69	71.5	74	%	V_{BAT} Low-to-High
Precondition Hysteresis	V_{PHYS}	—	110	—	mV	V_{BAT} High-to-Low
Charge Termination						
Charge Termination Current Ratio	I_{TERM} / I_{REG}	3.75	5	6.25	%	PROG = 2.0 k Ω to 10 k Ω
		5.6	7.5	9.4	%	PROG = 2.0 k Ω to 10 k Ω
		8.5	10	11.5	%	PROG = 2.0 k Ω to 10 k Ω
		15	20	25	%	PROG = 2.0 k Ω to 10 k Ω
$T_A = -5^\circ\text{C}$ to $+55^\circ\text{C}$						
Automatic Recharge						
Recharge Voltage Threshold Ratio	V_{RTH} / V_{REG}	91.5	94.0	96.5	%	V_{BAT} High-to-Low
		94	96.5	99	%	V_{BAT} High-to-Low
Pass Transistor ON-Resistance						
ON-Resistance	R_{DSON}	—	350	—	m Ω	$V_{DD} = 3.75V$, $T_J = 105^\circ\text{C}$
Battery Detection						
Battery Detection Current	I_{BAT_DET}	—	6	—	μA	V_{BAT} Source Current
No-Battery-Present Threshold	V_{NO_BAT}	—	$V_{REG} + 100\text{ mV}$	—	V	V_{BAT} Voltage $\geq V_{NO_BAT}$ for No Battery condition
No-Battery-Present Impedance	Z_{NO_BAT}	2	—	—	M Ω	V_{BAT} Impedance $\geq Z_{NO_BAT}$ for No Battery condition, Note 1
Battery Discharge Current						
Output Reverse Leakage Current	$I_{DISCHARGE}$	—	0.15	2	μA	PROG Floating
		—	0.25	2	μA	V_{DD} Floating
		—	0.15	2	μA	$V_{DD} < V_{STOP}$
		—	-5.5	-15	μA	Charge Complete
Status Indicator – STAT						
Sink Current	I_{SINK}	—	—	25	mA	
Low Output Voltage	V_{OL}	—	0.4	1	V	$I_{SINK} = 4\text{ mA}$
Source Current	I_{SOURCE}	—	—	35	mA	
High Output Voltage	V_{OH}	—	$V_{DD} - 0.4$	$V_{DD} - 1$	V	$I_{SOURCE} = 4\text{ mA}$ (MCP73831)
Input Leakage Current	I_{LK}	—	0.03	1	μA	High-Impedance
PROG Input						
Charge Impedance Range	R_{PROG}	2	—	67	k Ω	
Minimum Shutdown Impedance	R_{PROG}	70	—	200	k Ω	
Automatic Power Down						
Automatic Power Down Entry Threshold	$V_{PDENTER}$	$V_{DD} < (V_{BAT} + 20\text{ mV})$	$V_{DD} < (V_{BAT} + 50\text{ mV})$	—		$3.5V \leq V_{BAT} \leq V_{REG}$ V_{DD} Falling

Note 1: Not production tested. Ensured by design.

DC CHARACTERISTICS (CONTINUED)

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all limits apply for $V_{DD} = [V_{REG}(\text{typical}) + 0.3V]$ to 6V, $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$. Typical values are at $+25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = [V_{REG}(\text{typical}) + 1.0V]$

Parameters	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
Automatic Power Down Exit Threshold	V_{PDEXIT}	—	$V_{DD} < (V_{BAT} + 150 \text{ mV})$	$V_{DD} < (V_{BAT} + 200 \text{ mV})$		$3.5V \leq V_{BAT} \leq V_{REG}$ V_{DD} Rising
Thermal Shutdown						
Die Temperature	T_{SD}	—	150	—	$^\circ\text{C}$	
Die Temperature Hysteresis	T_{SDHYS}	—	10	—	$^\circ\text{C}$	

Note 1: Not production tested. Ensured by design.

AC CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all limits apply for $V_{DD} = [V_{REG}(\text{typical}) + 0.3V]$ to 12V, $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$. Typical values are at $+25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = [V_{REG}(\text{typical}) + 1.0V]$

Parameters	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
UVLO Start Delay	t_{START}	—	—	5	ms	V_{DD} Low-to-High
Constant-Current Regulation						
Transition Time Out of Preconditioning	t_{DELAY}	—	—	1	ms	$V_{BAT} < V_{PTH}$ to $V_{BAT} > V_{PTH}$
Current Rise Time Out of Preconditioning	t_{RISE}	—	—	1	ms	I_{OUT} Rising to 90% of I_{REG}
Termination Comparator Filter	t_{TERM}	0.4	1.3	3.2	ms	Average I_{OUT} Falling
Charge Comparator Filter	t_{CHARGE}	0.4	1.3	3.2	ms	Average V_{BAT}
Status Indicator						
Status Output turn-off	t_{OFF}	—	—	200	μs	$I_{SINK} = 1 \text{ mA}$ to 0 mA
Status Output turn-on	t_{ON}	—	—	200	μs	$I_{SINK} = 0 \text{ mA}$ to 1 mA

TEMPERATURE SPECIFICATIONS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all limits apply for $V_{DD} = [V_{REG}(\text{typical}) + 0.3V]$ to 12V. Typical values are at $+25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = [V_{REG}(\text{typical}) + 1.0V]$

Parameters	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
Temperature Ranges						
Specified Temperature Range	T_A	-40	—	+85	$^\circ\text{C}$	
Operating Temperature Range	T_J	-40	—	+125	$^\circ\text{C}$	
Storage Temperature Range	T_A	-65	—	+150	$^\circ\text{C}$	
Thermal Package Resistances						
5-Lead, SOT-23	θ_{JA}	—	230	—	$^\circ\text{C/W}$	4-Layer JC51-7 Standard Board, Natural Convection (Note 2)
8-Lead, 2 mm x 3 mm, DFN	θ_{JA}	—	76	—	$^\circ\text{C/W}$	4-Layer JC51-7 Standard Board, Natural Convection (Note 1)

Note 1: This represents the minimum copper condition on the PCB (Printed Circuit Board).

Note 2: With large copper area on the PCB, the SOT-23-5 thermal resistance (θ_{JA}) can reach a typical value of 130°C/W or better.

3.0 PIN DESCRIPTION

The descriptions of the pins are listed in Table 3-1.

TABLE 3-1: PIN FUNCTION TABLES

Pin No.		Symbol	Function
DFN	SOT-23-5		
1	4	V_{DD}	Battery Management Input Supply
2	—	V_{DD}	Battery Management Input Supply
3	3	V_{BAT}	Battery Charge Control Output
4	—	V_{BAT}	Battery Charge Control Output
5	1	STAT	Charge Status Output
6	2	V_{SS}	Battery Management 0V Reference
7	—	NC	No Connection
8	5	PROG	Current Regulation Set and Charge Control Enable
9	—	EP	Exposed Thermal Pad (EP); must be connected to V_{SS} .

3.1 Battery Management Input Supply (V_{DD})

A supply voltage of [V_{REG} (typical) + 0.3V] to 6V is recommended. Bypass to V_{SS} with a minimum of 4.7 μ F.

3.2 Battery Charge Control Output (V_{BAT})

Connect to positive terminal of battery. Drain terminal of internal P-channel MOSFET pass transistor. Bypass to V_{SS} with a minimum of 4.7 μ F to ensure loop stability when the battery is disconnected.

3.3 Charge Status Output (STAT)

STAT is an output for connection to an LED for charge status indication. Alternatively, a pull-up resistor can be applied for interfacing to a host microcontroller.

STAT is a tri-state logic output on the MCP73831 and an open-drain output on the MCP73832.

3.4 Battery Management 0V Reference (V_{SS})

Connect to negative terminal of battery and input supply.

3.5 Current Regulation Set (PROG)

Preconditioning, fast charge and termination currents are scaled by placing a resistor from PROG to V_{SS} .

The charge management controller can be disabled by allowing the PROG input to float.

3.6 Exposed Thermal Pad (EP)

An internal electrical connection exists between the Exposed Thermal Pad (EP) and the V_{SS} pin. They must be connected to the same potential on the Printed Circuit Board (PCB).

For better thermal performance, it is recommended to add vias from the land area of EP to a copper layer on the other side of the PCB.

USBXpress™ Family

CP2102N Data Sheet

The CP2102N devices, part of the USBXpress family, are designed to quickly add USB to your applications by eliminating firmware complexity and reducing development time.

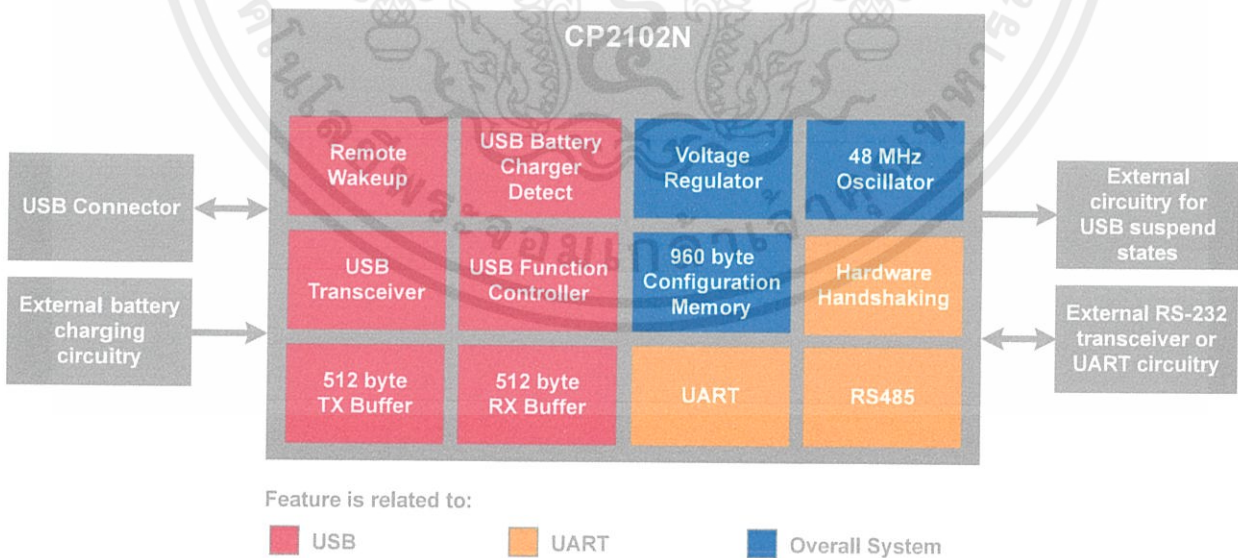
These highly-integrated USB-to-UART bridge controllers provide a simple solution for updating RS-232 designs to USB using a minimum of components and PCB space. CP2102N includes a USB 2.0 full-speed function controller, USB transceiver, oscillator, and Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART) in packages as small as 3 mm x 3 mm. No other external USB components are required for development. All customization and configuration options can be selected using a simple GUI-based configurator. By eliminating the need for complex firmware and driver development, the CP2102N devices enable quick USB connectivity with minimal development effort.

CP2102N is ideal for a wide range of applications, including the following:

- POS terminals
- USB dongles
- Gaming controllers
- Medical equipment
- Data loggers

KEY FEATURES

- No firmware development required
- Simple GUI-based configurator
- Integrated USB transceiver; no external resistors required
- Integrated clock; no external crystal required
- USB 2.0 full-speed compatible
- Data transfer rates up to 3 Mbaud
- USB Battery Charger Detection (USB BCS 1.2 Specification)
- Remote wakeup for waking a suspended host
- Low operating current : 9.5 mA
- Royalty-free Virtual COM port drivers



1. Feature List and Ordering Information

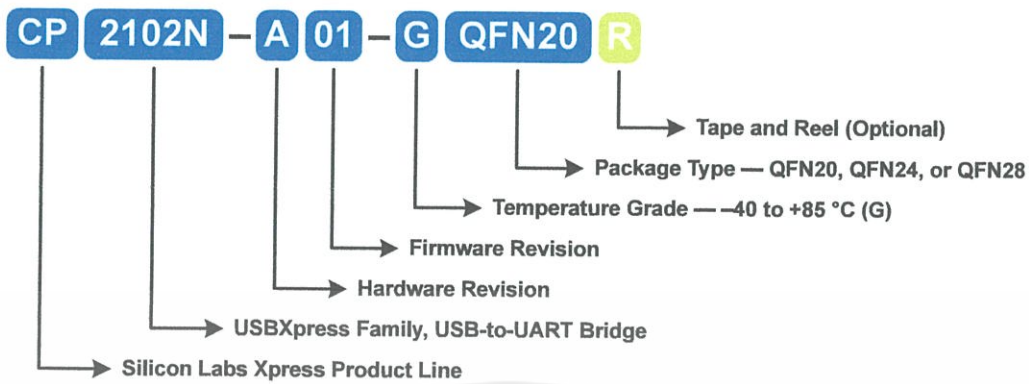


Figure 1.1. CP2102N Part Numbering

The CP2102N devices have the following features:

- **Single-Chip USB-to-UART Data Transfer**
 - Integrated USB transceiver; no external resistors required
 - Integrated clock; no external crystal required
 - Internal 960-byte programmable ROM for vendor ID, product ID, serial number, power descriptor, release number, and product description strings
 - On-chip power-on reset circuit
 - On-chip voltage regulator — 3.3 V output
 - Pin compatible with CP2101/2/9 (QFN28 package)
 - Pin compatible with CP2104 (QFN24 package)
- **USB Function Controller**
 - USB Specification 2.0 compliant; full-speed (12 Mbps)
 - USB suspend states supported via SUSPEND pins
 - USB Battery Charger Detection (USB BCS 1.2 Specification)
 - Remote wakeup for waking a suspended host
- **Single power supply of 3.0 to 3.6 V or 3.0 to 5.25 V**
- **Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART)**
 - All handshaking and modem interface signals
 - Data formats supported
 - Data bits — 5, 6, 7, and 8
 - Stop bits — 1, 1.5, and 2
 - Parity — odd, even, mark, space, no parity
 - Baud rates: 300 baud to 3 Mbaud
 - 512 byte receive buffer
 - 512 byte transmit buffer
 - Hardware or Xon/Xoff handshaking supported
- **Virtual COM Port Device Drivers**
 - Works with existing COM port Applications
 - Supported on Windows, Mac, and Linux
 - Royalty-free distribution license
- **Direct Driver Support**
 - Royalty-free distribution license

Table 1.1. Product Selection Guide

Ordering Part Number	GPIOs	Battery Charger Detect	Separate VIO and VDD Pins	Pb-free (RoHS Compliant)	Temperature Range	Package
CP2102N-A02-GQFN28	7	Yes	—	Yes	-40 to +85 °C	QFN28
CP2102N-A02-GQFN24	4	—	Yes	Yes	-40 to +85 °C	QFN24
CP2102N-A02-GQFN20	4	—	—	Yes	-40 to +85 °C	QFN20

Note:

1. Devices with the same ordering part number may have different types of pin 1 indicators. However, all of these variants can use the same landing diagram as long as the recommended landing diagram instructions are followed.

2.3 USB

The figure below shows a typical connection bus-powered diagram for the USB pins of the CP2102N devices including ESD protection diodes on the USB pins.

Note: There are two relevant restrictions on the VBUS pin voltage in self-powered and bus-powered configurations. The first is the absolute maximum voltage on the VBUS pin, which is defined as $V_{IO} + 2.5\text{ V}$ in [Table 3.10 Absolute Maximum Ratings on page 15](#). The second is the Input High Voltage (V_{IH}) for VBUS to detect when the device is connected to a bus, which is defined as $V_{IO} - 0.6\text{ V}$ in [Table 3.7 GPIO on page 13](#). A resistor divider (or functionally-equivalent circuit) on VBUS is required to meet these specifications and ensure reliable device operation. In this case, the current limitation of the resistor divider prevents high VBUS pin leakage current, even though the $V_{IO} + 2.5\text{ V}$ specification is not strictly met while the device is not powered.

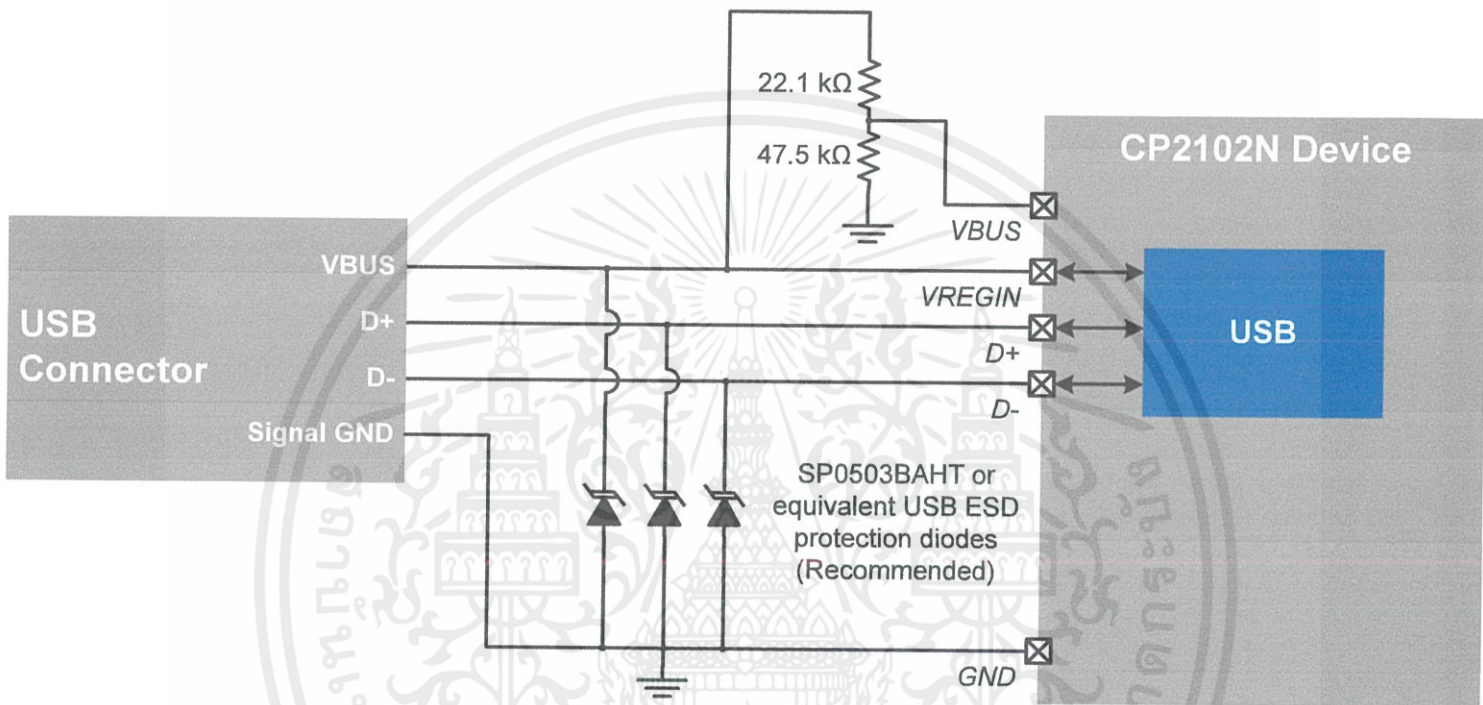


Figure 2.5. Bus-Powered Connection Diagram for USB Pins

The figure below shows a typical connection self-powered diagram for the USB pins of the CP2102N devices including ESD protection diodes on the USB pins.

Note: There are two relevant restrictions on the VBUS pin voltage in self-powered and bus-powered configurations. The first is the absolute maximum voltage on the VBUS pin, which is defined as $V_{IO} + 2.5\text{ V}$ in Table 3.10 Absolute Maximum Ratings on page 15. The second is the Input High Voltage (V_{IH}) for VBUS to detect when the device is connected to a bus, which is defined as $V_{IO} - 0.6\text{ V}$ in Table 3.7 GPIO on page 13. A resistor divider (or functionally-equivalent circuit) on VBUS is required to meet these specifications and ensure reliable device operation. In this case, the current limitation of the resistor divider prevents high VBUS pin leakage current, even though the $V_{IO} + 2.5\text{ V}$ specification is not strictly met while the device is not powered.

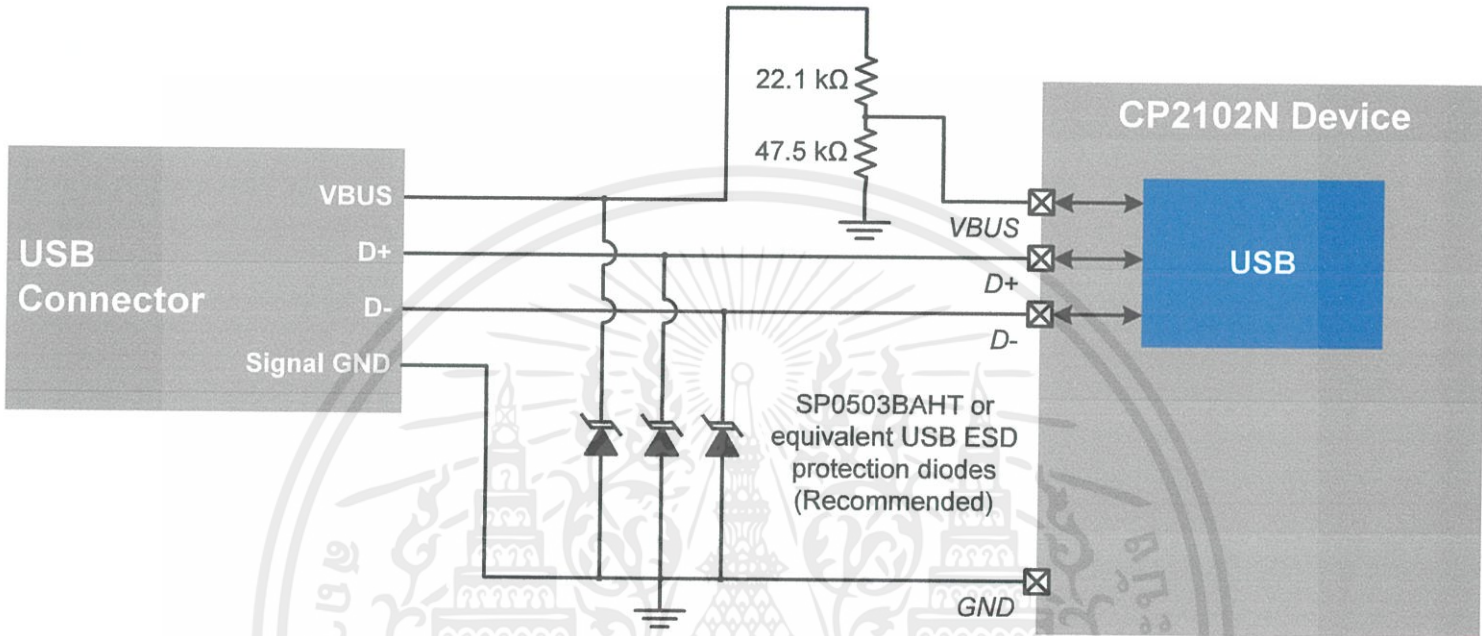


Figure 2.6. Self-Powered Connection Diagram for USB Pins

3.1.8 USB Transceiver

Table 3.8. USB Transceiver

Parameter	Symbol	Test Condition	Min	Typ	Max	Unit
Transmitter						
Output High Voltage	V_{OH}	$V_{DD} \geq 3.0V$	2.8	—	—	V
Output Low Voltage	V_{OL}	$V_{DD} \geq 3.0V$	—	—	0.8	V
Output Crossover Point	V_{CRS}		1.3	—	2.0	V
Output Impedance	Z_{DRV}	Driving High	28	36	44	Ω
		Driving Low	28	36	44	
Pull-up Resistance	R_{PU}	Full Speed (D+ Pull-up)	1,425	1.5	1,575	k Ω
Output Rise Time	T_R	Full Speed	4	—	20	ns
Output Fall Time	T_F	Full Speed	4	—	20	ns
Receiver						
Differential Input Sensitivity	V_{DI}	$ (D+) - (D-) $	0.2	—	—	V
Differential Input Common Mode Range	V_{CM}		0.8	—	2.5	V
Input Leakage Current	I_L	Pullups Disabled	—	<1.0	—	μA
Refer to the USB Specification for timing diagrams and symbol definitions.						

3.2 Thermal Conditions

Table 3.9. Thermal Conditions

Parameter	Symbol	Test Condition	Min	Typ	Max	Unit
Thermal Resistance (Junction to Ambient)	θ_{JA}	QFN20 Packages	—	60	—	$^{\circ}C/W$
		QFN24 Packages	—	30	—	$^{\circ}C/W$
		QFN28 Packages	—	26	—	$^{\circ}C/W$
Thermal Resistance (Junction to Case)	θ_{JC}	QFN20 Packages	—	32.9	—	$^{\circ}C/W$
		QFN24 Packages	—	24.2	—	$^{\circ}C/W$
		QFN28 Packages	—	18.8	—	$^{\circ}C/W$
Thermal Characterization Parameter (Junction to Top)	Ψ_{JT}	QFN20 Packages	—	0.88	—	$^{\circ}C/W$
		QFN24 Packages	—	0.3	—	$^{\circ}C/W$
		QFN28 Packages	—	0.3	—	$^{\circ}C/W$
Note:						
1. Thermal resistance assumes a multi-layer PCB with any exposed pad soldered to a PCB pad.						

4. Functional Description

4.1 USB Function Controller and Transceiver

The Universal Serial Bus function controller in the CP2102N is a USB 2.0 compliant full-speed device with integrated transceiver and on-chip matching and pull-up resistors. The USB function controller manages all data transfers between the USB and the UART as well as command requests generated by the USB host controller and commands for controlling the function of the UART.

The USB Suspend and Resume signals are supported for power management of both the CP2102N device as well as external circuitry. The CP2102N will enter Suspend mode when Suspend signaling is detected on the bus. On entering Suspend mode, the CP2102N asserts the SUSPEND and SUSPENDb signals. SUSPEND and SUSPENDb are also asserted after a CP2102N reset until device configuration during USB Enumeration is complete.

The CP2102N exits Suspend mode when any of the following occur:

1. Resume signaling is detected or generated.
2. A USB Reset signal is detected.
3. A device reset occurs.
4. USB Remote Wakeup functionality is enabled and the WAKEUP pin is grounded.

On exit of Suspend mode, the SUSPEND and SUSPENDb signals are de-asserted. Both SUSPEND and SUSPENDb temporarily float high during a CP2102N reset. If this behavior is undesirable, a strong pull-down (10 k Ω) can be used to ensure SUSPENDb remains low during reset.

4.2 Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART) Interface

The CP2102N UART interface consists of the TX (transmit) and RX (receive) data signals as well as the RTS, CTS, DSR, DTR, DCD, and RI control signals. The UART supports RTS/CTS, DSR/DTR, and Xon/Xoff handshaking.

The UART is programmable to support a variety of data formats and baud rates. If the Virtual COM Port drivers are used, the data format and baud rate are set during COM port configuration on the PC. If the USBXpress drivers are used, the CP2102N is configured through the USBXpress API. The data formats and baud rates available are listed in the table below.

Table 4.1. Data Formats and Baud Rates

Parameter	Available Values
Data Bits	5, 6, 7, and 8
Stop Bits	1, 1.5 ¹ , and 2
Parity Types	none, even, odd, mark, space
Baud Rates	300, 600, 1200, 1800, 2400, 4000, 4800, 7200, 9600, 14400, 16000, 19200, 28800, 38400, 51200, 56000, 57600, 64000, 76800, 115200, 128000, 153600, 230400, 250000, 256000, 460800, 500000, 576000, 921600, 1000000, 1200000, 1500000, 2000000, 3000000
Note:	
	1. 5-bit only.

4.2.1 Baud Rate Generation

The baud rate generator is very flexible, allowing the user to request any baud rate in the range from 300 baud to 3 Mbaud. If the baud rate cannot be directly generated from the 48 MHz oscillator, the device will choose the closest possible option. The actual baud rate is dictated by the following equations.

$$\text{Clock Divider} = \frac{48 \text{ MHz}}{2 \times \text{Prescale} \times \text{Requested Baud Rate}}$$

$$\text{Actual Baud Rate} = \frac{48 \text{ MHz}}{2 \times \text{Prescale} \times \text{Clock Divider}}$$

In both cases, the Prescale value is 4 if the Requested Baud Rate is ≤ 365 baud and 1 if the Requested Baud Rate value is > 365 baud.

Most baud rates can be generated with an error of less than 1.0%. A general rule of thumb for the majority of UART applications is to limit the baud rate error on both the transmitter and the receiver to no more than $\pm 2\%$. The Clock Divider value is rounded to the nearest integer, which may produce an error source. Another error source will be the 48 MHz oscillator, which is accurate to $\pm 0.25\%$. Knowing the actual and requested baud rates, the total baud rate error can be found using the equation below.

$$\text{Baud Rate Error (\%)} = 100 \times \left(1 - \frac{\text{Actual Baud Rate}}{\text{Requested Baud Rate}} \right) \pm 0.25\%$$

4.2.2 Sending Break Signaling

The CP2102N supports break signaling with an external 10k Ohm resistor between TXD and ground. This resistor is sufficient for break signaling across all baud rates.

When a Send Break command is received, the CP2102N halts adding new data to the transmitter FIFO and will wait 6 byte times for in-flight data to complete transmission. It will not process other USB transactions such as RX data reception or GPIO commands while waiting - transactions will be processed once break is initiated. During this time, if enabled, the RS-485 signal will begin asserting. If RTS TX Control is enabled, RTS will also begin asserting. Once the 6 byte time has expired, the CP2102N places the TXD line in a high-impedance state - ignoring flow control status - and the external resistor pulls down TXD to initiate a break.

While sending break the TXT LED toggle is active. USB transactions including RX data reception and GPIO commands function normally.

When a Stop Break command is received, the CP2102N removes TXD from the high impedance state. It is held for 1 byte time to allow for stabilization. After that time has expired the transmitter resumes normal operations, and the RS485 and RTS (if RTS TX Control is enabled) signals wait the specified hold time.