

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องมือวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยใช้พีซอก

Ultrasonic Distance Meter by PSOC



ปฏิญานีพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยใช้พีโซค

Ultrasonic Distance Meter by PSOC



ปริญญานิพนธ์นี้สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2549

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องมือวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยใช้พีซอก

(Ultrasonic Distance Meter by PSOC)

ผู้จัดทำ นางสาววรรณวิสา เจริญจิต รหัส 47015219

ลงชื่อ.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ. ดร. มนต์ สัจวงศศิลป์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยใช้พีซีออก

นางสาว วรรณวิสา เจริญจิต รหัส 47015219

รศ. ดร. มนัส สังวรศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้มีรูปแบบต่างๆออกมามากมาย จุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดขนาด และง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน โครงการนี้ได้นำเสนอเครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิกโดยใช้พีซีออก

หลักการทำงานคือ ระบบจะทำการนับระยะเวลาในการส่งสัญญาณความถี่ออกไปกระทบกับวัตถุ และสะท้อนกลับมายังภาครับคลื่น นำค่าที่นับได้กับอุณหภูมิ ณ เวลานั้นไปคำนวณหาค่า ผลลัพธ์ที่ได้คือ ระยะทางที่ต้องการจะวัดแสดงผลด้วยแอลซีดี จึงทำให้ลดขนาดและลดสัญญาณรบกวนของเครื่องมือวัดระยะทางได้เป็นอย่างดี.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ultrasonic Distance Meter by PSoC

Miss Wanwisa Charoenjit ID. 47015219

Assoc. Prof. Dr. Manas Sangworansil Advisor

Educational Year 2006

Abstract

Nowaday , microcontroller have many type and application for gain the efficiency, reduce size and easy to use or control. This project presents about Ultrasonic Distance Meter by PSoC

Ultrasonic Distance Meter by PSoC count the time which sends the transmiss signal to the object and receive the signal from it. The counted time parameter is used to calculate the distance and finally show on the LCD display. All parts of the circuit of this instrument use only one PSoC microcontroller. The effective and the advancctage of is to reduce the size, cost and also can be useful small application or real embedded system.

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงการเรื่อง เครื่องมือวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยใช้พีซอค
Ultrasonic Distance Meter by PSOC และการจัดทำรายงานฉบับนี้ต้องขอขอบพระคุณ

รศ. ดร. มนัส สัจจวิมล อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำแนะนำ ตลอดจนถึงคิดตามผลอย่างสม่ำเสมอ
ขอขอบคุณพี่ธีระศักดิ์ จันทรวินเมธียง และพี่ๆที่ไม่ได้กล่าวชื่อทุกๆ คน ที่คอยให้คำปรึกษาและ
เอื้อเฟื้ออุปถัมภ์ในการจัดทำโครงการนี้ ขอขอบคุณเพื่อนๆที่ให้กำลังใจตลอดมา จึงขอขอบคุณมา ณ
ที่นี้ด้วย ผู้จัดทำโครงการหวังว่า โครงการและปฏิญญาพันธบัตรฉบับนี้จะมีประโยชน์ในการที่จะนำ
ชุด เครื่องมือวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยใช้พีซอค ไปใช้ในการพัฒนาและปรับปรุงใน
โอกาสต่อไป ถ้ารายงานฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

วรรณวิสา เจริญจิต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	XI
สารบัญกราฟ	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	1
1.4.1 คุณสมบัติของคลื่นอัลตราโซนิก	1
1.4.2 คลื่นอัลตราโซนิก	1
1.4.3 ชนิดของคลื่นอัลตราโซนิก	2
1.4.4 คุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นอัลตราโซนิก	4
1.4.5 อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์	8
บทที่ 2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC	14
2.1 แนะนำไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC	14
2.2 โครงสร้างไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC	15
2.2.1 คุณสมบัติที่สำคัญของ PSoC	15
2.3 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์	17
2.3.1 แกนหลักในการประมวลผล (PSoC Core)	18
2.3.2 Digital System	19
2.3.3 Analog System	20
2.3.4 System Resources	21
2.3.5 พอร์ต (PORT)	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3.6 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (Oscillator)	23
2.3.7 การรีเซ็ต (Reset)	25
2.3.8 การโปรแกรมข้อมูลลงสู่ชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ (In-Circuit Program Interface)	25
บทที่ 3 การคำนวณและการออกแบบ	26
3.1 โครงสร้างของระบบ	26
3.2 การกำหนดค่าให้ User Module	29
บทที่ 4 วิธีการทดลองและผลทดลองของวงจรที่ใช้ในโครงการ	61
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	66
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงถึงช่วงความถี่ต่างๆ ที่ถูกนำไปใช้งาน	2
รูปที่ 1.2 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นตามยาว	2
รูปที่ 1.3 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นตามขวาง	3
รูปที่ 1.4 แสดงการบีบอัดของคลื่นเสียง 2 คลื่น	4
รูปที่ 1.5 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นนิ่ง	5
รูปที่ 1.6 แสดงลักษณะของคลื่นเสียงที่ผ่านช่องแคบๆ จะเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดตัวใหม่	5
รูปที่ 1.7 แสดงเมื่อคลื่นวงกลมกระทบกับฉากที่เป็นเส้นตรง คลื่นที่สะท้อนกลับมามีคลื่นเป็นวงกลมเช่นกัน	6
รูปที่ 1.8 แสดงการหักเหของคลื่นเสียงในตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน	6
รูปที่ 1.9 ผลของเปียโซอิเล็กทริก	9
รูปที่ 1.10 วงจรเสมือนของเปียโซอิเล็กทริก	9
รูปที่ 2.1 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีวงจรดิจิทัลเพียงอย่างเดียว	14
รูปที่ 2.2 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่มีวงจรอินเทอร์เฟสกับสัญญาณอนาล็อก	14
รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC	17
รูปที่ 2.4 PSoC Core	18
รูปที่ 2.5 Digital System	20
รูปที่ 2.6 Analog System	21
รูปที่ 2.7 System Resources	22
รูปที่ 2.8 การต่อ Crystal Oscillator 32 KHz เข้ากับ PSoC	24
รูปที่ 2.9 Oscillator Module	24
รูปที่ 2.10 การต่อขาริเซตเข้ากับ PSoC	25
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่องมือวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิกโดยใช้ PSoC	26
รูปที่ 3.2 แสดงการผลิคลื่นส่งผ่านตัวรับ สะท้อนวัตถุ ส่งมายังตัวรับ	27
รูปที่ 3.3 แสดงการวางอัลตราโซนิกตัวรับและตัวส่ง	28
รูปที่ 3.4 แสดงรูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้เมื่อวางอัลตราโซนิกตัวรับตัวส่งตรงกัน โดยไม่ได้ส่งคลื่นไปกระทบกับวัตถุ	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.5 แสดงการสร้าง PWMDB8	30
รูปที่ 3.6 แสดงการวาง โมดูลและการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters	31
รูปที่ 3.7 ภาพแสดงการตั้งค่า Global Resource และ User Module Parameters ให้แก่ PWMDB8	31
รูปที่ 3.8 แสดงการเชื่อมต่อสายเอาต์พุตเข้าที่ Port Output	32
รูปที่ 3.9 แสดงการสร้าง PWM8	32
รูปที่ 3.10 แสดงการวาง โมดูลและการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters	33
รูปที่ 3.11 ภาพแสดงการตั้งค่า Global Resource และ User Module Parameters ให้แก่ PWM8_1	33
รูปที่ 3.12 แสดงการตั้งค่า Output ให้ออกที่ Port 0_0	34
รูปที่ 3.13 แสดงการสร้าง Timer Module	34
รูปที่ 3.14 แสดงการวาง โมดูลและการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters	35
รูปที่ 3.15 ภาพแสดงการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ให้แก่ Timer16_1	35
รูปที่ 3.16 แสดงการเชื่อมต่อสายของวงจร Timer16_1	36
รูปที่ 3.17 แสดงการวาง โมดูลและการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters	36
รูปที่ 3.18 ภาพแสดงการตั้งค่า Global Resource และ User Module Parameters ให้แก่ Timer16_2	37
รูปที่ 3.19 แสดงการเชื่อมต่อสายของวงจร Timer16_2	37
รูปที่ 3.20 แสดงการสร้าง Band pass Filter Module	38
รูปที่ 3.21 แสดงการวาง โมดูลและการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.22 ภาพแสดงการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ให้แก่ BPF2_1	39
รูปที่ 3.23 แสดงการเชื่อมต่อสายของวงจร BPF2_1	40
รูปที่ 3.24 แสดงการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ของ BPF2_2	40
รูปที่ 3.25 แสดงการวางโมดูลและการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters	41
รูปที่ 3.26 ภาพแสดงการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ของ BPF2_2	41
รูปที่ 3.27 แสดงการเชื่อมต่อสายของวงจร BPF2_2	42
รูปที่ 3.28 แสดงการสร้าง PGA	43
รูปที่ 3.29 แสดงการวางโมดูลและการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters	43
รูปที่ 3.30 ภาพแสดงการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ของ PGA_1	44
รูปที่ 3.31 แสดงการเลือก User Module Selection View เพื่อกลับไปเลือกกำหนด User Module ตัวต่อไป	44
รูปที่ 3.32 แสดงการสร้าง PGA	45
รูปที่ 3.33 แสดงการวางโมดูลและการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters	45
รูปที่ 3.34 ภาพแสดงการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ของ PGA_2	46
รูปที่ 3.35 แสดงการเลือก User Module Selection View เพื่อกลับไปเลือกกำหนด User Module ตัวต่อไป	46
รูปที่ 3.36 แสดงการสร้าง PGA	47

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.37 แสดงการวางโมดูลและการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters	47
รูปที่ 3.38 ภาพแสดงการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ของ PGA_3	48
รูปที่ 3.39 แสดงการเชื่อมต่อสายของวงจร PGA	48
รูปที่ 3.40 แสดงการสร้าง CMPPRG	49
รูปที่ 3.41 แสดงการวางโมดูลและการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters	50
รูปที่ 3.42 ภาพแสดงการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ให้แก่ CMPPRG_1	50
รูปที่ 3.43 แสดงการเชื่อมต่อสายของวงจร CMPPRG	51
รูปที่ 3.44 แสดงการสร้าง E2PROM	52
รูปที่ 3.45 การตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters	52
รูปที่ 3.46 ภาพแสดงการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ให้แก่ E2PROM_1	53
รูปที่ 3.47 แสดงการสร้าง LCD	53
รูปที่ 3.48 การตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters	54
รูปที่ 3.49 ภาพแสดงการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ให้แก่ LCD_1	54
รูปที่ 3.50 ภาพแสดง Port 2 ได้มาจากการตั้งค่าในรูป 3.46	55
รูปที่ 3.51 แสดงการสร้าง SAR6	56
รูปที่ 3.52 แสดงการวาง โมดูลและการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters	56
รูปที่ 3.53 ภาพแสดงการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ให้แก่ SAR6_1	57
รูปที่ 3.54 แสดงการเชื่อมต่อสายของวงจร SAR6	57
รูปที่ 3.55 แสดงการสร้าง SPIS	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.56 แสดงการวางโมดูลและการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters	59
รูปที่ 3.57 ภาพแสดงการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ให้แก่ SPIS_1	59
รูปที่ 3.58 แสดงการเชื่อมสายของวงจร SPIS	60
รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณตัวส่ง (Tx) เทียบกับสัญญาณตัวรับ(Rx) ที่ผ่าน PGA วัดที่ระยะ 15 เซนติเมตร	52



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 แสดงความสัมพันธ์ความเร็วของคลื่นในก๊าซต่างๆ	8
ตารางที่ 2.1 จากตารางข้างต้นเป็นการกำหนดขาสัญญาณมาตรฐานของ PSoC	23
ตารางที่ 4.1 แสดงการวัดระยะทางที่ 5 cm - 350 cm จำนวน 3 ครั้ง	59



สารบัญญภาพ

กราฟแสดงผลการทดลองตารางที่ 4.1

หน้า

51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ในปัจจุบันไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้มีรูปแบบต่างๆออกมามากมาย พัฒนาขึ้นมาเรื่อยๆเป็นลำดับ จุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดขนาด และง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน โครงการนี้ได้นำเสนอเครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยใช้พีชอค

หลักการทำงานคือ ระบบจะทำการนับระยะเวลาในการส่งสัญญาณความถี่ออกไปกระทบกับวัตถุและสะท้อนกลับมายังภาครับคลื่น นำค่าที่นับได้กับอุณหภูมิ ณ เวลานั้นไปคำนวณหาค่าผลลัพธ์ที่ได้คือระยะทางที่ต้องการจะวัดแสดงผลด้วย LCD จึงทำให้ลดขนาดและลดสัญญาณรบกวนของเครื่องมือวัดระยะทางได้เป็นอย่างดี

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาลักษณะของคลื่นอัลตราโซนิก
2. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องวัดระยะทาง โดยแสดงผลออกทาง LCD

1.3 ขอบเขตของโครงการ

จากโครงการนี้เราได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC เพื่อลดวงจรบางส่วน เพื่อนำไปออกแบบภายใน ไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC และใช้ LCD เป็นตัวแสดงผลโดยเขียนโปรแกรมควบคุม LCD

1.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

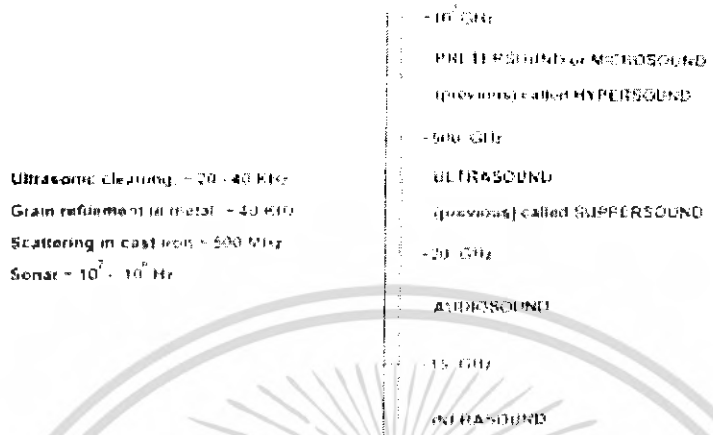
1.4.1 คุณสมบัติของคลื่นอัลตราโซนิก

หลักการของการสะท้อนกลับของคลื่นเสียง คือ พัลส์ของพลังงานจะถูกส่งออกมาจากตัวส่ง ถ้าไปกระทบกับวัตถุพลังงานบางส่วนจะสะท้อนกลับไปที่ตัวส่งด้วย แต่การใช้วัตถุเป็นตัวรับที่เหมาะสม(Suitable) จะสามารถรับการสะท้อนกลับของสัญญาณ (Signal) เวลาที่ใช้ในการเดินทางในอากาศ สามารถที่จะคำนวณระยะทางได้ เพราะฉะนั้นการศึกษาถึงธรรมชาติของคลื่นจะสามารถทำให้เข้าใจในการนำไปประยุกต์ใช้ได้ถูกต้อง

1.4.2 คลื่นอัลตราโซนิก

คลื่นอัลตราโซนิก คือ คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินที่มนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วหูมนุษย์จะสามารถได้ยินคลื่นความถี่ประมาณ 20Hz ถึง 20KHz ดังนั้นแล้วคลื่นอัลตราโซนิก จึงหมายถึง คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20KHz จนถึง 10^4 GHz โดยคลื่นที่มีความสูงกว่า 10^4 GHz และแอมพลิจูด (Amplitude) สูงๆ จะเรียกว่า “ไฮเปอร์ซาวด์”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Ultrasonic cleaning - 20 - 40 KHz
 Grain refinement in metal - 40 KHz
 Scattering in cast iron - 500 MHz
 Sonar - 10⁷ - 10⁸ Hz

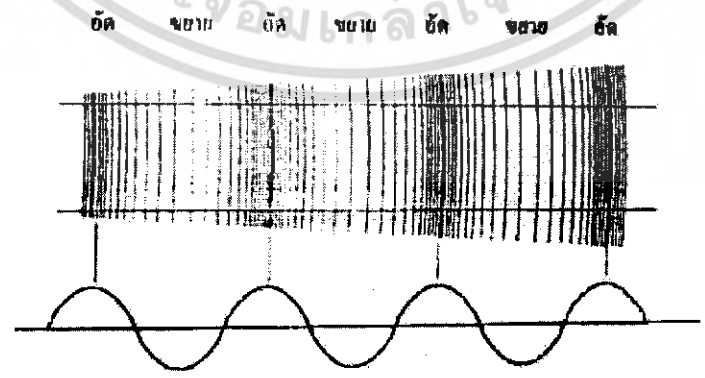
รูปที่ 1.1 แสดงถึงช่วงความถี่ต่างๆ ที่ถูกนำไปใช้งาน

1.4.3 ชนิดของคลื่นอัลตราโซนิค

คลื่นอัลตราโซนิคที่เดินทางผ่านตัวกลางต่างๆ มีหลายชนิดด้วยกันซึ่งแต่ละชนิดแตกต่างกันตามการเคลื่อนที่ของอนุภาคในตัวกลางนั้น

1.4.3.1 คลื่นตามยาว (Longitudinal) คือ คลื่นอนุภาคตัวกลางมีการเคลื่อนที่ไปใน

ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น



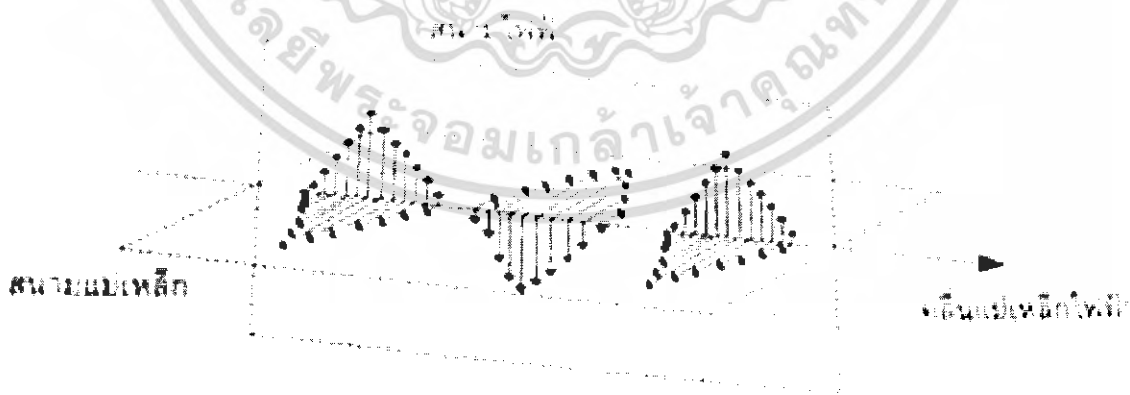
รูปที่ 1.2 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นตามยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเห็นว่ามีส่วนที่เป็นคลื่นอัด (Compression) ซึ่งก็คือ คลื่นช่วงของอนุภาคของตัวกลางมีความชันสูง และคลื่นขยาย (Rarefaction) คือคลื่นที่อนุภาคของตัวกลางมีความชันต่ำ และเมื่อนำค่าของความดันที่เปลี่ยนตามระยะทางมาเขียนกราฟจะได้รูปไซน์ (Sine Wave) โดยยอดคลื่นจะตรงกับส่วนอัดและท้องคลื่นจะตรงกับส่วนขยาย ระยะทางจากส่วนอัดถึงส่วนอัด หรือส่วนขยายถึงส่วนขยาย คือ 1 ความยาวคลื่น และมีคาบเวลาเป็น (T) ซึ่งเท่ากับ $1/f$ โดยจุดที่เป็นแกนนั้นจะมีความดัน 1 บรรยากาศ

1.4.3.2 คลื่นตามขวาง (Transverse Wave) คือ คลื่นที่ทุกๆจุดบนคลื่นมีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ คลื่นชนิดนี้จะเดินทางผ่านตัวกลางที่มีขนาดตัวกลางใหญ่กว่าขนาดของความยาวคลื่นและสามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็ง คลื่นชนิดนี้ไม่สามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็งและก๊าซได้

คลื่นตามขวางมีลักษณะเหมือนการเกิดขั้วลบและขั้วบวก ซึ่งเป็นเหตุผลที่ว่า การเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคเป็นไปในทิศทางเดียว เช่น ในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของคลื่นที่เคลื่อนที่ไปจากต้นกำเนิดของคลื่นตามขวางเป็นพื้นที่หน้าเรียบของระนาบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคอื่นเนื่องมาจากการแกว่งความหนาของตัวกลางจะไม่เปลี่ยนแปลง โดยการเคลื่อนที่ของคลื่นแบบตามขวางความเร็วของคลื่นชนิดนี้จะน้อยกว่าความเร็วของคลื่นชนิดตามยาว ในขณะที่เดินทางผ่านตัวกลางชนิดเดียวกัน ดังนั้นที่ความถี่เดียวกันความยาวคลื่นของคลื่นตามขวางจะน้อยกว่าคลื่นตามยาวเสมอ



รูปที่ 1.3 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นตามขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.3.3 คลื่นผิวหน้า (Surface Wave or Rayleigh) คือ คลื่นชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายกับคลื่นตามขวาง จะต่างตรงที่ว่า การเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคไม่เป็นเพียงในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางที่เคลื่อนที่เพียงอย่างเดียว แต่มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ด้วย จึงทำให้คลื่นเคลื่อนที่ไปตามระนาบแนวนอน ด้วยเหตุนี้คลื่นจึงเดินทางผ่านไปเฉพาะบนผิวของตัวกลางเท่านั้น

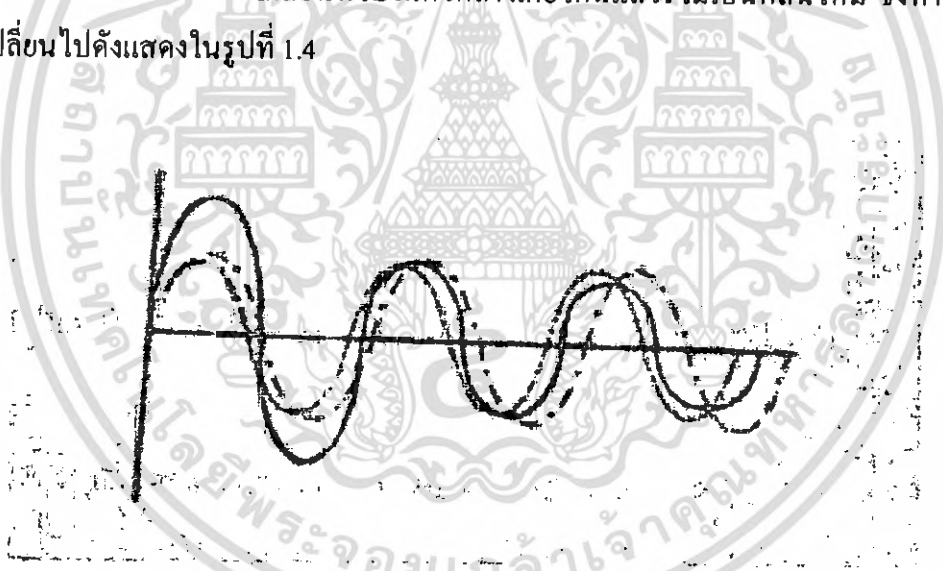
1.4.4 คุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นอัลตราโซนิค

คุณสมบัติโดยทั่วไปของคลื่นเสียงจะแสดงได้ 4 แบบคือ

1.4.4.1 การแทรกสอดของเสียง (Interference)

การแทรกสอดของเสียงเกิดจากการรวมตัวกันของคลื่น 2 คลื่นขึ้นไป ขณะเมื่อพบกันในตัวกลาง (Medium) เดียวกัน ซึ่งทำให้เกิดผลได้หลายลักษณะคือ

ก) การบีบอัด (Beats) ของคลื่นเสียงเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการรวมคลื่นที่มีความถี่ต่างกัน หรือต่างเฟสกันเคลื่อนที่ไปในตัวกลางเดียวกันแล้วรวมเป็นคลื่นใหม่ ซึ่งทำให้แอมพลิจูดเปลี่ยนไปดังแสดงในรูปที่ 1.4

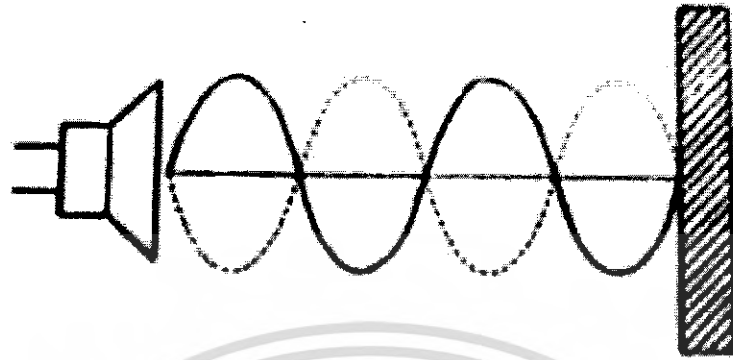


รูปที่ 1.4 แสดงการบีบอัดของคลื่นเสียง 2 คลื่น

จากรูปที่ 1.4 เป็นการแสดงการบีบอัดของคลื่นเสียง 2 คลื่น จะเห็นว่าคลื่นจะมีแอมพลิจูดเปลี่ยนไป ซึ่งประโยชน์ของการบีบอัดของคลื่นนั้นจะนำไปใช้ในการเปรียบเทียบความถี่ของคลื่น ให้แสดงผลออกมาในลักษณะของแอมพลิจูดที่แตกต่างกัน

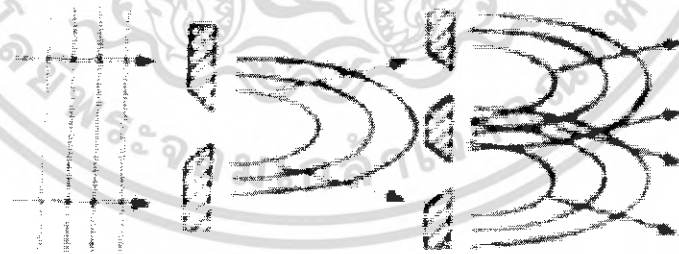
ข) การเกิดคลื่นนิ่ง (Standing Wave) เกิดจากการแทรกสอดของคลื่นชุดที่มีแอมพลิจูดเท่ากันและความถี่เท่ากัน แต่มีทิศทางตรงกันข้ามหรือมีเฟสตรงกันข้ามซึ่งจะทำให้เกิดคลื่นนิ่งดังรูป เสียงจะมีความเข้มข้นสูงสุดที่ตำแหน่ง ก. และเบาที่สุดที่ตำแหน่ง ข. ซึ่งระยะระหว่างข้อทั้ง 2 เท่ากับ $d = \lambda/2M$ หรือ $L = n(\lambda/2)$; $n=1,2,3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวทศ.สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



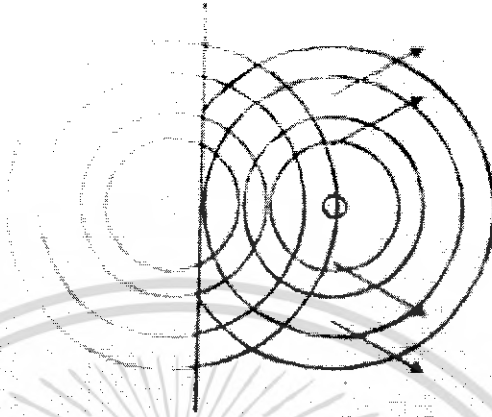
รูปที่ 1.5 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นนิ่ง

1.4.4.2 การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง (Diffraction) คือ คลื่นเสียงจะเลี้ยวเบนอ้อมสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นมุมหรือช่องแคบ ซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้พบในชีวิตประจำวันอยู่ตลอดเวลา เช่น ในกรณีที่เราได้ยินเสียงแตรรถที่อยู่กันคนละมุมถนนของตึก หรือการที่ได้ยินเสียงลอดผ่านช่องเล็กๆ จากอีกห้องหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 1.6



รูปที่ 1.6 แสดงลักษณะของคลื่นเสียงที่ผ่านช่องแคบๆ จะเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดตัวใหม่

1.4.4.3 การสะท้อนของคลื่นเสียง (Reflection) คลื่นเสียงสามารถสะท้อนได้เมื่อตกกระทบตัวกลางโดยที่มุมสะท้อน และจะทำให้เกิดเสียงก้อง (Echo) ซึ่งเสียงก้องที่สะท้อนกลับมาในเวลาที่มากกว่า 50 ms จะทำให้เราได้ยินเสียงนี้เป็นครั้งที่สอง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.7 แสดงเมื่อคลื่นวงกลมกระทบกับฉากที่เป็นเส้นตรง
คลื่นที่สะท้อนกลับมามีคลื่นเป็นวงกลมเช่นกัน

1.4.4.4 การหักเหของคลื่นเสียง (Refraction) คลื่นเสียงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกันจะเกิดการหักเหของคลื่น ซึ่งทำให้ความเร็วของคลื่นเสียงเปลี่ยนไป โดยที่ความถี่ยังคงอยู่



รูปที่ 1.8 แสดงการหักเหของคลื่นเสียงในตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน

1.4.4.5 การเกิดคลื่นอัลตราโซนิก อัลตราโซนิกเป็นคลื่นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานรูปอื่นให้มาเป็นพลังงานกล โดยการสั่นไปมา หรือเกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกลให้เกิดคลื่นย่านอัลตราโซนิกกระจายออกไปในอากาศ ดังนั้นจึงถือได้ว่าคลื่นที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นเป็นคลื่นกล (Mechanical Wave) อัลตราโซนิกสามารถสร้างได้โดยตัวทรานสดิวเซอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล หลักการสร้างมีหลายวิธีดังนี้

1. แบบเพียโซอิเล็กทริก (Piezo-electric Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกล โดยมีความถี่เรโซแนนท์คงที่อยู่ค่าหนึ่ง

2. แบบแมกนีโตสตริกทีฟ (Magnetostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้น

3. แบบอิเล็กโตรสตริกทีฟ (Electrostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกล

* สำหรับเพียโซอิเล็กทริกเป็นแบบที่นิยมใช้เพราะมีราคาถูก และหาซื้อง่าย

1.4.4.6 ความถี่และความยาวคลื่น (Frequency and Wave Length)

ความถี่ คือ จำนวนของการอสซิลเลทที่สมบูรณ์จากแหล่งกำเนิดคลื่นภายในหนึ่งวินาที คลื่นที่ถูกส่งจากแหล่งกำเนิดจะเดินทางด้วยความถี่เดียวกัน

ความยาวคลื่น คือ ระยะทางที่คลื่นเดินทางระหว่างการสั่นที่สมบูรณ์หรือการเดินทางครบหนึ่งรอบ (1 Cycle) สามารถกล่าวได้ว่า ความยาวคลื่นเป็นระยะทางระหว่างการอัดอย่างต่อเนื่อง (successive compression) หรือการเบาบางของอากาศ (rare-fractions) การอัดคือ การที่บริเวณนั้นมีความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันมากกว่าบริเวณรอบๆ ส่วนการเบาบางเป็นบริเวณเฉพาะที่เกิดการลดความหนาแน่นของ โมเลกุลและแรงดันสัมพันธ์กับแรงดันของบรรยากาศปกติ

ความถี่และความยาวคลื่นมีความสัมพันธ์กันตามสมการข้างล่าง

$$c = f\lambda$$

สมการ 1.1

C : ความเร็วของการเดินทาง(m/s)

f : ความถี่ (Hz)

λ : ความยาวคลื่น(m)

1.4.4.7 ความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิก

ความเร็วที่ยอมรับของคลื่นในอากาศที่อุณหภูมิปกติความสัมพันธ์ที่ใช้จะเป็นดังสมการ

$$V = 331.45 + 0.607 T$$

สมการ 1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V: ความเร็วของคลื่นในตัวกลางอากาศ(m/s)

T: อุณหภูมิของคลื่นในอากาศ($^{\circ}$ C)

GAS	Velocity (m/s)
AIR(DRY 1องศาเซลเซียส)	331.45
ARGON	319
CARBON MONOXIDE	338
CARBON DIOXIDE	259
HELIUM	965
HYDROGEN METHANE	1284

ตารางที่ 1.1 แสดงความสัมพันธ์ความเร็วของคลื่นในก๊าซต่างๆ

1.4.4.8 ปริมาณพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิก

ปริมาณพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิกจะถูกวัดในรูปความเข้มของคลื่นอัลตราโซนิกจะมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร (W/cm^2) เป็นการไหลของพลังงานผ่านพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร ซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการเดินทางของคลื่น 1 วินาที

1.4.4.9 การดูดทอนของคลื่นอัลตราโซนิก

เมื่อคลื่นเดินทางผ่านตัวกลาง ลำคลื่น (Beam) ของคลื่นอัลตราโซนิกจะสูญเสียความเข้มซึ่งเกิดจากการสูญเสียของลำคลื่นอัลตราโซนิก หรือเกิดจากการกระจายพลังงานของคลื่นออกจากลำคลื่นเนื่องจากความไม่ต่อเนื่องของตัวกลาง และอาจเกิดจากการดูดซับพลังงานส่วนหนึ่งของคลื่นโดยตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน พลังงานที่ดูดซับนี้จะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน การดูดซับพลังงานความร้อนนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของวัตถุ ความยืดหยุ่น และความหนาแน่น รวมทั้งความถี่ของคลื่นที่ใช้ ยิ่งความถี่สูงพลังงานยิ่งถูกดูดซับมาก

1.4.5 อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์

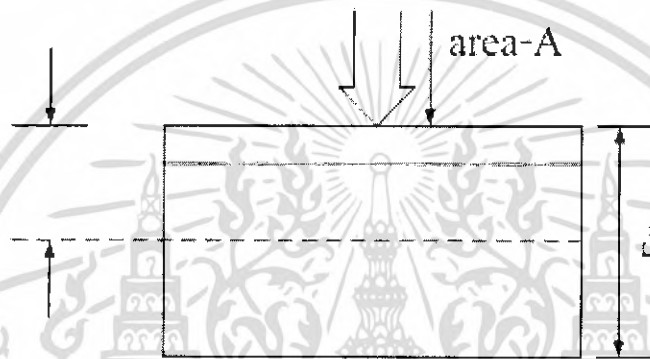
1.4.5.1. ปราบกฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก

เพียโซอิเล็กทริกเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างหนึ่ง ซึ่งทำให้พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้ กล่าวคือ ถ้าป้อนแรงกลให้แก่ solid crystalline dielectric ดังรูปที่ 1.9 ก็จะเกิดความเค้น (Stress) ภายในคริสตอล และทำให้ผลึกของคริสตอลผิดรูปไป เช่น พวุกควอทซ์ (Quartz) ผลก็คือประจุเปลี่ยนไป การผิดรูปร่างของแลททิซเป็นผลให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวัสดุสำหรับการแข่งขันเพื่อหารักบี้เท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเห็นข้อบกพร่องในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

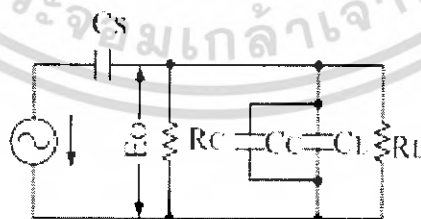
ความสัมพันธ์ระหว่างการแทนที่ (Displacement) ของประจุบวกและลบในแลตทิสเปลี่ยนไป การแทนที่ของประจุภายในจะเท่ากับประจุภายนอกของขั้วที่ตรงกันข้ามของคริสตอล เรียกว่า ผลของเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric effect)

การวัดประจุทำได้โดยการต่ออิเล็กโทรด (electrod) เข้าที่ผิวด้านนอกแล้ววัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง ขนาด(magnitude) และการมีขั้ว (polarity) ของประจุบนผิวที่ถูกเหนี่ยวนำ (induce surface charge) เป็นสัดส่วน โดยตรงกับขนาดและทิศทางของแรง (F) ที่มากระทำ



รูปที่ 1.9 ผลของเพียโซอิเล็กทริก

วงจรเสมือนของเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์



รูปที่ 1.10 วงจรเสมือนของเพียโซอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C_c : คาปาซิเตนซ์ของชิ้นส่วนเปียโซอิเล็กทริก

R_c : leakage resistance ของเปียโซอิเล็กทริก ปกติจะมีค่าสูงประมาณ 10^8 - 10^{10} ความต้านทานระหว่างเทอร์มินอล โดยทั่วไปจะเป็นความต้านทานทางโหลด R_L (ในช่วง 10^6 - 10^7)

C_L : คาปาซิเตนซ์ของ subsequent stage (load) ร่วมกับ connecting cable

ที่ความถี่ปานกลางและความถี่สูง โวลต์เตจ E_o ที่คร่อมโหลด หาได้โดยใช้หลักการแบ่งโวลต์เตจ E_o ได้จากสมการ

$$E = \frac{EC_c}{(C_c + C_L)}$$

สมการ 1.3

โดยขึ้นกับความถี่ ถ้าเอาท์พุทโวลต์เตจมีค่ามากสามารถทำให้ลดลงได้โดยการเพิ่มค่า C_L เช่น การนำค่า C_c ต่อขนานเข้าไป ที่ความถี่ต่ำโวลต์เตจ E_o คร่อมโหลดหาได้โดยค่ารีแอคแตนซ์ของ C_c และอิมพีแดนซ์ของ C_L และ R_L ที่ค่อนข้างกัน โวลต์เตจ E_o ขึ้นกับความถี่และจะลดลงถ้าความถี่ลดลง การตอบสนองต่อความถี่สามารถปรับปรุงได้โดยการใช้ทรานสดิวเซอร์ที่มีค่าคาปาซิเตนซ์สูงหรือโดยการเพิ่มความต้านทานทางโหลด R_L

1.4.5.2. วัสดุเปียโซอิเล็กทริก

วัสดุเปียโซอิเล็กทริกที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่น Quartz , Tourmaline sulphate , Barium Titanate และ Zirconate Titanate (TZI) โดยทั่วไปแล้วพวกควอตซ์ และคริสตอลที่เป็นเปียโซอิเล็กทริกธรรมชาติมีขั้วของมันเองตามธรรมชาติ แต่พวกวัสดุเปียโซอิเล็กทริกที่สังเคราะห์ขึ้นมา เช่น แบเรียม ไททาเนท เซรามิก จะต้องนำมาทำการอบคริสตอลภายในแรงดันและวางวัสดุที่ได้นี้ในสนามไฟฟ้าที่มีแรงดันของ DC มาก หลังจากชิ้นส่วนนี้ถูกนำในสนามไฟฟ้าแล้วคริสตอลนี้จะมีขั้วตามแนวของทิศทางของสนาม และประพฤติตัวตามคุณสมบัติของเปียโซอิเล็กทริกสำหรับชิ้นส่วนที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์นี้ไม่มีข้อจำกัดทางขนาดโดยโครงสร้างของคริสตอลและยังสามารถทำให้มีรูปร่างและขนาดต่างๆ และทิศทางของขั้วก็จะถูกสร้างขึ้นระหว่างขั้นตอนการผลิต

1.4.5.3. ชนิดของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์สามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ

1. แบบ Generation – action transducer ใช้ตัวรับ โดยแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะหาได้จากแรงดันและความถี่ที่มากกระทำต่อวัสดุเปียโซอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แบบ Motor – action transducer ใช้เป็นตัวส่ง โดยการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างที่ทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิกจะขึ้นอยู่กับขนาดความสูงและความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ในทั้งสองกรณีค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับขนาดของวัสดุ

1.4.5.4. การทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวส่งตัวรับ

เมื่อเซรามิกได้รับสัญญาณแรงดันมาครบวงจรจะทำให้ชิ้นสารเซรามิก โกงงอทำให้เกิดการอัดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นขึ้นมา ดังนั้นถ้าป้อนสัญญาณเป็นห้วงๆ (electrically pulse) จากการออสซิลเลทก็จะให้ชิ้นสาร โกงงอมากขึ้นหรือทิศทางใดตามขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณไฟฟ้าจากการออสซิลเลทนั้นออกไป โดยทั่วไปกำลังเอาต์พุตที่ออกมาจะตกลงประมาณ 10% ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แต่เอาต์พุตจะสูงที่ค่านี้โดยประมาณก็ต่อเมื่อความถี่ของสัญญาณออสซิลเลเตอร์ที่ป้อนเข้าชิ้นสารเซรามิกตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ที่เป็นความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชิ้นสารเซรามิกนั้นๆ ส่วนที่ความถี่อื่นๆ กำลังเอาต์พุตจะลดลงกว่านี้ ส่วนการทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวรับมักมีการทำงานตรงข้ามกับตัวส่ง คือเมื่อมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของชิ้นสารเซรามิกเข้ามา จะทำให้ชิ้นสาร โกงงอตัวไปมาและเกิดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กขึ้นคร่อมขั้วทั้งสองของตัวมัน

คุณสมบัติโดยทั่วไปของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริกก็คือ มีความต้านทานไฟตรงสูงมาก อาจถึง $100\text{ M}\Omega$ เรียกว่าถ้าเอาอิมพีแดนซ์หรือความต้านทานสูงๆ เจ้มจะไม่กระดิกเลย แต่ขณะที่มันทำงานความต้านทานไฟสถับจะลดลง

1.4.5.5. ข้อควรใช้ในการใช้งานตัวรับ-ตัวส่งทรานสดิวเซอร์

1. ไม่ควรให้ตัวทรานสดิวเซอร์ได้รับการกระแทกหรือตกจากที่สูง เพื่อป้องกันโครงสร้างภายในมิให้เสียหาย
2. ทรานสดิวเซอร์ที่มีขายกันโดยทั่วไปจะทนแรงดันตกคร่อมตัวมันได้ไม่เกิน 20Vrms ดังนั้นขนาดของสัญญาณที่จะป้อนให้กับตัวทรานสดิวเซอร์ก็ควรอยู่ภายในขีดจำกัดนี้
3. ความถี่เรโซแนนซ์ (คือความถี่ที่ตัวมันสามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด) ของทรานสดิวเซอร์ 40 KHz ที่มีขายโดยทั่วไปจะผิดพลาดไปไม่เกิน $\pm 1\text{KHz}$ และมีแถบความถี่ประมาณ 4.5 KHz (bandwidth) สำหรับตัวส่ง และมีแถบความถี่ประมาณ 5.0 KHz สำหรับตัวรับ จะเห็นได้ว่าแถบความถี่ของตัวรับจะกว้างกว่าตัวส่งเล็กน้อย เพื่อให้แน่ใจว่าตัวรับจะสามารถรับความถี่ทั้งหมดที่ออกจากตัวส่งได้
4. อุณหภูมิที่ใช้งานของตัวทรานสดิวเซอร์ควรอยู่ภายในช่วง -20 ถึง 60 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ตัวส่งและตัวรับจะมีทิศทางการคล้ายคลึงกันมาก กล่าวคือ ที่ตำแหน่งเบนจากแนวแกนของตัวส่งไปประมาณ 30 องศา ความแรงของคลื่นเสียงที่ถูกส่งออกไปจะลดลงจากแนวแกนประมาณ 10 dB ทำนองเดียวกันถ้าคลื่นเสียงพุ่งเข้ามาในแนวที่เบี่ยงเบนไปจากแนวแกนของตัวรับประมาณ 30 องศา ความไวหรือขนาดของแรงดันที่ออกมาจะลด จึงควรจะทำให้ทั้งตัวรับและตัวส่งอยู่ในแนวที่พุ่งตรงกันมากที่สุด อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่อยู่ในห้องจะเกิดการเบี่ยงเบนจากกัน ได้มาก เพราะคลื่นเสียงอัลตราโซนิกจะสามารถสะท้อนกับกำแพง และวัตถุที่อยู่ภายในห้อง ทำให้คลื่นเสียงเข้าไปหาตัวรับได้หลายทาง

คลื่นอัลตราโซนิกนี้สามารถทำให้เป็นลำแคบได้โดยใช้เลนส์ที่เรียกว่า Planoconvex lenses วางข้างหน้าของทรานสดิวเซอร์ แต่การทำให้เป็นลำแคบ (Beam) นี้จะทำให้ near field สั้นลงและ far field กระจายกว้างขึ้น การทำให้เป็นลำคลื่นเหมาะสำหรับการใช้ทรานสดิวเซอร์ที่สร้างความถี่สูงที่เหมาะสมสำหรับการใช้ในการแพทย์ (Ultrasound) ที่มีความถี่ตั้งแต่ 2-5 MHz เพื่อใช้ตรวจในเนื้อเยื่อมีการส่งเป็นลำแคบ

6. ในกรณีที่ใช้งานตัวรับจะต้องมีความต้านทานต่อจนวนกับตัวรับเพื่อทำหน้าที่เป็นโหลด ตามปกติแล้วตัวต้านทานนี้ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 10 K Ω ถึง 100 K Ω จากการทดลองพบว่า ถ้าเปลี่ยนจาก 100 K Ω มาเป็น 10 K Ω ความไวจะลดลงประมาณ 10-12 dB แต่ความถี่จะกว้างขึ้น ถ้าใช้ความต้านทานต่ำลงไปอีก ความถี่เรโซแนนท์ (ความถี่กลาง) จะลดลงจากที่ระบุไว้ ถ้าการใช้งานมีสัญญาณรบกวนมากควรใช้โหลดที่มีค่าความต้านทานสูงสักหน่อย เพื่อให้ตัวส่งมีความไวสูงและมีความถี่แคบ

7. ตามปกติแล้วสามารถนำเอาตัวส่งและตัวรับมาใช้งานแทนกันได้ ในการใช้งานส่วนใหญ่ตัวส่งและตัวรับรุ่นใดก็สามารถใช้แทนกันได้ในงานส่วนใหญ่ ขอเพียงให้มีความถี่เรโซแนนท์เดียวกันเท่านั้นเอง อย่างไรก็ตามในบางกรณีอาจต้องเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสมมูลย์ทางไฟฟ้าทางด้านไฟฟ้าสถิตเพื่อให้เกิดลักษณะผลตอบสนองทางความถี่สอดคล้องกับของเดิม

8. ประโยชน์การใช้งานคลื่นอัลตราโซนิก คลื่นอัลตราโซนิกเป็นคลื่นที่มีทิศทางทำให้สามารถเล็งคลื่นไปตามเป้าหมายที่ต้องการได้เจาะจง ยิ่งคลื่นมีความถี่สูงขึ้นความยาวคลื่นจะยิ่งสั้นลงถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิด(ที่ทำให้เสียงออกมา)ของตัวที่ทำให้เกิดเสียงความถี่นี้ เช่น คลื่นความยาว 300Hz ในอากาศ จะมีความยาวคลื่นถึงประมาณ 1 เมตรเศษๆ ซึ่งจะยาวกว่าช่องเปิดที่ให้คลื่นเสียงออกมาจากตัวกำเนิดเสียง โดยทั่วไปมากมาย คลื่นจะหักเหที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียงที่ทำให้เกิดการกระจายทิศทางของคลื่น แต่ถ้าความถี่สูงขึ้นมาอยู่ในย่านอัลตราโซนิก อย่างเช่น 40 KHz จะมีความยาวคลื่นในอากาศเพียง 8 มิลลิเมตรเท่านั้น ซึ่งเล็กกว่าตัวที่ทำให้เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นเสียงความถี่นี้มากๆ คลื่นเสียงจะไม่มี การเลี้ยวเบนที่ขอบ จึงพุ่งออกมาเป็นลักษณะลำแคบๆ หรือที่เราเรียกว่า “มีทิศทาง” นั่นเอง การมีทิศทางของคลื่นเสียงอัลตราโซนิกทำให้เราสามารถ นำเอาไปใช้งาน ได้หลายอย่าง เช่น คลื่นวัดความหนาของวัตถุ โดยส่งกระดาะที่คลื่นสะท้อน กลับมา เครื่องวัดความลึกทำแผนที่ใต้ท้องทะเล ส่วนการใช้งานทางการแพทย์อาจใช้ความถี่ 1 MHz ถึง 10MHz ขณะที่ความถี่เป็น GHz(10^9 Hz) ก็มีใช้กันหลายๆ การใช้งานที่ตัวกลางที่คลื่น เสียงเดินทางผ่านไม่ใช่อากาศ



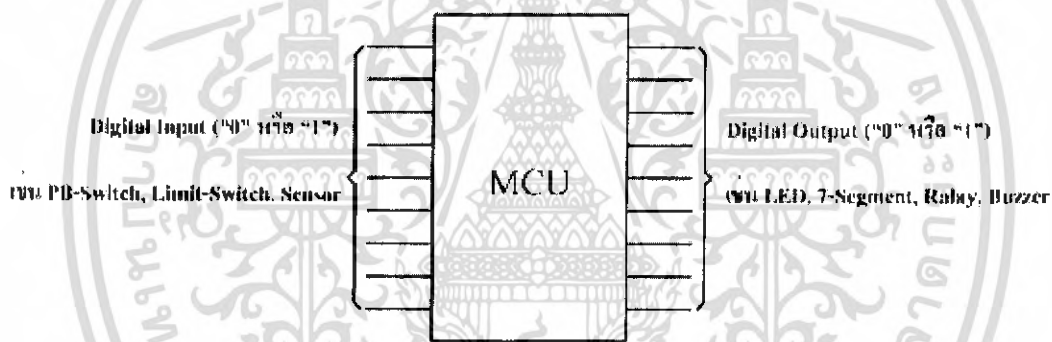
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

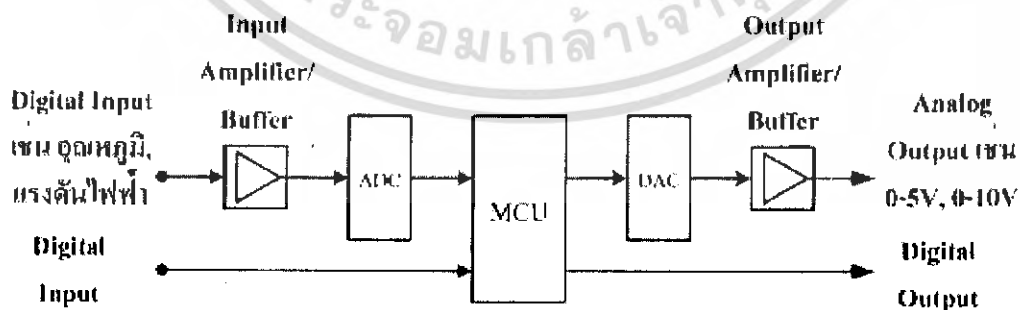
ไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoc

2.1 แนะนำไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoc

ไมโครคอนโทรลเลอร์ในยุคแรกๆ นั้นมีความสามารถในการประมวลผลได้เฉพาะสัญญาณลอจิกหรือสัญญาณดิจิทัลเท่านั้นดังรูปที่ 2.1 โดยหากระบบใดมีความจำเป็นต้องติดต่อเชื่อมโยงเข้ากับสัญญาณอนาล็อก ก็จำเป็นที่จะต้องเพิ่มเติมวงจรอินเทอร์เฟซเข้าไป เพื่อให้ระบบมีความสามารถที่จะรองรับการทำงานในส่วนที่ต้องการใช้งานซึ่งแสดง ดังรูปที่ 2.2 โดยจะเห็นได้ว่าการพัฒนาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ นั้นมิใช่เพียงแค่การศึกษาโครงสร้างและการเขียนโปรแกรมเท่านั้น หากแต่ยังจำเป็นต้องศึกษาดังวงจรอินเทอร์เฟซในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ นั้นสามารถใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และครอบคลุมความต้องการของงาน



รูปที่ 2.1 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีวงจรดิจิทัลเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 2.2 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่มีวงจรอินเทอร์เฟซกับสัญญาณอนาล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบระหว่างรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2 จะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่าระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความจำเป็นต้องทำงานร่วมสัญญาณอนาล็อกจากภายนอกนั้นจำเป็นต้องมีวงจรอินเทอร์เฟซเพิ่มเติมได้แก่

Input Amplifier / Buffer : วงจรขยายสัญญาณในกรณีที่สัญญาณอนาล็อกอินพุตมีขนาดต่ำๆ เช่น การวัดอุณหภูมิด้วย Thermo couple หรือ RTD

วงจร ADC : วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อก เป็น ดิจิตอล เพื่อป้อนให้แก่ดิจิตอลอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์จะสามารถรับรู้การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอนาล็อกได้จากข้อมูลนี้ โดยทั่วไปวงจรส่วนนี้ก็จะนิยมเลือกใช้ไอซีสำเร็จรูปที่ทำงานด้านนี้โดยเฉพาะมีทั้งความละเอียด 8 / 10 / 12 / 14 / 16 และ 24 bit ให้เลือกใช้งานตามความต้องการ

วงจร DAC : วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อก เพื่อแปลงค่าการประมวลผลที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ ในรูปของสัญญาณดิจิตอลไปสู่สัญญาณอนาล็อก

Output Amplifier / Buffer : วงจรขยายสัญญาณ ในกรณีที่ต้องการสัญญาณเอาต์พุตที่มีระดับสัญญาณแตกต่างไปจากไฟเลี้ยงของระบบ ซึ่งโดยปกติแล้วแรงดันไฟฟ้านั้นไปเลี้ยงส่วนระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ 5 V แรงดันสูงสุดของวงจร DAC ก็จะมีค่าไม่เกิน 5V ด้วย ดังนั้นหากต้องการระดับแรงดันเอาต์พุตที่สูงกว่าก็จำเป็นต้องมีวงจรขยายสัญญาณเพิ่มเติมต่อไป

2.2 โครงสร้างไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC

จากรูปแบบของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์เดิมซึ่งสามารถรองรับการทำงานในรูปแบบของเฉพาะสัญญาณทางดิจิตอลตลอดจนการขยายขีดความสามารถที่เพิ่มขึ้นทางด้านอนาล็อกซึ่งจำเป็นต้องอาศัยทักษะความรู้และความชำนาญในการออกแบบ จึงได้มีการพัฒนาชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ขึ้นเพื่อลดปัญหาและข้อจำกัดของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์เดิมตามคอนเซ็ปต์ที่ว่า PSoC หรือ Programmable System On Chip ซึ่งหมายถึงการโปรแกรมชิพให้มีความสามารถที่สอดคล้องกับความต้องการของระบบที่ต้องการได้นั่นเอง หรืออาจจะกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าชิพ PSoC นี้สามารถโปรแกรมฟังก์ชันการทำงานที่จำเป็นสำหรับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น ADC, DAC, PWM, Amplifier, Filter และอื่นๆ อีกมากมายให้อยู่รวมกันภายในชิพเดียวกันได้ จึงถือได้ว่าเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเป็นอย่างยิ่ง เพราะนั่นหมายถึงการลดความยุ่งยากในการจัดทำวงจรอินเทอร์เฟซเพิ่มเติมจึงไม่จำเป็นต้องสิ้นเปลืองสายสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมอุปกรณ์อินเทอร์เฟซต่างๆ

2.2.1 คุณสมบัติที่สำคัญของ PSoC

จากที่กล่าวมาในช่วงแรกเป็นเพียงเกริ่นที่จะให้ผู้อ่านทุกท่านได้สังเกตเห็นถึงคุณสมบัติที่สำคัญของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญและโดดเด่นอยู่หลายประเภทดังนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

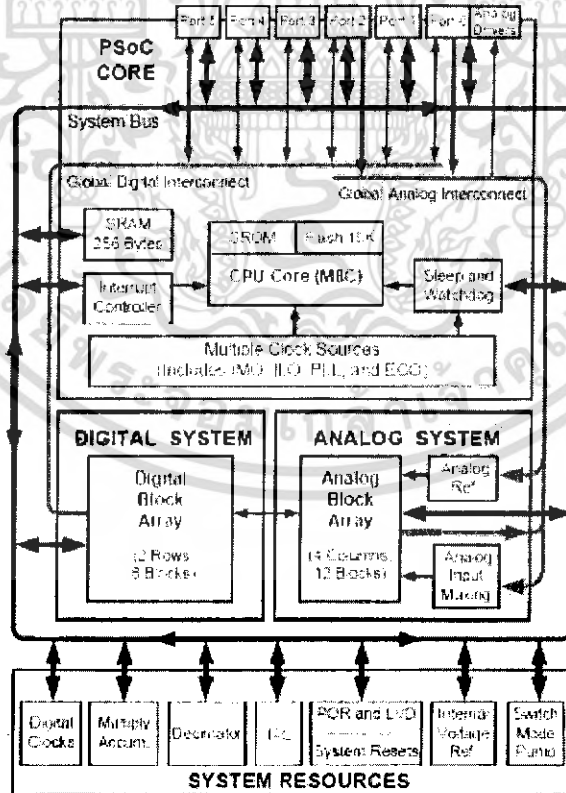
1. มีโครงสร้างของระบบภายในแบบ Harvard Architecture ด้วยหน่วยประมวลผลภายในแบบ M8C และสามารถทำงานได้ที่ความถี่สูงถึง 24 MHz
2. มีวงจรถคูณเลขภายในแบบ 8x 8 Multiply (32 Bit Accumulate)
3. สามารถทำงานได้ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 3.0V ถึง 5.25V
4. มีโหมดการทำงานแบบ Switch Mode Pump (SPM) ซึ่งช่วยให้สามารถทำงานกับแรงดันไฟเลี้ยงที่มีระดับต่ำถึง 1V ได้
5. สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานภาคอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี โดยสามารถทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิ -40 องศา ถึง 85 องศา
6. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่มีความเที่ยงตรงสูง โดยสามารถเลือกใช้ได้ตามความต้องการได้แก่
 - ใช้วงจรถูกกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจากภายใน 24/28MHzโดยมีความผิดพลาดที่ +/-2.5% โดยไม่จำเป็น ต้องใช้อุปกรณ์ภายนอกอื่นๆเช่น R-C เป็นต้น
 - ทำงานร่วมกับ X-TAL 32.768 KHz ประกอบกับคุณสมบัติ PLL ที่มีอยู่ภายในชิพเพื่อกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่ 24/48 MHz
 - ทำงานร่วมกับ External Oscillator ได้ที่ความถี่สูงสุด 24 MHz
 - มีวงจรถูกกำเนิดสัญญาณภายในอิสระสำหรับการทำงานในโหมด Sleep และ Watch dog เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์
7. หน่วยความจำโปรแกรมที่มีความยืดหยุ่นสูง
 - 16 KB Flash Memory สำหรับเบอร์ CY27-Series และ 32 KB สำหรับเบอร์ CY29-Series ที่มีจำนวนต่อการลบและเขียนข้อมูลใหม่ได้สูงสุด 50,000 ครั้ง
 - หน่วยความจำ RAM ภายในขนาด 256 Byte สำหรับเบอร์ CY27-Series และ 2 KB สำหรับเบอร์ CY29-Series
 - สามารถโปรแกรมข้อมูลลงสู่ชิพด้วยรูปแบบของ In-System Program ได้ โดยไม่จำเป็นต้องถอดชิพออกจากบอร์ด
 - สามารถโปรแกรมเพื่ออัปเดตข้อมูลบางส่วนได้ (Partial Flash Updates)
 - หลากหลายกับ โหมดป้องกัน (Protection Mode)
 - สามารถใช้งานพื้นที่ว่างของFlash Memory เพื่อนำมาประยุกต์ใช้เป็นหน่วยความจำชนิด EEPROM ได้ โดยไม่จำเป็นต้องอินเทอร์เฟสกับ EEPROM จากภายนอก
8. สามารถโปรแกรมฟังก์ชันการทำงานให้กับขาต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้
 - สามารถขับกระแสได้ 25 mA ทุกขาใน โหมด GPIO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถเลือกรูปแบบการทำงานของแต่ละขาได้อย่างอิสระ ได้แก่ Pull Up, Pull Down, High Z, Strong, Open Drain High และ Open Drain Low
 - ทุกๆ ขาสัญญาณสามารถกำหนดให้เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเทอร์เฟสได้
9. ทรัพยากรเพิ่มเติม ที่มีอยู่ภายในระบบ ได้แก่
- การสื่อสารแบบ I²C Slave, Master และ Multi-Mater
 - มีวงจรการทำงานของ Watchdog และ Sleep Timer
 - ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าระดับแรงดันในการทำงานได้
 - มีวงจร Supervisory ประกอบอยู่ภายใน
 - มีวงจรกำเนิดแรงดันอ้างอิงภายในที่มีความเที่ยงตรงสูง
10. มีซอฟต์แวร์สำหรับการพัฒนาให้ใช้งานได้ทั้งภาษา C และ Assembly

2.3 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์

การศึกษาและใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์จะเกิดประโยชน์สูงสุด ผู้ใช้งานจำเป็นจะต้องรู้ถึงโครงสร้างภายในตัวชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC มีรูปแบบดังรูปที่ 2.3



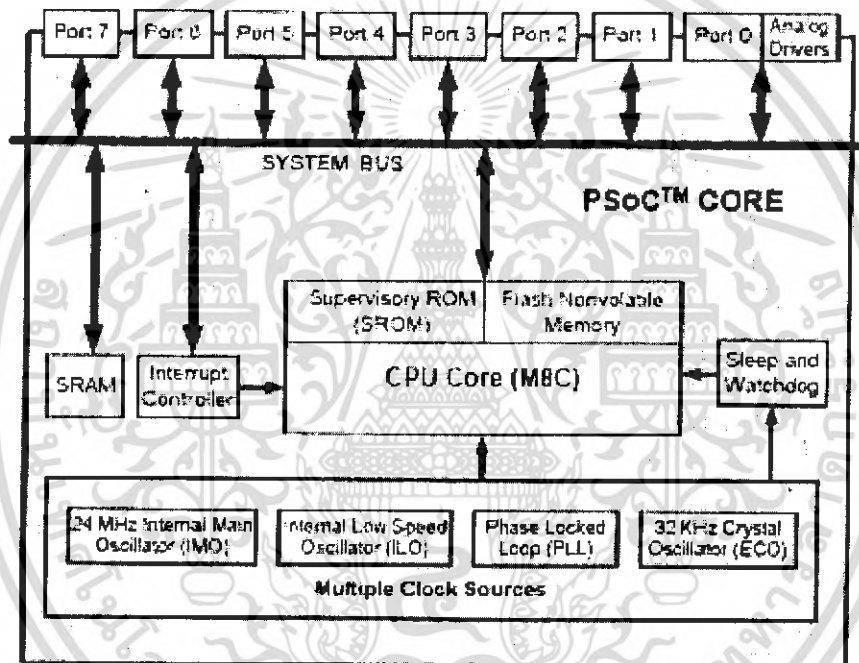
รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 PSoC Core

PSoC Core เป็นส่วนของแกนหลักในการประมวลผลและควบคุมการทำงานภายในทั้งหมด อันประกอบด้วยหน่วยประมวลผลแบบ M8C, Flash Memory หรือหน่วยความจำโปรแกรม

Supervisory ROM (SROM) หน่วยความจำภายในที่ทำหน้าที่ควบคุมระบบการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น การ Boot ระบบ, การ Calibrate วงจรภายใน และการจัดการข้อมูลกับ Flash Memory



รูปที่ 2.4 PSoC Core

SRAM หน่วยความจำแบบ RAM ภายใน สำหรับใช้ในการเก็บข้อมูลระหว่างการทำงานของโปรแกรมนอกจากนี้พื้นที่ของ Stack Pointer ก็เก็บไว้ในหน่วยความจำส่วนนี้ด้วยเช่นกัน

วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ประกอบด้วย

-24 MHz Internal Main Oscillator หรือ IMO เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายในที่มีความถี่ 24 MHz โดยไม่จำเป็นต้องใช้สัญญาณนาฬิกาหรือ X-TAL จากภายนอก ซึ่งถือได้ว่าเป็นส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่มีบทบาทและสำคัญ เพราะนอกจากการใช้งานขาต่างๆ ของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างครบถ้วนโดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์ในการกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกแล้ว ยังสามารถกำเนิดความถี่ในการทำงานได้สูงถึง 24 MHz ประกอบด้วยค่า Error เพียง 2.5%

- Internal Low Speed Oscillator หรือ ILO เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่ต่ำอีกชุดหนึ่งซึ่งแยกออกมาเป็นอิสระเพื่อใช้เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาให้กับการทำงานของ Watchdog และ Sleep Timer การแยกวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาส่วนนี้ออกมาก็เพื่อต้องการให้มั่นใจได้ว่าระบบจะมีเสถียรภาพที่ดีนั่นเอง

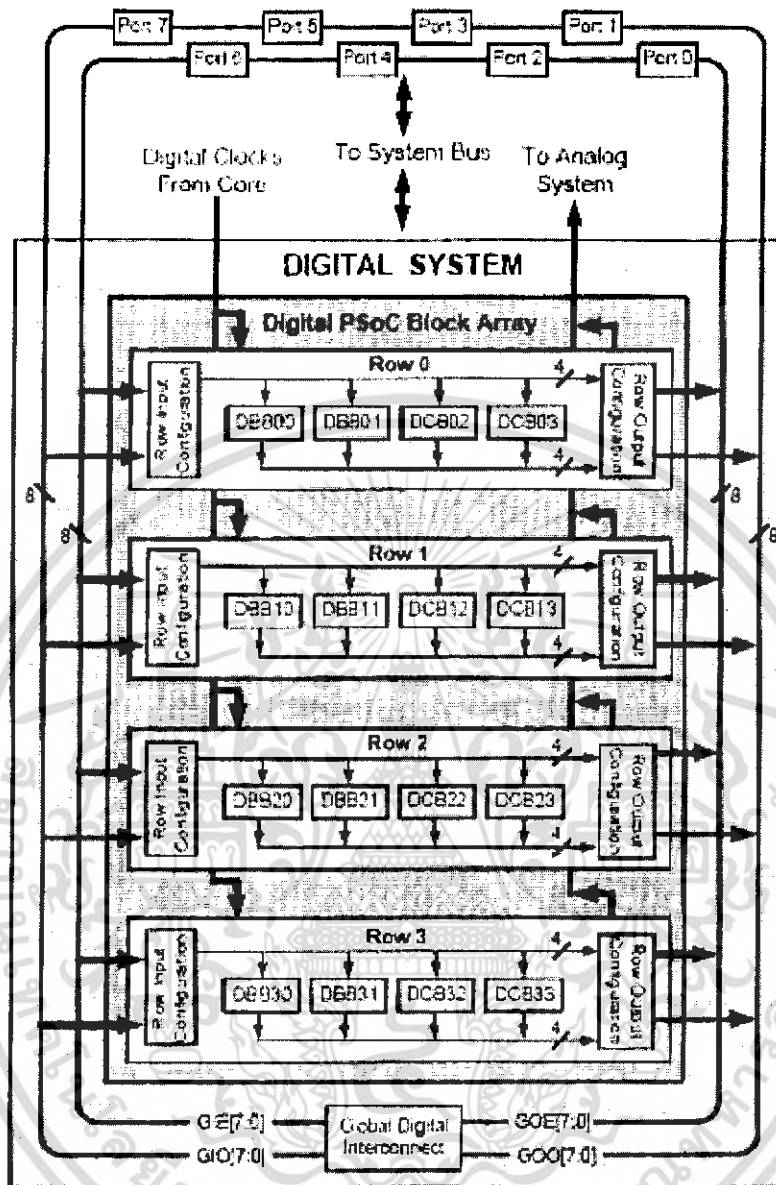
- 32 KHz Crystal Oscillator หรือ ECO เป็นโหมดการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาซึ่งจะต้องทำงานร่วมกับ X-TAL 32.768 MHz จากภายนอก การใช้งานรูปแบบนี้ก็เพื่อต้องการให้ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาภายในมีค่าความเที่ยงตรงสูงสุดที่ 24 MHz ซึ่งผู้อ่านหลายท่านอาจจะสงสัยว่าเหตุใด X-TAL 32.768 KHz จึงสามารถสร้างความถี่สัญญาณนาฬิกาภายในได้สูงที่สุดถึง 24 MHz เหตุที่สามารถทำงานเช่นนั้นได้ก็เพราะมีวงจร PLL (Phase Lock Loop) ประกอบอยู่ภายใน

- Sleep and Watchdog เป็นโหมดควบคุมการทำงานในแบบ Sleep และระบบตรวจสอบการทำงานของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย Watchdog

- Interrupt Controller หน่วยควบคุมการอินเทอร์รัพต์ โดยทำหน้าที่ควบคุมการตอบสนองต่ออินเทอร์รัพต์จากแหล่งต่างๆ และการจัดลำดับความสำคัญของการอินเทอร์รัพต์

2.3.2 Digital System

เป็นพื้นที่การทำงานของระบบดิจิทัลโดยเป็นส่วนการทำงานทาง Hardware ที่แยกเป็นอิสระจาก PSoC Core โครงสร้างส่วนนี้เองที่ผู้ใช้สามารถกำหนดคุณสมบัติฟังก์ชันทางด้านดิจิทัลลงให้แก่ชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ เพื่อให้ชิพไมโครคอนโทรลเลอร์มีคุณสมบัติทางด้านดิจิทัลตามต้องการสำหรับชิพรุ่น CY27-Series มีให้ใช้งานได้ 8 Digital Block และชิพรุ่น CY29-Series สามารถใช้งานได้ถึง 16 Digital Block สำหรับคุณสมบัติพื้นฐานของแต่ละบล็อก คือ มีขนาดข้อมูลเท่ากับ 8 บิต โดยแสดงดังรูปที่ 2.5

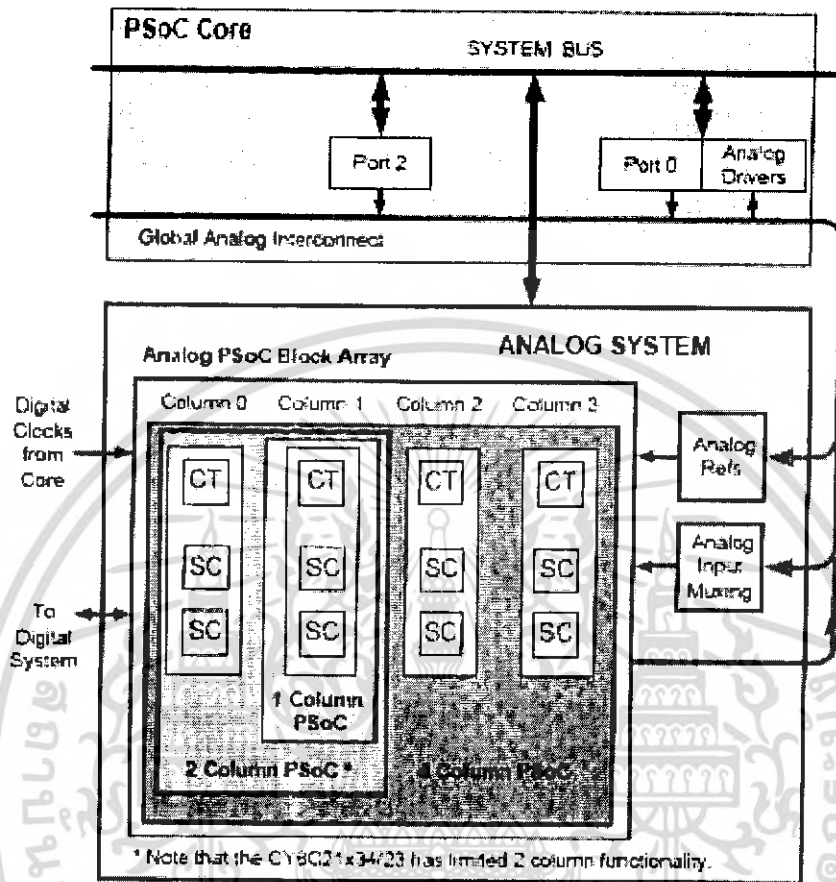


รูปที่ 2. 5 Digital System

2.3.3 Analog System

เป็นพื้นที่การทำงานของระบบอนาล็อกโดยมีลักษณะเป็นส่วนการทำงานทาง Hardware ที่แยกเป็นอิสระจาก PSoC Core เช่นเดียวกับ Digital System โดยโครงสร้างในส่วนนี้ผู้ใช้สามารถกำหนดคุณสมบัติฟังก์ชันทางด้านอนาล็อกให้แก่ชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ ดังนั้นสำหรับชิพรุ่น CY27-Series และ CY29-Series มีพื้นที่ให้ใช้งานได้เท่ากับคือ 12 Analog Block

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 Analog System

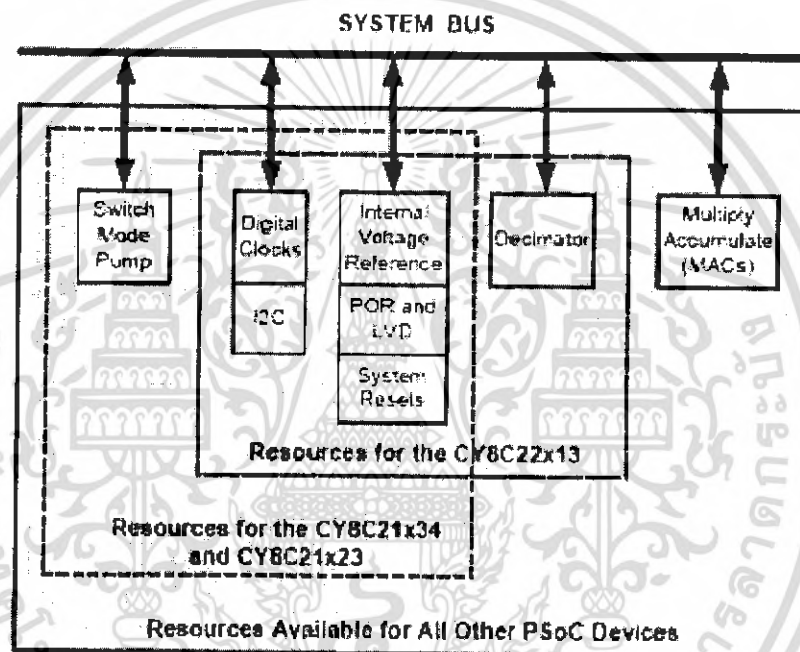
2.3.4 System Resources

เป็นส่วนของทรัพยากรรวมภายในระบบ ซึ่งแต่ละส่วนของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถติดต่อถึงกันได้ผ่านซิสเต็มบัส (System Bus) อันประกอบด้วย

- Digital Clock สำหรับควบคุมการหารความถี่สัญญาณนาฬิกา
- Multiply Accumulate (MAC)
- Decimator
- I²C สำหรับการสื่อสารด้วยรูปแบบ I²C
- POR and LVD สำหรับควบคุมระบบ Rreset และระบบตรวจสอบระบบแรงดันไฟเลี้ยงต่ำกว่ากำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Internal Voltage Reference แรงดันอ้างอิงภายใน สามารถกำหนดใช้งานเป็นค่าแรงดันอ้างอิงภายในให้แก่วงจร ADC หรือส่งค่าแรงดันอ้างอิงออกไปสู่ขาสัญญาณเพื่อนำออกไปใช้งานภายนอกได้
- Switch Mode Pump โหมคควบคุมการทำงานสำหรับบูทค่าแรงดันไฟเลี้ยงระดับต่ำให้มีค่าแรงดันที่สูงขึ้นและเพียงพอสำหรับการทำงานของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ได้สำหรับการประยุกต์ใช้งานแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่



รูปที่ 2.7 System Resources

2.3.5 พอร์ต (PORT)

เป็นขาสัญญาณต่างๆ ที่ใช้สำหรับการอินเตอร์เฟสไปยังวงจรต่างๆ โดยจำนวนของพอร์ตจึงขึ้นอยู่กับเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกนำมาใช้งาน โดยมีขนาดตั้งแต่ 8/20/28/44 และ 48 ขา ให้เลือกใช้งานตามความเหมาะสมของการใช้งาน

ขาสัญญาณต่างๆของ PSoC ไมโครคอนโทรลเลอร์

ขาสัญญาณของ PSoC มีลักษณะคล้ายกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์อื่นๆ คือมีทั้งขาสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต ซึ่งในบางขาอาจทำหน้าที่มากกว่า 1 หน้าที่ หน้าที่การทำงานของขาสัญญาณต่างๆ สามารถสรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Name	Description	Input/Output
SMP	Switch Mode Pump	Power
Vdd	Supply Voltage	Power
Vss	Ground	Power
XRES	External Reset (Active High)	Input
P0{0}-P0{1}	Port 0{0},0{1}, Analog Input	Input/Output
P0{2}-P0{5}	Port 0{2},0{3},0{4},0{5}, Analog Input/Output	Input/Output
P0{6}-P0{7}	Port 0{6},0{7}, Analog Input	Input/Output
P1{0}	Port 1{0}, XTAL Out/SDATA/ I ² C SDA	Input/Output
P1{1}	Port 1{1}, XTAL In/SCLK/I ² C SCL	Input/Output
P1{2}	Port 1{2}	Input/Output
P1{3}	Port 1{3}	Input/Output
P1{4}	Port 1{4}, EXTCLK	Input/Output
P1{5}	Port 1{5}, I ² C SDA	Input/Output
P1{6}	Port 1{6}	Input/Output
P1{7}	Port 1{7}, I ² C SCL	Input/Output
P2{0}-P2{3}	Port2{0},2{1},2{2},2{3}, Non-Multiplexed Analog Input	Input/Output
P2{4}	Port2{4}, External AGND	Input/Output
P2{5}	Port2{5}	Input/Output
P2{6}	Port2{6}, External VREF	Input/Output
P2{7}	Port2{7}	Input/Output
P3{0}-P3{7}	Port3{0},3{1},3{2},3{3},3{4},3{5},3{6},3{7}	Input/Output
P4{0}-P4{7}	Port4{0},4{1},4{2},4{3},4{4},4{5},4{6},4{7}	Input/Output
P5{0}-P5{3}	Port5{0},1,5{2},5{3}	Input/Output

ตารางที่ 2.1 จากตารางข้างต้นเป็นการกำหนดขาสัญญาณมาตรฐานของ PSoC

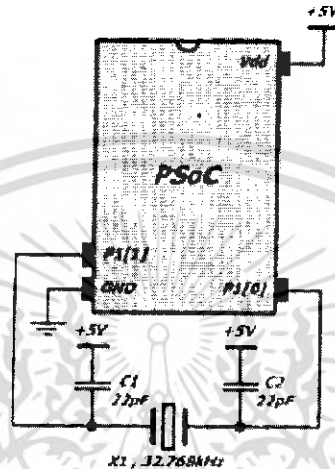
ไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งเบอร์เล็กและเบอร์ใหญ่นั้นหมายความว่า บางเบอร์อาจจะไม่มีขาสัญญาณบางขาปรากฏอยู่ในตารางที่ 2.1

2.3.6 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (Oscillator)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC สามารถทำงานได้ด้วยวงจรถูกกำเนิดความถี่ภายในได้ถึง 24 MHz แต่อย่างไรก็ดีการใช้วงจรมีค่าความผิดพลาด โดยปกติจะมีค่าไม่เกิน 2.5% ดังนั้นสำหรับงานที่ต้องการความเที่ยงตรงสูงกว่านี้ สามารถใช้วงจรถูกกำเนิดความถี่จากภายนอกซึ่งสามารถรองรับการใช้งานได้ 2 ลักษณะคือ

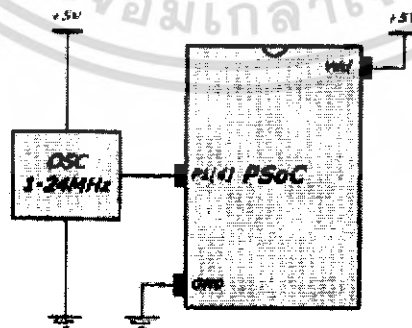
- 1) Crystal Oscillator 32 KHz: เป็นคริสตอลชนิดเดียวกันกับที่ใช้กับชิพนาฬิกาหรือ RTC แม้ว่าความถี่ในการทำงานจะมีค่าเป็น 32 KHz แต่ไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC สามารถใช้เป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่อ้างอิงสำหรับผลิตความถี่ 24 MHz ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ โดยใช้คุณสมบัติของ PLL(Phase Lock Loop) การเลือกใช้วงจรกำเนิดความถี่ประเภทนี้ จะต้องต่อผ่านขาไมโครคอนโทรลเลอร์ P1[0], P1[1] ประกอบกับคาปาซิเตอร์จากภายนอกอีก 2 ตัวดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การต่อ Crystal Oscillator 32 KHz เข้ากับ PSoC

2) Oscillator Module: เป็น โมดูลกำเนิดความถี่สามารถทำงานได้ที่ความถี่ 1MHz-24MHz โดยต่อผ่านทางขา P1[4] ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้ความถี่ที่ป้อนเข้ามาจากภายนอกนี้ เป็นความถี่อ้างอิงในการทำงานแทนความถี่ที่กำเนิดขึ้นจากภายใน ดังนั้นความถี่เชิงตรงของค่าความถี่ในการทำงานจึงขึ้นตรงกับความถี่ของ Oscillator Module นั้นเอง

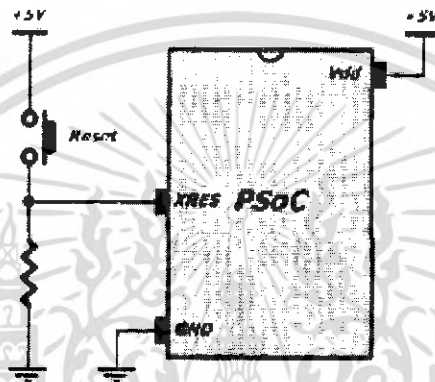


รูปที่ 2.9 Oscillator Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.7 การรีเซ็ต (RESET)

ขาสัญญาณรีเซ็ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC หรือขา XRES จะมีอยู่ในคอนโทรลเลอร์ทุกรุ่น ยกเว้นรุ่นที่มีขนาด 8 ขา ซึ่งจะไม่มีขาสัญญาณนี้ การรีเซ็ตจะเกิดขึ้นได้เมื่อได้รับลอจิก “1” หรือแรงดันไฟ +5v ดังนั้นวงจรรีเซ็ตจึงสามารถแสดงดังรูป 2.10



รูปที่ 2.10 การต่อขารีเซ็ตเข้ากับ PSoC

2.3.8 การโปรแกรมข้อมูลลงสู่ชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ (In-Circuit Program Interface)

การโปรแกรมข้อมูลลงสู่ชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC สามารถรองรับการโปรแกรมในลักษณะ ISP โดยไม่ต้องถอดชิพออกจากบอร์ด ขาสัญญาณสำหรับการโปรแกรมประกอบด้วย P1[0], P1[1] และ XRES

บทที่ 3

การคำนวณและการออกแบบ

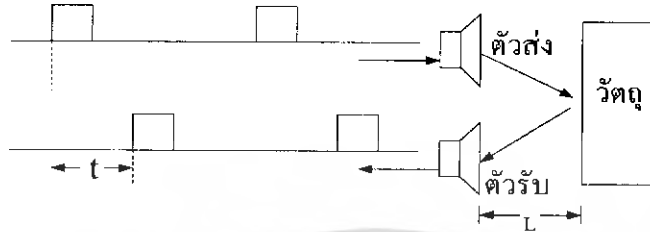
ในโครงการเครื่องมือวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิกโดยใช้ PSoC นี้ จะอาศัยหลักการที่ว่าส่งสัญญาณความถี่ 40 KHz จากภาควัดส่งอัลตราโซนิกไปกระทบกับวัตถุ และสะท้อนกลับมายังภาควัดรับสัญญาณอัลตราโซนิก นำช่วงเวลาที่นับเริ่มต้นตั้งแต่ทำการส่งสัญญาณไปกระทบกับวัตถุ และสะท้อนกลับไปยังตัวรับสัญญาณ มาคำนวณหาระยะทางโดยการคำนวณหาระยะทางนี้ ตัวแปรที่มีผลต่อการคำนวณ ก็คือ อุณหภูมิ ณ เวลานั้นๆ ด้วย ระยะทางที่เราทำการวัดนี้จะไม่ไกลมากนัก และระยะทางที่วัดได้จะถูกแสดงผลออกทางส่วนแสดงผล

3.1 โครงสร้างของระบบ



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่องมือวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิกโดยใช้ PSoC

การออกแบบเริ่มต้นจากอาศัยตัวอุปกรณ์หลัก คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC ตัวเดียว ซึ่งในตัวของ PSoC จะมีส่วนที่ผลิตพัลส์ความถี่ 40 KHz ให้กับตัวส่งอัลตราโซนิก ส่งออกไปกระทบกับวัตถุและสะท้อนกลับมายังตัวรับอัลตราโซนิก ในขณะที่ PSoC ผลิตพัลส์ส่งให้ตัวส่งอัลตราโซนิกก็จะสั่งงานให้เคาน์เตอร์(Counter) เริ่มนับ และเมื่อสัญญาณที่ส่งมายังตัวรับอัลตราโซนิก PSoC ก็จะสั่งงานให้เคาน์เตอร์ทำการหยุดนับ ดังนั้นจะได้ค่าที่วัดออกมา



รูปที่ 3.2 แสดงการผลิตคลื่นส่งผ่านตัวรับ สะท้อนวัตถุ ส่งมายังตัวรับ

จากรูปจะเห็นได้ว่าช่วงเวลา t เป็นช่วงเวลาตั้งแต่ตัวส่งอัลตราโซนิกส่งสัญญาณออกไปกระทบกับวัตถุและเกิดการสะท้อนกลับมายังตัวรับอัลตราโซนิก ซึ่งช่วงเวลานี้สามารถนำไปคำนวณหาระยะทางได้ตามสูตร

$$s = vt/2$$

สมการ 3.1

โดยที่ s : ระยะทางที่วัดได้ (m)

v : ความเร็วของคลื่นเสียง (m/s)

t : ระยะเวลาที่คลื่นเดินทางไปและกลับ (s)

$$v = 331.45 + 0.607 T$$

สมการ 3.2

v : ความเร็วของคลื่นในตัวกลางอากาศ (m/s)

T : อุณหภูมิของคลื่นในอากาศ ($^{\circ}\text{C}$)

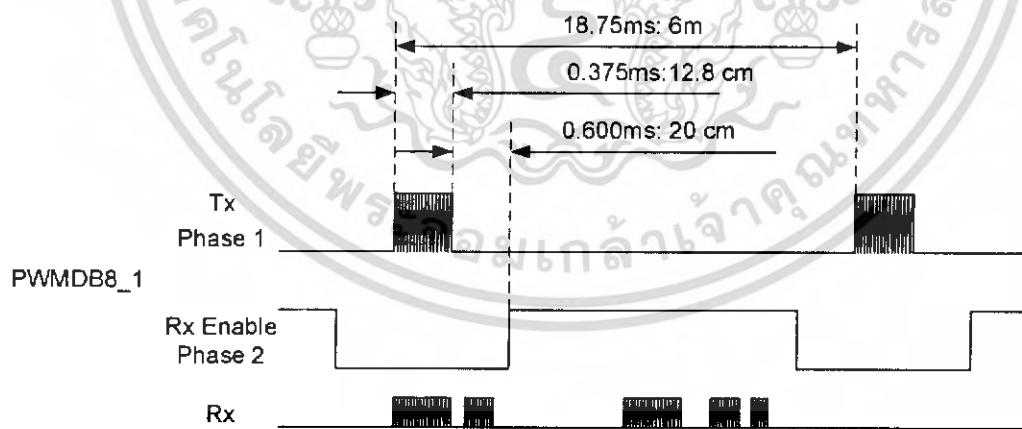
จากหลักการข้างต้นที่กล่าวมานั้น เราได้ทำการทดลองก่อนการกำหนดค่าให้แก่ User Module โดยนำอัลตราโซนิกตัวรับและตัวส่งมาวางด้วยระยะที่ห่างกันพอประมาณ การวางอัลตราโซนิกจะวางตัวรับตัวส่งตรงกันโดยไม่ได้ส่งคลื่นไปกระทบกับวัตถุแต่อย่างใด แล้วทำการป้อนสัญญาณพัลส์ความถี่ 40KHz ให้แก่ตัวส่ง นำออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณไว้ตลอดเวลา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตั้งเกตุรูปคลื่นสัญญาณที่ตัวรับว่ายังสามารถรับสัญญาณที่ตัวส่งๆมาให้ได้หรือไม่ ถ้าตัวรับยังรับสัญญาณจากตัวส่งได้อยู่ก็ให้ขยับตัวรับให้ไกลมากขึ้นไปอีก จนกระทั่งไม่สามารถรับสัญญาณได้แล้วระยะทางที่วัดได้นั้นคือระยะทางที่วัดได้ไกลสุด จากการที่วางอัลตราโซนิกตัวรับและตัวส่งตรงกัน โดยไม่ได้ส่งคลื่นไปกระทบวัตถุ แต่ถ้าคิดในกรณีที่ส่งคลื่นไปกระทบกับวัตถุให้นำค่าที่วัดได้หารสอง จะได้ค่าระยะทางจริงที่เราต้องการหา



รูปที่ 3.3 แสดงการวางอัลตราโซนิกตัวรับและตัวส่ง

จากการที่เราทำการทดลองจะได้รูปสัญญาณที่จะนำมาออกแบบใน User Module ในตัว PSoC ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.4 แสดงรูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้เมื่อวางอัลตราโซนิกตัวรับตัวส่งตรงกัน โดยไม่ได้ส่งคลื่นไปกระทบกับวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้รูปคลื่นสัญญาณดังรูปที่ 3.4 แล้ว นำรูปที่ได้ไปคำนวณสูตรของแต่ละ User Module ที่มีอยู่ใน data sheet ในโปรแกรม PSoC Designer ซึ่งสูตรที่ต้องคำนวณในแต่ละ User Module มีดังนี้

สูตรคำนวณ User Module ใน PSoC

PWM (Pulse Width Modulators) User Module

$$\begin{aligned} \text{OutputPeriod} &= (\text{PeriodValue} + 1) \frac{1}{\text{Clk}} = (39 + 1) \frac{1}{1.6\text{MHz}} && \text{สมการ 3.3} \\ &= 25\mu\text{s} \text{ หรือ } 40\text{KHz} \end{aligned}$$

PWMDB (PWM Dead Band Generators) User Module

$$\begin{aligned} \text{DeadTime} &= \frac{1}{\text{Clk}} (\text{DeadTime} + 1) = \frac{1}{13.33\text{KHz}} (7 + 1) && \text{สมการ 3.4} \\ &= 600\mu\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{OutputPeriod} &= (\text{PeriodValue} + 1) \frac{1}{\text{Clk}} = (249 + 1) \frac{1}{13.33\text{KHz}} && \text{สมการ 3.5} \\ &= 18.75\text{ms} \end{aligned}$$

$$\text{DutyCycle} = \frac{\text{PulseWidthValue} - \text{DeadTime}}{\text{PeriodValue} + 1} = \frac{12 - 7}{249 + 1} = 0.02 \quad \text{สมการ 3.6}$$

$$\% \text{DutyCycle} = 2\%$$

BPF (Band Pass Filter)

$$\begin{aligned} Q &= \frac{C_2}{C_4} \left(\frac{C_A C_B}{C_2 C_3} - \frac{1}{4} - \frac{1}{2} \frac{C_4}{C_2} \right)^2 = \frac{20\text{pF}}{8\text{pF}} \left(\frac{32\text{pF} \times 32\text{pF}}{20\text{pF} \times 17\text{pF}} - \frac{1}{4} - \frac{1}{2} \frac{8\text{pF}}{20\text{pF}} \right)^2 && \text{สมการ 3.7} \\ &= 4 \end{aligned}$$

3.2 การกำหนดค่าให้ User Module

ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC มี User Module มากมายให้เลือกใช้ ในที่นี้เราจะเลือกใช้ User Module ดังต่อไปนี้

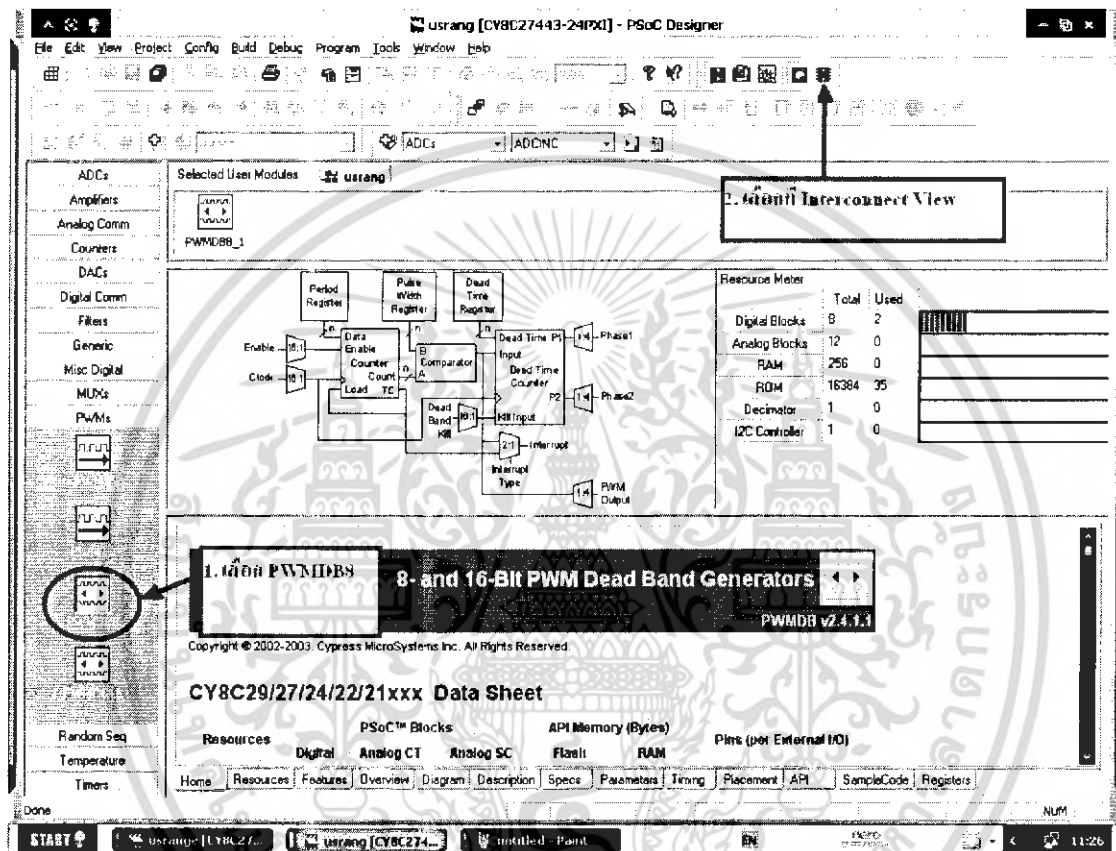
3.2.1 Pulse Width Modulations Dead Band

- 1.) เลือกฟังก์ชัน PWMs และเลือกฟังก์ชันย่อย PWMDB8 เพื่อทำการสร้าง โมดูล (Module)

ผลิตความถี่ส่งออกมา 2 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

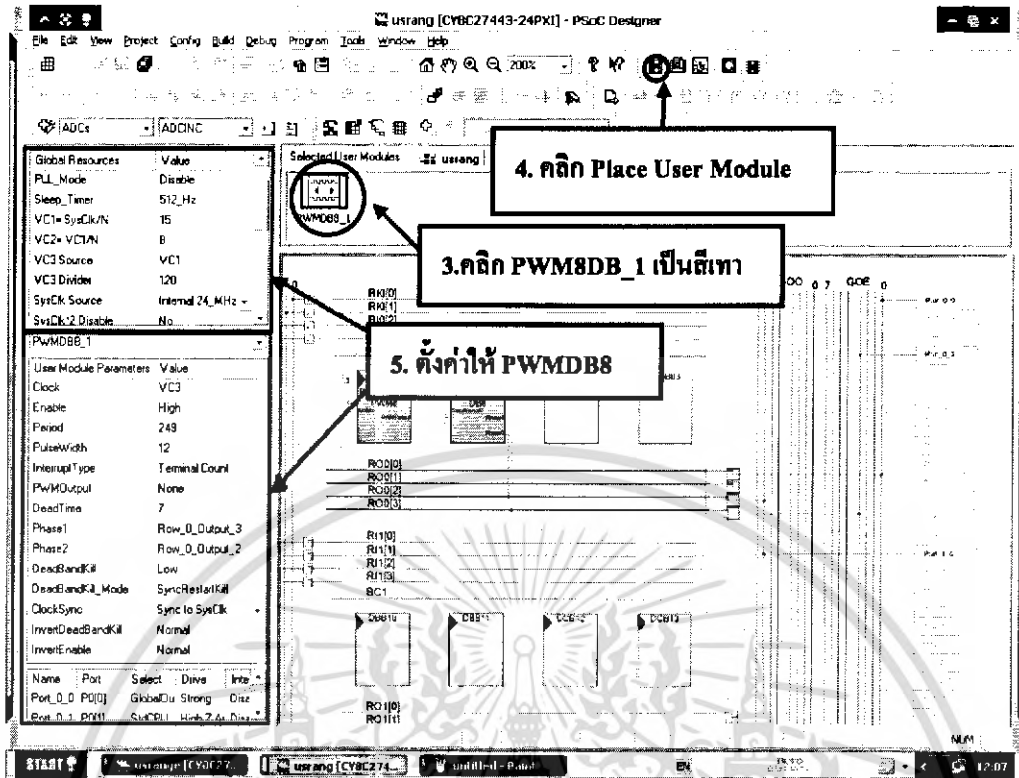
2.) ทำการดับเบิลคลิกตัวโมดูลพัลส์วิดท์มอดูลทชนเค็ดแบนด์ เพื่อเลือกใช้งาน แล้วเลือกฟังก์ชัน Interconnect View ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงการสร้าง PWMD8

3). คลิกเลือกฟังก์ชัน PWMD8_1 ให้เป็นสีเทา เลือกคำสั่ง Place User Module แล้วตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ในช่อง Value ให้เป็นดังรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



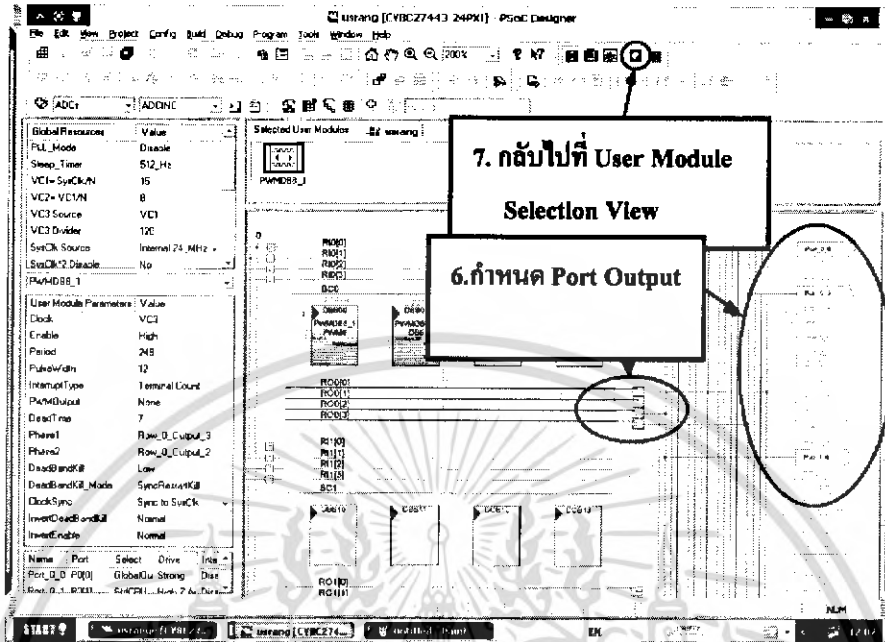
รูปที่ 3.6 แสดงการวางโมดูลและการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters

Global Resources	Value	PWM8DB_1	User Module Param	Value
CPU_Clock	3_MHz (SysClk/8)		Clock	VC3
32K_Select	Internal		Enable	High
PLL_Mode	Disable		Period	249
Sleep_Timer	512_Hz		PulseWidth	12
VC1= SysClk/N	15		InterruptType	Terminal Count
VC2= VC1/N	8		PWMOutput	None
VC3 Source	VC1		DeadTime	7
VC3 Divider	120		Phase1	Row_0_Output_3
SysClk Source	Internal 24_MHz		Phase2	Row_0_Output_2
SysClk*2 Disable	No		DeadBandKill	Low
Analog Power	SC On/Ref High		DeadBandKill_Mode	SyncRestartKill
Ref Mux	(1.6 BandGap)+/(1		ClockSync	Sync to SysClk
AGndBypass	Disable		InvertDeadBandKill	Normal
Op-Amp Bias	Low		InvertEnable	Normal
A_Buff_Power	Low			
SwitchModePump	OFF			
Trip Voltage [LVD]	4.81V (5.00V)			
LVDThrottleBack	Disable			
Supply Voltage	5.0V			
Watchdog Enable	Disable			

รูปที่ 3.7 ภาพแสดงการตั้งค่า Global Resource และ User Module Parameters ให้แก่ PWM8DB8 การตั้งค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

4.) กำหนดให้เอาต์พุตสัญญาณ PWMDB8_1 ออกที่ Port Output โดยการเชื่อมสาย

ดังรูปที่ 3.8



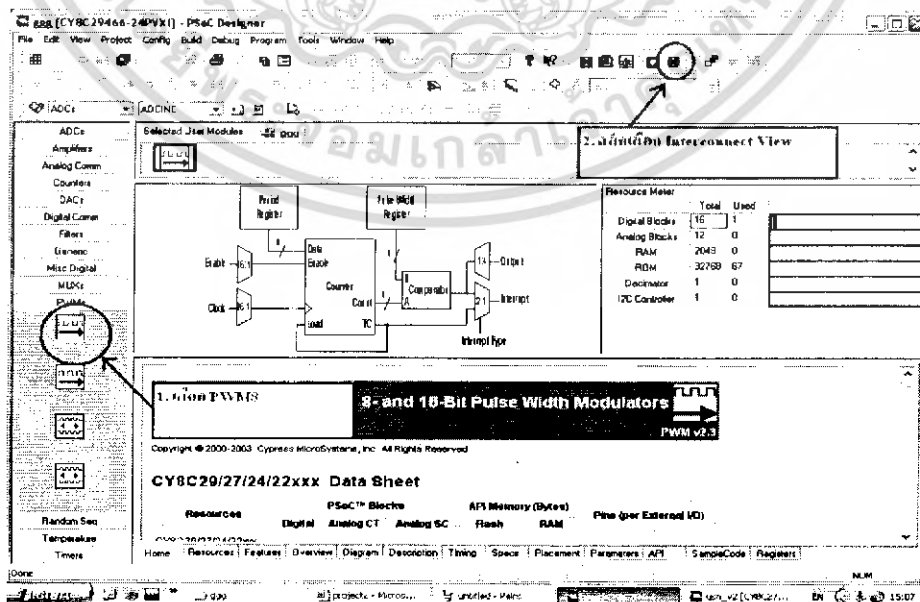
รูปที่ 3.8 แสดงการเชื่อมสายเอาต์พุตเข้าที่ Port Output

5.) คลิก User Module Selection View เพื่อกลับไปเลือกกำหนด User Module ตัวต่อไป

3.2.2 Pulse Width Modulations

1.) เลือกฟังก์ชัน PWMs และเลือกฟังก์ชันย่อย PWM8 เพื่อทำการสร้าง โมดูล (Module) ผลิตความถี่ 40 kHz

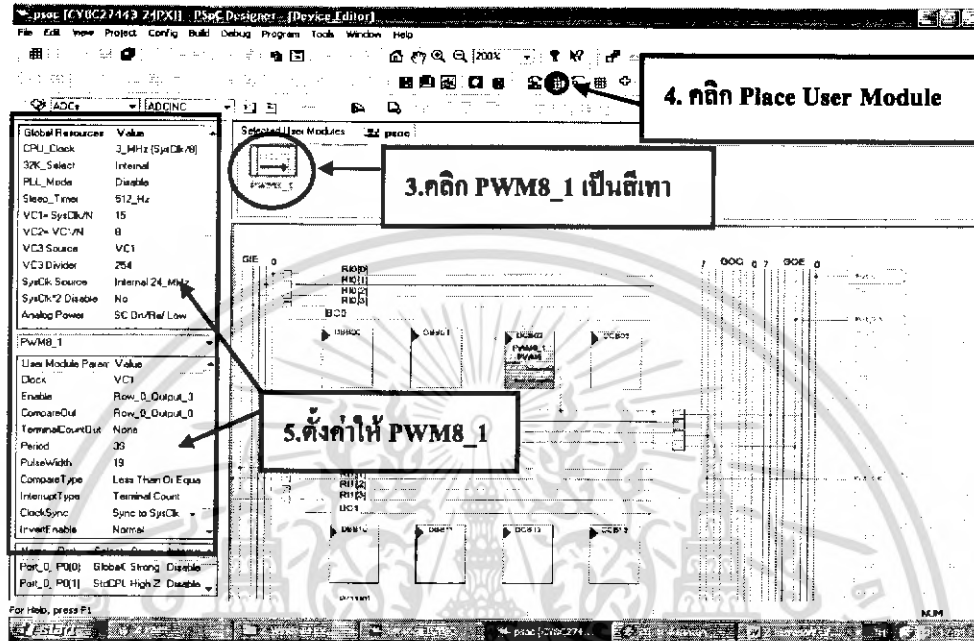
2.) ทำการดับเบิลคลิกตัวโมดูลพัลส์วีดท์มอดูเลทชั่น เพื่อเลือกใช้งาน ต่อมาทำการเลือก ฟังก์ชัน Interconnect View ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงการสร้าง PWM8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3). คลิกเลือกฟังก์ชัน PWM8_1 ให้เป็นสีเทา เลือกคำสั่ง Place User Module แล้วตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ในช่อง Value ให้เป็นดังรูปที่ 3.10 และรูปที่ 3.11 ตามลำดับ



รูปที่ 3.10 แสดงการวาง โมดูลและการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters

Global Resources	Value
CPU_Clock	3_MHz (SysClk/8)
32K_Select	Internal
PLL_Mode	Disable
Sleep_Timer	512_Hz
VC1= SysClk/N	15
VC2= VC1/N	8
VC3 Source	VC1
VC3 Divider	120
SysClk Source	Internal 24_MHz
SysClk*2 Disable	No
Analog Power	SC.Dn/Ref High
Ref Mux	(1.6 BandGap)*x/(1.
AGndBypass	Disable
Dp-Amp Bias	Low
A_Buff_Power	Low
SwitchModePump	OFF
Trip Voltage (LVD)	4.81V (5.00V)
LVD ThrottleBack	Disable
Supply Voltage	5.0V
Watchdog Enable	Disable

User Module Param	Value
Clock	VC1
Enable	Row_0_Output_3
CompareOut	Row_0_Output_0
TerminalCountOut	None
Period	39
PulseWidth	19
CompareType	Less Than Or Equal
InterruptType	Terminal Count
ClockSync	Sync to SysClk
InvertEnable	Normal

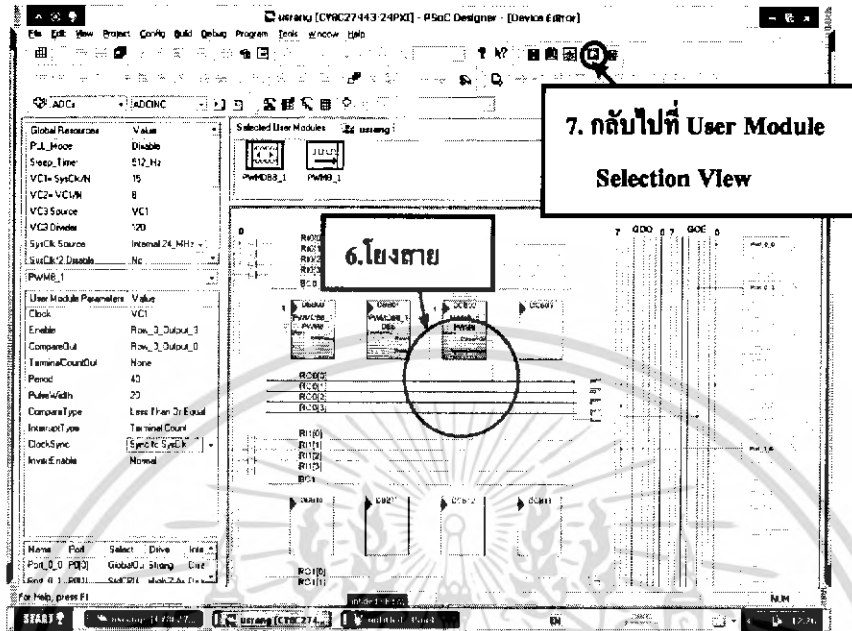
รูปที่ 3.11 ภาพแสดงการตั้งค่า Global Resource และ User Module Parameters ให้แก่ PWM8_1

4.) กำหนดให้เอาต์พุตสัญญาณ PWM8_1 ออกที่ Port0_0 โดยมีการ Modulate ด้วย XOR

การเชื่อมสายเป็นดังรูปที่ 3.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

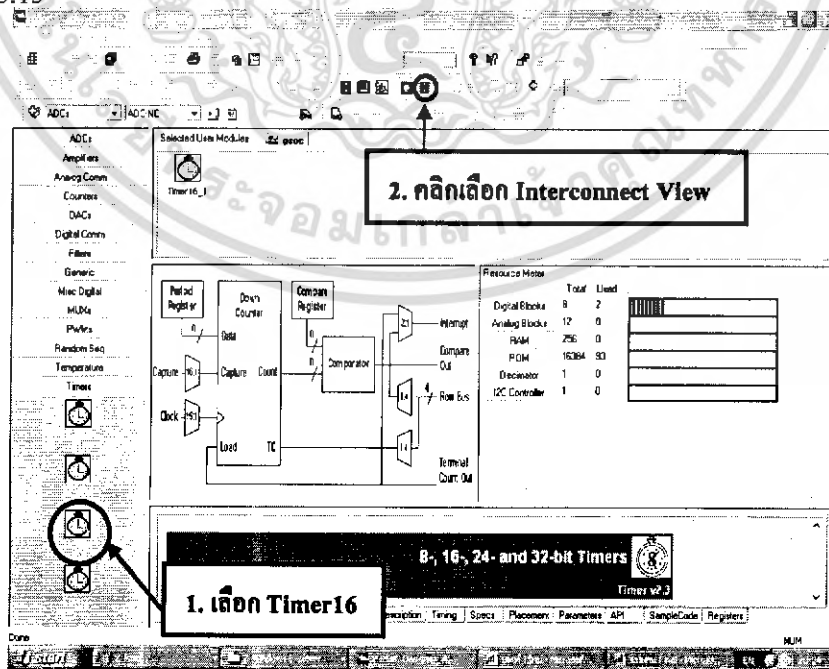
5.) คลิก User Module Selection View เพื่อกลับไปเลือกกำหนด User Module ตัวต่อไป



รูปที่ 3.12 แสดงการตั้งค่า Output ให้ออกที่ Port 0_0

3.2.3 Timer

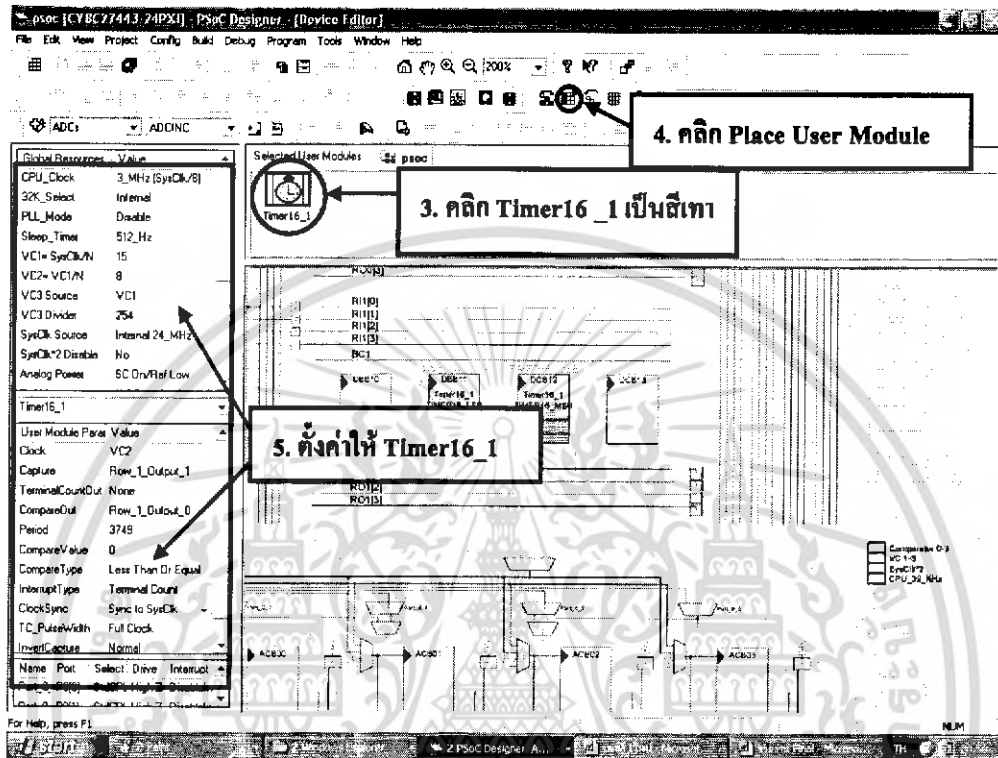
- 1.) เลือกฟังก์ชัน Timers คลิกเลือกฟังก์ชันย่อย Timer16 เพื่อทำการเลือก โมดูลวงจร ไทเมอร์ (Timer) เพื่อทำการจับเวลาในการส่งและรับสัญญาณ
- 2.) ทำการดับเบิลคลิกตัวโมดูลไทเมอร์เพื่อเลือกใช้งาน แล้วเลือกฟังก์ชัน Interconnect View ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แสดงการสร้าง Timer Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) คลิกฟังก์ชัน Timer16_1 ให้เป็นสีเทา เลือกคำสั่ง Place User Module แล้วทำการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ในช่อง Value ดังรูปที่ 3.14 และ รูปที่ 3.15 ตามลำดับ



รูปที่ 3.14 แสดงการวางโมดูลและการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters

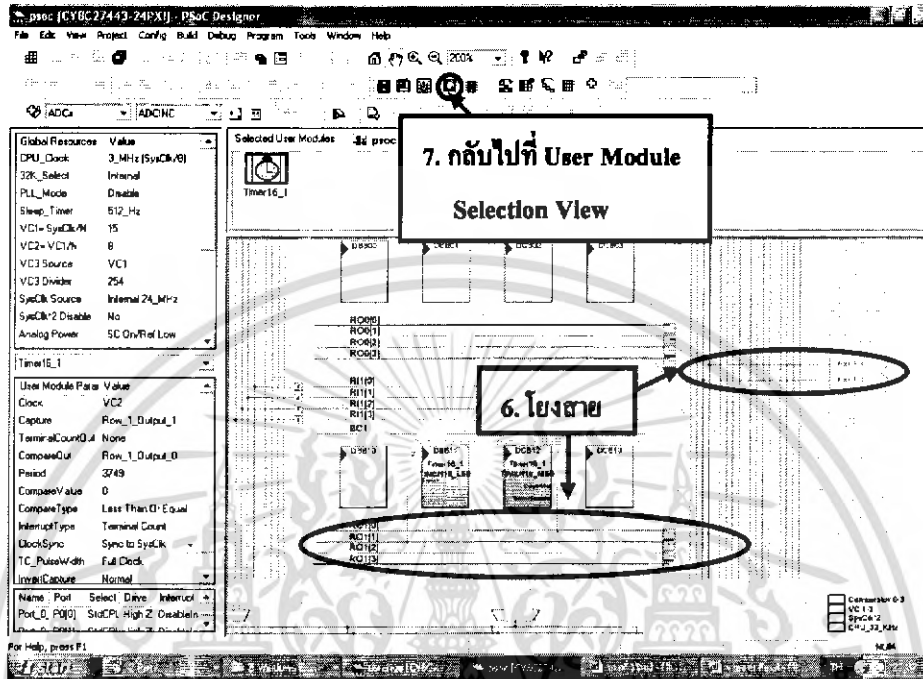
Global Resources	Value
CPU_Clock	3_MHz (SysCk/8)
32K_Select	Internal
PLL_Mode	Disable
Sleep_Timer	512_Hz
VC1= SysCk/N	15
VC2= VC1/N	8
VC3 Source	VC1
VC3 Divider	120
SysCk Source	Internal 24_MHz
SysCk*2 Disable	No
Analog Power	SC On/Ref High
Ref Mux	(1.6 BandGap)+/(1.6 BandGap)
AGndBypass	Disable
Op-Amp Bias	Low
A_Buf_Power	Low
SwitchModePump	OFF
Trip Voltage [LVD (SMP)]	4.81V (5.00V)
LVDThrottleBack	Disable
Supply Voltage	5.0V
Watchdog Enable	Disable

User Module Parameters	Value
Clock	VC2
Capture	Row_1_Output_1
TerminalCountOut	None
CompareOut	Row_1_Output_0
Period	3749
CompareValue	0
CompareType	Less Than Or Equal
InterruptType	Terminal Count
ClockSync	Syne to SysCk
TC_PulseWidth	Full Clock
InvertCapture	Normal

รูปที่ 3.15 ภาพแสดงการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ให้แก่ Timer16_1

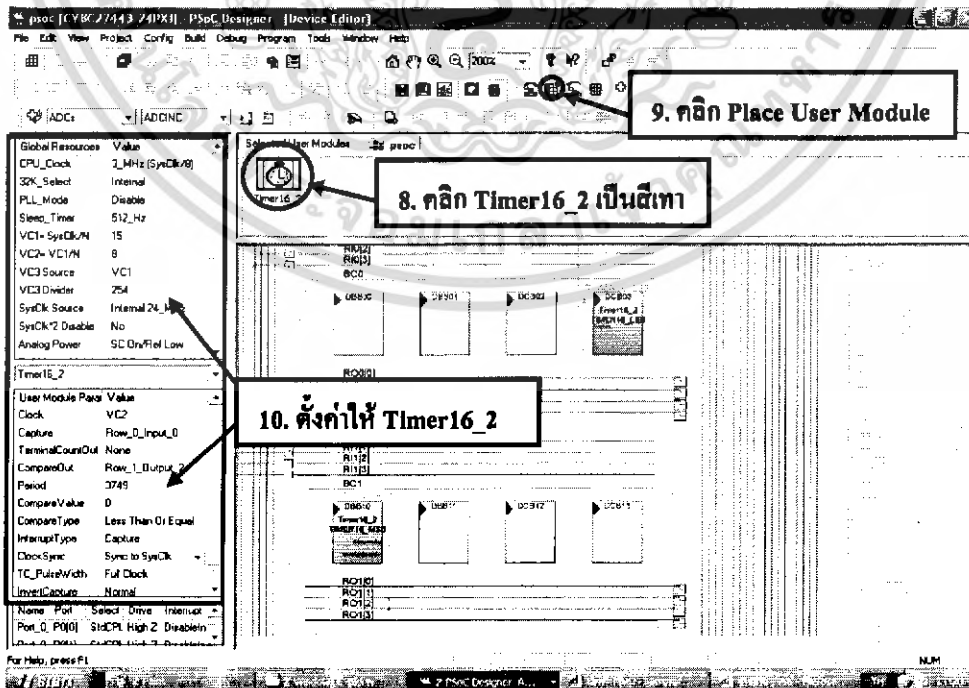
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.) กำหนด Port Output ของวงจร Timer16 โดยการเชื่อมสาย ดังรูปที่ 3.16
- 5.) คลิก User Module Selection View เพื่อกลับไปเลือกกำหนด User Module ตัวต่อไป



รูปที่ 3.16 แสดงการเชื่อมสายของวงจร Timer16_1

- 6.) คลิกฟังก์ชัน Timer16_2 ให้เป็นสีเทา เลือกคำสั่ง Place User Module แล้วทำการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ในช่อง Value ดังรูปที่ 3.17 และ 3.18 ตามลำดับ

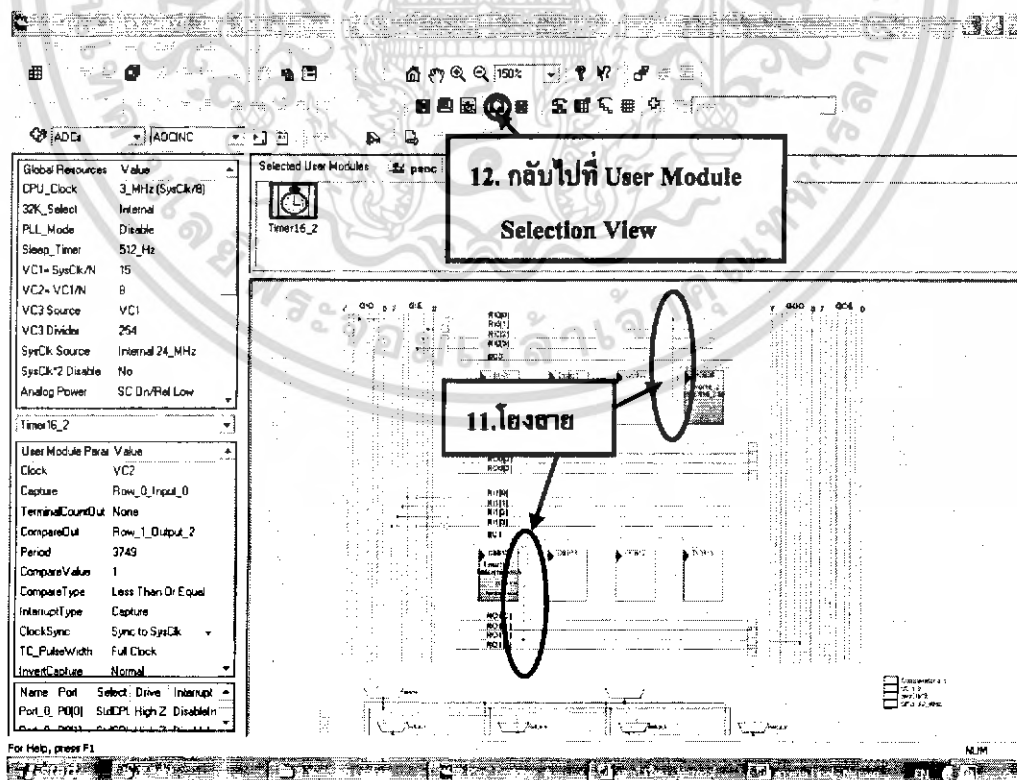


เอกสารรูปที่ 3.17 แสดงการวางโมดูลและการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ในการคำนวณค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Global Resources	Value
CPU_Clock	3_MHz (SysClk/8)
32K_Select	Internal
PLL_Mode	Disable
Sleep_Timer	512_Hz
VC1= SysClk/N	15
VC2= VC1/N	8
VC3 Source	VC1
VC3 Divider	120
SysClk Source	Internal 24_MHz
SysClk*2 Disable	No
Analog Power	SC On/Ref High
Ref Mux	(1.6 BandGap)+/(1.6 BandGap)
AGndBypass	Disable
OpAmp Bias	Low
A_Buff_Power	Low
SwitchModePump	OFF
Trip Voltage [LVD (SMP)]	4.81V (5.00V)
LVDThrottleBack	Disable
Supply Voltage	5.0V
Watchdog Enable	Disable

User Module Parameters	Value
Clock	VC2
Capture	Row_0_Input_0
TerminalCountOut	None
CompareOut	Row_1_Output_2
Period	3749
CompareValue	1
CompareType	Less Than Or Equal
InterruptType	Capture
ClockSync	Sync to SysClk
TC_PulseWidth	Full Clock
InvertCapture	Normal

รูปที่ 3.18 ภาพแสดงการตั้งค่า Global Resource และ User Module Parameters ให้แก่ Timer16_2
 7.) กำหนด Port Input ของวงจร Timer16_2 โดยการเชื่อมสาย ดังรูปที่ 3.19



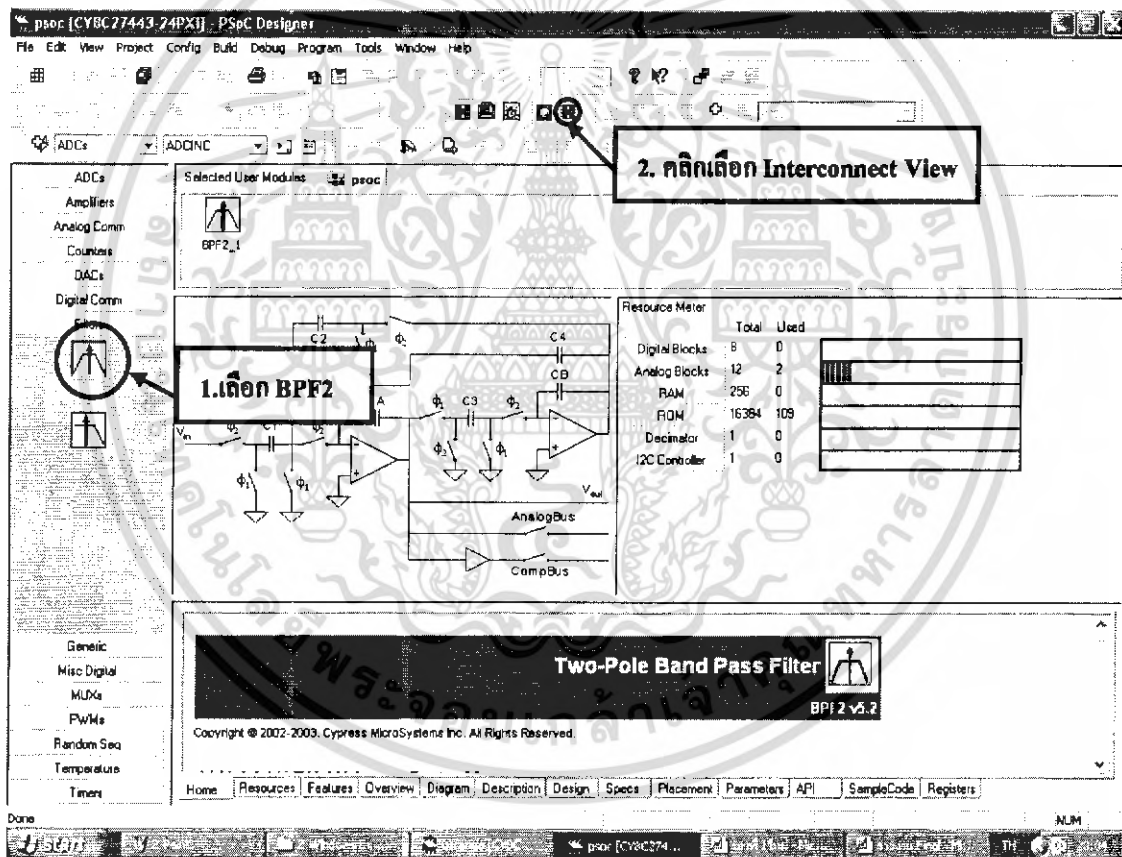
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 3.19 แสดงการเชื่อมสายของวงจร Timer16_2 ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.) คลิก User Module Selection View เพื่อกลับไปเลือกกำหนด User Module ตัวต่อไป

3.2.4 Band Pass Filter

1.) เลือกฟังก์ชัน Filters คลิกเลือกฟังก์ชันย่อย BPF2 (BPF2 ต้องใช้โมดูลจำนวน 2 Block และเลือกแบบ BPF2A) เพื่อทำการเลือกโมดูลวงจรกรองความถี่จากการผ่านวงจรขยายสัญญาณแล้ว

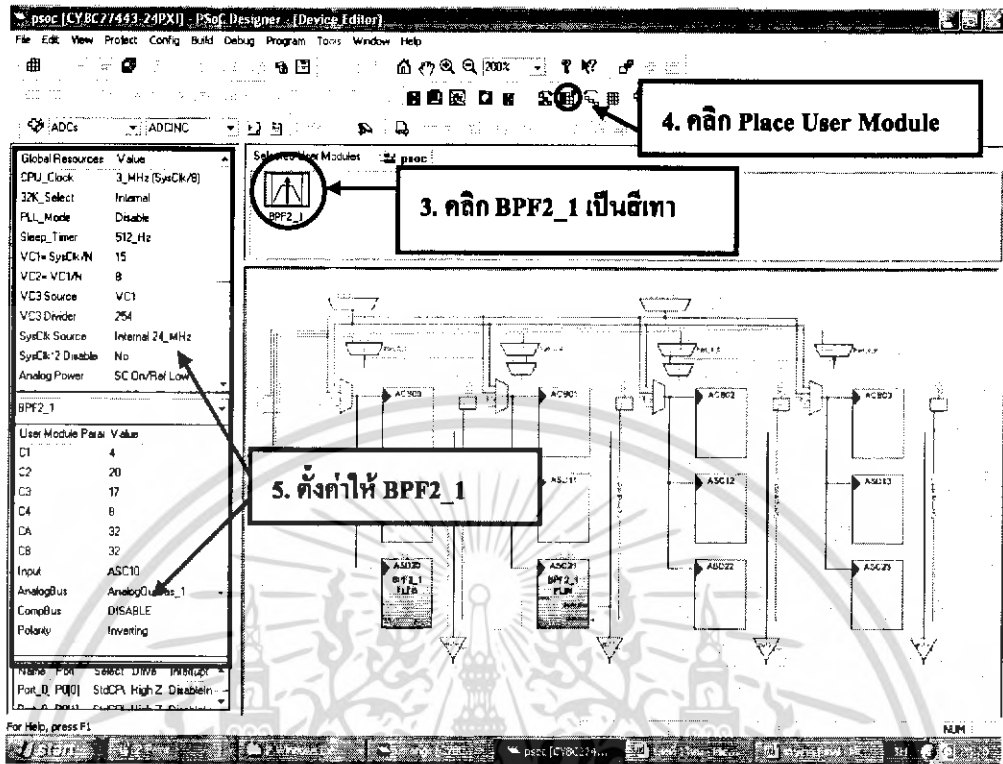
2.) ต่อมาเลือกฟังก์ชัน Interconnect View เพื่อทำการตั้งค่าตัวโมดูล ทีละ Block ในที่เป็นการวาง BPF2_1 (BPF ตัวที่ 1) ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 แสดงการสร้าง Band pass Filter Module

3.) คลิกฟังก์ชัน BPF2 ให้เป็นสีเทา เลือกคำสั่ง Place User Module แล้วทำการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ในช่อง Value ทำเช่นนี้ทีละ Block ในที่นี้เป็นการตั้งค่า BPF2_1 (BPF ตัวที่ 1) ดังรูปที่ 3.21 และ รูปที่ 3.22 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 แสดงการวางโมดูลและการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters

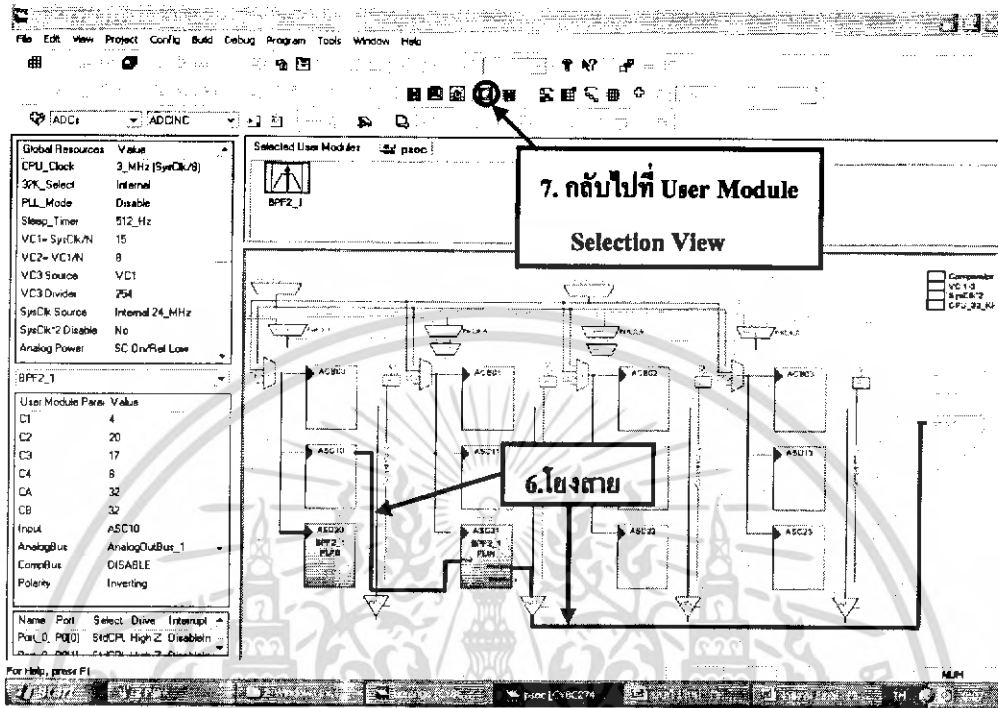
Global Resources	Value	BPF2_1
CPU_Clock	3_MHz (SysClk/8)	
32K_Select	Internal	
PLL_Mode	Disable	
Sleep_Timer	512_Hz	
VC1= SysClk/N	15	
VC2= VC1/N	8	
VC3 Source	VC1	
VC3 Divider	120	
SysClk Source	Internal 24_MHz	
SysClk*2 Disable	No	
Analog Power	SC Drv/Ref High	
Ref Mux	(1.6 BandGap)+/(1.6 BandGap)	
AGndBypass	Disable	
Op-Amp Bias	Low	
A_Buff_Power	Low	
SwitchModePump	OFF	
Trip Voltage [LVD (SMP)]	4.81V (5.00V)	
LVDThrottleBack	Disable	
Supply Voltage	5.0V	
Watchdog Enable	Disable	
		User Module Parameters
		Value
		C1
		4
		C2
		20
		C3
		17
		C4
		8
		CA
		32
		CB
		32
		Input
		ASC10
		AnalogBus
		AnalogOutBus_1
		CompBus
		DISABLE
		Polarity
		Inverting

รูปที่ 3.22 ภาพแสดงการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ให้แก่ BPF2_1

4.) กำหนดการเชื่อมต่อ BPF2_1 โดยการเชื่อมสาย ดังรูปที่ 3.23

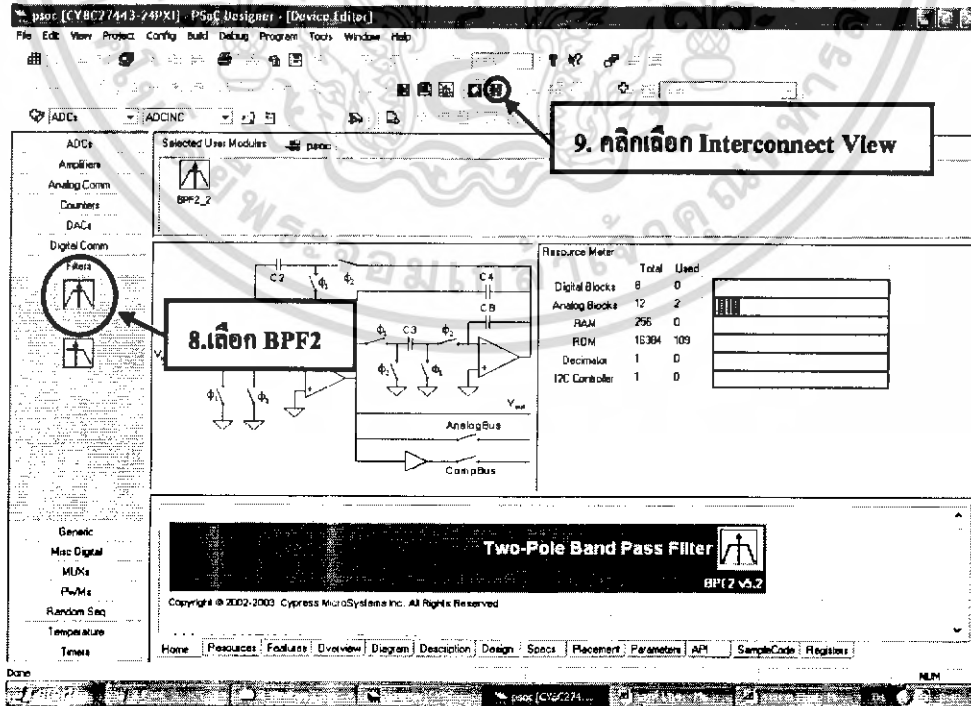
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.) คลิก User Module Selection View เพื่อกลับไปเลือกกำหนด User Module ตัวต่อไป



รูปที่ 3.23 แสดงการเชื่อมสายของวงจร BPF2_1

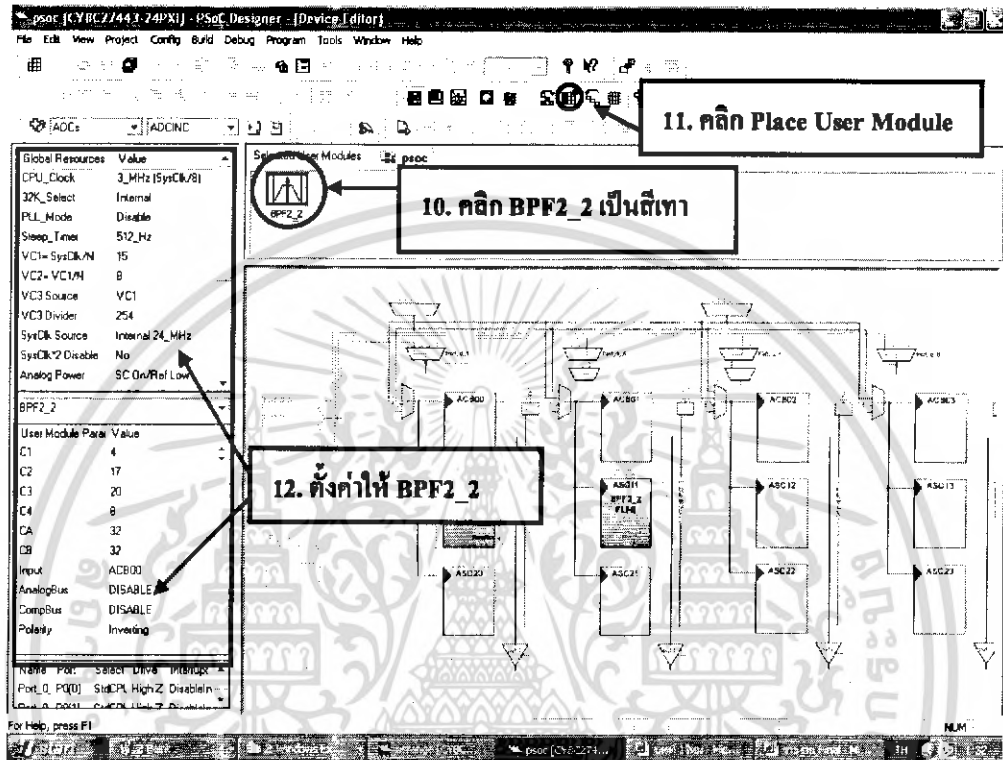
6.) ต่อมาเลือกฟังก์ชัน Interconnect View เพื่อทำการตั้งค่าตัวโมดูล ในที่นี้เป็นการวาง BPF2_2 (BPF ตัวที่ 2) ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 แสดงการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ของ BPF2_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.) คลิกฟังก์ชัน BPF2_2 ให้เป็นสีเทา เลือกค่าตั้ง Place User Module แล้วทำการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ในช่อง Value ในที่นี้เป็นการตั้งค่า BPF2_2 (BPF ตัวที่ 2) ดังรูปที่ 3.25 และ รูปที่ 3.26 ตามลำดับ



รูปที่ 3.25 แสดงการวางโมดูลและการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters

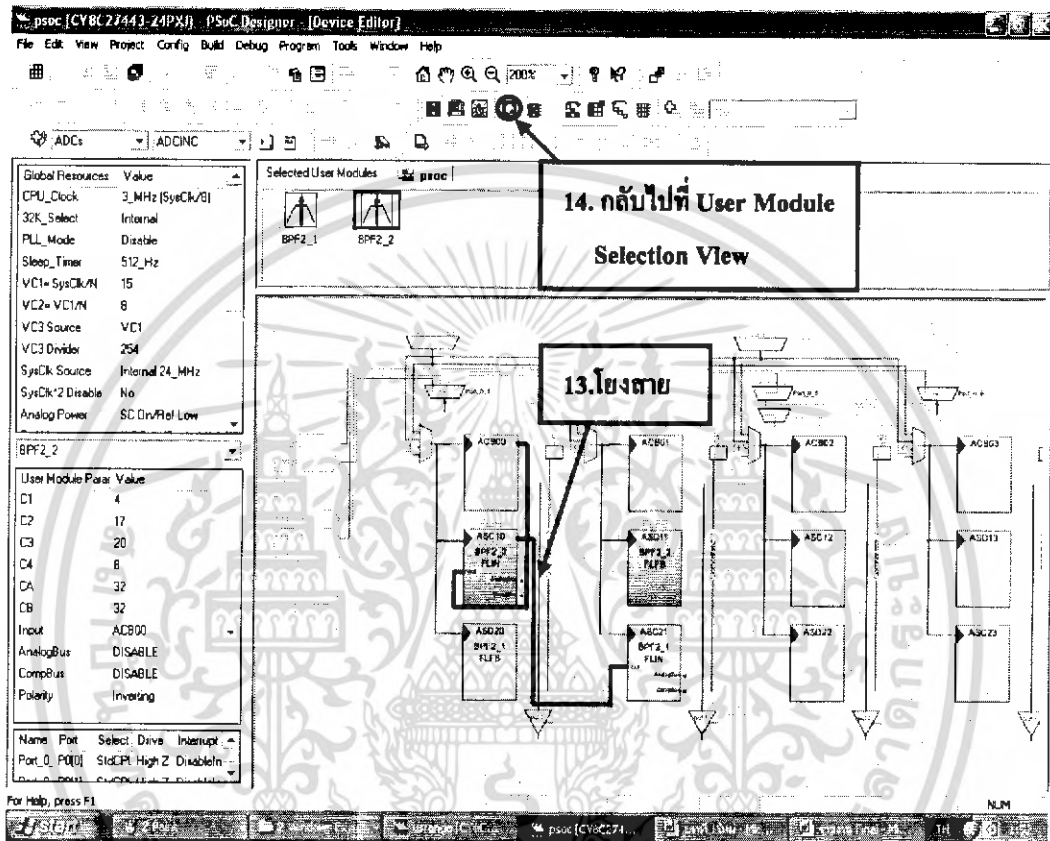
Global Resources	Value	BPF2_2
CPU_Clock	3_MHz (SysClk/8)	
32K_Select	Internal	
PLL_Mode	Disable	
Sleep_Timer	512_Hz	
VC1= SysClk/N	15	
VC2= VC1/N	8	
VC3 Source	VC1	
VC3 Divider	120	
SysClk Source	Internal 24_MHz	
SysClk*2 Disable	No	
Analog Power	SC On/Ref High	
Ref Mux	(1.6 BandGap)+/(1.6 BandGap)	
A_GndBypass	Disable	
Op-Amp Bias	Low	
A_Buif_Power	Low	
SwitchModePump	OFF	
Trip Voltage [LVD (SMP)]	4.81V (5.00V)	
LVD ThrottleBack	Disable	
Supply Voltage	5.0V	
Watchdog Enable	Disable	
		User Module Parameters
		C1
		C2
		C3
		C4
		CA
		CB
		Input
		AnalogBus
		CompBus
		Polarity

รูปที่ 3.26 ภาพแสดงการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ของ BPF2_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.) กำหนดการเชื่อมต่อ BPF2_2 โดยการเชื่อมสาย ดังรูปที่ 3.27

9.) คลิก User Module Selection View เพื่อกลับไปเลือกกำหนด User Module ตัวต่อไป

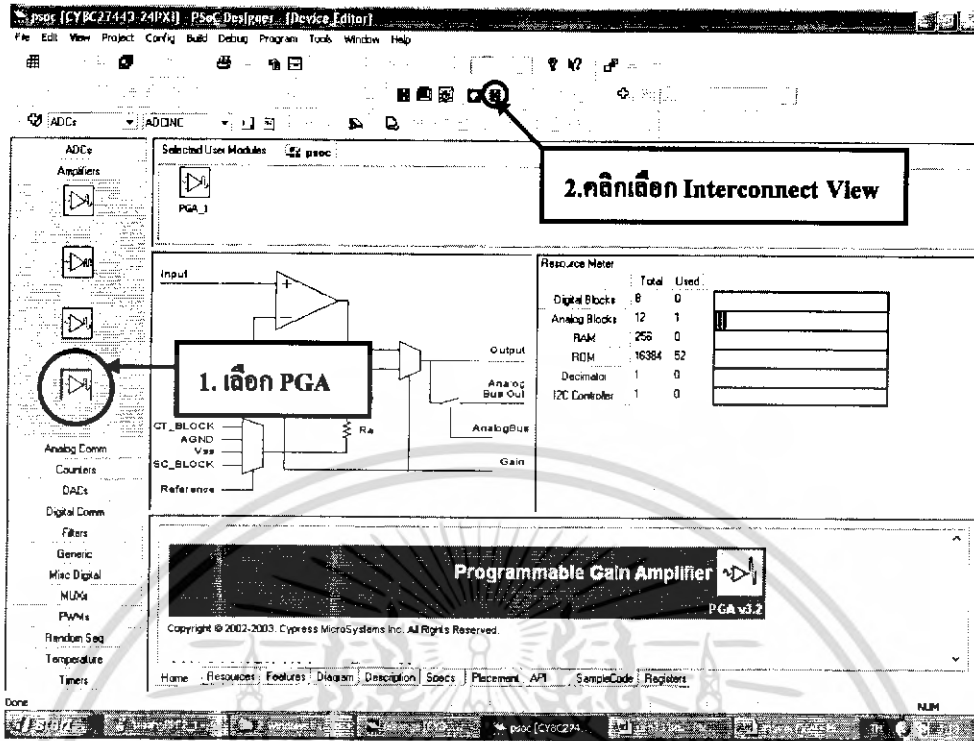


รูปที่ 3.27 แสดงการเชื่อมสายของวงจร BPF2_2

3.2.5 PGA

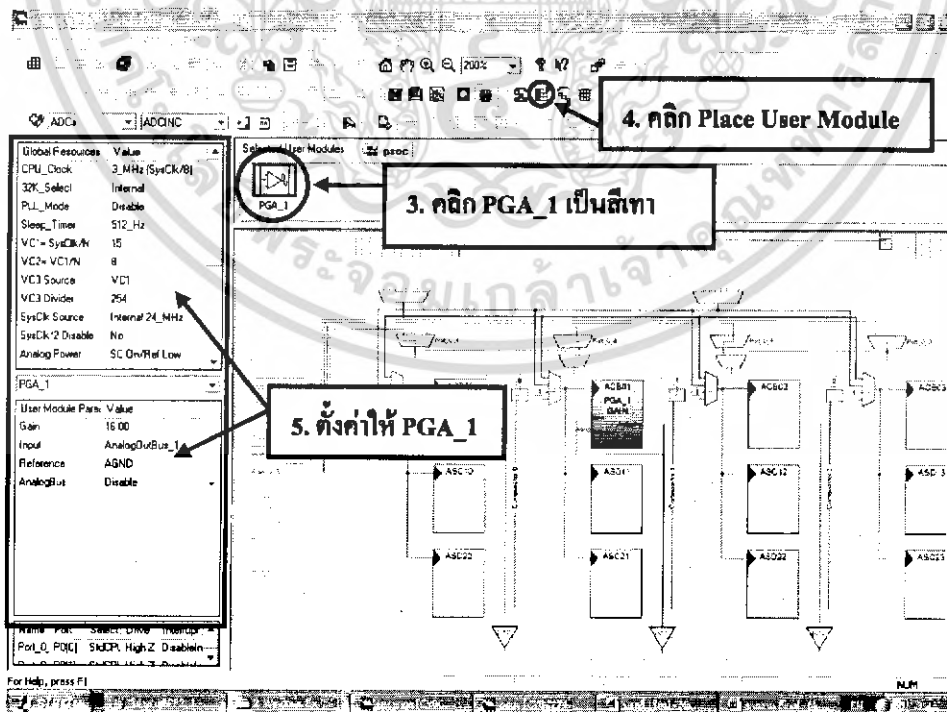
- 1.) เลือกฟังก์ชัน Amplifier คลิกเลือกฟังก์ชันย่อย PGA เพื่อทำการเลือก โมดูลวงจรรขยาย (Gain) เมื่อรับสัญญาณเข้าจากอัลตราโซนิคตัวรับ
- 2.) ต่อมาเลือกฟังก์ชัน Interconnect View เพื่อทำการตั้งค่าตัวโมดูล ดังรูปที่ 3.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 แสดงการสร้าง PGA

3.) คลิกฟังก์ชัน PGA_1 ให้เป็นสีเทา เลือกค่าตั้ง Place User Module แล้วทำการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ในช่อง Value ดังรูปที่ 3.29 และรูปที่ 3.30 ตามลำดับ



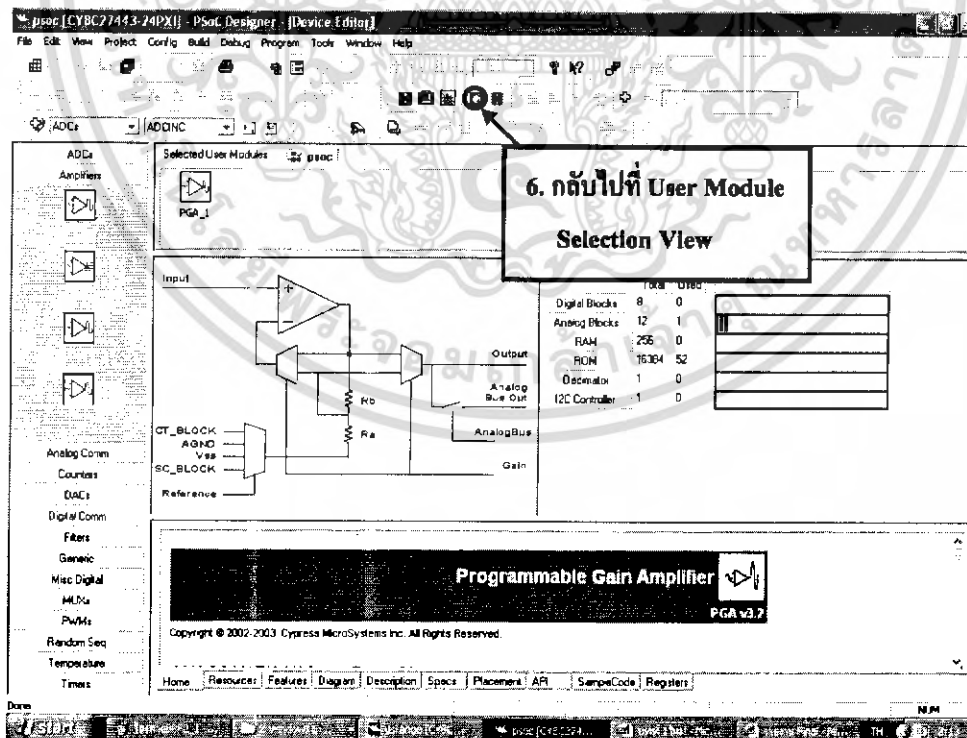
รูปที่ 3.29 แสดงการวางโมดูลและการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Global Resources	Value	PGA_1
CPU_Clock	3_MHz (SysClk/8)	
32K_Select	Internal	
PLL_Mode	Disable	
Sleep_Timer	512_Hz	
VC1= SysClk/N	15	
VC2= VC1/N	8	
VC3 Source	VC1	
VC3 Divider	120	
SysClk Source	Internal 24_MHz	
SysClk*2 Disable	No	
Analog Power	SC On/Ref High	
Ref Mux	(1.6 BandGap)+/-(1.6 BandGap)	
AGndBypass	Disable	
Op-Amp Bias	Low	
A_Buff_Power	Low	
SwitchModePump	OFF	
Trip Voltage [LVD (SMP)]	4.81V (5.00V)	
LVDThrottleBack	Disable	
Supply Voltage	5.0V	
Watchdog Enable	Disable	

User Module Parameters	Value
Gain	16.00
Input	AnalogOutBus_1
Reference	AGND
AnalogBus	Disable

รูปที่ 3.30 ภาพแสดงการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ของ PGA_1

4.) คลิก User Module Selection View เพื่อกลับไปเลือกกำหนด User Module ตัวต่อไป



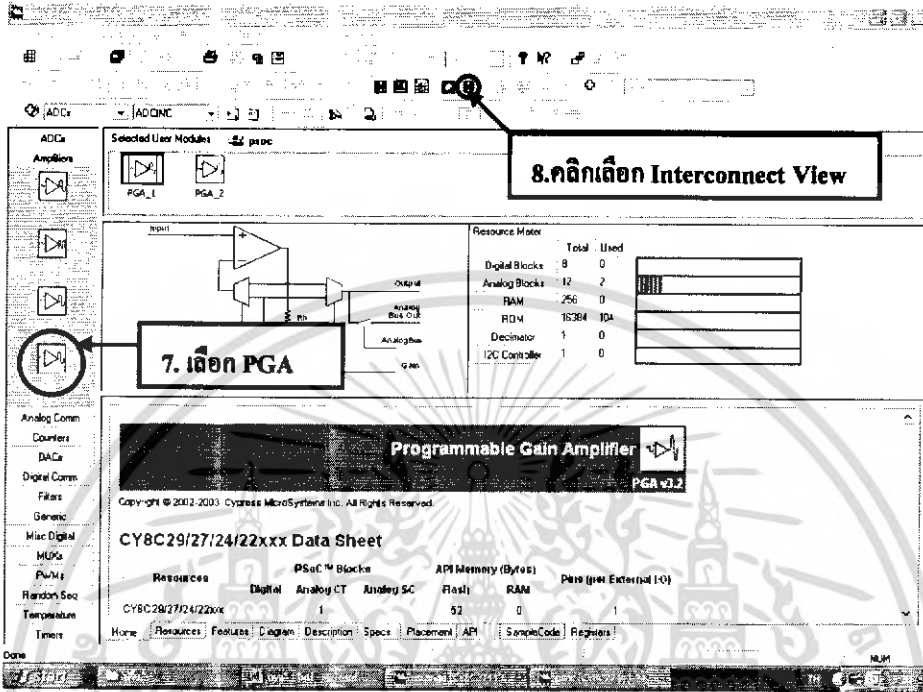
รูปที่ 3.31 แสดงการเลือก User Module Selection View เพื่อกลับไปเลือกกำหนด

User Module ตัวต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

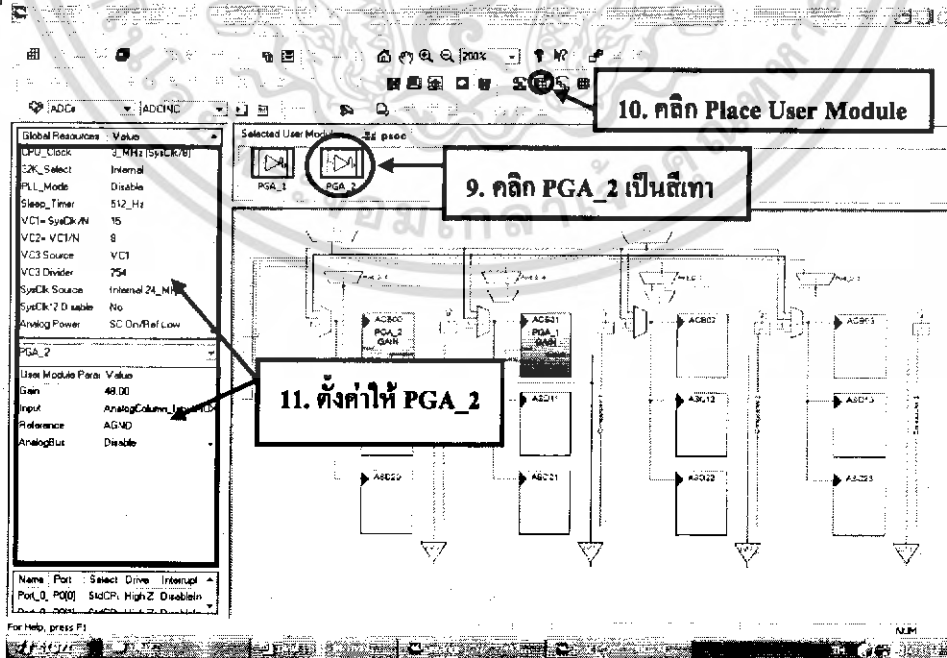
5.) เลือกฟังก์ชัน Amplifier คลิกเลือกฟังก์ชันย่อย PGA

6.) ต่อมาเลือกฟังก์ชัน Interconnect View เพื่อทำการตั้งค่าตัวโมดูล ดังรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.32 แสดงการสร้าง PGA

7.) คลิกฟังก์ชัน PGA_2 ให้เป็นสีเทา เลือกค่าตั้ง Place User Module แล้วทำการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ในช่อง Value ดังรูปที่ 3.33 และรูปที่ 3.34 ตามลำดับ



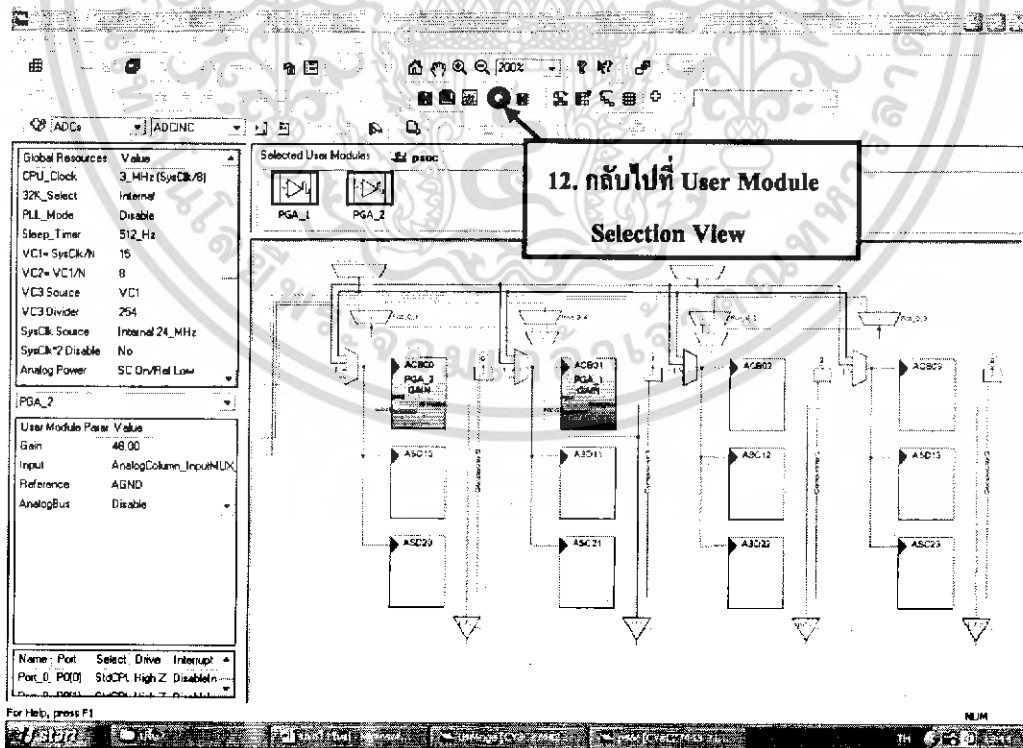
รูปที่ 3.33 แสดงการวางโมดูลและการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Global Resources	Value
CPU_Clock	3_MHz (SysCk/8)
32K_Select	Internal
PLL_Mode	Disable
Sleep_Timer	512_Hz
VC1= SysCk/N	15
VC2= VC1/N	8
VC3 Source	VC1
VC3 Divider	120
SysCk Source	Internal 24_MHz
SysCk*2 Disable	No
Analog Power	SC On/Ref High
Ref Mux	(1.6 BandGap)+/(1.6 BandGap)
AGndBypass	Disable
Op-Amp Bias	Low
A_Buf_Power	Low
SwitchModePump	OFF
Trip Voltage [LYD (SMP)]	4.81V (5.00V)
LVDThrottleBack	Disable
Supply Voltage	5.0V
Watchdog Enable	Disable

User Module Parameters	Value
Gain	48.00
Input	AnalogColumn_InputMUX_0
Reference	AGND
AnalogBus	Disable

รูปที่ 3.34 ภาพแสดงการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ของ PGA_2

8.) คลิก User Module Selection View เพื่อกลับไปเลือกกำหนด User Module ตัวต่อไป

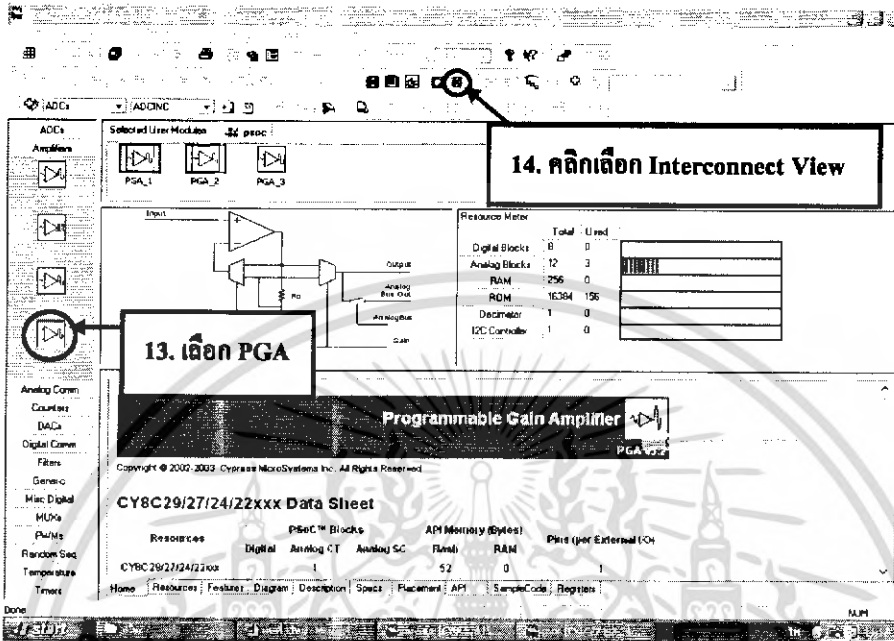


รูปที่ 3.35 แสดงการเลือก User Module Selection View เพื่อกลับไปเลือกกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน User Module ตัวต่อไป ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

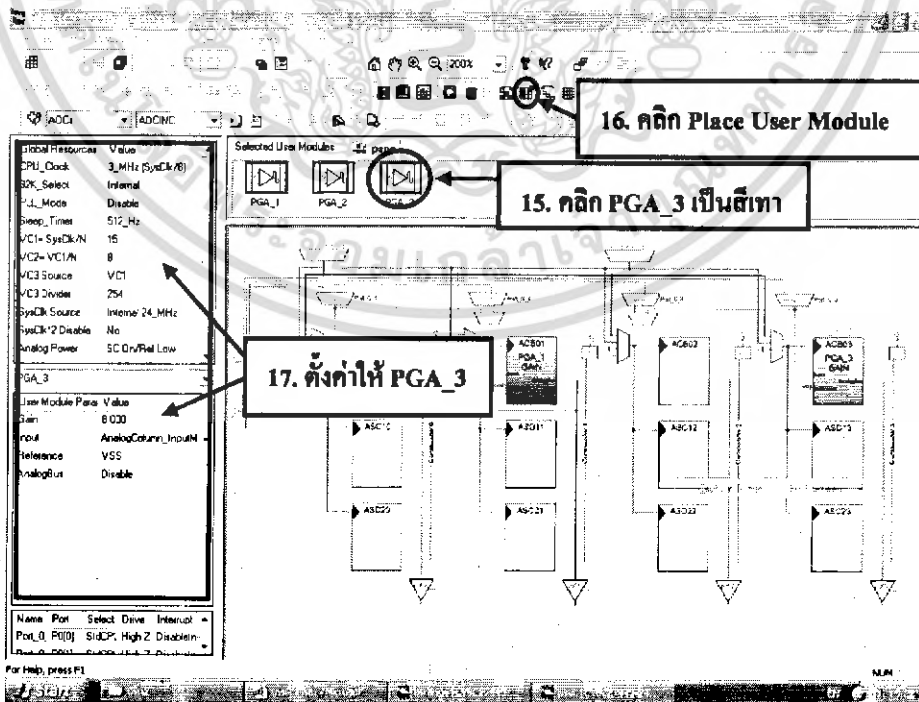
9.) เลือกฟังก์ชัน Amplifier คลิกเลือกฟังก์ชันย่อย PGA

10.) ต่อมาเลือกฟังก์ชัน Interconnect View เพื่อทำการตั้งค่าคัว โมดูล ดังรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.36 แสดงการสร้าง PGA

11.) คลิกฟังก์ชัน PGA_3 ให้เป็นสีเทา เลือกคำสั่ง Place User Module แล้วทำการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ในช่อง Value ดังรูปที่ 3.37 และรูปที่ 3.38 ตามลำดับ



รูปที่ 3.37 แสดงการวางโมดูลและการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters การดำเนินการนี้เป็นการตั้งค่าฟังก์ชันการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นดิจิทัล ซึ่งเป็นการดำเนินการที่จำเป็นสำหรับการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นดิจิทัล อย่างไรก็ตาม การดำเนินการนี้ไม่ใช่การดำเนินการที่ง่ายที่สุด และต้องอาศัยความรู้และความเข้าใจในหลักการของการทำงานของแต่ละส่วนประกอบที่เกี่ยวข้อง

Global Resources	Value
CPU_Clock	3_MHz (SysClk/8)
32K_Select	Internal
PLL_Mode	Disable
Sleep_Timer	512_Hz
VC1= SysClk/N	15
VC2= VC1/N	8
VC3 Source	VC1
VC3 Divider	120
SysClk Source	Internal 24_MHz
SysClk*2 Disable	No
Analog Power	SC On/Ref High
Ref Mux	[1.6 BandGap]+/-[1.6 0 BandGap]
AGndBypass	Disable
Op-Amp Bias	Low
A_Buff_Power	Low
SwitchModePump	OFF
Trip Voltage [LVD (SMP)]	4.81V (5.00V)
LVDThrottleBack	Disable
Supply Voltage	5.0V
Watchdog Enable	Disable

User Module Parameters	Value
Gain	8.000
Input	AnalogColumn_InputMUX_3
Reference	VSS
AnalogBus	Disable

รูปที่ 3.38 ภาพแสดงการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ของ PGA_3

12.) กำหนด Port Input ของวงจร PGA โดยการเชื่อมสายดังรูป 3.39

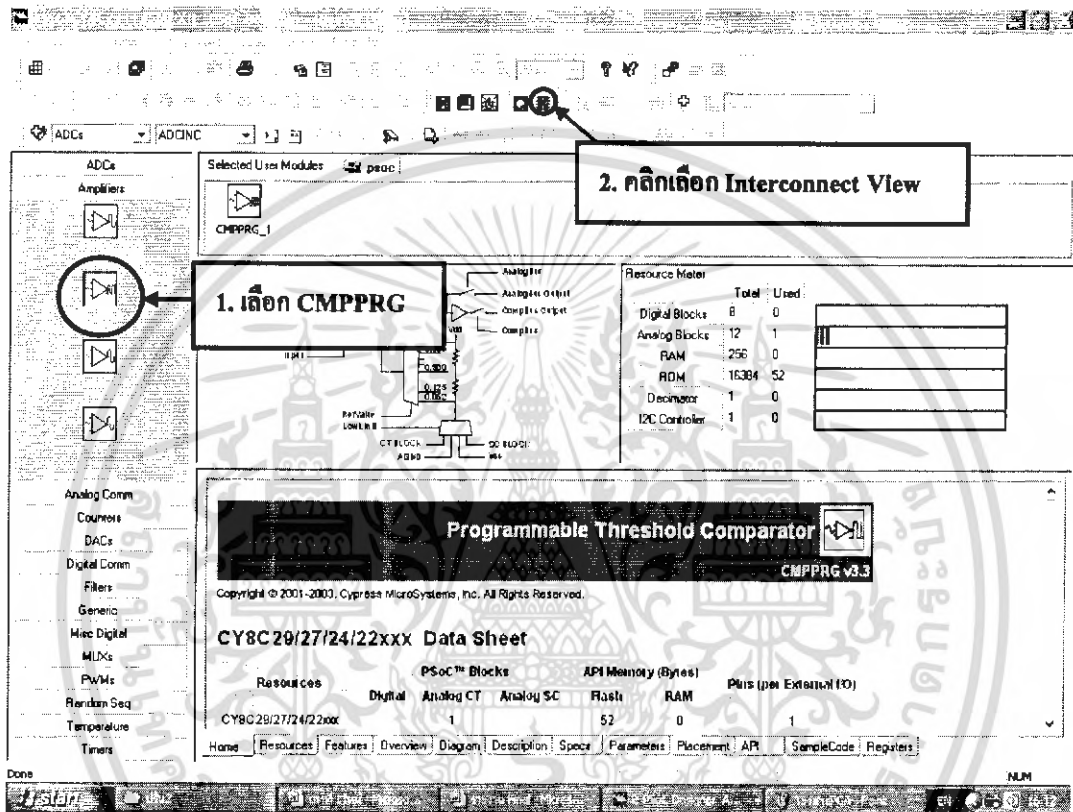
The screenshot shows a software interface for configuring a circuit. On the left, there are two panels: 'Global Resources' and 'User Module Parameters', both showing the same settings as in Figure 3.38. The main workspace displays a schematic diagram with several PGA modules (PGA_1, PGA_2, PGA_3) and ADC modules (ADC0, ADC1, ADC2, ADC3). A callout box labeled '18.โยงสาย' (Connect wires) points to the connection between the PGA module and the ADC module. Another callout box labeled '19. กลับไปที่ User Module Selection View' (Return to User Module Selection View) points to the top toolbar area where the 'Selection View' button is located.

รูปที่ 3.39 แสดงการเชื่อมสายของวงจร PGA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 Comparator

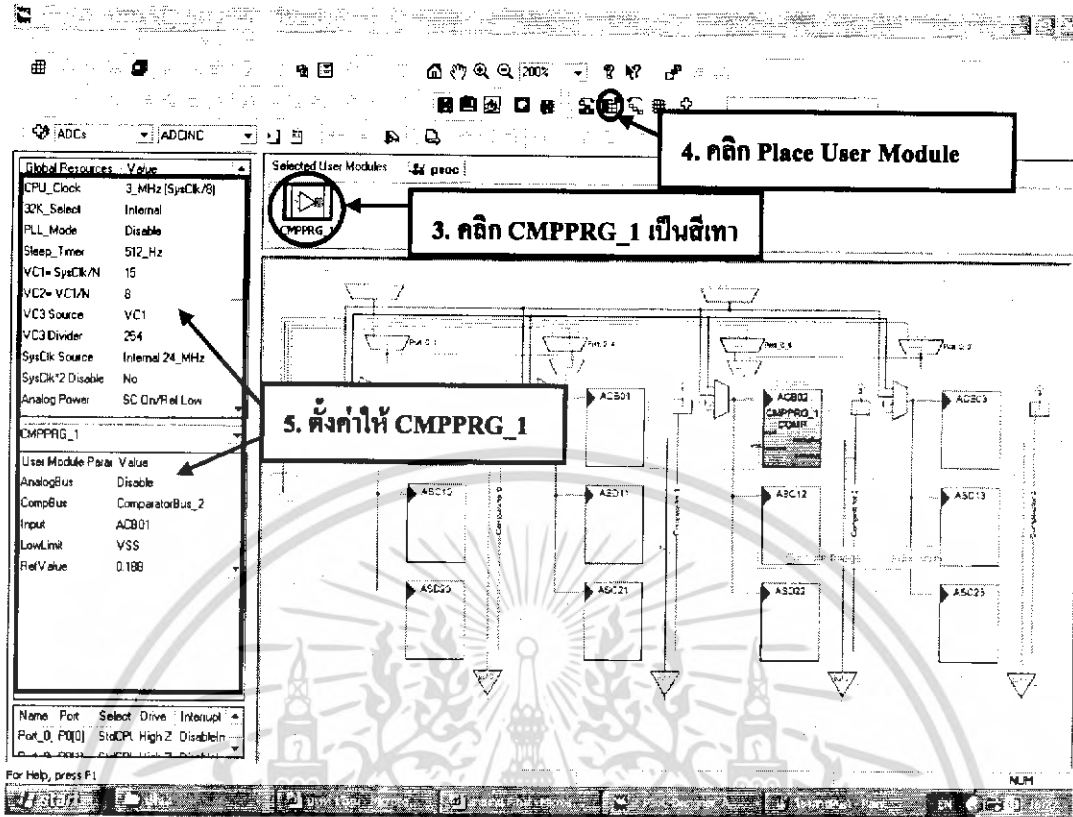
- 1.) เลือกฟังก์ชัน Amplifier คลิกเลือกฟังก์ชันย่อย CMPPRG เพื่อทำการเลือก โมดูล
- 2.) เลือกฟังก์ชัน Interconnect View เพื่อตั้งค่าตัวโมดูล ดังรูปที่ 3.40



รูปที่ 3.40 แสดงการสร้าง CMPPRG

- 3.) คลิกฟังก์ชัน CMPPRG_1 ให้เป็นสีเทา เลือกคำสั่ง Place User Module แล้วทำการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ในช่อง Value ดังรูปที่ 3.41 และรูปที่ 3.42 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



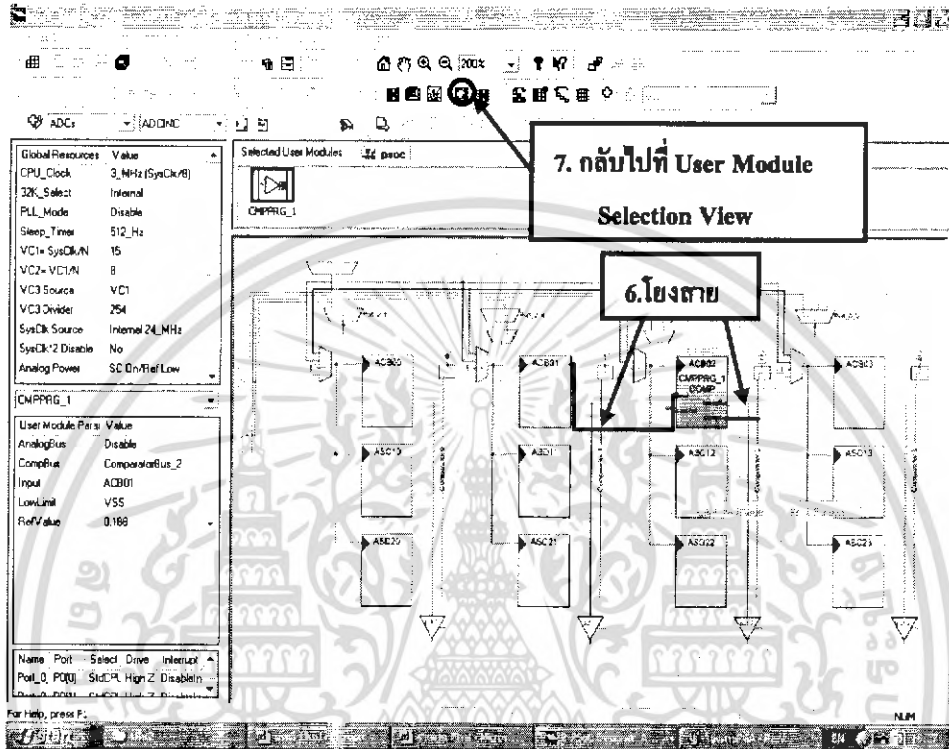
รูปที่ 3.41 แสดงการวางโมดูลและการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters

Global Resources		Value	CMPPRG_1	
CPU_Clock		3_MHz (SysClk/8)	User Module Parameters	Value
32K_Select		Internal	AnalogBus	Disable
PLL_Mode		Disable	CompBus	ComparatorBus_2
Sleep_Timer		512_Hz	Input	ACB01
VC1= SysClk/N		15	LowLimit	VSS
VC2= VC1/N		8	RefValue	0.188
VC3 Source		VC1		
VC3 Divider		120		
SysClk Source		Internal 24_MHz		
SysClk*2 Disable		No		
Analog Power		SC On/Ref High		
Ref Mux		(1.6 BandGap)+/(1.6 BandGap)		
AGndBypass		Disable		
DpAmp Bias		Low		
A_Buff_Power		Low		
SwitchModePump		OFF		
Trip Voltage [LVD (SMP)]		4.81V (5.00V)		
LVDThrottleBack		Disable		
Supply Voltage		5.0V		
Watchdog Enable		Disable		

รูปที่ 3.42 ภาพแสดงการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ให้แก่ CMPPRG_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.) กำหนดการ โยงสายของวงจร CMPPRG โดยการเชื่อมสายดังรูป 3.43
- 5.) คลิก User Module Selection View เพื่อกลับไปเลือกกำหนด User Module ตัวต่อไป

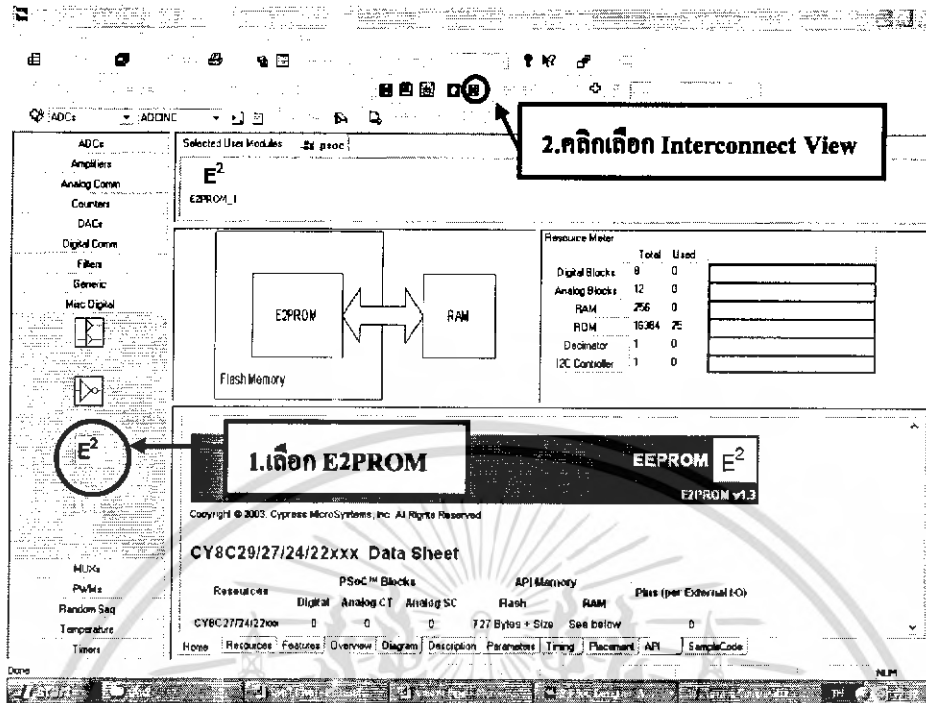


รูปที่ 3.43 แสดงการเชื่อมสายของวงจร CMPPRG

3.2.7 E2PROM

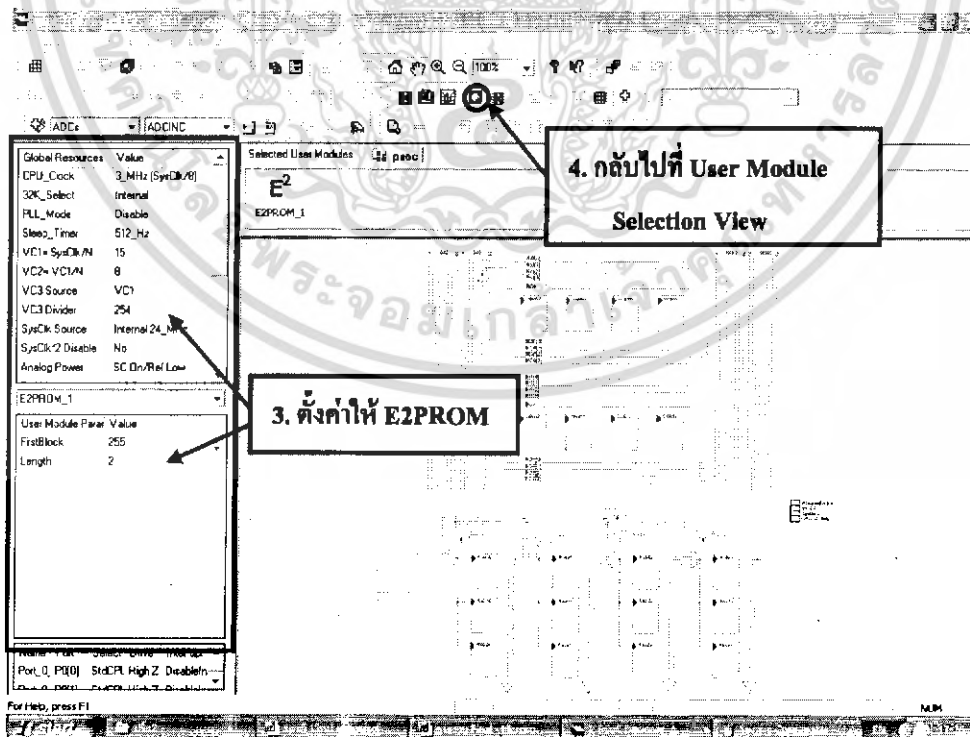
- 1.) เลือกฟังก์ชัน Misc Digital คลิกเลือกฟังก์ชันย่อย E2PROM เพื่อทำการเลือกโมดูล
- 2.) เลือกฟังก์ชัน Interconnect View เพื่อตั้งค่าตัว โมดูล ดังรูปที่ 3.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.44 แสดงการสร้าง E2PROM

- 3.) ทำการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ในช่อง Value ดังรูปที่ 3.45 และรูปที่ 3.46 ตามลำดับ
- 4.) คลิก User Module Selection View เพื่อกลับไปเลือกกำหนด User Module ตัวต่อไป



รูปที่ 3.45 การตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Global Resources	Value	E2PROM_1
CPU_Clock	3_MHz (SysClk/8)	
32K_Select	Internal	
PLL_Mode	Disable	
Sleep_Timer	512_Hz	
VC1= SysClk/N	15	
VC2= VC1/N	8	
VC3 Source	VC1	
VC3 Divider	120	
SysClk Source	Internal 24_MHz	
SysClk*2 Disable	No	
Analog Power	SC On/Ref High	
Ref Mux	(1.6 BandGap)+/(1.6 BandGap)	
AGndBypass	Disable	
Op-Amp Bias	Low	
A_Buff_Power	Low	
SwitchModePump	OFF	
Trip Voltage [LVD (SMP)]	4.81V (5.00V)	
LVDThrottleBack	Disable	
Supply Voltage	5.0V	
Watchdog Enable	Disable	

User Module Parameters	Value
FirstBlock	255
Length	2

รูปที่ 3.46 ภาพแสดงการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ให้แก่ E2PROM_1

3.2.8 LCD

- 1.) เลือกฟังก์ชัน Misc Digital คลิกเลือกฟังก์ชันย่อย LCD เพื่อทำการเลือกโมดูล
- 2.) เลือกฟังก์ชัน Interconnect View เพื่อตั้งค่าตัวโมดูล ดังรูปที่ 3.47

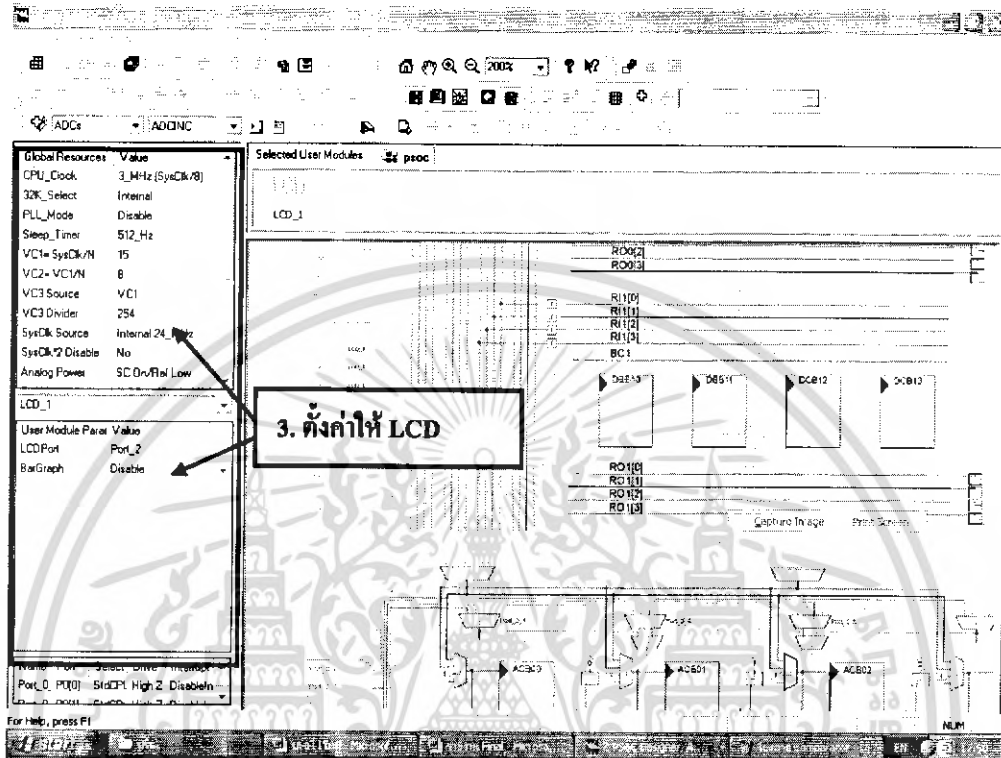
The screenshot displays the LCD configuration interface. On the left sidebar, the 'Misc Digital' category is selected, and the 'LCD' icon is highlighted. The main workspace shows a circuit diagram of the LCD module and a 'Resource Meter' table. The 'LCD Tool Box' window is open, displaying the 'CY8C29127124122XXX Data Sheet' with various resource allocation details.

Resource	Total	Used
Digital Blocks	8	0
Analog Blocks	12	0
RAM	256	0
ROM	16384	618
Decimaler	1	0
I2C Controller	1	0

รูปที่ 3.47 แสดงการสร้าง LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) ทำการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ในช่อง Value ดังรูปที่ 3.48 และรูปที่ 3.49 ตามลำดับ



รูปที่ 3.48 การตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters

Global Resources	Value
CPU_Clock	3_MHz (SysClk/8)
32K_Select	Internal
PLL_Mode	Disable
Sleep_Timer	512_Hz
VC1= SysClk/N	15
VC2= VC1/N	8
VC3 Source	VC1
VC3 Divider	120
SysClk Source	Internal 24_MHz
SysClk*2 Disable	No
Analog Power	SC On/Ref High
Ref Mux	(1.6 BandGap)+/(1.6 BandGap)
AGndBypass	Disable
Op-Amp Bias	Low
A_Buff_Power	Low
SwitchModePump	OFF
Trip Voltage [LVD (SMP)]	4.81V (5.00V)
LVDThrottleBack	Disable
Supply Voltage	5.0V
Watchdog Enable	Disable

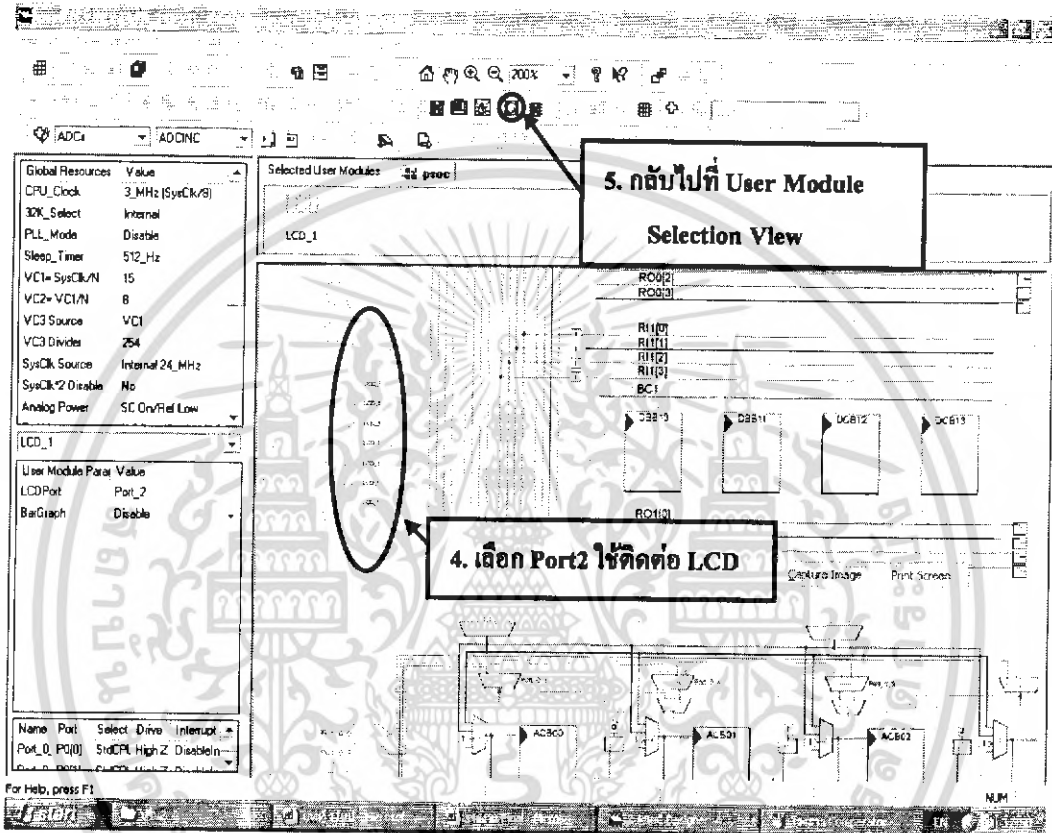
LCD_1	
User Module Parameters	Value
LCDPort	Port_2
BarGraph	Disable

รูปที่ 3.49 ภาพแสดงการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ให้แก่ LCD_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.) กำหนด Port ให้ติดต่อกับ LCD แสดงคังรูปที่ 3.50

5.) คลิก User Module Selection View เพื่อกลับไปเลือกกำหนด User Module ตัวต่อไป

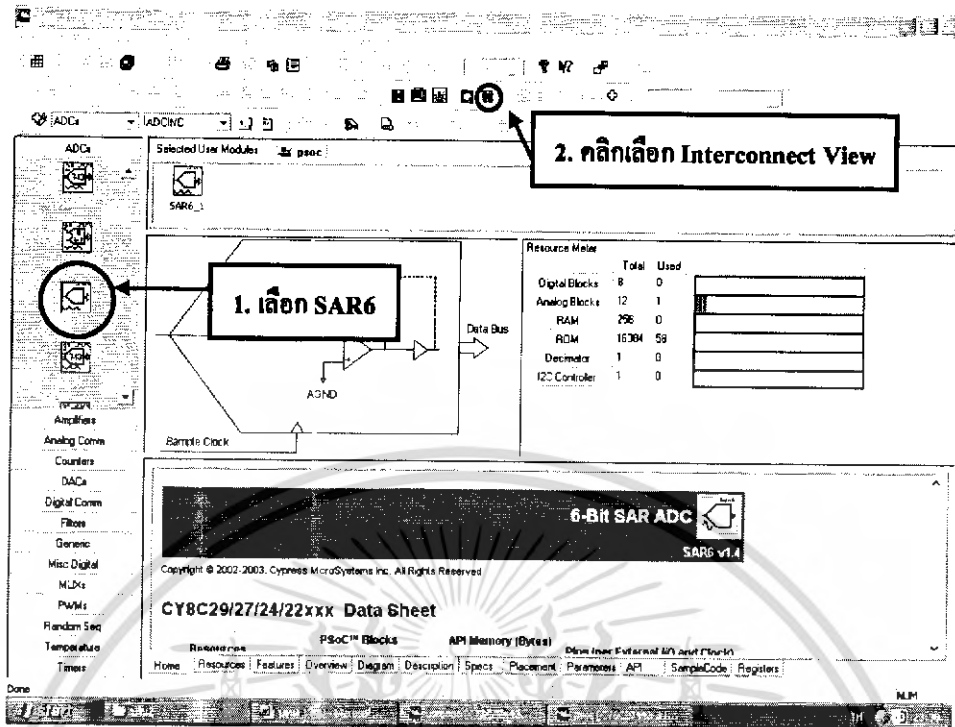


รูปที่ 3.50 ภาพแสดง Port 2 ได้มาจากการตั้งค่าในรูป 3.48

3.2.9 SAR6

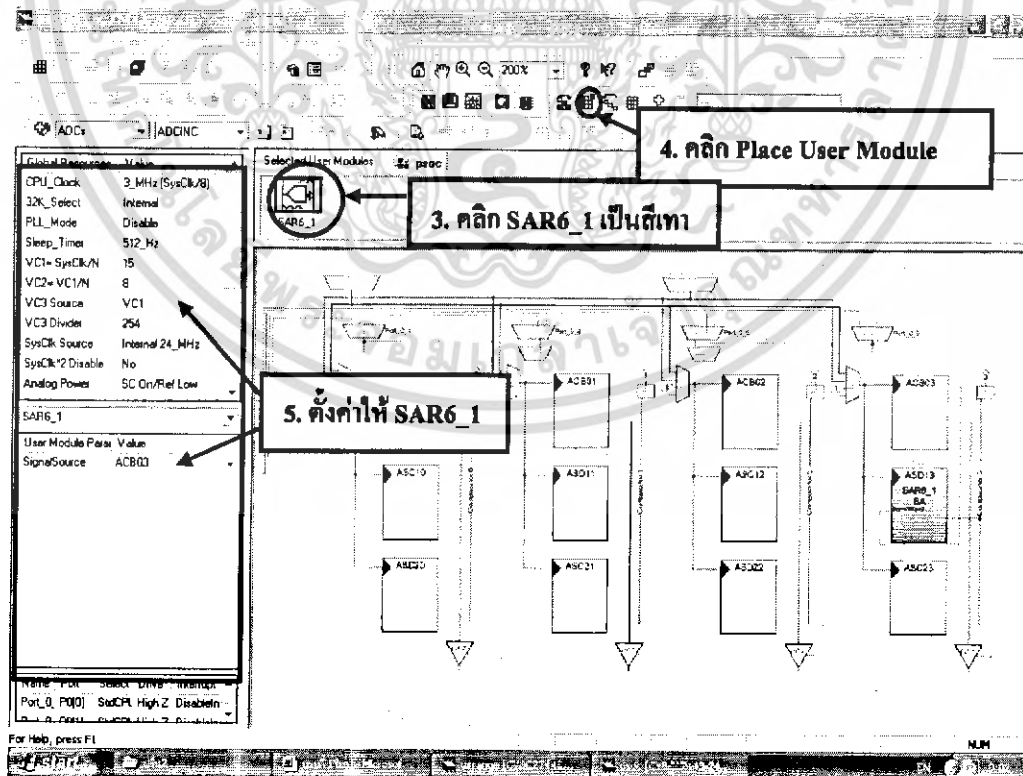
- 1.) เลือกฟังก์ชัน ADCs คลิกเลือกฟังก์ชันย่อย SAR6 เพื่อทำการเลือก โมดูล
- 2.) เลือกฟังก์ชัน Interconnect View เพื่อตั้งค่าตัวโมดูล คังรูปที่ 3.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.51 แสดงการสร้าง SAR6

3.) คลิกฟังก์ชัน SAR6_1 ให้เป็นสีเทา เลือกคำสั่ง Place User Module แล้วทำการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ในช่อง Value ดังรูปที่ 3.52 และรูปที่ 3.53 ตามลำดับ



รูปที่ 3.52 แสดงการวางโมดูลและการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters

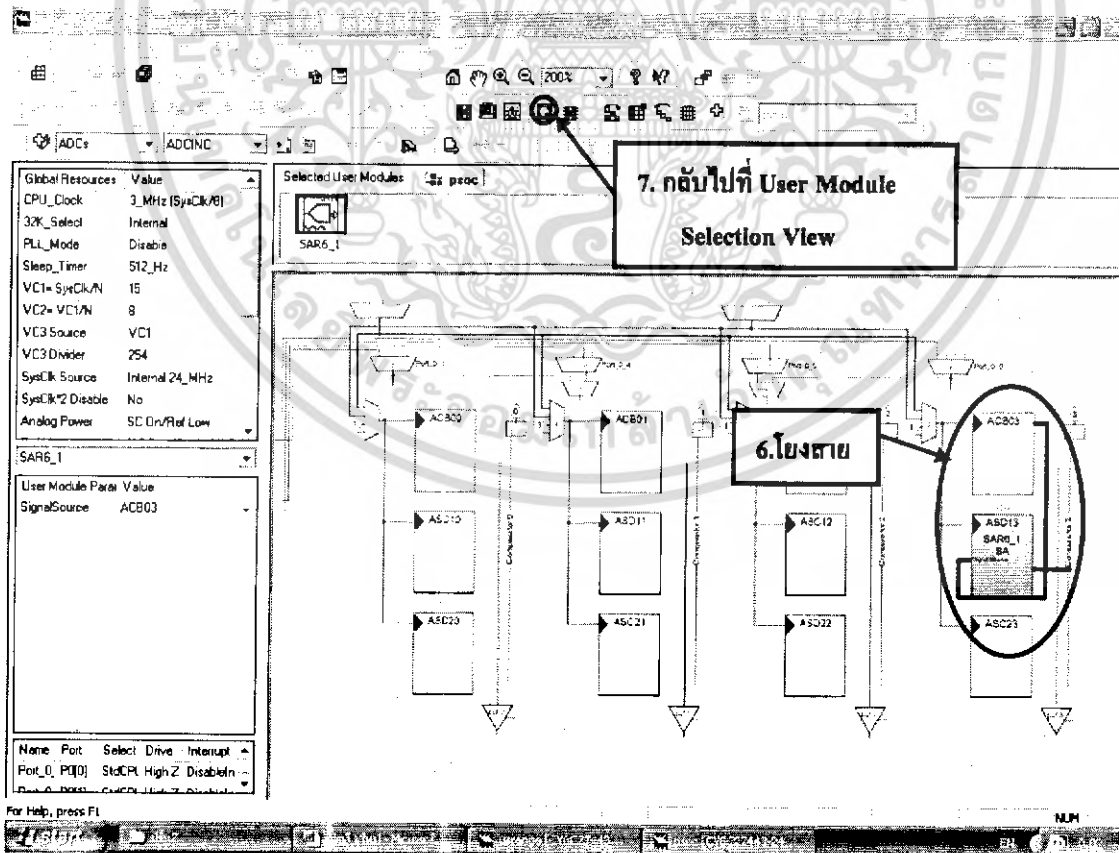
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Global Resources	Value
CPU_Clock	3_MHz (SysClk/8)
32K_Select	Internal
PLL_Mode	Disable
Sleep_Timer	512_Hz
VC1= SysClk/N	15
VC2= VC1/N	8
VC3 Source	VC1
VC3 Divider	120
SysClk Source	Internal 24_MHz
SysClk*2 Disable	No
Analog Power	SC On/Ref High
Ref Mux	(1.6 BandGap)+/(1.6 BandGap)
AGndBypass	Disable
Op_Amp Bias	Low
A_Buf_Power	Low
SwitchModePump	OFF
Trip Voltage [LVD (SMP)]	4.81V (5.00V)
LVDThrottleBack	Disable
Supply Voltage	5.0V
Watchdog Enable	Disable

SAR6_1	
User Module Parameters	Value
SignalSource	ACB03

รูปที่ 3.53 ภาพแสดงการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ให้แก่ SAR6_1

- 4.) กำหนดการโยงสายของวงจร SAR6 โดยการเชื่อมสายดังรูป 3.54
- 5.) คลิก User Module Selection View เพื่อกลับไปเลือกกำหนด User Module ตัวต่อไป

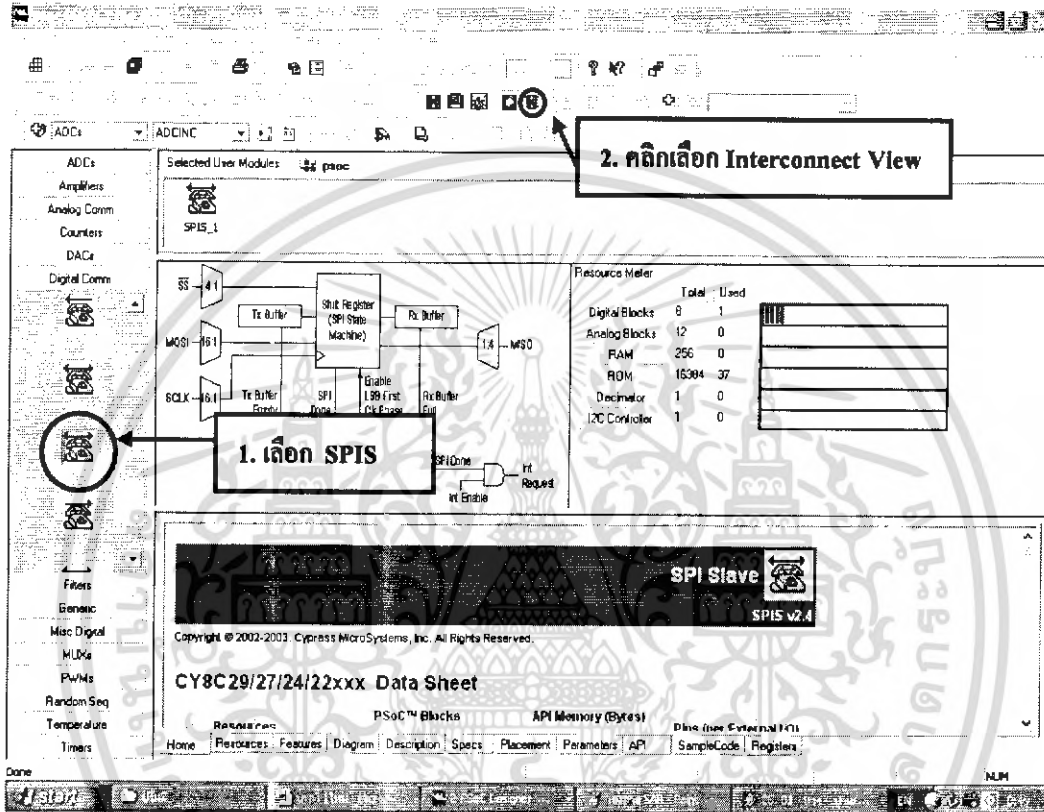


รูปที่ 3.54 แสดงการเชื่อมสายของวงจร SAR6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.10 SPIS

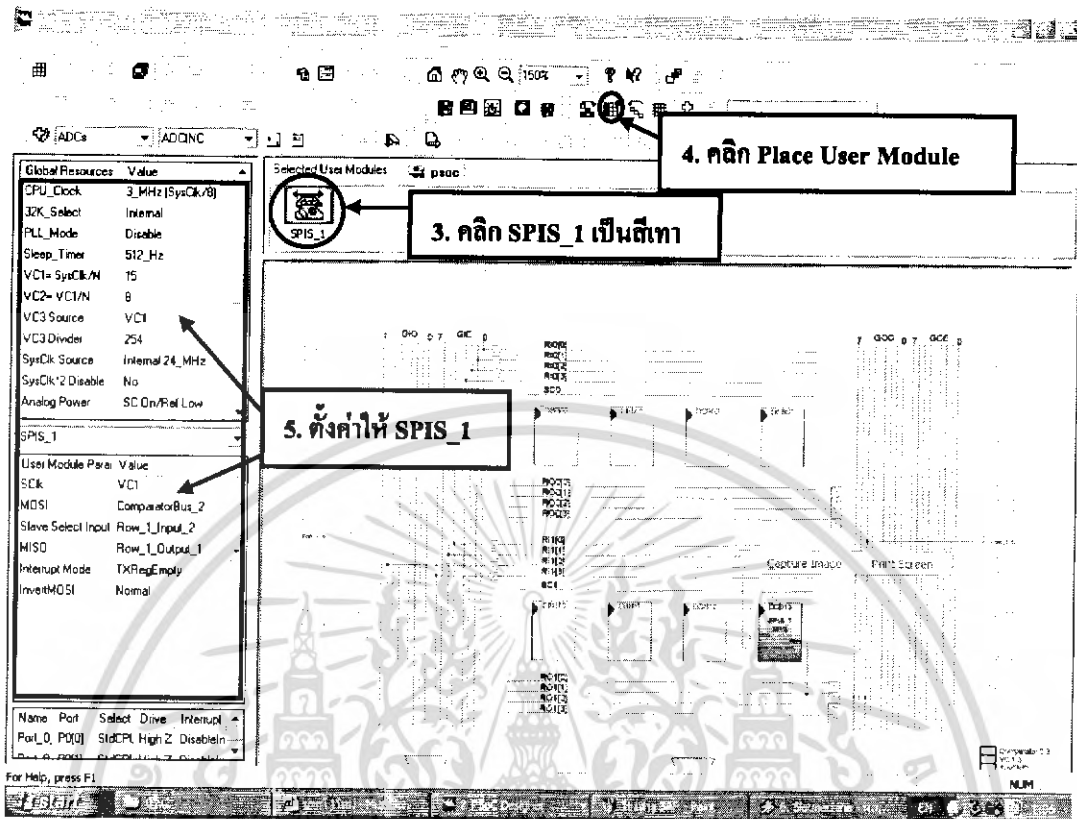
- 1.) เลือกฟังก์ชัน Digital Comm คลิกเลือกฟังก์ชันย่อย SPIS เพื่อทำการเลือกโมดูล
- 2.) เลือกฟังก์ชัน Interconnect View เพื่อตั้งค่าตัวโมดูล ดังรูปที่ 3.55



รูปที่ 3.55 แสดงการสร้าง SPIS

- 3.) คลิกฟังก์ชัน SPIS _1 ให้เป็นสีเทา เลือกคำสั่ง Place User Module แล้วทำการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ในช่อง Value ดังรูปที่ 3.56 และรูปที่ 3.57 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



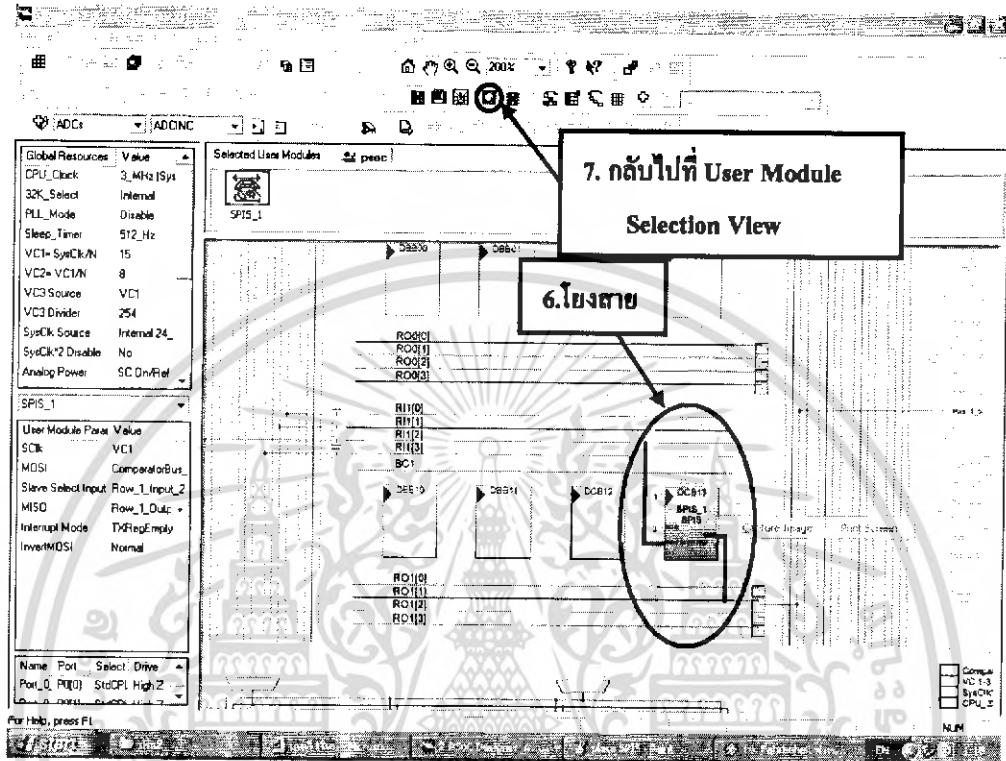
รูปที่ 3.56 แสดงการวางโมดูลและการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters

Global Resources	Value	SPIS_1	
CPU_Clock	3_MHz (SysClk/8)	User Module Parameters Value	
32K_Select	Internal	SClk	VC1
PLL_Mode	Disable	MOSI	ComparatorBus_2
Sleep_Timer	512_Hz	Slave Select Input	Row_1_Input_2
VC1= SysClk/N	15	MISO	Row_1_Output_1
VC2= VC1/N	8	Interrupt Mode	TXRegEmpty
VC3 Source	VC1	InvertMOSI	Normal
VC3 Divider	120		
SysClk Source	Internal 24_MHz		
SysClk*2 Disable	No		
Analog Power	SC On/Ref High		
Ref Mux	(1.6 BandGap)+/(1.6 BandGap)		
AGndBypass	Disable		
Op-Amp Bias	Low		
A_Buff_Power	Low		
SwitchModePump	OFF		
Trip Voltage [LVD (SMP)]	4.81V (5.00V)		
LVDThrottleBack	Disable		
Supply Voltage	5.0V		
Watchdog Enable	Disable		

รูปที่ 3.57 ภาพแสดงการตั้งค่า Global Resources และ User Module Parameters ให้แก่ SPIS_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.) กำหนดการโยงสายของวงจร SPIS โดยการเชื่อมสายดังรูป 3.58
- 5.) คลิก User Module Selection View เพื่อกลับไปเลือกกำหนด User Module ตัวต่อไป



รูปที่ 3.58 แสดงการเชื่อมสายของวงจร SPIS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

วิธีการทดลองและผลทดลองของวงจรถ่ายที่ใช้ในโครงการ

วัดระยะทางที่ค่าต่างๆ ตั้งแต่ระยะ 5 เซนติเมตร ถึง 350 เซนติเมตร โดยทำการวัด 3 ครั้ง แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ย เพื่อนำไปคำนวณหาค่าผิดพลาดต่อไป

ตารางที่ 4.1 แสดงการวัดระยะทางที่ 5 cm - 350 cm จำนวน 3 ครั้ง

ระยะทางจริง (cm)	ครั้งที่ 1 (cm)	ครั้งที่ 2 (cm)	ครั้งที่ 3 (cm)	ค่าเฉลี่ย (cm)	ค่าผิดพลาด (%)
5	13.2	13.2	13.2	13.200	164.000
10	13.1	13.0	13.3	13.133	31.330
15	13.3	13.3	13.2	13.267	11.553
20	15.0	15.6	16.1	15.567	22.165
25	21.9	22.5	20.8	21.733	13.068
30	26.7	28.5	25.9	27.033	11.000
35	31.7	33.4	30.5	31.867	8.951
40	36.6	37.2	35.2	36.333	9.168
45	43.5	41.9	44.5	43.300	3.778
50	51.4	50.8	53.9	52.033	4.066
55	56.4	51.0	54.2	53.867	2.060
60	61.5	64.7	62.8	63.000	5.000
65	66.2	63.8	61.5	63.833	1.795
70	71.3	74.5	76.8	74.200	6.000
75	76.4	78.7	77.9	77.667	3.556
80	81.9	83.5	82.9	82.767	3.456
85	86.2	85.9	84.8	85.633	0.745
90	90.9	92.5	94.1	92.500	2.778
95	96.3	97.7	99.2	97.733	2.877
100	101.4	103.5	102.8	102.567	2.567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) แสดงการวัดระยะทางที่ 5 cm - 350 cm จำนวน 3 ครั้ง

ระยะทางจริง (cm)	ครั้งที่ 1 (cm)	ครั้งที่ 2 (cm)	ครั้งที่ 3 (cm)	ค่าเฉลี่ย (cm)	ค่าผิดพลาด (%)
105	106.9	105.8	107.9	106.867	1.778
110	112.0	108.5	113.5	111.333	1.212
115	117.2	110.9	115.8	114.633	0.319
120	122.3	124.5	123.9	123.567	1.917
125	127.9	124.9	128.8	127.200	1.760
130	132.9	133.5	129.9	132.100	1.615
135	137.5	138.7	134.5	136.900	1.407
140	142.5	139.1	144.6	142.067	1.476
145	147.7	148.4	147.7	147.933	2.023
150	153.2	155.5	151.6	153.433	2.289
155	158.0	154.0	159.1	157.033	1.312
160	163.6	158.4	165.1	162.367	1.479
165	168.6	169.3	164.0	167.300	1.394
170	173.7	174.9	171.3	173.300	1.941
175	179.0	171.5	176.6	175.700	0.400
180	183.7	185.7	179.3	182.900	1.611
185	189.3	179.5	188.5	185.767	0.415
190	194.5	191.6	187.9	191.333	0.702
195	199.7	198.6	194.7	197.667	1.368
200	204.7	205.7	199.8	203.400	1.700
205	210.3	205.9	208.1	208.100	1.512
210	214.9	211.2	206.7	210.933	0.444
215	219.9	210.7	216.3	215.633	0.294
220	225.0	218.4	224.1	222.500	1.136
225	230.1	229.5	222.6	227.400	1.067

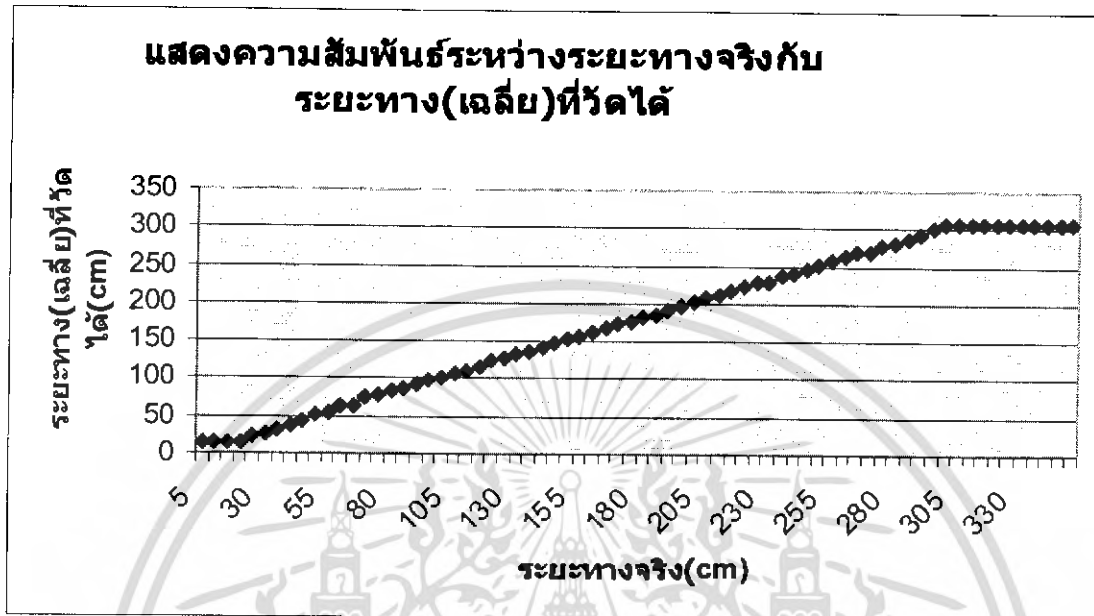
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) แสดงการวัดระยะทางที่ 5 cm - 350 cm จำนวน 3 ครั้ง

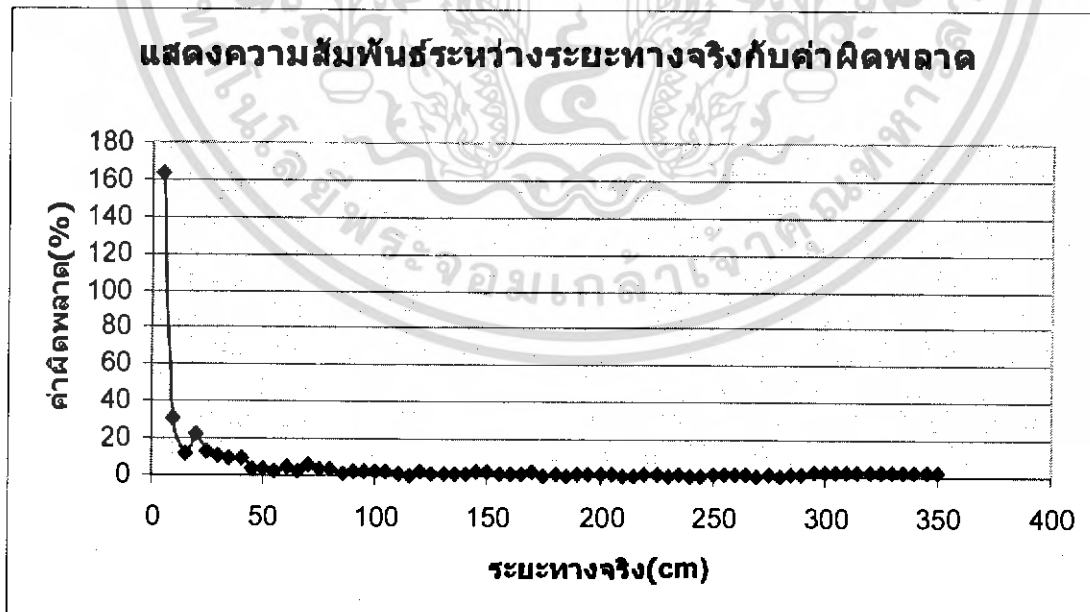
ระยะทางจริง (cm)	ครั้งที่ 1 (cm)	ครั้งที่ 2 (cm)	ครั้งที่ 3 (cm)	ค่าเฉลี่ย (cm)	ค่าผิดพลาด (%)
230	235.8	226.1	225.9	229.267	0.319
235	241.0	239.4	232.4	237.600	1.106
240	245.9	237.7	235.9	239.833	0.070
245	250.7	245.6	241.6	245.967	0.395
250	256.2	252.1	248.5	252.267	0.907
255	261.4	258.4	255.9	258.567	1.399
260	266.8	262.8	259.3	262.967	1.141
265	272.3	263.7	267.1	267.700	1.019
270	276.5	265.9	268.3	270.233	0.086
275	282.0	277.3	272.6	277.300	0.836
280	287.0	285.7	272.0	281.567	0.560
285	291.7	281.8	288.1	287.200	0.772
290	297.1	295.4	287.6	293.367	1.161
295	301.9	303.6	297.1	300.867	1.989
300	307.3	302.5	308.4	306.067	2.022
305	307.3	302.5	308.4	306.067	2.022
310	307.3	302.5	308.4	306.067	2.022
315	307.3	302.5	308.4	306.067	2.022
320	307.3	302.5	308.4	306.067	2.022
325	307.3	302.5	308.4	306.067	2.022
330	307.3	302.5	308.4	306.067	2.022
335	307.3	302.5	308.4	306.067	2.022
340	307.3	302.5	308.4	306.067	2.022
345	307.3	302.5	308.4	306.067	2.022
350	307.3	302.5	308.4	306.067	2.022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

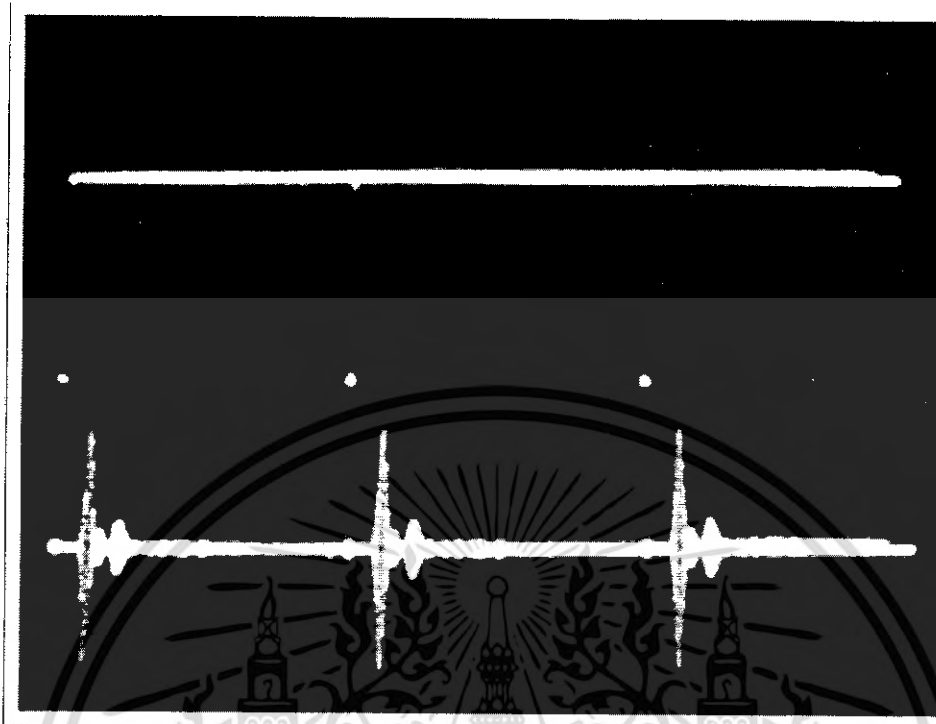
กราฟแสดงผลการทดลองตารางที่ 4.1



กราฟแสดงผลการทดลองตารางที่ 4.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณตัวส่ง (Tx) เทียบกับสัญญาณตัวรับ (Rx) ที่ผ่าน PGA วัดที่ระยะ 15 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากที่ใช้เครื่องมือวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิกโดยใช้พีชอกทำการวัดระยะทาง ทำให้ทราบถึงการทำงานของเครื่องว่า เมื่อนำไปวัดระยะทางสั้นๆจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้น ซึ่งวิเคราะห์ได้ว่าเกิดจากระยะของวัตถุใกล้เกินไป ทำให้การรับ-ส่งคลื่นของตัวรับและตัวส่งมีการกวนกัน หลังช่วงระยะทางสั้นๆ ประมาณ 15 เซนติเมตร จนถึง 300 เซนติเมตร จะมีความถูกต้องมากขึ้น แต่เมื่อเลยระยะทาง 300 เซนติเมตรไปแล้ว จนกระทั่งถึง 350 เซนติเมตร ระยะทางที่วัดได้จะมีค่าคงที่ คือมีค่าเท่ากับที่ระยะ 300 เซนติเมตร คือ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอีกนั่นเอง แสดงให้เห็นว่า เครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิกโดยใช้พีชอกนั้นสามารถวัดระยะทางได้สูงสุดประมาณ 300 เซนติเมตร

ในการเขียนโปรแกรมติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ยังไม่เป็นที่สมบูรณ์เพียงพอ เนื่องจากที่ระยะทางสั้นๆ ที่วัด หรือ ระยะทางที่เกินกว่าที่เครื่องมือวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิกโดยใช้พีชอกจะวัดได้ยังไม่มีการแสดงผลออกมา

บรรณานุกรม

1. อุกฤษฏ์ ต้นทสุรานนท์ และ ทีมงาน “ การเขียน โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC ด้วย ภาษาซี ” , หน้า 1-14
2. “เทคนิคการใช้งานอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์สำหรับนักทดลอง”, วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 44 , 2527 , หน้า 30-35
3. “เรียนรู้และเข้าใจ PSoC Microcontroller ด้วยภาษาAssembly และ ภาษา C ”, บริษัท อีทีที จำกัด, หน้า 125-143



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.
วงราชการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//-----
// C main line
//-----

#include <m8c.h> // part specific constants and macros
#include "PSoC_API.h" // PSoC API definitions for all User Modules

extern void printf(const unsigned char *string, ...);

#pragma interrupt_handler isr_timer16_2
#define cursor(y,x) {LCD_1_Position(y,x);lcd_xpos=x;lcd_ypos=y;}
unsigned char lcd_xpos = 0;
unsigned char lcd_ypos = 0;

#define TIMER16_2_MAXCOUNT (3750-1)
#define TIMER16_2_MINVAL 23
#define SAMPLERATE 200 // Sampling 200KHz (1count = 346/200=1.73mm)

unsigned int cval = 0x1234;
unsigned char intcount = 200;

void print_chr(unsigned char c)
{
    LCD_1_Position(lcd_ypos, lcd_xpos);
    if (c == '\r') {
        lcd_xpos = 0;
        return;
    }
    if (c == '\n') {
        lcd_ypos++;
        lcd_xpos = 0;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        LCD_1_WriteData(c);

        lcd_xpos++;

    }

}

void isr_timer16_2()

{

    if (intcount > 0) {

        intcount--;

        if (intcount == 0)

            cval = Timer16_2_wReadCompareValue();

    }

}

#define BANDGAP 1.3
#define VREF (BANDGAP*1.6)
#define AGND (BANDGAP*1.6)
#define SWIN 0x40
float temp;
int ain;
int offset;
void main()
{

    int distance;

    int speed;

    char pastsw;

    // Insert your main routine code here

    PGA_1_Start(PGA_1_HIGHPOWER);

    PGA_2_Start(PGA_2_HIGHPOWER);

    PGA_3_Start(PGA_3_LOWPOWER);

    SAR6_1_Start(SAR6_1_LOWPOWER);

    CMPPRG_1_Start(CMPPRG_1_HIGHPOWER);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

BPF2_1_Start(BPF2_1_HIGHPOWER);
BPF2_2_Start(BPF2_2_HIGHPOWER);
Timer16_1_Start();
Timer16_2_Start();
PWMD8_1_Start();
PWM8_1_Start();
ACB03CR2 |= 0x14;
SPIS_1_Start(SPIS_1_SPIS_MODE_0);
LCD_1_Start();
E2PROM_1_Start();
Timer16_2_EnableInt();
PRT0DR = SWIN;
// offset = TIMER16_2_MINVAL;
E2PROM_1_E2Read(0, (char *)&offset,2);
cursor(0,0);
printf("PSoC Range Finder\n");
printf("*READY*");
pastsw = 0;
M8C_EnableGInt;
while(1) {
    if (intcount == 0) {
        cursor(0,0);
        if ((PRT0DR & SWIN) == 0) {
            printf("Calibrate 30cm \n");
            distance = (long)600*(long)(SAMPLERATE)/(long)sspeed;

            offset = distance - (TIMER16_2_MAXCOUNT-cval);
            printf("OFFSET = %05d\n",offset);
            pastsw = 1;
        } else {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        if (pastsw == 1) {
            E2PROM_1_bE2Write(0,(char *)&offset,2,25);
            pastsw = 0;
        }
        distance = TIMER16_2_MAXCOUNT + offset - eval;
        ain = (int)SAR6_1_GetSample();
        temp = (VREF/32.0*(float)ain+AGND)/8.0*100.0+2.0;
        speed = 331.45+temp*607/1000;
        printf("%04fC %03dm/s \n",temp,speed);
        distance = (long)distance * (long)speed / (long)(SAMPLERATE*2);
        printf("DIST: %05dum \n",distance);
    }
    intcount = 25;
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D

Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40 to $+110^\circ\text{C}$ range (-10 with improved accuracy). The LM35 series is

available packaged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-202 package.

Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear + 10.0 mV/°C scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at +25°C)
- Rated for full -55 to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for 1 mA load

Connection Diagrams

TO-46
Metal Can Package*



TL/H/5516-1

*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH,
LM35CH, LM35CAH or LM35DH
See NS Package Number H03H

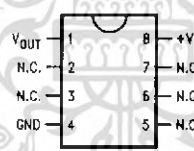
TO-92
Plastic Package



TL/H/5516-2

Order Number LM35CZ,
LM35CAZ or LM35DZ
See NS Package Number Z03A

SO-8
Small Outline Molded Package

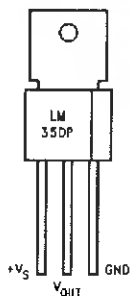


TL/H/5516-21

Top View
N.C. = No Connection

Order Number LM35DM
See NS Package Number M08A

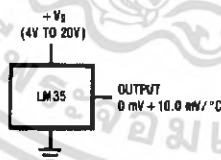
TO-202
Plastic Package



TL/H/5516-24

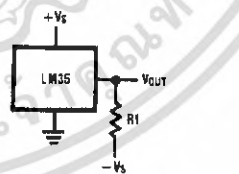
Order Number LM35DP
See NS Package Number P03A

Typical Applications



TL/H/5516-3

FIGURE 1. Basic Centigrade
Temperature
Sensor ($+2^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$)



TL/H/5516-4

Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$

$V_{OUT} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^\circ\text{C}$
 $= +250\ \text{mV}$ at $+25^\circ\text{C}$
 $= -550\ \text{mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade
Temperature Sensor

TRI-STATE* is a registered trademark of National Semiconductor Corporation.

LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D
Precision Centigrade Temperature Sensors

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

If MILITARY/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+6V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp., TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-92 Package,	-60°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-202 Package,	-65°C to +150°C

Lead Temp.:

TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds)	300°C
TO-92 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
TO-202 Package, (Soldering, 10 seconds)	+230°C

SO Package (Note 12):

Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C

ESD Susceptibility (Note 11)

2500V

Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX} (Note 2)

LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

Electrical Characteristics (Note 1) (Note 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.2	± 0.5		± 0.2	± 0.5	± 1.0	°C
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.3			± 0.3		± 1.0	°C
	$T_A = T_{MAX}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0	± 1.5	°C
	$T_A = T_{MIN}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4		± 1.5	°C
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.18		± 0.35	± 0.15		± 0.3	°C
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	+10.0	+9.9 , +10.1		+10.0		+9.9 , +10.1	mV/°C
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1$ mA	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0	± 3.0	mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	+0.5		+3.0	+0.5		+3.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.05		± 0.01	± 0.05	± 0.1	mV/V
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	± 0.02		± 0.1	± 0.02		± 0.1	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67	114	μA
	$V_S = +5\text{V}$	105		131	91		114	μA
	$V_S = +30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68	116	μA
	$V_S = +30\text{V}$	105.5		133	91.5		116	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0	2.0	μA
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	0.5		2.0	0.5		2.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.5	+0.39		+0.5	μA/°C
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	°C
Long Term Stability	$T_J = T_{MAX}$, for 1000 hours	+0.08			± 0.08			°C

Note 1: Unless otherwise noted, these specifications apply: $-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq +150^\circ\text{C}$ for the LM35 and LM35A; $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +110^\circ\text{C}$ for the LM35C and LM35CA; and $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +100^\circ\text{C}$ for the LM35D. $V_S = +5\text{Vdc}$ and $I_{LOAD} = 50 \mu\text{A}$, in the circuit of Figure 2. These specifications also apply from $+2^\circ\text{C}$ to T_{MAX} in the circuit of Figure 1. Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

Note 2: Thermal resistance of the TO-46 package is 400°C/W , junction to ambient, and 24°C/W junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is 180°C/W junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is 220°C/W junction to ambient. Thermal resistance of the TO-202 package is 65°C/W junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Note 1) (Note 6) (Continued)								
Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.5			± 0.5		± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	± 0.6	± 1.5		± 0.8		± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	± 0.8		± 1.5	± 0.8		± 2.0	$^\circ\text{C}$
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$				± 0.6	± 1.5		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$				± 0.9		± 2.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$				± 0.9		± 2.0	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.3		± 0.5	± 0.2		± 0.5	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	$+10.0$	$+9.8,$ $+10.2$		$+10.0$		$+9.8,$ $+10.2$	mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 2.0		± 0.4	± 2.0		mV/mA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.5		± 5.0	± 0.5		± 5.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.1		± 0.01	± 0.1		mV/V
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	± 0.02		± 0.2	± 0.02		± 0.2	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56	80		56	80		μA
	$V_S = +5\text{V}$	105		158	91		138	μA
	$V_S = +30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56.2	82		56.2	82		μA
	$V_S = +30\text{V}$	105.5		161	91.5		141	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	0.2	2.0		0.2	2.0		μA
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	0.5		3.0	0.5		3.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.7	+0.39		+0.7	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^\circ\text{C}$

Note 3: Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

Note 4: Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

Note 5: Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

Note 6: Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

Note 7: Accuracy is defined as the error between the output voltage and $10\text{mV}/^\circ\text{C}$ times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in $^\circ\text{C}$).

Note 8: Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

Note 9: Quiescent current is defined in the circuit of Figure 1.

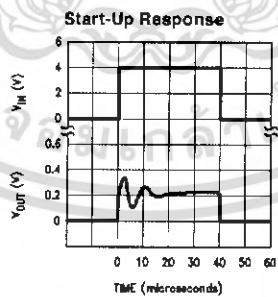
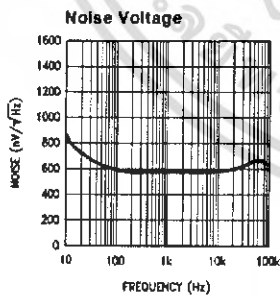
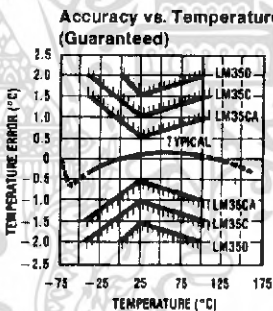
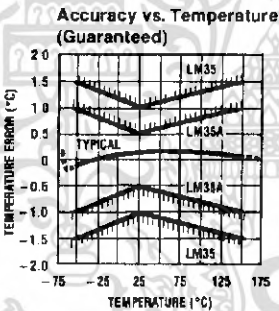
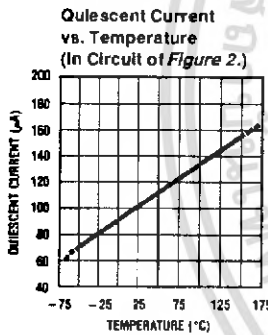
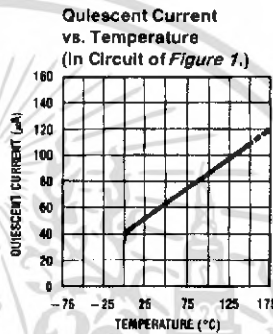
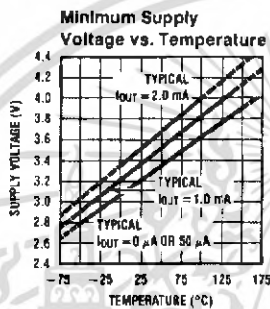
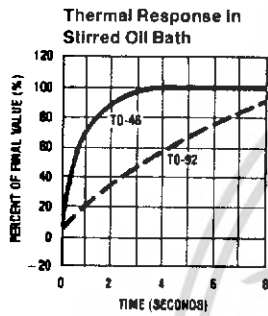
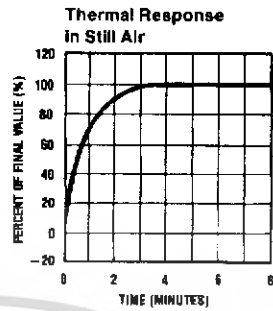
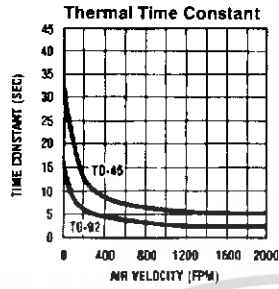
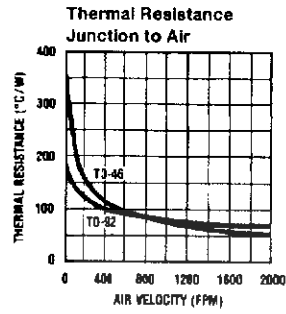
Note 10: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

Note 11: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

Note 12: See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applications

The LM35 can be applied easily in the same way as other integrated-circuit temperature sensors. It can be glued or cemented to a surface and its temperature will be within about 0.01°C of the surface temperature.

This presumes that the ambient air temperature is almost the same as the surface temperature; if the air temperature were much higher or lower than the surface temperature, the actual temperature of the LM35 die would be at an intermediate temperature between the surface temperature and the air temperature. This is especially true for the TO-92 plastic package, where the copper leads are the principal thermal path to carry heat into the device, so its temperature might be closer to the air temperature than to the surface temperature.

To minimize this problem, be sure that the wiring to the LM35, as it leaves the device, is held at the same temperature as the surface of interest. The easiest way to do this is to cover up these wires with a bead of epoxy which will insure that the leads and wires are all at the same temperature as the surface, and that the LM35 die's temperature will not be affected by the air temperature.

The TO-46 metal package can also be soldered to a metal surface or pipe without damage. Of course, in that case the V- terminal of the circuit will be grounded to that metal. Alternatively, the LM35 can be mounted inside a sealed-end metal tube, and can then be dipped into a bath or screwed into a threaded hole in a tank. As with any IC, the LM35 and accompanying wiring and circuits must be kept insulated and dry, to avoid leakage and corrosion. This is especially true if the circuit may operate at cold temperatures where condensation can occur. Printed-circuit coatings and varnishes such as Humiseal and epoxy paints or dips are often used to insure that moisture cannot corrode the LM35 or its connections.

These devices are sometimes soldered to a small light-weight heat fin, to decrease the thermal time constant and speed up the response in slowly-moving air. On the other hand, a small thermal mass may be added to the sensor, to give the steadiest reading despite small deviations in the air temperature.

Temperature Rise of LM35 Due To Self-heating (Thermal Resistance)

	TO-46, no heat sink	TO-46, small heat fin*	TO-92, no heat sink	TO-92, small heat fin**	SO-8 no heat sink	SO-8 small heat fin**	TO-202 no heat sink	TO-202 *** small heat fin
Still air	400°C/W	100°C/W	180°C/W	140°C/W	220°C/W	110°C/W	85°C/W	60°C/W
Moving air	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W	105°C/W	90°C/W	25°C/W	40°C/W
Still oil	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W				
Stirred oil (Clamped to metal, infinite heat sink)	50°C/W	30°C/W	45°C/W	40°C/W				
		(24°C/W)			(55°C/W)		(23°C/W)	

* Wakefield type 201, or 1" dia of 0.020" sheet brass, soldered to case, or similar.

** TO-92 and SO-8 packages glued and leads soldered to 1" square of 1/16" printed circuit board with 2 oz. foil or similar.

Typical Applications (Continued)

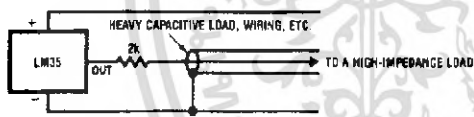


FIGURE 3. LM35 with Decoupling from Capacitive Load

CAPACITIVE LOADS

Like most micropower circuits, the LM35 has a limited ability to drive heavy capacitive loads. The LM35 by itself is able to drive 50 pf without special precautions. If heavier loads are anticipated, it is easy to isolate or decouple the load with a resistor; see Figure 3. Or you can improve the tolerance of capacitance with a series R-C damper from output to ground; see Figure 4.

When the LM35 is applied with a 200Ω load resistor as shown in Figure 5, 6, or 8, it is relatively immune to wiring

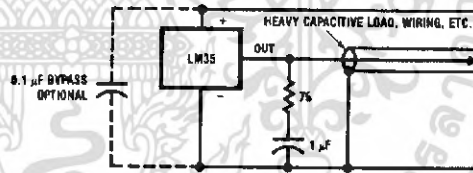
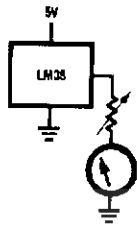


FIGURE 4. LM35 with R-C Damper

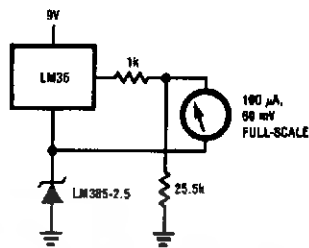
capacitance because the capacitance forms a bypass from ground to input, not on the output. However, as with any linear circuit connected to wires in a hostile environment, its performance can be affected adversely by intense electromagnetic sources such as relays, radio transmitters, motors with arcing brushes, SCR transients, etc. as its wiring can act as a receiving antenna and its internal junctions can act as rectifiers. For best results in such cases, a bypass capacitor from V_{IN} to ground and a series R-C damper such as 75Ω in series with 0.2 or 1 μF from output to ground are often useful. These are shown in Figures 13, 14, and 16.

Typical Applications (Continued)



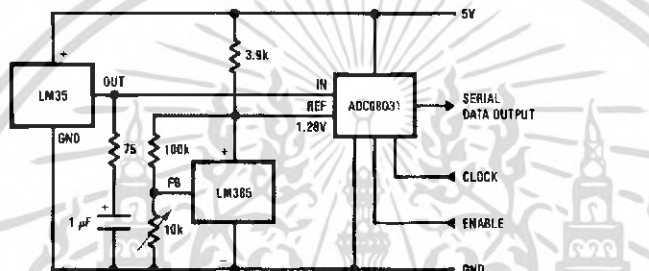
TL/H/5516-11

FIGURE 11. Centigrade Thermometer (Analog Meter)



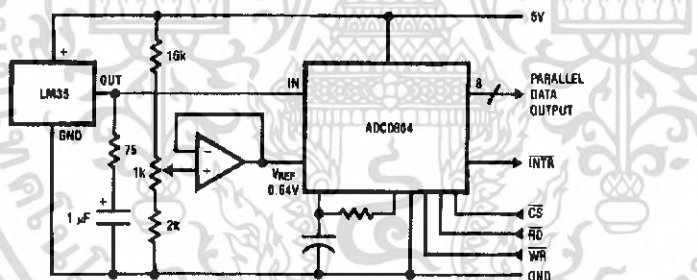
TL/H/5516-12

FIGURE 12. Expanded Scale Thermometer (50° to 80° Fahrenheit, for Example Shown)



TL/H/5516-13

FIGURE 13. Temperature To Digital Converter (Serial Output) (+128°C Full Scale)

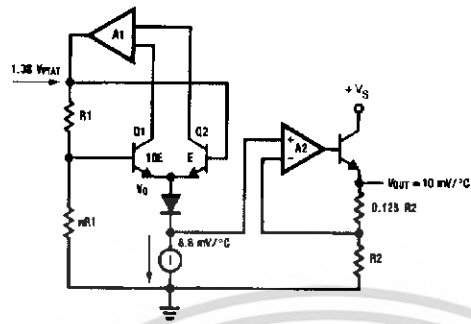


TL/H/5516-14

FIGURE 14. Temperature To Digital Converter (Parallel TRI-STATE® Outputs for Standard Data Bus to μ P Interface) (128°C Full Scale)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram

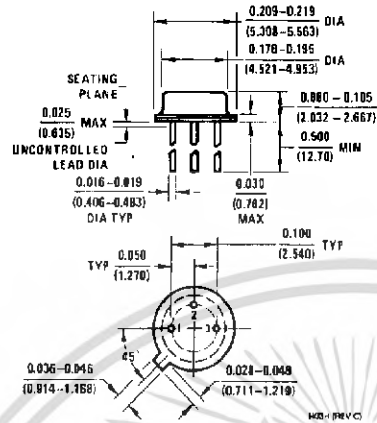


TL/H/5516-23

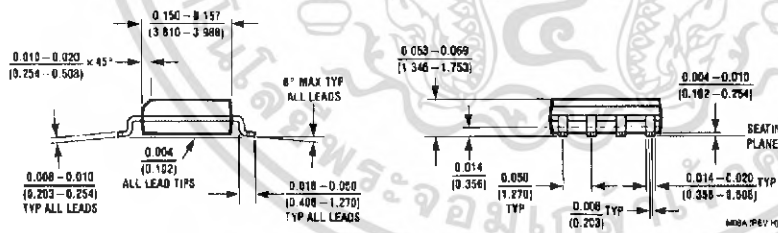
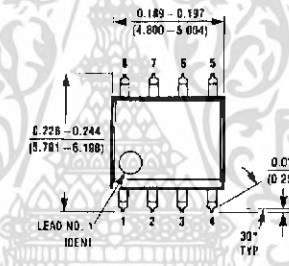


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters)



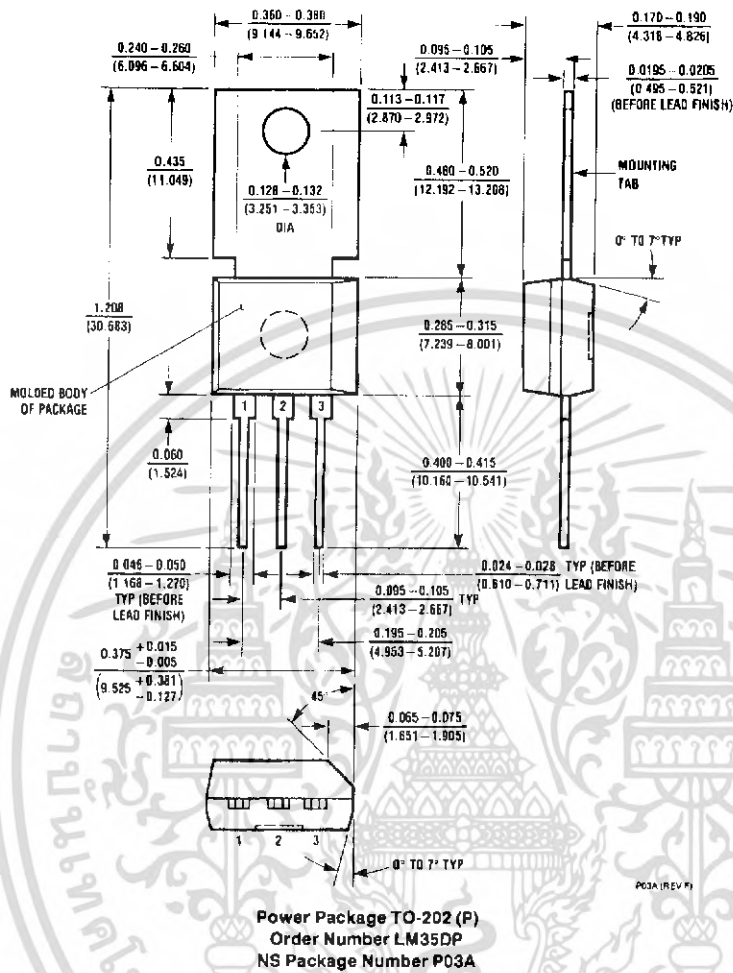
TO-46 Metal Can Package (H)
 Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH,
 LM35CAH, or LM35DH
 NS Package Number H03H



SO-8 Molded Small Outline Package (M)
 Order Number LM35DM
 NS Package Number M08A

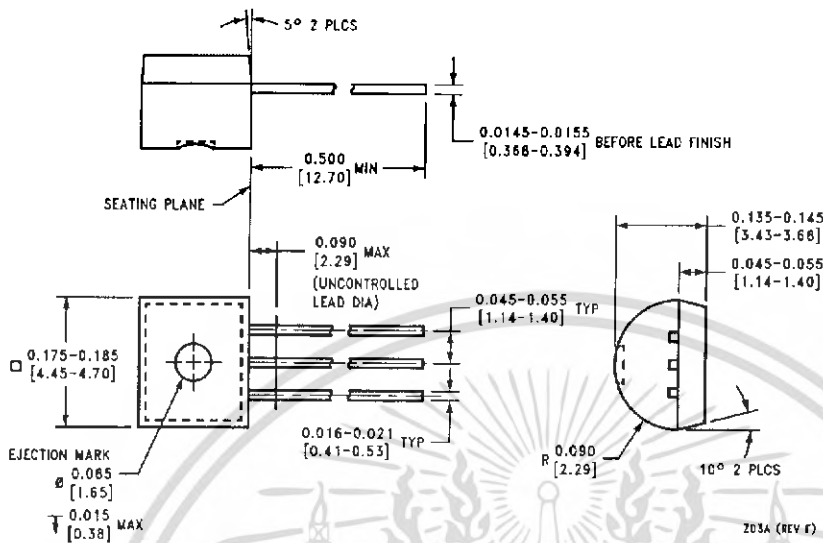
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



TO-92 Plastic Package (Z)
Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ
NS Package Number Z03A

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor Corporation
2900 Semiconductor Drive
P.O. Box 58020
Santa Clara, CA 95052-8090
Tel: (408) 272-8858
TWX: (910) 333-9240

National Semiconductor GmbH
Luisy-Gargan-Str. 10
D-82256 Fürstenfeldbruck
Germany
Tel: (49-41) 35-0
Telex: 527563
Fax: (49-41) 35-1

National Semiconductor Japan Ltd.
Sumitomo Chemical Engineering Center
Bldg. 7F
1-7-1, Nakase, Mihama-Ku
Chiba-City
Chiba Prefecture 261
Tel: (043) 299-2300
Fax: (043) 299-2500

National Semiconductor Hong Kong Ltd.
13th Floor, Straight Block,
Ocean Centre, 5 Canton Rd.
Tsimshatsui, Kowloon
Hong Kong
Tel: (852) 2737-1600
Fax: (852) 2736-9960

National Semicondutores De Brazil Ltda.
Rua Dupetoso Lucarda Franco
120-3A
Sao Paulo-SP
Brazil 05418-000
Tel: (55-11) 212-5096
Telex: 981-1131931 NSBR BR
Fax: (55-11) 212-1181

National Semiconductor (Australia) Pty. Ltd.
Building 16
Business Park Drive
Monash Business Park
Nottingham, Melbourne
Victoria 3158 Australia
Tel: (31) 558-8998
Fax: (31) 558-8998

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

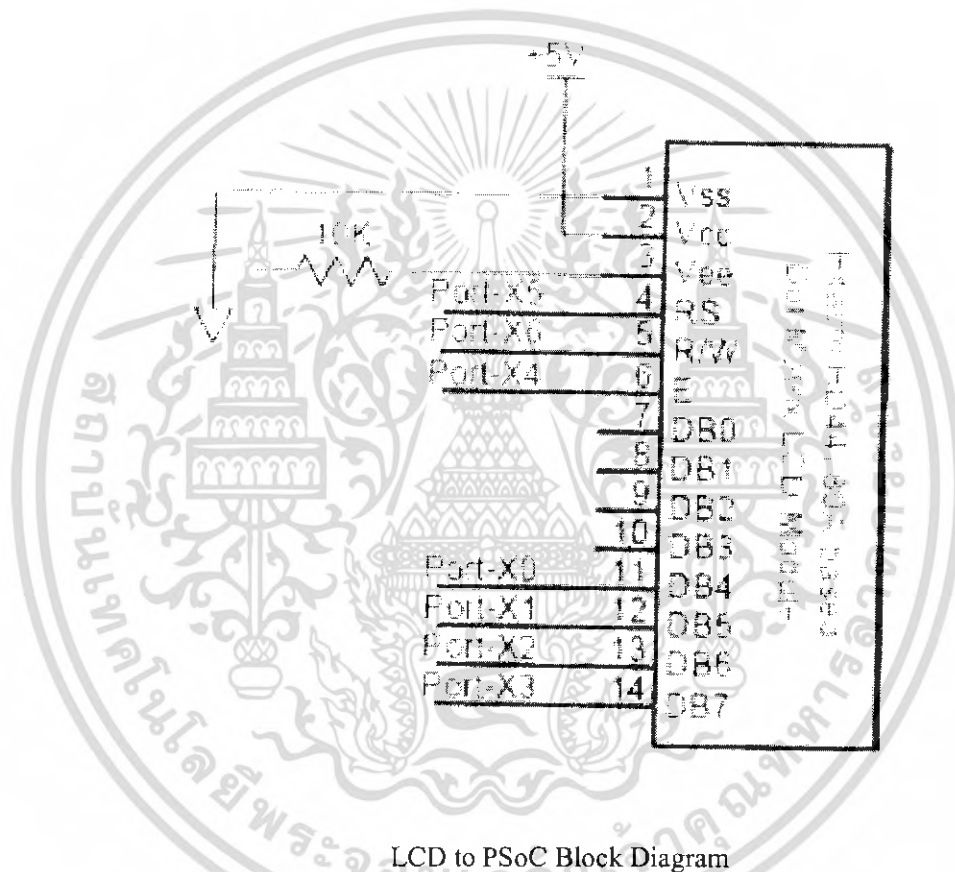


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติและการใช้งาน User Module

LCD User Module

LCD User Module ของ PSoC Microcontroller สามารถใช้งานได้กับ LCD Module แบบที่ 1,2 หรือ 4 บรรทัดที่ใช้มาตรฐานการติดต่อแบบ Hitachi HD44780 LCD Display Driver Protocol โดยการใช้การติดต่อแบบ 4 bit interface ใช้ Pin รวมทั้งหมด 7 Pin (0-6) ของ Port ใดก็ได้



LCD to PSoC Block Diagram

API ฟังก์ชัน LCD Tool Box User Module

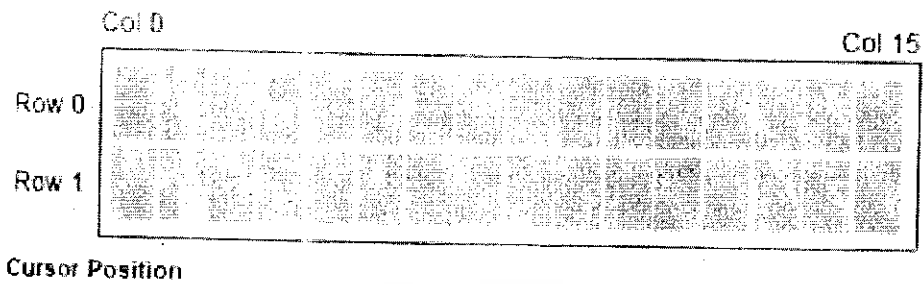
LCD_Start

Initialize LCD ให้ทำงานแบบ 4 bit interface ต้องเรียกใช้ก่อนที่จะใช้งานฟังก์ชันอื่นๆ

C Prototype:

```
void LCD_Start(void);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LCD_Position

กำหนดตำแหน่งแสดงตัวอักษรบนจอ LCD สำหรับข้อมูลที่กำลังจะส่งไปว่าจะให้แสดงที่ตำแหน่งใด

อย่างเช่น LCD_Position(0,0) หมายถึงบรรทัดที่ 1 ตำแหน่งที่ 1

C Prototype:

```
void LCD_Position(BYTE bRow , BYTE bCol);
```

LCD_PrString

แสดงผลข้อความจาก RAM (Null Terminated Ram-Based String)

C Prototype:

```
void LCD_PrString(CHAR *sRamString);
```

LCD_PrCString

แสดงผลข้อความจาก ROM (Null Terminated Rom-Based String)

C Prototype:

```
void LCD_PrCString(CHAR *sRomString);
```

ตัวอย่างการใช้งาน ฟังก์ชันแสดงตัวอักษร

```
Char str[ ] = " User Module "; // ประกาศตัวแปร str เก็บข้อความ " User Module "
LCD_Start(); // Initialize LCD
LCD_Position(0,4); // กำหนดตำแหน่ง บรรทัดที่ 1 ตำแหน่งที่ 5
LCD_PrCString(" PSoC LCD "); // แสดงข้อความ " PSoC LCD " (Rom-Based String)
LCD_Position(1,2); // กำหนดตำแหน่ง บรรทัดที่ 2 ตำแหน่งที่ 3
LCD_PrString(str); // แสดงข้อความ str (Ram-Based String)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PSoc LCD User Module

LCD_PrHexByte

แสดงค่าตัวเลขของตัวแปรประเภท char , BYTE(unsigned char) ในรูปของเลขฐาน 16

C Prototype:

```
void LCD_PrHexByte(BYTE bValue);
```

LCD_PrHexInt

แสดงค่าตัวเลขของตัวแปรประเภท int , WORD(unsigned int) ในรูปของเลขฐาน 16

C Prototype:

```
void LCD_PrHexInt(int iValue);
```

กลุ่มคำสั่งเกี่ยวกับการแสดงผล

แบบ Bar Graph แนวนอน

LCD_InitBG

กำหนดค่าเริ่มต้นให้แก่ LCD สำหรับการใช้งาน Bar Graph แนวนอน

C Prototype:

```
void LCD_InitBG(BYTE bBGType);
```

LCD_DrawBG

แสดงผล Bar Graph แนวนอน

C Prototype:

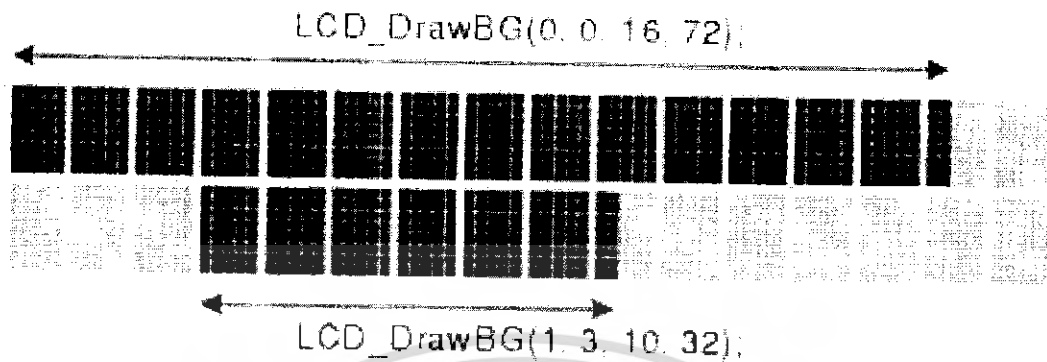
```
void LCD_DrawBG(BYTE bRow , BYTE bCol , BYTE bLen , BYTE bPixelColEnd);
```

โดยที่ bRow คือ เลขบรรทัดของ LCD (อย่างเช่น บรรทัดที่ 1=0 , บรรทัดที่ 0=1)

bCol คือ ตำแหน่งในบรรทัดนั้น (อย่างเช่น ตำแหน่งที่ 1=0 , ตำแหน่งที่ 16 = 15)

bLen คือ จำนวนตัวอักษรในแนวนอนที่ใช้แสดง Bar Graph

bPixelColEnd คือ จำนวนช่องของ Bar Graph (ในหนึ่งตัวอักษรมี 5 ช่อง ตามแนวนอน)



แบบ Bar Graph แนวตั้ง

LCD_InitVBG

กำหนดค่าเริ่มต้นให้กับ LCD สำหรับการใช้งาน Bar Graph แนวตั้ง

C Prototype:

```
void LCD_InitVBG(void);
```

LCD_DrawVBG

แสดงผล Bar Graph แนวตั้ง

C Prototype:

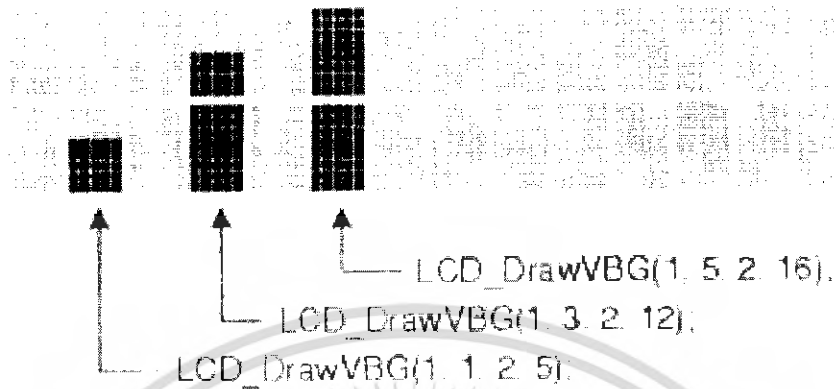
```
void LCD_DrawVBG(BYTE bRow , BYTE bCol , BYTE bHeight , BYTE  
bPixelRowEnd);
```

โดยที่ bRow คือ เลขบรรทัดของ LCD (อย่างเช่น บรรทัดที่ 1= 0 , บรรทัดที่ 0= 1)

bCol คือ ตำแหน่งในบรรทัดนั้น (อย่างเช่น ตำแหน่งที่ 1= 0 , ตำแหน่งที่ 16 = 15)

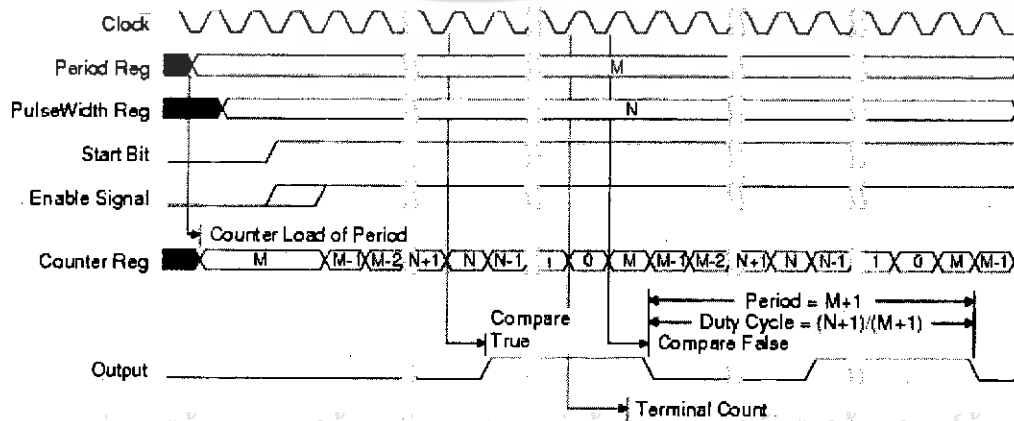
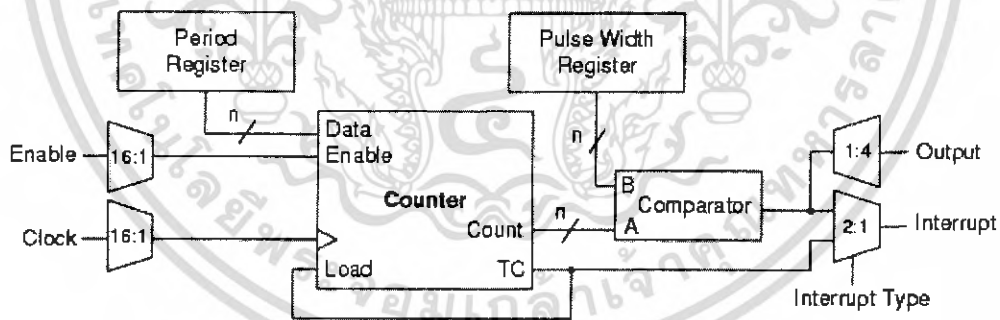
bHeight คือ จำนวนตัวอักษรในแนวตั้งที่ใช้แสดง Bar Graph

bPixelRowEnd คือ จำนวนช่องของ Bar Graph (ในหนึ่งตัวอักษรมี 8 ช่อง ตามแนวตั้ง)



PWMs User Module

- มีขนาด 8 และ 16 บิต โดยใช้ Digital Block จำนวน 1 และ 2 Block ตามลำดับ
- Clock Source สูงสุด 48 MHz
- โหลดค่า Period อัตโนมัติ
- กำหนดค่า Pulse Width ได้
- เลือกสัญญาณ Interrupt ได้จากขอบขาขึ้นของ Output หรือ Terminal Count



เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เอกสารที่ใช้งานได้จริง
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์ของ PWMs Module

Clock

สามารถเลือก Clock ได้จาก VC1 , VC2 , VC3 , SysClk , SysClk*2 และอีกหลายๆแหล่ง

Enable

PWMs จะทำงานเมื่อ Enable เป็น “High” และหยุดทำงานเมื่อเป็น “Low”

CompareOut

Output Pulse สามารถเลือกให้สัญญาณออกไปที่ Row_Output เพื่อเป็น Output ออกไปภายนอก หรือเป็น Input ให้กับ Digital Block อื่นๆ

TerminalCountOut

Terminal Count Output สามารถเลือกให้สัญญาณออกไปที่ Row_Output ใดก็ได้

Period

Period มีค่าอยู่ระหว่าง 0-255 สำหรับ PWM8 และ 1-65536 สำหรับ PWM16 โดยค่า

Output Period ที่ได้ = Period+1

PulseWidth

PulseWidth คือค่าความกว้างของ Pulse ในช่วง On กำหนดค่าได้ระหว่าง 0- Period

InterruptType

เลือกแหล่งที่มาของการ Interrupt สามารถเลือกเป็น Terminal Count หรือ Compare Event

CompareType

กำหนดลักษณะการเปรียบเทียบระหว่าง Counter Register กับ Compare Register

ClockSync

การเลือก ClockSync ขึ้นอยู่กับ Clock ที่เลือกใช้ตามตาราง

ClockSync	Clock
Sync to SysClk	ใช้ในกรณีที่ Clock มีแหล่งกำเนิดมาจาก SysClk เช่น VC1 , VC2 , VC3(เมื่อ VC3 หารมาจาก SysClk) , 32KHz และจาก Digital PSoC Block ที่ใช้ SysClk
Sync to SysClk*2	ใช้ในกรณีที่ Clock มีแหล่งกำเนิดมาจาก SysClk*2 ยกเว้นใช้ SysClk*2 โดยตรง
Use SysClk Direct	ใช้ในกรณีที่ Clock มีแหล่งกำเนิดมาจาก SysClk โดยตรง
Unsynchronized	ใช้ในกรณีที่ Clock มีแหล่งกำเนิดมาจาก SysClk*2 โดยตรง และใช้เมื่อไม่ต้องการ Synchronized สัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

API ฟังก์ชัน ของ PWMs Module

PWM16_EnableInt

เปิดการใช้งาน Interrupt Mode

C Prototype:

```
void PWM16_EnableInt(void);
```

PWM16_DisableInt

ปิดการใช้งาน Interrupt Mode

C Prototype:

```
void PWM16_DisableInt(void);
```

PWM16_Start

เปิดการทำงานของ PWMs Module

C Prototype:

```
void PWM16_Start(void);
```

PWM16_Stop

ปิดการทำงานของ PWMs Module

C Prototype:

```
void PWM16_Stop(void);
```

PWM16_WritePeriod

กำหนดค่า Period ให้กับ PWMs Module มีค่าอยู่ระหว่าง 0-65535 โดยค่า Period จะถูก โหลดไปให้ Counter Register เมื่อ PWMs นั้นหยุดทำงานอยู่ หรือ เมื่อครบรอบ Period ที่กำลัง ทำงานอยู่

C Prototype:

```
void PWM16_WritePeriod(WORD wPeriod);
```

PWM16_WritePulseWidth

กำหนดค่า PulseWidth ให้กับ PWMs Module มีค่าอยู่ระหว่าง 0-65535

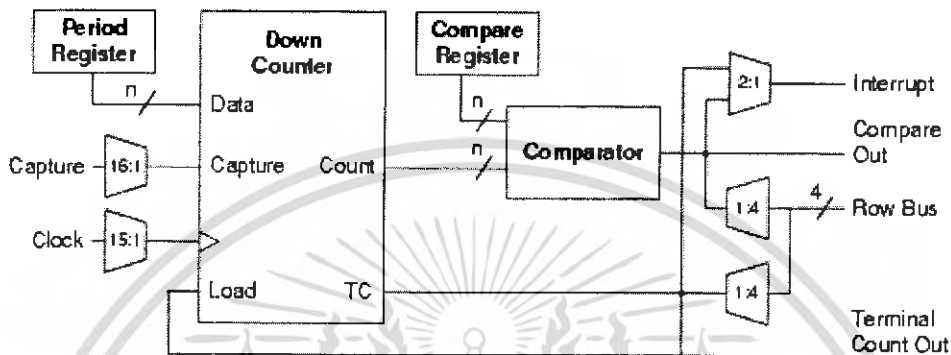
C Prototype:

```
void PWM16_WritePulseWidth(WORD wPulseWidth);
```

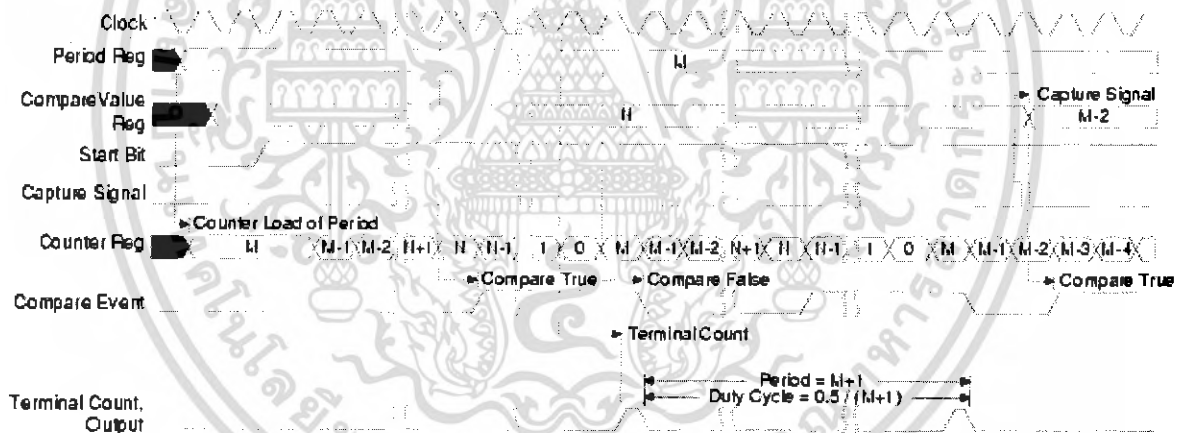
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Timers User Module

Timers User Module ของ PSoC Microcontroller มีขนาดตั้งแต่ 8 , 16 , 24 และ 32 บิต ให้เลือกใช้ตามความเหมาะสม โดยบล็อกไดอะแกรมการทำงาน Timers User Module แสดงดังรูป



Timer Block Diagram, Data Path width $n = 8, 16, 24$ or 32



Timers Module ทำงานแบบนับลง (Count Down) สามารถเลือก clock ได้ทั้งสัญญาณภายในและภายนอก กำหนดค่า Period และ Compare ได้จาก Hardware(ใน Device Editor) และ Software โดยที่ Output ของ Timer มีหลายรูปแบบให้นำไปประยุกต์ใช้งาน มีทั้ง Hardware คือ Compare Out กับ Terminal Count Out และทาง Software ก็จะมี vector ที่เกิดจากการ Interrupt ซึ่งสามารถกำหนดได้ว่าจะเป็นแบบ Compare Value หรือ Terminal Count

พารามิเตอร์ของ Timers Module

Clock

Clock ของ Timer สามารถเลือกได้จาก VC1 , VC2 , VC3 , SysClk , SysClk*2 และอีก

หลายๆแหล่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Period

ค่า Period รีจิสเตอร์ โดยในการทำงานของ Timer จะโหลดค่า Period รีจิสเตอร์ให้กับ Counter รีจิสเตอร์อัตโนมัติเมื่อ Counter รีจิสเตอร์ = 0(Terminal Count) หรือมีการ Enable Timers ขณะ Disableอยู่

CompareValue

ค่า Compare รีจิสเตอร์ ใช้งานเมื่อกำหนดการทำงานแบบ Compare Event

CompareType

ลักษณะการเปรียบเทียบระหว่าง Counter Register กับ Compare Register

InterruptType

เลือกแหล่งที่มาของการ Interrupt สามารถกำหนดให้เป็น Terminal Count หรือ Compare Event

ClockSync

ClockSync เป็นพารามิเตอร์ที่จะต้องกำหนดให้กับ User Module ที่มีการใช้ Digital Block การเลือก ClockSync ขึ้นอยู่กับ Clock ที่เลือกใช้ตามตาราง

ClockSync	Clock
Sync to SysClk	ใช้ในกรณีที่ Clock มีแหล่งกำเนิดมาจาก SysClk เช่น VC1 , VC2 , VC3(เมื่อ VC3 หามาจาก SysClk) , 32KHz และจาก Digital PSoC Block ที่ใช้ SysClk
Sync to SysClk*2	ใช้ในกรณีที่ Clock มีแหล่งกำเนิดมาจาก SysClk*2 ยกเว้นใช้ SysClk*2 โดยตรง
Use SysClk Direct	ใช้ในกรณีที่ Clock มีแหล่งกำเนิดมาจาก SysClk โดยตรง
Unsynchronized	ใช้ในกรณีที่ Clock มีแหล่งกำเนิดมาจาก SysClk*2 โดยตรง และใช้เมื่อไม่ต้องการ Synchronized สัญญาณ

API ฟังก์ชันของ Timers Module

Timer16_Start

ฟังก์ชันเริ่มให้ Timer ทำงาน

C Prototypc:

```
void Timer16_Start(void);
```

Timer16_Stop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันหยุดการทำงานของ Timer

C Prototype:

```
void Timer16_Stop(void);
```

Timer16_EnableInt

สำหรับการเปิดใช้งาน Interrupt ของ Timer

C Prototype:

```
void Timer16_EnableInt(void);
```

Timer16_DisableInt

สำหรับการปิดใช้งาน Interrupt ของ Timer

C Prototype:

```
void Timer16_DisableInt(void);
```


Timer16_WritePeriod

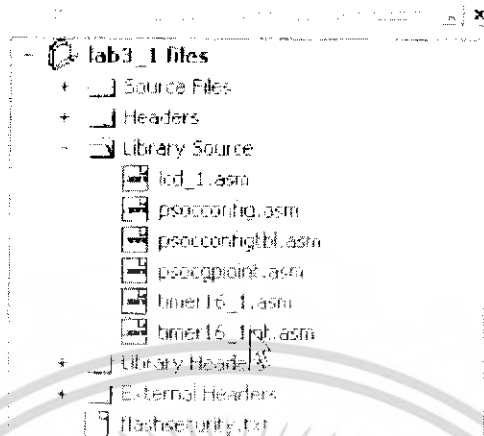
ใช้กำหนดค่า Period ให้กับ Timer

C Prototype:

```
void Timer16_WritePeriod(WORD wCompareValue);
```

การเขียนโปรแกรมบริการอินเตอร์รัพท์ของ Timers Module

เมื่อเกิดการอินเตอร์รัพท์จาก Timers User Module ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเข้าไปทำงานภายในโปรแกรมย่อยที่อยู่ในไฟล์ .asm ที่มีชื่อเดียวกับ Timers User Module แต่ตามด้วย "int" เช่น Timers User Module ชื่อ "Timer6_1" ไฟล์นี้ก็จะชื่อ "Timer16_int.asm" โดยไฟล์นี้จะอยู่ใน  ตามรูป



โดยเกรมย่อยที่อยู่ในไฟล์ดังกล่าวนี้จะมีชื่อเดียวกับ Timers User Module เช่นกัน แต่จะตามด้วย “_ISR” อย่างเช่น _Timer16_1_ISR ซึ่งในโปรแกรมย่อยนี้เอง ที่ใช้ในการเขียนคำสั่งภาษาแอสเซมบลีเข้าไป เพื่อสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์กระโดดไปทำงานในฟังก์ชันที่เขียนด้วยภาษาซี ด้วยคำสั่ง “jmp_<ชื่อฟังก์ชันในภาษาซี>” เช่น “jmp_Timer_ISR” ดังรูป

```

;-----
; FUNCTION NAME: _Timer16_1_ISR
;
; DESCRIPTION: Unless modified, this implements only a null handler stub.
;
;-----
;

```

_Timer16_1_ISR:

```

;@PSoC_UserCode_BODY@ (Do not change this line.)
;-----

```

; Insert your custom code below this banner

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;-----
;-----
; Insert your custom code above this banner
;-----
;@PSoC_UserCode_END@ (Do not change this line.)
reti

```

; end of file Timer16_1INT.asm

เราจะสังเกตเห็นว่ามีการเติม “_” เข้าไปข้างหน้าชื่อฟังก์ชัน ทั้งนี้เพราะว่าโปรแกรมย่อยดังกล่าวถูกเขียนอยู่ในภาษาแอสเซมบลี หากต้องการอ้างถึงฟังก์ชันที่เขียนอยู่ในภาษาซี ต้องเติม “_” เข้าไปข้างหน้าด้วยทุกครั้ง และจากนั้นต้องประกาศให้ฟังก์ชัน ดังกล่าวเป็น ฟังก์ชันบริการอินเตอร์รัพ्ट ด้วยคำสั่ง “#pragma interrupt_handler<ชื่อของฟังก์ชัน>” ตามตัวอย่างดังนี้

```
#pragma interrupt_handler Timer_ISR
```

จากนั้นก็เขียนฟังก์ชันบริการอินเตอร์รัพ्टได้ เหมือนกับการเขียนฟังก์ชันอื่นๆ ซึ่งการทำงานภายในฟังก์ชันบริการอินเตอร์รัพ्टนั้น ก็ขึ้นอยู่กับการทำงานของโปรแกรมที่เขียนว่าต้องการจะกระทำการใดๆบ้างเมื่อเกิดการอินเตอร์รัพ्ट

ตัวอย่างการสร้างฟังก์ชันบริการอินเตอร์รัพ्ट Timer_ISR()

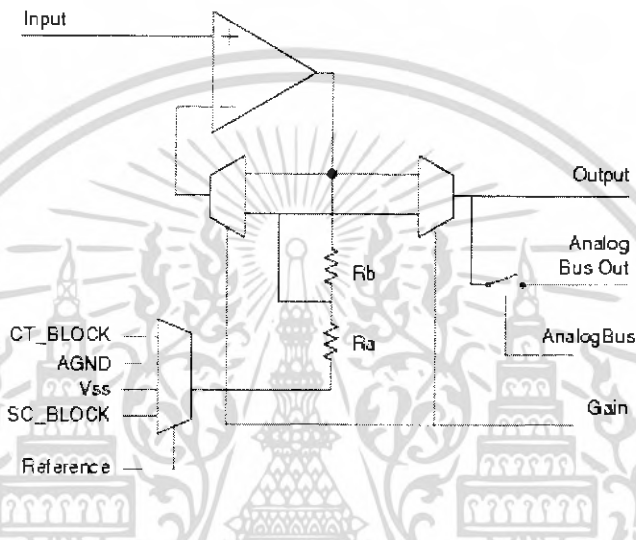
```

Void Timer_ISR(void)
{
    คำสั่งเมื่อเกิดการอินเตอร์รัพ्ट
}

```

PGA (Programmable Gain Amplifier) User Module

PGA User Module เป็นวงจรขยายแบบ Non-Inverting สามารถกำหนดค่า Gain ได้ทั้งจาก Device Editor และจาก API ฟังก์ชัน มี Input Impedance สูง และสามารถกำหนดแรงดัน Reference ได้อย่างอิสระ



พารามิเตอร์ของ PGA Module

Input

Input ของ PGA กำหนดได้ใน Device Editor โดยสามารถกำหนดให้เป็น analog column input multiplexer และจาก PSoC Block อื่นๆ

Reference

Reference Input สามารถกำหนดให้เป็น AGND,, และ PSoC Block ข้างเคียง

AnalogBus

เป็นทางออกของสัญญาณเอาต์พุต อีกทางหนึ่งสามารถกำหนดให้เชื่อมต่อกับ AnalogBus

API ฟังก์ชันของ PGA Module

PGA_Start

ใช้กำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆที่จำเป็นสำหรับ PGA Module และทำหน้าที่กำหนดค่า Power Setting

C Prototype:

```
void PGA_Start(BYTE bPowerSetting)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Symbolic Name	Value
PGA_OFF	0
PGA_LOWPOWER	1
PGA_MEDPOWER	2
PGA_HIGHPower	3

PGA_SetGain

ฟังก์ชันที่ใช้กำหนดค่า Gain ให้กับ PGA Module โดยค่าที่ต้องส่งให้กับฟังก์ชันที่ค่า Gain ต่างๆนั้น สามารถดูได้จากตาราง

C Prototype:

```
void PGA_SetGain(byte bGainSetting)
```

Symbolic Name	Value	Symbolic Name	Value
PGA_G48_0	0Ch	PGA_G1_00	F8h
PGA_G24_0	1Ch	PGA_G0_93	E0h
PGA_G16_0	08h	PGA_G0_87	D0h
PGA_G8_00	18h	PGA_G0_81	C0h
PGA_G5_33	28h	PGA_G0_75	B0h
PGA_G4_00	38h	PGA_G0_68	A0h
PGA_G3_20	48h	PGA_G0_62	90h
PGA_G2_67	58h	PGA_G0_56	80h
PGA_G2_27	68h	PGA_G0_50	70h
PGA_G2_00	78h	PGA_G0_43	60h
PGA_G1_78	88h	PGA_G0_37	50h
PGA_G1_60	98h	PGA_G0_31	40h
PGA_G1_46	A8h	PGA_G0_25	30h
PGA_G1_33	B8h	PGA_G0_18	20h
PGA_G1_23	C8h	PGA_G0_12	10h
PGA_G1_14	D8h	PGA_G0_06	00h
PGA_G1_06	E8h		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PGA_Stop

หยุดการทำงานของ PGA Module

C Prototype:

void PGA_Stop(void)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้