

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องทดสอบคุณลักษณะของตัวกรองความถี่

FILTER CHARACTERISTIC TESTER



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

82956

b. 11956902
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องทดสอบคุณลักษณะของตัวกรองความถี่

FILTER CHARACTERISTIC TESTER

โดย

นางสาวณัฐพร	ภักดี	47010226
นางสาวชนันชา	จินาวัดย์	47010252
นายธนະฉัตร	วัฒนวิเชียร	47010312

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.พิพัฒน์ พรหมมี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องทดสอบคุณลักษณะของตัวกรองความถี่

FILTER CHARACTERISTIC TESTER

ผู้จัดทำ

1. นางสาวณัฐพร ภัคดี 47010226
2. นางสาวรัชชา จินาวัดย์ 47010252
3. นายธนะฉัตร วัฒนวิเชียร 47010312


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร.พิพัฒน์ พรหมมี)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ทดสอบตัวกรองความถี่
FILTER CHARACTERISTIC TESTER

โดย นางสาวณัฐพร ภัคดี 47010226
นางสาวธนัชชา จินาวัลย์ 47010252
นายชนะฉัตร วัฒนวิเชียร 47010312

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.พิพัฒน์ พรหมมี

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการวัดคุณสมบัติของตัวกรองความถี่ด้วยเครื่องทดสอบตัวกรองความถี่ซึ่งสามารถทดสอบคุณสมบัติต่างๆของตัวกรองความถี่ คือ ความถี่คัทออฟ เฟส เพื่อแยกประเภทของตัวกรองความถี่และสามารถจัดเก็บข้อมูลเป็น ล็อกไฟล์และสามารถนำข้อมูลมาเขียนกราฟแสดงคุณสมบัติของตัวกรองความถี่ได้ โดยเครื่องทดสอบจะสามารถแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์

ABSTRACT

This Project presents measuring of characteristic filter by Filter Characteristic Tester. The Filter Characteristic Tester can show frequency response, phase response of filter for classified type characteristic of filter such as low pass filter, high pass filter, band pass filter. This equipment can be shown their results by PC. This characteristic of filter is also in the data logger and also provided data link to computer for further illustrated graphically.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปฏิญานិพนธ์เรื่องเครื่องทดสอบคุณลักษณะของตัวกรองความถี่นี้สำเร็จได้เนื่องจากบุคคลหลายฝ่าย ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พิพัฒน์ พรหมมี ที่ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆช่วยพร้อมทั้งสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทำปฏิญานิพนธ์ตลอดมา

ขอขอบคุณคุณพงษ์ศักดิ์ สกุรัตน์ และ คุณเนรมิต หวีมุขสำหรับคำปรึกษาและข้อเสนอแนะต่างๆในเรื่องการเขียนโปรแกรมและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำปฏิญานิพนธ์

และที่ขาดไม่ได้คือบิดามารดาและเพื่อนๆที่คอยช่วยเหลือห่วงใยและให้กำลังใจรวมถึงสนับสนุนในด้านการเรียนและการเงินตลอดมา

ประโยชน์และคุณค่าที่ผู้อ่านได้รับจากปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ผู้จัดทำขออุทิศแด่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวมาทั้งหมด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	2
2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM.....	2
2.1.1 ประวัติความเป็นมาของซีพียู ARM7.....	2
2.1.2 สถาปัตยกรรมซีพียู ARM7.....	3
2.1.3 ความหมายของARM7TDMI TDMI.....	4
2.1.4 การใช้งานบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-ARM7 STAMP LPC2119.....	5
2.1.5 คุณสมบัติของบอร์ด ET-ARM7 STAMP LPC2119.....	6
2.1.6 โครงสร้างบอร์ด ET-ARM7 STAMP LPC2119.....	7
2.1.7 คุณสมบัติของLPC2119.....	8
2.1.8 การจัดขาของ LPC2119.....	10
2.2 การใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-BASE ARM7024 (ADUc7024).....	11
2.2.1 คุณสมบัติของบอร์ด.....	11
2.2.2 โครงสร้างบอร์ด ET-BASE ARM7024 (ADUc7024).....	12
2.2.3 ข้อต่อสัญญาณต่างๆ.....	13
2.3 วงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอล.....	16
2.4 โมดูลนาฬิกาเวลาจริง.....	18
2.5 คำสั่งของARM7.....	23
2.6 วงจรกรองความถี่.....	24
2.6.1 วงจรกรองสัญญาณแบบความถี่ต่ำผ่าน(Low pass filter).....	24
2.6.2 วงจรกรองสัญญาณแบบกรองผ่านความถี่สูง(Highpass filter).....	27
2.6.3 วงจรกรองสัญญาณแบบกรองผ่านแถบความถี่ (Bandpass filter).....	28
2.6.4 วงจรกรองสัญญาณแบบจำกัดแถบความถี่ (Band - stop filter).....	29
2.6.5 วงจรกรองสัญญาณแบบกรองผ่านทุกความถี่ (Allpass filter).....	30
บทที่ 3 การคำนวณและการออกแบบ.....	33
3.1 วงจรรวมของระบบ.....	33
3.2 วงจรสร้างสัญญาณความถี่ดิจิตอลไซน์จาก ARM7 เบอร์ ADUc7402.....	34
3.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล.....	37
3.4 การวัดค่าแรงดันของสัญญาณเอาต์พุตฟิลเตอร์.....	38
3.5 การออกแบบการวัดผลตอบสนองทางเฟส.....	39
3.6 การส่งข้อมูลแสดงผล.....	40

3.7 วงจรคอมพาราเตอร์.....	42
3.8 วงจรรวมสัญญาณแบบไม่กัลเฟส.....	43
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	44
4.1 การวัดสัญญาณที่ออกมาจาก ADUc7024	44
4.2 การวัดสัญญาณจากวงจรสร้างความถี่เทียบกับเอาต์พุตของฟิลเตอร์.....	48
4.2.1 ทดลองวัด HPF ที่มีความถี่คัทออฟ $f_c = 1kHz$	48
4.2.2 ทดสอบที่ LPF $f_c = 3.5 kHz$	50
4.2.3 ทดสอบที่ BPF $f_c = 1 kHz, 3.5 kHz$	52
4.3 ผลจากวงจรคอมพาราเตอร์.....	55
4.3.1 HPF 1kHz	55
4.3.2 LPF 3.5kHz.....	56
4.3.3 BPF 1kHz, 3.5kHz	57
4.4 การแสดงผล.....	58
4.4.1 แสดงการเชื่อมต่อเครื่องทดสอบกับคอมพิวเตอร์.....	58
4.4.2 ผลของกราฟแสดงคุณลักษณะของฟิลเตอร์.....	60
4.4.2.1 HPF (Active filter) 1 kHz	60
4.4.2.2 LPF (Active filter) 1 kHz.....	62
4.4.2.3 BPF (Active filter) 1 kHz $f_c = 1 kHz, 3.5 kHz$	64
4.4.2.4 HPF (Passive filter) 1.59kHz.....	66
4.4.2.5 LPF (Passive filter) 1.59kHz.....	67
บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป.....	68
5.1สรุปผลการทดลอง	68
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน.....	68
5.3แนวทางการพัฒนาและการปรับปรุง.....	69

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

หนังสืออ้างอิง

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	แกนกลางของซีพียู ARM7.....	4
รูปที่ 2.2	โครงสร้างบอร์ด ET-ARM7 STAMP LPC2119.....	7
รูปที่ 2.3	ขาของพอร์ตอนุกรม.....	7
รูปที่ 2.4	บล็อกไดอะแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ LPC2119.....	9
รูปที่ 2.5	ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM7 เบอร์ LPC2119.....	10
รูปที่ 2.6	โครงสร้างบอร์ด ET-BASE ARM7024 (ADUc7024).....	12
รูปที่ 2.7	พอร์ตอินพุตเอาต์พุตของLPC2119.....	14
รูปที่ 2.8	แสดงวงจรส่วนที่เชื่อมต่อกับ RS232.....	15
รูปที่ 2.9	แสดงขั้วต่อ DAC0 และ DAC1.....	15
รูปที่ 2.10	แสดงบล็อกไดอะแกรมภายในของโมดูล RTC.....	19
รูปที่ 2.11	การจัดเรียงบิตแบบลิตเติลและบิกเอนเดียน.....	23
รูปที่ 2.12	ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองสัญญาณแบบกรองความถี่ต่ำผ่านแบบอุดมคติ.....	25
รูปที่ 2.13	กราฟแสดงการตอบสนองทางความถี่ของวงจรฟิลเตอร์ขั้วกรองความถี่ต่ำผ่านที่มีค่า - 20 เดซิเบล ต่อดีเคด.....	26
รูปที่ 2.14	ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรสัญญาณแบบกรองความถี่สูงผ่านแบบอุดมคติ.....	27
รูปที่ 2.15	การตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่สูงผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ทที่ให้ ค่า 20 เดซิเบลต่อดีเคด.....	27
รูปที่ 2.16	ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรสัญญาณแบบ กรองความถี่ผ่านเฉพาะบางช่วงแบบอุดมคติ.....	28
รูปที่ 2.17	แสดงการตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่ผ่านเฉพาะช่วง.....	29
รูปที่ 2.18	ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรสัญญาณแบบที่กั้นไม่ให้ความถี่ ผ่านเฉพาะบางช่วงแบบอุดมคติ.....	29
รูปที่ 2.19	การตอบสนองทางความถี่ของวงจรจำกัดแถบความถี่ฟิลเตอร์.....	30
รูปที่ 2.20	ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองสัญญาณแบบกรองผ่านทุกความถี่แบบอุดมคติ.....	30
รูปที่ 2.21	ตำแหน่งของโพลบนระนาบ z ของตัวกำเนิดไซน์แบบดิจิทัล.....	31
รูปที่ 2.22	โครงสร้างของตัวกำเนิดไซน์แบบตรง.....	32
รูปที่ 2.23	โครงสร้างของตัวกำเนิดไซน์แบบ Coupled-form.....	32
รูปที่ 3.1	แสดงวงจรรวมของระบบ.....	33
รูปที่ 3.2	ภาพตำแหน่งของโพลบนระนาบ z ของตัวกำเนิดไซน์แบบดิจิทัล.....	34
รูปที่ 3.3	ภาพแสดงการสร้างดิจิทัลไซน์.....	35
รูปที่ 3.4	แผนภาพแสดงการสร้างสัญญาณไซน์.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.5 ภาพแสดงการทำแชนเปลิ่งเพื่อหาแอมพลิจูด.....	37
รูปที่ 3.6 แผนภาพแสดงการหาค่าแรงดันของสัญญาณเอาต์พุตฟิลเตอร์.....	38
รูปที่ 3.7 แสดงวิธีการคำนวณหาความต่างเฟสของสัญญาณก่อนและหลังออกจากฟิลเตอร์.....	39
รูปที่ 3.8 แผนภาพแสดงการคำนวณหาเฟส.....	40
รูปที่ 3.9 แผนภาพแสดงการรับค่าแสดงผลหน้าจอ.....	41
รูปที่ 3.10 วงจรคอมพิวเตอร์.....	42
รูปที่ 3.11 วงจรรวมสัญญาณแบบไม่กลับเฟส.....	43
รูปที่ 4.1 สัญญาณไซน์ความถี่ 200 Hz.....	44
รูปที่ 4.2 สัญญาณไซน์ความถี่ 1 kHz.....	44
รูปที่ 4.3 สัญญาณไซน์ความถี่ 10 kHz.....	45
รูปที่ 4.4 สัญญาณไซน์ความถี่ 14 kHz.....	45
รูปที่ 4.5 สัญญาณไซน์ความถี่ 20 kHz.....	46
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความถี่ที่คำนวณกับค่าที่ทดลอง.....	46
รูปที่ 4.7 สัญญาณจากฟิลเตอร์ความถี่สูง 1 kHz เทียบกับวงจรสร้างความถี่ที่ความถี่ 200 Hz.....	48
รูปที่ 4.8 สัญญาณจากฟิลเตอร์ความถี่สูง 1 kHz เทียบกับวงจรสร้างความถี่ที่ความถี่ 500 Hz.....	48
รูปที่ 4.9 สัญญาณจากฟิลเตอร์ความถี่สูง 1 kHz เทียบกับวงจรสร้างความถี่ที่ความถี่ 1 kHz.....	49
รูปที่ 4.10 สัญญาณจากฟิลเตอร์ความถี่สูง 1 kHz เทียบกับวงจรสร้างความถี่ที่ความถี่ 10 kHz.....	49
รูปที่ 4.11 สัญญาณจากฟิลเตอร์ความถี่ต่ำ 3.5 kHz เทียบกับวงจรสร้างความถี่ที่ความถี่ 200 Hz.....	50
รูปที่ 4.12 สัญญาณจากฟิลเตอร์ความถี่ต่ำ 3.5 kHz เทียบกับวงจรสร้างความถี่ที่ความถี่ 3 kHz.....	50
รูปที่ 4.13 สัญญาณจากฟิลเตอร์ความถี่ต่ำ 3.5 kHz เทียบกับวงจรสร้างความถี่ที่ความถี่ 5 kHz.....	51
รูปที่ 4.14 สัญญาณจากฟิลเตอร์ความถี่ต่ำ 3.5 kHz เทียบกับวงจรสร้างความถี่ที่ความถี่ 10 kHz.....	51
รูปที่ 4.15 สัญญาณจากฟิลเตอร์ความถี่ต่ำ 3.5 kHz เทียบกับวงจรสร้างความถี่ที่ความถี่ 20 kHz.....	52
รูปที่ 4.16 สัญญาณจากฟิลเตอร์ BPF 1 kHz, 3.5 kHz เทียบกับวงจรสร้างความถี่ที่ความถี่ 200 Hz.....	52
รูปที่ 4.17 สัญญาณจากฟิลเตอร์ BPF 1 kHz, 3.5 kHz เทียบกับวงจรสร้างความถี่ที่ความถี่ 500 Hz.....	53
รูปที่ 4.18 สัญญาณจากฟิลเตอร์ BPF 1 kHz, 3.5 kHz เทียบกับวงจรสร้างความถี่ที่ความถี่ 1 kHz.....	53
รูปที่ 4.19 สัญญาณจากฟิลเตอร์ BPF 1 kHz, 3.5 kHz เทียบกับวงจรสร้างความถี่ที่ความถี่ 15 kHz.....	54
รูปที่ 4.20 สัญญาณจากฟิลเตอร์ BPF 1 kHz, 3.5 kHz เทียบกับวงจรสร้างความถี่ที่ความถี่ 20 kHz.....	54
รูปที่ 4.21 สัญญาณจากวงจรคอมพิวเตอร์ของ HPF 1kHz ที่ความถี่ 1kHz.....	55
รูปที่ 4.22 สัญญาณจากวงจรคอมพิวเตอร์ของ HPF 1kHz ที่ความถี่ 5kHz.....	55
รูปที่ 4.23 สัญญาณจากวงจรคอมพิวเตอร์ของ LPF 3.5kHz ที่ความถี่ 2kHz.....	56
รูปที่ 4.24 สัญญาณจากวงจรคอมพิวเตอร์ของ LPF 3.5kHz ที่ความถี่ 10kHz.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.25 สัญญาณจากวงจรคอมพาราเตอร์ของ BPF 1kHz, 3.5kHz ที่ความถี่ 500Hz	57
รูปที่ 4.26 สัญญาณจากวงจรคอมพาราเตอร์ของ BPF 1kHz, 3.5kHz ที่ความถี่ 20kHz	57
รูปที่ 4.27 หน้าจอแสดงผลเมื่อเชื่อมต่อกับ Rs-232	58
รูปที่ 4.28 หน้าจอแสดงผลเมื่อเริ่มโปรแกรม.....	59
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงผลของแอมพลิจูดตัวกรองความถี่สูงผ่านคัทออฟ 1 kHz โดยวัดผลจากสโคป....	60
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงผลของเฟสตัวกรองความถี่สูงผ่านคัทออฟ 1 kHz โดยวัดผลจากสโคป.....	60
รูปที่ 4.31 กราฟคุณลักษณะของตัวกรองความถี่สูงผ่านความถี่คัทออฟ 1kHz จากเครื่องทดสอบ.....	61
รูปที่ 4.32 กราฟแสดงผลของแอมพลิจูดตัวกรองความถี่ต่ำผ่านคัทออฟ 3.5kHz โดยวัดผลจากสโคป....	62
รูปที่ 4.33 กราฟคุณลักษณะของตัวกรองความถี่ต่ำผ่านความถี่คัทออฟ 3.5kHz จากเครื่องทดสอบ.....	62
รูปที่ 4.34 กราฟคุณลักษณะของตัวกรองความถี่ต่ำผ่านความถี่คัทออฟ 3.5kHz จากเครื่องทดสอบ.....	63
รูปที่ 4.35 รูปตัวอย่างขณะที่เครื่องทดสอบทำการประมวลผลตัวกรองความถี่ต่ำ 3.5kHz.....	63
รูปที่ 4.36 กราฟแสดงผลของแอมพลิจูดตัวกรองความถี่เฉพาะช่วงผ่านคัทออฟ 1.5kHz, 3.5kHz โดยวัดผลจากสโคป.....	64
รูปที่ 4.37 กราฟแสดงผลของเฟสตัวกรองความถี่เฉพาะช่วงผ่านคัทออฟ 1.5kHz, 3.5kHz โดยวัดผลจากสโคป.....	64
รูปที่ 4.38 กราฟแสดงผลของเฟสตัวกรองความถี่เฉพาะช่วงผ่านคัทออฟ 1.5kHz, 3.5kHz จากเครื่องทดสอบ.....	65
รูปที่ 4.39 กราฟแสดงผลของเฟสตัวกรองความถี่สูงผ่านคัทออฟ 1.59kHz จากเครื่องทดสอบ.....	66
รูปที่ 4.40 กราฟแสดงผลของเฟสตัวกรองความถี่สูงผ่านคัทออฟ 1.59kHz จากเครื่องทดสอบ.....	67

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงตำแหน่งขาอินพุตของวงจร A/D และการกำหนดค่าของรีจิสเตอร์ PINSEL.....	16
ตารางที่ 2.2 แสดงตำแหน่งขาอินพุตของวงจร A/D และการกำหนดค่าของรีจิสเตอร์ PINSEL รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการแปลง A/D.....	18
ตารางที่ 2.3 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ RTC ทั้ง 26 ตัว.....	20
ตารางที่ 2.4 แสดงค่าแต่ละบิตของรีจิสเตอร์ CTIME0-CTIME2.....	20
ตารางที่ 2.5 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ I ² C ทั้ง 7 ตัว.....	22
ตารางที่ 2.6 เงื่อนไขที่เป็นค่านำหน้าคำสั่ง.....	24
ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ความถี่ของสัญญาณ ไซน์ที่คำนวณกับสัญญาณที่สร้างได้จริง.....	47



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันการใช้งานตัวกรองความถี่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในงานด้านอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อยอมให้สัญญาณบางความถี่ผ่านออกไป ซึ่งการนำวงจรกรองความถี่ใดๆ ไปใช้งานนั้น วงจรกรองความถี่นั้นจะมีคุณลักษณะของตัวเองซึ่งแตกต่างกันไป คุณลักษณะที่สำคัญนี้คือ ผลตอบสนองทางความถี่ ซึ่งแบ่งเป็นผลของแอมพลิจูดและผลของเฟสที่เปลี่ยนไปเมื่อความถี่ที่เข้ามาเปลี่ยนไป โดยคุณลักษณะนี้จะทำให้เราสามารถจำแนกชนิดของฟิลเตอร์ได้และสิ่งที่สำคัญในวงจรกรองความถี่อีกประการหนึ่งคือ จุดที่เป็นความถี่คัทออฟของวงจรซึ่งจะเป็นตัวบอกว่าตัวกรองความถี่ชนิดนี้ มีจุดการทำงานคัทออฟที่ความถี่ค่าใด จากคุณลักษณะของตัวกรองความถี่และจุดความถี่คัทออฟนี้จะทำให้เราสามารถจำแนกและเลือกใช้งานตัวกรองความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเลือกใช้งานตัวกรองความถี่ได้เหมาะสมกับงานประเภทต่างๆ ที่ต้องการใช้งานตัวกรองความถี่ประเภทกันไป

โดยปกติแล้วการวัดคุณลักษณะของฟิลเตอร์นี้ อาจต้องใช้กระบวนการหลายขั้นตอนในการทดสอบเพื่อหากราฟคุณลักษณะและความถี่คัทออฟ ด้วยสาเหตุนี้เองจึงเป็นที่มาของแนวคิดโครงการนี้ โครงการนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อทำเครื่องทดสอบคุณลักษณะของตัวกรองความถี่และมีขอบเขตในการทำ การทดสอบ โดยทดสอบที่ความถี่ 200 เฮิร์ตถึงความถี่ 20 กิโลเฮิร์ตและความสามารถของเครื่องทดสอบนี้ จะสามารถแสดงกราฟคุณลักษณะของตัวกรองความถี่ ทั้งผลของแอมพลิจูดและผลของเฟส ผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ อีกทั้งยังสามารถบอกชนิดและจุดที่เป็นจุดความถี่คัทออฟของตัวกรองความถี่ได้โดยสามารถทดสอบได้ที่ตัวกรองความถี่ชนิดวงจกรองความถี่สูง (High pass filter) , วงจกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter) และวงจกรองความถี่ผ่านเฉพาะช่วง (Band Pass Filter)

รายละเอียดการดำเนินการของโครงการนั้น จะประกอบด้วยสามส่วนหลักดังต่อไปนี้คือ

1. ส่วนประมวลผลหลักทำหน้าที่ประมวลผลและควบคุมการรับข้อมูลและส่งข้อมูลออกไป โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลอาร์มเซเว่น (ARM7) เบอร์ LPC2119 ทำหน้าที่ประมวลผลหลัก
2. ส่วนที่ใช้ในการสร้างความถี่ ทำหน้าที่ในการสร้างสัญญาณ ไซน์ความถี่ 200 เฮิร์ตถึงความถี่ 20 กิโลเฮิร์ต โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM7 เบอร์ ADUc 7024
3. ส่วนของการแสดงผล โดยรับข้อมูลจากส่วนประมวลผลหลักผ่านทาง RS-232 เพื่อแสดงกราฟคุณลักษณะของตัวกรองความถี่ , ความถี่คัทออฟและชนิดของฟิลเตอร์โดยทำการเขียนโปรแกรมเพื่อสร้างหน้าจอแสดงกราฟนั้น

ซึ่งการดำเนินงานของโครงการนี้มุ่งหวังเพื่อช่วยเพิ่มความสะดวกในการเลือกใช้งานตัวกรองความถี่ ทำให้สามารถทราบคุณลักษณะของตัวกรองความถี่ได้ในเวลาอันรวดเร็ว ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและประหยัดเวลาในการทดสอบอุปกรณ์

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM

2.1.1 ประวัติความเป็นมาของซีพียู ARM7

บริษัท Acom Computer Limited ในเมืองแคมบริดจ์ ประเทศอังกฤษเป็นบริษัทแรกที่ออกแบบซีพียู ARM ในช่วงเดือนตุลาคม ค.ศ 1983 ถึงเมษายน ค.ศ.1985 โดยสร้างต้นแบบของซีพียู ARM ในวันที่ 26 เมษายน ค.ศ. 1985 จากนั้นได้ถูกส่งไปผลิตที่บริษัท VLSI Technology Inc ประเทศสหรัฐอเมริกา

บริษัท Acom เป็นบริษัทชั้นนำผู้ผลิตเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ BBC Microcomputer ที่ได้รับความนิยมแพร่หลายอย่างมากในประเทศอังกฤษตั้งแต่เริ่มวางจำหน่ายในเดือน มกราคม ค.ศ. 1982 เครื่อง BBC Microcomputer เป็นเครื่องที่ทำงานโดยใช้ซีพียู 8 บิต เบอร์ 6502 (ซีพียู 6502 ยังได้รับการนำไปใช้ในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ APPLE ที่ได้รับความนิยมอย่างมากในประเทศสหรัฐอเมริกาและแพร่หลายไปทั่วโลก)

หลังจากที่ประสบความสำเร็จกับเครื่อง BBC microcomputer แล้วทางบริษัท Acom ได้คิดพัฒนาซีพียูสำหรับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ยุคถัดไป โดยช่วงที่กำลังพัฒนาในปี 1983 นั้นซีพียู 16 บิตมีการใช้งานแบบ CISC (Complex Instruction Set) ที่มีความซับซ้อนมาก ทำงานช้ากว่าหน่วยความจำที่มีในยุคนั้น ทางวิศวกรรมของบริษัทจึงคิดออกแบบซีพียูเพื่อใช้งานทางการค้าเอง ซึ่งถ้าออกแบบเองทั้งหมดจะต้องใช้แรงงานมาก ทางทีมวิศวกรรมผู้ออกแบบ จึงได้นำซีพียู Berkeley RISC I ซึ่งเป็นซีพียูแบบ RISC (Reduced Instruction Set Computer) ขนาด 32 บิต ที่ถูกออกแบบโดยนักศึกษาปริญญาโทของมหาวิทยาลัย Berkeley ที่เป็นซีพียูแบบง่าย ๆ ไม่ซับซ้อน ใช้งานด้านการศึกษามาพัฒนาต่อให้เป็นซีพียู 32 บิตออกแบบประสงค์เพื่อใช้งานทางการค้า ซีพียู ARM มีข้อดีในเรื่องสถาปัตยกรรมที่ไม่ซับซ้อน ประหยัดพื้นที่ในการผลิตชิปซีพียู กินพลังงานน้อย โดยที่ยังคงมีสมรรถนะสูง

หลังจากที่ออกแบบและทดสอบจนพอใจแล้ว ได้มีการก่อตั้งบริษัท Advance RISC Machines.Ltd ขึ้นในเดือนพฤศจิกายนปี ค.ศ. 1990 ในประเทศอังกฤษ โดยเป็นบริษัทร่วมทุนระหว่างบริษัท Apple และ VLSI Technology เป็นผู้ลงทุนโดยบริษัท Acom เป็นผู้อนุญาตให้ใช้เทคโนโลยีและ อินทิมวิศวกรรมผู้ออกแบบจำนวน 12 คน

ซีพียู ARM รุ่นแรกที่ออกจำหน่ายในปี 1991 เป็นซีพียูตระกูล ARM6 จัดว่าเป็นซีพียู RISC บิตแบบฝังตัว (embedded RISC) ตัวแรกของโลก นับเป็นการสร้างมาตรฐานใหม่ให้กับวงจรซีพียู 32 บิต หลังจากนั้นก็มีบริษัทผู้ผลิตซีพียูตระกูล ARM ในปัจจุบันมีซีพียู ARM ต่างๆ ดังนี้ ARM7 , ARM9 , ARM9E , ARM10 และ ARM11

ในยุคแรกซีพียู ARM เป็นซีพียู RISC 32 บิต การทำงานจำเป็นต้องต่อกับหน่วยความจำและอุปกรณ์ภายนอก เมื่อมีบริษัทผู้ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์จำนวนมากได้นำลิขสิทธิ์ของซีพียู ARM ไปพัฒนาต่อได้มีการเพิ่มหน่วยความจำภายในทั้งรอมและแรม และเพิ่มโมดูลอุปกรณ์เสริมต่างๆ เช่น วงจรสื่อสารแบบอนุกรม วงจรแปลงดิจิทัลเป็นแอนะล็อก ฯลฯ ทำให้กลายเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ 32 บิต เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิตที่กินพลังงานต่ำสามารถทำงานได้โดยใช้ชิปไอซีเพียงตัวเดียวโดยไม่ต้องต่ออุปกรณ์เพิ่มเติมภายนอก ทำให้มีการนำไปใช้ในงานคอมพิวเตอร์ฝังตัว (embedded computer) มากขึ้น

2.1.2 สถาปัตยกรรมซีพียู ARM7

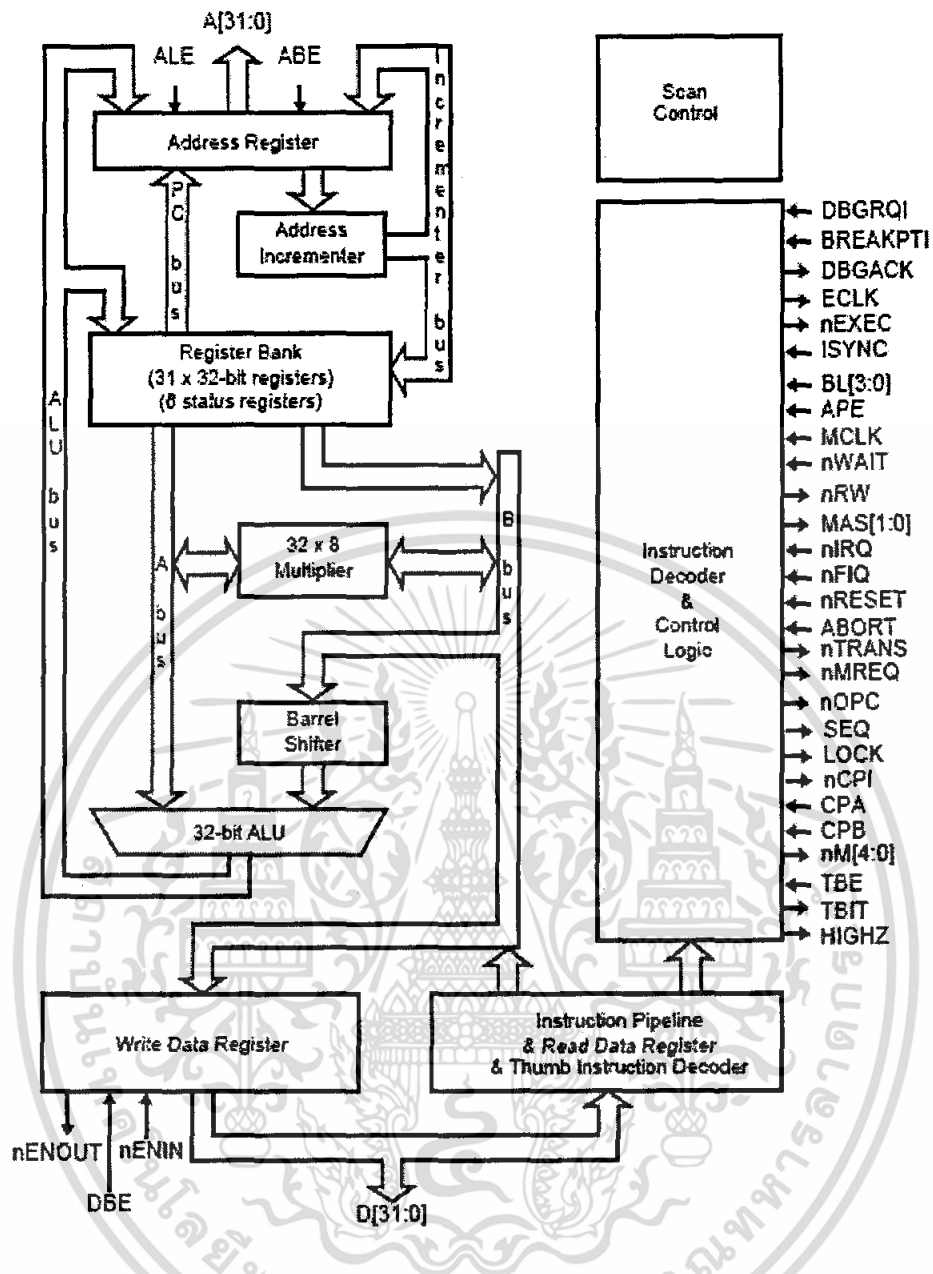
สถาปัตยกรรมของ ARM7 เป็นซีพียูแบบ RISC ขนาด 32 บิต ภายในมีบัสขนาด 32 บิต ตัวเดียวที่ใช้สำหรับรับส่งข้อมูลและคำสั่ง ชุดคำสั่งจะมีขนาด 32 บิตคงที่ ในขณะที่ข้อมูลสามารถเลือกได้ว่าจะมีขนาด 8 , 16 หรือ 32 บิต โดยแสดงแกนกลาง (Core) ของซีพียู ARM7 ได้ดังรูปที่ 2.1

โครงสร้างของ ARM7 จะเป็นแบบที่เรียบง่าย มีชุดคำสั่งไม่มากนัก ประหยัดพื้นที่สารกึ่งตัวนำที่ใช้สร้างและประหยัดพลังงาน

สถาปัตยกรรมของ ARM7 จะเป็นแบบ load-and-store ในการประมวลผลข้อมูลใดๆ ต้องกระทำผ่านทางรีจิสเตอร์ เริ่มต้นด้วยการโหลดค่าจากหน่วยความจำเก็บในรีจิสเตอร์ นำค่ามาประมวลผล เมื่อเสร็จแล้วจะเขียนค่าเก็บในหน่วยความจำดั้งเดิม

รีจิสเตอร์ของ ARM7 ที่ใช้งานได้สำหรับผู้ใช้มีทั้งหมด 16 ตัว คือ R0 – R15 โดยทุกตัวมีขนาด 32 บิต โดย R0 – R12 เป็นรีจิสเตอร์ทั่วไปที่ไม่ได้กำหนดหน้าที่การทำงานพิเศษ ส่วน R13 ทำหน้าที่เป็นสแต็กพอยน์เตอร์ (SP) R14 ทำหน้าที่เป็นลิงค์รีจิสเตอร์ (LR) และ R15 ทำหน้าที่เป็นโปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC)





รูปที่ 2.1 แกนกลางของซีพียู ARM7

2.1.3 ความหมายของ ARM7TDMI TDMI

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM7 ที่ใช้นี้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7TDMI ภายในมีแกนกลางเป็นซีพียู ARM7 ที่เพิ่มความสามารถอีก 4 ประเภทที่นำตัวอักษรมาเขียนเป็นชื่อย่อ ได้แก่

T : สนับสนุนคำสั่ง 16 บิตที่มีชื่อว่า Thumb instruction set

D : สนับสนุนการดีบัก (debug)

M : สนับสนุนการคูณแบบยาว (long multiplies)

I : มีโมดูล Embedded ICE เพื่อสนับสนุนการดีบักภายในซีพียู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thumb mode (T)

ชุดคำสั่งของ ARM มีขนาด 32 บิต ในซีพียู ARM7TDMI จะสนับสนุนชุดคำสั่งประเภทที่สองที่บีบอัดคำสั่งให้มีขนาด 16 บิตเรียกว่า Thumb instruction set เมื่อทำงานในโหมดนี้จะทำงานกับหน่วยความจำขนาด 16 บิตได้รวดเร็วขึ้นและบีบอัดโปรแกรมให้มีขนาดเล็กลง ทำให้สามารถนำ ARM7TDMI ไปใช้กับงานสมองฝังตัวได้ดี

อย่างไรก็ตาม Thumb mode มีข้อจำกัดคือ เมื่อใช้กับงานประเภทเดียวกันมันจะใช้จำนวนคำสั่งมากกว่าในโหมด 32 บิต ทำให้ทำงานช้ากว่า ดังนั้นสำหรับงานความเร็วสูงยังคงต้องใช้โหมด 32 บิตปกติ ประการที่สองใน Thumb instruction set ไม่มีคำสั่งที่จำเป็นสำหรับจัดการกับเอ็กเซพชัน (Exception handling)

Long multiplies (M)

ในชุดคำสั่งของ ARM7TDMI มีการเพิ่มคำสั่งพิเศษอีก 4 คำสั่งที่สามารถคูณเลขขนาด 32x32 บิตได้เป็นผลลัพธ์เป็น 64 บิตและการคูณสะสมค่า (multiplication accumulation MAC) โดยสามารถคูณข้อมูลขนาด 32 x 32 บิตจำนวนหลายชุดได้ผลลัพธ์เป็น 64 บิตทำให้สามารถทำการคำนวณคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้ชิปประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital signal processing:DSP) ช่วย

Debugging (D)

ภายในมีส่วนขยายของฮาร์ดแวร์เพื่อรองรับการดีบั๊กโปรแกรมได้ ในขณะที่ทำงานซึ่งทำงานกับพอร์ต JTAG และ TAP Controller

EmbeddedICE (I)

ส่วนของ EmbeddedICE ช่วยเพิ่มฟังก์ชันการทำงานการดีบั๊กโปรแกรมและภายใน โมดูลนี้มีเบรกพอยต์และวอร์ทซ์พอยต์รีจิสเตอร์ ทำให้สามารถพักการทำงานของโปรแกรมเพื่อบั๊ก โดยการทำงานเราสามารถควบคุมรีจิสเตอร์เหล่านี้ผ่านทาง JTAG test port และซอฟต์แวร์ดีบั๊กกึ่งทูลล์ที่ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์เมื่อพบเบรกพอยต์หรือวอร์ทซ์พอยต์ตัวซีพียูจะหยุดการทำงานและเข้าสู่สถานะดีบั๊ก จะสามารถดูค่าของรีจิสเตอร์หรือค่าของหน่วยความจำทั้งแบบ FLASH/EEPROM , SRAM และค่าของรีจิสเตอร์ที่จัดเทียบตำแหน่งกับหน่วยความจำ (Memory Mapped Register)

2.1.4 การใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-ARM7 STAMP LPC2119

ET-ARM7 STAMP LPC2119 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล ARM7TDMI-S Core ซึ่งเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 16/32 บิต ขนาด 64 ขา แบบใช้พลังงานต่ำเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ประจำบอร์ด ซึ่งบอร์ดนี้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ LPC2119 ของฟิลลิปส์ โดยการออกแบบโครงสร้างของบอร์ดนั้นจะเน้นเรื่องการจัดวางบอร์ดให้มีขนาดเล็กเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน โดยได้นำไมโครคอนโทรลเลอร์มาจัดวางร่วมกับอุปกรณ์พื้นฐานที่จำเป็นและจัดขาออกมาให้ใช้งานภายนอก ซึ่งการจัดเรียงขาสัญญาณจะทำการจัดเรียงอย่างเป็นระเบียบเพื่อให้สามารถต่อใช้งานได้ โดยสะดวก ตัวบอร์ดใช้ไฟ +3.3V สามารถรองรับอินพุตและเอาต์พุตที่เป็นสัญญาณ 5V ได้ ตัวบอร์ดมีคอนเน็คเตอร์ UART0 (RS-232) จำนวน 1 พอร์ต สำหรับทำการดาวน์โหลด Hex File หรือใช้งานในการสื่อสารพอร์ตอนุกรมผ่าน RS-232 ในโปรแกรมแอปพลิเคชันที่เขียนขึ้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

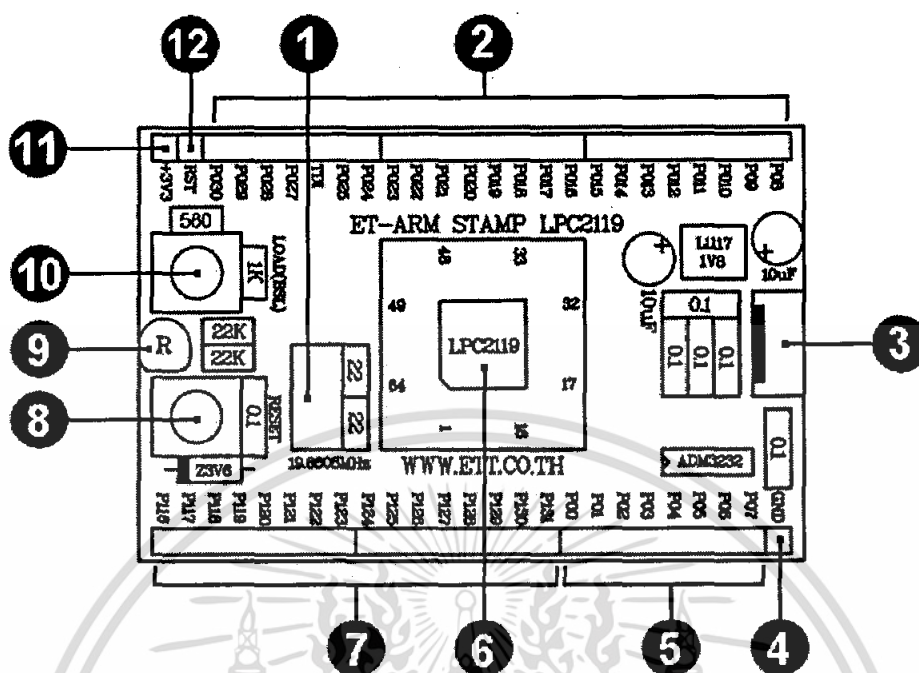
2.1.5 คุณสมบัติของบอร์ด ET-ARM7 STAMP LPC2119

1. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM7TDMI-S เบอร์ LPC2119 ของฟิลลิปส์ ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 16/32 บิต
2. ใช้คริสตอล 19.6608 MHz โดยไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถประมวลผลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 58.9824 MHz เมื่อใช้งานร่วมกับ Phase-Locked Loop (PLL) ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เอง
3. รองรับการโปรแกรมแบบ In-System Programming (ISP) และ In-Application Programming (IAP) ผ่านทาง On-Chip Boot-Loader Software ผ่านทาง UART0 (RS-232)
4. แหล่งจ่ายไฟใช้แรงดันไฟฟ้า +3.3V เท่านั้น (3.0V – 3.6V + 10% Error)
5. ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชขนาด 128 KB , หน่วยความจำข้อมูล StaticRAM ขนาด 16 KB
6. จำนวน GPIO สูงสุดถึง 46 I/O Pins สามารถเชื่อมต่อกับระบบอินพุต/เอาต์พุตที่เป็นสัญญาณ 5V ได้ ซึ่ง

ขาสัญญาณ GPIO จะมีการใช้งานร่วมกันของ Function อื่นๆอีกดังนี้

- SPI จำนวน 2 ช่อง , I2C 1 ช่อง , CAN จำนวน 2 ช่อง , 4-Channel 10 Bit A/D Converter
 - UART แบบ Full-Duplex จำนวน 2 ช่อง คือ UART 0 มาตรฐาน 4 Pin ETT เป็นสัญญาณระดับ RS-232 Level และ UART 1 เป็นสัญญาณระดับ TTL Level
 - ไทเมอร์ขนาด 32 บิตจำนวน 2 ช่อง(4 Input Capture/4 Output Compare) , PWM Output , Watchdog Timer , Real Time Clock
7. ทนอุณหภูมิใช้งานระหว่าง -40 ถึง +85 องศาเซลเซียส
 8. ขนาด 1,575 x 2,559 มิลลิเมตร (~ 40 x 65 มิลลิเมตร)
 - ระยะขา ความกว้าง 1,500 มิลลิเมตร ความยาว 2,500 มิลลิเมตร(~ 38.1 x 63.5 มิลลิเมตร)
 - ระยะระหว่างขา 2 x 25 Pins I/O คอนเน็คเตอร์ 100 มิลลิเมตร (~ 2.54 มิลลิเมตร)

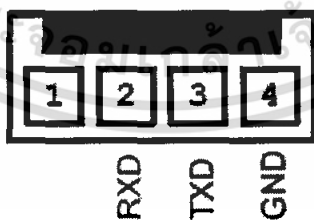
2.1.6 โครงสร้างบอร์ด ET-ARM7 STAMP LPC2119



รูปที่ 2.2 โครงสร้างบอร์ด ET-ARM7 STAMP LPC2119

- หมายเลข 1 คือ คริสตัล 19.6608 MHz หมายเลข 6 คือ CPU ARM7 LPC2119 ของฟิลลิปส์
- หมายเลข 2 และ 5 คือ GPIO 0 ตั้งแต่ P0.0 – P0.25 และ P0.27 – P0.30 จำนวนทั้งหมด 30 ขา สามารถรองรับอุปกรณ์ที่มีสัญญาณอินพุต/เอาต์พุตเป็น 3.3V และ 5V ได้
- หมายเลข 3 คือ UART 0 หรือพอร์ตอนุกรมสำหรับติดต่อกับอุปกรณ์มาตรฐาน RS-232 และเป็น ISP Download Connector สำหรับโปรแกรม Hex file ลงบอร์ด

ET-RS232



รูปที่ 2.3 ขาของพอร์ตอนุกรม

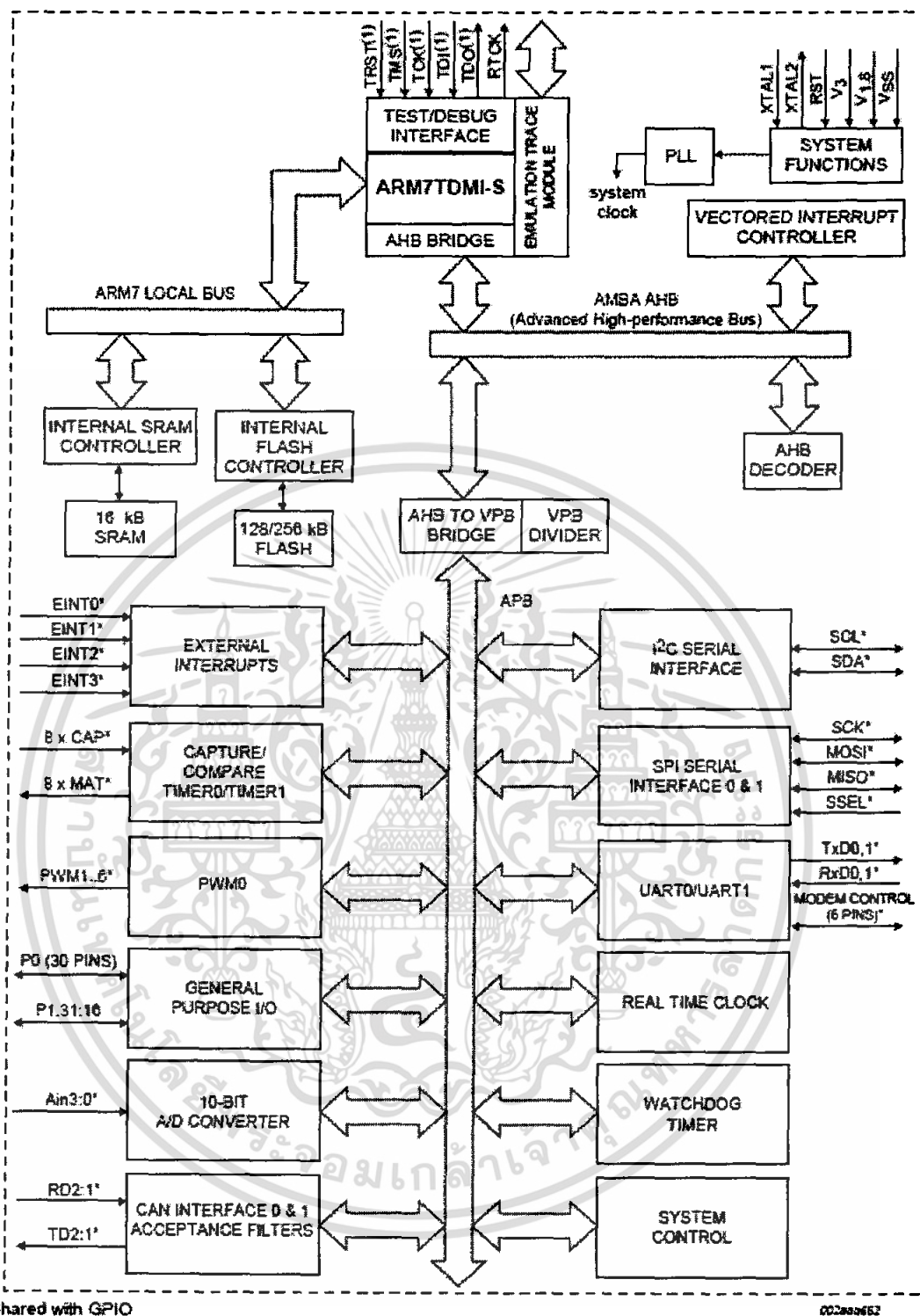
- หมายเลข 4 คือ จุดต่อ GND ส่วน หมายเลข 11 คือ จุดต่อแหล่งจ่ายไฟ +3.3V ของบอร์ด
- หมายเลข 7 คือ GPIO 1 ตั้งแต่ P1.16 – P1.31 จำนวนทั้งหมด 16 ขา สามารถรองรับอุปกรณ์ที่มีสัญญาณอินพุต/เอาต์พุตเป็น 3.3V และ 5V ได้
- หมายเลข 8 คือ สวิตช์รีเซ็ต ส่วนหมายเลข 10 คือ สวิตช์ LOAD (BSL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หมายเลข 9 คือ LED สีแดง แสดงสถานการณ์ทำงานของแหล่งจ่ายไฟ
- หมายเลข 12 คือ จุดต่อสัญญาณรีเซ็ต สำหรับรีเซ็ตอุปกรณ์ภายนอก

2.1.7 คุณสมบัติของ LPC2119

- หน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชขนาด 128 ไบต์ , แรมภายในขนาด 16 กิโลไบต์
- ใช้คริสตอล 19.6608 MHz สามารถทำงานที่ความเร็วสูงสุด 58.9824 MHz
- โปรแกรมแบบ IN-SYSTEM PROGRAMING (ISP) ผ่านทาง ON-CHIP-BOOT-LOADER SOFTWARE ทางพอร์ต UART 0 โดยต่อเข้ากับ PORT RS-232 ของเครื่องคอมพิวเตอร์พีซี
- 46 I/O PIN สามารถต่อกับ I/O ที่เป็นระดับสัญญาณ 5V ได้
- UART จำนวน 2 CHANNEL UART 0 แบบ 4 PIN ETT MAX232 ON BOARD , UART 1 แบบ สัญญาณ TTL
- SPI จำนวน 2 CHANNEL , CAN จำนวน 2 CHANNEL , REAL TIME CLOK
- 4 CHANNEL 10 BIT A/D CONVERTER , PWM 6 OUTPUT , WATCHDOG TIMER
- แหล่งจ่ายไฟใช้แรงดัน 3.3 V บนบอร์ดมีส่วนของแหล่งจ่ายไฟ 1.8 V
- บอร์ด ET-ARM STAMP LPC2119 วางตัวบนหัว PIN HEADER ด้านละ 25 PIN รวม 50 PIN ระยะห่าง 2.54 มิลลิเมตร สามารถใส่ลงบนบอร์ดทดลอง ET-ARM 7 START KIT V1 , V1 EXP หรือต่อเข้ากับ PROJECTBOARDก็ได้
- ขนาด 40 x 65 มิลลิเมตร
- ชุด ET-ARM STAMP LPC2119 ประกอบด้วยบอร์ด ARM STAMP LPC2119 , สาย DOWNLOAD ET-RS-232 9 PIN , แผ่น CD-ROM คู่มือและโปรแกรม RUN บน WINDOWS 98/ME/2000/XP



(1) When test/debug interface is used, GPIO/other function sharing these pins are not available.

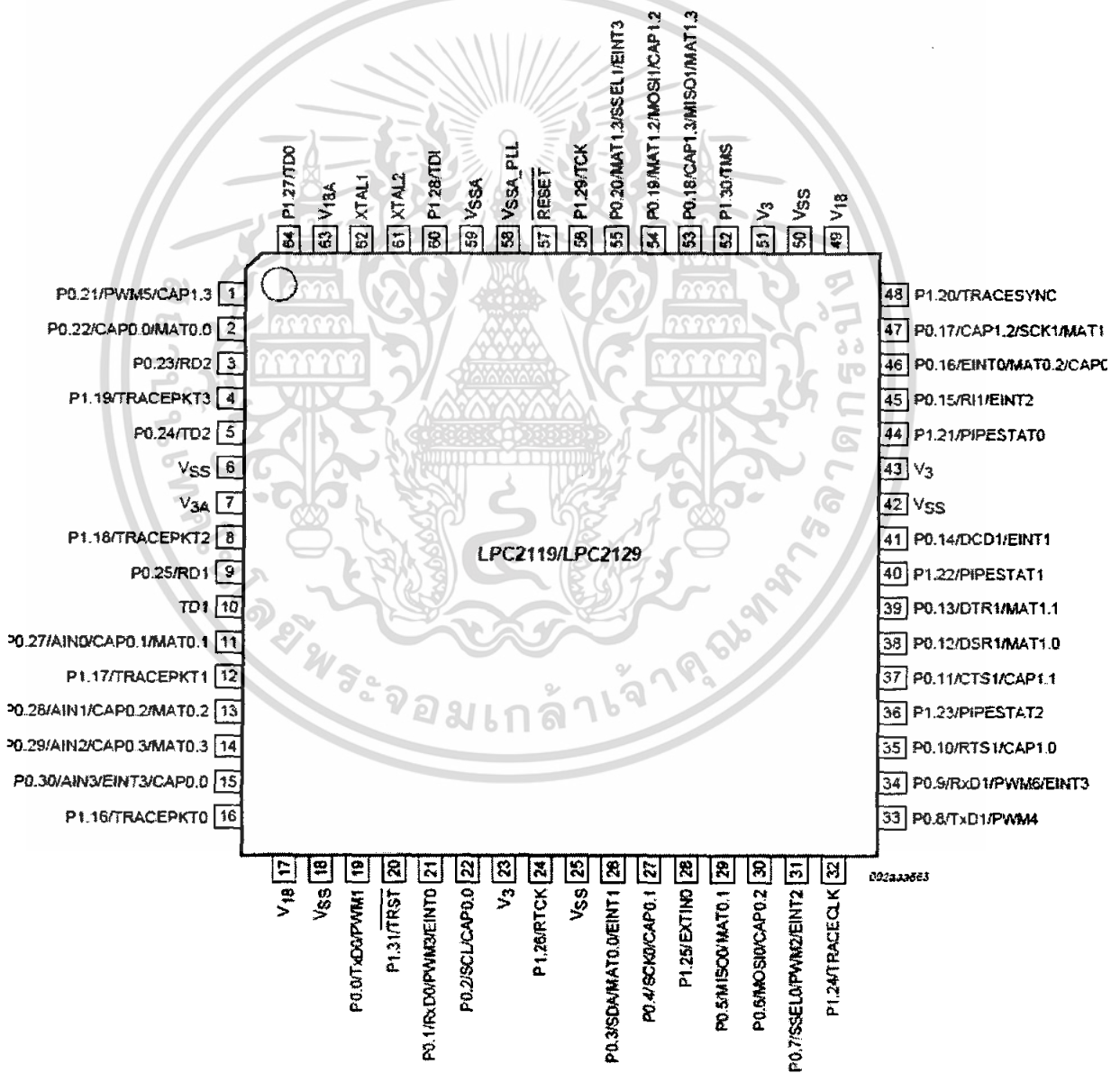
รูปที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ LPC2119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปส่วนบนเป็นไมโครโปรเซสเซอร์ ARM7TDMI-S ซึ่งเป็นหัวใจหลัก ด้านซ้ายมือจะเป็นส่วนของ AMR7 Local Bus ที่ใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำแบบแฟลชที่ใช้กับโปรแกรมและหน่วยความจำ SRAM ที่ใช้เก็บข้อมูล ส่วนที่ใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกมีการติดต่อผ่านบัส AMBA AHB (Advanced High - performance Bus) ซึ่งใน LPC2119 ไม่สามารถต่อกับหน่วยความจำภายนอกได้

ในการติดต่อกับอุปกรณ์รอบข้างเช่น GPIO, I2C, SPI, UART ฯลฯ จะติดต่อผ่านทางบัส VPB (VLSI peripheral BUS) ซึ่ง VPB บัสนี้ต่อกับ AHB บัสผ่าน AHB to VPB Bridge โดยสามารถปรับลดค่าความถี่ของ VPB บัสให้ทำงานช้ากว่าความถี่ของซีพียูได้เพื่อให้ทำงานร่วมกับอุปกรณ์เสริมต่างๆ ที่มีความเร็วต่ำกว่าได้

2.1.8 การจัดขาของ LPC2119



รูปที่ 2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM7 เบอร์ LPC2119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากเกิดการรีเซ็ต ขาพอร์ตทั้งหมดจะถูกกำหนดให้ทำหน้าที่เป็นอินพุต โดยขาแต่ละขาจะมีหน้าที่การทำงานหลายหน้าที่ดังตัวอย่างขาที่ 14 สามารถทำหน้าที่ได้ 4 หน้าที่ คือ เป็น P0.29/AD0.2/CAP0.3/MAT0.3 ถ้าเป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตจะเรียกว่าเป็นอินพุตเอาต์พุตเนกประสงค์ (General Purpose Input: GPIO) ก็คือขา P0.29 ถ้าใช้วงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัลขานี้ก็คือ AD0.2 ซึ่งเป็นขาอินพุตสำหรับสัญญาณแอนะล็อก ADC0 อินพุตสอง ถ้าใช้งานไทมเมอร์ 0 ขานี้จะเป็น CAP0.3 คือขาอินพุตแคปเจอร์สำหรับไทมเมอร์ 0 แชนแนล 3 (Capture input for time 0, Chana13) หรือเป็น MAT0.3 เป็นแมตช์เอาต์พุตสำหรับไทมเมอร์ 0 แชนแนล 3 (Match output for time 0, Chana13)

2.2 การใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-BASE ARM7024 (ADUc7024)

ET-BASE ARM7024 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล ARM7 ขนาด 64 ขา ซึ่งเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ ADUC7024 ของแอนะล็อกดีไวส์ เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ประจำบอร์ด โดยไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นนี้จะบรรจุอยู่ในตัวถังแบบ 64 Pin LQFP โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนี้จะมียุคเด่น คือ ความสามารถในการเชื่อมต่อกับสัญญาณแบบแอนะล็อก ซึ่งมีทั้ง ADC ขนาด 12 บิตจำนวน 10 ช่องและ DAC ขนาด 12 บิตจำนวน 2 ช่องนอกจากนี้แล้วความสามารถทางด้านของความเร็วในการประมวลผลก็ถือว่าไม่ด้อยกว่าตัวอื่นๆ ซึ่งสามารถทำงานได้ด้วยความเร็วสูงสุด 41.78 MHz โดยใช้คริสตอล 32.768KHz ร่วมกับวงจรควบคุมความถี่แบบ Phase Lock Loop ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้แล้วยังมีความเข้ากันได้กับอุปกรณ์พื้นฐานต่างๆ ที่จำเป็นต่อการใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชขนาด 62 กิโลไบต์และหน่วยความจำใช้งานแบบแรม ซึ่งมีมากถึง 8 กิโลไบต์ ส่วนในด้านของอุปกรณ์ Peripheral นั้นก็พบว่าครบถ้วนเหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมและประมวลผลต่างๆ ได้เป็นอย่างดี โดยจะมีทั้ง SPI , UART , Watchdog , Timer/Counter , PWM โดยการออกแบบโครงสร้างของบอร์ดนั้นจะเน้นเรื่องขนาดของบอร์ดให้มีขนาดเล็กเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานและสะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรม

2.2.1 คุณสมบัติของบอร์ด

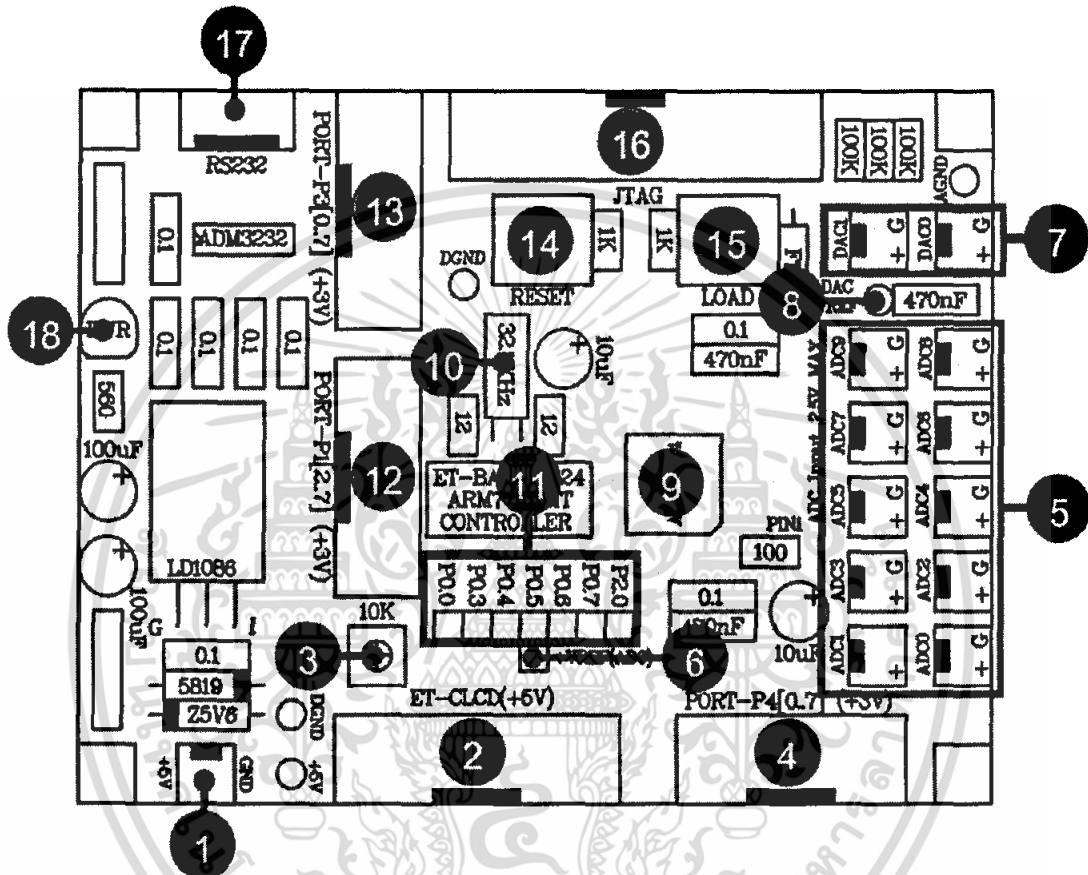
เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM7TDMI Core เบอร์ ADUc7024 ของแอนะล็อกดีไวส์เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ประจำบอร์ด โดยเลือกใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบคริสตอล ค่า 32.768 กิโลเฮิร์ต ซึ่งสามารถกำหนดการทำงานร่วมกับ Phase Lock Loop ให้ MCU สามารถประมวลผลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 41.78 MHz ได้ด้วย โดยคุณสมบัติเด่นๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้แก่

- มีหน่วยความจำแบบแฟลช สำหรับเขียนโปรแกรม 62 กิโลไบต์และ มีแรมขนาด 8 กิโลไบต์
- มีพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตจำนวน 5 พอร์ต คือ P0(6 Bit) , P1(8 Bit) , P2(1 Bit) , P3(8 Bit) และ P4(8 Bit)
- มีวงจรสื่อสารอนุกรม UART จำนวน 1 พอร์ตและมีวงจรสื่อสาร SPI จำนวน 1 พอร์ต
- มีวงจรไทมเมอร์/เคาน์เตอร์จำนวน 4 ชุด
- มีวงจร ADC ขนาด 12 บิตจำนวน 10 ช่องและ DAC ขนาด 12 บิตจำนวน 2 ช่อง
- มีวงจร Watchdog , Power-ON Reset , PWM
- มีขั้วต่อสัญญาณอินพุต/เอาต์พุตแบบ TTL แบบ Header 2x5 จำนวน 3 ชุด (P1 , P3 และ P4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีขั้วต่อแอลซีดีแบบ Header 2x7 รองรับการเชื่อมต่อกับ LCD Character (เชื่อมต่อแบบ 4 บิต)
- มีขั้วต่อใช้งาน RS-232 สำหรับใช้งานและ สำหรับดาวน์โหลดผ่าน RS-232
- ใช้แหล่งจ่ายไฟขนาด +5VDC ร่วมกับ Regulate 3.3V on Board พร้อมแอลอีดีสถานะ Power
- ขนาดเล็กเพียง 8 x 6 เซนติเมตร

2.2.2 โครงสร้างบอร์ด ET-BASE ARM7024 (ADUC7024)



รูปที่ 2.6 โครงสร้างบอร์ด ET-BASE ARM7024 (ADUC7024)

- หมายเลข 1 คือ ขั้วต่อแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจรของบอร์ด ใช้กับแหล่งจ่ายไฟตรง +5VDC
- หมายเลข 2 คือ พอร์ตแอลซีดีชนิด Character Type ใช้การเชื่อมต่อแบบ 4 บิต ผ่าน Port-P4[0..6]
- หมายเลข 3 คือ ตัวต้านทานสำหรับปรับค่าความสว่างให้แอลซีดี
- หมายเลข 4 คือ พอร์ต P4 มี ขนาด 8 บิต คือ P4[0..7]
- หมายเลข 5 คือ ขั้วต่อ ADC จำนวน 10 ช่อง คือ ADC[0..9]
- หมายเลข 6 คือ จุดต่อแรงดันอ้างอิงให้ ADC จากภายนอก
- หมายเลข 7 คือ ขั้วต่อ DAC จำนวน 2 ช่อง คือ DAC[0..1]
- หมายเลข 8 คือ จุดต่อแรงดันอ้างอิงให้ DAC จากภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หมายเลข 9 คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ ADUc7024 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM7TDMI จากแอนะล็อกดีไวส์
- หมายเลข 10 คือ คริสตอล ค่า 32.768 กิโลเฮิร์ต
- หมายเลข 11 คือ พอร์ต P0 มี ขนาด 6 บิต คือ P0[0,3,4,5,6,7] และ Port-P2 มี 1 บิต คือ P2[0]
- หมายเลข 12 คือ Port-P1 มี ขนาด 6 บิต คือ P1[2..7]
- หมายเลข 13 คือ Port-P3 มี ขนาด 8 บิต คือ P3[0..7]
- หมายเลข 14 คือ สวิตช์รีเซ็ตใช้สำหรับรีเซ็ตการทำงานของชิพ
- หมายเลข 15 คือ สวิตช์โหนดใช้ร่วมกับรีเซ็ตสำหรับตั้งค่าความโหนด HEX ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์
- หมายเลข 16 คือ ขั้วต่อ ARM-JTAG สำหรับดีบักโปรแกรม
- หมายเลข 17 คือ ขั้วต่อ RS-232 สำหรับใช้งานทั่วไปและความโหนด HEX ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์
- หมายเลข 18 คือ แอลอีดีเพาเวอร์ใช้แสดงสถานะของแหล่งจ่ายไฟ +SVDC

2.2.3 ขั้วต่อสัญญาณต่างๆ

สำหรับขั้วต่อสัญญาณของพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตจากไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น จะถูกออกแบบและจัดเตรียมไว้ผ่านทางขั้วต่อแบบ IDE Header ขนาด 10 ขา (2x5) จำนวน 3 ชุด คือ พอร์ต P1 , พอร์ต P3 และ PORT-P4 ตามลำดับ ส่วน พอร์ต P0 และพอร์ต P2 นั้นจะต่อเป็นเฮดเคอร์ขนาด 1x7 ไว้ โดยที่ขั้วต่อสัญญาณแต่ละชุด จะประกอบไปด้วยสัญญาณของอินพุต/เอาต์พุตที่เชื่อมต่อมาจากขาสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยตรงทั้งหมด โดยจุดเชื่อมต่อกับสัญญาณภายนอกของบอร์ด มีดังนี้

- ขั้วต่อแหล่งจ่ายขนาด +SVDC
- ขั้วต่อพอร์ต P0 มี 6 บิต คือ P0[0,3,4,5,6,7]
- ขั้วต่อพอร์ต P1 มี 6 บิต คือ P1[2,3,4,5,6,7] ส่วน P1.0 และ P1.1 จะจะถูกเชื่อมต่อผ่านวงจร

Line Driver (MAX232) สำหรับแปลงระดับสัญญาณจากระดับลอจิก TTL ของไมโครคอนโทรลเลอร์ให้เป็นสัญญาณแรงดันตามมาตรฐานของ RS-232 โดยสัญญาณที่ได้รับการแปลงเป็นแบบ RS-232 จะถูกเชื่อมต่อ ไปรอไว้ที่ขั้วต่อแบบ CPA ขนาด 4 PIN (RS-232)

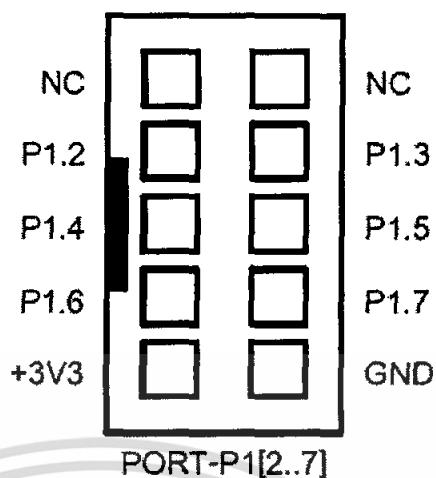
- ขั้วต่อพอร์ต P2 มีขนาด 1 บิต คือ P2.0
- ขั้วต่อพอร์ต P3 มีขนาด 8 บิต คือ P2[0,1,2,3,4,5,6,7]
- ขั้วต่อพอร์ต P4 มีขนาด 8 บิต คือ P4[0,1,2,3,4,5,6,7] โดยมีการต่อสัญญาณไปยังขั้วแอลอีดีด้วย

จำนวน 7 บิต คือ P4[0,1,2,3,4,5,6] ตามลำดับ

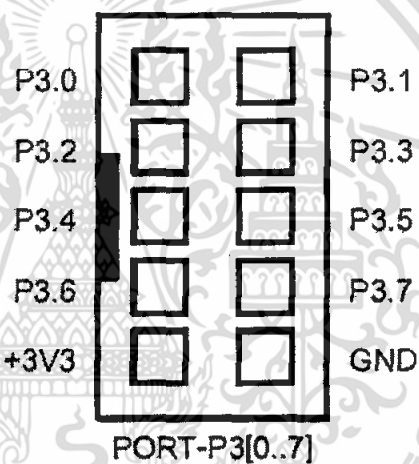
- ขั้วต่อ ADC มีขนาด 10 ช่อง คือ ADC0-ADC9 โดยรับสัญญาณแอนะล็อกได้ระหว่าง 0-2.5V
- จุดรับแรงดันอ้างอิงของ DAC (DAC Reference) จากภายนอกขนาด 0-3V
- ขั้วต่อ DAC มีขนาด 2 ช่อง คือ DAC0 , DAC1 โดยสามารถสร้างสัญญาณแอนะล็อกได้ 0-2.5V
- จุดรับแรงดันอ้างอิงของ ADC (+Vref ADC) จากภายนอกขนาด 0-2.5V
- ขั้วต่อ ARM-JATG
- ขั้วต่อสัญญาณ RS-232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

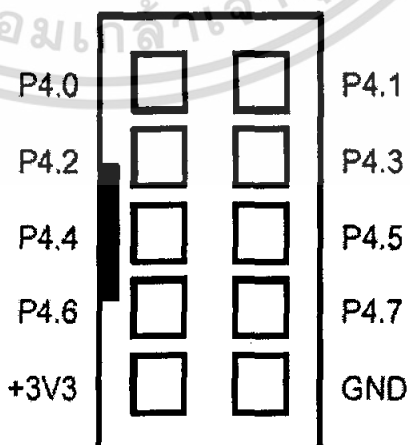
พอร์ต P1 มีขนาด 6 บิต



พอร์ต P3 มีขนาด 8 บิต



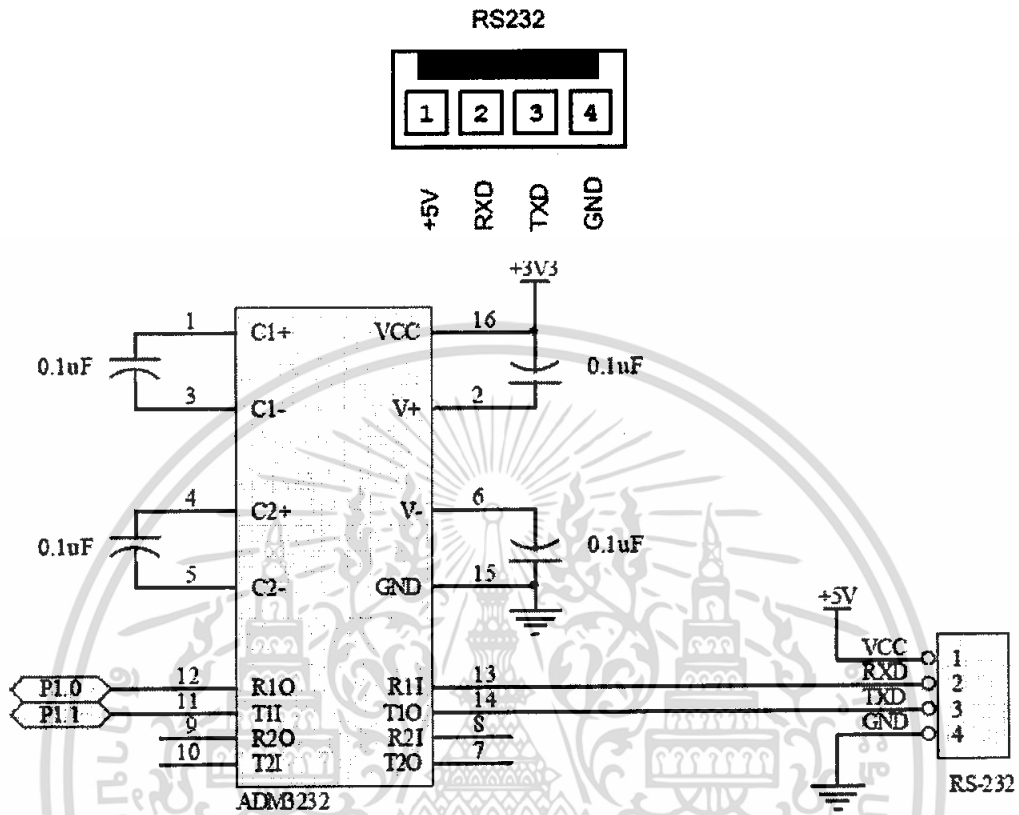
พอร์ต P4 มีขนาด 8 บิต



รูปที่ 2.7 พอร์ตอินพุตเอาต์พุตของLPC2119

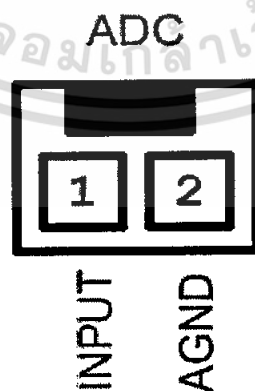
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอร์ต RS-232 เป็นสัญญาณ RS-232 ซึ่งผ่านวงจรแปลงระดับสัญญาณ MAX232 เรียบร้อยแล้ว สามารถใช้เชื่อมต่อกับสัญญาณ RS-232 เพื่อรับส่งข้อมูล นอกจากนี้แล้วยังสามารถใช้งานร่วมกับสวิทช์ PSEN และ สวิทช์รีเซ็ต เพื่อทำการดาวน์โหลดแบบ Manual ได้ด้วย



รูปที่ 2.8 แสดงวงจรส่วนที่เชื่อมต่อกับ RS232

ขั้วต่อ DAC0 และ DAC1



รูปที่ 2.9 แสดงขั้วต่อ DAC0 และ DAC1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 วงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล LPC2000 จะมีวงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัลซึ่งต่อไปจะใช้ตัวอักษรย่อว่า A/D ความละเอียด 10 บิตแบบ successive approximation อย่างน้อยหนึ่งวงจร โดยมีความเร็วสูงสุดในการแปลงสัญญาณถึง $2.44 \mu s$ หรือคิดเป็นความเร็ว 410 *ksps* ภายใน LPC2138 มีวงจร A/D จำนวน 2 วงจรโดยแบ่งเป็น AD0 มีขาอินพุต 6 ขาคือ AD0.7-AD0.6 และ AD0.4-AD0.1 ส่วน AD1 มีอินพุต 8 ขาคือ AD1.7 - AD1.0 ทำให้มีขาต่อสำหรับวัดแรงดันแอนะล็อกได้สูงสุดถึง 14 ขา ซึ่งต้องกำหนดการทำงานที่รีจิสเตอร์ PINSEL0 และ PINSEL1 ดังตารางที่ 2.1

A/D	ขาพอร์ต	รีจิสเตอร์	บิต	ค่าประจำบิต
AD0.1	P0.28	PINSEL1	25:24	01
AD0.2	P0.29	PINSEL1	27:26	01
AD0.3	P0.30	PINSEL1	29:28	01
AD0.4	P0.25	PINSEL1	19:18	01
AD0.6	P0.4	PINSEL0	9:8	11
AD0.7	P0.5	PINSEL0	11:10	11
AD1.0	P0.6	PINSEL0	13:12	11
AD1.1	P0.8	PINSEL0	17:16	11
AD1.2	P0.10	PINSEL0	21:20	11
AD1.3	P0.12	PINSEL0	25:26	11
AD1.4	P0.13	PINSEL0	27:26	11
AD1.5	P0.15	PINSEL0	31:30	11
AD1.6	P0.21	PINSEL1	11:10	10
AD1.7	P0.22	PINSEL1	13:12	01

ตารางที่ 2.1 แสดงตำแหน่งขาอินพุตของวงจร A/D และการกำหนดค่าของรีจิสเตอร์ PINSEL

ตำแหน่งขาอินพุตของวงจร A/D และการกำหนดค่าของรีจิสเตอร์ PINSEL
รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการแปลง A/D

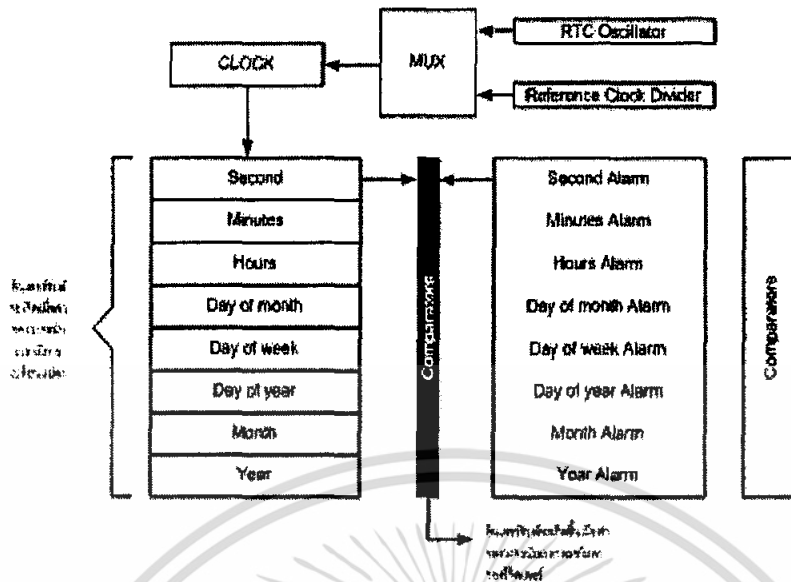
ชื่อ	ความหมาย	การติดต่อ	ค่าหลังรีเซ็ต	แอดเดรสและชื่อของAD0	แอดเดรสและชื่อของAD1
ADCR	A/D Control Register ใช้เลือกโหมดการทำงานก่อนที่จะทำการแปลง A/D	อ่าน/ เขียน	0x0000 0001	0xE003 4000 AD0CR	0xE006 0000 AD1CR
ADGDR	A/D Global Data Register เก็บค่าบิต DONE และผลการแปลง A/D ของแชนแนลล่าสุด	อ่าน/ เขียน	ไม่กำหนด	0xE003 4004 AD0GDR	0xE006 0000 AD1GCR
ADSTAT	A/D Status Register เก็บค่าบิต DONE และ OVERRUN ของ A/D ทุกแชนแนลและบิตของอินเตอร์รัปต์	อ่าน	0x0000 0000	0xE000 4030 AD0STAT	0xE006 0030 AD1STAT
ADGSR	A/D Global Start Register ใช้คำสั่งให้วงจร A/D ทั้งสองเริ่มทำงานพร้อมกัน	เขียน	0x00	0xE003 4008 ADGSR	
ADINTEN	A/D Interrupt Enable Register ประกอบด้วยบิตตั้งอนุญาตให้นำค่าบิต DONE จากแชนแนลต่างๆมาใช้เป็นแหล่งอินเตอร์รัปต์	อ่าน/ เขียน	0x0000 0100	0xE003 400C AD0INTEN	0xE003 000C AD1INTEN
ADDR0	A/D Channel 0 Data Register เก็บผลการแปลง A/D ทั้งที่สมบูรณ์ของ Channel 0	อ่าน	ไม่กำหนด	0xE003 4010 AD0DR0	0xE006 0010 AD1DR0
ADDR1	A/D Channel 1 Data Register เก็บผลการแปลง A/D ทั้งที่สมบูรณ์ของ Channel 1	อ่าน	ไม่กำหนด	0xE003 4014 AD0DR1	0xE006 0014 AD1DR1

ชื่อ	ความหมาย	การติดต่อ	ค่าหลังรีเซ็ต	แอดเดรสและชื่อของAD0	แอดเดรสและชื่อของAD1
ADDR2	A/D Channel 2 Data Register เก็บผลการแปลง A/D ทั้งที่สมบรูณ์ของ Channel 2	อ่าน	ไม่กำหนด	0xE003 4018 AD0DR2	0xE006 0018 AD1DR2
ADDR3	A/D Channel 3 Data Register เก็บผลการแปลง A/D ทั้งที่สมบรูณ์ของ Channel 3	อ่าน	ไม่กำหนด	0xE003 401C AD0DR3	0xE006 001C AD1DR3
ADDR4	A/D Channel 4 Data Register เก็บผลการแปลง A/D ทั้งที่สมบรูณ์ของ Channel 4	อ่าน	ไม่กำหนด	0xE003 4020 AD0DR4	0xE006 0020 AD1DR4
ADDR5	A/D Channel 5 Data Register เก็บผลการแปลง A/D ทั้งที่สมบรูณ์ของ Channel 5	อ่าน	ไม่กำหนด	0xE003 4024 AD0DR5	0xE006 0024 AD1DR5
ADDR6	A/D Channel 6 Data Register เก็บผลการแปลง A/D ทั้งที่สมบรูณ์ของ Channel 6	อ่าน	ไม่กำหนด	0xE003 4028 AD0DR6	0xE006 0028 AD1DR6
ADDR7	A/D Channel 7 Data Register เก็บผลการแปลง A/D ทั้งที่สมบรูณ์ของ Channel 7	อ่าน	ไม่กำหนด	0xE003 402C AD0DR7	0xE006 002C AD1DR7

ตารางที่ 2.2 แสดงตำแหน่งขาอินพุตของวงจร A/D และการกำหนดค่าของรีจิสเตอร์ PINSEL รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการแปลง A/D

2.4 โมดูลนาฬิกาเวลาจริง

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล LPC2000 มีโมดูลนาฬิกาเวลาจริง (Real Time Clock;RTC) ที่สามารถแสดงค่าวินาที ชั่วโมง วันที่ วันในสัปดาห์ วันที่เท่าไรจากต้นปี เดือน ปีและแสดงค่าปีได้ถึงปี ค.ศ. 2099 โดยสามารถสั่งให้ RTC ทำการอินเทอร์รัปต์ไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าวินาที นาที ฯลฯ หรือสามารถสั่งให้อินเตอร์รัปต์เมื่อถึงเวลาที่ตั้งไว้ โดยแสดงบล็อกไดอะแกรมภายในของโมดูล RTC ได้ในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงบล็อกโคโตะแกรมภายในของโมดูล RTC

ภายในวงจรจะเป็นวงจรที่คอยนับค่าวันเวลาในไมโครคอนโทรลเลอร์ LPC2000 รุ่นเก่า โมดูล RTC จะนำสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการนับวันเวลามาจากสัญญาณ PCLK ของระบบมาทำให้ได้ความถี่เป็น 32.768 กิโลเฮิร์ตต์แต่ใน LPC 2000 รุ่นใหม่เช่น LPC2138 , LPC2148 จะนำสัญญาณนาฬิกาจากวงจรกำเนิดความถี่ 32.768 กิโลเฮิร์ตต์แยกต่างหากได้และโมดูล RTC ทำงานได้โดยอาศัยไฟเลี้ยงจากแบตเตอรี่ 3V เพื่อให้วงจรยังทำงานต่อเนื่องตลอดเวลา แม้ว่าเราจะปิดเครื่องไม่มีไฟเลี้ยงให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์

ก่อนที่จะอ่านค่าการทำงานของ RTC ต้องศึกษารีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ RTC มีทั้งหมด 26 ตัว โดยแสดงได้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ RTC ทั้ง 26 ตัว

ชื่อ	ขนาด	ความหมาย	การติดต่อ	ค่าหลังรีเซ็ต	แอดเดรส
ILR	2	Interrupt Location Register	อ่าน/เขียน	-	0xE0024000
CTC	15	Clock Tick Counter	อ่าน	-	0xE0024004
CCR	4	Clock Control Register	อ่าน/เขียน	-	0xE0024008
CIIR	8	Counter Increment Interrupt Register	อ่าน/เขียน	-	0xE002400C
AMR	8	Alarm Mask Register	อ่าน/เขียน	-	0xE0024010
CTIME0	(32)	Consolidated Time Register0	อ่าน	-	0xE0024014

ชื่อ	ขนาด	ความหมาย	การติดต่อ	ค่าหลังรีเซ็ต	แอดเดรส
CTIME1	(32)	Consolidated Time Register1	อ่าน	-	0xE0024018
CTIME2	(32)	Consolidated Time Register2	อ่าน	-	0xE002401C
SEC	6	Seconds Register	อ่าน/เขียน	-	0xE0024020
MIN	6	Minutes Register	อ่าน/เขียน	-	0xE0024024
HOUR	5	Hours Register	อ่าน/เขียน	-	0xE0024028
DOM	5	Day of Month Register	อ่าน/เขียน	-	0xE002402C
DOW	3	Day of Week Register	อ่าน/เขียน	-	0xE0024030
DOY	9	Day of Year Register	อ่าน/เขียน	-	0xE0024034
MONTH	4	Months Register	อ่าน/เขียน	-	0xE0024038
YEAR	12	Years Register	อ่าน/เขียน	-	0xE002403C
ALSEC	6	Alarm Value for Seconds	อ่าน/เขียน	-	0xE0024060
ALMIN	6	Alarm Value for Minutes	อ่าน/เขียน	-	0xE0024064
ALHOUR	5	Alarm Value for Hours	อ่าน/เขียน	-	0xE0024068
ALDOM	5	Alarm Value for Day of Month	อ่าน/เขียน	-	0xE002406C
ALDOW	3	Alarm Value for Day of Week	อ่าน/เขียน	-	0xE0024070
ALDOY	9	Alarm Value for Day of Year	อ่าน/เขียน	-	0xE0024074
ALMON	4	Alarm Value for Months	อ่าน/เขียน	-	0xE0024078
ALYEAR	12	Alarm Value for Year	อ่าน/เขียน	-	0xE002407C
PREINT	13	Prescale value,integer portion	อ่าน/เขียน	0	0xE0024080
PREFRAC	15	Prescale value,fractional portion	อ่าน/เขียน	0	0xE0024084

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าแต่ละบิตของรีจิสเตอร์ CTIME0-CTIME2

CTIME0	31	27	26	24	23	21	20	16	15	14	13	8	7	6	5	0
	Day of week			Hours				Minutes				Seconds				
CTIME1	31	28	27	Year								Month		Day of month	0	
CTIME2	31	Day of year										0				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมดูล RTC นอกจากสามารถสร้างนาฬิกาได้แล้วยังสามารถสร้างอินเทอร์รัปต์เพื่อขัดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ โดยสามารถอินเทอร์รัปต์ได้ 2 โหมดคือ อินเทอร์รัปต์เมื่อค่าของรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวกับวันเวลาทั้ง 8 มีการเปลี่ยนแปลงค่า ซึ่งสามารถนำไปสั่งให้อินเทอร์รัปต์ทุกวินาที ทุกนาฬิกา ทุกชั่วโมง ทุกวัน ฯลฯ ได้ตามต้องการ

การทำงานในโหมดที่สองจะเป็นการตั้งเวลาให้กับ Alarm รีจิสเตอร์ทั้ง 8 ตัว คือ ALSEC , ALMIN , ALHOUR , ALDOM , ALDOW , ALDOY , ALMON และ ALYEAR โดยโมดูล RTC จะคอยตรวจสอบค่าเวลาปัจจุบันว่าตรงกับค่าที่ตั้งไว้ใน Alarm รีจิสเตอร์หรือไม่ ถ้าตรงมันจะส่งสัญญาณไปอินเทอร์รัปต์ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้เราสามารถตั้งเวลาปลุกได้ตั้งแต่ปัจจุบันจนถึงปี ค.ศ. 2099 โดยกำหนดได้ละเอียดถึงหลักวินาที

เมื่อเกิดการอินเทอร์รัปต์จาก RTC ให้อ่านค่าจากรีจิสเตอร์ ILR (Interrupt Location Register) โดยรีจิสเตอร์นี้จะมีขนาด 2 บิต โดยบิตที่ 0 (LSB) ถ้ามีค่าลอจิกเป็น 1 แสดงว่าเกิดการอินเทอร์รัปต์เนื่องจากค่าของรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวกับวันเวลาทั้ง 8 มีการเปลี่ยนแปลงค่าเมื่อโปรแกรมในอินเทอร์รัปต์เซอวิสุทึนทำงานเสร็จแล้วให้เขียนค่า 1 ไปยังบิตนี้เพื่อหยุดการอินเทอร์รัปต์

บิตที่ 1 ของรีจิสเตอร์ ILR จะเป็นตัวแจ้งว่าอินเทอร์รัปต์นี้เกิดจาก Alarm รีจิสเตอร์ทั้ง 8 ตัวมีค่าตรงกับค่าที่ตั้งไว้ เมื่อโปรแกรมในอินเทอร์รัปต์เซอวิสุทึนทำงานเสร็จแล้วให้เขียนค่า 1 ไปยังบิตนี้เพื่อหยุดการอินเทอร์รัปต์

ตารางที่ 2.5 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ I^2C ทั้ง 7 ตัว

ชื่อ	ความหมาย	การติดต่อ	ค่าหลังรีเซต	แอดเดรสของ IC0	แอดเดรสของ IC2
I2CONSET	I^2C Control Set Register เมื่อเขียนค่า 1 จะเป็นการเซตค่าบิตที่ตรงกันของ I^2C control register เขียนค่า 0 ไม่มีผล	อ่าน/เขียน	0x00	0xE001 C000 I2C0CONSET	0xE005 C000 I2C0CONSET
I2STAT	I^2C Status Register ระหว่างการทำงานของ I^2C รีจิสเตอร์นี้จะแสดงสถานะการทำงาน	อ่าน	0xF8	0xE001 C004 I2C0STAT	0xE005 C004 I2C0STAT
I2DAT	I^2C Data Register เมื่อต้องการส่งข้อมูลให้เขียนค่ามายังรีจิสเตอร์นี้ ในโหมดการรับข้อมูลให้อ่านค่าจากรีจิสเตอร์นี้	อ่าน/เขียน	0x00	0xE001 C008 I2C0DAT	0xE005 C008 I2C0DAT

ชื่อ	ความหมาย	การติดต่อ	ค่าหลังรีเซ็ต	แอดเดรสของ IC0	แอดเดรสของ IC2
I2ADR	I^2C Slave Address Register เมื่อทำงานใน slave mode จะเก็บค่าแอดเดรสขนาด 7 บิต ไม่ได้ใช้ใน master mode บิตต่ำสุดใช้ตอบสนองต่อการเรียกมายัง slave	อ่าน/เขียน	0x04	0xE001 C00C I2C0ADR	0xE005 C00C I2C0ADR
I2SCLH	SCH Duty Cycle Register High Half Word ใช้กำหนดช่วงไฮคิล็อกของ I^2C	อ่าน/เขียน	0x04	0xE001 C010 I2C0SCLH	0xE005 C010 I2C0SCLH
I2SCLL	SCH Duty Cycle Register Low Half Word ใช้กำหนดช่วงลอจิก 0 ของคิล็อกของ I^2C เมื่อนำค่าของ I^2C SCLH+I2SCLL จะได้ความถี่คิล็อกของ I^2C และเวลาในการทำงานของอุปกรณ์ I^2C	อ่าน/เขียน	ไม่มี	0xE001 C014 I2C0SCLL	0xE005 C014 I2C0SCLL
I2CONCLR	I^2C Control Clear Register เมื่อเขียนค่า 1 ให้กับบิตของรีจิสเตอร์นี้เป็นการล้างค่าบิตของ I^2C control register การเขียนค่า 0 ไม่มีผล	เขียน		0xE001 C018 I2C0CONCLR	0xE005 C018 I2C0CONCLR

รีจิสเตอร์ที่สั่งควบคุมการทำงานจะแยกเป็น 2 ตัวคือ I2CONSET ไว้สำหรับเซตค่าบิตให้เป็น 1 และ I2ONCLR ไว้ล้างค่าบิตให้เป็น 0 รีจิสเตอร์ I2SCLH และ I2SCLL ใช้กำหนดค่าความถี่ของสัญญาณคิล็อกของขา SCL รีจิสเตอร์ I2DAT เป็นข้อมูลที่ต้องการอ่านหรือเขียนให้กับอุปกรณ์ I^2C ส่วน I2STAT เป็นรีจิสเตอร์รายงานสถานะต่างๆ ของบัส I^2C

ในการทำงานของบัสไอซี สัญญาณ SCL ที่เป็นสัญญาณนาฬิกาของบัส สามารถกำหนดค่าความถี่ได้สูงสุดถึง 400 กิโลเฮิร์ตแต่ต้องระวังให้ไม่เกินที่อุปกรณ์ I^2C จะรับได้ ตัวอย่างเช่น นำบัส I^2C ต่อกับไอซี PCF8574 ที่เป็นอุปกรณ์ขยายพอร์ตขนาด 8 บิต ตัวไอซีจะรับสัญญาณคล็อกของ SCL ได้สูงสุด 100 กิโลเฮิร์ต

2.5 คำสั่งของ ARM7

ARM7 เป็นหน่วยประมวลที่ถูกออกแบบขึ้นเพื่อประมวลผลได้ทั้งแบบบิกเอนเดียน (big-endian) และลิตเติลเอนเดียน (little-endian) ที่มีความแตกต่างในเรื่องของการจัดเรียงบิตข้อมูลดังรูปที่ 2.7 จะเห็นว่าในแบบบิกเอนเดียนนั้นจะมองเห็นว่าในแบบบิกเอนเดียนนั้นจะมองว่าบิต 0 คือ MSB และบิต 7 เป็น LSB แต่กรณีที่เป็นลิตเติลเอนเดียนจะมีการจัดเรียงแตกต่างกันไปคือ บิต 0 เป็น LSB และบิต 7 เป็น MSB แต่เพื่อความสะดวกผู้ออกแบบหน่วยประมวลมักเลือกเพียงอย่างเดียวหนึ่งเพื่อให้การทำงานของชิปมีประสิทธิภาพที่ดี ด้วยเหตุนี้ชิปตระกูล LPC2000 ของฟิลลิปส์ จึงกำหนดเป็นการตายตัวเลยว่าใช้การเรียงบิตข้อมูลเป็นลิตเติลเอนเดียนเท่านั้น



รูปที่ 2.11 การจัดเรียงบิตแบบลิตเติลและบิกเอนเดียน

ชุดคำสั่งของ ARM7 มีจุดหนึ่งที่น่าสนใจเป็นอย่างมากคือ การออกแบบคำสั่งให้ทุกคำสั่งนั้นสามารถทำงานแบบเงื่อนไขได้ ซึ่งแตกต่างกับหน่วยประมวลผลแบบเดิมเป็นอย่างมากเพราะในหน่วยประมวลผลแบบดั้งเดิมนั้นจะแยกชุดคำสั่งของการทำงานกับเงื่อนไขของการกระโดด(condition jump/branch) แต่ใน ARM7 นั้นจะใช้ 4 บิตสุดท้ายของคำสั่งเป็นส่วนที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบกับรหัสเงื่อนไขใน CPSR ถ้าไม่ตรงกันคำสั่งจะไม่ถูกทำงานและส่งการทำงานไปยังคำสั่ง NOP โดยเงื่อนไขที่ใช้ นั้นจะถูกผนวกเข้ากับตัวหน้าชื่อคำสั่ง เช่น eqmov หมายถึงจะโอนข้อมูลเมื่อคำสั่งก่อนหน้านี้ทำให้ CPSR มีผลทำให้แฟล็ก Z มีค่าเป็น 1 เป็นต้น ซึ่งคำนำหน้าที่เป็นเงื่อนไขในการตรวจสอบก่อนทำงานมีรายละเอียดดังตารางที่ 1 ซึ่งการทำแบบนี้ทำให้การเขียนโปรแกรมมีลักษณะเลื่อนไหลไปในทางเดียวกัน เพราะไม่ต้องคอยตรวจสอบแฟล็กด้วยตนเองแต่กำหนดไปเลยว่าถ้าก่อนหน้านี้เกิดผลอย่างที่กำหนดก็ให้ทำงานแต่ถ้าไม่ใช่ก็ไม่ต้องทำอะไร

กลุ่มคำสั่งของ ARM7 ถูกแบ่งเป็น 6 กลุ่มด้วยกันคือ การกระโดด การประมวลผลข้อมูล การถ่ายโอนข้อมูล การถ่ายโอนบิต การคูณและการจัดจังหวะด้วยซอฟต์แวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางเงื่อนไขที่เป็นค่านำหน้าคำสั่ง

ค่านำหน้า	ผลกระทบกับแฟล็ก	ความหมาย
EQ	Z เป็น 1	เท่ากัน
NE	Z เป็น 0	ไม่เท่ากัน
CS	C เป็น 1	Unsigned higher or same
CC	C เป็น 0	Unsigned low
MI	N เป็น 1	เป็นค่าลบ
PL	N เป็น 0	เป็นค่าบวกหรือศูนย์
VS	V เป็น 1	เกิดการล้น(overflow)
VC	V เป็น 0	ไม่เกิดการล้น
HI	G เป็น 1 และ Z เป็น 0	Unsigned higher
LS	G เป็น 0 และ Z เป็น 1	Unsigned low or same
GE	N เท่ากับ V	มากกว่าหรือเท่ากัน
LT	N ไม่เท่ากับ V	น้อยกว่า
GT	Z เป็น 0 และ N เท่ากับ V	มากกว่า
LE	Z เป็น 1 และ N ไม่เท่ากับ V	น้อยกว่าหรือเท่ากัน
AL	ไม่สนใจใดๆ	เป็นจริงเสมอ

ตารางที่ 2.6 เงื่อนไขที่เป็นค่านำหน้าคำสั่ง

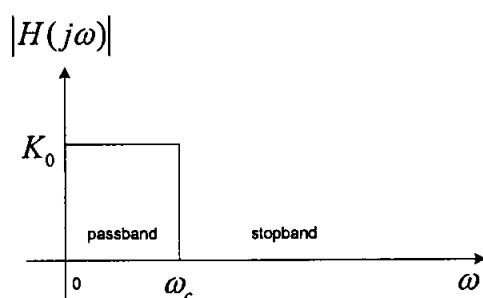
2.6 วงจรกรองความถี่

ฟิลเตอร์คือวงจรที่ใช้สำหรับกรองสัญญาณ ให้ความถี่เฉพาะที่ต้องการใช้ผ่านออกมาได้เท่านั้น ส่วนความถี่อื่นๆ ที่ไม่ต้องการผ่านจะถูกลดทอน (attenuate) จนหมดไป วงจรฟิลเตอร์ที่ใช้งานกันมีอยู่ 2 ลักษณะคือ แบบที่เป็นวงจรพาสซีฟ (passive) และแบบแอคทีฟ (active) วงจรในแบบที่เป็นพาสซีฟนั้น จะใช้เพียงอุปกรณ์ประเภทความต้านทาน ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น แต่ในวงจรประเภทแอคทีฟจะรวมถึงทรานซิสเตอร์และออปแอมป์ด้วย การแบ่งหน้าที่การทำงานของวงจรฟิลเตอร์ เราสามารถแบ่งออกเป็น 4 ชนิดด้วยกัน คือ แบบกรองความถี่ต่ำผ่าน (low-pass) แบบกรองความถี่สูงผ่าน (high-pass) แบบกรองความถี่ผ่านเฉพาะบางช่วง (band-pass) และแบบที่กันไม่ให้ความถี่ผ่านเฉพาะบางช่วง (band-eliminate หรือ band-reject หรือ notch)

2.6.1 วงจรกรองสัญญาณแบบความถี่ต่ำผ่าน (Low-pass filter)

วงจรกรองสัญญาณแบบความถี่ต่ำผ่านเป็นวงจรกรองสัญญาณที่มีแถบความถี่ผ่านอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึงความถี่คัทออฟ (cutoff frequency, ω_c) ในขณะที่ช่วงความถี่สูงกว่าความถี่คัทออฟจะเป็นช่วงความถี่แถบหยุดของวงจร ในกรณีเช่นนี้ช่วงความถี่ปฏิบัติงานของวงจรมีค่าเท่ากับ ω_c เราจะพบว่าการตอบสนองทางขนาดในเชิงความถี่ของวงจรกรองสัญญาณแบบกรองผ่านความถี่ต่ำในแบบอุดมคตินั้น แสดงได้ดังรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



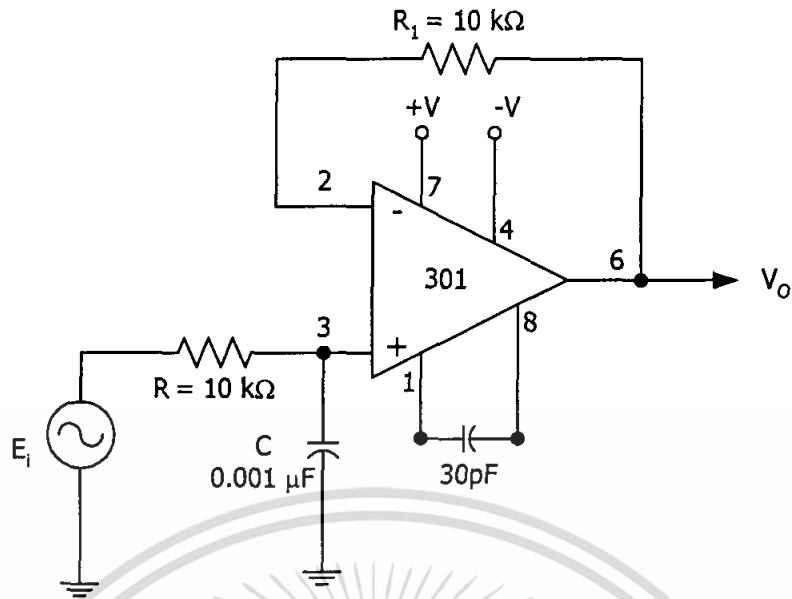
รูปที่ 2.12 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองสัญญาณแบบกรองความถี่ต่ำผ่านแบบอุดมคติ

ในรูปที่ 2.12 เป็นวงจรแอกทีฟฟิลเตอร์กรองสัญญาณความถี่ต่ำแบบที่ใช้กันโดยทั่วไป วงจรประกอบด้วยอุปกรณ์ R , C และออปแอมป์ ซึ่งจากวงจรมีอัตราขยาย 1 เท่า กำหนดให้ R_f มีค่าเท่ากับ R และแรงดันออฟเซตมีค่าเป็น 0 โวลต์ ดังนั้นแรงดันที่ขา 2 เท่ากับแรงดันที่ขา 3 สำหรับแรงดันที่ขา 2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ V_o นั้นจะทำให้แรงดันที่ขั้วต่อ C มีค่าเป็น V_o ด้วยเช่นกัน ถ้าเราพิจารณาในส่วน R และ C ที่ต่อกับ E_i เราจะได้สมการเป็น

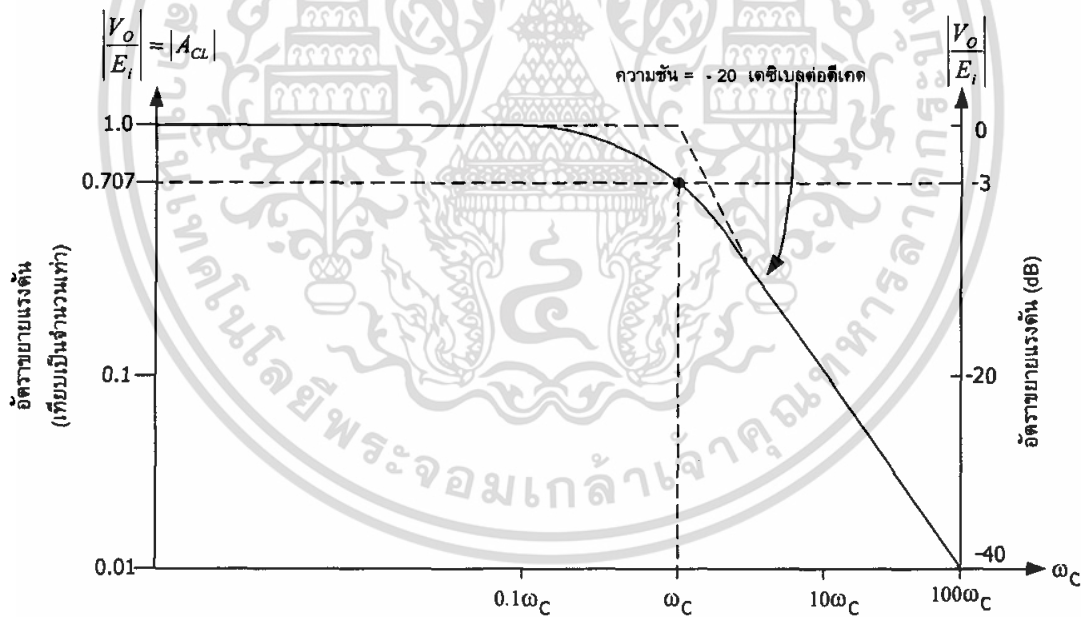
$$V_o = \frac{1/j\omega C}{R + 1/j\omega C} \times E_i \quad \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ ω คือ ความถี่เชิงมุมของ E_i มีหน่วยเป็นเรเดียน/วินาที และ j มีค่าเป็น $\sqrt{-1}$ ค่ารีแอกแตนซ์ของ C มีค่าเป็น $1/j\omega C$ จากสมการที่ (1) นำมาเขียนใหม่เป็นค่าของอัตราขยายแบบลูปปิดได้คือ

$$A_{cl} = \frac{V_o}{E_i} = \frac{1}{1 + j\omega CR} \quad \dots\dots\dots(2)$$



ก. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน -20 เดซิเบลต่อดีเคด



ข. กราฟตอบสนองความถี่ของวงจร

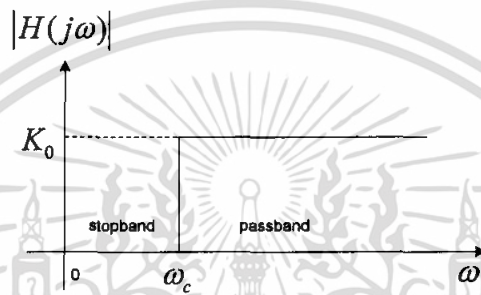
รูปที่ 2.13 กราฟแสดงการตอบสนองความถี่ของวงจรฟิลเตอร์ชนิดกรองความถี่ต่ำผ่านที่มีค่า - 20 เดซิเบล ต่อดีเคด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

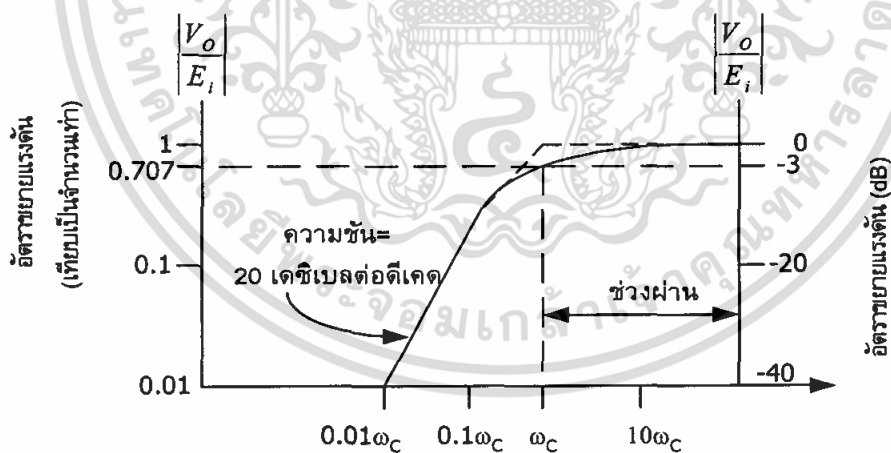
รูปที่ ข. เป็นกราฟที่แสดงขนาดของ A_{CL} เปรียบเทียบกับ ω แสดงให้เห็นว่าที่ความถี่ที่สูงกว่าความถี่คัทออฟ ω_c ขนาดของ A_{CL} จะมีค่าลดลงด้วยอัตรา 20 เดซิเบลต่อดีเคด ดังนั้นจะสรุปได้ว่าเฉพาะในช่วงที่ความถี่สูงกว่า ω_c อัตราการขยายแรงดันจะมีค่าลดลง 10 เท่าเมื่อความถี่มีค่าเพิ่มขึ้น 10 เท่าเช่นกัน

2.6.2 วงจรกรองสัญญาณแบบกรองความถี่สูงผ่าน (High-pass filter)

วงจรกรองสัญญาณแบบกรองความถี่สูงผ่านเป็นวงจรกรองสัญญาณที่มีแถบความถี่หยุดอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง ω_c ในขณะที่ช่วงที่ยอมรับให้ช่วงความถี่ที่สูงกว่า ω_c ผ่านไปได้ เราพบว่า การตอบสนองทางขนาดในเชิงความถี่ของวงจรกรองสัญญาณแบบกรองผ่านความถี่สูงในแบบอุดมคตินั้น แสดงได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองสัญญาณแบบกรองความถี่สูงผ่านแบบอุดมคติ



รูปที่ 2.15 การตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่สูงผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ทที่ให้ค่า 20 เดซิเบลต่อดีเคด

เส้นทึบของรูปกราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่ในการใช้งานจริง ส่วนเส้นประเป็นการแสดงผลโดยประมาณ วงจรกรองความถี่สูงผ่านนี้มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับวงจรกรองความถี่แบบอื่นๆ คือ มีอัตราขยายแบบรูปปิดเท่ากับ 0.707 ที่ความถี่หรือเมื่อ $\omega RC = 1$ ดังนั้นจะได้ค่า ω_c เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

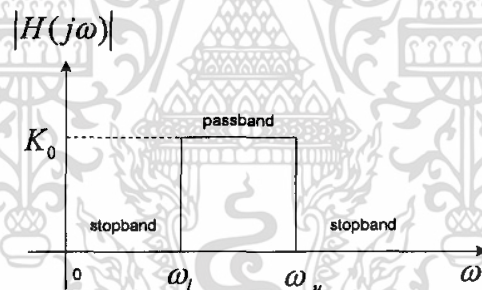
$$\omega_c = \frac{1}{RC} = 2\pi f_c \quad \dots\dots\dots(1)$$

หรือ
$$R = \frac{1}{\omega_c R} = \frac{1}{2\pi f_c C} \quad \dots\dots\dots(2)$$

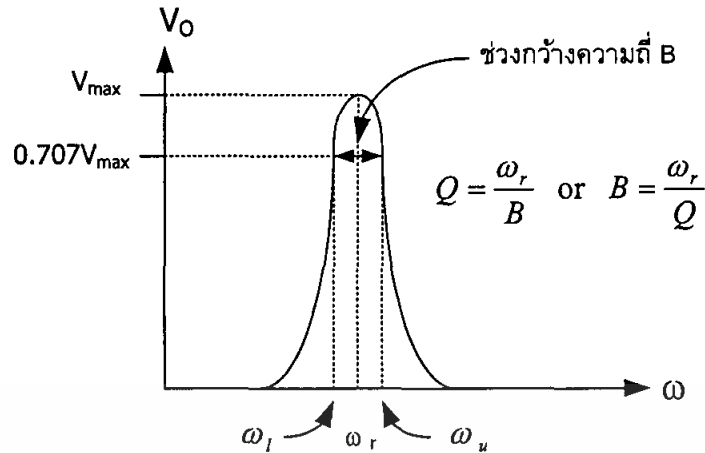
การที่แสดงสมการหาค่าของ R ก็เนื่องจากการหาค่าของความต้านทานที่จะใช้งานทำได้ง่ายกว่า การเลือกค่าของตัวเก็บประจุ ดังนั้นจึงมักใช้การกำหนดค่าตัวเก็บประจุไว้ก่อน แล้วใช้การคำนวณหาค่า R ที่เหลือ

2.6.3 วงจรกรองสัญญาณแบบกรองความถี่ผ่านเฉพาะบางช่วง (Band-pass filter)

วงจรกรองสัญญาณแบบกรองความถี่ผ่านเฉพาะบางช่วง เป็นวงจรกรองสัญญาณที่มีแถบความถี่ผ่านของวงจรอยู่ในช่วงระหว่างความถี่คัทออฟ 2 ความถี่คือ ω_l และ ω_u ในขณะที่แถบหยุดของวงจรจะมีอยู่ 2 แถบคือในช่วงระหว่างความถี่ 0 ถึงความถี่คัทออฟ ω_l และในช่วงระหว่างความถี่ที่สูงกว่าคัทออฟ ω_u เราจะพบว่าการตอบสนองทางขนาดในเชิงความถี่ของวงจรกรองสัญญาณแบบจำกัดแถบความถี่ในแบบอุดมคตินั้นแสดงได้ดังรูปที่ 2.16



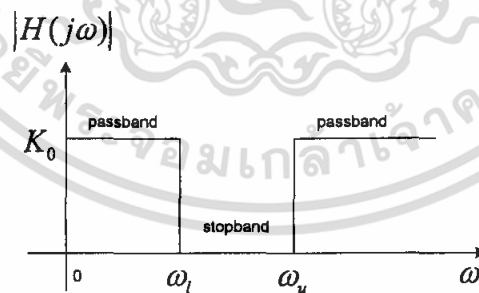
รูปที่ 2.16 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรสัญญาณแบบกรองความถี่ผ่านเฉพาะบางช่วงแบบอุดมคติ



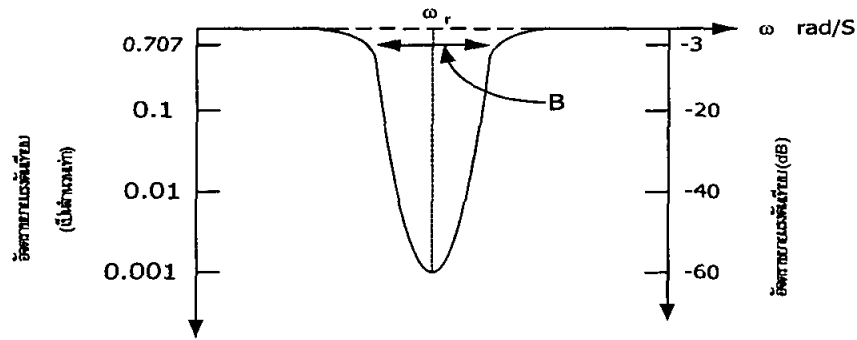
รูปที่ 2.17 แสดงการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ผ่านเฉพาะช่วง

2.6.4 วงจรกรองสัญญาณแบบที่กั้นไม่ให้ความถี่ผ่านเฉพาะบางช่วง (band-eliminate หรือ band-reject หรือ notch)

วงจรกรองสัญญาณแบบที่กั้นไม่ให้ความถี่ผ่านเฉพาะบางช่วง เป็นวงจรกรองสัญญาณที่มีแถบความถี่หยุดของวงจรถูกอยู่ในช่วงระหว่างความถี่คัทออฟ 2 ความถี่คือ ω_l และ ω_u ในขณะที่แถบผ่านของวงจรมีอยู่สองแถบคือ ในช่วงระหว่างความถี่ 0 ถึงความถี่คัทออฟ ω_l และในช่วงระหว่างความถี่ที่สูงกว่าคัทออฟ ω_u เราจะพบว่าการตอบสนองทางขนาดในเชิงความถี่ของวงจรกรองสัญญาณแบบจำกัดแถบความถี่ในแบบอุดมคตินั้นแสดงได้ดังรูปที่ 2.18



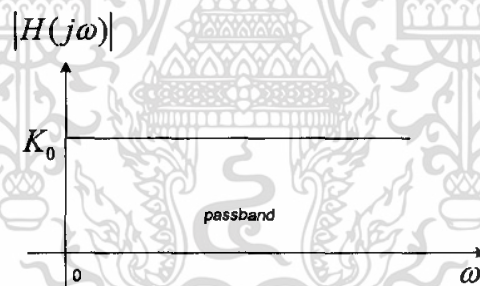
รูปที่ 2.18 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรสัญญาณแบบที่กั้นไม่ให้ความถี่ผ่านเฉพาะบางช่วงแบบอุดมคติ



รูปที่ 2.19 การตอบสนองความถี่ของวงจรจำกัดแถบความถี่ฟิลเตอร์

2.6.5 วงจรกรองสัญญาณแบบกรองผ่านทุกความถี่ (Allpass filter)

วงจรกรองสัญญาณแบบกรองผ่านทุกความถี่เป็นวงจรกรองสัญญาณที่ยอมให้ทุกความถี่สามารถผ่านไปได้ เราจะพบว่า การตอบสนองทางขนาดในเชิงความถี่ของวงจรกรองสัญญาณแบบกรองผ่านทุกความถี่ในแบบอุดมคตินั้นแสดงได้ดังรูปที่ 2.20

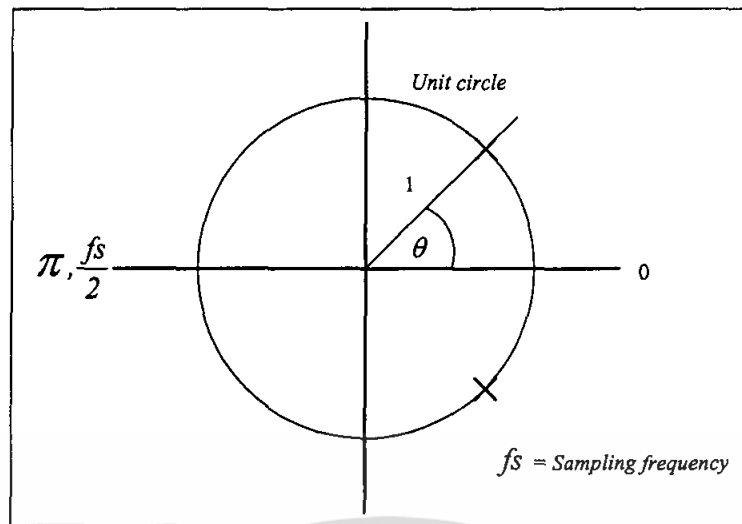


รูปที่ 2.20 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองสัญญาณแบบกรองผ่านทุกความถี่แบบอุดมคติ

วงจรกรองสัญญาณที่มีการตอบสนองเชิงความถี่ตามอุดมคตินั้นไม่สามารถสร้างขึ้นได้จริงซึ่งในทางปฏิบัตินั้นค่าความถี่คัทออฟจะเป็นค่าความถี่ที่ขนาดของสัญญาณมีค่าประมาณ 0.707 เท่าของค่าขนาดสูงสุดของวงจรหรือประมาณ -3 dB

2.7 ตัวกำเนิดไซน์แบบดิจิตอล (Digital Sinusoidal Oscillators)

ตัวกำเนิด ไซน์แบบดิจิตอลเป็นระบบลำดับสองที่มีโพล 2 ตัววางอยู่บนเส้นรอบวงของวงกลมรัศมี 1 หน่วยในลักษณะ Complex conjugate ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 ตำแหน่งของโพลบนระนาบ z ของตัวกำเนิดไซน์แบบคิติกอล

พิจารณาสมการของระบบไม่ต่อเนื่องลำดับสองดังสมการที่ 1

$$H(z) = \frac{b_0}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} \quad (1)$$

เพื่อให้โพลทั้งสองตัววางบนเส้นรอบวงในลักษณะ Complex Conjugate ดังนั้นจึงกำหนดค่า a_1 และ a_2 ดังสมการที่ 2

$$a_1 = -2r \cos \omega_0 \quad \text{และ} \quad a_2 = r^2 \quad (2)$$

เมื่อแทนค่า a_1 และ a_2 ลงในสมการที่ 1 จะทำให้โพลทั้งสองตัวมีค่าดังสมการที่ 3

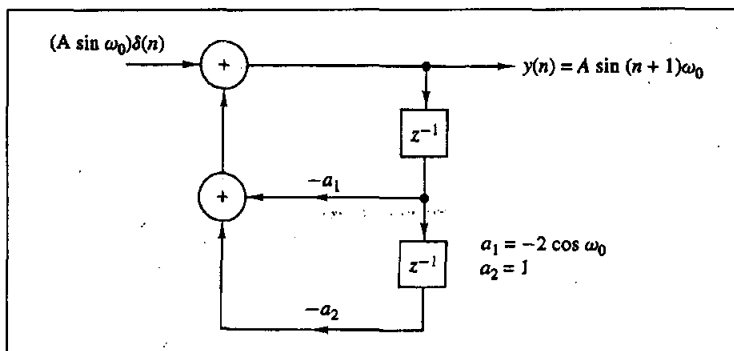
$$p = re^{\pm j\omega_0} \quad (3)$$

แต่เนื่องจากตัวกำเนิดไซน์จำเป็นต้องวางโพลทั้งสองตัวอยู่บนเส้นรอบวงของวงกลมรัศมีหนึ่งหน่วย ดังนั้นจะต้องกำหนดค่า $r = 1$ เมื่อกำหนดให้อินพุตของระบบเป็น $\delta(n)$ จะได้ผลตอบสนองทางเอาต์พุต ดังสมการที่ 4

$$h(n) = \frac{b_0 r^n}{\sin \omega} u(n) \sin(n+1)\omega_0 \quad (4)$$

กำหนดให้ $b_0 = A \sin \omega_0$ และแทนค่า $r = 1$ ลงในสมการที่ 3.134 จะได้ผลตอบสนองเอาต์พุตดังสมการที่ 5 และนำไปเขียนเป็นโครงสร้างแบบตรงได้ดังรูปที่ 2.22

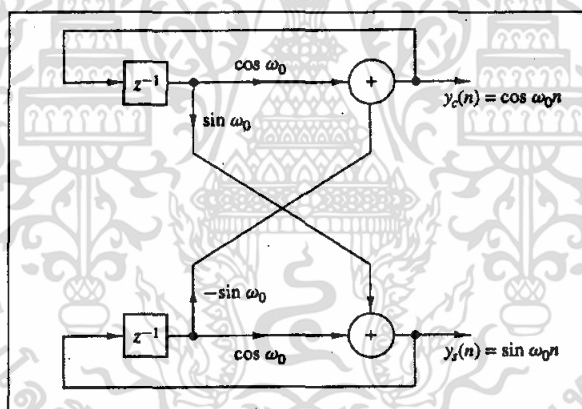
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 โครงสร้างของตัวกำเนิดไซน์แบบตรง

$$h(n) = A \sin(n+1)\omega_0 \quad n \geq 0 \tag{5}$$

นอกจากนี้ตัวกำเนิดไชนยังสามารถจัดให้อยู่ในโครงสร้างอื่นๆ ได้อีกเช่นโครงสร้างแบบ Coupled-form ดังแสดงดังรูปที่ 2.23 และมีสมการของระบบดังสมการที่ 6



รูปที่ 2.23 โครงสร้างของตัวกำเนิดไซน์แบบ Coupled-form

$$y_c = (\cos \omega_0)y_c(n-1) - (\sin \omega_0)y_s(n-1) \tag{6a}$$

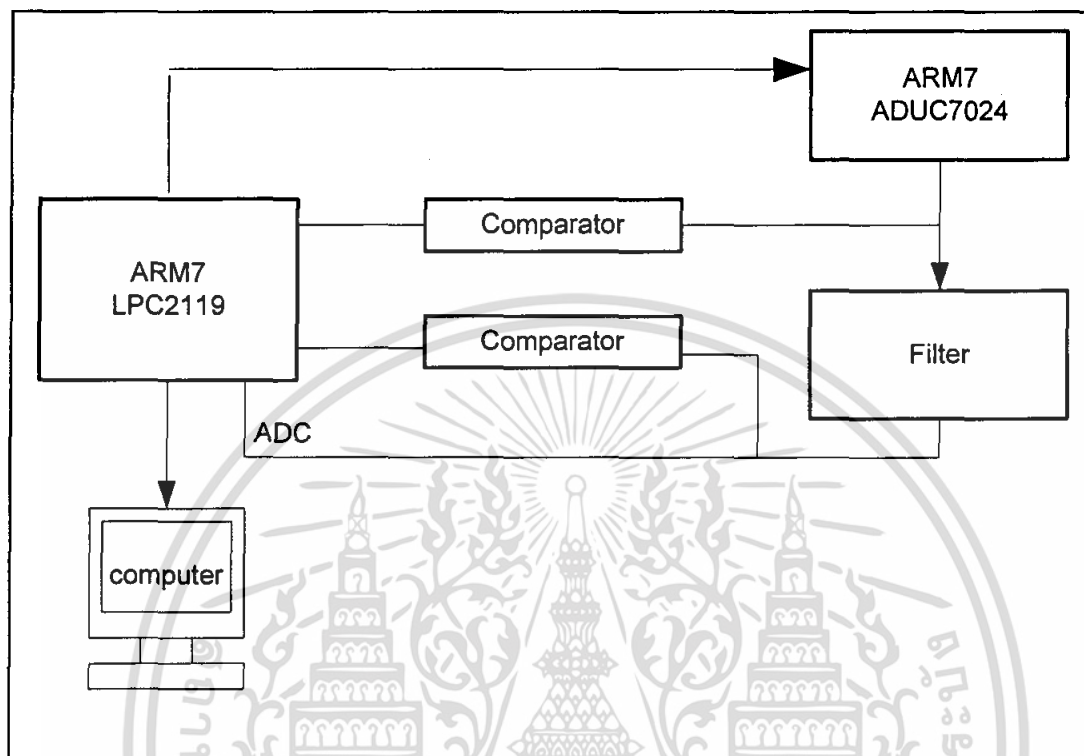
$$y_s = (\sin \omega_0)y_c(n-1) + (\cos \omega_0)y_s(n-1) \tag{6b}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการออกแบบ

3.1 วงจรรวมของระบบ



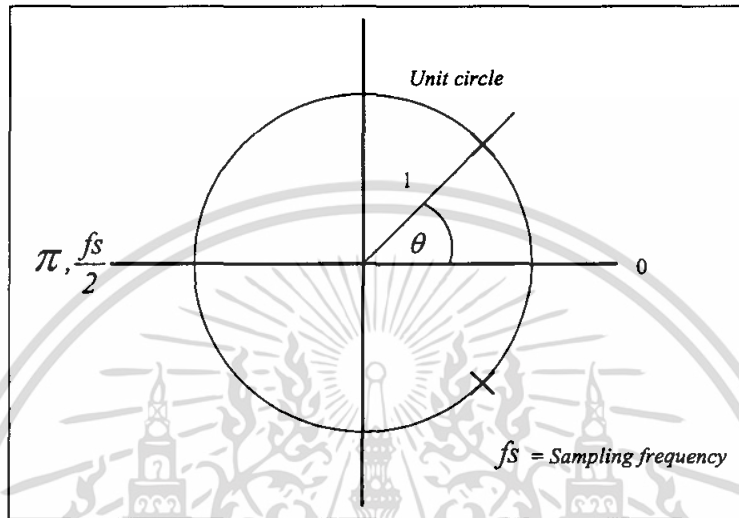
รูปที่ 3.1 แสดงวงจรรวมของระบบ

การออกแบบวงจรรวม ARM เบอร์ ADUC7024 จะทำการสร้างความถี่สัญญาณไซน์ค่าต่างๆ ตั้งแต่ 200Hz ถึง 20kHz ส่งไปทดสอบฟิลเตอร์จากนั้นจะเป็นกระบวนการวัดผลตอบสนองทางความถี่และผลตอบสนองของเฟส วิธีการทำงานของวงจรต่อไปคือนำสัญญาณที่ผ่านฟิลเตอร์ไปประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM เบอร์ lpc2119 โดยก่อนประมวลผลนั้นสัญญาณจากฟิลเตอร์จะผ่านวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแปลงค่าและเก็บค่าเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นำไปคำนวณและประมวลผลหาความถี่คัทออฟต่อไป ส่วนการวัดผลตอบสนองของเฟสนั้นจะนำสัญญาณก่อนเข้าฟิลเตอร์และสัญญาณหลังจากผ่านฟิลเตอร์แล้วไปผ่านวงจรคอมพิวเตอร์เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เก็บสัญญาณเป็นลอจิกได้เพื่อนำไปคำนวณหาเฟสต่อไป โดยหลังจากเก็บข้อมูลแล้วจะนำข้อมูลที่เก็บไว้ส่งผ่านพอร์ตอนุกรมเพื่อแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ซึ่งรายละเอียดของวงจรต่างๆจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

3.2 วงจรสร้างสัญญาณความถี่ดิจิทัลไซน์จาก ARM7 เบอร์ ADUc7402

การคำนวณเพื่อสร้างสัญญาณความถี่จะสามารถคำนวณได้จากพื้นฐานของสัญญาณไซน์โดยพิจารณาสมการทรานเฟอร์ฟังก์ชันพื้นฐานของสัญญาณไซน์ $H(s)$

ตัวกำเนิดไซน์แบบดิจิทัลเป็นระบบลำดับสองที่มีโพล2ตัววางอยู่บนเส้นรอบวงของวงกลมรัศมี 1 หน่วยในลักษณะ Complex conjugate ดังภาพที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ภาพ ตำแหน่งของโพลบนระนาบ z ของตัวกำเนิดไซน์แบบดิจิทัล

พิจารณาสมการของระบบไม่ต่อเนื่องลำดับสองดังสมการ 1

$$H(z) = \frac{b_0}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} \quad (1)$$

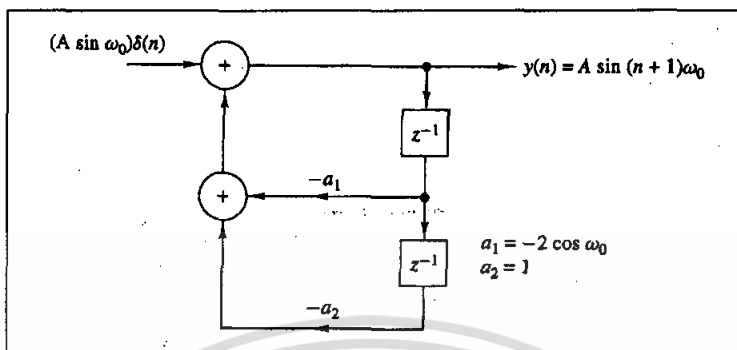
เพื่อให้โพลทั้งสองตัววางบนเส้นรอบวงในลักษณะ Complex Conjugate ดังนั้นจึงกำหนดค่า a_1 และ a_2 ดังสมการที่ 2

$$a_1 = -2r \cos \omega_0 \quad \text{และ} \quad a_2 = r^2 \quad (2)$$

แต่เนื่องจากตัวกำเนิดไซน์จำเป็นต้องวางโพลทั้งสองตัวอยู่บนเส้นรอบวงของวงกลมรัศมีหนึ่งหน่วย ดังนั้นจะต้องกำหนดค่า $r = 1$ เมื่อกำหนดให้อินพุตของระบบเป็น $\delta(n)$ จะได้ผลตอบสนองทางเอาต์พุต ดังสมการ 3

$$h(n) = \frac{b_0 r^n}{\sin \omega} u(n) \sin(n+1)\omega_0 \quad (3)$$

กำหนดให้ $b_0 = A \sin \omega_0$ และแทนค่า $r=1$ ลงในสมการ 4 จะได้ผลตอบสนองเอาต์พุตคั้ง
 สมการ $h(n) = \frac{b_0 r^n}{\sin \omega} u(n) \sin(n+1)\omega_0$ และนำไปเขียนเป็นโครงสร้างแบบตรงได้ดังภาพ



รูปที่ 3.3 ภาพแสดงการสร้างคั้งจิตคอลไซน์

$$\text{จาก } H(z) = \frac{b_0}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}$$

เมื่อ $\delta(n)$ เป็นอินพุตของระบบ

$$\frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{b_0}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}$$

$$Y(z)(1 - a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}) = b_0 X(z)$$

$$\text{จะได้ } Y(n) = b_0 \delta(n) + a_1 y(n-1) - a_2 y(n-2) \quad (4)$$

จะมีสัมประสิทธิ์คือ

$$a_1 = 2 \cos(\omega t)$$

$$a_2 = 1$$

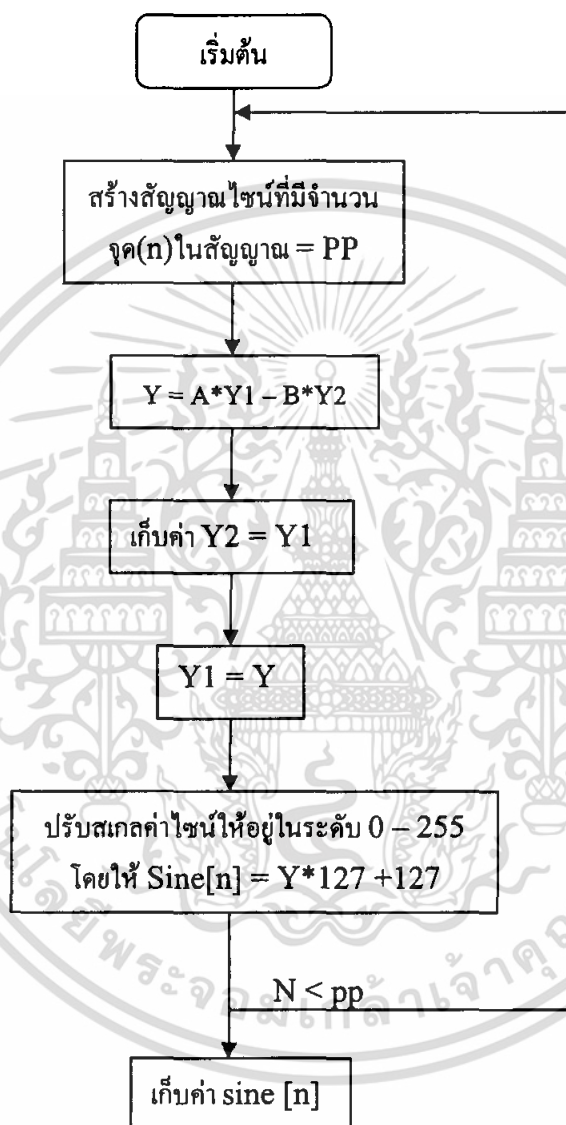
$$b_0 = \sin(\omega t)$$

ดังนั้นเราจะเริ่มสร้างสัญญาณไซน์เมื่อพจน์ $\delta * b_0$ มีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งพจน์ $\delta * b_0$ จะมีค่าเป็น 1 เมื่อ n เป็นศูนย์ และสามารถคำนวณสัญญาณถัดไปได้จากสมการ $Y(n)$ ดังนั้นเราจึงสามารถเขียนโปรแกรมสร้างสัญญาณไซน์ได้ ด้วยความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความถี่แซมปลิง 813750 และในสัญญาณไซน์หนึ่งรูปคลื่นจะต้องควบคุมให้สามารถสร้างสัญญาณได้เต็มรูปพอดี ซึ่งแล้วแต่แต่ละความถี่ในแต่ละความถี่จะใช้จำนวนจุดที่ทำให้เกิดสัญญาณไซน์ต่างกัน โดยเราสามารถคำนวณจำนวนจุดที่สามารถสร้างได้ของสัญญาณไซน์แต่ละความถี่ได้จาก $\frac{F_s}{F_c}$ ดังนั้นเมื่อความถี่ต่ำจะได้รับความละเอียดจำนวนจุดที่สร้างสัญญาณไซน์ได้มากกว่าความถี่สูง โดยการสร้างสัญญาณแต่ละความถี่นั้นจะขึ้นอยู่กับ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ Ipc2119 ที่จะคอยคอนโทรลค่าที่สามารถเพิ่มได้ทีละ 100 Hz โดย Ipc 2119 จะคำนวณให้สร้างสัญญาณความถี่ใหม่เมื่อมันทำงานอื่นๆที่รับค่ามาเสร็จหมดแล้วโดยสามารถเขียนแผนภาพแสดงการสร้างสัญญาณไซน์ได้ดังนี้

โดยมีเงื่อนไข $Y1 = \sin(\omega t)$, $Y2 = 2 \cos(\omega t)$ $Y1 = A*Y1$

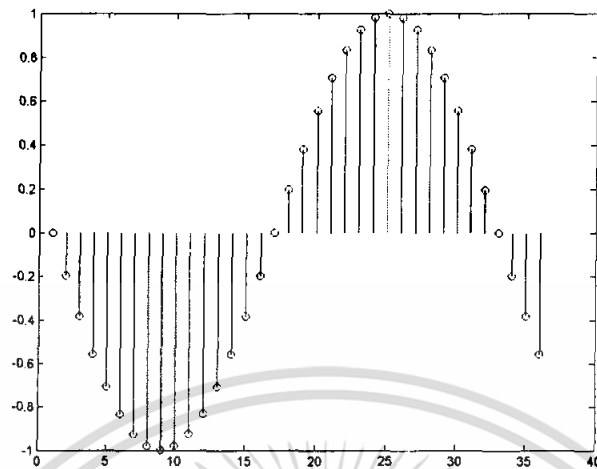
$$PP = \frac{F_s}{F_c}, \quad B = 1$$



รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงการสร้างสัญญาณไซน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

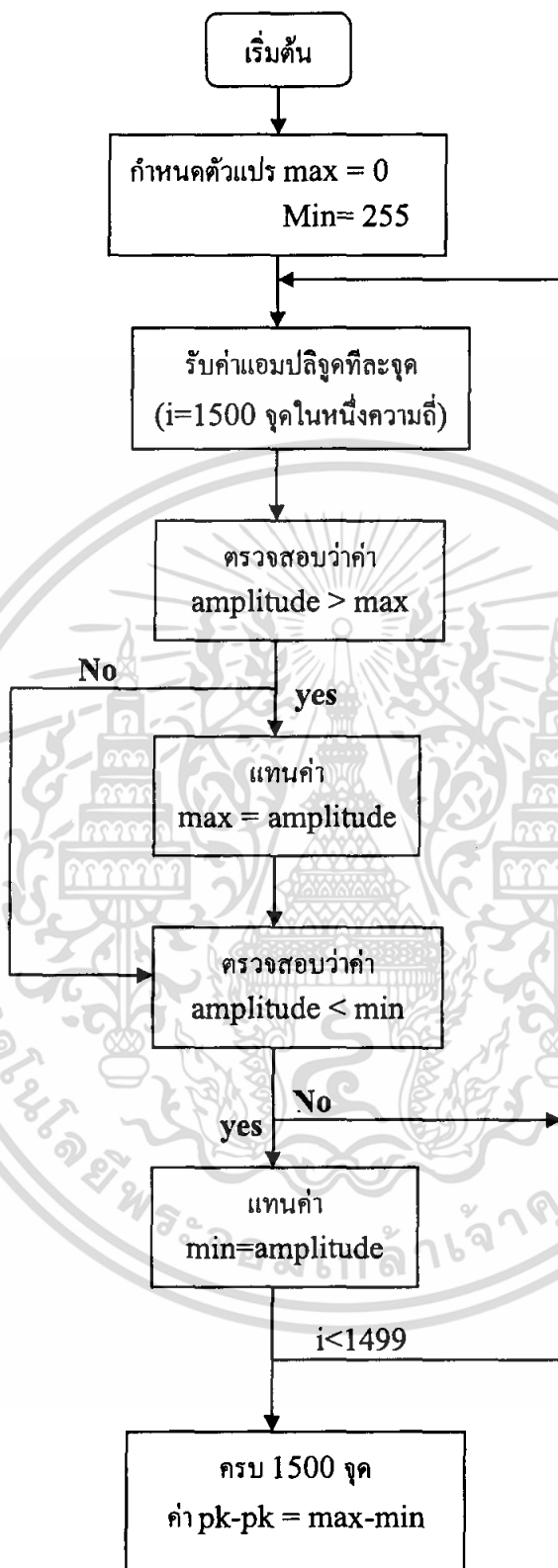
3.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล



รูปที่ 3.5 ภาพแสดงการทำแชนเปลิ่งเพื่อหาแอมพลิจูด

การทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM 7 lpc 2119 จะทำการแชนเปลิ่งสัญญาณที่ออกจากฟิลเตอร์โดยในหนึ่งความถี่จะแชนเปลิ่งเพื่อตรวจหาค่าแรงดันสูงสุดของสัญญาณทุกๆความถี่เพื่อนำค่าสูงสุดของแต่ละความถี่ไปเก็บข้อมูลเพื่อพล็อตกราฟคุณสมบัติและหาค่าความถี่ถัดต่อไปโดยวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลภายในนี้ สามารถแชนเปลิ่งได้ที่ความถี่แชนเปลิ่ง 137 kHz

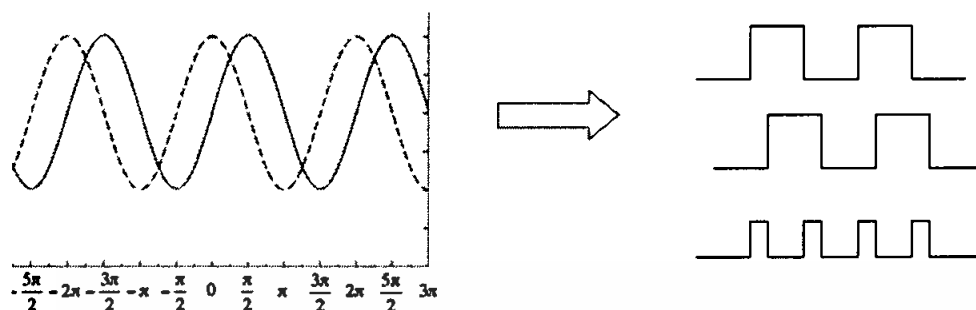
3.4 การวัดค่าแรงดันของสัญญาณเอาต์พุตฟิลเตอร์



รูปที่ 3.6 แผนภาพแสดงการหาค่าแรงดันของสัญญาณเอาต์พุตฟิลเตอร์

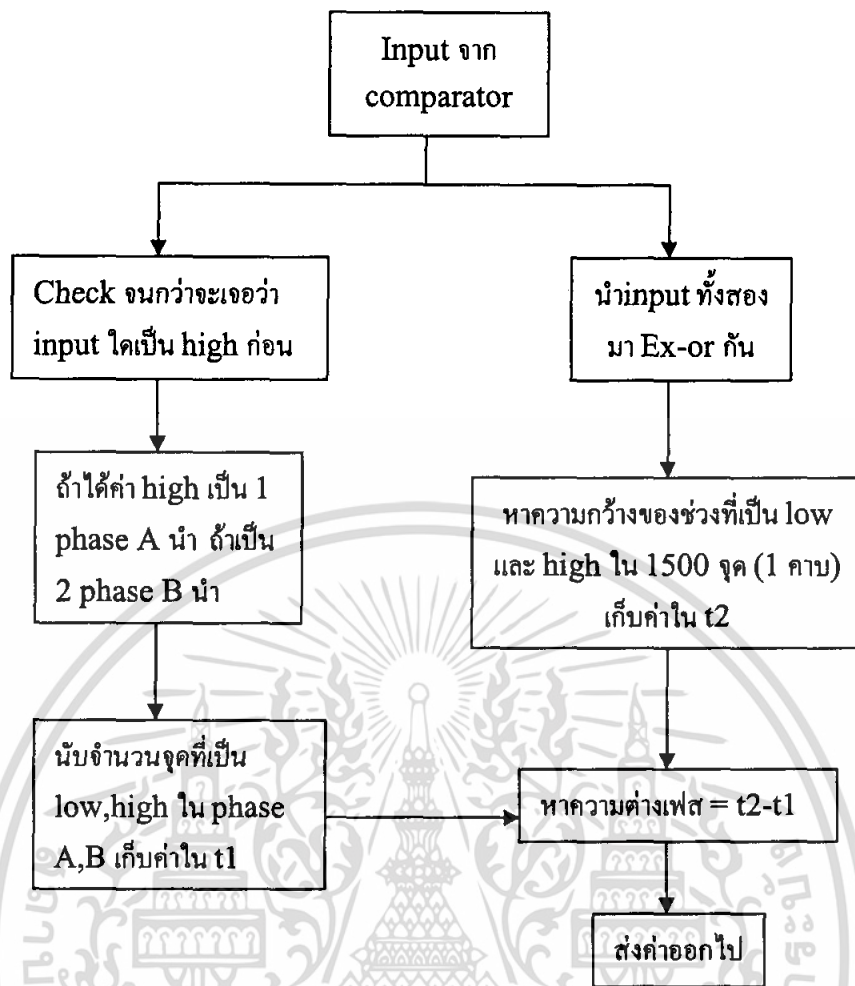
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบการวัดผลตอบสนองทางเฟส



รูปที่ 3.7 แสดงวิธีการคำนวณหาความต่างเฟสของสัญญาณก่อนและหลังออกจากฟิลเตอร์

เราจะทำการวัดเฟสโดยนำสัญญาณก่อนเข้าฟิลเตอร์ผ่านวงจรคอมพารเตเตอร์เพื่อทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์มองสัญญาณเป็นลอจิก และเช่นเดียวกันนำสัญญาณที่ออกจากฟิลเตอร์ไปผ่านวงจรคอมพารเตเตอร์ จากนั้นสัญญาณทั้งสองที่ผ่านคอมพารเตเตอร์จะนำเข้าไปทางพอร์ต GPIO เพื่อทำการเขียนโปรแกรมคำนวณให้สัญญาณทั้งสองทำการเอกซ์คลูซีฟออร์กัน สัญญาณที่ได้จากการเอกซ์คลูซีฟออร์ภายในนั้นจะเป็นความต่างของสัญญาณในช่วงที่เฟสเปลี่ยนไป เราจะนำสัญญาณนี้ไปคำนวณหาเฟสได้โดยมีการคำนวณเฟสดังแผนภาพ 3.8



รูปที่ 3.8 แผนภาพแสดงการคำนวณหาเฟส

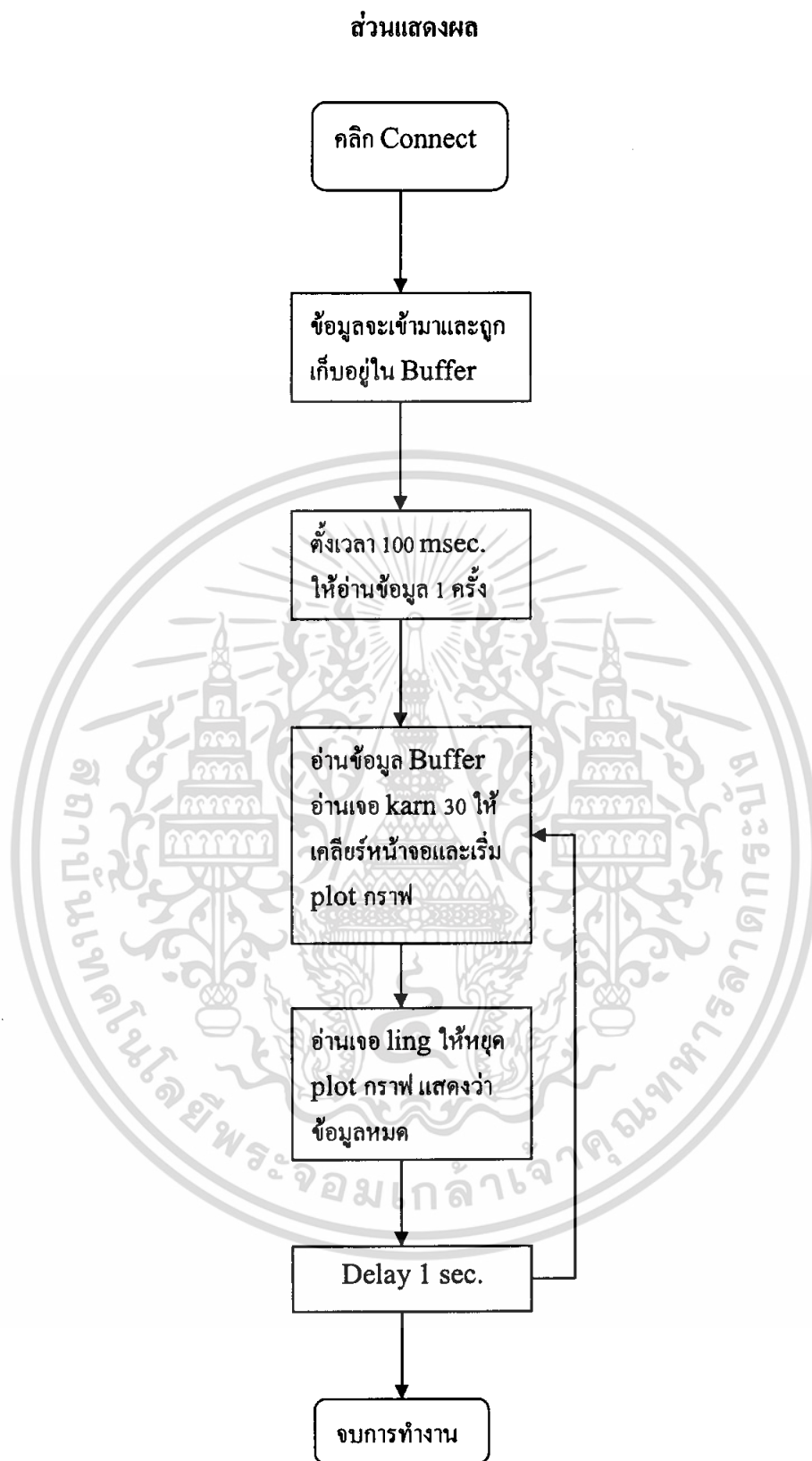
3.6 การส่งข้อมูลแสดงผล

รูปแบบที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูล

test[02]XXX_YYY_A_B_ZZZ[03]

- test เป็น start frame จำนวน 4 byte
- [02] เป็น start text จำนวน 2 byte
- XXX เป็นค่าความถี่ที่จะส่งออกไป โดยเราจะมองแต่ละ byte แยกกัน
- YYY เป็นค่าที่รับค่าที่รับกลับเข้ามาแล้วประมวลผลซึ่งจะได้ค่าแอมพลิจูด
- A B เป็นค่า สัญญาณสี่เหลี่ยมจากคอมพิวเตอร์ทั้งสองตัว โดยที่ถ้าเป็น 1 0 แสดงว่า A นำ B และ 0 1 แสดงว่า A ตาม B
- ZZZ เป็นค่ามุมเฟสที่คำนวณได้
- [03] เป็น end text

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

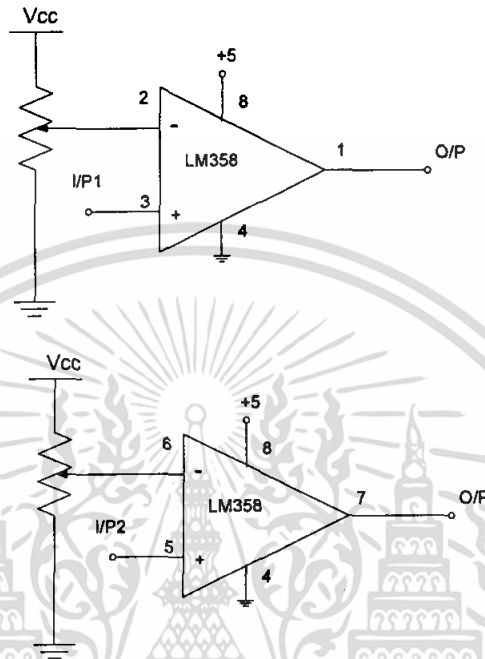


รูปที่ 3.9 แผนภาพแสดงการรับค่าแสดงผลหน้าจอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 วงจรคอมพารเตอร้

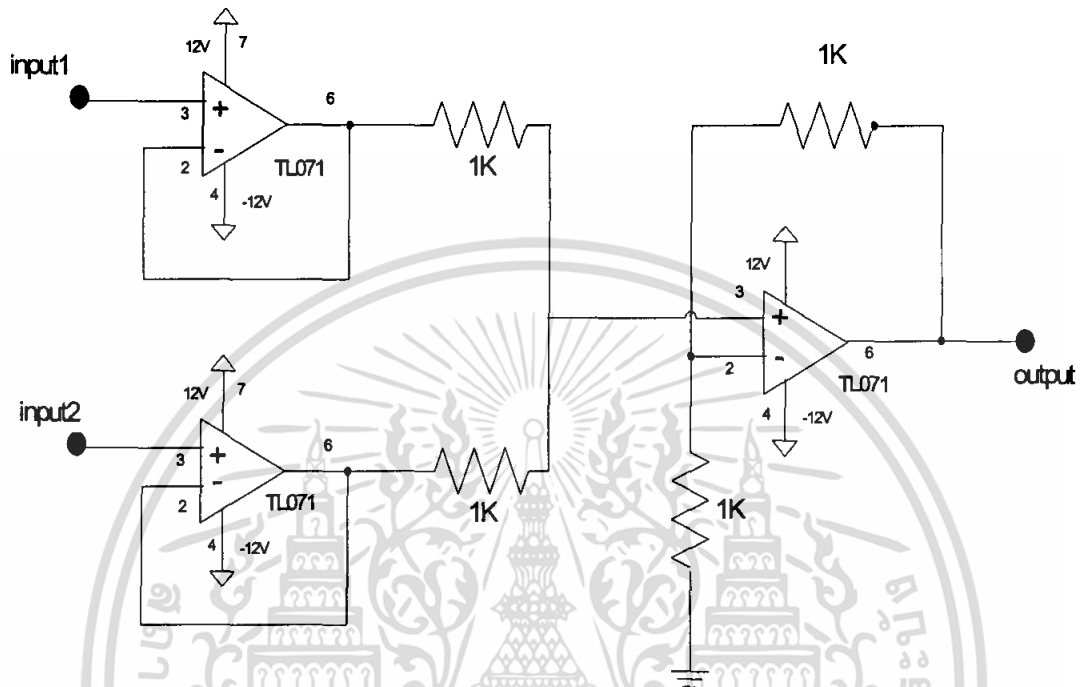
วงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่นำมาใช้เป็นวงจรเปรียบเทียบสัญญาณด้วยจุดสัญญาณเข้าที่บวก โดยนำค่าความต้านทานมาแบ่งระดับแรงดันเพื่อใช้เป็นระดับสัญญาณอ้างอิง โดยปรับแรงดันอ้างอิงอยู่ที่ประมาณ 1.5 V



รูปที่ 3.10 วงจรคอมพารเตอร้

3.8 วงจรรวมสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

วงจรรวมสัญญาณแบบไม่กลับเฟสคือวงจรที่ให้สัญญาณเอาต์พุตที่เกิดจากการรวมของสัญญาณทุกสัญญาณจากแหล่งป้อนแรงดันทางด้านอินพุตโดยขั้วของแรงดันทางด้านอินพุตจะเหมือนกับทางเอาต์พุตด้วย



รูปที่ 3.11 วงจรรวมสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

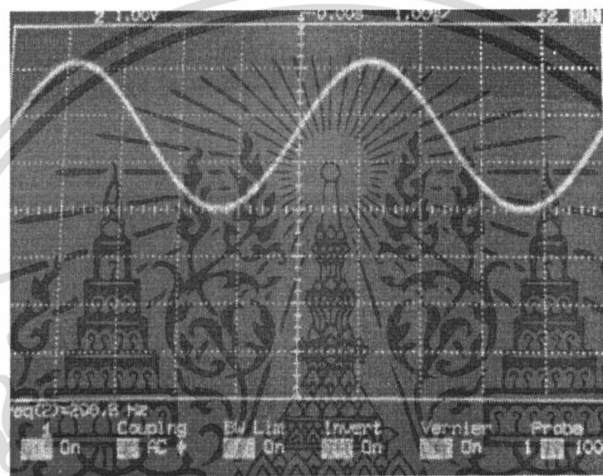
จะพบว่าตัวต้านทานด้านอินพุตของออปแอมป์ก็มีผลกับอัตราขยายด้วยและในส่วนของ passive average จะมีการใช้บัฟเฟอร์ มาต่อระหว่างแหล่งป้อนแรงดันและตัวต้านทาน เพื่อให้วงจรมีคุณสมบัติที่ดี ในแง่ของการลดการดึงกระแส จากแหล่งจ่ายสัญญาณให้น้อยที่สุด

บทที่ 4

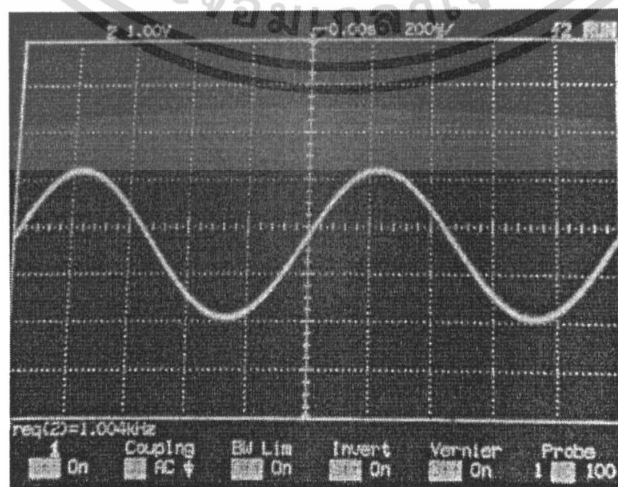
การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การวัดสัญญาณที่ออกมาจาก ADUc7024

เมื่อซีพียู LPC2119 ส่งค่าออกไปยัง ADUc7024 ซึ่งเป็นตัวที่จะใช้สร้างสัญญาณไซน์ โดยควบคุมการสร้างสัญญาณไซน์ผ่านโปรแกรม จากการทดลองจะได้สัญญาณไซน์ที่มีความถี่ตั้งแต่ 200 Hz ถึง 20 kHz

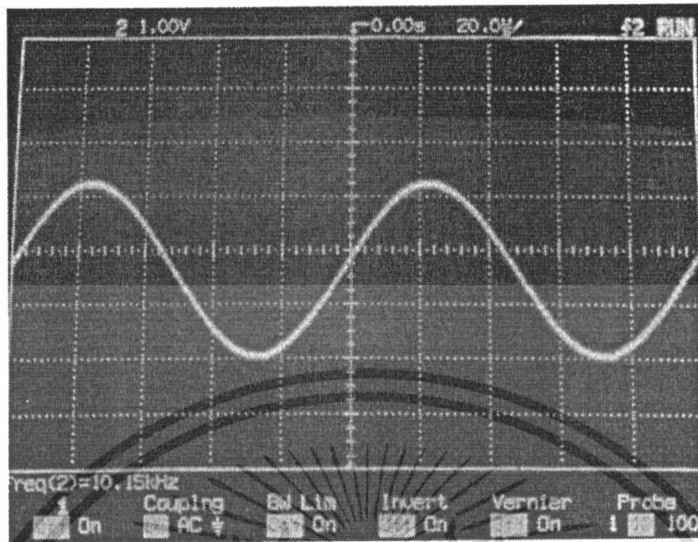


รูปที่ 4.1 สัญญาณไซน์ความถี่ 200 Hz

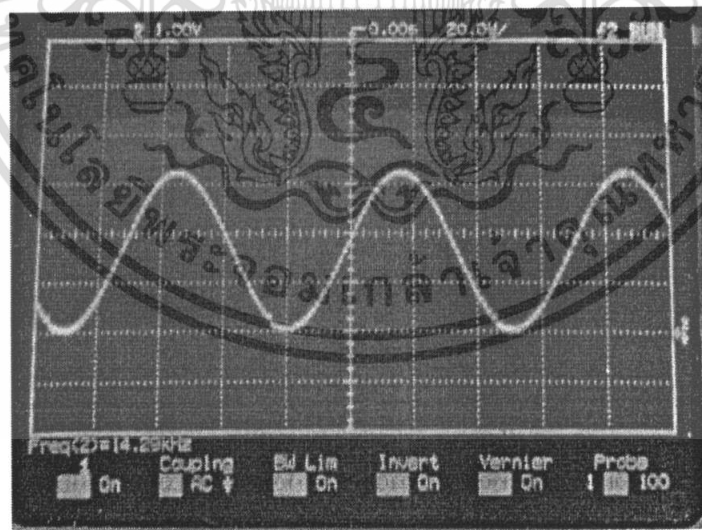


รูปที่ 4.2 สัญญาณไซน์ความถี่ 1 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

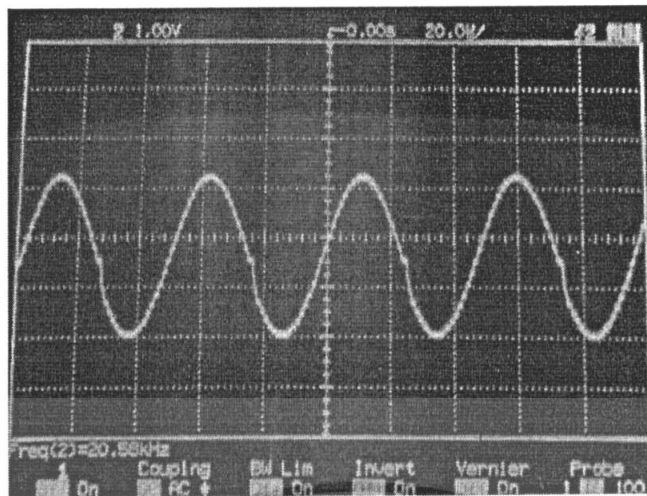


รูปที่ 4.3 สัญญาณไซน์ความถี่ 10 kHz



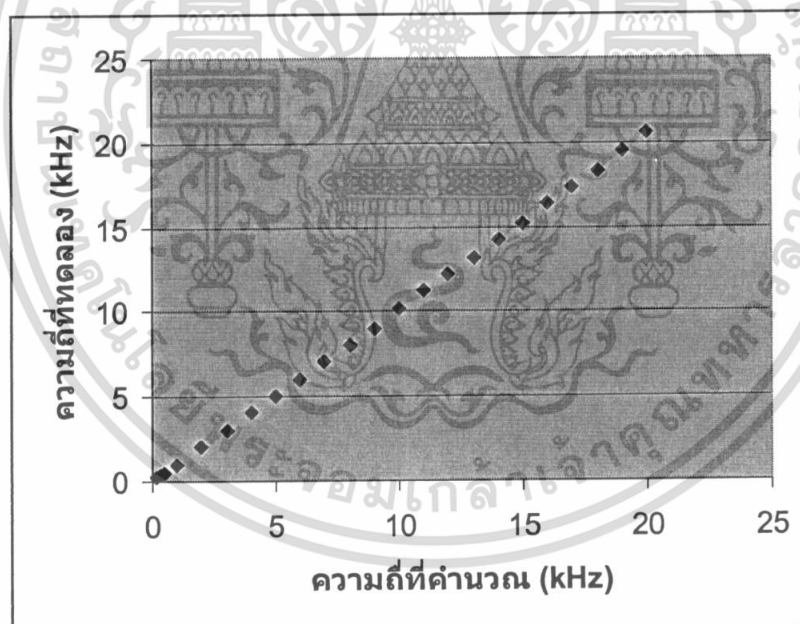
รูปที่ 4.4 สัญญาณไซน์ความถี่ 14 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 สัญญาณไซน์ความถี่ 20 kHz

การสร้างสัญญาณไซน์จะได้อาจจากการคำนวณและเขียน โปรแกรมซึ่งจะมีค่าผิดพลาดบางส่วนเมื่อสร้างสัญญาณที่มีความถี่สูงขึ้นดังกราฟและตารางบันทึกผล



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความถี่ที่คำนวณกับค่าที่ทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ของความถี่สัญญาณไซน์ที่คำนวณกับสัญญาณที่ทดลองจริงแสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ความถี่ที่คำนวณ	ความถี่ที่สร้างจริง
0.2	0.2
0.3	0.3
0.5	0.503
1	1.004
2	2.008
3	3.003
4	4.03
5	4.975
6	6.036
7	7.092
8	8.065
9	9.009
10	10.15
11	11.25
12	12.21
13	13.16
14	14.29
15	15.17
16	16.42
17	17.39
18	18.35
19	19.49
20	20.58

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ความถี่ของสัญญาณไซน์ที่คำนวณกับสัญญาณที่สร้างได้จริง

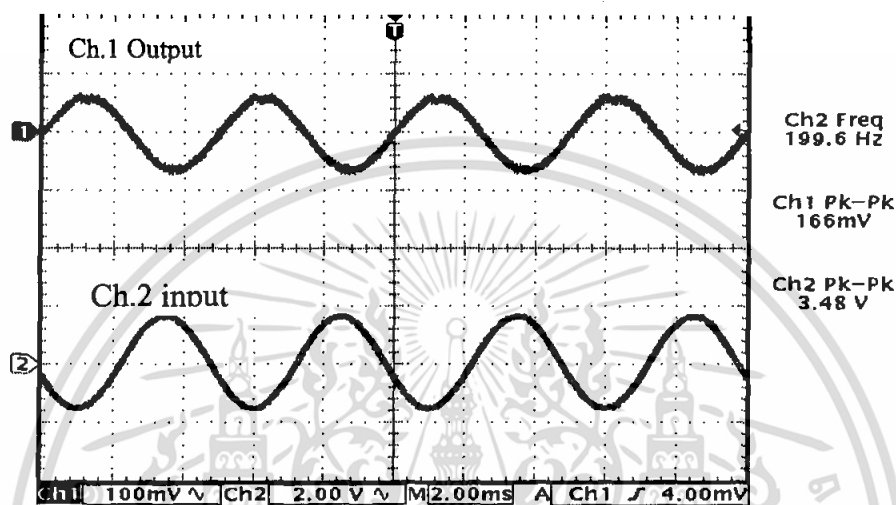
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวัดสัญญาณจากวงจรสร้างความถี่เทียบกับเอาต์พุตของฟิลเตอร์

4.2.1 ทดลองวัด HPF ที่มีความถี่คัทออฟ $f_c = 1\text{kHz}$

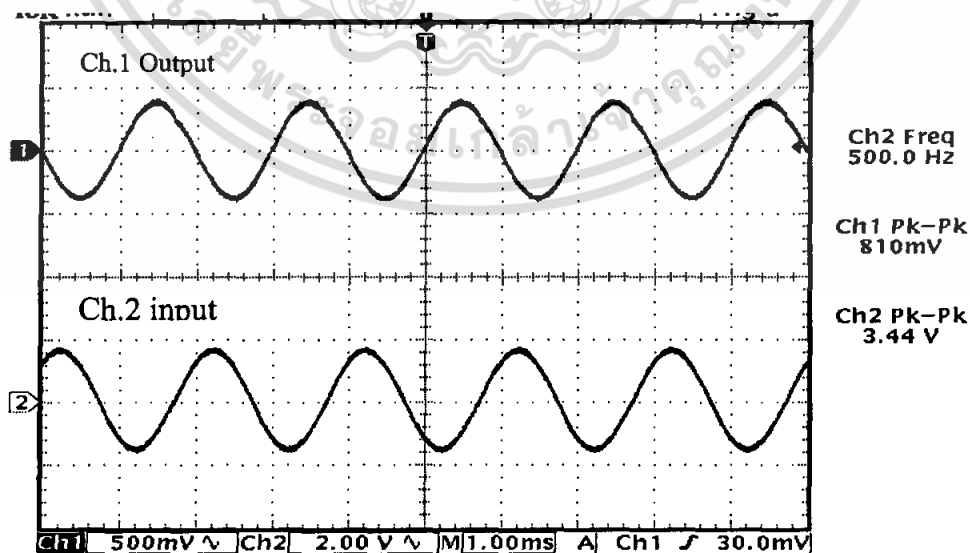
เมื่อวัดช่องสัญญาณที่สองที่ขาของ ADUc7402 ซึ่งกำเนิดไซน์และวัดช่องสัญญาณที่หนึ่งที่เอาต์พุตของฟิลเตอร์

ความถี่ 200 Hz



รูปที่ 4.7 สัญญาณจากฟิลเตอร์ความถี่สูง 1 kHz เทียบกับวงจรสร้างความถี่ที่ความถี่ 200 Hz

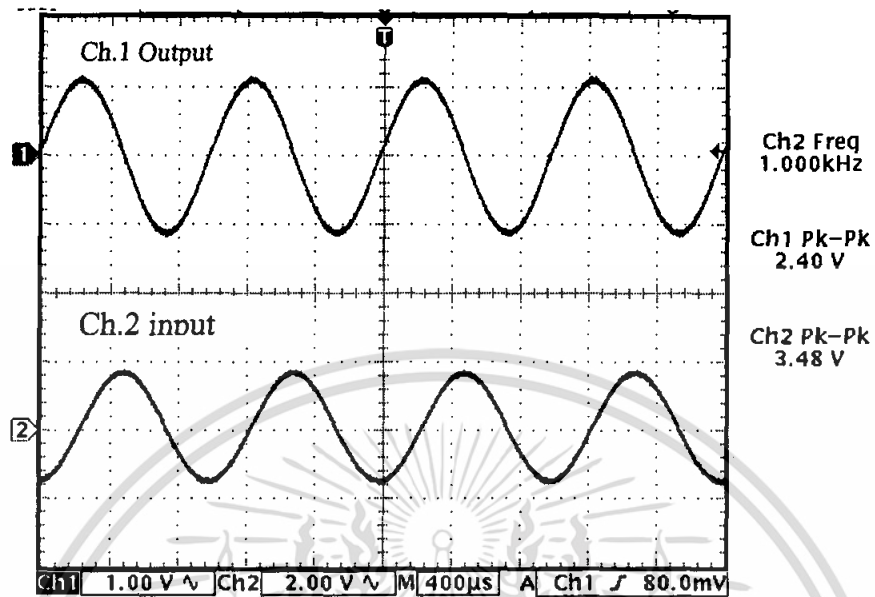
ความถี่ 500 Hz



รูปที่ 4.8 สัญญาณจากฟิลเตอร์ความถี่สูง 1 kHz เทียบกับวงจรสร้างความถี่ที่ความถี่ 500 Hz

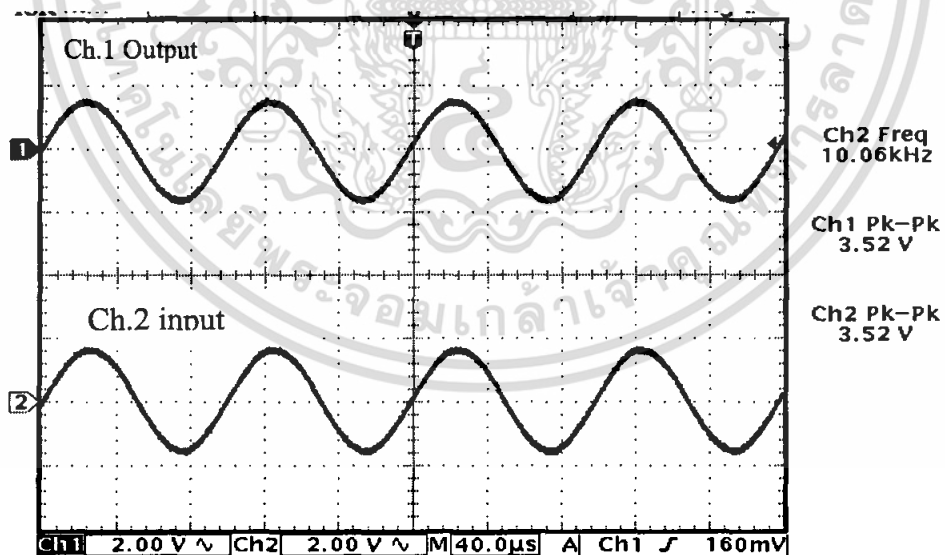
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 1 kHz



รูปที่ 4.9 สัญญาณจากฟิลเตอร์ความถี่สูง 1 kHz เทียบกับวงจรสร้างความถี่ที่ความถี่ 1 kHz

ความถี่ 10 kHz

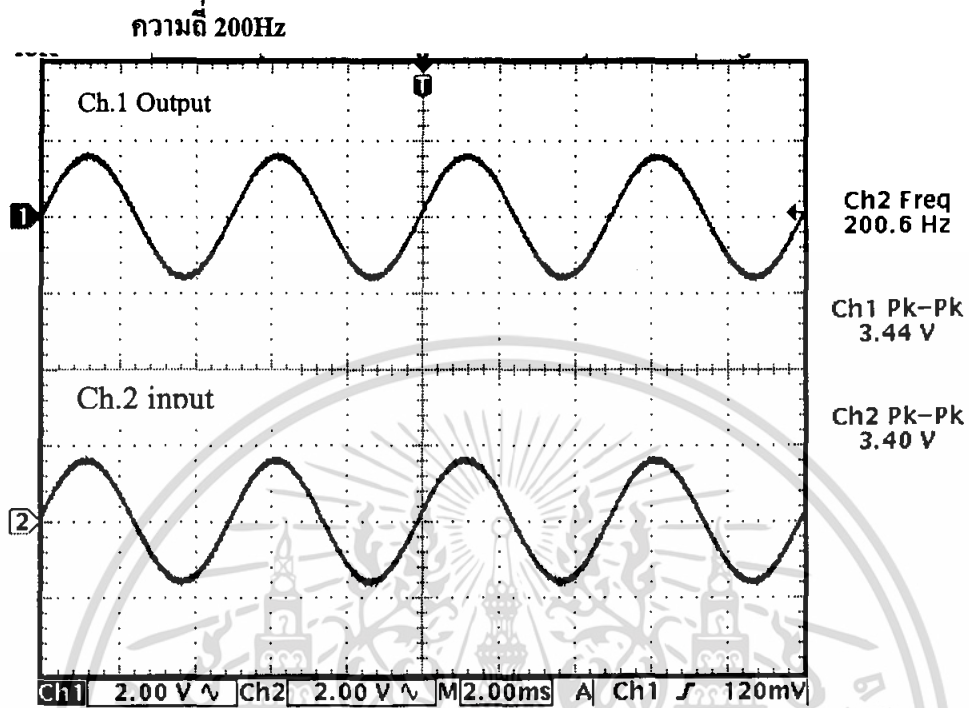


รูปที่ 4.10 สัญญาณจากฟิลเตอร์ความถี่สูง 1 kHz เทียบกับวงจรสร้างความถี่ที่ความถี่ 10 kHz

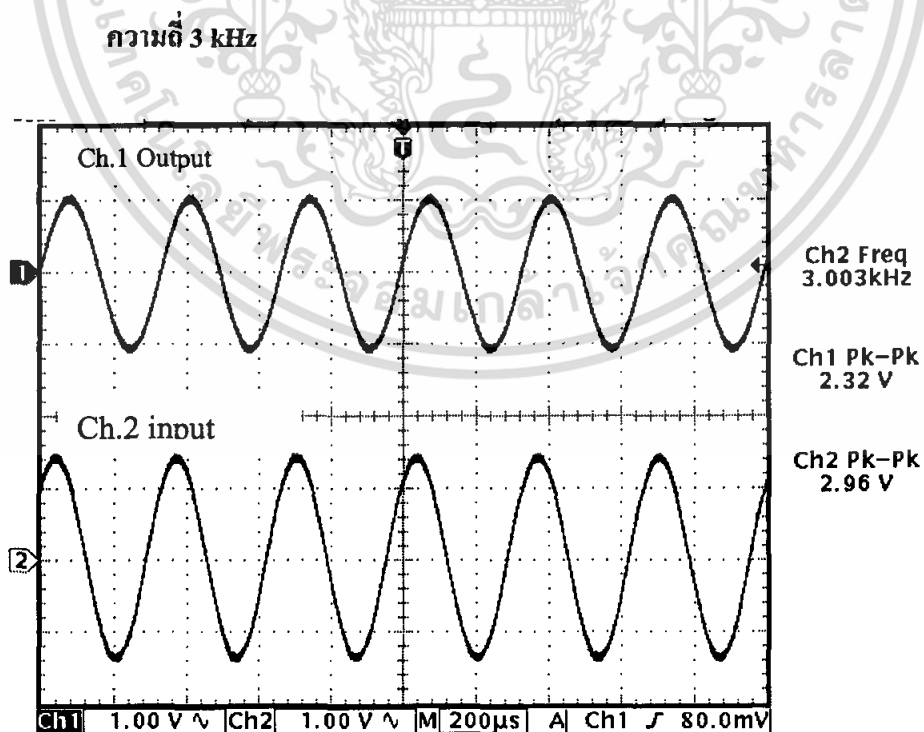
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ทดสอบที่ LPF $f_c = 3.5 \text{ kHz}$

เมื่อวัดช่องสัญญาณที่สองที่ขาของ ADUC7402 ซึ่งกำเนิดไซน์และวัดช่องสัญญาณที่หนึ่งที่เขาต์พุตของฟิลเตอร์



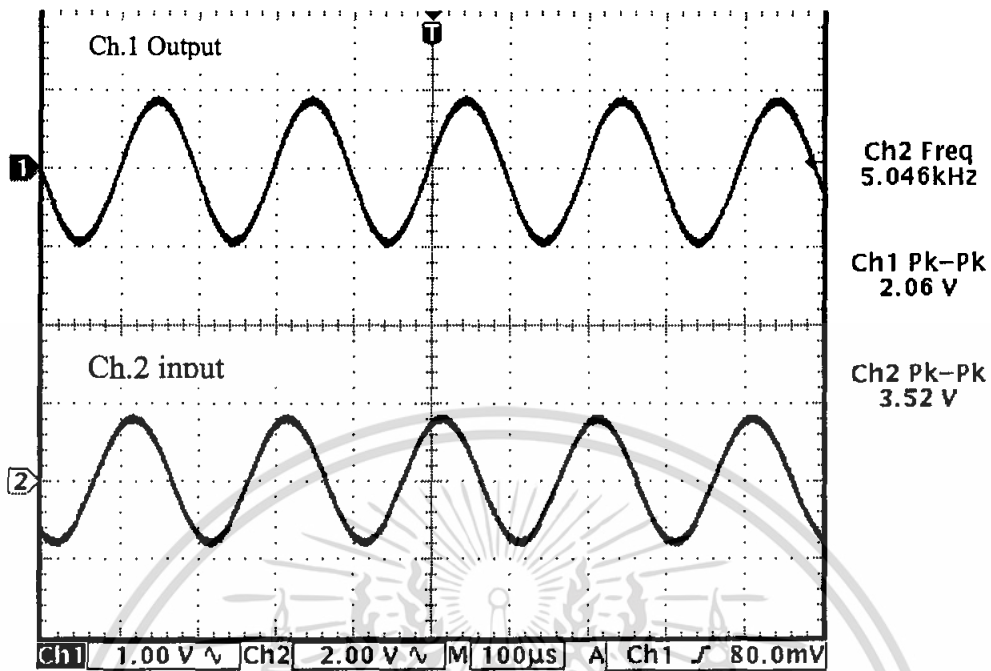
รูปที่ 4.11 สัญญาณจากฟิลเตอร์ความถี่ต่ำ 3.5 kHz เทียบกับวงจรสร้างความถี่ที่ความถี่ 200 Hz



รูปที่ 4.12 สัญญาณจากฟิลเตอร์ความถี่ต่ำ 3.5 kHz เทียบกับวงจรสร้างความถี่ที่ความถี่ 3 kHz

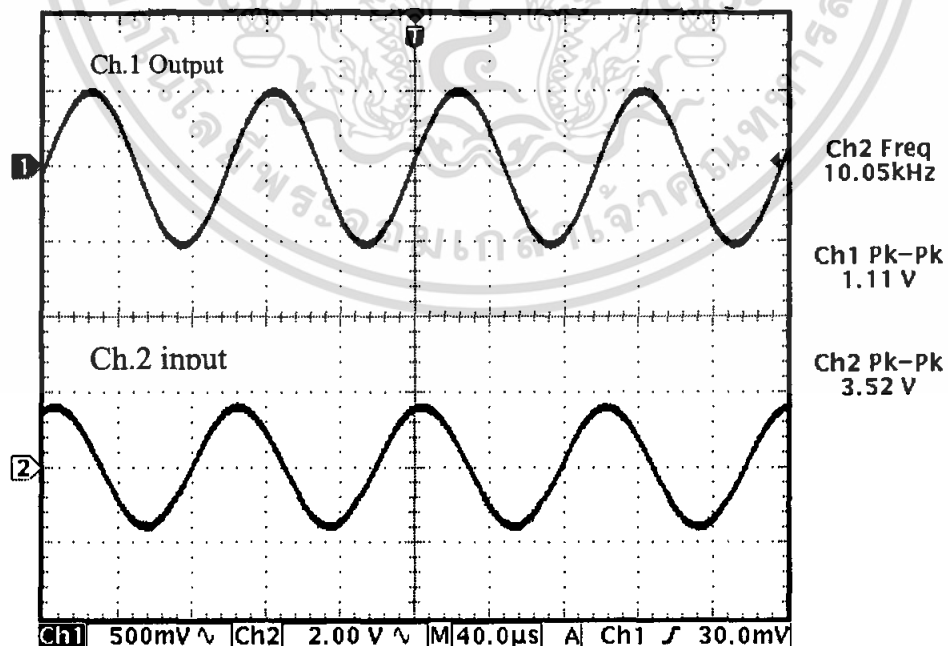
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 5 kHz



รูปที่ 4.13 สัญญาณจากฟิลเตอร์ความถี่ต่ำ 3.5 kHz เทียบกับวงจรสร้างความถี่ที่ความถี่ 5 kHz

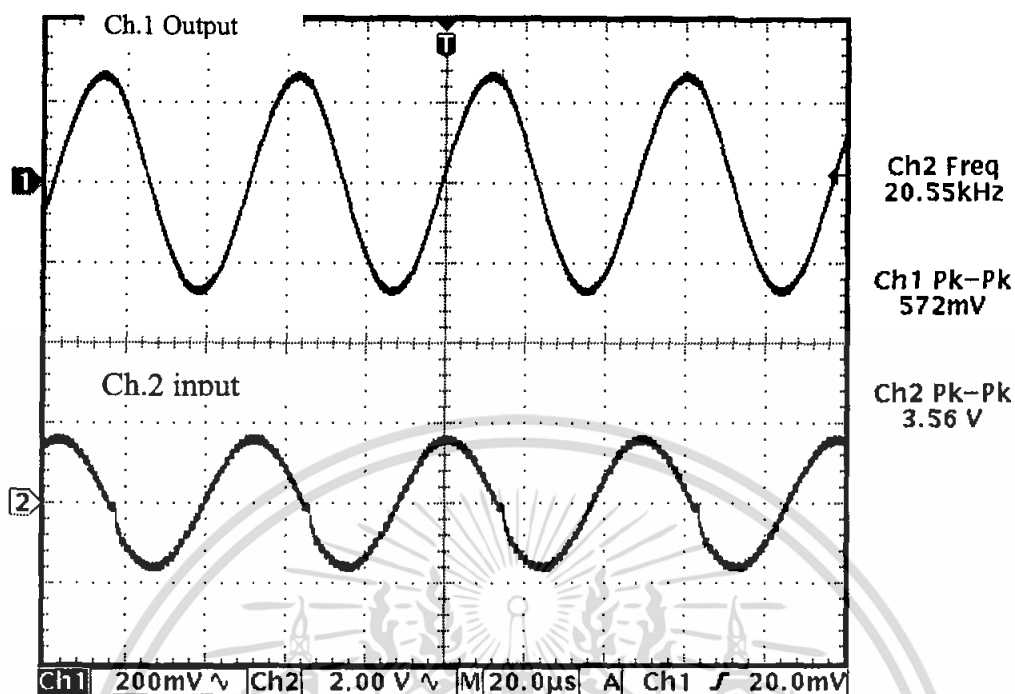
ความถี่ 10 kHz



รูปที่ 4.14 สัญญาณจากฟิลเตอร์ความถี่ต่ำ 3.5 kHz เทียบกับวงจรสร้างความถี่ที่ความถี่ 10 kHz

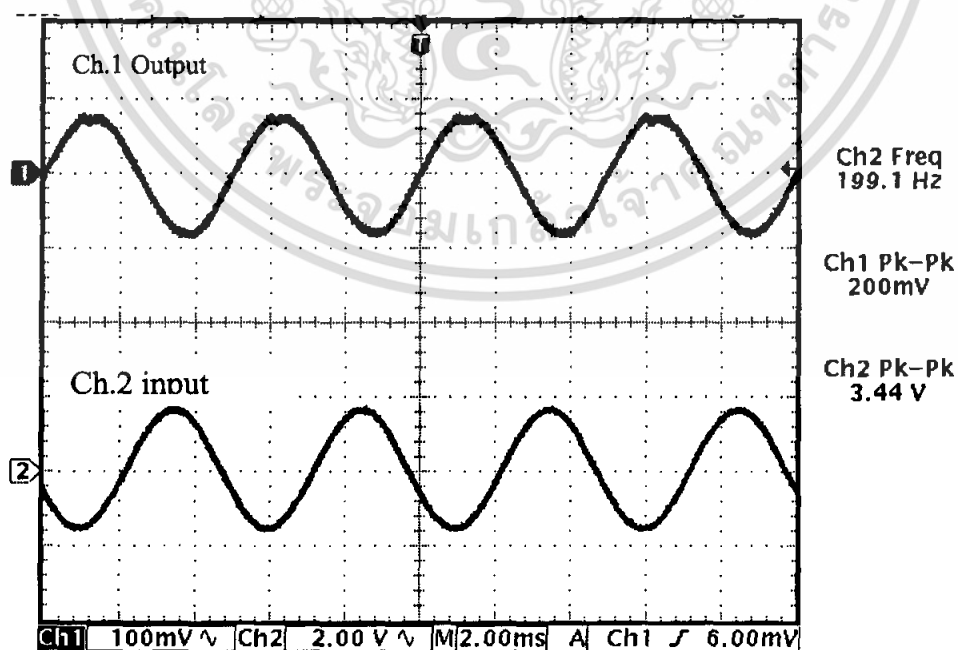
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 20 kHz



รูปที่ 4.15 สัญญาณจากฟิลเตอร์ความถี่ต่ำ 3.5 kHz เทียบกับวงจรสร้างความถี่ที่ความถี่ 20 kHz

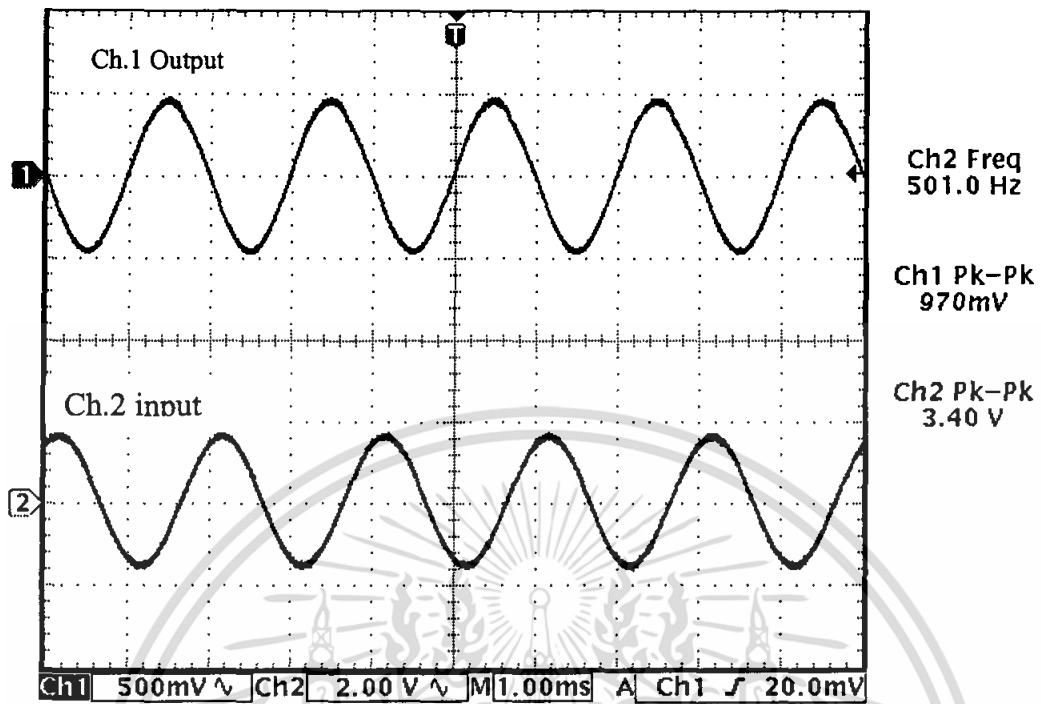
4.2.3 ทดสอบที่ BPF $f_c = 1 \text{ kHz}, 3.5 \text{ kHz}$
ความถี่ 200 Hz



รูปที่ 4.16 สัญญาณจากฟิลเตอร์ BPF 1 kHz, 3.5 kHz เทียบกับวงจรสร้างความถี่ที่ความถี่ 200 Hz

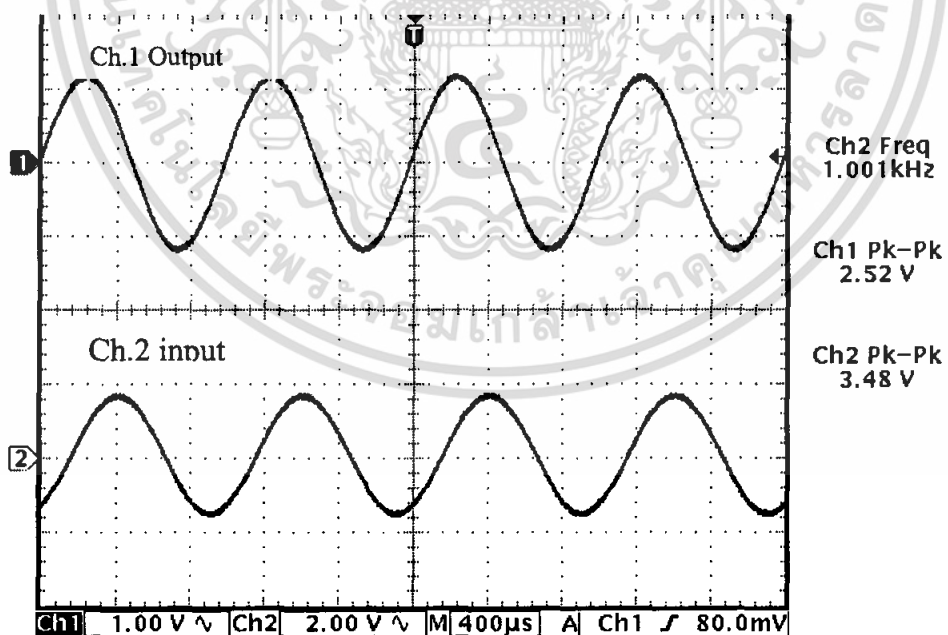
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 500 Hz



รูปที่ 4.17 สัญญาณจากฟิลเตอร์ BPF 1 kHz, 3.5 kHz เทียบกับวงจรสร้างความถี่ที่ความถี่ 500 Hz

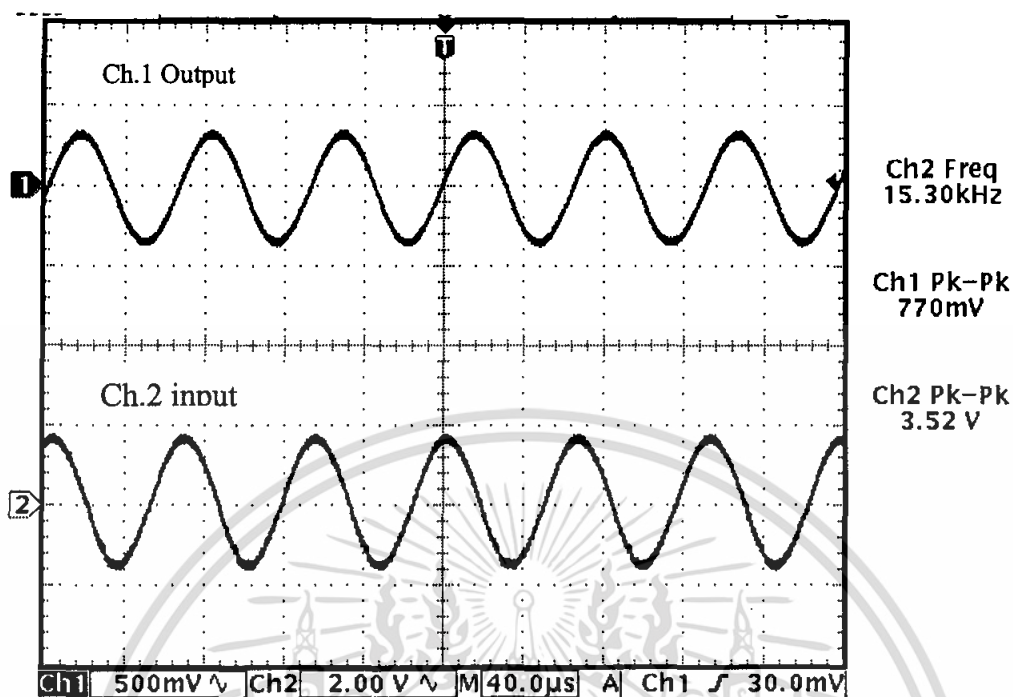
ความถี่ 1 kHz



รูปที่ 4.18 สัญญาณจากฟิลเตอร์ BPF 1 kHz, 3.5 kHz เทียบกับวงจรสร้างความถี่ที่ความถี่ 1 kHz

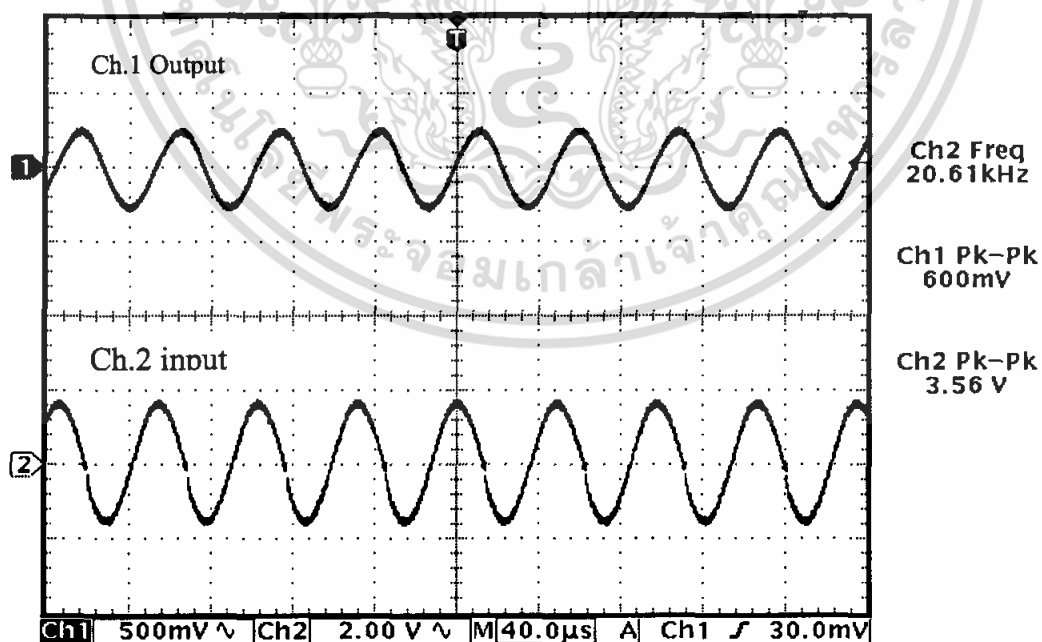
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 15kHz



รูปที่ 4.19 สัญญาณจากฟิลเตอร์ BPF 1 kHz, 3.5 kHz เทียบกับวงจรสร้างความถี่ที่ความถี่ 15 kHz

ความถี่ 20kHz



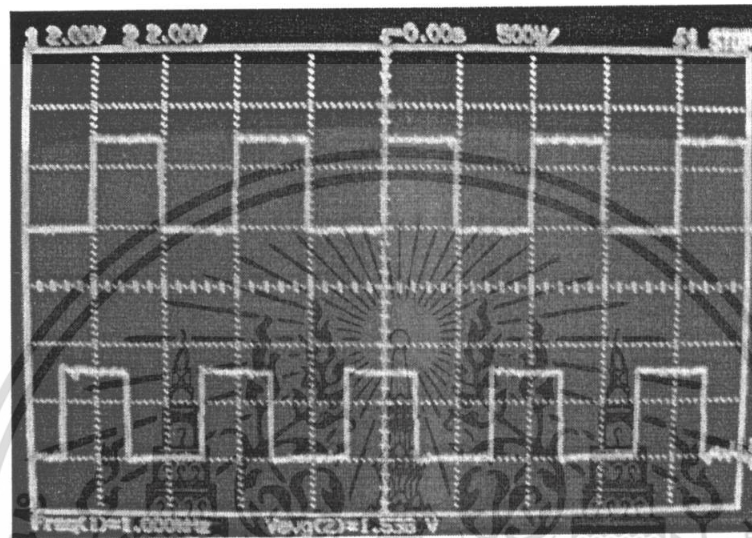
รูปที่ 4.20 สัญญาณจากฟิลเตอร์ BPF 1 kHz, 3.5 kHz เทียบกับวงจรสร้างความถี่ที่ความถี่ 20 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

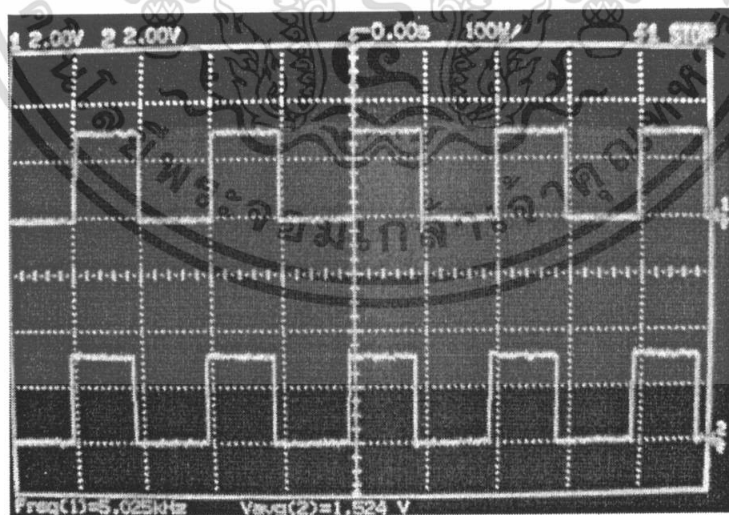
4.3 ผลจากวงจรคอมพารเตอรื

วัดผลสัญญาณที่ออกมาจากวงจรคอมพารเตอรื โดยสัญญาณช่องที่หนึ่ง(ด้านบน) คือคอมพารเตอรืของสัญญาณอินพุตฟิลเตอรื ส่วนสัญญาณช่องที่สอง(ด้านล่าง) คือคอมพารเตอรืของสัญญาณเอาต์พุตฟิลเตอรื

4.3.1 HPF 1kHz



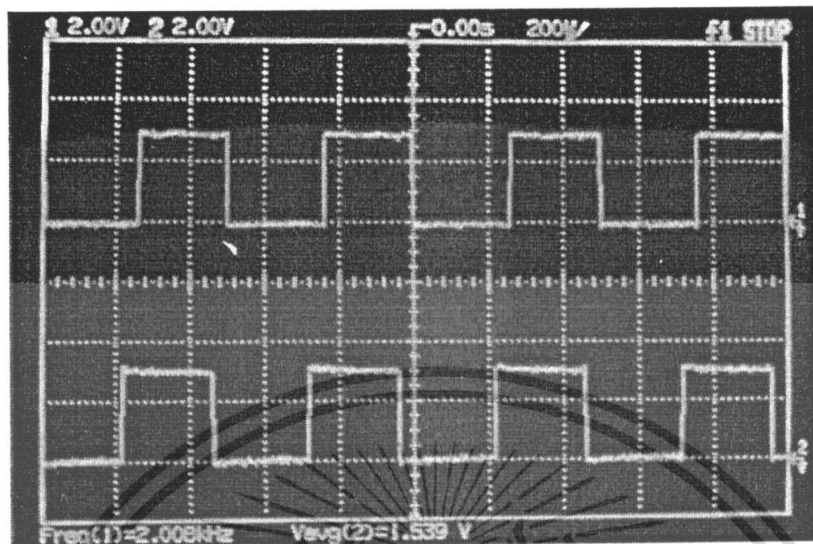
รูปที่ 4.21 สัญญาณจากวงจรคอมพารเตอรืของ HPF 1kHz ที่ความถี่ 1kHz



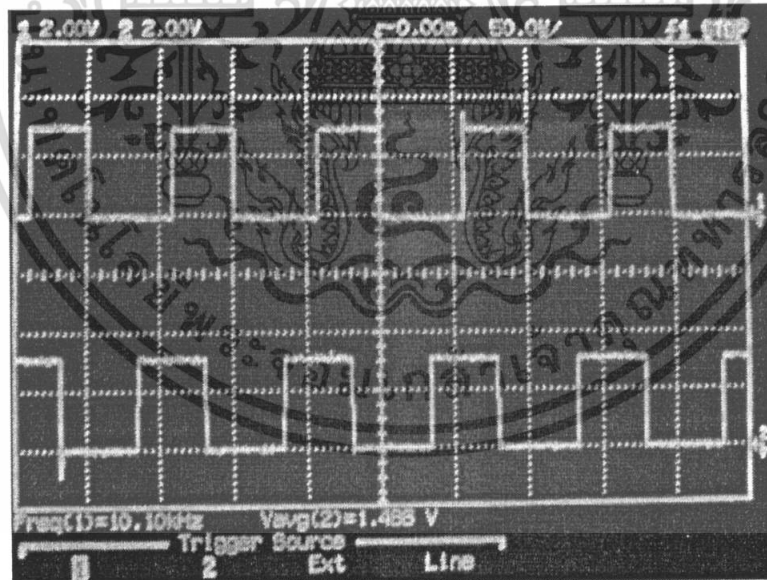
รูปที่ 4.22 สัญญาณจากวงจรคอมพารเตอรืของ HPF 1kHz ที่ความถี่ 5kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 LPF 3.5kHz



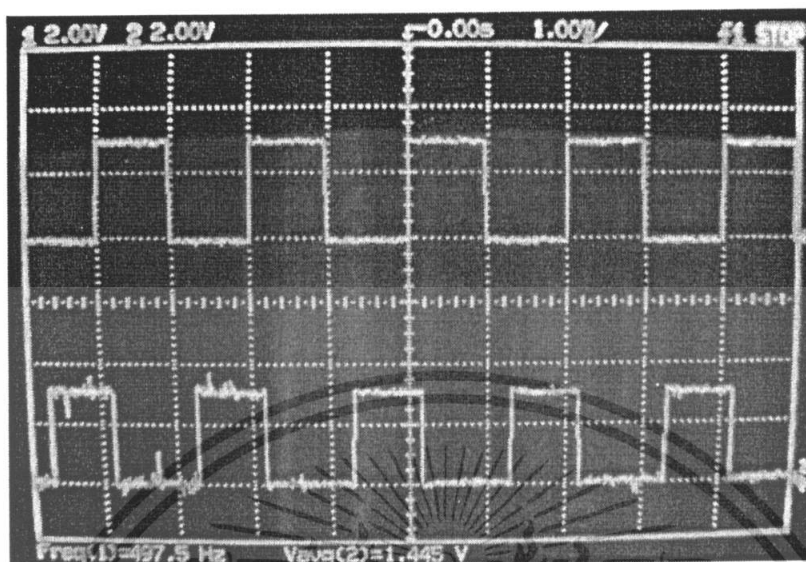
รูปที่ 4.23 สัญญาณจากวงจรคอมพาราเตอร์ของ LPF 3.5kHz ที่ความถี่ 2kHz



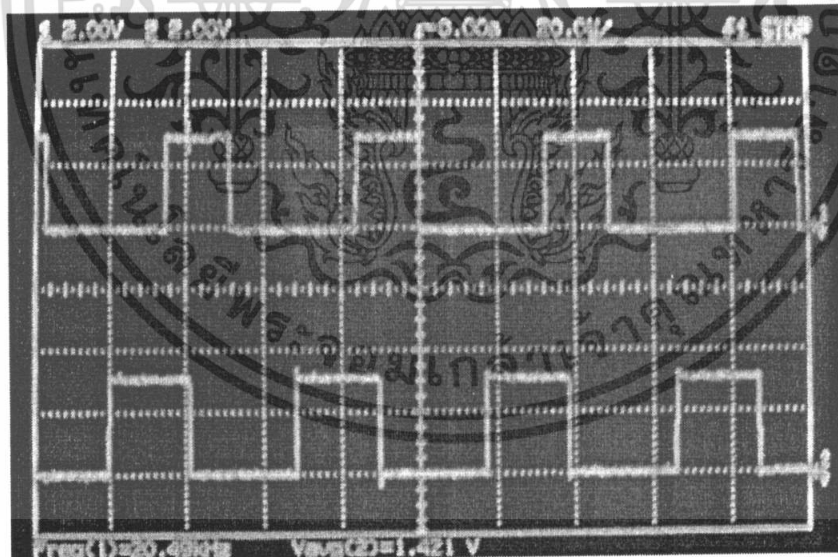
รูปที่ 4.24 สัญญาณจากวงจรคอมพาราเตอร์ของ LPF 3.5kHz ที่ความถี่ 10kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 BPF 1kHz, 3.5kHz



รูปที่ 4.25 สัญญาณจากวงจรคอมพารเตอ์ของ BPF 1kHz, 3.5kHz ที่ความถี่ 500Hz

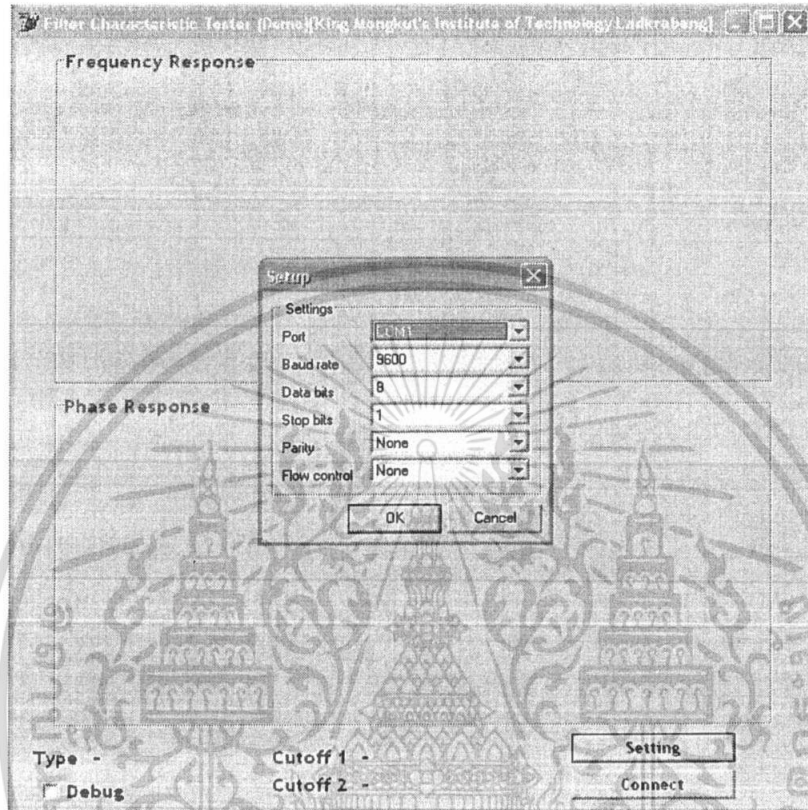


รูปที่ 4.26 สัญญาณจากวงจรคอมพารเตอ์ของ BPF 1kHz, 3.5kHz ที่ความถี่ 20kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

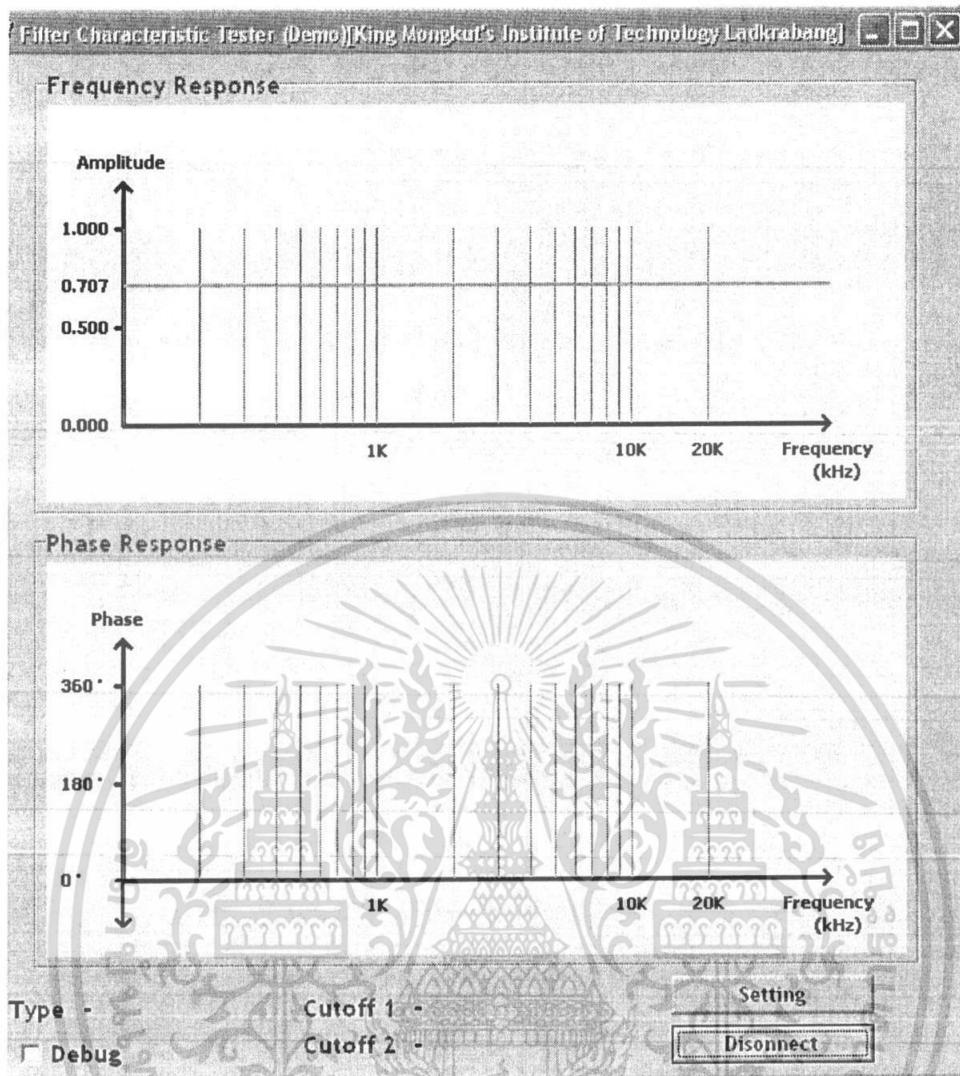
4.4 การแสดงผล

4.4.1 แสดงการเชื่อมต่อเครื่องทดสอบกับคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.27 หน้าจอแสดงผลเมื่อเชื่อมต่อกับ Rs-232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



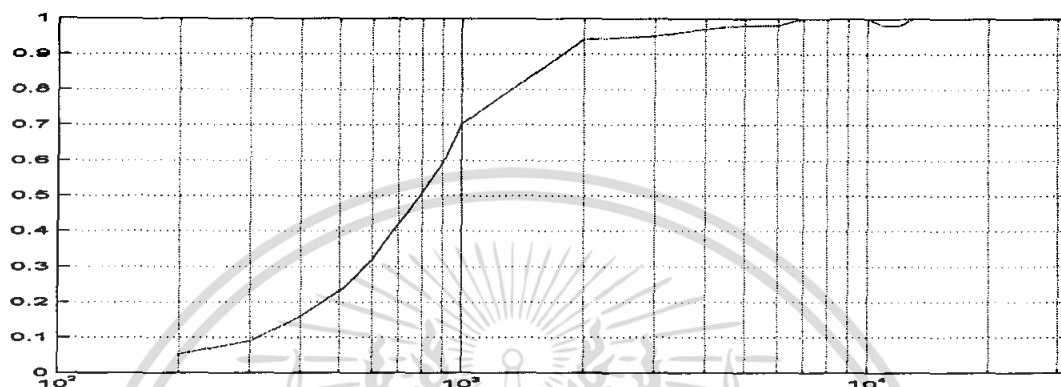
รูปที่ 4.28 หน้าจอแสดงผลเมื่อเริ่มโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

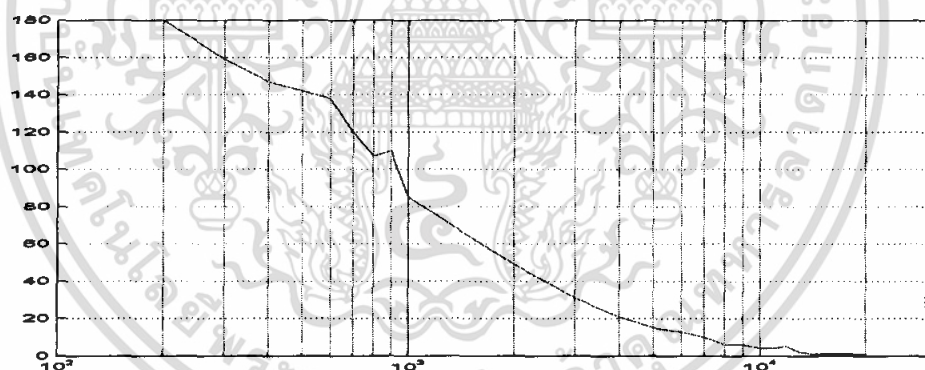
4.4.2 ผลของกราฟแสดงคุณลักษณะของฟิลเตอร์

4.4.2.1 HPF (Active filter) 1 kHz

รูป 4.29 เป็นผลของแอมพลิจูดที่ได้จากการวัดจากสโคป และรูปที่ 4.30 เป็นผลของเฟสที่วัดได้จากสโคปเช่นกันส่วนรูป 4.31 จะเป็นกราฟที่ได้จากการประมวลผลของเครื่องทดสอบโดยวงจรที่นำมาทดสอบเป็นวงจรแบบ แอ็กทีฟฟิลเตอร์ที่ใช้อปแอมในการสร้าง

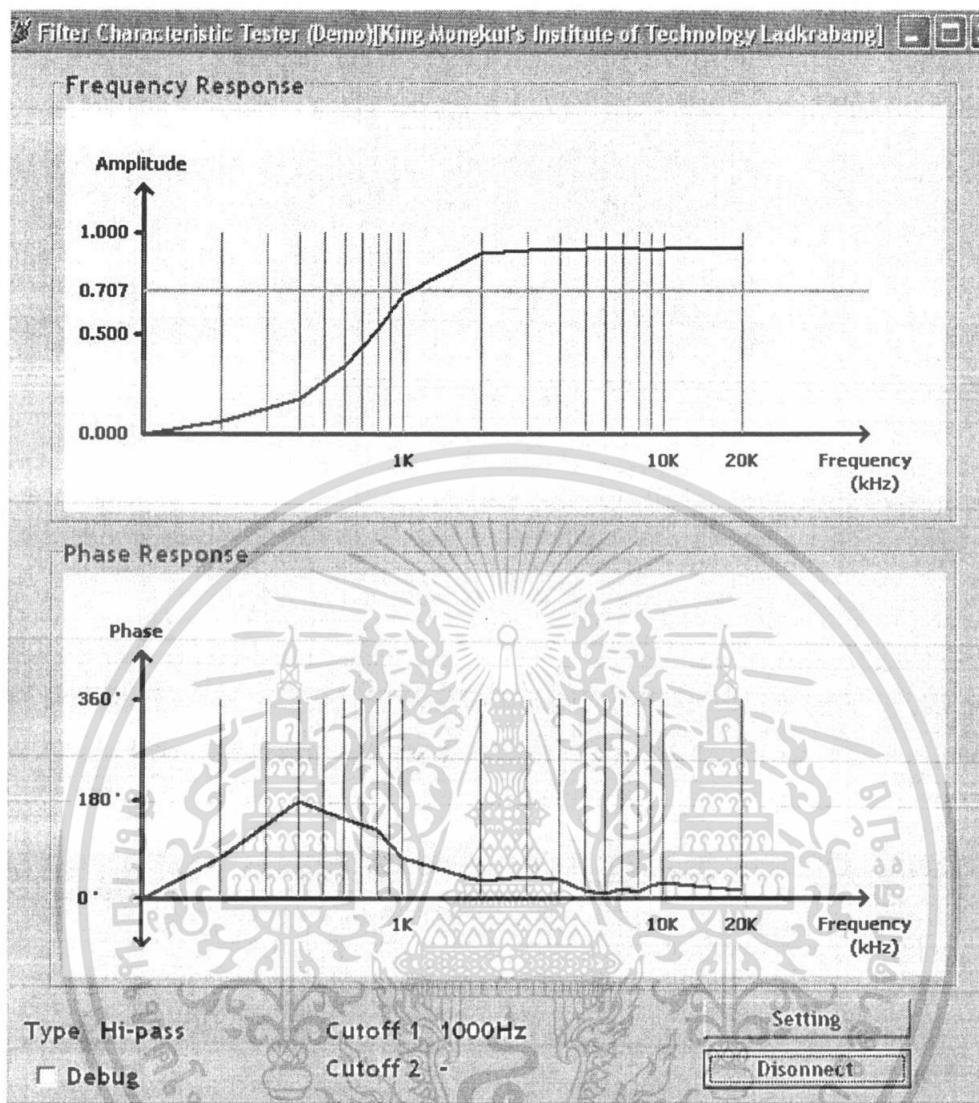


รูปที่ 4.29 กราฟแสดงผลของแอมพลิจูดตัวกรองความถี่สูงผ่านคัทออฟ 1 kHz โดยวัดผลจากสโคป



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงผลของเฟสตัวกรองความถี่สูงผ่านคัทออฟ 1 kHz โดยวัดผลจากสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

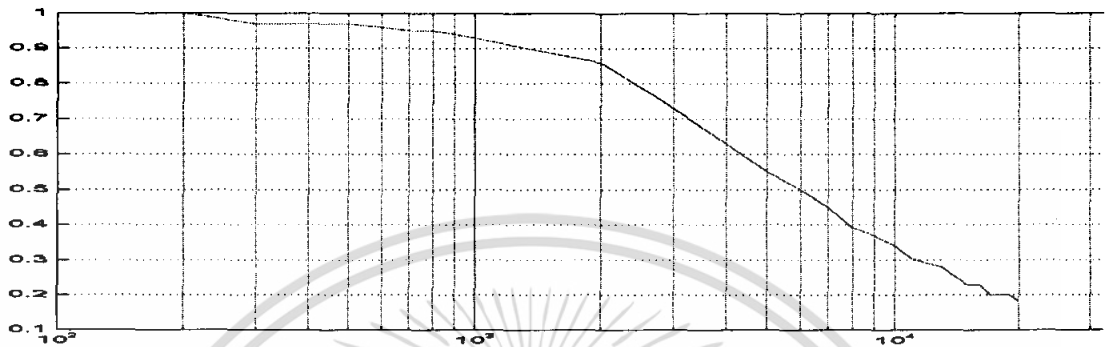


รูปที่ 4.31 กราฟคุณลักษณะของตัวกรองความถี่สูงผ่านความถี่คัทออฟ 1kHz จากเครื่องทดสอบ

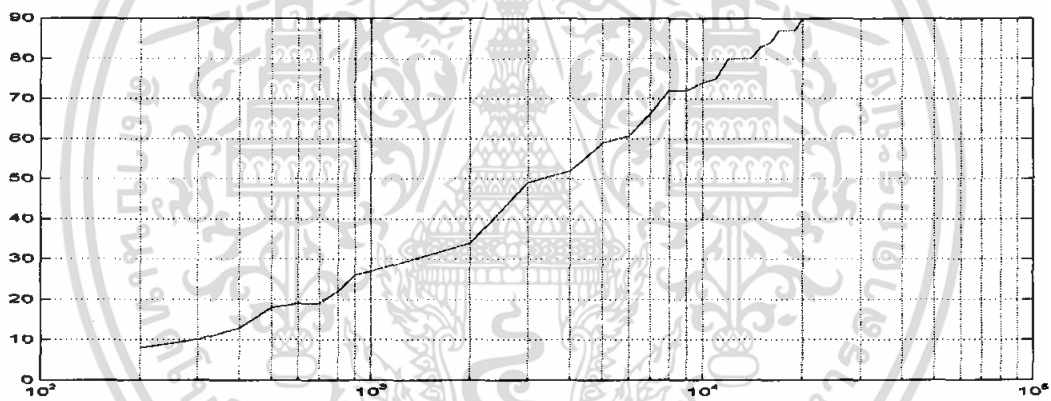
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2.2 LPF (Active filter) 1 kHz

รูป 4.32 เป็นผลของแอมพลิจูดที่ได้จากการวัดจากสโคป และรูปที่ 4.33 เป็นผลของเฟสที่วัดได้จากสโคปเช่นกัน ส่วนรูป 4.34 จะเป็นกราฟที่ได้จากการประมวลผลของเครื่องทดสอบโดยวงจรที่นำมาทดสอบเป็นวงจรแบบ แอคทีฟฟิลเตอร์ที่ใช้โอปแอมในการสร้าง

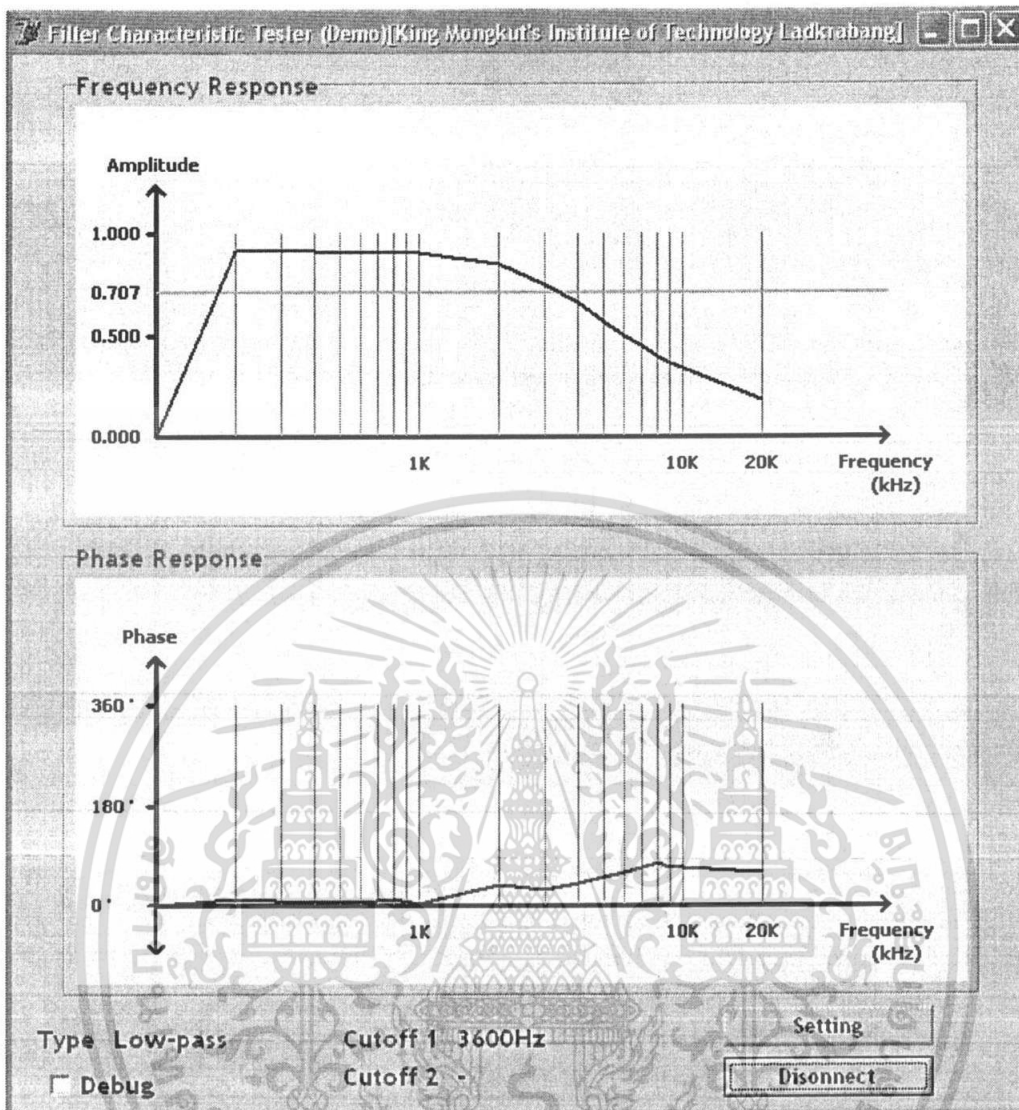


รูปที่ 4.32 กราฟแสดงผลของแอมพลิจูดที่วัดความถี่ต่ำผ่านคัทออฟ 3.5kHz โดยวัดผลจากสโคป

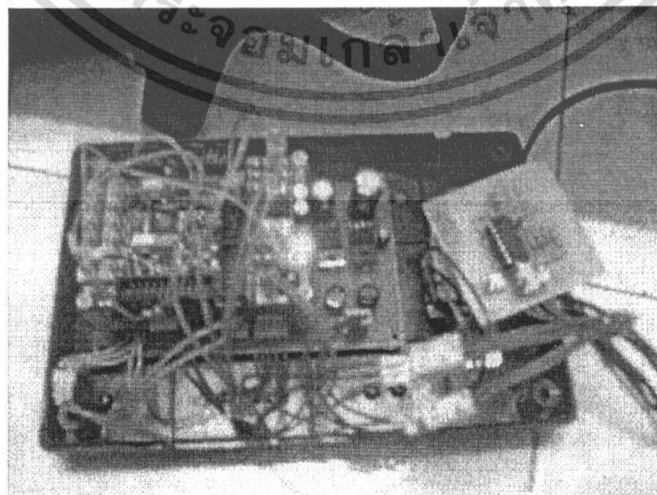


รูปที่ 4.33 กราฟคุณลักษณะของตัวกรองความถี่ต่ำผ่านความถี่คัทออฟ 3.5kHz จากเครื่องทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



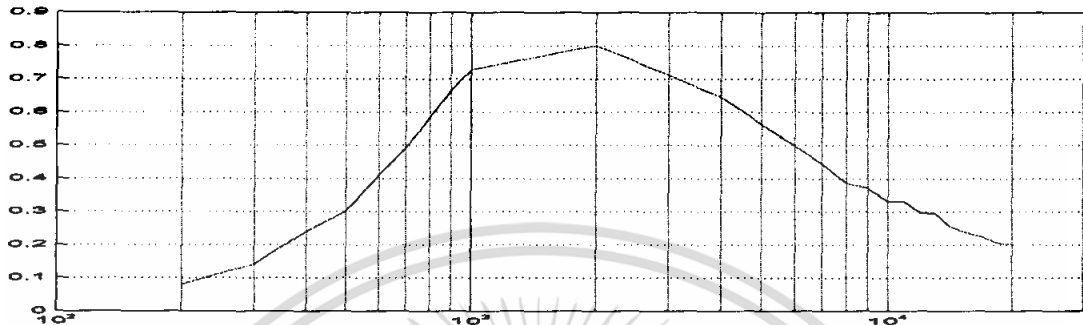
รูปที่ 4.34 กราฟคุณลักษณะของตัวกรองความถี่ต่ำผ่านความถี่คutoff 3.5kHz จากเครื่องทดสอบ



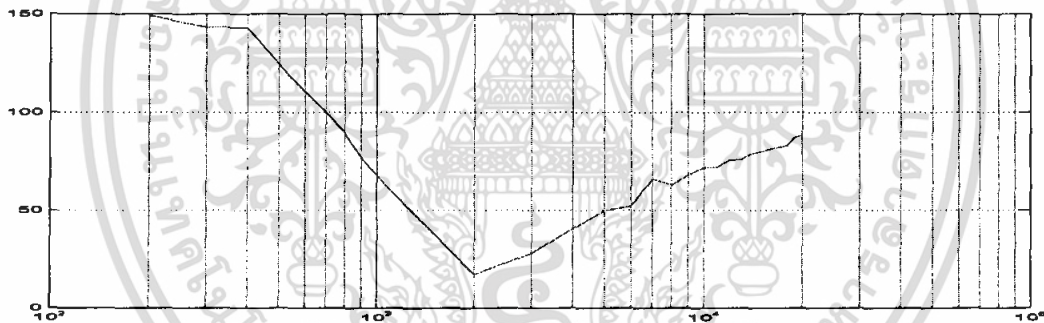
เอกสารนี้เป็นรูปที่ 4.35 รูปตัวอย่างขณะที่เครื่องทดสอบทำการประมวลผลตัวกรองความถี่ต่ำ 3.5kHz ขณะดำเนินการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2.3 BPF (Active filter) 1 kHz $f_c = 1$ kHz, 3.5 kHz

รูป 4.36 เป็นผลของแอมพลิจูดที่ได้จากการวัดจากสโคป และรูปที่ 4.37 เป็นผลของเฟสที่วัดได้จากสโคปเช่นกันส่วนรูป 4.38 จะเป็นกราฟที่ได้จากการประมวลผลของเครื่องทดสอบโดยวงจรที่นำมาทดสอบเป็นวงจรแบบ แอคทีฟฟิลเตอร์ที่ใช้โอปแอมในการสร้าง

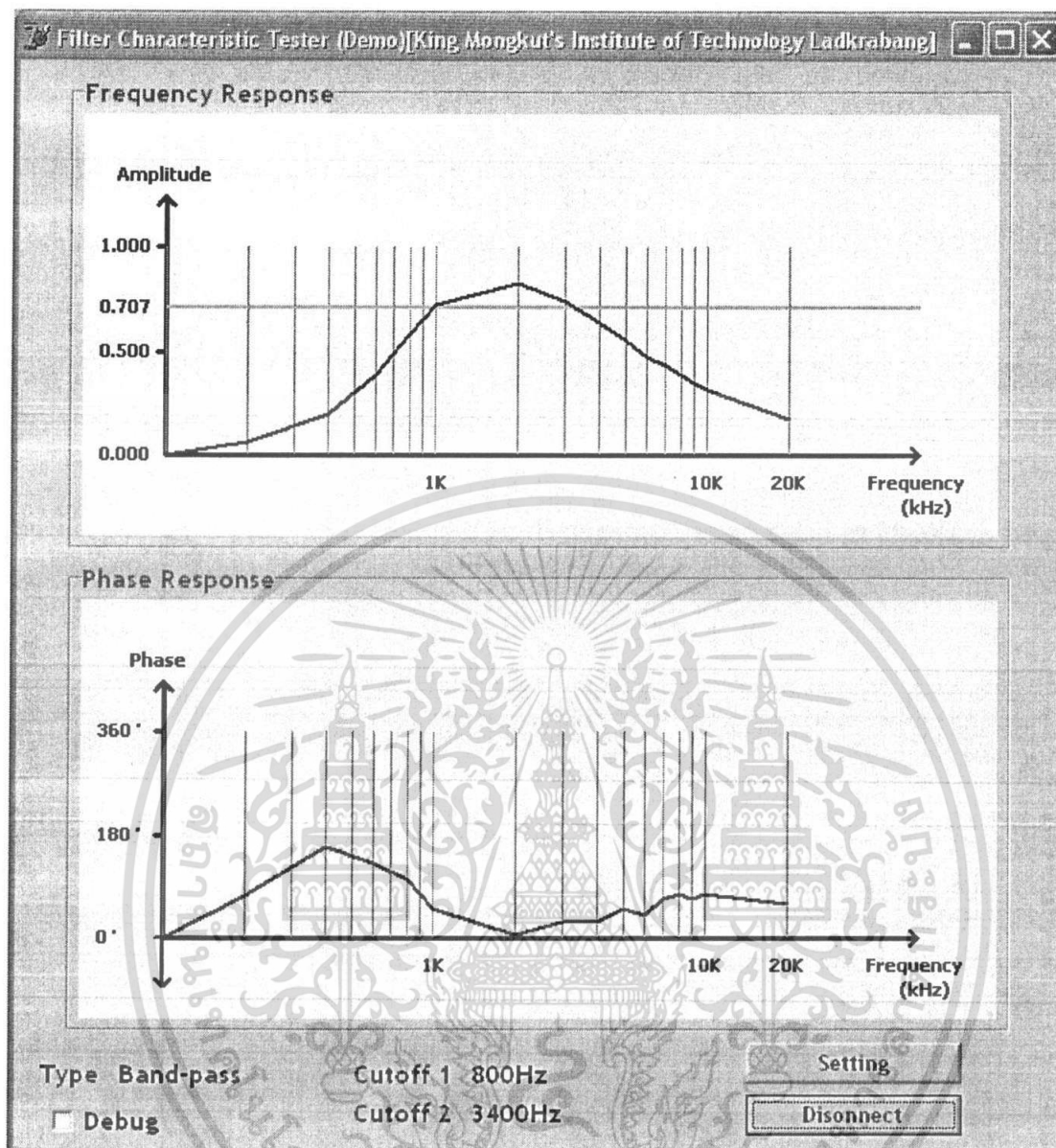


รูปที่ 4.36 กราฟแสดงผลของแอมพลิจูดตัวกรองความถี่เฉพาะช่วงผ่านคัทออฟ 1.5kHz, 3.5kHz โดยวัดผลจากสโคป



รูปที่ 4.37 กราฟแสดงผลของเฟสตัวกรองความถี่เฉพาะช่วงผ่านคัทออฟ 1.5kHz, 3.5kHz โดยวัดผลจากสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

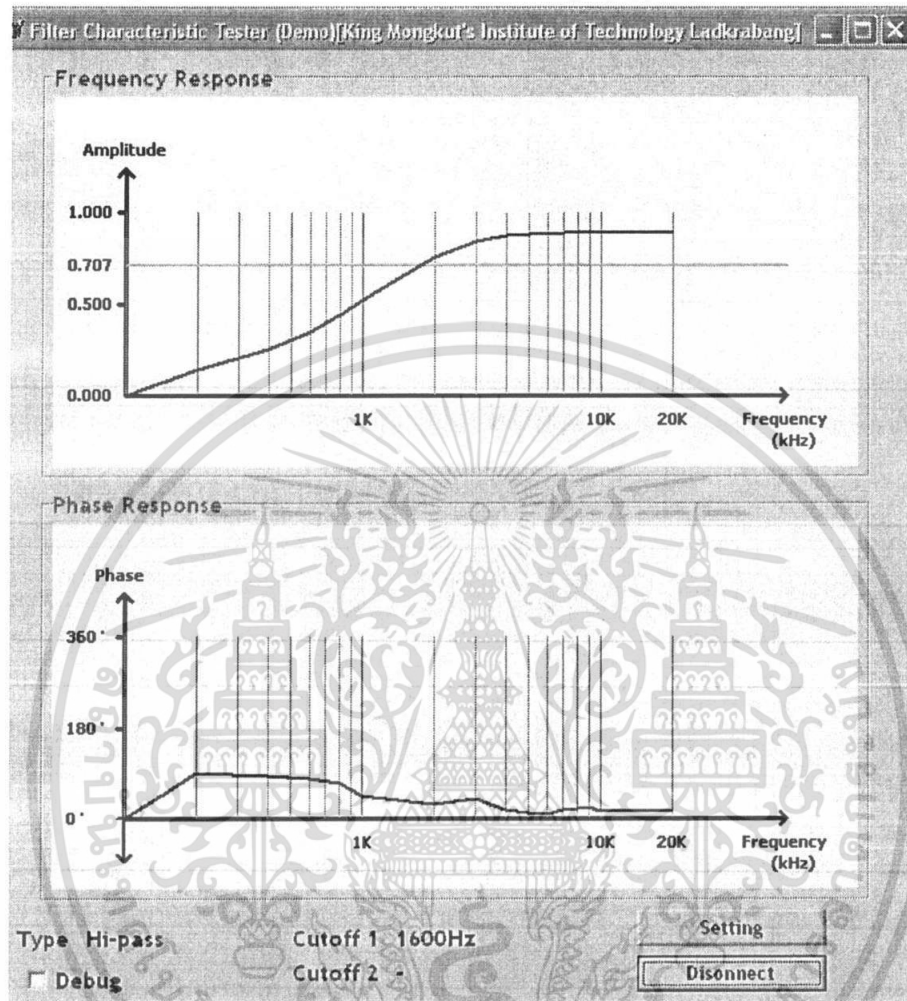


รูปที่ 4.38 กราฟแสดงผลของเฟสตัวกรองความถี่เฉพาะช่วงผ่านคัทออฟ 1.5kHz, 3.5kHz จากเครื่องทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2.4 HPF (Passive filter) 1.59kHz

โดยใช้ค่าตัวต้านทานหนึ่งกิโลโอห์มและตัวเก็บประจุ 0.1 ไมโครฟารัดเครื่องทดสอบสามารถแสดงผลได้ดังรูป 4.39

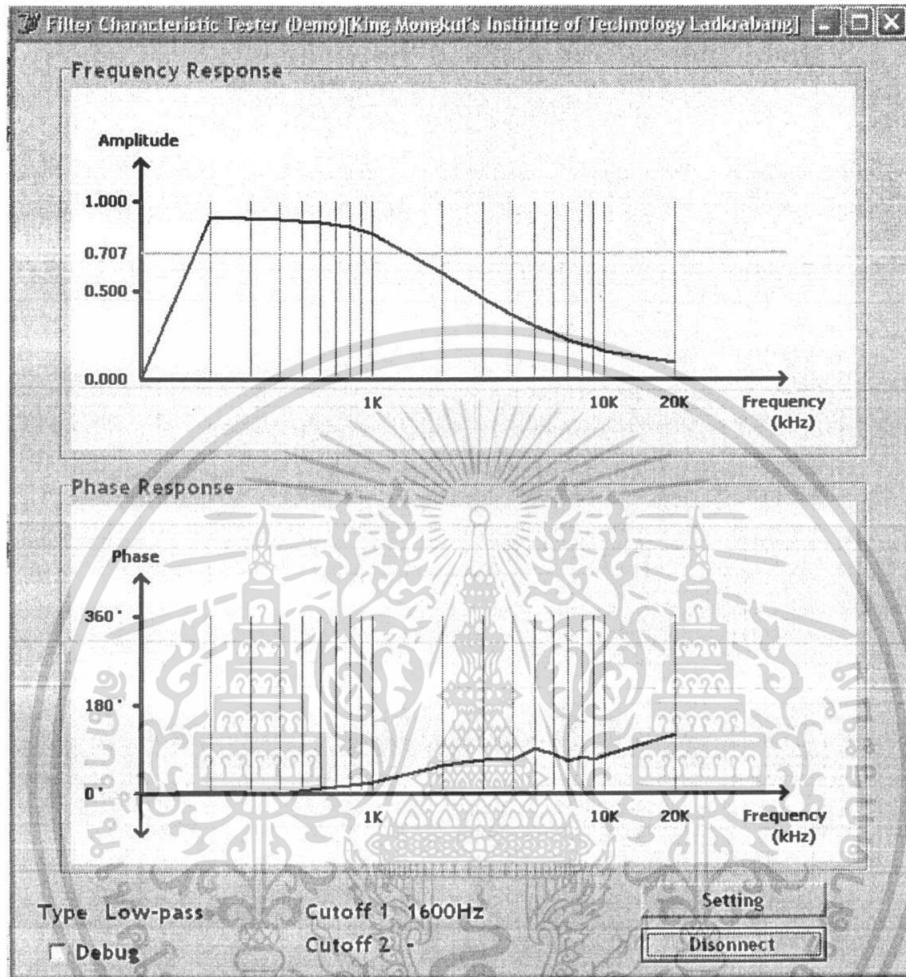


รูปที่ 4.39 กราฟแสดงผลของเฟสตัวกรองความถี่สูงผ่านคัทออฟ 1.59kHz จากเครื่องทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2.5 LPF (Passive filter) 1.59kHz

โดยใช้ค่าตัวต้านทานหนึ่งกิโลโอห์มและตัวเก็บประจุ 0.1 ไมโครฟารัดเครื่องทดสอบสามารถแสดงผลได้ดังรูป 4.40



รูปที่ 4.40 กราฟแสดงผลของเฟสตัวกรองความถี่สูงผ่านคัทออฟ 1.59kHz จากเครื่องทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และบทสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการโครงการที่ผ่านมา เมื่อ ADUc7024 ได้รับค่าจากซีพียู LPC2119 ก็จะสร้างสัญญาณรูปไซน์โดยสร้างได้ตั้งแต่ความถี่ 200 Hz จนถึง 20 kHz หลังจากนั้นก็นำเอาสัญญาณมาผ่านตัวกรองความถี่ที่ต้องการทดสอบ นำสัญญาณที่ได้มาหาค่าความถี่และหาค่าเฟส โดยการหาค่าความถี่จะทำโดยนำเอาเอาต์พุตที่ออกจากตัวกรองความถี่ไปเข้าLPC2119ซึ่งจะต้องผ่านวงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอลเพื่อให้วงจรนี้คอยตรวจจับแอมพลิจูดว่าที่ความถี่ใดๆสัญญาณมีค่าโวลต์เดจออกมาเท่าไร แล้วจึงนำค่าที่ได้เก็บไว้ในตัวแปร เพื่อที่จะส่งไปแสดงผลต่อไป ในส่วนของการวัดเฟสก็ทำโดยการนำเอาสัญญาณที่ออกมาจากตัวกรองความถี่ไปผ่านวงจรcomparator เพื่อแปลงสัญญาณจากไซน์ไปเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมและนำเอาสัญญาณ ไซน์ที่สร้างได้มาผ่านcomparatorเช่นกัน หลังจากนั้นก็นำเอาไปเข้าที่ซีพียูเพื่อกระทำการเอกซ์คลูซีฟออร์กันก็ทำได้คาบเวลาที่ต่างกันออกมามีค่านั้นมาประมวลผลตามอัลกอริทึมที่ออกแบบไว้ นำค่าของเฟสและความถี่ที่ได้ไปแสดงผลที่คอมพิวเตอร์ โดยส่งค่าออกไปที่ละแฉมเปิดเพื่อให้เกิดการผิดพลาดในการส่งน้อยที่สุด การส่งค่าจะใช้การสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรมRS-232 และเขียนโปรแกรมแสดงผลตอบสนองทางความถี่แสดงผลตอบสนองทางเฟสและก็จะสามารถสรุปได้ว่าตัวกรองความถี่ที่นำมาทดสอบนั้นเป็นชนิดอะไรและในส่วนแสดงผลได้ใช้ภาษาDelphiมาช่วยในการเขียนโปรแกรม

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน

เนื่องจากVCO ที่สร้างจาก XR-2206 ไม่สามารถสร้างสัญญาณไซน์ที่มีความถี่สูงถึง 20 kHz ได้ การแก้ปัญหาครั้งแรก เราจึงสร้าง VCO ขึ้นมา 2 วงจร โดยให้เป็นแบบ VCO ความถี่ต่ำและ VCO ความถี่สูง โดยให้สลับกันทำงาน แต่เนื่องจากว่าในระบบทั้งหมดมีวงจรหลายส่วน จึงทำให้เกิดการหน่วงเวลาเกิดขึ้นมาก อีกทั้ง MCS-51 ก็ไม่สามารถที่จะประมวลผลทัน จึงได้เปลี่ยนมาใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM7 เบอร์ LPC2119 ในการประมวลผล ที่เลือกเบอร์นี้เพราะว่าทำงานได้เร็วและมีหน่วยความจำเยอะกว่า MCS-51มาก นอกจากนี้ LPC2119 ยังมีวงจรแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกเป็นดิจิตอลอยู่ภายในตัว และแก้ปัญหาการสร้างสัญญาณความถี่โดยใช้ซีพียู ARM7 อีกเบอร์หนึ่งมาช่วยก็คือเบอร์ ADUc7024 โดยการเขียนโปรแกรมสร้างความถี่รูปไซน์ เนื่องจากไม่มีปัญหาในด้านการปรับแรงดันควบคุมความถี่ ไม่ต้องต่อกับอุปกรณ์ภายนอกเยอะและยังสามารถสร้างความถี่ได้สูงอีกด้วย

ปัญหาที่เกิดขึ้นหลังจากได้ใช้การแก้ปัญหาข้างต้นแล้วก็ยังมีข้อจำกัดของวงจรอยู่บ้างคือการสร้างสัญญาณ ไซน์สามารถทำได้ในช่วง 200 Hz ถึง 20kHz เนื่องจากมีข้อจำกัดในด้านหน่วยความจำที่ใช้ในการสร้างจำนวนจุดที่ความถี่ต่างๆ และในความถี่สูงๆ มากกว่า 20 kHz จะมีข้อจำกัดในเรื่องของความผิดพลาดของสัญญาณที่สร้างได้ จะเพิ่มขึ้นไปจากค่าที่ต้องการมากขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้น อีกปัญหาหนึ่งในเครื่องทดสอบคือการตรวจหาเฟสของสัญญาณค่าเฟสที่คำนวณได้มีความผิดพลาดเยอะเมื่อสัญญาณมีแอมพลิจูดเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลิวหลุดๆ เนื่องจากใช้วงจรคอมพิวเตอร์ในการเปลี่ยนสัญญาณไซน์เป็นสัญญาณดิจิทัลทำให้ ได้สัญญาณที่ผิดไปจากความเป็นจริงเมื่อแอมปลิวหลุดต่ำ ค่าความถี่ที่นำไปคำนวณเฟสจึงมีความผิดพลาดไปบ้าง

5.3 แนวทางการพัฒนาและการปรับปรุง

1. ควรทำเครื่องวัดคุณลักษณะของตัวกรองความถี่นี้ให้ตอบสนองได้ทุกๆย่านความถี่
2. ควรออกแบบให้วงจรใช้ทรัพยากรให้น้อยลงและมีประสิทธิภาพมากขึ้น
3. ใช้วงจรอื่นที่มีความแน่นอนแทนคอมพิวเตอร์ในกระบวนการตรวจสอบเฟส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

- [1] สมยศ จุณณะปิยะ, “การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์”:สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง : กรุงเทพฯ,พ.ศ.2541.
- [2] <http://www.alldatasheet.com>
- [3] www.torry.net
- [4] <http://www.swissdelphicenter.ch/en/index.php>
- [5] <http://www.planet-source-code.com/>
- [6] โอภาส ศิริกรรชิตถาวร, “เรียนรู้และพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 LPC2138 ด้วยภาษาซี”:วชิรินทร์สาส์น รัชดา:กรุงเทพฯ,พ.ศ.2549.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*****
/* Target MCU : Philips ARM7-LPC2119 */
/*           : X-TAL : 19.6608 MHz */
/*           : Run Speed 58.9824MHz (With PLL) */
/* Compiler   : Keil ARM V2.32a */
/* Function   : Example ... (ENTER YOUR PROJECT) */
*****/

#include <LPC21xx.H> //
LPC21xx MPU Register
#include <stdio.h>
#include <string.h> //
For Used Function printf
#include <..\..\..\serial0.h>
#include <..\..\..\serial1.h>
#include <..\..\..\adc0.h>
#include <..\..\..\adc1.h>
void dmsec(unsigned long dd);
void xdelay(unsigned long dd);

#define ch_break (1<<15) //
P0.15 = control bit

unsigned char st[50], phase;
unsigned char j, ch_amp[1500], bank[20], ch_phaa[1500], ch_phab[1500],
ch_phac[1500];
unsigned long ch_pha[1500], pp;
unsigned int i, peak, _peak, count, count2, k, t1,t2;
unsigned char my_delay[20] = {255, 212, 180, 144, 130, 83, 41, 26, 19,
15,
12, 9, 8, 7, 6, 5, 4,
3, 2, 1};

void delay(unsigned long t_delay);

void main(void)
{
    unsigned int d1;

    PINSEL0 = 0;
    PINSEL1 = 0;
    PINSEL2 = 4; // for JTAG

// IODIR1 |= 0x000F0000; // P1.16 - P1.19
= Output
// IODIR0 &= 0xFFFF0FFF; // P0.16 - P0.19 = Input
//
P0.12-P0.13 = Input (a=12, b=13)
IODIR0 |= 0x01000000; // set P0.24 =
output

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        IODIRO |= 0x00FF0000; // set P0.16-P0.23 =
output for DCO
        IODIRO |= 0x00008000; // set P0.15 = output for
control break

        adc0_init();
        serial0_init(9600); // Initial UART0
= 9600,N,8,1
        serial0_puts("\n0-- Karn_30@hotmail.com --0"); // Call printf
Function

        serial1_init(9600);
//serial1_puts("1-- Karn_30@hotmail.com --1\n");

        dl = 20;

        while(1) // Loop
Continue
        {
/*          IOSET0 = 0x01000000; // test find
137kHz for sampling(7.3 uS)
        ch_phai[10] = IOPIN0;
        ch_amp[10] = adc0_getc();

        IOCLR0 = 0x01000000;
        ch_phai[10] = IOPIN0;
        ch_amp[10] = adc0_getc();
*/
        serial0_puts("\n0-- Karn_30@hotmail.com --0"); //
Call printf Function

        for(j=0; j<20*5; j++)
        {
//          IOCLR0 = 0xff<<16; //
clr bit
//          IOSET0 = my_delay[j]<<16; // sent
value for gen.
//          IOSET0 = ch_break;
//          delay(3000);
//          IOCLR0 = ch_break;
//          delay(3000);
//          serial1_putc((j+1)*2);
//          delay(100);
//          for(i=0; i<=1499; i++) // get
value from port and adc
        {
                ch_phai[i] = IOPIN0;
                ch_amp[i] = adc0_getc();
        }

        peak = 0; //
process find peak
        _peak = 255;
        for(i=0; i<=1499; i++)
        {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        if(peak<ch_amp[i])
            peak = ch_amp[i];

        if (_peak > ch_amp[i])
            _peak = ch_amp[i];

//          sprintf(st, "\n\r%d", ch_amp[i]);
//          serial0_puts(st);

    }
    peak = peak-_peak;
    bank[j] = peak;

//          serial0_puts("\n\r-----End of Amplitude-----");
//          while(1);

find point    for(i=0; i<=1499; i++) // process
    {
        ch_pha[i] = (ch_pha[i]>>12)&3;
        ch_phaa[i] = ch_pha[i]&0x01;
        ch_phab[i] = (ch_pha[i]>1);
        //      ch_phac[i] = (ch_phaa[i]^ch_phab[i]);
        //      sprintf(st, "\n\r%d %d %d
%d", ch_pha[i], ch_phaa[i], ch_phab[i], ch_phac[i]);
        //      serial0_puts(st);
    }

    k = 0; t2 = 1;
    while((ch_phaa[k++]==0)&&(k<1500));
    while((ch_phaa[k++]==1)&&(k<1500));
    while((ch_phaa[k++]==0)&&(k<1500)) t2++; t2++;
    while((ch_phaa[k++]==1)&&(k<1500)) t2++; t2++;

    k = 0; t1 = 1;
    while((ch_pha[k++]==0)&&(k<1500));
        k--;
    if (ch_pha[k]==1)
        while((ch_pha[k++]==1)&&(k<1500)) t1++;
    else if (ch_pha[k]==0)
        while((ch_pha[k++]==2)&&(k<1500)) t1++;

    t2 = t2 - t1;

/*
    k = 0; count=0; count2 = 1;
    while((ch_phac[k++]==0)&&(k<1500));
    while((ch_phac[k++]&&(k<1500));
    while((ch_phac[k++]==0)&&(k<1500));
    i = ch_phac[k-1]; count++;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

while((ch_phac[k++])&&(k<1500)) count++;
while((ch_phac[k++]==0)&&(k<1500)) count2++;
*/
/*
k = 0;
while(k < 1500);
{
count = count2 = 0; //
count point
while(ch_phac[k++]==1);
while(ch_phac[k++]==0);
while(ch_phac[k++]==1) count++;
while(ch_phac[k++]==0) count2++;
}
// serial0_putc(' ');
count++;
count2++;
k = 0;
// serial0_puts("\n---test A\n");
while(k<1500)
//while((ch_phaa[k]!=0)&&(ch_phab[k]!=0)&&(k<1500))
{
// printf(st, "\n%d %d
%d",k,ch_phaa[k],ch_phab[k]);
// serial0_puts(st);
// if ((ch_phaa[k]!=0)|| (ch_phab[k]!=0)){
else break;
k++;
}
// serial0_puts("\n---test B\n");
while(k<1500)
{
// printf(st, "\n%d %d
%d",k,ch_phaa[k],ch_phab[k]);
// serial0_puts(st);
// if ((ch_phaa[k]!=0)|| (ch_phab[k]!=0)) break;
k++;
}
// if ((ch_phaa[k] == '1')&&(ch_phab[k]=='1'))
serial0_putc('E');
// if ((ch_phaa[k] == '1')&&(ch_phab[k]=='0'))
serial0_putc('A');
// if ((ch_phaa[k] == '0')&&(ch_phab[k]=='1'))
serial0_putc('B');
// if ((ch_phaa[k] == '0')&&(ch_phab[k]=='0'))
serial0_putc('F');

// serial0_puts("\n-----"); //
printf(st, "\n\r%c%d",0x02,(j+1)*2);
serial0_puts(st);
printf(st, " %d",peak);
serial0_puts(st);
printf(st, " %d %d",i,i);
serial0_puts(st);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//          pp = 180-
(((count*1000000/(count+count2))*360)/1000000);
//          sprintf(st,"%d %d %d",count,count2,pp);
//          sprintf(st," %d %d%c",t1,t2,0x03);
//          serial0_puts(st);
//          serial0_puts("\n\r-----End of Phase---
-----\n");

//          while(1);
//          k = 0;
/*          while(1)
// clear for find phase
{
    if((ch_phaa[k]==0)&&(ch_phab[k]==0))
        break;
    k++;
}
k = 0; phase = 0;
while(1)
{
    if((ch_phaa[k]==1)&&(ch_phab[k]==1))
    {
        phase = 2;
        break;
    }
    if((ch_phaa[k]==0)&&(ch_phab[k]==1))
    {
        phase = 1;
        break;
    }
    if((ch_phaa[k]==1)&&(ch_phab[k]==0))
    {
        phase = 2;
        break;
    }
}
*/
}
serial0_puts("\n0-- lingimil2@hotmail.com --0\n");
dmsec(1000);
}
while(1);
}

void delay(unsigned long t_delay)
{
    unsigned int tt_d;
    while(t_delay--)
        for(tt_d=0; tt_d<=5000; tt_d++);
}
void dmsec(unsigned long dd)
{
    while(dd--)xdelay(9980);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}  
  
void xdelay(unsigned long dd)  
{  
    while(dd--);  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*****/
/* Examples Program For "ET-BASE ARM ADUC7024" Board */
/* Target MCU : Analog Device ADUC7024 */
/* : X-TAL : 32.768 KHz */
/* : Run Speed 41.78 MHz (With PLL) */
/* : Select CD:CPU Clock Divider = 0 */
/* Keil Editor : uVision3 V3.03a */
/* Compiler : Keil CARM V2.50a */
/* Create By : Eakachai Makarn (WWW.ETT.CO.TH) */
/* Last Update : 1/April/2006 */
/* Function : Example Used DAC Generate Signal */
/* : DAC0 Generate Sinewave */
/* : DAC1 Generate Triangle (SAW) */
/*****/

#include <ADUC7024.H> // ADUC7024
MPU Register
#include <math.h>
#include <stdio.h>
#define point 7000

void uart0_init(void);
void uart0_putc(unsigned char a);
void uart0_puts(unsigned char *st);
unsigned char uart0_getc(void);

void set_table(unsigned char pfreq);

unsigned char sine[point];
unsigned long pp;

int main (void)
{
    float a,b;
    unsigned long m;
    unsigned long i;
    unsigned char exit;
    unsigned long table_sine[64] = // Sine Function Table
    {
        0x07FF, 0x08C8, 0x098E, 0x0A51,
        0x0B0F, 0x0BC4, 0x0C71, 0x0D12,
        0x0DA7, 0x0E2E, 0x0EA5, 0x0F0D,
        0x0F63, 0x0FA6, 0x0FD7, 0x0FF5,
        0x0FFF, 0x0FF5, 0x0FD7, 0x0FA6,
        0x0F63, 0x0F0D, 0x0EA5, 0x0E2E,
        0x0DA7, 0x0D12, 0x0C71, 0x0BC4,
        0x0B0F, 0x0A51, 0x098E, 0x08C8,
        0x07FF, 0x0736, 0x0670, 0x05AD,
        0x04EF, 0x043A, 0x038D, 0x02EC,
        0x0257, 0x01D0, 0x0159, 0x00F1,
        0x009B, 0x0058, 0x0027, 0x0009,
        0x0000, 0x0009, 0x0027, 0x0058,
        0x009B, 0x00F1, 0x0159, 0x01D0,
        0x0257, 0x02EC, 0x038D, 0x043A,
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        0x04EF, 0x05AD, 0x0670, 0x0736
    };

    // Initial DAC0
    DAC0CON &= 0xDF; // DAC0
Used Sysytem Clock
    DAC0CON |= 0x10; // Enable
DAC0
    DAC0CON |= 0x03; // DAC0
Output Range = AVDD..AGND

    // Initial DAC1
    DAC1CON &= 0xDF; // DAC0
Used Sysytem Clock
    DAC1CON |= 0x10; // Enable
DAC0
    DAC1CON |= 0x02; // DAC0
Output Range = +Vref..AGND
    REFCON = 0x01; // Used Internal
2.5V Reference

// for (i=0 ; i<point / i++)
// {
//     //table_sine[i] = table_sine[i] << 16;
//     sine[i] = sine[i] << 16;
// }
uart0_init();
uart0_puts("\n\rhello world");

GP3CON = 0x00000000;
GP3DAT = 0x00000000;
GP4CON = 0x00000000;
GP4DAT = 0x00000000;

set_table(10);

while(1) //
Loop Continue
{
    exit = 0;
    //i = 64;
    i = pp-1;
    while(i--)
    {
        //m = table_sine[i];
        m = (unsigned long)sine[i];
        DAC0DAT = m<<20; // Update DAC0 Sine
Output (0..3V3)
        //if ((GP3DAT&0x80)==1) while(1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        if (COMSTAO & 0x01)
        {
            exit = 1;
            //while(1);
            break;
        }
    }
    if (exit)
    {
        set_table(uart0_getc());
        //while(1);
    }
}

void set_table(unsigned char pfreq)
{
    unsigned long FC,FS;
    float T,W,A,B,C,Y,Y1,Y2;
    unsigned int n;
    unsigned char st[100];

    FC = pfreq*100;
    FS = 813750;
    T = 1.0 / FS;
    W = 2.0*3.141592*FC;
    A = 2.0*cos(W*T);
    B = 1.0;
    C = sin(W*T);

    pp = FS / FC;

    Y1 = C;
    Y2 = A*Y1;

    // sprintf(st,"A=%f , B=%f , C=%f ,W=%f , T=%f , FC=%d
    ,FS=%d",A,B,C,W,T,FC,FS);
    // uart0_puts(st);
    // while(1);
    for (n=0 ; n<20 ; n++)
    {
        Y = A*Y1 - B*Y2;
        Y2 = Y1;
        Y1 = Y;
    }
    uart0_puts("\ngenerating data.");
    for (n=0 ; n<pp ; n++)
    {
        Y = A*Y1 - B*Y2;
        Y2 = Y1;
        Y1 = Y;
        sine[n] = Y*127+127;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        //sprintf(st, "\n[n=%d] %4.4f - %d", n, Y*127+127, sine[n]);
        //sprintf(st, "\n%d", sine[n]);
        //uart0_puts(st);
    }
}

void uart0_init(void)
{
    GP1CON |= 0x00000011;
    COMCON0 = 0x80;
    COMDIV0 = 0x88;
    COMDIV1 = 0x00;
    COMCON0 = 0x07;
}

void uart0_putc(unsigned char a)
{
    while(!(0x40 == (COMSTA0 & 0x40)));
    COMTX = a;
}

unsigned char uart0_getc(void)
{
    while(!(0x01 == (COMSTA0 & 0x01)));
    return COMRX;
}

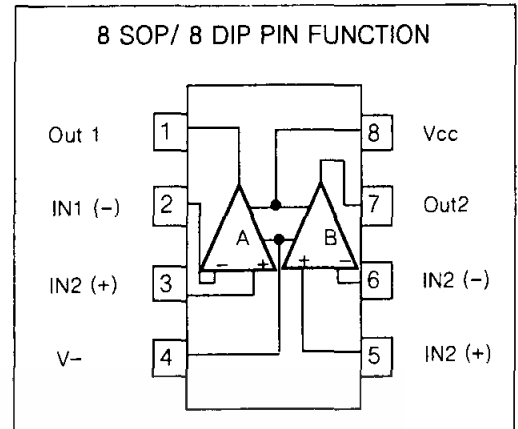
void uart0_puts(unsigned char *st)
{
    unsigned char a=0;
    while(st[a] != '\0')
    {
        COMTX = st[a++];
        while(!(0x40 == (COMSTA0 & 0x40)));
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FEATURES

- Internally frequency compensated for unity gain
- Large DC voltage gain : 100dB
- Wide power supply range : 3V~32V(or±1.5V~16V)
- Input common-mode voltage range includes ground
- Large output voltage swing : 0V DC to $V_{CC}-1.5V$ DC
- Power drain suitable for battery operation



ORDERING INFORMATION

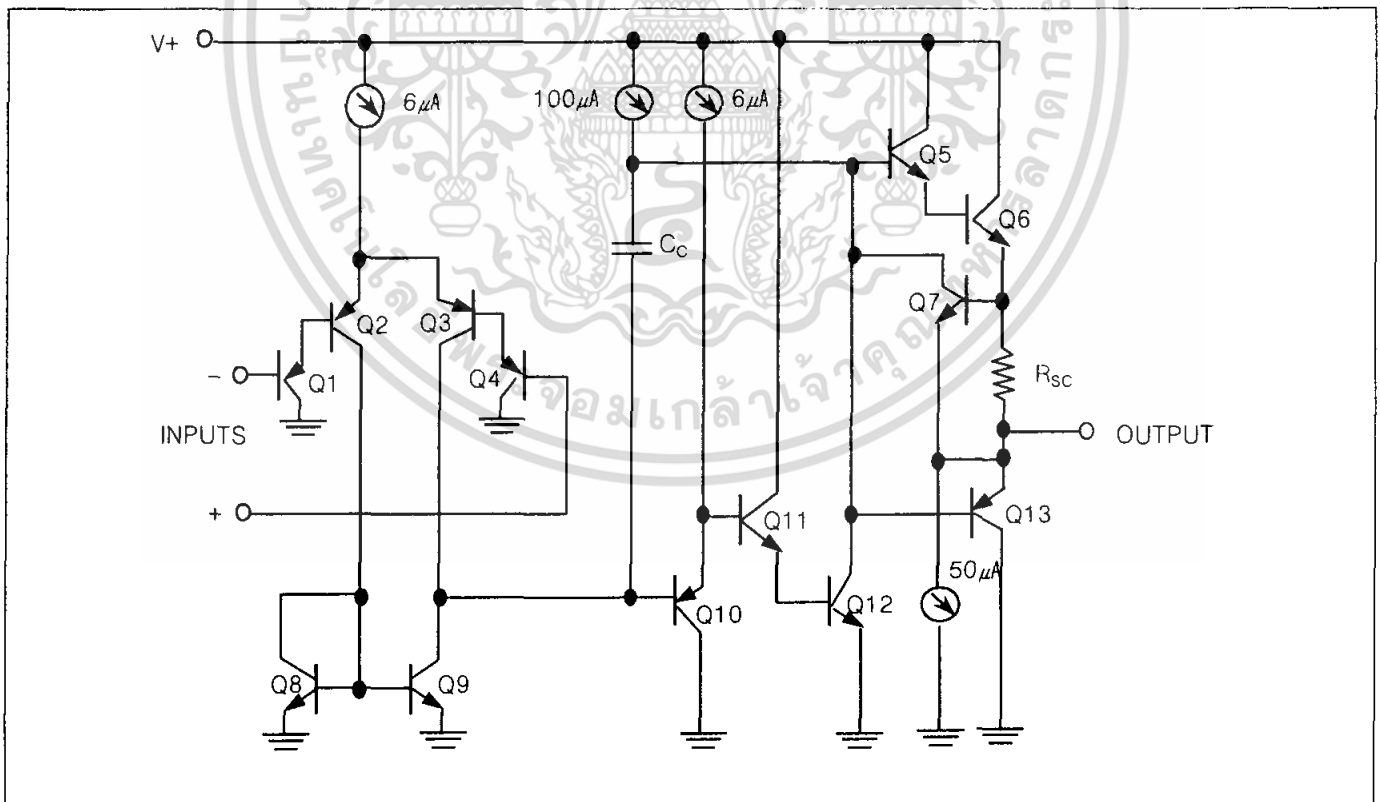
Device	Package
LM358D	8 SOP
LM358N	8 DIP

DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

LM358 consists of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltage. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifier, DC gain blocks and all the conventional OP amp circuits which now can be easily implemented in single power supply systems.

EQUIVALENT CIRCUIT



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

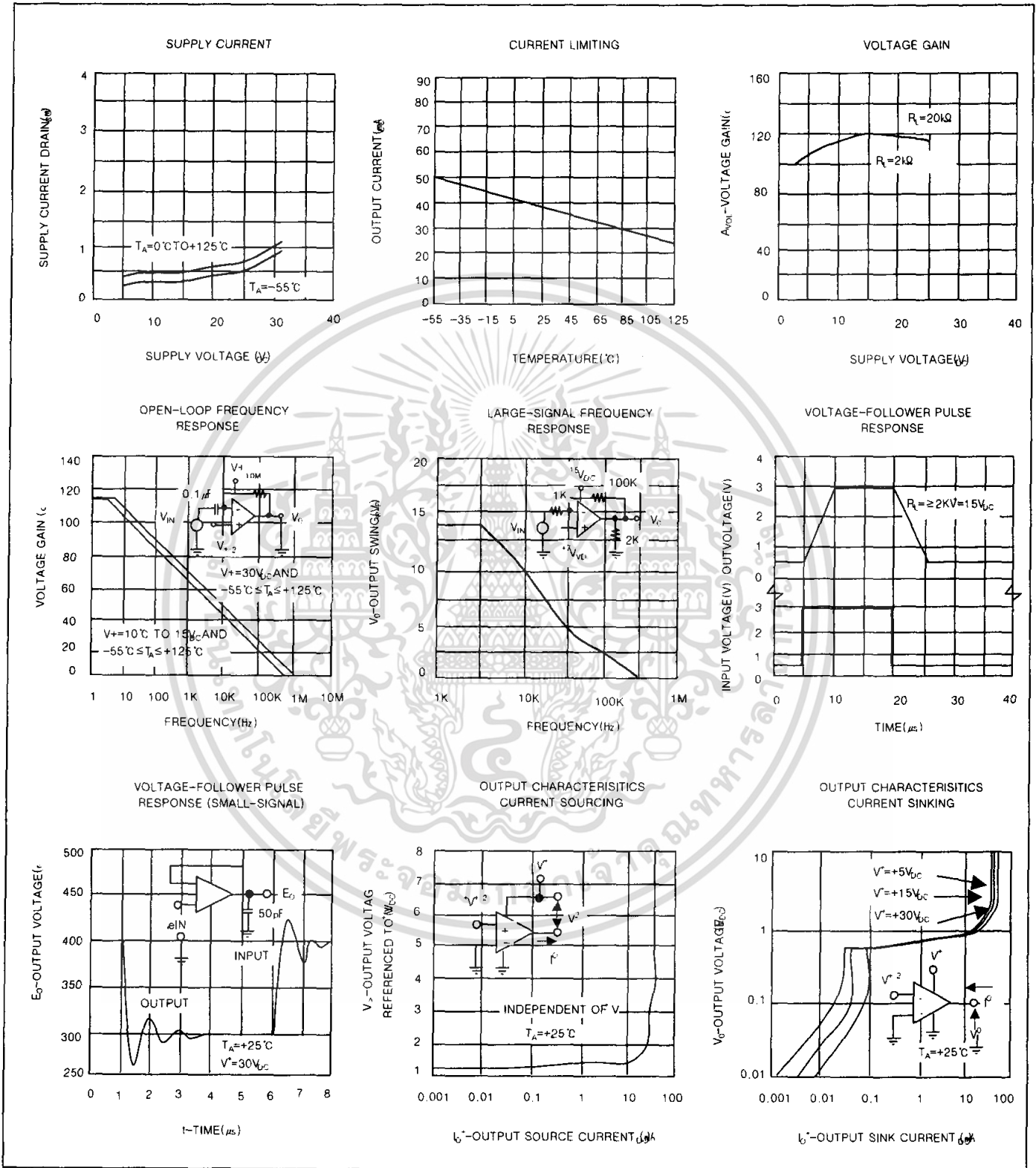
CHARACTERISTIC	SYMBOL	VALUE	UNIT
Supply Voltage	V_{CC}	± 16 or 32	V
Differential Input Voltage	$V_{(DIFF)}$	± 32	V
Input Voltage	V_i	-0.3 to +32	V
Output Short Circuit to GND $V_{CC} \leq V$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ (One Amp)		Continuous	
Operating Temperature Range	T_{OPR}	0~+70	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{STG}	-65 to +150	$^\circ\text{C}$

Electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{CC} = 5\text{V}$ (unless otherwise noted)

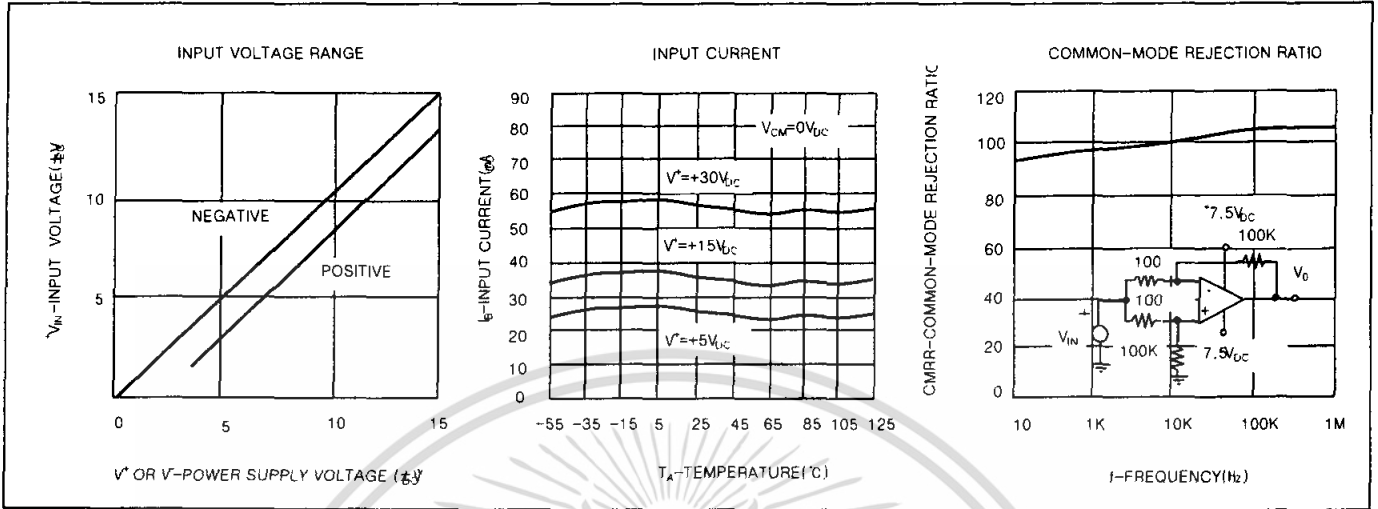
PARAMETER	TEST CONDITIONS*	LM358			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
V_{IO} Input Offset Voltage	$V_{CC} = 5\text{V to MAX.}$ $V_{IC} = V_{ICR\text{MIN.}}$ $V_O = 1.4\text{V}$	25 $^\circ\text{C}$	3	7	mV
		Full Range		9	
αV_{IO} Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage		Full Range	7		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
I_{IO} Input Offset Current	$V_O = 1.4\text{V}$	25 $^\circ\text{C}$	2	50	nA
		Full Range		150	
αI_{IO} Average Temperature Coefficient of Input Offset Current		Full Range	10		$\text{pA}/^\circ\text{C}$
I_{IB} Input Bias Current	$V_O = 1.4\text{V}$	25 $^\circ\text{C}$	-20	-250	nA
		Full Range		-500	
V_{ICR} Common-Mode Input Voltage Range	$V_{CC} = 5\text{V to MAX}$	25 $^\circ\text{C}$	$0 \text{ to } V_{CC} - 1.5$		V
		Full Range	$0 \text{ to } V_{CC} - 2$		
V_{OH} High-Level Output Voltage	$R_L \geq 2\text{k}\Omega$ $V_{CC} = \text{MAX.}$ $R_L = 2\text{k}\Omega$	25 $^\circ\text{C}$	$V_{CC} - 1.5$		V
		Full Range	26		
V_{OL} Low-Level Output Voltage	$R_L \geq 10\text{k}\Omega$	25 $^\circ\text{C}$			mV
		Full Range	5	20	
A_{VD} Large-Signal Differential Voltage Amplification	$V_{CC} = 15\text{V.}$ $V_O = 1\text{V to } 11\text{V.}$ $R_L \geq 2\text{k}\Omega$	25 $^\circ\text{C}$	25	100	V/mV
		Full Range	15		
CMRR Common-Mode Rejection Ratio	$V_{CC} = 5\text{V to MAX.}$ $V_{IC} = V_{ICR\text{MIN}}$	25 $^\circ\text{C}$	65	80	dB
K_{SVR} Supply Voltage Rejection Ratio ($\Delta V_{CC}/\Delta V_{IO}$)	$V_{CC} = 5\text{V to MAX}$	25 $^\circ\text{C}$	65	100	dB
V_{O1}/V_{O2} Crosstalk Attenuation	$f = 1\text{ kHz to } 20\text{kHz}$	25 $^\circ\text{C}$		120	dB
I_O Output Current	$V_{CC} = 15\text{V.}$ $V_{IO} = 1\text{V. } V_O = 0$	25 $^\circ\text{C}$	-20	-30	mA
		Full Range	-10		
	$V_{CC} = 15\text{V.}$ $V_{IO} = -1\text{V. } V_O = 15\text{V}$	25 $^\circ\text{C}$	10	20	
		Full Range	5		
I_{OS} Short-Circuit Output Current	V_{CC} at 5V. GND at -5V, $V_O = 0$	25 $^\circ\text{C}$			μA
			12	30	
I_{CC} Supply Current (Two Amplifiers)	$V_O = -2.5\text{V. No Load}$	Full Range	0.7	1.2	mA
	$V_{CC} = \text{MAX.}$ $V_O = 0.5V_{CC}$ No Load	Full Range	1	2	

* All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode input voltage unless otherwise specified <<MAX>> V_{CC} for testing purpose is 30V. Full range is 0 $^\circ\text{C}$ to 70 $^\circ\text{C}$.

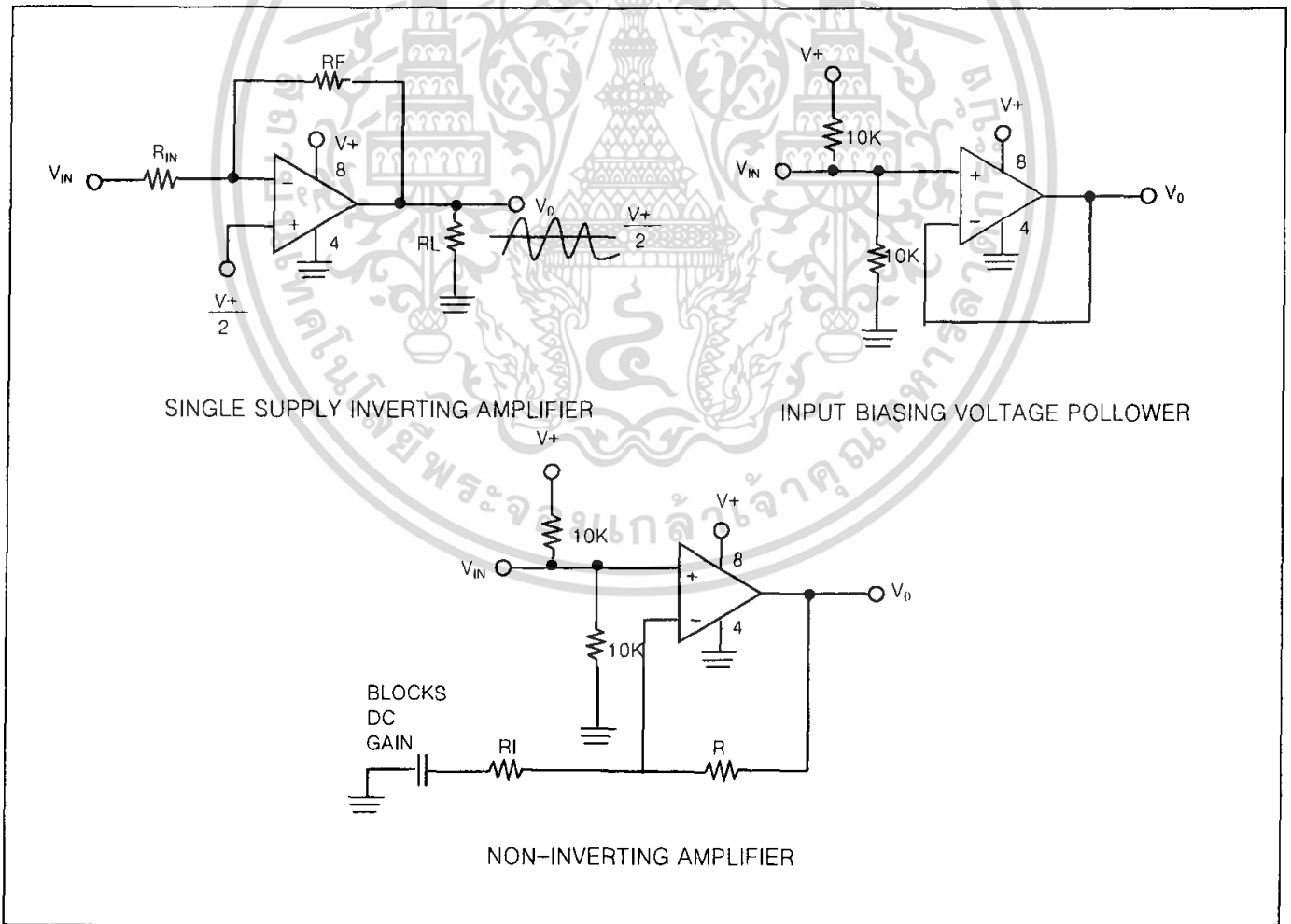
TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS



TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (CONTINUED)

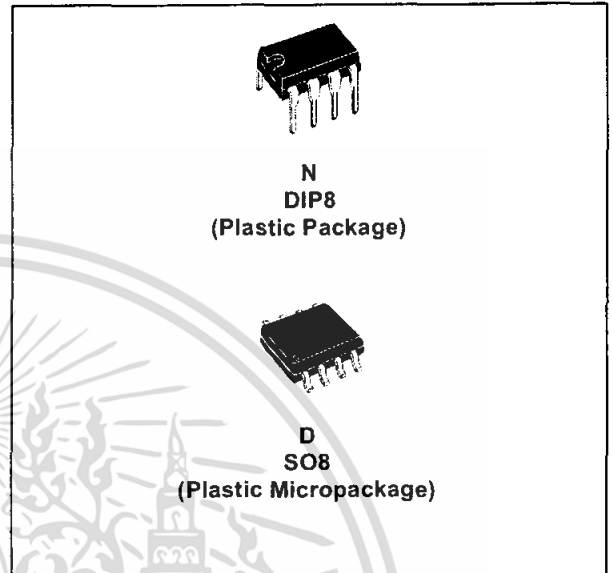


TYPICAL APPLICATIONS



LOW NOISE J-FET SINGLE OPERATIONAL AMPLIFIERS

- WIDE COMMON-MODE (UP TO V_{CC}^+) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- LOW NOISE $e_n = 15\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ (typ)
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- LOW HARMONIC DISTORTION : 0.01% (typ)
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE : $16\text{V}/\mu\text{s}$ (typ)

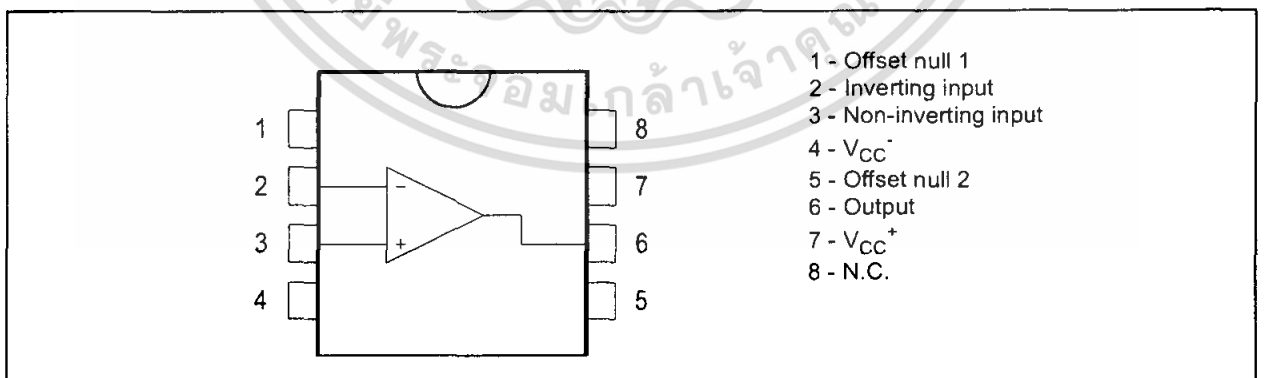


DESCRIPTION

The TL071, TL071A and TL071B are high speed J-FET input single operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient.

PIN CONNECTIONS (top view)



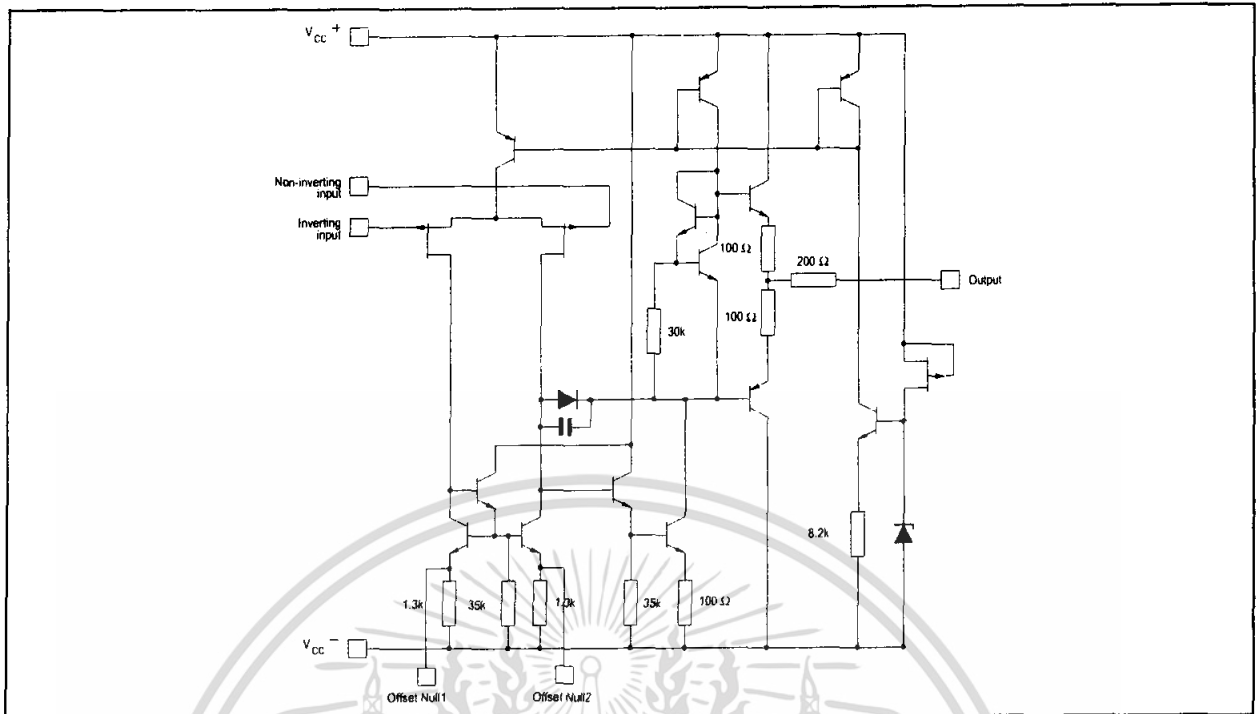
ORDER CODE

Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
TL071M/AM/BM	-55°C, +125°C	•	•
TL071I/AI/BI	-40°C, +105°C	•	•
TL071C/AC/BC	0°C, +70°C	•	•

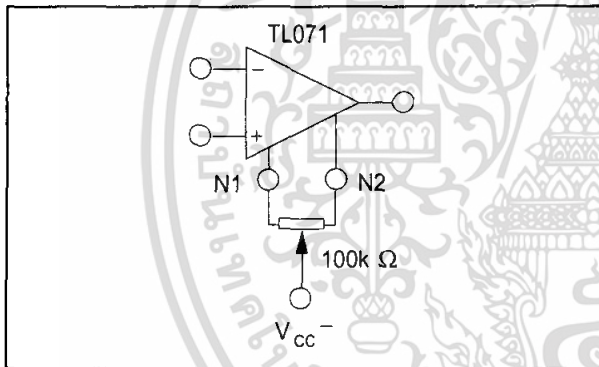
Example : TL071CN

N = Dual in Line Package (DIP)
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)

SCHEMATIC DIAGRAM



INPUT OFFSET VOLTAGE NULL CIRCUIT



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	TL071M, AM, BM	TL071I, AI, BI	TL071C, AC, BC	Unit
V_{CC}	Supply voltage - note 1)		± 18		V
V_i	Input Voltage - note 2)		± 15		V
V_{id}	Differential Input Voltage - note 3)		± 30		V
P_{tot}	Power Dissipation		680		mW
	Output Short-circuit Duration - note 4)		Infinite		
T_{oper}	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	$^{\circ}C$
T_{sig}	Storage Temperature Range		-65 to +150		$^{\circ}C$

1. All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between V_{CC}^+ and V_{CC}^- .
2. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
3. Differential voltages are the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.



ELECTRICAL CHARACTERISTICS

V_{CC} = ±15V, T_{amb} = +25°C (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	TL071I,M,AC,AI,AM,BC,BI,BM			TL071C			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V _{io}	Input Offset Voltage (R _S = 50Ω) T _{amb} = +25°C T _{min} ≤ T _{amb} ≤ T _{max}	TL071	3	10		3	10	mV
		TL071A	3	6				
		TL071B	1	3				
		TL071		13			13	
		TL071A		7				
	TL071B		5					
DV _{io}	Input Offset Voltage Drift		10			10		μV/°C
I _{io}	Input Offset Current T _{amb} = +25°C T _{min} ≤ T _{amb} ≤ T _{max}		5	100		5	100	pA nA
				4		10		
I _{ib}	Input Bias Current -note 1) T _{amb} = +25°C T _{min} ≤ T _{amb} ≤ T _{max}		20	200		20	200	pA nA
				20		20		
A _{vd}	Large Signal Voltage Gain (R _L = 2kΩ, V _o = ±10V) T _{amb} = +25°C T _{min} ≤ T _{amb} ≤ T _{max}		50	200		25	200	V/mV
			25			15		
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio (R _S = 50Ω) T _{amb} = +25°C T _{min} ≤ T _{amb} ≤ T _{max}		80	86		70	86	dB
			80			70		
I _{CC}	Supply Current, no load T _{amb} = +25°C T _{min} ≤ T _{amb} ≤ T _{max}		1.4	2.5		1.4	2.5	mA
				2.5		2.5		
V _{icm}	Input Common Mode Voltage Range	±11	+15 -12		±11	+15 -12		V
CMR	Common Mode Rejection Ratio (R _S = 50Ω) T _{amb} = +25°C T _{min} ≤ T _{amb} ≤ T _{max}		80	86		70	86	dB
			80			70		
I _{os}	Output Short-circuit Current T _{amb} = +25°C T _{min} ≤ T _{amb} ≤ T _{max}		10	40		10	40	mA
			10	60		10	60	
±V _{opp}	Output Voltage Swing T _{amb} = +25°C T _{min} ≤ T _{amb} ≤ T _{max}	RL = 2kΩ	10	12		10	12	V
		RL = 10kΩ	12	13.5		12	13.5	
		RL = 2kΩ	10			10		
		RL = 10kΩ	12			12		
SR	Slew Rate (T _{amb} = +25°C) V _{in} = 10V, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF, unity gain		8	16		8	16	V/μs
t _r	Rise Time (T _{amb} = +25°C) V _{in} = 20mV, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF, unity gain			0.1			0.1	μs
K _{ov}	Overshoot (T _{amb} = +25°C) V _{in} = 20mV, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF, unity gain			10			10	%
GBP	Gain Bandwidth Product (T _{amb} = +25°C) V _{in} = 10mV, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF, f = 100kHz		2.5	4		2.5	4	MHz
R _i	Input Resistance			10 ¹²			10 ¹²	Ω



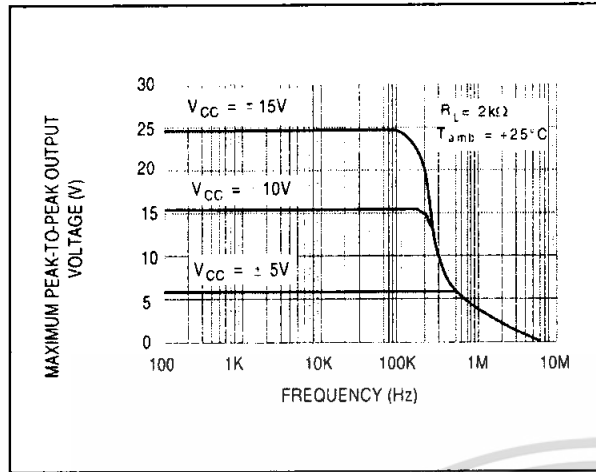
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Symbol	Parameter	TL071I,M,AC,AI,AM, BC,BI,BM			TL071C			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
THD	Total Harmonic Distortion ($T_{amb} = +25^{\circ}C$, $f = 1kHz$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $A_v = 20dB$, $V_o = 2V_{pp}$)		0.01			0.01		%
e_n	Equivalent Input Noise Voltage $R_S = 100\Omega$, $f = 1KHz$		15			15		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
ϕ_m	Phase Margin		45			45		degrees

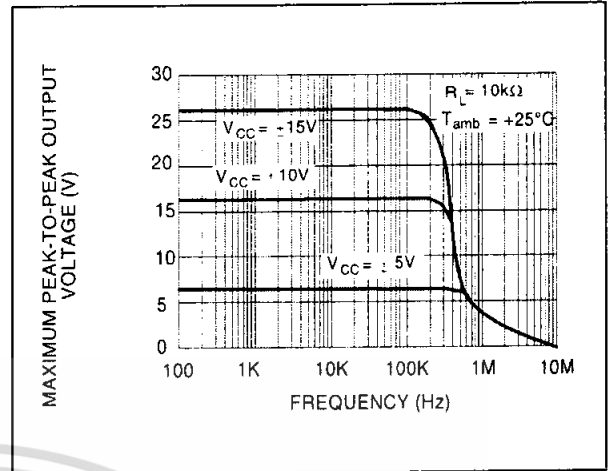
1. The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature.



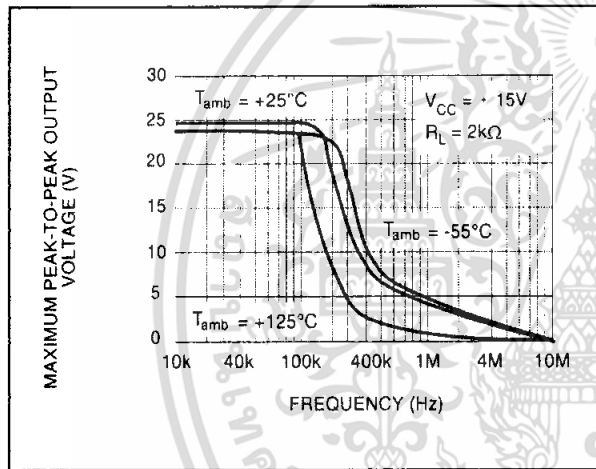
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus FREQUENCY



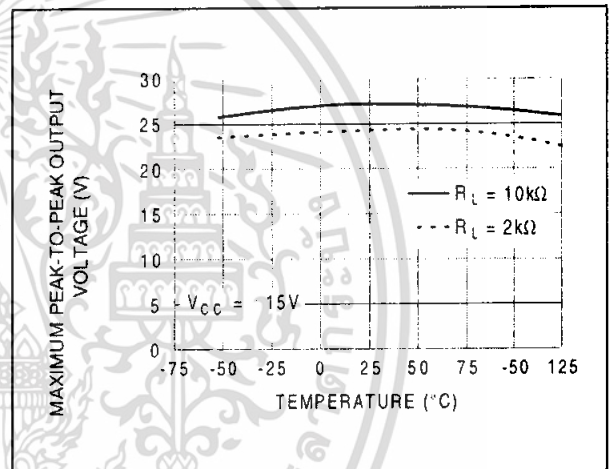
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus FREQUENCY



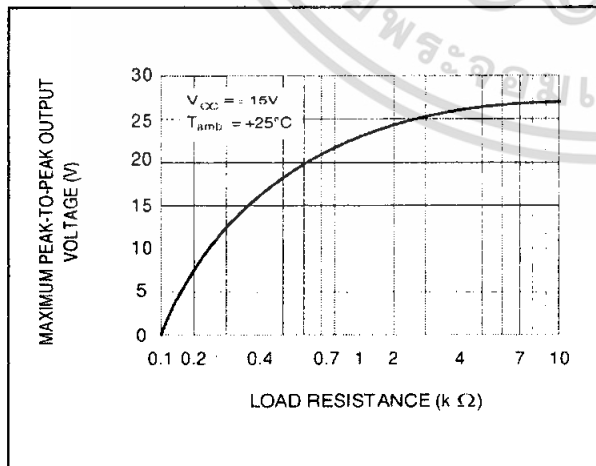
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus FREQUENCY



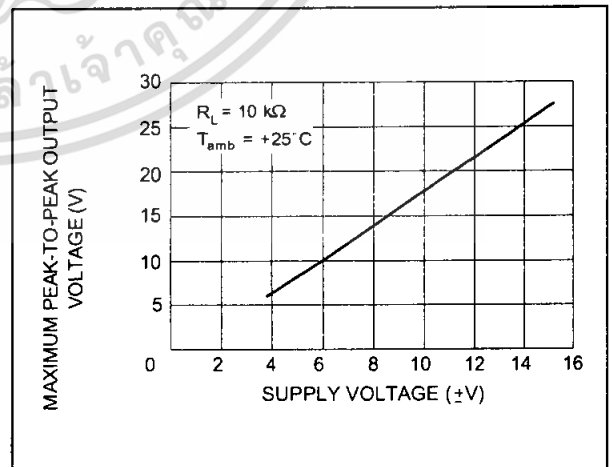
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus FREE AIR TEMP.



MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus LOAD RESISTANCE

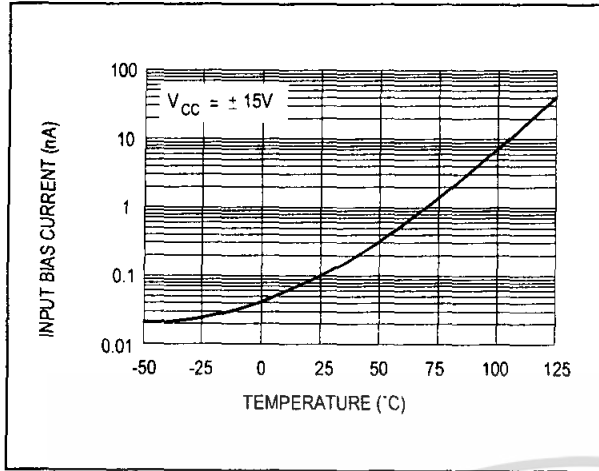


MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus SUPPLY VOLTAGE

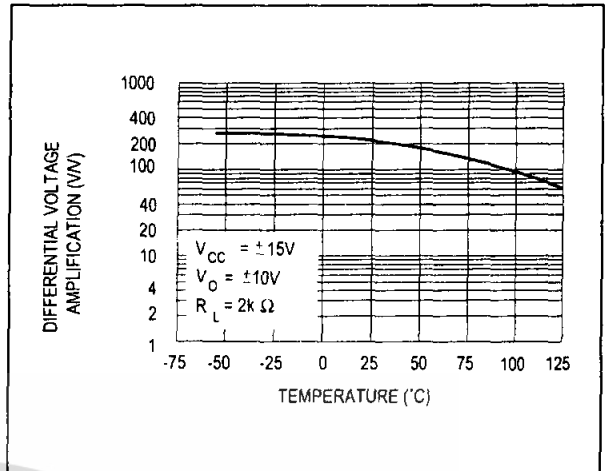


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

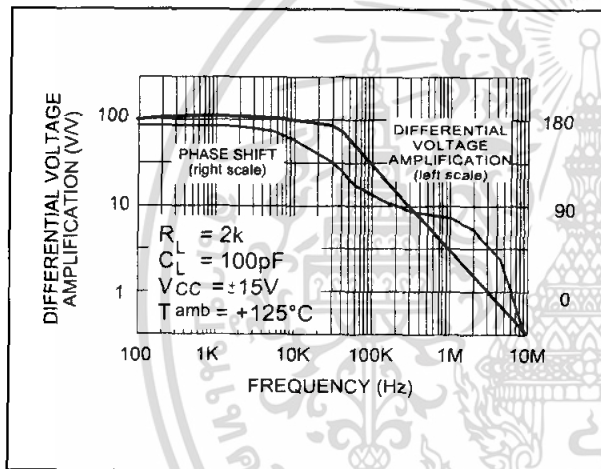
INPUT BIAS CURRENT versus FREE AIR TEMPERATURE



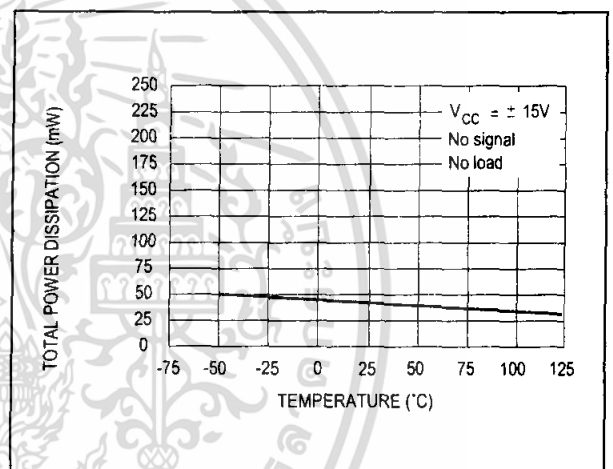
LARGE SIGNAL DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION versus FREE AIR TEMP.



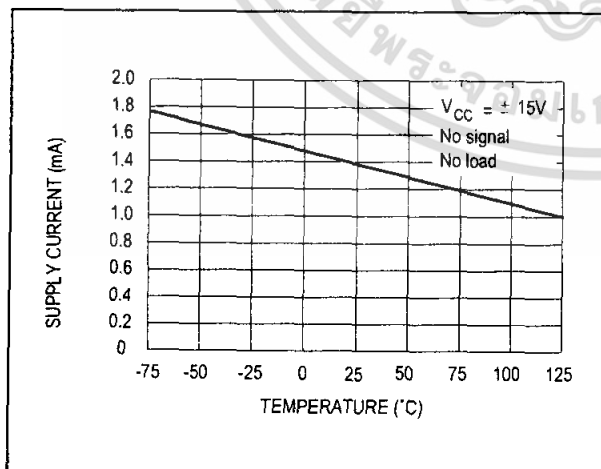
LARGE SIGNAL DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION AND PHASE SHIFT versus FREQUENCY



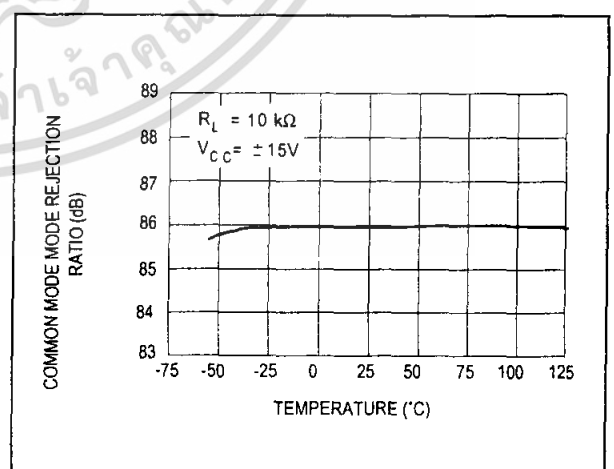
TOTAL POWER DISSIPATION versus FREE AIR TEMPERATURE



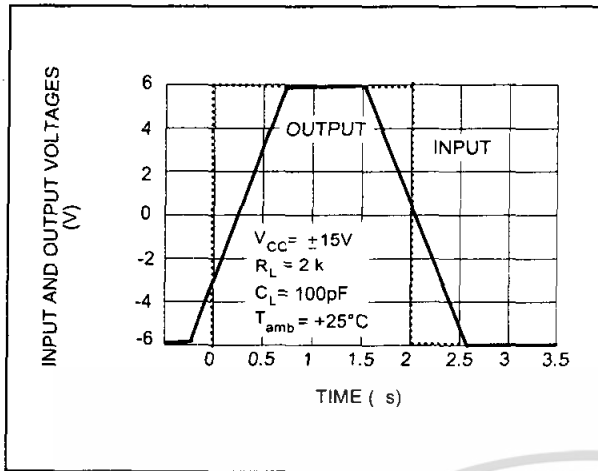
SUPPLY CURRENT PER AMPLIFIER versus FREE AIR TEMPERATURE



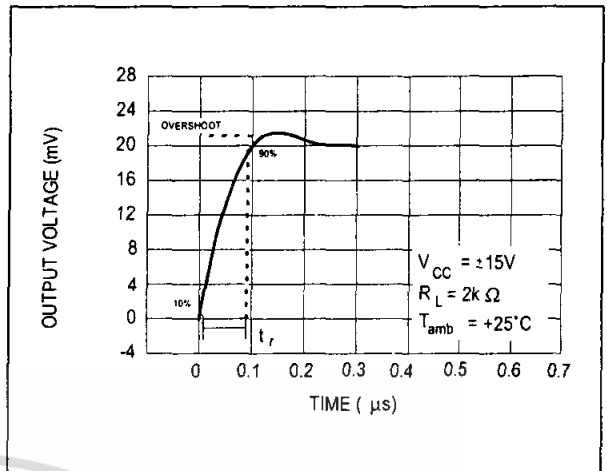
COMMON MODE REJECTION RATIO versus FREE AIR TEMPERATURE



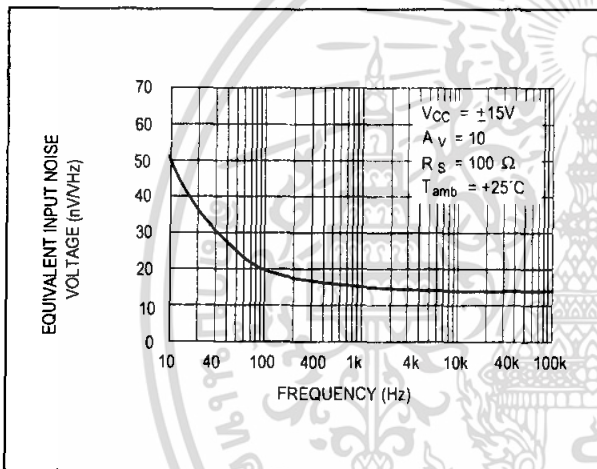
VOLTAGE FOLLOWER LARGE SIGNAL PULSE RESPONSE



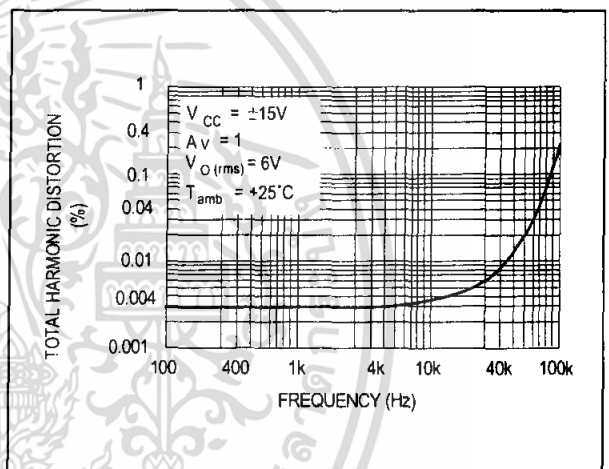
OUTPUT VOLTAGE versus ELAPSED TIME



EQUIVALENT INPUT NOISE VOLTAGE versus FREQUENCY



TOTAL HARMONIC DISTORTION versus FREQUENCY



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

Figure 1 : Voltage Follower

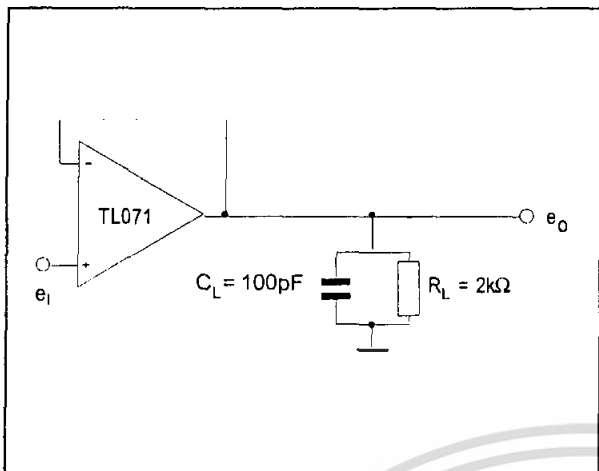
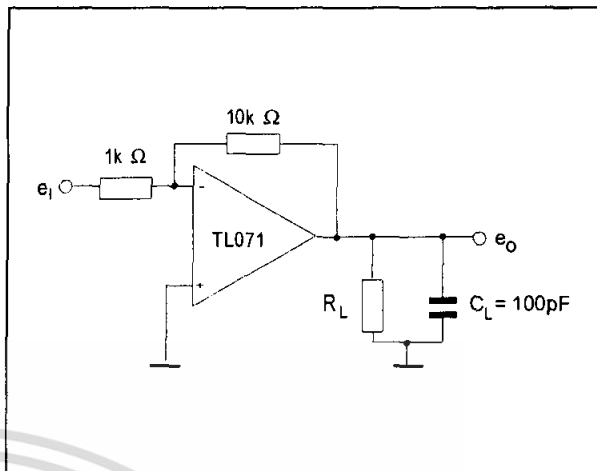
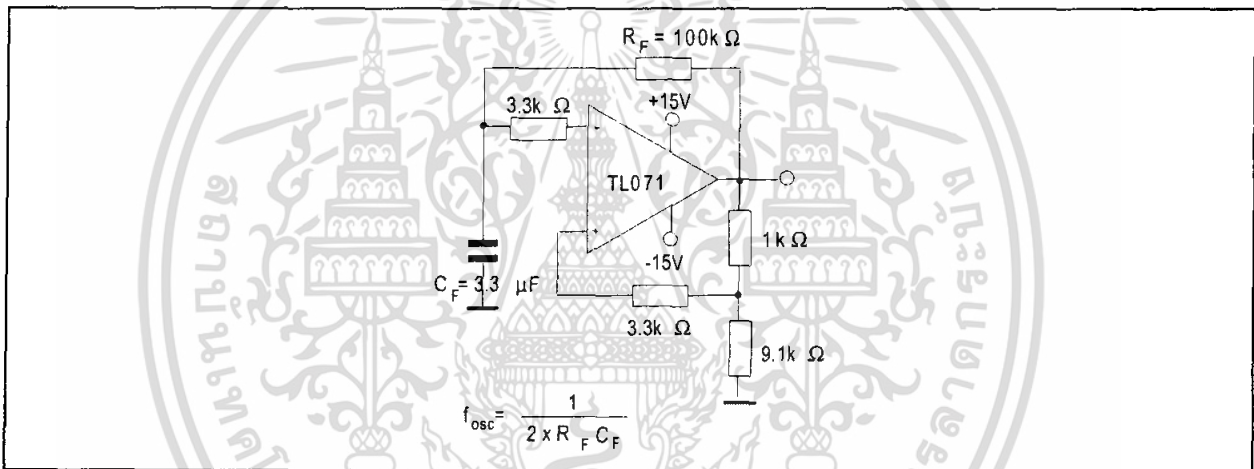


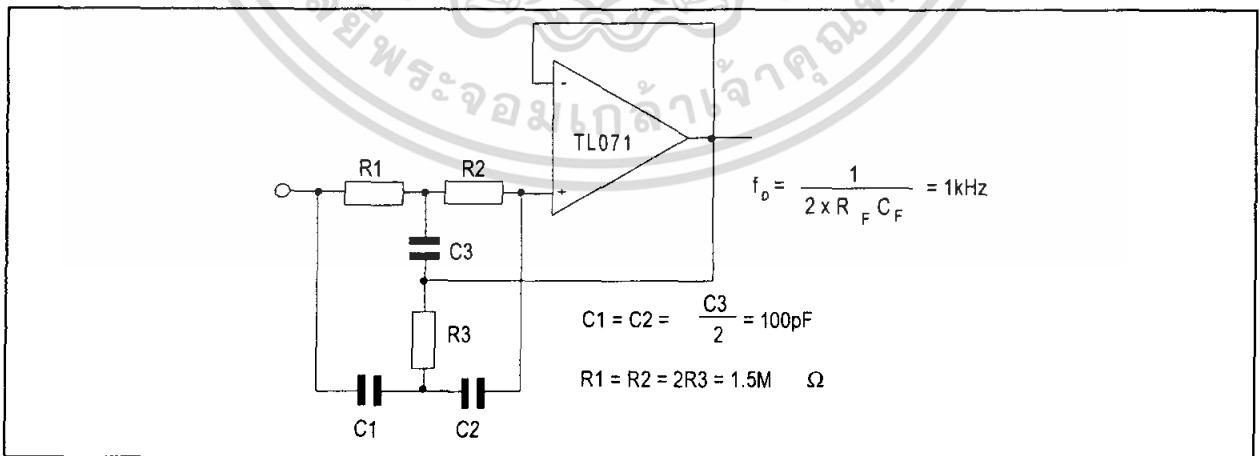
Figure 2 : Gain-of-10 Inverting Amplifier



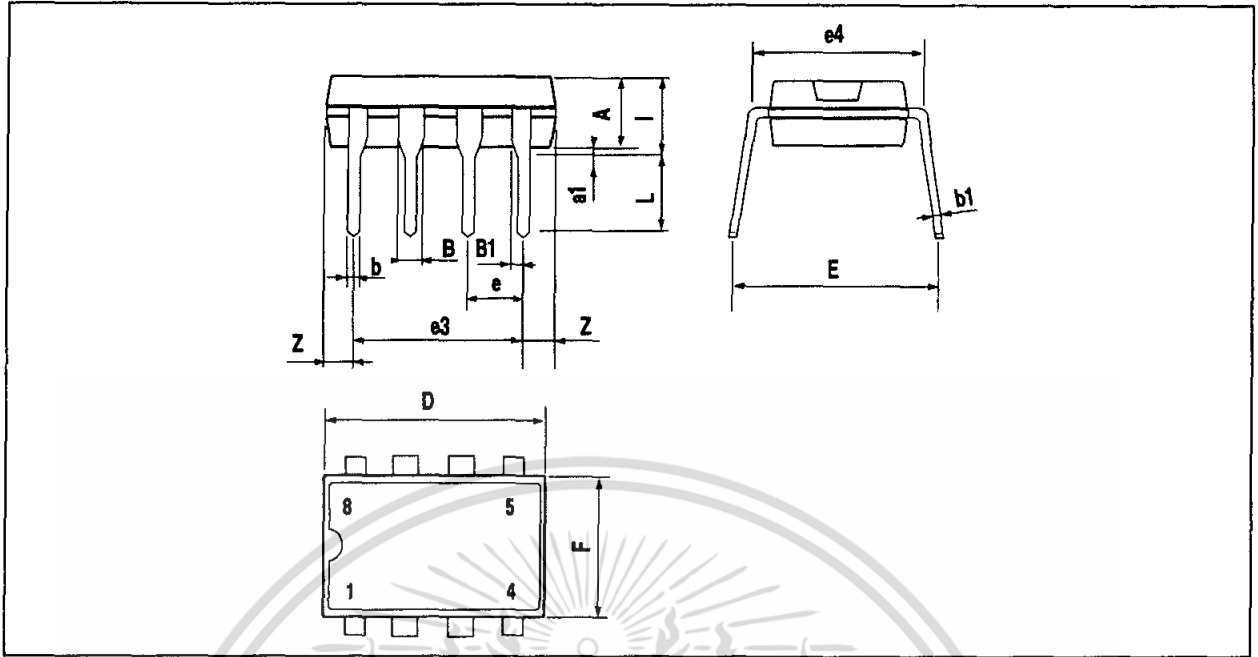
TYPICAL APPLICATIONS
(0.5Hz) SQUARE WAVE OSCILLATOR



HIGH Q NOTCH FILTER



PACKAGE MECHANICAL DATA
8 PINS - PLASTIC DIP

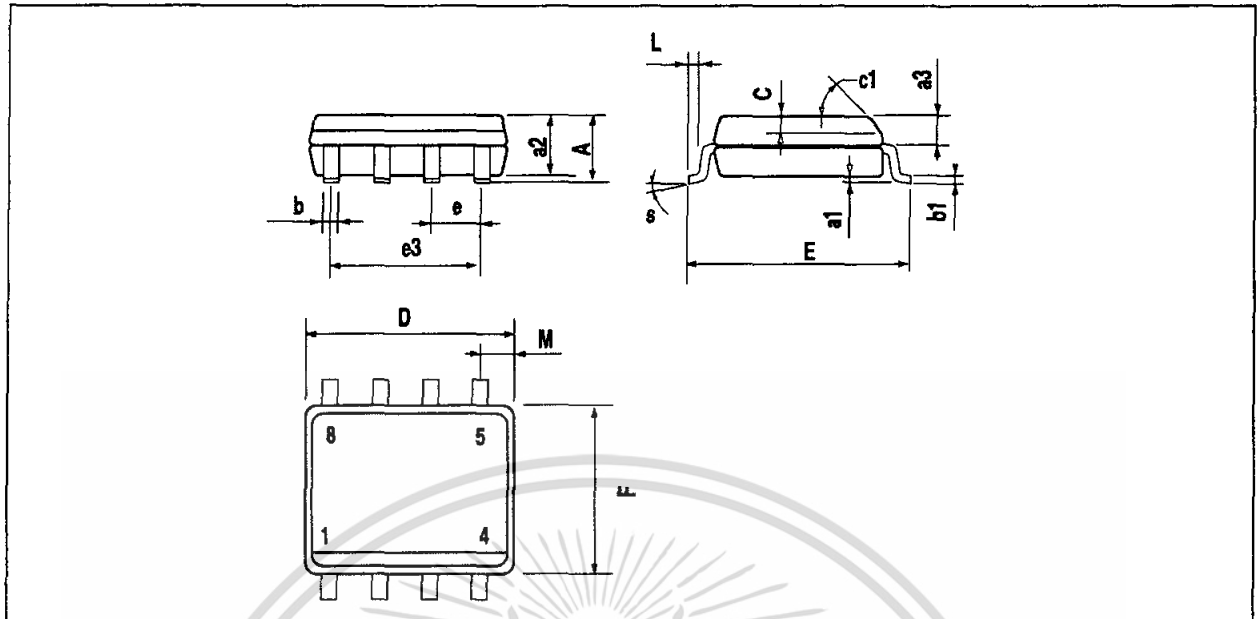


Dim.	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A		3.32		0.131		
a1	0.51			0.020		
B	1.15		1.65	0.045		0.065
b	0.356		0.55	0.014		0.022
b1	0.204		0.304	0.008		0.012
D			10.92			0.430
E	7.95		9.75	0.313		0.384
e		2.54		0.100		
e3		7.62		0.300		
e4		7.62		0.300		
F			6.6			0.260
i			5.08			0.200
L	3.18		3.81	0.125		0.150
Z			1.52			0.060



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE MECHANICAL DATA
8 PINS - PLASTIC MICROPACKAGE (SO)



Dim.	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.25	0.004		0.010
a2			1.65			0.065
a3	0.65		0.85	0.026		0.033
b	0.35		0.48	0.014		0.019
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C	0.25		0.5	0.010		0.020
c1	45° (typ.)					
D	4.8		5.0	0.189		0.197
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		3.81			0.150	
F	3.8		4.0	0.150		0.157
L	0.4		1.27	0.016		0.050
M			0.6			0.024
S	8° (max.)					

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

© The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

© 2001 STMicroelectronics - Printed in Italy - All Rights Reserved

STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco
 Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom

© <http://www.st.com>

