เครื่องควบคุมระยะไกลโดยใช้คลื่นวิทยุ

RF REMOTE CONTROLLER

โดย

นางสาวกิตติวรรณ เศรษฐไกรสิงห์

นางสาวสุทธยา อัศวิเศษศิวะกุล

วัน เดือน ปี 18 ต.ค. 2541

เลขทะเบียน 039088

เลขเรียกหนังสือ TA0629 ก1710

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

039088

เครื่องควบคุมระยะไกลโดยใช้คลื่นวิทยุ

RF REMOTE CONTROLLER

โดย

นางสาวกิตติวรรณ เศรษฐไกรสิงห์ 37014021

นางสาวสุทธยา อัศว์วิเศษศิวะกุล 37014506

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2540

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องควบคุมระยะไกลโดยใช้คลื่นวิทยุ

RF REMOTE CONTROLLER

ผู้จัดทำ

1. น.ส. กิตติวรรณ เศรษฐไกรสิงห์ 37014021
2. น.ส. สุทธยา อัศวิเศษศิวะกุล 37014506

.....ปราโมทย์..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องควบคุมระยะไกลโดยใช้คลื่นวิทยุ

RF REMOTE CONTROLLER

โดย นางสาวกิตติวรรณ เศรษฐไกรสิงห์ 37014021
นางสาวสุทธยา อัศว์วิเศษศิวะกุล 37014506

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอโครงงานเครื่องควบคุมระยะไกลโดยใช้คลื่นวิทยุ โดยจะประกอบด้วยเครื่องส่งและเครื่องรับ ซึ่งสามารถติดต่อกันโดยใช้หลักการเอฟเอ็มมอดูเลตความถี่คลื่นพาหะ เพื่อที่จะส่งสัญญาณสั่งงานการสวิทช์ไปยังเครื่องรับ ส่วนทางเครื่องรับจะต่ออยู่กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการจะควบคุม เมื่อเครื่องรับได้รับสัญญาณ เพื่อนำไปสวิทช์อุปกรณ์ไฟฟ้าให้ทำงาน

ABSTRACT

This project presents the RF remote controller. It consists of transmitter and receiver which communicates by waves using the principle of FM modulation in order to send signal to control the switch through the receiver. On the other hand, the receiver will connect with an appliance that has to be controlled by the receiving signal. As the receiver receives the signal, the appliance can be switched on or off.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการ	3
	2.1 การมอดูเลททางความถี่	3
	2.2 การดีมอดูเลททางความถี่	7
	2.3 วงจรแทงก์ (TANK CIRCUIT)	9
	2.4 หลักการเลือกความถี่ของสัญญาณ DTMF	11
	2.5 การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก โดยใช้สวิทช์-คาปาซิเตอร์	12
บทที่ 3	โครงสร้างและการทำงานของวงจร	15
	3.1 โครงสร้างของวงจร	15
	3.2 การทำงานของวงจร	18
	3.2.1 ภาคส่งสัญญาณเอฟเอ็ม	18
	3.2.2 ภาครับสัญญาณเอฟเอ็ม	19
	3.3 วงจรเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ DTMF	22
	3.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51	34
	3.4.1 กำหนดหน้าที่ขาสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51	34
	3.4.2 โครงสร้างภายในของ AT89C51	36
	3.4.3 โครงสร้างหน่วยความจำภายใน AT89C51	37
	3.4.4 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ	37
	3.4.5 รีจิสเตอร์สำหรับใช้งานทั่วไป	38
	3.4.6 วิธีการเข้าถึงข้อมูลของ AT89C51	39
	3.5 วงจรตรวจสอบกระแสไฟฟ้า	41
บทที่ 4	การทดลองและผลการทดลอง	42
บทที่ 5	บทสรุป	57
ภาคผนวก		
กิตติกรรมประกาศ		
หนังสืออ้างอิง		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

		หน้า
รูปที่ 1.1	บล็อกไดอะแกรมของเครื่องควบคุมระยะไกลโดยใช้คลื่นวิทยุ	2
รูปที่ 2.1	การมอดูเลททางความถี่	3
รูปที่ 2.2	สัญญาณความถี่เสียง 10 kHz มอดูเลททางความถี่กับสัญญาณ 100 MHz	4
รูปที่ 2.3	อัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็ม	5
รูปที่ 2.4	แถบความถี่แถบกว้างของคลื่นเอฟเอ็ม	6
รูปที่ 2.5	คลื่นสัญญาณเอฟเอ็มชนิดแถบความถี่กว้าง	6
รูปที่ 2.6	คลื่นสัญญาณเอฟเอ็มชนิดแถบความถี่แคบ	7
รูปที่ 2.7	วงจรควอดราเจอร์ดีเทคเตอร์	8
รูปที่ 2.8	วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน	9
รูปที่ 2.9	วงจรจูนแบบขนาน	10
รูปที่ 2.10	การแบ่งแรงดันของคาปาซิเตอร์	12
รูปที่ 2.11	สวิทช์-คาปาซิเตอร์ D/A คอนเวอร์เตอร์	14
รูปที่ 3.1	บล็อกไดอะแกรมของเครื่องควบคุมระยะไกลโดยใช้คลื่นวิทยุ	15
รูปที่ 3.2	แสดงวงจรของเครื่องควบคุมระยะไกลโดยใช้คลื่นวิทยุ	16-17
รูปที่ 3.3	วงจรภาคส่งวิทยุเอฟเอ็ม	19
รูปที่ 3.4	วงจรลิมิตเตอร์	20
รูปที่ 3.5	ขาของไอซี TDA7000	20
รูปที่ 3.6	วงจรของอะแดปเตอร์	21
รูปที่ 3.7	แสดงขาของไอซี MT8880	23
รูปที่ 3.8	บล็อกไดอะแกรมของไอซี MT8880	23
รูปที่ 3.9	แสดงการต่อวงจรภาคอินพุท	25
รูปที่ 3.10	การต่อซิงเกิลเอนอินพุท	25
รูปที่ 3.11	แผนภูมิเวลาการทำงานของไอซี MT8880 ในภาครับ	27
รูปที่ 3.12	วงจรตรวจสอบสัญญาณ steering อย่างง่าย	28
รูปที่ 3.13	วงจรตรวจสอบสัญญาณที่ใช้งานจริง	29
รูปที่ 3.14	ช่วงความถี่ที่ตัวกรองสัญญาณคอลโพรเกรสยอมให้ผ่าน	30
รูปที่ 3.15	วงจรใช้งานไอซี MT8880	31
รูปที่ 3.16	การกำหนดหน้าที่ขาสัญญาณ AT89C51	34
รูปที่ 3.17	โครงสร้างภายในของ AT89C51	36
รูปที่ 3.18	การจัดพื้นที่หน่วยความจำข้อมูลภายในของ AT89C51	37
รูปที่ 3.19	รีจิสเตอร์ใช้งานพิเศษ	38
รูปที่ 3.20	การต่อวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.21 วงจรตรวจกระแสไฟฟ้า 42
รูปที่ 4.1 สัญญาณ DTMF ของหมายเลข 1 43
รูปที่ 4.2 สัญญาณ DTMF ของหมายเลข 2 43
รูปที่ 4.3 สัญญาณ DTMF ของหมายเลข 8 44
รูปที่ 4.4 สัญญาณ DTMF ของหมายเลข 9 44
รูปที่ 4.5 สเปคตรัมของสัญญาณออสซิลเลเตอร์ของวงจรภาคส่งสัญญาณเอฟเอ็ม ความถี่ 49 MHz 45
รูปที่ 4.6 สเปคตรัมของสัญญาณเอฟเอ็มของวงจรภาคส่งสัญญาณเอฟเอ็ม ความถี่ 49 MHz 46
รูปที่ 4.7 สัญญาณออสซิลเลเตอร์ของวงจรภาคส่งสัญญาณเอฟเอ็ม ความถี่ 49 MHz 46
รูปที่ 4.8 สเปคตรัมของสัญญาณออสซิลเลเตอร์ของวงจรภาคส่งสัญญาณเอฟเอ็ม ความถี่ 60 MHz 47
รูปที่ 4.9 สเปคตรัมของสัญญาณเอฟเอ็มของวงจรภาคส่งสัญญาณเอฟเอ็ม ความถี่ 60 MHz 48
รูปที่ 4.10 สัญญาณออสซิลเลเตอร์ของวงจรภาคส่งสัญญาณเอฟเอ็ม ความถี่ 60 MHz 48
รูปที่ 4.11 สเปคตรัมของสัญญาณออสซิลเลเตอร์ของวงจรภาครับสัญญาณเอฟเอ็ม ความถี่ 49 MHz 49
รูปที่ 4.12 สัญญาณออสซิลเลเตอร์ของวงจรภาครับสัญญาณเอฟเอ็ม ความถี่ 49 MHz 49
รูปที่ 4.13 สัญญาณDTMF ก่อนป้อนเข้าวงจรภาคส่งในเครื่องควบคุม และสัญญาณเอ้าท์พุทDTMF จากวงจรดีมอดูเลเตอร์ในอะแคปเตอร์ 50
รูปที่ 4.14 สัญญาณความถี่ไอเอฟ 75 KHz ของวงจรดีมอดูเลเตอร์ในอะแคปเตอร์ 51
รูปที่ 4.15 สเปคตรัมของสัญญาณออสซิลเลเตอร์ของวงจรภาครับสัญญาณเอฟเอ็ม ความถี่ 60 MHz 51
รูปที่ 4.16 สัญญาณออสซิลเลเตอร์ของวงจรภาครับสัญญาณเอฟเอ็ม ความถี่ 60 MHz 52
รูปที่ 4.17 สัญญาณDTMF ก่อนป้อนเข้าวงจรภาคส่งในอะแคปเตอร์ และสัญญาณเอ้าท์พุทDTMF จากวงจรดีมอดูเลเตอร์ในเครื่องควบคุม 53
รูปที่ 4.18 สัญญาณความถี่ไอเอฟ 75 KHz ของวงจรดีมอดูเลเตอร์ในเครื่องควบคุม 54
รูปที่ 4.19 สัญญาณพัลซ์ 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตาราง 2.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหมายเลขบนแป้นกดกับความถี่ประจำแถวหลัก	11
ตาราง 2.2	แสดงแรงดันเอาท์พุทจะผลิตโดย 4 บิท สวิทช์-คาปาซิเตอร์ D/A คอนเวอร์เตอร์	14
ตาราง 3.1	แสดงการทำงานของไอซี MT8880	26
ตาราง 3.2	แสดงการกำหนดหน้าที่ของรีจิสเตอร์	32
ตาราง 3.3	แสดงตำแหน่งบิทควบคุมใน CRA	32
ตาราง 3.4	แสดงตำแหน่งบิทควบคุมในบิท CRB	32
ตาราง 3.5	แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับรีจิสเตอร์ควบคุม A	33
ตาราง 3.6	แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับรีจิสเตอร์ควบคุม B	33
ตาราง 3.7	แสดงรายละเอียดรีจิสเตอร์สถานะ	34
ตาราง 4.1	แสดงรายละเอียดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 ของอะแดปเตอร์	55
ตาราง 4.2	แสดงรายละเอียดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 ของเครื่องควบคุม	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

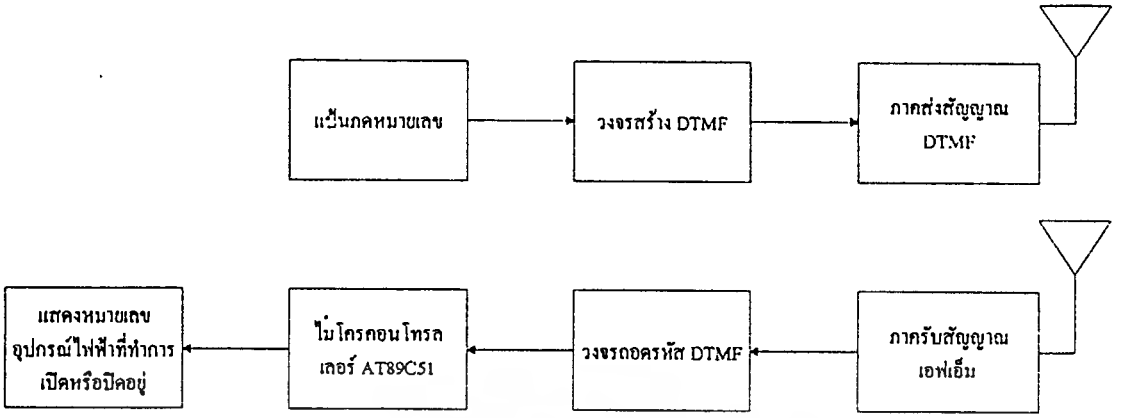
บทที่ 1
บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางการสื่อสาร มีการพัฒนาก้าวหน้าไปมาก โดยมีการนำมาประยุกต์ใช้เพื่อให้มีความสะดวกในการติดต่อสื่อสารกันในชีวิตประจำวันมากขึ้น ทางเลือกหนึ่งในการสื่อสาร คือ การสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุ ซึ่งนิยมใช้กันมาก เพราะมีค่าใช้จ่ายถูก และง่ายต่อการใช้งาน

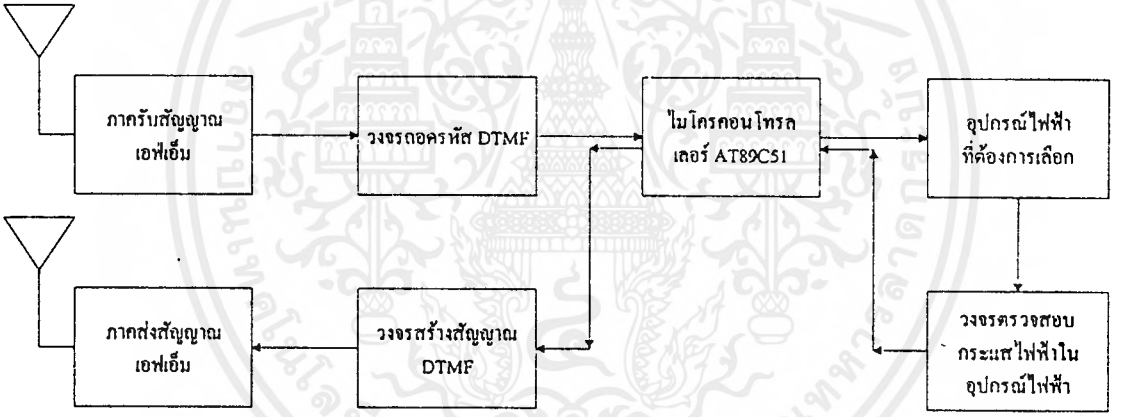
โครงงานนี้ คือ เครื่องควบคุมระยะไกลโดยใช้คลื่นวิทยุ ซึ่งใช้ในการควบคุมการเปิดปิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า ประกอบด้วยเครื่องควบคุมและอะเดปเตอร์(adapter) โดยเครื่องควบคุมระยะไกลในโครงงานนี้จะแตกต่างจากเครื่องควบคุมระยะไกลอื่นๆ คือ จะใช้เครื่องควบคุมเพียงเครื่องเดียว แต่สามารถควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าหลายเครื่องได้ ตามแต่จะเลือกใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าเครื่องไหน โดยการกดปุ่มหมายเลขประจำเครื่อง แล้วจึงสั่งงานเปิด หรือปิดอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น ซึ่งเราจะใช้สัญญาณ DTMF แทนหมายเลขต่างๆ เหมือนกับในแป้นโทรศัพท์ที่ใช้งานกันอยู่

เครื่องควบคุมระยะไกลโดยใช้คลื่นวิทยุนี้ ในเครื่องควบคุมจะประกอบด้วยวงจรเข้าและถอดรหัสสัญญาณ DTMF, ภาคส่งและรับสัญญาณเอฟเอ็ม และไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนอะเดปเตอร์จะประกอบด้วยวงจรเข้าและถอดรหัสสัญญาณ DTMF, ภาคส่งและรับสัญญาณเอฟเอ็ม, ไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่นเดียวกับเครื่องควบคุม แต่จะมีส่วนของวงจรตรวจกระแสไฟเพิ่มขึ้นมาเพื่อตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์ไฟฟ้าว่าเปิดหรือปิด เมื่อเราต้องการจะควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า ก็ทำได้โดยส่งหมายเลขประจำตัวอุปกรณ์ไฟฟ้า ตามด้วยหมายเลขที่เปิดหรือปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแล้วเครื่องควบคุมจะส่งสัญญาณวิทยุออกไป เมื่ออะเดปเตอร์ได้รับสัญญาณ ก็จะทำการดีเทคสัญญาณที่ได้แล้วสั่งงานให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการทำงานเปิดหรือปิดตามต้องการ เมื่ออุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานตามต้องการแล้ว จะส่งสัญญาณวิทยุกลับมายังเครื่องควบคุมเพื่อยืนยันว่าได้ทำงานถูกต้องแล้ว การทำงานของเครื่องควบคุมระยะไกลโดยใช้คลื่นวิทยุแสดงดังบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 1.1 โดยได้นำไอซีเบอร์ BA 1404 มาใช้ในวงจรมอดูเลเตอร์สัญญาณเอฟเอ็ม ปกติแล้วไอซีเบอร์ BA 1404 เป็นไอซีภาคส่งเอฟเอ็มสเตอริโอ แต่เราจะนำมาใช้ในแบบโมโนแทน และใช้ไอซีเบอร์ TDA 7000 มาใช้ในวงจรดีมอดูเลเตอร์สัญญาณเอฟเอ็ม ส่วนวงจรสร้างสัญญาณ DTMF ในเครื่องควบคุมใช้ไอซีเบอร์ MC145412 เพื่อสะดวกในการใช้แป้นโทรศัพท์ แต่วงจรสร้างและถอดรหัสสัญญาณ DTMF ที่เหลือ เราเลือกใช้ไอซีเบอร์ MT 8880 ซึ่งสามารถใช้เป็นทั้งตัวสร้างและถอดรหัสสัญญาณ DTMF ได้ และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51 เป็นตัวควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า ให้ถูกต้องตามรหัสหมายเลขที่ส่งมา จากที่กล่าวมานี้ เมื่อนำทุกส่วนมาประกอบกันจะได้เป็นเครื่องควบคุมระยะไกลโดยใช้คลื่นวิทยุ โดยเครื่องควบคุมระยะไกลในโครงงานนี้ จะมีความสะดวกมาก เนื่องจากสามารถควบคุมการทำงานของเครื่องรับหลายๆตัวได้ โดยใช้เครื่องควบคุมเพียงเครื่องเดียว ทำให้มีความคล่องตัว ประหยัดเวลา และง่ายต่อการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) เครื่องส่ง



(ข) เครื่องรับ

รูปที่ 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับและเครื่องส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

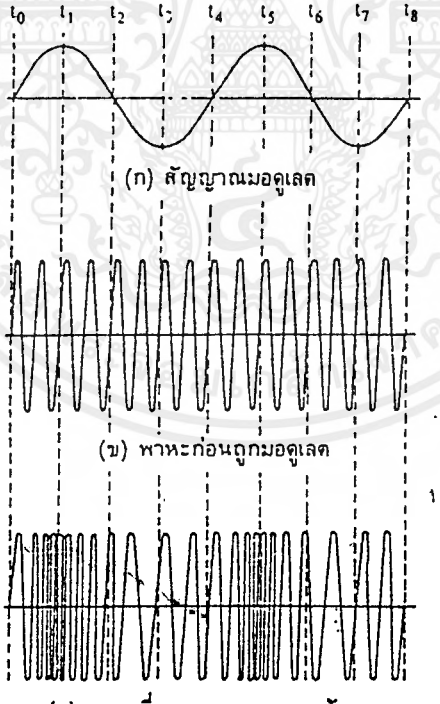
บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การมอดูเลทความถี่ (FREQUENCY MODULATION)

การมอดูเลทแบบนี้ขนาดของคลื่นพาหะจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ความถี่ของคลื่นพาหะจะมีการเปลี่ยนแปลงโดยจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามขนาดของสัญญาณเสียงที่นำมามอดูเลทความถี่ของคลื่นพาหะที่ยังไม่มีการมอดูเลท เรียกว่า ความถี่กึ่งกลาง(Center Frequency)

เมื่อขนาดของความถี่เสียงเพิ่มขึ้นทางบวกก็จะทำให้คลื่นพาหะมีความถี่เพิ่มขึ้นและถ้าสัญญาณความถี่เสียงมีขนาดลดลง ความถี่ของคลื่นพาหะ ก็จะลดลงจนกระทั่งขนาดของความถี่เสียงลดลงเป็นศูนย์ ความถี่ของคลื่นพาหะก็จะเป็นความถี่กึ่งกลาง

ในทำนองเดียวกันเมื่อสัญญาณเสียงมีขนาดเป็นลบความถี่ของคลื่นพาหะก็จะลดลงซึ่งความถี่ของคลื่นพาหะจะมีค่าต่ำที่สุดเมื่อขนาดของสัญญาณความถี่เสียงลดลงถึงจุดต่ำสุด ดังนั้นความถี่ของคลื่นพาหะจะเป็นความถี่กึ่งกลางอีกครั้ง เมื่อสัญญาณความถี่เสียงผ่านครึ่งรอบ(Half Cycle)ลบไปถึงศูนย์

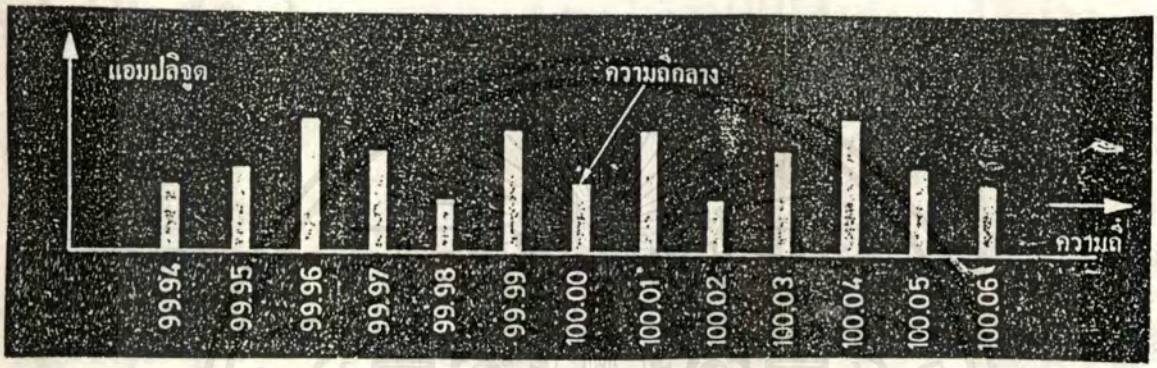


รูปที่ 2.1 การมอดูเลททางความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะเห็นแล้วว่า ความถี่ของคลื่นเอฟเอ็ม จะเปลี่ยนแปลงไป โดยจะมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าความถี่กึ่งกลาง ซึ่งขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณความถี่เสียง ความถี่ของคลื่นสัญญาณเอฟเอ็มที่เตกต่างจากความถี่กึ่งกลางมากที่สุดเรียกว่า ความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดของคลื่นพาหะ(Maximum Frequency Deviation of Carrier) โดยจะประกอบด้วยความถี่เบี่ยงเบนไปจากความถี่กึ่งกลางลงไปทางน้อยกว่า หรือไปในทางเบี่ยงเบนจากความถี่กึ่งกลางในทางมากกว่า

ตัวอย่างเช่น คลื่นสัญญาณเสียงที่ต้องการความถี่ 10 kHz มอดูเลทกับคลื่นพาหะที่มีความถี่ 100 MHz เมื่อมอดูเลทแล้วจะทำให้เกิดคลื่นสัญญาณ เอฟเอ็ม ที่มีความถี่ต่ำสุดเท่ากับ 99.99 MHz และมีความถี่สูงสุดเท่ากับ 100.01 MHz ดังนั้นความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดในกรณีนี้จะมีค่าเท่ากับ $\pm$10 kHz ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เมื่อสัญญาณความถี่เสียง 10 kHz มอดูเลททางความถี่กับสัญญาณ 100 MHz

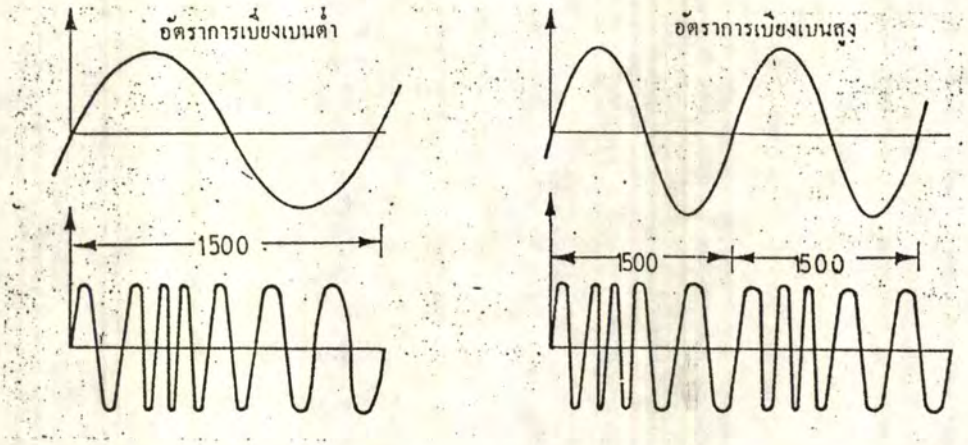
ในทางตรงกันข้ามคลื่นสัญญาณแรงๆ ที่เราต้องการนำมามอดูเลทกับคลื่นพาหะที่มีความถี่ 100 MHz เท่าเดิม และเป็นผลทำให้คลื่นความถี่ เอฟเอ็ม ที่เกิดขึ้นมีความถี่เบี่ยงเบนจาก 99.95 MHz ถึง 100.05 MHz ดังนั้นค่าความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดมีค่าเท่ากับ $\pm$50 kHz

จะเห็นได้ว่าความถี่เบี่ยงเบนจะเป็นตัวบอกแอมพลิจูดของสัญญาณที่เรานำมามอดูเลทคือ ถ้ามีแอมพลิจูดมากจะทำให้ค่าความถี่เบี่ยงเบนมีค่ามากด้วย

นอกจากนี้สิ่งที่ควรจะทำความเข้าใจอีกประการหนึ่งคือ ค่าอัตราการเบี่ยงเบนความถี่ ค่าอัตราการเบี่ยงเบนความถี่(Rate of Frequency Deviation) เป็นตัวบอกให้ทราบว่าการเปลี่ยนแปลงของความถี่ครบหนึ่งรอบรวดเร็วเพียงใด ทั้งนี้เพราะเมื่อสัญญาณความถี่เสียงเปลี่ยนแอมพลิจูดไปครบ 1 รอบ สัญญาณเอฟเอ็ม ก็จะเปลี่ยนตามไปครบ 1 รอบด้วย ถ้าค่าอัตราการเบี่ยงเบนสูงก็แสดงว่าความถี่ของสัญญาณเสียงสูง ดังนั้นค่าอัตราการเบี่ยงเบนจึงขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณความถี่เสียง

เสียงที่เกิดจากคลื่นเอฟเอ็มนั้นจะมีความดังหรือค่อยแปรผันตามค่าความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็ม ส่วนระดับเสียงสูงต่ำนั้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราของการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็ม ซึ่งอัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของคลื่นเอฟเอ็ม จะแปรไปตามการเปลี่ยนแปลงของความถี่ของสัญญาณความถี่เสียงนั่นเอง ดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงอัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็ม

ในการสร้างคลื่นเอฟเอ็มนั้น ผลจะทำให้เกิดความถี่หลายๆ ความถี่เช่นเดียวกับเรื่องของสัญญาณเอเอ็ม (Amplitude Modulation : AM) แต่ความแตกต่างระหว่างความถี่แถบข้างของระบบเอเอ็มและเอฟเอ็ม คือ ในระบบเอเอ็ม จะมีความถี่แถบข้างเกิดขึ้นเพียงสองความถี่เท่านั้น ความถี่หนึ่งมีค่าเท่ากับผลบวกของความถี่พาหะกับความถี่สัญญาณเสียงและอีกความถี่หนึ่งจะมีค่าเท่ากับผลต่างของความถี่ทั้งสอง ส่วนในระบบเอฟเอ็ม ความถี่แถบข้างจะเกิดขึ้นมากมายนอกเหนือไปจากที่มีในระบบเอเอ็ม

เช่น ตัวอย่าง ถ้านำเอาสัญญาณเสียงพาหะมีความถี่ 1 MHz ไปมอดูเลทกับสัญญาณเสียงที่มีความถี่ 10 kHz จะได้ความถี่แถบข้างที่ค่าเท่ากับ 1010 kHZ และ 980 kHz, 1040 kHz และ960 kHz และความถี่อื่นๆอีกมากมายที่ถูกสร้างขึ้นมา

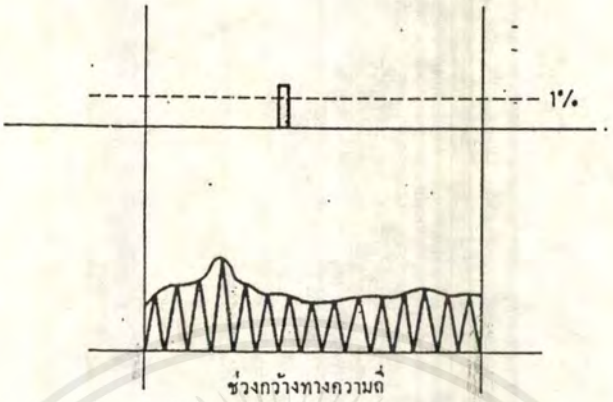
จำนวนความถี่ที่อยู่ในแถบข้างนี้จะขึ้นอยู่กับค่าแอมพลิจูดและความถี่ของสัญญาณความถี่เสียง ถ้าค่าแอมพลิจูดมาก จำนวนของความถี่ในแถบข้างก็จะปรากฏมีมากด้วย

ในเอฟเอ็ม มีส่วนที่แตกต่างจากของเอเอ็ม คือ แถบความถี่ด้านข้างของเอเอ็ม ค่าแอมพลิจูดของความถี่เหล่านี้ พลังงานจะถูกบรรจุอยู่ในนั้น และจะเป็นอิสระต่อสัญญาณพาหะ ส่วนในเอฟเอ็มแถบความถี่ด้านข้างทำให้เกิดกำลังงานจากคลื่นพาหะ ซึ่งหมายความว่า ส่วนของคลื่นพาหะจะน้อยกว่า หรือแอมพลิจูดเล็กกว่า เมื่อก่อนจะมอดูเลท จำนวนของกำลังงานที่เอาไปจากพาหะไปไว้ในแถบความถี่ข้างนั้นขึ้นอยู่กับสัญญาณความถี่เสียง และการเบี่ยงเบนทางความถี่ ดังนั้นถ้าคลื่นพาหะมีกำลังงานเท่ากับศูนย์ แถบความถี่ก็จะมีค่ากำลังงานเท่ากับศูนย์ด้วยเช่นกัน หรือสรุปได้ว่าพลังงานที่อยู่ในบริเวณแถบข้างนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าของพลังงานที่ความถี่คลื่นพาหะ

จากรูปที่ 2.4 เราคงพอเห็นแล้วว่า แถบความถี่แถบข้างของคลื่นเอฟเอ็ม แตกต่างจากเอเอ็มและแอมพลิจูดของความถี่เหล่านี้จะไม่เพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างต่อเนื่องด้วย แต่อย่างไรก็ดี เพื่อหาช่วงกว้างของแถบความถี่นี้จำเป็นจะต้องกำหนดว่า จุดความถี่ใดจึงจะเป็นจุดที่บอกขอบเขตของความถี่เอฟเอ็ม ทั้งนี้เพราะความถี่ที่เกิดขึ้นที่แถบด้านข้างจะมีจำนวนมากมายจนไม่สามารถกล่าวถึงได้หมด แต่ตามมาตรฐานสากลจะสนใจความถี่ของสัญญาณที่อยู่ในแถบด้านข้างที่มีค่ามากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ของสัญญาณความถี่เสียง ความถี่ที่เราให้ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนใจในแถบความถี่ตัวสุดท้ายนี้ เรียกว่า ความถี่แถบข้างปลายบนและความถี่แถบข้างปลายล่าง (Extreme Lower Side band Frequency)

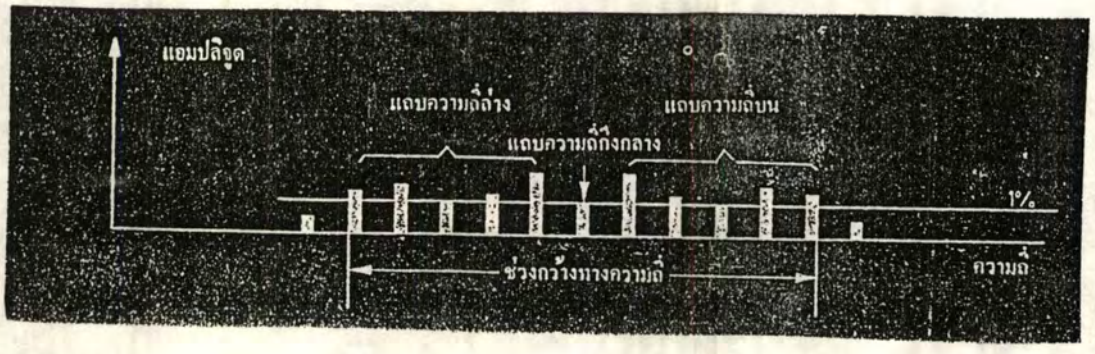


รูปที่ 2.4 แสดงแถบความถี่แถบกว้างของคลื่นเอฟเอ็ม

ดังนั้น ค่าช่วงกว้างของคลื่นเอฟเอ็ม ก็คือช่วงของความถี่แถบข้างปลายบน และความถี่แถบข้างปลายล่าง ช่วงกว้างทางความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็ม จึงมีค่ามากกว่าคลื่นสัญญาณเอเอ็ม

ตัวอย่างเช่น ความถี่ของสัญญาณเสียง 1 kHz เมื่อมอดูเลททางแอมพลิจูดกับคลื่นพาหะที่ความถี่ 100 kHZ จะปรากฏความถี่แถบข้างเป็น 99 kHz และ 101 kHz ดังนั้นช่วงกว้างของความถี่(Bandwidth) จะเท่ากับ 2 kHz แต่ถ้าคลื่น 1 kHz นี้ ไปมอดูเลททางความถี่กับคลื่นสัญญาณพาหะ 100 kHz จะปรากฏความถี่แถบข้างจำนวนหลายความถี่ เช่น 99 kHz และ 101 kHz, 98 kHz และ 120 kHz ฯลฯ จะเห็นว่าช่วงกว้างของความถี่ของคลื่นเอฟเอ็ม จะมีค่ามากกว่าช่วงกว้างทางความถี่ของคลื่นเอเอ็ม

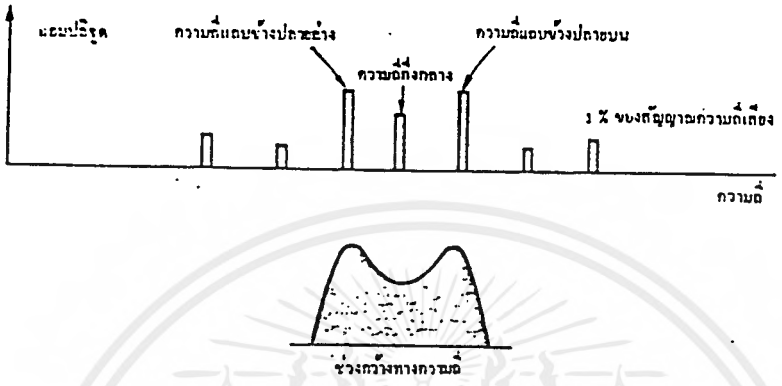
เมื่อคลื่นสัญญาณเอฟเอ็ม มีช่วงความถี่มากๆ เราเรียกคลื่นสัญญาณเอฟเอ็มนั้นว่าเป็นชนิดแถบกว้าง (Wide Band) และเอฟเอ็มชนิดนี้ ต้องการคลื่นพาหะที่มีความถี่สูงๆมิฉะนั้นจะเกิดการสอดแทรกกับสถานีข้างเคียงได้ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงคลื่นสัญญาณเอฟเอ็มชนิดแถบกว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติเราสามารถทำให้คลื่นสัญญาณเอฟเอ็ม มีช่วงกว้างทางความถี่เหมือนเอเอ็มได้ โดยการจำกัดค่าการเบี่ยงเบนสูงสุดเอฟเอ็มลง เราเรียกสัญญาณเอฟเอ็มชนิดนี้ว่า สัญญาณที่มีแถบความถี่แคบ (Narrow Band FM) แต่วิธีนี้จะทำให้เกิดความเพี้ยนได้มาก



รูปที่ 2.6 แสดงคลื่นสัญญาณเอฟเอ็มชนิดแถบความถี่แคบ

ช่วงกว้างทางความถี่ของสัญญาณ เอฟเอ็ม สามารถนำไปดัดแปลงใช้ประโยชน์ คือ

1) เพื่อใช้หาความยาวของเสาอากาศ หรือ ขนาดของห้อง หรือ ความยาวของการสะท้อนของคลื่น

2) เพื่อใช้หาความกว้างของช่วงคลื่น เพื่อให้วงจรอิเลคทรอนิกส์ ของเครื่องรับทำงานได้ตลอดช่วงความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็ม

2.2 การดีมอดูเลทางความถี่ (Frequency Demodulation)

การดีมอดูเลทสัญญาณหรือเรียกอีกอย่างว่า การดีเทคชั่น (detection) การแยกเอาสัญญาณเสียงหรือสัญญาณข้อมูลข่าวสารกลับคืนมาจากสัญญาณเอฟเอ็ม

ในการแยกสัญญาณเสียงออกจากสัญญาณเอฟเอ็ม ขนาดของสัญญาณเสียงจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเปลี่ยนแปลงตามความเบี่ยงเบนของความถี่เอฟเอ็ม การเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณเสียงต่อความถี่ที่เบี่ยงเบนจะต้องถูกต้องตลอดเวลา ขณะที่สัญญาณเอฟเอ็มไม่มีการเบี่ยงเบนความถี่ก็คือความถี่กึ่งกลางของสัญญาณ สัญญาณเสียงก็จะเป็นศูนย์ แต่ถ้าสัญญาณเอฟเอ็มเบี่ยงเบนในทางที่สูงขึ้น ขนาดของสัญญาณเสียงจะเปลี่ยนเป็นบวกเพิ่มขึ้น จนกระทั่งสัญญาณเอฟเอ็มเบี่ยงเบนจนมีความถี่สูงสุด ขนาดของสัญญาณเสียงก็จะเป็นบวกสูงสุด ความถี่เบี่ยงเบนเริ่มลดลง ขนาดของสัญญาณเสียงก็จะลดลงจนกระทั่งเป็นความถี่กลางสัญญาณเสียงก็จะเป็นศูนย์ ในทำนองเดียวกันเมื่อสัญญาณเอฟเอ็มเบี่ยงเบนทางด้านต่ำ สัญญาณเสียงก็จะเป็นลบมากที่สุด ขนาดของสัญญาณเสียงจะเป็นศูนย์อีกครั้งเมื่อความถี่เอฟเอ็มเป็นความถี่กลาง

ในการแยกสัญญาณเสียงออกจากสัญญาณเอฟเอ็มมีความสำคัญอย่างมากในระบบการดีมอดูเลทแบบเอฟเอ็ม เพราะการแยกสัญญาณเสียงที่มีความถูกต้องเหมือนเดิมนั้น การทำงานจะต้องมีความถูกต้องและมีความไวในการเปลี่ยนความถี่เบี่ยงเบนให้เป็นสัญญาณเสียงได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรเอฟเอ็มดีเทกเตอร์ (FM Detector)

ลักษณะของเอฟเอ็มดีเทกเตอร์เป็นวงจรที่ซึ่งแรงดันเอาท์พุทจะแปรโดยตรงกับความแตกต่างระหว่างความถี่อ้างอิงกับความถี่สัญญาณอินพุทดีเทกเตอร์จะถูกปรับเพื่อให้เอาท์พุทมีขนาดเท่ากัน ลักษณะของดีเทกเตอร์ในทางปฏิบัติจะมีความถี่และแรงดันที่จำกัด และจะไม่เป็นลิเนียร์อย่างสมบูรณ์ สำหรับการแยกสัญญาณข้อมูลออกจากสัญญาณเอฟเอ็มสามารถทำได้หลายวิธี ในที่นี้จะกล่าวถึงเอฟเอ็มดีเทกเตอร์แบบควอดราเจอร์ดีเทกเตอร์ (Quadrature detector)

ควอดราเจอร์ดีเทกเตอร์ เป็นวงจรที่มีหลักการทำงานดังนี้

1. แบ่งสัญญาณไอเอฟออกเป็น 2 ส่วน

2. ให้ส่วนหนึ่งผ่านเข้าไปในวงจรที่มีเฟส 90 องศา ออกไปรวมกับค่าเวลาคงที่ของการเบี่ยงเบนความถี่กลาง (Constant time IF deviation) จากความถี่กลาง

3. นำในส่วนที่เลื่อนและไม่ได้เลื่อนมาคูณกัน

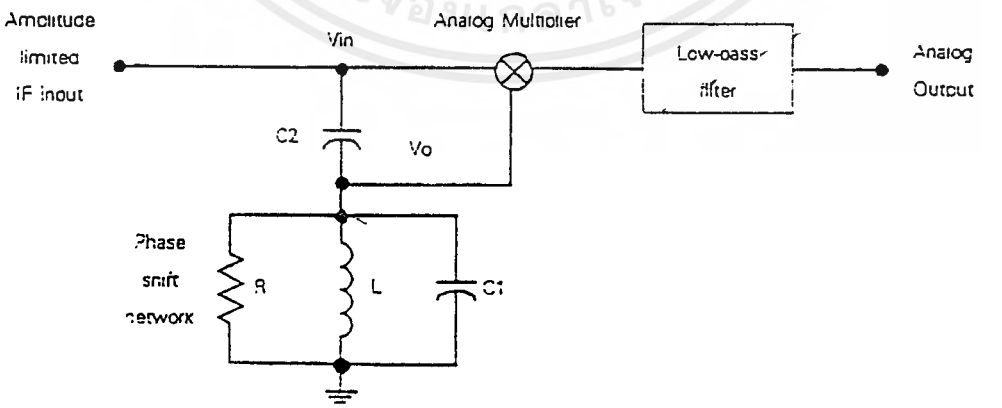
4. เลือกส่วนของความถี่เสียงจากสเปคตรัมของผลคูณ ซึ่งสามารถคำนวณได้ ให้ IF center radian frequency ω_0 และเฟสชิฟ $\Delta\theta$

$$\Delta\theta = \pi/2 - K(\omega - \omega_0) = \pi/2 - K\Delta\omega \qquad (2.1)$$

ให้อินพุทคือ $v_0 \sin\omega_t$

$$v_0 \sin(\omega_t + \pi/2 - K\Delta\omega) = v_0 \cos(\omega_t - K\Delta\omega) \qquad (2.2)$$

คูณเข้าด้วยกันจะได้ $v^2 \sin(\omega_t)\cos(\omega_t - K\Delta\omega)$ องค์ประกอบสัญญาณความถี่สูงจะถูกกรองทิ้งไป คงเหลือแต่สัญญาณความถี่ต่ำ คือ $-[v_0^2 \sin(K\Delta\omega)]/2$ สำหรับ $K\Delta\omega$ มีค่าน้อยๆ จะได้ $\sin(K\Delta\omega)$ มีค่าประมาณ $K\Delta\omega$ เทอมนี้จะเป็นลิเนียร์ใน $\Delta\omega$ และจะให้มอดูเลทติ้งเวฟฟอร์มออกมา



รูปที่ 2.7 วงจรควอดราเจอร์ดีเทกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.7 เป็นวงจรของควอดราเจอร์ดีเทคเตอร์ เรโซแนนซ์ที่ ω_0 และเฟสชิฟ ΔQ ระหว่าง V_0 และ V_{in} กำหนดโดย

$$\Delta Q = \arg(V_0/V_{in}) = (\pi/2) - \tan^{-1}(Q_0\delta) \quad (2.3)$$

Q_0 คือ ค่า Q ของวงจรเรโซแนนซ์ที่ ω_0 และ

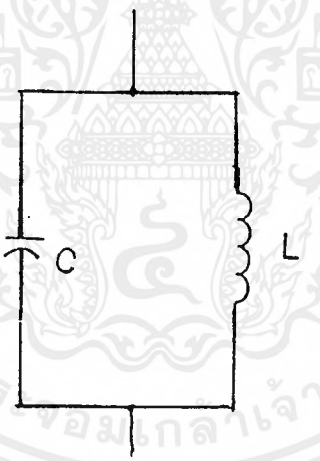
$$\delta = (\omega/\omega_0) - (\omega_0/\omega) \quad (2.4)$$

สำหรับความถี่ที่เลื่อนไปเล็กน้อย ΔQ จะเป็นลิเนียร์กับความถี่ สำหรับวงจรที่ให้เสียงที่มีคุณภาพ

2.3 วงจรแทงก์(TANK CIRCUIT) หรือ วงจรเรโซแนนซ์ (PARALLEL RESONANCE)

การที่วงจรดักความถี่จะดักเอาความถี่อะไรนั้นย่อมขึ้นอยู่กับการเรโซแนนซ์ ความถี่เรโซแนนซ์สามารถหาได้จากสมการ 2.5

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.5)$$



รูปที่ 2.8 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

<u>พิสูจน์สมการ 2.5</u> จากรูปที่ 2. 8: ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรมีค่า

$$\frac{1}{Z} = j\omega C + \frac{1}{j\omega L} \quad (2.6)$$

$$Z = \frac{j\omega L}{1-\omega^2 LC} \quad (2.7)$$

วงจรเรโซแนนซ์แบบขนานค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรจะมีค่าสูงสุด(กระแสไหลต่ำสุด) ที่ความถี่เรโซแนนซ์

$$1-\omega^2 LC = 0 \quad (2.8)$$

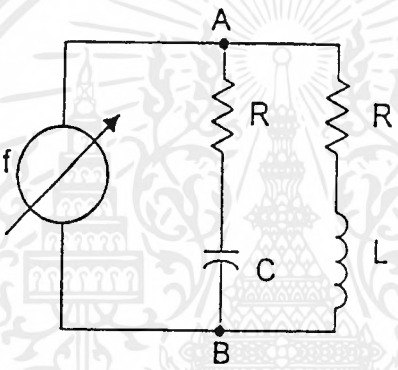
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$1 = (2\pi f_r)^2 LC \tag{2.9}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{2.10}$$

วงจรแทงก์ เป็นวงจรวงจรเรโซแนนซ์ที่เราใช้ในการจูนรับคลื่นวิทยุในสภาพที่เกิดการเรโซแนนซ์ อิมพีแดนซ์ของวงจรจะมีค่าสูงสุด (กระแสไหลต่ำสุด) จึงสามารถสะสมกำลังไว้ในตัววงจรแทงค์ได้ เป็นวงจรที่ประกอบด้วย R,L,C ต่อขนานกัน เมื่อแหล่งกำเนิดผลิตความถี่ ผลิตความถี่ต่ำๆ ค่าความต้านทานของ C จะมีค่ามาก และค่า X_L จะมีค่าน้อย ถ้าความถี่สูงขึ้น ค่า X_C จะน้อยลง ขณะที่ X_L มีค่าเพิ่มขึ้น หากเราทดลองปรับความถี่จะพบว่ามีจุดหนึ่งที่ค่า X_L กับ X_C เท่ากัน

ที่จุดนี้ทำให้ความต้านทานรวมในวงจรมีค่าสูงสุด เมื่อใช้แอมป์มิเตอร์วัดจะพบว่าที่จุดนี้มี กระแสไหลน้อยที่สุด จุดนี้คือ "จุดเรโซแนนซ์"



รูปที่ 2.9 วงจรจูนแบบขนาน

สมมติมีเฟสบวกเข้ามาทางจุด A ขดลวดเกิดการพองตัว ในขณะที่ C มีการชาร์จประจุหากครึ่งไซเคิลต่อมา เฟสลบเข้ามาบ้าง ขดลวดจะเกิดการยุบตัวและคาปาซิเตอร์เกิดการคายประจุ เนื่องจากกระแสที่ไหลผ่าน L จะล้าหลังแรงเคลื่อนไฟฟ้าอยู่ 90° และกระแสที่ไหลผ่าน C จะนำหน้าแรงเคลื่อนไฟฟ้าอยู่ 90°

กฎของเคอร์ชอฟที่กล่าวไว้ว่า กระแสที่ไหลเข้า ณ จุดหนึ่งย่อมเท่ากับกระแสที่ไหลออก ณ จุดนั้น

$$I = I_L + I_C \tag{2.11}$$

เมื่อเกิดเรโซแนนซ์ อิมพีแดนซ์ $X_L = X_C$ ดังนั้น I_L จึงเท่ากับ I_C เนื่องจากกระแสทั้งสองค่าเฟสกัน 180° ดังนั้นกระแสในวงจรจึงเท่ากับศูนย์ และค่า R ในวงจรมีผลสำคัญต่อตัวประกอบคุณภาพ(Quality Factor) หรือค่า Q ซึ่งหาได้จากสูตร

$$Q = \frac{X}{R} \tag{2.12}$$

ค่า Q เป็นตัวหนึ่งที่บอกค่า Bandwidth ของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$BW = \frac{f_r}{Q} \qquad (2.13)$$

ซึ่ง Q = ตัวประกอบคุณภาพ(Quality Factor)

X = รีแอคแตนซ์ (Reactance) (X_L หรือ X_C มีหน่วยเป็นโอห์ม)

R = รีซิสแตนซ์(Resistance) มีหน่วยเป็นโอห์ม

BW = ค่า Bandwidth

การออกแบบวงจร หากว่าออกแบบให้ค่า Q ยิ่งมาก การรับคลื่นวิทยุ หรือการดักคลื่นจะเกิดซีเลกติวิตี้ดีมาก (High Selectivity) โดยค่าของ BW ก็จะยิ่งแคบ

2.4 หลักการเลือกความถี่ของสัญญาณ DTMF

การเลือกความถี่ของสัญญาณ DTMF นั้นไม่ใช่มาจากการสุ่มตัวเลข หรือกำหนดตามใจชอบ แต่มาจากการศึกษาถึงผลดี-ผลเสียอย่างรอบคอบ โดยเราจะเลือกความถี่ที่อยู่ในย่านความถี่ของสัญญาณโทรศัพท์ (300-3400 Hz) และจะต้องไม่มีโทนที่เป็นฮาร์โมนิก (Harmonic) หรือใกล้เคียงฮาร์โมนิกซึ่งกันและกัน และปกติสัญญาณความถี่ DTMF ต้องเป็นสัญญาณรูปไซน์ล้วนๆ (Pure Sine Wave) จึงมีจุดอ่อนถ้าฮาร์โมนิกที่ n เกิดไปตรงกับอีกความถี่หนึ่ง ในกรณีที่เกิดความเพี้ยนจากวงจรผลิตความถี่ ไม่ให้ความถี่เป็นสัญญาณรูปไซน์ล้วนๆ จริง ความถี่ DTMF ที่เรานำมาใช้ ทดลองค้นคว้าโดย Bell Telephone System เมื่อปี ค.ศ. 1950 ความถี่ต่างๆ ที่ใช้งานมีดังตารางที่ 2.1

ตัวอย่าง ให้หาฮาร์โมนิกที่ 2 ของความถี่สัญญาณ DTMF เลข 3

ความถี่ของเลข 3 คือ ความถี่ 697 Hz & 1477 Hz

ฮาร์โมนิกที่ 2 คือ ความถี่ 1394 Hz & 2954 Hz

จะเห็นว่า 1394 Hz มีค่าอยู่ระหว่างหลักที่ 2 และ 3

และ 2954 Hz มีค่าเกินกว่า 1633 Hz ซึ่งเกินค่าที่เราใช้งาน

	1209	1366	1477	1633
697	1	2	3	A
770	4	5	6	B
852	7	8	9	C
941	*	0	#	D

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหมายเลขบนแป้นกดกับความถี่ประจำแถวหลัก

ตัวอย่าง จงหาค่าความถี่ที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดความผิดพลาดของความถี่สัญญาณ DTMF หาค่าผลบวกและผลต่างของความถี่สัญญาณ DTMF หมายเลข 3

ผลรวม = 697 + 1477 = 2174 Hz มีค่าเกิน 1633 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลต่าง = 1477 - 697 = 780 Hz มีค่าอยู่ระหว่าง 770 Hz และ 852 Hz

ในระบบนี้จะมีความถี่แตกต่างกันทั้งหมด 8 ความถี่ ซึ่งอยู่ในระดับของกลื่นเสียง หรือจะเรียกอีกอย่างว่า ระบบ 4*4 การกดปุ่มใดปุ่มหนึ่งนั้นสัญญาณจะถูกส่งออกไป 2 ความถี่ (จากกลุ่มความถี่ต่ำ 1 ความถี่ และกลุ่มความถี่สูง 1 ความถี่) ดังตารางที่ 2.1

ข้อได้เปรียบของ DTMF

โดยรวมแล้ว เราใช้สัญญาณ DTMF แทนสัญญาณพัลซ์ เนื่องมาจาก

1. ลดเวลาการหมุน
2. ใช้วงจรอิเลททรอนิกส์ โซลิด-เสตจ
3. สามารถใช้กับสัญญาณ end-to-end หลังจากได้ต่อการเรียกแล้ว (การส่งข้อมูลด้วยความเร็วต่ำ)
4. ลดความต้องการของอุปกรณ์ชุมสายโลคอล
5. เข้ากันได้เป็นอย่างดีกับระบบชุมสาย SPC

2.5 การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอกโดยใช้สวิทช์-คาปาซิเตอร์ (SWITCHED-CAPACITOR DACS)

เทคโนโลยีใหม่ล่าสุดที่ใช้ในการสร้าง D/A คอนเวอร์เตอร์ คือ การใช้ เวจเต็ด คาปาซิเตอร์ (weighted capacitor) แทนที่รีซิสเตอร์ ด้วยวิธีนี้ คาปาซิเตอร์ที่มีการชาร์จประจุจากแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ ที่ได้จากการแบ่งแรงดัน โดยเอ้าท์พุทของมัน จะเป็นสัดส่วนกับผลรวมของอินพุทไบนารี่

เพื่อช่วยให้เกิดความเข้าใจในวิธีนี้ เราลองย้อนถึงทฤษฎีการแบ่งแรงดันของคาปาซิเตอร์ รูป 2.10 แสดงตัวอย่างของคาปาซิเตอร์ 2 ตัว ผลรวมสมมูลย์ของค่าคาปาซิแตนซ์ ของคาปาซิเตอร์ 2 ตัวที่ต่ออนุกรมกัน คือ

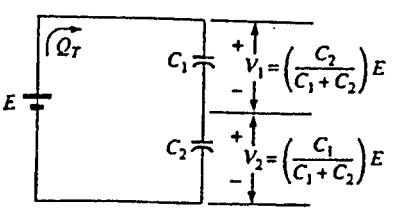
$$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \qquad (2.14)$$

นอกจากนี้ ผลรวมของประจุที่ถูกส่งมายังวงจร ซึ่งจะเท่ากับประจุของทั้ง C_1 และ C_2 คือ

$$Q_1 = Q_2 = Q_T = C_T E = \left(\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}\right) E \qquad (2.15)$$

โดยแรงดันคร่อม C_2 คือ

$$V_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{Q_T}{C_2} = \frac{\left(\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}\right) E}{C_2} = \left(\frac{C_1}{C_1 + C_2}\right) E \qquad (2.16)$$



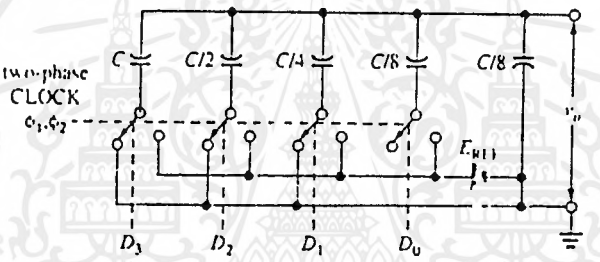
รูป 2.10 แสดงการแบ่งแรงดันของคาปาซิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

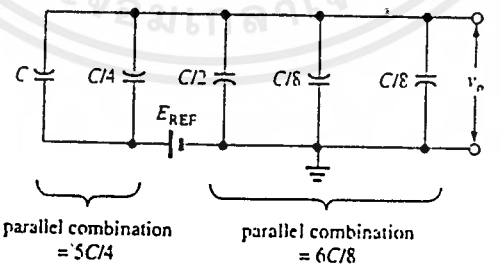
จะได้

$$V_1 = \left(\frac{C_2}{C_1 + C_2}\right) E \qquad (2.17)$$

รูปที่ 2.11(ก) แสดงตัวอย่างของ 4 บิท สวิทช์-คาปาซิเตอร์ D/A คอนเวอร์เตอร์ จะสังเกตเห็นว่าค่าคาปาซิแตนซ์ จะมีไบนารี่ เวจ นาฬิกา 2 เฟส จะใช้ในการควบคุมการสวิทช์ของคาปาซิเตอร์ นาฬิกา 2 เฟสจะประกอบด้วย สัญญาณนาฬิกา ϕ_1 และ ϕ_2 ϕ_1 จะเป็นระดับสูง เมื่อ ϕ_2 เป็นระดับต่ำ และ ϕ_2 จะเป็นระดับสูง เมื่อ ϕ_1 เป็นระดับต่ำ เมื่อ ϕ_1 เป็นระดับสูง คาปาซิเตอร์ทุกตัวจะสวิทช์ไปยังกราวน์ และคายประจุ เมื่อ ϕ_2 เป็นระดับสูง คาปาซิเตอร์เหล่านั้นที่มีอินพุทดิจิตอลเป็นระดับสูงจะสวิทช์ไปยัง E_{ref} , โดยคาปาซิเตอร์ พวกที่อินพุทเป็นระดับต่ำยังคงต่ออยู่กับกราวน์ รูป 2.11(ข) แสดงวงจรสมมูลย์เมื่อ ϕ_2 เป็นระดับสูง และมีอินพุทดิจิตอลเป็น 1010 เราจะเห็นว่า คาปาซิเตอร์ 2 ตัวที่มีอินพุทดิจิตอลเป็น 1 จะต่อขนานกันอยู่ เช่นเดียวกับ คาปาซิเตอร์ 2 ตัวที่อินพุทดิจิตอลเป็น 0 เราจะลดรูปวงจรได้ดังรูป 2.11(ค)

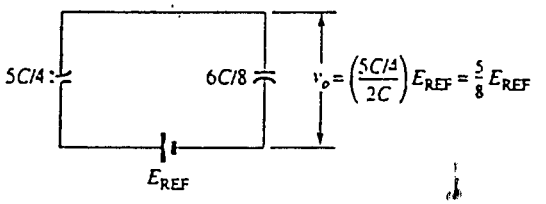


รูปที่ 2.11 (ก) คาปาซิเตอร์ทุกตัว จะสวิทช์ไปยังกราวน์โดย ϕ_1 คาปาซิเตอรเหล่านั้นที่อินพุทดิจิตอลเป็น 1 จะสวิทช์ไปยัง E_{ref} โดย ϕ_2



รูปที่ 2.11 (ข) วงจรสมมูลย์เมื่อมีอินพุทเป็น 1010 คาปาซิเตอร์ที่สวิทช์ไปยัง E_{ref} จะต่อขนานกัน ดังเช่นอีกพวกหนึ่งที่ต่อกับกราวน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 (ค) วงจรสมมูลย์จาก(ข) เอ้าท์พุท จะพิจารณามาจากการแบ่งแรงดันของคาปาซิเตอร์
รูปที่ 2.11 แสดงสวิทช์-คาปาซิเตอร์ D/A คอนเวอร์เตอร์

โดยคาปาซิเตอร์ที่ต่อขนานกันจะถูกแทนที่ด้วยค่าสมมูลย์ (ผลรวม) ของมัน เอ้าท์พุทของการแบ่งแรงดันคาปาซิเตอร์ คือ

$$v_o = \left(\frac{5C/4}{5C/4 + 6C/8}\right)E_{REF} = \left(\frac{5C/4}{2C}\right)E_{REF} = \frac{5}{8}E_{REF} \qquad (2.18)$$

เศษในสมการ (2.18) จะเป็น 2C เสมอ, ผลรวมของค่าคาปาซิแตนซ์ในวงจร จากการวิเคราะห์ก่อนหน้านี้ เราจะเห็นได้ว่า เอ้าท์พุทของวงจรโดยทั่วไป จะเป็น

$$v_o = \left(\frac{C_{eq}}{2C}\right)E_{REF} \qquad (2.19)$$

โดยค่า C_{eq} นี้จะเป็นผลรวมสมมูลย์ของค่าคาปาซิแตนซ์ ที่อินพุทดิจิตอลเป็นสูง ตาราง 2.2 แสดงเอ้าท์พุทอนาลอก จะเป็นสัดส่วนกับอินพุทดิจิตอล สำหรับกรณีของอินพุทเป็น 0000 จะสังเกตได้ว่าขั้วบวกของ E_{ref} ในรูป 2.11 จะเป็นการเปิดวงจร ดังนั้นเอ้าท์พุทจะเป็น 0 V

Binary Input $D_3D_2D_1D_0$	V_0
0000	0
0001	(1/16)E_{REF}
0010	(1/8)E_{REF}
0011	(3/16)E_{REF}
0100	(1/4)E_{REF}
0101	(5/16)E_{REF}
0110	(3/8)E_{REF}
0111	(7/16)E_{REF}
1000	(1/2)E_{REF}
1001	(9/16)E_{REF}
1010	(5/8)E_{REF}
1011	(11/16)E_{REF}
1100	(3/4)E_{REF}
1101	(13/16)E_{REF}
1110	(7/8)E_{REF}
1111	(15/16)E_{REF}

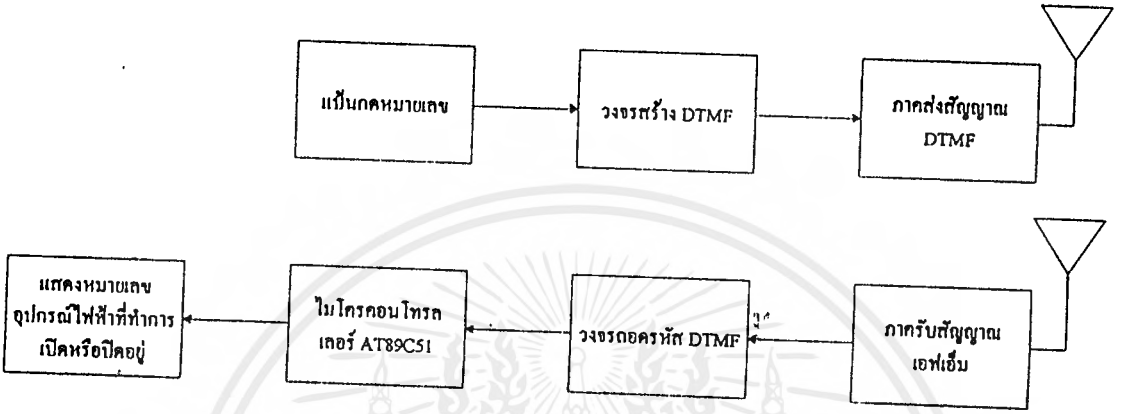
ตาราง 2.2 แรงดันเอ้าท์พุทจะผลิตโดย 4 บิท สวิทช์-คาปาซิเตอร์ D/A คอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็น ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

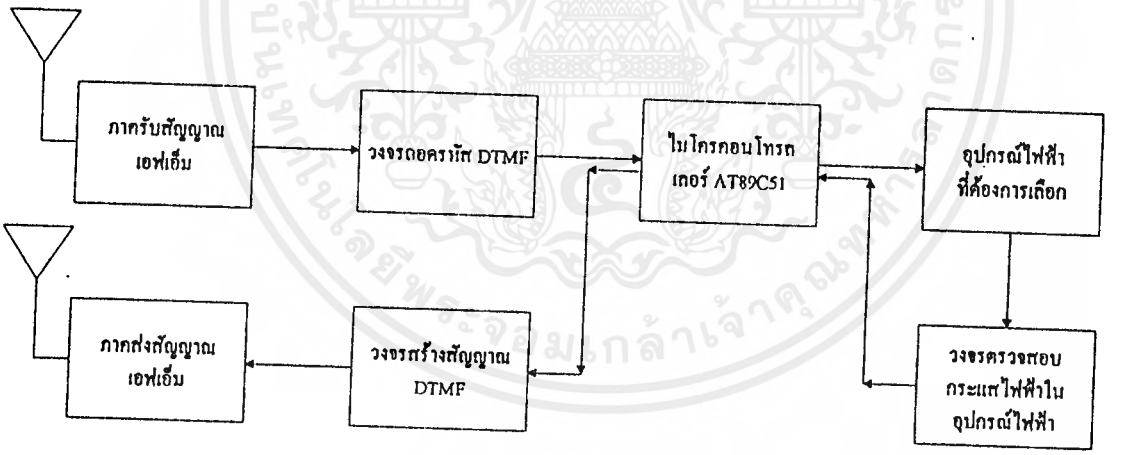
บทที่ 3
โครงสร้างและการทำงานของวงจร

3.1 โครงสร้างของวงจร

แสดงโดยใช้บล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 3.1



(ก) เครื่องควบคุม

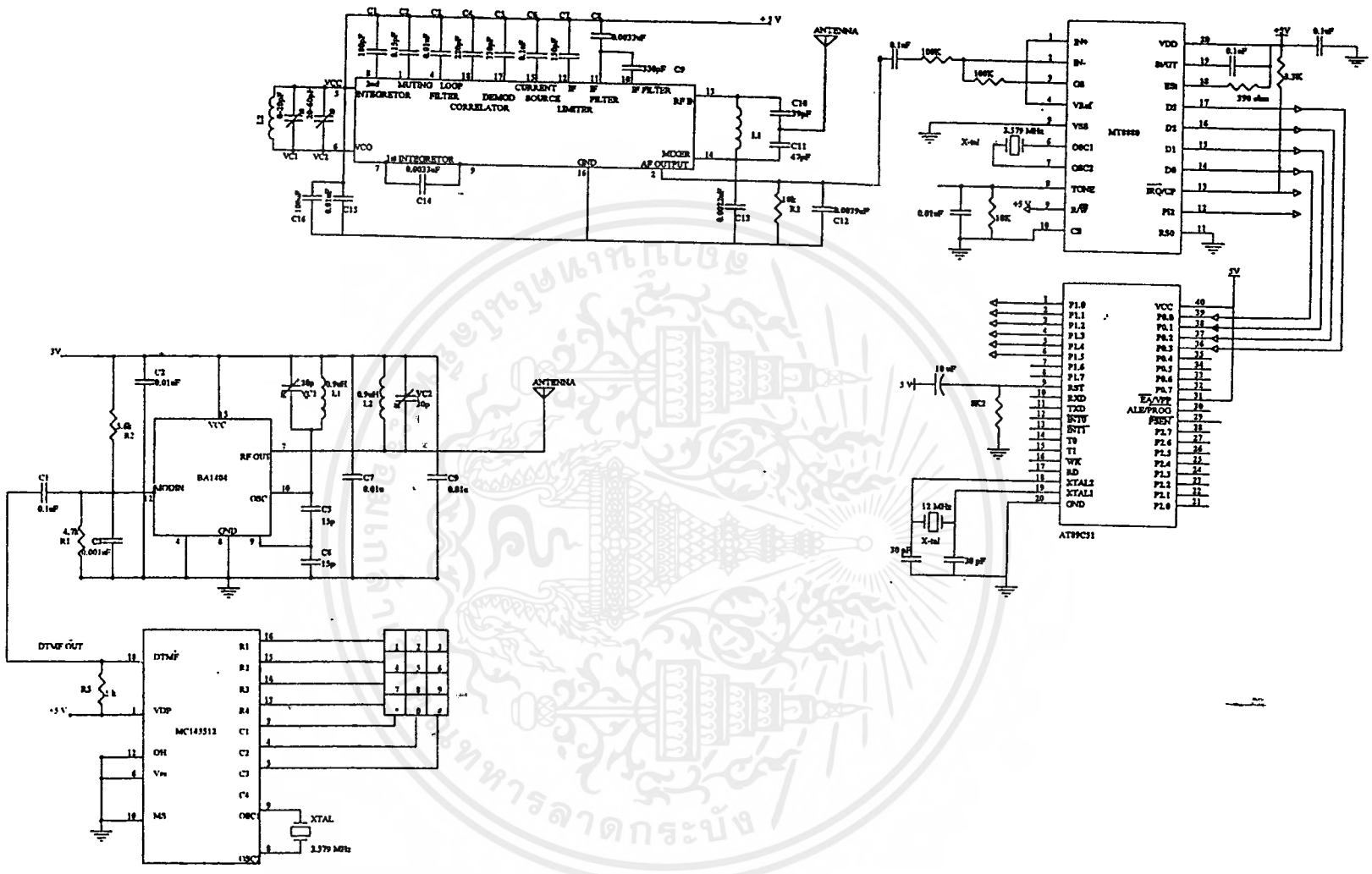


(ข) อะแคปเตอร์

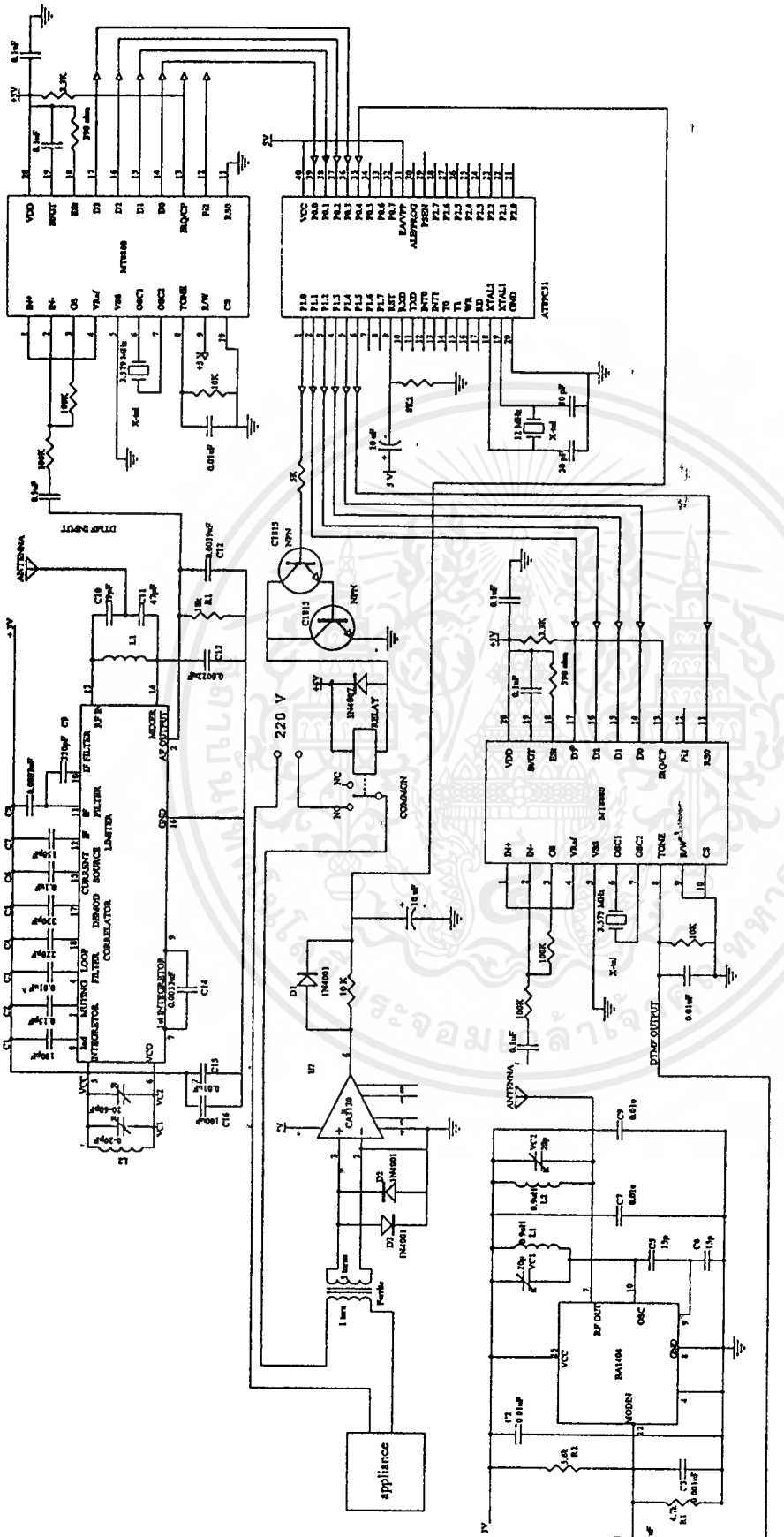
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องควบคุมระยะไกลโดยใช้คลื่นวิทยุ

ในรูปที่ 3.2 แสดงวงจรเครื่องควบคุมและอะแคปเตอร์ ในเครื่องควบคุมจะประกอบด้วยภาคส่งและภาครับซึ่งในภาคส่งจะประกอบด้วยวงจรสร้างสัญญาณ DTMF โดยใช้ไอซีเบอร์ MC145412 ผลิตสัญญาณ DTMF และวงจรมอดูเลเตอร์ โดยเราเลือกใช้ไอซีเบอร์ BA1404 มอดูเลทที่ความถี่ 49 MHz ส่วนภาครับประกอบด้วย วงจรดีมอดูเลเตอร์ ใช้ไอซีเบอร์ TDA7000 ออสซิลเลทที่ความถี่ 60 MHz วงจรถอดรหัสสัญญาณ DTMF โดยใช้ไอซีเบอร์ MT8880 และไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 ทางด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.2 (ก) เครื่องควบคุม



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรของเครื่องควบคุมระยะใกล้โดยใช้คลื่นวิทยุ

รูป 3.2 (ข) อะเดปเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะเดปเตอร์ที่ต่ออยู่กับอุปกรณ์ไฟฟ้าจะประกอบด้วยวงจรต่างๆ ดังนี้ วงจรดีมอดูเลเตอร์ใช้ไอซีเบอร์ TDA7000 ออสซิลเลตที่ความถี่ 49 MHz วงจรถอดรหัสสัญญาณ DTMF โดยเลือกใช้ไอซีเบอร์ MT8880 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 รีเลย์ วงจรตรวจกระแสไฟฟ้าในอุปกรณ์ไฟฟ้า วงจรสร้างรหัสสัญญาณ DTMF และวงจรมอดูเลเตอร์โดยใช้ไอซีเบอร์ BA1404 มอดูเลทที่ความถี่ 60 MHZ การทำงานของเครื่องควบคุมระยะไกลเป็นดังนี้ เมื่อเราต้องการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าเครื่องใดให้เรากดหมายเลขเครื่องที่แป้นโทรศัพท์ เมื่อเลือกเครื่องเสร็จก็ทำการกดปุ่มอีกครั้งเพื่อให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเครื่องนั้นเปิดหรือปิด โดยหมายเลข 8 จะเป็นการเปิด และหมายเลข 9 เป็นการปิด สัญญาณ DTMFเอาท์พุทจะออกจากขา 18 ของไอซี MC145412 และถูกส่งเข้าไปในวงจรมอดูเลเตอร์เพื่อมอดูเลทกับคลื่นพาหะความถี่ 49 MHz สัญญาณ DTMF ที่ถูกมอดูเลทแล้วจะถูกส่งผ่านสายอากาศออกไปให้อะเดปเตอร์ที่อุปกรณ์ไฟฟ้า วงจรดีมอดูเลเตอร์ออสซิลเลตที่ความถี่ 49 MHz ของเครื่องรับจะทำการดีเทคสัญญาณเอฟเอ็มได้สัญญาณ DTMF โดย DTMF เอาท์พุทนี้ออกจากขา 2 ของไอซี TDA7000 เข้าไปเป็นอินพุทของวงจรถอดรหัสสัญญาณDTMF ซึ่งทำหน้าที่ถอดรหัสสัญญาณได้เอาท์พุทออกมาที่ขา 14, 15, 16 และ17 ของไอซี MT8880 เอาท์พุทที่ได้จะถูกนำไปป้อนเป็นอินพุทของไมโครคอนโทรลเลอร์ สัญญาณเอฟเอ็มครั้งแรกที่ได้จะเป็นหมายเลขของอุปกรณ์ไฟฟ้าถ้าตรงกับหมายเลขของอุปกรณ์ไฟฟ้าเครื่องนั้น ก็จะทำการรับสัญญาณเอฟเอ็มครั้งที่สองซึ่งเป็นการสั่งให้ทำการเปิดหรือปิดอุปกรณ์ตัวนั้น ถ้าสั่งให้เปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า ขา P1.0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะถูกเซต ค่าโวลเตจที่ขา P1.0 จะขับให้ทรานซิสเตอร์เปลี่ยนจากสภาวะออฟเป็นสภาวะออนและค่าโวลเตจจะถูกขยายด้วยวงจรดาลิงตันซึ่งต่อด้วยทรานซิสเตอร์ C1815 2 ตัว ค่าโวลเตจที่ได้ทำให้รีเลย์สวิตช์ ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าทำงาน เมื่ออุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานก็จะมีกระแสไหลในสายไฟ ซึ่งเรานำแกนเฟอร์ไรต์ไปพันกับสายไฟ 1 รอบ เป็นด้านปฐมภูมิ และพันแกนเฟอร์ไรต์อีกด้านด้วยขดลวด 5 รอบ เป็นด้านทุติยภูมิ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในสายไฟ จะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าและแรงดันในขดลวดทุติยภูมิ นำปลายขดลวดทุติยภูมิไปต่อเข้ากับออปแอมป์ CA3130 เพื่อขยายสัญญาณชายน์ เอาท์พุทที่ขา 6 ของออปแอมป์ได้เป็นพัลซ์ ซึ่งเรานำพัลซ์ที่ได้ไปผ่านวงจรเรกติไฟเออร์ ได้เป็นสัญญาณไฟDC ออกมา นำสัญญาณไฟDC ที่ได้ไปป้อนให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ขา P0.5 ทำให้ P0.5 ถูกเซต ซึ่งหมายความว่าอุปกรณ์ไฟฟ้ามีกระแสไหล ถ้าขา P0.5 ถูกเคลียร์จะหมายถึงอุปกรณ์ไฟฟ้าไม่มีกระแสไฟไหล และไม่ว่าขา P0.5 ถูกเซตหรือไม่ก็ตาม ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะควบคุมให้ไอซี MT8880ให้สร้างสัญญาณDTMF เพื่อนำไปมอดูเลทกับคลื่นพาหะความถี่ 60 MHz แล้วส่งสัญญาณเอฟเอ็มนี้ไปให้เครื่องควบคุมเพื่อแสดงหมายเลขและสถานะของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น

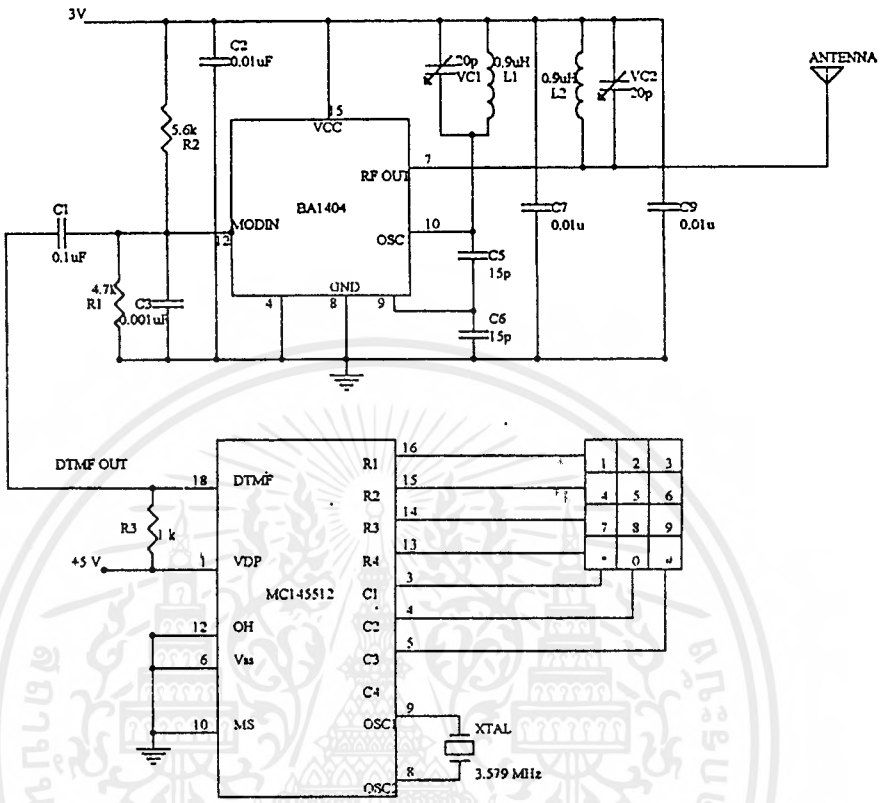
3.2 การทำงานของวงจร

แบ่งการอธิบายได้เป็นส่วนๆ ดังนี้

3.2..1 <u>ภาคส่งสัญญาณเอฟเอ็ม</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับในโครงงานนี้ได้เลือกใช้เบอร์ BA 1404 ซึ่งเป็นไอซีที่สามารถนำมาใช้ส่งสัญญาณเอฟเอ็มได้ทั้งแบบโมโนและแบบสเตอริโอมัลติเพล็กซ์ได้ แต่ในโครงงานนี้จะจัดการทำงานให้เป็นการส่งแบบโมโน ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรภาคส่งวิทยุเอฟเอ็ม

สัญญาณ DTMF จะคัปปลิ้งผ่าน C_1 เข้าไปขังขามอดูเลทที่ขา 12 ของไอซี BA 1404 เพื่อที่จะผสมกับความถี่ออสซิลเลเตอร์ ส่วน C_3 ทำหน้าที่กรองสัญญาณอาร์เอฟอื่นๆ ที่ปนมากับสัญญาณ DTMF ลงกราวด์ L_1 และ VC_1 ทำหน้าที่เป็นวงจรจูน ซึ่งกำหนดค่าความถี่ของสัญญาณออสซิลเลเตอร์ที่ขา 10 จากนั้นจะได้สัญญาณเอฟเอ็ม ที่ได้จากการมอดูเลทออกมาทางขา 7 โดยมีวงจรจูน L_2 และ VC_2 เป็นตัวปรับรูปร่างของคลื่น จากนั้นสัญญาณเอฟเอ็มที่ได้ก็จะถูกส่งไปยังสายอากาศเพื่อออกอากาศ

3.2.2 <u>ภาครับสัญญาณเอฟเอ็ม</u>

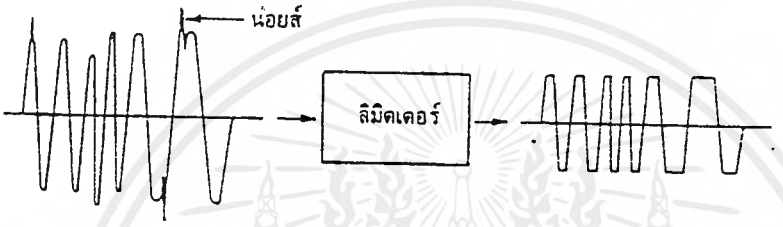
<u>มิกเซอร์</u>

วงจรมิกเซอร์ทำหน้าที่ผสมสัญญาณ RF ที่รับเข้ามากับสัญญาณจากวงจรโลคอลออสซิลเลเตอร์ วงจรมิกเซอร์นี้ออกแบบให้ทำงานในช่วงที่ไม่เป็นลิเนียร์ทำให้เกิดผลลัพธ์เป็นสัญญาณความถี่ผลต่างกับ สัญญาณความถี่ผลรวมซึ่งตัดทิ้งไป ความถี่ผลต่างนี้จะมีค่าเท่ากับความถี่ IF สัญญาณโลคอลออสซิลเลเตอร์ที่เข้าไปบีตหรือผสมที่วงจรมิกเซอร์จะต้องมีค่าพอดีและให้ผลลัพธ์ออกมามีค่าที่ตายตัวซึ่งจะเท่ากับความถี่ IF เสมอ

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
039088

ลิมิตเตอร์

สัญญาณความถี่ไอเอฟที่ได้อาจจะมีนอยส์ (noise) ปนมาด้วย วงจรลิมิตเตอร์จะทำหน้าขลิบสัญญาณทั้งด้านบวกและด้านลบ รวมทั้งนอยส์ก็จะถูกกำจัดทิ้งไปด้วย จากรูปที่ 3.4 สังเกตว่าความถี่ของสัญญาณก่อนและหลังลิมิตเตอร์ ไม่เปลี่ยนแปลง หลักการของวงจรลิมิตเตอร์นี้ก็คือ ป้อนสัญญาณที่มีแอมพลิจูดเกินช่วงทำงานของวงจร (overdrive) จนกระทั่งวงจรขยายอิ่มตัวหรือดัทออฟ ถ้าสัญญาณไอเอฟที่ป้อนมามีแอมพลิจูดน้อย เอาท์พุทจากลิมิตเตอร์จะมีนอยส์ปนออกมาทางออดิโอเอาท์พุท ถ้าป้อนแอมพลิจูดมาแรงๆ นอยส์จะเงียบไป โดยการที่จะลดนอยส์ได้นั้น คือ ขยายสัญญาณไอเอฟให้มากพอที่จะขับให้วงจรลิมิตเตอร์ขลิบสัญญาณเพื่อกำจัดนอยส์ที่ปนมาบนสัญญาณเอฟเอ็ม

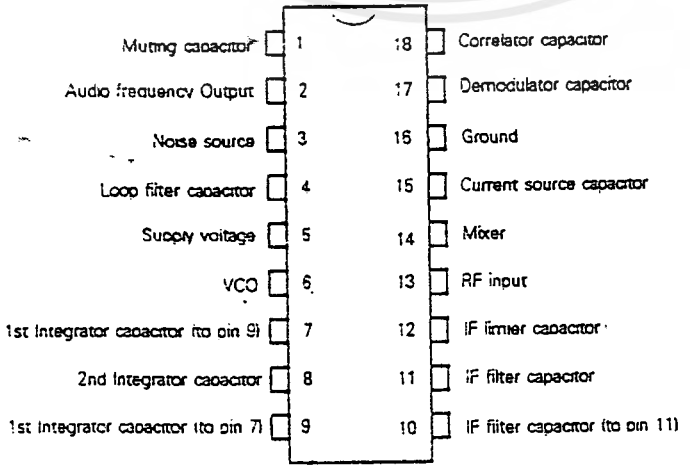


รูปที่ 3.4 แสดงวงจรลิมิตเตอร์จะขจัดนอยส์และการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดของสัญญาณเอฟเอ็ม

ควอดราเจอร์ดีเทคเตอร์

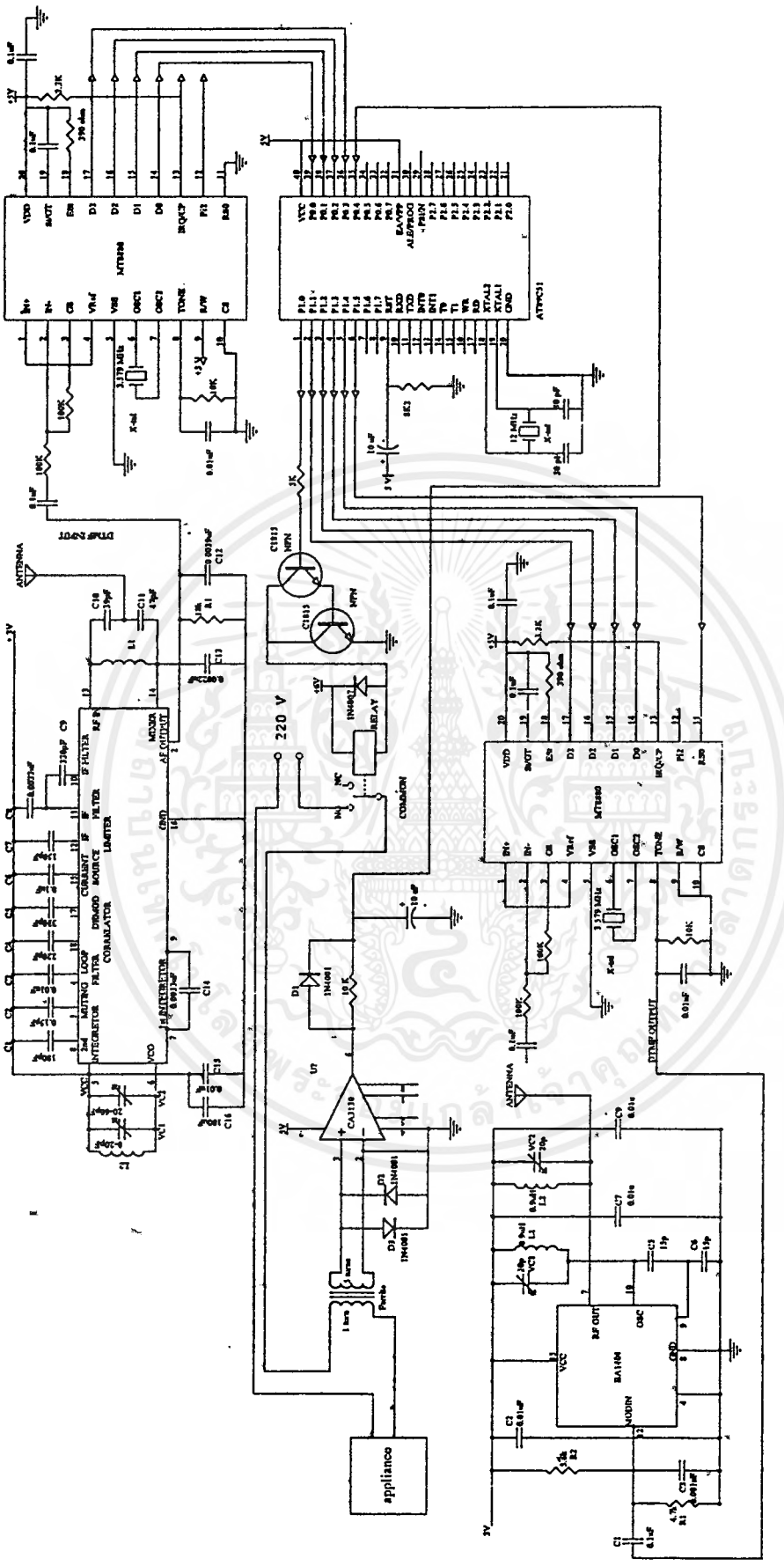
เป็นส่วนที่ใช้ในการแยกสัญญาณ DTMF ออกจากสัญญาณไอเอฟ โดยวงจรดีเทคเตอร์ชนิดนี้อาศัยหลักการคูณสัญญาณเอฟเอ็มกับสัญญาณเอฟเอ็มเดิมแต่เลื่อนเฟสไป 90 องศา ซึ่งจะได้สัญญาณ DTMF ออกมา

โดยภาครับเอฟเอ็มในโครงงานนี้เลือกใช้ไอซีเบอร์ TDA 7000 เป็นภาครับสัญญาณเอฟเอ็ม ซึ่งเป็นแบบซุปเปอร์เฮทเทอร์โรดายน์ ขาของไอซี TDA 7000 แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงขาของไอซี TDA 7000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงวงจรของอะแดปเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และวงจรของภาครับสัญญาณเอฟเอ็มแสดงดังรูปที่ 3.6

ความถี่อาร์เอฟที่รับเข้ามาทางสายอากาศจะเข้าไปยังแบนด์พาสฟิลเตอร์ (Band Pass Filter) เพื่อเลือกรับเอาความถี่ที่ต้องการ โดย L_1 , C_{10} และ C_{11} สัญญาณความถี่ที่ต้องการจะเข้าที่ขา 13 (RF Input) ของ TDA7000 แล้วถูกนำไปผสมกันในวงจรมิกเซอร์ (Mixer) ภายในกับความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ทำการเลือกโดยวงจรแทงก์ชูน (tank tune circuit) ซึ่งประกอบด้วย L_2, VC_1 และ VC_2 โดยผ่าน C_{13} เข้าไปยังขา 14 ซึ่งจะเข้าไปยังวงจรมิกเซอร์ภายในตัวไอซี ความถี่ที่ได้จากวงจรมิกเซอร์จะเข้าสู่ภาคดีมอดูเลเตอร์ (Demodulator) และทำการขยายความถี่ไอเอฟแล้วทำการดีเทคได้สัญญาณ DTMF ออกมาทางขา 2 ของ TDA7000 สัญญาณเอาท์พุทที่ออกจากขา 2 จะไปผ่านวงจรดีเอ็มฟาซิส (De-emphasis) คือ R_1 และ C_{12} แล้วผ่านไปยังส่วนถอดรหัสสัญญาณ DTMF ต่อไป เอาท์พุทจากวงจรถอดรหัสสัญญาณ DTMF จากขาที่14-18 ของไอซี MT8880 จะถูกต่อเข้า ไมโครคอนโทรลเลอร์ และเมื่อเราต้องการเปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า ขาที่1 ของไอซี AT89C51 จะถูกเซตทำให้มีแรงดัน 5 โวลท์ ซึ่งทำให้ทรานซิสเตอร์ C1815 เปลี่ยนจากสภาวะออฟเป็นสภาวะออน กระแสไฟไหลขับให้รีเลย์สวิตช์เปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า ต่อวงจรตรวจสอบกระแสไฟฟ้าที่สายไฟฟ้า โดยพันสายไฟ 1 รอบ ที่แกนเฟอร์ไรท์ และนำขดลวดมาพัน 5 รอบที่แกนเฟอร์ไรท์ เพื่อหนี่ยวนำให้เกิดกระแสในขดลวด นำปลายขดลวดต่อเป็นอินพุทเข้าออปแอมป์ CA3010 เอาท์พุทที่ขา 6 เป็นรูปพัลซ์ ซึ่งต้องนำไปผ่านวงจรเรกติไฟร์ให้ได้เป็นสัญญาณ DC และนำสัญญาณ DC นี้เข้าไปเป็นอินพุทของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อที่จะได้ส่งสัญญาณ DTMF กลับไปยังเครื่องส่งเพื่อบอกสถานะของอุปกรณ์ไฟฟ้าขณะนั้น

3.3 วงจรเข้ารหัส และถอดรหัส DTMF

ในการทำโครงงานนี้ได้นำเอาไอซีเบอร์ MT8880 มาใช้เป็นวงจรเข้ารหัส DTMF และถอดรหัสสัญญาณ DTMF แบบโมโนลิธิคพร้อมด้วย คอลโพรเกรสฟิลเตอร์ สร้างขึ้นโดยใช้ ISO^2 - CMOS เทคโนโลยีของอินเทลซึ่งมีการสูญเสียพลังงานต่ำ และมีความเชื่อถือได้สูง ภาครับมีมาตรฐานเดียวกับ ไอซีเบอร์ MT 8870 ส่วนภาคส่งจะใช้ตัวแปลงสัญญาณ D/A แบบสวิตช์-คาปาซิเตอร์ เพื่อสร้างสัญญาณ DTMF ที่มีความเที่ยงตรงส่งสัญญาณได้ถูกต้อง ภายในไอซีมีตัวนับเพื่อใช้ในการสร้างสัญญาณ ให้เป็นระยะเวลาที่แน่นอนในโหมดเบิสต์ และมีคอลโพรเกรสฟิลเตอร์ เพื่อให้ไมโครโปรเซสเซอร์ สามารถวิเคราะห์ คอลโพรเกรสโทนได้

คุณสมบัติของ MT8880 คือ

- เป็นตัวเข้ารหัสและถอดรหัสความถี่ (DTMF transmitter/receiver)
- กินไฟน้อย ใช้ไฟเลี้ยงระดับเดียวกับ TTL
- ไมโครโปรเซสเซอร์ พอร์ท
- สามารถปรับการ์ดไทม์ (Guard Time)
- มีโหมด โทน เบิสต์ แบบอัตโนมัติ (Automatic tone burst mode)
- มี call progress mode

1) โครงสร้างของ MT8880

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

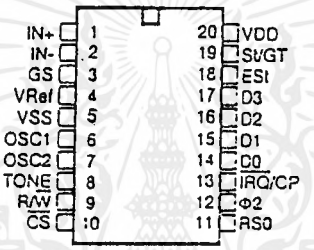
ไอซี MT8880 เป็นไอซีที่มีวงจรเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ DTMF อยู่ภายในไอซีตัวเดียวกัน โครงสร้างประกอบไปด้วยภาครับ DTMF ที่มีประสิทธิภาพสูง พร้อมด้วยตัวขยายที่ถูกกำหนดอัตราขยายภายใน และส่วนกำเนิดสัญญาณ DTMF ซึ่งทำงานโดยใช้ เบิสต์เคาน์เตอร์ (BURST COUNTER) ทำให้ช่วงของสัญญาณเบิสต์ (TONE BURST) และช่วงหยุดส่งสัญญาณ (PAUSE) มีระยะเวลาที่แน่นอน สำหรับโหมดคอลโพรเกรส (CALL PROGRESS MODE) ใช้สำหรับตรวจจับสัญญาณที่มีความถี่อยู่ในช่วงที่กำหนด นอกจากนี้เมื่อต่อ MT8880 เข้ากับไมโครโปรเซสเซอร์ ทำให้สามารถเข้าถึงรีจิสเตอร์ ภายใน ไอซี ซึ่งมีอยู่ทั้งหมด 5 รีจิสเตอร์ ได้แก่

-รีจิสเตอร์ภายในแสดงสถานะ

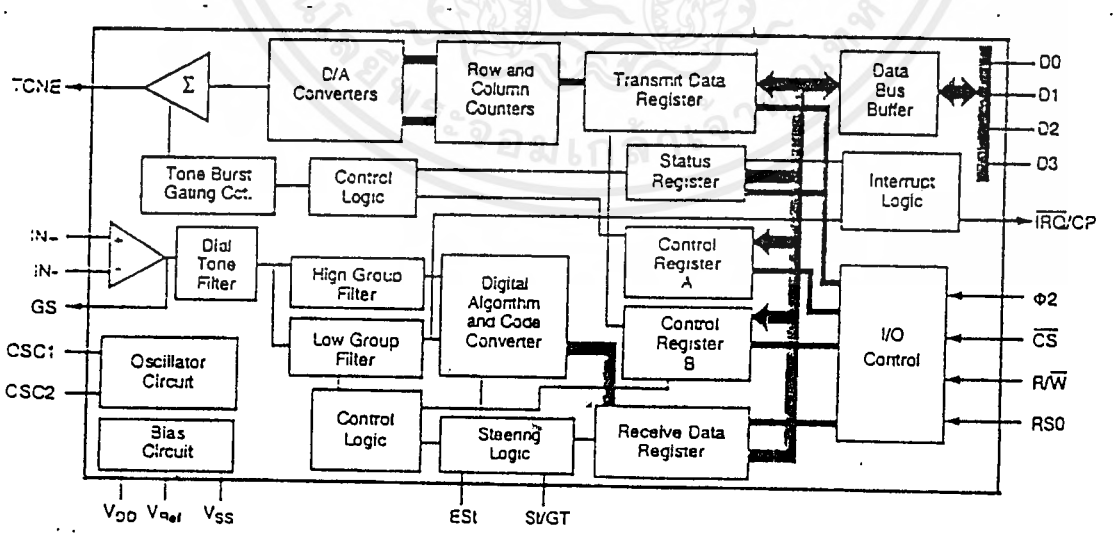
-รีจิสเตอร์ควบคุม 2 รีจิสเตอร์ คือ A และ B

-รีจิสเตอร์สำหรับเก็บข้อมูล 2 รีจิสเตอร์ คือ สำหรับส่งและรับ

รายละเอียดขาใช้งานของ MT 8880



รูปที่ 3.7 แสดงขาของไอซี MT8880



รูปที่ 3.8 แสดงบล็อกไดอะแกรมของไอซี MT8880

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ฟังก์ชันการทำงานภายใน MT8880

ภายใน MT8880 ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 6 ส่วน คือ

- ภาครับสัญญาณอินพุท (Input Configuration)
- ส่วนของภาครับ (Receiver Section)
- ภาคตรวจสอบสัญญาณ (Steering Circuit)
- คอล โปรเกรส ฟิลเตอร์ (Call Progress Filter)
- ภาคสร้างสัญญาณ DTMF (DTMF Generator)
- วงจรสัญญาณนาฬิกา DTMF (DTMF Clock Circuit)

<u>ภาครับสัญญาณอินพุท</u> วงจรส่วนอินพุทของ MT8880 เป็นภาคขยายออปแอมป์ ที่สามารถปรับอัตราขยายโดยต่อวงจรภายนอกเข้าไปด้วย รูปที่ 3.9 แสดงการต่อวงจรภายนอกเข้ากับอินพุท ซึ่งสามารถคำนวณอัตราขยายความแตกต่างของอินพุทและอิมพีแดนซ์ได้ดังนี้ รูปที่ 3.10 แสดงการต่อภาครับสัญญาณอินพุทเท่าที่จำเป็น

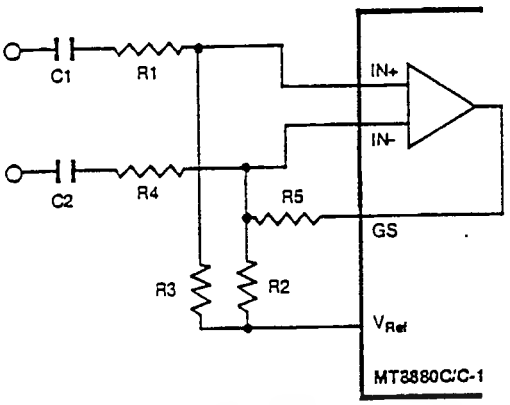
$$\text{อัตราขยาย} \quad (A_v diff) = \frac{R_5}{R_1} \tag{3.1}$$

$$\text{อินพุทอิมพีแดนซ์} \quad (Z_{in} diff) = 2\sqrt{R_1^2 + \left(\frac{1}{\omega_c}\right)^2} \tag{3.2}$$

<u>ส่วนของภาครับ</u> ในส่วนนี้จะแยกสัญญาณ DTMF ที่เข้ามาออกเป็น 2 กลุ่มความถี่ คือ ช่วงความถี่สูง และช่วงความถี่ต่ำ โดยใช้วงจรกรองความถี่อันดับที่ 6 ชนิดสวิทช์คาปาซิเตอร์ (Six-Order Switched Capacitor Band Pass Filter) ซึ่งความถี่ที่แยกได้มี 2 ช่วง

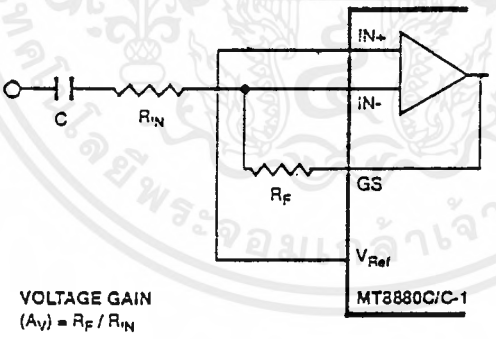
ความถี่ DTMF ที่ถูกกรองเรียบร้อยจะผ่านเข้าวงจรถอดรหัสความความถี่ออกเป็นตัวเลข โดยใช้เทคนิคการนับแบบดิจิตอล และมีการตรวจสอบความถี่ที่เข้ามาว่าเป็นความถี่มาตรฐาน DTMF หรือไม่ เพื่อป้องกันความถี่อื่นที่เข้ามาผสม เมื่อตรวจสอบว่าความถี่นั้นถูกต้อง สัญญาณที่ขา EST (Early Steering) ก็จะแอคทีฟ สำหรับค่าที่ถอดรหัสได้จากความถี่ต่าง ๆ นั้น แสดงได้ดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DIFFERENTIAL INPUT AMPLIFIER
C1 = C2 = 10 nF
R1 = R4 = R5 = 100 kΩ
R2 = 60kΩ, R3 = 37.5 kΩ
R3 = (R2R5)/(R2 + R5)
VOLTAGE GAIN
$(A_V \text{ diff}) = R5/R1$
INPUT IMPEDANCE
$(Z_{IN}\text{diff}) = 2\sqrt{R1^2 + (1/\omega C)^2}$

รูปที่ 3.9 แสดงการต่อวงจรภาคอินพุท



VOLTAGE GAIN
$(A_V) = R_F / R_{IN}$

รูปที่ 3.10 การต่อ ซิงเกิล เอน อินพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F_{low}	F_{high}	NO	TOE	D_3	D_2	D_1	D_0
697	1209	1	H	0	0	0	1
697	1336	2	H	0	0	1	0
697	1477	3	H	0	0	1	1
770	1209	4	H	0	1	0	0
770	1336	5	H	0	1	0	1
770	1477	6	H	0	1	1	0
852	1209	7	H	0	1	1	1
852	1336	8	H	1	0	0	0
852	1477	9	H	1	0	0	1
941	1336	0	H	1	0	1	0
941	1209	*	H	1	0	1	1
941	1477	#	H	1	1	0	0
697	1633	A	H	1	1	0	1
770	1633	B	H	1	1	1	0
852	1633	C	H	1	1	1	1
941	1633	D	H	0	0	0	0

ตารางที่ 3.1 แสดงการทำงานของไอซี MT8880

<u>ภาคตรวจสอบสัญญาณ</u> ก่อนที่จะบันทึกรหัสสัญญาณความถี่คู่ที่ดีโคดได้ตามตาราง ลงในรีจิสเตอร์ภาครับ จะตรวจสอบระยะเวลาของสัญญาณ โดยใช้ค่าคงที่เวลา RC ภายนอก ที่ต่ออยู่ที่ขา EST สัญญาณที่ขา EST จะเป็นลอจิกสูงนานใกล้เคียงกับระยะเวลาที่มีความถี่ DTMF เข้ามา เมื่อขา EST เป็นลอจิกสูง ทำให้ V_C สูงขึ้น ตัวเก็บประจุจะคายประจุทำให้แรงดัน V_C สูงขึ้นจนถึงค่าเทรชโฮลด์ (Threshold) วงจรถอดรหัสจึงจะถอดรหัสออกเป็นตัวเลขฐาน 2 ขนาด 4 บิท รายละเอียดการทำงานดูจากแผนภูมิเวลา (Timing Diagram) ดังรูปที่ 3.11 จะเข้าใจได้ง่ายกว่า

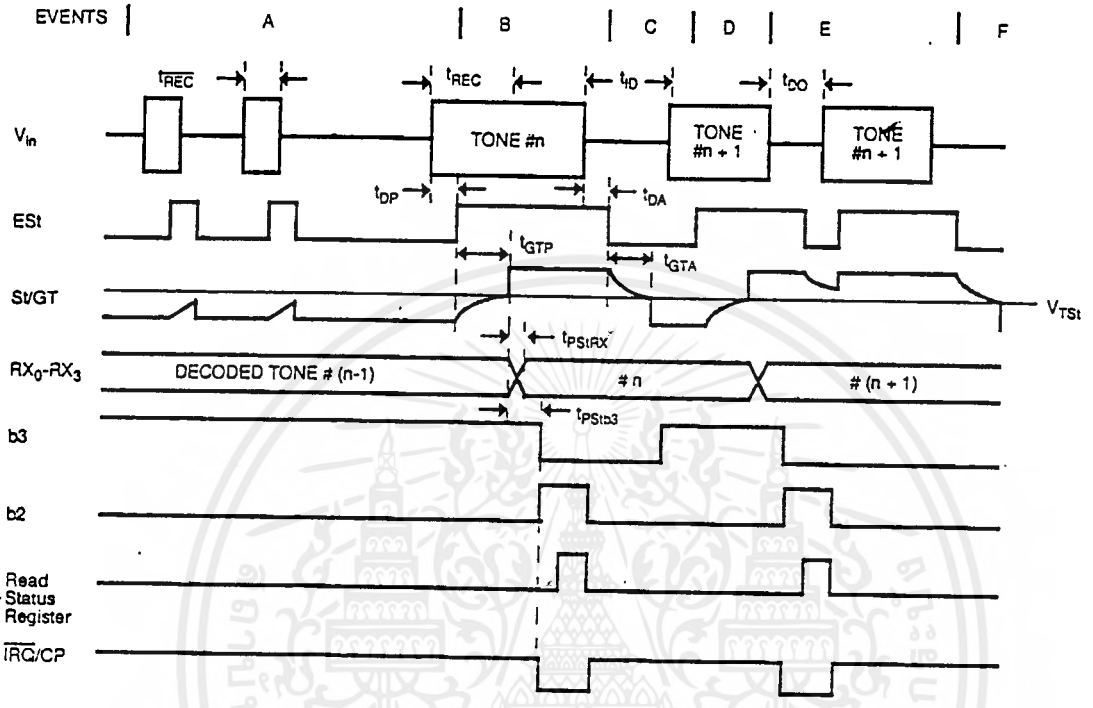
ขา GT จะเป็น 1 ตราบใดที่ EST เป็น 1 และเมื่อเก็บค่าเสร็จแล้ว DELAY STEERING OUTPUT FLAG จะเป็น HIGH แสดงว่าเก็บค่าเรียบร้อยแล้ว ค่า FLAG ดังกล่าวสามารถดูได้จากบิทในรีจิสเตอร์แสดงสถานะ

ในโหมดอินเทอร์รัพท์ ขา $\overline{IRQ}$/CP จะเป็น LOW เมื่อมีการเปลี่ยนสถานะ ของ DELAY STEERING ข้อมูลนี้จะถูกส่งไปยังบัสข้อมูล 4 บิท เมื่อรีจิสเตอร์รับข้อมูลถูกอ่าน

วงจรตรวจสอบสัญญาณ จะทำงานตรงข้าม เพื่อให้ได้ช่วงหยุดระหว่างสัญญาณอินเตอร์ดิจิต (Inter Digit) ถูกต้อง ดังนั้นจึงเป็นการดีเสมือนว่าเป็นการตัดสัญญาณที่สั้นเกินไป เพื่อเป็นการพิจารณาสัญญาณด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่าสัญญาณถูกต้อง ตัวไอซี MT8880 จะมีช่วงผิดพลาดในการขาดหายของสัญญาณ (Drop Out) สั้นด้วย เพื่อที่จะพิจารณาช่วงหยุดที่ถูกต้องของสัญญาณ ประโยชน์อันนี้รวมกับความสามารถในการเลือกค่าคงที่ในการตรวจสอบสัญญาณ (Steering Time Constant) ภายนอก จะทำให้ผู้ออกแบบเลือกคุณสมบัติในการใช้งานได้มากมายหลายแบบ



รูปที่ 3.11 แสดงแผนภูมิเวลาการทำงานของไอซี MT8880 ในภาครับ

<u>อธิบายขั้นตอนการทำงาน</u>

A - ตรวจพบความถี่ที่เข้ามา แต่คาบเวลาไม่ถูกต้อง เอาท์พุทไม่เปลี่ยน

B - ความถี่ #n ถูกตรวจพบและมีคาบเวลาที่ถูกต้อง ความถี่ถูกถอดรหัสและแลตช์ไว้ที่เอาท์พุท

C - จบความถี่ #n ช่วงห่างถูกต้อง เอาท์พุทยังคงแลตช์อยู่จนกว่าจะได้รับความถี่ที่ถูกต้องใหม่

D - เอาท์พุทเปลี่ยนเป็นอิมพีแดนซ์สูง (High Impedance)

E - ความถี่ #(n+1) ถูกตรวจพบคาบเวลาถูกต้อง ความถี่ถูกถอดรหัสและแลตช์ไว้

F - ความถี่ #(n+1) หายไป ช่วงห่างไม่ถูกต้อง เอาท์พุทยังคงแลตช์อยู่

G - จบความถี่ #(n+1) ช่วงห่างถูกต้อง เอาท์พุทยังคงแลตช์อยู่จนถึงความถี่ใหม่ที่ถูกต้อง

<u>อธิบายคำศัพท์</u>

Vin	สัญญาณความถี่ DTMF ที่เข้ามา
EST	EARLY STEERING OUTPUT ใช้แสดงความถี่ที่ถูกต้อง
St/GT	STEERING INPUT/ GUARD TIME OUTPUT สำหรับต่อกับ RC ภายนอก
RX0-RX3	ข้อมูลที่ถูกแปลงเป็นรหัส 4 บิท ในรีจิสเตอร์รับข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b3 DELAYED STEERING ใช้แสดงว่าความถี่ที่ได้รับหรือหายไป มีคาบเวลาตามที่กำหนด เพื่อแสดงความถูกต้องของสัญญาณ

b2 ใช้แสดงว่าข้อมูลที่ถูกต้องอยู่ภายในรีจิสเตอร์รับข้อมูล บิทนี้จะเคลียร์หลังจากรีจิสเตอร์สถานะถูกอ่านแล้ว

IRQ/CP อินเทอร์รัพท์จะแอกทีฟ เพื่อแสดงว่าข้อมูลใหม่อยู่ภายในรีจิสเตอร์รับข้อมูลแล้ว และอินเทอร์รัพท์จะเคลียร์หลังจากรีจิสเตอร์สถานะถูกอ่านแล้ว

t_{REC} คาบเวลานานที่สุดที่ตรวจพบความถี่ DTMF แล้วยังไม่ถูกต้อง

t_{REC} คาบเวลาสั้นที่สุดที่ต้องการเพื่อแสดงว่าสัญญาณถูกต้อง

t_{ID} เวลาสั้นสุดระหว่างสัญญาณ DTMF ที่ถูกต้อง 2 สัญญาณ

t_{DO} เวลานานสุดที่ยอมให้สัญญาณหายไปได้ในคาบเวลาความถี่ที่ถูกต้อง

t_{DP} เวลาที่ใช้ในการตรวจพบสัญญาณความถี่ DTMF ที่ถูกต้อง

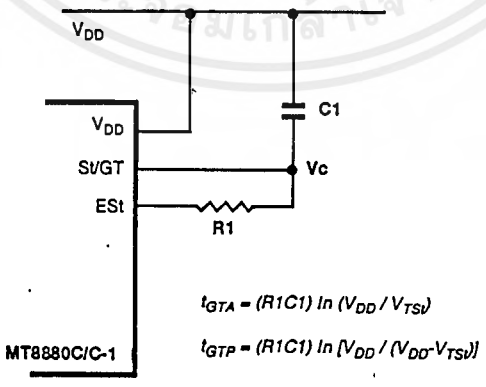
t_{DA} เวลาที่ใช้ในการตรวจการหายไปของสัญญาณความถี่ DTMF ที่ถูกต้อง

t_{GTP} การ์ดไทม์ของการปรากฏความถี่ DTMF ที่ถูกต้อง

t_{GTA} การ์ดไทม์ของการหายไปของความถี่ DTMF

<u>การปรับการ์ดไทม์ (Guard Time Adjustment)</u>

สำหรับคำว่า การ์ดไทม์ (Guard Time) นั้นหมายถึง ช่วงเวลาของความถี่ที่เข้ามา ซึ่งจะต้องนานกว่าเท่ากับ หรือมากกว่าช่วงเวลาที่เราตั้งไว้ จึงจะได้รับการยอมรับว่าสัญญาณความถี่นั้นถูกต้อง หรือพูดได้ว่าเวลาที่ตั้งไว้โดย RC ก็คือการ์ดไทม์นั่นเอง เมื่อสัญญาณความถี่เข้ามานานเท่ากับ หรือมากกว่าเวลาที่ตั้งไว้จึงจะสามารถแปลงเป็นตัวเลขได้ ถ้าสัญญาณความถี่เข้ามาสั้นกว่าก็จะไม่มีการถอดรหัสเป็นตัวเลขออกไป การตั้งเวลาและคำนวณเวลาดูได้จากรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงวงจรตรวจสอบสัญญาณ (Steering) อย่างง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

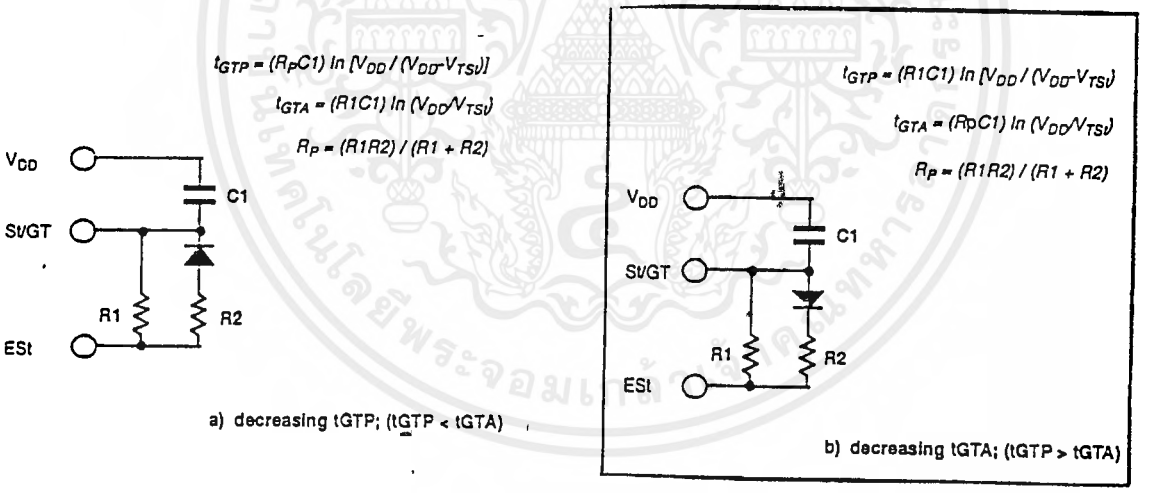
วงจรตรวจสอบสัญญาณง่ายๆ แสดงดังรูปที่3.12 ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้งาน ค่าของส่วนอุปกรณ์จะถูกเลือกตามสูตรต่อไปนี้

$$t_{RBC} = t_{DP} + t_{GTP} \quad (3.3)$$

$$t_{ID} = t_{DA} + t_{GTA} \quad (3.4)$$

ค่าของ t_{DP} เป็นค่าพารามิเตอร์ของตัวไอซีเอง (ดูได้จากตารางแสดงคุณสมบัติ) และค่า t_{RBC} เป็นค่าช่วงเวลาต่ำสุดที่ตัวไอซีจะทำการถอดรหัสคู่โทนได้ ค่าของ C = 0.1 μF นี้ เป็นค่าที่ใช้อยู่ในการใช้งานทั่วๆ ไป

การออกแบบวงจรตรวจสอบสัญญาณมีให้เลือกแตกต่างกันหลายแบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของสัญญาณโทนที่ตัวไอซีจะทำการถอดรหัส โดยสามารถเลือกช่วงเวลาการ์ดไทม์ได้อย่างอิสระสำหรับช่วงเวลาที่ปรากฏ (t_{GTP}) และช่วงสัญญาณหาย (t_{GTA}) ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ เป็นลักษณะสำคัญของการทำงานของไอซี ซึ่งจะทำให้เกิดการถอดรหัสหรือไม่ถอดรหัสต่อช่วงสัญญาณที่เข้ามา การปรับการ์ดไทม์ ผู้ออกแบบจะเป็นคนกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามสภาวะของสัญญาณ ตัวอย่างเช่น สัญญาณที่เข้ามามีสัญญาณอื่นปนเข้ามา การออกแบบให้ t_{RBC} มากๆ จะลดโอกาสที่จะเป็นไปได้ของโทนแปลกปลอมที่มีสัญญาณรบกวนอย่างมาก สูตรในการคำนวณแสดงในรูปที่ 3.13

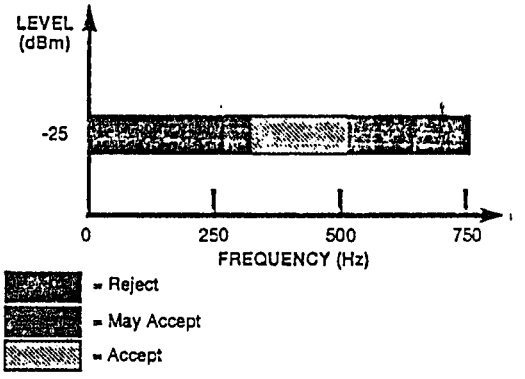


รูปที่ 3.13 แสดงวงจรตรวจสอบสัญญาณที่ใช้งานจริง

<u>ตัวกรองสัญญาณกอลโพรเกรส (CALL PROGRESS FILTER)</u>

โหมดกอลโพรเกรส (CALL PROGRESS MODE) ใช้ตรวจจับสัญญาณ กอลโพรเกรส (CALL PROGRESS TONE) ซึ่งเป็นสัญญาณในระบบโทรศัพท์ (ไม่ใช่ DTMF) สัญญาณนี้จะสามารถตรวจจับ ได้เมื่อเลือกโหมด CP เท่านั้น (ดูตารางที่ 3.5) ช่วงความถี่ที่ตัวกรองสัญญาณ กอลโพรเกรส ยอมให้ ผ่านแสดงดังรูปที่ 3.14 โดยมีขา $\overline{IRQ}$/CP เป็นขาเอาท์พุทแสดงการตรวจจับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงช่วงความถี่ที่ตัวกรองสัญญาณคอลโพรเกรสยอมให้ผ่าน

ภาคสร้างสัญญาณ DTMF (DTMF Generator)

ภาคกำเนิดสัญญาณ จะกำเนิด 16 สัญญาณ ตามมาตรฐานที่มีความผิดเพี้ยนต่ำ และมีความถูกต้องทุกๆ ความถี่ได้มาจากคริสตอลภายนอกขนาด 3.579545 MHz รูปคลื่นไซน์ ทั้งแถวและหลัก จะถูกรวมกันและกรองออกมาเป็นสัญญาณ โดยที่มีฮาร์โมนิกน้อยมาก รหัสของสัญญาณ ซึ่งจะเหมือนกับรหัสทางภาครับ ดังตาราง ที่ 3.1 จะถูกเขียนลงในรีจิสเตอร์ส่งข้อมูล คาบเวลาของแต่ละโทน ประกอบด้วย ส่วนเวลาย่อยๆ 32 ส่วนเท่าๆ กัน คาบเวลาของ โทนสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการเปลี่ยนความยาวของส่วนเวลาย่อย

โหมดเบิสต์ (BURST MODE)

ในการประยุกต์ใช้งานทางด้านโทรศัพท์ สัญญาณ DTMF ที่ต้องการจะถูกกำเนิดขึ้น เป็นช่วงเวลาที่แน่นอน DTMF มาตรฐานถูกกำเนิดขึ้นโดยเลือก โหมดเบิสต์ ภาคส่งจะส่งสัญญาณ (BURST) และหยุดสัญญาณ (PAUSE) เป็นช่วงเวลาที่เท่ากัน ซึ่งถูกกำหนดไว้แล้ว คือ เท่ากับ 51ms +1 ms ตามมาตราฐาน เมื่อ BURST และ PAUSE ถูกส่งออกไปแล้วจะมีบิทในรีจิสเตอร์ สถานะถูกเซท เพื่อ แสดงว่าภาคส่งพร้อมจะรับข้อมูล ตัวต่อไปแล้ว ถ้าเราเลือกโหมด DTMF จะได้ช่วงเวลาดังกล่าว แต่ถ้า เราเลือกโหมด CP ช่วงเวลาของทั้ง BURST และ PAUSE จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า คือ เท่ากับ 102 ms + 2 ms เมื่อเลือกโหมด CP พร้อมกับโหมด BURST ไอซีจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณ DTMF แต่ไม่สามารถรับ DTMF ได้ ในการประยุกต์ใช้งานถ้าไม่ต้องการ BURST & PAUSE ตามมาตรฐาน โหมด BURST จะถูกดิสเอเบิ้ล แล้วเกท (GATE) ของภาคส่ง จะถูกปิด / เปิด โดยไทม์เมอร์ฮาร์ดแวร์และซอฟแวร์ภายนอก

วงจรสัญญาณนาฬิกา DTMF (DTMF Clock Circuit)

วงจรสัญญาณนาฬิกาภายในจะสมบูรณ์ได้จะต้องต่อคริสตอล ซึ่งมีความถี่ 3.579545 MHz

การเชื่อมต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครโปรเซสเซอร์จะสามารถเชื่อมต่อกับ MT 8880 เพื่อให้มีการควบคุมการส่งและรับได้ถูกต้อง ภายในไอซีมีรีจิสเตอร์ 5 ตัว แบ่งเป็น 3 หน้าที่ คือ เคลื่อนย้ายข้อมูล ,ควบคุมการรับส่ง และ แสดงสถานะการรับส่ง

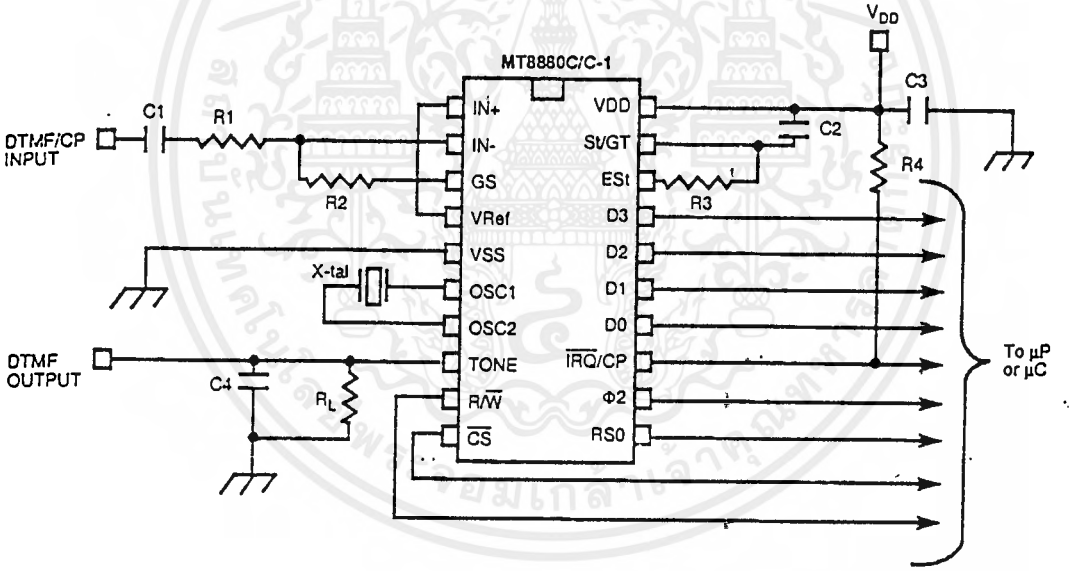
-รีจิสเตอร์เคลื่อนย้ายข้อมูลมี 2 ตัว คือ

:รีจิสเตอร์รับข้อมูลจะบรรจุรหัสของ DTMF ตัวล่าสุด

:รีจิสเตอร์ส่งข้อมูล ถูกเขียนได้อย่างเดียว ไม่สามารถอ่านได้

-รีจิสเตอร์ควบคุมการรับส่ง ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ควบคุม 2 ตัว คือ CRA & CRB ซึ่งจะอยู่ตำแหน่งเดียวกัน การเขียนคำสั่งลงใน CRB ทำได้โดยการเซทบิทที่เหมาะสมใน CRA แล้ว ไซเคิลต่อไป จะเป็นการเขียนคำสั่งลงใน CRB

ขา $\overline{IRQ}$/CP สามารถถูกโปรแกรม ให้มีสัญญาณรีเควสขออินเทอร์รัพท์ เมื่อ DTMF ถูกตรวจจับได้ หรือเมื่อภาคส่งพร้อมที่จะรับรหัสตัวต่อไป (เฉพาะโหมด BURST) ขานี้เป็นขาเอาท์พุทแบบโอเพนเดรน (OPEN DRAIN) ซึ่งต้องมีพูลอัพรีจิสเตอร์ (รูปที่ 3.15)



Notes:
R1, R2 = 100 kΩ 1%
R3 = 374 Ω 1%
R4 = 3.3 kΩ 10%
R_L = 10 k Ω (min.)
C1 = 100 nF 5%
C2 = 100 nF 5%
C3 = 100 nF 10%*
C4 = 10 nF 10%
X-tal = 3.579545 MHz

* Microprocessor based systems can inject undesirable noise into the supply rails. The performance of the MT8880 can be optimized by keeping noise on the supply rails to a minimum. The decoupling capacitor (C3) should be connected close to the device and ground loops should be avoided.

รูปที่ 3.15 แสดงวงจรใช้งาน ไอซี MT 8880

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RS0	R/$\overline{W}$	ฟังก์ชั่น
0	0	เขียนลงไปในรีจิสเตอร์ส่งข้อมูล
0	1	อ่านข้อมูลจากรีจิเตอร์รับข้อมูล
1	0	เขียนลงไปในรีจิสเตอร์ควบคุม
1	1	อ่านสถานะจากรีจิเตอร์สถานะ

ตารางที่ 3.2 แสดงการกำหนดหน้าที่ของรีจิสเตอร์

b3	b2	b1	b0
RSEL	IRQ	CP/$\overline{DTMF}$	TOUT

ตารางที่ 3.3 แสดงตำแหน่งบิทควบคุม ใน CRA

b3	b2	b1	b0
C/$\overline{R}$	S/$\overline{D}$	TEST	BURST

ตารางที่ 3.4 แสดงตำแหน่งบิทควบคุม ใน CRB

บิท	ชื่อ	ฟังก์ชั่น	รายละเอียด
b0	TOUT	สัญญาณเอาท์พุท	ถ้าลอจิกเป็น '1' จะมีสัญญาณเอาท์พุทออกมา ถ้าลอจิกเป็น '0' จะไม่มีสัญญาณเอาท์พุทออกมา ฟังก์ชั่นนี้สนับสนุนทั้งการทำงานในโหมดเบิสต์และไม่ใช่ในโหมดเบิสต์
b1	CP/$\overline{DTMF}$	การควบคุมโหมด	ถ้าลอจิกเป็น '1' จะเลือกการใช้งานในโหมดCP ถ้าลอจิกเป็น '0' จะเลือกการใช้งานในโหมดDTMF ซึ่งทำให้อุปกรณ์สามารถสร้างและรับสัญญาณ DTMFได้
b2	IRQ	ความสามารถในการขัดจังหวะ	ถ้าลอจิกเป็น '1' โหมดอินเตอร์รัพท์จะทำงาน ถ้าลอจิกเป็น '0' โหมดอินเตอร์รัพท์ไม่ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิท	ชื่อ	ฟังก์ชั่น	รายละเอียด
b3	RSEL	การเลือกรีจิสเตอร์	ถ้าลอจิกเป็น '1' แสดงว่าเลือก RCB ในการเขียนแอดเดรสของรีจิสเตอร์ควบคุมในรอบต่อไป และในการเขียนรอบต่อไปรีจิสเตอร์ควบคุมจะชี้กลับมาที่ RCA ถ้าลอจิกเป็น '0' แสดงว่าเลือก RCA ในการเขียนแอดเดรสของรีจิสเตอร์ควบคุมในรอบต่อไป

ตารางที่ 3.5 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับรีจิสเตอร์ควบคุม A

บิท	ชื่อ	ฟังก์ชั่น	รายละเอียด
b0	BURST	โหมดเบิสต์	ถ้าลอจิกเป็น '1' โทนเบิสต์ของช่วงเวลาที่ต้องการใดๆจะถูกสร้างขึ้นมา ถ้าลอจิกเป็น '0' แสดงว่าเลือกการทำงานในโหมดเบิสต์
b1	TEST	โหมดทดสอบ	ถ้าลอจิกเป็น '1' แสดงว่าเลือกการทำงานให้สามารถรับสัญญาณ DTMF ได้ ถ้าลอจิกเป็น '0' แสดงว่าเลือกการทำงานแบบไม่เลือกรับสัญญาณ DTMF
b2	S/$\overline{D}$	การสร้างสัญญาณโทนเดี่ยวหรือโทนคู่	ถ้าลอจิกเป็น '1' จะสร้างสัญญาณโทนเดี่ยว(Single Tone) จะเป็นสัญญาณแถว(row tone) เป็นกลุ่มความถี่ต่ำ หรือสัญญาณหลัก(column tone) เป็นกลุ่มความถี่สูง ถ้าลอจิกเป็น '0' จะสร้างสัญญาณ DTMF
b3	C/$\overline{R}$	สัญญาณแถวหรือสัญญาณหลัก	ถ้าลอจิกเป็น '1' แสดงว่าเลือกสัญญาณหลัก ถ้าลอจิกเป็น '0' แสดงว่าเลือกสัญญาณแถว

ตารางที่ 3.6 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับรีจิสเตอร์ควบคุม B

บิท	ชื่อ	การเซตสถานะ	การเคลียร์สถานะ
b0	IRQ	การขัดจังหวะจะเกิดขึ้นเมื่อ b1 หรือ b2 ถูกเซต	การขัดจังหวะจะไม่ทำงาน มีการเคลียร์หลังจากรีจิสเตอร์สถานะถูกอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิท	ชื่อ	การเซตสถานะ	การเคลียร์สถานะ
b1	TRANSMIT DATA REGISTER EMPTY (BURST MODE ONLY)	ช่วงเวลาหยุดสิ้นสุดลงและเครื่องส่งพร้อมที่จะส่งข้อมูลใหม่	มีการเคลียร์หลังจากรีจิสเตอร์สถานะถูกอ่าน หรือไม่ได้ทำงานอยู่ในโหมดเบิสต์
b2	RECEIVE DATA REGISTER FULL	ข้อมูลอยู่ในรีจิสเตอร์รับข้อมูล	มีการเคลียร์หลังจากรีจิสเตอร์สถานะถูกอ่าน
b3	DELAYED STEERING	เซตดีเทคชั่นของการขาดหายไปของสัญญาณ DTMF	เคลียร์เมื่อมีการดีเทคของสัญญาณ DTMF จริง

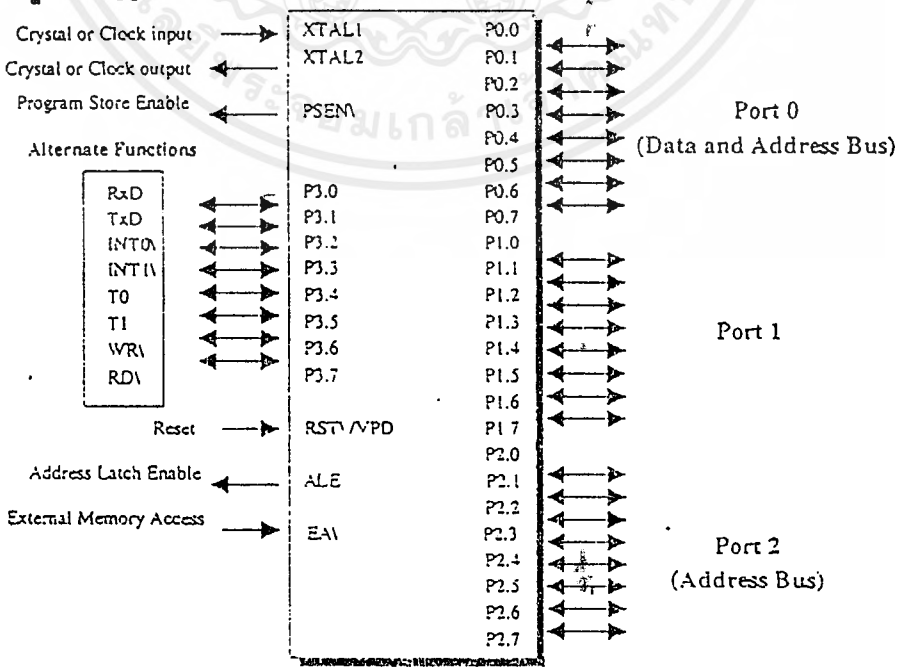
ตารางที่ 3.7 แสดงรายละเอียดรีจิสเตอร์สถานะ

3.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51

ในโครงงานนี้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เนื่องจากเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความสามารถค่อนข้างสูง ส่วนเหตุผลที่เลือกชิปของบริษัทATMEL เบอร์AT89C51 เนื่องจากเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่หน่วยความจำแบบ Flash Programmable and Erasable Read Only Memory (EPROM) อยู่ภายในขนาด 4 Kbytes สามารถทำการเขียนและลบข้อมูลด้วยไฟฟ้าได้ประมาณ 1000 ครั้ง และข้อมูลที่เขียนลงไปสวมารถอยู่ได้นานถึง 10 ปี ทำให้ประหยัดอุปกรณ์ที่จะต่อเพิ่มภายนอกอันจะทำให้การออกแบบลายวงจรนั้นกระทำได้ง่ายขึ้นด้วย นอกจากนี้การแก้ไขและพัฒนาโปรแกรมยังกระทำได้รวดเร็วเนื่องจากการลบข้อมูลด้วยไฟฟ้านั้นเร็วกว่าการลบข้อมูลของหน่วยความจำภายนอกโดยทั่วๆไปที่ลบด้วยแสงอุลตร้าไวโอเลตมาก

3.4.1 <u>การกำหนดหน้าที่ขาสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51</u>

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลMCS-51 ทุกเบอร์รวมถึง AT89C51 ด้วยจะมีตำแหน่งขาพื้นฐานที่เหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 การกำหนดหน้าที่ขาสัญญาณของ AT89C51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่การใช้งานแต่ละขาของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 มีดังนี้

-ขาพอร์ต 0 (ขา 32-39) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 0 ขนาด 8 บิต (P0.0 - P0.7) แบบ Open Drain Bidirectional พอร์ตนี้สามารถใช้งานเป็นอินพุตเอาท์พุตพอร์ตทั่วไปได้ โดยหากใช้งานเป็นอินพุตพอร์ต ต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้เพื่อบังคับให้ขาอยู่ในสถานะปล่อยลอย (มีสถานะ High Impedance) แต่ถ้าหากจะใช้เป็นพอร์ตเอาท์พุทจะต้องต่อ R - Pull Up ภายนอกเพิ่มเติมนอกจากใช้เป็นอินพุตเอาต์พุตพอร์ตแล้ว พอร์ต 0 ยังใช้ในการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลภายนอกชิปด้วย โดยส่งค่าแอดเดรสบัสไบต์ต่ำ(A0-A7) และมัลติเพลกซ์กับการรับส่งข้อมูล(D0-D7) จากหน่วยความจำภายนอกในระหว่างการเขียนหรือการอ่านข้อมูล

-ขาพอร์ต 1 (ขา1-8) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 1 (P1.0-P1.7) สามารถใช้งานเป็นอินพุตหรือเอาต์พุตพอร์ตทั่วไปได้ หากต้องการใช้งานเป็นอินพุตพอร์ต ต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้ เพื่อให้มีสถานะ high impedance โดยมีวงจรพูลอัพภายใน

-ขาพอร์ต 2 (ขา 21-28) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 2 (P2.0-P2.7) ขนาด 8 บิต แบบ Open Drain Bidirectional พอร์ตนี้สามารถใช้เป็นอินพุตพอร์ตเอาต์พุตพอร์ตทั่วไปได้ โดยหากใช้งานเป็นอินพุตพอร์ต ต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้ เพื่อบังคับให้ขาอยู่ในสถานะ High Impedance นอกจากจะใช้งานเป็นอินพุตเอาต์พุตพอร์ตทั่วไปแล้ว พอร์ต 2 ยังใช้ในการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลภายนอกด้วย โดยใช้สำหรับส่งค่าแอดเดรสบัสไบต์สูง(A8-A15) และมีวงจรพูลอัพภายใน

-ขาพอร์ต 3 (ขา 10-17) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 3 (P3.0-P3.7) สามารถใช้งานเป็นอินพุตเอาต์พุตพอร์ตทั่วไปได้ หากต้องการใช้งานเป็นอินพุตพอร์ต ต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้ เพื่อให้มีสถานะ High Impedance โดยใช้วงจรพูลอัพภายใน นอกจากนี้ยังใช้งานในหน้าที่พิเศษต่างๆ อีกหลายอย่าง

-ขา RST (ขา 9) ใช้สำหรับการรีเซตวงจรทุกอย่างภายในชิป เพื่อเริ่มต้นการทำงานใหม่ การรีเซตใช้เมื่อเริ่มจ่ายพลังงานหรือเมื่อโปรแกรมเกิดการทำงานผิดพลาด เมื่อทำการรีเซตขานี้ต้องมีสถานะเป็น 1 เป็นเวลาอย่างน้อย 2 เมชชีนไซเกิลระหว่างที่ออสซิลเลเตอร์ยังทำงานอยู่ โดยต้องต่อตัวต้านทานค่า 8.2 กิโลโอห์มเพื่อทำหน้าที่พูลดาวน์ และเพื่อให้ตัวชิปรีเซตเองเมื่อเริ่มจ่ายพลังงานให้ต่อตัวเก็บประจุขนาด 10 ไมโครฟารัดคร่อมระหว่างขา RST กับ V_{cc}

-ขา ALE/PROG (ขา 30) เป็นขาสำหรับใช้ส่งสัญญาณออกไปภายนอก เพื่อควบคุมการแลตช์ค่าแอดเดรสไบต์ต่ำ(Address Latch Enable) จากพอร์ต 0 ในระหว่างการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมหรือข้อมูลภายนอก ปกติเมื่อไม่มีการติดต่อหน่วยความจำภายนอกขานี้จะส่งสัญญาณพัลส์ออกมาด้วยความถี่ 1/8 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ตลอดเวลา ดังนั้นเราสามารถใช้ความถี่ที่ได้จากขานี้ไปใช้งานอย่างอื่นได้ เช่น ความถี่ที่ขานี้จะลดลงครึ่งหนึ่งในระหว่างติดต่อกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป นอกจากนี้ขา ALE ยังใช้สำหรับควบคุมการเขียนโปรแกรมลงไปใน EPROM สำหรับ MCS-51 เบอร์ที่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปเป็น EPROM

-ขา PSEN (ขา 29) ใช้ส่งสัญญาณสโตรบเพื่ออ่านคำสั่งจากโปรแกรมที่เก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอกชิป (Program Strobe Enable) เมื่อชิปทำงานด้วยโปรแกรมจากภายนอก ขานี้จะส่งสัญญาณสโตรบสองครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแต่ละแมชชีนไซเกิล แต่ในช่วงการเขียนหรืออ่านข้อมูลกับหน่วยความจำภายนอกหรือเมื่อใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปจะไม่มีสัญญาณออกมาจากขานี้

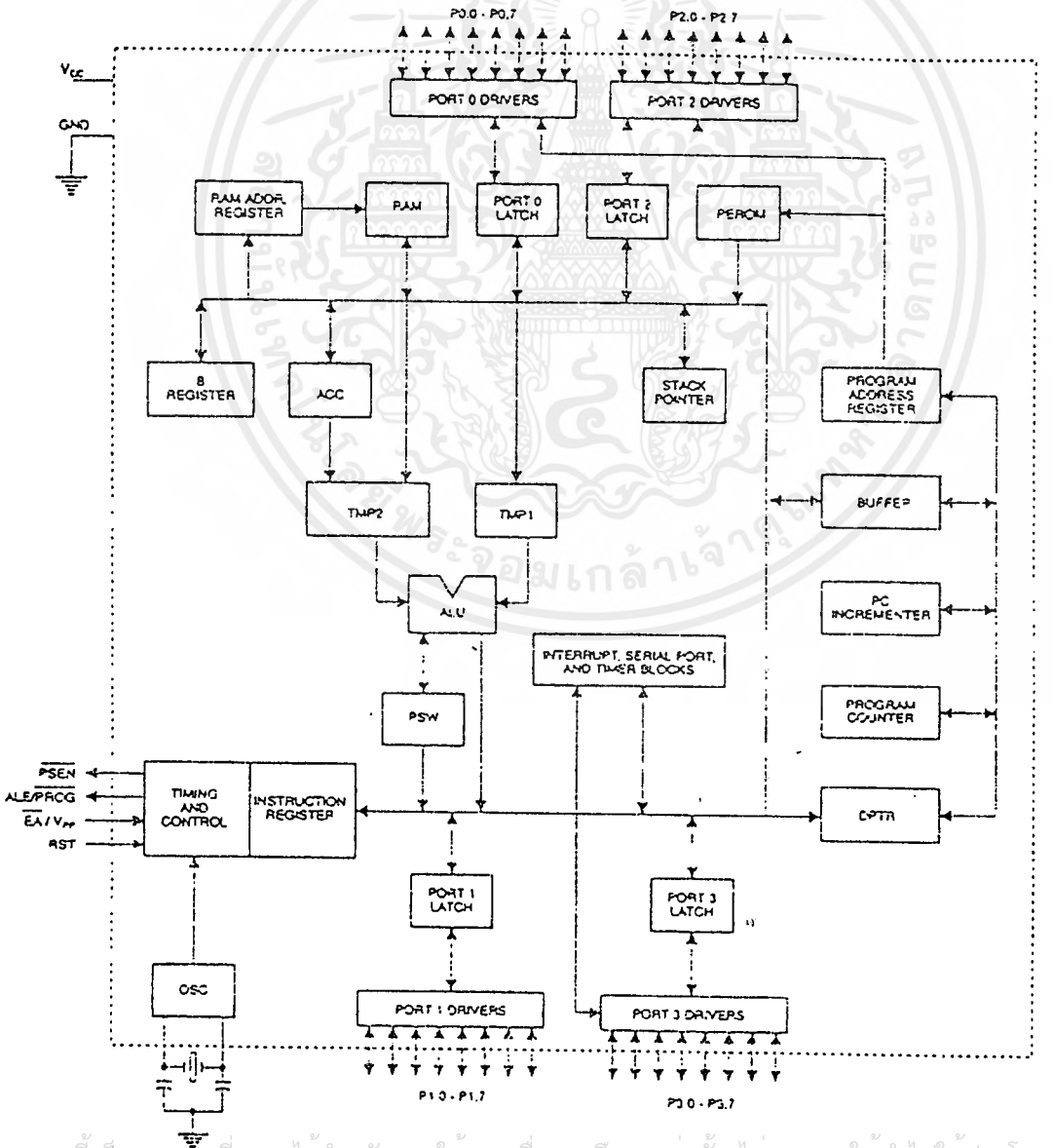
-ขา EA/V_{pp} (ขา 31) เป็นขาสำหรับใช้เลือกให้ MCS-51 ทำงานจากโปรแกรมที่อยู่ภายในหรือภายนอกชิป โดยหากขานี้มีสถานะเป็น 0 หมายถึงให้ใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำที่เก็บหน่วยความจำภายนอก หากขานี้มีสถานะเป็น 1 หมายถึงบังคับให้ MCS-51 ใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป และสำหรับ MCS-51 ที่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป สามารถเลือกให้ทำงานได้ทั้งจากโปรแกรมที่เก็บในหน่วยความจำภายในชิปหรือภายนอกชิปด้วยการต่อขา EA กับไฟเลี้ยงหรือกราวด์ตามลำดับ ส่วนใน MCS-51 ที่ไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป ให้ต่อขานี้ลงกราวด์เสมอ

-ขา XTAL1 (ขา 19) ใช้ต่อคริสตอลภายนอก โดยเป็นอินพุตเข้าสู่วงจรออสซิลเลเตอร์

-ขา XTAL2 (ขา 18) ใช้ต่อคริสตอลภายนอก โดยเป็นเอาต์พุตออกจากวงจรออสซิลเลเตอร์

3.4.2 <u>โครงสร้างภายในของ AT89C51</u>

โครงสร้างภายในของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 มีดังแสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 โครงสร้างภายในของ AT89C51

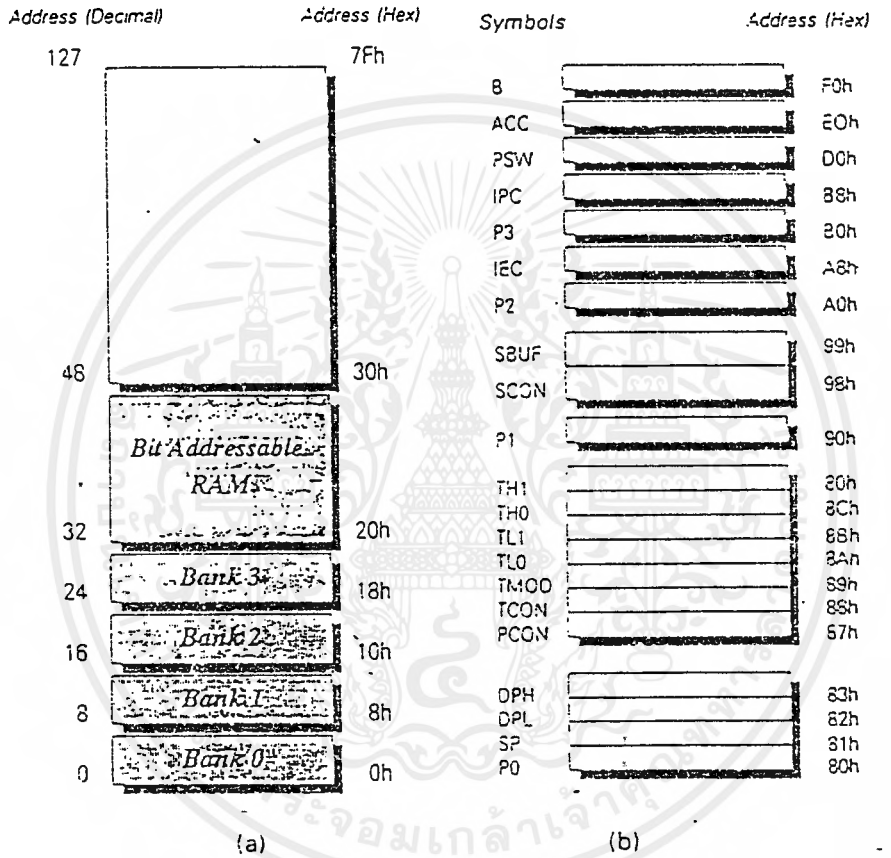
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 <u>โครงสร้างหน่วยความจำภายใน AT89C51</u>

ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 จะแบ่งหน่วยความจำออกเป็นสองส่วน คือ

1. หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม(Program Memory)จะใช้เก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานของชิปโดยที่หน่วยความจำส่วนนี้มีขนาด 4 กิโลไบต์

2.หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล ซึ่งใช้สำหรับเก็บข้อมูลระหว่างการทำงานโดยหน่วยความจำส่วนนี้มีขนาด 256 ไบต์ โดยมีการจัดพื้นที่หน่วยความจำส่วนนี้ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 การจัดพื้นที่หน่วยความจำข้อมูลภายในของ AT89C51

3.4.4 <u>รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ</u>

เนื่องจาก AT89C51 ถูกออกแบบไว้สำหรับใช้ควบคุมระบบโดยเฉพาะ จึงทำให้มีความสามารถเฉพาะตัวหลายอย่าง ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยวงจรภายในชิปที่มีเพิ่มขึ้นจากไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไป การควบคุมการทำงานของวงจรภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะกระทำผ่านรีจิสเตอร์ที่ถูกกำหนดหน้าที่ไว้แล้ว ดังนั้นหากต้องการใช้ AT89C51 ให้มีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องทราบหน้าที่การทำงานของรีจิสเตอร์ ใช้งานเฉพาะแต่ละตัวให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละเอียด รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะทั้งหมดจะอยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปบริเวณที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะดังได้กล่าวมาแล้ว รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะทั้งหมดใน MCS-51 มีดังแสดงในรูปที่ 3.19

รีจิสเตอร์	ความหมาย	ความสามารถกวรอ้างถึงแบบบิต
ACC	Accumulator	ได้
B	B register	ได้
PSW	Program Status Word	ได้
SP	Stack Pointer	ได้
DPTR	Data pointer (DPH & DPL)	ได้
P0	Port 0	ได้
P1	Port 1	ได้
P2	Port 2	ได้
P3	Port 3	ได้
IP	Interrupt Priority	ได้
IE	Interrupt Enable	ได้
TMOD	Timer / counter mode	ไม่ได้
TCON	Timer / counter control	ได้
TH0	Timer / counter 0 (high)	ไม่ได้
TL0	Timer / counter 0 (low)	ไม่ได้
TH1	Timer / counter 1 (high)	ไม่ได้
TL1	Timer / counter 1 (low)	ไม่ได้
SCON	Serial control	ไม่ได้
SBUF	Serial data buffer	ไม่ได้
PCON	Power control	ไม่ได้

รูปที่ 3.19 รีจิสเตอร์ใช้งานพิเศษ

3.4.5 <u>รีจิสเตอร์สำหรับใช้งานทั่วไป</u>

AT89C51 มีรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปที่ผู้เขียนโปรแกรมสามารถนำมาใช้งานได้คือ รีจิสเตอร์ A,B (อยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ แต่นับเป็นรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปเพราะ ไม่ถูกกำหนดหน้าที่ใช้งานโดยตรง) และรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 ซึ่งอยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปบริเวณ 128 ไบต์แรก ดังแสดงในรูปที่ 3.18 รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 ใน AT89C51 มีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 4 กลุ่ม แต่ละกลุ่มประกอบด้วย รีจิสเตอร์จำนวน 8 ตัว (R0-R7) ซึ่งมีชื่อเรียกเหมือนกัน ดังนั้นจำนวนรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 ใน AT89C51 จึงมีทั้งหมด 32 ตัว ในการทำงานขณะใดๆ รีจิสเตอร์ทั้ง 4 กลุ่ม (R0-R7)จะถูกเลือกใช้เพียงกลุ่มเดียวเท่านั้น การเลือกใช้งานรีจิสเตอร์ R0-R7 กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งใน 4 กลุ่มกระทำโดยการเซตหรือเคลียร์บิต RS0,RS1 ในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ PSW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.6 วิธีการเข้าถึงข้อมูลของ AT89C51

คำสั่งที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของ MCS-51 มีสองประเภทคือ คำสั่งที่ต้องการข้อมูลมาดำเนินการเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ และคำสั่งที่ไม่ต้องการข้อมูลมาดำเนินการ คำสั่งที่ต้องการข้อมูลจะมีวิธีในการเข้าถึงข้อมูลได้หลายวิธีดังนี้

- วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยตรง
- วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อม
- วิธีการเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป
- วิธีการเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์เฉพาะของตัวคำสั่ง
- วิธีการเข้าถึงข้อมูลที่กำหนดเองโดยตรง
- วิธีการเข้าถึงข้อมูลที่มีตัวชี้อ้างอิง

คำสั่งแต่ละคำสั่งที่ต้องการข้อมูลหรือโอเปอร์แรนด์ (Operand) อาจจะมีวิธีในการเข้าถึงข้อมูลในโอเปอร์แรนด์ได้วิธีเดียวหรือหลายวิธีขึ้นกับคำสั่งแต่ละคำสั่ง รายละเอียดของวิธีการเข้าถึงข้อมูลของโอเปอร์แรนด์แต่ละวิธีมีดังนี้

1) วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยการตรง (Direct Addressing)

เป็นวิธีกำหนดตำแหน่งหน่วยความจำโดยตรงในคำสั่ง บริเวณหน่วยความจำที่สามารถอ้างได้โดยวิธีนี้จะเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปเฉพาะบริเวณ 128 ไบต์แรก และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป รวมทั้งหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ

2) วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อม (Indirect Addressing)

เป็นวิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อม โดยค่าตำแหน่งหน่วยความจำจะอยู่ในรีจิสเตอร์เฉพาะบางตัว นั่นคือวิธีนี้จะใช้ค่าในรีจิสเตอร์ เป็นตัวชี้ตำแหน่งหน่วยความจำ หน่วยความจำที่สามารถใช้วิธีการเข้าถึงแบบนี้ได้คือ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปบริเวณ 128 ไบต์ล่างและ 128 ไบต์บน รวมทั้งหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป รีจิสเตอร์ที่สามารถนำมาใช้เป็นตัวชี้ตำแหน่งของหน่วยความจำมีดังต่อไปนี้

- รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0,R1 ของแต่ละกลุ่ม
- รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ SP
- รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ DPTR

การใช้วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อมนี้ รีจิสเตอร์ที่เก็บค่าตำแหน่งหน่วยความจำจะต้องระบุเครื่องหมาย “@” ไว้ข้างหน้า เช่น

```
MOV A,@R0
MOVX @DPTR,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) วิธีการเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป (Register Instruction)

งานในขณะนั้น โดยในข้อมูลที่ต้องการจะอยู่ในรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 ของแต่ละกลุ่มรีจิสเตอร์ที่ถูกเลือกใช้การทำงานจริงๆ ซีพียูจะตรวจสอบกลุ่มรีจิสเตอร์ที่ถูกเลือกใช้งานจากบิต RS0,RS1 ในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ PSW เอง

4) วิธีเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์เฉพาะของคำสั่ง (Register-Specific)

คำสั่งบางคำสั่งของ AT89C51 จะระบุไว้แล้วว่าต้องดำเนินการกับข้อมูลในรีจิสเตอร์ตัวใดเช่น ACCUMULATOR,DPTR,SP ดังนั้นในรหัสคำสั่ง (Opcode) ของคำสั่งประเภทนี้ AT89C51 จะรู้ได้เองว่าต้องประมวลผลกับรีจิสเตอร์ตัวใด ด้วยเหตุนี้คำสั่งในกลุ่มนี้จึงไม่ต้องบอกตำแหน่งของรีจิสเตอร์ที่ใช้งานเฉพาะคำสั่งนี้แต่อย่างใดเลย เช่น

MOV A,#data

MOV DPTR,#data

จากตัวอย่างนี้ เราไม่จำเป็นต้องระบุตำแหน่งของรีจิสเตอร์ A,DPTR ในรหัสคำสั่งของคำสั่งทั้งสองแต่อย่างใด เพราะ MCS-51 จะทราบเองว่าเป็นรีจิสเตอร์ทั้งสองจากรหัสของคำสั่ง

5) วิธีการเข้าถึงข้อมูลที่กำหนดเองโดยตรง (Immediate Constants)

เป็นการกำหนดค่าข้อมูลให้กับคำสั่งโดยตรง ข้อมูลที่นำมาประมวลผลในคำสั่งจะอยู่ตามหลังรหัสคำสั่ง ทั้งนี้จะต้องใช้เครื่องหมาย " # " ระบุหน้าข้อมูลที่ต้องการ เช่น

MOV A,#100

6) วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยใช้ตัวชี้อ้างอิง (Indexed Addressing)

ข้อมูลที่ใช้วิธีการอ้างแบบนี้จะเป็นข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในหรือภายนอกชิปเท่านั้น จุดประสงค์ของการอ้างข้อมูลแบบนี้ มีไว้เพื่อใช้ในการเปิดหาค่าข้อมูลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมซึ่งข้อมูลไม่สูญหายแม้ไม่มีพลังงาน ในการทำงานของคำสั่งที่ใช้การอ้างวิธีนี้ จะใช้ค่าของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ DPTR หรือ PC มารวมกับค่าในรีจิสเตอร์ A เพื่อชี้ไปยังตำแหน่งของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมซึ่งเก็บข้อมูลไว้ ดังนั้นค่าในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ DPTR,PC จะต้องมีค่าเท่ากับตำแหน่งต้นของหน่วยความจำส่วนที่เก็บข้อมูลที่ต้องการ ส่วนค่าของรีจิสเตอร์ A จะเป็นตัวเลือกข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำ เช่น

MOVC A,@A+DPTR

MOVC A,@A+PC

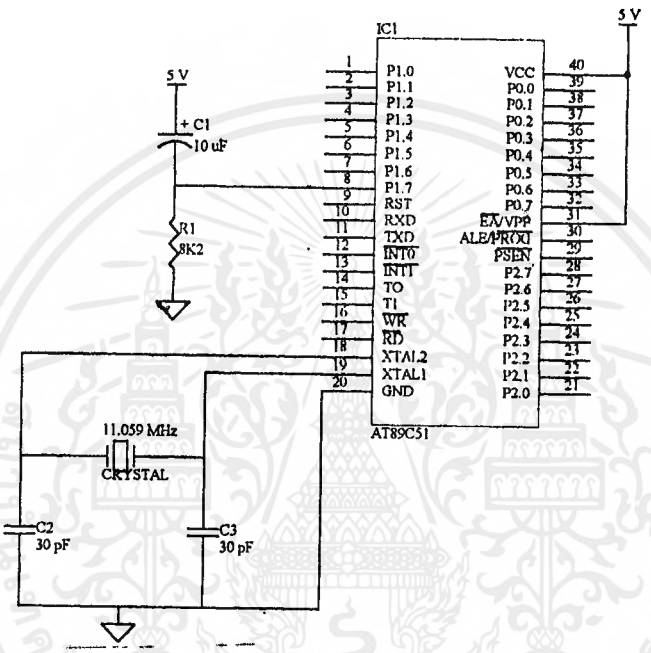
ความจริงการอ้างข้อมูลวิธีนี้ยังมีที่ใช้ในกลุ่มคำสั่งควบคุมลำดับการทำงานของโปรแกรมโดยการบังคับให้โปรแกรมกระโดดข้ามไปทำงานที่ตำแหน่งใดๆ ในหน่วยความจำซึ่งมีค่าตำแหน่งเท่ากับผลรวมของค่าในรีจิสเตอร์ใช้เฉพาะ DPTR กับรีจิสเตอร์ A ดังตัวอย่างต่อไปนี้

JMP @A+DPTR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ เนื่องจาก AT89C51 ถูกสร้างขึ้นมาโดยมีโครงสร้างสถาปัตยกรรมภายในเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์อื่นๆดังนั้นในบทนี้จึงกล่าวถึงรายละเอียดโดยคร่าวๆ เท่านั้น ถ้าหากต้อง การทราบรายละเอียดมากกว่านี้สามารถค้นคว้าได้จากหนังสือเกี่ยวกับ MCS-51 โดยทั่ว ๆ ไปได้

วงจรที่ใช้ในการทำงานจริงเป็นดังรูปที่ 3.20

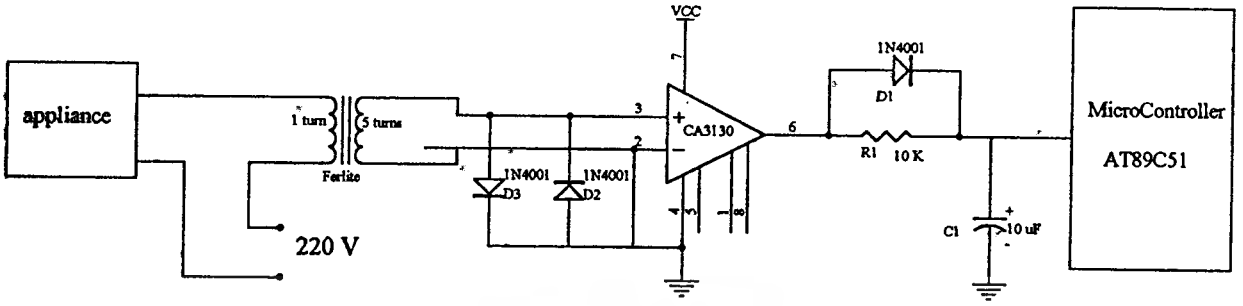


รูปที่ 3.20 แสดงการต่อวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51

3.5 วงจรตรวจสอบกระแสไฟฟ้า

วงจรตรวจสอบกระแสไฟฟ้าใช้ในการตรวจว่ามีกระแสไฟฟ้าไหลในอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือไม่ การมีวงจรนี้ เพื่อเป็นการยืนยันว่าเครื่องควบคุมได้ทำงานตามที่เราต้องการ ตัวอย่างเช่น เราต้องการเปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า แต่สายไฟของอุปกรณ์ไฟฟ้าชำรุด ฉะนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่อะแคปเตอร์จะทำการควบคุมให้วงจรเข้ารหัสส่งหมายเลข 9 (เลข 9 หมายถึง อุปกรณ์ไฟฟ้าปิดอยู่) กลับไปให้เครื่องควบคุม ทำให้สามารถทราบได้ว่าอุปกรณ์ไฟฟ้ายังไม่ทำงาน ซึ่งไม่เป็นไปตามคำสั่งที่เราต้องการ ทำให้เราทราบว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือเครื่องควบคุมชำรุดเพื่อที่จะได้ทำการซ่อมแซมต่อไป วงจรตรวจสอบกระแสไฟฟ้าเป็นดังรูปที่ 3.21 จากรูปที่ 3.21 เราจะนำสายไฟของอุปกรณ์ไฟฟ้ามาพันกับแกนเฟอร์ไรต์ 1 รอบ โดยถือว่าเป็นขดลวดด้านปฐมภูมิ ส่วนขดลวดด้านทุติยภูมินั้นเราจะนำลวดมาพัน 5 รอบ ซึ่งปลายทั้งสองข้างของขดลวดทุติยภูมิจะต่อเป็นอินพุทให้กับออปแอมป์ ไอซีเบอร์ CA3130 เมื่อเราทำการเปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า จะมีกระแสไฟฟ้า 220 V ไหลในสายไฟ แสดงว่ามีกระแสไฟไหลในขดลวดปฐมภูมิทำให้เกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดกระไฟฟ้าไหลในขดลวดทุติยภูมิ นำแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 แสดงวงจรตรวจกระแสไฟฟ้า

ไฟฟ้าที่เกิดในขดลวดทุติยภูมิป้อนให้ออปแอมป์ ออปแอมป์จะทำการขยายแรงดันได้เอาท์พุทออกมาเป็นสัญญาณพัลซ์มีค่า 0 V และ 4 V และนำสัญญาณพัลซ์ที่ได้ไปผ่านวงจรเรคติไฟเออร์ ซึ่งประกอบด้วย D_1, R_1 และ C_1 เพื่อให้ได้สัญญาณไฟ DC เมื่ออุปกรณ์ไฟฟ้าเปิดอยู่แล้วเราทำการปิดอุปกรณ์ จะทำให้กระแสไฟที่ไหลอยู่ในขดลวดเปลี่ยนเป็น 0 Amp.ในทันที เนื่องจากขดลวดมีคุณสมบัติ

$$V = L\frac{di}{dt}$$

โดย $\frac{di}{dt}$ คือ อัตราการเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าเมื่อเทียบกับเวลา เมื่อเราปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าค่า $\frac{di}{dt}$ จะมีค่ามาก ซึ่งทำให้ค่าโวลเตจของขดลวดทุติยภูมิมีค่ามาก โดยโวลเตจนี้จะเป็นอินพุทให้ออปแอมป์ เมื่อแรงดันมีค่ามากเกินกว่าค่าแรงดันที่ออปแอมป์ทนได้ จะทำให้ไอซี CA3130 เสีย ฉะนั้นจึงต่อไดโอด D_2 และ D_3 เพื่อจำกัดแรงดันของอินพุทไม่ให้มากเกินไปจนทำให้ไอซีเสียหายได้ โดยมีแรงดันเท่ากับ 0.6 V

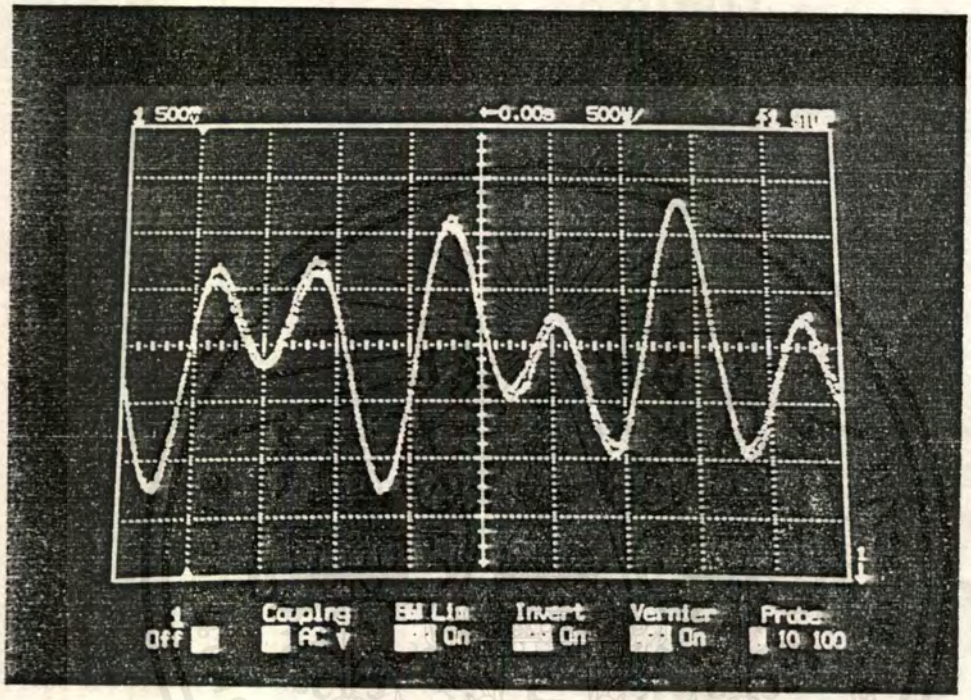
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

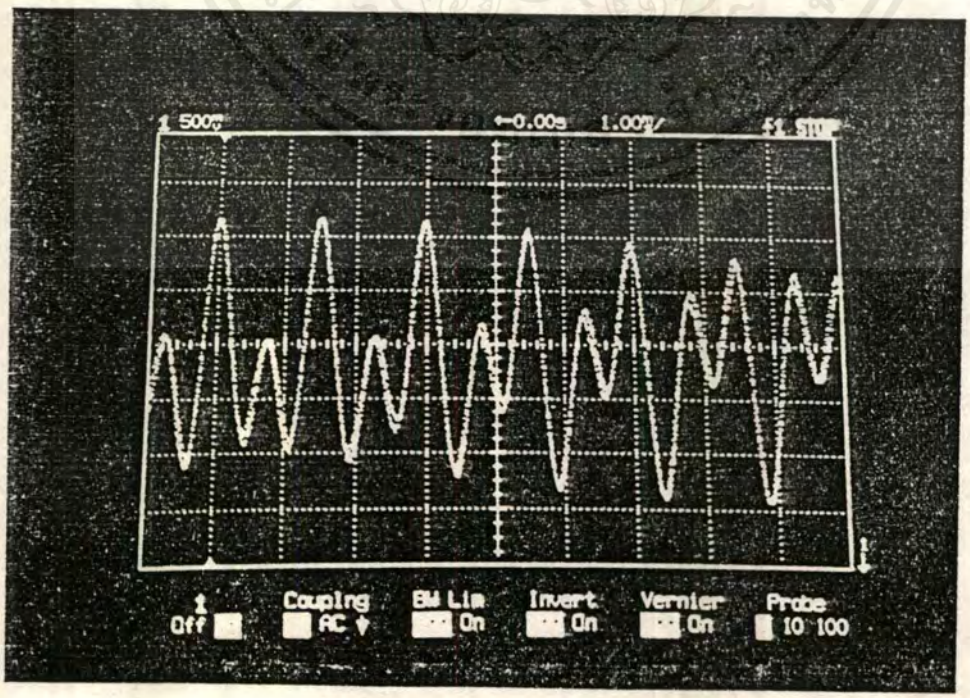
การทดลองและผลการทดลอง

<u>ขั้นตอนการทดลอง</u>

1. ต่อวงจรกำเนิดสัญญาณ DTMF ดังรูปที่ 3.15 ซึ่งจะสร้างสัญญาณDTMF

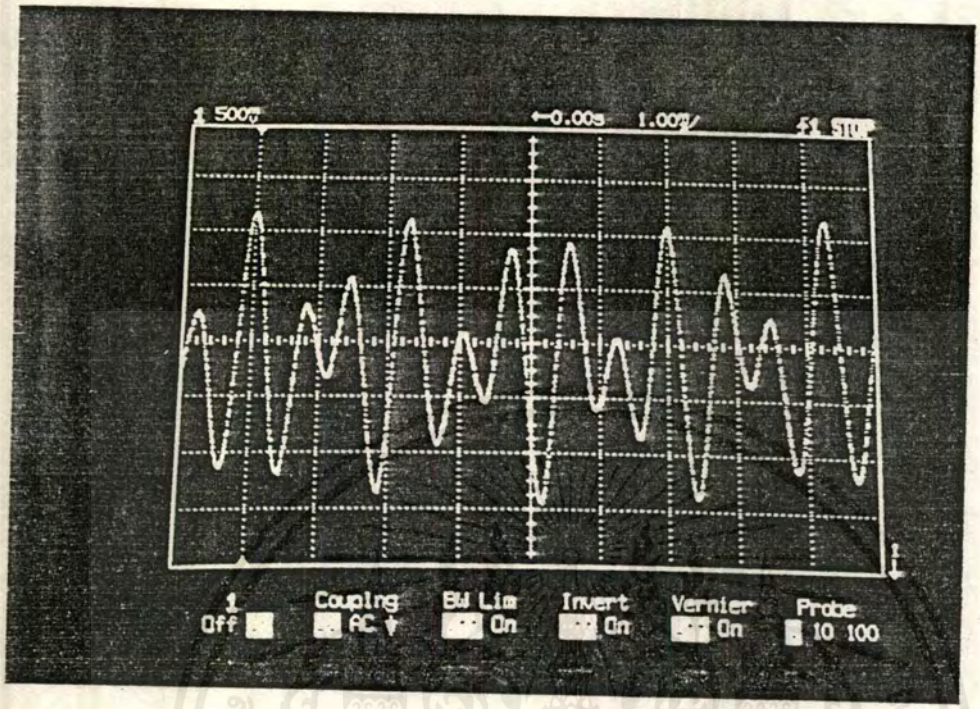


รูปที่ 4.1 สัญญาณDTMF ของเลข 1

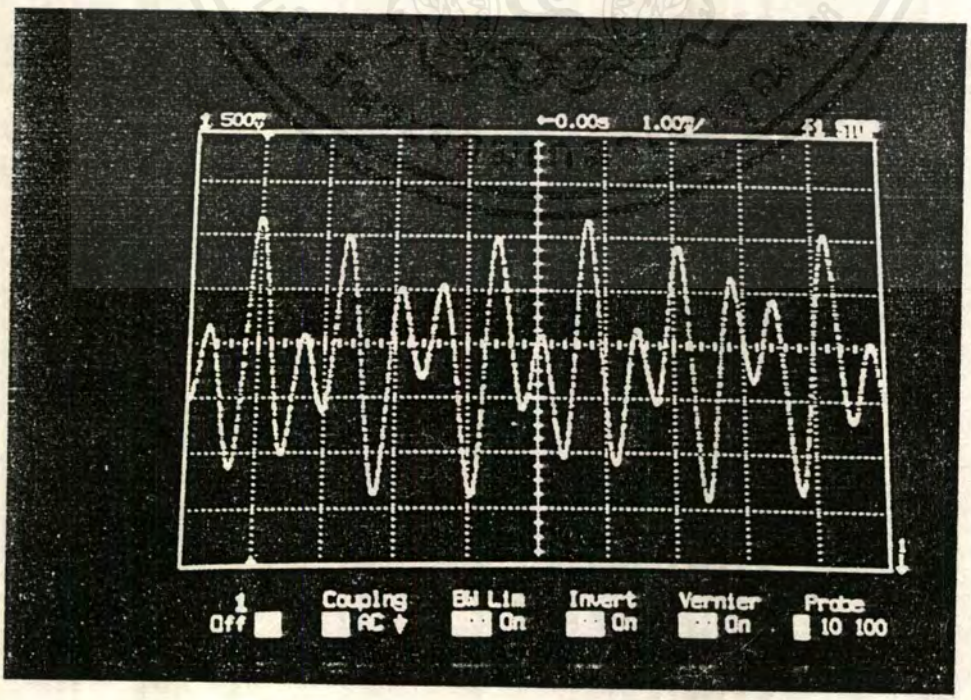


รูปที่ 4.2 สัญญาณDTMF ของเลข 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



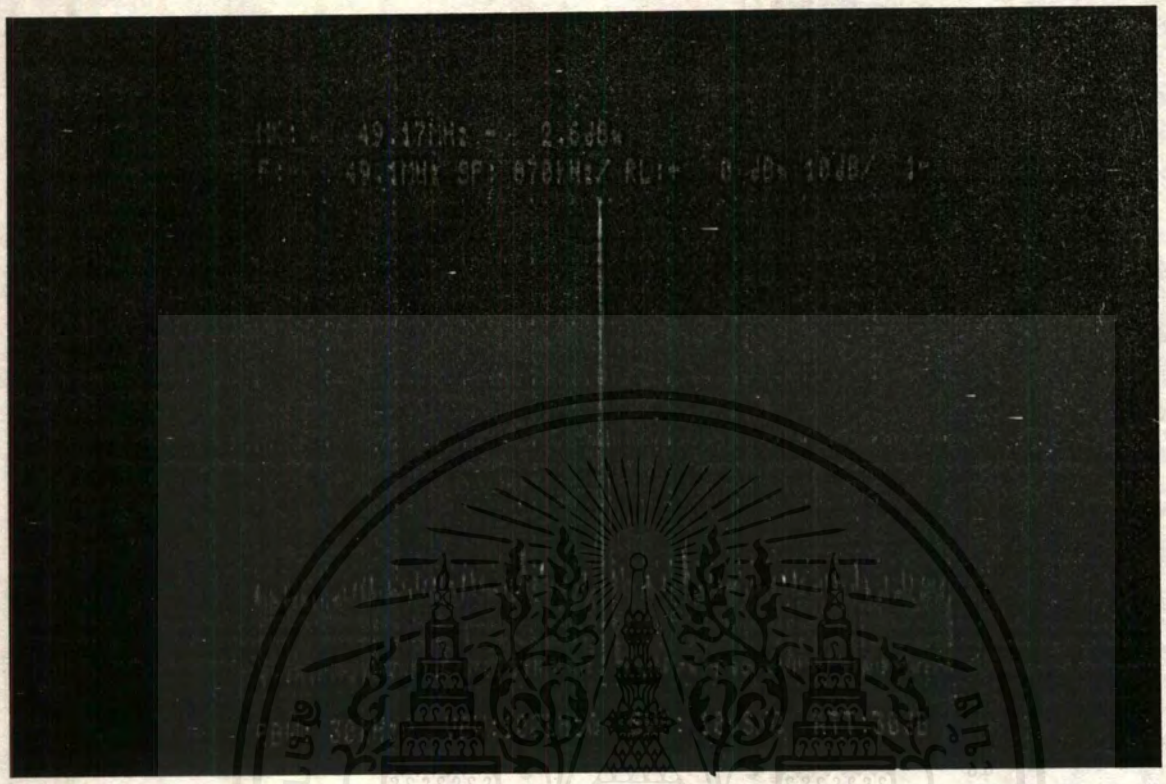
รูปที่ 4.3 สัญญาณDTMF ของเลข 8



รูปที่ 4.4 สัญญาณDTMF ของเลข 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

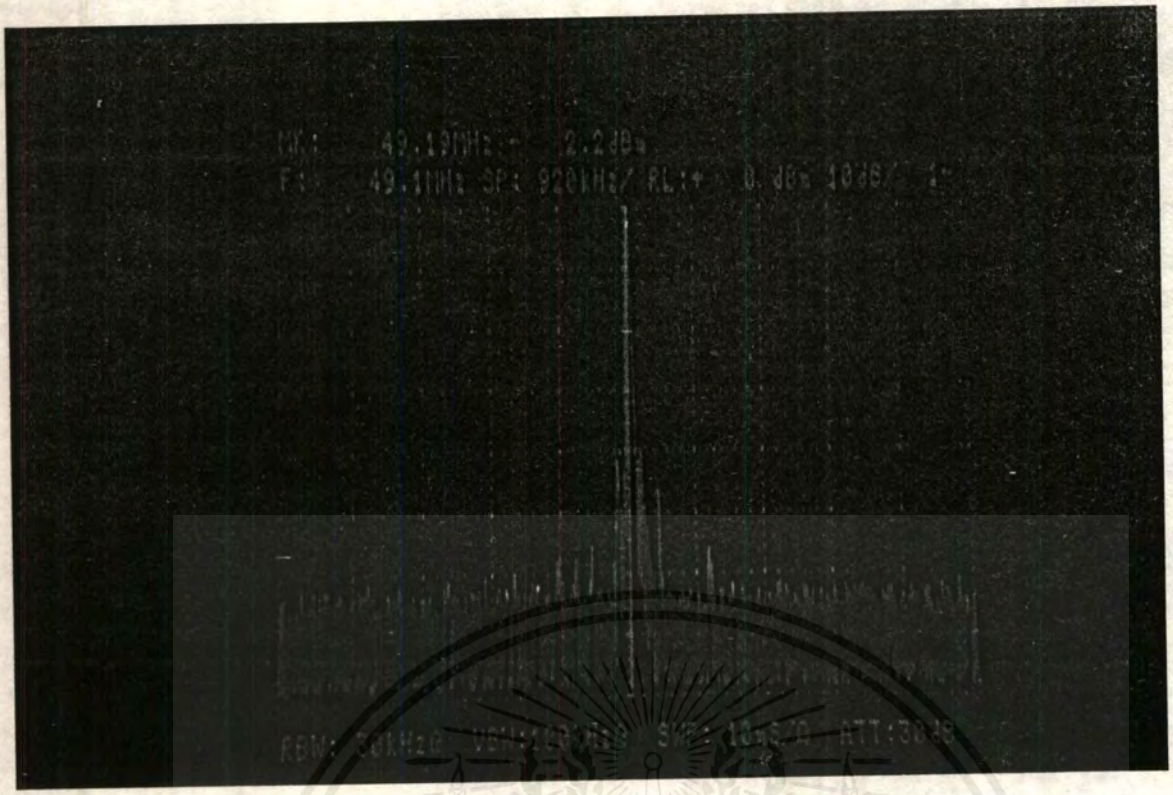
2. ต่อวงจรภาคส่งสัญญาณเอฟเอ็ม ในเครื่องควบคุม ดังรูปที่ 3.3 ใช้เครื่องสเปคตรัม อนาไลเซอร์ วัดสเปคตรัม ที่ขา 7 ของไอซีเบอร์ BA 1404 ซึ่งเป็นขาอาร์เอฟ เอ้าท์ สังเกต และบันทึกผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงสเปคตรัมของสัญญาณออสซิลเลเตอร์ของวงจรภาคส่งสัญญาณเอฟเอ็ม ในเครื่องควบคุม โดยมีความถี่ประมาณ 49.17 MHz

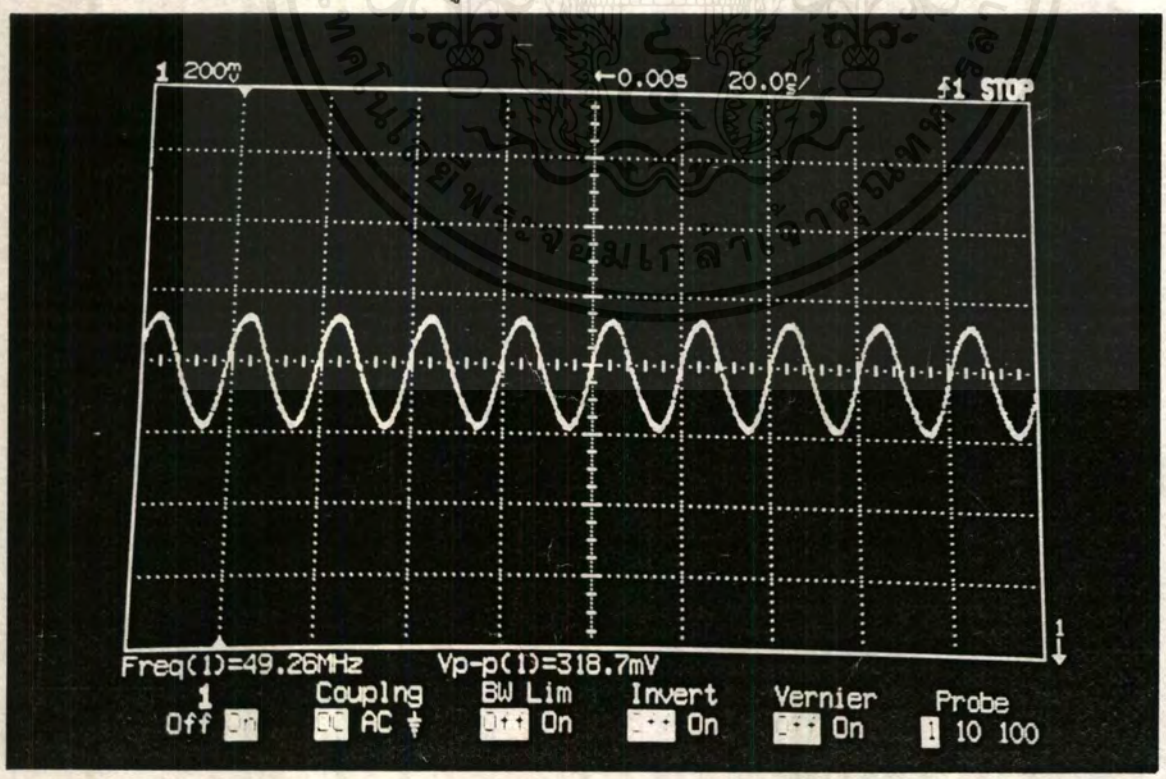
3. จากวงจรในข้อ 2 ป้อนสัญญาณ DTMF ซึ่งเป็นสัญญาณที่ต้องการนำมามอดูเลท จากวงจรกำเนิดความถี่ DTMF ในข้อที่ 1 เข้าที่ขา 12 ของไอซีเบอร์ BA1404 จากนั้นใช้เครื่องสเปคตรัม อนาไลเซอร์ วัดสเปคตรัมที่ขา 7 ของไอซีเบอร์ BA1404 ซึ่งเป็นขาอาร์เอฟ เอ้าท์ สังเกตและบันทึกผลการทดลองดังรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงสเปคตรัมของสัญญาณเอฟเอ็มของวงจรภาคส่งสัญญาณเอฟเอ็ม ในเครื่องควบคุม โดยมีความถี่ประมาณ 49.19 MHz

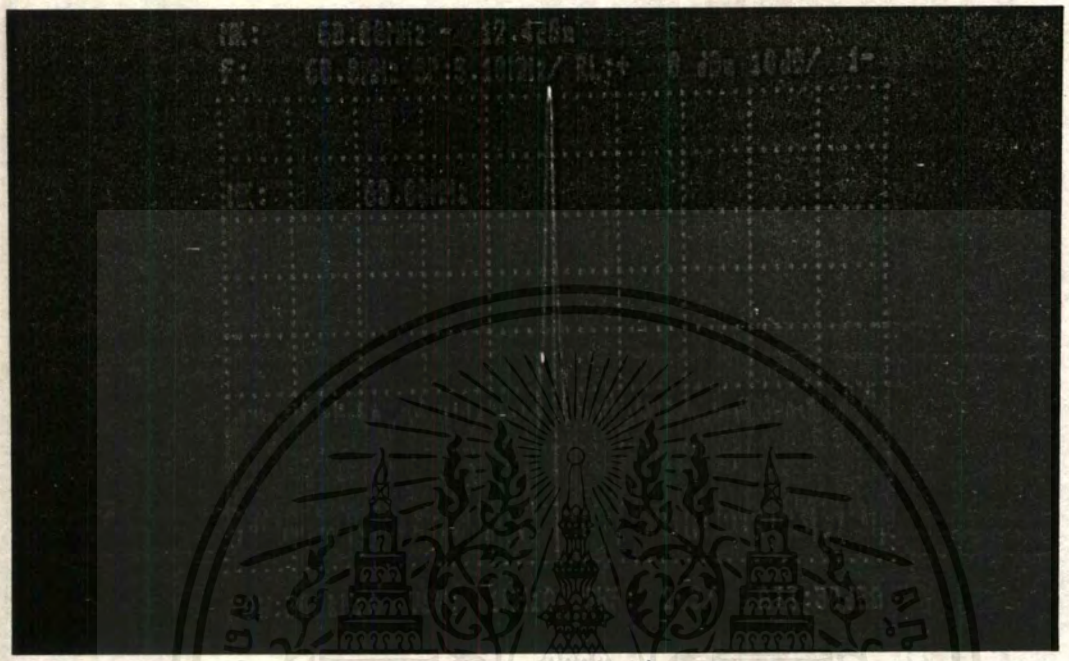
4. จากวงจรในข้อ 2 ใช้ออสซิลโลสโคป วัดสัญญาณที่ขา 7 ของไอซีเบอร์ BA1404 ซึ่งเป็นขาอาร์เอฟเอ้าท์ สังเกตและบันทึกผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณออสซิลเลเตอร์ของวงจรภาคส่งสัญญาณเอฟเอ็ม โดยมีความถี่ประมาณ 49 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

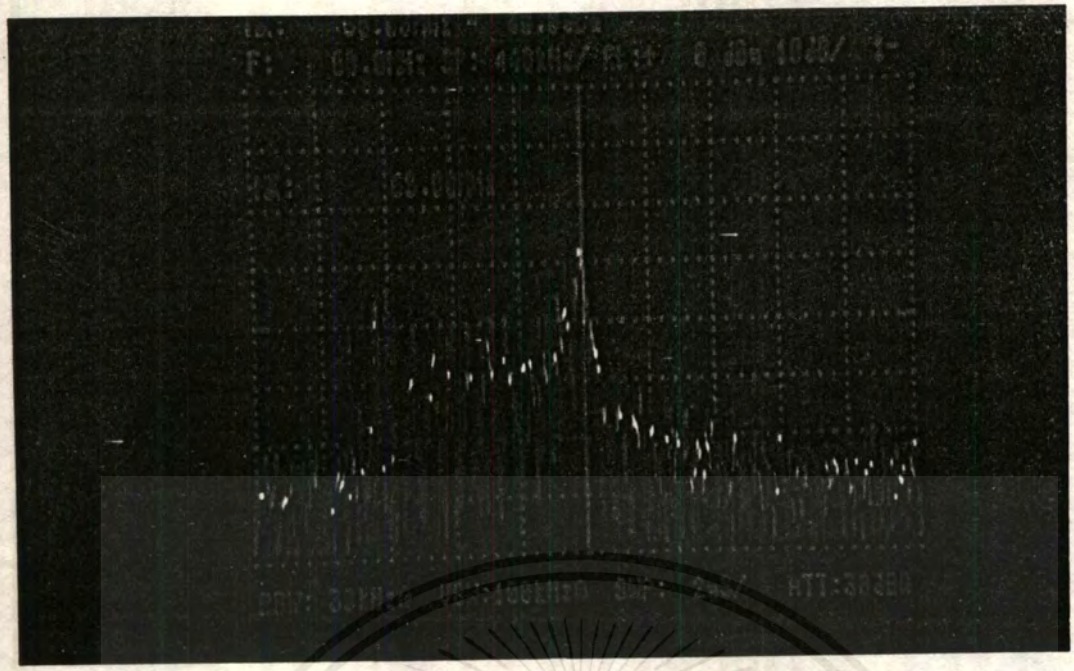
5. ต่อวงจรภาคส่งสัญญาณเอฟเอ็มของอะแดปเตอร์ (adapter) ดังรูปที่ 3.6 ใช้เครื่องสเปคตรัม อนาไลเซอร์ วัดสเปคตรัม ที่ขา 7 ของไอซีเบอร์ BA 1404 ซึ่งเป็นขาอาร์เอฟ เอ้าท์ สังเกต และบันทึกผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงสเปคตรัมของสัญญาณออสซิลเลเตอร์ของวงจรภาคส่งสัญญาณเอฟเอ็มในอะแดปเตอร์ โดยมีความถี่ประมาณ 60 MHz

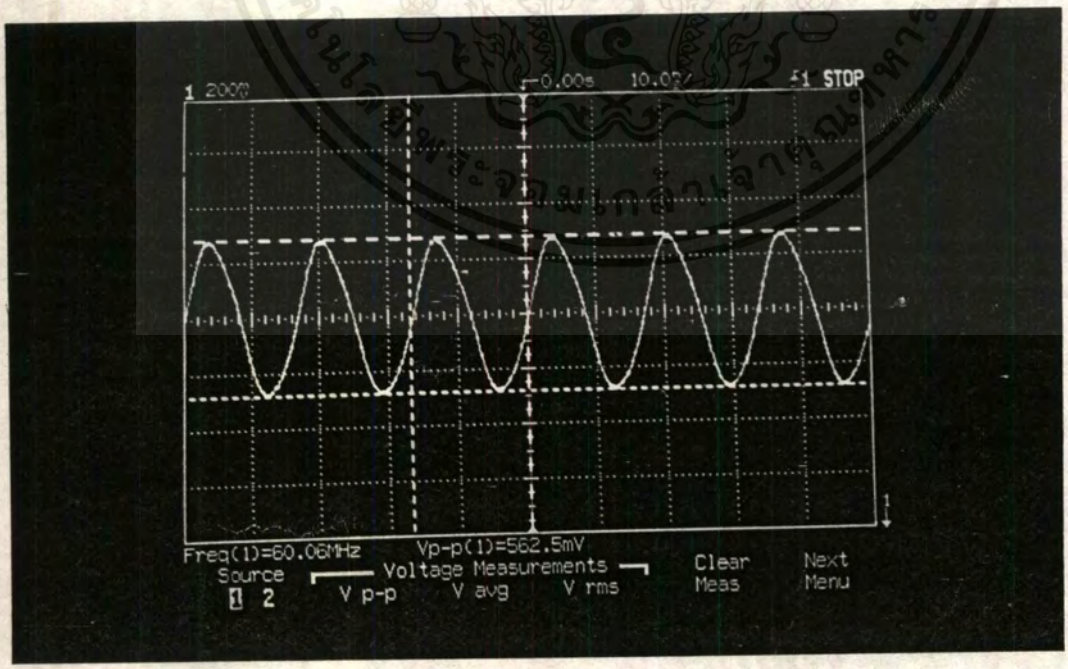
6. จากวงจรในข้อ 5 ป้อนสัญญาณ DTMF ซึ่งเป็นสัญญาณที่ต้องการนำมามอดูเลท จากวงจรกำเนิดความถี่ DTMF ในข้อที่ 1 เข้าที่ขา 12 ของไอซีเบอร์ BA1404 จากนั้นใช้เครื่องสเปคตรัม อนาไลเซอร์ วัดสเปคตรัมที่ขา 7 ของไอซีเบอร์ BA1404 ซึ่งเป็นขาอาร์เอฟ เอ้าท์ สังเกตและบันทึกผลการทดลองดังรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงสเปคตรัมของสัญญาณเอฟเอ็มของวงจรภาคส่งสัญญาณเอฟเอ็มในอะแดปเตอร์ โดยมีความถี่ประมาณ 60 MHz

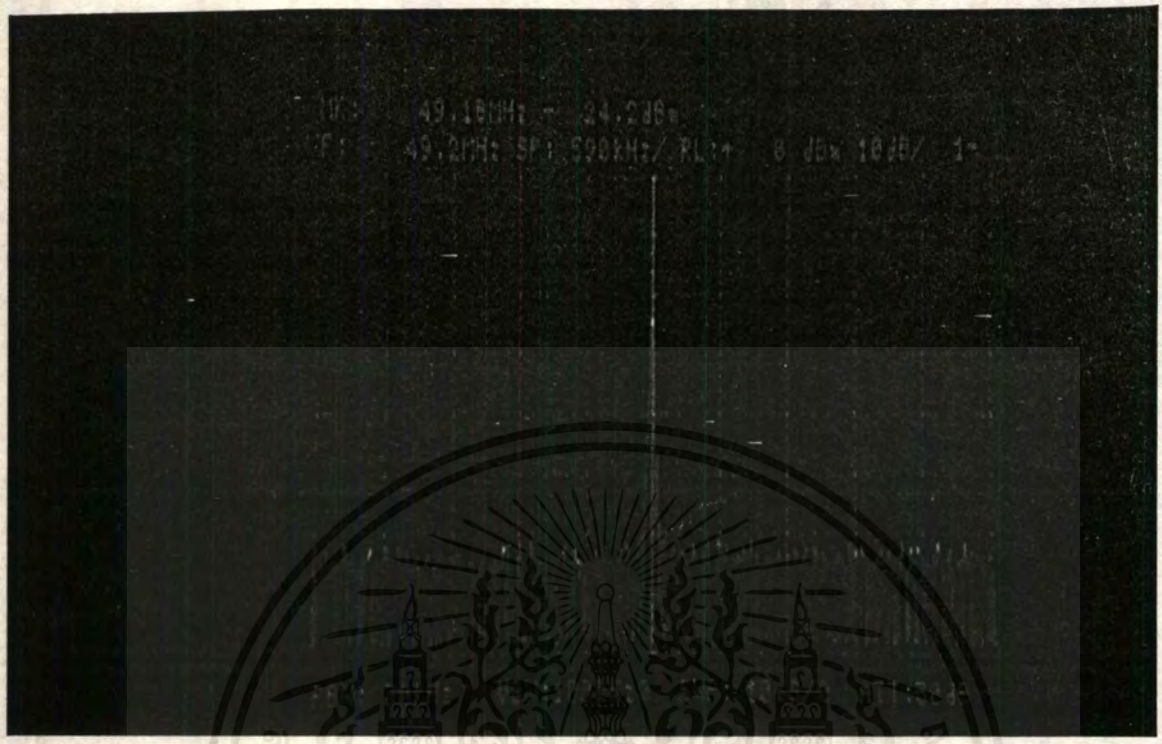
7. จากวงจรในข้อ 5 ใช้ออสซิลโลสโคป วัดสัญญาณที่ขา 7 ของไอซีเบอร์ BA1404 ซึ่งเป็นขาอาร์เอฟเอ้าท์ สังเกตและบันทึกผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณออสซิลเลเตอร์ของวงจรภาคส่งสัญญาณเอฟเอ็มในอะแดปเตอร์ ความถี่ 60 MHz

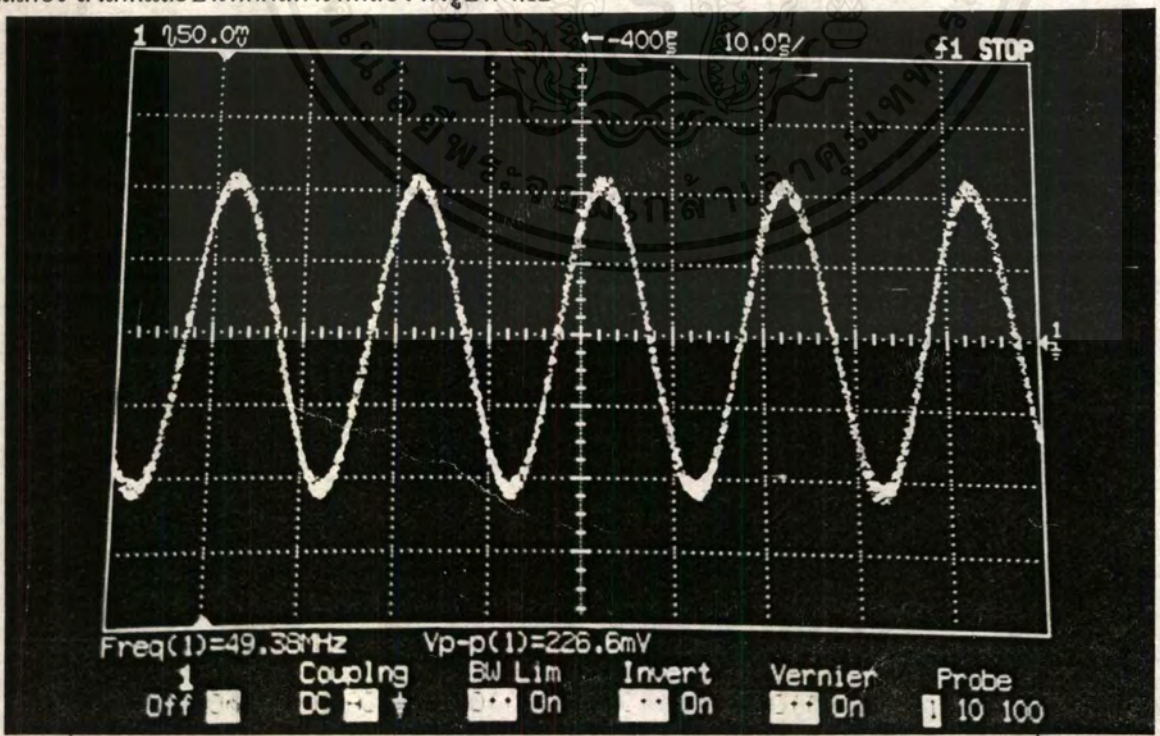
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ต่อวงจรภาครับสัญญาณเอฟเอ็มของอะแดปเตอร์ ดังรูปที่ 3.6 ใช้เครื่องสเปคตรัม อนาไลเซอร์ วัดสเปคตรัมที่ขา 6 ของไอซีเบอร์ TDA 7000 ซึ่งเป็นขาออสซิลเลเตอร์ สังเกต และบันทึกผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงสเปคตรัมของสัญญาณออสซิลเลเตอร์ของวงจรภาครับสัญญาณเอฟเอ็มในอะแดปเตอร์ โดยมีความถี่ประมาณ 49.18 MHz

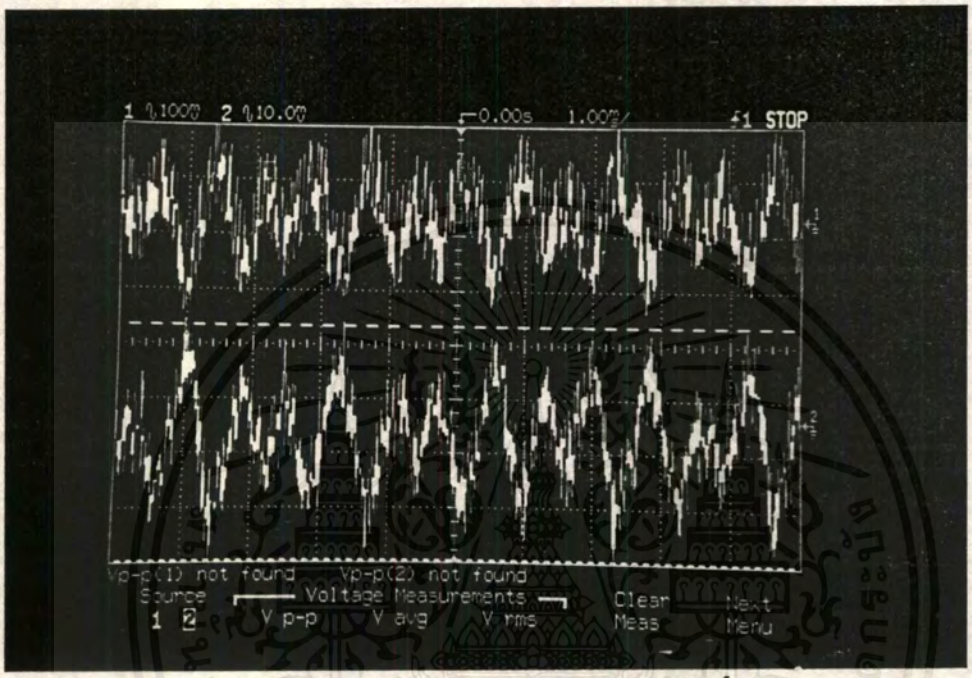
9. จากวงจรในข้อ 8 ใช้ออสซิลโลสโคป วัดสัญญาณที่ขา 6 ของไอซีเบอร์ TDA7000 ซึ่งเป็นขาออสซิลเลเตอร์ สังเกตและบันทึกผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงสัญญาณออสซิลเลเตอร์ของวงจรภาครับสัญญาณเอฟเอ็มในอะแดปเตอร์ ความถี่ 49 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

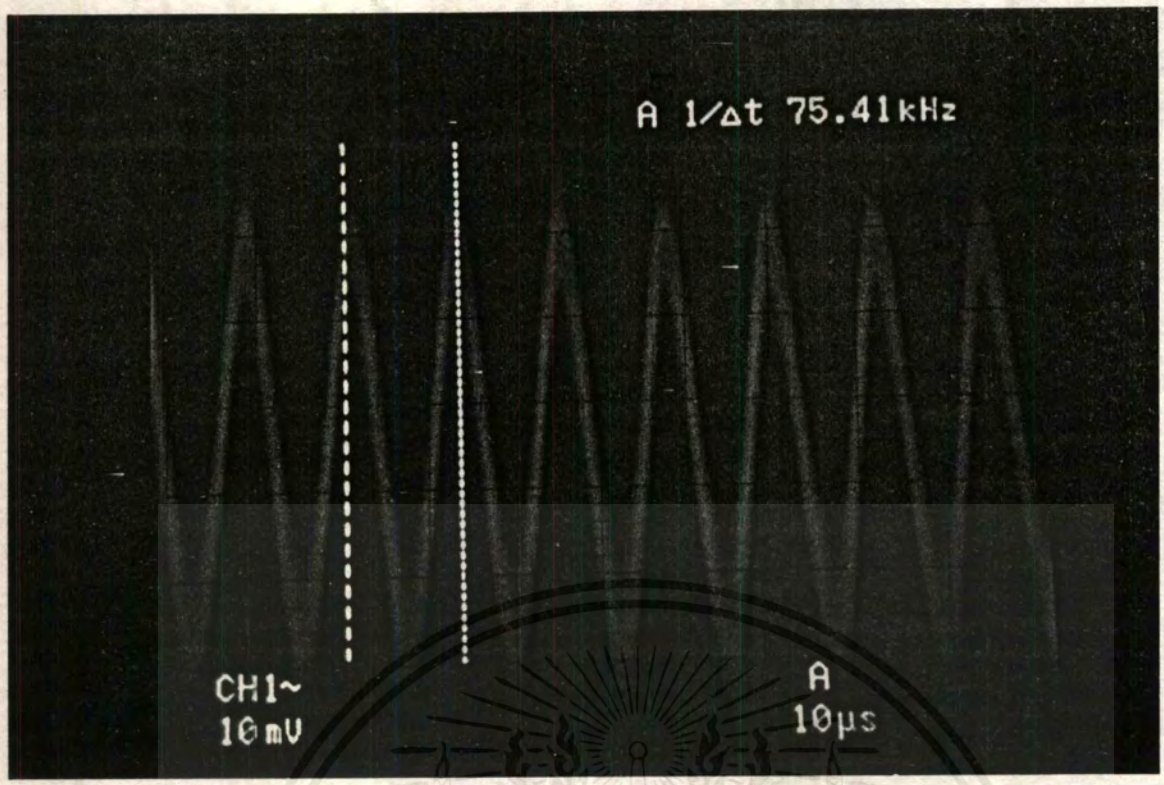
10. จากวงจรเครื่องควบคุมในรูปที่ 3.2 (ก) วัดสัญญาณเอ้าท์พุทของวงจรสร้างสัญญาณDTMF เป็นดังรูปสัญญาณรูปบนของรูปที่ 4.13 เป็นสัญญาณDTMF หมายเลข 1 ป้อนสัญญาณDTMF เข้าไปมอดูเลทที่ภาคส่ง แล้วส่งออกอากาศ เครื่องอะแคปเตอร์รับสัญญาณเอฟเอ็มที่ส่งมาแล้วทำการดีเทคสัญญาณเอฟเอ็มได้สัญญาณ DTMF ดังรูปล่างของรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงสัญญาณDTMF ก่อนป้อนเข้าวงจรภาคส่งในเครื่องควบคุม และแสดงสัญญาณเอ้าพุท DTMF จากวงจรดีมอดูเลเตอร์ในอะแคปเตอร์

11. จากวงจรภาคส่งและภาครับสัญญาณเอฟเอ็มและวงจรกำเนิดสัญญาณ DTMF ทำการทดลองโดยป้อนสัญญาณ DTMF เข้าไปมอดูเลทที่ภาคส่ง แล้วส่งออกอากาศ แล้วใช้ออสซิลโลสโคป วัดสัญญาณจากวงจรภาครับสัญญาณเอฟเอ็มของอะแคปเตอร์ ที่ขา 12 ของไอซีเบอร์ TDA 7000 ซึ่งเป็นขาความถี่ไอเอฟ 75 KHz สังเกต และบันทึกผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



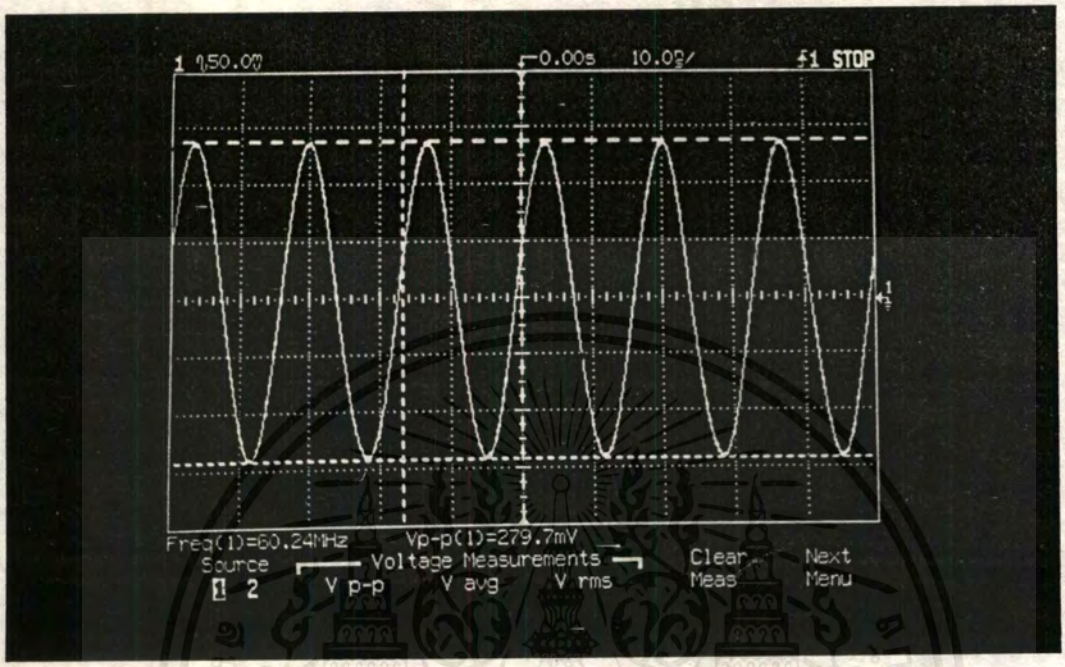
รูปที่ 4.14 แสดงสัญญาณความถี่ไอเอฟ 75 KHz ของดีมอดูเลเตอร์ในอะแดปเตอร์

12. ต่อวงจรภาครับสัญญาณเอฟเอ็มของเครื่องควบคุม ดังรูปที่ 3.2 (ก) ใช้เครื่องสเปคตรัม อนาไลเซอร์วัดสเปคตรัมที่ขา 6 ของไอซีเบอร์ TDA 7000 ซึ่งเป็นขาออสซิลเลเตอร์ สังเกตและบันทึกผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.15

รูปที่ 4.15 แสดงสเปคตรัมของสัญญาณออสซิลเลเตอร์ของวงจรภาครับสัญญาณเอฟเอ็มในเครื่องควบคุม โดยมีความถี่ประมาณ 60 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

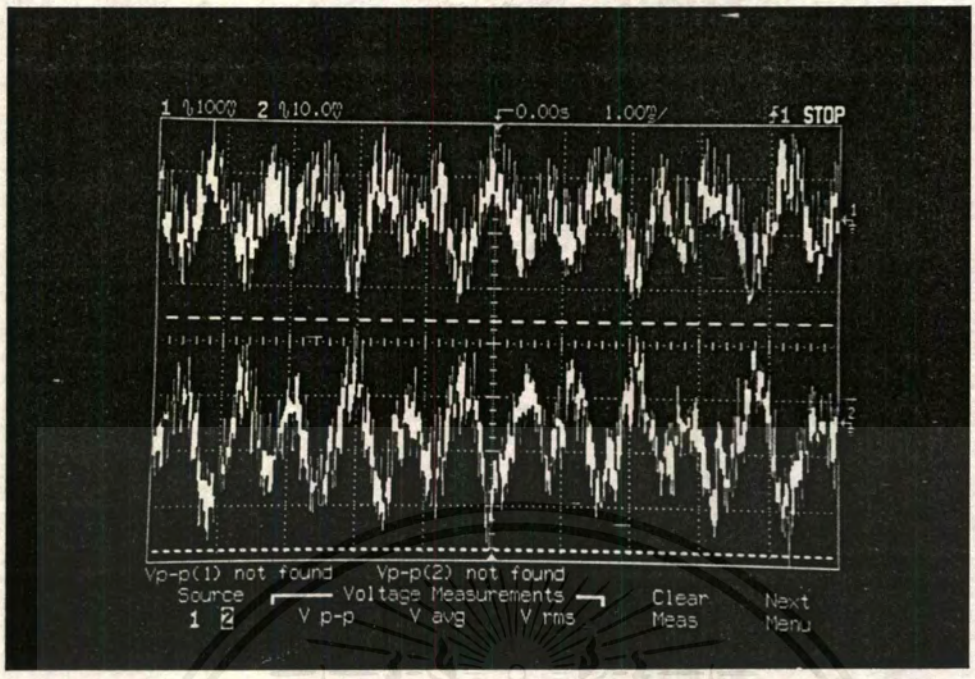
13. จากวงจรในข้อ 12 ใช้ออสซิลโลสโคป วัดสัญญาณที่ขา 6 ของไอซีเบอร์ TDA7000 ซึ่งเป็นขาออสซิลเลเตอร์ สังเกตและบันทึกผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 แสดงสัญญาณออสซิลเลเตอร์ของวงจรภาครับสัญญาณ ในเครื่องควบคุม

14. จากวงจรอะแคปเตอร์ในรูปที่ 3.2 (ข) วัดสัญญาณเอ้าท์พุทของวงจรสร้างสัญญาณDTMF เป็นดังรูปสัญญาณรูปบนของรูปที่ 4.17 เป็นสัญญาณDTMF หมายเลข 8 ป้อนสัญญาณDTMF เข้าไปมอดูเลทที่ภาคส่ง แล้วส่งออกอากาศ เครื่องควบคุมรับสัญญาณเอฟเอ็มที่ส่งมาแล้วทำการดีเทคสัญญาณเอฟเอ็มได้สัญญาณ DTMF ดังรูปล่างของรูปที่ 4.17

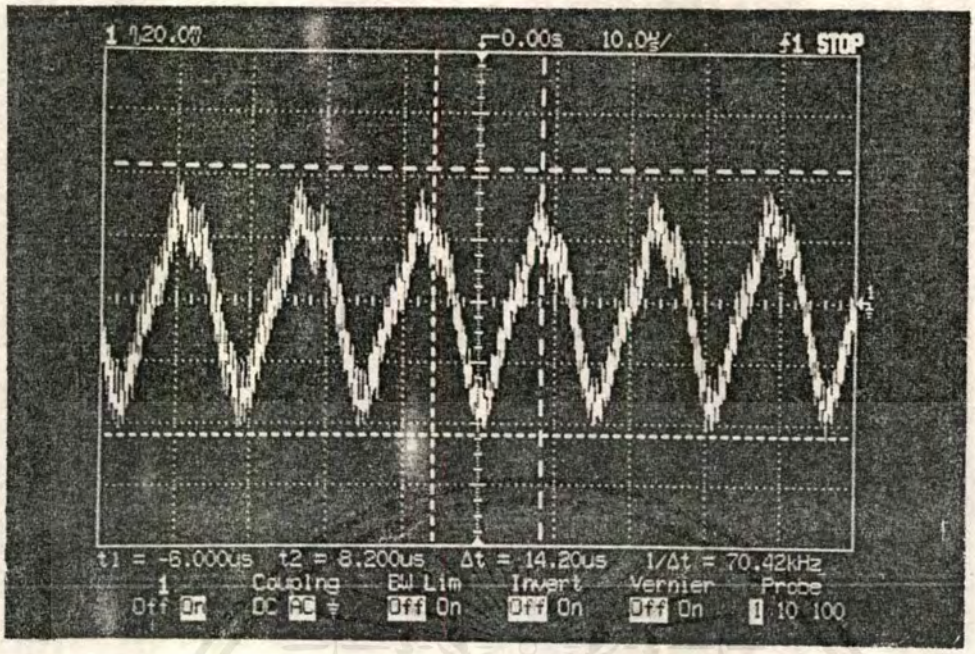
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 แสดงสัญญาณDTMF ก่อนป้อนเข้าวงจรภาคส่งในอะแดปเตอร์ และแสดงสัญญาณเอ้าท์พุท DTMF จากวงจรดีมอดูเลเตอร์ในเครื่องควบคุม

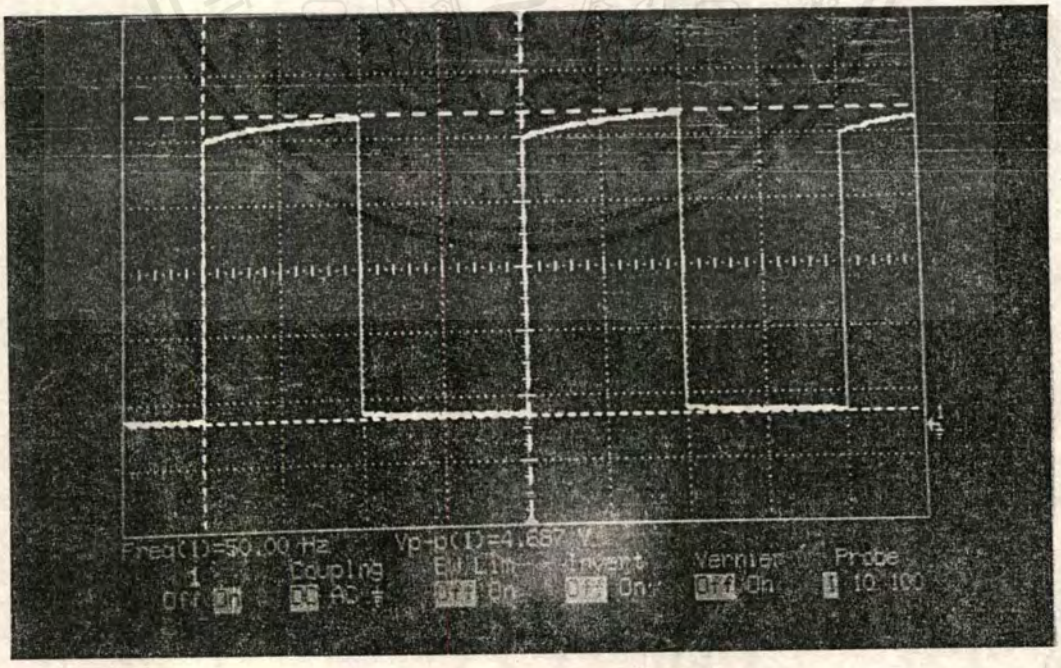
15. จากวงจรภาคส่งและภาครับสัญญาณเอฟเอ็มและวงจรกำเนิดสัญญาณ DTMF ทำการทดลองโดยป้อนสัญญาณ DTMF เข้าไปมอดูเลทที่ภาคส่ง แล้วส่งออกอากาศ แล้วใช้ออสซิลโลสโคป วัดสัญญาณจากวงจรภาครับสัญญาณเอฟเอ็มของเครื่องควบคุม ที่ขา 12 ของไอซีเบอร์ TDA 7000 ซึ่งเป็นขาความถี่ไอเอฟ 75 KHz สังเกต และบันทึกผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 แสดงสัญญาณความถี่ไอเอฟ 75 KHz ของดีมอดูเลเตอร์ในเครื่องควบคุม

16. ต่อวงจรตรวจสอบกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.6 ใช้เครื่องออสซิลโลสโคบวัดสัญญาณพัลซ์ที่ขา 6 ของไอซี CA3130 บันทึกผลการทดลองดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 แสดงสัญญาณพัลซ์ ซึ่งมีแรงดัน 0 โวลท์ และ 4 โวลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. ต่อวงจรดีเทคสัญญาณ DTMF และวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51 ในอะแดปเตอร์เข้าด้วยกัน ป้อนสัญญาณเอาท์พุททั้ง 4 บิท ของวงจรถอดรหัส DTMF เข้าที่ บิท0, บิท1, บิท2 และบิท3 ของพอร์ท0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการส่งสัญญาณมาที่อะแดปเตอร์ในครั้งแรกเป็นการกำหนดว่าเราจะควบคุมการเปิดปิดของเครื่องไฟฟ้าตัวใด ซึ่งในที่นี้มีเครื่องใช้ไฟฟ้า 2 เครื่อง (NO.1 และ NO.2) ในการส่งสัญญาณ ครั้งที่สองเป็นการส่งสัญญาณไปควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าซึ่งเราได้เลือกเครื่องไว้แล้ว ว่าจะให้เครื่องไฟฟ้าเปิดหรือปิด

หมายเลขเครื่องใช้ไฟฟ้า	การเซตบิทเอาท์พุทของไมโครคอนโทรเลอร์	การรีเซตบิทเอาท์พุทของไมโครคอนโทรเลอร์
NO.1 ในการส่งสัญญาณDTMF ครั้งแรกต้องส่งเลข 1 ไป	ในการส่งสัญญาณDTMF ครั้งที่สอง ต้องส่งเลข 8ไป เพื่อเซตบิทเอาท์พุท เพื่อป้อนกระแสไฟให้เครื่องใช้ไฟฟ้า	ในการส่งสัญญาณDTMF ครั้งที่สอง ต้องส่งเลข 9ไป เพื่อรีเซตบิทเอาท์พุท เพื่อปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า
NO.2 ในการส่งสัญญาณDTMF ครั้งแรกต้องส่งเลข 2 ไป	ในการส่งสัญญาณDTMF ครั้งที่สอง ต้องส่งเลข 8ไป เพื่อเซตบิทเอาท์พุท เพื่อป้อนกระแสไฟให้เครื่องใช้ไฟฟ้า	ในการส่งสัญญาณDTMF ครั้งที่สอง ต้องส่งเลข 9ไป เพื่อรีเซตบิทเอาท์พุท เพื่อปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า

ตารางที่ 4.1 แสดงรายละเอียดการทำงานของไมโครคอนโทรเลอร์ AT89C51 ของอะแดปเตอร์

18. ต่อวงจรดีเทคสัญญาณ DTMF และวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51 ในเครื่องควบคุมเข้าด้วยกัน ป้อนสัญญาณเอาท์พุททั้ง 4 บิท ของวงจรถอดรหัส DTMF เข้าที่ บิท0, บิท1, บิท2 และบิท3 ของพอร์ท0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการส่งสัญญาณกลับมาที่เครื่องควบคุมนั้น เพื่อบอกหมายเลขและสถานะของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เรากำลังสั่งให้ทำงานอยู่ โดย P1.0-P1.6 ของไมโครคอนโทรลเลอร์จะแสดงหมายเลขเครื่องของอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเซเว่น-เซกเมนต์ ถ้าอุปกรณ์ไฟฟ้าเปิด P1.7 จะมีแรงดัน 5 โวลท์ แต่ถ้าอุปกรณ์ไฟฟ้าปิด P2.0 จะมีแรงดัน 5 โวลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลขเครื่องใช้ไฟฟ้า	ในกรณีที่เครื่องใช้ไฟฟ้าทำงาน	ในกรณีที่เครื่องใช้ไฟฟ้าไม่ทำงาน
NO.1	เซเว่น-เซคุเมนต์ แสดงหมายเลขเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า และ P1.7 มีค่าแรงดันเท่ากับ 5 โวลท์	เซเว่น-เซคเมนต์ แสดงหมายเลขเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า และ P2.0 มีค่าแรงดันเท่ากับ 5 โวลท์
NO.2	เซเว่น-เซคเมนต์ แสดงหมายเลขเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า และ P1.7 มีค่าแรงดันเท่ากับ 5 โวลท์	เซเว่น-เซคเมนต์ แสดงหมายเลขเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า และ P2.0 มีค่าแรงดันเท่ากับ 5 โวลท์

ตารางที่ 4.2 แสดงรายละเอียดการทำงานของไมโครคอนโทรเลอร์ AT89C51 ของเครื่องควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป

โครงงานที่สร้างขึ้นมานี้เป็นรีโมทคอนโทรล ส่งสัญญาณด้วยความถี่ 49 MHz ไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า และส่งสัญญาณกลับมาด้วยความถี่ 60 MHz เพื่อบอกสถานะการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น จากการทดลองพบว่าในส่วนของเครื่องควบคุมเราสามารถเข้ารหัสสัญญาณ DTMF และสามารถนำสัญญาณ DTMF เอาท์พุทที่ได้ไปมอดูเลทกับคลื่นพาหะความถี่ทั้ง 49 MHz และส่งออกอากาศได้ อะแคปเตอร์จะทำการดีเทคได้สัญญาณDTMF จากนั้นนำสัญญาณDTMF ไปเข้าวงจรถอดรหัส จากการทดลองสามารถถอดรหัสสัญญาณ DTMF ได้ และนำเอาท์พุทจากวงจรถอดรหัส DTMF ไปควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการส่งสัญญาณ DTMF ครั้งแรกเป็นการเลือกอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการให้ทำงาน เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจสอบแล้วว่าหมายเลขที่ส่งมาตรงกับหมายเลขของอุปกรณ์ไฟฟ้าก็จะทำการรอรับสัญญาณ DTMFอีกครั้ง ซึ่งเป็นการสั่งให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเปิดหรือปิด ส่งเลข 8 มาหมายถึงการเปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า ขา P1.0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกเซต แรงดัน 5 โวลท์ที่เกิดที่ขา P1.0 จะทำให้รีเลย์สวิตช์ เมื่อรีเลย์สวิตช์ก็จะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่อครบวงจร ทำให้มีกระแสไหลเข้าอุปกรณ์ไฟฟ้า แต่ถ้าส่งเลข 9 มาจะหมายถึงการปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า ขา P1.0 จะถูกรีเซต แรงดันที่ขา P1.0 เป็น 0 โวลท์ รีเลย์ก็จะไม่สวิตช์ อุปกรณ์ไฟฟ้าจะต่อไม่ครบวงจร ทำให้ไม่มีกระแสไหลเข้าอุปกรณ์ไฟฟ้า เมื่อมีกระแสไหลในอุปกรณ์ไฟฟ้า ขดลวดทุติยภูมิที่พันกับแกนเฟอร์ไรต์จะถูกเหนี่ยวนำให้มีแรงดันเกิดขึ้น นำแรงดันนี้ป้อนเข้าออปแอมป์และผ่านวงจรเรคติไฟเออร์ จะได้เป็นสัญญาณไฟDC มีค่า 4 โวลท์ นำสัญญาณไฟDC ป้อนเข้าขา P0.5 ทำให้ขา P0.5 เซต(แสดงว่ามีกระแสไหลในอุปกรณ์ไฟฟ้า) เมื่อขา P0.5 ถูกเซตไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมให้วงจรสร้างสัญญาณ DTMF ส่งหมายเลขของอุปกรณ์ไฟฟ้าและหมายเลข 8 (แสดงว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าเปิดอยู่) กลับไปให้เครื่องควบคุมด้วยความถี่ 60 MHz แต่ถ้าอุปกรณ์ไฟฟ้าไม่มีกระแสไฟฟ้าไหล ขา P0.5 จะถูกรีเซต เมื่อขา P0.5 ถูกรีเซตไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมให้วงจรสร้างสัญญาณ DTMF ส่งหมายเลขของอุปกรณ์ไฟฟ้าและหมายเลข 9 (แสดงว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าปิดอยู่) กลับไปให้เครื่องควบคุม ทางด้านเครื่องส่งจะถอดรหัสสัญญาณDTMF ที่ส่งมา และนำเอาท์พุทไปป้อนเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ เอาท์พุทของไมโครคอนโทรลเลอร์คือขา P1.0- P1.3 ของไมโครคอนโทรลเลอร์จะแสดงหมายเลขของอุปกรณ์ไฟฟ้า และถ้าขา P1.4 ถูกเซตแสดงว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าเปิด ถ้าขา P1.5 ถูกเซตแสดงว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าปิด เครื่องควบคุมระยะไกลนี้สามารถควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าได้หลายเครื่องและยังแสดงหมายเลขและสถานะของอุปกรณ์ที่เราเลือกให้ทำงานด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่ 1

```
        ORG 0000H
SETB    P1.0
SETB    P1.1
SETB    P1.2
SETB    P1.3
SETB    P1.4
SETB    P1.5
SETB    P1.6
CLR     P1.7
CLR     P2.0

START:MOV  A,P0
           ANL A,#00001111B
           CJNE A,#00000000B,DEVICE1
           SJMP DEVICE0_ON
DEVICE1:   CJNE A,#00000001B,DEVICE2
           SJMP DEVICE1_ON
DEVICE2:   CJNE A,#00000010B,DEVICE3
           SJMP DEVICE2_ON
DEVICE3:   CJNE A,#00000011B,DEVICE4
           SJMP DEVICE3_ON
DEVICE4:   CJNE A,#00000100B,DEVICE5
           SJMP DEVICE4_ON
DEVICE5:   CJNE A,#00000101B,DEVICE6
           SJMP DEVICE5_ON
DEVICE6:   CJNE A,#00000110B,DEVICE7
           SJMP DEVICE6_ON
DEVICE7:   CJNE A,#00000111B,DEVICE11
           SJMP DEVICE7_ON
DEVICE11:  CJNE A,#00001011B,DEVICE12
           SJMP DEVICE11_ON
DEVICE12:  CJNE A,#00001100B,START
           SJMP DEVICE12_ON

DEVICE0_ON: MOV P1,#00000010B
           SJMP SWITCH_ON
DEVICE1_ON: MOV P1,#01111010B
           SJMP SWITCH_ON
DEVICE2_ON: MOV P1,#00100100B
           SJMP SWITCH_ON
DEVICE3_ON: MOV P1,#01100000B
           SJMP SWITCH_ON
DEVICE4_ON: MOV P1,#01011000B
           SJMP SWITCH_ON
DEVICE5_ON: MOV P1,#01000001B
           SJMP SWITCH_ON
DEVICE6_ON: MOV P1,#00000001B
           SJMP SWITCH_ON
DEVICE7_ON: MOV P1,#01101010B
           SJMP SWITCH_ON
DEVICE11_ON:MOV P1,#00000000B
           SJMP SWITCH_ON
DEVICE12_ON:MOV P1,#01000000B
           SJMP SWITCH_ON

SWITCH_ON:  MOV A,P0
           ANL A,#00001111B
           CJNE A,#00001000B,SWITCH_OFF
           CLR  P2.0
           SETB P1.7
           SJMP START
SWITCH_OFF: MOV A,P0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        ANL A,#00001111B
        CJNE A,#00001001B,SWITCH_ON
        CLR P1.7
        SETB P2.0
        SJMP START

END
```

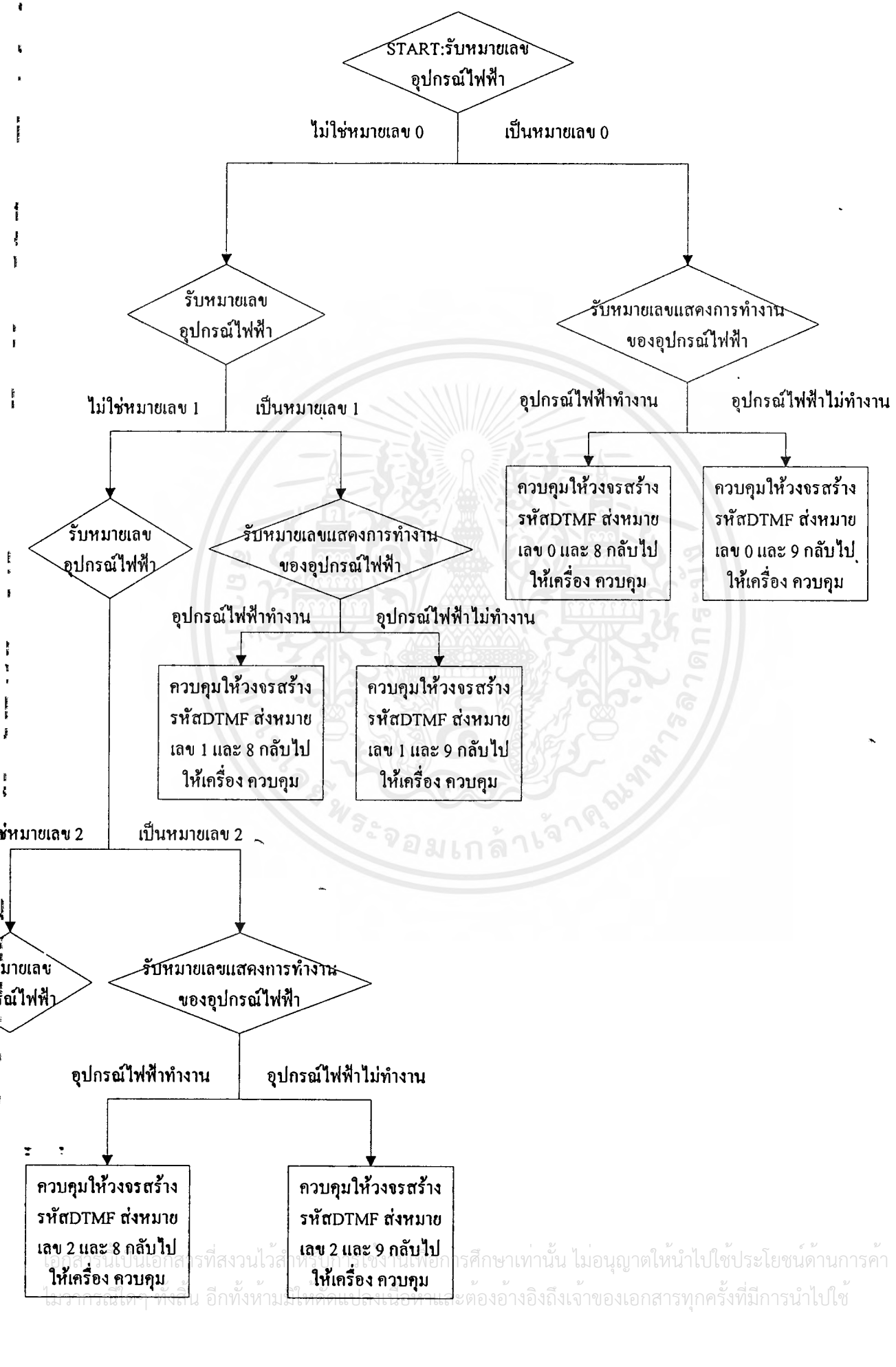
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่ 2

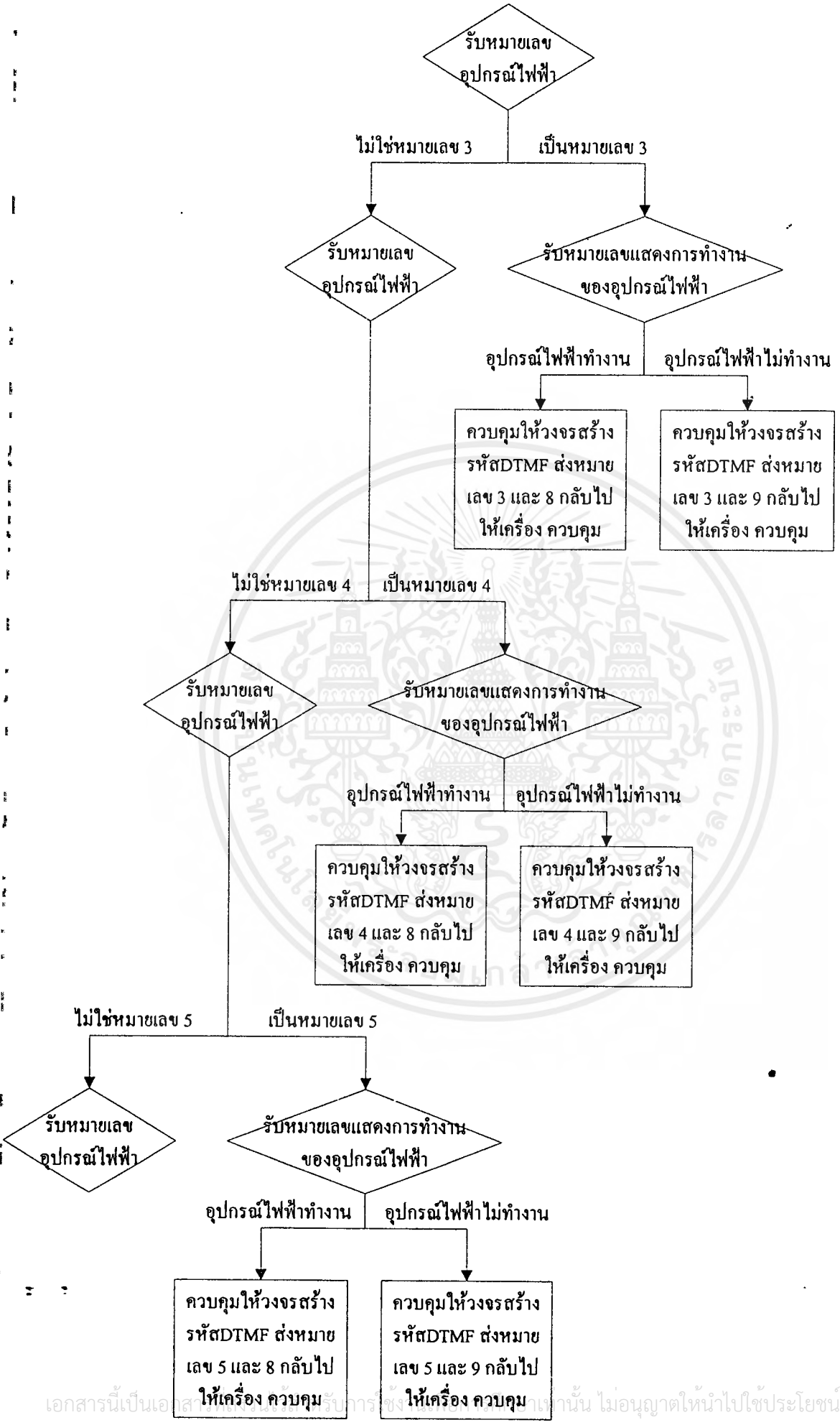
```
          ORG 0000H
   CLR   P1.0
   CLR   P1.1
   CLR   P1.2
   CLR   P1.3
   CLR   P1.4
   CLR   P1.5
   START:MOV  A,P0
             ANL A,#00001111B
             CJNE A,#00000001B,START
   CHECK_ON:MOV A,P0
            ANL A,#00001111B
            CJNE A,#00001000B,CHECK_OFF
            SETB P1.0
            SJMP DTMF
   CHECK_OFF:MOV A,P0
             ANL A,#00001111B
             CJNE A,#00001001B,CHECK_ON
             CLR P1.0
             SJMP DTMF

   DTMF: SETB P1.1
         SETB P1.2
         CLR  P1.3
         SETB P1.4
         SETB P1.5
           MOV R2,#03H
   DELAY0: MOV R1,#0FFH
   DELAYX0: MOV R0,#0FFH
            DJNZ R0,$
            DJNZ R1,DELAYX0
            DJNZ R2,DELAY0

         CLR  P1.4
         CLR  P1.5
           MOV R2,#03H
   DELAY1: MOV R1,#0FFH
   DELAYX1: MOV R0,#0FFH
            DJNZ R0,$
            DJNZ R1,DELAYX1
            DJNZ R2,DELAY1

        CLR  P1.1

   DELAY2:    mov r2,#03h
   delayy:    mov r1,#0ffh
   delayy1:   mov r0,#0ffh
              djnz r0,$
              djnz r1,delayy1
              djnz r2,delayy
   FI_CHECK: MOV A,P0
             ANL A,#00010000B
             CJNE A,#00010000B,DTMF_OFF
             SJMP DTMF_ON
   DTMF_ON: CLR P1.2
            SETB P1.5
            SJMP START
   DTMF_OFF:SETB P1.5
            SJMP START

   END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

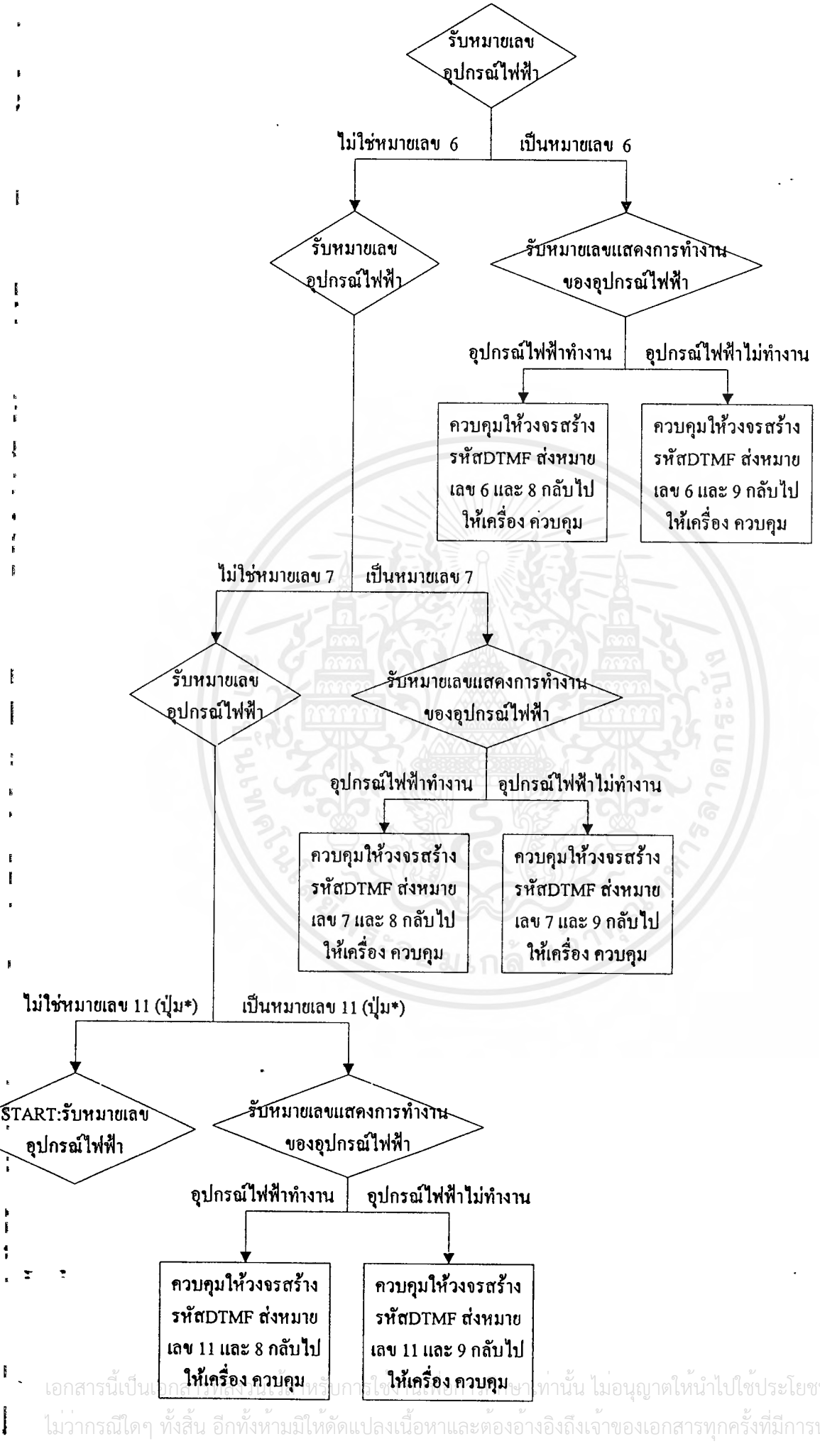
โฟลชาร์จของโปรแกรมที่ 1



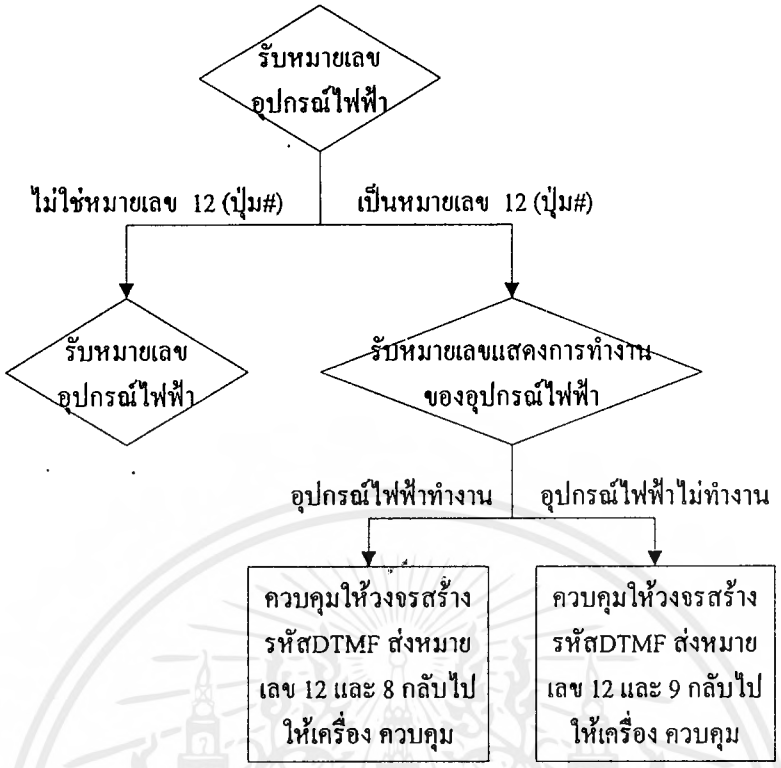
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

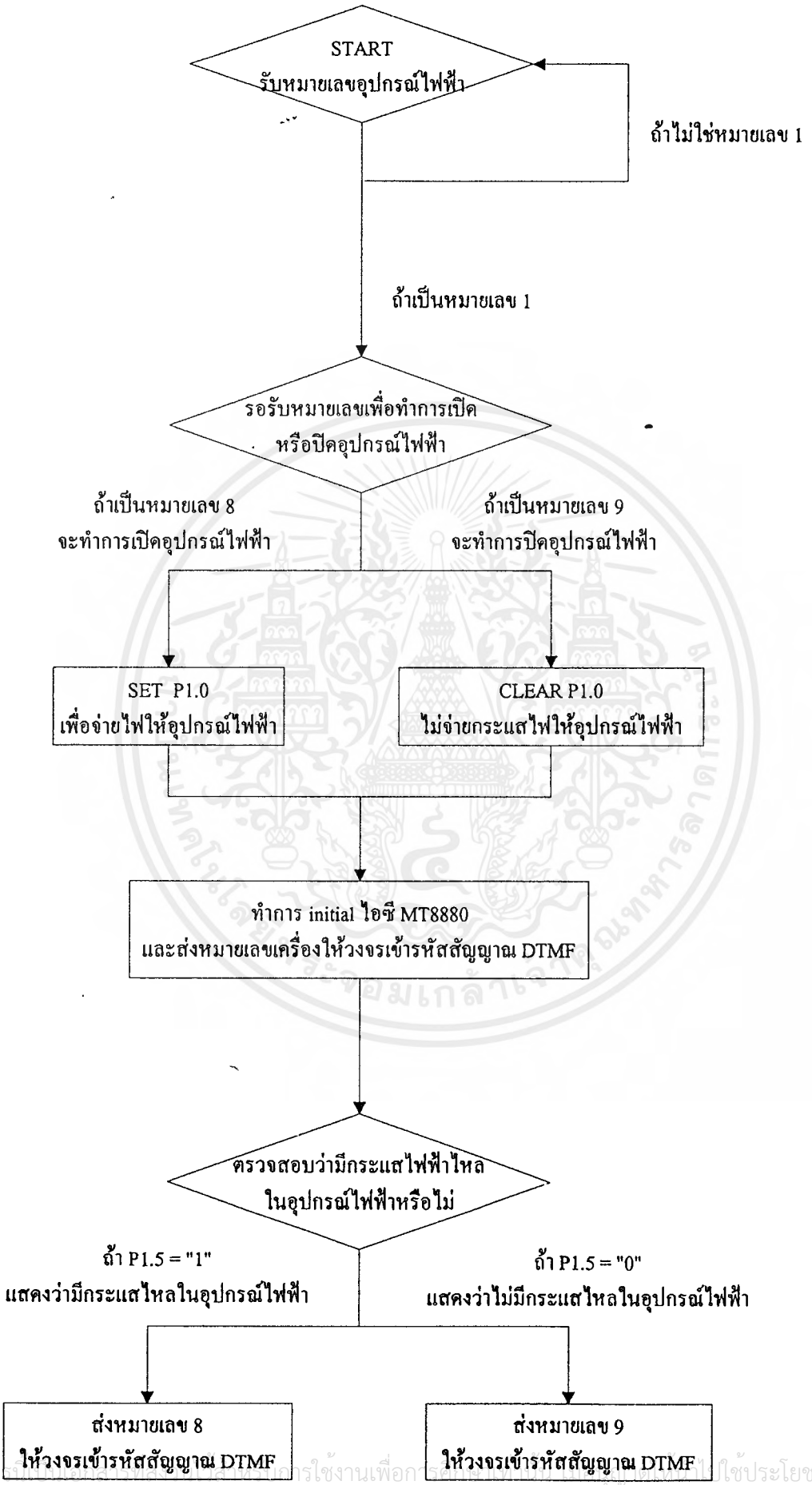


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟลชาร์จของโปรมแกรมที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานเครื่องควบคุมระยะไกลโดยใช้คลื่นวิทยุนี้สำเร็จลงได้ ก็ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายๆ ท่าน ทั้งในด้านความรู้ ประสบการณ์ เครื่องมืออุปกรณ์ ตลอดจนเป็นที่ปรึกษา แนะนำ ทั้งยังคอยเป็นกำลังใจในการทำงานให้สำเร็จลุล่วงได้ ซึ่งต้องขอกล่าวถึงบุคคลเหล่านั้น ไม่ว่าจะเป็น

อาจารย์ณรงค์ เหมกรณ์ และอาจารย์นิภา ลีลารุจิ ที่ให้ความเอื้อเฟื้อในการใช้อุปกรณ์ต่างๆ และให้คำแนะนำ

รศ.ดร.วิวัฒน์ กิรานนท์, รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน และอาจารย์วิภา แสงพิสิทธิ์ ที่คอยเป็นที่ปรึกษาให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในทุกๆด้าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

(1) สุชาติ กังวารจิตต์ "เครื่องรับส่งวิทยุและระบบวิทยุสื่อสาร" กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด,2521

(2) รศ.ขืน ภู่วรวรรณ "ทฤษฎีและการใช้งานอิเลกทรอนิกส์ เล่ม 2" กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด,2521

(3) รศ.ขืน ภู่วรวรรณ "ทฤษฎีและการใช้งานอิเลกทรอนิกส์ เล่ม 3" กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด,2521

(4) THEODORF F. BOGART,Jr. "Electronic Device and Circuits", third edition : Merrill,1993

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้