สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบควบคุมไร้สาย

Wireless Control System

T042153

โดย

นาย ภัทร เมนะวัฒน์
นาย ภานุมาศ วินิจพงษ์พันธ์
นาย มหาลาภ ตีรเดชโยธิน

เลขหมู่.............
เลขทะเบียน 42153
วัน, เดือน, ปี 14 พ.ค. 2545

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมไร้สาย

Wireless Control System

โดย

นาย ภัทร เมนะวัฒน์ 40010546

นาย ภานุมาศ วินิจพงษ์พันธ์ 40010561

นาย มหาลาภ ตีรเดชโยธิน 40010593

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **ระบบควบคุมไร้สาย**

Wireless Control System

ผู้จัดทำ

1. นาย ภัทร เมนะวัฒน์ 40010546

2. นาย ภานุมาศ วินิจพงษ์พันธ์ 40010561

3. นาย มหาลาภ ตีรเดชโยธิน 40010593

.......ปราโมทย์....... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมไร้สาย

Wireless Control System

โดย	นาย ภัทร	เมนะวัฒน์	40010546
	นาย ภานุมาศ	วินิจพงษ์พันธ์	40010561
	นาย มหาลาภ	ตีรเดชโยธิน	40010593

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน

บทคัดย่อ

โครงงานระบบควบคุมไร้สายที่ได้ทำการสร้างขึ้นนี้ จะสามารถนำไปใช้ควบคุมการเปิด-ปิด, การสั่งตั้งเวลาเปิด-ปิด, การตรวจสอบสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆได้ โครงงานนี้ใช้หลักการของเครื่องส่งเครื่องรับวิทยุระบบเอฟเอ็มมาใช้ในการส่งข้อมูลควบคุม โดยจะมีสองส่วนได้แก่ เครื่องควบคุมและเครื่องสั่งงาน

ABSTRACT

This project is for the use of controlling electrical devices in home or building. Such as turning on-off , setting the time to turn off or even verifying the status of the devices we want. The principle of this project is using FM transceiver in transceiving the controlling data , which would contain two parts that is the controlling equipment and the organizing equipment.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องส่งและเครื่องรับวิทยุระบบเอฟเอ็ม	3
2.2 ความหมายของคำศัพท์ต่างๆที่สำคัญที่ใช้ในการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุ	3
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับสัญญาณเอฟเอ็ม	5
2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม	10
2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องรับวิทยุเอฟเอ็ม	16
2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบวงจรความถี่สูง	26
2.7 ทฤษฎีเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์และการประยุกต์ใช้งาน	28
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	37
3.1 แผนผังการทำงานของโครงงานระบบควบคุมไร้สายและคำอธิบาย	37
3.2 รายละเอียดในการคำนวณและการสร้างของวงจรต่างๆ	41
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	61
4.1 การทดลองและผลการทดลองของวงจรมอดูเลตความถี่	61
4.2 การทดลองและผลการทดลองของวงจรดีมอดูเลตความถี่	65
4.3การทดลองและผลการทดลองของวงจรสร้างสัญญาณความถี่คู่	71
บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป	
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
หนังสืออ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงแอมปลิจูดสเปกตรัมของสัญญาณเอฟเอ็มแบนด์แคบ	8
รูปที่ 2.2 แสดงวงจรกำเนิดสัญญาณเอฟเอ็มโดยตรง	11
รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับแรงดันย้อนกลับที่ตกคร่อม วาแรกเตอร์ไดโอด	12
รูปที่ 2.4 แสดงวงจรมอดูเลเตอร์ที่ใช้วาแรกเตอร์ไดโอด	13
รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างวงจรรีแอคแตนซ์มอดูเลเตอร์ที่ใช้เจเฟตและใช้ในการพิสูจน์ การเปลี่ยนแปลงของค่ารีแอคแตนซ์ตามแอมปลิจูดของสัญญาณที่นำมามอดูเลต	14
รูปที่ 2.6 แสดงแผนผังการทำงานของวงจรที่ใช้สร้างสัญญาณเอฟเอ็มโดยอ้อม	15
รูปที่ 2.7 แสดงแผนผังการทำงานของวงจรที่ใช้สร้างสัญญาณพีเอ็มโดยอ้อม	15
รูปที่ 2.11 แสดงแผนผังการทำงานในการเฮเทอโรดายน์	17
รูปที่ 2.8 แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องส่งคอสบี้	18
รูปที่ 2.9 แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณเอฟเอ็มโดยอ้อมของอาร์มสตรอง	19
รูปที่ 2.10 แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องรับวิทยุแบบซุปเปอร์เฮเทอโรดายน์	20
รูปที่ 2.12 แสดงวงจรแมตชิ่งอิมพีแดนซ์แบบแอล	26
รูปที่ 2.13 แสดงตำแหน่งขาของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	29
รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างของหน่วยความของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	30
รูปที่ 2.15 แสดงแผนภาพของหน่วยความจำข้อมูลภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูลMCS-51	31
รูปที่ 2.16 แสดงการจัดเรียงขาของชิปเบอร์ 8255	34
รูปที่ 2.17 แสดงการจัดเรียงขาของจอแอลซีดีขนาด 1 บรรทัด 16 ตัวอักษร	36
รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังการทำงานของโครงงานระบบควบคุมไร้สาย	38-39
รูปที่ 3.2 แสดงหลักการทำงานของวงจรมอดูเลตความถี่	41
รูปที่ 3.3 แสดงรูปวงจรมอดูเลตความถี่ที่ใช้ในโครงงานระบบควบคุมไร้สาย	42
รูปที่ 3.4 แสดงหลักการทำงานของวงจรดีมอดูเลตความถี่	43
รูปที่ 3.5 แสดงรูปวงจรดีมอดูเลตความถี่ที่ใช้ในโครงงานระบบควบคุมไร้สาย	44
รูปที่ 3.6 แสดงรูปวงจรตัดต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าและวงจรตรวจสอบสภาวะการทำงานของ อุปกรณ์ไฟฟ้า	45
รูปที่ 3.7 แสดงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ในเครื่องควบคุม	46
รูปที่ 3.8 แสดงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ในเครื่องสั่งงาน	47
รูปที่ 3.9 แสดงรูปวงจรรวมของโครงงานระบบควบคุมไร้สาย	48-49
รูปที่ 4.1 แสดงผลการทดลองจากการวัดสเปคตรัมของคลื่นพาห์ความถี่ 60 เมกะเฮิตรซ์	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 4.2 แสดงผลการวัดสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทของวงจรมอดูเลตที่มีความถี่กลาง 60 เมกะเฮิรตซ์ 62
รูปที่ 4.3 แสดงผลการทดลองจากการวัดสเปคตรัมของคลื่นพาห์ที่มีความถี่ 66 เมกะเฮิตรซ์ 63
รูปที่ 4.4 แสดงผลการวัดสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทของวงจรมอดูเลต ที่มีความถี่กลาง 66 เมกะเฮิรตซ์ 64
รูปที่ 4.5 แสดงผลการทดลองจากการวัดคลื่นพาห์เฉพาะ ที่มีความถี่ 60 เมกกะเฮิรตซ์ แสดงผลการวัดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม 60
รูปที่ 4.6 แสดงผลการทดลองจากการวัดสัญญาณอินพุท เทียบกับสัญญาณเอาท์พุทที่มอดูเลตได้สำหรับวงจรดีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็มที่มีความถี่กลางเท่ากับ60 เมกกะเฮิรตซ์ 67
รูปที่ 4.7 แสดงผลการทดลองจากการวัดคลื่นพาห์เฉพาะ ที่มีความถี่ 66 เมกะเฮิรตซ์ที่แสดงผลการวัดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม 68
รูปที่ 4.8 แสดงผลการทดลองจากการวัดสัญญาณอินพุท เทียบกับสัญญาณเอาท์พุทที่มอดูเลตได้สำหรับวงจรดีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็มที่มีความถี่กลางเท่ากับ 66 เมกะเฮิรตซ์ 68
รูปที่ 4.9 แสดงผลการทดลองจากการวัดสัญญาณอินพุทของวงจรมอดูเลตความถี่เทียบกับสัญญาณเอาท์พุทของวงจรมอดูเลตความถี่สำหรับสัญญาณเอฟเอ็มที่มีความถี่กลางเท่ากับ 60 เมกกะเฮิรตซ์ 69
รูปที่ 4.10 แสดงผลการทดลองจากการวัดสัญญาณอินพุทของวงจรมอดูเลตความถี่เทียบกับสัญญาณเอาท์พุทของวงจรมอดูเลตความถี่สำหรับสัญญาณเอฟเอ็มที่มีความถี่กลางเท่ากับ 66 เมกะเฮิรตซ์ 70
รูปที่ 4.11แสดงผลการทดลองการวัดสัญญาณความถี่คู่พร้อมสเปคตรัมที่มีความถี่ต่ำ (695 เฮิรตซ์) 71
รูปที่ 4.12 แสดงผลการทดลองการวัดสัญญาณความถี่คู่พร้อมสเปคตรัมที่มีความถี่สูง (1210 เฮิรตซ์) 71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความถี่คู่ทุกคู่ที่วัดจากวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่คู่ 74

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านการสื่อสารโทรคมนาคมได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็วมาก เป็นผลให้ความสามารถในการติดต่อสื่อสาร เกิดความคล่องตัวและมีประสิทธิภาพมากขึ้นทุกขณะ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า เทคโนโลยีทางด้านการสื่อสาร ช่วยย่อขนาดของโลกให้เล็กลง อันจะนำประโยชน์ในด้านต่างๆ มาสู่มวลมนุษยชาติเป็นอย่างมาก

ในโลกของการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless Communication) ซึ่งในปัจจุบันได้ถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ด้วยเหตุผลหลักคือ ความคล่องตัวในการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ รูปแบบหนึ่งของการสื่อสารแบบไร้สายที่น่าสนใจก็คือ การสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุ ซึ่งนอกจากจะนำคลื่นวิทยุไปใช้ประโยชน์ในด้านการสื่อสารแล้ว ปัจจุบันระบบควบคุมด้วยคลื่นวิทยุ หรือรีโมตคอนโทรลคลื่นวิทยุก็ได้ถูกพัฒนาขึ้นใช้อย่างกว้างขวาง ด้วยข้อดีที่มีเหนือกว่าระบบควบคุมด้วยแสงอินฟราเรด (Infrared) และระบบควบคุมด้วยเสียงอัลตร้าโซนิก (Ultra Sonic) ก็คือระยะทางในการควบคุมที่ไกลกว่า

โครงงานระบบควบคุมแบบไร้สายนี้ จะนำไปใช้ประโยชน์ในการควบคุมการเปิด-ปิด,การตั้งเวลาเปิด-ปิด และการตรวจสอบสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าได้หลายๆชนิด ตามที่เราจะนำไปประยุกต์ใช้ นอกจากนี้ จะใช้จอแอลซีดี (LCD) เป็นตัวแสดงสภาวะการทำงาน และเลือกเมนูในการทำงานอีกด้วย

หลักการทำงานของโครงงานระบบควบคุมแบบไร้สาย สามารถอธิบายได้ดังนี้

- เราสามารถเลือกเมนูการทำงานและสั่งงานอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ที่เครื่องควบคุมโดยเครื่องควบคุมจะทำการส่งสัญญาณควบคุมไปกับคลื่นพาห์ความถี่สูงด้วยกระบวนการมอดูเลตเชิงความถี่ (Frequency Modulation ; FM)
- เมื่อคลื่นเอฟเอ็มเดินทางมาถึงยังเครื่องสั่งงาน ก็จะถูกดีมอดูเลต แยกเอาสัญญาณควบคุม ไปสั่งงานอุปกรณ์ไฟฟ้าหลังจากที่อุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานตามคำสั่งแล้ว เราสามารถที่จะทำการตรวจสอบสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นได้โดยที่วงจรตรวจสอบสภาวะการทำงานจะส่งสัญญาณแสดงสภาวะการทำงานกลับไปยังด้านเครื่องควบคุมด้วยกระบวนการมอดูเลตแบบเอฟเอ็มเช่นเดิม แต่เปลี่ยนความถี่ไปจากเดิม เพื่อป้องกันปัญหาการรบกวนกันของสัญญาณเอฟเอ็ม
- เมื่อคลื่นเอฟเอ็มเดินทางมาถึงยังเครื่องควบคุม ก็จะถูกนำไปดีมอดูเลท เพื่อแยกเอาสัญญาณแสดงสภาวะการทำงาน ไปแสดงผลยังจอแอลซีดีต่อไป

ในการสร้างโครงงานนี้ขึ้นมา ทำให้ผู้จัดทำได้รับทั้งความรู้ และประสบการณ์ต่างๆมากมาย ไม่ว่าจะเป็นด้านฮาร์ดแวร์ และด้านซอฟท์แวร์ เช่น

- ความรู้เกี่ยวกับระบบรับส่งคลื่นวิทยุแบบเอฟเอ็ม , การออกแบบวงจรความถี่สูง และการใช้งานสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ และการเขียนโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี ในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า

การจัดทำโครงงานนี้ขึ้นมา ทางผู้จัดทำได้แบ่งขอบข่ายของการทำงานตามระยะเวลาการทำงานไว้คร่าวๆดังนี้

- ในภาคเรียนที่ 1 : จะสร้างวงจรในการรับส่งด้วยคลื่นวิทยุแบบเอฟเอ็ม , วงจรตัดต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า และวงจรตรวจสอบสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า

- ในภาคเรียนที่ 2 : จะเป็นการสร้างวงจรควบคุม และประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ , วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย, ส่วนแสดงสภาวะการทำงาน(จอแอลซีดี) และการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานและการแสดงสภาวะการทำงาน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

ในบทที่ 2 นี้จะได้กล่าวถึงความรู้ทางทฤษฎีที่จะนำมาเป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจในหลักการทำงาน และการออกแบบวงจรในส่วนต่างๆของโครงงาน ซึ่งในโครงงานนี้จะนำเสนอความรู้ทางทฤษฎีเกี่ยวกับเรื่องต่างๆ ดังนี้

1. ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องส่ง และเครื่องรับวิทยุระบบเอฟเอ็ม ได้แก่
   - ทฤษฎีเกี่ยวกับการมอดูเลตเชิงความถี่ (เอฟเอ็ม)
   - ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องส่งวิทยุระบบเอฟเอ็ม
   - ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องรับวิทยุระบบเอฟเอ็ม
2. ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบวงจรที่ใช้กับความถี่สูง ได้แก่
   - ทฤษฎีการออกแบบวงจรขยายสัญญาณความถี่สูง
   - ทฤษฎีการออกแบบวงจรในการแมตชิ่งอิมพีแดนซ์
3. สรุปเกี่ยวกับข้อมูลทางเทคนิคของไอซีและอุปกรณ์อื่นๆ ที่สำคัญ ที่ใช้ในการสร้างโครงงาน

<u>ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องส่งและเครื่องรับวิทยุระบบเอฟเอ็ม</u>

2.1) ทฤษฎีเกี่ยวกับการมอดูเลทเชิงความถี่ [Frequency Modulation ; FM]

<u>แนวความคิดในการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุ</u>

เนื่องจากเสียงที่มนุษย์ใช้ในการสื่อสารพูดคุยกันตรงๆนั้นอยู่ในย่านความถี่ที่ต่ำ (ช่วงความถี่เสียงพูดคือ 300 เฮิรตซ์ ถึง 3.4 กิโลเฮิรตซ์ และช่วงความถี่เสียงที่หูมนุษย์ได้ยินคือ 20 เฮิรตซ์ถึง 20 กิโลเฮิรตซ์) ทำให้เสียงไม่สามารถเดินทางไปถึงเป้าหมายที่อยู่ไกลออกไปได้ เพราะเสียงจะถูกลดทอนพลังงานลงไปตามระยะทาง จึงมีแนวคิดที่จะนำเอาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือคลื่นวิทยุซึ่งมีความถี่สูงกว่าย่านความถี่เสียงมากมาใช้ในการส่งข่าวสารไปในระยะทางไกลๆ เพราะว่าคลื่นวิทยุมีความถี่สูงจะสามารถเดินทางได้ไกลกว่าคลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำมาก และคลื่นวิทยุยังเป็นคลื่นที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่อีกด้วยทำให้มันสามารถเดินทางผ่านตัวกลางได้หลายชนิด รวมทั้งสูญญากาศด้วย

2.2) ความหมายของคำศัพท์ต่างๆที่สำคัญที่ใช้ในการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุ

1) <u>คลื่นเสียง</u> [Audio Wave or Audio Frequency ; AF]

คลื่นเสียง (AF) หมายถึง คลื่นกลตามยาว กล่าวคือ เป็นคลื่นที่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่และมีลักษณะการส่งผ่านพลังงานในแนวเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น โดยทั่วไป คลื่นเสียงจะจำแนกตามการใช้ประโยชน์ได้ 2 ประเภทคือ

- คลื่นเสียงที่ใช้ในการพูดคุยของมนุษย์ โดยทั่วไป มีช่วงความถี่ตั้งแต่ 300 เฮิรตซ์ ถึง 3.4 กิโลเฮิรตซ์
- คลื่นเสียงที่หูมนุษย์สามารถรับฟังแล้วเข้าใจความหมาย โดยปกติ มีช่วงความถี่ตั้งแต่ 20 เฮิรตซ์ ถึง 20 กิโลเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) <u>คลื่นวิทยุ</u> [Radio Wave or Radio Frequency ; RF]

คลื่นวิทยุ (RF) หมายถึง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีลักษณะตามขวาง กล่าวคือ เป็นคลื่นที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ และมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก ในทิศที่ตั้งฉากกัน และตั้งฉากกับทิศทางการเดินทางของคลื่น โดยทั่วไปถือว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง จึงอาจกล่าวได้ว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เดินทางในสูญญากาศจะมีอัตราเร็วประมาณ 3×10^8 เมตรต่อวินาทีและมีความสัมพันธ์กันตามสมการที่ (2.1)

ความเร็ว [v (m/s)] = ความถี่ [f(Hz)] x ความยาวคลื่น[λ (m)] (2.1)

1) <u>ความถี่ฮาร์โมนิก</u> [Harmonic Frequency]

ความถี่ฮาร์โมนิก หมายถึง ความถี่ที่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่มูลฐาน [Fundamental Frequency]

2) <u>การมอดูเลต</u> [Modulation]

การมอดูเลตหมายถึง การฝากสัญญาณในแถบความถี่มูลฐาน ไปกับคลื่นพาห์ หรือเป็นการย้ายสเปกตรัมของสัญญาณในแถบความถี่มูลฐาน ไปอยู่ในย่านความถี่ที่เหมาะที่จะส่งผ่านช่องทางการสื่อสาร (Channel) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

-<u>สัญญาณในแถบความถี่มูลฐาน</u> [Baseband Communication] หมายถึง สัญญาณจากแหล่งกำเนิดโดยตรง เช่น เสียงพูดคุย เสียงจากลำโพง เป็นต้น ซึ่งมีความถี่ค่อนข้างต่ำ และไม่เหมาะที่จะส่งผ่านช่องทางการสื่อสารในระยะทางที่ไกล

-<u>คลื่นพาห์</u> [Carrier Wave] หมายถึง คลื่นวิทยุความถี่สูง ซึ่งสามารถเดินทางผ่านช่องทางการสื่อสารได้เป็นระยะทางไกล

การมอดูเลทมีหลายชนิด ซึ่งสามารถจำแนกตามพารามิเตอร์ของคลื่นพาห์ที่เปลี่ยนแปลง ตามสัญญาณในแถบความถี่มูลฐานได้ 3 ชนิดดังนี้

-<u>การมอดูเลตแอมปลิจูด</u> [Amplitude Modulation ; AM]

หมายถึง กระบวนการมอดูเลตที่ทำให้ได้สัญญาณที่มีความถี่เท่ากับความถี่ของคลื่นพาห์ แต่มีแอมปลิจูดเปลี่ยนแปลงตามแอมปลิจูดของสัญญาณที่นำมามอดูเลต [Modulating Signal]

-<u>การมอดูเลตความถี่</u> [Frequency Modulation ; FM]

หมายถึง กระบวนการมอดูเลตที่ทำให้ได้สัญญาณที่มีแอมปลิจูดคงที่ เท่ากับแอมปลิจูดของคลื่นพาห์ แต่มีความถี่เปลี่ยนแปลงตามแอมปลิจูดของสัญญาณที่นำมามอดูเลต

-<u>การมอดูเลตเฟส</u> [Phase Modulation ; PM]

หมายถึง การมอดูเลตที่ทำให้ได้ สัญญาณที่มีแอมปลิจูดคงที่เท่ากับแอมปลิจูดของคลื่นพาห์แต่มีเฟสเปลี่ยนแปลงตามแอมปลิจูดของสัญญาณที่นำมามอดูเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) <u>การดีมอดูเลต</u> [Demodulation]

การดีมอดูเลตหมายถึง กระบวนการในการนำเอาสัญญาณในแถบความถี่มูลฐาน ออกจากสัญญาณที่ทำการมอดูเลตมา

2) <u>สเปกตรัม</u> [Spectrum]

สเปกตรัม หมายถึง รูปหรือกราฟที่แสดงลักษณะขององค์ประกอบของสัญญาณต่างๆ ในโดเมนของความถี่ [Frequency Domain] ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

-<u>สเปกตรัมแอมปลิจูด</u> (Amplitude Spectrum)

หมายถึง กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมปลิจูดและความถี่ ของทุกองค์ประกอบของสัญญาณที่นำมาวิเคราะห์

-<u>สเปกตรัมเฟส</u> (Phase Spectrum)

หมายถึง กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฟสและความถี่ ของทุกองค์ประกอบของทุกสัญญาณที่นำมาวิเคราะห์

2.3) ทฤษฎีเกี่ยวกับสัญญาณเอฟเอ็ม

2.3.1 นิยามของสัญญาณเอฟเอ็มในเชิงฟิสิกส์ และเชิงคณิตศาสตร์

ความหมายในเชิงฟิสิกส์ของสัญญาณเอฟเอ็มคือ สัญญาณที่ได้จากกระบวนการในการมอดูเลตความถี่ ซึ่งเป็นสัญญาณที่มีแอมปลิจูดคงที่ เท่ากับแอมปลิจูดของคลื่นพาห์ ก่อนที่จะนำมามอดูเลตและมีความถี่เบี่ยงเบนไปจากความถี่เดิมของคลื่นพาห์ โดยการเบี่ยงเบนของความถี่ดังกล่าวจะขึ้นกับแอมปลิจูดของสัญญาณที่นำมามอดูเลต (Modulating Signal) ทำให้สัญญาณเอฟเอ็มมีลักษณะที่บางตำแหน่งมีความถี่สูง(แอมปลิจูดของสัญญาณที่นำมามอดูเลตมีค่าสูง) บางตำแหน่งมีความถี่ต่ำ (แอมปลิจูดของสัญญาณที่นำมามอดูเลตมีค่าต่ำ) และบางตำแหน่งมีความถี่เท่ากับคลื่นพาห์(แอมปลิจูดของคลื่นที่นำมามอดูเลตมีค่าเป็นศูนย์)

-<u>ความถี่เบี่ยงเบน</u> (Frequency Deviation ; δ)

หมายถึงลักษณะของการเบี่ยงเบนของความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็มรอบความถี่ของคลื่นพาห์โดยที่ สัญญาณเอฟเอ็มตำแหน่งที่มีความถี่สูงกว่าความถี่ของคลื่นพาห์จะมีความถี่เบี่ยงเบนเป็นค่าบวก และสัญญาณเอฟเอ็มตำแหน่งที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่ของคลื่นพาห์จะมีความถี่เบี่ยงเบนเป็นค่าลบ

<u>ข้อสังเกต</u>

1) แอมปลิจูดของสัญญาณที่นำมามอดูเลต จะเป็นปัจจัยในการกำหนดความถี่เบี่ยงเบนของสัญญาณเอฟเอ็ม กล่าวคือ

-ถ้าแอมปลิจูดของสัญญาณที่นำมามอดูเลตมีค่าเป็นบวก หลังจากการมอดูเลตจะได้สัญญาณเอฟเอ็มที่มีค่าความถี่เบี่ยงเบนเป็นบวก (ความถี่สูงกว่าความถี่ของคลื่นพาห์)

-ถ้าแอมปลิจูดของสัญญาณที่นำมามอดูเลตมีค่าเป็นลบ หลังจากมอดูเลตแล้วจะได้สัญญาณเอฟเอ็มที่มีค่าความถี่เบี่ยงเบนเป็นลบ (ความถี่ต่ำกว่าความถี่ของคลื่นพาห์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ถ้าแอมปลิจูดของสัญญาณที่นำมามอดูเลตมีค่าเป็นศูนย์ หลังจากมอดูเลตแล้วจะได้สัญญาณเอฟเอ็มที่มีค่าความถี่เบี่ยงเบนเป็นศูนย์ (ความถี่เท่ากับความถี่ของคลื่นพาห์)

2) ความถี่ของสัญญาณที่นำมามอดูเลต จะเป็นปัจจัยในการกำหนดค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็ม กล่าวคือ ถ้าสัญญาณที่นำมามอดูเลตมีความถี่สูง จะทำให้สัญญาณเอฟเอ็มมีอัตรา ในการเปลี่ยนแปลงของความถี่เร็วกว่าในกรณีที่สัญญาณที่นำมามอดูเลตมีความถี่ต่ำ

ความหมายในเชิงคณิตศาสตร์ของสัญญาณเอฟเอ็มอธิบายได้ดังนี้

กำหนดให้คลื่นพาห์มีสมการเป็นดังนี้

$$\phi_c(t) = A_c \cos(\omega_c t + \theta) \tag{2.2}$$

โดยเทอม $(\omega_c t + \theta)$ เรียกว่ามุม (Angle) และเทอม θ เรียกว่าเฟส (Phase) และกำหนดให้สัญญาณที่นำมามอดูเลตมีสมการดังนี้

$$m(t) = a\cos(\omega_m t) \tag{2.3}$$

ถ้าเฟสของคลื่นพาห์แปรผันตรงกับสัญญาณที่นำมามอดูเลต จะเรียกว่า การมอดูเลตมุม (Angular Modulation ; PM) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์ดังสมการ (2.4)

$$\theta \propto m(t)$$
$$\theta = k_p m(t) \tag{2.4}$$

โดย k_p : Phase Sensitivity ซึ่งเป็นค่าคงที่ของการแปรผัน

ถ้าเฟสของคลื่นพาห์ แปรผันตรงกับค่าอินทิกรัลของสัญญาณที่นำมามอดูเลตจะเรียกว่า การมอดูเลตความถี่ (Frequency Modulation ; FM) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.5)

$$\theta \propto \int_{-\infty}^{t} m(t)dt$$

$$\theta = k_f \int_{-\infty}^{t} m(t)dt \tag{2.5}$$

โดย k_f : Frequency Sensitivity ซึ่งเป็นค่าคงที่ของการแปรผัน

ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ขณะหนึ่ง (Instantaneous Frequency ; ω_i) และเฟสขณะหนึ่ง (Instantaneous Phase ; θ_i) จะเป็นดังสมการที่ (2.6) และ (2.7)

$$\omega_i(t) = \frac{d}{dt}\left[\theta_i(t)\right] \tag{2.6}$$

$$\theta_i(t) = \int_{-\infty}^{t} \omega_i(\tau)d\tau \tag{2.7}$$

แทนค่า θ จากสมการที่ (2.5) แทน θ_i .ในสมการที่ (2.6) จะได้

$$\omega_i(t) = \frac{d}{dt}\left[k_f \int_{-\infty}^{t} m(\tau)d\tau\right]$$

$$\omega_i(t) = k_f m(t) \tag{2.8}$$

แทน $m(t)$ ด้วย $a\cos(\omega_m t)$ ลงในสมการที่ (2.8) จะได้

$$\omega_i(t) = (ak_f)\cos(\omega_m t)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\omega_i(t)$ จะอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงของความถี่ รอบๆความถี่ของคลื่นพาห์ (ω_c) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงเป็นฟังก์ชันของ $\cos(\omega_m t)$ และมีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดที่เรียกว่า ความถี่เบี่ยงเบนสูงสุด [Peak Frequency Deviation ; $\Delta\omega_p$] เท่ากับ ak_f

ดังนั้นสัญญาณเอฟเอ็มสามารถเขียนแทนด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ดังสมการที่ (2.9)

$$\phi_{FM}(t) = A_c \cos\{\omega_c t + k_f \int_{-\infty}^{t} m(\tau)d\tau\} \tag{2.9}$$

แทน $m(t)$ ด้วย $a\cos(\omega_m t)$ ลงในสมการที่ (2.9) จะได้

$$\phi_{FM} = A_c \cos\{\omega_c t + ak_f \int_{-\infty}^{t} \cos(\omega_m \tau)d\tau\}$$

$$\phi_{FM} = A_c \cos\{\omega_c t + \tfrac{\Delta\omega_p}{\omega_m}\sin(\omega_m t)\} \tag{2.10}$$

กำหนดให้ $\dfrac{\Delta\omega_p}{\omega_m}$ เรียกว่าดัชนีการมอดูเลตความถี่ (Frequency Modulation Index ; β)

$$\beta = \frac{\Delta\omega_p}{\omega_m} \tag{2.11}$$

จากสมการที่ (2.10) และ (2.11) จะได้

$$\phi_{FM}(t) = A_c \cos\{\omega_c t + \beta\sin(\omega_m t)\} \tag{2.12}$$

2.3.2 การวิเคราะห์สัญญาณเอฟเอ็มและแบนด์วิดธ์ของสัญญาณเอฟเอ็ม

1. สัญญาณเอฟเอ็มแบนด์แคบ [Narrow Band FM]

ถ้าดัชนีการมอดูเลตความถี่ (β) มีค่าน้อยกว่า $\frac{1}{\sqrt{10}}(0.316)$ แล้ว เราสามารถที่จะกระจายพจน์ทางขวามือของสมการที่ (2.12) โดยใช้อนุกรมเทย์เลอร์ (Taylor's Series) ได้ดังนี้

จาก $$f(x+\Delta x) \approx f(x) + \frac{df(x)}{dx}[\Delta x] + \frac{d^2 f(x)}{dx^2}[\Delta x]^2 + \ldots$$

$$\phi_{FM}(t) \approx A_c\cos(\omega_c t) + \beta\sin(\omega_m t)$$

โดย $x = \omega_c t$ และ $\Delta x = \beta\sin(\omega_m t)$

จะได้ $$\phi_{FM}(t) \approx A_c\cos(\omega_c t) - A_c\beta\sin(\omega_c t)\sin(\omega_m t) - A_c\beta^2\cos(\omega_c t)\sin^2(\omega_m t)$$

ถ้า β มีค่าน้อยๆ เราสามารถตัดพจน์ที่มี β กำลังสูงคูณอยู่ออกไปได้ ซึ่งกรณีนี้จะพิจารณาสัญญาณเอฟเอ็มแบนด์แคบซึ่งเขียนแทนด้วย $\phi_{NBFM}(t)$ ซึ่งมีค่าเป็น

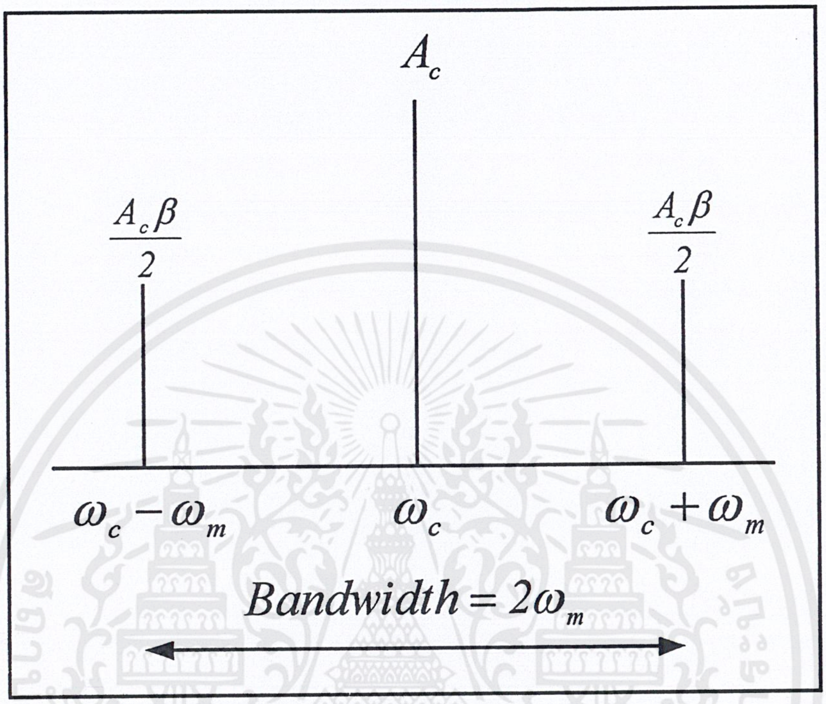
$$\phi_{NBFM}(t) = A_c\cos(\omega_c t) - A_c\beta\sin(\omega_c t)\sin(\omega_m t)$$

จากความสัมพันธ์ $\sin(A)\sin(B) = \frac{1}{2}[\cos(A-B) - \cos(A+B)]$ จะได้

$$\phi_{NBFM}(t) = A_c\cos(\omega_c t) - \frac{A_c\beta}{2}\cos[(\omega_c - \omega_m)t] + \frac{A_c\beta}{2}\cos[(\omega_c + \omega_m)t] \tag{2.13}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจากสมการที่ (2.13) จะพบว่าสัญญาณเอฟเอ็มแบนด์แคบจะมีความคล้ายคลึงกับสัญญาณเอเอ็มมากโดยมีแบนด์วิดธ์ (Bandwidth) เท่ากับ $2\omega_m$ เรเดียนต่อวินาที (rad/s) และมีแอมปลิจูดสเปกตรัมดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงแอมปลิจูดสเปกตรัมของสัญญาณเอฟเอ็มแบนด์แคบ

2. สัญญาณเอฟเอ็มแบนด์กว้าง [Wide Band FM]

ในส่วนนี้จะเป็นการกล่าวถึงสัญญาณเอฟเอ็มที่มีช่วงความถี่กว้างซึ่งหมายถึง ดัชนีการมอดูเลตความถี่มีค่ามาก (β มีค่ามาก)

จากสมการที่ (2.12) ซึ่งเป็นสมการของสัญญาณเอฟเอ็มที่อยู่ในรูปของฟังก์ชันไซน์ ที่มีค่ามุมของมันก็เป็นฟังก์ชันไซน์ ซึ่งสมการดังกล่าวไม่สามารถแสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสัญญาณที่ประกอบกันขึ้นเป็นสัญญาณเอฟเอ็มได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องนำคณิตศาสตร์ชั้นสูงมาแก้ไขปัญหาดังกล่าว เพื่อที่จะแสดงสมการของสัญญาณเอฟเอ็ม ที่จะสามารถพิจารณาถึงองค์ประกอบของมันได้ด้วย ความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่กล่าวถึงนี้ก็คือ ฟังก์ชันของเบสเสลชนิดที่หนึ่ง (Bessel Function of The First Kind) โดยสมการของสัญญาณเอฟเอ็มดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\phi_{FM}(t) = A_c \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\beta)\cos\{(\omega_c + n\omega_m)t\} \qquad (2.14)$$ หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\phi_{FM}(t) = A_c[J_0(\beta)\cos(\omega_c t) - J_1(\beta)\{\cos(\omega_c - \omega_m)t + \cos(\omega_c + \omega_m)t\}$$
$$+ J_2(\beta)\{\cos(\omega_c - 2\omega_m)t + \cos(\omega_c + 2\omega_m)t\}$$
$$- J_3(\beta)\{\cos(\omega_c - 3\omega_m)t + \cos(\omega_c + 3\omega_m)t\} + \ldots \qquad (2.15)$$

โดยที่ $J_n(\beta) = \left(\frac{\beta_n}{2}\right)\left\{\frac{1}{n!} - \frac{(\beta/2)^2}{1!(n+1)!} + \frac{(\beta/2)^4}{2!(n+2)!} - \frac{(\beta/2)^6}{3!(n+3)!} + \ldots\right\}$ (2.16)

ค่าของ $J_n(\beta)$ จะเป็นองค์ประกอบสำคัญในการแสดงค่าแอมปลิจูดของสัญญาณที่เป็นองค์ประกอบ ที่บรรจุอยู่ในสัญญาณเอฟเอ็ม โดยจะมีชื่อเรียกว่า สัญญาณความถี่ข้าง (Side Frequency)

จากสมการ (2.14) จะพบว่า ในโดเมนของความถี่แล้ว สัญญาณเอฟเอ็มประกอบกันขึ้นจาก $A_c J_0(\beta)\cos(\omega_c t)$ คือองค์ประกอบของคลื่นพาห์

$-A_c J_1(\beta)\cos\{(\omega_c - \omega_m)t + \cos(\omega_c + \omega_m)t\}$ คือองค์ประกอบของสัญญาณความถี่ข้างคู่ที่ 1

$A_c J_2(\beta)\{\cos(\omega_c - 2\omega_m)t + \cos(\omega_c + 2\omega_m)t\}$ คือองค์ประกอบของสัญญาณความถี่ข้างคู่ที่ 2

ซึ่งจะพบว่า แอมปลิจูดสเปกตรัมของสัญญาณเอฟเอ็มจะกระจายตัวออกไปตามแกนความถี่อย่างไม่สิ้นสุด หรือกล่าวได้ว่า สัญญาณเอฟเอ็มจะมีแบนด์วิดธ์เป็นค่าอนันต์ (Infinity) แต่ถ้าพิจารณาให้ลึกลงไปจะพบว่า ค่าแอมปลิจูดของสัญญาณความถี่ข้าง คู่ที่มีลำดับสูง (n มีค่ามาก) จะมีค่าที่ต่ำมากๆ ซึ่งสามารถละทิ้งไม่ต้องนำมาพิจารณาได้ แต่ปัญหาที่สำคัญก็คือแล้วจะเลือกสัญญาณความถี่ข้างคู่ใดเป็นคู่สุดท้ายในชุดของแอมปลิจูดสเปกตรัมของสัญญาณเอฟเอ็มที่พิจารณา ซึ่งจะเป็นสิ่งที่สามารถนำมากำหนดแบนด์วิดธ์ของสัญญาณเอฟเอ็มที่พิจารณาได้

โดยทั่วไปจะใช้สัญญาณความถี่ข้างคู่ที่มีแอมปลิจูดไม่ต่ำกว่า 1% ของแอมปลิจูดของคลื่นพาห์ที่ยังไม่ได้ทำการมอดูเลต เป็นสัญญาณความถี่ข้างคู่สุดท้าย โดยสัญญาณความถี่ข้างคู่อื่นๆ ที่มีแอมปลิจูดต่ำกว่า 1% ของคลื่นพาห์ที่ยังไม่ได้ทำการมอดูเลต จะสามารถละทิ้งไปได้

การกำหนดแบนด์วิดธ์ของสัญญาณเอฟเอ็มจะใช้กฎของคาร์สัน (Carson's Rule) ดังนี้

แบนด์วิดธ์ $(BW) \approx 2\omega_m(\beta + 1)$ (2.17)

จากสมการ (2.17) จะพบว่า ถ้าให้ ω_m คงที่ เมื่อ β เพิ่มขึ้น จะทำให้แบนด์วิดธ์เพิ่มขึ้น

2.3.3 กำลังส่งของสัญญาณเอฟเอ็ม

เนื่องจากสัญญาณเอฟเอ็มเป็นสัญญาณที่มีแอมปลิจูดคงที่ เท่ากับแอมปลิจูดของคลื่นพาห์ ดังนั้นกำลังส่งของสัญญาณเอฟเอ็มจึงเท่ากับกำลังของคลื่นพาห์ โดยไม่ขึ้นกับค่าดัชนีการมอดูเลต หรือกล่าวได้ว่า กำลังส่งของสัญญาณเอฟเอ็ม มีค่าเท่ากับกำลังรวมของทุกๆ องค์ประกอบในแอมปลิจูดสเปกตรัมของมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 ปรากฏการณ์แคปเจอร์ (Capture Effect)

ปรากฏการณ์แคปเจอร์ คือ ปรากฏการณ์ที่เครื่องรับวิทยุเอฟเอ็มจะเลือกรับสัญญาณเอฟเอ็มที่ต้องการ หรือสัญญาณแทรกสอด (เป็นสัญญาณเอฟเอ็มอื่นๆ ที่มีความถี่กลางแตกต่างจากสัญญาณจากความถี่กลางของสัญญาณเอฟเอ็มไม่มากนัก) ที่มีกำลังแรงกว่าเสมอ

2.3.5 พรีเอมฟาซิส (Pre-Emphasis) และ ดีเอมฟาซิส (De-Emphasis)

เนื่องจากสัญญาณข่าวสาร หรือสัญญาณเสียงย่านความถี่สูงๆ จะถูกรบกวนด้วยสัญญาณรบกวนได้ง่ายกว่าสัญญาณเสียงย่านความถี่ต่ำ ดังนั้น ก่อนที่จะนำสัญญาณเสียงไปมอดูเลตความถี่ จะต้องผ่านการเพิ่มแอมปลิจูดของสัญญาณเสียงในย่านความถี่สูงให้เหมาะสมก่อน ซึ่งเรียกว่า พรีเอมฟาซิส (Pre-Emphasis)

เช่นเดียวกัน ที่เครื่องรับวิทยุเอฟเอ็ม หลังจากดีมอดูเลตได้สัญญาณเสียงกลับคืนมาแล้ว ก็ต้องนำไปผ่านกระบวนการ ที่ตรงข้ามกับพรีเอมฟาซิส เพื่อให้ได้สัญญาณเสียงรูปแบบเดิมกลับคืนมาอีกที ซึ่งเรียกว่า ดีเอมฟาซิส (De-Emphasis)

2.4) ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม

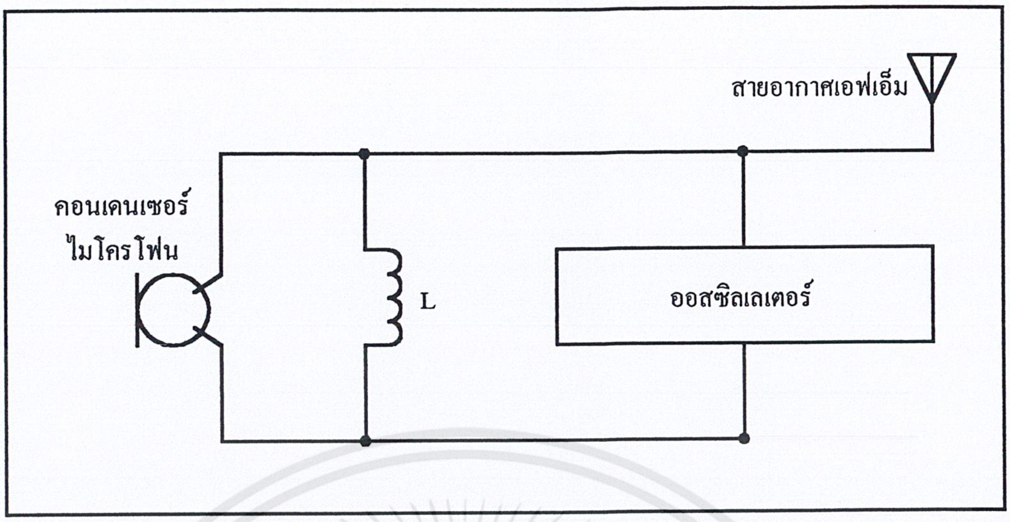
การส่งวิทยุระบบเอฟเอ็มได้ถูกคิดค้นและพัฒนาขึ้นโดย พันตรี เอดวิน เอช อาร์มสตรอง (Major Edwin H. Armstrong) แห่งมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย สหรัฐอเมริกา ในปี ค.ศ. 1934 ซึ่งเขาเชื่อว่า สัญญาณรบกวนต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับวิทยุนั้น เกิดจากการรบกวนทางแอมปลิจูดของคลื่นวิทยุ ดังนั้น ถ้าระบบการมอดูเลตและดีมอดูเลต ที่เป็นอิสระจากการเปลี่ยนแปลงทางแอมปลิจูดของคลื่นแล้ว การรบกวนในลักษณะดังกล่าวก็ย่อมจะไม่มีผลอะไรต่อการสื่อสาร ซึ่งจากแนวคิดดังกล่าวทำให้เขาคิดค้นและพัฒนาการรับส่งวิทยุระบบเอฟเอ็มซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบเอเอ็ม

2.4.1 การกำเนิดสัญญาณเอฟเอ็มโดยตรงและวงจรมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็มแบบต่างๆ

แนวคิดเบื้องต้นของการกำเนิดสัญญาณเอฟเอ็มโดยตรงคือ ตัวออสซิลเลเตอร์ที่ควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage Control Oscillator) ซึ่งระดับแรงดันไฟฟ้าจะเป็นตัวกำหนดความถี่ที่ผลิตขึ้นจากตัวออสซิลเลเตอร์ ถ้าระดับแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป ก็จะทำให้ความถี่เปลี่ยนแปลงไปจากความถี่เดิม

ตัวอย่างของวงจรกำเนิดสัญญาณเอฟเอ็มโดยตรงแสดงดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงวงจรกำเนิดสัญญาณเอฟเอ็มโดยตรง

จากรูปที่ 2.2 จะใช้วงจรแทงก์เรโซแนนซ์ต่อขนานอยู่กับออสซิลเลเตอร์ ซึ่งตัวไมโครโฟนแบบคอนเดนเซอร์ จะทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุที่เปลี่ยนแปลงค่าตามระดับแรงดันไฟฟ้า หรือระดับแรงดันเสียง ดังนั้นถ้าแรงดันเสียงเปลี่ยนไป ก็จะทำให้ความถี่ของออสซิลเลเตอร์เปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งอาจพิจารณาจากสมการที่ (2.18) ดังนี้

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{2.18}$$

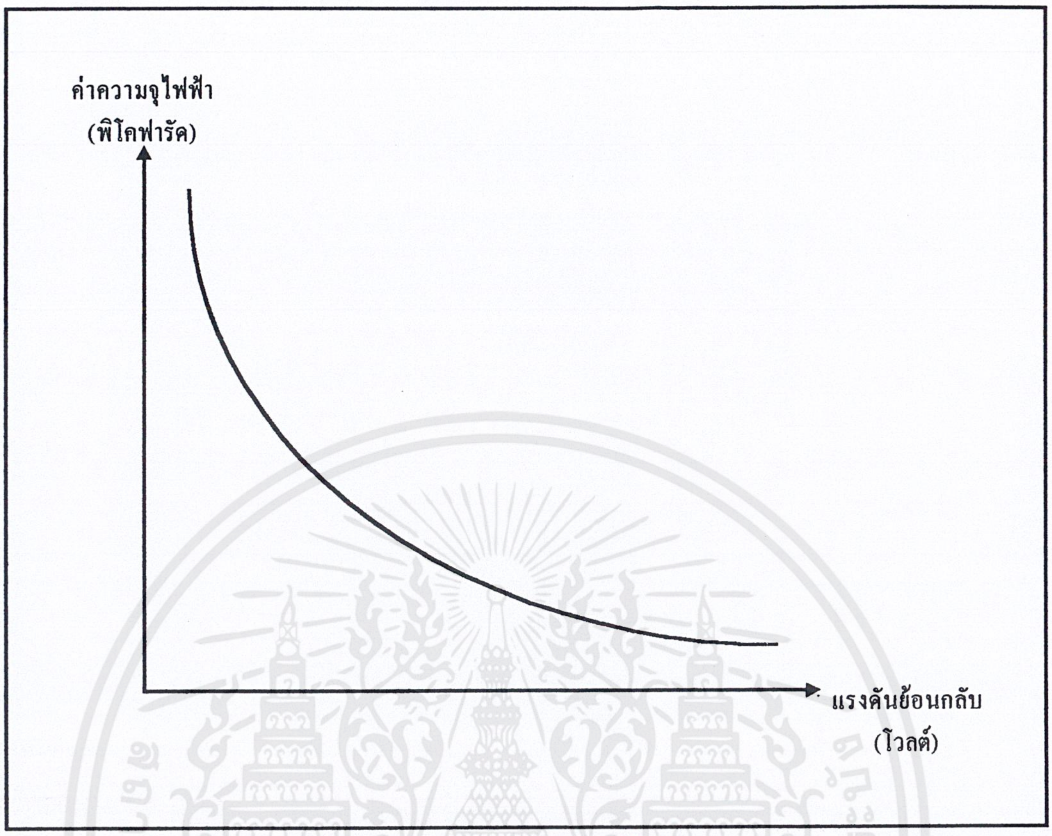
จากสมการที่ (2.18) พบว่า ถ้าแรงดันเสียงเพิ่มขึ้นค่าความจุไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น ทำให้ความถี่ของออสซิลเลเตอร์ลดลง และถ้าแรงดันเสียงต่ำลง ค่าความจุไฟฟ้าจะลดลงทำให้ความถี่ของออสซิลเลเตอร์สูงขึ้นตามลำดับ

วงจรที่ใช้ในการมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็มที่สำคัญมี 2 วงจร ได้แก่ วงจรมอดูเลเตอร์ที่ใช้วาแรกเตอร์ไดโอด (Varactor Diode Modulator) และวงจรรีแอคแตนซ์มอดูเลเตอร์ (Reactance Modulator)

1.<u>วงจรมอดูเลเตอร์ที่ใช้วาแรกเตอร์ไดโอด</u> (Varactor Diode Modulator)

ในวงจรมอดูเลเตอร์แบบนี้ จะใช้วาแรกเตอร์ไดโอด (Varactor Diode) หรือ วาริแคปไดโอด (Variable Capacitance Diode) เป็นอุปกรณ์สำคัญ โดยที่วาแรกเตอร์ไดโอดนี้ เมื่อทำการไบอัสย้อนกลับให้ตัวมัน จะทำให้ตัวมันมีพฤติกรรมเป็นตัวเก็บประจุตัวหนึ่ง ซึ่งเป็นผลมาจาก ค่าความจุไฟฟ้าระหว่างรอยต่อพีเอ็นของมันนั่นเอง โดยที่ค่าความจุไฟฟ้าดังกล่าวจะแปรผกผันกับแรงดันไบอัสย้อนกลับที่ป้อนให้มัน (Reverse Voltage) ดังแสดงในรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



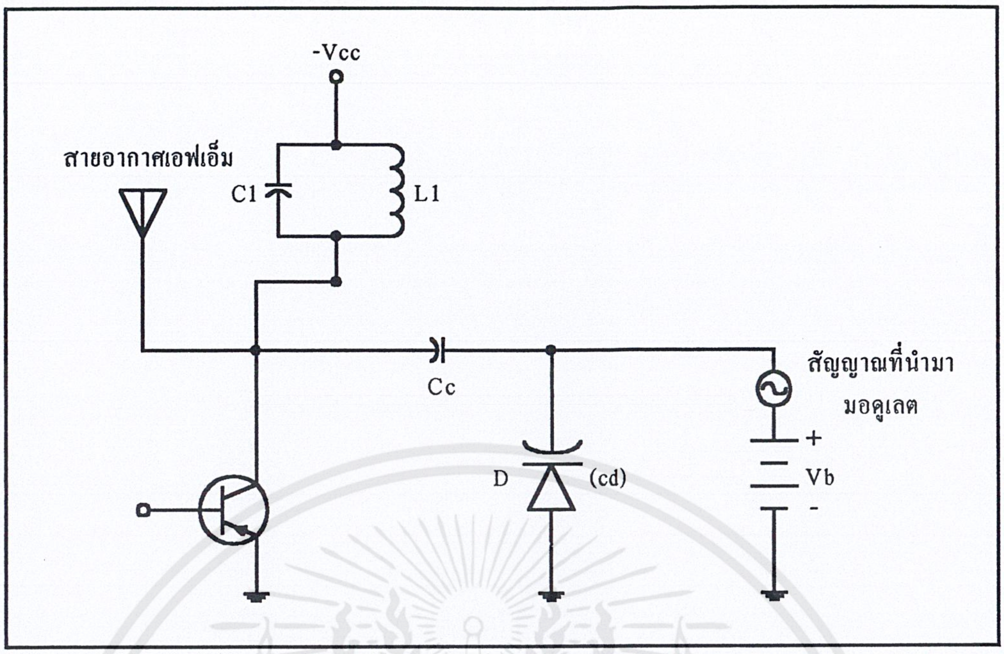
รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับแรงดันย้อนกลับที่ตกคร่อมวาแรกเตอร์ไดโอด

ตัวอย่างวงจรมอดูเลเตอร์ที่ใช้วาแรกเตอร์ไดโอด แสดงดังรูปที่ 2.4 โดยที่วาแรกเตอร์ไดโอด D จะมีค่าความจุไฟฟ้าเป็น C_D วงจรมอดูเลเตอร์นี้จะมีความถี่ของการออสซิลเลตตามสมการที่ (2.19)

$$f_{OSC} = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_1 + C_D}} \quad \text{(Hz)} \tag{2.19}$$

จากสมการที่ (2.19) จะพบว่า ความถี่ของการออสซิลเลตจะเปลี่ยนแปลงตามค่า C_D ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันย้อนกลับ อันเป็นผลเนื่องมาจากสัญญาณที่นำมามอดูเลต ทำให้ได้เอาท์พุทเป็นสัญญาณเอฟเอ็ม ซึ่งความถี่เปลี่ยนตามแอมปลิจูดของสัญญาณที่นำมามอดูเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงวงจรมอดูเลเตอร์ที่ใช้วาแรกเตอร์ไดโอด

2.<u>วงจรรีแอคแตนซ์มอดูเลเตอร์</u>(Reactance Modulator)

วงจรแบบนี้จะใช้คุณสมบัติของค่ารีแอคแตนซ์ (ค่าความจุไฟฟ้าหรือค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า) ที่เปลี่ยนแปลงตามแอมปลิจูดของสัญญาณที่นำเข้ามามอดูเลต ไปควบคุมหรือกำหนดความถี่ของวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) ซึ่งก็เป็นอีกวิธีหนึ่งในการเปลี่ยนแปลงค่ารีแอคแตนซ์ไปตามแอมปลิจูดของสัญญาณที่นำมามอดูเลตนี้ อาจจะใช้เป็นหลอดสูญญากาศ (Vacuum Tube) หรือเฟต (Field Effect Transistor ; FET) หรือทรานซิสเตอร์ (Bipolar Junction Transistor) ที่ต่อร่วมกับตัวต้านทาน (R) และตัวเก็บประจุ (C) ที่เหมาะสมก็ได้

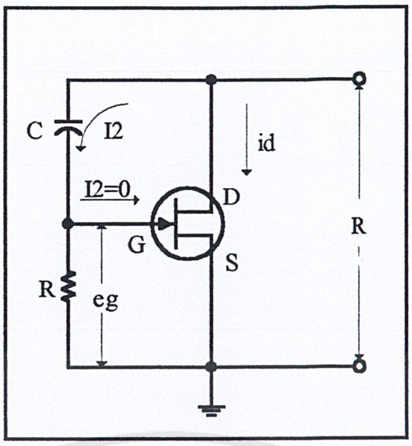
ตัวอย่างต่อไปนี้จะแสดงวิธีการพิสูจน์ว่า ค่ารีแอคแตนซ์ของวงจรรีแอคแตนซ์มอดูเลเตอร์ที่ใช้เจเฟต(JFET)เปลี่ยนแปลงตามแอมปลิจูดของสัญญาณ ที่จะนำมามอดูเลตได้อย่างไร โดยจะแสดงเพียงกรณีที่ค่ารีแอคแตนซ์ดังกล่าว เป็นค่ารีแอคแตนซ์เชิงความจุ (Capacitance Reactance)

จากรูปที่ 2.5 ทำการพิจารณาค่าอิมพีแดนซ์ (Z) ของวงจรเจเฟต โดยกำหนดให้ค่ากระแสเกตมีค่าเป็นศูนย์ $(i_g \approx 0)$

จากรูปที่ 2.5 ทำการพิจารณาค่าอิมพีแดนซ์ (Z) ของวงจรเจเฟต โดยกำหนดให้ค่ากระแสเกตมีค่าเป็นศูนย์ $(i_g \approx 0)$

จะได้ $$e_g = i_1 R$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างวงจรรีแอคแตนซ์มอดูเลเตอร์ที่ใช้เจเฟตและใช้ในการพิสูจน์การเปลี่ยนแปลงของค่ารีแอคแตนซ์ตามแอมปลิจูดของสัญญาณที่นำมามอดูเลต

แต่ $$i_1 = \frac{e}{R - jX_c}$$

ดังนั้น $$e_g = \frac{eR}{R - jX_c}$$

จาก $$i_d = g_m e_g$$

โดยที่ g_m คือค่าทรานสคอนดักแตนซ์ของเจเฟต

ดังนั้น $$i_d = \frac{e(g_m)R}{R - jX_c}$$

จาก $$Z = \frac{e}{i_d}$$

จะได้ $$Z = \frac{1}{g_m} - j\left(\frac{X_c}{g_m R}\right)$$

จาก $$X_c = \frac{1}{2\pi fC}$$

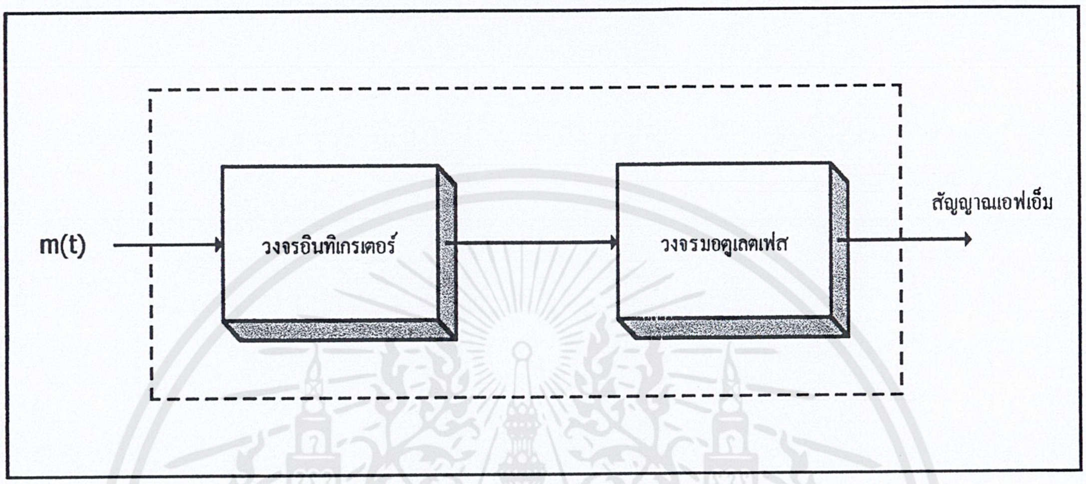
จะได้ $$Z = \frac{1}{g_m} - j\left(\frac{1}{2\pi f g_m RC}\right) \qquad (2.20)$$

จากสมการที่ (2.20) จะพบว่า ค่ารีแอคแตนซ์จะอยู่ในรูป ของค่ารีแอคแตนซ์เชิงความจุ (Capacitive Reactance) โดยที่ค่ารีแอคแตนซ์ดังกล่าว จะเปลี่ยนแปลงค่าตามค่าทรานสคอนดักแตนซ์ (g_m) หรือเปลี่ยนแปลงตามแรงดันที่ขาเกตของเจเฟต ดังนั้นจากรูปที่ 2.5 (ก) จะพบว่าเมื่อนำสัญญาณเข้ามามอดูเลตที่ขาเกตของเจเฟต ก็จะทำให้ค่าแรงดันที่ขาเกตและค่าทรานสคอนดักแตนซ์เปลี่ยนแปลงไปตามแอมปลิจูดของสัญญาณที่นำเข้ามามอดูเลตซึ่งจะทำให้ค่ารีแอคแตนซ์และค่าความถี่ของออสซิลเลเตอร์ เปลี่ยนแปลงไปตามแอมปลิจูดของสัญญาณที่นำเข้ามามอดูเลตด้วย ทำให้เกิดสัญญาณเอฟเอ็มขึ้นมาได้

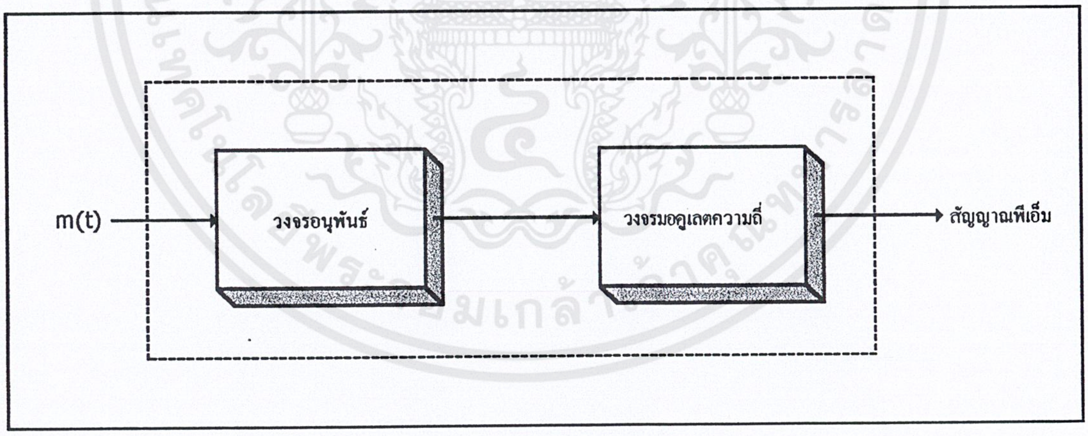
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การกำเนิดสัญญาณเอฟเอ็มโดยอ้อม

เราสามารถที่จะสร้างสัญญาณเอฟเอ็มโดยอ้อม ได้จากการนำเอาวงจรอินทิเกรเตอร์ ใส่เข้าไปข้างหน้าของวงจรมอดูเลตเฟส ดังรูปที่ 2.6 และเช่นเดียวกัน สัญญาณพีเอ็มก็สามารถสร้างขึ้นจากการนำเอาวงจรอนุพันธ์ (Differentiator Circuit) ไปใส่ข้างหน้าวงจรมอดูเลตความถี่ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 แสดงแผนผังการทำงานของวงจรที่ใช้สร้างสัญญาณเอฟเอ็มโดยอ้อม



รูปที่ 2.7 แสดงแผนผังการทำงานของวงจรที่ใช้สร้างสัญญาณพีเอ็มโดยอ้อม

2.4.3 แผนผังการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณเอฟเอ็ม

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงแผนผังการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณเอฟเอ็ม ซึ่งจะกล่าวถึง 2 แบบ ได้แก่

1.เครื่องส่งคอสบี้ (Crosby Transmitter)

2.เครื่องส่งสัญญาณเอฟเอ็มโดยอ้อมของอาร์มสตรอง (Indirect Armstrong FM Transmitter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) เครื่องส่งคอสบี้ มีแผนผังการทำงานดังรูปที่ 2.8

หลักการทำงานของเครื่องส่งคอสบี้ สามารถอธิบายได้ดังนี้

ส่วนของ Exciter จะทำการนำสัญญาณออดิโอมามอดูเลตความถี่แบบโดยตรง ซึ่งจะมอดูเลตที่ความถี่กลางค่าต่ำ $(f_{c1} = 5MHz)$ จากนั้นจึงเป็นการแปลงความถี่ให้สูงขึ้น โดยวงจรคูณความถี่ (Frequency Multiplier) จนได้สัญญาณเอฟเอ็มที่มีความถี่กลางที่สูงตามต้องการ $(f_c = 90MHz)$ แล้วจึงนำไปขยายให้กำลังส่งแรงขึ้น แล้วจึงส่งไปยังสายอากาศส่งเพื่อส่งออกอากาศต่อไป

ส่วนของ Frequency Stabilization System เป็นส่วนที่ใช้ในการควบคุมย้อนกลับ (Feedback Control) เพื่อรักษาเสถียรภาพของความถี่กลางของสัญญาณเอฟเอ็มที่จะส่งออกอากาศให้คงที่อยู่เสมอ

(2) เครื่องส่งสัญญาณเอฟเอ็มโดยอ้อมของอาร์มสตรอง มีแผนผังการทำงานดังรูปที่ 2.9

หลักการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณเอฟเอ็มโดยอ้อมของอาร์มสตรอง สามารถอธิบายได้ดังนี้

ในเครื่องส่งแบบนี้จะใช้วิธี สร้างสัญญาณเอฟเอ็ม จากสัญญาณพีเอ็ม จึงเรียกว่าสัญญาณเอฟเอ็มโดยอ้อมซึ่งอาร์มสตรองเป็นคนคิดขึ้นมาด้วยการนำวงจรอินทิเกรตไปใส่ไว้ข้างหน้าวงจรมอดูเลตแบบพีเอ็ม ทำให้ได้สัญญาณเอฟเอ็มแบนด์แคบออกมา จากนั้นจึงเป็นขบวนการในการเพิ่มแบนด์ให้กว้างขึ้นโดยนำไปผ่านวงจรคูณความถี่ (Frequency Multiplier) และวงจรแปลงความถี่ (Frequency Convertor) หรือมิกเซอร์ (Mixer) จนได้แบนด์ที่กว้างตามความต้องการ แล้วจึงนำไปขยายให้มีอัตราขยาย (Gain) และกำลังส่ง (Power) ตามที่ต้องการก่อนที่จะส่ง เพื่อส่งออกอากาศต่อไป

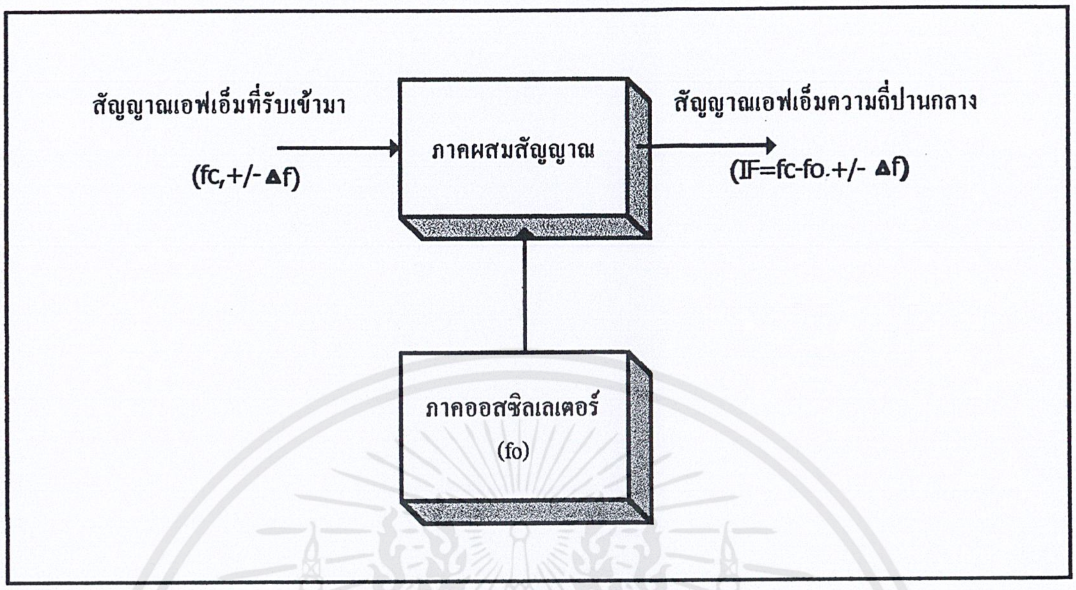
2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องรับวิทยุเอฟเอ็ม

อุปกรณ์สำคัญที่จะช่วยให้เรารับฟังข่าวสารที่ฝากผ่านมากับคลื่นวิทยุความถี่สูงหรือคลื่นพาห์ด้วยกระบวนการมอดูเลตเชิงความถี่ ก็คือเครื่องรับวิทยุเอฟเอ็ม ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะทฤษฎีและหลักการ ของเครื่องรับวิทยุเอฟเอ็มแบบซุปเปอร์เฮเทอโรดายน์ (Superheterodyne Receiver) โดยแผนผังการทำงาน (Block Diagram) ของเครื่องรับวิทยุเอฟเอ็มแบบซุปเปอร์เฮเทอโรดายน์แสดงดังรูปที่ 2.10

หลักการทำงานในการเฮเทอโรดายน์ดังแสดงในรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

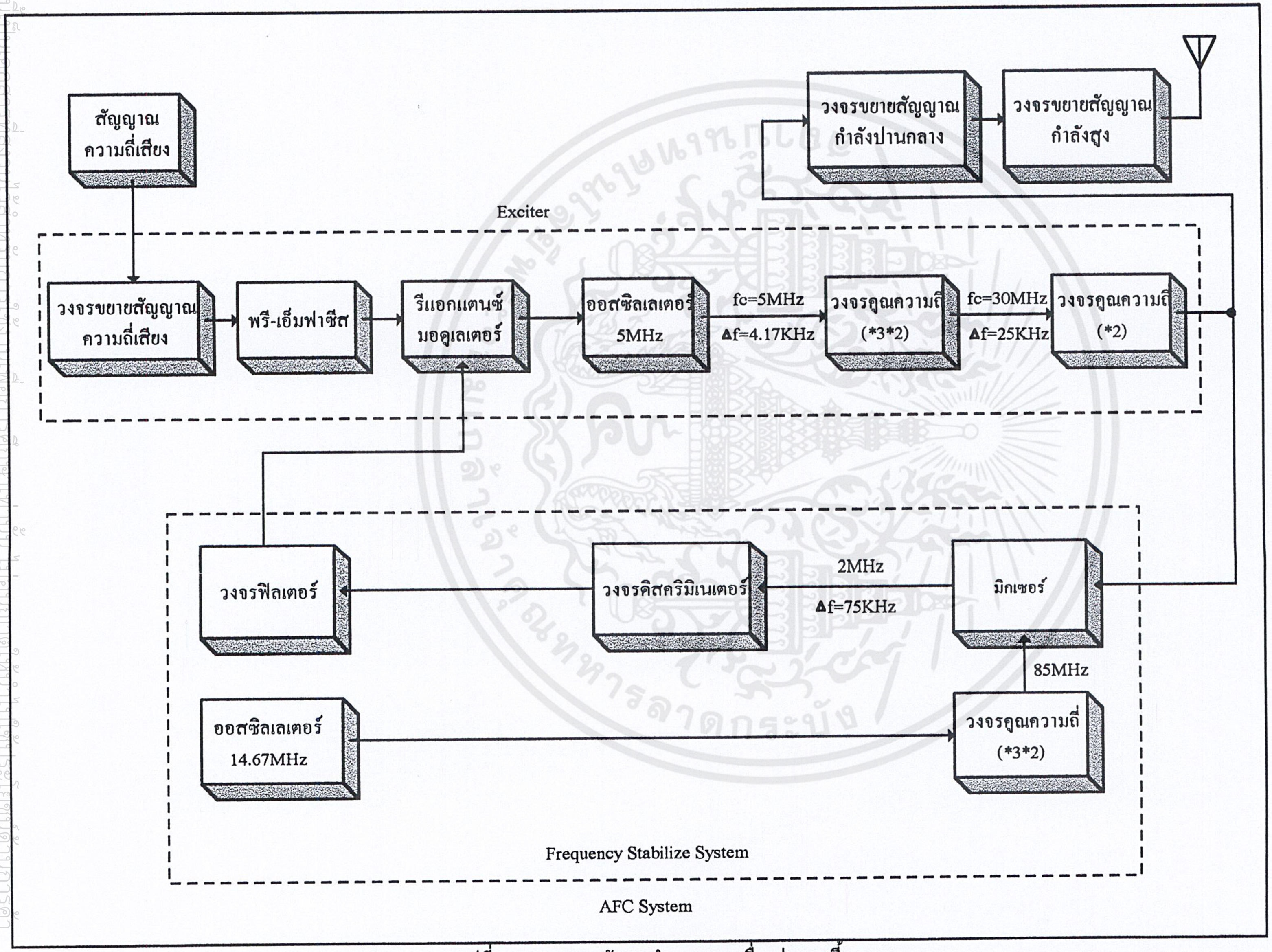
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.11 แสดงแผนผังการทำงานในการเฮเทอโรดายน์

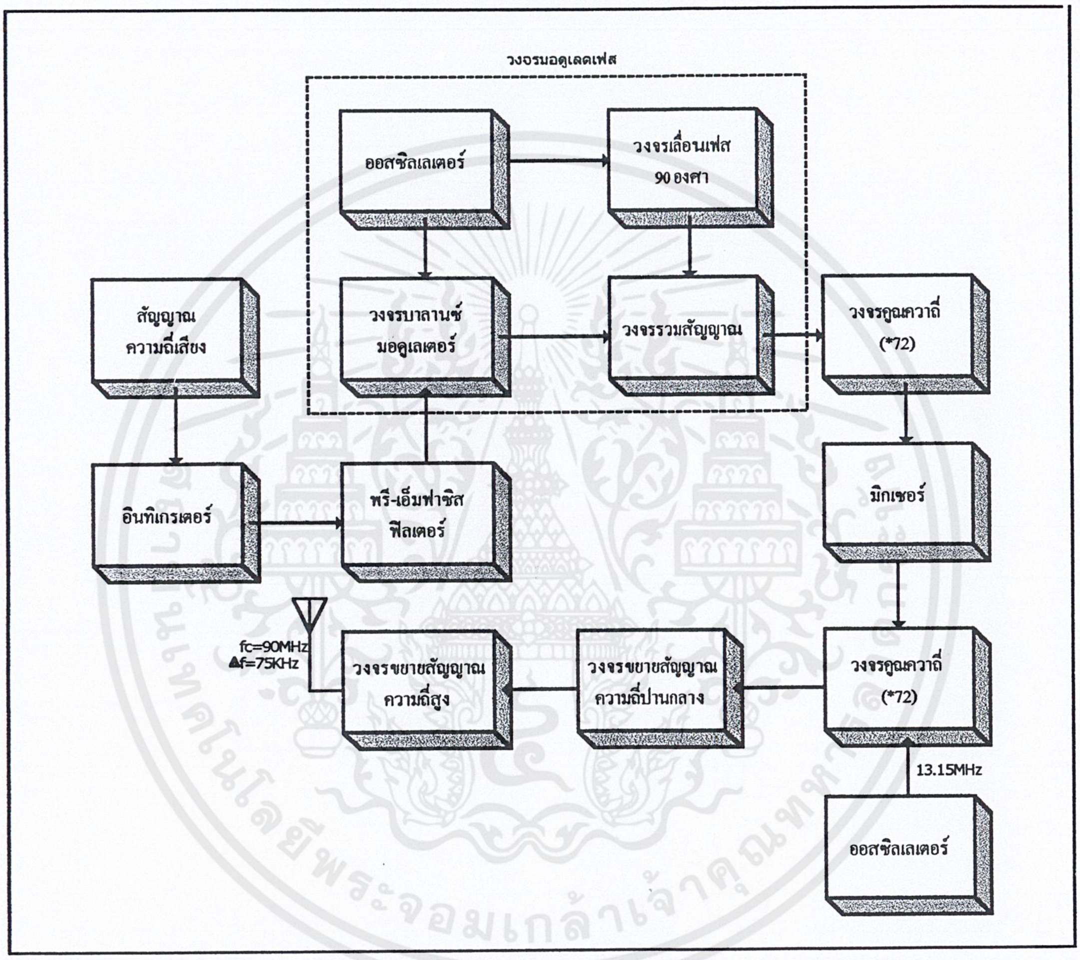
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

42153



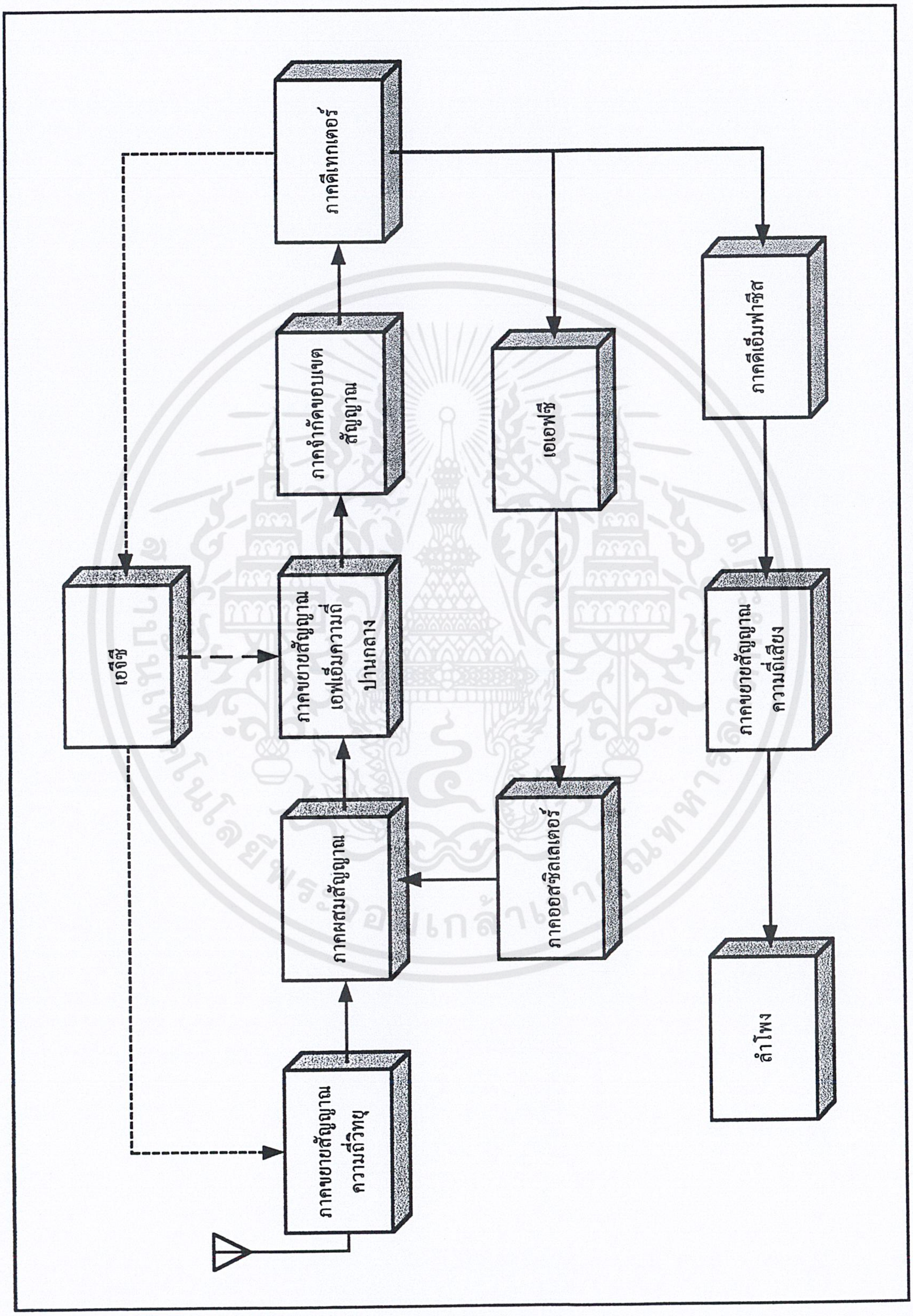
รูปที่ 2.8 แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องส่งคอสบี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณเอฟเอ็มโดยอ้อมของอาร์มสตรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องรับวิทยุแบบซุเปอร์เฮทเทอโรดายน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณเอฟเอ็มที่รับเข้ามาจะมีความถี่กลาง (Center Frequency ; f_c) ค่าหนึ่งซึ่งขึ้นกับแต่ละสถานีจะเลือกใช้ โดยจะต้องอยู่ในช่วง 88 ถึง 108 เมกะเฮิรตซ์ และมีความถี่เบี่ยงเบน (Frequency Deviation ; Δf) ค่าหนึ่ง โดยทั่วไปในวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม จะมีความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดเท่ากับ 75 กิโลเฮิรตซ์ สัญญาณเอฟเอ็มดังกล่าวจะนำไปผสมกับสัญญาณจากออสซิลเลเตอร์ซึ่งมีความถี่สัมพัทธ์กับความถี่กลางของสัญญาณเอฟเอ็มที่รับเข้ามา ซึ่งจะทำให้สัญญาณเอาท์พุทของภาคผสมสัญญาณ เป็นสัญญาณเอฟเอ็มที่มีความถี่กลางต่ำลงมาเป็นความถี่ปานกลาง (Intermediate Frequency ; IF) ที่เรียกว่าสัญญาณเอฟเอ็มความถี่ปานกลาง กล่าวคือ ผลต่างระหว่างความถี่กลางของสัญญาณเอฟเอ็ม ที่รับเข้ามาได้ กับความถี่จากออสซิลเลเตอร์ จะต้องมีค่าคงที่เท่ากับความถี่ปานกลาง (IF) ค่าหนึ่งซึ่งได้ถูกกำหนดเป็นค่ามาตรฐานสำหรับการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุเช่น วิทยุกระจายเสียงระบบเอเอ็ม มีค่า 455 กิโลเฮิรตซ์ และวิทยุกระจายเสียงระบบเอฟเอ็มมีค่า 10.7 เมกะเฮิรตซ์ เป็นต้น

จากรูปที่ 2.10 สามารถอธิบายหน้าที่การทำงานของแต่ละภาคได้ดังนี้

1.<u>สายอากาศรับ</u> (Receive Antenna) มีหน้าที่ในการรับคลื่นวิทยุ หรือสัญญาณเอฟเอ็มที่ส่งมาจากสถานีวิทยุต่างๆ มาแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าของสัญญาณเอฟเอ็ม

2.<u>ภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุ</u> (Radio Frequency Amplifier ; RF Amp) มีหน้าที่ในการขยายสัญญาณไฟฟ้าของสัญญาณเอฟเอ็มที่รับเข้ามาให้แรงพอที่จะนำไปผ่านกระบวนการอื่นๆต่อไป โดยที่วงจรขยายนี้จะต้องออกแบบให้ทำงานในย่านความถี่สูง (RF) และช่วงการทำงานกว้าง (ในวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็มทั่วไป จะมีช่วงการทำงานตั้งแต่ 88 ถึง 108 เมกะเฮิรตซ์) แต่ในเครื่องรับวิทยุเอฟเอ็มราคาถูกจะไม่มีภาคนี้

3.<u>ภาคออสซิลเลเตอร์</u> (Local Oscillator) มีหน้าที่ผลิตสัญญาณที่มีความถี่คงที่ ที่จะนำไปทำการเฮเทอโรดายน์ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยที่ภาคนี้จะเป็นส่วนสำคัญในการเลือก หรือจูน (Tune) เพื่อที่จะเลือกรับฟังข่าวสารจากสถานีใด สถานีหนึ่ง กล่าวคือ เป็นส่วนที่ใช้ในการจูนสถานีนั่นเอง

4.<u>ภาคผสมสัญญาณ</u> (Mixer) มีหน้าที่ในการทำการเฮเทอโรดายน์ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สัญญาณเอาท์พุทที่ออกจากภาคนี้ จะเป็นสัญญาณเอฟเอ็มที่มีความถี่กลางเท่ากับความถี่ปานกลาง (IF) สำหรับวิทยุกระจายเสียงระบบเอฟเอ็ม ความถี่ปานกลางจะมีค่า 10.7 เมกะเฮิรตซ์

5.<u>ภาคขยายสัญญาณเอฟเอ็มความถี่ปานกลาง</u> (Intermediate Frequency Amplifier ; IF Amp) มีหน้าที่ในการขยายสัญญาณไฟฟ้าของสัญญาณเอฟเอ็มความถี่ปานกลาง ให้แรงพอที่จะนำไปทำการดีเทกต์ต่อไป ซึ่งในวงจรขยายภาคนี้จะทำงานที่ความถี่ปานกลางความถี่เดียวตลอด (IF = 10.7 เมกะเฮิรตซ์) ไม่ว่าสัญญาณเอฟเอ็มที่รับเข้ามาจะมีความถี่กลางเท่าใดก็ตาม

6.<u>ภาคจำกัดขอบเขตสัญญาณ</u> (Limiter) มีหน้าที่ในการจำกัดขอบเขตสัญญาณไฟฟ้า ของสัญญาณเอฟเอ็มความถี่ปานกลางให้คงที่ เพื่อเป็นการลดสัญญาณที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงแอมปลิจูดซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์

7.<u>ภาคดีเทกเตอร์ หรือ ดิสคริมิเนเตอร์</u> (Detector or Discriminator) มีหน้าทีในการดีเทกต์สัญญาณไฟฟ้าของสัญญาณเอฟเอ็มความถี่ปานกลาง ที่ถูกจำกัดระดับแอมปลิจูดให้คงที่แล้ว สัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาท์พุทของภาคนี้จะเป็นสัญญาณข่าวสารที่มอดูเลตความถี่มา จะมีความถี่อยู่ในย่านความถี่เสียง (Audio Frequency ; AF)

8.ภาคดีเอ็มฟาซิส (De-Emphasis) มีหน้าที่ทำการดีเอ็มฟาซิส เพื่อลดระดับแอมปลิจูดในย่านความถี่สูงๆของสัญญาณข้อมูลข่าวสารที่ดีเทกต์ได้ ซึ่งต้องสอดคล้องกับการทำพรีเอ็มฟาซิสที่เครื่องส่ง เพื่อจะรักษาระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio ; S/N) ให้อยู่ในระดับที่น่าพอใจ

9.ภาคขยายสัญญาณความถี่เสียง (Audio Frequency Amplifier ; AF Amp) มีหน้าที่ขยายสัญญาณข่าวสารที่ผ่านการทำดีเอมฟาซิสแล้วให้มีแอมปลิจูดแรงเพียงพอที่จะนำไปขับออกลำโพงต่อไป

10.ลำโพง (Speaker) มีหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้า ให้เป็นสัญญาณเสียง (Transducer)

11.ภาคเอจีซี (Automatic Gain Control ; AGC) มีหน้าที่ในการควบคุมอัตราขยาย (Gain) อย่างอัตโนมัติของวงจรขยายในภาคต่างๆ เพื่อรักษาให้ระดับความดังของเสียงที่รับฟังได้จากลำโพงคงที่ในทุกสถานีที่รับฟัง

12.ภาคเอเอฟซี (Automatic Frequency Control ; AFC) มีหน้าที่ในการควบคุมรักษาเสถียรภาพของความถี่ออสซิลเลเตอร์ให้คงที่เพื่อให้ได้สัญญาณข่าวสารของสถานีที่ต้องการอย่างถูกต้องตลอดเวลา

2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบวงจรความถี่สูง

ในส่วนนี้จะเป็นการกล่าวถึงวิธีการและขั้นตอนต่างๆ ในการออกแบบวงจรที่ใช้กับความถี่สูง โดยจะกล่าวถึงเฉพาะวงจรที่เกี่ยวข้องกับโครงงานนี้ ซึ่งได้แก่ วงจรขยายสัญญาณความถี่สูงที่ใช้ขยายกำลัง (RF Power Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณความถี่สูงที่ใช้ขยายกำลัง (RF Power Amplifier)

1.การไบอัสทรานซิสเตอร์ (Transistor Bias)

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทำให้ พารามิเตอร์บางตัวของทรานซิสเตอร์เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นในการออกแบบวงจรขยายสัญญาณที่ใช้ทรานซิสเตอร์จึงต้องพยายามที่จะลดผลการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ซึ่งสามารถทำได้โดยการไบอัสในทรานซิสเตอร์อย่างเหมาะสม

พารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิที่กล่าวถึงได้แก่โวลเตจที่ตกคร่อมขาเบส และขาอีมิตเตอร์ (Base-Emitter Voltage ; V_{BE}) และอัตราขยายกระแสอีมิตเตอร์ร่วม (Common Emitter Current Gain ; β) โดยปกติ เมื่ออุณหภูมิของทรานซิสเตอร์เพิ่มสูงขึ้น จะมีผลทำให้ค่า V_{BE} ลดลงในอัตรา $2.5mV/^{\circ}c$ (ปกติค่า V_{BE} ของทรานซิสเตอร์ที่สร้างจากซิลิกอน จะมีค่าประมาณ 0.7 V) การลดลงของ V_{BE} เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิของทรานซิสเตอร์นี้ จะส่งผลให้ค่ากระแสที่คอลเลกเตอร์ (Collector Current ; I_c) เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าพารามิเตอร์ของวงจรขยายสัญญาณ เช่น อัตราขยายแรงดัน (Voltage Gain) เปลี่ยนแปลงไปจากที่เคยออกแบบไว้ได้ สิ่งที่เราจะนำมาลดผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง V_{BE} อันเนื่องมาจากอุณหภูมิก็คือ โวลเตจที่อีมิตเตอร์ (Emitter Voltage ; V_E)

เนื่องจากอุณหภูมิของทรานซิสเตอร์ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ V_{BE} ลดลงจึงส่งผลให้ I_E และ V_E เพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของ V_E จะทำให้เกิดการป้อนกลับแบบลบ (Negative Feedback) ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดการไบอัสย้อนกลับ (Reverse Bias) ระหว่างรอยต่อเบส-อีมิตเตอร์ จึงทำให้ I_C ลดลง ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิของทรานซิสเตอร์เพิ่มขึ้นทำให้ V_{BE} ลดลง แต่การลดลงดังกล่าวจะถูกชดเชยด้วยการเพิ่มขึ้นของ V_E จึงเป็นผลให้การเปลี่ยนแปลงของ I_C มีไม่มาก ดังจะพิจารณาได้จากสมการที่ (2.21)

$$\Delta I_C \approx -\left(\frac{\Delta V_{BE} I_C}{V_E}\right) \tag{2.21}$$

โดยที่

ΔI_C คือ การเปลี่ยนแปลงของกระแสคอลเลกเตอร์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

I_C คือ กระแสคอลเลกเตอร์ ณ. อุณหภูมิปกติ

ΔV_{BE} คือ การเปลี่ยนแปลงของโวลเตจ ระหว่างเบส-อีมิตเตอร์

V_E คือ โวลเตจที่อีมิตเตอร์ ณ. อุณหภูมิปกติ

ถ้าออกแบบให้ V_E เป็น 20 เท่าของ ΔV_{BE} จะทำให้การเปลี่ยนแปลงของ I_C มีค่าเพียง 5% แต่การที่ออกแบบให้ V_E มีค่าสูงๆ จะมีผลเสียคือ ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังมาก และยังทำให้อัตราขยายสัญญาณกระแสสลับ (AC Signal Gain) ลดลงอีกด้วย วิธีการที่จะแก้ไขปัญหาการลดลงของอัตราขยายสัญญาณกระแสสลับนี้ สามารถทำได้โดยนำตัวเก็บประจุ (Capacitor ; C) มาต่อขนานกับตัวต้านทานที่อีมิตเตอร์ (Emitter Resistance ; R_E) แต่ว่าผลจากการสูญเสียกำลังยังคงอยู่เช่นเดิม

โดยทั่วไป สมมุติให้วงจรขยายทำงานในที่ๆอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไม่เกิน $\pm 50^o c$ เราจะออกแบบให้ V_E มีค่าเท่ากับ 2.5 Volt ซึ่งจะทำให้ I_C เปลี่ยนแปลงไม่เกิน $\pm 5\%$

2.<u>การออกแบบสัญญาณ โดยใช้เอส-พารามิเตอร์</u> (S-Parameter)

การออกแบบวงจรขยายสัญญาณความถี่สูงที่ใช้ทรานซิสเตอร์ จะต้องเริ่มต้นด้วยการเลือกวงจรที่จะใช้ไบอัสทรานซิสเตอร์ ให้เหมาะสมกับการใช้งานเสียก่อน จากนั้นจึงจะเริ่มเข้าสู่กระบวนการในการคำนวณด้วยเอส-พารามิเตอร์ต่อไป โดยที่ค่าเอส-พารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ สามารถหาได้จากเอกสารข้อมูล (Data Sheet) ของทรานซิสเตอร์ตัวนั้นๆ

<u>ขั้นตอนในการคำนวณด้วย เอส-พารามิเตอร์</u>

1)คำนวณหาค่าที่แสดงถึงเสถียรภาพ (Stability) ของทรานซิสเตอร์ (K)

*หา D_S (Intermediate Quantity) จาก

$$D_S = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21} \tag{2.22}$$

*หา K จาก

$$K = \frac{1+|D_S|^2 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2}{2 \times |S_{21}| \times |S_{12}|} \tag{2.23}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าค่า K ที่คำนวณได้ มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่า ทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะเสถียร อย่างไม่มีเงื่อนไข (Unconditionally Stable) กล่าวคือ ทรานซิสเตอร์จะมีเสถียรภาพ ต่อทุกๆค่าของอิมพีแดนซ์ของแหล่งกำเนิด และของโหลด

ถ้าค่า K ที่คำนวณได้ มีค่าน้อยกว่า 1 ทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะไม่เสถียร สำหรับบางค่าอิมพีแดนซ์ของแหล่งกำเนิด และของโหลด (Potentially Unstable) แต่สามารถเลือกจุดไบอัสทรานซิสเตอร์ได้อย่างเหมาะสมแล้ว ก็จะสามารถทำให้ทรานซิสเตอร์นั้นมีเสถียรภาพได้เหมือนกัน

2)คำนวณหาค่าอัตราขยายสูงสุดที่เป็นไปได้ (Maximum Available Gain ; MAG)

*หา B_1 (Intermediate Quantity) จาก

$$B_1 = 1+|S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 - |D_S|^2 \quad (2.24)$$

*หา MAG จาก

$$MAG = 10\log\left|\frac{S_{21}}{S_{12}}\right| + 10\log\left|K \pm \sqrt{K^2 - 1}\right| \quad \text{(dB)} \quad (2.25)$$

โดยค่า MAG จะมีค่าก็ต่อเมื่อค่า K มีค่ามากกว่า 1 เท่านั้น

ในสมการที่ (2.25)จะใช้ได้ทั้งเครื่องหมายบวกและลบ ขึ้นอยู่กับค่า B_1 ที่คำนวณได้ โดยถ้าค่า B_1 มีค่าเป็นบวก สมการที่ (2.25)จะใช้เครื่องหมายลบ แต่ถ้าค่า B_1 มีค่าเป็นเป็นลบ สมการที่ (2.25)จะใช้เครื่องหมายบวก

ขั้นต่อไปเป็นการทำแมตชิ่งอิมพีแดนซ์ ระหว่างวงจรขยายสัญญาณกับแหล่งกำเนิด และโหลด (Simultaneous Conjugate Match)

3)คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่โหลด (Load Reflection Coefficient ; τ_L)

*หา C_2 จาก

$$C_2 = S_{22} - (D_S S_{11}^*) \quad (2.26)$$

*หา B_2 จาก

$$B_2 = 1+|S_{22}|^2 - |S_{11}|^2 - |D_S|^2 \quad (2.27)$$

*หา τ_L จาก

$$\tau_L = \left\{\frac{B_2 \pm \sqrt{B_2^2 - 4|C_2|^2}}{2|C_2|}\right\}\angle(-\angle C_2) \quad (2.28)$$

ในสมการที่ (2.28)จะใช้ได้ทั้งเครื่องหมายบวกและลบ ขึ้นอยู่กับค่า B_2 ที่คำนวณได้ โดยจะใช้เครื่องหมายบวก เมื่อค่า B_2 เป็นค่าลบ และจะใช้เครื่องหมายลบ เมื่อค่า B_2 มีค่าเป็นบวก

4)คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่แหล่งกำเนิด (Source Reflection Coefficient ; τ_S)

*หาค่า τ_S จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tau_S = \left\{ S_{11} + \left(\frac{S_{12}S_{21}\tau_L}{1-(\tau_L S_{22})} \right) \right\}^* \tag{2.29}$$

5)คำนวณหาค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ (Input Impedance ; $Z_{i(n)}$) และเอาท์พุทอิมพีแดนซ์ (Output Impedance ; $Z_{o(n)}$) ซึ่งเป็นค่านอร์มอลไลซ์

*หา $Z_{i(n)}$ จาก

$$Z_{i(n)} = \left[\frac{1+\tau_S}{1-\tau_S} \right] \tag{2.30}$$

*หา $Z_{o(n)}$ จาก

$$Z_{o(n)} = \left[\frac{1+\tau_L}{1-\tau_L} \right] \tag{2.31}$$

6)คำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำ(L) และค่าความจุไฟฟ้า(C) ของวงจรแมตชิ่งอิมพีแดนซ์แบบรูปตัวแอล ระหว่างแหล่งกำเนิดกับวงจรขยายสัญญาณ และระหว่างวงจรขยายสัญญาณกับโหลด

*หาค่า Q จาก

$$Q_S = Q_P = \sqrt{\left(\frac{R_P}{R_S} - 1 \right)} \tag{2.32}$$

*หาค่า X_S จาก

$$X_S = Q_S R_S \tag{2.33}$$

*หาค่า X_P จาก

$$X_P = \frac{R_P}{Q_P} \tag{2.34}$$

โดยที่ Q_S คือ ค่า Q ของส่วนอนุกรม

Q_P คือ ค่า Q ของส่วนขนาน

R_P คือ ค่าความต้านทาน ของตัวต้านทานที่นำมาต่อขนาน

X_P คือ ค่ารีแอคแตนซ์ของอุปกรณ์ที่นำมาต่อขนาน

R_S คือ ค่าความต้านทาน ของตัวต้านทานที่นำมาต่ออนุกรม

X_S คือ ค่ารีแอคแตนซ์ของอุปกรณ์ที่นำมาต่ออนุกรม

ซึ่งค่าของ X_S และ X_P อาจจะเป็นค่ารีแอคแตนซ์เชิงความจุ (Capacitive Reactance ; X_C) หรือ ค่ารีแอคแตนซ์เชิงความเหนี่ยวนำ (Inductive Reactance ; X_L)

*กรณีวงจรแมตชิ่งอิมพีแดนซ์ เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำ

$$L = \frac{X_S}{\omega} \tag{2.35}$$

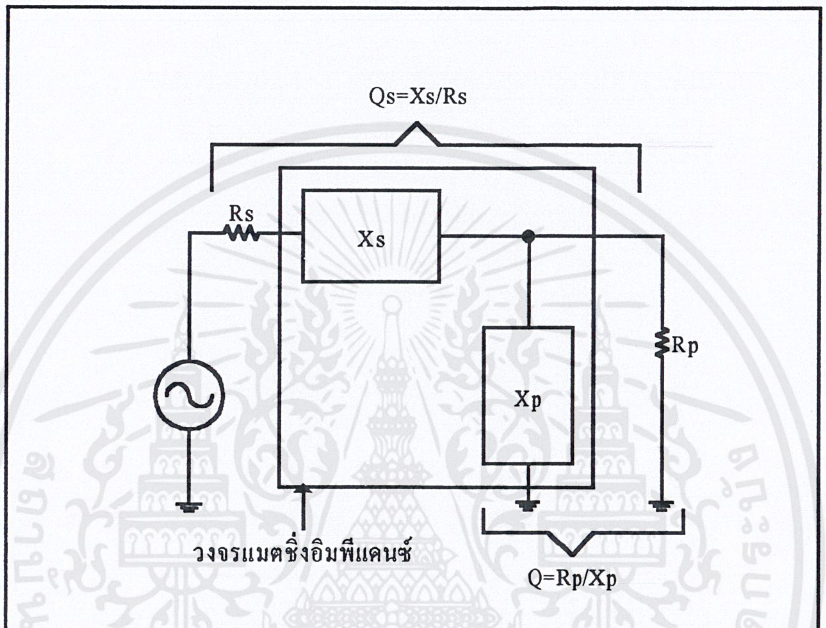
$$C = \frac{1}{\omega X_P} \tag{2.36}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

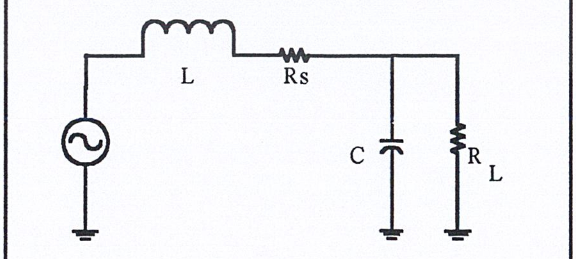
***กรณีวงจรแมตชิ่งอิมพีแดนซ์ เป็นวงจรกรองความถี่สูง**

$$L = \frac{X_P}{\omega} \tag{2.37}$$

$$C = \frac{1}{\omega X_s} \tag{2.38}$$

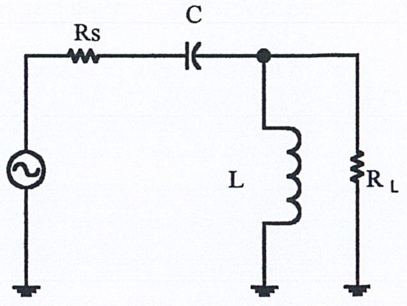


(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

รูปที่ 2.12 แสดงวงจรแมตชิ่งอิมพีแดนซ์แบบแอล

(ก)แสดงรูปวงจรแมตชิ่งอิมพีแดนซ์ในรูปแบบทั่วไป

(ข)แสดงรูปวงจรแมตชิ่งอิมพีแดนซ์ที่เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำ

(ค)แสดงรูปวงจรแมตชิ่งอิมพีแดนซ์ที่เป็นวงจรกรองความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ทฤษฎีเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์และการประยุกต์ใช้งาน

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontrollers) หรือ ชิปเดี่ยว (Single Chip) คือชิปที่ประกอบไปด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์,หน่วยความจำข้อมูล,หน่วยความจำโปรแกรมและพอร์ตอินพุท-เอาท์พุท ซึ่งทำให้สามารถนำไมโครคอนโทรลเลอร์ไปประยุกต์ใช้งานต่างๆได้โดยไม่ต้องพึ่งอุปกรณ์ภายนอกมากนัก

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่จะกล่าวถึงในที่นี้นั้นคือไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ของบริษัทอินเทล ซึ่งเบอร์ที่จัดว่าเป็นเบอร์พื้นฐานในตระกูลนี้ได้แก่ เบอร์ 8051,8751 และ 8031 โดยในแต่ละเบอร์จะมีความแตกต่างกันในเรื่องของหน่วยความจำโปรแกรมภายในเท่านั้น

2.7.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

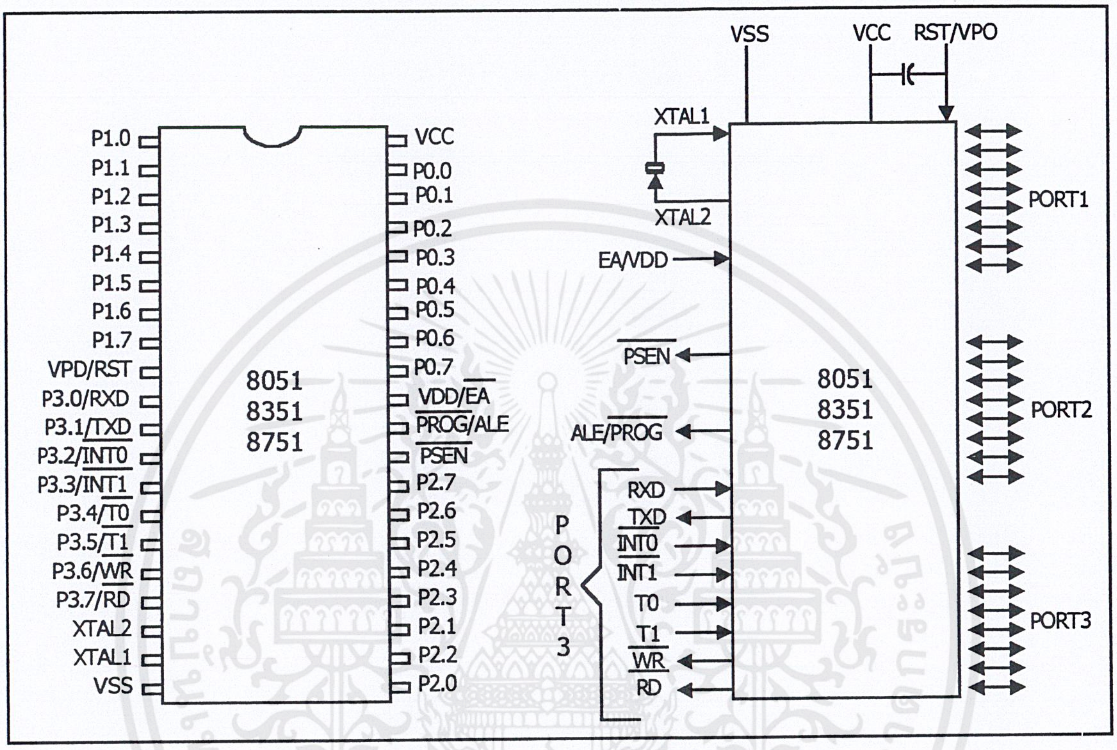
คุณสมบัติที่สำคัญได้แก่

- ใช้แหล่งจ่ายไฟ 1 ชุด ขนาด 5 โวลต์
- มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในขนาด 4 กิโลไบต์ (สำหรับเบอร์ 8051) และขนาด 8 กิโลไบต์ (สำหรับเบอร์ 8052)
- มีหน่วยความจำข้อมูลภายในขนาด 128 ไบต์ (สำหรับเบอร์ 8051) และขนาด 256 ไบต์ (สำหรับเบอร์ 8052)
- สามารถใช้หน่วยความจำโปรแกรมและข้อมูลภายนอกได้อย่างละ 64 กิโลไบต์ แยกจากกัน
- ใช้สัญญาณนาฬิกา ความถี่ 12 เมกะเฮิรตซ์ จากคริสตอล
- มีพอร์ตอินพุท พอร์ตเอาท์พุท ที่สามารถรับส่งข้อมูลได้สองทิศทาง จำนวน 4 พอร์ตๆละ 8 บิต โดยสามารถใช้เป็นพอร์ตละ 1 บิตได้ทั้งสิ้น 32 พอร์ต
- มีพอร์ตที่ใช้สำหรับรับส่งข้อมูลอนุกรม ที่สามารถกำหนดอัตราเร็วในการส่งผ่านข้อมูลได้
- จัดลำดับความสำคัญของสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้ 2 ระดับ
- มีรีจิสเตอร์ที่สามารถใช้งานเป็นไทม์เมอร์และเคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต จำนวน 2 ตัว
- หน่วยความจำข้อมูลภายในบางส่วนสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ทั้งระดับไบต์และระดับบิต
- มีขาจำนวน 40 ขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 การจัดเรียงขาและคำอธิบายรายละเอียดของขาต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะมีตำแหน่งขาเหมือนกัน ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงตำแหน่งขาของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

รายละเอียดของแต่ละขามีดังนี้

- ขาVss(20) : ต่อลงกราวนด์
- ขาVcc(40) : ต่อกับแหล่งจ่ายไฟตรงขนาด 5 โวลต์
- ขาพอร์ต 0 (32-39) : มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 0 มีขนาด 8 บิต
- ขาพอร์ต 1 (1-8) : มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 1 มีขนาด 8 บิต
- ขาพอร์ต 2 (21-28) : มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 2 มีขนาด 8 บิต
- ขาพอร์ต 3 (10-17) : มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 3 มีขนาด 8 บิต
- ขาRST(9) : ใช้สำหรับการรีเซตโปรแกรม โดยขานี้จะต้องมีสถานะเป็นลอจิก 1 เป็นเวลาอย่างน้อย 2 แมชชีนไซเคิล
- ขาALE/PROG(30) : เป็นขาสำหรับใช้ส่งสัญญาณออกไปภายนอก เพื่อควบคุมการแลตช์แอดเดรสไบต์ต่ำ (Address Latch Enable) จากพอร์ต 0

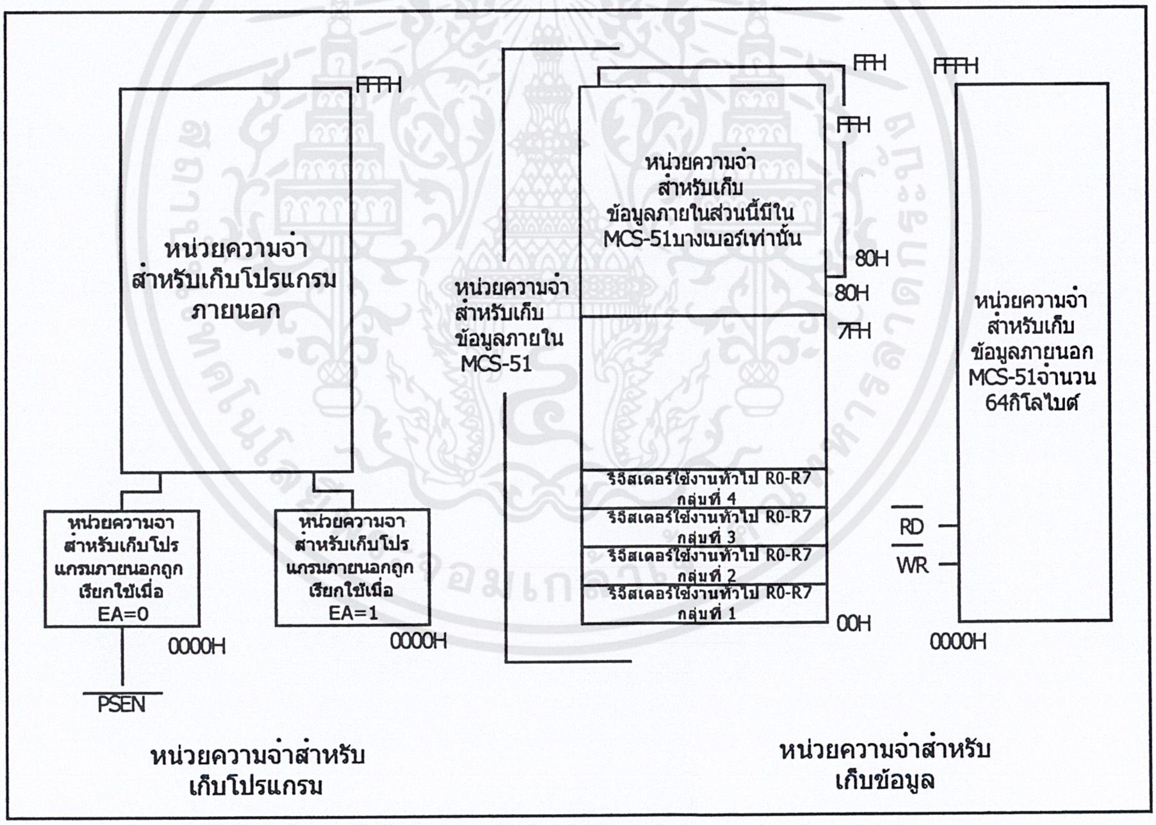
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขาPSEN(29) : ใช้ส่งสัญญาณสโตรบเพื่ออ่านคำสั่งจากโปรแกรมที่เก็บไว้ในหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกชิป (Program Strobe Enable)
- ขาEA/Vpp(31) : ใช้เลือกว่าจะใช้หน่วยความจำภายนอกหรือภายใน โดยถ้าขานี้มีสถานะเป็นลอจิก 0 จะเป็นการเลือกใช้หน่วยความจำภายนอก แต่ถ้าต้องการเลือกใช้หน่วยความจำภายในจะต้องต่อขานี้ลงกราวนด์
- ขาXTAL1(19) : ใช้ต่อกับคริสตอลโดยเป็นขาอินพุทเข้าสู่วงจรออสซิลเลเตอร์
- ขาXTAL2(18) : ใช้ต่อกับคริสตอลโดยเป็นขาเอาท์พุทเข้าจากวงจรออสซิลเลเตอร์

2.7.3 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

(1)โครงสร้างหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มี 2 ส่วน ดังนี้คือ

- หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory)
- หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory)

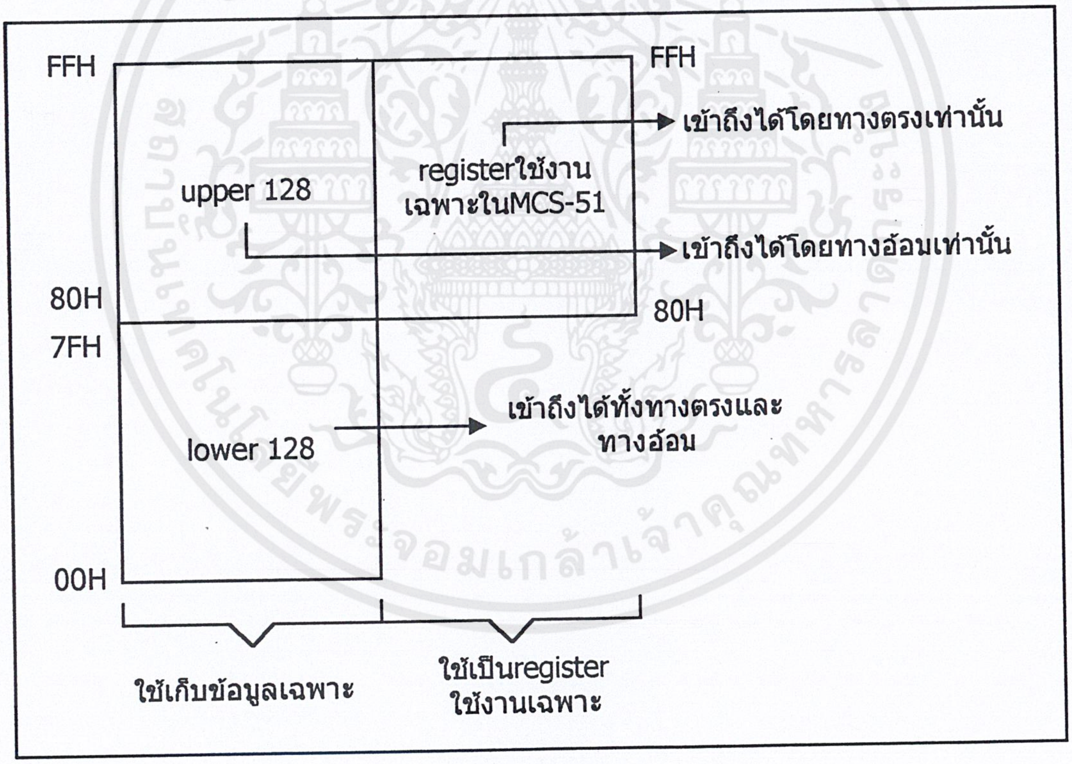


รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างของหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. หน่วยความจำโปรแกรมจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำโปรแกรมภายใน (Internal Program Memory) มีขนาด 4 กิโลไบต์ (สำหรับเบอร์ 8051) และหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (External Program Memory) ซึ่งมีขนาดสูงสุดได้ถึง 64 กิโลไบต์
2. หน่วยความจำข้อมูล แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำข้อมูลภายใน (Internal Data Memory) มีขนาด 256 ไบต์ (สำหรับเบอร์ 8051) และหน่วยความจำภายนอก (External Data Memory) ซึ่งมีขนาดสูงสุดได้ถึง 64 กิโลไบต์

หน่วยความจำข้อมูลภายในยังแบ่งย่อยออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ หน่วยความจำข้อมูลทั่วไป (Internal RAM) ขนาด 128 ไบต์ และส่วนที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ที่ทำหน้าที่เฉพาะ (Special Function Register ; SFR) ซึ่งมีขนาด 128 ไบต์ หน่วยความจำข้อมูลภายในแสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงแผนภาพของหน่วยความจำข้อมูลภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ภายในหน่วยความจำข้อมูลทั่วไป มีวิธีการเข้าถึงแบบทั้งโดยตรงและโดยอ้อม แบ่งเป็น 3 กลุ่มดังนี้

- รีจิสเตอร์ที่ใช้งานทั่วไป (Register Bank) : ประกอบด้วย 4 กลุ่มๆละ 8 ไบต์ จำนวนทั้งหมด 32 ไบต์ใช้เก็บข้อมูลทั่วไป ระดับของการอ้างอิงเป็นระดับไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รีจิสเตอร์ที่เข้าถึงข้อมูลระดับบิต : จำนวน 16 ไบต์ ทั้งหมด 128 บิต

- รีจิสเตอร์ที่ใช้งานเก็บข้อมูลทั่วไป : จำนวน 86 ไบต์ , ระดับของการอ้างอิงข้อมูลเป็นระดับไบต์

(2)โครงสร้างพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แบ่งได้ดังนี้

2.1 พอร์ตข้อมูลแบบขนาน : มีขนาดพอร์ตละ 8 บิต จำนวน 4 พอร์ต (P1,P1,P2,P3) แต่ละพอร์ตสามารถใช้เป็นพอร์ตอินพุทหรือพอร์ตเอาท์พุทได้อย่างอิสระ

2.2 พอร์ตข้อมูลแบบอนุกรม : ใช้รับส่งข้อมูลแบบอนุกรม สามารถกำหนดอัตราเร็วในการส่งข้อมูล (Baud Rate) ได้ตามต้องการ (ตั้งแต่ 110 bps ถึง 375 kbps)

(3)ไทม์เมอร์ (Timer) และเคาน์เตอร์ (Counter)

- ไทม์เมอร์ ใช้สำหรับนับจำนวนสัญญาณนาฬิกาจากวงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน มีขนาด 16 บิต จำนวน 2 ตัว คือ ไทม์เมอร์เบอร์ 0 และเบอร์ 1
- เคาน์เตอร์ใช้สำหรับนับจำนวนการเปลี่ยนสถานะของสัญญาณภายนอก(นับจำนวนพัลส์ภายนอก) ที่ขา T0,T1 ของพอร์ต 3, ซึ่งมีขนาด 16 บิต จำนวน 2 ตัว คือเคาน์เตอร์เบอร์ 0 และเบอร์ 1

2.7.4 การเข้าถึงข้อมูลในหน่วยความจำและกลุ่มคำสั่งที่ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

วิธีการเข้าถึงข้อมูลแบ่งได้ดังนี้

1. การเข้าถึงข้อมูลโดยตรง (Direct Addressing) : เป็นการระบุค่าตำแหน่งของหน่วยความจำในคำสั่งใช้กับหน่วยความจำข้อมูลทั่วไป(ภายใน),รีจิสเตอร์ที่มีหน้าที่เฉพาะ (SFR) และหน่วยความจำข้อมูลภายนอก
2. การเข้าถึงข้อมูลภายนอก (Indirect Addressing) : เป็นการระบุค่าตำแหน่งของหน่วยความจำ โดยระบุค่าผ่านค่าที่เก็บอยู่ในรีจิสเตอร์ ใช้กับหน่วยความจำข้อมูลทั่วไป(ภายใน)และหน่วยความจำข้อมูลภายนอก รีจิสเตอร์ที่ใช้เป็นตัวชี้ตำแหน่ง ได้แก่ รีจิสเตอร์แบงค์ (R0 – R7ในแต่ละกลุ่ม) , สแตกพอยต์เตอร์และดาต้าพอยต์เตอร์ (DPTR)
3. การเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์ที่ใช้งานทั่วไป (Register Addressing) : เป็นการเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์ทั่วไป(Register Bank , R0-R7 ของแต่ละกลุ่ม)
4. การเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์เฉพาะ (Register - Specific Addressing) : เป็นการเข้าถึงข้อมูลของรีจิสเตอร์เฉพาะเช่น Accumulator , DPTR , SP เป็นต้น
5. การเข้าถึงข้อมูลที่กำหนดเองโดยตรง (Immediate Addressing) : เป็นการกำหนดค่าข้อมูลให้คำสั่งโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การเข้าถึงข้อมูลโดยใช้ตัวอ้างอิง (Indexed Addressing) : ใช้ระบบตำแหน่งของหน่วยความจำโปรแกรมเท่านั้น โดยจะนำค่าในรีจิสเตอร์เฉพาะได้แก่ DPTR , PC มารวมกับค่าในรีจิสเตอร์A เพื่อนำไปประบุตำแหน่งของหน่วยความจำโปรแกรมต่อไป

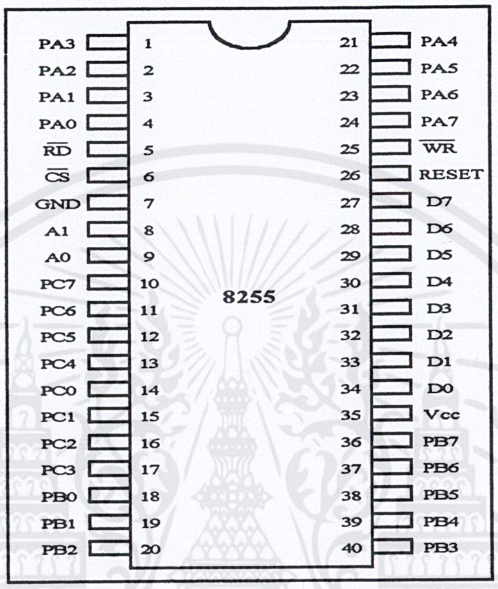
คำสั่งที่ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51แบ่งเป็นกลุ่มๆได้ดังนี้

1. กลุ่มคำสั่งทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic Instructions) : ได้แก่คำสั่งที่ใช้ในการประมวลผลการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เช่น การบวก , ลบ , คูณ , หาร , การเพิ่มค่า , การลดค่า เป็นต้น
2. กลุ่มคำสั่งทางตรรกศาสตร์ (Logical Instruction) : ได้แก่คำสั่งที่ใช้ในการประมวลผลทางตรรกศาสตร์ เช่น AND , OR , Exclusive – Or , Complement , การเลื่อนบิตและการสลับบิตข้อมูลเป็นต้น
3. กลุ่มคำสั่งในการเคลื่อนย้ายข้อมูล (Data Transfer) : เป็นกลุ่มคำสั่งที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายข้อมูลในหน่วยความจำหรือรีจิสเตอร์แบ่งเป็น
    - กลุ่มคำสั่งในการเคลื่อนย้ายข้อมูลในหน่วยความจำข้อมูลภายใน
    - กลุ่มคำสั่งในการเคลื่อนย้ายข้อมูลในหน่วยความจำข้อมูลภายนอก
    - กลุ่มคำสั่งในการเคลื่อนย้ายข้อมูลในหน่วยความจำในหน่วยความจำโปรแกรมทั้งภายในและภายนอก
4. กลุ่มคำสั่งในการควบคุมลำดับการทำงานของโปรแกรม (Program Control Instructions) : ใช้ในการควบคุมลำดับการทำงานของโปรแกรมแบ่งเป็นแบบมีเงื่อนไขและไม่มีเงื่อนไข
5. กลุ่มคำสั่งในการประมวลผลแบบบูลีน (Boolean Instructions) : เป็นคำสั่งในการประมวลผลแบบพิเศษ โดยจะประมวลผลได้ในระดับบิต ประกอบด้วย คำสั่งในการเซตบิต , เคลียร์บิต , การกระทำคำสั่งทางตรรกศาสตร์ระหว่างหน่วยความจำกับบิต Carry Flag , การตรวจสอบสถานะบิตแล้วข้ามไปทำงานในส่วนอื่นของโปรแกรมขึ้นกับสถานะของบิตและการเคลื่อนย้ายข้อมูลระหว่าง Carry Flag กับหน่วยความจำ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.5 ชิป 8255

ชิปเบอร์ 8255 นี้เป็นชิปที่ใช้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก (Programmable Peripheral Interface:PPI) ซึ่งเป็นชิปขนาด 40 ขา มี 3 พอร์ต (A,B,C) แต่ละพอร์ตจะมี 8 บิต ที่สามารถโปรแกรมให้ชิปเบอร์นี้ทำหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุทหรือพอร์ตเอาท์พุทก็ได้ โดยที่การจัดเรียงขาของชิปเบอร์นี้จะแสดงดังรูปที่ 2. 16



รูปที่ 2.16 แสดงการจัดเรียงขาของชิปเบอร์ 8255

สัญญาณต่างๆ ของชิปเบอร์8255

D7-D0 : เป็นบัสข้อมูลที่เชื่อมโยงซีพียู

A7-A0 : ใช้เลือกพอร์ต A,B,C และพอร์ตควบคุม

Reset : เมื่อขานี้ได้รับสัญญาณกระตุ้น เป็นลอจิก 1 จะทำให้ชิปเบอร์ 8255 ถูกรีเซต ซึ่งมีผลทำให้ทุกพอร์ตกลายเป็นพอร์ตอินพุททันที

PA7-PA0 , PB7-PB0, PC7-PC0 : เป็นพอร์ตขนาน 8 บิต

RD : ในการอ่านข้อมูลจากพอร์ต 8255 ต้องทำให้ขานี้เป็นลอจิก 0 พร้อมกับขา CS

WR : ในการเขียนค่าข้อมูลหรือโปรแกรมลงบนชิป 8255 จะต้องทำให้ขานี้เป็นลอจิก 0 พร้อมกับขา CS

CS : ใช้เป็นขาที่ใช้เลือกชิป 8255

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.6 จอแอลซีดี (LCD)

จอแอลซีดีหรือLiquid Crystal Display มีส่วนประกอบหลักๆอยู่ 3 ส่วน ดังนี้

1.ตัวแสดงผล(Display): ภายในเป็นผลึกเหลวที่สามารถแสดงผลให้เห็นโดยใช้แสงจากภายนอก

2.ตัวควบคุม(Controller): เป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกมาควบคุมการทำงานของโมดูลแอลซีดี เช่น การแสดงตัวอักษร การลบตัวอักษร เป็นต้น

3.ตัวขับ(Driver):เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุมมาขับให้ตัวแสดงผลแสดงข้อมูลตามที่กำหนด

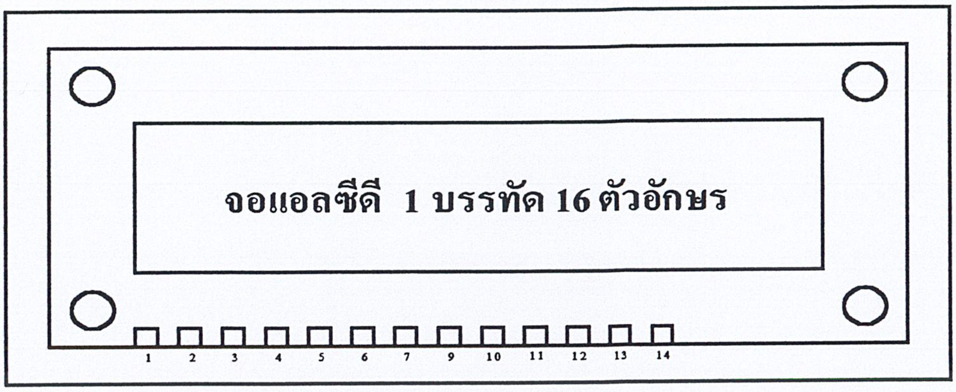
โครงสร้างภายในของจอแอลซีดี ประกอบไปด้วย

- บัฟเฟอร์อินพุทเอาท์พุท เป็นส่วนที่ใช้ในการติดต่อรับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอก เพื่อที่จะถ่ายทอดข้อมูลเข้าออกภายในตัวควบคุม
- รีจิสเตอร์คำสั่ง ใช้ในการรับข้อมูลคำสั่งจากอุปกรณ์ภายนอกเพื่อนำไปควบคุมการแสดงผล
- รีจิสเตอร์ข้อมูล ใช้รับข้อมูลจากภายนอกเพื่อถ่ายทอดต่อไปยังหน่วยความจำที่ทำหน้าที่แสดงผล
- แรมเก็บข้อมูลแสดงผล เป็นหน่วยความจำที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลจากรีจิสเตอร์ดีอาร์(DR) โดยตัวควบคุมจะนำข้อมูลใน DDRAM นี้ไปเปิดตาราง Look up-lable ของตัวอักษรที่เก็บไว้ในหน่วยความจำรอมและแรมเก็บตัวอักษรเพื่อนำไปแสดงที่ตัวแสดงผล
- รอมเก็บตัวอักษร เป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บตัวอักษรหรือสัญลักษณ์ที่สามารถอ่านออกไปแสดงที่ตัวแสดงผลได้
- แรมเก็บตัวอักษร เป็นแรมที่ใช้เก็บตัวอักษรที่สร้างเพิ่มเติมขึ้นมาใหม่
- แฟลก BUSY ทำหน้าที่แจ้งสถานะการทำงานของตัวควบคุมให้อุปกรณ์ภายนอกทราบว่าตัวควบคุมพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือคำสั่งหรือไม่ ดังนั้นก่อนที่จะทำการส่งข้อมูลหรือคำสั่งมายังตัวควบคุมต้องตรวจสอบสถานะของแฟลก BUSY เสียก่อน

ตัวอย่างการจัดเรียงขาของแอลซีดีขนาด 1 บรรทัด 16 ตัวอักษร

โมดูลแอลซีดี ขนาด 16 ตัวอักษร มีขาที่ใช้ทั้งสิ้น 14 ขา แสดงดังรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แสดงการจัดเรียงขาของจอแอลซีดี ขนาด 1 บรรทัด 16 ตัวอักษร

รายละเอียดของแต่ละขามีดังนี้

Vss(ขา 1) : ขากราวด์

Vdd(ขา 2) : ขาไฟเลี้ยง +5 โวลต์

Vo(ขา 3) : เป็นขารับแรงดันเพื่อใช้ในการปรับความเข้มของการแสดงผล

RS(ขา 4) : เป็นขาอินพุทที่ใช้ในการแยกชนิดของข้อมูลที่ทำการประมวลผลในขณะนั้น

R/W(ขา 5) : เป็นขาที่ใช้เลือกการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับจอแอลซีดี โดยถ้าขานี้เป็นลอจิก 0 จะเป็นการกำหนดให้เขียนข้อมูล แต่ถ้าขานี้เป็นลอจิก 1 จะเป็นการกำหนดให้อ่านข้อมูล

E(ขา6) : เป็นขาที่ใช้สั่งให้จอแอลซีดีทำงานได้หรือไม่ (Enable)

D7-D0 (ขา7-14) : เป็นขาที่ใช้ส่งผ่านข้อมูลระหว่างจอแอลซีดีกับอุปกรณ์ภายนอก ขนาด 8 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การคำนวณและการสร้าง

ในบทที่2 ได้กล่าวถึงในส่วนที่เป็นรายละเอียดของทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างโครงงานมาแล้ว มาในบทนี้จะได้กล่าวถึงขั้นตอนในการออกแบบ การคำนวณ การสร้าง และอธิบายหลักการทำงานของวงจรในแต่ละส่วนที่จะประกอบกันขึ้นเป็นโครงงานระบบควบคุมไร้สาย

3.1 แผนผังการทำงานของโครงงานระบบควบคุมไร้สายและคำอธิบาย

จากรูปที่ 3.1 ในส่วนที่อยู่ในเส้นประจะเป็นส่วนที่สร้างขึ้นในภาคเรียนที่ 1 ซึ่งเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องส่ง-เครื่องรับวิทยุเอฟเอ็ม วงจรตัดต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า วงจรตรวจสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า

โครงงานระบบควบคุมไร้สายนี้ ประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่คือ ส่วนเครื่องควบคุม และส่วนเครื่องสั่งงาน

1)เครื่องควบคุมประกอบด้วยส่วนย่อยต่างๆดังนี้

-แป้นกด

-จอแสดงผล

-ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

-วงจรสร้างสัญญาณความถี่คู่ (DTMF)

-วงจรถอดรหัสสัญญาณความถี่คู่

-วงจรมอดูเลตความถี่ (Frequency Modulator Circuit)

-วงจรดีมอดูเลตความถี่ (Frequency Demodulator Circuit)

-สายอากาศ

2)เครื่องสั่งงานประกอบด้วยส่วนย่อยต่างๆดังนี้

-วงจรตัดต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า

-วงจรตรวจสอบสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า

-ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

-วงจรสร้างสัญญาณความถี่คู่

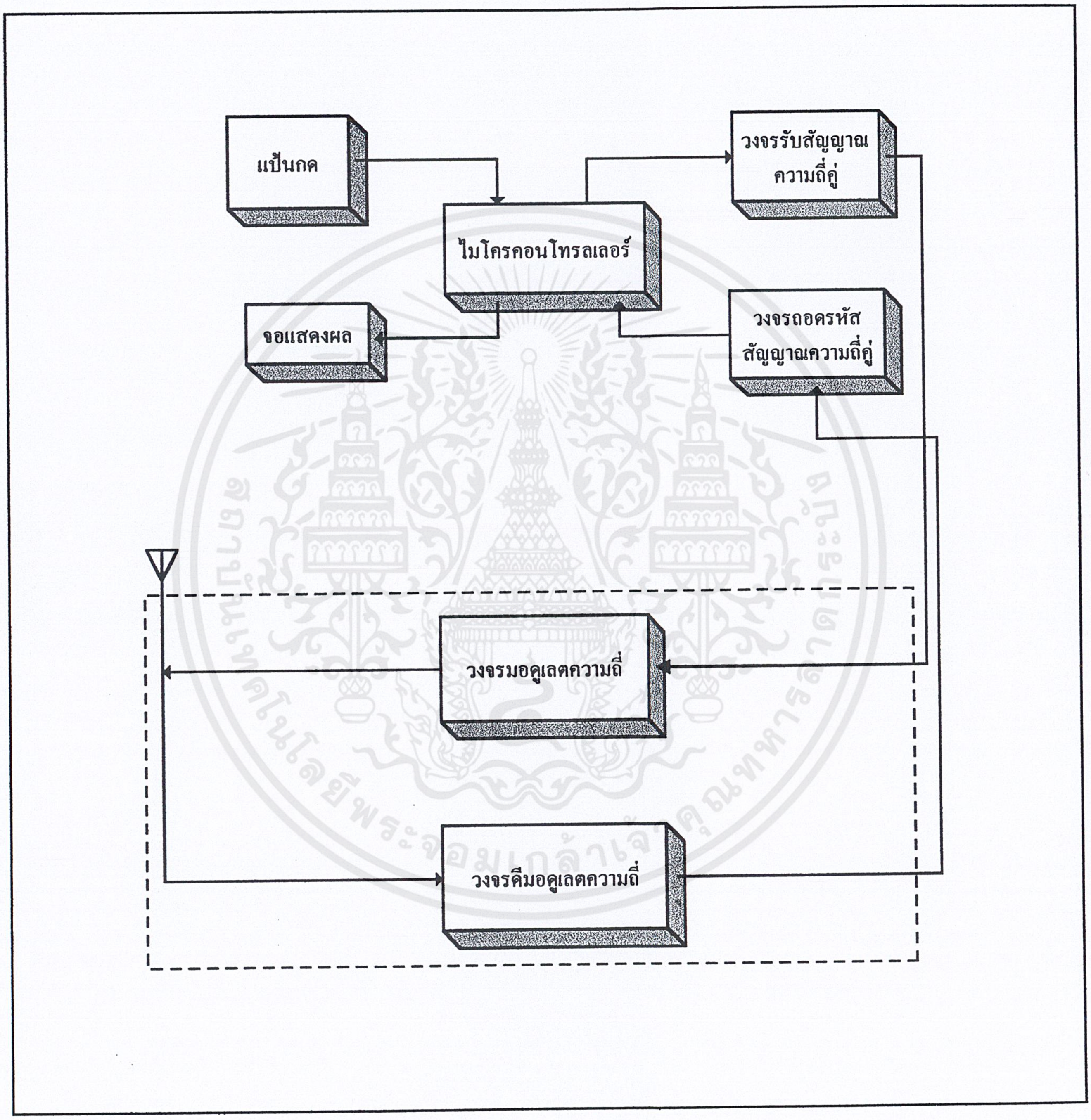
-วงจรถอดรหัสสัญญาณความถี่คู่

-วงจรมอดูเลตความถี่

-วงจรดีมอดูเลตความถี่

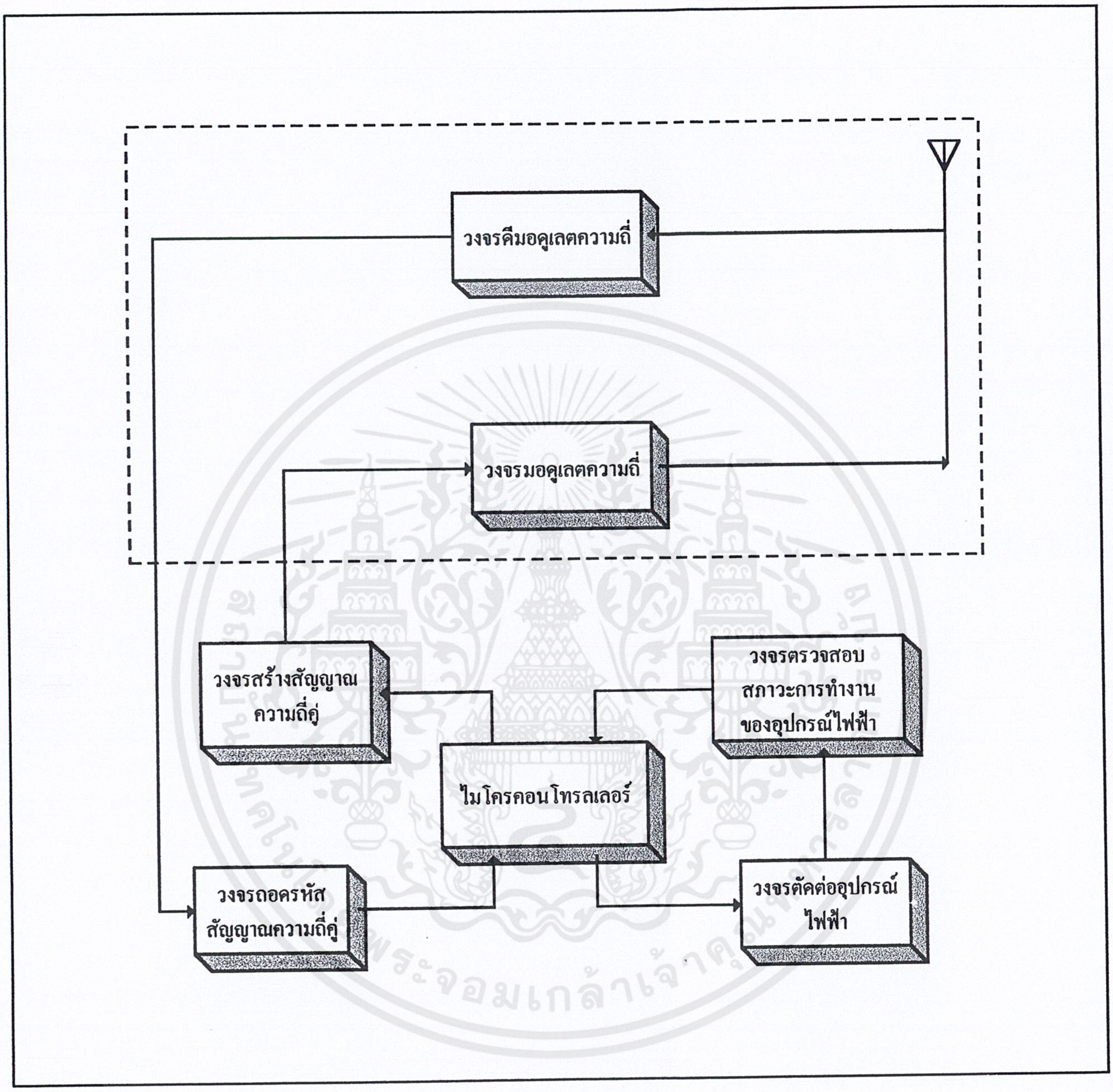
-สายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังการทำงานของโครงงานระบบควบคุมไร้สาย

(ก) แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องควบคุม

(ข) แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องสั่งงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>หลักการทำงานสามารถอธิบายได้ดังนี้</u>

สัญญาณควบคุมการสั่งงานอุปกรณ์ไฟฟ้าจะถูกส่งจากเครื่องควบคุมผ่านอากาศ ไปยังเครื่องสั่งงาน เครื่องสั่งก็จะทำการสั่งงานให้อุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานตามที่ต้องการ จากนั้นจึงส่งสัญญาณตอบรับกลับไปบอกทางเครื่องควบคุมให้รับทราบสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นหลังจากที่สั่งงานไปแล้ว

*<u>รายละเอียดของการทำงานในส่วนของเครื่องควบคุม</u> อธิบายได้ดังนี้

-<u>แป้นกด</u> จะเป็นตัวในการรับคำสั่งจากผู้ควบคุมว่าจะเลือกเมนูการทำงานใด จะสั่งงานอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวใด

-<u>จอแสดงผล</u> จะเป็นตัวแสดงเมนูการทำงาน และแสดงสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ

-<u>ไมโครคอนโทรลเลอร์</u> เป็นหัวใจหลักของเครื่องควบคุม โดยจะทำงานใน 2 ลักษณะคือ ลักษณะที่ 1 จะทำหน้าที่รับคำสั่งจากแป้นกด แล้วสร้างสัญญาณควบคุมซึ่งเป็นสัญญาณดิจิตอลออกมาเพื่อนำไปยังส่วนสร้างสัญญาณความถี่คู่ต่อไป ลักษณะที่ 2 จะทำหน้าที่รับสัญญาณตอบรับซึ่งเป็นสัญญาณดิจิตอลจากวงจรถอดรหัสสัญญาณความถี่คู่ เพื่อนำมาแสดงสภาวะการทำงาน ที่จอแสดงผลต่อไป

-<u>วงจรสร้างสัญญาณความถี่คู่</u> (DTMF) จะทำหน้าที่เสมือนจงจรแปลงสัญญาณดิจิติอล ไปเป็นสัญญาณอนาลอก(D/A Convertor) ซึ่งสัญญาณเอาท์พุทของวงจรนี้จะเป็นสัญญาณอนาลอก เป็นสัญญาณไซน์สองความถี่รวมกันอยู่ สัญญาณส่วนนี้ จะใช้เป็นสัญญาณข่าวสารของวงจรมอดูเลตความถี่นั่นเอง ซึ่งเราจะเรียกสัญญาณความถี่คู่นี้ว่า สัญญาณควบคุม

-<u>วงจรมอดูเลตความถี่</u> จะทำหน้าที่ในการนำสัญญาณควบคุม (DTMF) มามอดูเลตความถี่กับคลื่นพาห์ (60 เมกะเฮิรตซ์) สัญญาณเอาท์พุทที่ได้ จะเป็นสัญญาณเอฟเอ็ม ที่มีความถี่กลาง (Center Frequency) เท่ากับ 60 เมกะเฮิรตซ์

-<u>วงจรดีมอดูเลตความถี่</u>จะทำหน้าที่ในการดีมอดูเลตเพื่อแยกเอาสัญญาณข่าวสาร (DTMF) ออกมาจากคลื่นพาห์ ซึ่งสัญญาณเอฟเอ็มที่นำมาดีมอดูเลต จะถูกส่งมาที่เครื่องสั่งงานนั่นเอง เราจะเรียกสัญญาณข่าวสารที่ดีมอดูเลตได้นี้ว่าสัญญาณตอบรับ

-<u>วงจรถอดรหัสสัญญาณความถี่คู่</u> จะทำหน้าที่ในการนำเอาสัญญาณตอบรับ (DTMF) มาแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิตอล เพื่อนำไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลต่อไป

-<u>สายอากาศ</u> จะทำหน้าที่ทั้งส่งสัญญาณเอฟเอ็มออกไปยังเครื่องสั่งงาน และรับสัญญาณเอฟเอ็มที่ส่งมาจากเครื่องสั่งงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*<u>รายละเอียดการทำงานในส่วนของเครื่องสั่งงาน</u> อธิบายได้ดังนี้

-<u>สายอากาศ</u> จะทำหน้าที่ทั้งรับสัญญาณเอฟเอ็มที่ส่งมาจากเครื่องควบคุม และส่งสัญญาณเอฟเอ็มจากเครื่องสั่งงานออกไปยังเครื่องควบคุม

-<u>วงจรดีมอดูเลตความถี่</u> จะทำหน้าที่ในการดีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็มที่ส่งมาจากเครื่องควบคุมเพื่อให้ได้สัญญาณควบคุมออกมา

-<u>วงจรถอดรหัสสัญญาณความถี่คู่</u> จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณควบคุมจากสัญญาณอนาลอก ให้เป็นสัญญาณดิจิตอล เพื่อส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป

-<u>ไมโครคอนโทรลเลอร์</u> เป็นหัวใจหลักของเครื่องสั่งงาน โดยจะทำงานใน 2 ลักษณะคือ ลักษณะที่ 1 จะทำหน้าที่ในการประมวลผลสัญญาณควบคุม (ดิจิตอล) ที่รับมาจากวงจรถอดรหัสสัญญาณความถี่คู่ แล้วทำการส่งสัญญาณไปสั่งงานวงจรตัดต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า ให้ทำงานตามที่เราต้องการ ลักษณะที่ 2 จะทำหน้าที่ในการรับสัญญาณแสดงสภาวะการทำงานจากวงจรตรวจสอบสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า มาประมวลผล แล้วทำการส่งสัญญาณตอบรับ (ดิจิตอล) ไปยังวงจรสร้างสัญญาณความถี่คู่

-<u>วงจรสร้างสัญญาณความถี่คู่</u> จะทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณตอบรับ จากสัญญาณดิจิตอล ไปเป็นสัญญาณอนาลอก (DTMF)

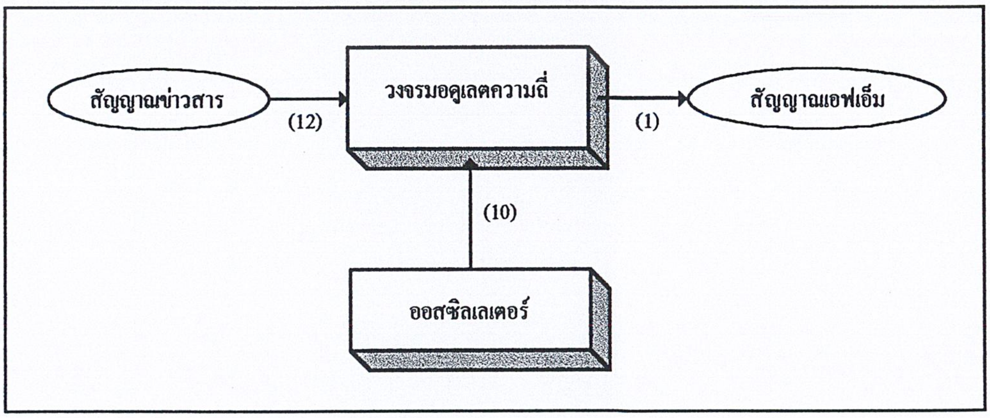
-<u>วงจรมอดูเลตความถี่</u> จะทำหน้าที่มอดูเลตสัญญาณข่าวสาร ซึ่งก็คือสัญญาณตอบรับ (อนาลอก) กับคลื่นพาห์ (66 เมกะเฮิรตซ์) เอาท์พุทที่ได้จะเป็นสัญญาณเอฟเอ็มที่มีความถี่กลาง (Center Frequency) เท่ากับ 66 เมกะเฮิรตซ์

3.2 รายละเอียดในการคำนวณและการสร้างของวงจรต่างๆ

3.2.1 วงจรมอดูเลตความถี่

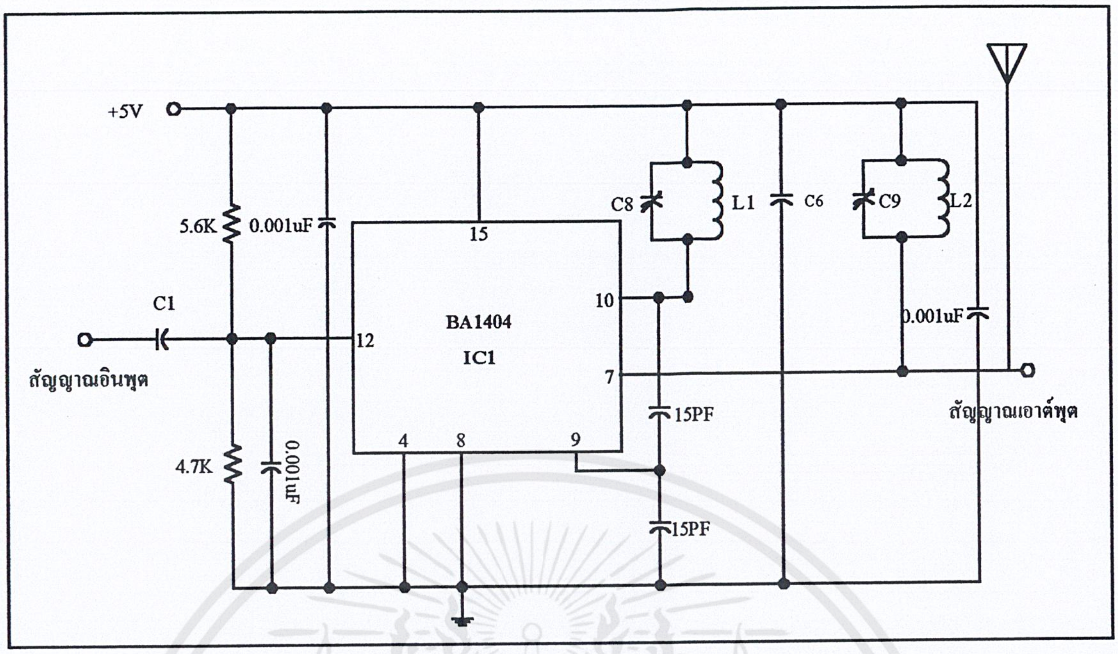
ในโครงงานนี้ จะสร้างวงจรมอดูเลตความถี่ทั้งหมด 2 วงจร ซึ่งใช้มอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็มที่มีความถี่กลางต่างกัน โดยในเครื่องควบคุมจะใช้วงจรมอดูเลตความถี่ ที่มีความถี่กลางเท่ากับ 60 เมกะเฮิรตซ์ และในเครื่องสั่งงานจะใช้วงจรมอดูเลตความถี่ ที่มีความถี่กลางเท่ากับ 66 เมกะเฮิรตซ์

*<u>หลักการทำงานของวงจรมอดูเลตความถี่</u> อธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 3.2 แสดงหลักการทำงานของวงจรมอดูเลตความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงรูปวงจรมอดูเลตความถี่ที่ใช้ในโครงงานระบบควบคุมไร้สาย

วงจรมอดูเลตความถี่ที่ใช้ในโครงงานระบบควบคุมไร้สายนี้ สร้างขึ้นจากไอซีสำเร็จรูป เบอร์ BA 1404 ซึ่งเป็นไอซีที่ทำหน้าที่ในการมอดูเลตความถี่ที่สามารถมอดูเลตได้ทั้งระบบ เอฟเอ็มโมโน และ เอฟเอ็มสเตอริโอ แต่ในโครงงานนี้จะเลือกให้ทำงานแบบเอฟเอ็มโมโน

จากรูปที่ 3.2 และ 3.3 สัญญาณข่าวสารจะเป็นอินพุทของไอซี (ขา 12) ซึ่งจะนำไปมอดูเลตความถี่กับคลื่นพาห์ ที่กำเนิดมาจากออสซิลเลเตอร์ภายในตัวไอซี ซึ่งสามารถที่จะจูนความถี่ของออสซิลเลเตอร์ ได้จากการเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุ (C_8) หรือตัวเหนี่ยวนำ (L_1) สัญญาณเอฟเอ็มที่เอาท์พุทของไอซี (ขา 7) จะผ่านวงจรเรโซแนนซ์อีกชุดหนึ่ง คือชุด L_2 และ C_9 เพื่อจูนความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็มเพื่อส่งต่อไปยังวงจรอื่น

การคำนวณความถี่เรโซแนนซ์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.1)

$$f_C = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad (3.1)$$

*กำหนดให้ความถี่กลางของสัญญาณเอฟเอ็มของเครื่องควบคุม (f_{C1}) คือ60 เมกะเฮิรตซ์ค่าความเหนี่ยวนำ $L_1 = 1$ ไมโครเฮนรี

แทนค่าในสมการที่ (3.1) จะได้

$$60\times 10^6 = \frac{1}{2\pi\sqrt{\left(1\times 10^{-6}\right)C_8}}$$

จะได้ $C_8 = 10.55$ พิโคฟารัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น จึงใช้ค่า $L_1 = 1$ ไมโครเฮนรี , $C_8 = 10$ พิโคฟารัด (ปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-10 พิโคฟารัด) และด้วยวิธีการเดียวกัน จะได้ $L_2 = 1$ ไมโครเฮนรี , $C_9 = 10$ พิโคฟารัด (ปรับค่าได้)

*กำหนดให้ ความถี่กลางของสัญญาณเอฟเอ็มของเครื่องสั่งงาน $\left(f_{C2}\right)$= 66 เมกกะเฮิรตซ์ค่าความเหนี่ยวนำ $L_1 = 1$ ไมโครเฮนรี

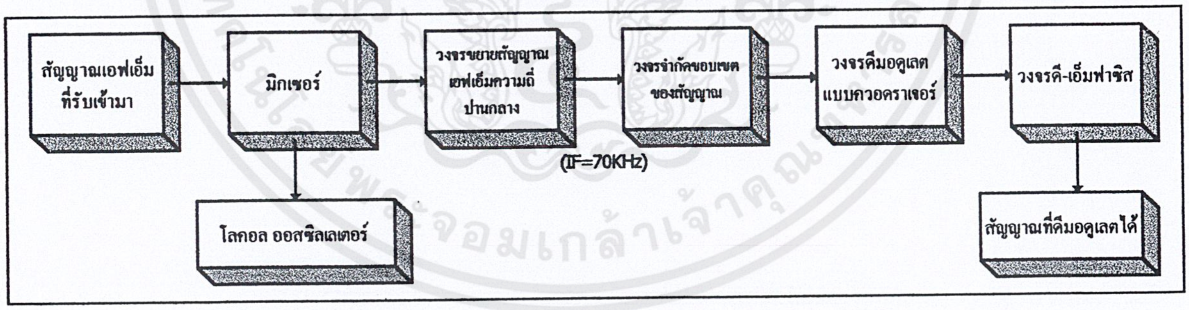
$$66 \times 10^6 = \frac{1}{2\pi\sqrt{\left(1 \times 10^{-6}\right)C_8}}$$

จะได้ $C_8 = 7.04$ พิโคฟารัด

ดังนั้น จึงใช้ค่า $L_1 = 1$ ไมโครเฮนรี , $C_8 = 7$ พิโคฟารัด (ปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-10 พิโคฟารัด) และด้วยวิธีการเดียวกัน จะได้ $L_2 = 1$ ไมโครเฮนรี , $C_9 = 7$ พิโคฟารัด (ปรับค่าได้)

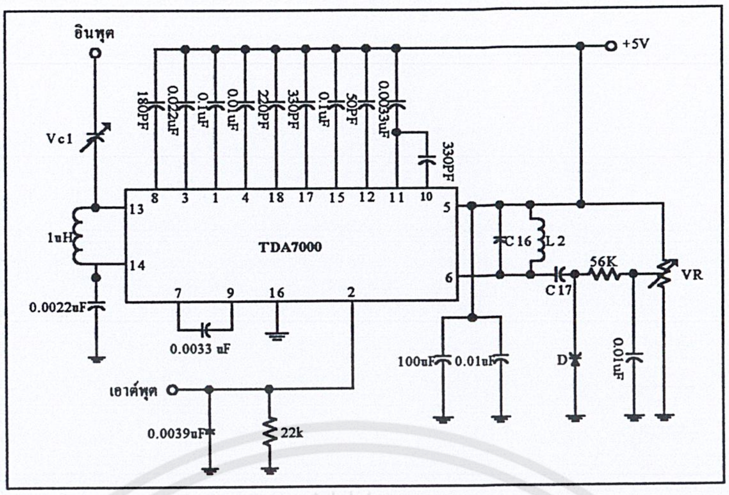
3.2.2 วงจรดีมอดูเลตความถี่

ในโครงงานนี้จะสร้างวงจรดีมอดูเลตความถี่ขึ้นทั้งหมด 2 วงจร ซึ่งจะใช้ในการดีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็มที่มีความถี่กลางต่างกัน โดยในเครื่องควบคุมจะใช้วงจรดีมอดูเลตความถี่สำหรับสัญญาณเอฟเอ็มที่มีความถี่กลางเท่ากับ 66 เมกะเฮิรตซ์ และโดยในเครื่องสั่งงานจะใช้วงจรดีมอดูเลตความถี่สำหรับสัญญาณเอฟเอ็มที่มีความถี่กลางเท่ากับ 60 เมกะเฮิรตซ์



รูปที่ 3.4 แสดงหลักการทำงานของวงจรดีมอดูเลตความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงรูปวงจรดีมอดูเลตความถี่ที่ใช้ในโครงงานระบบควบคุมไร้สาย

*<u>หลักการการทำงานของวงจรดีมอดูเลตความถี่</u> อธิบายได้ดังนี้

วงจรดีมอดูเลตที่ใช้ในโครงงานนี้ สร้างขึ้นจากไอซีสำเร็จรูปเบอร์ TDA 7000 ซึ่งเป็นไอซีที่ทำหน้าที่ในการดีมอดูเลตความถี่ ที่ใช้หลักการของซุปเปอร์เฮเทอโรดายน์ โดยสัญญาณที่ดีมอดูเลตได้จะเป็นสัญญาณแบบโมโน จากรูปที่ 3.4 และ 3.5 สัญญาณเอฟเอ็มที่รับเข้ามาจะเป็นสัญญาณอินพุทของไอซี (ขา 13) ซึ่งจะนำไปทำการเฮเทอโรดายน์กับคลื่นพาห์เฉพาะของวงจรดีมอดูเลตความถี่ ที่กำเนิดจากออสซิลเลเตอร์ที่อยู่ภายในตัวไอซี โดยสามารถจะปรับจูนความถี่ดังกล่าวนี้จากการปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ (VR) การปรับตัวต้านทานปรับค่าได้นี้ จะเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันย้อนกลับที่ตกคร่อมตัววาแรกเตอร์ไดโอด ทำให้ค่าความจุของวงจรจูนความถี่ของออสซิลเลเตอร์เฉพาะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเป็นผลให้ความถี่ของคลื่นพาห์เฉพาะเปลี่ยนแปลงไปด้วย สัญญาณเอาท์พุทของมิกเซอร์จะเป็นสัญญาณเอฟเอ็ม ที่มีความถี่กลางลดลงมาเป็นความถี่ปานกลาง ซึ่งมีค่า 70 กิโลเฮิรตซ์ จากนั้นจะถูกนำไปขยายด้วยวงจรขยายสัญญาณเอฟเอ็มความถี่ปานกลาง แล้วจึงนำสัญญาณที่ขยายออกมาได้ไปผ่านวงจรจำกัดขอบเขตของสัญญาณ (Limiter) เพื่อขจัดสัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงแอมปลิจูด หลังจากที่สัญญาณเอฟเอ็มดังกล่าวผ่านวงจรจำกัดขอบเขตของสัญญาณแล้ว จึงถูกนำเข้าไปทำการดีมอดูเลตแบบควอดราเจอร์ เพื่อแยกสัญญาณที่มอดูเลตออกจากคลื่นพาห์ และเพื่อที่จะทำการลดระดับแอมปลิจูดของสัญญาณที่ดีมอดูเลตได้ในย่านความถี่สูง (ในอัตราที่สอดคล้องกับที่กระทำที่วงจรพรี-เอ็มฟาซิสของเครื่องส่ง) จึงต้องนำสัญญาณที่ดีมอดูเลตได้นี้ไปผ่านวงจรดี-เอ็มฟาซิสก่อน โดยสัญญาณเอาท์พุทของวงจรดี-เอ็มฟาซิสที่ได้จะกลายเป็นสัญญาณเอาท์พุทของไอซีออกมาที่ขา 2

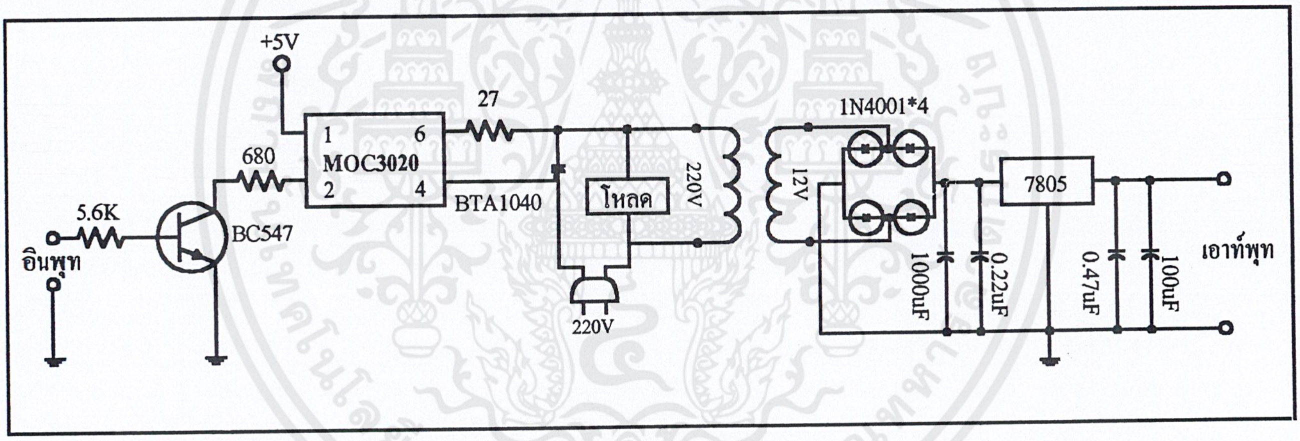
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 วงจรตัดต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าและตรวจสอบสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า

***<u>หลักการทำงานของวงจร</u> อธิบายได้ดังนี้**

วงจรตัดต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าจะทำหน้าที่รับสัญญาณสั่งงาน ซึ่งเป็นสัญญาณดิจิตอลที่มาจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วตัดหรือต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าโดยเมื่อวงจรได้รับสัญญาณอินพุทที่เป็นลอจิก 1 จากทรานซิสเตอร์เบอร์ BC547 จะนำกระแสทำให้มีไฟมาเลี้ยงที่ไอซีเบอร์ MOC3020 ซึ่งจะเป็นตัวที่ทำให้มีกระแสมาทริกที่ขาเกตของไตรแอก ทำให้สามารถนำกระแสได้ และทำให้โหลดที่ต่ออยู่สามารถทำงานได้ และถ้าวงจรรับสัญญาณอินพุทที่ลอจิก 0 โหลดก็จะไม่ทำงาน เพราะทรานซิสเตอร์ BC547 ,ไอซี MOC3020 และไตรแอก BTA 10400C ต่างก็ไม่ทำงาน

วงจรตรวจสอบสภาวะการทำงาน จะทำการตรวจสอบโดย ขณะที่มีกระแสไหลในโหลด จะทำเกิดการเหนี่ยวนำเกิดขึ้นที่หม้อแปลงไฟฟ้า ส่วนที่ต่อหลังจากหม้อแปลงมาจะทำหน้าที่ในการสร้างระดับแรงดันไฟตรง(ลอจิก 1)ในขณะที่ โหลดทำงาน แต่ถ้าโหลดหยุดทำงานก็จะทำให้เอาท์พุทของวงจรตรวจสอบสภาวะการทำงานเป็นลอจิก 0



รูปที่ 3.6 แสดงรูปวงจรตัดต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าและตรวจสอบสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า

3.2.6 วงจรกำเนิดสัญญาณความถี่คู่(DTMF)

ในโครงงานนี้เราจะใช้ไอซีเบอร์ CD22859 ซึ่งเป็นไอซีที่ใช้ในการสร้างสัญญาณความถี่คู่หรือสัญญาณดีทีเอ็มเอฟ รายละเอียดของการต่อวงจรจะแสดงดังรูปที่ 3.7 และ 3.8

หลักการทำงานของวงจรคือ ไอซีจะรับสัญญาณอินพุทจากแป้นกดหรือจากพอร์ตไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วนำค่าที่รับได้ไปสร้างสัญญาณความถี่คู่ที่สอดคล้องกับค่าอินพุทที่รับมาแล้วทำการส่งสัญญาณความถี่คู่เข้าไปในวงจรมอดูเลต เพื่อส่งออกอากาศไปยังเครื่องสั่งงาน

3.2.7 วงจรถอดรหัสสัญญาณความถี่คู่

วงจรถอดรหัสสัญญาณความถี่คู่ที่ใช้ในโครงงานนี้เราจะใช้ไอซีเบอร์ MT8870 ซึ่งเป็นไอซีที่ใช้ในการถอดรหัสสัญญาณความถี่คู่ที่รับเข้ามาจากวงจรดีมอดูเลตให้ออกมาเป็นสัญญาณดิจิตอล 4 บิต เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

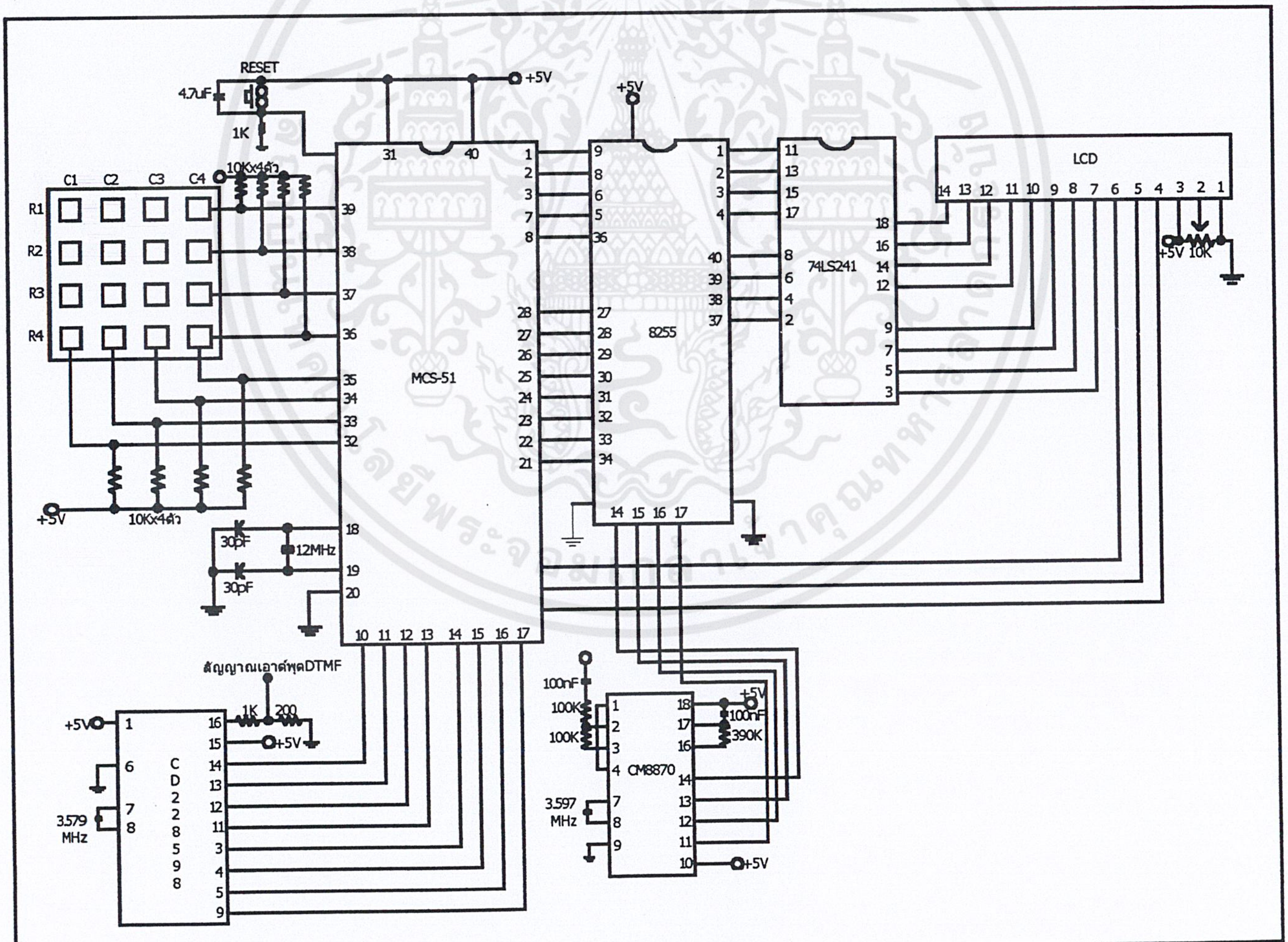
นำไปเชื่อมต่อเข้ากับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ในเครื่องสั่งงานต่อไป รายละเอียดของการต่อวงจรจะแสดงดังรูปที่ 3.7 และ 3.8

3.2.8 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ในเครื่องควบคุม

วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ในเครื่องควบคุมจะทำหน้าที่ในการรับค่าจากแป้นกด ส่งสัญญาณควบคุมไปยังเครื่องสั่งงาน รับสัญญาณตอบรับจากเครื่องสั่งงาน และแสดงสถานะของอุปกรณ์ทางจอแอลซีดี รายละเอียดการต่อวงจรในส่วนนี้แสดงดังรูปที่ 3.7

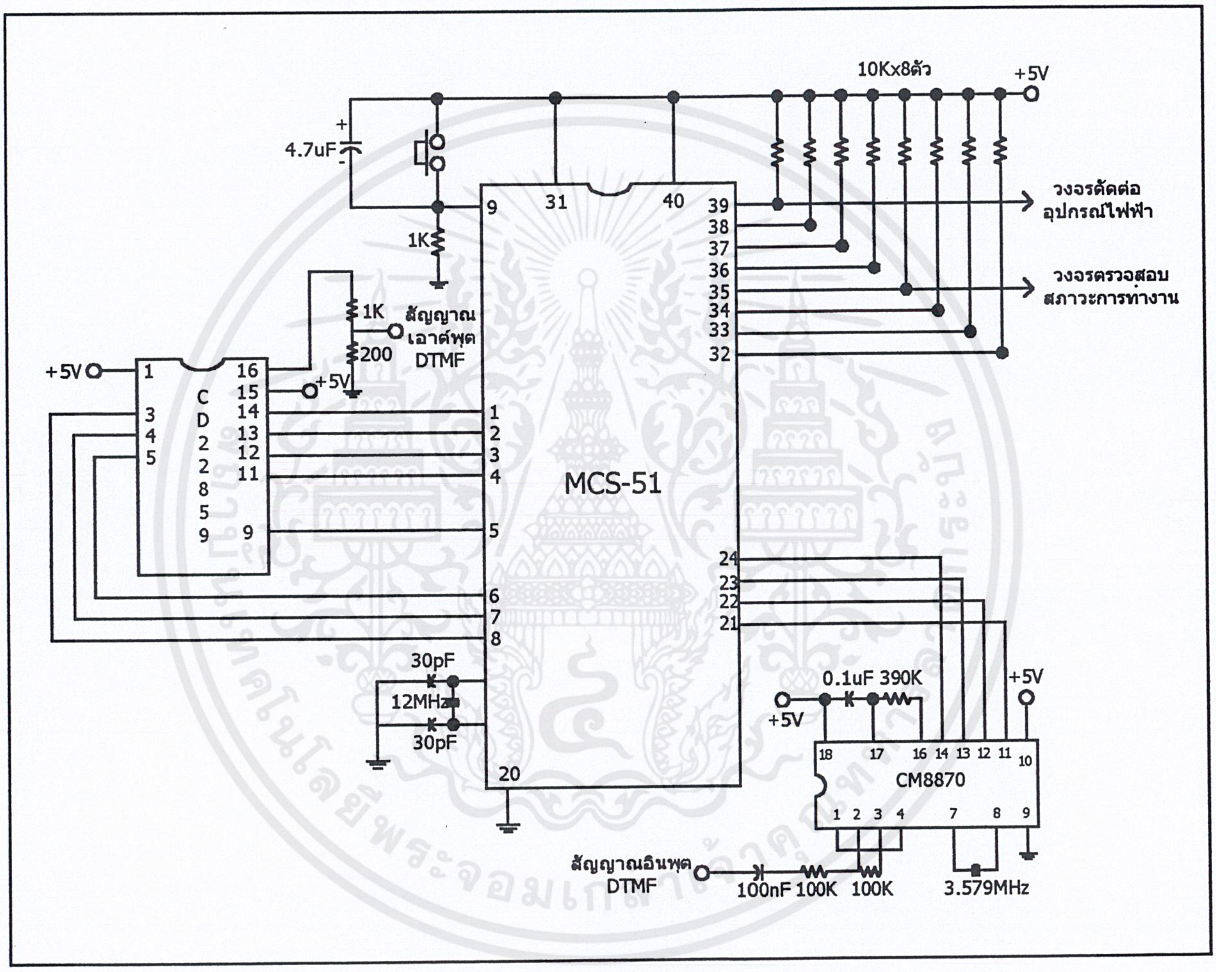
3.2.9 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ในเครื่องสั่งงาน

วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ในเครื่องสั่งงานนี้จะทำหน้าที่ในการรับสัญญาณควบคุมมาทำการประมวลผลเพื่อนำมาใช้สั่งงานอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการแล้วยังทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณตอบรับกลับไปยังเครื่องควบคุมเพื่อนำไปแสดงผลทางจอแอลซีดีอีกด้วย รายละเอียดการต่อวงจรในส่วนนี้แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.7 แสดงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ในเครื่องควบคุม

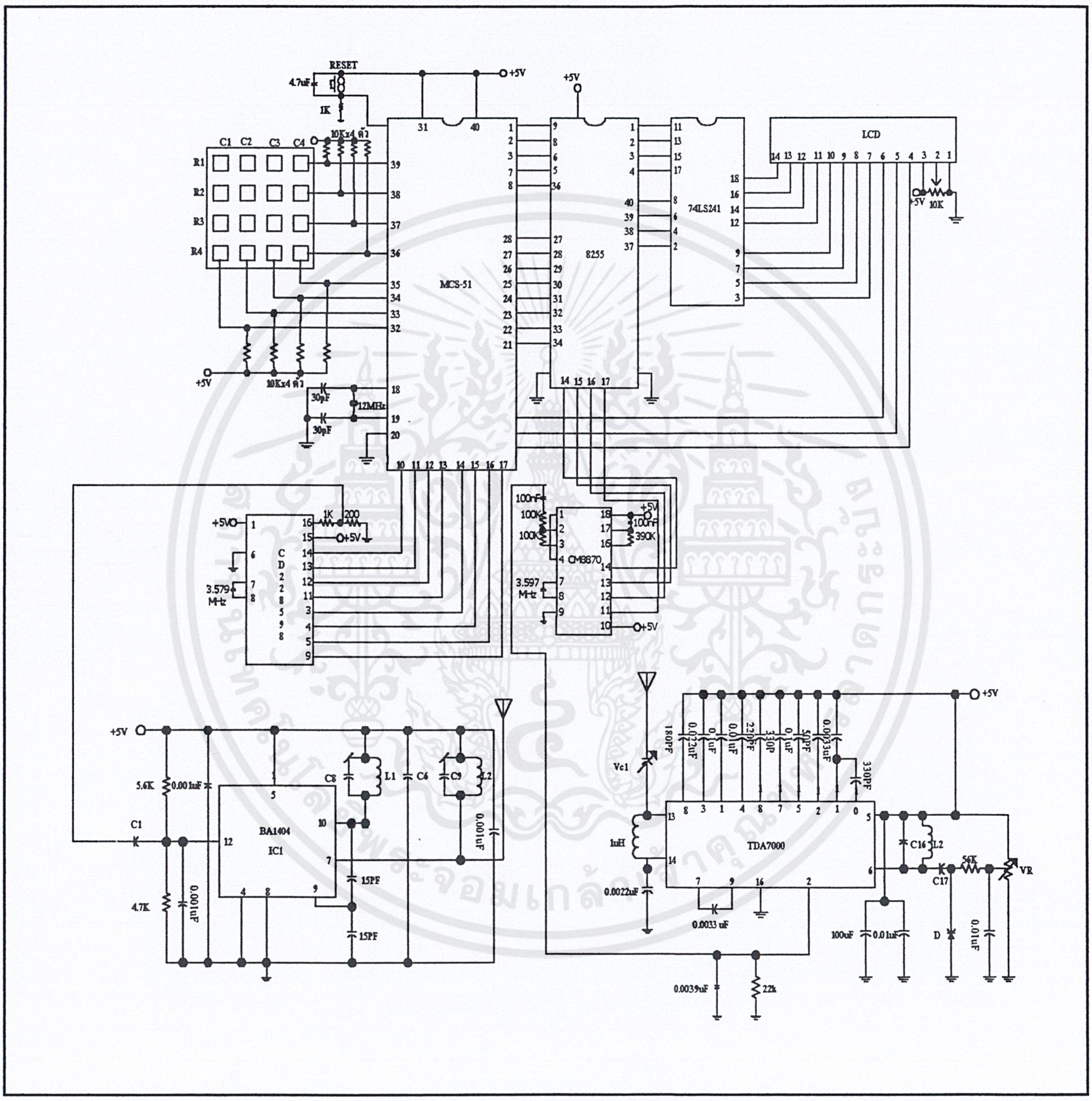
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ในเครื่องสั่งงาน

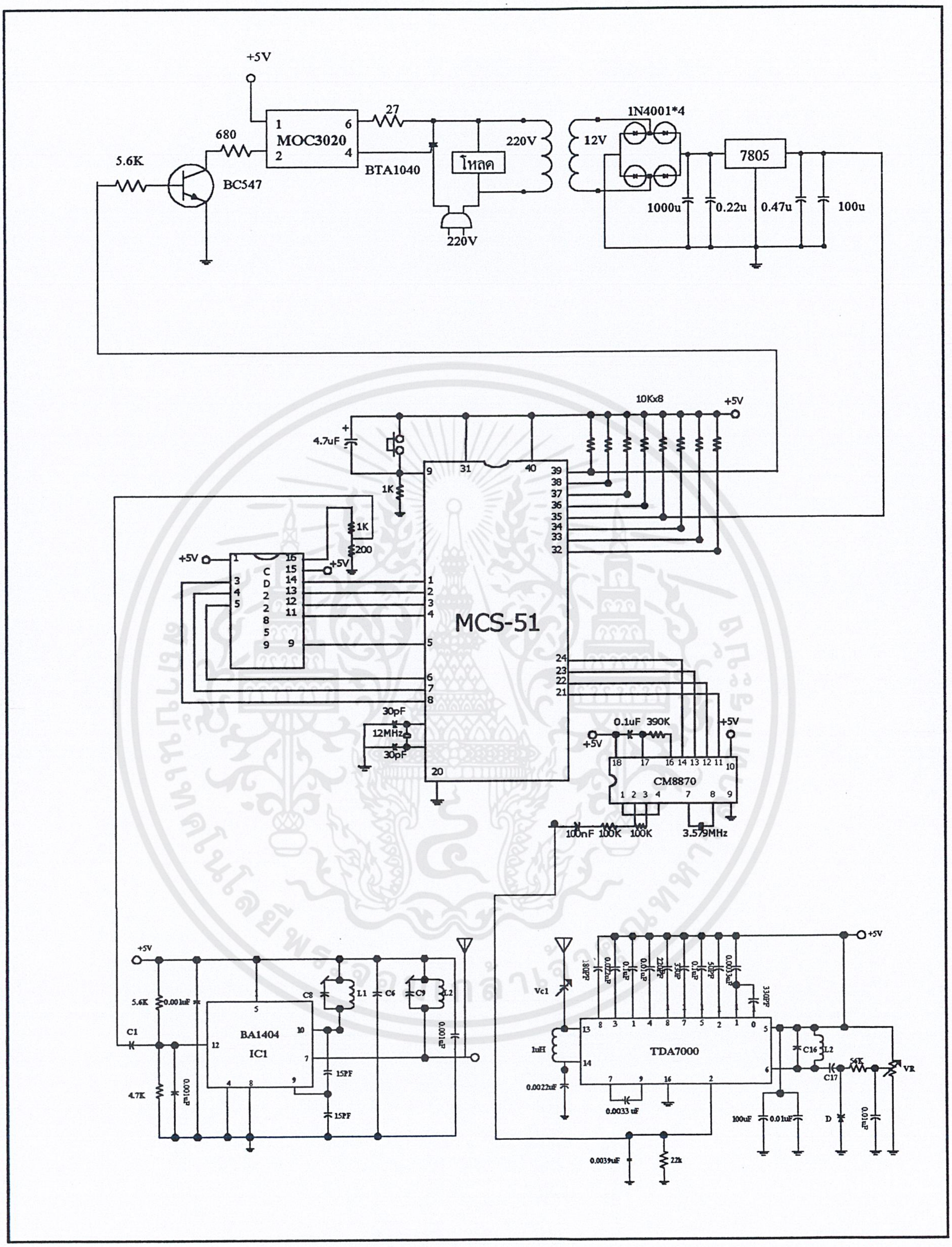
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรรวมที่ใช้ในโครงงานนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ วงจรรวมของเครื่องควบคุมแสดงดังรูปที่ 3.9 (ก) และ วงจรรวมของเครื่องสั่งงานแสดงดังรูปที่ 3.9 (ข)



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 3.9 แสดงรูปวงจรรวมของโครงงานระบบควบคุมไร้สาย

(ก) แสดงรูปวงจรรวมของเครื่องควบคุม

(ข) แสดงรูปวงจรรวมของเครื่องสั่งงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ ... อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการใช้งานและตัวอย่างการใช้งานโครงงานระบบควบคุมไร้สาย

ความสามารถของโครงงานระบบควบคุมไร้สาย ได้แก่ การสั่งเปิด-ปิด, การสั่งตั้งเวลาเปิด-ปิด, การตรวจสอบสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำการควบคุม และการแสดงผลการทำงานผ่านทางจอแอลซีดี

ต่อไปนี้จะทำการยกตัวอย่างวิธีการใช้งานของโครงงานระบบควบคุมไร้สายในกรณีต่างๆ ดังนี้

1.การสั่งเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า **เช่น ต้องการสั่งให้เครื่องสั่งงานหมายเลข 1 ทำการสั่งเปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า**

ให้ทำตามขั้นตอนดังนี้

- กด 1 , กด yes
- กด power
- กด on , กด yes

2.การสั่งตั้งเวลาเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า **เช่น ต้องการสั่งให้เครื่องสั่งงานหมายเลข 1 ทำการปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า หลังจากสั่งงานไปแล้ว 1 นาทีให้ทำตามขั้นตอนดังนี้**

- กด 1 , กด yes
- กด time
- กด off
- กด minute , กด up/down จนได้ ค่าเวลาเป็น 1 นาทีตามที่ต้องการแล้ว ให้กด yes จำนวน 2 ครั้ง

3.การสั่งตรวจสอบสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า **เช่น ต้องการตรวจสอบสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าหมายเลข 1 ให้ทำตามขั้นตอนดังนี้**

- กด 1, กด yes
- กด check

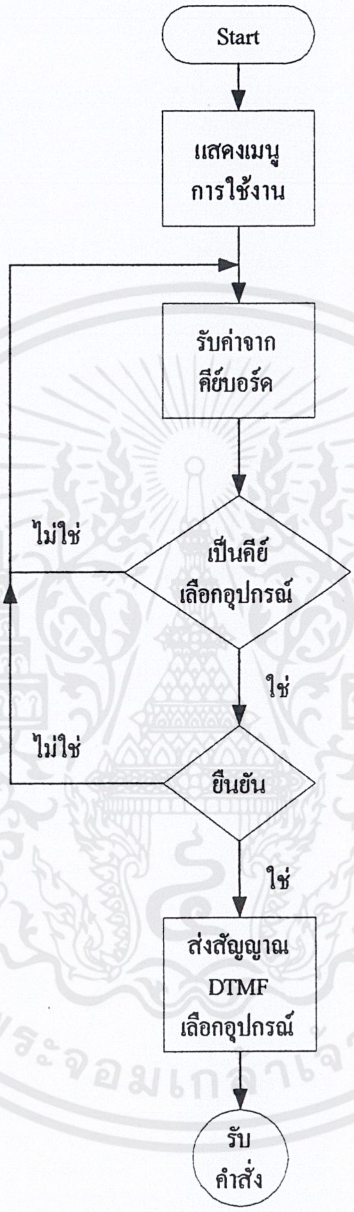
ตัวอย่างข้างบนเป็นเพียงบางตัวอย่างของการใช้งานของโครงงานระบบควบคุมไร้สายเท่านั้น ในการใช้งานจริงที่เครื่องควบคุมจะมีจอแอลซีดีทำการแสดงขั้นตอนในการใช้งานให้ทำตามอย่างเป็นขั้นๆ ไม่ยุ่งยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟล์ชาร์ตที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมในโครงงานนี้มีดังนี้

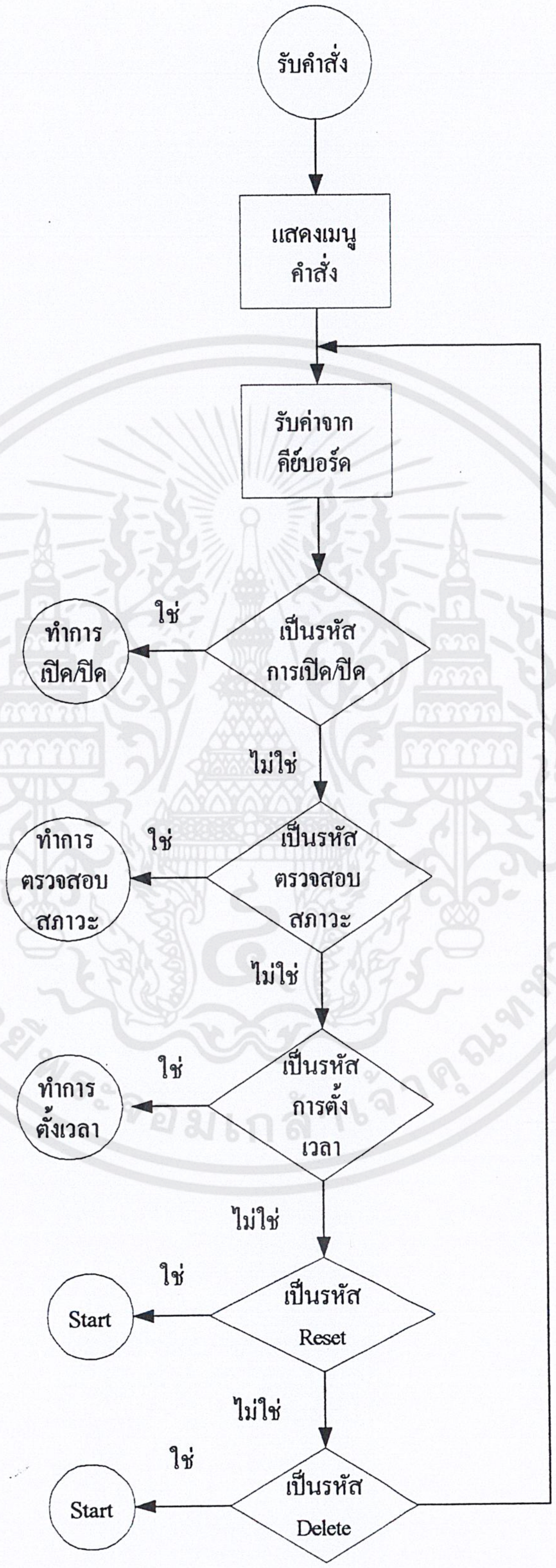
1.โฟล์ชาร์ตที่ใช้ในเครื่องควบคุม มีดังนี้

1



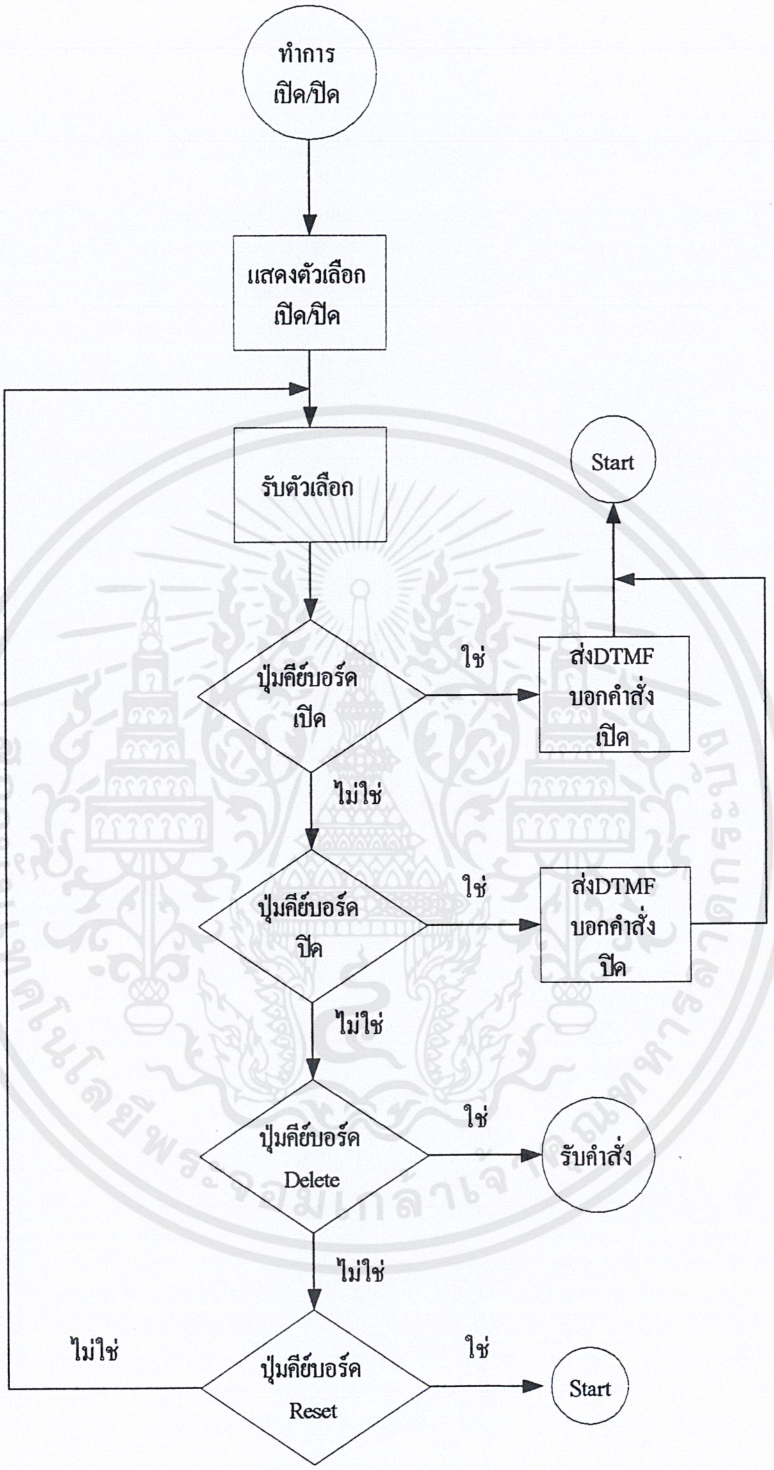
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3

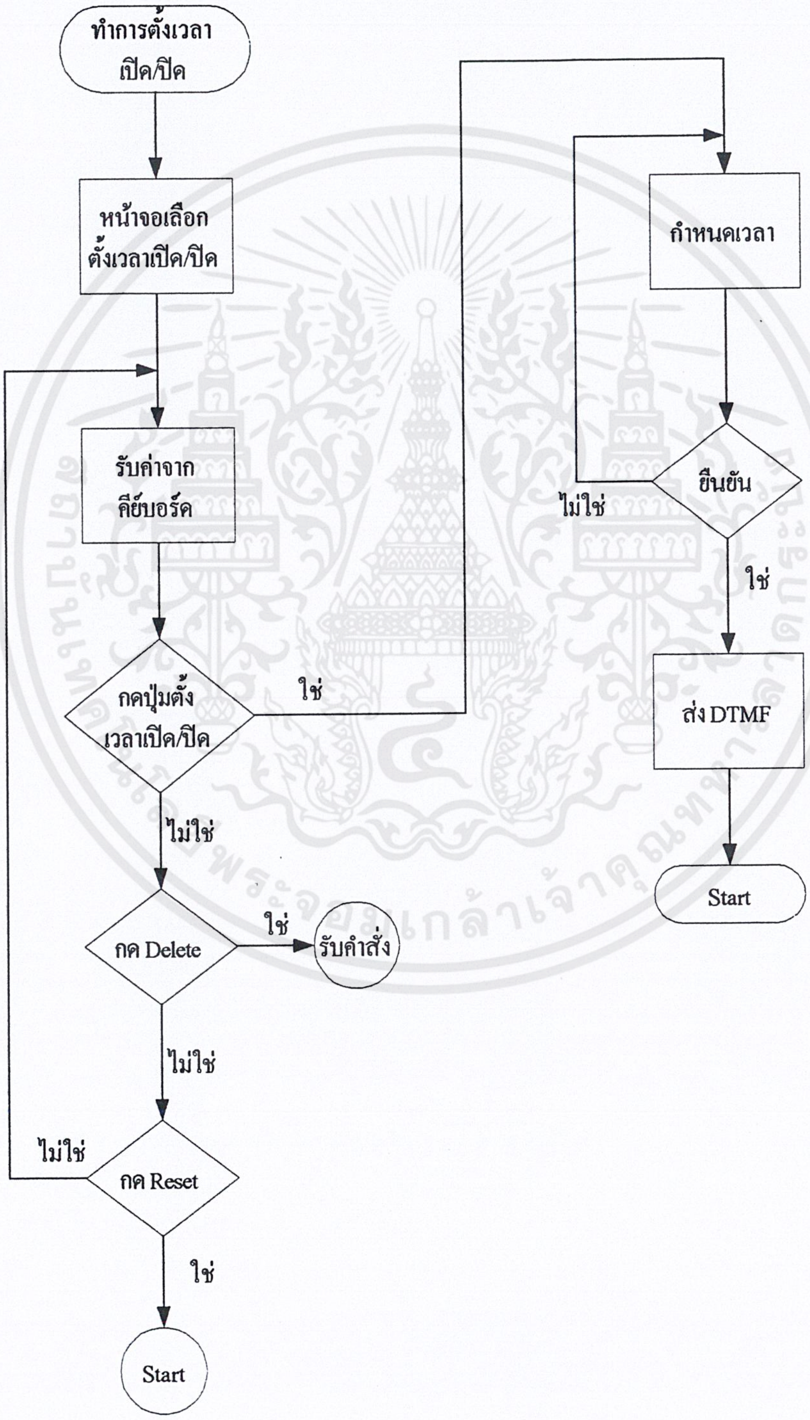


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

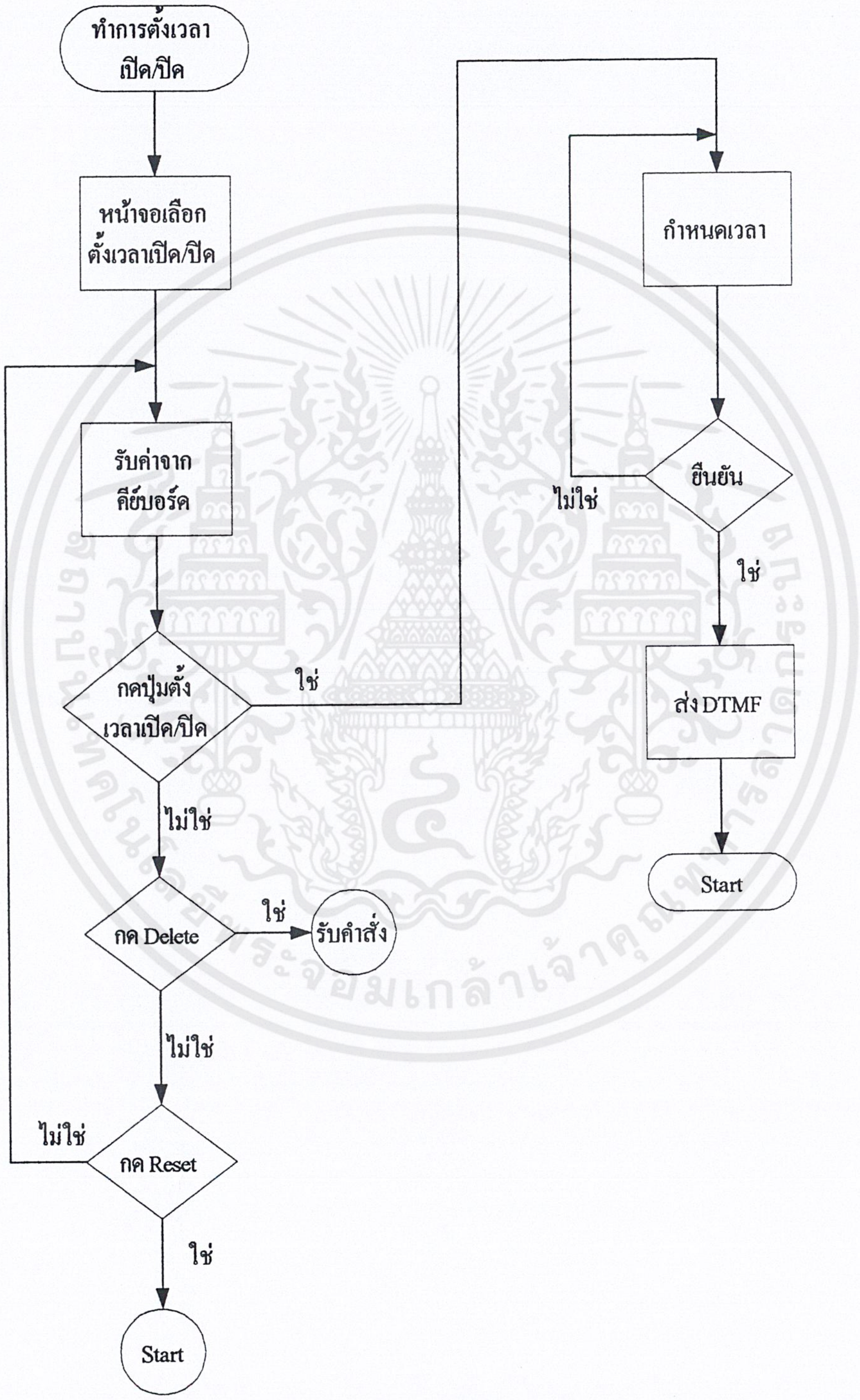
5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

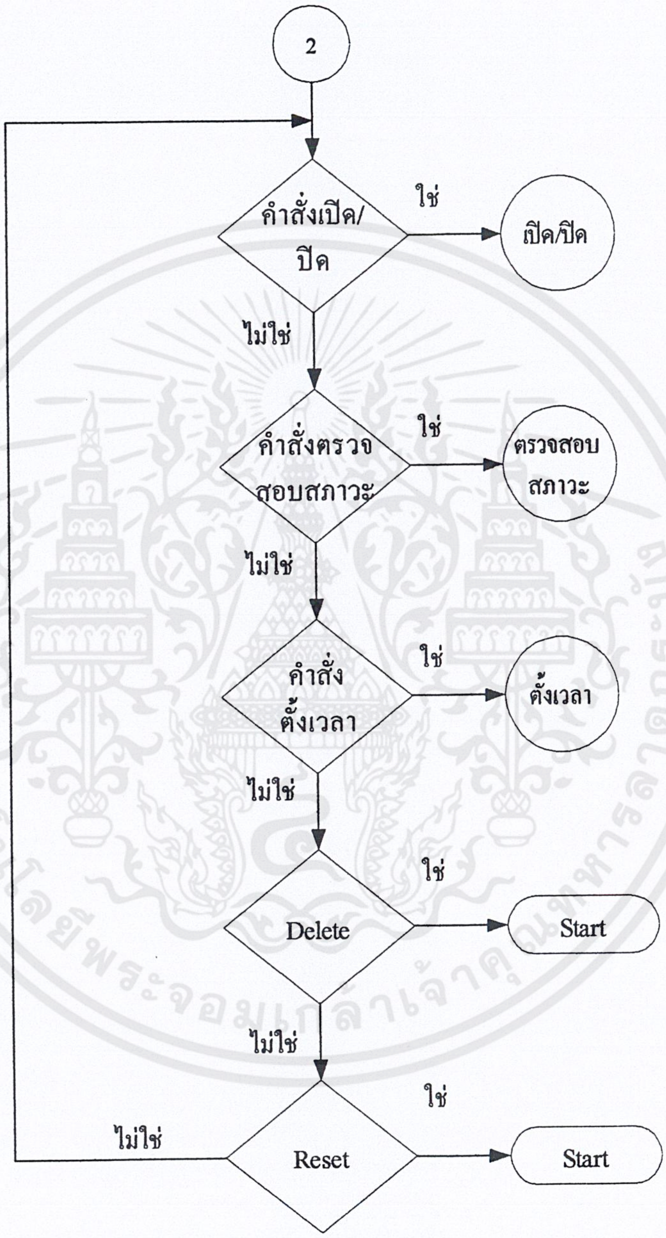
2 โฟล์ชาร์ตที่ใช้ที่เครื่องสั่งงานมี่ดังนี้

1



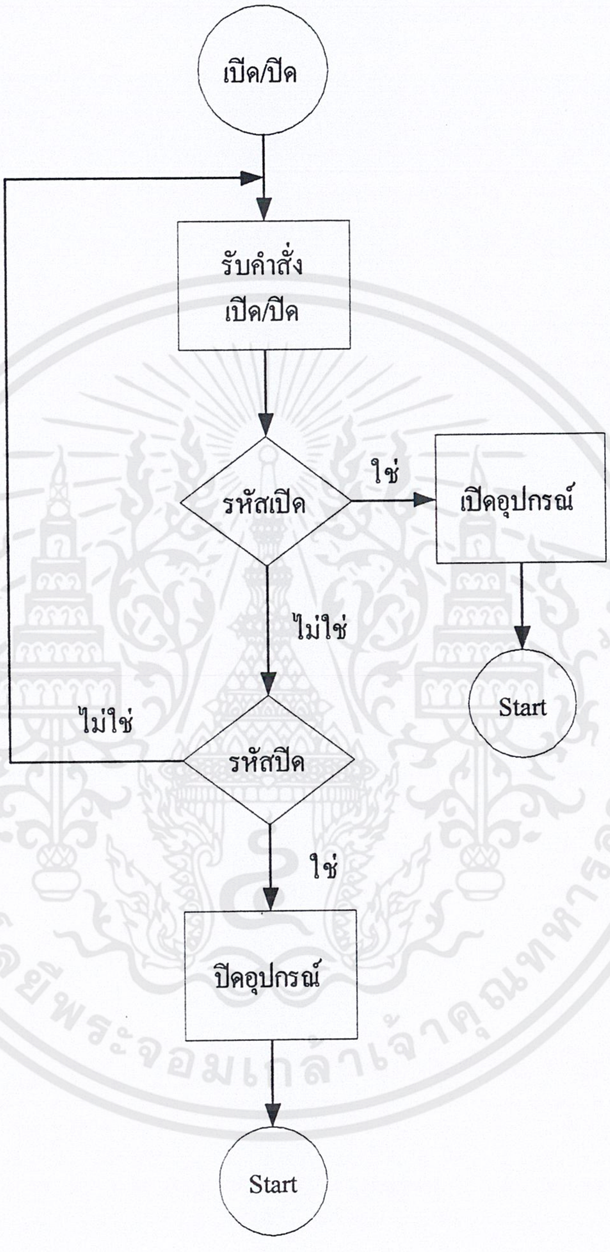
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3

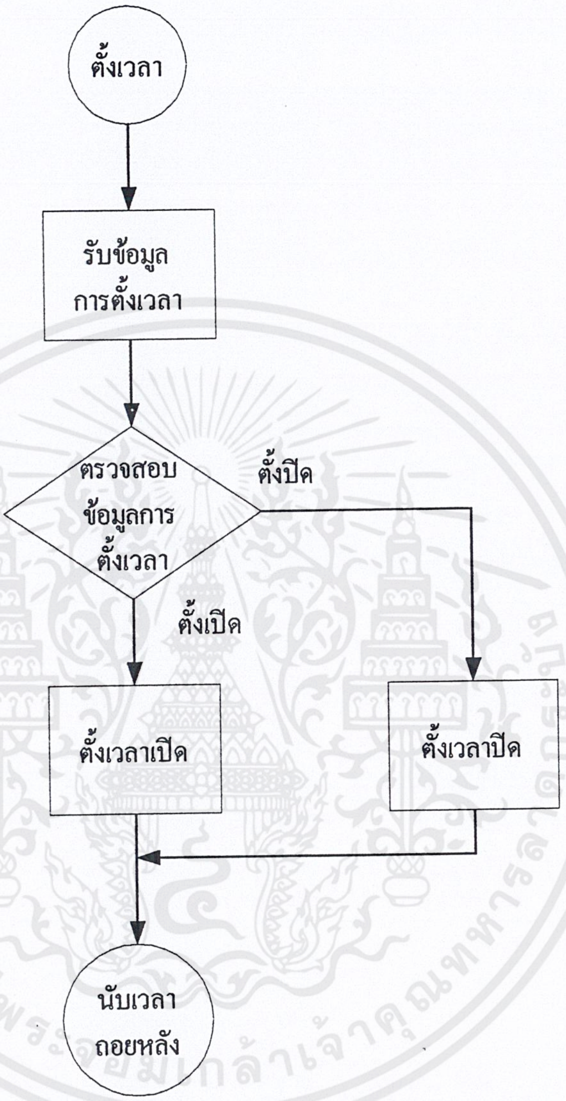


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4

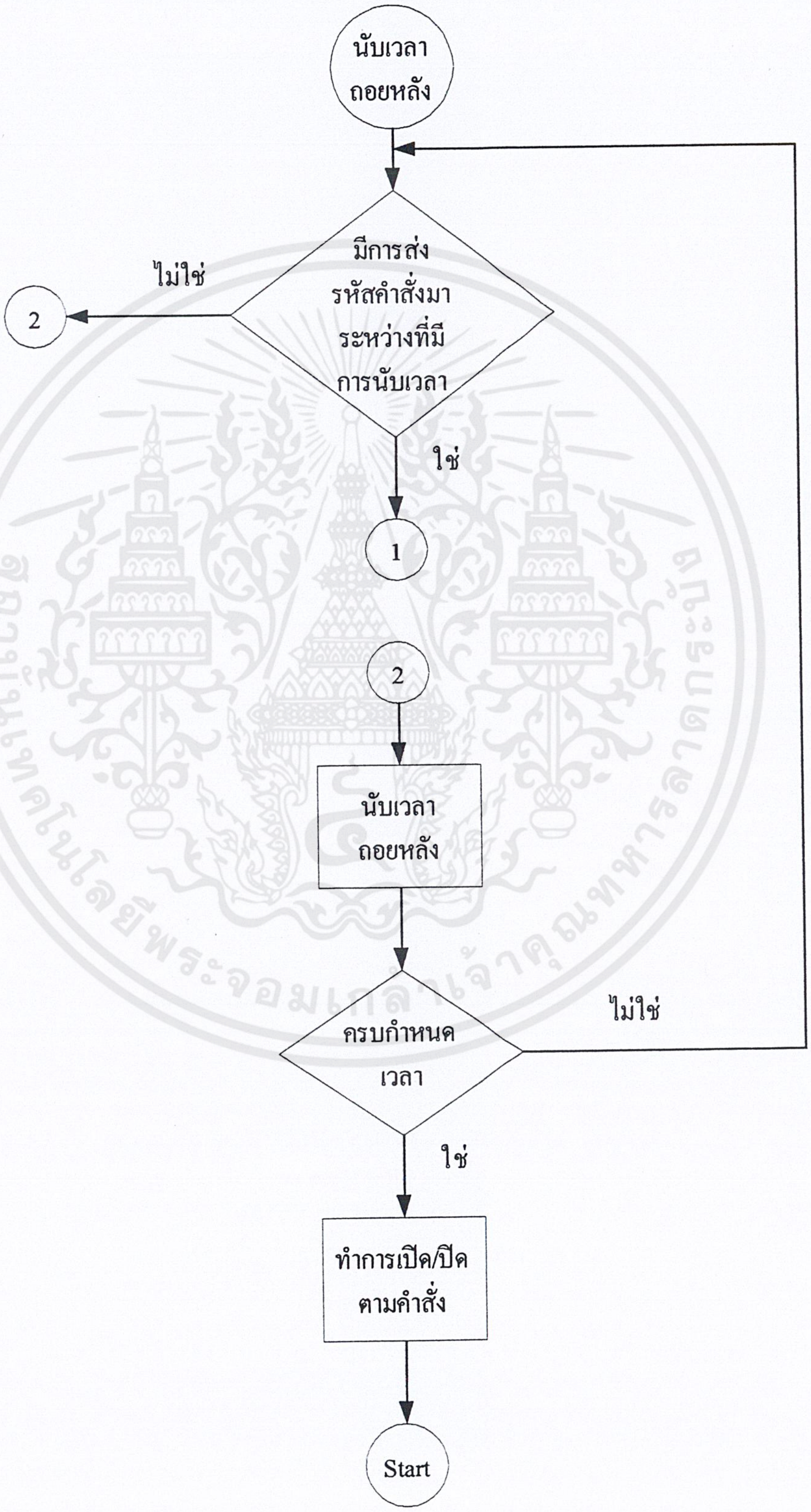
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5



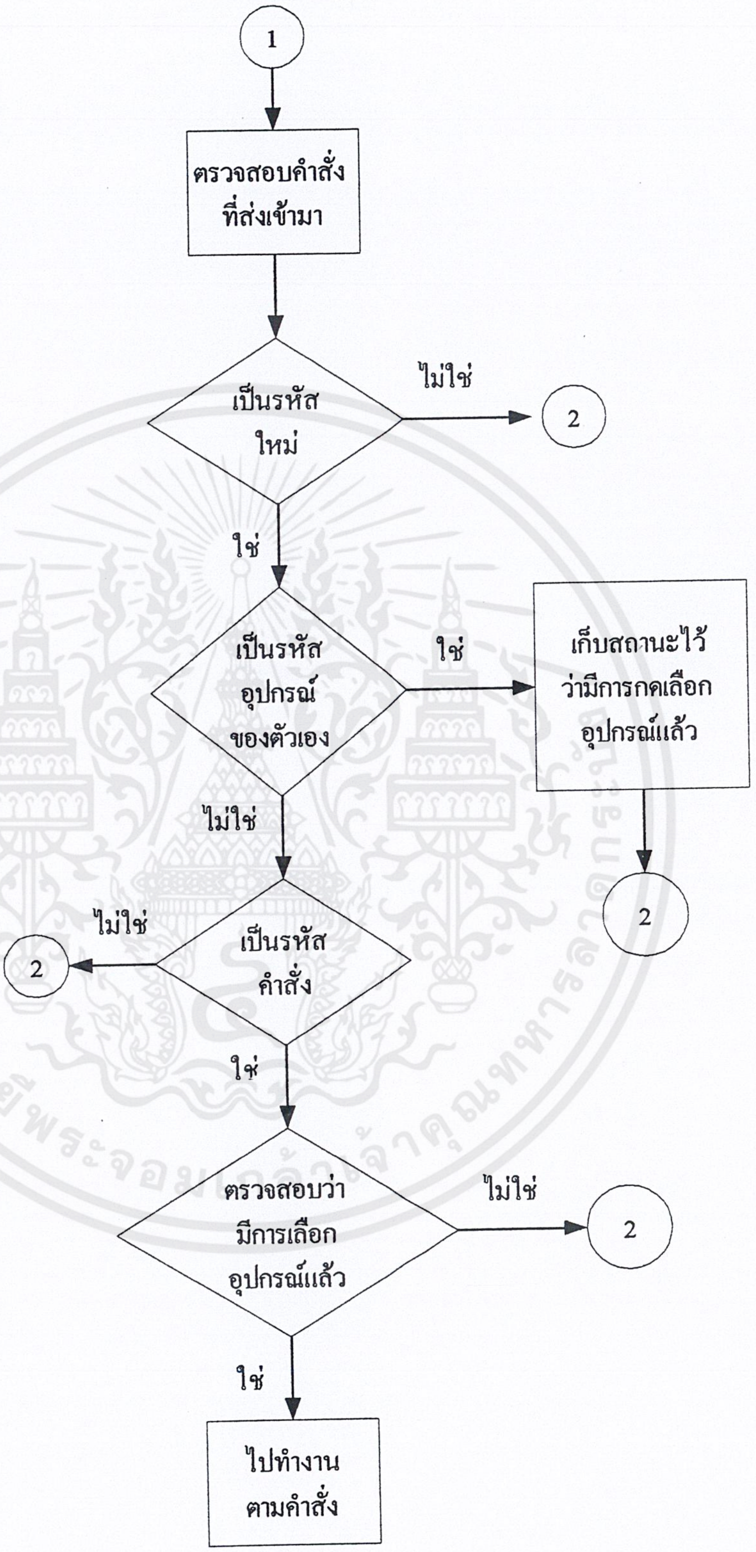
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7



(หมายเหตุ: โปรแกรมของเครื่องควบคุมอยู่ในภาคผนวก ก.และโปรแกรมของเครื่องสั่งงานอยู่ในภาคผนวก ข.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลองและผลการทดลอง

ในบทที่ 3 ได้กล่าวถึงหลักการในการทำงานรวมทั้งระบบ การออกแบบในแต่ละส่วนย่อยในระบบมาแล้ว มาในบทนี้จะได้กล่าวถึงการทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของส่วนย่อยต่างๆ ว่าสามารถทำงานได้จริงตามทฤษฎี หรือตามความต้องการในการออกแบบหรือไม่ และยังจะกล่าวถึงผลการทดลองของส่วนย่อยต่างๆด้วย

4.1 การทดลองและผลการทดลองของวงจรมอดูเลตความถี่

วิธีการทดลอง

1)ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 3.3 (ก)

2)ใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analyzer) วัดคลื่นพาห์ที่ขา 10 ปรับจูนจนได้คลื่นพาห์ที่มีความถี่ประมาณ 60 เมกะเฮิรตซ์แล้วบันทึกผล

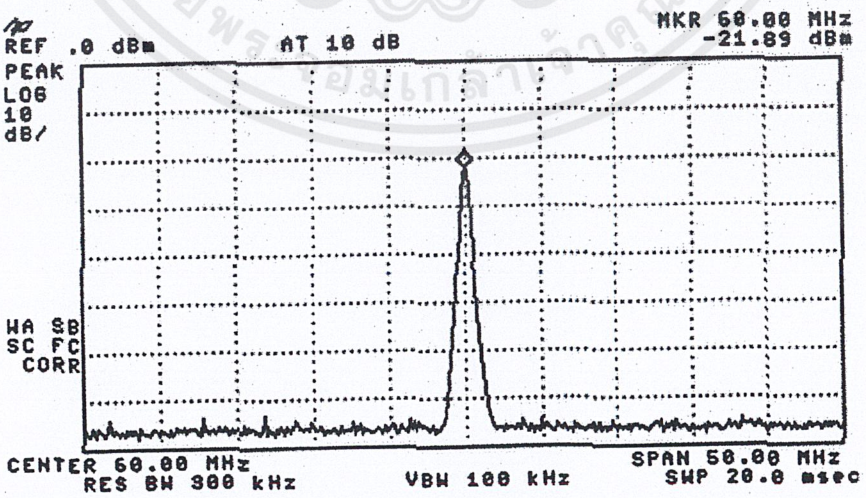
3)ป้อนสัญญาณที่จะนำมามอดูเลต เป็นสัญญาณไซน์ แอมปลิจูด 200 มิลลิโวลต์ ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ จากตัวกำเนิดฟังก์ชัน (Function Generator) ที่ตำแหน่งอินพุท ทำการวัดสัญญาณอินพุทโดยใช้ออสซิลโลสโคป แล้วบันทึกผล จากนั้น ทำการวัดสัญญาณเอาท์พุท ที่ขา 7 โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม แล้วบันทึกผล

4)ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 3. 3(ข) ความถี่กลางเป็น 66 เมกะเฮิรตซ์

5)ทำการทดลองเหมือนในข้อที่ 2 และข้อที่ 3

ผลการทดลอง

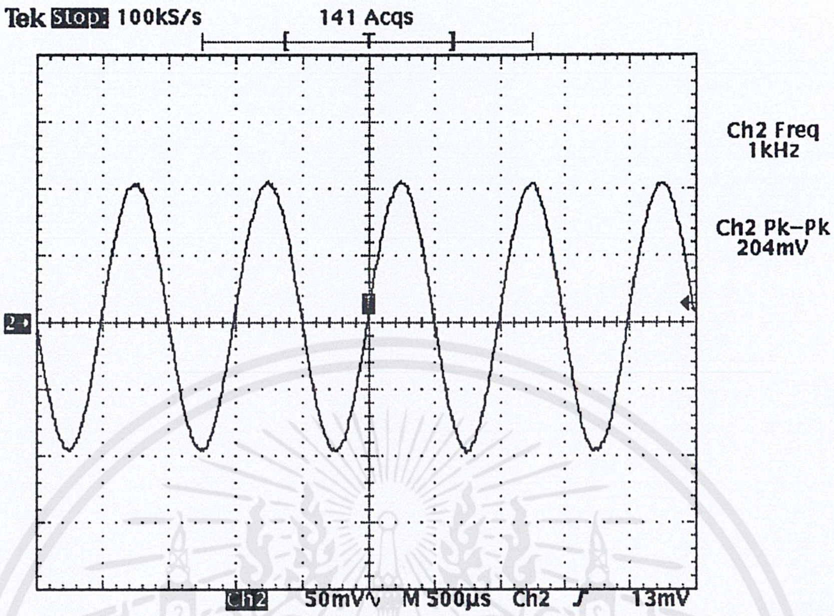
-ผลการทดลองจากการวัดคลื่นพาห์ที่มีความถี่ 60 เมกะเฮิรตซ์



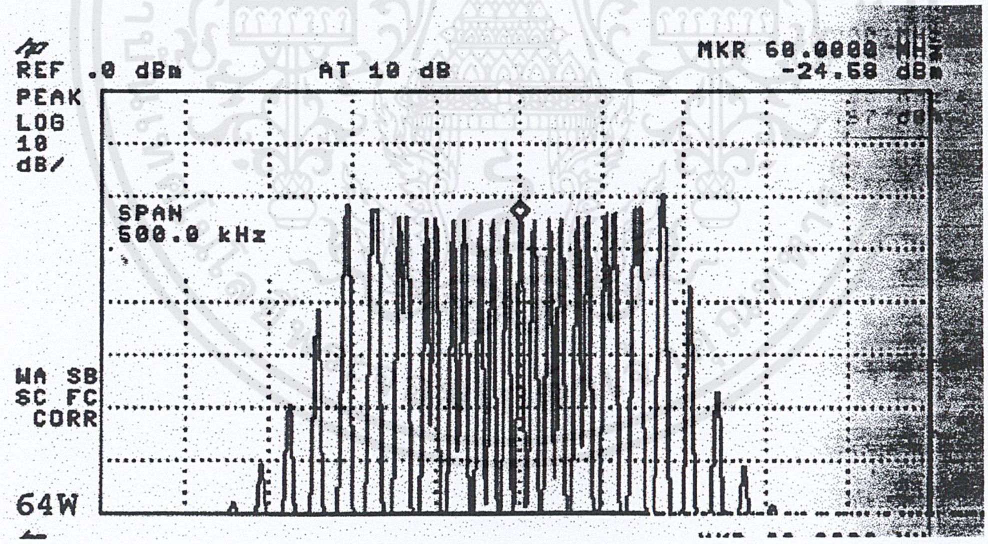
รูปที่ 4.1 แสดงผลการทดลองจากการวัดสเปคตรัมของคลื่นพาห์ความถี่ 60 เมกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ผลการทดลองจากการวัดสัญญาณเอฟเอ็มที่มีความถี่กลาง 60 เมกะเฮิรตซ์ (ข้อ 3)



(ก)



(ข)

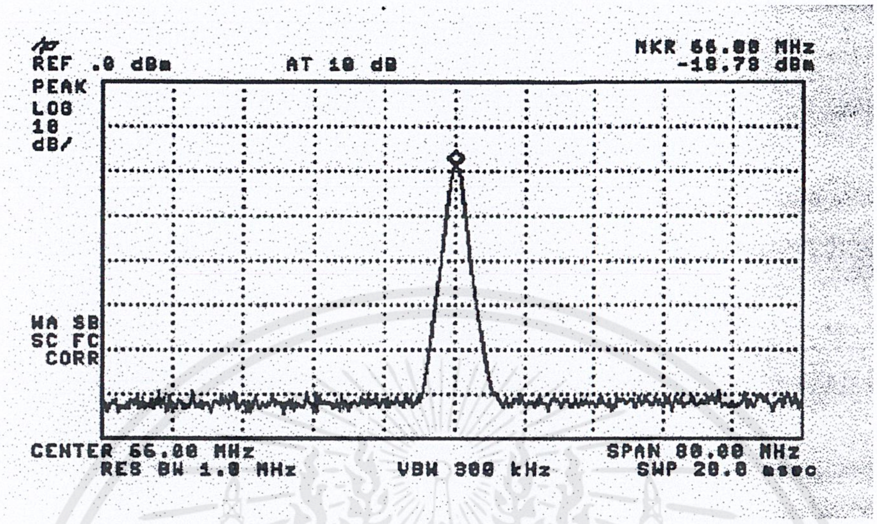
รูปที่ 4.2 แสดงผลการวัดสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทของวงจรมอดูเลตที่มีความถี่กลาง 60 เมกะเฮิรตซ์

(ก) แสดงผลการวัดสัญญาณอินพุทรูปไซน์จากตัวกำเนิดฟังก์ชัน

(ข) แสดงผลการวัดสัญญาณเอาท์พุทจากวงจรมอดูเลตความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

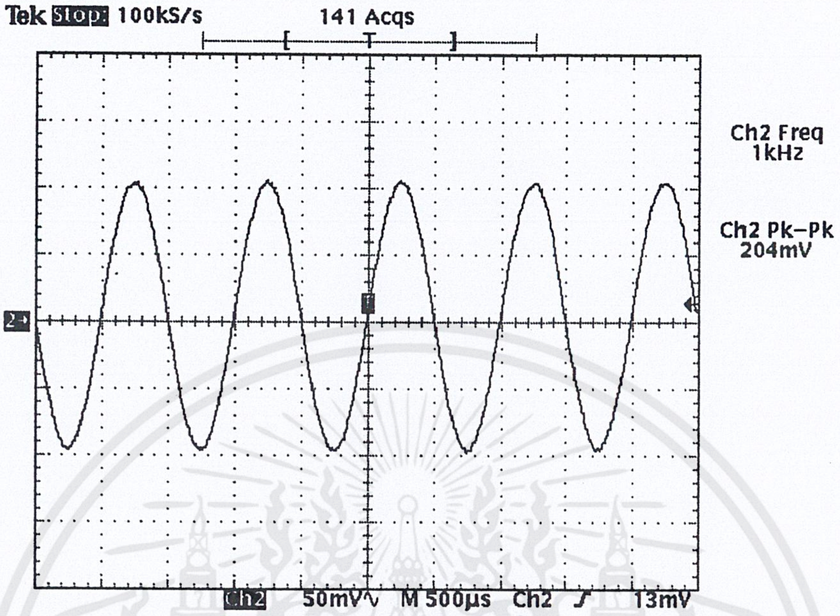
-ผลการทดลองจากการวัดคลื่นพาห์ที่มีความถี่ 66 เมกะเฮิรตซ์



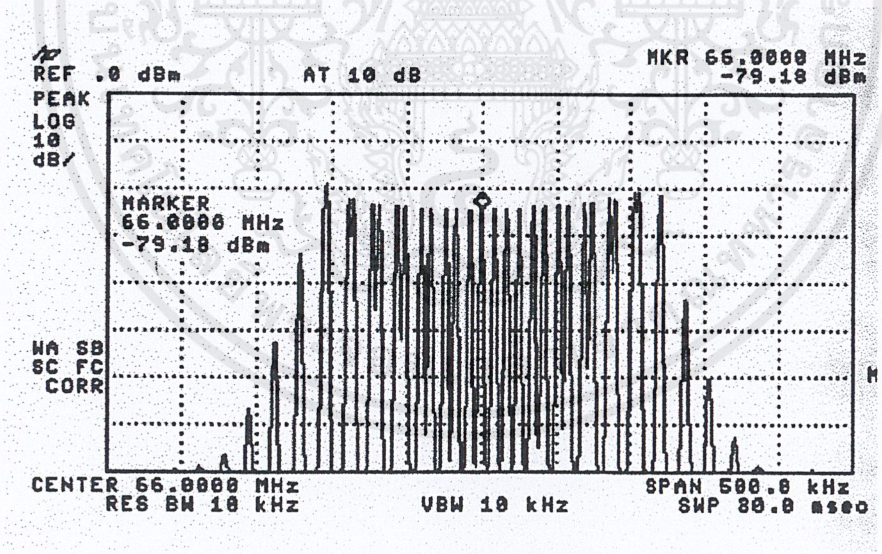
รูปที่ 4.3 แสดงผลการทดลองจากการวัดสเปคตรัมของคลื่นพาห์ที่มีความถี่ 66 เมกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ผลการทดลองจากการวัดสัญญาณเอฟเอ็มที่มีความถี่กลาง 66 เมกะเฮิรตซ์ (ข้อ 5)



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.4 แสดงผลการวัดสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทของวงจรมอดูเลตที่มีความถี่กลาง 66 เมกะเฮิรตซ์

(ก) แสดงผลการวัดสัญญาณอินพุทจากตัวกำเนิดฟังก์ชัน

(ข) แสดงผลการวัดสัญญาณเอาท์พุทจากวงจรมอดูเลตความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>สรุปผลการทดลองของวงจรมอดูเลตความถี่</u>

จากการทำการทดลองวงจรมอดูเลตความถี่ทั้งสองวงจร (ความถี่กลาง 60 และ 66 เมกะเฮิรตซ์ ตามลำดับ) พบว่าวงจรสามารถให้สัญญาณเอาท์พุทเป็นสัญญาณเอฟเอ็มที่มีความถี่กลาง และความกว้างของช่วงความถี่ (Bandwidth) เป็นไปตามที่ต้องการ

4.2 การทดลองและผลการทดลองของวงจรดีมอดูเลตความถี่

<u>วิธีการทดลอง</u> แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ตอนดังนี้

<u>ตอนที่ 1</u> : การทดลองดีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็ม ที่กำเนิดจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator)

1)ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 3.5 (ก)

2)ใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมวันคลื่นพาห์ที่ขา 6 ปรับจูนตัวต้านทานปรับค่าได้ (VR) จนได้คลื่นพาห์เฉพาะ ที่มีความถี่ประมาณ 60 เมกะเฮิรตซ์แล้วบันทึกผล

3)ทำการป้อนสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณเอฟเอ็ม ที่มีความถี่กลาง 60 เมกะเฮิรตซ์ ความถี่เบี่ยงเบน 50 กิโลเฮิรตซ์ และความถี่ของสัญญาณที่นำมามอดูเลตเป็น 1 กิโลเฮิรตซ์ จากเครื่องกำเนิดสัญญาณเข้าที่ตำแหน่งอินพุท ทำการวัดสัญญาณอินพุทโดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมแล้วบันทึกผล จากนั้นทำการวัดสัญญาณเอาท์พุทที่ขา 2 โดยการใช้ออสซิลโลสโคป แล้วบันทึกผล

4)ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 3.6 (ข)

5)ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2 และ ข้อ 3 แต่เปลี่ยนมาดีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็ม ที่มีความถี่กลาง 66 เมกะเฮิรตซ์แทน

<u>ตอนที่ 2</u> : การทดลองดีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็มที่กำเนิดจากวงจรมอดูเลตความถี่ที่สร้างขึ้น

1)ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 ในข้อ 1 ถึงข้อ 3 แต่เปลี่ยนสัญญาณอินพุทที่เดิมมาจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ ให้เป็นสัญญาณที่มาจากเอาท์พุทของวงจรมอดูเลตความถี่ซึ่งมีความถี่กลางเท่ากับ 60 เมกะเฮิรตซ์แทน แล้วจึงทำการบันทึกผลเพื่อเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณที่นำมามอดูเลตที่วงจรมอดูเลตความถี่ กับสัญญาณที่ได้จากการดีมอดูเลตที่ได้จากการดีมอดูเลตที่วงจรดีมอดูเลตความถี่

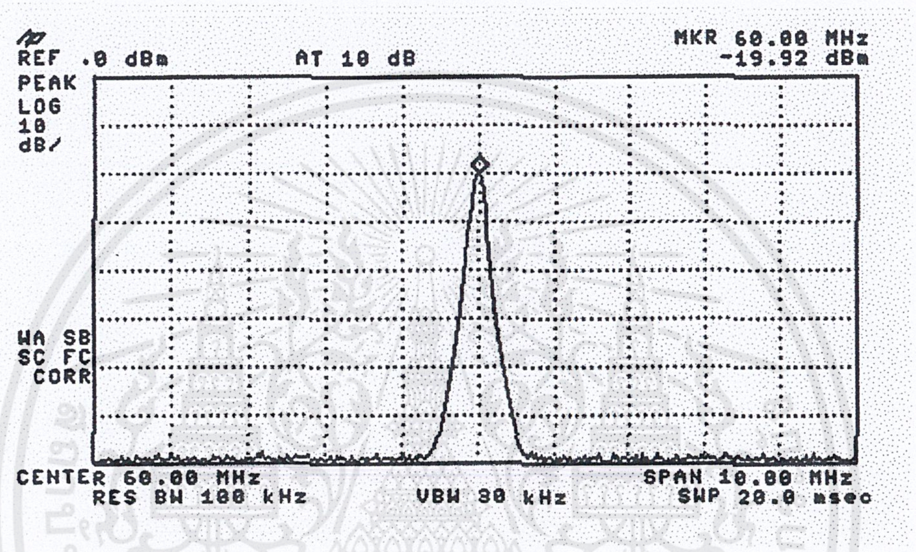
2)ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 ในข้อ 4 ถึงข้อ 5 แต่เปลี่ยนสัญญาณอินพุทที่เดิมมาจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ ให้เป็นสัญญาณที่มาจากเอาท์พุทของวงจรมอดูเลตความถี่ซึ่งมีความถี่กลางเท่ากับ 66 เมกะเฮิรตซ์แทน แล้วจึงทำการบันทึกผลเช่นเดียวกับข้อที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ผลการทดลอง</u> : แบ่งผลการทดลองออกเป็น 2 ตอนดังนี้

<u>ตอนที่ 1</u> : ผลการทดลองการดีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็มที่กำเนิดจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ

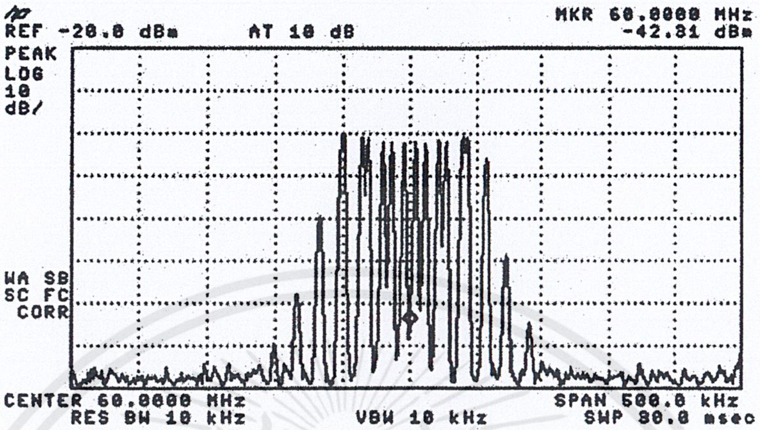
-ผลการทดลองจากการวัดคลื่นพาห์เฉพาะ ที่มีความถี่ 60 เมกะเฮิรตซ์



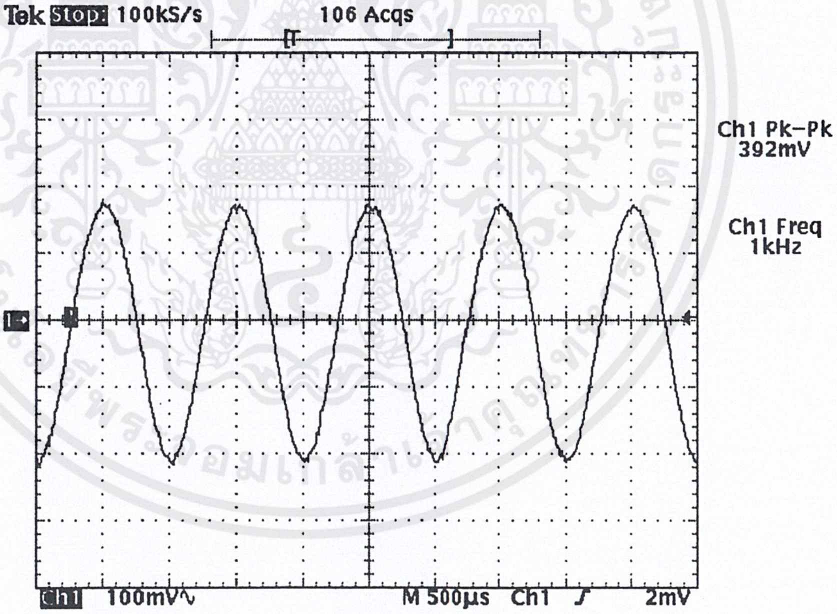
รูปที่ 4.5 แสดงผลการทดลองจากการวัดคลื่นพาห์เฉพาะ ที่มีความถี่ 60 เมกะเฮิรตซ์ ที่แสดงผลการวัดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ผลการทดลองจากการวัดสัญญาณอินพุท เทียบกับสัญญาณเอาท์พุทที่มอดูเลตได้ สำหรับวงจรดีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็มที่มีความถี่กลางเท่ากับ 60 เมกะเฮิรตซ์



(ก)

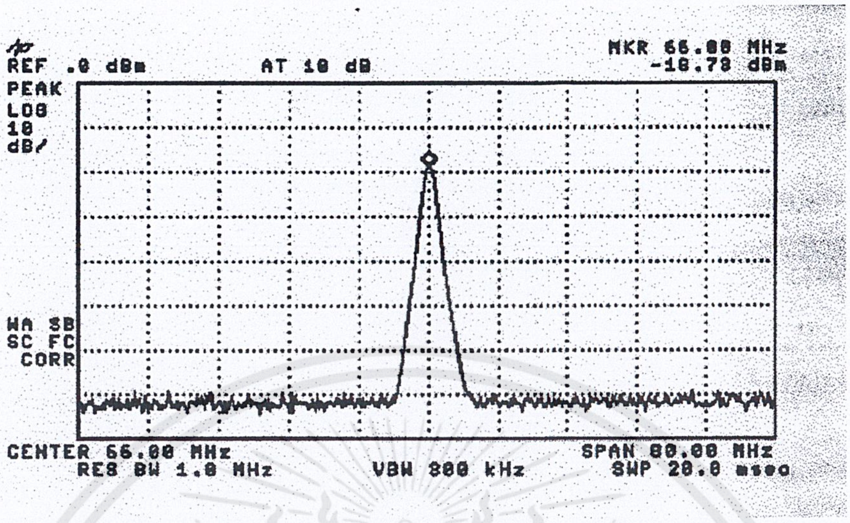


(ข)

รูปที่ 4.6 แสดงผลการทดลองจากการวัดสัญญาณอินพุท เทียบกับสัญญาณเอาท์พุทที่มอดูเลตได้ สำหรับวงจรดีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็มที่มีความถี่กลางเท่ากับ 60 เมกะเฮิรตซ์
(ก)แสดงผลการวัดสัญญาณอินพุทโดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม
(ข)แสดงผลการวัดสัญญาณเอาท์พุทโดยใช้ออสซิลโลสโคป

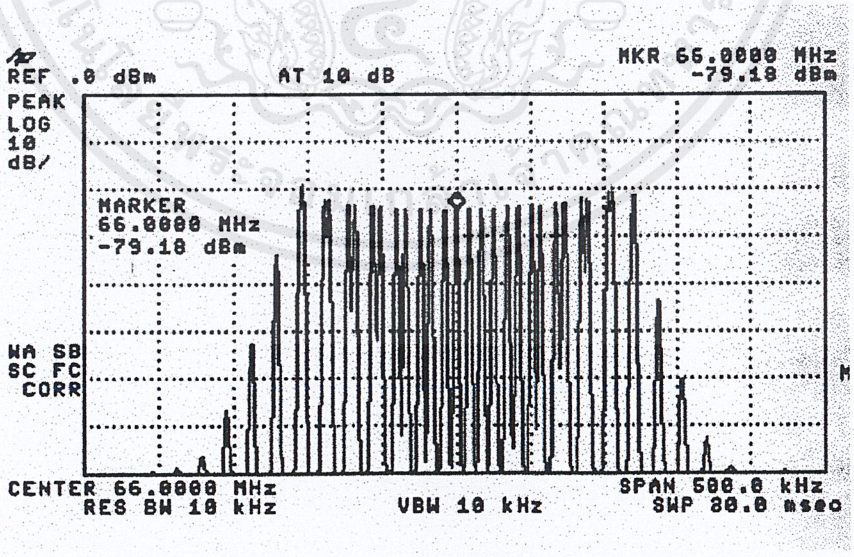
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ผลการทดลองจากการวัดคลื่นพาห์เฉพาะ ที่มีความถี่ 66 เมกะเฮิรตซ์



รูปที่ 4.7 แสดงผลการทดลองจากการวัดคลื่นพาห์เฉพาะ ที่มีความถี่ 66 เมกะเฮิรตซ์ ที่แสดงผลการวัด โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม

-ผลการทดลองจากการวัดสัญญาณอินพุท เทียบกับสัญญาณเอาท์พุทที่มอดูเลตได้ สำหรับวงจรคีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็มที่มีความถี่กลางเท่ากับ 66 เมกะเฮิรตซ์

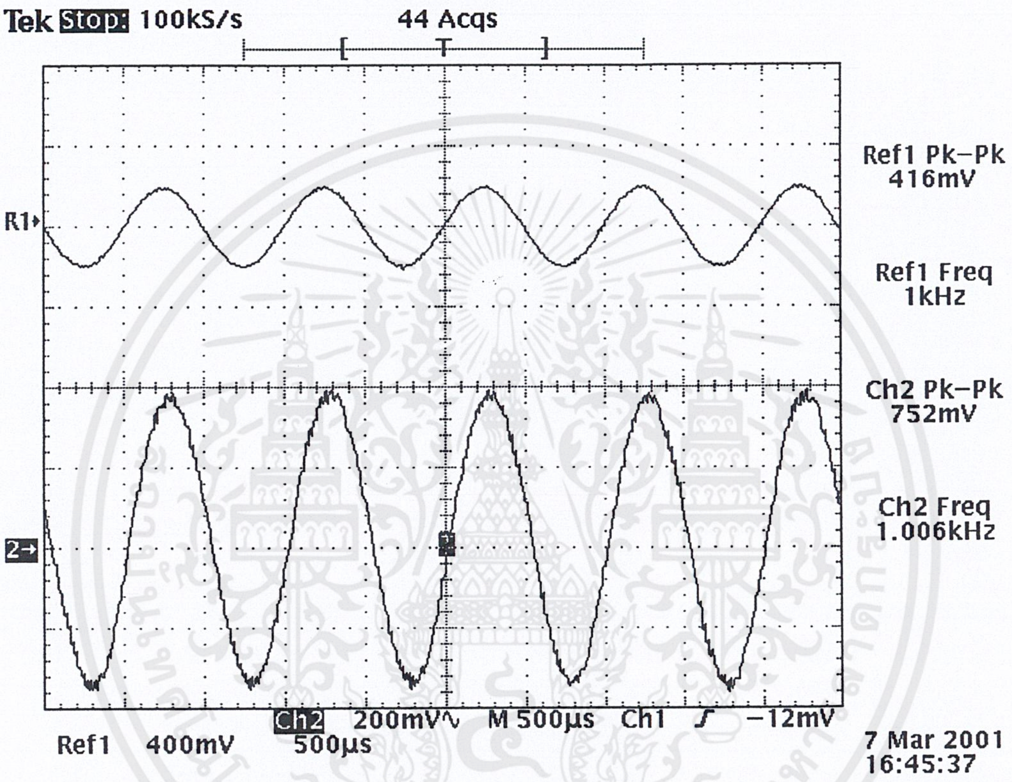


รูปที่ 4.8 แสดงผลการทดลองจากการวัดสัญญาณอินพุท เทียบกับสัญญาณเอาท์พุทที่มอดูเลตได้ สำหรับวงจรดีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็มที่มีความถี่กลางเท่ากับ 66 เมกะเฮิรตซ์ ที่แสดงผลการวัดสัญญาณอินพุทโดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2 : ผลการทดลองการดีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็มที่กำเนิดจากวงจรมอดูเลตความถี่ที่สร้างขึ้น

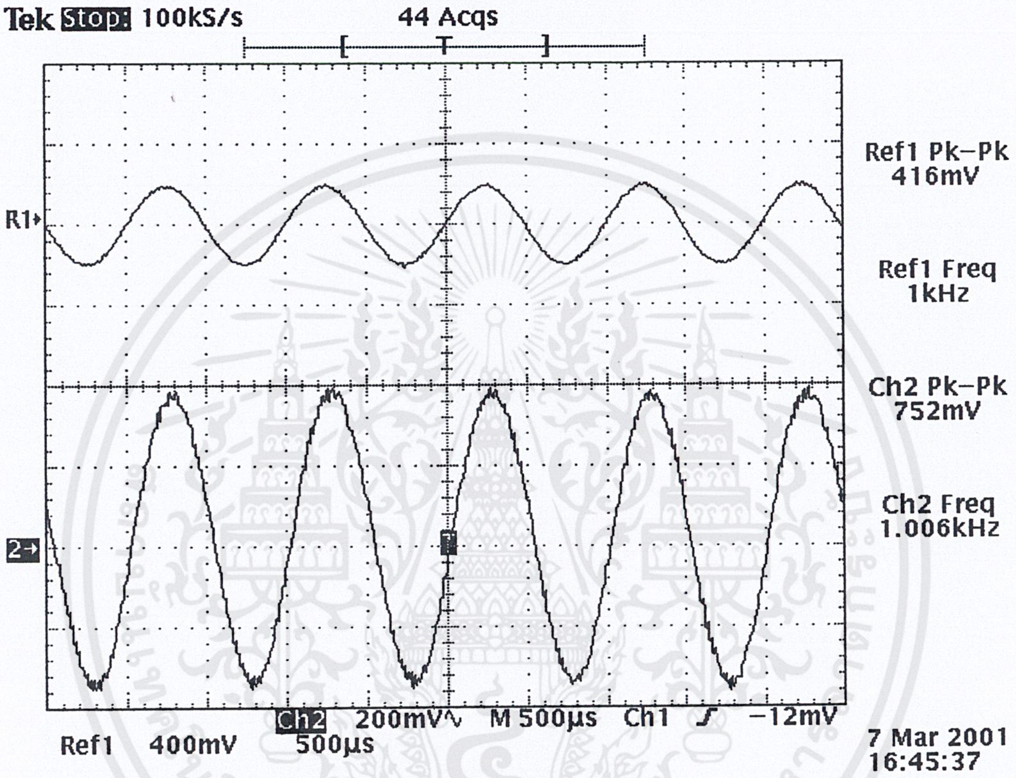
-ผลการทดลองการวัดสัญญาณอินพุทของวงจรมอดูเลตความถี่เทียบกับ สัญญาณเอาท์พุทของวงจรดีมอดูเลตความถี่ สำหรับสัญญาณเอฟเอ็มที่มีความถี่กลางเท่ากับ 60 เมกะเฮิรตซ์



รูปที่ 4.9 แสดงผลการทดลองจากการวัดสัญญาณอินพุทของวงจรมอดูเลตความถี่ เทียบกับสัญญาณเอาท์พุทของวงจรมอดูเลตความถี่สำหรับสัญญาณเอฟเอ็มที่มีความถี่กลางเท่ากับ 60 เมกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ผลการทดลองการวัดสัญญาณอินพุทของวงจรมอดูเลตความถี่เทียบกับ สัญญาณเอาท์พุท ของวงจรดีมอดูเลตความถี่ สำหรับสัญญาณเอฟเอ็มที่มีความถี่กลางเท่ากับ 66 เมกะเฮิรตซ์



รูปที่ 4.10แสดงผลการทดลองจากการวัดสัญญาณอินพุทของวงจรมอดูเลตความถี่ เทียบกับ สัญญาณเอาท์พุทของวงจรมอดูเลตความถี่สำหรับสัญญาณเอฟเอ็มที่มีความถี่กลาง เท่ากับ 66 เมกะเฮิรตซ์

สรุปผลการทดลอง

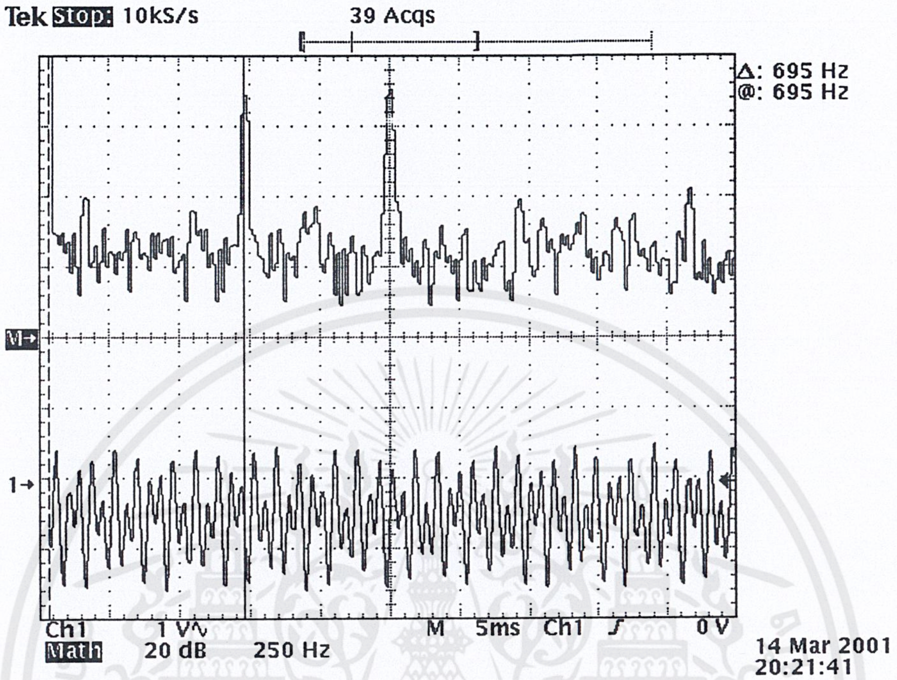
ในตอนที่ 1 จะพบว่าวงจรดีมอดูเลตที่ทดลองสร้างขึ้น สามารถทำการดีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็ม ที่ส่งเข้ามาจากเครื่องกำเนิดสัญญาณได้ โดยในการทดลองจะทำการดีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็มทั้งที่ ความถี่ 60 และ 66 เมกะเฮิรตซ์ได้อย่างถูกต้อง

ในตอนที่ 2 เป็นการทดลองในส่วนของการป้อนสัญญาณเอฟเอ็มจากวงจรมอดูเลเตอร์ ผ่านเข้า ไปยังวงจรดีมอดูเลเตอร์โดยตรง ในการทดลองตอนนี้ จะประสบปัญหา ในการดีมอดูเลตอยู่บ้าง ซึ่งอาจ จะเกิดจากการไม่แมตช์ของอิมพีแดนซ์ระหว่างวงจร

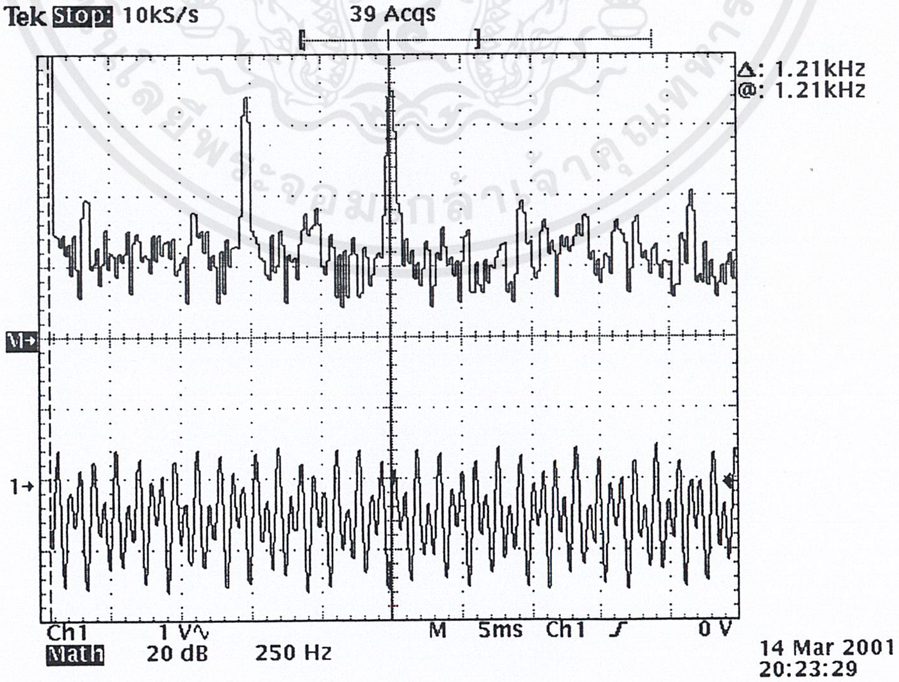
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองและผลการทดลองในส่วนของวงจรสร้างสัญญาณความถี่คู่

-ผลการทดลองในส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่คู่ แสดงดังรูปที่ 4.11 และ 4.12



รูปที่ 4.11 แสดงผลการทดลองวัดสัญญาณความถี่คู่พร้อมสเปคตรัมที่ความถี่ต่ำ (695เฮิรตซ์)



รูปที่ 4.12 แสดงผลการทดลองวัดสัญญาณความถี่คู่พร้อมสเปคตรัมที่ความถี่สูง(1210เฮิรตซ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 4.11 และ 4.12 เป็นเพียงตัวอย่างของสัญญาณความถี่คู่ที่สร้างจากวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่คู่ที่ใช้ในโครงงานนี้เท่านั้น ส่วนผลของค่าความถี่คู่ของทุกความถี่ที่สร้างได้จะแสดงดังตารางที่4.1

ปุ่มกด	ความถี่ต่ำ (เฮิรตซ์)	ความถี่สูง (เฮิรตซ์)
1	695	1.21
2	695	1.335
3	695	1.445
A	695	1.635
4	770	1.21
5	770	1.335
6	770	1.445
B	770	1.635
7	850	1.21
8	850	1.335
9	850	1.445
C	850	1.635
*	940	1.21
0	940	1.335
#	940	1.445
D	940	1.635

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความถี่คู่ทุกคู่ที่วัดจากวงจรกำเนิดสัญญาณคู่

<u>สรุปผลการทดลอง</u>

ในการทดลองวัดสัญญาณความถี่คู่ที่ได้จากวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่คู่ที่ทดลองสร้างขึ้นเพื่อใช้ในโครงงานนี้ปรากฏว่า สัญญาณความถี่คู่ที่ได้จากวงจรดังกล่าว ให้ผลที่ใกล้เคียงกับความถี่คู่มาตราฐานมากจะพบว่ามีความคลาดเคลื่อนน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และบทสรุป

จากการที่ได้ทำการศึกษา และการสร้างโครงงานระบบควบคุมไร้สาย ทำให้ได้รับความรู้ความเข้าใจในหลักการการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุมากขึ้น รวมทั้งหลักในการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ในงานควบคุมต่างๆ

การสร้างโครงงานนี้ขึ้นมาก็เพื่อฝึกฝนทักษะในการออกแบบวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่จะนำมาใช้ในการสื่อสาร และการควบคุมต่างๆ ดังนั้น ปัญหาหลักของโครงงานก็คือ การออกแบบวงจรที่ในการรับส่งคลื่นวิทยุ มักมีปัญหาในการจูนความถี่ให้ได้ตามที่ต้องการ เนื่องจากไม่สามารถหาค่าอุปกรณ์ (L,C) ให้ได้ตามที่ได้ออกแบบไว้จึงทำให้เกิดความยุ่งยากในการจูนความถี่ นอกจากนี้ การแมตชิ่งอิมพีแดนซ์ ก็เป็นปัจจัยสำคัญอีกประการหนึ่ง ที่มีผลต่อการรับ-ส่งคลื่นวิทยุ โดยถ้าเราสามารถทำการแมตชิ่งอิมพีแดนซ์ระหว่างวงจรได้ดี การรับ-ส่งคลื่นวิทยุก็จะมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ส่วนปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่งได้แก่ การรบกวนกันระหว่างวงจรมอดูเลตความถี่กับวงจรดีมอดูเลตความถี่ที่อยู่ในเครื่องควบคุมและเครื่องสั่งงาน ซึ่งจะทำการรับส่งสัญญาณควบและสัญญาณตอบรับเกิดความผิดพลาดขึ้นได้

โครงงานระบบควบคุมไร้สายที่ได้ทำการสร้างขึ้นนี้ สามารถนำไปใช้งานได้จริงตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ แต่อย่างไรก็ตามขีดความสามารถของโครงงานนี้ยังจำกัดอยู่มาก ดังนั้น แนวทางที่จะทำการพัฒนาโครงงานนี้ต่อไปคือการเพิ่มขีดความสามารถให้มากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มกำลังส่งเพื่อที่จะทำให้พื้นที่ในการควบคุมมากขึ้น การเพิ่มจำนวนอุปกรณ์ที่ต้องการควบคุมให้มากขึ้น และการออกแบบให้สามารถใช้ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าได้หลากหลายมากขึ้น เช่น การควบคุมระดับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศ การควบคุมระดับความสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
org 0000h
;================== CODE FOR DTMF =====================
button1    equ  00000001b
button2    equ  00000010b
button3    equ  00000011b
button4    equ  00000100b
button5    equ  00000101b
button6    equ  00000110b
button7    equ  00000111b
button8    equ  00001000b
button9    equ  00001001b
button0    equ  00001010b
buttonA    equ  00001101b
buttonB    equ  00001110b
buttonC    equ  00001111b
buttonD    equ  00000000b
buttonstar equ  00001011b
buttonsharp equ  00001100b
;================== CODE FOR KEYBOARD ==================
kb_equip1  equ  01111110b                          ;button 1
kb_equip2  equ  10111110b                          ;button 2
kb_equip3  equ  11011110b                          ;button 3
kb_equip4  equ  11101110b                          ;button A
kb_power   equ  01111101b                          ;button 4
kb_status  equ  10111101b                          ;button 5
kb_time    equ  11011101b                          ;button 6
kb_on      equ  11101101b                          ;button B
kb_off     equ  01111011b                          ;button 7
kb_hour    equ  10111011b                          ;button 8
kb_minute  equ  11011011b                          ;button 9
kb_ResetKey equ 11101011b                          ;button C
kb_Up       equ 01110111b                          ;button *
kb_down    equ  10110111b                          ;button 0
kb_EnterKey equ 11010111b                          ;button #
kb_DelKey   equ 11100111b                          ;button D
send_dtmf_code equ 30h                 ;keep key pressed code in r6
last_dtmf_sent equ 31h                ;keep last send dtmf code in r7
last_receive_code equ 32h
temp     equ 33h                                ;keep temp variable

;=============== I N I T I A L I Z E =====================
      lcall count_0_5sec
      lcall init_8255
      lcall init_lcd
;========= E N D  O F  I N I T I A L I Z E ===============
ajmp main
;--------- MESSAGE ON LCD -----------
select_eq:    db
53h,45h,4Ch,45h,43h,54h,20h,45h,51h,55h,49h,50h,4Dh,45h,4Eh,54h
;"SELECT EQUIPMENT"
select_no_eq: db
20h,31h,20h,20h,20h,32h,20h,20h,20h,33h,20h,20h,20h,34h,20h,20h
;" 1   2   3   4"
select_eq1:   db
45h,51h,55h,49h,50h,4Dh,45h,4Eh,54h,20h,31h,20h,20h,20h,20h,20h
;"equipment 1"
select_eq2:   db
45h,51h,55h,49h,50h,4Dh,45h,4Eh,54h,20h,32h,20h,20h,20h,20h,20h
;"equipment 2"
instruct_menu: db
20h,20h,49h,4Eh,53h,54h,52h,55h,43h,54h,49h,4Fh,4Eh,20h,20h,20h
```
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;"instruction"
instruct_choice: db
50h,4Fh,57h,45h,52h,20h,43h,48h,45h,43h,4Bh,20h,54h,49h,4Dh,45h
;"power check time"
yes_no:        db
20h,20h,20h,59h,45h,53h,20h,20h,4Fh,52h,20h,20h,20h,4Eh,4Fh,20h
;"yes or no"
on_or_off:     db
20h,20h,20h,4Fh,4Eh,20h,20h,4Fh,52h,20h,20h,20h,4Fh,46h,46h,20h
;"on or off"
firm_on:       db
20h,20h,20h,4Fh,4Eh,20h,3fh,20h,20h,20h,20h,20h,20h,20h,20h,20h
;"on ?"
firm_off:      db
20h,20h,20h,4Fh,46h,46h,20h,3fh,20h,20h,20h,20h,20h,20h,20h,20h
;"off ?"
on_success:    db
4Fh,4Eh,20h,53h,55h,43h,43h,45h,53h,53h,46h,55h,4Ch,21h,21h,21h
;"on successful!!"
off_success:  db
4Fh,46h,46h,20h,53h,55h,43h,43h,45h,53h,53h,46h,55h,4Ch,21h,21h
;"on successful!!"
press_a_key:  db
50h,52h,45h,53h,53h,20h,20h,41h,4EH,59H,20h,20h,4Bh,45h,59h,20h
;....
now_on:              db
20h,20h,45h,51h,55h,49h,50h,4Dh,45h,4Eh,54h,20h,4Fh,4Eh,20h,20h
;"equipment on"
now_off:       db
20h,20h,45h,51h,55h,49h,50h,4Dh,45h,4Eh,54h,20h,4Fh,46h,46h,20h
;"equipment off"
please_wait:  db
20h,20h,50h,4Ch,45h,41h,53h,45h,20h,20h,57h,41h,49h,54h,20h,20h
;"please wait"
equip:         db
20h,20h,45h,51h,55h,49h,50h,4Dh,45h,4Eh,54h,20h,20h,20h,20h,20h
;"equipment  "
set_time:     db
20h,20h,20h,53h,45h,54h,20h,20h,54h,49h,4Dh,45h,20h,20h,20h,20h
;"set time   ?"
set_on_time:  db
20h,20h,20h,53h,45h,54h,20h,4Fh,4Eh,20h,54h,49h,4Dh,45h,20h,20h
;"set on time"
set_off_time: db
20h,20h,53h,45h,54h,20h,4Fh,46h,46h,20h,54h,49h,4Dh,45h,20h,20h
;"set off time"
zero_to_nine: db 30h,31h,32h,33h,34h,35h,36h,37h,38h,39
; " 0...9"
time_unit:     db 30h,30h,48h,20h,3Ah,20h,30h,30h,4Dh
;"00h : 00m"
transmitting: db
20h,20h,54h,52h,41h,4Eh,53h,4Dh,49h,54h,54h,49h,4Eh,47h,20h,20h
; "transmitting"
not_available: db
20h,20h,4Eh,4Fh,54h,20h,41h,56h,41h,49h,4Ch,41h,42h,4Ch,45h,20h ;
try_again:     db
20h,20h,20h,54h,52h,59h,20h,20h,41h,47h,41h,49h,4Eh,20h,20h,20h
no_time_set:  db
20h,4Eh,4Fh,20h,54h,49h,4Dh,45h,20h,4Fh,4Eh,2Fh,4Fh,46h,46h,20h
; " no time on/off"
question:     db 20h,3fh,20h
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;=============== M A I N  P R O G R A M ==============
      mov last_dtmf_sent,#0   ;----set it to be differencce value
      mov send_dtmf_code,#1                               ; /

main:
      mov sp,#40h                          ; initialize stack pointer

      lcall clear_lcd
      mov dptr,#please_wait                ; load message address
      mov a,#00h                           ; load address on lcd
      mov r3,#16                           ; load number of character
      lcall show_lcd                       ; show lcd
;=============== E N D  O F  M A I N ================
;===========  S E L E C T  E Q U I P M E N T  ========
;This procedure will receive keypad and check if
;  it is equipment selecet key or not ( equip1-equip4 )
;  and if you confirm this procedure will send DTMF code
;  if no it will redo until done
SELECT_EQUIP:
      push 0E0h                                      ; save Acc Reg.
      push 03h                                        ; save R3

      lcall clear_lcd
      mov dptr,#select_eq                      ; load message address
      mov a,#00h                                ; load address on lcd
      mov r3,#16                           ; load number of character
      lcall show_lcd                                 ; show lcd

      mov dptr,#select_no_eq                   ; load message address
      mov a,#40h                               ; load address on lcd
      mov r3,#16                           ; load number of character
      lcall show_lcd                                 ; show lcd

  start_select_equip:
      acall look_up_DTMF                     ; receive DTMF code in A

      cjne a,#kb_equip1,keyEquip2; check if it is equip 1 key or not
      push 0e0h                                 ; save Acc before use
      mov dptr,#select_eq1                     ; load message address
      mov a,#00h                                ; load address on lcd
      mov r3,#16                           ; load number of character
      lcall show_lcd                                 ; show lcd
      pop 0e0h                                      ; load old acc
      ajmp equip_equipment_select             ;if key equip1 pressed

  keyEquip2:
      cjne a,#kb_equip2,keyEquip3
      push 0e0h                                 ; save Acc before use
      mov dptr,#select_eq2                     ; load message address
      mov a,#00h                                ; load address on lcd
      mov r3,#16                           ; load number of character
      lcall show_lcd                                 ; show lcd
      pop 0e0h                                      ; load old acc
      ajmp equip_equipment_select            ; if key equip2 pressed
  keyEquip3:
      cjne a,#kb_equip3,keyEquip4          ; equip 3 not availble now
      lcall clear_lcd
      mov dptr,#not_available
      mov a,#00h                                ; load address on lcd
      mov r3,#16                           ; load number of character
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        lcall show_lcd
        mov dptr,#press_a_key
        mov a,#40h                              ; load address on lcd
        mov r3,#16                            ; load number of character
        lcall show_lcd
        acall look_up_dtmf
        ajmp main
    keyEquip4:
        cjne a,#kb_equip4,start_select_equip;
        lcall clear_lcd
        mov dptr,#not_available               ; equip4 not avaliable now
        mov a,#00h                              ; load address on lcd
        mov r3,#16                            ; load number of character
        lcall show_lcd                                      ; show lcd
        mov dptr,#press_a_key
        mov a,#40h                              ; load address on lcd
        mov r3,#16                            ; load number of character
        lcall show_lcd
        acall look_up_dtmf
        ajmp main                       ; and if wrong key -> recieve new
    equip_equipment_select:          ; if equip1-4 pressed will jump here
        push 0e0h                                               ; save a

        mov send_dtmf_code,a                    ; now code DTMF is saved

        mov dptr,#yes_no                ; load yes or no message address
        mov a,#40h                            ; load yes or no to line 2
        mov r3,#16                            ; load number of character
        lcall show_lcd                                        ; show lcd
        pop 0e0h                                          ; load old acc

     ;============== begin confirm key section ==============
    check_enter_se:
        acall look_up_DTMF                     ; receive DTMF code in A
        cjne a,#kb_enterkey,check_reset_se
        lcall send_dtmf                     ; send select equipment code
        pop 03h                                            ; load old R3
        pop 0E0h                                          ; load Acc reg
        ajmp select_instruction    ; jump to select instruction section
    check_reset_se:
        cjne a,#kb_resetkey,check_delete_se
        pop 03h                                            ; load old R3
        pop 0E0h                                          ; load Acc reg
        ajmp main                    ; if press reset then reset program
    check_delete_se:
        cjne a,#kb_delkey,check_enter_se
        pop 03h                                            ; load old R3
        pop 0E0h                                          ; load Acc reg
        ajmp select_equip                      ; go select new equipment
;============ E N D  O F  S E L E C T E Q U I P M E N T ==========
;================= LOOK UP DTMF CODE FROM KEYPAD ===================
; This procedure will look up code sent from DTMF keypad from Port 0
;     and return DTMF code in Acc Register ( A )
LOOK_UP_DTMF:
      push 02h                              ; save R2

start_lud:
      mov p0,#0ffh;
      mov r3,#0
      mov a,#0ffh
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
check_column:
; --- check col0
      clr p0.7
      mov a,p0                                       ; receive port
      mov r2,a                                       ; save a to r2
      anl a,#0fh                                     ; keep 4 lower bit

      cjne a,#0fh,col_detect

; --- check col1
      setb p0.7
      clr p0.6
      mov a,p0                                       ; receive port
      mov r2,a                                       ; save a to r2
      anl a,#0fh                                     ; keep 4 lower bit
      cjne a,#0fh,col_detect
; --- check col2
      setb p0.6
      clr p0.5
      mov a,p0                                       ; receive port
      mov r2,a                                       ; save a to r2
      anl a,#0fh                                     ; keep 4 lower bit
      cjne a,#0fh,col_detect
; --- check col3
      setb p0.5
      clr p0.4
      mov a,p0                                       ; receive port
;     setb p0.4
      mov r2,a                                       ; save a to r2
      anl a,#0fh                                     ; keep 4 lower bit
      cjne a,#0fh,col_detect
      ajmp start_lud

 col_detect:

      mov a,p0                                       ; receive port
      cjne a,2h,exit_lud
      jmp col_detect

 exit_lud:
      mov a,r2

      pop 02h                              ; return old R2
 ret
;============= E N D  O F  P R O C E D U R E =========
;============= S E L E C T   I N S T R U C T I O N ==============
; This procedure will select instruction and keep instruction key
; in Acc register
SELECT_INSTRUCTION:
      push 02h                                       ; save R2
      push 03h                                       ; save R3

      lcall clear_lcd
      mov dptr,#instruct_menu                        ; load message address
      mov a,#00h                                     ; load address on lcd
      mov r3,#16                                     ; load number of character
      lcall show_lcd                                 ; show lcd
      mov dptr,#instruct_choice                      ; load message address
      mov a,#40h                                     ; load address on lcd
      mov r3,#16                                     ; load number of character
      lcall show_lcd                                 ; show lcd
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
-

start_select_instruct:
    acall look_up_DTMF                    ; receive DTMF code in A
; key power pressed
    cjne a,#kb_power,keyStatus_si; check if it is power key or not
    pop 03h                                              ; load old R3
    pop 02h
    ; load old R2
    ajmp power_operation

keyStatus_si:
    cjne a,#kb_status,keyTime_si   ; check if it is check status
key or not
    pop 03h                                              ; load old R3
    pop 02h
    ; load old R2
    call check_status
    jmp main

keyTime_si:
    cjne a,#kb_time,keyReset_si
    pop 03h                                              ; load old R3
    pop 02h
    ; load old R2
    ajmp set_time_operation
keyReset_si:
    cjne a,#kb_resetkey,keyDelete_si
    mov send_dtmf_code,#kb_resetKey
    lcall send_dtmf
    pop 03h                                              ; load old R3
    pop 0E0h                                             ; load Acc reg
    ajmp main                             ; go select new equipment
keyDelete_si:
    cjne a,#kb_Delkey,start_select_instruct
    mov send_dtmf_code,#kb_delkey
    lcall send_dtmf
    pop 03h                                              ; load old R3
    pop 0E0h                                             ; load Acc reg
    ajmp main                             ; go select new equipment

;============= E N D  O F  P R O C E D U R E =========
;=========== P O W E R ( ON/OFF ) E Q U I P M E N T ==========
POWER_OPERATION:
    push 0e0h                                            ; save old acc
    push 03h                                             ; save r3
    push 02h                                             ; save R2

    lcall clear_lcd
    mov dptr,#on_or_off                       ; load message address
    mov a,#00h                                ; load address on lcd
    mov r3,#16                            ; load number of character
    lcall show_lcd                                        ; show lcd

start_on_off:
    acall look_up_DTMF                    ; receive DTMF code in A

    cjne a,#kb_on,keyoff_po      ; check if it is power key or not
    push 0e0h                                 ; save Acc before use
    mov dptr,#firm_on                         ; load message address
    mov a,#00h                                ; load address on lcd
    mov r3,#16                            ; load number of character
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        lcall show_lcd                                    ; show lcd
        pop 0e0h
        ajmp end_test_key_po                    ; if key power pressed

    keyOff_po:
        cjne a,#kb_off,keyReset_po
        push 0e0h                                ; save Acc before use
        mov dptr,#firm_off                      ; load message address
        mov a,#00h                               ; load address on lcd
        mov r3,#16                            ; load number of character
        lcall show_lcd                                      ; show lcd
        pop 0e0h
        ajmp end_test_key_po                   ; if key set time pressed

    keyReset_po:
        cjne a,#kb_resetkey,keyDelete_po
        mov send_dtmf_code,#kb_resetKey
        lcall send_dtmf
        pop 02h                                         ; load old R3
        pop 030h                                        ; load Acc reg
        pop 0e0h                                       ; load old flag
        ajmp main                             ; go select new equipment
    keyDelete_po:
        cjne a,#kb_Delkey,start_on_off
        pop 02h                                         ; load old R3
        pop 030h                                        ; load Acc reg
        pop 0e0h                                       ; load old flag
        ajmp select_instruction               ; go select new equipment

  end_test_key_po:
        mov r2,a
        ; copy key from a to r2
        push 0e0h                                ; save Acc before use
        mov dptr,#yes_no                ; load yes or no message address
        mov a,#40h                            ; load yes or no to line 2
        mov r3,#16                            ; load number of character
        lcall show_lcd                                      ; show lcd
        pop 0e0h                                          ; load old acc
    ;============= begin confirm key section ==============
    check_enter_po:
        acall look_up_DTMF                     ; receive DTMF code in A
        cjne a,#kb_enterkey,check_reset_po
        cjne r2,#kb_on,goto_off_po                ; go to on equipment
        pop 02h                                        ; load old R2
        pop 03h                                        ; load old R3
        pop 0e0h
        ajmp on_operation
        goto_off_po:                             ; go to off equipment
        pop 02h                                      ; load old R2
        pop 03h                                      ; load old R3
        pop 0e0h
        ajmp off_operation

    check_reset_po:
        cjne a,#kb_resetkey,check_delete_po
        mov send_dtmf_code,#kb_resetKey
        lcall send_dtmf
        pop 02h                                         ; load old R2
        pop 03h                                         ; load old R3
        pop 0e0h                                       ; load old flag
        ajmp main                 ; if press reset then reset program
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงแหล่งที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  check_delete_po:
      cjne a,#kb_delKey,check_enter_po
      pop 02h                                       ; load old R2
      pop 03h                                       ; load old R3
      pop 0e0h                                     ; load old flag
      ajmp power_operation                ; go select new equipment
;============= E N D  O F  P R O C E D U R E =========
;============= O N  R E M O T E  E Q U I P M E N T ============
ON_OPERATION:
      push 0e0h                                     ; save old acc
      push 02h                                      ; save R2
      push 03h                                      ; save R3
      mov send_dtmf_code,#kb_power
      lcall send_dtmf                    ; send power instruction
      mov send_dtmf_code,#kb_on                     ; send on code
      lcall send_dtmf
      lcall clear_lcd
      mov dptr,#on_success                  ; load message address
      mov a,#00h                             ; load address on lcd
      mov r3,#16                        ; load number of character
      lcall show_lcd                                 ; show lcd
      mov dptr,#press_A_key                 ; load message address
      mov a,#40h                             ; load address on lcd
      mov r3,#16                        ; load number of character
      lcall show_lcd                                 ; show lcd
      acall look_up_DTMF                 ; receive DTMF code in A
      pop 03h
      pop 02h
      pop 0e0h
      ajmp main                          ; go to wait new command
;============= E N D  O F  P R O C E D U R E =========
;============= O F F  R E M O T E  E Q U I P M E N T ============
OFF_OPERATION:
    push 0e0h                                     ; save old acc
      push 02h                                      ; save R2
      push 03h                                      ; save R3

      mov send_dtmf_code,#kb_power  ; send power instruction code
      lcall send_dtmf
      mov send_dtmf_code,#kb_off                  ; send off code
      lcall send_dtmf
      lcall clear_lcd
      mov dptr,#off_success                 ; load message address
      mov a,#00h                             ; load address on lcd
      mov r3,#16                        ; load number of character
      lcall show_lcd                                 ; show lcd
      mov dptr,#press_A_key                 ; load message address
      mov a,#40h                             ; load address on lcd
      mov r3,#16                        ; load number of character
      lcall show_lcd                                 ; show lcd
      acall look_up_DTMF                 ; receive DTMF code in A
      pop 03h
      pop 02h
      pop 0e0h
      ajmp main                          ; go select new
equipment
;============= E N D  O F  P R O C E D U R E =========
;========= C H E C K  S T A T U S  O F  E Q U I P M E N T ======
; This procedure check status of remote computer
CHECK_STATUS:
push 0f0h
```

เอกสารนี้เป็นเผยแพร่ในเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
push 0e0h
push 05h
push 04h
push 03h

hour1_cs    equ 34h
hour2_cs    equ 35h
minute1_cs  equ 36h
minute2_cs  equ 37h
on_off_cs   equ 38h               ; keep code on or off of equipment

      lcall clear_lcd
      mov dptr,#please_wait
      mov a,#00h
      mov r3,#16                                       ; show menu to
select to set
      lcall show_lcd

mov send_dtmf_code,#kb_status
lcall send_dtmf

find_start_byte:
      lcall receive_dtmf
      cjne a,#button5,find_start_byte                    ; find "0101"
      lcall receive_dtmf                               ; on/off status
      mov on_off_cs,a                        ; keep on/off in variable
      lcall receive_dtmf                                 ; # code
      cjne a,#buttonsharp,end_no_time


      ;; receive time value
      acall receive_dtmf
      mov hour1_cs,a
      acall receive_dtmf
      mov hour2_cs,a
      acall receive_dtmf
      mov minute1_cs,a
      acall receive_dtmf
      mov minute2_cs,a

      ;change value and calculate

      mov b,#10
      mov a,hour1_cs
      acall change_Value             ; change receive code into right
      mul ab                         ; r4 = hour1 * 10  + hour 2
      mov r4,a                       ; save a
      mov a,hour2_cs
      acall change_value
      add a,r4
      mov r4,a
      mov b,#10
      mov a,minute1_cs
      acall change_Value             ; change receive code into right
      mul ab                         ; r5 = minute1 * 10  + minute 2
      mov r5,a                             ; save a
      mov a,minute2_cs
      acall change_value
      add a,r5
      mov r5,a
      cjne r5,#60,print_time_cs
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นได้รับอนุญาตและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      inc r4                          ; if minute is 60 then add 1 hour
      mov r5,#0

      ; - PRINT TIME ON 2ND LINE - ;
 print_time_cs:
      mov dptr,#time_unit
      mov a,#44h
      mov r3,#9                                        ; manipulate LCD
      lcall show_lcd                              ; for setting up time
      lcall print_hour                             ; print hour in r4
      lcall print_minute                           ; print minute in r5
      jmp show_equip_status

 end_no_time:
      ; - PRINT NO TIME ON 2ND LINE - ;
      mov dptr,#no_time_set
      mov a,#40h
      mov r3,#16                          ; show menu to select to set
      lcall show_lcd

 show_equip_status:
      mov r4,on_off_cs
    cjne r4,#button7,equip_is_on          ; check with off
      mov dptr,#now_off
      mov a,#0h
      mov r3,#16                          ; show menu to select to set
      lcall show_lcd
      jmp exit_cs
 equip_is_on:
      mov dptr,#now_on
      mov a,#0h
      mov r3,#16                          ; show menu to select to set
      lcall show_lcd
 exit_cs:
 lcall look_up_dtmf
pop 03h
pop 04h
pop 05h
pop 0e0h
pop 0f0h
      ret
;============= E N D  O F  P R O C E D U R E =========
;================== S E T  T I M E ================
; r4 keep hour
; r5 keep minute :: caution!!( r5 is also used by variable temp use
in select
;                              instruction ) but that variable no use
here so we can use it
SET_TIME_OPERATION:
      push 0e0h
      push 03h
time_onoff_code   equ 39h              ; keep set time on or off code
 start_set_time_operation:
      lcall clear_lcd
      mov dptr,#set_time
      mov a,#01h
      mov r3,#15                          ; show menu to select to set
      lcall show_lcd                    ; time for on or off equipment
      mov dptr,#on_or_off
      mov a,#40h
      mov r3,#16
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
     lcall show_lcd
check_key_sto:
     acall look_up_dtmf                ; receive choice from keypad

     cjne a,#kb_on,set_off_sto                     ; branch choice
;---- SET ON TIME SELECTED -----;
     mov time_onoff_code,#kb_on          ; set code set time on
     lcall clear_lcd
     mov dptr,#set_on_time                   ; load message address
     mov a,#00h                               ; load address on lcd
     mov r3,#16                          ; load number of character
     lcall show_lcd                                       ; show lcd
     jmp set_time_sto                          ; jmp to set time
set_off_sto:
     cjne a,#kb_off,keyReset_sto
; ---- SET OFF TIME SELECTED -----;
     mov time_onoff_code,#kb_off         ; set code set time on
     lcall clear_lcd
     mov dptr,#set_off_time                  ; load message address
     mov a,#00h                               ; load address on lcd
     mov r3,#16                          ; load number of character
     lcall show_lcd                                       ; show lcd
   jmp set_time_sto                               ; jmp to set time

 keyReset_sto:
     cjne a,#kb_resetkey,keyDelete_sto
     mov send_dtmf_code,#kb_resetKey
     lcall send_dtmf
     pop 03h
     pop 0e0h
     ajmp main                            ; go select new equipment
 keyDelete_sto:
     cjne a,#kb_Delkey,check_key_sto
     pop 03h
     pop 0e0h
     ajmp select_instruction              ; go select new equipment

;-------- SET AMOUNT OF TIME  HH:MM --------;
set_time_sto:

     mov r4,#0                                  ; initialize value
     mov r5,#0                        ; r4 keep hours ,r5 keep minutes
     push 0e0h                                                  ;
     mov dptr,#time_unit                   ; show HH:MM on 2nd line
     mov a,#44h
     mov r3,#9                                      ; manipulate LCD
     lcall show_lcd                            ; for setting up time
     pop 0e0h
 set_hour_sto:
     acall print_hour                            ; print hour on lcd
     acall look_up_dtmf                                  ;set_hour up
                                                    ; increase hour
     cjne a,#kb_up,set_hour_down              ; set hour value first
     cjne r4,#23,shs1                 m ; check if hour more than 23
     mov r4,#0
     jmp set_hour_sto
 shs1:
     inc r4
     jmp set_hour_sto

 set_hour_down:                               ; decrease hour value
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        cjne a,#kb_down,key_minute_sto
        cjne r4,#0,shs2                          ; check if hour less than 0
        mov r4,#23                                       ; < hour is 0-23 )
        jmp set_hour_sto
    shs2:
        dec r4
        jmp set_hour_sto

    key_minute_sto:                              ; check for key change to
        cjne a,#kb_minute,key_enter_sto                ; set minute value
        jmp set_minute_sto

    key_enter_sto:
        cjne a,#kb_EnterKey,keyreset_sto2
        push 0e0h
        mov dptr,#set_time                           ; load message address
        mov a,#00h                                    ; load address on lcd
        mov r3,#15                                ; load number of character
        lcall show_lcd                                        ; show lcd
        mov dptr,#question                                   ;" print ?"
        mov a,#0ch
        mov r3,#3
        lcall show_lcd
        pop 0e0h

     ;============= begin confirm key section ==============
    check_enter_sto:
        acall look_up_DTMF              ; receive DTMF code from keypad
        cjne a,#kb_enterkey,check_reset_sto
        mov send_dtmf_code,#kb_time    ; send set time on/off code
        lcall send_dtmf
        mov send_dtmf_code,time_onoff_code  ; send set time on or set
time off code
        lcall send_dtmf
        pop 03h
        pop 0e0h
        ajmp send_set_time                          ; send time value HH:MM
    check_reset_sto:
        cjne a,#kb_resetkey,check_delete__sto
        mov send_dtmf_code,#kb_resetKey
        lcall send_dtmf
        pop 03h
        pop 0e0h
        ajmp main                    ; if press reset then reset program
    check_delete__sto:
        cjne a,#kb_delkey,check_enter_sto
        pop 03h
        pop 0e0h
        jmp set_hour_sto                         ; go select new equipment
;===========    ==========     ===========    ============

    keyReset_sto2:
        cjne a,#kb_resetkey,keyDelete_sto2
        mov send_dtmf_code,#kb_resetKey
        lcall send_dtmf
        pop 03h
        pop 0e0h
        ajmp main                                ; go select new equipment
    keyDelete_sto2:
        cjne a,#kb_Delkey,tmp_set_hour_sto
        ajmp start_set_time operation            ; go select new equipment
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
tmp_set_hour_sto:
     ajmp set_hour_sto

; -----SET MINUTE VALUE ------
 set_minute_sto:                              ; -----set minute value ------
     acall print_minute
     acall look_up_dtmf
;set up button
     cjne a,#kb_up,set_minute_down
     cjne r5,#59,sms1                         ; check if minute more than 60
     mov r5,#0
     jmp set_minute_sto
 sms1:
     inc r5
     jmp set_minute_sto

 set_minute_down:
     cjne a,#kb_down,key_hour_sto
     cjne r5,#0,sms2                          ; check if minute less than 0
     mov r5,#59                                   ; miniute is between 0-59
     jmp set_minute_sto
 sms2:
     dec r5
     jmp set_minute_sto

 key_hour_sto:
     cjne a,#kb_hour,key_enter_sto2
     jmp set_hour_sto

 key_enter_sto2:
     cjne a,#kb_enterKey,keyreset_sto3
     push 0e0h
     mov dptr,#set_time                             ; load message address
     mov a,#00h                                      ; load address on lcd
     mov r3,#15                                  ; load number of character
     lcall show_lcd                                            ; show lcd
     mov a,#3fh                                                   ; " ?"
     setb p1.3                                      ; set rs=1
     clr p1.4                                       ; set r/w=0
     lcall send_porta                                ; send Character
     lcall epulse                                ; trick one pulse on e pin
     pop 0e0h

  ;============= begin confirm key section ==============
 check_enter_sto2:
     acall look_up_DTMF                      ; receive DTMF code from keypad
  ; --- key enter pressed --- ;
     cjne a,#kb_enterkey,check_reset_sto

     mov send_dtmf_code,#kb_time             ; send set time on/off code
     lcall send_dtmf

     mov send_dtmf_code,time_onoff_code    ; send set time on or set
time off code
     lcall send_dtmf
     pop 03h
     pop 0e0h
     ajmp send_set_time                        ; send time value HH:MM

 check_reset_sto2:
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        cjne a,#kb_resetkey,check_delete_sto2
        mov send_dtmf_code,#kb_resetKey
        lcall send_dtmf
        pop 03h
        pop 0e0h
        ajmp main                  ; if press reset then reset program
    check_delete_sto2:
        cjne a,#kb_delkey,check_enter_sto2
        jmp set_minute_sto                   ; go select new equipment
;===========    ==========     ===========   ============

    keyReset_sto3:
        cjne a,#kb_resetkey,keyDelete_sto3
        mov send_dtmf_code,#kb_resetKey
        lcall send_dtmf
        pop 03h
        pop 0e0h
        ajmp main                            ; go select new equipment
    keyDelete_sto3:
        cjne a,#kb_Delkey,tmp_set_minute_sto
        pop 03h
        pop 0e0h
        ajmp start_set_time_operation        ; go select new equipment

  tmp_set_minute_sto:           ; because jmp is to short to jmp to
set_minute_sto
        ajmp set_minute_sto

;============= E N D  O F  P R O C E D U R E =========
;=========  S E N D   S E T   T I M E==========
; R4  must keep hour R5 must keep minute
SEND_SET_TIME:
        push 0e0h
        push 0f0h
        push 04h
        push 03h

        lcall clear_lcd
        mov dptr,#transmitting
        mov a,#00h
        mov r3,#16
        lcall show_lcd

        mov a,#11               ; button #
        acall send_time_number

        ; send hour in r4
        mov a,r4
        mov b,#10
        div ab
              ; do a/b
        acall send_time_number        ; send bit a3..a0 to receiver

        mov a,b
        acall send_time_number

        ; send minute in r5
        mov a,r5
        mov b,#10
        div ab
        acall send_time_number
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นได้รับอนุญาตจากเจ้าของ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      mov a,b
      acall send_time_number

      pop 03h
      pop 04h
      pop 0fh
      pop 0e0h
      ajmp main

;============= E N D  O F  P R O C E D U R E =========
;============= P R I N T   H O U R ================
;print hour in 2nd line of LCD
PRINT_HOUR:
      push 05h
      push 04h
      ; save r4
      push 0e0h
      push 0f0h

      mov a,r4
      mov b,#10
      div ab
            ; do a/b

  ;--set address lcd
      push 0e0h
      mov a,#11000100b                        ; set DD ram 44h
      clr p1.3                                ; set rs=0
      clr p1.4                                ; set r/w=0
      lcall send_porta                         ; send DD ram address
      lcall epulse                           ; trick one pulse on e pin
      pop 0e0h
  ;-- send character
      push 0e0h
      add a,#30h                                    ; change to ascii
      setb p1.3                               ; set rs=1
      clr p1.4                                ; set r/w=0
      lcall send_porta                         ; send Character
      lcall epulse                           ; trick one pulse on e pin
      pop 0e0h
      mov a,b                                ; move remainder to a
  ;-- send character
      push 0e0h
      add a,#30h                                    ; change to ascii
      setb p1.3                               ; set rs=1
      clr p1.4                                ; set r/w=0
      lcall send_porta                         ; send Character
      lcall epulse                           ; trick one pulse on e pin
      pop 0e0h
      pop 0f0h
      pop 0e0h
      pop 04h
      pop 05h
ret
;============= P R I N T   M I N U T E ================
;print minute in 2nd line of LCD
PRINT_MINUTE:
      push 05h
      push 04h                                 ; save r4
      push 0e0h
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        push 0f0h

        mov a,r5
        mov b,#10
        div ab                                          ; do a/b

    ;--set address lcd
        push 0e0h
        mov a,#11001010b                          ; set DD ram 4ah
        clr p1.3                                  ; set rs=0
        clr p1.4                                  ; set r/w=0
        lcall send_porta                           ; send DD ram address
        lcall epulse                          ; trick one pulse on e pin
        pop 0e0h
    ;-- send character
        push 0e0h
        add a,#30h                                    ; change to ascii
        setb p1.3                                 ; set rs=1
        clr p1.4                                  ; set r/w=0
        lcall send_porta                           ; send Character
        lcall epulse                          ; trick one pulse on e pin
        pop 0e0h
        mov a,b                               ; move remainder to a
    ;-- send character
        push 0e0h
        add a,#30h                                    ; change to ascii
        setb p1.3                                 ; set rs=1
        clr p1.4                                  ; set r/w=0
        lcall send_porta                           ; send Character
        lcall epulse                          ; trick one pulse on e pin
        pop 0e0h
        pop 0f0h
        pop 0e0h
        pop 04h
        pop 05h
ret
;=================== E N D   P R O C E D U R E
======================
; send bit a3.. a0 to receiver
;        value                key_send
;          1                        buttonB      (kb_on)
;          2                        buttonC      (kb_resetKey)
;          3                        buttonD  (kb_Delkey)
;          4                        button4  (kb_power)
;          5                        button5  (kb_check)
;          6                        button6  (kb_time)
;          7                        button7  (kb_off)
;          8                        button8  (kb_hour)
;          9                        button9  (kb_minute)
;          0                        button0  (kb_down)
;   split key(11)             buttonSharp   (kb_EnterKey)
SEND_TIME_NUMBER:
            cjne a,#1,stn_2
            mov send_dtmf_code,#kb_on
            jmp exit_stn
      stn_2:
            cjne a,#2,stn_3
            mov send_dtmf_code,#kb_resetKey
            jmp exit_stn
      stn_3:
            cjne a,#3,stn_4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        mov send_dtmf_code,#kb_delKey
        jmp exit_stn
    stn_4:
        cjne a,#4,stn_5
        mov send_dtmf_code,#kb_power
        jmp exit_stn
    stn_5:
        cjne a,#5,stn_6
        mov send_dtmf_code,#kb_status
        jmp exit_stn
    stn_6:
        cjne a,#6,stn_7
        mov send_dtmf_code,#kb_time
        jmp exit_stn
    stn_7:
        cjne a,#7,stn_8
        mov send_dtmf_code,#kb_off
        jmp exit_stn
    stn_8:
        cjne a,#8,stn_9
        mov send_dtmf_code,#kb_hour
        jmp exit_stn
    stn_9:
        cjne a,#9,stn_0
        mov send_dtmf_code,#kb_minute
        jmp exit_stn
    stn_0:
        cjne a,#0,stn_11
        mov send_dtmf_code,#kb_down
        jmp exit_stn
    stn_11:
        cjne a,#11,exit_stn
        mov send_dtmf_code,#kb_Enterkey
        jmp exit_stn

    exit_stn:
        lcall send_dtmf
ret
;============= S E N D   D T M F   C O D E ============
; This proc will send DTMF code from Port 3
;
; You must enter code in variable send_dtmf_code first
SEND_DTMF:
    push 0e0h                                   ; save Acc
    push 02h                                    ; save r2

    ;---- check for send the same key with last key ---
    mov a,send_dtmf_code                   ; copy value to test
    subb a,last_dtmf_sent   ; if it is same key then Acc will be 0
    jnz continue_send_dtmf
    mov send_dtmf_code,#kb_up     ; button * mean repeat last key

 continue_send_dtmf:
    mov a,#0ffh                   ; use to reset DTMF generater
    mov p3,a
    lcall delay_signal
    mov a,send_dtmf_code
    mov p3,a                                    ; send signal

    mov last_dtmf_sent,a                    ; save last send code
    lcall count_0_5sec
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        pop 02h
        pop 0e0h
ret
;============= E N D  O F  P R O C E D U R E =========
RECEIVE_DTMF:
        push 02h
  start_receive:
        lcall receive_portc      ; look_up port c to find current DTMF
        anl a,#0fh                     ; clear a7..a4
        cjne a,last_receive_code,receive_new_key
        jmp start_receive

  receive_new_key:
     cjne a,#buttonstar,exit_rns      ; if signal is repeat key
        mov r2,a                              ;
        mov a,last_receive_code ; change a to last_receive signal
        mov last_receive_code,r2       ;  and get repeat key in
last_receive_code
        pop 02h
        ret

  exit_rns:
        mov last_receive_code,a
        pop 02h
ret
;============= E N D  O F  P R O C E D U R E =========
;=================== C H A N G E  R E C E I V E V A L U E
===================
; change receive value in Acc into normal number
; send bit a3.. a0 to receiver
;        value                key_send
;          1                       buttonB (kb_on)
;          2                       buttonC (kb_resetKey)
;          3                       buttonD (kb_Delkey)
;          4                       button4 (kb_power)
;          5                       button5 (kb_check)
;          6                       button6 (kb_time)
;          7                       button7 (kb_off)
;          8                       button8 (kb_hour)
;          9                       button9 (kb_minute)
;          0                       button0 (kb_down)

CHANGE_VALUE:
        cjne a,#buttonB,cv_2
        mov a,#1
        jmp exit_cv
 cv_2:
        cjne a,#buttonC,cv_3
        mov a,#2
        jmp exit_cv
 cv_3:
        cjne a,#buttond,cv_4
        mov a,#3
        jmp exit_cv
 cv_4:
        cjne a,#button4,cv_5
        mov a,#4
        jmp exit_cv
 cv_5:
        cjne a,#button5,cv_6
        mov a,#5
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
       jmp exit_cv
 cv_6:
       cjne a,#button6,cv_7
       mov a,#6
       jmp exit_cv
 cv_7:
       cjne a,#button7,cv_8
       mov a,#7
       jmp exit_cv
 cv_8:
       cjne a,#button8,cv_9
       mov a,#8
       jmp exit_cv
 cv_9:
       cjne a,#button9,cv_0
       mov a,#9
       jmp exit_cv
 cv_0:
       cjne a,#button0,cv_repeat
       mov a,#0
       jmp exit_cv
 cv_repeat:
       cjne a,#buttonstar,exit_cv          ; repeat key
       mov a,last_receive_code        ; then exchange with last
receive and check new
       jmp change_value
 exit_cv:
ret
;==================== E N D   P R O C E D U R E =================
;============= I N I T I A L I Z E   8 2 5 5 ================
; 82C55 is connect  data port -> port 2 of 8052
;                   a0 , a1   -> p1.0 ,p1.1
;                              ~cs    -> p1.2
;                               rd    -> p1.6
;                               wr    -> p1.7
;   and we'll do port A       -> output < data LCD >
;                port C       -> input  < DTMF receive >
INIT_8255:
      setb p1.6          ; set rd pin of 8255
      setb p1.7          ; set wr pin of 8255
      setb p1.2          ; set cs pin of 8255

      clr p1.2
      clr p1.7    ; wr pin
      setb p1.0                               ; send A0=1 \____
tell 8255 receive
      setb p1.1                               ; send A1=1 /
control word
      mov p2,#10001001b                       ; send control word
      setb p1.7
      setb p1.2
ret
;========== E N D  O F   I N I T I A L   8 2 5 5 ===========

;============= S E N D  D A T A  T O  P O R T  A =============
; This procedure send data to port A of 8255
;  You must place your data on Acc register
SEND_PORTA:
      clr p1.2             ; ~cs = 0
      clr p1.0             ; a0=0
      clr p1.1             ; a1=0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      clr p1.7                  ; ~wr =0
      mov p2,a                  ; mov data to 8255
      setb p1.7                 ; ~wr =1
      setb p1.2
ret
;========= E N D  O F  S E N D  D A T A  P O R T  A =========
;=========== R E C E I V E   D A T A  F R O M  P O R T  C =========
; This procedure receive data from port C of 8255
;  It will place data on Acc register
RECEIVE_PORTC:
      clr p1.2
      clr p1.6                  ; rd signal
      clr p1.0                                  ; send A0=0 \____ tell
to send
      setb p1.1                                 ; send A1=1 /     data
from port C
       mov p2,#0ffh                               ; set port 0 to be
input
      call delay_signal
      mov a,p2                                  ; receive data to port
      setb p1.6
      setb p1.2
ret
;===== E N D  R E C E I V E  D A T A  F R O M  P O R T  C =====
;============= I N I T I A L I Z E  L C D ================
; LCD is connect data port  -> port A of 8255
;                  rs       -> port P1.3 of 8051
;                  r/w      -> port P1.4 of 8051
;                  e        -> port P1.5 of 8051
INIT_LCD:
      push 0E0h                       ; save old Acc

      mov a,#00111000b          ; function set dl=1(8 bits),N=1(2
lines),F=0(5x7 size)
      clr p1.3                  ; set rs=0
      clr p1.4                  ; set r/w=0
      lcall send_porta           ; send control word to lcd ( port a )
      lcall epulse                      ; trick on pulse on e pin
      lcall delay_signal         ; delay for initialize time

      mov a,#00001100b       ; display control d=1(on),c=0(cursor off)
      clr p1.3                  ; set rs=0
      clr p1.4                  ; set r/w=0
      lcall send_porta           ; send control word to lcd ( port a )
      lcall epulse               ; trick on pulse on e pin

      mov a,#00000110b          ; entry mode set i/d=1(increment),S=0
(cursor go right)
      clr p1.3                  ; set rs=0
      clr p1.4                  ; set r/w=0
      lcall send_porta           ; send control word to lcd ( port a )
      lcall epulse               ; trick on pulse on e pin

      mov a,#00010100h          ; cursor shift s/c=0,r/l=1 move cursor
to right
      clr p1.3                  ; set rs=0
      clr p1.4                  ; set r/w=0
      lcall send_porta           ; send control word to lcd ( port a )
      lcall epulse               ; trick on pulse on e pin
      lcall clear_lcd            ; clear lcd
      pop 0E0h                  ; load old Acc
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ret
;========== E N D  O F   I N I T I A L  L C D ============

;============= S H O W  L C D =================
; This procedure will show  character on LCD
;    You must send Address of message -> DPTR
;            First  character address -> Acc
;      Number of character to display -> R3
SHOW_LCD:
      push 82h                              ; save DPL ( DPTR )
      push 83h                              ; save DPH ( DPTR )
      push 0E0h                             ; save Acc
      push 03h                              ; save R3
      orl a,#10000000b      ; set DD ram so make MSB of address -> 1
      clr p1.3                              ; set rs=0
      clr p1.4                              ; set r/w=0

      lcall send_porta                       ; send DD ram address
      lcall epulse                       ; trick one pulse on e pin
  loop_show_lcd:
      clr a                 ; clear Acc to use in next instruction
      movc a,@a+dptr                     ; load character data in a
      setb p1.3                             ; set rs=1
      clr p1.4                              ; set r/w=0
      lcall send_porta                       ; send Character
      lcall epulse                       ; trick one pulse on e pin
      inc dptr                            ; point to next character
    djnz r3,loop_show_lcd      ; loop until send all of character
      pop 03h                               ; load old R3
      pop 0e0h                              ; load old Acc
      pop 83h                               ; load old DPH
      pop 82h                               ; load old DPL
ret
;========= E N D  OF  S H O W  L C D ============

;============= C L E A R  L C D ===============
CLEAR_LCD:
      push 0E0h                             ; save old Acc
      mov a,#00000001b                      ; clear display
      clr p1.3                              ; set rs=0
      clr p1.4                              ; set r/w=0
      lcall send_porta         ; send control word to lcd ( port a )
      lcall epulse                       ; trick one pulse on e pin

      mov a,#00000010h         ; return home command
      clr p1.3                 ; set rs=0
      clr p1.4                 ; set r/w=0
      lcall send_porta          ; send control word to lcd ( port a )
      lcall epulse              ; trick on pulse on e pin
      pop 0E0h                              ; load old Acc
ret
;===========E N D  C L E A R  L C D ===========

;=========== M A K E  O N E  P U L S E ==========
;       Make one pulse to E pin on LCD ,E connected with P1.4
EPULSE:
      clr p1.5                         ; Pulse will be like this
      setb p1.5                             ;       /    \
      call delay_signal                     ; ____/      \______
      clr p1.5
ret
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;======== E N D  E P U L S E =============
;=========== M A K E  D E L A Y ==========
DELAY_SIGNAL:
  push 01h
      mov r1,#0ffh
  start_delay_signal:
      djnz r1,start_delay_signal
  pop 01h
ret
;======== E N D  M A K E  D E L A Y ========
;======== COUNT 0.5 SECOND ========
COUNT_0_5SEC:
         push 02h
         mov r2,#10
start_count_sec:
         mov TMOD,#00000001b        ; use Timer 0 16 bit
         mov TCON,#0
         clr tr0
         mov th0,#3ch ;delay 1 sec  the real Calcuate value is #3ch
         mov tl0,#0d0h; delay 1 sec

         setb tr0

loop_countsec:
            jnb tf0,loop_countsec

            djnz r2,start_count_sec
            pop 02h
      ret

EXIT:
ajmp $
end
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
; Remote equipment 1
; on_off equipment pin is at port 0.0
; check on_off bit is at port 0.4
; port 2.0...2.3 connect with D0...D3 of Detect DTMF
; r4 keep hour , r5 keep minute
org 0000h
equip_number        EQU 00000001b     ; select equipment code(if u
want to change equipment :changeto 1=0001 ,2=0010 ,3=0011 ,4=1010
power_code          EQU 00000100b     ; key power code ( button 4 )
set_time_code       EQU 00000110b     ; key set time ( button 6 )
on_code             EQU 00001110b     ; on key code ( button B )
off_code            EQU 00000111b     ; off key code ( button 7 )
reset_code          EQU 00001111b     ; return to main code
delkey_code         EQU 00000000b     ; back one step code
check_code          EQU 00000101b
repeat_code         EQU 00001011b
down_code           EQU 00001010b
hour_code           EQU 00001000b
minute_code         EQU 00001001b
sharp_code          EQU 00001100b
;=================== CODE FOR SEND DTMF ===================
kb_equip1   equ  01111110b                            ;button 1
kb_equip2   equ  10111110b                            ;button 2
kb_equip3   equ  11011110b                            ;button 3
kb_equip4   equ  11101110b                            ;button A
kb_power    equ  01111101b                            ;button 4
kb_status   equ  10111101b                            ;button 5
kb_time     equ  11011101b                            ;button 6
kb_on       equ  11101101b                            ;button B
kb_off      equ  01111011b                            ;button 7
kb_hour     equ  10111011b                            ;button 8
kb_minute   equ  11011011b                            ;button 9
kb_ResetKey equ 11101011b                             ;button C
kb_Up          equ 01110111b                          ;button *
kb_down     equ  10110111b                            ;button 0
kb_EnterKey equ 11010111b                             ;button #
kb_DelKey      equ 11100111b                          ;button D

send_dtmf_code           EQU 30h
last_dtmf_sent           EQU 31h
last_receive_code        EQU 32h           ; keep last received code
cs_equip_status          EQU 33h
hour  EQU 34h
minute  EQU 35H

status equ 06h                  ; use to keep status while count time
;----------- I N I T I A L I Z E   V A L U E ---------
      clr p0.0                                ; off equipment
      mov p1,#kb_resetKey                     ; reset dtmf gen

START:
      mov sp,#40h                        ; init. stack pointer
      mov hour,#0                        ; clear time hour
      mov minute,#0                      ; clear time minute
      mov r6,#0                          ; clear status
      mov send_dtmf_code,#0feh
      mov last_receive_code,#0ffh    ; set to unequal to this equip
number
MAIN:
      acall receive_next_signal               ; receive DTMF
      cjne a,#equip_number,main               ; check own code
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        ajmp receive_instruction                              ; if receive own
 code then select instruction

;============= R E C E I V E   I N S T R U C T I O N ============
; scan port 2 to look up for instruction code
RECEIVE_INSTRUCTION:
 start_receive_instruction:
        acall receive_next_signal                             ; receive DTMF

        cjne a,#power_code,check_status_sri  ; check power operation
code
        ajmp power_instruction                        ; jmp to power instruction

 check_status_sri:
        cjne a,#check_code,check_set_time_sri
        call check_status
        jmp main

 check_set_time_sri:
        cjne a,#set_time_code,check_delkey_sri  ; check code
        ajmp set_time_instruction ; jmp to set time on/off instruction

 check_delkey_sri:
        cjne a,#delkey_code,check_reset_sri  ; check code
        ajmp main                               ; jmp to set time on/off
instruction

 check_reset_sri:                                       ; check for reset signal
        cjne a,#reset_code,start_receive_instruction ; check own code
        ajmp start
;===================== E N D   P R O C E D U R E ==================

;============== P O W E R      I N S T R U C T I O N ============
; scan port 2 to look up for on or off code
POWER_INSTRUCTION:
        push 0e0h
 start_power_instruction:
        acall receive_next_signal                            ; receive on /off
        cjne a,#on_code,check_off_code_spi  ; check on equipment code
        pop 0e0h
        ajmp on_equipment                            ; jmp to on equipment
 check_off_code_spi:
        cjne a,#off_code,check_reset_code_spi
        pop 0e0h
        ajmp off_equipment                           ; jmp to off equipment
 check_reset_code_spi:
        cjne a,#reset_code,check_delete_code_spi
        pop 0e0h
        ajmp start                                   ; jmp to start
check_delete_code_spi:
        cjne a,#delKey_code,start_power_instruction
        pop 0e0h
        ajmp receive_instruction

;================ E N D   P R O C E D U R E ================
;================= O N    E Q U I P M E N T ================
; oN equipment set bit p1.0
ON_EQUIPMENT:
        setb p0.0
        ajmp start                                   ; jmp to start
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;=================== E N D   P R O C E D U R E =================
;================ O F F   E Q U I P M E N T =================
; oN equipment clear bit p1.0
OFF_EQUIPMENT:
      clr p0.0
      ajmp start                          ; jmp to start
;=================== E N D   P R O C E D U R E =================
;=================== C H E C K   S T A T U S =================
; sequence of data is
; status | on | # | hh | mm  -> show that equip is on and set time
is hh:mm
; status | on | anything but #  -> show that equip is on but no time
set
; r6-> equip status code
; hour-> hour
; minute-> minute
;
CHECK_STATUS:
      push 0e0h

      mov send_dtmf_code,#kb_status       ; send -> | status |
      call send_dtmf
      ;-- check equipment at port 0.4
      setb p0.4                           ; reset port bit
      mov c,p0.4
      jnc status_off
 ;- equip is on - ;
    mov send_dtmf_code,#kb_on             ; send -> | on |
      call send_dtmf
      jmp check_time_cs

 status_off:
      mov send_dtmf_code,#kb_off                ; send -> | off |;
      call send_dtmf

 check_time_cs:                           ; if set time not set
hour,minute must be 0

      mov a,hour                          ; check counting time
      add a,minute
      jz no_time_set
      lcall send_set_time                             ;| # | hh | mm
      jmp exit_check_status

 no_time_set:
      mov send_dtmf_code,#kb_power        ; no time set send
something not #
      lcall send_dtmf

 exit_check_status:
      pop 0e0h
      ret
;=================== E N D   P R O C E D U R E =================
;=================== S E T   T I M E   S T A T U S
==================
; sequence for receive is
; | on/off | # | hh | mm
SET_TIME_INSTRUCTION:
      push 0e0h
start_set_time_instruction:
      acall receive_next_signal                  ;check on code
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        cjne a,#on_code,sti_off
        pop 0e0h
        jmp set_time_on
   sti_off:
        cjne a,#off_code,sti_reset
        pop 0e0h
        jmp set_time_off
  sti_reset:
        cjne a,#reset_code,start_set_time_instruction
        pop 0e0h
        jmp start
;=================== E N D   P R O C E D U R E =================
;=================== S E T   T I M E   O N =================
SET_TIME_ON:
        push 0e0h                    ; save a
        push 0fh                     ; save b
        push 01h                     ; savr r1
 start_set_time_on:
        acall receive_next_signal
 check_reset_sto:
        cjne a,#reset_code,sharp_sto        ; don't need to pop stack
        pop 1h
        pop 0fh
        pop 0e0h
        jmp star        ; because at start point we do initialize value

 sharp_sto:
        cjne a,#sharp_code,start_set_time_on
  ; start to receive time number < hour->ten>

        acall receive_next_signal
        acall change_Value              ; change receive code into right
        mov b,#10
        mul ab                                 ; shift right Acc to 4 bit
        mov r1,a                        ; save a
  ; start to receive time number < hour->unit >
        acall receive_next_signal
        acall change_value              ; change receive code into right
        add a,r1
        mov hour,a                             ; hour keep hour

  ; start to receive time number < minute->ten>
        acall receive_next_signal
        acall change_Value              ; change receive code into right
        mov b,#10
        mul ab                                 ; shift right Acc to 4 bit
        mov r1,a                        ; save a
  ; start to receive time number < min->unit >
        acall receive_next_signal
        acall change_value              ; change receive code into right
        add a,r1
        mov minute,a                           ; minute keep minute

        call start_countdown
        ;// on equipment //
        setb p0.0
        pop 1h
        pop 0fh
        pop 0e0h
        ajmp start
;=================== E N D   P R O C E D U R E =================
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;=================== S E T   T I M E  O F  F  ================
SET_TIME_OFF:
      push 0e0h                 ; save a
      push 0fh                  ; save b
      push 01h                  ; savr r1

 start_time_off:
      acall receive_next_signal
 check_reset_stoff:
      cjne a,#reset_code,sharp_stoff      ; don't need to pop stack
      pop 1h
      pop 0fh
      pop 0e0h
      jmp start       ; because at start point we do initialize value


 sharp_stoff:
      cjne a,#sharp_code,start_time_off
  ; start to receive time number < hour->ten>

      acall receive_next_signal
      acall change_Value              ; change receive code into right
      mov b,#10
      mul ab                                ; shift right Acc to 4 bit
      mov r1,a                        ; save a
  ; start to receive time number < hour->unit >
      acall receive_next_signal
      acall change_value              ; change receive code into right
      add a,r1
      mov hour,a                            ; hour keep hour

  ; start to receive time number < minute->ten>
      acall receive_next_signal
      acall change_Value              ; change receive code into right
      mov b,#10
      mul ab                                ; shift right Acc to 4 bit
      mov r1,a                        ; save a
  ; start to receive time number < min->unit >
      acall receive_next_signal
      acall change_value              ; change receive code into right
      add a,r1
      mov minute,a                          ; minute keep minute

      call start_countdown
      ;// on equipment //
      clr p0.0
      pop 1h
      pop 0fh
      pop 0e0h
      ajmp start
;=================== E N D  P R O C E D U R E ================
;=================== E N D  P R O C E D U R E ================
; count [hour] Hour:[minute] minute
START_COUNTDOWN:
push 0e0h
push 01h

mov a,hour
add a,minute
jz exit_sc                    ; hh:mm is 0 then exit
      mov a,minute            ; test minute equal 0 or not
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            jz exit_minute                ; by put value in Acc
            count_Minute:
                        mov r1,#60
                        count_sec:
                              call count_1_sec
                              djnz r1,count_sec ; count 60 seconds
                        djnz minute,count_minute
            exit_minute:
                        mov a,hour
                        add a,minute
                        jz exit_sc
                        mov minute,#60
                        dec hour; change another 1 hour to 60 min

                     jmp count_minute          ; decrease 1 hour
exit_sc:
      pop 01h
      pop 0e0h
ret
;==================== E N D   P R O C E D U R E =================
;==================== R E C E I V E CHANGE S I G N A L
==================
;     if value from receive DTMF has change it will return in Acc
if not
;     will continue loop
RECEIVE_NEXT_SIGNAL:
      push 01h
  start_rts:
      mov p2,#0ffh                          ; clear port
      mov a,p2
      anl a,#0fh                      ; clear a7..a4
      cjne a,last_receive_code,receive_new_key_t
      jmp start_rts      ; if signal not change continue receive

  receive_new_key_t:
    cjne a,#repeat_code,exit_rts     ; if signal is repeat key
      mov r1,a                              ;
      mov a,last_receive_code ; change a to last_receive signal
      mov last_receive_code,r1       ;  and get repeat key in
last_receive_code
      pop 01h
      ret

  exit_rts:
      mov last_receive_code,a
      pop 01h
ret

;==================== C H A N G E  R E C E I V E V A L U E
==================
; change receive value in Acc into normal number
; send bit a3.. a0 to receiver
;         value                 key_send
;           1                   buttonB (kb_on)
;           2                   buttonC (kb_resetKey)
;           3                   buttonD (kb_Delkey)
;           4                   button4 (kb_power)
;           5                   button5 (kb_check)
;           6                   button6 (kb_time)
;           7                   button7 (kb_off)
;           8                   button8 (kb_hour)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงแหล่งที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;            9                    button9 (kb_minute)
;            0                    button0 (kb_down)
CHANGE_VALUE:

      cjne a,#on_code,cv_2
      mov a,#1
      jmp exit_cv
 cv_2:
      cjne a,#reset_code,cv_3
      mov a,#2
      jmp exit_cv
 cv_3:
      cjne a,#delkey_code,cv_4
      mov a,#3
      jmp exit_cv
 cv_4:
      cjne a,#power_code,cv_5
      mov a,#4
      jmp exit_cv
 cv_5:
      cjne a,#check_code,cv_6
      mov a,#5
      jmp exit_cv
 cv_6:
      cjne a,#set_time_code,cv_7
      mov a,#6
      jmp exit_cv
 cv_7:
      cjne a,#off_code,cv_8
      mov a,#7
      jmp exit_cv
 cv_8:
      cjne a,#hour_code,cv_9
      mov a,#8
      jmp exit_cv
 cv_9:
      cjne a,#minute_code,cv_0
      mov a,#9
      jmp exit_cv
 cv_0:
      cjne a,#down_code,cv_repeat
      mov a,#0
      jmp exit_cv
 cv_repeat:
      cjne a,#repeat_code,exit_cv          ; repeat key
      mov a,last_receive_code       ; then exchange with last
receive and check new
      jmp change_value

 exit_cv:
ret
;=================== E N D   P R O C E D U R E =================
;================= C O U N T  1  S E C O N D ==============
COUNT_1_SEC:
         push 02h
         push 0e0h
         mov r2,#20
  start_count_sec:
         mov TMOD,#00000001b          ; use Timer 0 16 bit
         mov TCON,#0
         mov th0,#3ch ;delay 1 sec  the real Calcuate value is #3ch
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ให้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        mov tl0,#0d0h; delay 1 sec
        setb tr0

   loop_countsec:
   ; check key while count second
       mov p2,#0ffh                        ; clear port
       mov a,p2
       anl a,#0fh                    ; clear a7..a4
       cjne a,last_receive_code,receive_new_lc
       jmp continue_check_tf

   receive_new_lc:
       cjne a,#equip_number,check_power_rnk
       mov last_receive_code,a
       mov r6,#1h              ; ir signal is this equip set status
       jmp continue_check_tf
 check_power_rnk:
       cjne a,#power_code,check_status_rnk
       cjne r6,#1,check_status_rnk          ; status must set before
use instruction
       mov last_receive_code,a
       ljmp power_instruction

check_status_rnk:
       cjne a,#check_code,check_set_time_rnk
       cjne r6,#1,check_set_time_rnk
       clr p0.3
       mov last_receive_code,a
       lcall check_status
       mov status,#0
       jmp continue_check_tf

check_set_time_rnk:
       cjne a,#set_time_code,check_delkey_rnk
       cjne r6,#1,check_delkey_rnk
       mov last_receive_code,a
       ljmp set_time_instruction

check_delkey_rnk:
       cjne a,#delkey_code,check_reset_rnk
       cjne r6,#1,check_reset_rnk
       mov last_receive_code,a
       mov r6,#0h
       jmp continue_check_tf

check_reset_rnk:
       cjne a,#reset_code,continue_check_tf
       cjne r6,#1,continue_check_tf
       mov last_receive_code,a
       mov r6,#0h

 continue_check_tf:
           jnb tf0,loop_countsec

             djnz r2,start_count_sec

; led display
             mov a,p0
             anl a,#10000000b
             jz exittt
             clr p0.7
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            pop 0e0h
            pop 02h
            ret

      exittt:
            setb p0.7
            pop 0e0h
            pop 02h
      ret
;==================== E N D   P R O C E D U R E ==================
;============= S E N D   D T M F   C O D E ============
; This proc will send DTMF code at port 1
; You must enter code in variable send_dtmf_code  first
; last signal will save in last_dtmf_sent
;
SEND_DTMF:
      push 0e0h                                        ; save Acc
      push 01h
      ;---- check for send the same key with last key ---
      mov a,send_dtmf_code                          ; copy value to test
      subb a,last_dtmf_sent    ; if it is same key then Acc will be 0
      jnz continue_send_dtmf
      mov send_dtmf_code,#kb_up                     ; send repeat code

 continue_send_dtmf:
      mov p1,#0ffh
      acall delay_signal

      mov a,send_dtmf_code
      mov p1,a                                          ; send signal
      mov last_dtmf_sent,a                           ; save last send code
      call long_delay
      pop 01h
      pop 0e0h
ret
;=============== SEND TIME NUMBER ==================
; use to send time number
SEND_TIME_NUMBER:
            cjne a,#1,stn_2
            mov send_dtmf_code,#kb_on
            jmp exit_stn
      stn_2:
            cjne a,#2,stn_3
            mov send_dtmf_code,#kb_resetKey
            jmp exit_stn
      stn_3:
            cjne a,#3,stn_4
            mov send_dtmf_code,#kb_delKey
            jmp exit_stn
      stn_4:
            cjne a,#4,stn_5
            mov send_dtmf_code,#kb_power
            jmp exit_stn
      stn_5:
            cjne a,#5,stn_6
            mov send_dtmf_code,#kb_status
            jmp exit_stn
      stn_6:
            cjne a,#6,stn_7
            mov send_dtmf_code,#kb_time
            jmp exit_stn
```
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        stn_7:
              cjne a,#7,stn_8
              mov send_dtmf_code,#kb_off
              jmp exit_stn
        stn_8:
              cjne a,#8,stn_9
              mov send_dtmf_code,#kb_hour
              jmp exit_stn
        stn_9:
              cjne a,#9,stn_0
              mov send_dtmf_code,#kb_minute
              jmp exit_stn
        stn_0:
              cjne a,#0,stn_11
              mov send_dtmf_code,#kb_down
              jmp exit_stn
        stn_11:
              cjne a,#11,exit_stn
              mov send_dtmf_code,#kb_Enterkey

        exit_stn:
              acall send_dtmf
ret
;=========  S E N D   S E T   T I M E==========
; R4  must keep hour R5 must keep minute
SEND_SET_TIME:
      push 0e0h
      push 0f0h
      push 05h
      push 04h

      mov send_dtmf_code,#kb_enterKey          ; | # |
      call send_dtmf

      mov r4,hour ; save value in register and use to calculate
      mov r5,minute                                      ;

 ; - split hour and send
      mov a,r4
      mov b,#10
      div ab                                            ; do a/b
      acall send_time_number        ; send bit a3..a0 to receiver

      mov a,b
      acall send_time_number

; split minute and send
      mov a,r5
      mov b,#10
      div ab
      acall send_time_number


      mov a,b
      acall send_time_number

      pop 04h
      pop 05h
      pop 0fh
      pop 0e0h
 ret
```

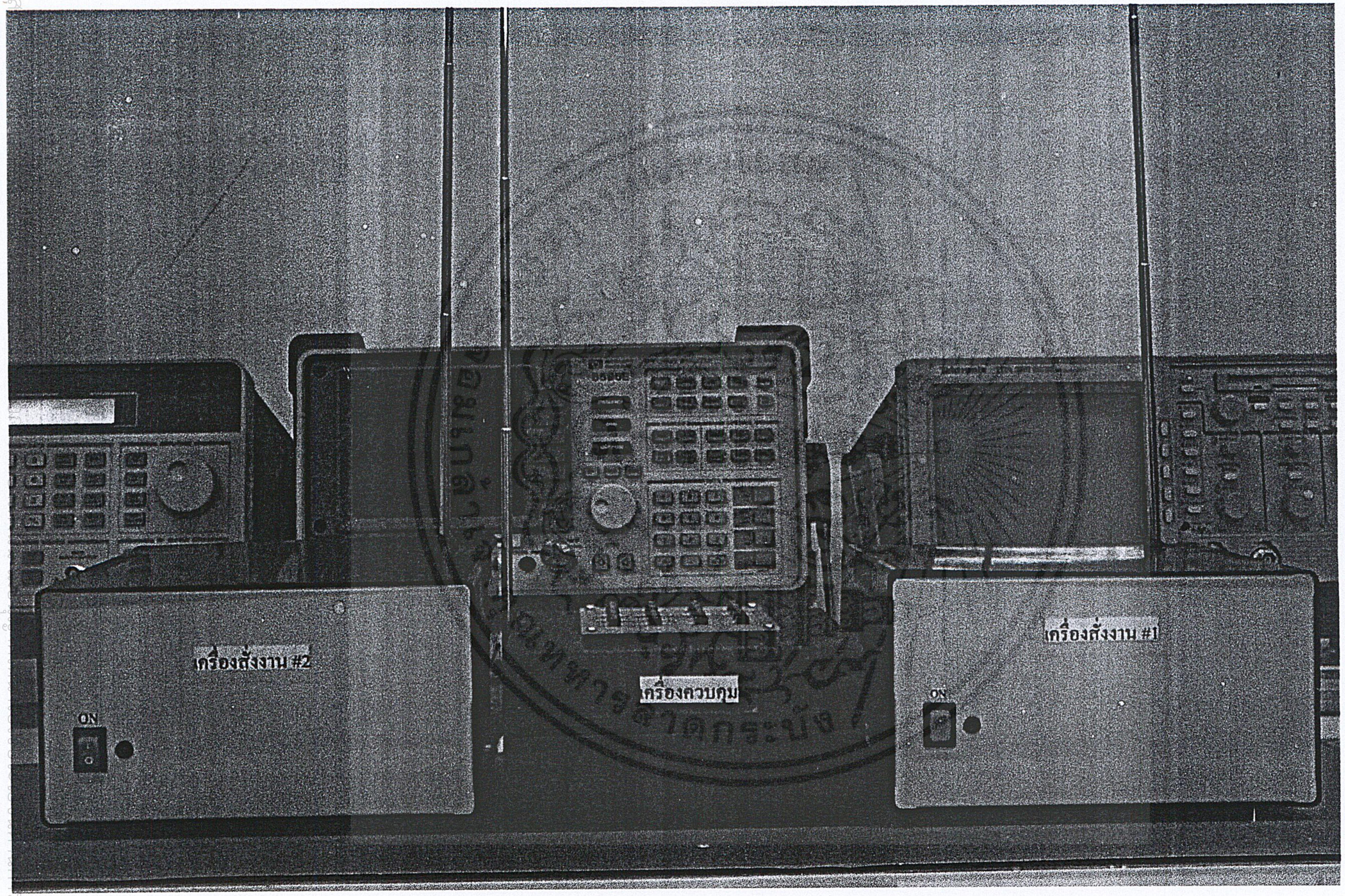
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;============= E N D  O F  P R O C E D U R E =========
DELAY_SIGNAL:
	push 02h
	push 01h
	mov r1,#10h
	delay_signal_1:
		mov r2,#0ffh
	delay_signal_2:
			djnz r2,delay_signal_2
			djnz r1,delay_signal_1
	pop 01h
	pop 02h
ret
LONG_DELAY:
	push 02h
		mov r2,#200
		loop_ld:
			call delay_signal
			djnz r2,loop_ld

	pop 02h
	ret

end
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

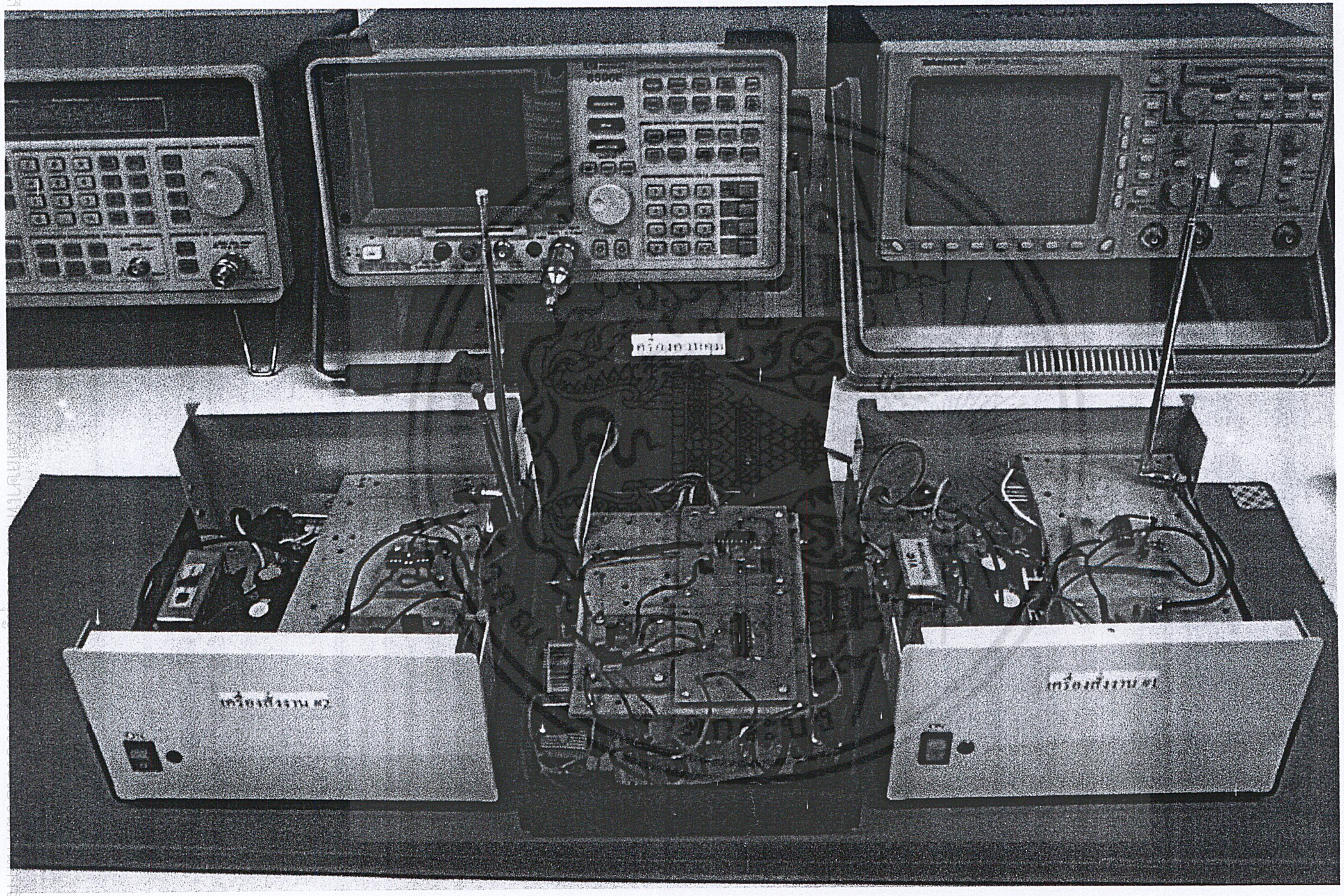
ภาคผนวก ค.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูประบบควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าไร้สาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปวงจรภายในระบบควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าไร้สาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

นายมหาลาภ ตีรเดชโยธิน ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงแด่ ศ.ดร.วิวัฒน์ กิรานนท์, รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน , อ.วิภา แสงพิสิทธิ์ และอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกๆท่าน ที่ได้มอบวิชาความรู้ให้กับกระผม

ขอบคุณเป็นอย่างสูงมากๆสำหรับ นายศราวุธ ฤทธิ์นันท์ ถ้าไม่ได้น้องโอ พี่คงแย่แน่ๆ ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆในห้องโปรเจ็คต์ เพื่อนๆห้อง 6 รวมถึงเพื่อนๆในคณะวิศวะอันยิ่งใหญ่ของเรา ที่อยู่เป็นกำลังใจให้ร่วมกันมา

ขอบคุณเป็นอย่างสูงสำหรับชุมนุมดนตรีสากลคณะวิศวกรรมศาสตร์ลาดกระบัง ที่ทำให้ผมยังมีสัน___ ที่ยังคงปกติอยู่ (รวมไปถึงการให้กู้ยืมเงิน ยามเงินบาทของผมลอยตัวออกไปนอกกระเป๋าตังค์จนเกลี้ยง) และเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในชุมนุมทุกคนด้วย ที่ร่วมแรงร่วมใจทำงานกิจกรรมต่างๆร่วมกันมา ขอบคุณเครื่องดนตรีทุกชิ้น และนักดนตรีทุกคนในโลกนี้ ที่ร่วมกันสร้างสรรค์ผลงานเพลงมีคุณภาพไว้ให้กระผมคลายความเหงา ถึงแม้บางครั้ง ผมจะอุดหนุนเทปผี ซีดีปลอมก็ตาม ก็กราบขออภัยมา ณ. ที่นี้ด้วยนะครับ

ขอบคุณจากใจจริงให้กับ น.ส.ดวงพร ฉัตรวีระชัยกิจ ที่เป็นกำลังใจให้ผมเสมอมา

และสุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณบิดา มารดาบังเกิดเกล้าของกระผม ที่ทำให้ผมได้อยู่มาเป็นมนุษย์โลกจนถึงทุกวันนี้ กระผมรักท่านทั้งสองมากๆเลยครับ

ขอบคุณเป็นพิเศษสำหรับ บริษัท ฟิลิปส์ มอริส ประเทศไทย จำกัด ที่ได้นำเข้าสิ่งที่เลวร้ายที่สุดมาเป็นเพื่อนผมยามเครียดจากการทำโปรเจ็คต์ และโรงงานสุราบางยี่ขัน ที่ได้คิดค้นเครื่องดื่มชั้นยอดที่สกัดจากข้าวเหนียวไทย รวมไปถึงบริษัทที่ผลิตมิกเซอร์และกับแกล้มต่างๆ ที่ใช้สำหรับประกอบกับเครื่องดื่มชั้นยอดนี้ ขอบคุณร้านบางกอก2509 และร้านสเปซบาร์ ที่ทำให้ใช้สิ่งต่างๆในย่อหน้านี้ได้อยู่อย่างถูกที่ถูกทางครับผม

นายภานุมาศ วินิจพงษ์พันธ์ ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และความช่วยเหลือต่างๆตั้งแต่วันแรกที่ได้เข้ามาจนวันสุดท้ายที่จบออกไปจากสถาบันแห่งนี้ และจะลืมเสียไม่ได้ที่จะขอบคุณพ่อคุณแม่และสมาชิกทุกคนในครอบครัวที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ตลอดมาจนเรียนจบ

ขอขอบคุณพี่บัว พี่มล พี่หนึ่ง อย่างมากที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา เป็นกำลังให้ตลอดมาตั้งแต่เข้ามาอยู่ในห้องโปรเจ็คต์ และขอขอบคุณเพื่อนโอ๋ ที่ให้ความช่วยเหลือหลายๆอย่างจนทำให้ผมประทับใจอย่างมาก

ขอบคุณกำลังใจดีๆจาก น.ส. วนิดา สุวรรณวรคิษฐ์ ที่ทำให้รู้สึกดีทุกครั้งในเวลาที่เกิดความท้อแท้จากการทำโปรเจ็คต์

สุดท้ายขอขอบคุณสถาบันแห่งนี้ที่ได้ให้ความรู้และประสบการณ์ดีๆ มากมายตลอดเวลา 4 ปี ในร่มรั้วชงโคแห่งนี้ ขอบคุณมากครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

[1] Chris Bowick , RF Circuit Design, First Edition, Howard W. Sams & Company,1987

[2] ดร.มงคล เดชนครินทร์, ดร.ชาตรี ศรีไพพรรณ, อิเลกทรอนิกส์พื้นฐาน, พิมพ์ครั้งที่ 3, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชัน จำกัด(มหาชน), กรุงเทพมหานคร, 2533

[3] แผนกหนังสือพิเศษด้านอิเลกส์ทรอนิกส์, รวมโครงงานอิเลกทรอนิกส์ วิทยุ และเครื่องรับส่ง, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน), กรุงเทพมหานคร, 2539

[4] รศ.สมยศ จุณณะปีติ , การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้