สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องควบคุมอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านสายไฟบ้าน

REMOTE CONTROL VIA AC-LINE

โดย

นาย ศุภวัฒน์ สุวรรณฤกษ์ รหัส 48015228

นาย สิทธิพงษ์ พยุงเกียรติบวร รหัส 48015231

วพ.
ศ423ศ
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 82427
วัน,เดือน,ปี 11 ก.ค. 2551

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันโทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

b.11946861
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องควบคุมอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านไฟบ้าน

จัดทำโดย

นาย ศุภวัฒน์ สุวรรณฤกษ์

นาย สิทธิพงษ์ พยุงเกียรติบวร

.....

(ผศ. ประภากร สุวรรณะ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้กว่าจะสำเรจและลุล่วงได้นั้นต้องเจอปัญหาต่างๆ มากมายในแต่ละขั้นตอนการดำเนินงาน แต่ก็สามารถผ่านพ้นไปได้ด้วยดีทั้งนี้เพราะได้รับคำแนะนำและคำปรึกษาจากอาจารย์ ประภากร สุวรรณะ(อาจารย์ที่ปรึกษา) ตลอดไปจนถึงอาจารย์ทุกที่ที่ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ และเพื่อนๆ ที่ช่วยชี้แนะข้อบกพร่องในการทำงานต่างๆ ต้องขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนเครื่องมือต่างๆ ในการวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้

สุดท้ายนี้ขอกราบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีให้มาตลอดและสนับสนุนทางด้านการเงินที่นำมาใช้เพื่อการศึกษาต่างๆ จนสำเร็จอีกขั้นหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่อง ปิด – เปิด เครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านสายไฟบ้าน

นาย ศุภวัฒน์ สุวรรณฤกษ์ รหัส 48015228
นาย สิทธิพงษ์ พยุงเกียรติบวร รหัส 48015231
ผศ. ประภากร สุวรรณะ (อาจารย์ที่ปรึกษา)
ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้อธิบายการรับส่งสัญญาณด้วย เครื่อง ปิด – เปิด เครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านสายไฟบ้าน โดยการทำงานของเครื่องนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ ตัวส่งจะทำหน้าที่ส่งรหัสคำสั่งควบคุมผ่านสายไฟบ้านไปยังที่ตัวรับที่ต่อเข้าอยู่กับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า โดยเครื่องส่ง 1 เครื่องสามารถควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ทั้งหมด 3 เครื่อง โดยทั้งเครื่องรับและเครื่องส่ง จะอาศัยวงจรเฟสล็อคลูปเป็นส่วนสำคัญ ซึ่งในส่วนของเครื่องรับจะเป็นแบบดับเบิ้ลคอนเวอร์ชั่น ซุปเปอร์เฮคเทอร์โรดายน์ ซึ่งจะรับความถี่ ซึ่งจะรับความถี่ในช่วง 5.075 MHz – 5.425 MHz เข้ามามิ๊กเซอร์กับความถี่ในส่วนของ VCO โดยที่ IF1 มาทำการแปลงความถี่อีกครั้งหนึ่ง โดย IF2 จะมีค่าเท่ากับ 462 KHz โดยความถี่ที่ได้ออกมานี้จะถูกนำไปทำการดีมอดดูเลทและถอดรหัสต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REMOTE CONTROL VIA ON AC-LINE

Mr. Supawat Suwanrork ID 48015228

Mr. Sittipong Payungkaidborvorn ID 48015231

Assist. Prof. Prapakorn Suwanna (Adisor)

Education Year 2006

Abstract

This report will describe the function of the remote control via AC line. The function of this device can be divided into 2 parts. The first one is the command sender which will transfer the signal via AC to the receiver device of the house electrical equipments. The machine can control 3 electrical devices. The receiver & the sender part mainly utilize the PLL to proceed the function. The type of the receiver part is the double conversion super heterodyne which will receive the radio frequency in the range of 5.075 MHz – 5.425 MHz and the signal will be blended with the VCO. Then IF1 will run the frequency conversion process and the rate of IF2 will be at 462 KHz. This radio frequency will be demodulated and decoded accordingly.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 การสื่อสารเบื้องต้น	
2.1 ระบบสื่อสารพื้นฐาน	3
2.2 ระบบสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์	5
2.3 รูปแบบของการสื่อสาร	7
2.4 การมอดดูเลท	8
2.5 ดัชนีการมอดดูเลท	11
2.6 ไซด์แบนด์	12
2.7 แบนด์วิดท์ของ FM	14
2.8 เครื่องส่ง FM	14
2.9 เครื่องรับ FM	15
บทที่ 3 ทฤษฎีพื้นฐานของเฟสล็อคลูป	
3.1 หลักการทำงานพื้นฐานของเฟสล็อคลูป	17
3.2 ลักษณะสัญญาณของเฟสล็อคลูปในสภาวะล็อค	19
3.3 การพิจารณาสภาวะชั่วขณะของเฟสล็อกลูปในสภาวะล็อค	20
3.4 เสถียรภาพของเฟสล็อคลูปแบบพื้นฐาน	22
3.5 องค์ประกอบพื้นฐานของเฟสล็อคลูป	24
3.6 ตัวดักจับเฟสแบบเอ็กซ์คูลซีฟออร์	25
3.7 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	27
3.8 วงจรออสซิเลเตอร์	29
บทที่ 4 ไมโครคอนโทรลเลอร์	
4.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรเลอร์	31
4.2 ส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์	32
4.3 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 สัญญาณต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 35
4.5 การจัดหน่วยความจำของ MCS-51 37
บทที่ 5 การส่งสัญญาณข้อมูลดิจิตอลโดยการมอดูเลต
5.1 หลักการส่งสัญญาณข้อมูลดิจิตอลโดยการมอดูเลต 40
5.2 การมอดูเลตสัญญาณดิจิตอลทางความถี่ 42
5.3 ทฤษฎีในการส่งข้อมูลอนาลอกและดิจิตอล 42
บทที่ 6 การออกแบบวงจรและการทดลอง
6.1 การออกแบบ 44
6.2 การออกแบบ VCO ของภาคส่ง 48
บทที่ 7 ผลการทดลองและสรุป
วิธีการทดลอง 52
ผลการทดลอง 53
สรุปผลการทดลอง 60
ปัญหาและอุปสรรคในการทดลอง 61
บรรณานุกรม 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ในยุคปัจจุบันนี้เทคโนโลยีได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว เทคโนโลยีล้วนเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องทั้งสิ้นในสังคม ซึ่งการพัฒนาเทคโนโลยีนี้เองทำให้มีความสะดวกสบายมากยิ่งขึ้นและอีกหนึ่งเทคโนโลยีทางด้านการสื่อสาร ซึ่งได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้และสร้างเครื่องมือที่อำนวยความสะดวกได้อย่างมากมาย ซึ่งโครงงานนี้อีกหนึ่งตัวอย่างที่นำเอาเทคโนโลยีด้านการสื่อสารมาออกแบบและการสร้าง

จากแนวคิดที่ว่า ทำอย่างไรให้ใช้ชีวิตประจำวันมีความสะดวกสบายมากขึ้น ซึ่งโครงงานที่ผลิตขึ้นมาเพื่ออำนวยความสะดวกสบายให้กับผู้ใช้ในเรื่องการควบคุมการเปิดปิด ของอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน ณ จุดต่างๆที่ได้จากการควบคุมเพียงจุดเดียว หรืออาจจะเอาโครงงานนี้ไปประยุกต์ใช้กับอาคารหรือสำนักงานที่มีขนาดไม่ใหญ่นักได้ โดยหลักการพื้นฐานในการทำงานของเครื่อง จะอาศัยสายส่งสัญญาณควบคุมเข้าไปในสายฟ้ากำลัง ซึ่งได้มีการติดตั้งอยู่แล้ว โดยการส่งข้อมูลหรือรับข้อมูลจะเป็นแบบ อนุกรม โดยนำไมโครคอลโทรลเลอร์มาเป็นตัวควบคุมทางด้านรับและด้านส่ง โดยสัญญาณ ของภาครับและภาคส่ง จะถูกนำมามอดดูเลตก่อนจะถูกนำไปยังสายไฟฟ้ากำลัง เพื่อควบคุมการ ปิด – เปิด ของอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งทางด้านภาครับและภาคส่งได้ออกแบบโดยใช้หลักการเดียวกับเครื่องรับวิทยุแบบเฮดเทอร์โรดายน์ จึงจำเป็นต้องศึกษาและสร้างวงจรสังเคราะห์ความถี่ด้วยเฟสล็อกลูป วงจรขยายสัญญาณวิทยุ วงจรดิมอดูเลเตอร์ เครื่องรับส่งวิทยุแบบเฮดเทอร์โรดายน์และการควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งได้แสดงรายละเอียดการออกแบบไว้ในบทต่อๆไป

วัตถุประสงค์ของโครงงาน

- เพื่อศึกษาและเรียนรู้การมอดดูเลทและการดีมอดดูเลทสัญญาณ
- เพื่อศึกษาและเรียนรู้การใช้งานวงจรเฟสล็อกลูปเพื่อเป็นวงจรสังเคราะห์ ความถี่
- เพื่อศึกษาและเรียนรู้การประยุกต์ใช้งานเครื่องรับส่งวิทยุแบบเฮดเทอร์โรดายน์
- เพื่อศึกษาและเรียนรู้การประยุกต์ใช้งานมไครคอนโทรลเลอร์
- เพื่อฝึกฝนและสามารถตรวจสอบและหาข้อมูลผิดพลาดเบื้องต้นที่เกิดขึ้นกับวงจรได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ศึกษาเกี่ยวกับวงจรต่างๆ อาทิเช่น วงจรสังเคราะห์ความถี่ด้วยเฟสล็อกลูป วงจรขยายสัญญาณวิทยุ วงจรดิมอดูเลเตอร์ เครื่องรับส่งวิทยุแบบเฮดเทอร์โรดายน์และการควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ และสามารถตรวจสอบและหาข้อผิดพลาดเบื้องต้นที่เกิดขึ้นกับวงจรได้

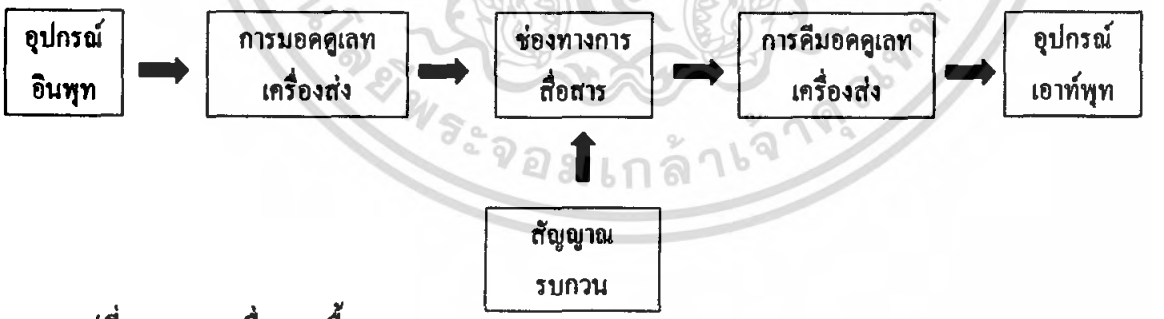
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
การสื่อสารเบื้องต้น

การติดต่อสื่อสารพื้นฐานของมนุษย์นั้น เป็นการสื่อสารความหมายโดยเสียงพูดและการเขียน การสื่อสารโดยการเขียนพัฒนาจากการส่งข่าวสารโดยการนำสารและกลายเป็นหนังสือพิมพ์แล้วก็เป็นระบบไปรษณีย์ เป็นการส่งโทรเลข จนถึงปัจจุบันเป็นการสื่อสารทางอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับการสื่อสารโดยการพูด พัฒนามาจากการพูดคุยระหว่างกันธรรมดา ไปเป็นโทรศัพท์และวิทยุ วิวัฒนาการต่างๆมักจะมุ่งเน้นให้ติดต่อสื่อสารได้ไกลขึ้นและรวดเร็วขึ้น ความเจริญก้าวหน้าทางการสื่อสารด้านวิทยุ ช่วยให้เราติดต่อได้ไกลมากขึ้น โดยวิธีการเปลี่ยนเสียงพูดไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า ขยายให้เป็นคลื่นเสียง (Audio) แล้วทำการเกาะผสมกับคลื่นพาหะ(Carrier) แล้วส่งไปยังเครื่องรับที่อยู่ห่างออกไป

2.1 ระบบสื่อสารพื้นฐาน

ในการสื่อสารไม่ว่าจะเป็นระบบใดก็ตาม แผนผังพื้นฐานมักเหมือนกับรูปที่ 2.1 ระบบสื่อสารโดยพื้นฐานจะประกอบด้วย อุปกรณ์อินพุท (Input Device) เครื่องส่ง ช่องทางการสื่อสาร (Communication channel) หรือแชลแนล ซึ่งมักจะมีนอยส์มารบกวนเครื่องรับและอุปกรณ์อุปกรณ์เอาท์พุท(Output Device)



รูปที่ 2.1 ระบบสื่อสารพื้นฐาน

2.1.1 อุปกรณ์อินพุทและเอาท์พุท อุปกรณ์อินพุทเป็นอุปกรณ์ที่แปลงข่าวสารเป็นสัญญาณไฟฟ้า ส่วนอุปกรณ์เอาท์พุทคืออุปกรณ์ที่แปลงสัญญาณไฟฟ้ากลับเป็นข่าวสาร ซึ่งมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันไปแล้วแต่การใช้งาน เช่น ในระบบวิทยุกระจายเสียง อุปกรณ์อินพุทอาจเป็นไมโครโฟน และอุปกรณ์เอาท์พุทจะเป็นลำโพง สำหรับไมโครโฟนทำหน้าที่แปลงคลื่นเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า และส่วนลำโพงที่หน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นกลับเป็นคลื่นเสียง อุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินพุทและเอาท์พุทของระบบสื่อสารยังมีอีกมากมาย เช่น คันเคาะโทรเลข เครื่องโทรพิมพ์ เครื่องโทรสาร เป็นต้น อุปกรณ์อินพุทและเอาท์พุทจะต่อเข้ากับเครื่องส่งและเครื่องรับเสมอ

ข่าวสารที่รับหรือส่งระหว่างกัน แบ่งออกเป็น 3 พวกใหญ่ๆ คือ

(1) เสียงหรือออดิโอ (Audio) ได้แก่ เสียงพูดในโทรศัพท์ เสียงเพลง หรือเสียงดนตรี ซึ่งต้องการคุณภาพเสียงที่ดีในระบบวิทยุกระจายเสียง

(2) ภาพ(Picture) ได้แก่ ภาพนิ่งในระบบโทรสาร ระบบส่งภาพในระยะไกล ภาพยนตร์ในระบบโทรทัศน์

(3) ข้อมูล (Data) ส่วนใหญ่จะส่งเป็นรหัสให้แก่เครื่องยนต์ เครื่องจักร เครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้แก่ข้อมูลและคำสั่งในระบบโทรมาตร ตัวอักษรในระบบโทรพิมพ์หรือโทรเลข ข้อมูลคอมพิวเตอร์ในระบบสื่อสารคอมพิวเตอร์

2.1.2 เครื่องส่ง (Transmiter) เครื่องส่งทำหน้าที่รับสัญญาณไฟฟ้าจากอุปกรณ์อินพุท แล้วทำการมอดดูเลทลงบนคลื่นพาหะความถี่สูง เครื่องส่งประกอบด้วยแหล่งกำเนิดสัญญาณความถี่สูงกับ มอดดูเลท เครื่องส่งส่วนใหญ่มักมีภาคขยายอีก เพื่อให้สัญญาณที่ส่งออกมีกำลังแรง ทำให้สื่อสารได้ไกลขึ้น

2.1.3 ช่องทางการสื่อสาร ได้แก่ บรรยากาศ อวกาศว่าง(Free space) หรือสาย

2.1.4 ความถี่และความยาวคลื่น เรานิยมแบ่งคลื่นวิทยุออกเป็นย่านความถี่ต่างๆ โดยมีหน่วยเป็นเฮิร์ต (Hertz) ในประวัติศาสตร์ เราแบ่งคลื่นวิทยุตามความยาวคลื่น

ย่านความถี่	ความถี่	ความยาวคลื่น
Very Low Frequency (VLF)	ต่ำกว่า 30 KHz	ยาวกว่า 10 Km
Low Frequency (LF)	30 – 300 KHz	10 – 1 Km
Medium Frequency (MF)	300 – 3000 KHz	1000 – 100 m
High Frequency (HF)	3 – 30 MHz	100 – 10 m
Very High Frequency (VHF)	30 – 300 MHz	10 – 1 m
Ultra High Frequency (UHF)	300 – 3000 MHz	100 – 10 cm
Super High Frequency (SHF)	3 – 30 GHz	10 - 1 cm
Extremely High Frequency (EHF)	30 – 300 GHz	10 - 1 mm

ตารางที่ 2.1 แสดงย่านความถี่ ความถี่ และความยาวคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 สัญญาณรบกวน (Noise) เป็นสัญญาณที่เข้ามาแซกหรือรอกวน (Interfere) สัญญาณรบกวน ที่รับเข้ามา ได้แบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือ

(1) สัญญาณรบกวนบรรยากาศ (Atmospheric Noise) เกิดขึ้นจากความแปรปรวนของบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก เช่น ฟ้าแลบ ฟ้าผ่า ก่อให้เกิดคลื่นวิทยุแผ่กระจายออกไปรอบโลก นอยส์บบรยากาศเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา แม้จะไม่มีพายุฝนฟ้าคะนองก็ตาม

(2) สัญญาณรบกวนจากอวกาศ (Space Noise)เกิดจาก ดวงอาทิตย์ที่เป็นวัตถุที่มีความร้อนสูงถึง 6000 องศาเซลเซลเซียสที่ผิวดวงอาทิตย์ ทำให้แผ่พลังงานออกมามีสเปกตรัมความถี่กว้างมาก พลังงานนี้จะปรากฏเป็นนอยส์คงที่

(3) สัญญาณรบกวนที่เกิดจากสิ่งประดิษฐ์ที่มนุษย์สร้างขึ้น (Man-made Noise) ได้แก่ นอยส์ที่เกิดจากมอเตอร์ไฟฟ้า จากระบบจุดระเบิดของรถยนต์ การรั่วของสายไฟฟ้าสูง หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น

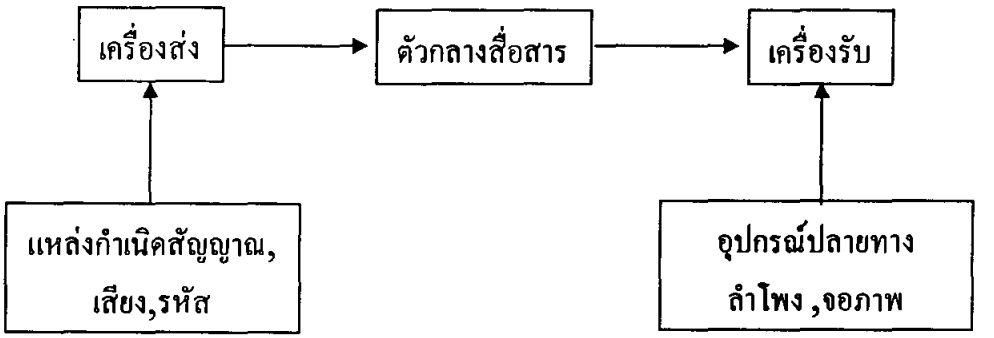
(4) สัญญาณรบกวนภายในอุปกรณ์เครื่องรับ(Internal Noise) แยกเป็น 2 ประเภท คือ นอยส์อุณหภูมิ(Thermal Noise) และช็อตนอยส์ (Shot Noise)นอยส์อุณหภูมิเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในตัวอุปกรณ์ ส่วนช็อตนอยส์เกิดขึ้นในอุปกรณ์แอกทีฟ(Active Device)ทุกชนิด เนื่องจากการรวมตัวกันของอิเล็กตรอนกับโฮล

2.1.6 เครื่องรับ เมื่อสัญญาณจากเครื่องส่งมาถึงเครื่องรับ สัญญาณจะมีกำลังอ่อนลงและยังมีนอยส์เข้ามาแทรกแซงสัญญาณที่ต้องการจะรับอีกด้วย ดังนั้นการรับสัญญาณอ่อนๆเช่นนี้ เครื่องรับจึงต้องมีความสามารถพิเศษในการเลือกรับและขยายเอาเฉพาะสัญญาณความถี่ต้องการ พร้อมทั้งต้องมีกรรมวิธีในการกำจัดนอยส์ สัญญาณที่รับได้จะผ่านการดีมอดคูเลท เพื่อแปลงสัญญาณข่าวสารที่เข้ามอดคูเลทกลับมา

2.2 ระบบสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Communication Systems)

การสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ หมายถึงการส่ง(Transmission), การรับ(Reception) และการประมวลผลข้อมูลหรือข่าวสาร (Information,Data,Signal) ระหว่างจุดสองจุดหรือมากกว่าด้วยการใช้อิเล็กทรอนิกส์ ในรูปที่2.2 เป็นบล็อกไดอะแกรมของระบบสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์

2.2.1 ตัวกลางการสื่อสาร (Communication Medium) เป็นช่องทางหรือตัวกลาง ซึ่งสัญญาณของระบบสื่อสาร ใช้เป็นทางผ่านจากจุดส่งไปยังจุดรับ เราสามารถแบ่งชนิดของการสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ตามชนิดของตัวกลางสื่อสารได้2แบบคือ

(1) แบบมีสาย(Wire) สายในที่นี้อาจเป็นสายตัวนำไฟฟ้า 1 คู่ หรือเส้นใยนำแสง(Optic Fiber)

(2) แบบไร้สาย(Wireless) หรือวิทยุ(Radio)สัญญาณของระบบสื่อสารแบบไร้สาย จะอยู่ในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารวมถึงแสง

2.2.2 เครื่องส่ง(Transmiter)เป็นอุปกรณ์หรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ที่ถูกออกแบบสำหรับแปลงสัญญาณจากแหล่งกำเนิดสัญญาณที่จะสื่อสารให้กลายเป็นสัญญาณที่มีรูปแบบและระดับพลังงาน ที่เหมาะสมกับตัวกลางสื่อสารของแต่ละระบบ

เครื่องส่งอาจจะเป็นเพียงแค่คีย์สวิทช์ของระบบโทรเลขแบบไร้สายหรืออาจเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์สลับซับซ้อน ของระบบสื่อสารดาวเทียม สัญญาณที่จะสื่อสารอาจอยู่ในรูปของสัญญาณเสียง ภาพ หรือข้อมูลในรูปของสัญญาณดิจิตอล ซึ่งสัญญาณแต่ละชนิดจะมีค่าความกว้างของแถบความถี่ (Bandwidth)แตกต่างกัน

2.2.3 เครื่องรับ (Reciever) จะเป็นวงจรและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อีกชุดหนึ่ง ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่รับมาได้จากตัวกลาง ให้กลายเป็นสัญญาณที่มีรูปแบบและระดับพลังงานที่เหมาะสมกับอุปกรณ์ปลายทางด้านรับ เช่น เครื่องรับของระบบโทรเลขใช้สายจะเป็นเพียงขดลวดโซลีนอยด์หรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนของการรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม

สัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์เกือบทุกสัญญาณ จะเกิดจากผลรวมของคลื่นซายหลายๆการเดินทางของสัญญาณในวงจร จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งหรือการเดินทางของสัญญาณ จากวงจรหนึ่งไปยังอีกวงจรหนึ่ง หรือจากระบบหนึ่งไปสู่อีกระบบหนึ่ง สามารถพิจารณาเป็นการเดินทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของคลื่นซายน์ทุกความถี่ที่มีอยู่ในสัญญาณนั้น จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagatic Wave) ซึ่งอาจเป็นการเคลื่อนที่ผ่านตัวนำไฟฟ้า หรือตัวอุปกรณ์ต่างๆ และการเคลื่อนที่ผ่านอากาศ หรืออวกาศในรูปแบบแผ่รังสี(Radiation) ความกว้างของแถบความถี่ของสัญญาณ คือค่าแถบความถี่ของคลื่นซายน์หลายความถี่ที่รวมกันเป็นสัญญาณ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับผลต่างของความถี่สูงสุดกับความถี่ต่ำสุดที่มีอยู่ในสัญญาณ ซึ่งความกว้างของแถบความถี่ของสัญญาณ คือค่าแถบความถี่ของคลื่นซายน์หลายความถี่ที่รวมกันเป็นสัญญาณ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับผลต่างของความถี่สูงสุดกับความถี่ต่ำสุดที่มีอยู่ในสัญญาณ และถ้ามีสัญญาณมากกว่าหนึ่งสัญญาณในอาณาบริเวณเดียวกัน และสัญญาณเหล่านั้นมีแถบความถี่ที่ทับซ้อนกัน จะทำให้เกิดการรบกวนซึ่งกันและกัน ถ้าระดับกำลังสัญญาณต่างๆที่มีแถบความถี่ซ้อนกันมีค่าใกล้เคียงกัน ก็จะเกิดการรบกวนซึ่งกันและกัน สัญญาณใดก็ตามที่มีแถบความถี่ซ้อนทับกับสัญญาณที่เราสื่อสาร จะถูกเรียกว่าสัญญาณที่ถูกรบกวน (Noise) การเดินทางของสัญญาณจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ จะถูกลดทอนให้มีกำลังต่ำลงในขณะที่ผ่านตัวกลาง เมื่อสัญญาณมีกำลังไฟฟ้าลดลง จะมีโอกาสถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนที่อยู่ระหว่างเส้นทาง ยิ่งไปกว่านั้นในตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ก็เป็นแหล่งสัญญาณรบกวนอีกด้วย ถ้าความกว้างแถบความถี่ของสัญญาณยิ่งกว้าง ก็จะยิ่งเพิ่มโอกาสที่จะถูกรบกวนมากยิ่งขึ้น

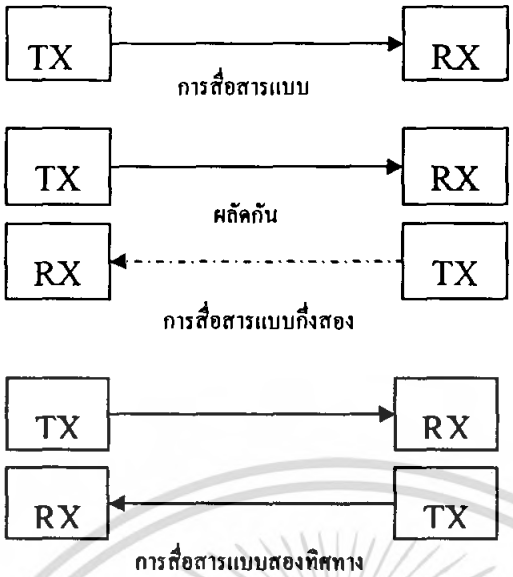
2.3 รูปแบบของการสื่อสาร

เราสามารถแบ่งรูปแบบของการสื่อสารได้หลายรูปแบบหรือหลายชนิด เช่นแบ่งตามลักษณะตัวกลางก็จะแบ่งได้ 2 แบบคือ แบบมีสายกับแบบไร้สาย ถ้าแบ่งตามรูปแบบของสัญญาณก็จะสามารถแบ่งได้ 2 แบบคือการสื่อสารแบบแถบฐานและการสื่อสารแบบมอดูเลชั่น ไม่ว่าจะเป็นแบบใดในการรับส่งสัญญาณจำนวน n สัญญาณ ผ่านระบบสื่อสารในเวลาเดียวกันและผ่านตัวกลางเดียวกัน จะต้องใช้ช่องสื่อสารจำนวน n ช่องสื่อสารแถบความถี่ของช่องสื่อสารแต่ละช่องจะซ้อนทับกันไม่ได้ และความกว้างแถบความถี่ของช่องสื่อสารแต่ละช่อง ควรมีความกว้างให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยต้องไม่เสียข้อมูลที่มีนัยสำคัญ

เราอาจแบ่งรูปแบบการสื่อสารตามทิศทางการสื่อสาร หรือจำนวนของช่องสื่อสารได้ 3 แบบ

2.3.1 แบบทิศทางเดียว (Simplex ; SPX,SX) ฝ่ายหนึ่งจะส่งเพียงอย่างเดียว อีกฝ่ายจะรับเพียงอย่างเดียว การสื่อสารแบบทิศทางเดียวนี้ ต้องการช่องสื่อสารเพียงช่องเดียว ตัวอย่างของการสื่อสารทิศทางเดียว คือ การส่งวิทยุกระจายเสียง (Broad casting)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงรูปแบบการสื่อสารตามทิศทาง

2.3.2 แบบกึ่งสองทาง (Haft Duplex ; HDX,HX) เป็นการสื่อสารแบบสองทางแต่สลับเวลากัน ในขณะที่อีกฝ่ายหนึ่งเป็นฝ่ายส่ง อีกฝ่ายหนึ่งจะเป็นฝ่ายรับ การสื่อสารแบบกึ่งสองทาง ต้องการช่องสื่อสารเพียงช่องเดียว ตัวอย่างเช่น วิทยุโทรคมนาคม(Walkie-Talkie)

2.3.3 แบบสองทิศทาง (Full Duplex ; FDX,FX) เป็นการสื่อสารแบบสองทิศทาง โดยทั้งที่สองฝ่ายสามารถรับส่งพร้อมกันในเวลาเดียวกัน การสื่อสารแบบสองทิศทางนี้ ต้องการช่องสื่อสารสองช่องในเวลาเดียวกัน ตัวอย่างเช่น โทรศัพท์มือถือ (Mobile Phone)

2.4 การมอดดูเลท (Modulation)

การมอดดูเลท คือกระบวนการเลื่อนแถบความถี่ของสัญญาณ โดยสัญญาณ Modulating Signal จะไปทำให้ Parameter บางประการของคลื่นพาห์ Carrier ซึ่งมักจะมีความถี่สูงกว่าสัญญาณเปลี่ยนแปลง

$$\text{คลื่นพาห์ : } Vc = Vcp \sin(\omega c + \theta) \qquad (2.1)$$

$$\text{สัญญาณ : } Vm \sin \omega mt \qquad (2.2)$$

การมอดดูเลทสามารถทำได้ 2 แบบ คือ การมอดดูเลทเชิงขนาด (Amplitude Modulation) กับการมอดดูเลทเชิงมุม (Angular Modulation)

การมอดดูเลทเชิงขนาด (Amplitude Modulation : AM) ขนาดของคลื่นพาห์จะเปลี่ยนแปลงตามขนาดของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การมอดดูเลทเชิงขนาด (Amplitude Modulation : AM) ขนาดของคลื่นพาห์จะเปลี่ยนแปลงตามขนาดของสัญญาณ

$$V_{AM} = [V_{cp} + V_{mp} \sin \omega_{mt}] \sin \omega_{ct} \qquad (2.3)$$

การมอดดูเลทเชิงมุม (Angular Modulation) สามารถแบ่งได้ 2 รูปแบบคือ

2.4.1 การมอดดูเลททางความถี่ (Frequency Modulation : FM) ความถี่ของคลื่นพาห์จะเปลี่ยนแปลงตามขนาดสัญญาณ

$$V_{FM} = V_{cp} \sin [\omega_{ct} + K_f V_{mp} / \omega_{mt} \sin \omega_{ct}] \qquad (2.4)$$

Kf คือ ค่าคงที่ของการมอดดูเลท

2.4.2 การมอดดูเลททางเฟส (Phase Modulation : PM) เฟสของคลื่นพาห์จะเปลี่ยนตามขนาดของสัญญาณ

$$V_{PM} = V_{cp} [\sin \omega_{ct} + K_f V_{mp} \sin \omega_{mt}] \qquad (2.5)$$

Kp คือ ค่าคงที่ของการมอดดูเลท

การดีมอดดูเลทหรือการดีเทคเตอร์ เป็นขบวนการย้อนกลับของการมอดดูเลท คือการแยกสัญญาณออกจากคลื่นพาห์

ซึ่งในโครงงานนี้ เลือกใช้การมอดดูเลทเชิงความถี่ เพราะไม่ต้องการให้สัญญาณที่ถูกมอดดูเลทมีการเปลี่ยนแปลงทางขนาน ซึ่งจะถูกรบกวนจากสัญญาณที่เราไม่ต้องการ (Noise) ได้ง่ายในการส่งสัญญาณผ่านสายไฟบ้าน (AC Line)

การมอดดูเลทเชิงความถี่

การมอดดูเลทเชิงความถี่นั้น สัญญาณข้อมูลจะทำให้ความถี่คลื่นพาห์เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่แอมพลิจูดยังคงเดิม ด้านเครื่องรับจะตัดการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดออกไปก่อนที่จะนำเข้าไปสู่การมอดดูเลท ซึ่งทำให้สัญญาณรบกวนต่างๆที่มีผลทำให้แอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงถูกตัดออกไปด้วยลักษณะของสัญญาณมอดดูเลทเชิงความถี่แสดงดังรูป

สมมติว่าเริ่มพิจารณาที่สัญญาณข้อมูลมีค่าสูงสุด คือ t = x แล้ว

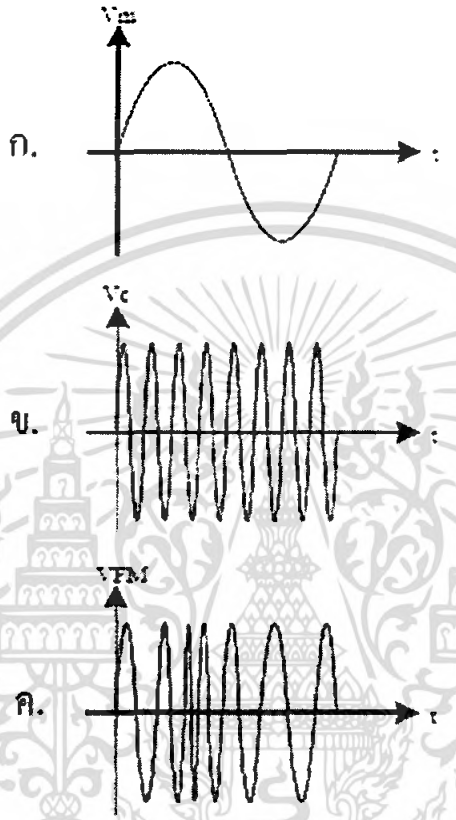
$$\text{สัญญาณข้อมูล} \quad V_a = A \cos \omega_{at} \quad ; \quad \omega_c = 2\pi fa \qquad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห์จะเปลี่ยนแปลงไปรอบๆความถี่ ωc ดังนั้น

$$\omega = \omega c + \Delta\omega \cos \omega at \qquad (2.8)$$

โดย $\Delta\omega$ คือความถี่ที่เปลี่ยนแปลงมากที่สุด ถูกเรียกความถี่เบี่ยงเบน (Frequency deviation)



รูปที่ 2.4 แสดง (ก) สัญญาณข้อมูล (ข) คลื่นพาห์ (ค) สัญญาณ FM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่เกิดจากการมอดดูเลทแล้วโดยนำสมการ 2.3 แทนลงในสมการ 2.2

$$V_{fm} = B \cos [\omega c + \Delta\omega \cos \omega at] t \qquad (2.9)$$

$$V_{fm} = B \cos [\omega c + \Delta\omega \cos \omega at] t \;\; ; \;\; \theta(t) = [\omega c + \Delta\omega \cos \omega at] t \qquad (2.10)$$

จากสมการ 2.5 จะได้

$$V_{fm} = B \cos [\omega ct + mf \sin \omega at] \qquad (2.11)$$

โดย m คือค่าอัตรส่วนระหว่าง $\Delta\omega/\omega a$ เรียกว่า ดัชนีการมอดดูเลท (Modulation Index) ซึ่งค่า m นี้มีความสำคัญในการกำหนดแบนวิดท์

2.5 ดัชนีการมอดดูเลท

ในระบบ AM ปริมาณการมอดดูเลท เรานิยมวัดเป็นเปอร์เซ็นต์การมอดดูเลท ซึ่งดูได้จากการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดหรือกรอบคลื่น AM ทั้งด้านต่ำสุดและสูงสุด แต่ในระบบ FM เราวัดเปอร์เซ็นต์การมอดดูเลทโดยดูจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ ซึ่งเรานิยมเรียกชื่อว่า ดัชนีการมอดดูเลท ลองพิจารณาความหมายของดัชนีการมอดดูเลทต่อไปนี้

$$m = fd / fm$$

ในที่นี้ fd คือ ช่วงความถี่เบี่ยงเบน

fm คือ ความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดดูเลท

ค่าตัวเลขของดัชนีการมอดดูเลทจะมีค่าสูง (แตกต่างจากเปอร์เซ็นต์การมอดดูเลท ซึ่งเมื่อคิดเป็นอัตราส่วนจะได้อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1) ตัวอย่างเช่น ในระบบวิทยุกระจายเสียง FM เรากำหนดให้ความถี่เบี่ยงเบนเต็มที่ ค่าดัชนีการมอดดูเลทจะเป็น

$$m = 75KHz / 1KHz = 75$$

สังเกตว่าค่าดัชนีการมอดดูเลทในระบบ FM ขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณเสียงที่เข้ามอดดูเลทในทางปฏิบัติเรานิยมวัดเป็นอัตราส่วนการเบี่ยงเบน (Deviation ratio) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความถี่เบี่ยงเบน(ของระบบ)สูงสุด fd (max) ต่อความถี่สูงสุดของสัญญาณที่เข้ามอดดูเลท fd (max) ในระบบกระจายเสียง FM ค่าอัตราการเบี่ยงเบน (Δ) จะเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta = \text{fd (max)} \ / \ \text{fd (max)} = 75 \text{ KHz} / 15 \text{ KHz} = 5$$

ระบบ AM เมื่อเพิ่มแอมพลิจูดของสัญญาณที่เข้ามอดดูเลทเพื่อให้เปอร์เซ็นต์การมอดดูเลทสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของพาหะจะเปลี่ยนแปลงมากขึ้น แต่ใน FM เมื่อเพิ่มแอมพลิจูดของสัญญาณที่เข้ามอดดูเลทสูงขึ้น การเบี่ยงเบนความถี่ของพาหะจะเบี่ยงเบนได้มากขึ้นในระบบวิทยุกระจายเสียง FM กำหนดให้ความถี่เบี่ยงเบนของระบบเต็มที่ไม่เกิน 75 กิโลเฮิร์ต แสดงว่าเรามอดดูเลทเต็มที่ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเราเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การมอดดูเลท} = \text{fd} \cdot 100 \ / \ \text{fd (max)}$$

fd คือ ช่วงความถี่เบี่ยงเบนเนื่องจากสัญญาณที่เข้ามามอดดูเลท

fd (max) คือ ความถี่เบี่ยงเบนสูงสุด

2.6 ไซด์แบนด์ (Sidebands)

สำหรับองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณ FM นั้น พิจารณาตามค่าดัชนีการมอดดูเลต ถ้าค่าของดัชนีการมอดดูเลทน้อยๆ ($m < 0.25$) ซึ่งบางตำราอาจกำหนดที่ $m < 1$ แล้วจะเรียกสัญญาณ FM นี้ว่า 'เอฟเอ็มแบนด์แคบ' (narrowband FM : NBFM) จากสมการ 2.6 เราสามารถกระจายด้วยอนุกรมเทย์เลอร์ (Teyler's series) ได้ดังนี้

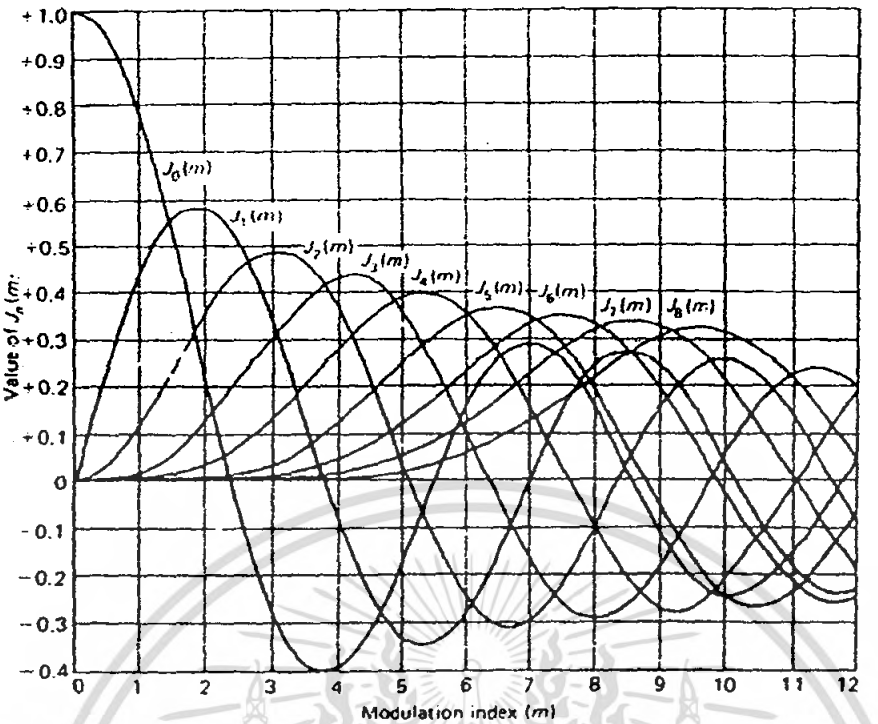
$$V_{fm} = B \cos \omega ct - Bmf \sin \omega at \sin \omega ct - m\int \sin^2 \omega at \cos^2 \omega ct + \ldots \qquad (2.12)$$

แทนฟังก์ชั่นของตรีโกณมิติในสมการ 2.12 จะได้

$$V_{fm} = B \cos \omega ct - Bmf \sin \omega at \sin \omega ct \qquad (2.13)$$

ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าหลังจากผ่านการมอดดูเลทแล้วจะคัดความถี่ของคลื่นพาห์ ωc ผลรวมและผลต่างความถี่ของคลื่นพาห์กับสัญญาณข้อมูล คือ $\omega c + \omega a$ และ $\omega a - \omega c$ ตามลำดับ นั่นก็หมายความว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณเอฟเอ็มแคบจะมีค่าเท่ากับ $2 \omega c$ ถ้าหากค่าดัชนีการมอดดูเลทมีค่ามากๆแล้ว ไม่สามารถที่จะตัดพจน์ที่มีค่า m ที่ยกกำลังสูงๆออกได้ ซึ่งจะทำให้เกิดไซด์แบนด์มากมาย เรียกว่า เอฟเอ็มแบนกว้าง (Wideband : FM) โดยค่าของไซด์แบนด์ต่างนั้น ได้มีการสรุปเป็นกราฟและตารางไว้จากฟังก์ชั่นเบสเลสชนิดหนึ่ง (Bessel function of the first kind) ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ข้างล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ค่าของ $J_n(m_f)$ ที่ Modulation Index ต่างๆ

Bessel Functions of the First Kind, $J_n(mf)$

m_f	J_0	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6	J_7	J_8	J_9	J_{10}	J_{11}	J_{12}	J_{13}	J_{14}
0.00	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.25	0.98	0.12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.5	0.94	0.24	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.0	0.77	0.44	0.11	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.5	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.0	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.4	0	0.52	0.43	0.20	0.06	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.5	-0.05	0.50	0.45	0.22	0.07	0.02	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—
3.0	-0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—
4.0	-0.40	-0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.05	0.02	—	—	—	—	—	—	—
5.0	-0.18	-0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02	—	—	—	—	—	—
6.0	0.15	-0.28	-0.24	0.11	0.36	0.36	0.25	0.13	0.06	0.02	—	—	—	—	—
7.0	0.30	0.00	-0.30	-0.17	0.16	0.35	0.34	0.23	0.13	0.06	0.02	—	—	—	—
8.0	0.17	0.23	-0.11	-0.29	-0.10	0.19	0.34	0.32	0.22	0.13	0.06	0.03	—	—	—
9.0	-0.09	0.25	0.14	-0.18	-0.27	-0.06	0.20	0.33	0.31	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01	—
10.0	-0.25	0.05	0.25	0.06	-0.22	-0.23	-0.01	0.22	0.32	0.29	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01

ตารางที่ 2.2 แสดงรูปฟังก์ชั่นของเบสเลสชนิดหนึ่ง Jn (mf)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 แบนด์วิดท์ของ FM

ในระบบ FM จำนวนไซด์แบนด์และแอมพลิจูดของไซด์แบนด์ ขึ้นอยู่กับค่าดัชนีการมอดดูเลทโดยความถี่ของไซด์แบนด์มีค่าสัมพันธ์กับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดดูเลท กล่าวคือ ไซด์แบนด์คู่แรกมีความถี่เท่ากับ $f \pm fc$ ไซด์แบนด์คู่ที่สองมีค่าความถี่เท่ากับ $f \pm 2fm...$ ฉะนั้น แบนด์วิดท์ของคลื่น FM ต้องครอบคลุมจำนวนไซด์แบนด์ที่สำคัญทุกตัว นั่นคือแบนด์วิดท์ขึ้นอยู่กับดัชนีการมอดดูเลทและความถี่ของสัญญาณที่เข้ามามอดดูเลท แต่ดัชนีมอดดูเลทเท่ากับ fdfc ดังนั้นถ้าเราทราบค่าความถี่เบี่ยงเบนและความถี่ของสัญญาณมอดดูเลท เราก็สามารถคำนวณหาค่าแบนด์วิดท์ได้

ตัวอย่างเช่น ความถี่ของสัญญาณเสียงที่เข้ามามอดดูเลทเท่ากับ 3 กิโลเฮิร์ต ความถี่เบี่ยงเบนเท่ากับ 18 กิโลเฮิร์ต เราสามารถคำนวณค่าดัชนีการมอดดูเลตได้ดังนี้

$$m = fd / fm$$
$$= 18\ KHz / 3KHz$$
$$= 6$$

นำค่า $m = 6$ ไปหาไซด์แบนด์สำคัญที่พิจารณาได้จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่า เมื่อดัชนีการมอดดูเลทเท่ากับ 6 จำนวนไซด์แบนด์จะมีอยู่ 9 คู่ เราจึงคำนวณหาแบนด์วิดท์ได้ดังนี้

$$BM = fm \cdot \text{จำนวนไซด์แบนด์} \cdot 2$$
$$= 3\ KHz \cdot 9 \cdot 2$$
$$= 54\ KHz$$

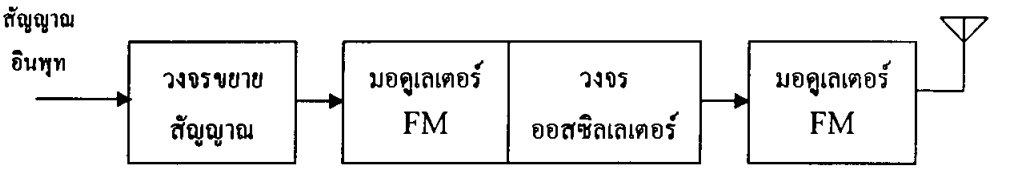
ในทางปฏิบัตินิยมใช้สูตรคำนวณแบนด์วิดท์แบบประมาณจากค่า fd max และ fm max เลย ไม่ต้องเสียเวลานับจำนวนไซด์แบนด์ ดังนี้

$$BM = 2(M + 1)fm(max)$$

2.8 เครื่องส่ง FM

จากแผนผังของเครื่องส่ง FM ตามรูปที่ 2.5 สัญญาณอินพุทผ่านการขยายแล้วป้อนสู่มอดดูเลเตอร์ วงจรมอดดูเลเตอร์นี้ จะทำการเปลี่ยนความถี่ออสซิเลเตอร์ โดยมีช่วงความถี่เบี่ยงเบนขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดและความถี่ของสัญญาณอินพุท พาหะ FM ที่ถูกมอดดูเลทแล้ว จะถูกขยายโดยภาคขยายกำลังสุดท้ายป้อนสู่อากาศเพื่อส่งออกอากาศต่อไป

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



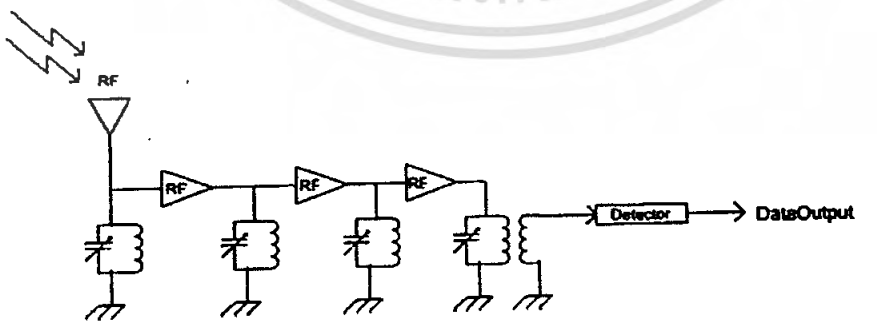
รูปที่ 2.5 แสดงแผนผังเครื่องส่ง FM อย่างง่าย

เครื่องส่งที่กล่าวมาข้างต้นอาจเกิดปัญหาเมื่อเราต้องการส่งออกอากาศที่ความถี่สูงๆ เช่น เครื่องส่งกระจายเสียง FM (ซึ่งมีความถี่อยู่ระหว่าง 88 ถึง 108 เมกะเฮิร์ต) ทำงานที่ความถี่สูง ทำให้ยากต่อการควบคุมให้ความถี่คงที่ นอกจากนี้การควบคุมการเบี่ยงเบนความถี่ทำได้ยากขึ้นด้วย วิธีแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้หลายวิธีแตกต่างกันออกไป

ข้อดีประการหนึ่งของระบบ FM ก็คือวงจรขยายกำลัง (Power Amplifier หรือ PA) สามารถทำงานในคลาส C ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่า ทั้งนี้เพราะแอมพลิจูดของสัญญาณ FM คงที่ไม่มีผลทำให้สัญญาณผิดเพี้ยน สัญญาณนั้นอยู่ในช่วงความเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณ FM เท่านั้น

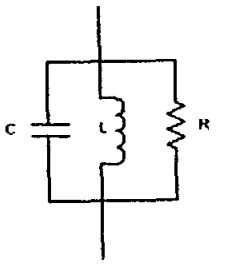
2.9 เครื่องรับ FM

หลักการของเครื่องรับเป็นแบบซุปเปอร์เฮดเทอร์โรดายน์ (Superheterodyne) คือจะมีภาคมิกเซอร์(Mixer) และโลคอลออสซิเลเตอร์ (Local Oscillator) ประเด็นสำคัญที่เลือกใช้เครื่องรับที่เป็นแบบซุปเปอร์เฮดเทอร์โรดายน์ เนื่องจากต้องจำกัดให้แบนด์วิดท์และ Ω อยู่ที่ย่านเดียวเพื่อง่ายต่อการสร้างวงจรของภาคต่อๆไป ไม่ว่าจะเป็นส่วนของวงจรกรองความถี่แถบผ่าน(Band Pass Filter) วงจรขยายความถี่กลาง(IF Amplifier) และดีมอดดูเลเตอร์(Demodulator) ซึ่งขอยกตัวอย่างในส่วนของวงจรกรองความถี่แถบผ่านที่ใช้กับภาควิทยุแบบ Tuned-RF ดังรูปที่ 2.6 ข



รูปที่ 2.6 ก แสดง Tuner-RF (TRF) receiver

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ข แสดงวงจรกรองความถี่แถบผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าฯ

บทที่ 3
ทฤษฎีพื้นฐานของเฟสล็อคลูป

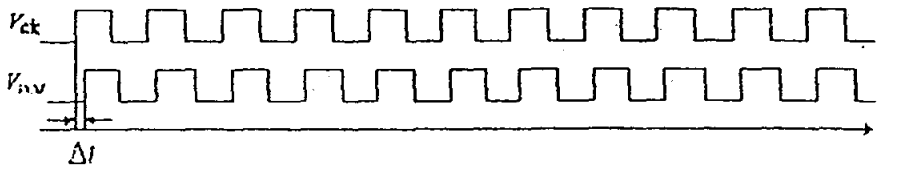
เฟสล็อคลูปเป็นอุปกรณ์หรือวงจรที่ใช้ในการรักษาอัตราการเปลี่ยนแปลงเฟสของสัญญาณระหว่างเฟสของสัญญาณเอาท์พุตกับสัญญาณอินพุทให้มีค่าเท่ากัน โดยจะมีผลทำให้มีความถี่เท่ากันด้วย จากคุณสมบัติดังกล่าว จึงนำเฟสล็อคลูปไปใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น ในการดีมอดสัญญาณและใช้ในการสร้างหรือกำเนิดความถี่ โดยองค์ประกอบพื้นฐานของเฟสล็อคลูปมีอยู่ 3 ส่วนคือ ตัวดักจับเฟส วงจรออสซิเลเตอร์แบบควบคุมความถี่ด้วยแรงดันไฟฟ้า และส่วนของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ซึ่งองค์ประกอบของแต่ละส่วนก็มีหลายแบบเช่นกัน ดังนั้นเมื่อนำองค์ประกอบดังกล่าวมาประกอบกันเป็นเฟสล็อคลูป ก็จะได้เฟสล็อคลูปหลายรูปแบบ แต่ละแบบก็มีคุณสมบัติการทำงานที่แตกต่างกัน การศึกษาทำความเข้าใจจึงเป็นเรื่องจำเป็นที่จะทำให้สามารถเลือกใช้และออกแบบได้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน

3.1 หลักการทำงานพื้นฐานของเฟสล็อคลูป

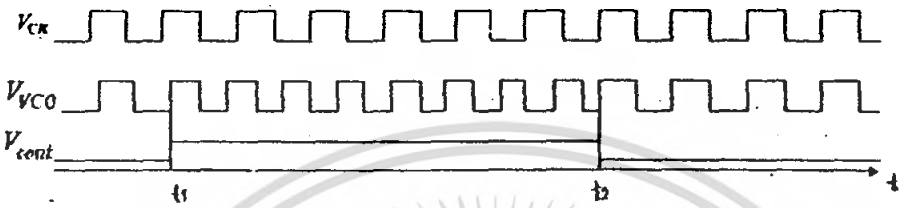
การทำงานของเฟสล็อคลูปในสภาวะล็อค คือ การที่ความถี่เอาท์พุทจากวงจรออสซิเลเตอร์แบบควมคุมความถี่ด้วยแรงดันไฟฟ้า มีค่าเท่ากับความถี่อ้างอิงหรืออินพุท และอัตราการเปลี่ยนแปลงของเฟสอินพุทและเอาท์พุทเทียบกับเวลาจะมีค่าเท่ากัน พิจารณาถึงการเข้าสู่สภาวะล็อค พิจารณารูปที่ 3.1 (ก) แสดงการเปรียบเทียบเฟสระหว่าง เอาท์พุทจาก VCO กับเฟสของอินพุทอ้างอิงหรือล็อค จะเห็นว่าที่ขอบขาขึ้นของ Vvco จะเกิดมีเฟสผิดพลาดขึ้นเป็นเวลา t เมื่อเทียบกับ Vck และเราต้องการกำจัดความผิดพลาดนี้ออกไปกำหนดให้ Vcont แรงดันอินพุทของ VCO โดยเมื่อ Vcont สูงขึ้น ความถี่เอาท์พุทที่จะสูงขึ้นพิจารณารูปที่ 3.1 (ข) ความถี่อินพุทของ VCO เริ่มสูงขึ้นที่เวลา t = t1 วงจรจะมีการเพิ่มของเฟสอย่างรวดเร็วจนที่เวลา t = t2 ความผิดพลาดของเฟสจะมีค่าเป็นศูนย์และ Vcont กลับเข้าสู่สภาวะแรกโดยเฟสของเอาท์พุท VCO กับเฟสของอินพุทอ้างอิงหรือล็อคอินเฟสกัน

จากหลักการข้างต้นทำให้เราสามารถทราบได้ว่า วงจรเฟสล็อคลูปแบบง่ายนั้นประกอบด้วยตัวดักเฟส (PD) และวงจรออสซิเลเตอร์แบบควบคุมความถี่ด้วยแรงดันไฟฟ้า (VCO) ต่อกันในลักษณะป้อนกลับดังรูปที่ 3.2 (ก) โดย PD จะเป็นตัวเปรียบเทียบเฟสระหว่าง Vout กับ Vin โดยจะให้ค่าแรงดันเฟสผิดพลาดออกไปปรับ VCO จนเฟสมีการปรับและเข้าสู่สภาวะล็อค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
82427



(ก)



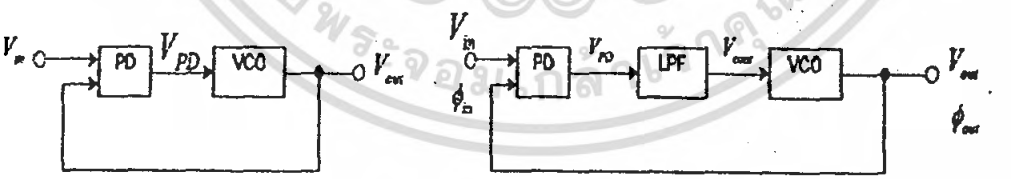
(ข)

รูปที่ 3.1 แสดงการเข้าสู่สภาวะล็อคของเฟสล็อคลูป

(ก) เฟสเอาท์พุทจาก VCO กับเฟสของอินพุท

(ข) การปรับเฟสของวงจรเพื่อกำจัดเฟสผิดพลาด

อย่างไรก็ตามต้องมีการปรับปรุงวงจรรูปที่ 3.2 (ก) เนื่องจากเอาท์พุทของ PD หรือ VPD ประกอบด้วยส่วนของแรงดันดีซีและแรงดันเอซีที่มีความถี่สูง ดังนั้นเพื่อให้แรงดันอินพุทของ VCO มีเฉพาะของส่วนดีซี เพื่อให้เอาท์พุทออกมาคงที่ ต้องมีการใส่วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเข้าไประหว่างวงจร PD กับ VCO ดังรูปที่ 3.2 (ข) เพื่อจะกำหนดส่วนที่มีความถี่สูงออกไปโดย LPF ที่ใส่เข้าไปต้องมีอัตราการขยายเป็นหนึ่งที่มีความถี่ต่ำ



(ก) (ข)

รูปที่ 3.2 แสดงองค์ประกอบของเฟสล็อคลูป

(ก) PD กับ VCO

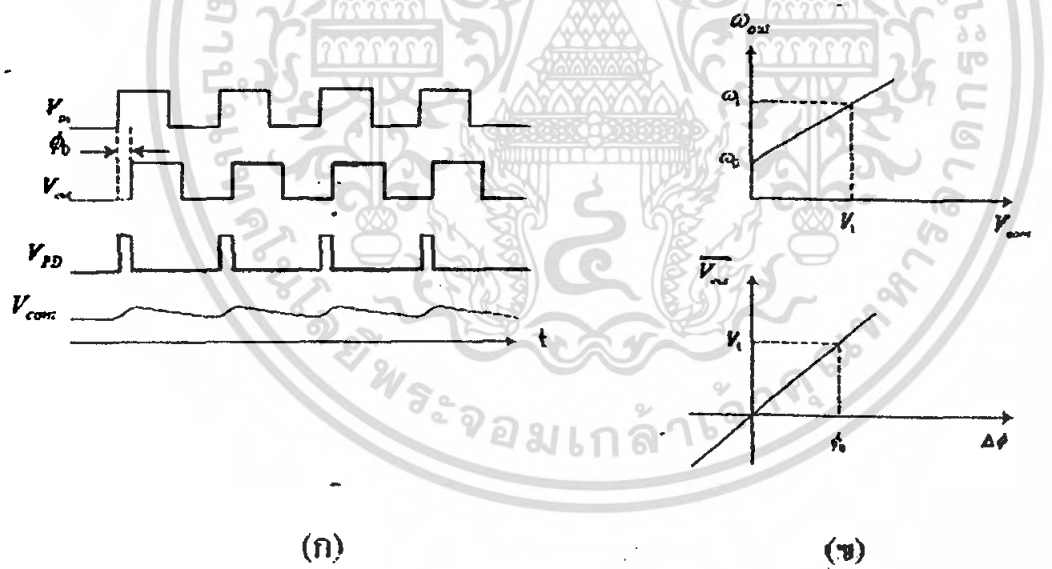
(ข) PD , VCO และ LPF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณารูปที่ 3.2 (ก) เงื่อนไขวงจรภายใต้สภาวะล็อคคือ $\emptyset_{out} - \emptyset_{in}$ จะต้องมีค่าคงที่และมีขนาดเล็กและจะต้องไม่เปลี่ยนแปลงกับเวลา โดยสรุปจะได้ว่า เมื่อเฟสล็อคลูปอยู่ในสภาวะล็อคเฟสของเอาท์พุทจาก VCO เมื่อเทียบกับอินพุทจะต้องมีค่าผิดพลาดเฟสน้อยแต่ความถี่ทั้งสองจะต้องเท่ากัน

3.2 ลักษณะสัญญาณของเฟสล็อคลูปในสภาวะล็อค

เมื่อวงจรเฟสล็อคลูปอยู่ในสภาวะล็อค รูปสัญญาณในแต่ละจุดนั้นแสดงดังรูปที่ 3.3 (ก) โดย Vout กับ Vin จะมีความต่างเฟสหรือเฟสผิดพลาดน้อยมาก แต่ความถี่จะเท่ากัน โดย PD เป็นตัวสร้างพัลซ์ที่เกิดจากค่าเฟสที่ผิดพลาดของอินพุทกับเอาท์พุท และ LPF จะกรองเอาเฉพาะแรงดันที่เป็นดีซีคือ VPD ป้อนให้กับ VCO โดยพัลซ์ขนาดเล็กใน VLPF เรียกว่าริปเปิล (Ripple) พิจารณารูปที่ 3.3 (ก) พารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าคือ $\emptyset_O$ และระดับแรงดันดีซีของ Vcont สามารถหาค่าได้จากการพิจารณาโดยใช้กราฟแสดงคุณสมบัติของ PD และ VCO ดังแสดงในรูปที่ 3.3 (ข) โดยถ้าเฟสล็อคลูปอยู่ในสภาวะล็อกแล้ว ความถี่ของอินพุทและเอาท์พุทจะมีค่าเท่ากัน โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ ω_1 และทำให้แรงดันที่วงจร VCO ต้องการคือ V_1ดังในรูปที่ 3.3 (ก)



(ก) (ข)

รูปที่ 3.3 แสดงคลื่นสัญญาณของเฟสล็อคลูปในสภาวะล็อค

(ก) รูปคลื่นสัญญาณในแต่ละจุด

(ข) กราฟแสดงคุณสมบัติของ VCO และ PD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยขนาดแรงดัน V1 ได้จากส่วนของ PD ซึ่งเกิดจากค่าความผิดพลาดเฟส 0 จากกราฟคุณสมบัติของ VCO และ PD จะได้ $\omega_{out} = \omega_o + K_{vco}V_{cont}$ และ $V_{PD} = K_{PD}\Delta\emptyset$ ทำให้ได้

$$V1 = \omega 1 - \omega o / K_{vco} \quad (3.1)$$

$$\emptyset_o = V1 / K_{PD}$$

$$= \omega 1 - \omega o / K_{PD} K_{vco} \quad (3.2)$$

จากสมาการ 3.2 ทำให้ทราบคุณสมบัติที่สำคัญสองประการ คือเมื่อความถี่อินพุทเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้เกิดความต่างเฟสหรือความผิดพลาดเฟสขึ้น และค่าผิดพลาดของเฟสจะมีค่าต่ำเมื่อค่า KPDKVCO ต้องมีค่าสูงโดย KPD ก็คือค่าอัตราการขยายของวงจรดักจับเฟส หรือ PD และ KVCO คืออัตราการขยายของวงจรออสซิเลเตอร์แบบควบคุมความถี่ด้วยแรงดันไฟฟ้า

3.3 การพิจารณาสภาวะชั่วขณะของเฟสล็อกลูปในสภาวะล็อค

เมื่อวงจรเฟสล็อคลูปอยู่ในสภาวะล็อกแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงเฟสหรือความถี่ที่อินพุท จะทำการพิจารณาหาผลการตอบสนองของเฟสล็อคลูปว่าเป็นอย่างไร โดยพิจารณาเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของเฟสอินพุทก่อน โดยสมมุติให้รูปแบบของอินพุทและเอาท์พุทเป็นดังนี้

$$V_{in}(t) = V_A \cos \omega 1t \quad (3.3)$$

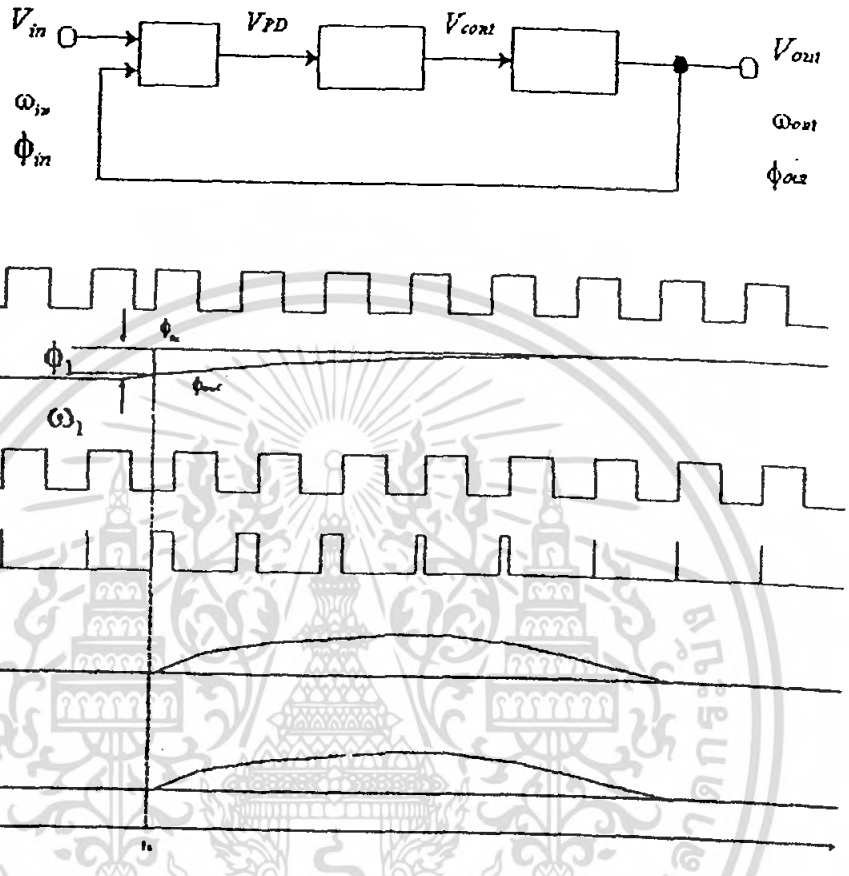
$$V_{out}(t) = V_B \cos(\omega t1 + \emptyset) \quad (3.4)$$

โดยที่ไม่พิจารณาความถี่ฮาร์โมนิคที่สูงและ $\emptyset_o$ คือค่าความผิดพลาดเฟสคงที่ พิจารณารูปที่ 3.4 จะเห็นว่าเฟสอินพุทมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นในลักษณะเป็นขั้นคือ $\emptyset_1$ และเกิดขึ้นที่เวลา t = t1 จะทำให้เฟสที่อินพุทมีค่าเท่ากับ $\emptyset_{in} = \omega 1t + \emptyset_{1u}(t_2 + t_i)$ ณ เวลานี้เอาท์พุทของ LPF ยังไม่เพิ่มขึ้นอย่างทันทีทันใด และ VCO ยังคงออสซิเลทที่ความถี่เดิมคือ $\omega 1$

หลังจากนั้นค่าความต่างเฟสของอินพุทกับเอาท์พุทค่อยๆเพิ่มขึ้น ทำให้พัลซ์ขึ้นที่เอาท์พุทของ PD และส่งผลให้เกิด VLPF เพิ่มขึ้น ผลลัพธ์คือทำให้ความถี่ของ VCO เพิ่มขึ้น เพื่อพยายามลดค่าผิดพลาดของเฟสที่สภาวะชั่วขณะนี้ จะไม่เกิดการล็อคขึ้นเนื่องจากค่าความผิดพลาดเฟสเปลี่ยนแปลงตามเวลา ภายหลังจากที่ความถี่ของ VCO เริ่มเปลี่ยนแล้ว เฟสล็อคลูปจะเข้าสู่สภาวะตามเดิม โดย ω_{out} จะกลับมาเท่ากับ $\omega 1$ นั่นคือ V_{LPF} และ $\emptyset_{out} - \emptyset_{in}$ จะกลับสู่ค่าเริ่มต้นตามเดิม โดยเมื่อลูปอยู่ในสภาวะสงบ เอาท์พุทจะมีค่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

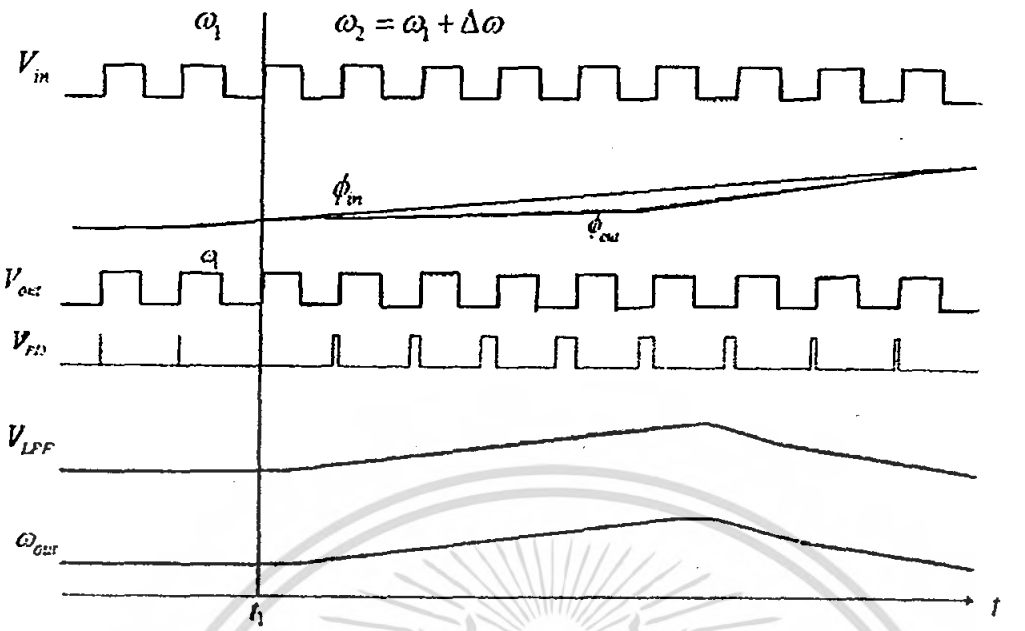
$$V_{out}(t) = V_B \cos [\omega_1 t + \emptyset o + \emptyset_1 u (to - t1)] \quad (3.5)$$



รูปที่ 3.4 แสดงผลการตอบสนองของเฟสล็อคลูปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเฟสที่อินพุท

สิ่งที่สำคัญเมื่อลูปกลับเข้าสู่สภาวะล็อคคือ พารามิเตอร์ทุกตัว จะกลับเข้าสู่สภาวะเริ่มต้นทั้งหมด คือ $\emptyset_{out} - \emptyset_{in}$, V_{LPF} และค่าความถี่ของ VCO จะเท่ากับสภาวะเริ่มต้น ต่อไปเป็นการพิจารณาผลการตอบสนองของเฟสล็อคลูปเมื่อความถี่อินพุทเปลี่ยนแปลงชั่วขณะ โดยอินพุทเพิ่มขึ้นที่ความถี่เดิม $\Delta\omega$ ที่เวลา $t = t1$ ดังแสดงในรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงผลการทดลองของเฟสล็อคลูปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความถี่ที่อินพุท

โดยความถี่เริ่มต้นของ VCO คือ $\omega 1$ เมื่อมีความถี่อินพุทเปลี่ยน PD จะเกิดพัลซ์โดยความกว้างค่อยๆเพิ่มมากขึ้นและ V_{LPF} จะมีค่าเพิ่มขึ้นจน ω_{out} เข้าใกล้ $\omega 1 + \Delta\omega$ หรือก็คือ ความถี่อินพุทโดยเอาท์พุทจาก PD จะมีค่าลดลง ภายใต้สภาวะสงบ ระดับดีซีที่วงจรกรองความถี่มีค่าเท่ากับ $(\omega 1 + \Delta\omega - \omega_o / K_{VCO})$ จะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของเฟสหรือความถี่ที่อินพุท จะนำมาซึ่งระดับแรงดันเพื่อควบคุมความถี่ VCO เพื่อลดค่าเฟสผิดพลาดลง

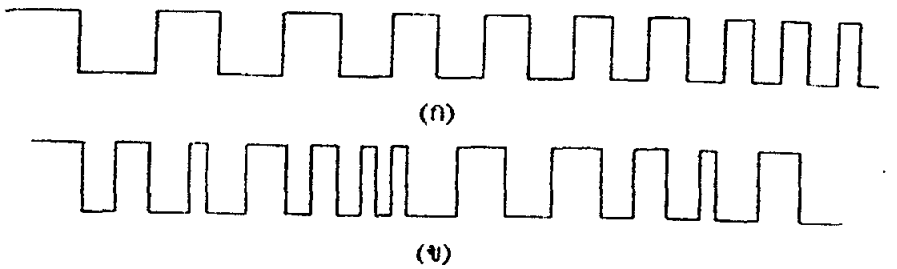
3.4 เสถียรภาพของเฟสล็อคลูปแบบพื้นฐาน

การพิจารณาเกี่ยวกับเสถียรภาพของเฟสล็อคลูป จะต้องทราบฟังก์ชั่นถ่ายโอนของระบบ ดังนั้น ต้องพิจารณาหา $\Phi_{out}(S) / \Phi_{in}(S)$ ทั้งถูกเปิดและปิดลูป

พิจารณา $\Phi_{out}(S) / \Phi_{in}(S)$ เป็นตัวบ่งบอกให้ทราบถึงอะไรนั้น ให้เปรียบเทียบกับฟังก์ชั่นถ่ายโอนของวงจรกรองความถี่อันดับหนึ่งอย่างง่ายคือ $V_{out}(S) / V_{in}(S) = 1 / (1+S/\omega_o)$ จากฟังก์ชั่นถ่ายโอนจะเห็นว่า Vin เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว Vout ไม่สามารถที่จะตามอินพุทได้ตลอดย่านได้ตลอดย่านที่เปลี่ยนแปลง ในทำนองเดียวกัน $\Phi_{out}(S) / \Phi_{in}(S)$ จะแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ว่าเฟสของเอาท์พุท มีการเปลี่ยนแปลงไปกับเฟสของอินพุอย่างไร เมื่อมีอินพุทที่เปลี่ยนแปลงช้าหรือเร็ว

การเปลี่ยนแปลงของเฟสกับเวลา แสดงดังรูปที่ 3.6 โดยรูปที่ 3.6 (ก) เป็นการเปี่ยนแปลงของเฟสอย่างช้าๆ และรูปที่ 3.6 (ข) เฟสมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

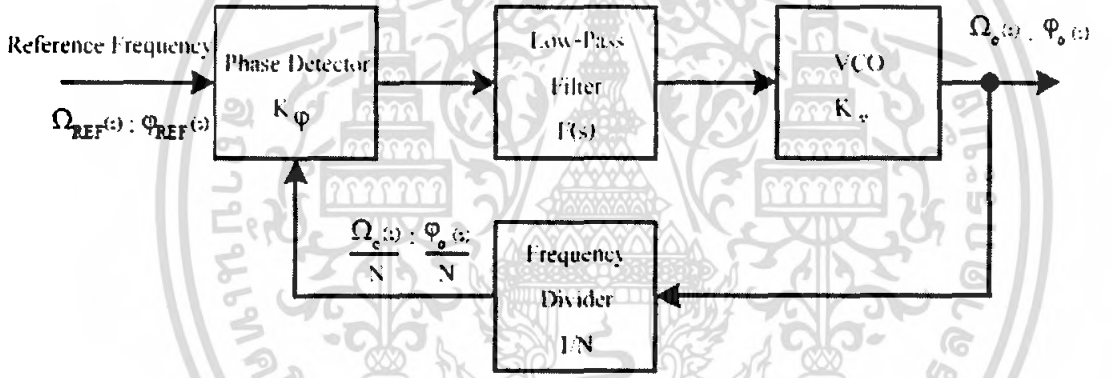


(ก)

(ข)

รูปที่ 3.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงของเฟสกับเวลา
(ก) เป็นการเปี่ยนแปลงของเฟสอย่างช้าๆ
(ข) เฟสมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

พิจารณา $\Phi_{out}(S) / \Phi_{in}(S)$ โดยทำการสร้างรูปแบบเชิงเส้นของเฟสล็อคลูป ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงรูปแบบเชิงเส้นของเฟสล็อคลูปชนิดที่หนึ่ง (Type 1 PLL)

เราสามารถหาผลตอบสนองแบบขั้นบันได (Step Response) ของระบบชนิดที่หนึ่ง (Type 1) ได้โดยการพิจารณาเปรียบเทียบกับทฤษฎีของระบบควบคุม (Control System) จากรูปแบบของสมการอันดับสองของระบบดังสมการที่ 3.6

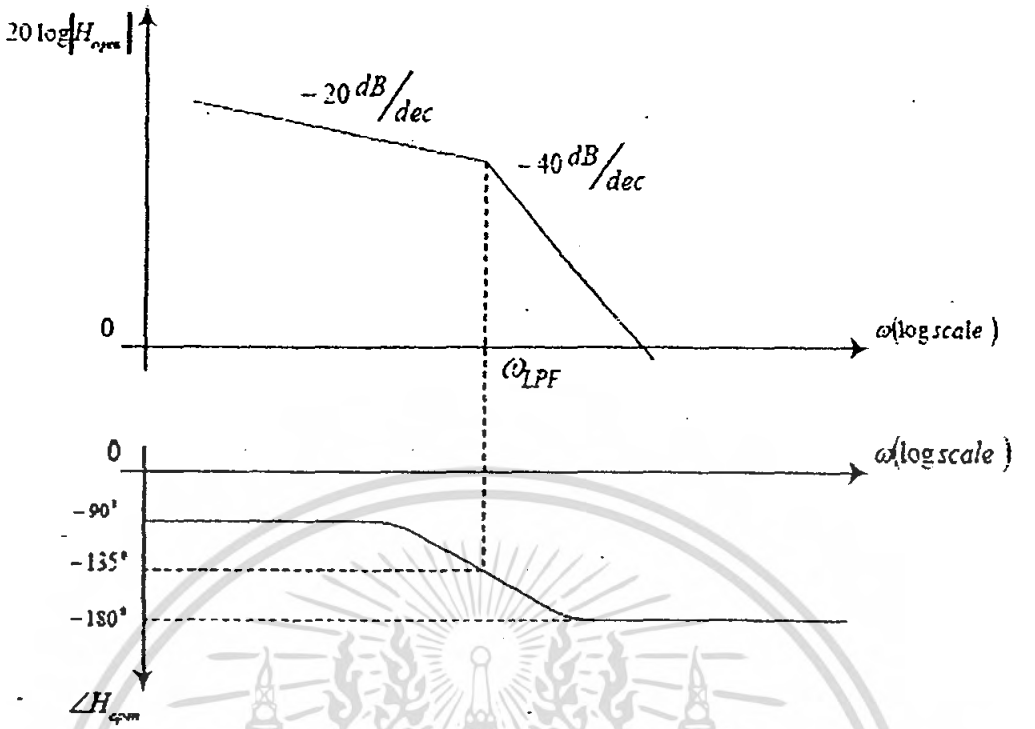
$$H(S) = \omega^2 n / S^2 + 2\zeta \omega nS + \omega^2 n \qquad (3.6)$$

ค่าของเอ็กซ์โปแนนเซียล จะลดลงสัมพันธ์กับค่าของเทอม $\zeta\omega n$ โดยมีค่าเท่ากับ

$$Z\omega n = \omega_{LPF} / 2 \qquad (3.7)$$

จากผลลัพท์ที่ได้ จะเห็นว่าจะต้องมีการเลือกระหว่างความสามารถเข้าสู่สภาวะสงบอย่างรวดเร็วกับแรงดันริปเปิลที่จะไปควบคุม VCO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

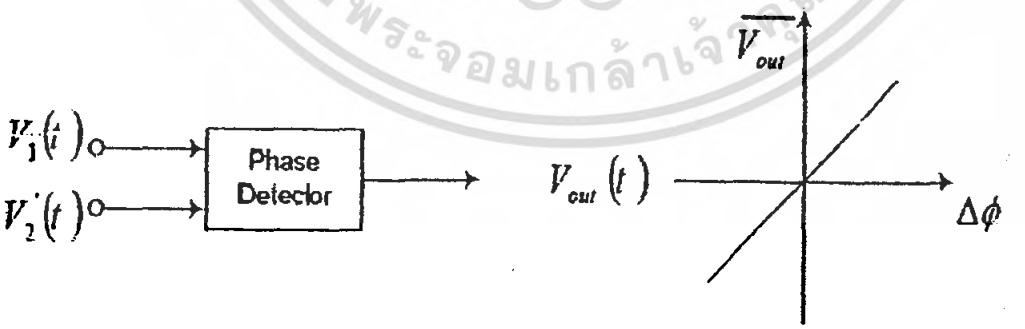


รูปที่ 3.8 แสดงกราฟโบเดพล็อตแสดงเสถียรภาพของ Type 1 PLL

3.5 องค์ประกอบพื้นฐานของเฟสล็อคลูป

ตัวดักจับเฟส (Phase Detector)

ตัวดักจับเฟส (Phase Detector) หรือ PD คือวงจรที่เอาท์พุทเฉลี่ย Vout หรือ Vd มีขนาดสัมพันธ์กับความต่างเฟส $\Delta\emptyset$ ระหว่างสองอินพุท ในทางอุดมคติความสัมพันธ์ระหว่างเอาท์พุทเฉลี่ย Vout กับ $\Delta\emptyset$ จะมีลักษณะเป็นเชิงเส้น ดังแสดงในรูปที่ 3.9

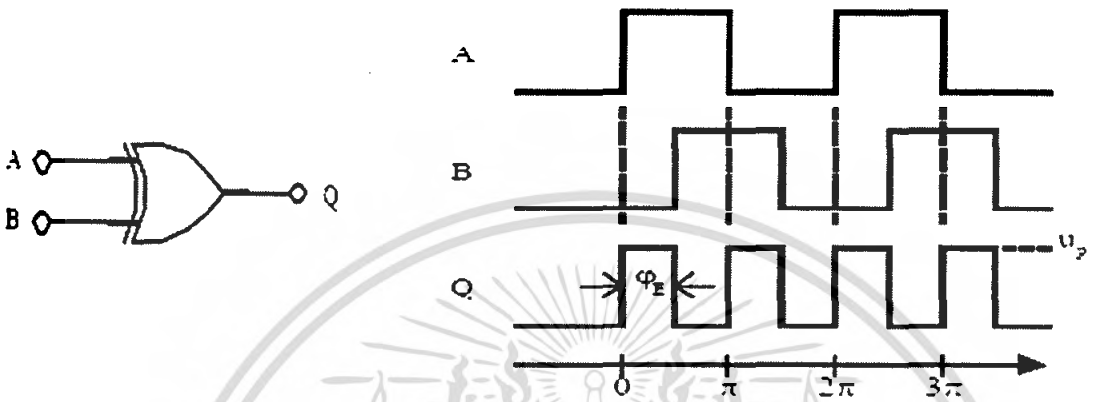


รูปที่ 3.9 แสดงคุณสมบัติของตัวดักจับเฟสในทางอุดมคติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเส้นตัดผ่านจุดกำเนิดที่ $\Delta\emptyset = 0$ และอัตราการขยายของ PD คือความชันของเส้นกราฟ คือ K_{PD} หน่วยเป็น V/rad ตัวดักจับเฟสที่นิยมนำมาใช้ในงานดิจิตอลเฟสล็อคลูป คือ แบบเอ็กซ์คูลซีฟออร์ แบบ J-K ฟลิบฟลอป และแบบเฟส-ความถี่

3.6 ตัวดักจับเฟสแบบเอ็กซ์คูลซีฟออร์

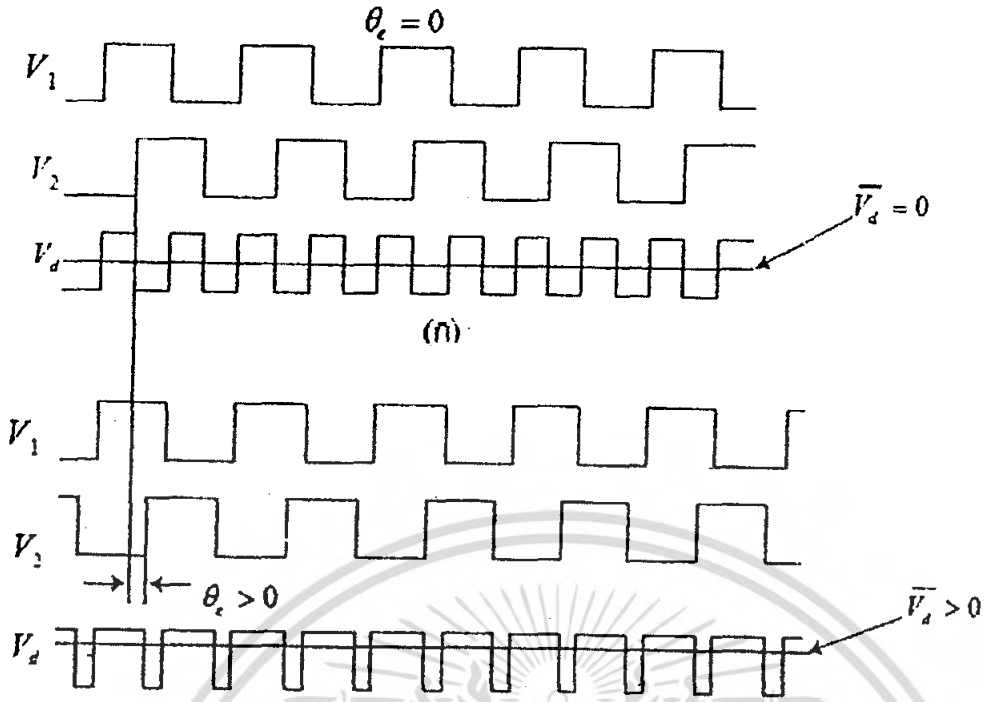


รูปที่ 3.10 ตัวดักจับเฟสแบบเอ็กซ์คูลซีพออร์

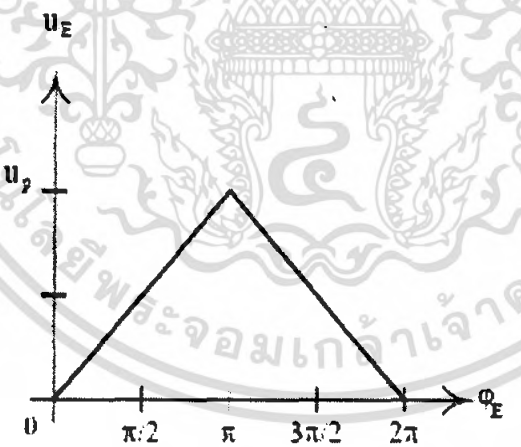
ตัวดักจับเฟสแบบเอ็กซ์คูลซีพออร์เป็นตัวดักจับเฟสแบบง่ายที่สุดโดยการใช้เอ็กซ์คูลซีพออร์เกท ซึ่งมีคุณสมบัติคือถ้าสัญญาณอินพุทเหมือนกับเอาท์พุทจะเป็นศูนย์ แต่ถ้าสัญญาณอินพุทต่างกันจะได้เอาท์พุทเป็นหนึ่งหรือเมื่ออินพุทมีความต่างเฟสกัน จะได้เอาท์พุทสัมพันธ์กับอินพุทดังแสดงในรูปที่ 3.10

โดยสัญญาณในวงจรเฟสล็อคลูปแบบดิจิตอลจะเป็นสัญญาณดิจิตอล ซึ่งกำหนดให้เป็นสัญญาณอินพุททั้งสองคือ V และ $\overline{V}$ เป็นสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่สมมาตร จากรูปที่ 3.11 แสดงความแตกต่างของค่าผิดพลาดเฟส เมื่อมีค่าผิดพลาดเฟสเท่ากับศูนย์ สัญญาณ V และ $\overline{V}$ จะต่างเฟสกัน 90 องศา ดังนั้น สัญญาณเอาท์พุท V_d ซึ่งเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมจะมีค่าเป็น 2 เท่าของสัญญาณอินพุทและค่า Duty Cycle ของสัญญาณ V_d จะมีค่าเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อถูกกรองด้วยวงจรกรองความถี่จะพิจารณาเพียงค่าของ V_d ซึ่งแสดงโดยเส้นประดังรูป ดังรูปที่ 3.11 (ก) ค่าเฉลี่ย V_d คือ $\overline{V}_d$ จะคิดตามหลักของค่าระดับลอจิกทั้งสอง โดยถ้าเอ็กซ์คูลซีพออร์ถูกจ่ายกำลังโดยแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลท์ V_d จะมีค่าประมาณ 2.5 โวลท์ ซึ่งค่าแรงดัน ณ จุดนี้ จะเป็นจุดสงบของเอ็กซ์คูลซีพออร์ และกำหนดให้ $V = 0$ V เมื่อสัญญาณเอาท์พุท V มีค่ามากกว่าสัญญาณอ้างอิง V ค่าเฟสผิดพลาด $\emptyset_c$ จะมีค่าไปในทิศทางบวกซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.11 (ข) โดยค่า Duty Cycle จะมีค่ามากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ค่าของ V_d เฉลี่ยก็จะมีค่าเป็นบวก ซึ่งแสดงเป็นเส้นประในสัญญาณ V_d

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แสดงสัญญาณของตัวตักจับเฟสแบบเอ็กซ์คูลซีฟออร์
(ก) สัญญาณค่าเฟสผิดพลาดเท่ากับศูนย์
(ข) สัญญาณค่าเฟสผิดพลาดมีค่าเป็นบวก



รูปที่ 3.12 แสดงกราฟคุณสมบัติค่าเอาท์พุท Vd เฉลี่ยของเอ็กซ์คูลซีฟออร์

ในกรณีของชุดเปรียบเทียบแบบเท็กซ์คูลซีพออร์ค่าเกณฑ์ของตัวตักจับเฟส Kd จะเป็นค่าคงที่เมื่อกำหนดให้แรงดันของแหล่งจ่ายไฟที่จ่ายให้กับเอ็กซ์คูลซีพออร์ คือ VDD และศูนย์โดยกำหนดระดับลอจิก คือ VDD และศูนย์ ดังนั้น Kd จะมีค่าดังสมการ 3.8

$$Kd = Vdd / \pi \qquad (3.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติโดยสรุปของตัวดักจับเฟสแบบเอ็กซ์คูลซีพออร์เมื่อนำมาใช้ในเฟสล็อคลูป

(1) ขณะยังไม่มีสัญญาณอินพุทเข้ามา เอาท์พุทของเอ็กซ์คูลซีพออร์ จะมีค่าเท่ากับ VDD/2 ทำให้เฟสล็อคลูปทำงานอยู่ที่ความถี่ปานกลาง

(2) เมื่ออยู่ในสภาวะล็อคเอาท์พุทของเอ็กซ์คูลซีพออร์ จะมีค่า Duty Cycle 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น VCO ที่ใช้งานร่วมกันจะต้องให้เอาท์พุทที่มีค่าDuty Cycle เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ด้วย

(3) ดักจับเฟสแบบเอ็กซ์คูลซีพออร์สามารถล็อคที่ความถี่ฮาร์โมนิคได้ดังนั้น พยายามอย่าใช้งานที่ความถี่ซึ่งมีค่าความถี่ฮาร์โมนิคของสัญญาณตรงกับย่านความถี่ของ VCO

3.7 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

เฟสล็อคลูปแบบอนาลอค วงจรกรองความถี่ต่ำที่นิยมใช้กับเฟสล็อคลูปแบบดิจิตอลแสดงดังรูปที่ 3.13 โดยรูปที่ 3.13(ก) เป็นวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านแบบพาสซีพซึ่งมี 1 โพล และ 1 ซีโพล มีฟังก์ชั่นถ่ายโอนคือ

$$F(S) = 1 + S\tau 2 / 1 + S(\tau 1 + \tau 2) \qquad (3.9)$$

เมื่อ $\tau = R_1C_1$ และ $\tau = R_2C_2$ โดยมีค่าการตอบสนองวงจรดังรูปที่ 3.13(ก) ส่วนวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านดังรูปที่ 3.13(ข) เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบแอกทีพ ซึ่งมีการตอบสนองเหมือนกับวงจรกรองความถี่ต่ำแบบพาสซีพ แต่วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบแอกทีพจะให้ค่าอัตราการขยาย Ka และฟังก์ชั่นถ่ายโอนคือ

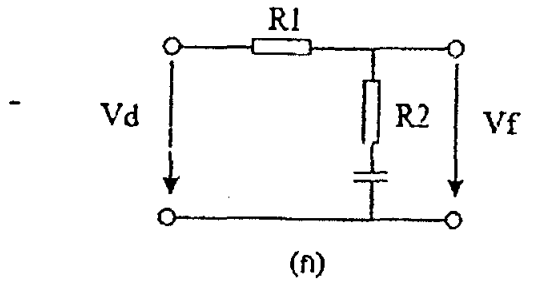
$$F(S) = Ka\ (1 + S\tau 2) / 1 + S\tau 1 \qquad (3.10)$$

เมื่อ $\tau = R_1C_1$ และ $\tau = R_2C_2$ และ $Ka = -C1/C2$ โดยมีค่าการตอบสนองวงจรดังรูปที่ 3.13(ค) เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำอีกแบบหนึ่งคือ วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบ PI แอคทีพ ซึ่งวงจรนี้ มีฟังก์ชั่นถ่ายโอนคือ

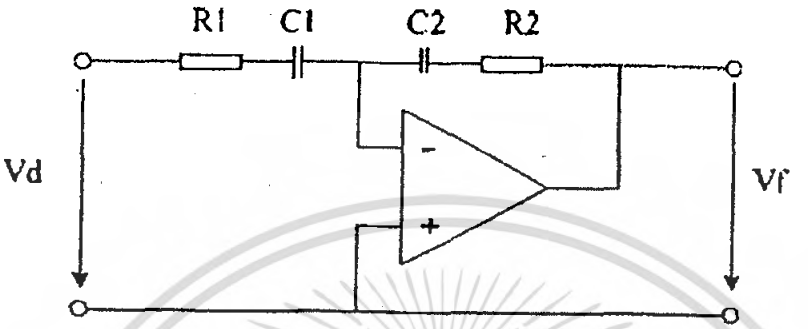
$$F(S) = 1 + S\tau 2 / S\tau 1 \qquad (3.11)$$

เมื่อ $\tau = R_1C_1$ และ $\tau = R_2C_2$ วงจรกนองความถี่ต่ำแบบ PI แอคทีพจะมีค่าการตอบสนองของวงจรดังรูปที่ 3.13(ค)

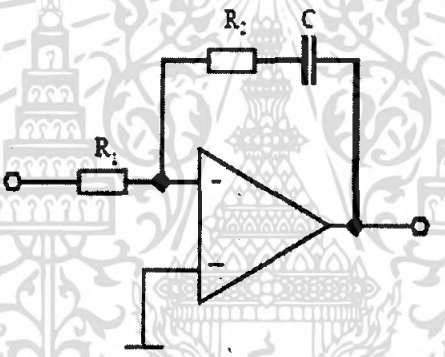
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

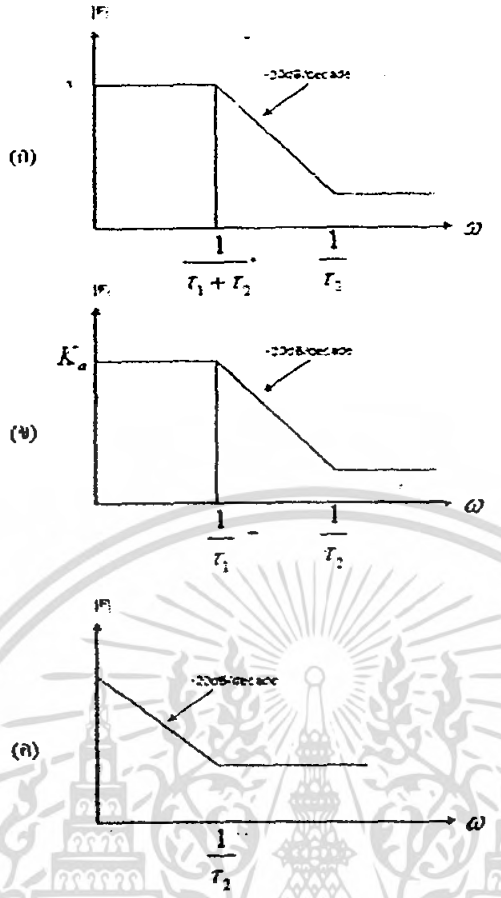
รูปที่ 3.13 แสดงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ใช้กับเฟสล็อคลูป

(ก) วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านแบบพาสซีพ

(ข) วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านแบบแอกทีพ

(ค) วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านแบบ PI แอกทีพ

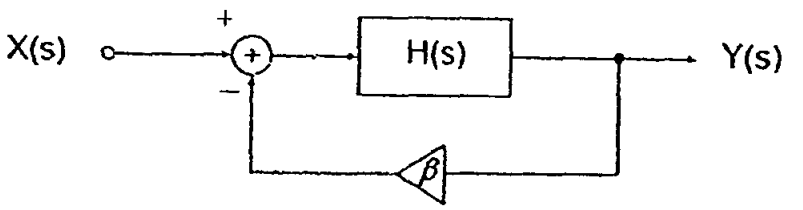
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงกำรตอบสนองของวงจรกรองควำมถี่ต่ำผ่ำน
(ก) วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านแบบพาสซีพ
(ข) วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านแบบแอกทีพ
(ค) วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านแบบ PI แอกทีพ

3.8 วงจรออสซิเลเตอร์

วงจรออสซิเลเตอร์จะผลิตเอาท์พุทพัลซ์ออกมา โดยปกติอยู่ในรูปแบบแรงดัน โดยวงจรไม่จำเป็นต้องมีการป้อนอินพุท วงจรผลิตเอาท์พุทออกมาอย่างต่อเนื่องและไม่จำกัด ระบบที่มีการป้อนกลับแบบ (Negative Feedback) สามารถที่จะออสซิเลทได้โดยการออกแบบให้วงจรขยายที่ไม่ดี (Badly – Designed Amplifier) ระบบที่มีการป้อนกลับแบบลบแสดงดังรูปที่ 3.15

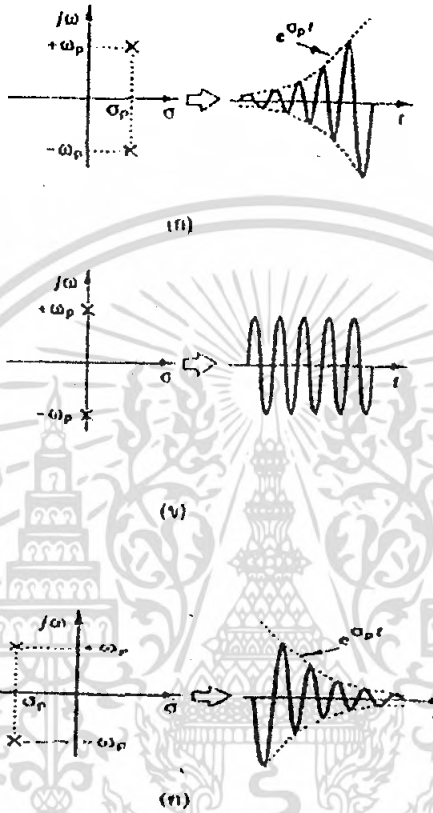


รูปที่ 3.15 แสดงระบบที่มีการป้อนกลับแบบลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.15 สมมติค่าของ β คือค่าคงที่และจะมีค่าเท่ากับหนึ่ง ถ้าระบบมีการป้อนกลับแบบเต็มที่โดยฟังก์ชั่นถ่ายโอนของระบบปิดคือ

$$Y/X\,(s) = H(S) / 1 + \beta H(S) \qquad (3.12)$$



รูปที่ 3.16 แสดงผลของตำแหน่งโพลและรูปแบบการออสซิเลท

(ก) ระบบที่ไม่เสถียรภาพขนาดการออสซิเลทเพิ่มขึ้น

(ข) ระบบที่ไม่เสถียรภาพขนาดการออสซิเลทคงที่

(ค) ระบบที่มีเสถียรภาพขนาดการออสซิเลทลดลงเป็นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ไมโครคอนโทรลเลอร์

4.1 บทนำ

หลังจากที่อินเทลประสบความสำเร็จในการสร้างไมโครโปรเซสเซอร์ 8080 ในปี 2516 แล้วอินเทลก็ได้พัฒนาต่อมาเป็น 8085 ในขณะนั้นคครงสร้างบัสของ 8085 เปลี่ยนไปในลักษณะที่เป็นแอดเดรสและข้อมูลมัลติเพล็กซ์ อินเทลประสบผลสำเร็จในการขายเป็นอย่างดีเพราะมีชิพประกอบร่วมอยู่ด้วยมาก อินเทลพัฒนาชิพสนับสนุนด้วยโครงสร้างที่ต่อร่วมกับตะกูล 8085 ไว้เป็นจำนวนมากอย่างไรก็ตามโครงสร้างที่ต้องประกอบการทำงานร่วมกับชิพอีกหลายตัว โดยเฉพาะต้องมี ROM และ RAM ภายนอกต้องมีพอร์ตภายนอกเช่นกัน ไมโครโปรเซสเซอร์กลุ่มนี้จึงไม่เหมาะที่จะใช้งานกับงานขนาดเล็กที่อยู่ในกลุ่มงานควบคุม หรืออุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่ประยุกต์ในเครื่องมือต่างๆ ที่เรียกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์

อินเทลจึงหันมาสร้างชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยรวมซีพียูหน่วยความจำและพอร์ตอินพุตเอาต์พุตไว้ในชิพเดียว โดยตั้งหมายเลขตระกูลเป็น MCS-48 เบอร์หลักที่กำหนดคือ 8048 เป็นชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ที่อินเทลตั้งใจจะให้มีการประยุกต์ใช้ในวงจรที่ต้องการให้ต้นทุนต่ำผลิตเป็นจำนวนมาก เช่น สินค้าที่ใช้ในบ้านทั่วไป

ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ที่มีอุปกรณ์สนับสนุนประกอบอยู่ภายในหลายอย่าง ได้แก่ หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม ตัวตั้งเวลา/ตัวนับ อุปกรณ์รับส่งข้อมูลแบบอนุกรม เนื่องจากโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์มีอุปกรณ์สนับสนุนประกอบอยู่ภายในนี้เอง ทำให้การใช้งานง่ายขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยไม่ต้องมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกเพิ่มเติมมากเหมือนกับตัวไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไป นอกจากนี้หากเราต้องการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับอุปกรณ์อื่นเพิ่มเติมเข้ากับไมโครคอนโทรเลอร์ได้ด้วย

ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรเลอร์

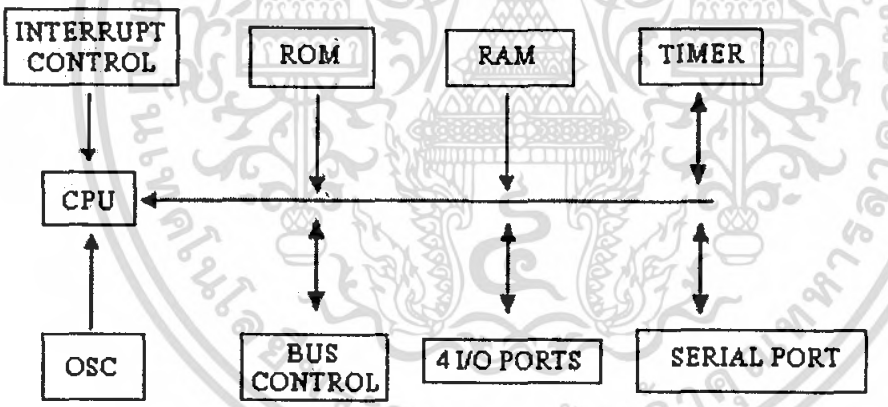
ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จัดได้ว่าเป็นไมโครลคอนโทรเลอร์ตระกูลที่มีผู้ใช้งานมากที่สุดในลำดับต้นๆ มีการพัฒนาและเพิ่มขีดความสามารถมาอย่างต่อเนื่อง เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีผู้ผลิตหลายรายราคาไม่สูงและหาง่ายไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นระบบควบคุมที่มีขนาดเล็ก โดยที่อุปกรณ์ขนาดเล็กนี้เป็นอุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำที่รวบรวมเอาฟังก์ชั่นการทำงานต่างๆ มารวมไว้ในตัวมันเองโดยมีโครงสร้างที่ใกล้เคียงกับคอมพิวเตอร์ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในประกอบด้วยหน่วยประมวลผลกลางหน่วยความจำ และพอร์ต(ขนาน / อนุกรม) ต่างๆ เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก

4.2 ส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์

1. หน่วยประมวลผลกลาง (CPU : CENTRAL PROCESSING UNIT)
2. หน่วยความจำ (MEMMORY UNIT) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด
   - 2.1 RAM (RANDOM ACCESS MEMORY)
   - 2.2 ROM (READ ONLY MEMORY)
3. หน่วยรับและแสดงผล (INPUT / OUTPUT) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท
   - 3.1 อนุกรม (Serial)
   - 3.2 ขนาน (Parallel)
4. ไทม์เมอร์ (Timer)
5. ตัวควบคุมการอินเตอร์รัป



รูปที่ 4.1 โครงสร้างพื้นฐาน ของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

โครงสร้างภายในพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่

- หน่วยความจำภายในสำหรับเก็บข้อมูลขนาด 128 ไบต์(internaldatamemory128 byte)
- หน่วยความจำภายในสำหรับโปรแกรมขนาด 4 กิโลไบต์ (internal program memory 4Kbyte)
- อุปกรณ์ควบคุมการอินเทอร์รัพต์ (interrupt control unit)
- ตัวตั้งเวลาและนับขนาด 16 บิต 2 ชุด(Time/Counter0 and Timer/Counter1)
- พอร์ตควบคุมการสื่อสารอนุกรมแบบ Full Duplex ซึ่งสามารถรับและส่งข้อมูล ได้พร้อมกัน
- พอร์ตขนานสำหรับติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกจำนวน 4 พอร์ต พอร์ตละ 8 บิต
- วงจรผลิตสัญญาณนาฬิกาภายใน

4.3.1 หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม (Internal Program Memory)

หน่วยความจำหรับเก็บโปรแกรมทำหน้าที่เก็บโปรแกรมที่ผู้ใช้เขียนขึ้นเพื่อควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยหน่วยความจำจะเป็นแบบ ROM มีความจุ 4Kbytes (ตำแหน่ง 0000H – 0FFFH) ในการใช้งานสามารถกำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เลือกใช้โปรแกรมที่เก็บอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์หรือโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำ (PROM) ที่อยู่ภายนอกได้ การเลือกการติดต่อทำโดยการป้อนสัญญาณควบคุมที่ขา EA (External Access) ถ้าต้องการไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับโปรแกรมที่อยู่ในหน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะต่อขานี้กับลอจิก 1 หากต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำภายนอก จะต่อขานี้กับลอจิก 1 หากต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำภายนอกจะต่อขานี้กับลอจิก 0 การติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกจะติดต่อได้ทั้งหมด 64Kbytes (ตำแหน่ง 0000H-FFFFH)

ในกรณีที่กำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับโปรแกรม ที่อยู่ในหน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อได้ 4Kbyte (สำหรับ เบอร์ที่ใช้งาน) หากตำแหน่งของโปรแกรมมีค่าเกินกว่าตำแหน่งของหน่วยความจำภายใน ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการติดต่อกับโปรแกรมที่อยู่ในหน่วยความจำภายนอกอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 หน่วยความจำภายใน (Internal Data Memory)

หน่วยความจำข้อมูลภายในทำหน้าที่เก็บข้อมูลทั่วไป และทำหน้าที่เป็นสแต็กบางส่วน หน่วยความจำข้อมูลภายในมีอยู่ 128 ไบต์ โดยอยู่ในตำแหน่ง 00H – 7FH

4.3.3 อุปกรณ์ควบคุมการอินเตอร์รัพต์ (Interrupt Control Unit)

เป็นส่วนทำหน้าที่ควบคุมการอินเตอร์รัพต์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งมีการร้องขออินเตอร์รัพต์ได้จาก 6 แหล่งกำเนิด คือสัญญาณจากภายนอก 2 สัญญาณ จากตัว Timer0 , Timer1 และ Timer2 และจากอุปกรณ์รับส่งข้อมูลแบบอนุกรม 1 สัญญาณ สัญญาณอินเตอร์รัพต์ที่เกิดขึ้นสามารถควบคุมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตอบรับหรือไม่ตอบรับก็ได้นอกจากนี้ยังสามารถจัดลำดับความสำคัญของการอินเตอร์รัพต์จากสัญญาณต่างๆ ได้เป็น 2 ระดับความแตกต่าง

4.3.4 ตัวตั้งเวลาและตับนับ (Timer/Counter)

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ประกอบไปด้วยรีจิสเตอร์ตัวตั้งเวลานับขนาด 16 บิต จำนวน 2 ชุด คือ Timer0 และ Timer1 สำหรับในไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ที่พัฒนาขึ้นไปจะมี Timer มากขึ้นไปอีกตามเบอร์ต่างๆ โดย Timer ทั้งหมดสามารถกำหนดให้ทำงานในลักษณะของตัวนับหรือตัวจับเวลาก็ได้

การทำงานในโหมดของตัวตั้งเวลาค่าในรีจิสเตอร์จะเพิ่มขึ้นทุกๆ แมชชีนไซเคิล โดย 1 แมชชีนประกอบด้วยสัญญาณนาฬิกา 12 ลูก ดังนั้นอัตราการจับเวลาจะเป็น 1/12 เท่าของความถี่สัญญาณนาฬิกาของระบบ ค่าสูงสุดที่ตั้งได้คือ 2 กำลัง 16

การทำงานในโหมดการนับ ค่าของการนับจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่ขา T0 หรือ T1 เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 ความเร็วในการนับสูงสุดคือ 1/24 เท่าของสัญญาณนาฬิกา โดยสัญญาณที่เข้ามาที่ขา T0 หรือ T1 จะมีค่า Duty Cycle เท่าใดก็ได้

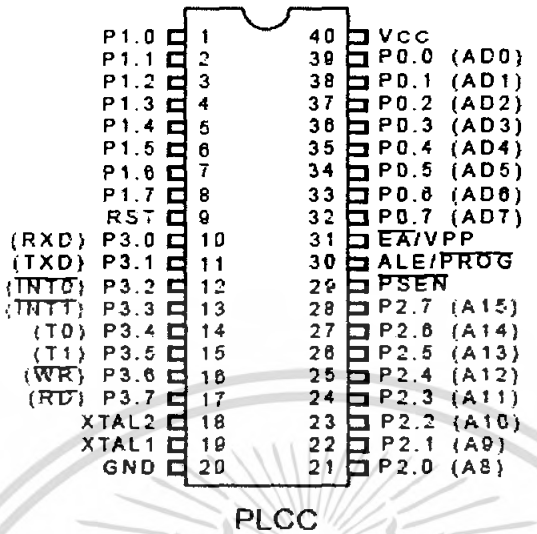
4.3.5 พอร์ตอินพุตเอาท์พุต

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ประกอบไปด้วยพอร์ตอินพุตแบบ 2 ทิศทาง จำนวน 4พอร์ต แต่ละพอร์ตมีอุปกรณ์แลทช์ข้อมูลและเอาท์พุตไดรเวอร์ประกอบอยู่ทางด้านเอาท์พุต และทางด้านอินพุตจะมีบัฟเฟอร์ สามารถใช้งานแต่ละพอร์ตเป็นอินพุตหรือเอาท์พุตได้ตามต้องการ แต่ละบิตของพอร์ตสามารถเชื่อมต่อกับสัญญาณ TTL ได้โดยตรง

การติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกพอร์ต P0 และ P2 จะใช้สำหรับกำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำภายนอก โดยพอร์ต P0 จะทำงานในลักษณะของมัลติเพล็กซ์ คือเป็น ทั้งพอร์ตตำแหน่งและพอร์ตข้อมูลโดย P0 จะเป็นตำแหน่งของหน่วยความจำด้านต่ำ และ P2 จะเป็นของหน่วยความจำด้านสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 สัญญาณต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51



รูปที่ 4.3 สัญญาณต่าง ๆ ของ MCS-51

สัญญาณต่าง ๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถจำแนกตามการทำงานเป็น 3 กลุ่มคือ

- กลุ่มสัญญาณตำแหน่ง เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำ
- กลุ่มสัญญาณควบคุมเป็นสัญญาณควบคุมการทำงานของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์
- กลุ่มสัญญาณข้อมูล เป็นทางผ่านของข้อมูล ระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับหน่วยความจำ

หน้าที่และการใช้งานของสัญญาณต่างๆ เป็นดังนี้

VCC	สำหรับต่อไฟเลี้ยง +5 V
VSS	สำหรับต่อกราวน์
X-TAL1	เป็นอินพุตของภาคขยายสัญญาณแบบอินเวอร์สของวงจรผลิตสัญญาณ
X-TAL2	เป็นเอาต์พุตของภาคขยายสัญญาณแบบอินเวอร์สของวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกา
RST	สัญญาณรีเซตไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกรีเซตเมื่อสัญญาณที่ขานี้มีค่าเป็นลอจิก 1 นานไม่ต่ำกว่า 2 แมชชีนไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ALE/PROG	เป็นสัญญาณเอาต์พุต ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งออกไปเป็นพัลล์ เพื่อแลทช์ค่าตำแหน่งไบต์ต่ำที่อยู่ที่พอร์ต P0 ในขณะติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก สัญญาณนี้จะถูกส่งออกไปด้วยอัตราคงที่คือ 1/6 เท่าของความถี่สัญญาณนาฬิกา ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นสัญญาณนาฬิกาให้กับอุปกรณ์ภายนอกได้ สัญญาณพัลส์นี้จะถูกข้ามไป 1 พัลส์ เมื่อมีการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก และสัญญาณนี้จะเป็นอินพุตเพื่อควบคุมโปรแกรม PROM ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย
PSEN	เป็นเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณสโตรป เพื่ออ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อซีพียูอ่านรหัสคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอกจะส่งสัญญาณสโตรปออกมา 2 ครั้ง ใน 1 แมชชีนไซเคิล แต่สัญญาณสโตรปทั้ง 2 ครั้ง จะถูกข้ามไปหากเป็นช่วงที่ซีพียูติดต่อกับ External Data Memory
EA	เป็นสัญญาณอินพุตใช้สำหรับควบคุมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เลือกติดต่อกับโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำโปรแกรมภายใน หรือโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำภายนอกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ หากให้ค่าลอจิก 1 ที่ขานี้จะเป็นการเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ หากต้องการให้ซีพียูติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกต้องต่อสัญญาณเข้ากับลอจิก 0 หรือ Vss
Port0	เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทางแบบ Open drain ขนาด 8 บิต P0.1-P0.7 เมื่อใช้เป็น เอาต์พุตสามารถต่อกับไอซี TTL ตระกูล LS ได้ 8 ตัว เมื่อต้องการใช้งานเป็นอินพุตต้องส่งค่าลอจิก 1 ออกไปที่พอร์ตก่อน เพื่อทำให้ลอยซึ่งจะเป็นอิมพีแดนซ์สูงพอร์ต P0 จะทำงานอีกหน้าที่หนึ่ง คือเป็นมัลติเพล็กซ์ของสัญญาณตำแหน่งด้านต่ำและสัญญาณข้อมูลในการติดติอกับหน่วยความจำภายนอก การทำงานในลักษณะนี้จะใช้การ พูลอัพ จากภายในที่สามารถจ่ายกระแสให้กับอินพุตของ TTL ได้ 8 ตัว นอกจาก 2 หน้าที่ดังกล่าวแล้ว พอร์ต P0 ยังใช้เป็นตัวรับข้อมูลในช่วงการโปรแกรม EPROM และเป็นตัวส่งข้อมูลออกมาในช่วงการตรวจสอบโปรแกรมภายใน ROM หรือ EPROM ซึ่งจะต้องใช้การพูลอัพจากภายนอกในขณะทำการตรวจสอบโปรแกรม
Port1	เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตแบบ 2 ทางขนาด 8 บิต ที่มีพูลอัพอยู่ภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ [illegible] ชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอางอิงถึงเจาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ในกรณีเอาต์จะต่อกับอินพุตของ TTL ตระกูล LS ได้4 ตัวเมื่อต้องการใช้เป็นอินพุตต้องเริ่มต้นด้วยการส่งค่าลอจิก 1 ออกไปที่พอร์ตนี้ก่อนเพื่อทำให้เกิดพูลอัพภายในเมื่อมีสัญญาณอินพุตเป็น 0 เข้ามาจะทำให้พอร์ตจ่ายกระแสออกเนื่องจากมีการพูลอัพอยู่ภายในนอกจากนี้พอร์ต P1 ยังทำหน้าที่รับตำแหน่งด้านต่ำในช่วงของการโปรแกรม EPROM ช่วงการตรวจสอบโปรแกรม ใน ROM หรือ EPROM อีกด้วย
Port2	เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตแบบ 2 ทางขนาด 8 บิต ที่มีพูลอัพอยู่ภายในในกรณีเอาต์พุตจะต่อกับอินพุตของ TTL ตระกูล LS ได้4ตัว เมื่อต้องการทำเป็นอินพุตต้องเริ่มต้นด้วยการส่งค่าลอจิก 1 ออกไปที่พอร์ตก่อนเพื่อทำให้เกิดการพูลอัพภายในเมื่อสัญญาณอินพุตเข้ามาเป็น0 จะทำให้พอร์ต P2 จ่ายกระแสออกเนื่องจากการพูลอัพภายใน ในระหว่างการติดต่อกับโปรแกรมภายนอกหรือการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกที่มีการอ้างตำแหน่งแบบ 16 บิต พอร์ตP2 จะส่งตำแหน่งไบต์สูงออกไป ซึ่งการทำงานในลักษณะนี้จะมีการพูลอัพภายในอยู่ในช่วงของการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกที่ใช้อ้างตำแหน่งแบบ 8 บิต สัญญาณที่ขาพอร์ต P2 จะมีค่าเท่ากับรีจีสเตอร์ P2 ที่อยู่ใน SFR นอกจากนี้ พอร์ต P2 ยังทำหน้าที่รับตำแหน่งไบต์สูงในช่วงของการโปรแกรม EPROM และการตรวจสอบโปรแกรมใน ROM และ EPROM
Port3	เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต 2 ทางขนาด 8 บิต ที่มีพูลอัพอยู่ภายใน ในกรณีเอาต์พุตสามารถต่อเข้ากับอินพุตของ TTL ตระกูล LS ได้ 4 ตัว เมื่อต้องการทำเป็นอินพุตต้องเริ่มต้นด้วยการส่งค่าลอจิก 1 ออกไปที่พอร์ตก่อนเพื่อทำการพูลอัพภายใน เมื่อสัญญาณอินพุตเข้ามาเป็น 0 จะทำให้พอร์ต P3 จ่ายกระแสออกเนื่องจากการพูลอัพภายใน

4.5 การจัดหน่วยความจำของ MCS-51

การจัดหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะจัดแบ่งหน่วยความจำออกเป็น 3 กลุ่ม

4.5.1 หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม (Program Memory)

หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม จะเป็นที่เก็บชุดคำสั่งต่างๆ และข้อมูลที่โปรแกรมใช้งานภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ มีหน่วยความจำที่เก็บโปรแกรมได้ 4 Kbytes ซึ่งหน่วยความจำจะเป็นลักษณะของ ROM ในการใช้งานสามารถเก็บโปรแกรมเข้าในตัว

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ทำให้ประหยัดการใช้หน่วยความจำภายนอกก็ได้ โดยมีจำนวนข้อมูลทั้งหมด 64Kbytes การเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเลือกได้ 2 แบบ คือ เลือกใช้หน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ รวมกับหน่วยความจำภายนอก หรือเราสามารถที่จะใช้หน่วยความจำภายนอกได้ ทั้งหมด เป็น 64Kbytes เลยก็ได้

4.5.2 หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory)

หน่วยความจำข้อมูลทำหน้าที่เก็บข้อมูลต่าง ๆ ในขณะที่โปรแกรมทำงานและหน้าที่เป็นสแตกบางส่วน ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะมีหน่วยความจำภายในและภายนอก ซึ่งในหน่วยความจำภายในจะมีขนาด 128ไบต์

พื้นที่ในตำแหน่ง 00H – 1FH จำนวน 32 ไบต์ จะแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มที่เรียกว่า แบงค์ ในแต่ละแบงค์มี 8 ตำแหน่ง พื้นที่ในแต่ละแบงค์จะถูกใช้เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้งานทั่วไป

ตารางตำแหน่งของรีจิสเตอร์ R0-R7 ในแบงค์ต่างๆ

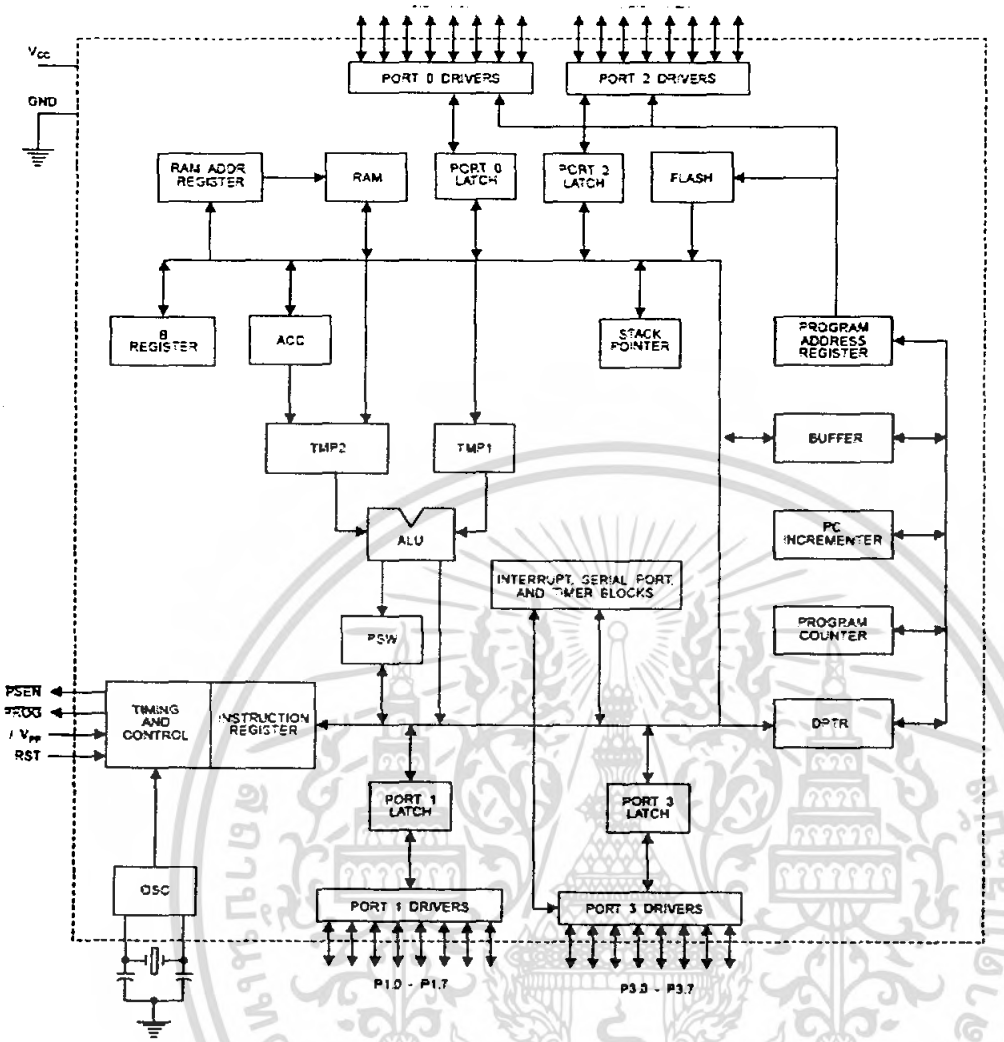
รีจิสเตอร์แบงค์	รีจิสเตอร์	ตำแหน่ง
0	R0 - R7	00-07
1	R0 - R7	08-0F
2	R0 - R7	10-17
3	R0 – R7	18-1F

การเลือกตำแหน่งใช้งานของรีจิสเตอร์ R0-R7 จะกำหนด R0-R7 จากบิต RS0 และ RS1 ที่อยู่ในตัวรีจิสเตอร์ PSW

พื้นที่ในตำแหน่ง 20H – 2FH เป็นส่วนที่สามารถใช้งานในลักษณะไบต์หรือบิตได้ เราสามารถอ้างตำแหน่งแบบบิตได้โดยตรง ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 128 บิต ตำแหน่งของบิต คือ 00H – 7FH โดยตำแหน่งแบบบิต 00 คือข้อมูลของบิตต่ำสุดในตำแหน่ง 20H ตำแหน่งของบิต 7FH การใช้การอ้างตำแหน่งแบบบิต จะทำให้การทำงานได้รวดเร็วขึ้น ซึ่งเป็นสมบัติของไมโครลคอนโทรลเลอร์ ที่ถูกออกแบบมาเพื่อควบคุมโดยเฉพาะ

พื้นที่บริเวณตำแหน่ง 30H-7FH เป็นพื้นที่ที่ใช้งานทั่วไปการติดต่อกับข้อมูลในตำแหน่งต่างๆ ในส่วนนี้สามารถอ้างตำแหน่งข้อมูลได้ลักษณะของไบต์เท่านั้น ในพื้นที่ส่วนนี้เราอาจใช้เป็นแสดกก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 Block Diagram ของ MCS-51 เบอร์ AT89C51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การส่งสัญญาณข้อมูลดิจิตอลโดยการมอดูเลต

5.1 หลักการส่งสัญญาณข้อมูลดิจิตอลโดยการมอดูเลต

การสื่อสารในปัจจุบันได้นิยมนำเอาการ มอดูเลตสัญญาณแบบดิจิตอลมอดูเลชั่นมาใช้กันแบบแพร่หลายเพราะว่าระบบดิจิตอลให้ค่าความแน่นอนน่าเชื่อถือสูงกว่าระบบอนาลอก และมีการรบกวนอันเนื่องมาจากสัญญาณต่ำ ซึ่งในระบบปัจจุบันนี้ อุปกรณ์ต่างๆ ในด้านดิจิตอล ได้มีการพัฒนาก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว ทำให้ต้นทุนการผลิตอุปกรณ์ต่ำลง และนอกจากนี้แล้วระบบดิจิตอลมอดูเลชั่น ยังสามารถทำการเข้ารหัส ก่อนทำการมอดูเลตแล้วทำการถอดรหัส หลังการดีมอดูเลต ทำให้การส่งข้อมูลมีความผิดพลาดน้อยลงในการมอดูเลชั่นทางดิจิตอลมีด้วยกัน 3 แบบ ใหญ่ๆ คือ

1. การเปลี่ยนขนาดของสัญยาณตามสัญญาณดิจิตอล (Amplitude Shift Keying , ASK)
2. การเปลี่ยนความถี่ตามสัญญาณดิจิตอล (Frequency Shift , FSK)
3. การเปลี่ยนเฟสตามสัญญาณดิจิตอล (Phase Shift Keying , PSK)

5.1.1 การเปลี่ยนแปลงขนาดตามสัญญาณดิจิตอล (Amplitude Shift Keying , ASK)

รูปคลื่นที่ได้จากการมอดูเลตสัญญาณแบบดิจิตอลเปลี่ยนขนาดตามสัญญาณที่ได้ ตามระดับของสัญญาณดิจิตอลที่เปลี่ยนแปลงไป ที่ระดับดิจิตอลมีสถานะเป็นลอจิก 0 สัญญาณพาหะที่ได้จะมีขนาดอยู่ในระดับที่ต่ำ และถ้าสัญญาณที่ได้เป็น 1 สัญญาณพาหะที่ได้จะอยู่ในระดับที่สูง วงจรที่ใช้มอดูเลตเป็นวงจรที่ง่าย ราคาถูกแต่ข้อเสียคือวงจรทางภาคดีมอดูเลตจะเกิดความผิดพลาดได้ง่าย อันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนที่จะมีผลต่อขนาดของสัญญาณ และทางภาครับยังต้องมีวงจรชดเชยการลดทอนของสัญยาณในสายอัตโนมัติ และอัตราการส่งข้อมูลอยู่ที่ระดับต่ำ

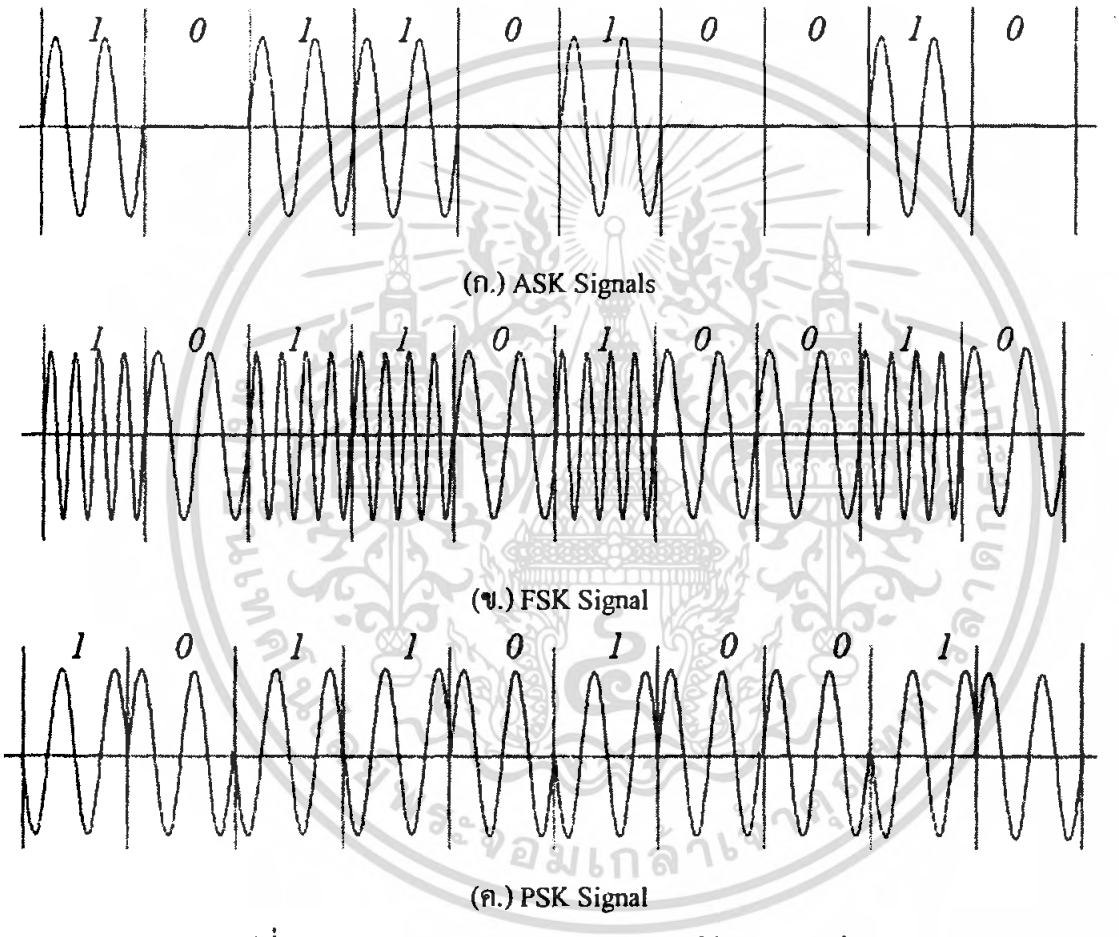
5.1.2 การเปลี่ยนความถี่ตามสัญญาณดิจิตอล (Frequency Shift Keying , FSK)

รูปคลื่นสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตแบบนี้ จะเป็นการเปลี่ยนความถี่ตามสัญญาณดิจิตอล ถ้าสัญญาณดิจิตอลเป็น 0 หรือ 1 สัญญาณคลื่นพาหะที่ได้จะมีความถี่ที่ต่างกัน อัตราการส่งข้อมูลจะมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงกว่า เอ.เอส.เค เล็กน้อย สำหรับการส่งสัญญาณในสายที่มีแบนด์วิดท์ ไม่เกิน 3.4 KHz จะสามารถส่งอัตราบิดเลตได้ไม่เกิน 1200 บิดต่อวินาทีและวงจรยังมีส่วนประกอบของวงจรที่ง่ายและมีเสถียรภาพต่อสัญญาณรบกวนได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 การเปลี่ยนเฟสตามสัญญาณดิจิตอล (Phase Shift keying , PSK)

รูปคลื่นพาหะที่ได้จะมีการเปลี่ยนเฟสตามสัญญาณดิจิตอล จะส่งสัญญาณที่ความถี่เดียวกัน แต่เฟสของสัญญาณจะต่างกันตามสัญญาณดิจิตอลที่เข้ามา 0 กับ 1 มีเฟสต่างกันอยู่ 180 องศา วงจรของภาครับและภาคส่งข้อมูลจะมีความยุ่งยากมาก และ ราคาสูง แต่ข้อดีก็คือสามารถส่งอัตราข้อมูลได้สูงกว่า 1200 บิตต่อวินาที แต่ความเสถียรภาพที่มีต่อสัญญาณรบกวนยังไม่ดี



รูปที่ 5.1 แสดงการมอดดูเลตของสัญญาณดิจิตอลแบบต่างๆ

จากที่กล่าวมาการส่งสัญญาณแบบ FSK จะมีเสถียรภาพต่อสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า ASK และ PSK แต่การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าไม่จำเป็นจะต้องใช้อัตราการส่งข้อมูลที่สูงมากนัก แต่ถ้าต้องการความเสถียรภาพต่อสัญญาณที่สูงดังนั้นเราจึงเลือกใช้การส่งข้อมูลแบบ ASK

การมอดูเลตแบบ FSK ที่ใช้จะใช้ความถี่อยู่ 2 ความถี่ ที่สถานะลอจิก 1 ใช้ ความถี่ 125KHz เป็นความถี่มาร์ค และที่สถานะลอจิก 0 ใช้ความถี่ 115KHz เป็นความถี่สเปซ อัตราการส่งข้อมูลทางอินพทเรียกว่าอัตราบิต โดยมีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที และอัตราการรับข้อมูลทางด้านรับเรียกว่าอัตรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บอด ดังนั้น การส่งสัญญาณในอัตราบิตและอัตราบอดจะต้องเท่ากันเสมอสัญญาณที่ลอจิก 0 เป็น 1ω และที่ลอจิก 1 ให้เป็น 2ω และเราก็จะได้สมการมอดูเลตแบบ FSK ตามสมการดังต่อไปนี้

$V(t) = ACos(\omega c \pm \omega)t$

A = ขนาดของสัญญาณ SK

$\omega c = 2\pi Fc$

$\Delta\omega$ = ความถี่เบี่ยงเบนของความถี่มาร์คและความถี่สเปซ

t = เวลา มีหน่วยเป็น วินาที

5.2 การมอดูเลตสัญญาณดิจิตอลทางความถี่ (FSK Modulator)

การมอดูเลตสัญญาณดิจิตอลทางความถี่ คือการมอดูเลตทางความถี่ของคลื่นพาห์ โดยความแตกต่างของความถี่ คลื่นพาห์จะบอกถึงค่าของข้อมูลดิจิตอลการมอดูเลตสัญญาณดิจิตอลทางความถี่ (FSK Modulator) จะทำการเปลี่ยนข้อมูลดิจิตอลแบบอนุกรมเป็นคลื่นไซน์อนาล็อก โดยความถี่สูงแทนลอจิก 1 หรือความถี่มาร์ค และความถี่ต่ำแทนลอจิก 0 หรือความถี่สเปซ โดยป้อนข้อมูลดิจิตอลเข้าสู่ FSK Generator ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนข้อมูลดิจิตอลเป็นความถี่คลื่นไซน์อนาล็อกตามระดับของลอจิกของสัญญาณดิจิตอล

การทำงานจะมีวงจรกำเนิดความถี่ 2 วงจรคือ วงจรผลิตความถี่สูงและผลิตความถี่ต่ำ ในการดำเนินสัญญาณ FSK เบื้องต้นนั้นเราจะใช้สวิทซ์ในการ เปิด/ปิด ความถี่ดังรูปข้างบน โดยสัญญาณดิจิตอล 1 จะถูกแทนด้วยความถี่สูง และสัญญาณดิจิตอลลอจิก 0 จะถูกแทนด้วยความถี่ต่ำ จากนั้นจะส่งมารวมกันให้เป็นสัญญาณ FSK ส่งออกไปยังวงจรภาคต่อไป

5.3 ทฤษฎีในการส่งข้อมูลอนาลอกและดิจิตอล

เวลาส่งผ่านข้อมูลไปในสื่อที่จะเป็นรูปแบบของสัญญาณแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ Analog และ Digital ก่อนที่จะส่งต้องมีการแปลงสัญญาณให้อยู่เป็นแบบ 0 และ 1 ก่อนจะส่งต้องมีการแปลงสัญญาณเป็น Digital ก่อน ถึงจะส่งได้ (เรียกว่า Digital to Digital) บางครั้งต้องการแปลงเป็น Analog ให้อยู่ในรูปแบบของสัญญาณ Digital เพื่อคุณภาพสัญญาณที่ดี (เรียกว่า Digital to Analog) บางครั้งอาจจะแปลงสัญญาณ Digital เป็น Analog เพื่อส่งข้อมูลลงสายโทรศัพท์ เช่น Modem

ในบางเวลาอาจมีการเปลี่ยน Analog ให้อยู่ในรูปของสัญญาณ Analog เพราะความถี่ไม่เหมาะสมที่จะส่งไปหรือความถี่ต่ำไปเช่นสัญญาณวิทยุ

การแปลงสัญญาณ มี 4 กระบวนการคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแปลงสัญญาณ มี 4 กระบวนการคือ

1. digital data , digital signals
2. analogs data , digital signals
3. digital data , analog signal
4. analog data , analog signal

Digital to Digital

เป็นการเปลี่ยนข้อมูลในระดับบิตไปเป็นสัญญาณดิจิตอล เช่น ในการส่งข้อมูลจาก Computer ไป Printer ทำโดยการเอาบิต 1 และ บิต 0 มาใส่พลังงานไฟฟ้า แล้วกระจายลงในสายสัญญาณให้เป็น Pulse

Analog to Digital

ในบางครั้งเราต้องการแปลงสัญญาณ Analog เป็น Digital เช่นเสียงคนที่ต้องส่งในระยะทางไกล เราจะต้องแปลงเสียงเป็น Digital เสียก่อนเช่นนี้เรียกว่า Analog to digital เป็นการแปลงสัญญาณอนาลอกไปเป็นสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การออกแบบวงจรและการทดลอง

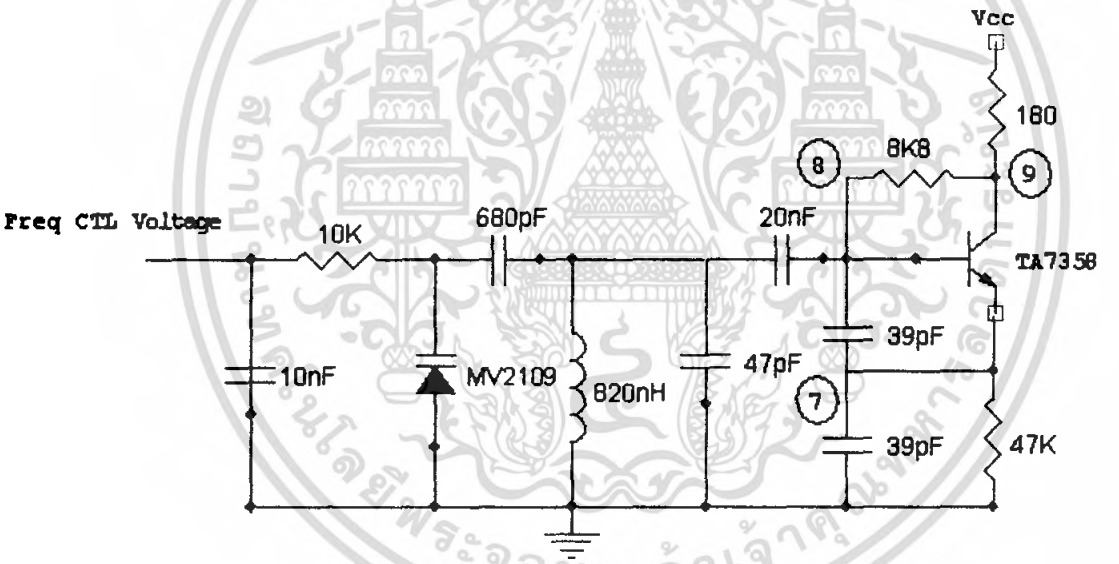
6.1 การออกแบบ

ในการออกแบบวงจรทั้งหมดจะมีส่วนของโลคอลออสซิลเลเตอร์ วงจรโลว์พาสฟิลเตอร์ สำหรับภาคเฟสดีเทคเตอร์เพื่อกำหนดความถี่ที่จะผ่านเข้าไปไบอัสให้กับวาริแคปไดโอดด้วย นอกจากนี้วงจรโลว์พาสฟิลเตอร์ต้องสามารถกำจัดริปเปิลที่เกิดขึ้น ณ เอาท์พุตได้อีกด้วย

6.1.1 การออกแบบ VCO ของภาครับ

Fmin = 15.443 (15.775) MHz

Fmax = 16.412 (16.125) MHz



รูปที่ 6.1 วงจร VCO ภาครับ

6.1.2 การออกแบบวงจร LPF

วงจรกรองความถี่ต่ำสำหรับเอาท์พุตจากเฟสล็อคลูปเป็นวงจรสังเคราะห์ความถี่สำหรับที่ความถี่สูงจะมีการต่อค่า C เพิ่มขึ้นด้วย

ความถี่เอาท์พุตอยู่ในช่วง : Fout = 15.775 MHz – 16.125 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fout = Fref · NT : NT = NP + A

Prescale Factor P = 1 , A = 0

N Range = 1262 - 1290

NT = 1262 - 1290

PD Type : 3 STATES PFD

PD output = 5 V

Kd = 0.397 V/Rad

Fvco min = 15.71 MHz at which 2.00 V

Fvco max = 16.166 MHz at which 4.00 V

$$Kvco = \frac{2\pi \Delta Fvco}{\Delta Vvco} = 6.088 \frac{Mrad/\sec}{v}$$

Pull out range : $\Delta\omega po$ (1),(2) : $\Delta\omega po$ max is the dyamic limit of stable operation of the PLL The PLL will unlock if a frequency step is larger than $\Delta\omega po$ max

*EX-OR or Multiplier PD $\Delta\omega po$ max is depend on $\Delta\omega n$ and δ of the PLL

*All Types PFD $\Delta\omega po$ max are as large as $\Delta Fvco$

$$\Delta\omega max \text{ at PD} = \frac{2\pi(Fo\max)}{NT\min} - Fref = 1.742 \frac{Krad}{\sec}$$

$$\Delta\omega po \text{ at PD} \leq \Delta\omega max \text{ at PD} < 2\pi Fref$$

Let $\Delta\omega po = 1 \frac{Krad}{\sec}$

Let Damping : $\delta = 1.14$

Natural Freg : $\Delta\omega n$

$$\Delta\omega n = \begin{cases} \Delta\omega po / (2.46(\delta+0.5)) & \text{EX-OR} \\ \Delta\omega po / (5.78(\delta+0.5)) & \text{JK FF PD} \\ \Delta\omega po / (11.55(\delta+0.5)) & \text{All type PFD} \end{cases}$$

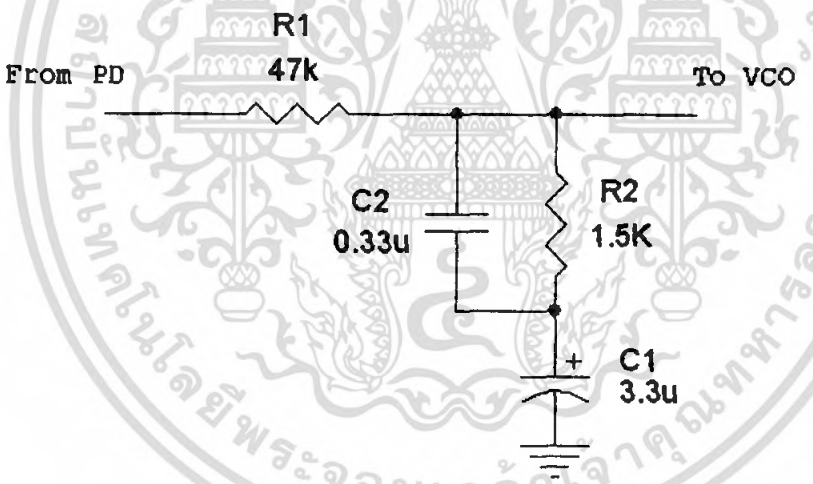
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Optimization of Damping

Condition	δ
Minimize Noise BW	0.5
Minimize Pull in Time	0.707
Maximize sweep Rate	0.7-1.0
Maximize Pull out	0.81
Minimize Flicker – jitter	1.14

จะได้ ว่า $\omega_n = 52.8$

PASSIVE Loop LPF



รูปที่ 6.2 LPF ภาครับ

$$\omega_{p2} \geq \omega_z$$

$$F(s) = \frac{\omega_{p1}\omega_{p2}}{\omega_z} \times \frac{s + \omega_z}{(s + \omega_{p1})(s + \omega_{p2})}$$

$$\omega_{p1} = \frac{1}{\tau_1 + \tau_2} = \frac{1}{C_1(R_1 + R_2)}$$

$$\omega_z = \frac{1}{\tau_2} = \frac{1}{R_2 C_1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\omega_{p2} = \frac{1}{(R\omega_{p2})(C_2)} \quad , \quad R\omega_{p2} = R_1 // R_2$$

$$\tau_1 + \tau_2 = \frac{K}{(\omega_n)^2(N_T)} = 16.06\text{ms}$$

$$\tau_2 = \frac{2\delta}{\omega_n} = 4.318\text{ms}$$

$$\tau_1 = (\tau_1 + \tau_2) - \tau_2 = 156.282\text{ms}$$

ใช้ค่า $C_1 = 3.3\mu F$

$$R_1 = \frac{\tau_1}{C_1} = 47.35\text{k}\Omega$$

เลือกใช้ $R_1 = 47\text{k}\Omega$

$$R_2 = \frac{\tau_2}{C_1} = 1.308\text{k}\,\Omega$$

เลือกใช้ $R_2 = 1.5\text{k}\,\Omega$

$$\omega_{p1} = \frac{1}{C_1(R_{1a} + R_{1b} + R_2)} = 6.226\frac{\text{Rad}}{\text{sec}} \quad ; \quad \omega_z = \frac{1}{R_2 C_1} = 202.02\frac{\text{Rad}}{\text{sec}}$$

$$10\omega_z \le \omega_{p2} \le 0.1\omega_{ref}$$

เลือกใช้ $\omega_{p2} = 2.02\text{k}\frac{\text{Rad}}{\text{sec}}$

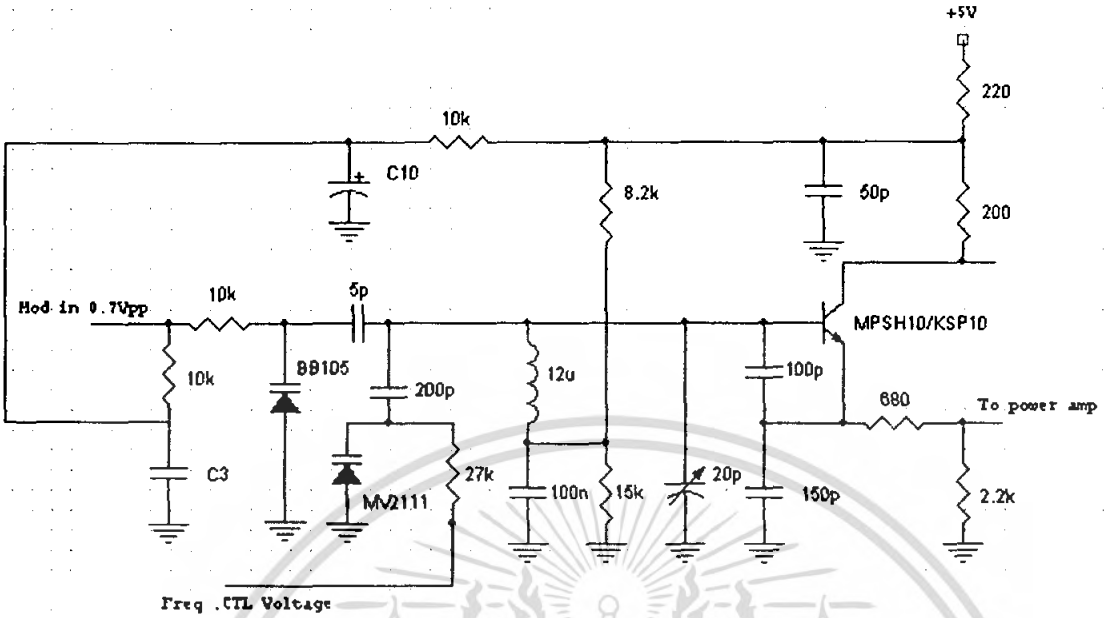
$$R\omega_{p2} = R1//R2 = 1.453\text{k}\Omega \quad , \quad C_2 = \frac{1}{(\omega_{p2} R\omega_{p2})} = 0.346\mu F$$

เลือกใช้ C2 = 0.33 μF

$$\omega_{p2} = \frac{1}{C_2 R\omega_{p2}} = 2.02k\frac{\text{Rad}}{\text{sec}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 การออกแบบวงจร VCO ของภาคส่ง



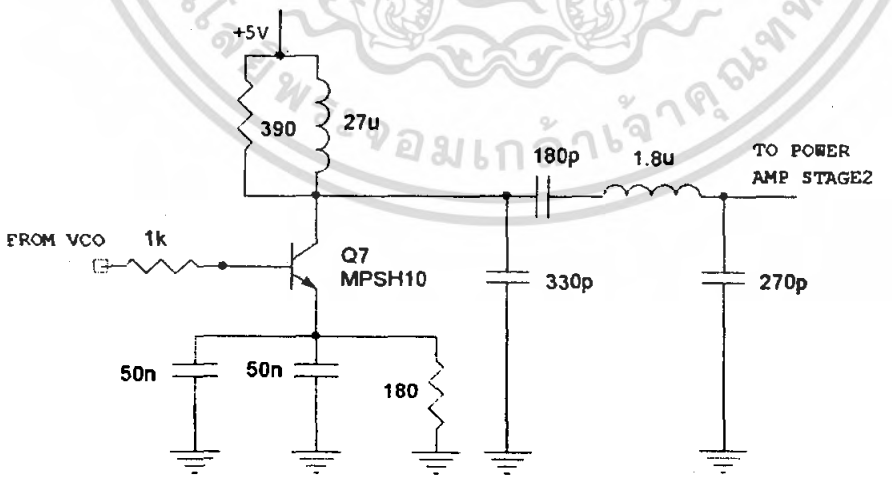
รูปที่ 6.3 VCO ของภาคส่ง

Fmin = 4.900[5.075] Mhz

Fmax = 5.600 [5.425] Mhz

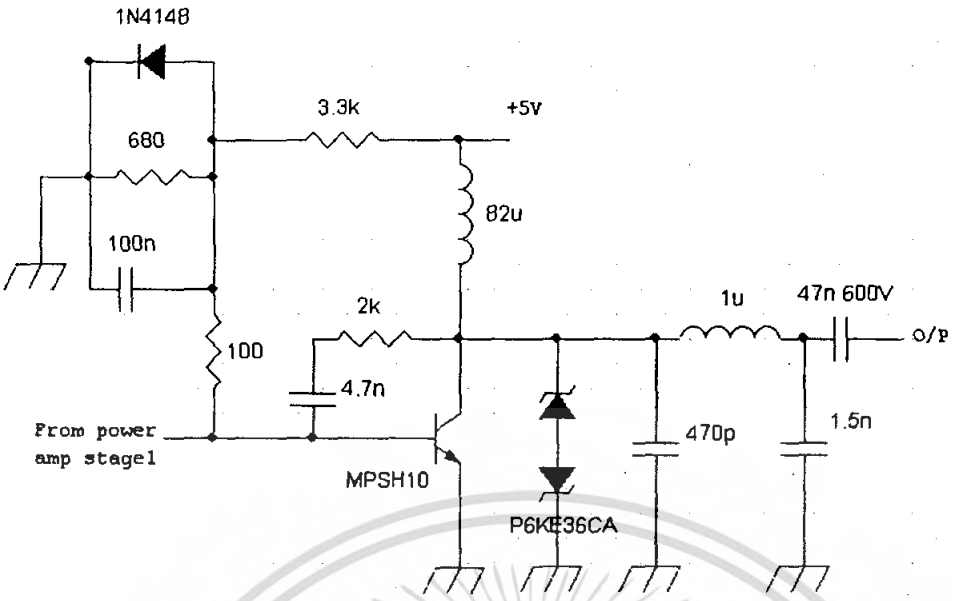
MOD Deviation = 4.0 KHz

6.2.1 การออกแบบวงจรขยายสัญญาณ



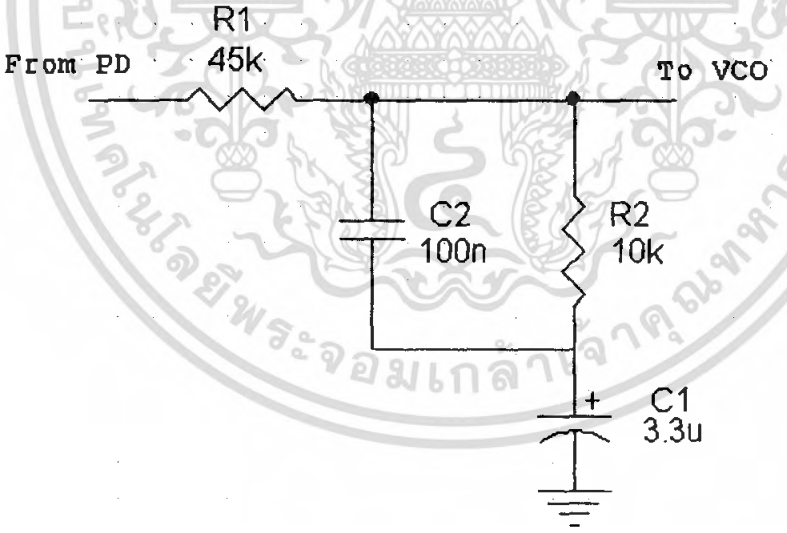
รูปที่ 6.4 วงจร Power amp stage 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5 วงจร Power amp stage 2

6.2.2 การออกแบบวงจรโลว์พาสฟิวเตอร์ร่วมกับเอาท์พุตจากเฟสล็อกลูป



รูปที่ 6.6 LPF ภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design Parameters

Kd = 0.397 V/Rad : Kvco = 0.932 M $\frac{Rad/Sec}{V}$

K = (Kd)(Kvco) = 370.004 K Sec^{-1}

Fref = 12.5KHz = 78.54K Rad/Sec

$N_{TMAX} = 434$, $N_{TMIN} = 406$

$\omega_n = 69.63\ Rad/Sec$: $\delta = 1.14$

For $\omega p2 \geq \omega z$

$$F(s) = \frac{\omega_{p1}\omega_{p2}}{\omega_z} \times \frac{s + \omega_z}{(s + \omega_{p1})(s + \omega_{p2})}$$

$$\omega_{p1} = \frac{1}{\tau_1 + \tau_2} = \frac{1}{C_1(R_1 + R_2)}$$

$$\omega_z = \frac{1}{\tau_2} = \frac{1}{R_2 C_1}$$

$$\omega_{p2} = \frac{1}{(R\omega_{p2})(C_2)}, R\omega_{p2} = R_1 // R_2$$

$$\tau_1 + \tau_2 = \frac{K}{(\omega_n)^2 (N_T)} = 0.181s$$

$$\tau_2 = \frac{2\delta}{\omega_n} = 0.032s$$

$$\tau_1 = (\tau_1 + \tau_2) - \tau_2 = 0.149s$$

ใช้ค่า C1 = 3.3 μF

$R_1 = \frac{\tau_1}{C_1} = 45151.51\Omega$ เลือกใช้ R1 = 45 kΩ

$R_2 = \frac{\tau_2}{C_1} = 9696.96\,\Omega$ เลือกใช้ R2 = 1.5 kΩ

$$\omega_{p1} = \frac{1}{C_1(R_{1a} + R_{1b} + R_2)} = 5.509 \frac{\text{Rad}}{\text{sec}}, \qquad \omega_z = \frac{1}{R_2 C_1} = 30.03 \frac{\text{Rad}}{\text{sec}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$10\omega_z \le \omega_{p2} \le 0.1\omega_{ref}$$

เลือกใช้ ω_{p2} = 1.22 kRad/Sec

$$R\omega_{p2} = R1//R2 = 8.181k\Omega \ , \ C_2 = \frac{1}{(\omega_{p2}R\omega_{p2})} = 100nF$$

เลือกใช้ C2 = 100nF

$$\omega_{p2} = \frac{1}{C_2R\omega_{p2}} = 1.22k\frac{Rad}{sec}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
ผลการทดลองและสรุป

ผลการทดลอง

จากโปรเจคที่ได้ลงมือสร้างนี้จะเป็นส่วนของภาครับ ซึ่งประกอบไปด้วย วงจรเฟสล็อกลูป ซึ่งในการทำโปรเจคนี้ได้ใช้ไอซีที่ทำหน้าที่นี้โดยเฉพาะ คือ ไอซีเบอร์ MC 145162 รวมทั้งยังได้สร้างวงจรที่ทำหน้าที่ถอดรหัส และวงจรภาคแรกที่รับสัญญาณ RF ในย่านความถี่ ตั้งแต่ 5.075 MHz – 5.425 MHz ซึ่งในภาคนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในตระกูล MCS-51 ในการควบคุม และจากการทดลองวงจรโลคอลออสซิลเลเตอร์ ซึ่งใช้แรงดันป้อนเข้าที่อินพุท เพื่อดูผลตอบสนองของความถี่ที่โลคอลออสซิลเลเตอร์จะผลิตได้ ปรากฏว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ได้ออกแบบไว้คือ เมื่อป้อนแรงดันซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 2V – 4V ให้กับวงจร ตัววงจร โลคอลออสซิลเลอร์เตอร์เองจะผลิตความถี่ที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ ในช่วง 15.71MHz - 16.166 MHz ซึ่งความถี่ที่ทดลองได้นี้ถือได้ว่าครอบคลุมความถี่ที่ใช้งาน คือ ในช่วง 15.774 MHz – 16.124 MHz และเมื่อทำต่อวงจร VCO จริงๆให้กับ วงจรโลคอลออสซิลเลอร์เตอร์ ก็ปรากฏว่าผลที่ได้นั้นเป็นไปตามการออกแบบคือ โลคอลออสซิลเลอร์เตอร์กับเฟสล็อกลูป เพื่อดูการทำงาน ผลที่ได้คือ วงจรโลคอลออสซิลเลอร์เตอร์ทำงานได้สอดคล้องกับเฟสล็อคลูป คือ เราสามารถกำหนดช่องสัญญาณได้จากโปรแกรม ไอซี MC145162 โดยผ่านการควบคุมของ ไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

จากการทดลองวงจรเฟสล็อกลูป โดยใช้ ไอซีเบอร์ MC 145162 ในการหารความถี่ โดยใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 ทำหน้าที่ในการโปรแกรมให้กับ ไอซีเบอร์ MC 145162 ว่าจะให้ ไอซี หารค่าเท่าใด ค่า F_{ref} =12.5kHz

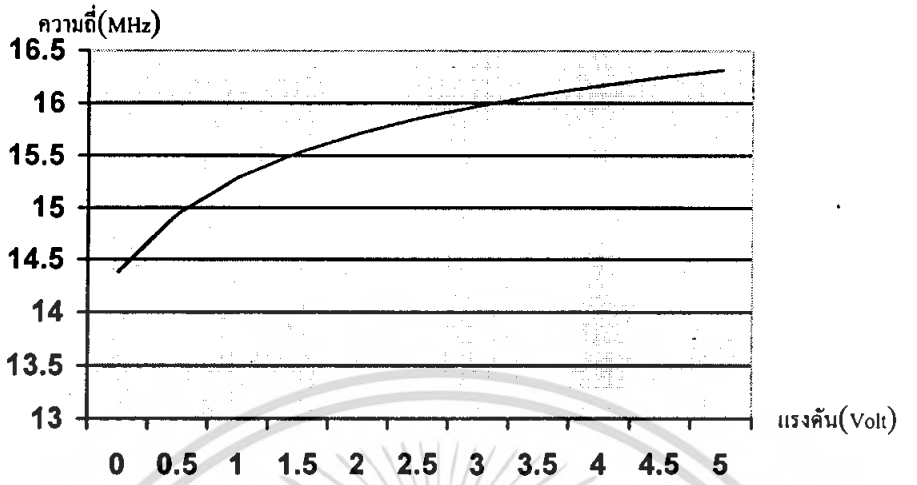
ตารางแสดงความถี่ของ VCO ที่ผลิตความถี่ได้

Chanal	หาร N	Fo จาก scope(MHz)	Fo จากคำนวณ (MHz)	% ค่าผิดพลาด
1	1262	15.774	15.775	0.006
2	1276	15.949	15.950	0.006
3	1290	16.124	16.125	0.006

ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความถี่ของ VCO ภาครับ

แรงดัน(โวลต์)	ความถี่(MHz)
0.00	14.388
0.50	14.942
1.00	15.289
1.50	15.531
2.00	15.71
2.50	15.855
3.00	15.976
3.50	16.078
4.00	16.166
4.50	16.244
5.00	16.312

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

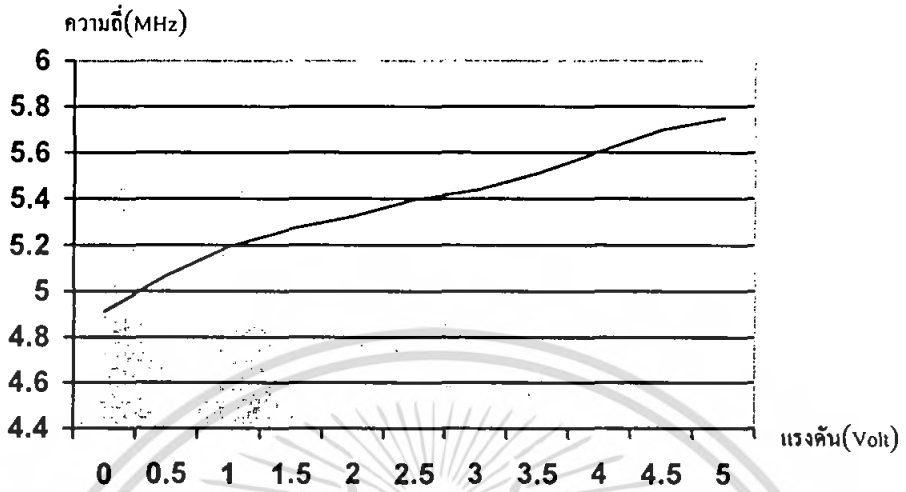


ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความถี่ของ VCO ภาครับ

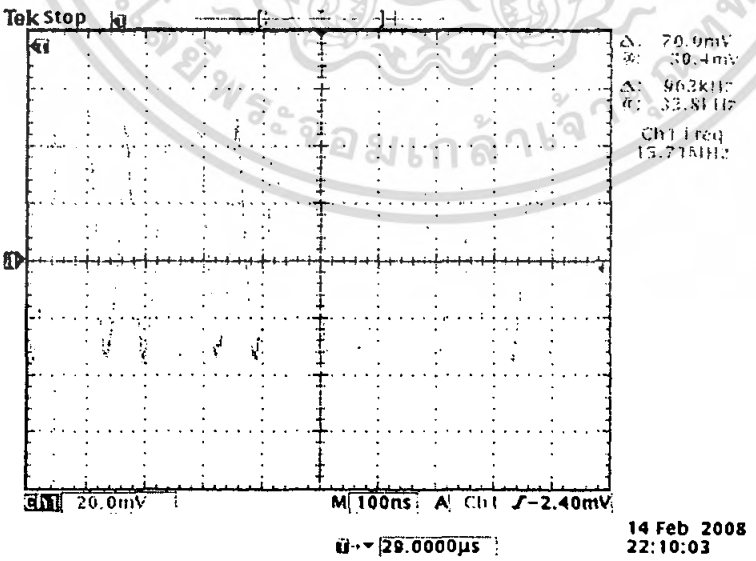
ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความถี่ของ VCO ภาคส่ง

แรงดัน(โวลต์)	ความถี่(MHz)
0	4.911
0.50	5.066
1.00	5.194
1.50	5.271
2.00	5.325
2.50	5.397
3.00	5.437
3.50	5.512
4.00	5.603
4.50	5.697
5.00	5.749

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

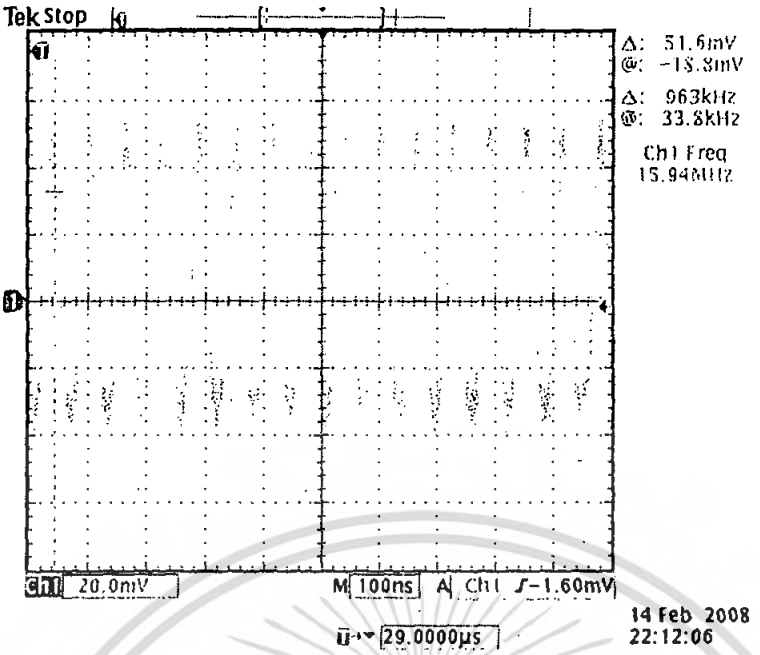


ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความถี่ของ VCO ภาคส่ง

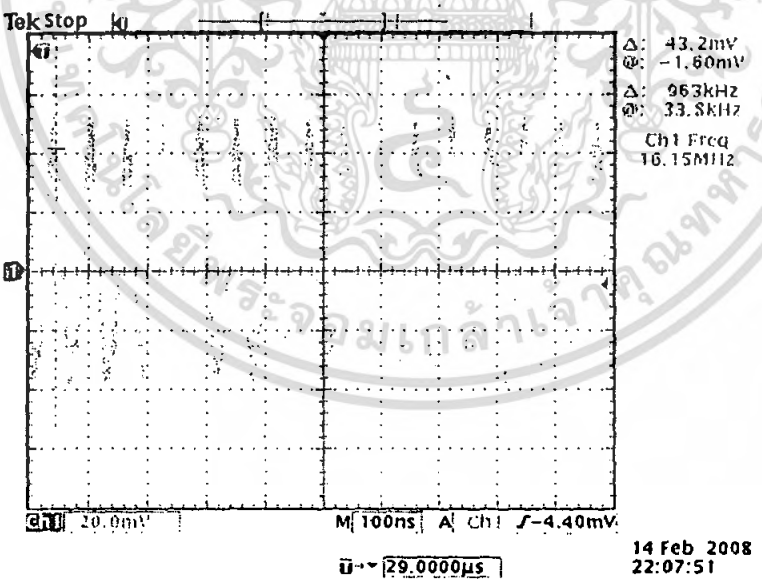


รูปที่ 1. วัดที่ความถี่ 15.75 Mhz (ภาครับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

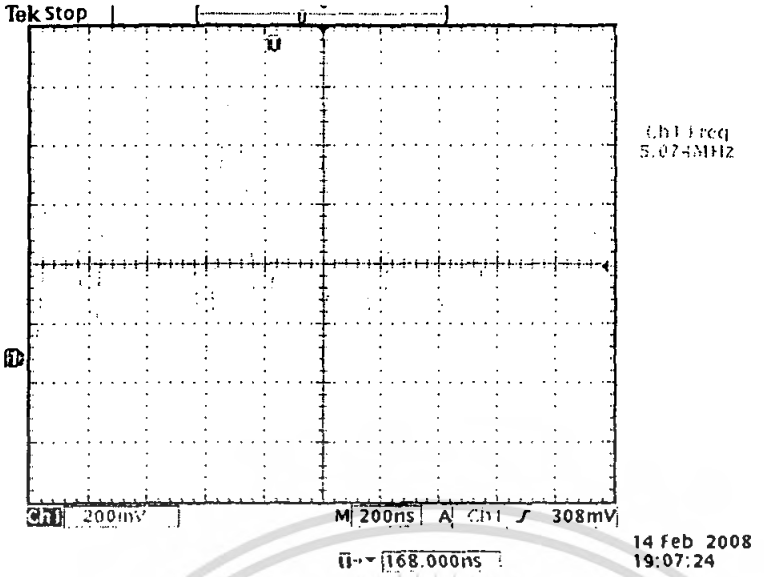


รูปที่ 2. วัดที่ความถี่ 15.95 Mhz (ภาครับ)

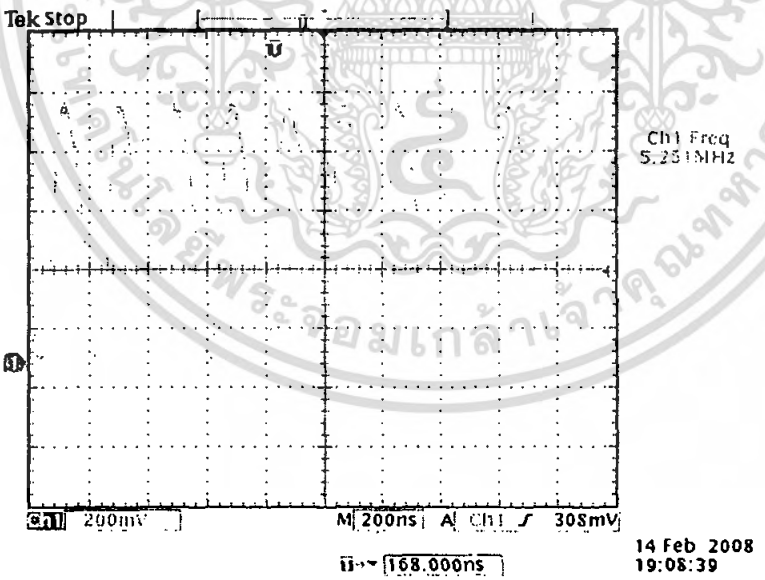


รูปที่ 3. วัดที่ความถี่ 16.125 Mhz (ภาครับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

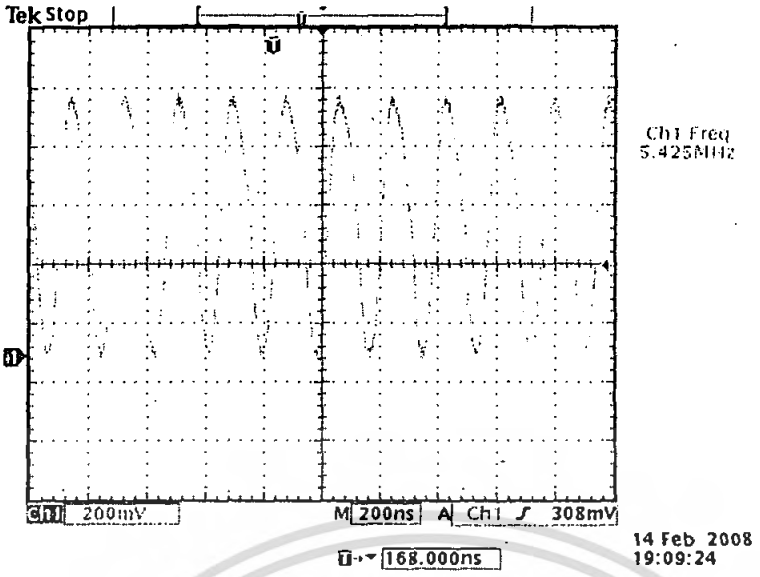


รูปที่ 4. วัดที่ความถี่ 5.075 Mhz (ภาคส่ง Power amp stage1)

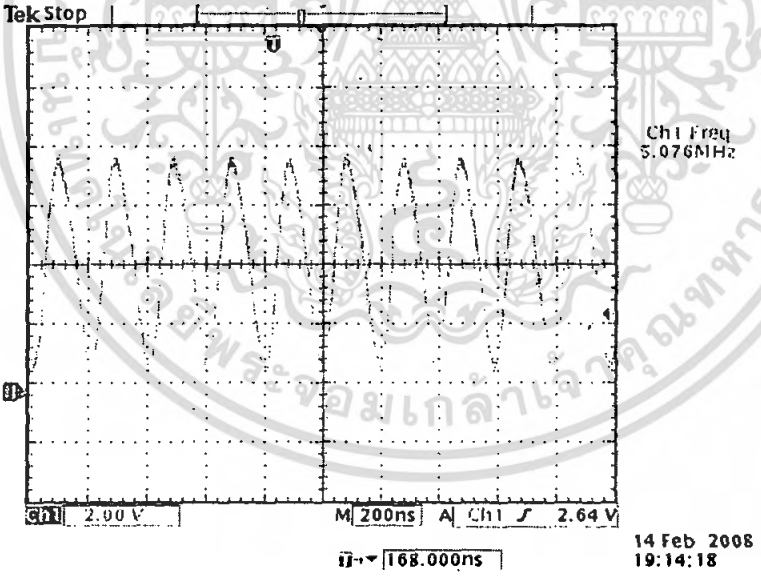


รูปที่ 5. วัดที่ความถี่ 5.25 Mhz (ภาคส่ง Power amp stage1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

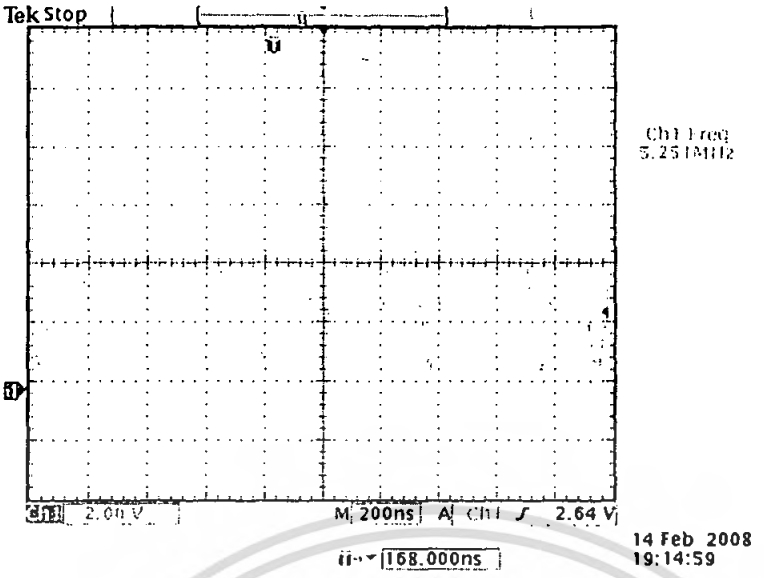


รูปที่ 6. วัดที่ความถี่ 5.425 Mhz (ภาคส่ง Power amp stage1)

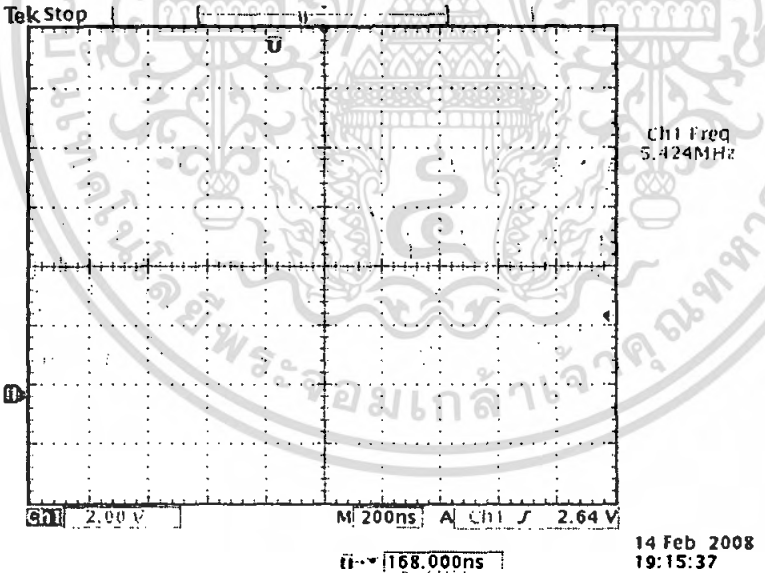


รูปที่ 7. วัดที่ความถี่ 5.075 Mhz (ภาคส่ง Power amp stage2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8. วัดที่ความถี่ 5.25 Mhz (ภาคส่ง Power amp stage2)



รูปที่ 9. วัดที่ความถี่ 5.425 Mhz (ภาคส่ง Power amp stage2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาและอุปสรรคในการทดลอง

1. ในการทดลองนี้ เนื่องจากทางผู้จัดทำมีประสบการณ์ทางด้านในการต่อวงจรยังไม่มากเท่าที่ควร จำเป็นจะต้องมีประสบการณ์ในด้านการต่อวงจรพอสมควร จึงทำให้ใช้เวลาในการศึกษาเป็นเวลานาน
2. ในการคำนวณค่าอุปกรณ์ต่างๆ มักจะได้ ค่า ออกมาเป็นทศนิยม ซึ่งในความเป็นจริง ไม่มีอุปกรณ์ที่ละเอียดได้เท่ากับที่คำนวณ จึงต้องมีการปรับเปลี่ยนค่าในอุปกรณ์บางตัว เพื่อให้วงจรทำงานได้ตามปกติ
3. การศึกษาข้อมูลในไอซี จำเป็นต้องมีความรู้ทางด้านภาษา จึงทำให้ผู้จัดทำเสียเวลาในการทำความเข้าใจในไอซีแต่ละเบอร์เป็นเวลานาน
4. เนื่องจากอุปกรณ์ต่างๆมีจำนวนจำกัด และจะต้องสลับกันใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ประภากร สุวรรณะ. การสื่อสารความถี่สูง.กรุงเทพมหานคร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
2. บุญชัด เนติศักดิ์ ทฤษฎีและปฏิบัติเครื่องรับวิทยุ AM/FM กรุงเทพมหานคร ซีเอ็ดยูเคชั่น 2540
3. Roland E Best, "Phase-Lock Loops Theory, Design and application"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้