

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านสายไฟ AC
APPLIANCE CONTROL VIA AC POWER LINE



โดย
นายญาณเดช สุธรรมมา
นายสุกฤษฎี สอนสวัสดิ์

ปี พ.ศ.
๒๕๔๘
๒๕๔๙

เลขที่.....
เลขทะเบียน **62543**
วัน,เดือน,ปี **19 ส.ค. 2549**

b. **11676008**
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านสายไฟ AC
APPLIANCE CONTROL VIA AC POWER LINE



โดย
นายญาณเดช สุธรรมมา
นายสุกฤษฎี สอนสวัสดิ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านสายไฟ AC
Appliance Control via AC Power line

ผู้จัดทำ นายญาณเดช สุธรรมมา 46015300
นายสุกฤษฎี สอนสวัสดิ์ 46015328



.....ศัฒษัฒ ๑๒๗.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ รัชชชัย คำศรี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านสายไฟ AC

Appliance Control Via AC power line

โดย

นายญาณเดช สุธรรมมา 46015300

นายสุกฤษฎี สอนสวัสดิ์ 46015328

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ รัชชัย คำศรี

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาการใช้สายไฟฟ้าบ้าน เป็นตัวกลางในการส่งสัญญาณไปควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือ ภาคส่งจะใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบ การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ จะสร้างความถี่เปลี่ยนแปลงตามข้อมูลแบบดิจิตอล เพื่อทำการมอดูเลตสัญญาณที่เข้ามา กับคลื่นพาห์ และจะผ่านวงจรคัปปลิ่งเป็นตัวส่งข้อมูลเข้าไปในสายไฟฟ้า ส่วนที่สอง เป็นส่วนของภาครับสัญญาณที่เป็นความถี่จะผ่านวงจรคัปปลิ่ง จะทำการรับสัญญาณจากสายไฟฟ้าในเฟสเดียวกัน และจะใช้ฟิลเตอร์ทำหน้าที่กรองความถี่ที่ติดมากับไฟบ้านทิ้ง และจะใช้การดีมอดูเลตโดยใช้หลักการเฟสล็อกกลุ่ทำหน้าที่แยกคลื่นพาห์ ออกจากสัญญาณที่เราใส่เข้าไป เพื่อให้ได้สัญญาณที่ต้องการ และจะส่งสัญญาณที่ออกจากวงจรดีมอดูเลต ไปเป็นสัญญาณให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในภาครับเพื่อ ไปสั่งงานหรือควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ

การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านสายไฟ AC

Appliance Control Via AC power line

By

Mr. Yandech Suthamma 46015300

Mr. Sukit Sonsawad 46015328

Adviser

Mr. Thawatchai Kamsri

ABSTRACT

The study of electrical appliance control using AC power line is presented in this project. It consists of the transmitting and the receiving part. Transmitting part will modulate digital data input and carrier signal by using Frequency shift keying (FSK) modulate method. Then this modulating signal is sent into AC power line by coupling circuit. Receiving part will receive the signal from the some AC power line passed coupling circuit. This receiving signal is filtered to keep modulating signal. Then it is demodulate to keep the data signal by using Phase Lock Loop (PLL) method. After that the data signal will be used to control the electrical appliance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ดำเนินไปได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำต้องกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้คณะผู้จัดทำสามารถนำความรู้นั้นมาใช้ในการวิจัยปริญญานิพนธ์นี้ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องกราบขอบพระคุณ อาจารย์รัชชชัย คำศรี ที่กรุณาให้แนวคิด ความรู้ คำแนะนำ และเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่จำเป็น และต้องกล่าวขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่เป็นกำลังใจให้คณะผู้จัดทำเสมอมา

อนึ่งความดีใดๆที่เกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบให้แก่ บิดา มารดา และครูอาจารย์ของคณะผู้จัดทำทุกท่าน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์	1
1.2 ขอบเขตของโครงการ	1
1.3 รายละเอียดของปริญญาานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 องค์ประกอบของระบบสื่อสารข้อมูล	3
2.2 ชนิดของสัญญาณ	4
2.2.1 สัญญาณอนาล็อก	4
2.2.2 สัญญาณดิจิทัล	6
2.3 สัญญาณรบกวน	7
2.3.1 สาเหตุของการเกิดสัญญาณรบกวน(Noise)	7
2.4 เปรียบเทียบการส่งสัญญาณแบบอนาลอกกับแบบดิจิทัล	7
2.5 การส่งข้อมูลแบบขนาน	8
2.6 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม	9
2.6.1 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส	9
2.6.2 การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	10
2.7 การมอดูเลตสัญญาณ	11
2.7.1 การมอดูเลตสัญญาณอนาล็อก	11
2.7.1.1 การมอดูเลตทางแอมพลิจูด	12
2.7.1.2 การมอดูเลตทางความถี่	13
2.7.1.3 การมอดูเลตทางเฟส	14
2.7.2 การมอดูเลตสัญญาณดิจิทัล	15
2.7.2.1 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด	15
2.7.2.2 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.7.2.3 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส	17
2.8 ตัวกรองสัญญาณ	18
2.9 ข้อดีตัวกรองสัญญาณแบบแอกทีฟที่มีเหนือกว่าตัวกรองสัญญาณแบบพาสซีฟ	19
2.10 ตัวกรองสัญญาณแบบแอกทีฟตามลักษณะการทำงาน	20
2.11 เฟสลึอกรูป	22
2.12 เชซีคป์ปลิ่ง	24
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	26
3.1 บล็อกไดอะแกรม	26
3.2 การออกแบบ FSK มอดูเลต	27
3.3 การออกแบบ FSK ดีมอดูเลต	29
3.4 วงจรเชซีคป์ปลิ่ง	33
3.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์	34
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	36
4.1 ผลการทดลองวงจรมอดูเลตทางส่ง	36
4.2 ผลการทดลองวงจรดีมอดูเลต	38
4.3 ผลการทดลองวงจรเชซีคป์ปลิ่ง	39
4.4 ผลการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์	43
4.5 ผลการทดลองวงจรรวมทางด้านส่ง	44
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	46
5.1 สรุป	46
5.2 แนวทางวิจัยต่อ	47
ภาคผนวก ก โฟวชาร์ต	
ภาคผนวก ข โปรแกรม	
ภาคผนวก ค เอกสารไอซี	

สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบของการสื่อสารข้อมูล	3
2.2 สัญญาณอนาล็อก	4
2.3 สัญญาณดิจิทัล	5
2.4 การส่งข้อมูลแบบขนาน	7
2.5 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม	8
2.6 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส	10
2.7 การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	10
2.8 สัญญาณมอดูเลตทางแอมพลิจูด	13
2.9 สัญญาณมอดูเลตทางความถี่	14
2.10 สัญญาณมอดูเลตทางเฟส	14
2.11 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด	16
2.12 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่	17
2.13 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส	17
2.14 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด, การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ และการมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส	18
2.15 แสดงผลตอบสนองต่อความถี่ของตัวกรองสัญญาณ	20
2.16 บล็อกไดอะแกรมวงจรมอดูเลตเฟสล็อก	23
2.17 วงจรเอชิตป์ปลิ่ง	24
3.1 บล็อกไดอะแกรมของภาคส่ง	26
3.2 บล็อกไดอะแกรมของภาครับ	26
3.3 วงจร FSK มอดูเลต	28
3.4 วงจรมอดูเลตที่ใช้ในการทดลอง	29
3.5 โครงสร้างภายใน FSK คีมอดูเลต	30
3.6 วงจร FSK คีมอดูเลเตอร์	32
3.7 วงจรคีมอดูเลตที่ใช้ในการทดลอง	32
3.8 วงจรเอชิตป์ปลิ่ง	33
3.9 วงจรเอชิตป์ปลิ่งที่ใช้ในการทดลอง	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์	34
3.11 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ภาคส่งที่ใช้ในการทดลอง	35
3.11 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ภาครับที่ใช้ในการทดลอง	35
4.1 เอาต์พุตของวงจรมอดูเลตเมื่ออินพุตมีค่าเป็น 5 โวลต์	36
4.2 เอาต์พุตของวงจรมอดูเลตเมื่ออินพุตมีค่าเป็น 0 โวลต์	37
4.3 ผลการทดลองวงจรมอดูเลต	37
4.4 เอาต์พุตของวงจรมอดูเลต(เอาต์พุตประมาณ 5 โวลต์)	38
4.5 เอาต์พุตของวงจรมอดูเลต(เอาต์พุตประมาณ 0 โวลต์)	38
4.6 วงจรคัปปลิ่ง(ยังไม่คัปปลิ่งเข้าสายไฟบ้าน)	39
4.7 สัญญาณที่วัดจากไฟบ้าน	40
4.8 สัญญาณที่วัดจากไฟบ้าน(ขยายครั้งที่1)	40
4.9 สัญญาณที่วัดจากไฟบ้าน(ขยายครั้งที่2)	41
4.10 สัญญาณที่วัดจากไฟบ้าน(ขยายครั้งที่3)	41
4.11 สัญญาณที่วัดจากไฟบ้าน(ขยายครั้งที่4)	42
4.12 สัญญาณที่วัดจากไฟบ้าน(ขยายครั้งที่5)	42
4.13 สัญญาณที่ออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์	43
4.14 ภาพจากการทดลองการติดต่อกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์	44
4.15 วงจรรวมทางด้านส่ง	45

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันข้อมูลข่าวสารถือว่าเป็นสิ่งสำคัญอย่างมาก ในยุคโลกาภิวัตน์ และสิ่งที่สำคัญยิ่งไปกว่านั้นก็คือ การส่งข้อมูลไปสู่ผู้รับอย่างถูกต้อง ครบถ้วน การสื่อสารสามารถทำได้หลายลักษณะ เช่น ผ่านเคเบิล สายโทรศัพท์ การส่งข้อมูลโดยผ่านสายสัญญาณดังที่ยกตัวอย่างนั้น จะต้องมีการเดินสายจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ซึ่งจะเป็นการดีถ้าเราสามารถส่งข้อมูลโดยผ่านสายไฟบ้าน เพราะเราไม่จำเป็นต้องเดินสายใหม่ เพราะแต่ละบ้านมีการเดินสายไฟอยู่แล้ว ทำให้สามารถลดต้นทุนได้อย่างมาก

โครงการเรื่องนี้จะกล่าวถึง การส่งข้อมูลผ่านสายไฟบ้าน จะนำสัญญาณข้อมูลแปลงเป็นความถี่ส่งเข้าไปในสายไฟบ้าน (AC line) เพื่อใช้สายไฟบ้านเป็นสายรับ-ส่งสัญญาณ โดยการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการตรวจสอบเพื่อให้สามารถมั่นใจได้ว่า ข้อมูลที่ได้รับนั้น ถูกต้องและครบถ้วน

ในโครงการนี้จะจำลองอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จะควบคุม เป็นหลอดแอลอีดี ซึ่งเป็นพื้นฐานในการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า และจะสามารถนำไปประยุกต์ในโอกาสต่อไป

1.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของการทำงานของการรับส่งข้อมูลผ่านสายไฟบ้าน และการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
2. สามารถนำทฤษฎีไปประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติได้
3. ศึกษาการทำงานของวงจรและโปรแกรม เพื่อสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการทำงานที่ซับซ้อนต่อไปในอนาคตได้

1.2 ขอบเขตของโครงการ

1. สามารถรับและส่งข้อมูลดิจิทัลผ่านสายไฟบ้านได้
2. สามารถใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการสื่อสารแบบอนุกรมได้
3. สามารถนำไมโครคอนโทรลเลอร์ มาควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าได้
4. สามารถควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าในที่ต่างๆให้ทำงานได้ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 รายละเอียดของปฏิญานិพนธ์

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้จะ แบ่งออกเป็น 5 บท และ 3 ภาคผนวก โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. บทที่ 1 จะเป็นส่วนของบทนำ จะกล่าวถึง วัตถุประสงค์ รายละเอียดของปฏิญานิพนธ์ และขอบเขตของโครงการ

2. บทที่ 2 จะเป็นส่วนของทฤษฎี และหลักการ จะกล่าวถึงหลักการสื่อสารเบื้องต้น ชนิดของสัญญาณ การส่งข้อมูลในแบบต่างๆ การมอดูเลต การดีมอดูเลต หลักการเบื้องต้นของตัวกรองสัญญาณ และหลักการเฟสล็อกคูลูป ซึ่งทฤษฎีเหล่านี้ เรานำมาประยุกต์ใช้กับโครงการของเราได้

3. บทที่ 3 จะกล่าวถึงหลักการคำนวณ และการสร้างวงจรมอดูเลต วงจรดีมอดูเลต วงจรเอซิคัปปลิ่ง และวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

4. บทที่ 4 จะเป็นส่วนของผลการทดลองของวงจรมอดูเลต วงจรดีมอดูเลต วงจรเอซิคัปปลิ่ง ผลการทดลองของวงจรรวมในภาคส่งภาครับ และไมโครคอนโทรลเลอร์

5. บทที่ 5 จะเป็นการสรุปปัญหา วิธีการแก้ไข ปัญหา และแนวทางวิจัยต่อไปในอนาคต

6. ภาคผนวก จะแบ่งเป็น 3 หัวข้อ โดยภาคผนวก ก. เป็นส่วนของโฟรเวิร์ด ภาคผนวก ข. จะเป็นส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ ทั้งในภาครับและภาคส่ง และภาคผนวก ค. จะเป็นเอกสาร ไอซี ที่เราใช้ในการทดลอง

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับ โครงงานซึ่งประกอบด้วย ทฤษฎีของสัญญาณ การสื่อสารแบบต่างๆ การรับส่งข้อมูล การมอดูเลต เฟสโค้ดรูปและหลักการ ของตัวกรองสัญญาณ

2.1 องค์ประกอบของระบบสื่อสารข้อมูล

โดยปกติ ในการส่งข่าวสารจากที่หนึ่ง ไปยังอีกที่หนึ่ง จะต้องมียุทธศาสตร์ประกอบของระบบ อย่างน้อย 3 ประการ ดังรูปที่ 2.1 คือ

2.1.1 ผู้ส่งข่าวสาร หรือแหล่งกำเนิดข่าวสาร (source)

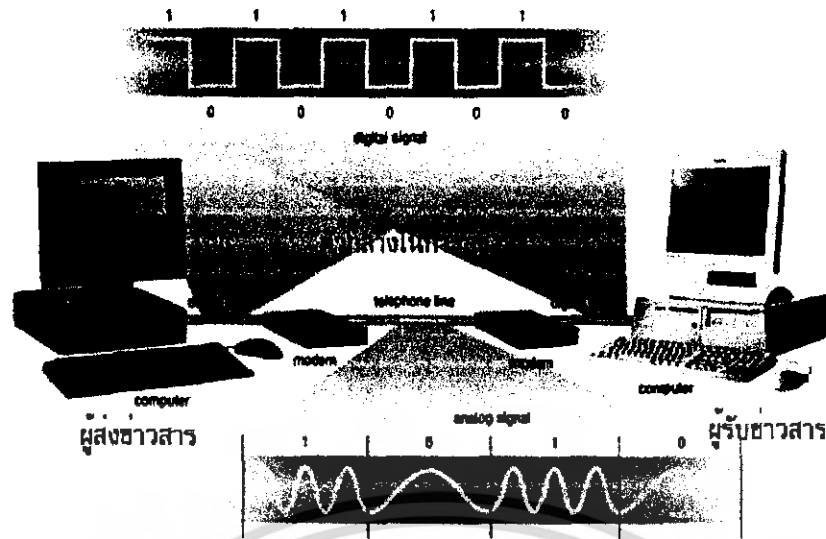
อาจจะเป็นสัญญาณต่าง ๆ เช่น สัญญาณภาพ ข้อมูล และเสียง เป็นต้น ในการติดต่อ สื่อสารสมัยก่อนอาจจะใช้แสงไฟ คิวไฟ หรือท่าทางต่าง ๆ ก็นับว่าเป็นแหล่งกำเนิดข่าวสาร จัดอยู่ในหมวดหมู่นี้เช่นกัน

2.1.2 ผู้รับข่าวสาร หรือจุดหมายปลายทางของข่าวสาร (sink)

ซึ่งจะรับรู้จากสิ่งที่ผู้ส่งข่าวสารหรือแหล่งกำเนิดข่าวสารส่งผ่านมาให้ทราบใดที่ การติดต่อสื่อสาร บรรลุวัตถุประสงค์ ผู้รับสารหรือจุดหมายปลายทางของข่าวสารก็จะได้รับข่าวสารนั้นๆ ถ้าผู้รับสาร หรือจุดหมายปลายทางไม่ได้รับข่าวสาร ก็แสดงว่าการสื่อสารนั้นไม่ประสบความสำเร็จ กล่าวคือ ไม่มีการสื่อสารเกิดขึ้นนั่นเอง

2.1.3 ตัวกลางในการส่ง (Transmission Medium)

จะนำข้อมูลจากผู้ส่งไปให้ผู้รับ หรือตัวกลางที่ข่าวสารเดินทางผ่าน อาจจะเป็นอากาศ สายนำ สัญญาณต่าง ๆ หรือแม้กระทั่งของเหลว เช่น น้ำ น้ำมัน เป็นต้น เปรียบเสมือนเป็นสะพานที่จะให้ ข่าวสารข้ามจากฝั่งหนึ่ง ไปยังอีกฝั่งหนึ่ง



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของการสื่อสารข้อมูล

2.2 ชนิดของสัญญาณ

สัญญาณที่รับส่งผ่านช่องทางการสื่อสารมี 2 ชนิด คือ สัญญาณดิจิทัล (Digital Signal) และสัญญาณอนาล็อก (Analog Signal)

2.2.1 สัญญาณอนาล็อก

สัญญาณอนาล็อกมีทั้งแบบคลื่นพื้นฐานและคลื่นเชิงซ้อน คลื่นแบบพื้นฐานหรือคลื่นไซน์ เป็น คลื่นที่ไม่สามารถแยกต่อไปได้อีกแล้ว ส่วนคลื่นเชิงซ้อนสามารถแบ่งแยก ออกเป็นคลื่นพื้นฐาน หรือคลื่นไซน์หลายๆ คลื่นได้

สัญญาณอนาล็อกแบบพื้นฐาน คลื่นไซน์เป็นรูปแบบพื้นฐานที่สุดของสัญญาณอนาล็อก แบบคาบเวลา โดยมีลักษณะเป็นลอน โคง ที่มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะรอบที่มีความราบเรียบ มีรูปแบบคงที่และต่อเนื่อง คลื่นไซน์ ที่แต่ละรอบประกอบด้วยส่วน โคงเหนือแกน x (แกนเวลา) 1 อันและส่วนโค้งใต้แกน x อีก 1 อัน ลักษณะของคลื่นไซน์นี้ใช้อธิบายเรื่องต่อไปนี้ได้ดี

แอมพลิจูด จากกราฟแอมพลิจูดหรือความสูงของสัญญาณ (Amplitude) คือ ค่าของสัญญาณในจุดใด ๆ บนคลื่น จึงเป็นระยะทางในแนวตั้งจากจุดใดๆ ความสูงของสัญญาณ อาจวัดเป็นโวลต์แอมแปร์หรือวัตต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าที่วัด

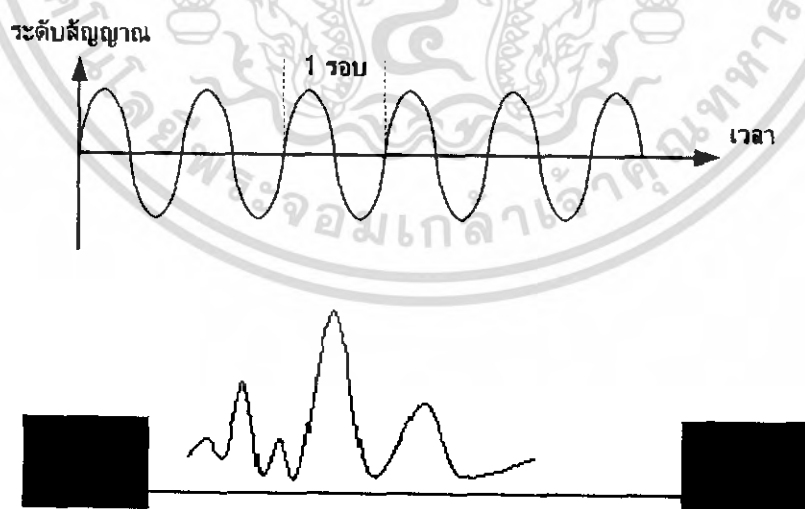
คาบและความถี่ คาบ (Period) หมายถึง เวลาที่สัญญาณแปลงการทำงานครบ 1 รอบ หน่วย มักเป็น วินาที ส่วนความถี่ (Frequency) หมายถึง จำนวนคาบของสัญญาณที่ทำใน 1 วินาที

ดังนั้นความถี่ของสัญญาณจึงเป็นจำนวนรอบต่อวินาที หน่วยของความถี่ (unit of frequency) เป็น เฮิรตซ์ (Heinrich Rudolf Hertz)

เฟส (Phase) หมายถึงลักษณะของตำแหน่งของรูปคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับเวลาใน ตำแหน่งที่ศูนย์ ให้เราคิดว่าคลื่นสามารถเลื่อนไปข้างหน้าหรือถอยหลังได้ตามแกนเวลา เฟสเป็นการบอกถึงจำนวนที่คลื่นเลื่อนไปโดยพิจารณาจากสถานะของคลื่นรอบแรกหน่วยของเฟสวัดเป็น องศา หรือเรเดียน (360 องศาเท่ากับ 2π เรเดียน) ถ้าเฟสเลื่อนไป 360 องศา เท่ากับเลื่อนไป 1 คาบ ถ้าเฟสเลื่อนไป 180 องศา เท่ากับคลื่นเลื่อนไปครึ่งคาบหรือเฟสเลื่อนไป 90 องศา จะเท่ากับคลื่นเลื่อนไปเศษหนึ่งส่วนสี่ของคาบ

การศึกษาเปรียบเทียบระหว่างแอมพลิจูด ความถี่และเฟส ทำให้เข้าใจการทำงานของคลื่น และการเปลี่ยนแปลงทั้ง 3 ลักษณะนำไปสู่สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และสัญญาณ ควบคุม ซึ่งเป็นพื้นฐานของการสื่อสารทางไกลทั้งหมด

เราทราบมาแล้วว่าความถี่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณกับเวลาและความถี่ของคลื่น คือจำนวนของรอบที่ทำเสร็จใน 1 วินาที ถ้าคลื่นหนึ่งมีความถี่เท่ากับ 40 Hz อีกคลื่นหนึ่งมีความถี่ เท่ากับ 80 Hz คลื่นแรกจึงมีความถี่เป็นครึ่งหนึ่ง ดังนั้นแต่ละรอบใช้เวลาเป็น 2 เท่าในการเปลี่ยน กระแสไฟจากระดับต่ำสุด ไประดับสูงสุด ดังนั้นเรากล่าวถึงความถี่ซึ่งเป็นจำนวนรอบใน 1 วินาที หรือเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงสัญญาณใน 1 หน่วยเวลานั้นเอง ถ้าในช่วงเวลาหนึ่ง สัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงมาก แสดงว่าคลื่นนั้นมีความถี่สูง ตรงกันข้ามถ้าการเปลี่ยนแปลงใช้เวลานาน แสดงว่าคลื่นนั้นมีความถี่ต่ำดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 สัญญาณอนาล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

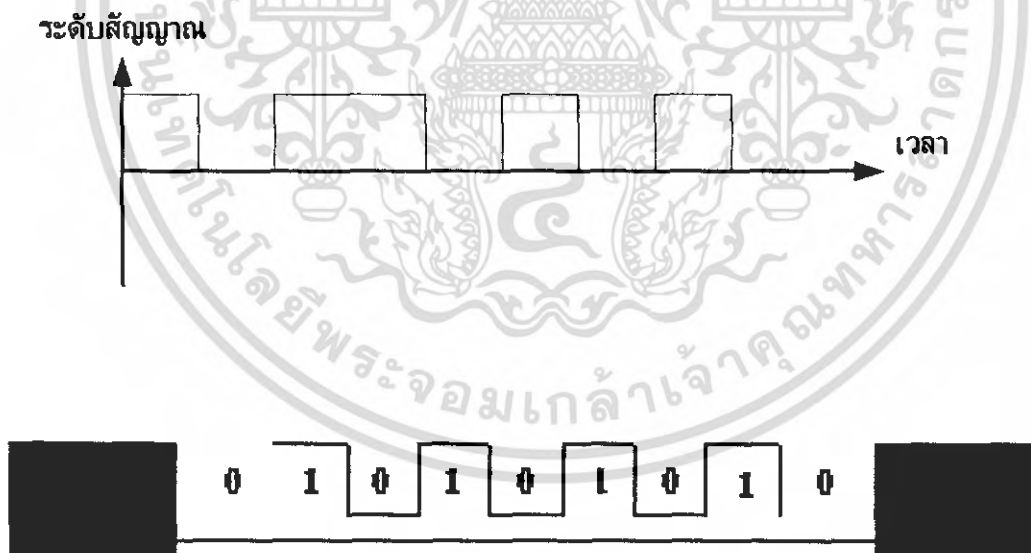
2.2.2 สัญญาณดิจิทัล

ข้อมูลนอกจากจะแทนค่าด้วยสัญญาณอนาล็อก ยังแทนค่าด้วยสัญญาณดิจิทัล ยกตัวอย่างเช่น บิต 1 สามารถเข้ารหัสโดยใช้กระแสไฟฟ้าเป็นบวกและให้ 0 เข้าใกล้ กระแสไฟฟ้า 0 โวลต์

แถบความถี่และแบนด์วิดท์ ในตอนนี้เราจะกล่าวถึงคำศัพท์ 2 คำคือ แถบความถี่ (Spectrum) และแบนด์วิดท์ (Bandwidth) แถบความถี่ของสัญญาณเป็นกลุ่มขององค์ประกอบทั้งหมดของความถี่ อาจกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่าแบนด์วิดท์หมายถึงช่วงที่มีความถี่เป็นองค์ประกอบ และแถบความถี่หมายถึง องค์ประกอบที่อยู่ในช่องนั้น แบนด์วิดท์คำนวณได้จากความถี่สูงสุดลบด้วยความถี่ต่ำสุด

แอมพลิจูด คาบ และเฟส คุณสมบัติของสัญญาณอนาล็อกแบบคาบเวลา ทั้ง 3 อย่าง (แอมพลิจูด คาบและเฟส) สามารถนำมาใช้ได้กับสัญญาณดิจิทัลแบบคาบเวลาได้เช่นกัน

ช่วงบิตและอัตราบิต สัญญาณดิจิทัลส่วนใหญ่ ที่เป็นแบบคาบเวลาทำให้การใช้คาบหรือความถี่ไม่เหมาะสม จึงเกิด คำศัพท์ใหม่ 2 คำที่ใช้อธิบายลักษณะของสัญญาณดิจิทัลคือคำว่า ช่วงบิต (Bit Interval) ใช้แทน ความถี่ช่วงบิตคือเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูล 1 บิต ส่วนอัตราบิตคือ จำนวนของช่วงบิตในเวลา 1 วินาที เขียนแทนด้วย bps (bit per second) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สัญญาณดิจิทัล

2.3 สัญญาณรบกวน

เมื่อสัญญาณข้อมูลถูกส่งออกจากหน่วยส่งสัญญาณไปตามช่องทางการสื่อสาร ในขณะที่สัญญาณข้อมูลกำลังเดินทางอยู่นั้น อาจเกิดเหตุการณ์ต่างๆ กับสัญญาณข้อมูล ทำให้สัญญาณข้อมูลผิดเพี้ยนไปหรือได้สัญญาณไร้คุณภาพ ไม่ชัดเจน หรือมีสัญญาณแทรกซ้อนเข้ามาในขณะที่ทำการสื่อสารสัญญาณรบกวน เป็นสัญญาณที่มีรูปแบบไม่แน่นอน เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

2.3.1 สาเหตุของการเกิดสัญญาณรบกวน (Noise)

1. เกิดจากสภาพอากาศ เช่น ฝนตก ฟิวรี่ง โดยเฉพาะการสื่อสารทางโทรทัศนส์ผ่านดาวเทียม ทำให้สัญญาณที่ได้รับไม่ชัดเจน
2. ระดับกระแสของสัญญาณไม่คงที่ คลื่นของสัญญาณไฟฟ้ามีกำลังไม่คงที่ ทำให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพของสัญญาณ
3. สนามแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อสัญญาณข้อมูลเดินทางผ่านหรือเข้าใกล้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า สัญญาณข้อมูลจะเหนี่ยวนำ ทำให้ข้อมูลผิดพลาด
4. การเชื่อมต่ออุปกรณ์ไม่ได้มาตรฐาน การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกัน ถ้าหากทำไม่ดี ไม่มีคุณภาพ ก็จะเกิดปัญหาสัญญาณรบกวน ได้

จากเหตุดังกล่าว บางอย่างไม่สามารถควบคุมได้ แต่บางอย่างสามารถควบคุมได้ เช่นการใช้ตัวกลาง หรือสายสัญญาณที่มีคุณภาพที่มีตัวป้องกันสัญญาณรบกวน(Shield) เช่น สาย Coaxial จะสามารถป้องกันสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้

2.4 เปรียบเทียบการส่งสัญญาณแบบอนาล็อกกับแบบดิจิทัล

2.4.1 สัญญาณรบกวน (Noise) ที่เกิดขึ้นในการส่งสัญญาณแบบอนาล็อกจะถูก "ขยาย" เมื่อสัญญาณถูกขยาย แต่สำหรับการส่งสัญญาณแบบ ดิจิตอลจะ ไม่มีการขยายสัญญาณแต่จะเป็นการ " ทบทวน " สัญญาณใหม่ให้กลับมาเหมือนเดิม ดังนั้นค่าของอัตราส่วนของสัญญาณที่ส่ง ต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-Noise ratio : S/N)ของการส่งแบบดิจิตอลจึงดีกว่าการส่งแบบอนาล็อก

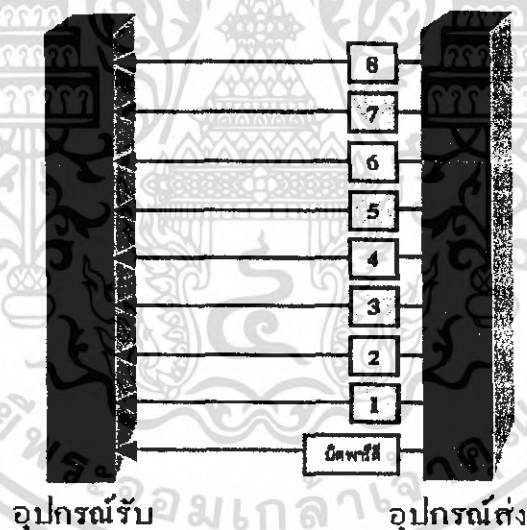
2.4.2 การมัลติเพล็กซ์ การส่งสัญญาณข้อมูลจากแหล่งกำเนิดหลายแหล่ง โดยผ่านตัวกลางสายส่งเดียวกันเป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช้จ่าย เพียงแต่มี เทคนิคที่เรียกว่า " การมัลติเพล็กซ์ "

(Multiplex) และ " การดีมัลติเพล็กซ์ " (Demultiplex) เพื่อแยกแต่ละสัญญาณออกจากกันเมื่อสัญญาณทั้งหมดถึงปลายทาง คำใช้จ่ายในการมัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพล็กซ์สัญญาณในการส่งสัญญาณแบบอนาล็อกนั้นแพงกว่าที่ใช้ในการส่งสัญญาณแบบดิจิทัลมาก

2.4.3 ความเร็ว ความเร็วในการส่งสัญญาณข้อมูลในเครือข่ายแบบดิจิทัลสามารถทำได้เร็ว และส่งได้มากกว่าในเครือข่ายแบบอนาล็อก แนวโน้ม ปัจจุบันและอนาคตของการส่งข้อมูลในระบบเครือข่ายจะเป็นแบบดิจิทัลมากขึ้นกว่าแบบอนาล็อก

อย่างไรการสื่อสารระบบดิจิทัลก็มีข้อเสียอยู่ คือ เพิ่มแบนด์วิดท์ของสัญญาณ เช่น สัญญาณเสียงพูดสำหรับโทรศัพท์ ซึ่งกำหนดไว้มีแบนด์วิดท์ไม่เกิน 3.4 KHz เมื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลแล้วส่งด้วยอัตรา 2.048 Mb/s อย่างน้อยที่สุดสายส่งที่ใช้ต้องมีผลตอบสนองความถี่ในย่าน 2.048 MHz ได้ทำให้ต้องใช้สายส่งที่มีราคาแพงขึ้น

2.5 การส่งข้อมูลแบบขนาน (Parallel)



รูปที่ 2.4 การส่งข้อมูลแบบขนาน

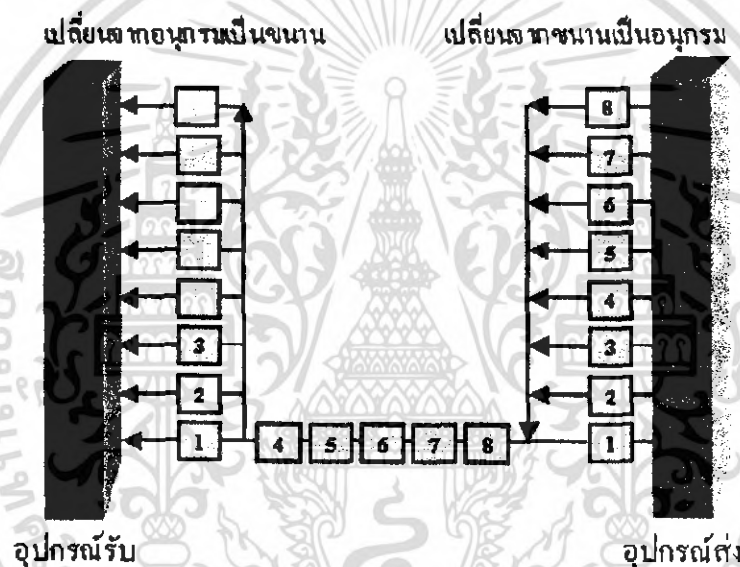
การส่งข้อมูลแบบขนาน ข้อมูลแต่ละบิตจะถูกส่งออกไปพร้อมๆกัน เช่น ค่าข้อมูลเป็น 10111010 บิตทั้ง 8 บิต จะถูกส่งออกไปพร้อมๆกันในสายส่งข้อมูล 8 เส้น หนึ่งบิตต่อหนึ่งเส้นการส่งข้อมูลภายในเครื่องคอมพิวเตอร์จะเป็นการส่งแบบขนานทั้งสิ้น เนื่องจากระยะทางในการส่ง

ข้อมูลไม่ไกลกันมากนักถึงแม้จะสิ้นเปลืองอุปกรณ์หรือสายส่งสัญญาณแต่ก็คุ้มกับความเร็วที่ได้รับ
 ดังแสดงในรูปที่ 2.4

2.6 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม (Serial)

การส่งข้อมูลแบบอนุกรม ข้อมูลแต่ละบิตจะถูกส่งเรียงกันออกไปตามลำดับต่อเนื่องกัน
 ไปในสายส่งข้อมูลเส้นเดียวกันดังแสดงรูปที่ 2.5

การส่งข้อมูลแบบอนุกรมจะช้ากว่าแบบขนานแต่สามารถส่งได้ไกลกว่า และที่สำคัญ คือ
 จะประหยัดค่าใช้จ่าย (ค่าสายสื่อสาร) กว่าแบบขนานมาก



รูปที่ 2.5 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม

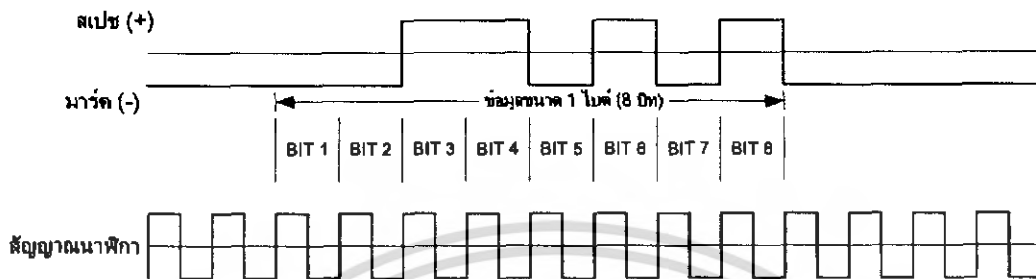
การส่งข้อมูลแบบอนุกรม แบ่งรูปแบบการส่ง ออกเป็น 2 แบบด้วยกันคือ

2.6.1 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส

การส่งข้อมูลต่อเนื่องกันไปทีละบิตหรือเรียกว่าแบบอนุกรม นั้น ยังสามารถแบ่งวิธีการ
 รับ-ส่ง เป็นวิธีหลักๆ ได้ 2 วิธีด้วยกันคือ การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส (Synchronous Transmission)
 และการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Transmission)

การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสใช้ในการส่งข้อมูลในความเร็วสูง เนื่องจากข้อมูลที่ส่งออกไป
 ไปจะถูกจัดไว้เป็นชุด (Frame) ในแต่ละชุดอาจประกอบด้วยอักขระนับเป็นพันๆ ตัว การส่งข้อมูล

แบบนี้จะมีการส่งสัญญาณนาฬิกาไปพร้อมๆ กับสัญญาณข้อมูล เพื่อให้การทำงานประสานกันระหว่างกัน หรือเรียกว่าการทำซิงโครไนซ์กัน สัญญาณนาฬิกาอาจจะส่งไปในสายสัญญาณเดียวหรือแยกส่งคนละสายก็ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.6

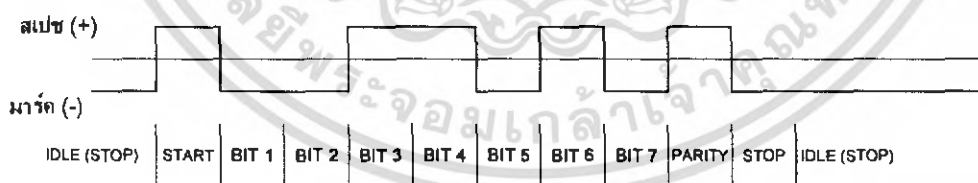


รูปที่ 2.6 การส่งข้อมูลแบบซิงโครไนซ์

2.6.2 การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครไนซ์

การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครไนซ์นี้จะเกิดความผิดพลาดน้อยกว่าแบบซิงโครไนซ์ เนื่องจากข้อมูลที่ส่งออกไปจะถูกแยกส่งทีละตัว เมื่อเกิดความผิดพลาดกับอักขระตัวใด ก็ส่งให้ใหม่ เฉพาะตัวนั้น ไม่ต้องส่งใหม่ทั้งหมด(Frame) เหมือนแบบซิงโครไนซ์

อักขระแต่ละตัวที่ถูกส่งออกไปจะมีบิตเริ่มต้น (Start bit) นำหน้าและบิตปิดท้าย (Stop-bit) เพื่อบอกจุดสิ้นสุดของอักขระทำให้การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครไนซ์นี้ช้า เพราะต้องเสียเวลากับการส่งบิตเริ่มต้นและบิตปิดท้ายไปทุกๆตัวอักขระ ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครไนซ์

การส่งข้อมูลแบบนี้ไม่ต้องซิงโครไนซ์กัน นั่นหมายความว่า การส่งข้อมูลแต่ละตัวจะมีระยะเวลาการส่งไม่แน่นอน โดยปกติแล้วการส่งข้อมูลแบบนี้จะให้ความเร็วประมาณ 1,800 บิตต่อวินาที

2.7 การมอดูเลตสัญญาณ (Signal Modulation)

เมื่อต้องการจะส่งสัญญาณเสียงหรือข้อมูลผ่านช่องทางการสื่อสาร ต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้าช่วยพาสัญญาณเหล่านั้นให้เคลื่อนย้ายจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ขั้นตอนในการเพิ่มพลังงานไฟฟ้าดังกล่าว เรียกว่า การมอดูเลต (Modulation) พลังงานไฟฟ้าซึ่งมีความถี่สูงและคงที่ รวมทั้งมีแอมพลิจูด (ขนาด) สูงด้วยนั้นเราเรียกว่าสัญญาณคลื่นพาห์ (Signal Carrier)

อุปกรณ์สำหรับมอดูเลตสัญญาณ (Modulator) จะสร้างสัญญาณคลื่นพาห์และรวมเข้ากับสัญญาณข้อมูลเพื่อให้สัญญาณมีความแรงพอที่จะส่งผ่านสื่อกลางไปยังอีกจุดหนึ่งที่อยู่ไกลออกไปได้ และเมื่อถึงปลายทางก็จะมีอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่แยกสัญญาณคลื่นพาห์ออกให้เหลือเพียงสัญญาณข้อมูล เราเรียกวิธีการแยกสัญญาณนี้ว่า " การดีมอดูเลต (Demodulation) "

ในการส่งสัญญาณเสียง หรือสัญญาณข้อมูลผ่านช่องทางการสื่อสารนั้น พาห์ หรือตัวนำสัญญาณใน การเคลื่อนย้ายข้อมูลต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้าเป็นตัวนำ ซึ่งขั้นตอนในการเพิ่มพลังงานไฟฟ้า เรียกว่ามอดูเลชัน หรือการกล้ำสัญญาณที่เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่มีความถี่สูง และคงที่ รวมถึงมีแอมพลิจูด (ขนาด) สูงด้วย เราเรียกว่าสัญญาณคลื่นพาห์ ขั้นตอนการทำงานจะเริ่ม โดยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่มอดูเลเตอร์ จะสร้างสัญญาณคลื่นพาห์ เพื่อให้สัญญาณมีความเข้มข้นพอที่จะส่ง และเมื่อถึงปลายทาง ก็จะมีอุปกรณ์ที่แยกสัญญาณคลื่นพาห์ ออกให้เหลือแต่สัญญาณข้อมูล ซึ่งการแยกนี้เราเรียกว่า " ดีมอดูเลต "

2.7.1 การมอดูเลตสัญญาณอนาล็อก

ในกระบวนการมอดูเลต เราจะใช้คลื่นไซน์ที่มีความถี่สูงเป็นพาห์ แล้วเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางอย่างของคลื่นพาห์ด้วยสัญญาณข่าวสาร โดยทั่วไปสัญญาณข่าวสารได้แก่สัญญาณออกไอ สัญญาณภาพ หรือข้อมูล อื่นๆ การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคลื่นพาห์นี้เราเรียกว่า การมอดูเลต

คลื่นรูปไซน์ที่เราใช้เป็นพาห์นั้น เราสามารถเขียนสมการทางคณิตศาสตร์แทนได้ดังนี้

$$e = A \sin(\omega t + \theta) \quad (2.1)$$

เมื่อ

e คือค่าแรงดัน(หรือกระแส)ของคลื่นพาห์ใดๆ

A คือแอมพลิจูด หรือขนาดสูงสุดของคลื่นพาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ω คือความถี่เชิงมุม = $2\pi f$
- t คือเวลา
- φ คือเฟส หรือมุมทางไฟฟ้า
- f คือความถี่

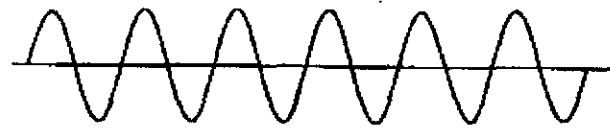
จากสมการข้างต้นจะเห็นว่า คุณสมบัติประจำตัวของคลื่นรูปไซน์ และที่สำคัญมีอยู่ 3 ประการซึ่งเราสามารถเปลี่ยนแปลงหรือมอดูเลตได้คือ แอมพลิจูด(A) ความถี่เชิงมุม(ω) หรือความถี่ (f) และเฟส (φ)

วิธีการมอดูเลตสัญญาณอนาล็อกเพื่อส่งผ่านไปในช่วงทางสื่อสารอนาล็อกนั้นมี 3 วิธีด้วยกันคือ

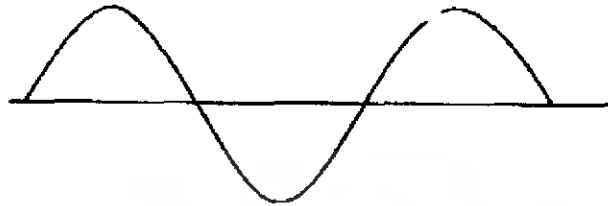
1. การมอดูเลตทางแอมพลิจูด (Amplitude Modulation, AM)
2. การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation, FM)
3. การมอดูเลตทางเฟส (Phase Modulation, PM)

2.7.1.1 การมอดูเลตทางแอมพลิจูด

วิธีนี้เป็นวิธีการที่คงเคิมและสะดวกสบายที่สุด เนื่องจากว่าความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห้จะคงที่และสูงกว่าความถี่ของสัญญาณข้อมูล ดังรูปที่ 2.8 แต่วิธีการนี้ก็มีข้อเสียอยู่ตรงที่ว่า แบนด์วิดท์ของสัญญาณ AM นั้นเป็นย่านความถี่ที่ไม่ค่อยสูงนัก ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนเข้ามารบกวนได้โดยง่าย นอกจากนี้ยังสิ้นเปลืองพลังงานในการส่งสูงอีกด้วย



สัญญาณคลื่นพาห้



สัญญาณข้อมูล

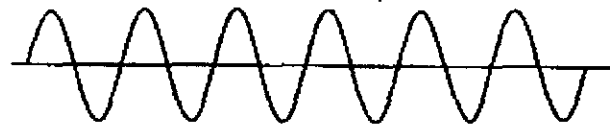


สัญญาณมอดูเลตทางแอมพลิจูด

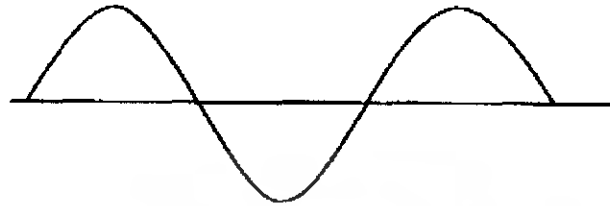
รูปที่ 2.8 สัญญาณมอดูเลตทางแอมพลิจูด

2.7.1.2 การมอดูเลตทางความถี่

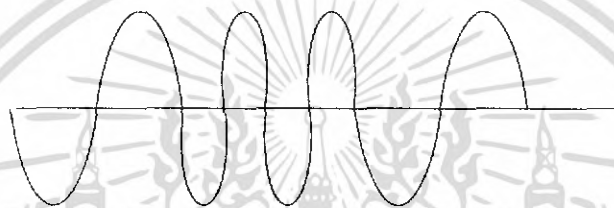
เป็นวิธีการที่ตรงกันข้ามกับ AM ในการมอดูเลตแบบ FM นี้จะมีแอมพลิจูดคงที่ แต่ความถี่ของสัญญาณจะไม่คงที่เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ของสัญญาณข้อมูล แต่ข้อเสียของสัญญาณ FM นี้จะอยู่ที่ว่ามีการใช้แบนด์วิดท์ที่มีขนาดกว้าง เนื่องจากสัญญาณข้อมูลมีหลายความถี่ ทำให้ต้องการสายสื่อสารที่มีแบนด์วิดท์กว้าง และทำให้ราคาของสายสูงขึ้นตามไปด้วย คุณภาพของสัญญาณ FM นั้นจะดีกว่าแบบ AM แต่ระบบการทำงานจะซับซ้อนมากกว่า ปัจจุบันมีการเพิ่มวงจรเฟสล็อกเข้าไปในระบบเพื่อปรับความถี่ และเฟสของสัญญาณ ทำให้สัญญาณมีคุณภาพ และถูกต้องยิ่งขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.9



สัญญาณคลื่นพาส์



สัญญาณข้อมูล

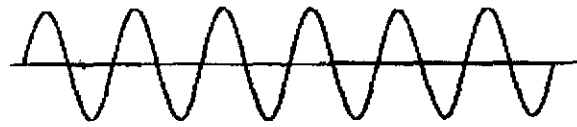


สัญญาณมอดูเลตทางเฟส

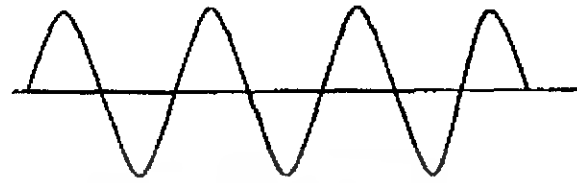
รูปที่ 2.9 สัญญาณมอดูเลตทางความถี่

2.7.1.3 การมอดูเลตทางเฟส

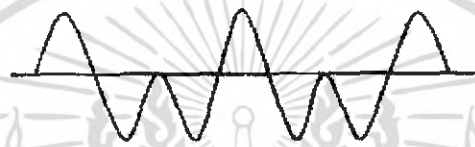
วิธีการมอดูเลชันแบบ AM และ FM นิยมใช้ในการกระจายเสียงของวิทยุ แต่แบบ PM กลับนิยมใช้ในการแพร่ภาพทางโทรทัศน์ ซึ่งวิธีการ PM ดังแสดงในรูปที่ 2.10 นี้สามารถเปลี่ยนแปลงเฟสของสัญญาณได้ง่ายกว่าแบบ FM แต่เป็นวิธีที่มีวงจรถ่วงข้างซับซ้อนมากกว่าจึงไม่ค่อยเป็นที่นิยม ในการส่งข้อมูลแบบอนาล็อก ในการมอดูเลชันแบบ PM นี้ให้ครึ่งรอบของสัญญาณเป็นมุมเฟสเท่ากับ 180 องศา และเมื่อครบ 1 รอบ ก็เท่ากับ 360 องศา โดยเมื่อสัญญาณมอดูเลตจะมีการเปลี่ยนแปลงกลับมุมเฟสทุกครั้งที่สัญญาณคลื่นพาส์ เท่ากับ 180 องศา



สัญญาณคลื่นพาส์



สัญญาณขอมูล



สัญญาณมอดูเลตทางเฟส

รูปที่ 2.10 สัญญาณมอดูเลตทางเฟส

2.7.2 การมอดูเลตสัญญาณดิจิทัล

ในการส่งสัญญาณดิจิทัล โดยผ่านช่องทางสื่อสารของอนาล็อก ที่เรากันเคยกันได้แก่ การส่งข้อมูล คอมพิวเตอร์ผ่านเครือข่ายโทรศัพท์สาธารณะ ซึ่งอาศัยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิทัล ให้เป็นสัญญาณอนาล็อกย่านความถี่เสียง (โทรศัพท์ใช้ย่านความถี่เสียงประมาณ 300-3400 MHz) ที่เรียกว่า โมเด็ม : Modulator-DEModulator เทคนิคการแปลงสัญญาณข้อมูลดิจิทัลให้เป็นสัญญาณอนาล็อกนั้นมีอยู่ด้วยกัน 3 วิธี

2.7.2.1 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (Amplitude-Shift Keying หรือ ASK)

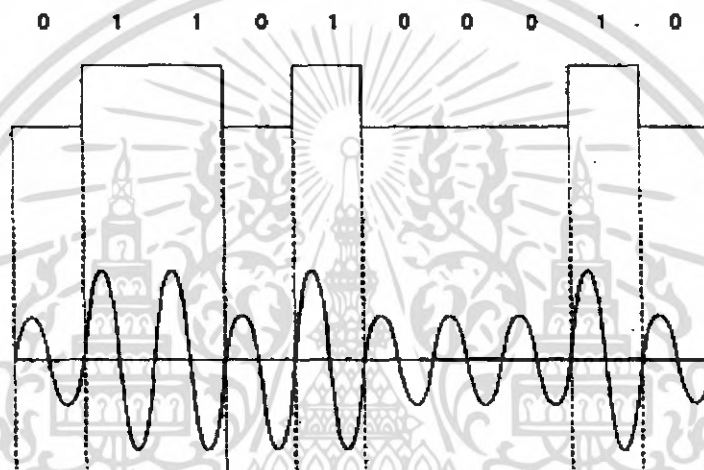
รูปที่ 2.11 แสดงการมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด เป็นวิธีมอดูเลตวิธีแรกๆ ที่ทำให้สามารถส่งข่าวสารในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้าไปในระยะไกลๆ ได้ การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูดใช้เทคนิคของการปิด-เปิดสวิตช์ รูปแบบที่ง่ายที่สุดของคลื่นพาส์ คือสัญญาณไฟตรงที่มีระดับแรงดัน 0 โวลต์ หรือระดับที่สูงสุดที่จะเป็นไปได้ ในปัจจุบันไม่ว่าจะเป็นการส่งโดยใช้สายส่งหรือไม่ใช้สายส่ง เราก็มักจะใช้สัญญาณซายน์ (sinusoidal) ที่มีความถี่ในย่าน AF ของ HF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นคลื่นพาห้การเปิด-ปิดสวิทช์ของสัญญาณคลื่นพาห้อาจจะใช้เครื่องกำเนิดโดยตรง หรืออาจจะใช้สัญญาณนาฬิกา ควบคุมเครื่องกำเนิดสัญญาณคลื่นพาห้ อีกชั้นหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.11

ในระบบ ASK สัญญาณไบนารีที่เป็น 1 แทนด้วยการส่งสัญญาณคลื่นพาห้ที่เป็นไซน์ที่มีขนาดของแอมพลิจูดคงที่ A_c และความถี่คงที่ f_c สำหรับลำดับของบิต จำนวน T_b seconds, เราสามารถเขียนสมการคณิตศาสตร์แทนสัญญาณดิจิทัล ASK ได้เป็น

$$\begin{aligned} s(t) &= A_c \cos(2\pi f_c t) && \text{symbol 1} \\ s(t) &= 0 && \text{symbol 2} \end{aligned} \quad (2.2)$$



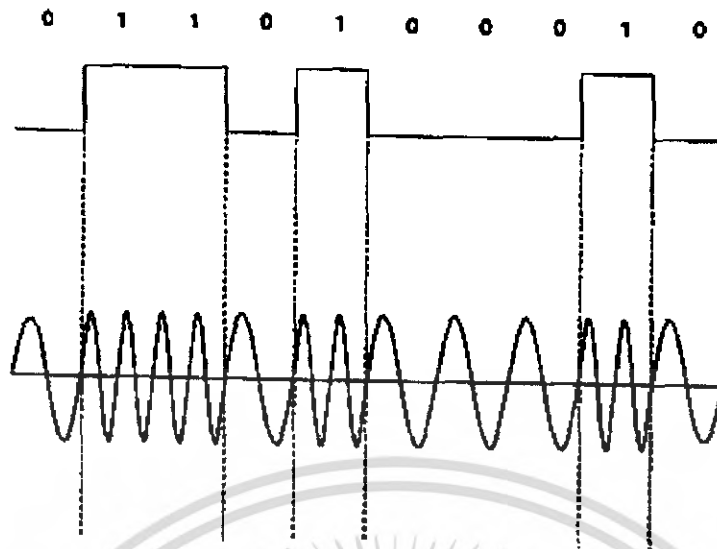
รูปที่ 2.11 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด

2.7.2.2 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (Frequency-Shift Keying หรือ FSK)

รูปที่ 2.12 แสดงการมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ จะใช้สัญญาณคลื่นพาห้ที่เป็นไซน์ 2 ชุด ที่มีขนาดแอมพลิจูด A_c เท่ากัน แต่มีความถี่ f_1 และ f_2 ที่แตกต่างกันใช้แทนไบนารี 1 และ 0 ความถี่ทั้งสองจะถูกคิ่มอดูเลต โดยใช้ frequency sensitive demodulator ซึ่งแต่ละตัวจะกำหนดให้กับระดับลอจิกหนึ่ง ความแตกต่างระหว่างความถี่ทั้งสองเรียกว่า shift ถ้ายิ่งค่าของ shift มีมากก็ยิ่งทำให้การคิ่มอดูเลตง่ายยิ่งขึ้นแต่การส่งสัญญาณจะต้องใช้แบนด์วิดท์มากขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.12 เราสามารถแทน FSK ด้วยสมการข้างล่างนี้

$$\begin{aligned} s(t) &= A_c \cos(2\pi f_{c1} t) && \text{symbol 1} \\ s(t) &= A_c \cos(2\pi f_{c2} t) && \text{symbol 2} \end{aligned} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

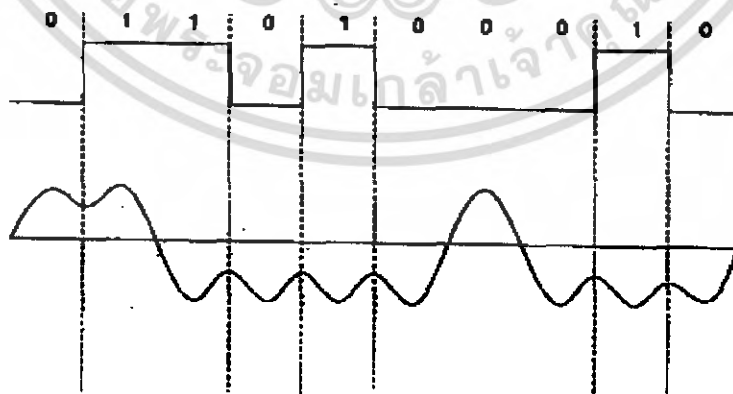


รูปที่ 2.12 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่

2.7.2.3 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (Phase-Shift Keying หรือ PSK)

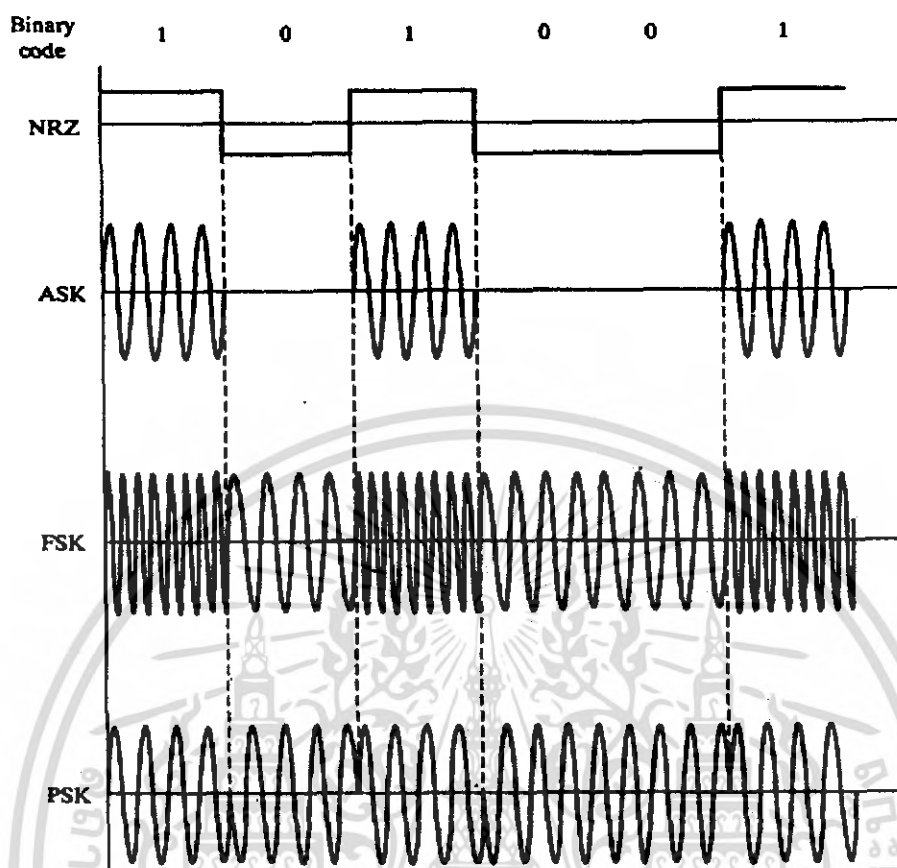
รูปที่ 2.13 แสดงการมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส จะใช้สัญญาณคลื่นพาห้ที่เป็นไซน์ ที่มีขนาดแอมพลิจูดคงที่ A_c และความถี่คงที่ f_c แทนทั้งไบนารี 1 และ 0 เพียงแต่เฟสของคลื่นพาห้จะแตกต่างกัน 180° สำหรับไบนารี 1 และ 0 ซึ่งสามารถแทนด้วยสมการข้างล่างนี้

$$\begin{aligned}
 s(t) &= A_c \cos(2\pi f_c t) && \text{symbol 1} \\
 s(t) &= A_c \cos(2\pi f_c t + \pi) && \text{symbol 2}
 \end{aligned}
 \tag{2.4}$$



รูปที่ 2.13 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส

เราสามารถเปรียบเทียบวิธีการมอดูเลตเชิงเลขทั้งสามแบบ ได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด, การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ และการมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส

2.8 ตัวกรองสัญญาณ (Filter)

ตัวกรองสัญญาณ ทำหน้าที่กรองความถี่สัญญาณ เป็นวงจรที่ประกอบด้วยภาคขยายเช่น ทรานซิสเตอร์ (Transistor) หรือ ไอซี (IC) และโครงข่ายเลือกความถี่ (Frequency Selective network) จำพวกตัวต้านทาน กับคาปาซิเตอร์ วงจรให้ผ่านได้เฉพาะสัญญาณในช่วงความถี่ที่กำหนด ขณะเดียวกันจะขวางกั้น (block) หรือลดทอนสัญญาณนอกเหนือช่วงความถี่ดังกล่าวมิให้ปรากฏที่เอาต์พุต

กล่าวโดยทั่วไปตัวกรองสัญญาณแบ่งออกเป็นหลายรูปแบบ

1. ตัวกรองสัญญาณชนิดคอนาล็อกหรือ ชนิดคิจิตอล
2. ตัวกรองสัญญาณประเภทพาสซีฟ หรือแอ็คทีฟ
3. ตัวกรองสัญญาณย่านความถี่เสียง (Audio Frequency) หรือ ย่านวิทยุ (Radio Frequency)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวกรองสัญญาณแบบอนาล็อก ออกแบบมาเพื่อใช้กับสัญญาณอนาล็อกส่วนตัวกรองสัญญาณแบบดิจิทัล ใช้งานกับสัญญาณอนาล็อก โดยอาศัยเทคนิคทางดิจิทัล มาช่วย ถ้าคำนึงถึงชิ้นส่วน (element) ที่นำมาประกอบเป็นวงจรตัวกรองสัญญาณแบ่งออกเป็นประเภทพาสซีฟ และแอ็คทีฟ ชิ้นส่วนวงจรที่ใช้ในตัวกรองสัญญาณแบบพาสซีฟได้แก่ตัวต้านทาน , ตัวเก็บประจุ และอินดักเตอร์ ส่วนตัวกรองสัญญาณแบบแอ็คทีฟประกอบด้วยตัวขยายสัญญาณจำพวก ทรานซิสเตอร์ หรือไอซีในรูปออปี่แอมป์,ตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุ ทำงานร่วมกัน ตัวต้านทาน, ตัวเก็บประจุ และ อินดักเตอร์ ถือว่าเป็นชิ้นส่วนประเภท พาสซีฟ การจะเลือกใช้ชิ้นส่วนชนิดใดนั้น ขึ้นกับย่านความถี่สัญญาณที่ต้องการให้วงจรตัวกรองสัญญาณทำงาน ยกตัวอย่าง ตัวกรองสัญญาณแบบอาร์ซี ใช้กับย่านความถี่เสียง (Audio Frequency) หรือใช้ในย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency) ขณะที่ ตัวกรองสัญญาณแบบแอลซี หรืออาจจะกล่าวไปถึงตัวกรองสัญญาณแบบคริสตัลเหมาะที่จะใช้ในย่านความถี่วิทยุ (Radio Frequency) หรือย่านความถี่สูง (High Frequency) และโดยเฉพาะอย่างยิ่งเนื่องจากค่า Q หรือ Figure of merit ที่สูงของตัวคริสตัล ทำให้ตัวกรองสัญญาณแบบคริสตัลมีเสถียรภาพที่ความถี่สูงมากๆ ดีกว่าตัวกรองสัญญาณแบบแอลซี อีกด้วย

ในบทนี้เราจะทำการวิเคราะห์ และออกแบบอาร์ซีแอ็คทีฟฟิลเตอร์ชนิดอนาล็อก ในย่านความถี่เสียงอาศัยออปี่แอมป์ เราไม่นำอินดักเตอร์มาใช้ย่านความถี่เสียง เพราะย่านความถี่ต่ำเช่นนี้ อินดักเตอร์มีขนาดใหญ่ สิ้นเปลืองกำลังงาน ในตัวมากมีราคาแพงตามขนาด และยังกระจายสนามแม่เหล็กออกไปรอบๆ ตัวคววนชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ข้างเคียง

2.9 ข้อดีของตัวกรองสัญญาณแบบแอ็คทีฟที่มีเหนือกว่าตัวกรองสัญญาณแบบพาสซีฟ

ข้อดีที่เหนือกว่ามีดังนี้

1. การปรับอัตราขยายและปรับความถี่เป็นอิสระต่อกัน เราสามารถจัดค่าอัตราขยายของออปี่แอมป์ ชดเชยกับอัตราลดทอนสัญญาณของวงจรอาร์ซี หรือเพิ่มอัตราขยายของวงจรทั้งหมดด้วยการจัดชิ้นส่วนอุปกรณ์ในส่วนของวงจรขยายออปี่แอมป์ และการปรับเปลี่ยนความถี่ก็อยู่ที่ค่าอาร์ซีเท่านั้น

2. ไม่มีปัญหาโหลดคั้งจากการที่ออปี่แอมป์มีคุณสมบัติของความต้านทานอินพุตสูง และความต้านทานเอาต์พุตต่ำ วงจรตัวกรองสัญญาณแบบแอ็คทีฟอาศัยออปี่แอมป์จึงไม่เกิดปัญหาโหลดคั้งกับเอาต์พุตและอินพุตของวงจร ณ จุดที่นำตัวกรองสัญญาณแบบแอ็คทีฟเข้าไปต่อ

3. ราคาถูกตัวกรองสัญญาณแบบแอ็คทีฟ มีราคาถูกกว่าตัวกรองสัญญาณแบบพาสซีฟ เพราะไม่ต้องอาศัยอินดักเตอร์ที่มีราคาแพง และยังใช้ออปี่แอมป์ ซึ่งปัจจุบันราคาในท้องตลาดถูกมาก

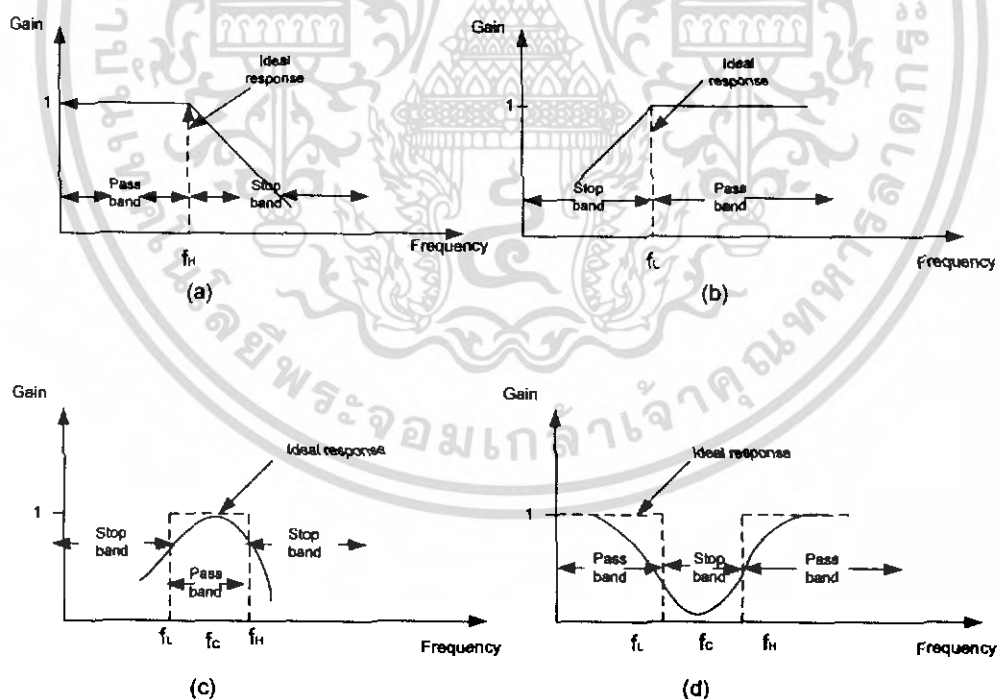
2.10 ตัวกรองสัญญาณแบบแอ็คทีฟตามลักษณะการทำงาน

เราแบ่งตัวกรองสัญญาณแบบแอ็คทีฟตามลักษณะการทำงานเป็น 5 ชนิด

1. ตัวกรองสัญญาณแบบความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)
2. ตัวกรองสัญญาณแบบความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter)
3. ตัวกรองสัญญาณแบบแถบความถี่ผ่าน (Band Pass Filter)
4. ตัวกรองสัญญาณแบบแถบความถี่ไม่ผ่าน (Band Reject หรือ Band Stop Filter)
5. ตัวกรองสัญญาณแบบความถี่ทั้งหมดผ่าน (All Pass Filter)

ตัวกรองสัญญาณเหล่านี้อาศัยตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุ เป็นอุปกรณ์พาสซีฟ ทำงานร่วมกับอุปกรณ์แอ็คทีฟ จำพวกออปีแอมป์ไอซี ไอซี ที่มีคุณสมบัติความเร็วสูง ที่มีสลูเอส (Slew Rate) สูง และ Unity Gain Bandwidth สูงๆ เช่น LM 318 หรือ ICL8017 จะช่วยให้คุณสมบัติด้านความถี่และด้านอัตราขยายของตัวกรองสัญญาณดีขึ้น

ผลตอบสนองต่อความถี่ของตัวกรองสัญญาณทั้ง 5 ชนิดแสดงในรูปที่ 2.15 เส้นประแสดงถึงผลตอบสนองที่เป็นอุดมคติในทางทฤษฎี ส่วนรูปผลตอบสนองในทางปฏิบัติแสดงด้วยเส้นทึบ



รูปที่ 2.15 แสดงผลตอบสนองต่อความถี่ของตัวกรองสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.15 (a) แสดงผลตอบสนองต่อความถี่ของวงจรฟิลเตอร์แบบความถี่ต่ำผ่าน มีขนาดของอัตราขยายคงที่จากความถี่ 0Hz ถึงความถี่สูง คัทออฟ f_H ค่าของแบนด์วิดท์ จึงเท่ากับ f_H ที่ f_H หรือตำแหน่งความถี่สูงคัทออฟ นั้นอัตราขยายจะลดลง 3 dB และที่ความถี่มากกว่า f_H นั่นคือที่ $f > f_H$ อัตราการขยายหรืออัตราขยายของวงจรก็ลดลงทุกขณะอย่างต่อเนื่องตามความถี่สัญญาณ อินพุตที่เพิ่มขึ้นในของตัวกรองสัญญาณ ช่วงความถี่ระหว่าง 0Hz ถึงความถี่สูงคัทออฟ ซึ่งอัตราขยายของวงจรลดลง 3 dB เรียกว่าฟิลเตอร์แบบแถบความถี่ผ่าน และช่วงความถี่ที่สูงกว่า f_H ขึ้นไป ซึ่งเกิดการลดทอนของสัญญาณลงทุกขณะเรียกช่วงความถี่หยุดจากผลตอบสนองที่เป็นอูมคติ ในเส้นประแสดงให้เห็นว่าตัวกรองสัญญาณ ที่เป็นอูมคติ จะมีค่าที่ออกมาเป็นศูนย์ตลอดช่วงช่วงความถี่หยุด และมีค่าที่ออกมาเป็นอนันต์ในช่วงช่วงความถี่หยุด แต่สภาพความเป็นจริงในทางปฏิบัติได้เป็นเช่นนั้นเพราะโครงข่ายชนิดเชิงเส้น (Linear Network) ไม่สามารถสร้างคุณสมบัติของความไม่ต่อเนื่อง (Discontinuities) ขึ้นได้ อย่างไรก็ตามเราอาจสร้างเส้นผลตอบสนองในทางปฏิบัติตามเส้นที่บ่งชี้ให้ใกล้เคียงกับผลตอบสนองที่เป็นอูมคติตามเส้นประได้เช่นกัน โดยอาศัยเทคนิคการออกแบบวงจรเป็นพิเศษเข้าช่วย ประกอบวงจรด้วยชิ้นส่วนอุปกรณ์เช่นตัวต้านทาน กับตัวเก็บประจุ ที่มีค่าถูกต้องแม่นยำ หรือค่าผิดพลาดน้อยที่สุด และใช้ออปแอมป์ชนิดความเร็วสูง

รูปแบบของตัวกรองสัญญาณที่นิยมนำมาใช้กันมากในทางปฏิบัติ ซึ่งให้เส้นผลตอบสนองประมาณใกล้เคียงทางทฤษฎี ได้แก่รูปแบบบัทเทอร์เวิร์ค (Butterworth), รูปแบบเชฟบีเชฟ (Chebyshev) แต่ละรูปแบบมีคุณลักษณะประจำตัวแตกต่างกันออกไป ตัวกรองความถี่แบบบัทเทอร์เวิร์ค ให้คุณลักษณะของทั้งช่วงความถี่ผ่าน และช่วงความถี่หยุดที่เรียบ (Flat) บางโอกาสจึงเรียกว่าตัวกรองสัญญาณแบบเรียบ (Flat Filter) สำหรับตัวกรองสัญญาณแบบเชฟบีเชฟ (Chebyshev Filter) มีคุณลักษณะช่วงความถี่ผ่านเป็นระลอกคลื่น (Ripple) และช่วงความถี่หยุดมีลักษณะเรียบ หากกล่าวโดยรวมๆ ระหว่างตัวกรองสัญญาณทั้ง 3 แบบ เพื่อความสะดวกของการออกแบบวงจร เราจะใช้ตัวกรองความถี่แบบบัทเทอร์เวิร์ค

รูปที่ 2.15 (b) เป็นเส้นผลตอบสนองของฟิลเตอร์แบบความถี่สูงผ่าน เมื่อให้ f เป็นความถี่ใดๆ และ f_L เป็นคัทออฟที่ความถี่ต่ำ (Low Cutoff Frequency) แล้ว ช่วงช่วงความถี่หยุด จะอยู่ที่ $0 < f < f_L$ และช่วงของ ช่วงความถี่ผ่าน อยู่ที่ $f > f_L$

รูปที่ 2.15 (c) แสดงผลตอบสนองต่อความถี่ ของวงจรฟิลเตอร์แบบแถบความถี่ผ่าน ช่วงช่วงความถี่ผ่านอยู่ระหว่างความถี่คัทออฟสองจุด ได้แก่คัทออฟที่ความถี่สูง (High Cutoff Frequency), (f_H) และคัทออฟที่ความถี่ต่ำ (f_L) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อัตราขยายของวงจรลดลง 3 dB และช่วงช่วงความถี่หยุด มีสองช่องว่างที่ $0 < f < f_L$ กับ $f > f_H$ โดย $f_H > f_L$ ค่าแบนด์วิดท์ของฟิลเตอร์แบบแถบความถี่ผ่านเท่ากับ $f_H - f_L$ และความถี่กลาง (Center Frequency) อยู่ที่ความถี่ f_c ปรากฏที่ตำแหน่งกึ่งกลางช่วง ความถี่หยุดผ่านพอดี

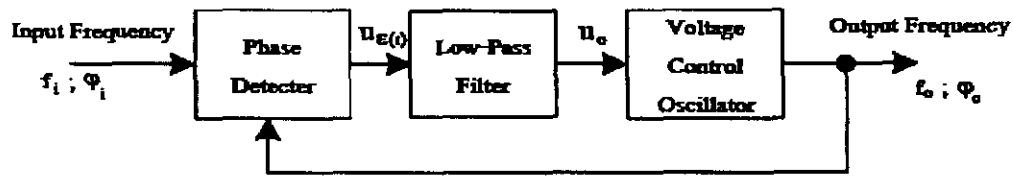
รูปที่ 2.15 (d) แสดงผลตอบสนองของฟิลเตอร์แบบแถบความถี่ไม่ผ่านมีเส้น คุณลักษณะตรงกันข้ามกับฟิลเตอร์แบบแถบความถี่ผ่าน กล่าวคือช่วงช่วงความถี่หยุดอยู่ระหว่างความถี่คัทออฟสองจุดคือ f_H กับ f_L และมีช่วง ช่วงความถี่ผ่าน สองช่วงอยู่ระหว่างความถี่ $f > f_H$ และ $0 < f < f_L$ เรียกว่าฟิลเตอร์แบบแถบความถี่ไม่ผ่าน ค่าแบนด์วิดท์ของช่วงความถี่หยุด เท่ากับ $f_H - f_L$ และตำแหน่งกึ่งกลางของช่วงช่วงความถี่หยุดเป็นความถี่ความถี่กลางหรือ f_c

เฟสชิฟ(Phase Shift) ระหว่างอินพุตโวลต์เดจ u_{in} กับ เอาต์พุตโวลต์เดจ u_o ของฟิลเตอร์แบบความถี่ทั้งหมดผ่าน วงจรฟิลเตอร์แบบความถี่ทั้งหมดผ่าน มีคุณสมบัติในการให้สัญญาณทุกความถี่ผ่านได้เท่าๆ กัน กล่าวคือให้ u_o เท่ากับ u_{in} ในทุกความถี่โดยปรากฏเฟสชิฟ ขึ้นระหว่าง u_o กับ u_{in} ในบางความถี่ แต่ค่าความถี่สูงสุดซึ่ง u_o กับ u_{in} ยังคงมีขนาดเท่ากันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ Unity Gain Bandwidth ของออปแอมป์ ที่ความถี่นี้ เฟสชิฟที่เกิดขึ้นระหว่าง u_o กับ u_{in} จะมีค่าสูงสุด

ก่อนนำเข้าสู่ตัวกรองสัญญาณแต่ละแบบมาพิจารณาคูณลักษณะของตัวกรองสัญญาณ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงช่วงความถี่หยุด ตามรูปที่ 2.15 (a) ถึง 2.15 (d) รูปร่างของเส้นผลตอบสนอง ในช่วงช่วงความถี่หยุด มีทั้งลดลงหรือเพิ่มขึ้น หรือทั้งลดลงและเพิ่มขึ้นด้วยอัตราการเปลี่ยนแปลงที่คงที่ตามความถี่ที่เพิ่มขึ้น หมายถึงอัตรา (rate) ซึ่งอัตราขยายของตัวกรองสัญญาณ เปลี่ยนแปลงในช่วงช่วงความถี่หยุด อัตราการเปลี่ยนแปลงอัตราขยายนี้แสดงด้วย สโลปของเส้นในบริเวณช่วงความถี่ผ่าน ถูกกำหนดโดยจำนวนอันดับของตัวกรองสัญญาณ ยกตัวอย่างฟิลเตอร์แบบความถี่ต่ำผ่าน ชนิด อันดับหนึ่ง การลดลงของอัตราขยาย ในช่วงช่วงความถี่หยุด จากความถี่ $f < f_H$ อยู่ในอัตรา 20 dB/decade ส่วนฟิลเตอร์แบบความถี่ต่ำผ่าน ชนิดอันดับสองก็มีการลดลงของอัตราขยายในช่วงความถี่เดียวกันในอัตรา 40 dB/decade แต่สำหรับฟิลเตอร์แบบความถี่สูงผ่าน ชนิดอันดับหนึ่งจะมีการเพิ่มขึ้นของอัตราขยายในช่วงช่วงความถี่หยุดจากความถี่ $0 < f < f_L$ ในอัตรา 20 dB/decade และฟิลเตอร์แบบความถี่สูงผ่านชนิดอันดับสอง ก็มีการเพิ่มขึ้นของอัตราขยายในช่วงความถี่เดียวกันในอัตราเท่ากับ 40 dB/decade

2.11 เฟสล็อกกลูปPhase Locked Loop (PLL)

รูปที่ 2.16 แสดงหลักการเฟสล็อกกลูป เป็นระบบควบคุมความถี่ โดยใช้วิธีเปรียบเทียบเฟส (Phase) ของความถี่ทางด้านเอาต์พุต กับเฟสของความถี่อ้างอิง (Reference Frequency) ซึ่งถูกป้อนเข้าทางด้านอินพุตของระบบ ในรูปที่ 2.16 เป็นแผนผังของเฟสล็อกกลูปเบื้องต้น



รูปที่ 2.16 บล็อกไดอะแกรมวงจรมวลเฟสล็อก

จากแผนผัง พบว่าเฟสล็อก เบื้องต้น จะประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. ภาคตรวจจับเฟส หรือตัวเปรียบเทียบสัญญาณ (Phase Detector หรือ Comparator) มีหน้าที่เปรียบเทียบความแตกต่างของเฟสระหว่าง φ_i และ φ_o ให้กำเนิดแรงดันคลาดเคลื่อน (Error Voltage) ; μ_e ออกมาทางเอาต์พุต

$$\mu_e(t) = K_\varphi (\varphi_i - \varphi_o) = K_\varphi \Delta\varphi \quad (2.5)$$

2. ภาคกรองความถี่ต่ำผ่าน หรือภาคกรองความถี่สูง (Low - Pass Filter หรือ Loop Filter) ทำหน้าที่กำจัดส่วนประกอบทางไฟสลับที่ปะปนมาด้วยแรงดันคลาดเคลื่อน และปล่อยให้ส่วนประกอบทางไฟตรงของแรงดันคลาดเคลื่อน ผ่านไปยังเอาต์พุต

$$\mu_o = \overline{\mu_\varphi(t)} = \frac{1}{T} \int_0^T \mu_e(t) dt \quad (2.6)$$

3. ภาคกำเนิดสัญญาณควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage Controlled Oscillator, VCO) ความถี่ f_o ของภาคกำเนิดสัญญาณควบคุมด้วยแรงดัน จะเปลี่ยนไปตามแรงดัน; μ_o ทางอินพุต ดังนั้นเมื่อ μ_o เปลี่ยนไปก็จะมีผลทำให้ f_o และ φ_o เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

$$f_o = K_f \mu_o \quad (2.7)$$

ในระบบเฟสล็อก ขนาดของแรงดันคลาดเคลื่อนที่ได้จากภาคตรวจจับเฟสจะแปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างของ $f_i - f_o$ และ $\varphi_i - \varphi_o$ แรงดันคลาดเคลื่อนนี้จะไปควบคุมให้การเปลี่ยนแปลงของ f_o ของภาคกำเนิดสัญญาณควบคุมด้วยแรงดัน เป็นไปในทิศทาง ที่ทำให้ผล

ต่างของความถี่; $f_i - f_o$ มีขนาดลดลง นั่นคือ f_o จะมีค่าเข้าใกล้ f_i มากขึ้น เราเรียก ภาวะของลูป (Loop) ในขณะที่ภาคกำเนิดสัญญาณควบคุมด้วยแรงดัน เริ่มเปลี่ยน ความถี่ f_o ว่า “สถานะแคปเตอร์ (Capture State)” เมื่อ f_o มีค่าเท่ากับ f_i การเปลี่ยนแปลงของ f_o ก็สิ้นสุดลง เราเรียกภาวะนี้ว่า “เฟสล็อก (Phase Locked)”

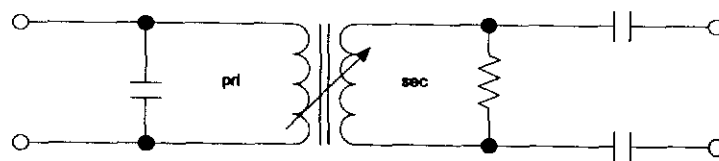
โดยทั่วไปแล้ว เราสามารถบอกได้ว่าเฟสล็อกประกอบด้วย 3 ภาวะด้วยกัน คือ

1. ภาวะทำงานเป็นอิสระ (Free – Running) ; ความถี่ของภาคกำเนิดสัญญาณควบคุมด้วยแรงดัน ถูกกำหนดจากโครงสร้างวงจรของภาคกำเนิดสัญญาณควบคุมด้วยแรงดัน เอง
2. ภาวะแคปเตอร์ (Capture) ; ความถี่ f_o ของภาคกำเนิดสัญญาณควบคุมด้วยแรงดัน กำลังวิ่งเข้าหาความถี่อินพุต; f_i
3. ภาวะเฟสล็อก (Phase Locked) ; ความถี่ f_o ของภาคกำเนิดสัญญาณควบคุมด้วยแรงดัน เท่ากับความถี่อินพุต; f_i

ย่านความถี่ ซึ่งระบบลูปสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของความถี่อินพุตได้ เราเรียกว่า “ย่านล็อก (Lock Range)” ย่านความถี่ ซึ่งระบบลูปสามารถเข้าถึงภาวะเฟสล็อกได้ เรียกว่า “ย่านแคปเตอร์ (Capture Range)” ซึ่งจะมีย่านแคบกว่าย่านล็อกสำหรับลักษณะสมบัติทางไดนามิกส์ (Dynamic Characteristics) ของเฟสล็อกลูปจะถูกกำหนด โดยคุณสมบัติของตัวกรองความถี่ลูป ซึ่งเป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ในขณะที่เฟสล็อกลูป อยู่ในภาวะเฟสล็อก ความเร็วในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของความถี่อินพุต; f_i ของเฟสล็อกลูป จะถูกจำกัด โดยตัวกรองความถี่ลูป

2.12 เอชี่คัปปลิ่ง

วงจรเอชี่คัปปลิ่งเราจะใช้ในการคัปปลิ่งสัญญาณจากวงจรส่งของเราเข้าไปในสายไฟเอชี่ในวงจรเอชี่คัปปลิ่งนั้น เราจะใช้หลักการของหม้อแปลง โดยใช้ขดลวดของหม้อแปลงและคาปาซิเตอร์เป็นวงจรคัปปลิ่งในการส่งสัญญาณในสายส่งกำลังไฟฟ้าโดย เหนี่ยวนำ (Induce) จากขด ปฐมภูมิ (Primary) ไปยังขด ทติยภูมิ (Secondary) ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 วงจรเอชี่คัปปลิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ต่างๆ ในวงจรขับปลั๊กมีนอกจากทำหน้าที่รับสัญญาณแล้วในการสร้างวงจรส่วนที่รับสัญญาณจากสายไฟฟ้าส่งกำลังนั้นยังสร้างให้มีหน้าที่ต่างๆ ดังนี้

ส่วนป้องกันแรงดันสูงจากสายส่งกำลังคือ คาปาซิเตอร์ ทำหน้าที่ตัดแรงดันสูงจากสายส่งกำลังป้องกันสัญญาณ 50Hz คือหม้อแปลงเนื่องจากแกนของแม่เหล็กเป็นเฟอร์ไรท์จึงตัดสัญญาณ 50 Hz ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

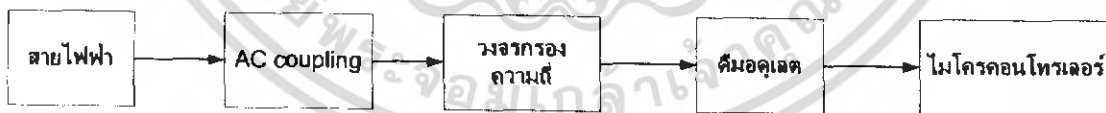
การออกแบบการทำงานของชุดส่งและ ชุดรับสัญญาณในสายไฟฟ้าจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ชุดรับสัญญาณ และชุดส่งสัญญาณ

3.1 บล็อกโคอะแกรม



รูปที่ 3.1 บล็อกโคอะแกรมของภาคส่ง

รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกโคอะแกรมของภาคส่ง โดยที่จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวป้อนสัญญาณข้อมูลที่เป็นดิจิทัล โดยใช้การสื่อสารแบบอนุกรม ให้กับตัวมอดูเลตแล้วตัวมอดูเลตจะเปลี่ยนข้อมูลที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งมาให้ เป็นค่าความถี่ และจะถูกส่งค่าที่เป็นความถี่นั้นเข้าสายไฟฟ้าโดยใช้วงจรเอชคัปปลิ่งเป็นตัวส่งผ่าน



รูปที่ 3.2 บล็อกโคอะแกรมของภาครับ

รูปที่ 3.2 แสดงบล็อกโคอะแกรมของภาครับ โดยที่จะรับสัญญาณที่เป็นค่าความถี่ผ่านเข้ามาทางวงจรเอชคัปปลิ่ง และฟิลเตอร์จะทำหน้าที่กรองค่าความถี่ที่เราไม่ต้องการทิ้งและจะนำค่าที่เราต้องการ ไปเข้าวงจรดีมอดูเลต เพื่อแปลงสัญญาณให้เป็นสัญญาณข้อมูลดิจิทัล และจะใช้ข้อมูลนั้นไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลต่อไป

3.2 การออกแบบ FSK มอดูเลเตอร์

ในการออกแบบ FSK มอดูเลเตอร์ ได้นำเอา IC เบอร์ XR 2206 ซึ่งเป็นโมโนลิธิค ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ กำเนิดรูปคลื่นเอาต์พุตได้ทั้งคลื่นซายน์ คลื่นสามเหลี่ยม และคลื่นสี่เหลี่ยม หรือแรมป์ (ramp) โดยมีย่านความถี่ตั้งแต่ 0.01 KHz ถึง 1 MHz

ในกรณีนี้เราจะใช้ XR 2206 เป็นตัวกำเนิดคลื่นซายน์ในลักษณะ FSK Generator ตามรูปวงจรในรูปที่ 3.3 โดยใช้ไทม์มิง รีซิสเตอร์ R_1 และ R_2 ที่ต่อระหว่างขา 7 และขา 8 กับกราวด์ ตามลำดับ โดยที่สัญญาณจิจิตอลที่ป้อนมาซึ่งขา 9 ของไอซี เป็นตัวกำหนดสัญญาณเอาต์พุต (ขา 2) ถ้าขา 9 อยู่ในสถานะวงจรเปิด หรือมี $V_{in} > 2V$ แล้ว R_1 จะเป็นตัวกำหนดไทม์มิงร่วมกับ ตัวเก็บประจุที่ต่อคร่อมระหว่างขา 5 กับขา 6 (หรือในทางกลับกัน ถ้าขา 9 มี $V_{in} < 1V$ แล้ว R_2 จะเป็นตัวกำหนดไทม์มิง ร่วมกับตัวเก็บประจุระหว่างขา 5 กับ ขา 6 เช่นเดียวกัน จึงทำให้ความถี่เอาต์พุต จะอยู่ในช่วงระหว่าง f_m (Mark Frequency) กับ f_s (Space Frequency) โดยทั้ง f_m กับ f_s จะเป็นอิสระต่อกัน และสามารถเปลี่ยนแปลงความถี่ได้โดยการเลือกค่า R_1 หรือ R_2 ตามสมการข้างล่างนี้

$$f_m = \frac{1}{R_1 \times C} \quad (3.1)$$

$$f_s = \frac{1}{R_2 \times C} \quad (3.2)$$

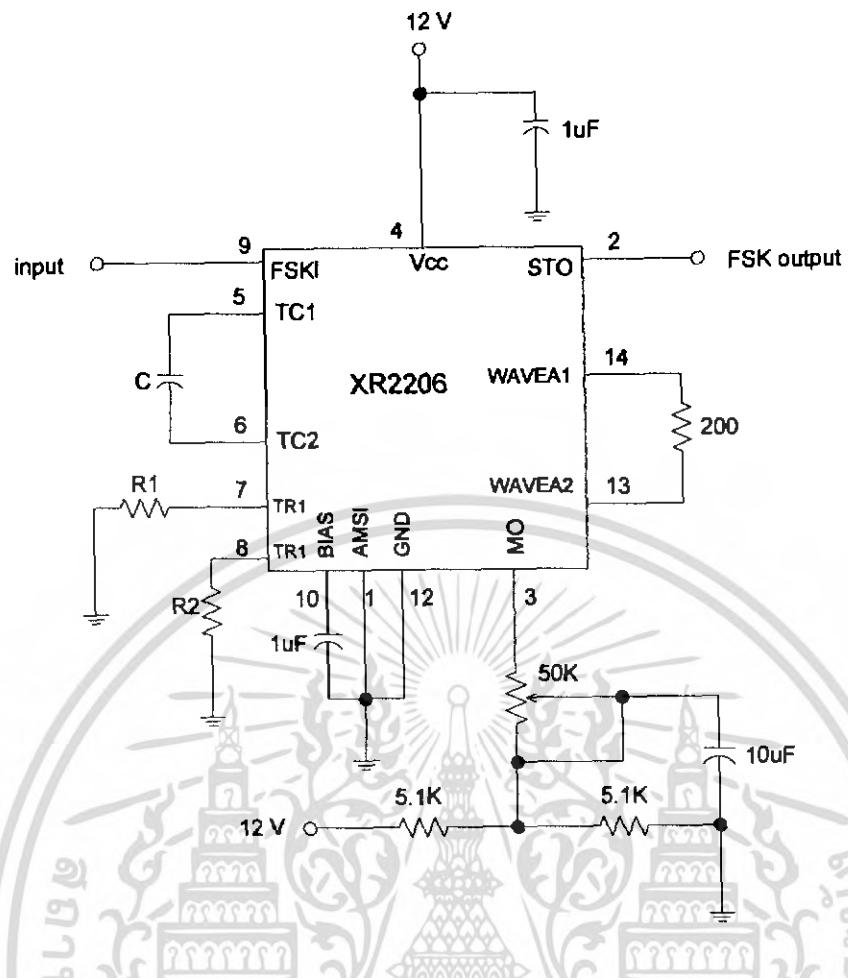
ตัวเก็บประจุระหว่างขา 5 กับขา 6 จะอยู่ในช่วง 1000 pF – 100 μ F และตัวต้านทาน R_1 และ R_2 จะอยู่ช่วงระหว่าง 4 K Ω - 200 K Ω

ในการออกแบบจากสมการเรากำหนด ค่า $C = 0.001 \mu$ F หากำ R_1 และ R_2 เมื่อกำหนด $f_m = 100$ KHz และ $f_s = 90$ KHz

$$R_1 = \frac{1}{f_m \times C} = \frac{1}{400K \times 0.001\mu F} = 2.5K\Omega$$

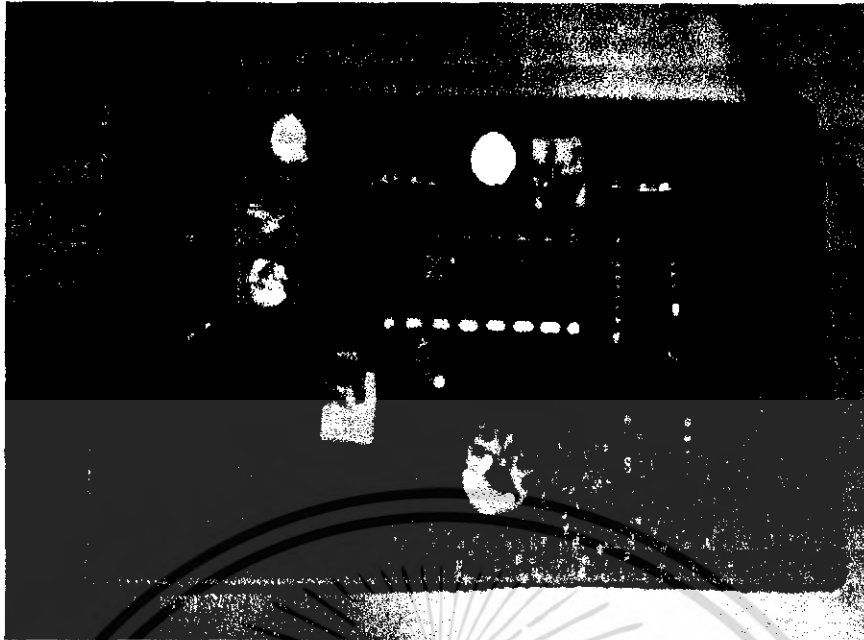
$$R_2 = \frac{1}{f_s \times C} = \frac{1}{95K \times 0.001\mu F} = 10.53K\Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 วงจร FSK มอดูเลต

ระดับแรงดันไฟตรงที่ขาเอาต์พุต ขา 2 จะมีค่าโดยประมาณเท่ากับแรงดันไบอัสที่ขา 3 จากวงจรจะเห็นว่าแรงดันระหว่างค่าความต้านทาน 5.1 KΩ สองตัวกับแรงดันไฟเลี้ยงประมาณ 6 V เมื่อแรงดันไฟเลี้ยงในวงจรเป็น 12 V และสามารถปรับโดยโพเทนทิโอมิเตอร์ 50 KΩ ที่อนุกรมกับขา 3 ดังนั้นการปรับที่ขา 3 ก็เป็นการปรับระดับของสัญญาณเอาต์พุต ขา 2 ให้อยู่ในระดับที่ต้องการส่ง ส่วนขา 13 และ ขา 14 มีไว้สำหรับแต่งรูปคลื่นเพื่อปรับการผิดเพี้ยน (Distortion) ของรูปร่างสัญญาณ อันเนื่องมาจากความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิก โดยการต่อค่าความต้านทานเข้าไประหว่างขา 13 และ ขา 14 ในคู่มือ XR 2206 แนะนำให้ใช้ค่า 200 Ω ในรูปที่ 3.4 เป็นรูปวงจรที่สร้างขึ้นจริง และนำไปใช้ในการทดลองในบทที่ 4



รูปที่ 3.4 วงจรมอดูเลตที่ใช้ในการทดลอง

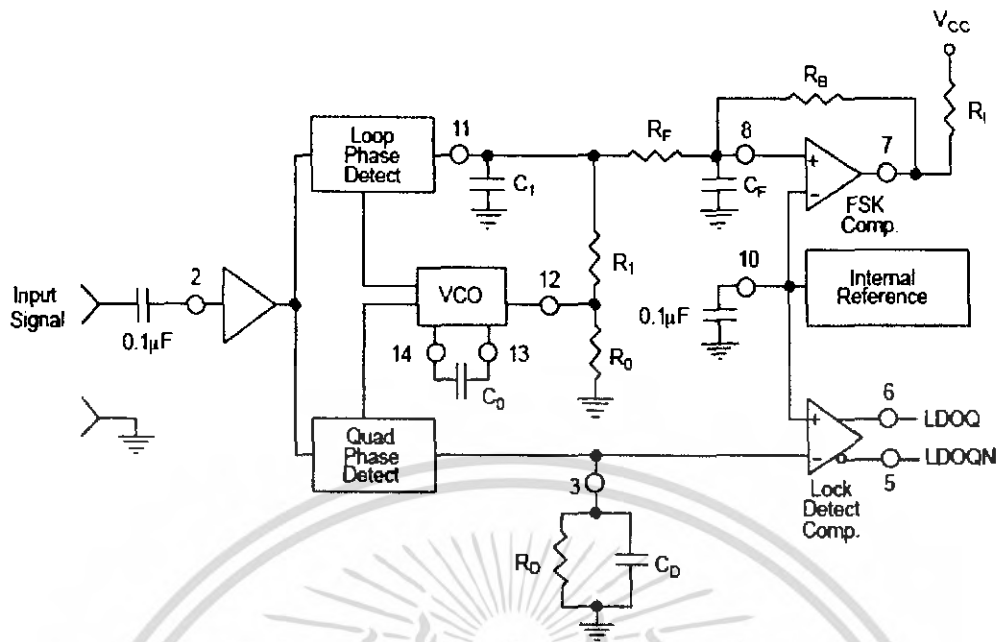
3.3 การออกแบบ FSK ดิมอดูเลเตอร์

ในการออกแบบ FSK ดิมอดูเลเตอร์ ได้นำเอา IC เบอร์ XR 2211 ซึ่งเป็น โมโนลิธิกเฟสส์ ออกุ๊ปตามรูปวงจรในรูปที่ 3.5 โดยมีย่านความถี่ในการใช้งานตั้งแต่ 0.01 Hz ถึง 300 KHz โครงสร้างภายในของ IC XR2211 มาประยุกต์วงจรเป็น FSK ดิมอดูเลเตอร์ จะเป็นดังรูปที่ 3.6 ส่วนประกอบหลักของเฟสส์ออกุ๊ปใน XR 2211 ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

1. Signal Pre – Amp มีหน้าที่ จำกัดขนาดของสัญญาณอินพุต ให้อยู่ในค่าประมาณ 2 mV และขยายสัญญาณอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้เป็นสัญญาณระดับสูง

2. ภาคกำเนิดสัญญาณควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage Control Oscillator) มีเฟสดีเทคเตอร์ เป็นภาคแรก โดยเอาต์พุตจะได้เป็นความถี่ผลบวก และความถี่ผลต่าง คือ $2F$ และ 0 Hz ตามลำดับ เมื่อเฟสดีเทคอยู่ในสถานะผลบวก ก็จะได้ ค่าแรงดันคลาดเคลื่อน(DC Error Voltage) ออกไปยัง ภาคกำเนิดสัญญาณควบคุมด้วยแรงดัน เพื่อควบคุมการผลิตความถี่ออกมาค่าหนึ่ง ในภาวะปกติ ความถี่ฟรีรันนิง (f_0) จะ Set โดยค่าความต้านทาน R_0 และ คาปาซิเตอร์ C_0 ซึ่งสามารถหา f_0 ได้

$$f_0 = \frac{1}{R_0 \times C_0} \quad (3.4)$$



รูปที่ 3.5 โครงสร้างภายใน FSK คิมอคูเลต

จากรูปที่ 3.5 วงจร FSK คิมอคูเลเตอร์ เราจะมอดูแลแบบ อุปกรณ์ต่อภายนอก โดย R_o , C_o จะเป็นตัวกำหนด free running Frequency หรือความถี่ศูนย์กลาง (f_o) ของเฟสล็อกลูป (Phase Lock Loop), R_1 จะเป็นตัวกำหนดแบนด์วิดท์, C_1 จะเป็นตัวกำหนด Damping factor หรือ filter time constant, C_f และ R_f เป็นตัวกำหนดค่า ข้อมูล FSK เอาต์พุต ค่าความต้านทาน R_B (510 K Ω) ระหว่างขา 7 กับขา 8 เป็นตัวป้อนกลับทางบวกเพื่อให้ เวลาตอบสนองของเอาต์พุต FSK เร็วขึ้น ดังนั้นจึงได้ค่าอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

การออกแบบตามการคำนวณในตารางข้างล่าง

1. คำนวณค่าความถี่ศูนย์กลาง (f_o) ของ PLL จาก

$$f_o = \frac{f_m + f_s}{2} = \frac{100K + 90K}{2} = 95KHz$$

2. เลือกค่า Timing Capacitor $C_o = 520pF$
3. หาค่า R_o จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_o = \frac{1}{f_o \times C_o} = \frac{1}{95K \times 520pF} = 20243\Omega$$

เลือกใช้ R 18 K Ω ต่ออนุกรมกับโปเทินทิโอมิเตอร์ 4.7 K Ω

4. หาค่า R1 เพื่อคั้ง แบนคัวิตซ์ จาก

$$R1 = R_o \times \frac{f_o}{\Delta f} = 20243 \times \frac{95KHz}{10KHz} = 192308\Omega$$

เลือกใช้โปเทินทิโอมิเตอร์ 200 K Ω

5. หาค่า C1 เพื่อคั้ง Damping factor

จาก Damping factor = $\frac{1}{4} \sqrt{\frac{C_o}{C1}}$ โดยกำหนด Damping factor = 0.5

$$\therefore C1 = \frac{C_o}{4} = \frac{520pF}{4} = 130pF \text{ เลือกใช้ C ค่า } 150pF$$

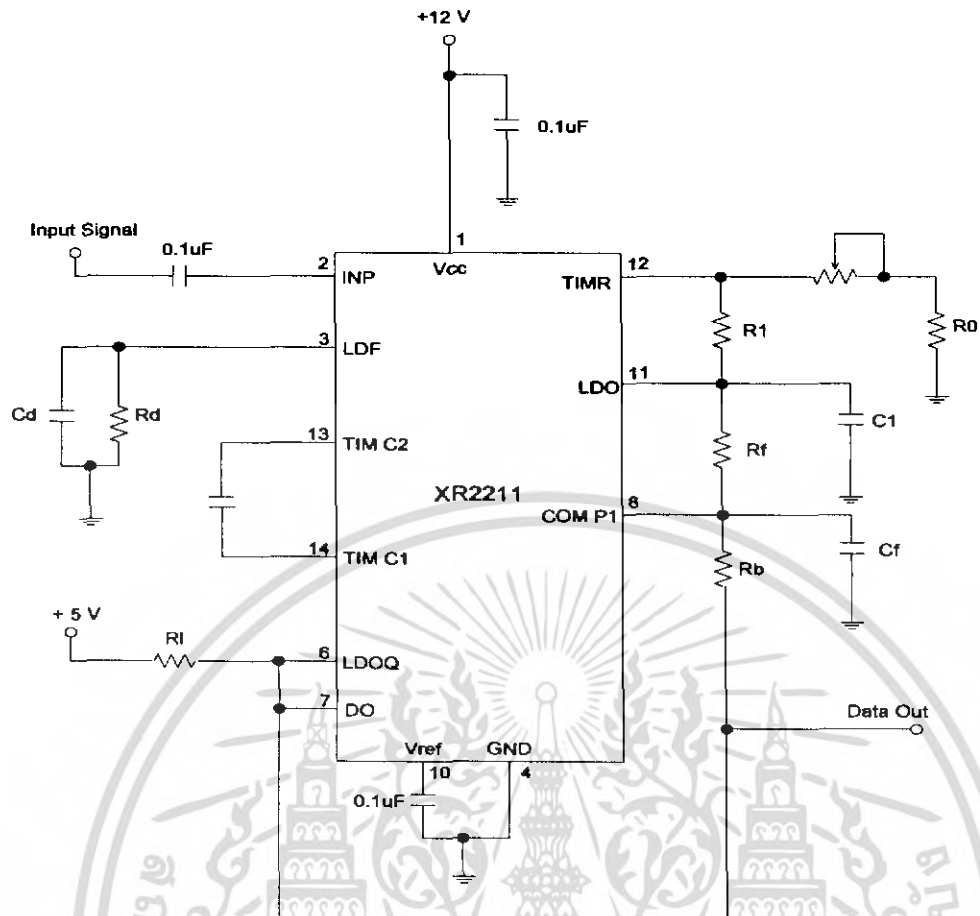
6. หาค่า Cf เมื่อ Rf = 100 K Ω RB = 510 K Ω สามารถหาค่า Cf ได้จาก

$$C_f = \frac{3}{Baudrate} \mu F = \frac{3}{9600} \mu F = 312pF \text{ เลือกใช้ C ค่า } 330pF$$

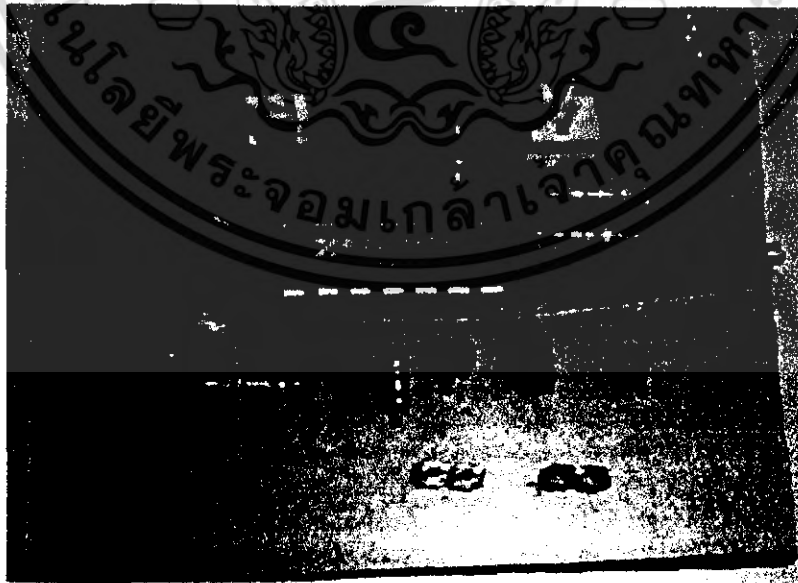
7. หาค่า RD และ CD เมื่อ RD = 470 K Ω

$$C_D = \frac{16}{\left[\frac{\Delta f}{2}\right]} \mu f = \frac{16}{\left[\frac{10K}{2}\right]} \mu F = 0.0032\mu F \text{ เลือกใช้ C ค่า } 0.001 \mu F$$

เมื่อนำค่าอุปกรณ์ต่างๆ มาต่อให้วงจรดังรูปที่ 3.6 และในรูปที่ 3.7 เป็นรูปวงจรที่สร้างขึ้นจริง และนำไปใช้ในการทดลองในบทที่ 4



รูปที่ 3.6 วงจร FSK คีมอดูเลเตอร์

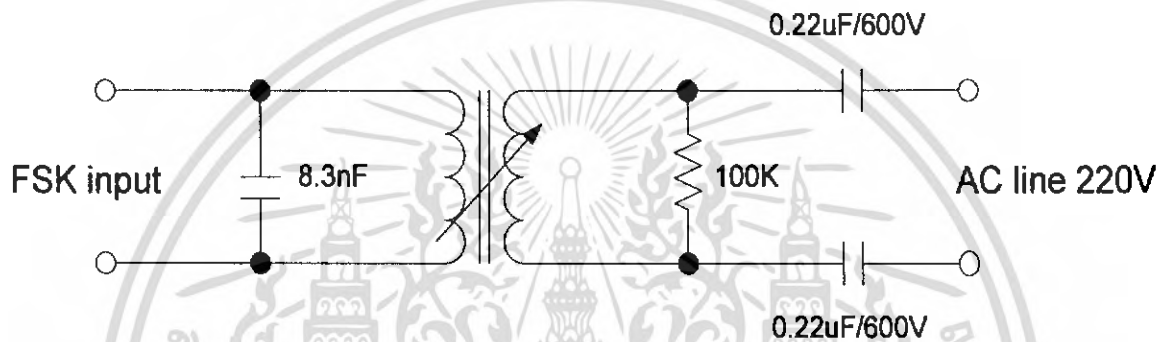


รูปที่ 3.7 วงจรคีมอดูเลตที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วงจรเอซีคัปปลิง

เนื่องจากการส่งหรือรับค่าความถี่ผ่านสายไฟฟ้าตามบ้าน(AC) เราจะต้องป้องกันแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ มีความถี่ 50 Hz ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสสลับออกจากวงจรมอดูเลตของเรา เราจึงต้องอาศัยหลักการของหม้อแปลงโดยใช้ขดลวดของหม้อแปลงและคาปาซิเตอร์เป็นวงจรคัปปลิงในการส่งสัญญาณในสายส่งกำลังไฟฟ้าโดยเหนี่ยวนำ(Induce) จากขด ประมุขมิไปยังขด ทุติขมมิ ดังรูปที่ 3.8 และในรูปที่ 3.9 เป็นรูปวงจรที่สร้างขึ้นจริง และนำไปใช้ในการทดลองในบทที่ 4



รูปที่ 3.8 วงจรเอซีคัปปลิง



รูปที่ 3.9 วงจรเอซีคัปปลิงที่ใช้ในการทดลอง

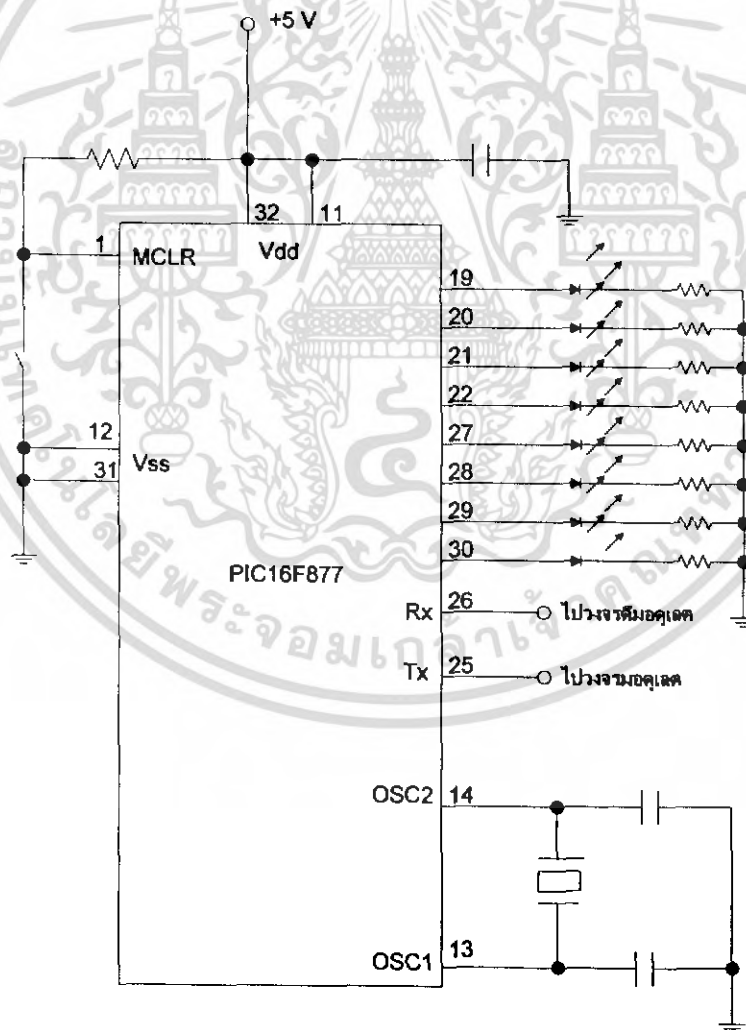
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ภากรับและภาคส่ง

เราจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวส่งข้อมูลดิจิทัล และเราต้องการส่งข้อมูลแบบอนุกรมเราจึงใช้ ขา Tx และขา Rx ของไมโครคอนโทรลเลอร์

PIC คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์อีกตระกูลหนึ่งซึ่ง พยายามรวมเอาทุกอย่างเอาไว้ในตัวของมันไม่ว่าจะเป็น PROGRAM MEMORY, RAM, EEPROM, SERIAL, I2C, PWM, A/D ฯลฯ โดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์เสริมจากภายนอก PIC จะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผลรวมทั้งหน่วยความจำ ซึ่งทำให้มันเหมือนกันซีพียู (CPU) ตัวหนึ่งเลยทีเดียว

ผลที่ตามมาก็คือแผ่นวงจรจะมีขนาดเล็ก และอุปกรณ์ที่ใช้จะไม่มาก แต่ทุกอย่างย่อมมีข้อเสีย เนื่องจากที่จะรวมทุกอย่างไว้ในชิปเดียวทำให้ไม่มีขารองรับหน่วยความจำโปรแกรม (program memory) และ หน่วยความจำข้อมูล (data memory) แต่สามารถทำได้แต่ขยับเราจึงสามารถใช้ข้อได้เปรียบนี้ของ PIC มาใช้ในโครงการของเราและสามารถต่อได้ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 วงจรภากรับและส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.10 จะใช้ขา 25 เป็นขาที่ใช้ส่งสัญญาณอนุกรมและจะใช้ ขา 26 เป็นตัวรับสัญญาณอนุกรม และจะใช้พอร์ทซี เป็นตัวแสดงแทนอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งจะแทนตัวอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยไดโอดเปล่งแสง(LED) โดยใช้ขาที่19-22 และ 27-30 เขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ส่งค่า และเช็คค่ากลับตลอดเวลา ทำให้สามารถตรวจสอบตัวรับตลอดเวลา ซึ่งมีโฟวชาร์ตการทำงาน และโปรแกรมที่เขียนไว้อยู่ในภาคผนวก ก. และภาคผนวก ข. ตามลำดับ ในรูปที่ 3.11 และ3.12 เป็นรูปวงจรที่สร้างขึ้นจริง และนำไปใช้ในการทดลองในบทที่ 4



รูปที่ 3.11 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ภาคส่งที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.12 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ภาครับที่ใช้ในการทดลอง

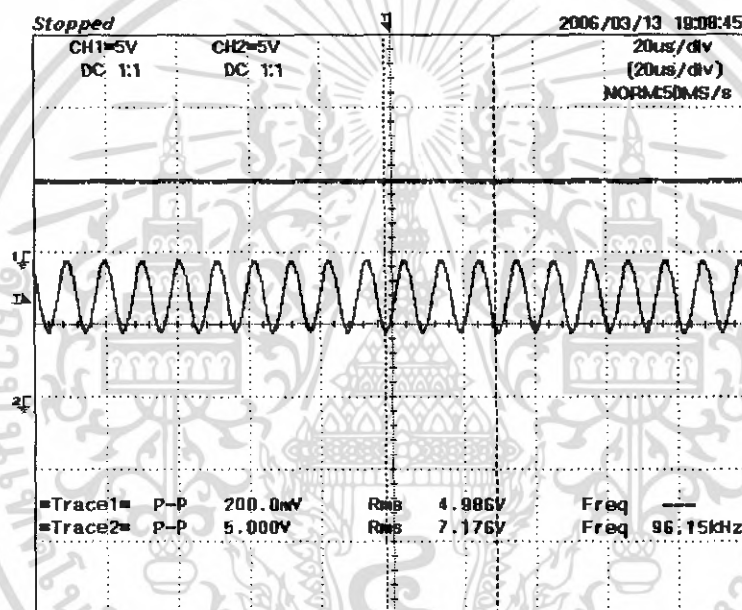
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ได้ทำการออกแบบวงจรและทำการสร้าง เนื้อหาในบทนี้ จะเป็นการนำเอาวงจรต่างๆที่ทำการออกแบบแล้ว มาทำการทดลองเพื่อให้ได้ผลตามที่ต้องการหรือ เพื่อเป็นการทดสอบว่าวงจรต่างๆที่ได้ทำการออกแบบมานั้นสามารถทำงานได้จริง

4.1 ผลการทดลองวงจรมอดูเลตทางค้ำส่ง

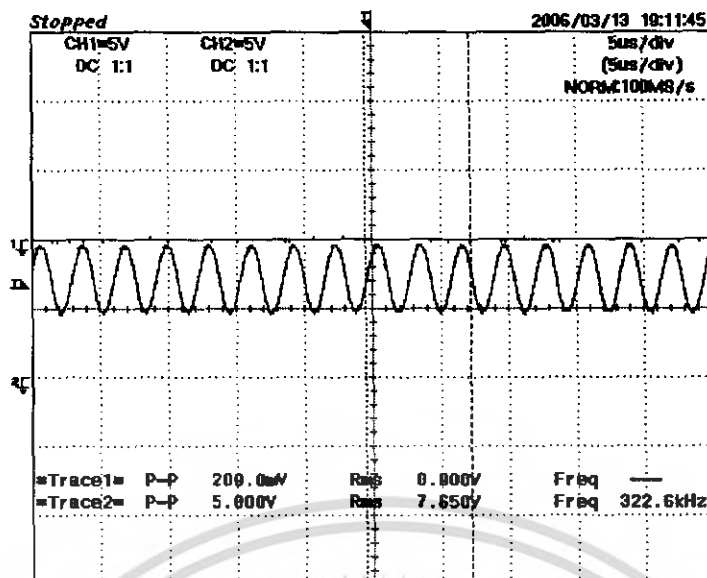


รูปที่ 4.1 เอาต์พุตของวงจรมอดูเลตเมื่ออินพุตมีค่าเป็น 5 V

สัญญาณที่ 1 คือ สัญญาณจากฟังก์ชันเจเนอเรเตอร์

สัญญาณที่ 2 คือ สัญญาณจากวงจรมอดูเลตเตอร์

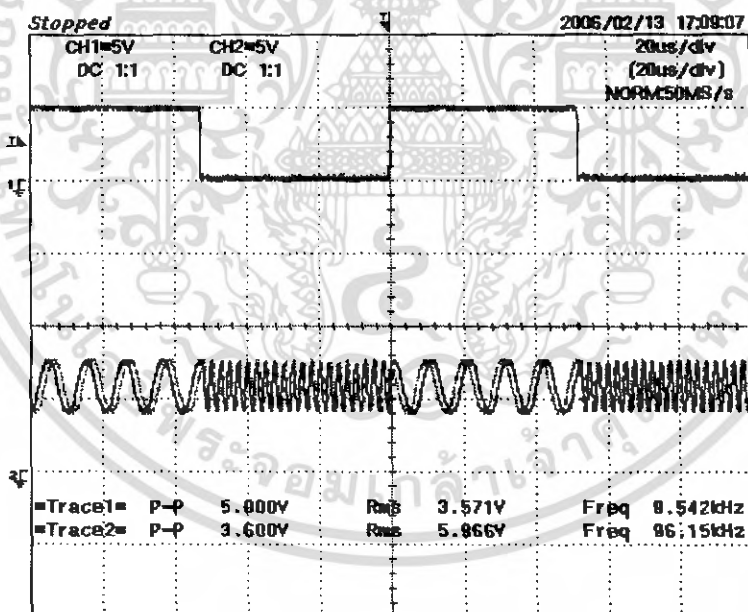
จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อเราให้อินพุตของวงจรมอดูเลตเป็น 5 โวลต์ ค่าเอาต์พุตที่ออกมาจากวงจรมอดูเลต จะได้ความถี่ประมาณ 95KHz และเมื่อเราให้อินพุตของวงจรมอดูเลตเป็น 0 โวลต์ ค่าเอาต์พุตที่ออกมาจากวงจรมอดูเลต จะได้ความถี่ประมาณ 322 KHz



รูปที่ 4.2 เอาต์พุตของวงจรมอดูเลตเมื่ออินพุตมีค่าเป็น 0 V

สัญญาณที่ 1 คือ สัญญาณจากฟังก์ชันเจเนอเรเตอร์

สัญญาณที่ 2 คือ สัญญาณจากวงจรมอดูเลเตอร์



รูปที่ 4.3 ผลการทดลองวงจรมอดูเลต

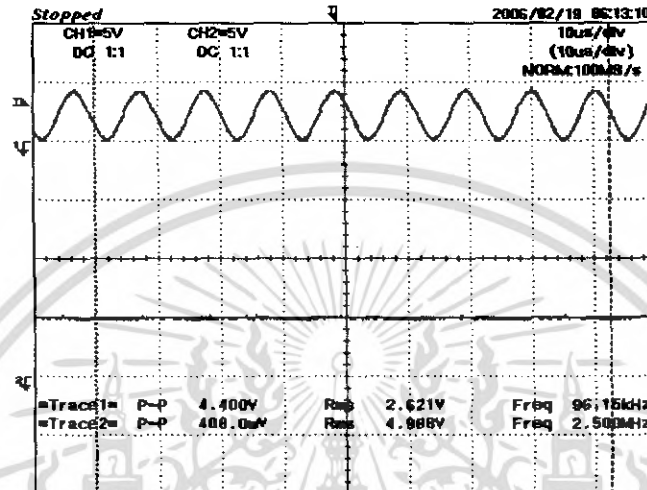
สัญญาณที่ 1 คือ สัญญาณจากฟังก์ชันเจเนอเรเตอร์

สัญญาณที่ 2 คือ สัญญาณจากวงจรมอดูเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อเราป้อนอินพุตเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่จะให้ค่าออกมาทั้งลอจิก 1 และลอจิก 0 เราจะได้ค่าเอาต์พุตของวงจรมอดูเลต เป็นค่าความถี่ 95KHz กับค่า 322KHz ต่างกันชัดเจน ซึ่งจะตรงกับทฤษฎีของการมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (FSK)

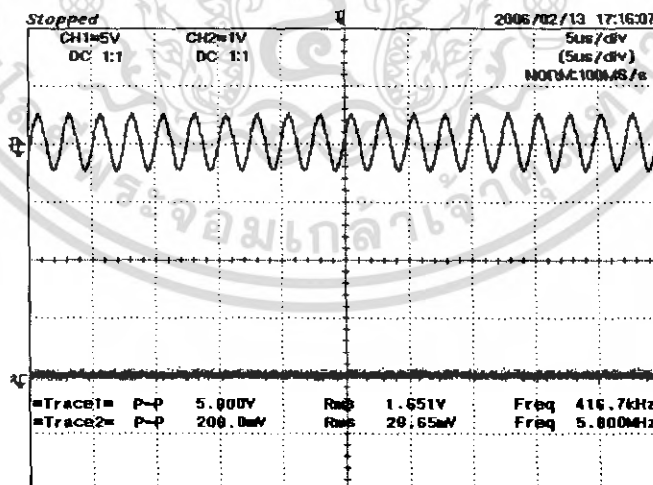
4.2 ผลการทดลองวงจรคีมอดูเลต



รูปที่ 4.4 เอาต์พุตของวงจรมอดูเลต(เอาต์พุตประมาณ 5 โวลท์)

สัญญาณที่ 1 คือ สัญญาณจากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

สัญญาณที่ 2 คือ สัญญาณจากวงจรมอดูเลตเตอร์



รูปที่ 4.5 เอาต์พุตของวงจรมอดูเลต(เอาต์พุตประมาณ 0 โวลท์)

สัญญาณที่ 1 คือ สัญญาณจากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

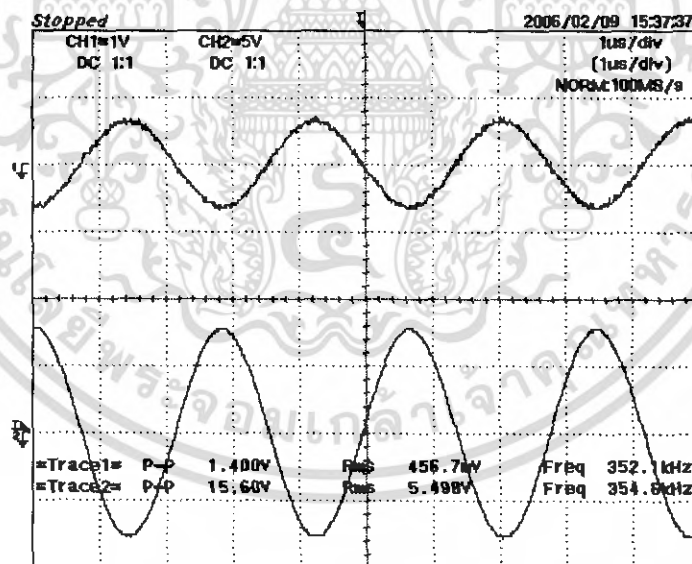
สัญญาณที่ 2 คือ สัญญาณจากวงจรมอดูเลตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าเมื่ออินพุตมีสัญญาณความถี่ประมาณ 300KHz เอาต์พุตของวงจรคิมอดูเลตจะให้ค่าออกมาประมาณ 0 โวลต์ และเมื่อมีสัญญาณความถี่อีกความถี่ ประมาณ 95KHz เอาต์พุตของวงจรคิมอดูเลตจะให้ค่าออกมาประมาณ 5 โวลต์ ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวงจรที่เราออกแบบสามารถทำการคิมอดูเลตได้เอาต์พุตเหมือนกับอินพุตของวงจรมอดูเลต

4.3 ผลการทดลองวงจรเอซีคัปปลิ่ง

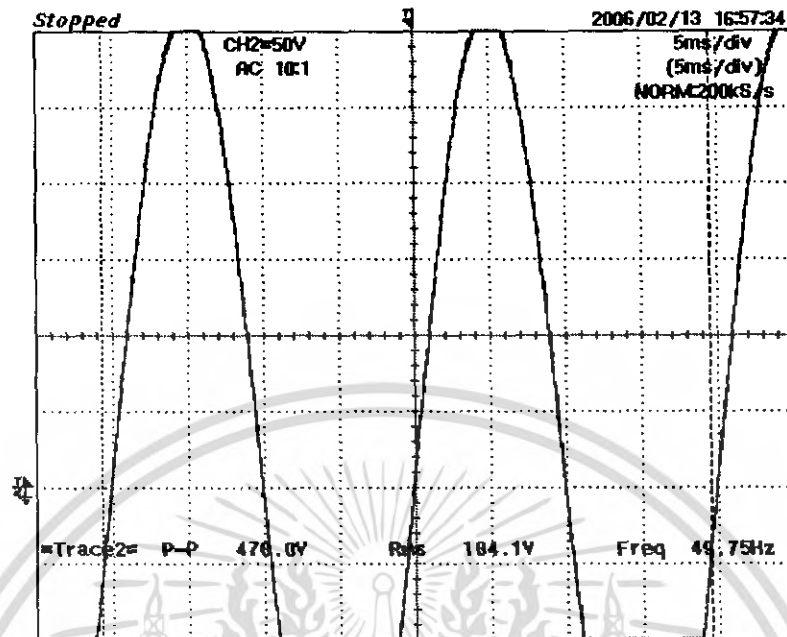
จากผลการทดลองในรูปที่ 4.6 จะเป็นการทดลองวงจรเอซีคัปปลิ่ง โดยจะทำการป้อนความถี่ ประมาณ 300 KHz เข้าทางอินพุต และจะวัดสัญญาณออกทางเอาต์พุต โดยในรูปที่ 4.6 จะยังไม่ได้ทำสัญญาณใส่เข้าไปในไฟบ้าน จะเห็นว่าไม่มีสัญญาณรบกวนเข้ามา และปริมาณแรงดันจะเกิดการสูญเสียเนื่องจากผ่านตัวเก็บประจุ จะทำให้ปริมาณแอมพลิจูดที่ออกมาถูกลดทอนลงไปมาก ดังแสดงได้ในรูป แต่จะเห็นได้ว่าค่าความถี่ที่ได้ออกมาจะมีค่าผิดพลาดน้อยมาก เนื่องจากเราเลือกใช้ความถี่ที่มีค่าสูง จึงมีสัญญาณรบกวนน้อยซึ่งผลที่ได้จะเป็นไปตามทฤษฎี



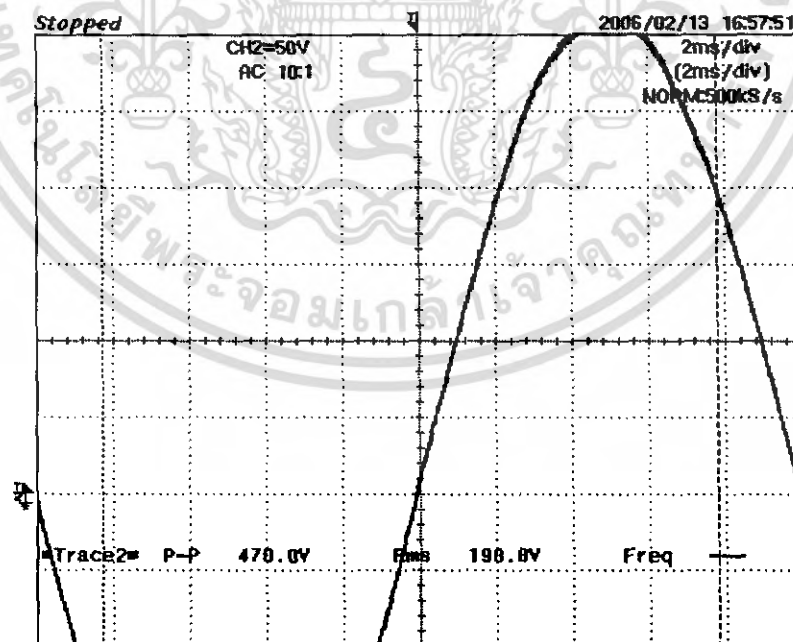
รูปที่ 4.6 วงจรเอซีคัปปลิ่ง (ยังไม่คัปปลิ่ง เข้าสายไฟบ้าน)

สัญญาณที่ 1 คือ สัญญาณจากวงจรเอซีคัปปลิ่ง

สัญญาณที่ 2 คือ สัญญาณจากฟังก์ชันเจเนอเรเตอร์

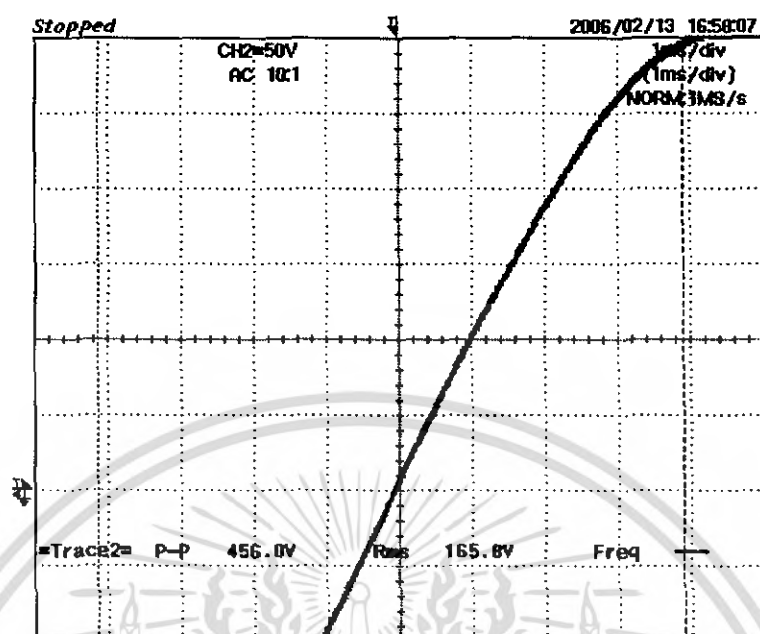


รูปที่ 4.7 สัญญาณที่วัดจากไฟบ้าน(220 V 50Hz)

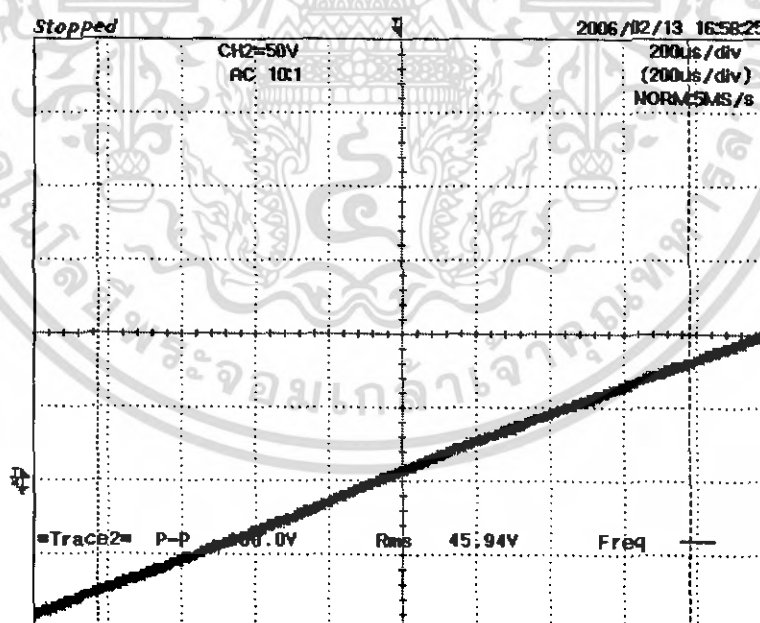


รูปที่ 4.8 สัญญาณที่วัดจากไฟบ้าน(ขยายครั้งที่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

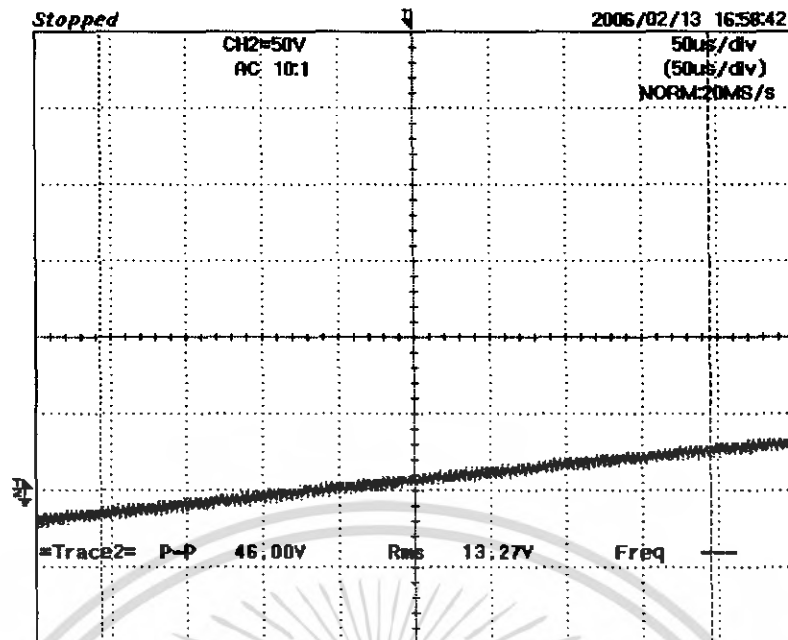


รูปที่ 4.9 สัญญาณที่วัดจากไฟบ้าน(ขยายครั้งที่2)

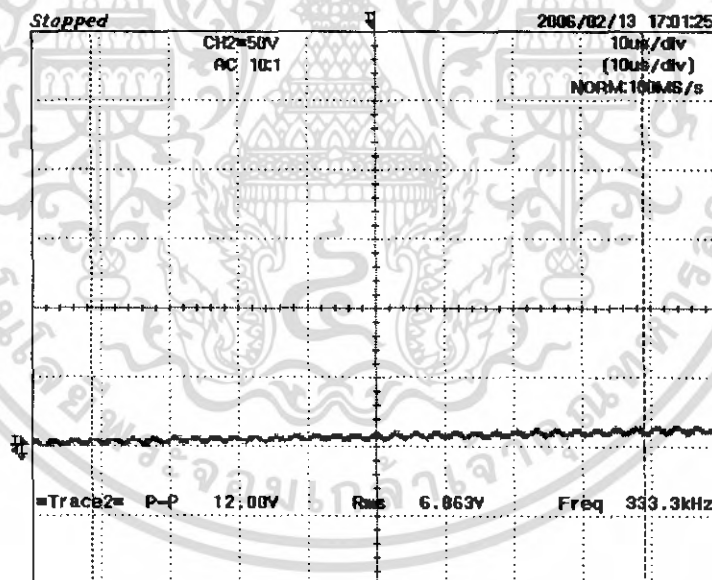


รูปที่ 4.10 สัญญาณที่วัดจากไฟบ้าน(ขยายครั้งที่3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 สัญญาณที่วัดจากไฟบ้าน(ขยายครั้งที่4)



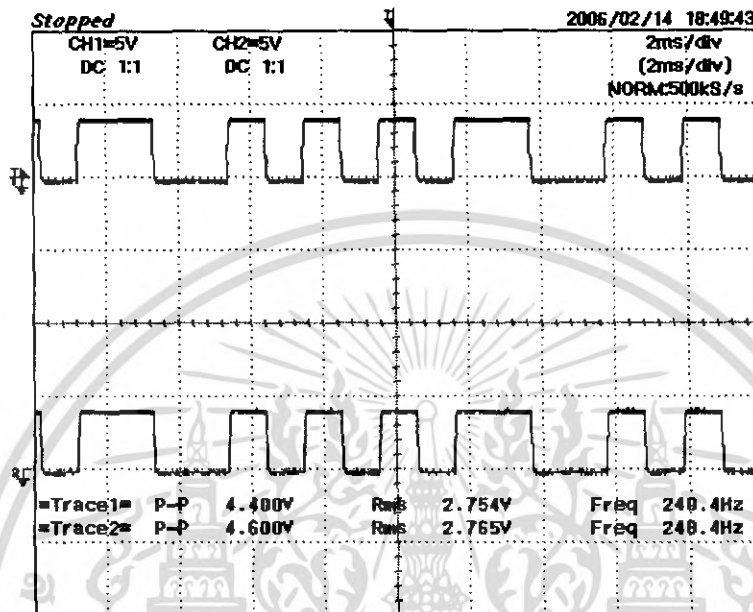
รูปที่ 4.12 สัญญาณที่วัดจากไฟบ้าน(ขยายครั้งที่5)

จากในรูปที่ 4.7-4.12 จะเป็นการวัดจากสายไฟภายในบ้านหลังจากการปรับปลั๊กความถี่สูงเข้าไปแล้วผ่านวงจรปรับปลั๊ก จะเห็นได้ว่าถ้าเราขยายภาพให้ใหญ่จะมีค่าความถี่สูงประมาณ 300kHz ที่เรากำหนดเข้าไปในสายไฟ เกาะอยู่บนความถี่ต่ำ 50Hz ซึ่งผลที่ได้จะเป็นไปตาม ที่ศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

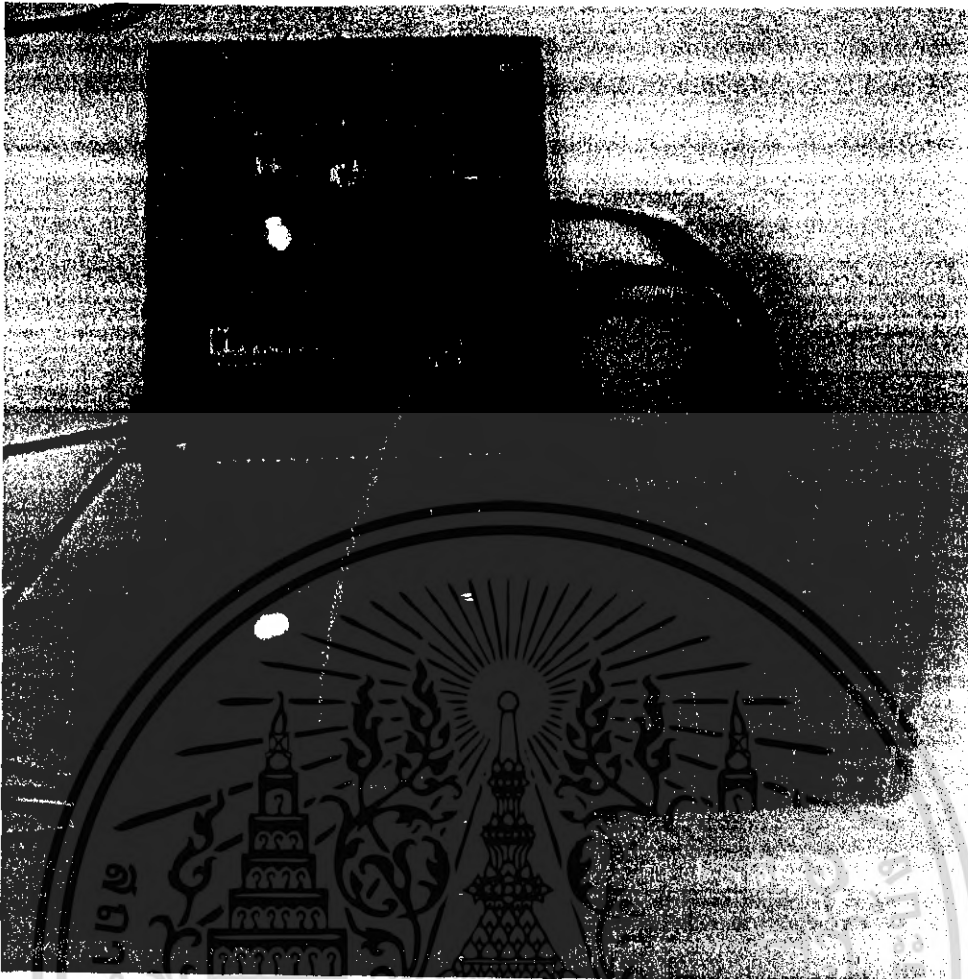
มา เนื่องจากตามทฤษฎี ความถี่ที่มีค่าต่ำ จะประกอบด้วยองค์ความถี่สูงรวมกันอยู่ จึงทำให้ความถี่สูงที่คัปปลิ่งเข้าไปในสายนั้น จะแผ่ตัวอยู่ในความถี่ต่ำ

4.4 ผลการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 4.13 สัญญาณที่ออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์

จะอยู่ในรูปของสัญญาณอนุกรม อัตราบอด (Baud rate) เท่ากับ 9600 ซึ่งจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เบอร์ 16F877 โดยจะใช้ขา 25 ในการส่งข้อมูล และจะใช้ขา 26 ในการรับข้อมูลแบบอนุกรมจากรูปที่ 4.13 ทั้งในรูปบนและรูปล่างจะเป็นการวัดสัญญาณจากขาส่งสัญญาณอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะเห็นว่าตัวไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถส่งสัญญาณข้อมูลแบบอนุกรมออกมาได้จริง



รูปที่ 4.14 ภาพการทดลองการติดต่อกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์

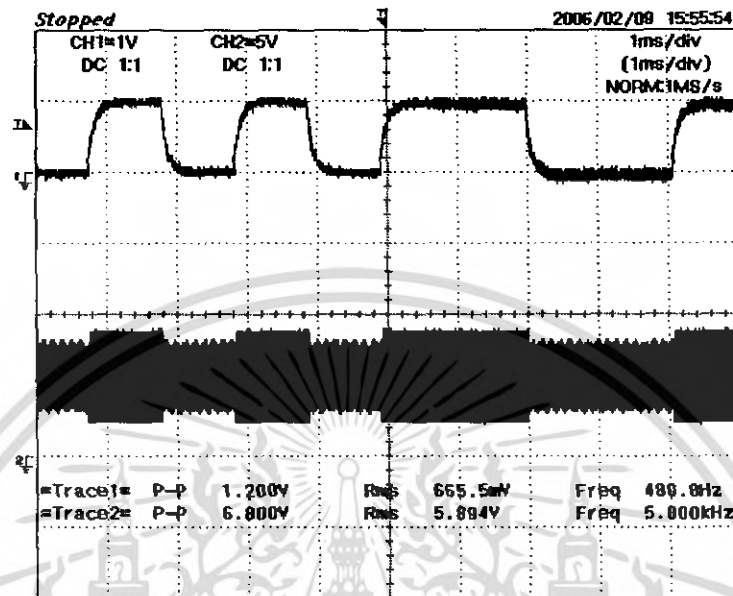
ในรูปที่ 4.14 จะเห็นการติดต่อกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เราจะใช้หลอดแอลอีดีแสดงสถานะการทำงาน ซึ่งทั้งตัวส่งและตัวรับจะติดต่อกันตลอดเวลาเพื่อแสดงค่าสถานะที่มันทำงานอยู่กลับมาสู่ตัวส่ง แต่เมื่อเราทดลองให้ถอดสายที่ใช้ส่งข้อมูลในภาครับส่งในภาครับจะคงค่าที่มันทำงานอยู่ และเมื่อเราต่อสายเข้าไปเราจะกดสวิทช์หมายเลข 9 เพื่อทำการเช็คค่าที่ภาครับกลับมาเพื่อความถูกต้องในการทำงาน

4.5 ผลการทดลองวงจรรวมทางด้านส่ง

ทำการกดสวิทช์เมตริก(Keypad) ซึ่งข้อมูลที่ออกมาจะเป็น AA_{16} (10101010) แล้วทำการวัดสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของทางภาคส่งเทียบกับขบวนพัลส์ จากรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าค่าความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของวงจรคีมอคูเลตจะเปลี่ยนแปลงตามข้อมูลตามการกดสวิตช์ เมื่อสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ค่าลอจิกที่เป็นหนึ่ง เอาต์พุตของวงจรมอคูเลตจะให้ค่าความถี่ที่สูงกว่า ค่าลอจิกที่เป็นศูนย์ ซึ่งผลที่ได้จะเป็นไปตามทฤษฎี



รูปที่ 4.15 วงจรรวมทางด้านภาคส่ง

สัญญาณที่ 1 คือ สัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์

สัญญาณที่ 2 คือ สัญญาณจากวงจรมอคูเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และบทสรุป

โครงการการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านสายไฟเอซีจะใช้เทคนิค FSK เป็นการส่งผ่านข้อมูล จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งโดยใช้สายไฟเอซี 220V เป็นตัวกลางในการส่งผ่านข้อมูลอาศัยหลักการ มอดูเลตสัญญาณดิจิทัลซึ่งเป็น การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (FSK) โดยใช้สื่อสารกับข้อมูลที่มี ลักษณะเป็นข้อมูลมีแบนด์วิดท์ในช่วง 0-50KHz

สำหรับปัญหาที่พบ การออกแบบวงจรนั้นค่าที่ทำการคำนวณต่างๆ เช่น ค่าความต้านทาน ค่าตัวเก็บประจุจะมีค่าผิดพลาด ทำให้ผลการทดลองไม่เป็นไปตามทฤษฎี และในการปรับแต่ง สัญญาณเมื่อสัญญาณอินพุตที่มีความถี่สูงทำให้ยากสัญญาณที่ผ่านสายเอาต์พุตที่ได้มีความผิดพลาด และการกู้ข้อมูลกลับคืนเป็นข้อมูลที่ผิดเพี้ยน

5.1 สรุป

จากการทดลองโดยทดลองแยกทีละวงจร วงจรมอดูเลตจะเห็นได้ว่าเมื่อระดับสัญญาณ แรงดันที่ป้อนให้ทางอินพุตเท่ากับ 0 โวลต์จะมีความถี่ประมาณ 300KHz และเมื่อระดับแรงดันที่ ป้อนให้ทางอินพุตเท่ากับ 5 โวลต์ ก็จะมีค่าเป็นอีกความถี่ประมาณ 95KHz ซึ่งผลที่ได้จะเป็นไปตาม ทฤษฎี

การทดลองวงจรดีมอดูเลตจะเห็นได้ว่าเมื่อมีสัญญาณความถี่ๆ หนึ่ง(ประมาณ 300KHz) เอาต์พุตของวงจรดีมอดูเลตจะให้ค่าออกมาประมาณ 0 โวลต์ และเมื่อมีสัญญาณความถี่อีกความถี่ หนึ่ง(ประมาณ 95KHz) เอาต์พุตของวงจรดีมอดูเลตจะให้ค่าออกมาประมาณ 5 โวลต์ ซึ่งผลที่ได้จะ เป็นไปตามที่ศึกษามา

ส่วนวงจรเอซีคัปปลิ่ง จะเห็นได้ว่าจะมีค่าความถี่สูงประมาณ 300KHz ที่เราคัปปลิ่งเข้าไป ในสายไฟ เกาะอยู่บนความถี่ต่ำ (50Hz) ซึ่งผลที่ได้จะเป็นไปตาม ที่ศึกษามา เนื่องจากตามทฤษฎี ความถี่ที่มีค่าต่ำ จะประกอบด้วยองค์ความถี่สูงรวมกันอยู่ จึงทำให้ความถี่สูงที่เราคัปปลิ่งเข้าไปใน สายนั้น จะแฝงตัวอยู่ในความถี่ต่ำ

แต่เมื่อนำวงจรมาต่อร่วมกัน และส่งสัญญาณเข้าไปในสาย จะเห็นได้ว่าสัญญาณที่ ส่งออกไปถ้าเราอัตราบอดเรทที่สูง การกู้ข้อมูลคืนจะเกิดการผิดพลาดเพราะเมื่อความถี่สูง จะทำให้ แต่ละขบวนพัลส์ อยู่ใกล้กันมากขึ้นจึงเกิดสัญญาณรบกวนได้ง่ายขึ้น จึงทำให้ข้อมูลที่ตัวดีมอดูเลต กู้ ออกมา ไม่สามารถทำได้เราจึงควรใช้อัตราบอดเรทที่ต่ำ เพื่อให้ข้อมูลดีมอดูเลตกลับคืนมาได้ง่ายขึ้น

5.2 แนวทางวิจัยต่อ

สำหรับการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากไอซีที่เราใช้มอดูเลตกับตัวคิมมอดูเลตเป็นเบอร์ XR2206 และ XR2211 ซึ่งจะมีข้อจำกัดด้านความถี่ที่ใช้ในการส่งและรับซึ่งในตัวมอดูเลต (XR2206) จะส่งได้ในช่วงความถี่สูงสุดที่ 1 MHz แต่ในตัวคิมมอดูเลต (XR2211) จะรับได้ในความถี่สูงสุด 300 kHz ซึ่งถ้าเราส่งความถี่สูงเกินไปจะทำให้ตัวคิมมอดูเลตไม่สามารถทำงานได้ เราจึงควรรหาไอซีที่สามารถรับและส่งได้ในความถี่สูงๆ เนื่องจากในความถี่สูงสัญญาณรบกวนจะมีน้อย ทำให้ข้อมูลที่ได้ออกมามีความถูกต้องมากขึ้น

ในการนำไปประยุกต์ใช้งานในการสื่อสารข้อมูลผ่านสายไฟเอซี ซึ่งสายไฟเป็นอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วทำให้เกิดการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังสามารถไปประยุกต์ในการตรวจสอบสัญญาณในสายไฟเอซี หรืออาจนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ได้



เอกสารอ้างอิง

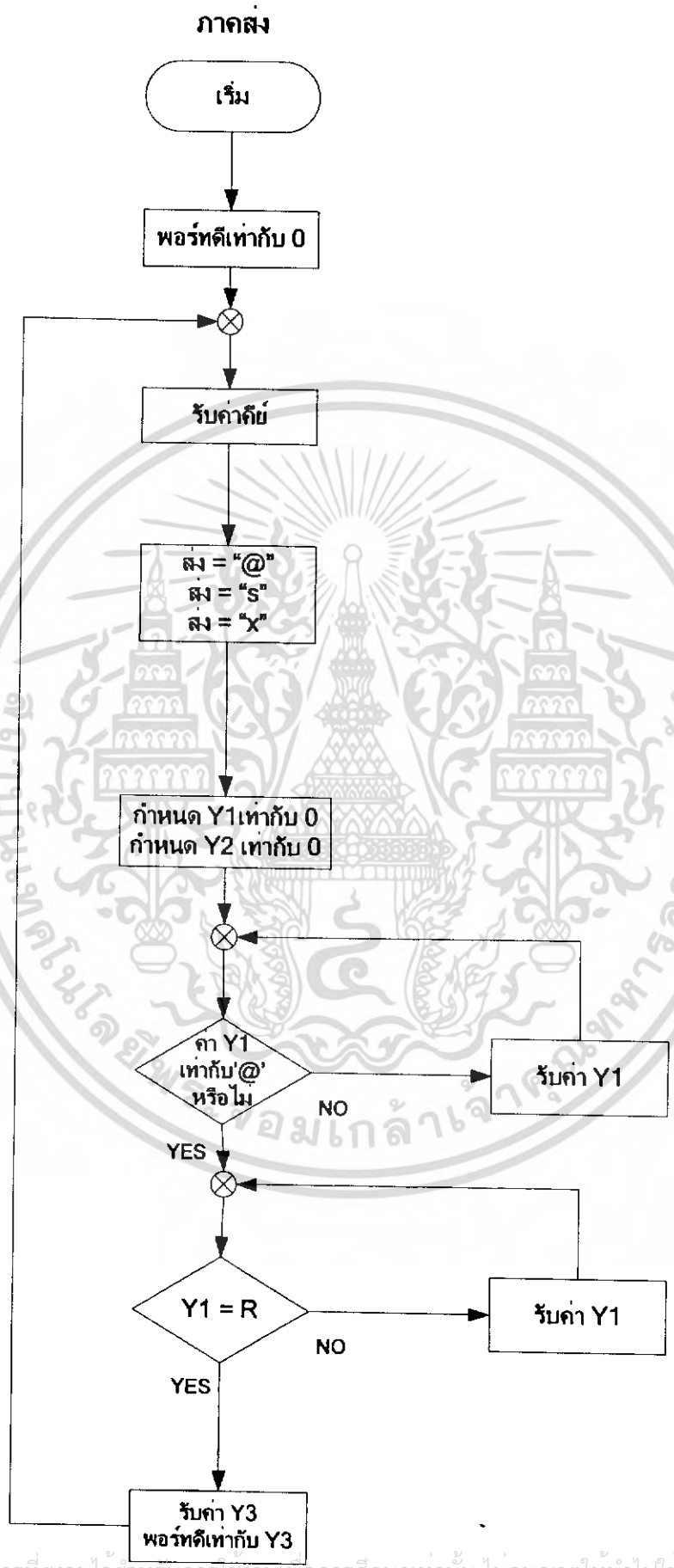
- [1] ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ กิรานนท์ , วิศวกรรมการสื่อสาร , พ.ศ. 2546
- [2] นภัทร วจนเทพินทร์ , วงจรไอซีและการประยุกต์ใช้งาน , พ.ศ. 2547



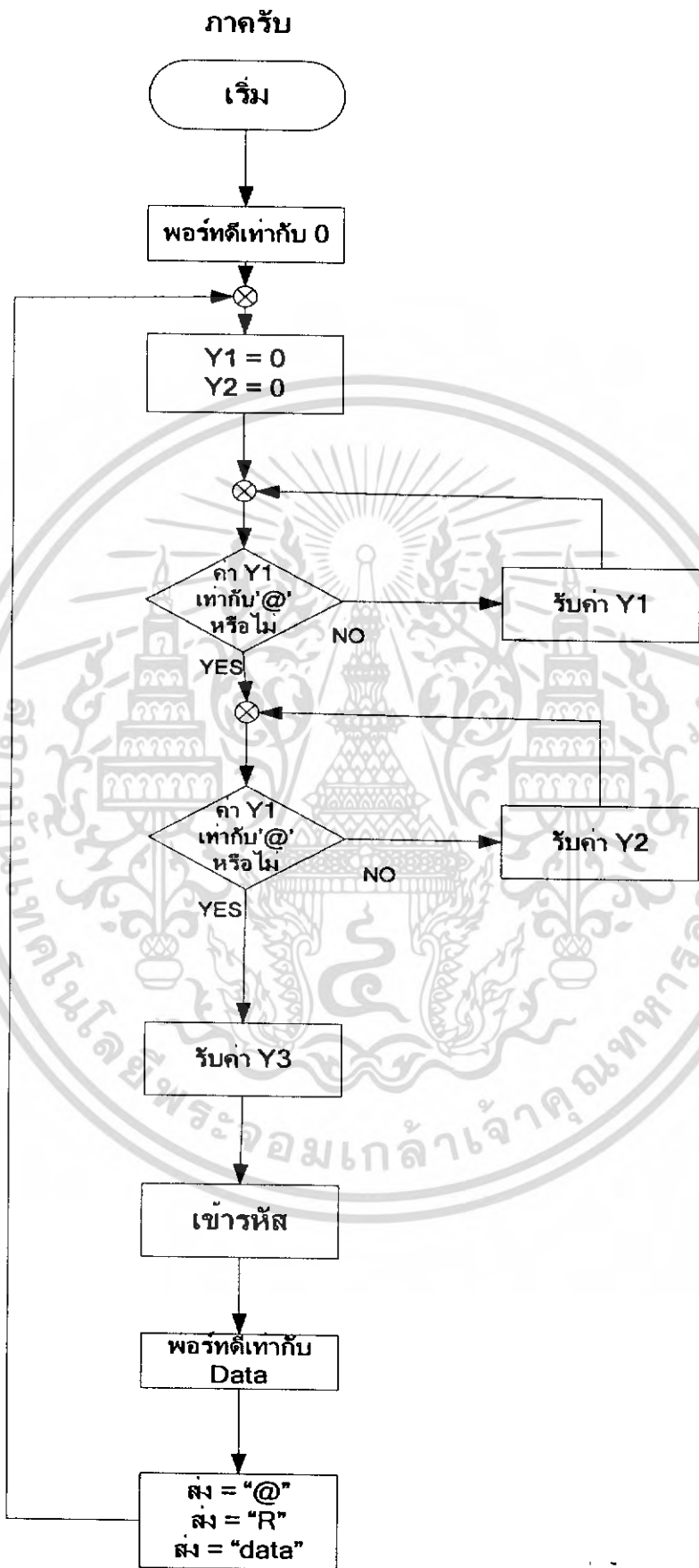
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ภาคส่ง

0000: MOVLW 00	004F: GOTO 05C
0001: MOVWF 0A	0050: MOVLW BE
0002: GOTO 108	0051: BSF 03.5
0003: NOP	0052: MOVWF 06
011B: CLRF 20	0053: BCF 03.5
011C: BCF 21.0	0054: MOVWF 06
011D: CLRF 22	0055: GOTO 05C
011E: CLRF 23	0056: MOVLW 7E
0039: CLRF 38	0057: BSF 03.5
003A: INCF 20,F	0058: MOVWF 06
003B: MOVF 20,W	0059: BCF 03.5
003C: SUBLW 21	005A: MOVWF 06
003D: BTFSC 03.0	005B: GOTO 05C
003E: GOTO 09D	005C: BTFSS 21.0
003F: MOVF 23,W	005D: GOTO 068
0040: XORLW 00	005E: MOVF 06,W
0041: BTFSC 03.2	005F: ANDLW 1E
0042: GOTO 04A	0060: SUBLW 1E
0043: XORLW 01	0061: BTFSS 03.2
0044: BTFSC 03.2	0062: GOTO 067
0045: GOTO 050	0063: BCF 21.0
0046: XORLW 03	0064: MOVF 22,W
0047: BTFSC 03.2	0065: MOVWF 38
0048: GOTO 056	0066: CLRF 22
0049: GOTO 05C	0067: GOTO 09C
004A: MOVLW DE	0068: MOVF 06,W
004B: BSF 03.5	0069: ANDLW 1E
004C: MOVWF 06	006A: SUBLW 1E
004D: BCF 03.5	006B: BTFSC 03.2
004E: MOVWF 06	006C: GOTO 097

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

006D: MOVF 06,W
006E: ANDLW 02
006F: XORLW 00
0070: BTFSS 03.2
0071: GOTO 074
0072: CLRF 39
0073: GOTO 08B
0074: MOVF 06,W
0075: ANDLW 04
0076: XORLW 00
0077: BTFSS 03.2
0078: GOTO 07C
0079: MOVLW 01
007A: MOVWF 39
007B: GOTO 08B
007C: MOVF 06,W
007D: ANDLW 08
007E: XORLW 00
007F: BTFSS 03.2
0080: GOTO 084
0081: MOVLW 02
0082: MOVWF 39
0083: GOTO 08B
0084: MOVF 06,W
0085: ANDLW 10
0086: XORLW 00
0087: BTFSS 03.2
0088: GOTO 08B
0089: MOVLW 03
008A: MOVWF 39
008B: MOVF 39,W
008C: MOVWF 3A

008D: MOVLW 03
008E: MOVWF 3B
008F: CALL 014
0090: MOVF 23,W
0091: ADDWF 78,W
0092: CALL 004
0093: MOVWF 78
0094: MOVWF 22
0095: BSF 21.0
0096: GOTO 09C
0097: INCF 23,F
0098: MOVF 23,W
0099: SUBLW 03
009A: BTFSC 03.2
009B: CLRF 23
009C: CLRF 20
009D: MOVLW FE
009E: BSF 03.5
009F: MOVWF 06
00A0: BCF 03.5
00A1: MOVF 38,W
00A2: MOVWF 78
011F: MOVLW A1
0120: MOVWF 24
0121: MOVLW A2
0122: MOVWF 25
0123: MOVLW A4
0124: MOVWF 26
0125: MOVLW A8
0126: MOVWF 27
0127: MOVLW 1A
0128: MOVWF 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0129: MOVLW 2A	00B6: CALL 004
012A: MOVWF 29	00B7: SUBWF 35,W
012B: MOVLW 4A	00B8: BTFSS 03.2
012C: MOVWF 2A	00B9: GOTO 0F5
012D: MOVLW 8A	00BA: MOVF 36,W
012E: MOVWF 2B	00BB: MOVWF 3A
012F: CLRF 2C	00BC: MOVLW 03
0130: MOVLW BA	00BD: MOVWF 3B
0131: MOVWF 2D	00BE: CALL 014
0132: MOVLW AA	00BF: MOVF 37,W
0133: MOVWF 2E	00C0: ADDWF 78,W
0134: MOVLW AB	00C1: ADDLW 24
0135: MOVWF 2F	00C2: MOVWF 04
00A3: MOVF 78,W	00C3: MOVF 00,W
00A4: MOVWF 35	00C4: MOVWF 30
00A5: CLRF 36	00C5: MOVLW 40
00A6: MOVF 36,W	00C6: BTFSS 0C.4
00A7: SUBLW 03	00C7: GOTO 0C6
00A8: BTFSS 03.0	00C8: MOVWF 19
00A9: GOTO 0F9	00C9: MOVLW 53
00AA: CLRF 37	00CA: BTFSS 0C.4
00AB: MOVF 37,W	00CB: GOTO 0CA
00AC: SUBLW 02	00CC: MOVWF 19
00AD: BTFSS 03.0	00CD: MOVF 30,W
00AE: GOTO 0F7	00CE: BTFSS 0C.4
00AF: MOVF 36,W	00CF: GOTO 0CE
00B0: MOVWF 3A	00D0: MOVWF 19
00B1: MOVLW 03	00D1: CLRF 31
00B2: MOVWF 3B	00D2: CLRF 32
00B3: CALL 014	00D3: CLRF 34
00B4: MOVF 37,W	00D4: MOVF 31,W
00B5: ADDWF 78,W	00D5: SUBLW 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

00D6: BTFSC 03.2	00F6: GOTO 0AB
00D7: GOTO 0E2	00F7: INCF 36,F
00D8: BTFSS 0C.5	00F8: GOTO 0A6
00D9: GOTO 0D8	00F9: GOTO 039
00DA: MOVF 1A,W	00FA: MOVLW 00
00DB: MOVWF 31	00FB: BSF 03.5
00DC: INCF 34,F	00FC: MOVWF 08
00DD: MOVF 34,W	00FD: BCF 03.5
00DE: SUBLW 32	00FE: CLRF 08
00DF: BTFSS 03.0	00FF: BSF 03.5
00E0: GOTO 0FA	0100: MOVWF 05
00E1: GOTO 0D4	0101: MOVLW 01
00E2: MOVF 32,W	0102: BCF 03.5
00E3: SUBLW 52	0103: MOVWF 05
00E4: BTFSC 03.2	0104: GOTO 0FA
00E5: GOTO 0EB	0105: BCF 0A.3
00E6: BTFSS 0C.5	0106: BCF 0A.4
00E7: GOTO 0E6	0107: GOTO 143 (RETURN)
00E8: MOVF 1A,W	0108: CLRF 04
00E9: MOVWF 32	0109: MOVLW 1F
00EA: GOTO 0E2	010A: ANDWF 03,F
00EB: BTFSS 0C.5	010B: BSF 03.5
00EC: GOTO 0EB	010C: BSF 1F.0
00ED: MOVF 1A,W	010D: BSF 1F.1
00EE: MOVWF 33	010E: BSF 1F.2
00EF: MOVLW 00	010F: BCF 1F.3
00F0: BSF 03.5	0110: MOVLW 07
00F1: MOVWF 08	0111: BCF 03.5
00F2: BCF 03.5	0112: MOVWF 1F
00F3: MOVF 33,W	0113: MOVLW 40
00F4: MOVWF 08	0114: BSF 03.5
00F5: INCF 37,F	0115: MOVWF 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0116: MOVLW 22
0117: MOVWF 18
0118: MOVLW 90
0119: BCF 03.5
011A: MOVWF 18
0136: BSF 03.5
0137: BCF 01.7
0138: MOVLW 00
0139: MOVWF 08
013A: MOVWF 05
013B: MOVWF 08
013C: BCF 03.5
013D: CLRF 08
013E: BSF 03.5
013F: MOVWF 05
0140: BCF 03.5
0141: CLRF 05
0142: GOTO 039
0143: GOTO 142
0144: SLEEP



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ภาครับ

0000: MOVLW 00	000E: XORLW 0C
0001: MOVWF 0A	000F: BTFSC 03.2
0002: GOTO 0CF	0010: GOTO 048
0003: NOP	0011: XORLW B2
00E2: CLRF 20	0012: BTFSC 03.2
00E3: CLRF 21	0013: GOTO 052
00E4: CLRF 22	0014: XORLW 30
00E5: CLRF 23	0015: BTFSC 03.2
00E6: CLRF 24	0016: GOTO 05C
00E7: CLRF 25	0017: XORLW 60
00E8: CLRF 26	0018: BTFSC 03.2
00E9: CLRF 27	0019: GOTO 066
00EA: CLRF 28	001A: XORLW C0
00EB: CLRF 29	001B: BTFSC 03.2
00EC: CLRF 2A	001C: GOTO 070
00ED: CLRF 2B	001D: XORLW 31
00EE: CLRF 2C	001E: BTFSC 03.2
00EF: CLRF 2D	001F: GOTO 07A
00F0: CLRF 2E	0020: XORLW 01
00F1: CLRF 2F	0021: BTFSC 03.2
0004: MOVF 2E,W	0022: GOTO 096
0005: XORLW A1	0023: XORLW 10
0006: BTFSC 03.2	0024: BTFSC 03.2
0007: GOTO 02A	0025: GOTO 0AA
0008: XORLW 03	0026: XORLW 01
0009: BTFSC 03.2	0027: BTFSC 03.2
000A: GOTO 034	0028: GOTO 0B8
000B: XORLW 06	0029: GOTO 0CC
000C: BTFSC 03.2	002A: MOVF 20,F
000D: GOTO 03E	002B: BTFSS 03.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

002C: GOTO 031	004C: MOVLW 01
002D: BSF 2F.0	004D: MOVWF 23
002E: MOVLW 01	004E: GOTO 051
002F: MOVWF 20	004F: BCF 2F.3
0030: GOTO 033	0050: CLRF 23
0031: BCF 2F.0	0051: GOTO 0CC
0032: CLRF 20	0052: MOVF 24,F
0033: GOTO 0CC	0053: BTFSS 03.2
0034: MOVF 21,F	0054: GOTO 059
0035: BTFSS 03.2	0055: BSF 2F.4
0036: GOTO 03B	0056: MOVLW 01
0037: BSF 2F.1	0057: MOVWF 24
0038: MOVLW 01	0058: GOTO 05B
0039: MOVWF 21	0059: BCF 2F.4
003A: GOTO 03D	005A: CLRF 24
003B: BCF 2F.1	005B: GOTO 0CC
003C: CLRF 21	005C: MOVF 25,F
003D: GOTO 0CC	005D: BTFSS 03.2
003E: MOVF 22,F	005E: GOTO 063
003F: BTFSS 03.2	005F: BSF 2F.5
0040: GOTO 045	0061: MOVWF 25
0041: BSF 2F.2	0062: GOTO 065
0042: MOVLW 01	0063: BCF 2F.5
0043: MOVWF 22	0064: CLRF 25
0044: GOTO 047	0065: GOTO 0CC
0045: BCF 2F.2	0066: MOVF 26,F
0046: CLRF 22	0067: BTFSS 03.2
0047: GOTO 0CC	0068: GOTO 06D
0048: MOVF 23,F	0069: BSF 2F.6
0049: BTFSS 03.2	006A: MOVLW 01
004A: GOTO 04F	006B: MOVWF 26
004B: BSF 2F.3	006C: GOTO 06F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

006D: BCF 2F.6	008D: CLRF 20
006E: CLRF 26	008E: CLRF 21
006F: GOTO 0CC	008F: CLRF 22
0070: MOVF 27,F	0090: CLRF 23
0071: BTFSS 03.2	0091: CLRF 24
0072: GOTO 077	0092: CLRF 25
0073: BSF 2F.7	0093: CLRF 26
0074: MOVLW 01	0094: CLRF 27
0075: MOVWF 27	0095: GOTO 0CC
0076: GOTO 079	0096: MOVF 29,F
0077: BCF 2F.7	0097: BTFSS 03.2
0078: CLRF 27	0098: GOTO 0A2
0079: GOTO 0CC	0099: MOVLW F0
007A: MOVF 28,F	009A: IORWF 2F,F
007B: BTFSS 03.2	009B: MOVLW 01
007C: GOTO 08A	009C: MOVWF 29
007D: MOVLW FF	009D: MOVWF 24
007E: IORWF 2F,F	009E: MOVWF 25
007F: MOVLW 01	009F: MOVWF 26
0080: MOVWF 28	00A0: MOVWF 27
0081: MOVWF 20	00A1: GOTO 0A9
0082: MOVWF 21	00A2: MOVLW 0F
0083: MOVWF 22	00A3: ANDWF 2F,F
0084: MOVWF 23	00A4: CLRF 29
0085: MOVWF 24	00A5: CLRF 24
0086: MOVWF 25	00A6: CLRF 25
0087: MOVWF 26	00A7: CLRF 26
0088: MOVWF 27	00A8: CLRF 27
0089: GOTO 095	00A9: GOTO 0CC
008A: MOVLW 00	00AA: CLRF 2F
008B: ANDWF 2F,F	00AB: CLRF 20
008C: CLRF 28	00AC: CLRF 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

00AD: CLRF 22	00CD: BCF 0A.4
00AE: CLRF 23	00CE: GOTO 111 (RETURN)
00AF: CLRF 24	00CF: CLRF 04
00B0: CLRF 25	00D0: MOVLW 1F
00B1: CLRF 26	00D1: ANDWF 03,F
00B2: CLRF 27	00D2: BSF 03.5
00B3: CLRF 28	00D3: BSF 1F.0
00B4: CLRF 29	00D4: BSF 1F.1
00B5: CLRF 2A	00D5: BSF 1F.2
00B6: CLRF 2B	00D6: BCF 1F.3
00B7: GOTO 0CC	00D7: MOVLW 07
00B8: MOVF 2B,F	00D8: BCF 03.5
00B9: BTFSS 03.2	00D9: MOVWF 1F
00BA: GOTO 0C4	00DA: MOVLW 40
00BB: MOVLW 0F	00DB: BSF 03.5
00BC: IORWF 2F,F	00DC: MOVWF 19
00BD: MOVLW 01	00DD: MOVLW 22
00BE: MOVWF 2B	00DE: MOVWF 18
00BF: MOVWF 20	00DF: MOVLW 90
00C0: MOVWF 21	00E0: BCF 03.5
00C1: MOVWF 22	00E1: MOVWF 18
00C2: MOVWF 23	00F2: MOVLW 00
00C3: GOTO 0CB	00F3: BSF 03.5
00C4: MOVLW F0	00F4: MOVWF 08
00C5: ANDWF 2F,F	00F5: MOVWF 08
00C6: CLRF 2B	00F6: BCF 03.5
00C7: CLRF 20	00F7: CLRF 08
00C8: CLRF 21	00F8: CLRF 2C
00C9: CLRF 22	00F9: CLRF 2D
00CA: CLRF 23	00FA: MOVF 2C,W
00CB: GOTO 0CC	00FB: SUBLW 40
00CC: BCF 0A.3	00FC: BTFSC 03.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

00FD: GOTO 103	011D: GOTO 11C
00FE: BTFSS 0C.5	011E: MOVWF 19
00FF: GOTO 0FE	011F: MOVF 2F,W
0100: MOVF 1A,W	0120: BTFSS 0C.4
0101: MOVWF 2C	0121: GOTO 120
0102: GOTO 0FA	0122: MOVWF 19
0103: MOVF 2D,W	0123: GOTO 0F8
0104: SUBLW 53	0124: SLEEP
0105: BTFSC 03.2	
0106: GOTO 10C	
0107: BTFSS 0C.5	
0108: GOTO 107	
0109: MOVF 1A,W	
010A: MOVWF 2D	
010B: GOTO 103	
010C: BTFSS 0C.5	
010D: GOTO 10C	
010E: MOVF 1A,W	
010F: MOVWF 2E	
0110: GOTO 004	
0111: MOVLW 00	
0112: BSF 03.5	
0113: MOVWF 08	
0114: BCF 03.5	
0115: MOVF 2F,W	
0116: MOVWF 08	
0117: MOVLW 40	
0118: BTFSS 0C.4	
0119: GOTO 118	
011A: MOVWF 19	
011B: MOVLW 52	
011C: BTFSS 0C.4	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FEATURES

- Low-Sine Wave Distortion, 0.5%, Typical
- Excellent Temperature Stability, 20ppm/°C, Typ.
- Wide Sweep Range, 2000:1, Typical
- Low-Supply Sensitivity, 0.01%V, Typ.
- Linear Amplitude Modulation
- TTL Compatible FSK Controls
- Wide Supply Range, 10V to 26V
- Adjustable Duty Cycle, 1% TO 99%

APPLICATIONS

- Waveform Generation
- Sweep Generation
- AM/FM Generation
- V/F Conversion
- FSK Generation
- Phase-Locked Loops (VCO)

GENERAL DESCRIPTION

The XR-2206 is a monolithic function generator integrated circuit capable of producing high quality sine, square, triangle, ramp, and pulse waveforms of high-stability and accuracy. The output waveforms can be both amplitude and frequency modulated by an external voltage. Frequency of operation can be selected externally over a range of 0.01Hz to more than 1MHz.

The circuit is ideally suited for communications, instrumentation, and function generator applications requiring sinusoidal tone, AM, FM, or FSK generation. It has a typical drift specification of 20ppm/°C. The oscillator frequency can be linearly swept over a 2000:1 frequency range with an external control voltage, while maintaining low distortion.

ORDERING INFORMATION

Part No.	Package	Operating Temperature Range
XR-2206M	16 Lead 300 Mil CDIP	-55°C to +125°C
XR-2206P	16 Lead 300 Mil PDIP	-40°C to +85°C
XR-2206CP	16 Lead 300 Mil PDIP	0°C to +70°C
XR-2206D	16 Lead 300 Mil JEDEC SOIC	0°C to +70°C

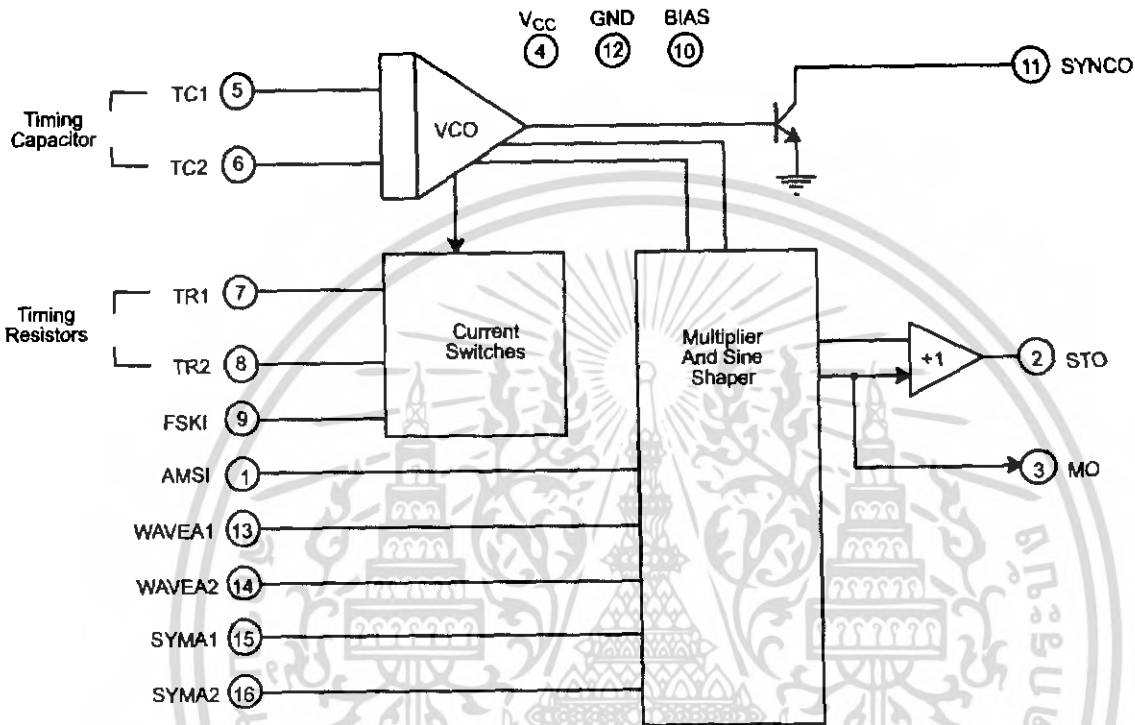
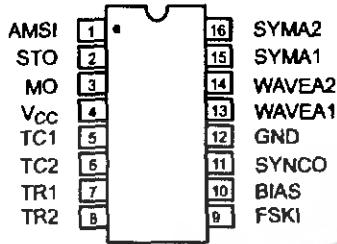
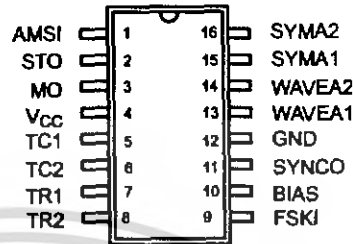


Figure 1. XR-2206 Block Diagram



16 Lead PDIP, CDIP (0.300")



16 Lead SOIC (Jedec, 0.300")

PIN DESCRIPTION

Pin #	Symbol	Type	Description
1	AMSI	I	Amplitude Modulating Signal Input.
2	STO	O	Sine or Triangle Wave Output.
3	MO	O	Multiplier Output.
4	V _{cc}		Positive Power Supply.
5	TC1	I	Timing Capacitor Input.
6	TC2	I	Timing Capacitor Input.
7	TR1	O	Timing Resistor 1 Output.
8	TR2	O	Timing Resistor 2 Output.
9	FSK1	I	Frequency Shift Keying Input.
10	BIAS	O	Internal Voltage Reference.
11	SYNCO	O	Sync Output. This output is a open collector and needs a pull up resistor to V _{cc} .
12	GND		Ground pin.
13	WAVEA1	I	Wave Form Adjust Input 1.
14	WAVEA2	I	Wave Form Adjust Input 2.
15	SYMA1	I	Wave Symetry Adjust 1.
16	SYMA2	I	Wave Symetry Adjust 2.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Test Conditions: Test Circuit of Figure 2 $V_{CC} = 12V$, $T_A = 25^\circ C$, $C = 0.01\mu F$, $R_1 = 100k\Omega$, $R_2 = 10k\Omega$, $R_3 = 25k\Omega$
 Unless Otherwise Specified. S_1 open for triangle, closed for sine wave.

Parameters	XR-2206M/P			XR-2206CP/D			Units	Conditions
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
General Characteristics								
Single Supply Voltage	10		26	10		26	V	
Split-Supply Voltage	± 5		± 13	± 5		± 13	V	
Supply Current		12	17		14	20	mA	$R_1 \geq 10k\Omega$
Oscillator Section								
Max. Operating Frequency	0.5	1		0.5	1		MHz	$C = 1000pF$, $R_1 = 1k\Omega$
Lowest Practical Frequency		0.01			0.01		Hz	$C = 50\mu F$, $R_1 = 2M\Omega$
Frequency Accuracy		± 1	± 4		± 2		% of f_o	$f_o = 1/R_1 C$
Temperature Stability Frequency		± 10	± 50		± 20		ppm/ $^\circ C$	$0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$ $R_1 = R_2 = 20k\Omega$
Sine Wave Amplitude Stability ²		4800			4800		ppm/ $^\circ C$	
Supply Sensitivity		0.01	0.1		0.01		%/V	$V_{LOW} = 10V$, $V_{HIGH} = 20V$, $R_1 = R_2 = 20k\Omega$
Sweep Range	1000:1	2000:1			2000:1		$f_H = f_L$	$f_H @ R_1 = 1k\Omega$ $f_L @ R_1 = 2M\Omega$
Sweep Linearity								
10:1 Sweep		2			2		%	$f_L = 1kHz$, $f_H = 10kHz$
1000:1 Sweep		8			8		%	$f_L = 100Hz$, $f_H = 100kHz$
FM Distortion		0.1			0.1		%	$\pm 10\%$ Deviation
Recommended Timing Components								
Timing Capacitor: C	0.001		100	0.001		100	μF	Figure 5
Timing Resistors: R_1 & R_2	1		2000	1		2000	k Ω	
Triangle Sine Wave Output¹								
Triangle Amplitude		160			160		mV/k Ω	Figure 2, S_1 Open
Sine Wave Amplitude	40	60	80		60		mV/k Ω	Figure 2, S_1 Closed
Max. Output Swing		6			6		Vp-p	
Output Impedance		600			600		Ω	
Triangle Linearity		1			1		%	
Amplitude Stability		0.5			0.5		dB	For 1000:1 Sweep
Sine Wave Distortion								
Without Adjustment		2.5			2.5		%	$R_1 = 30k\Omega$
With Adjustment		0.4	1.0		0.5	1.5	%	See Figure 7 and Figure 8

Notes

¹ Output amplitude is directly proportional to the resistance, R_3 , on Pin 3. See Figure 3.

² For maximum amplitude stability, R_3 should be a positive temperature coefficient resistor.

Bold face parameters are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONT'D)

Parameters	XR-2206M/P			XR-2206CP/D			Units	Conditions
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Amplitude Modulation								
Input Impedance	50	100		50	100		kΩ	
Modulation Range		100			100		%	
Carrier Suppression		55			55		dB	
Linearity		2			2		%	For 95% modulation
Square-Wave Output								
Amplitude		12			12		Vp-p	Measured at Pin 11.
Rise Time		250			250		ns	$C_L = 10\text{pF}$
Fall Time		50			50		ns	$C_L = 10\text{pF}$
Saturation Voltage		0.2	0.4		0.2	0.6	V	$I_L = 2\text{mA}$
Leakage Current		0.1	20		0.1	100	μA	$V_{CC} = 26\text{V}$
FSK Keying Level (Pin 9)	0.8	1.4	2.4	0.8	1.4	2.4	V	See section on circuit controls
Reference Bypass Voltage	2.9	3.1	3.3	2.5	3	3.5	V	Measured at Pin 10.

Notes

¹ Output amplitude is directly proportional to the resistance, R_3 , on Pin 3. See Figure 3.

² For maximum amplitude stability, R_3 should be a positive temperature coefficient resistor.

Bold face parameters are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.

Specifications are subject to change without notice

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Power Supply	26V	Total Timing Current	6mA
Power Dissipation	750mW	Storage Temperature	-65°C to +150°C
Derate Above 25°C	5mW/°C		

SYSTEM DESCRIPTION

The XR-2206 is comprised of four functional blocks; a voltage-controlled oscillator (VCO), an analog multiplier and sine-shaper; a unity gain buffer amplifier; and a set of current switches.

The VCO produces an output frequency proportional to an input current, which is set by a resistor from the timing

terminals to ground. With two timing pins, two discrete output frequencies can be independently produced for FSK generation applications by using the FSK input control pin. This input controls the current switches which select one of the timing resistor currents, and routes it to the VCO.

FEATURES

- Wide Frequency Range, 0.01Hz to 300kHz
- Wide Supply Voltage Range, 4.5V to 20V
- HCMOS/TTL/Logic Compatibility
- FSK Demodulation, with Carrier Detection
- Wide Dynamic Range, 10mV to 3V rms
- Adjustable Tracking Range, $\pm 1\%$ to 80%
- Excellent Temp. Stability, $\pm 50\text{ppm}/^\circ\text{C}$, max.

APPLICATIONS

- Caller Identification Delivery
- FSK Demodulation
- Data Synchronization
- Tone Decoding
- FM Detection
- Carrier Detection

GENERAL DESCRIPTION

The XR-2211 is a monolithic phase-locked loop (PLL) system especially designed for data communications applications. It is particularly suited for FSK modem applications. It operates over a wide supply voltage range of 4.5 to 20V and a wide frequency range of 0.01Hz to 300kHz. It can accommodate analog signals between 10mV and 3V, and can interface with conventional DTL, TTL, and ECL logic families. The circuit consists of a basic PLL for tracking an input signal within the pass band, a

quadrature phase detector which provides carrier detection, and an FSK voltage comparator which provides FSK demodulation. External components are used to independently set center frequency, bandwidth, and output delay. An internal voltage reference proportional to the power supply is provided at an output pin.

The XR-2211 is available in 14 pin packages specified for military and industrial temperature ranges.

ORDERING INFORMATION

Part No.	Package	Operating Temperature Range
XR-2211M	14 Pin CDIP (0.300")	-55°C to +125°C
XR-2211N	14 Pin CDIP (0.300")	-40°C to +85°C
XR-2211P	14 Pin PDIP (0.300")	-40°C to +85°C
XR-2211ID	14 Lead SOIC (Jedec, 0.150")	-40°C to +85°C

BLOCK DIAGRAM

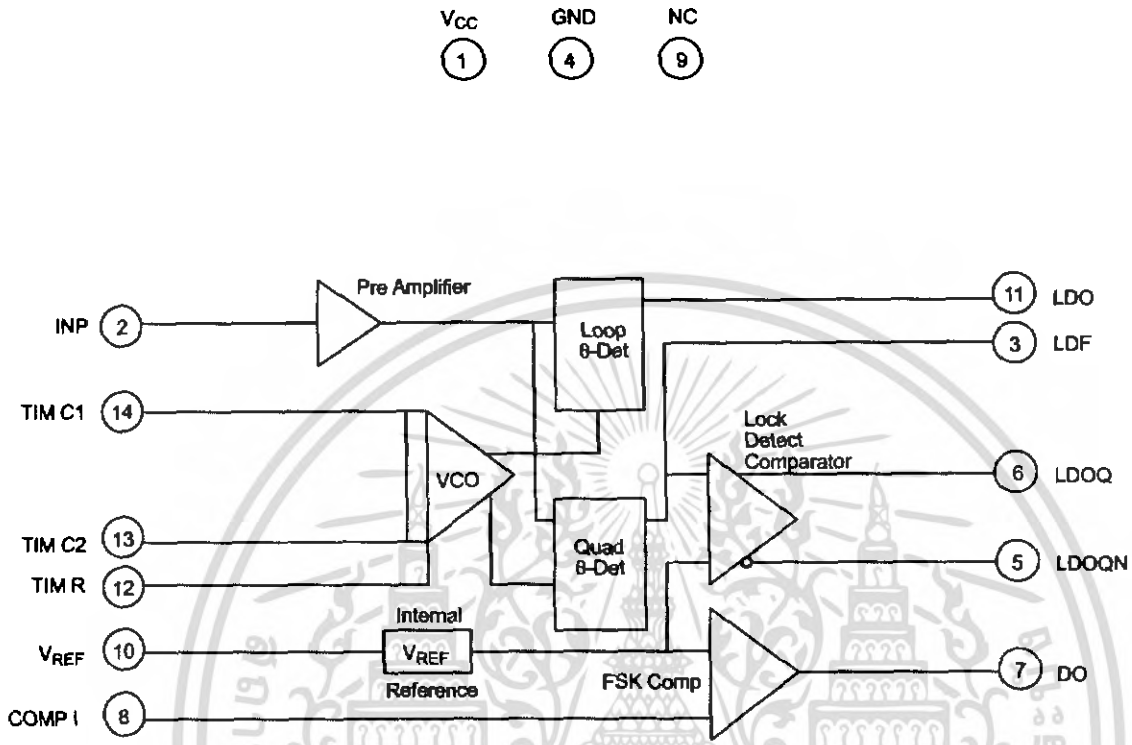
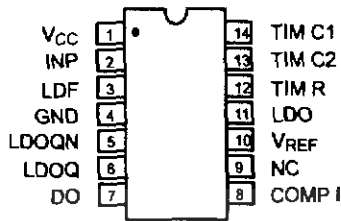
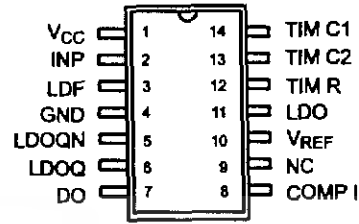


Figure 1. XR-2211 Block Diagram

PIN CONFIGURATION



14 Lead CDIP, PDIP (0.300")



14 Lead SOIC (Jedec, 0.150")

PIN DESCRIPTION

Pin #	Symbol	Type	Description
1	VCC		Positive Power Supply.
2	INP	I	Receive Analog Input.
3	LDF	O	Lock Detect Filter.
4	GND		Ground Pin.
5	LDOQN	O	Lock Detect Output Not. This output will be low if the VCO is in the capture range.
6	LDOQ	O	Lock Detect Output. This output will be high if the VCO is in the capture range.
7	DO	O	Data Output. Decoded FSK output.
8	COMP I	I	FSK Comparator Input.
9	NC		Not Connected.
10	VREF	O	Internal Voltage Reference. The value of VREF is $V_{CC}/2 - 650mV$.
11	LDO	O	Loop Detect Output. This output provides the result of the quadrature phase detection.
12	TIM R	I	Timing Resistor Input. This pin connects to the timing resistor of the VCO.
13	TIM C2	I	Timing Capacitor Input. The timing capacitor connects between this pin and pin 14.
14	TIM C1	I	Timing Capacitor Input. The timing capacitor connects between this pin and pin 13.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Test Conditions: $V_{CC} = 12V$, $T_A = +25^\circ C$, $R_0 = 30K\Omega$, $C_0 = 0.033\mu F$, unless otherwise specified.

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit	Conditions
General					
Supply Voltage	4.5		20	V	
Supply Current		4	7	mA	$R_0 \geq 10K\Omega$. See Figure 4.
Oscillator Section					
Frequency Accuracy		± 1	± 3	%	Deviation from $f_0 = 1/R_0 C_0$
Frequency Stability					
Temperature		± 20	± 50	ppm $^\circ C$	See Figure 8.
Power Supply		0.05	0.5	%/V	$V_{CC} = 12 \pm 1V$. See Figure 7.
Upper Frequency Limit	100	300		kHz	$R_0 = 8.2K\Omega$, $C_0 = 400pF$
Lowest Practical Operating Frequency			0.01	Hz	$R_0 = 2M\Omega$, $C_0 = 50\mu F$
Timing Resistor, R_0 - See Figure 5					
Operating Range	5		2000	K Ω	
Recommended Range	5			K Ω	See Figure 7 and Figure 8.
Loop Phase Detector Section					
Peak Output Current	± 150	± 200	± 300	μA	Measured at Pin 11
Output Offset Current		1		μA	
Output Impedance		1		M Ω	
Maximum Swing	± 4	± 5		V	Referenced to Pin 10
Quadrature Phase Detector					
Measured at Pin 3					
Peak Output Current	100	300		μA	
Output Impedance		1		M Ω	
Maximum Swing		11		V _{PP}	
Input Preamp Section					
Measured at Pin 2					
Input Impedance		20		K Ω	
Input Signal					
Voltage Required to Cause Limiting		2	10	mV rms	

Notes

Parameters are guaranteed over the recommended operating conditions, but are not 100% tested in production. **Bold face parameters** are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONT'D)
Test Conditions: $V_{CC} = 12V$, $T_A = +25^\circ C$, $R_O = 30K\Omega$, $C_O = 0.033\mu F$, unless otherwise specified.

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit	Conditions
Voltage Comparator Section					
Input Impedance		2		M Ω	Measured at Pins 3 and 8
Input Bias Current		100		nA	
Voltage Gain	55	70		dB	$R_L = 5.1K\Omega$
Output Voltage Low		300	500	mV	$I_C = 3mA$
Output Leakage Current		0.01	10	μA	$V_O = 20V$
Internal Reference					
Voltage Level	4.9	5.3	5.7	V	Measured at Pin 10
Output Impedance		100		Ω	AC Small Signal
Maximum Source Current		80		μA	

Notes

Parameters are guaranteed over the recommended operating conditions, but are not 100% tested in production. **Bold face parameters** are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.

Specifications are subject to change without notice

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Power Supply 20V
 Input Signal Level 3V rms
 Power Dissipation 900mW

Package Power Dissipation Ratings

CDIP 750mW
 Derate Above $T_A = 25^\circ C$ 8mW/ $^\circ C$
 PDIP 800mW
 Derate Above $T_A = 25^\circ C$ 60mW/ $^\circ C$
 SOIC 390mW
 Derate Above $T_A = 25^\circ C$ 5mW/ $^\circ C$

SYSTEM DESCRIPTION

The main PLL within the XR-2211 is constructed from an input preamplifier, analog multiplier used as a phase detector and a precision voltage controlled oscillator (VCO). The preamplifier is used as a limiter such that input signals above typically 10mV rms are amplified to a constant high level signal. The multiplying-type phase detector acts as a digital exclusive or gate. Its output (unfiltered) produces sum and difference frequencies of the input and the VCO output. The VCO is actually a current controlled oscillator with its normal input current (f_O) set by a resistor (R_O) to ground and its driving current with a resistor (R_1) from the phase detector.

The output of the phase detector produces sum and difference of the input and the VCO frequencies

(internally connected). When in lock, these frequencies are $f_{IN} + f_{VCO}$ (2 times f_{IN} when in lock) and $f_{IN} - f_{VCO}$ (0Hz when lock). By adding a capacitor to the phase detector output, the 2 times f_{IN} component is reduced, leaving a DC voltage that represents the phase difference between the two frequencies. This closes the loop and allows the VCO to track the input frequency.

The FSK comparator is used to determine if the VCO is driven above or below the center frequency (FSK comparator). This will produce both active high and active low outputs to indicate when the main PLL is in lock (quadrature phase detector and lock detector comparator).



MICROCHIP

PIC16F87X

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

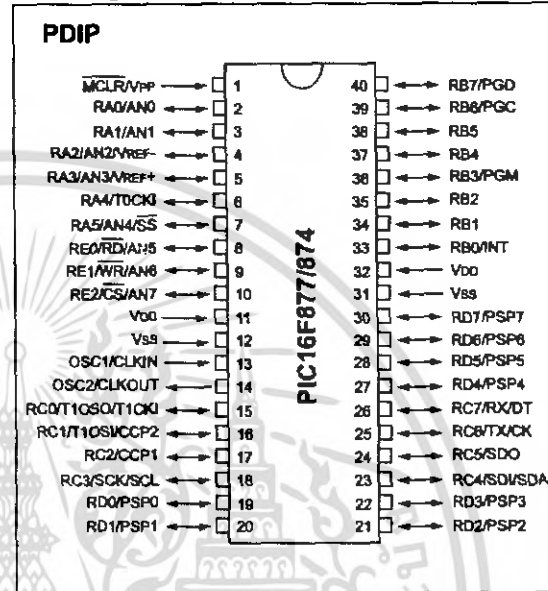
Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F876
- PIC16F874
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and
Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM
technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two
pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature
ranges
- Low-power consumption:
 - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
 - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
 - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram



Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,
can be incremented during SLEEP via external
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master
mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address
detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with
external \overline{RD} , \overline{WR} and \overline{CS} controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for
Brown-out Reset (BOR)

LM741 Operational Amplifier

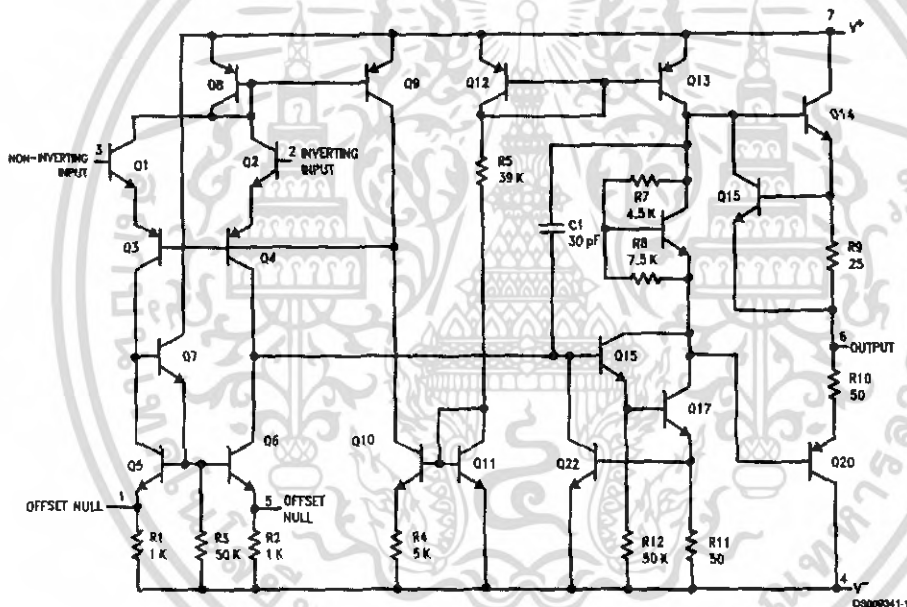
General Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439 and 748 in most applications.

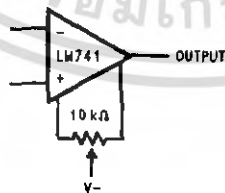
The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

The LM741C/LM741E are identical to the LM741/LM741A except that the LM741C/LM741E have their performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

Schematic Diagram



Offset Nulling Circuit



Absolute Maximum Ratings (Note 1)

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

(Note 6)

	LM741A	LM741E	LM741	LM741C
Supply Voltage	±22V	±22V	±22V	±18V
Power Dissipation (Note 2)	500 mW	500 mW	500 mW	500 mW
Differential Input Voltage	±30V	±30V	±30V	±30V
Input Voltage (Note 3)	±15V	±15V	±15V	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C	0°C to +70°C	-55°C to +125°C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-85°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Junction Temperature	150°C	100°C	150°C	100°C
Soldering Information				
N-Package (10 seconds)	260°C	260°C	260°C	260°C
J- or H-Package (10 seconds)	300°C	300°C	300°C	300°C
M-Package				
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	215°C	215°C	215°C	215°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.				
ESD Tolerance (Note 7)	400V	400V	400V	400V

Electrical Characteristics (Note 4)

Parameter	Conditions	LM741A/LM741E			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$				1.0	5.0		2.0	6.0		mV
	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega$		0.8	3.0							mV
	$R_S \leq 50\Omega$			4.0							mV
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$						6.0			7.5	mV
Average Input Offset Voltage Drift				15							$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Voltage Adjustment Range	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20\text{V}$	±10			±15			±15			mV
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		3.0	30	20	200		20	200		nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			70	85	500			300		nA
Average Input Offset Current Drift			0.5								$\text{nA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		30	80	80	500		80	500		nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			0.210		1.5			0.8		μA
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20\text{V}$	1.0	6.0		0.3	2.0		0.3	2.0		M Ω
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$		0.5								M Ω
Input Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$							±12	±13		V
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$				±12	±13					V

Electrical Characteristics (Note 4) (Continued)											
Parameter	Conditions	LM741A/LM741E			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_S = \pm 20\text{V}$, $V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$, $V_O = \pm 10\text{V}$	50			50	200		20	200		V/mV V/mV
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_S = \pm 20\text{V}$, $V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$, $V_O = \pm 10\text{V}$	32			25			15			V/mV V/mV V/mV
	$V_S = \pm 5\text{V}$, $V_O = \pm 2\text{V}$	10									
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 20\text{V}$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	± 16									V
	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	± 15									V
	$V_S = \pm 15\text{V}$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$				± 12	± 14		± 12	± 14		V
	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$				± 10	± 13		± 10	± 13		V
Output Short Circuit Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$	10	25	35		25			25		mA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$	10		40							mA
Common-Mode Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$, $V_{CM} = \pm 12\text{V}$				70	90		70	90		dB
	$R_S \leq 50\Omega$, $V_{CM} = \pm 12\text{V}$	80	95								dB
Supply Voltage Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $V_S = \pm 20\text{V}$ to $V_S = \pm 5\text{V}$ $R_S \leq 50\Omega$	86	96								dB
	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega$				77	96		77	96		dB
Transient Response	$T_A = 25^\circ\text{C}$, Unity Gain	Rise Time	0.25	0.8		0.3			0.3		μs
		Overshoot	6.0	20		5			5		%
Bandwidth (Note 5)	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.437	1.5								MHz
Slew Rate	$T_A = 25^\circ\text{C}$, Unity Gain	0.3	0.7			0.5			0.5		V/ μs
Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$					1.7	2.8		1.7	2.8	mA
Power Consumption	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_S = \pm 20\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$		80	150		50	85		50	85	mW mW
	LM741A $V_S = \pm 20\text{V}$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$			165							mW mW
LM741E	$V_S = \pm 20\text{V}$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$			150							mW mW
	LM741 $V_S = \pm 15\text{V}$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$			150		60	100				mW mW
						45	75				mW

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Note 4) (Continued)

Note 2: For operation at elevated temperatures, these devices must be derated based on thermal resistance, and T_j max. (listed under "Absolute Maximum Ratings"). $T_j = T_A + (\theta_{JA} P_D)$.

Thermal Resistance	CerDip (J)	DIP (M)	HO8 (H)	SO-8 (N)
θ_{JA} (Junction to Ambient)	100°C/W	100°C/W	170°C/W	195°C/W
θ_{JC} (Junction to Case)	N/A	N/A	25°C/W	N/A

Note 3: For supply voltages less than $\pm 15V$, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Note 4: Unless otherwise specified, these specifications apply for $V_S = \pm 15V$, $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$ (LM741/LM741A). For the LM741CALM741E, these specifications are limited to $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$.

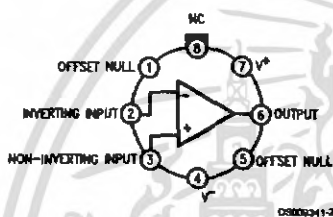
Note 5: Calculated value from: BW (MHz) = 0.35/Rise Time (μs).

Note 6: For military specifications see RETS741X for LM741 and RETS741AX for LM741A.

Note 7: Human body model, 1.5 k Ω in series with 100 pF.

Connection Diagram

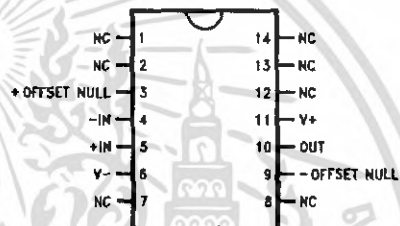
Metal Can Package



Note 8: LM741H is available per JM38510/10101

Order Number LM741H, LM741H/883 (Note 8),
LM741AH/883 or LM741CH
See NS Package Number H08C

Ceramic Dual-In-Line Package

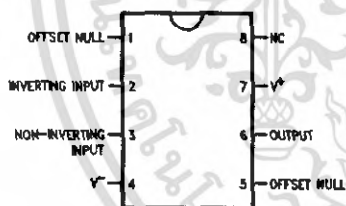


Note 9: also available per JM38510/10101

Note 10: also available per JM38510/10102

Order Number LM741J-14/883 (Note 9),
LM741AJ-14/883 (Note 10)
See NS Package Number J14A

Dual-In-Line or S.O. Package



Order Number LM741J, LM741J/883,
LM741CM, LM741CN or LM741EN
See NS Package Number J08A, M08A or N08E

Ceramic Flatpak



Order Number LM741W/883
See NS Package Number W10A