

อุปกรณ์เก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมระยะไกล
ENVIRONMENT MONITOR



โดย
นายปิยะพล ตริยานันท์
นายเอกวิทย์ ศัลยพงษ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 46485
วัน, เดือน, ปี..... 2 เม.ย. 2546

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

644001916

อุปกรณ์เก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมระยะไกล

ENVIRONMENT MONITOR



นายปิยะพล ตริยานันท์ 41014044

นายเอกวิทย์ ศัลยพงษ์ 41014058

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2544

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **อุปกรณ์เก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมระยะไกล**

ENVIRONMENT MONITOR

ผู้จัดทำ

1. นายปิยะพล ตรียนันท์ 41014277
2. นายเอกวิทย์ ศัลยพงษ์ 41014552

.....**ปัทมกฤษ**..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์เก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมระยะไกล

ENVIRONMENT MONITOR

โดย นายปิยะพล ตรียานันท์ 41014044

นายเอกวิทย์ ศัลยพงษ์ 41014552

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาและประดิษฐ์อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลของสภาพสิ่งแวดล้อมระยะไกลอันได้แก่ ค่าความชื้น ค่าอุณหภูมิ ค่าความดัน และเสียง ผ่านระบบไร้สาย โดยข้อมูลดังกล่าวจะได้ออกมาจากการใช้เซ็นเซอร์ชนิดต่างๆตรวจสอบ แล้วนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาทำการมัลติเพล็กซ์ จากนั้นจึงทำการส่งออกอากาศไปยังเครื่องรับ ในส่วนของเครื่องรับจะใช้จอแอลซีดีในการแสดงผลของข้อมูลต่างๆที่รับมา ซึ่งปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถนำไปพัฒนาเพื่อใช้กับแปลงเกษตร ฟาร์ม หรือ โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆได้

ABSTRACT

The purpose of this project is to study and create equipment which collect the parameters of an environment such as humidity, temperature, pressure and voice through wireless communication system. These data are measured by sensor and multiplex together then send to the receiver. In receiver use LCD monitor to show the parameter of an environment. The application will be used in agriculture system or Industrial Company.

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 MICROCONTROLLER	2
2.1.1 โครงสร้าง และรายละเอียด	2
2.1.2 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์	2
2.1.3 การใช้พอร์ตอนุกรม	4
2.1.4 การใช้งานเป็นตัวตั้งเวลา(Timer)	4
2.1.5 การใช้งานเป็นเคาท์เตอร์(Counter)	4
2.1.6 การเขียนโปรแกรมหน่วงเวลา(Delay routine)	5
2.2 วงจรตรวจสอบความชื้น (Humidity Sensor)	6
2.2.1 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา (Astable multivibrator)	6
2.3 วงจรตรวจสอบความดัน (Pressure sensor)	8
2.4 วงจรตรวจสอบอุณหภูมิ (Temperature Sensor)	9
2.4.1 ระบบสื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบหนึ่งสาย	10
2.4.2 คุณสมบัติของระบบบัสหนึ่งสาย	10
2.4.3 คุณสมบัติของโทรม์สล็อต	10
2.4.4 รูปแบบของการสื่อสารข้อมูลแบบหนึ่งสาย	11
2.5 FSK (Frequency Shift Keying)	11
2.6 Frequency synthesizer	12
2.6.1 ระบบสังเคราะห์ความถี่แบบเฟสล็อกดูป	13
2.6.2 โครงสร้าง และการทำงานทั่วไป	13
2.6.3 Phase Lock Loop Characteristics	14
2.7 วงจรแถบความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ค	16
2.7.1 วงจร Sallen and key	16
2.8 Voltage Control Oscillator (VCO)	17
2.9 การมอดูเลตทางเฟส(Phase Modulation, PM)	17
2.10 การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation, FM)	18
2.11 เอฟเอ็มแบนด์แคบ(Narrow Band FM)	20
2.12 การมัลติเพล็กซ์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	20
2.13 การแบ่งช่องสัญญาณทางความถี่ FDM (Frequency Division Multiplex)	21
2.14 วงจรขยายกำลัง (Power Amplifier)	22
2.15 หลักการของโครงการ	26

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	27
3.1 เครื่องส่ง	27
3.1.1 วงจรตรวจสอบอุณหภูมิ(Temperature Sensor)	28
3.1.2 วงจรตรวจสอบความชื้น(Humidity Sensor)	29
3.1.3 วงจรรับสัญญาณเสียง	30
3.1.4 วงจรกรองความถี่ต่ำแบบ	31
3.1.5 วงจรกรองความถี่ต่ำแบบ Butterworth low pass filter	31
3.1.6 วงจร Inverting Amplifier	32
3.1.7 การมัลติเพล็กซ์โดยใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	33
3.1.8 วงจรสร้างสัญญาณ FSK (Frequency shift keying Generator)	34
3.1.9 วงจรรวมสัญญาณ (Summing)	35
3.1.10 วงจรมอดูเลตทางความถี่ด้านเครื่องส่ง(Frequency Modulation : FM)	36
3.1.10.1 วงจรโวลต์เตจคอนโทรลอสซิลเลเตอร์(VCO)	36
3.1.10.2 วงจรสังเคราะห์ความถี่(Frequency Syntesizer)	36
3.1.10.3 วงจรลูปฟิลเตอร์(Loop Filter)	39
3.1.11 วงจรขยายกำลัง (Power Amplifier)	42
3.2 เครื่องรับ	44
3.2.1 วงจรมอดูเลตทางความถี่ด้านเครื่องส่ง(Frequency Modulation : FM)	44
3.2.1.1 วงจรดีมอดูเลเตอร์	44
3.2.2 วงจร FSK Demodulation	46
3.2.3 การดีมัลติเพล็กซ์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	48
3.2.4 วงจรแอลซีดี(LCD)	49
3.2.5 วงจรขยายสัญญาณเสียง	49
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	50
4.1 Temperature Sensor	50
4.2 Humidity Sensor	51
4.3 Pressure Sensor	51

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.4 Multiplex	53
4.5 FSK (Frequency Shift Keying)	54
4.6 Frequency Modulation(FM)	57
4.6.1 เครื่องส่ง	57
4.6.2 เครื่องรับ	61
4.7 Filter	64
บทที่ 4 บทวิจารณ์และบทสรุป	68
ภาคผนวก	69
กิตติกรรมประกาศ	76
หนังสืออ้างอิง	77



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงขาของ MCS-51	3
รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคาปาซิแตนซ์และค่าความถี่สัมพันธ์	6
รูปที่ 2.3 วงจรภายในไอซี 555 ไทม์เมอร์	7
รูปที่ 2.4 แสดงวงจร Astable multivibrator ด้วยไอซี 555 ไทม์เมอร์	8
รูปที่ 2.5 แสดงภาพตัวขวางของไอซีวัดความดัน	8
รูปที่ 2.6 กราฟระหว่างโวลต์เดจเอาท์กับความดันเปรียบเทียบที่อุณหภูมิต่างๆกัน	9
รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างการทำงานภายในของของไอซีตรวจจับอุณหภูมิ DS1820	9
รูปที่ 2.8 การจัดสรรพื้นที่ของสแควร์แพคใน DS1820	10
รูปที่ 2.9 แสดงหลักการของ FSK	11
รูปที่ 2.10 ระบบเฟสล็อกกลูบ	13
รูปที่ 2.11 คุณสมบัติทางความถี่ของวงจรแถบความถี่ต่ำผ่าน ในอุดมคติ	16
รูปที่ 2.12 วงจร Sallen and key	16
รูปที่ 2.13 แสดงการจัดเฟรมของข้อมูล	21
รูปที่ 2.14 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการมัลติเพล็กซ์แบบ FDM ทางด้านส่ง	21
รูปที่ 2.15 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการมัลติเพล็กซ์แบบ FDM ทางด้านรับ	22
รูปที่ 2.16 แสดงวงจรขยายกำลัง	22
รูปที่ 2.17 วงจรสมมูลของวงจรขยายกำลังเพื่อหาเอาท์พุทอิมพีแดนซ์	23
รูปที่ 2.18 วงจรสมมูลของวงจรขยายกำลังเพื่อหาอินพุทอิมพีแดนซ์	24
รูปที่ 2.19 แสดงบล็อกไดอะแกรมรวมของโครงการ	26
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่ง	27
รูปที่ 3.2 แสดงการต่อวงจรตรวจสอบอุณหภูมิ	28
รูปที่ 3.3 โพลซาร์ตแสดงการติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ของไอซีตรวจจับอุณหภูมิ	28
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรตรวจสอบความถี่	29
รูปที่ 3.5 แสดง ไอซีตรวจสอบความดัน MPX10D	30
รูปที่ 3.6 แสดงวงจรขยายสัญญาณจากไอซีตรวจจับอุณหภูมิ	30
รูปที่ 3.7 แสดงวงจร โวลต์เดจคอนโทรลลอซซิเลเตอร์ที่ใช้ในการผลิตสัญญาณสี่เหลี่ยม	31
รูปที่ 3.8 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรรับสัญญาณเสียง	31
รูปที่ 3.9 แสดงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบ Butterworth low pass filter	32
รูปที่ 3.10 แสดงวงจร Inverting Amplifier	32

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.9 CH1 แสดงเอาต์พุตจากวงจร FSK Demodulator CH2 แสดงอินพุตของวงจร FSK Modulator วงจร Summing	55
รูปที่ 4.10 CH1 แสดงเอาต์พุตจากวงจรรวมสัญญาณระหว่าง สัญญาณ FSK กับ สัญญาณชาयน์ 800 Hz เทียบกับ สัญญาณชาयน์ 800 Hz	56
รูปที่ 4.11 แสดงเอาต์พุตจากวงจรรวมสัญญาณระหว่าง สัญญาณ FSK กับ สัญญาณชาयน์ 800 Hz เทียบกับ สัญญาณ FSK	56
รูปที่ 4.12 แสดงเอาต์พุตจากวงจรรวมสัญญาณระหว่าง สัญญาณ FSK กับ สัญญาณชาयน์ 800 Hz	57
รูปที่ 4.13 แสดงคาแรคเทอริสติกของวีซีโอ ทางด้านเครื่องส่ง	57
รูปที่ 4.14 แสดงรูปสัญญาณ คลื่นพาห์ 27 MHz ทางด้านเครื่องส่ง	58
รูปที่ 4.15 แสดงสเปคตรัมของสัญญาณ คลื่นพาห์ 27 MHz ทางด้านเครื่องส่ง	58
รูปที่ 4.16 แสดงการลือคของลูปฟิลเตอร์ 27 MHz ที่ขา 28 ของวงจรสังเคราะห์ความถี่	59
รูปที่ 4.17 แสดงรูปสเปคตรัมของสัญญาณ 27 MHz หลังทำการมอดูเลตสัญญาณอินพุตขนาด 100 mV ความถี่ 1.5 kHz	59
รูปที่ 4.18 แสดงรูปสเปคตรัมของสัญญาณ 27 MHz หลังทำการเปลี่ยนขนาดสัญญาณอินพุตที่ เข้ามามอดูเลตเป็น 200 mV	60
รูปที่ 4.19 แสดงรูปสเปคตรัมของสัญญาณ 27 MHz หลังทำการเปลี่ยนความถี่สัญญาณอินพุตที่ เข้ามามอดูเลตเป็น 3 kHz	60
รูปที่ 4.20 แสดงคาแรคเทอริสติกของวีซีโอ ทางด้านเครื่องรับ	61
รูปที่ 4.21 แสดงรูปสัญญาณความถี่อ้างอิง 37.7 MHz ทางด้านเครื่องรับ	61
รูปที่ 4.22 แสดงสเปคตรัมของสัญญาณ โคลด์ออสซิลเลเตอร์ 37.7 MHz ทางด้านเครื่องรับ	62
รูปที่ 4.23 แสดงการลือคของลูปฟิลเตอร์ 37.7 MHz ที่ขา 28 ของวงจรสังเคราะห์ความถี่	62
รูปที่ 4.24 แสดงสัญญาณ 27 MHz ทางด้านเครื่องรับหลังผ่านวงจรลดทอนขนาดสัญญาณ	63
รูปที่ 4.25 แสดงสัญญาณ 37.7 MHz ทางด้านเครื่องรับหลังผ่านวงจรลดทอนขนาดสัญญาณ	63
รูปที่ 4.26 แสดงสัญญาณเอาต์พุต(Ch2) เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต(Ch1) ของ ไอซี MC3362 Sensor	64
รูปที่ 4.27 คุณสมบัตินี้ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ท ลำดับที่ 4 ที่มี คัตออฟที่ 7.5 kHz	64
รูปที่ 4.28 แสดงคุณสมบัตินี้ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ท ลำดับที่ 6 คัตออฟที่ 1.0 kHz	65
รูปที่ 4.29 แสดงคุณสมบัตินี้ของวงจรกรองความถี่สูงผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ท ลำดับที่ 6 คัตออฟที่ 1.4 kHz	67

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 3.1	สำหรับกำหนดค่าวงจรทหารภายในตัวไอซี MC145152-2	37
ตารางที่ 4.1	แสดงคุณสมบัติของวงจรรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ธ ลำดับที่ 4 คัตออฟที่ 7.5 kHz	65
ตารางที่ 4.2	แสดงคุณสมบัติของวงจรรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ธ ลำดับที่ 6 ที่มีความถี่คัตออฟที่ 1.0 kHz	66
ตารางที่ 4.2	แสดงคุณสมบัติของวงจรรองความถี่สูงผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ธ ลำดับที่ 6 ที่มีความถี่คัตออฟที่ 1.4 kHz	67



บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันที่เทคโนโลยีไร้สายกำลังได้รับความสนใจ และมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มากมายที่น่าจะนำมาทำการศึกษาไม่ว่าจะเป็นเซนเซอร์ต่างๆ หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถทำให้ขนาดของอุปกรณ์เล็กลงอย่างมากมาย ทำให้เป็นที่มาของแรงบันดาลใจที่ผู้ทำโครงการได้ตัดสินใจทำโครงการที่มีองค์ประกอบของทั้ง เซนเซอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และการส่งสัญญาณไร้สาย ซึ่งก็ได้กลายมาเป็นโครงการอุปกรณ์เก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมนี้เอง

ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เข้ามามีบทบาทในส่วนของวงจรดิจิทัล อิเล็กทรอนิกส์มากมาย โดยผู้ทำโครงการได้เลือกที่จะใช้ MCS-51 เนื่องจากได้ทำการศึกษาพื้นฐานมาบ้าง พร้อมกับองค์ประกอบของตัว MCS-51 เองที่ได้รับการพัฒนามามากมาย และมีหน่วยความจำโปรแกรมภายในแบบแฟลช ที่สามารถลบเขียนใหม่ได้หลายพันครั้ง ทำให้สามารถศึกษาการเขียนโปรแกรมและสามารถพัฒนาได้โดยสะดวก โดยในโครงการนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการเขียนและออกแบบเฟรมข้อมูลที่เหมาะสมกับข้อมูลอินพุต และควบคุมการรับ-ส่ง รวมไปถึงการแสดงผลออกทางจอ LCD ด้วย

ในส่วนของข้อมูลที่จะทำการส่งนั้นจะได้มาจากอุปกรณ์เซนเซอร์ที่ประกอบด้วย อุณหภูมิ ความดัน และความชื้น โดยผู้ทำโครงการยังได้เพิ่มส่วนของข้อมูลที่เป็นเสียงเข้าไปด้วย

การมอดูเลตที่ใช้ในโครงการนี้เป็นแบบ FSK (Frequency Shift Keying) ซึ่งจะทำการแทนสัญญาณดิจิทัลซึ่งมีค่า 0 กับ 1 ด้วยความถี่สองความถี่ที่ต่างกัน แล้วทำการส่งออกไป โดยจะทำการมอดูเลตแบบ FM (Frequency Modulation) อีกครั้งหนึ่งเพื่อจะทำการส่งสัญญาณออกทางสายอากาศ ซึ่งจะต้องมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ ประกอบ อาทิเช่น ฟิลเตอร์, วงจรแมชชิงอิมพีแดนซ์, บัฟเฟอร์ และพาวเวอร์ซัพพลาย เป็นต้น

ปริญญาบัตรฉบับนี้จะนำเสนอแนวทางการใช้งานอุปกรณ์ตรวจจับข้อมูลสภาพแวดล้อมในที่ที่หนึ่งแล้วส่งมารายงานให้อีกที่หนึ่งทราบ โดยผ่านระบบไร้สาย ซึ่งจะเอื้ออำนวยแก่การใช้งานไม่ว่าจะเป็นในรูปของเซนเซอร์ตรวจตราในโรงงานที่อันตราย หรือในรูปของการใช้ควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ตามฟาร์ม แปลงเกษตรหรือแม้แต่ในรูปของการเก็บข้อมูลก็ตาม จึงเชื่อมั่นได้ว่าด้วยประโยชน์ที่ได้จากการศึกษาโครงการนี้ จะถูกนำไปทำการปรับปรุงเพื่อประยุกต์ใช้งานได้อย่างเต็มที่ และหลากหลายต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

โครงการนี้ประกอบด้วยส่วนต่างๆมากมาย ซึ่งทางผู้จัดทำโครงการก็ได้จำแนกออกเป็นส่วนๆ เพื่อง่ายต่อการพิจารณา โดยได้แบ่งส่วนแรกเป็นเรื่องของไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่วนที่เหลือเกี่ยวกับวงจรสำคัญๆที่ใช้ในงานในโครงการนี้

2.1 MICROCONTROLLER

2.1.1 โครงสร้าง และรายละเอียด

MCS-51 ที่ใช้ในโครงการนี้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีหน่วยความจำแบบแฟลช (Flash Memory) ซึ่งจะสามารถลบ และเขียนใหม่ได้มากมายหลายครั้ง ทำให้ต้นทุนและเวลาในการศึกษาพัฒนาลดลงอย่างมาก โดยมีคุณสมบัติของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์คือ

- มี CPU ขนาด 8 bits
- มี Ram เป็นหน่วยความจำข้อมูลพื้นฐาน บางเบอร์มีแบบ EEPROM เพิ่มเติม
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบ Full Duplex
- มีขาพอร์ตแบบ 2 ทิศทาง สามารถใช้ได้เป็นทั้ง อินพุตและเอาต์พุต
- ไทมเมอร์ และเคาท์เตอร์ขนาด 16 บิต
- รองรับแหล่งกำเนิด Interrupt ได้ 6 ประเภท
- สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกได้ 64 กิโลไบต์
- มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายใน
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบ SPI
- มีวอตซ์ดีค็อกไทมเมอร์ในตัว

2.1.2 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ไม่ว่าของบริษัทใดก็จะมีโครงสร้างและขาใช้งานพื้นฐานเหมือนกัน โดยมีรายละเอียดคือ

ขา VCC ใช้ต่อไฟเลี้ยง +5 V

ขา GND ใช้ต่อเป็นกราวด์ของระบบ

ขา Reset ใช้รีเซ็ตการทำงาน

ขา Xtal1, Xtal2 เป็นขาที่ใช้ต่อกับคริสตอลเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาไปใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์

ขาพอร์ต P0.0 – P0.7 ผู้ใช้สามารถกำหนดใช้เป็นขาอินพุต เอาท์พุต ตามที่ต้องการ ในงานทั่วไป

โดยถ้าต้องการให้ขาใดเป็นอินพุต ทำได้โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังพอร์ตที่ต้องการ (จะทำให้พอร์ตเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูงใช้เป็นพอร์ตอินพุตได้) และใช้สำหรับติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก

ขาพอร์ต P1.0 – P1.7 ผู้ใช้สามารถกำหนดใช้เป็นขาอินพุต เอาท์พุต ตามที่ต้องการ ในงานทั่วไป โดยถ้าต้องการให้ขาใดเป็นอินพุต ทำได้โดยการเขียนข้อมูล “ 1 “ไปยังพอร์ตที่ต้องการ นอกจากนี้ยังใช้ P1.1 เป็นขาอินพุตนับค่าของไทมเมอร์ 2 และ P1.1 เป็นขาอินพุตทริกเกอร์ของไทมเมอร์ 2 โดยขา P1.4-P1.7 จะเป็นขาเชื่อมต่อแบบ SPI เพื่อทำการ โปรแกรมข้อมูล

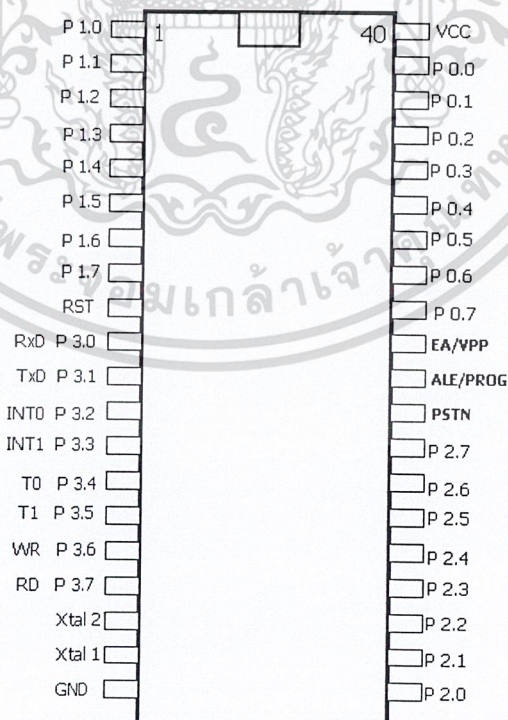
ขาพอร์ต P2.0 – P2.7 ผู้ใช้สามารถกำหนดใช้เป็นขาอินพุต เอาท์พุต ตามที่ต้องการ ในงานทั่วไป และใช้สำหรับติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก

ขาพอร์ต P3.0 – P3.7 ผู้ใช้สามารถกำหนดใช้เป็นขาอินพุต เอาท์พุต ตามที่ต้องการ ในงานทั่วไป และใช้เป็นพอร์ตสำหรับการติดต่อข้อมูลแบบอนุกรม เป็นขารับสัญญาณอินเทอร์รัปจากภายนอก รวมทั้งเป็นขาสัญญาณ Write, Read ในกรณีเชื่อมกับหน่วยความจำภายนอก

ขา ALE/PROG (Address Latch Enable/Program Pulse Input) เป็นขาที่ใช้ควบคุมการแลตช์ของขาพอร์ต 0 เมื่อมีการใช้งานหน่วยความจำภายนอก

ขา PSTN (Program Store Enable) เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก จะส่งสัญญาณออกมาที่ขานี้ 2 ครั้งในหนึ่ง Machine Cycle

ขา EA/VPP (External Access enable/programming voltage input) ใช้สำหรับเลือกว่าต้องการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (“0”) หรือภายใน (“1”)

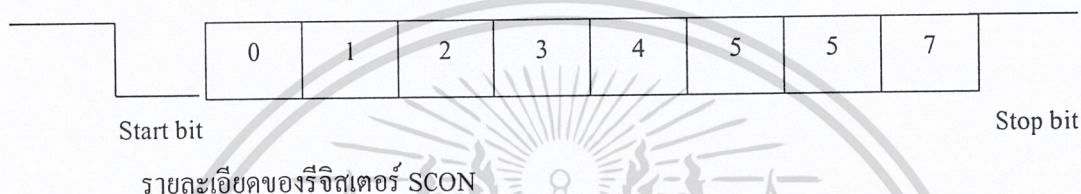


รูปที่ 2.1 แสดงขาของ MCS-51

2.1.3 การใช้พอร์ตอนุกรม

ในโครงงานนี้ผู้ทำโครงงานได้เลือกใช้งานพอร์ตอนุกรมโหมด 1 (เลือกโหมดการทำงานจากรีจิสเตอร์ SCON) ซึ่งเป็นการสื่อสารอนุกรม 10 บิต เป็นข้อมูล 8 บิต และ 1 Startบิต 1 Stopบิต โดยสามารถเลือกอัตราบอดได้ คำนวณจาก

$$B = \frac{2^{SMOD} \times \text{Oscillator freq.}}{32 \times 12 \times [256 - (TH1)]}$$



SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI
-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----

SM0 :

SM1 :

สำหรับเลือกโหมดการทำงาน(ที่ใช้เป็นโหมด 1 เซ็ตค่า SM0=0, SM1=1)

SM2 : เลือกว่าจะใช้งานแบบซิงเกิลโปรเซสเซอร์("0") หรือมัลติโปรเซสเซอร์("1")

REN : ควบคุมว่าจะให้ รับข้อมูล("1") หรือไม่ให้รับข้อมูล("0")

TB8 : สำหรับใส่ข้อมูลบิตที่ 9(มักเป็น parity check bit) ที่จะส่งออกไป โหมด 2,3

RB8 : สำหรับรับข้อมูลบิตที่ 9 ที่รับเข้ามา

TI : แสดงสถานะ("1") เมื่อส่งข้อมูลครบ 1 ไบต์

RI : แสดงสถานะ("1") เมื่อรับข้อมูลครบ 1 ไบต์

2.1.4 การใช้งานเป็นตัวตั้งเวลา(Timer)

ทำงานโดย ในทุกๆแมชชีนไซเคิล ค่าของรีจิสเตอร์จะถูกเพิ่มขึ้น ก็คือการนับค่าแมชชีนไซเคิลนั้นเอง โดย 1 แมชชีนไซเคิลจะเท่ากับ 1 ส่วน 12 ของสัญญาณนาฬิกา ซึ่งรีจิสเตอร์ที่ควบคุมการทำงานของไทเมอร์ก็คือ รีจิสเตอร์ TCON (Timer/Counter Control Register) และเลือกโหมดของไทเมอร์ด้วยรีจิสเตอร์ TMOD

2.1.5 การใช้งานเป็นเคาท์เตอร์(Counter)

ค่าของรีจิสเตอร์จะถูกเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนระดับของลอจิก(ขาลง 1 \rightarrow 0, หรือ ขาขึ้น 0 \rightarrow

เอกสารนี้ 1) ที่ขาอินพุตของวงจร โดยความถี่สูงสุดที่เคาท์เตอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์จะนับได้คือ ความถี่ของไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณนาฬิกาหารด้วย 24 (จากระบวนการตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของลอจิกต้องใช้เวลา 2 เมกซ์ซินไซเคล) ซึ่งควบคุมการทำงานโดยรีจิสเตอร์ TCON (Timer/Counter Control Register) และเลือกโหมดโดย TMOD เหมือนตัวไทมเมอร์

รายละเอียดของการ Set รีจิสเตอร์ TCON

TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

TF1 : แฟลคซ์แสดงการเกิดโอเวอร์โฟลว์ของไทมเมอร์1(จะเซตเมื่อเกิดโอเวอร์โฟลว์)

TR1 : ควบคุมการนับของไทมเมอร์1 โดยถ้าเป็น "1" ทำงาน และถ้าเป็น "0" จะหยุดทำงาน

TF0 : แฟลคซ์แสดงการเกิดโอเวอร์โฟลว์ของไทมเมอร์0

TR0 : ควบคุมการนับของไทมเมอร์0 โดยถ้าเป็น "1" ทำงาน และถ้าเป็น "0" จะหยุดทำงาน

IE1 : แสดงการเกิดอินเตอร์รัปที่ INT1

IT1 : ใช้เลือกประเภทการอินเตอร์รัปของ INT1ว่าจะนับที่ขอบขาขึ้น(เซตเป็น "0") หรือขาลง(เซตเป็น "1")

IE0 : แสดงการเกิดอินเตอร์รัปที่ INTO

IT0 : ใช้เลือกประเภทการอินเตอร์รัปของ INTO

รายละเอียดของการ Set รีจิสเตอร์ TMOD

GATE	C/T	M1	M0	GATE	C/T	M1	M0
Timer1				Timer0			

GATE : เลือกการควบคุมจากซอฟต์แวร์("0") หรือจากฮาร์ดแวร์("1")

C/T : เลือกว่าจะใช้เป็นไทมเมอร์("0") หรือจะใช้เป็นเคาท์เตอร์("1")

M1 :

M0 : ใช้เลือกโหมดการทำงาน(ที่ใช้เป็นโหมด 1 เซตค่า M1=0, M2=0)

2.1.6 การเขียนโปรแกรมหน่วงเวลา(Delay routine)

เป็นการประยุกต์ใช้หลักการของวงจรรูปเพื่อใช้เวลาให้หมดไปโดยไม่ยุ่งเกี่ยวกับวงจรหลัก

ปกติจะเขียนโปรแกรมหน่วงเวลาเป็นค่าอ้างอิงไว้ค่าหนึ่ง จากนั้นเวลานำไปใช้ก็ค่อยกำหนดค่ารีจิสเตอร์

เป็นตัวคูณ แล้วนำไปคูณกับตัวที่ทำอ้างอิงไว้ก็จะหน่วงเวลาได้ตามต้องการ

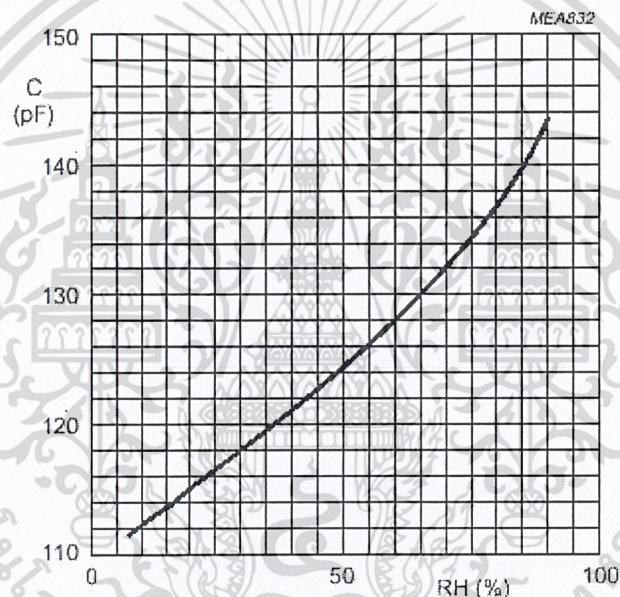
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 Humidity sensor

การทำงานของเซ็นเซอร์วัดความชื้น แผ่นฟิล์มบางๆจะดูดซับความชื้นจากสภาพแวดล้อม จะทำให้ค่าคาปาซิแตนซ์ของตัวเซนเซอร์เปลี่ยน โดยตัวเซนเซอร์สามารถตอบสนองความชื้นสัมพัทธ์ได้ตั้งแต่ 10 เปอร์เซ็นต์ถึง 90 เปอร์เซ็นต์

เซ็นเซอร์นั้นทำมาจากแผ่นฟิล์ม โพลิเมอร์ที่ถูกเคลือบด้วยแผ่นทองที่บางมากและอากาศสามารถผ่านเข้ามาได้ แผ่นฟิล์มจะถูกจับระหว่างสปริงอยู่ในโครงสร้างภายนอกที่ทำมาจากพลาสติก โดยจะมีการหน่วยการวัดเป็นความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพอากาศภายนอก โดยตัวเซนเซอร์สามารถเปลี่ยนค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ของแผ่นฟิล์มโพลิเมอร์ เพื่อที่จะเปลี่ยนค่าคาปาซิแตนซ์ของเซนเซอร์ โดยกราฟความสัมพันธ์จะแสดงได้ดังรูป 2.2

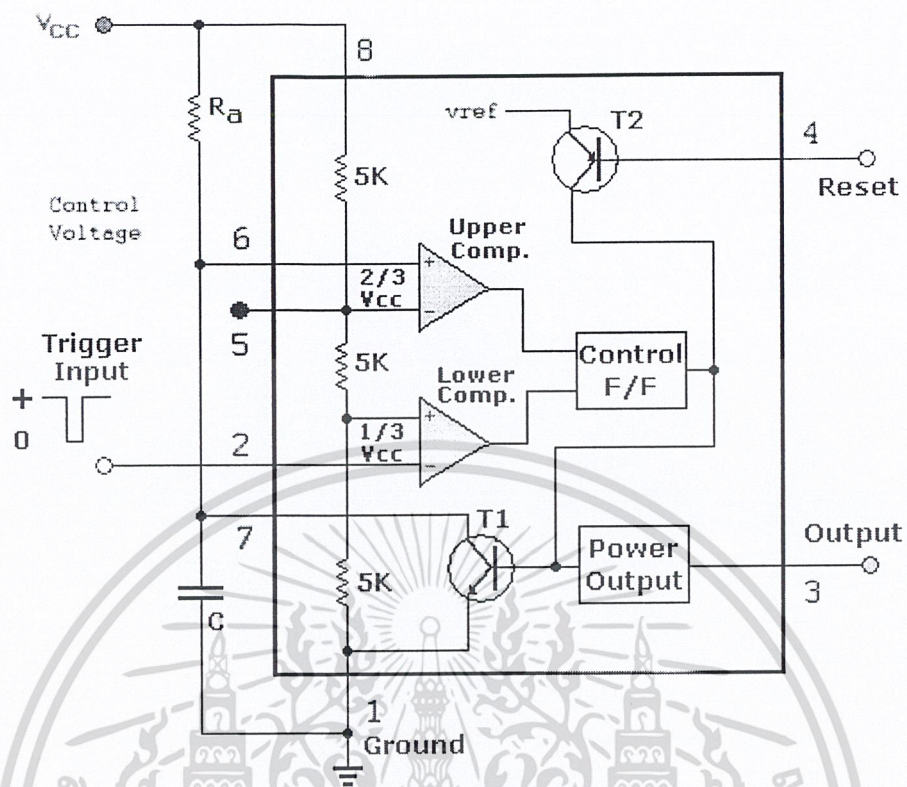


รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคาปาซิแตนซ์และค่าความชื้นสัมพัทธ์

โดยในการใช้งานจริงเราสามารถนำจรสร้างสัญญาณนาฬิกามาประยุกต์ใช้กับไอซีนี้ โดยเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยน ดังนั้นสัญญาณนาฬิกาที่ผลิตออกซึ่งขึ้นกับค่าคาปาซิแตนซ์ก็จะเปลี่ยนตามด้วย โดยเราจะสามารถแสดงผลค่าความชื้นสัมพัทธ์ได้โดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ นับสัญญาณนาฬิกาที่ผลิตออกมาแล้วแสดงออกทางจอ LCD

2.2.1 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา (Astable multivibrator)

เราจะใช้ไอซี 555 ไทม์เมอร์มาประยุกต์ใช้ในการสร้างสัญญาณนาฬิกาที่เปลี่ยนแปลงตามค่าคาปาซิแตนซ์ของไอซีวัดความชื้น โดยโครงสร้างภายในไอซี 555 ไทม์เมอร์จะแสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 วงจรภายในไอซี 555 ไทม์เมอร์

ในการต่อไอซี 555 ไทม์เมอร์เพื่อใช้งานเป็น Astable Multivibrator จะต่อวงจรดังรูปที่ 2.4 โดยจะแสดงการต่อตัวต้านทานภายนอกและสัญญาณเอาท์พุทที่ขึ้นอยู่กับการตั้งค่าความต้านทานที่ต่อเพิ่มเข้าไป โดยจะสามารถแสดงได้ในสมการดังต่อไปนี้

$$T_{high} = 0.7(R_a + R_b)C \quad (1)$$

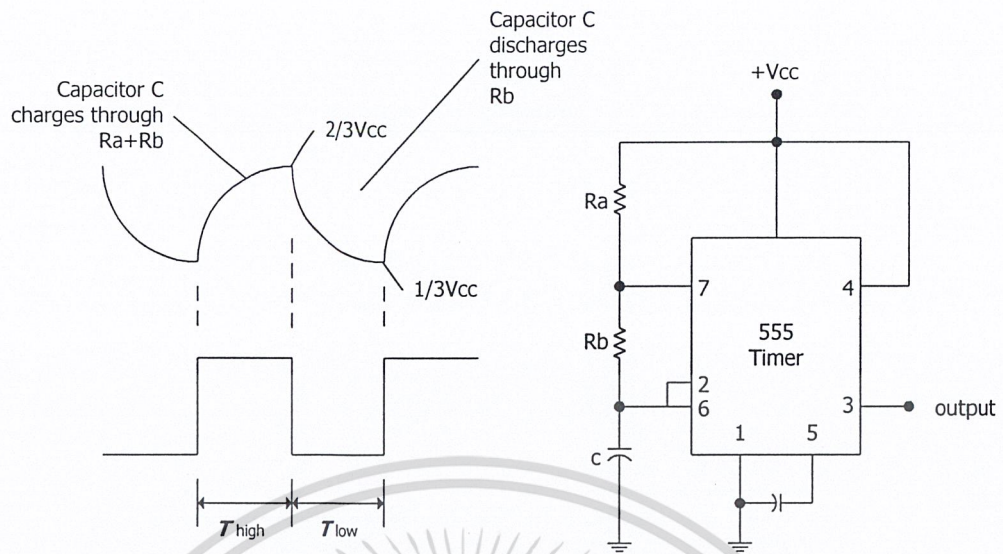
$$T_{low} = 0.7R_b C \quad (2)$$

จะได้

$$T = period = T_{high} + T_{low} \quad (3)$$

ความถี่ของวงจร Astable จะสามารถคำนวณได้ดังนี้

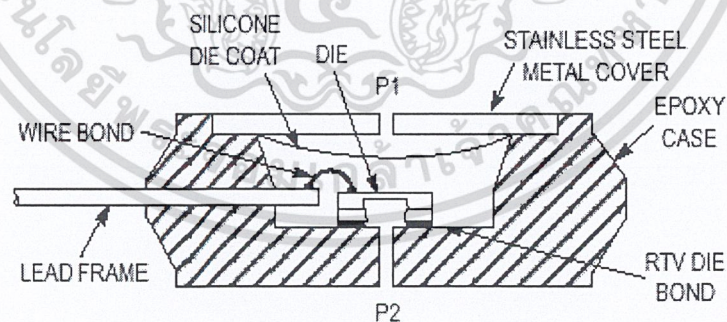
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_a + 2R_b)C} \quad (4)$$



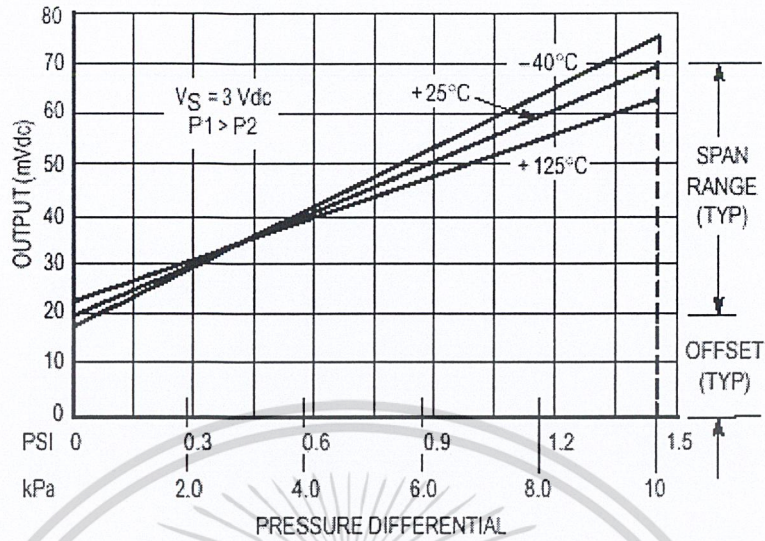
รูปที่ 2.4 แสดงวงจร Astable multivibrator ด้วยไอซี 555 ไทม์เมอร์

2.3 Pressure sensor

เซนเซอร์วัดความดันนั้นเราจะใช้ไอซีของโมโตโรล่าร์ MPX10D ซึ่งมีโครงสร้างที่ทำมาจาก Monolithic Silicon piezoresistor ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาท์พุทเมื่อความดันเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยความดันที่สามารถวัดออกมานั้นจะเป็นแรงดันที่เปรียบเทียบจาก P1 และ P2 ตามรูปที่ 2.7 โดยสามารถวัดได้ความดันสูงสุดที่ 10 kPa



รูปที่ 2.5 แสดงภาพตัดขวางของไอซีวัดความดัน

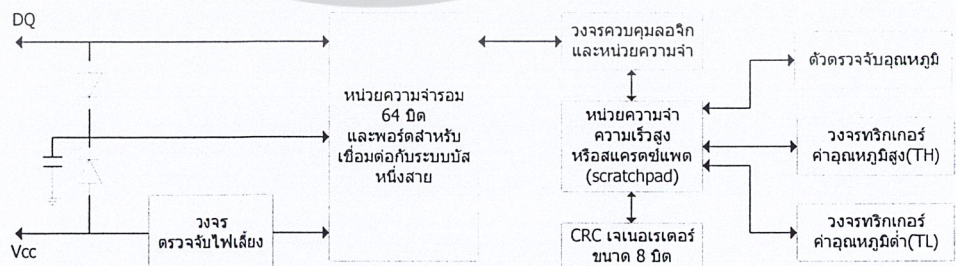


รูปที่ 2.6 กราฟระหว่าง โวลต์ที่เดจเอาท์พุดกับความดันเปรียบเทียบที่อุณหภูมิต่างๆกัน

2.4 Temperature Sensor

DS1820 เป็นไอซีตรวจจับอุณหภูมิที่มีย่านวัดอยู่ที่ +125 ถึง -55 องศาเซลเซียส ความละเอียดในการวัดได้ 0.5 องศาเซลเซียส ใช้การติดต่อระบบบัสหนึ่งสาย มีขาใช้งานทั้งหมดสามขา คือ DQ ซึ่งเป็นขาเชื่อมต่อกับระบบบัส, ขาต่อไฟเลี้ยงภายนอก และขกราวด์ หัวใจสำคัญของ DS1820 อยู่ที่ตัวตรวจจับอุณหภูมิและหน่วยความจำความเร็วสูงที่เรียกว่า สแครตช์แพด (Scratchpad) ซึ่งมีขนาด 9 ไบท์

เมื่อวัดอุณหภูมิได้ก็จะนำค่าที่วัดได้นี้มาเก็บไว้ในสแครตช์แพดที่ไบต์ 0 และ 1 เนื่องจากไอซี DS1820 สามารถให้ข้อมูลของอุณหภูมิได้ละเอียดถึง 16 บิต เมื่อนำมาแปลงเป็นข้อมูลเลขฐานสิบจึงสามารถแสดงความละเอียดของค่าอุณหภูมิได้ถึง 0.5 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาการแปลงค่าอุณหภูมิเป็นข้อมูลดิจิทัลประมาณ 200 มิลลิวินาที สามารถกำหนดขอบเขตอุณหภูมิที่ทำการวัดได้ โดยค่าอุณหภูมิที่กำหนดนี้จะเก็บไว้ในที่สแครตช์แพดในไบต์ 2 และไบต์ 3



รูปที่ 2.7 แสดง โครงสร้างการทำงานภายในของของไอซีตรวจจับอุณหภูมิ DS1820

2.4.1 ระบบสื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบหนึ่งสาย (1-Wire Serial Bus)

ระบบสื่อสารข้อมูลนี้ใช้จำนวนสายสัญญาณเพียงหนึ่งเส้นเท่านั้น โดยไม่ต้องมีสัญญาณนาฬิกา มาควบคุมจังหวะการถ่ายถอดข้อมูลเหมือนกับระบบสื่อสารอนุกรมในแบบอื่นๆ เนื่องจากสายข้อมูลนั้น จะทำหน้าที่เสมือนเป็นสายสัญญาณนาฬิกาในตัว ส่วนค่าของข้อมูลจะพิจารณาจากลักษณะของรูป สัญญาณที่ปรากฏบนสายสัญญาณในแต่ละ ไทม์สล็อต (Time-Slot) การถ่ายถอดข้อมูลนั้นจะเกิดขึ้นภายใน ไทม์สล็อตนั้น รูปแบบการถ่ายถอดข้อมูลจะเป็นแบบอะซิงโครนัสในระดับบิต ไม่มีการกำหนดความ ยาวของข้อมูลเป็นระดับไบต์

2.4.2 คุณสมบัติของระบบบัสหนึ่งสาย

สายสัญญาณบนระบบบัสแบบหนึ่งสายนี้จะเป็นสายสัญญาณแบบสองทิศทาง โดยจะระบุตัว ใดเป็นอุปกรณ์มาสเตอร์ และอุปกรณ์สเลฟ โดยอุปกรณ์มาสเตอร์คือไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วน อุปกรณ์สเลฟ ได้แก่ ไอซีตรวจจับอุณหภูมิ อุปกรณ์มาสเตอร์จะเป็นตัวจัดเตรียมความพร้อมของสาย สัญญาณ ในระหว่างการทำงานอุปกรณ์มาสเตอร์และสเลฟสามารถเป็นได้ทั้งตัวส่งและตัวรับ ขึ้นอยู่กับ เงื่อนไขในการทำงานขณะนั้น

2.4.3 คุณสมบัติของไทม์สล็อต

อุปกรณ์มาสเตอร์จะเป็นอุปกรณ์เพียงตัวเดียวบนระบบบัสหนึ่งสายนี้ ที่สามารถทำการอินิเชียล สายสัญญาณได้ โดยอุปกรณ์มาสเตอร์จะกำหนดจุดเริ่มต้นของไทม์สล็อตด้วยการทำให้สายสัญญาณ เป็นลอจิกต่ำในช่วงเวลาหนึ่ง จากนั้นจะทำให้กลับมาเป็นลอจิกสูง ถ้าหากอุปกรณ์สเลฟต้องการส่งข้อมูล มายัง อุปกรณ์มาสเตอร์ อุปกรณ์สเลฟจะเป็นตัวควบคุมสถานะของสายสัญญาณต่อไป จนถึงสุดกระบวน การ แต่ถ้าหากอุปกรณ์มาสเตอร์ต้องการส่งข้อมูลก็จะสามารถดำเนินการต่อไปได้เลย

	ไบต์
ข้อมูลอุณหภูมิไบต์ต่ำ	0
ข้อมูลอุณหภูมิไบต์สูง	1
ข้อมูลอุณหภูมิต่ำ	2
ข้อมูลอุณหภูมิค่าต่ำ	3
สำรองไว้	4
สำรองไว้	5
รีจิสเตอร์เก็บค่าการนับ	6
รีจิสเตอร์เก็บค่าการนับ ต่อ องศาเซลเซียส	7
CRC	8

2.4.4 รูปแบบของการสื่อสารข้อมูลแบบหนึ่งสาย (1-Wire Communication Protocol)

ในการติดต่อสื่อสารข้อมูล ในระบบบัสหนึ่งสาย อุปกรณ์มาสเตอร์จะสามารถติดต่อกับอุปกรณ์สเลฟได้ครั้งละ 1 ตัวเท่านั้น ดังนั้นอุปกรณ์สเลฟแต่ละตัว ต้องมีข้อมูลกำหนดแอดเดรสเฉพาะตัว จัดเก็บไว้ในหน่วยความจำรวม ภายในอุปกรณ์สเลฟตัวนั้นๆ โดยปกติอุปกรณ์ในระบบบัสหนึ่งสายจะมีหน่วยความจำขนาด 64 บิตหรือ 8 ไบต์ สำหรับเก็บข้อมูลต่างๆที่สำคัญสำหรับอุปกรณ์แต่ละตัว ซึ่งประกอบด้วย

1. รหัสของตระกูล จำนวน 8 บิต
2. หมายเลขประจำตัว (Serial Number) จำนวน 48 บิต
3. รหัสตรวจสอบความผิดพลาด (CRC) จำนวน 8 บิต

ผู้ใช้งานสามารถอ่านข้อมูลประจำตัวของอุปกรณ์สเลฟได้ด้วยการใช้คำสั่ง อ่านหน่วยความจำรวม (Read Rom) ในกรณีที่บนสายสัญญาณมีอุปกรณ์สเลฟเพียงตัวเดียว ไม่จำเป็นต้องอ้างแอดเดรสในการติดต่อ

รูปแบบการติดต่อระบบบัสหนึ่งสาย จะเริ่มต้นขึ้นเมื่ออุปกรณ์มาสเตอร์ทำการรีเซต และกำหนดแอดเดรสของอุปกรณ์ที่ทำการติดต่อ ถ้าหากมีอุปกรณ์สเลฟเพียงตัวเดียวสามารถข้ามขั้นตอน การติดต่อกับหน่วยความจำรวมภายในอุปกรณ์สเลฟได้ เรียกว่า การไม่ติดต่อหน่วยความจำรวม (Skip Rom) จากนั้นรอการตอบรับจากอุปกรณ์สเลฟ เมื่อการตอบรับสมบูรณ์ก็จะสามารถเริ่มต้นขั้นตอนการอ่านหรือเขียนข้อมูลได้ต่อไป

2.5 FSK (Frequency Shift Keying)

ในระบบ FSK นั้นเราจะแทนค่าไบนารี 2 ค่าด้วยความถี่ 2 ความถี่ที่แตกต่างกัน โดย 2 ความถี่นี้จะมีค่าใกล้เคียงกับความถี่กลาง โดยจะมีสมการดังนี้

$$s_1(t) = A \cos(2\pi f_1 t) \text{ สำหรับ สัญญาณ ไบนารี 1}$$

$$s_2(t) = A \cos(2\pi f_2 t) \text{ สำหรับ สัญญาณ ไบนารี 0}$$



รูปที่ 2.9 แสดงหลักการของ FSK

เอาท์พุทของ FSK แสดงถึงความสัมพันธ์กับอินพุทที่เข้ามาตามรูปที่ 2.10 เมื่ออินพุทเป็นลอจิก 0 เอาท์พุทจะเป็น f_1 เมื่ออินพุทเป็นลอจิก 1 เอาท์พุทจะเป็น f_2 โดยค่าความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดจะเป็นดังสมการ

นี่เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta f = \frac{f_2 - f_1}{2} = \frac{1}{4T_b} \text{ Hz} \quad (5)$$

ดังนั้นเราจะได้

$$f_1 = f_c - \Delta f = f_c - \frac{1}{4T_b} \quad (6)$$

$$f_2 = f_c + \Delta f = f_c + \frac{1}{4T_b} \quad (7)$$

เราจะสามารถอธิบายสัญญาณ FSK ได้ดังนี้

$$S_{fsk}(t) = A \cos \pm [2(f_c \pm \Delta f)t] \quad (8)$$

หรือ

$$S_{fsk}(t) = A \cos \pm 2\pi f t \cos 2\pi f_c t - A \sin(\pm 2\pi f t) \sin 2\pi f_c t \quad (9)$$

โดยเราจะแสดงความสัมพันธ์ของสมการกับบิตเรทได้ดังนี้

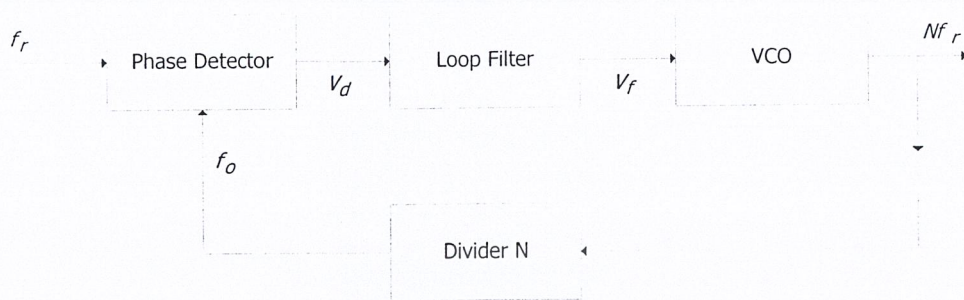
$$S_{fsk}(t) = A \cos \frac{\pm \pi t}{2T_b} \cos 2\pi f_c t - A \sin \frac{\pm \pi t}{2T_b} \sin 2\pi f_c t \quad (10)$$

2.6 Frequency synthesizer

เป็นตัวที่กำเนิดความถี่ที่เที่ยงตรงหลายๆความถี่ จากความถี่อ้างอิงเพียงความถี่เดียว ระบบสังเคราะห์ความถี่สามารถทดแทนระบบเก่าที่ต้องใช้คริสตอลออสซิลเลเตอร์จำนวนมาก และราคาแพง เพราะระบบสังเคราะห์ความถี่นั้นมีราคาถูกและสามารถควบคุมได้ง่ายโดยวงจรดิจิทัล

ระบบสังเคราะห์ความถี่เริ่มแรกนั้นจะเป็นระบบ Direct Frequency synthesizer ซึ่งต้องใช้ความถี่หลายค่ามาผสมกันเพื่อให้ได้ค่าที่ต้องการ วิธีที่สองคือวิธีสังเคราะห์ความถี่แบบเฟสล็อกคูลูป และวิธีที่ที่สามซึ่งเป็นวิธีที่ใหม่ที่สุด คือวิธีสังเคราะห์ความถี่แบบ direct digital frequency synthesis ซึ่งจะใช้ดิจิทัลคอมพิวเตอร์และ การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก เพื่อที่จะกำเนิดความถี่ โดยเราจะใช้วงจรสังเคราะห์ความถี่แบบเฟสล็อกคูลูป

2.6.1 ระบบสังเคราะห์ความถี่แบบเฟสล็อกกลุ๊ป



รูปที่ 2.10 ระบบเฟสล็อกกลุ๊ป

รูปที่ 2.11 นั้นสามารถทำหน้าที่ได้ 1 ใน 3 ฟังก์ชันต่อไปนี้

1. เมื่อค่า $N = 1$ เฟสล็อกกลุ๊ปจะทำหน้าที่เป็น Tracking Filter
2. เมื่อค่า N มากกว่า 1 วงจรนี้จะทำหน้าที่เป็นวงจรรักษาความถี่
3. เมื่อค่า N สามารถเลือกได้ เฟสล็อกกลุ๊ปนี้จะทำหน้าที่เป็นวงจรสังเคราะห์ความถี่

2.6.2 โครงสร้าง และการทำงานทั่วไป

เฟสล็อกกลุ๊ปเป็นระบบที่มีการป้อนความถี่กลับแบบเนกาทีฟฟีดแบ็ค(Negative Feedback) โดยมีความสามารถในการล็อกกับความถี่ คือสามารถทำให้ความถี่ที่ออกไปมีความถี่เท่ากับความถี่ที่เข้ามาได้อย่างรวดเร็วและมีความสามารถในการแทรกกิง (Tracking) คือเมื่อล็อกแล้วแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงของความถี่สัญญาณ ระบบเฟสล็อกกลุ๊ปจะยังพยายามรักษาสภาพการล็อกนั้นอยู่ต่อไป ซึ่งทำให้สัญญาณออกกับสัญญาณเข้ายังคงมีความถี่เท่ากันอยู่ ซึ่งวงจรเฟสล็อกกลุ๊ปนั้นจะมองค้ประกอบที่สำคัญคือ

1. ส่วนของเฟสดีเทคเตอร์(Phase Detector) เป็นวงจรใช้สำหรับทำหน้าที่ตรวจจับความต่างเฟสของสัญญาณอินพุต 2 สัญญาณ โดยเอาที่พุด ก็คือค่าความต่างเฟสของสัญญาณอินพุตนั่นเอง
2. ส่วนของวงจรรองความถี่ต่ำผ่าน(Low Pass Filter) ใช้สำหรับกำจัดสัญญาณไฟสลับซึ่งเป็นสัญญาณความต่างเฟสที่ออกมาจากเฟสดีเทคเตอร์ เพื่อให้สัญญาณเอาต์พุดเป็นสัญญาณความถี่ต่ำ เพื่อป้อนแก่วงจรขยายต่อไป
3. วงจรขยายสัญญาณ เพื่อปรับขนาดของสัญญาณ เพื่อป้อนให้แก่ VCO
4. Voltage Control Oscillator (VCO) เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ผลิตสัญญาณที่มีความถี่แปรตามสัญญาณไฟตรงที่ป้อนให้ โดยจะนำไปป้อนให้แก่วงจรเฟสดีเทคเตอร์ต่อไป

การทำงานของเฟสล็อกกลุ๊ปขณะที่ยังไม่มีสัญญาณเข้าไปในระบบ แรงดันควบคุม(Control Voltage) จะเท่ากับศูนย์ VCO จะทำงานโดยตั้งความถี่ไว้ที่ f_0 หรือเรียกว่า Free running Frequency โดย

ถ้ามีสัญญาณเข้ามา ระบบก็จะทำการเปรียบเทียบเฟส และความถี่ของสัญญาณอินพุตกับความถี่ของ VCO ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และผลิตแรงดันความเคลื่อน $V_{o(t)}$ ซึ่งสัมพันธ์กับความแตกต่างของเฟสและความถี่ระหว่างสัญญาณทั้งสอง ความคลาดเคลื่อนนี้จะถูกรอง แล้วขยายส่งไปยัง VCO (เข้าที่ขาควบคุม) แล้วแรงดันควบคุม $V_{d(t)}$ จะไปบังคับความถี่ของ VCO ให้เปลี่ยนไปในทิศทางที่ลดความต่างของความถี่ระหว่างสัญญาณที่เข้ามา กับ $V_{o(t)}$ ถ้าความถี่ของสัญญาณที่เข้ามาใกล้เคียงกับ $V_{o(t)}$ จากการป้อนกลับของเฟสล็อกลูป ทำให้ล๊อคกับสัญญาณที่เข้ามา ขณะทำการล๊อคนั้นความถี่ VCO จะเท่ากับสัญญาณอินพุต แต่เฟสยังต่างกันอยู่จึงมีความจำเป็นต่อการผลิตแรงดันคลาดเคลื่อน V_d ที่จะไปคอยปรับความถี่ VCO จากค่า Free Running ให้เท่ากับความถี่ที่เข้ามา ดังนั้น เฟสล็อกลูปจะยังรักษาสภาพการล๊อค การที่ระบบสามารถปรับตัวเองได้ ทำให้สามารถติดตาม และรักษาให้อยู่ในสภาพล๊อคเช่นเดิม เฟสล็อกลูปจะสามารถจับความถี่ได้ช่วงหนึ่ง เรียก ช่วงความถี่ตรวจจับ (Capture Range) และเมื่อเฟสล็อกลูปติดตามจับความถี่ได้แล้ว ช่วงที่จะติดตามให้คงสภาพการล๊อคเรียกว่าช่วงความถี่ล๊อค (Lock Range)

2.6.3 Phase Lock Loop Characteristics

จากที่กล่าวมาองค์ประกอบของวงจรเฟสล็อกลูปนั้นประกอบด้วย วงจรเปรียบเทียบเฟส (Phase detector) วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter) และ โวลต์เตจคอนโทรลลออสซิลเลเตอร์ (VCO) โดยสัญญาณอินพุตจะมีเฟส $\theta_i(t)$ และสัญญาณเอาต์พุตจากโวลต์เตจคอนโทรลลออสซิลเลเตอร์จะมีเฟส $\theta_o(t)$ โดยเราจะสามารถอธิบายเอาต์พุตจากวงจรเปรียบเทียบเฟส ได้ดังนี้

$$V_d = K_d \sin(\theta_i - \theta_o) \quad (11)$$

$$V_d \approx K_d(\theta_i - \theta_o) \quad (12)$$

โดยที่ K_d คือค่าเกนของวงจรเปรียบเทียบเฟส โดยมีหน่วยเป็น โวลต์/เรเดียน V_d คือค่าโวลต์เตจของความผิดพลาดทางเฟส (Phase error voltage) โดยจะถูกกรองโดยลูปฟิลเตอร์ โดยค่าทรานเฟอร์ฟังก์ชันในแกนความถี่คือ $F(s)$

เอาต์พุตของลูปฟิลเตอร์คือ Error voltage, V_f เพื่อที่จะนำไปควบคุมความถี่ที่ผลิตขึ้นของโวลต์เตจคอนโทรลลออสซิลเลเตอร์ ความถี่เบี่ยงเบนจากความถี่กลางของโวลต์เตจคอนโทรลลออสซิลเลเตอร์คือ

$$\Delta\omega = K_o V_f \quad (13)$$

โดยที่ K_o คือเกนของโวลต์เตจคอนโทรลลออสซิลเลเตอร์ โดยมีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาทีต่อโวลต์ เมื่อความถี่คือการเปลี่ยนแปลงของเฟสต่อเวลา โดยจะแสดงได้สมการ ดังนี้

$$\frac{d\theta_o}{dt} = K_o V_f \quad (14)$$

โดยเราสามารถจะทำให้อยู่ในแกนความถี่โดยการทำให้ลาปลาซทรานฟอร์ม จะได้

$$s\theta_o(s) = K_o V_r(s) \quad (15)$$

$$\theta_o(s) = \frac{K_o V_r(s)}{s} \quad (16)$$

โดยสมการที่ผ่านมาจะแสดงถึงเฟสของเอาต์พุตของวงจรวอลท์เตจคอนโทรลอสซิลเลเตอร์ ที่จะเป็นสัดส่วนกับ Error voltage $V_r(s)$ เราสามารถเขียนทรานเฟอร์ฟังก์ชันของ วงจรเปรียบเทียบเฟสและลูปฟีดแบ็คได้ดังนี้

$$V_d(s) = K_d [\theta_i(s) - \theta_o(s)] \quad (17)$$

และ

$$V_r(s) = F(s) V_d(s) \quad (18)$$

รวมสมการจะได้

$$A(s) = \frac{\theta_o(s)}{\theta_i(s)} = \frac{K_o K_d F(s)}{s - K_o K_d F(s)} \quad (19)$$

และ

$$\frac{\theta_o(s)}{\theta_i(s)} = \frac{\theta_i(s) - \theta_o(s)}{\theta_i(s)} = \frac{s}{s + K_o K_d F(s)} \quad (20)$$

โดยที่

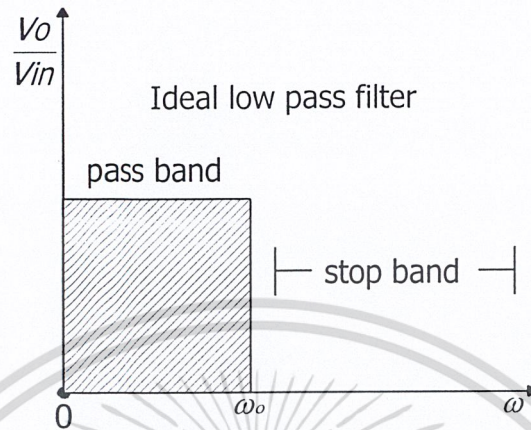
$K_o K_d F(s)$	=	Forward loop gain
K_o	=	ค่าเกนของวงจรวอลท์เตจคอนโทรลอสซิลเลเตอร์
K_d	=	ค่าเกนของวงจรเปรียบเทียบเฟส
S	=	Laplace operator
$F(s)$	=	ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของลูปฟีดแบ็ค
$A(s)$	=	ลูปทรานเฟอร์ฟังก์ชัน

2.7 วงจรแถบความถี่ต่ำผ่านแบบ บัตเตอร์เวิร์ด (Butterworth Filter)

ในการรับ-ส่งสัญญาณต่าง ๆ นั้น เราต้องการเฉพาะแถบความถี่ของข้อมูลข่าวสารเท่านั้น เช่น สัญญาณเสียงจะมีแถบความถี่ประมาณ 300 – 3400 Hz โดยความถี่ที่สูงและต่ำกว่านี้จะถูกถือว่าเป็นสัญญาณรบกวน โดยเราจะสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนดังกล่าวได้โดยใช้วงจรแถบความถี่ผ่าน (Filter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาระดับปริญญาตรีเท่านั้น ไม่สามารถนำไปเผยแพร่ในที่สาธารณะได้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

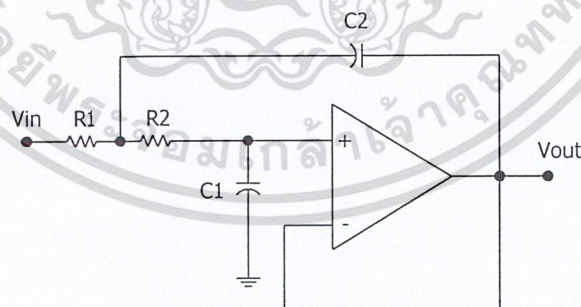
โดยในเครื่องส่งนี้จะใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านในการกรองสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่า 4 kHz ออกไปโดยจะมี Characteristic ดังนี้



รูปที่ 2.11 คุณสมบัติทางความถี่ของวงจรแถบความถี่ต่ำผ่านในอุดมคติ

โดยวงจรแถบความถี่ต่ำผ่านนั้นจะมีอยู่หลายประเภท โดยจะมี Characteristic แตกต่างกันไป โดยเราจะใช้ Butterworth low pass filter ที่ประกอบด้วยวงจร sallen and key มาต่อ cascade กันทำให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น

2.7.1 วงจร Sallen and key



รูปที่ 2.12 วงจร Sallen and key

จากการวิเคราะห์ห้วงจร จะได้

$$\frac{V_x - V_{in}}{R_1} + (V_x - V_{out})SC_2 + \frac{V_x - V_{out}}{R_2} = 0 \quad (21)$$

$$V_{out}(SC_1) + \frac{V_{out} - V_x}{R_2} = 0 \quad (22)$$

จากสมการที่ (22) จะได้ $V_x = (SC_1R_2 + 1)V_{out}$ แทนในสมการที่ (21)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า จักรูปสมการมาตรฐานของวงจรแถบความถี่ต่ำผ่าน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ออกกฎหมายให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T(s) = \frac{K\omega_o^2}{s^2 + \left(\frac{\omega_o}{Q}\right)s + \omega_o^2} \quad (23)$$

จะได้ดังนี้

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{s^2 + \frac{C_2(R_1R_2)}{C_1C_2R_1R_2}s + \frac{1}{C_1C_2R_1R_2}} \quad (24)$$

โดยที่เราจะได้ค่าต่างๆดังนี้

$$\omega_o = \sqrt{\frac{1}{C_1C_2R_1R_2}} \quad (25)$$

$$Q = \frac{C_2(R_1+R_2)}{\sqrt{C_1C_2R_1R_2}}, \quad K = 1 \quad (26)$$

2.8 Voltage Control Oscillator (VCO)

เป็นวงจรที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของระบบการสื่อสารนาฬิกาแบบทุกชนิด โดยจะเป็นการแปลงจากสัญญาณไฟตรงไปเป็นสัญญาณความถี่วิทยุ (Radio frequency) ซึ่งมันจะผลิตสัญญาณความถี่วิทยุเพียงใส่สัญญาณไฟตรงเป็นอินพุต เป็นวงจรที่ใช้สำหรับปรับแต่งความถี่ออสซิลเลเตอร์ซึ่งมีวิธีคือใช้คาปาซิทีฟไดโอดแบบสารกึ่งตัวนำหรือที่เรียกว่าวาริแคป (varicap) หรือ วาเร็กเตอร์ (varactor) คุณสมบัติของไดโอดชนิดนี้คือค่าคาปาซิแตนซ์จะแปรผันตามค่าแรงดันไฟฟ้ารีเวิร์สที่ป้อนให้แก่ตัวมัน ดังนั้นเมื่อวาริแคปต่อคร่อม L ในวงจรของออสซิลเลเตอร์ จึงทำให้มีคุณสมบัติในการปรับความถี่ได้ โดยการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าที่ต่อคร่อมไดโอด

2.9 การมอดูเลตทางเฟส(Phase Modulation, PM)

เนื่องมาจากทฤษฎีของเอฟเอ็มที่ใช้ในโครงการนี้นั้นมีความเกี่ยวข้องกับทฤษฎีของการมอดูเลตทางเฟส ดังนั้นการอธิบายจำเป็นต้องกล่าวถึงเรื่องของพีเอ็มก่อนเล็กน้อยเพื่อให้เข้าใจในเรื่องของเอฟเอ็มต่อไป

การมอดูเลตทางเฟส คือการมอดูเลตที่เฟสของคลื่นพาห้จะเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณข่าวสารที่นำมาผสม โดยเขียนได้ดังสมการ

$$\theta \propto m_{(v)}$$

$$\theta = k_p m_{(v)} \quad (27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นถ้าให้สมการของคลื่นพาห้เป็น

$$\phi_i = A_c \cos(\omega_c t + \theta) \quad (28)$$

ก็จะได้สมการรูปทั่วไปของพีเอ็ม(Phase Modulation) คือ

$$\phi_{PM} = A_c \cos[\omega_c t + k_p m(t)] \quad (29)$$

2.10 การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation, FM)

การมอดูเลตทางความถี่ คือการมอดูเลตที่ความถี่ของคลื่นพาห้จะเปลี่ยนแปลง(เพิ่มขึ้น หรือลด)ตามแอมพลิจูดของสัญญาณข่าวสารที่นำมาผสม

$$\omega \propto m(t) \quad (30)$$

โดยขนาดแอมพลิจูดของคลื่นพาห้จะคงที่เสมอไม่ว่าสัญญาณเสียงจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร ส่วนที่เปลี่ยนแปลงคือความถี่ของคลื่นพาห้เท่านั้น โดยการเบี่ยงเบนของความถี่คลื่นพาห้ตามความแรงของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตนั้นเรียกว่า การเบี่ยงเบนความถี่(Frequency Deviation) โดยในโครงการนี้ผู้ทำโครงการเลือกใช้การมอดูเลตทางความถี่กับคลื่นพาห้ความถี่ 27 MHz

ปกติแล้วคลื่นพาห้ที่ยังไม่ได้มีการมอดูเลตจะมีสมการเป็น

$$\phi_i = A_c \cos(\omega_c t + \theta) \quad (31)$$

โดยค่า θ จะเรียกว่า เฟสของคลื่นรูปไซน์ ϕ_i โดยการมอดูเลตทางความถี่นั้น ค่าของเฟสชั่วขณะ(Instantaneous Phase, θ_i) จะมีความสัมพันธ์กับค่าของ ความถี่ชั่วขณะ (Instantaneous Frequency) ซึ่งแปรตามสัญญาณข่าวสารตามที่ได้กล่าวมา ดังสมการคือ

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{d\theta_i}{dt} \\ \theta_i &= \int_{-\infty}^t \omega_i(t) dt \end{aligned} \quad (32)$$

โดยจะพบว่าหลังจากการมอดูเลต จะมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ไปจาก ω_c เดิม ซึ่งอัตราการเบี่ยงเบน(เปลี่ยนแปลง)นั้นขึ้นกับค่าของสัญญาณมอดูเลต โดยสัญญาณข่าวสารที่เข้ามามอดูเลต $m(t)$ จะไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเนื้อหาเว็บไซต์จะเผยแพร่เอกสารนี้ การคัดลอกหรือการนำเอกสารไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบี่ยงเบนความถี่ของคลื่นพาห้ (ω_c) ทำให้ได้ความถี่คลื่นพาห้ที่เปลี่ยนแปลงไป เรียกว่าความถี่พาห้ชั่วขณะ (Instantaneous Frequency) และเราสามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของเฟสชั่วขณะได้ ดังสมการคือ

$$\text{จากสมการ (30) จะได้} \quad \omega = k_f m(t) \quad (33)$$

$$\text{เมื่อแทนในสมการ (32) จะได้} \quad \theta_i = k_f \int_{-\infty}^t m(t) dt \quad (34)$$

เมื่อเรานำสมการ (D) ซึ่งเป็นค่าเฟสที่เปลี่ยนแปลงไป นำไปแทนในสมการของคลื่นพาห้ (B) ทำให้สามารถเขียนสมการรูปทั่วไปของเอฟเอ็ม (Frequency Modulation) ได้ คือ

$$\phi_{FM} = A_c \cos\left(\omega_c t + k_f \int_{-\infty}^t m(t) dt\right) \quad (35)$$

ถ้าสัญญาณข่าวสาร $m(t)$ ที่เข้ามาอยู่ในรูปของสัญญาณไซน์ $A_m \cos(\omega_m t)$ ทำให้สามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการได้

$$m(t) = A_m \cos(\omega_m t) \quad (36)$$

และเมื่อเรานำไปแทนลงในสมการของเอฟเอ็ม (E) จะทำให้เราได้สมการใหม่คือ

$$\phi_{FM} = A_c \cos\left[\omega_c t + k_f \int_{-\infty}^t A_m \cos(\omega_m t) dt\right] \quad (37)$$

$$\phi_{FM} = A_c \cos\left[\omega_c t + \frac{k_f A_m}{\omega_m} \sin(\omega_m t)\right] \quad (38)$$

ทำให้เราทราบค่าของมอดูเลชันอินเด็กซ์คือ

$$\frac{k_f A_m}{\omega_m} = \beta \quad (39)$$

ซึ่งจะเป็นตัวแปรที่กำหนดแบนด์วิดท์ของวงจรต่อไป

2.11 เอฟเอ็มแบนด์แคบ (Narrow Band FM)

คือ กรณีที่ค่า β มีค่าน้อยกว่า $\frac{1}{\sqrt{10}}$ โดยแบนด์วิดท์ของสัญญาณเอฟเอ็มแบบแบนด์แคบนี้จะมี

ค่าเท่ากับ 2 เท่าของแบนด์วิดท์สัญญาณข่าวสารอันเนื่องมาจากเมื่อเรากระจายสมการเอฟเอ็มด้วยอนุกรม

เอกสารนี้เทย์เลอร์ โดยแทนพจน์ของมอดูเลชันอินเด็กซ์ด้วย β เราจะได้ นั่น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\phi_{FM} = A_c \cos(\omega_c t) - A_c \beta \sin(\omega_m t) \sin(\omega_c t) - \frac{A_c \beta^2}{2} \sin^2(\omega_m t) \cos(\omega_c t) + \dots \quad (40)$$

โดยเราพิจารณาที่ค่า β มีค่าน้อยๆ ทำให้เราตัดพจน์ที่ค่า β กำลังสูงกว่าได้(ค่าน้อยมากๆ) จะเหลือสมการคือ

$$\phi_{FM} = A_c \cos(\omega_c t) - A_c \beta \sin(\omega_m t) \sin(\omega_c t) \quad (41)$$

เมื่อเราใช้ความสัมพันธ์ทางตรีโกณมิติคือ $\sin A \sin B = \frac{1}{2} \cos(A - B) - \frac{1}{2} \cos(A + B)$ จะได้สมการใหม่

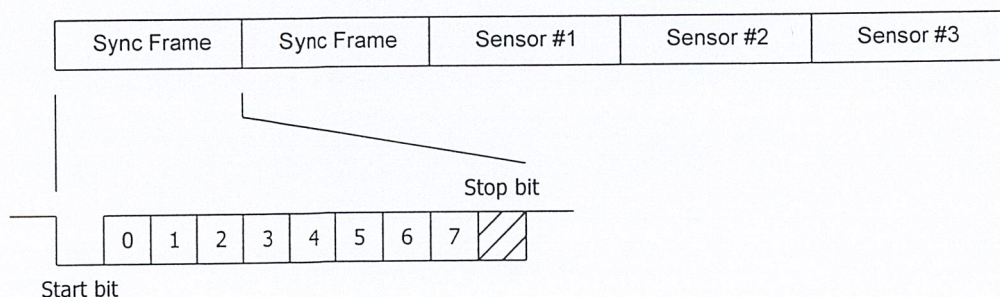
$$\phi_{FM} = A_c \cos(\omega_c t) - \frac{A_c \beta}{2} \cos[(\omega_c - \omega_m)t] + \frac{A_c \beta}{2} \cos[(\omega_c + \omega_m)t] \quad (42)$$

ซึ่งเมื่อสังเกตองค์ประกอบทางความถี่จะเห็นว่า ประกอบด้วยองค์ประกอบที่ $(\omega_c - \omega_m)$ กับที่ $(\omega_c + \omega_m)$ หรือก็คือแบนด์วิดท์อยู่ในช่วง $(\omega_c - \omega_m)$ จนถึง $(\omega_c + \omega_m)$ นั่นเอง

2.12 การมัลติเพล็กซ์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เราจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการมัลติเพล็กซ์สัญญาณต่างๆแล้วจึงส่งไปพร้อมๆกัน โดยสัญญาณที่จะทำการมัลติเพล็กซ์จะมีทั้งหมด 4 สัญญาณ คือ สัญญาณเสียง สัญญาณจากไอซีตรวจจับอุณหภูมิ สัญญาณจากไอซีตรวจวัดความชื้น และสุดท้ายคือไอซีตรวจจับความดัน โดยสัญญาณอินพุทที่จะทำการมัลติเพล็กซ์โดยไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะต้องทำการบัฟเฟอร์ไว้ในหน่วยความจำ (RAM) ก่อนจึงจะส่งออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ทางพอร์ตการสื่อสารแบบอนุกรมทีละ 8 บิต

ในการใช้งานเราจะใช้งานพอร์ตสื่อสารแบบอนุกรม โมด 1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจะใช้ทั้งหมด 10 บิต ข้อมูล 8 บิต 1 start bit และ 1 stop bit และสามารถเปลี่ยนแปลงความเร็วในการส่งข้อมูลได้โดยขึ้นอยู่กับบิต SMOD ใน PCON ในการจัดเฟรมของข้อมูลจะเป็นดังรูป



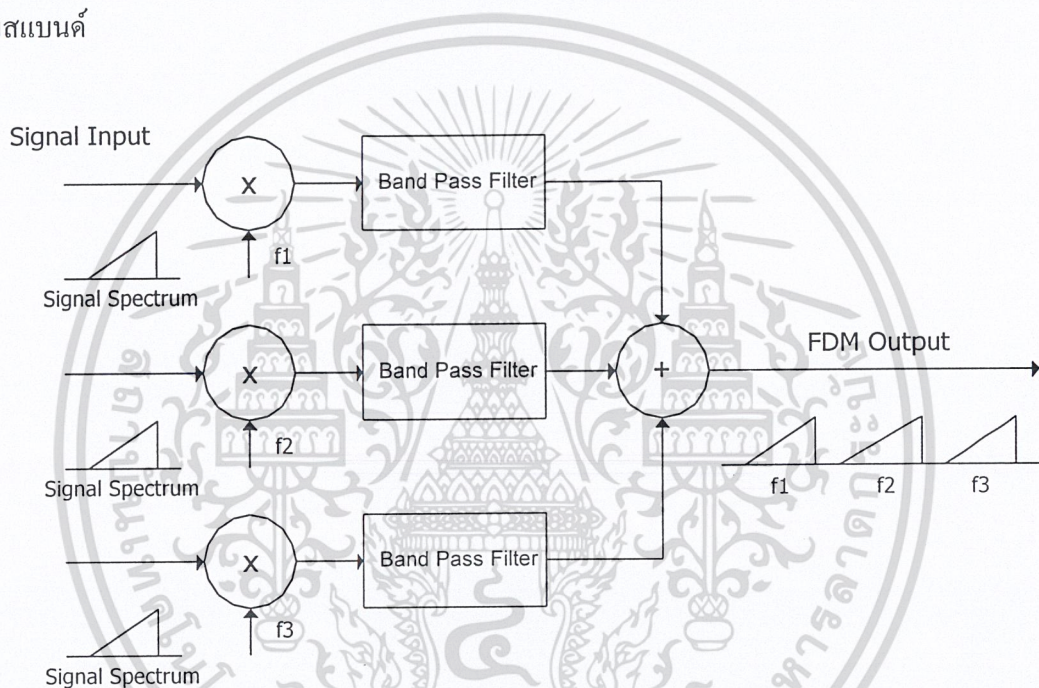
รูปที่ 2.13 แสดงการจัดเฟรมของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

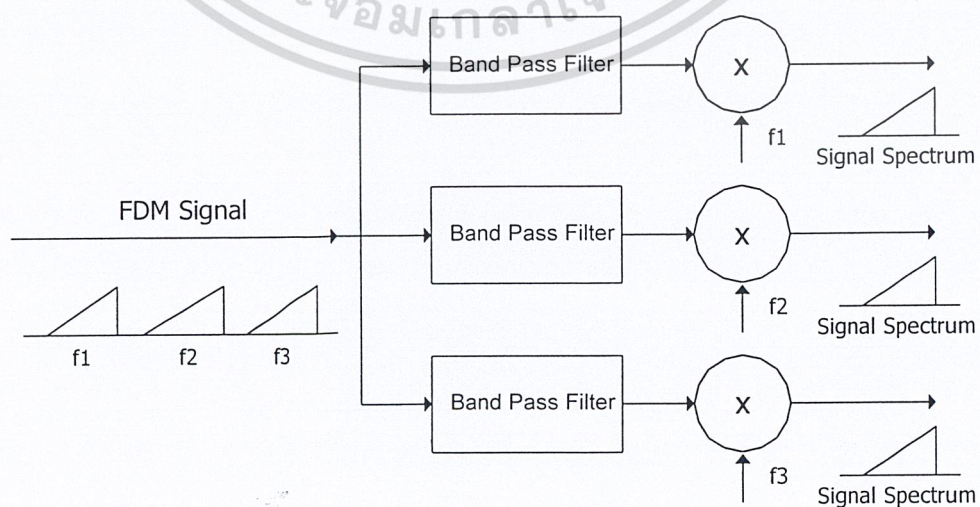
โดยจากรูปที่ 2.15 แสดงการจัดเฟรมข้อมูล โดย 2 เฟรมแรกจะเป็นเฟรมชิงโครไนซ์เพื่อที่จะสามารถเรียงลำดับข้อมูลได้อย่างถูกต้อง โดย 3 เฟรมต่อมาจะเป็นข้อมูลของเซนเซอร์ต่างๆ โดยเซนเซอร์จะใช้เฟรม 1 เฟรมในการส่งข้อมูลแต่ละครั้ง

2.13 การแบ่งช่องสัญญาณทางความถี่ FDM (Frequency Division Multiplex)

การแบ่งช่องสัญญาณทางความถี่เป็นระบบการสื่อสารแบบอนาล็อก โดยแต่ละช่องสัญญาณที่ถูกจัดสรรเมื่อมองในแกนความถี่ สเปกตรัมของสัญญาณจะมีความถี่ต่อเนื่องไปเรื่อยๆ โดยในการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ จะทำการกรองความถี่ย่านที่ต้องการไปใช้งาน หรืออาจทำการเปลี่ยนความถี่ไปยังสัญญาณเบสแบนด์



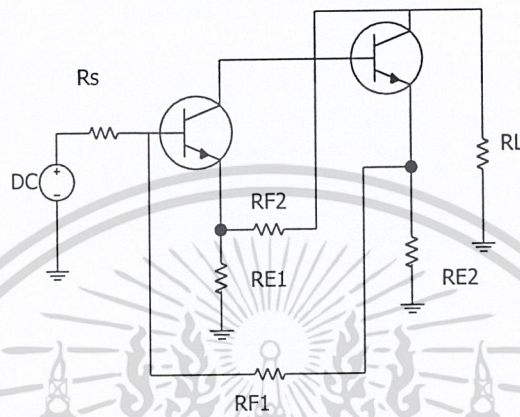
รูปที่ 2.14 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการมัลติเพล็กซ์แบบ FDM ทางด้านส่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 2.15 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการมัลติเพล็กซ์แบบ FDM ทางด้านรับ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 วงจรขยายกำลัง (Power Amplifier)

วงจรขยายกำลังมีคุณสมบัติคือ มีอัตราขยายคงที่ในช่วงความถี่กว้างๆ อินพุตและเอาต์พุตอิมพีแดนซ์คงที่ และมีสัญญาณรบกวนต่ำ โดยจะตอบสนองความถี่ได้ตั้งแต่ความถี่ต่ำๆ จนถึงสูงระดับกิกะเฮิรตซ์

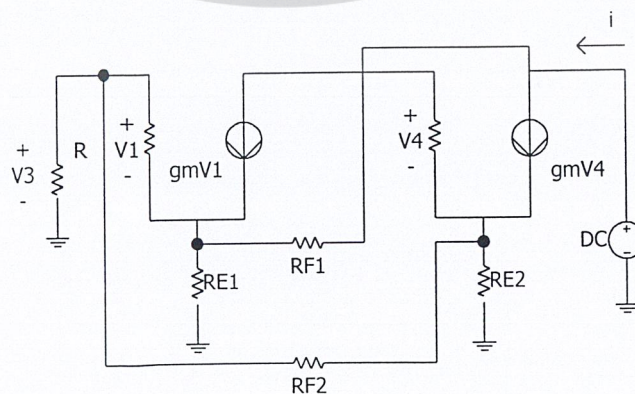


รูปที่ 2.16 แสดงวงจรขยายกำลัง

มีหลักการการออกแบบเป็นวงจรขยาย 2 วงจรต่อแบบคาสเคด และมีการป้อนกลับ 2 ลูป ผ่านทาง RF1 และ RF2 เพื่อให้วงจรมีแบนด์วิธกว้าง และมีอัตราขยายสูง โดยอินพุตอิมพีแดนซ์และเอาต์พุตอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์ม จากทฤษฎีของ negative Feedback ดังรูป จะมีผลต่ออัตราขยายของวงจรและทำให้อินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรเดิมที่มีค่าสูงให้ต่ำลงเป็น 50 โอห์ม ในทำนองเดียวกัน RF2 ก็จะลดค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์จากเดิมให้เหลือ 50 โอห์ม ได้เช่นกัน ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายและแบนด์วิธจะมีค่าแปรผกผันกัน โดยจะมีค่าอัตราขยายเป็นดังสมการ

$$A_v = (RF1 + RF2) / RE1$$

การคำนวณ จะทำการแปลงเป็นวงจรสมมูลดังรูป



สามารถหาค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ R_0 โดยใส่โหลด R ซึ่งมีค่า Output Resistance 50 โอห์มที่ด้านอินพุตแล้วหาโวลต์เตจและกระแสที่ตกคร่อมที่เอาต์พุตได้ดังนี้

$$V_2 = \frac{R_{E1}}{R_{E1} + R_{F1}} V \quad (43)$$

$$V_3 = g_{m2} V_4 \frac{R_{E2}(R + R_{F2})}{R_{E2} + R + R_{F2}} \times \frac{R}{R + R_{F2}} \quad (44)$$

$$V_3 = g_{m2} V_4 \frac{R_{E2}R}{R_{E2} + R_{F2} + R} \quad (45)$$

ถ้า V_1 น้อยมากจะได้

$$V_2 = V_3 \quad (46)$$

$$\frac{R_{E1}}{R_{E1} + R_{F1}} V = g_{m2} V_4 \frac{R_{E2}R}{R_{E2} + R_{F2} + R} \quad (47)$$

$$g_{m2} V_4 = \frac{R_{E1}}{R_{E1} + R_{F1}} \times \frac{R_{E2} + R + R_{F2}}{R_{E2}R} \times V \quad (48)$$

$$\frac{1}{R_0} = \frac{i}{V} \quad (49)$$

$$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{V} \left(\frac{V}{R_{E1} + R_{F1}} + g_{m2} V_4 \right) \quad (50)$$

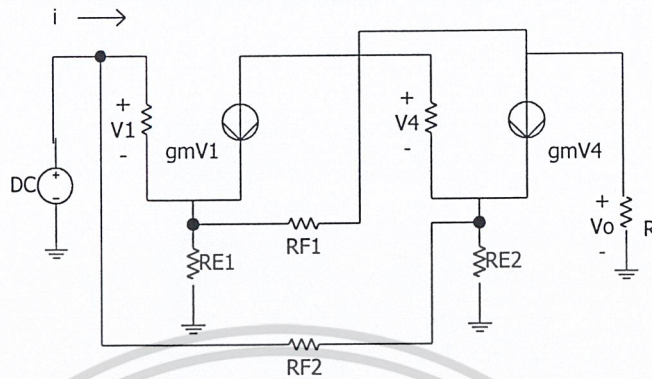
$$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_{E1} + R_{F1}} + \frac{R_{E2} + R + R_{F2}}{R_{E2}R} \times \frac{R_{E1}}{R_{E1} + R_{F1}} \quad (51)$$

$$R_0 = \frac{R_{E2}R(R_{E1} + R_{F1})}{R_{E2}R + (R_{E2} + R + R_{F2})R_{E1}} \quad (52)$$

$$R_0 = \frac{(R_{E1} + R_{F1})R_{E2}R}{R_{E1}(R_{E2} + R + R_{F2})} \parallel (R_{E1} + R_{F1}) \quad (53)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนอินพุตอิมพีแดนซ์ และ อัตราการขยายสามารถหาได้โดยทำการใส่โหนด 50 โอห์ม ที่ด้านเอาต์พุตแล้วหาโวลต์เตจและกระแสที่ตกคร่อมอินพุต



รูปที่ 2.18 วงจรสมมูลของวงจรขยายกำลังเพื่อหาอินพุตอิมพีแดนซ์

$$V_2 = g_{m2} V_4 \times \frac{(R_{E1} + R_{F1}) R}{R_{E1} + R + R_{F1}} \times \frac{R_{E1}}{(R_{E1} + R_{F1})} \tag{54}$$

$$V_2 = V \tag{55}$$

$$i = g_{m2} V_4 \frac{R_{E2}}{(R_{E2} + R_{F2})} \tag{56}$$

$$i = V \frac{R_{E1} + R + R_{F1}}{(R_{E1} + R_{F1}) R} \times \frac{R_{E1}}{(R_{E1} + R_{F1})} \times \frac{R_{E2}}{(R_{E2} + R_{F2})} \tag{57}$$

$$R_i = \frac{V}{i} \tag{58}$$

$$R_i = \frac{R R_{E1}}{R_{E1} + R + R_{F1}} \times \frac{R_{E2} + R_{F2}}{R_{E2}} \tag{59}$$

และมีกระแสอีกส่วนหนึ่ง ดังนี้

$$R_i = \frac{R R_{E1}}{R_{E1} + R + R_{F1}} \times \frac{R_{E2} + R_{F2}}{R_{E2}} \parallel R_{E2} + R_{F2} \tag{60}$$

วิธีการออกแบบใช้งาน

1. เลือกทรานซิสเตอร์ที่มีค่า f_T มากกว่าความถี่ที่ใช้งานประมาณ 10 เท่า
 2. เลือกจุดทำงาน Q-point โดยกำหนด I_{CQ} , I_{C2} , V_{CE1} และ V_{CE2} ที่ต้องการ
- ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ผลแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กำหนด V_{CC} และเลือก V_{E1} , V_{E2} จะได้ค่า R ไปอยู่ที่จุดต่างๆดังนี้

$$R_{E1} = V_{E1}/I_{C1} \text{ และ } R_{E2} = V_{E2}/I_{C2} \quad (61)$$

$$R_{C1} = \{V_{CC} - (V_{CE1} + V_{E1})\}/I_{C1} \text{ และ} \quad (62)$$

$$R_{C2} = \{V_{CC} - (V_{CE2} + V_{E2})\}/I_{C2} \quad (63)$$

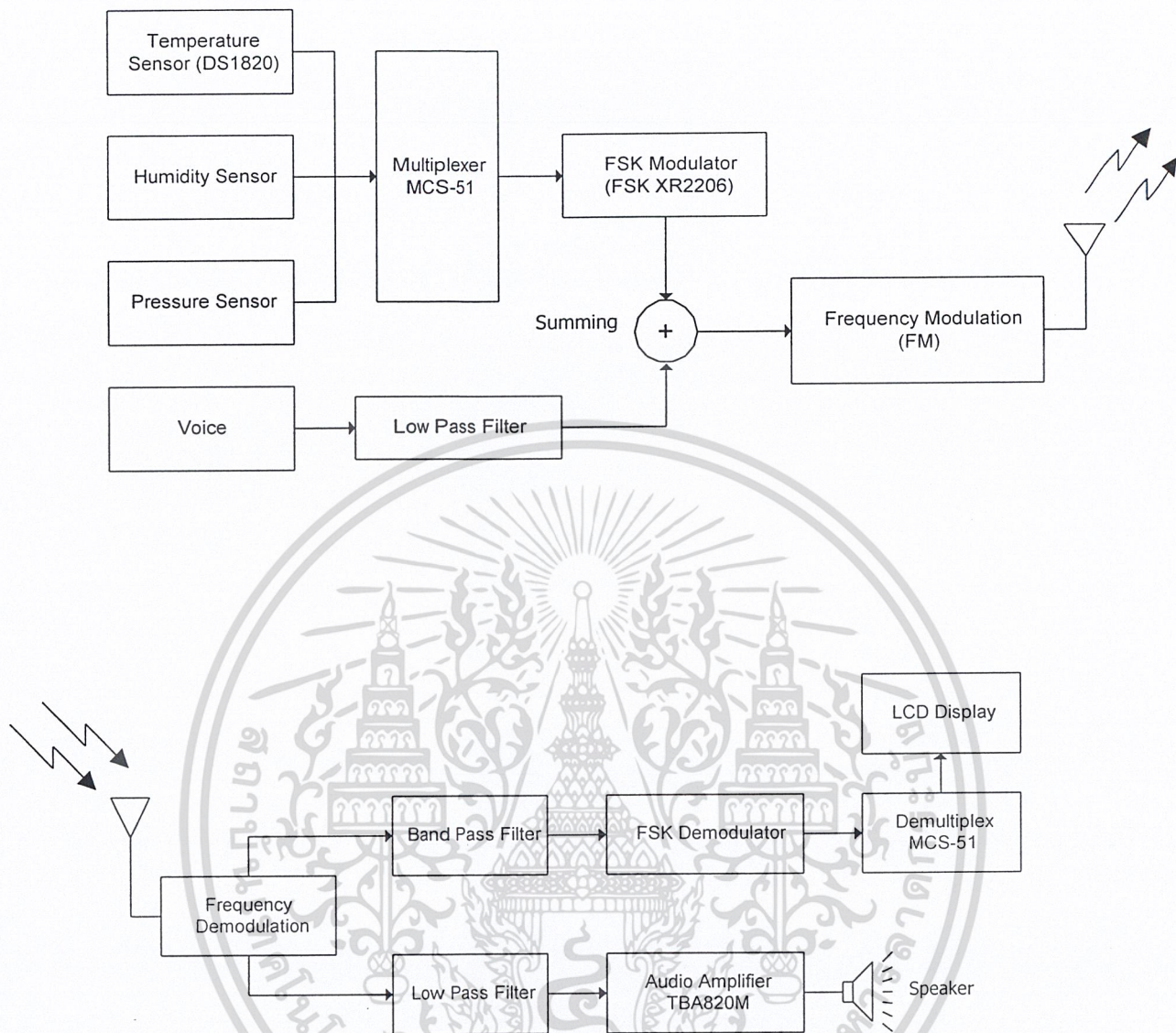
$$R_{F2} = \beta\{V_{E2} - (V_{E1} + V_{BE})\}/I_{C1} \quad (64)$$

4. เลือกค่า A_v ที่ต้องการ
5. กำหนดค่า R_{E1} , R_{E2} , R_{F1} , R_{F2} ให้เหมาะสม เพื่อให้ได้ค่า R_0 และ R_i มีค่าประมาณ 50 โอห์ม

2.15 หลักการของโครงการ

ข้อมูลจากเซนเซอร์อุณหภูมิ เซนเซอร์ความชื้น และเซนเซอร์ความดัน จะถูกมัลติเพล็กซ์แบบ Time Division Multiplex โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 หลังจากนั้นวงจร FSK modulation จะทำการเปลี่ยนสัญญาณที่เข้ามา ให้เป็นสัญญาณแอนะล็อกที่มี 2 ความถี่ แล้วนำไปทำการมัลติเพล็กซ์แบบ Frequency Division Multiplex กับ สัญญาณเสียงที่รับมาจากไมโครโฟน หลังจากนั้นก็จะใช้วงจรฟรีควเอนซีมอดูเลชัน(FM) ในการส่งสัญญาณออกอากาศ

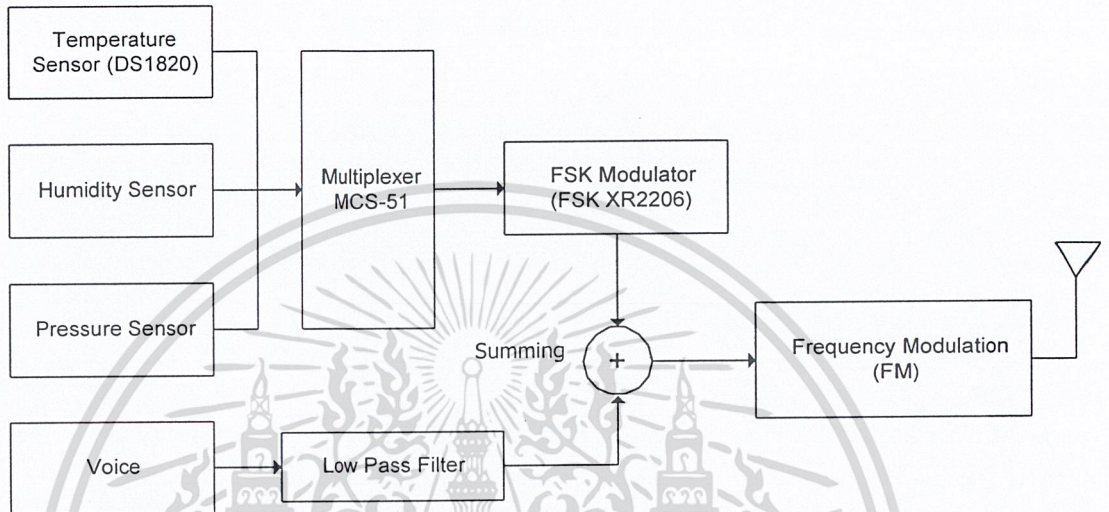
ทางด้านเครื่องรับเมื่อรับสัญญาณมาผ่านวงจรฟรีควเอนซีดีมอดูเลชันแล้ว ก็จะนำไปผ่านวงจรกรองความถี่ผ่าน เพื่อทำแบ่งข้อมูลเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของเซนเซอร์และส่วนของสัญญาณเสียง โดยส่วนของสัญญาณเซนเซอร์ จะนำไปผ่านวงจร FSK Demodulator เพื่อที่จะนำข้อมูลไปแยกประมวลผลเพื่อแสดงออกทางจอ LCD อีกส่วนหนึ่งเป็นสัญญาณเสียงจะนำไปขยายกำลังเพื่อออกลำโพง แสดงในรูปแบบของบล็อกไดอะแกรมทางด้านเครื่องส่ง และเครื่องรับ ดังรูป 2.19



รูปที่ 2.19 แสดงบล็อกไดอะแกรมรวมของโครงการ

บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง

3.1 เครื่องส่ง



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่ง

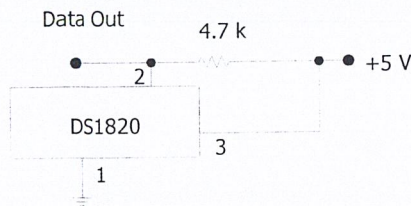
จากบล็อกไดอะแกรมเครื่องส่งข้อมูลจากเซนเซอร์อุณหภูมิ เซนเซอร์ความชื้น และเซนเซอร์ความดัน จะถูกมัลติเพล็กซ์แบบ Time Division Multiplex โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ซึ่งเอาต์พุตจะถูกส่งออกทางพอร์ตอนุกรมที่ความเร็ว 2400 Baud โดยวงจร FSK modulation จะทำการเปลี่ยนสัญญาณที่เข้ามา ให้เป็นสัญญาณอนาล็อกที่มี 2 ความถี่

สัญญาณเสียงที่รับมาจากไมโครโฟนจะถูกขยายและนำไปผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน เพื่อเป็นการกรองสัญญาณรบกวนและกำหนดย่านความถี่ของสัญญาณเสียงที่ใช้งาน เพื่อที่จะนำไปทำการมัลติเพล็กซ์แบบ Frequency Division Multiplex กับ สัญญาณที่มาจากเซนเซอร์ต่างๆ

ในการมอดูเลชันทางความถี่จะใช้วงจรสังเคราะห์ความถี่ในการผลิตความถี่ โดยจะนำไปผ่านวงจรขยายกำลังเพื่อที่จะส่งผ่านทางสายอากาศ

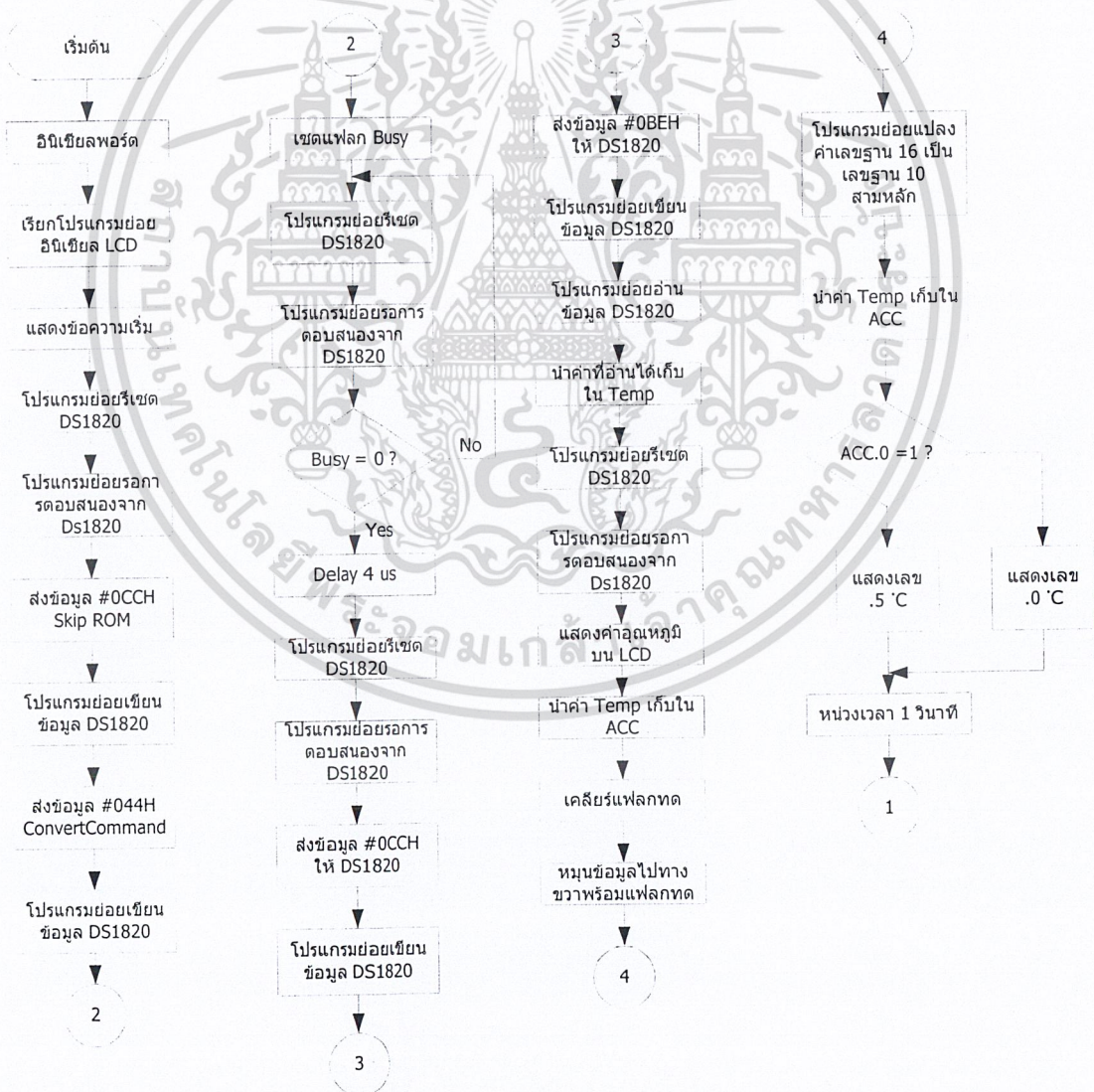
3.1.1 วงจรตรวจสอบอุณหภูมิ (Temperature Sensor)

ผู้ทำโครงการเลือกใช้ ไอซีเบอร์ DS1820 ซึ่งมีวงจรคือ



รูปที่ 3.2 แสดงการต่อวงจรตรวจสอบอุณหภูมิ

โดยเอาที่พูดของวงจรตรวจสอบอุณหภูมิจะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการประมวลผลแสดงทางจอ LCD ต่อไป โดยฟลอชาร์ตของการติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 3.3 ฟลอชาร์ตแสดงการติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ของไอซีตรวจสอบอุณหภูมิ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 วงจรตรวจสอบความชื้น(Humidity Sensor)

ใช้ไอซีเบอร์ 2322 691 90001 ของบริษัท Philips ซึ่งจะเปลี่ยนค่าคาปาซิแตนซ์ตามค่าความชื้น โดยได้นำวงจร Astable Multivibrator ซึ่งสร้างจากไอซีไทมเมอร์ 555 มาดัดแปลง เพราะ ค่าความถี่ของสัญญาณ Clock ที่สร้างจากวงจรAstable จะแปรผันตามค่าคาปาซิแตนซ์ที่ขา 6 ซึ่งเราได้ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรตรวจสอบความชื้น

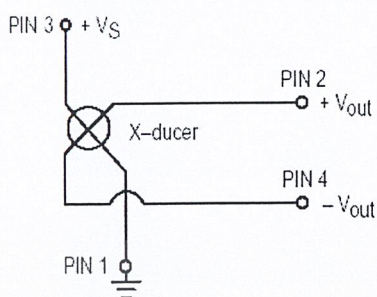
โดยความถี่ของวงจร Astable ที่ได้ จะคำนวณได้ตามสูตร

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_a + 2R_b)C} \quad (66)$$

ซึ่งจะต้องนำไปเทียบกับค่าจากกราฟคุณสมบัติ ระหว่างค่าคาปาซิแตนซ์กับค่าความชื้นอีกที เพื่อเปลี่ยนให้เป็นค่า ความชื้นเทียบกับความถี่ เพื่อให้เมื่อนำ Clock ไปป้อนให้ MCS-51 ทำการนับความถี่ แล้วสามารถเปลี่ยนเป็นค่าความชื้นเพื่อแสดงผลได้

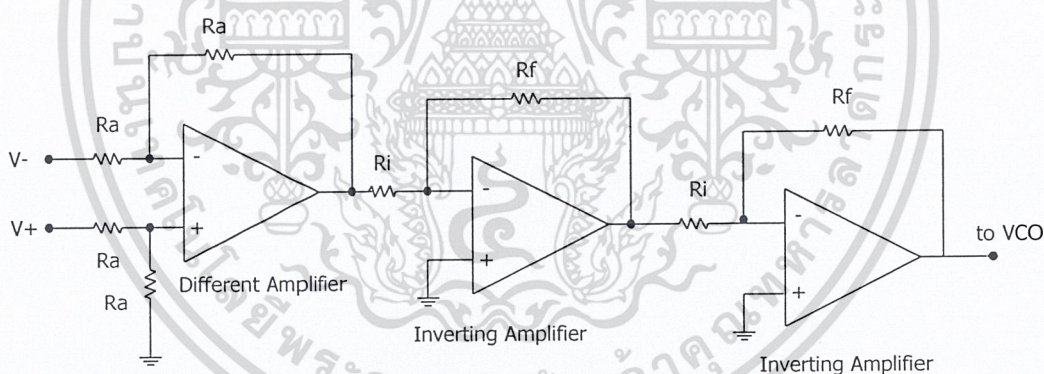
3.1.3 วงจรตรวจสอบความดัน (Pressure Sensor)

ไอซีตรวจสอบความดันจะมีวงจรภายในดังรูป



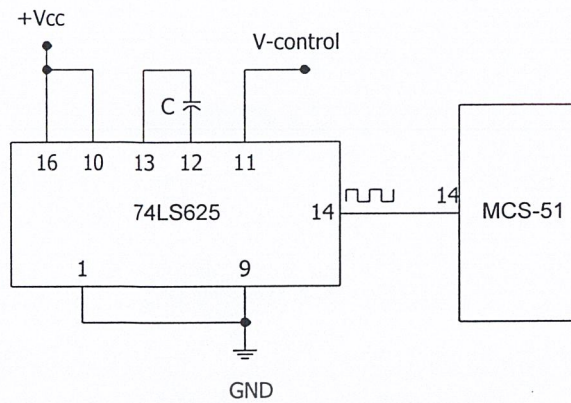
รูปที่ 3.5 แสดงไอซีตรวจสอบความดัน MPX10D

โดยเอาต์พุตของไอซีจะเป็นค่าระดับสัญญาณไฟตรงที่มีค่า $20 \text{ mV} - 70 \text{ mV}$ โดยในการนำไอซีนี้ไปใช้งานจริงเราจะนำเอาท์พุตที่ได้ไปขยายเพื่อเป็นอินพุตเพื่อป้อนให้แก่ วงจร โวลต์เตจคอนโทรลลออสซิลเลเตอร์ ไปผลิตสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่เปลี่ยนแปลงตามค่าสัญญาณไฟตรงจากไอซีวัดความดัน



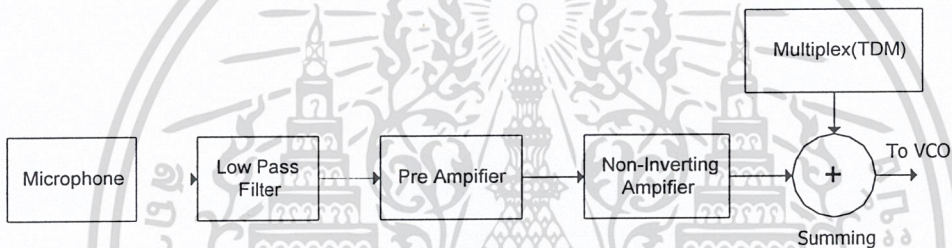
รูปที่ 3.6 แสดงวงจรขยายสัญญาณจากไอซีตรวจจับอุณหภูมิ

ความถี่ของสัญญาณสี่เหลี่ยมจะถูกรับโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 โดยค่าความถี่ที่วัดได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าความดันที่ถูกต้อง เพื่อแสดงผ่านทางจอ LCD



รูปที่ 3.7 แสดงวงจรโวลท์เตจคอนโทรลอสซิลเลเตอร์ที่ใช้ในการผลิตสัญญาณสี่เหลี่ยม

3.1.4 วงจรรับสัญญาณเสียง



รูปที่ 3.8 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรรับสัญญาณเสียง

จากรูปที่ 3.5 ไมโครโฟนจะเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านจะกรองในย่านที่เราไม่ต้องการออกไป หลังจากนั้นวงจรขยายสัญญาณเสียงจะขยายสัญญาณที่ได้จากไมโครโฟนที่มีขนาดเล็กมากให้มีขนาดพอที่จะสามารถนำไปใช้งาน โดยเราจะใช้วงจร Non-Inverting Amplifier ใช้เพื่อขยายสัญญาณเสียงอีกครั้งหนึ่งเพื่อที่จะให้มีความเหมาะสมโดยสัญญาณนี้จะถูกนำไปมัลติเพล็กซ์แบบ Frequency Division Multiplex กับสัญญาณจากเซนเซอร์อื่นๆ

3.1.5 วงจรกรองความถี่ต่ำแบบ Butterworth low pass filter

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ธจะมีลักษณะผลตอบสนองทางความถี่ที่เรียบ ไม่มีการกระเพื่อมของสัญญาณในช่วงความถี่ผ่าน โดยเมื่อเรากำหนดคุณสมบัติของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่เราต้องการแล้ว เราจะสามารถออกแบบวงจรได้ดังนี้

Butterworth low pass filter ลำดับที่ 4 มีค่าความถี่คutoff ที่ 3400 Hz

หา Pole location

- ถ้า n เป็นเลขคี่ ตำแหน่งของ pole จะอยู่ที่ $\psi = 0^\circ$

ถ้า n เป็นเลขคู่ ตำแหน่งของ pole จะอยู่ที่ $\psi = \pm \frac{90^\circ}{n}$

2. pole ที่เหลือ จะถูกแบ่งโดย $\psi = \frac{180^\circ}{n}$

ดังนั้น ตำแหน่ง ของ pole จะอยู่ที่ $\psi = \pm 22.5^\circ, \pm 67.5^\circ$

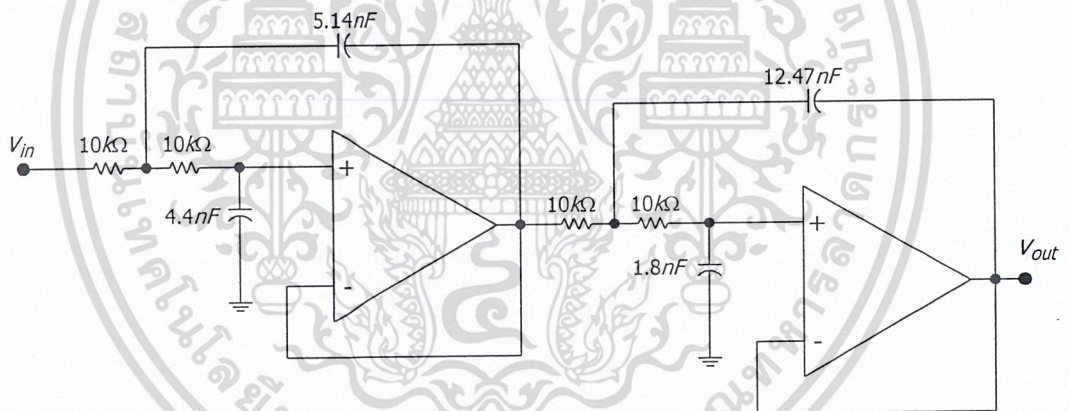
หาค่า Q ของตัว pole โดยที่ค่า $\omega = 1$ จากสมการ

$$Q = \frac{1}{2 \cos \psi} \tag{67}$$

จะได้ ค่า Q ตามลำดับดังนี้

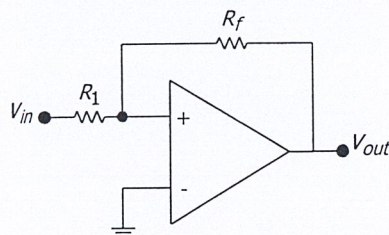


ทำการ Normalize frequency และ Normalize impedance จะได้รูปวงจรดังนี้



รูปที่ 3.9 แสดงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบ Butterworth low pass filter

3.1.6 วงจร Inverting Amplifier



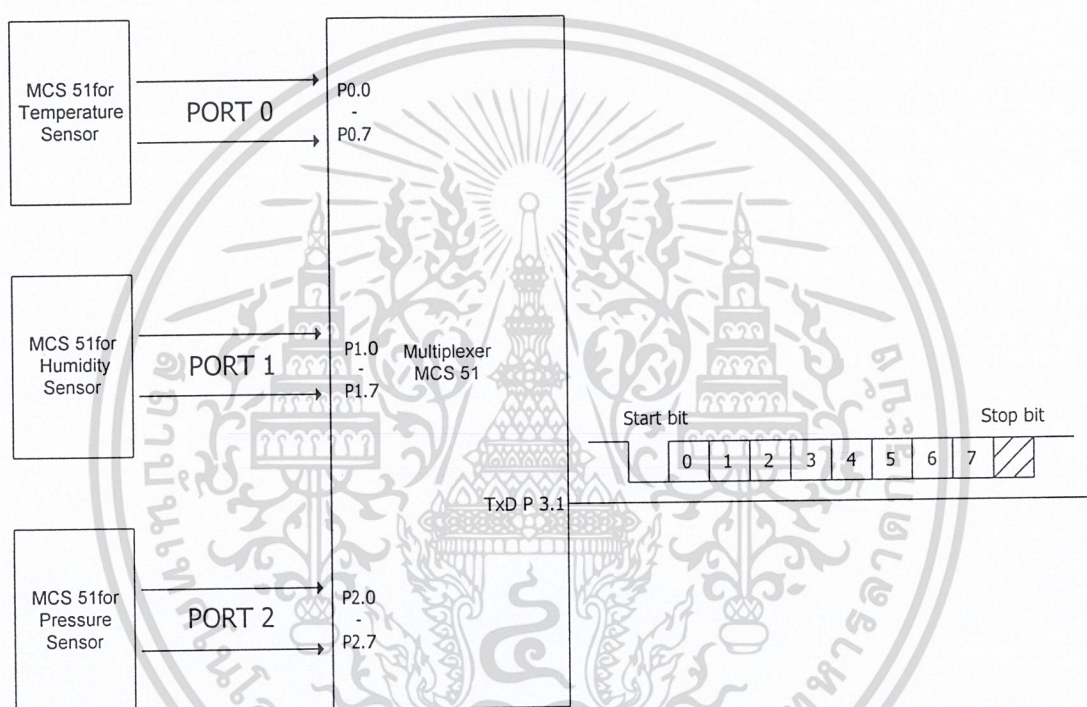
รูปที่ 3.10 แสดงวงจร Inverting Amplifier

จากรูปเราสามารถคำนวณอัตราขยายได้ดังนี้

$$\frac{0 - V_{in}}{R_1} + \frac{0 - V_{out}}{R_f} = 0 \quad (68)$$

$$V_{out} = -\frac{R_f}{R_1} V_{in} \quad (69)$$

3.1.7 การมัลติเพล็กซ์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51



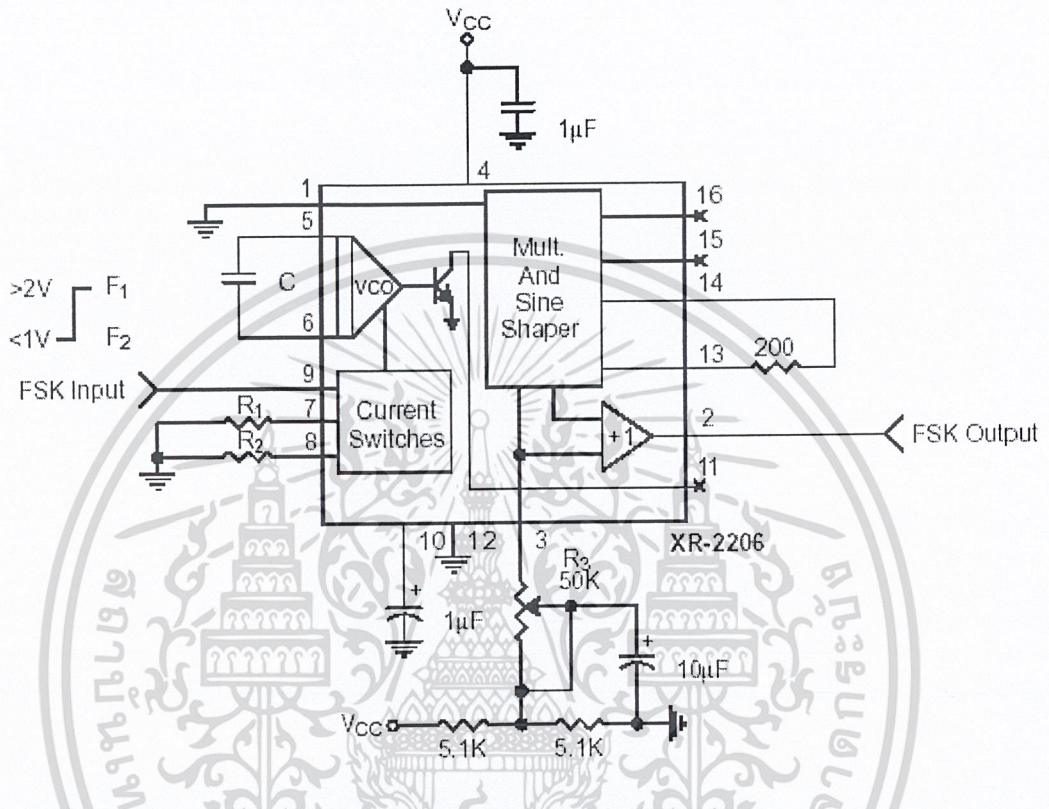
รูปที่ 3.11 แสดงการมัลติเพล็กซ์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

สัญญาณจากเซนเซอร์ต่าง ๆ นั้นจะถูกไมโครคอนโทรลเลอร์ของแต่ละตัวเซนเซอร์จัดการข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถแสดงผลออกทางจอ LCD ได้ทันที โดยจะมีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำหน้าที่เป็นเฉพาะมัลติเพล็กซ์เซอร์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ของเซนเซอร์จะส่งข้อมูลผ่านพอร์ตขนาน พอร์ต 0 พอร์ต 1 และพอร์ต 2 ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำหน้าที่เป็นมัลติเพล็กซ์เซอร์

ในการมัลติเพล็กซ์ข้อมูล จะต้องมีชิงโครโนซ์เฟรมเพื่อที่จะสามารถระบุข้อมูลได้อย่างถูกต้องที่ด้านรับ ซึ่งการมัลติเพล็กซ์นี้เป็นแบบ Time Division Multiplex

3.1.8 วงจรสร้างสัญญาณ FSK (Frequency shift keying Generator)

โดยวงจรสร้างสัญญาณ FSK นั้นเราจะใช้ไอซีเบอร์ XR2206 ซึ่งสามารถใช้งานได้โดยต่อวงจรดังรูป



รูปที่ 3.12 วงจรสร้างสัญญาณ FSK

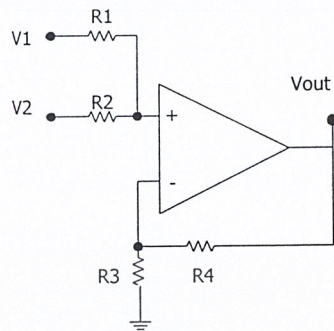
ไอซี XR2206 สามารถสามารถเป็นวงจรสร้างสัญญาณ FSK ได้โดยกำหนดค่า R_1 และ R_2 ที่ขา 7 และ 8 ของไอซี XR2206 เมื่อมีอินพุตที่เข้ามามีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 2 โวลต์ เฉพาะ R_1 เท่านั้นที่จะทำงาน และเมื่ออินพุตที่เข้ามามีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับ 1 โวลต์ เฉพาะ R_2 เท่านั้นที่จะทำงาน

ดังนั้นเอาท์พุทจะมีค่าออกมาระหว่าง 2 ความถี่คือ F_1 และ F_2 โดยสามารถคำนวณความถี่ที่ออกมาได้ดังนี้

$$F_1 = \frac{1}{R_1 C} \tag{70}$$

$$F_2 = \frac{1}{R_2 C} \tag{71}$$

3.1.9 วงจรรวมสัญญาณ (Summing)



รูปที่ 3.13 แสดงวงจรรวมสัญญาณ

เราจะสามารถพิสูจน์สมการได้ดังนี้
ที่ node1 จะได้

$$\frac{V_x - V_1}{R_1} + \frac{V_x - V_2}{R_2} = 0 \tag{72}$$

$$V_x = \frac{R_2 V_1 + R_1 V_2}{R_1 + R_2} \tag{73}$$

ที่ node2 จะได้

$$\frac{V_x - 0}{R_3} + \frac{V_x - V_{out}}{R_4} = 0 \tag{74}$$

$$V_x = \frac{R_3 V_{out}}{R_3 + R_4} \tag{75}$$

(1)=(2) จะได้

$$\frac{R_2 V_1 + R_1 V_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_3 V_{out}}{R_3 + R_4} \tag{76}$$

$$V_{out} = \frac{(R_2 V_1 + R_1 V_2)(R_3 + R_4)}{(R_1 + R_2)R_3} \tag{77}$$

เมื่อ $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ จะได้

$$V_{out} = \frac{(R V_1 + R V_2)(2R)}{2R^2} \tag{78}$$

$$V_{out} = V_1 + V_2 \tag{79}$$

3.1.10 วงจรมอดูเลตทางความถี่ด้านเครื่องส่ง (Frequency Modulation : FM)

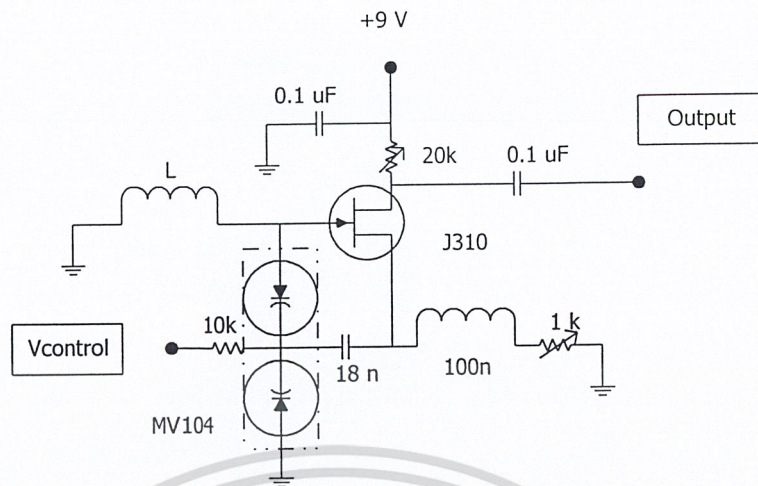
3.1.10.1 วงจรโวลต์เตจคอนโทรลอสซิลเลเตอร์ (VCO)

เลือกใช้วงจรคอลพิคต้ออสซิลเลเตอร์มาประยุกต์โดยใช้ค่าโวลท์เตจมาเปลี่ยนค่าคาปาซิเตอร์ของ

ตัววาริแคปไดโอด(MV104)เพื่อกำหนดความถี่เอาต์พุตอีกต่อหนึ่ง โดยวงจรจะเป็นดังรูป

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของ บริษัท อีแม็ค จำกัด ขอสงวนสิทธิ์ในเอกสารนี้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเห็นประโยชน์ในการนำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



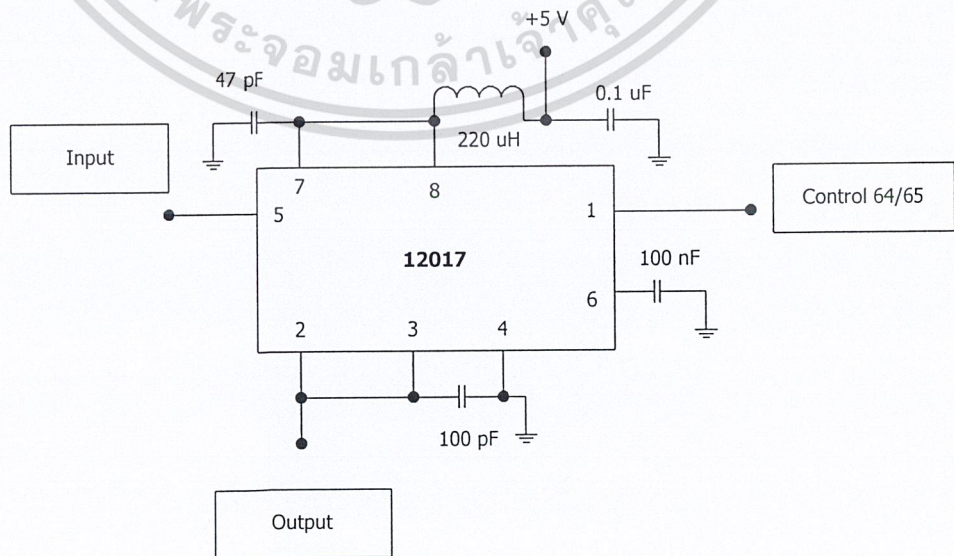
รูปที่ 3.14 แสดงวงจร โวลต์เตจคอนโทรลอสซิลเลเตอร์

โดยค่าของความถี่ที่ออกมาขึ้นกับค่าอินดักแตนซ์ที่ต่อที่ขาเบสของตัว J310 โดยสามารถคำนวณค่าความถี่ที่จะออสซิลเลตได้จากสูตร

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{80}$$

3.1.10.2 วงจรสังเคราะห์ความถี่(Frequency Synthesizer)

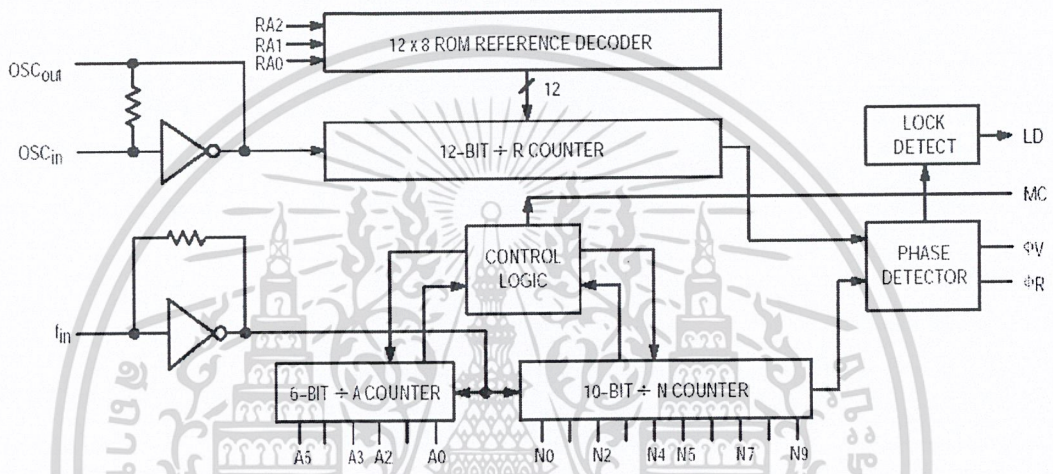
จากความต้องการที่จะให้ความถี่ของสัญญาณพาหะมีค่าคงที่ และเที่ยงตรงเสมอในการมอดูเลต จึงต้องทำการต่อวงจรสังเคราะห์ความถี่เข้าไป โดยเลือกใช้วงจรสังเคราะห์ความถี่เบอร์ MC145152-2 โดยในที่นี้ใช้ค่าความถี่กลางมีค่า 27.0 MHz และได้มีการหารความถี่ 2 ครั้งโดยครั้งแรก(พรีสเกลเลอร์)จะเป็นการหารโดยใช้ ไอซี MC12017 ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 3.15 แสดงวงจรพรีสเกลเลอร์ MC12017 โดยใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยไอซี MC12017 จะทำการหาร 64 และ 65 โดยใช้สัญญาณควบคุมจากตัว MC14152-2 ก่อนจะส่งไปให้ตัว MC14152-2 ทำการหารต่ออีกที

การหารครั้งที่สองจะทำโดยตัว MC14152-2 ซึ่งจะหารโดยอาศัยค่าความถี่อ้างอิง โดยจะใช้คริสตัลลออสซิลเลเตอร์ 10.24 เมกะเฮิร์ตซ์เป็นตัวผลิตความถี่อ้างอิง และสามารถทำการหารความถี่ลงมาโดยการกำหนดค่า RA0, RA1, RA2 ซึ่งเป็นวงจรหารความถี่อีกตัวที่อยู่ภายในไอซีเบอร์ MC 145152 การโปรแกรมค่าต่างๆในการหารดูได้จากตารางดังนี้



รูปที่ 3.16 แสดงบล็อกโครงสร้างของ MC145152-2

Reference Address Code			Total Divide Value
RA1	RA1	RA0	
0	0	0	8
0	0	1	64
0	1	0	128
0	1	1	256
1	0	0	512
1	0	1	1024
1	1	0	1160
1	1	1	2048

ตารางที่ 3.1 สำหรับกำหนดค่าวงจรหารภายในตัวไอซี MC145152-2

ในที่นี้ทำการโปรแกรมด้วยค่า "1 0 1" ซึ่งเท่ากับการหารด้วยค่า 1024 ดังนั้นความถี่อ้างอิงที่ป้อน แก่ไอซีเบอร์ MC 145152 คือ

$$f_{ref} = \frac{10.24 \times 10^6}{1024} = 10 \text{ kHz} \quad (81)$$

และไอซีเบอร์ MC145152 นี้ จะสามารถกำหนดค่าของเอาต์พุตที่ต้องการจากค่าของตัวหาร ซึ่ง ไอซีเบอร์ MC 145152-2 นี้สามารถโปรแกรมหารความถี่ได้ 16 บิตแบบขนาน โดยที่บิตที่ 10 สำหรับตัวหารหายาบเรียกเป็น N เคนต์เตอร์ (10-bit/N counter) และ 6 บิตสำหรับตัวหารละเอียดเรียก A เคนต์เตอร์

ทำการหารค่าอัตราส่วนการหารทั้งหมด (N_t) โดยคิดจากอัตราส่วนระหว่างค่าความถี่ของวงจร VCO (f_{vco}) กับค่าความถี่อ้างอิง (f_{ref}) ได้เป็นดังนี้

$$N_t = \frac{f_{vco}}{f_{ref}} = \frac{27 \text{ MHz}}{10 \text{ kHz}} = 2700 \quad (82)$$

$$N_t = NP + A \quad (83)$$

N_t คือค่าความถี่เอาต์พุตที่ต้องการ

N คือตัวโปรแกรม N0-N9 = 10 bit หารตั้งแต่ 3-1023

A คือตัวโปรแกรม A0-A5 = 6 bit หารตั้งแต่ 0-63

P คือตัวหารของ Precaler หาร 64 หรือ 65

$$N_t = 2700$$

$$P = 64$$

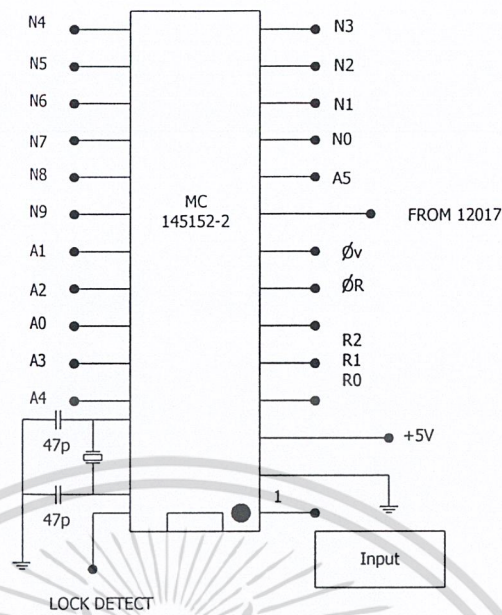
$$N = 42$$

$$A = 12$$

แปลงค่า N เป็นเลขฐานสองได้ 00101010

แปลงค่า A เป็นเลขฐานสองได้ 001100

จากนั้นนำค่าของ N และ A ที่เป็นเลขฐานสองไปโปรแกรมตัวหารต่อไป โดยในโครงงานนี้ได้ทำเป็นคิปสวิทช์เพื่อความสะดวกในการทดสอบ



รูปที่ 3.17 แสดงขาไอซี MC145152-2

ผลที่ได้สามารถทดสอบความคงที่ของความถี่ (การลื่นของลูบฟิลเตอร์) ได้โดยการเทียบผลของเอาต์พุตคือ ϕ_v และ ϕ_r จะต้องเหมือนกัน หรือวัดจากขา Lock Detect(28)

3.1.10.3 วงจรลูบฟิลเตอร์ (Loop Filter)

มีหลักการคำนวณคือ

$$f_0 = 37.7 \text{ MHz (Local Oscillator Frequency)}$$

$$f_s = 10 \text{ kHz (Channel Spacing)}$$

$$f_b = 0.01 f_s \text{ (Loop Bandwidth)}$$

$$f_{re} = 20 f_b \text{ (Filter cutoff Frequency)}$$

$$\delta = 0.8 \text{ (Loop Damping Factor)}$$

$$V_{DD} = 5 \text{ V (PLL Supply Voltage)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำออกนอกระบบได้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยและสงวนสิทธิ์ไว้

$$K_\phi = \frac{V_{DD}}{2\pi} \quad (\text{Phase Detector Gain}) \quad (83)$$

$$K_{vco} = \frac{2\pi\Delta f_{vco}}{\Delta V_{vco}} \quad (84)$$

$$\omega_n = \frac{2\pi f_b}{\sqrt{2\varepsilon^2 + 1 + \sqrt{(2\varepsilon^2 + 1)^2 + 1}}} \quad (\text{Natural Frequency}) \quad (85)$$

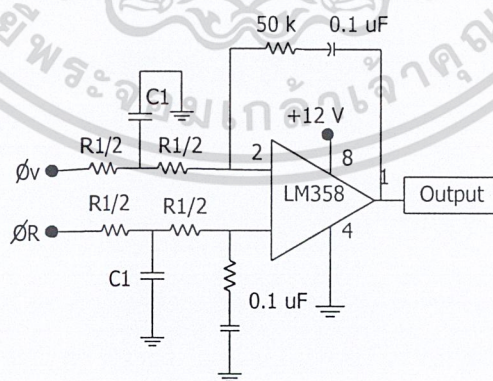
$$N_t = \frac{f_o}{f_s} \quad (\text{Total Deviation Ratio in Feedback Loop}) \quad (86)$$

$$R_1 = \frac{K_\phi K_{vco}}{C_1 \omega_n^2 N_t} \quad (87)$$

$$R_2 = \frac{2\varepsilon}{C_1 \omega_n} \quad (88)$$

$$C_0 = \frac{4}{2R_1 f_{rc}} \quad (89)$$

ให้นำค่าที่คำนวณได้มาต่อวงจรตามรูป



รูป 3.18 แสดงวงจรรูปฟิลเตอร์

โดยในโครงการนี้ได้ทำการคำนวณค่าดังต่อไปนี้
สามารถคำนวณค่าต่างๆตามรูปฟิลเตอร์ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta V_{vco} = 2V$$

$$f_0 = 37.7 \text{ MHz}$$

$$f_s = 10 \text{ kHz}$$

$$V_{vco} = 5V$$

$$f_b = 0.01 f_s = 100 \text{ Hz}$$

$$f_{re} = 20 f_b = 2000 \text{ Hz}$$

$$\delta = 0.8$$

$$C_1 = 0.1 \mu F$$

$$K_\phi = \frac{V_{DD}}{2\pi} = 0.796$$

$$K_{vco} = 12.57 \times 10^6$$

$$\omega_n = 287.79$$

$$N_t = 3770$$

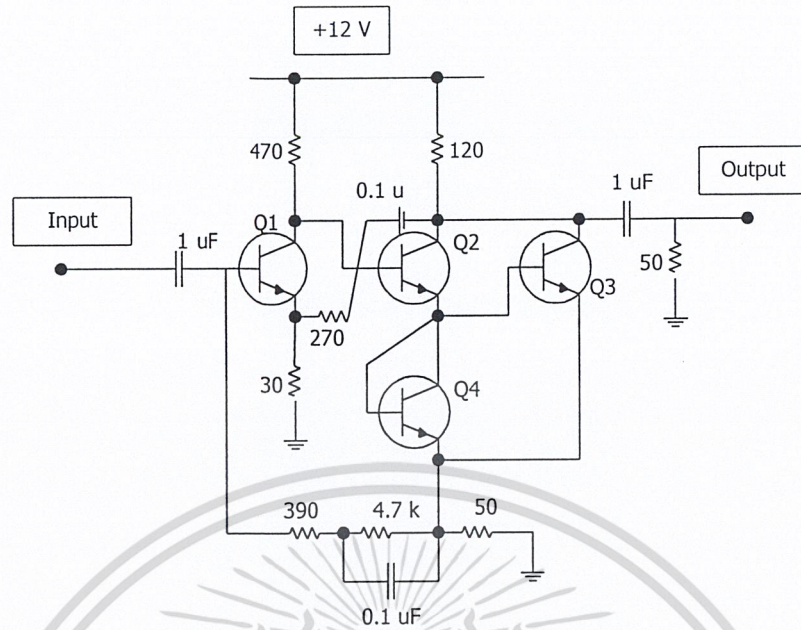
$$R_1 = 320 \text{ k}$$

$$R_2 = 56 \text{ k}$$

$$C_0 = 3.125 \text{ nF}$$

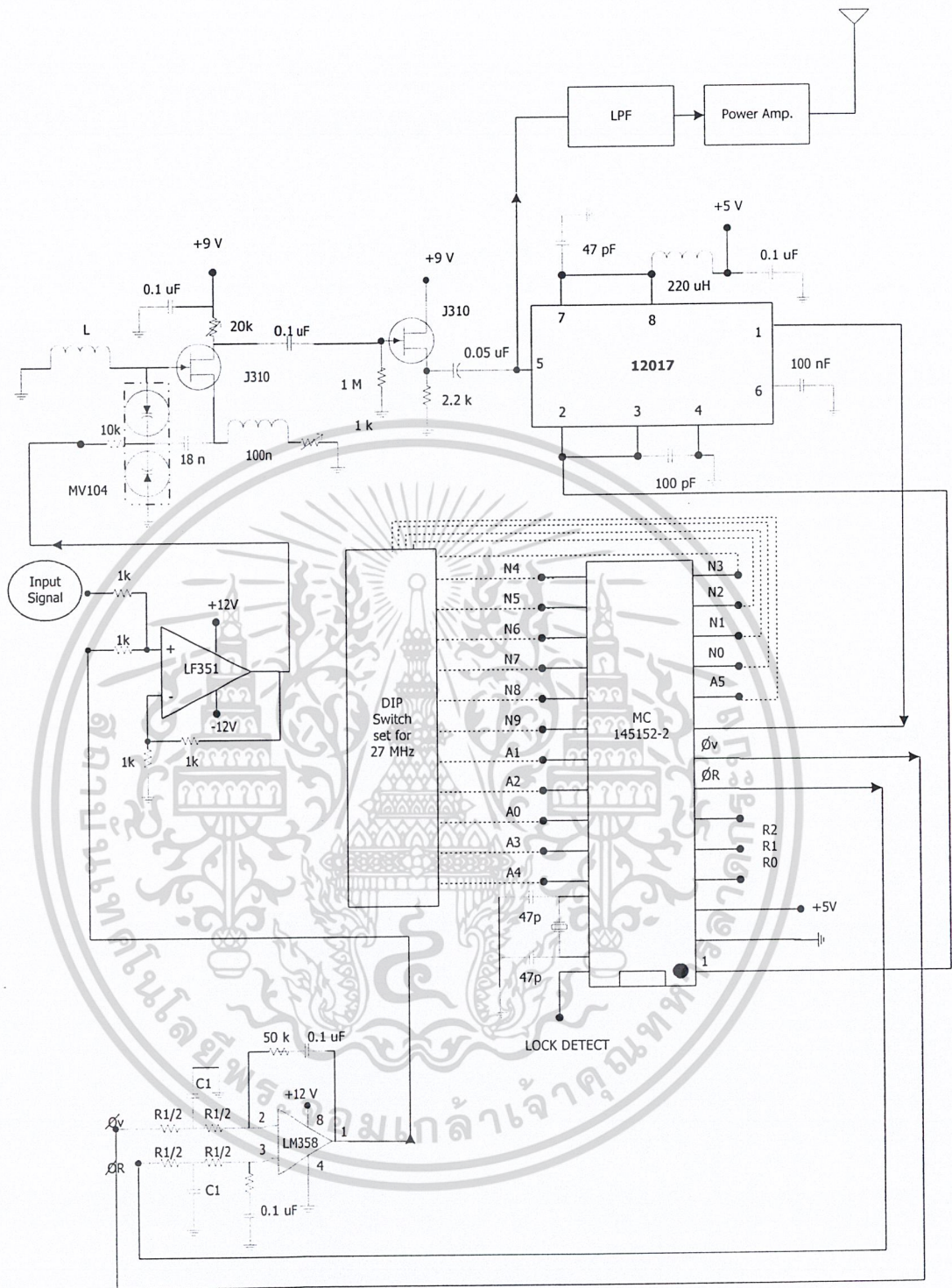
3.1.11 วงจรขยายกำลัง (Power Amplifier)

เลือกใช้วงจรที่สร้างจากทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3904 โดยทำการต่อวงจรดังรูป โดยวงจรนี้มีการปรับปรุ้งวงจรให้สามารถรับอินพุตได้สูงขึ้น โดยใช้ทรานซิสเตอร์จำนวน 4 ตัว โดย Q1 เป็นตัวขยายสัญญาณส่วนแรก Q2 กับ Q3 ใช้เพิ่มอัตราขยายโดยต่อเป็นวงจรดาร์ลิงตัน ส่วน Q4 ใช้ต่อเป็นแบบไดโอดเพื่อทำให้แรงดันที่ตกคร่อม Q3 มีค่าเป็น 0.7 โวลต์ ซึ่งจะช่วยให้ภาคเอาต์พุตมีกำลังสูงขึ้นจากกระแสที่เพิ่มขึ้น โดยค่าอัตราขยายจะอยู่ในระดับประมาณ +10 dBm และเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการอิ่มตัว (Saturate) จึงทำการต่อวงจรนี้ 2 ชุดเข้าด้วยกัน โดยมีวงจรลดทอนสัญญาณแบบ พายโมเดลเชื่อมระหว่าง 2 ชุดเพื่อลดทอนให้อยู่ในระดับประมาณ +14 dBm และยังเป็น การแยกสัญญาณเพื่อให้มองเห็นโหลดได้ชัดเจนอีกด้วย



รูปที่ 3.19 วงจรขยายกำลัง (Power Amplifier)

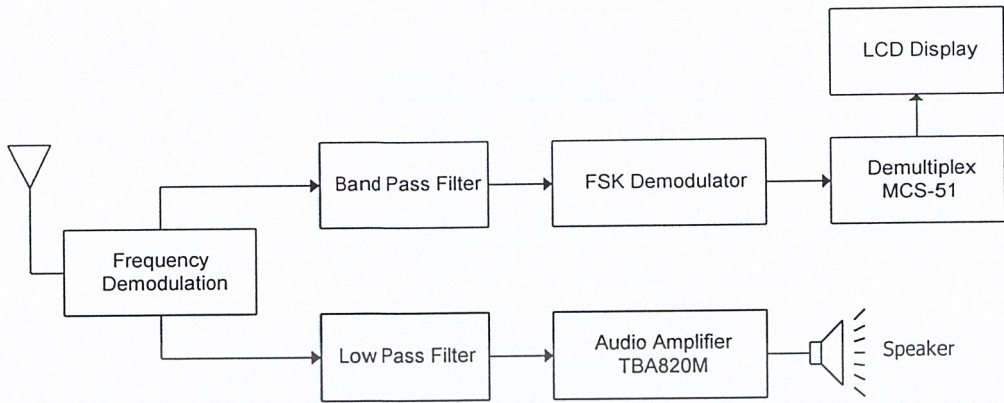
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 วงจรของเอฟเอ็ม(Frequency Modulation)ทางค้ำส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องรับ



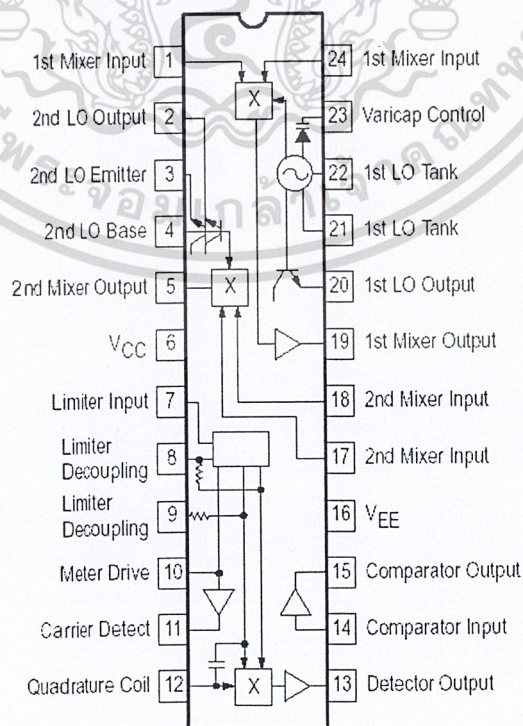
รูปที่ 3.21 แสดงบล็อกโคอะแกรมของเครื่องรับ

เมื่อรับสัญญาณเข้ามาจากสายอากาศจะนำไปผ่านวงจร FM Demodulator โดยเอาที่พุดจะนำไปผ่านวงจรกรองความถี่ผ่าน เพื่อทำแบ่งข้อมูลเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของเซนเซอร์และส่วนของสัญญาณเสียง โดยส่วนของสัญญาณเซนเซอร์ จะนำไปผ่านวงจร FSK Demodulator เพื่อที่จะนำข้อมูลไปประมวลผล เพื่อแสดงออกทางจอ LCD โดยเราจะใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัว Demultiplex สัญญาณจากเซนเซอร์ต่างๆ ส่วนของสัญญาณเสียงจะนำไปขยายกำลังเพื่อขับออกลำโพง

3.2.1 วงจรมอดูเลตทางความถี่ด้านเครื่องส่ง(Frequency Modulation : FM)

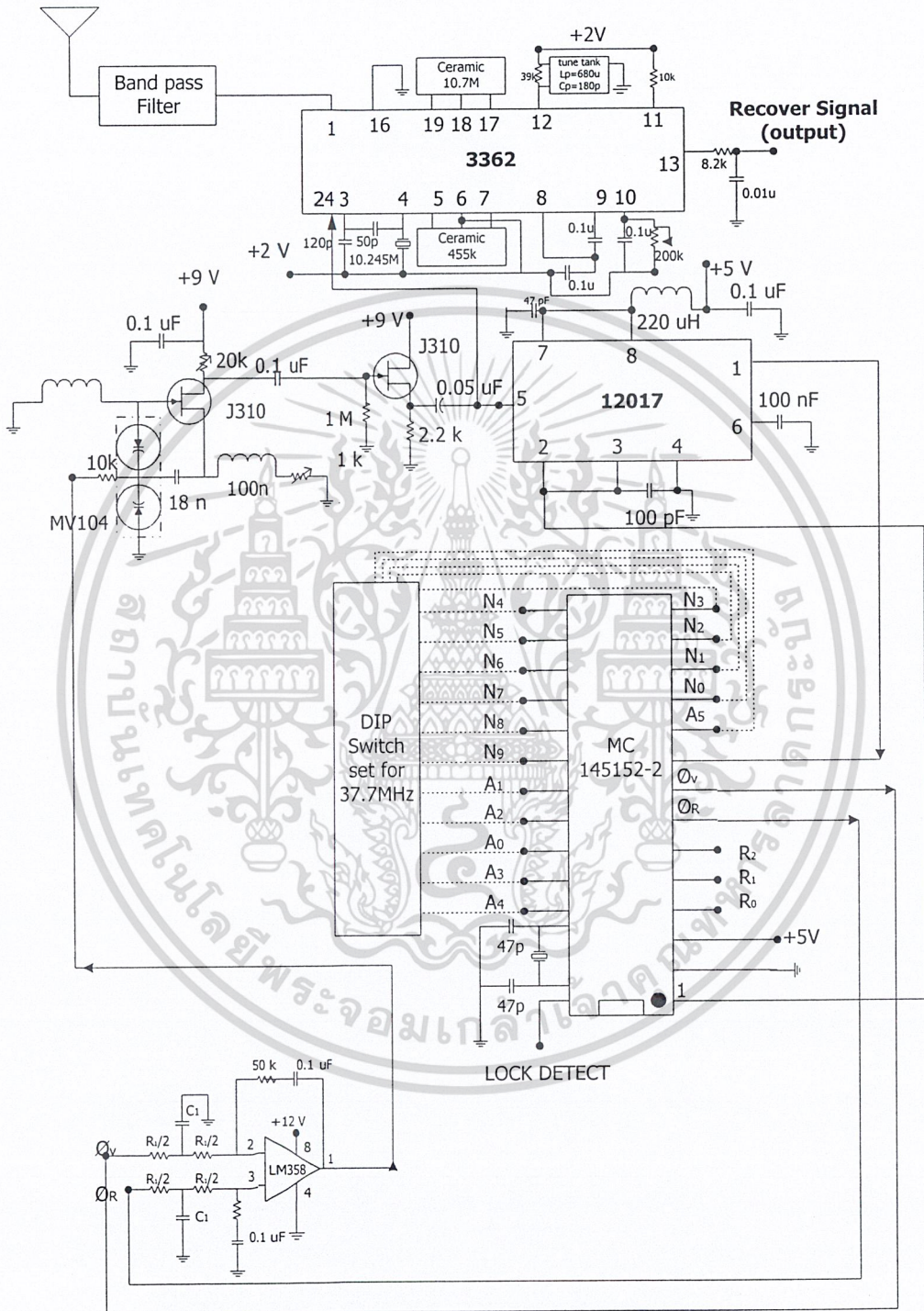
3.2.1.1 วงจรดีมอดูเลเตอร์

ใช้ไอซีเบอร์ 3362 ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบภายในดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.22 แสดง โครงสร้างภายในของ ไอซี MC3362

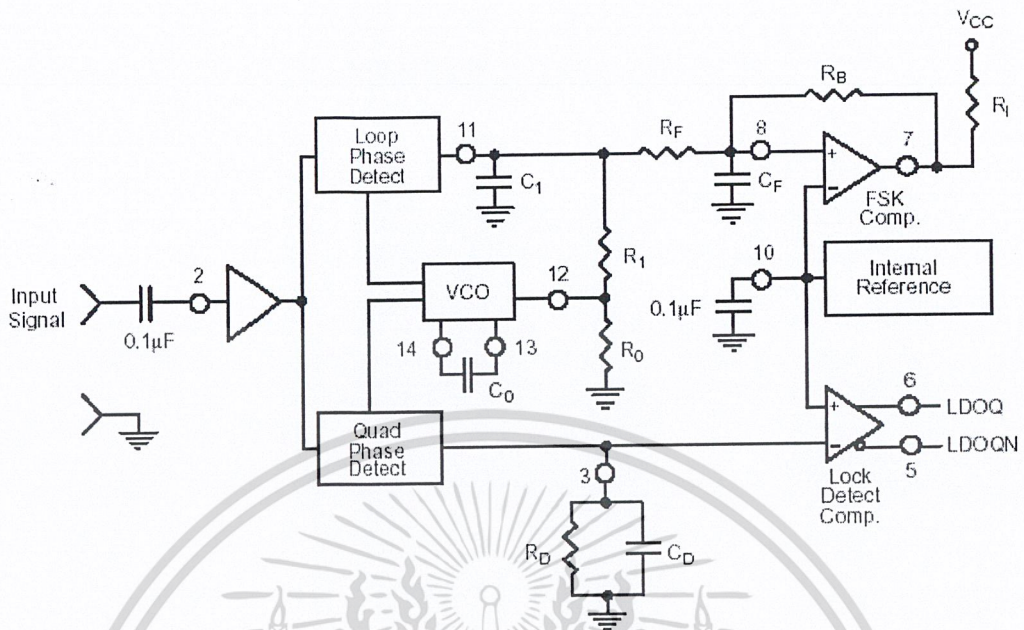
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 วงจรรวมของเอฟเอ็ม(Frequency Modulation)ทางด้านรับ

3.2.2 วงจร FSK Demodulation

ในการตีความสัญญาณสัญญาณ FSK นั้นเราจะใช้ไอซีเบอร์ XR2211 ซึ่งสามารถใช้งานได้โดยต้องวง
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 จรดงรูป
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 วงจร FSK Demodulation

ในรูปที่ 3.25 ค่า R_o และค่า C_o จะเป็นตัวกำหนดค่าความถี่กลางของวงจรเฟสล็อก ค่า R_1 จะเป็นตัวกำหนดแบนวิดท์ของระบบ ค่า C_1 จะเป็นตัวกำหนดค่าไทม์คอนสแตนท์ของวงจรฟิลเตอร์ ค่า R_f และ R_b เป็นฟิลเตอร์สำหรับเอาต์พุตของ FSK และ R_o เป็น positive Feedback ของวงจร FSK comparator

วิธีการคำนวณ

1. หา ค่าความถี่กลางจาก

$$F_o = \sqrt{F_1 F_2} \tag{90}$$

2. เลือกค่า R_o โดยให้ม้ค่าอยู่ระหว่าง $10k\Omega - 100k\Omega$ และค่าของ R_o จะถูปรับอย่างละเอียดด้วย R_x ซึ่งเป็นตัวความต้านทานปรับค่าได้

$$R_o = R_o + \frac{R_x}{2} \tag{91}$$

3. หาค่า C_o จาก

$$C_o = \frac{1}{R_o F_o} \tag{92}$$

4. หาค่า R_1 จาก

$$R_1 = \frac{R_o F_o}{F_1 - F_2} \times 2 \tag{93}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ $R_1 = \frac{R_o F_o}{F_1 - F_2} \times 2$ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. หาค่า C_1 โดยที่ $\zeta = 0.5$ จะได้

$$C_1 = \frac{1250C_0}{R_1\zeta^2} \quad (94)$$

6. หาค่า R_f โดยที่

$$R_f = 5R_1 \quad (95)$$

7. หาค่า R_B โดยที่

$$R_B = 5R_f \quad (96)$$

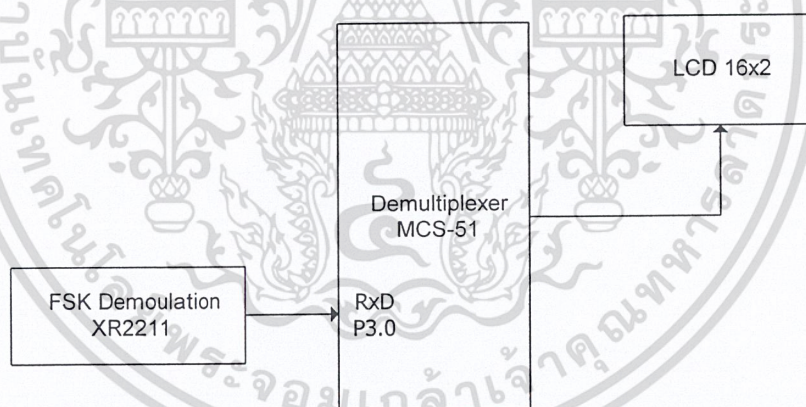
8. หาค่า R_{SUM} จาก

$$R_{SUM} = \frac{(R_f + R_1) \times R_B}{(R_f + R_1 + R_B)} \quad (97)$$

9. หาค่า C_f จาก

$$C_f = \frac{0.25}{R_{sum} \times BaudRate} \quad (98)$$

3.2.3 การดีมัลติเพล็กซ์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

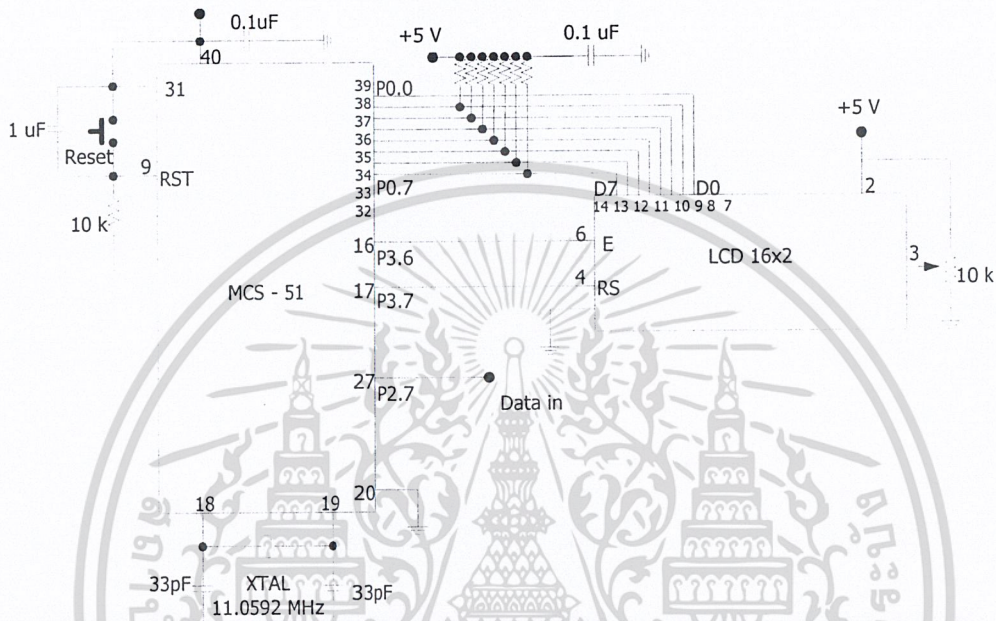


รูปที่ 3.26 แสดงการดีมัลติเพล็กซ์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ข้อมูลที่ได้รับมาจากวงจร FSK Demodulator นั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำหน้าที่เป็นดีมัลติเพล็กซ์เซอร์นั้นจะต้องได้รับซิงโครไนซ์เฟรมเป็นอันดับแรก จึงจะสามารถแยกข้อมูลของแต่ละเซนเซอร์ได้อย่างถูกต้อง โดยตัวดีมัลติเพล็กซ์เซอร์นี้เป็นตัวประมวลผลข้อมูลเพื่อที่จะนำไปแสดงผ่านทางจอ LCD ค้วย

3.2.4 วงจรแอลซีดี(LCD)

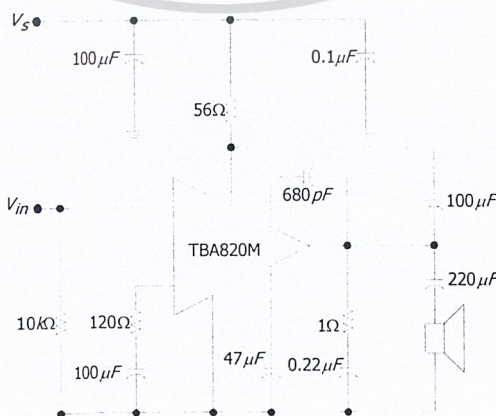
ต่อเชื่อมกับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแสดงผลทางด้านเครื่องรับ โดยจะต้องทำการเซตค่าเริ่มต้นที่ถูกต้องให้กับทาง MCS-51 ซึ่งสำหรับโครงการนี้ได้เลือกใช้จอแอลซีดีขนาด 2 บรรทัด โดยมีบรรทัดละ 16 ตัวอักษร มีการวงจรดังรูป



รูปที่ 3.27 แสดงการต่อจอแสดงผลแบบ LCD กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

3.2.5 วงจรขยายสัญญาณเสียง

วงจรนี้จะเป็นวงจรที่ใช้ขับสัญญาณเสียงออกไปยังลำโพง โดยเราได้เลือกใช้ไอซีเบอร์ TBA820M โดยจะมีวงจrdังรูปที่ 3.14

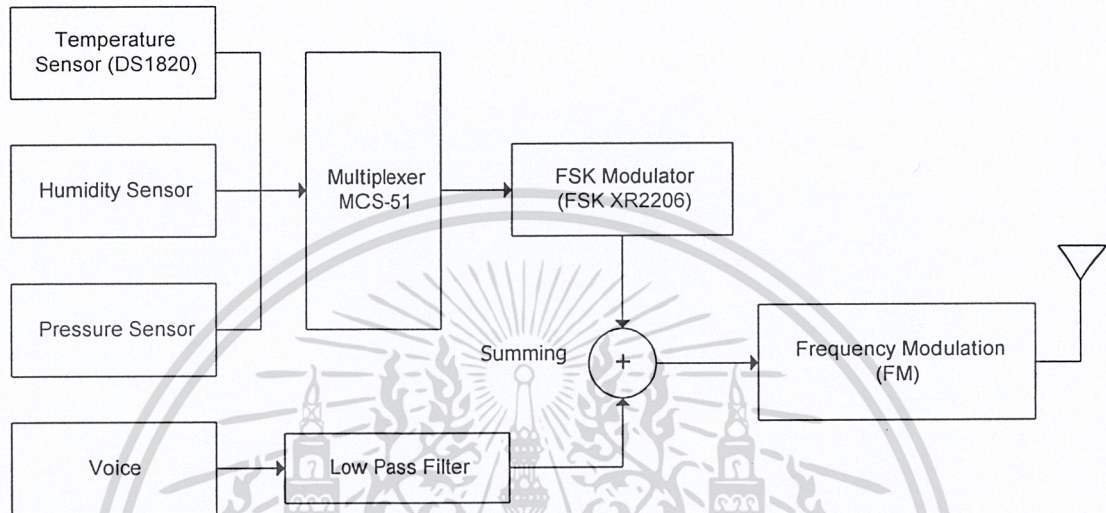


รูปที่ 3.28 แสดงวงจรขยายสัญญาณเสียง

บทที่ 4

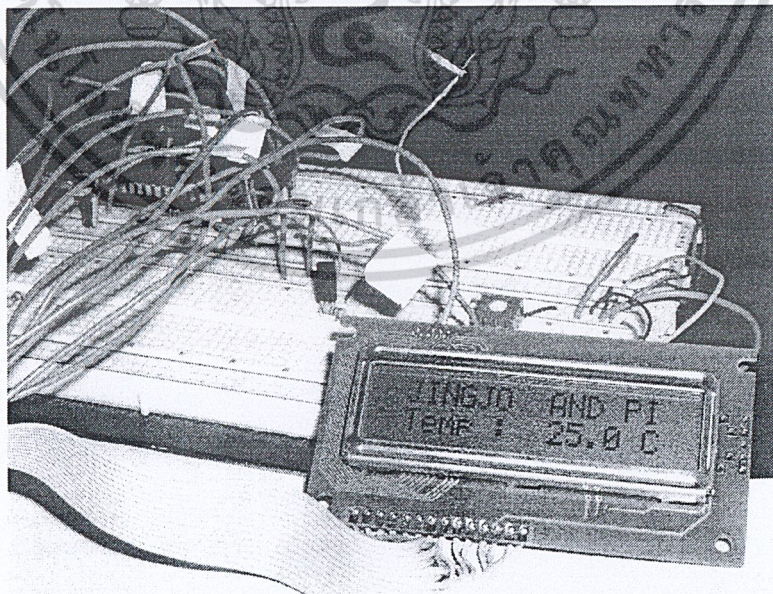
การทดลอง และผลการทดลอง

บล็อกไดอะแกรมทางเครื่องส่งแสดงได้ดังต่อไปนี้



4.1 Temperature Sensor

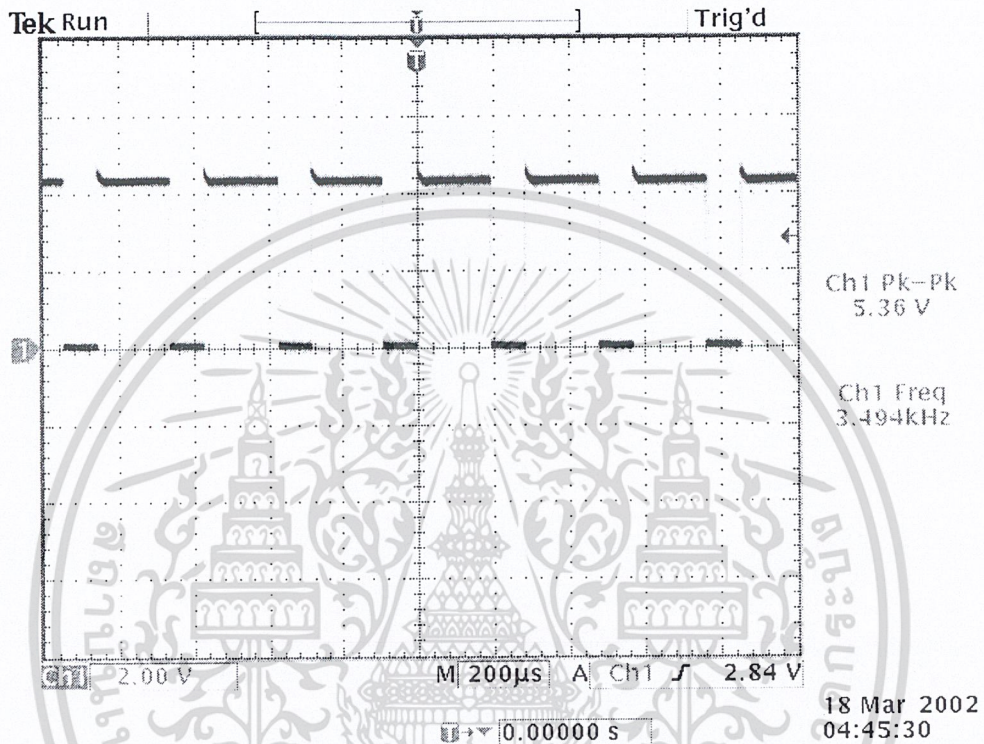
เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ โดยรูปที่ 4.1 จะแสดงการแสดงผลผ่านทางจอ LCD ของไอซีวัดอุณหภูมิ โดยจะมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม



รูปที่ 4.1 แสดงภาพวงจร และผลของอุณหภูมิที่แสดงออกทาง LCD

4.2 Humidity Sensor

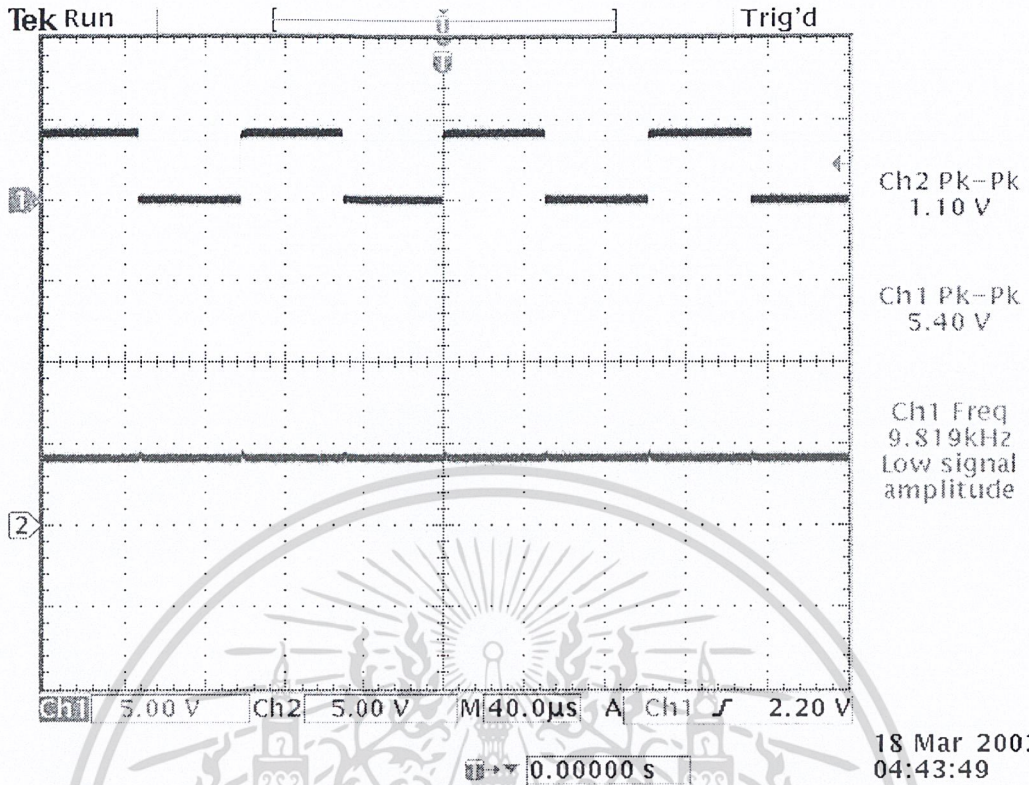
เซนเซอร์วัดความชื้น โดยรูปที่ 4.2 จะแสดงการแสดงผลการกำเนิดความถี่จากไอซี 555 ทัมเมอร์ ที่สามารถ เปลี่ยนความถี่โดยการเปลี่ยนค่าคาปาซิแตนซ์ของไอซีวัดความชื้น



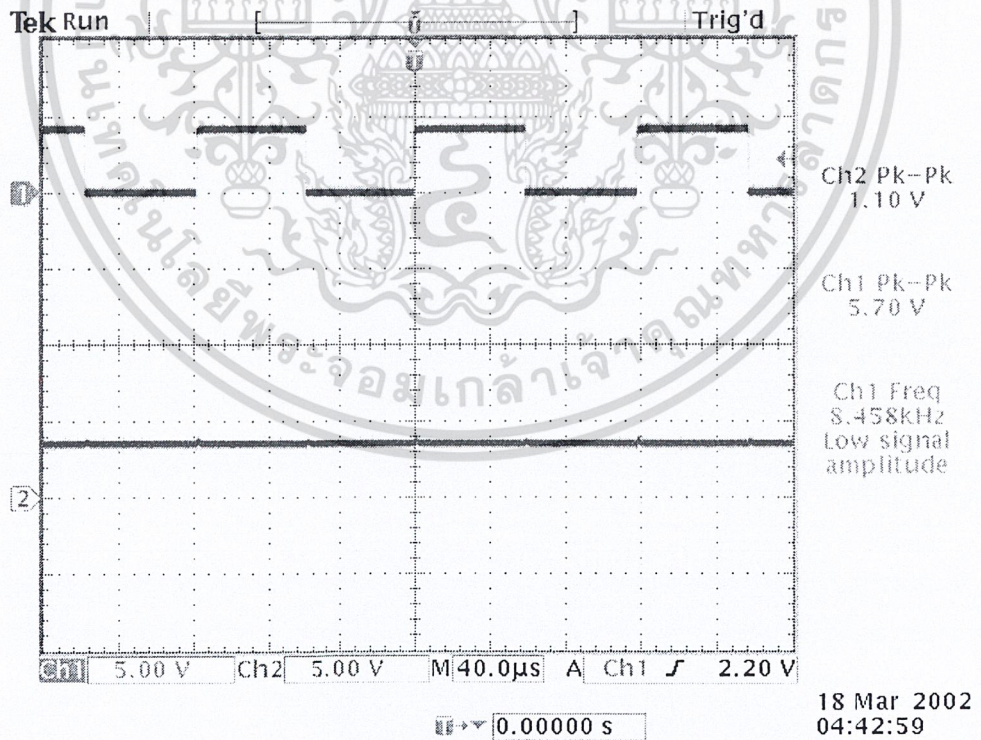
รูปที่ 4.2 แสดงค่าความถี่ที่ออกจาก IC 555 Astable

4.3 Pressure Sensor

เซนเซอร์วัดความชื้น โดยรูปที่ 4.3 จะแสดงการแสดงผลการกำเนิดความถี่จากไอซีเบอร์ 74HC625 ซึ่งเป็น โวลท์เตจคอนโทรลลอซซิลิเคเตอร์ ซึ่งรูปที่ 4.4 จะแสดงว่ามี การเปลี่ยนแปลงความถี่ เมื่อได้รับ สัญญาณไฟตรงค่าที่เปลี่ยนไป โดยไอซีวัดความชื้นจะมีเอาพุตเป็นสัญญาณไปตรง



รูปที่ 4.3 แสดงค่าของความถี่ (Ch1) จากวีซีไอ (74625) เมื่อรับคิซีโวลท์ที่เตจจาก Pressure Sensor



รูปที่ 4.4 แสดงความถี่ (Ch1) จากวีซีไอ ที่เปลี่ยนไป เมื่อลองเปลี่ยนค่า

โวลท์เตจออฟเซ็ทของ Pressure Sensor

4.4 มัลติเพล็กซ์

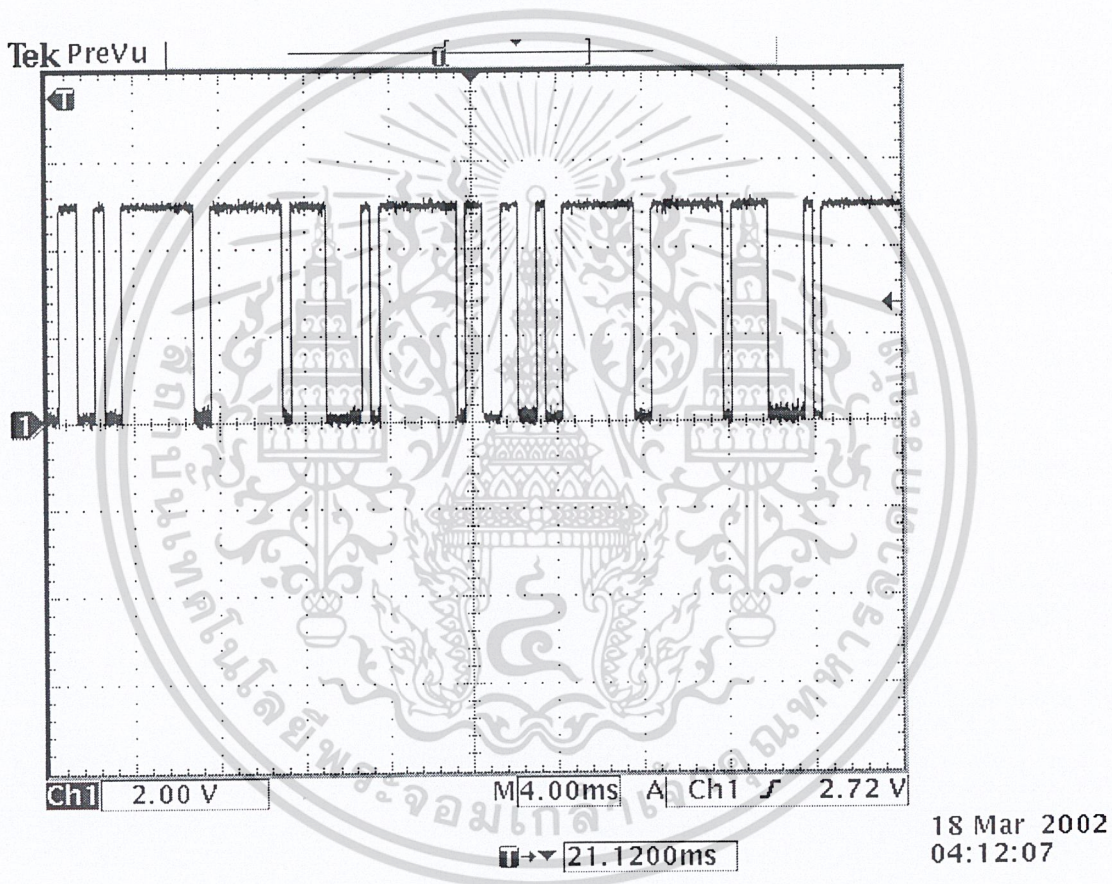
เราจะทำการมัลติเพล็กซ์สัญญาณเซนเซอร์ทั้ง 3 ตัวโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์โดยรูปจะแสดงตัวอย่างของการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ ซึ่งจะประกอบด้วยซิงโครไนซ์เฟรม 2 เฟรมและ สัญญาณจำลองจากเซนเซอร์ 3 ตัว

โดยเฟรมซิงโครไนซ์จะเป็นค่า เป็น 1111 1110B สองเฟรม

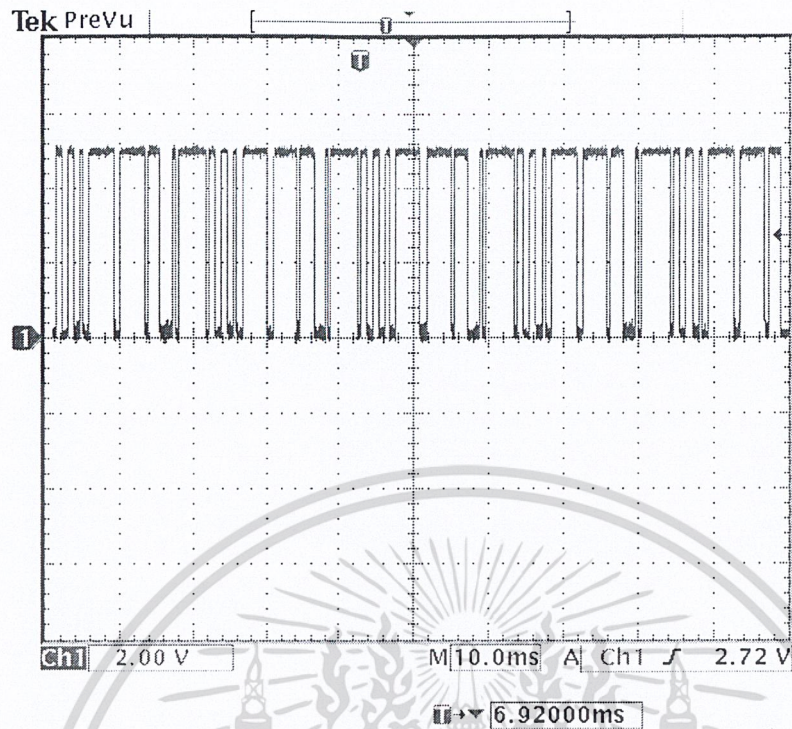
โดยข้อมูลจำลองของเซนเซอร์ที่1 คือ 0000 1111B

เซนเซอร์ที่ 2 คือ 1111 1111B

เซนเซอร์ที่ 3 คือ 0011 0011B



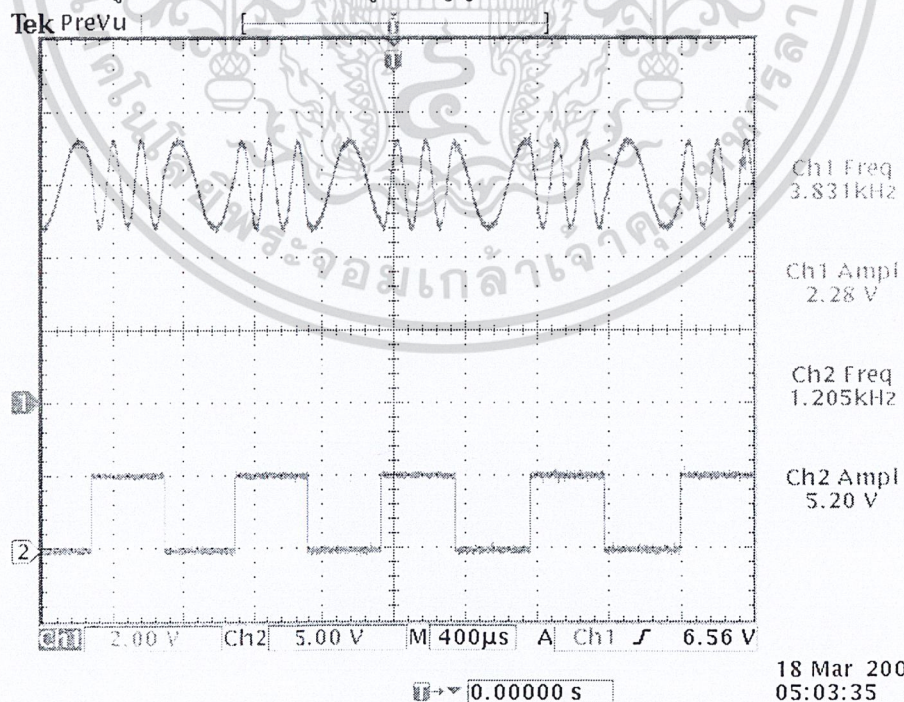
รูปที่ 4.5 แสดงผลของการมัลติเพล็กซ์ของข้อมูลจากเซนเซอร์ทั้งสามตัว



รูปที่ 4.6 แสดงผลของการมัลติเพล็กซ์ของข้อมูลจากเซ็นเซอร์ทั้งสามตัว

4.5 FSK (Frequency Shift Keying)

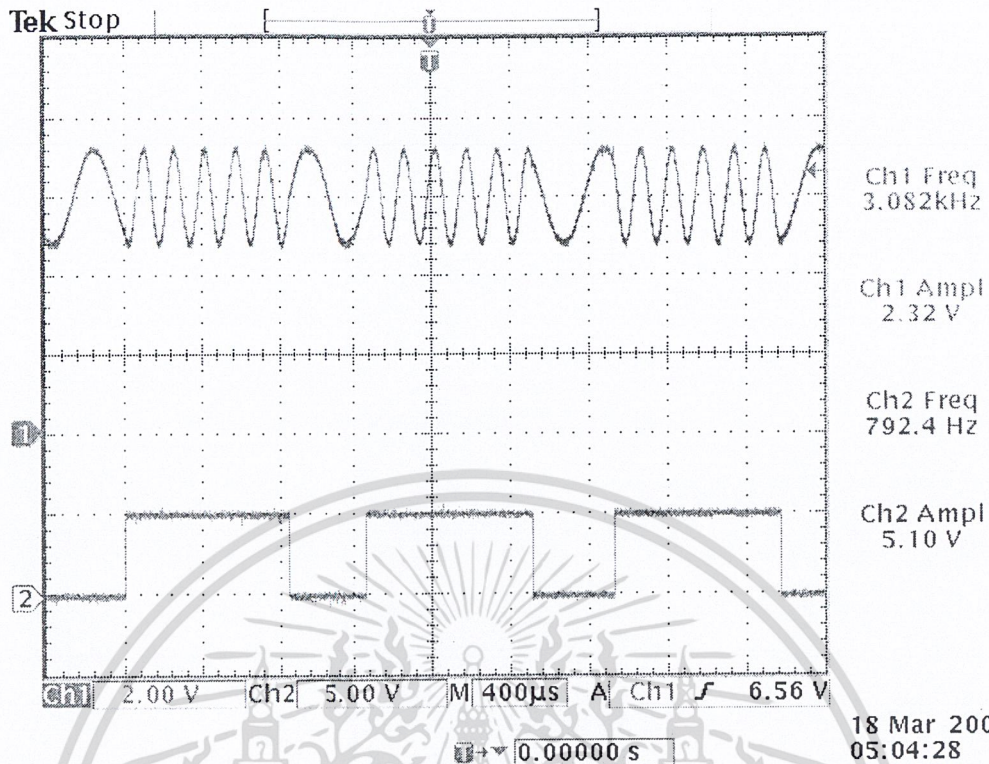
เมื่อเราทำการมัลติเพล็กซ์สัญญาณต่างๆ เราจะทำการมอดูเลตสัญญาณแบบ FSK เพื่อเป็นการลดแบนด์วิดท์ของข้อมูลก่อนที่จะไปทำการมอดูเลตสัญญาณทางความถี่



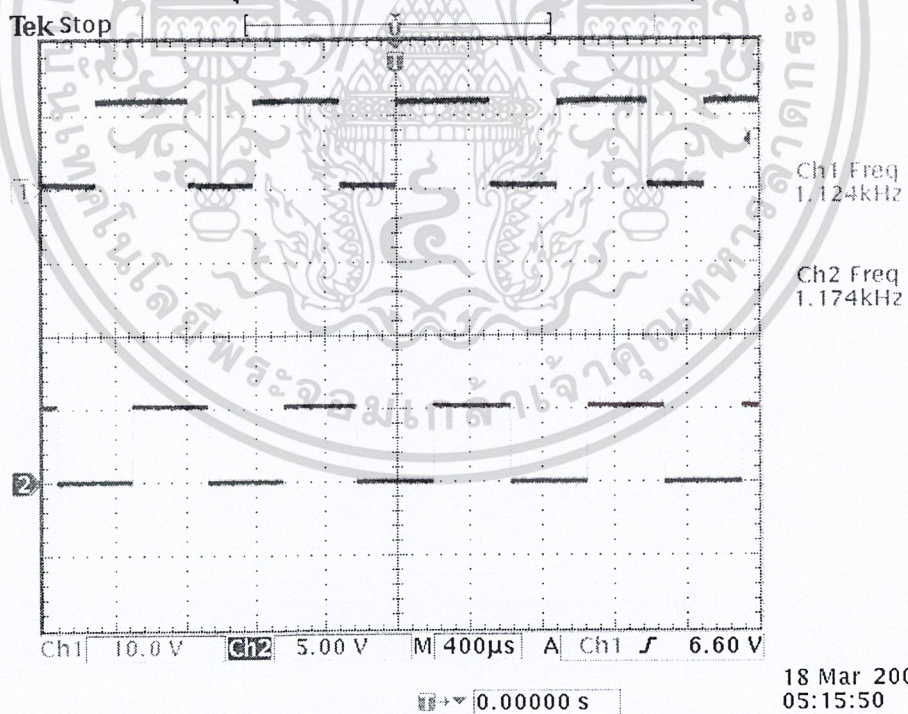
รูปที่ 4.7 CH1 แสดงเอาต์พุตจากวงจร FSK Modulator CH2 แสดงอินพุตของวงจร FSK Modulator

Modulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



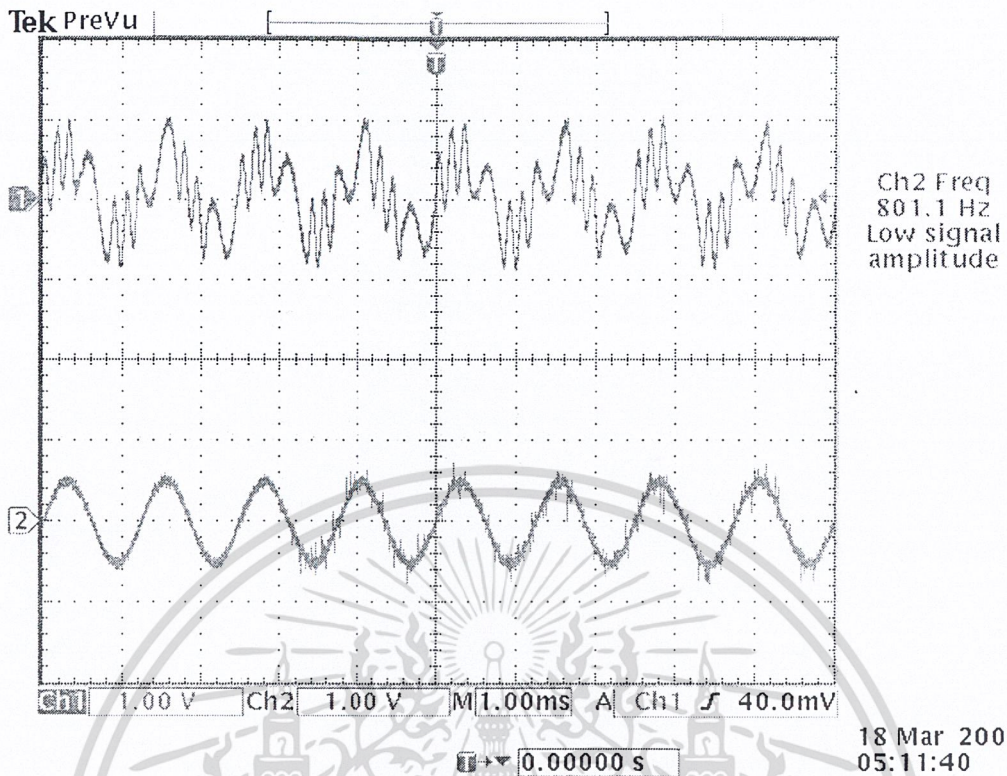
รูปที่ 4.8 CH1 แสดงเอาต์พุตจากวงจร FSK Modulator CH2 แสดงอินพุตของวงจร FSK Modulator



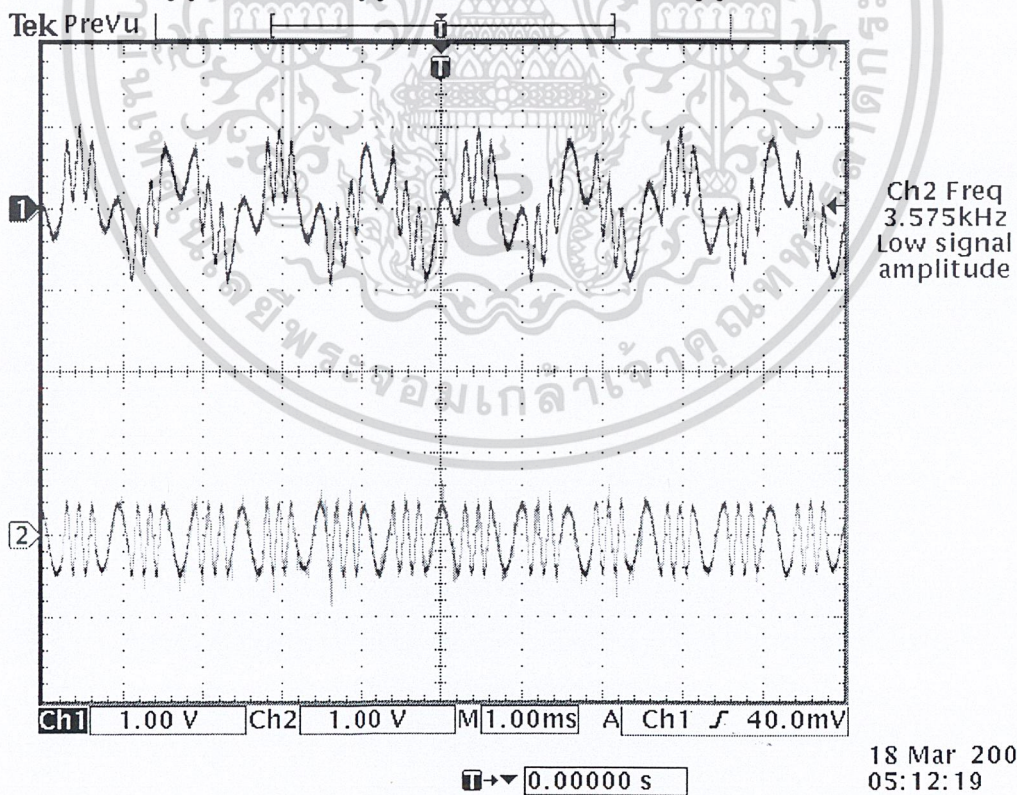
รูปที่ 4.9 CH1 แสดงเอาต์พุตจากวงจร FSK Demodulator CH2 แสดงอินพุตของวงจร FSK Modulator
วงจรรวมสัญญาณ

โดยวงจรรวมสัญญาณจะทำการรวมสัญญาณ FSK ของเซนเซอร์ทั้ง 3 ตัว กับ สัญญาณเสียงซึ่งสัญญาณจาก FSK และ สัญญาณเสียงจะต้องที่ความถี่ที่ไม่ทับซ้อนกัน เพื่อที่จะสามารถทำการแยกออกได้

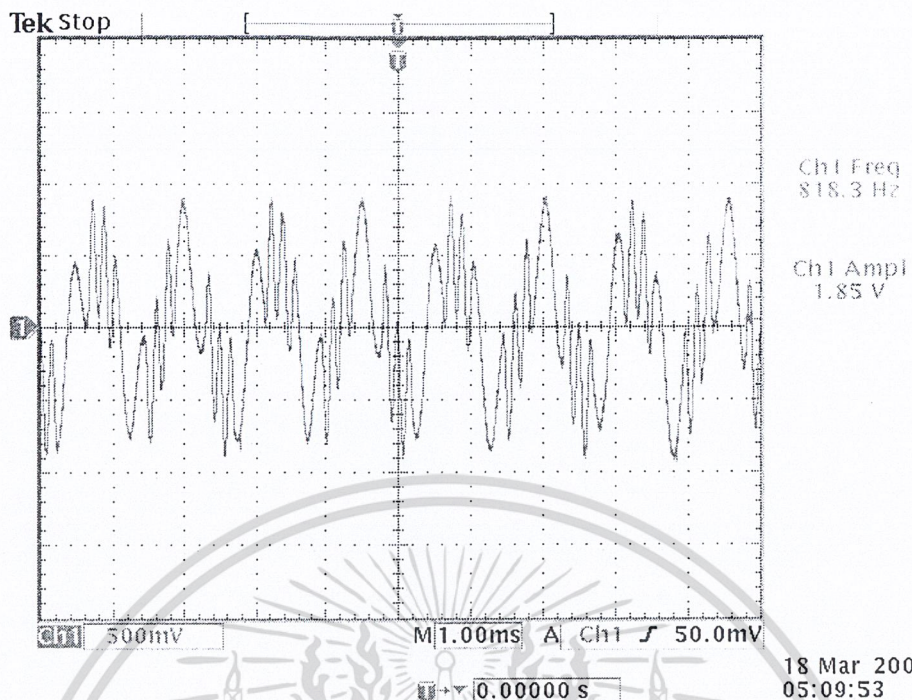
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 CH1 แสดงเอาต์พุตจากวงจรรวมสัญญาณระหว่าง
สัญญาณ FSK กับ สัญญาณไซน์ 800 Hz เทียบกับ สัญญาณไซน์ 800 Hz



รูปที่ 4.11 แสดงเอาต์พุตจากวงจรรวมสัญญาณระหว่าง
สัญญาณ FSK กับ สัญญาณไซน์ 800 Hz เทียบกับ สัญญาณ FSK

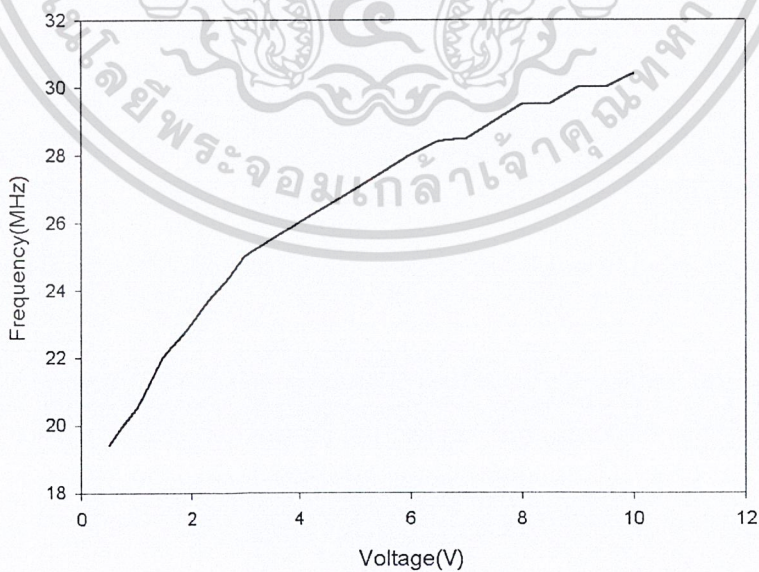


รูปที่ 4.12 แสดงเอาต์พุตจากวงจรรวมสัญญาณระหว่าง สัญญาณ FSK กับ สัญญาณไซน์ 800 Hz

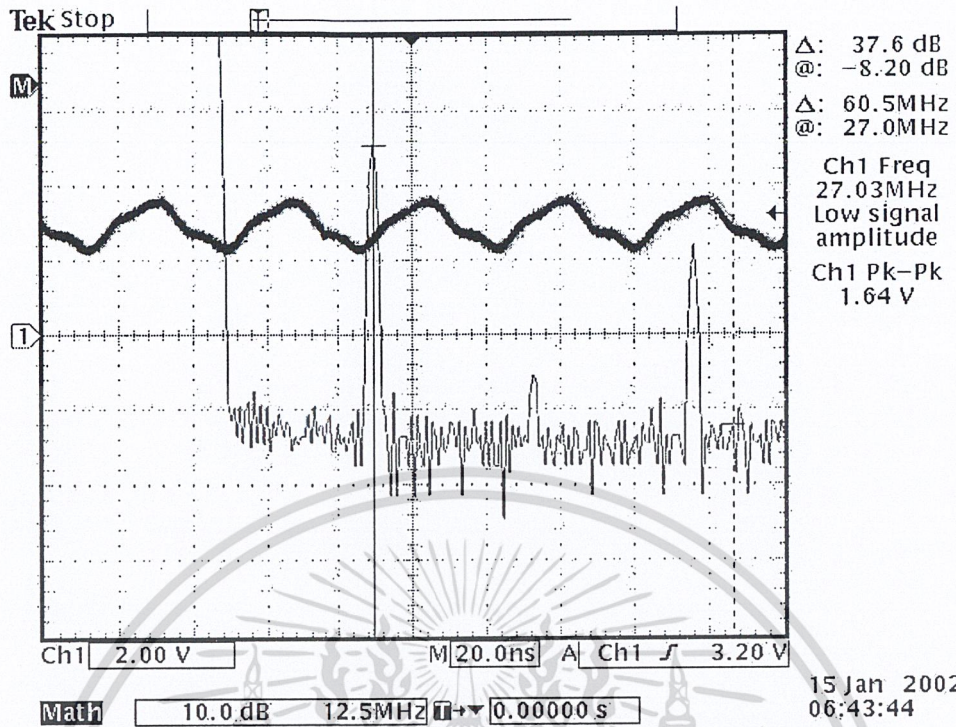
4.6 Frequency Modulation

4.6.1 เครื่องส่ง

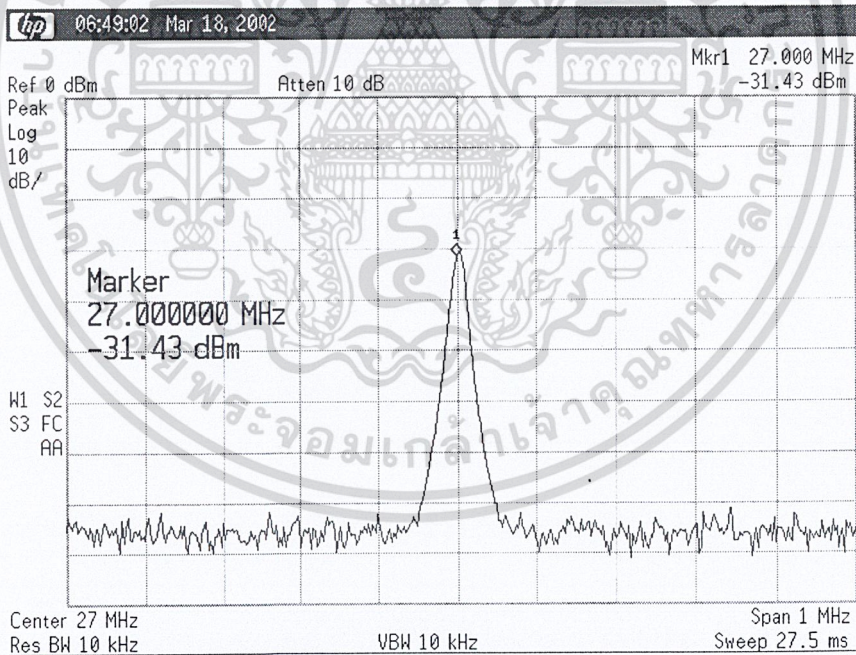
สัญญาณที่ผ่านวงจรรวมสัญญาณจะนำไปทำการมอดูเลตทางความถี่เพื่อที่จะส่งออกทางสายอากาศ โดยทางเครื่องส่งเราจะใช้ความถี่คลื่นพาห้ที่ 27 MHz



รูปที่ 4.13 แสดงคาแรคเทอริสติกของวีซีโอ ทางด้านเครื่องส่ง

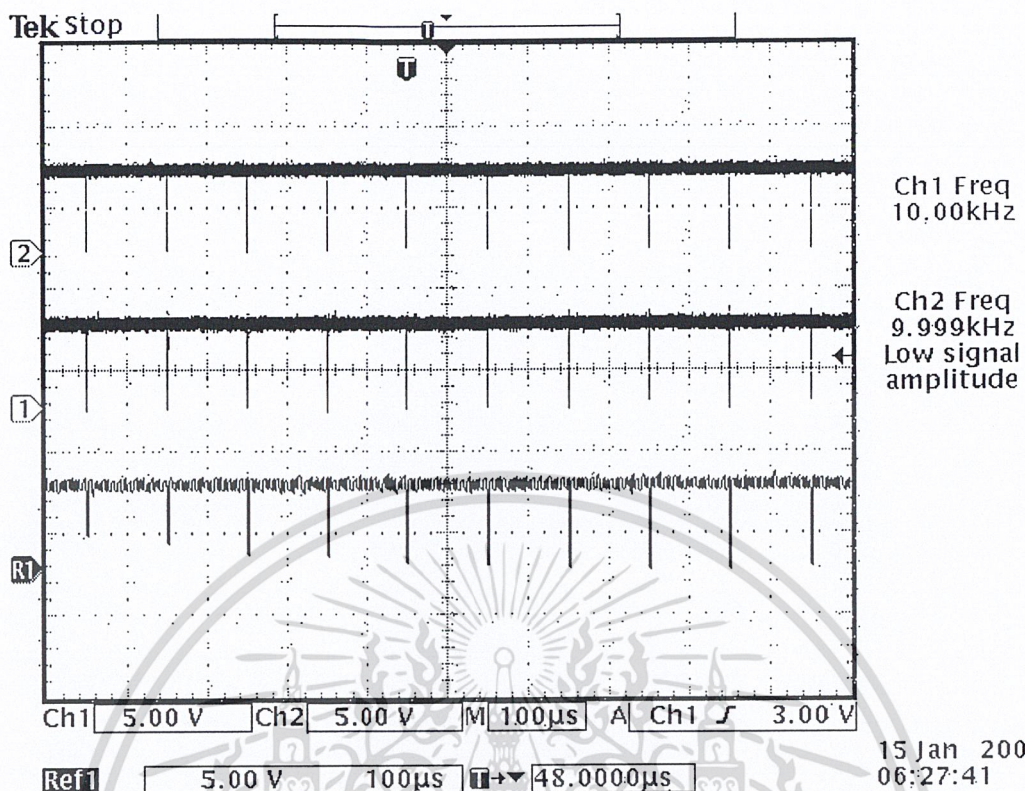


รูปที่ 4.14 แสดงรูปสัญญาณ คลื่นพาห์ 27 MHz ทางด้านเครื่องส่ง

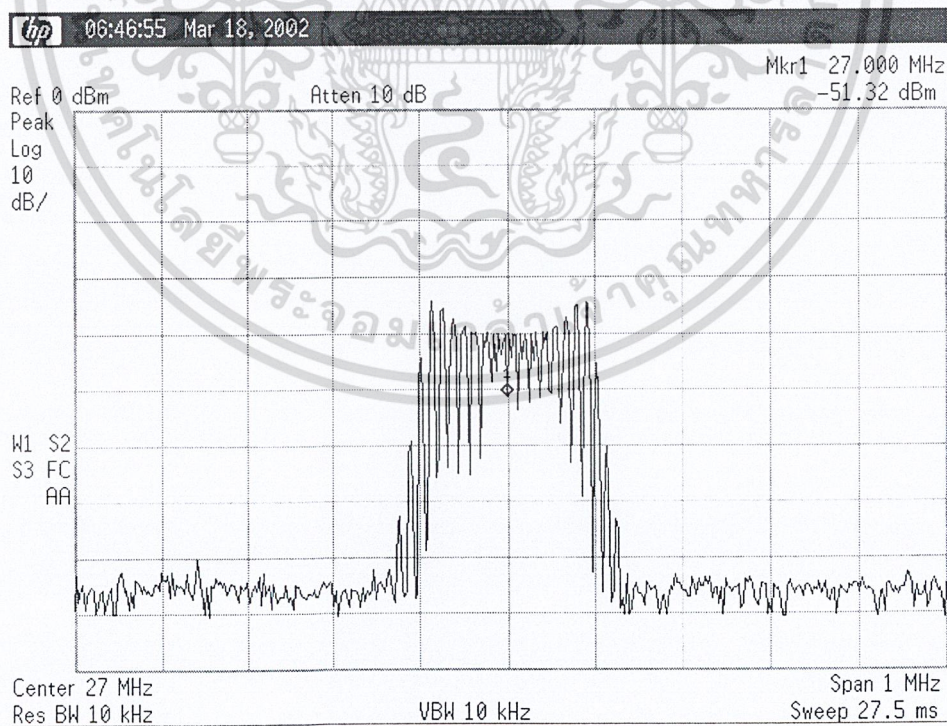


รูปที่ 4.15 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณ คลื่นพาห์ 27 MHz ทางด้านเครื่องส่ง

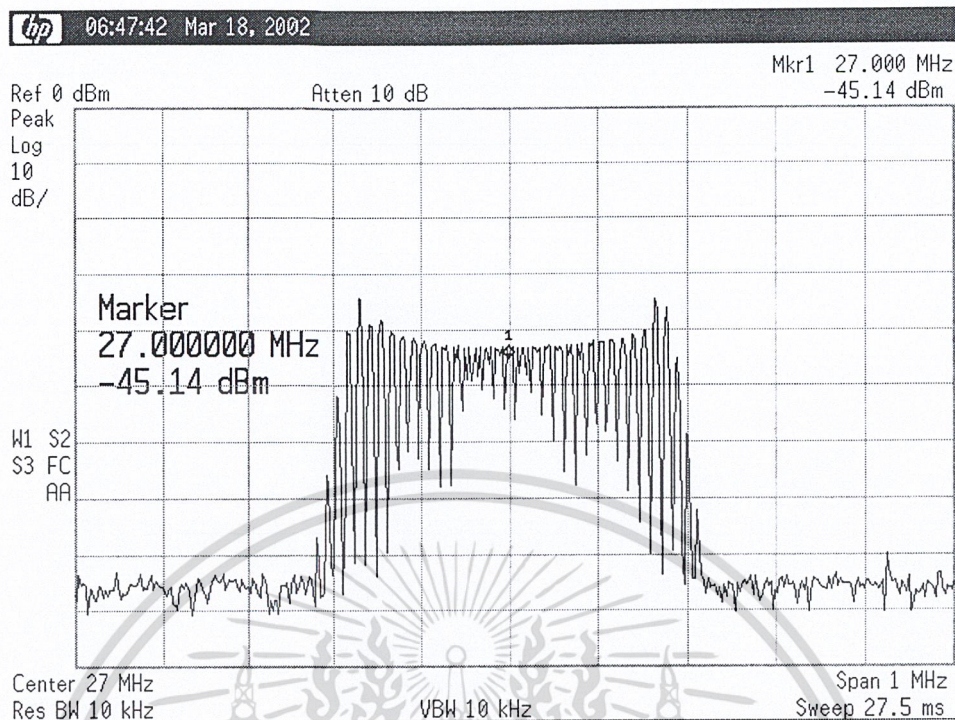
วงจรเอฟเอ็มที่เราใช้จะมีเสถียรภาพมากขึ้นเมื่อเราใช้วงจร สังกะระห์ความถี่ซึ่งจะผลิตความถี่ที่เที่ยงตรง รูปที่ 4.16 จะแสดงการลือคของเฟสลือคคูลูป



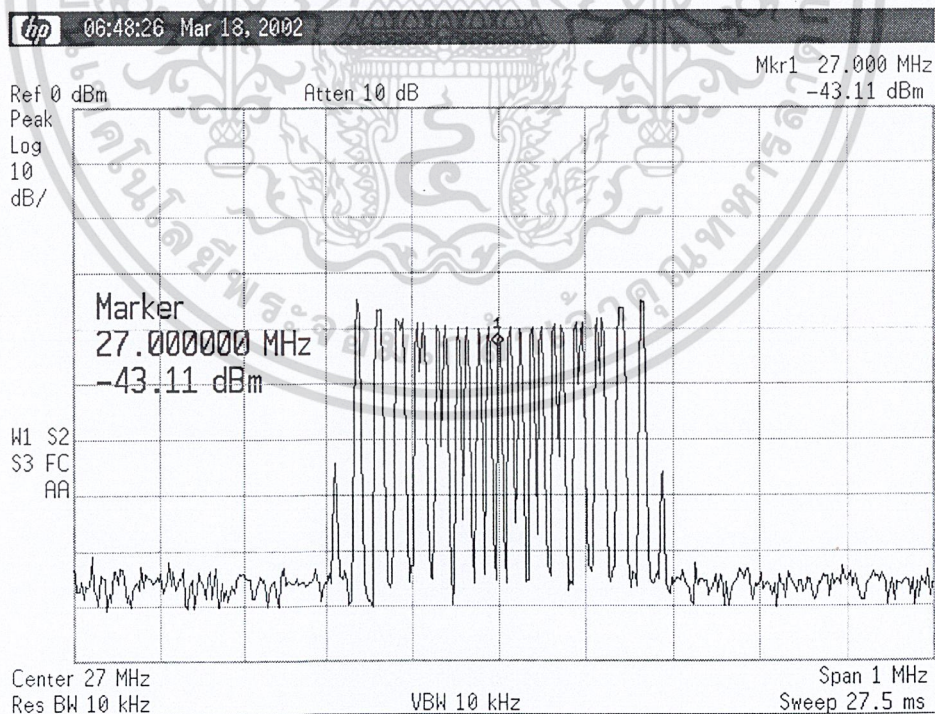
รูปที่ 4.16 แสดงการลือกของคูปลิเตอร์ 27 MHz ที่ขา 28 ของวงจรสังเคราะห์ความถี่



รูปที่ 4.17 แสดงรูปสเปกตรัมของสัญญาณ 27 MHz หลังทำการมอดูเลตสัญญาณอินพุตขนาด 100 mV ความถี่ 1.5 kHz

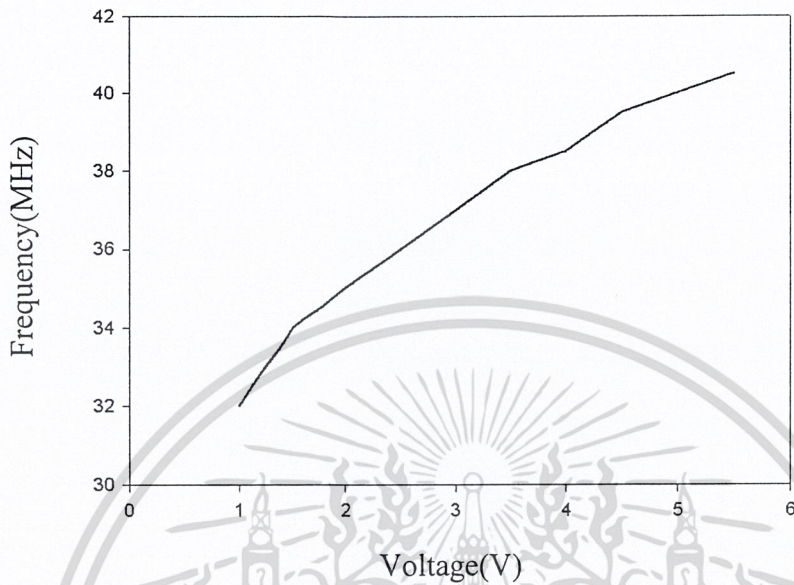


รูปที่ 4.18 แสดงรูปสเปกตรัมของสัญญาณ 27 MHz หลังทำการเปลี่ยนขนาดสัญญาณอินพุตที่เข้ามามอดู
เลตเป็น 200 mV

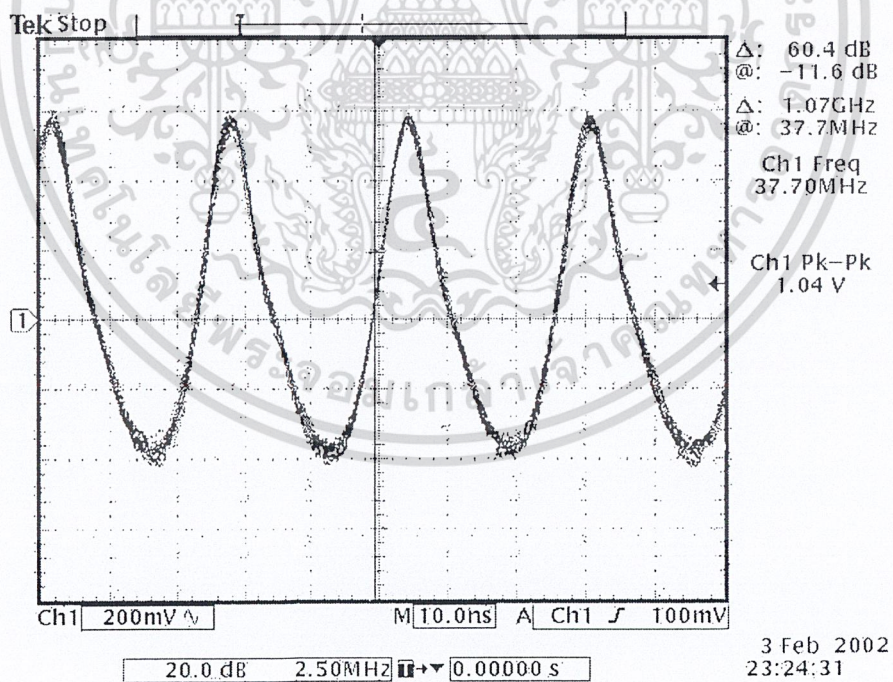


รูปที่ 4.19 แสดงรูปสเปกตรัมของสัญญาณ 27 MHz หลังทำการเปลี่ยนความถี่สัญญาณอินพุตที่เข้ามามอดู
เลตเป็น 3 kHz

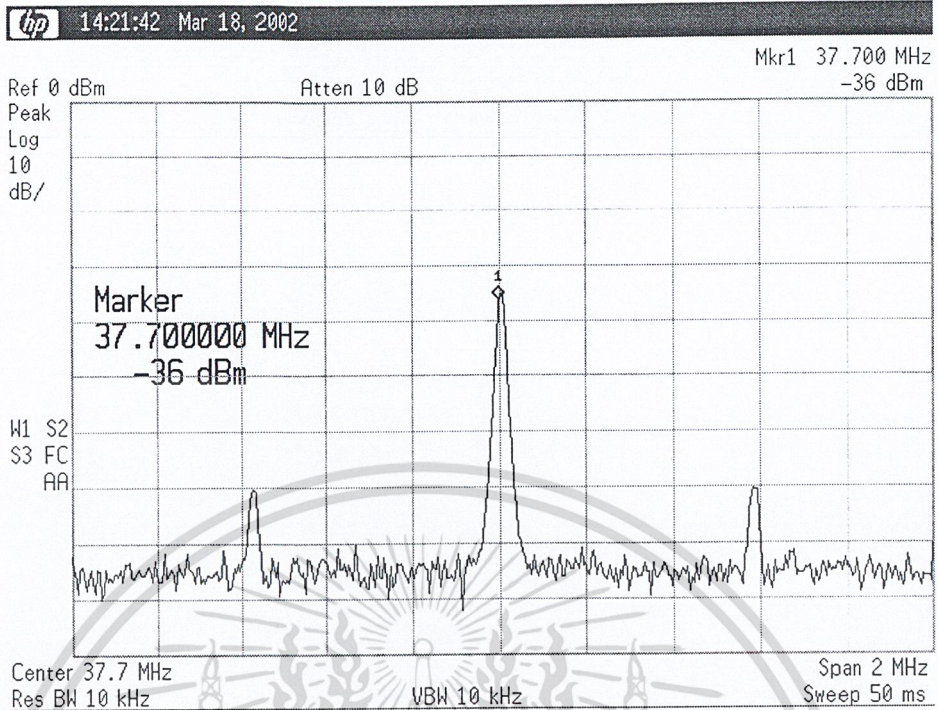
4.6.2 เครื่องรับ



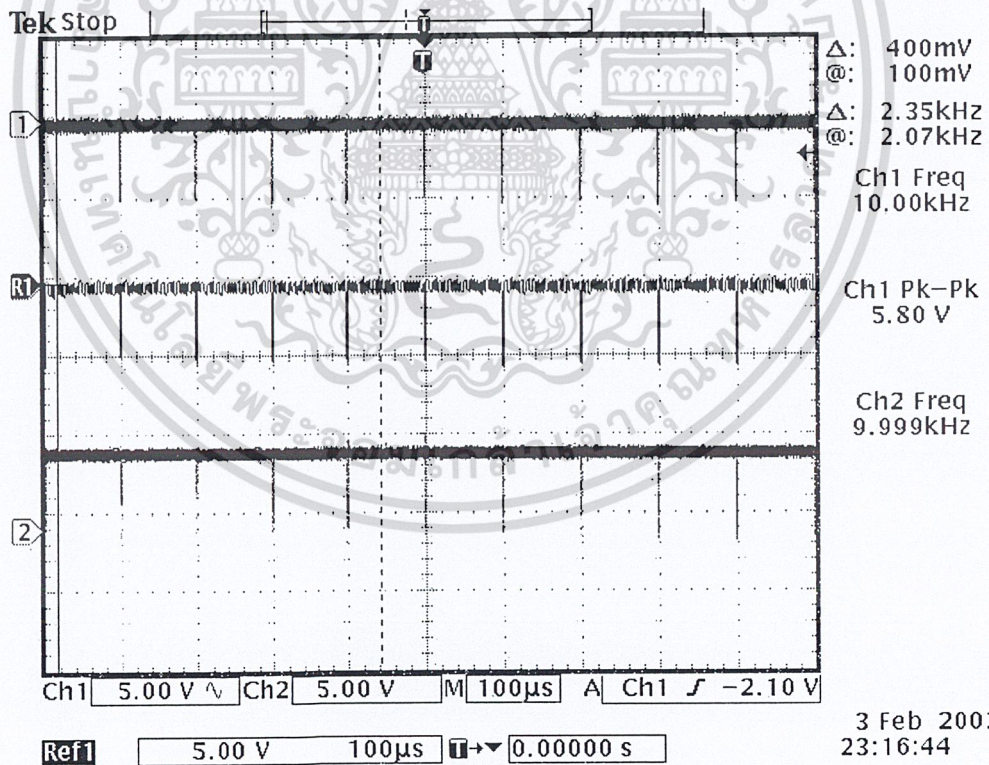
รูปที่ 4.20 แสดงคาแรกเทอริสติกของวิธีโอ ทางด้านเครื่องรับ



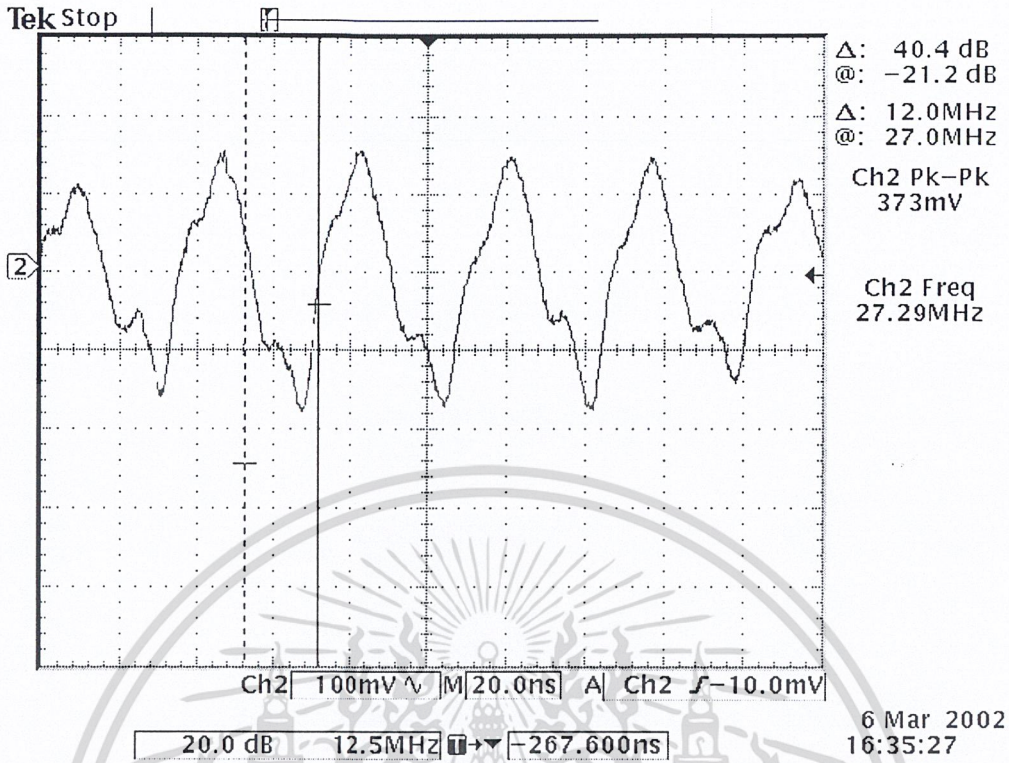
รูปที่ 4.21 แสดงรูปสัญญาณความถี่อ้างอิง 37.7 MHz ทางด้านเครื่องรับ



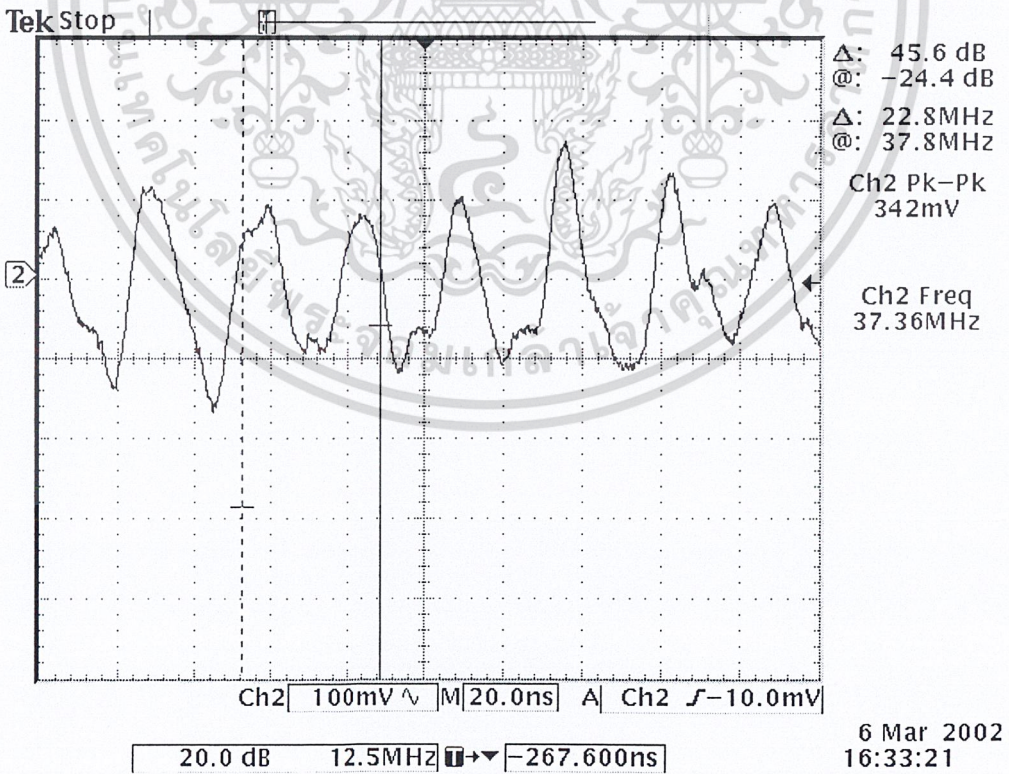
รูปที่ 4.22 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณ โดคัลลออสซิลเลเตอร์ 37.7 MHz ทางด้านเครื่องรับ



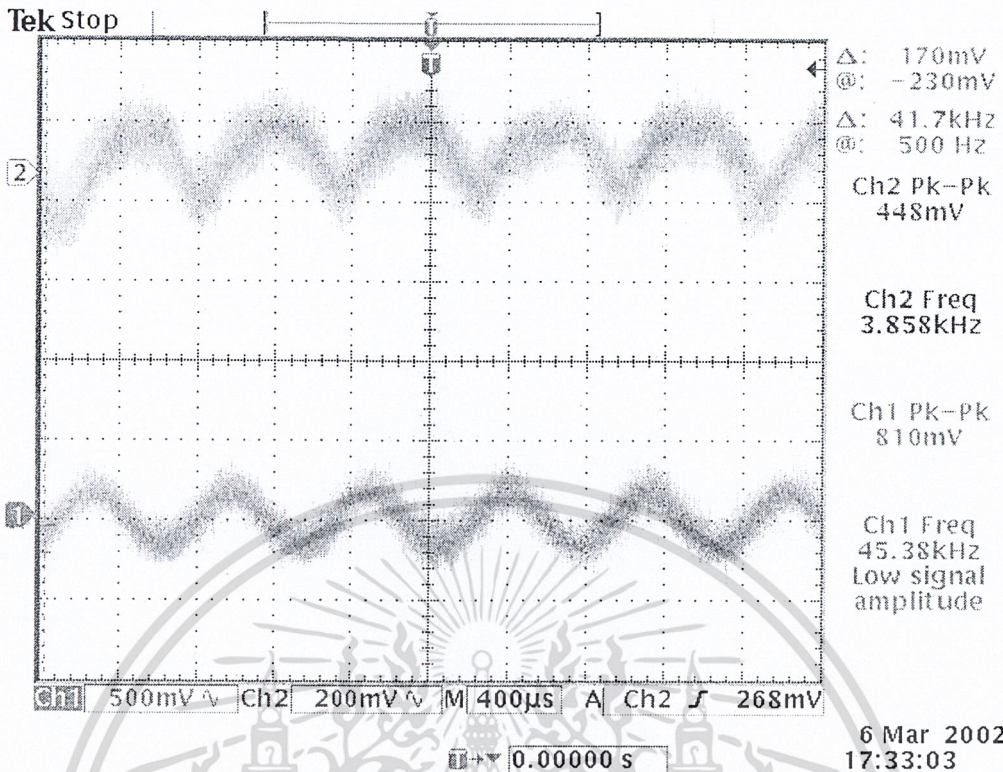
รูปที่ 4.23 แสดงการลือคของรูปฟิลเตอร์ 37.7 MHz ที่ขา 28 ของวงจรสังเคราะห์ความถี่



รูปที่ 4.24 แสดงสัญญาณ 27 MHz ทางด้านเครื่องรับหลังผ่านวงจรลดทอนขนาดสัญญาณ

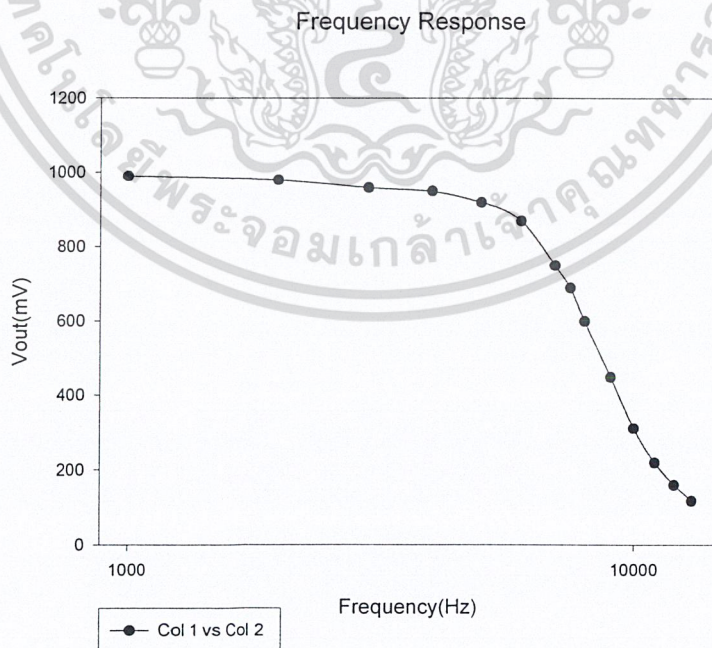


รูปที่ 4.25 แสดงสัญญาณ 37.7 MHz ทางด้านเครื่องรับหลังผ่านวงจรลดทอนขนาดสัญญาณ



รูปที่ 4.26 แสดงสัญญาณเอาต์พุต(Ch2) เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต(Ch1) ของไอซี MC3362

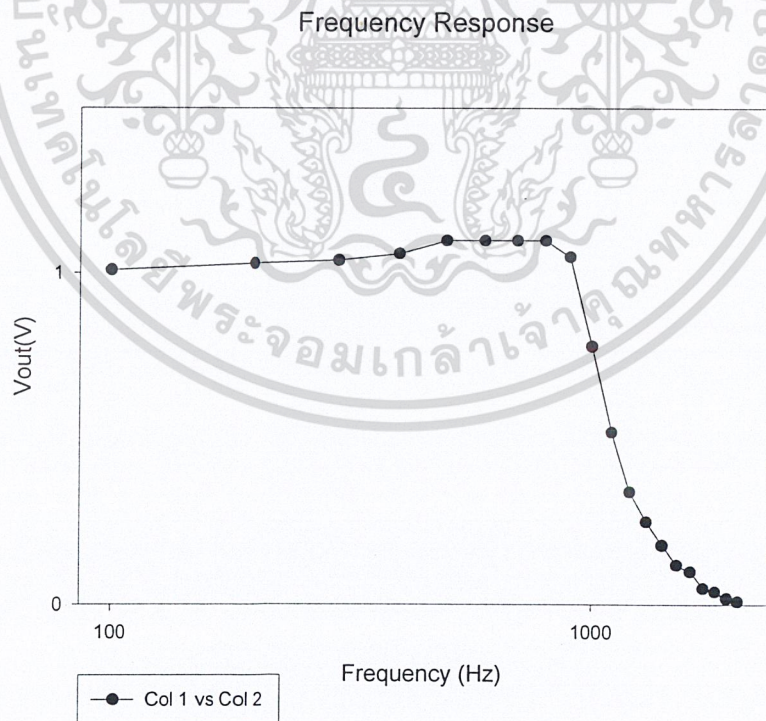
4.7 ฟิเตอร์



รูปที่ 4.27 คุณสมบัติของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ท ลำดับที่ 4 ที่มี คัตออฟที่ 7.5 kHz

ความถี่ (Hz)	โวลต์เตจเอาต์พุต (mV)
1000.0000	990.0000
2000.0000	980.0000
3000.0000	960.0000
4000.0000	950.0000
5000.0000	920.0000
6000.0000	870.0000
7000.0000	750.0000
7500.0000	690.0000
8000.0000	600.0000
9000.0000	450.0000
10000.0000	312.0000
11000.0000	220.0000
12000.0000	160.0000
13000.0000	118.0000

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ท ลำดับที่ 4 คัดออฟที่ 7.5 kHz



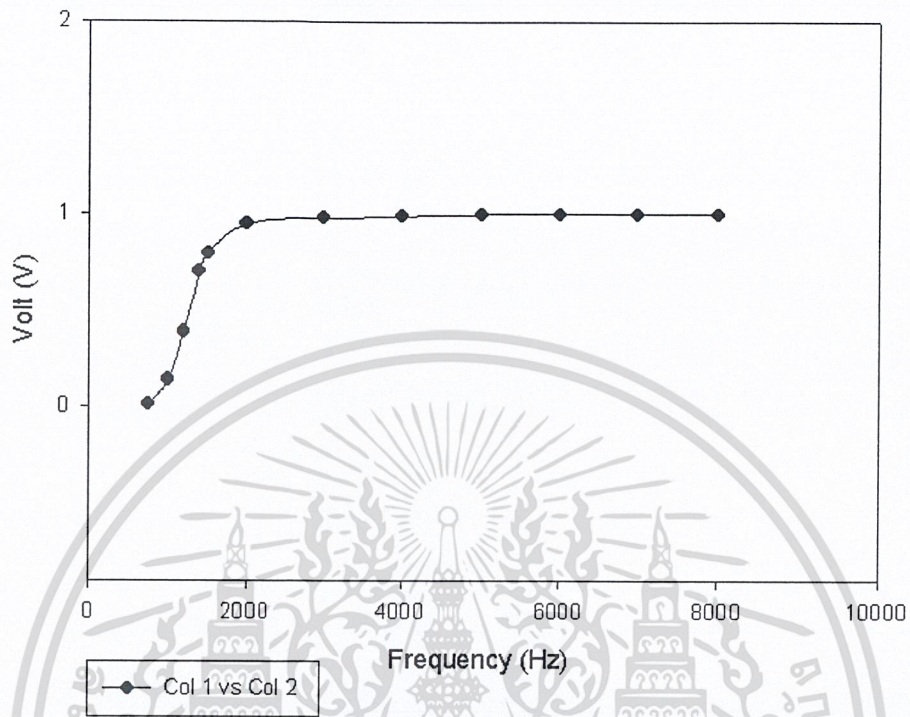
รูปที่ 4.28 แสดงคุณสมบัติของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ท ลำดับที่ 6 คัดออฟที่ 1.0 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ (Hz)	โวลต์เตจเอาต์พุต (V)
100.0000	1.0100
200.0000	1.0300
300.0000	1.0400
400.0000	1.0600
500.0000	1.1000
600.0000	1.1000
700.0000	1.1000
800.0000	1.1000
900.0000	1.0500
1000.0000	.7800
1100.0000	.5200
1200.0000	.3400
1300.0000	.2500
1400.0000	.1800
1500.0000	.1200
1600.0000	.1000
1700.0000	.0500
1800.0000	.0400
1900.0000	.0200
2000.0000	.0100

ตารางที่ 4.2 แสดงคุณสมบัติของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ท ลำดับที่ 6 ที่มีความถี่คัตออฟ
ที่ 1.0 kHz

FREQUENCY RESPONSE



รูปที่ 4.29 แสดงคุณสมบัติของวงจรกรองความถี่สูงผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ท ลำดับที่ 6 คัดออฟที่ 1.4 kHz

750.0000	.0120
1000.0000	.1400
1200.0000	.3900
1400.0000	.7000
1500.0000	.8000
2000.0000	.9500
3000.0000	.9800
4000.0000	.9900
5000.0000	1.0000
6000.0000	1.0000
7000.0000	1.0000
8000.0000	1.0000

ตารางที่ 4.3 แสดงคุณสมบัติของวงจรกรองความถี่สูงผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ท ลำดับที่ 6 ที่มีความ

ที่คัดออฟที่ 1.4 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และบทสรุป

ปริญญาบัตรนี้เป็นกล่าวถึงระบบตรวจสอบสภาพแวดล้อมแบบไร้สาย โดยจะมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นหัวใจในการจัดการข้อมูลของเซนเซอร์ต่างๆ รวมถึงการมัลติเพล็กซ์แบบ Time Division Multiplex (TDM) โดยจะประยุกต์ใช้กับการมัลติเพล็กซ์แบบ Frequency division Multiplex (FDM) ซึ่งจะเป็นวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ ในการรับ-ส่งข้อมูลแบบไร้สายนั้นจะใช้การมอดูเลชันทางความถี่เป็นตัวจัดการ ซึ่งเราจะใช้วงจรสังเคราะห์ความถี่เพื่อผลิตความถี่ที่เที่ยงตรง เพื่อประสิทธิภาพของการรับ-ส่ง

ในส่วนของการทดลอง ได้ทำการเก็บผลที่แสดงออกมาทางจอแอลซีดี(ได้จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับอุปกรณ์วัดที่เป็นมาตรฐาน(เช่น เทอร์โมมิเตอร์, บารอมิเตอร์) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของค่าที่ได้ โดยจะพบว่ามีความต่างอยู่เล็กน้อยอันเนื่องมาจากค่าคาปาซิแตนซ์ในวงจร และการประยุกต์ใช้ จึงได้มีการชดเชยค่า เพื่อให้ค่าที่ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

ปัญหาที่พบในโครงการนี้จะเป็นในเรื่องของการหาวงจรที่สามารถใช้กับความถี่สูงได้ ซึ่งจะพบว่าไอซีในการมอดูเลตทางความถี่มีแบนด์วิดท์ที่แคบมาก ดังนั้นเราไม่สามารถส่งข้อมูลดิจิทัลที่มีความเร็วสูงได้ ดังนั้นสัญญาณเสียงที่จะทำการแปลงจากสัญญาณแอนาล็อก เป็นสัญญาณดิจิทัลนั้นจะมีความเร็วที่สูงมากกว่าไอซีที่จะรับได้ เราจึงทำการประยุกต์ให้ระบบมีการใช้การมัลติเพล็กซ์ ทั้งแบบ TDM และ FDM เพื่อเป็นการลดแบนด์วิดท์ของข้อมูลข่าวสารให้มากที่สุด และปัญหาอีกส่วนหนึ่งเกิดจากขีดจำกัดของอุปกรณ์ที่นำมาใช้ เช่น ในเรื่องของความละเอียดของข้อมูลก่อนข้างจะต่ำ อันเนื่องมาจากสเตปการวัด และค่าต่ำสุด-สูงสุด ที่รับได้ของตัวเซ็นเซอร์เอง

การประยุกต์ใช้งาน สามารถนำไปเพิ่มเติมตัวเซ็นเซอร์อื่นๆ ได้อีกไม่ว่าจะเป็นแสง, ควัน, รังสี ฯลฯ โดยใช้โครงสร้าง และหลักการเดิมที่มีอยู่ในวงจรได้ตามต้องการ และอันเนื่องมาจากความได้เปรียบที่เป็นอุปกรณ์ไร้สายจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้โดยนำไปติดตั้งไว้ในจุดต่างๆที่ต้องการได้สะดวกรวดเร็ว หรือจะติดตั้งไว้บนยานพาหนะต่างๆที่เป็นรีโมทคอนโทรล เพื่อใช้ไปเก็บผลยังสถานที่ที่ต้องการโดยผู้ควบคุมไม่จำเป็นต้องเข้าไปเอง เช่น ในสถานที่ที่มีความเสี่ยง, มีกลิ่นรุนแรง สภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม หรืออยู่ไกลจากจุดที่ควบคุม และนอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในวงการอุตสาหกรรม หรือเกษตรกรรมที่ต้องการควบคุมสภาพแวดล้อมอีกด้วย โดยทำการติดตั้งตัวควบคุมอัตโนมัติจากข้อมูลที่ส่งกลับมา(Feed back) ซึ่งต้องนำไปทำการประยุกต์ใช้ต่อไป

ภาคผนวก

โปรแกรมที่ใช้ในการมัลติเพล็กซ์ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

```

ORG      0000H
MOV      P0,#0FFH
MOV      P1,#0FFH
MOV      P2,#0FFH
MOV      PCON,#00H
MOV      SCON,#40H
MOV      TMOD,#20H
MOV      TH1,#0E8H
MOV      R7,#11111110B
MOV      R6,#00000001B

SETB     TR1
MAIN:    MOV      A,R7
         MOV      SBUF,A
WAITN:   JNB      TI,WAITN
         CLR      TI
         MOV      A,R6
         MOV      SBUF,A
WAITM:   JNB      TI,WAITM
         CLR      TI
         MOV      A,P0
         MOV      SBUF,A
WAIT1:   JNB      TI,WAIT1
         MOV      P0,#0FFH
         CLR      TI
         MOV      A,P1
         MOV      SBUF,A
WAIT2:   JNB      TI,WAIT2
         MOV      P1,#0FFH
         CLR      TI
         MOV      A,P2
         MOV      SBUF,A
WAIT3:   JNB      TI,WAIT3
         MOV      P2,#0FFH
         CLR      TI
         SJMP    MAIN
END

```

โปรแกรมที่ใช้ในการดีมัลติเพล็กซ์ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

```

HUMID    EQU     020H
PRESSURE EQU     021H
TEMP     EQU     022H
FLAG     EQU     02FH
BUSY     BIT     FLAG.0
LCD_ADDR EQU     030H
LCD_DATA EQU     031H
LCD_EN   BIT     P3.6
LCD_RS   BIT     P3.7

ORG      0000H
MOV      P0,#00H
MOV      P1,#00H
MOV      P2,#00H
MOV      P3,#0011111B
MOV      PCON,#00H
MOV      SCON,#50H

```

```

MOV    TMOD, #20H
MOV    TH1, #0E8H
SETB   TR1
LCALL  INIT_LCD
MAIN:  MOV    LCD_ADDR, #00H
ACALL  SET_ADDR_LCD
MOV    DPTR, #H11
ACALL  WRLINE_LCD
MOV    LCD_ADDR, #08H
ACALL  SET_ADDR_LCD
MOV    DPTR, #H12
ACALL  WRLINE_LCD
MOV    LCD_ADDR, #040H
ACALL  SET_ADDR_LCD
MOV    DPTR, #H21
ACALL  WRLINE_LCD
MOV    LCD_ADDR, #048H
ACALL  SET_ADDR_LCD
MOV    DPTR, #H22
ACALL  WRLINE_LCD
LCALL  REL_1S
LCALL  REL_1S
LOOPXX: MOV    LCD_ADDR, #00H
ACALL  SET_ADDR_LCD
MOV    DPTR, #PJ11
ACALL  WRLINE_LCD
MOV    LCD_ADDR, #08H
ACALL  SET_ADDR_LCD
MOV    DPTR, #PJ12
ACALL  WRLINE_LCD
MOV    LCD_ADDR, #040H
ACALL  SET_ADDR_LCD
MOV    DPTR, #PJ21
ACALL  WRLINE_LCD
MOV    LCD_ADDR, #048H
ACALL  SET_ADDR_LCD
MOV    DPTR, #PJ22
ACALL  WRLINE_LCD
LCALL  REL_1S

WAITN: JNB    RI, WAITN
CLR    RI
MOV    A, SBUF
CJNE  A, #11111110B, WAITN

WAITM: JNB    RI, WAITM
CLR    RI
MOV    A, SBUF
CJNE  A, #0000001B, WAITN

WAIT1: JNB    RI, WAIT1
CLR    RI
MOV    A, SBUF
MOV    TEMP, A

WAIT2: JNB    RI, WAIT2
CLR    RI
MOV    A, SBUF
MOV    HUMID, A

WAIT3: JNB    RI, WAIT3
CLR    RI
MOV    A, SBUF
MOV    PRESSURE, A

```

```

MOV LCD_ADDR,#08H
ACALL SET_ADDR_LCD
MOV LCD_DATA,PRESSURE
ACALL HEX2LCD1
MOV LCD_ADDR,#42H
ACALL SET_ADDR_LCD
MOV LCD_DATA,TEMP
ACALL HEX2LCD2
MOV LCD_ADDR,#46H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV A,TEMP
JNB ACC.0,WRITE_OC
MOV LCD_DATA,'#5'
AJMP WRITE_NEXT
WRITE_OC: MOV LCD_DATA,'#0'
WRITE_NEXT: ACALL WRCHAR_LCD
MOV LCD_ADDR,#4CH
ACALL SET_ADDR_LCD
MOV LCD_DATA,HUMID
ACALL HEX2LCD3
LCALL REL_1S
LJMP LOOPXX

HEX2LCD1: PUSH ACC
MOV A,LCD_DATA
MOV B,#100
DIV AB
ADD A,#030H
MOV LCD_DATA,A
ACALL WRCHAR_LCD
MOV LCD_ADDR,#0AH
ACALL SET_ADDR_LCD
MOV A,B
MOV B,#10
DIV AB
ADD A,#030H
MOV LCD_DATA,A
ACALL WRCHAR_LCD
MOV A,B
ADD A,#030H
MOV LCD_DATA,A
ACALL WRCHAR_LCD
POP ACC
RET

HEX2LCD2: PUSH ACC
MOV A,LCD_DATA
MOV B,#100
DIV AB
ADD A,#030H
CJNE A,#030H,HEX2LCD_NX
MOV A,'# '
HEX2LCD_NX: MOV LCD_DATA,A
ACALL WRCHAR_LCD
MOV A,B
MOV B,#10
DIV AB
ADD A,#030H
MOV LCD_DATA,A
ACALL WRCHAR_LCD
MOV A,B

```

```

        ADD    A, #030H
        MOV    LCD_DATA, A
        ACALL WRCHAR_LCD
        POP    ACC
        RET

HEX2LCD3:  PUSH  ACC
           MOV   A, LCD_DATA
           MOV   B, #100
           DIV  AB
           ADD  A, #030H
           MOV  LCD_DATA, A
           ACALL WRCHAR_LCD
           MOV  A, B
           MOV  B, #10
           DIV  AB
           ADD  A, #030H
           MOV  LCD_DATA, A
           ACALL WRCHAR_LCD
           MOV  A, B
           ADD  A, #030H
           MOV  LCD_DATA, A
           ACALL WRCHAR_LCD
           POP  ACC
           RET

INIT_LCD:  LCALL REL_100MS
           CLR   P3.7
           MOV  P0, #38H
           LCALL LCD_CLK
           LCALL REL_10MS
           LCALL LCD_OFF
           LCALL LCD_CLR
           MOV  P0, #06H
           LCALL LCD_CLK
           LCALL LCD_HOME
           RET

LCD_CLK:  SETB  P3.6
           LCALL REL_2MS
           CLR  P3.6
           LCALL REL_2MS
           RET

LCD_OFF:  CLR   P3.7
           MOV  P0, #08H
           LCALL LCD_CLK
           RET

LCD_CLR:  CLR   P3.7
           MOV  P0, #01H
           LCALL LCD_CLK
           RET

LCD_HOME: CLR   P3.7
           MOV  P0, #02H
           LCALL LCD_CLK
           RET

LCD_ON:   CLR   LCD_RS
           MOV  P0, #00001100B

```

```

        ACALL LCD_CLK
        RET

SET_ADDR_LCD: CLR  LCD_RS
              MOV  A, LCD_ADDR
              SETB ACC.7
              MOV  P0, A
              ACALL LCD_CLK
              RET

WRCHAR_LCD:  SETB  LCD_RS
              MOV   P0, LCD_DATA
              ACALL LCD_CLK
              ACALL LCD_ON
              RET

WRLINE_LCD:  MOV   R0, #0
WRLINE_LCD_1: SETB LCD_RS
              CLR   A
              MOVC A, @A+DPTR
              MOV   P0, A
              ACALL LCD_CLK
              INC   DPTR
              INC   R0
              CJNE R0, #8, WRLINE_LCD_1
              ACALL LCD_ON
              RET

LCD_DELAY:   MOV   R7, #002H
LCD_DELAY_1: MOV   R6, #0E6H
LCD_DELAY_2: NOP
              NOP
              DJNZ R6, LCD_DELAY_2
              DJNZ R6, LCD_DELAY_1
              RET

DELAY_50uS:  MOV   R6, #00CH
DELAY_50uS_1: NOP
              NOP
              DJNZ R6, DELAY_50uS_1
              RET

DELAY_100uS: MOV   R6, #017H
DELAY_100uS_1: NOP
              NOP
              DJNZ R6, DELAY_100uS_1
              RET

DELAY_1MS:   MOV   R6, #0E6H
DELAY_1MS_1: NOP
              NOP
              DJNZ R6, DELAY_1MS_1
              RET

DELAY_10MS:  MOV   R7, #010
DELAY_10MS_1: MOV   R6, #0E6H
DELAY_10MS_2: NOP
              NOP
              DJNZ R6, DELAY_10MS_2
              DJNZ R7, DELAY_10MS_1
              RET

```

```

DELAY_100MS:MOV   R7,#100
DELAY_100MS_1:MOV  R6,#0E6H
DELAY_100MS_2:NOP
                NOP
                DJNZ  R6,DELAY_100MS_2
                DJNZ  R7,DELAY_100MS_1
                RET
DELAY_1S:      MOV   R5,#100
DELAY_1S_1:    ACALL DELAY_10MS
                DJNZ  R5,DELAY_1S_1
                RET

REL_100MS:    MOV   R1,#197
BB:           MOV   R2,#253
AA:           DJNZ  R2,AA
                DJNZ  R1,BB
                RET

REL_2MS:      MOV   R1,#4
DD:           MOV   R2,#249
CC:           DJNZ  R2,CC
                DJNZ  R1,DD
                RET

REL_10MS:     MOV   R1,#20
FF:           MOV   R2,#249
EE:           DJNZ  R2,EE
                DJNZ  R1,FF
                RET

REL_20MS:    MOV   R1,#40
HH:           MOV   R2,#249
GG:           DJNZ  R2,GG
                DJNZ  R1,HH
                RET

REL_1S:      MOV   R1,#245
JJ:           MOV   R2,#255
II:           NOP
                NOP
                NOP
                NOP
                NOP
                NOP
                NOP
                NOP
                NOP
                NOP
                NOP
                NOP
                NOP
                NOP
                NOP
                NOP
                NOP
                NOP
                NOP
                NOP
                DJNZ  R2,II
                DJNZ  R1,JJ
                RET

PJ11:        DB    ' P&J  P='
PJ12:        DB    ' .   PSI'
PJ21:        DB    'T=   . C'
PJ22:        DB    ' RH=  %!'

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H11: DB 'Environm'
H12: DB 'ent '
H21: DB 'Monitor '
H22: DB '
END



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ช่วยคอยดูแล คำว่ากล่าว ให้อภัยกันได้ ขอขอบพระคุณ อาจารย์ นภัทร สระเอี่ยม ที่ให้ที่หลบนอน จนถึงคำแนะนำที่มีประโยชน์มากมาย และขอบคุณสำหรับพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ที่คอยชักจูงไปในทางที่ดี สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบริษัท Gravity Corporation ที่สร้างสรรค์เกม Ragnarok Online ที่ทำให้ผมเกือบไม่จบ , บริษัท 3DO สำหรับ Hero Might and Magic 3 เพื่อการผ่อนคลาย และ บริษัท Blizzard สำหรับ Starcraft ที่ช่วยสร้างสัมพันธ์อันดีระหว่างพี่น้องและผองเพื่อน



หนังสืออ้างอิง

- ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล. เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช. อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด, กรุงเทพฯ, 2542
- ปราโมทย์ วาดเขียน, วิวัฒน์ กิรานนท์. พื้นฐานการสื่อสารข้อมูล. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ คุรุสภาลาดพร้าว, 2536
- วิวัฒน์ กิรานนท์. วิศวกรรมการสื่อสาร Communication Engineering. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540
- สมยศ จุณณะปิยะ. Microcontroller Application. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543
- สุนทร วิทสุรพจน์. การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), เอช.เอ็น. กรุป จำกัด, 2537
- Adel S. Sedra, Kenneth C. Smith. Microelectronic Circuits. New York:Oxford University Press, Inc, 1998
- Boylestad, Robert and Loui Nashelsky. Electronic Devices and Circuit theory. Englewood Cliffs, N.J.: Printice Hall, 1992
- Malvino Albert Paul. Electronic Principles. Singapore: McGraw-Hill Book Co., 1993
- Stalling, William. Data and Computer Communication. Upper Saddle River, N.J. : Printice Hall, 2000
- Valkenburg, M.E. Analog Filter Design. U.S.A. : Holt, Rinehart and Winston, Inc., 1982