

เครื่องนับก้าวเดิน

PEDOMETER



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน **62126**  
วัน,เดือน,ปี **3 1 ก.ค. 2549**

b.....
i.....

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขา วิชาอิเล็กทรอนิกส์  
คณะ วิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องนับก้าวเดิน

PEDOMETER

โดย



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขา วิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2547

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องนับก้าวเดิน

ผู้จัดทำ

1. นาย วสุโรจน์ ศรีอุดมพร
2. นาย ศิวพล ศรีสนพันธุ์



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. กิติพล ชิตสกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องนับก้าวเดิน

PEDOMETER

นาย วสุโรจน์ ศรีอุดมพร 45015290

นาย ศิวพล ศรีสนพันธุ์ 45015296

โครงการนี้ได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมที่จะทำการสอบได้

(ดร. กิตติพล ชิตสกุล)  
อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องนับก้าวเดิน (PEDOMETER)

นาย วสุโรจน์ ศรีอุดมพร รหัส 45015290

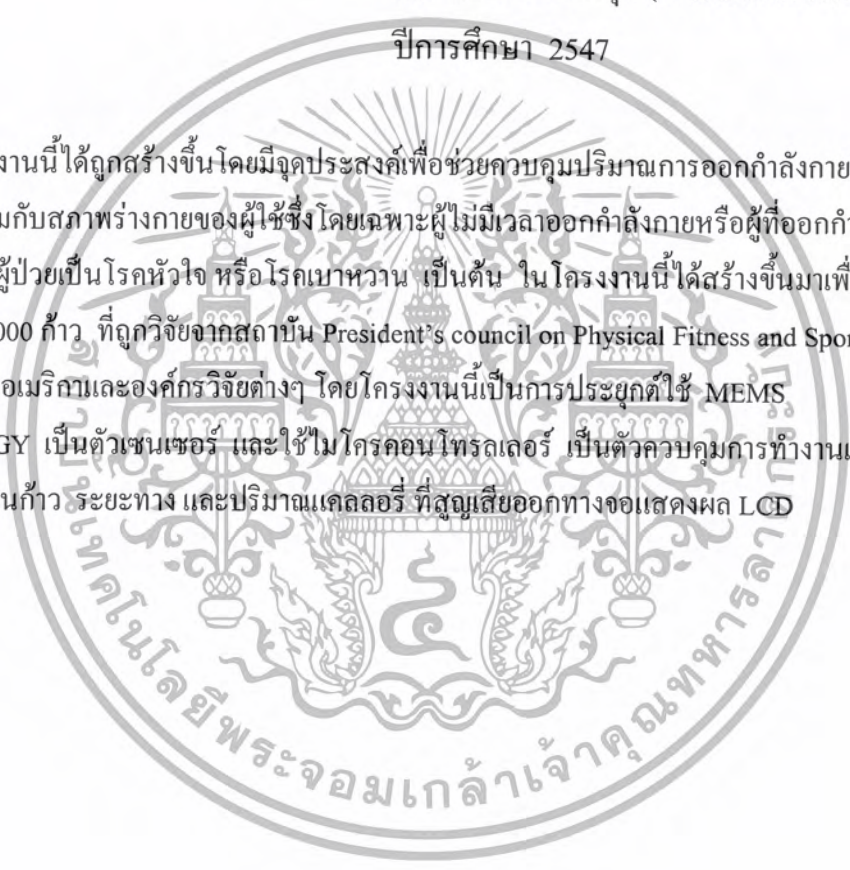
นาย ศิวพล ศรีสนพันธุ์ รหัส 45015296

ดร. กิติพล ชิตสกุล (อาจารย์ที่ปรึกษา)

ปีการศึกษา 2547

### บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ถูกสร้างขึ้นโดยมีจุดประสงค์เพื่อช่วยควบคุมปริมาณการออกกำลังกายโดยการเดินที่เหมาะสมกับสภาพร่างกายของผู้ใช้ซึ่งโดยเฉพาะผู้ไม่มีเวลาออกกำลังกายหรือผู้ที่ออกกำลังกายได้จำกัด ได้แก่ ผู้ป่วยเป็นโรคหัวใจ หรือโรคเบาหวาน เป็นต้น ในโครงการนี้ได้สร้างขึ้นมาเพื่อรองรับกับ คอร์ส 10000 ก้าว ที่ถูกวิจัยจากสถาบัน President's council on Physical Fitness and Sports ของประเทศสหรัฐอเมริกาและองค์กรวิจัยต่างๆ โดยโครงการนี้เป็นการประยุกต์ใช้ MEMS TECHNOLOGY เป็นตัวเซนเซอร์ และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นตัวควบคุมการทำงานและแสดงผลจำนวนก้าว ระยะทาง และปริมาณแคลลอรี่ ที่สูญเสียออกทางจอแสดงผล LCD



## PEDOMETER

Mr. Wasuroj Sriaudomporn ID 45015290

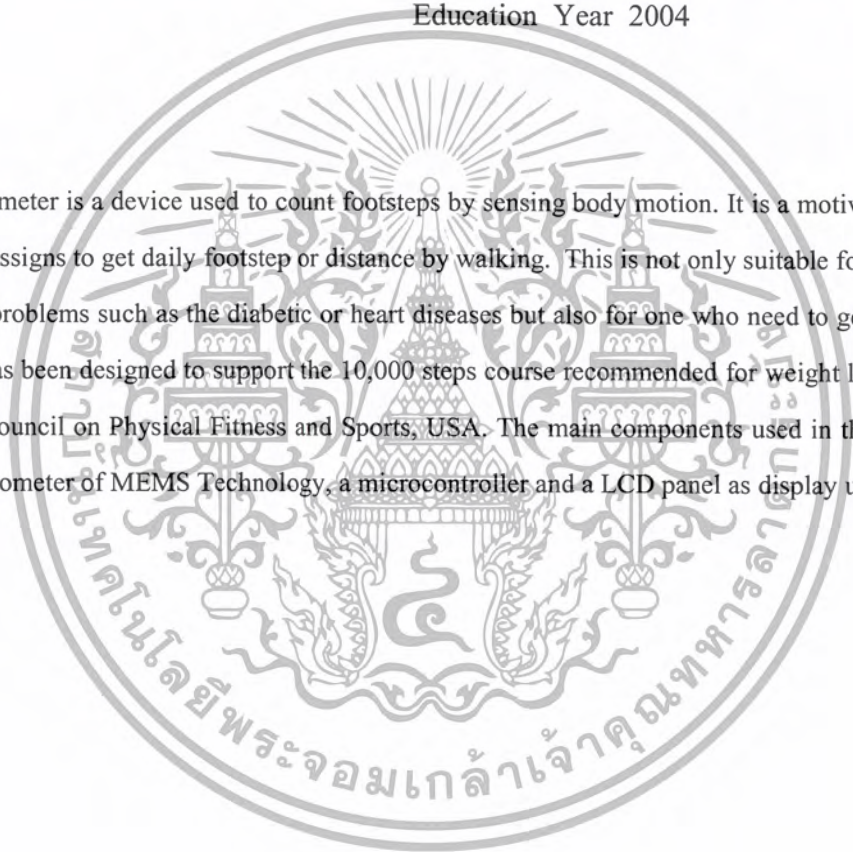
Mr. Siwapon Srisonpion ID 45015296

Dr. Kittiphon Chitsakul ( Advisor )

Education Year 2004

### Abstract

Pedometer is a device used to count footsteps by sensing body motion. It is a motivating tool for one who assigns to get daily footstep or distance by walking. This is not only suitable for who has some health problems such as the diabetic or heart diseases but also for one who need to get healthy. The device has been designed to support the 10,000 steps course recommended for weight loss by the President's Council on Physical Fitness and Sports, USA. The main components used in this project are an accelerometer of MEMS Technology, a microcontroller and a LCD panel as display unit.



### กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงการนี้จะไม่สามารถประสบความสำเร็จได้เลย ถ้าไม่มีท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.กิติพล ชิตสกุล ที่คอยให้คำแนะนำและแนวคิดในการทำงานในแต่ละขั้นตอน และให้คำปรึกษา แก้ไขปัญหาต่างๆ และผลักดันให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงมาได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้กำลังใจและโอกาสทางการศึกษา รวมถึงภาควิชาและสถาบันที่ให้ความรู้และโอกาสในการทำโครงการนี้จนสำเร็จ



ลงชื่อ.....

(นาย วสุโรจน์ ศรีอุดมพร)

ลงชื่อ.....

(นาย ศิวพล ศรีสนพันธุ์)

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VIII
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความเป็นมาและวัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.2 ลักษณะและโครงสร้างของโครงการ	1
1.3 โครงสร้างรายงาน	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีการออกกำลังกายและการเดินเพื่อสุขภาพ</b>	
2.1 การออกกำลังกาย	3
2.2 การออกกำลังกายโดยการเดิน	4
2.2.1 วิธีการออกกำลังกายโดยการเดิน	4
2.2.2 ประโยชน์ของการเดินเร็ว	5
2.2.3 ข้อเสียของการเดิน	5
2.2.4 ข้อเสนอแนะในการเดินเร็ว	5
2.3 COURSE 10,000 STEPS	6
<b>บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการดำเนินงานของส่วนต่างๆในโครงการ</b>	
3.1 เมมส์และเซนเซอร์ ADXL202	7
3.1.1 เมมส์	7
3.1.2 iMEMS Accelerometers ADXL202	8
3.1.3 การประยุกต์ใช้งานในเครื่องนับก้าว (pedometer)	8
3.1.4 ทฤษฎีและหลักการดำเนินงานของ ADXL202	10
3.1.5 การใช้งานขาต่างของ ADXL202	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์	14
ไทมเมอร์และเคานเตอร์ (TIMER/COUNTER)	14
3.2.1 โครงสร้างไทมเมอร์ เคาน์เตอร์	14
3.2.2 การควบคุมการทำงานของไทมเมอร์และเคานเตอร์	19
3.2.3 รีจิสเตอร์เลือกโหมดการทำงานของไทมเมอร์/เคาน์เตอร์	20
3.2.4 การควบคุมการทำงาน	22
3.3 โมดูลแสดงผล LCD	26
3.3.1 การขับโมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว(LCD module)	26
3.3.2 โครงสร้างภายในของตัวควบคุม โมดูล LCD	27
3.3.3 โมดูล LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 1 บรรทัด(LCD 16x1)	28
3.3.4 คำสั่งควบคุมโมดูล LCD	29
3.3.5 การเขียนคำสั่งและข้อมูลให้แก่โมดูล LCD	32
3.3.6 จังหวะการทำงานของ LCD โมดูล	32
<b>บทที่ 4 วงจรและการทดลอง</b>	
4.1 การทดลองและตรวจสอบการทำงานของเซนเซอร์	34
4.1.1 วงจรการทดลอง	34
4.1.2 วัดค่าความถี่เข้าที่พอร์ท Xout และ Yout จากวงจรทดลอง	35
4.1.3 การทดลองหาค่าดิวิตีไซเคิลปกติ ที่ตอบสนองต่อแรงโน้มถ่วง เมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่งการวางเซนเซอร์	36
4.1.4 ทดลองเคลื่อนที่เซนเซอร์แล้วสังเกตค่า ดิวิตีไซเคิล	39
4.2 การทดลองเดินและนับจำนวนก้าวเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง ก่อนประกอบเครื่อง	40
4.3 การหาค่าระยะทางโดยประมาณในการเดินออกกำลังกาย	42
4.4 การทดลองเดินและนับจำนวนก้าวเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง หลังประกอบเครื่อง	43
<b>บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์</b>	46
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	

## สารบัญรูป

	หน้า	
รูป 1.1	แสดงบล็อกไดอะแกรมของโครงการ	1
รูป 2.1	แสดงปริมาณการเดินที่เหมาะสมกับอายุ	6
รูป 3.1.1	แสดงลักษณะของ iMEMS ADXL202	8
รูป 3.1.2	แสดงการเคลื่อนที่ของสะโพกและส่วนต่างๆขณะเดิน	9
รูป 3.1.3	แสดงสัญญาณเข้าที่พุดจาก SENSOR	10
รูป 3.1.4	แสดงBlock Diagram of ADXL202	11
รูป 3.1.5	การจัดเรียงขาของADXL202	12
รูป 3.1.6	แสดงสัญญาณเข้าที่พุดการตอบสนองของADXL202 กับแรงโน้มถ่วงของโลก	13
รูป 3.2.1	Timer0/Counter0 (Model 1)	14
รูป 3.2.2	วงจรรนับแบบนับขึ้น (Up Counter Register)	15
รูป 3.2.3	พื้นฐานวงจรรนับแบบนับขึ้น 4 บิต	16
รูป 3.2.4	พื้นฐานวงจรรนับขึ้น 4 บิต เมื่อกำหนดค่านับเริ่มต้นเปลี่ยนไป	17
รูป 3.2.5	พื้นฐานวงจรรนับแบบนับขึ้น 8 บิต เมื่อกำหนดค่านับเริ่มต้นเปลี่ยนไป	18
รูป 3.2.6	ผังการทำงานเมื่อโปรแกรมในโหมดไทม์เมอร์	22
รูป 3.2.7	ผังการทำงาน Software start, (GATE="0")	23
รูป 3.2.8	ผังการทำงาน Hardware Start, (GATE="1")	23
รูป 3.2.9	Timer (Mode 0) 13-bit Timer	25
รูป 3.2.10	Timer (Mode 1) 16-bit Timer	25
รูป 3.2.11	Timer (Mode 2) 8-bit Auto Reload	26
รูป 3.2.12	Timer (Mode 3)	26
รูป 3.3.1	รูปร่างและการจัดขาโมดูล LCD แบบอักษระ	28
รูป 4.1	วงจรถอดลอกการทำงานของเซนเซอร์	34
รูป 4.2	แสดงสัญญาณเอาต์พุดที่ได้	35
รูป 4.3	แสดงสัญญาณเอาต์พุดที่ได้ในข้อ 1.	36
รูป 4.4	แสดงสัญญาณเอาต์พุดที่ได้ในข้อ 2.	37
รูป 4.5	แสดงสัญญาณเอาต์พุดที่ได้ในข้อ 3.	38

รูป 4.5	แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ในข้อ 4.	39
รูป 4.6	แสดงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	43
รูป 4.7	แสดงผลการนับจำนวนก้าวเดิน	44
รูป 4.8	แสดงผลการคำนวณระยะทางและปริมาณแคลลอรี่	44



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 3.1 การเลือกค่าคาปาซิแตนซ์ Cx และ Cy	11
ตาราง 3.2 การเลือกค่าความต้านทาน Rset	12
ตาราง 3.3 แสดงขบวนการใช้งานของADXL202	13
ตาราง 3.4 จำนวนแมชชีนไซเคิลและเวลาที่ใช้ไปเมื่อ RUN ที่ 12 MHz	24
ตาราง 3.5 จำนวนแมชชีนไซเคิลและเวลาที่ใช้ไปเมื่อ RUN ที่ 11.059 MHz	24
ตาราง 4.1 แสดงค่าความถี่ของสัญญาณเอาพุทจากเซนเซอร์	35
ตาราง 4.2 แสดงค่าความถี่ไซเคิลที่ได้จากข้อ 1.	36
ตาราง 4.3 แสดงค่าความถี่ไซเคิลที่ได้จากข้อ 2.	37
ตาราง 4.4 แสดงค่าความถี่ไซเคิลที่ได้จากข้อ 3.	38
ตาราง 4.5 แสดงค่าความถี่ไซเคิลที่ได้จากข้อ 4.	39
ตาราง 4.6 แสดงผลการทดลองเดินด้วยระยะทาง 100 เมตร	45
ตาราง 4.7 แสดงผลการทดลองเดินด้วยระยะทาง 400 เมตร	45



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและวัตถุประสงค์ของโครงการ

เนื่องจากทุกวันนี้ ทุกคนต้องใช้ชีวิตที่แข่งขันกับเวลา จนลืมดูแลสุขภาพของตัวเองทำให้มีสุขภาพย่ำแย่ลง จึงทำให้มีการวิจัยจากสถาบันเพื่อสุขภาพที่มีชื่อเสียงต่างๆ เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมที่ช่วยให้สุขภาพร่างกายของบุคคลที่ไม่ค่อยมีเวลาได้ออกกำลังกายและผู้ป่วยที่สามารถออกกำลังกายได้จำกัด อาทิผู้ป่วยเป็นโรคหัวใจ เพื่อให้สามารถออกกำลังกายได้อย่างเหมาะสม และจากการวิจัยพบว่าโดยปกติสำหรับบุคคลทั่วไป และผู้ป่วยเป็นโรคหัวใจจะต้องเดินออกกำลังกายในแต่ละวันให้ได้อย่างน้อย 10,000 ก้าว จะทำให้สุขภาพของผู้ปฏิบัติมีสุขภาพดีและลดอัตราการเกิดเป็นโรคหัวใจซึ่งเป็นสาเหตุต้นๆของการเสียชีวิตของคนในปัจจุบัน

ดังนั้นในโครงการนี้จึงได้เล็งเห็นความสำคัญของปัญหานี้ จึงได้คิดและสร้างอุปกรณ์ขึ้นมาเพื่อช่วยเหลือให้ผู้ที่มีอาการป่วยด้วยการเดิน สามารถตรวจสอบได้ว่า ตัวตนเองเดินได้เป็นปริมาณเท่าใด และยังทราบถึงปริมาณก้าวๆ ของระยะทางที่เดิน และปริมาณแคลอรีที่สูญเสียจากการเดิน นอกจากนี้โครงการนี้ได้มีการประยุกต์นำเอาเทคโนโลยี MEMS (Micro Electro Mechanical Machine System) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ถ่วงขยายตัวอย่างรวดเร็วมาประยุกต์ใช้เป็นตัวเซ็นเซอร์การเดิน และควบคุมการทำงานต่างๆ ด้วยระบบ ไมโครคอนโทรลเลอร์

#### 1.2 ลักษณะและโครงสร้างของโครงการ



รูป 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### หลักการทํางานของส่วนต่างๆ ของโครงการ

ส่วนที่ 1 เซนเซอร์ ในโครงการนี้เป็นการนำเทคโนโลยีเมมส์ (MEMS - Mechanical Machine System) มาประยุกต์ใช้เป็นตัวเซ็นเซอร์ในการตรวจจับการเดิน โดยอาศัยหลักการ การเปลี่ยนแปลง ความเร่งในทิศทางที่เกิดการเคลื่อนที่เนื่องจากการเดิน เป็นผลให้ค่าสัญญาณเข้าที่พุดจากเซนเซอร์ มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวชี้วัดซึ่งเกิดซึ่งเป็นสัดส่วนกับความเร่งและ ส่งสัญญาณการเปลี่ยนแปลงมาทำการ ตรวจสอบค่าการเปลี่ยนแปลง

ส่วนที่ 2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในส่วนนี้มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมดเริ่มจากการตรวจสอบค่าสัญญาณตัวชี้วัดซึ่งเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเดิน โดยการใช้ส่วนที่เรียกว่า Timer/Counter ที่อยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วทำการประมวลผลว่าเกิดการเดินหรือไม่ แล้วทำการ คำนวณจำนวนก้าว ค่าระยะทาง ค่าปริมาณแคลอรีที่สูญเสียจากการเดิน

ส่วนที่ 3 จอแสดงผล LCD ทำหน้าที่แสดงผลจำนวนก้าวเดิน ค่าระยะทาง และปริมาณแคลอรี ที่สูญเสียจากการเดิน

### 1.3 โครงสร้างรายงาน

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รวบรวมรายละเอียด ความเป็นมาและแนวคิดต่างๆ ในการสร้างและการ เลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงการ จึงได้มีการแบ่งรายงานออกเป็นบทต่างๆตามลำดับ เพื่อความ สะดวกต่อการศึกษา และทำความเข้าใจ ในแต่ละบทประกอบด้วยเนื้อหาสำคัญดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำเกี่ยวกับลำดับความเป็นมาของ โครงการและลักษณะของโครงการ

บทที่ 2 เป็นการกล่าวถึงประโยชน์ในการออกกำลังกายด้วยการเดิน ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ และ แนวคิดในการสร้างโครงการขึ้นมา

บทที่ 3 เป็นส่วนที่แสดงถึงทฤษฎีและหลักการทํางานของส่วนต่างๆ ใน โครงการ ซึ่งแบ่งเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. ส่วนตรวจจับการเดินหรือเซนเซอร์
2. ส่วนของ ไทม์เมอร์และเคาเตอร์ ในไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบค่า ตัวชี้วัด ซึ่งเกิด ของสัญญาณที่ได้จากเซนเซอร์
3. เป็นส่วนของการแสดงผลหรือ โมดูล LCD

บทที่ 4 เป็นส่วนของวงจรและการทดลอง

บทที่ 5 เป็นสรุปและวิจารณ์การทดลองและโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### การออกกำลังกายและการเดินเพื่อสุขภาพ

#### 2.1 การออกกำลังกาย

การออกกำลังกาย เป็นคำตอบของปัญหาสุขภาพมากมายในทุกวันนี้ การออกกำลังกายจะช่วยเพิ่มสมรรถนะของร่างกาย ร่างกายแข็งแรง จิตใจเบิกบาน โอกาสที่จะเจ็บป่วยก็น้อยลง หรือหากมีเจ้าเชื้อโรคร้ายเล็ดลอดเข้าสู่ร่างกาย ก็สามารถที่จะต่อสู้ได้อย่างเข้มแข็ง หรือแม้แต่เจ็บป่วยไปแล้ว โอกาสที่จะฟื้นตัวก็รวดเร็วมากขึ้น แต่การออกกำลังกายต้องขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ที่ต้องการออกกำลังกายด้วย

#### เดิน...เพื่อสุขภาพที่ดี (The power of walking)

การเดินนอกจากจะเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันแล้ว ยังมีประโยชน์ในแง่ของการออกกำลังกาย แต่สภาวะการณ์ ในปัจจุบันทำให้คนเรามากจะอ้างว่าไม่มีเวลาออกกำลังกาย แต่แท้ที่จริงแล้วร่างกายมนุษย์ไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อเคลื่อนไหวในแต่ละวันเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ผลของการเดินยังมีความสำคัญต่อหน้าที่ทางกายภาพของร่างกาย และยังเป็นการส่งเสริมสุขภาพและเป็นจุดเริ่มต้นของการมีสุขภาพชีวิตที่ดี เราจะมาพิจารณาถึงความเข้าใจ และประโยชน์ที่จะได้รับจากการเดินดังต่อไปนี้

##### 2.1.1 การเผาผลาญ (Metabolism)

การเดินเป็นรูปแบบการเคลื่อนไหวที่มากที่สุดของมนุษย์ในอดีตเพราะการเดินมีความสำคัญต่อการยังชีพ ต่อมาได้มีการศึกษาว่า การเดินมีความจำเป็นต่อสุขภาพ การเดินเป็นการประสานงานของอวัยวะหลายส่วนร่วมกัน คือ แขน ขา และลำตัว การเดินยังสามารถทำให้เราใช้พลังงานไปถึง 100 แคลอรี อย่างง่ายดาย การเดินทุกวันไม่เพียงแต่มีผลในการเผาผลาญแคลอรี แต่ยังสามารถเพิ่มหน้าที่ของ enzyme และ metabolism อีกด้วย ซึ่งจะมีผลให้เพิ่มการเผาผลาญแคลอรี มากถึง 12 ชั่วโมง ภายหลังจากการเดินเพียงแค่ 2 ไมล์ อย่างไรก็ตามการเดินทำให้ metabolic effect ของการเดินเพิ่มขึ้น การเพิ่ม metabolism หมายความว่า จะมีการเผาผลาญแคลอรีมากขึ้น และยังส่งผลให้ร่างกายใช้พลังงานจากอาหารและอาหารเสริมที่คูลทานเข้าไปด้วย ทำให้คุณอยากดื่มน้ำเพิ่มมากขึ้น และน้ำที่คูลดื่มยังช่วยสนับสนุนการขับพิษ การขับถ่ายและการย่อยอาหารในร่างกายอีกด้วย

##### 2.1.2 ระบบหมุนเวียนเลือด (Circulation)

การเดินมีผลต่อจังหวะการบีบและคลายตัวของกล้ามเนื้อ และมีการเปลี่ยนแปลงความดันในร่างกาย ทำให้เพิ่มการไหลเวียนของเลือด น้ำเหลือง และ Synovial fluid (ของเหลวหล่อลื่นที่ผลิตจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในข้อ) จะเห็นว่าการเดินทุกวันจะทำให้ระบบภูมิคุ้มกันดีขึ้น เนื่องจากการไหลเวียนของเลือดและน้ำเหลืองมากขึ้น

### 2.1.3 การเคลื่อนไหวกของอวัยวะภายใน (Mobilization of internal organs)

การเดินทำให้เกิด แรงดันในช่องว่างของร่างกาย จึงหะการเคลื่อนไหวกของโครงสร้าง และการหดตัวของกล้ามเนื้อจะเปลี่ยนแปลงไป กระบังลมเป็นกล้ามเนื้อส่วนแรกที่ใช้ในการหายใจ และต่อมา จะมีการหดตัวของกล้ามเนื้อในช่องท้อง ทำให้เกิดสมดุคในร่างกาย ผลจากการที่กล้ามเนื้อกระบังลมหดตัวเป็นการบริหารกล้ามเนื้อภายในของคุณ การเพิ่มการหายใจจากการเดินทำให้ อวัยวะภายในเคลื่อนไหวกมากขึ้นซึ่งเป็นผลดีต่อสุขภาพ ตัวอย่างจากประเทศสหรัฐอเมริกา เช่น คนที่ท้องผูกบ่อย การรักษาโดยการเดิน อาหารจะทำให้ลำไส้มีการเคลื่อนไหวกมากขึ้น และสิ่งที่จะต้องทำต่อมา คือ อาหารที่มีประโยชน์ และน้ำรวมถึงอุปนิสัยการรับประทานอาหาร การใช้ยาระบายเป็นทางเลือกสุดท้ายที่จะใช้

## 2.2 การออกกำลังการโดยการเดิน

วิธีการที่จะให้ร่างกายเผาผลาญพลังงานโดยการเดินเร็วๆทำได้โดย การเดินก้าวยาวๆ เดินเร็วๆ และแกว่งแขนแรงๆ การเดินเร็วๆอาจจะเดินได้ 5-8 กม.ต่อชั่วโมง นอกจากนั้นท่านอาจจะเดินแบบแข่งเดินทนซึ่งเดินได้เร็ว 6-9 กม./ชม.การเดินเป็นประจำจะทำให้ท่านมีสุขภาพหัวใจ กล้ามเนื้อที่แข็งแรง และทนทาน รวมทั้งข้อก็มีการเคลื่อนไหวกได้ดี

การเดินจะใช้พลังงานมากหรือน้อยขึ้นกับน้ำหนักของท่าน ความเร็วที่ท่านเดิน และการแกว่งแขนว่าแรงเพียงใด การเดินด้วยความเร็วประมาณ 6 กม./ชม.จะเผาผลาญพลังงานไปประมาณ 440 กิโลแคลอรี ผู้ที่มีน้ำหนักมากจะเผาพลังงานมากกว่าผู้ที่น้ำหนักน้อย การวิ่งบนพื้นราบจะใช้พลังงานมากกว่าวิ่งบนสายพาน ดังนั้นหากต้องการเผาผลาญพลังงานควรวิ่งบนพื้นราบและทางชัน สมาคมโรคหัวใจของอเมริกาแนะนำว่าหากต้องการเผาผลาญพลังงานเพิ่มให้เพิ่มเวลาการออกกำลังกาย

### 2.2.1 วิธีการออกกำลังการโดยการเดิน

ท่านอาจจะนัดกันเดินตามสวนสาธารณะเป็นกลุ่ม หรืออาจจะเข้าร่วมกับกลุ่มที่เข้าเดินเป็นประจำ กำหนดจุดหมายที่จะถึงหรือกำหนดเวลาที่จะเดินแล้วจึงเดินไปพร้อมๆกัน ทางเดินที่ดีควรจะมีเนินสูงต่ำและไม่ร้อน

## 2.2.2 ประโยชน์ของการเดินเร็วๆ

- การเดินสัปดาห์ละ 1-3 ชั่วโมงจะลดการเกิดโรคหัวใจได้ร้อยละ 30
- การเดินสัปดาห์ละ 3 ชม.จะลดการเกิดโรคหัวใจได้ร้อยละ 35
- การเดินสัปดาห์ละ 5 ชั่วโมงจะลดการเกิดโรคหัวใจได้ร้อยละ 40
- การเดินเร็วๆจะมีอาการปวดข้อเท้าและข้อเข่าน้อยกว่าการวิ่ง
- การเดินเร็วๆวันละ 20-60 นาทีสัปดาห์ละ 3 ครั้งจะลดความตึงเครียด
- การเดินสามารถทำได้คนเดียวไม่ต้องคอยกลุ่ม

## 2.2.3 ข้อเสียของการเดิน

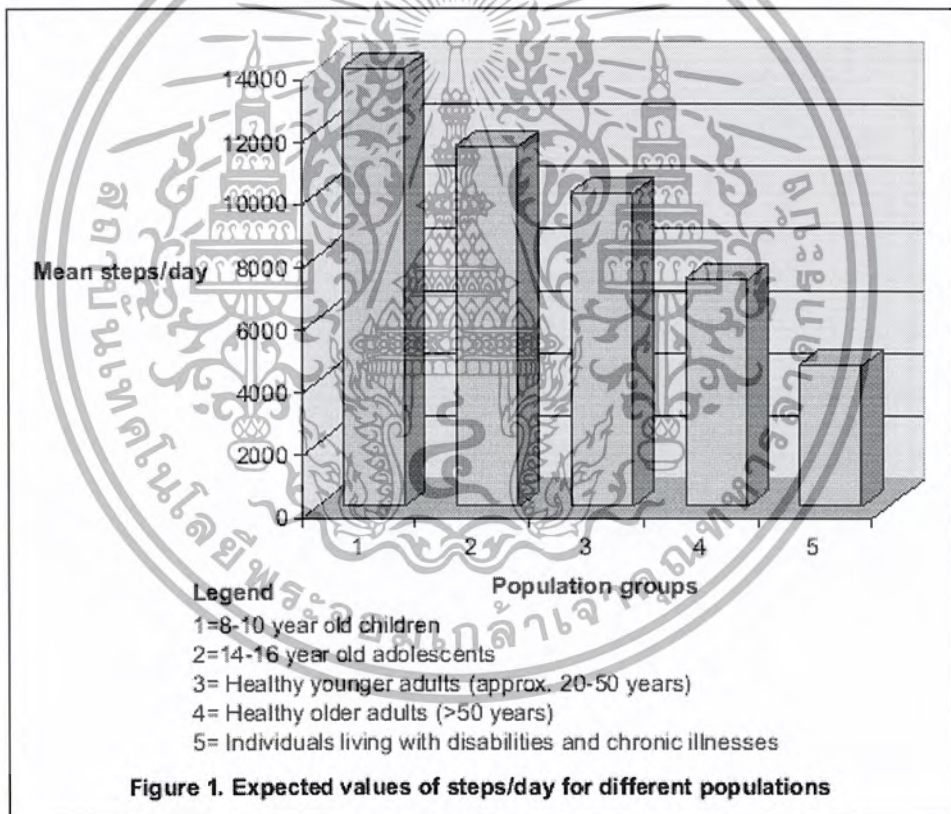
- หากเดินช้าเกินไป หัวใจจะเต้นไม่ถึงกำหนดทำให้หัวใจไม่แข็งแรง
- การเดินต้องใช้ระยะเวลาที่ยาวคุณอาจจะหาสถานที่ที่จะเดินยาก รวมทั้งความปลอดภัย
- การเดินเร็วอาจจะเป็นอันตรายสำหรับคนบางคน
- สภาพแวดล้อมอาจจะเป็นอุปสรรคสำหรับการเดิน เช่นฝน อากาศร้อนหรือหนาว เป็นต้น
- หากเท้าของท่านผิดปกติและใส่รองเท้าไม่ถูกต้องอาจจะทำให้ท่านปวดเท้า
- หากท่านใส่รองเท้าส้นสูงกว่า 2 นิ้วอาจจะทำให้ท่านปวดข้อเท้าเวลาเดิน

## 2.2.4 ข้อแนะนำในการเดินเร็ว

- ปรึกษาแพทย์ประจำตัวท่านก่อนออกกำลังกาย แม้ว่ากรเดินจะทำให้เกิดการปวดข้อเล็กน้อยแต่ท่านควรจะปรึกษาแพทย์ประจำตัวก่อนออกกำลังกาย โดยเฉพาะท่านที่มีโรคความดันโลหิตสูงหรือโรคหัวใจ
- ต้องฟิตร่างกายของตัวเอง หากท่านมีอาการเหนื่อย เวียนศีรษะ เจ็บหน้าอก ฯลฯ ให้เดินช้าลงหรือหยุดแล้วปรึกษาแพทย์
- ต้องทำตามขั้นตอนการออกกำลังกายดังนี้ อบอุ่นร่างกายโดยการเดินเพื่อให้เลือดไปเลี้ยงกล้ามเนื้อและร่างกายเพิ่ม ตามด้วยขั้นที่สองคือการยืดกล้ามเนื้อ เช่น แขน นาน่องไหล่ หลังจากนั้นจึงเริ่มเดินเร็วๆตามเวลาที่กำหนด ครบกำหนดและจึงอบอุ่นร่างกายด้วยการเดินช้าๆอีก 5 นาที

## 2.4 COURSE 10,000 STEPS

จากการวิจัยของมูลนิธิโรคหัวใจของประเทศ อังกฤษอ้างว่า สาเหตุที่มีผู้เสียชีวิตด้วยโรคหัวใจกันเป็นจำนวนมาก ล้วนแต่เป็นผู้ที่ขาดการออกกำลังกายมากถึง 37% และการพยายามเดินให้ได้วันละ 10,000 ก้าว ก็ช่วยรักษาสุขภาพให้ดีขึ้นได้แล้ว และทางมูลนิธิได้พยายาม รณรงค์ชักชวนให้ประชาชนได้ออกกำลังกายด้วยการเดิน นอกจากมาตรฐานสากลที่กำหนดไว้คือ จำนวน 10,000 ก้าวและ ถ้าต้องการการออกกำลังกายด้วยการเดินอย่างละเอียดสามารถดูปริมาณการออกกำลังกายได้จากงานวิจัยของสถาบัน President's Council on Physical Fitness and Sports [2] ดังนี้



รูป 2.1 แสดงปริมาณการเดินที่เหมาะสมกับอายุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## ทฤษฎีและหลักการทำงานของส่วนต่างๆในโครงการ

### 3.1 เมมส์และเซนเซอร์ ADXL202 (MEMs และ Sensor MEMs ADXL202)

#### 3.1.1 เมมส์คืออะไร

เมมส์ คือ อุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่เรียกว่า "เครื่องกลจิ๋ว" กำลังเข้ามามีบทบาท และแข่งขัน เซนเซอร์รุ่นเก่ามากขึ้น ด้วยประสิทธิภาพที่ให้ความแม่นยำมากกว่า และมีรูปแบบการใช้งานได้หลากหลายกว่า โดยสามารถทำงานประสานได้สอดคล้องกับวงจรไฟฟ้าที่ถูกย่อส่วนเล็กลงเช่นเดียวกับความก้าวหน้าของเทคโนโลยีวงจรรวม

ในช่วงยุคแรกๆ จะเป็นเซนเซอร์ที่ไม่เคลื่อนไหว ต่อมาเริ่มมีการเคลื่อนไหวบ้างเล็กน้อย อย่างเซนเซอร์วัดแรงดันหรือที่เรียกว่าเพรสเชอร์เซนเซอร์ (Pressure Sensor) ในยุคแรก แต่ไม่ได้เคลื่อนไหวเหมือนกับเพื่องี๊ยะ ขณะที่ เมมส์(MEMS)ในยุคหลังๆ จะมีการขยับของแขน หรือเพื่องี๊ยะเป็นเพื่องี๊ยะก็มีเพลาที่หมุนได้ เทคโนโลยี เมมส์(MEMS) นั้นเป็นชุดอุปกรณ์ขนาดเล็กที่รวมระบบระบบกลไกเข้ากับระบบวงจรรวมทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยทั้งสองระบบนี้วางอยู่บนฐานเดียวกัน ซึ่งปกติก็คือ ซิลิกอนที่ใช้เป็นฐานสำหรับวงจรรวมอยู่แล้ว นอกจากนี้กระบวนการผลิต เมมส์(MEMS) ยังมีกระบวนการการผลิตที่ร่วมกับการผลิตวงจรรวม แม้แต่เครื่องจักรใช้ในการผลิตโดยภาพรวมแล้ว เมมส์(MEMS) มักนิยมใช้เป็นเซนเซอร์ขนาดเล็ก หรือมินิเซนเซอร์ อย่างเช่นเซนเซอร์วัดแรงกระทำขนาดเล็กในอุตสาหกรรมนิรภัย ซึ่งทำให้ต้นทุนการผลิตชุดอุตสาหกรรมนิรภัยมีราคาถูกลงกว่าการใช้เซนเซอร์สมัยก่อนมาก หรือพวกเซนเซอร์วัดแรงดัน เซนเซอร์วัดกำลังแม่เหล็ก เซนเซอร์ตรวจจับสารเคมี แต่ เมมส์(MEMS)ยังถูกนำมาใช้งานด้านอื่นๆ ด้วย เช่น ใช้เป็น วาล์ว ขนาดจิ๋ว กระบอกสะท้อนจี้ว บีมขนาดจิ๋ว ชุดสังเคราะห์สารเคมี เป็นต้น ในอนาคตมีแนวโน้มว่า การผลิตเมมส์(MEMS) จะเป็นกระแสหลักที่ช่วยเพิ่มศักยภาพให้กับอุตสาหกรรมเนื่องจาก เมมส์(MEMS) ที่ทำจะเป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบรวมกับวงจรรวมได้ หรือใช้ขั้นตอนการสร้างที่เหมือนกันกับที่มีอยู่ในอุตสาหกรรม

### 3.1.2 iMEMS Accelerometer ADXL202

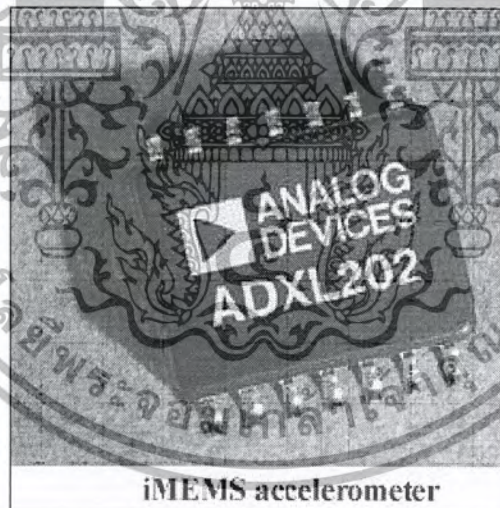
iMEMS Accelerometers ได้เป็นที่สนใจกับนักออกแบบ และวิศวกรเป็นอย่างมากเนื่องจากสามารถนำไปใช้สร้างเครื่องนับก้าว (pedometer) ได้อย่างถูกต้องรวมไปถึงระบบ personnel navigation ซึ่งเป็นการหาตำแหน่งของผู้ใช้ที่สัมพันธ์กับจุดเริ่มต้น

Accelerometers ได้ถูกนำมาใช้ในการเซนเซอร์ตำแหน่งในระบบ navigation มาหลายปีแล้ว โดยในช่วงแรกเป็นการนำเอาแอกเซลโรมิเตอร์ (accelerometer) มาใช้ร่วมกับ ไจโรสโคป (gyroscopes) เพื่อหาตำแหน่งโดยใช้สมการคณิตศาสตร์อย่างง่าย ๆ คือ

$$\text{Position} = \text{Starting position} + (A \times t^2) / 2$$

$$A_{\text{avg}} = (2 \times \text{Displacement}) / t^2$$

โดยใน IC ADXL202 นั้น มีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ ของ ADXL202 มีค่าประมาณ  $2 \text{ mg}/^\circ\text{C}$



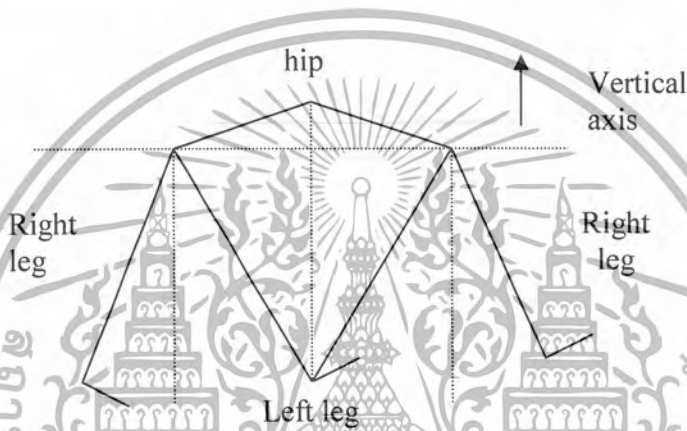
รูป 3.1.1 แสดงลักษณะของ iMEMS ADXL202

### 3.1.3 การประยุกต์ใช้งานในเครื่องนับก้าว (pedometer)

ในการหาว่าผู้ใช้นั้นได้เดินทางไปไกลเป็นระยะทางเท่าไรหรือ ว่าเดินได้จำนวนกี่ก้าว นั้น เรามิจุดสังเกตได้ว่าในแนวตั้ง (vertical) นั้น จะมีการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นในแต่ละก้าวที่มีการก้าวและการวัดระยะทางการเดินอย่างง่าย ๆ นั้น จะใช้การเคลื่อนที่ในแนว vertical เพื่อหาจำนวนก้าวเดินและทำการคูณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าจำนวนก้าวเดินด้วยความยาวก้าวเฉลี่ยโดยในprojectนี้ได้ใช้วิธีทางสถิติและมาตรฐานจากPresident's Council on Physical Fitness and sport ซึ่งประมาณค่าเดินไว้ประมาณ 2.3 ฟุต หรือ ประมาณ 70 cm และการจับหรือเซนเซอร์การเคลื่อนที่นั้นจะใช้การเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ในแนว vertical axis acceleration ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดขึ้นในแต่ละก้าวเดิน

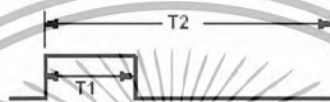


รูป 3.1.2 แสดงการเคลื่อนที่ของสะโพกและส่วนต่างๆขณะเดิน

ADXL202 เป็น accelerometer sensor ที่อยู่บนไอซีชิพเดี่ยว ที่มีราคาต่ำ และมีการใช้พลังงานต่ำ สามารถวัดความเร่งในการเคลื่อนที่ได้ 2 แกน โดยสามารถวัดความเร่งได้ในช่วงค่า  $\pm 2g \pm 10g$  โดยไอซีชิพชนิดนี้ สามารถวัดความเร่งทั้งแบบstaticเช่น แรงโน้มถ่วงของโลก และแบบdynamic เช่น ความสั่นสะเทือน โดยให้ค่า output ออกมาเป็นสัญญาณดิจิทัลซึ่งค่าคือ duty cycle ที่ได้ ออกมามีค่าเป็นสัดส่วนกับอัตราเร่ง (acceleration) โดยค่าสัญญาณที่ได้นี้จะออกมาในแต่ละแกน โดยค่าสัญญาณสามารถตรวจจับและตรวจสอบได้จากการประยุกต์ใช้กับระบบไมโครโปรเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้โดยตรงโดยไม่ต้องการระบบ A/D converter และค่าคาบเวลาของสัญญาณสามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 0.5 ms ถึง 10ms โดยใช้ตัวต้านทาน Rset เพียงตัวเดียว และเมื่อค่าแรงดันเข้าที่พุดเป็นที่หน้าพอใจแล้วค่าอัตราส่วนของเข้าที่พุดต่อการเปลี่ยนแปลงความเร่งหรือความไวของสัญญาณสามารถปรับเปลี่ยนได้จากการปรับค่าคาปาซิแตนซ์ที่ขา XFILT และ YFILT ได้แก่ค่า  $C_x$  และ  $C_y$  และยังเป็นการปรับค่า bandwidth ซึ่งสามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 0.01Hz ถึง 5KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADXL202 มีการแพ็คเกจแบบ Surface Mount CERPAK และใช้งานได้ที่อุณหภูมิ  $0^{\circ}\text{C}$  ถึง  $+70^{\circ}\text{C}$  ใช้กำลังงานต่ำน้อยกว่า  $0.6\text{mA}$  มีการตอบสนองที่มีความไวกว่า Electrolytic , Mercury , Thermal Tilt Sensors และทนทานแรงกระแทกได้ถึง  $1000\text{g}$  นอกจากนี้ iMEMS ชนิดนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบ Computer Peripherals, การนำร่อง(Inertial Navigation), การตรวจจับแผ่นดินไหว(Seismic Monitoring), ระบบความปลอดภัยของยานพาหนะ Vehicle Security Systems



$$A(g) = (T1/T2 - 0.5)/12.5\%$$

$$0\text{ g} = 50\% \text{ DUTY CYCLE}$$

$$T2 = RSET/125\text{M}\Omega$$

รูป 3.1.3 แสดงสัญญาณเอาต์พุตจาก เซนเซอร์

### 3.1.4 ทฤษฎีและหลักการทำงานของ ADXL202

คำจำกัดความต่างๆของ ADXL202

T1 คือ ความยาวของช่วงเวลา "on" ของสัญญาณ

T2 คือ ความยาวของคาบสัญญาณ

DUTY CYCLE คือ  $T1/T2$

หลักการทำงานของ ADXL202

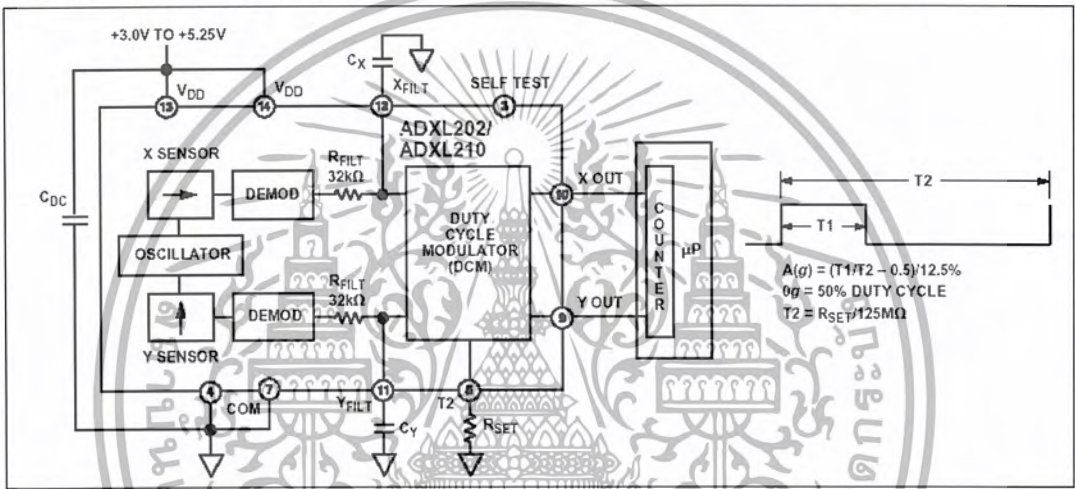
ADXL202 เป็น IC วัดความเร่งบนชิปเดี่ยวแบบ monolithic IC โดยตัวมันประกอบไปด้วย polysilicon surface-micromachined sensor และสัญญาณเอาต์พุตในแต่ละแกนถูกเปลี่ยนจากสัญญาณอะนาลอกมาเป็นสัญญาณดิจิทัลที่สามารถใช้ระบบ timer/counter ของระบบ microprocessor ในการตรวจสอบได้โดย ADXL202 มีความสามารถในการวัดความเร่งได้ทั้งความเร่ง(positive)และความหน่วง(negative)

เซ็นเซอร์ที่เป็นโครงสร้างของ ตัวคาปาซิเตอร์ที่ถูกสร้างอยู่บนแผ่น silicon wafer โดยสปริง โพลีซิลิกอน ถูกยึดติดอยู่บนแผ่นเวเฟอร์ ที่จัดไว้ต้านแรงจากความเร่งและการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจะถูกวัดโดยใช้ ดิฟเฟอเรนเชียล คาปาซิเตอร์ ที่ประกอบด้วย แผ่นเพลทที่อยู่กับที่ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นเพลทที่เคลื่อนที่โดยแผ่นเพลทที่ถูกยึดติดไว้สามารถหมุนได้ 180° ทำให้เอาต์พุตออกมาเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่เป็นอัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงความเร่ง โดยความเร่งที่ 0 g ทำให้สร้างสัญญาณปกติที่มีค่าควิตี้ไซเคิล 50% และในการใช้งานเรามักจะต่อคาปาซิเตอร์(Cdc) เพื่อลดnoiseที่มาจากสัญญาณพาเวอร์ซัพพลาย

ADXL202 มีสัญญาณเอาต์พุตแบบดิจิตอลโดยมีค่า ควิตี้ไซเคิล เป็นอัตราส่วนกับความเร่ง โดยความเร่ง 0g = 50% Duty Cycle และ scale factor มีค่า 12.5% ต่อการเปลี่ยนแปลง 1g



รูป 3.1.4 แสดงBlock Diagram of ADXL202

และเราสามารถปรับค่าแบนวิดท์โดยใช้ค่า Cx และ Cy

$$F_{-3dB} = \frac{1}{\sqrt{2 \pi (32 \text{ k}\Omega) \times C_{(x,y)}}}$$

$$F_{-3dB} = \frac{5 \mu\text{F}}{C_{(x,y)}}$$

Bandwidth	Capacitor Value
10 Hz	0.47 $\mu\text{F}$
50 Hz	0.10 $\mu\text{F}$
100 Hz	0.05 $\mu\text{F}$
200 Hz	0.027 $\mu\text{F}$
500 Hz	0.01 $\mu\text{F}$
5 kHz	0.001 $\mu\text{F}$

ตาราง 3.1 การเลือกค่าคาปาซิเตอร์ Cx และ Cy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดค่าคาบเวลา(T2)ที่กำหนดด้วยค่า Rset โดยกำหนดได้จากสมการ

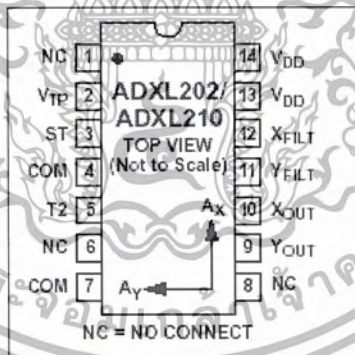
$$T2 = \frac{R_{SET} (\Omega)}{125 \text{ M}\Omega}$$

ที่ค่า Rset 125 k $\Omega$  จะทำให้ได้ค่าความถี่สัญญาณประมาณ 1 kHz หรือคาบเวลาประมาณ 1ms

T2	R <sub>SET</sub>
1 ms	125 k $\Omega$
2 ms	250 k $\Omega$
5 ms	625 k $\Omega$
10 ms	1,25 M $\Omega$

ตาราง 3.2 – การเลือกค่าความต้านทาน Rset

### 3.1.5 การใช้งานขาต่างของ ADXL202

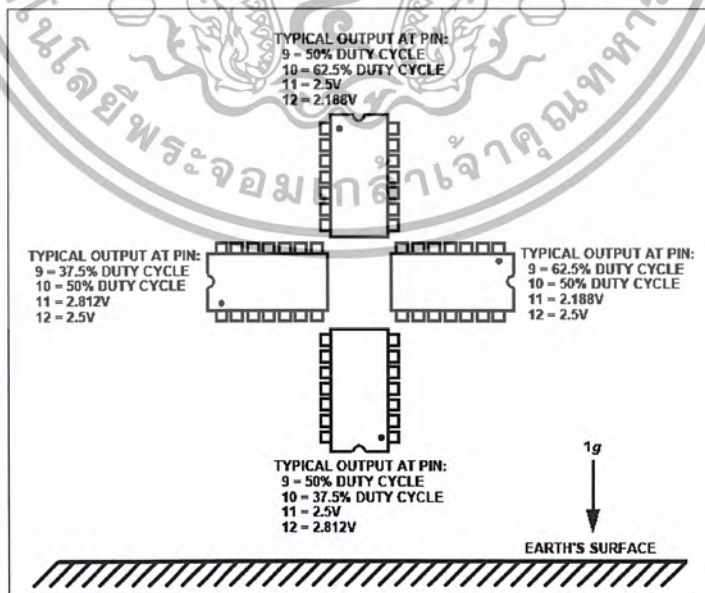


รูป 3.1.5 การจัดเรียงขาของADXL202

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin	Name	Description
1	NC	No Connect
2	Vtp	Test Point,Do Not Connect
3	ST	Self Test
4	COM	Common
5	T2	Connect Rset to Set T2 Period
6	NC	No Connect
7	COM	Common
8	NC	No Connect
9	Yout	Y Axis Duty Cycle Output
10	Xout	X Axis Duty Cycle Output
11	YFILT	Connect capacitor for Y Filter
12	XFILT	Connect capacitor for X filter
13	VDD	+3V to +5.25V,Connect to 14
14	VDD	+3V to +5.25V,Connect to 13

ตาราง 3.3 แสดงการใช้งานของADXL202



รูป 3.1.6 แสดงสัญญาณเข้าที่ทุกการตอบสนองของADXL202 กับแรงโน้มถ่วงของโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์

#### ไทมเมอร์และเคาน์เตอร์ (TIMER/COUNTER)

เป็นส่วนที่สำคัญที่อยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์และในโครงการนี้ได้ใช้ Timer/Counter เป็นตัวนับและตรวจสอบ คิวซีซีเกิดเพื่อตรวจจับการก้าวเดินและเมื่อมีการเดินเกิดขึ้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการนับจำนวนก้าวเดิน

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีไทมเมอร์ เคาน์เตอร์ 3 ตัว คือ

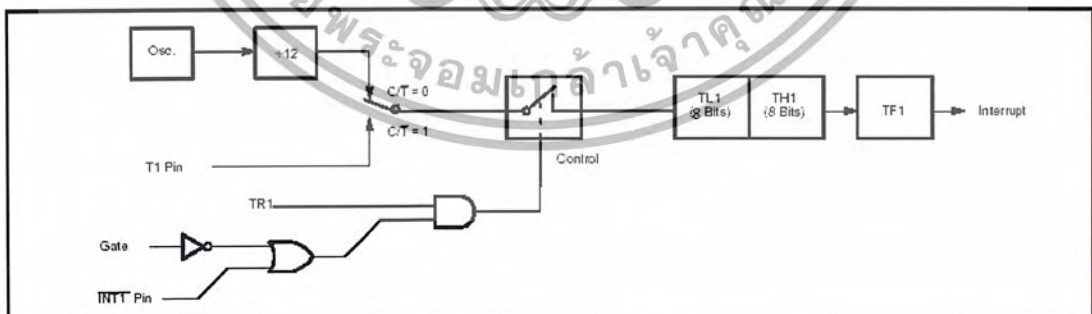
- ไทมเมอร์ เคาน์เตอร์ 0
- ไทมเมอร์ เคาน์เตอร์ 1
- ไทมเมอร์ เคาน์เตอร์ 2

เบอร์ 8051,8031 จะมีไทมเมอร์ เคาน์เตอร์ 2 ตัวเท่านั้น

#### 3.2.1 โครงสร้างไทมเมอร์ เคาน์เตอร์

มีโครงสร้างดังรูป 4.1 ประกอบด้วย 4 ส่วน ใหญ่ๆดังนี้

1. วงจรรับแบบนับขึ้น (Up Counter Register) ประกอบด้วย  $TH_x$ ,  $TL_x$  ตัวละ 8 บิต
2. ชุดควบคุมการหยุดหรือไม่หยุดการทำงาน (Start/Stop)
3. Timer Input
4. Counter Input



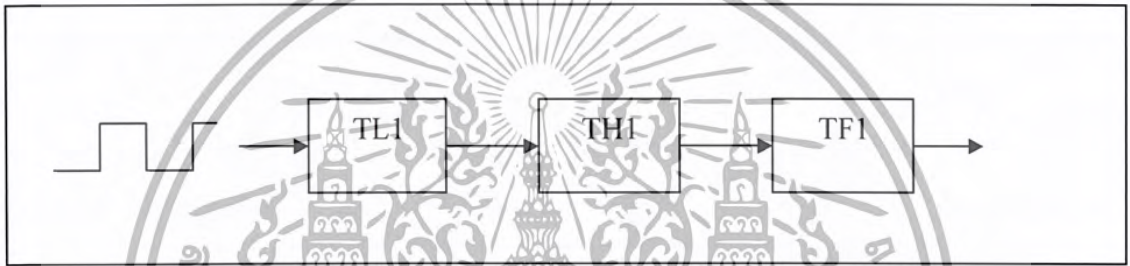
รูป 3.2.1 Timer0/Counter0( Model 1)

ข้อแตกต่างระหว่าง โหมดไทม์เมอร์ และเคาน์เตอร์จะอยู่ที่อินพุทของวงจรรนับ

- ถ้าอินพุทได้มาจาก CPU Oscillator ภายในหารด้วย 12 เรียกว่า โหมดไทม์เมอร์
- ถ้าอินพุทได้มาจากสัญญาณจากภายนอก เรียกว่า โหมดเคาน์เตอร์

วงจรรแบบนับขึ้น (Up Counter Register)

ประกอบด้วย  $TH_x$ ,  $TL_x$  ตัวละ 8 บิต ซึ่งก็คือ  $TH_0$ ,  $TL_0$ ,  $TH_1$ ,  $TL_1$ ,  $TH_2$ ,  $TL_2$  โดยเลข 0,1,2 หมายถึง Channel 0,1,2 ตามลำดับ



รูป 3.2.2 วงจรรนับแบบนับขึ้น (Up Counter Register) ประกอบด้วย  $TH_1$ ,  $TL_1$  ตัวละ 8 บิต

พื้นฐานวงจรรนับแบบนับขึ้น 4 บิต ถ้าโหลดค่าเริ่มต้นด้วยค่า 0000B เมื่อคล็อกเข้า 16 ลูกก็  
จะเกิดโอเวอร์โฟลว์และค่าในเคาน์เตอร์ก็จะมีค่าเป็น 0000B ถ้าเปลี่ยนค่าเริ่มต้นเป็นค่า 0001B เมื่อ  
คล็อกเข้า 15 ลูกก็เกิดโอเวอร์โฟลว์ ถ้าเปลี่ยนค่าเริ่มต้นเป็นค่า 0010B เมื่อคล็อกเข้า 14 ลูกก็  
เกิดโอเวอร์โฟลว์

แฟลชแสดงการเกิด

โอเวอร์โฟลว์



TFO

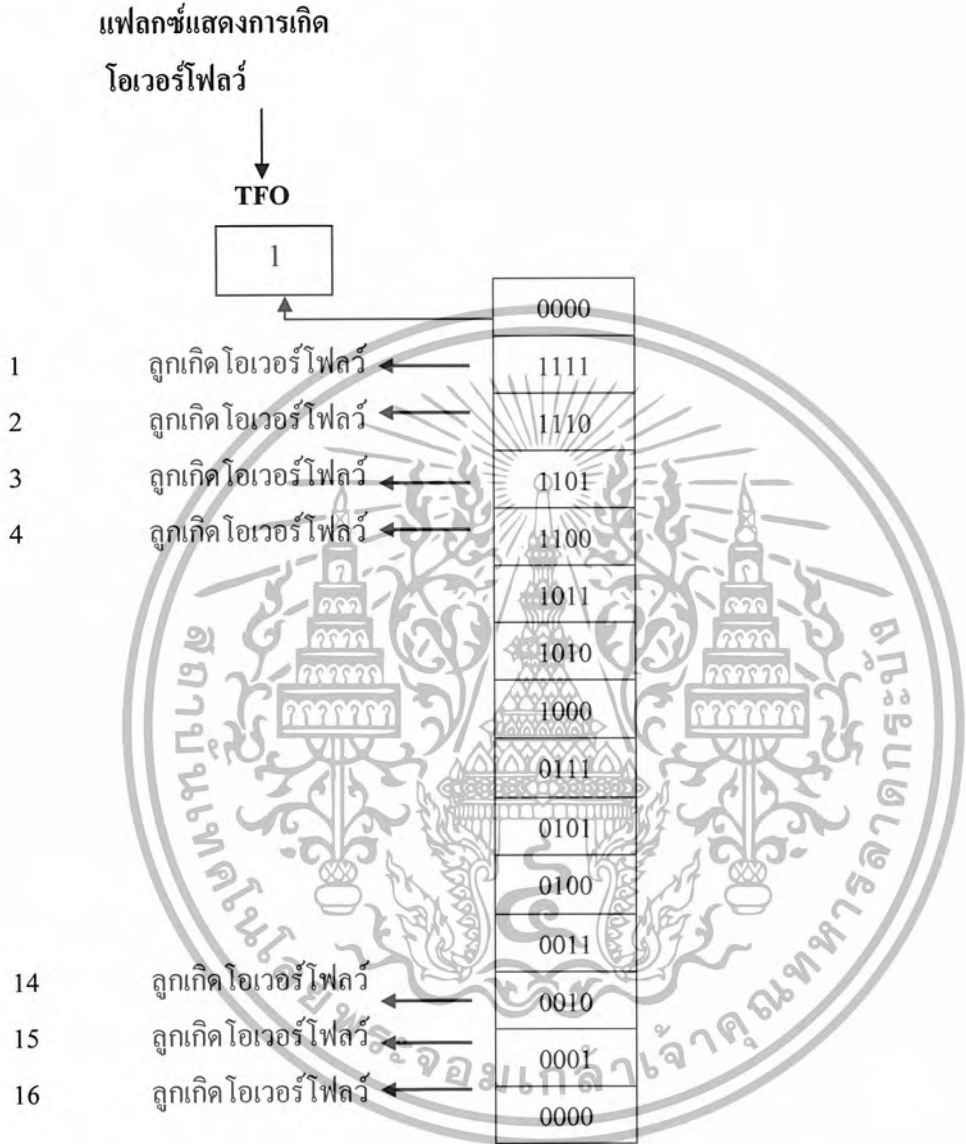
1

0000	←	คัล็อกคูลูกที่ 16
1111	←	คัล็อกคูลูกที่ 15
1110	←	คัล็อกคูลูกที่ 14
1101	←	คัล็อกคูลูกที่ 13
1100	←	คัล็อกคูลูกที่ 12
1011	←	คัล็อกคูลูกที่ 11
1010	←	คัล็อกคูลูกที่ 10
1000	←	คัล็อกคูลูกที่ 9
0111	←	คัล็อกคูลูกที่ 8
0101	←	คัล็อกคูลูกที่ 7
0100	←	คัล็อกคูลูกที่ 6
0011	←	คัล็อกคูลูกที่ 5
0010	←	คัล็อกคูลูกที่ 4
0001	←	คัล็อกคูลูกที่ 3
0000	←	คัล็อกคูลูกที่ 2

รูป 3.2.3 พื้นฐานวงจรมับแบบนับขึ้น 4 บิต

ถ้าโหลดค่านับเป็นค่า 0000B เมื่อคัล็อกเข้ามา 16 ลูกก็จะเกิดโอเวอร์โฟลว์  
 ถ้าโหลดค่านับเป็นค่า 0001B เมื่อคัล็อกเข้ามา 15 ลูกก็จะเกิดโอเวอร์โฟลว์  
 ถ้าโหลดค่านับเป็นค่า 0010B เมื่อคัล็อกเข้ามา 14 ลูกก็จะเกิดโอเวอร์โฟลว์  
 ถ้าโหลดค่านับเป็นค่า 1110B เมื่อคัล็อกเข้ามา 2 ลูกก็จะเกิดโอเวอร์โฟลว์  
 ถ้าโหลดค่านับเป็นค่า 1111B เมื่อคัล็อกเข้ามา 1 ลูกก็จะเกิดโอเวอร์โฟลว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.2.4 พื้นฐานวงจรมับขึ้น 4 บิต เมื่อกำหนดค่านับเริ่มต้นเปลี่ยนไป หมายถึง  $2^4 = 16$  พื้นฐานวงจรมับแบบนับขึ้น 8 บิต ถ้าโหลดค่าเริ่มต้นด้วยค่า 0000 0000H เมื่อกล๊อคเข้ามา 256 ลูกก็ จะเกิดโอเวอร์โฟลว์และค่าในเคาน์เตอร์ก็จะมีค่าเป็น 0000 0000B ค่านับสูงสุดคือ  $2^8 = 256_{10}$  ถ้า โหลดค่านับเป็นค่า 0000 0001B เมื่อกล๊อคเข้ามา 255 ลูกก็จะเกิดโอเวอร์โฟลว์

ถ้าโหลดค่านับเป็นค่า 0000 0010B เมื่อกล๊อคเข้ามา 254 ลูกก็จะเกิดโอเวอร์โฟลว์

ถ้าโหลดค่านับเป็นค่า 1111 1110B เมื่อกล๊อคเข้ามา 2 ลูกก็จะเกิดโอเวอร์โฟลว์

ถ้าโหลดค่านับเป็นค่า 1111 1111B เมื่อกล๊อคเข้ามา 1 ลูกก็จะเกิดโอเวอร์โฟลว์



โหมดไทม์เมอร์ Up Counter Register ( $TH_x, TL_x$ ) จะถูกเพิ่มค่าทุกๆ 1 แมชชีนไซเคิล (12 คาบเวลาของ CPU OSC โหมดนี้ไม่ต้องป้อนสัญญาณจากภายนอกเข้ามาแต่จะใช้สัญญาณ (CPU OSC/12)

โหมดเคาน์เตอร์ Up Counter Register ( $TH_x, TL_x$ ) จะถูกเพิ่มค่าทีละหนึ่งเมื่อป้อนสัญญาณคล็อกจากภายนอกเข้ามา 1 ลูกเข้ามาทางขา T0(pin) หรือ T1(pin) อยู่ที่ขา 14 และ 15 ตามลำดับโดยไม่สนใจค่า duty cycle การตรวจสอบสัญญาณที่เข้ามาทางขานี้จะตรวจสอบทุกๆ SSP2 ของแต่ละแมชชีนไซเคิล ดังนั้นการตรวจสอบคล็อก 1 ลูก จะต้องใช้ถึง 2 แมชชีนไซเคิล (24 คาบเวลาของ CPU OSC)

### 3.2.2 การควบคุมการทำงานของไทม์เมอร์ และเคาน์เตอร์

เคาน์เตอร์ แบบนับขึ้น Up Counter Register ( $TH_x, TL_x$ )

ส่วนเลือกโหมดไทม์เมอร์และ เคาน์เตอร์ เลือกที่บิต  $C/T$

ส่วนควบคุมการนับ และหยุดนับ ควบคุมที่บิต  $TR_x, GATE$  และสัญญาณจากภายนอกที่ขา  $\overline{INT1}$  (pin) ขา  $\overline{INT1}$  (pin) นี้ทำงาน 2 หน้าที่คือ

- เป็นอินพุต สำหรับสัญญาณอินเทอร์รัพต์จากภายนอก
- เป็นสัญญาณควบคุมการนับ และหยุดนับจากภายนอกในโหมดไทม์เมอร์และ เคาน์เตอร์ (External Start/Stop) บางที่เรียกว่า Hardware Control

รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของไทม์เมอร์ / เคาน์เตอร์หรือ TCON (Timer/Counter Control Register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 88H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ SFR สามารถเข้าถึงระดับบิตมีรายละเอียดการทำงานดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0

TF1(Timer 1 overflow flag) : เซตด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์ เมื่อค่าของรีจิสเตอร์ Timer 1 เกิดการนับเกินหรือเกิดโอเวอร์โฟลว์ การเคลียร์บิตนี้ทำได้ด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์เช่นกัน โดยบิตนี้จะเคลียร์เมื่อมีการอินเทอร์รัพต์เกิดขึ้น

TR1(Timer 1 run control bit) : ใช้ในการเปิดปิดการทำงานของไทม์เมอร์ 1 (เอ็นเอเบิล หรือดิสเอเบิล) ทำการเซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ ถ้าต้องการให้ไทม์เมอร์ 1 ทำงานต้องเซตบิตนี้ให้เป็น “1”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TF0 (Timer 0 overflow flag) : เซตด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์ เมื่อค่าของรีจิสเตอร์ Timer 0 เกิดการนับเกินหรือเกิดโอเวอร์โฟลว์ การเคลียร์บิตนี้ทำได้ด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์เช่นกัน โดยบิตนี้จะเคลียร์เมื่อมีการอินเทอร์รัปต์เกิดขึ้น

TR0 (Timer 0 run control bit) : ใช้ในการเปิดปิดการทำงานของไทม์เมอร์ 0 (เอ็นเอเบิล หรือดิสเอเบิล) ทำการเซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ ถ้าต้องการให้ไทม์เมอร์ 0 ทำงาน ต้องเซตบิตนี้ให้เป็น “1”

IE1 (External Interrupt 1 edge flag): บิตนี้จะใช้ในกระบวนการอินเทอร์รัปต์ สามารถเซตได้ด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์ เมื่อสามารถตรวจจับขอบขาของสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกที่ขาอินพุตอินเทอร์รัปต์ 1 (INT1) และจะทำการเคลียร์เมื่อมีการบริการอินเทอร์รัปต์เกิดขึ้น

IT1 (Interrupt 1 type control bit): บิตนี้จะใช้ในกระบวนการอินเทอร์รัปต์โดยใช้ในการเลือกลักษณะของสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกที่ต้องการให้ทำการตอบสนองสำหรับขาอินพุตอินเทอร์รัปต์ 1 (INT 1) การเซตและเคลียร์ทำได้ด้วยกระบวนการซอฟต์แวร์

“0” เลือกรับขอบขาตลงของสัญญาณ (falling edge)

“1” เลือกระดับลอจิกต่ำ (low level triggered)

### 3.2.3 รีจิสเตอร์เลือกโหมดการทำงานของไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์หรือ TMOD (Timer/Counter Mode Control Register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 89H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ SFR ไม่สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ 4 บิตล่างในการเลือกโหมดการทำงานของไทม์เมอร์ 0 และ 4 บิตบนใช้ในการเลือกโหมดการทำงานของไทม์เมอร์ 1 ดังนั้นในการการทำงานจะของอธิบายเพียงส่วนเดียวดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
GATE	$C/\bar{T}$	M1	M0	GATE	$C/\bar{T}$	M1	M0
ไทม์เมอร์ 1				ไทม์เมอร์ 0			

GATE : ใช้เลือกลักษณะการควบคุมการทำงานของไทม์เมอร์ / เคาน์เตอร์

“0” ไทม์เมอร์ / เคาน์เตอร์จะทำงานเมื่อบิต  $TR_x$  ในรีจิสเตอร์ TCON เป็น “1” เรียกการควบคุมแบบนี้ว่าการควบคุมทางซอฟต์แวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

“1” ไทเมอร์ / เคนต์เตอร์ จะทำงานเมื่อบิต  $TR_x$  ในรีจิสเตอร์ TCON เป็น “1” และสถานะลอจิกที่ขาอินพุตอินเตอร์รัปต์ INTO เป็น “1” เรียกการควบคุมแบบนี้ว่า การควบคุมทางฮาร์ดแวร์ C/T (Timer or Counter selector) : ใช้เลือกลักษณะการทำงานของไทเมอร์/เคนต์เตอร์

“0” เลือกให้ทำงานเป็นไทเมอร์ โดยใช้สัญญาณอินพุตจากสัญญาณนาฬิกาภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

“1” เลือกให้ทำงานเป็นเคนต์เตอร์ โดยรับสัญญาณอินพุต ทางขา T0 หรือ T1 M1,M0 (Mode selector bit) : ใช้เลือกโหมดการทำงานของไทเมอร์/เคนต์เตอร์

“00” เลือกให้ทำงานในโหมดไทเมอร์/เคนต์เตอร์ 13 บิต

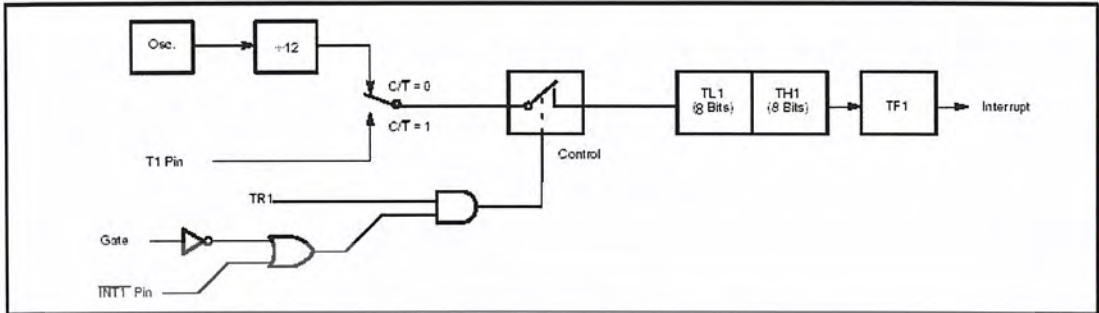
“01” เลือกให้ทำงานในโหมดไทเมอร์/เคนต์เตอร์ 16 บิต

“10” เลือกให้ทำงานในโหมดไทเมอร์/เคนต์เตอร์ขนาด 8 บิตแบบตั้งค่าอัตโนมัติ

“11” สำหรับไทเมอร์ 0 เลือกให้ทำงานในโหมดไทเมอร์/เคนต์เตอร์แยกส่วน โดยแยกออกเป็นไทเมอร์/เคนต์เตอร์ 8 บิต 2 ตัว รีจิสเตอร์ TLO จะได้รับการควบคุมการเปิดปิดจากบิต TR0 ในรีจิสเตอร์ TCON ในกรณีของไทเมอร์ 1 เป็นหารสั่งให้ไทเมอร์/เคนต์เตอร์ 1 หยุดการทำงาน(ดีสเอเบิล)

#### Timer Mode

Up counter Register ( $TH_x, TL_x$ ) จะเพิ่มค่าขึ้น 1 ครั้ง ทุกๆ 1 MC (12 คาบเวลา CPU osc) วิธีเลือกโหมดนี้ต้องโปรแกรมให้โปรแกรมบิต  $C/T = 0$  ส่วนการสั่งให้ Up Counter Register เริ่มนับจะควบคุมที่  $TR_x, GATE \overline{INTx}$  (Pin) โดย x คือ 0,1 ถ้าเป็นศูนย์หมายถึง channel 0 ถ้าเป็น 1 หมายถึง channel 1 ดังรูป 3.2.6



รูป 3.2.6 ฟังก์ชันการทำงานเมื่อโปรแกรมในโหมดไทม์เมอร์

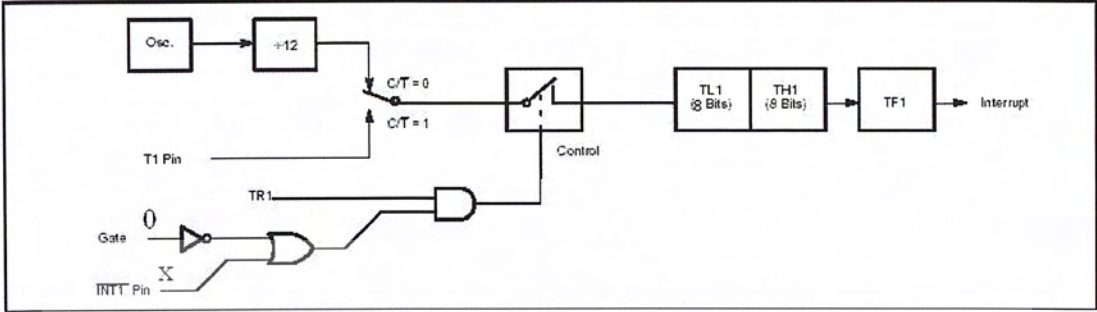
### 3.2.4 การควบคุมการทำงาน

จากรูป 4.6 OSC ของ CPU มีความถี่ 12 MHz ถูกหารด้วย 12 เหลือ 1 MHz ซึ่งตรงกับคาบเวลาใน 1 MC พอดี (1MC จะใช้ 12 คาบเวลา CPU Oscillator) ดังนั้น จึงถือได้ว่าเป็นการนับ MC สัญญาณนี้จะผ่าน Switch ตัวแรกนี้และโปรแกรมบิต  $C/T = 0$  เพื่อเลือกโหมดไทม์เมอร์ ในรีจิสเตอร์ TCON ดังรูป 4.6 สัญญาณนี้ผ่านไปยัง Switch ตัวที่ 2 ที่ควบคุมจากเอาต์พุตของ AND Gate ถ้าเอาต์พุต AND Gate เป็นหนึ่ง Switch ก็จะมี on ให้สัญญาณผ่านเข้าไปยัง Up counter ได้ ดังนั้นถ้าเราโปรแกรมให้บิต GATE ใน TMOD เป็น "0" เอาต์พุตของ OR-Gate ก็จะเป็นหนึ่ง "1" ส่งเข้าอินพุตของ AND Gate ดังนั้น ในตอนนี้ถ้าบิต  $TR_x$  เป็น "1" ก็จะทำให้ Switch ตัวที่ 2 on ได้ เราจึงเรียกการ Start แบบนี้ว่า Software Start

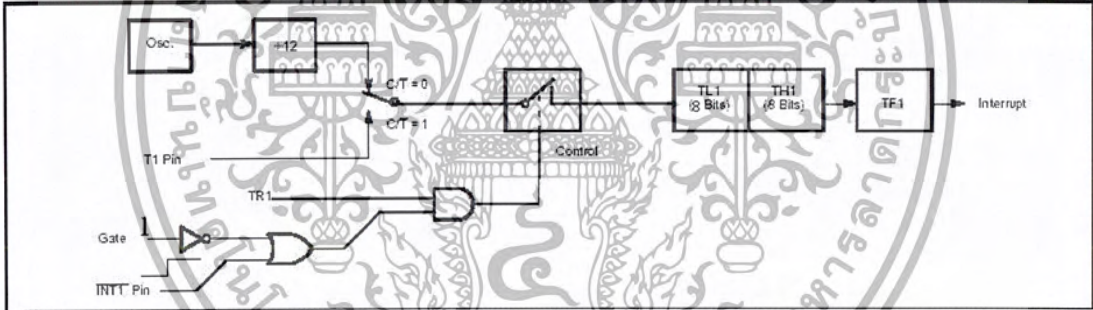
การ Start อีกแบบหนึ่งก็คือ Hardware Start โดยจะต้องกระตุ้นสัญญาณจากภายนอกเข้ามาที่ขา  $INT_x$  (Pin) ขานี้มีอยู่ 2 ขาคือ  $INT_0$  และ  $INT_1$  โดยอยู่ที่ P3.2 และ P3.3 สัญญาณที่จะมากระตุ้นต้องเป็น "0" โดยจะต้องเตรียมตัวก่อนหน้านี้ ดังนี้

$$TR_x = 1 \text{ และ } GATE_x \text{ ต้องเป็น "1"}$$

เมื่อสัญญาณเข้ามาทาง  $INT_x$  (Pin) เป็นสถานะสูงก็จะเริ่มสตาร์ทไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์



รูป 3.2.7 ฟังก์กรทำงาน Software start,(GATE=“0”)



รูป 3.2.8 ฟังก์กรทำงาน Hardware Start,(GATE=“1”)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การโหลดค่าเริ่มต้นให้ Up Counter Register

เนื่องจาก Up Counter Register จะนับขึ้นจนกระทั่งเกิดโอเวอร์โฟลว์แล้วจะทำให้  $TF_x$  เปลี่ยนจากสถานะต่ำเป็นสถานะสูง (“0” ไป “1”) ถ้าเราโหลดค่านับแบบ 16 บิต จะได้จำนวนแมชชีนไซเคิลและเวลาที่ใช้ไปเมื่อ RUN ที่ 12MHz ดังตารางที่ 3.4 และที่ 11.059MHz ดังตารางที่ 3.5

ค่านับเริ่มต้น (TH0,T10)	จำนวนแมชชีนไซเคิลที่ใช้ ก่อนเกิดโอเวอร์โฟลว์	เวลาที่ใช้(RUN ที่ 12 MHz)
FFFFH	1	(1)(1) = 1 $\mu$ S
FFFEH	2	(2)(1) = 2 $\mu$ S
FFFDH	3	(3)(1) = 3 $\mu$ S
FFFCH	4	(4)(1) = 4 $\mu$ S

ตารางที่ 3.4 จำนวนแมชชีนไซเคิลและเวลาที่ใช้ไปเมื่อ RUN ที่ 12 MHz

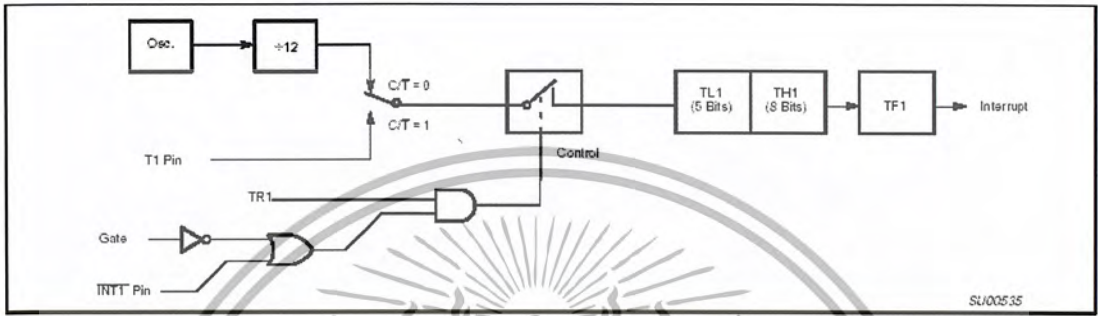
ค่านับเริ่มต้น (TH0,T10)	จำนวนแมชชีนไซเคิลที่ใช้ ก่อนเกิดโอเวอร์โฟลว์	เวลาที่ใช้ (RUN ที่ 11.059 MHz)
FFFFH	1	(1)(1.085) = 1.085 $\mu$ S
FFFEH	2	(2)(1.085) = 2.170 $\mu$ S
FFFDH	3	(3)(1.085) = 3.255 $\mu$ S
FFFCH	4	(4)(1.085) = 4.340 $\mu$ S

ตารางที่ 3.5 จำนวนแมชีไซเคิลและเวลาที่ใช้ไปเมื่อ RUN ที่ 11.059 MHz

Up Counter Register จะนับจนเกิดโอเวอร์โฟลว์ ก็จะเซ็ทบิต  $TF_x$  ( $TF_0, TF_1$ ) ให้เป็น 1 และจะอินเตอร์รัพต์ได้ก็ต่อเมื่อเราเซ็ทบิต  $\overline{EA}$  และ  $ET_0, ET_1$  ในรีจิสเตอร์ IE (Interrupt Enable Register) ไว้ก่อนหน้านี้นี้ เมื่อเกิดอินเตอร์รัพต์ โปรแกรมจะกระโดดออกมาที่ตำแหน่ง 000BH เมื่อ  $TF_0$  โอเวอร์โฟลว์ และจะกระโดดมาที่ 001BH เมื่อ  $TF_1$  เกิดโอเวอร์โฟลว์ ถ้าไม่ใช้การอินเตอร์รัพต์จะใช้วิธีตรวจสอบบิต  $TF_0, TF_1$  ก็ได้

3.2.5 Timer mode โหมดการทำงานแบ่งได้เป็น 4 โหมด ดังนี้

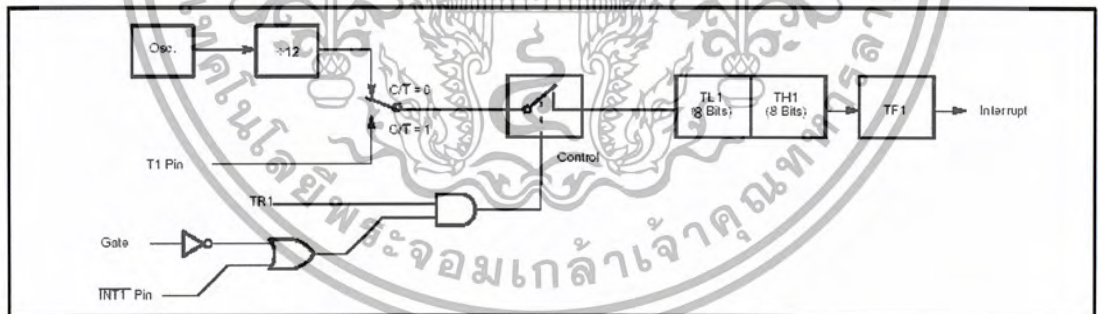
Timer(Mode 0) 13 – bit Timer โหมดนี้จะนับได้สูงสุดเท่ากับ  $2^{13}$



รูปที่ 3.2.9 Timer(Mode 0) 13 – bit Timer

Timer(Mode 1) 16 – bit Timer โหมดนี้เหมือน (โหมด 0) ต่างกันที่รีจิสเตอร์เป็นแบบ 16

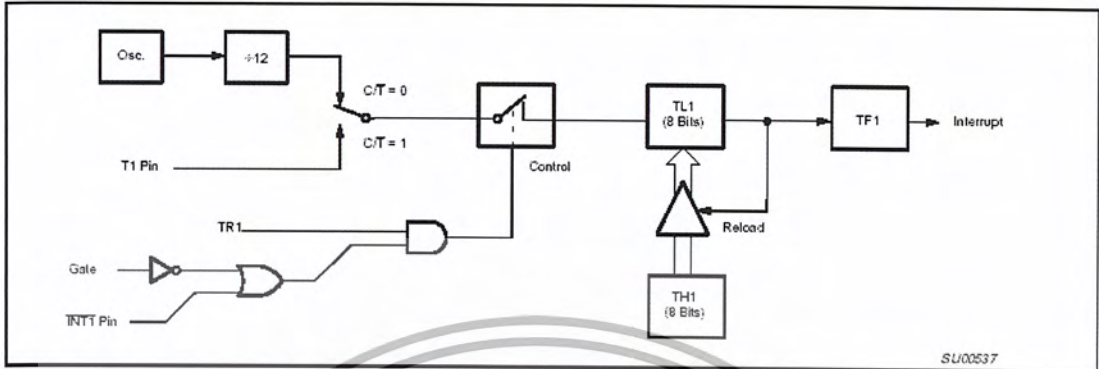
บิต



รูปที่ 3.2.10 Timer (Mode 1) 16 – bit Timer

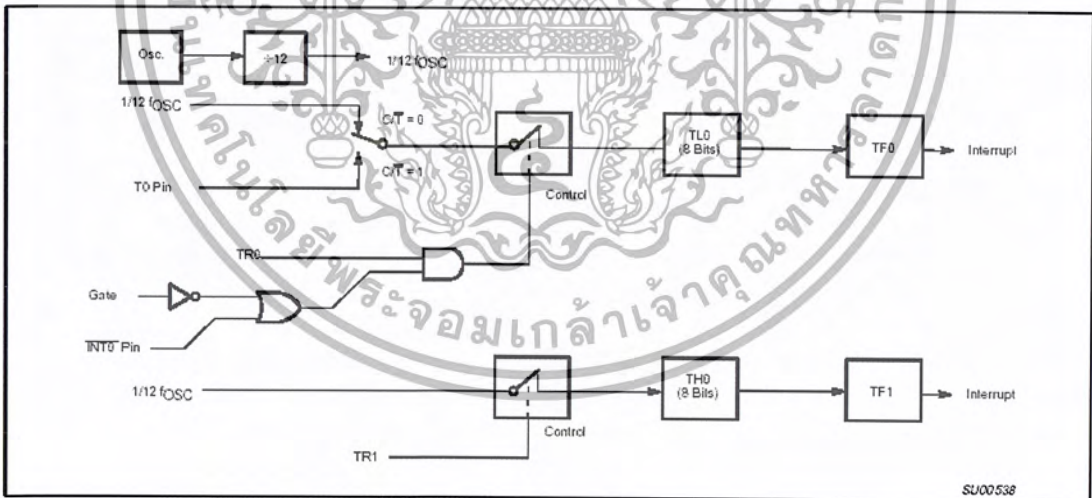
Timer(Mode 2) 8 – bit Auto Reload โหมดนี้ใช้รีจิสเตอร์ TL1 เป็น Up Counter Register ส่วนค่าที่จะโหลดเข้ามาจะต้องเก็บไว้ก่อนใน TH1 ค่านี้อาจจะถูกลดเข้า TL1 โดยอัตโนมัติเมื่อเกิดโอเวอร์โฟลว์ (นับได้สูงสุดคือ 256 MC ถ้า RUN ที่ 12 MHz จะสูญเสียเวลานับสูงสุดเพียง 256  $\mu$ S เท่านั้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2.11 Timer Mode 2) 8-bit Auto Reload

Timer (Mode 3) 8-bit Timer and Counter โหมดนี้จะใช้ TLO ทำงานได้ทั้งโหมดเคาน์เตอร์และโหมดไทม์เมอร์ เมื่อเกิดโอเวอร์โฟลว์ จะเซ็ทที่ TFO ส่วน TH0 ทำงานโหมดไทม์เมอร์ เมื่อเกิดโอเวอร์โฟลว์ จะเซ็ทที่ TFI รูปที่ 3.2.12 ประกอบ



รูปที่ 3.2.12 Timer (Mode 3)

### 3.3 โมดูลแสดงผล LCD

#### 3.3.1 การขับโมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD module)

รายละเอียดเกี่ยวกับโมดูล LCD ในโมดูล LCD จะมีส่วนประกอบหลักๆ 3 ส่วน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแสดงผล (display) ภายในเป็นผลึกเหลวที่สามารถแสดงผลให้เห็น โดยอาศัยแสงจากภายนอกดังนั้นจึงต้องมีมอในการมองข้อมูลที่แสดงผลบนจอ LCD

ตัวควบคุม(controller) เป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกมาควบคุมการทำงานของโมดูล LCD เช่น ลบจอภาพ แสดงตัวอักษร หรือเลื่อนเคอร์เซอร์ เป็นต้น ตัวควบคุมนี้ใช้ชิปที่นิยมใช้คือ เบอร์ HD44780 และ HD61830 โดย HD44780 จะใช้ควบคุม LCD แบบอักษร ส่วน HD61830 ใช้ควบคุม LCD แบบกราฟิก

ตัวขับ (driver) เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุมมาขับให้ตัวแสดงผลแสดงผลข้อมูลตามที่กำหนด ชิปที่ใช้ทำหน้าที่เป็นตัวขับนี้ได้แก่ เบอร์ HD44100H และ MSM5259 เป็นต้น

### 3.3.2 โครงสร้างภายในของตัวควบคุมโมดูล LCD

ในการใช้งานโมดูล LCD จำเป็นต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างและคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมให้ดีเสียก่อน ตัวอย่างโมดูล LCD แบบอักษร เพราะสามารถเข้าใจได้ง่าย ให้รูป ที่ P15-1 เป็นบล็อกไดอะแกรมภายในของชิปควบคุมLCDเบอร์ HD44780 ซึ่งใช้ในโมดูล แบบอักษร ประกอบด้วย

บัฟเฟอร์อินพุตเอาต์พุต เป็นส่วนที่ใช้ในการติดต่อรับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอก เพื่อที่จะถ่ายทอดข้อมูลเข้าออกภายในตัวควบคุม

รีจิสเตอร์ คำสั่ง (Instruction Register : IR) เป็นรีจิสเตอร์ใช้รับข้อมูลคำสั่งจากอุปกรณ์ภายนอก เพื่อนำไปควบคุมการแสดงผล

รีจิสเตอร์ข้อมูล (Data Register : DR) เป็นรีจิสเตอร์ใช้รับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอก เพื่อถ่ายทอดไปยังหน่วยความจำที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลแสดงผล หรือนำข้อมูลไปสร้างตัวอักษรเพิ่มเติมในแรมเก็บตัวอักษร

แรมเก็บข้อมูลแสดงผล(Display Data Ram: DDRAM) เป็นหน่วยความจำแรมทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่มาจากรีจิสเตอร์ DR ตัวควบคุมจะนำข้อมูลใน DDRAM นี้ไปเปิดตาราง(Lock up-able) ของตัวอักษรที่เก็บไว้ในหน่วยความจำรวมและแรมเก็บตัวอักษร เพื่อนำไปแสดงที่ตัวแสดงผล

รวมเก็บตัวอักษร(Character Generator ROM : CGROM) เป็นหน่วยความจำรวมที่ใช้เก็บข้อมูลตัวอักษรหรือสัญลักษณ์ที่สามารถอ่านออกไปแสดงที่ตัวแสดงผลได้ มีขนาด 72,000 บิต โดยจะถูกอ่านด้วยค่าของข้อมูลใน DDRAM

แรมเก็บตัวอักษร(character Generator RAM : CGRAM) เป็นหน่วยความจำแรมที่ใช้เก็บตัวอักษรที่มีการสร้างเพิ่มเติมขึ้นใหม่ ในกรณีที่ตัวอักษรใน CGROM ไม่เพียงพอ มีขนาด 512 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเขียนและอ่านค่าไปใช้นั้นทำได้เช่นเดียวกับ CGROM คือ เขียนข้อมูลลงใน DDRAM แล้วตัวควบคุมจะมาอ่านค่าจาก CGRAM เอง

แฟล็ก BUSY เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แจ้งสถานการณทำงานของตัวควบคุม ให้อุปกรณ์ภายนอกทราบว่าตัวควบคุมพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือคำสั่งหรือไม่ ดังนั้นก่อนการส่งข้อมูลหรือคำสั่งมายังตัวควบคุมต้องตรวจสอบสถานะของแฟล็ก BUSY นี้เสียก่อน



รูป 3.3.1 รูปร่างและการจัดขาโมดูล LCD แบบอักษร

- ขา 1 : GND
- ขา 2 : +V
- ขา 3 : Brightness
- ขา 4 : RS
- ขา 5 : R/W
- ขา 6 : E
- ขา 7-14 : D0-D7

### 3.3.3 โมดูล LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 1 บรรทัด(LCD 16x1)

สำหรับโมดูล LCD ที่ยกมาใช้ในการเรียนรู้ในการทดลอง เป็นขนาด 16 ตัวอักษร 1 บรรทัด เนื่องจากราคาถูก ง่าย และเป็นโมดูล LCD ที่มีโครงสร้างเป็นมาตรฐาน มีผู้ผลิตหลายราย และมีการระบุเบอร์แตกต่างกันออกไปตามผู้ผลิต อาทิ LM020E ของฮิตาชิ, DMC-16117A ของคอปเท็กซ์ (Optrex) เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามคอนโทรลเลอร์ที่ใช้คือเบอร์เดียวกันนั่นคือ เบอร์ HD44750 ของฮิตาชิ

โมดูล LCD ขนาด 16x1 มีขาต่อใช้งานทั้งสิ้น 14 ขา มีการจัดขาตั้งรูปที่ P 15-2 สำหรับรายละเอียดการทำงานของแต่ละขามีดังนี้

Vss(ขา 1) : ต่อกราวด์

Vdd(ขา 2) : ต่อไฟเลี้ยง + 5 โวลต์

V<sub>0</sub>(ขา 3) : เป็นขาอินพุตรับแรงดึงเพื่อปรับความเข้มของการแสดงผล

RS (ขา 4) : เป็นขาอินพุตใช้ในการแยกชนิดของข้อมูลที่ทำการประมวลในขณะนั้นว่าเป็นคำสั่งสำหรับรีจิสเตอร์ IR หรือเป็นข้อมูลสำหรับรีจิสเตอร์ DR โดยถ้าขานี้เป็น “0” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นคำสั่ง แต่ถ้าขานี้เป็น “1” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นข้อมูลสำหรับการแสดงผล

R/W(ขา 5) : เป็นขาที่ใช้เลือกการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับโมดูล LCD ถ้าเป็น “0” เป็นการกำหนดให้เขียนข้อมูล แต่ถ้าเป็น “1” จะเป็นการอ่านข้อมูล

E (ขา 6) : เป็นขาสำหรับรับสัญญาณพัลส์เอ็นเอเบิลโมดูล LCD ให้ทำงาน

D0-D7(ขา 7-14): เป็นขาที่เป็นทางผ่านของข้อมูลระหว่าง LCD กับอุปกรณ์ภายนอกขนาด 8 บิต

อนึ่งขา RS,R/W และ E จะใช้งานร่วมกัน โดยมีความสัมพันธ์แสดงในตาราง ที่ P15-1

### 3.3.4 คำสั่งควบคุมโมดูล LCD

ในการเขียนคำสั่งลงในตัวควบคุม แน่แน่นอนว่าต้องกำหนดให้ขา RS และ R/W เป็น “0” แล้วเขียนคำสั่งตามไป คำสั่งควบคุมโมดูล LCD ของชิปควบคุม HD44780 ที่สำคัญมี 9 คำสั่งดังนี้

#### 1. คำสั่งเคลียร์ตัวแสดงผล(clear display)

มีข้อมูลคำสั่งเป็น 01H เป็นคำสั่งที่ใช้เขียนข้อมูลช่องว่าง หรือ space เข้าไปใน DDRAM ทั้งหมด เมื่อตัวควบคุมเอ็กซ์ซิควิต์คำสั่งนี้ จะทำการกำหนดแอดเดรสของ DDRAM เป็น 0 เคอร์เซอร์จะกลับไปอยู่ที่ตำแหน่งซ้ายมือสุดของจอแสดงผล แล้วเซตบิต I/D (ซึ่งจะกล่าวถึงภายหลัง) ให้เป็น “1”

#### 2. คำสั่ง return home

ต้องกำหนดให้บิต 7 ของข้อมูลเป็น “1” เป็นคำสั่งให้เคอร์เซอร์เคลื่อนที่กลับไปยังตำแหน่งซ้ายสุดของจอแสดงผล แต่ข้อมูลบนจอแสดงผลไม่เปลี่ยนแปลง นั่นคือ ข้อมูลคำสั่งจะเป็น 02H หรือ 03H ก็ได้

#### 3. คำสั่งเลือกโหมดการป้อนข้อมูล (Entry mode Set)

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	0	0	1	I/D	S

บิต S เป็นบิตที่ใช้ในการกำหนดลักษณะของการแสดงผล เมื่อมีการป้อนข้อมูล ถ้าหากบิต S เป็น “1” เมื่อเกิดข้อมูลใหม่จอแสดงผล ตัวเคอร์เซอร์จะอยู่กับที่ แต่ตัวอักษรข้อมูลเดิมจะถูกดันไปทางซ้าย แต่ถ้าหากบิตนี้เป็น “0” เมื่อเกิดข้อมูลใหม่ตัวเคอร์เซอร์จะเลื่อนไปทางขวามือ

บิต I/D เป็นบิตที่ใช้กำหนดว่า เมื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลแล้ว แอดเดรสของ DDRAM เพิ่มขึ้นหรือลดลงหนึ่งแอดเดรส โดยถ้าบิตนี้เป็น “1” แอดเดรสของ DDRAM จะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเป็น “0” แอดเดรสจะลดลง

ดังนั้นข้อมูลคำสั่งที่เกิดขึ้นสำหรับคำสั่งนี้ได้แก่ 04H-07H (4 ข้อมูลคำสั่ง) และที่ใช้บ่อยคือ 06H หมายถึง กำหนดให้เมื่อเกิดข้อมูลใหม่ เคอร์เซอร์จะเลื่อนไปทางขวามือ และแอดเดรสของ DDRAM เพิ่มขึ้น

#### 4. คำสั่งควบคุมการแสดงผล

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	0	1	D	C	B

บิต D ใช้ควบคุมการเปิดปิดจอแสดงผล ถ้าบิตนี้เป็น “1” จะเป็นการเปิดจอแสดงผล ถ้าเป็น “0” จะเป็นการปิดจอแสดงผล

บิต C ใช้ควบคุมการแสดงตัวเคอร์เซอร์บนจอแสดงผล ถ้าต้องการให้มีเคอร์เซอร์แสดงผล จอแสดงผล ต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น “1” ถ้ากำหนดให้เป็น “0” จะเป็นการปิดเคอร์เซอร์ หรือไม่แสดงเคอร์เซอร์

บิต B ใช้ควบคุมการกระพริบของเคอร์เซอร์ ถ้าบิตนี้เป็น “1” เคอร์เซอร์จะกระพริบ ดังนั้นจะมีข้อมูลคำสั่งได้ตั้งแต่ 08H-0FH (8 รูปแบบคำสั่ง) ที่ใช้บ่อยคือ 0CH เป็นการสั่งให้เปิดจอแสดงผล แต่ไม่แสดงเคอร์เซอร์ และ 0FH เป็นการสั่งให้เปิดจอแสดงผล แสดงเคอร์เซอร์ และสั่งให้เคอร์เซอร์กระพริบ

#### 5. คำสั่งควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และข้อมูลตัวอักษร

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	1	S/C	R/L	*	*

การควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และตัวอักษรบนจอแสดงผล ขึ้นอยู่กับการกำหนดบิต S/C และ R/L ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

S/C	R/L	ลักษณะการเลื่อน	ข้อมูลคำสั่ง
0	0	เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางซ้าย	10H-13H
0	1	เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางขวา	14H-17H
1	0	เลื่อนตัวอักษรใหม่ไปทางซ้าย	18H-18H
1	1	เลื่อนตัวอักษรใหม่ไปทางขวา	1C-1FH

#### 6. คำสั่งกำหนดฟังก์ชันการทำงาน

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	1	DL	N	F	*	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิต DL ใช้กำหนดจำนวนบิตที่ใช้ติดต่อส่งผ่านข้อมูล ถ้าบิตนี้เป็น “0” จะเป็นการติดต่อแบบ 4 บิต แต่ ถ้าเป็น “1” จะเป็นแบบ 8 บิต

บิต N ใช้กำหนดจำนวนบรรทัดของการแสดงผล ถ้าเป็น “0” จะแสดงผล 1 บรรทัดถ้าเป็น “1” จะแสดงผล 2 บรรทัด ในกรณีที่จอแสดงผลสามารถแสดงได้มากกว่า 2 บรรทัด และต้องการให้แสดงผลมากกว่า 2 บรรทัด ก็กำหนดบิต N นี้ให้เป็น “1” จุดที่น่าสังเกตคือ โมดูล LCD แบบ 16 ตัวอักษร 1 บรรทัด แม้จะมีบรรทัดการแสดงผลเพียง 1 บรรทัด แต่จะต้องกำหนด N ให้เป็น “1” เนื่องจากแอดเดรสของ DDRAM แบ่งเป็น 2 ช่อง คือ 00H และ 40H

บิต F ใช้เลือกความละเอียดของตัวอักษรให้การแสดงผล ถ้าบิตนี้เป็น “0” จะเป็นการแสดงผลแบบ 5x7 จุด และถ้าเป็น “1” จะแสดงผลเป็นแบบ 5x10 จุด

ข้อมูลคำสั่งที่ใช้บ่อยคือ 38H เป็นการกำหนดให้โมดูล LCD ทำงานในแบบ 8 บิต แสดงผล 2 บรรทัด และเลือกความละเอียดเป็น 5x7 จุด

#### 7. คำสั่งเลือกแอดเดรสของ CGRAM

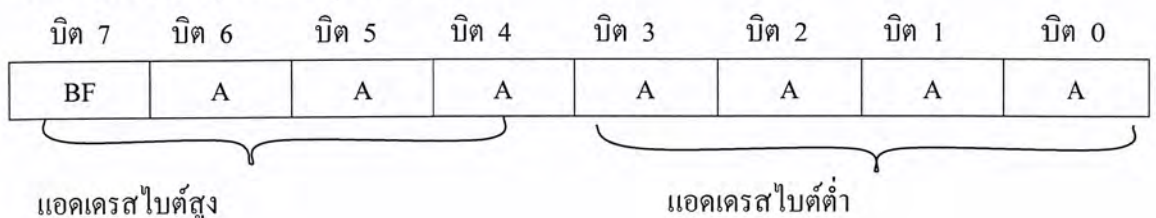
เมื่อต้องการกำหนดแอดเดรสของ CGRAM ต้องกำหนดให้บิตเป็น “0” บิต 6 เป็น “1” ส่วนอีก 6 บิต ที่เหลือจะแทนด้วยค่าแอดเดรสของ CGRAM จะต้องทำการกำหนดแอดเดรสด้วยคำสั่งนี้ ก่อนที่จะอ่านหรือเขียนข้อมูลให้ CGRAM โดยแอดเดรสของ CGRAM อยู่ระหว่าง 00H-3FH

#### 8. คำสั่งเลือกแอดเดรสของ DDRAM

ใช้ในการเลือกแอดเดรสของ DDRAM ก่อนที่จะทำการอ่านหรือเขียนข้อมูล โดยบิต 7 ต้องเป็น “1” ข้อมูลอีก 7 บิต ที่เหลือจะเป็นค่าแอดเดรสของ DDRAM จะอยู่ระหว่าง 8CH-0FFH ทั้งนี้จำนวนแอดเดรสยังขึ้นกับการกำหนดสถานะที่บิต N ด้วย หากบิต N เป็น “0” แอดเดรสของ DDRAM จะอยู่ระหว่าง 80H-0CFH และถ้าบิต N เป็น “1” แอดเดรสของ DDRAM จะมี 2 ช่วง คือ 8CH 87H และ 0C0H-0C7H

#### 9. คำสั่งอ่านแฟล็ก BUSY และแอดเดรส

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้



เป็นคำสั่งที่ใช้อ่านแฟลค BUSY(BF) โดยแฟลคนี้จะเป็นตัวบอกสถานะของตัวควบคุม LCD ว่าพร้อมจะรับข้อมูลอยู่หรือไม่ ถ้าหากบิต BF เป็น “0” แสดงว่าตัวควบคุม LCD พร้อมรับข้อมูลหรือคำสั่ง แต่ถ้าเป็น “1” แสดงว่า ขณะนี้ตัวควบคุม LCD ยังอยู่ในกระบวนการทำงานภายในหรือกำลังประมวลผลข้อมูลอยู่ ยังไม่พร้อม รับข้อมูลหรือคำสั่ง เมื่อต้องการอ่านแฟลคต้องกำหนดให้ขา R/W เป็น “1” ด้วย แต่สัญญาณที่ RS ยังต้องเป็น “0” อยู่เพราะข้อมูลนี้เป็นข้อมูลคำสั่ง นอกจากนี้ ยังใช้เป็นคำสั่งอ่านข้อมูลแอดเดรสของ CGRAM และ DDRAM ด้วย โดยบิต 0 – บิต 6 เป็นค่าข้อมูลของแอดเดรสที่ต้องการอ่าน

### 3.3.5 การเขียนคำสั่งและข้อมูลให้แก่มอูล LCD

ในการเขียนข้อมูลเพื่อควบคุมให้มอูล LCD แสดงผลตามที่ต้องการ ต้องส่งคำสั่ง (instruction) แล้วกำหนดโหมดการทำงานให้แก่มอูล LCD ก่อน จากนั้นค่อยส่งข้อมูล(data) ที่ต้องการแสดงผล เนื่องจากบิตข้อมูลของมอูล LCD มี 8 เส้น คือ D0-D7 และใช้เป็นทางผ่านของทั้งคำสั่งและข้อมูล ดังนั้นในการส่งคำสั่งและข้อมูลจึงต้องอาศัยการกำหนดสัญญาณลอคที่ขา RS ได้ลอค “0” หมายความว่า ข้อมูลที่ป้อนให้แก่มอูล LCD ขณะนั้นเป็นคำสั่ง ในทางตรงข้าม หากขา RS ได้รับลอค “1” ข้อมูลที่ป้อนให้ขณะนั้นเป็นข้อมูลที่ใช้ในการแสดงผล

เมื่อต้องการเขียนหรืออ่านข้อมูลใน CGRAM และ DDRAM เริ่มต้นต้องกำหนดแอดเดรสที่ต้องการอ่านหรือเขียนก่อน โดยใช้คำสั่งเลือกแอดเดรส จากนั้นกำหนดให้ขา RS เป็น “1” ข้อมูลขนาด 8 บิต (หรือ 4 บิต ) ก็จะปรากฏบนบิตข้อมูล โดยข้อมูลที่อ่านออกมาได้จะเป็นข้อมูลจากแอดเดรสของ CGRAM หรือ DDRAM ตามที่ต้องการ

ในกรณีที่ต้องการเขียนข้อมูล เมื่อกำหนดแอดเดรสและป้อนลอค “1” ให้ขา RS แล้วต้องกำหนดให้ขา R/W เป็น “0” ข้อมูลที่อยู่บนบิตข้อมูลจะถูกเขียนลงในรีจิสเตอร์ DR จากนั้นจึงถ่ายทอดลงใน DDRAM ต่อไป

### 3.3.6 จังหวะการทำงานของ LCD โมดูล

ในการติดต่อกับมอูล LCD จะต้องมีกรรหน่วงเวลาหลังจากที่ทำการส่งรหัสคำสั่งข้อมูล เนื่องจากต้องรอให้คอนโทรลเลอร์ภายใน LCD โมดูล แปลความหมายของรหัสคำสั่งและทำงานตามคำสั่งให้เรียบร้อยก่อนจากนั้นจึงจะรับข้อมูลหรือดำเนินการต่อไป

ดังนั้น ในการใช้งานมอูล LCD ผู้เขียนโปรแกรมเพื่อหน่วงเวลารอให้มอูล LCD พร้อมทำงานด้วย โดยเมื่อเริ่มจ่ายไฟให้แก่มอูล LCD ต้องรอประมาณ 10 มิลลิวินาที เพื่อให้มอูล LCD ทำการเตรียมความพร้อมหรืออินิเชียล(initial) หลังจากนั้น ก็จะกำหนดลอคให้แกขา RS ของมอูล

LCD แล้วต้องหน่วงเวลาอีกประมาณ 2 มิลลิวินาที เพื่อให้คอนโทรลเลอร์ในโมดูล LCD แปลความหมายของลอจิกที่ขา RS ว่า ข้อมูลต่อไปที่จะได้รับนั้นเป็นรหัสคำสั่งหรือเป็นข้อมูลที่ต้องการแสดงผล จากนั้นจะเป็นการส่งข้อมูลรอกที่บัสข้อมูล D0-D7 (กรณีที่ทำงานในโหมด 8 บิต) ขึ้นตอนต่อไปจะเป็นการส่งสัญญาณพัลส์ไปที่ขา E เพื่อ เอ็นเอเบิลโมดูล LCD ให้รับข้อมูลจากบัสข้อมูลเข้าไป โดยพัลส์ที่ป้อนเข้าที่ขา E ของโมดูล LCD ต้องเป็นพัลส์ขอบขาขึ้น จากนั้นทำการหน่วงเวลา 2 มิลลิวินาที

ทั้งหมดที่กล่าวมาคือขั้นตอนและจังหวะในการทำงาน 1 รอบ ของโมดูล LCD จะเห็นได้ว่า มีโปรแกรมที่สำคัญ อยู่ 3 โปรแกรมย่อยคือ โปรแกรม อินีเชียล LCD ,โปรแกรมหน่วงเวลาและโปรแกรมย่อยการส่งพัลส์เพื่อเอ็นเอเบิลโมดูล LCD



## บทที่ 4

### วงจรและการทดลอง

#### 4.1 การทดลองการตรวจสอบทำงานของเซนเซอร์

##### วัตถุประสงค์

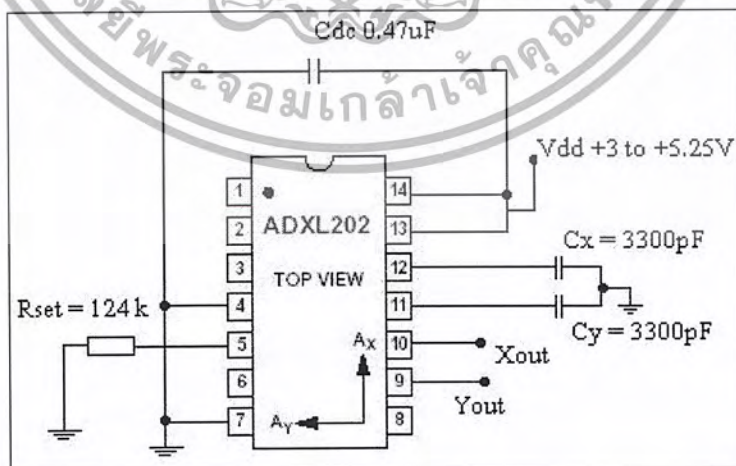
1. เพื่อตรวจสอบว่าเซนเซอร์สามารถทำงานได้
2. เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าเซนเซอร์มีความสามารถในการตรวจจับการเคลื่อนที่ได้
3. เซนเซอร์สามารถผลิตสัญญาณพัลส์ ที่มีความถี่ตามที่ต้องการได้ ซึ่งในโปรเจกต์นี้ต้องการความถี่ 1 kHz และทดสอบว่าค่าคิวดี้ไซเคิลสามารถเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงความเร่งได้
4. หากค่าคิวดี้ไซเคิลปกติที่มีการเปลี่ยนตำแหน่งการวางเซนเซอร์

##### เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

1. ออสซิลโลสโคป
2. แหล่งจ่ายไฟ 5 V
3. เซนเซอร์

##### ขั้นตอนการทดลอง

#### 4.1.1 ตัวอย่างการทดลองดังรูป 4.1



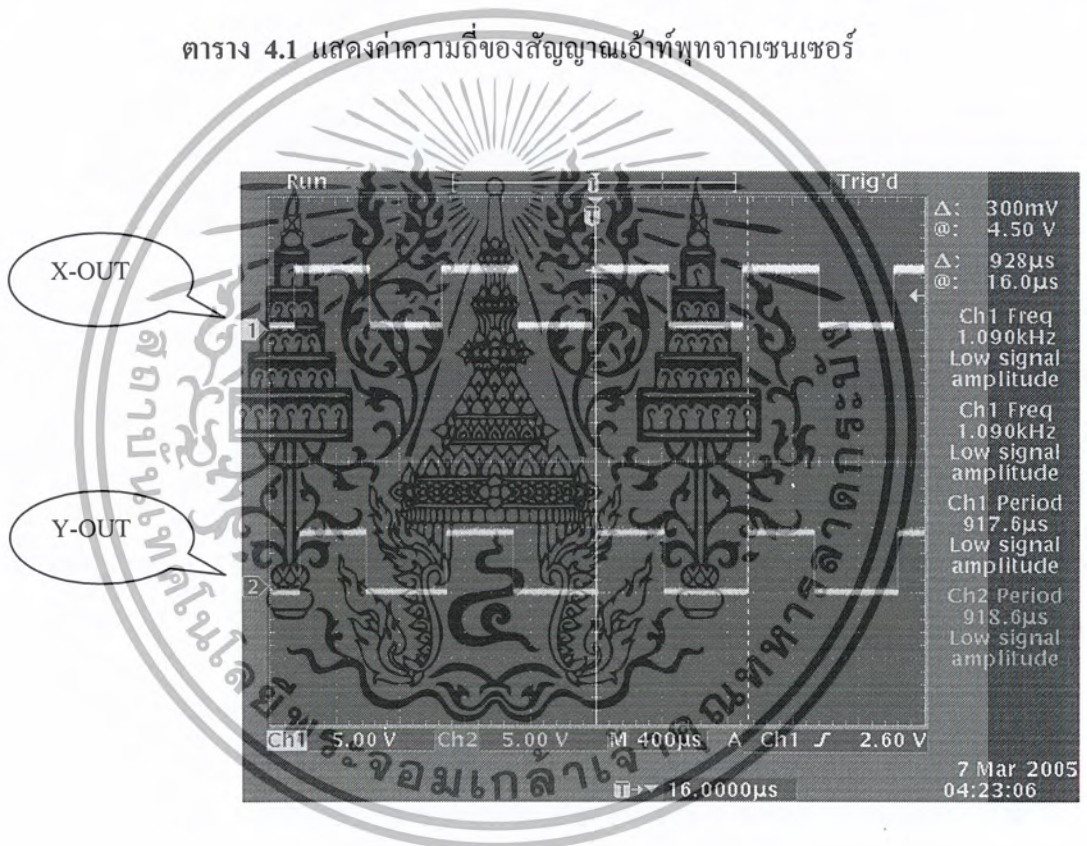
รูป 4.1 วงจรการทดลองการทำงานของเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 วัดค่าความถี่เข้าที่พุดที่ขา Xout และ Yout

	ค่าจากการคำนวณ	ค่าจากการทดลอง	หน่วย
ความถี่ Xout	1.008	1.0976	kHz
ความถี่ Yout	1.008	1.0976	kHz

ตาราง 4.1 แสดงค่าความถี่ของสัญญาณเข้าที่พุดจากเซนเซอร์



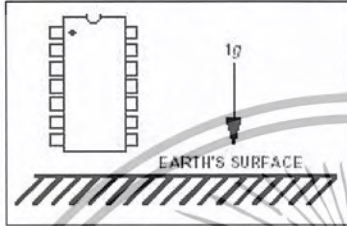
รูป 4.2 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การทดลองหาค่าคิวดัชนีไซเคลปกติ ที่ตอบสนองต่อแรงโน้มถ่วงเมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่งการวางเซนเซอร์

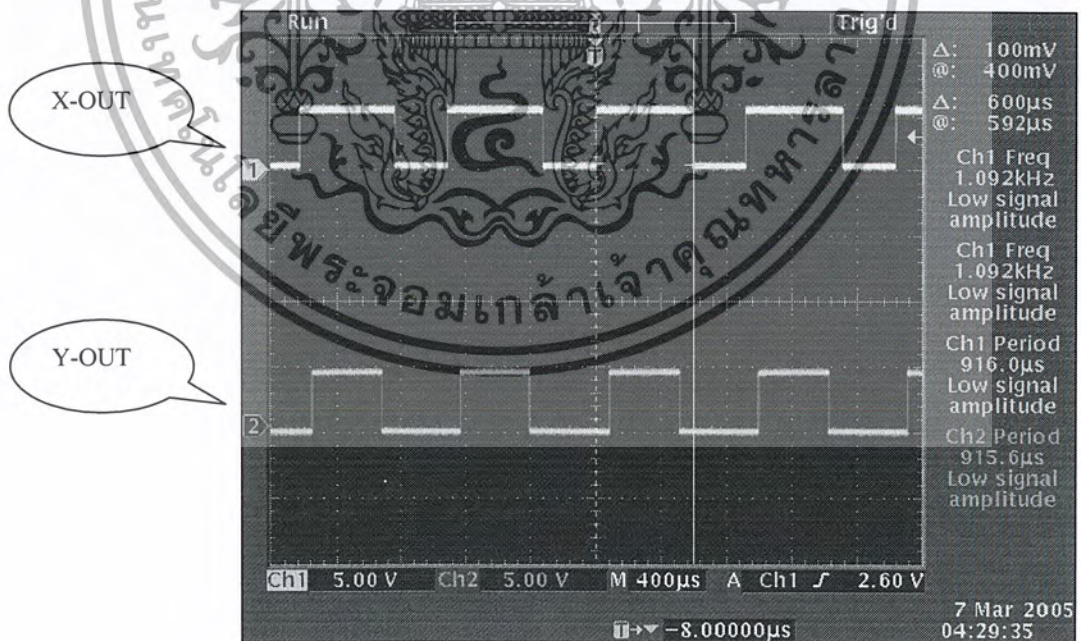
$$\text{Duty Cycle} = (T1/T2) \times 100\%$$

1. จัดเซนเซอร์ให้อยู่ในตำแหน่ง ดังรูป และบันทึกค่าคิวดัชนีไซเคล



คิวดัชนีไซเคล	ค่าที่ได้ในทางทฤษฎี	ค่าที่ได้จากการทดลอง	หน่วย
X out	62.5	62	%
Y out	50	50	%

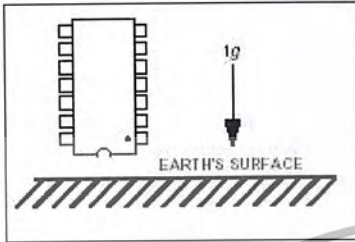
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าคิวดัชนีไซเคลที่ได้จากข้อ 1.



รูป 4.3 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ได้

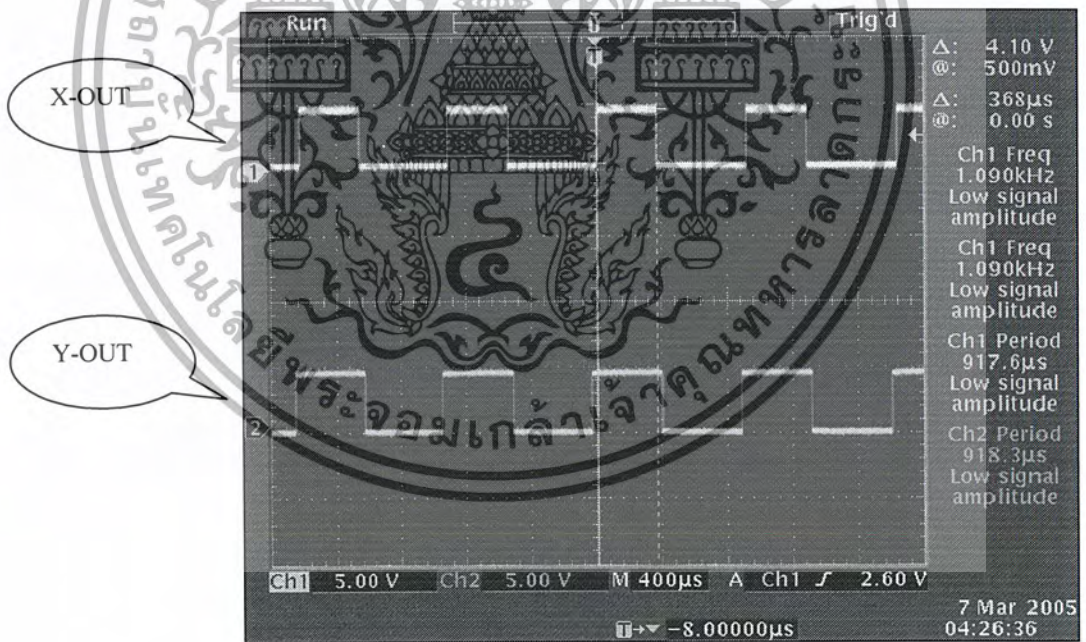
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. จัดเซนเซอร์ให้อยู่ในตำแหน่ง ดังรูป และบันทึกค่าความถี่ไซเคิล



ความถี่ไซเคิล	ค่าที่ได้ในทางทฤษฎี	ค่าที่ได้จากการทดลอง	หน่วย
X out	37.5	38	%
Y out	50	50	%

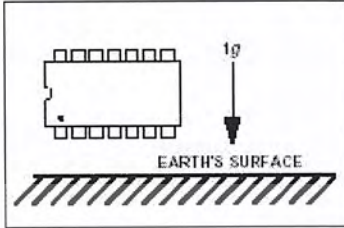
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความถี่ไซเคิลที่ได้จากข้อ 2.



รูป 4.4 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ได้

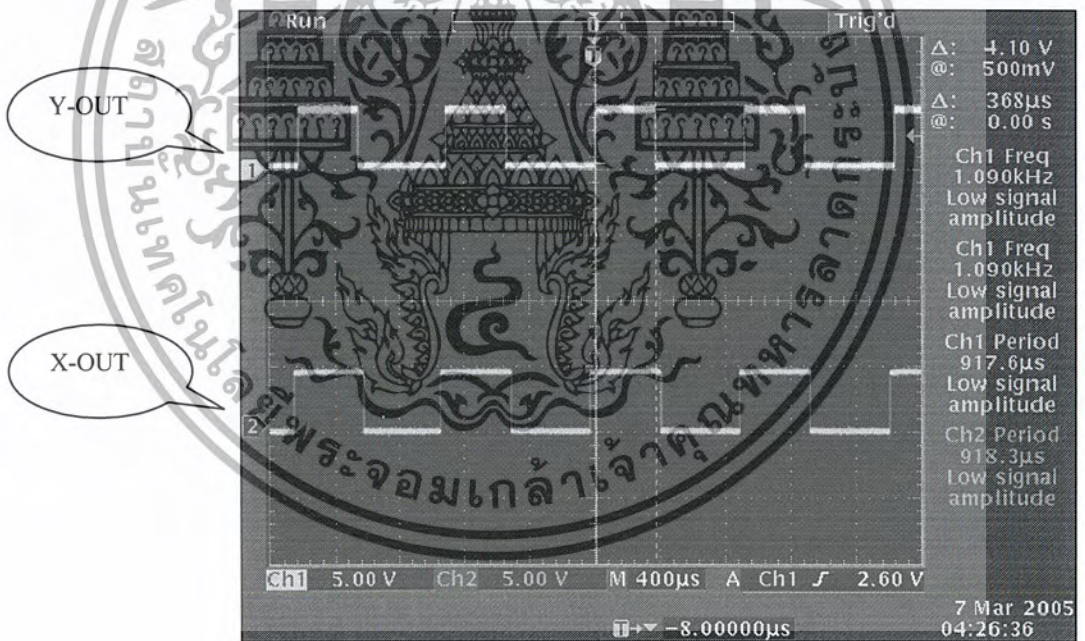
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จัดเซนเซอร์ให้อยู่ในตำแหน่ง ดังรูป และบันทึกค่าความถี่ที่เกิด



ความถี่ที่เกิด	ค่าที่ได้ในทางทฤษฎี	ค่าที่ได้จากการทดลอง	หน่วย
X out	50	50	%
Y out	37.5	38	%

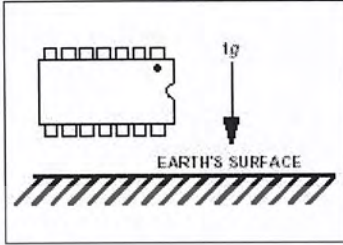
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความถี่ที่เกิดที่ได้จากข้อ 3.



รูป 4.5 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ได้

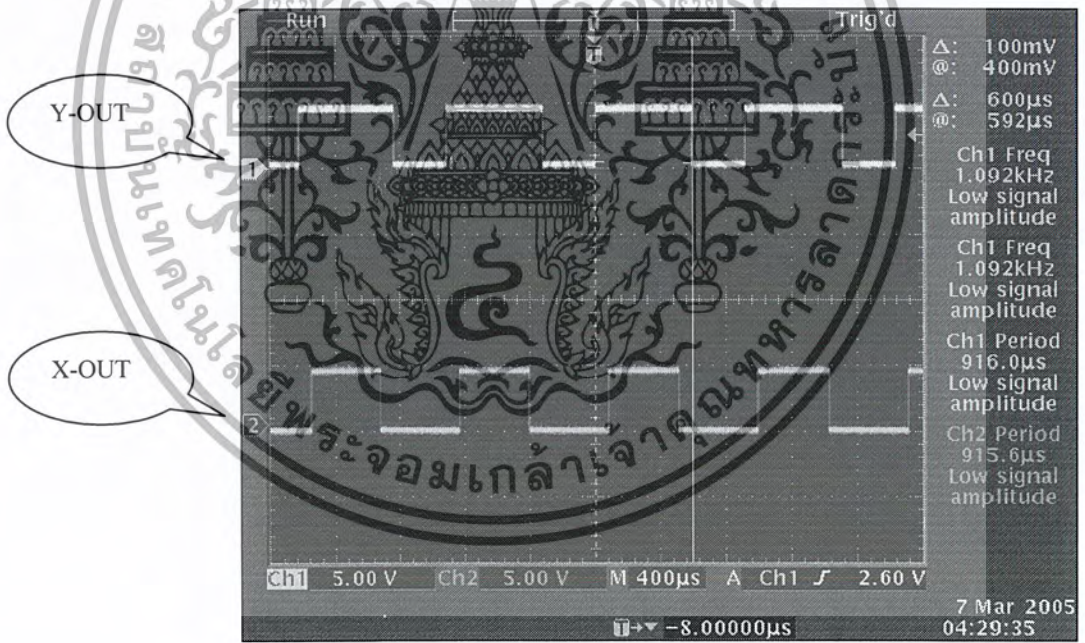
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. จัดเซนเซอร์ให้อยู่ในตำแหน่ง ดังรูป และบันทึกค่าคิวดิถีไซเคล



คิวดิถีไซเคล	ค่าที่ได้ในทางทฤษฎี	ค่าที่ได้จากการทดลอง	หน่วย
X out	50	50	%
Y out	62.5	62	%

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าคิวดิถีไซเคลที่ได้จากข้อ 4.



รูป 4.6 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ได้

4.1.4 ทดลองเคลื่อนที่เซนเซอร์แล้วสังเกตค่า คิวดิถีไซเคล

พบว่าค่าคิวดิถีไซเคลมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อมีการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์แล้ว ค่าคิวดิถีไซเคลจะกลับมามีค่าเท่าเดิมเมื่อหยุดการเคลื่อนที่หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 การทดลองเดินและนับจำนวนก้าวเพื่อตรวจสอบความถูกต้องก่อนประกอบเครื่องวัดลูประสงค์

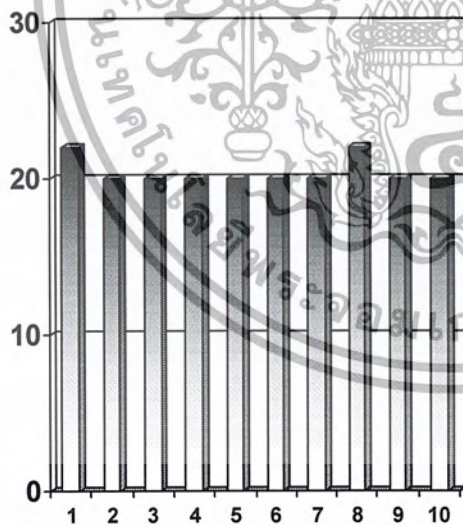
1. เพื่อทดสอบหาค่าความถูกต้องในการนับจำนวนก้าวเดิน
2. เพื่อหาข้อจำกัดของอุปกรณ์
3. เพื่อหาแนวทางการแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นเพื่อให้โครงการมีประสิทธิภาพมากที่สุด

##### เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

1. ออสซิลโลสโคป
2. แหล่งจ่ายไฟ 5 V
3. เซนเซอร์
4. โครงการงาน

##### ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง

จำนวนก้าวเดิน

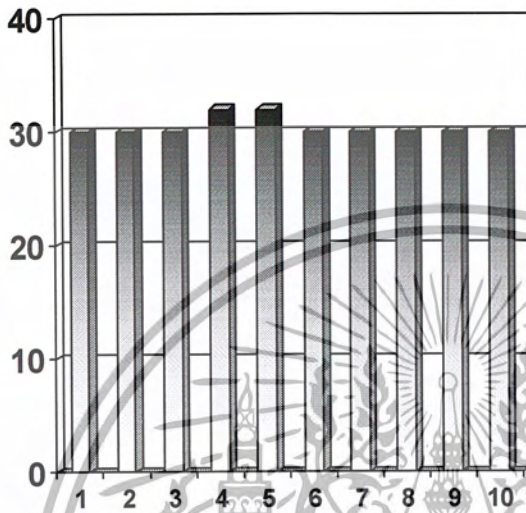


ครั้งที่เดิน

กราฟที่ 1 แสดงจำนวนก้าวเดินที่นับได้เมื่อทำการเดินเป็นจำนวน 20 ก้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนก้าวดิน



ค่าเฉลี่ยจำนวนก้าวดิน = 30.4 ก้าว  
ค่าผิดพลาด = 1.3%

กราฟที่ 2 แสดงจำนวนก้าวดินที่นับได้เมื่อทำการเดินเป็นจำนวน 30 ก้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การหาค่าระยะทางโดยประมาณในการเดินออกกำลังกาย

#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาค่าระยะทางโดยประมาณจากการเดินออกกำลังกาย
2. เพื่อนำค่าระยะทางที่ได้ไปคำนวณหาค่าประมาณของปริมาณแคลอรี

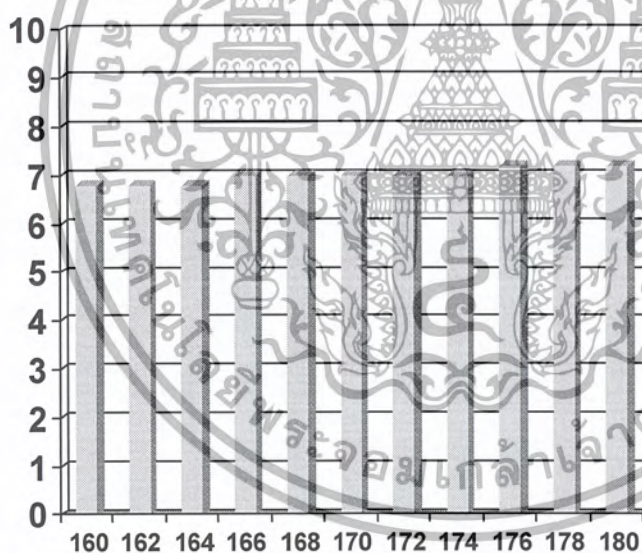
#### เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

1. ตลับเมตร
2. ผู้ที่ออกกำลังกายที่มีความสูงตั้งแต่ 160-180cm

#### ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง

ให้ผู้ที่ยกกำลังกายแต่ละคนเดินเป็นระยะทาง 10 ก้าว แล้ววัดระยะทาง

ระยะทาง (เมตร)



ความสูงของบุคคล

ระยะทางเฉลี่ยโดยประมาณ

10 ก้าว = 7 เมตร

1 ก้าว = 0.7 เมตร

#### กราฟที่ 3 แสดงระยะทางโดยประมาณของการเดินโดยบุคคลที่มีความสูงต่างๆ

และจากการเดินเป็นระยะทาง 7 กิโลเมตรของบุคคลที่มีความสูง 160-180 ซม.พบว่าสูญเสียแคลอรีประมาณ 400 จูล หรือใน ทุกๆก้าวเดินจะสูญเสียแคลอรีประมาณ 0.04 จูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การทดลองเดินและนับจำนวนก้าวเพื่อตรวจสอบความถูกต้องหลังประกอบเครื่อง วัตถุประสงค์

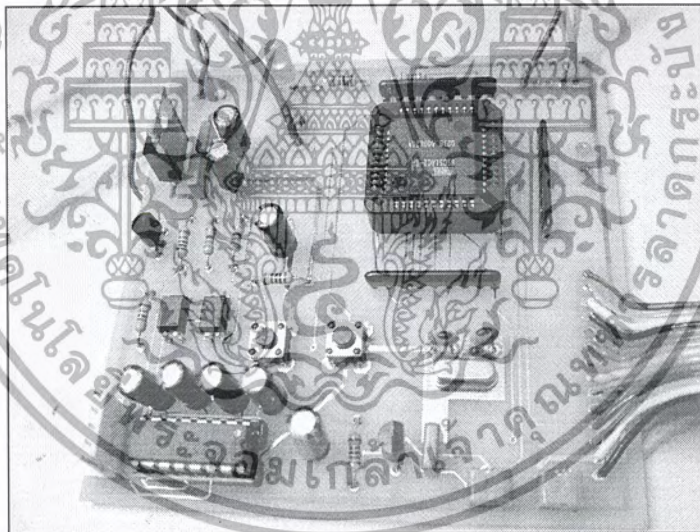
1. เพื่อหาประสิทธิภาพและความถูกต้องของเครื่อง
2. เพื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองมาทำการประเมินผลและแก้ไขให้มีประสิทธิภาพ

#### เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

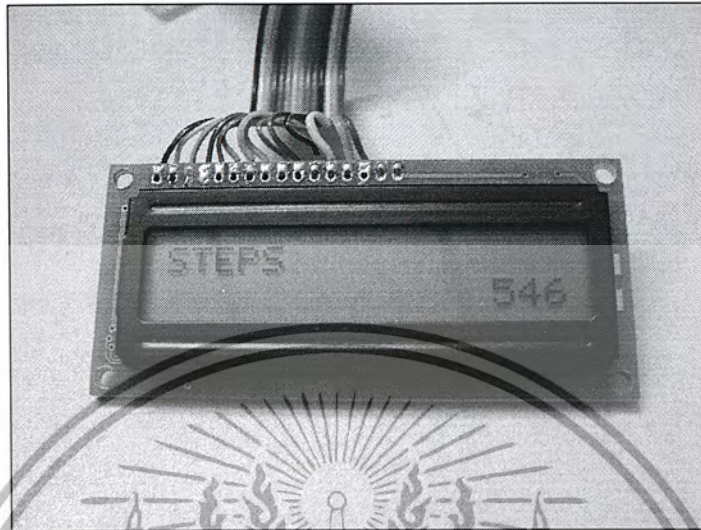
1. เครื่องนับก้าวเดิน

#### ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง

ทำการติดตั้งเครื่องนับก้าวเดินและทำการเดินรอบสนามที่มีความยาวประมาณ 100 เมตร 400เมตร  
ตามลำดับ



รูป 4.6 แสดงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51



รูป 4.7 แสดงผลการนับจำนวนก้าวเดิน



รูป 4.8 แสดงผลการคำนวณระยะทางและปริมาณแคลลอรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะทาง 100 เมตร	จำนวนก้าวเดิน	เครื่องนับก้าวเดิน นับได้	ระยะทางประมาณ	แคลอรีที่สูญเสีย โดยประมาณ
ครั้งที่ 1	150	130	91	3.64
ครั้งที่ 2	150	140	98	3.92
ครั้งที่ 3	150	150	105	4.2

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองในการเดินระยะ 100 เมตร

ระยะทาง 400 เมตร	จำนวนก้าวเดิน	เครื่องนับก้าวเดิน นับได้	ระยะทางประมาณ	แคลอรีที่สูญเสีย โดยประมาณ
ครั้งที่ 1	568	564	394.8	22.56
ครั้งที่ 2	560	572	400.4	22.88
ครั้งที่ 3	580	584	408.8	23.56
ครั้งที่ 4	594	596	417.2	23.84
ค่าเฉลี่ย	575.5	579	405.3	23.16

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองในการเดินระยะ 400 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและวิจารณ์

จากการทดสอบเซนเซอร์ ADXL 202 ซึ่งเป็น accelerometer ที่ใช้ทำหน้าที่เป็น sensor body motion พบว่าเซนเซอร์ให้ประสิทธิภาพเป็นที่น่าพอใจ นั่นคือสามารถให้สัญญาณเข้าที่พุทออกมาเป็นสัญญาณพัลส์โดยที่ค่า คิวตี้ไซเคิลของสัญญาณเข้าที่พุทสามารถเปลี่ยนแปลงตามความเร่ง จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการตรวจจับการเดินได้ เนื่องจากการเดินทำให้เกิดการเคลื่อนที่ในแนวความสูงของร่างกายหรือ vertical axis ทำให้ในโครงงานนี้น่าสัญญาณเข้าที่พุทจากเซนเซอร์มาใช้เพียงแกนเดียวก็เพียงพอในการตรวจนับการเดิน

และจากการติดตั้งเครื่องนับก้าวเดินที่สะโพกและทำการทดลองเดินนับก้าวจริงพบว่า ประสิทธิภาพและความถูกต้องของตัวเครื่องในการนับก้าวเดินจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของความเร็วในการเดินและความไวในการตรวจจับการเดินของเครื่อง ซึ่งถ้าต้องการตรวจจับการเดินที่มีความเร็วมากๆ เช่น การวิ่ง จะต้องปรับแต่งให้เครื่องนับก้าวเดินมีความไวในการตรวจจับ ให้สูงขึ้นแต่ในบางครั้งเมื่อความไวในการตรวจจับการเดินสูงขึ้นก็จะทำให้เกิดความผิดพลาดมากขึ้นเช่นกัน และจากการทดลองเดินวัดระยะทางและค้นคว้าข้อมูลจาก เว็บไซต์ สถาบันการเดินเพื่อสุขภาพ ([www.walk.about.com](http://www.walk.about.com)) พบว่าค่าเฉลี่ยในการเดินแต่ละก้าวประมาณ 70 cm และจะสูญเสียแคลอรีประมาณ 0.04 จูล

และค่าการสูญเสียพลังงานในเครื่องนับก้าวเดินนี้จากการวัดและทดสอบพบว่าจะมีกระแสประมาณ 23 mA และใช้พลังงานประมาณ 0.1 W ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างสูงเนื่องจากข้อจำกัดการใช้พลังงานของอุปกรณ์เช่น LCD และไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่เนื่องจากเราสามารถใส่แบตเตอรี่แบบรีชาร์จเอเบิลที่มีค่าความจุสูงๆ จึงทำให้สามารถใช้งานได้ยาวนานขึ้น

#### แนวทางการพัฒนาเครื่องนับก้าวเดิน

- มีการนำเซนเซอร์ในทิศทางขนานกับผิวโลกมาใช้เพื่อตรวจจับพฤติกรรมการเดิน
- เครื่องนับก้าวเดินสามารถใส่ค่าความยาวก้าวเดินเฉลี่ยของแต่ละบุคคลได้เพื่อนำไปคำนวณหาระยะทางที่ทำการเดินของแต่ละบุคคล
- สามารถใส่ความเร็วเฉลี่ยในการเดินเพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณแคลอรีที่สูญเสียจากการเดินได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

1. Dr. John Manson, [www.livewellguide.com](http://www.livewellguide.com)
2. Catrine Tudor-Locke, "Taking Steps toward increased Physical Activity : Using Pedometer" ,Research Digest, President's Council on Physical Fitness and Sports, June 2002
3. สมยศ จุณณะปิยะ, " การประยุกต์ใช้งานไมโครคอลลอเรลเลอร์" , คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, หน้า 256-283, 2546
4. วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุลสม, "เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอลลอเรลเลอร์ MCS-51" , บริษัทอินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์จำกัด, หน้า236-254, 2543



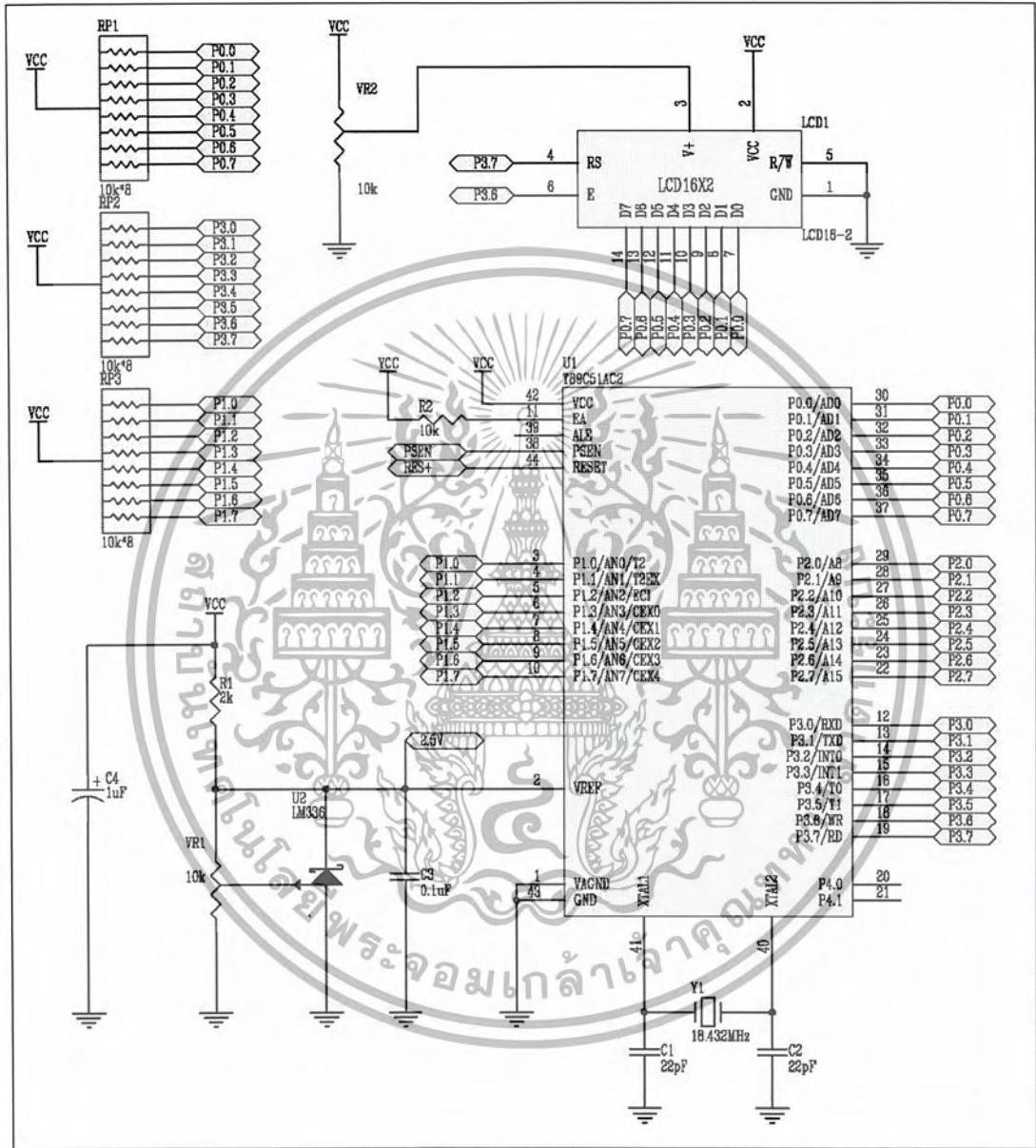
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

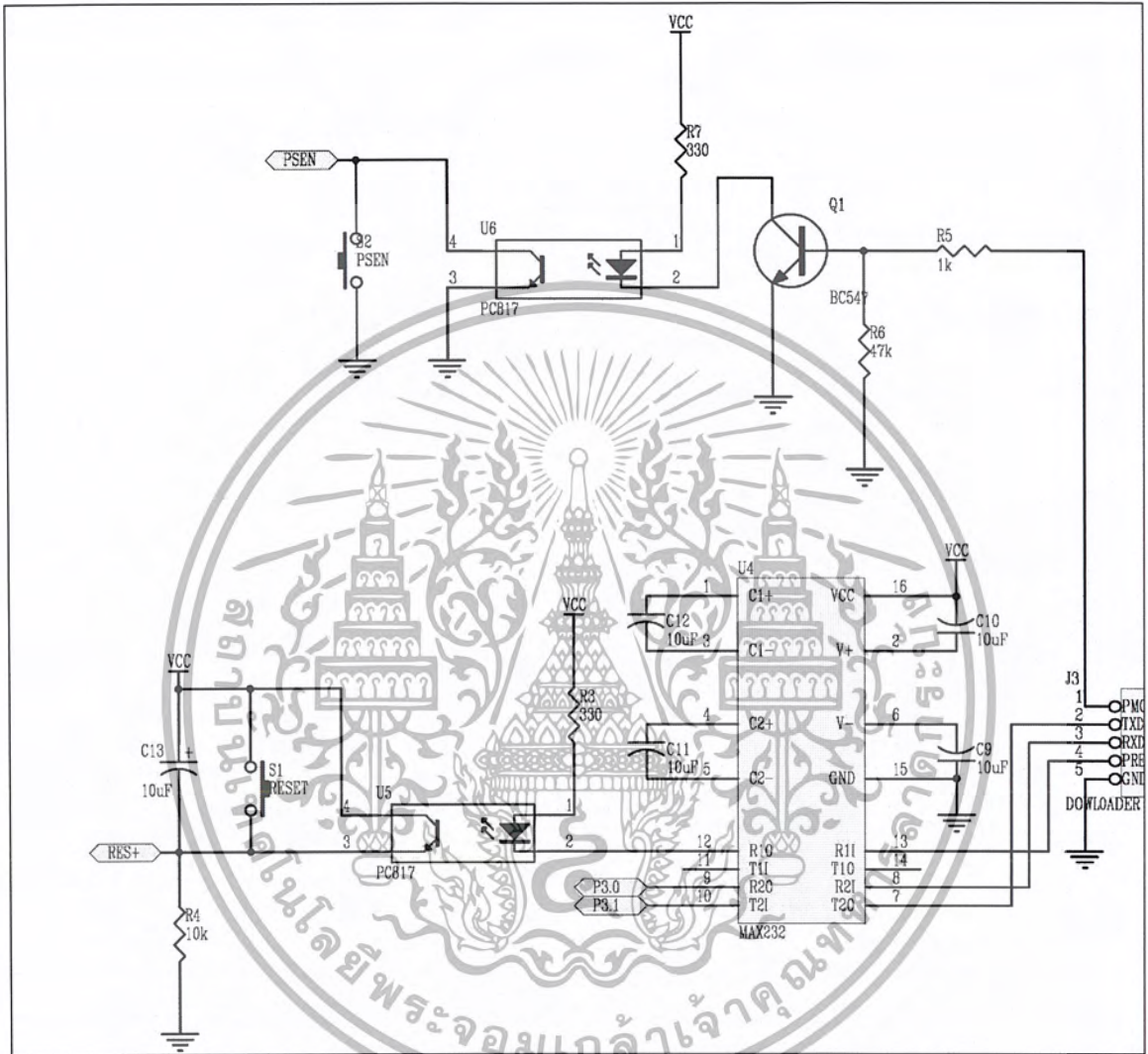
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรในส่วนของ MCS-51 และ LCD

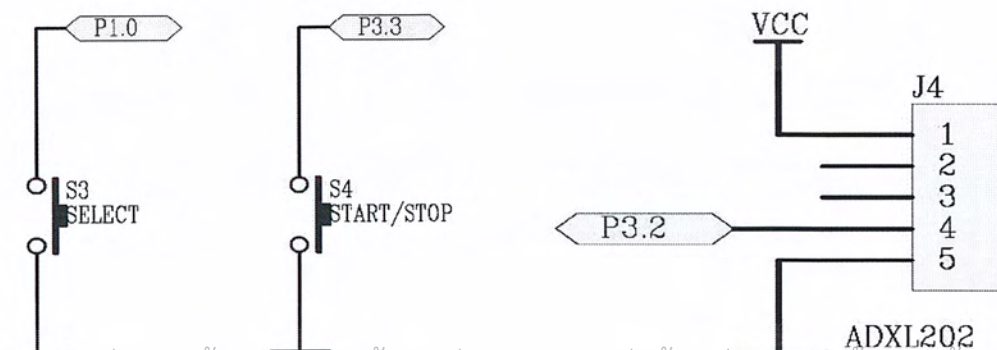


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรในส่วนที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์



วงจรส่วนอื่นๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# โปรแกรมภาษาแอสเซมบลีที่ใช้งานในตัว MCS-51

```

; /* My mcs51(T89C51AC2 board) has 18.32MHz and we use in 1X
mode*/
; /*Then 1M=0.651us*/

TIMER_H EQU 0FDH
; /*Count 600*/
TIMER_L EQU 0A0H

COUNT_L EQU 050H
COUNT_H EQU 051H
IPH EQU 0B7H
AUXR EQU 0A2H
LCD_EN BIT P3.6
LCD_RS BIT P3.7
LCD_ADDR EQU 030H
LCD_DATA EQU 031H
FLAG EQU 020H
ZERO BIT FLAG.0
SHOWZERO BIT FLAG.1
BCD EQU 040H
RESULT EQU 58H
BEGIN EQU 45H
RESULT1 EQU 66H
I_CANT_COUNT BIT 020H.5

ORG 0000H
LJMP INI_TIMER

ORG 0003H
LJMP PULSE_FALL

ORG 000BH
LJMP PULSE_OVER

ORG 0013H
LJMP CHK_SW

ORG 0030H
;USE TIMER0 IN 16 BIT
;AND EXTERNAL CONTROL GATE

INI_TIMER: MOV SP,#07FH
MOV AUXR,#001H
MOV DPH,#000H
MOV DPL,#000H
DEC AUXR
; /* EA=1 ET=1 EX=1 ET0=0 EX0=0*/
MOV TMOD,#10011001B ; /*
GATE0=1; C/T0#=0; M10=0; M00=1; */
CLR TF0 ; /* Timer 0 mode 0 with hardware gate */
CLR TR0
MOV IE,#10000111B
MOV IP,#00000100B ; /* T0=11 Most Priority INTO=10SECOD */
MOV IPH,#00000000B
SETB IT1 ; /* Interrupt 1 used in switch*/
SETB IT0 ; /* Interrupt 0 used in detect pulse fall & not overflow*/
MOV TH0,#TIMER_H
MOV TL0,#TIMER_L
MOV P3,#0FFH ; /* Port3 used input port*/
MOV P0,#000H
CALL LCD
CALL HEX2BCD
CALL WR_STEP

ORG 000BH
SETB TR0
LJMP PULSE_OVER

ORG 0013H
;===== Pulse falls before Timer0 Over
flow.=====
;This case We don't walk
PULSE_FALL: MOV TH0,#TIMER_H
MOV TL0,#TIMER_L

RETI

;===== Timer0 overflow before pulse fall edge detected
=====
;We detect pulse width mod as 37.5% that mean 1 pulse equal 390us
;we must count 600

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

PULSE_OVER:   CLR     TR0
JB            I_CANT_COUNT,CHECK_COUNT
              INC     AUXR
              INC     DPTR
              INC     DPTR
              INC     AUXR
              CLR     TR0
              MOV     TH0,#TIMER_H
              MOV     TL0,#TIMER_L
              CALL    HEX2BCD
              CALL    WW_NUM
CHECK_COUNT:  ACALL   DELAY_1S
              CLR     TF1
              MOV     TH1,#0FDH
              MOV     TL1,#0ABH
              JNB    P3.2,$
              SETB   TR1
              JB     P3.2,$
              CLR     TR1
              JB     TF1,NOT_COUNT
              JMP     OUT
NOT_COUNT:    SETB   I_CANT_COUNT
              CLR     TF0
              JMP     BOY
OUT:          CLR     I_CANT_COUNT
BOY:         SETB   TR0
              RETI
CHK_SW: PUSH ACC
              PUSH   PSW
              MOV    PSW,#00010000B
              MOV    R5,#00H
              MOV    R6,#00H
              MOV    R1,#RESULT
              MOV    R0,#BEGIN
              MOV    R4,#05H
LOOP:        MOV    A,@R0
              ANL   A,#00FH
              MOV   B,#07H
              MUL   AB
              MOV   R3,A
              CLR   C
              SUBB  A,#0AH
              MOV   A,R3
              JC   ADDR5
              ADD  A,#06H
              MOV  R3,A
              SUBB A,#01BH
              MOV  R5,#00H
              MOV  R6,#00
              MOV  R1,#RESULT1
              MOV  R0,#BEGIN
              MOV  R4,#05H
              MOV  A,R3
              JC   ADDR5
              ADD  A,#06H
              MOV  R3,A
              SUBB A,#05DH
              MOV  A,R3
              JC   ADDR5
              ADD  A,#06H
              MOV  R3,A
              SUBB A,#05DH
              MOV  A,R3
              JC   ADDR5
              ADD  A,#06H
              MOV  R3,A
              SUBB A,#06H
              MOV  R3,A
              JC   ADDR5
              ADD  A,#06H
              MOV  R3,A
              DA   A
              MOV  R6,A
              ANL  A,#0FH
              PUSH ACC
              ADD  A,#30H
              MOV  @R1,A
              POP  ACC
              MOV  A,R6
              ANL  A,#0F0H
              SWAP A
              MOV  R5,A
              DEC  R0
              DEC  R1
              DEC  R4
              CJNE R4,#00H,LOOP
              ADD  A,#30H
              MOV  @R1,A
              ;*****
              MOV  R5,#00H
              MOV  R6,#00
              MOV  R1,#RESULT1
              MOV  R0,#BEGIN
              MOV  R4,#05H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LOOP1:  MOV    A,@R0
        ANL    A,#00FH
        MOV    B,#04H
        MUL   AB
        MOV    R3,A
        CLR    C
        SUBB  A,#0AH
        MOV    A,R3
        JC     ADDR5_1
        ADD   A,#06H
        MOV    R3,A
        SUBB  A,#020H
        MOV    A,R3
        JC     ADDR5_1
        ADD   A,#06H
        MOV    R3,A
        SUBB  A,#028H
        MOV    A,R3
        JC     ADDR5_1
        ADD   A,#06H

ADDR5_1: ADD   A,#00H
        ADD   A,R5
        DA    A
        MOV   R6,A
        ANL   A,#0FH
        PUSH  ACC
        ADD   A,#30H
        MOV   @R1,A
        POP   ACC
        MOV   A,R6
        ANL   A,#0F0H
        SWAP  A
        MOV   R5,A
        DEC   R0
        DEC   R1
        DEC   R4
        CJNE  R4,#00H,LOOP1
        ADD   A,#30H
        MOV   @R1,A

        ;*****
        ACALL LCD_OFF
        ACALL LCD_CLR

        MOV   P0,#0000110B
        ACALL LCD_CLK

        ACALL LCD_HOME
        INC   R1

        MOV    LCD_ADDR,#000H
        ACALL SET_ADDR_LCD
        MOV    DPTR,#TITLE_2
        ACALL WRLINE_LCD
        MOV    LCD_ADDR,#07H
        ACALL SET_ADDR_LCD
        MOV    R3,#06H
        MOV    R1,#053H

WRITE_NUM_22: SETB  LCD_RS
        MOV   A,@R1
        JB    SHOWZERO,NORM
        CJNE  A,#030H,NORM
        MOV   P0,#020H
        JMP   NORM1
        SETB  SHOWZERO
        MOV   P0,A
        ;+++++
        LCALL LCD_CLK
        INC   R1
        CJNE  R1,#058H,NOPOINT
        MOV   P0,#02EH
        LCALL LCD_CLK
        LCALL LCD_ON
        setb  showzero
        NOPOINT: DJNZ  R3,WRITE_NUM_22
        MOV   P0,#04DH
        LCALL LCD_CLK
        LCALL LCD_ON
        CLR   SHOWZERO
        ;-----
        MOV   LCD_ADDR,#040H
        ACALL SET_ADDR_LCD
        MOV   DPTR,#TITLE_3
        ACALL WRLINE_LCD
        MOV   LCD_ADDR,#047H
        ACALL SET_ADDR_LCD
        MOV   R3,#06H
        MOV   R1,#061H

WRITE_NUM_222: SETB  LCD_RS
        MOV   A,@R1
        JB    SHOWZERO,NORM_1
        CJNE  A,#030H,NORM_1
        MOV   P0,#020H
        JMP   NORM1_1
        NORM_1: SETB  SHOWZERO
        MOV   P0,A
        ;+++++
        NORM1_1: LCALL LCD_CLK
        INC   R1

```

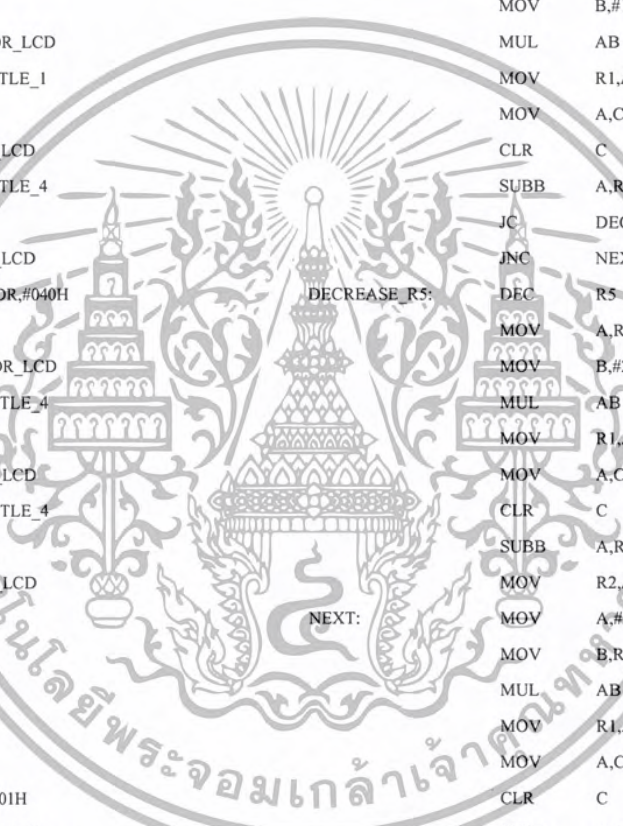


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CJNE R1,#065H,NOPOINT1
MOV P0,#02EH
LCALL LCD_CLK
LCALL LCD_ON
setb showzero
NOPOINT1: DJNZ R3,WRITE_NUM_222
MOV P0,#04AH
LCALL LCD_CLK
LCALL LCD_ON
CLR SHOWZERO
ACALL DELAY_1S
ACALL DELAY_1S
MOV LCD_ADDR,#000H
/* SET ADDRESS */
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#TITLE_1
/* WRITE WORD */
LCALL WRLINE_LCD
MOV DPTR,#TITLE_4
/* WRITE WORD */
LCALL WRLINE_LCD
MOV LCD_ADDR,#040H
/* SET ADDRESS */
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#TITLE_4
/* WRITE WORD */
LCALL WRLINE_LCD
MOV DPTR,#TITLE_4
/* WRITE WORD */
LCALL WRLINE_LCD
POP PSW
POP ACC
CLR TF0
Call ww_num
RETI
HEX2BCD: MOV AUXR,#001H
MOV COUNT_L,DPL
MOV COUNT_H,DPH
DEC AUXR
PUSH ACC
PUSH PSW
MOV PSW,#00001000B
MOV R0,#00H
MOV R1,#00H
MOV R2,#00H
MOV R3,#00H
MOV R4,#00H
MOV R5,#00H
MOV R2,COUNT_H
MOV R3,COUNT_L
MOV R4,COUNT_H
CLR C
SUBB A,#27H
MOVA,COUNT_H
CJNE A,#27H,MORE
CLR C
MOV A,COUNT_L
SUBB A,#10H
MORE: MOV A,COUNT_H
MOV B,#27H
DIV AB
MOV R5,A
MOV R2,B
CJNE R2,#00H,NEXT
MOV B,#10H
MUL AB
MOV R1,A
MOV A,COUNT_L
CLR C
SUBB A,R1
JC DECREASE_R5
JNC NEXT
DEC R5
MOV A,R5
MOV B,#27H
MUL AB
MOV R1,A
MOV A,COUNT_H
CLR C
SUBB A,R1
MOV R2,A
MOV A,#10H
MOV B,R5
MUL AB
MOV R1,A
MOV A,COUNT_L
CLR C
SUBB A,R1
MOV R2,A
MOV A,#10H
MOV B,R5
MUL AB
MOV R1,A
MOV A,COUNT_L
CLR C
SUBB A,R1
MOV R3,A
JC REDUCE
JNC THOUSAND
REDUCE: DEC R2;=====
THOUSAND: MOV A,R2
CLR C
CHECK_THOUSAND: CJNE R2,#03H,COMPARE1
MOV A,R3
SUBB A,#0E8H
JC HUNDRED
INC R4
MOV R3,A
MOV R2,#00H
JMP HUNDRED

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPARE1:	CLR	C	CALL	SAPARATE
	SUBB	A,#03H	MOV	A,R6
	JC	HUNDRED	CALL	SAPARATE
	MOV	A,R3	MOV	A,R7
	INC	R4	CALL	SAPARATE
	CLR	C	POP	PSW
	SUBB	A,#0E8H	POP	ACC
	MOV	R3,A	RET	
	JC	DECREASE	MOV	R1,A
	JNC	CONTINUE	ANL	A,#0F0H
DECREASE:	DEC	R2	SWAP	A
CONTINUE:	MOV	A,R2	ADD	A,#30H
	CLR	C	MOV	@R0,A
	SUBB	A,#03H	INC	R0
	MOV	R2,A	MOV	A,R1
	JMP	CHECK_THOUSAND	ANL	A,#0FH
HUNDRED:	MOV	A,R4	ADD	A,#30H
	SWAP	A	MOV	@R0,A
	MOV	R6,A	INC	R0
	MOV	R4,#00H	RET	
CHECK:	CJNE	R2,#00H,CHECK1	WR_STEP: MOV	LCD_ADDR,#000H
	JMP	MODE2	LCALL	SET_ADDR_LCD
CHECK1:	MOV	A,R3	MOV	DPTR,#TITLE_1
CHECK2:	INC	R4	LCALL	WRLINE_LCD
	CLR	C		
	SUBB	A,#64H	WW_NUM: MOV	LCD_ADDR,#04BH
	MOV	R3,A	LCALL	SET_ADDR_LCD
	JC	DECREASE2	LCALL	WRITE_NUM
	JNC	CHECK2	RET	
DECREASE2:	DEC	R2	WRLINE_LCD: MOV	R0,#0
	JMP	CHECK	WRLINE_LCD_1: SETB	LCD_RS
MODE2:	MOV	A,R3	CLR	A
	CLR	C	MOVC	A,@A+DPTR
	SUBB	A,#64H	MOV	P0,A
	JC	TEN	LCALL	LCD_CLK
	MOV	A,R3	INC	DPTR
	MOV	B,#64H	INC	R0
	DIV	AB	CJNE	R0,#8,WRLINE_LCD_1
	ADD	A,R4	;LCALL	LCD_ON
	ADD	A,R6	RET	
	MOV	R6,A	WRITE_NUM: MOV	R3,#06H
	MOV	R3,B	MOV	R1,#041H
	JMP	MODE2	WRITE_NUM_2: SETB	LCD_RS
TEN:	MOV	A,R3	MOV	A,@R1
	MOV	B,#10	JB	SHOWZERO,NORM2
	DIV	AB	CJNE	A,#030H,NORM2
	SWAP	A	MOV	P0,#20H
	ADD	A,B	JMP	NORM1_2
	MOV	R7,A	NORM2: SETB	SHOWZERO
	MOV	R0,#40H	MOV	P0,A
	MOV	A,R5	NORM1_2: LCALL	LCD_CLK



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

INC R1 MOV P0,LCD_DATA
DJNZ R3,WRITE_NUM_2 LCALL LCD_CLK
LCALL LCD_ON LCALL LCD_ON
CLR SHOWZERO RET
RET LCD_DELAY: MOV R7,#003
LCD: CLR LCD_EN LCD_DELAY_1: MOV R6,#0FFH
CLR LCD_RS LCD_DELAY_2: NOP
MOV FLAG,#000H NOP
LCALL INIT_LCD DJNZ R6,LCD_DELAY_2
RET DJNZ R7,LCD_DELAY_1
INIT_LCD: LCALL DELAY_100MS RET
CLR LCD_RS DELAY_10MS: MOV R7,#016D
MOV P0,#00111000B DELAY_10MS_1: MOV R6,#0FFH
LCALL LCD_CLK DELAY_10MS_2: NOP
LCALL DELAY_10MS NOP
DJNZ R6,DELAY_10MS_2
MOV P0,#00111000B DJNZ R7,DELAY_10MS_1
LCALL LCD_CLK RET
LCALL LCD_OFF DELAY_100MS: MOV R7,#155
LCALL LCD_CLR DELAY_100MS_1: MOV R6,#0FFH
MOV P0,#00000110B DELAY_100MS_2: NOP
LCALL LCD_CLK NOP
LCALL LCD_HOME DJNZ R6,DELAY_100MS_2
LCD_CLR: CLR LCD_RS DJNZ R7,DELAY_100MS_1
MOV P0,#00000001B RET
LCALL LCD_CLK DELAY_1S: MOV R5,#100
RET DELAY_1S_1: LCALL DELAY_10MS
LCD_HOME: CLR LCD_RS DJNZ R5,DELAY_1S_1
MOV P0,#000000010B RET
LCALL LCD_CLK DELAY_500MS: MOV R5,#65
RET DELAY_500MS_1: LCALL DELAY_10MS
LCD_OFF: CLR LCD_RS DJNZ R5,DELAY_500MS_1
MOV P0,#00001000B RET
LCALL LCD_CLK TITLE_1: DB 'STEPS '
RET TITLE_2: DB 'DIST = '
LCD_CLK: SETB LCD_EN TITLE_3: DB 'CALC = '
LCALL LCD_DELAY TITLE_4: DB ' '
CLR LCD_EN
LCALL LCD_DELAY END
RET
LCD_ON: CLR LCD_RS
MOV P0,#00001100B
ACALL LCD_CLK
RET
SET_ADDR_LCD: CLR LCD_RS
MOV A,LCD_ADDR
SETB ACC.7
MOV P0,A
LCALL LCD_CLK
RET
WRCHAR_LCD: SETB LCD_RS

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# Low Cost $\pm 2 g/\pm 10 g$ Dual Axis *i*MEMS<sup>®</sup> Accelerometers with Digital Output

## ADXL202/ADXL210

### FEATURES

- 2-Axis Acceleration Sensor on a Single IC Chip
- Measures Static Acceleration as Well as Dynamic Acceleration
- Duty Cycle Output with User Adjustable Period
- Low Power <0.6 mA
- Faster Response than Electrolytic, Mercury or Thermal Tilt Sensors
- Bandwidth Adjustment with a Single Capacitor Per Axis
- 5 mg Resolution at 60 Hz Bandwidth
- +3 V to +5.25 V Single Supply Operation
- 1000 g Shock Survival

### APPLICATIONS

- 2-Axis Tilt Sensing
- Computer Peripherals
- Inertial Navigation
- Seismic Monitoring
- Vehicle Security Systems
- Battery Powered Motion Sensing

### GENERAL DESCRIPTION

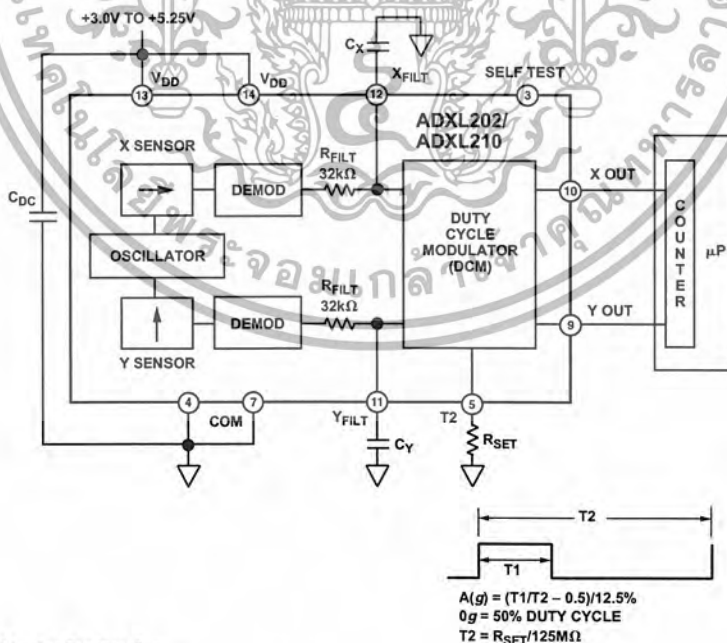
The ADXL202/ADXL210 are low cost, low power, complete 2-axis accelerometers with a measurement range of either  $\pm 2 g/\pm 10 g$ . The ADXL202/ADXL210 can measure both dynamic acceleration (e.g., vibration) and static acceleration (e.g., gravity).

The outputs are digital signals whose duty cycles (ratio of pulse-width to period) are proportional to the acceleration in each of the 2 sensitive axes. These outputs may be measured directly with a microprocessor counter, requiring no A/D converter or glue logic. The output period is adjustable from 0.5 ms to 10 ms via a single resistor ( $R_{SET}$ ). If a voltage output is desired, a voltage output proportional to acceleration is available from the  $X_{FILT}$  and  $Y_{FILT}$  pins, or may be reconstructed by filtering the duty cycle outputs.

The bandwidth of the ADXL202/ADXL210 may be set from 0.01 Hz to 5 kHz via capacitors  $C_X$  and  $C_Y$ . The typical noise floor is  $500 \mu g/\sqrt{Hz}$  allowing signals below 5 mg to be resolved for bandwidths below 60 Hz.

The ADXL202/ADXL210 is available in a hermetic 14-lead Surface Mount CERPAK, specified over the  $0^\circ C$  to  $+70^\circ C$  commercial or  $-40^\circ C$  to  $+85^\circ C$  industrial temperature range.

### FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



*i*MEMS is a registered trademark of Analog Devices, Inc.

### REV. B

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.  
Tel: 781/329-4700 World Wide Web Site: <http://www.analog.com>  
Fax: 781/326-8703 © Analog Devices, Inc., 1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ADXL202/ADXL210—SPECIFICATIONS (T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>, T<sub>A</sub> = +25°C for J Grade only, V<sub>DD</sub> = +5 V, R<sub>SET</sub> = 125 kΩ, Acceleration = 0 g, unless otherwise noted)

Parameter	Conditions	ADXL202/JQC/AQC			ADXL210/JQC/AQC			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
<b>SENSOR INPUT</b>	Each Axis							
Measurement Range <sup>1</sup>		±1.5	±2		±8	±10		g
Nonlinearity	Best Fit Straight Line		0.2			0.2		% of FS
Alignment Error <sup>2</sup>			±1			±1		Degrees
Alignment Error	X Sensor to Y Sensor		±0.01			±0.01		Degrees
Transverse Sensitivity <sup>3</sup>			±2			±2		%
<b>SENSITIVITY</b>	Each Axis							
Duty Cycle per g	T1/T2 @ +25°C	10	12.5	15	3.2	4.0	4.8	%/g
Sensitivity, Analog Output	At Pins X <sub>FILT</sub> , Y <sub>FILT</sub>		312			100		mV/g
Temperature Drift <sup>4</sup>	Δ from +25°C		±0.5			±0.5		% R <sub>dg</sub>
<b>ZERO g BIAS LEVEL</b>	Each Axis							
0 g Duty Cycle	T1/T2	25	50	75	42	50	58	%
Initial Offset			±2			±2		g
0 g Duty Cycle vs. Supply			1.0	4.0		1.0	4.0	%/V
0 g Offset vs. Temperature <sup>4</sup>	Δ from +25°C		2.0			2.0		mg/°C
<b>NOISE PERFORMANCE</b>								
Noise Density <sup>5</sup>	@ +25°C		500	1000		500	1000	μg/√Hz
<b>FREQUENCY RESPONSE</b>								
3 dB Bandwidth	Duty Cycle Output		500			500		Hz
3 dB Bandwidth	At Pins X <sub>FILT</sub> , Y <sub>FILT</sub>		5			5		kHz
Sensor Resonant Frequency			10			14		kHz
<b>FILTER</b>								
R <sub>FILT</sub> Tolerance	32 kΩ Nominal		±15			±15		%
Minimum Capacitance	At X <sub>FILT</sub> , Y <sub>FILT</sub>	1000			1000			pF
<b>SELF TEST</b>								
Duty Cycle Change	Self-Test "0" to "1"		10			10		%
<b>DUTY CYCLE OUTPUT STAGE</b>								
F <sub>SET</sub>	R <sub>SET</sub> = 125 MΩ/R <sub>SET</sub>		0.7	1.3		0.7	1.3	kHz
F <sub>SET</sub> Tolerance								
Output High Voltage	I = 25 μA		V <sub>S</sub> - 200 mV			V <sub>S</sub> - 200 mV		mV
Output Low Voltage	I = 25 μA			200			200	mV
T2 Drift vs. Temperature			35			35		ppm/°C
Rise/Fall Time			200			200		ns
<b>POWER SUPPLY</b>								
Operating Voltage Range		3.0		5.25	2.7		5.25	V
Specified Performance		4.75		5.25	4.75		5.25	V
Quiescent Supply Current			0.6	1.0		0.6	1.0	mA
Turn-On Time <sup>6</sup>	To 99%		160 C <sub>FILT</sub> + 0.3			160 C <sub>FILT</sub> + 0.3		ms
<b>TEMPERATURE RANGE</b>								
Operating Range	JQC	0		+70	0		+70	°C
Specified Performance	AQC	-40		+85	-40		+85	°C

**NOTES**  
<sup>1</sup>For all combinations of offset and sensitivity variation.  
<sup>2</sup>Alignment error is specified as the angle between the true and indicated axis of sensitivity.  
<sup>3</sup>Transverse sensitivity is the algebraic sum of the alignment and the inherent sensitivity errors.  
<sup>4</sup>Specification refers to the maximum change in parameter from its initial at +25°C to its worst case value at T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>.  
<sup>5</sup>Noise density (μg/√Hz) is the average noise at any frequency in the bandwidth of the part.  
<sup>6</sup>C<sub>FILT</sub> in μF. Addition of filter capacitor will increase turn on time. Please see the Application section on power cycling.  
 All min and max specifications are guaranteed. Typical specifications are not tested or guaranteed.  
 Specifications subject to change without notice.

# ADXL202/ADXL210

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS\*

Acceleration (Any Axis, Unpowered for 0.5 ms) ..... 1000 g  
 Acceleration (Any Axis, Powered for 0.5 ms) ..... 500 g  
 +V<sub>S</sub> ..... -0.3 V to +7.0 V  
 Output Short Circuit Duration  
 (Any Pin to Common) ..... Indefinite  
 Operating Temperature ..... -55°C to +125°C  
 Storage Temperature ..... -65°C to +150°C

\*Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; the functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

## PIN CONFIGURATION

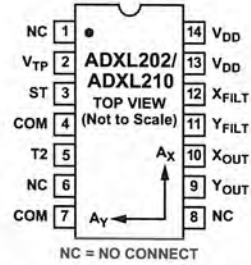


Figure 1 shows the response of the ADXL202 to the Earth's gravitational field. The output values shown are nominal. They are presented to show the user what type of response to expect from each of the output pins due to changes in orientation with respect to the Earth. The ADXL210 reacts similarly with output changes appropriate to its scale.

## PIN FUNCTION DESCRIPTIONS

Pin	Name	Description
1	NC	No Connect
2	V <sub>TP</sub>	Test Point, Do Not Connect
3	ST	Self Test
4	COM	Common
5	T2	Connect R <sub>SET</sub> to Set T2 Period
6	NC	No Connect
7	COM	Common
8	NC	No Connect
9	Y <sub>OUT</sub>	Y Axis Duty Cycle Output
10	X <sub>OUT</sub>	X Axis Duty Cycle Output
11	Y <sub>FILT</sub>	Connect Capacitor for Y Filter
12	X <sub>FILT</sub>	Connect Capacitor for X Filter
13	V <sub>DD</sub>	+3 V to +5.25 V, Connect to 14
14	V <sub>DD</sub>	+3 V to +5.25 V, Connect to 13

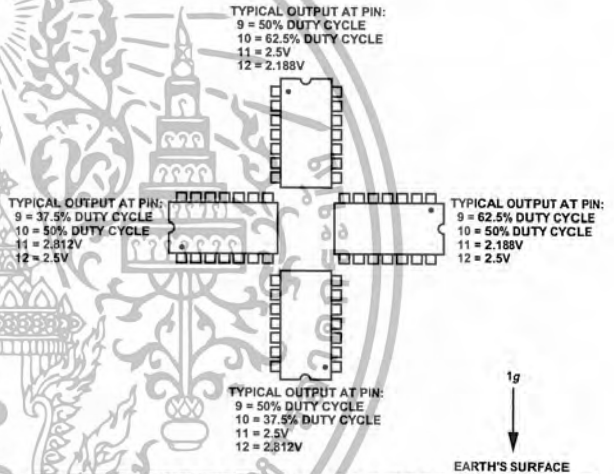


Figure 1. ADXL202/ADXL210 Nominal Response Due to Gravity

## PACKAGE CHARACTERISTICS

Package	θ <sub>JA</sub>	θ <sub>JC</sub>	Device Weight
14-Lead CERPAK	110°C/W	30°C/W	5 Grams

## ORDERING GUIDE

Model	g Range	Temperature Range	Package Description	Package Option
ADXL202JQC	±2	0°C to +70°C	14-Lead CERPAK	QC-14
ADXL202AQC	±2	-40°C to +85°C	14-Lead CERPAK	QC-14
ADXL210JQC	±10	0°C to +70°C	14-Lead CERPAK	QC-14
ADXL210AQC	±10	-40°C to +85°C	14-Lead CERPAK	QC-14

## CAUTION

ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Electrostatic charges as high as 4000 V readily accumulate on the human body and test equipment and can discharge without detection. Although the ADXL202/ADXL210 features proprietary ESD protection circuitry, permanent damage may occur on devices subjected to high energy electrostatic discharges. Therefore, proper ESD precautions are recommended to avoid performance degradation or loss of functionality.



# ADXL202/ADXL210

## TYPICAL CHARACTERISTICS (@ +25°C $R_{SET} = 125\text{ k}\Omega$ , $V_{DD} = +5\text{ V}$ , unless otherwise noted)

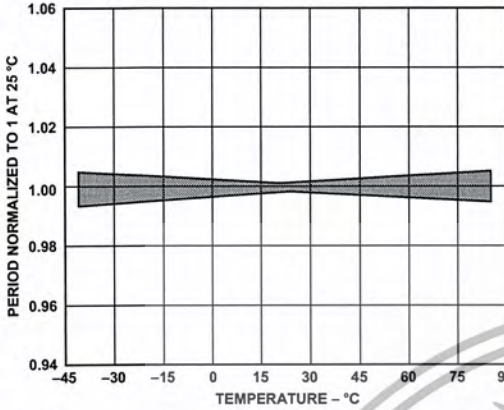


Figure 2. Normalized DCM Period ( $T_2$ ) vs. Temperature

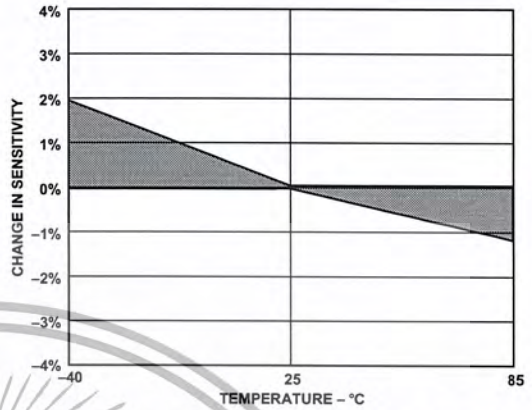


Figure 5. Typical X Axis Sensitivity Drift Due to Temperature

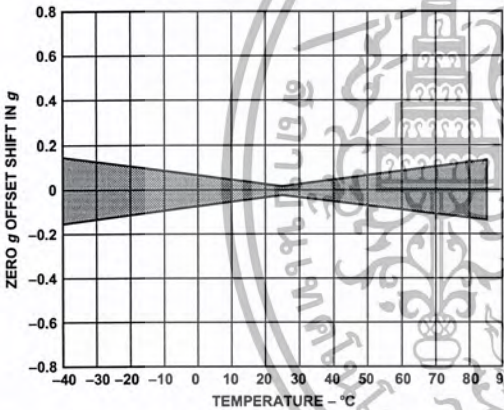


Figure 3. Typical Zero g Offset vs. Temperature

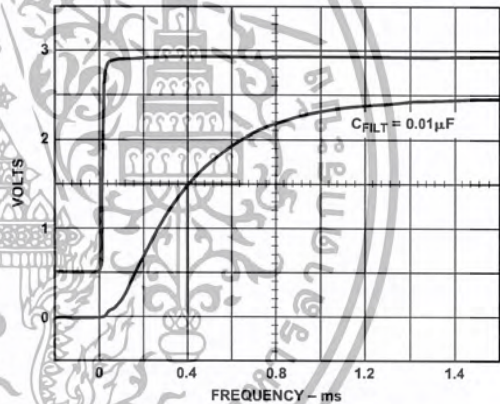


Figure 6. Typical Turn-On Time

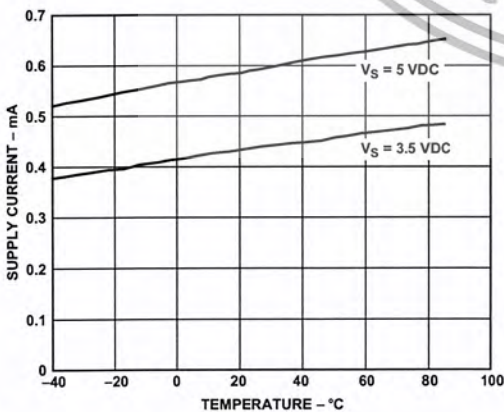


Figure 4. Typical Supply Current vs. Temperature

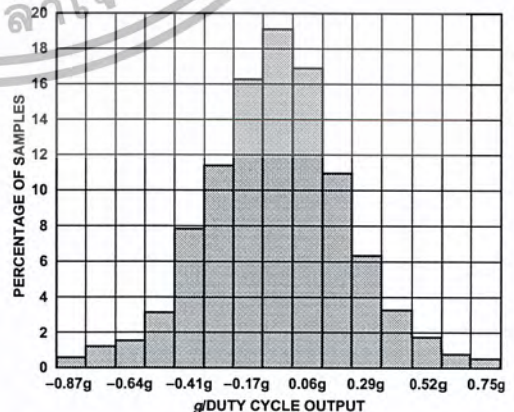


Figure 7. Typical Zero g Distribution at +25°C

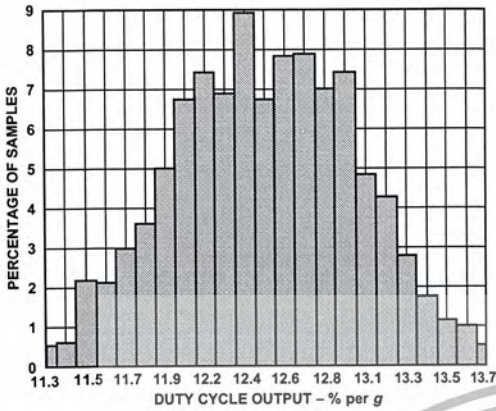


Figure 8. Typical Sensitivity per g at +25°C

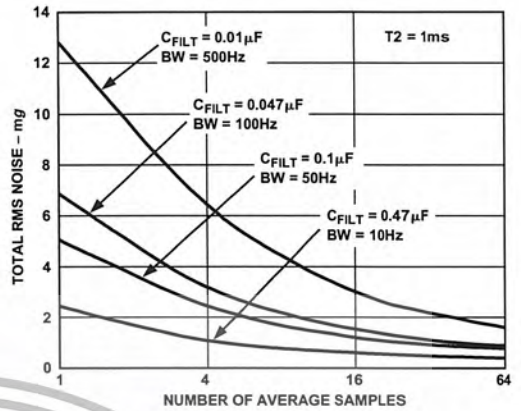


Figure 10. Typical Noise at Digital Outputs

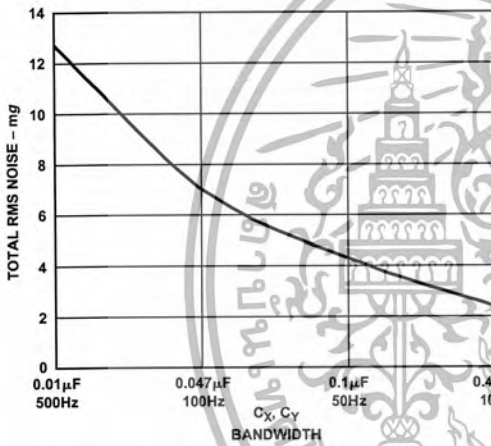


Figure 9. Typical Noise at  $X_{FILT}$  Output

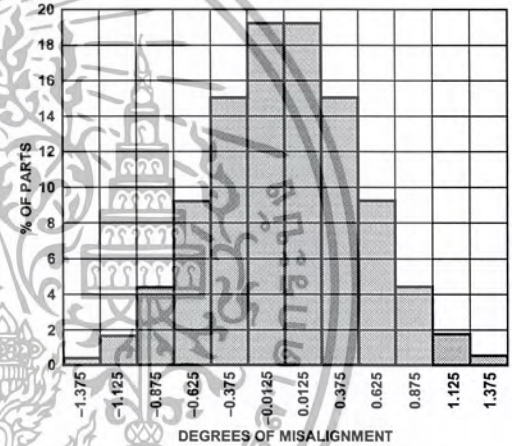


Figure 11. Rotational Die Alignment

# ADXL202/ADXL210

## DEFINITIONS

- T1 Length of the "on" portion of the cycle.
- T2 Length of the total cycle.
- Duty Cycle Ratio of the "on" time (T1) of the cycle to the total cycle (T2). Defined as T1/T2 for the ADXL202/ADXL210.
- Pulsewidth Time period of the "on" pulse. Defined as T1 for the ADXL202/ADXL210.

## THEORY OF OPERATION

The ADXL202/ADXL210 are complete dual axis acceleration measurement systems on a single monolithic IC. They contain a polysilicon surface-micromachined sensor and signal conditioning circuitry to implement an open loop acceleration measurement architecture. For each axis, an output circuit converts the analog signal to a duty cycle modulated (DCM) digital signal that can be decoded with a counter/timer port on a microprocessor. The ADXL202/ADXL210 are capable of measuring both positive and negative accelerations to a maximum level of  $\pm 2 g$  or  $\pm 10 g$ . The accelerometer measures static acceleration forces such as gravity, allowing it to be used as a tilt sensor.

The sensor is a surface micromachined polysilicon structure built on top of the silicon wafer. Polysilicon springs suspend the structure over the surface of the wafer and provide a resistance against acceleration forces. Deflection of the structure is measured using a differential capacitor that consists of independent fixed plates and central plates attached to the moving mass. The fixed plates are driven by  $180^\circ$  out of phase square waves. An acceleration will deflect the beam and unbalance the differential capacitor, resulting in an output square wave whose amplitude is proportional to acceleration. Phase sensitive demodulation techniques are then used to rectify the signal and determine the direction of the acceleration.

The output of the demodulator drives a duty cycle modulator (DCM) stage through a  $32 k\Omega$  resistor. At this point a pin is available on each channel to allow the user to set the signal bandwidth of the device by adding a capacitor. This filtering improves measurement resolution and helps prevent aliasing.

After being low-pass filtered, the analog signal is converted to a duty cycle modulated signal by the DCM stage. A single resistor sets the period for a complete cycle (T2), which can be set between  $0.5 ms$  and  $10 ms$  (see Figure 12). A  $0 g$  acceleration produces a nominally 50% duty cycle. The acceleration signal can be determined by measuring the length of the T1 and T2 pulses with a counter/timer or with a polling loop using a low cost microcontroller.

An analog output voltage can be obtained either by buffering the signal from the X<sub>FILT</sub> and Y<sub>FILT</sub> pin, or by passing the duty cycle signal through an RC filter to reconstruct the dc value.

The ADXL202/ADXL210 will operate with supply voltages as low as  $3.0 V$  or as high as  $5.25 V$ .

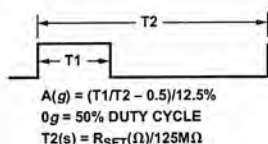


Figure 12. Typical Output Duty Cycle

## APPLICATIONS

### POWER SUPPLY DECOUPLING

For most applications a single  $0.1 \mu F$  capacitor, C<sub>DC</sub>, will adequately decouple the accelerometer from signal and noise on the power supply. However, in some cases, especially where digital devices such as microcontrollers share the same power supply, digital noise on the supply may cause interference on the ADXL202/ADXL210 output. This is often observed as a slowly undulating fluctuation of voltage at X<sub>FILT</sub> and Y<sub>FILT</sub>. If additional decoupling is needed, a  $100 \Omega$  (or smaller) resistor or ferrite beads, may be inserted in the ADXL202/ADXL210's supply line.

### DESIGN PROCEDURE FOR THE ADXL202/ADXL210

The design procedure for using the ADXL202/ADXL210 with a duty cycle output involves selecting a duty cycle period and a filter capacitor. A proper design will take into account the application requirements for bandwidth, signal resolution and acquisition time, as discussed in the following sections.

#### V<sub>DD</sub>

The ADXL202/ADXL210 have two power supply (V<sub>DD</sub>) Pins: 13 and 14. These two pins should be connected directly together.

#### COM

The ADXL202/ADXL210 have two commons, Pins 4 and 7. These two pins should be connected directly together and Pin 7 grounded.

#### V<sub>TP</sub>

This pin is to be left open; make no connections of any kind to this pin.

#### Decoupling Capacitor C<sub>DC</sub>

A  $0.1 \mu F$  capacitor is recommended from V<sub>DD</sub> to COM for power supply decoupling.

#### ST

The ST pin controls the self-test feature. When this pin is set to V<sub>DD</sub>, an electrostatic force is exerted on the beam of the accelerometer. The resulting movement of the beam allows the user to test if the accelerometer is functional. The typical change in output will be 10% at the duty cycle outputs (corresponding to  $800 mg$ ). This pin may be left open circuit or connected to common in normal use.

#### Duty Cycle Decoding

The ADXL202/ADXL210's digital output is a duty cycle modulator. Acceleration is proportional to the ratio T1/T2. The nominal output of the ADXL202 is:

$$0 g = 50\% \text{ Duty Cycle}$$

$$\text{Scale factor is } 12.5\% \text{ Duty Cycle Change per } g$$

The nominal output of the ADXL210 is:

$$0 g = 50\% \text{ Duty Cycle}$$

$$\text{Scale factor is } 4\% \text{ Duty Cycle Change per } g$$

These nominal values are affected by the initial tolerance of the device including zero g offset error and sensitivity error.

T2 does not have to be measured for every measurement cycle. It need only be updated to account for changes due to temperature, (a relatively slow process). Since the T2 time period is shared by both X and Y channels, it is necessary only to measure it on one channel of the ADXL202/ADXL210. Decoding algorithms for various microcontrollers have been developed. Consult the appropriate Application Note.

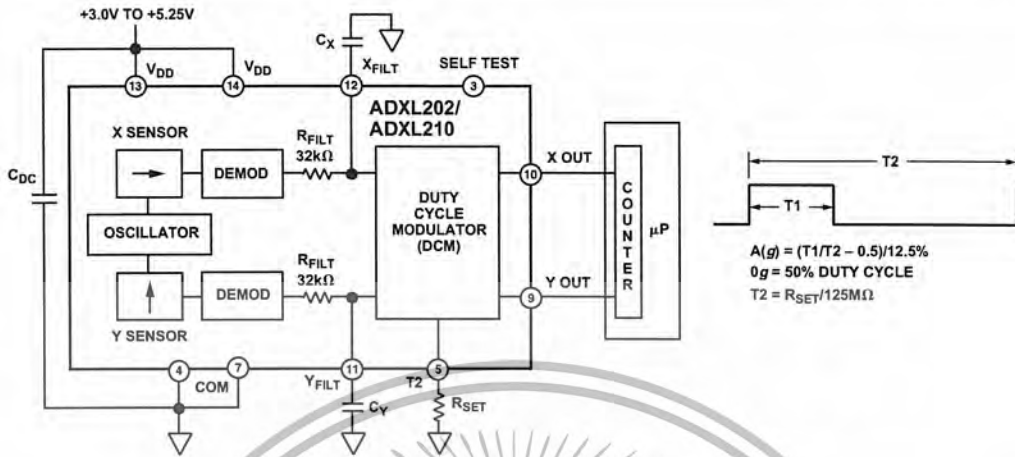


Figure 13. Block Diagram

### Setting the Bandwidth Using $C_X$ and $C_Y$

The ADXL202/ADXL210 have provisions for bandlimiting the  $X_{FILT}$  and  $Y_{FILT}$  pins. Capacitors must be added at these pins to implement low-pass filtering for antialiasing and noise reduction. The equation for the 3 dB bandwidth is:

$$F_{-3dB} = \frac{1}{(2 \pi (32 \text{ k}\Omega) \times C(x, y))}$$

or, more simply,  $F_{-3dB} = \frac{5 \mu\text{F}}{C(x, y)}$

The tolerance of the internal resistor ( $R_{FILT}$ ), can vary as much as  $\pm 25\%$  of its nominal value of 32 k $\Omega$ , so the bandwidth will vary accordingly. A minimum capacitance of 1000 pF for  $C_X$  and  $C_Y$  is required in all cases.

Table I. Filter Capacitor Selection,  $C_X$  and  $C_Y$

Bandwidth	Capacitor Value
10 Hz	0.47 $\mu\text{F}$
50 Hz	0.10 $\mu\text{F}$
100 Hz	0.05 $\mu\text{F}$
200 Hz	0.027 $\mu\text{F}$
500 Hz	0.01 $\mu\text{F}$
5 kHz	0.001 $\mu\text{F}$

### Setting the DCM Period with $R_{SET}$

The period of the DCM output is set for both channels by a single resistor from  $R_{SET}$  to ground. The equation for the period is:

$$T2 = \frac{R_{SET} (\Omega)}{125 \text{ M}\Omega}$$

A 125 k $\Omega$  resistor will set the duty cycle repetition rate to approximately 1 kHz, or 1 ms. The device is designed to operate at duty cycle periods between 0.5 ms and 10 ms.

Table II. Resistor Values to Set  $T2$

$T2$	$R_{SET}$
1 ms	125 k $\Omega$
2 ms	250 k $\Omega$
5 ms	625 k $\Omega$
10 ms	1.25 M $\Omega$

Note that the  $R_{SET}$  should always be included, even if only an analog output is desired. Use an  $R_{SET}$  value between 500 k $\Omega$  and 2 M $\Omega$  when taking the output from  $X_{FILT}$  or  $Y_{FILT}$ . The  $R_{SET}$  resistor should be placed close to the T2 Pin to minimize parasitic capacitance at this node.

### Selecting the Right Accelerometer

For most tilt sensing applications the ADXL202 is the most appropriate accelerometer. Its higher sensitivity (12.5%/g allows the user to use a lower speed counter for PWM decoding while maintaining high resolution. The ADXL210 should be used in applications where accelerations of greater than  $\pm 2 g$  are expected.

### MICROCOMPUTER INTERFACES

The ADXL202/ADXL210 were specifically designed to work with low cost microcontrollers. Specific code sets, reference designs, and application notes are available from the factory. This section will outline a general design procedure and discuss the various trade-offs that need to be considered.

The designer should have some idea of the required performance of the system in terms of:

**Resolution:** the smallest signal change that needs to be detected.

**Bandwidth:** the highest frequency that needs to be detected.

**Acquisition Time:** the time that will be available to acquire the signal on each axis.

These requirements will help to determine the accelerometer bandwidth, the speed of the microcontroller clock and the length of the  $T2$  period.

When selecting a microcontroller it is helpful to have a counter timer port available. The microcontroller should have provisions for software calibration. While the ADXL202/ADXL210 are highly accurate accelerometers, they have a wide tolerance for

# ADXL202/ADXL210

initial offset. The easiest way to null this offset is with a calibration factor saved on the microcontroller or by a user calibration for zero *g*. In the case where the offset is calibrated during manufacture, there are several options, including external EEPROM and microcontrollers with “one-time programmable” features.

## DESIGN TRADE-OFFS FOR SELECTING FILTER CHARACTERISTICS: THE NOISE/BW TRADE-OFF

The accelerometer bandwidth selected will determine the measurement resolution (smallest detectable acceleration). Filtering can be used to lower the noise floor and improve the resolution of the accelerometer. Resolution is dependent on both the analog filter bandwidth at  $X_{FILT}$  and  $Y_{FILT}$  and on the speed of the microcontroller counter.

The analog output of the ADXL202/ADXL210 has a typical bandwidth of 5 kHz, much higher than the duty cycle stage is capable of converting. The user must filter the signal at this point to limit aliasing errors. To minimize DCM errors the analog bandwidth should be less than 1/10 the DCM frequency. Analog bandwidth may be increased to up to 1/2 the DCM frequency in many applications. This will result in greater dynamic error generated at the DCM.

The analog bandwidth may be further decreased to reduce noise and improve resolution. The ADXL202/ADXL210 noise has the characteristics of white Gaussian noise that contributes equally at all frequencies and is described in terms of  $\mu g$  per root Hz; i.e., the noise is proportional to the square root of the bandwidth of the accelerometer. It is recommended that the user limit bandwidth to the lowest frequency needed by the application, to maximize the resolution and dynamic range of the accelerometer.

With the single pole roll-off characteristic, the typical noise of the ADXL202/ADXL210 is determined by the following equation:

$$\text{Noise (rms)} = \left( 500 \mu g / \sqrt{\text{Hz}} \right) \times \left( \sqrt{\text{BW} \times 1.5} \right)$$

At 100 Hz the noise will be:

$$\text{Noise (rms)} = \left( 500 \mu g / \sqrt{\text{Hz}} \right) \times \left( \sqrt{100 \times (1.5)} \right) = 6.12 \text{ mg}$$

Often the peak value of the noise is desired. Peak-to-peak noise can only be estimated by statistical methods. Table III is useful for estimating the probabilities of exceeding various peak values, given the rms value.

**Table III. Estimation of Peak-to-Peak Noise**

Nominal Peak-to-Peak Value	% of Time that Noise Will Exceed Nominal Peak-to-Peak Value
2.0 × rms	32%
4.0 × rms	4.6%
6.0 × rms	0.27%
8.0 × rms	0.006%

The peak-to-peak noise value will give the best estimate of the uncertainty in a single measurement.

Table IV gives typical noise output of the ADXL202/ADXL210 for various  $C_X$  and  $C_Y$  values.

**Table IV. Filter Capacitor Selection,  $C_X$  and  $C_Y$**

Bandwidth	$C_X, C_Y$	rms Noise	Peak-to-Peak Noise Estimate 95% Probability (rms × 4)
10 Hz	0.47 $\mu F$	1.9 mg	7.6 mg
50 Hz	0.10 $\mu F$	4.3 mg	17.2 mg
100 Hz	0.05 $\mu F$	6.1 mg	24.4 mg
200 Hz	0.027 $\mu F$	8.7 mg	35.8 mg
500 Hz	0.01 $\mu F$	13.7 mg	54.8 mg

## CHOOSING T2 AND COUNTER FREQUENCY: DESIGN TRADE-OFFS

The noise level is one determinant of accelerometer resolution. The second relates to the measurement resolution of the counter when decoding the duty cycle output.

The ADXL202/ADXL210's duty cycle converter has a resolution of approximately 14 bits; better resolution than the accelerometer itself. The actual resolution of the acceleration signal is, however, limited by the time resolution of the counting devices used to decode the duty cycle. The faster the counter clock, the higher the resolution of the duty cycle and the shorter the T2 period can be for a given resolution. The following table shows some of the trade-offs. It is important to note that this is the resolution due to the microprocessors's counter. It is probable that the accelerometer's noise floor may set the lower limit on the resolution, as discussed in the previous section.

**Table V. Trade-Offs Between Microcontroller Counter Rate, T2 Period and Resolution of Duty Cycle Modulator**

T2 (ms)	R <sub>SET</sub> (k $\Omega$ )	ADXL202/ADXL210 Sample Rate	Counter-Clock Rate (MHz)	Counts per T2 Cycle	Counts per g	Resolution (mg)
1.0	124	1000	2.0	2000	250	4.0
1.0	124	1000	1.0	1000	125	8.0
1.0	124	1000	0.5	500	62.5	16.0
5.0	625	200	2.0	10000	1250	0.8
5.0	625	200	1.0	5000	625	1.6
5.0	625	200	0.5	2500	312.5	3.2
10.0	1250	100	2.0	20000	2500	0.4
10.0	1250	100	1.0	10000	1250	0.8
10.0	1250	100	0.5	5000	625	1.6

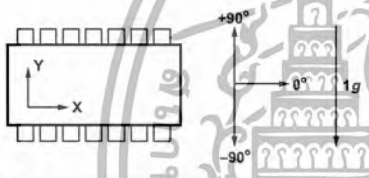
**STRATEGIES FOR USING THE DUTY CYCLE OUTPUT WITH MICROCONTROLLERS**

Application notes outlining various strategies for using the duty cycle output with low cost microcontrollers are available from the factory.

**USING THE ADXL202/ADXL210 AS A DUAL AXIS TILT SENSOR**

One of the most popular applications of the ADXL202/ADXL210 is tilt measurement. An accelerometer uses the force of gravity as an input vector to determine orientation of an object in space.

An accelerometer is most sensitive to tilt when its sensitive axis is perpendicular to the force of gravity, i.e., parallel to the earth's surface. At this orientation its sensitivity to changes in tilt is highest. When the accelerometer is oriented on axis to gravity, i.e., near its +1 g or -1 g reading, the change in output acceleration per degree of tilt is negligible. When the accelerometer is perpendicular to gravity, its output will change nearly 17.5 mg per degree of tilt, but at 45° degrees it is changing only at 12.2 mg per degree and resolution declines. The following table illustrates the changes in the X and Y axes as the device is tilted ±90° through gravity.



X AXIS ORIENTATION TO HORIZON (°)	X OUTPUT		Y OUTPUT (g)	
	X OUTPUT (g)	Δ PER DEGREE OF TILT (mg)	Y OUTPUT (g)	Δ PER DEGREE OF TILT (mg)
-90	-1.000	-0.2	0.000	17.5
-75	-0.966	4.4	0.259	16.9
-60	-0.866	8.6	0.500	15.2
-45	-0.707	12.2	0.707	12.4
-30	-0.500	15.0	0.866	8.9
-15	-0.259	16.8	0.966	4.7
0	0.000	17.5	1.000	0.2
15	0.259	16.9	0.966	-4.4
30	0.500	15.2	0.866	-8.6
45	0.707	12.4	0.707	-12.2
60	0.866	8.9	0.500	-15.0
75	0.966	4.7	0.259	-16.8
90	1.000	0.2	0.000	-17.5

Figure 14. How the X and Y Axes Respond to Changes in Tilt

**A DUAL AXIS TILT SENSOR: CONVERTING ACCELERATION TO TILT**

When the accelerometer is oriented so both its X and Y axes are parallel to the earth's surface it can be used as a two axis tilt sensor with a roll and a pitch axis. Once the output signal from the accelerometer has been converted to an acceleration that varies between -1 g and +1 g, the output tilt in degrees is calculated as follows:

$$\text{Pitch} = \text{ASIN}(Ax/1g)$$

$$\text{Roll} = \text{ASIN}(Ay/1g)$$

Be sure to account for overranges. It is possible for the accelerometers to output a signal greater than ±1 g due to vibration, shock or other accelerations.

**MEASURING 360° OF TILT**

It is possible to measure a full 360° of orientation through gravity by using two accelerometers oriented perpendicular to one another (see Figure 15). When one sensor is reading a maximum change in output per degree, the other is at its minimum.

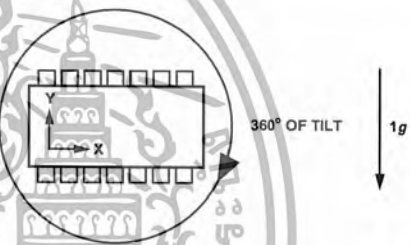


Figure 15. Using a Two-Axis Accelerometer to Measure 360° of Tilt

# ADXL202/ADXL210

## USING THE ANALOG OUTPUT

The ADXL202/ADXL210 was specifically designed for use with its digital outputs, but has provisions to provide analog outputs as well.

### Duty Cycle Filtering

An analog output can be reconstructed by filtering the duty cycle output. This technique requires only passive components. The duty cycle period ( $T_2$ ) should be set to 1 ms. An RC filter with a 3 dB point at least a factor of 10 less than the duty cycle frequency is connected to the duty cycle output. The filter resistor should be no less than 100 k $\Omega$  to prevent loading of the output stage. The analog output signal will be ratiometric to the supply voltage. The advantage of this method is an output scale factor of approximately double the analog output. Its disadvantage is that the frequency response will be lower than when using the  $X_{FILT}$ ,  $Y_{FILT}$  output.

### $X_{FILT}$ , $Y_{FILT}$ Output

The second method is to use the analog output present at the  $X_{FILT}$  and  $Y_{FILT}$  pin. Unfortunately, these pins have a 32 k $\Omega$  output impedance and are not designed to drive a load directly. An op amp follower may be required to buffer this pin. The advantage of this method is that the full 5 kHz bandwidth of the accelerometer is available to the user. A capacitor still must be added at this point for filtering. The duty cycle converter should be kept running by using  $R_{SET} < 10 M\Omega$ . Note that the accelerometer offset and sensitivity are ratiometric to the supply voltage. The offset and sensitivity are nominally:

$$0\text{ g Offset} = V_{DD}/2 \quad 2.5\text{ V at } +5\text{ V}$$
$$\text{ADXL202 Sensitivity} = (60\text{ mV} \times V_S)/g \quad 300\text{ mV/g at } +5\text{ V, } V_{DD}$$
$$\text{ADXL210 Sensitivity} = (20\text{ mV} \times V_S)/g \quad 100\text{ mV/g at } +5\text{ V, } V_{DD}$$

## USING THE ADXL202/ADXL210 IN VERY LOW POWER APPLICATIONS

An application note outlining low power strategies for the ADXL202/ADXL210 is available. Some key points are presented here. It is possible to reduce the ADXL202/ADXL210's average current from 0.6 mA to less than 20  $\mu$ A by using the following techniques:

1. Power Cycle the accelerometer.
2. Run the accelerometer at a Lower Voltage, (Down to 3 V).

### Power Cycling with an External A/D

Depending on the value of the  $X_{FILT}$  capacitor, the ADXL202/ADXL210 is capable of turning on and giving a good reading in 1.6 ms. Most microcontroller based A/Ds can acquire a reading in another 25  $\mu$ s. Thus it is possible to turn on the ADXL202/ADXL210 and take a reading in <2 ms. If we assume that a 20 Hz sample rate is sufficient, the total current required to take 20 samples is 2 ms  $\times$  20 samples/s  $\times$  0.6 mA = 24  $\mu$ A average current. Running the part at 3 V will reduce the supply current from 0.6 mA to 0.4 mA, bringing the average current down to 16  $\mu$ A.

The A/D should read the analog output of the ADXL202/ADXL210 at the  $X_{FILT}$  and  $Y_{FILT}$  pins. A buffer amplifier is recommended, and may be required in any case to amplify the analog output to give enough resolution with an 8-bit to 10-bit converter.

### Power Cycling When Using the Digital Output

An alternative is to run the microcontroller at a higher clock rate and put it into shutdown between readings, allowing the use of the digital output. In this approach the ADXL202/ADXL210 should be set at its fastest sample rate ( $T_2 = 0.5$  ms), with a 500 Hz filter at  $X_{FILT}$  and  $Y_{FILT}$ . The concept is to acquire a reading as quickly as possible and then shut down the ADXL202/ADXL210 and the microcontroller until the next sample is needed.

In either of the above approaches, the ADXL202/ADXL210 can be turned on and off directly using a digital port pin on the microcontroller to power the accelerometer without additional components. The port should be used to switch the common pin of the accelerometer so the port pin is "pulling down."

## CALIBRATING THE ADXL202/ADXL210

The initial value of the offset and scale factor for the ADXL202/ADXL210 will require calibration for applications such as tilt measurement. The ADXL202/ADXL210 architecture has been designed so that these calibrations take place in the software of the microcontroller used to decode the duty cycle signal. Calibration factors can be stored in EEPROM or determined at turn-on and saved in dynamic memory.

For low  $g$  applications, the force of gravity is the most stable, accurate and convenient acceleration reference available. A reading of the 0  $g$  point can be determined by orientating the device parallel to the earth's surface and then reading the output.

A more accurate calibration method is to make a measurements at +1  $g$  and -1  $g$ . The sensitivity can be determined by the two measurements.

To calibrate, the accelerometer's measurement axis is pointed directly at the earth. The 1  $g$  reading is saved and the sensor is turned 180 $^\circ$  to measure -1  $g$ . Using the two readings, the sensitivity is:

$$\text{Let } A = \text{Accelerometer output with axis oriented to } +1\text{ g}$$
$$\text{Let } B = \text{Accelerometer output with axis oriented to } -1\text{ g then:}$$
$$\text{Sensitivity} = [A - B]/2\text{ g}$$

For example, if the +1  $g$  reading (A) is 55% duty cycle and the -1  $g$  reading (B) is 32% duty cycle, then:

$$\text{Sensitivity} = [55\% - 32\%]/2\text{ g} = 11.5\%/g$$

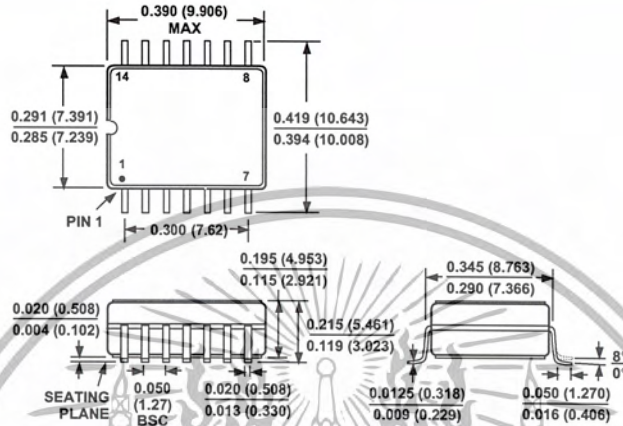
These equations apply whether the output is analog, or duty cycle.

Application notes outlining algorithms for calculating acceleration from duty cycle and automated calibration routines are available from the factory.

OUTLINE DIMENSIONS

Dimensions shown in inches and (mm).

14-Lead CERPAK  
(QC-14)



C3037b-2-4/99

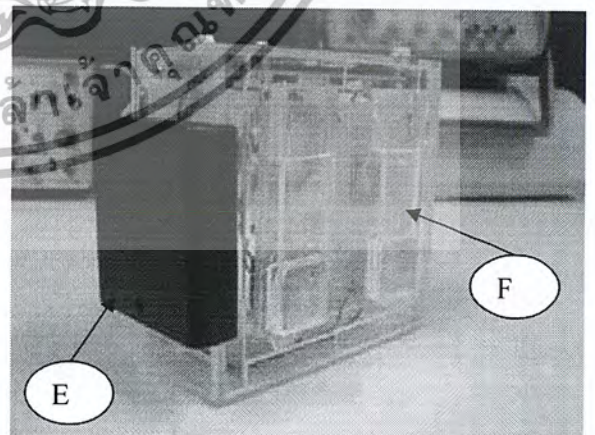
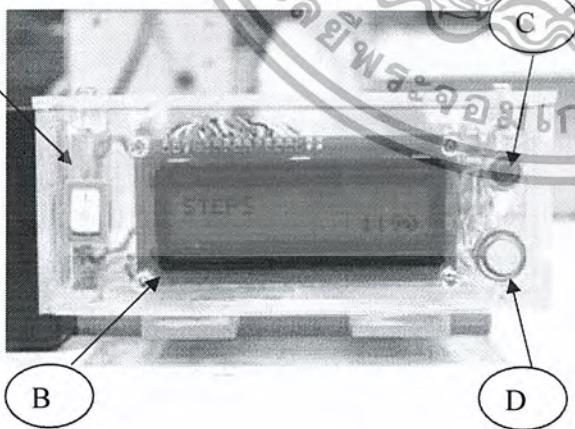
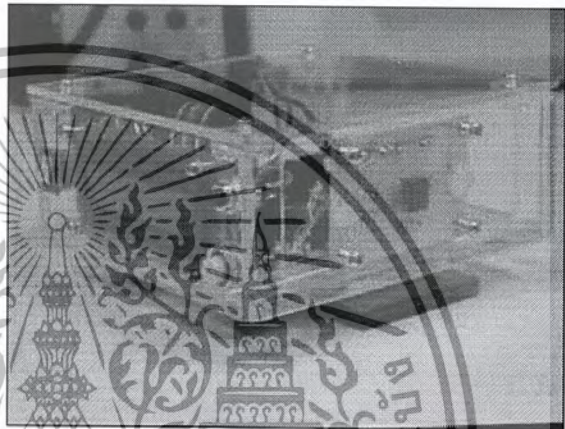


PRINTED IN U.S.A.

# คู่มือการใช้ เครื่องนับก้าวเดิน

## ลักษณะและความสามารถของเครื่องนับก้าวเดิน

- ฟังก์ชันการทำงานของเครื่องนับก้าวเดินสามารถนับจำนวนก้าวเดินได้และประมาณค่าระยะทางรวมถึงแคลอรีโดยประมาณได้ (ประมาณจากขนาดบุคคลมาตรฐาน)
  - เครื่องนับก้าวเดินนี้ถูกออกแบบให้สามารถสอดเข็มขัดได้ ทำให้พกพาสะดวก
  - มีความถูกต้องในการนับก้าวเดินได้มากกว่า 95% ในการเดินเป็นระยะทางที่ต่อเนื่อง
  - เครื่องนับก้าวเดินจะแสดงผลการนับก้าวเดินผ่านทางจอ LCD ซึ่งมีขนาดใหญ่และมีการแสดงผลได้ 3 โหมด
  - สามารถนับจำนวนก้าวได้สูงสุด 65534 ก้าว
- \*\*เครื่องนับก้าวเดินนี้ไม่อนุญาตให้ผู้ใช้งานปรับความไวในการทำงานของเครื่องได้ด้วยตัวเอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งและหน้าที่ของส่วนต่างๆของเครื่องนับก้าวเดิน

**A. Power switched Button**

เป็นสวิตช์คอยเปิด/ปิดการทำงานของเครื่อง

**B. LCD**

เป็นส่วนแสดงผลการเดินรวมถึงระยะทางโดยประมาณและปริมาณแคลอรีที่สูญเสียโดยประมาณ

**C. Reset Button**

จะทำการรีเซตค่าจำนวนก้าวเดิน, ระยะทาง, ปริมาณแคลอรีที่สูญเสีย ให้มีค่ากลับมาเป็นศูนย์

**D. D/C Button**

จะแสดงค่าประมาณระยะทางและปริมาณแคลอรีที่สูญเสีย(โดยประมาณจากค่าของบุคคลมาตรฐาน)

**E. Battery Compartment**

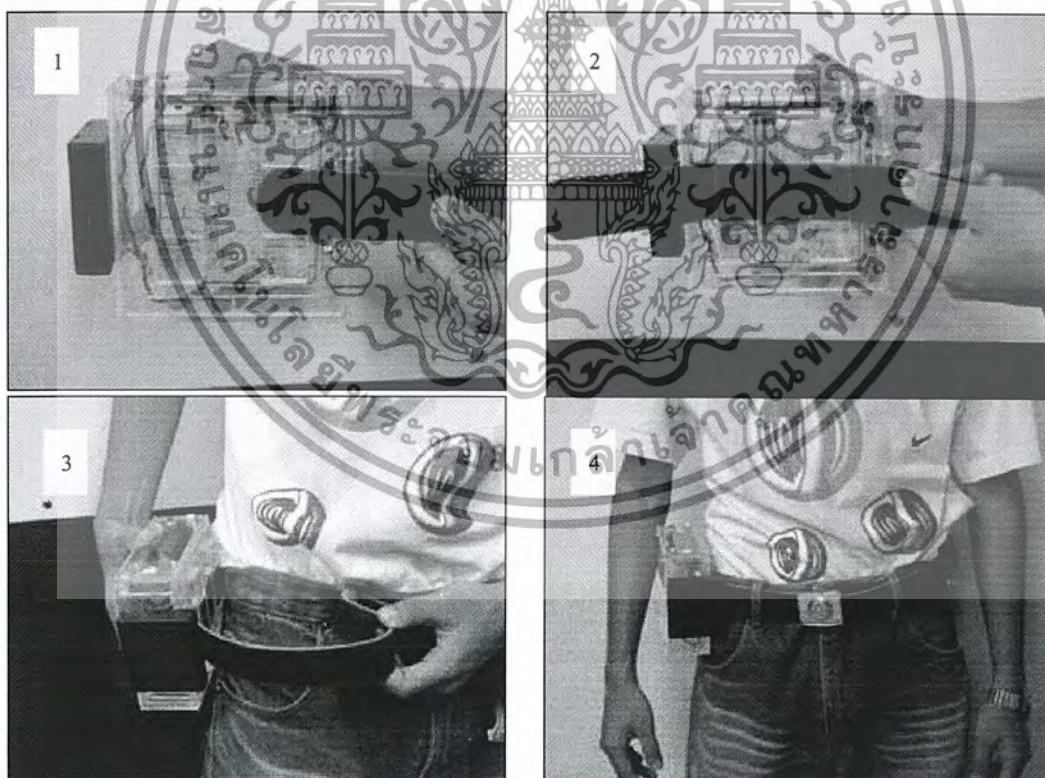
ใช้แบตเตอรี่ขนาด AA จำนวน 4 ก้อน (ควรเป็นชนิด rechargeable 1800mA/hour ขึ้นไป)

**F. Belt Slot**

ช่องใส่เข็มขัด

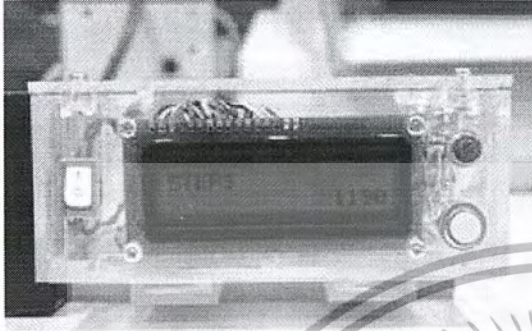
ขั้นตอนการใส่และติดตั้งเครื่องนับก้าวเดิน

เครื่องนับก้าวเดินนี้ถูกออกแบบให้สามารถสอดเข็มขัดได้ ทำให้พกพาสะดวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## THE STEP DISPLAY MODE



เมื่อทำการใส่แบตเตอรี่และเปิดสวิตช์จะพบว่าLCD จะแสดงจำนวนก้าวเดินโดยที่บรรทัดบนจะแสดงคำว่า STEPS และบรรทัดล่างจะแสดงค่าจำนวนก้าวเดิน เมื่อต้องการเคลียร์ค่าทุกค่าให้เป็นศูนย์ให้กดปุ่ม RESET

## DISTANCE AND CALORIES CONSUMED DISPLAY MODE.

เมื่อกดปุ่ม D/C Button จอแสดงผล LCD จะแสดงค่าประมาณของระยะทางที่ใช้ในการเดินและค่าปริมาณแคลอรีที่สูญเสียจากการเดิน

ระยะทาง(Distance) ขึ้นอยู่กับความยาวในการก้าวเดินของแต่ละบุคคลแต่ในเครื่องนับก้าวเดินเครื่องนี้ค่าความยาวก้าวจะถูกเซตไว้ที่ค่าของความยาวมาตรฐานเฉลี่ย ประมาณ 70 เซนติเมตรต่อความยาวหนึ่งก้าวเดินออกกำลังกาย

ระยะทาง = จำนวนก้าวเดิน X ค่าเฉลี่ยของหนึ่งก้าวเดิน(0.7เมตร)

ปริมาณแคลอรีที่สูญเสีย ขึ้นอยู่กับน้ำหนัก อายุ และเพศ และปัจจัยอื่นๆ แต่การออกแบบเครื่องนี้ ถูกตั้งไว้ที่น้ำหนักผู้ใช้ 60-80 กิโลกรัม.

### ข้อเสนอแนะในการเดิน (SUGGESTED STEPS PER DAY)

เพื่อให้ร่างกายมีความแข็งแรงจึงเป็นสิ่งที่จะต้องทำเป็นอย่างน้อยที่สุดทุกคนควรเดินให้ได้วันละ 10,000 ก้าว โดยการเดินเป็นจำนวน 10,000 ก้าว จะทำให้ผู้ที่มีน้ำหนัก 60-80 กิโลกรัม สูญเสียพลังงานประมาณ 400 แคลอรี (reference by [http:// walking.about.com /cs/measure/tp/pedometer.htm](http://walking.about.com/cs/measure/tp/pedometer.htm))

### SPECIFICATIONS

Step counter	: 0 to 65,534 steps
Distance traveled	: 0 to 45873.8 m
Calorie Display	: 0.0 – 2621.36cal
Operation temperature	: 0°C to 50°C
Power source	: 4 x AA 1.5V batteries or equivalent.
Product size	: 5 (D) x 12 (w) x 12 (L) cm
Weight	: 375g (without batteries)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้