

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องควบคุมอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านสายไฟบ้าน

REMOTE CONTROL VIA AC-LINE



โดย

นาย สุภวัฒน์ สุวรรณฤกษ์ รหัส 48015228

นาย สิทธิพงษ์ พยุเกียรติบวร รหัส 48015231

๒๗

๘๙๒๓๗
๒๕๕๐

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

๓๑๔๖๖๖
b.....
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องควบคุมอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านไฟบ้าน

จัดทำโดย

นาย สุภวัฒน์ สุวรรณฤกษ์

นาย สติธิพงษ์ พยุงเกียรติบวร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้กว่าจะสำเร็จและคล่องได้นั้นต้องเจอปัญหาต่างๆ มากมายในแต่ละขั้นตอนการดำเนินงาน แต่ก็สามารถผ่านพ้นไปได้ด้วยดีทั้งนี้เพราะได้รับคำแนะนำและคำปรึกษาจากอาจารย์ ประภากร สุวรรณะ(อาจารย์ที่ปรึกษา) ตลอดไปจนถึงอาจารย์ทุกที่ที่ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ และเพื่อนๆ ที่ช่วยชี้แนะข้อบกพร่องในการทำงานต่างๆ ต้องขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนเครื่องมือต่างๆ ในการวิจัยให้สำเร็จคล่องไปได้

สุดท้ายนี้ขอกราบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีให้มาตลอดและสนับสนุนทางการเงินที่นำมาใช้เพื่อการศึกษาต่างๆ จนสำเร็จอีกขั้นหนึ่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่อง ปิด – เปิด เครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านสายไฟบ้าน

นาย สุภวัฒน์ สุวรรณฤกษ์ รหัส 48015228

นาย สิทธิพงษ์ พยุงเกียรติบวร รหัส 48015231

ผศ. ประภากร สุวรรณะ (อาจารย์ที่ปรึกษา)

ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้อธิบายการรับส่งสัญญาณด้วย เครื่อง ปิด – เปิด เครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านสายไฟบ้าน โดยการทำงานของเครื่องนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ ตัวส่งจะทำหน้าที่ส่งรหัสคำสั่งควบคุมผ่านสายไฟบ้าน ไปยังที่ตัวรับที่ต่อเข้าอยู่กับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า โดยเครื่องส่ง 1 เครื่องสามารถควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ทั้งหมด 3 เครื่อง โดยทั้งเครื่องรับและเครื่องส่ง จะอาศัยวงจรเฟสล็อกคูลูปเป็นส่วนสำคัญ ซึ่งในส่วนของเครื่องรับจะเป็นแบบดับเบิลคอนเวอร์ชัน ซุปเปอร์เฮเตอร์โรดายนี่ ซึ่งจะรับความถี่ ซึ่งจะรับความถี่ในช่วง 5.075 MHz – 5.425 MHz เข้ามามีเกเซอร์กับความถี่ในส่วนของ VCO โดยที่ IF1 มาทำการแปลงความถี่อีกครั้งหนึ่ง โดย IF2 จะมีค่าเท่ากับ 462 KHz โดยความถี่ที่ได้ออกมานี้จะถูกนำไปทำการตีมอดคูลูเลทและถอดรหัสต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REMOTE CONTROL VIA ON AC-LINE

Mr. Supawat Suwanrork ID 48015228

Mr. Sittipong Payungkaidborvorn ID 48015231

Assist. Prof. Prapakorn Suwanna (Advisor)

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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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 การมอดคูเลท	8
2.5 คณิตการมอดคูเลท	11
2.6 ไซด์แบนด์	12
2.7 แบนด์วิดท์ของ FM	14
2.8 เครื่องส่ง FM	14
2.9 เครื่องรับ FM	15
บทที่ 3 ทฤษฎีพื้นฐานของเฟสล็อกคูลูป	
3.1 หลักการทำงานพื้นฐานของเฟสล็อกคูลูป	17
3.2 ลักษณะสัญญาณของเฟสล็อกคูลูปในสภาวะล็อก	19
3.3 การพิจารณาสภาวะชั่วขณะของเฟสล็อกคูลูปในสภาวะล็อก	20
3.4 เสถียรภาพของเฟสล็อกคูลูปแบบพื้นฐาน	22
3.5 องค์ประกอบพื้นฐานของเฟสล็อกคูลูป	24
3.6 ตัวคักจับเฟสแบบเอ็ชท์กุลชี่ฟออร์	25
3.7 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	27
3.8 วงจรอออสซิลเลเตอร์	29
บทที่ 4 ไมโครคอนโทรลเลอร์	
4.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์	31
4.2 ส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์	32
4.3 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 สัญญาณต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	35
4.5 การจัดหน่วยความจำของ MCS-51	37
บทที่ 5 การส่งสัญญาณข้อมูลดิจิทัลโดยการมอดูเลต	
5.1 หลักการส่งสัญญาณข้อมูลดิจิทัลโดยการมอดูเลต	40
5.2 การมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลทางความถี่	42
5.3 ทฤษฎีในการส่งข้อมูลอนาลอกและดิจิทัล	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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในยุคปัจจุบันนี้เทคโนโลยีได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว เทคโนโลยีล้วนเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องกับทั้งสิ้นในสังคม ซึ่งการพัฒนาเทคโนโลยีนี้เองทำให้มีความสะดวกสบายมากยิ่งขึ้นและอีกหนึ่งเทคโนโลยีทางการสื่อสาร ซึ่งได้นำไปประยุกต์ใช้และสร้างเครื่องมือที่อำนวยความสะดวกได้อย่างมากมาย ซึ่งโครงการนี้อีกหนึ่งตัวอย่างที่นำเอาเทคโนโลยีด้านการสื่อสารมาออกแบบและการสร้าง

จากแนวคิดที่ว่า ทำอย่างไรให้ใช้ชีวิตประจำวันมีความสะดวกสบายมากขึ้น ซึ่งโครงการที่ผลิตขึ้นมาเพื่ออำนวยความสะดวกสบายให้กับผู้ใช้ในเรื่องการควบคุมการเปิดปิด ของอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน ณ จุดต่างๆที่ได้จากการควบคุมเพียงจุดเดียว หรืออาจจะเอาโครงการนี้ไปประยุกต์ใช้กับอาคารหรือสำนักงานที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ โดยหลักการพื้นฐานในการทำงานของเครื่อง จะอาศัยสายส่งสัญญาณควบคุมเข้าไปในสายพิกำลัง ซึ่งได้มีการติดตั้งอยู่แล้ว โดยการส่งข้อมูลหรือรับข้อมูลจะเป็นแบบ อนุกรม โดยนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาเป็นตัวควบคุมทางด้านรับและด้านส่ง โดยสัญญาณ ของภาครับและภาคส่ง จะถูกนำมามอดูเลตก่อนจะถูกนำไปยังสายพิกำลัง เพื่อการควบคุมการ ปิด - เปิด ของอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งทางด้านภาครับและภาคส่งได้ออกแบบโดยใช้หลักการเดียวกับเครื่องรับวิทยุแบบเฮตเทอร์โรไดน์ จึงจำเป็นต้องศึกษาและสร้างวงจรสังเคราะห์ความถี่ด้วยเฟสล็อกคูล วงจรขยายสัญญาณวิทยุ วงจรคิมอดูเลเตอร์ เครื่องรับส่งวิทยุแบบเฮตเทอร์โรไดน์และการควบคุม โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งได้แสดงรายละเอียดการออกแบบไว้ในบทต่อๆไป

วัตถุประสงค์ของโครงการ

- เพื่อศึกษาและเรียนรู้การมอดูเลตและการคิมอดูเลตสัญญาณ
- เพื่อศึกษาและเรียนรู้การใช้งานวงจรเฟสล็อกคูลเพื่อเป็นวงจรสังเคราะห์ ความถี่
- เพื่อศึกษาและเรียนรู้การประยุกต์ใช้งานเครื่องรับส่งวิทยุแบบเฮตเทอร์โรไดน์
- เพื่อศึกษาและเรียนรู้การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์
- เพื่อฝึกฝนและสามารถตรวจสอบและหาข้อมูลผิดพลาดเบื้องต้นที่เกิดขึ้นกับวงจรได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ศึกษาเกี่ยวกับวงจรต่างๆ อาทิเช่น วงจรสังเคราะห์ความถี่ด้วยเฟสล็อกกลูป วงจรขยายสัญญาณวิทยุ วงจรคิมอคูเลเตอร์ เครื่องรับส่งวิทยุแบบเฮคเทอร์โรคายนน์และการควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ และสามารถตรวจสอบและหาข้อผิดพลาดเบื้องต้นที่เกิดขึ้นกับวงจรได้



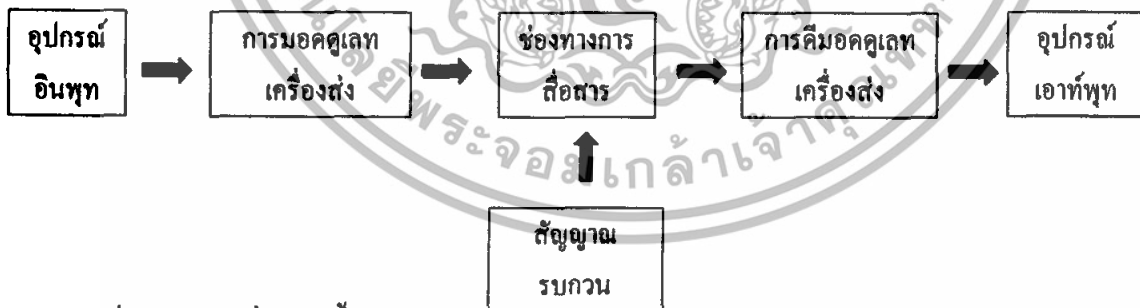
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 การสื่อสารเบื้องต้น

การติดต่อสื่อสารพื้นฐานของมนุษย์นั้น เป็นการสื่อสารความหมายโดยเสียงพูดและการเขียน การสื่อสาร โดยการเขียนพัฒนาจากการส่งข่าวสาร โดยการนำสารและกลายเป็นหนังสือพิมพ์ แล้วก็ระบบไปรษณีย์ เป็นการส่งโทรเลข จนถึงปัจจุบันเป็นการสื่อสารทางอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับการสื่อสาร โดยการพูด พัฒนาจากการพูดคุยระหว่างกันธรรมดา ไปเป็น โทรศัพท์และวิทยุ วิทยาการต่าง ๆ มักจะมุ่งเน้นให้ติดต่อสื่อสารได้ไกลขึ้นและรวดเร็วขึ้น ความเจริญก้าวหน้าทางการสื่อสารด้านวิทยุ ช่วยให้เรติดต่อได้ไกลมากขึ้น โดยวิธีการเปลี่ยนเสียงพูดไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า ขยายให้เป็นคลื่นเสียง (Audio) แล้วทำการเกาะผสมกับคลื่นพาหะ(Carrier) แล้วส่งไปยังเครื่องรับที่อยู่ห่างออกไป

2.1 ระบบสื่อสารพื้นฐาน

ในการสื่อสารไม่ว่าจะเป็นระบบใดก็ตาม แผนผังพื้นฐานมักเหมือนกับรูปที่ 2.1 ระบบสื่อสาร โดยพื้นฐานจะประกอบด้วย อุปกรณ์อินพุท (Input Device) เครื่องส่ง ช่องทางการสื่อสาร (Communication channel) หรือแชนแนล ซึ่งมักจะมีย่อยสามารถรับและอุปกรณ์เอาต์พุท(Output Device)



รูปที่ 2.1 ระบบสื่อสารพื้นฐาน

2.1.1 อุปกรณ์อินพุทและเอาต์พุท อุปกรณ์อินพุทเป็นอุปกรณ์ที่แปลงข่าวสารเป็นสัญญาณไฟฟ้า ส่วนอุปกรณ์เอาต์พุทคืออุปกรณ์ที่แปลงสัญญาณไฟฟ้ากลับเป็นข่าวสาร ซึ่งมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันไปแล้วแต่การใช้งาน เช่น ในระบบวิทยุกระจายเสียง อุปกรณ์อินพุทอาจเป็นไมโครโฟน และอุปกรณ์เอาต์พุทจะเป็นลำโพง สำหรับไมโครโฟนทำหน้าที่แปลงคลื่นเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า และส่วนลำโพงทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นกลับเป็นคลื่นเสียง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินพุทและเอาต์พุทของระบบสื่อสารยังมีอีกมากมาย เช่น คั่นเคาะโทรเลข เครื่องโทรพิมพ์ เครื่องโทรสาร เป็นต้น อุปกรณ์อินพุทและเอาต์พุทจะต่อเข้ากับเครื่องส่งและเครื่องรับเสมอ

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 (Transmitter) เครื่องส่งทำหน้าที่รับสัญญาณไฟฟ้าจากอุปกรณ์อินพุท แล้วทำการมอดูเลทลงบนคลื่นพาหะความถี่สูง เครื่องส่งประกอบด้วยแหล่งกำเนิดสัญญาณความถี่สูง กับ มอดูเลท เครื่องส่งส่วนใหญ่ยังมีภาคขยายอีก เพื่อให้สัญญาณที่ส่งออกมีกำลังแรง ทำให้สื่อสารได้ไกลขึ้น

2.1.3 ช่องทางการสื่อสาร ได้แก่ บรรยากาศ อวกาศว่าง(Free space) หรือสาย

2.1.4 ความถี่และความยาวคลื่น เรานิยามแบ่งคลื่นวิทยุออกเป็นย่านความถี่ต่างๆ 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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

(2) สัญญาณรบกวนจากอวกาศ (Space Noise) เกิดจาก ดวงอาทิตย์ที่เป็นวัตถุที่มีความร้อนสูงถึง 6000 องศาเซลเซียสที่ผิวดวงอาทิตย์ ทำให้แผ่พลังงานออกมา มีสเปกตรัมความถี่กว้างมาก พลังงานนี้จะปรากฏเป็นนอยส์คงที่

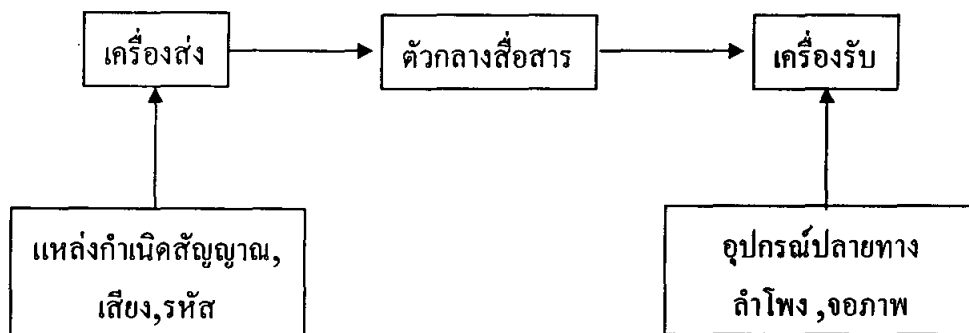
(3) สัญญาณรบกวนที่เกิดจากสิ่งประดิษฐ์ที่มนุษย์สร้างขึ้น (Man-made Noise) ได้แก่ นอยส์ที่เกิดจากมอเตอร์ไฟฟ้า จากระบบจุดระเบิดของรถยนต์ การรั่วของสายไฟฟ้าสูง หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น

(4) สัญญาณรบกวนภายในอุปกรณ์เครื่องรับ (Internal Noise) แยกเป็น 2 ประเภท คือนอยส์อุณหภูมิตัว (Thermal Noise) และช็อตนอยส์ (Shot Noise) นอยส์อุณหภูมิตัวเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในตัวอุปกรณ์ ส่วนช็อตนอยส์เกิดขึ้นในอุปกรณ์แอคทีฟ (Active Device) ทุกชนิด เนื่องจากการรวมตัวกันของอิเล็กตรอนกับโฮล

2.1.6 เครื่องรับ เมื่อสัญญาณจากเครื่องส่งมาถึงเครื่องรับ สัญญาณจะมีกำลังอ่อนลงและยังมีนอยส์เข้ามาแทรกแข่งสัญญาณที่ต้องการจะรับอีกด้วย ดังนั้นการรับสัญญาณอ่อนๆเช่นนี้ เครื่องรับจึงต้องมีความสามารถพิเศษ ในการเลือกรับและขยายเอาเฉพาะสัญญาณความถี่ที่ต้องการ พร้อมทั้งต้องมีกรรมวิธีในการกำจัดนอยส์ สัญญาณที่รับได้จะผ่านการดีมอดูเลท เพื่อแปลงสัญญาณข่าวสารที่เข้ามาดีมอดูเลทกลับมา

2.2 ระบบสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Communication Systems)

การสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ หมายถึงการส่ง (Transmission), การรับ (Reception) และการประมวลผลข้อมูลหรือข่าวสาร (Information, Data, Signal) ระหว่างจุดสองจุดหรือมากกว่าด้วยการใช้อิเล็กทรอนิกส์ ในรูปที่ 2.2 เป็นบล็อกไดอะแกรมของระบบสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 2.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์

2.2.1 ตัวกลางการสื่อสาร (Communication Medium) เป็นช่องทางหรือตัวกลาง ซึ่งสัญญาณของระบบสื่อสาร ใช้เป็นทางผ่านจากจุดส่งไปยังจุดรับ เราสามารถแบ่งชนิดของการสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ตามชนิดของตัวกลางสื่อสารได้ 2 แบบคือ

- (1) แบบมีสาย(Wire) สายในที่นี้อาจเป็นสายตัวนำไฟฟ้า 1 คู่ หรือเส้นใยนำแสง(Optic Fiber)
- (2) แบบไร้สาย(Wireless) หรือวิทยุ(Radio)สัญญาณของระบบสื่อสารแบบไร้สาย จะอยู่ในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารวมถึงแสง

2.2.2 เครื่องส่ง(Transmitter)เป็นอุปกรณ์หรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ที่ถูกออกแบบสำหรับแปลงสัญญาณจากแหล่งกำเนิดสัญญาณที่จะสื่อสาร ให้กลายเป็นสัญญาณที่มีรูปแบบและระดับพลังงาน ที่เหมาะสมกับตัวกลางสื่อสารของแต่ละระบบ

เครื่องส่งอาจจะเป็นเพียงแค่อุปกรณ์ของระบบโทรเลขแบบไร้สายหรืออาจเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ลับซับซ้อน ของระบบสื่อสารดาวเทียม สัญญาณที่จะสื่อสารอาจอยู่ในรูปของสัญญาณเสียง ภาพ หรือข้อมูลในรูปของสัญญาณดิจิทัล ซึ่งสัญญาณแต่ละชนิดจะมีค่าความกว้างของแถบความถี่ (Bandwidth)แตกต่างกัน

2.2.3 เครื่องรับ (Receiver) จะเป็นวงจรและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อีกชุดหนึ่ง ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่รับมาได้จากตัวกลาง ให้กลายเป็นสัญญาณที่มีรูปแบบและระดับพลังงานที่เหมาะสมกับอุปกรณ์ปลายทางด้านรับ เช่น เครื่องรับของระบบโทรเลขใช้สายจะเป็นเพียงขดลวดโซลินอยด์หรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนของการรับสัญญาณ โทรทัศน์ผ่านดาวเทียม

สัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์เกือบทุกสัญญาณ จะเกิดจากผลรวมของคลื่นขายหลายๆการเคลื่อนที่ของสัญญาณในวงจร จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งหรือการเคลื่อนที่ของสัญญาณ จากวงจรหนึ่งไปยังอีกวงจรหนึ่ง หรือจากระบบหนึ่งไปสู่อีกระบบหนึ่ง สามารถพิจารณาเป็นการเดินทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของคลื่นชาชน์ทุกความถี่ที่มีอยู่ในสัญญาณนั้น จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) ซึ่งอาจเป็นการเคลื่อนที่ผ่านตัวนำไฟฟ้า หรือตัวอุปกรณ์ต่างๆ และการเคลื่อนที่ผ่านอากาศ หรืออวกาศในรูปแบบแผ่รังสี(Radiation) ความกว้างของแถบความถี่ของสัญญาณ คือค่าแถบความถี่ของคลื่นชาชน์หลายความถี่ที่รวมกันเป็นสัญญาณ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับผลต่างของความถี่สูงสุดกับความถี่ต่ำสุดที่มีอยู่ในสัญญาณ ซึ่งความกว้างของแถบความถี่ของสัญญาณ คือค่าแถบความถี่ของคลื่นชาชน์หลายความถี่ที่รวมกันเป็นสัญญาณ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับผลต่างของความถี่สูงสุดกับความถี่ต่ำสุดที่มีอยู่ในสัญญาณ และถ้ามีสัญญาณมากกว่าหนึ่งสัญญาณในอาณาบริเวณเดียวกัน และสัญญาณเหล่านั้นมีแถบความถี่ที่ทับซ้อนกัน จะทำให้เกิดการรบกวนซึ่งกันและกัน ถ้าระดับกำลังสัญญาณต่างๆที่มีแถบความถี่ซ้อนกันมีค่าใกล้เคียงกัน ก็จะทำให้เกิดการรบกวนซึ่งกันและกัน สัญญาณใดก็ตามที่มีแถบความถี่ซ้อนทับกับสัญญาณที่เราสื่อสาร จะถูกเรียกว่าสัญญาณที่ถูกรบกวน (Noise) การเดินทางของสัญญาณจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ จะถูกลดทอนให้มีกำลังต่ำลงในขณะที่ผ่านตัวกลาง เมื่อสัญญาณมีกำลังไฟฟ้าลดลง จะมีโอกาสถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนที่อยู่ระหว่างเส้นทาง ยิ่งไปกว่านั้นในตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นแหล่งสัญญาณรบกวนอีกด้วย ถ้าความกว้างแถบความถี่ของสัญญาณยิ่งกว้าง ก็จะมีโอกาสที่จะถูกรบกวนมากยิ่งขึ้น

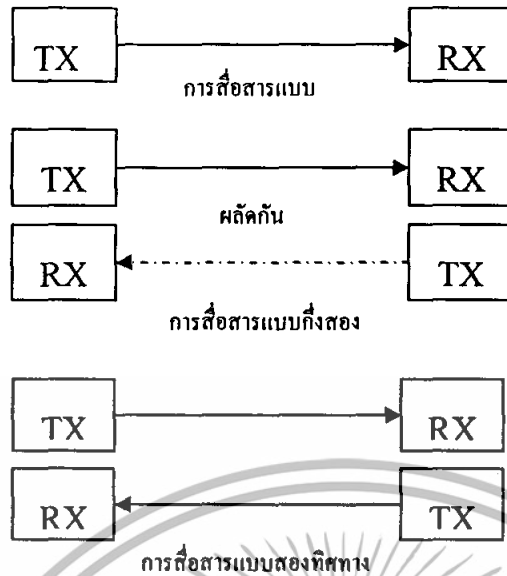
2.3 รูปแบบของการสื่อสาร

เราสามารถแบ่งรูปแบบของการสื่อสารได้หลายรูปแบบหรือหลายชนิด เช่นแบ่งตามลักษณะตัวกลางก็จะแบ่งได้ 2 แบบคือ แบบมีสายกับแบบไร้สาย ถ้าแบ่งตามรูปแบบของสัญญาณก็จะสามารถแบ่งได้ 2 แบบคือการสื่อสารแบบแถบฐานและการสื่อสารแบบมอดูเลชัน ไม่ว่าจะเป็นอย่างใดในการรับส่งสัญญาณจำนวน n สัญญาณ ผ่านระบบสื่อสารในเวลาเดียวกันและผ่านตัวกลางเดียวกัน จะต้องใช้ช่องสื่อสารจำนวน n ช่องสื่อสารแถบความถี่ของช่องสื่อสารแต่ละช่องจะซ้อนทับกันไม่ได้ และความกว้างแถบความถี่ของช่องสื่อสารแต่ละช่อง ควรมีความกว้างให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยต้องไม่เสียข้อมูลที่มีนัยสำคัญ

เราอาจแบ่งรูปแบบการสื่อสารตามทิศทางการสื่อสาร หรือจำนวนของช่องสื่อสารได้ 3 แบบ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงรูปแบบการสื่อสารตามทิศทาง

2.3.2 แบบกึ่งสองทาง (Half Duplex ; HDX,HX) เป็นการสื่อสารแบบสองทางแต่สลับเวลา กัน ในขณะที่อีกฝ่ายหนึ่งเป็นฝ่ายส่ง อีกฝ่ายหนึ่งจะเป็นฝ่ายรับ การสื่อสารแบบกึ่งสองทาง ต้องการ ช่องสื่อสารเพียงช่องเดียว ตัวอย่างเช่น วิทยุ โทรคมนาคม(Walkie-Talkie)

2.3.3 แบบสองทิศทาง (Full Duplex ; FDX,FX) เป็นการสื่อสารแบบสองทิศทาง โดยทั้งที่ สองฝ่ายสามารถรับส่งพร้อมกันในเวลาเดียวกัน การสื่อสารแบบสองทิศทางนี้ ต้องการช่องสื่อสาร สองช่องในเวลาเดียวกัน ตัวอย่างเช่น โทรศัพท์มือถือ (Mobile Phone)

2.4 การมอดคูเลท (Modulation)

การมอดคูเลท คือกระบวนการเลื่อนแถบความถี่ของสัญญาณ โดยสัญญาณ Modulating Signal จะไปทำให้ Parameter บางประการของคลื่นพาห์ Carrier ซึ่งมักจะมีความถี่สูงกว่าสัญญาณ เปลี่ยนแปลง

$$\text{คลื่นพาห์ : } V_c = V_{cp} \sin (\omega_c + \theta) \quad (2.1)$$

$$\text{สัญญาณ : } V_m \sin \omega_m t \quad (2.2)$$

การมอดคูเลทสามารถทำได้ 2 แบบ คือ การมอดคูเลทเชิงขนาด (Amplitude Modulation) กับ การมอดคูเลทเชิงมุม (Angular Modulation)
 การมอดคูเลทเชิงขนาด (Amplitude Modulation : AM) ขนาดของคลื่นพาห์จะเปลี่ยนแปลงตามขนาดของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การมอดคูเลทเชิงขนาด (Amplitude Modulation : AM) ขนาดของคลื่นพาห้จะเปลี่ยนแปลงตามขนาดของสัญญาณ

$$V_{AM} = [V_{cp} + V_{mp} \sin \omega_m t] \sin \omega_c t \quad (2.3)$$

การมอดคูเลทเชิงมุม (Angular Modulation) สามารถแบ่งได้ 2 รูปแบบคือ

2.4.1 การมอดคูเลททางความถี่ (Frequency Modulation : FM) ความถี่ของคลื่นพาห้จะเปลี่ยนแปลงตามขนาดสัญญาณ

$$V_{FM} = V_{cp} \sin [\omega_c t + K_f V_{mp} / \omega_m t \sin \omega_c t] \quad (2.4)$$

K_f คือ ค่าคงที่ของการมอดคูเลท

2.4.2 การมอดคูเลททางเฟส (Phase Modulation : PM) เฟสของคลื่นพาห้จะเปลี่ยนแปลงตามขนาดของสัญญาณ

$$V_{PM} = V_{cp} [\sin \omega_c t + K_p V_{mp} \sin \omega_m t] \quad (2.5)$$

K_p คือ ค่าคงที่ของการมอดคูเลท

การดีมอดคูเลทหรือการดีเทคเคอร์ เป็นขบวนการย้อนกลับของการมอดคูเลท คือการแยกสัญญาณออกจากคลื่นพาห้

ซึ่งในโครงการนี้ เลือกใช้การมอดคูเลทเชิงความถี่ เพราะไม่ต้องการให้สัญญาณที่ถูกมอดคูเลทมีการเปลี่ยนแปลงทางขนาด ซึ่งจะถูกรบกวนจากสัญญาณที่เราไม่ต้องการ (Noise) ใ้ได้ง่ายในการส่งสัญญาณผ่านสายไฟบ้าน (AC Line)

การมอดคูเลทเชิงความถี่

การมอดคูเลทเชิงความถี่นั้น สัญญาณข้อมูลจะทำให้ความถี่คลื่นพาห้เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่แอมพลิจูดยังคงเดิม ด้านเครื่องรับจะตัดการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดออกไปก่อนที่จะนำเข้าไปสู่การมอดคูเลท ซึ่งทำให้สัญญาณรบกวนต่างๆที่มีผลทำให้แอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงถูกตัดออกไปด้วยลักษณะของสัญญาณมอดคูเลทเชิงความถี่แสดงดังรูป

สมมติว่าเริ่มพิจารณาที่สัญญาณข้อมูลมีค่าสูงสุด คือ $t = x$ แล้ว

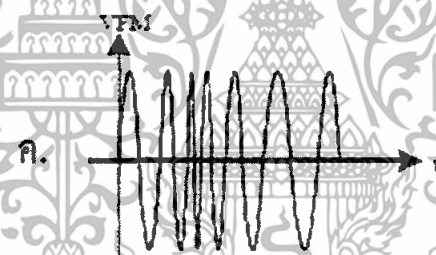
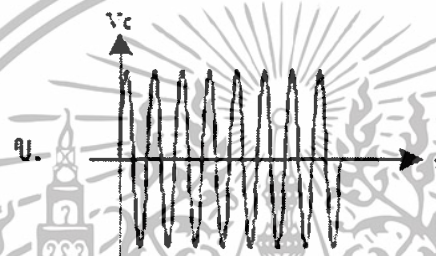
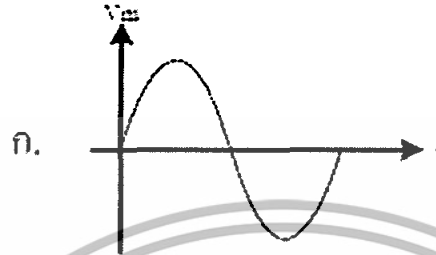
$$\text{สัญญาณข้อมูล } V_a = A \cos \omega_a t \quad ; \quad \omega_c = 2\pi f_a \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห้จะเปลี่ยนแปลงไปรอบๆความถี่ ω_c ดังนั้น

$$\omega = \omega_c + \Delta\omega \cos \omega_a t \quad (2.8)$$

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



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่เกิดจากการมอดูเลตแล้วโดยนำสมการ 2.3 แทนลงในสมการ 2.2

$$V_{fm} = B \cos [\omega_c + \Delta\omega \cos \omega_a t] t \quad (2.9)$$

$$V_{fm} = B \cos [\omega_c + \Delta\omega \cos \omega_a t] t ; \theta(t) = [\omega_c + \Delta\omega \cos \omega_a t] t \quad (2.10)$$

จากสมการ 2.5 จะได้

$$V_{fm} = B \cos [\omega_c t + m f \sin \omega_a t] \quad (2.11)$$

โดย m คือค่าอัตราส่วนระหว่าง $\Delta\omega/\omega_a$ เรียกว่า ดัชนีการมอดูเลต (Modulation Index) ซึ่งค่า m นี้มีความสำคัญในการกำหนดแบนวิดท์

2.5 ดัชนีการมอดูเลต

ในระบบ AM ปริมาณการมอดูเลต เรานิยามวัดเป็นเปอร์เซ็นต์การมอดูเลต ซึ่งดูได้จากการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดหรือรอบคลื่น AM ทั้งด้านต่ำสุดและสูงสุด แต่ในระบบ FM เราวัดเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตโดยดูจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ ซึ่งเรานิยมเรียกชื่อว่า ดัชนีการมอดูเลต ลองพิจารณาความหมายของดัชนีการมอดูเลตต่อไปนี้

$$m = f_d / f_m$$

ในที่นี้ f_d คือ ช่วงความถี่เบี่ยงเบน

f_m คือ ความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดูเลต

ค่าตัวเลขของดัชนีการมอดูเลตจะมีค่าสูง (แตกต่างจากเปอร์เซ็นต์การมอดูเลต ซึ่งเมื่อคิดเป็นอัตราส่วนจะได้อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1) ตัวอย่างเช่น ในระบบวิทยุกระจายเสียง FM เรากำหนดให้ความถี่เบี่ยงเบนเต็มที่ ค่าดัชนีการมอดูเลตจะเป็น

$$m = 75\text{KHz} / 1\text{KHz} = 75$$

สังเกตว่าค่าดัชนีการมอดูเลตในระบบ FM ขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณเสียงที่เข้ามอดูเลตในทางปฏิบัติเรานิยามวัดเป็นอัตราส่วนการเบี่ยงเบน (Deviation ratio) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความถี่เบี่ยงเบน(ของระบบ)สูงสุด $f_d(\text{max})$ ต่อความถี่สูงสุดของสัญญาณที่เข้ามอดูเลต $f_m(\text{max})$ ในระบบกระจายเสียง FM ค่าอัตราส่วนการเบี่ยงเบน (Δ) จะเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ระบบ AM เมื่อเพิ่มแอมพลิจูดของสัญญาณที่เข้ามอดูเลตเพื่อให้เปอร์เซ็นต์การมอดูเลตสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของพาหะจะเปลี่ยนแปลงมากขึ้น แต่ใน FM เมื่อเพิ่มแอมพลิจูดของสัญญาณที่เข้ามอดูเลตสูงขึ้น การเบี่ยงเบนความถี่ของพาหะจะเบี่ยงเบนได้มากขึ้นในระบบวิทยุกระจายเสียง FM กำหนดให้ความถี่เบี่ยงเบนของระบบเต็มที่ไม่เกิน 75 กิโลเฮิร์ต แสดงว่าเรามอดูเลตเต็มที 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเราเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การมอดูเลต} = f_d \cdot 100 / f_d(\max)$$

f_d คือ ช่วงความถี่เบี่ยงเบนเนื่องจากสัญญาณที่เข้ามอดูเลต

$f_d(\max)$ คือ ความถี่เบี่ยงเบนสูงสุด

2.6 ไซด์แบนด์ (Sidebands)

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

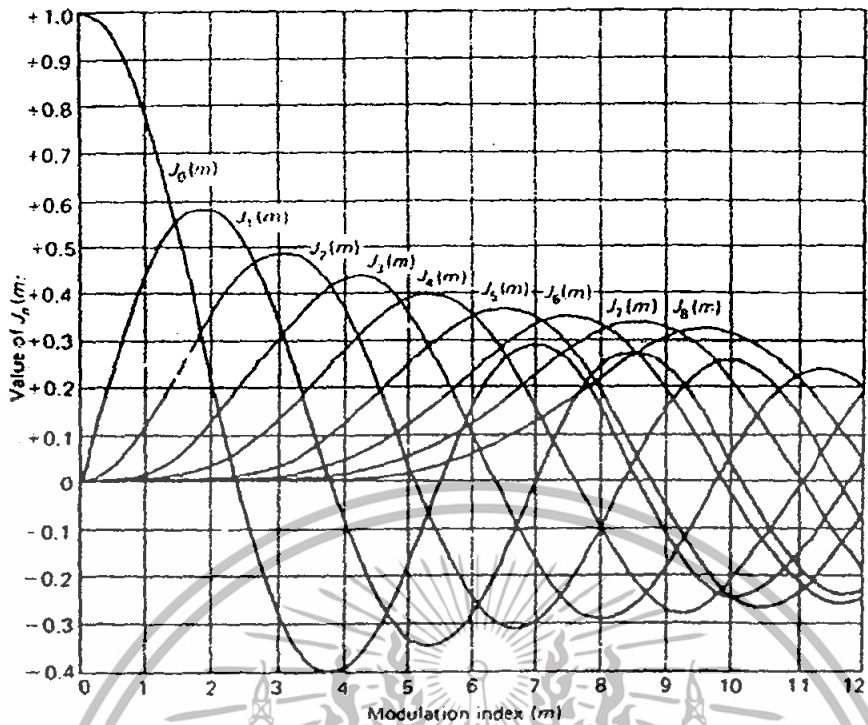
$$V_{fm} = B \cos \omega_c t - Bm f \sin \omega_a t \sin \omega_c t - m^2 f^2 \sin^2 \omega_a t \cos^2 \omega_c t + \dots \quad (2.12)$$

แทนฟังก์ชันของตรีโกณมิติในสมการ 2.12 จะได้

$$V_{fm} = B \cos \omega_c t - Bm f \sin \omega_a t \sin \omega_c t \quad (2.13)$$

ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าหลังจากผ่านการมอดูเลตแล้วจะตัดความถี่ของคลื่นพาหะ ω_c ผลรวมและผลต่างความถี่ของคลื่นพาหะกับสัญญาณข้อมูล คือ $\omega_c + \omega_a$ และ $\omega_a - \omega_c$ ความถี่เหล่านี้ก็หมายความว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณเอฟเอ็มแคบจะมีค่าเท่ากับ $2 \omega_c$ ถ้าหากค่าดัชนีการมอดูเลตมีค่ามากๆ แล้ว ไม่สามารถที่จะตัดพจน์ที่มีค่า m ที่ยกกำลังสูงๆออกได้ ซึ่งจะทำให้เกิดไซด์แบนด์มากมาย เรียกว่า เอฟเอ็มแบนด์กว้าง (Wideband : FM) โดยค่าของไซด์แบนด์ค่านั้น ได้มีการสรุปเป็นกราฟและตารางไว้จากฟังก์ชันเบสเซลชนิดหนึ่ง (Bessel function of the first kind) ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ข้างล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ค่าของ $J_n(m_f)$ ที่ Modulation Index ต่างๆ

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

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	0.34	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.0	0.77	0.54	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	-0.23	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 แสดงรูปฟังก์ชันของเบสเซลชนิดหนึ่ง $J_n(m_f)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 แบนด์วิดท์ของ FM

ในระบบ FM จำนวนไซด์แบนด์และแอมพลิจูดของไซด์แบนด์ ขึ้นอยู่กับค่าดัชนีการมอดคูเลทโดยความถี่ของไซด์แบนด์มีค่าสัมพันธ์กับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดคูเลท กล่าวคือ ไซด์แบนด์คู่แรกมีความถี่เท่ากับ $f \pm f_c$ ไซด์แบนด์คู่ที่สองมีความถี่เท่ากับ $f \pm 2f_m$... ฉะนั้น แบนด์วิดท์ของคลื่น FM ต้องครอบคลุมจำนวนไซด์แบนด์ที่สำคัญทุกตัว นั่นคือแบนด์วิดท์ขึ้นอยู่กับดัชนีการมอดคูเลทและความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดคูเลท แต่ดัชนีมอดคูเลทเท่ากับ f_d/f_c ดังนั้นถ้าเราทราบค่าความถี่เบี่ยงเบนและความถี่ของสัญญาณมอดคูเลท เราก็สามารถคำนวณหาค่าแบนด์วิดท์ได้

ตัวอย่างเช่น ความถี่ของสัญญาณเสียงที่เข้ามอดคูเลทเท่ากับ 3 กิโลเฮิร์ต ความถี่เบี่ยงเบนเท่ากับ 18 กิโลเฮิร์ต เราสามารถคำนวณค่าดัชนีการมอดคูเลทได้ดังนี้

$$\begin{aligned} m &= f_d / f_m \\ &= 18 \text{ KHz} / 3 \text{ KHz} \\ &= 6 \end{aligned}$$

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

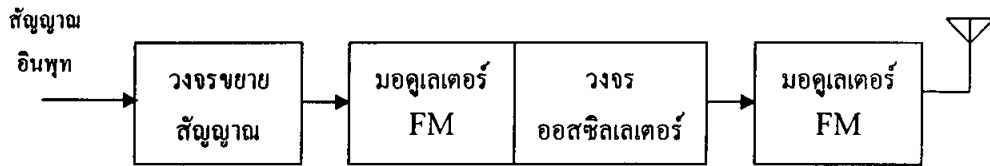
$$\begin{aligned} \text{BW} &= f_m \cdot \text{จำนวนไซด์แบนด์} \cdot 2 \\ &= 3 \text{ KHz} \cdot 9 \cdot 2 \\ &= 54 \text{ KHz} \end{aligned}$$

ในทางปฏิบัตินิยมใช้สูตรคำนวณแบนด์วิดท์แบบประมาณจากค่า $f_d \text{ max}$ และ $f_m \text{ max}$ เลข ไม่ต้องเสียเวลานับจำนวนไซด์แบนด์ ดังนี้

$$\text{BW} = 2(M + 1)f_m(\text{max})$$

2.8 เครื่องส่ง FM

จากแผนผังของเครื่องส่ง FM ตามรูปที่ 2.5 สัญญาณอินพุตผ่านการขยายแล้วป้อนสู่มอดคูเลเตอร์ วงจรมอดคูเลเตอร์นี้ จะทำการเปลี่ยนความถี่ของสจิลเลเตอร์ โดยมีช่วงความถี่เบี่ยงเบนขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดและความถี่ของสัญญาณอินพุต พาดะ FM ที่ถูกมอดคูเลทแล้ว จะถูกขยายโดยภาคขยายกำลังสุดท้ายป้อนสู่อากาศเพื่อส่งออกอากาศต่อไป เท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



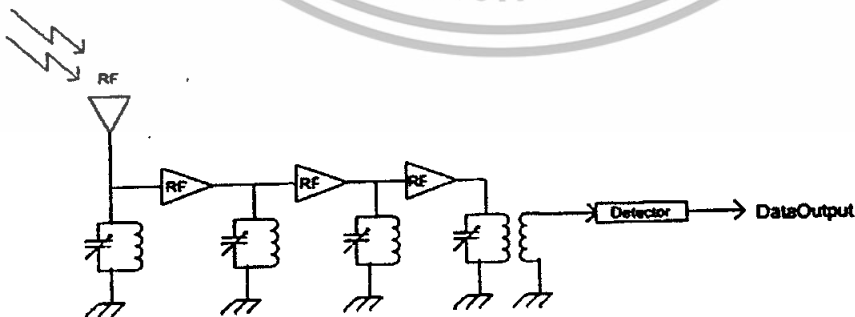
รูปที่ 2.5 แสดงแผนผังเครื่องส่ง FM อย่างง่าย

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

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

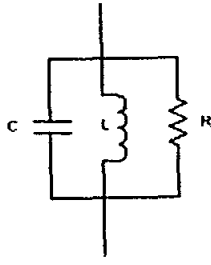
2.9 เครื่องรับ FM

หลักการของเครื่องรับเป็นแบบซูเปอร์เฮเทอโรไดน์ (Superheterodyne) ก็จะมีภาคมิกเซอร์(Mixer) และ โทคอลออสซิลเลเตอร์ (Local Oscillator) ประเด็นสำคัญที่เลือกใช้เครื่องรับที่เป็นแบบซูเปอร์เฮเทอโรไดน์ เนื่องจากต้องจำกัดให้แบนด์วิดท์และ Q อยู่ที่ย่านเดียวเพื่อง่ายต่อการสร้างวงจรของภาคต่อไป ไม่ว่าจะเป็นส่วนของวงจรรองความถี่แถบผ่าน(Band Pass Filter) วงจรขยายความถี่กลาง(IF Amplifier) และดีมอดูเลเตอร์(Demodulator) ซึ่งขอยกตัวอย่างในส่วนของวงจรรองความถี่แถบผ่านที่ใช้กับภาควิทยุแบบ Tuned-RF ดังรูปที่ 2.6 ข



รูปที่ 2.6 ก แสดง Tuner-RF (TRF) receiver

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ข แสดงวงจรกรองความถี่แถบผ่าน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 3

ทฤษฎีพื้นฐานของเฟสล็อกคูลูป

เฟสล็อกคูลูปเป็นอุปกรณ์หรือวงจรที่ใช้ในการรักษาอัตราการเปลี่ยนแปลงเฟสของสัญญาณระหว่างเฟสของสัญญาณเอาต์พุตกับสัญญาณอินพุตให้มีค่าเท่ากัน โดยจะมีผลทำให้มีความถี่เท่ากันด้วย จากคุณสมบัติดังกล่าว จึงนำเฟสล็อกคูลูปไปใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น ในการดีมอดสัญญาณและใช้ในการสร้างหรือกำเนิดความถี่ โดยองค์ประกอบพื้นฐานของเฟสล็อกคูลูปมีอยู่ 3 ส่วนคือ ตัวคักจับเฟส วงจรออสซิลเลเตอร์แบบควบคุมความถี่ด้วยแรงดันไฟฟ้า และส่วนของวงจรรองความถี่ต่ำผ่าน ซึ่งองค์ประกอบของแต่ละส่วนก็มีหลายแบบเช่นกัน ดังนั้นเมื่อนำองค์ประกอบดังกล่าวมาประกอบกันเป็นเฟสล็อกคูลูป ก็จะได้เฟสล็อกคูลูปหลายรูปแบบ แต่ละแบบก็มีคุณสมบัติการทำงานที่แตกต่างกัน การศึกษาทำความเข้าใจจึงเป็นเรื่องจำเป็นที่จะทำให้สามารถเลือกใช้และออกแบบได้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน

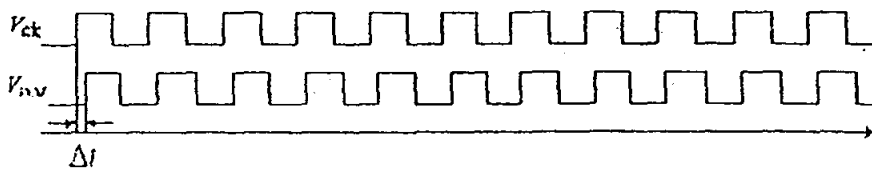
3.1 หลักการทำงานพื้นฐานของเฟสล็อกคูลูป

การทำงานของเฟสล็อกคูลูปในสถานะล็อก คือ การที่ความถี่เอาต์พุตจากวงจรออสซิลเลเตอร์แบบควบคุมความถี่ด้วยแรงดันไฟฟ้า มีค่าเท่ากับความถี่อ้างอิงหรืออินพุต และอัตราการเปลี่ยนแปลงของเฟสอินพุตและเอาต์พุตเทียบกับเวลาจะมีค่าเท่ากัน พิจารณาถึงการเข้าสู่สถานะล็อก พิจารณารูปที่ 3.1 (ก) แสดงการเปรียบเทียบเฟสระหว่าง เอาต์พุตจาก VCO กับเฟสของอินพุตอ้างอิงหรือล็อก จะเห็นว่าที่ขอบขาขึ้นของ V_{vco} จะเกิดมีเฟสผิดพลาดขึ้นเป็นเวลา t เมื่อเทียบกับ V_{ck} และเราต้องการกำจัดความผิดพลาดนี้ออกไปกำหนดให้ V_{cont} แรงดันอินพุตของ VCO โดยเมื่อ V_{cont} สูงขึ้น ความถี่เอาต์พุตที่จะสูงขึ้นพิจารณารูปที่ 3.1 (ข) ความถี่อินพุตของ VCO เริ่มสูงขึ้นที่เวลา $t = t_1$ วงจรจะมีการเพิ่มของเฟสอย่างรวดเร็วจนที่เวลา $t = t_2$ ความผิดพลาดของเฟสจะมีค่าเป็นศูนย์และ V_{cont} กลับเข้าสู่สถานะแรกโดยเฟสของเอาต์พุต VCO กับเฟสของอินพุตอ้างอิงหรือล็อกอินเฟสกัน

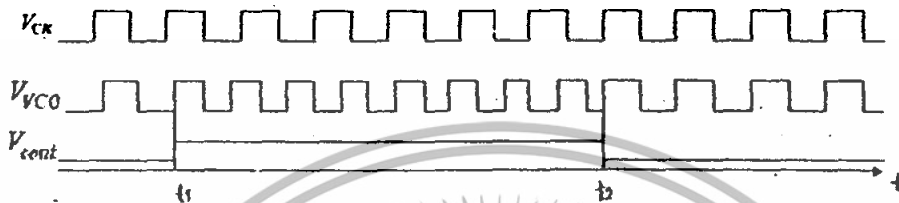
จากหลักการข้างต้นทำให้เราสามารถทราบได้ว่า วงจรเฟสล็อกคูลูปแบบง่ายนั้นประกอบด้วยตัวคักเฟส (PD) และวงจรออสซิลเลเตอร์แบบควบคุมความถี่ด้วยแรงดันไฟฟ้า (VCO) ต่อกันในลักษณะป้อนกลับดังรูปที่ 3.2 (ก) โดย PD จะเป็นตัวเปรียบเทียบเฟสระหว่าง V_{out} กับ V_{in} โดยจะให้ค่าแรงดันเฟสผิดพลาดออกไปปรับ VCO จนเฟสมีการปรับและเข้าสู่สถานะล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

82427



(ก)



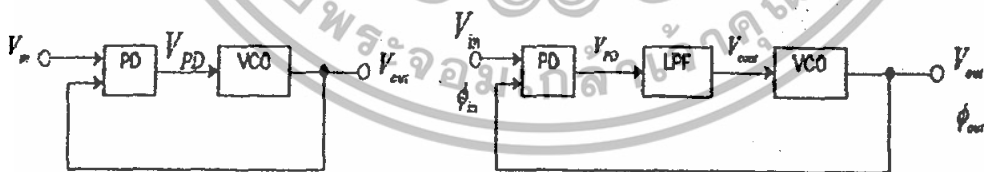
(ข)

รูปที่ 3.1 แสดงการเข้าสู่สภาวะล็อกของเฟสล็อกคูลูป

(ก) เฟสเอ้าท์จาก VCO กับเฟสของอินพุท

(ข) การปรับเฟสของวงจรรเพื่อกำจัดเฟสผิดพลาด

อย่างไรก็ตามต้องมีการปรับปรุงวงจรรูปที่ 3.2 (ก) เนื่องจากเอ้าท์พุทของ PD หรือ VPD ประกอบด้วยส่วนของแรงดันดิชชีและแรงดันเอชชีที่มีความถี่สูง ดังนั้นเพื่อให้แรงดันอินพุทของ VCO มีเฉพาะของส่วนดิชชี เพื่อให้เอ้าท์พุทออกมาคงที่ ต้องมีการใส่วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเข้าไประหว่างวงจรร PD กับ VCO ดังรูปที่ 3.2 (ข) เพื่อจะกำหนดส่วนที่มีความถี่สูงออกไปโดย LPF ที่ใส่เข้าไปต้องมีอัตราขยายเป็นหนึ่งที่มีความถี่ต่ำ



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.2 แสดงองค์ประกอบของเฟสล็อกคูลูป

(ก) PD กับ VCO

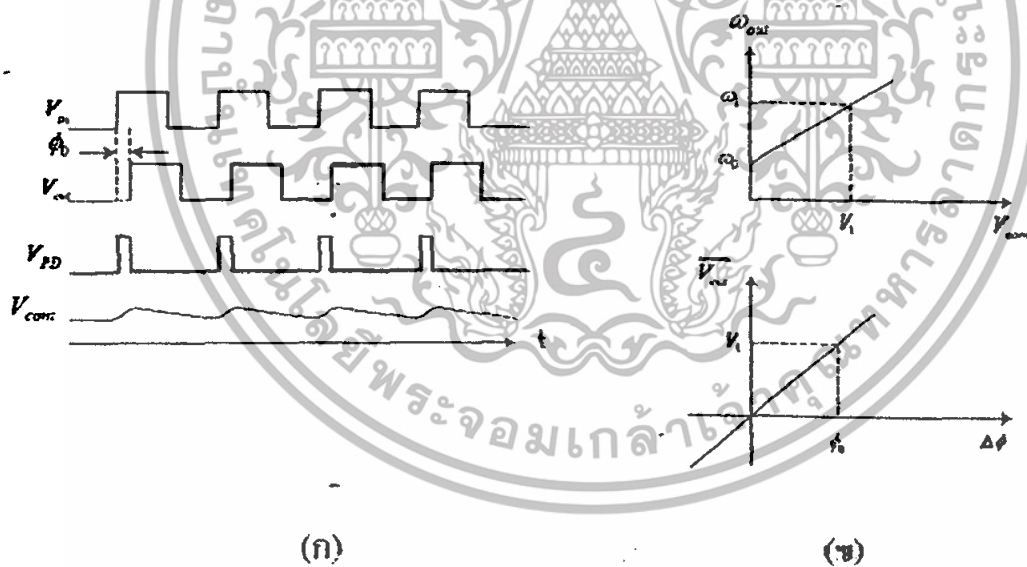
(ข) PD, VCO และ LPF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณารูปที่ 3.2 (ก) เงื่อนไขวงจรภายใต้สภาวะล็อกคือ $\phi_{out} - \phi_{in}$ จะต้องมีค่าคงที่ และมีขนาดเล็กและจะต้องไม่เปลี่ยนแปลงกับเวลา โดยสรุปจะได้ว่า เมื่อเฟสล็อกอยู่ในสภาวะ ล็อกเฟสของเอาต์พุตจาก VCO เมื่อเทียบกับอินพุตจะต้องมีค่าผิดพลาดเฟสน้อยแต่ความถี่ทั้งสอง จะต้องเท่ากัน

3.2 ลักษณะสัญญาณของเฟสล็อกในสภาวะล็อก

เมื่อวงจรเฟสล็อกอยู่ในสภาวะล็อก รูปสัญญาณในแต่ละจุดนั้นแสดงดังรูปที่ 3.3 (ก) โดย V_{out} กับ V_{in} จะมีความต่างเฟสหรือเฟสผิดพลาดน้อยมาก แต่ความถี่จะเท่ากัน โดย PD เป็นตัวสร้างพัลส์ที่เกิดจากค่าเฟสที่ผิดพลาดของอินพุตกับเอาต์พุต และ LPF จะกรองเอาเฉพาะ แรงดันที่เป็นดีซีคือ V_{PD} ป้อนให้กับ VCO โดยพัลส์ขนาดเล็กใน VLPF เรียกว่าริปเปิล (Ripple) พิจารณารูปที่ 3.3 (ก) พารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าคือ ϕ_0 และระดับแรงดันดีซีของ V_{cont} สามารถ หาค่าได้จากการพิจารณาโดยใช้กราฟแสดงคุณสมบัติของ PD และ VCO ดังแสดงในรูปที่ 3.3 (ข) โดยถ้าเฟสล็อกอยู่ในสภาวะล็อกแล้ว ความถี่ของอินพุตและเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากัน โดย กำหนดให้มีค่าเท่ากับ ω_1 และทำให้แรงดันที่วงจร VCO ต้องการคือ V_1 ดังในรูปที่ 3.3 (ก)



รูปที่ 3.3 แสดงคลื่นสัญญาณของเฟสล็อกในสภาวะล็อก

(ก) รูปคลื่นสัญญาณในแต่ละจุด

(ข) กราฟแสดงคุณสมบัติของ VCO และ PD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยขนาดแรงดัน V_1 ได้จากส่วนของ PD ซึ่งเกิดจากค่าความผิดพลาดเฟส 0 จากกราฟคุณสมบัติของ VCO และ PD จะได้ $\omega_{out} = \omega_0 + K_{vco}V_{cont}$ และ $V_{PD} = K_{PD}\Delta\theta$ ทำให้ได้

$$V_1 = \omega_1 - \omega_0 / K_{vco} \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} \theta_0 &= V_1 / K_{PD} \\ &= (\omega_1 - \omega_0) / K_{PD} K_{vco} \end{aligned} \quad (3.2)$$

จากสมการ 3.2 ทำให้ทราบคุณสมบัติที่สำคัญสองประการ คือเมื่อความถี่อินพุตเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้เกิดความต่างเฟสหรือความผิดพลาดเฟสขึ้น และค่าผิดพลาดของเฟสจะมีค่าต่ำเมื่อค่า $K_{PD}K_{VCO}$ ต้องมีค่าสูงโดย K_{PD} ก็คือค่าอัตราขยายของวงจรถักจับเฟส หรือ PD และ K_{VCO} คืออัตราขยายของวงจรถอสซิโลเตอร์แบบควบคุมความถี่ด้วยแรงดันไฟฟ้า

3.3 การพิจารณาสถานะชั่วขณะของเฟสล็อกอยู่ในสภาวะล็อก

เมื่อวงจรถักจับเฟสอยู่ในสภาวะล็อกแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงเฟสหรือความถี่ที่อินพุต จะทำการพิจารณาหาผลการตอบสนองของเฟสล็อกดูว่าเป็นอย่างไร โดยพิจารณาเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของเฟสอินพุตก่อน โดยสมมติให้รูปแบบของอินพุตและเอาต์พุตเป็นดังนี้

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

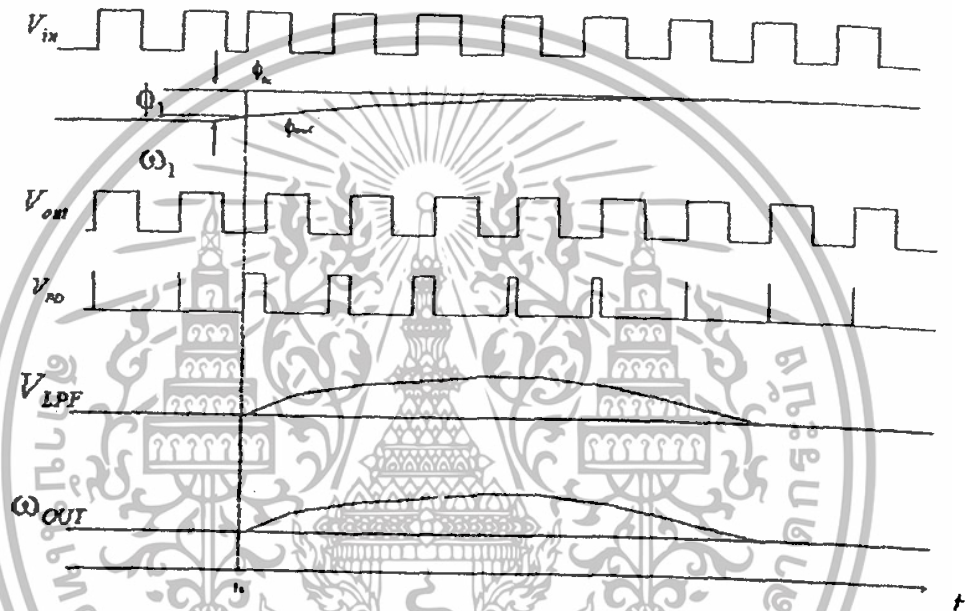
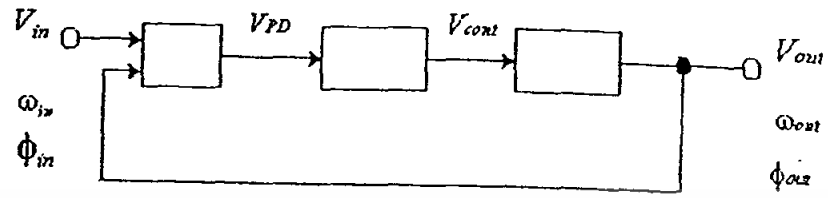
$$V_{out}(t) = V_B \cos(\omega t + \theta) \quad (3.4)$$

โดยที่ไม่พิจารณาความถี่ฮาร์โมนิกที่สูงและ θ_0 คือค่าความผิดพลาดเฟสคงที่ ที่พิจารณา รูปที่ 3.4 จะเห็นว่าเฟสอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นในลักษณะเป็นขั้นคือ θ_1 และเกิดขึ้นที่เวลา $t = t_1$ จะทำให้เฟสที่อินพุตมีค่าเท่ากับ $\theta_{in} = \omega t + \theta_1 u(t - t_1)$ ณ เวลานี้เอาต์พุตของ LPF ยังไม่เพิ่มขึ้นอย่างทันทีทันใด และ VCO ยังคงออสซิลเลทที่ความถี่เดิมคือ ω_1

หลังจากนั้นค่าความต่างเฟสของอินพุตกับเอาต์พุตค่อยๆ เพิ่มขึ้น ทำให้พัลส์ขึ้นที่เอาต์พุตของ PD และส่งผลให้เกิด V_{LPF} เพิ่มขึ้น ผลลัพธ์คือทำให้ความถี่ของ VCO เพิ่มขึ้น เพื่อพยายามลดค่าผิดพลาดของเฟสที่สภาวะชั่วขณะนี้ จะไม่เกิดการล็อกขึ้นเนื่องจากค่าความผิดพลาดเฟสเปลี่ยนแปลงตามเวลา ภายหลังจากที่ความถี่ของ VCO เริ่มเปลี่ยนแล้ว เฟสล็อกดูจะเข้าสู่สภาวะตามเดิม โดย ω_{out} จะกลับมาเท่ากับ ω_1 นั่นคือ V_{LPF} และ $\theta_{out} - \theta_{in}$ จะกลับสู่ค่าเริ่มต้นตามเดิม โดยเมื่อลูปอยู่ในสภาวะสงบ เอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

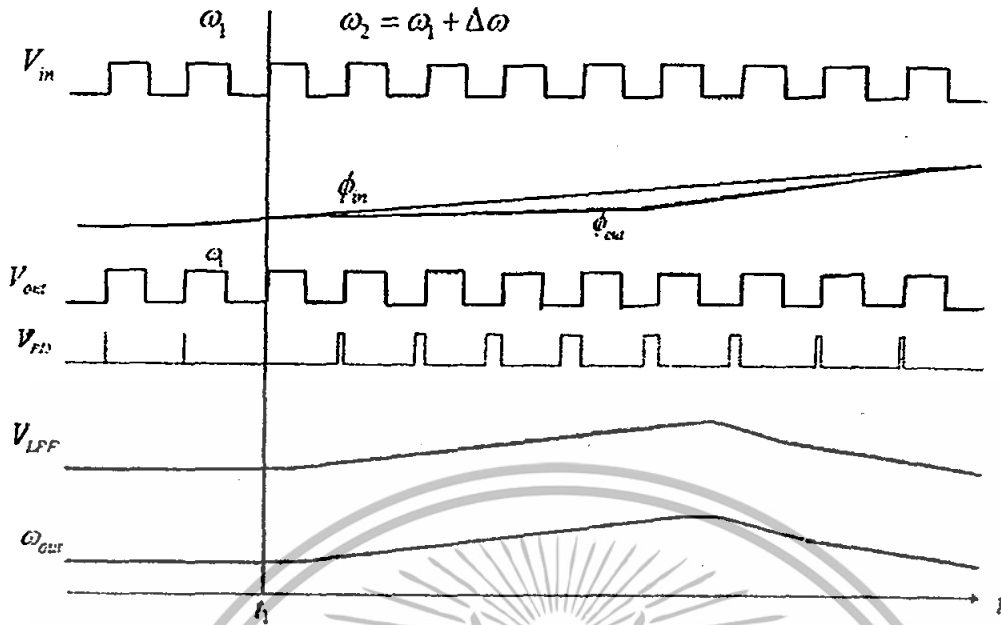
$$V_{out}(t) = V_B \cos [\omega_1 t + \phi_0 + \phi_{1u}(t_0 - t_1)] \quad (3.5)$$



รูปที่ 3.4 แสดงผลการตอบสนองของเฟสล็อกคูลูปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเฟสที่อินพุต

สิ่งที่สำคัญเมื่อลูปกลับเข้าสู่สภาวะล็อกคือ พารามิเตอร์ทุกตัว จะกลับเข้าสู่สภาวะเริ่มต้นทั้งหมด คือ $\phi_{out} - \phi_{in}$, V_{LPF} และค่าความถี่ของ VCO จะเท่ากับสภาวะเริ่มต้น ต่อไปเป็นการพิจารณาผลการตอบสนองของเฟสล็อกคูลูปเมื่อความถี่อินพุตเปลี่ยนแปลงชั่วขณะ โดยอินพุตเพิ่มขึ้นที่ความถี่เดิม $\Delta\omega$ ที่เวลา $t = t_1$ ดังแสดงในรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงผลการทดลองของเฟสล็อกคูลูปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความถี่ที่อินพุต

โดยความถี่เริ่มต้นของ VCO คือ ω_1 เมื่อมีความถี่อินพุตเปลี่ยน PD จะเกิดพัลส์ โดยความกว้างค่อยๆเพิ่มมากขึ้นและ V_{LFF} จะมีค่าเพิ่มขึ้นจน ω_{out} เข้าใกล้ $\omega_1 + \Delta\omega$ หรือก็คือ ความถี่อินพุตโดยเอาที่พุดจาก PD จะมีค่าลดลง ภายใต้สภาวะสงบ ระดับคิซีที่วงจรกรองความถี่มีค่าเท่ากับ $(\omega_1 + \Delta\omega - \omega_0) / K_{VCO}$ จะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของเฟสหรือความถี่ที่อินพุต จะนำมาซึ่งระดับแรงดันเพื่อควบคุมความถี่ VCO เพื่อลดค่าเฟสผิดพลาดลง

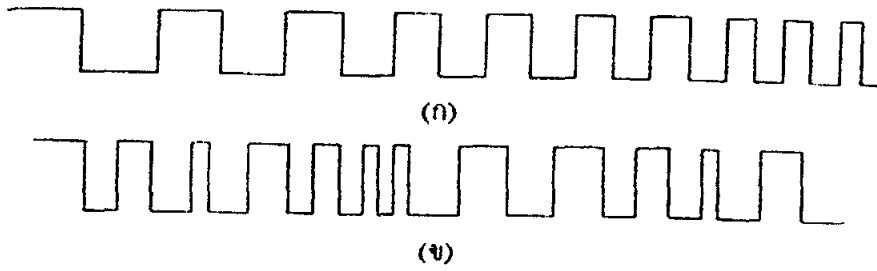
3.4 เสถียรภาพของเฟสล็อกคูลูปแบบพื้นฐาน

การพิจารณาเกี่ยวกับเสถียรภาพของเฟสล็อกคูลูป จะต้องทราบฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบ ดังนั้น ต้องพิจารณาหา $\Phi_{out}(s) / \Phi_{in}(s)$ ทั้งถูกเปิดและปิดลูป

พิจารณา $\Phi_{out}(s) / \Phi_{in}(s)$ เป็นตัวบ่งบอกให้ทราบถึงอะไรนั้น ให้เปรียบเทียบกับฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรกรองความถี่อันดับหนึ่งอย่างง่ายคือ $V_{out}(s) / V_{in}(s) = 1 / (1 + s/\omega_0)$ จากฟังก์ชันถ่ายโอนจะเห็นว่า V_{in} เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว V_{out} ไม่สามารถที่จะตามอินพุตได้ตลอดย่านได้ตลอดย่านที่เปลี่ยนแปลง ในทำนองเดียวกัน $\Phi_{out}(s) / \Phi_{in}(s)$ จะแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ว่าเฟสของเอาต์พุต มีการเปลี่ยนแปลงไปกับเฟสของอินพุตอย่างไร เมื่อมีอินพุตที่เปลี่ยนแปลงช้าหรือเร็ว

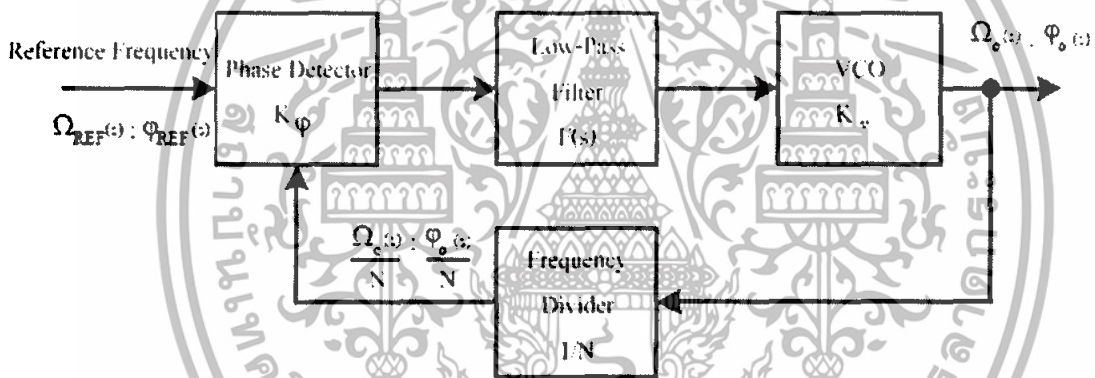
การเปลี่ยนแปลงของเฟสกับเวลา แสดงดังรูปที่ 3.6 โดยรูปที่ 3.6 (ก) เป็นการเปลี่ยนแปลงของเฟสอย่างช้าๆ และรูปที่ 3.6 (ข) เฟสมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงของเฟสกับเวลา
 (ก) เป็นการเปลี่ยนแปลงของเฟสอย่างช้าๆ
 (ข) เฟสมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

พิจารณา $\Phi_{out}(S) / \Phi_{in}(S)$ โดยทำการสร้างรูปแบบเชิงเส้นของเฟสล็อกคูป ดังแสดง
 ในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงรูปแบบเชิงเส้นของเฟสล็อกคูปชนิดที่หนึ่ง (Type 1 PLL)

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

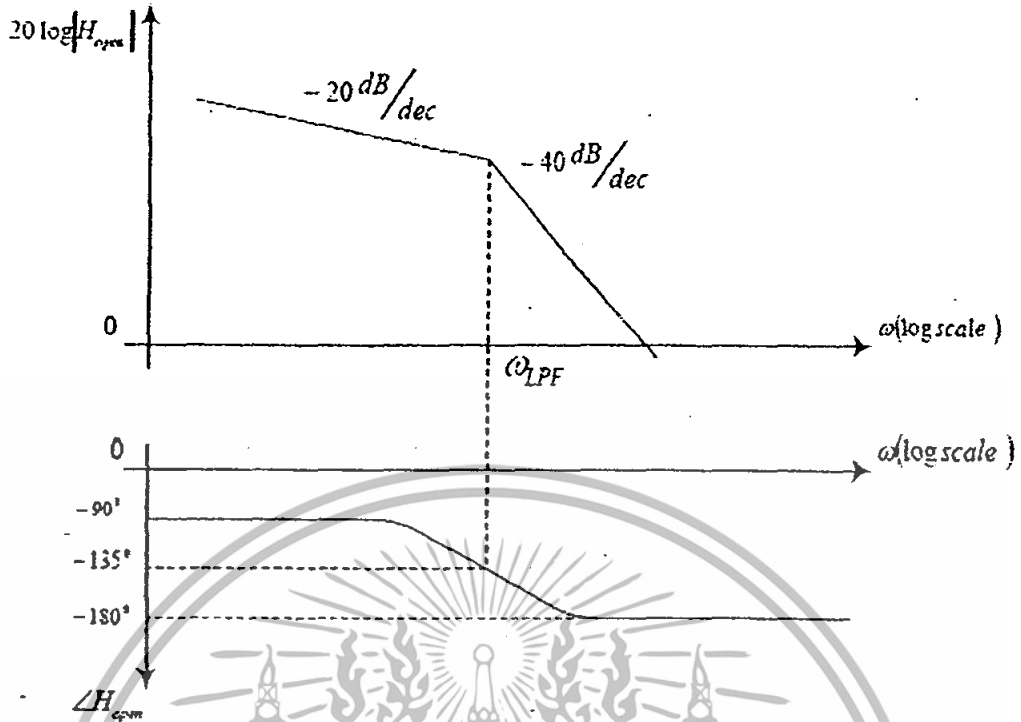
$$H(S) = \omega_n^2 / S^2 + 2\zeta \omega_n S + \omega_n^2 \quad (3.6)$$

ค่าของเอ็กซ์โปเนนเชียล จะลดลงสัมพันธ์กับค่าของเทอม $\zeta \omega_n$ โดยมีค่าเท่ากับ

$$Z \omega_n = \omega_{LPF} / 2 \quad (3.7)$$

จากผลลัพธ์ที่ได้ จะเห็นว่าจะต้องมีการเลือกระหว่างความสามารถเข้าสู่สภาวะสงบอย่างรวดเร็วกับแรงดันริบเบิลที่จะไปควบคุม VCO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

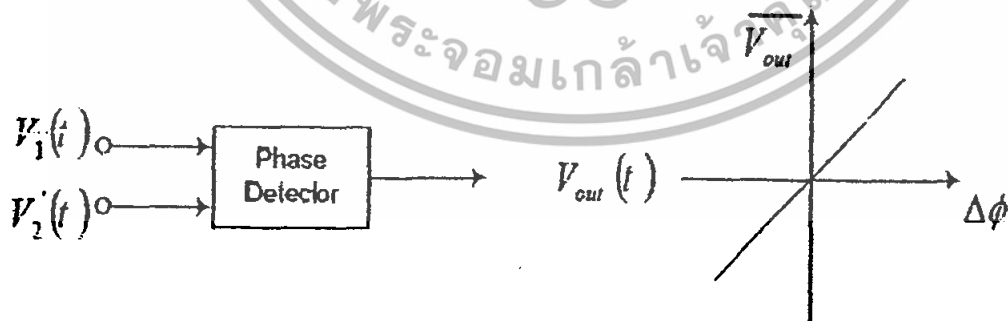


รูปที่ 3.8 แสดงกราฟโบเดพล็อตแสดงเสถียรภาพของ Type 1 PLL

3.5 องค์ประกอบพื้นฐานของเฟสล็อกคูลูป

ตัวตรวจจับเฟส (Phase Detector)

ตัวตรวจจับเฟส (Phase Detector) หรือ PD คือวงจรที่เอาท์พุทเฉลี่ย V_{out} หรือ V_d มีขนาดสัมพันธ์กับความต่างเฟส $\Delta\phi$ ระหว่างสองอินพุท ในทางอุดมคติความสัมพันธ์ระหว่างเอาท์พุทเฉลี่ย V_{out} กับ $\Delta\phi$ จะมีลักษณะเป็นเชิงเส้น ดังแสดงในรูปที่ 3.9

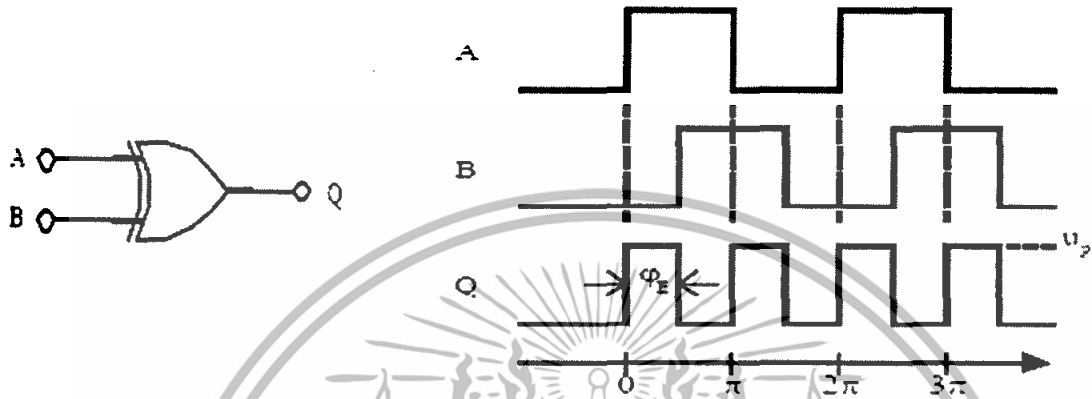


รูปที่ 3.9 แสดงคุณสมบัติของตัวตรวจจับเฟสในทางอุดมคติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเส้นตัดผ่านจุดกำเนิดที่ $\Delta\theta = 0$ และอัตราการขยายของ PD คือความชันของเส้นกราฟ คือ KPD หน่วยเป็น V/rad ตัวคักจับเฟสที่นิยมนำมาใช้ในงานดิจิทัลเฟสล็อกคือแบบเอ็กซ์คลูซีฟออร์ แบบ J-K ฟลิปฟลอป และแบบเฟส-ความถี่

3.6 ตัวคักจับเฟสแบบเอ็กซ์คลูซีฟออร์

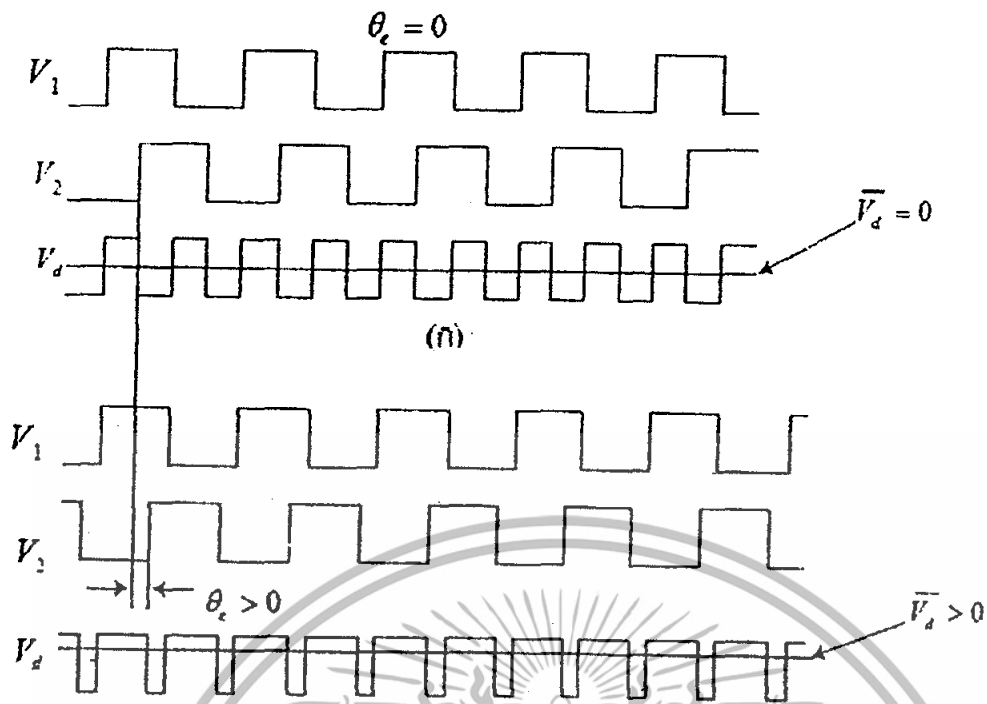


รูปที่ 3.10 ตัวคักจับเฟสแบบเอ็กซ์คลูซีฟออร์

ตัวคักจับเฟสแบบเอ็กซ์คลูซีฟออร์เป็นตัวคักจับเฟสแบบง่ายที่สุด โดยการใช้เอ็กซ์คลูซีฟออร์เกท ซึ่งมีคุณสมบัติคือถ้าสัญญาณอินพุตเหมือนกันเอาท์พุทจะเป็นศูนย์ แต่ถ้าสัญญาณอินพุตต่างกันจะได้เอาท์พุทเป็นหนึ่งหรือเมื่ออินพุตมีความต่างเฟสกัน จะได้เอาท์พุทสัมพันธ์กับอินพุตดังแสดงในรูปที่ 3.10

โดยสัญญาณในวงจรเฟสล็อกแบบดิจิทัลจะเป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งกำหนดให้เป็นสัญญาณอินพุตทั้งสองคือ V และ V เป็นสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่สมมาตร จากรูปที่ 3.11 แสดงความแตกต่างของค่าผิดพลาดเฟส เมื่อมีค่าผิดพลาดเฟสเท่ากับศูนย์ สัญญาณ V และ V จะต่างเฟสกัน 90 องศา ดังนั้น สัญญาณเอาท์พุท V_d ซึ่งเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมจะมีค่าเป็น 2 เท่าของสัญญาณอินพุตและค่า Duty Cycle ของสัญญาณ V_d จะมีค่าเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อถูกกรองด้วยวงจรกรองความถี่จะพิจารณาเพียงค่าของ V_d ซึ่งแสดงโดยเส้นประดังรูป ดังรูปที่ 3.11 (ก) ค่าเฉลี่ย V_d คือ V_d จะคิดตามหลักของค่าระดับลอจิกทั้งสอง โดยถ้าเอ็กซ์คลูซีฟออร์ถูกจ่ายกำลังโดยแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ V_d จะมีค่าประมาณ 2.5 โวลต์ ซึ่งค่าแรงดัน ณ จุดนี้ จะเป็นจุดสงบของเอ็กซ์คลูซีฟออร์ และกำหนดให้ $V = 0$ V เมื่อสัญญาณเอาท์พุท V มีค่ามากกว่าสัญญาณอ้างอิง V ค่าเฟสผิดพลาด θ_c จะมีค่าไปในทิศทางบวกซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.11 (ข) โดยค่า Duty Cycle จะมีค่ามากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ค่าของ V_d เฉลี่ยก็จะมีค่าเป็นบวก ซึ่งแสดงเป็นเส้นประในสัญญาณ V_d

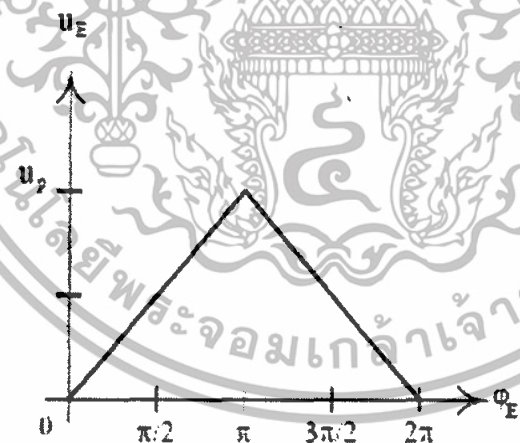
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แสดงสัญญาณของตัวคักจับเฟสแบบเอ็กซ์กูลซีฟออร์

(ก) สัญญาณค่าเฟสผิดพลาดเท่ากับศูนย์

(ข) สัญญาณค่าเฟสผิดพลาดมีค่าเป็นบวก



รูปที่ 3.12 แสดงกราฟคุณสมบัติค่าเอาต์พุต V_d เฉลี่ยของเอ็กซ์กูลซีฟออร์

ในกรณีของชุดเปรียบเทียบแบบเท็กซ์กูลซีฟออร์ค่าเกณฑ์ของตัวคักจับเฟส K_d จะเป็นค่าคงที่เมื่อกำหนดให้แรงดันของแหล่งจ่ายไฟที่จ่ายให้กับเอ็กซ์กูลซีฟออร์ คือ V_{DD} และศูนย์โดยกำหนดระดับลอจิก คือ V_{DD} และศูนย์ ดังนั้น K_d จะมีค่าดังสมการ 3.8

$$K_d = V_{dd} / \pi \quad (3.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติโดยสรุปของตัวจับเฟสแบบเอ็กซ์คลูซีฟเมื่อนำมาใช้ในเฟสล็อกคูล

(1) ขณะยังไม่มีสัญญาณอินพุตเข้ามา เอาท์พุทของเอ็กซ์คลูซีฟจะมีค่าเท่ากับ $VDD/2$ ทำให้เฟสล็อกคูลทำงานอยู่ที่ความถี่ปานกลาง

(2) เมื่ออยู่ในสถานะล็อกเอาท์พุทของเอ็กซ์คลูซีฟจะมีค่า Duty Cycle 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น VCO ที่ใช้งานร่วมกันจะต้องให้อาท์พุทที่มีค่า Duty Cycle เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ด้วย

(3) ตัวจับเฟสแบบเอ็กซ์คลูซีฟสามารถล็อกที่ความถี่ฮาร์โมนิกได้ ดังนั้น พยายามอย่าใช้งานที่ความถี่ซึ่งมีค่าความถี่ฮาร์โมนิกของสัญญาณตรงกับย่านความถี่ของ VCO

3.7 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

เฟสล็อกคูลแบบอนาลอก วงจรกรองความถี่ต่ำที่นิยมใช้กับเฟสล็อกคูลแบบดิจิทัลแสดงดังรูปที่ 3.13 โดยรูปที่ 3.13(ก) เป็นวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านแบบพาสซีฟซึ่งมี 1 โพล และ 1 ซีโพล มีฟังก์ชันถ่ายโอนคือ

$$F(S) = 1 + ST_2 / 1 + S(T_1 + T_2) \quad (3.9)$$

เมื่อ $T = R_1C_1$ และ $T = R_2C_2$ โดยมีค่าการตอบสนองวงจрдังรูปที่ 3.13(ก) ส่วนวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านดังรูปที่ 3.13(ข) เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบแอกทีฟ ซึ่งมีการตอบสนองเหมือนกับวงจรกรองความถี่ต่ำแบบพาสซีฟ แต่วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบแอกทีฟจะให้ค่าอัตราขยาย K_a และฟังก์ชันถ่ายโอนคือ

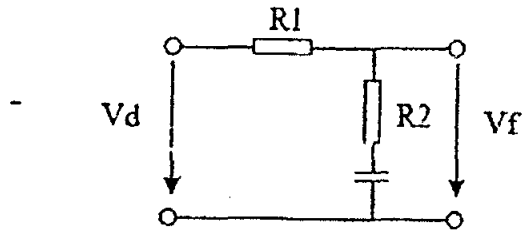
$$F(S) = K_a (1 + ST_2) / 1 + ST_1 \quad (3.10)$$

เมื่อ $T = R_1C_1$ และ $T = R_2C_2$ และ $K_a = -C_1/C_2$ โดยมีค่าการตอบสนองวงจрдังรูปที่ 3.13(ค) เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำอีกแบบหนึ่งคือ วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบ PI แอกทีฟ ซึ่งวงจรมีฟังก์ชันถ่ายโอนคือ

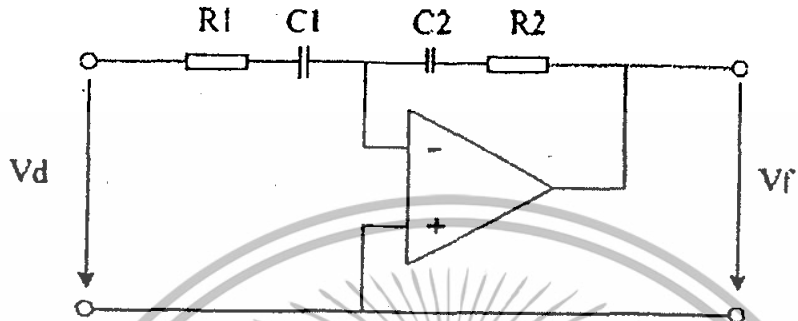
$$F(S) = 1 + ST_2 / ST_1 \quad (3.11)$$

เมื่อ $T = R_1C_1$ และ $T = R_2C_2$ วงจรกรองความถี่ต่ำแบบ PI แอกทีฟจะมีค่าการตอบสนองของวงจрдังรูปที่ 3.13(ค)

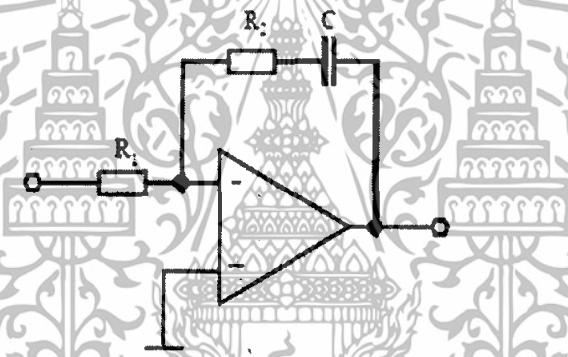
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

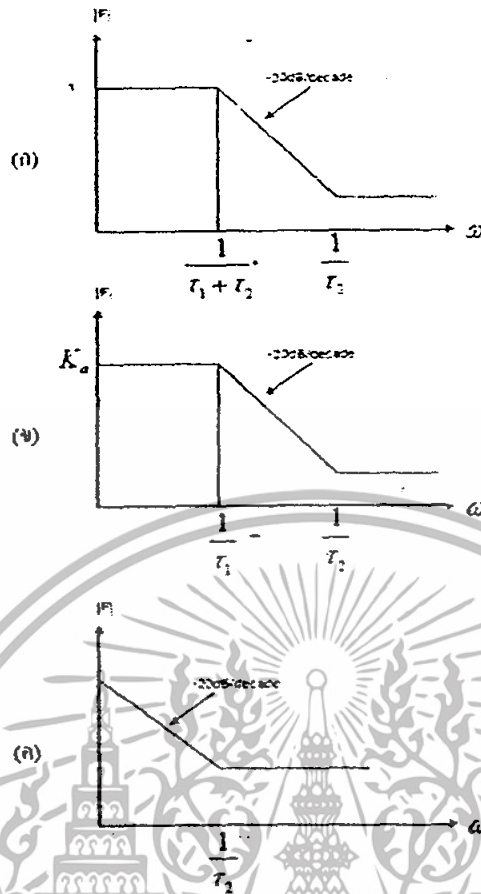


(ค)

รูปที่ 3.13 แสดงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ใช้กับเฟสล็อกคูล

- (ก) วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านแบบพาสซีฟ
- (ข) วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านแบบแอกทีฟ
- (ค) วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านแบบ PI แอกทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงการตอบสนองของวงจรรองความถี่ต่ำผ่าน

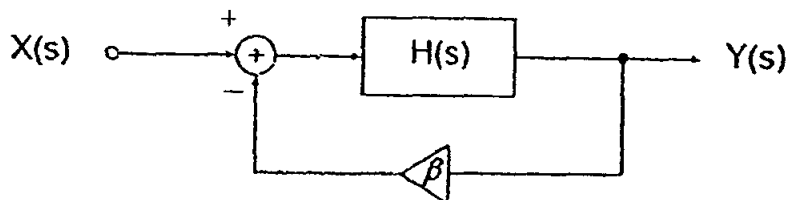
(ก) วงจรรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านแบบพาสซีฟ

(ข) วงจรรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านแบบแอกทีฟ

(ค) วงจรรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านแบบ PI แอกทีฟ

3.8 วงจรออสซิลเลเตอร์

วงจรรออสซิลเลเตอร์จะผลิตเอาต์พุตพัลส์ออกมา โดยปกติอยู่ในรูปแบบแรงดัน โดยวงจรไม่จำเป็นต้องมีการป้อนอินพุต วงจรผลิตเอาต์พุตออกมาอย่างต่อเนื่องและไม่จำกัด ระบบที่มีการป้อนกลับแบบ (Negative Feedback) สามารถที่จะออสซิลเลตได้โดยการออกแบบให้วงจรมีขงายที่ไม่ดี (Badly – Designed Amplifier) ระบบที่มีการป้อนกลับแบบลบแสดงดังรูปที่ 3.15

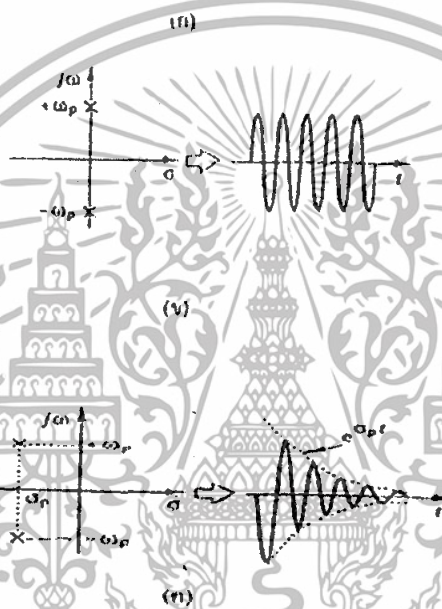
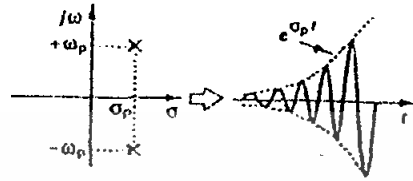


รูปที่ 3.15 แสดงระบบที่มีการป้อนกลับแบบลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.15 สมมติค่าของ β คือค่าคงที่และจะมีค่าเท่ากับหนึ่ง ถ้าระบบมีการป้อนกลับแบบเต็มที่ได้โดยฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบปิดคือ

$$Y/X(s) = H(s) / 1 + \beta H(s) \quad (3.12)$$



รูปที่ 3.16 แสดงผลของตำแหน่งโพลและรูปแบบการออสซิลเลท

- (ก) ระบบที่ไม่เสถียรภาพขนาดการออสซิลเลทเพิ่มขึ้น
- (ข) ระบบที่ไม่เสถียรภาพขนาดการออสซิลเลทคงที่
- (ค) ระบบที่มีเสถียรภาพขนาดการออสซิลเลทลดลงเป็นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ไมโครคอนโทรลเลอร์

4.1 บทนำ

หลังจากที่อินเทลประสบความสำเร็จในการสร้างไมโครโปรเซสเซอร์ 8080 ในปี 2516 แล้วอินเทลก็ได้พัฒนาต่อมาเป็น 8085 ในขณะที่นั้นโครงสร้างบัสของ 8085 เปลี่ยนไปในลักษณะที่เป็นแอดเดรสและข้อมูลมัลติเพล็กซ์ อินเทลประสบความสำเร็จในการขายเป็นอย่างดีเพราะมีชิพประกอบร่วมอยู่ด้วยมาก อินเทลพัฒนาชิพสนับสนุนด้วยโครงสร้างที่คู่ร่วมกับตระกูล 8085 ไว้เป็นจำนวนมากอย่างไรก็ตาม โครงสร้างที่ต้องประกอบการทำงานร่วมกับชิพอีกหลายตัว โดยเฉพาะต้องมี ROM และ RAM ภายนอกต้องมีพอร์ตภายนอกเช่นกัน ไมโครโปรเซสเซอร์กลุ่มนี้จึงไม่เหมาะที่จะใช้งานกับงานขนาดเล็กที่อยู่ในกลุ่มงานควบคุม หรืออุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่ประยุกต์ในเครื่องมือต่างๆ ที่เรียกว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์

อินเทลจึงหันมาสร้างชิพ ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยรวมชิพหน่วยความจำและพอร์ตอินพุตเอาต์พุตไว้ในชิพเดียว โดยตั้งหมายเลขตระกูลเป็น MCS-48 เบอร์หลักที่กำหนดคือ 8048 เป็นชิพ ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่อินเทลตั้งใจจะให้มีการประยุกต์ใช้ในวงจรที่ต้องการให้ต้นทุนต่ำผลิตเป็นจำนวนมาก เช่น ลินคัสที่ใช้ในบ้านทั่วไป

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

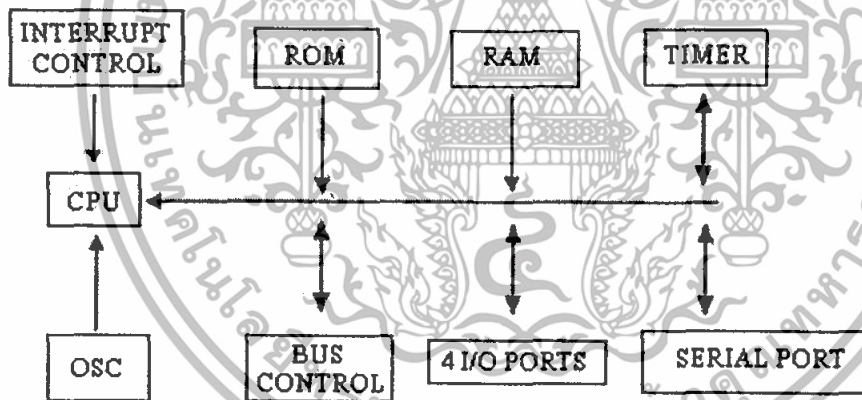
ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จัดได้ว่าเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลที่มีผู้ใช้งานมากที่สุดในระดับต้นๆ มีการพัฒนาและเพิ่มขีดความสามารถอย่างต่อเนื่อง เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีผู้ผลิตหลายรายราคาไม่สูงและหาง่ายไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นระบบควบคุมที่มีขนาดเล็ก โดยที่อุปกรณ์ขนาดเล็กนี้เป็นอุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำที่รวบรวมเอาฟังก์ชันการทำงานต่างๆ มารวมไว้ในตัวมันเองโดยมีโครงสร้างที่ใกล้เคียงกับคอมพิวเตอร์ คือเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในประกอบด้วยหน่วยประมวลผลกลางหน่วยความจำ และพอร์ต(ขนาน / อนุกรม) ต่างๆ เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก

4.2 ส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์

1. หน่วยประมวลผลกลาง (CPU : CENTRAL PROCESSING UNIT)
2. หน่วยความจำ (MEMORY 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. ตัวควบคุมการอินเทอร์รัปต์



รูปที่ 4.1 โครงสร้างพื้นฐาน ของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

โครงสร้างภายในพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆได้แก่

- หน่วยความจำภายในสำหรับเก็บข้อมูลขนาด 128 ไบต์(internal datamemory 128 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)

หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมทำหน้าที่เก็บ โปรแกรมที่ผู้ใช้เขียนขึ้นเพื่อควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยหน่วยความจำจะเป็นแบบ ROM มีความจุ 4Kbytes (ตำแหน่ง 0000H – 0FFFH) ในการใช้งานสามารถกำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เลือกใช้โปรแกรมที่เก็บอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์หรือโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำ (PROM) ที่อยู่ภายนอกได้ การเลือกการติดค้อทำโดยการป้อนสัญญาณควบคุมที่ขา EA (External Access) ถ้าต้องการไมโครคอนโทรลเลอร์ติดค้อกับโปรแกรมที่อยู่ในหน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะต่อขา E กับลอจิก 1 หากต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดค้อกับโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำภายนอก จะต่อขานี้กับลอจิก 0 การติดค้อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกจะติดค้อได้ทั้งหมด 64Kbytes (ตำแหน่ง 0000H-FFFFH)

ในกรณีที่กำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดค้อกับโปรแกรม ที่อยู่ในหน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดค้อได้ 4Kbyte (สำหรับ เบอร์ที่ใช้งาน) หากตำแหน่งของโปรแกรมมีค่าเกินกว่าตำแหน่งของหน่วยความจำภายใน ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการติดค้อกับโปรแกรมที่อยู่ในหน่วยความจำภายนอกอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 หน่วยความจำภายใน (Internal Data Memory)

หน่วยความจำข้อมูลภายในทำหน้าที่เก็บข้อมูลทั่วไป และทำหน้าที่เป็นสแต็กบางส่วน หน่วยความจำข้อมูลภายในมีอยู่ 128 ไบต์ โดยอยู่ในตำแหน่ง 00H – 7FH

4.3.3 อุปกรณ์ควบคุมการอินเทอร์รัพต์ (Interrupt Control Unit)

เป็นส่วนทำหน้าที่ควบคุมการอินเทอร์รัพต์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งมีการร้องขออินเทอร์รัพต์ได้จาก 6 แหล่งกำเนิด คือสัญญาณจากภายนอก 2 สัญญาณ จากตัว Timer0 , Timer1 และ Timer2 และจากอุปกรณ์รับส่งข้อมูลแบบอนุกรม 1 สัญญาณ สัญญาณอินเทอร์รัพต์ที่เกิดขึ้นสามารถควบคุมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตอบรับหรือไม่ตอบรับก็ได้ นอกจากนี้ยังสามารถจัดลำดับความสำคัญของการอินเทอร์รัพต์จากสัญญาณต่างๆ ได้เป็น 2 ระดับความแตกต่าง

4.3.4 ตัวตั้งเวลาและตัวนับ (Timer/Counter)

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

การทำงานในโหมดของตัวตั้งเวลาค่าในรีจิสเตอร์จะเพิ่มขึ้นทุกๆ แมกซ์ซินไซเคิล โดย 1 แมกซ์ซินไซเคิลประกอบด้วยสัญญาณนาฬิกา 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

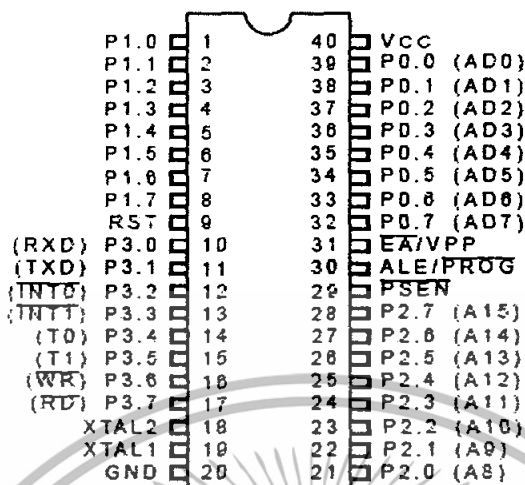
4.3.5 พอร์ตอินพุตเอาต์พุต

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ประกอบไปด้วยพอร์ตอินพุตแบบ 2 ทิศทาง จำนวน 4 พอร์ต แต่ละพอร์ตมีอุปกรณ์แลตซ์ข้อมูลและเอาต์พุต ไครเวอร์ประกอบอยู่ทางด้านเอาต์พุต และทางด้านอินพุตจะมีบัฟเฟอร์ สามารถใช้งานแต่ละพอร์ตเป็นอินพุตหรือเอาต์พุตได้ตามต้องการ แต่ละบิตของพอร์ตสามารถเชื่อมต่อกับสัญญาณ TTL ได้โดยตรง

การติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกพอร์ต P0 และ P2 จะใช้สำหรับกำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำภายนอก โดยพอร์ต P0 จะทำงานในลักษณะของมัลติเพล็กซ์ คือเป็น ทั้งพอร์ตตำแหน่งและพอร์ตข้อมูล โดย P0 จะเป็นตำแหน่งของหน่วยความจำด้านต่ำ และ P2 จะเป็นของหน่วยความจำด้านสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 สัญญาณต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51



รูปที่ 4.3 สัญญาณต่างๆ ของ MCS-51

สัญญาณต่าง ๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถจำแนกตามการทำงานเป็น 3 กลุ่มคือ

- กลุ่มสัญญาณตำแหน่ง เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำ
- กลุ่มสัญญาณควบคุมเป็นสัญญาณควบคุมการทำงานของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์
- กลุ่มสัญญาณข้อมูล เป็นทางผ่านของข้อมูล ระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับหน่วยความจำ

หน้าที่และการใช้งานของสัญญาณต่างๆ เป็นดังนี้

VCC	สำหรับต่อไฟเลี้ยง +5 V
VSS	สำหรับต่อกราวด์
X-TAL1	เป็นอินพุตของภาคขยายสัญญาณแบบอินเวอร์สของวงจรผลิตสัญญาณ
X-TAL2	เป็นเอาต์พุตของภาคขยายสัญญาณแบบอินเวอร์สของวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกา
RST	สัญญาณรีเซ็ตไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกรีเซ็ตเมื่อสัญญาณที่ขานี้มีค่าเป็นลอจิก 1 นานไม่ต่ำกว่า 2 แมกซ์อินไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ALE/PROG	เป็นสัญญาณเอาต์พุต ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งออกไปเป็นพัลส์เพื่อแลตซ์ค่าตำแหน่งไบต์ค่าที่อยู่ที่พอร์ต PO ในขณะที่ติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก สัญญาณนี้จะถูกส่งออกไปด้วยอัตราคงที่คือ 1/6 เท่าของความถี่สัญญาณนาฬิกา ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นสัญญาณนาฬิกาให้กับอุปกรณ์ภายนอกได้ สัญญาณพัลส์นี้จะถูกข้ามไป 1 พัลส์เมื่อมีการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก และสัญญาณนี้จะป็นอินพุตเพื่อควบคุมโปรแกรม PROM ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย
PSEN	เป็นเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณสไตรป เพื่ออ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อซีพียูอ่านรหัสคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอกจะส่งสัญญาณสไตรปออกมา 2 ครั้ง ใน 1 แมกซ์ไซเคิล แต่สัญญาณสไตรปทั้ง 2 ครั้ง จะถูกข้ามไปหากเป็นช่วงที่ซีพียูติดต่อกับ External Data Memory
EA	เป็นสัญญาณอินพุตใช้สำหรับควบคุมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เลือกติดต่อกับโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำโปรแกรมภายใน หรือโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำภายนอกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ หากให้ค่าลอจิก 1 ที่ขา นี้จะเป็นการเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ 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 ออกไปที่พอร์ตก่อนเพื่อทำให้ลอยซึ่งจะเป็นอิมพีแดนซ์สูงพอร์ต PO จะทำงานอีกหน้าที่หนึ่ง คือเป็นมัลติเพล็กซ์ของสัญญาณตำแหน่งด้านค่าและสัญญาณข้อมูลในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก การทำงานในลักษณะนี้จะใช้การ พูลอัพ จากภายในที่สามารถจ่ายกระแสให้กับอินพุตของ TTL ได้ 8 ตัว นอกจากนี้ 2 หน้าที่ดังกล่าวแล้ว พอร์ต PO ยังใช้เป็นตัวรับข้อมูลในช่วงการ โปรแกรม EPROM และเป็นตัวส่งข้อมูลออกมาในช่วงการตรวจสอบโปรแกรมภายใน ROM หรือ EPROM ซึ่งจะต้องใช้การพูลอัพจากภายนอกในขณะที่ทำการตรวจสอบโปรแกรม
Port1	เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตแบบ 2 ทางขนาด 8 บิต ที่มีพูลอัพอยู่ภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทเอกชน การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	<p>ในกรณีเอาต์จะต่อกับอินพุตของ TTL ตระกูล LS ได้ 4 ตัวเมื่อต้องการใช้เป็นอินพุตต้องเริ่มต้นด้วยการส่งค่าลอจิก 1 ออกไปที่พอร์ตนี้ก่อนเพื่อทำให้เกิดพุลส์ภายในเมื่อมีสัญญาณอินพุตเป็น 0 เข้ามาจะทำให้พอร์ตจ่ายกระแสออกเนื่องจากการพุลส์พอยุ่ภายในนอกจากนี้พอร์ต P1 ยังทำหน้าที่รับตำแหน่งด้านต่ำในช่วงของการโปรแกรม EPROM ช่วงการตรวจสอบโปรแกรม ใน ROM หรือ EPROM อีกด้วย</p>
Port2	<p>เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตแบบ 2 ทางขนาด 8 บิต ที่มีพุลส์พอยุ่ภายในในกรณีเอาต์พุตจะต่อกับอินพุตของ TTL ตระกูล LS ได้ 4 ตัว เมื่อต้องการทำเป็นอินพุตต้องเริ่มต้นด้วยการส่งค่าลอจิก 1 ออกไปที่พอร์ตก่อนเพื่อให้เกิดการพุลส์ภายในเมื่อสัญญาณอินพุตเข้ามาเป็น 0 จะทำให้พอร์ต P2 จ่ายกระแสออกเนื่องจากการพุลส์พอยุ่ภายใน ในระหว่างการติดต่อกับโปรแกรมภายนอกหรือการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกที่มีการอ้างตำแหน่งแบบ 16 บิต พอร์ต P2 จะส่งตำแหน่งไบต์สูงออกไป ซึ่งการทำงานในลักษณะนี้จะมีการพุลส์พอยุ่ภายในในช่วงของการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกที่ใช้อ้างตำแหน่งแบบ 8 บิต สัญญาณที่ขาพอร์ต P2 จะมีค่าเท่ากับรีจิสเตอร์ P2 ที่อยู่ใน SFR นอกจากนี้ พอร์ต P2 ยังทำหน้าที่รับตำแหน่งไบต์สูงในช่วงของการโปรแกรม EPROM และการตรวจสอบโปรแกรมใน ROM และ EPROM</p>
Port3	<p>เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต 2 ทางขนาด 8 บิต ที่มีพุลส์พอยุ่ภายใน ในกรณีเอาต์พุตสามารถต่อเข้ากับอินพุตของ TTL ตระกูล LS ได้ 4 ตัว เมื่อต้องการทำเป็นอินพุตต้องเริ่มต้นด้วยการส่งค่าลอจิก 1 ออกไปที่พอร์ตก่อนเพื่อทำการพุลส์พอยุ่ภายใน เมื่อสัญญาณอินพุตเข้ามาเป็น 0 จะทำให้พอร์ต P3 จ่ายกระแสออกเนื่องจากการพุลส์พอยุ่ภายใน</p>

4.5 การจัดหน่วยความจำของ MCS-51

การจัดหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะจัดแบ่งหน่วยความจำออกเป็น 3 กลุ่ม

4.5.1 หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม (Program Memory)

หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม จะเป็นที่เก็บชุดคำสั่งต่างๆ และข้อมูลทีโปรแกรมใช้งานภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ มีหน่วยความจำที่เก็บโปรแกรมได้ 4 Kbytes ซึ่งหน่วยความจำจะเป็นลักษณะของ ROM งานในการใช้งานสามารถเก็บโปรแกรมเข้าในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ทันทีโดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการเขียนโปรแกรมเข้าในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ อย่างไรก็ตามมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

4.5.2 หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory)

หน่วยความจำข้อมูลทำหน้าที่เก็บข้อมูลต่าง ๆ ในขณะที่โปรแกรมทำงานและหน้าที่เป็นสแตคบางส่วน ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะมีหน่วยความจำภายในและภายนอก ซึ่งในหน่วยความจำภายในจะมีขนาด 128ไบต์

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

ตารางตำแหน่งของรีจิสเตอร์ R0-R7 ในแบงค์ต่างๆ

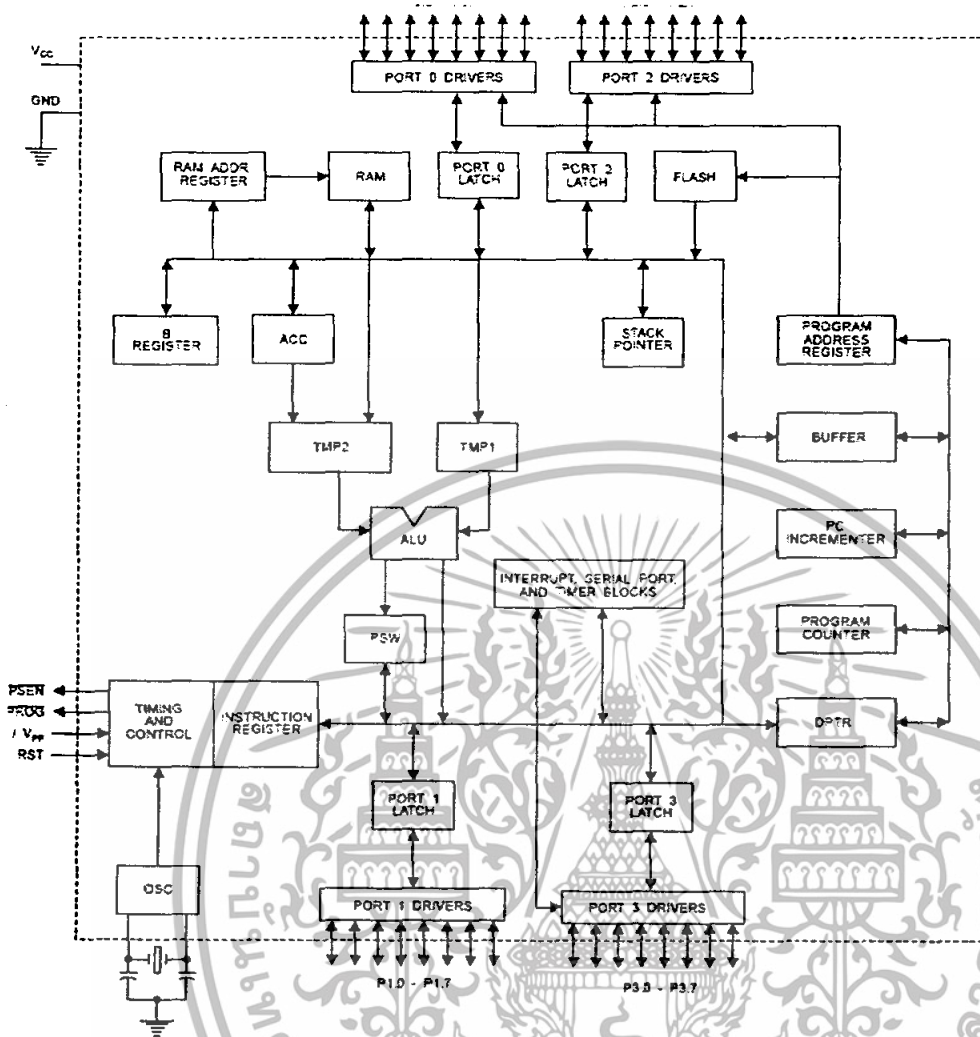
รีจิสเตอร์แบงค์	รีจิสเตอร์	ตำแหน่ง
0	R0 - R7	00-07
1	R0 - R7	08-0F
2	R0 - R7	10-17
3	R0 - R7	18-1F

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 ใช้งานการอ้างตำแหน่งแบบบิต จะทำให้การทำงานได้รวดเร็วขึ้น ซึ่งเป็นสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ถูกออกแบบมาเพื่อควบคุมโดยเฉพาะ

พื้นที่บริเวณตำแหน่ง 30H-7FH เป็นพื้นที่ที่ใช้งานทั่วไปการติดต่อกับข้อมูลในตำแหน่งต่างๆ ในส่วนนี้สามารถอ้างตำแหน่งข้อมูลได้ลักษณะของไบต์เท่านั้น ในพื้นที่ส่วนนี้เราอาจใช้เป็นสแตคก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 Block Diagram ของ MCS-51 เบอร์ AT89C51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การส่งสัญญาณข้อมูลดิจิทัลโดยการมอดูเลต

5.1 หลักการส่งสัญญาณข้อมูลดิจิทัลโดยการมอดูเลต

การสื่อสารในปัจจุบันได้นิยมนำเอาการ มอดูเลตสัญญาณแบบดิจิทัลมอดูเลชันมาใช้กันแบบแพร่หลายเพราะว่าระบบดิจิทัลให้ค่าความแน่นอนน่าเชื่อถือสูงกว่าระบบอนาลอก และมีการรบกวนอันเนื่องมาจากสัญญาณต่ำ ซึ่งในระบบปัจจุบันนี้ อุปกรณ์ต่างๆ ในด้านดิจิทัล ได้มีการพัฒนาก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว ทำให้ต้นทุนการผลิตอุปกรณ์ต่ำลง และนอกจากนี้แล้วระบบดิจิทัลมอดูเลชัน ยังสามารถทำการเข้ารหัส ก่อนทำการมอดูเลตแล้วทำการถอดรหัส หลังการดีมอดูเลต ทำให้การส่งข้อมูลมีความผิดพลาดน้อยลงในการมอดูเลชันทางดิจิทัลมีด้วยกัน 3 แบบ ใหญ่ๆ คือ

1. การเปลี่ยนขนาดของสัญญาณตามสัญญาณดิจิทัล (Amplitude Shift Keying , ASK)
2. การเปลี่ยนความถี่ตามสัญญาณดิจิทัล (Frequency Shift , FSK)
3. การเปลี่ยนเฟสตามสัญญาณดิจิทัล (Phase Shift Keying , PSK)

5.1.1 การเปลี่ยนแปลงขนาดตามสัญญาณดิจิทัล (Amplitude Shift Keying , ASK)

รูปคลื่นที่ได้จากการมอดูเลตสัญญาณแบบดิจิทัลเปลี่ยนขนาดตามสัญญาณที่ได้ ตามระดับของสัญญาณดิจิทัลที่เปลี่ยนแปลงไป ที่ระดับดิจิทัลมีสถานะเป็นลอจิก 0 สัญญาณพาหะที่ได้จะมีขนาดอยู่ในระดับที่ต่ำ และถ้าสัญญาณที่ได้เป็น 1 สัญญาณพาหะที่ได้จะอยู่ในระดับที่สูง วงจรที่ใช้มอดูเลตเป็นวงจรที่ง่าย ราคาถูกแต่ข้อเสียคือวงจรทางภาคดีมอดูเลตจะเกิดความผิดพลาดได้ง่าย อันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนที่จะมีผลต่อขนาดของสัญญาณ และทางภาครับยังต้องมีวงจรชดเชยการลดทอนของสัญญาณในสายอัด โนมีติ และอัตราการส่งข้อมูลอยู่ที่ระดับต่ำ

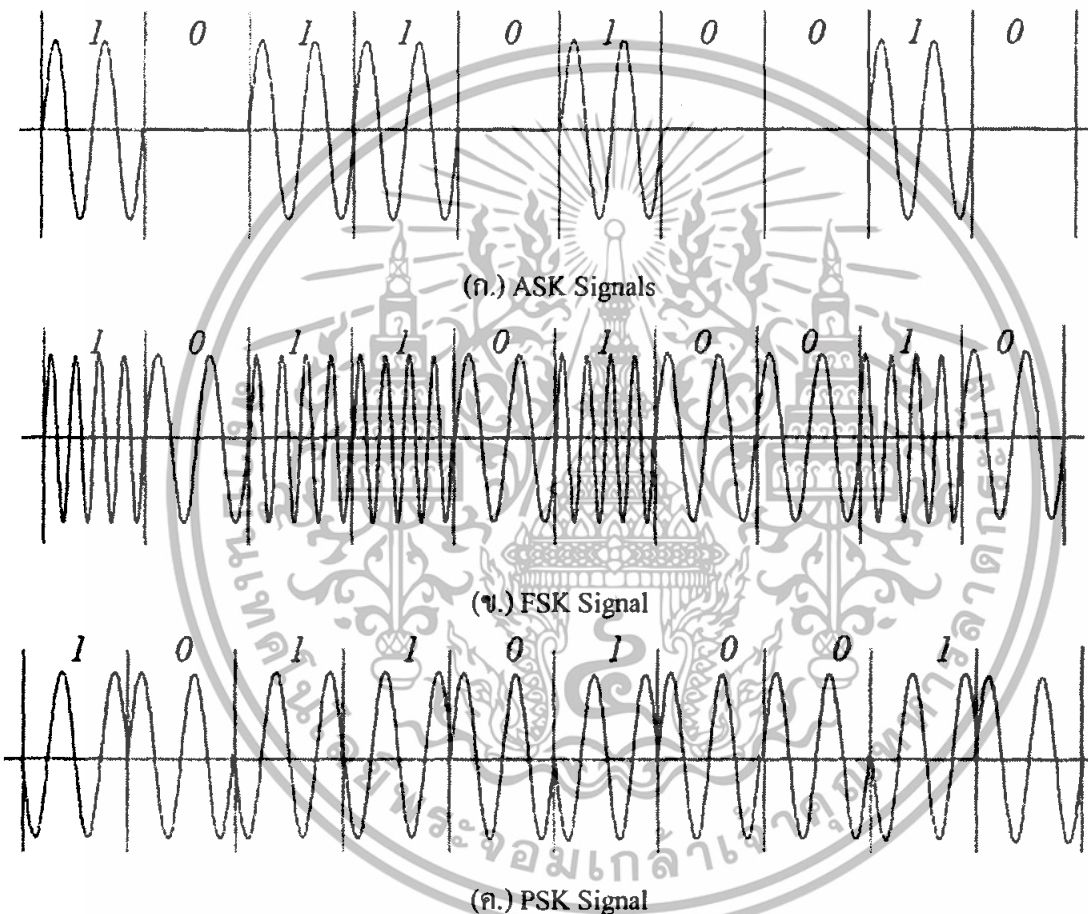
5.1.2 การเปลี่ยนความถี่ตามสัญญาณดิจิทัล (Frequency Shift Keying , FSK)

รูปคลื่นสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตแบบนี้ จะเป็นการเปลี่ยนความถี่ตามสัญญาณดิจิทัล ถ้าสัญญาณดิจิทัลเป็น 0 หรือ 1 สัญญาณคลื่นพาหะที่ได้จะมีความถี่ที่ต่างกัน อัตราการส่งข้อมูลจะมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงกว่า เอ.เอส.เค เล็กน้อย สำหรับการส่งสัญญาณในสายที่มีแบนด์วิดท์ ไม่เกิน 3.4 KHz จะสามารถส่งอัตราบิตได้ไม่เกิน 1200 บิตต่อวินาทีและวงจรยังมีส่วนประกอบของวงจรที่ง่ายและมีเสถียรภาพต่อสัญญาณรบกวนได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 การเปลี่ยนเฟสตามสัญญาณดิจิทัล (Phase Shift keying , PSK)

รูปคลื่นพาหะที่ได้จะมีการเปลี่ยนเฟสตามสัญญาณดิจิทัล จะส่งสัญญาณที่มีความถี่เดียวกัน แต่เฟสของสัญญาณจะต่างกันตามสัญญาณดิจิทัลที่เข้ามา 0 กับ 1 มีเฟสต่างกันอยู่ 180 องศา วงจรของภาครับและภาคส่งข้อมูลจะมีความยุ่งยากมาก และ ราคาสูง แต่ข้อดีก็คือสามารถส่งอัตราข้อมูลได้สูงกว่า 1200 บิตต่อวินาที แต่ความเสถียรภาพที่มีต่อสัญญาณรบกวนยังไม่มีดี



รูปที่ 5.1 แสดงการมอดคูเลตของสัญญาณดิจิทัลแบบต่างๆ

จากที่กล่าวมาการส่งสัญญาณแบบ FSK จะมีเสถียรภาพต่อสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า ASK และ PSK แต่การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าไม่จำเป็นจะต้องใช้อัตราการส่งข้อมูลที่สูงมากนัก แต่ถ้าต้องการความเสถียรภาพต่อสัญญาณที่สูงดังนั้นเราจึงเลือกใช้การส่งข้อมูลแบบ ASK

การมอดคูเลตแบบ FSK ที่ใช้จะใช้ความถี่อยู่ 2 ความถี่ ที่สถานะลอจิก 1 ใช้ ความถี่ 125KHz เป็นความถี่มาร์ค และที่สถานะลอจิก 0 ใช้ความถี่ 115KHz เป็นความถี่สเปซ อัตราการส่งข้อมูลทาง อินทพเรียกว่าอัตราบิต โดยมีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที และอัตราการรับข้อมูลทางค่านรับเรียกว่าอัตรา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$V(t) = A\cos(\omega_c \pm \omega)t$$

A = ขนาดของสัญญาณ SK

$$\omega_c = 2\pi F_c$$

$\Delta\omega$ = ความถี่เบี่ยงเบนของความถี่มาร์คและความถี่สเปซ

t = เวลา มีหน่วยเป็น วินาที

5.2 การมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลทางความถี่ (FSK Modulator)

การมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลทางความถี่ คือการมอดูเลตทางความถี่ของคลื่นพาห์ โดยความแตกต่างของความถี่ คลื่นพาห์จะบอกถึงค่าของข้อมูลดิจิทัล การมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลทางความถี่ (FSK Modulator) จะทำการเปลี่ยนข้อมูลดิจิทัลแบบอนุกรมเป็นคลื่นไซน์อนาล็อก โดยความถี่สูงแทนลอจิก 1 หรือความถี่มาร์ค และความถี่ต่ำแทนลอจิก 0 หรือความถี่สเปซ โดยป้อนข้อมูลดิจิทัลเข้าสู่ FSK Generator ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนข้อมูลดิจิทัลเป็นความถี่คลื่นไซน์อนาล็อกตามระดับของลอจิกของสัญญาณดิจิทัล

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

5.3 ทฤษฎีในการส่งข้อมูลอนาล็อกและดิจิทัล

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 ให้อยู่ในรูปแบบของสัญญาณ Analog เพราะความถี่ไม่เหมาะสมที่จะส่งไปหรือความถี่ต่ำไปเช่นสัญญาณวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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

เป็นการเปลี่ยนข้อมูลในระดับบิต ไปเป็นสัญญาณดิจิทัล 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 เป็นการแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การออกแบบวงจรและการทดลอง

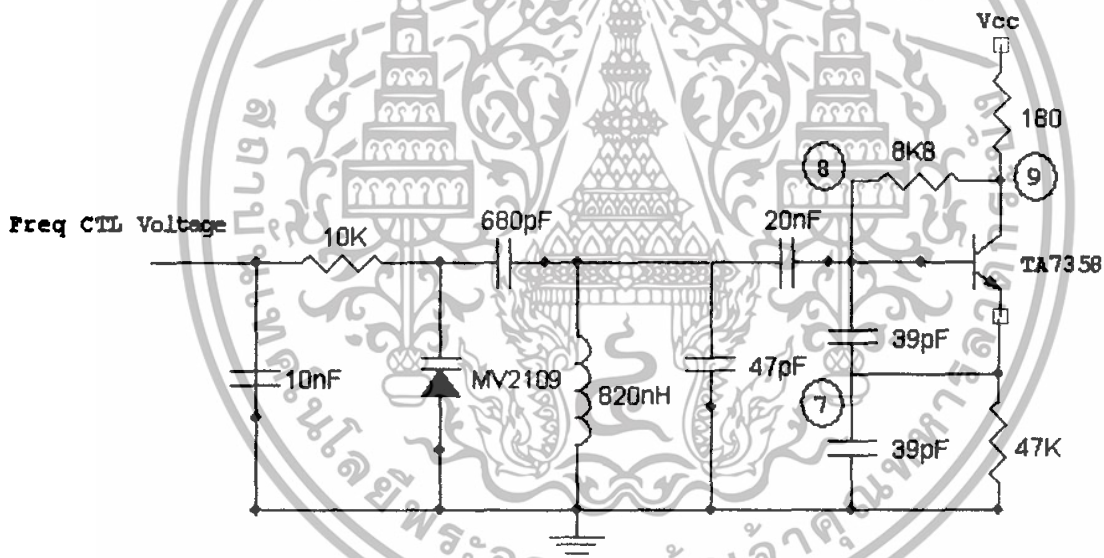
6.1 การออกแบบ

ในการออกแบบวงจรทั้งหมดจะมีส่วนของ โลกคอลลอสซิลเลเตอร์ วงจร โลว์พาสฟิลเตอร์ สำหรับภาคเฟลตีเทคเตอร์เพื่อกำหนดความถี่ที่จะผ่านเข้าไปไบอัสให้กับวาริแคปไดโอดด้วย นอกจากนี้วงจร โลว์พาสฟิลเตอร์ต้องสามารถกำจัดริปเปิ้ลที่เกิดขึ้น ณ เอาท์พุทได้อีกด้วย

6.1.1 การออกแบบ VCO ของภาครับ

$$F_{min} = 15.443 \text{ (15.775) MHz}$$

$$F_{max} = 16.412 \text{ (16.125) MHz}$$



รูปที่ 6.1 วงจร VCO ภาครับ

6.1.2 การออกแบบวงจร LPF

วงจรกรองความถี่ต่ำสำหรับเอาท์พุทจากเฟสล็อกคูลูปเป็นวงจรตั้งคราะห์ความถี่สำหรับที่ความถี่สูงจะมีการต่อค่า C เพิ่มขึ้นด้วย

ความถี่เอาท์พุทอยู่ในช่วง : $F_{out} = 15.775 \text{ MHz} - 16.125 \text{ MHz}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_{out} = F_{ref} \cdot NT : NT = NP + A$$

$$\text{Prescale Factor } P = 1, A = 0$$

$$N \text{ Range} = 1262 - 1290$$

$$NT = 1262 - 1290$$

PD Type : 3 STATES PFD

$$\text{PD output} = 5 \text{ V}$$

$$K_d = 0.397 \text{ V/Rad}$$

$$F_{vco \text{ min}} = 15.71 \text{ MHz} \quad \text{at} \quad \text{which } 2.00 \text{ V}$$

$$F_{vco \text{ max}} = 16.166 \text{ MHz} \quad \text{at} \quad \text{which } 4.00 \text{ V}$$

$$K_{vco} = \frac{2\pi \Delta F_{vco}}{\Delta V_{vco}} = 6.088 \frac{\text{Mrad/sec}}{\text{V}}$$

Pull out range : $\Delta\omega_{po} (1), (2) : \Delta\omega_{po \text{ max}}$ is the dynamic limit of stable operation of the PLL. The PLL will unlock if a frequency step is larger than $\Delta\omega_{po \text{ max}}$.

*EX-OR or Multiplier PD $\Delta\omega_{po \text{ max}}$ is depend on $\Delta\omega_n$ and δ of the PLL

*All Types PFD $\Delta\omega_{po \text{ max}}$ are as large as ΔF_{vco}

$$\Delta\omega_{\text{max at PD}} = \frac{2\pi(F_{o \text{ max}})}{NT \text{ min}} - F_{\text{ref}} = 1.742 \frac{\text{Krad}}{\text{sec}}$$

$$\Delta\omega_{po \text{ at PD}} \leq \Delta\omega_{\text{max at PD}} < 2\pi F_{\text{ref}}$$

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

$$\text{Let Damping : } \delta = 1.14$$

$$\text{Natural Freq : } \Delta\omega_n$$

$$\Delta\omega_{po} / (2.46(\delta+0.5)) \text{ EX-OR}$$

$$\Delta\omega_n = \Delta\omega_{po} / (5.78(\delta+0.5)) \text{ JK FF PD}$$

$$\Delta\omega_{po} / (11.55(\delta+0.5)) \text{ All type PFD}$$

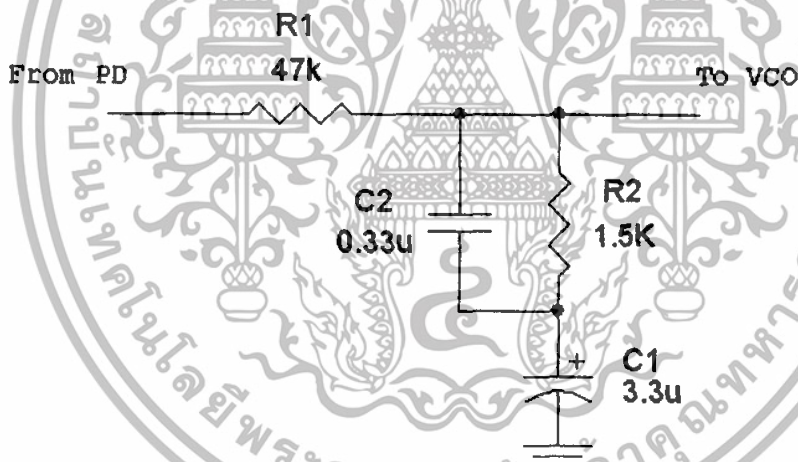
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

$$\tau_1 = (\tau_1 + \tau_2) - \tau_2 = 11.742\text{ms}$$

ใช้ค่า $C_1 = 3.3\mu\text{F}$

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

เลือกใช้ $R_1 = 47\text{k}\Omega$

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

เลือกใช้ $R_2 = 1.5\text{k}\Omega$

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

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

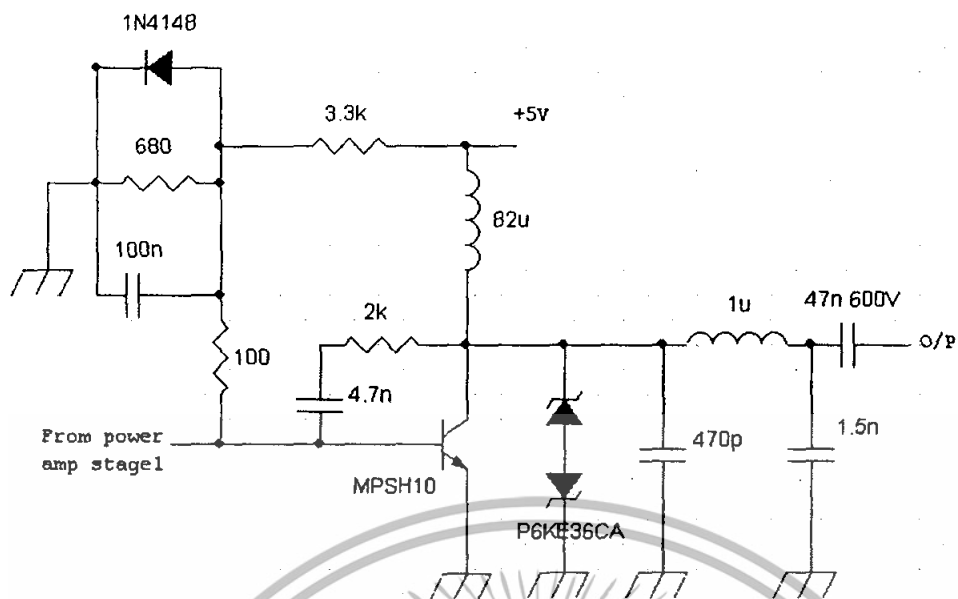
$$\text{เลือกใช้ } \omega_{p2} = 2.02\text{k} \frac{\text{Rad}}{\text{sec}}$$

$$R\omega_{p2} = R_1 // R_2 = 1.453\text{k}\Omega \quad , \quad C_2 = \frac{1}{(\omega_{p2} R\omega_{p2})} = 0.346\mu\text{F}$$

เลือกใช้ $C_2 = 0.33\mu\text{F}$

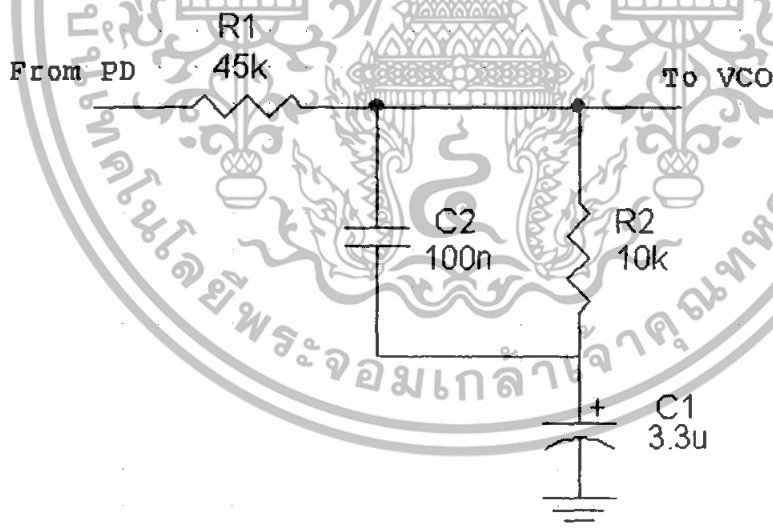
$$\omega_{p2} = \frac{1}{C_2 R\omega_{p2}} = 2.02\text{k} \frac{\text{Rad}}{\text{sec}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5 วงจร Power amp stage 2

6.2.2 การออกแบบวงจรโลว์พาสฟิวเตอร์ร่วมกับเอาต์พุตจากเฟสล็อกคูล



รูปที่ 6.6 LPF ภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design Parameters

$$K_d = 0.397 \text{ V/Rad} : K_{vco} = 0.932 \text{ M} \frac{\text{Rad/Sec}}{\text{V}}$$

$$K = (K_d)(K_{vco}) = 370.004 \text{ K Sec}^{-1}$$

$$f_{ref} = 12.5 \text{ KHz} = 78.54 \text{ K Rad/Sec}$$

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

$$\omega_n = 69.63 \text{ Rad/Sec} : \delta = 1.14$$

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

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

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

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

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

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

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

$$\tau_1 = (\tau_1 + \tau_2) - \tau_2 = 0.149 \text{ s}$$

ใช้ค่า $C_1 = 3.3 \mu\text{F}$

$$R_1 = \frac{\tau_1}{C_1} = 45151.51 \Omega \quad \text{เลือกใช้ } R_1 = 45 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = \frac{\tau_2}{C_1} = 9696.96 \Omega \quad \text{เลือกใช้ } R_2 = 1.5 \text{ k}\Omega$$

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

$$\omega_z = \frac{1}{R_2 C_1} = 30.03 \frac{\text{Rad}}{\text{sec}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เลือกใช้ $\omega_{p2} = 1.22 \text{ kRad/Sec}$

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

เลือกใช้ $C_2 = 100\text{nF}$

$$\omega_{p2} = \frac{1}{C_2 R \omega_{p2}} = 1.22\text{k} \frac{\text{Rad}}{\text{sec}}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

ผลการทดลองและสรุป

ผลการทดลอง

จากโปรเจกต์ที่ได้ลงมือสร้างนี้จะเป็นส่วนของภาครับ ซึ่งประกอบไปด้วย วงจรเฟสล็อกคูลูป ซึ่งในการทำโปรเจกต์นี้ได้ใช้ไอซีที่ทำหน้าที่นี้โดยเฉพาะ คือ ไอซีเบอร์ MC 145162 รวมทั้งยังได้สร้างวงจรที่ทำหน้าที่ถอดรหัส และวงจรภาคแรกที่ได้รับสัญญาณ RF ในย่านความถี่ ตั้งแต่ 5.075 MHz – 5.425 MHz ซึ่งในภาคนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในตระกูล MCS-51 ในการควบคุม และจากการทดลองวงจร โลกอลออสซิลเลเตอร์ ซึ่งใช้แรงดันป้อนเข้าที่อินพุท เพื่อดูผลตอบสนองของความถี่ที่โลกอลออสซิลเลเตอร์จะผลิตได้ ปรากฏว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ได้ออกแบบไว้คือ เมื่อป้อนแรงดันซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 2V – 4V ให้กับวงจร ตัววงจร โลกอลออสซิลเลเตอร์เองจะผลิตความถี่ที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ ในช่วง 15.71MHz - 16.166 MHz ซึ่งความถี่ที่ทดลองได้นี้ถือได้ว่าครอบคลุมความถี่ที่ใช้งาน คือ ในช่วง 15.774 MHz – 16.124 MHz และเมื่อทำตัววงจร VCO จริงๆให้กับ วงจร โลกอลออสซิลเลเตอร์ ก็ปรากฏว่าผลที่ได้นั้นเป็นไปตามการออกแบบคือ โลกอลออสซิลเลเตอร์กับเฟสล็อกคูลูป เพื่อการทำงาน ผลที่ได้คือ วงจร โลกอลออสซิลเลเตอร์ทำงานได้สอดคล้องกับเฟสล็อกคูลูป คือ เราสามารถกำหนดช่องสัญญาณได้จากโปรแกรม ไอซี MC145162 โดยผ่านการควบคุมของ ไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

จากการทดลองวงจรเฟสล็อกคูล โดยใช้อิซีเบอร์ MC 145162 ในการหารความถี่ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 ทำหน้าที่ในการโปรแกรมให้กับ อิซีเบอร์ MC 145162 จะให้อิซี หารค่าเท่าใด ค่า $F_{ref} = 12.5\text{kHz}$

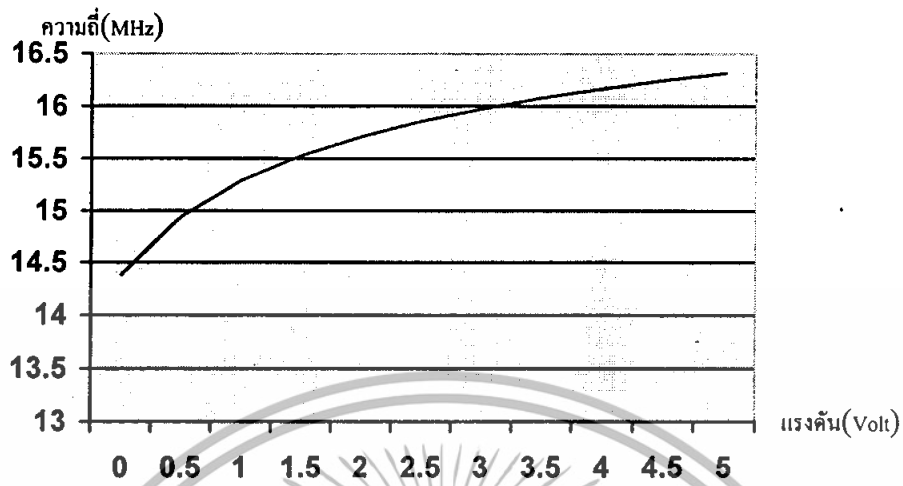
ตารางแสดงความถี่ของ VCO ที่ผลิตความถี่ได้

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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

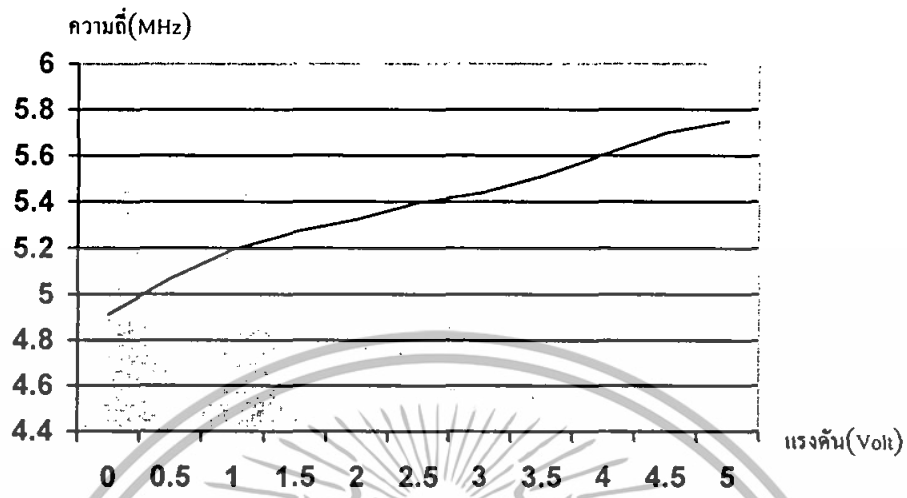


ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความถี่ของ VCO ภาครับ

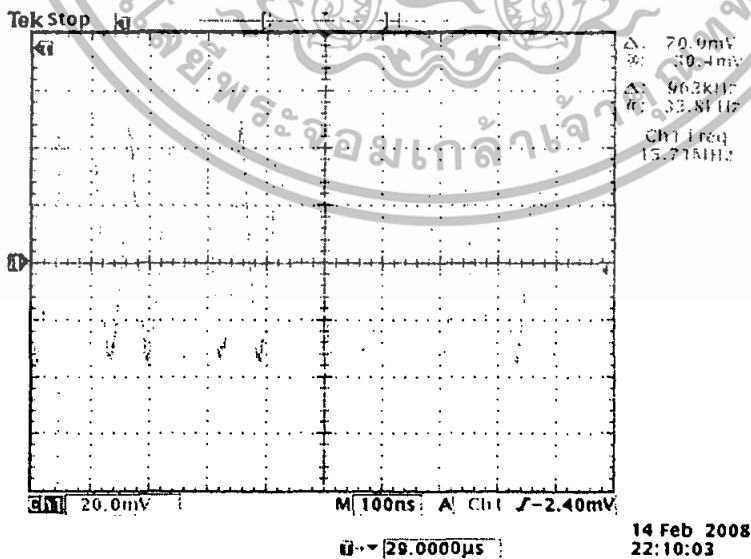
ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความถี่ของ VCO ภาคส่ง

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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

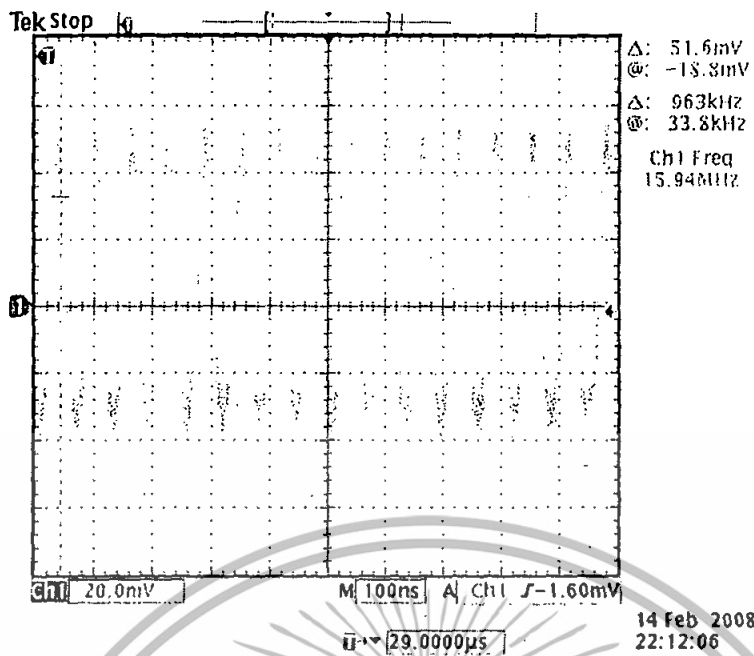


ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความถี่ของ VCO ภาคส่ง

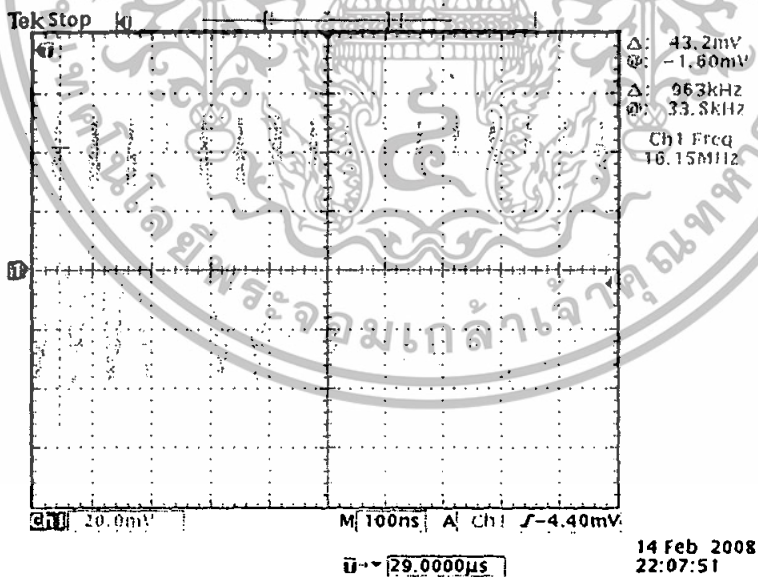


รูปที่ 1. วัดที่ความถี่ 15.75 Mhz (ภาครับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

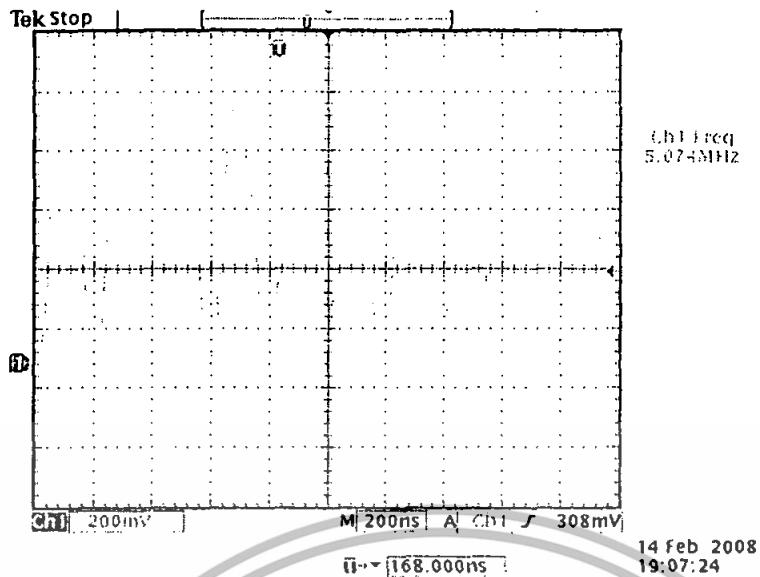


รูปที่ 2. วัดที่ความถี่ 15.95 Mhz (ภาครับ)

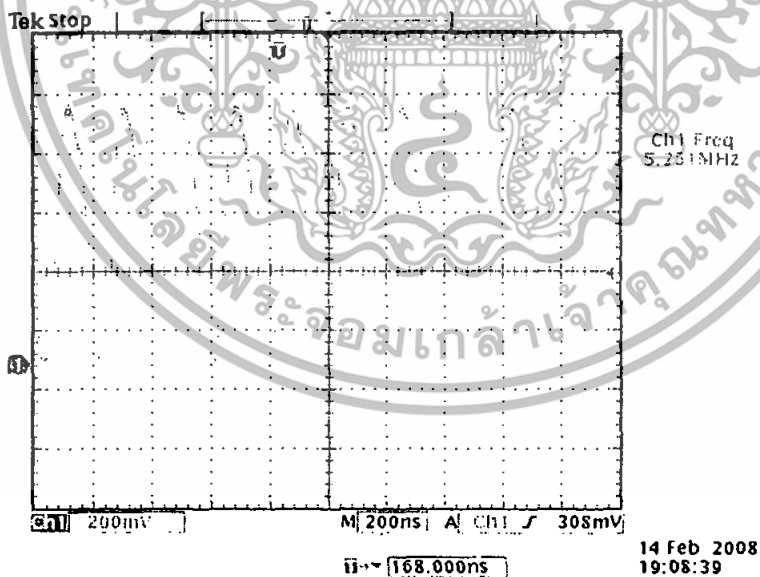


รูปที่ 3. วัดที่ความถี่ 16.125 Mhz (ภาครับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

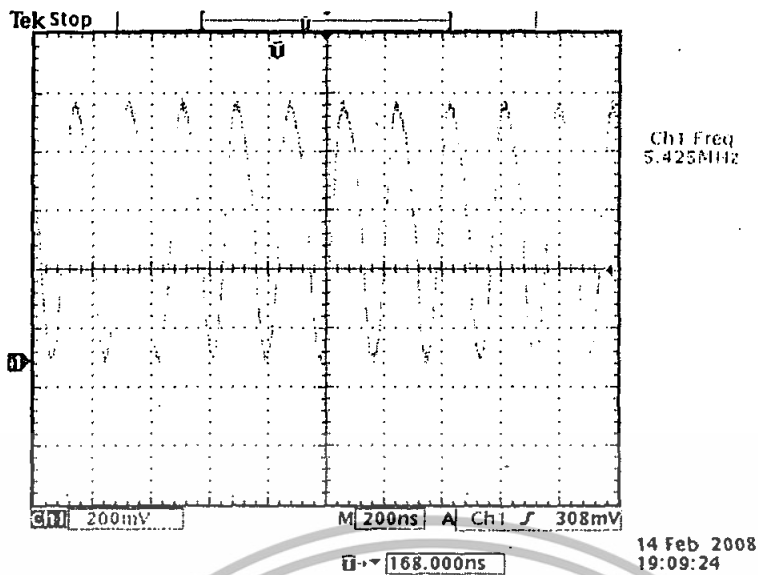


รูปที่ 4. วัดที่ความถี่ 5.075 Mhz (ภาคส่ง Power amp stage1)

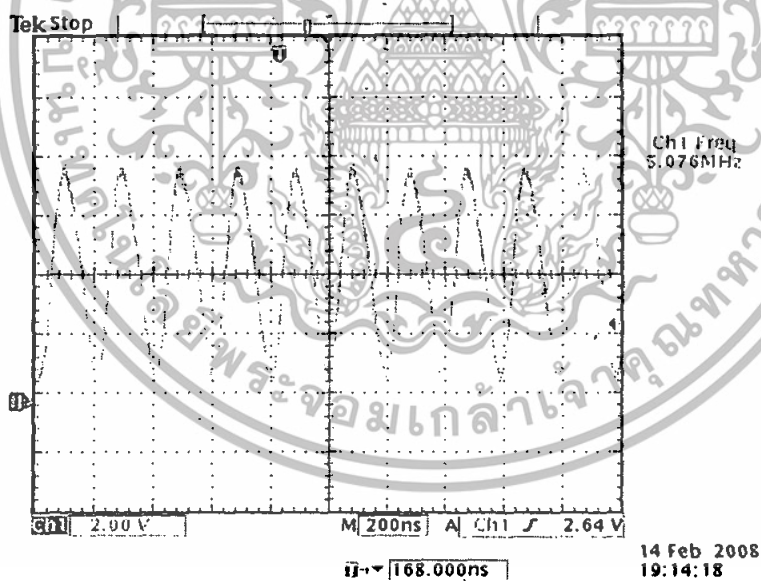


รูปที่ 5. วัดที่ความถี่ 5.25 Mhz (ภาคส่ง Power amp stage1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

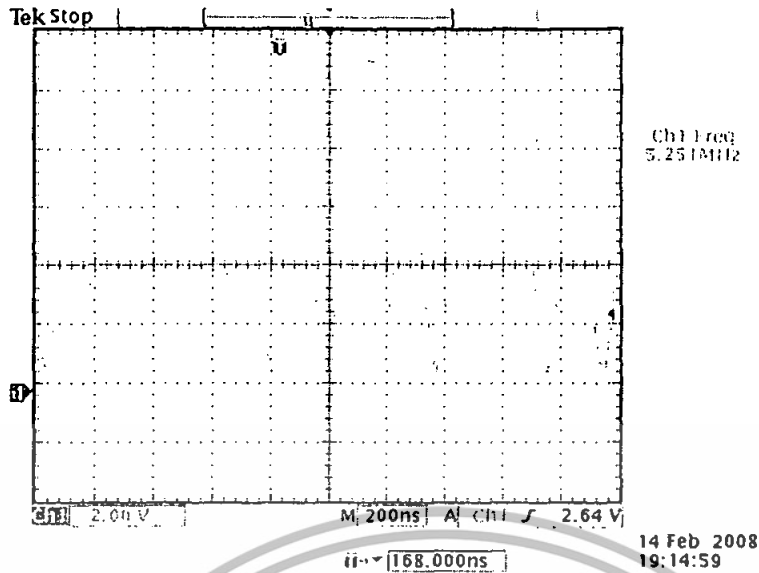


รูปที่ 6. วัดที่ความถี่ 5.425 Mhz (ภาคส่ง Power amp stage1)

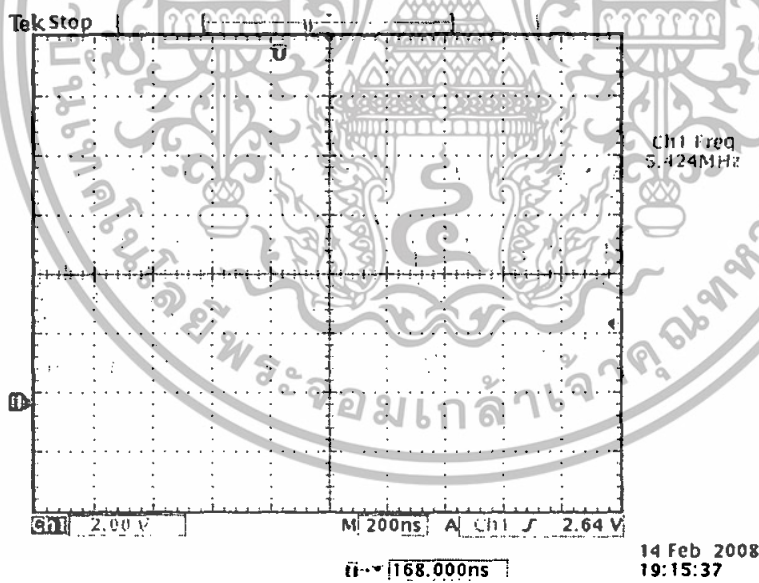


รูปที่ 7. วัดที่ความถี่ 5.075 Mhz (ภาคส่ง Power amp stage2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้