

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องวัดระยะทางด้วยการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์ทางแสง

Optical Device Application to Distance Measurement

โดย

นายสมพงษ์ สุตันทวงษ์
นายวาทิศ โภคาวัฒนา

๒พ
ค 264 ค
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 83014
วัน,เดือน,ปี..... 30 ก.ค. 2551

b..... 1195811x
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดระยะทางด้วยการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์ทางแสง
Optical Device Application to Distance Measurement



ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานปีการศึกษา 2550

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดระยะทางด้วยการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์ทางแสง

Optical Device Application to Distance Measurement

ผู้จัดทำ

1. นายสมพงษ์ สุตันทวงษ์
2. นายวาทิศ โกคาวัฒนา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดระยะทางด้วยการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์ทางแสง

นายสมพจน์ สุตันทวงษ์ รหัส 47010806

นายวาทีศ โภคาวัฒนา รหัส 47010694

อ.ชินภัทร นันทจิวารชัย อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2/2550

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติหลักการทำงานและประยุกต์ใช้งานวงจรรวม ADNS-2051 ซึ่งสามารถหาได้จากออปติคอลเมตส์ ซึ่งเป็นวงจรรวมที่มีคุณสมบัติที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้ โดยนำมาใช้ในการการระบุตำแหน่งและวัดระยะทางในระนาบแกน X และแกน Y โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการเรียกใช้งานวงจรรวม ADNS-2051 และแสดงผลออกทางจอแอลซีดี รวมถึงสามารถนำไปพัฒนาใช้งานโดยสามารถใช้เป็นตัวจับภาพแบบหยาบแทนกล้องดิจิทัลได้ และแสดงผลผ่านการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Optical Device Application to Distance Measurement

Mr .Sompot Sutantawong ID.47010806

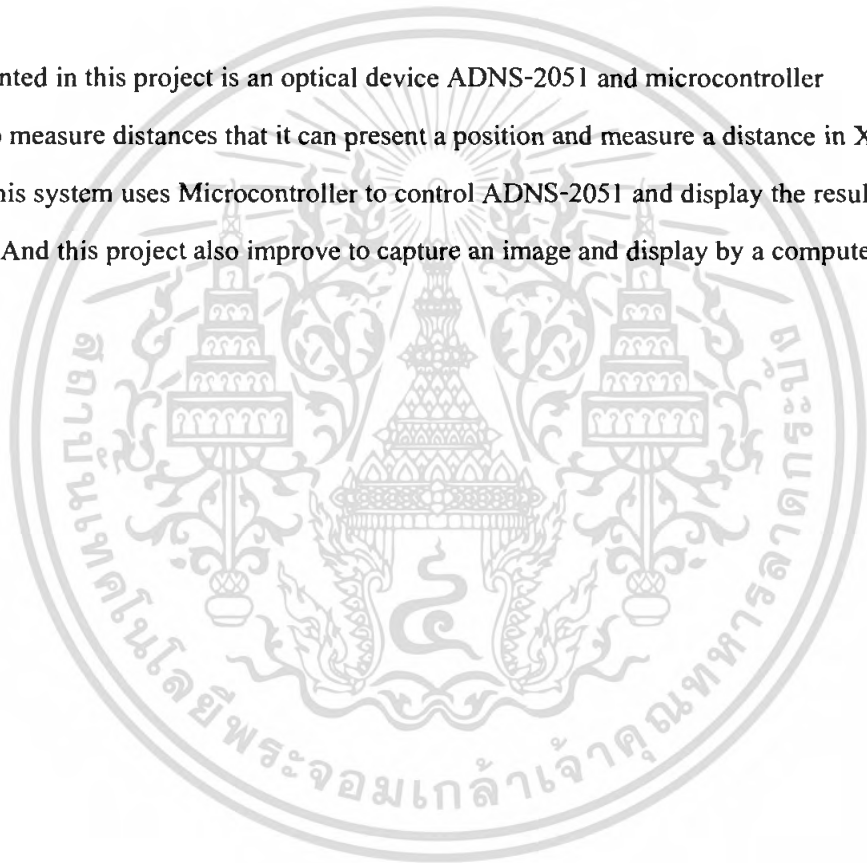
Mr. Watist Pokawattana ID.47010694

Advisor: Chinnapat Nantajiwakornchai

Semester 2/2550

Abstract

Presented in this project is an optical device ADNS-2051 and microcontroller application, to measure distances that it can present a position and measure a distance in X axis and Y axis. This system uses Microcontroller to control ADNS-2051 and display the result on LCD display. And this project also improve to capture an image and display by a computer's connection.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	1
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 หลักการทำงานของ Optical mouse	3
2.1.1 ประวัติความเป็นมาของเมาส์	4
2.1.2 Optical Mouse Architecture	5
2.2 วงจรรวม ADNS-2051(Optical Mouse Sensor)	6
2.2.1 คุณสมบัติของวงจรรวม ADNS-2051	6
2.2.2 ส่วนประกอบของวงจรรวม ADNS-2051	6
2.2.3 ตำแหน่งและหน้าที่ของแต่ละขา	7
2.3 PIC Microcontroller	8
2.4 Light Emitting Diode (ไดโอดเปล่งแสง)	12
2.4.1 หลอด LED	14
2.4.2 อุปกรณ์แสดง LED	15
2.4.3 โฟโตไดโอด	16
2.4.3.1) PN โฟโตไดโอด	16
2.4.3.2) PIN โฟโตไดโอด	18
2.4.4 โฟโตทรานซิสเตอร์	19
2.4.5 Photo Sensor	21
2.5 SPI(Serial Peripheral Interface Bus)	23
บทที่ 3 รายละเอียดในการออกแบบและการสร้าง	25
3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์	25
3.1.1) การใช้งานพอร์ตต่างๆ	25

3.2	วงจรรวม ADNS-2051	26
3.2.1)	การเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์	26
3.2.2)	การเรียกใช้งานและการควบคุมADNS-2051	27
3.2.3)	การใช้งาน Quadrature State Output	28
3.2.4)	ลักษณะการทำงาน	28
3.3	ส่วนอินพุตสวิตช์	29
3.4	ส่วนแสดงผลจอ LCD	29
บทที่ 4	การทดลองและผลการทดลอง	32
4.1	การทดลองวัดสัญญาณ SCLK และ SDIO เพื่อตรวจสอบค่า Product_ID	32
4.2	การวิเคราะห์ทางโดยใช้พื้นผิวที่แตกต่างกัน	34
บทที่ 5	สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	38
5.1	สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	38
5.1.1	การทดลองวัดสัญญาณ SCLK และ SDIO เพื่อตรวจสอบค่า Product_ID	38
5.1.2	การวิเคราะห์ทางบนพื้นผิวต่างๆ	38
5.2	ปัญหาที่พบ	38
5.3	การปรับปรุงแก้ไข	39
ภาคผนวก		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการทำงานของ Optical mouse	3
รูปที่ 2.2 เม้าส์ตัวแรกที่ผลิตโดย Douglas C. Engelbart	4
รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของ Optical Mouse	5
รูปที่ 2.4 ADNS-2051 block diagram	6
รูปที่ 2.5 รูป Top view แสดงตำแหน่งขาต่างๆ	7
รูปที่ 2.6 PIC16F877A แสดงขาต่างๆของ Microcontroller	10
รูปที่ 2.7 Block Diagram ของ Microcontroller PIC16F877	11
รูปที่ 2.8 สัญลักษณ์ของ LED	12
รูปที่ 2.9 แสดงส่วนประกอบของ LED	13
รูปที่ 2.10 แสดงสเปกตรัมสีของ LED กับความยาวคลื่น	14
รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะของหลอด LED	15
รูปที่ 2.12 แสดงอุปกรณ์แสดงผล LED	16
รูปที่ 2.13 แสดงสัญลักษณ์ของ PN-Photodiode	16
รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างของ PN-Photodiode	16
รูปที่ 2.15 แสดงการทำงานของ PN-Photodiode	17
รูปที่ 2.16 แสดงสัญลักษณ์ของ PIN-Photodiode	18
รูปที่ 2.17 แสดงโครงสร้างและการทำงานของ PIN-Photodiode	18
รูปที่ 2.18 แสดง Photodiode	19
รูปที่ 2.19 สัญลักษณ์ของ Phototransistor	20
รูปที่ 2.20 โครงสร้างของ Phototransistor	20
รูปที่ 2.21 แสดงลักษณะของ Phototransistor	20
รูปที่ 2.22 แสดงลักษณะของโฟโตเซนเซอร์แบบส่องแสงโดยตรง	22
รูปที่ 2.23 แสดงลักษณะของโฟโตเซนเซอร์แบบสะท้อนแสง	23
รูปที่ 2.24 แสดงลักษณะการสื่อสารแบบ SPI	24
รูปที่ 3.1 ลักษณะการส่งข้อมูลแบบอนุกรม	27
รูปที่ 3.2 แสดง Address ของ register ต่างๆ	27
รูปที่ 3.3 แสดง Quadrature State Machine	28
รูปที่ 3.4 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาใช้

รูปที่ 3.5 แสดงเมสที่นำมาคัดแปลง	31
รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะวงจรรวมที่นำมาใช้งาน	31
รูปที่ 4.1 ลักษณะสัญญาณ SCLK และ SDIO ที่วัดได้แบบเต็มรูป	32
รูปที่ 4.2 ลักษณะสัญญาณ SCLK และSDIOที่วัดได้ในช่วงการส่งAddress 0x00	33
รูปที่ 4.3 ลักษณะสัญญาณ SCLK และSDIOที่วัดได้ในช่วงการรับ Data 0x02	33
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะจริงกับระยะที่วัดได้	37



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงรายละเอียดของแต่ละขาของ ADNS-2051	8
ตารางที่ 4.1 แสดงระยะที่วัดได้บนพื้นผิวต่างๆ	35
ตารางที่ 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่วัดได้บนพื้นผิวต่างๆ	36



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของโครงการ

ในปัจจุบันนี้จะพบได้ว่าอิเล็กทรอนิกส์นั้นมีบทบาทต่อความเป็นอยู่ของสังคมในทุกด้าน จะพบได้ว่าสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์นั้นสามารถที่จะอำนวยความสะดวกให้แก่คนเราได้ ทั้งนี้ในอดีตนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีราคาต่อการผลิตที่สูงมากทำให้ไม่เหมาะแก่การนำไปใช้ในครัวเรือน แต่ในปัจจุบันเมื่อเทคโนโลยีมีความก้าวหน้ามากขึ้น ก็ทำให้ราคาไมโครคอนโทรลเลอร์เหล่านี้มีราคาไม่สูงเกินไป ทำให้โอกาสที่สามารถนำอุปกรณ์ชนิดนี้มาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง

ทุกวันนี้อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์มีการนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย รวมถึงอุปกรณ์จำพวกวงจรรวมทั้งหลายที่มีการผลิตออกมาเพื่อการใช้งานเฉพาะด้านต่างๆกันไป ซึ่งวงจรรวมเหล่านี้มีคุณสมบัติในการใช้งานมาก และเราสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในรูปแบบอื่นๆได้อีก ในโครงการนี้จึงได้มีการนำวงจรรวมที่ใช้งานใน Optical mouse มาศึกษาและประยุกต์ใช้งาน โดยนำประยุกต์เป็นเครื่องวัดระยะทางที่บอกพิกัดในระนาบ 2 มิติได้คือในแนวแกน X และแกน Y โดยการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC มาเป็นตัวควบคุมวงจรรวม ADNS-2051 และแสดงผลออกทางจอ LCD ซึ่งอุปกรณ์วัดระยะนี้สามารถนำไปใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่นได้อีกมาก เช่น ใช้เป็นตัวจับระยะในหุ่นยนต์ Robot ต่างๆ และตัววงจรรวมนี้ยังสามารถใช้เป็นตัวจับภาพอย่าง หยาบๆได้อีกด้วย จึงอาจนำไปใช้เป็นตัวตรวจเช็คสภาพพื้นผิวได้ด้วย หรืออาจทำการพัฒนาต่อไปให้ทำการติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อเป็นการพัฒนาในด้านอื่นๆได้อีก

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ที่สามารถนำไปควบคุมอุปกรณ์ต่างๆได้
2. เพื่อศึกษาการทำงานและคุณสมบัติและขอบเขตของวงจรรวม ADNS-2051 ที่มีคุณสมบัติการทำงานที่น่าสนใจ
3. เพื่อทำการประยุกต์การใช้งานวงจรรวม ADNS-2051 เป็นอุปกรณ์วัดระยะทาง
4. เพื่อศึกษาแนวทางการพัฒนาอุปกรณ์ต่อไปในอนาคต

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC
2. ใช้วงจรรวม ADNS-2051 ในการจับภาพและประมวลผลภาพเป็นข้อมูลระยะทางแบบดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำโมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ไปประยุกต์ใช้งานได้จริง
2. สามารถนำอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบไว้ไปใช้งานได้จริง
3. สามารถนำความรู้ที่ได้จากการศึกษานี้ไปใช้งานได้จริง
4. สามารถนำโครงการนี้ไปพัฒนาเพื่อการใช้งานเพิ่มเติมต่อไปได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

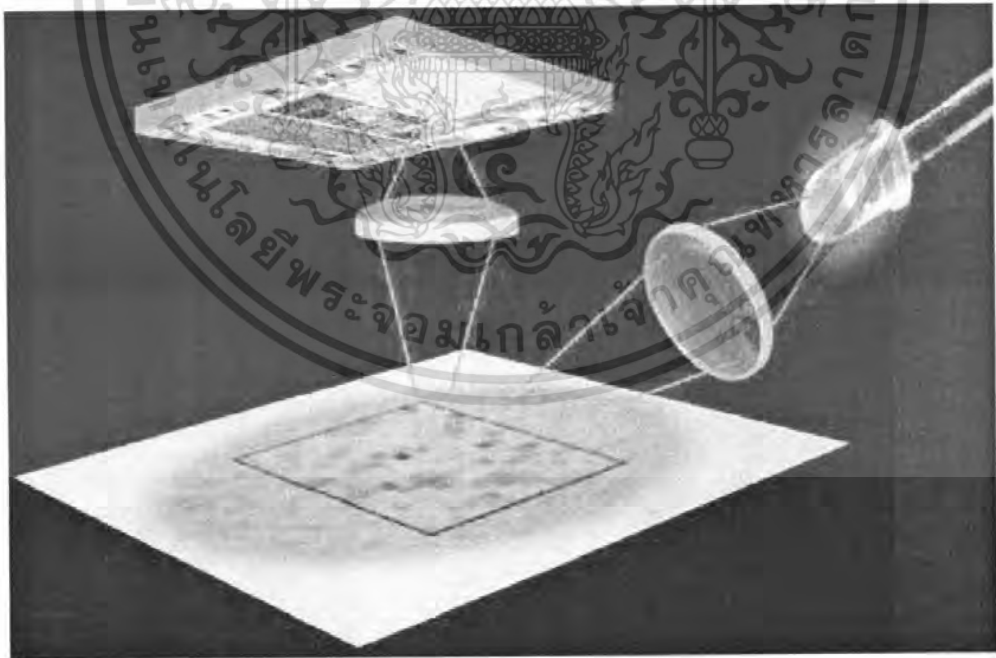
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 หลักการทำงานของ Optical mouse

การทำงานของ Optical mouse นั้น ใช้หลักการในการตรวจจับการเคลื่อนไหวโดยใช้เซนเซอร์แสงที่อยู่ในเมาส์ ร่วมกับ LED โดย Optical mouse ในยุคแรก ๆ นั้น สามารถใช้ได้บน mouse pad ที่มีพื้นผิวเป็นโลหะเฉพาะเท่านั้น แต่เมื่อคอมพิวเตอร์ราคาถูกลง Optical mouse จึงได้ใส่ chip สำหรับประมวลผลภาพ (image processing chips) เข้าไปเพื่อทำหน้าที่ในการวิเคราะห์ภาพ ซึ่งทำให้สามารถใช้ได้บนพื้นผิวหลายชนิดมากขึ้น โดยไม่จำเป็นต้องใช้ mouse pad อีกต่อไป

การทำงานของเมาส์แบบที่ไม่ต้องใช้ mouse pad คือการใช้ sensor ในการตรวจจับการเคลื่อนที่ของพื้นผิวที่เกิดจากการใช้ LED ส่องไปที่พื้นผิว และจะถูกส่งต่อไปที่ส่วนประมวลผลภาพ (image processing part) เพื่อจะแปลงไปเป็นการเคลื่อนไหวบนแกน X และ Y (2 มิติ) โดยจะประมวลผลถึงประมาณ 1500 เฟรมต่อวินาที ซึ่งในแต่ละเฟรมมีขนาดประมาณ 18 x 18 pixels และแต่ละ pixel มีระดับความเข้มที่แตกต่างกันได้ถึง 64 ระดับ และเป็นมาตรฐานในปัจจุบันเนื่องจากความแม่นยำที่มีมากกว่าเมาส์แบบลูกกลิ้ง



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการทำงานของ Optical mouse

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

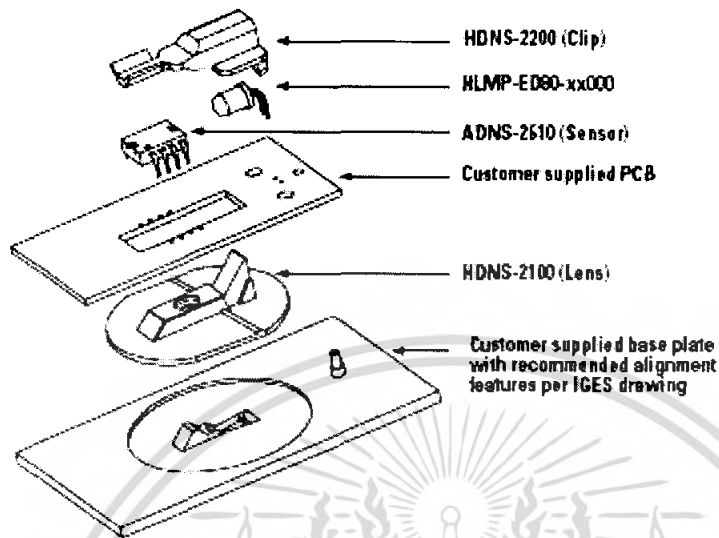
2.1.1 ประวัติความเป็นมาของเมาส์

เมาส์เริ่มใช้งานกันอย่างแพร่หลายในช่วงประมาณ ปี ค.ศ.1990 ควบคู่กันมากับการเปิดตัวใช้งานระบบ ปฏิบัติการ Windows ซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการแบบ Graphic User Interface (GUI) ทั้ง ๆ ที่เมาส์ ตัวแรกถูกประดิษฐ์คิดค้นมาตั้งแต่ช่วงประมาณปี ค.ศ. 1963 โดยนักวิจัยชื่อ Douglas C. Engelbart แห่งสถาบันวิจัยสแตนฟอร์ด (Stanford Research Institute: SRI) ซึ่งถือว่าเป็นบิดา ของเมาส์ เมาส์ตัวแรกที่เขาประดิษฐ์ขึ้นจากวัสดุประเภทไม้มีปุ่ม 1 ปุ่ม และมี ล้อคู่ขนานสำหรับระบุตำแหน่งพิกัดบนจอคอมพิวเตอร์ดัง แสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 2.2 เมาส์ตัวแรกที่ผลิต โดย Douglas C. Engelbart

การทำงาน ใช้หลักการในการตรวจจับการเคลื่อนไหว โดยใช้เซนเซอร์แสงที่อยู่ให้เมาส์ ร่วมกับ LED optical mouse ในยุคแรก ๆ ประดิษฐ์โดย Kirsch บริษัท Mouse System Corporation ซึ่งสามารถใช้ได้บน mouse pad ที่มีพื้นผิวเป็น โลหะเฉพาะเท่านั้น แต่เมื่อคอมพิวเตอร์ราคาถูกลง optical mouse จึง ได้ใส่ chip สำหรับประมวลผลภาพ (image processing chips) เข้าไปซึ่งสามารถใช้ได้บนพื้นผิวหลายชนิดมากขึ้น โดยไม่จำเป็นต้องใช้ mouse pad อีกต่อไป

2.1.2 Optical Mouse Architecture



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของ Optical Mouse

Optical mouse จะประกอบด้วย ฐานรองเมาส์ซึ่งจะมีแผงวงจรควบคุมการทำงานภายใน optical mouse และจะมี sensor เป็นตัวทำการตรวจจับการเคลื่อนที่ของพื้นผิว โดยจะมี LED (Light Emitting Diode) ส่องไปที่พื้นผิวและจะสะท้อนกลับไปยังเลนส์รับแสงทำการตกกระทบแสงไปยัง sensor อีกที จากนั้นค่าที่ sensor จับได้จะถูกส่งต่อไปที่ส่วนประมวลผลภาพ (image processing part) เพื่อจะแปลงไปเป็นการเคลื่อนไหวบนแกน X และ Y นำค่าที่ได้มาคำนวณออกมาเป็นระยะ โดยจะมี Microcontroller เป็นตัวควบคุมการคำนวณและการทำงานของเมาส์

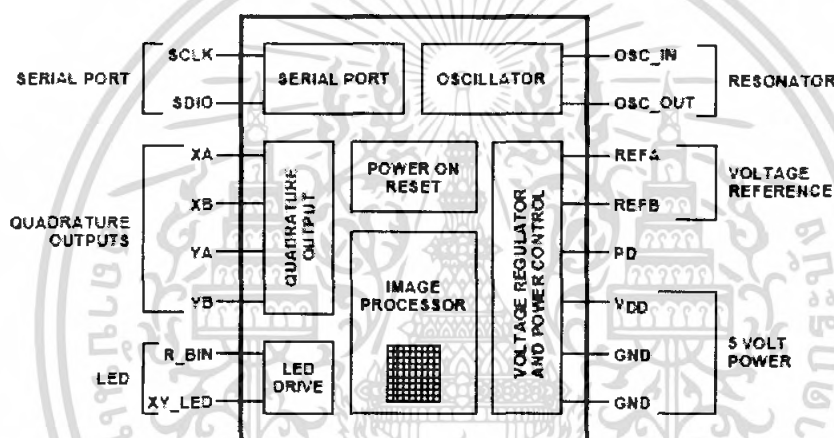
2.2 วงจรรวม ADNS-2051(Optical Mouse Sensor)

2.2.1 คุณสมบัติของวงจรรวม ADNS-2051

ADNS-2051 เป็นวงจรรวมที่ทำหน้าที่เป็น Optical Mouse Sensor โดยการใช้ LED ส่องไปที่พื้นผิว และนำภาพส่งไปให้ตัวประมวลผลภาพ เพื่อทำการแปลงข้อมูลเป็นการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และ Y ซึ่งวงจรรวมตัวนี้ สามารถประมวลผลภาพได้ 1500 เฟรมต่อวินาที และมีความละเอียดแต่ละเฟรมเป็น 16 x 16 pixels และแต่ละ pixels มีระดับความเข้ม 64 ระดับ

2.2.2 ส่วนประกอบของวงจรรวม ADNS-2051

ADNS-2051 สามารถแบ่งการทำงานได้ออกเป็น 7 กลุ่มดังรูป



รูปที่ 2.4 ADNS-2051 block diagram

โครงสร้างของ ADNS-2051 แบ่งได้เป็น 7 ส่วนดังนี้

1) Image Processor

ทำหน้าที่ในการประมวลผลภาพ โดยจะนำภาพที่จับได้จาก Image sensor มาทำการแปลงข้อมูลเป็นข้อมูล digital ซึ่งจะเป็นภาพขนาด 16x16 pixels และมีระดับความเข้ม 64 ระดับ

2) LED Drive

ทำหน้าที่ควบคุม LED ให้ติดและดับตามการทำงาน

3) Quadrature Output

ทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลแบบ เป็น State โดยจะมีพอร์ทที่ใช้รวม 4 พอร์ท คือ

XA, XB, YA และ YB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) Serial Port

ทำหน้าที่ในการรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมประกอบด้วย พอร์ต 2 พอร์ต คือ

4.1) SCLK ทำหน้าที่เป็นส่วนรับสัญญาณ clock จากภายนอกเพื่อใช้เป็นสัญญาณ clock ในการรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรม

4.2) SDIO ทำหน้าที่เป็นส่วนรับและส่งข้อมูลดิจิทัลแบบอนุกรม

5) Oscillator

ทำหน้าที่กำเนิด Clock ให้กับวงจรรวมในการทำงาน โดยการต่อกับ Crystal 18 MHz

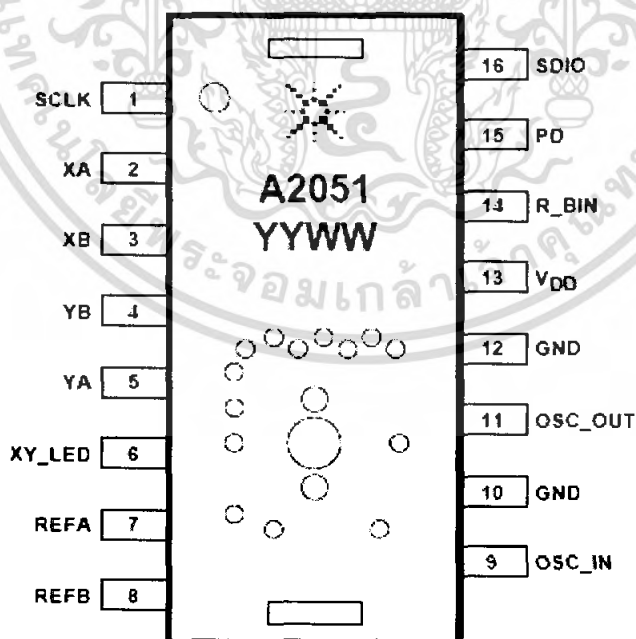
6) Power On Reset

ทำหน้าที่ควบคุมการเปิดและปิดของวงจรรวม

7) Voltage Regulator and Power Control

ทำหน้าที่ควบคุมระบบไฟเลี้ยงของวงจรรวม

2.2.3 ตำแหน่งและหน้าที่ของแต่ละขา



รูปที่ 2.5 รูป Top view แสดงตำแหน่งขาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงรายละเอียดของแต่ละขาของ ADNS-2051

ขาที่	ชื่อขา	หน้าที่
1	SCLK	Serial port clock(input)
2	XA	XA quadrature output
3	XB	XB quadrature output
4	YB	YB quadrature output
5	YA	YA quadrature output
6	XY_LED	LED control
7	REFA	Internal reference
8	REFB	Internal reference
9	OSC_IN	Oscillator input
10	GND	System ground
11	OSC_OUT	Oscillator output
12	GND	System ground
13	VDD	5.0 volt power supply
14	R_BIN	LED current bin resistor
15	PD	Power down pin, active high
16	SDIO	Serial data (input and output)

2.3 PIC Microcontroller

PIC คือชื่อของไมโครคอนโทรลเลอร์ 16 บิตจาก Microchip Technology Inc. ย่อมาจาก Peripheral Intelligent Computer ผู้ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ซึ่งรู้จักกันเป็นอย่างดีในแวดวงนักพัฒนาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ โดย Microchip Technology ได้กำหนดชื่ออย่างเป็นทางการสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์อนุกรมใหม่นี้ว่า Digital Signal Controller หรือ dsPIC นั้นหมายความว่า PIC เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่องานประมวลผลสัญญาณดิจิทัลสำหรับสร้างระบบควบคุมอัตโนมัติที่มีความสามารถสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 สามารถสรุปได้ดังนี้

- 35 Instruction คำสั่ง
- ในการปฏิบัติงานคำสั่งต่างๆ จะใช้ cycle เดียวและ 2 cycle ในคำสั่งที่เป็นการกระโดด
- ความถี่สูงสุดที่ทำงานได้คือ 20 MHz(16F877-20/P)
- การทำงานจะเป็นลักษณะ Pipeline ทำให้มีการทำงานที่เร็วขึ้น
- หน่วยความจำโปรแกรม Flash Program Memory มีขนาด 8k (14-Bit Words)
- หน่วยความจำข้อมูล (RAM) 368 Bytes
- หน่วยความจำข้อมูล (EEPROM) 256 Bytes
- สามารถตอบสนอง การอินเตอร์รัพ ได้ถึง 14 แหล่ง
- STACK 8 ระดับ
- เพาเวอร์อนรีเซต(POR), เพาเวอร์อัป ไทมเมอร์ (PWRT)และOscillator Start-Up Timer
- Watchdog Timer
- สามารถเลือกการป้องกันข้อมูลได้ (Code Protection)
- โหมดประหยัดพลังงาน (Sleep Mode)
- เลือกโหมดของสัญญาณนาฬิกาได้หลายโหมด
- สามารถโปรแกรม โดยใช้แรงดัน +5V ได้
- ฟังก์ชันการ โปรแกรมแบบ ICSP (In-Circuit Serial Programming)
- ทำงานที่ไฟเลี้ยง 2.0V ถึง 5.5V
- กระแสทั้งซิงค์ และซอร์ส ของพอร์ตคือ 2.5 mA
- Timer/Counter จำนวน 3 ตัวคือ Timer0, Timer1 และ Timer2
- โมดูล Capture/Compare/PWM จำนวน 2 ชุด
- Analog to Digital Converter ความละเอียด 10 บิต 8 แชนเนลภายในตัว
- มีโมดูลการสื่อสาร USART
- มีโมดูลตรวจจับแรงดันไฟเลี้ยง Brown-out reset (BOR)
- มีพอร์ต I/O 5 พอร์ต ประกอบด้วย A,B,C,D และ E แต่ละพอร์ตจะมีจำนวนบิตไม่เท่ากัน ซึ่งรวมแล้วจะมี I/O จำนวน 33 บิต

PORTA = RA5-RA0 จำนวน 6 บิต

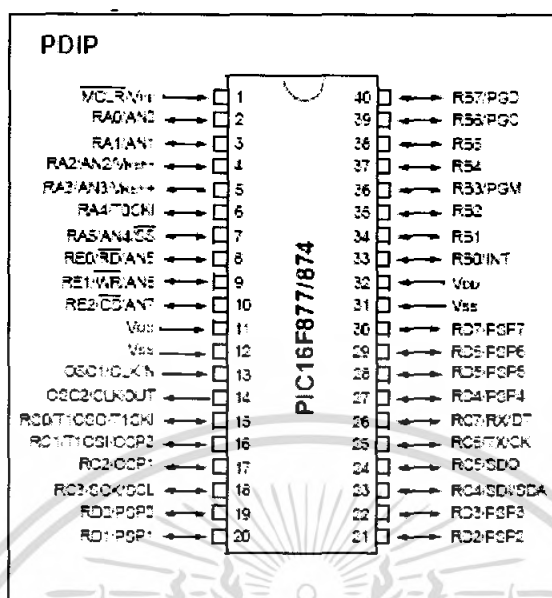
PORTB = RA7-RB0 จำนวน 8 บิต

PORTC = RA7-RC0 จำนวน 8 บิต

PORTD = RA7-RD0 จำนวน 8 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PORTE = RA2-RE0 จำนวน 3 บิต

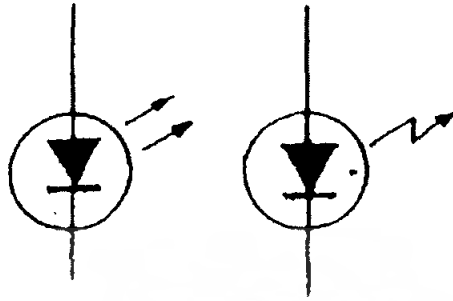


รูปที่ 2.6 PIC16F877A แสดงขาต่างๆของ Microcontroller

ขาสัญญาณของPIC เบอร์ 16F877 นี้จะมีทั้งหมด 40 ขา ประกอบไปด้วยขาที่ทำหน้าที่ต่างๆ โดยจะมีขาของสัญญาณ I/O Ports ทั้งหมด 33 ขา โดยสามารถนำไปใช้เป็นอินพุต/เอาต์พุต ได้ทั้งหมดทุกขา ยกเว้นขา RA4 ซึ่งมีโครงสร้างภายในเป็นแบบ Open Drain ดังนั้นหากต้องการนำไปใช้เป็นขาสัญญาณเอาต์พุต จะต้องต่อตัวต้านทานพูลอัพ (Pull-up) ไว้ด้วย ส่วนขาที่เหลือสามารถใช้งานได้ตามปกติ นอกจากขาสัญญาณ I/O แล้ว ยังประกอบไปด้วยขาสัญญาณอื่นๆ อีกคือ ขาไฟเลี้ยง, กราวด์, ขารีเซ็ต และขาออสซิลเลเตอร์

2.4 Light Emitting Diode (ไดโอดเปล่งแสง)

LED (Light Emitting Diode) หรือไดโอดเปล่งแสง เป็นไดโอดอีกชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติพิเศษ คือ เมื่อกระแสไหลผ่านจะเปล่งแสงออกมาได้



รูปที่ 2.8 สัญลักษณ์ของ LED

ไดโอดเปล่งแสงเกิดจากการสร้างรอยต่อ PN ด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดพิเศษ เมื่อคร่อมแรงดันไฟที่รอยต่อโดยให้ขั้วบวกอยู่ด้าน P และขั้วลบอยู่ด้าน N โฮลใน P และอิเล็กตรอนใน N จะไหลมารวมตัวกันที่รอยต่อเกิดเป็นแสงให้เราเห็น

สารกึ่งตัวนำที่ใช้มักเป็นผลึกแกเลียม (Ga) ที่มีส่วนผสมอื่นอยู่ด้วย สารเจือปนที่เจือปนอยู่ในอัตราส่วนที่ต่างกันจะทำให้เกิดการเปล่งแสงสีต่างๆได้ ปกติรอยต่อ PN จะสร้างขึ้นจากการปลูกชั้น N หรือ P บนฐานซึ่งเป็น P หรือ N ของผลึกแกเลียม

โดยปกติไดโอดชนิดนี้จะใช้แรงดันและกระแสน้อยคือแรงดันประมาณ 2 V และกระแสประมาณ 1-20 mA ก็จะทำให้ไดโอดเปล่งแสงได้ ไดโอดชนิดนี้ใช้เป็นหลอดแสงเล็กๆ ใช้เป็นแหล่งแสงในรีโมทคอนโทรล แหล่งแสงของเส้นใยแสงได้

นอกจากนี้ประสิทธิภาพการให้แสงสว่างของไดโอดเปล่งแสงยังดีกว่าหลอดไฟเล็กๆ โดยที่ไดโอดชนิดนี้จะกินไฟน้อยและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานมาก นอกจากนั้นยังทนทานต่อการสั่นสะเทือนไม่เหมือนหลอดไฟทั่วไป การเปิดปิดทำได้เร็วมากจึงใช้ในการมอดูเลต (Modulate) ด้วยความเร็วสูงและการกระพริบด้วยพัลส์ได้ดี

ไดโอดเปล่งแสงสามารถให้สีอินฟราเรด แดง ส้ม เหลือง เหลืองเขียว และเขียวได้ ในปัจจุบันมีผู้ทำไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงินได้สำเร็จ จึงทำให้มีแม่สีครบ คือ แดง เขียว น้ำเงิน ต่อมาก็สามารถนำมาทำจอภาพสีได้โดยไม่ยากนัก

ความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งจากไดโอดจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารกึ่งตัวนำที่ใช้ทำไดโอด และส่วนผสมของสารเจือปน ลองดูว่าไดโอดที่เปล่งแสงต่างๆ ใช้สารกึ่งตัวนำชนิดใดบ้าง

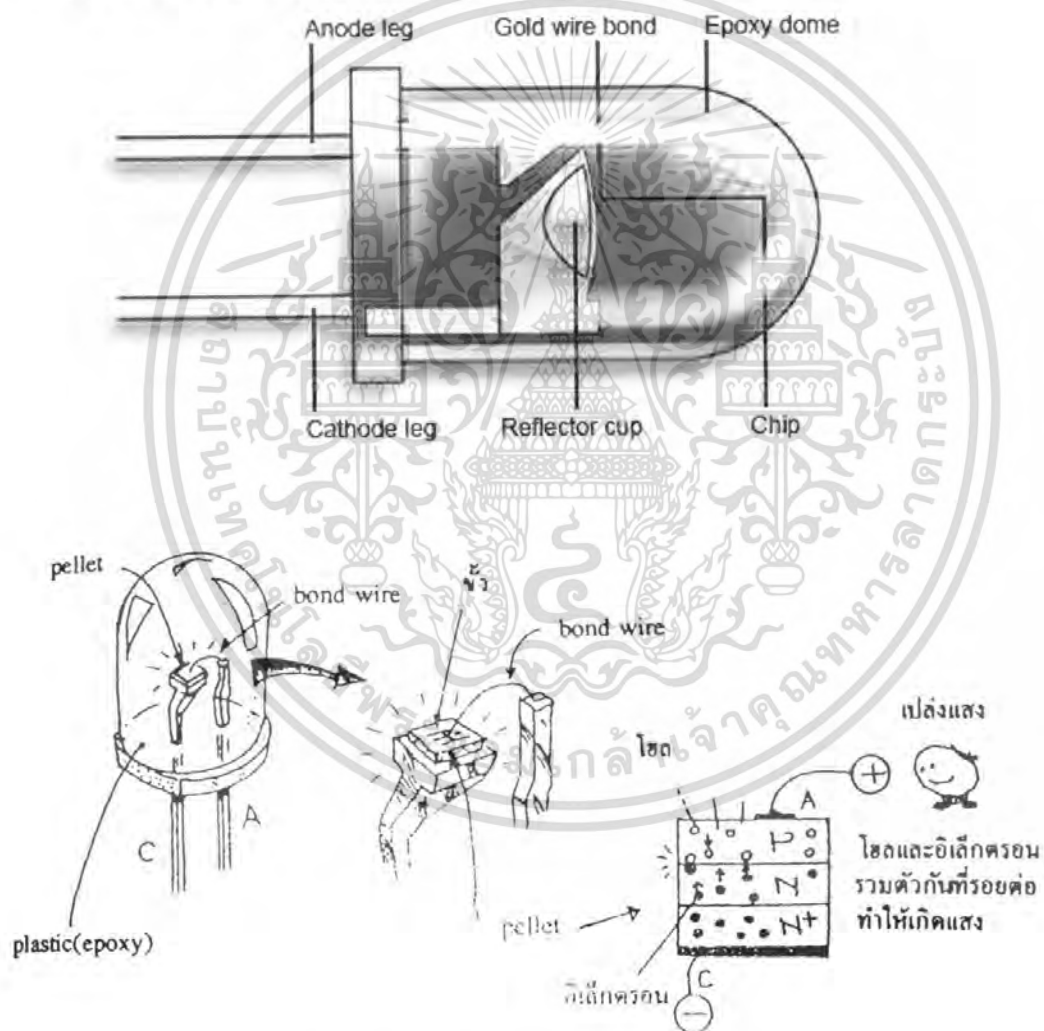
-อินฟราเรด (ความยาวคลื่น 0.93-0.95 μm) ใช้ GaAs

-สีแดง (0.70 μm) ใช้ GaP เจือด้วย Zn และ O

-สีเขียว (0.66 μm) ใช้ GaAlAs เป็นไดโอดที่ให้แสงอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

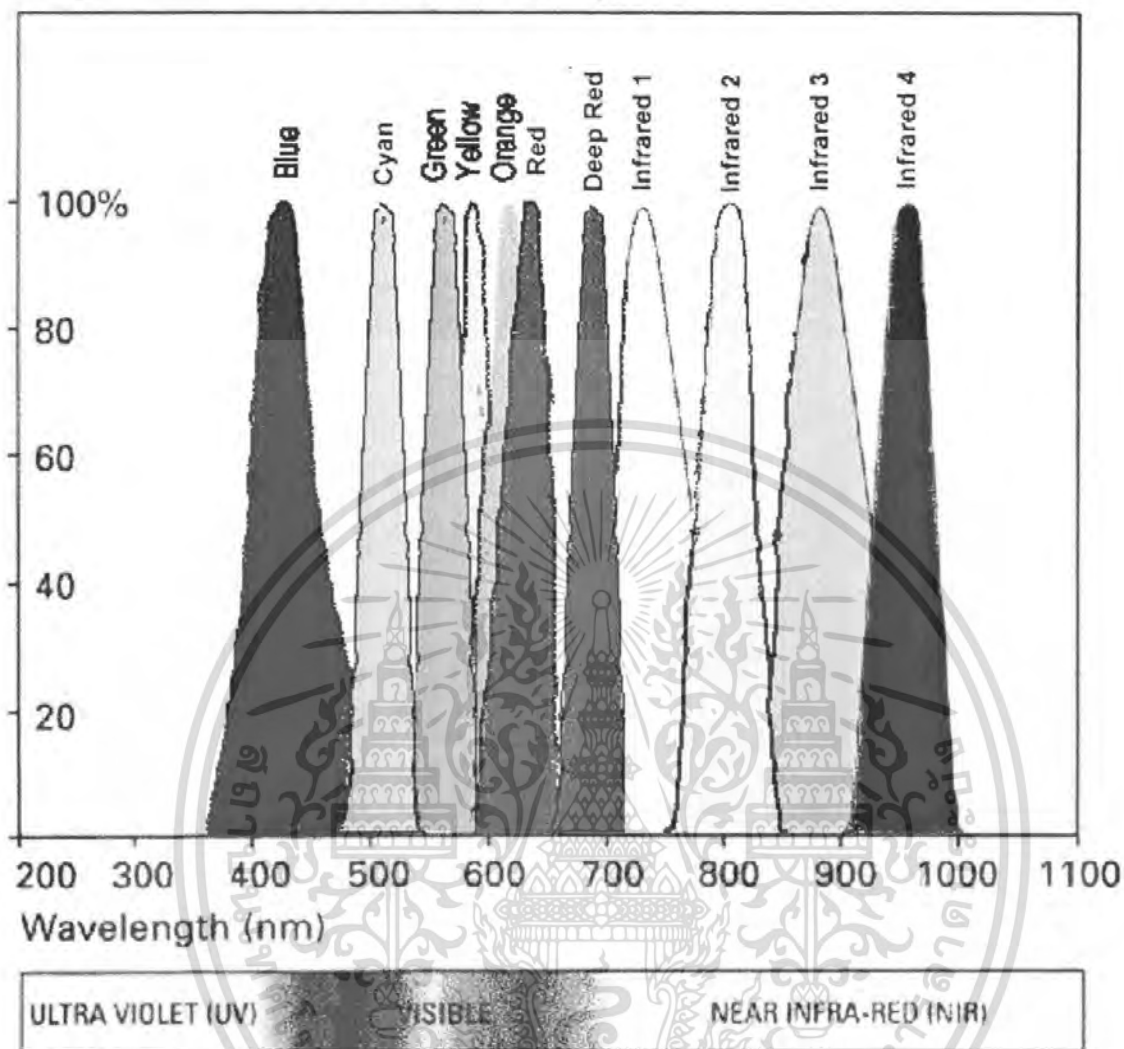
- สีส้มแดง (0.63 μm) ใช้ GaAsP ที่มีสูตร $\text{GaAs}_{0.35}\text{P}_{0.65}$
- สีส้ม (0.61 μm) ใช้ GaAsP ที่มีสูตร $\text{GaAs}_{0.25}\text{P}_{0.75}$
- สีเหลือง (0.59 μm) ใช้ GaAsP ที่มีสูตร $\text{GaAs}_{0.15}\text{P}_{0.85}$
- สีเหลืองเขียว (0.565 μm) ใช้ GaP และเจือด้วย N มีประสิทธิภาพในการให้แสงสูงกว่าหลอดสีเขียว
- สีเขียว (0.555 μm) ใช้ GaP แต่ให้แสงไม่ค่อยจะมีประสิทธิภาพเท่าหลอดสีเหลืองเขียว จึงไม่เป็นที่นิยมใช้
- สีน้ำเงิน (0.49 μm) ใช้ GaN
- สีน้ำเงิน (0.48 μm) ใช้ ZnSe และ SiC



รูปที่ 2.9 แสดงส่วนประกอบของ LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LED Emission Spectra



รูปที่ 2.10 แสดงสเปกตรัมสีของ LED กับความยาวคลื่น

2.4.1 หลอด LED

ไดโอดเปล่งแสงจะถูกใช้หลอดเดี่ยวๆ หรือใช้หลายๆตัวประกอบกันเป็นหลอดแสงก็ได้ ถ้าใช้เดี่ยวๆจะเรียกว่าหลอด LED

หลอด LED มีหลายชนิด โดยทั่วไปจะใช้ LED ใส่ลงในฝาครอบพลาสติกและอัดด้วยอีพ็อกซี เมื่อต่อตัวต้านทานอนุกรมไว้และป้อนแรงดันไฟก็จะทำให้หลอดติดสว่างได้

หลอด LED จะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ที่มีขนาดเล็กลงมาคือ 4, 3 และ 2.5 มิลลิเมตร ก็มี ขนาดใหญ่ขนาด 7 มิลลิเมตร หรือ 10 มิลลิเมตร ก็มี ส่วนหัวจะถูกอัดด้วยอีพ็อกซีหรืออีพ็อกซีผสมกับ SiO_2 ทำให้โปร่งใส ครอบพลาสติกโดยรอบ บางครั้งจะเป็นสีแดง, เหลือง, เขียว ตามสีของการเปล่งแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนหัวของหลอด LED จะทำหน้าที่เป็นเลนส์ มีรูปร่างหลายแบบ เช่น เป็นทรงกลม, สามเหลี่ยม, สี่เหลี่ยม ฯลฯ ขา 2 ขาจะอยู่ด้านล่าง หรืออาจจะต่อมาสองข้างเหมือนไดโอดชนิดเจอร์มาเนียมก็มี

หลอด LED ที่มี 2 สี จะมีสามขา ถ้าดูภายในจะเห็น LED อยู่สองตัว ประกอบอยู่ในหลอดเดียวกัน ถ้าให้ LED ตัวใดตัวหนึ่ง ON จะเห็นเป็นสีแดงหรือเขียว ถ้าให้ ON พร้อมกันทั้งสองดวงจะเห็นเป็นสีม่วงถ้าปรับปริมาณแสงของแต่ละ LED จะเห็นเป็นแสงต่างๆกัน 3-4 สี

หลอด LED ขนาดใหญ่เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 10 มม. ภายในจะมี LED ประกอบอยู่ 2-6 ตัว อยู่ด้านล่างเลนส์สี่ฟ็อกซี

ส่วนหลอด LED ที่เป็นแผ่นพื้นใหญ่ให้แสงเสมอกันในบริเวณพื้นผิว จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-15 มม. ด้านล่างจะมี LED วางอยู่ 1-6 ตัว และจะผ่านสี่ฟ็อกซีที่มีคุณสมบัติการกระจายแสงเพื่อให้พื้นผิวมีแสงเรียบเสมอกัน



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะของหลอด LED

2.4.2 อุปกรณ์แสดง LED

หลอดตัวเลข และหลอดตัวอักษรที่เป็น LED จะใช้ในการแสดงตัวเลขและตัวอักษรของอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น นาฬิกา, เครื่องวัดดิจิทัล โดยทั่วไปมักจะแสดงเลขหรือตัวอักษรด้วยเส้นหรือจุดของ LED หลายๆดวง

Dot matrix display จะประกอบด้วยหลอด LED หลายๆดวง เรียงกันเป็นเมตริกซ์ ตารางแนวนอนและแนวตั้งใช้แสดงตัวเลขหรือตัวอักษร ตัวอักษรหนึ่งตัว ใช้จำนวน LED เท่ากับ 5×7 หลอดหรือใหญ่กว่านั้นเป็น 16×16 หลอด หรือ 24×24 หลอดก็มี

Segment LED เช่น หลอดตัวเลข 7 ซิต (7-Segment display) ใช้เส้นหรือซิต 7 ซิตเรียงกันเป็นรูปเลข 8 จากการขับ LED แต่ละซิตให้ติดกัน ก็สามารถแสดงตัวเลขให้เข้าใจได้ตั้งแต่ 0-9 การขับ KED ชนิดนี้จะมีไอซีที่ทำหน้าที่ถอดรหัสและขับโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

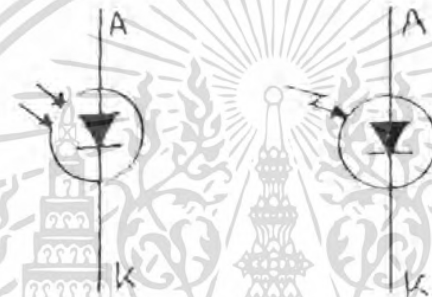


รูปที่ 2.12 แสดงอุปกรณ์แสดงผล LED

2.4.3 โฟโตไดโอด

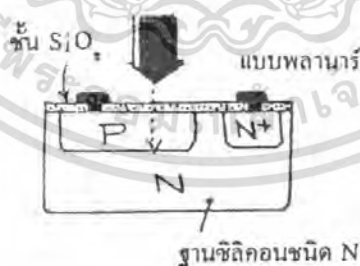
2.4.3.1) PN โฟโตไดโอด

PN โฟโตไดโอด (Photo Diode : PD) เป็นสารกึ่งตัวนำที่จะให้กระแสไหลผ่านได้เมื่อถูกแสง ถ้าใช้รอยต่อ PN ก็จะเรียกว่า PN โฟโตไดโอด สารกึ่งตัวนำที่ใช้ก็จะเป็นซิลิคอน



รูปที่ 2.13 แสดงสัญลักษณ์ของ PN-Photodiode

รอยต่อ PN เป็นรอยต่อของสารกึ่งตัวนำชนิด P และ N ชนิด P เกิดจากการเจือสารพวกแอกเซปเตอร์ (acceptor) ส่วนชนิด N เกิดจากการเจือสารจำพวกโดเนอร์ (donor)



รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างของ PN-Photodiode

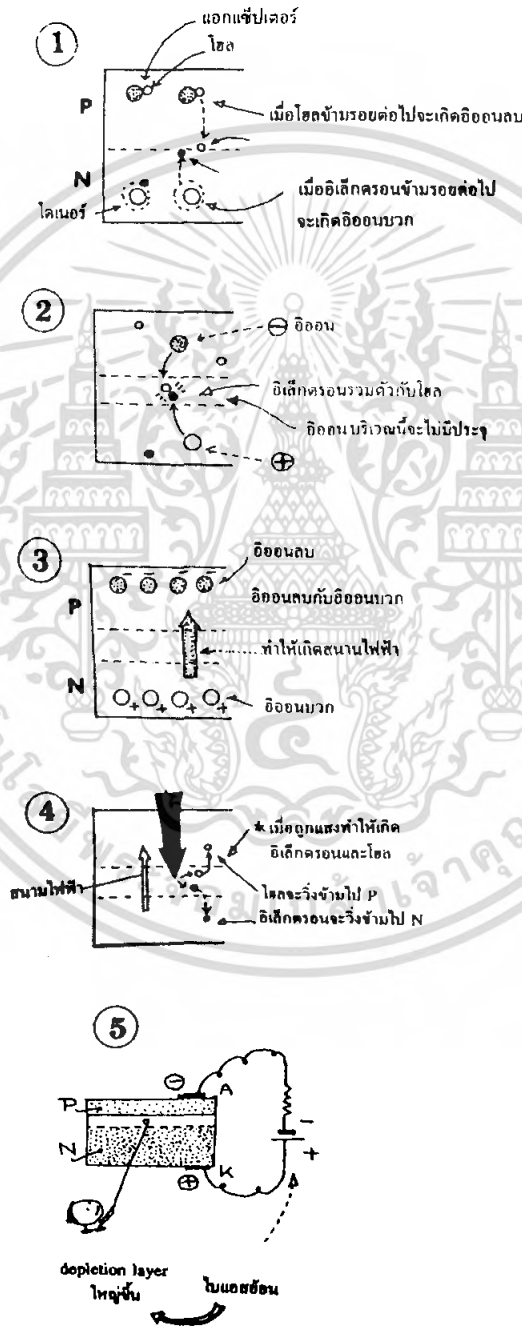
ตรงบริเวณรอยต่อ PN นี้ จากรูป (1) จะเห็นว่าโฮลในสารชนิด P และอิเล็กตรอนในสารชนิด N จะแพร่กระจายเข้ามา ทำให้เกิดการรวมตัวกันในบริเวณนี้ จึงไม่มีประจุไฟฟ้าบริเวณรอยต่อนี้ทำให้เกิดชั้นที่เรียกว่า depletion layer ขึ้น

ในสารชนิด P เมื่อโฮลลดน้อยลงก็จะเกิดอ็อนประจุลบ ส่วนในสารชนิด N เมื่ออิเล็กตรอนน้อยลงก็จะเกิดประจุบวกขึ้น ดังนั้นบริเวณรอยต่อจะเห็นประจุลบและบวกทั้งสองด้าน จึงเกิดสนามไฟฟ้าขึ้น

งานนี้จัดทำขึ้นเพื่อสนับสนุนการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีแสงมาตกกระทบบนที่รอยต่อ PN นี้ พลังงานแสงจะเร่งทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมทำให้เกิดโฮล อิเล็กตรอนที่มีประจุลบและโฮลที่มีประจุบวกจะถูกแรงของสนามไฟฟ้าตรงรอยต่อทำให้เกิดการเคลื่อนที่ข้ามรอยต่อได้คือ กระแสไหลตรงรอยต่อ PN ได้

ดังนั้น จะเห็นว่าเมื่อฉายแสงไปที่รอยต่อจะเกิดกระแสไหล จึงใช้เป็นโฟโตเซ็นเซอร์ได้ อิเล็กตรอนและโฮลที่เกิดจากรอยต่อนั้น ถ้าทิ้งไว้เฉยๆอาจรวมตัวกันอีก ดังนั้นตรงบริเวณรอยต่อจึงมักให้แรงดันไบอัสย้อนกลับไว้ ตามรูป (4) เพื่อให้ depletion layer มีขนาดใหญ่ขึ้น

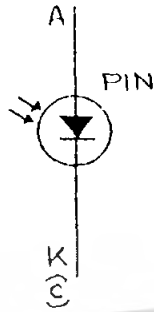


รูปที่ 2.15 แสดงการทำงานของ PN-Photodiode

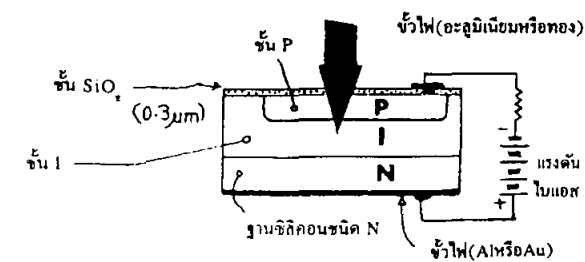
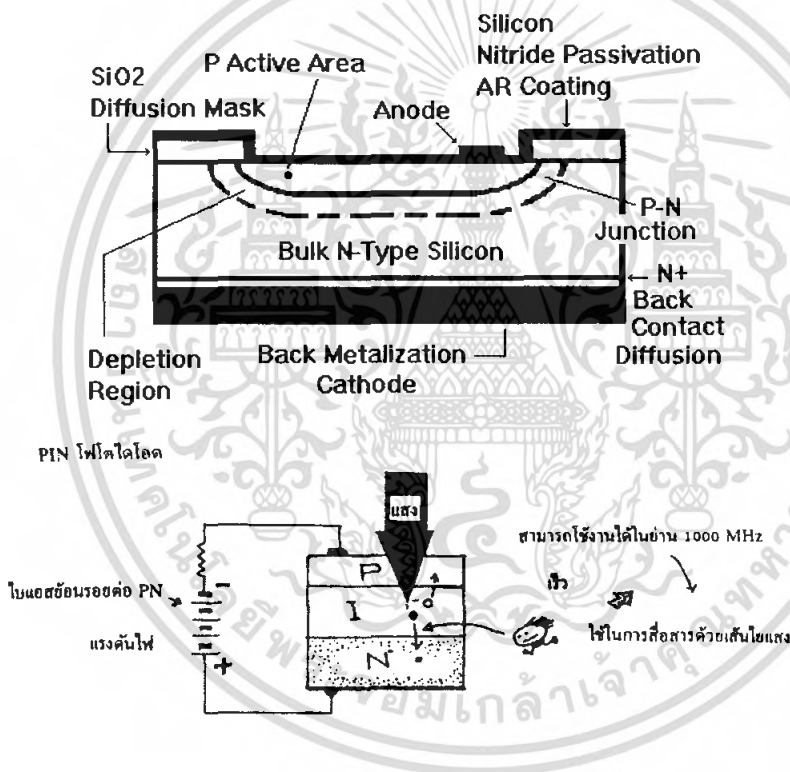
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแ่ 83014 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.2) PIN โฟโตไดโอด

มีรูปร่างเหมือน PN โฟโตไดโอดที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ผ่านมา เพียงแต่เพิ่มชั้น I ตรงกลางระหว่างชั้น P และ N จึงมีชั้น PIN ตามชื่อของโฟโตไดโอด



รูปที่ 2.16 แสดงสัญลักษณ์ของ PIN-Photodiode



รูปที่ 2.17 แสดง โครงสร้างและการทำงานของ PIN-Photodiode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้น I เป็นชั้นของสารกึ่งตัวนำที่ไม่เป็นทั้งชนิด P และ N เป็นชั้นของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ ไม่มีสารเจือปน I ย่อมาจากคำว่า Intrinsic

เมื่อสอดชั้น I เข้าไปในระหว่างชั้น P และ N แล้วจะทำให้เกิด depletion layer ที่มีค่าความต้านทานสูง และชั้นของสารกึ่งตัวนำจะมีความหนามากขึ้น

เมื่อไบอัสย้อนรอยต่อ PN นี้ (ชั้นลบที่สาร P ขั้วบวกที่สาร N) จะทำให้แรงดันเกือบทั้งหมดมาตกคร่อมบนชั้น I นี้ ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่แรงขึ้น

เมื่อฉายแสงให้ตกกระทบบตรงรอยต่อจะมีอิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม เนื่องจากแสงจะข้ามจากชั้น P เข้ามาในชั้น I จึงทำให้ในชั้น I เกิดโฮลและอิเล็กตรอนขึ้น โฮลและอิเล็กตรอนที่เกิดจากแสงนี้จะถูกอิทธิพลของสนามไฟฟ้าที่ชั้น I ผลักดันให้เกิดการเคลื่อนที่ อิเล็กตรอนจะวิ่งไปที่ขั้วบวกของสาร N ส่วนโฮลจะวิ่งไปที่ขั้วลบของสาร P เกิดกระแสไหลขึ้น

ถ้าเพิ่มแรงดันไบอัสให้มากขึ้น การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลจะเร็วขึ้นมาก เมื่อเทียบกับ PN โฟโตไดโอดธรรมดา ทำให้สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงของแสงได้อย่างรวดเร็ว หมายถึงมีผลตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของแสงเร็วนั่นเอง

PIN โฟโตไดโอดมีความเร็วในการทำงานสูงสามารถใช้กับความถี่ได้สูงถึง 1 กิกะเฮิรตซ์ จึงใช้เป็นตัวรับแสงเพื่อตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของแสงใช้ในการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง ใช้ในการส่งสัญญาณ PCM ของโทรศัพท์ และยังใช้เป็นตัวรับแสงของรีโมทคอนโทรลของเครื่องวีดีโออีกด้วย

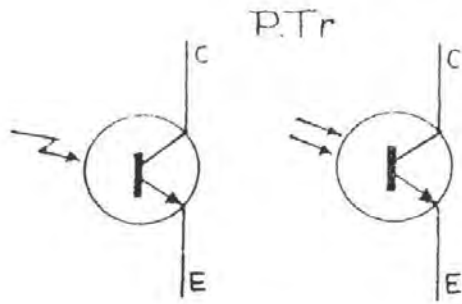


รูปที่ 2.18 แสดง Photodiode

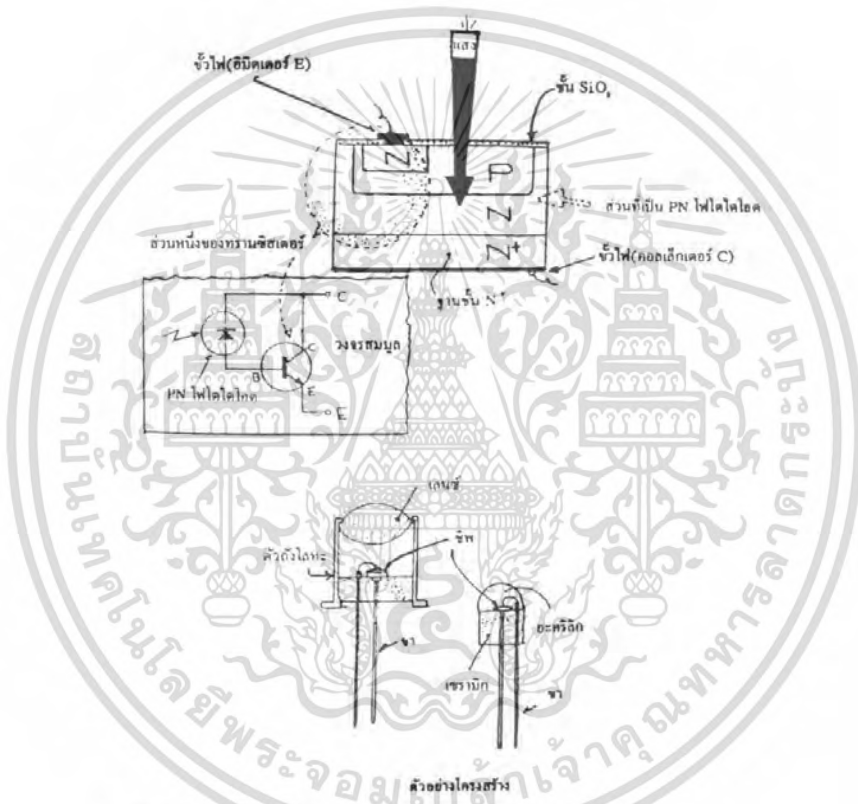
2.4.4 โฟโตทรานซิสเตอร์

ถ้าเพิ่มรอยต่อ PN เข้าไปที่ PN โฟโตไดโอดก็จะเกิดเป็นโฟโตทรานซิสเตอร์ได้ จากรูปจะเห็นว่าถ้าทำชั้น N อยู่เหนือชั้น P ของ PN โฟโตไดโอด จะทำให้ได้ NPN ทรานซิสเตอร์ ซึ่งสามารถใช้เป็นโฟโตไดโอดในการรับแสงและยังสามารถใช้ในการขยายกระแสได้อีกด้วย

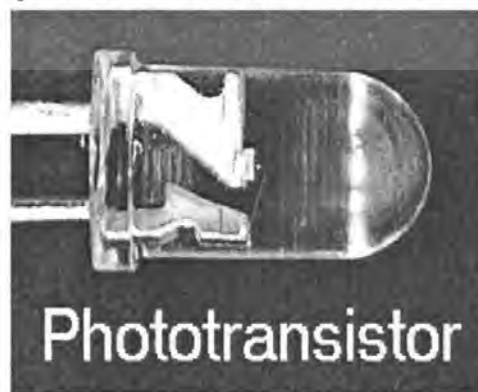
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 สัญลักษณ์ของ Phototransistor



รูปที่ 2.20 โครงสร้างของ Phototransistor



รูปที่ 2.21 แสดงลักษณะของ Phototransistor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างในรูปชั้น N บนสุดที่สร้างเพิ่มขึ้นมาใหม่จะเป็นส่วนที่เป็นอิมิตเตอร์ ชั้น P จะเป็นเบส ส่วนฐานชั้น N จะเป็นคอลเล็กเตอร์ ตรงเบสจะไม่มีขาต่อออกมาแต่ก็มีบางชนิดที่มีขาต่อออกมาให้ใช้งานด้วย

เมื่อแสงตกกระทบตรงรอยต่อ PN ระหว่างเบสและคอลเล็กเตอร์ ก็จะทำให้เกิดเหตุการณ์ทำนองเดียวกับโฟโตไดโอด คือเกิดคู่อิเล็กตรอนและโฮล อิเล็กตรอนจะไหลไปที่ขั้วบวกคือชั้น N(คอลเล็กเตอร์) ส่วนโฮลจะวิ่งไปที่ขั้วลบชั้น P(เบส) ถ้าแสดงด้วยทิศทางการไหลของกระแสจะได้ว่ากระแสวิ่งจากขั้วบวกไปขั้วลบ ซึ่งสวนทางกับทิศทางการวิ่งของอิเล็กตรอน

กระแสนี้เป็นกระแสเบสซึ่งเกิดจากแสง แต่กระแสที่คอลเล็กเตอร์จะมีขนาดใหญ่กว่า เพราะมีการขยายกระแสที่เบสอีกทีหนึ่ง

ถ้าใช้วงจรสมมูลแสดงการทำงานของโฟโตทรานซิสเตอร์ ก็จะได้โฟโตไดโอดต่อขนานกับโฟโตทรานซิสเตอร์ดังในรูป ความไวของตัวรับแสงก็จะสูงขึ้นอีกเป็นหลายร้อยเท่า โฟโตทรานซิสเตอร์นี้เป็นที่นิยมใช้กันมากในการทำเป็นตัวรับแสงหรือโฟโตเซนเซอร์

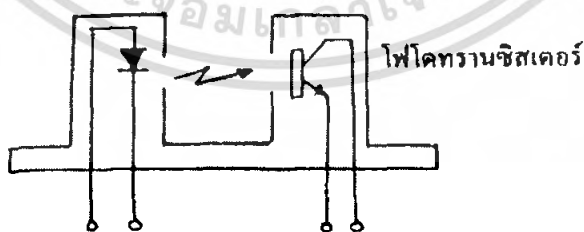
2.4.5 Photo Sensor

โฟโตเซนเซอร์ หรือบางครั้งเรียกว่า โฟโตอินเตอร์รัปเตอร์ (Photo Interrupter) เป็นอุปกรณ์ที่มีทั้งตัวกำเนิดแสงและตัวรับแสงเหมือนกัน ต่างกับโฟโตคัปเปิลอร์ตรงที่ตัวกำเนิดแสงจะจ่ายแสงออกมาภายนอกและแสงนั้นจะรับด้วยตัวรับแสงซึ่งอยู่ในอุปกรณ์เดียวกัน โฟโตเซนเซอร์มี 2 แบบคือ แบบส่องแสงโดยตรงกับแบบสะท้อนแสง

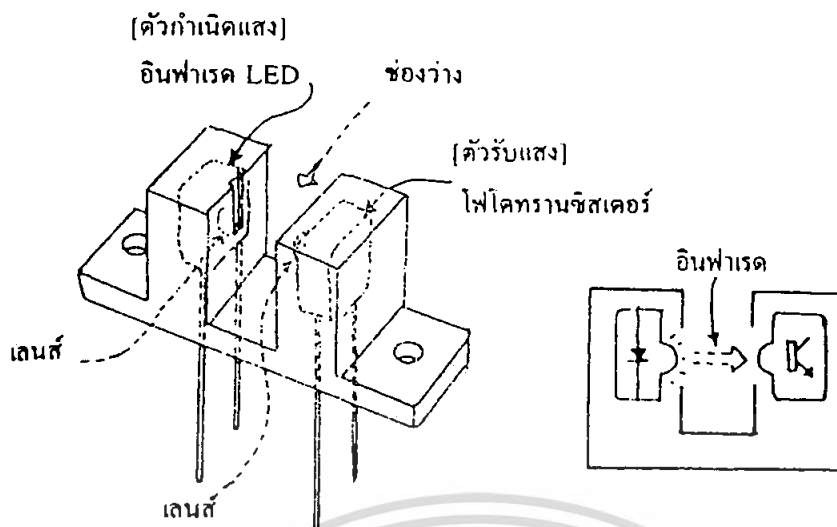
โฟโตเซนเซอร์แบบส่องแสงโดยตรง

โฟโตเซนเซอร์ชนิดนี้ ตัวกำเนิดแสงและตัวรับแสงจะวางห่างกัน 1-10 มม. หันหน้าเข้าหากัน แสงจะวิ่งจากตัวกำเนิดแสงผ่านช่องว่างนี้ไปหาตัวรับแสง ถ้ามีสิ่งกีดขวางมาบังทางเดินแสง ตัวรับแสงจะรับแสงและให้สัญญาณออกที่แตกต่างไปจากปกติ

อินฟราเรด LED



โฟโตเซนเซอร์แบบส่องแสงโดยตรง



รูปที่ 2.22 แสดงลักษณะของโฟโตเซนเซอร์แบบส่องแสงโดยตรง

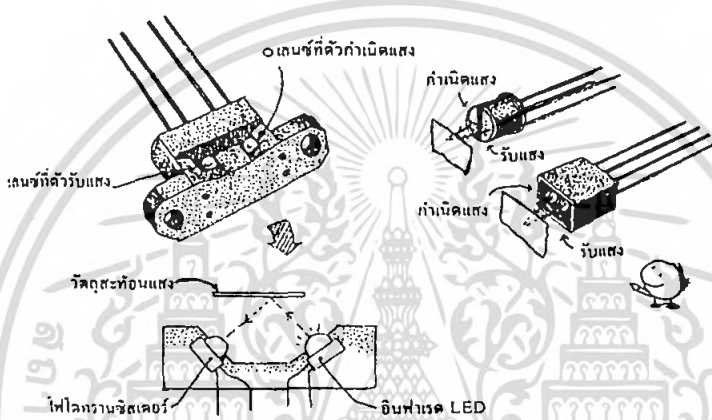
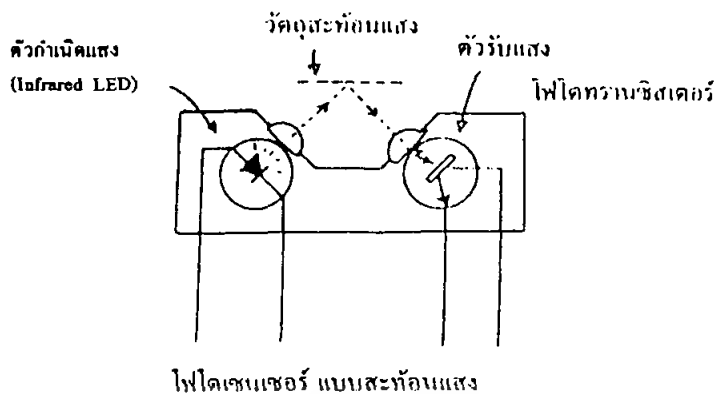
ตัวกำเนิดแสงจะใช้อินฟราเรด LED ส่วนตัวรับแสงจะเป็นโฟโตทรานซิสเตอร์ หรือเป็น ตาร์ลิงตันโฟโตทรานซิสเตอร์ ในกรณีที่ใช้ในบริเวณที่มีแสงโดยรวมมาก มักจะติดฟิลเตอร์กรอง แสงธรรมชาติที่บริเวณตัวรับแสงด้วย

บางครั้งถ้าผลของแสงภายนอกสูงมาก จะใช้วิธีกำเนิดแสงให้เป็นพัลส์ และทางด้านรับก็ จะรับแสงในช่วงจังหวะพัลส์นี้ด้วย

ถ้าสอดคล้องเข้าไปในช่องระหว่างตัวกำเนิดแสงและตัวรับแสงจะทำให้สัญญาณออก เปลี่ยนแปลงไป เราสามารถใช้หลักการนี้ในการตรวจสอบตำแหน่งของกระดาษในเครื่องถ่าย เอกสาร เครื่องพิมพ์ เครื่องโทรสาร ใช้ในการตรวจวัดความเร็วของมอเตอร์ กล่าวคือ ถ้ามอเตอร์ หมุนด้วยความเร็วผิดปกติก็สามารถทราบได้ทันที จะเห็นว่าการตรวจสอบหรือตรวจวัดด้วยโฟโต เซนเซอร์เป็นการตรวจโดยไม่ต้องสัมผัสวัตถุโดยตรง ทำให้สามารถใช้งานได้ทนทานกว่าแบบที่ ต้องมีการสัมผัส

โฟโตเซนเซอร์แบบสะท้อนแสง

มีการทำงานที่คล้ายๆกับแบบส่องแสงโดยตรง แต่ว่าแทนที่จะให้แสงอินฟราเรดตก กระทบโดยตรง จะมีวัตถุที่รองรับการตกกระทบและสะท้อนแสงไปหาตัวรับแสง การเคลื่อนที่ ของตัวรับแสงจะทำให้ความเข้มแสงที่ตกลงบนโฟโตทรานซิสเตอร์เปลี่ยนแปลงไป จึงสามารถนำ เซนเซอร์รูปแบบนี้ไปใช้ในการเคลื่อนที่ได้



รูปที่ 2.23 แสดงลักษณะของโฟโตเซนเซอร์แบบสะท้อนแสง

2.5 SPI(Serial Peripheral Interface Bus)

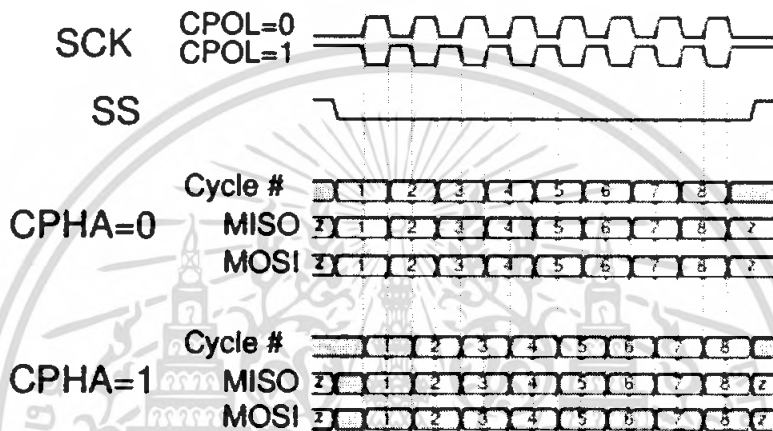
เนื่องจากการเชื่อมต่อกับวงจรรวมออปติคัลเมาส์ มีลักษณะการติดต่อ แบบ SPI กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งมีลักษณะการเชื่อมต่อที่สำคัญดังต่อไปนี้

SPI(Serial Peripheral Interface Bus) เป็นการสื่อสารแบบพอร์ทอนุกรม เชื่อมต่ออุปกรณ์ ในลักษณะ Master กับ Slave ในการส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับ ADNS-2051 จะ กระทำกัน 2 สาย โดยมีการส่งสัญญาณแบบ Half-Duplex คือสามารถรับ-ส่ง และ ส่ง-รับ ไม่ สามารถรับและส่งข้อมูลพร้อมกันได้ 2สายที่ใช้ นั้นจะมีสาย SCLK และสาย SDIO มีความ คล้ายคลึงกับพอร์ท SPI ของ Microcontroller ที่จะมีพอร์ท SDI,SDO และ SCK โดยมีวิธีการส่ง คร่าวๆดังนี้

สำหรับการเชื่อมต่อระหว่าง Microcontroller กับ Optical Mouse IC จะใช้สายสองสายต่อ จาก PORTA ของ Microcontroller เข้าขา SDIO กับ SCLK ของ ADNS-2051 การทำงาน ตัว Microcontroller PIC16F877 จะทำงานเป็น Master คอยส่งสัญญาณ Address ไปยัง ADNS-2051

ในขณะที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจาก Optical Mouse IC โดยที่การส่งข้อมูลจะใช้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบข้อมูลขณะที่สัญญาณ SCLK อยู่ในภาวะขอบขาขึ้น Optical Mouse IC ก็จะทำการเทียบ Logic ที่ขา SDIO ว่ามีค่าเท่าใด ลักษณะเช่นนี้ขา SDIO จะทำงานเหมือนขา SDI ของไมโครคอนโทรลเลอร์คือทำการ READ เมื่อ ADNS-2051 พร้อมทั้งจะส่งสัญญาณแล้วก็จะส่งข้อมูลไปไว้ใน Register ของ ADNS-2051 เพื่อที่จะรอให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการเรียกข้อมูลเหล่านั้น เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการส่ง SCLK รอบถัดมา ADNS-2051 ก็จะทำการส่ง DATA กลับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่ง ADNS-2051 ขา SDIO จะทำงานเหมือนขา SDO แทน จึงเป็นที่มาว่าทำไมจึงมีชื่อว่า SDIO



รูปที่ 2.24 แสดงลักษณะการสื่อสารแบบ SPI ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าอุปกรณ์ทำการรับข้อมูลเมื่อขา SCLK มีการเปลี่ยนระดับสัญญาณจาก Low to High หรือจาก High to Low

ข้อดีของการสื่อสารแบบ SPI

- มีการเชื่อมต่อที่ง่ายไม่ซับซ้อน (ใช้สายสัญญาณสองสาย)
- สามารถส่งข้อมูลได้เร็วกว่าการสื่อสาร Serial บางรูปแบบ เช่น I2C
- ตัวรับไม่ต้องสร้างสัญญาณในตัวมันเอง
- สามารถส่งข้อมูลได้ตามที่ต้องการ (8-bits หรือ 16-bits ก็ได้)

บทที่ 3

รายละเอียดในการออกแบบและการสร้าง

ส่วนประกอบ

แบ่งออกเป็น 4 ส่วนใหญ่ๆคือ

1. ส่วนประมวลผลกลาง คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A
2. ส่วนเซนเซอร์และประมวลผลภาพ คือ วงจรรวม ADNS-2051
3. ส่วนอินพุท คือ สวิตช์แบบกดติดปล่อยดับ 3ตัว
4. ส่วนแสดงผล คือ จอ LCD 16x2

3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เพราะสามารถใช้งานได้ง่ายและมีความเร็วที่พอเพียงกับการใช้งาน ซึ่งเบอร์ที่เลือกใช้คือ PIC16F877A

3.1.1) การใช้งานพอร์ทต่างๆ

มีการใช้พอร์ทต่างๆดังนี้

1) port A

มีการใช้งาน port RA0 ,RA1 ,RA2 และRA3 เพื่อใช้ในการรับส่งข้อมูลผ่าน Quadrature output กับ ADNS-2051

และใช้ port RA4 ในการควบคุม

โดย แต่ละขามีหน้าที่ดังนี้

RA0 และ RA1 ต่อกับขา Xa และXb ของ ADNS-2051 เพื่อใช้ระบุ state ของแกน X ทั้งหมด 4 state

RA2 และ RA3 ต่อกับขา Ya และYb ของ ADNS-2051 เพื่อใช้ระบุ state ของแกน Y ทั้งหมด 4 state

RA4 ต่อกับขา PD ทำหน้าที่ควบคุมการเปิดและปิดการทำงาน

2) port B

มีการใช้งาน port B0-B2 ใช้งานเป็นพอร์ทอินพุทต่อกับสวิตช์กดติดปล่อยดับดังนี้

B0 ต่อกับสวิตช์ start

B1 ต่อกับสวิตช์ stop

B2 ต่อกับสวิตช์ reset

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) port C

มีการใช้งาน port C0-C5 ใช้ต่อกับอุปกรณ์แสดงผลจอ LCD ดังนี้

C0 ต่อกับขา RS (ขาที่4) ของโมดูล LCD เพื่อทำหน้าที่ระบุชนิดของข้อมูลที่ส่งให้กับโมดูล LCD

C1 ต่อกับขา E (ขาที่6) ของโมดูล LCD เพื่อทำหน้าที่สร้างพัลส์กำหนดการทำงานของโมดูล LCD

C2-C5 ต่อกับขา D4-D7 ของจอ LCD เพื่อกำหนดข้อมูลที่ต้องการแสดงผลแบบ 4 บิต

4) port D

ยังไม่มีการใช้งาน อาจมีการใช้งานเมื่อมีการเพิ่มเติมฟังก์ชันการทำงานต่อไป

3.2 วงจรรวม ADNS-2051

3.2.1) การเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์

ADNS-2051 นั้นสามารถส่งข้อมูลได้ 2 แบบ คือ แบบเป็น State และแบบอนุกรม ซึ่งเราเลือกใช้การส่งผ่านทาง Quadrature state output

โดยมีการเชื่อมต่อดังนี้

ขา Xa ต่อกับ A0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

ขา Xb ต่อกับ A1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

ขา Ya ต่อกับ A2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

ขา Yb ต่อกับ A3 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

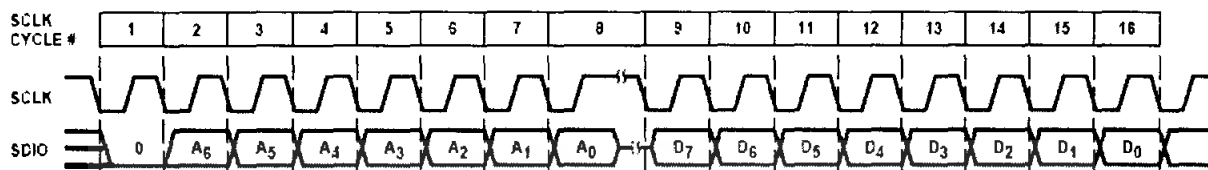
ขา XY_LED ต่อกับ LED (HLMP-ED80) เพื่อควบคุม LED ซึ่งใช้ในการส่องแสงและสะท้อนให้กับเซนเซอร์

ขา PD ต่อกับ A4 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เพื่อให้คอนโทรลเลอร์ควบคุมการเปิดและปิดของวงจรรวม

ขา OSC_IN และ ขา OSC_OUT ต่อกับ Crystal 18Mhz เพื่อเป็น clock ของ ADNS-2051

3.2.2) การเรียกใช้งานและการควบคุมADNS-2051

เนื่องจากเราเลือกใช้การส่งข้อมูลแบบอนุกรม ดังนั้นการรับและส่งข้อมูลต่างๆจึงทำผ่านทาง SCLK และขา SDIO ซึ่งในการที่จะติดต่อกับตัว ADNS-2051 นั้นเราจะต้องทำการกำหนดค่าให้กับ register ด้วยการส่งข้อมูลแบบอนุกรม ดังรูป



รูปที่ 3.1 ลักษณะการส่งข้อมูลแบบอนุกรม

โดยการติดต่อแบบอนุกรมนี้ จะทำการส่งสัญญาณ Clock จากไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าสู่ขา SCLK ของADNS-2051 ตลอดเวลาที่ต้องการติดต่อ และทำการส่งหรือรับข้อมูลที่ละบิตผ่านทางขา SDIO โดยบิตแรกนั้นจะเป็นการกำหนดว่าจะทำการอ่านหรือเขียนข้อมูล

ถ้าเป็น 1 จะเป็นการเขียนข้อมูลไปยัง ADNS-2051 (Write operation)

ถ้าเป็น 0 จะเป็นการอ่านข้อมูลจาก ADNS-2051 (Read operation)

และถัดมาอีก 7 บิต(A6-A0)นั้นจะเป็น Address ของ register ซึ่งมี register ทั้งหมด 18ตัว (0x00 – 0x11) โดยแต่ละ Address จะแทน register ต่างๆกันดังนี้

Address	Register	Address	Register	Address	Register
0x00	Product_ID	0x06	Average_Pixel	0x0c	Data_Out_Lower
0x01	Revision_ID	0x07	Maximum_Pixel	0x0d	Data_Out_Upper
0x02	Motion	0x08	Reserved	0x0e	Shutter_Lower
0x03	Delta_X	0x09	Reserved	0x0f	Shutter_Upper
0x04	Delta_Y	0x0a	Configuration_bits	0x10	Frame_Period_Lower
0x05	SQUAL	0x0b	Reserved	0x11	Frame_Period_Upper

รูปที่ 3.2 แสดง Address ของ register ต่างๆ

และถัดจาก address A0 แล้วก็จะจะเป็นข้อมูลที่จะทำการรับหรือส่งอีก 8 บิต (D7-D0)

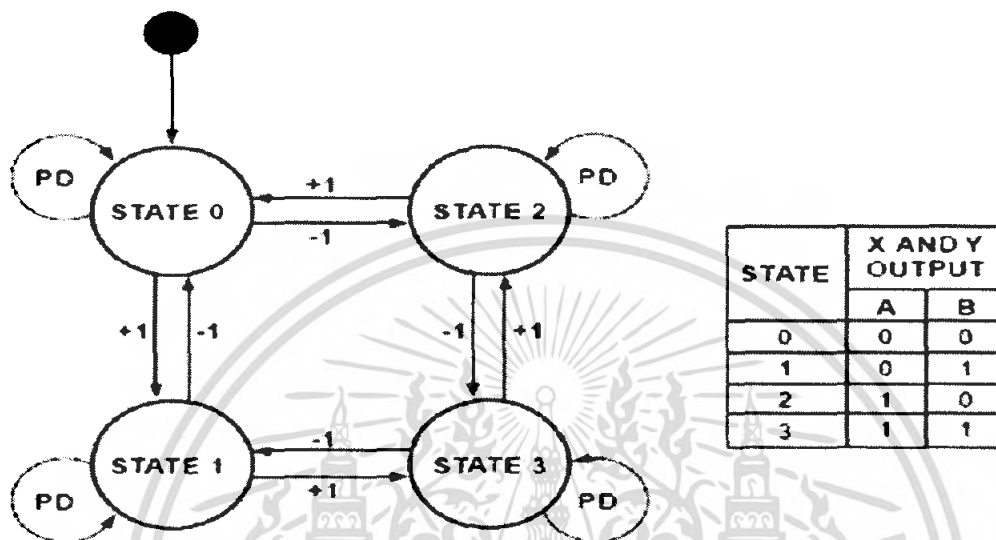
3.2.3) การใช้งาน Quadrature State Output

Quadrature State Output ประกอบด้วย 4 Output คือ

1.Xa 2.Xb เพื่อระบุ State ของแกน X 4 State

3.Ya 4.Yb เพื่อระบุ State ของแกน Y 4 State

โดยมีการทำงานของ Quadrature State Machine ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดง Quadrature State Machine

3.2.4) ลักษณะการทำงาน

การใช้งานนั้นเมื่อต้องการวัดระยะทาง ทำได้โดยการส่งงานให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งสัญญาณ high PD เพื่อให้เริ่ม State ที่ State 0 ตลอด จากนั้นจึงส่งสัญญาณ low PD เพื่อเริ่มการเช็ค State ที่จะเปลี่ยนตามการเคลื่อนที่ จากนั้นจะนำเอาค่า State ที่เปลี่ยนนี้ แปลงเป็นข้อมูลจำนวนจุดที่มีการเคลื่อนที่ และเก็บข้อมูลลงใน register ขนาด 8 บิต และทำการเช็คการ overflow ของ register 8 บิตนี้ เพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลได้ 16 บิต โดยจะใช้ register อีกตัวเพื่อเก็บข้อมูลว่า ข้อมูลใน register 16 บิตนั้น เป็นบวก หรือ ลบ และจากนั้นก็นำข้อมูลจาก register 16 บิต มาแปลงให้อยู่ในหน่วยเมตริก โดย ระยะทาง = $\text{Count}/157$ เซนติเมตร แล้วจึงนำข้อมูลระยะทางที่ได้แสดงผลออกทางจอ LCD

3.3 ส่วนอินพุตสวิตช์

มีการใช้สวิตช์แบบกดติดปล่อยดับ 3 ตัว ดังนี้

- 1) ปุ่ม Start ต่อเข้ากับขา RB0
- 2) ปุ่ม Stop ต่อเข้ากับขา RB1
- 3) ปุ่ม Reset ต่อเข้ากับขา RB2

3.4 ส่วนแสดงผลจอ LCD

ใช้โมดูล LCD แบบ 16x2 หรือ 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด

ซึ่งใช้การควบคุมในโหมด 4 บิต คือใช้เพียงขา D4-D7

โดยทำการเชื่อมต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ดังนี้

ขา D4-D7 (ขาที่ 11-14) ต่อเข้ากับขา RD2-RD5 ของไมโครคอนโทรลเลอร์

ขา Vss (ขาที่ 1) ต่อลงกราวด์

ขา Vdd (ขาที่ 2) ต่อไฟเลี้ยง 5 โวลต์

ขา Vee (ขาที่ 3) ต่อกับความต้านทานเพื่อใช้ปรับความเข้มของจอ

ขา RS (ขาที่ 4) ต่อกับ RD0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์

โดยถ้า RS = 1 แสดงว่าข้อมูลที่ส่งมาเป็นข้อมูลที่จะแสดงผล

RS = 0 แสดงว่าข้อมูลที่ส่งมาเป็นรหัสคำสั่ง

ขา R/W (ขาที่ 5) ต่อลงกราวด์ซึ่งเป็นขาสำหรับกำหนดการอ่านหรือเขียนข้อมูลให้ LCD

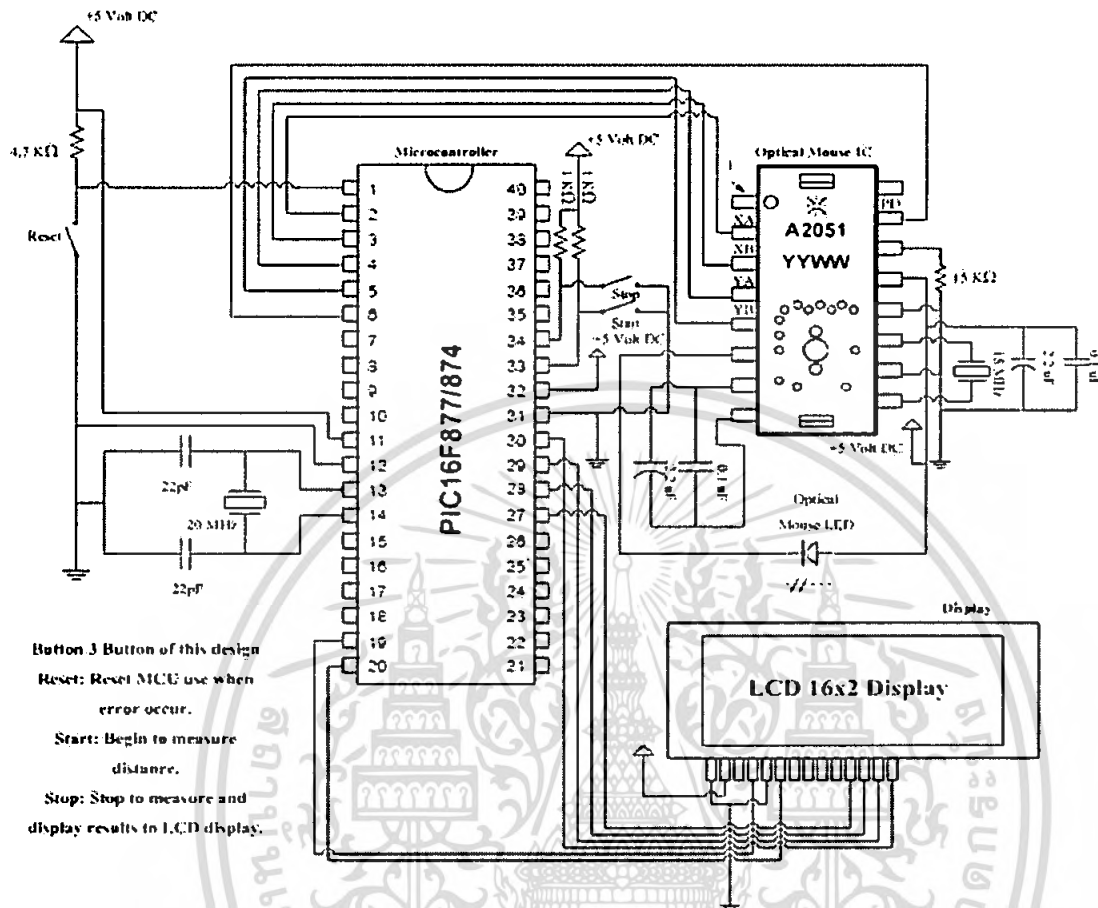
โดยถ้า R/W = 1 เป็นการอ่านข้อมูลจากโมดูล LCD

R/W = 0 เป็นการเขียนข้อมูลให้โมดูล LCD

ซึ่งในที่นี้เราใช้เฉพาะการเขียนข้อมูลให้โมดูล LCD จึงต่อขานี้ลงกราวด์

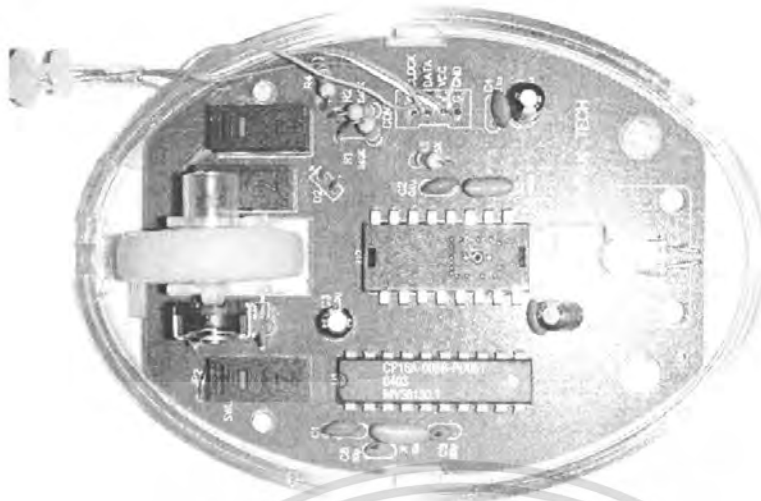
ขา E (ขาที่ 6) ต่อกับขา RD1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์

เพื่อทำหน้าที่สร้างพัลส์กำหนดการทำงานของโมดูล LCD

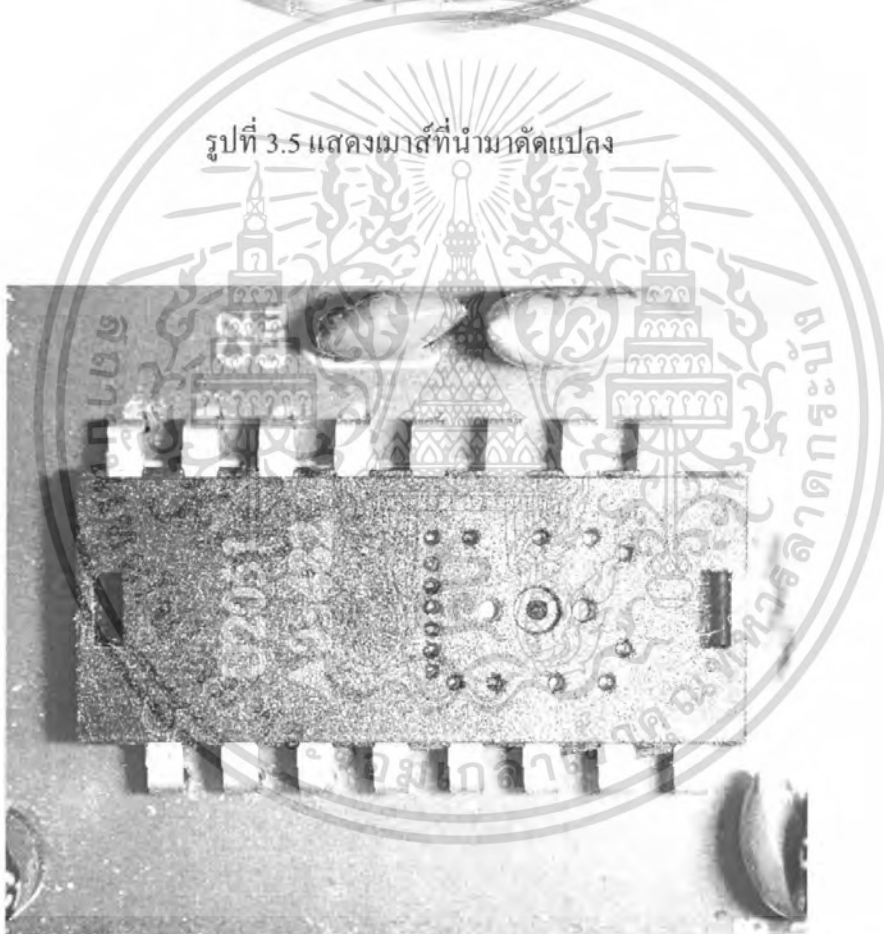


รูปที่ 3.4 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงเมตริกซ์ที่นำมาตัดแปลง



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะวงจรรวมที่นำมาใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองวัดสัญญาณ SCLK และ SDIO เพื่อตรวจสอบค่า Product_ID

ขั้นตอนการทดลอง

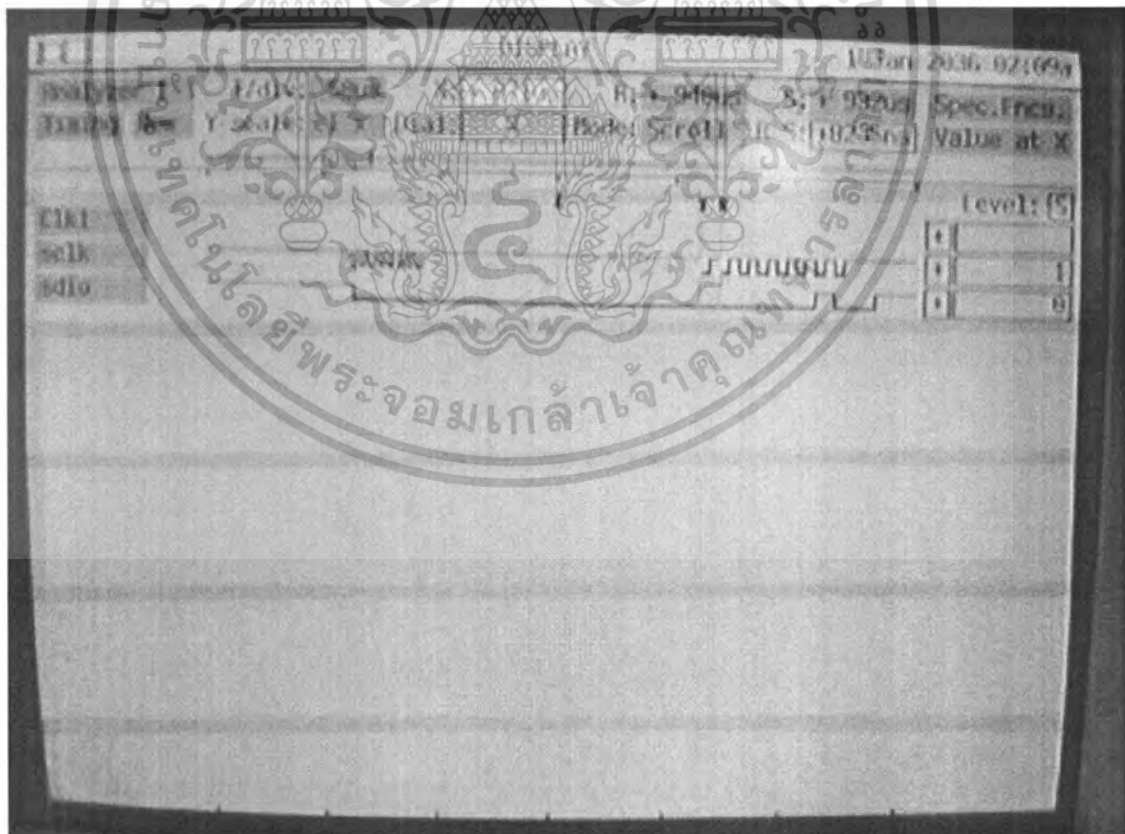
4.1.1) ทำการบันทึกโปรแกรมลงบนไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เพื่อการตรวจเช็ค Product_ID ของ ADNS_2051 ซึ่งค่าที่ถูกต้อนั้นจะเท่ากับ 0x02 ซึ่งการตรวจวัดค่า Product_ID นี้เป็นการเช็คว่าการติดต่อแบบอนุกรมสามารถทำงานได้จริงหรือไม่

4.1.2) ทำการต่อ ขา SCLK และ ขา SDIO เข้ากับ Logic Analyser เพื่อทำการวัดสัญญาณและวัดค่า Product_ID ที่ได้

4.1.3) บันทึกสัญญาณ SCLK และ SDIO และทำการอ่านค่า Product_ID จากสัญญาณ SDIO ที่วัดได้

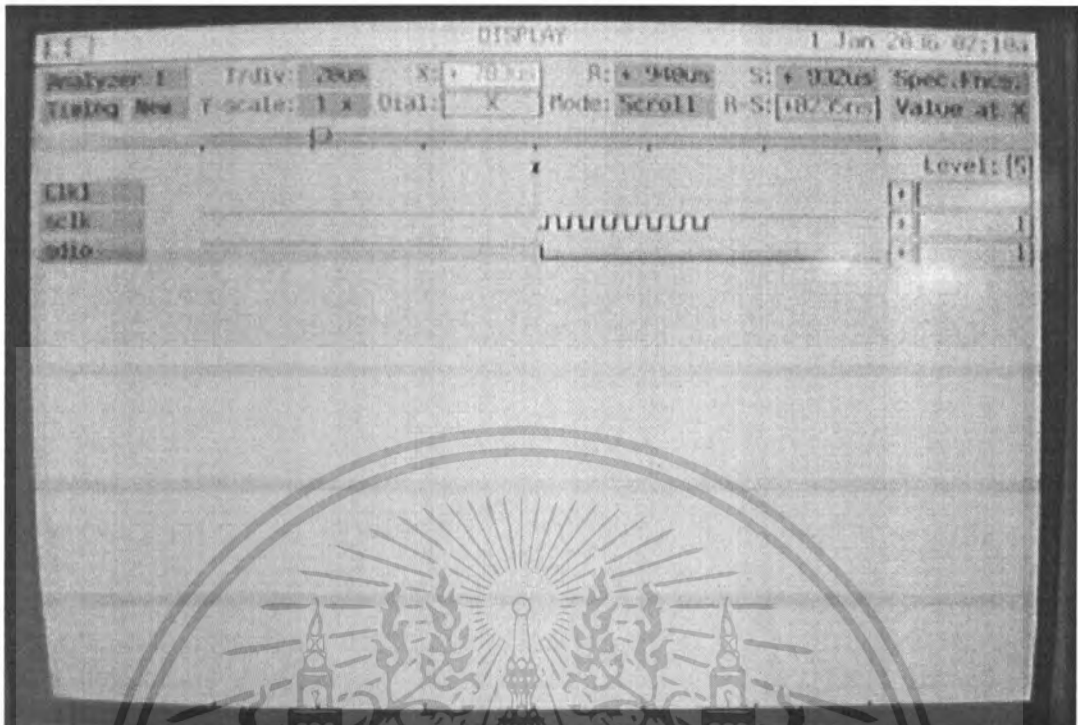
ผลการทดลอง

รูปที่ 4.1 ลักษณะสัญญาณ SCLK และ SDIO ที่วัดได้แบบเต็มรูป

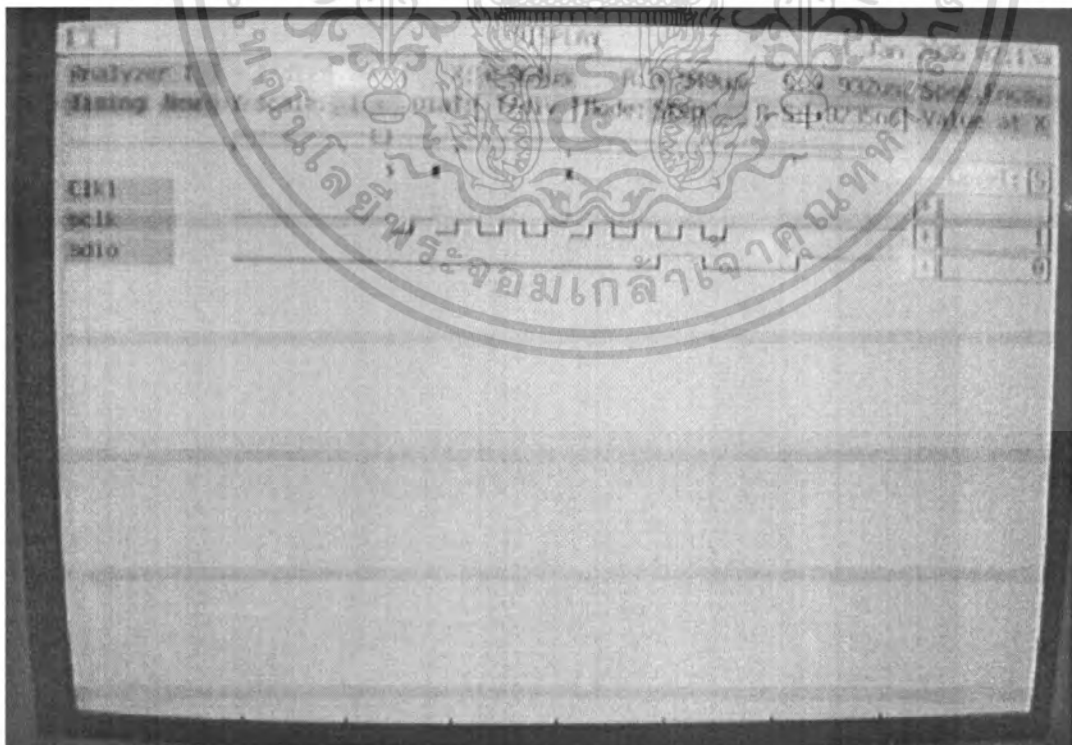


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 ลักษณะสัญญาณ SCLK และSDIOที่วัดได้ในช่วงการส่ง Address 0x00



รูปที่ 4.3 ลักษณะสัญญาณ SCLK และSDIOที่วัดได้ในช่วงการรับ Data 0x02



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวัดระยะทางโดยใช้พื้นผิวที่แตกต่างกัน

ขั้นตอนการทดลอง

วิธีการทดลองวัดระยะทางบนพื้นผิวต่างๆ

4.2.1) ทำการกำหนดระยะต่างๆบนพื้นผิวทดสอบแบบกระดาษขาวเรียบโดยการใช้
อุปกรณ์วัดมาตรฐานในการกำหนด โดยแบ่งเป็นทั้งสิ้น 5 ระยะจากจุดเริ่มต้น คือ 1 ซม., 2 ซม.,
3 ซม., 4 ซม. และ 5 ซม. ทั้ง 2 แกน

4.2.2) นำอุปกรณ์การวัดมาวางที่จุดเริ่มต้น กดปุ่ม Start แล้วทำการเคลื่อนที่อุปกรณ์การวัด
ไปตามระยะที่กำหนดไว้ทั้ง 5 ระยะโดย การเคลื่อนที่ไปช้าๆ

4.2.3) กดปุ่ม Stop และบันทึกค่าที่อ่าน ได้ลงในตาราง

4.2.4) นำค่าที่อ่าน ได้มาคิดเป็น เปอร์เซ็นความผิดพลาด บันทึกลงในตาราง

4.2.5) นำค่าที่บันทึกในตารางมาพล็อตกราฟเพื่อสะดวกในการเปรียบเทียบ

4.2.6) ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นที่ 1 – 5 โดยเปลี่ยนพื้นผิวเป็น กระดาษแผ่นที่

4.2.7) ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นที่ 1 – 5 โดยเปลี่ยนพื้นผิวเป็น แผ่นรองเมาส์

4.2.8) ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นที่ 1 – 5 โดยเปลี่ยนพื้นผิวเป็น พื้นผิวขรุขระ

4.2.9) ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นที่ 1 – 5 โดยเปลี่ยนพื้นผิวเป็น ธนบัตร

4.2.10) ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นที่ 1 – 5 โดยเปลี่ยนพื้นผิวเป็น กระดาษมันวาว

4.2.11) ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นที่ 1 – 5 โดยเปลี่ยนพื้นผิวเป็น ซีดีรอม

ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 แสดงระยะที่วัดได้บนพื้นผิวต่างๆ

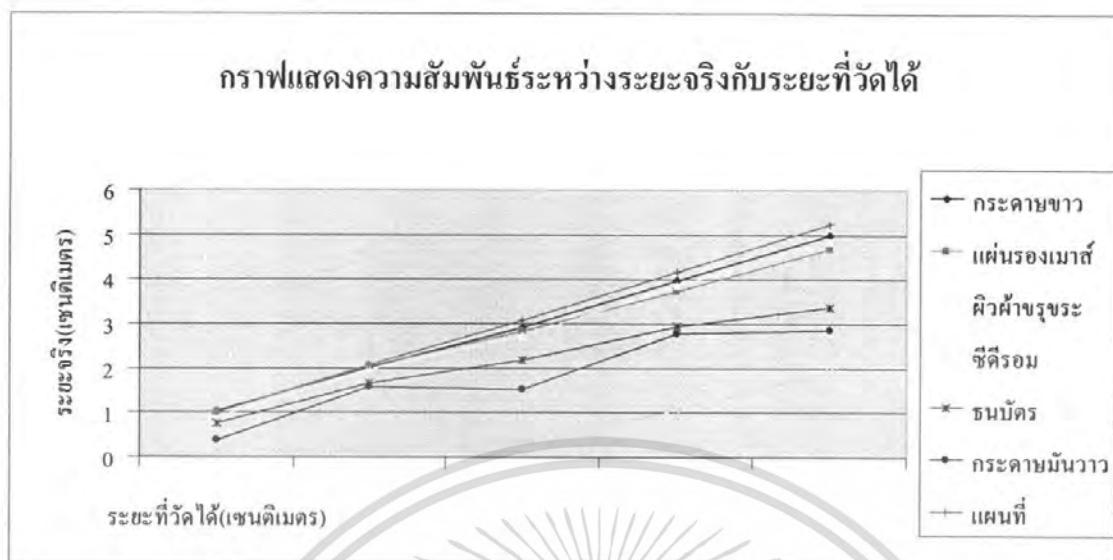
ระยะ มาตรฐาน (ซม.)	ระยะที่วัดได้ (ซม.)						
	กระดาษ ขาว	กระดาษ แผ่นที่	แผ่นรอง เมาส์	ผิวผ้า ขรุขระ	ธนบัตร	กระดาษ มันวาว	ซีดีรอม
1	1.03	1	1	0.89	0.77	0.39	0.14
2	2.02	2.08	2.04	1.96	1.67	1.58	0.16
3	2.93	3.08	2.85	2.74	2.18	1.54	0.36
4	3.98	4.17	3.74	3.88	2.94	2.78	1.07
5	4.98	5.25	4.7	4.85	3.38	2.86	1.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่วัดได้บนพื้นผิวต่างๆ

ระยะ มาตรฐาน (ซม.)	ความผิดพลาดที่วัดได้ (%)						
	กระดาษ ขาว	กระดาษ แผ่นที่	แผ่นรอง เมสส์	ผิวผ้า ขรุขระ	ธนบัตร	กระดาษ มันวาว	ซีดีรอม
1	3	0	0	-11	-23	-61	-86
2	1	4	2	-2	-16.5	-21	-92
3	2.33	2.67	-5	-8.67	-27.33	-48.67	-88
4	-0.5	4.25	-6.5	-3	-26.5	-30.5	-73.25
5	-0.4	5	-6	-3	-162	-42.8	-61.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะจริงกับระยะที่วัดได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1.1 การทดลองวัดสัญญาณ SCLK และ SDIO เพื่อตรวจสอบค่า Product_ID

จากการทดลองพบว่าสัญญาณ SCLK และ SDIO ที่ได้มีลักษณะเหมือนกับสัญญาณที่ได้จากการ Simulation โดยโปรแกรม Proteus และได้ค่า Data Product_ID เท่ากับ 0x02 ตรงตามที่ Datasheet ระบุไว้ทำให้สามารถยืนยันได้ว่าการติดต่อแบบอนุกรมนั้นทำงานได้จริง

5.1.2 การวัดระยะทางบนพื้นผิวต่างๆ

จากผลการทดลองสรุปผลได้ดังนี้

1). พื้นผิวที่แตกต่างกันมีผลต่อระยะที่วัด โดย แบ่งเป็น ระดับ ได้ดังนี้

คิมาก คือ กระดาษขาว แผ่นที่ค้ำน พื้นผิวขรุขระ แผ่นรองเมาส์

ไม่สามารถใช้งานได้ (ผิดไม่มากที่สุด) คือ กระดาษมันวาว ธนบัตร

ไม่สามารถใช้งานได้ (ผิดมากที่สุด) คือ แผ่นซีดีรอม

ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ กระดาษมันวาว ธนบัตร แผ่นซีดีรอม ไม่สามารถใช้งานได้นั้น

เนื่องจากเกิดการสะท้อนแสงกับพื้นผิวที่มันหรือเป็นกระจก ทำให้ Image Processor ไม่สามารถแยกความต่างของแต่ละจุดได้ถูกต้อง

2). ความเร็วและความเร่งในการเคลื่อนที่ที่มากเกินไปมีผลทำให้เกิดความผิดพลาดได้
ความเร็วสูงสุด 128 กม./ชม. ความเร่งสูงสุด 1.5 เมตร/วินาที

3). ระยะโฟกัสที่ไม่ได้ตามที่ระบุในคู่มือจะใช้งานไม่ได้

5.2 ปัญหาที่พบ

- โปรแกรมที่ใช้วัดระยะที่ทำงานได้สมบูรณ์นั้นมีขนาดใหญ่เกินกว่าที่โปรแกรม PIC C Compiler ที่ใช้จะรองรับเนื่องจากเป็นเวอร์ชันทดลองเท่านั้น จึงต้องทำการแบ่งโปรแกรมเป็นการวัดในแนวแกน X เพียงแนวเดียวเท่านั้น

- การวัดค่าที่พื้นผิวต่างๆกัน จะได้ค่าที่แตกต่างกัน

- การเคลื่อนที่ที่เร็วเกินไปจะทำให้เกิดความผิดพลาดได้

5.3 การปรับปรุงแก้ไข

- ทำการพัฒนาให้สามารถจับภาพแบบหลายๆ ได้ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์เพิ่มเติมให้ได้สูงสุด
- ทำการพัฒนาให้สามารถติดต่อกับคอมพิวเตอร์ได้เพื่อให้ง่ายต่อการพัฒนา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Agilent ADNS-2051 Optical Mouse Sensor Data Sheet



Description

The ADNS-2051 is a low cost optical sensor used to implement a non-mechanical tracking engine for computer mice.

It is based on optical navigation technology, which measures changes in position by optically acquiring sequential surface images (frames) and mathematically determining the direction and magnitude of movement.

The sensor is housed in a 16-pin staggered dual in-line package (DIP) that is designed for use with the HDNS-2100 Lens and HDNS-2200 Clip and HLMP-ED80-XXXXX (639 nm LED illuminator source). There are no moving parts, and precision optical alignment is not required, facilitating high volume assembly.

The output format is two channel quadrature (X and Y direction) which emulates encoder photo-transistors. The current X and Y information are also available in registers accessed via a serial port.

Default resolution is specified as 400 counts per inch (cpi), with rates of motion up to 14 inches per second (ips).

Resolution can also be programmed to 800 cpi.

The part is programmed via a two wire serial port, through registers.

Theory of Operation

The ADNS-2051 is based on Optical Navigation Technology. It contains an Image Acquisition System (IAS), a Digital Signal Processor (DSP), a two-channel quadrature output, and a two wire serial port.

The IAS acquires microscopic surface images via the lens and illumination system provided by the HDNS-2100, 2200, and HLMP-ED80-XXXXX LED. These images are processed by the DSP to determine the direction and distance of motion. The DSP generates the Δx and Δy relative displacement values that are converted into two channel quadrature signals.

Features

- Precise optical navigation technology
- No mechanical moving parts
- Complete 2D motion sensor
- Serial interface and/or quadrature interface
- Smooth surface navigation
- Programmable frame speed up to 2300 frames per sec (fps)
- Accurate motion up to 14 ips
- 800 cpi resolution
- High reliability
- High speed motion detector
- No precision optical alignment
- Wave solderable
- Single 5.0 volt power supply
- Shutdown pin for USB suspend mode operation
- Power conservation mode during times of no movement
- On chip LED drive with regulated current
- Serial port registers
 - Programming
 - Data transfer
- 16-pin staggered dual in-line package (DIP)

Applications

- Mice for desktop PCs, workstations, and portable PCs
- Trackballs
- Integrated input devices

Outline Drawing of ADNS-2051 Optical Mouse Sensor

Pinout

Pin	Pin	Description
1	SCLK	Serial port clock (input)
2	XA	XA quadrature output
3	XB	XB quadrature output
4	YB	YB quadrature output
5	YA	YA quadrature output
6	XY_LED	LED control
7	REFA	Internal reference
8	REFB	Internal reference
9	OSC_IN	Oscillator input
10	GND	System ground
11	OSC_OUT	Oscillator output
12	GND	System ground
13	V _{DD}	5.0 volt power supply
14	R_BIN	LED current bin resistor
15	PD	Power down pin, active high
16	SDIO	Serial data (input and output)

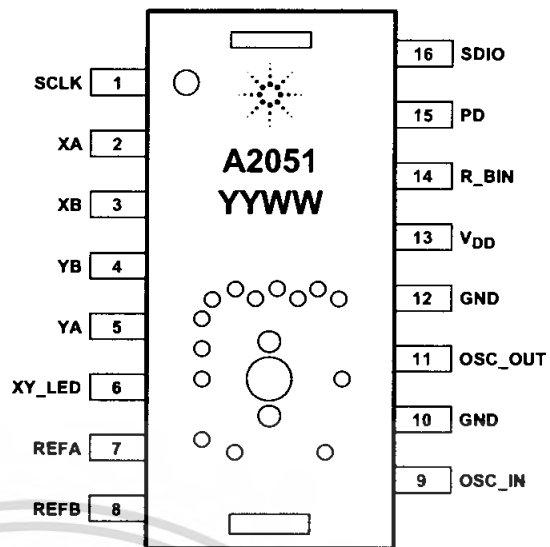


Figure 1. Top view.

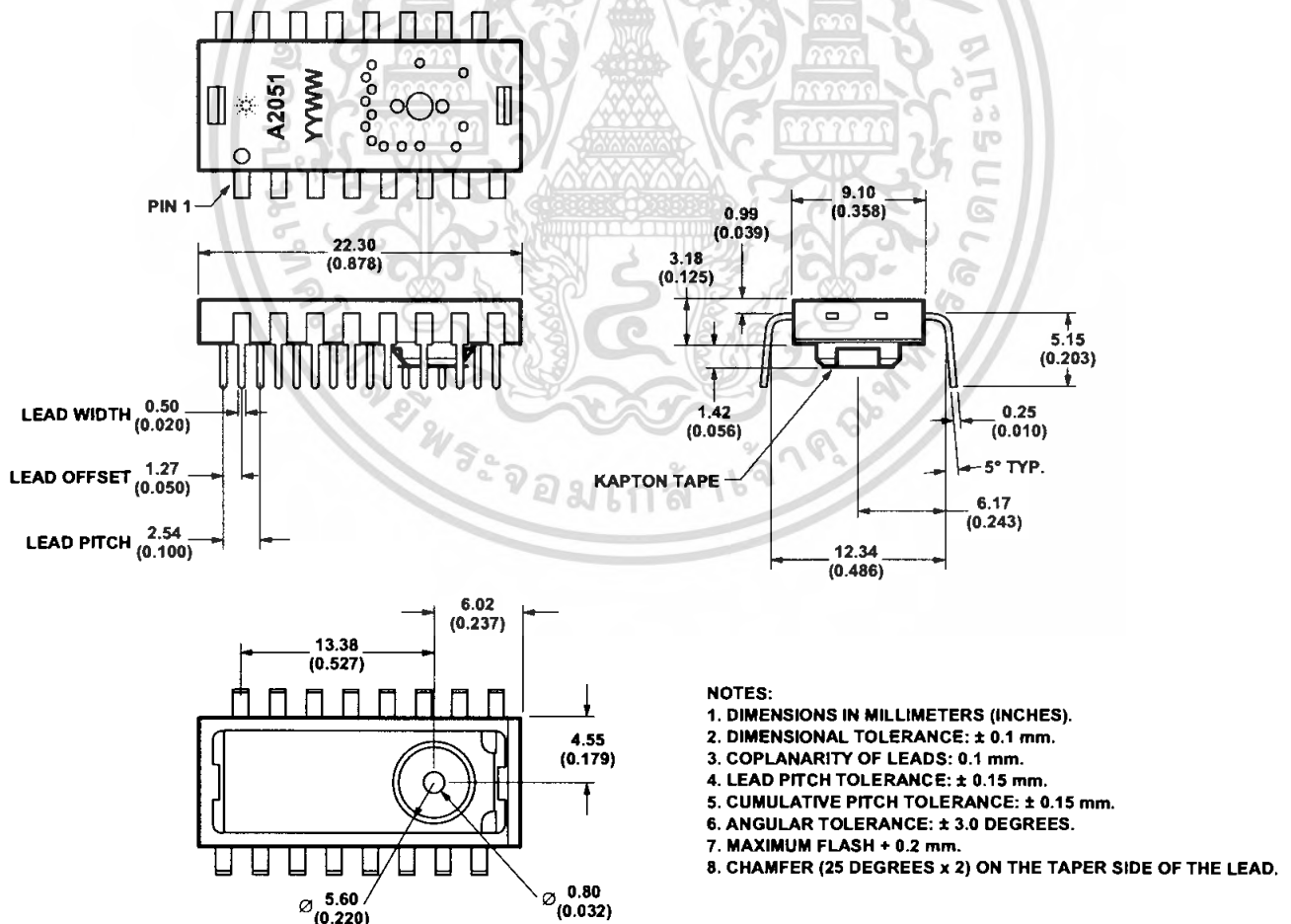


Figure 2. Package outline drawing.

2 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Overview of Optical Mouse Sensor Assembly

2D Assembly Drawing of ADNS-2051

Figures 3 and 4, shown with HDNS-2100, HDNS-2200, and HLMP-ED80-XXXXX.

Agilent Technologies provides an IGES file drawing describing the base plate molding features for lens and PCB alignment.

The components interlock as they are mounted onto defined features on the base plate.

The ADNS-2051 sensor is designed for mounting on a through hole PCB, looking down. There is an aperture stop and features on the package that align to the lens (see Figure 3).

The HDNS-2100 lens provides optics for the imaging of the surface as well as illumination of the surface at the optimum angle. Features on the lens align it to the sensor, base plate, and clip with the LED. The lens also has a large round flange to provide a long creepage path for any ESD events that occur at the opening of the base plate (see Figure 4).

The HDNS-2200 clip holds the LED in relation to the lens. The LED must be inserted into the clip and the LED's leads formed prior to loading on the PCB. The clip interlocks the sensor to the lens, and through the lens to the alignment features on the base plate.

The HLMP-ED80-XXXXX LED is recommended for illumination. If used with the bin table, sufficient illumination can be guaranteed.

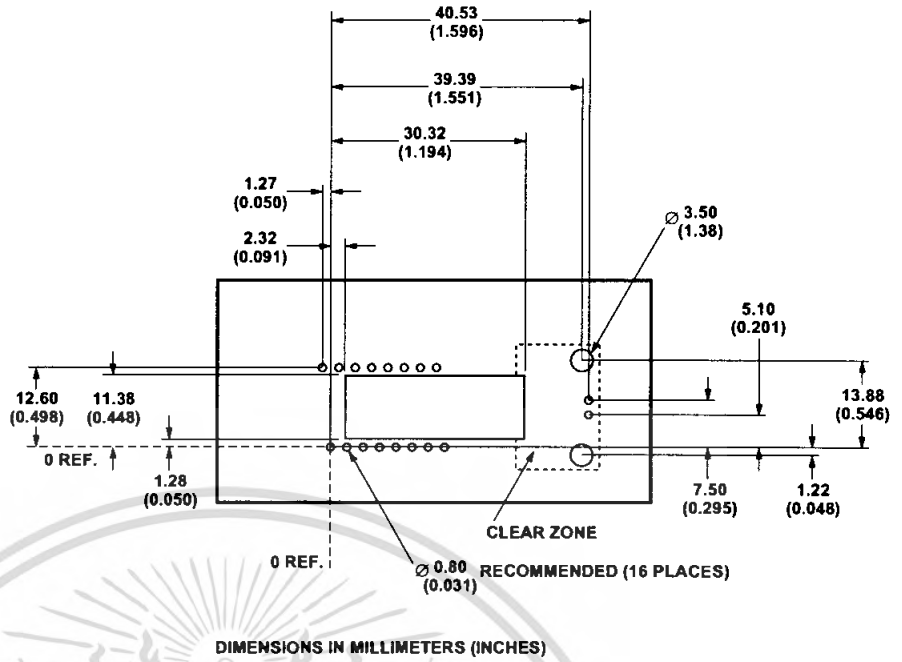


Figure 3. Recommended PCB mechanical cutouts and spacing (top view).

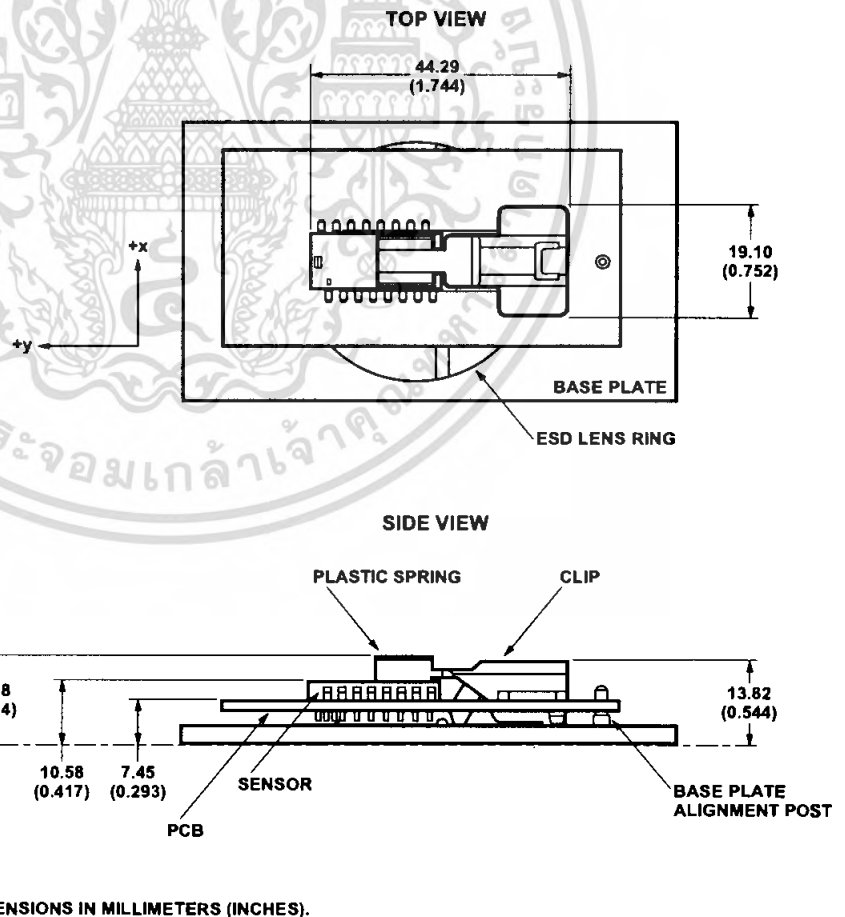


Figure 4. 2D assembly drawing of ADNS-2051 (top and side view).

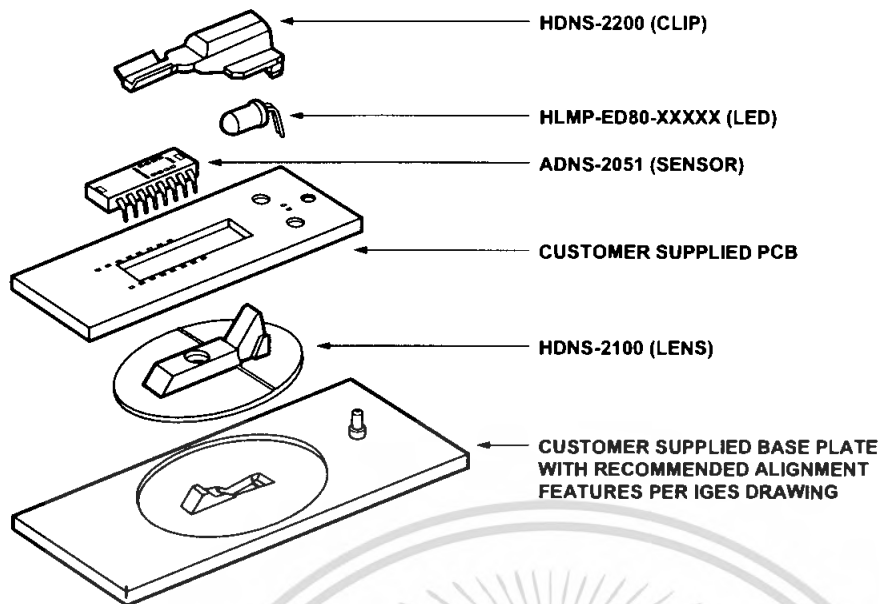


Figure 5. Exploded view drawing.

PCB Assembly Considerations

1. Insert the sensor and all other electrical components into PCB.
2. Bend the LED leads 90° and then insert the LED into the assembly clip until the snap feature locks the LED base.
3. Insert the LED/clip assembly into PCB.
4. Wave Solder the entire assembly in a no-wash solder process utilizing solder fixture. The solder fixture is needed to protect the sensor during the solder process. The fixture should be designed to expose the sensor leads to solder while shielding the optical aperture from direct solder contact. The solder fixture is also used to
 5. Place the lens onto the base plate.
 6. Remove the protective kapton tape from optical aperture of the sensor. Care must be taken to keep contaminants from entering the aperture. It is recommended not to place the PCB facing up during the entire mouse assembly process. The PCB should be held vertically during the kapton removal process.
7. Insert PCB assembly over the lens onto the base plate aligning post to retain PCB assembly. The sensor aperture ring should self-align to the lens.
8. The optical position reference for the PCB is set by the base plate and lens. Note that the PCB motion due to button presses must be minimized to maintain optical alignment.
9. Install mouse top case. There MUST be a feature in the top case to press down onto the clip to ensure all components are interlocked to the correct vertical height.

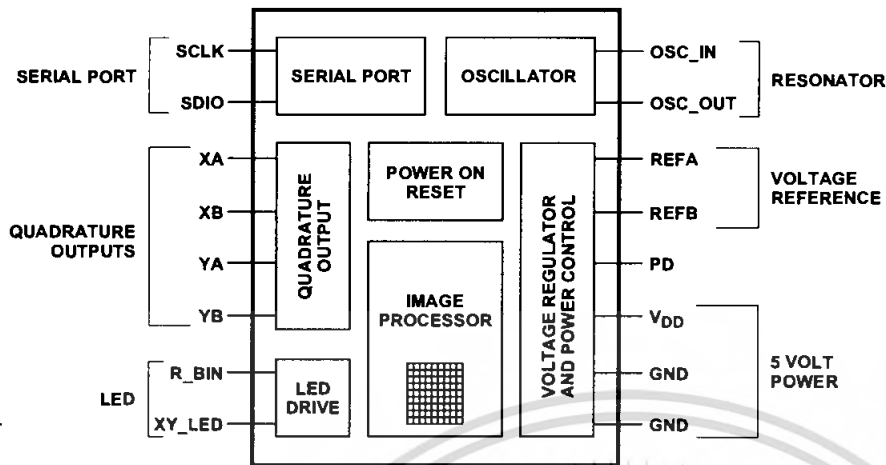


Figure 6. Block diagram of ADNS-2051 optical mouse sensor.

Design Considerations for Improving ESD Performance

The flange on the lens has been designed to increase the creepage and clearance distance for electrostatic discharge. The table on the right shows typical values assuming base plate construction per the Agilent supplied IGES file and HDNS-2100 lens flange.

	Typical Distance	Millimeters
Creepage		16.0
Clearance		2.1

For improved ESD performance, the lens flange can be sealed (i.e. glued) to the base plate. Note that the lens material is polycarbonate

and therefore, cyanoacrylate-based adhesives or other adhesives that may damage the lens should NOT be used.

The trimmed lens, HDNS-2100#001, is not recommended for corded applications due to the ESD spec requirement.

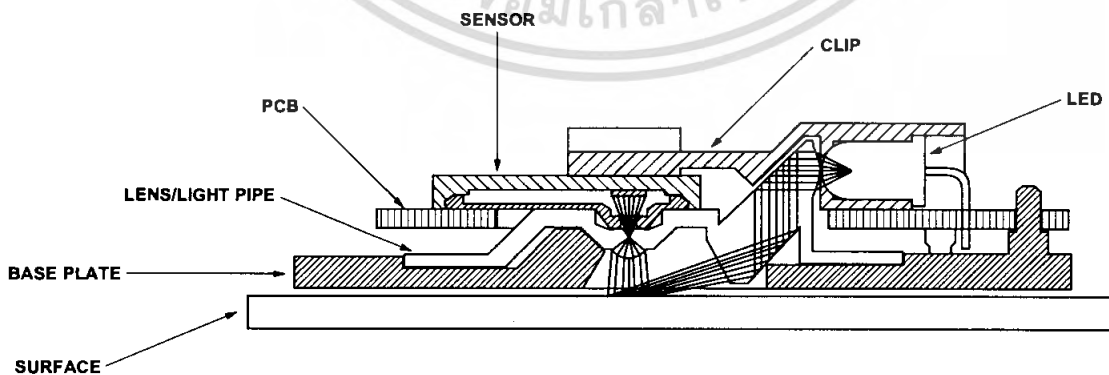


Figure 7. PCB assembly.

Recommended Typical Application using SDIO Pins

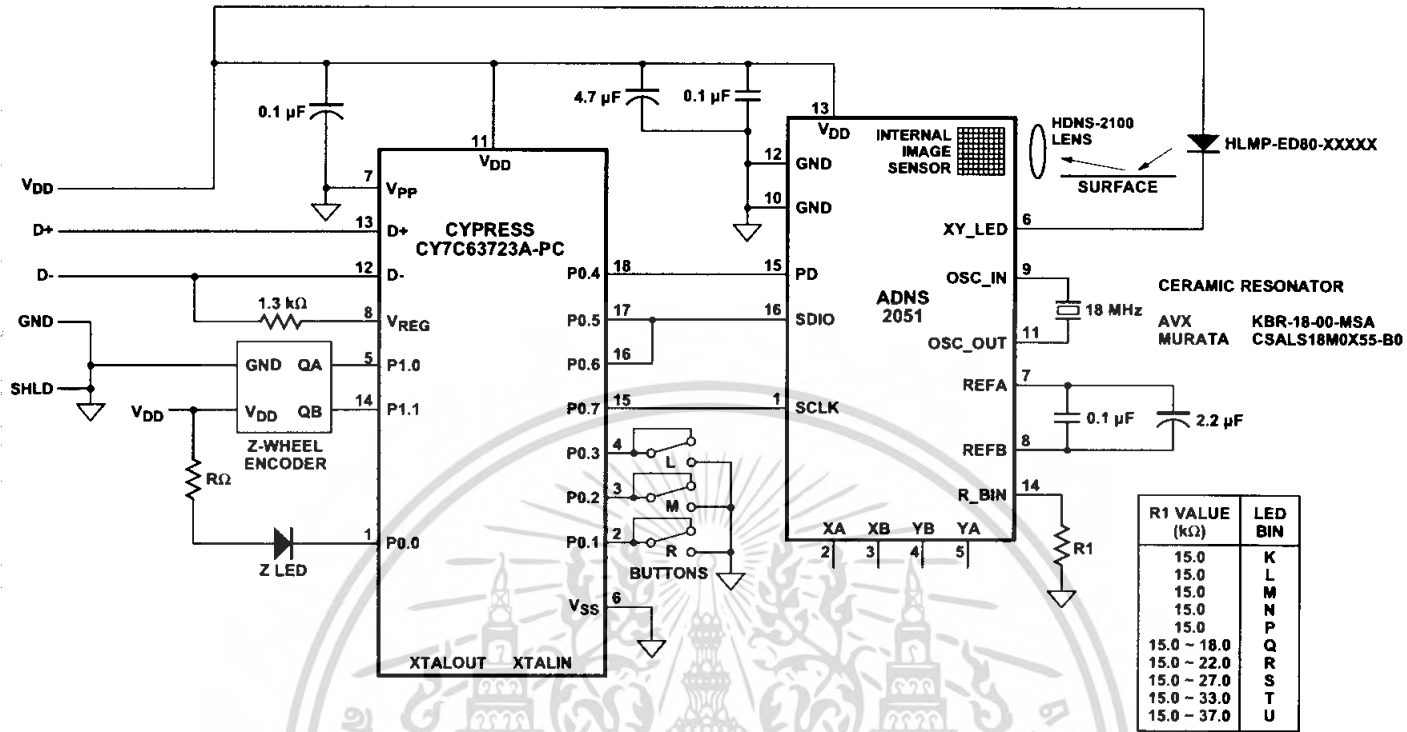


Figure 8. Application using SDIO pins.

Notes on Bypass Capacitors:

- Caps for pins 7, 8 and 12, 13 MUST have trace lengths LESS than 5 mm.
- The 0.1 μF caps must be ceramic.
- Caps should have less than 5 nH of self inductance
- Caps should have less than 0.2 Ω ESR

Surface mount parts are recommended.

Regulatory Requirements

- Passes FCC B and worldwide analogous emission limits when assembled into a mouse with unshielded cable and following Agilent recommendations.
- Passes EN61000-4-4/IEC801-4 EFT tests when assembled into a mouse with unshielded cable and following Agilent recommendations.
- UL flammability level UL94 V-0.
- Provides sufficient ESD creepage/clearance distance to avoid

discharge up to 15 kV when assembled into a mouse according to usage instructions above.

- For eye safety consideration, please refer to the technical report available on the web site, <http://www.agilent.com>
- The 15.0 k Ω resistor is determined by the absolute maximum rating of 50 mA for the HLMP-ED80-XXXXX. The other resistor values for brighter bins will guarantee good signals with reduced power.

Recommended Operating Conditions

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Notes
Operating Temperature	T_A	0		40	°C	
Power Supply Voltage	V_{DD}	4.25	5.0	5.5	volts	Register values retained for voltage transients below 4.25 V but greater than 4 V.
Power Supply Rise Time	V_{RT}			100	ms	
Supply Noise	V_N			100	mV	Peak to peak within 0-100 MHz.
Clock Frequency	f_{CLK}	17.4	18.0	18.7	MHz	Set by ceramic resonator.
Serial Port Clock Frequency	SCLK			$f_{CLK}/4$	MHz	
Resonator Impedance	X_{RES}			55	Ω	
Distance from Lens Reference Plane to Surface	Z	2.3	2.4	2.5	mm	Results in ± 0.2 mm DOF. (See Figure 10.)
Speed	S	0		14	in/sec	@ frame rate = 1500/second.
Acceleration	A			0.15	g	@ frame rate = 1500/second.
Light Level onto IC	IRR_{INC}	80 100		25,000 30,000	mW/m ²	$\lambda = 639$ nm $\lambda = 875$ nm
SDIO Read Hold Time	t_{HOLD}	100			μ s	Hold time for valid data. (Refer to Figure 28.)
SDIO Serial Write-Write Time	t_{SWW}	100			μ s	Time between two write commands. (Refer to Figure 31.)
SDIO Serial Write-Read Time	t_{SWR}	100			μ s	Time between write and read operation. (Refer to Figure 32.)
SDIO Serial Read-Write Time	t_{SRW}	120			ns	Time between read and write operation. (Refer to Figure 33.)
SDIO Serial Read-Read Time	t_{SRR}	120			ns	Time between two read commands. (Refer to Figure 33.)
Data Delay after PD \downarrow	$t_{COMPUTE}$	3.2			ms	After $t_{COMPUTE}$, all registers contain data from first image after PD \downarrow . Note that an additional 75 frames for AGC (shutter) stabilization may be required if mouse movement occurred while PD was high. (Refer to Figure 12.)
SDID Write Setup Time	t_{SETUP}	60			ns	Data valid time before the rising of SCLK. (Refer to Figure 26.)
PD Pulse Width (to power down the chip)	t_{PDW}	700			μ s	Pulse width to initiate the power down cycle @ 1500 fps. (Refer to Figure 12 and Figure 14.)
PD Pulse Width (to reset the serial port)	t_{PDR}	100			μ s	Pulse width to reset the serial port @ 1500 fps (but may also initiate a power down cycle. Normal PD recovery sequence to be followed. (Refer to Figure 15.)
Frame Rate	FR		1500		frames/s	See Frame_Period register section.
Bin Resistor	R1	15 K	15 K	37 K	Ω	Refer to Figure 8.

8 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

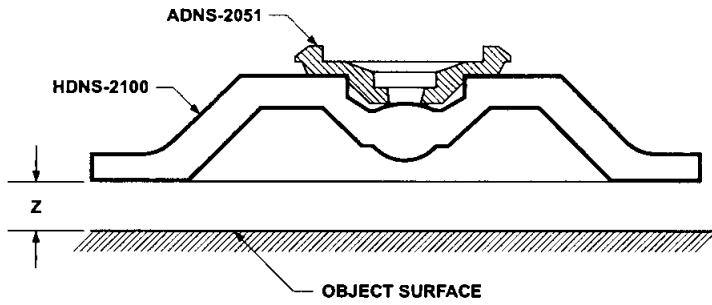


Figure 10. Distance from lens reference plane to surface.

AC Electrical Specifications

Electrical Characteristics over recommended operating conditions. Typical values at 25°C, $V_{DD} = 5.0\text{ V}$, 1500 fps, 18 MHz.

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Notes
Power Down	t_{PD}		700		μs	From $PD\uparrow$ Time uncertainty due to firm- ware delay. (Refer to Figure 12.)
Power Up from $PD\downarrow$	t_{PUPD}			50	ms	From $PD\downarrow$ to valid quad signals 705 μsec + 75 frames. (Refer to Figure 12.)
Power Up from $V_{DD}\uparrow$	t_{PU}			30	ms	From $V_{DD}\uparrow$ to valid quad signals 705 μsec + 40 frames
Rise and Fall Times:	SDIO	t_r	30		ns	$C_L = 30\text{ pF}$ (the rise time is between 10% and 90%)
		t_f	16		ns	$C_L = 30\text{ pF}$ (the fall time is between 10% and 90%)
	XA, XB, YA, YB	t_r	50		ns	$C_L = 30\text{ pF}$ (the rise time is between 10% and 90%)
		t_f	20		ns	$C_L = 30\text{ pF}$ (the fall time is between 10% and 90%)
	ILED	t_r	40		ns	With HLMP-ED80-XXXXX LED (the rise time is between 10% and 90%)
		t_f		200		ns
Serial Port Transaction Timer	t_{SPTT}	0.7	0.9	1.0	s	Serial port will reset if current transaction is not complete within t_{SPTT} . (Refer to Figure 36.)
Transient Supply Current	I_{DDT}		20	37	mA	Max. supply current during a V_{DD} ramp from 0 to 5.0 V with > 500 μs rise time. Does not include charging current for bypass capacitors.

DC Electrical Specifications

Electrical Characteristics over recommended operating conditions. Typical values at 25°C, V_{DD} = 5.0 V, 18 MHz.

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Notes
DC Supply Current (mouse moving)	I _{DD AVG}		15	25	mA	No load on XA, XB, YA, YB, SCLK, SDIO. Excluding LED current.
Peak Supply Current (mouse moving)	I _{DD PEAK}		20		mA	No load on XA, XB, YA, YB, SCLK, SDIO. Excluding LED current.
DC Supply Current (mouse not moving)	I _{DD}		12	25	mA	No load on XA, XB, YA, YB, SCLK, SDIO. Excluding LED current.
DC Supply Current (power down)	I _{DDPD}		170	240	μA	PD = high; SCLK, SDIO = GND or V _{DD} ; V _{DD} = 4.25 V to 5.25 V.
SCLK, SDIO, PD						
Input Low Voltage	V _{IL}			0.8	V	
Input High Voltage	V _{IH}	0.5 * V _{DD}			V	
Output Low Voltage	V _{OL}			0.7	V	@ I _{OL} = 2 mA (SDIO only)
Output High Voltage	V _{OH}	0.6 * V _{DD}			V	@ I _{OH} = 2 mA (SDIO only)
Output Low Voltage (XA, XB, YA, YB)	V _{OL}			0.4	V	@ I _{OL} = 0.5 mA.
Output High Voltage (XA, XB, YA, YB)	V _{OH}	0.6 * V _{DD}			V	@ I _{OH} = 0.5 mA .
Output Low Voltage (XY_LED)	V _{OL}			1.1	V	Refer to Figure 11.
XY LED Current	I _{LED}	Typ-15%	630/R1	Typ + 15%	A	Refer to Figure 11, see table below.
XY LED Current (fault mode)	I _{LED}			500	μA	R1 < 200 Ω.
REF_A (normal mode)	V _{REFA}		3.3		V	1.5 KΩ to 3.0 V or GND, PD = low.
REF_A (power down mode)	V _{REFA}		3.3		V	1.5 KΩ to 3.0 V or GND, PD = high.

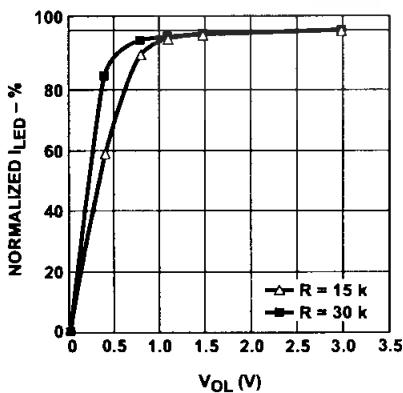


Figure 11. Typical I-V characteristic of ADNS-2051 XY_LED pin.

Typical LED Current Table

R1 Value	kΩ	15	18	22	27	33	37
LED current (typical)	mA	42	35	29	23	19	17

PD Pin Timing

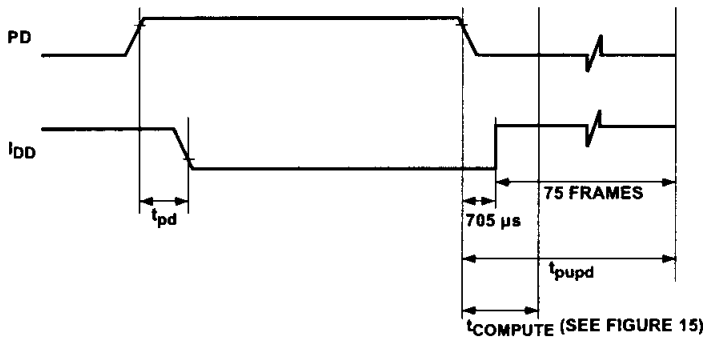


Figure 12. PD timing normal mode.

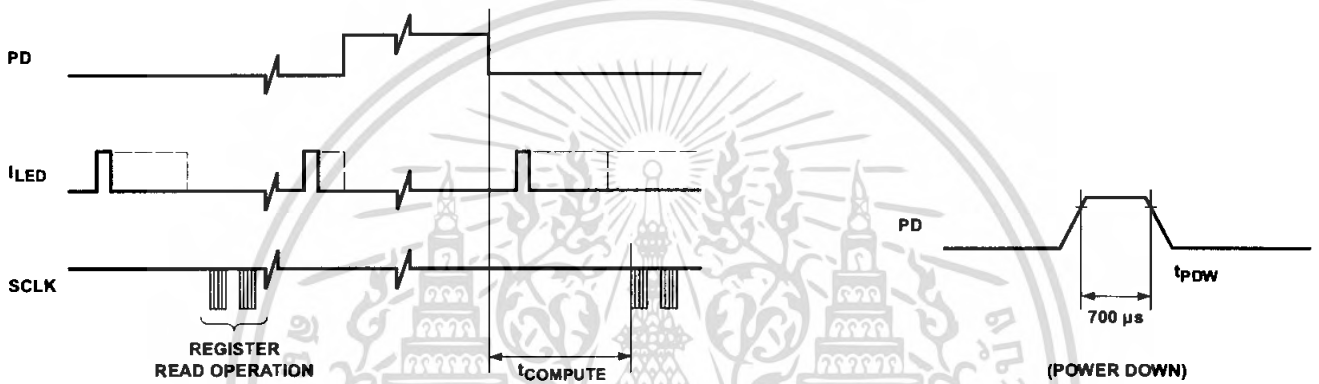


Figure 13. PD timing sleep mode.

Figure 14. PD minimum pulse width.

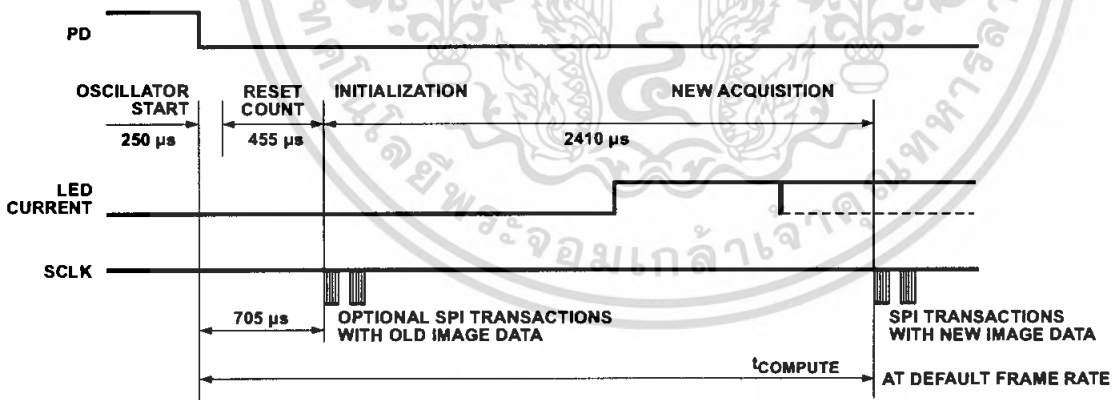


Figure 15. Detail of PD falling edge timing.

Quadrature Mode Timing

The output waveforms emulate the output from encoders. With the resolution set to 400 cpi, from one to five quadrature states can exist within one frame time. The minimum state time is 133 μ s. If the resolution is

800 cpi, then up to ten quadrature states can exist within a frame time. If the motion within a frame is greater than these values, the extra motion will be reported in the next frame. The following diagrams (see Figures 16, 17, and 18) show the timing

for positive X motion, to the right or positive Y motion, up. If a power down via the PD pin occurs during a transfer, the transfer will resume after PD is de-asserted. The timing for that quadrature state will be increased by the length of the PD time.

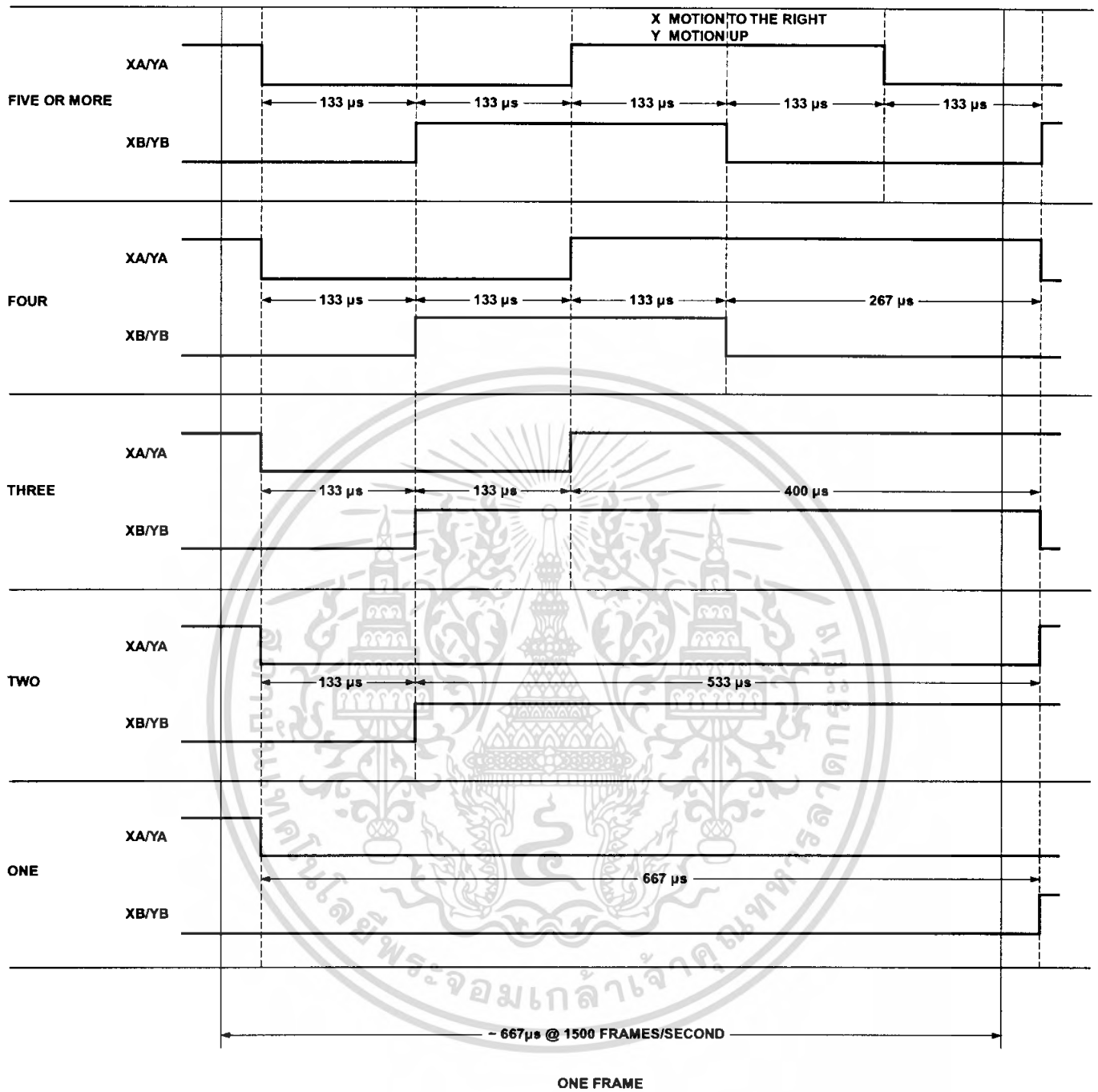


Figure 16. Quadrature states per frame (400 cpi mode).

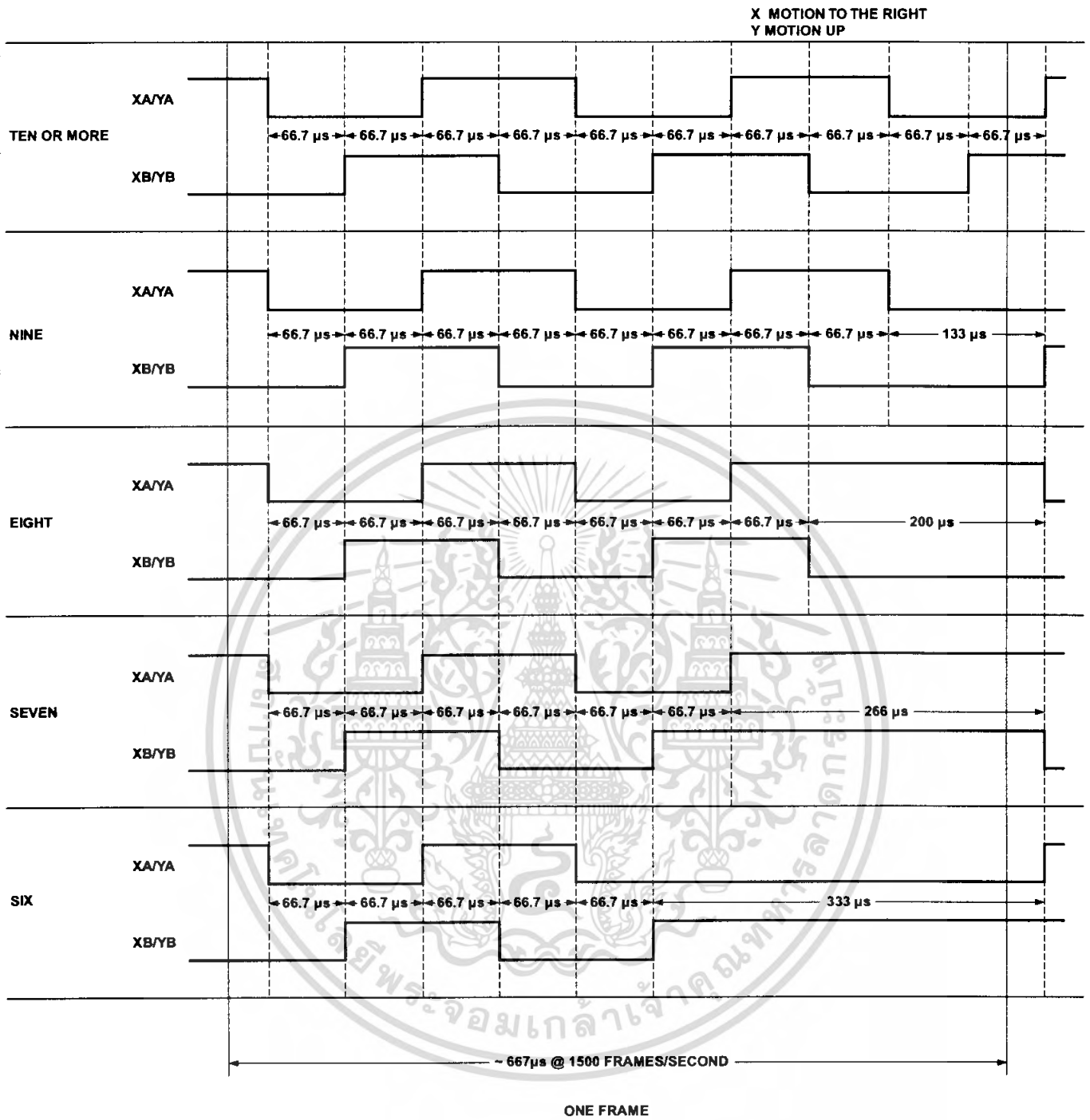


Figure 17. Quadrature states per frame (800 cpi mode).

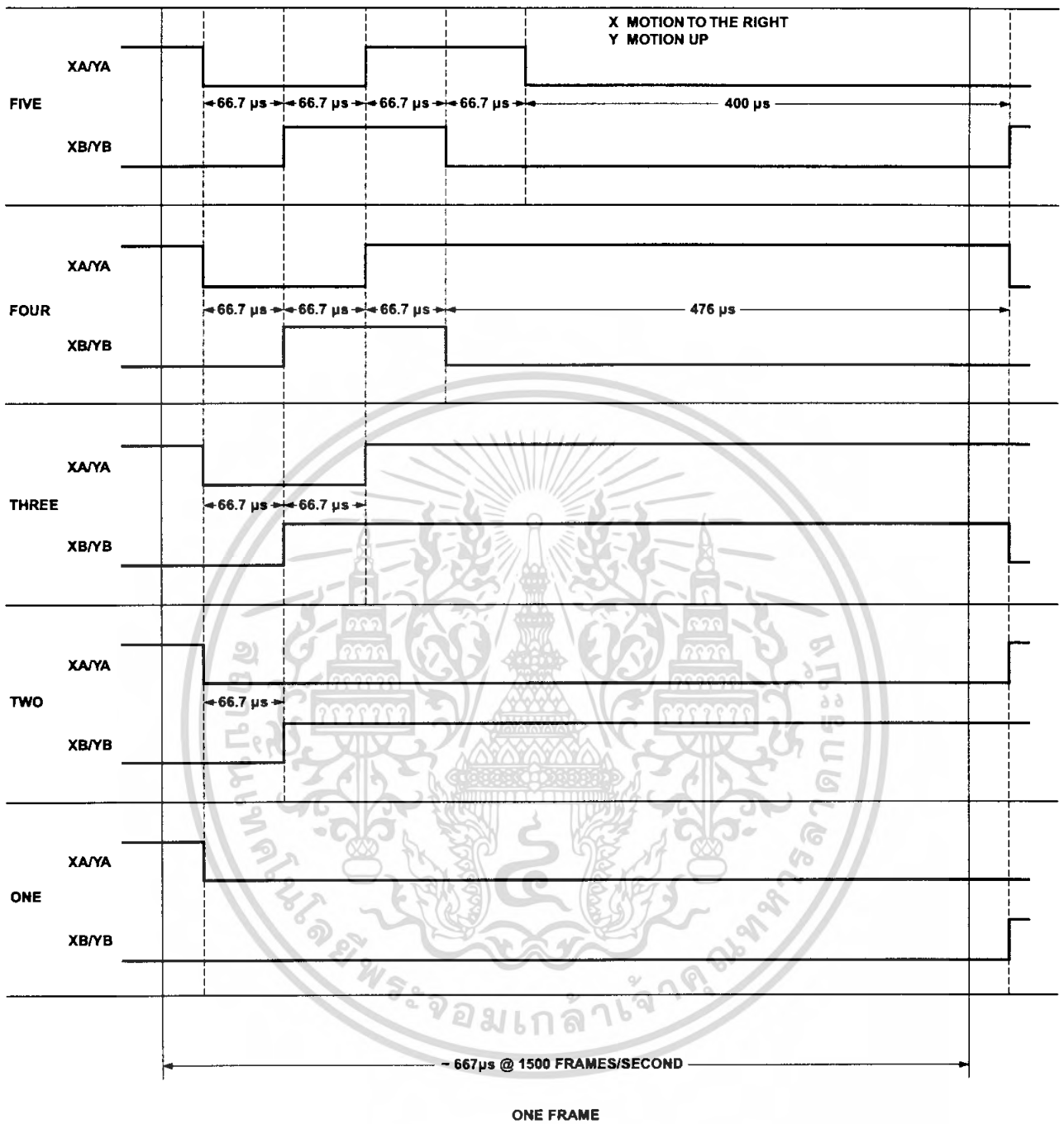


Figure 18. Quadrature states per frame (800 cpi mode).

Quadrature State Machine

The following state machine shows the states of the quadrature pins. The two things to note are that while the PD pin is asserted, the state machine is halted. Once PD is de-asserted, the state machine picks up from where it left off. State 0 is entered after a power up reset.

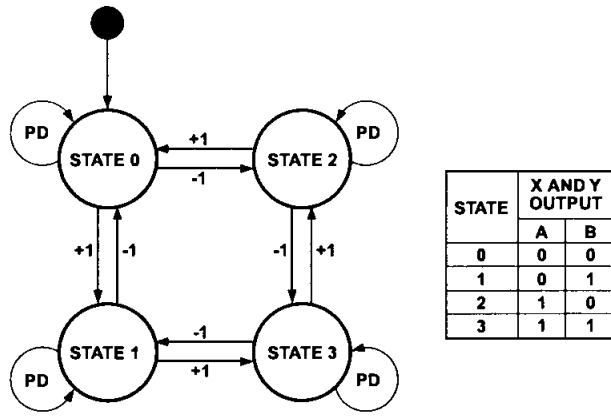


Figure 19. Quadrature state machine.

Quadrature Output Waveform

The two channel quadrature outputs are 5.0 volt CMOS outputs. The Δx count is used to generate the XA and XB signals, and Δy count is used for the YA and YB signals.

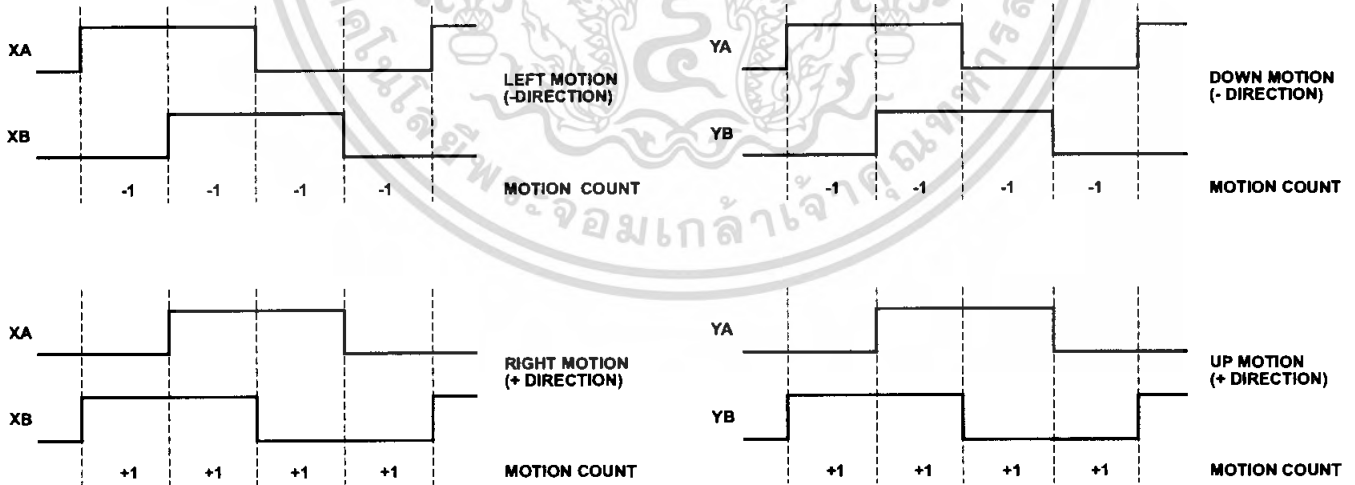


Figure 20. Quadrature output waveform.

Typical Performance Characteristics

Performance characteristics over recommended operating conditions. Typical values at 25°C, $V_{DD} = 5.0\text{ V}$, 18 MHz.

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Notes
Path Error (Deviation)	PERROR		0.5		%	Path Error (Deviation) is the error from the ideal cursor path. It is expressed as a percentage of total travel and is measured over standard surfaces.

The following graphs (Figures 21, 22, 23, and 24) are the typical performance of the ADNS-2051 sensor, assembled as shown in the 2D assembly drawing with the HDNS-2100 Lens/Prism, the HDNS-2200 clip, and the HLMP-ED80-XXXXX LED (page 3, Figure 4).

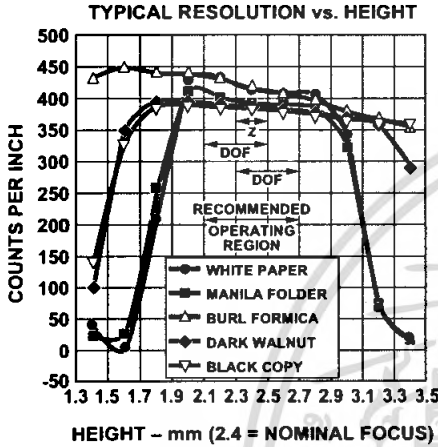


Figure 21. Typical resolution vs. Z (comparative surfaces).^[2,3]

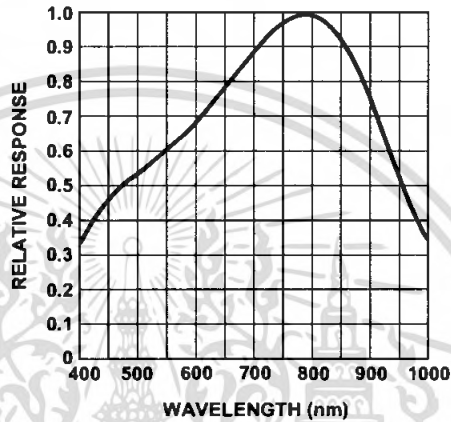


Figure 22. Wavelength responsivity.^[1]

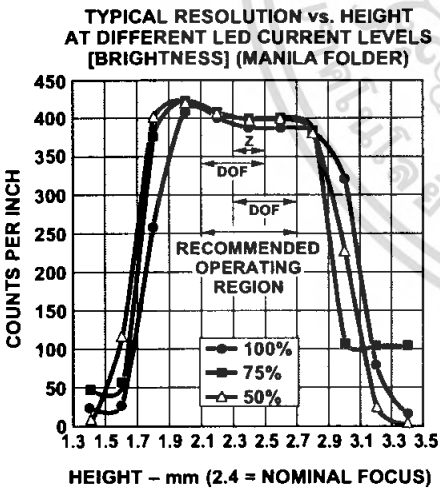


Figure 23. Typical resolution vs. z (manila folder and LED variation).^[2,3]

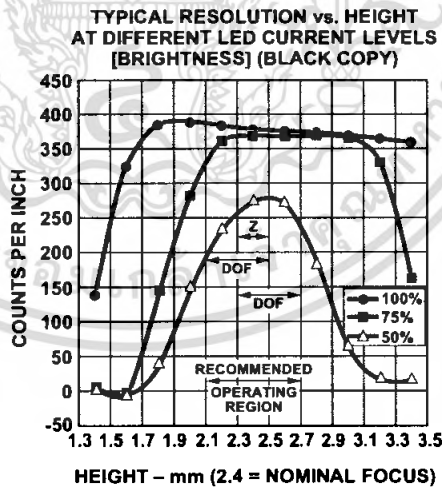


Figure 24. Typical resolution vs. z (black copy and LED variation).^[2,3]

Note:

1. The ADNS-2051 is designed for optimal performance when used with the HLMP-ED80-XXXXX (red LED 639 nm). For use with other LED colors (i.e., blue, green), please consult factory. When using alternate LEDs, there may also be performance degradation and additional eye safety considerations.
2. Z = Distance from Lens Reference plane to Surface.
3. DOF = Depth of Field.

Synchronous Serial Port

The synchronous serial port is used to set and read parameters in the ADNS-2051, and can be used to read out the motion information instead of the quadrature data pins.

The port is a two wire, half duplex port. The host micro-controller always initiates communication; the ADNS-2051 never initiates data transfers.

SCLK: The serial port clock. It is always generated by the master (the micro-controller).

SDIO: The data line.

PD: A third line is sometimes involved. PD (Power Down) is usually used to place the ADNS-2051 in a low power mode to meet USB suspend specification. PD can also be used to force re-synchronization between the micro-controller and the ADNS-2051 in case of an error.

Write Operation

Write operations, where data is going from the micro-controller to the ADNS-2051, is always initiated by the micro-controller and consists of two bytes. The first byte contains the address (seven bits) and has a "1" as its MSB to indicate data direction. The second byte contains the data. The transfer is synchronized by SCLK. The micro-controller changes SDIO on falling edges of SCLK. The ADNS-2051 reads SDIO on rising edges of SCLK.

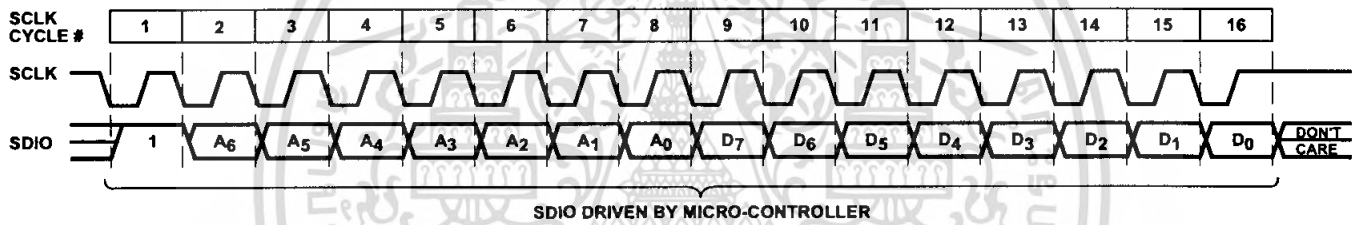


Figure 25. Write operation.

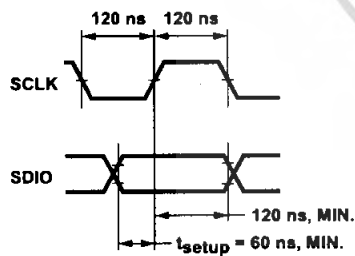


Figure 26. SDIO setup and hold times SCLK pulse width.

Read Operation

A read operation, which means that data is going from the ADNS-2051 to the micro-controller, is always initiated by the micro-controller and consists of two bytes. The first byte contains the address, is written by the micro-controller, and has a "0" as its MSB to indicate data

direction. The second byte contains the data and is driven by the ADNS-2051. The transfer is synchronized by SCLK. SDIO is changed on falling edges of SCLK and read on every rising edge of SCLK. The micro-controller must go to a high Z state after the last address data bit. The ADNS-2051 will go to the high Z state after

the last data bit (see detail "B" in Figure 28). One other thing to note during a read operation is that SCLK will need to be delayed after the last address data bit to ensure that the ADNS-2051 has at least 100 μ s to prepare the requested data. This is shown in the timing diagrams below.

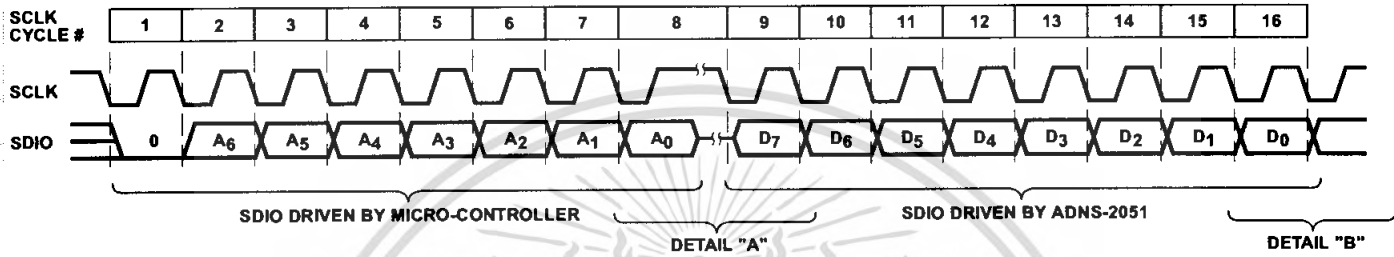


Figure 27. Read operation.

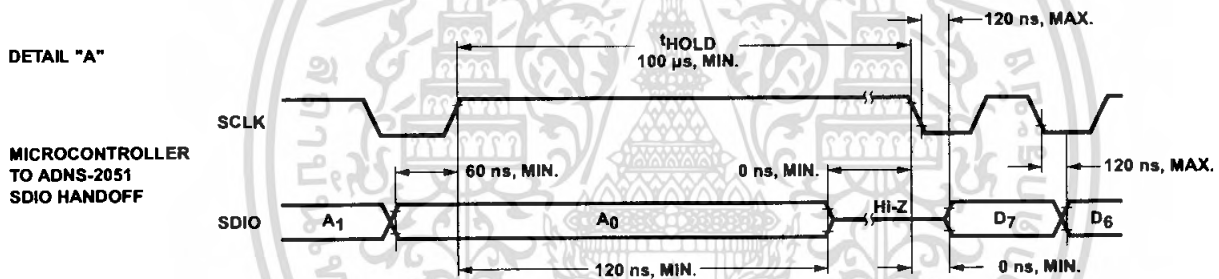


Figure 28. Microcontroller to ADNS-2051 SDIO handoff.

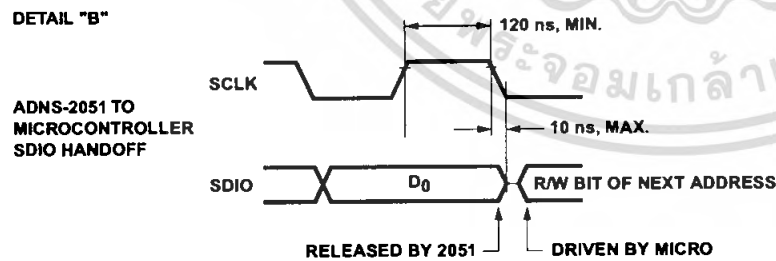


Figure 29. ADNS-2051 to microcontroller SDIO handoff.

Note:

The 120 ns high state of SCLK is the minimum data hold time of the ADNS-2051. Since the falling edge of SCLK is actually the start of the next read or write command, the ADNS-2051 will hold the state of D₀ on the SDIO line until the falling edge of SCLK. In both write and read operations, SCLK is driven by the micro-controller.

Serial port communications is not allowed while PD (power down) is high. See "Error Detection and Recovery" regarding re-synchronizing via PD.

Forcing the SDIO Line to the Hi-Z State

There are times when the SDIO line from the ADNS-2051 should be in the Hi-Z state. If the microprocessor has completed a write to the ADNS-2051, the SDIO line is Hi-Z, since the SDIO pin is still configured as an input. However, if the last operation from the microprocessor was a read, the ADNS-2051 will hold the D0 state on SDIO until a falling edge of SCLK.

To place the SDIO pin into the Hi-Z state, raise the PD pin for 100 μ s (min). The PD pin can stay high, with the ADNS-2051 in the shutdown state, or the PD pin can be lowered, returning the ADNS-2051 to normal operation. The SDIO line will now be in the Hi-Z state.

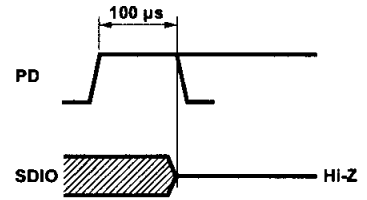


Figure 30. SDIO Hi-Z state and timing.

Required timing between Read and Write Commands (tsxx)

There are minimum timing requirements between read and write commands on the serial port.

If the rising edge of the SCLK for the last data bit of the second write command occurs before the 100 microsecond required delay, then the first write command may not complete correctly.

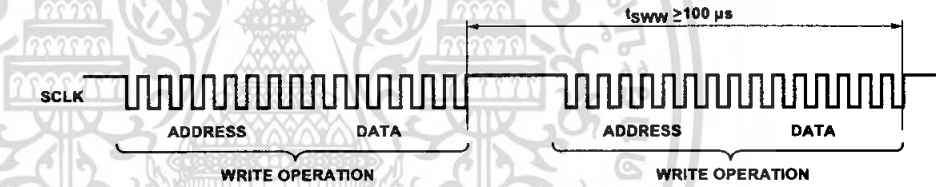


Figure 31. Timing between two write commands.

If the rising edge of SCLK for the last address bit of the read command occurs before the 100 microsecond required delay, then the write command may not complete correctly.

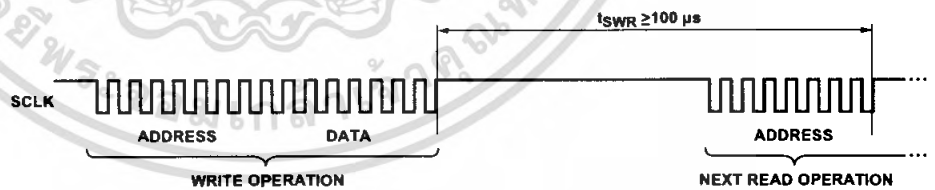


Figure 32. Timing between write and read commands.

The falling edge of SCLK for the first address bit of either the read or write command must be at least 120 ns after the last SCLK rising edge of the last data bit of the previous read operation.

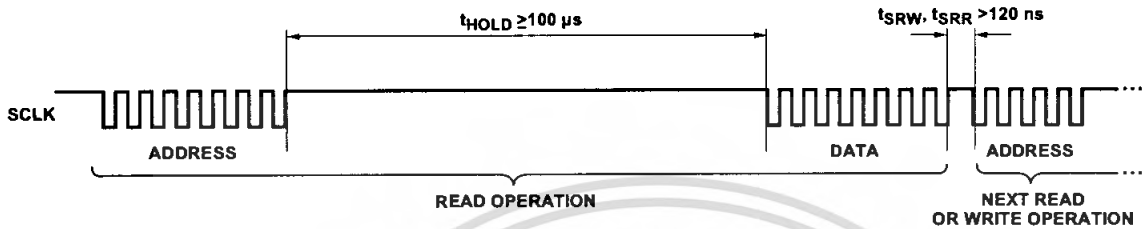


Figure 33. Timing between read and either write or subsequent read commands.

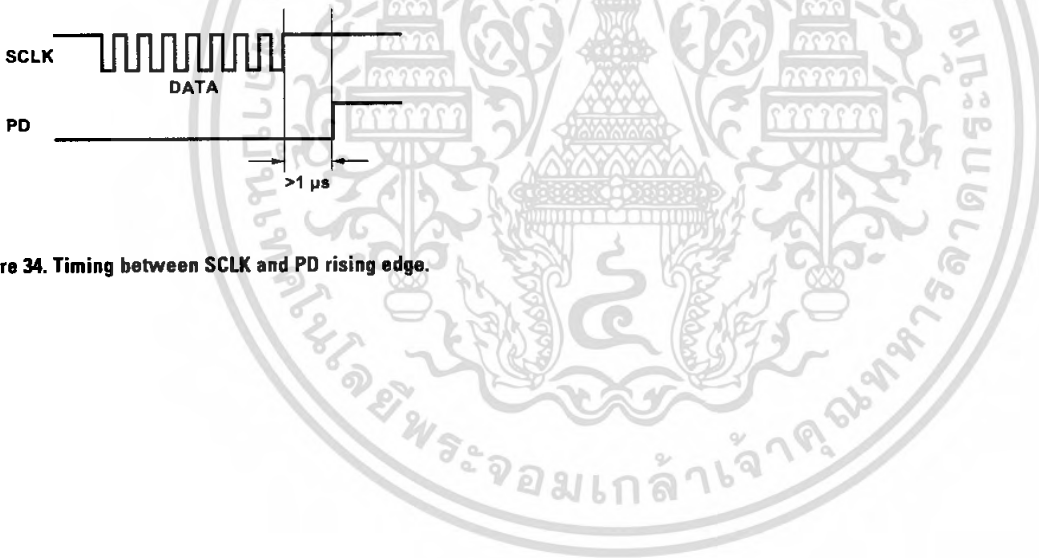


Figure 34. Timing between SCLK and PD rising edge.

Error Detection and Recovery

1. The ADNS-2051 and the micro-controller might get out of synchronization due to ESD events, power supply droops or micro-controller firmware flaws. In such a case, the micro-controller should raise PD for 100 μ s. The ADNS-2051 will reset the serial port but will not reset the registers and be prepared for the beginning of a new transmission.
2. The ADNS-2051 has a transaction timer for the serial port. If the sixteenth SCLK rising edge is spaced more than approximately 0.9 seconds from the first SCLK edge of the current transaction, the serial port will reset.
3. Invalid addresses:
 - Writing to an invalid address will have no effect. Reading from an invalid address will return all zeros.
4. Collision detection on SDIO
 - The only time that the ADNS-2051 drives the SDIO line is during a READ operation. To avoid data collisions, the micro-controller should relinquish SDIO before the falling edge of SCLK after the last

address bit. The ADNS-2051 begins to drive SDIO after the next rising edge of SCLK. The ADNS-2051 relinquishes SDIO within 120 ns of the falling SCLK edge after the last data bit. The micro-controller can begin driving SDIO any time after that. In order to maintain low power consumption in normal operation or when the PD pin is pulled high, the micro-controller should not leave SDIO floating until the next transmission (although that will not cause any communication difficulties).

5. In case of synchronization failure, both the ADNS-2051 and the micro-controller may drive SDIO. The ADNS-2051 can withstand 30 mA of short circuit current and will withstand infinite duration short circuit conditions.
6. Termination of a transmission by the micro-controller may sometimes be required (for example, due to a USB suspend interrupt during a read operation). To accomplish this the micro-controller should raise PD. The ADNS-2051 will not write to any register and will reset the serial port (but

nothing else) and be prepared for the beginning of future transmissions after PD goes low.

7. The micro-controller can verify success of write operations by issuing a read command to the same address and comparing written data to read data.
8. The micro-controller can verify the synchronization of the serial port by periodically reading the product ID register.

Notes on Power up and the Serial Port

The sequence in which V_{DD} , PD, SCLK, and SDIO are set during powerup can affect the operation of the serial port. The diagram below shows what can happen shortly after powerup when the microprocessor tries to read data from the serial port.

This diagram shows the V_{DD} rising to valid levels, at some point the microcontroller starts its program, sets the SCLK and SDIO lines to be outputs, and sets them high. It then waits to ensure that the ADNS-2051 has powered up and is ready to communicate. The microprocessor then tries to read from location 0x00, Product_ID,

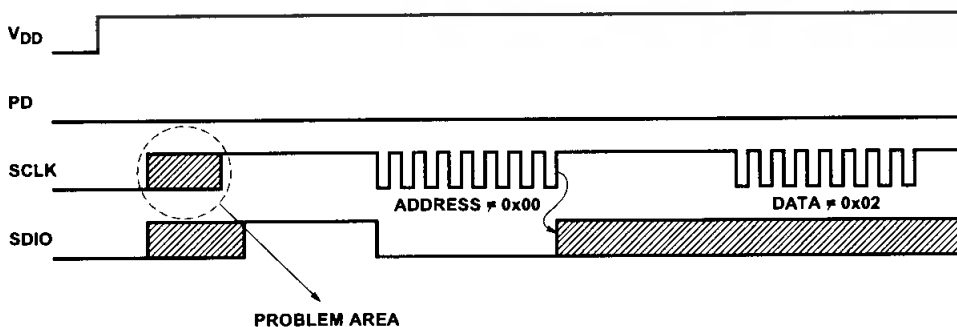


Figure 35. Power up serial port watchdog timer sequence.

and is expecting a value of 0x02. If it receives this value, it then knows that the communication to the ADNS-2051 is operational.

The problem occurs if the ADNS-2051 powers up before the microprocessor sets the SCLK and SDIO lines to be outputs and high. The ADNS-2051 sees the raising of the SCLK as a valid rising edge, and clocks in the state of the SDIO as the first bit of the address (sets either a read or a write depending upon the state).

In the case of SDIO low, then a read operation has started. When the microprocessor begins to actually send the address, the ADNS-2051 already has the first bit of an address. When the seventh bit is sent by the micro, the ADNS-2051 has a valid address, and drives the SDIO line high within 120 ns (see detail "A" in Figure 27 and Figure 28). This results in a bus fight for SDIO. Since the address is wrong, the data sent back will be incorrect.

In the case of SDIO high, a write operation is started. The address and data are out of synchronization, and the wrong data will be written to the wrong address.

Two Solutions

There are two different ways to solve the problem, waiting for the serial port watchdog timer to time out, or using the PD line to reset the serial port.

1. Serial Port Watchdog Timer Timeout

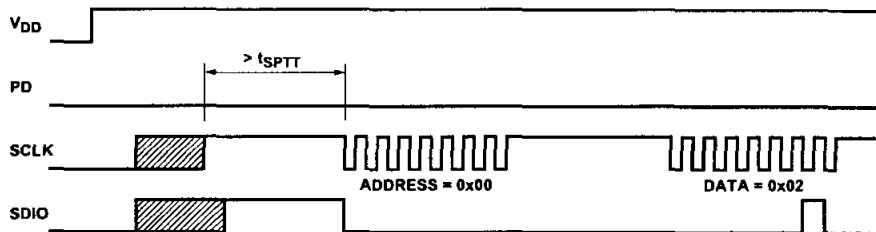


Figure 36. Power up serial port watchdog timer sequence.

If the microprocessor waits at least t_{SPPT} from V_{DD} valid, it will ensure that the ADNS-2051 has powered up and the watchdog timer has timed out. This assumes that the microprocessor and the ADNS-2051 share the same power supply. If not, then the microprocessor must wait t_{SPPT} from ADNS-2051 V_{DD} valid. Then when the SCLK toggles for the address, the ADNS-2051 will be in sync with the microprocessor.

2. PD Sync

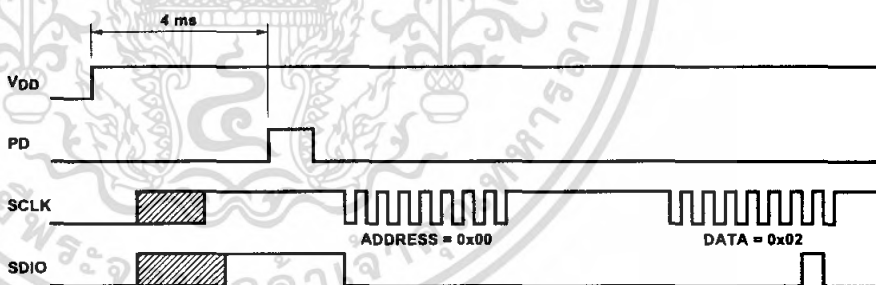


Figure 37. Power up serial port PD sync sequence.

The PD line can be used to resync the serial port. If the microprocessor waits for 4 ms from V_{DD} valid, and then outputs a valid PD pulse (see Figure 15), then the serial port will be ready for data.

Resync Note

If the microprocessor and the ADNS-2051 get out of sync, then the data either written or read from the registers will be incorrect. An easy way to solve this is to output a PD pulse to resync the parts after an incorrect read.

SPI communication code for the Cypress CY7C63000 or CY7C63001

(Please consult factory for the CY7C63722 or CY7C63723 codes.)

Note: This programming sequence is not covered in Agilent's product warranty. It is only a recommended example when using the mentioned Cypress microcontrollers. For the latest updates on Cypress microcontrollers, please contact Cypress at email: usbapps@cypress.com or call (858) 613-7929 (US).

The following code can be used to implement the SPI data communications. See the schematic in Figure 9.

```
; Notes
; CY7C63001 20pin package
; ADNS-2051
; SDIO line connected to pin5 (P1.0)
; PD connected to pin 16 (P1.1)
; SCLK line connected to pin15 (P1.3)

; I/O port
Port1_Data:      equ 01h          ; GPIO data port 1
Port1_Interrupt: equ 05h          ; Interrupt enable for port 1
Port1_Pullup:    equ 09h          ; Pullup resistor control for port 1

;
; Port bit definitions
SDIO:            equ 01h          ; bit 0
PD:              equ 02h          ; bit 1
SCLK:           equ 08h          ; bit 3
Ptl_Current:    equ 00h          ; port1 current setting
;
; GPIO Isink registers
Port1_Isink:     equ 38h
Port1_Isink0:    equ 38h
Port1_Isink1:    equ 39h
Port1_Isink3:    equ 3Bh
;
; data memory variables
spi_addr:        equ 40h          ; address of spi writes
spi_data:        equ 41h          ; data of spi writes
bit_counter:     equ 44h          ; SPI bit counter
port1_wrote:     equ 45h          ; what we wrote last
;
; initialize Port 1
;
        mov A, Ptl_Current        ; select DAC setting
        iowr Port1_Isink0         ; isink current Port 1 bit[ 0]
        iowr Port1_Isink1         ; isink current Port 1 bit[ 1]
        iowr Port1_Isink3         ; isink current Port 1 bit[ 3]

        mov A, 0h                 ; enable Port 1 bit [ 7:0] pullups
        iowr Port1_Pullup

        mov A, ~(PD|SDIO)         ; turn on the ADNS-2051
        mov [port1_wrote], A
        mov A, [port1_wrote]
        iowr Port1_Data           ; PD low, SCLK, SDIO

        mov A, 0
        iowr Port1_Interrupt      ; disable port 1 interrupts

; There are possible problems with the SPI port if the microcontroller starts executing
; instructions before the ADNS-2051 sensor has powered up. See page 18 for details.
; It is assumed that power to the microcontroller is OK if the next instructions can be executed.
; These instructions will reset the SPI port of the sensor.

Resync_sensor:  mov A, ~(SCLK|SDIO|PD) ; set the SCLK, SDIO and PD lines low
                and [port1_wrote], A
                mov A, [port1_wrote]
```

```

iowr Port1_Data
; If the power to the sensor needs more time
; to stabilize, insert a delay here

call delay700us ; wait about 4 milliseconds for the sensor
call delay700us ; oscillator to stabilize
call delay700us
call delay700us
call delay700us
call delay700us

mov A, (SCLK|SDIO|PD ; set the SCLK, SDIO and PD lines high
or [port1_wrote], A ; this shuts down the oscillator and
mov A, [port1_wrote] ; resets the SPI port
iowr Port1_Data

call delay700us ; wait for the PD to reset the part

mov A, ~PD ; set the PD line low to put the sensor
and [port1_wrote], A ; back into normal operation
mov A, [port1_wrote]
iowr Port1_Data

call delay700us ; wait about 4 milliseconds for the sensor
call delay700us ; oscillator to stabilize
call delay700us
call delay700us
call delay700us
call delay700us ; sensor SPI port now in sync

;
; ReadSPI routine
;
; Includes delays for long traces or cables between the uP and ADNS-2051
; Has correct timing of SCLK and SDIO
;
; On entry: spi_addr = Address of SPI register in the ADNS-2051
; spi_data = undefined
;
; On exit spi_addr = undefined
; spi_data = register contents from ADNS-2051
;

ReadSPI: mov A, 64 ; wait 200us (optional)
mov [bit_counter], A ; (about 3us per loop)

Waitrspi: nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
dec [bit_counter]
jnz Waitrspi

; read address

mov A, ~80h
and [spi_addr], A ; lower MSB of address (read)
call writeaddr

; wait 200us (about 3us per loop) (100us minimum required)
; wait for data to be ready

Waitrspi2: mov A, 64
mov [bit_counter], A
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
dec [bit_counter]
jnz Waitrspi2

```

```

mov A, 0h          ; clear the data
mov [spi_data], A
mov A, 08h
mov [bit_counter], A
mov A, SDIO
or [port1_wrote], A
mov A, [port1_wrote] ; write a 1 to SDIO
iowr Port1_Data
nextx: mov A, ~SCLK      ; lower SCLK
and [port1_wrote], A
mov A, [port1_wrote]
iowr Port1_Data
nop                ; wait for cable to settle
nop                ; if ADNS-2051 is connected to
nop                ; IC via short PCB traces,
nop                ; then the number of NOPs can
nop                ; reduced or eliminated
nop
nop
mov A,[spi_data]   ; shift next bit
asl
mov [spi_data], A ; shift next bit
iord Port1_Data    ; read SDIO
and A, SDIO
jz rdx
rd1: mov A, 01h
or [spi_data], A
rdx: mov A, SCLK      ; raise SCLK
or [port1_wrote], A
mov A, [port1_wrote]
iowr Port1_Data
nop                ; wait for cable to settle
nop
nop
nop
nop
nop
nop
dec [bit_counter]
jnz nextx
ret

;
; WriteSPI routine
;
; Includes delays for long traces or cables between the uP and ADNS-2051.
; Has correct timing of SCLK and SDIO
;
; On entry: spi_addr = Address of SPI register in the ADNS-2051
; spi_data = Data to be written to the SPI register
;
; On exit spi_addr = undefined
; spi_data = undefined
;

WriteSPI: mov A, 64          ; wait 200us (optional)
mov [bit_counter], A ; about 3us per loop

Waitspi:  nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
dec [bit_counter]
jnz Waitspi

mov A, 80h          ; write address

```

```

        or [spi_addr], A      ; set MSB of address (write)
        call writeaddr
        jmp wrdata

writeaddr:  mov A, 08h          ; 8 bits to shift out
            mov [bit_counter], A
nexta:     mov A, ~SCLK       ; lower SCLK
            and [port1_wrote], A
            mov A, [port1_wrote]
            iowr Port1_Data
            mov A, [spi_addr] ; shift next bit
            asl
            mov [spi_addr], A
            jnc addr0

addr1:     mov A, SDIO
            or [port1_wrote], A ; raise SDIO
            jmp addrx
addr0:     mov A, ~SDIO
            and [port1_wrote], A ; lower SDIO
addrx:     mov A, [port1_wrote]
            iowr Port1_Data
            nop                ; wait for cable to settle
            nop
            nop
            nop
            nop
            nop
            mov A, SCLK        ; raise SCLK
            or [port1_wrote], A
            mov A, [port1_wrote]
            iowr Port1_Data    ; ADNS-2051 reads the address bit
            nop                ; wait for cable to settle
            nop
            nop
            nop
            nop
            nop
            dec [bit_counter]
            jnz nexta
            ret

wrdata:    mov A, 08h          ; 8 bits of data
            mov [bit_counter], A
nextw:     mov A, ~SCLK       ; lower SCLK
            and [port1_wrote], A
            mov A, [port1_wrote]
            iowr Port1_Data
            mov A, [spi_data] ; shift next bit
            asl
            mov [spi_data], A
            jnc wr0

wrl:       mov A, SDIO
            or [port1_wrote], A ; raise SDIO
            jmp wrx
wr0:       mov A, ~SDIO
            and [port1_wrote], A ; lower SDIO
wrx:       mov A, [port1_wrote]
            iowr Port1_Data
            nop                ; wait for cable to settle
            nop
            nop
            nop
            nop
            nop
            mov A, SCLK        ; raise SCLK

```


Registers

The ADNS-2051 can be programmed through registers, via the serial port, and configuration and motion data can be read from these registers.

Address	Register	Address	Register	Address	Register
0x00	Product_ID	0x06	Average_Pixel	0x0c	Data_Out_Lower
0x01	Revision_ID	0x07	Maximum_Pixel	0x0d	Data_Out_Upper
0x02	Motion	0x08	Reserved	0x0e	Shutter_Lower
0x03	Delta_X	0x09	Reserved	0x0f	Shutter_Upper
0x04	Delta_Y	0x0a	Configuration_bits	0x10	Frame_Period_Lower
0x05	SQUAL	0x0b	Reserved	0x11	Frame_Period_Upper

Product_ID

Access: Read

Address: 0x00

Reset Value: 0x02

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Field	PID ₇	PID ₆	PID ₅	PID ₄	PID ₃	PID ₂	PID ₁	PID ₀

Data Type: Eight bit number with the product identifier.

USAGE: The value in this register does not change, it can be used to verify that the serial communications link is OK.

Revision_ID

Access: Read

Address: 0x01

Reset Value: 0xNN

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Field	RID ₇	RID ₆	RID ₅	RID ₄	RID ₃	RID ₂	RID ₁	RID ₀

Data Type: Eight bit number with current revision of the IC.

USAGE: NN is a value between 00 and FF which represent the current design revision of the device.

Motion

Access: Read

Address: 0x02

Reset Value: 0x00

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Field	MOT	Reserved	FAULT	OVFY	OVFX	Reserved	Reserved	RES

Data Type: Bit field

USAGE: Register 0x02 allows the user to determine if motion has occurred since the last time it was read. If so, then the user should read registers 0x03 and 0x04 to get the accumulated motion. It also tells if the motion buffers have overflowed and whether or not an LED fault occurred since the last reading. The current resolution is also shown.

Field Name	Description
MOT	Motion since last report or PD 0 = No motion 1 = Motion occurred, data ready for reading in Delta_X and Delta_Y registers
Reserved	Reserved for future
FAULT	LED Fault detected – set when R_BIN is too low or too high, shorts to V _{DD} or Ground 0 = No fault 1 = Fault detected
OVFY	Motion overflow Y, ΔY buffer has overflowed since last report 0 = No overflow 1 = Overflow has occurred
OVFX	Motion overflow X, ΔX buffer has overflowed since last report 0 = No overflow 1 = Overflow has occurred
Reserved	Reserved for future
Reserved	Reserved for future
RES	Resolution in counts per inch 0 = 400 1 = 800

Notes for Motion:

1. Reading this register freezes the Delta_X and Delta_Y register values. Read this register before reading the Delta_X and Delta_Y registers. If Delta_X and Delta_Y are not read before the motion register is read a second time, the data in Delta_X and Delta_Y will be lost.
2. Agilent RECOMMENDS that registers 0x02, 0x03 and 0x04 be read sequentially.
3. Internal buffers can accumulate more than eight bits of motion for X or Y. If either one of the internal buffers overflows, then absolute path data is lost, and the OVFX or OVFY bit is set. These bits (OVFX and OVFY) are cleared once some motion has been read from the Delta_X and Delta_Y registers, and if the buffers are not at full scale. Since more data is present in the buffers, the cycle of reading the Motion, Delta_X and Delta_Y registers should be repeated until the motion bit (MOT) is cleared. Until MOT is cleared, either the Delta_X or Delta_Y registers will read either positive or negative full scale. If the motion register has not been read for a long time, at 400 cpi it may take up to 16 read cycles to clear the buffers, at 800 cpi, up to 32 cycles.
4. FAULT is a sticky bit that is cleared by reading the Motion register. It signifies that an LED fault has occurred since the last time the motion register was read. Once an LED fault has cleared, the hardware will drive the LED normally.

Delta_X

Address: 0x03

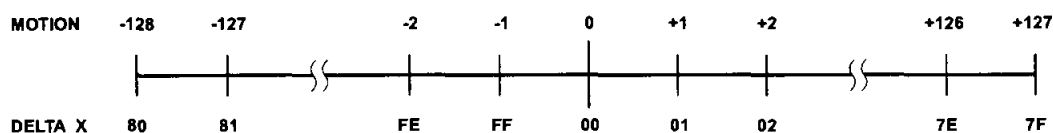
Access: Read

Reset Value: 0x00

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Field	X ₇	X ₆	X ₅	X ₄	X ₃	X ₂	X ₁	X ₀

Data Type: Eight bit 2's complement number.

USAGE: X movement is counts since last report. Absolute value is determined by resolution. Reading clears the register.



Delta_Y

Address: 0x04

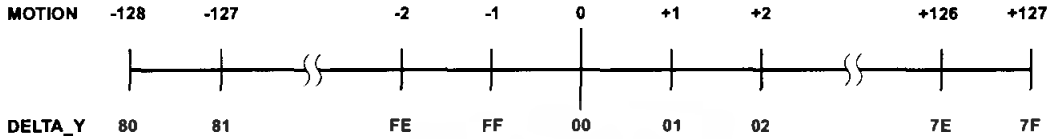
Access: Read

Reset Value: 0x00

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Field	Y ₇	Y ₆	Y ₅	Y ₄	Y ₃	Y ₂	Y ₁	Y ₀

Data Type: Eight bit 2's complement number.

USAGE: Y movement is counts since last report. Absolute value is determined by resolution. Reading clears the register.

**Surface_Quality**

Address: 0x05

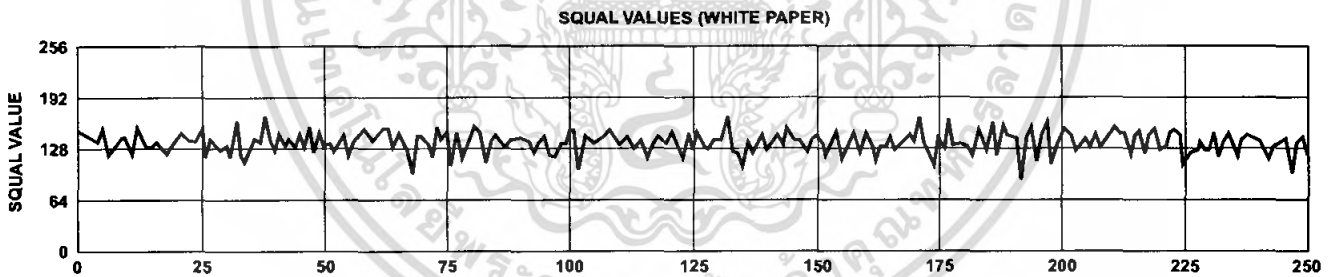
Access: Read

Reset Value: 0x00

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Field	SQ ₇	SQ ₆	SQ ₅	SQ ₄	SQ ₃	SQ ₂	SQ ₁	SQ ₀

Data Type: Eight bit number.

USAGE: SQUAL is a measure of the number of features visible by the sensor in the current frame. The maximum value is 255. Since small changes in the current frame can result in changes in SQUAL, variations in SQUAL when looking at a surface are expected. The graph below shows 250 sequentially acquired SQUAL values, while a sensor was moved slowly over white paper. SQUAL is nearly equal to zero, if there is no surface below the sensor.



The focus point is important and could affect the squal value, the graph below showing another setup with various z-height. The graph clearly shows that the squal count is dependent on focus distance.

Note:

This graph is obtained by getting multiple readings over different heights.

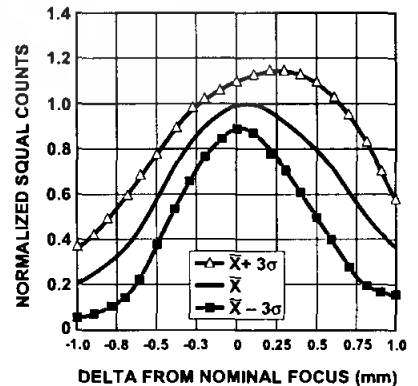


Figure 38. Typical mean squal vs. Z (white paper).

Average_Pixel

Address: 0x06

Access: Read

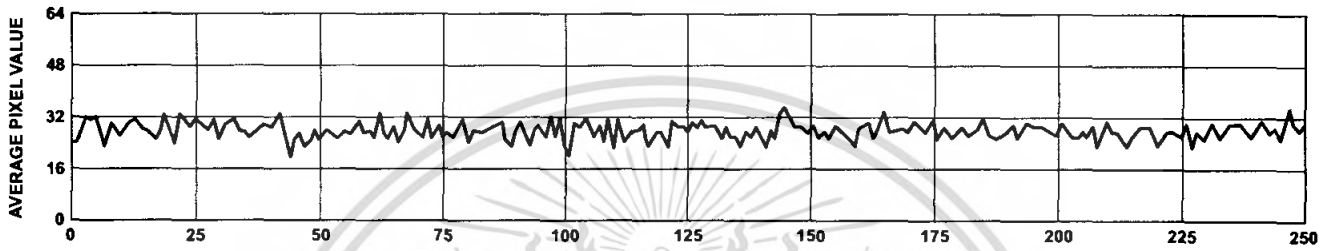
Reset Value: 0x00

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Field	0	0	AP ₅	AP ₄	AP ₃	AP ₂	AP ₁	AP ₀

Data Type: Six bit number.

USAGE: Average Pixel value in current frame. Minimum value = 0, maximum = 63. The average pixel value can be adjusted every frame. Shown below is a graph of 250 sequentially acquired average pixel values, while the sensor was moved slowly over white paper.

AVERAGE PIXEL (WHITE PAPER)

**Maximum_Pixel**

Address: 0x07

Access: Read

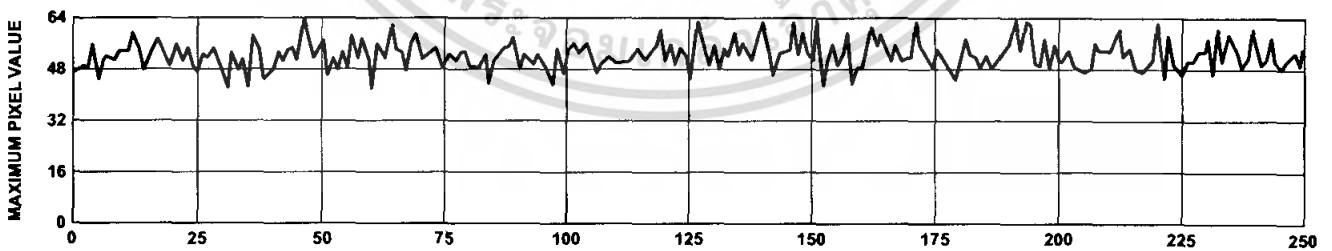
Reset Value: 0x00

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Field	0	0	MP ₅	MP ₄	MP ₃	MP ₂	MP ₁	MP ₀

Data Type: Six bit number.

USAGE: Maximum Pixel value in current frame. Minimum value = 0, maximum value = 63. The maximum pixel value can be adjusted every frame. Shown below is a graph of 250 sequentially acquired maximum pixel values, while the sensor was moved slowly over white paper.

MAXIMUM PIXEL (WHITE PAPER)

**Reserved**

Address: 0x08

Reserved

Address: 0x09

Configuration_bits
Access: Read/Write

Address: 0x0a
Reset Value: 0x00

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Field	RESET	LED_MODE	Sys Test	RES	PixDump	Reserved	Reserved	Sleep

Data Type: Bit field

USAGE: Register 0x0a allows the user to change the configuration of the sensor. Shown below are the bits, their default values, and optional values.

Field Name	Description
RESET	Power up defaults (bit always reads 0) 0 = No effect 1 = Reset registers and bits to power up default settings (bold entries)
LED_MODE	LED Shutter Mode 0 = Shutter mode off (LED always on) (even if no motion up to 1 sec.) 1 = Shutter mode on (LED only on when the electronic shutter is open)
Sys Test	System Tests (bit always reads 0) 0 = No tests 1 = perform all system tests, output 16 bit CRC via Data_Out_Upper and Data_Out_Lower registers. <i>Note: Since part of the system test is a RAM test, the RAM will be overwritten with the default values when the test is done. If any configuration changes from the default are needed for operation, make the changes AFTER the system test is run. This operation requires substantially more time to complete than other register transactions.</i>
RES	Resolution in counts per inch 0 = 400 1 = 800
Pix Dump	Dump the pixel array through Data_Out_Upper and Data_Out_Lower, 256 bytes 0 = disabled 1 = dump pixel array
Reserved	Reserved
Reserved	Reserved
Sleep	Sleep Mode 0 = Normal, fall asleep after one second of no movement (1500 frames/s) 1 = Always awake

Reserved

Address: 0x0b

Data_Out_Lower

Address: 0x0c

Access: Read

Reset Value: undefined

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Field	DO ₇	DO ₆	DO ₅	DO ₄	DO ₃	DO ₂	DO ₁	DO ₀

Data_Out_Upper

Address: 0x0d

Access: Read

Reset Value: undefined

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Field	DO ₁₅	DO ₁₄	DO ₁₃	DO ₁₂	DO ₁₁	DO ₁₀	DO ₉	DO ₈

Data Type: Sixteen bit word.

USAGE: Data can be written to these registers from the system self test, or the pixel dump command. The data can be read out 0x0d, or 0x0d first, then 0x0c.

	Data_Out_Upper	Data_Out_Lower	Note
System test result 1:	FE	D4	One of two results returned. These values are subject to change with each device design revision.
System test result 2:	4D	10	
Pixel Dump command	Pixel Address	Pixel Data (Lower 6 bits)	

Once the pixel dump command is given, the sensor writes the address and the value for the first pixel into the Data_Out_Upper and Data_Out_Lower registers. The MSB of Data_Out_Lower is the status bit for the data. If the bit is high, the data are NOT valid. Once the MSB is low, the data for that particular read are valid and should be saved. The pixel address and data will then be incremented on the next frame. Once the pixel dump is complete, the PixDump bit in register 0x0a should be set to zero. To obtain an accurate image, the LED needs to be turned on by changing the sleep mode of the configuration register 0x0a to always awake.

Pixel Address Map
(Looking through the HDNS-2100 Lens)

LAST PIXEL

FF	EF	DF	CF	BF	AF	9F	8F	7F	6F	5F	4F	3F	2F	1F	0F
FE	EE	DE	CE	BE	AE	9E	8E	7E	6E	5E	4E	3E	2E	1E	0E
FD	ED	DD	CD	BD	AD	9D	8D	7D	6D	5D	4D	3D	2D	1D	0D
FC	EC	DC	CC	BC	AC	9C	8C	7C	6C	5C	4C	3C	2C	1C	0C
FB	EB	DB	CB	BB	AB	9B	8B	7B	6B	5B	4B	3B	2B	1B	0B
FA	EA	DA	CA	BA	AA	9A	8A	7A	6A	5A	4A	3A	2A	1A	0A
F9	E9	D9	C9	B9	A9	99	89	79	69	59	49	39	29	19	09
F8	E8	D8	C8	B8	A8	98	88	78	68	58	48	38	28	18	08
F7	E7	D7	C7	B7	A7	97	87	77	67	57	47	37	27	17	07
F6	E6	D6	C6	B6	A6	96	86	76	66	56	46	36	26	16	06
F5	E5	D5	C5	B5	A5	95	85	75	65	55	45	35	25	15	05
F4	E4	D4	C4	B4	A4	94	84	74	64	54	44	34	24	14	04
F3	E3	D3	C3	B3	A3	93	83	73	63	53	43	33	23	13	03
F2	E2	D2	C2	B2	A2	92	82	72	62	52	42	32	22	12	02
F1	E1	D1	C1	B1	A1	91	81	71	61	51	41	31	21	11	01
F0	E0	D0	C0	B0	A0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	00

FIRST PIXEL

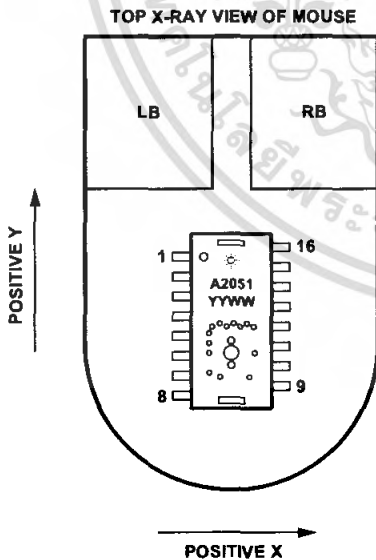


Figure 39. Directions are for a complete mouse, with the HDNS-2100 lens.

34 สารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pixel Dump Pictures

The following images (Figure 40) are the output of the pixel dump command. The data ranges from zero for complete black, to 63 for complete white. An internal AGC circuit adjusts the shutter value to keep the brightest feature (max. pixel) in the mid 50s.

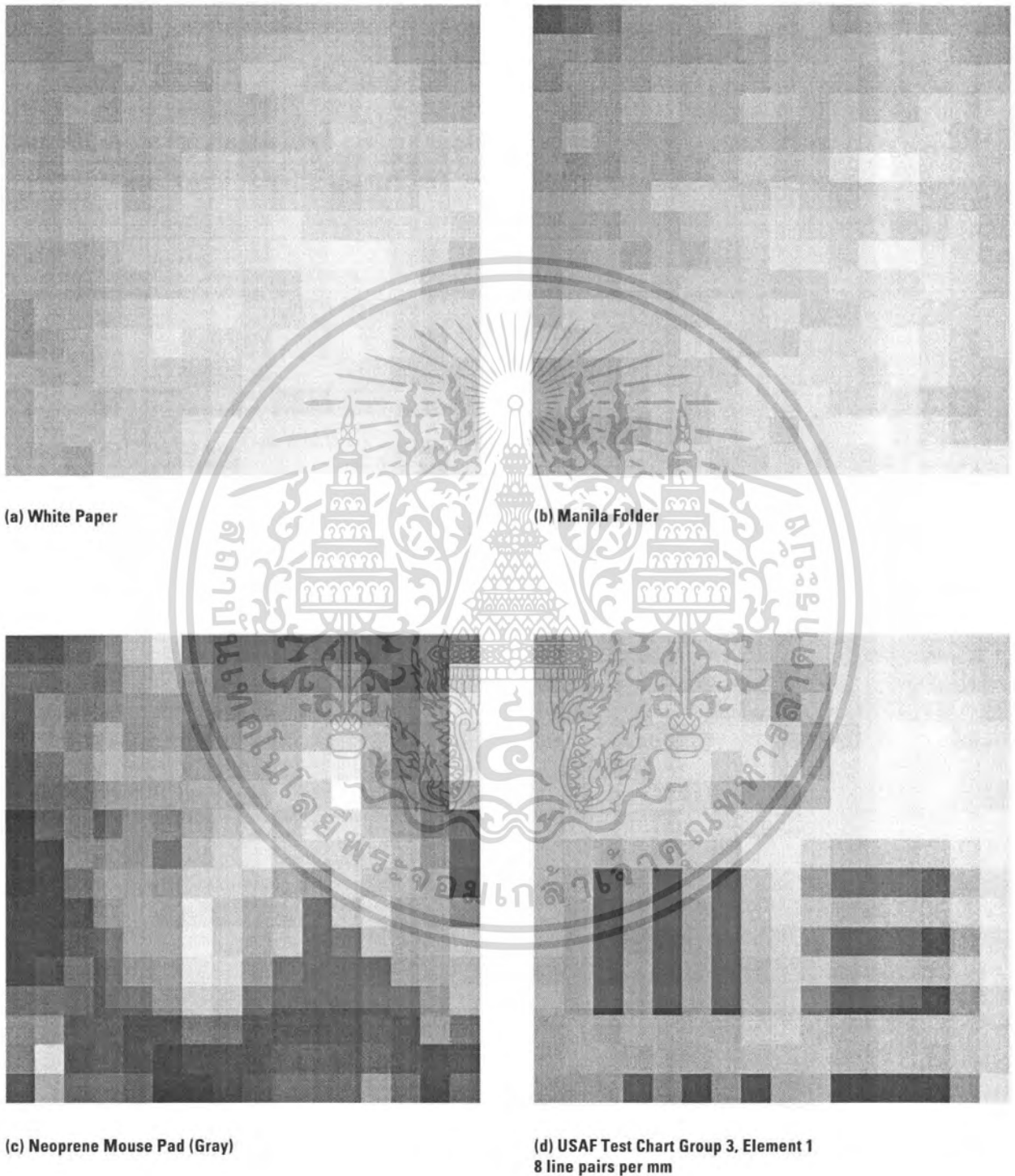


Figure 40. Pixel dump pictures.

35เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shutter_Lower

Address: 0x0e

Access: Read

Reset Value: 0x64

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Field	S ₇	S ₆	S ₅	S ₄	S ₃	S ₂	S ₁	S ₀

Shutter_Upper

Address: 0x0f

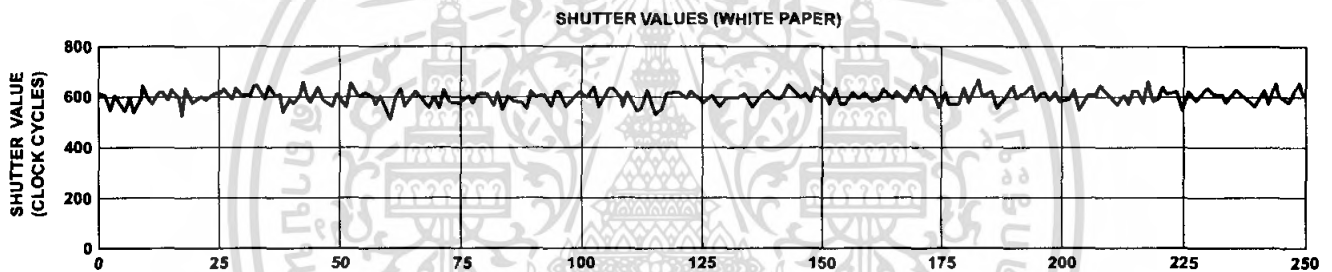
Access: Read

Reset Value: 0x00

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Field	S ₁₅	S ₁₄	S ₁₃	S ₁₂	S ₁₁	S ₁₀	S ₉	S ₈

Data Type: Sixteen bit word.

USAGE: Units are clock cycles; default value is 64. Read Shutter_Upper first, then Shutter_Lower. They should be read consecutively. The shutter is adjusted to keep the average and maximum pixel values within normal operating ranges. The shutter value can be adjusted to a new value on every frame. When the shutter adjusts, it changes by $\pm 1/16$ of the current value. Shown below is a graph of 250 sequentially acquired shutter values, while the sensor was moved slowly over white paper.



The focus point is important and could affect the shutter value. The graph below shows another setup with various z-height. This graph clearly shows that the shutter value is dependent on focus distance.

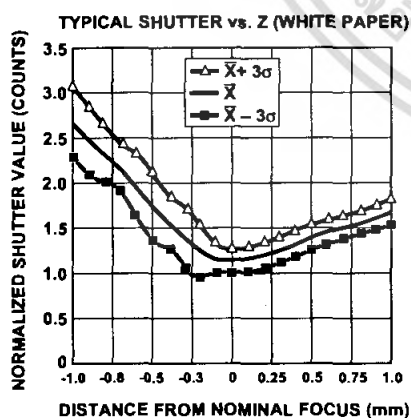


Figure 41. Typical shutter vs. Z (white paper).

Note: This graph shows average readings over different heights.

The maximum value of the shutter is dependent upon the frame rate and clock frequency. The formula for the maximum shutter value is:

$$\text{Max. Shutter Value} = \frac{\text{Clock Frequency}}{\text{Frame Rate}} - 2816$$

For a clock frequency of 18 MHz, the following table shows the maximum shutter value. 1 clock cycle is 55.56 nsec.

Frames/second	Max Shutter		Shutter		
	Decimal	Hex	Upper	Lower	
2300	5010	0x1392	13	92	
2000	6184	0x1828	18	28	
1500	9184	0x23E0	23	E0	← Default Max. Shutter
1000	15184	0x3B50	3B	50	
500	33184	0x81A0	81	A0	

Frame_Period_Lower Address: 0x10
Access: Read/Write Reset Value: 0x20

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Field	FP ₇	FP ₆	FP ₅	FP ₄	FP ₃	FP ₂	FP ₁	FP ₀

Frame_Period_Upper Address: 0x11
Access: Read/Write Reset Value: 0xd1

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Field	FP ₁₅	FP ₁₄	FP ₁₃	FP ₁₂	FP ₁₁	FP ₁₀	FP ₉	FP ₈

Data Type: Sixteen bit 2's complement word.

USAGE: The frame period counter counts up until it overflows. Units are clock cycles. The formula is:

$$\frac{\text{Clock Rate}}{\text{Frame Rate}} = \text{Counts (decimal)} \rightarrow \text{Counts (hex)} \rightarrow \text{Counts (2's complement hex)}$$

For an 18 MHz clock, here are the Frame_Period values for popular frame rates.

Frames/second	Counts			Frame_Period		
	Decimal	Hex	2's Comp	Upper	Lower	
2300*	7826	0x1E92	0xE16E	E1	6E	
2000*	9000	0x2328	0xDCD8	DC	D8	
1500	12000	0x2EE0	0xD120	D1	20	← Default Frame Time
1000	18000	0x4650	0xB9B0	B9	B0	
500	36000	0x8CA0	0x7360	73	60	← Minimum Frame Time

***Note:**

To optimize tracking performance on dark surfaces, it is recommended that an adaptive frame rate based on shutter value be implemented, for frame rates greater than 1500. Changing the frame rate results in changes in the maximum speed, acceleration limits, and dark surface performance.

To read from the registers, read Frame_Period_Upper first followed by Frame_Period_Lower. To write to the registers, write Frame_Period_Lower first followed by Frame_Period_Upper.

IC Register State after Reset (power up or setting bit 7, register 0x0a)

Address	Register	Value	Meaning
0x0	Product_ID	0x02	Product ID = 2 (Fixed value)
0x01	Revision_ID	0xNN	Revision of IC (Fixed value). (For each device design revision.)
0x02	Motion	0x00	No Motion LED = No Fault No X data overflow No Y data overflow Resolution is 400 counts per inch
0x03	Delta_X	0x00	No X motion
0x04	Delta_Y	0x00	No Y motion
0x05	SQUAL	0x00	No image yet to measure
0x06	Average_Pixel	0x00	No image yet to measure
0x07	Maximum_Pixel	0x00	No image yet to measure
0x08	Reserved	—	
0x09	Reserved	—	
0x0a	Configuration_bits	0x00	Part is not Reset LED Shutter Mode is off No System tests Resolution = 400 counts per inch Pixel Dump is disabled Sleep mode is enabled
0x0b	Reserved	—	
0x0c	Data_Out_Lower	undefined	No data to read
0x0d	Data_Out_Upper	undefined	No data to read
0x0e	Shutter_Lower	0x64	Initial shutter value
0x0f	Shutter_Upper	0x00	Initial shutter value
0x10	Frame_Period_Lower	0x20	Initial frame period value (corresponds to 1500 fps)
0x11	Frame_Period_Upper	0xd1	Initial frame period value (corresponds to 1500 fps)

Optical Mouse Design References

Application Note AN1179

Eye Safety calculation AN1228

Ordering Information

Specify part number as follows:

ADNS-2051 = Sensor IC in a
16-pin staggered DIP,
20 per tube.

ADNB-2050 = Sensor IC and
HDNS-2100 round lens bundle
kit, 1000 pc incremental

ADNB-2051 = Sensor IC and
HDNS-2100#001
Round lens bundle kit,
1000 pc incremental

HDNS-2100 = Round Optical
Mouse Lens

HDNS-2100#001 = Trimmed
Optical Mouse Lens

HDNS-2200 = LED Assembly Clip
(Black)

HDNS-2200#001 = LED
Assembly Clip (Clear)

HLMP-ED80-XXXXX = LED





www.agilent.com/semiconductors

For product information and a complete list of distributors, please go to our web site.

For technical assistance call:

Americas/Canada: +1 (800) 235-0312 or (408) 654-8675

Europe: +49 (0) 6441 92460

China: 10800 650 0017

Hong Kong: (+65) 6756 2394

India, Australia, New Zealand: (+65) 6755 1939

Japan: (+81 3) 3335-8152(Domestic/International), or 0120-61-1280(Domestic Only)

Korea: (+65) 6755 1989

Singapore, Malaysia, Vietnam, Thailand, Philippines, Indonesia: (+65) 6755 2044

Taiwan: (+65) 6755 1843

Data subject to change.

Copyright © 2003 Agilent Technologies, Inc.

Obsoletes 5988-4289EN

May 6, 2003

5988-8477EN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ซื้อได้เห็นหรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Agilent Technologies