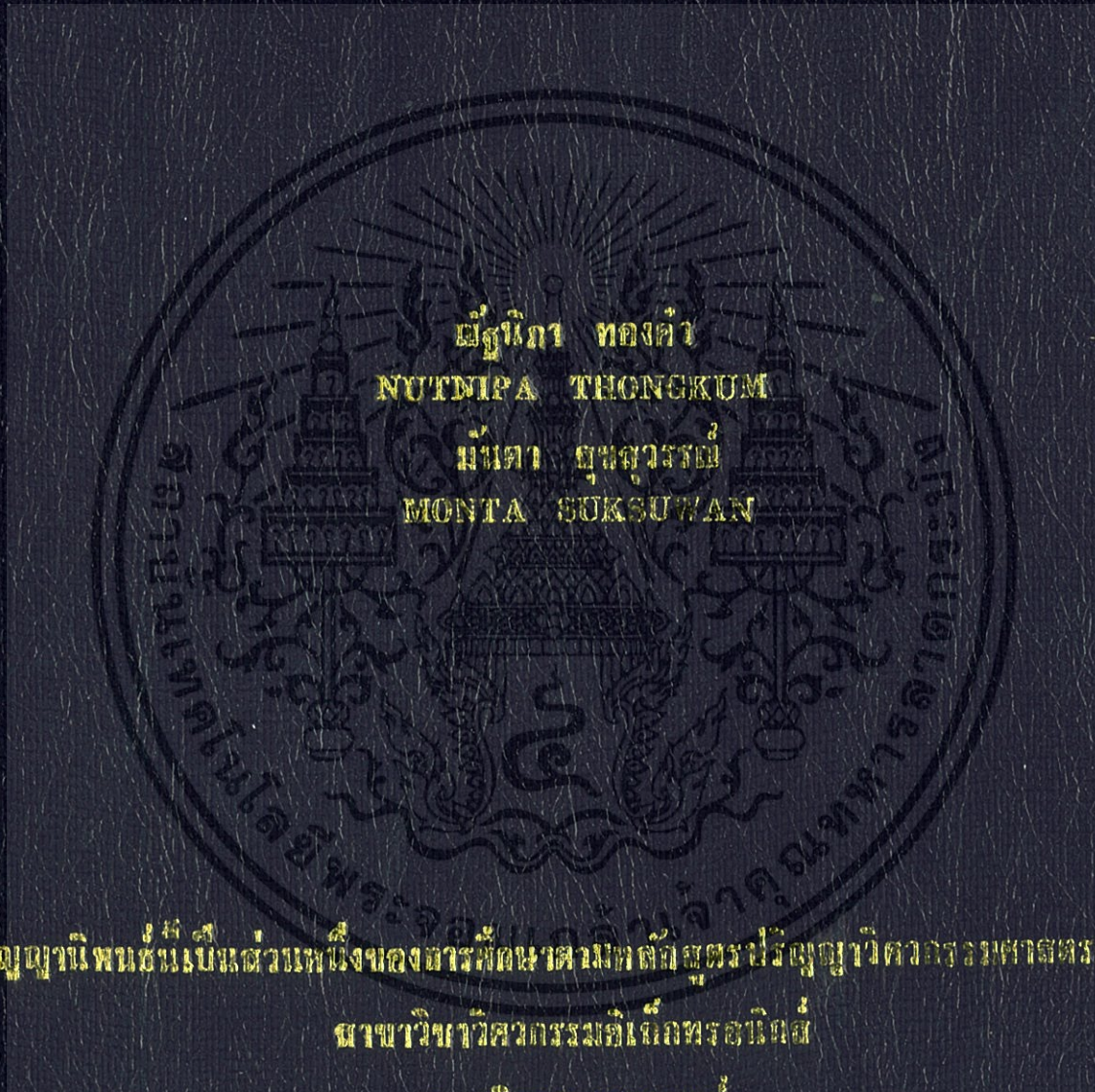


รีโมทคอนโทรลบ้านขายไฟฟ้า  
AC LINE REMOTE CONTROL



ปริญญาโทชั้นโท เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

# รีโมทคอนโทรลผ่านสายไฟบ้าน

AC LINE REMOTE CONTROL



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง รีโมทคอนโทรลผ่านสายไฟบ้าน

AC LINE REMOTE CONTROL

ผู้จัดทำ นางสาวณัฐนิภา ทองคำ รหัสประจำตัว 53010468

นางสาวมันตา สุขสุวรรณ รหัสประจำตัว 53011302

ปริญญาานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว





( ผศ.ประภากร สุวรรณะ )

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาานิพนธ์	รีโมทคอนโทรลผ่านสายไฟบ้าน
นักศึกษา	น.ส.ณัฐนิภา ทองคำ รหัสประจำตัว 53010468 น.ส.มันตา สุขสุวรรณ รหัสประจำตัว 53011302
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์	ผศ.ประภากร สุวรรณะ

### บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้อธิบายเกี่ยวกับการสร้าง และการออกแบบอุปกรณ์ควบคุมโดยมีการส่งผ่านสัญญาณควบคุมผ่านทางตัวนำสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับอุปกรณ์ดังกล่าวประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ภาคส่งสัญญาณ และภาครับสัญญาณ โดยภาคส่งสัญญาณมีค่าความถี่คลื่นพาห์ 4 ช่อง คือ 250kHz, 275kHz, 300kHz, 325kHz ตามลำดับใช้วงจร Phase Lock Loop ที่มีความถี่อ้างอิง 25 kHz และมีการ Modulation แบบ Digital Modulation ส่งข้อมูลผ่าน AC Line Driver โดยมีการเข้ารหัสคำสั่งก่อนส่งข้อมูล ภาครับสัญญาณประกอบด้วยวงจรป้องกันแรงดัน วงจรขยาย ทำหน้าที่ขยายสัญญาณไฟฟ้าที่ได้รับและ วงจร FM Demodulation โดยใช้หลักการ Quadrature Detector ทำหน้าที่ Demodulated สัญญาณไฟฟ้าที่ได้รับจากวงจรขยายเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ได้ออกตรงที่สุดเป็นชุดคำสั่งเพื่อนำไปควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อไป



Thesis Title	AC Line Remote Control	
Student	Miss.NUTNIPA THONGKUM	Student ID 53010468
	Miss.MONTA SUKSUWAN	Student ID 53011302
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Electronics Engineering	
Year	2013	
Thesis Advisor	Ass. Prof. Prapakorn Suwanna	

## ABSTRACT

This report describes a design and implementation of an AC Line Remote Control. The remote control consists of two parts which are a transmitter and a receiver. The transmitter uses 4 signal carrier modulation with 250 kHz, 275 kHz, 300 kHz, 325 kHz carrier. Phase Lock Loop Circuit has reference frequency 25 kHz and Transmitter part has a Digital Modulation with AC Line Driver. It has transmit by encoder circuit. Receiver part include a HV Protect circuit, Amplifier circuit and Quadrature Detector Demodulator circuit which is used to Demodulator signal to be Data and It has control electronics device.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการและรายงานเรื่องรีโมทคอนโทรลผ่านสายไฟบ้าน( AC Line Remote Control ) นี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีต้องขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาอาจารย์ประภากร สุวรรณะ ที่ให้คำแนะนำตลอดการทำงานคอยเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ในการทำโครงการครั้งนี้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ต้องขอขอบคุณทุกท่านที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือตลอดมา

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบคุณและขอบใจครอบครัวและเพื่อนๆของคณะผู้จัดทำที่คอยให้กำลังใจและถามไถ่ความเป็นไปของโครงการอยู่เสมอทำให้คณะผู้จัดทำมีกำลังใจที่จะทำโครงการและรายงานฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วง



ณัฐนิภา ทองคำ  
มันตา สุขสุวรรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....	1
1.3 สมมติฐานของงาน.....	1
1.4 ทฤษฎีและแนวคิดที่ใช้.....	1
1.5 ขอบเขตงาน.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎี องค์ประกอบและหลักการทำงานของรีโมทคอนโทรลผ่านสายไฟบ้าน ( AC Line Remote Control).....	3
2.1 โครงสร้างพื้นฐานของรีโมทคอนโทรลผ่านสายไฟบ้าน ( AC Line Remote Control).....	3
2.1.1 ภาคส่งสัญญาณ.....	3
2.1.2 ภาครับสัญญาณ.....	3
2.2 คุณสมบัติของไฟฟ้ากระแส.....	4
2.2.1 ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current).....	4
2.2.2 ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current).....	5
2.3 สายส่งกำลัง (Transmission Line) .....	6
2.3.1.ประเภทของสายส่งกำลัง.....	6
2.4 การสูญเสียในสายส่งกำลัง.....	8
2.4.1 Copper Losses.....	8
2.4.2 Dielectric Losses.....	9
2.4.3 Radiation and Induction Losses.....	9
2.5 Equivalent Circuit ของสายส่งกำลัง.....	9
2.6 Characteristic Impedance ของสายส่งกำลัง.....	10
2.7 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ(Comparator).....	11
2.7.1 คุณสมบัติของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ.....	11
2.7.2 เทคนิคการเพิ่มสมรรถภาพของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบลูปเปิด.....	11
2.8 การมอดูเลตสัญญาณ (Modulation).....	12
2.8.1. การมอดูเลชันแบบอนาล็อก (Analog Modulation).....	12
2.8.2. การมอดูเลชันแบบดิจิทัล (Digital Modulation).....	13
2.9 วงจร phase-locked loop.....	14

## สารบัญ(ต่อ)

2.9.1	ภาคตรวจจับเฟสหรือตัวเปรียบเทียบสัญญาณ.....	14
2.9.2	ภาคกรองความถี่ต่ำผ่านหรือภาคกรองความถี่สูง.....	14
2.9.3	ภาคกำเนิดสัญญาณควบคุมด้วยแรงดัน.....	14
2.10	การประยุกต์ใช้งาน phase-locked loop ( PLL Applications ).....	15
2.10.1	วงจรสังเคราะห์ความถี่ (Frequency Synthesizers).....	15
2.10.2	การดีมอดูเลตและการมอดูเลต สัญญาณ.....	16
2.11	วงจรกรองความถี่ (Filter Circuit).....	17
2.11.1	วิธีการประมาณผลตอบสนองทางความถี่.....	18
2.12	การไบอัสวงจรทรานซิสเตอร์ (Transistor Biasing Circuit).....	19
2.12.1	คอมมอนอิมิตเตอร์ (Common Emitter).....	19
2.13	ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	21
2.13.1	PIC ชนิดต่างๆ.....	21
2.13.2	OSCILLATOR ที่ใช้กับ PIC.....	22
2.14	การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมได้โดยการใช้โมดูล USART.....	23
2.14.1	ซิงโครนัส.....	23
2.14.2	อะซิงโครนัส.....	23
2.15	วงจร FM Demodulator.....	24
2.15.1	Quadrature Detector.....	24
บทที่ 3	การคำนวณการคำนวณและออกแบบรีโมทคอนโทรลผ่านสายไฟบ้าน ( AC Line Remote Control).....	25
3.1	คุณสมบัติของรีโมทคอนโทรลผ่านสายไฟบ้าน ( AC Line Remote Control ).....	25
3.1.1	ภาคส่งสัญญาณ.....	25
3.1.2	ภาครับสัญญาณ.....	25
3.2	การออกแบบรีโมทคอนโทรลผ่านสายไฟบ้าน ( AC Line Remote Control ).....	25
3.2.1	วงจร Microcontroller.....	25
3.2.2	วงจรถ่าย 2 <sup>N</sup> Crystal Oscillator.....	40
3.2.3	วงจร Voltage Controlled Oscillator.....	41
3.2.4	วงจร Low Pass Filter สำหรับ PLL Frequencies Synthesizer ภาครับสัญญาณ.....	45
3.2.5	วงจรถ่าย N.....	48
3.2.6	วงจร Demodulator และ Filter.....	49
3.2.8	วงจร Comparator.....	51
บทที่ 4	วิธีการทดสอบและผลการทดสอบรีโมทคอนโทรลผ่านสายไฟบ้าน ( AC Line Remote Control ).....	53
4.1	การทดสอบวงจร Phase Locked Loop.....	53
4.2	การทดสอบวงจร Microcontroller.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

4.3 การทดสอบวงจร Modulation.....	58
4.4 การทดสอบวงจร Drive 3 เฟส.....	58
4.5 การทดสอบวงจร Demodulate.....	59
4.6 การทดสอบวงจร Comparator.....	59
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบคุณสมบัติของรีโมทคอนโทรลผ่านสายไฟบ้าน ( AC Line Remote Control).....	60
บรรณานุกรม.....	61
ภาคผนวก .....	62
Schematic วงจร Microcontroller ภาคส่งสัญญาณ.....	63
Schematic วงจร Modulation ภาคส่งสัญญาณ.....	64
Schematic วงจร Driver 3 Phase ภาคส่งสัญญาณ.....	65
Schematic วงจร FM Demodulator ภาครับสัญญาณ.....	66
Schematic วงจร PLLภาครับสัญญาณ.....	67
Schematic วงจร Microcontrollerภาครับสัญญาณ.....	68
Schematic วงจร Power Supply.....	69
Schematic วงจรควบคุมอุปกรณ์ทางไฟฟ้า.....	69

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตารางแสดงความถี่ RF ,LO ,IM และ Channel ของสัญญาณ.....	50
4.1 ผลการทดลองภาคกำเนิดสัญญาณควบคุมด้วยแรงดัน (VCO ) เมื่อทดสอบอุปกรณ์ MC14046B โดยใช้ค่า $R_1 = 1.5 \text{ k}\Omega$ $R_2 = 33 \text{ k}\Omega$ $c_1 = 150 \text{ pF}$ .....	53
4.2 ผลการทดสอบวงจรหาร $2^n$ Crystal Oscillator สัญญาณความถี่อ้างอิง $F_{ref}$ จาก อุปกรณ์MC14046.....	54
4.3 ผลการทดลองวงจรสังเคราะห์ความถี่ภาคส่งสัญญาณที่ประกอบด้วยวงจรหารNจากอุปกรณ์ HC40103 ใช้ในระบบ PLLจากอุปกรณ์ MC14046.....	54
4.4 ผลการทดลองวงจรสังเคราะห์ความถี่ภาครับสัญญาณที่ประกอบด้วยวงจรหารNจากอุปกรณ์ HCF40103 ใช้ในระบบ PLLจากอุปกรณ์ MC14046.....	55
4.5 ผลการทดสอบการรับข้อมูลจาก USER ภาคส่งสัญญาณ.....	56
4.6 ผลการทดสอบการรับข้อมูลจาก USER ภาครับสัญญาณ.....	57
4.7 ผลการทดสอบสัญญาณที่วงจรมอดูเลต.....	58
4.8 ผลการทดสอบวงจร Drive 3 เฟส.....	58
4.9 ผลการทดสอบวงจร Demodulate.....	59
4.10 ผลการทดสอบวงจร Comparator.....	59

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 บล็อกไดอะแกรมภาคส่งสัญญาณ ( Transmission).....	3
2.2 บล็อกไดอะแกรมภาครับสัญญาณ ( Receiver ).....	3
2.3 บล็อกไดอะแกรมวงจร Phase Locked Loop.....	4
2.4 ตัวอย่าง อุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	5
2.5 ลักษณะไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส.....	5
2.6 ลักษณะไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส.....	6
2.7 สายคู่ขนานแบบ Parallel Two-Wire Line.....	6
2.8 สายคู่ขนานแบบ Two-Wire Ribbon.....	7
2.9 สายคู่ทวนเกลียว (Twist Pair).....	7
2.10 สายหุ้มชีลด์ (Shield Pair).....	7
2.11สายส่งกำลังแบบ Coaxial.....	8
2.12 Equivalent circuit of a Two Wire Transmission Line.....	10
2.13 สัญลักษณ์ของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ.....	11
2.14 ผลของสัญญาณรบกวนต่อการทำงานของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ.....	11
2.15 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่มีฮิสเตอร์ซิส.....	11
2.16 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบกลับเฟสที่มีการเลื่อนฮิสเตอร์ซิส.....	12
2.17 ลักษณะสัญญาณการ Modulate แบบ AM , PM , FM.....	13
2.18 ลักษณะสัญญาณการ Modulate แบบ ASK , FSK , PSK.....	14
2.19 บล็อกไดอะแกรมวงจร PLL.....	14
2.20 บล็อกไดอะแกรมของวงจรสังเคราะห์ความถี่โดยใช้ระบบ PLL.....	15
2.21 บล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์ MC4046 ที่ใช้ในวงจรสังเคราะห์ความถี่ โดยใช้ระบบ PLL.....	16
2.22 การติมอดูเลตสัญญาณ FM โดยใช้ PLL.....	16
2.23 การมอดูเลตเฟส (phase modulation) โดยใช้ PLL.....	16
2.24 การประมาณแบบบัตเตอร์เวิร์ต.....	18
2.25 การประมาณแบบเซบิเชฟ.....	18
2.26 ผลการตอบสนองทางความถี่.....	19
2.27 การวิเคราะห์หาจุดทำงานของวงจรอิมิตอร์ไบอัส.....	20
2.28 Chip แบบ EEPROM.....	22
2.29 QUARTZ CRYSTAL OSCILLATOR.....	23
2.30 บล็อกไดอะแกรมของวงจรทวิคูณ.....	24
2.31 บล็อกไดอะแกรม ไอซี MC 3361 ในวงจร FM Demodulation.....	24
3.1 บล็อกไดอะแกรมของ วงจรหาร $2^N$ Crystal Oscillator.....	40
3.2 วงจรหาร $2^N$ Crystal Oscillator ที่ใช้งานจริง.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3 วงจร Voltage Controlled Oscillator ที่ใช้งานจริง.....	41
3.4 รูปแบบวงจร Passive Loop LPF ภาคส่งสัญญาณ.....	42
3.5 วงจร Low Pass Filter ภาคส่งสัญญาณที่ใช้งานจริงเพื่อ Modulation กับวงจร Microcontroller.....	45
3.6 รูปแบบวงจร Passive Loop LPF ภาครับสัญญาณ.....	45
3.7 วงจร Low Pass Filter ภาครับสัญญาณที่ใช้งานจริง.....	48
3.8 วงจรหาร N.....	48
3.9 วงจรหาร N ที่ใช้งานจริง.....	49
3.10 กราฟการตอบสนองความถี่ของวงจร Chebyshev Filter with 0.5 dB ripple.....	49
3.11 รูปแสดงตารางค่าอุปกรณ์ต่างๆ ในวงจร Chebyshev Filter 0.5 dB.....	50
3.12 รูปวงจร Chebyshev Filter 0.5 dB , $n = 3$ .....	51
3.13 วงจร Comparator with Hysteresis.....	51
3.14 วงจร Comparator with Hysteresis ที่ใช้งานจริง.....	52
4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $VCO_{in}$ กับ $F_{out}$ ใช้ค่า $R_1 = 1.5 \text{ k}\Omega$ $R_2 = 33 \text{ k}\Omega$ $c_1 = 150 \text{ pF}$ .....	53

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการใช้อุปกรณ์ควบคุมระยะไกลมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ โดยอุปกรณ์ชนิดนี้แตกต่างกันออกไปเนื่องจากใช้ตัวกลางในการสื่อสารต่างกันออกไป มีทั้งการใช้อินฟราเรด บลูทูธ ไร้เลส เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดก็มีลักษณะการใช้งานแตกต่างกันออกไป

AC Line Remote Control เป็นอุปกรณ์ควบคุมระยะไกลอีกชนิดหนึ่งที่มีความเหมาะสมในการนำมาควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระยะไกลเนื่องจากมีข้อดี คือสามารถสื่อสารได้ในระยะไกลโดยมีตัวกลางเป็นสาย AC ซึ่งมีอยู่จำนวนมาก โดยทั่วไปตามอาคารต่าง ซึ่งสามารถส่งสัญญาณได้ในระยะไกล และมีราคาถูกเนื่องจากไม่มีค่าใช้จ่ายในส่วนของตัวกลาง ดังนั้น AC Line Remote Control จึงมีความน่าสนใจเป็นอย่างมาก

### 1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาคุณสมบัติและการออกแบบ AC Line Remote Control รวมถึงวงจรภายในทั้งส่วนของภาครับและภาคส่งสัญญาณ เพื่อให้สามารถสร้าง AC Line Remote Control เพื่อนำไปควบคุมอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ได้และศึกษาคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในวงจรที่ออกแบบ

### 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การทำงานของวงจรทั้งส่วนของภาครับและภาคส่งจะทำงานได้ในระยะที่กำหนดขึ้นอยู่กับการใช้อุปกรณ์ในวงจรรวมถึงการออกแบบ โดยต้องออกแบบวงจรให้เหมาะสมให้วงจรในภาคส่งสามารถส่งพลังงานถึงภาครับได้อย่างพอเพียงและภาครับต้องสามารถรับข้อมูลและถอดรหัสข้อมูลได้อย่างถูกต้อง

### 1.4 ทฤษฎีและแนวคิดที่ใช้

การออกแบบวงจร AC Line Remote Control ต้องประกอบไปด้วยการรับสัญญาณและภาคส่งสัญญาณ โดยภาคส่งสัญญาณมีการเข้ารหัสสัญญาณ จากนั้นจะมีการมอดูเลชันแบบดิจิตอล จากนั้นจะมีการส่งสัญญาณผ่านสาย AC โดยใช้ Driver และในส่วนของภาครับสัญญาณ จะมีการดีมอดูเลชันสัญญาณโดยใช้หลักการของวงจร Quadrature Detect จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้ไปขยายและถอดรหัสสัญญาณเพื่อใช้ควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 ขอบเขตการวิจัย

รายงานนี้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการสร้างและออกแบบ AC Line Remote Control ทั้งหมดซึ่งประกอบไปด้วยการคำนวณค่าต่างๆ ที่นำมาใช้ในวงจร รวมทั้งการออกแบบวงจรมอดูเลชันแบบดิจิตอล เพื่อนำไปใช้ในการส่งข้อมูลไปยังภาครับสัญญาณ และการนำสัญญาณที่ได้จากภาครับมาใช้ในการทดสอบผลการทำงานของ AC Line Remote Control



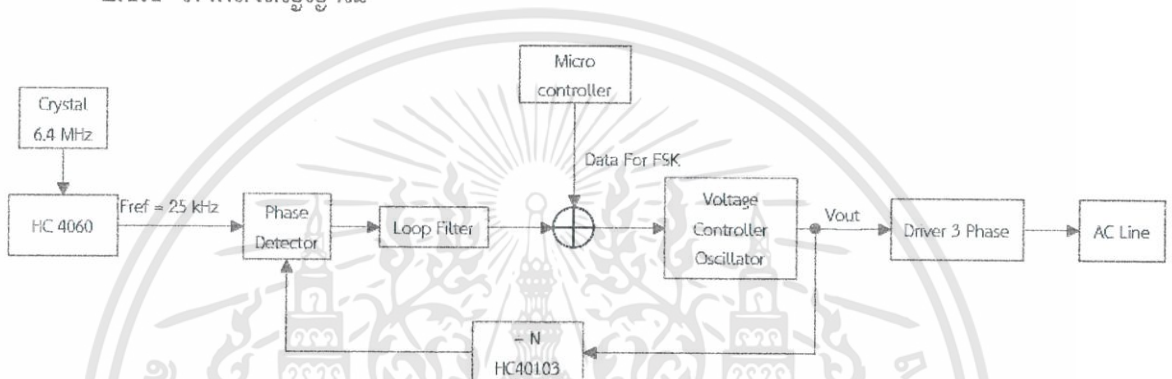
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎี องค์ประกอบและหลักการทำงานของรีโมทคอนโทรลผ่านสายไฟบ้าน ( AC Line Remote Control )

## 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของรีโมทคอนโทรลผ่านสายไฟบ้าน ( AC Line Remote Control )

### 2.1.1 ภาคส่งสัญญาณ



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรม ภาคส่งสัญญาณ ( Transmission )

วงจรในส่วนของภาคส่งสัญญาณจะประกอบด้วย

- วงจร Micro Processor

วงจร Micro Processor มีหน้าที่สร้างชุดข้อมูลคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆซึ่งในชุดคำสั่งประกอบไปด้วย Address ของอุปกรณ์รับคำสั่ง ชุดคำสั่งที่ต้องการส่ง โดย Microprocessor จะถูกโปรแกรมด้วย C Language

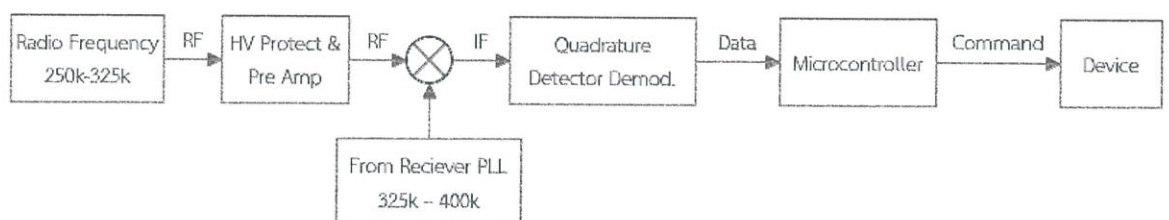
- วงจร Phase Lock Loop

วงจร Phase Locked Loop ทำหน้าที่สร้างสัญญาณคลื่นพาห้จำนวน 4 Channel คือ 250 kHz , 275 kHz , 300 kHz และ 325 kHz เพื่อใช้ในการมอดูเลชั่นแบบดิจิตอล

- วงจร Driver 3 เฟส

วงจร Line Driver มีหน้าที่ขับสัญญาณที่ผ่านการมอดูเลชั่น ออกสู่ AC Line

### 2.1.2 ภาครับสัญญาณ



รูปที่ 2.2 บล็อกไดอะแกรม ภาครับสัญญาณ ( Receiver )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรในส่วนของภาครับสัญญาณประกอบไปด้วย

- วงจร HV Protect & Pre Amp

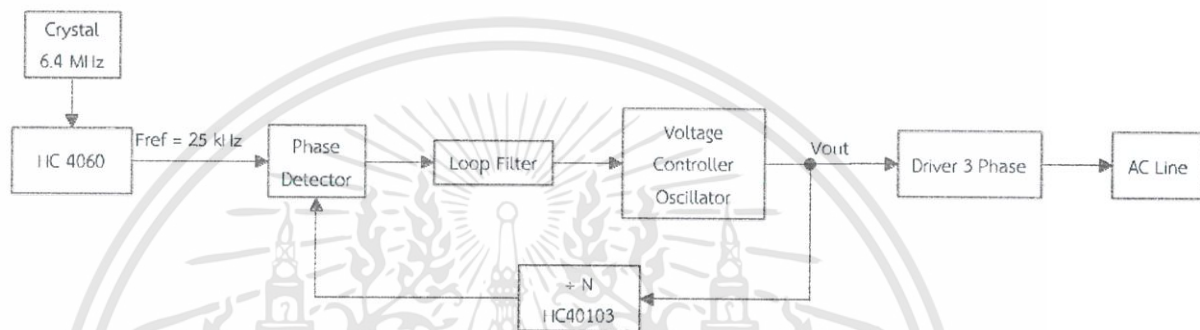
ทำหน้าที่ป้องกันแรงดันไฟฟ้า AC จากสาย AC และทำหน้าที่ขยายสัญญาณใน Stage แรก

- วงจร Mixer

ทำหน้าที่เป็น Mixer กับความถี่ Local Oscillator เพื่อให้ได้ความถี่ 75 kHz เพื่อนำไปผ่าน วงจร Low-Pass และ Amplifier ต่อไป

- วงจร Phase Lock Loop

วงจร Phase Locked Loop ทำหน้าที่สร้างสัญญาณความถี่โลคอลลอสซิลเลเตอร์  $F_{LO} = 325 \text{ kHz}, 350 \text{ kHz}, 375 \text{ kHz}$  และ  $400 \text{ kHz}$  โดยใช้ความถี่อ้างอิง  $F_{REF} = 25 \text{ kHz}$



รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรม วงจร Phase Locked Loop

- วงจร Low-Pass Filter & Amplifier

ทำหน้าที่เป็น Filter เพื่อกำจัดความถี่ที่ไม่ต้องการจากวงจร Mixer

- วงจร Quadrature Detector Demodulator

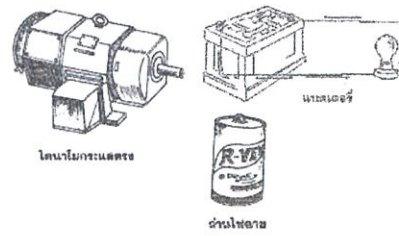
ทำหน้าที่เป็นวงจร Demodulator โดยใช้หลักการของการเลื่อนเฟสของสัญญาณเมื่อผ่านวงจรเลื่อนเฟสโดยใช้หลักการของการเลื่อนเฟสของสัญญาณเมื่อใช้ Capacitance และ Inductance ที่ทำให้เฟสของสัญญาณเปลี่ยนไปประมาณ  $90^\circ$

## 2.2 คุณสมบัติของไฟฟ้ากระแส

ไฟฟ้ากระแสไฟฟ้ากระแส เป็นไฟฟ้าที่ใช้ในบ้านพักอาศัยและในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป ไฟฟ้ากระแสสามารถแบ่งได้ 2 ชนิดคือ

### 2.2.1 ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current)

หมายถึงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสที่มีทิศทางเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าไปในทิศทางเดียวกันเป็นวงจรเช่น กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ (Battery) ถ่านไฟฉายเซลล์สุริยะ ไดนาโม กระแสตรง เป็นต้น



รูปที่ 2.4 ตัวอย่าง อุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง

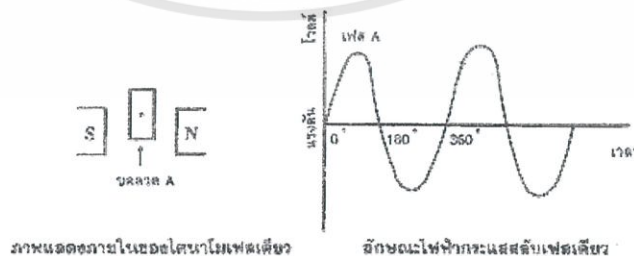
## 2.2.2 ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current)

ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current) หมายถึงกระแสไฟฟ้าที่มีการสลับสับเปลี่ยนชั่วอยู่ตลอดเวลาอย่างสม่ำเสมอทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าก็จะเปลี่ยนสลับไปมาจากบวก-ลบและจากลบ-บวก อยู่ตลอดเวลาซึ่งไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้าที่ใช้กันตามบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปเมื่อนำไฟฟ้ากระแสสลับมาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับมุมที่เปลี่ยนไปเมื่อเวลาผ่านไป ในขณะที่เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าจะได้รับความสัมพันธ์ของกราฟเป็นเส้นโค้งสลับขึ้นลงไปมาซึ่งหมายถึงเมื่อเวลาผ่านไปแรงดันไฟฟ้าจะสลับการไหลตลอดเวลาการไหลของกระแสสลับกลับไปกลับมาครบ 1 รอบเรียกว่า 1 ไซเคิล (cycle) หรือ 1 รูปคลื่นและจำนวนรูปคลื่นทั้งหมดในเวลาที่ผ่านมาไป 1 วินาที เรียกว่า ความถี่ (frequency) ซึ่งความถี่ไฟฟ้ามีหน่วยวัดเป็นรอบต่อวินาทีหรือรูปคลื่นต่อวินาทีหรือไซเคิลต่อวินาทีมีหน่วยย่อเป็น "เฮิร์ตซ์" (Hertz) สำหรับความถี่ไฟฟ้าในประเทศไทยเท่ากับ 50 เฮิร์ตซ์

โดยกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขดลวดตัวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งมีอยู่ 3 ชนิดคือ

1. ไฟฟ้ากระแสสลับ เฟสเดียว
2. ไฟฟ้ากระแสสลับ สองเฟส
3. ไฟฟ้ากระแสสลับ สามเฟส

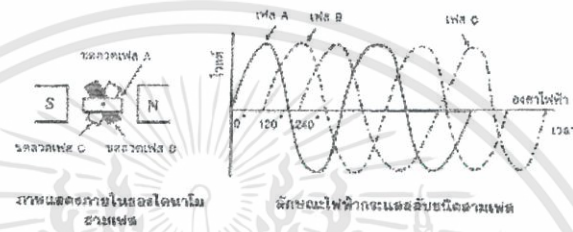
ไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ในบ้านพักอาศัยส่วนใหญ่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียว (Single Phase) ระบบการส่งไฟฟ้าจะใช้สายไฟฟ้า 3 สายคือ สายไฟฟ้า 1 เส้น (Line) และสายศูนย์ 1 เส้น (Neutral) หรือเราเรียกกันว่า สายดินอีก 1 เส้น สำหรับบ้านพักอาศัยในเมืองบางแห่งอาจจะใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดพิเศษจะต้องใช้ไฟฟ้าชนิดสามเฟส ซึ่งจะให้กำลังมากกว่า เช่นมอเตอร์เครื่องสูบน้ำในการบำบัดน้ำเสียลิฟต์ของอาคารสูง ๆ เป็นต้น



รูปที่ 2.5 ลักษณะไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส

ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสซึ่งเรานิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันเพราะให้แรงดันไฟฟ้าได้ 2 ระดับคือ 380 โวลต์ และ 220 โวลต์ รูปคลื่นแต่ละรูปคลื่นเรียกว่าเฟส A เฟส B และเฟส C ตามลำดับลักษณะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของการต่อขดลวดของหม้อแปลงแบบสามเฟสโดยทั่วไปทางด้านแรงดันต่ำจะมีสายไฟฟ้าทั้งหมด 4 เส้นสามเส้นแรกเป็นสายนำกระแสของสายเฟสทั้งสามคือเฟส A เฟส B และเฟส C ตามลำดับ ส่วนสายเส้นที่ 4 เป็นสายนิวทรัล (Neutral) หรือสายเป็นกลางทางไฟฟ้าถือว่าไม่มีไฟฟ้าเพราะสายเส้นนี้ต่อลงดินโดยปกติดินถือว่ามีความเป็นกลางหรือศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์โวลต์สำหรับระบบไฟฟ้าแรงต่ำในประเทศไทยที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปเป็นระบบ 3 เฟส 4 สาย 220/380 โวลต์ ระดับแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟสต่อเฟสเท่ากับ 380 โวลต์และเมื่อระดับแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟสกับนิวทรัลเท่ากับ 220 โวลต์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสนิยมนำไปใช้กับเครื่องจักรกลไฟฟ้าเช่น มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟสอักษรกำกับสายไฟฟ้ากำลัง สำหรับสายเฟสเป็น A ,B ,C และสายนิวทรัลคือ N บางระบบเป็น L1 ,L2, L3 และ N หรือ R ,S ,T และ N



รูปที่ 2.6 ลักษณะไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

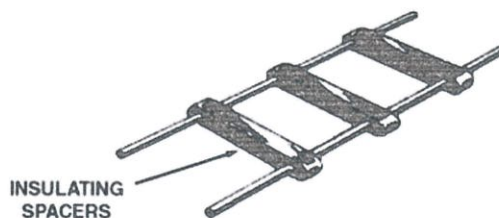
## 2.3 สายส่งกำลัง (Transmission Line)

สัญญาณที่ออกจากเครื่องส่งเป็นความถี่วิทยุซึ่งอาจมีกำลังส่งต่ำหรือสูงและในย่านความถี่ต่ำจนถึงย่านความถี่สูงสัญญาณจากเครื่องส่งนี้จะถูกส่งไปที่ Load หรือ Antenna โดยผ่านทางสายส่งกำลังซึ่งเป็นตัวนำที่สามารถรักษากำลังส่งให้มีการสูญเสียกำลังงานน้อยที่สุด

### 2.3.1 ประเภทของสายส่งกำลัง

#### 2.3.1.1 สายคู่ขนานแบบ Parallel Two-Wire Line

สายคู่ขนานแบบ Parallel Two-Wire Line หรือเรียกว่า “Two-Wire Open” โดยมีลวดตัวนำสองเส้นอยู่ห่างกันจนถึง 6 นิ้วหรือมากกว่ามีฉนวนเป็นแบบ Bar Insulated ทำด้วย Ceramic หรือ Polystyrene สายแบบนี้นิยมใช้ในการเดินเป็นสายไฟฟ้า โทรศัพท โทรเลข และบางครั้งใช้เป็นสายส่งกำลังระหว่างเครื่องรับ-ส่งกับ Antenna สายส่งกำลังแบบสายคู่ขนานมีข้อดีคือสร้างง่ายราคาถูกแต่มีข้อเสียคือมีการสูญเสียพลังงานการแพร่กระจายคลื่นมากและได้รับสัญญาณรบกวนมาก เพราะไม่มีกำบังหรือการ Shield การสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นเกิดขึ้นเพราะการเปลี่ยนแปลงของกระแสในตัวนำพลังงานบางส่วนจะแพร่กระจายออกไปจากสายส่งกำลังแบบนี้ได้

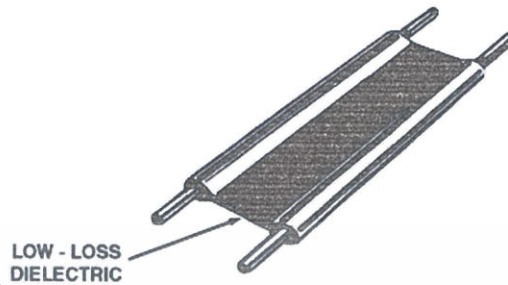


รูปที่ 2.7 สายคู่ขนานแบบ Parallel Two-Wire Line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1.2 สายคู่ขนานแบบ Two-Wire Ribbon

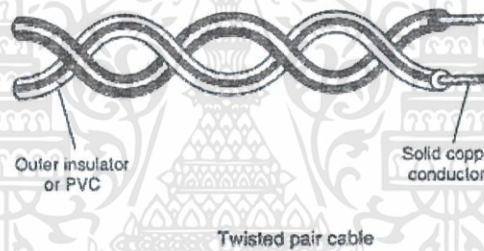
คุณลักษณะต่างๆของสายส่งกำลังแบบนี้เหมือนกับแบบ Two-Wire Open ต่างกันที่มีการหุ้มด้วยฉนวนที่มีการสูญเสียพลังงานน้อย เช่น โพลีเอทิลีนและทำให้เกิดค่า Dielectric ระหว่างสายทั้งสอง



รูปที่ 2.8 สายคู่ขนานแบบ Two-Wire Ribbon

### 2.3.1.3 สายคู่ควั่นเกลียว (Twist Pair)

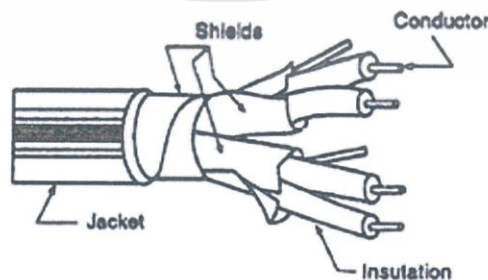
คือสายคู่หุ้มด้วยฉนวนบิดเป็นเกลียวสามารถอ่อนตัวได้ (Flexible) และไม่มีช่องว่างระหว่างเกลียวสายแบบนี้ไม่นิยมใช้งานกับความถี่สูงเนื่องจากการสูญเสียอย่างมากในฉนวนยางที่หุ้มและเมื่อเปรียบเทียบการสูญเสียกำลังงานก็จะเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.9 สายคู่ควั่นเกลียว (Twist Pair)

### 2.3.1.4 สายหุ้มชีลด์ (Shield Pair)

คือลวดตัวนำสองเส้นวางขนานกันหุ้มด้วยฉนวนโดยรอบก่อนที่จะห่อหุ้มด้วยทองแดงทำหน้าที่ Shield และถูกหุ้มด้วยฉนวนหรือสิ่งอื่นที่สามารถยืดหยุ่นได้เพื่อป้องกันการเป็ยกชื้นหรือเสียหายข้อดีของสายหุ้มชีลด์คือเป็นตัวนำที่สมดุลกับตัว Ground เพราะระยะห่างระหว่างสายจะเท่ากันตลอดและสามารถป้องกันการรบกวนจากสนามแม่เหล็กได้ด้วยเนื่องจากมี Shield โดยรอบ

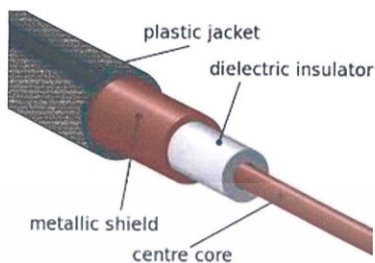


รูปที่ 2.10 สายหุ้มชีลด์ (Shield Pair)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1.5 Coaxial Line

สายส่งกำลังแบบ Coaxial มี 2 แบบคือแบบ Rigid หรือ Air Coaxial กับแบบ Flexible Coaxial Line โครงสร้างของสายส่งกำลังทั้งสองแบบมีตัวนำสองตัวที่จุดศูนย์กลางร่วมกัน (Two Concentric Conductors)



รูปที่ 2.11 สายส่งกำลังแบบ Coaxial

### 2.3.1.6 Wave Guide

เป็นสายส่งกำลังที่มีลักษณะเป็นหลอดโลหะข้างในกลวงการส่งพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าผ่าน Wave Guide นั้นจะช้ากว่าการส่งพลังงานผ่านที่ว่าง

## 2.4 การสูญเสียในสายส่งกำลัง

การสูญเสียในสายส่งกำลังมีด้วยกัน 3 ประเภทใหญ่ๆคือ

### 2.4.1 Copper Losses

#### 2.4.1.1 Power Loss ( $I^2R$ Loss)

เนื่องจากค่าความต้านทานของตัวนำทุกชนิดมีค่ามากกว่า 0 เมื่อมีกระแสไหลผ่านสายส่งกำลังทำให้เกิดการสูญเสียในรูปแบบของความร้อนการสูญเสียกำลังในลักษณะนี้คือ Power Loss ( $I^2R$  Loss) การลดค่าความต้านทานสามารถลดค่า Power Loss ได้ค่าความต้านทานของสายจะเป็นอัตราส่วนระหว่างความยาวกับพื้นที่หน้าตัดของสาย ( $R = L/A$ ) และการทำให้สายสั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้จะทำให้ช่วยลดค่าความต้านทานและช่วยลด  $I^2R$  Loss ด้วยการใช้สายส่งกำลังที่มีพื้นที่หน้าตัดมากก็เป็นสิ่งที่ต้องการเพราะสามารถช่วยลดการสูญเสียได้แต่การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้มีขีดจำกัด เพราะว่าการเปลี่ยนแปลงขนาดของสายจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้านความต้านทาน (Impedance) ของสาย

#### 2.4.1.2. Copper Loss

คือ Skin effect เมื่อกระแส DC ไหลผ่านตัวนำการเคลื่อนที่ของ Electrons ผ่านพื้นที่หน้าตัดของตัวนำจะเป็นแบบเดียวกันซึ่งจะแตกต่างกันเมื่อป้อนแรงไฟ AC ทำให้เกิดการพองตัวและยุบตัวของสนาม Electrons แต่ละตัวล้อมรอบ Electrons ตัวอื่นๆปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า “Self Induction” ซึ่งทำให้ Electrons ที่ถูกล้อมรอบเคลื่อนตัวได้ช้าลง คือพื้นที่หน้าตัดจะมีผลกระทบต่อการกระแสน้อยลงเมื่อมีความถี่เพิ่มขึ้นแต่ความต้านทานของสายเป็นอัตราส่วนกลับกับพื้นที่หน้าตัดและความต้านทานของสายจะเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่ที่ป้อนเข้าไปเพิ่มขึ้นเราสามารถเพิ่มค่าความนำ (Conductivity) ของสายโดยการฉาบหรือเคลือบด้วยเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.2 Dielectric Losses

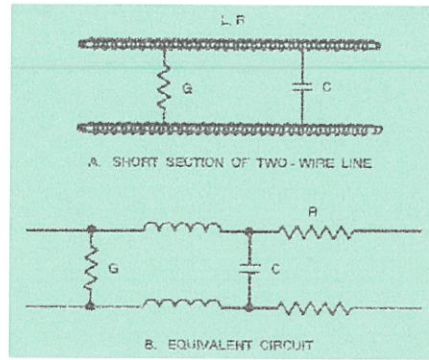
Dielectric Losses เป็นการสูญเสียเนื่องมาจากความร้อนที่เกิดขึ้นกับฉนวนที่กั้นอยู่ระหว่างตัวนำทั้งสองเมื่อความร้อนเกิดขึ้นจะทำให้สูญเสียกำลังงานซึ่งกำลังงานนั้นก็มาจากแหล่งจ่าย การเปลี่ยนแปลงทางเดินของ Electrons ใน Dielectric เปลี่ยนไปเพราะถูกผลักโดยขั้วลบของลวดตัวนำอันหนึ่งและถูกดูดโดยลวดตัวนำที่มีขั้วบวกอีกอันหนึ่งการเปลี่ยนแปลงทางเดินนี้จะต้องใช้กำลังงานจากแหล่งจ่ายและเป็นการเพิ่มการสูญเสียแต่โครงสร้างของอะตอมของฉนวนบางชนิดทำให้เกิด Dielectric ได้ยาก เช่น ฉนวนยางต้องใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายมากส่วนทางเดินของอะตอมบางชนิดทำให้เปลี่ยนไปได้ง่ายโดยใช้พลังงานเพียงเล็กน้อยเมื่อใช้อากาศเป็น Dielectric การสูญเสียที่เกิดขึ้นจะมีน้อยมากในกรณีที่ต้องใช้ของแข็งและให้มีการสูญเสียต่ำจะต้องใช้ฉนวนที่มีค่า Dielectric ต่ำ โพลีโรลีน เป็นสารที่สามารถยืดหยุ่นและมีการสูญเสียของ Dielectric มากกว่าอากาศแต่ยังน้อยกว่าสารชนิดอื่นๆที่มีราคาถูกพอ

## 2.4.3 Radiation and Induction Losses

สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นรอบๆตัวนำ เป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียในสายส่งกำลังได้ การสูญเสียก็คือสนามไฟฟ้าเกิดการชาร์จระหว่างตัวนำที่อยู่ใกล้กันในขณะที่เดียวกันการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กชักนำให้เกิด EMF (Electromagnetic Field) ในตัวนำที่อยู่ใกล้กันในแต่ละสาเหตุที่กล่าวมาจะทำให้พลังงานสูญเสียไปเราสามารถลดการสูญเสียในแบบ Radiation และ Induction Losses ได้โดยการต่อตัวต้านทานที่มีค่าเท่ากับความต้านทานของสายส่งกำลังเข้ากับสายส่งกำลังนั้น และทำการ Shield ด้วยวิธีการใช้สาย Coaxial โดยต่อตัวนำภายนอกของสาย Coaxial เข้าร่วมกับ Ground

## 2.5 Equivalent Circuit ของสายส่งกำลัง

ปลายข้างหนึ่งของสายส่งกำลังจะต่ออยู่กับ Source หรือเรียกว่า Generator End หรือ Input End ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งของสายถ้าต่ออยู่กับ Load เรียกว่า Load End หรือ Receiving End คุณสมบัติของสายส่งกำลังขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสาย ดังนั้นสายจะเปรียบเสมือน Capacitor ยาวๆ ซึ่งค่า  $X_c$  ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นรอบๆตัวนำเมื่อมีพลังงานไฟฟ้าผ่านสายส่งกำลังจึงมีค่า Inductance ซึ่งค่า C และ L ที่เกิดขึ้นนี้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของสายส่วนค่า Reactance ขึ้นอยู่กับความถี่ที่ป้อนเข้าไปทำให้ Electrons เคลื่อนที่จากตัวนำหนึ่งไปอีกตัวนำหนึ่งโดยผ่าน Dielectric ทำให้เกิดค่าความนำ (Conductance) ในสายส่งกำลัง ค่าความนำ นี้เปรียบเหมือนกับค่าของกระแสที่ไหลผ่านฉนวนคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสายส่งกำลังที่ได้กล่าวมานี้เรียกว่า “ Distributed Constance ” ถ้าสายนั้นมีสภาพเดียวกัน (แต่ละช่วงมีความยาวคุณสมบัติทางไฟฟ้าเท่ากัน) เราจะสามารถแทนค่าของสายส่งกำลังในช่วงสั้นๆได้ดังรูป



รูปที่ 2.12 Equivalent circuit of a Two Wire Transmission Line

## 2.6 Characteristic Impedance ของสายส่งกำลัง

สายที่มีความยาวจะประกอบด้วยค่า  $L$  และ  $C$  ไม่รู้จบ มีแรงไฟฟ้าป้อนเข้าสู่ปลายสายทาง Input จะมีกระแสไหลกระแสนี้จะไหลจนกว่าจะเกิดการเปลี่ยนค่า  $L$  และ  $C$  กระแสจึงไหลไปไม่สิ้นสุด ในแต่ละส่วนมีลักษณะเช่นเดียวกันและมีความยาวเท่ากันย่อมต้องมีค่า Impedance เท่ากัน ดังนั้นไม่ว่าจะวัดที่จุดใดภายในสายส่งกำลังนั้นค่า  $Z_0$  หรือ Characteristic Impedance จะต้องเท่ากันทุกจุดสำหรับค่า  $Z_0$  หรือ Characteristic Impedance

ดังนั้น

$$Z_0 = \sqrt{X_L X_C} \quad (2.1)$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.2)$$

ดังนั้น  $Z_0$  ของสายจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ Distributed Inductance ( $L$ ) ต่อค่า Capacitance ( $C$ ) ของสายการเพิ่มระยะห่างระหว่างสายจะเป็นการเพิ่มค่า  $L$  แต่ลดค่า  $C$  ทั้งนี้เพราะค่า  $L$  ขึ้นอยู่กับสัดส่วนโดยตรงของเส้นแรงแม่เหล็กระหว่างสายนั้นส่วนค่า  $C$  ลดลงเพราะว่าระยะห่างระหว่างสายหรือ Plate เพิ่มขึ้น

ดังนั้นเมื่อทำให้ระยะห่างระหว่างลวดตัวนำของสายเพิ่มขึ้นจะทำให้  $Z_0$  เพิ่มขึ้น และถ้าลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายก็เพิ่ม  $Z_0$  ด้วยเพราะว่าขนาดของสายมีผลต่อค่า  $C$  มากกว่าค่า  $L$  นั่นคือเป็นการลดขนาดของแผ่น Plate ทำให้ค่า  $C$  ลดลงพร้อมกันนั้นก็ยิ่งเป็นการเพิ่มระยะห่างของแผ่น Plate ซึ่งเป็นผลให้ค่า  $C$  ลดลงและถ้าค่าของตัว Dielectric เปลี่ยนแปลงไปย่อมทำให้ค่า  $C$  ระหว่างสายเกิดการเปลี่ยนแปลงด้วยเมื่อค่า Dielectric ลดลงค่า  $C$  ก็จะลดลงทำให้  $Z_0$  ของสายเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator)

### 2.7.1 คุณสมบัติของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ

วงจรที่เปรียบเทียบระดับแรงดันอนาล็อกอินพุต 2 ค่า แล้วให้ค่าแรงดันดิจิทัลเอาต์พุตเป็น 1 หรือ 0 โดยขึ้นกับค่าแรงดันอินพุตทั้งสอง หรือ อาจกล่าวได้ว่าวงจรเปรียบเทียบสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบ 1 บิต แบ่งวงจรเปรียบเทียบสัญญาณได้ 3 ประเภท คือ

1. แบบลูปเปิด (วงจรออปแอมป์ที่ไม่มีการชดเชยเพื่อเสถียรภาพ)
2. แบบรีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative) ซึ่งใช้การป้อนกลับแบบบวก หรือวงจร แลทช์ (latch)
3. แบบลูปเปิด และ แบบรีเจนเนอเรทีฟ รวมกัน

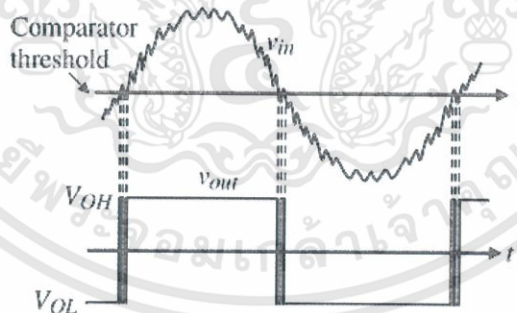


รูปที่ 2.13 สัญลักษณ์ของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ

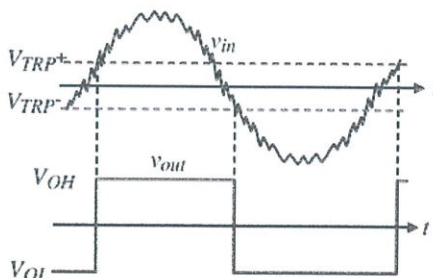
### 2.7.2 เทคนิคการเพิ่มสมรรถภาพของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบลูปเปิด

#### 2.7.2.1 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่มีฮิสเทอรีซิส (Hysteresis)

สัญญาณรบกวนสามารถทำให้วงจรเปรียบเทียบสัญญาณทำงานผิดพลาดได้ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยทำให้จุดเปลี่ยน (Trip point) ของแรงดันเอาต์พุตขาขึ้น ( $V_{TRP+}$ ) และขาลง ( $V_{TRP-}$ ) มีค่าไม่เท่ากันหรือเรียกว่าการสร้างฮิสเทอรีซิส สามารถสร้างฮิสเทอรีซิสโดยใช้การป้อนกลับแบบบวกได้



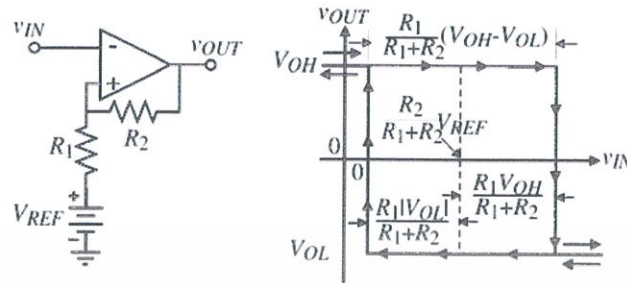
รูปที่ 2.14 ผลของสัญญาณรบกวนต่อการทำงานของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ



รูปที่ 2.15 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่มีฮิสเทอรีซิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติให้  $V_{out} = V_{OL}$  ดังนั้นจุดเปลี่ยนขาขึ้นจะเกิดขึ้น เมื่อ  $V_{TRP+} = \left[ \frac{R_1}{R_1+R_2} \right] V_{OH} + \left[ \frac{R_2}{R_1+R_2} \right] V_{REF}$   
 สมมติให้  $V_{out} = V_{OH}$  ดังนั้นจุดเปลี่ยนขาลงจะเกิดขึ้น เมื่อ  $V_{TRP-} = \left[ \frac{R_1}{R_1+R_2} \right] V_{OL} + \left[ \frac{R_2}{R_1+R_2} \right] V_{REF}$



รูปที่ 2.16 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบกลับเฟสที่มีการเลื่อนฮิสเตอร์ซิส

## 2.8 การมอดูเลตสัญญาณ (Modulation)

การมอดูเลต (Modulation) เป็นการผสมสัญญาณของ ข้อมูลเข้าไป กับสัญญาณ อีกสัญญาณ หนึ่งเรียกว่า คลื่นพาห์ (carrier) ซึ่งสัญญาณนี้มีความถี่ ที่เหมาะกับ ช่องสัญญาณนั้นๆ เพื่อให้ข้อมูลที่ ส่งเข้าไปในช่องสัญญาณเดินทาง ได้ไกลมากขึ้น การเลือก วิธีมอดูเลตขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดของสัญญาณแบนด์วิดท์ประสิทธิภาพของระบบที่ต้องการ และความต้านทาน ต่อสัญญาณรบกวน เป็นต้น

เนื่องจากข้อมูลมีสองประเภทคือ อนาล็อก และ ดิจิตอล จึงทำให้การส่งสัญญาณผ่านสื่อกลางมี ได้ 4 ลักษณะ ดังนี้

- ข้อมูล Analog ส่งสัญญาณเป็น Analog เช่น วิทยุ AM FM
- ข้อมูล Analog ส่งสัญญาณเป็น Digital เช่น โทรศัพท์บ้าน หรือมือถือ
- ข้อมูล Digital ส่งสัญญาณเป็น Analog เช่น เครื่องเล่นเพลง mp3, modem
- ข้อมูล Digital ส่งสัญญาณเป็น Digital เช่น MSN ผ่าน LAN

การมอดูเลชันสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของข้อมูล คือ

### 2.8.1. การมอดูเลชันแบบอนาล็อก (Analog Modulation)

คือการมอดูเลชันโดยที่ข้อมูลเป็นแบบต่อเนื่อง (Continuous) ไม่มีการแบ่งเป็นระดับไว้ เป็นรูปแบบการแปลงการแปลงข้อมูลจากสัญญาณ Analog ให้เป็นสัญญาณ Analog อีกแบบที่สามารถ ทนทานต่อการรบกวนต่าง ๆ และสามารถส่งด้วยกำลังส่งสูงได้ แบ่งย่อยออกได้เป็น 3 ประเภทคือ

#### 2.8.1.1 การมอดูเลตแอมพลิจูด (Amplitude Modulation หรือ AM)

วิธีนี้แอมพลิจูด ของคลื่นพาห์จะ เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณของข้อมูลที่เข้ามา การมอดูเลต แบบ AM เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการมอดูเลต แต่คุณภาพของสัญญาณไม่ดี มีความต้านทานสัญญาณรบกวนต่ำ สิ้นเปลืองพลังงานมาก พลังงานส่วนใหญ่ใช้ในการส่งคลื่นพาห์เหมาะกับข้อมูลที่ไม่ต้องการคุณภาพ มากนัก เช่น สัญญาณเสียง เป็นต้น

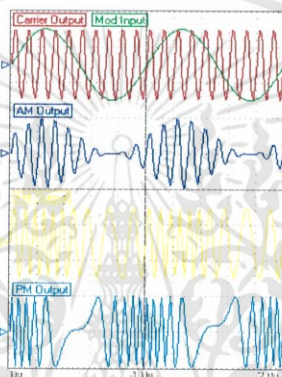
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.8.1.2. การมอดูเลตความถี่ (Frequency Modulation หรือ FM )

วิธีการนี้เป็นการเปลี่ยนแปลง ความถี่ของคลื่นพาห์ตามสัญญาณของข้อมูลที่เข้ามา การมอดูเลตแบบความถี่ ให้คุณภาพที่ดีกว่า การมอดูเลตแบบแอมพลิจูด แต่ระบบจะซับซ้อนกว่าและมีการใช้แบนด์วิดท์ที่มีขนาดกว้าง เนื่องจากสัญญาณข้อมูลมีหลายความถี่ ทำให้ต้องการสายสื่อสารที่มี แบนด์วิดท์กว้าง และทำให้ราคาของสายสูงขึ้นตามไปด้วย

### 2.8.1.3. การมอดูเลตเฟส (Phase Modulation หรือ PM)

เป็นการมอดูเลต ที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลง เฟสของคลื่นพาห์ตามสัญญาณข้อมูลที่เข้ามา ทั้งคุณภาพ ของสัญญาณ และความซับซ้อนไม่ค้อยแตกต่างจากการมอดูเลตแบบความถี่วิธีการ PM นี้สามารถเปลี่ยนแปลง เฟสของสัญญาณได้ง่ายกว่าแบบ FM แต่เป็นวิธีที่มีวงจรค่อนข้างซับซ้อนมากกว่าจึงไม่ค่อยเป็นที่นิยมในการส่งข้อมูลแบบ Analog



รูปที่ 2.17 ลักษณะสัญญาณการ Modulate แบบ AM , PM , FM

## 2.8.2. การมอดูเลชันแบบดิจิตอล (Digital Modulation)

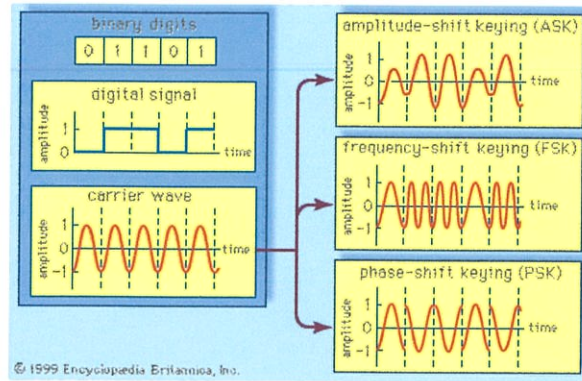
คือการมอดูเลชันโดยที่ข้อมูลถูกแบ่งเอาไว้เป็นระดับต่างๆ อย่างชัดเจน โดยระดับที่แบ่งไว้จะต้องมีจำนวนที่แน่นอน (Discrete) เป็นรูปแบบการแปลงข้อมูลจากสัญญาณ Digital ให้เป็นสัญญาณ Analog

2.8.2.1 Amplitude – Shift Keying :ASK เป็นการ Modulate เซิงเลขทางแอมพลิจูด ความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห์จะคงที่ เมื่อค่าสัญญาณ Digital เป็น 1 Carrier Wave จะสูงขึ้นกว่าปกติ และเมื่อค่าบิตเป็น 0 Carrier Wave จะตกลงกว่าปกติ แต่วิธีการนี้จะไม่ค่อยได้รับความนิยม เนื่องจากว่าถูกรบกวนจาก สัญญาณอื่นได้ง่าย

2.8.2.2 Frequency – Shift Keying : FSK เป็นการ Modulate เซิงเลขทางความถี่ ขนาดของคลื่นพาห์ Carrier Wave จะไม่เปลี่ยน แต่ความถี่ของคลื่นจะเปลี่ยนแทน เมื่อบิตมีค่าเป็น 1 ความถี่จะสูงกว่าปกติ และเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ความถี่ของคลื่นจะต่ำกว่าปกติ

2.8.2.3 Phase – Shift Keying : PSK เป็นการ Modulate เซิงเลขทางเฟสค่าของขนาดและความถี่ของคลื่นพาห์จะไม่มีเปลี่ยนแปลง แต่เฟสของสัญญาณจะเป็นตัวเปลี่ยนแปลง เมื่อสภาวะของบิตเป็น 0 หรือเป็น 1 เฟสของคลื่นจะเปลี่ยน (Shift) ไป 180 องศาด้วย วิธีนี้จะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นน้อยที่สุด ทำให้ได้สัญญาณที่มีคุณภาพดีที่สุด แต่ว่าวงจรในการทำงานจะซับซ้อนกว่า และราคาอุปกรณ์แพงกว่าปกติด้วย

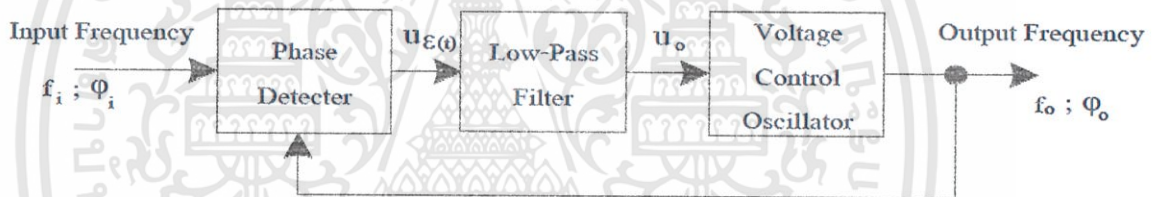
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 ลักษณะสัญญาณการ Modulate แบบ ASK , FSK , PSK

## 2.9 วงจร phase-locked loop

PLL เป็นระบบควบคุมความถี่โดยใช้วิธีเปรียบเทียบเฟส (Phase) ของความถี่ทางด้านเอาต์พุตกับเฟสของความถี่อ้างอิง (Reference Frequency) ซึ่งถูกป้อนเข้าทางด้านอินพุตของระบบ ในรูปข้างล่างนี้แผนผังของ PLL เบื้องต้น



รูปที่ 2.19 บล็อกไดอะแกรมวงจร PLL

จากแผนผังพบว่า PLL เบื้องต้นจะประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

### 2.9.1 ภาคตรวจจับเฟสหรือตัวเปรียบเทียบสัญญาณ

มีหน้าที่เปรียบเทียบความแตกต่างของเฟสระหว่าง  $\phi_1$  และ  $\phi_0$  ให้กำเนิดแรงดันคลาดเคลื่อน (Error Voltage)  $u_e$  ออกมาทางเอาต์พุต

### 2.9.2 ภาคกรองความถี่ต่ำผ่านหรือภาคกรองความถี่สูง

ทำหน้าที่กำจัดส่วนประกอบทางไฟสลับที่ปะปนมากับแรงดันคลาดเคลื่อนและปล่อยให้ส่วนประกอบทางไฟตรงของแรงดันคลาดเคลื่อนผ่านไปยังเอาต์พุต

### 2.9.3 ภาคกำเนิดสัญญาณควบคุมด้วยแรงดัน

ความถี่  $f_o$  ของ VCO จะเปลี่ยนไปตามแรงดัน  $u_o$  ทางอินพุต ดังนั้นเมื่อ  $u_o$  เปลี่ยนไปก็จะมีผลทำให้  $f_o$  และ  $\phi_o$  เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบ PLL ขนาดของแรงดันคลาดเคลื่อนที่ได้จากภาคตรวจจับเฟสจะแปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างของ  $f_i - f_o$  และ  $\phi_i - \phi_o$  แรงดันคลาดเคลื่อนนี้จะไปควบคุมให้การเปลี่ยนแปลงของ  $f_o$  ของ VCO เป็นไปในทิศทางที่ทำให้ผลต่างของความถี่  $f_i - f_o$  มีขนาดลดลง นั่นคือ  $f_o$  จะมีค่าเข้าใกล้  $f_i$  มากขึ้น เราเรียกภาวะของลูป (Loop) ในขณะที่ VCO เริ่มเปลี่ยนความถี่  $f_o$  ว่า “สถานะแคปเตอร์ (Capture State)” เมื่อ  $f_o$  มีค่าเท่ากับ  $f_i$  การเปลี่ยนแปลงของ  $f_o$  ก็สิ้นสุดลง เราเรียกภาวะนี้ว่า “เฟสล็อก (Phase Locked)”

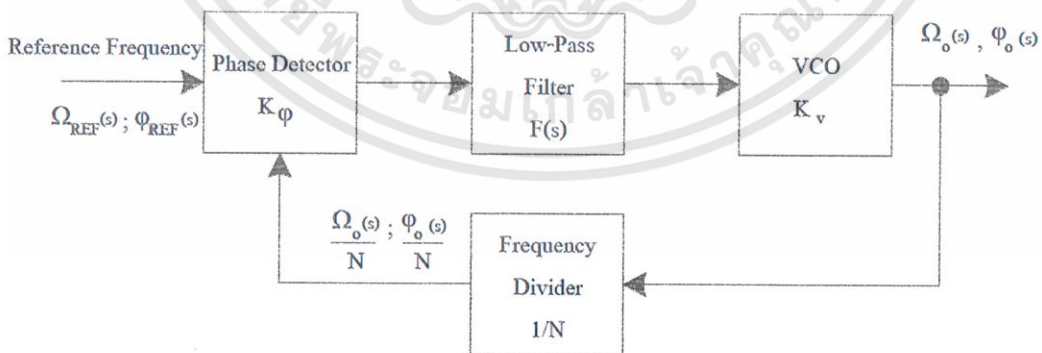
โดยทั่วไปแล้วเราสามารถบอกได้ว่า PLL ประกอบด้วย 3 ภาวะด้วยกันคือ

1. ภาวะทำงานเป็นอิสระ (Free – Running) ความถี่ของ VCO ถูกกำหนดจากโครงสร้างวงจรของ VCO เอง
  2. ภาวะแคปเตอร์ (Capture) ความถี่  $f_o$  ของ VCO กำลังวิ่งเข้าหาความถี่อินพุต  $f_i$
  3. ภาวะเฟสล็อก (Phase Locked) ความถี่  $f_o$  ของ VCO เท่ากับความถี่อินพุต  $f_i$
- ย่านความถี่ซึ่งระบบลูปสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของความถี่อินพุตได้ เราเรียกว่า “ย่านล็อก (Lock Range)” ย่านความถี่ซึ่งระบบลูปสามารถเข้าถึงภาวะเฟสล็อกได้ เรียกว่า “ย่านแคปเตอร์ (Capture Range)” ซึ่งจะมีย่านแคปเตอร์กว้างกว่า Lock Range สำหรับลักษณะสมบัติทางไดนามิกส์ (Dynamic Characteristics) ของ PLL จะถูกกำหนดโดยคุณสมบัติของตัวกรองความถี่ลูป ซึ่งเป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ในขณะที่ PLL อยู่ในภาวะเฟสล็อกความเร็วในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของความถี่อินพุต  $f_i$  ของ PLL จะถูกจำกัดโดยตัวกรองความถี่ลูป

## 2.10 การประยุกต์ใช้งาน phase-locked loop ( PLL Applications )

### 2.10.1 วงจรสังเคราะห์ความถี่ (Frequency Synthesizers)

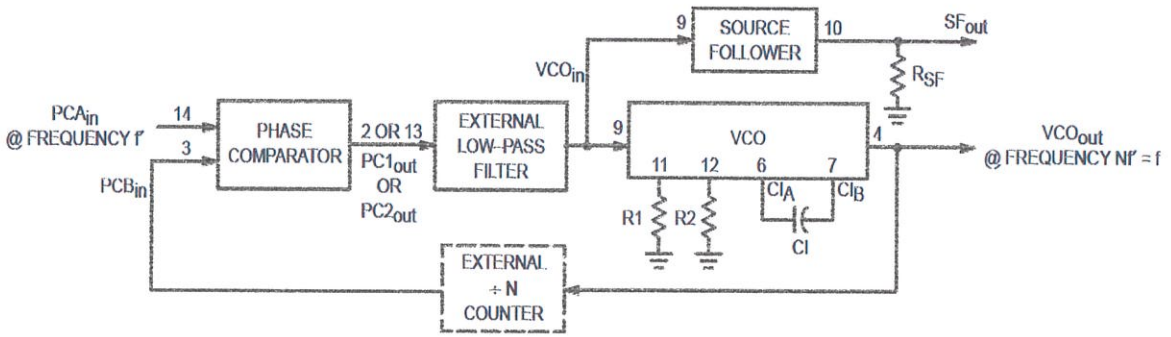
วงจรสังเคราะห์ความถี่เป็นแหล่งจ่ายความถี่ซึ่งเอาต์พุตสามารถให้ความถี่เป็นทวีคูณ (Multiple) ของความถี่อ้างอิงที่อินพุต (Input Reference Frequency) ดังรูปข้างล่าง วงจรสังเคราะห์ความถี่โดยใช้ระบบ PLL



รูปที่ 2.20 บล็อกไดอะแกรมของวงจรสังเคราะห์ความถี่โดยใช้ระบบ PLL

การติดตั้งวงจรนับแบบหาร  $N$  ในทางเดินป้อนกลับทำให้เราได้ความถี่เอาต์พุต  $\Omega_o$  มีขนาดเป็นความถี่  $N$  เท่าของความถี่อ้างอิงที่อินพุต  $\Omega_{REF}$  เมื่อ PLL อยู่ในภาวะ “เฟสล็อก”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

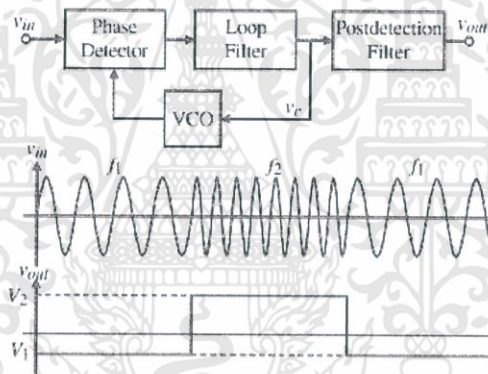


รูปที่ 2.21 บล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์ MC4046 ที่ใช้ในวงจรสังเคราะห์ความถี่โดยใช้ระบบ PLL

2.10.2 การดีมอดูเลต และการมอดูเลต สัญญาณ

2.10.2.1 การดีมอดูเลตสัญญาณ FM (FM Demodulation)

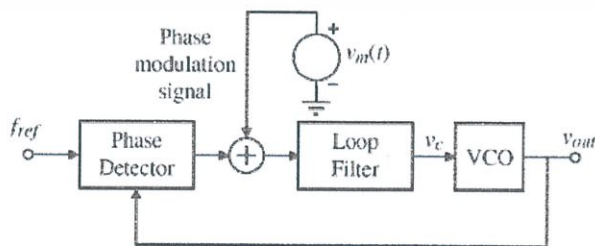
เมื่อ PLL ล็อกกับสัญญาณ FM จะได้สัญญาณที่ควบคุม VCO เป็นข้อมูลที่ได้จากการดีมอดูเลต



รูปที่ 2.22 การดีมอดูเลตสัญญาณ FM โดยใช้ PLL

2.10.2.2 การมอดูเลตเฟส (phase modulation)

เมื่อ PLL ล็อกกับความถี่คงที่ ( $F_{Ref}$ ) เราสามารถทำการมอดูเลตเฟสได้ โดย  $V_m(t)$  เป็นสัญญาณข้อมูลที่มีความถี่ต่ำ  $V_{out}(t) = V_0 \cos[\omega_{ref}t + \theta_m(t)]$  โดยที่  $\theta_m(t) = \frac{1}{K_d} V_m(t)$



รูปที่ 2.23 การมอดูเลตเฟส (phase modulation) โดยใช้ PLL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.11 วงจรกรองความถี่ (Filter Circuit)

วงจรกรองความถี่หรือฟิลเตอร์ (Filter) คือวงจรไฟฟ้าที่ยอมให้สัญญาณไฟฟ้าที่ความถี่ใด ๆ ความถี่หนึ่งหรือช่วงความถี่ใดความถี่หนึ่งเท่านั้นผ่านไปได้ ส่วนความถี่อื่นหรือช่วงความถี่อื่น ๆ นอกเหนือจากที่กำหนดจะถูกกลดทอนไปซึ่งจะเป็นช่วงความถี่ใดนั้นจะขึ้นอยู่กับการออกแบบวงจร มีด้วยกัน 2 แบบ คือ

1. แบบ Passive คือวงจรที่ประกอบขึ้นด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟ ซึ่งได้แก่อุปกรณ์ประเภท ตัวต้านทาน (R) ตัวเก็บประจุ (C) และ ขดลวดเหนี่ยวนำ (L)

- ข้อดี
- อุปกรณ์น้อยชิ้น
  - ไม่ใช่แหล่งจ่าย
  - ใช้งานที่ช่วงความถี่ที่กว้างกว่า

- ข้อเสีย
- มีการสูญเสียสัญญาณบางส่วนเนื่องจากการขาดเซช
  - ราคาแพง ในกรณีที่ต้องการความแม่นยำสูง
  - มีการปรับค่าความถี่ได้ยาก
  - มี Gain น้อยกว่า 1

2. แบบ Active คือ วงจรที่ประกอบขึ้นด้วยอุปกรณ์ที่ต้องการไฟฟ้า เพื่อกระตุ้นการทำงานของตัวอุปกรณ์ ซึ่งได้แก่อุปกรณ์ประเภท ทรานซิสเตอร์ หรือ ไอซี

- ข้อดี
- เล็ก , เบา
  - อัตราขยายสูง
  - ปรับแต่งความถี่ง่าย
  - คุณสมบัติใกล้เคียงอุดมคติ
  - แยกวงจรแต่ละหน่วยจากกันไม่ให้เกิดกระทบกันได้ง่าย

- ข้อเสีย
- จำกัด  $V, I$  , ความถี่ใช้งาน
  - ใช้แหล่งจ่าย
  - ผลจากอุปกรณ์ active เช่น offset , bias current

ประเภทวงจรกรองความถี่ แบ่งได้ 4 ประเภทคือ

1. วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ (Low Pass Filter: LPF)
2. วงจรกรองสัญญาณความถี่สูง (High Pass Filter: HPF)
3. วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ (Band Pass Filter: BPF)
4. วงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่ (Band Reject Filter: BRF)

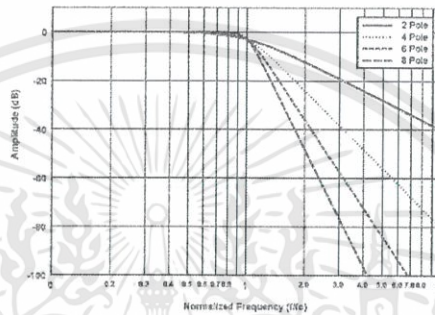
## 2.11.1 วิธี การประมาณผลตอบสนองทางความถี่

การประมาณฟังก์ชันคุณลักษณะจากความต้องการ (Specification) โดยวิธี

### 2.11.1.1 การประมาณแบบราบเรียบ (Maximally-flat)

#### 2.11.1.1.1 แบบบัตเตอร์เวิร์ท (Butterworth)

- Pass band มีลักษณะราบเรียบ
- มีผลตอบสนองทางเฟสที่ดี
- มีคุณภาพการกรองปานกลาง
- มีลักษณะเป็นวงจรแบบ All Pole

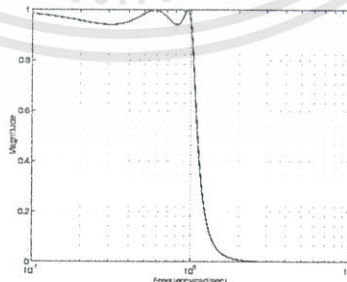


รูปที่ 2.24 การประมาณแบบบัตเตอร์เวิร์ท

### 2.11.1.2 การประมาณแบบกระเพื่อม (Equi-ripple)

2.11.1.2.1 แบบเชบิเชฟ (Chebyshev) วงจรกรองชนิดนี้จะให้ผลตอบสนอง มีการกระเพื่อมเกิดขึ้นในช่วงแถบผ่านความถี่ ลักษณะเด่นที่สำคัญคือวงจรให้การลดทอนสัญญาณในช่วงความถี่ไม่ใช้งานสูงมาก หรือมีค่า roll off สูงมากเทียบกับวงจรกรองแบบบัตเตอร์เวิร์ทที่อันดับวงจรกรองเท่ากัน ปัญหาที่เกิดขึ้นที่สำคัญคือ มีระดับการกระเพื่อมสูงกว่าวงจรกรองแบบบัตเตอร์เวิร์ท

- ยอมให้มีการกระเพื่อมใน pass band
- มีผลตอบสนองทางเฟสไม่ดี
- มีคุณภาพการกรองดี
- มีลดทอนชันกว่าแบบบัตเตอร์เวิร์ท



รูปที่ 2.25 การประมาณแบบเชบิเชฟ

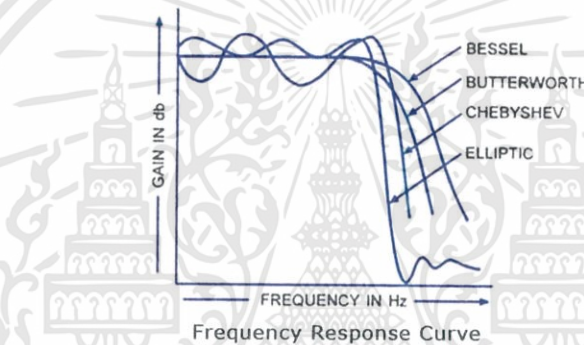
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.11.1.2.2 แบบเชบิเชฟส่วนกลับ (Inverse Chebyshev)

- ยอมให้มีการกระเพื่อมใน stop band
- จำนวนการกระเพื่อมเพิ่มขึ้นตามจำนวนลำดับ (Order)
- มีผลตอบสนองทางเฟสไม่ดี
- มีคุณภาพการกรองดี
- มีลวดทอนชันกว่าแบบบัตเตอร์เวิร์ท แต่น้อยกว่าแบบเชบิเชฟ

### 2.11.1.2.3 แบบอิลลิปติก (Elliptic)

- ยอมให้มีการกระเพื่อมใน stop band และ pass band
- จำนวนการกระเพื่อมเพิ่มขึ้นตามจำนวนลำดับ (Order)
- มีผลตอบสนองทางเฟสไม่ดี
- มีคุณภาพการกรองดีที่สุด
- มีลวดทอนชันกว่าแบบทุกแบบ



รูปที่ 2.26 ผลการตอบสนองทางความถี่

## 2.12 การไบอัสวงจรทรานซิสเตอร์ (Transistor Biasing Circuit)

การใช้งานทรานซิสเตอร์แต่ละวงจรต้องการกระแสไม่เท่ากัน หรือจุดทำงานแตกต่างกันไป ถ้าให้กระแสไหลในวงจรมากเกินไปจะทำให้ทรานซิสเตอร์เข้าสู่สภาวะอิ่มตัวได้และถ้าเราลดกระแสมากเกินไปก็อาจทำให้ทรานซิสเตอร์ตัวนั้นๆ ถึงจุดคัทออฟได้ ดังนั้นจะต้องเลือกวิธีการปรับกระแสด้วยค่าความต้านทาน โดยการต่อตัวต้านทานอนุกรมกับแหล่งจ่ายไฟ

การจัดไบอัสให้กับวงจรทรานซิสเตอร์แบ่งเป็น 3 คอมมอน

### 2.12.1 คอมมอนอิมิตเตอร์ (Common Emitter)

โดยทั่วไปเมื่อทรานซิสเตอร์ทำงานก็จะเกิดความร้อนขึ้นเป็นผลให้ความต้านทานระหว่างคอลเลคเตอร์กับอิมิตเตอร์มีค่าลดลง จะทำให้กระแสคอลเลคเตอร์มีค่าสูงขึ้นในขณะที่ กระแสเบสยังมีค่าคงที่อยู่ นั่นก็หมายความว่ากระแสเบสไม่สามารถควบคุมกระแสคอลเลคเตอร์ได้ จะทำให้จุดทำงานของทรานซิสเตอร์เปลี่ยนแปลง

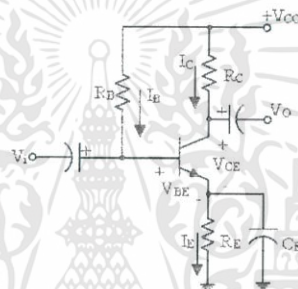
เมื่อมีความต้านทานที่ขาอิมิตเตอร์ ( $R_E$ ) กระแสคอลเลคเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่ขาอิมิตเตอร์ ( $V_E$ ) และแรงดันที่ขาเบส ( $V_B$ ) มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วยจะส่งผลให้แรงดันที่ตกคร่อมระหว่างเบส กับ อิมิตเตอร์ มีค่าลดลง ตามสมการ

$$V_B = V_{BE} + V_E \quad (2.3)$$

$$V_{BE} = V_B - V_E$$

เมื่อแรงดันตกคร่อมระหว่างเบสกับอิมิตเตอร์มีค่าลดลง ทรานซิสเตอร์ก็จะนำกระแสได้น้อยลง ทำให้กระแสคอลเลคเตอร์ลดลงตามด้วย ทรานซิสเตอร์ก็จะกลับมาทำงานที่กระแสและแรงดันเหมือนในตอนแรก อุณหภูมิก็จะลดลง

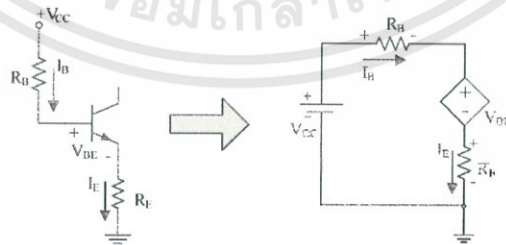
การวิเคราะห์หาจุดทำงานของวงจรอิมิตเตอร์ไบอัส



รูปที่ 2.27 การวิเคราะห์หาจุดทำงานของวงจรอิมิตเตอร์ไบอัส

หลักการวิเคราะห์จะต้องเปลี่ยนให้เป็นวงจรไฟฟ้าก่อนโดยการกำหนดทิศทางการไหลของกระแสจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจรผ่านทางความต้านทานทางขาเบส ( $R_B$ ) และทางความต้านทานทางขาคอลเลคเตอร์ ( $R_C$ ) หลังจากนั้นก็นำมาเขียนให้เป็นวงจรไฟฟ้าโดยสมมติให้แรงดันที่ตกคร่อมทรานซิสเตอร์เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์แหล่งจ่ายแรงดันสมมุติ แล้วใช้ทฤษฎีวงจรไฟฟ้าวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของวงจร

พิจารณาทางด้านอินพุท



เขียนสมการโดยอาศัยกฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ เพื่อหาสมการกระแสเบส ( $I_B$ )

$$V_{CC} = I_B \cdot R_B + V_{BE} + I_E \cdot R_E$$

$$I_E = I_C + I_B$$

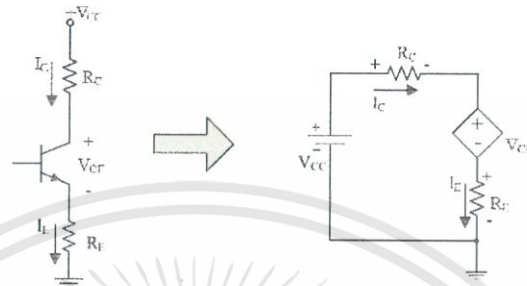
$$(2.4)$$

$$= \beta \cdot I_B + I_B$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 I_E &= I_B \cdot (1 + \beta) \\
 V_{CC} &= I_B \cdot R_B + V_{BE} + I_B \cdot (1 + \beta) \cdot R_E \\
 I_B &= \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta) \cdot R_E}
 \end{aligned}
 \tag{2.5}$$

พิจารณาทางด้านเอาต์พุต



$$\begin{aligned}
 V_{CC} &= I_C \cdot R_C + V_{CE} + I_E \cdot R_E \\
 \text{จาก } I_E &\approx I_C \\
 V_{CE} &= V_{CC} - I_C \cdot (R_C + R_E) \\
 V_C &= V_{CC} - I_C \cdot R_C \\
 V_E &= I_C \cdot R_E \\
 I_C &= \beta I_E
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

## 2.13 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) คือ ชิปอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประมวลผลอย่างหนึ่งทำหน้าที่ประมวลผลตามโปรแกรมหรือชุดคำสั่ง โครงสร้างภายในเป็นวงจรรวมขนาดใหญ่ประกอบไปด้วย หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิกบิตต่าง ๆ พอร์ต รีจิสเตอร์ หน่วยความจำวงจรนับและวงจรจับเวลา รวมกันอยู่ภายในชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในงานควบคุมสามารถติดต่อกับอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตได้สะดวกใช้งานง่าย สามารถทำงานได้โดยใช้ชิปเดียว สามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้โปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ มีภาษาที่ใช้ระดับสูงหลายภาษา ทำให้ง่ายต่อการศึกษาเรียนรู้หรือออกแบบวงจรพัฒนาระบบ

### 2.13.1 PIC ชนิดต่างๆ

MCU ในตระกูล PIC ถูกรูปร่างออกตามชนิดของ PROGRAM MEMORY แบ่งได้เป็น 3 แบบคือ

1. OTP ( one time programmable )
2. EPROM ( erasable programable ROM )

3. EEPROM / Flash ( electronically erasable programmable ROM ) เป็น chip ที่ออกมาไม่ก็ปีนี้เอง ส่วนของ program memory สามารถอ่านหรือเขียนด้วยสัญญาณทางไฟฟ้า ใช้เวลาในการ ลบข้อมูลไม่ก็วินาที และสามารถลบ และเขียนใหม่ได้หลายพันครั้ง ทำให้เป็นที่นิยมที่สุดใน 3 ประเภท มีตัวอักษร F เป็นตัวบอก เช่น 16F84, 16F877

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



40-LEAD PDIP  
"P" OR "PL"

รูปที่ 2.28 Chip แบบ EEPROM

PIC เบอร์ต่างๆ

ปัจจุบัน MCU ของ PIC มีหลากหลายเบอร์ จนแทบจะเลือกใช้ไม่ถูก แต่ในความเป็นจริงแล้ว การออกเบอร์ใหม่ๆ ออกมาได้มีการกำหนดทิศทางที่แน่นอน ซึ่งเราสามารถ จะแบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม ได้แก่ PIC12CXXX, PIC12FXXX (FLASH MCUs), PIC16C5X, PIC16CXXX, PIC17CXXX, PIC16FXXX (FLASH MCUs), PIC18CXXX, PIC18FXXX (FLASH MCUs)

#### 2.13.1.1 PIC18CXXX, PIC18FXXX (FLASH MCUs)

- มีคำสั่งในภาษา assembly 77 คำสั่ง
- มี I/O, มี Timer มากกว่า 1 ตัว, Watch dog, I<sup>2</sup>C, USART, SPI, PWM, CAN
- มี A/D ขนาด 10 bits
- สามารถต่อกับ program memory ภายนอก โดยอ้างได้ถึง 64K x 16 Program memory
- มี Program memory เป็นแบบ Flash ทำให้สามารถโปรแกรมใหม่ได้หลายครั้ง
- ในตระกูล 18FXXX มี EEPROM ภายใน
- ในตระกูล 18FXXX สนับสนุน In Circuit Debugging (ICD)

#### 2.13.2 OSCILLATOR ที่ใช้กับ PIC

สำหรับ oscillator ภายใน PIC จะเป็นประเภท RC oscillator ที่ความถี่คงที่ 4 MHz V<sub>DD</sub>=5 V ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่ต้องระบุอุณหภูมิ เพราะว่า oscillator ประเภท RC ความถี่จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ส่วน oscillator ภายนอก PIC สามารถแบ่งได้ตามนี้

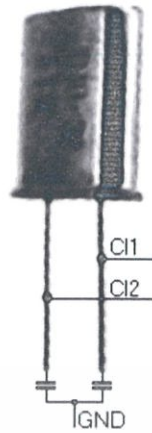
##### 2.13.2.1. CERAMIC RESONATOR

นิยมใช้ในกรณีที่ความถี่สูงไม่มากยอมรับ ERROR ของ ความถี่ได้พอสมควร เพราะว่ามีราคา ถูกเมื่อเทียบกับ OSCILLATOR ที่ต่อภายนอกประเภทอื่น ไม่ต้องมี C ต่อภายนอกด้วย โดยขากลาง จะเป็น GND ส่วนอีกสองขาต่อกับ CLK<sub>IN</sub> และ CLK<sub>OUT</sub>

##### 2.13.2.2 QUARTZ CRYSTAL OSCILLATOR

จะไม่มีการขยายสัญญาณภายใน มีแต่ crystal ที่กำเนิดสัญญาณความถี่ กำลังต่ำออกมา จะต้องใช้ capacitor ต่อกับ GND ของทั้งสองขา และทั้งสองขาต่อเข้ากับ CLK<sub>IN</sub> และ CLK<sub>OUT</sub> จะมี ราคาแพงกว่า CERAMIC RESONATOR แต่จะให้ความเที่ยงตรงของความถี่ได้ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 QUARTZ CRYSTAL OSCILLATOR

## 2.14 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมได้โดยการใช้โมดูล USART

การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมได้โดยการใช้โมดูล USART (Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter) เพื่อสื่อสารข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรมได้ทั้ง 2 แบบคือ

### 2.14.1 ซิงโครนัส

ข้อมูลมีความต่อเนื่อง มีการกำหนดสัญญาณมาตรฐานที่เหมือนกันทั้งทางด้านรับและด้านส่ง เพื่อให้การรับส่งมีความสัมพันธ์กัน

### 2.14.2 อะซิงโครนัส

ข้อมูลไม่จำเป็นต้องต่อเนื่องมีบิตเริ่มต้น (Start bit) บิตข้อมูล (Data bit) และบิตหยุด (Stop bit) มีบิตพาริตี (Parity bit) หรือไม่มีก็ได้ โดยเราจะกำหนดขาพอร์ตอนุกรมของไว้ที่ขาพอร์ต PD0 (Rx<sub>0</sub>) ใช้ในการรับข้อมูลอนุกรมและขาพอร์ต PD1 (Tx<sub>0</sub>) ใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรม บล็อกไดอะแกรมของโมดูล USART จะเห็นว่าโมดูล USART แบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ

1. ส่วนสร้างสัญญาณนาฬิกา (Clock Generator) เพื่อใช้ในการกำหนดอัตราบิตในการรับส่งข้อมูล โดยสามารถกำหนดได้ทั้งภายในและภายนอก ผ่านทางขา Xck (Transfer Clock)
2. ส่วนส่งข้อมูลอนุกรม (Transmitter) โดยส่งข้อมูลออกจากขาพอร์ต Tx<sub>0</sub>
3. ส่วนรับข้อมูลอนุกรม (Receiver) โดยการรับข้อมูลจากขาพอร์ต Rx<sub>0</sub>

รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงาน 3 ตัว ประกอบไปด้วย UCSRA , UCSRB และ UCSRC การส่งข้อมูลอนุกรมในรูปแบบอะซิงโครนัส จะเป็นการส่งข้อมูลเป็นเฟรม ลักษณะของเฟรมข้อมูลอนุกรมนี้ ประกอบไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บิตเริ่มข้อมูล (Start bit)
2. บิตข้อมูล (Data bit)
3. พาริตีบิต (Parity bit)
4. บิตหยุดข้อมูล (Stop bit)

## 2.15 วงจร FM Demodulator

วงจรที่ใช้ในการตีความคูลเตคลื่น FM เป็นวงจรที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนค่าความถี่ เป็นแรงดันหรือกระแส (Frequency to voltage or current convertor ) หลักการที่ใช้ในการสร้าง FM Demodulator ที่ใช้เช่น การเปลี่ยน FM ให้เป็น AM (Slope detector), การเปลี่ยน FM เป็น PWM, การตีเทคทางเฟส (Quadrature Detector)

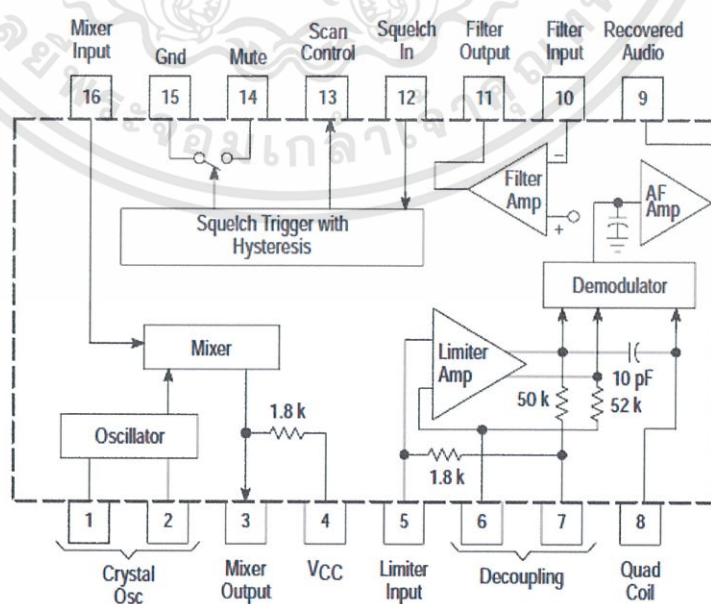
### 2.15.1 Quadrature Detector

เป็นการทำงานโดยอาศัยหลักการของการเลื่อนเฟสของสัญญาณจะเปลี่ยนตามความถี่ แล้วใช้วงจร Balance Mod / Demod หรือ วงจรทวีคูณ ทำหน้าที่เป็นเฟสดีเทคเตอร์



รูปที่ 2.30 บล็อกไดอะแกรมของวงจรทวีคูณ

โดยสัญญาณที่ทางออกเป็นผลคูณของสัญญาณที่ทางเข้า



รูปที่ 2.31 บล็อกไดอะแกรม ไอซี MC 3361 ในวงจร FM Demodulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปยังเว็บไซต์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# การคำนวณและการออกแบบ รีโมทคอนโทรลผ่านสายไฟบ้าน ( AC Line Remote Control )

### 3.1) คุณสมบัติรีโมทคอนโทรลผ่านสายไฟบ้าน ( AC Line Remote Control )

#### 3.1.1 ภาควงส่งสัญญาณ

- Microcontroller สามารถรับข้อมูลจาก USER โดยมีรูปแบบคือ  
\* Address 2 bits \* Command 2 bits #
- วงจร PLL ทำหน้าที่สร้างสัญญาณความถี่คลื่นพาห์จำนวน 4 channel คือ 250 kHz ,275 kHz ,300 kHz และ 325 kHz เพื่อใช้ในการมอดูเลชันแบบดิจิตอลโดยใช้ความถี่อ้างอิง  $F_{REF} = 25 \text{ kHz}$
- Modulation สัญญาณจาก Microcontroller กับสัญญาณคลื่นพาห์แบบ FSK ได้อย่างถูกต้อง
- วงจร Drive 3 เฟส สามารถส่งข้อมูลผ่านตัวกลางสาย AC LINE ได้อย่างถูกต้อง

#### 3.1.2 ภาควงรับสัญญาณ

- รับความถี่วิทยุ  $f_{RF}$  จากสาย AC LINE คือ 250 kHz ,275 kHz ,300 kHz และ 325 kHz ตามลำดับ
- วงจร PLL สร้างความถี่โลคออสซิลเลเตอร์  $f_{LO}$  คือ 325 kHz ,350 kHz , 375 kHz ,400 kHz ตามลำดับเพื่อนำมา Mixer ให้ได้ความถี่ปานกลาง  $f_{IF}$  คือ 75 KHz
- วงจร Demodulation สามารถ Demodulate สัญญาณได้อย่างถูกต้อง
- สามารถนำข้อมูลที่รับมาควบคุมอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างถูกต้อง

### 3.2) การออกแบบรีโมทคอนโทรลผ่านสายไฟบ้าน ( AC Line Remote Control )

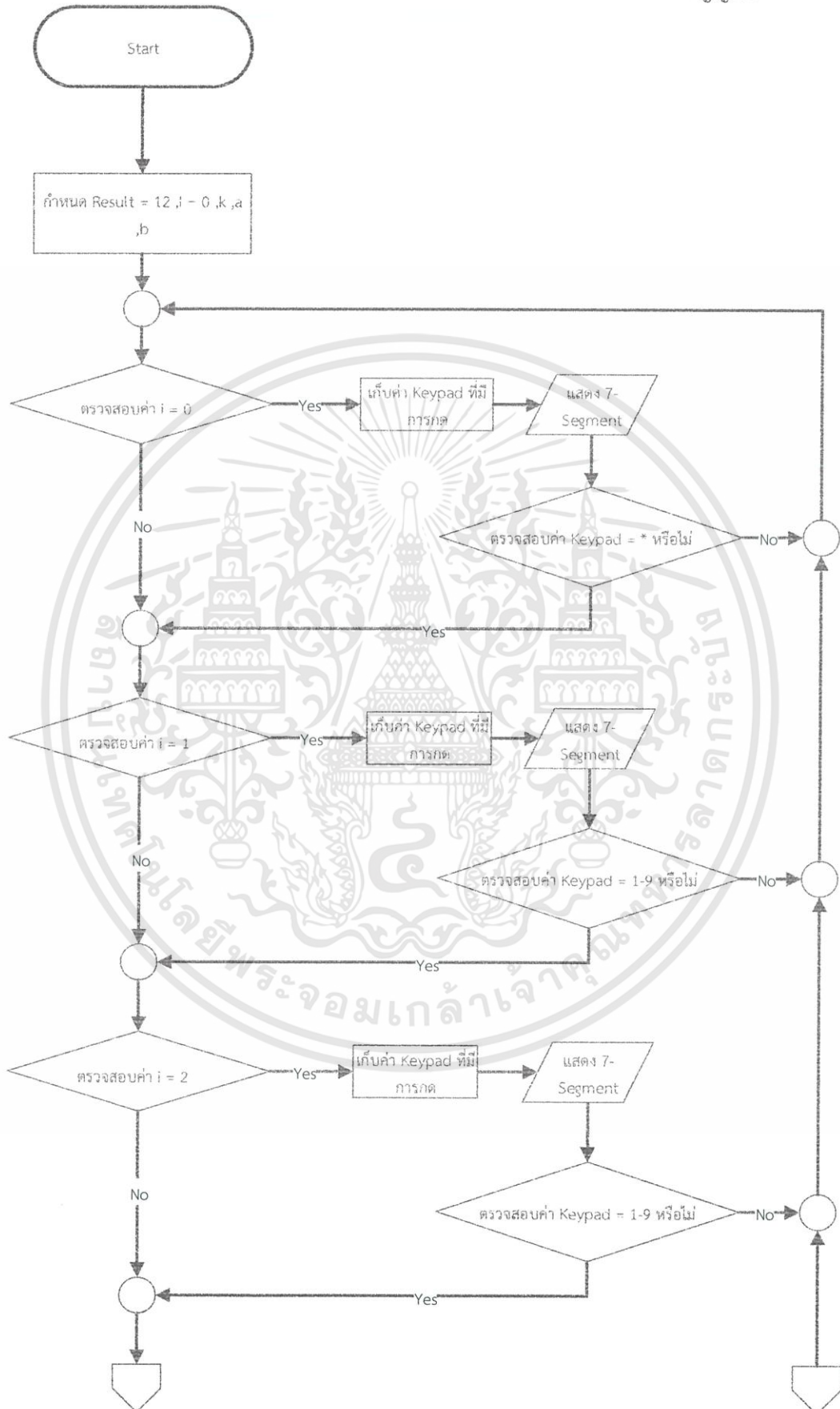
#### 3.2.1 วงจร Microcontroller

วงจร Microcontroller ประกอบไปด้วย PIC18F4520 ทำหน้าที่เป็นโปรเซสเซอร์ Keypad ซึ่งทำหน้าที่รับค่า Address และ Command อุปกรณ์ 7-segment ทำหน้าที่แสดงผลค่าที่รับและส่ง และเก็บข้อมูลที่รับได้ไว้ จากนั้นจะแสดงผลผ่านทาง 7-segment และจะรับ-ส่งข้อมูลผ่านทาง USART Module เพื่อนำไป Modulate

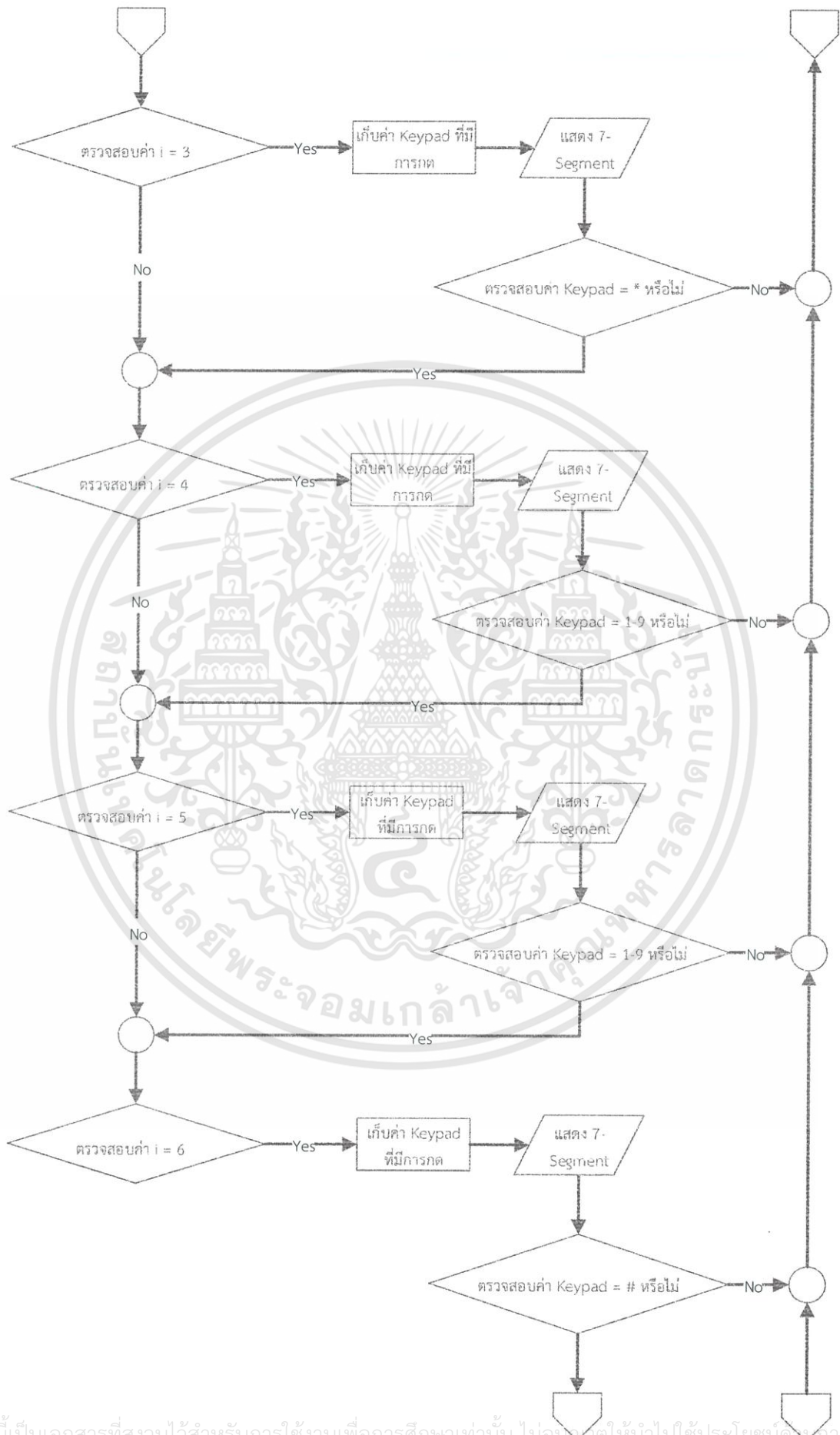
การโปรแกรม Microcontroller ในกรณีนี้มีการใช้ C18 Compiler ในการโปรแกรม โดยโปรแกรมที่ใช้สามารถเขียน Flowchart ของภาควงรับสัญญาณและภาควงส่งสัญญาณได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

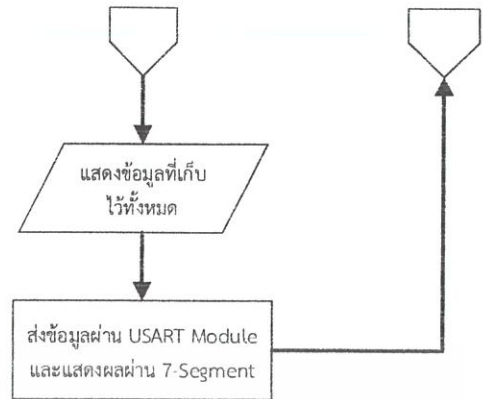
## 3.2.1.1 Flowchart ของโปรแกรม Microcontroller ภาควิศวกรรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 3.2.1.2 โปรแกรม Microcontroller ภาดส่งสัญญาณ

```

#include <p18f4520.h>
#include <delays.h>
#include <usart.h>

#define outLATR1 LATBbits.LATB3
#define outLATR2 LATBbits.LATB2
#define outLATR3 LATBbits.LATB1
#define outLATR4 LATBbits.LATB0
#define inPORT1 PORTBbits.RB6
#define inPORT2 PORTBbits.RB5
#define inPORT3 PORTBbits.RB4

int code[7];
int i=0,k,result,a,b;
char DisplayBuffer[13]={0b10111011,0b00001010,0b01110011
                        ,0b01011011,0b11001010,0b11011001
                        ,0b11111001,0b00001011,0b11111011
                        ,0b11011011,0b11101010,0b10101010
                        ,0b00000000};
  
```

```

char send()
{
  
```

```

    int j;
  
```

```

    OpenUSART( USART_TX_INT_OFF &
               USART_RX_INT_OFF &
               USART_ASYNC_MODE &
               USART_EIGHT_BIT &
  
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        USART_CONT_RX &
        USART_BRGH_LOW,
        188);
    for(j=0 ; j<3; j++)
    {
        int x;
        putcUSART('*');
        Delay10KTCYx(200);
        x = code[1] + (int)'0';
        putcUSART((char)x);
        Delay10KTCYx(200);
        x = code[2] + (int)'0';
        putcUSART((char)x);
        Delay10KTCYx(200);
        putcUSART('?');
        Delay10KTCYx(100);
        x = code[4] + (int)'0';
        putcUSART((char)x);
        Delay10KTCYx(200);
        x = code[5] + (int)'0';
        putcUSART((char)x);
        Delay10KTCYx(200);
        putcUSART('@');
        Delay10KTCYx(200);
    }
    CloseUSART();
}

int get_keypad()
{
    result=12;

    outLATR1 = 0;
    outLATR2 = 1;
    outLATR3 = 1;
    outLATR4 = 1;
    if(inPORT1 ==0)    result = 1;
    if(inPORT2 ==0)    result = 2;
    if(inPORT3 ==0)    result = 3;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

outLATR1 = 1;
outLATR2 = 0;
outLATR3 = 1;
outLATR4 = 1;
if(inPORT1 ==0)    result = 4;
if(inPORT2 ==0)    result = 5;
if(inPORT3 ==0)    result = 6;
outLATR1 = 1;
outLATR2 = 1;
outLATR3 = 0;
outLATR4 = 1;
if(inPORT1 ==0)    result = 7;
if(inPORT2 ==0)    result = 8;
if(inPORT3 ==0)    result = 9;
outLATR1 = 1;
outLATR2 = 1;
outLATR3 = 1;
outLATR4 = 0;
if(inPORT1 ==0)    result = 10; // *
if(inPORT2 ==0)    result = 0;
if(inPORT3 ==0)    result = 11; // #
return result;
}
void main()
{
    TRISB=0b111100000;
    TRISC=0b000000000;
    TRISA=0b000000000;
    ADCON1 = 0b00000111;
    PORTC=0b000000000;
    PORTAbits.RA0 = 0;

    while(1)
    {
        if(i==0)
        {
            k = get_keypad();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

TRISD = 0b00000000;
PORTD = DisplayBuffer[k];
code[i]=k;
Delay10KTCYx(20);

if(code[i]==10)
{
    i++;
    PORTCbits.RC0 = 1;
    Delay1KTCYx(5);
}
}
if(i==1)
{
    k = get_keypad();
    TRISD = 0b00000000;
    PORTD = DisplayBuffer[k];
    code[i]=k;
    if(code[i]>=0 && code[i]<=9)
    {
        i++;
        PORTCbits.RC1 = 1;
        Delay10KTCYx(100);
    }
}
if(i==2)
{
    k = get_keypad();
    TRISD = 0b00000000;
    PORTD = DisplayBuffer[k];
    code[i]=k;
    if(code[i]>=0 && code[i]<=9)
    {
        i++;
        PORTCbits.RC2 = 1;
        Delay10KTCYx(100);
    }
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(i==3)
{
    k = get_keypad();
    TRISD = 0b00000000;
    PORTD = DisplayBuffer[k];
    code[i]=k;
    Delay1KTCYx(5);

    if(code[i]==10)
    {
        i++;
        PORTCbits.RC3 = 1;
        Delay1KTCYx(1);
    }
}
if(i==4 )
{
    k = get_keypad();
    TRISD = 0b00000000;
    PORTD = DisplayBuffer[k];
    code[i] = k;
    if(code[i]>=0 && code[i]<=9)
    {
        i++;
        PORTCbits.RC4 = 1;
        Delay10KTCYx(100);
    }
}
if(i==5 )
{
    k = get_keypad();
    TRISD = 0b00000000;
    PORTD = DisplayBuffer[k];
    code[i]=k;
    if(code[i]>=0 && code[i]<=9)
    {
        i++;
        PORTCbits.RC5 = 1;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

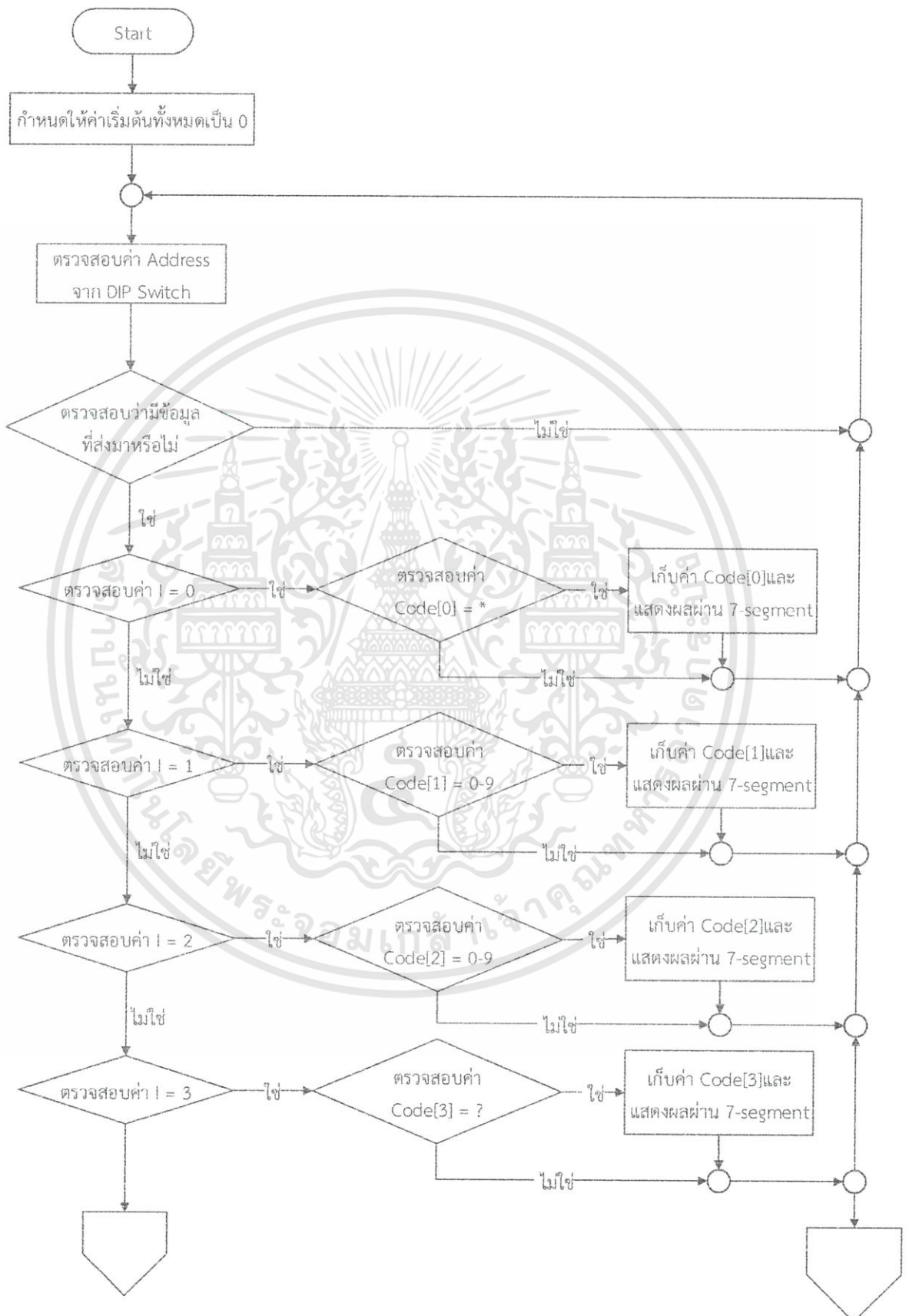
```

        Delay10KTCYx(100);
    }
}
if(i==6 )
{
    k = get_keypad();
    TRISD = 0b00000000;
    PORTD = DisplayBuffer[k];
    code[i]=k;
    if(code[i] == 11)
    {
        PORTAbits.RA1 = 1;
        Delay10KTCYx(1000);
        for(a=0; a<7; a++)
        {
            b = code[a];
            PORTD = DisplayBuffer[b];
            Delay10KTCYx(150);
        }
        send();
        i=0;
        PORTC = 0b00000000;
        PORTAbits.RA1 = 0;
        Delay1KTCYx(10);
    }
}
}
}

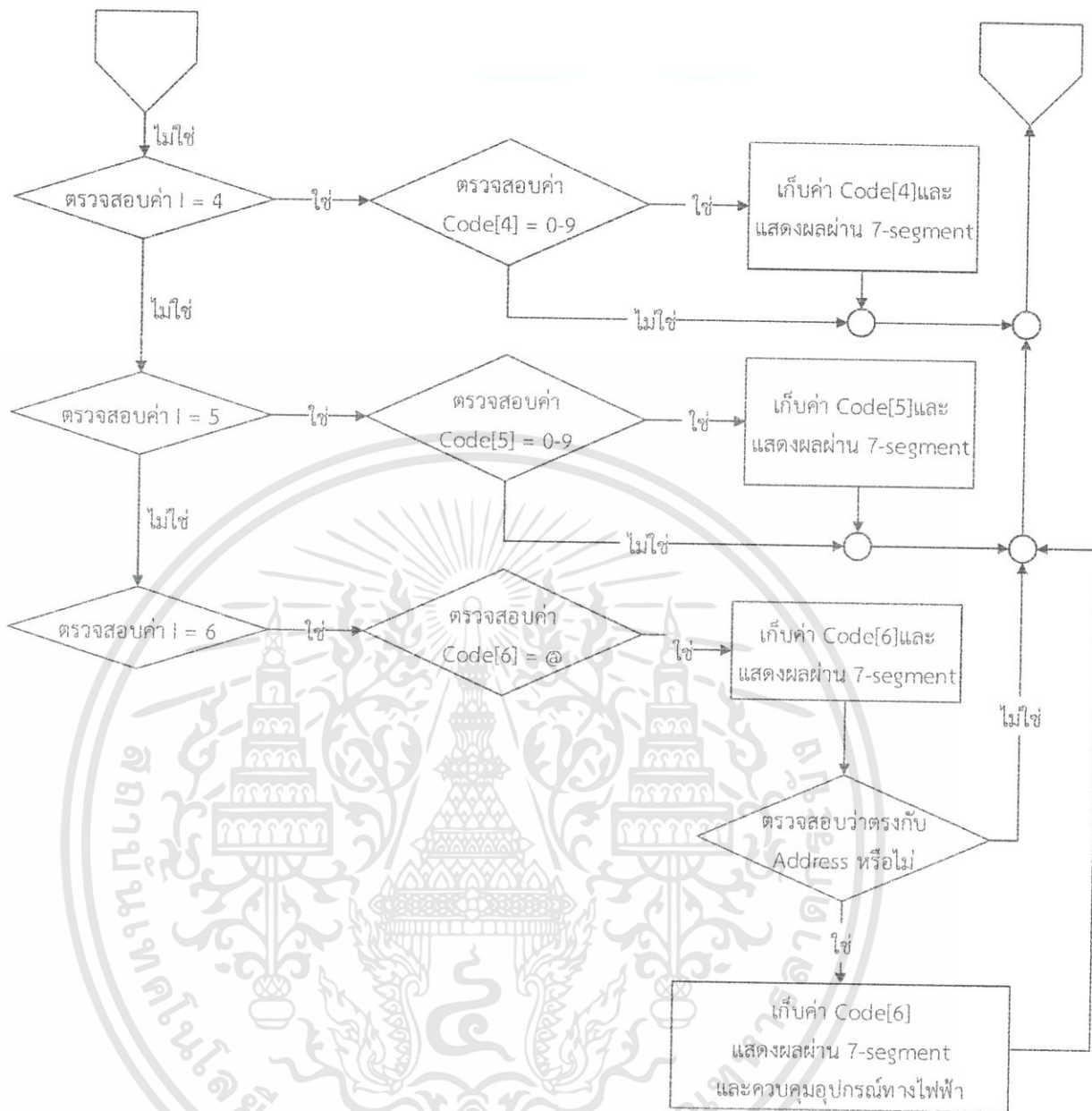
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2.1.3 Flowchart ของโปรแกรม Microcontroller ภาครับสัญญาณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 3.2.1.4 โปรแกรม Microcontroller ภาครับสัญญาณ

```

#include <p18f4520.h> // Include header file for MCU
#include <delays.h> // Include Delay function for Program
#include <usart.h>
#define segment PORTD

```

```

int i = 0 , z = 0 , x = 0;
unsigned char k;

```

```

int checkdip_sw()

```

```

{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

int yy;
if(PORTB == 0b00000000) yy=0;
else if(PORTB == 0b00000001) yy=1;
else if(PORTB == 0b00000010) yy=2;
else if(PORTB == 0b00000011) yy=3;
else if(PORTB == 0b00000100) yy=4;
else if(PORTB == 0b00000101) yy=5;
else if(PORTB == 0b00000110) yy=6;
else if(PORTB == 0b00000111) yy=7;
else if(PORTB == 0b00001000) yy=8;
else if(PORTB == 0b00001001) yy=9;
else if(PORTB == 0b00001010) yy=10;
else if(PORTB == 0b00001011) yy=11;
else if(PORTB == 0b00001100) yy=12;
else if(PORTB == 0b00001101) yy=13;
else if(PORTB == 0b00001110) yy=14;
else if(PORTB == 0b00001111) yy=15;
return yy;
}
void main()
{
int i=0 ,ten = 0 ,digit = 0 ,total1 = 0, total2 =0,com1 =0, com2 =0 ;
int y;
char code[7];
char DisplayBuffer[13]={0b10111011,0b00001010,0b01110011
,0b01011011,0b11001010,0b11011001
,0b11111001,0b00001011,0b11111011
,0b11011011,0b11101010,0b10101010
,0b00000000};

TRISB = 0b11111111;
TRISD = 0b00000000;
TRISA = 0b00000000;
TRISC = 0b00000000;
ADCON1 = 0b00000111;
PORTAbits.RA0 = 0;
PORTC=0b00000000;
segment = 0b00000000;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

OpenUSART( USART_TX_INT_OFF &
            USART_RX_INT_OFF &
            USART_ASYNCH_MODE &
            USART_EIGHT_BIT &
            USART_CONT_RX &
            USART_BRGH_LOW,
            188);
while(1)
{
    y = checkdip_sw();
    if(DataRdyUSART())
    {
        if(i == 0)
        {
            code[i] = ReadUSART();
            if(code[i] == '*')
            {
                code[i]=10;
                segment = DisplayBuffer[10];
                i++;
            }
        }
        else if(i == 1)
        {
            code[i] = ReadUSART();
            if(code[i] != '*' && code[i] != '?' && code[i] != '@')
            {
                z = code[i] - '0';
                segment = DisplayBuffer[z];
                i++;
                ten = z*10;
            }
        }
    }
    else if(i == 2)
    {
        code[i] = ReadUSART();
        if(code[i] != '*' && code[i] != '?' && code[i] != '@')

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

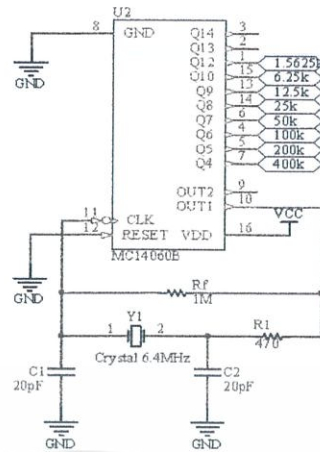
    {
        z = code[i] - '0';
        segment = DisplayBuffer[z];
        i++;
        digit = z;
    }
}
else if(i == 3)
{
    code[i] = ReadUSART();
    if(code[i] == '?')
    {
        code[i]=10;
        segment = DisplayBuffer[10];
        i++;
    }
}
else if(i == 4)
{
    code[i] = ReadUSART();
    if((code[i] != '*' && code[i] != '?' && code[i] != '@'))
    {
        z = code[i] - '0';
        segment = DisplayBuffer[z];
        i++;
        com1=z*10;
    }
}
else if(i == 5)
{
    code[i] = ReadUSART();
    if((code[i] != '*' && code[i] != '?' && code[i] != '@'))
    {
        z = code[i] - '0';
        segment = DisplayBuffer[z];
        i++;
        com2=z;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้







รูปที่ 3.2 วงจรหาร  $2^N$  Crystal Oscillator ที่ใช้งานจริง

### 3.2.3 วงจร Voltage Controlled Oscillator

ใช้อุปกรณ์ MC14046

กำหนดให้  $f_{min} = 325 \text{ kHz}$  , ใ้ค่า  $C_1 = 150 \text{ pF}$

$$\text{จาก } f_{min} = \frac{1}{R_2(C_1 + 32\text{pF})}$$

$$R_2 = \frac{1}{325\text{kHz}(150\text{pF} + 32\text{pF})}$$

$$= 16.9 \text{ k}\Omega$$

∴ ใ้ค่า  $R_2$  จากการทดลอง คือ  $33 \text{ k}\Omega$

กำหนดใ้  $f_{max} = 400 \text{ kHz}$  , ใ้ค่า  $C_1 = 150 \text{ pF}$

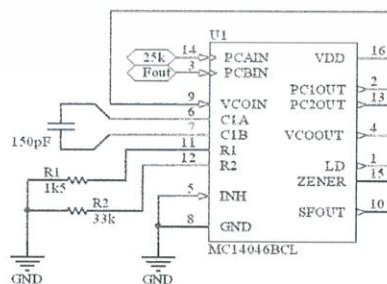
$$\text{จาก } f_{max} = \frac{1}{R_1(C_1 + 32\text{pF})} + f_{min}$$

$$400\text{kHz} = \frac{1}{R_1(150\text{pF} + 32\text{pF})} + 325 \text{ kHz}$$

$$R_1 = 73.26 \text{ k}\Omega$$

∴ ใ้ค่า  $R_1$  จากการทดลอง คือ  $1.5 \text{ k}\Omega$

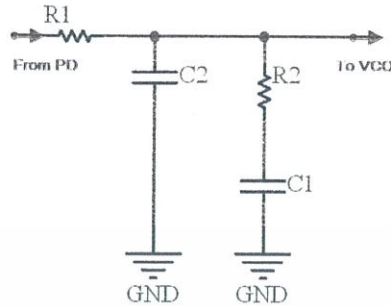
ดังนั้นจะได้รูปแบบ วงจร Voltage Controlled Oscillator ดังรูป



รูปที่ 3.3 วงจร Voltage Controlled Oscillator ที่ใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4 วงจร Low Pass Filter สำหรับ PLL Frequencies Synthesizer ภาคส่ง สัญญาณที่ใช้ในการ Modulation



รูปที่ 3.4 รูปแบบวงจร Passive Loop LPF ภาคส่งสัญญาณ

Design Parameters เพื่อหาค่า  $R_1, R_2, C_1, C_2$

กำหนดให้ Out puts Frequency Range ;  $F_{out} = 250 \text{ kHz} - 325 \text{ kHz}$

Output Frequency ;  $F_{mod} = 100 \text{ KHz}$

Reference Frequency Phase Detector ;  $F_{ref} = 25\text{k} \approx 157 \text{ kRad/sec}$

$$\text{จาก } F_{out} = F_{Ref} \times N_T ; N_T = NP + A \quad (3.1)$$

โดย Prescale Factor ;  $P = 1, A = 0$

$N$  Range = 10 - 13

$$\therefore N_T = 10 - 13$$

ใช้วงจร Phase Detector Type 3 states PFD

PD output ;  $\Delta V_{out PD} = 5\text{v}$

$$\text{จาก } K_d = \frac{V_{DD}}{4\pi} \quad (3.2)$$

$$= \frac{5}{4\pi}$$

$$\therefore K_d = 0.398 \text{ v/Rad}$$

จากกราฟความสัมพันธ์  $f_{VCO}$  กับ  $F_0$  โดยใช้ค่า  $R_1 = 1.5\text{k}, R_2 = 33\text{k}, C_1 = 150\text{pF}$

จากวงจร Voltage - controlled oscillator มีความชันของกราฟในช่วง Linear = 240 kHz/v

$$\text{จาก } K_{VCO} = \frac{2\pi\Delta f_{VCO}}{\Delta V_{VCO}} \quad (3.3)$$

$$= 2\pi \times 240\text{k}$$

$$\therefore K_{VCO} = 1507 \frac{\text{kRad/sec}}{\text{v}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{จาก } K_d &= \frac{\Delta V_{out PD}}{4\pi} & (3.4) \\ &= \frac{5}{4\pi} \\ &= 0.398 \text{ v/Rad} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จาก } K &= K_d \times K_{vco} & (3.5) \\ &= 0.398 \times 1507k \\ &= 599 \text{ ksec}^{-1} \end{aligned}$$

$$\therefore \text{เลือกใช้ } \omega_N = 46.4 \text{ Rad/sec} \quad \text{Damping ; } \delta = 1.14$$

$$\text{จาก } BW_{lp} < \omega_{Mod \min} \quad (3.6)$$

$$\text{กำหนด } \omega_{Mod \min} = 628 \text{ Rad/sec}$$

$$BW_{lp} \approx 0.2 \omega_{mod \min}$$

$$\text{จาก Loop BW : } BW_{lp} = \omega_N \left( 1 + 2\delta^2 + \sqrt{(1 + 2\delta^2 + 1)} \right)^{1/2} \quad (3.7)$$

$$\begin{aligned} &= 46.4 \left( 1 + 2 \cdot 1.14^2 + \sqrt{(1 + 2 \cdot 1.14^2 + 1)} \right)^{1/2} \\ &= 125.7 \text{ Rad/sec} \end{aligned}$$

$$\text{กำหนดให้ } N_{T \min} = 10$$

$$\text{จาก } \bar{N} = \sqrt{N_{T \max} \times N_{T \min}} \quad (3.5)$$

$$= \sqrt{13 \times 10}$$

$$\therefore \bar{N}_T = 11.4$$

$$\text{จาก } \tau_1 + \tau_2 = \frac{K}{N_T \times \omega_n^2} \quad (3.6)$$

$$= \frac{599k}{11.4 \times 46.4^2}$$

$$\therefore \tau_1 + \tau_2 = 24.45 \text{ Sec}$$

$$\text{จาก } \tau_2 = \frac{2\delta}{\omega_n} - \frac{1}{K} \quad (3.7)$$

$$= \frac{2 \times 1.14}{46.4} - \frac{1}{599k}$$

$$\therefore \tau_2 = 49.14 \text{ mSec}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{จาก } \tau_1 &= (\tau_1 + \tau_2) - \tau_2 & (3.8) \\ &= (24.45) - (49.14 \text{ m}) \\ \therefore \tau_1 &= 24.4 \text{ Sec} \end{aligned}$$

กำหนดให้  $C_1 = 100\mu\text{F}$

$$\begin{aligned} \text{จาก } R_1 &= \frac{\tau_1}{C_1} & (3.9) \\ &= \frac{24.4}{100\mu} \end{aligned}$$

$\therefore R_1 = 244 \text{ k}\Omega$  ในวงจรจริงแบ่งใช้งานเป็น  $120 \text{ k}\Omega + 120 \text{ k}\Omega$

$$\begin{aligned} \text{จาก } R_2 &= \frac{\tau_2}{C_1} & (3.10) \\ &= \frac{49.14 \text{ m}}{100\mu} \end{aligned}$$

$\therefore R_2 = 491.4 \Omega$  ในวงจรจริงใช้งาน  $\approx 500\Omega$

$$\begin{aligned} \text{จาก } \omega_{P1} &= \frac{1}{(R_1 + R_2)C_1} & (3.11) \\ &= \frac{1}{100\mu(240\text{k} + 500)} \end{aligned}$$

$$\therefore \omega_{P1} = 41.67 \text{ m Rad/Sec}$$

$$\begin{aligned} \text{จาก } \omega_Z &= \frac{1}{R_2 C_1} & (3.12) \\ &= \frac{1}{500 \times 100\mu} \end{aligned}$$

$$\therefore \omega_Z = 20 \text{ Rad/Sec}$$

ซึ่งค่า  $\omega_{P2}$  ที่เลือกใช้ จะอยู่ระหว่าง  $10\omega_{P2}$  ที่ PD ถึง  $0.1\omega_{\text{Ref}}$

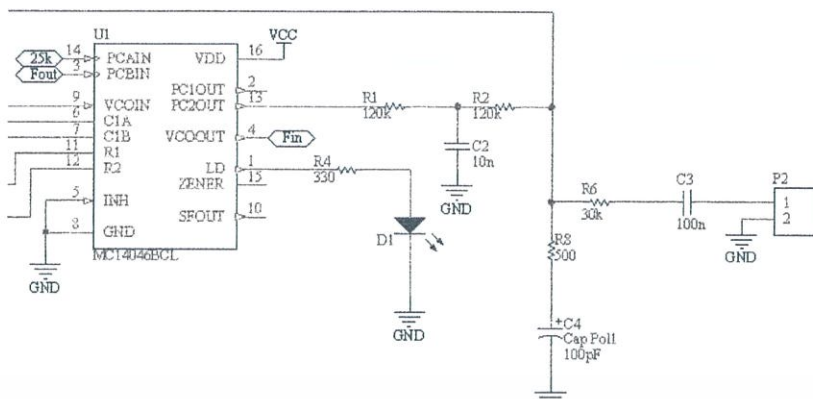
$$\therefore \text{เลือกใช้ } \omega_{P2} = 1.6 \text{ kRad/sec}$$

$$\begin{aligned} R_{Wp2} &= 120 // 120\text{k} + (500 // 30\text{k}) \\ &= 60\text{k} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จาก } c_2 &= \frac{1}{\omega_{P2} R_{Wp2}} & (3.13) \\ &= \frac{1}{1.6\text{k} \times 60\text{k}} \end{aligned}$$

$$\therefore c_2 = 0.01\mu\text{F} \text{ ในวงจรจริงใช้งาน } \approx 10\text{nF}$$

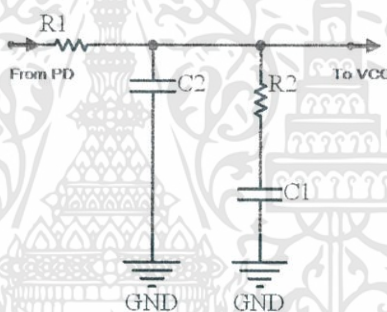
ดังนั้นจะได้รูปแบบ วงจร Low Pass Filter ดังรูป



รูปที่ 3.5 วงจร Low Pass Filter ภาคส่งสัญญาณที่ใช้งานจริงเพื่อ Modulation กับวงจร Microcontroller

### 3.2.4 วงจร Low Pass Filter สำหรับ Phase Locked Loop Frequencies Synthesizer ภาครับสัญญาณ

จากภาพ วงจร Passive Loop LPF ภาครับสัญญาณ



รูปที่ 3.6 รูปแบบวงจร Passive Loop LPF ภาครับสัญญาณ

Design Parameters เพื่อหาค่า  $R_1, R_2, C_1, C_2$

กำหนดให้ Out puts Frequency Rang ;  $F_{out} = 250 \text{ kHz} - 325 \text{ kHz}$

Reference Frequency Phase Detector ;  $F_{ref} = 25k \approx 157 \text{ kRad/sec}$

จาก  $F_{out} = F_{Ref} \times N_T$  ;  $N_T = NP + A$

โดย Prescale Factor ;  $P = 1$  ,  $A = 0$

$N$  Range = 13 - 16

$\therefore N_T = 13 - 16$

ใช้วงจร Phase Detector Type 3 states PFD

PD output ;  $\Delta v_{out PD} = 5v$

$$\text{จาก } K_d = \frac{V_{DD}}{4\pi} = \frac{5}{4\pi}$$

$\therefore K_d = 0.398 \text{ v/Rad}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟความสัมพันธ์  $f_{VCO}$  กับ  $F_O$  โดยใช้ค่า  $R_1 = 1.5k$ ,  $R_2 = 33k$ ,  $C_1 = 150pF$   
จากวงจร Voltage - controlled oscillator มีความชันของกราฟในช่วง Linear = 240 kHz/v

$$\begin{aligned} \text{จาก } K_{VCO} &= \frac{2\pi\Delta f_{VCO}}{\Delta V_{VCO}} \\ &= 2\pi \times 240k \\ \therefore K_{VCO} &= 1507 \frac{kRad/sec}{v} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จาก } \Delta\omega_{max} \text{ at PD} &= 2\pi \left( \frac{F_{Omax}}{N_{Tmin}} - F_{Ref} \right) \\ &= 2\pi \left( \frac{325k}{13} - 25k \right) \\ \therefore \Delta\omega_{max} \text{ at PD} &= 0 \text{ kRad/sec} \end{aligned} \quad (3.14)$$

$$\begin{aligned} \text{จาก } K &= K_d \times K_{VCO} \\ &= 0.398 \times 1507k \\ &= 599 \text{ ksec}^{-1} \end{aligned}$$

ซึ่งค่า  $\Delta\omega_{po}$  at PD ที่เลือกใช้ จะอยู่ระหว่าง  $\Delta\omega_{max}$  ที่ PD ถึง  $2\pi F_{Ref}$

$$\therefore \text{เลือกใช้ } \Delta\omega_{po} = 70 \text{ kRad/sec}$$

$$\text{Damping ; } \delta = 1.14$$

$$\begin{aligned} \text{จาก } \omega_n &= \frac{\Delta\omega_{po}}{(11.55(\delta+0.5))} \text{ สำหรับ PFD} \\ &= \frac{70k}{(11.5(1.14+0.5))} \end{aligned}$$

$$\therefore \omega_n = 3695.4 \text{ Rad/sec}$$

$$\text{กำหนดให้ } N_{TMAX} = 16$$

$$\text{กำหนดให้ } N_{TMIN} = 13$$

$$\begin{aligned} \text{จาก } \bar{N} &= \sqrt{N_{TMAX} \times N_{TMIN}} \\ &= \sqrt{16 \times 13} \end{aligned}$$

$$\therefore \bar{N}_T = 14.42$$

$$\begin{aligned} \text{จาก } \tau_1 + \tau_2 &= \frac{K}{\bar{N}_T \times \omega_n^2} \\ &= \frac{599k}{14.42 \times 3695^2} \end{aligned}$$

$$\therefore \tau_1 + \tau_2 = 3.04 \text{ mSec}$$

$$\begin{aligned} \text{จาก } \tau_2 &= \frac{2\delta}{\omega_n} - \frac{1}{K} \\ &= \frac{2 \times 1.14}{3695.4} - \frac{1}{599k} \end{aligned}$$

$$\therefore \tau_2 = 0.615 \text{ mSec}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\text{จาก } \tau_1 &= (\tau_1 + \tau_2) - \tau_2 \\ &= (3.04 \text{ m}) - (0.615 \text{ m}) \\ \therefore \tau_1 &= 2.425 \text{ mSec}\end{aligned}$$

กำหนดให้  $C_1 = 40\text{nF}$

$$\begin{aligned}\text{จาก } R_1 &= \frac{\tau_1}{C_1} \\ &= \frac{3.435\text{m}}{40\text{n}} \\ \therefore R_1 &= 60.6 \text{ k}\Omega \text{ ในวงจรจริงใช้งาน } \approx 82 \text{ k}\Omega\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{จาก } R_2 &= \frac{\tau_2}{C_1} \\ &= \frac{0.615\text{m}}{40\text{n}} \\ \therefore R_2 &= 15.3 \text{ k}\Omega \text{ ในวงจรจริงใช้งาน } \approx 15 \text{ k}\Omega\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{จาก } \omega_{P1} &= \frac{1}{(R_1 + R_2)C_1} \\ &= \frac{1}{40\text{n}(82\text{k} + 15\text{k})} \\ \therefore \omega_{P1} &= 257.73 \text{ Rad/Sec}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{จาก } \omega_Z &= \frac{1}{R_2 C_1} \\ &= \frac{1}{15.3\text{k} \times 40\text{n}} \\ \therefore \omega_Z &= 1634 \text{ Rad/Sec}\end{aligned}$$

ซึ่งค่า  $\omega_{P2}$  ที่เลือกใช้ จะอยู่ระหว่าง  $10\omega_{P2}$  ที่ PD ถึง  $0.1\omega_{Ref}$

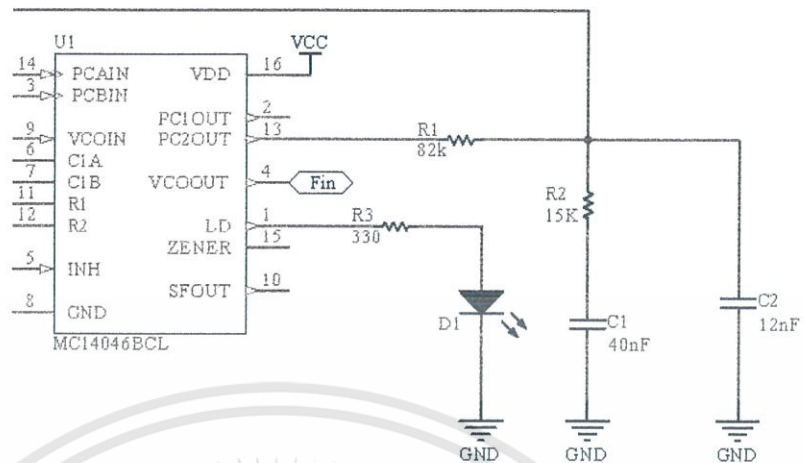
$$\therefore \text{เลือกใช้ } \omega_{P2} = 8.17 \text{ kRad/sec}$$

$$\begin{aligned}R_{wp2} &= R_1 // R_2 \\ &= 82\text{k} // 15\text{k} \\ &= 12.68 \text{ k}\Omega\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{จาก } C_2 &= \frac{1}{\omega_{P2} R_{wp2}} \\ &= \frac{1}{8.17\text{k} \times 12.68\text{k}}\end{aligned}$$

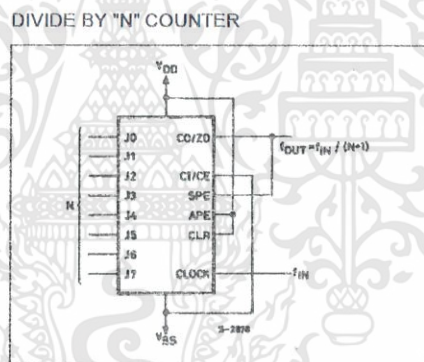
$$\therefore C_2 = 9.65\text{nF} \text{ ในวงจรจริงใช้งาน } \approx 12\text{nF}$$

ดังนั้นจะได้รูปแบบ วงจร Low Pass Filter ดังรูป



รูปที่ 3.7 วงจร Low Pass Filter ภาครับสัญญาณที่ใช้งานจริง

3.2.5 วงจรหาร N  
ใช้อุปกรณ์ HC 40103



รูปที่ 3.8 วงจรหาร N

เลือกใช้ลอจิก 4 bit คือ J0 , J1 , J2 , J3 ต่อกับ dip switch 4 ขา ที่ต่อ R pull up ส่วน J4 , J5 , J6 , J7 ต่อลง GND เพื่อให้สามารถเลือกค่า ลอจิก High หรือ Low เพื่อใช้ค่า N ในภาครับสัญญาณตั้งแต่

N=10= 1001 เพื่อให้ได้ค่าความถี่โลคอลอสซิลเลเตอร์ จากวงจร PLL= 250 kHz

N=11= 1010 เพื่อให้ได้ค่าความถี่โลคอลอสซิลเลเตอร์ จากวงจร PLL= 275 kHz

N=12= 1011 เพื่อให้ได้ค่าความถี่โลคอลอสซิลเลเตอร์ จากวงจร PLL= 300 kHz

N=13= 1100 เพื่อให้ได้ค่าความถี่โลคอลอสซิลเลเตอร์ จากวงจร PLL= 325 kHz

เพื่อใช้ค่า N ในภาครับสัญญาณตั้งแต่

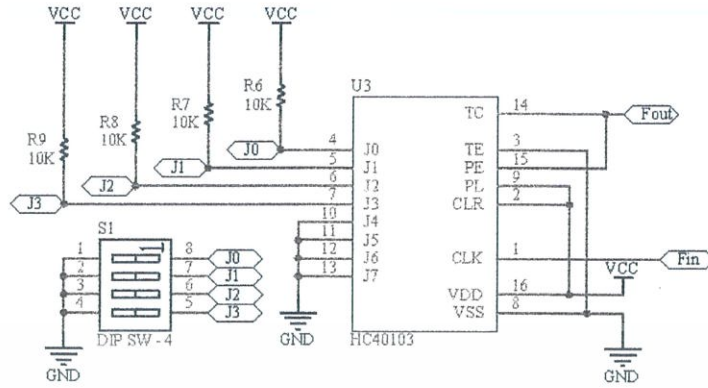
N=13= 1100 เพื่อให้ได้ค่าความถี่โลคอลอสซิลเลเตอร์ จากวงจร PLL= 325 kHz

N=14= 1101 เพื่อให้ได้ค่าความถี่โลคอลอสซิลเลเตอร์ จากวงจร PLL= 350 kHz

N=15= 1110 เพื่อให้ได้ค่าความถี่โลคอลอสซิลเลเตอร์ จากวงจร PLL= 375 kHz

N=16= 1111 เพื่อให้ได้ค่าความถี่โลคอลอสซิลเลเตอร์ จากวงจร PLL= 400 kHz

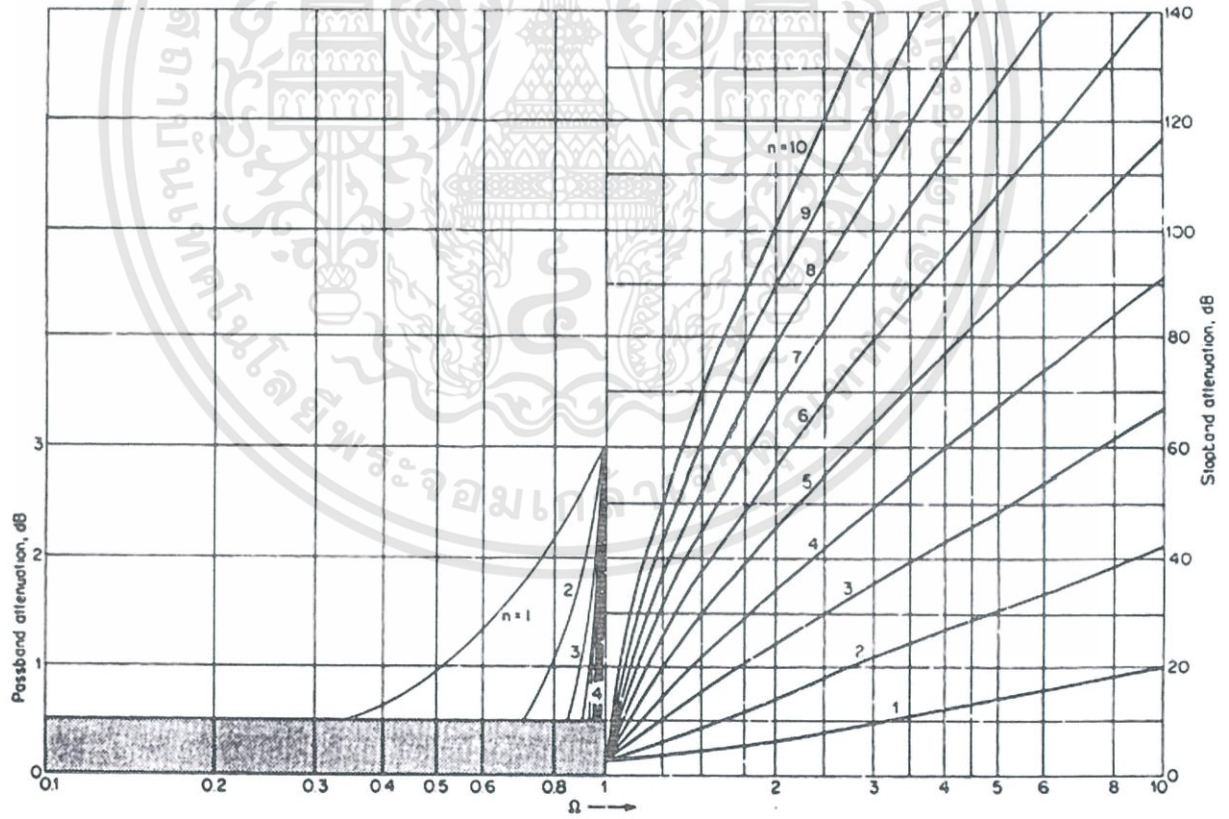
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 วงจรหาร N ที่ใช้งานจริง

3.2.6 วงจร Demodulator และ Filter

ออกแบบ Filter โดยมีความถี่ Intermediate Frequency = 75 kHz จะความถี่สัญญาณ Radio Frequency ดังตารางที่ 3.1



Attenuation characteristics for Chebyshev filters with 0.5-dB ripple. (From Anatol I. Zverev, Handbook of Filter Synthesis, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1967. By permission of the publishers.)

รูปที่ 3.10 กราฟการตอบสนองความถี่ของวงจร Chebyshev Filter with 0.5 dB ripple

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

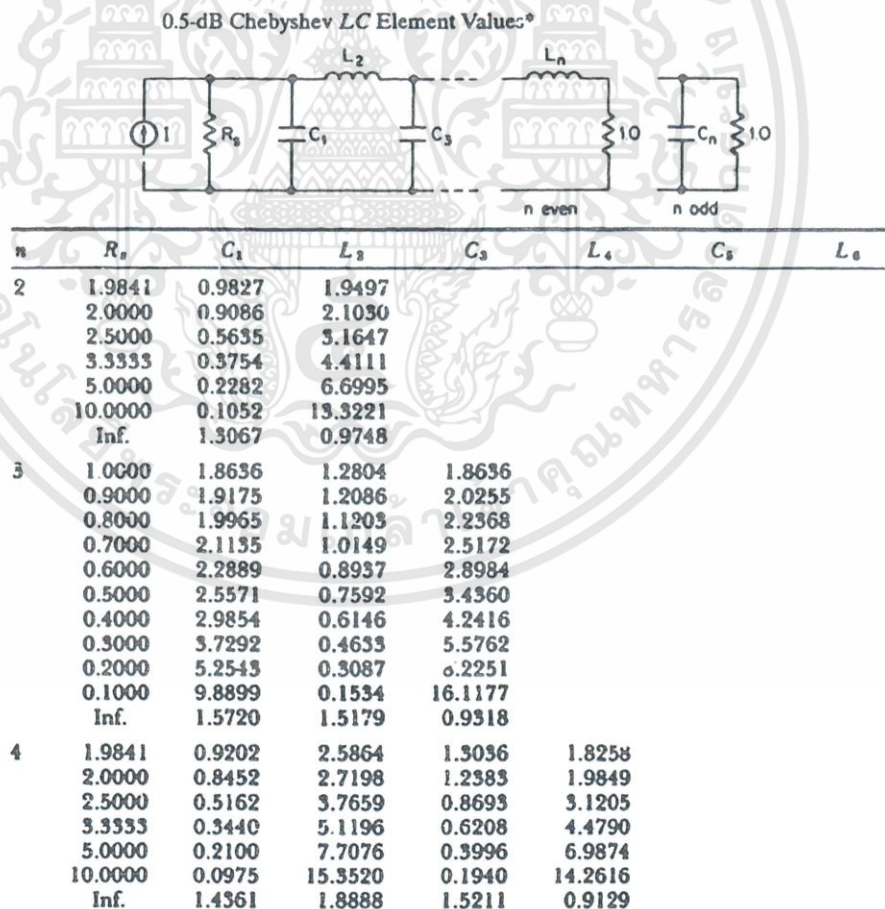
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงความถี่ RF ,LO ,IM และ Channel ของสัญญาณ

Radio Frequency (kHz)	Local Oscillator Frequency (kHz)	Image Frequency (kHz)	Channel
250	325	400	13
275	350	425	14
300	375	450	15
325	400	475	16

ในส่วนของวงจรรับสัญญาณ วงจร Low pass Filter เลือกใช้ฟิลเตอร์แบบ Chebyshev Filter with 0.5 dB ripple , $n = 3$  ซึ่งมีการตอบสนองความถี่ของสัญญาณ ดังรูปที่ 3.8 เนื่องจาก RF input มีความถี่ 250 - 325 kHz จะได้ว่า

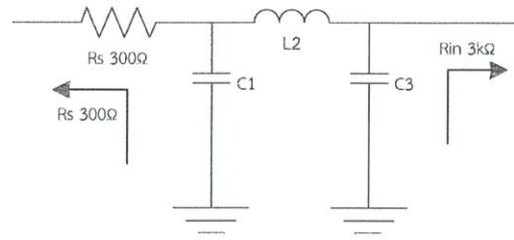
กำหนดให้ 0.86 ของ Normalize Frequency มีค่าความถี่ 325 kHz จะมี Loss 0.5 dB ดังนั้น ที่ความถี่ 377.9 kHz จะมี Loss 3 dB

จากการคำนวณและกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจร Chebyshev Filter with 0.5 dB ripple ดังนั้นจึงสามารถกำหนดค่าอุปกรณ์ต่างๆ ได้จากรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.11 รูปแสดงตารางค่าอุปกรณ์ต่างๆ ในวงจร Chebyshev Filter 0.5 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

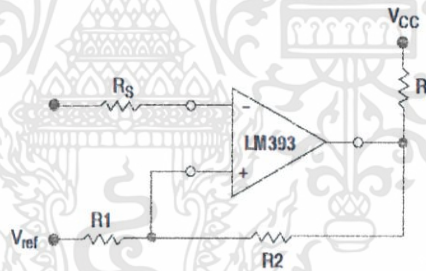


รูปที่ 3.12 รูปวงจรถ่าย Chebyshev Filter 0.5 dB ,n = 3

จากค่า  $R_s$  และ  $R_{in}$  จะได้ว่า  $R_s = 0.1000$  ดังนั้น  $C_1 = 0.8899$  ,  $L_2 = 0.1534$  ,  
 $C_3 = 16.1177$   
 และ scaling ค่าทั้งหมด จะได้เป็น  $R_s = 300 \Omega$  ,  $C_1 = 618 \text{ pF}$  ,  $L_2 = 220 \mu\text{H}$  ,  $C_3 = 2.26 \text{ nF}$   
 ดังนั้น ค่าที่ใช้จริงคือ  $R_s = 300 \Omega$  ,  $C_1 = 560 \text{ pF}$  ,  $L_2 = 220 \mu\text{H}$  ,  $C_3 = 2.2 \text{ nF}$

### 3.2.8 วงจรถ่าย Comparator

วงจรถ่าย Comparator ทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณจากวงจรถ่าย Demodulator และสัญญาณ  $V_{ref}$  ซึ่งสามารถปรับค่าได้จากตัวต้านทานปรับค่าได้ เพื่อให้สัญญาณที่ส่งไปยังวงจรถ่าย Microcontroller มีความถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น



รูปที่ 3.13 วงจรถ่าย Comparator with Hysteresis

กำหนดให้วงจรถ่ายมี  $V_{th1} = 1 \text{ V}$  ,  $V_{th2} = 0.8 \text{ V}$  ,  $V_{ref} = 0.9 \text{ V}$  ,  $R_L = 5 \text{ k}\Omega$  ,  $R_1 = 20 \text{ k}\Omega$

จาก 
$$V_{th1} = V_{ref} + \frac{(V_{CC} - V_{ref}) R_1}{R_1 + R_2 + R_L} \quad (3.15)$$

จะได้ 
$$0.95 = 0.9 + \frac{(5 - 0.9)20k}{20k + R_2 + 5k}$$

$$R_2 = (1640 - 25) \times 10^3$$

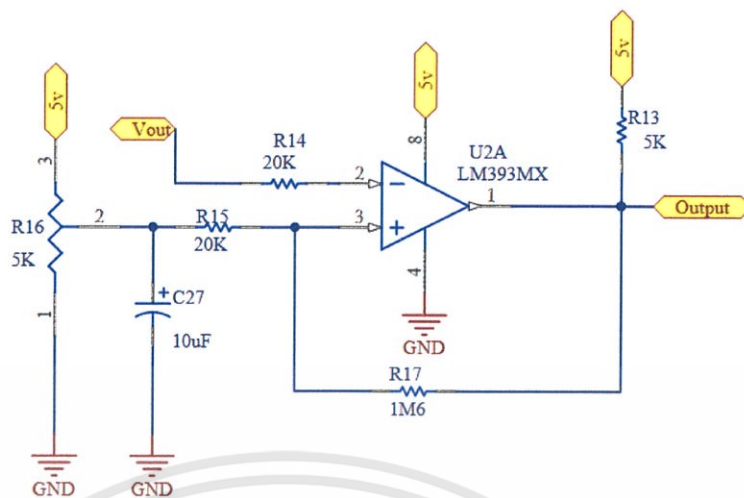
$$R_2 = 1.615 \text{ M}\Omega$$

และ 
$$R_S = R_1 \parallel R_2$$

$$R_S = 1.6 \text{ M} \parallel 20 \text{ k}$$

จะได้ 
$$R_S = 19.75 \text{ k}\Omega$$

ดังนั้น ค่าอุปกรณ์ที่จะได้จะมีค่าเป็น  $R_S = 20 \text{ k}\Omega$  ,  $R_2 = 1.6 \text{ M}\Omega$  ,  $R_1 = 20 \text{ k}\Omega$  ,  $R_L = 5 \text{ k}\Omega$   
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 วงจร Comparator with Hysteresis ที่ใช้งานจริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# วิธีการทดสอบและผลการทดสอบ รีโมทคอนโทรลผ่านสายไฟบ้าน ( AC Line Remote Control )

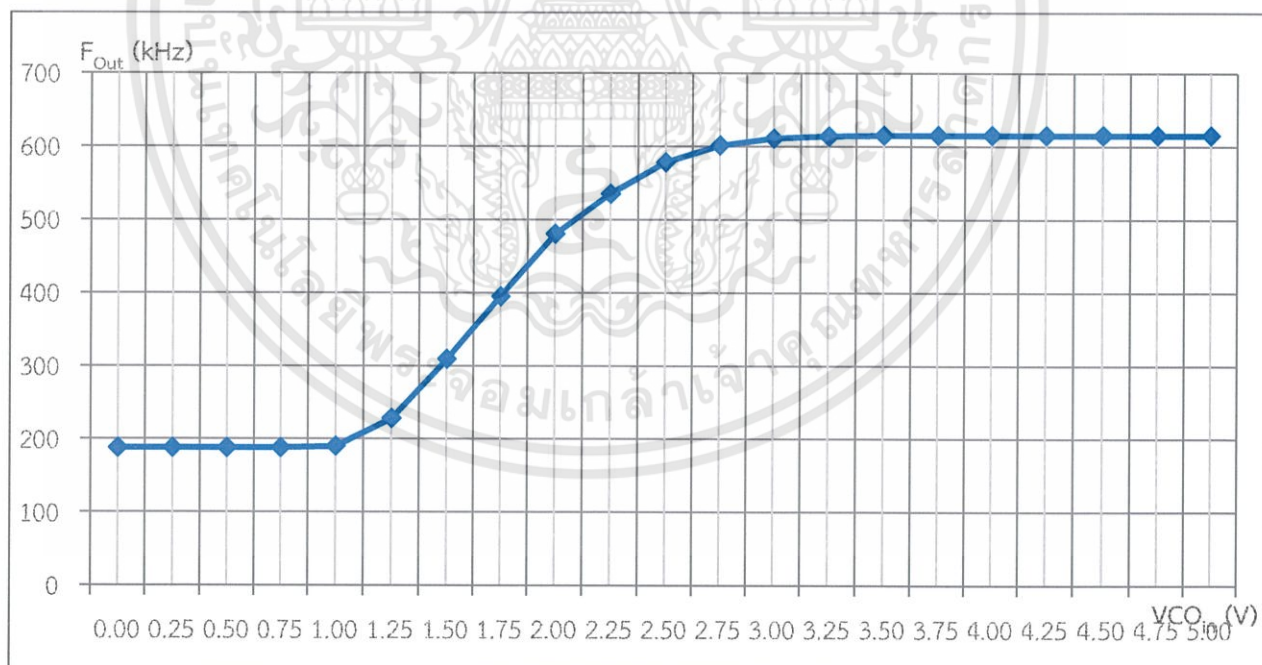
### 4.1 การทดสอบวงจร Phase Locked Loop

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองภาคกำเนิดสัญญาณควบคุมด้วยแรงดัน (VCO) เมื่อทดสอบอุปกรณ์ MC14046B โดยใช้ค่า  $R_1 = 1.5 \text{ k}\Omega$   $R_2 = 33 \text{ k}\Omega$   $c_1 = 150 \text{ pF}$

$VCO_{in}(v)$	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
$F_o$ (kHz)	188	188	188	188	190	228	309	395	480

$VCO_{in}(v)$	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00	4.25
$F_o$ (kHz)	535	578	601	611	614	615	615	615	615

$VCO_{in}(v)$	4.50	4.75	5.00
$F_o$ (kHz)	615	615	615

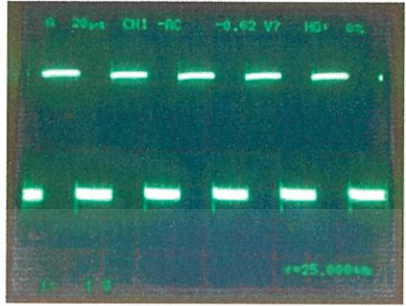


รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $VCO_{in}$  กับ  $F_{out}$  ใช้ค่า  $R_1 = 1.5 \text{ k}\Omega$   $R_2 = 33 \text{ k}\Omega$   
 $c_1 = 150 \text{ pF}$


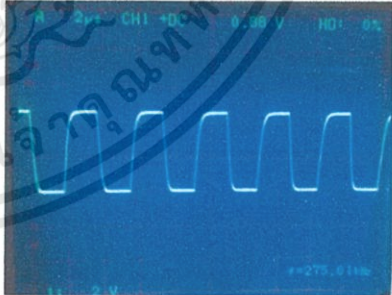
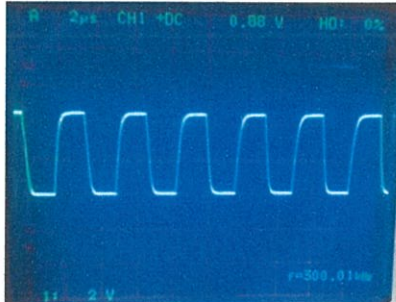
ความชันกราฟ ช่วง linear คือ  $\frac{\Delta f_{VCO}}{\Delta V_{VCO}} \approx 240 \text{ kHz/v}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

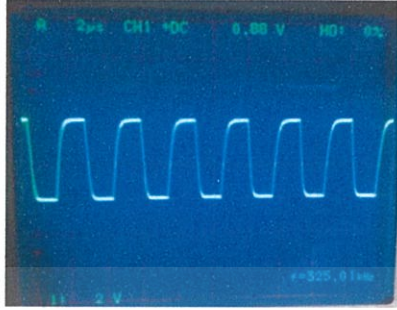
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบวงจรหาร 2<sup>n</sup> Crystal Oscillator สัญญาณความถี่อ้างอิง  $F_{ref}$  จาก  
อุปกรณ์ MC14046

การทดสอบ	ผลการทดสอบสัญญาณ
ขา14 ของอุปกรณ์ เมื่อมีค่า $Q_8$	 <p>ได้ค่า <math>F_{out} = F_{ref} = 25 \text{ kHz}</math></p>

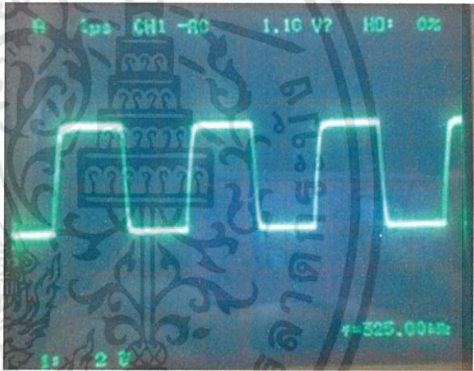
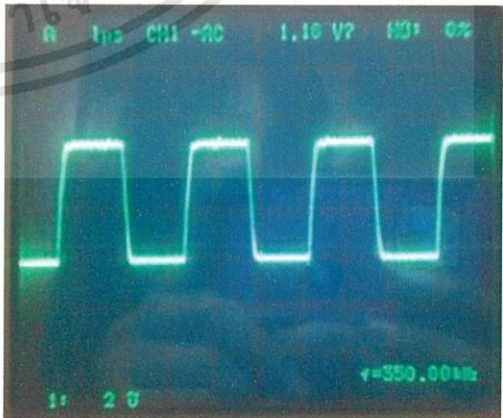
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองวงจรสังเคราะห์ความถี่ภาคส่งสัญญาณที่ประกอบด้วยวงจรหาร N จาก  
อุปกรณ์ HC40103 ใช้ในระบบ PLL จาก อุปกรณ์ MC14046

การทดสอบ HC40103	$N_{PLL}$	ผลการทดสอบสัญญาณ $F_{out}$ ของอุปกรณ์ MC14046 ที่ขา 4
ค่าลอจิกเป็น 1001	10	 <p>ได้ค่า <math>F_{out} = F_{LO} = 250 \text{ kHz}</math></p>
ค่าลอจิกเป็น 1010	11	 <p>ได้ค่า <math>F_{out} = F_{LO} = 275 \text{ kHz}</math></p>
ค่าลอจิกเป็น 1011	12	 <p>ได้ค่า <math>F_{out} = F_{LO} = 300 \text{ kHz}</math></p>

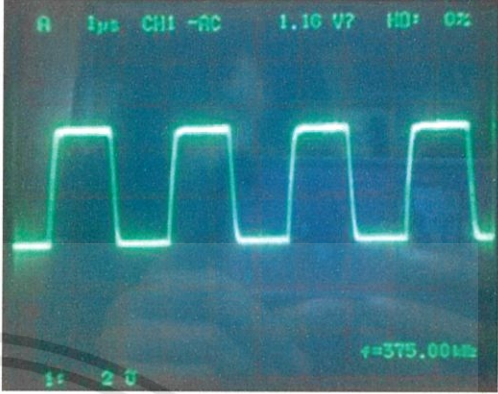
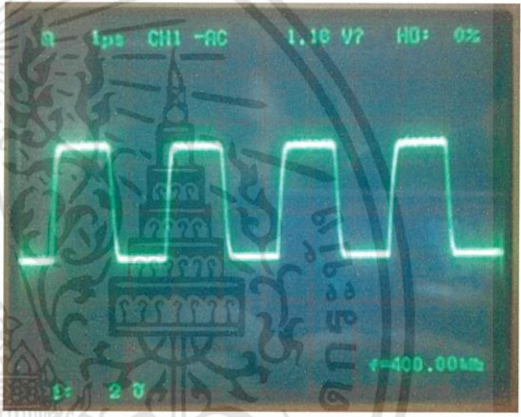
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบ HCF40103	$N_{PLL}$	ผลการทดสอบสัญญาณ $F_{out}$ ของอุปกรณ์ MC14046 ที่ขา 4
ค่าลอจิกเป็น 1111	13	 <p>ได้ค่า <math>F_{out} = F_{LO} = 325 \text{ kHz}</math></p>

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองวงจรสังเคราะห์ความถี่ภาครับสัญญาณที่ประกอบด้วยวงจรหาร N จากอุปกรณ์ HCF40103 ใช้ในระบบ PLL จาก อุปกรณ์ MC14046

การทดสอบ HCF40103	$N_{PLL}$	ผลการทดสอบสัญญาณ $F_{out}$ ของอุปกรณ์ MC14046 ที่ขา 4
ค่าลอจิกเป็น 1100	13	 <p>ได้ค่า <math>F_{out} = F_{LO} = 325 \text{ kHz}</math></p>
ค่าลอจิกเป็น 1101	14	 <p>ได้ค่า <math>F_{out} = F_{LO} = 350 \text{ kHz}</math></p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบ HCF40103	$N_{PLL}$	ผลการทดสอบสัญญาณ $F_{out}$ ของอุปกรณ์ MC14046 ที่ขา 4
ค่าลอจิกเป็น 1110	15	
ค่าลอจิกเป็น 1111	16	 ได้ค่า $F_{out} = F_{LO} = 400 \text{ kHz}$

4.2 การทดสอบวงจร Microcontroller

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบการรับข้อมูลจาก USER ภาคส่งสัญญาณ

ตำแหน่ง	ข้อมูลที่รับ จากUSER จากการกด KEY PAD	ข้อมูลรหัส ASCII ที่ส่ง ผ่านขา $T_x$ ของ PIC18F4520
Bit ที่ 0	*	2Ah
Bit ที่ 1	เลข 0-9	30h ถึง 39h
Bit ที่ 2	เลข 0-9	
Bit ที่ 3	*	3Fh
Bit ที่ 4	เลข 0-9	30h ถึง 39h
Bit ที่ 5	เลข 0-9	
Bit ที่ 6	#	40h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

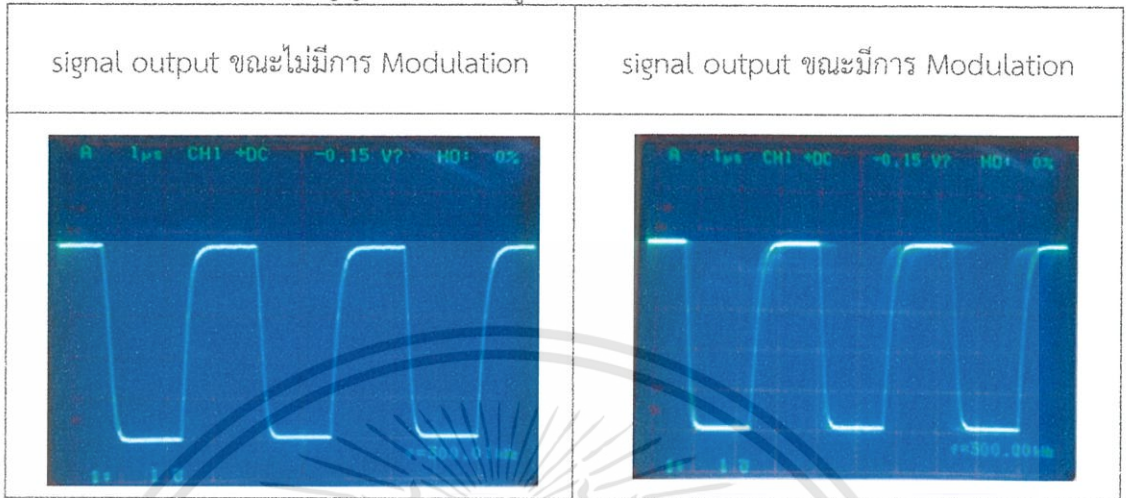
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบการรับข้อมูลจาก USER ภาครับสัญญาณ

ตำแหน่ง การ รับข้อมูล Bit ที่ 0 ถึง Bit ที่ 6	คำสั่ง Address	คำสั่ง Command	ผลการทดสอบ การประมวลผลคำสั่ง ภาครับสัญญาณ
*15*15#	1111	15	อุปกรณ์ Device ตัวที่ 1 จะมีสถานะ ON
*14*25#	1110	25	อุปกรณ์ Device ตัวที่ 2 จะมีสถานะ ON
*13*35#	1101	35	อุปกรณ์ Device ตัวที่ 3 จะมีสถานะ ON
*12*45#	1100	45	อุปกรณ์ Device ตัวที่ 4 จะมีสถานะ ON
*11*10#	1011	10	อุปกรณ์ Device ตัวที่ 1 จะมีสถานะ OFF
*10*20#	1111	20	อุปกรณ์ Device ตัวที่ 2 จะมีสถานะ OFF
*09*30#	1010	30	อุปกรณ์ Device ตัวที่ 3 จะมีสถานะ OFF
*08*40#	1000	40	อุปกรณ์ Device ตัวที่ 4 จะมีสถานะ OFF
*07*15#	1111	15	อุปกรณ์ Device ตัวที่ 1 จะมีสถานะ ON
*06*25#	0111	25	อุปกรณ์ Device ตัวที่ 2 จะมีสถานะ ON
*05*35#	1111	35	อุปกรณ์ Device ตัวที่ 3 จะมีสถานะ ON
*04*45#	0101	45	อุปกรณ์ Device ตัวที่ 4 จะมีสถานะ ON
*03*10#	1111	10	อุปกรณ์ Device ตัวที่ 1 จะมีสถานะ OFF
*02*20#	0011	20	อุปกรณ์ Device ตัวที่ 2 จะมีสถานะ OFF
*01*30#	0001	30	อุปกรณ์ Device ตัวที่ 3 จะมีสถานะ OFF
*00*40#	0000	40	อุปกรณ์ Device ตัวที่ 4 จะมีสถานะ OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

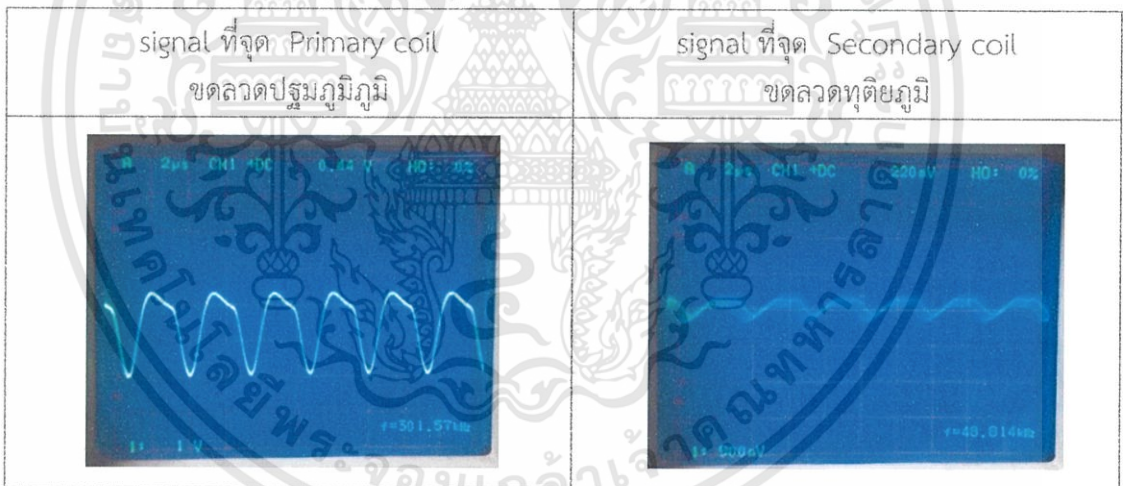
### 4.3 การทดสอบวงจร Modulation

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบสัญญาณที่วงจรมอดูเลต



### 4.4 การทดสอบวงจร Drive 3 เฟส

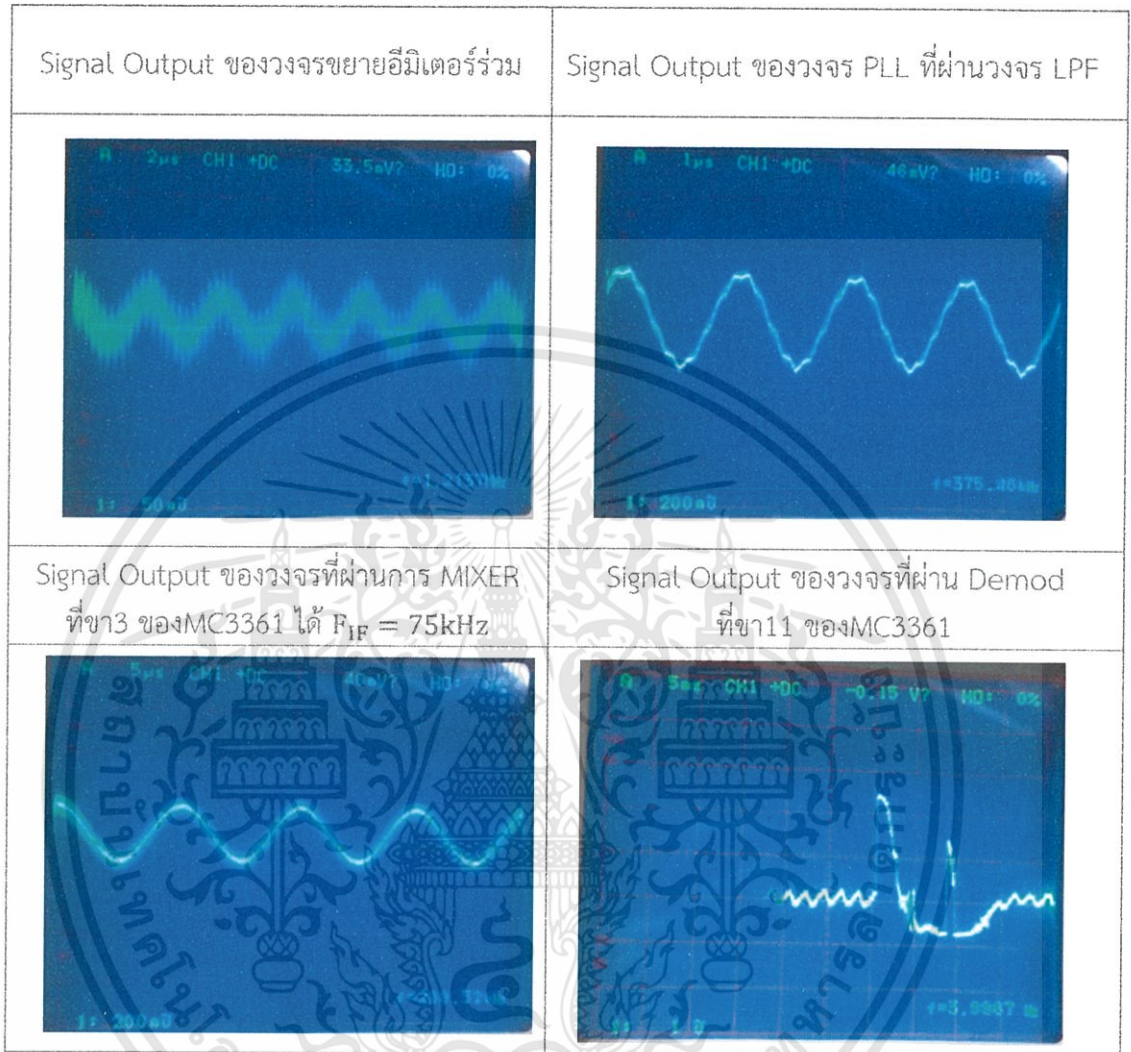
ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบวงจร Drive 3 เฟส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

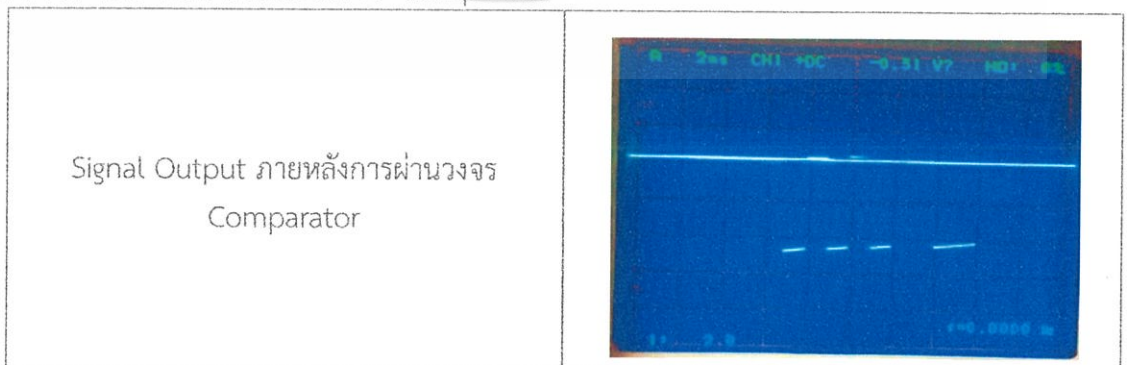
#### 4.5 การทดสอบวงจร Demodulate

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบวงจร Demodulate



#### 4.6 การทดสอบวงจร Comparator

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบวงจร Comparator



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบคุณสมบัติของรีโมทคอนโทรลผ่านสายไฟบ้าน ( AC Line Remote Control )

จากการทดลองวงจรของรีโมทคอนโทรลผ่านสายไฟบ้าน ทั้งภาคส่งสัญญาณและวงจรภาครับสัญญาณสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

ในส่วนของวงจรภาคส่งสัญญาณ ภายในจะมี Microcontroller เพื่อรับข้อมูลจาก User เพื่อนำไปสร้างเป็นสัญญาณข้อมูลในรูปแบบของ USART เพื่อมอดูเลตสัญญาณเข้ากับวงจร PLL โดยมีคลื่นพาห์ทั้งหมด 4 Channel ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนความถี่ได้อย่างถูกต้องและสามารถส่งผ่านสัญญาณผ่าน AC Line โดยใช้วงจร Drive 3 Phase ไปยังภาครับสัญญาณ

โดยภาครับสัญญาณจะมีการขยายสัญญาณก่อนนำไปผ่านวงจร Mixer กับวงจร PLL เพื่อให้ได้สัญญาณที่มีความถี่ IF 75 kHz และทำการ Demodulate สัญญาณเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง จะได้ข้อมูลซึ่งนำไปประมวลผลโดย Microcontroller และสามารถควบคุมอุปกรณ์ที่ต้องการได้

### อุปสรรคและปัญหา

- เนื่องจาก VCO ภายใน CD4046 มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันทำให้ต้องออกแบบค่าอุปกรณ์ในวงจรให้วงจรมีการทำงานในช่วงที่ VCO มีคุณสมบัติเป็นเชิงเส้น
- วงจร Demodulator มีความยุ่งยากและซับซ้อน ทำให้ยากต่อการออกแบบวงจร
- สัญญาณรบกวนใน AC Line มีผลกระทบต่อการส่งข้อมูล
- วงจร Comparator มีการปรับค่ายาก ทำให้มีการเปรียบเทียบสัญญาณผิดพลาดได้ง่าย
- เนื่องจากไฟฟ้า 3 Phase ไม่มีการเชื่อมต่อถึงกัน ทำให้วงจร Drive 3 Phase ต้องมีการเชื่อมต่อทั้ง 3 Phase จึงจะสามารถส่งสัญญาณควบคุมได้ทั้งหมด

### ข้อเสนอแนะ

- ในการนำไปใช้ประโยชน์ควรมีการออกแบบวงจรตัดสัญญาณรบกวนขณะรับและส่งสัญญาณ เพื่อให้ประมวลผลข้อมูลได้ถูกต้อง
- การต่อวงจร Driver นั้น ต้องมีการสร้าง Network สำหรับการส่งข้อมูลเพิ่มเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

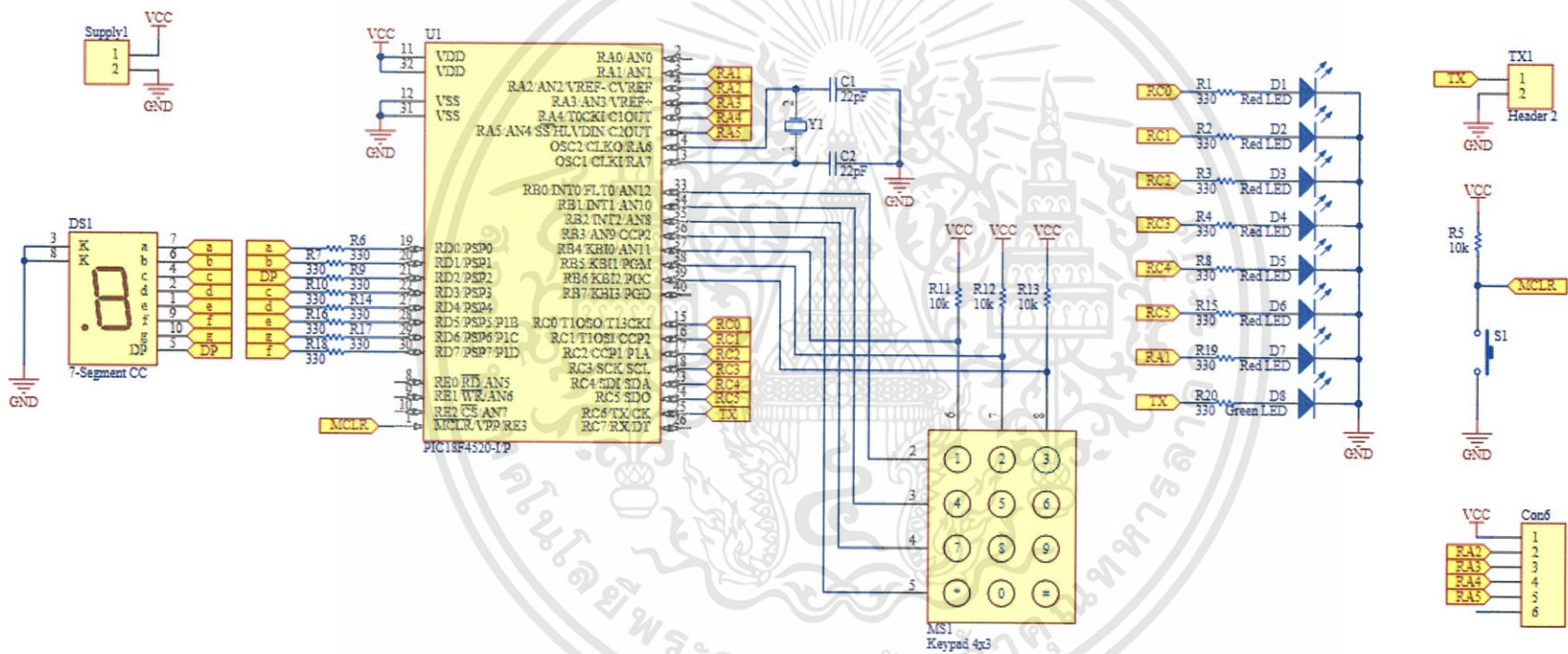
- [1] Anatol I. Zverev. 1967. *Handbook of Filter Synthesis*. John Wiley Sons.
- [2] V. K. Mehta. 2005. *Principles of Electronics*. S Chand & Company.
- [3] ประภากร สุวรรณะ และ สมศักดิ์ ชุ่มช่วย. 2545. *วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ 1*. ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [4] ประภากร สุวรรณะ. *Electronic Engineering I*. ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [5] ประภากร สุวรรณะ. *ระบบสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์*. ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [6] มนตรี ศิริปรัชญานันท์. เอกสารประกอบการสอนวิชา 224413 *Communication Circuit Design เรื่อง เฟสล็อกกลูป Phase Locked Loop (PLL)*. ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.



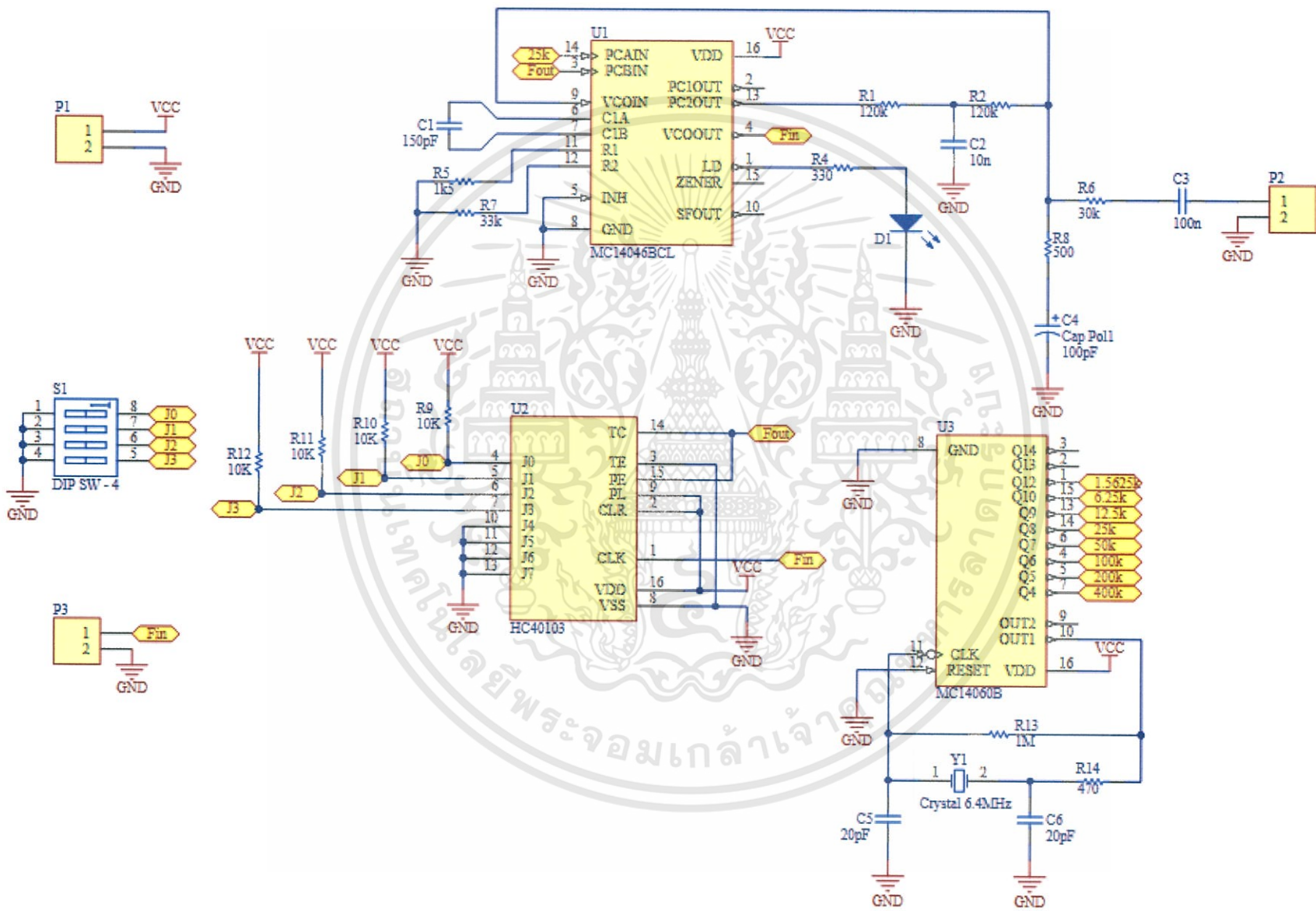
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

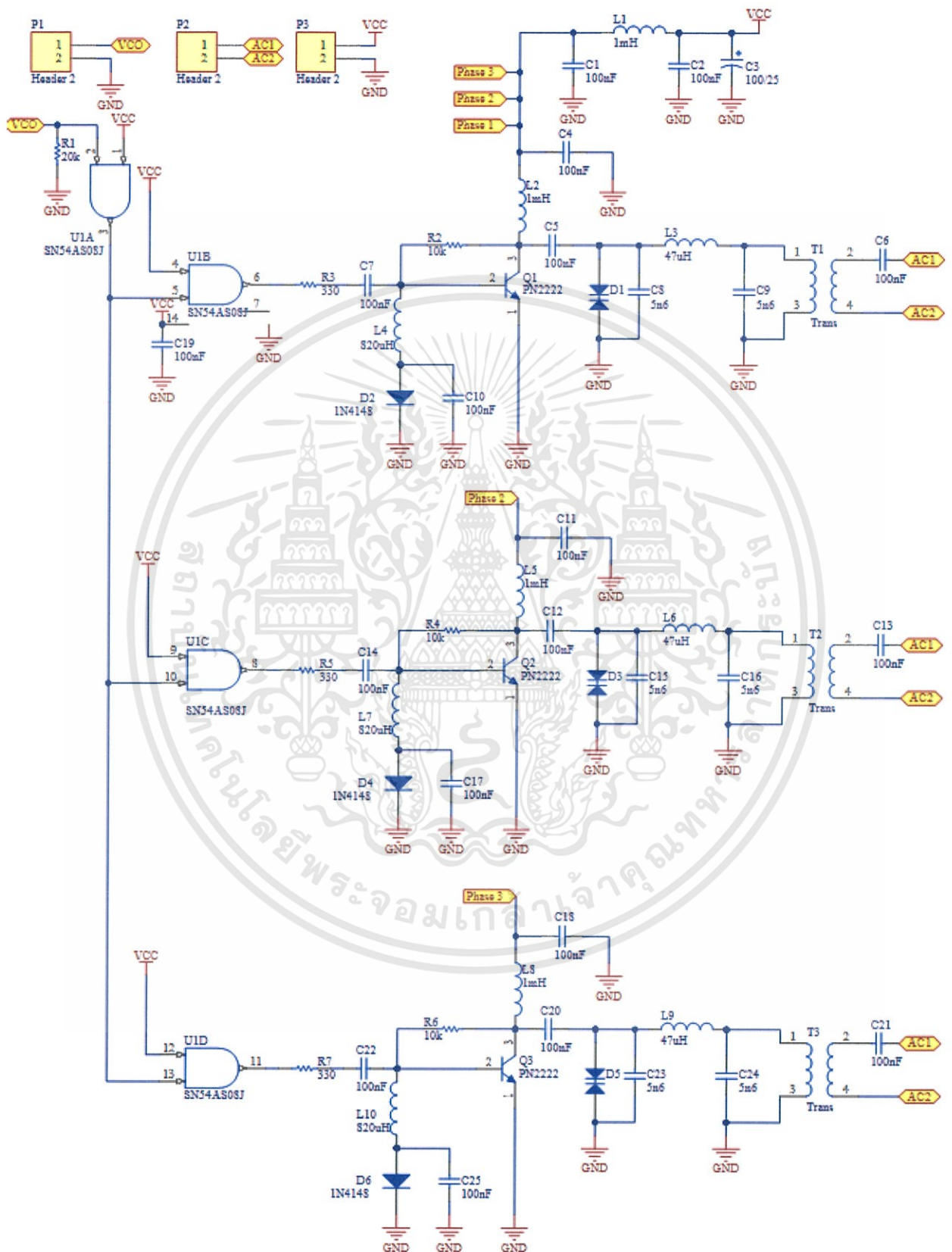


Schematic วงจร Microcontroller ภาาตส่งสัญญาณ

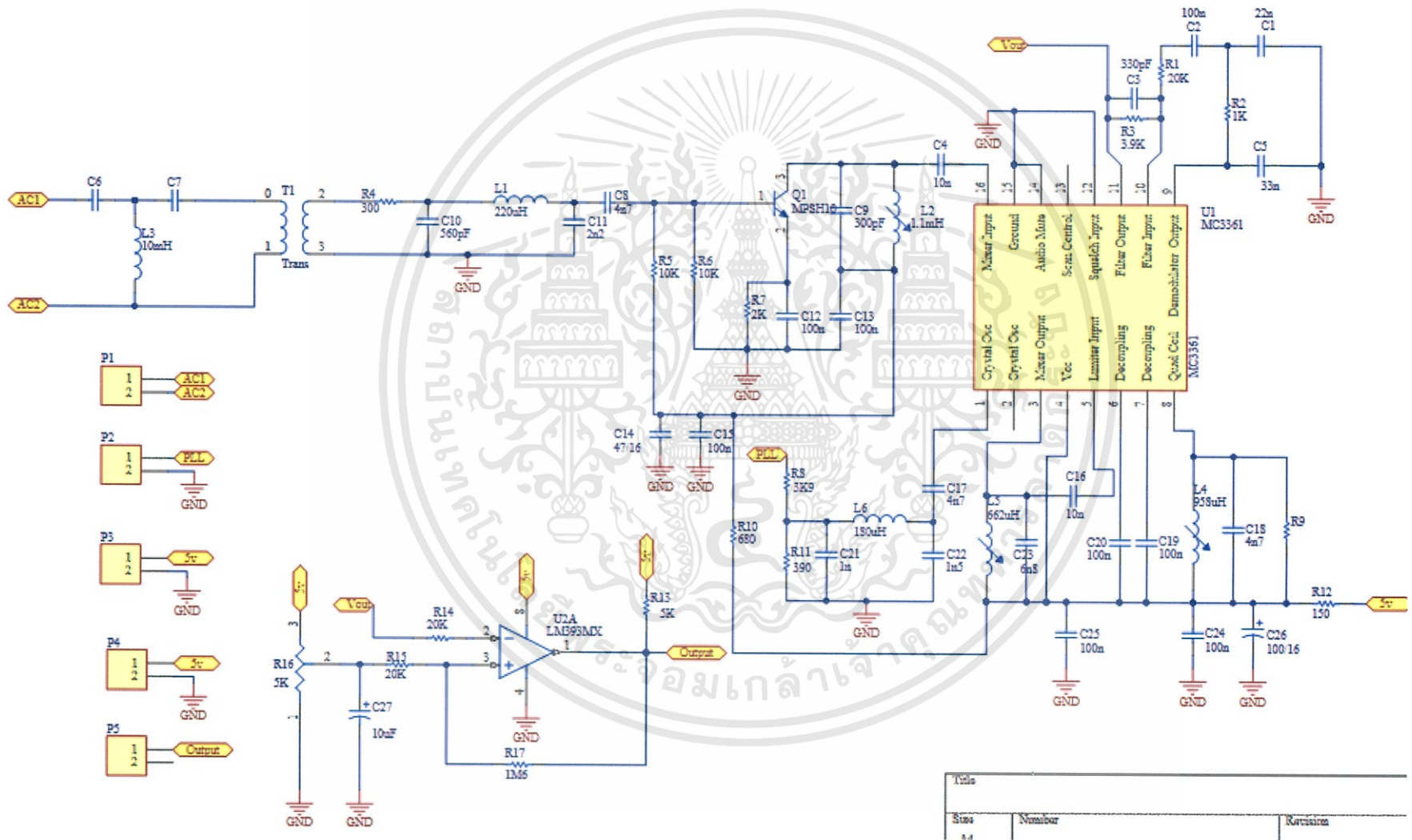


Schematic วงจร Modulation ภาตสังสัญญาณ

## Schematic วงจร Driver 3 Phase ภาคส่งสัญญาณ

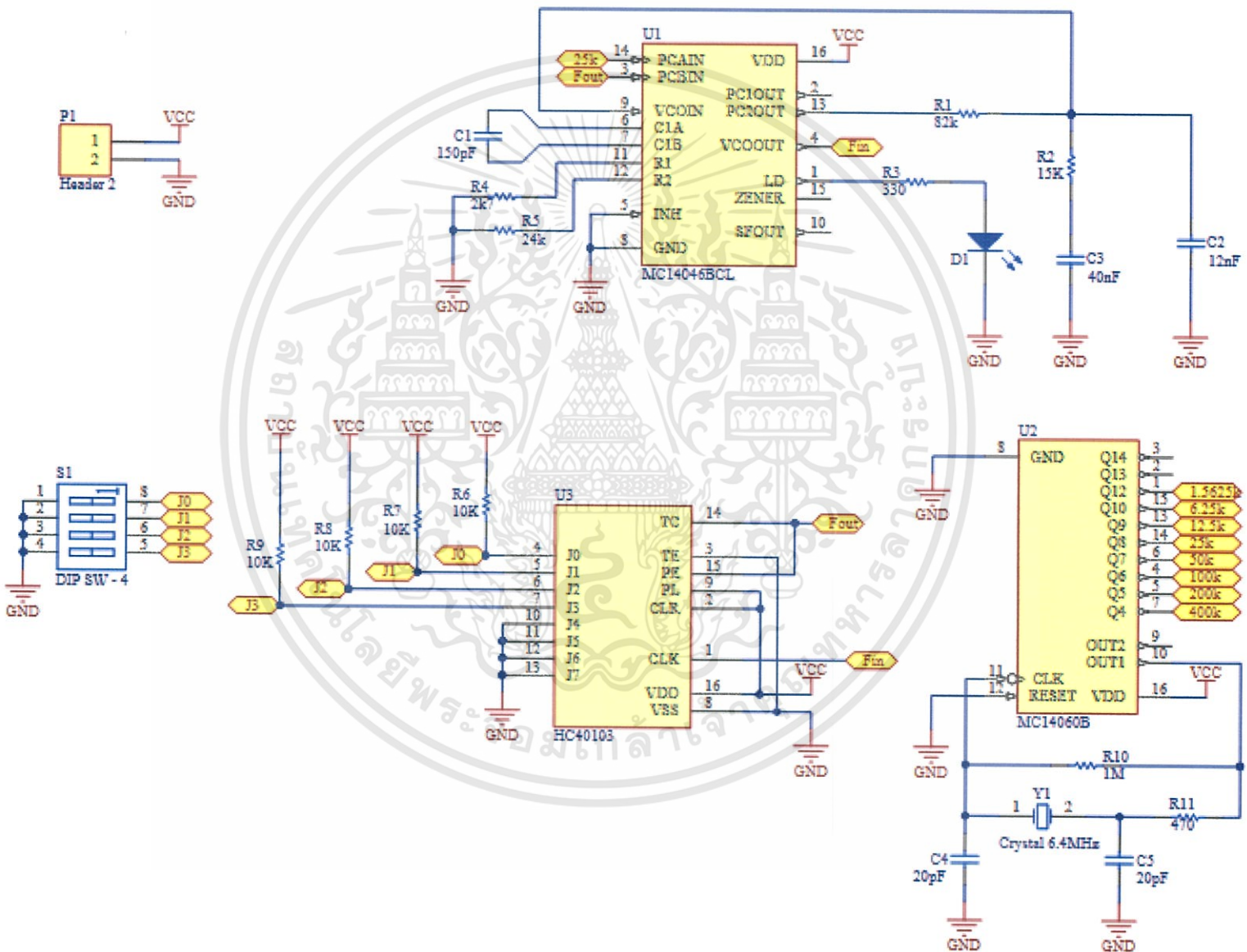


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

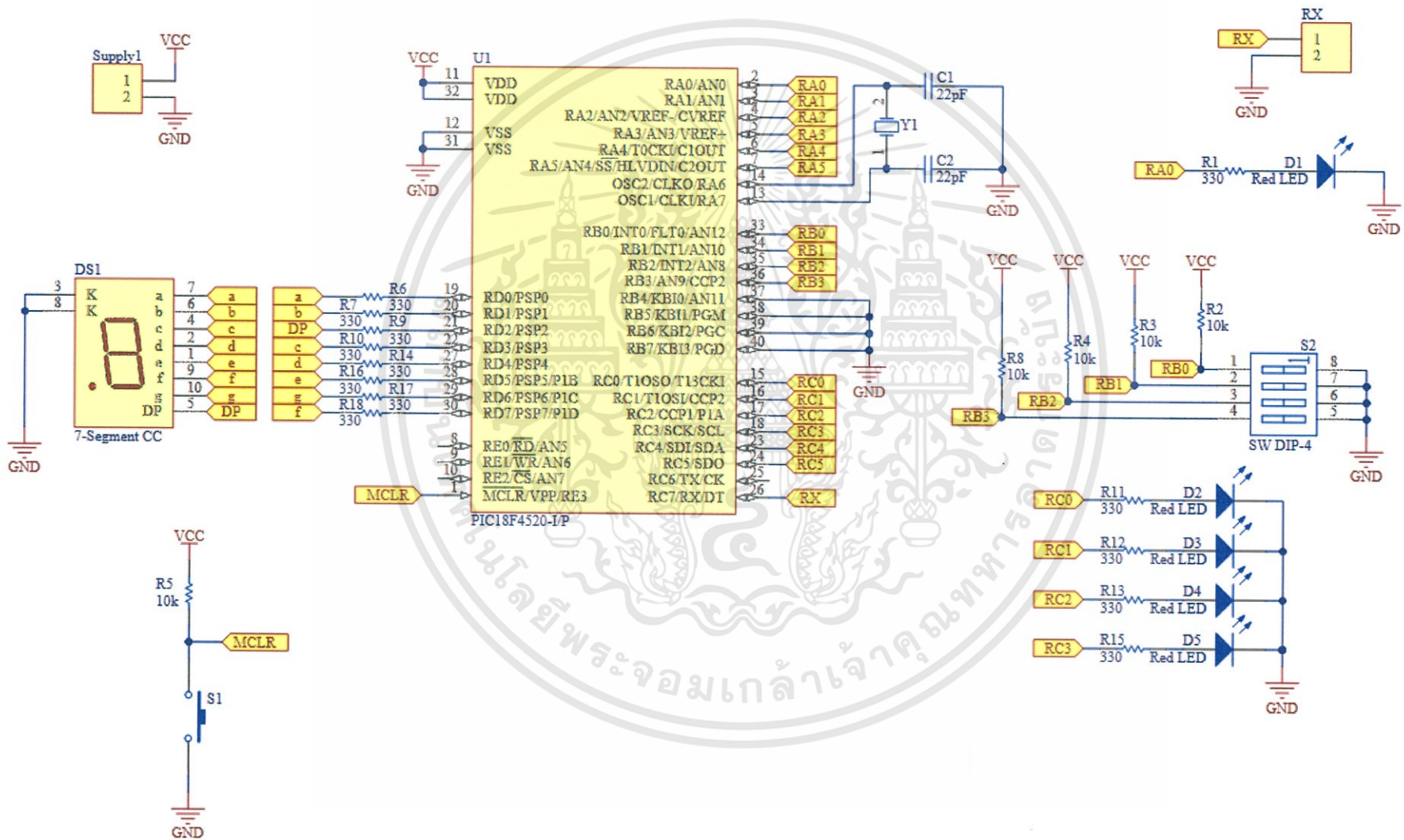


Schematic วงจร FM Demodulator ภาพรับสัญญาณ

Title	Size	Number	Revision
	A4		

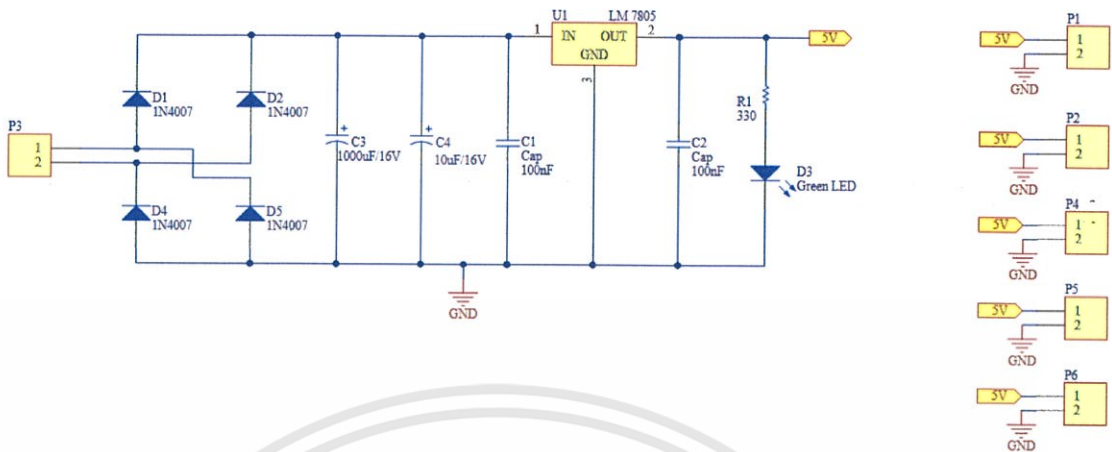


Schematic วงจร PLL ภาครับสัญญาณ

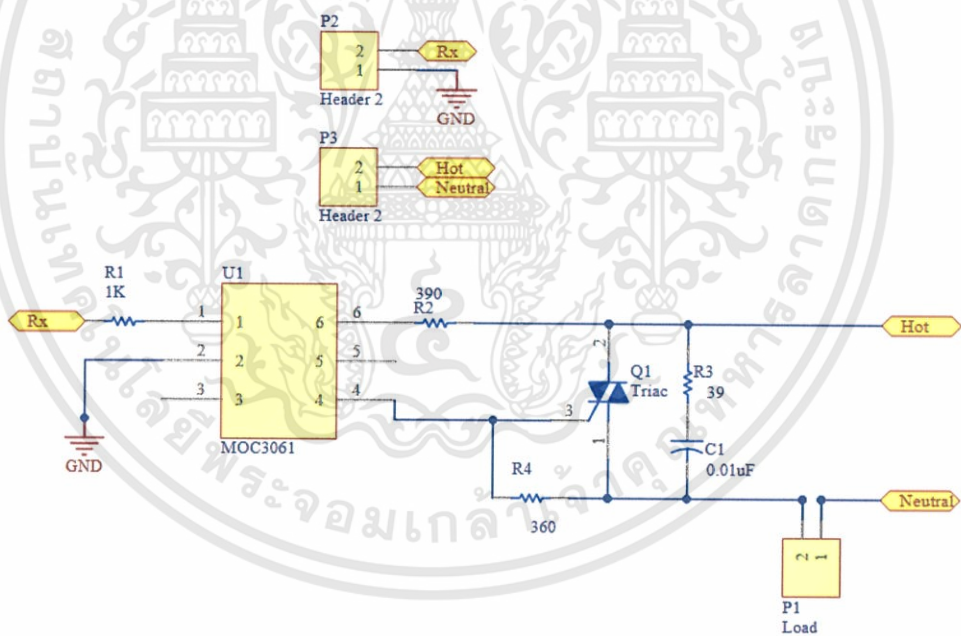


Schematic วงจร Microcontroller ภาครับสัญญาณ

### Schematic วงจร Power Supply



### Schematic วงจรควบคุมอุปกรณ์ทางไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้