

เครื่องพ่นสารเคมีควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรล  
THE CHEMICAL SPRAY BY REMOTE CONTROL



โดย  
นายประสพชัย คีลาอ่อน  
นายสรชัย สังข์กลาง

รพ.  
1.34  
2543

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน... 42704  
วัน, เดือน, ปี... 6 ส.ย. 2545

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
by 21630x

เครื่องพ่นสารเคมีควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรล  
THE CHEMICAL SPRAY BY REMOTE CONTROL



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2543

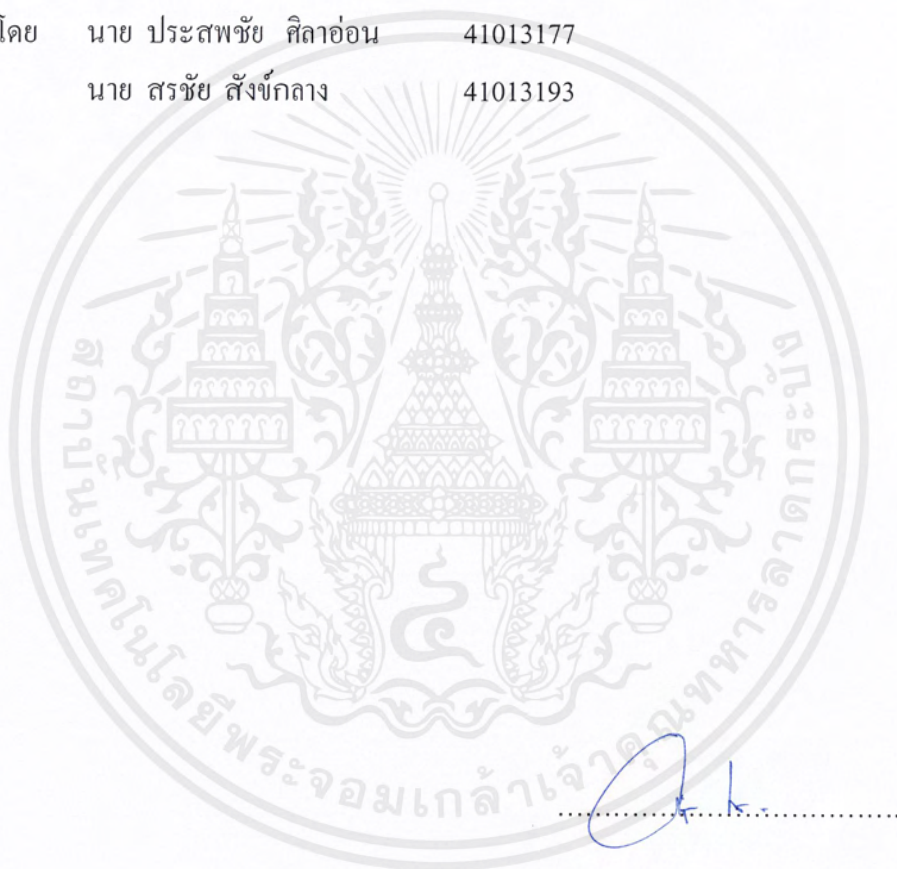
ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องพ่นสารเคมีควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรล

โดย นาย ประสพชัย ศีลาอ่อน 41013177

นาย สรชัย สังข์กลาง 41013193



(อ.วัฒนา โพธิ์เจริญ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องพ่นสารเคมีควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรล

THE CHEMICAL SPRAY BY REMOTE CONTROL

นาย ประสพชัย ศีลาอ่อน 41013177

นาย สรชัย สังก์กลาง 41013193



ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

(อ.วัฒนา โปธิ์เจริญ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

๕ / ๒๕.๖. / ๔๔.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี จากความอนุเคราะห์จากอาจารย์ประจำภาควิชาเล็กรทอ นิกส์หลายท่านที่ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือเรื่องเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง โดยเฉพาะอาจารย์ที่ปรึกษา คือ อาจารย์ วัฒนา โพธิ์เจริญ ที่ให้คำปรึกษาที่ดีมาโดยตลอดในระหว่างการทำงานชิ้นนี้

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา , และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ช่วยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุน ในเรื่องการศึกษามาตลอด ขอขอบคุณกรมการทหารสื่อสารสะพานแดงที่ให้สถานที่ทำการทดลอง และ สำนักวิจัยและพัฒนาการทหารกลาโหม ในการสนับสนุนอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ ขอขอบคุณ เพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ พร้อมทั้งผู้ที่ช่วยในการจัดทำโครงการ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ประสพชัย ศีลาอ่อน  
สรชัย สังข์กลาง  
ผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องพ่นสารเคมีควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรล  
THE CHEMICAL SPRAY BY REMOTE CONTROL

นาย ประสพชัย ศีลาอ่อน 41013177

นาย สรชัย สังข์กลาง 41013193

อ.วัฒนา โพธิ์เจริญ (อาจารย์ที่ปรึกษา)

ภาคการศึกษาที่ 1 ปี การศึกษา 2543

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ศึกษานำเอาสัญญาณ DTMF ผ่านเครื่องสั่งมาควบคุมการทำงานของเครื่องพ่นสารเคมี หรือเรียกว่า รีโมทคอนโทรล ซึ่งมีการควบคุมหลักๆ คือ ควบคุมความเร็วของเครื่องพ่น ควบคุมการพ่นสารเคมี ตรวจสอบระดับสารเคมี ตรวจสอบการประจุแบตเตอรี่ ตรวจสอบระยะทางการเคลื่อนที่ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS - 51 อ่านค่าสัญญาณ DTMF Binary แล้วควบคุมเครื่องพ่นสารเคมีให้เป็นไปตามผู้ใช้ต้องการ เพื่อหลีกเลี่ยงอันตรายจากสารเคมีต่อผู้ใช้สารเคมีให้มากที่สุด

## THE CHEMICAL SPRAY BY REMOTE CONTROL

Mr.Prasopchai Silaon 41013177

Mr.Sorachai Sangklang 41013193

Mr.Wattana Phocharoen (Adviser)

1<sup>st</sup> Semester , Educational Year 2000

## Abstract

The thesis is to study on applying the DTMF signal through the receiver and transmission machine in order to control the operation of chemical spraying engine or it is called the remote control. The remote control has its principle functions which are the spray speed control , Chemical spraying control , Chemical level examination , Battery charging examination , Direction movement control , All of these controlling will be used Micro Controller family MCS - 51 to read the signal value of DTMF Binary and to control the chemical spraying engine to reach the user requirement and avoid the danger of chemical substance as much as possible.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
Abstract	III
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
บทที่ 2 หลักการของเครื่องรับส่ง	
2.1 วงจรกำเนิดความถี่	3
2.2 ระบบสื่อสารย่านความถี่ VHF	10
2.3 NOISE ในระบบสื่อสาร	11
2.4 การ โมดูเลททางความถี่หรือเฟรควเอนซีโมดูเลชัน	11
2.5 คุณสมบัติของ MCS – 51	14
2.6 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS – 51	16
2.7 กลุ่มคำสั่งใน MCS – 51	29
2.8 คำสั่งใน MCS – 51	31
2.9 8255 PORT	36
2.10 วงจรแปรสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอกแบบ R – 2R	37
2.11 ทฤษฎีการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบ ซิกเซลชิปแอปพร็อกซิเมชัน	11
2.12 ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF 8591	41
2.13 การทำงานของเซลไฟฟ้า	46
2.14 แรงดันความต้านทาน	46
2.15 กำลังงานต่อชั่วโมง	47
2.16 เซลแบบตะกั่ว – กรด	48
2.17 หลักการประจุแบตเตอรี่	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

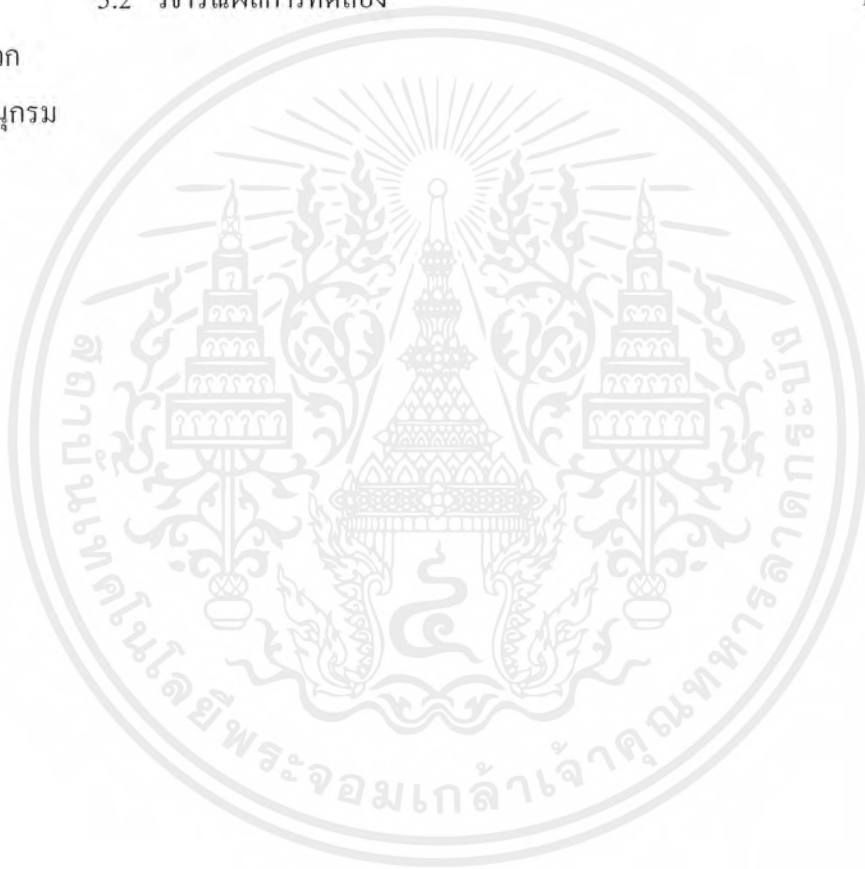
## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.18 ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่	51
2.19 ระดับ โวลต์แดงที่กระทบกระเทือนต่ออายุของแบตเตอรี่	51
2.20 วิธีการประจุแบตเตอรี่	52
2.21 หลักการของมอเตอร์กระแสตรง	55
2.22 ทฤษฎีของมอเตอร์กระแสตรง	56
2.23 ทอร์ก	58
2.24 การควบคุมความเร็วรอบ	60
<b>บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง</b>	
3.1 การผลิตสัญญาณความถี่ DTMF	62
3.2 การทำงานของภาคส่ง	63
3.3 การทำงานของภาครับ	65
3.4 การถอดรหัส DTMF เป็น Binary	67
3.5 วงจรประมวลผลและควบคุม	71
3.6 วงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรง	72
3.7 วงจรควบคุมการทำงานของปั๊ม	75
3.8 วงจร Sensor นับรอบมอเตอร์	77
3.9 วงจรการตรวจสอบแรงดันไฟจากแบตเตอรี่	78
3.10 วงจรการตรวจสอบระดับน้ำ	79
3.11 การทำงานของวงจรประจุแบตเตอรี่	79
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง</b>	
4.1 การทดลองวงจรผลิตสัญญาณความถี่ DTMF	82
4.2 การทดลองวงจรเครื่องส่ง	82
4.3 การทดลองวงจรเครื่องรับ	85
4.4 การทดลองวงจรถอดรหัสสัญญาณความถี่ DTMF เป็น Binary	86
4.5 การทดสอบข้อมูลผ่านเครื่องรับ – ส่ง	86
4.6 การทดลองวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอะนาล็อก	87
4.7 การทดลองแปลงสัญญาณจากดิจิทัลเป็นสัญญาณอะนาล็อก แบบ Analog Successive Approximation	88
4.8 วงจรควบคุมความกว้างพัลส์	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.9 ผลการทดลองของวงจรประจุแบตเตอรี่	94
4.10 การทดลองการควบคุมทางมอเตอร์	96
4.11 การทดลองการควบคุมปิด – เปิดปั้ม	96
4.12 การทดลองทางด้านโปรแกรม	97
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์	30
5.1 สรุปผลการทดลอง	101
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	101
ภาคผนวก	
บรรณานุกรม	



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 Block Diagram ของเครื่องพ่นสารเคมี	2
รูปที่ 2.1 วงจรออสซิลเลเตอร์ป้อนกลับแบบบวก	3
รูปที่ 2.2 LC ออสซิลเลเตอร์	5
รูปที่ 2.3 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบฮาร์เลย์	7
รูปที่ 2.4 เฟสของแรงดันไฟฟ้าในแท็ปคอล์	9
รูปที่ 2.5 วงจรเทียบเท่าของผลึกคริสตัล	9
รูปที่ 2.6 ออสซิลเลเตอร์แบบควบคุมคริสตัล	10
รูปที่ 2.7 รูปสัญญาณ AM FM	12
รูปที่ 2.8 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบ FM	14
รูปที่ 2.9 แสดงตำแหน่งของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS – 51	17
รูปที่ 2.10 โครงสร้างภายใน MCS – 51	20
รูปที่ 2.11 โครงสร้างหน่วยความจำทั้งหมดของ MCS – 51	21
รูปที่ 2.12 แผนภาพแสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลในชิป	22
รูปที่ 2.13 แสดงหน่วยความจำข้อมูลทั่วไปภายในชิป	23
รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างและตำแหน่งของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ	24
รูปที่ 2.15 แสดงการเลือกรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป	25
รูปที่ 2.16 แสดงตำแหน่งหน่วยความจำบริการอินเตอร์รัปต์	27
รูปที่ 2.17 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ (IE)	27
รูปที่ 2.18 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ (IP)	28
รูปที่ 2.19 แสดงหน่วยความจำสำหรับประมวลผลแบบบวกลบ	34
รูปที่ 2.20 แผนภาพอย่างง่ายแสดงภายใน IC 8255	36
รูปที่ 2.21 พื้นฐานของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล	37
รูปที่ 2.22 วงจร DAC แบบ R – 2R ที่มีการใช้โอปแอมป์	37
รูปที่ 2.23 ไคอะแกรมแสดงการทำงานของวงจร DAC	39
รูปที่ 2.24 ไคอะแกรมเวลาแสดงการทำงานของวงจร DAC	40
รูปที่ 2.25 รูปการจัดขาของ IC PCF 8591	42
รูปที่ 2.26 รายละเอียดข้อมูลควบคุมที่เขียนลงในรีจิสเตอร์ควบคุม IC PCF 8591	43
รูปที่ 2.27 แสดงวงจรสมมูลของแบตเตอรี่	47
รูปที่ 2.28 แสดงทิศทางการไหลของกระแสประจุแบตเตอรี่	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.29 วงจรที่ต่อความต้านทานแบบอนุกรมเพื่อจำกัดกระแส	50
รูปที่ 2.30 รูปแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันในการอัดประจุแบบกระแสคงที่	53
รูปที่ 2.31 การประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันคงที่	54
รูปที่ 2.32 ทิศทางการหมุนของมอเตอร์	56
รูปที่ 2.33 ทิศทางการแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ	57
รูปที่ 2.34 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับในวงจรอาร์มาเจอร์	57
รูปที่ 2.35 โมเมนต์ซึ่งลวดตัวนำอาร์มาเจอร์กระทำรอบจุดศูนย์กลาง	59
รูปที่ 3.1 วงจรผลิตสัญญาณความถี่ DTMF	63
รูปที่ 3.9 วงจรด้านเครื่องส่ง	64
รูปที่ 3.10 วงจรด้านเครื่องรับ	66
รูปที่ 3.4 โครงสร้างภายในของ MT 8870	67
รูปที่ 3.5 การจัดขาของ MT 8870	67
รูปที่ 3.6 แสดงความถี่ที่ได้จากภาคกรองความถี่	68
รูปที่ 3.7 แสดงการต่อวงจรผลิตความถี่	68
รูปที่ 3.8 แสดงวงจรตรวจสอบสัญญาณอย่างง่าย	69
รูปที่ 3.9 แสดงความต่อวงจรภาคอินพุท	71
รูปที่ 3.10 วงจรถอดรหัสสัญญาณความถี่ DTMF เป็น BINARY	71
รูปที่ 3.11 วงจรเพิ่มและลดแรงดัน DAC 4 บิต	72
รูปที่ 3.12 วงจรควบคุมความกว้างพัลส์	73
รูปที่ 3.13 วงจรควบคุมการเปิด – ปิด เกท	74
รูปที่ 3.15 วงจรขับกระแสมอเตอร์แบบสองทิศทาง	75
รูปที่ 3.16 แสดงไดอะแกรมเวลาสถานะต่างๆ ในบัส IIC	76
รูปที่ 3.17 วงจร Sensor นั้บรอบมอเตอร์	77
รูปที่ 3.18 วงจรตรวจสอบการประจุแบตเตอรี่	78
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบสัญญาณ DTMF ของหมายเลข 1 และหมายเลข 9	82
รูปที่ 4.2 สัญญาณจุดวัด A , B	82
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบเฟสของสัญญาณ	83
รูปที่ 4.10 สัญญาณหมายเลข 1	86
รูปที่ 4.11 สัญญาณหมายเลข 9	87
รูปที่ 4.12 แสดงการต่อวงจรทดลอง DAC	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.13 วงจรทดลองควบคุมความกว้างพัลส์	93
รูปที่ 4.14 สัญญาณเอาต์พุต PWM	93
รูปที่ 4.15 การต่อใช้งาน 8255 PORT	97



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบสัญญาณ AM , FM	12
ตารางที่ 2.2 แสดงกลุ่มคำสั่งทางคณิตศาสตร์	31
ตารางที่ 2.3 กลุ่มคำสั่งทางตรรกศาสตร์	32
ตารางที่ 2.4 กลุ่มคำสั่งเคลื่อนย้ายข้อมูล	33
ตารางที่ 2.5 กลุ่มคำสั่งควบคุมลำดับการทำงานของโปรแกรม	33
ตารางที่ 2.6 กลุ่มคำสั่งควบคุมลำดับการทำงานของโปรแกรม	33
ตารางที่ 2.8 กลุ่มคำสั่งเคลื่อนย้ายข้อมูล	34
ตารางที่ 2.9 กลุ่มคำสั่งแบบบูลีน	35
ตารางที่ 2.10 Control Word ในรีจิสเตอร์ 8255	36
ตารางที่ 3.1 ตารางกำหนดความถี่ DTMF ตามคีย์	62
ตารางที่ 3.2 โหมดการทำงานของ IC 145142	62
ตารางที่ 3.3 แสดงค่าถอดรหัสที่ได้จากความถี่ต่างๆ	70
ตารางที่ 3.4 กำหนดของโทรหวัตรระดับน้ำ	79
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการแปลงดิจิทัลเป็นแรงดันอะนาลอก แบบ R – 2R	88
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองแปลงดิจิทัลเป็นอะนาลอกแบบ Successive Appoximation	92
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองประจุแบตเตอรี่	94
ตารางที่ 4.4 เงื่อนไขการเขียน โปรแกรมควบคุมปั๊ม	98
ตารางที่ 4.5 ตรวจสอบระดับสารเคมี	98
ตารางที่ 4.6 กำหนดค่าการทำงานของมอเตอร์	98

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาของโครงการ

เนื่องจากเทคโนโลยีมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว โดยปัจจุบันจะใช้เครื่องจักรทำงานแทนมนุษย์เพื่อสร้างความสะดวกสบายให้กับมนุษย์หรือเพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดต่อมนุษย์ เช่นเดียวกับสารเคมีที่เกษตรกรใช้พ่นเพื่อฉีดฆ่าแมลง หรือ สารเคมีซึ่งเป็นอันตรายต่อร่างกายของมนุษย์เรา จึงได้สร้างเครื่องพ่นสารเคมีมาทำงานแทนมนุษย์แต่ใช้มนุษย์ควบคุมซึ่งไกลจากสารเคมี โดยหลักการเราใช้เครื่องควบคุมระยะไกล (Remote Control) โดยใช้คลื่นวิทยุในย่านความถี่ VHF (very high frequency) เป็นคลื่นพาห้แทนคลื่นอินฟราเรดที่ใช้ในรีโมตคอนโทรล ทั่วๆ ไป เนื่องจากข้อเสียต่างๆ ของคลื่นอินฟราเรดและแนวความคิดที่ว่าผู้ใช้ไม่จำเป็นจะต้องอยู่หน้าเครื่องใช้ไฟฟ้า

เนื่องจากในปัจจุบันการติดต่อสื่อสารมีความสะดวกรวดเร็วและกระทำได้ง่าย สัญญาณ DTME (Dual Tones Multi Frequency) โดยถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายในการติดต่อสื่อสารและยังเป็นมาตรฐานเดียวกับทั่วโลก เราจึงใช้สัญญาณ DIMF มามอดคูเลท กับคลื่นวิทยุในย่านความถี่ VHF ซึ่งเป็นคลื่นพาห้ ทำเป็น Remote Control เพื่อควบคุมเครื่องพ่นสารเคมี โดยใช้สัญญาณ DTMF มาเป็นตัวบอกความประสงค์ของผู้ใช้งานว่าจะสั่งให้เครื่องพ่นทำงาน โดยใช้ตัวประมวลผล ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 นำค่าที่ได้จาก ไอซี อ่านค่า (decode) สัญญาณ DTMF มาประมวลผลตามคำสั่งโปรแกรมตอบสนองต่อผู้ใช้งาน

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เป็นการศึกษาการสร้างเครื่องส่งและเครื่องรับวิทยุอย่างง่ายในย่านความถี่ VHF และจากนั้นสามารถที่จะนำสัญญาณ DTME ที่ชุดสร้างสัญญาณ DTME สร้างขึ้นมาส่งไปที่เครื่องรับและนำมาใช้ประโยชน์ในการควบคุม

1.2.2 สร้างเครื่องพ่นสารเคมีที่สามารถแทนมนุษย์ในบางส่วนเพื่อป้องกันอันตรายจากสารเคมีที่มีผลทำลายสุขภาพของมนุษย์ ในการทดลองเกี่ยวกับสารเคมี

1.2.3 สามารถใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 มาประยุกต์ใช้งาน

1.2.4 สามารถควบคุมและนำมอเตอร์กระแสตรง (Dc moter) มาประยุกต์ใช้งาน

1.2.5 ศึกษาและควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ แบบ ตะกั่ว-กรด (Lead - Acid)

#### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 เครื่องส่ง (Remote Control) และเครื่องรับ (เครื่องพ่นสารเคมี) ควบคุมได้ในระยะ 20

เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

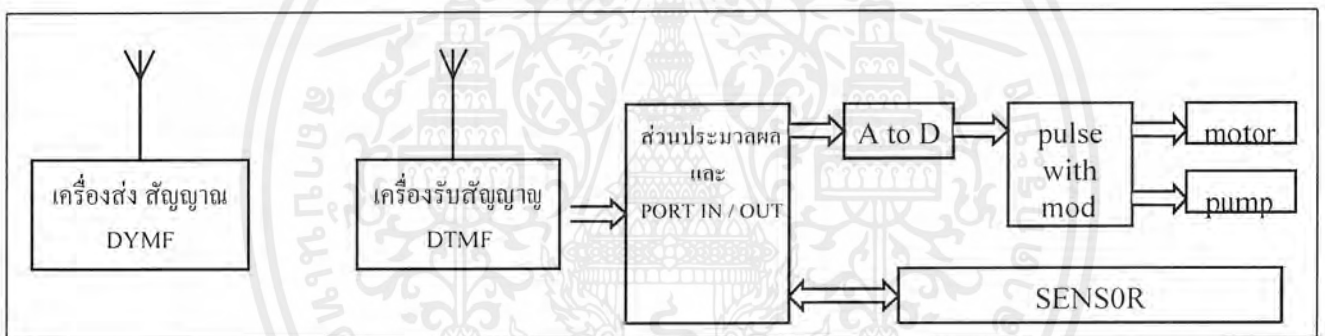
1.3.2 เมื่อมีการสั่งงานที่ปุ่มกดของชุดควบคุม (Remote Control) จะสามารถสั่งงานให้เครื่องพ่นที่อยู่ห่างออกไป (เครื่องรับ) ทำงานตามคำสั่งงานดังนี้

- ควบคุมการ เริ่ม/หยุด ของเครื่องพ่นสารเคมี
- การควบคุมความเร็วของเครื่องพ่นสารเคมี
- ควบคุมปริมาณการพ่นสารเคมี
- ควบคุมการ เปิด/ปิด หัวฉีดสารเคมี สองหัว (ซ้าย ขวา)

1.3.3 เครื่องพ่นสารเคมีเดินทางเป็นตรง ไป/กลับ บนราง ชุดขับเคลื่อน

1.3.4 มีการตรวจเช็คไฟที่แบตเตอรี่และชาร์จแบตเตอรี่ที่จุดเริ่มต้น หรือ เมื่อแบตเตอรี่เริ่มจะถึงค่าที่ตั้งให้มีการประจุในขณะที่ทำงานจะตรวจเช็คไฟตลอดการทำงาน

1.3.5 มีการตรวจเช็คระดับปริมาณสารเคมีในขณะที่ทำงาน



รูปที่ 1.1 Block Diagram ของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### หลักการเครื่องรับและเครื่องส่ง

##### 2.1 วงจรกำเนิดความถี่ (OSCILLATOR)

ระบบการสื่อสารโดยทั่ว ๆ ไปมีความจำเป็นที่จะต้องใช้คลื่นรูปไซน์ในการทำงานเป็นอย่างมาก หรืออาจพูดอีกนัยหนึ่งได้ว่า ระบบการสื่อสารแทบจะทำงานไม่ได้ถ้าขาดแหล่งคลื่นรูปไซน์ มีวงจรหลายชนิดที่ใช้ผลิตคลื่นรูปไซน์เหล่านี้เช่น วงจรออสซิลเลเตอร์แบบป้อนกลับ (FEEDBACK OSCILLATOR) วงจร RC และวงจร LC ความถี่ที่ผลิตนี้เริ่มตั้งแต่ความถี่เสียง ถึงความถี่ในย่าน UHF

##### 2.1.1 วงจรออสซิลเลเตอร์ป้อนกลับแบบบวก

การป้อนกลับแบบบวก (POSITIVE FEEDBACK) เป็นพื้นฐานของวงจรออสซิลเลเตอร์โดยทั่วไปที่ใช้กันอยู่ รูปที่ 2.1 แสดงถึงวงจรขยายแบบป้อนกลับ (FEEDBACK AMPLIFIER) ภายใต้สถานะอื่นหนึ่ง สามารถทำให้วงจรนี้มีการป้อนกลับแบบบวกและกลายเป็นวงจรผลิตความถี่ (OSCILLATOR CIRCUIT) ขึ้นมา

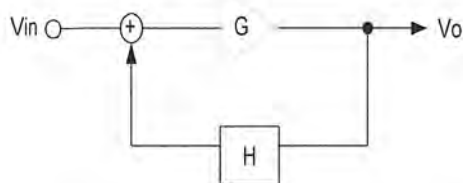
ข้อแม้ของวงจรที่จะทำให้เกิดการออสซิลเลตได้นั้นจะต้องมี

- (1) อัตราการขยายในลูปป้อนกลับจะต้องมากกว่า 1
- (2) เฟสที่เปลี่ยนไป (PHASE SHIFT) ในลูปนี้จะต้องเป็นเฟสบวก คูณด้วย

$2\pi$  เรเดียน หรือ 360 องศา ข้อหนึ่งและข้อสองจะต้องเกิดขึ้นในเวลาเดียวกันจึงจะ ทำให้เกิดการออสซิลเลตได้

อัตราขยายในลูป (LOOP GAIN) =  $|GH| \angle \theta^\circ$  .....2.1

กำหนดให้  $n=0,1,2,3,\dots$   $\theta = n \cdot 360$  องศา และ  $|GH| \geq 1$



รูปที่ 2.1 วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้การป้อนกลับแบบบวก

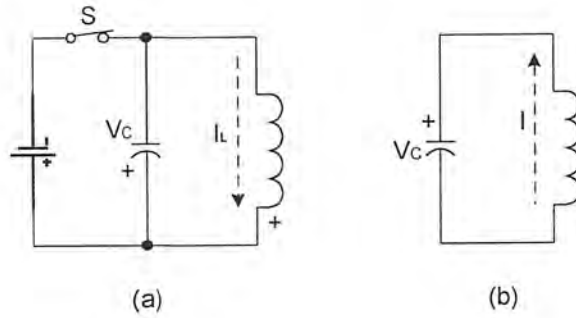
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรถายโดยทั่ว ๆ ไป จะมีเฟสของสัญญาณเอาต์พุตตรงข้าม กลับสัญญาณอินพุต 180 องศา และมีอัตราขยายมากกว่า 1 สมมติให้  $G$  ตามรูป 2.1 คือการขยายของวงจรถาย และ  $H$  คือการป้อนกลับของลูป ดังนั้นอัตราขยายของวงจรถายในลูป นี้คือผลคูณของ  $G$  และ  $H$  และการขยายทั้งหมดของวงจรถาย (OVERALL GAIN) ที่มีการป้อนกลับคือ

$$AV = \frac{G}{(1-GH)}$$

### 2.1.2 วงจรถาย LC ออสซิลเลเตอร์

วงจรถาย LC เกิดออสซิลเลทได้อย่างไร จากรูปที่ 2.2 (a) แบตเตอรี่จ่ายพลังงานให้แก่คาปาซิเตอร์  $C$  ซึ่งต่อขนานอยู่กับอินดักเตอร์  $L$  ในลักษณะนี้ยังไม่มีการออสซิลเลทใดๆ เกิดขึ้น แบตเตอรี่จะชาร์จประจุให้แก่คาปาซิเตอร์จนถึงระดับแรงดันไฟฟ้า  $V_C$  และเกิดไฟฟ้ากระแสตรง  $I_C$  ไหลภายในคอยล์ ดังนั้นจะเกิดพลังงานสะสมภายในตัวคาปาซิเตอร์และเกิดพลังงานแม่เหล็กภายในคอยล์ขึ้นจากรูปที่ 2.2 (b) สวิตช์  $s$  ถูกเปิดวงจรถาย ทำให้วงจรของแบตเตอรี่  $V_A$  ถูกตัดขาดออกจากวงจรถาย LC ทันที ในสภาวะเช่นนี้ จะสามารถที่จะพิจารณาการทำงานของวงจรถาย LC ได้ เมื่อปราศจากแบตเตอรี่ระดับกระแส จะค่อย ๆ ลดลง ดังนั้นจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้า ขึ้นในขณะนั้นคอยล์  $L$  จึงเสมือนกับเป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า LC แต่อย่างไรก็ตามขั้วของแรงดันไฟฟ้ามี  $V_L$  จะต้องอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้  $I_L$  ไหลในทิศทางเดียวกันเพื่อที่  $C$  จะสามารถดีสชาร์จประจุได้แต่ที่จริงแล้ว  $V_L$  จะชาร์จประจุให้แก่  $C$  ด้วยขั้วที่ตรงข้ามเมื่อ  $V_C$  เปลี่ยนไปจนมีค่ามากกว่า  $V_L$  คาปาซิเตอร์จะจ่ายกระแสดีสชาร์จประจุ  $I_C$  ออกมาซึ่งมีทิศทางที่ตรงกันข้ามกับ ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจะเกิดการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างอินดักเตนซ์และคาปาซิเตนซ์เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่าง  $V$  กับ  $I$  ด้วยความถี่รีโซแนนซ์ธรรมชาติของวงจรถาย LC ขึ้นดังรูปที่ 2.2(C) ขณะใดก็ตามที่  $I_L$  มีค่าเปลี่ยนเป็นศูนย์ก็จะเกิดการเหนี่ยวนำ  $V_L$  ขึ้นและขณะใดก็ตามที่  $V_C$  มีค่าเป็นศูนย์ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นกระแส  $I_C$  ขึ้นสลับกันอยู่อย่างนี้เรื่อยไป ทำให้เกิดเป็นคลื่นไซน์ (SINE WAVE) ที่มีลักษณะต่อเนื่องตลอดเวลาซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่า  $V$  และ  $I$  จะมีสามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้อย่างทันทีทันใด



รูปที่ 2.2

- (a) ในขณะที่สวิตช์ปิดวงจรแบตเตอรี่ จะชาร์จประจุให้แก่ C และผลกระแสให้ไหลภายใน L
- (b) ในขณะที่สวิตช์เปิดวงจร วงจรแบตเตอรี่ จะถูกตัดขาดออกจากวงจร LC ในวงจร LC ขณะนี้เกิดการเปลี่ยนพลังงานระหว่าง L กับ C
- (c) คลื่นไซน์ (Sinusoidal wave)

แอมพลิจูดของการออสซิลเลตค่า  $V$  และ  $I$  จะค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากเกิดการสูญเสียพลังงานที่ความต้านทานของวงจร จนกระทั่งแอมพลิจูดของคลื่นไซน์จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ในที่สุดดังรูปที่ 2.2 (c) การทำงานของวงจร LC ในการออสซิลเลตทำให้เกิดคลื่นไซน์จากพลังงานที่สะสมอยู่ในวงจรเราเรียกว่า “ริงกิง” (ringing) ซึ่งที่จริงแล้วคอยล์ในวงจรใด ๆ ก็ตามสามารถเกิดริงกิงได้จากค่าคาปาซิแตนซ์ตกค้าง (stray capacitance) ที่ต่อขนานอยู่สำหรับลักษณะของคลื่นที่ค่า  $I$  มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วจะเกิดขึ้นในคอยล์ที่มีค่า  $Q$  สูง ๆ วงจร LC อาจจะถูกเรียกได้อีกชื่อหนึ่งคือ วงจรแทงก์ (Tank circuit) เนื่องจากสามารถเก็บสะสมพลังงานเพื่อก่อให้เกิดการออสซิลเลตได้ คุณสมบัติของวงจรแทงก์ในการผลิตคลื่นไซน์ซึ่งมีอินพุตเป็นไฟตรงหรือพัลส์ก็ได้เรียกว่า ฟลายวีล เอฟเฟ็ค (Flywheel Effect)

วงจรออสซิลเลเตอร์ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปการขยายสัญญาณจะใช้ทรานซิสเตอร์หรือหลอดสูญญากาศก็ได้เช่นกัน ดังนั้นจึงสามารถที่จะปรับปรุงวงจรให้เป็นวงจรป้อนกลับ โดยป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณเอาท์พุทกลับไปยังอินพุทเพื่อรักษาภาวะการอสซิลเลทให้คงอยู่ พลังงานที่ใช้เพื่อคงสถานะการอสซิลเลทให้อยู่ได้นั้น ได้จากแหล่งจ่ายไฟตรงสำหรับวงจรขยายสัญญาณนั่นเอง วงจรอสซิลเลเตอร์ LC นี้ส่วนใหญ่ใช้สำหรับผลิตคลื่นไซน์ที่มีความถี่ RF (Radio Frequency) ซึ่งมีความถี่สูงถึง 300 MHz ที่ความถี่ RF ค่าอุปกรณ L และ C ที่ใช้จะมีค่าสูงมาก ดังนั้น จึงแก้ปัญหาด้วยการปรับปรุงวงจรให้มีการใช้งานในย่านความถี่สูงกว่า 300 MHz ย่าน UHF และเป็นวงจรอสซิลเลเตอร์ในวงจรไมโครเวฟเป็นต้น

### ความถี่อสซิลเลเตอร์

ในวงจรอสซิลเลเตอร์แบบจูน RF สัญญาณที่เอาท์พุทจะต้องมีความถี่เป็นความถี่รีโซแนนท์ของวงจร LC ซึ่งจะมีสมการดังนี้

$$f_r = 1 / (2\pi (LC)^{0.5})$$

สำหรับค่าที่ใช้ในทางปฏิบัติในวงจร RF, L มีขนาดเป็นไมโครเฮนรี่, C มีขนาดเป็นพิโคฟารัด จะได้ความถี่ของ  $f_r$  มีหน่วยเป็นกิกะเฮิร์ตซ์ (GHz) ดังตัวอย่าง ถ้า  $L=80 \mu\text{H}$  และ  $C=20 \text{ pF}$  จะได้

$$f = 1 / (2\pi(80 \times 20)^{0.5})$$

$$f = 1 / (2\pi(1600)^{0.5})$$

$$f = 1 / 80\pi$$

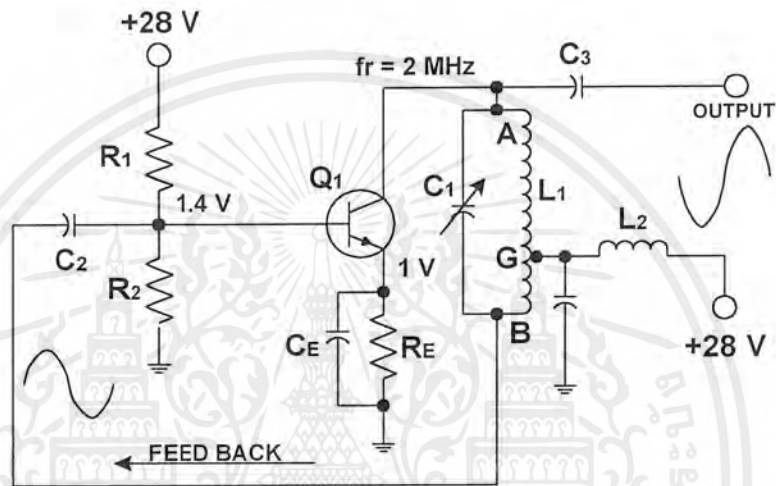
$$f = 0.004 \text{ GHz หรือ } 4\text{MHz}$$

ในวงจรที่มีเสถียรภาพดี ๆ นั้น วงจรจูนจะต้องมีค่า Q สูง เพื่อป้องกันการเลื่อนของความถี่สัญญาณ นอกจากนี้ทั้ง L และ C ยังจะต้องมีคุณภาพดี นั่นคือมีค่าคงที่แม้ว่าอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงก็ตาม และการปรับปรุงให้แหล่งจ่ายไฟมีเอาท์พุทที่คงที่ตลอดเวลาเป็นการช่วยปรับปรุงเสถียรภาพของความถี่ได้อีกทางหนึ่ง ( $Q = \text{ค่าประจุไฟฟ้า}$ )

### 2.1.2 วงจรอสซิลเลเตอร์แบบฮาร์ทเลย์

จุดสังเกตของวงจรแบบนี้อยู่ที่คอลลีป้อนกลับ (Inductive feedback) แทนที่จะเป็นคอลลีทริกเกอร์แบบแยก จากรูปที่ 2.3 C1 และ L1 ประกอบกันเป็นวงจรจูน การเทปสัญญาณจากคอลลี L1 ที่จุด G ก็เพื่อเป็นการจ่ายแรงดันคอลลเลคเตอร์ L2 ในวงจรคือ RF ใช้อีก

(choke) จุดเทปสัญญาณ G จะต่ออยู่กับกราวด์โดยมี C4 เป็นบายพาสคาปาซิเตอร์อยู่สัญญาณเอาต์พุตของออสซิลเลเตอร์จะจ่ายออกที่ขาคอลเลคเตอร์ ซึ่งมีระดับแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ  $V_{AG}$  ซึ่งเป็นความแตกต่างศักย์ระหว่างจุด A บนคอยล์ L1 เทียบกับจุด G ส่วนในด้านตรงข้ามกับจุดเทปแรงดันไฟสลัป้อนกลับเท่ากับ  $V_{BG}$  ซึ่งถูกคัปปีงโดย C2 ไปยังขาเบสของ Q1 การป้อนกลับสัญญาณในลักษณะนี้เป็นแบบบวก เพราะจะมีความต่างเฟส 180 องศา เมื่อเทียบกับ  $V_{AG}$  ซึ่งผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น จะก่อให้เกิดการออสซิลเลท ผลิตสัญญาณไฟสลัปจ่ายออกมาที่เอาต์พุตด้วยความถี่รีโซแนนท์ของวงจร LC



รูปที่ 2.3 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบฮาร์เลย์. เทปคอยล์ที่จุด L1 เพื่อป้อนสัญญาณพิจารณาแรงดันไฟตรง  $V_C$  มีค่าเท่ากับ 28 V เพราะความต้านทานไฟตรงของคอยล์ RF, L1 และ L2 มีค่าน้อยมากไม่นำมาคำนวณก็ได้ ขาอิมิตอร์มีแรงดันไฟไบอัสตนเองเท่ากับ 1 V จาก  $R_E$  โดยมี  $C_E$  เป็นตัวรักษาเสถียรภาพของการไบอัสแรงดันไฟฟ้าฟอร์เวิดที่ขาเบสจ่ายผ่าน  $R_1, R_2$  ซึ่งแบ่งมาจากแหล่งจ่ายไฟ +28 V ดังนั้นค่า  $V_{BE} = 1.4 - 1.0 = 0.4$  V ซึ่งน้อยกว่าค่าแรงดันไฟคัทออฟ 0.5 V แต่ค่าแรงดันขอด้านบวกของแรงดันไฟฟ้าป้อนกลับจะขับให้ขาเบสมีระดับแรงดันไฟฟ้าเป็นบวก ซึ่งสามารถทำให้ Q1 นำกระแสไฟฟ้าและเกิดการออสซิลเลทได้

หน้าที่ของอุปกรณ์แต่ละตัวในวงจรรูปที่ 2.3 สามารถสรุปได้ดังนี้

- L1: อินดักแตนซ์สำหรับวงจรจูน, มีการเทปเพื่อป้อนสัญญาณกลับ
- C1: คาปาซิเตอร์สำหรับวงจรจูน, เปลี่ยนแปลงค่าได้
- L2: RF โฉลกทำหน้าที่แยกสัญญาณออสซิลเลเตอร์ออกจากแหล่งจ่ายไฟ
- C4: บายพาส สำหรับต่อจุดเทปจาก L1 เพื่อดึงสัญญาณไฟสลัปวงกราวด์
- C2: คัปปีงสัญญาณป้อนกลับเข้าไปยังขาเบสและป้องกันแรงดันไฟตรงจากแหล่งจ่ายไฟตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R2: ความต้านทานโหลดสำหรับขาเบส, ร่วมกับ C2 เป็นวงจร RC กลับ ปิ่ง สัญญาณร่วมกัน

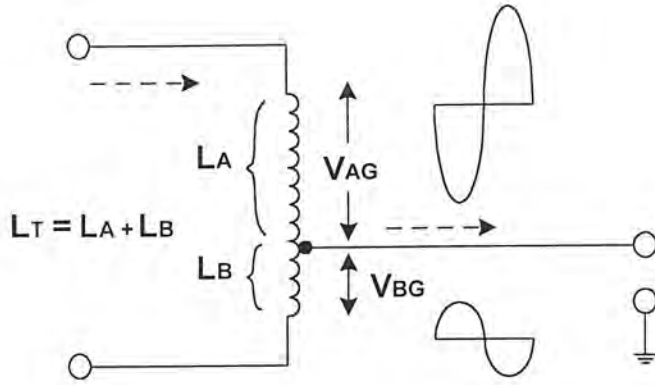
R1 เป็นวงจรแบ่งแรงดันสำหรับไบอัสขาเบส ร่วมกับ C2 เป็นวงจรกรองบวม RC สำหรับแปลงไฟของสัญญาณไบอัส

R1: ร่วมกับ R2 ป้อนแรงดันไบอัสตรงให้กับขาเบส

### กลับเฟสของสัญญาณด้วยแท็ปการคอยล์

เหตุผลที่ใช้อธิบายว่าเพราะอะไร การแท็ปสัญญาณของ L1 จึงช่วยให้เกิดการป้อนกลับแบบบวก แสดงได้ดังรูปที่ 2.4 ก่อนอื่นพิจารณาส่วนของคอยล์ L1 ซึ่งแบ่งออกได้เป็นสองส่วนคือ  $L_A$  และ  $L_B$  วิเคราะห์การไหลของกระแสอิเล็กทรอนิกส์เข้าไปยังจุด A จะเห็นว่าทิศทาง การไหลผ่านคอยล์  $L_A$  ระหว่างจุด A กับจุด G แล้วไหลไปสู่แหล่งจ่ายไฟ  $V^+$  ซึ่งในกรณีนี้คอยล์  $L_B$  ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับใด ๆ กับทิศทาง การไหลของกระแส แต่อย่างไรก็ตามคอยล์ทั้งสอง ส่วนก็ต่อเนื่องกันอยู่ ดังนั้น  $L_B$  จึงเป็นตัวหม้อแปลงกลับปิ่งสัญญาณไปสู่  $L_A$  ได้ในการแปรผันของแรงดันไฟสลับ สมมุติให้  $I$  มีค่าเพิ่มขึ้นของเลนซ์ (Lenz law) จะได้ว่าเกิดการเหนี่ยวนำด้วยตัวเองขึ้น (self induced) เกิดแรงดันไฟฟ้า  $V_{AG}$  ซึ่งมีขั้วเป็นลบที่จุด A เพื่อต่อต้านการเพิ่มขึ้นของ  $I$  ยิ่งกว่านั้นแรงดันที่เหนี่ยวนำขึ้นมานี้ส่งผลให้คอยล์ทั้งหมดมีแรงดันไฟฟ้าเป็นลบ และเนื่องจากลักษณะของการพันคอยล์เป็นแบบในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นจึงมีสนามแม่เหล็กเหมือนกันตลอดทั้งคอยล์ จุด A ถือว่าเป็นจุดปลายสุดของแรงดันไฟลบที่เหนี่ยวนำขึ้นมาเมื่อเปรียบเทียบกับจุดอื่น ๆ หรือขดถัดมาด้านล่าง (ตามรูป) ส่วนจุด B เมื่อพิจารณาตามแรงดันไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำขึ้นมาจุด B จะมีแรงดันเป็นบวกเมื่อเทียบกับขดถัดไปที่อยู่เหนือขึ้นไป (ตามรูป) ดังนั้นทั้งจุด A และ B จะมีขั้วตรงกันข้ามเสมอเมื่อเทียบกับแท็ปนั่นคือ  $V_{AG}$  และ  $V_{BG}$  จะมีเฟสของสัญญาณต่างกัน 180 องศาเสมอ ในขณะที่จุดหนึ่งเป็นลบมากที่สุด อีกจุดหนึ่งก็มีเฟสเป็นบวกมากที่สุด เนื่องจากจุดแท็ป G ต่อกับกราวด์ เพราะฉะนั้น  $V_{AG}$  และ  $V_{BG}$  จึงเป็นสัญญาณไฟสลับที่มีขั้วตรงกันข้ามกันเสมอเมื่อเทียบกับจุดกราวด์

อ้างถึงวงจรดังรูปที่ 2.4  $V_{AG}$  จะถูกป้อนกลับแบบบวกไปเข้ายังอินพุทของขาเบส โดยทั่ว ๆ ไป จุดแท็ปจะป้อนกลับแรงดันไฟฟ้าประมาณ 1 ใน 3 ของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมคอยล์ทั้งหมด



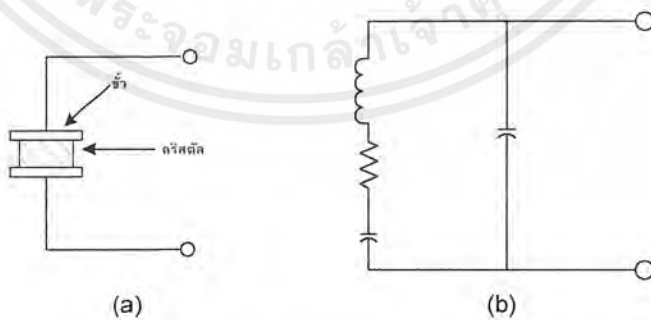
รูปที่ 2.4 เฟสของแรงดันไฟฟ้าในแท็ปคอยล์ LB เฟส 180 องศา เทียบกับแรงดันไฟฟ้าในคอยล์ LA

2.1.3 คริสตัลออสซิลเลเตอร์

การผลิตออสซิลเลเตอร์ชนิดนี้มักจะใช้ ผลึกควอทซ์ (quartz crystal) เป็นวัสดุดิบ ในกรณีที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง ปกติความถี่เรโซแนนท์ของคริสตัลออสซิลเลเตอร์อยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 30 MHz ดังนั้นจึงสามารถใช้ทดแทนวงจร LC ในวงจรออสซิลเลเตอร์ได้เป็นอย่างดี จะมีความผิดเพี้ยนน้อยกว่า 1 Hz ต่อ  $10^6$  Hz

วงจรเทียบเท่าของผลึกคริสตัล

โครงสร้างทางกายภาพของการประกอบก้อนคริสตัลเข้ากับตัวยึดแสดงได้ดังรูป ที่ 2.5 (a) ซึ่งเทียบเท่ากับวงจรเรโซแนนท์ LC ดังรูปที่ 2.5 (b) โดย L สามารถเปรียบเทียบได้กับบาวล์ของก้อนผลึก C, เทียบได้กับความสามารถในการเปลี่ยนแปลงทางกลส่วน  $R_s$  คิดเทียบได้กับความเสียดทานทางกล Q ของวงจรเรโซแนนท์จะมีค่าตั้งแต่ 10,000 ถึง 50,000  $C_2$  เทียบได้ว่า เป็นเอาท์พุทคาปาซิแตนซ์ของตัวยึดคริสตัล



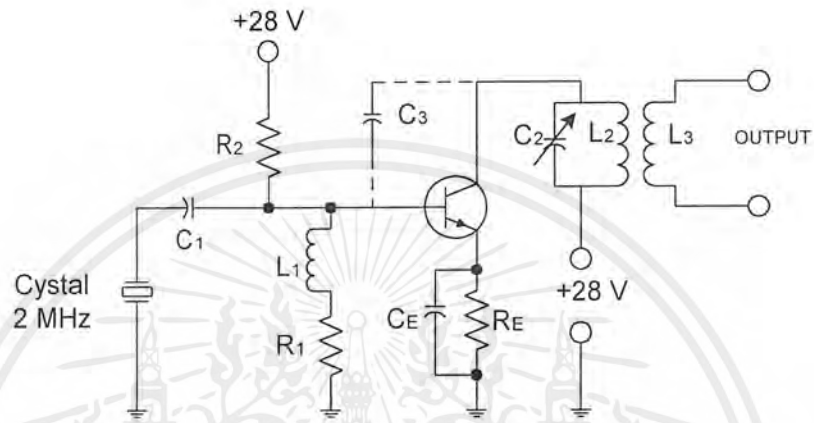
รูปที่ 2.5 วงจรเทียบเท่าของผลึกคริสตัล

- (a) ผลึกคริสตัลตั้งอยู่กับตัวยึด
- (b) วงจรเทียบเท่าของวงจรเรโซแนนท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วงจรออสซิลเลเตอร์แบบควบคุมคริสตัล

แสดงได้ดังรูปที่ 2.6 ลักษณะของวงจรคล้ายคลึงกับวงจรออสซิลเลเตอร์แบบ TPTG ยกเว้นที่ใช้ทรานซิสเตอร์แทนการใช้หลอดสูญญากาศและใช้คริสตัลความถี่ 2 MHz ในการกำหนดความถี่ของออสซิลเลเตอร์ วงจรป้อนกลับผ่าน  $C_3$  ซึ่งเป็นค่าคาปาซิแตนซ์ภายในระหว่างขาคอลเล็กเตอร์กับขาเบส



รูปที่ 2.6 ออสซิลเลเตอร์แบบควบคุมคริสตัล

ในวงจรเบสโวลเตจดีไวเดอร์  $R_1$ ,  $R_2$  ป้อนแรงดันไฟฟ้าฟอร์เวิร์ดจากแหล่งจ่ายไฟ + 28 V คาปาซิเตอร์  $C_1$  เป็นตัวป้อนกันแรงดันไฟตรงจากขาเบสออกจากคริสตัล อย่างไรก็ตามอาจจะหลีกเลี่ยงการใช้  $C_1$  ได้เนื่องจากตัวยึดคริสตัลมีคุณสมบัติเหมือนกับคาปาซิเตอร์อยู่แล้ว RF โช๊ค  $L_1$  เป็นอิมพีแดนซ์ค่าสูงของเอาท์พุทของคริสตัลที่ต่อกับขาเบส ในวงจรอิมิตเตอร์  $R_E$  กับ  $C_E$  ซึ่งเป็นบายพาสสัญญาณเอาท์พุทของออสซิลเลเตอร์ร่วมกับ  $L_3$  ไปสู่วงจรในภาคถัดไป

## 2.2 ระบบการสื่อสารย่านความถี่ VHF

ความหมายของ VHF

นักวิทยาศาสตร์ได้มีการแบ่งคลื่นวิทยุตลอดทุกความถี่ในสเปกตรัมของคลื่นวิทยุออกเป็นช่วง ๆ อย่างต่อเนื่อง และมีการกำหนดชื่อให้แก่แต่ละช่วงของความถี่เหล่านั้นดังเช่น

VHF (VERY HIGH FREQUENCY) อยู่ในช่องความถี่ 30-300 MHz

UHF (ULTRA HIGH FREQUENCY) อยู่ในช่องความถี่ 300-3000 MHz

SHF (SUPER HIGH FREQUENCY) อยู่ในช่องความถี่ 3.30 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่าง NOISE และความต้องการในการสื่อสารความถี่สูง การทำงานของอุปกรณ์หรือระบบสื่อสาร ต่างมีขอบเขตในการทำงาน โดยขึ้นอยู่กับระดับของ NOISE และ INTERFERENCE ที่เกิดจากแหล่งกำเนิดอื่น ๆ ที่ส่งผลให้มารบกวนต่อระบบสื่อสารเป็นตัวกำหนด เป็นที่แน่นอนแล้วว่าระบบสื่อสารหนึ่ง ๆ ย่อมได้รับการรบกวนจากภายนอก แต่ระบบสื่อสารยังใช้งานได้ หากระดับสัญญาณรบกวนอยู่ในระดับที่ไม่ทำให้ระบบสื่อสารต้องสูญเสียความถูกต้อง หรือชัดเจนในระดับที่ต่ำกว่ามาตรฐาน ทั้งนี้ มีการกำหนดระดับสัญญาณรบกวนที่ยอมให้เกิดขึ้นได้มากที่สุด ในรูปของ SIGNAL TO NOISE RATIO

### 2.3 NOISE ในประเภทต่างๆ ในระบบสื่อสาร

1. ATMOSPHERIC NOISE อัน ได้แก่ NOISE ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุในบรรยากาศซึ่งหมายถึง ปรากฏการณ์ฟ้าผ่า ระดับของสัญญาณ NOISE จะเป็นฟังก์ชันกับความถี่ที่เกิดขึ้น เนื่องจากการเคลื่อนที่ของประจุ โดยปกติแล้วการเคลื่อนที่ของประจุจะทำให้เกิดความถี่โดยเฉลี่ย  $10 \text{ M}_{\text{Hz}}$  และค่า NOISE ชนิดนี้จะลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็วที่ความถี่  $50 \text{ M}_{\text{Hz}}$  และมากกว่า
2. MAN MADE NOISE เป็น NOISE ที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้า NOISE ประเภทนี้จะมีค่าลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้นประมาณ  $100 - 200 \text{ M}_{\text{Hz}}$  และที่ระดับสูงขึ้นไป NOISE ชนิดนี้จะมีค่าคงที่ที่ระดับต่ำ
3. RECIVER NOISE จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์หรือระดับสื่อสารที่ใช้

จากตัวอย่างของ NOISE ทั้งสามประเภทที่กล่าวมาพบว่าอุปกรณ์ หรือระบบสื่อสารมีประสิทธิภาพในการส่งและรับดีขึ้น เมื่อระบบมีการใช้งานที่ความถี่สูง ทั้งนี้เพราะการลดลงของ NOISE นั้นเอง เหตุที่มีการพัฒนาระบบสื่อสาร UHF เพราะในช่วงหลังสงครามมีการพัฒนาไปมาก มีการใช้ความถี่วิทยุทุกความถี่อย่างเต็มที่ ในขณะที่ยังมีความต้องการมีใช้คลื่นวิทยุในการส่ง โทรทัศน์ หรือ ระบบ FM ดังนั้นจึงจำเป็นต้องขยายการใช้งานของคลื่นวิทยุให้กว้างออกไปอีกที่ความถี่สูงขึ้น ในปัจจุบันการสื่อสารย่านความถี่ UHF มีการใช้งานอย่างกว้างขวางทั้งในราชการทหาร ในงานเอกชน เช่นการส่งโทรทัศน์ในระบบ UHF ซึ่งทำให้สามารถส่งสัญญาณที่มีแบนวิดท์กว้างมากขึ้นทำให้มีสีดีขึ้น

### 2.4 การมอดูเลททางความถี่หรือเฟรควเอนซีโมดูเลชัน (Frequency Modulation)

สัญญาณ FM แสดงถึงสัญญาณที่มีแอมพลิจูดคงที่ แต่ความถี่เปลี่ยนแปลงมากกว่าหรือน้อยกว่า  $100 \text{ kHz}$  ซึ่งเป็นค่าความถี่กลางของคลื่นพาหะ การเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นพาหะ RF นั้นเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดัน โมดูเทลออดิโอซึ่งขนาดของการเปลี่ยนแปลงหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

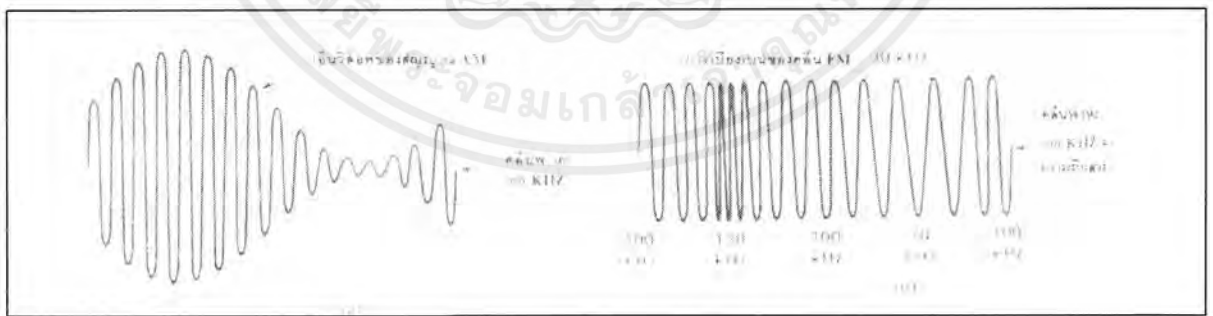
การเบี่ยงเบนของความถี่ (frequency deviation) จะเพิ่มขึ้นเมื่อแรงดัน การ โมดุลเลทสัญญาณนั้นสูง ขึ้น ความถี่ของสัญญาณออกดีโจะไม่ถูกนำมาพิจารณาถึงการเบี่ยงเบนของความถี่ RF ตัวอย่าง การเบี่ยงเบนของความถี่ของสัญญาณพาหะ RF เท่ากับ 30 kHz ในตารางข้างล่างแสดงถึงการ เปรียบเทียบคุณสมบัติของสัญญาณ FM และ AM

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบสัญญาณ FM และ AM

FM	AM
<ul style="list-style-type: none"> <li>-แอมพลิจูดของคลื่นพาหะมีค่าคงที่</li> <li>-ความถี่ของคลื่นพาหะเปลี่ยนแปลงตามการ โมดุลเลท</li> <li>-แอมพลิจูดของแรงดันฯ โมดุลเลทเป็นตัวกำหนดความถี่ของคลื่นพาหะ RF ความถี่ของการ โมดุลเลทคืออัตราการเบี่ยงเบนความถี่ในคลื่นพาหะ RF</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-แอมพลิจูดของคลื่นพาหะเปลี่ยนแปลงตามการ โมดุลเลท</li> <li>ความถี่คลื่นพาหะมีค่าคงที่</li> <li>-แอมพลิจูดของแรงดัน โมดุลเลทเป็นตัวกำหนดแอมพลิจูดของคลื่นพาหะ RF ความถี่ของการ โมดุลเลทคืออัตราการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของคลื่นพาหะ RF</li> </ul>

ความถี่กลาง

คือความถี่ของคลื่นพาหะ RF ที่ถูกส่งกระจายคลื่นออกไปโดยปราศจากการ โมดุลเลทหรือ เมื่อแรงดัน โมดุลเลทมีค่าเป็นศูนย์ ดังรูปด้านล่างนี้ ความถี่กลางเท่ากับ 100 kHz



สัญญาณ AM

สัญญาณ FM

รูปที่ 2.7 รูปของสัญญาณ AM,FM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การเบี่ยงเบนของความถี่

คือปริมาณการเปลี่ยนแปลงความถี่ไปจากค่าความถี่กลาง จากรูปข้างบน ค่าการเบี่ยงเบนความถี่เท่ากับ 30 kHz ซึ่งปริมาณการเบี่ยงเบนของความถี่นี้ขึ้นอยู่กับแอมพลิจูด ของแรงดัน โมดูลาทอดิโอ

### การแกว่งของความถี่

คือค่าการเบี่ยงเบนสุทธิของความถี่เหนือและใต้ความถี่กลาง จากรูปข้างบน การแกว่งของความถี่มีค่าเท่ากับ  $\pm 30$  kHz หรือค่าสุทธิเท่ากับ 60 kHz

### ข้อดีของระบบ FM

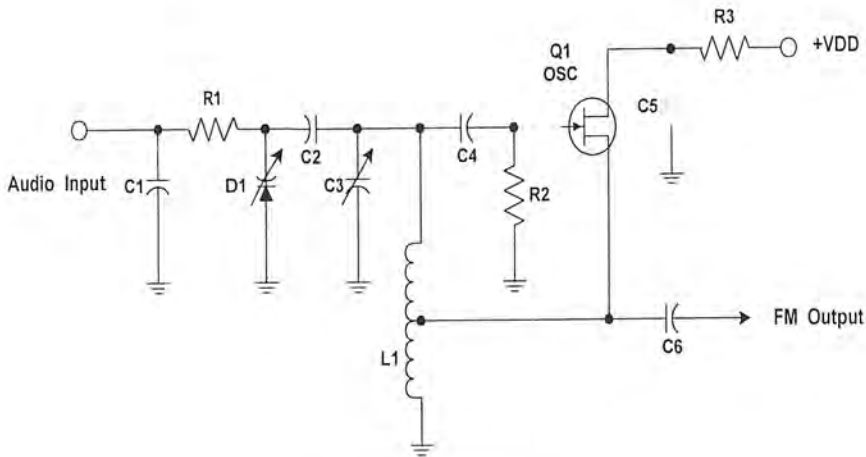
การมอดูเลตสัญญาณในระบบ FM ช่วยให้การส่งกระจายคลื่นปราศจากสัญญาณรบกวน (noise) ได้ สัญญาณรบกวนทุกชนิด ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณได้ ดังนั้นในการที่จะแยกเอาสัญญาณออกดีโอดออกมาจากคลื่นพาหะ โดยปราศจากสัญญาณรบกวนได้นั้น ขั้นตอนของเครื่องรับจะต้องประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้คือ

1 วงจรดีเทกเตอร์ในเครื่องรับ FM ที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นพาหะ จะถูกใช้สำหรับการแยกเอาสัญญาณออกดีโอดออกมา

2 วงจรลิมิตติ้งจะถูกใช้สำหรับขจัดกาการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดในสัญญาณ FM ซึ่งการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดในคลื่นพาหะ RF ก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนได้

### วงจรสำหรับการโมดูละตระบบ FM

ในรูปที่ 2.7 Q1 ทำหน้าที่เป็น RF ออสซิลเลเตอร์ ผลิตสัญญาณคลื่นพาหะซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้คือ JFET-N ch ในกรณีนี้จะใช้วงจร ฮาร์ทเลย์ร่วมกับ C3 และการแทปคอยล์ L1 สำหรับวงจรจูนคาปาซิทีฟไดโอด D1 ต่อขนานเข้ากับ C3 เพื่อใช้ในการควบคุมความถี่ สัญญาณออกดีโอดจะถูกป้อนผ่าน D1 เข้าไปโมดูละตแบบ FM กับคลื่นพาหะแล้วส่งสัญญาณออกแรงดันของสัญญาณออกดีโอดจะเปลี่ยนแปลงค่า C ของวาเรคเตอร์ไดโอด D1 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่า C นี้จะทำให้สามารถควบคุมความถี่ของออสซิลเลเตอร์ได้



รูปที่ 2.8 วงจรออสซิลเลเตอร์สำหรับระบบ FM , Q1 คือ JFET แบบ N- แชนแนล

### ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับความนิยมอย่างสูง เนื่องจากมีความเร็วและประสิทธิภาพที่จะนำมาใช้ควบคุมระบบตั้งแต่ขนาดเล็ก ๆ ไปจนถึงระบบที่มีขนาดใหญ่ที่มีความสลับซับซ้อนมาก ซึ่งในตระกูลนี้จะมีอยู่หลายเบอร์ด้วยกัน โดยแต่ละเบอร์จะมีคุณสมบัติและความสามารถแตกต่างกันไป ในโครงการนี้ผู้ทำได้เลือกเอา ชิป ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ 8051 ซึ่งเป็นเบอร์ที่ได้รับความนิยมอีกเบอร์หนึ่งมาใช้ในการทำโครงการควบคุมการปิด-เปิดประตูโดยอัตโนมัติ

#### 2.5 คุณสมบัติของ MCS-51

คุณสมบัติที่สำคัญ ๆ ของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีดังนี้

- ใช้แหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์
- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานอยู่ในชิปจำนวน 4 กิโลไบต์ (เบอร์ 8031, 8032 ไม่มีหน่วยความจำส่วนนี้ ส่วนเบอร์ 8052 มีหน่วยความจำส่วนนี้ 8 กิโลไบต์ และสำหรับเบอร์ 83C51FB จะมีหน่วยความจำส่วนนี้รวมทั้งสิ้น 16 กิโลไบต์)
- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไป (RAM) อยู่ในชิปจำนวน 128 ไบต์ (ใน 8031, 8051) หรือ 256 ไบต์ (ในเบอร์ 8032, 8052)
- สามารถใช้หน่วยความจำสำหรับโปรแกรมและข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิปได้อย่างละ 64 กิโลไบต์ แยกจากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คำสั่งส่วนใหญ่ใช้เวลาทำงานเพียง 1 ไมโครวินาที เมื่อใช้คริสตอลความถี่ 12 MHz
- มีพอร์ตที่สามารถรับหรือส่งข้อมูลได้ทั้ง 2 ทิศทาง จำนวน 4 พอร์ต ๆ ละ 8 บิต หรือสามารถใช้งานเป็นพอร์ตขนาด 1 บิตแยกจากกัน ทำให้เสมือนมีพอร์ตขนาด 1 บิตใช้งานรวมทั้งสิ้น 32 พอร์ต
- รับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมได้ในตัวโดยสามารถกำหนดอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูล (baud rate) ได้ตั้งแต่ 300 ถึง 375 กิโลบิตต่อวินาที
- จัดลำดับความสำคัญของสัญญาณอินเทอร์รัปต์ได้ 2 ระดับ
- มีรีจิสเตอร์สำหรับใช้งานเป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์เพื่อนับจำนวนสัญญาณนาฬิกาภายในชิป หรือนับการเปลี่ยนสถานะของสัญญาณภายนอกขนาด 16 บิต จำนวน 2 ตัว เพื่อใช้สำหรับนับจำนวนพัลส์ วัดความกว้างของพัลส์หรือใช้วัดช่วงเวลา (ใน เบอร์ 8052 จะมี 3 ตัว)
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในบางส่วนสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ทั้งระดับไบต์และระดับเพื่อให้การออกแบบ โปรแกรมและการควบคุมระบบทำได้ง่ายขึ้น
- มีคำสั่งคูณและหารเลขขนาด 8 บิตในตัวเอง
- สามารถประมวลผลแบบบูลิเพื่อใช้ในการควบคุม โดยเฉพาะ
- ใช้โปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-48 (upwardly compatible) ได้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ที่จัดว่าเป็นเบอร์พื้นฐานในตระกูลนี้คือเบอร์ 8051, 8751 และ 8031 ซึ่งมีจำนวนขาภายนอก 40 ขาเท่ากัน ใช้เวลาและสัญญาณในการปฏิบัติคำสั่งแต่ละคำสั่งเท่ากัน (มีไทม์มิ่งไดอะแกรมเหมือนกัน) ใช้แรงดันไฟฟ้าเท่ากัน สิ่งที่แตกต่างกันระหว่างเบอร์ทั้งสามคือ ขนาดของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป (on chip program memory) ซึ่งมีไว้เพื่อตอบสนองความต้องการที่ไม่เหมือนกัน ดังจะกล่าวต่อไปดังนี้

- เบอร์ 8751 มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปเป็น EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) ขนาด 4 กิโลไบต์ ทำให้ สามารถใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตในการลบโปรแกรมเก่าที่มีอยู่ และบรรจุโปรแกรมใหม่ลงไปได้ทันที ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการแก้ไขหรือปรับปรุงโปรแกรม ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ 8751 มีไว้ใช้งานที่เป็นการพัฒนาเบื้องต้น (prototypeing) ซึ่งจำเป็นต้องทดสอบโปรแกรมเพื่อหาข้อผิดพลาด (bugs) และแก้ไขให้เรียบร้อยก่อนทำการผลิตจริง การแก้ไขโดยการใช้อัลตราไวโอเล็ต และการบรรจุโปรแกรมที่แก้ไขใหม่สามารถทำได้ในจำนวนครั้งที่จำกัด ทั้งนี้เพราะหน่วยความจำที่เป็น EPROM เมื่อใช้ไปนาน ๆ จะเกิดการเสื่อมสภาพ ทำให้ไม่สามารถบรรจุโปรแกรมเข้าไปได้

- เบอร์ 8051 หลังจากทดสอบโปรแกรมจนไม่พบข้อผิดพลาดแล้ว จะเป็นช่วงของการผลิตจริง ซึ่งต้องพิจารณาถึงต้นทุนเป็นอันดับแรก ในการผลิตจริงจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051 ซึ่งมีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในเป็น ROM (Read Only Memory)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาด 4 กิโลไบต์แทน เพราะราคาต่ำกว่ามาก แต่มีข้อจำกัดตรงที่ไม่สามารถแก้ไขโปรแกรมได้  
บรรจุไปแล้วไม่ว่าจะด้วยวิธีใดก็ตาม

- เบอร์ 8031 เบอร์นี้ไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป แต่สามารถ  
ใช้หน่วยความจำเพื่อเก็บโปรแกรมที่อยู่ภายนอกได้มากถึง 64 กิโลไบต์ ซึ่งอาจใช้เป็น ROM,  
PROM, EPROM ตามความต้องการของผู้ผลิต เบอร์ 8031 นี้มีไว้ใช้ในกรณีที่โปรแกรมมีขนาดเล็ก  
กว่า 4 กิโลไบต์ หรือมากกว่า 4 กิโลไบต์มาก

(เบอร์ 8751 และ 8051 จะใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำภายนอกได้เองเมื่อโปรแกรมมี  
ความยาวเกิน 4 กิโลไบต์ หรืออาจบังคับให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งสองเบอร์ใช้โปรแกรมจาก  
หน่วยความจำภายนอกเพียงอย่างเดียวด้วยการต่อขา 31 (EA) ลงกราวด์ ทำให้มีคุณสมบัติเหมือน  
เบอร์ 8031 ที่ไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป)

## 2.6 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดคร่าว ๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 โดยมี  
จุดประสงค์เพื่อให้ผู้อ่านทำความเข้าใจและมองเห็นภาพกว้าง ๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล  
นี้ เพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษารายละเอียดในบทต่อ ๆ ไป ดังนี้ในบทอื่น ๆ อาจจะมีเนื้อเรื่องบาง  
ส่วนที่ซ้ำซ้อนกับในบทนี้อยู่บ้างเป็นบางครั้ง

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีสมาชิกในตระกูลหลายเบอร์ด้วยกัน แต่ละเบอร์  
จะมีคุณสมบัติพิเศษบางอย่างแตกต่างกัน เช่น มีหน่วยความจำภายในสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อ  
มูลภายในชิปเพิ่มขึ้น มีวงจรเปลี่ยนค่าสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลในตัว สามารถรับสัญญาณ  
อินเตอร์รัปต์ได้หลายชนิด ทำกระบวนการ DMA (Direct Memory Access) ได้ในตัว มีรีจิสเตอร์  
สำหรับใช้เป็น ไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์เพิ่มขึ้น คุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างกันของไมโคร  
คอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์ในตระกูลนี้แสดงในตารางที่ 1.1 ที่ผ่านมา

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ที่นับได้ว่าเป็นเบอร์พื้นฐานสำหรับตระกูล MCS-51 นี้ได้แก่  
เบอร์ 8051, 8031, 8751 โดยเบอร์ 8051 จัดเป็นสมาชิกตัวแรกในตระกูล ซึ่งมีหน่วยความจำ  
สำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปเป็น ROM ขนาด 4 กิโลไบต์ และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล  
ทั่วไปภายใน MCS-51 (RAM) เองจำนวน 128 ไบต์ มีพอร์ตขนาด 8 บิต 4 พอร์ตมีรีจิสเตอร์  
สำหรับใช้เป็น ไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์ขนาด 16 บิตรวม 2 ตัว รับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภาย  
นอกได้ 2 ชนิด สามารถรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมผ่านทางพอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม มี  
วงจรออสซิลเลเตอร์เพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาควบคุมการทำงานในตัวเอง ส่วนเบอร์ 8751 จะมีคุณ  
สมบัติเหมือนเบอร์ 8051 ทุกอย่าง ต่างกันเพียงชนิดของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายใน  
ชิปของเบอร์ 8751 จะเป็น EPROM แทนที่จะเป็น ROM ส่วนเบอร์ 8031 จะเหมือนกับเบอร์ 8051  
ต่างกันเพียงในเบอร์ 8031 ไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปเท่านั้น

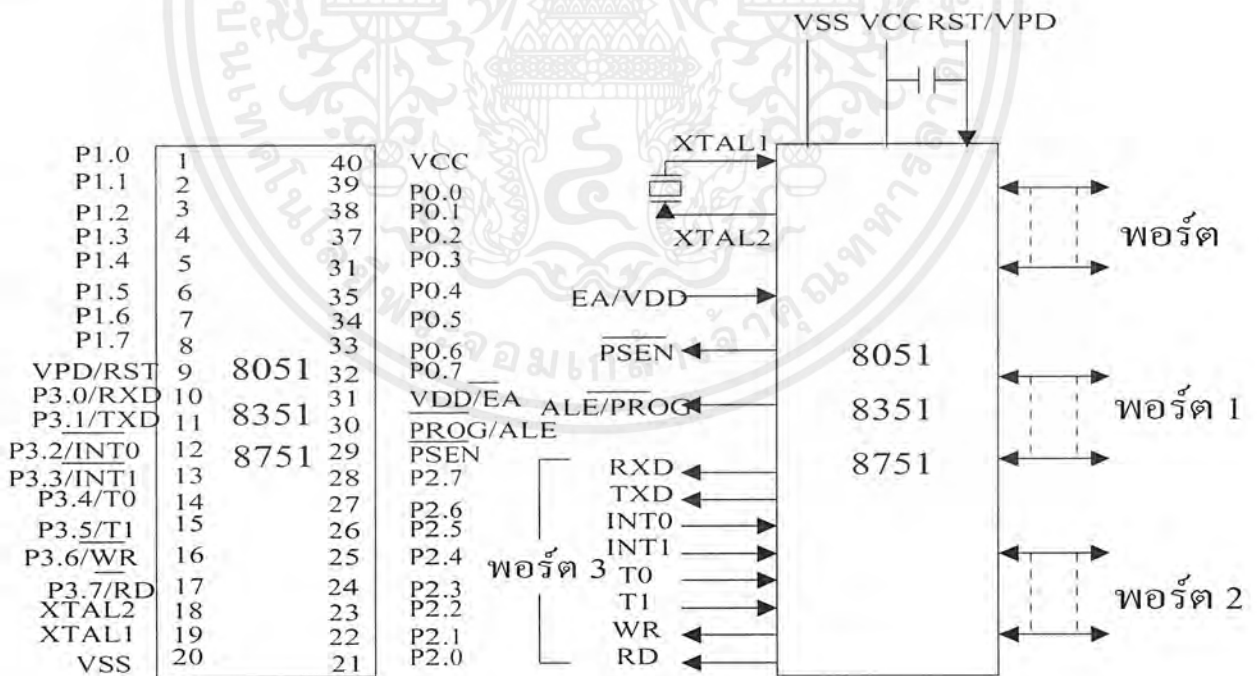
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์ใช้แรงดันไฟเพียง 5 โวลต์ในการทำงาน ส่วนกระแสไฟฟ้าที่ใช้จะแตกต่างกันไปตามชนิดของเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ที่มีตัวอักษร C อยู่ตรงกลางเบอร์ เช่น 80C31, 80C51 จะเป็นเบอร์ของชิปที่ผลิตโดยอาศัยเทคโนโลยี CHMOS ซึ่งใช้พลังงานในการทำงานน้อยกว่าและสามารถควบคุมการใช้พลังงานของตัวชิปได้จากโปรแกรมเพื่อการประหยัดพลังงานในระบบ

MCS-51 เป็นตระกูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาจากตระกูล MCS-48 ดังนั้นจึงมีความสามารถเหนือกว่าหลายอย่าง ซึ่งจะไม่กล่าวรายละเอียดไว้ในหนังสือเล่มนี้ แต่จะเปรียบเทียบให้เห็นถึงข้อดีของ MCS-51 เมื่อเทียบกับ MCS-48 ให้เห็นเป็นบางช่วง เช่น ความเร็วในการประมวลผลของ MCS-51 สามารถใช้ความถี่ได้ถึง 12 เมกะเฮิร์ตซ์ หรือสำหรับบางเบอร์ในตระกูลสามารถใช้ได้ถึง 16 เมกะเฮิร์ตซ์ ทำให้ช่วงเวลาในการทำงานแต่ละคำสั่งน้อยมาก เมื่อใช้ความถี่ 12 เมกะเฮิร์ตซ์ คำสั่งที่ใช้เวลาน้อยที่สุดจะใช้เวลาเพียง 1 ไมโครวินาที ส่วนคำสั่งที่ใช้เวลามากที่สุดจะใช้เวลาเพียง 4 ไมโครวินาทีเท่านั้น

2.6.1 ตำแหน่งขาของ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะมีตำแหน่งขาพื้นฐานที่เหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงตำแหน่งขาของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8051 หน้าที่การใช้งานแต่ละขาของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 มีดังนี้

- ขา Vss (ขา 20) สำหรับต่อลงกราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขา Vss (ขา 40) สำหรับต่อแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงขนาด 5 โวลต์

(DC. 5 Volt)

- ขาพอร์ต 0 (ขา 32-39) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 0 ขนาด 8 บิต (PO.0-PO.7) แบบ Open Drain Bidirectional พอร์ตนี้สามารถใช้งานเป็นอินพุตเอาต์พุตพอร์ตทั่วไปได้ โดยหากใช้งานเป็นอินพุตพอร์ต ต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้เพื่อบังคับให้ขาอยู่ในสถานะถูกปล่อยลอย (มีสถานะ high impedance) นอกจากใช้งานเป็นอินพุตเอาต์พุตพอร์ตแล้ว พอร์ต 0 ยังใช้ในการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมและข้อมูลภายนอกชิปด้วย โดยส่งค่าแอดเดรสไบต์ค่า (A0-A7) และมัลติเพล็กซ์กับการรับส่งข้อมูล (D0-D7) จากหน่วยความจำภายนอกในระหว่างการเขียนหรืออ่านข้อมูลโดยมีวงจรถูกฝังภายใน

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

ขา P1.0, P1.1 ในเบอร์ 8052 จะใช้งานในหน้าที่อย่างอื่นนอกเหนือจากใช้เป็นขาอินพุตเอาต์พุตพอร์ตทั่วไปด้วย

- ขาพอร์ต 2 (ขา 21-28) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 2 (P2.0-P2.7) ขนาด 8 บิต แบบ Oper Drain Bidirectional พอร์ตนี้สามารถใช้งานเป็นอินพุตเอาต์พุตพอร์ตทั่วไปได้ โดยหากใช้งานเป็นอินพุตพอร์ต ต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้ เพื่อบังคับให้ขาอยู่ในสถานะ high impedance นอกจากจะใช้งานเป็นอินพุตเอาต์พุตพอร์ตทั่วไปแล้ว พอร์ต 2 ยังใช้ในการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมและข้อมูลภายนอกด้วย โดยใช้สำหรับส่งค่าแอดเดรสไบต์สูง (A8-A15) และมีวงจรถูกฝังภายใน

- ขาพอร์ต 3 (ขา 10-17) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 3 (P3.0-P3.7) สามารถใช้งานเป็นอินพุตเอาต์พุตพอร์ตทั่วไปได้หากต้องการใช้งานเป็นอินพุตพอร์ต ต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้ เพื่อให้มีสถานะ high impedance โดยใช้วงจรถูกฝังภายใน นอกจากนี้ยังใช้งานในหน้าที่พิเศษต่างๆ อีกหลายอย่างดังนี้

ขา P3.0 ใ้รับข้อมูลจากภายนอกแบบอนุกรม

ขา P3.1 ใ้ส่งข้อมูลออกไปภายนอกแบบอนุกรม

ขา P3.2 ใ้เป็นอินพุตเพื่อรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์ชนิดที่ 0

ขา P3.3 ใ้เป็นอินพุตเพื่อรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์ชนิดที่ 1

ขา P3.4 สัญญาณอินพุตให้เคาน์เตอร์ของไทม์เมอร์ 0

ขา P3.5 สัญญาณอินพุตให้เคาน์เตอร์ของไทม์เมอร์ 1

ขาP3.6 ใ้เป็นสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลไปยังหน่วยความจำสำหรับเก็บ

## ข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา P3.7 ใช้เป็นสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิป

การใช้งานพอร์ต 3 ในหน้าที่พิเศษดังกล่าวนี้จะต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตที่ต้องการใช้ก่อนทุกครั้ง

- ขา RST (ขา 9) ใช้สำหรับการรีเซ็ตวงจรทุกอย่างภายในชิป เพื่อเริ่มต้นการทำงานใหม่ การรีเซ็ตใช้เมื่อเริ่มจ่ายพลังงานหรือเมื่อโปรแกรมเกิดทำงานผิดพลาดเมื่อต้องการรีเซ็ตชิป MCS-51 ขานี้ต้องมีสถานะ 1 เป็นเวลาอย่างน้อย 2 แมกซ์ซินไซเกิลระหว่างที่ออสซิลเลเตอร์ยังทำงานอยู่ โดยต้องต่อตัวต้านทานค่า 8.2 กิโลโอห์มเพื่อทำหน้าที่พูลดาวน์ (รักษาค่าแรงดันไฟฟ้าให้มีสถานะเป็นกราวด์) และเพื่อให้ตัวชิปรีเซ็ตเองเมื่อเริ่มจ่ายพลังงานให้ต่อตัวเก็บประจุขนาด 10 ไมโครฟารัดคร่อมระหว่างขา RST กับ Vcc ดังแสดงในรูปที่ 1.2

- ขา ALE/PROG (ขา 30) เป็นขาสำหรับใช้ส่งสัญญาณออกไปภายนอก เพื่อควบคุมการแลตช์ค่าแอดเดรสไบต์ต่ำ (address latch enable) จากพอร์ต 0 ในระหว่างการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมหรือข้อมูลภายนอก ปกติเมื่อไม่มีการติดต่อหน่วยความจำภายนอกขานี้จะส่งสัญญาณพัลส์ออกมาด้วยความถี่ 1/8 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ตลอดเวลา ดังนั้นเราสามารถใช้เวลาที่ได้ออกมาขานี้ ไปใช้งานอย่างอื่นได้ แต่ความถี่ที่ขานี้จะลดลงครึ่งหนึ่งในระหว่างติดต่อกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป นอกจากนี้ขา ALE ยังใช้สำหรับควบคุมการเขียนโปรแกรมลงไปใน EPROM สำหรับ MCS-51 เบอร์ที่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปเป็น EPROM

- ขา PSEN (ขา 29) ใช้ส่งสัญญาณสโตรบเพื่ออ่านคำสั่งจากโปรแกรมที่เก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอกชิป (program strobe enable) เมื่อชิปทำงานด้วยโปรแกรมจากภายนอกขานี้จะส่งสัญญาณสโตรบสองครั้งในแต่ละแมกซ์ซินไซเกิล แต่ในช่วงการเขียนหรืออ่านข้อมูลกับหน่วยความจำภายนอกหรือเมื่อใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปจะไม่มีสัญญาณออกมาจากขานี้

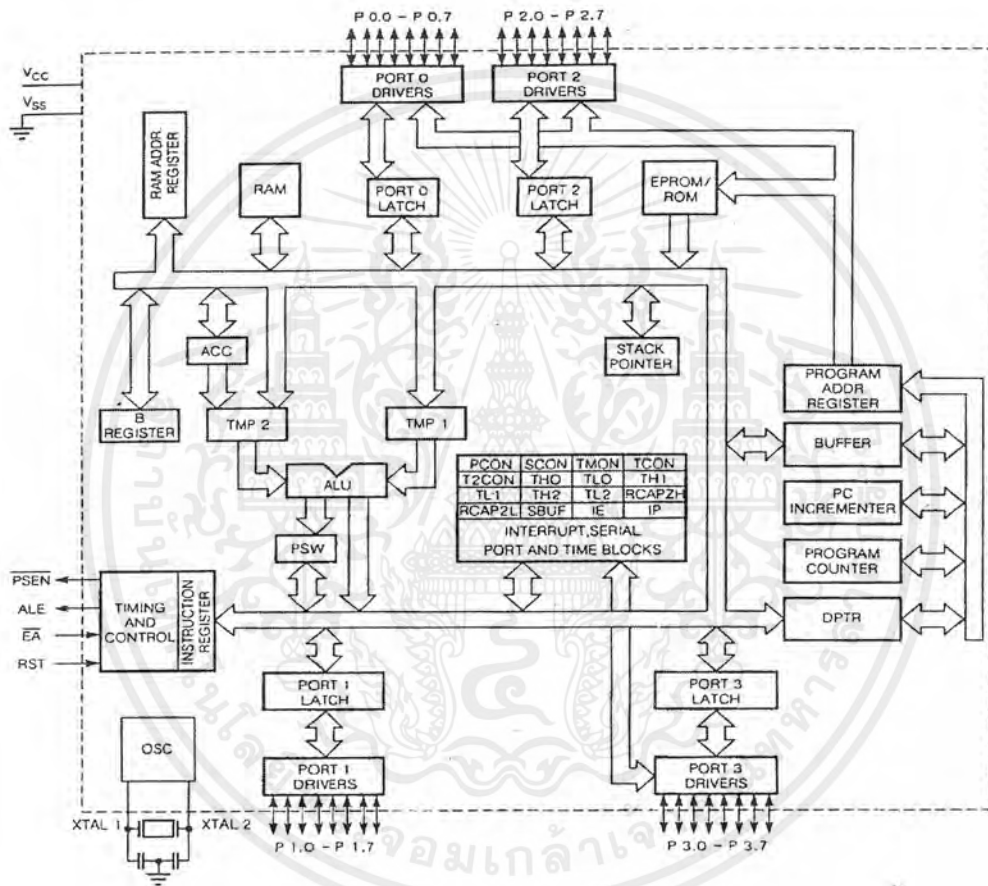
- ขา EA/Vpp (ขา 31) เป็นขาสำหรับใช้เลือกให้ MIC-51 ทำงานจากโปรแกรม ที่อยู่ในหรือภายนอกชิป โดยหากขานี้มีสถานะเป็น 0 หมายถึงให้ใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำที่เก็บโปรแกรมภายนอก หากขานี้มีสถานะเป็น 1 หมายถึงบังคับให้ MCS-51 ใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป และสำหรับ MCS-51 ที่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป สามารถเลือกให้ทำงานได้ทั้งจากโปรแกรมที่เก็บในหน่วยความจำภายในชิปหรือจากโปรแกรมที่เก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอกชิปด้วยการต่อขา EA กับไฟเลี้ยงหรือกราวด์ตามลำดับ ส่วนใน MCS-51 ที่ไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป ให้ต่อขานี้ลงกราวด์เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขา XTAL 1 (ขา 19) ใช้ต่อคริสตอลภายนอก โดยเป็นอินพุตเข้าสู่วงจรรอสซิคเลเตอร์
- ขา XTAL 2 (ขา 18) ใช้ต่อคริสตอลภายนอก โดยเป็นเอาต์พุตออกจากวงจรรอสซิคเลเตอร์

2.6.2 โครงสร้างภายในของ MCS-51

โครงสร้างภายในของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 รูปแสดงโครงสร้างภายใน

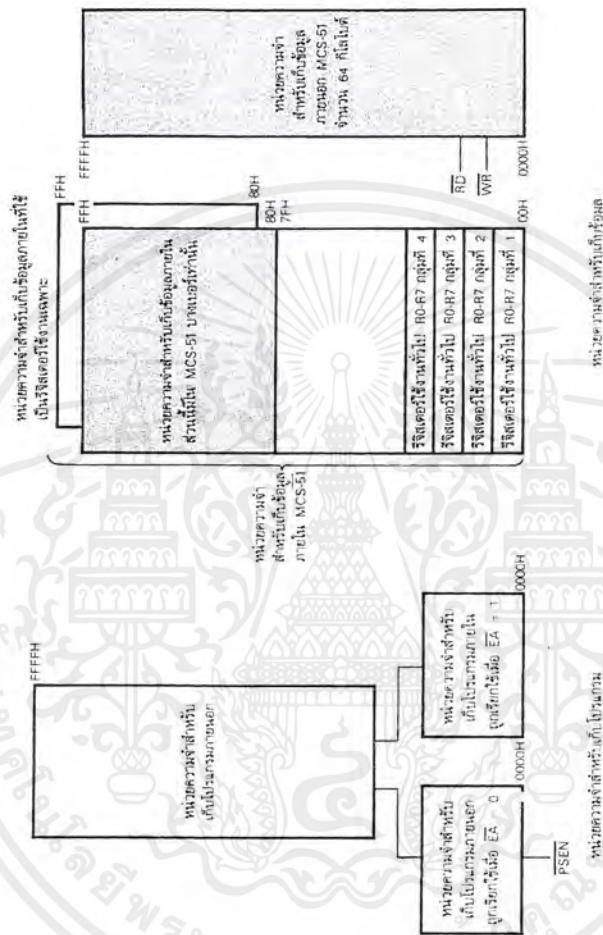
2.6.2.1 โครงสร้างหน่วยความจำภายใน MCS-51 ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะแบ่งหน่วยความจำออกเป็นสองส่วน คือ

- หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม (program memory)
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (data memory)

หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม จะใช้เก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานของชิป MCS-51 บางเบอร์จะมีหน่วยความจำส่วนนี้อยู่ภายในชิป แต่บางเบอร์จะไม่มี ทำให้ต้องเก็บโปรแกรมไว้ในหน่วยความจำภายนอกทั้งหมด ส่วนหน่วยความจำส่วนที่สองคือ หน่วยความจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเก็บข้อมูล ซึ่งใช้สำหรับเก็บข้อมูลระหว่างการทำงาน MCS-51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำส่วนนี้อยู่ภายในชิปจำนวนหนึ่ง แต่จะมีจำนวนมากหรือน้อยเท่าใดขึ้นอยู่กับเบอร์ของชิป โครงสร้างหน่วยความจำทั้งหมดของ MCS-51 มีดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างหน่วยความจำทั้งหมดของ MCS-51

**หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม**

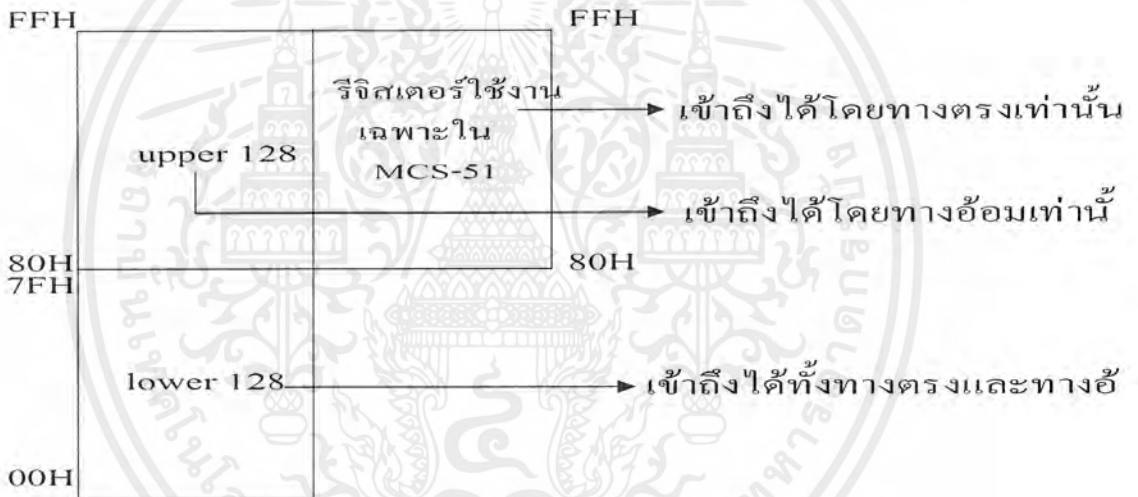
หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมใน MCS-51 จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป (internal program memory) และหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายนอกชิป (external program memory) ขนาดของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปมีได้ตั้งแต่ 0,4,8,16 กิโลไบต์ ขึ้นอยู่กับเบอร์ของชิป

**หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล**

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลของ MCS-51 จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิป และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิป หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปของ MCS-51 ยังแบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อยดังนี้

- ส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไป (internal ram)
- ส่วนที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ (special function register)

หน่วยความจำส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่มีอยู่ภายใน MCS-51 หน่วยความจำส่วนนี้มีไว้สำหรับเก็บข้อมูลในขณะที่ทำงาน ส่วนหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายใน MCS-51 ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะเพื่อควบคุมการทำงานและบอกสถานะของซีพียู แผนภาพแสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปทั้งสองบริเวณมีดังในรูปที่ 2.11



.ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ

**รูปที่ 2.12** แผนภาพแสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิป MCS-51

MCS-51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปอย่างน้อย 128 ไบต์ ไปจนถึง 256 ไบต์ ทั้งนี้ขึ้นกับเบอร์ของชิป หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิป บริเวณ 128 ไบต์แรกมีชื่อเรียกว่า lower 128 และในบริเวณ 128 ไบต์หลังที่มีเพิ่มในบางเบอร์มีชื่อเรียกว่า upper 128 ดังแสดงในรูปที่ 2.12

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปบริเวณ 128 ไบต์หลัง (ตำแหน่ง 80H ขึ้นไป) จะมีตำแหน่งตรงกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ ใช้งานเฉพาะ (ตำแหน่ง 80H ขึ้นไปเช่นกัน)

FFH	หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในส่วนนี้มีใน MCS-51 บางเบอร์เท่านั้น
80H 7FH	
2FH	บริเวณหน่วยความจำที่ใช้ได้ถึงระดับบิตจำนวน $16 \times 8 = 128$
20H	
18H	รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 กลุ่ม 4
10H	รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 กลุ่ม 3
08H	รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 กลุ่ม 2
00H	รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 กลุ่ม 1

รูปที่ 2.13 แสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปทั้งสองส่วน  
รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ

เนื่องจาก MCS-51 ถูกออกแบบไว้สำหรับใช้ควบคุมระบบโดยเฉพาะ จึงทำให้มีความสามารถเฉพาะตัวหลายอย่าง ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยวงจรภายในชิปที่มีเพิ่มขึ้นจากไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไป การควบคุมการทำงานของวงจรภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะกระทำผ่านรีจิสเตอร์ที่ถูกกำหนดหน้าที่ไว้แล้ว ดังนั้นหากต้องการใช้ MCS-51 ให้มีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องทราบหน้าที่การทำงานของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะแต่ละตัวให้ละเอียด รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะทั้งหมดจะอยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปบริเวณที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะดังได้กล่าวมาแล้ว รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะทั้งหมดใน MCS-51 มีดังแสดงในรูปที่ 2.13

ในส่วนของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป จะเป็นหน่วยความจำส่วนที่อยู่ภายนอกชิป MCS-51 ซึ่งผู้ใช้ต้องติดตั้งเพิ่มเองการติดต่อระหว่าง MCS-51 กับหน่วยความจำทั้งสองส่วนจะใช้ขา 32 ถึง 39 (พอร์ต 0) เป็นตัวส่งค่าแอดเดรสไบต์ต่ำ (A0-A7) และใช้รับส่งข้อมูลกับหน่วยความจำด้วย (ใช้เป็นดาต้าบัส) ส่วนค่าแอดเดรสไบต์สูง (A8-A15) จะใช้ขา 21-28 (พอร์ต 2) ดังนั้นเมื่อพอร์ต 0 และพอร์ต 2 ถูกใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก (ทั้งหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล) จะทำให้เหลือพอร์ตสำหรับใช้งานอื่น ๆ น้อยลง

## 8 ไบต์

F8								FF
F0	B							F7
E8								E7
E0	ACC							EF
D8								DF
D0	PSW							D7
C8	(T2CON)		(RCAP2L)	(RCAP2H)	TL2	TH2		CF
C0								C7
B8	IP							BF
B0	P3							B7
A8	IE							AF
A0	P2							A7
98	SCON	SBUF						9F
90	P1							97
88	TCON	TMOD	TL0	TL1	TH0	TH1		8F
80	P0	SP	DPL	DPL			PCON	87

รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างและตำแหน่งของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะใน MCS-51

## รีจิสเตอร์สำหรับใช้งานทั่วไป

MCS-51 มีรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปที่ผู้เขียน โปรแกรมสามารถนำมาใช้งานได้คือ รีจิสเตอร์ A, B (อยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ แต่นับเป็นรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปเพราะไม่ถูกกำหนดหน้าที่ใช้งานโดยตรง) และรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 ซึ่งอยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปบริเวณ 128 ไบต์แรก ดังแสดงในรูปที่ 1.6 รีจิสเตอร์ ใช้งานทั่วไป R0-R7 ใน MCS-51 มีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 4 กลุ่ม แต่ละกลุ่มประกอบด้วยรีจิสเตอร์จำนวน 8 ตัว (R0-R7) ซึ่งมีชื่อเรียกเหมือนกัน ดังนั้น จำนวนรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 ใน MCS-51 จึงมีทั้งหมด 32 ตัว ในการทำงานขณะใด ๆ รีจิสเตอร์ทั้ง 4 กลุ่ม (R0-R7) จะถูกเลือกใช้งานเพียงกลุ่มเดียวเท่านั้น การเลือกใช้งานรีจิสเตอร์ R0-R7 กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งใน 4 กลุ่มกระทำโดยการเซตหรือเคลียร์บิต RS0, RS1 ในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ PSW ดังแสดงในรูปที่ 2.14

รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปทั้ง R0-R7 จะมีอยู่ในกลุ่มรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปทั้ง 4 กลุ่ม ซึ่งจะถูกเลือกใช้งานเพียงกลุ่มเดียวในขณะใดขณะหนึ่ง ค่าที่เปลี่ยนแปลงไปในรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปที่ถูกเลือกใช้งานใน ขณะนั้นจะไม่มีผลต่อรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปที่มีชื่อเดียวกันแต่อยู่คนละกลุ่มเลย โครงสร้างเช่นนี้ทำให้มีความสะดวกในการเขียน โปรแกรมเป็นอันมาก โดยเฉพาะกับการเขียน โปรแกรมที่มีการเรียกใช้โปรแกรมย่อย(subroutine)



รูปที่ 2.15 แสดงการเลือกรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 แต่ละกลุ่ม

**โครงสร้างพอร์ต**

MCS-51 ทุกเบอร์จะมีพอร์ตขนาด 8 บิตจำนวน 4 พอร์ต (P0, P1, P2, P3) โดยสามารถกำหนดให้ทำงานแบบพอร์ตขนาดขนาด 8 บิต 4 พอร์ต หรือจะใช้เป็นพอร์ตขนาด 1 บิตได้ ถึง 32 พอร์ต ทั้งนี้ผู้ใช้ยังสามารถกำหนดให้แต่ละพอร์ตใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตหรือเอาต์พุตพอร์ต อย่างใดอย่างหนึ่งได้อย่างอิสระ

ในกรณีที่ผู้ออกแบบต้องการใช้หน่วยความจำภายนอก ไม่ว่าจะเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลหรือสำหรับโปรแกรม พอร์ต 0 จะถูกกำหนดการใช้งานเป็น คาต้าบัส และแอดเดรสไบต์ต่ำ ส่วนพอร์ต 2 จะถูกกำหนดการใช้งานเป็นตัวส่งค่าแอดเดรสไบต์สูงและบางส่วนของ พอร์ต 3 จะถูกใช้ส่งสัญญาณควบคุมหรือคอนโทรลบัส (สัญญาณที่ใช้ควบคุมการอ่านหรือเขียน ข้อมูล) แต่หากหน่วยความจำที่ใช้ภายนอกต้องการไม่ไม่ถึง 64 กิโลไบต์ พอร์ต 2 ที่ใช้เป็นแอดเดรสไบต์สูงจะถูกนำมาใช้ทั้งหมด แต่พอร์ต 0 จะถูกใช้หมดทั้ง 8 เส้น เพราะต้องใช้เป็นคาต้าบัส ส่วนพอร์ต 3 จะนำมาใช้ติดต่อกับหน่วยความจำด้วยหรือไม่ ขึ้นอยู่กับหน่วยความจำที่ใช้ ภายนอกว่ามีหน่วยความจำส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลด้วยหรือไม่ (ต้องการสัญญาณควบคุมการอ่านหรือเขียนข้อมูลหรือไม่นั่นเอง) ดังนั้นในการออกแบบระบบ หากต้องการใช้หน่วยความจำภายนอก มากขึ้นเพียงใดก็จะยิ่งทำให้เหลือจำนวนพอร์ตที่จะนำมาใช้งานลดลง ในการออกแบบจริงจึงต้อง พยายามลดขนาดหน่วยความจำภายนอกให้เหลือน้อยที่สุด

พอร์ต 3 ซึ่งมีขนาด 8 บิต นอกจากจะใช้ส่งสัญญาณสำหรับการอ่านหรือเขียนข้อมูลในการ ติดต่อกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิปแล้ว มันยังถูกใช้เป็นตัวรับสัญญาณอินเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีปต์ ข้อมูลแบบอนุกรมกับอุปกรณ์ภายนอก (รับและส่งข้อมูลผ่านเข้า RXD,TXD) อีกด้วย ภายในแต่ละพอร์ตที่ใช้เป็นอินพุตหรือเอาต์พุต ผู้ใช้สามารถกำหนดให้ทำงานเป็นอินพุตหรือเอาต์พุตพอร์ตได้อย่างอิสระ โดยอาศัยการควบคุมจากโปรแกรม ซึ่งสามารถควบคุมให้แต่ละพอร์ตถูกใช้เป็นอินพุตในช่วงเวลาหนึ่ง และเป็นเอาต์พุตในอีกช่วงเวลาหนึ่งได้

### ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์

ใน MCS-51 มีรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะที่สามารถนับจำนวนสัญญาณนาฬิกาหรือเมกซ์ซินไซท์ของวงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน (ทำงานเป็นไทม์เมอร์) หรือนับจำนวนครั้งของการเปลี่ยนสถานะของสัญญาณภายนอก (นับจำนวนพัลส์ภายนอก) ที่ขา T0, T1 ของพอร์ต 3 (ทำงานเป็นเคาน์เตอร์) รีจิสเตอร์ที่ใช้เป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์มีขนาด 16 บิตจำนวน 2 ตัว คือรีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 0 และรีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 1 ตามลำดับ (ในเบอร์ 8052 มีรีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 2 เพิ่มให้อีก 1 ตัว) เมื่อต้องการใช้ไทม์เมอร์ 0 หรือไทม์เมอร์ 1 จะต้องโหลดค่าที่ต้องการนับไปไว้ในรีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 0 หรือรีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 1 และเมื่อนับได้ครบจำนวนที่ตั้งไว้จะมีสัญญาณอินเตอร์รัปต์เพื่อบอกให้ซีพียูทราบ

การควบคุมการทำงานของไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์ สามารถควบคุมได้จากวงจรภายนอก (ควบคุมด้วยสัญญาณที่ขา INT0, INT1) หรือควบคุมจากคำสั่งในโปรแกรม ดังนั้นรีจิสเตอร์ที่ใช้เป็นไทม์เมอร์ใน MCS-51 จะสามารถวัดช่วงห่างของเวลา วัดความกว้างของพัลส์ หรือนับจำนวนครั้งของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายนอกที่เปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าแล้ว รวมทั้งใช้กำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์ที่มีคาบเวลาแน่นอนได้

### พอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

MCS-51 สามารถรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมได้โดยไม่ต้องพึ่งอุปกรณ์ภายนอกอื่น ๆ แต่อย่างใด ในด้านอัตราเร็วของการรับส่งข้อมูลก็สามารถกำหนดค่าได้ตามความต้องการของผู้ใช้ โดยสามารถเลือกอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล (baud rate) มาตรฐานได้ตั้งแต่ 110, 1.2K, 2.4K, 4.8K, 9.6K 375K ตามมาตรฐาน UART นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดการทำงานที่แตกต่างกันได้ถึง 4 รูปแบบ

### โครงสร้างการอินเตอร์รัปต์

MCS-51 สามารถรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้ถึง 5 ชนิดโดยจะเป็นสัญญาณอินเตอร์รัปต์ที่เกิดจากภายนอก 2 ชนิด และที่เกิดจากภายในชิปอีก 3 ชนิดเมื่อมีสัญญาณอินเตอร์รัปต์เกิดขึ้น MCS-51 จะละการทำงานโปรแกรมที่กำลังทำอยู่และข้ามไปทำงาน โปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

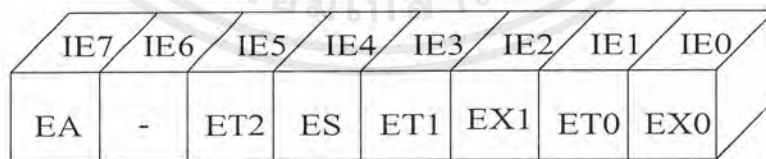
(interrupt service routine) ที่อยู่ในหน่วยความจำตำแหน่งต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของสัญญาณอินเทอร์รัปต์ดังแสดงในรูปที่ 2.15

เราสามารถเลือกให้ซีพียูใน MCS-51 ภูอินเทอร์รัปต์โดยสัญญาณอินเทอร์รัปต์ที่เกิดขึ้นได้ โดยการกำหนดค่าในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IE นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ของ MCS-51 ได้ด้วยรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IP



รูปที่ 2.16 แสดงตำแหน่งหน่วยความจำของโปรแกรมบริการอินเทอร์รัปต์แต่ละชนิดใน MCS-51

รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IE (Interrupt Enable-Register) เข้าถึงข้อมูลได้ในระดับบิต รายละเอียดมีดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ (IE)

บิต ชื่อบิต

IE7 EA ใช้ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ทั้งหมด

0 : MCS - 51 จะไม่ตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ใด ๆ ทั้งสิ้น

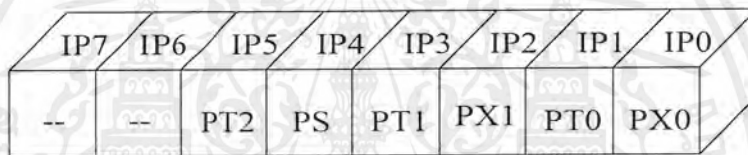
1 : การตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์แต่ละชนิดจะถูกควบคุมโดยตรงจากบิตที่

ทำหน้าที่ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ซึ่งอยู่ในรีจิสเตอร์นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IE6	--	ไม่ถูกกำหนดการใช้งาน (สำรองไว้ใช้ใน MCS - 51 เบอร์ใหม่ ๆ ในอนาคต)
IE5	ET2	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 2 เมื่อเกิด overflow (มีใช้เฉพาะ MCS-51 บางเบอร์ที่มีไทม์เมอร์ 2 เช่น 8052)
IE4	ES	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ของพอร์ตสื่อสารอนุกรม
IE3	ET1	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 1 เมื่อเกิด overflow
IE2	EX1	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ภายนอกชนิด 1
IE1	ET0	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 0 เมื่อเกิด overflow
IE0	EX0	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ภายนอกชนิด 0

รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IP (Interrupt Priority Register) เข้าถึงข้อมูล  
ได้ในระดับบิต รายละเอียดมีดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ (IP)

บิต	ชื่อบิต	
IP7	--	ไม่ถูกกำหนดการใช้งาน
IP6	--	ไม่ถูกกำหนดการใช้งาน
IP5	PT2	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 2
IP4	PS	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ของพอร์ตสื่อสารอนุกรม
IP3	PT1	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 1
IP2	PX1	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ภายนอกชนิด 1
IP1	PT0	กำหนดความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 0
IP0	PX0	กำหนดความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ภายนอกชนิด 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 กลุ่มคำสั่งใน MCS-51

คำสั่งที่ใช้ควบคุมการทำงานของ MCS-51 มีสองประเภทคือ คำสั่งที่ต้องการข้อมูลมาดำเนินการเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ และคำสั่งที่ไม่ต้องการข้อมูลมาดำเนินการคำสั่งที่ต้องการข้อมูลจะมีวิธีการเข้าถึงข้อมูลได้หลายวิธีดังนี้ วิธีการเข้าถึงข้อมูลในคำสั่ง

- วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยตรง (direct addressing)
- วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อม (indirect addressing)
- วิธีการเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป (register instructions)
- วิธีการเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์เฉพาะของตัวคำสั่ง (register-specific instructions)
- วิธีการเข้าถึงข้อมูลที่กำหนดเองโดยตรง (immediate constants)
- วิธีการเข้าถึงข้อมูลที่มีตัวชี้อ้างอิง (indexed addressing)

คำสั่งแต่ละคำสั่งที่ต้องการข้อมูลหรือโอเปอเรนด์ (operand) อาจจะมีวิธีการเข้าถึงข้อมูลในโอเปอเรนด์ได้วิธีเดียวหรือหลายวิธีขึ้นกับคำสั่งแต่ละคำสั่ง รายละเอียดของวิธีการเข้าถึงข้อมูลของโอเปอเรนด์แต่ละวิธีมีดังนี้

### 2.7.1 วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยตรง (Direct Addressing)

เป็นวิธีกำหนดตำแหน่งหน่วยความจำโดยตรงในคำสั่ง บริเวณหน่วยความจำที่สามารถอ้างได้โดยวิธีนี้จะเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปเฉพาะบริเวณ 128 ไบต์แรก และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป รวมทั้งหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ

### 2.7.2 วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อม (Indirect Addressing)

เป็นวิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อม โดยค่าตำแหน่งหน่วยความจำจะอยู่ในรีจิสเตอร์เฉพาะบางตัว นั่นคือวิธีนี้จะใช้ค่าในรีจิสเตอร์เป็นตัวชี้ตำแหน่งหน่วยความจำ หน่วยความจำที่สามารถใช้วิธีการเข้าถึงแบบนี้ได้คือ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปบริเวณ 128 ไบต์ล่างและ 128 ไบต์บน รวมทั้งหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป รีจิสเตอร์ที่สามารถนำมาใช้เป็นตัวชี้ตำแหน่งของหน่วยความจำมีดังต่อไปนี้

- รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0, R1 ของแต่ละกลุ่ม
- รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ SP (stack pointer)
- รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ DPTR (data pointer)

การใช้วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อมนี้ รีจิสเตอร์ที่เก็บค่าตำแหน่งหน่วยความจำจะต้องระบุเครื่องหมาย " @ " ไว้ข้างหน้า ดังตัวอย่าง

```
MOV A,@RD
```

```
MOVX @DPTR,A
```

### 2.7.3 วิธีการเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป (Register Instruction)

ข้อมูลที่ต้องการจะอยู่ในรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 ของแต่ละกลุ่มรีจิสเตอร์ที่ถูกเลือกใช้งานในขณะนั้น โดยในการทำงานจริง ๆ ซีพียูจะตรวจสอบกลุ่มรีจิสเตอร์ที่ถูกเลือกใช้งานจากบิต RSO, RSI ในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ PSW เอง

### 2.7.4 วิธีการเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์เฉพาะของคำสั่ง (Register-Specific)

คำสั่งบางคำสั่งของ MCS-51 จะระบุไว้แล้วว่าต้องดำเนินการกับข้อมูลในรีจิสเตอร์ตัวใดเช่น ACCUMULATOR, DPTR, SP ดังนั้นในรหัสคำสั่ง (opcode) ของคำสั่งประเภทนี้ MCS-51 จะรู้ได้เองว่าต้องประมวลผลกับรีจิสเตอร์ตัวใด ด้วยเหตุนี้คำสั่งในกลุ่มนี้จึงไม่ต้องบอกตำแหน่งของรีจิสเตอร์ที่ใช้งานเฉพาะคำสั่งนี้แต่อย่างใดเลย เช่น

```
MOV A,#data
```

```
MOV DPTR,#data
```

จากตัวอย่างนี้ เราไม่จำเป็นต้องระบุตำแหน่งของรีจิสเตอร์ A, DPTR ในรหัสคำสั่งของคำสั่งทั้งสองแต่อย่างใด เพราะ MCS-51 จะทราบเองว่าเป็นรีจิสเตอร์ทั้งสองจากรหัสของคำสั่ง

### 2.7.5 วิธีการเข้าถึงข้อมูลที่กำหนดเองโดยตรง (Immediate Constants)

เป็นการกำหนดค่าข้อมูลให้กับคำสั่งโดยตรง ข้อมูลที่นำมาประมวลผลในคำสั่งจะอยู่ตามหลังรหัสคำสั่ง ทั้งนี้จะต้องใช้เครื่องหมาย " # " ระบุหน้าข้อมูลที่ต้องการ เช่น

```
MOV A,#100
```

### 2.7.6 วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยใช้ตัวชี้อ้างอิง (Indexed Addressing)

ข้อมูลที่ใช้วิธีการอ้างอิงแบบนี้ จะเป็นข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในหรือภายนอกชิปเท่านั้น จุดประสงค์ของการอ้างอิงข้อมูลแบบนี้ มีไว้เพื่อใช้ในการเปิดหาค่าข้อมูลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม ซึ่งข้อมูลไม่สูญหายแม้ไม่มีพลังงาน ในการทำงาน of คำสั่งที่ใช้การอ้างอิงวิธีนี้ จะใช้ค่าของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ DPTR หรือ PC มารวมกับค่าในรีจิสเตอร์ A เพื่อชี้ไปยังตำแหน่งของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมซึ่งเก็บข้อมูลไว้ ดังนั้นค่าในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ DPTR,PC จะต้องมามีค่าเท่ากับตำแหน่งต้นของหน่วยความจำส่วนที่เก็บข้อมูลที่ต้องการ ส่วนค่าของรีจิสเตอร์ A จะเป็นตัวเลือกข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำ เช่น

```
MOVC A,@A + DPTR
```

```
MOVC A,@A + PC
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความจริงการอ้างข้อมูลวิธีนี้ ยังมีที่ใช้ในกลุ่มคำสั่งควบคุมลำดับการทำงานของโปรแกรม โดยการบังคับให้โปรแกรมกระโดดข้ามไปทำงานที่ตำแหน่งใด ๆ ในหน่วยความจำซึ่งมีตำแหน่งเท่ากับผลรวมของค่าในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ DPTR กับรีจิสเตอร์ A ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
JMP @A + DPTR
```

## 2.8 คำสั่งใน MCS-51

คำสั่งทั้งหมดใน MCS-51 สามารถแยกเป็นประเภทตามลักษณะการทำงานได้ดังนี้

2.8.1 กลุ่มคำสั่งทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic Instructions) เป็นกลุ่มคำสั่งทางคณิตศาสตร์ทั้งหมด ซึ่งจะประกอบไปด้วยคำสั่งในการบวก ลบ คูณ หาร รวมทั้งคำสั่งในการเพิ่มค่าได้หลายวิธีดังแสดงในตารางที่ 2.2

รหัสแอสเซมบลี	การทำงาน	แอดเดรสโหมด				เวลาปฏิบัติการ (ไมโครวินาที)
		Dir.	Ind.	Reg.	Imm.	
ADD A, <byte>	$A = A + \text{<byte>}$	✓	✓	✓	✓	1
ADDC A, <byte>	$A = A + \text{<byte>} + C$	✓	✓	✓	✓	1
SUBB A, <byte>	$A = A - \text{<byte>} - C$	✓	✓	✓	✓	1
INC A	$A = A + 1$			Accumulator only		1
INC <byte>	$\text{<byte>} = \text{<byte>} + 1$	✓	✓	✓		1
INC DPTR	$DPTR = DPTR + 1$			Data Pointer only		2
DEC A	$A = A - 1$			Accumulator only		1
DEC <byte>	$\text{<byte>} = \text{<byte>} - 1$	✓	✓	✓		1
MUL AB	$B \cdot A = B \times A$			ACC and B only		4
DIV AB	$A = \text{Int}[A/B]$ $B = \text{Mod}[A/B]$			ACC and B only		4
DA A	Decimal Adjust			Accumulator only		1

ตารางที่ 2.2 แสดงกลุ่มคำสั่งทางคณิตศาสตร์

ข้อมูลที่เห็นเป็นตัวอักษร byte หมายถึงข้อมูลขนาด 8 บิต ซึ่งสามารถใช้วิธีการเข้าถึงได้วิธีเดียวหรือหลายวิธีขึ้นกับชนิดของคำสั่ง

2.8.2 กลุ่มคำสั่งทางตรรกศาสตร์ (Logical Instructions) ประกอบไปด้วยกลุ่มคำสั่งทางตรรกศาสตร์ เช่น AND, OR, Exclusive-OR, Complement) รวมทั้งคำสั่งสำหรับเลื่อนบิตข้อมูลไปทางซ้ายหรือขวาโดยผ่านบิต carry flag หรือไม่ก็ได้ นอกจากนี้ยังมีคำสั่งพิเศษที่ใช้ในการสลับที่ข้อมูล 4 บิตบนและ 4 บิตล่าง (SWAP) ดังแสดงในตารางที่ 2.3

รหัสแอสเซมบลี	การทำงาน	แอดเรสโหมด				เวลาปฏิบัติการ (ไมโครวินาที)
		Dir.	Ind	Reg	Imm	
ANL A, <byte>	A = A .AND. <byte>	✓	✓	✓	✓	1
ANL <byte>, A	<byte> = <byte> .AND. A	✓				1
ANL <byte>, #data	<byte> = <byte> .AND. #data	✓				2
ORL A, <byte>	A = A .OR. <byte>	✓	✓	✓	✓	1
ORL <byte>, A	<byte> = <byte> .OR. A	✓				1
ORL <byte>, #data	<byte> = <byte> .OR. #data	✓				2
XRL A, <byte>	A = A .XOR. <byte>	✓	✓	✓	✓	1
XRL <byte>, A	<byte> = <byte> .XOR. A	✓				1
XRL <byte>, #data	<byte> = <byte> .XOR. #data	✓				2
CPL A	A = 00H			Accumulator only		1
CPL A	A = .NOT. A			Accumulator only		1
RL A	Rotate ACC Left 1 bit			Accumulator only		1
RLC A	Rotate Left through Carry			Accumulator only		1
RR A	Rotate ACC Right 1 bit			Accumulator only		1
RRC A	Rotate Right through Carry			Accumulator only		1
SWAP A	Swap Nibbles in A			Accumulator only		1

### ตารางที่ 2.3 กลุ่มคำสั่งทางตรรกศาสตร์

2.8.3 กลุ่มคำสั่งเคลื่อนย้ายข้อมูล (Data Transfer Instructions) เป็นคำสั่งที่ใช้สำหรับการเคลื่อนย้ายข้อมูล เพื่อใช้ในการนำข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลไปเก็บยังหน่วยความจำบริเวณใดบริเวณหนึ่ง หรือเพื่อย้ายข้อมูลไปยังรีจิสเตอร์เพื่อประมวลผล เนื่องจากคำสั่งบางคำสั่งจำเป็นต้องทำงานที่รีจิสเตอร์เฉพาะตัวเท่านั้น เช่น คำสั่งในการคูณหรือหารที่ต้องทำงานกับรีจิสเตอร์ A, B เท่านั้น คำสั่งในกลุ่มนี้ยังแบ่งออกเป็นกลุ่มคำสั่งย่อย ๆ ดังนี้

- กลุ่มคำสั่งสำหรับเคลื่อนย้ายข้อมูลในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิป
- กลุ่มคำสั่งสำหรับเคลื่อนย้ายข้อมูลจากหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิป
- กลุ่มคำสั่งสำหรับเคลื่อนย้ายข้อมูลจากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม

ทั้งภายในและภายนอกชิป

กลุ่มคำสั่งเคลื่อนย้ายข้อมูลทั้งสามกลุ่มมีดังแสดงในตารางที่ 2.4, 2.5 และ 2.6

2.8.4 กลุ่มคำสั่งในการควบคุมลำดับการทำงานของโปรแกรม (Program Control Instructions) เป็นคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมลำดับการทำงานของโปรแกรม ในกลุ่มคำสั่งนี้ยังแบ่งออกเป็นคำสั่งที่ควบคุมลำดับการทำงานของโปรแกรมโดยมีเงื่อนไขและไม่มีเงื่อนไข ทำให้การเขียนโปรแกรมสะดวกมากขึ้น คำสั่งในกลุ่มนี้ทั้งสองประเภทมีดังแสดงในตารางที่ 2.7 และ 2.8

**ตาราง** แสดงกลุ่มคำสั่งเคลื่อนย้ายข้อมูลใน MCS-51

ขนาด แอดเดรส	รหัสแอสเซมบลี	การทำงาน	เวลาปฏิบัติการ (ไมโครวินาที)
8 บิต	MOVX A,@Ri	Read external RAM @Ri	2
8 บิต	MOVX @Ri,A	Write external RAM @Ri	2
16 บิต	MOVX A,@DPTR	Read external RAM @DPTR	2
16 บิต	MOVX @DPTR,A	Write external RAM @DPTR	2

**ตาราง** แสดงกลุ่มคำสั่งเคลื่อนย้ายข้อมูลใน MCS-51

รหัสแอสเซมบลี	การทำงาน	เวลาปฏิบัติการ (ไมโครวินาที)
MOVC A,@A+DPTR	Read Pgm Memory at (A+DPTR)	2
MOVC A,@A+PC	Read Pgm Memory at (A+PC)	2

**ตาราง** แสดงกลุ่มคำสั่งควบคุมลำดับการทำงานของโปรแกรมใน MCS-51

รหัสแอสเซมบลี	การทำงาน	เวลาปฏิบัติการ (ไมโครวินาที)
JMP addr	Jump to addr	2
JMP @A+DPTR	Jump to A+DPTR	2
CALL addr	Call subroutine at addr	2
RET	Return from subroutine	2
RETI	Return from interrupt	2
NOP	No operation	1

**ตาราง** แสดงกลุ่มคำสั่งควบคุมลำดับการทำงานของโปรแกรมใน MCS-51

รหัสแอสเซมบลี	การทำงาน	แอดเดรสโหมด				เวลาปฏิบัติการ (ไมโครวินาที)
		Dir	Ind	Reg	Imm	
JZ rel	Jump if A = 0	Accumulator only				2
JNZ rel	Jump if A ≠ 0	Accumulator only				2
DJNZ <byte>, rel	Decrement and jump if not zero	✓		✓		2
CJNE A, <byte>, rel	Jump if A ≠ <byte>	✓			✓	2
CJNE <byte>, #data, rel	Jump if <byte> ≠ #data		✓	✓		2

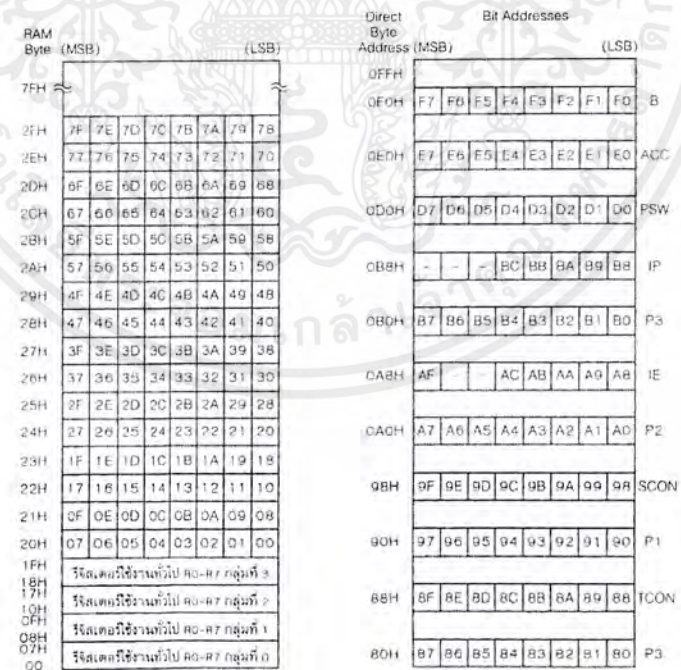
ตารางที่ 2.4 , 2.5 , 2.6 , 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รหัสคำสั่ง	การทำงาน	แอดเดรสโหมด				เวลาปฏิบัติการ (ไมโครวินาที)
		Dir	Ind	Reg	Imm	
MOV A, <src>	A = <src>	✓	✓	✓	✓	1
MOV <dest>, A	<dest> = A	✓	✓	✓		1
MOV <dest>, <src>	<dest> = <src>	✓	✓	✓	✓	2
MOV DPTR, # data16	DPTR = 16-bit immediate constant				✓	2
PUSH <src>	INC SP : MOV "@SP", <src>	✓				2
POP <dest>	MOV <dest>, "@SP" : DEC SP	✓				2
XCH A, <byte>	ACC and <byte> exchange data	✓	✓	✓		1
XCHD A, @Ri	ACC and @Ri exchange low nibbles		✓			1

ตารางที่ 2.8 แสดงกลุ่มคำสั่งเคลื่อนย้ายข้อมูล

2.8.9 กลุ่มคำสั่งสำหรับการประมวลผลแบบบูลีน (Boolean Instructions) MCS-51มีความสามารถพิเศษในการประมวลผลแบบบูลีน ซึ่งไม่มีในไมโครโปรเซสเซอร์ชนิดอื่น การประมวลผลแบบนี้มีไว้สำหรับงานทางด้านควบคุมโดยเฉพาะ จึงทำให้ MCS-51 เหมาะสมสำหรับที่จะนำไปใช้ควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี การประมวลผลแบบบูลีนจะเป็นการประมวลผลด้วยข้อมูลขนาด 1 บิต โดยมีหน่วยความจำขนาด 1 บิตสำหรับประมวลผลซึ่งสามารถอ้างตำแหน่งได้โดยตรง หน่วยความจำนี้จะอยู่ในบริเวณเดียวกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปและที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะบางตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.9



(ก) บริเวณหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไป (ข) บริเวณรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะบางตัว

รูปที่ 2.19 แสดงหน่วยความจำสำหรับประมวลผลแบบบูลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำขนาด 1 บิตที่แสดงในรูปที่ 1.12 จะเห็นว่าอยู่ในแต่ละบิตของหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไป ณ ตำแหน่ง 20H-2FH และที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะที่มีค่าตำแหน่งสามบิตสุดท้ายเป็น 0 (ค่าแอดเดรสไบต์ค่าเป็น 0000B หรือ 1000B) ในการประมวลผลแบบบูลีนจะใช้ค่าข้อมูลจากหน่วยความจำขนาด 1 บิตเหล่านี้ โดยในการประมวลผลแบบนี้จะประกอบด้วย

- เซตบิต
  - เคลียร์บิต
  - กระทำคำสั่งทางตรรกศาสตร์ระหว่างหน่วยความจำกับบิต carry flag
  - ตรวจสอบสถานะบิตและข้ามไปทำงานในส่วนอื่นของโปรแกรมขึ้นกับสถานะของบิต
  - เคลื่อนย้ายข้อมูลระหว่าง carry flag กับหน่วยความจำ
- คำสั่งทั้งหมดในกลุ่มคำสั่งประมวลผลแบบบูลีนมีดังแสดงในตารางที่ 2.19

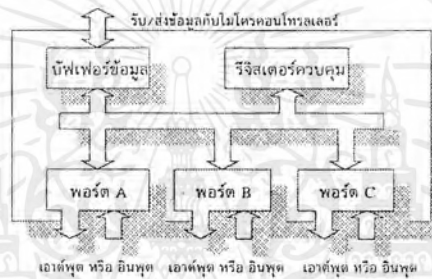
รหัสโมโนบิต	การทำงาน	เวลาปฏิบัติการ (ไมโครวินาที)
ANL C,bit	$C = C.AND.bit$	2
ANL C,/bit	$C = C.AND..NOT.bit$	2
ORL C,bit	$C = C.OR.bit$	2
ORL C,/bit	$C = C.OR..NOT.bit$	2
MOV C,bit	$C = bit$	1
MOV bit,C	$bit = C$	2
CLR C	$C = 0$	1
CLR bit	$bit = 0$	1
SETB C	$C = 1$	1
SETB bit	$bit = 1$	1
CPL C	$C = .NOT.C$	1
CPL bit	$bit = .NOT.bit$	1
JC rel	Jump if $C = 1$	2
JNC rel	Jump if $C = 0$	2
JB bit,rel	Jump if $bit = 1$	2
JNB bit,rel	Jump if $bit = 0$	2
JBC bit,rel	Jump if $bit = 1;CLR bit$	2

ตารางที่ 2.19 แสดงกลุ่มคำสั่งประมวลผลแบบบูลีน

## 8255 PORT

### 2.9 8255 port

ตัว MCS – 51 มี port สำหรับใช้งานอยู่แล้วจำนวน 4 port แต่บาง port ไม่สะดวกในการใช้เป็น Input และ Output โดยทั่วไปมักจะใช้ port P1 ของ MCS – 51 แต่เราก็สามารถเพิ่ม port ภายนอกได้ โดยอุปกรณ์ที่นิยมนำมาสร้างเป็น port Input แบบขนานนั้นจะใช้ IC Buffer 3 สถานะ (tri – state Buffers) ส่วน port Output แบบขนานจะใช้ IC ฟลิปฟล็อปที่สามารถ Latches ค่าของข้อมูลได้ เพราะ Micro controller ทำงานได้เร็ว เราใช้ IC 8255 มาใช้งานเพื่อทำหน้าที่เป็น port แบบขนานเพิ่มขึ้นจาก port P1 Micro Controller IC 8255 เป็น IC ที่สามารถควบคุมลักษณะการทำงานแบบ port แบบขนาน 8 bit ภายในจำนวน 3 port ได้แก่ port A, port B และ port C ดังรูปที่ 2.20 ได้อย่างอิสระ โดยสามารถ โปรแกรมให้เป็น Input และ Output ได้หลาย Mode



รูปที่ 2.20 แผนภาพอย่างง่ายแสดงภายใน IC 8255

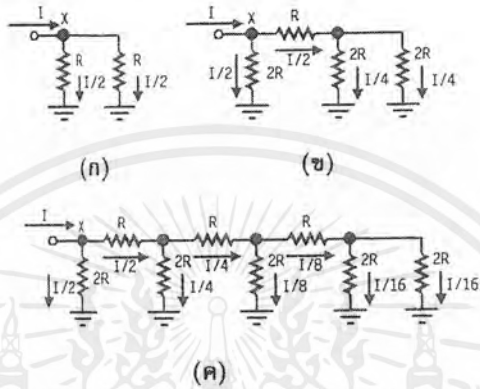
IC 8255 มี Register ควบคุมขนาด 8 bit อยู่ภายในจำนวนหนึ่งตัว เพื่อทำหน้าที่ควบคุมว่า port ทั้งสาม จะทำงานสถานะใด เมื่อเริ่มต้นการใช้งาน 8255 ผู้ใช้จะต้องส่งไบต์ Control Word ให้กับ Register Control ดังตารางที่ 2.10

ตำแหน่ง bit	Port ที่จะกำหนดการทำงาน	ค่าควบคุม
0	4 Bit (LSB ของ port C)	0 = output 1 = input
1	Port B	0 = output 1 = input
2	Mode หรือรูปแบบทำงาน Port B	0 = mode 0 1 = mode 1
3	4 Bit (MSB) ของ port C	0 = output 1 = input
4	Port A	0 = output 1 = input
5,6	Mode หรือรูปแบบการทำงานของ port A	00 = mode 0 01 = mode 1 10 = mode 2
7	กำหนดสถานะการเป็นข้อมูลควบคุม	0 = ข้อมูลทุก bit ไม่ใช่ข้อมูลควบคุม 1 = ข้อมูลทุก bit เป็นข้อมูลควบคุม

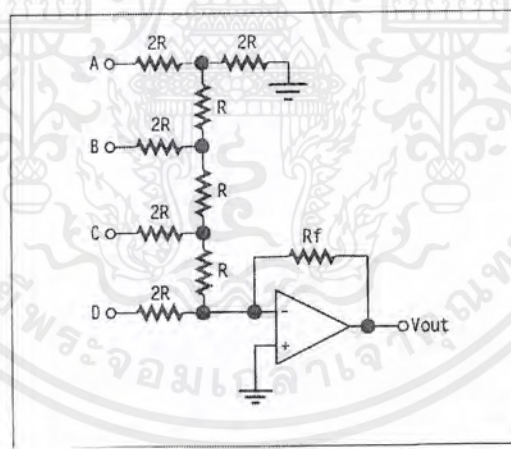
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอกแบบ R-2R

วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอก(DAC) อีกแบบหนึ่งที่ได้รับคามนิยม คือ แบบ R-2R แลคเคอร์ ทั้งนี้ เนื่องจากสามารถหาอุปกรณ์ในการสร้างวงจรง่าย กระบวนการสร้างวงจร DAC จะเริ่มต้นจากวงจรตัวต้านทานต่อขนานกัน 2 ตัว ดังในรูปที่ 2.21 หากตัวต้านทานสองตัวมีค่าเท่ากัน กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานทั้งสองตัว จะมีค่าเท่ากันคือ เท่ากับ  $I/2$  จากนั้นทำการเปลี่ยนค่าของตัวต้านทานเพื่อขยายสาขาของวงจร



รูปที่ 2.21 พื้นฐานของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลแบบ R-2R



รูปที่ 2.22 วงจร DAC แบบ R-2R ที่มีการใช้ออปแอมป์ในการแปลงค่ากระแสเป็นแรงดันไฟฟ้า

ดังในรูปที่ 2.22(ข) ค่าความต้านทานที่จุด X จะเท่ากับ ซึ่งก็คือ  $2R$  ดังนั้นค่าความต้านทานทั้งทางด้านซ้ายและขวามือของจุด X จะมีค่าเท่ากันคือ  $2R$  ทำให้ปริมาณกระแสที่ไหลผ่านเท่ากันคือ  $I/2$  จากจุด X มีกระแสไหลเข้า  $I/2$  จะถูกแยกเป็นสองทางด้วยตัวต้านทาน  $2R$  สองตัวที่ต่อขนานกัน กระแสที่ไหลผ่านวงจรในสาขานี้ จึงเป็น  $I/4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นหมายความว่า หากต่อพ่วงวงจรตัวต้านทานเข้าไปอีกหลายสาขา ก็จะทำให้กระแสถูกเฉลี่ยมากขึ้น เหมือนกับการสร้างบันไดของกระแสทีละขั้น ด้วยอัตราสวนของตัวต้านทานที่คงที่ คือ R และ 2R ดังในวงจรรูปที่ 2.21(ค) จากนั้นนำวงจร R-2R แลคเตอร์นี้ต่อเข้ากับวงจรแปลงค่ากระแสเป็นแรงดันโดยใช้ออปแอมป์ ดังในรูปที่ 2.22

แรงดันเอาต์พุต  $V_{out}$  จะมีค่าเท่ากับ โดยที่  $I_{in}$  จะเป็นค่าผลรวมของกระแสที่ได้จากวงจร R-2R แลคเตอร์ ยกตัวอย่าง ป้อนข้อมูลดิจิทัล 1011 เข้าที่อินพุต DCBA ทำให้กระแสไหลผ่าน R2, R4 และ R8 เข้ารวมกันที่อินพุตของออปแอมป์กลายเป็น  $I_{in}$  ซึ่งมีค่า

$$I_{in} = I/2 + I/8 + I/16$$

ดังนั้น

$$V_{out} = (I/2 + I/8 + I/16) * R_f$$

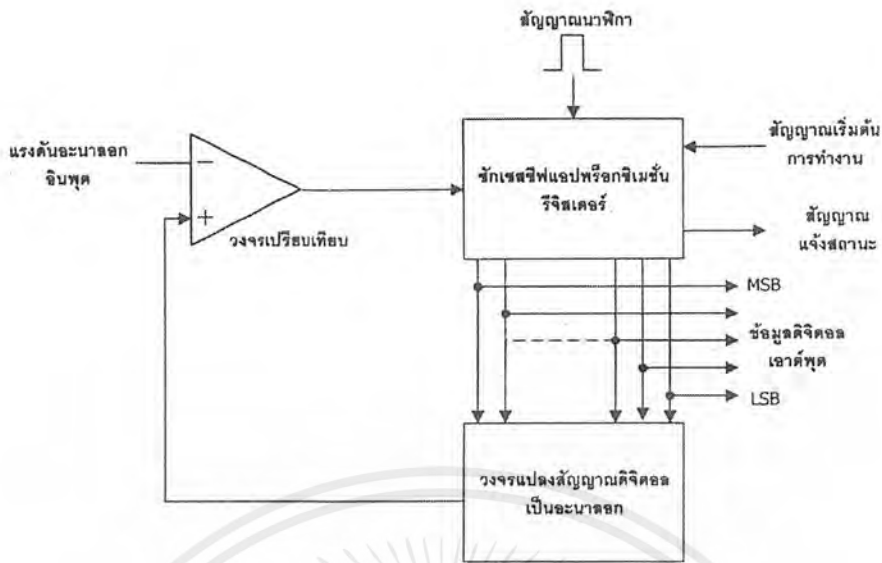
จะเห็นได้ว่า การใช้วงจร DAC แบบ R-2R จะมีข้อดีคือ หาตัวต้านทานได้ง่ายกว่าแบบกำหนดน้ำหนักตัวต้านทานคือ ใช้ตัวต้านทานเพียง 2 ค่า ในขณะที่แบบกำหนดตัวต้านทานต้องใช้ตัวต้านทานหลายค่า และต้องมีค่าที่ถูกต้องกันไปเรื่อย ๆ ซึ่งอาจทำให้หาตัวต้านทานได้ยากขึ้นตามลำดับ

## 2.11 ทรานซิมิเตอร์แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลแบบซัคเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชัน (Successive Approximation ADC)

การแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล (ADC) ที่ได้รับนิยมสูงและมีประสิทธิภาพดี คือการแปลงแบบซัคเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชันไอซี ADC ที่เลือกมาทำการทดลองนี้คือใช้วงจร ADC แบบเดียวกัน จึงต้องทำความเข้าใจพื้นฐานการทำงานของวงจร ADC แบบนี้ก่อน ถ้าจะแปลเป็นไทยอาจเรียกกระบวนการ ADC แบบซัคเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชันนี้ว่า เป็นการแปลงแบบประมาณค่าใกล้เคียง โค้ดแอมการดำเนินงานของกระบวนการ ADC แบบนี้แสดงในรูปที่ 2.23 ส่วนสำคัญหลักคือ วงจรเปรียบเทียบแรงดัน, วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอกหรือ DAC, สัญญาณนาฬิกา และส่วนควบคุมลอจิก

วงจร ADC แบบซัคเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชันนี้ จะใช้รีจิสเตอร์เลขฐานสองหรือไบนารีรีจิสเตอร์ในการส่งข้อมูลดิจิทัลของวงจร DAC ภายใน แต่ละบิตของรีจิสเตอร์จะเซตและรีเซต โดยการควบคุมจากวงจรควบคุม ต่อไปนี้จะอธิบายการทำงานของ ADC แบบนี้ไปที่ละขั้น ขอให้พิจารณาโค้ดแอมเวลาในรูปที่ 2.23 ประกอบด้วย

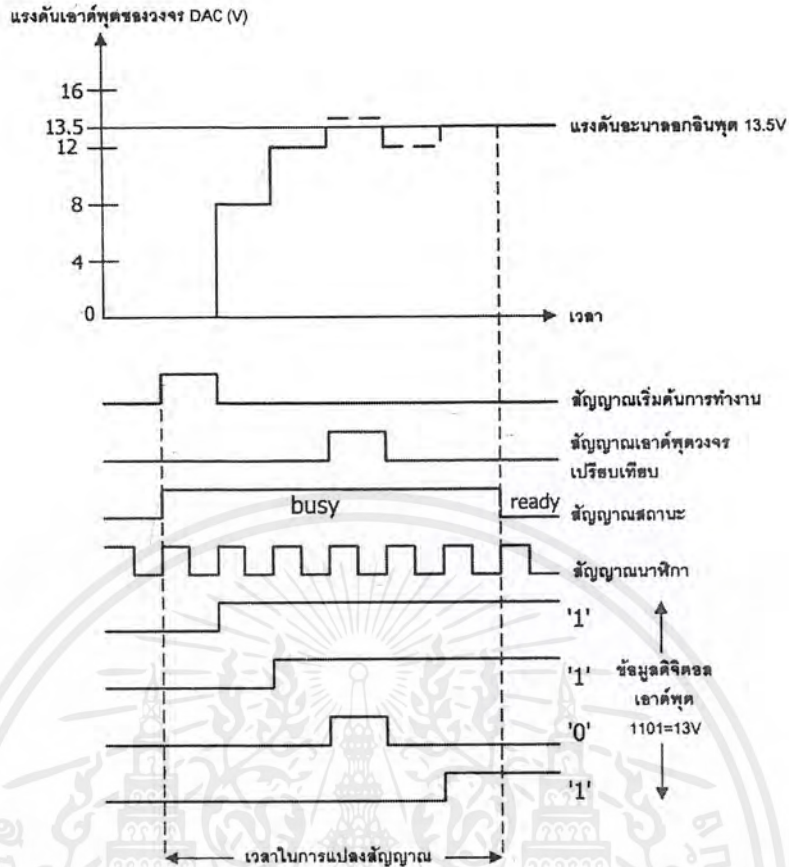
การกำหนดให้แรงดันอะนาลอกอินพุต ( $V_{in}$ ) มีค่า 13.5



รูปที่ 2.23 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจร ADC แบบซีกเซตซีฟแอปพร็อกซิเมชัน

1. ส่งสัญญาณเริ่มต้นการทำงาน (start converter) มายังซีกเซตซีฟแอปพร็อกซิเมชันรีจิสเตอร์ (Successive approximation register)
2. ขณะนี้สถานะของรีจิสเตอร์จะไม่ว่าง (busy) สัญญาณนาฬิกาถูกส่งเข้ามาเพื่อกำหนดให้ค่าของรีจิสเตอร์เท่ากับ 0000
3. เอาต์พุตของ DAC จะเป็น 0 V ส่งไปในวงจรเปรียบเทียบ เพื่อเปรียบเทียบกับ  $V_{in}$  ในขณะนี้จะได้เอาต์พุตเท่ากับ -5 V กำหนดเป็นลอจิก “0”
4. เมื่อสัญญาณนาฬิกาถูกส่งเข้ามา จะทำการเซตบิต MSB ของรีจิสเตอร์เป็น “1”
5. ในกรณีนี้ เป็น ADC ขนาด 4 บิต ดังนั้น การที่บิต MSB เซต จะทำให้วงจร DAC แปลงค่าเป็นแรงดัน 8 V นำไปเปรียบเทียบกับวงจรเปรียบเทียบแรงดัน แต่ก็ยังน้อยกว่า  $V_{in}$  ดังนั้น เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบยังคงเป็น “0” ทำให้รีจิสเตอร์ยังคงค่าบิต MSB ให้เป็น “1” ต่อไป
6. ต่อมาบิต B2 (ถัดจากบิต MSB 1 บิต เนื่องจากมี 4 บิต กำหนดบิต = MSB = B3) จะเซตซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 4 V นำไปรวมกับค่าของบิต MSB ที่มีอยู่ 8V เช่น 12 V นำไปเปรียบเทียบกับ  $V_{in}$  ก็ยังน้อยกว่ารีจิสเตอร์ จึงยังคงค่า B2 ไว้ที่ “1” เช่นกัน
7. ต่อมาบิต B1 จะเซตทำให้แรงดันเอาต์พุตมา DAC กลายเป็น  $8 + 4 + 2 = 14$  V ซึ่งมากกว่า  $V_{in}$  ทำให้วงจรเปรียบเทียบเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะเป็น “1” ซึ่งจะส่งสัญญาณมาควบคุมให้ B1 กลายเป็น “0”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 ไดอะแกรมเวลาแสดงการทำงานของวงจร ADC แบบซิกเซสซีฟแอปพริอักษิเมชัน

8. เมื่อบิต LSB ถูกเซต จะมีค่าแรงดัน 1 V เข้ามารวมกับค่าของ B3, B2 และ B1 เป็น  $8+4+0+1 = 13V$  นำไปเปรียบเทียบกับ  $V_{in}$  ปรากฏว่าน้อยกว่า  $V_{in}$  ทำให้ที่บิต BO หรือ LSB มีค่าเป็น “1”

9. ขณะนี้ ทุกบิตในรีจิสเตอร์ถูกนำมาแปลงค่าเรียบร้อยแล้ว ทำให้สถานะของรีจิสเตอร์กลับมาเป็น พร้อมทำงาน (ready)

10. ข้อมูลดิจิทัลที่ได้จากการ ADC แบบนี้ จะมีค่า 1101 หรือ 13V ซึ่งใกล้เคียงกับ  $V_{in}$  13.5 V มากที่สุด ถ้าหากรีจิสเตอร์มีจำนวนบิตมากกว่านี้ ความละเอียดของข้อมูลที่แปลงได้ จะมีความใกล้เคียงมากขึ้น ช่วงเวลาของการแปลงสัญญาณจะเริ่มสั้นขึ้นตั้งแต่สัญญาณนาฬิกาถูกแรกถูกส่งเข้าไปเตรียมระบบ ไปจนถึงเมื่อสถานะของรีจิสเตอร์กลับมาเป็น “พร้อมทำงาน” อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งจะต้องใช้จำนวนสัญญาณนาฬิกาเท่ากับ  $n+1$  พัลส์ โดย  $n$  เท่ากับจำนวนบิตของรีจิสเตอร์

ดังนั้น ถ้าหาก ADC แบบซิกเซสซีฟแอปพริอักษิเมชันขนาด 4 บิต ตามตัวอย่างที่อธิบายมานี้ ใช้สัญญาณนาฬิกาความถี่ 50 kHz เวลาที่ใช้ทั้งหมดในการแปลงสัญญาณจะคำนวณได้ดังนี้

#### 1. จำนวนคาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_{clk} = 50 \text{ kHz} = 50 \times 10^3$$

$$T = \frac{1}{50 \times 10^3} = 20 \text{ มิลลิวินาที}$$

2. จำนวนสัญญาณนาฬิกาทั้งหมดที่ใช้ในการแปลงเท่ากับ  $n+1$ ,  $n$  มีค่าเท่ากับ 4 เนื่องจาก มีจำนวน 4 บิต ดังนั้น จำนวนสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ทั้งหมดจึงเท่ากับ  $4+1 = 5$
  3. เวลาทั้งหมดที่ใช้เท่ากับ  $5 \times 20 = 100$  มิลลิวินาที
- จะเห็นว่าวงจร ADC แบบซิกเซสซีฟแอปพลิเคชันมีความเร็วในการทำงานสูงพอสมควร เหมาะอย่างยิ่งในการนำไปใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดกลางอย่าง MCS-51

### ความเที่ยงตรงของวงจร ADC

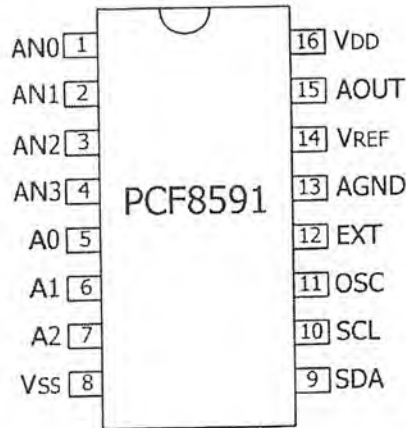
เป็นการเปรียบเทียบแรงดันอะนาล็อกของวงจร ADC กับแรงดันที่ควรเกิดขึ้นจริง ยกตัวอย่างที่ข้อมูลดิจิทัลสูงสุดของวงจร ADC ขนาด 8 บิต เมื่อเทียบเป็นแรงดันอะนาล็อกควรมีค่าเท่ากับ 5.0000 V แต่จากการคำนวณในตัวอย่างก่อนหน้านี้ได้ค่าแรงดัน 4.9804 V นั่นคือเกิดความผิดพลาดไป 0.0195 V หรือ 19.5 mV แต่การบอกค่าความเที่ยงตรงของวงจร ADC มักระบุเป็นจำนวนที่เทียบกับ VLSB ดังนั้น ในวงจร ADC ขนาด 8 บิต ที่ยกเป็นตัวอย่างนี้จึงมีค่าความเที่ยงตรง (หรือบางที่เรียกเป็นค่าความผิดพลาด) เป็น  $+\frac{1}{2} \text{ LSB}$

### ค่าเวลาในการแปลงสัญญาณ (Conversion time)

เป็นค่าของเวลาทั้งหมดที่วงจร ADC แบบวงจรนับแรมป์และแบบซิกเซสซีฟแอปพลิเคชันใช้ในการแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัลจนเสร็จสิ้นพารามิเตอร์ตัวนี้มักจะปรากฏในคุณสมบัติของไอซีที่ทำงานเป็นวงจร ADC เมื่อไอซีทำการแปลงสัญญาณเสร็จสิ้นลง จะส่งสัญญาณที่เรียกว่า EOC (End of conversion) ออกมา ค่าเวลาในการแปลงสัญญาณของวงจร ADC จะขึ้นอยู่กับจำนวนของวงจร, ค่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณและขนาดของสัญญาณอะนาล็อกอินพุต

### 2.12 ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF 8591

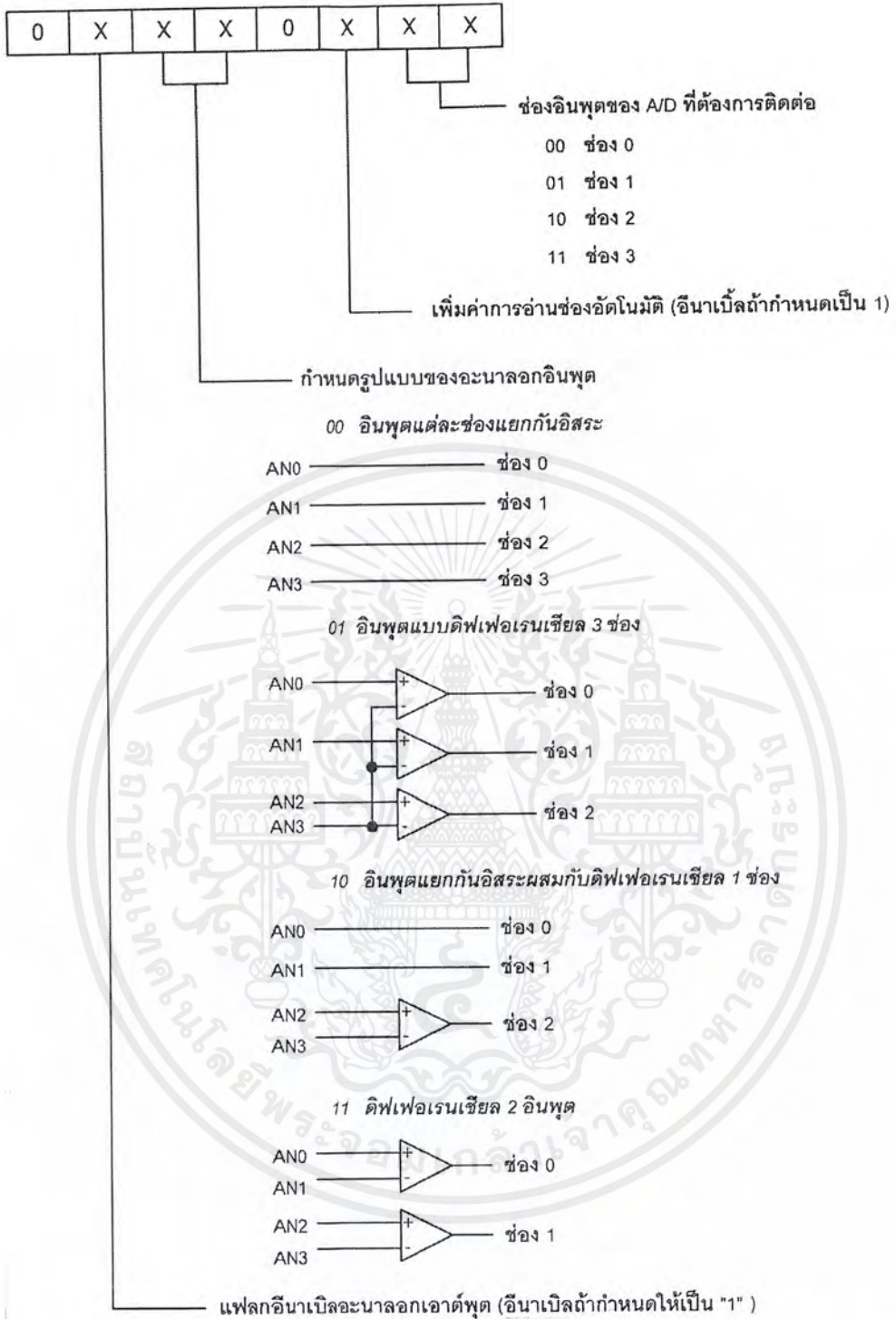
ในการทดลองนี้จะใช้ไอซี ADC ที่มีความสามารถสูงเบอร์ PCF8591 เนื่องจากในตัวมันมีวงจร ADC แบบซิกเซสซีฟแอปพลิเคชันขนาด 8 บิตสูงถึง 4 ช่อง ทั้งยังมีวงจร ADC อีก 1 ช่องด้วย



รูปที่ 2.25 การจัดขาของไอซี ADC/DAC ขนาด 8 บิตผ่านบัส I<sup>2</sup>C เบอร์ PCF8591 ระบบการเชื่อมต่อเป็นแบบบัส I<sup>2</sup>C ทำให้ใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น ทั้งยังสามารถต่อพ่วงกันได้ สูงสุด 8 ตัวทำให้ได้วงจร ADC รวมสูงถึง 32 ช่อง และวงจร DAC รวม 4 ช่อง ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง มีรายละเอียดคุณสมบัติทางเทคนิคดังนี้

- ทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟชุดเดียว
- ทำงานที่แรงดัน 2.5 V ถึง 6 V
- กินกระแสขณะอยู่ในสถานะสแตนด์บายต่ำ
- ติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านระบบบัส I<sup>2</sup>C
- สามารถเลือกตำแหน่งแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์จากขา AQ, A1, A2 ทำให้สามารถต่อพ่วงกันได้ สูงสุดถึง 8 ตัว
- อัตราการสุ่มข้อมูล (sampling) ขึ้นอยู่กับความเร็วของสัญญาณนาฬิกาบนบัส I<sup>2</sup>C
- วงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอล (ADC) สามารถรับสัญญาณอะนาล็อกได้ 4 ช่อง ทั้งยังเลือกได้ว่าจะทำงานแบบแยกช่องหรือทำงานเป็นวงจรดิฟเฟอเรนเชียล
- การอ่านค่าสามารถกำหนดให้เลื่อนช่องอินพุตโดยอัตโนมัติได้
- สัญญาณอะนาล็อกมีระดับแรงดันตั้งแต่ V<sub>SS</sub> ไปจนถึง V<sub>DD</sub>
- วงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอลเป็นแบบซิกเซสซีฟ แอปพลิเคชัน 8 บิต
- มีวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาล็อกขนาด 8 บิต 1 ช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 รายละเอียดข้อมูลควบคุมที่เขียนลงในรีจิสเตอร์ควบคุมภายในไอซี PCF8591  
 PCF8591 สามารถทำหน้าที่เป็นไอซีแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 8 บิต 4 ช่อง และทำหน้าที่เป็นไอซีแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอกได้ในคราวเดียวกัน ด้วยการควบคุมผ่านระบบบัส I<sup>2</sup>C ทำให้สามารถต่อพ่วงไอซี PCF8591 ได้สูงสุดถึง 8 ตัว รองรับการอ่านค่าสัญญาณอะนาลอกอินพุตได้สูงสุดถึง 32 ช่อง และสามารถส่งสัญญาณอะนาลอกเอาต์พุตสูงสุดได้

ถึง 8 ช่อง ด้วยการกำหนดแอดเดรสจากขา AO, A1 และ A2 การจัดขาของ PCF8591 แสดงในรูปที่ P19-3 ส่วนรายละเอียดตำแหน่งขาต่าง ๆ มีดังนี้

ขา ANO-AN3 (ขา 1-4) เป็นขาอินพุตสำหรับป้อนสัญญาณอะนาลอกที่ต้องการแปลงค่า

ขา AO-A2 (ขา 5-7) เป็นขาสำหรับกำหนดข้อมูลแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์ ปกติต่อลงกราวด์ แต่ถ้ามีการใช้งาน PCF8591 มากกว่า 1 ตัว ต้องกำหนดการต่อขา AO-A2 ของ PCF8591 ให้ไม่ตรงกัน จึงทำให้สามารถต่อใช้งานร่วมกันได้สูงสุด 8 ตัว

ขา VSS (ขา 8) เป็นขากราวด์

ขา SDA, SCL (ขา 9 และ 10) เป็นขาเชื่อมต่อระบบบัส I<sup>2</sup>C

ขา OSC (ขา 11) เป็นขาสำหรับต่อกับสัญญาณนาฬิกาภายนอกเมื่อขา EXT ต่อกับไป +5V และจะทำงานเป็นขาเอาต์พุตสัญญาณนาฬิกาถ้าขา EXT ต่อกับกราวด์

ขา EXT (ขา 12) เป็นขาสำหรับเลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ถ้าต่อไฟ +5V จะเป็นการเลือกใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก โดยต่อสัญญาณนาฬิกาเข้าที่ขา OSC ถ้าต่อขานี้ลงกราวด์ จะเป็นการเลือกใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายใน

ขา AGND (ขา 13) เป็นขากราวด์ของแรงดันอ้างอิง ปกติต่อลงกราวด์

ขา V<sub>REF</sub> (ขา 14) เป็นขาสำหรับป้อนแรงดัน ปกติต่อเข้าไฟเลี้ยง +5V

ขา AOUT (ขา 15) เป็นขาเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอก

ขา V<sub>DD</sub> (ขา 16) เป็นขาต่อไฟเลี้ยง จ่ายได้ตั้งแต่ +2 ถึง +6V ปกติใช้ +5V

รายละเอียดฟังก์ชันต่าง ๆ ของ PCF8591

#### ตำแหน่งแอดเดรส

ในระบบบัส I<sup>2</sup>C การติดต่อกับอุปกรณ์แต่ละตัวต้องระบุแอดเดรสของอุปกรณ์เหล่านั้นอย่างชัดเจนถ้าเป็นการอ้างถึงแบบ 7 บิต ข้อมูลกำหนดแอดเดรส 4 บิตบนจะเป็นค่าแอดเดรสเฉพาะของอุปกรณ์ตัวนั้น ๆ ที่กำหนดมาจากผู้ผลิต ผู้ใช้งานไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ สำหรับไอซี PCF8591 จะมีค่าเท่ากับ 1001 (ฐานสอง) ข้อมูล 3 บิตถัดมาจะเป็นค่าของแอดเดรสที่ผู้ใช้งานสามารถกำหนดได้ทางฮาร์ดแวร์เพื่อเลือกไอซี PCF8591 ที่ต้องการติดต่อกับในกรณีที่มีการต่อใช้งาน PCF8591 มากกว่า 1 ตัว ส่วนบิต LSB ใช้ในการกำหนดว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับไอซีตัวนั้น ๆ

#### ข้อมูลควบคุม

หลังจากส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสให้แก่ PCF8591 แล้ว ต้องส่งข้อมูลควบคุมตามไปด้วยเพื่อกำหนด

คุณสมบัติของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลและวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอกภายใน PCF8591 โดยมีรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละบิตดังในรูปที่ P19-4

บิต 6 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับการอินาเบิลขาอะนาล็อกเอาต์พุต เมื่อต้องการอินาเบิล ต้องกำหนดให้ขานี้เป็น “1”

บิต 4 และบิต 5 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับการกำหนดรูปแบบของสัญญาณอะนาล็อกอินพุตที่ป้อนให้แก่ PCF8591

บิต 2 ใช้สำหรับเลือกรูปแบบการอ่านข้อมูลจากขาอินพุตอะนาล็อกว่าจะเป็นการอ่านจากเพียงอินพุตเดียวหรืออ่านแบบเรียงลำดับทุกอินพุต ถ้าต้องการเลือกให้อ่านแบบเรียงลำดับต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น “1”

บิต 0 และบิต 1 ใช้สำหรับกำหนดช่องของดินพุตอะนาล็อกที่ต้องการอ่าน ถ้ากำหนดให้บิต 2 เป็น “1” หลังจากอ่านค่าของบิต “0” และบิต “1” แล้ว ในการอ่านค่าครั้งต่อไปจะเป็นการอ่านค่าอินพุตจากช่องที่ 1 ข้อมูลควบคุมทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ควบคุมภายใน PCF8591 เมื่อจ่ายไฟให้แก่ PCF8591 ครั้งแรก บิตต่าง ๆ ของข้อมูลภายในรีจิสเตอร์ควบคุมจะเป็น “0”

#### ออสซิลเลเตอร์

วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน PCF8591 จะสร้างสัญญาณนาฬิกาสำหรับการแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัล เมื่อต้องการใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน ขา EXT ต้องต่อลงกราวด์ ถ้าต้องการใช้ออสซิลเลเตอร์จากภายนอกขา EXT ต้องต่อเข้ากับไฟบวก และป้อนสัญญาณนาฬิกาเข้าที่ขา OSC ของ PCF8591 โดยความถี่ของสัญญาณนาฬิกาสูงสุดที่ป้อนให้กับออสซิลเลเตอร์เท่ากับ 1.25 MHz

## แบตเตอรี่

### 2.13 การทำงานของเซลล์ไฟฟ้า

เซลล์ไฟฟ้านั้นสร้างขึ้นได้โดยการนำแท่งตัวนำ หรือเรียกว่า แท่งอิเล็กโทรด (Electrode) 2 แท่งมาจุ่มลงไปในสารละลายที่เรียกว่า อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) แท่งอิเล็กโทรดแท่งหนึ่งจะเรียกว่า อานอด ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นโลหะส่วนอีกแท่งหนึ่งเรียกว่า คาโทด ซึ่งส่วนใหญ่จะทำมาจากออกไซด์ของโลหะ

ออกไซด์ของโลหะเกิดจากการรวมตัวกันระหว่างอะตอมของโลหะกับออกซิเจน ตัวอย่างที่เห็นกันบ่อยๆ ของออกไซด์ของโลหะก็คือ ออกไซด์ของเหล็กที่เรียกกันว่าสนิมเหล็ก ซึ่งเกิดจากการที่เหล็กไว้ในอากาศ ซึ่งโลหะส่วนมากแล้วจะรวมตัวกับออกซิเจน เมื่อนำออกไซด์ของโลหะมาใช้ในเซลล์จะเป็นการใช้ในทางสร้างสรรค์ ไม่เหมือนกับสนิมเหล็กซึ่งเป็นตัวทำลาย

ส่วนอิเล็กโทรไลต์ทำจากสารต่างๆ ได้หลายชนิด ซึ่งจะเลือกใช้ให้เหมาะกับอิเล็กโทรดแต่ละชนิดเท่านั้น โดยที่เซลล์ต่างชนิดกันจะใช้อิเล็กโทรดต่างกัน ทำให้ใช้อิเล็กโทรไลต์ต่างกันด้วย แต่อิเล็กโทรไลต์แบบใดก็ตามก็เป็นตัวนำไฟฟ้า ซึ่งจะให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านในทิศทางใดโดยเฉพาะเท่านั้น

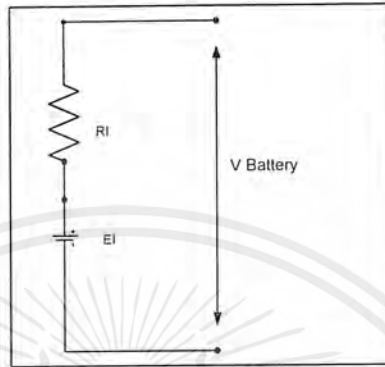
โลหะที่ใช้เป็นอานอดนั้น จะเลือกให้มีความสามารถในการรวมตัวกับออกซิเจนได้ดีกว่าโลหะที่ใช้เป็นคาโทด ถ้านำเอาอานอดและคาโทดมาวางไว้ด้วยกัน อานอดจะดึงเอาออกซิเจนออกจากออกไซด์ของโลหะซึ่งเป็นคาโทดและทิ้งแท่งคาโทดไว้เป็นโลหะ ในกรณีนี้เราเรียกว่าอานอดถูกออกซิไดซ์ (Oxidised) ส่วนคาโทดนั้นจะถูกรีดิวซ์ (Reduced)

อิเล็กโทรไลต์นั้นเป็นสารเคมีเฉพาะ ซึ่งยอมให้การเปลี่ยนของออกซิเจนระหว่างอานอดและคาโทดเกิดขึ้น โดยแท่งอานอดและคาโทดไม่จำเป็นต้องมาแตะกัน ในกรณีนี้สารอิเล็กโทรไลต์จะเป็นตัวนำอนุภาคของออกซิเจน (ซึ่งมีประจุลบ) ซึ่งเกิดขึ้นที่คาโทดเคลื่อนที่ข้ามไปสู่อานอด ดังนั้นคาโทดจึงถูกรีดิวซ์ ส่วนอานอดจะถูกออกซิไดซ์ เราจะเรียกว่าเกิดความต่างศักย์ขึ้น ซึ่งหมายถึงแรงดันไฟฟ้า

### 2.14 แรงดันความต้านทาน

ความต่างศักย์ภายนอกของเซลล์นั้นเรียกกันว่า เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive Force หรือย่อว่า EMF) ค่าที่แน่นอนนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุที่นำมาเป็นอานอดและคาโทด และชนิดของสารอิเล็กโทรไลต์ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและอายุของเซลล์ สำหรับเซลล์ใหม่แรงเคลื่อนไฟฟ้าจะสูงกว่าค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุด (Rated) อยู่เล็กน้อย และจะตกลงมาเป็นค่าต่ำเมื่อเซลล์เก่าและคายประจุหมด

การแปรเปลี่ยนไปของแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์แม้ว่าจะเป็นสิ่งสำคัญ แต่ก็ไม่ใช่จะจนนัก เนื่องจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์หลายชนิดไม่ต้องการแรงดันไฟฟ้าคงที่และสม่ำเสมอในการทำงาน อย่างไรก็ตามมีอีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญกว่า นั่นคือความต้านทานภายในของเซลล์ (Internal Resistance) ซึ่งเป็นความต้านทานเสมือน (Effective Resistance) ภายในตัวเซลล์เอง เกิดจากโครงสร้างและสารที่ใช้ทำ ค่าความต้านทานภายในนี้ไม่สามารถละทิ้งได้ แต่จะมีค่าน้อยมากซึ่งขึ้นอยู่กับเซลล์แต่ละชนิด



รูปที่ 2.27 แสดงวงจรสมมูลของแบตเตอรี่

วงจรเทียบเท่าของเซลล์ไฟฟ้าประกอบด้วยตัวกำเนิดแรงดันต่ออนุกรมอยู่กับตัวต้านทานภายใน ในขณะที่เรานำเอาเซลล์ไฟฟ้ามาต่อกับโหลดกระแสต่าง ๆ จะเห็นว่าค่าความต้านทานภายในไม่ค่อยจะมีผลต่อวงจรมากนัก ในกรณีตรงกันข้ามถ้าเรานำเอาเซลล์ไฟฟ้ามาต่อกับโหลดกระแสสูง ๆ ค่าความต้านทานภายในจะเริ่มกระทบอย่างมากกับวงจร ไม่เฉพาะแต่ความต้านทานภายในเซลล์จะไปลดค่ากระแสที่ไหลผ่านวงจรภายนอกซึ่งเซลล์จะจ่ายออกไป แต่ยังเป็นการสูญเสียพลังงานอีกด้วย ซึ่งจะสูญเสียไปเป็นความร้อน เนื่องจากความต้านทานภายในเซลล์จะอุ่นขึ้น ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความต้านทานภายในขึ้นอีก และจะมีผลให้ค่าแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานภายในเพิ่มขึ้น ทำให้ไปเพิ่มค่ากำลังงานและไปเพิ่มแรงดันที่ตกคร่อมขึ้นอีกจนเวียนกันเป็นวัฏจักรไปเรื่อย ๆ ซึ่งเป็นกรณีที่เลวร้ายทำให้วงจรภายนอกที่นำมาต่อมีกระแสไฟไม่พอเลี้ยงให้วงจรทำงานต่อไปได้ และถึงแม้ว่ากระแสจะพอเลี้ยงวงจรได้ พลังงานที่สูญเสียไปนี้จะไปลดอายุการใช้งานของเซลล์ลง

## 2.15 กำลังงานต่อชั่วโมง

คุณลักษณะสำคัญอันหนึ่งของเซลล์ไฟฟ้า ซึ่งเราจำเป็นต้องศึกษาก่อนที่จะรู้ถึงชนิดของเซลล์แบบต่าง ๆ นั้นก็คือ ค่าความจุของเซลล์ (Cell Capacity) ซึ่งคือปริมาณของกระแสไฟฟ้าซึ่งเซลล์หนึ่ง ๆ สามารถจ่ายกระแสออกไปได้ภายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ยกตัวอย่างเช่น เซลล์ไฟฟ้าเซลล์หนึ่งมีความจุ 1,000 มิลลิแอมป์-ชั่วโมง หมายความว่าเซลล์นี้สามารถจ่ายกระแสได้ 1,000 มิลลิแอมป์ เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง (โดยการไม่คิดถึงความต้านทานภายในเซลล์) เป็นต้น

แต่ถ้ากล่าวถึงค่าความจุกระแสของเซลล์ในรูปของมิลลิแอมป์-ชั่วโมงโดยลำพัง ไม่ได้หมายถึงถึงความจุทั้งหมดของเซลล์ บางครั้งเราจะคำนึงถึงค่าแรงดันของเซลล์เป็นส่วนหนึ่งของค่าความจุของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์ด้วย ซึ่งทำได้โดยการคูณค่าความจุกระแสของเซลล์ด้วยค่าแรงดันของเซลล์ซึ่งจากตัวอย่างแรงดันของเซลล์เท่ากับ 1.5 โวลต์ ดังนั้นมันจะมีความจุของพลังงานทั้งหมดอยู่ในหน่วยของมิลลิวัตต์-ชั่วโมง เช่น  $1000\text{mA} \times 1.5\text{V} = 1500\text{mWh}$

## 2.16 เซลล์แบบตะกั่ว-กรด (Lead Acid)

เซลล์แบบทุติยภูมิชนิดหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้กันมากก็คือ เซลล์แบบตะกั่ว-กรด ซึ่งใช้กันทั่วไปในรถยนต์ มันจะประกอบไปด้วยแผ่นอาโนดวางสลับกันจมอยู่ในอิเล็กโทรไลต์ที่ทำจากสารละลายกรดกำมะถัน แผ่นแคโทดจะวางสลับกันเพื่อจะได้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอิเล็กโทรไลต์ได้มาก ในขณะที่รักษาปริมาตรให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ การที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดและอิเล็กโทรไลต์มากเท่าไรปฏิกิริยาเคมีก็จะเกิดขึ้นมากเท่านั้น นอกจากนี้ค่าความต้านทานภายในเซลล์จะยังมีค่าน้อยลงด้วย ดังนั้นในการค้นคว้าจึงมุ่งทางด้านเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสวิธีที่นิยมใช้กันก็คือใช้แผ่นเพลทบาง ๆ คั่นด้วยฉนวนแบบมีรูพรุน อิเล็กโทรดที่เป็นอาโนดจะสร้างขึ้นมาจากตะกั่วบริสุทธิ์ ในขณะที่คาโทดจะสร้างจากส่วนผสมของตะกั่วและตะกั่วเปอร์ออกไซด์ ในขณะที่เซลล์คายประจุให้กระแสไฟฟ้าออกมาที่ขั้วของตะกั่วจากแผ่นอาโนดจะแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุบวกเข้าไปอยู่ในอิเล็กโทรไลต์ และทั้งอิเล็กตรอนให้ไหลเข้าสู่ขั้วจรรยาที่นำมาต่อภายนอก ที่คาโทด ตะกั่วเปอร์ออกไซด์จะแตกตัวเป็นไอออนของตะกั่วซึ่งมีประจุบวกสูง และเป็นไอออนที่มีประจุลบสูง ไอออนของตะกั่วที่มีประจุบวกสูงจะถึงเอาอิเล็กตรอนจากวงจรที่ต่ออยู่ภายนอกเพื่อรวมตัวกลายเป็นไอออนตะกั่วที่มีประจุบวก ซึ่งเป็นชนิดเดียวกับที่อาโนดทำให้เกิดกระแสไหลจากคาโทดผ่านไปยังวงจรภายนอก ไอออนของตะกั่วจากแผ่นอิเล็กโทรดทั้งสองจะทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถันซึ่งเป็นอิเล็กโทรไลต์ กลายเป็นตะกั่วซัลเฟต (Lead Sulphate) ซึ่งจะเห็นเป็นตะกอนสีขาวเกาะอยู่ที่อิเล็กโทรดทั้งสอง และก๊าซไฮโดรเจนซึ่งจะรวมกับไอออนของออกซิเจนจากคาโทดกลายเป็นน้ำ เราสามารถจะเขียนสูตรสำหรับปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นได้ดังนี้



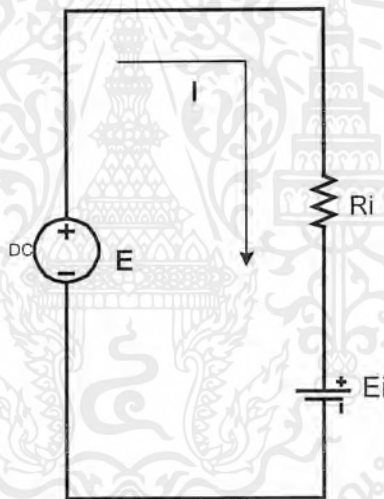
ซึ่งแสดงโดยลูกศร 2 ทิศทางว่าเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ดังนั้นจึงสามารถที่จะประจุเซลล์ใหม่โดยการต่อวงจรซึ่งจะขับอิเล็กตรอนให้ไหลจากคาโทดไปสู่อาโนด สูตรทางเคมีแสดงให้เห็นว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จะเจือจางลงโดยโมเลกุลของน้ำที่เกิดขึ้นซึ่งเป็นขณะเดียวกันกับที่เซลล์คายประจุ ทำให้เราสามารถใช้เป็นวิธีการหาสถานะการประจุและคายประจุของเซลล์ได้โดยการวัดความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งจะบอกว่าเซลล์ใกล้จะถึงสถานะคายประจุหมดหรือยัง เพื่อจะได้ประจุไฟกลับเข้าไปใหม่โดยค่าความถ่วงจำเพาะของเซลล์ที่ประจุมาเต็มที่จะมีค่าประมาณ 1.25 และค่าความถ่วงจำเพาะของเซลล์ที่คายประจุหมดจะมีค่าระบุไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 1.2 เราใช้ไฮโดรมิเตอร์ในการวัด แรงดันของเซลล์โดยปกติจะมีค่าเท่ากับ 2 โวลต์ เซลล์แบบตะกั่ว-กรดนี้มีโครงสร้างแบบที่กล่าวมาเป็นระยะเวลานานแล้ว การปรับปรุงที่เกิดขึ้นเร็ว ๆ นี้ ได้ทำการปรับปรุงให้เซลล์มีอายุการใช้งานนานขึ้น โดยที่แบตเตอรี่ที่มีการผนึกอย่างดีและมีอิเล็กโทรไลต์เป็นของแข็ง ได้ถูกผลิตขึ้นมาแล้ว ซึ่งไม่ต้องมีการบำรุงรักษาเลย จึงสามารถนำไปใช้ที่ใดก็ได้ นับว่ามีประโยชน์ในการใช้แทนหรือใช้อย่างปกติแทนเซลล์แบบปฐมภูมิในเครื่องมือวัดแบบกระเป๋ากัน

### 2.17 หลักการประจุแบตเตอรี่

เครื่องประจุแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ซึ่งจะให้ระดับแรงดันสูงกว่าระดับแรงดันของแบตเตอรี่ในขณะที่มีการเก็บประจุ ในการประจุแบตเตอรี่จะให้ขั้วบวกของเครื่องประจุต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ โดยกระแสที่ทำการประจุจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของกระแสที่แบตเตอรี่จ่ายออกมา ดังแสดงได้ดังรูป 2.8



รูปที่ 2.28 แสดงทิศทางกระแสของกระแสประจุแบตเตอรี่

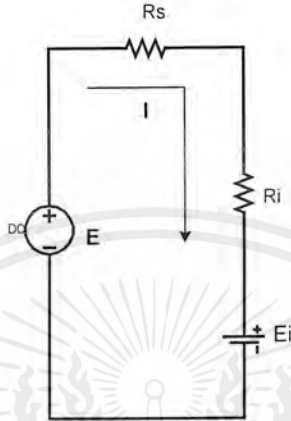
จากรูปที่ 2.28 จะได้สมการ

$$I = \frac{(E - E_i)}{R_i} \quad (2.2)$$

เมื่อแรงดันที่แบตเตอรี่ ( $E_i$ ) มีค่าเท่ากับแรงดันประจุ จะไม่มีกระแสไหลในวงจรถ้าแรงดันที่แบตเตอรี่ต่ำกว่าแรงดันประจุจะทำให้มีกระแสไหล เพื่อเข้าไปอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ แต่ได้แรงดันที่แบตเตอรี่สูงกว่าแรงดันประจุจะทำให้กระแสถูกประจุย้อนกลับจากแบตเตอรี่ ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ส่วนมากจะมีค่าน้อยซึ่งมีหน่วยเป็น โอห์ม โดยจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่มีการประจุแบตเตอรี่ โดยจะมีผลต่อปริมาณกระแสที่ประจุว่ามากหรือน้อย ถ้ากระแสในการประจุมีปริมาณมากกว่าที่แบตเตอรี่จะทนได้ อาจจะทำให้แบตเตอรี่ชำรุดได้ การจะลดปริมาณกระแสการประจุแบตเตอรี่ให้ต่ำลงทำได้โดยเอาความต้านทานต่ออนุกรมเข้าไป เพื่อจำกัดปริมาณของกระแสที่ไหลได้ตามต้องการ ซึ่งมีวงจรจะมีลักษณะดังรูป 2.29



รูปที่ 2.29 วงจรที่ต่อความต้านทานอนุกรมเพื่อกำจัดกระแสจากรูปเราจะหาค่าความต้านทานจำกัดกระแสได้จากสมการ

$$I = \frac{E - E_i}{R_s + R_i} \quad (2.3)$$

$$R_s = \frac{E - E_i}{I} - R_i \quad (2.4)$$

แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ อัตราการอัดประจุและอัตราการคายประจุจะขึ้นอยู่กับความจุของแบตเตอรี่ที่พิกัดของกระแสอัดประจุแบตเตอรี่จะบอกไว้เป็นชั่วโมง ฉะนั้นค่าของกระแสจะหาได้จากค่าความจุซึ่งมีหน่วยเป็นแอมป์-ชั่วโมง (Ah) หารด้วยจำนวนชั่วโมง ในทำนองเดียวกันถ้าเรารู้กระแส จำนวนชั่วโมงจะหาได้จากความจุ (Ah) หารด้วยกระแสจะได้จำนวนชั่วโมง แต่ทว่าค่าความสัมพันธ์ของกระแสและชั่วโมงในการคายประจุนี้จะไม่แปรผันตามกันตลอด เช่น แบตเตอรี่ 100 Ah คายประจุกระแส 5 แอมป์ ในเวลา 20 ชั่วโมง แต่ถ้าจ่าย 10 แอมป์ อาจจะจ่ายได้ในเวลาเพียง 7 ชั่วโมง หรืออาจจะจ่าย 20 แอมป์ ได้ในเวลาเพียง 3 ชั่วโมง เป็นต้น จะเห็นได้ว่าถ้าจ่ายกระแสในปริมาณมากค่าพิกัดแอมป์-ชั่วโมง (Ah) ของแบตเตอรี่ อาจมีค่าน้อยลงซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการคายประจุของแบตเตอรี่ (Rate of Discharge) ซึ่งราคาของแบตเตอรี่ ก็จะแตกต่างกันไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกสิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงว่าค่าของกระแสในการอัดประจุแบตเตอรี่ควรมีค่าเท่าใดนั้นคือค่ากำลังสูญเสียแบตเตอรี่ เมื่อค่ากระแสในการประจุมีค่าสูง จะทำให้มีค่าสูญเสียมากซึ่งจะมีผลทำให้เกิดความร้อนขึ้นในแบตเตอรี่ ถ้ามีค่าสูงมากจะทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานน้อยลงหรืออาจทำให้เสียหายเลยก็ได้ ฉะนั้นในการอัดประจุแบตเตอรี่ต้องพิจารณาข้อจำกัดดังกล่าวนี้ด้วย

## 2.18 ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องคำนึง ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่มีอยู่ 2 ชนิดคือ

### 2.18.1 ประสิทธิภาพแอมป์ฮาวร์ (Ampere-Hour Efficiency)

ประสิทธิภาพแอมป์ฮาวร์ ซึ่งค่านี้ทางบริษัทผู้ผลิตจะเป็นผู้กำหนดมาให้ โดยปกติมีค่าประมาณ 90 % หาได้จาก

$$\%A-H \text{ Eff} = \text{ประจุที่จ่ายออกมา} / \text{ประจุที่จ่ายเข้าไป} \quad 90\%$$

### 2.18.2 ประสิทธิภาพวัตต์ฮาวร์ (Watt – Hour Efficiency)

ประสิทธิภาพวัตต์ฮาวร์ เป็นค่าที่ผู้ใช้จะต้องคำนึงถึงเช่นกัน ซึ่งสามารถหาได้โดย

$$\% W - H \text{ Eff} = \% A - H \text{ Eff} * (V \text{ discharge} / V \text{ charge})$$

V charge สำหรับเซลล์ตะกั่ว-กรด เท่ากับ 2.15 Volt/cell ที่ 25 องศาเซลเซียส

V charge สำหรับเซลล์นิกเกิล-แคดเมียมเท่ากับ 1.35 – 1.45 Volt/cell

V discharge จะอยู่ที่ผู้ต้องการ ถ้ามีค่าต่ำมากจะทำให้ % Watt- Hour มีค่าต่ำ ฉะนั้นเราจึงจำเป็นต้องให้ระดับ V discharge มีค่าลงต่ำไม่มากนักเพื่อจะให้ค่าประสิทธิภาพสูง

## 2.19 ระดับโวลต์เตจที่กระทบกระเทือนต่ออายุของแบตเตอรี่

การปรับระดับโวลต์เตจในการชาร์จแบตเตอรี่ นับว่าเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก ถ้าหากการปรับระดับโวลต์เตจในการประจุไม่ถูกต้อง ในขณะที่มีการประจุปกติประจำทุกๆ วันแบตเตอรี่จะได้รับโวลต์เตจในการประจุโดยตรงจากแบตเตอรี่อยู่ตลอดเวลา จะทำให้แบตเตอรี่เกิดการเสียหายขึ้นสองลักษณะ คือ

### 2.19.1 Under Charge

คือการใช้โวลต์เตจในการชาร์จแบตเตอรี่ ในระดับ Float Charge ต่ำกว่า 2.15 โวลต์ต่อเซลล์ ถ้าหากใช้โวลต์เตจในการชาร์จระดับนี้ไปนานๆ จะทำให้เกิดซัลเฟตเกาะจับที่แผ่นเพลตทั้งบวกและลบ หากทิ้งไว้นานวันปริมาณซัลเฟตนี้จะเพิ่มมากขึ้น จนเป็นสาเหตุให้การทำปฏิกิริยาระหว่างแผ่นเพลตบวกและลบน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ ทั้งการชาร์จและดิสชาร์จเป็นไปด้วยความยากลำบาก ซึ่งส่งผลทำให้ Capacity ของแบตเตอรี่ลดลงตามลำดับ ถ้าหากทิ้งไว้นานวันจะส่งผล

กระทบกระเทือนต่ออายุของแบตเตอรี่ ดังนั้นหากตรวจพบว่าแบตเตอรี่ เกิด Under Charge ขึ้นจะต้องรีบแก้ไข การเกิด Under Charge ดังเหตุได้ดังนี้

1. มีการปรับระดับน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ที่น้อยครั้งที่สุด ในระยะเวลาอันยาวนานหรือไม่มีการเติมน้ำกลั่นเลยตลอดเวลาที่แบตเตอรี่ใช้งานอยู่
2. มีฟองอากาศผุดภายในเซลล์น้อยที่สุดหรือน้อยกว่าปกติ
3. สีของแผ่นเพลตแบตเตอรี่ที่แผ่นเพลตลบจะมีสีขาวเกาะจับ
4. ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ในเซลล์ต่ำกว่า 1.180
5. วัดโวลต์เตจตกคร่อมในแต่ละเซลล์ต่ำกว่า 2.15 โวลต์
6. ความร้อนในเซลล์แบตเตอรี่ต่ำกว่าปกติ

### 2.19.2 Over Charge

คือ การใช้โวลต์เตจในการประจุในระดับ Float Charge สูงกว่า 2.15 โวลต์ต่อเซลล์ ซึ่งเป็นระดับโวลต์เตจที่สูงกว่าปกติ ทำให้เกิดกระแสไหลในวงจรแบตเตอรี่สูงทำให้การทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำยาอิเล็กโทรไลต์กับเพลตเป็นไปอย่างรุนแรงและรวดเร็วกว่าปกติ ซึ่งทำให้แผ่นเพลตทั้งสองเกิดการสึกกร่อนอย่างรวดเร็วเช่นกัน

## 2.20 วิธีการประจุแบตเตอรี่

เราอาจแบ่งวิธีการประจุแบตเตอรี่ได้ดังนี้

### 2.20.1 การประจุแบตเตอรี่แบบกระแสคงที่ (Constant Current Charging)

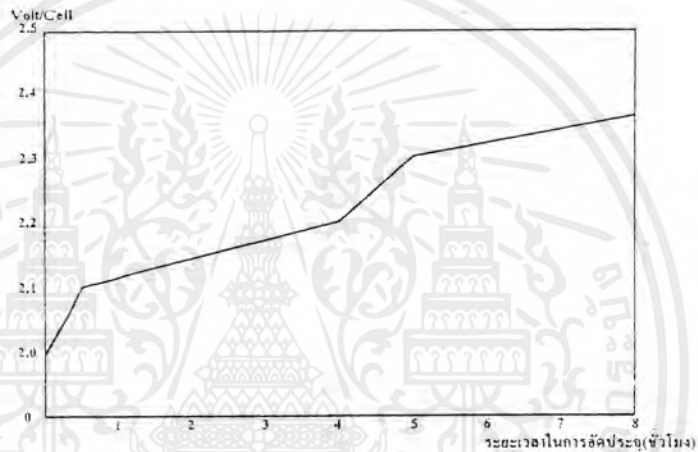
การประจุแบตเตอรี่แบบกระแสคงที่นับว่าเป็นการประจุที่มีประสิทธิภาพกว่าการประจุแบบแรงดันคงที่ และการประจุแบตเตอรี่แบบกระแสคงที่นี้จะใช้ระยะเวลาในการประจุนานกว่าแบบแรงดันคงที่ ทั้งนี้เพราะการประจุแบตเตอรี่แบบกระแสคงที่นี้ จะถูกจำกัดปริมาณการประจุของกระแสจากเครื่องประจุเข้าวงจรแบตเตอรี่เป็นจำนวนแอมแปร์ต่อชั่วโมง ดังนั้นแบตเตอรี่จะได้รับกระแสในการประจุเป็นไปตามที่กำหนด เมื่อเป็นเช่นนี้อาจเป็นที่สงสัยว่าทำไมไม่ตั้งให้กระแสในการประจุสูงขึ้น จะทำให้เวลาในการประจุน้อยลง แต่จะเกิดผลเสียร้ายขึ้นกับตัวแบตเตอรี่ คือ ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเซลล์แบตเตอรี่จะสูงขึ้นตามปริมาณของกระแสที่ทำการประจุและในที่สุดแผ่นเพลตของแบตเตอรี่ที่เป็นวัสดุแอคทีฟ (Active Material) ของเซลล์แบตเตอรี่จะเกิดการคดงอ แตก หรือเกิดรอยร้าวอันเนื่องมาจากความร้อนนี้ ถ้าเซลล์แบตเตอรี่เกิดความร้อนสูงกว่าปกติมากๆ หรือความร้อนในเซลล์สูงกว่ากำหนดจะทำให้เซลล์แบตเตอรี่เกิดระเบิดขึ้นได้ การประจุแบตเตอรี่แบบกระแสคงที่ มีข้อดีที่เกิดขึ้นกับแบตเตอรี่ คือ จะทำให้เซลล์ทุกเซลล์ในชุดของแบตเตอรี่ได้รับในการประจุกระแสในการประจุที่มีสัดส่วนเท่าๆ กันทุกเซลล์ตลอดชุดของแบตเตอรี่ ซึ่งในการประจูดัวยกระแสคงที่นี้ทำให้การคำนวณหาค่าความจุของแบตเตอรี่ง่ายและสะดวกเช่นถ้านำแบตเตอรี่ที่มีความจุขนาด 34 แอมป์ฮาวร์ หากเราจะใช้เวลาใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ Charge 5 ชั่วโมงเต็ม เราจะต้องใช้กระแสในการประจุเท่ากับ 6.8 แอมป์ต่อชั่วโมง ดังนั้นค่าความจุของแบตเตอรี่จะเท่ากับ 5-6--- 34 Ah ดังนั้นเราจะพอสรุปได้ว่าเหตุผลที่ทำให้การประจุแบบกระแสคงที่ใช้เวลานานหรือช้าด้วยเหตุผลดังนี้

1. ขึ้นอยู่กับค่าความจุหรือขนาดของแบตเตอรี่ที่นำมาทำการประจุ
2. ขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่ทำการประจุ
3. ขึ้นอยู่กับสภาพของแบตเตอรี่ก่อนที่จะนำมาประจุ

จากการประจุกระแสคงที่ เราไม่ได้กล่าวถึงแรงดันที่อัดประจุแบตเตอรี่เลย อย่างไรก็ตามในขณะที่เราทำการอัดประจุแบตเตอรี่อยู่นั้น ระดับแรงดันที่เซลล์ของแบตเตอรี่จะเริ่มจาก 2.00 Volt/cell จนถึง 2.3 Volt/cell ดังแสดงในรูปที่ 2.30

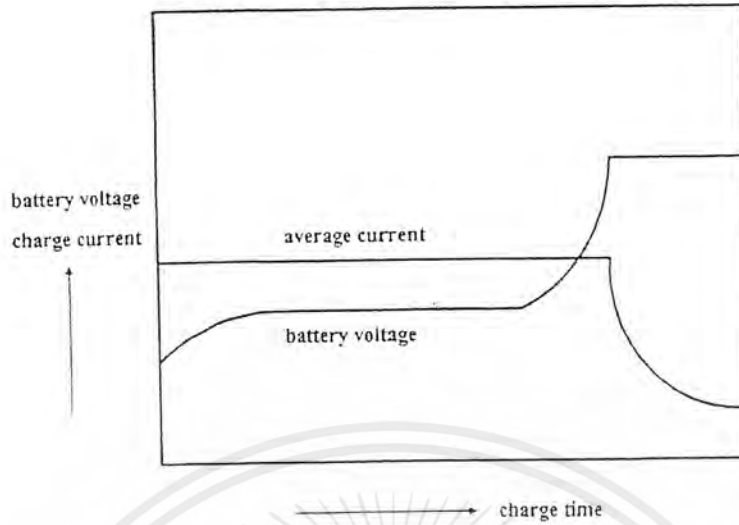


รูปที่ 2.30 รูปแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันในการอัดประจุแบบกระแสคงที่ การประจุจะทำอย่างรวดเร็วยังไม่ได้ เพราะจะต้องถูกจำกัดปริมาณของกระแสในการประจุที่คงตัวตามข้อมูลของแบตเตอรี่ชนิดนั้นกำหนดมา และอีกประการหนึ่งจะต้องคำนึงถึงความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ของแบตเตอรี่ ตลอดจนค่าความจุแบตเตอรี่

### 2.20.2 การประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันคงที่ (Constant Voltage Charge)

จากที่ได้เราได้ทราบมาแล้วว่า การประจุแบบกระแสคงที่ เราจะทำการประจุอย่างรวดเร็วไม่ได้ ต่อไปนี้เราจะได้ศึกษาถึงการประจุแบบแรงดันคงที่ในการประจุแบบนี้จะใช้ระยะเวลาในการประจุน้อยกว่าการประจุในแบบแรก หรือทำการประจุได้รวดเร็วกว่านั่นเอง ระยะเวลาในการประจุจะเร็วเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องประจุว่าจ่ายกระแสออกมาถึงวงจรแบตเตอรี่ได้มากน้อยเพียงไร โดยทั่วไปเครื่องประจุจะต้องจ่ายกระแสออกมาได้ 50 % ของค่าความจุของแบตเตอรี่ที่จะนำมาทำการประจุ เช่น แบตเตอรี่ขนาด 100 แอมป์ต่อชั่วโมง จะใช้เวลาในการประจุเท่ากับ 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 การประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันคงที่

การประจุแบตเตอรี่เกิดจากเมื่อแบตเตอรี่ถูกนำเอาพลังงานออกไปใช้งานจะต้องมีการประจุไฟให้แบตเตอรี่มีประจุเต็มดั้งเดิม การประจุแบตเตอรี่โดยระบบโวลต์ที่คงที่ทำได้โดยการใช้เครื่องประจุหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นตัวกำเนิดไฟฟ้าโวลต์ที่คงที่ขึ้นมา แล้วป้อนเข้าแบตเตอรี่ แต่การกำเนิดโวลต์ที่คงที่จากเครื่องประจุหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น อาจจะมีโวลต์ที่คงที่ไม่คงที่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีความควบคุมโวลต์ที่คงที่จะนำเข้าไปประจุแบตเตอรี่ ให้คงที่ตลอดเวลาของการประจุซึ่งตัวนี้เราเรียกกันทั่ว ๆ ไปว่า วงจรโวลต์ที่คงที่เรกกูเลเตอร์ (Voltage Regulator) ดังนั้น วงจรเรกกูเลเตอร์นี้จะทำหน้าที่ให้แบตเตอรี่ได้รับการประจุที่คงที่ และนับว่าเป็นวงจรที่สำคัญยิ่งสำหรับการประจุแบบแรงดันคงที่ และในทำนองเดียวกันถ้าหากวงจรเรกกูเลเตอร์นี้เสียจะทำให้แบตเตอรี่ได้รับระดับโวลต์ที่คงที่ในการประจุที่ไม่ถูกต้อง ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่ได้รับแรงดันในการประจุมากหรือน้อยเกินไป ซึ่งระดับแรงดันทั้งสองที่กล่าวมานี้จะทำให้แบตเตอรี่เกิดการเสียหายซึ่งได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อของระดับแรงดันในการประจุโดยทั่วๆ ไปนั้น การตั้งวงจรเรกกูเลเตอร์จะมีค่าแรงดันเท่าไรนั้นให้ดูคู่มือของแบตเตอรี่นั้นๆ เป็นหลัก ในกรณีที่ไม่มีหนังสือคู่มือให้ใช้หนักการดังนี้ ให้ใช้จำนวนแรงดันในการประจุต่อเซลล์คูณด้วยจำนวนเซลล์ของแบตเตอรี่ที่จะทำการประจุ เช่น แบตเตอรี่ 24 เซลล์จะปรับแต่งแรงดันของเครื่องประจุเท่ากับ 2.15 คูณด้วย 24 เท่ากับ 51.6 โวลต์ ขณะที่ทำการประจุปกติ

### 2.20.3 การประจุแบตเตอรี่โดยวิธีการเปลี่ยนระดับกระแส (Tapered Current Charging)

เป็นวิธีการอัดประจุแบตเตอรี่ที่ง่ายไม่ซับซ้อน และราคาถูก วงจรการอัดประจุประกอบด้วย หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง วงจรเรียงกระแส และค่าความต้านทานที่เหมาะสมสำหรับจำกัดกระแสแต่วิธีนี้ ไม่เหมาะสมในการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว - กรดปิดผนึก เนื่องจากกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ใช้อัดประจุจะกระเพื่อมตามแรงดันไลน์ ซึ่งทำให้แรงดันแบตเตอรี่เปลี่ยนแปลงไปด้วย แต่สามารถลดอันนี้โดยการใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่มีแรงดันด้านทุติยภูมิสูงกว่าแรงดันแบตเตอรี่ และเลือกค่าความต้านทานที่เหมาะสมในการจำกัดกระแส การประจุนี้นี้สามารถใช้แทนการประจุแบบกระแสคงที่ได้ไม่เฉพาะอัดประจุแบตเตอรี่หลาย ๆ ลูก ในครั้งเดียวเท่านั้น ยังสามารถใช้ในระบบการประจุแบบทริกเกิล (Trickle Charge) ได้อีกด้วย

#### 2.20.4 การประจุแบตเตอรี่โดยวิธีร่วม (Combination Charging or Two – Step)

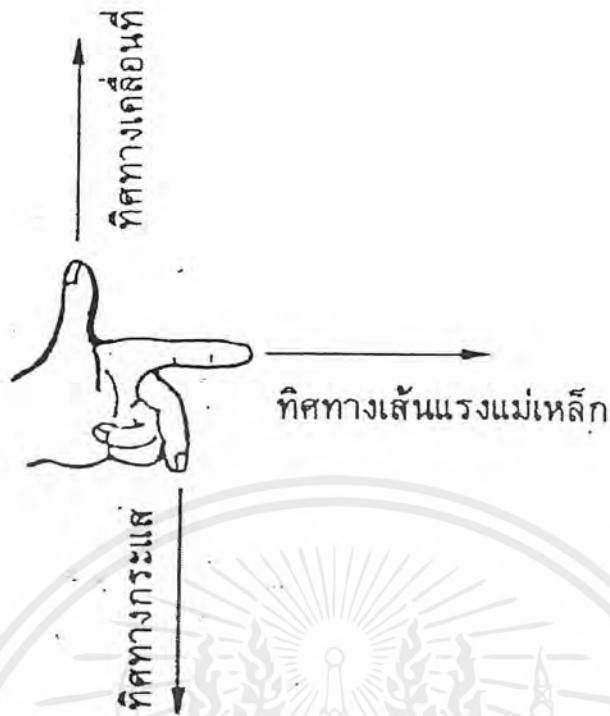
วิธีนี้บางที่เรียกว่า “two - step” หรือ “two - rate” เกิดจากการรวม 2 วิธี คือ การประจุแบบกระแสคงที่กับการประจุแบบแรงดันคงที่เข้าด้วยกัน โดยขั้นแรกจะใช้วิธีการอัดประจุเร็ว และขั้นที่สองจะอัดประจุด้วยกระแสค่าต่ำ ๆ การสวิตซ์จากขั้นแรก ไปยังขั้นที่สอง อาจทำได้หลายวิธี เช่น ตรวจสอบแรงดันที่แบตเตอรี่ หรือควบคุมเวลาในการอัดประจุ หรือตรวจสอบกระแสในการอัดประจุ เป็นต้น

### มอเตอร์กระแสตรง

#### 4.1 หลักการของมอเตอร์กระแสตรง

มอเตอร์ คือ อุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล และมอเตอร์ซึ่งขับเคลื่อนตัวด้วยกระแสไฟฟ้าตรงนี้ เรียกว่ามอเตอร์กระแสตรง (DC MOTOR) และขับเคลื่อนด้วยกระแสไฟสลับเรียกว่ามอเตอร์กระแสสลับ (AC MOTOR) นอกจากนั้นยังมีมอเตอร์ขนาดเล็กซึ่งอาจขับเคลื่อนได้ทั้งกระแสไฟดีซีหรือเอซี ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ดีซี จะตรงข้ามกับกรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีซีโดยสิ้นเชิง แต่สำหรับโครงสร้างแล้วจะเหมือนกันทุกประการ จึงสามารถนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีซีมาใช้ทำหน้าที่ของมอเตอร์ดีซีได้

เมื่อป้อนกระแสให้กับมอเตอร์ดีซี ทิศทางการหมุนของมอเตอร์จะเป็นไปตามกฎมือซ้าย ดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 ทิศการหมุนของมอเตอร์

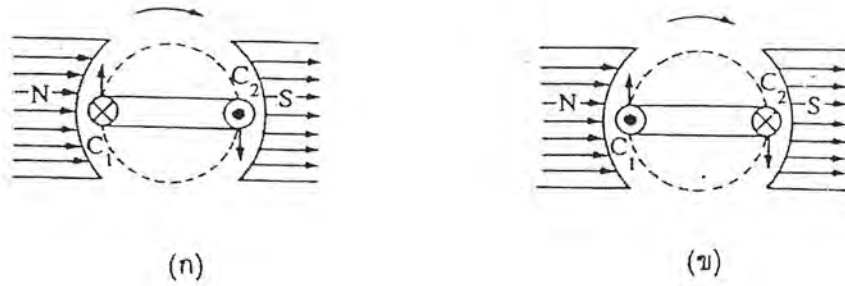
เมื่อเปรียบเทียบมอเตอร์กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะเห็นว่าลวดตัวนำของขดลวด ซึ่งหมุนเคลื่อนไปในทิศทางเดียวกันและอยู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็กเดียวกัน จะมีทิศทางการไหลของกระแสที่กลับกัน ตัวอย่างเช่น เมื่อต่อโหลดที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีกระแสไหลผ่านลวดตัวนำของขดลวดกระแสที่เกิดขึ้นพร้อมกับเส้นแรงแม่เหล็กที่มีอยู่จะทำให้เกิดแรงกระทำบนลวดตัวนำแต่ละเส้นของลวดในทิศทางที่ต้านกับทิศทางที่ขดลวดกำลังหมุนอยู่ เมื่อกระแสไหลหรือกระแสผ่านลวดตัวนำมีค่ามากขึ้น แรงต้านนี้จะมากขึ้นด้วย ดังนั้น ขณะที่ตัวขั้วเคลื่อนกำลังหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอยู่นั้น ต้องสูญเสียแรงขับเคลื่อนไปส่วนหนึ่ง ซึ่งถูกนำไปใช้หักล้างกับแรงต้านดังกล่าว เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถทำหน้าที่เป็นมอเตอร์ได้ ดังนั้นไม่ว่าจะเป็น โครงสร้างและชื่อเรียกของแต่ละชิ้นส่วน ตลอดจนวิธีการพันขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีซีสามารถนำมาใช้ได้กับกรณีของมอเตอร์

## 2.22 ทฤษฎีของมอเตอร์ดีซี

### - แรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ

เมื่อมอเตอร์ดีซีหมุน ลวดตัวนำแต่ละเส้นซึ่งมีกระแสไหลผ่านจะตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กใหญ่ ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นมาจำนวนหนึ่งในทิศทางที่สวนกับทิศทางของกระแสที่ป้อนให้กับมอเตอร์ ลองพิจารณาทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่กลับดังรูปที่ 3.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก) ทิศทางแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับของอาร์มาเจอร์ (ข) ทิศทางกระแสของอาร์มาเจอร์

รูปที่ 2.33 ทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ

สมมุติให้เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กใหญ่และการหมุนของขดลวดมีทิศทางดังแสดงในรูปที่ 2.33 (ก) ขณะนี้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นในลวดตัวนำ  $C_1$  และ  $C_2$  จะมีทิศพุ่งเข้า (X) และพุ่งออก (.) ตามลำดับ แต่การที่ลวดตัวนำจะยังคงหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกาได้นั้น จากกฎมือซ้าย กระแสที่ไหลในเส้นลวดตัวนำ  $C_1$  และ  $C_2$  จะต้องมีทิศทางดังแสดงในรูปที่ 2.33 (ข) เท่านั้น นั่นคือมีทิศทางของกระแสที่ตรงข้ามกับแรงเคลื่อนไฟฟ้ารูปที่ 2.32 (ก) แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นในรูปที่ 2.33 (ก) สำหรับกรณีมอเตอร์เท่านั้นที่เรียกว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ เนื่องจากแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับเกิดจากการที่ลวดตัวนำหมุนตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กใหญ่ ในทำนองเดียวกันกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีซี

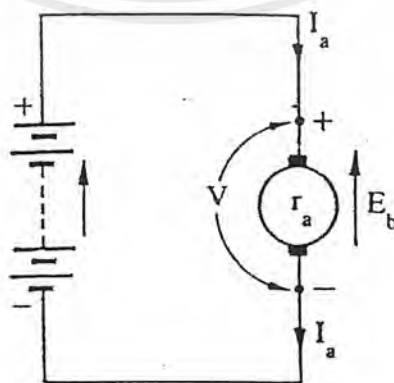
**ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับและกระแส**

เมื่อกำหนดให้  $V$  คือ แรงดันจากแหล่งจ่ายไฟดีซีระหว่างคู่แปรงถ่าน

$E_b$  คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ

$R_a$  คือ ความต้านทานภายในทั้งหมดในวงจรของอาร์มาเจอร์

$I_a$  คือ กระแสอาร์มาเจอร์



รูปที่ 2.34 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับในวงจรรีมาเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.34 จะได้ว่า

$$I_a = \frac{V - E_b}{r_a} \quad (2.4)$$

หรือ  $V = E_b + I_a r_a$

$$E_b = V - I_a r_a \quad (2.5)$$

กรณีที่มอเตอร์ทำงานที่โหลดเต็มที่แรงดันตกคร่อม  $I_a r_a$  จะมีค่าประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของ  $V$  ขณะที่มอเตอร์หยุดหมุน เนื่องจาก  $E_b = 0$  จะได้

$$I_s = \frac{V}{r_a} \quad (2.6)$$

โดยที่  $I_s$  คือ กระแสตอนเริ่มเดินเครื่องมีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

จากสมการที่ (4.2) และ (4.4) สามารถอธิบายได้ว่า ขณะที่มอเตอร์ยังไม่เริ่มหมุนเมื่อป้อนไฟดีซีจะมีกระแส  $I_s = V/r_a$  จำนวนมากไหลในขดอาร์มาเจอร์ มอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วรอบสูงในทันทีที่ทำให้  $E_b$  มีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว กระแสในอาร์มาเจอร์จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ จนมีค่าคงที่ในที่สุด

### 2.23 ทอร์ก

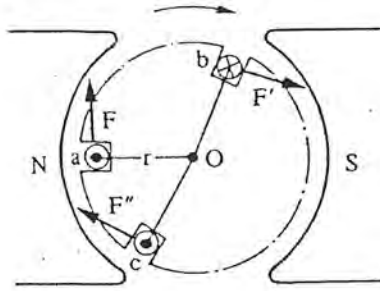
รูปที่ 2.34 แสดงแรงที่กระทำบนลวดตัวนำ (a) ซึ่งห่างจากจุดศูนย์กลาง (0) เป็นระยะทาง  $r$  (หน่วยเป็นเมตร) ในทิศทางสัมผัสกับเส้นรอบวงของแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ที่ตำแหน่งนี้กำหนดให้ มีค่าเป็น  $F$  นิวตัน ดังนั้นแรงที่กระทำบนลวดตัวนำนี้จะมีโมเมนต์เท่ากับ  $F \times r$  ซึ่งจะพยายามขับเคลื่อนแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ให้หมุนเคลื่อนที่ไป แต่เนื่องจากในแกนเหล็กอาร์มาเจอร์มีสลักคอดเป็นจำนวนมาก และแต่ละสลักคอดก็มีลวดตัวนำจำนวนมากเช่นกัน ดังนั้นแรงที่กระทำบนลวดตัวนำทั้งหมด จะมีโมเมนต์ซึ่งพยายามขับเคลื่อนแกนเหล็กให้หมุนไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อรวมโมเมนต์ย่อยทั้งหมดนี้เข้าด้วยกัน จะได้ผลรวมของโมเมนต์ดังนี้

$$T_a = (F_r + F'r + F''r + \dots) \quad (2.7)$$

โดยที่  $T$  คือ ทอร์กที่เกิดขึ้นมีหน่วยเป็น  $m-N$

ดังนั้นทอร์ก คือ ผลรวมของโมเมนต์ของแรงที่กระทำต่อลวดตัวนำรอบจุดศูนย์กลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.35 โมเมนต์ซึ่งลวดตัวนำอาร์มาเจอร์กระทำรอบจุดศูนย์กลาง

นั่นคือ ทอร์กของมอเตอร์ดีซีจะแปรผันโดยตรงกับผลคูณระหว่างจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กกับกระแสอาร์มาเจอร์ ไม่เพียงแต่มอเตอร์ดีซีเท่านั้น ความสัมพันธ์นี้ยังสามารถใช้กับมอเตอร์เอซีด้วย

#### สมการความเร็วรอบ

จาก  $E_b = V - I_a r_a$

และ  $E_b = K\phi n$

จะได้  $n = E_b / K\phi = (V - I_a r_a) / K\phi$

$$n = V / K\phi \quad (\text{rpm}) \quad (4.6)$$

$I_a r_a$  ในสมการนี้ประมาณว่ามีค่าน้อยมาก ซึ่งควรใช้เฉพาะกรณีที่มี  $I_a$  หรือกระแสโหลดไม่มากนักเท่านั้น จะเห็นว่าความเร็วรอบแปรผันโดยตรงกับแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ และแปรผกผันกับจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก

#### ความสามารถในการปรับกระแสได้เองตามขนาดของโหลด

เมื่อป้อนแรงดัน  $V$  คงที่ให้กับมอเตอร์แบบซิงรี และให้ทำงานที่โหลดต่างๆ มอเตอร์จะหมุนที่ความเร็วรอบ ( $n$ ) ค่าหนึ่งและจะดึงกระแสจากแหล่งจ่ายไฟดีซีด้วย ค่า  $I_a$  ค่าหนึ่ง เนื่องจากกำลังงานที่ด้านเอาต์พุตของมอเตอร์ในขณะนี้มีน้อย  $V I_a$  จึงมีค่าน้อยด้วย นั่นคือกระแส  $I_a$  ที่แหล่งจ่ายไฟดีซีจ่ายออกจะต้องมีค่าต่ำด้วย เมื่อให้มอเตอร์ทำงานที่โหลดมาก ๆ  $V I_a$  จะต้องมีค่ามากขึ้น สำหรับกรณีที่แรงดันของแหล่งจ่ายมีค่า  $I_a$  จำเป็นต้องมีค่ามากขึ้นด้วย นั่นคือเมื่อโหลดน้อยมอเตอร์จะดึงกระแสจากแหล่งจ่ายไฟดีซีน้อย และเมื่อโหลดมากจะดึงกระแสมากขึ้นโดยอัตโนมัติ ความสามารถในการเร่งหรือหน่วงความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ความสามารถในการเร่งหรือหน่วงความเร็วรอบ

ลองพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างโหลดทอร์ค ซึ่งเป็นทอร์คที่โหลดต้องการกับมอเตอร์ทอร์คซึ่งเป็นทอร์คที่มอเตอร์จ่ายให้กับโหลด เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นจะยกตัวอย่างมอเตอร์ดีซีแบบชนิดในการอธิบาย การหมุนของมอเตอร์ในขณะที่มีโหลดทางกลนั้น จะเท่ากับการใส่แรงเบรกกระทำต่อแกนของอาร์มาเจอร์ เมื่อโหลดทอร์คสูงขึ้น ก็เท่ากับแรงเบรกที่กระทำต่อแกนอาร์มาเจอร์มีค่ามากขึ้น นั่นคือขณะที่มอเตอร์กำลังหมุนภายใต้โหลดค่าหนึ่งด้วยเสถียรภาพที่ดี ถ้าให้โหลดทอร์คมีค่าสูงขึ้น หรือแรงเบรกที่กระทำมีค่ามากขึ้น จะทำให้เกิดความหน่วงขึ้น ความเร็วรอบ  $n$  จะมีค่าลดลง สำหรับกรณีของมอเตอร์แบบชนิดตรงไปใดที่แรงดันระหว่างขั้วที่ค่าคงที่อาจถือได้ว่า  $\emptyset$  มีค่าไม่เปลี่ยนแปลง (แต่ในทางปฏิบัติเนื่องจากอาร์มาเจอร์รีแอกชันทำให้  $\emptyset$  มีค่าเปลี่ยนแปลงไปบ้าง) ดังนั้น ถ้าความเร็วรอบน้อยลงแรงเคลื่อนไฟฟ้า ( $E_b$ ) จะมีค่าต่ำลง แต่เนื่องจาก  $I_a = (V - E_b)/r_a$  และทอร์ค ( $T$ ) =  $K' \emptyset I_a$  มอเตอร์ทอร์คจะมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้น ความเร็วรอบจะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งทำให้ทอร์ค  $T$  เท่ากับโหลดทอร์คพอดี จากนั้นมอเตอร์จะเริ่มทำงานที่ตำแหน่งใหม่นี้ ในทางตรงข้ามถ้าโหลดทอร์คมีค่าน้อยกว่ามอเตอร์ทอร์ค แรงที่หมุนแกนอาร์มาเจอร์จะมากกว่าแรงเบรก ทำให้เกิดความเร่งขึ้นและความเร็วรอบจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับจะมีค่ามากขึ้น กระแส  $I_a$  จะมีค่าน้อยลง ทอร์ค จะมีค่าลดลงความเร่งจะน้อยลงจนเป็น 0 เมื่อทอร์คจากมอเตอร์มีค่าเท่ากับโหลดทอร์คพอดี จากนั้นมอเตอร์จะเริ่มทำงานที่ตำแหน่งใหม่นี้ ในการเริ่มเดินมอเตอร์จากสภาพที่หยุดนิ่ง จนกระทั่งหมุนนั้น แรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ ( $E_b$ ) จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จาก 0 ในช่วงแรกสุดนั้นเนื่องจากมีกระแสสูงมาก ทอร์คจากมอเตอร์จะมีค่าสูงกว่าโหลดทอร์คมาก จึงทำให้เกิดความเร่งสูงมาก ความเร็วรอบจะสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งโหลดทอร์คเท่ากับมอเตอร์และความเร็วรอบจะคงที่ โหลดทอร์คจะเปลี่ยนแปลงตามความเร็วรอบหรือมีค่าคงที่เมื่อความเร็วรอบเปลี่ยนไปหรือไม่นั้นย่อมขึ้น อยู่กับคุณสมบัติของโหลด ตัวอย่างเช่น พัดลมก็ยังหมุนที่ความเร็วสูงขึ้น โหลดทอร์คหรือทอร์คที่โหลดต้องการจะยิ่งมีค่ามากขึ้น ในขณะที่เครื่องกลึงไม่ว่าความเร็วรอบจะเปลี่ยนไปอย่างไร อย่งไรก็ตาม โหลดจะต้องการทอร์คเกือบคงที่โดยตลอด

### 2.24 การควบคุมความเร็วรอบ

ความเร็วรอบของมอเตอร์ดีซีสามารถเขียนแสดงได้ดังสมการที่ (2.8)

$$E/K \emptyset = (V - I_a r_a) - K \emptyset \quad (2.8)$$

ดังนั้นในการปรับความเร็วรอบมอเตอร์ จึงสามารถทำได้โดยการปรับ  $V$ ,  $I_a r_a$  หรือ  $\emptyset$

อย่างใดอย่างหนึ่ง การปรับความเร็วรอบจึงสามารถแบ่งคร่าวๆ ออกได้ 3 ชนิด คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การปรับวงจรสนาม เป็นวิธีปรับความเร็วรอบโดยการปรับกระแสสนามหรือสนามแม่เหล็ก  $\phi$
2. การปรับความต้านทาน เป็นวิธีปรับความเร็วรอบโดยการปรับค่า  $R$  ซึ่งต่ออนุกรมอยู่กับอาร์มาเจอร์ เพื่อเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันตกคร่อม  $IaR$
3. การปรับแรงดันเป็นวิธีปรับความเร็วรอบ โดยการปรับแรงดันแหล่งจ่าย  $V$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### การออกแบบและการสร้าง

##### 3.1 การผลิตสัญญาณความถี่ DTMF (DUAL TONE MULTIPLE FREQUENCY)

ในการสร้างสัญญาณ DTMF นั้นได้ใช้ ไอซี MC 145412 ซึ่งเป็น วงจรรวม CMOS ร่วมกับ อุปกรณ์ภายนอกเพียงไม่กี่ตัวที่สำคัญคือ คริสตัล 3.579545 MHz เป็นความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ไอซี ต้องการใช้ในการผลิตความถี่ ซึ่งจะแปลงสัญญาณคีย์บอร์ด ที่เป็นอินพุท และให้เอาต์พุทออกมาเป็น สัญญาณ DTMF ซึ่งการต่อวงจรการผลิตสัญญาณความถี่ DTMF โดยใช้ไอซี 145412 เป็นดังรูปที่ 3.1 จากรูปวงจรมหา MS ต่อกับ VSS เพื่อเลือกโหมดสัญญาณอินพุทเป็น โหมด DTMF Dialing ขา OH ก็จะต่อเข้ากับ VSS เช่นกันเพื่อไม่ให้โหมดสวิตช์ ส่วนที่ขา DTMF Out จะมีตัวต้านทานพูล อ็อฟ 1K โอห์มต่ออยู่

ตารางที่ 3.1 ตารางการกำหนดสัญญาณความถี่ DTMF ตามคีย์

	COL 1	COL 2	COL 3	COL 4	
697 Hz	1	2	3	RED/P	ROW 1
770 Hz	4	5	6	PAUSE	ROW 2
852 Hz	7	8	9	STORE	ROW 3
941 Hz	*	0	#	RECALL	ROW 4
	1209 Hz	1336 Hz	1477 Hz		

##### คุณสมบัติของ IC MC 145412

- จะใช้สวิตช์ต่อ แบบ 4x3 , 4x4 ใช้ลักษณะการต่อแบบ เมทริกซ์ เป็นเป็นสำหรับกดหมายเลข ในโครงการนี้ได้เลือกใช้เป็นทั้งหมด 10 หมายเลข
- มีขา MS สำหรับใช้ในการเลือกโหมดสัญญาณอินพุท สำหรับ Switching ระหว่าง DTMF เป็น 20 pps หรือ 10 pps ดังตารางที่ 3.2

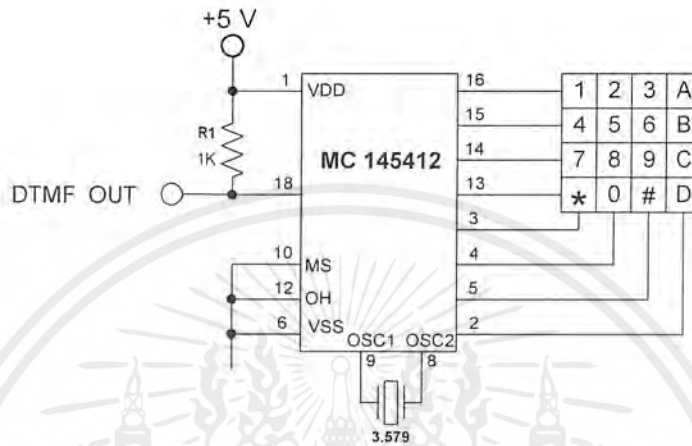
ตารางที่ 3.2 โหมดการทำงานของไอซี 145412

MS	Dialing Mode
VDD	20 pps Pulse Dialing
OPEN	10 pps Pulse Dialing
VSS	DTMF Dialing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงงานนี้เลือกใช้ โหมด DTMF Dialing โดยการต่อขา MS เข้ากับ VSS

- ใช้ คริสตัล 3.579545 MHz
- ใช้แรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 1.7 – 5.5 V



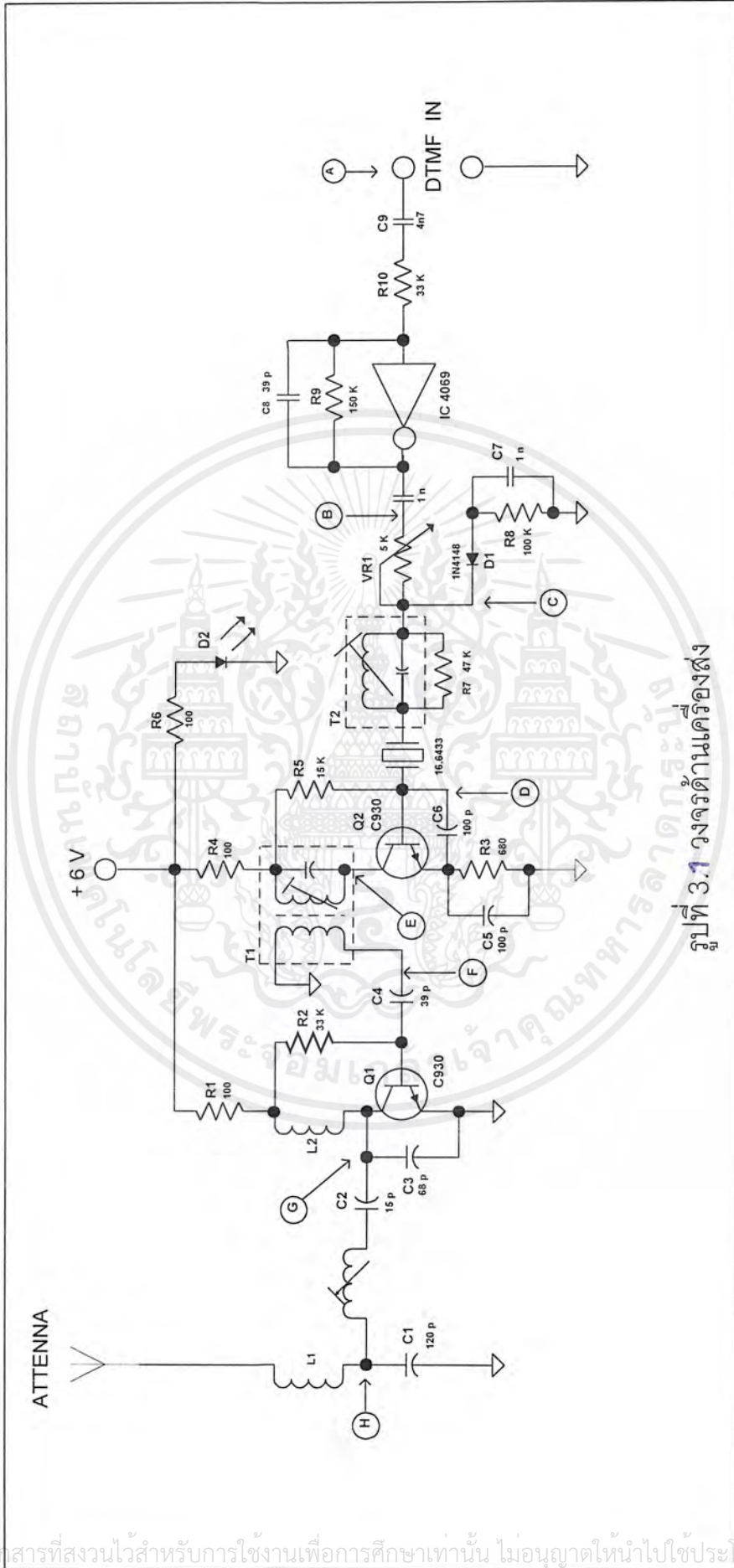
รูปที่ 3.1 วงจรผลิตสัญญาณความถี่ DTMF

### 3.2 การทำงานของภาคส่ง

วงจรเครื่องส่งในโครงงานนี้ใช้ความถี่ย่าน VHF 50 MHz โดยภาคส่งจะใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ C930 ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ ชนิด NPN-Si สามารถใช้เป็น AMP , OSC , IF AMP ที่อยู่ในย่าน UHF/VHF เป็นอุปกรณ์หลักร่วมกับ วงจร RLC ดังรูปวงจรที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.2

จากวงจรใน รูปที่ 3.2 สัญญาณ DTMF ซึ่งถูกสร้างโดย IC 145142 ดังรูปที่ 3.1 จะถูกป้อนเข้าที่ขาอินพุทของภาคส่งเข้าสู่วงจรขยายสัญญาณ DTMF ให้แรงขึ้น โดยใช้ไอซี 4069 ซึ่งเป็นไอซีอินเวอเตอร์คือเป็นวงจรขยาย วงจรขยายนี้สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีมิลเลอร์ที่กล่าวไว้ในทฤษฎีข้างต้นแล้วจากนั้นสัญญาณที่ขยายออกมาแล้วจะไปผสมกับความถี่ 16.64 MHz ที่ผลิตโดยคริสตอลเกิดการเบี่ยงเบนความถี่แล้วเข้าสู่วงจรขยายและผสมให้เป็นสัญญาณความถี่วิทยุ 49.927 MHz ด้วยทรานซิสเตอร์ Q2 ที่ทำการขยายสัญญาณที่ความถี่เรโซแนนซ์ตามวงจรแรงค์ที่ต่ออยู่ที่ ขาคอลเลกเตอร์ของ Q2 สัญญาณจาก Q2 นี้จะถูกคัปปลิ่งด้วยทรานฟอเมอร์เพื่อให้ได้รูปสัญญาณชานแนวฟที่สมบูรณ์เพิ่มขึ้นแล้วเข้าสู่วงจรขยายสัญญาณความถี่วิทยุ Amplifier RF ด้วยทรานซิสเตอร์ Q1 จากนั้นสัญญาณเอาต์พุทจาก Q1 ก็将通过วงจร Matching สายอากาศแล้วส่งออกอากาศไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 วงจรด้านเครื่องส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การทำงานภาครับ

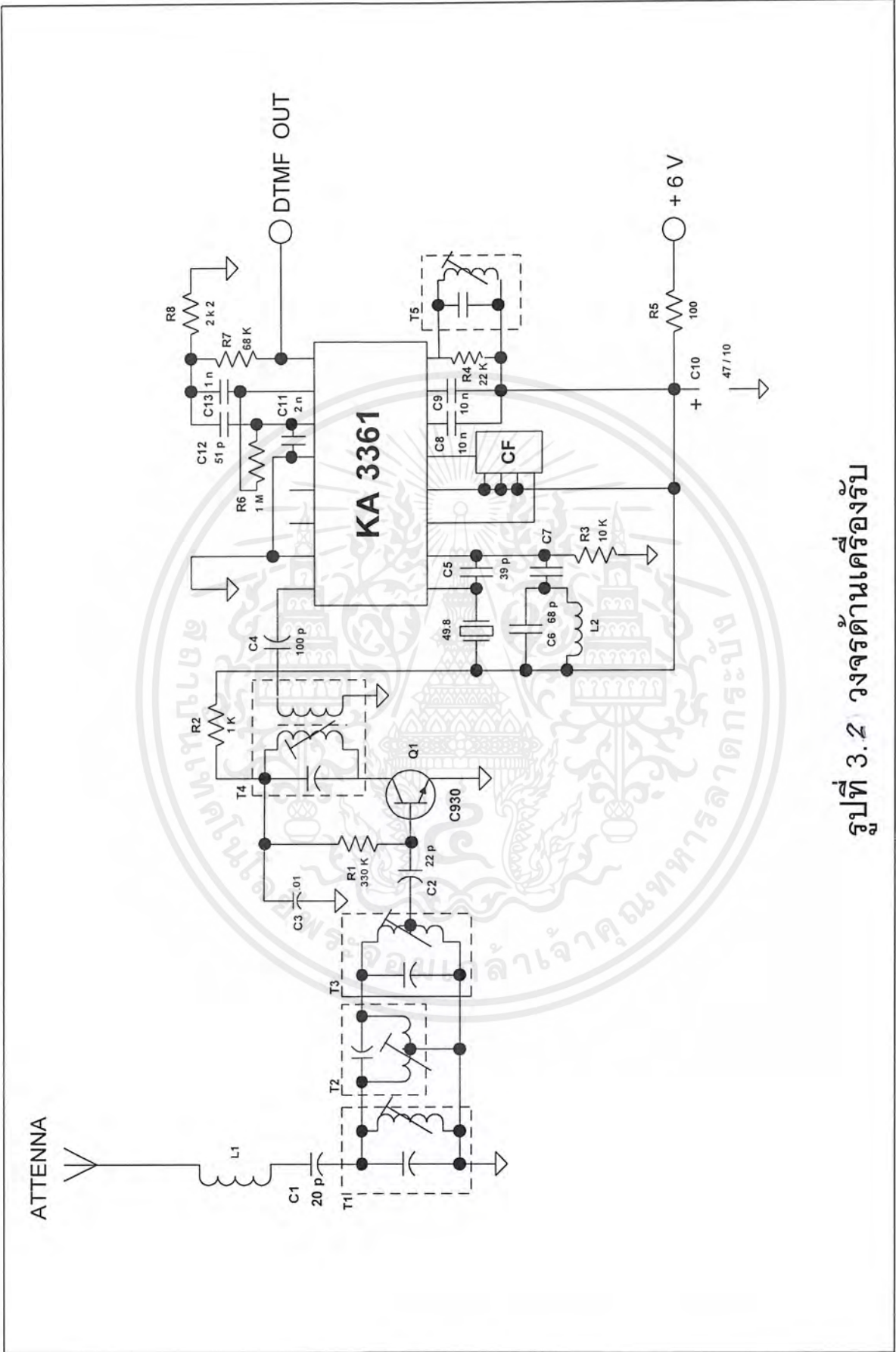
สำหรับภาครับเราได้ใช้ IC LM3361A ซึ่งมีระบบปรับคลื่น FM ชนิดสั้นที่ใช้กับภาคจ่ายไฟน้อยกว่า 2 โวลต์ วงจรภายในประกอบไปด้วยตัวเปลี่ยนค่าความสูงต่ำของคลื่นไฟฟ้า, วงจรโมดูเลทภาคขยายคลื่น FM, ตัวเปลี่ยนค่าความสูงต่ำของคลื่น FM, Op Amp, ตัวควบคุมการสแกน, สวิตช์เปิดเสียง LM3361A มีตัว Swing ที่ใช้ไฟสูงกว่าทั้งจุด Op Amp และที่ Audio output รุ่นนี้ยังมีตัวถ่วงกระแสที่เล็กลง และ วงจรที่ถูกควบคุมจะดึงกระแสไฟน้อยกว่ารุ่น MC3361 หน้าที่ของอุปกรณ์จะค่อนข้างเหมือนหรืออาจจะแตกต่างกันเล็กน้อยจากคุณลักษณะของการปฏิบัติงาน

#### - จุดเด่นของ IC LM3361A

- ทำงานใช้กระแสไฟต่ำ
- มีความไวสูง (-3 db ที่ 2.0 uV)
- มีสัญญาณ Out Put สูง
- ใช้อุปกรณ์การต่อใช้งานน้อย

#### การทำงานของวงจรเครื่องรับ

วงจรเครื่องรับสัญญาณ FM จะแสดงไว้ดังรูปที่ 3.3 สามารถอธิบายการทำงานของวงจรได้ดังนี้ สัญญาณ RF จะเข้ามาทางสายอากาศแล้วคัปปลิ่งผ่านวงจร LC แบบ Band Pass Filter เพื่อเลือกรับสัญญาณความถี่ย่าน 50 MHz สัญญาณ RF ที่เข้ามาจะถูกขยายด้วยทรานซิสเตอร์ Q1 ซึ่งต่อแบบเบสโอสแบบคอลเลคเตอร์ป้อนกลับ โดยที่ขาคอลเลคเตอร์จะมีวงจร Tank LC เพื่อช่วยในการขยาย RF ที่รับเข้ามาที่ความถี่เรโซแนนซ์ และจะคัปปลิ่งด้วย T4 ผ่าน C4 มาเข้าขา 16 ของ LM3361 สัญญาณจุด A นี้จะมีลักษณะดังรูปข้างล่าง สัญญาณ RF ที่เข้ามาในไอซีจะ ผสมกับความถี่ออสซิลเลเตอร์ภายในไอซี ซึ่งความถี่ออสซิลเลเตอร์จะมี คริสตัลต่อร่วมอยู่ภายนอกที่ขา 1 และ 2 ของไอซี จะได้สัญญาณ IF เพื่อไปเข้าภาค FM Detector โดยภาควงจรส่วนนี้จะมีวงจร RLC ต่อร่วมภายนอกที่ขา 8 เพื่อช่วยในการ Detect สัญญาณ IF ให้ได้สัญญาณ Audio ออกมาแล้วทำการขยายด้วยทรานซิสเตอร์ภายในซึ่งต่ออยู่แบบ Emitter Follower ได้สัญญาณออกมาที่ขา 9 เป็นสัญญาณ DTMF เหมือนกับทางด้านภาคส่ง



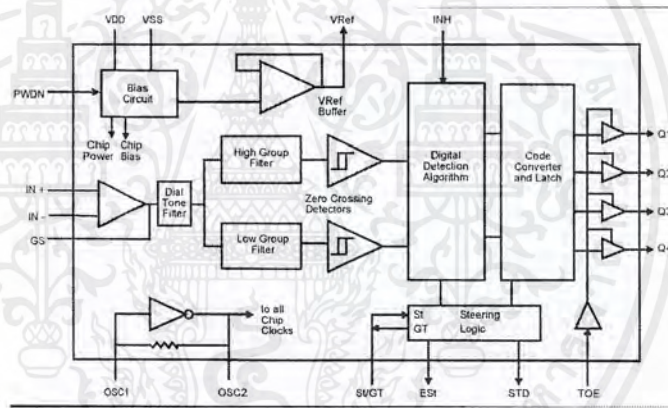
รูปที่ 3.2 วงจรด้านเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

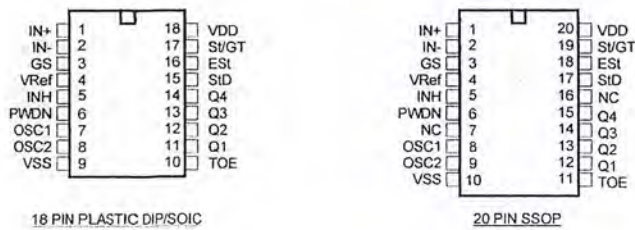
### 3.4 การถอดรหัส DTMF เป็น Binary

เนื่องจากเครื่องโทรศัพท์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันจะเป็นระบบกดปุ่มหรือที่เรียกกันว่า DTMF (Dual Tones Multi Frequency) ซึ่ง Tone ดังกล่าวสามารถนำมาถอดรหัสให้เป็นสัญญาณทางดิจิทัล เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ทางการควบคุม เช่น งานด้านรีโมทคอนโทรลโทรลย่านความถี่ VHF (Very High Frequency)

โครงสร้างของ MT 8870 ประกอบไปด้วยวงจรกรองความถี่และวงจรถอดรหัสฟังก์ชันทางดิจิทัล ซึ่งเป็นไอซีที่สร้างขึ้นโดยใช้เทคโนโลยี ISO2-CMOS ในส่วนของวงจรกรองความถี่ใช้เทคนิคของสวิทช์คาปาซิเตอร์ สำหรับกรองความถี่สูงและต่ำ ส่วนวงจรถอดรหัสใช้เทคนิคการนับทางดิจิทัล เพื่อตรวจจับสัญญาณและถอดรหัสทั้ง 16 ความถี่ให้ออกเป็นเลขฐานสอง ขนาด 4 บิต และเช็ควงเวลาที่สัญญาณเข้ามา ส่วนภาคอินพุตเป็นออปแอมป์ซึ่งสามารถปรับอัตราขยายได้ โดยการต่ออุปกรณ์ภายนอก ส่วนภาควงจรเอาต์พุตเป็นวงจรแลตช์ 3 สถานะ โครงสร้างภายในจะแสดงในรูปที่ 3.4 และการวางตำแหน่งของขา MT 8870 จะแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 โครงสร้างภายในของ MT8870

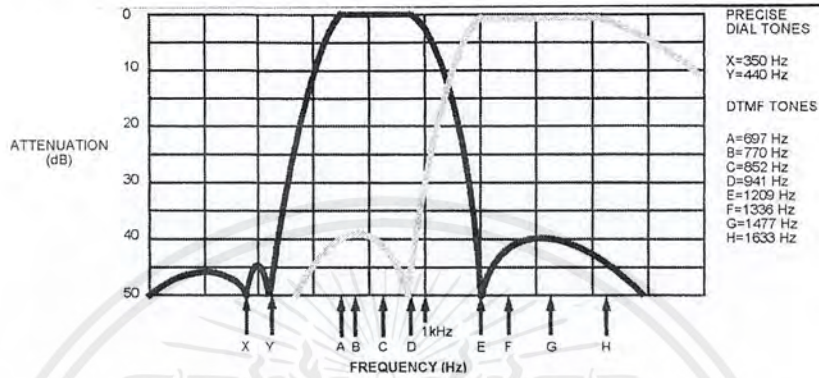


รูปที่ 3.5 การจัดขาของของ MT 8870

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

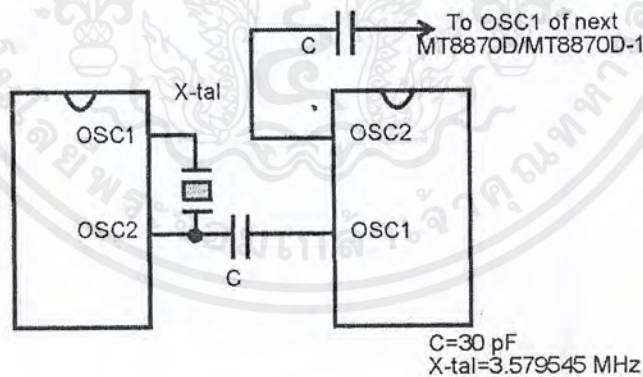
ฟังก์ชันการทำงานภายในของ MT 8870 แบ่งได้ออกเป็น 5 ส่วนคือ

1. ภาคกรองความถี่ (Filter Section) ในส่วนนี้จะแยกสัญญาณ DTMF เข้ามาออกเป็น 2 กลุ่มความถี่ คือช่วงความถี่สูงและช่วงความถี่ต่ำโดยใช้วงจรกรองแถบความถี่อันดับ 6 ชนิด สวิตซ์ค่าปาสซีเตอร์ (six-order switched capacitor band pass filter) ความถี่ที่ได้จากภาคกรองความถี่จะแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงความถี่ที่ได้จากภาคกรองความถี่

2. ภาคกำเนิดความถี่ (Oscillator) ในภาคนี้ไอซี จะมีวงจรถูกอยู่แล้วภายในเพียงแค่ต่อแร่คริสตอล ขนาด  $3.579 \text{ MHz}$  ก็สามารถใช้งานได้ทันที การวางจรกำเนิดความถี่แสดงในรูปที่ 3.7

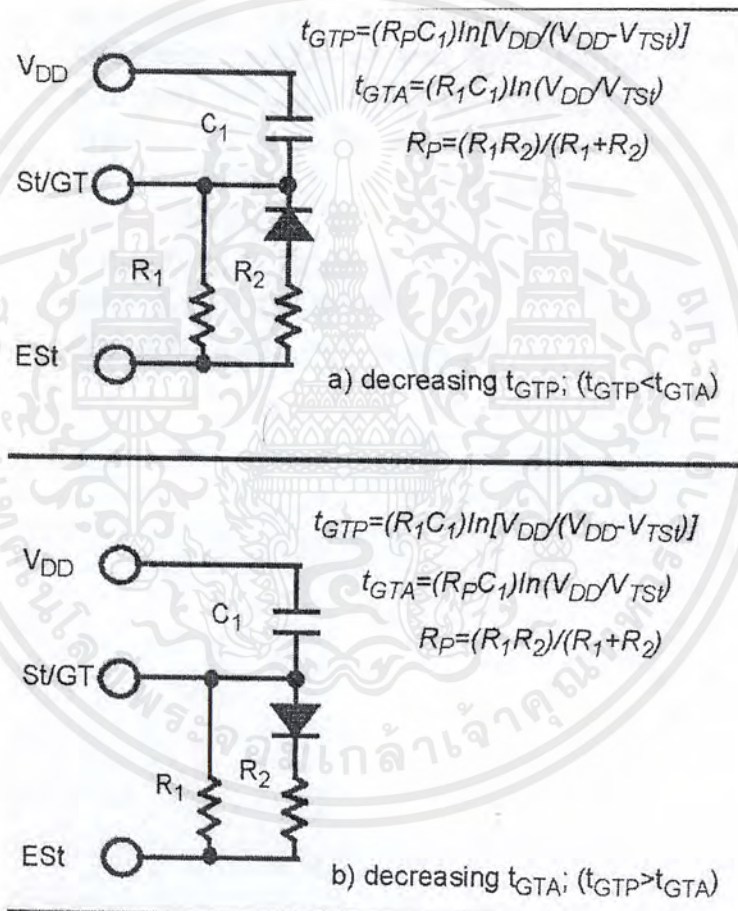


รูปที่ 3.7 แสดงการต่อวงจรผลิตความถี่

สำหรับวงจรการถอดรหัสสัญญาณความถี่ DTMF แสดงไว้ดังรูปที่ 3.8 วงจรนี้จะขยายสัญญาณความถี่อินพุตด้วยอัตราขยาย 1 เท่า หรือเป็นบัฟเฟอร์ ซึ่งสามารถคำนวณอัตราขยายได้ด้วยสมการที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ภาคตรวจสอบสัญญาณ (Steering Circuit) ก่อนที่จะมีการถอดรหัสความถี่ออกไปที่เอาต์พุตจะมีการตรวจสอบช่วงความถี่ที่เข้ามาว่ามีระยะเวลาตามกำหนดหรือไม่โดยสังเกตจากระยะเวลาการกดปุ่มที่หน้าปัดของรีโมท ซึ่งต้องกดปุ่มให้มีความถี่ออกมาเป็นช่วงๆ เป็นเวลาพอสมควรไม่เช่นนั้นวงจรส่วนนี้จะไม่รับ โดยที่ว่าสัญญาณนั้นไม่ถูกต้องส่วนช่วงเวลาจะยาวเท่าใดสามารถตั้งได้โดยใช้ RC ต่อภายนอก สัญญาณที่ขา Est จะเป็น “High” นานใกล้เคียงกับระยะเวลาที่ความถี่ DTMF เข้ามารูปที่ 3.8 เมื่อขา Est เป็น “High” ทำให้ Vc สูงขึ้น จนถึงค่าเทรชโฮลต์วงจรถอดรหัส จึงจะถอดรหัสออกเป็นเลข 4 บิต



รูปที่ 3.8 แสดงวงจรตรวจสอบสัญญาณอย่างง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

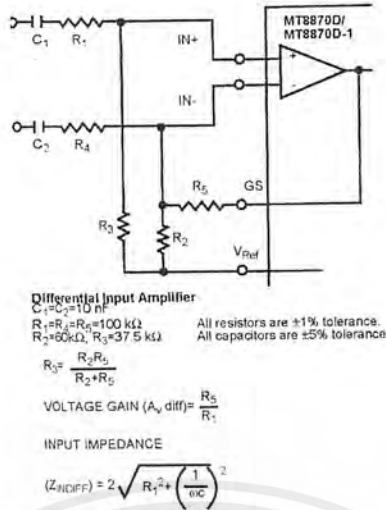
4. ภาคถอดรหัส (Decoder Section) ความถี่ที่ได้ถูกรองเรียบร้อมแล้วจะผ่านเข้าวงจรถอดรหัสดิจิตอลออกเป็นตัวเลขโดยใช้เทคนิคการนับแบบดิจิตอล และมีการตรวจสอบความถี่ที่เข้ามาว่าเป็นความถี่มาตรฐาน DTMF หรือไม่ เพื่อป้องกันความถี่อื่นเข้ามาผสม เมื่อตรวจสอบได้ว่าถูกต้องสัญญาณที่ขา Est (Early Steering) ก็จะแอกทีฟสำหรับค่าที่ถูกรหัสได้จากความถี่ต่าง ๆ นั้นแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าถอดรหัสที่ได้จากความถี่ต่าง ๆ

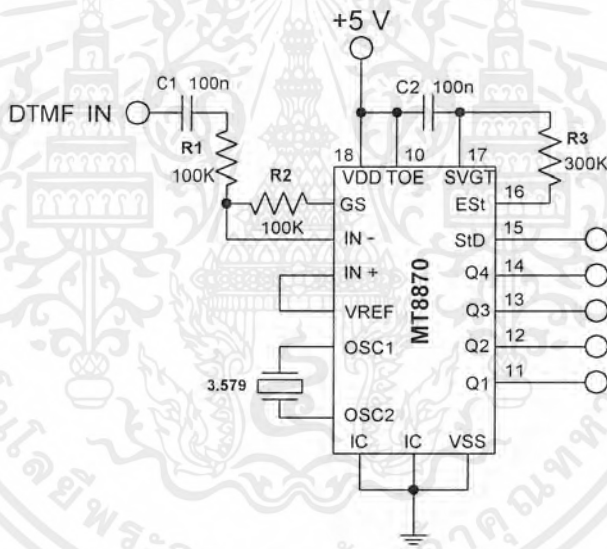
Digit	TOE	INH	Est	Q <sub>4</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>
ANY	L	X	H	Z	Z	Z	Z
1	H	X	H	0	0	0	1
2	H	X	H	0	0	1	0
3	H	X	H	0	0	1	1
4	H	X	H	0	1	0	0
5	H	X	H	0	1	0	1
6	H	X	H	0	1	1	0
7	H	X	H	0	1	1	1
8	H	X	H	1	0	0	0
9	H	X	H	1	0	0	1
0	H	X	H	1	0	1	0
*	H	X	H	1	0	1	1
#	H	X	H	1	1	0	0
A	H	L	H	1	1	0	1
B	H	L	H	1	1	1	0
C	H	L	H	1	1	1	1
D	H	L	H	0	0	0	0
A	H	H	L	undetected, the output code will remain the same as the previous detected code			
B	H	H	L				
C	H	H	L				
D	H	H	L				

5. ภาคขยายสัญญาณความแตกต่าง (Differential Input) วงจรส่วนอินพุทของ MT 8870 เป็นภาคขยายออปแอมป์ที่สามารถปรับอัตราขยายโดยต่อวงจรภายนอกเพิ่มเข้าไปรูปที่ 3.6 แสดงการต่อวงจรภายนอกเข้ากับอินพุท ซึ่งสามารถคำนวณอัตราขยายความแตกต่างของอินพุทและอิมพีแดนซ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงการต่อวงจรภาคอินพุท



รูปที่ 3.10 วงจรถอดรหัสสัญญาณความถี่ DTMF เป็น BINARY

### 3.5 วงจรประมวลผลและควบคุม

ในส่วนของวงจรนี้แสดงไว้ใน รูปภาครับ ส่วนประมวลผลและควบคุม (Sheet 2/5) จะประกอบไปด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS 8051 เป็นตัวประมวลผลและควบคุมการทำงานของวงจรทั้งหมด ซึ่งวงจรนี้ใช้ไอซี 74138 เป็นตัวเลขข้อมูลค่า แอด-เดรสไบท์ต่ำ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะอ่านหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ซึ่งเป็น ไอซีอีพรอม 2764 มีหน่วยความจำ 8 Kbyte โปรแกรมจะให้ MCS\_51 อ่านค่าสัญญาณ BCD ซึ่งได้จากการแปลงสัญญาณ DTMF ที่ได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาแล้วในวงจรเครื่องรับเข้ามาที่ พอร์ต B ของ 8255 แล้วประมวลผลว่าค่าที่อ่านเข้ามาได้นั้นสั่งให้แสดงเอาต์พุตเป็นอะไรเพื่อควบคุมวงจรภายนอก ผ่านทาง พอร์ต 1 ของ MCS\_51 และ พอร์ต A หรือ C ไบท์สูง จากวงจรนี้ได้ต่อ ไอซี 8255 ให้มีตำแหน่งของพอร์ตอยู่ที่แอดเดรส 8000H – 8003H

### 3.6 วงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรง

วงจรในส่วนนี้ได้แสดงไว้ใน รูปภาครับ ส่วนวงจรควบคุมมอเตอร์ (Sheet 3/5) ซึ่งแบ่งเป็นส่วนหลักๆ ได้สองส่วนคือ

#### 3.6.1 ส่วนควบคุมความเร็ว ประกอบด้วย

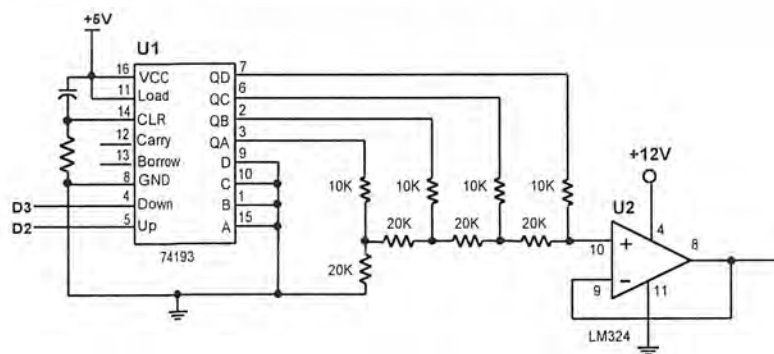
- วงจรเพิ่มและลดค่ารหัส BCD ด้วยไอซี 74193 นับขึ้น-ลง
- วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอกแบบ R\_2R
- วงจรควบคุมความกว้างพัลส์โดยใช้ไอซี TL 494

#### 3.6. ส่วนควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ประกอบด้วย

- วงจรเกท เลือการเปิด-ปิด สัญญาณพัลส์ที่ได้จากวงจรควบคุมความกว้างพัลส์
- วงจรจ่ายแรงดัน ไฟฟ้าสองทิศทางให้มอเตอร์

#### วงจรดิจิทัลเป็นอนาลอกแบบ R-2R

วงจรนี้จะรับอินพุตมาจากไอซีเบอร์ 74193ซึ่งเป็น ไอซีเคาน์เตอร์(Counter)ที่สามารถสั่งงานให้ นับขึ้นหรือนับลงก็ได้ด้วยการทำงานที่ขอบขาลงของพัลส์(pulse)มีไว้เพื่อกำหนดสร้างค่าแรงดันให้กับวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก DAC การนับขึ้นนับลงของไอซี 74193จะรับค่าสัญญาณพัลส์โดยผ่าน 8255 พอร์ต A (PA4 , PA5) เข้าที่ขา นับลง และ นับขึ้นตามลำดับ ไอซี 74193นับจะได้สัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 4 บิต จากนั้นสัญญาณทั้ง 4 บิต ก็จะไปเข้าวงจร R-2R เพื่อแปลงให้เป็นสัญญาณอนาลอก เพื่อใช้เป็นแรงดันอินพุตให้กับส่วนของวงจรควบคุมความกว้างพัลส์ (pulsewidth modulation control circuit) การต่อวงจรลักษณะนี้จะทำให้เขียน โปรแกรมได้ง่ายขึ้น และที่เอาต์พุตของ 74193 ในการได้รับสัญญาณพัลส์แต่ละครั้งจะได้เอาต์พุตแบบขนานดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 วงจรเพิ่มและลดแรงดัน DAC 4 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

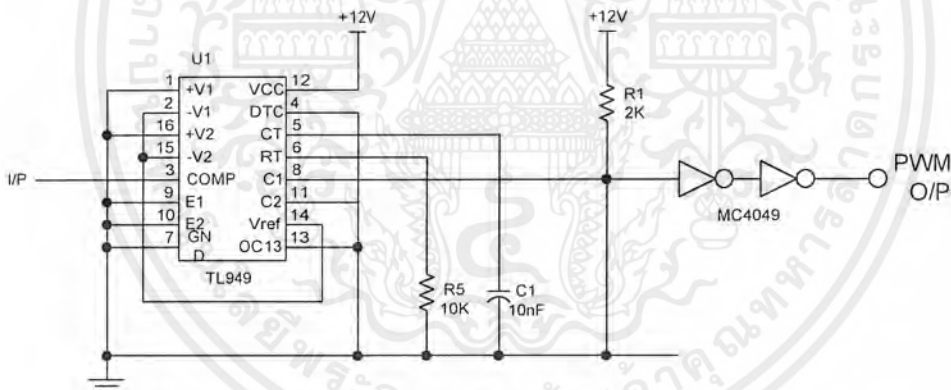
วงจรนี้ได้ใช้วงจรแปลงดิจิทัลเป็นอนาลอกแบบ R-2R ladder โดยใช้ความต้านทาน  $10\text{ K}\Omega$  1% และ  $20\text{ K}\Omega$  1% และมีออปแอมป์ LM 324 เป็นบัฟเฟอร์ เหตุผลที่ใช้วงจรแบบนี้เนื่องจากลดความยุ่งยากของวงจรจ่ายไฟเลี้ยง เนื่องจากถ้าใช้วงจรแบบนี้จะใช้ไฟเลี้ยงเป็นบวกอย่างเดียว

### วงจรควบคุมความกว้างพัลส์

ในส่วนของวงจรใช้ IC เบอร์ TL 494 ทำหน้าที่เป็นวงจรควบคุมความกว้างพัลส์ และไอซี TL494 เป็นทั้งตัวกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อยประมาณ 12KHz 3Vp-p และเป็นตัวเปรียบเทียบแรงดันอินพุตกับสัญญาณฟันเลื่อยหรือ โดยกำหนดความถี่ในการออสซิเลต โดยค่าของ RT และ CT ดังสมการ (3.1)

$$f_{osc} = 1.1 / (RT \times CT) \quad (3.1)$$

ซึ่งจากวงจรใช้ค่า  $RT = 10\text{ K}\Omega$  และ  $CT = 10\text{ nF}$  ดังนั้นจะได้ค่า  $f_{osc}$  ประมาณ 10KHz เอาท์พุทที่ได้จะนำไปผ่านวงจรควบคุมทิศทางและนำไปเข้าวงจรขับมอเตอร์เป็นลำดับต่อไป

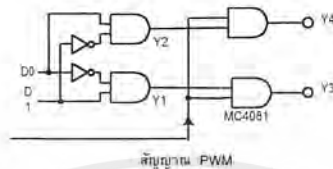


รูปที่ 3.12 วงจรควบคุมความกว้างพัลส์

เอาต์พุทที่ได้จากไอซี74193 มีแรงดัน 12V สัญญาณต้องนำไปเข้าวงจรเกต TTL จึงต้องนำสัญญาณ PWM นี้ไปผ่านเกตซีมอส(cmos)เพื่อให้ได้สัญญาณตาม TTL โดยใช้บัฟเฟอร์คอนเวอร์เตอร์เกต ( Buffer converter gate) MC4049 ดังรูปที่ 3.12 ข้างบนที่เอาต์พุทของไอซีจะมีเกทบัฟเฟอร์ต่ออยู่

### วงจรถูกเลือกการปิด-เปิด สัญญาณ PWM

ในส่วนของวงจรถูกควบคุมทิศทางจะใช้วงจรถูกเลือกโดยใช้ NOT Gate เบอร์ MC4049 ร่วมกับ AND Gate เบอร์ MC4081 ต่อเป็นวงจรถูกเลือกสัญญาณ D1D0 เพื่อบังคับการ ปิด-เปิด เกทให้สัญญาณ PWM ผ่านเข้าไปยังชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ซึ่งมีการทำงานดังรูปที่ 3.13



D1	D0	Y1	Y2
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0

รูปที่ 3.13 วงจรถูกควบคุมการปิด-เปิด เกท

### วงจรถูกจ่ายแรงดันไฟฟ้าสองทิศทางให้มอเตอร์

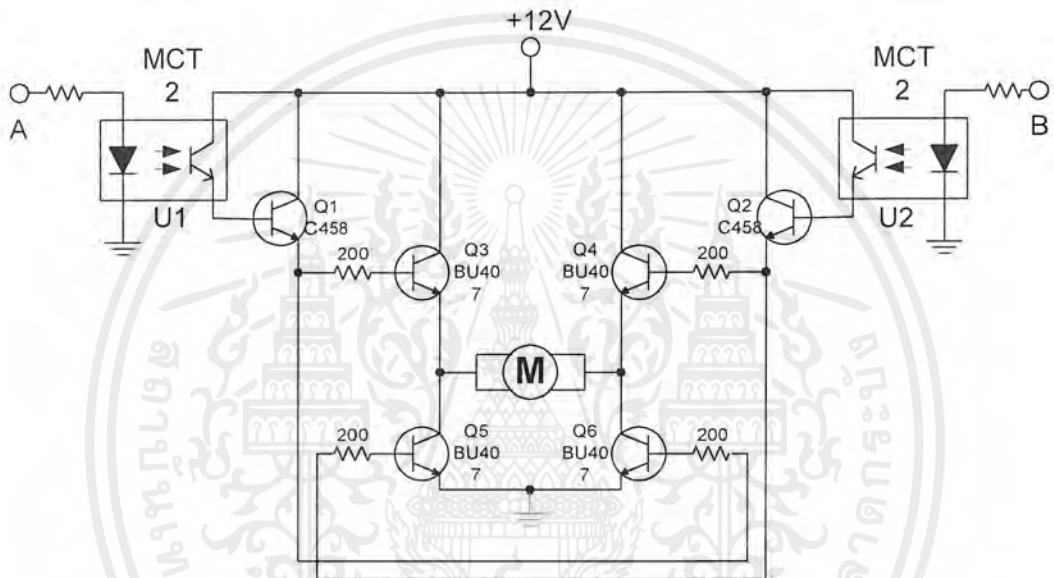
ในการบังคับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ให้หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกาทำได้หลายวิธีเช่น การใช้สวิตช์แบบดับเบิลโพล-ดับเบิลโธรล (double-pole double-throw : DPDT) ซึ่งเราสามารถที่จะควบคุมให้มอเตอร์หมุนหรือหยุดหมุนหรือกลับทิศทางการหมุนของตัวมอเตอร์ได้ ซึ่งจะไม่กล่าวในที่นี้เพราะไม่สามารถควบคุมได้ด้วยไมโครโปรเซสเซอร์

สำหรับวิธีการอื่นๆ ก็เช่นอาศัยการใช้รีเลย์เป็นสวิตช์เปิด-ปิดไฟที่จะป้อนให้กับมอเตอร์ หรือการใช้ทรานซิสเตอร์ในลักษณะของสวิตช์ซึ่งอาจใช้แบบชนิดไบโพลาร์หรือแบบเฟลทก็ได้ แต่ในโครงการนี้จะใช้แบบไบโพลาร์ การใช้งานทรานซิสเตอร์ในงานควบคุมมอเตอร์นั้นเป็นการนำทรานซิสเตอร์มาใช้งานในลักษณะสวิตช์ ถ้าเราต้องการใช้ทรานซิสเตอร์แค่ 2 ตัว ในการควบคุม เราจะต้องต่อทรานซิสเตอร์ในลักษณะคอมพลิเมนทารี (complementary) และต้องใช้ไฟเลี้ยงทั้งซีกบวกและซีกลบ ซึ่งไม่สะดวกในการใช้งาน ดังนั้นเราจึงต้องวงจรถูกขับเคลื่อนมอเตอร์ดังรูปที่ 3.14 เรียกว่า วงจรถูกขับเคลื่อนมอเตอร์ (drive circuit) เป็นวงจรถูกส่วนที่ขับให้มอเตอร์หมุน โดยจะเป็นวงจรถูกที่จ่ายกระแสและแรงดันให้กับมอเตอร์ จากรูปในขณะใดขณะหนึ่ง เราจะให้ทรานซิสเตอร์เพียง 2 ตัว เท่านั้นที่นำกระแส คือ Q3 กับ Q6 หรือ Q4 กับ Q5 (คือการควบคุมให้เดินหน้าหรือถอยหลัง ซึ่งจะต้องไม่เป็น "1" ในเวลาเดียวกัน) ซึ่งการที่เราให้ทรานซิสเตอร์นำกระแสเป็นคู่กันจะทำให้เรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถบังคับทิศทางกระแสที่ป้อนให้กับตัวมอเตอร์ได้ ซึ่งก็คือการบังคับทิศทางการหมุนของตัวมอเตอร์นั่นเอง

สัญญาณ Y3Y4 จากรูปที่ 3.13 จะไปเป็นอินพุทให้กับวงจรขับมอเตอร์ เนื่องจากมอเตอร์ใช้แรงดัน 12 V กระแสประมาณ 0.8 A จากวงจรรูปที่ 3.14 หากเราต่อสัญญาณ Y3Y4 ซึ่งมีแรงดันสูงสุด 5 V ไปเข้าที่ขาเบสของ Q1 หรือ Q2 เลย ทรานซิสเตอร์ Q3 กับ Q6 หรือ Q4 กับ Q5 จะไม่สามารถนำกระแสได้เพราะแรงดันที่ขาเบสของ Q3 หรือ Q4 จะมีแรงดันมากกว่าขาเบสเกือบ 12 V เนื่องจากแรงดันที่มอเตอร์ต้องการนั่นเอง จึงต้องใช้ช้อปโอดีเป็นตัวเชื่อมต่อดังรูป เพื่อไปอัสทรานซิสเตอร์ Q1 หรือ Q2 ช่วยขับกระแสให้ Q3 กับ Q6 หรือ Q4 กับ Q5 ทำงาน



รูปที่ 3.15 วงจรขับกระแสมอเตอร์แบบสองทิศทาง

### 3.7 วงจรควบคุมการทำงานของปั๊ม

ส่วนของวงจรมีแสดงไว้ใน รูปภาครับส่วนการควบคุมปั๊ม (Sheet 4/5) แบ่งเป็นสองส่วนหลักๆคือ

#### 3.7.1 ส่วนควบคุมความแรงของการฉีดพ่นสาร

- วงจรแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอก โดยใช้โปรแกรมเป็นหลักในการส่งข้อมูลดิจิตอลแบบอนุกรม โดยใช้ ไอซี PCF 8591
- วงจรควบคุมความกว้างของพัลส์ ลักษณะการทำงานของวงจร เช่นเดียวกับในส่วนของวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์

#### 3.7.2 ส่วนเลือกการ ปิด-เปิด ปั๊ม

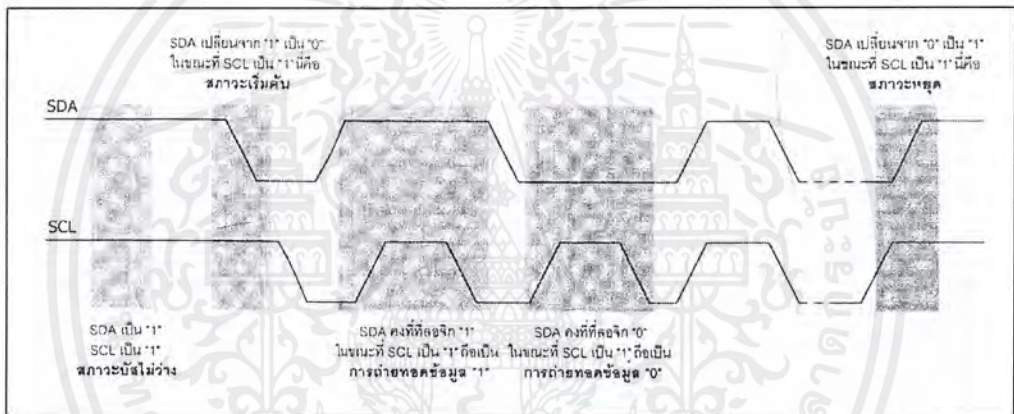
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วงจรแปลงดิจิทัลเป็นอนาลอกแบบ Successive Approximation

ในวงจรเราใช้ไอซี PCF 8591 ซึ่งเป็น Inter-IC Communication เป็นการเขียนข้อมูลไปยังวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกของ PCF8591

การเขียนข้อมูลไปยังขาอะนาลอกเอาต์พุตมีข้อแตกต่างจากการอ่านข้อมูลดังนี้

1. เรียกโปรแกรมย่อยการคิดต่อกับอุปกรณ์สเลฟ
2. ส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสโดยให้ทำงานในโหมดเขียนข้อมูล (บิต  $\bar{R}/\bar{W}$  เป็นลอจิก "0")
3. ส่งข้อมูลควบคุม 40H ไปยัง PCF8591 เพื่ออีนาเบิลอะนาลอกเอาต์พุต
4. ส่งข้อมูลไปยังเอาต์พุตอะนาลอก โดยค่าที่ส่งออกไปจะต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 0-255
5. ส่งสถานะหยุด



รูปที่ 3.16 แสดงไคโอแกรมเวลาสถานะต่าง ๆ ในบัส IIC

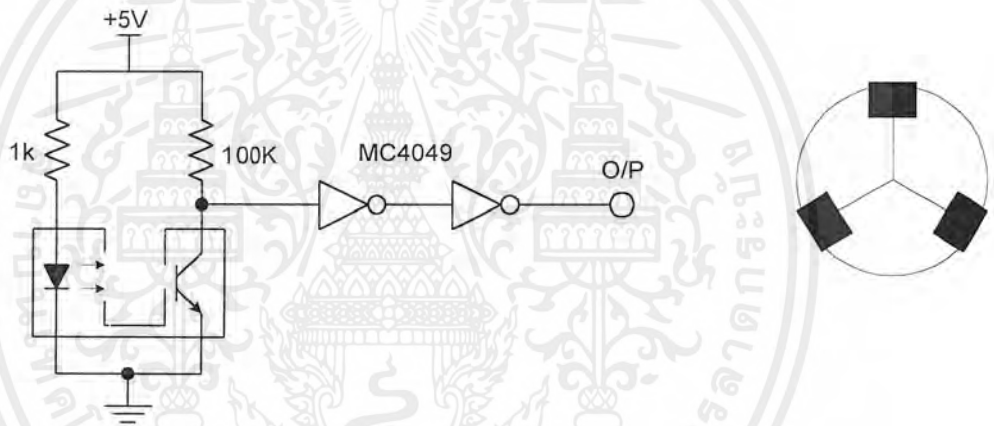
## วงจรควบคุมการ ปิด-เปิด ปุ่ม

การทำงานของวงจรส่วนนี้จะคล้ายกับของวงจรมอเตอร์ในเรื่องของการควบคุมการ ปิด-เปิด เกท เพื่อให้สัญญาณจากวงจรควบคุมความกว้างพัลส์สามารถผ่านไปได้อย่างที่ต้องการให้ผ่านเท่านั้น และใช้ออปโตเป็นตัวส่งผ่านสัญญาณเพื่อใช้ในการสั่งงานทรานซิสเตอร์ให้ทำงานตามสัญญาณ PWD ซึ่งก็จะเท่ากับเป็นการควบคุมแรงดันเฉลี่ยที่เข้าตัวปั๊ม นั่นเอง และจากรูปวงจรจะเห็นว่าใช้ทรานซิสเตอร์ชนิดอาร์ลิงตัน 1 ตัวต่อการควบคุม 1 ปั๊ม ก็เนื่องจากว่าต้องการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ปั๊มทิศทางเดียวต่างกับมอเตอร์นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.8 วงจร Sensor นั้บรอบมอเตอร์

การที่มีวงจรมอเตอร์เพื่อไว้ตรวจสอบระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องฟ่น อาศัยหลักการของ โฟโตทรานซิสเตอร์และไดโอดเปล่งแสง (ในโครงการนี้ใช้ Sensor เบอร์ TP 852) โดยจะทำไบอัสไฟตรงให้กับ LED แสงจาก LED จะตกกระทบโฟโตทรานซิสเตอร์เกิดการนำกระแสได้ดังรูปวงจรถที่ 3.17 ได้สัญญาณลอจิก “ 0 “ แต่ถ้าทำการตัดผ่านแสง (ใช้วัตถุตัดผ่านร่อง) จะทำให้ไม่มีแสงส่งผ่านไปโฟโตทรานซิสเตอร์ได้จึงทำให้หยุดนำกระแสก็ได้ลอจิก “ 1 “ จากโครงการซึ่งใช้ Sensor นี้ และใช้จานหมุนโสมมีสีค่า 3 จุด ห่างกันเป็นมุม 120 องศา ดังรูปติดที่เพลามอเตอร์ เมื่อให้มอเตอร์หมุนตัดผ่านร่อง Sensor จะทำให้เกิดพัลส์ แต่พัลส์ที่ได้นี้เป็นพัลส์ที่ไม่สมบูรณ์นัก ดังนั้นก่อนที่จะนำพัลส์นี้ไปเป็น feedback ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ก็ให้ผ่าน IC เบอร์ MC14049 เพื่อทำการปรับแต่งพัลส์ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น



รูปที่ 3.17 วงจร SENSOR นั้บรอบมอเตอร์

จากหลักการ SENSOR จุดนี้ จะนำไปใช้ในการตรวจสอบระยะการเคลื่อนที่ของมอเตอร์

การเช็คระยะการเคลื่อนที่เพราะในขณะที่ฟ่นสารอยู่นั้น

1. เมื่อมีน้ำยาหมครระหว่างฟ่นสารเคมี
2. เมื่อ Battery ในระหว่างฟ่นสารเคมี

เพื่อไม่ให้เครื่องฟ่นสารเคมีฟ่นสารเคมีในส่วนที่ฟ่นแล้ว จากรูปวงจรถที่ 3.17 เมื่อจานหมุนไปจนส่วนสีดำทึบไปบังช่องทางเดินของแสงจากตัวส่งไปตัวรับของ SENSOR ก็จะมี Pulse ออกที่น๊อตเกตไปขา T0 ( C/T) ของ MCS-51 เป็นเคาท์เตอร์ (Counter) ซึ่งในส่วนนี้โปรแกรมได้กำหนดให้ขานี้ทำงานเป็นวงจรมับ แบบ 16 บิต คือ TH0 และ TLO การทำงานของโปรแกรมควบคุมส่วนนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ เมื่อเกิดกรณี ข้อ 1, 2 ดังที่กล่าวไว้ CPU ก็จะทำการเคลียร์ TH0,TLO และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สั่งให้รถวิ่งกลับไปยังจุดเริ่มต้น เครื่องพ่นสารจะวิ่งกลับโดยเริ่มเช็คให้ TRO เริ่มมีการนับของเคาท์เตอร์ (Counter) จนมาถึงจุดที่ต้องเติมสารเคมี, หรือประจุ Battery ก็จะได้ค่าซึ่งได้จากการนับนั้นไว้ในรีจิสเตอร์ เมื่อเติมสารเคมีเต็ม, หรือประจุ Battery เต็ม เครื่องพ่นสารก็จะเคลื่อนที่ไปจุดเติมที่สารหมด โดยการเคลื่อนที่ไปนั้น เคาท์เตอร์ (Counter) ก็จะทำการเปรียบเทียบค่าที่เก็บไว้ตอนแรก เมื่อเท่ากันก็จะหยุดรอการสั่งงานเริ่มพ่นสารเคมีใหม่

### 3.9 วงจรการตรวจสอบแรงดันไฟจากแบตเตอรี่

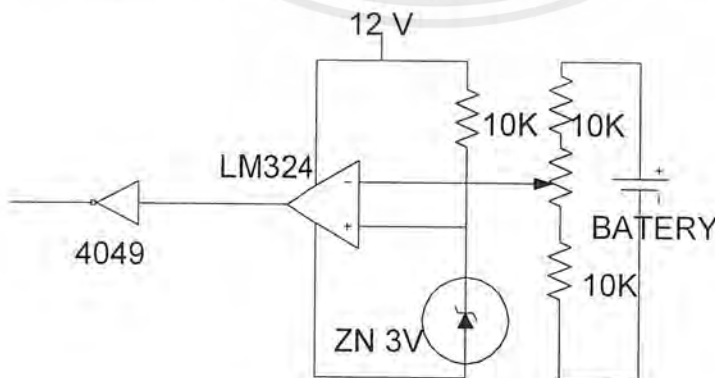
การทำงานของวงจรจากวงจรรูปที่ 3.18 ออปแอมป์ LM324 จะทำหน้าที่เป็นตัวเปรียบเทียบแรงดันระหว่างแรงดันอ้างอิงโดยใช้ซีเนอร์ไดโอด 3 โวลต์ ต่อเข้ากับ ขานอนอินเวอร์ตติ้ง(+) และแรงดันที่แบ่งมาจากส่วนหนึ่งของแรงดันแบตเตอรี่เข้ากับ ขาอินเวอร์ตติ้ง(-)

ในสถานะที่แบตเตอรี่ยังเต็มมีเพียงพอใช้งานอยู่แรงดันที่เข้าที่ขา (+) ของออปแอมป์ จะมีค่ามากกว่าที่ ขา (-) ดังนั้นที่เอาต์พุตของออปแอมป์จึงมีค่าเป็นแรงดันต่ำ และเมื่อผ่านน็อตเกตแล้วจะได้ ลอจิก “1”

เมื่อใช้งานไปจนกระทั่งแรงดันที่แบตเตอรี่ต่ำลงจนทำให้ที่ ขา (-) มีแรงดันต่ำกว่าที่ ขา (+) ก็จะได้สัญญาณที่มี ลอจิกเป็น “0” แทน สัญญาณลอจิก “0” นี้จะส่งไปให้ CPU ประมวลผลว่าแบตเตอรี่หมดแล้วให้กลับไปประจุแบตเตอรี่ได้แล้วที่จุดเริ่มต้น

การที่จะให้วงจรตรวจสอบเช็คแบตเตอรี่แจ้งเตือนว่าแบตเตอรี่หมดเมื่อไหร่ได้นั้นต้องมีการเช็คค่าแรงดันที่วงจรก่อนจากวงจรรูปที่ 3.18 ถ้าต้องการกำหนดค่าให้กลับไปประจุ Battery ที่แรงดัน Battery เหลือ 11.5 โวลต์

- การตั้งปรับค่าโดยใช้แหล่งจ่ายแรงดัน 11.5 โวลต์ ต่อขนานแทน Battery
- ปรับค่า VR 50K ให้เอาต์พุตของออปแอมป์ Comparator มีแรงดันออกที่เอาต์พุตเป็นแรงดันไฟสูงพอดี ก็เป็นอันเสร็จการปรับแต่ง เพราะว่าเพียงแค่แรงดันที่ ขา (-) นี้มีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่า 11.5 โวลต์ ที่เอาต์พุตของออปแอมป์ก็จะเป็นแรงดันสูงทันที



รูปที่ 3.18 วงจรตรวจสอบการประจุแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

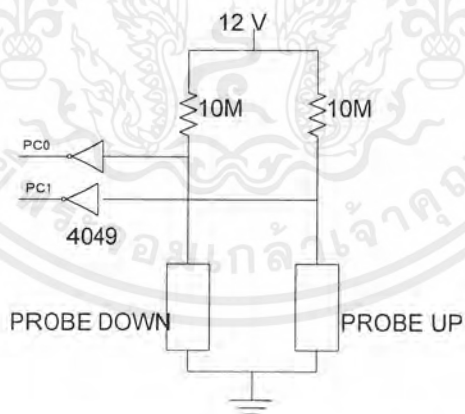
### 3.10 วงจรการตรวจสอบระดับน้ำ

ใช้หลักการซึ่งการใช้เคมีจะมีความต้านทาน ในที่นี้เราใช้น้ำมาแทนสารเคมี ซึ่งจะมีค่าความต้านทานประมาณ 10K ซึ่งจะมีการตรวจสอบระดับน้ำได้ถึงระดับที่ต้องเติม (Probe Down) และเมื่อเติมน้ำยาเต็มแล้ว (Probe Up)

ลักษณะการทำงาน เมื่อน้ำยาหมดถึงระดับ Probe Down (ตรง Probe ใช้สายทองแดงนำสัญญาณ) แรงดันที่ได้ จุด X เกือบเป็น 0 นำสัญญาณผ่านน๊อตเกตเข้า Port input 8255 เป็นสัญญาณสั่งให้มีการไปเติมน้ำยา และที่ Probe ก็ทำงานลักษณะเดียวกัน ซึ่งเมื่อได้สัญญาณตรง Probe Up ก็จะหยุดการเติมน้ำยา

ตารางที่ 3.4 ตารางการทำงานของโพรบวัดระดับน้ำ ได้ดังนี้

Probe Down	Probe Up	สถานะ
0	0	น้ำหมดต้องไปเติมน้ำยา
0	1	ไม่อยู่ในเงื่อนไข
1	0	ยังมีน้ำยาอยู่ทำงานต่อได้
1	1	หยุดการเติมน้ำยา ไปทำงานต่อ



รูปที่ 3.19 วงจรตรวจสอบระดับน้ำ

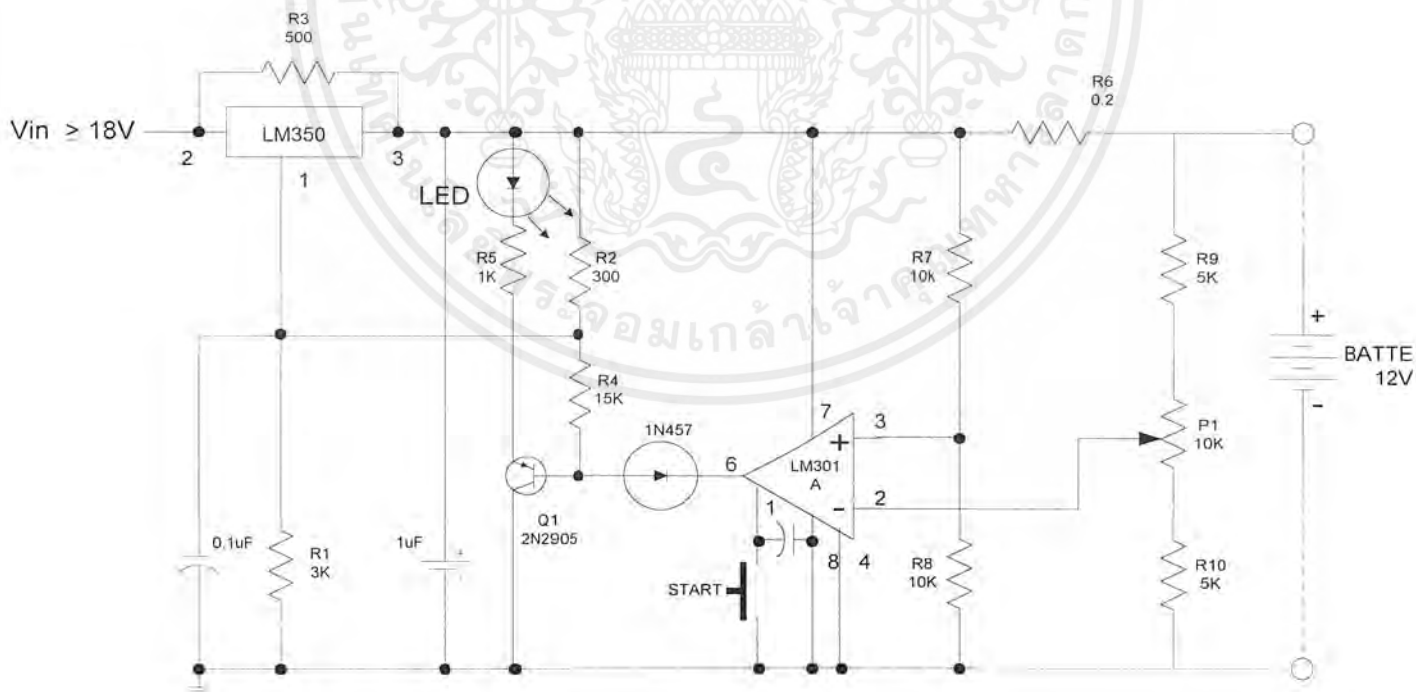
### 3.11 การทำงานของวงจรประจุแบตเตอรี่ (Battery Charger)

วงจรประจุแบตเตอรี่นี้เป็นวงจรประจุแบบแรงดันคงที่ ที่แรงดัน 14.5 V การรักษาระดับแรงดันให้คงที่นี้ โดยการควบคุมของ ไอซีเรกูเลเตอร์ (IC Regulator) เบอร์ LM 305 ซึ่งมีการจัดไอเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัสให้ ไอซี คิวย การแบ่งแรงดันจาก เอาต์พุต ด้วยตัวต้านทาน R 1 และ R2 และตรวจจับการเริ่มประจุและหยุดประจุเมื่อไหร่ด้วย ไอซี ออปแอมป์ (Op Amp) LM301 A ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator) และมี LED แสดงภาวะการประจุ แสดงดังรูปที่ 3.20

เริ่มต้นการทำงานของวงจร คือ แรงดันที่ ขา 3 ของ LM 305 ขณะที่ยังไม่ต่อแบตเตอรี่ จะมีแรงดัน 18 โวลต์ และ LED จะติดสว่าง เนื่องจากขณะนี้ ไอซี ออปแอมป์ LM 301 A ให้เอาต์พุตที่ ขา 6 เป็นแรงดันไฟฟ้า ประมาณ 0 โวลต์ ไดโอด D1 จึงได้ไบอัสตรง ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 นำกระแส

เมื่อนำแบตเตอรี่ที่ต้องการประจุมาต่อที่จุดต่อแบตเตอรี่ แรงดันที่ ขา 3 ของ LM 350 จะมีค่าแรงดันออกมาต่ำกว่า 12 โวลต์ จึงไม่มีกระแสไฟประจุเข้าแบตเตอรี่ เนื่องจากว่ามีแรงดันต่ำกว่าแรงดันแบตเตอรี่นั่นเอง และขณะนี้ LED ก็ยังติดสว่างอยู่ วงจรนี้จะทำการประจุแบตเตอรี่ เมื่อสวิตช์ START ถูกกดให้ขา 1 ของ LM301 A ลงกราวด์ส่งผลให้ เอาต์พุตของ LM301 A มีแรงดันไฟสูงประมาณ 12 โวลต์ ไดโอด จึงได้รับไบอัสกลับ ทรานซิสเตอร์จึงหยุดนำกระแส ทำให้แรงดันที่ขา 1 ของ ไอซี เรกกูเลเตอร์ ได้รับแรงดันเพิ่มขึ้นเนื่องจากกระแสไฟไม่สามารถไหลผ่าน ไดโอด ไปได้ จึงมีแต่กระแสไหลเข้า R1 อย่างเดียว ต่างกับตอนที่ D1 นำกระแสทำให้แรงดันคร่อม R1 มากขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 3.20 วงจรประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

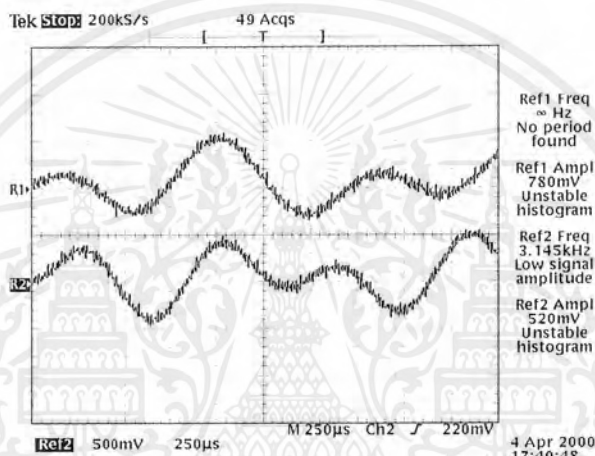
จากการทำงานของ LM 350 เมื่อขา 1 ได้รับแรงดันเพิ่มขึ้นก็จะทำให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าสูงขึ้นอยู่ที่ประมาณ 14.5 โวลต์ แรงดัน 14.5 โวลต์ นี้ จะมีค่ามากกว่าแรงดันที่เบตเตอร์ ทำให้มีกระแสไหลออกจาก LM 350 ไปประจุให้เบตเตอร์กระแสที่ไหลเข้าประจุเบตเตอร์จะผ่าน R 6 ซึ่งอนุกรมจะอยู่กับเบตเตอร์ R6 นี้มีหน้าที่ตรวจจับกระแสที่ไหล ผลจากกระแสไหลจึงมีแรงดันตกคร่อม R6 ผลต่างของแรงดันที่ตกคร่อม R6 นี้ จะถูกนำไปจัดการแบ่งแรงดันที่เหมาะสมให้กับขาอินพุตของออปแอมป์ โดย R7 และ R8 จะแบ่งแรงดันไปให้ขา อินพุทนอนอินเวอร์ตติ้ง (Non- inverting) ซึ่งมีแรงดันเท่ากับ ครึ่งหนึ่งของแรงดันเอาต์พุตของไอซีเรกกูเรเตอร์ คือ ประมาณ 14.5/2 โวลต์ และแรงดันที่ขา นี้ จะกำหนดให้เป็นแรงดันอ้างอิง ส่วนขาอินพุทอินเวอร์ตติ้ง (inverting) จะตรวจจับแรงดันที่เบตเตอร์ ซึ่งแรงดันที่เบตเตอร์และที่เอาต์พุตของไอซีเรกกูเรเตอร์ มีความแตกต่างกัน น้อยมาก เนื่องจากว่า R6 มีค่าน้อยมาก ความแตกต่างของแรงดัน จึงมีค่าเป็น มิลลิโวลต์ ขณะนี้แรงดันที่ขา นอนอินเวอร์ตติ้ง จะมีค่ามากกว่า แรงดันที่ขาอินเวอร์ตติ้งเป็นมิลลิโวลต์ ทำให้แรงดันเอาต์พุตของออปแอมป์เป็นแรงดันไฟสูง LED จึงยังดับอยู่ เมื่อเบตเตอร์ได้รับประจุก็จะมีแรงดันเพิ่มขึ้นมาเรื่อยๆ จึงทำให้กระแสที่ไหลผ่าน R6 มีค่าน้อยลง แรงดันที่ขาอินพุตทั้งสองของออปแอมป์ จึงมีความแตกต่างกันน้อยลง จนกระทั่งกระแสที่ไหลผ่าน R6 มีค่าประมาณ 10 มิลลิแอมป์ ที่ขาอินพุทอินเวอร์ตติ้ง มีค่ามากกว่าทำให้ เอาต์พุตออกเป็นแรงดันไฟต่ำ ซึ่งการตรวจจับให้ทำงาน ณ จุดนี้เกิดจากการปรับค่า P1 เพื่อกำหนดค่ากระแสการหยุดประจุ เมื่อแรงดันเอาต์พุตของออปแอมป์ เป็นแรงดันไฟต่ำ ทำให้ไอโอดและทรานซิสเตอร์ นำกระแสแรงดันที่ ขา1 ของไอซีเรกกูเรเตอร์จึงมีค่าต่ำลงทำให้เอาต์พุตของ ไอซีเรกกูเรเตอร์มีค่าต่ำลงกว่า 12 โวลต์ เบตเตอร์จึงหยุดประจุ และ LED ติดสว่างแสดงภาวะว่าประจุเต็มแล้ว

## บทที่ 4

## การทดลองและผลการทดลอง

## 4.1 การทดลองวงจรผลิตสัญญาณความถี่ DTMF

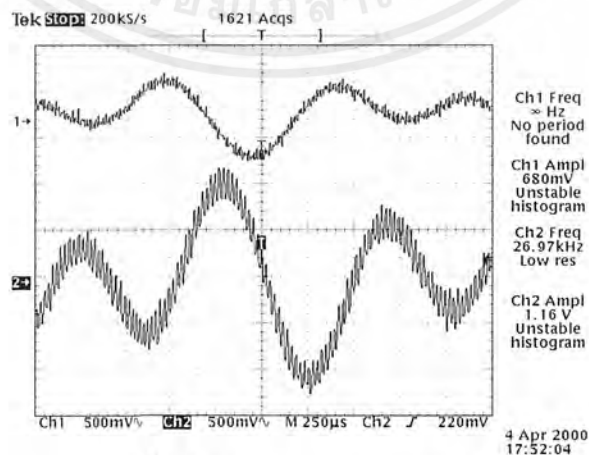
วงจรผลิตสัญญาณความถี่ DTMF ตามรูปที่ 3.1 เมื่อทดลองหมายเลขสองหมายเลขเพื่อเปรียบเทียบกันจะเห็นความแตกต่างรูปสัญญาณ DTMF ที่ถูกผลิตขึ้นมาระหว่างสัญญาณ DTMF ของหมายเลข 1 และหมายเลข 9 ซึ่งถูกผลิตโดย IC 145412 จะเห็นได้ว่าสัญญาณความถี่ DTMF ของหมายเลข 1 (CH 1) จะมีความถี่ต่ำกว่า หมายเลข 9 (CH 2) ดังข้อมูลตารางการผลิตความถี่ DTMF ที่แสดงไว้ในบทที่ 3 หัวข้อ 3.1



รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบสัญญาณ DTMF ของหมายเลข 1 และหมายเลข 9

## 4.2 การทดลองวงจรเครื่องส่ง

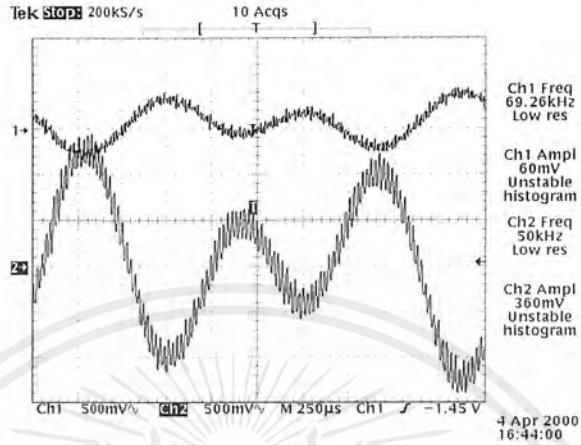
4.2.1 วัดสัญญาณที่เข้ามาแล้วผ่านวงจรขยายคือจุด A และ จุด B จากวงจรเครื่องส่งในรูปที่ 3.9 ได้ดังรูปที่ 4.2 จุด A (ch 1) จุด B(ch 2)



รูปที่ 4.2 สัญญาณ จุดA และ จุดB

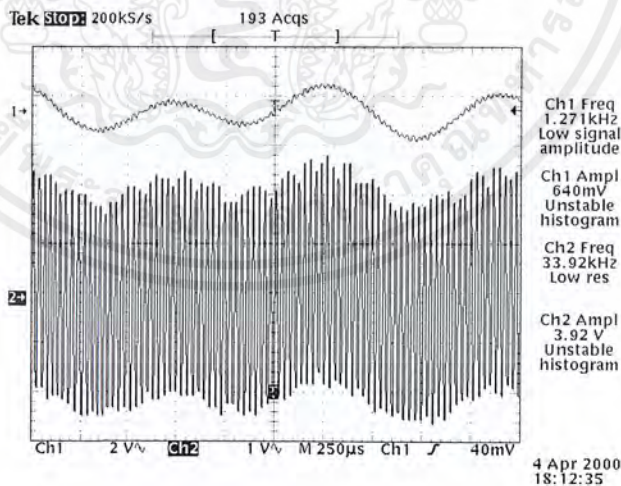
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าสัญญาณทั้ง 2 จุดจะไม่ต่างเฟสกัน 180 องศาพอดีเนื่องจากสัญญาณผ่านวงจร RC ซึ่งสามารถวัดดูว่าวงจรมีขยายเป็นวงจรขยายกลับเฟส 180 องศาจริงโดยวัดที่ขา R10 เทียบกับขาเอาต์พุทของ IC4069 ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3

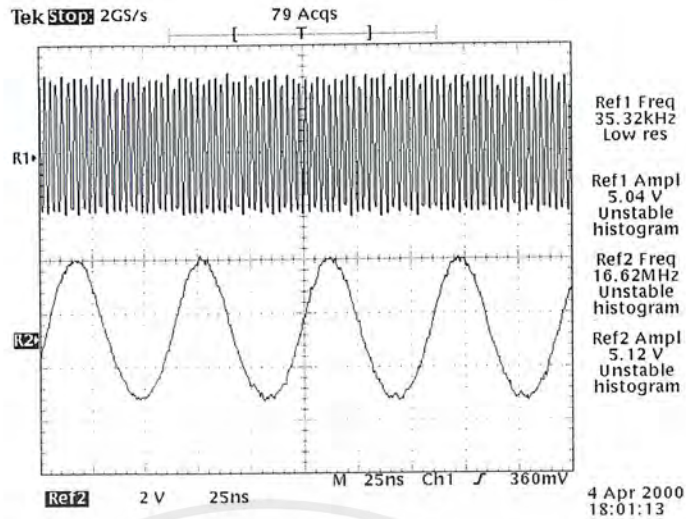
4.2.2 วัดสัญญาณความถี่ 16 MHz ซึ่งเป็นความถี่กลาง ตรง จุด C ขณะที่ยังไม่มีสัญญาณอินพุทป้อนเข้ามาที่ จุด A ภาพที่แสดงให้เห็นนี้เป็นความถี่ที่สามารถอ่านค่าไม่ได้และภาพที่สามารถอ่านค่าได้เมื่อปรับ Time / sec ก็จะเห็นสัญญาณความถี่ 16 MHz อย่างชัดเจนดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4

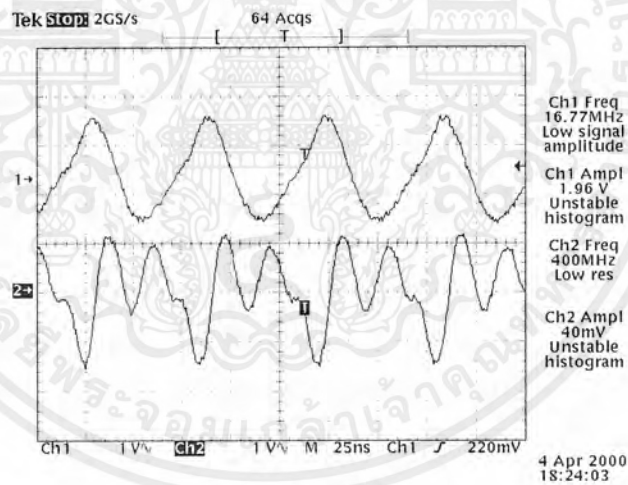
4.2.3 วัดสัญญาณ จุด C เช่นเดิมแต่ว่ามีสัญญาณ DTMF ของหมายเลข 1 ป้อนเข้ามาเป็นอินพุทที่ จุด A แต่ละเปรียบเทียบสัญญาณ จุด C กับ จุด B เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนว่ามันสัมพันธ์กับอินพุทอย่างไร ดังรูปที่ 4.5 รูปบนคือ จุด B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



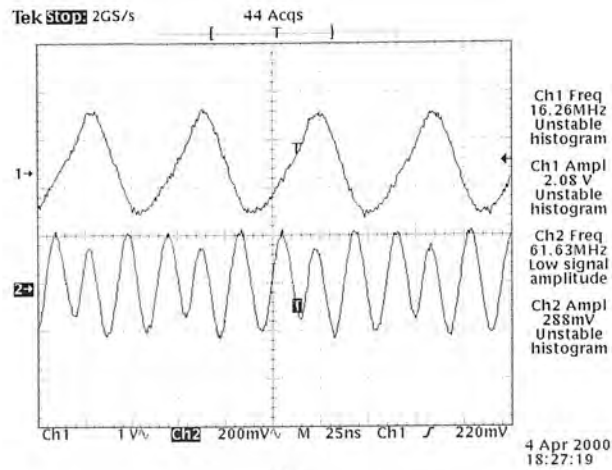
รูปที่ 4.5

4.2.4 วัดสัญญาณที่ผ่านการผสมระหว่างความถี่กลางกับสัญญาณ DTMF แล้ว ณ จุด D เปรียบเทียบกับ จุด E ซึ่งเป็นสัญญาณที่มีอดุลยความถี่กลางให้เป็นความถี่วิทยุประมาณ 50 MHz ออกมาเป็นดังรูปที่ 4.6 รูปบนคือ จุด D



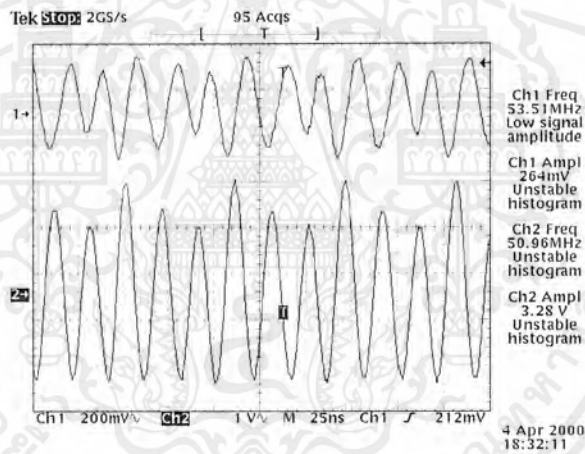
รูปที่ 4.6

เห็นได้ว่าสัญญาณที่ จุด E นั้นยังไม่เป็นสัญญาณชาชนที่สวยงามเท่าไรนัก จึงวัดสัญญาณที่ จุด F เปรียบเทียบดูจะเห็น ได้ว่ามีความเป็นชาชนมากขึ้นเนื่องจากว่าสัญญาณ จุด F คัปปลิ่งออกมา ด้วยทรานฟอเมอร์ ดังจะเห็นในรูปที่ 4.7 รูปบนคือ จุด D รูปล่างคือ จุด F



รูปที่ 4.7

4.2.5 วัดสัญญาณ จุด G ซึ่งเป็นความถี่ RF ที่ผ่านวงจร Amplifier RF แล้วเปรียบเทียบกับก่อนการขยาย ดังรูปที่ 4.8 รูปบนคือสัญญาณก่อนขยายหรือ จุด F จะเห็นได้ว่า มีอัตราขยายแรงดันที่สูงมาก

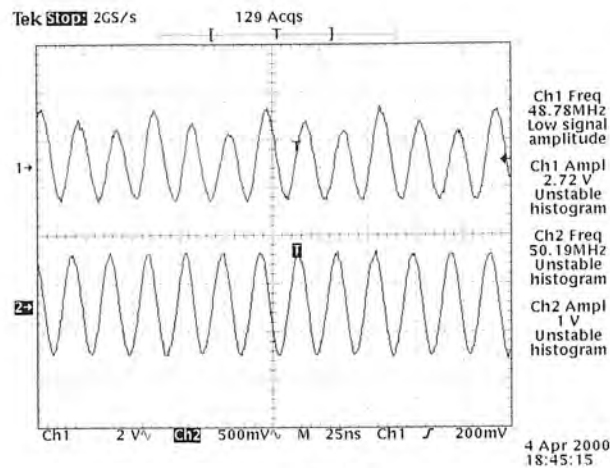


รูปที่ 4.8

### 4.3 การทดสอบเครื่องรับ

เนื่องจากภาครับได้ใช้ ชิฟไอซี การวัดเพื่อตรวจสอบต่างๆจะทำได้น้อยเนื่องจากว่าวงจรส่วนใหญ่บรรจุอยู่ใน ไอซีเกือบหมดแล้ว ดังนั้นการวัดจะวัดเพียงว่าสามารถรับสัญญาณความถี่ RF ที่เครื่องส่งส่งมาได้หรือไม่ โดยจากการทดลองปรากฏว่าสัญญาณ RF มีค่าต่ำมากจนไม่สามารถวัดเห็นได้จากวงจร Band Pass Filter ที่รับสัญญาณจากสายอากาศ จะวัดได้เมื่อผ่านการคัปปลิงสัญญาณด้วยทรานฟอเมอร์จากทรานซิสเตอร์ที่ขยายสัญญาณ RF แล้วเท่านั้นคือสัญญาณที่มาจากขา 16 ของไอซี ซึ่งสัญญาณที่วัดได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.9 เป็นการเปรียบเทียบสัญญาณด้านส่งภาพบนและด้านรับภาพล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



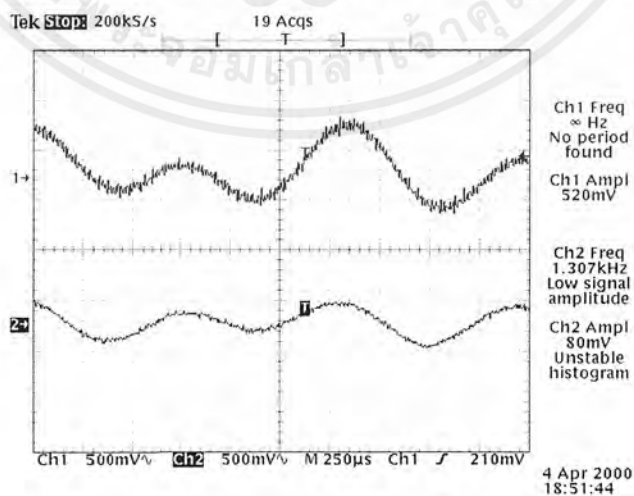
รูปที่ 4.9

#### 4.4 การทดลองวงจรถอดรหัสสัญญาณความถี่ DTMF เป็น BINARY

การทดลองวงจรส่วนนี้ได้สัญญาณจากรูปที่ 4.1 ซึ่งผลิตโดยวงจรในรูปที่ 3.1 มาป้อนเข้าวงจรในรูปที่ 3.10 ตรงๆ โดยไม่ผ่านชุดเครื่องรับ-ส่ง FM ผลการทดลองที่ได้จะเป็นตามตารางที่ 3.1 ทุกหมายเลข และทุกครั้งที่มีการกดส่งหมายเลขไอซี MT8870 จะส่งสัญญาณ Std ออกมา 1 พัลส์เสมอ

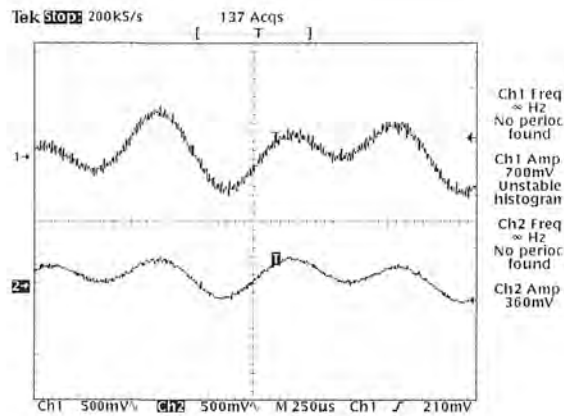
#### 4.5 ทดสอบการส่งข้อมูลผ่านเครื่องส่ง-รับ

การทดลองขั้นตอนนี้ได้ประกอบวงจรขึ้นสมบูรณ์โดยแบ่งเป็น 2 วงจรคือ ด้านส่งจะนำวงจรในรูปที่ 3.1 ไปประกอบป้อนสัญญาณอินพุตให้กับเครื่องส่งรูปที่ 3.2 ส่วนด้านรับนำวงจรรูปที่ 3.10 ไปประกอบเข้ากับวงจรเครื่องรับในรูปที่ 3.2 โดยนำสัญญาณ DTMF Out ของเครื่องรับป้อนเป็นอินพุตให้กับวงจรถอดรหัสโดยตรง จากนั้นนำวงจรที่ประกอบเสร็จแล้วทั้ง 2 ส่วนวางห่างกันประมาณ 10 เมตร แล้วทดลองกดหมายเลข 1 และ 9 ส่งออกไป แล้ววัดดูที่ขา 9 ของ LM3361 เปรียบเทียบดูระหว่างด้านส่งภาพบนและด้านรับภาพล่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และ 4.11



รูปที่ 4.10 เมื่อส่งข้อมูลหมายเลข 1

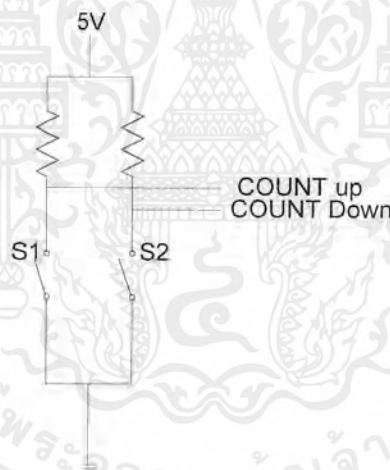
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 เมื่อส่งข้อมูลหมายเลข 9

#### 4.6 การทดลองวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวัดแรงดันวงจรการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอกแบบ R-2R



โดยการต่อวงจรดังรูปข้างบน เพื่อกำหนดรูปแบบ ลอจิกของสัญญาณ ไปเข้าที่ขาของ ไอซี เคาท์เตอร์ใน รูปวงจรที่ 3.11 เมื่อกด S1 จะ ได้ขอบขาลงของสัญญาณพัลส์ไปเข้าที่ขานับขึ้นของ ไอซี ค่าที่ เอาท์พุท QD QC QB QA ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น 1 ค่า เช่น 0010 เป็น 0011

แต่ถ้ากด S2 จะเป็นการสั่งให้ ไอซีทำการนับลง 1 ค่า เช่น 0011 เป็น 0010 เป็นต้น และจาก วงจรในรูปที่ 3.11 นี้ สัญญาณจาก ไอซีนับ ไปเข้าวงจร R\_2R แปลงดิจิทัลเป็นอนาลอก ซึ่งผลการ ทดลองในการกด S1 ตั้งแต่ค่า 0000 จนถึง 1111 แสดงได้ดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการแปลงดิจิทัลเป็นแรงดันอนาลอกแบบ R<sub>2</sub>R

Qd	Qc	Qb	Qa	O/P LM324	Vout (moter)
0	0	0	0	0.14	7.20
0	0	0	1	0.32	7.75
0	0	1	0	0.57	7.76
0	0	1	1	0.82	7.71
0	1	0	0	1.05	8.32
0	1	0	1	1.28	10.01
0	1	1	0	1.53	10.14
0	1	1	1	1.75	10.27
1	0	0	0	1.94	10.34
1	0	0	1	2.15	10.38
1	0	1	0	2.37	10.49
1	0	1	1	2.66	10.57
1	1	0	0	2.89	10.59
1	1	0	1	3.13	10.66
1	1	1	0	3.38	10.69
1	1	1	1	3.65	10.72

#### 4.7 การทดลองการแปลงสัญญาณจาก digital เป็น Analog Suceeessive Approximation

โดยการต่อวงจรดัง รูปที่ 4.12 ในส่วนของการทดลองวงจรนี้ค่อนข้างจะยุ่งยากซักหน่อยเพราะว่าไม่สามารถทดลองแบบ MAUNAL ได้ การทดลองจะต้อง โปรแกรมเขียนควบคุมการส่งข้อมูลเข้าไปที่ ขา SDA ซึ่งเป็นการส่งแบบอนุกรม โดยจะต้องเขียนโปรแกรมส่งสัญญาณนาฬิกาควบคุมการส่งข้อมูลออกไปด้วยดังรูปที่ได้แสดงไว้ และ โปรแกรมการควบคุมแสดงไว้ที่ข้างล่างนี้ ซึ่ง R4 เป็นตัวเซตค่า เลขดิจิทัล

```
; FILENAME XPCF8591.ASM
```

```
; DESCRIPTION DAC EXAMPLE PROGRAM
```

```
; HARDWARE JAZZ-31 WITH PCF8591
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

; ASSEMBLER   SXA51
; HARDWARE   PCF8591 PIN-9 (SDA) -> JAZZ-31 P1.0
; PCF8591 PIN-10 (SCL) -> JAZZ-31 P1.1
SDA   EQU   P1.0SCL   EQU   P1.1
PCF8591 EQU   90H
      ORG   8100H
;***** DIGITAL TO ANALOG LOOP *****
DAC:  MOV   R2,#PCF8591
      MOV   R3,#40H
      MOV   R4,#0FFH
DAC1: PUSH  04
      ACALL PUTREG
      POP   04
      JC   DAC1   ;JUMP ON ERROR
      JMP  $
;***** PUTREG SUB *****
; TRANSMIT ADDRESS AND DATA BYTE OVER I2C BUS
; IN:  R2 = ADDRESS
;      R3 = REGISTER
;      R4 = DATA
; OUT: CY = 1 IF SEQUENCE COMPLETES
;      CY = 0 IF UNABLE TO TRANSMIT
PUTREG: JNB  SCL,BUSFLT
      JNB  SDA,BUSFLT   ;JUMP IF BUS FAULT
      MOV  A,R2   ;SETUP SLAVE ADDRESS
      ACALL START   ;SET START CONDITION
      ACALL TXBYTE   ;SEND SLAVE ADDRESS
      JC   PUTREX   ;JUMP ON ERROR
      MOV  A,R3   ;SETUP REGISTER ADDRESS
      ACALL TXBYTE   ;SEND REGISTER ADDRESS
      JC   PUTREX   ;JUMP ON ERROR
      MOV  A,R4   ;SETUP DATA BYTE

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        ACALL TXBYTE      ;GO SEND
PUTREX: ACALL STOP      ;SET STOP CONDITION
        RET
BUSFLT: SETB C          ;SET ERROR CODE IF BUS FAULT
        RET
;***** TXBYTE SUB *****
;TRANSMIT A BYTE OVER I2C BUS
;IN:  ACC CONTAINS BYTE TO TRAANSMIT
;OUT: CY = 0 IF SEQUENCE COMPLETES
;     CY = 1 IF UNABLE TO TRANSMIT
TXBYTE: MOV  R5,#8      ;8 BITS TO SEND
        XBI:  RLC  A      ;ROTATE DATA TO SEND
        MOV  SDA,C      ;PUT BIT ON PIN
        ACALL PLSCl      ;EMIT CLOCK PULSE
        DJNZ R5, TXBI    ;LOOP UNTIL DONE
        SETB SDA        ;RELEASE DATA PIN
        ACALL SETSCL     ;SCL HIGH
        JNB  SDA, TXB2   ;JUMP IF ACK SEEN
        ACALL CLRSCl     ;SCL LOW
        SETB C          ;SET ERROR CODE
        RET
TXB2:  ACALL CLRSCl     ;DROP SCL
        CLR  C          ;SET COMPLETE CODE
        RET
;***** START SUB *****
;START SEQUENCE
START:  SETB SDA
        ACALL SETSCL
        CLR  SDA
        CALL BITDL
        ACALL CLRSCl
        RET

```

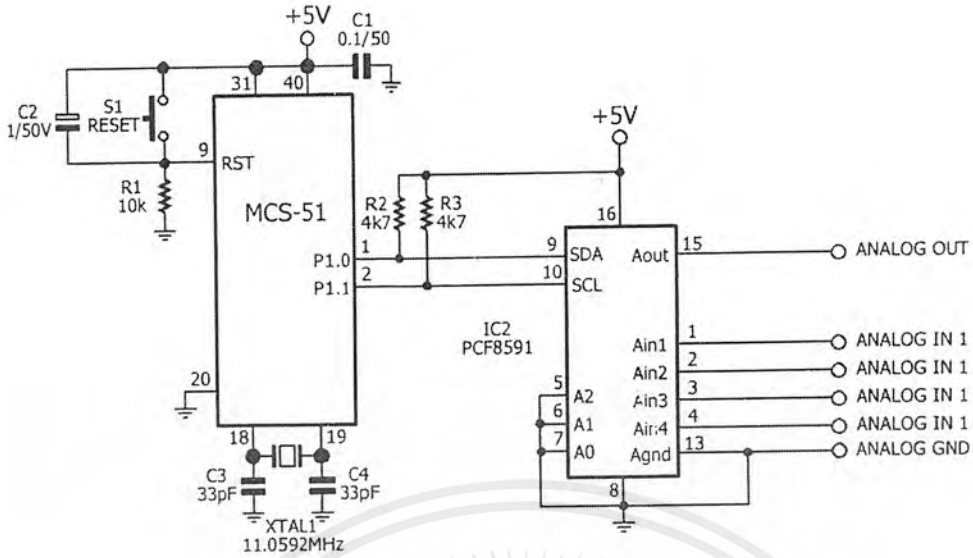
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;***** STOP SUB *****
;
;STOP SEQUENCE
STOP: CLR SDA
      ACALL SETSCL
      SETB SDA
      ACALL BITDL
      RET
;***** PLSCL SUB *****
;EMIT CLOCK PULSE TO SCL PIN
PLSCL: ACALL SETSCL
       ACALL CLRSCl
       RET
;***** SETSCL SUB *****
;SET SCL PIN
SETSCL: SETB SCL
        JNB SCL,$
        ACALL BITDL
        RET
;***** CLRSCl SUB *****
;CLEAR SCL PIN
CLRSCl: CLR SCL
        ACALL BITDL
        RET
;***** BITDL SUB *****
;BIT DELAY
BITDL: NOP
      NOP
      RET
      END

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงการต่อวงจรทดลอง แบบ Successive Approximation จากวงจรทดลองต่อขา 14 ของ PCF 8591 ที่แรงดัน 5 V ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

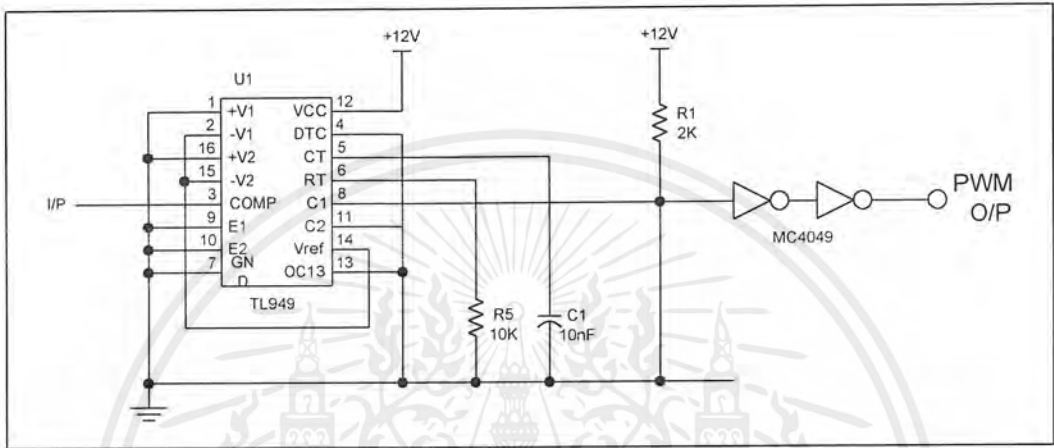
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการแปลงดิจิทัลเป็นอนาลอกแบบ Successive Approximation

ค่า Digital	แรงดัน Output
FP	4.8
FO	4.6
EF	4.66
EO	4.38
DF	4.36
DO	4.17
CF	4.05
CO	3.76
BF	3.71
BO	3.42
AF	3.40
AO	3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

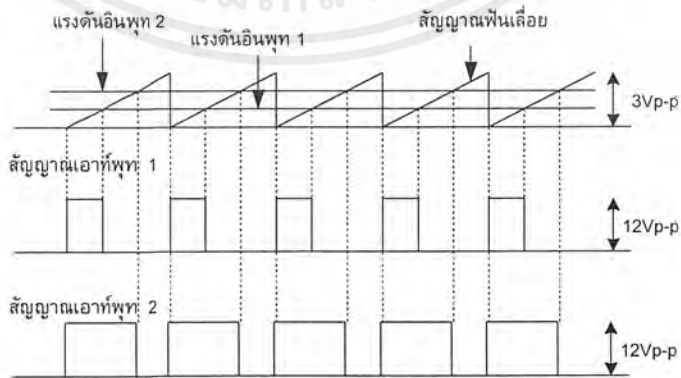
#### 4.8 วงจรควบคุมความกว้างพัลส์

นำสัญญาณที่ได้จาก DAC จากการทดลอง R-2R เป็นสัญญาณอินพุตให้กับวงจรนี้ และสัญญาณนี้จะทำการเปรียบเทียบกับพัลส์สามเหลี่ยม จะเห็นได้ว่าเมื่อ แรงดันอินพุตมีค่าเพิ่มมากขึ้นความกว้างสัญญาณพัลส์จะมีความกว้างช่วงบวกเพิ่มมากขึ้นตามก็จะให้แรงดันเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.13 วงจรการทดลองควบคุมความกว้างพัลส์

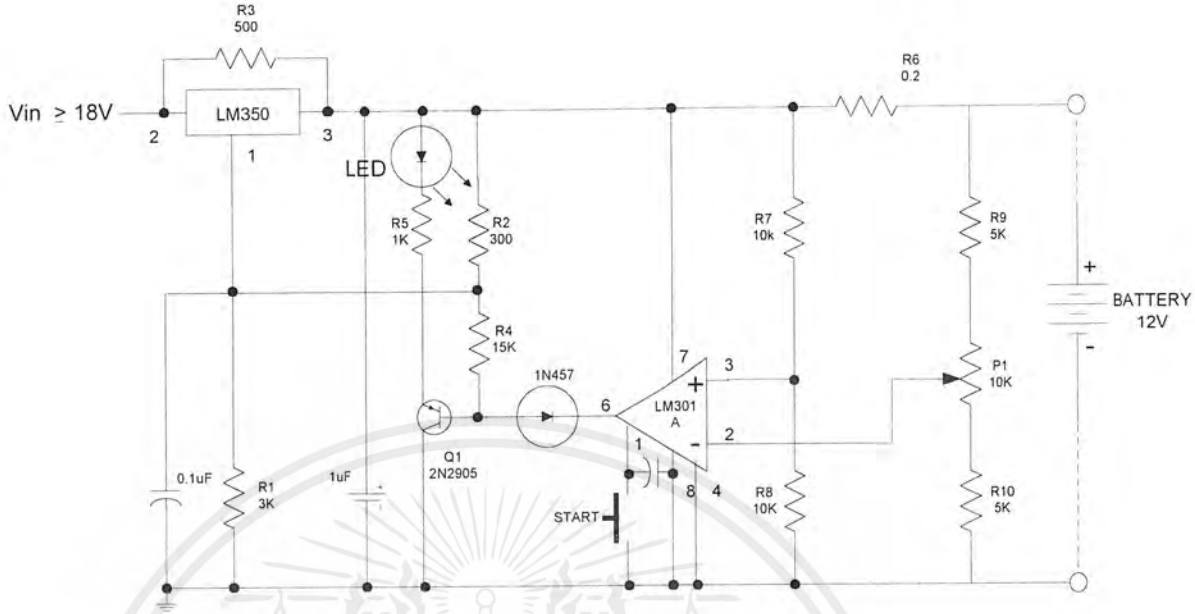
จากการทดลองกราฟเอาต์พุตที่แรงดันไฟตรงที่ได้จากวงจร DAC จะทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณฟันเลื่อย(sawtooth)เพื่อให้ได้สัญญาณเอาต์พุตตามทฤษฎีที่กล่าวมาแล้วคือสัญญาณพัลส์ วิดซ์มอลดูเลเตอร์(PWM) เช่นผลการทดลองเมื่อให้เคาเตอร์นับขึ้นจาก 0000 จนเป็นค่า 0110 จะได้แรงดันที่ผ่านวงจร DAC ทำให้ได้เอาต์พุตที่เป็น PWM ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.14สัญญาณเอาต์พุตที่แรงดันอินพุตต่างกัน โดยใช้ไอซี 74193

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 ผลการทดลองของวงจรประจุแบตเตอรี่ (Battery Charger)



ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองประจุกระแส Lead-Acid Battery 12V 2.2AH

เวลา (ชม.)	กระแส (A)
0:00	0.298
1:30	0.296
2	0.289
2.15	0.283
2.45	0.274
3	0.256
3.15	0.251
3.30	0.247
4	0.233
4.20	0.228
4.30	0.219
4.40	0.215
4.50	0.209
5	0.203
5.10	0.197

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.20	0.183
5.30	0.177
5.40	0.175
5.50	0.160
6	0.155
6.20	0.145
6.30	0.136
6.40	0.127
6.50	0.109
6.60	0.090
6.70	0.084
6.80	0.064
6.90	0.056
7.00	0.045
7.10	0.038
7.20	0.034
7.30	0.030

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

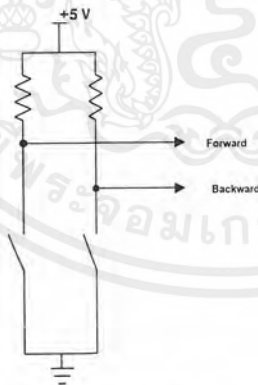
นำผลที่ได้จากการทดลองไปวาดกราฟ



กราฟแสดงผลการทดลองประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (Lead-Acid)

#### 4.10 การทดลองการควบคุมทิศทาง MOTOR

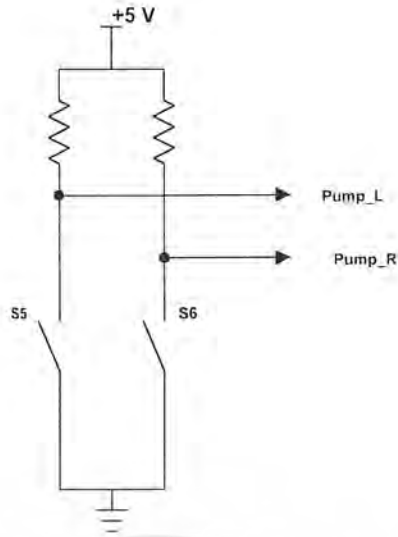
นำวงจรจากการทดลองในหัวข้อ DAC R-2R มาต่อเข้ากับวงจรควบคุมทิศทาง MOTOR ที่ขา PWM ดังรูปภาครับที่กล่าวมา และที่ขา Forward , Backward ต่อสวิตช์ตามรูปข้างล่าง



#### 4.11 การทดลองการควบคุมการปิดเปิดปั๊ม

โดยการต่อสวิตช์เข้าที่ขา Pump\_R,L ตามรูป ใช้สัญญาณ PWM จาการทดลอง DAC R-2R . ในกรณีนี้ใช้แทน PCF8591 เนื่องจากต้องการหลีกเลี่ยงการทดลองวงจรโดยการเขียนโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

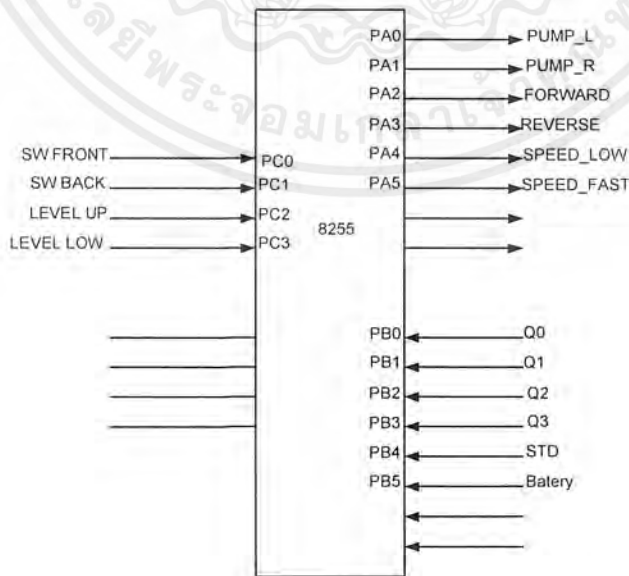


ผลของการทดลองจะเป็นดังนี้  
 เมื่อเปิด S5 pump\_L จะทำงาน  
 เมื่อเปิด S5 pump\_R จะทำงาน

#### 4.12 การทดลองทางด้านโปรแกรม

การทำงานในส่วน โปรแกรมจะเป็นลักษณะเหมือนไคอะแกรมที่แนบ(ภาคผนวก)และกำหนดค่าต่าง ๆ จะอยู่ในขอบเขตของตารางการทำงานของวงจรหรือเงื่อนไขในการต่อฮาร์ดแวร์โดยหลักการทำงานเป็นดังนี้

- เริ่มต้นจากรูปที่ 4.15 การต่อ port 8255 เรากำหนด ให้ port\_c ต่าง port\_b เป็นอินพุต port\_a เอาท์พุท ซึ่งค่า Control Word มีค่าเท่ากับ 83H



รูปที่ 4.15 การต่อใช้งาน 8255 PORT

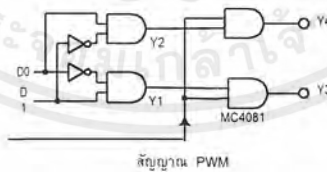
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R	L	สถานะ
0	0	Pump R, L off
0	1	Pump L on, Pump off
1	0	Pum_on, Pump_Loff
1	1	Pump R, Lon

ตารางที่ 4.4เงื่อนไขการเขียน โปรแกรม ควบคุมปั๊ม

Probe Down	Probe Up	สถานะ
0	0	สารเคมีหมดต้องไปเติมสารเคมี
0	1	ไม่อยู่ในเงื่อนไข
1	0	ยังมีสารเคมีอยู่ทำงานต่อได้
1	1	หยุดกลับมาเติมสารเคมี ไปทำงานต่อ

ตารางที่ 4.5 ตรวจสอบระดับสารเคมี



D1	D0	Y1	Y2
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0

ตารางที่ 4.6 กำหนดค่าการทำงานของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ครั้งแรกจากตารางกำหนดค่าต่าง ๆ เราทำการ โหลดค่า 3CH เพื่อให้ หยุดการทำงานของ ปีมและ มอเตอร์
- ทำการค่า Port 8255 ที่ Port\_B ซึ่งเป็นค่า Binary จากสัญญาณ DTMF
- ทำการตรวจสอบค่าเปรียบเทียบเปิดตารางตรงกับกรณีใดจะกระโดดไปบริการ โปรแกรมย่อยนั้น
- หากตรวจสอบไม่ตรงกับค่าในตารางหรือไม่มีการส่งสัญญาณ DTMF ก็จะตรวจสอบ
  1. สวิตช์หน้ามีการชนหรือไม่ ถ้ามีกลับไปจุดเริ่มต้นแล้วหยุด หรือรอจนกว่าจะมีการกดสัญญาณ DTMF จากภาคส่งอีก
  2. ระดับสารเคมีจะต้องเต็มหรือไม่ ถ้าอยู่ในระดับที่ต้องเติมสารเคมีจะกลับไปเติมสารเคมีในระหว่างการกลับไปเติมก็จะทำการตรวจสอบระยะทางด้วย เมื่อสารเคมีเต็มเต็มจะกลับไปจุดสารเคมีหมด
  3. ตรวจสอบการประจุ Battery ต้องมีการประจุหรือไม่ ถ้ามีการประจุ Battery เมื่อประจุ Battery เต็มแล้วจะรอการสั่งงานจากเครื่องส่ง
- จะเห็นได้ว่าเมื่อการบริการ โปรแกรมย่อยเสร็จก็จะมีการกลับไปอ่านค่าสัญญาณจากเครื่องส่งอีก

#### การทำงานและหน้าที่ของคำสั่งต่าง ๆ

เมื่อเรากดคีย์ (สัญญาณ DTMF) ทำให้การรับสัญญาณจ่านำค่า Binary ที่ได้ไปเปิดตาราง ซึ่งคีย์ต่างๆ มีหน้าที่ดังนี้

1	2	3
4	5	6
7	8	

1. เพิ่มความเร็วของมอเตอร์ ( fast speed motor )
2. ลดความเร็วของ motor ( slow speed motor )
3. ให้มอเตอร์เดินหน้า ( motor forward )
4. ให้มอเตอร์ถอยหลัง ( motor reverse )
5. on / off pump ซ้าย
6. on / off pump ขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เพิ่มการพ่นปริมาณสารเคมี ( increase spray )
9. ลดการพ่นปริมาณสารเคมี ( decrease spray )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

1. จากการทดลองได้ผลเป็นที่น่าพอใจ โครงการนี้ได้ใช้ย่านความถี่ VHF 50 MHz ในภาคส่งใช้ทรานซิสเตอร์เป็นหลักในการผลิตสัญญาณออสซิลเลเตอร์ วงจรมิกเซอร์ และวงจรถ่ายสัญญาณความถี่วิทยุในการส่งออกอากาศการทดลองได้ใช้เครื่องมือวัดแถบความถี่สเปกตรัม จะเห็นแถบความถี่ตรงกลางที่ 49.927 MHz และมีความแรง  $-14$  dBm ในภาครับได้ใช้ชิพไอซี LM3361 ในการดีมอดคูเลทสัญญาณความถี่วิทยุเป็นความถี่ IF, การดีเทกเอาสัญญาณออกดีโอดอกจากสัญญาณ IF พร้อมทั้งมีภาควิทยุสัญญาณออกดีโอดอกทำให้วงจรภาครับง่ายในการประกอบและตรวจเช็คขณะทดลอง และจากการทดสอบส่งสัญญาณในภาวะพื้นที่ปกติสามารถส่งข้อมูลไปยังภาครับได้ระยะทางถึง 20 เมตร ในขณะที่ยังสามารถควบคุมส่งสัญญาณ

2. เนื่องจากว่า ไอซีถอดรหัสความถี่ DTMF MT8870 มีความแม่นยำในการถอดรหัสความถี่ DTMF จึงทำให้ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมีน้อยเหมาะแก่การนำไปประยุกต์และพัฒนาในการทำงานควบคุมระยะไกลแบบรีโมทคอนโทรล ได้อีกมากมาย

4. ในการควบคุมมอเตอร์และปั๊ม การเขียน โปรแกรมควบคุมจะง่ายกว่าปั๊มเพราะการต่อวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกที่แตกต่างกัน

5. วงจรประจุแบตเตอรี่ แรงดันคงที่ที่ประจุแบตเตอรี่มีที่กระแสเริ่มต้นมีค่ามากจนกระทั่งลดลงเกือบเป็นศูนย์แอมแปร์ เมื่อแบตเตอรี่ประจุเต็มแล้ว

#### 5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

1. ในการทดลองนี้ผู้จัดทำได้ความรู้เพิ่มมากมาย เช่น หากต้องการให้สามารถติดต่อได้ไกลกว่าเดิมนั้น สามารถทำได้โดยเพิ่มความแรงของเครื่องส่งขึ้น โดยไม่มีผลกระทบต่อภาครับ และหากภาครับมีการขยายสัญญาณ RF ที่ต้องการได้ดี ก็จะช่วยเพิ่มระยะทางในการติดต่อขึ้นไปอีก ตรงจุดนี้ผู้จัดทำได้พบปัญหาขณะทดลอง คือ บางครั้งบางวันติดต่อได้ไกล 8-10 เมตร หรือบางวันทดลองแล้วติดต่อได้ไม่ไกลนัก 2-3 เมตร ก็เนื่องจากการต่อทรานซิสเตอร์ภาคขยายสัญญาณ RF ผิด คือ ไม่มีการขยายสัญญาณ RF ให้แรงขึ้นก่อนเข้า LM3361 เลย แต่ก็ยังสามารถติดต่อได้ดังที่กล่าวมาแสดงว่าการออกแบบภาครับและภาคส่งให้มีการขยายและตอบสนองความถี่เรโซแนนซ์ RF ให้ดีก็จะช่วยให้การติดต่อมีระยะทางเพิ่มขึ้นไปอีก

2. วงจรควบคุมมอเตอร์ซึ่งสั่งงานด้วยโปรแกรมนี้ การควบคุม การหมุนซ้าย-ขวา ของมอเตอร์ สามารถควบคุมได้อย่างถูกต้องแน่นอน เพราะจะใช้ลอจิก "1" และ "0" เข้าวงจรเกตเพื่อถอดรหัสว่าจะสั่งงานให้หมุนอย่างไร ส่วนในเรื่องของการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ จะมีใช้หลักการแปลง D/A เพื่อไปควบคุมวงจร PWM การส่งข้อมูลจากโปรแกรมออกไปเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณนาฬิกา (Clock) 1 ลูก เพื่อสั่งงานไอซีเคาเตอร์ให้ได้รับรหัส BCD 4 bit แบบขนานไปเข้า วงจร D/A ทำให้อ่านในการเขียน โปรแกรมและมีการตอบสนองที่ไวกว่าการที่จะส่งข้อมูลแบบอนุกรม ความเร็วของมอเตอร์จะถูกควบคุมได้เร็ว แต่ว่าระดับความเร็วของมอเตอร์ทั้งหมดแต่ระดับไม่มีความลิเนียร์ (linear) เนื่องจากผลของการแปลง D/A ไม่มีความเป็นลิเนียร์ดังที่ได้เห็นจากผลการทดลอง เมื่อมองดูความเร็วของมอเตอร์ด้วยตาจะแยกแยะออกยากมาก ต้องใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณ PWM ดู จึงจะเห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงทุกระดับจริง จะง่ายต่อการออกแบบภาคจ่ายไฟให้จุ่มมอเตอร์ เพราะใช้แรงดันตัวเดียว แต่แรงดันเฉลี่ยจะขึ้นอยู่กับค่าดีวตีไซเคิล (Duty Cycle) ของ PWM

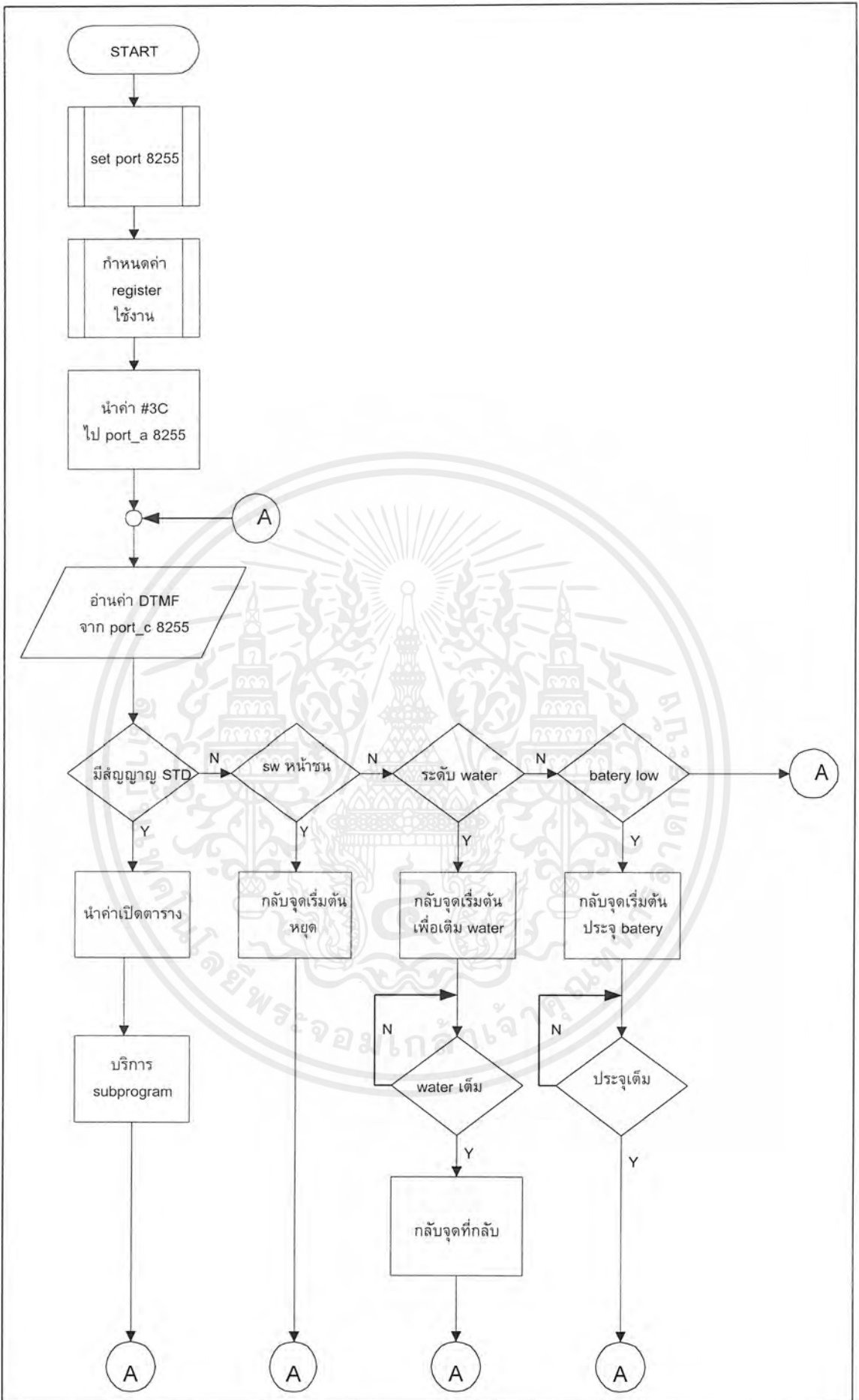
3. การควบคุมทิศทางของมอเตอร์มีความถูกต้องแน่นอน และการควบคุมความเร็วจะไม่ค่อยลิเนียร์ เนื่องจากใช้การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก ( D/A ) แต่ง่ายต่อวงจรและเขียนโปรแกรมควบคุมการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการควบคุมได้ใช้การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอกแบบอนุกรม และสามารถเปลี่ยนค่าการกระโดดข้ามของสัญญาณแรงดันได้

4. วงจรประจุแบตเตอรี่ เป็นวงจรประจุแบบแรงดันคงที่ ดังนั้นการตรวจสอบว่าประจุเต็มหรือยังก็ต้องตรวจสอบกระแสที่ประจุว่าควรจะให้หยุดประจุนะดับไหน กระแสค่าเท่าไร ซึ่งจากการทดสอบ พบว่าการเริ่มประจุจะเริ่มประจุ 3-4 ชม. แรก กระแสที่ประจุแบตเตอรี่จะมีค่าที่ค่อนข้างคงที่ แต่เมื่อผ่านไปกระแสประจุจะเริ่มลดลงจนเกือบต่อเนื่องทั้งนี้ เพราะว่าแบตเตอรี่เมื่อได้รับประจุที่มากขึ้นแล้ว แรงดันที่ตัวมันเองจะเพิ่มขึ้นพร้อมทั้งค่าความต้านทานภายใน ทำให้ด้านการไหลของกระแสที่ประจุให้น้อยลงนั่นเอง

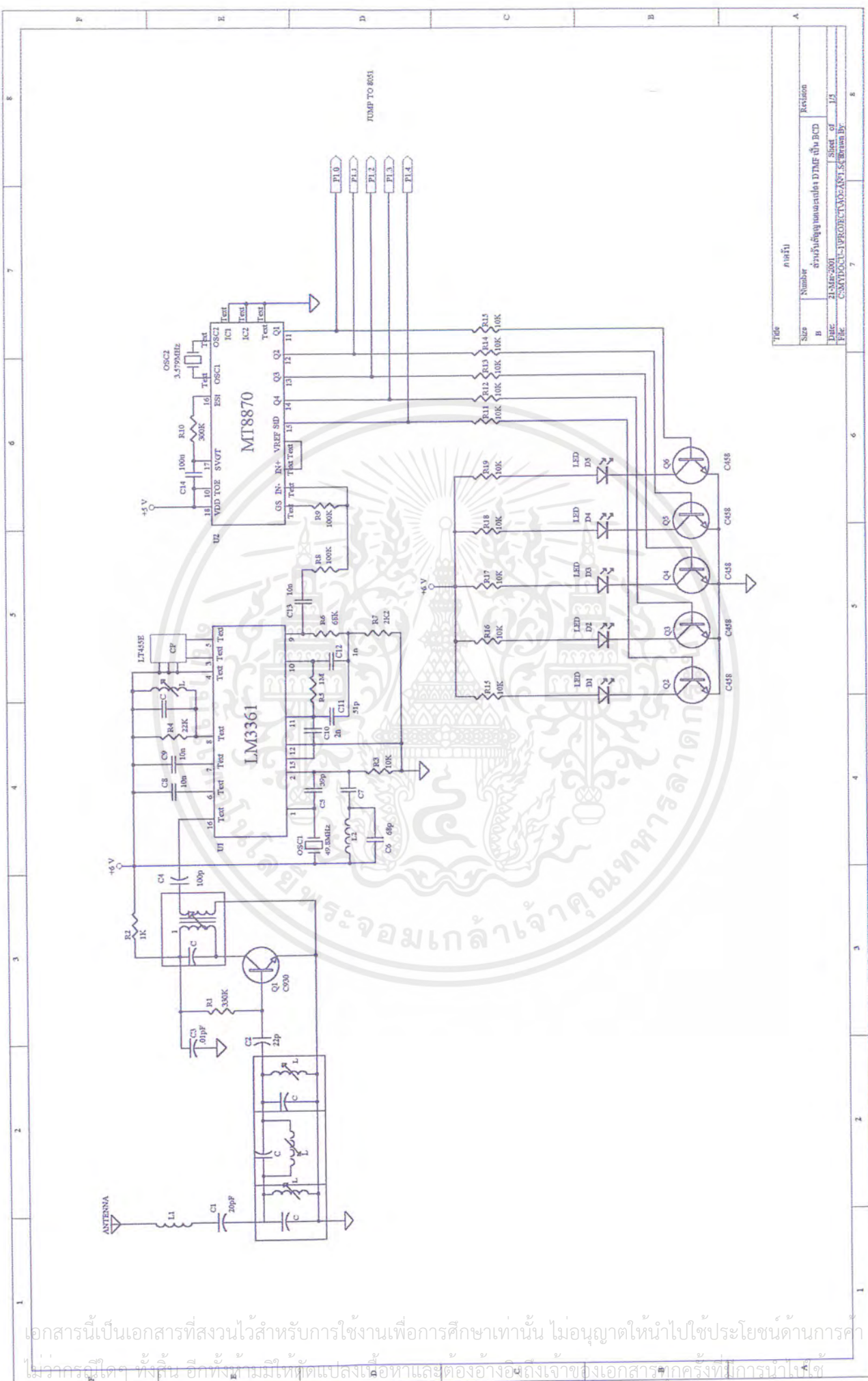
5. การตรวจจิบระดับสารเคมี (ในการทดลองใช้น้ำมีค่าความต้านทานวัดได้ 20K) คือค่าความต้านทานของสารเคมีแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันดังนั้น R Divider จะต้องปรับค่าได้ตามชนิดของสารเคมีเพื่อให้การแบ่งแรงดันได้แรงดันเป็นสัญญาณ LOGIC 1 หรือ 0 ที่แน่นอน ทำให้ยุ่งยากในการใช้งานจริงในการแก้ไขปัญหานี้ควรใช้สวิทช์กลอยเป็นตัวตรวจวัดระดับสารเคมี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

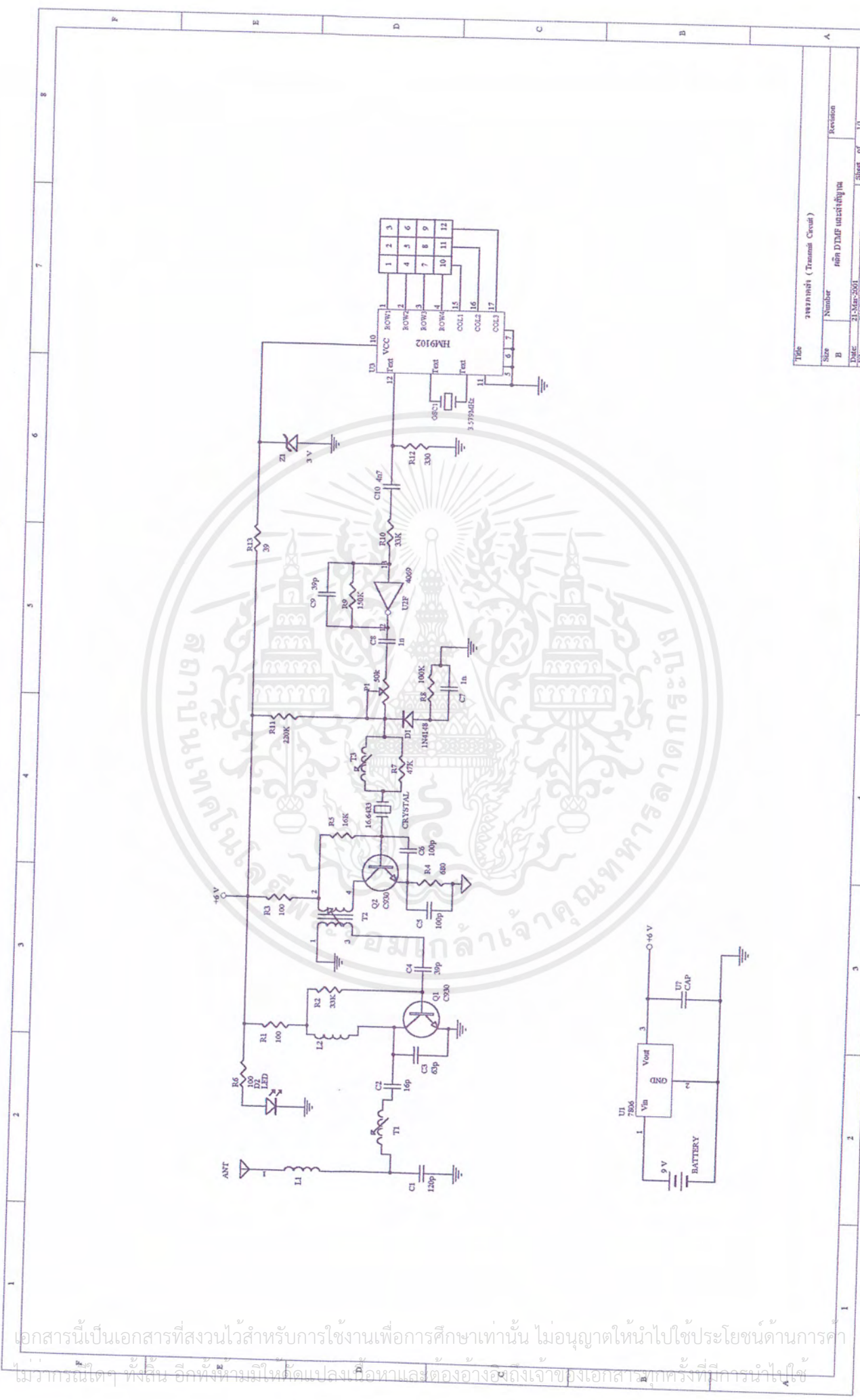


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title		ภาพร่าง	
Size	Number	Revision	
B	1	จำนวนรายการบนแผ่น PCB	
Date	21-Mar-2001	Sheet of	15
File	C:\MYDOC\PROJECT\MT8870\MT8870.ASC		
Drawn By		Checked By	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 เมื่อการแก้ไขใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้เปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



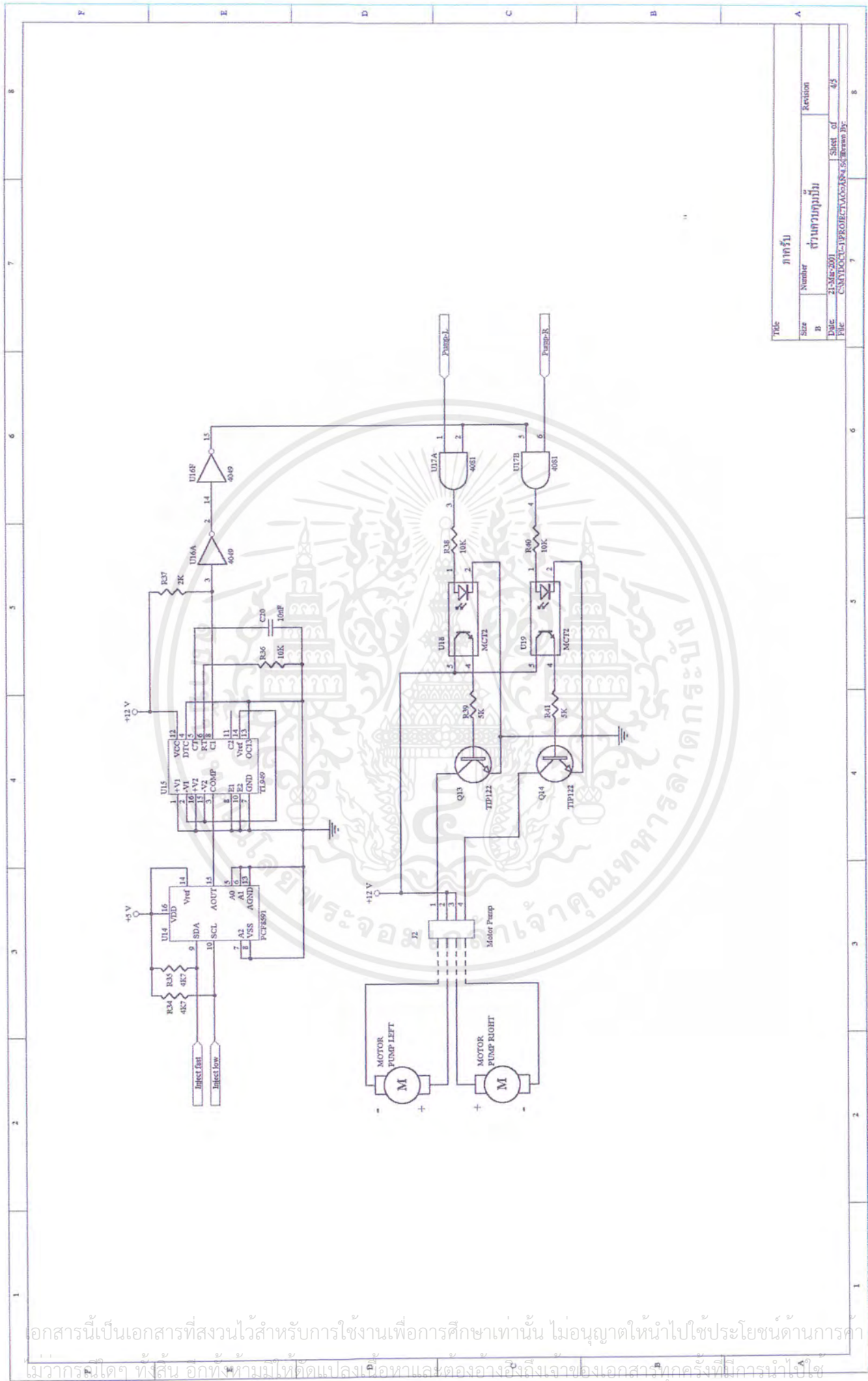
Title: วิทยุทึบ (Transmit Circuit)

Size	Number	Revision
B	กับ DDMF มหาวิทยาลัย	
Date	21 Mar 2001	Sheet of 1/1
File	C:\MYDOCU\1\PROJ\ECT\AD\648\SCHEM.DWG	Drawn By

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

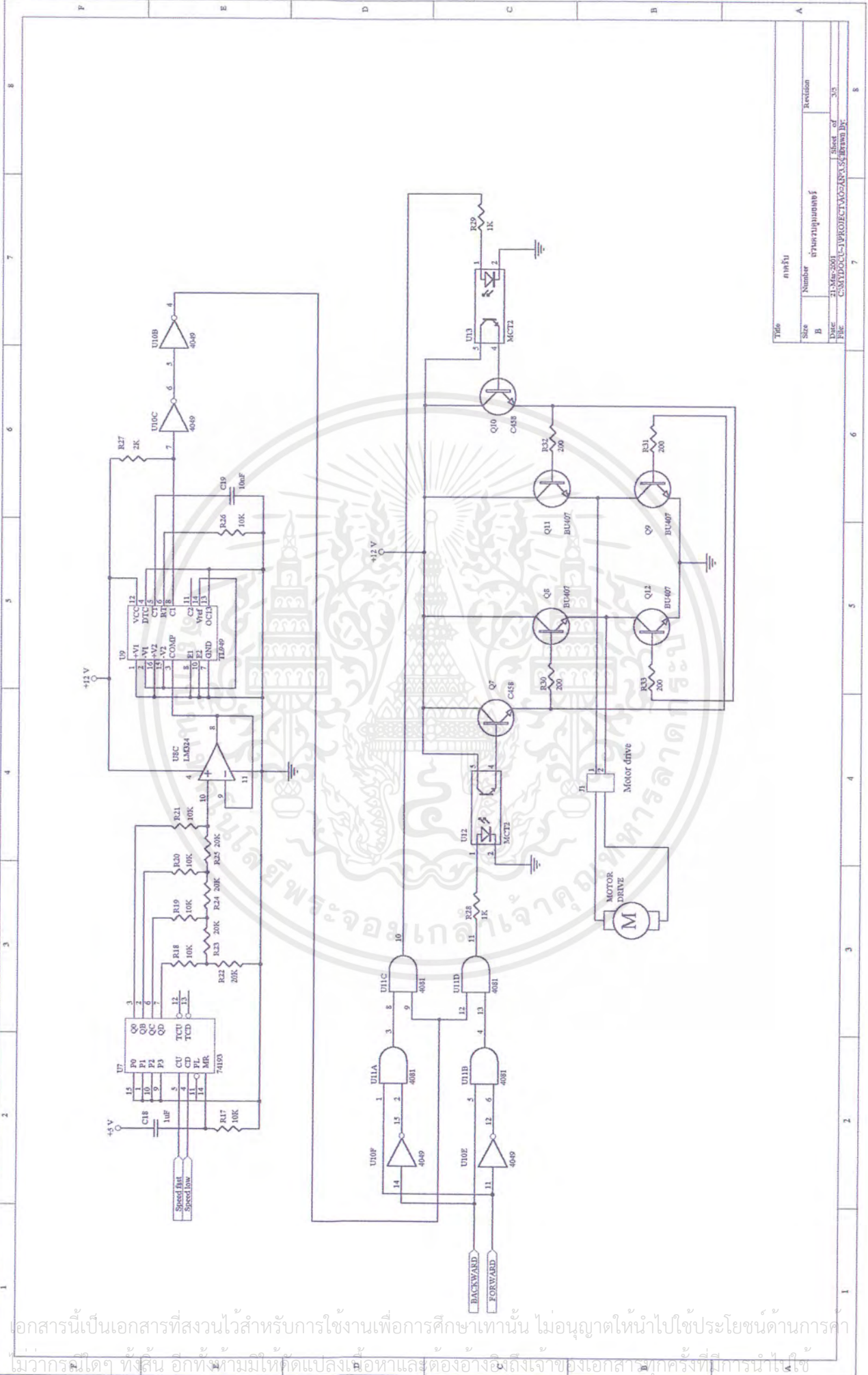






Title		ภาทกรป	
Size	Number	Revision	
B	ชานกวมปมปม		
Date	21-Aug-2001	Sheet of	05
File	C:\NTP\DOC\PROJECT\WATER\WATER.DWG	Drawn by	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title		กมลรัตน์	
Size	Number	Revision	Revision
B	กรมช่างเทคนิค		
Date	21Mar-2001	Sheet of	3/5
File	C:\MYDOCU\PROJECT\AGC\AP\5\Drawn.Dwg		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ORG	EQU	0000H	
PORT_A	EQU	8000H	;OUTPUT PORT
PORT_B	EQU	8001H	;INPUT PORT
PORT_C	EQU	8002H	;LOWER-INPUT & UPPER-OUTPUT PORT
C_PORT	EQU	8003H	;CONTROL WORD PORT-8255
DATA	EQU	02FH	;STROE DTMF-TO-BCD
OUPT	EQU	02EH	
SENSOR	EQU	02DH	
OVER0	EQU	02CH	;STORE COUNTER
OVER_0	EQU	02BH	; ...
COUNT0	EQU	02AH	; ...
COUNT1	EQU	029H	; ...
PUMP_L	BIT	OUPT.0	
PUMP_R	BIT	OUPT.1	
FORWARD	BIT	OUPT.2	
BACKWARD	BIT	OUPT.3	
SPEED_LOW	BIT	OUPT.4	
SPEED_FAST	BIT	OUPT.5	
INJECT_LOW	BIT	P1.0	
INJECT_FAST	BIT	P1.1	
BCD_Q0	BIT	DATA.0	
BCD_Q1	BIT	DATA.1	
BCD_Q2	BIT	DATA.2	
BCD_Q3	BIT	DATA.3	
StD	BIT	DATA.4	;STOBE SIGNAL
SW_FRONT	BIT	DATA.5	
SW_BACK	BIT	DATA.6	
BATT	BIT	DATA.7	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LEVEL_LOW	BIT	SENSOR.0
LEVEL_UP	BIT	SENSOR.1
CHARGE_BATT	BIT	SENSOR.2
VALUE	BIT	SENSOR.4

```

MAIN: MOV     DPTR,#C_PORT
      MOV     A,#83H           ;O/P PORT_A , UPPER PORT_C &
                                ;I/P PORT_B , LOWER PPORT_C
      MOVX    @DPTR,A         ;I/P PORT_B , LOWER PORT_C
      MOV     DPTR,#PORT_A
      MOV     OUPTR,#3CH      ;MOTOR & PUMP NOT DONE
      MOV     A,OUPTR
      MOVX    @DPTR,A
      SETB    P1.0           ;INJECT_LOW
      SETB    P1.1           ;INJECT_FAST

;*****READ DATA AND DONE COMMAND FROM KEY*****
;*****READ PORT_B & PORT_C (LOWER)*****

RETURN: MOV     DPTR,#PORT_B
READ1: MOVX    A,@DPTR
      MOV     DATA,A
      JB     StD,READ2       ;READ STROBE SIGNAL FROM PRESS
      JNB    SW_FRONT,GO_BACK1 ;CHECK FRONT BUMP
      JNB    BATT,GO3        ;CHECK BATTERY LOW
      MOV     DPTR,#PORT_C
      MOVX    A,@DPTR

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV     SENSOR,A
JNB     LEVEL_LOW,GO_BACK2      ;CHECK LEVEL WATER
JMP     RETURN
READ2:  MOV     DPTR,#PORT_B
MOVX    A,@DPTR
MOV     DATA,A
JB      StD,READ2      ;READ STROBE SIGNAL FROM RELEASE
MOV     A,DATA
ANL     A,#0FH
SUBB    A,#0CH      ;NOT OVER 12 KEY
JNC     RETURN
MOV     A,DATA
ANL     A,#0FH      ;GET BCD CODE
RL      A      ;MULTIPLE BCD FOR OPEN TABLE
MOV     DPTR,#TABLE
JMP     @A+DPTR
GO3:    AJMP    GO_BACK3
GO_BACK1: CLR    FORWARD      ;GO_BACK TO POINT START AND-
SETB    BACKWARD      ;~ STOP WAIT COMMAND
ACALL   OUT_PORT_A
MOV     DPTR,#PORT_B
BACK1:  MOVX    A,@DPTR
MOV     DATA,A
JB      SW_BACK,BACK1
SETB    FORWARD
ACALL   OUT_PORT_A
ACALL   DELAY
JMP     RETURN

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

GO_BACK2: MOV    TH0,#00H           ;GO_BACK TO POINT START AND-
          MOV    TL0,#00H           ;-STOP POUR WATER_LEVEL UP
          MOV    TMOD,#05H          ; THEN GO FRONT OLD POINT AND
          SETB   TR0                 ; STOP WAIT COMMAND
          SETB   BACKWARD
          CLR    FORWARD
          ACALL  OUT_PORT_A
          MOV    DPTR,#PORT_B

BACK2: MOVX   A,@DPTR
          MOV    DATA,A
          JB     SW_BACK,BACK2
          ACALL  DELAY
          SETB   FORWARD
          SETB   BACKWARD
          ACALL  OUT_PORT_A
          MOV    COUNT0,TL0
          MOV    COUNT1,TH0
          MOV    DPTR,#PORT_C
          SETB   VALUE
          MOV    A,SENSOR
          MOVX   @DPTR,A

AGAIN2: MOVX  A,@DPTR
          MOV    SENSOR,A
          JNB   LEVEL_UP,AGAIN2
          CLR   VALUE
          MOV   A,SENSOR
          MOVX  @DPTR,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

GO_FRONT: SETB FORWARD
          CLR BACKWARD
          ACALL OUT_PORT_A
          MOV TH0,#00H
          MOV TL0,#00H
A1: MOV A,TH0
    CJNE A,COUNT1,A1
A2: MOV A,TL0
    CJNE A,COUNT0,A2
STOP: SETB FORWARD
      SETB BACKWARD
      ACALL OUT_PORT_A
      JMP RETURN
GO_BACK3: CLR FORWARD ;GO_BACK TO POINT START
          SETB BACKWARD ;AND STOP CHARGE_BATTERY -
          ACALL OUT_PORT_A ;-FULL THEN WAIT COMMAND
          MOV DPTR,#PORT_B
BACK3: MOVX A,@DPTR
       MOV DATA,A
       JB SW_BACK,BACK3
       SETB FORWARD
       ACALL OUT_PORT_A
       MOV DPTR,#PORT_C
B3: MOVX A,@DPTR
    MOV SENSOR,A
    JNB CHARGE_BATT,B3
    JMP RETURN

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE:	AJMP	CASE0	;NOT USED
	AJMP	CASE1	;CONTROL INJECT HIGH PUMP
	AJMP	CASE2	;CONTROL INJECT LOW PUMP
	AJMP	CASE0	;NOT USED
	AJMP	CASE3	;ON/OFF PUMP LEFT
	AJMP	CASE4	;ON/OFF PUMP RIGHT
	AJMP	CASE0	;NOT USED
	AJMP	CASE5	;CONTROL SPEED MOTOR FAST
	AJMP	CASE6	;CONTROL SPEED MOTOR SLOW
	AJMP	CASE0	;NOT USED
	AJMP	CASE7	;MOTOR FORWARD
	AJMP	CASE8	;MOTOR BACKWARD
	AJMP	CASE9	;MOTOR STOP
CASE0:	JMP	RETURN	
CASE1:	CLR	INJECT_LOW	
	ACALL	DELAY	
	SETB	INJECT_LOW	
	JMP	RETURN	
CASE2:	CLR	INJECT_FAST	
	ACALL	DELAY	
	SETB	INJECT_FAST	
	JMP	RETURN	
CASE3:	CPL	PUMP_L	
	ACALL	OUT_PORT_A	
	JMP	RETURN	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
CASE4: CPL    PUMP_R
        ACALL  OUT_PORT_A
        JMP    RETURN
```

```
CASE5: CLR    SPEED_LOW
        ACALL  OUT_PORT_A
        ACALL  DELAY
        SETB   SPEED_LOW
        ACALL  OUT_PORT_A
        JMP    RETURN
```

```
CASE6: CLR    SPEED_FAST
        ACALL  OUT_PORT_A
        ACALL  DELAY
        SETB   SPEED_FAST
        ACALL  OUT_PORT_A
        JMP    RETURN
```

```
CASE7: CLR    BACKWARD
        SETB   FORWARD
        ACALL  OUT_PORT_A
        JMP    RETURN
```

```
CASE8: CLR    FORWARD
        SETB   BACKWARD
        ACALL  OUT_PORT_A
        JMP    RETURN
```

```
CASE9: SETB   FORWARD
        SETB   BACKWARD
        ACALL  OUT_PORT_A
        JMP    RETURN
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
OUT_PORT_A: MOV    DPTR,#PORT_A
             MOV    A,OUPT
             MOVX   @DPTR,A
             RET
```

```
DELAY: MOV    R2,#00H
DELAY1: MOV    R1,#00H
        DJNZ   R1,$
        DJNZ   R2,DELAY1
        RET
END
```

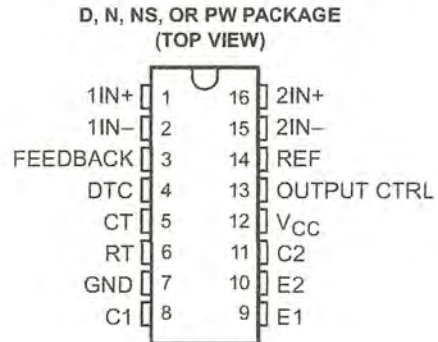


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

- Complete PWM Power Control Circuitry
- Uncommitted Outputs for 200-mA Sink or Source Current
- Output Control Selects Single-Ended or Push-Pull Operation
- Internal Circuitry Prohibits Double Pulse at Either Output
- Variable Dead Time Provides Control Over Total Range
- Internal Regulator Provides a Stable 5-V Reference Supply With 5% Tolerance
- Circuit Architecture Allows Easy Synchronization



## description

The TL494 incorporates all the functions required in the construction of a pulse-width-modulation (PWM) control circuit on a single chip. Designed primarily for power-supply control, this device offers the flexibility to tailor the power-supply control circuitry to a specific application.

The TL494 contains two error amplifiers, an on-chip adjustable oscillator, a dead-time control (DTC) comparator, a pulse-steering control flip-flop, a 5-V, 5%-precision regulator, and output-control circuits.

The error amplifiers exhibit a common-mode voltage range from  $-0.3\text{ V}$  to  $V_{CC} - 2\text{ V}$ . The dead-time control comparator has a fixed offset that provides approximately 5% dead time. The on-chip oscillator can be bypassed by terminating RT to the reference output and providing a sawtooth input to CT, or it can drive the common circuits in synchronous multiple-rail power supplies.

The uncommitted output transistors provide either common-emitter or emitter-follower output capability. The TL494 provides for push-pull or single-ended output operation, which can be selected through the output-control function. The architecture of this device prohibits the possibility of either output being pulsed twice during push-pull operation.

The TL494C is characterized for operation from  $0^{\circ}\text{C}$  to  $70^{\circ}\text{C}$ . The TL494I is characterized for operation from  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $85^{\circ}\text{C}$ .

FUNCTION TABLE

INPUT TO OUTPUT CTRL	OUTPUT FUNCTION
$V_I = \text{GND}$	Single-ended or parallel output
$V_I = V_{\text{ref}}$	Normal push-pull operation



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TEXAS  
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 1999, Texas Instruments Incorporated

1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494

## PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

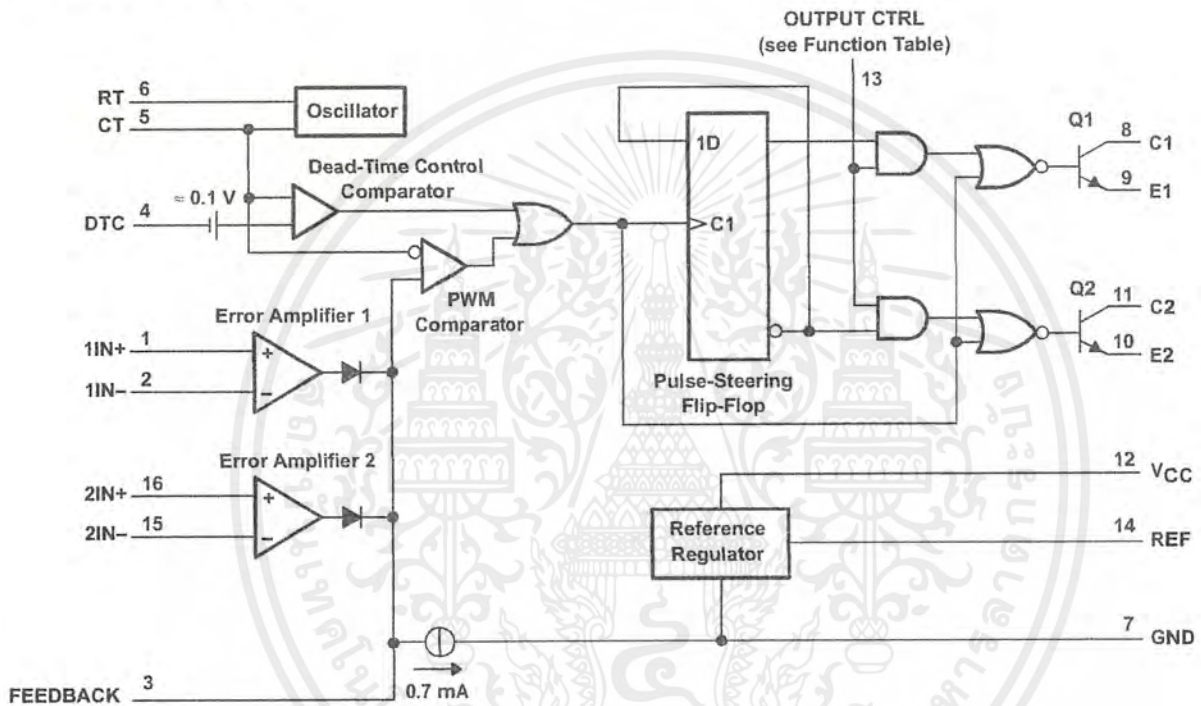
SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

### AVAILABLE OPTIONS

T <sub>A</sub>	PACKAGED DEVICES				CHIP FORM (Y)
	SMALL OUTLINE (D)	PLASTIC DIP (N)	SMALL OUTLINE (NS)	SHRINK SMALL OUTLINE (PW)	
0°C to 70°C	TL494CD	TL494CN	TL494CNS	TL494CPW	TL494Y
-40°C to 85°C	TL494ID	TL494IN	—	—	—

The D, NS, and PW packages are available taped and reeled. Add the suffix R to device type (e.g., TL494CDR). Chip forms are tested at 25°C.

### functional block diagram



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

## absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

		TL494	UNIT
Supply voltage, $V_{CC}$ (see Note 1)		41	V
Amplifier input voltage, $V_I$		$V_{CC}+0.3$	V
Collector output voltage, $V_O$		41	V
Collector output current, $I_O$		250	mA
Package thermal impedance, $\theta_{JA}$ (see Notes 2 and 3)	D package	73	°C
	N package	88	
	NS package	64	
	PW package	108	
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds		D, N, or PW package	260 °C
Storage temperature range, $T_{stg}$		-65 to 150 °C	

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTES: 1. All voltage values, except differential voltages, are with respect to the network ground terminal.

2. Maximum power dissipation is a function of  $T_J(\text{max})$ ,  $\theta_{JA}$ , and  $T_A$ . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is  $P_D = (T_J(\text{max}) - T_A)/\theta_{JA}$ . Operating at the absolute maximum  $T_J$  of 150°C can impact reliability.

3. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51, except for through-hole packages, which use a trace length of zero.

## recommended operating conditions

	TL494		UNIT
	MIN	MAX	
Supply voltage, $V_{CC}$	7	40	V
Amplifier input voltage, $V_I$	-0.3	$V_{CC}-2$	V
Collector output voltage, $V_O$	40		V
Collector output current (each transistor)	200		mA
Current into feedback terminal	0.3		mA
Oscillator frequency, $f_{osc}$	1	300	kHz
Timing capacitor, $C_T$	0.47	10000	nF
Timing resistor, $R_T$	1.8	500	k $\Omega$
Operating free-air temperature, $T_A$	TL494C	0	°C
	TL494I	-40	



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494

## PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range,  $V_{CC} = 15\text{ V}$ ,  $f = 10\text{ kHz}$  (unless otherwise noted)

### reference section

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	TL494C, TL494I			UNIT
		MIN	TYP‡	MAX	
Output voltage (REF)	$I_O = 1\text{ mA}$	4.75	5	5.25	V
Input regulation	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$		2	25	mV
Output regulation	$I_O = 1\text{ mA to }10\text{ mA}$		1	15	mV
Output voltage change with temperature	$\Delta T_A = \text{MIN to MAX}$		2	10	mV/V
Short-circuit output current§	REF = 0 V		25		mA

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

‡ All typical values, except for parameter changes with temperature, are at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .

§ Duration of the short circuit should not exceed one second.

### oscillator section, $C_T = 0.01\text{ }\mu\text{F}$ , $R_T = 12\text{ k}\Omega$ (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	TL494, TL494I			UNIT
		MIN	TYP‡	MAX	
Frequency			10		kHz
Standard deviation of frequency¶	All values of $V_{CC}$ , $C_T$ , $R_T$ , and $T_A$ constant		100		Hz/kHz
Frequency change with voltage	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$		1		Hz/kHz
Frequency change with temperature#	$\Delta T_A = \text{MIN to MAX}$			10	Hz/kHz

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

‡ All typical values, except for parameter changes with temperature, are at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .

¶ Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (x_n - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

# Temperature coefficient of timing capacitor and timing resistor are not taken into account.

### error-amplifier section (see Figure 2)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494, TL494I			UNIT
		MIN	TYP‡	MAX	
Input offset voltage	$V_O (\text{FEEDBACK}) = 2.5\text{ V}$		2	10	mV
Input offset current	$V_O (\text{FEEDBACK}) = 2.5\text{ V}$		25	250	nA
Input bias current	$V_O (\text{FEEDBACK}) = 2.5\text{ V}$		0.2	1	$\mu\text{A}$
Common-mode input voltage range	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$	-0.3 to $V_{CC}-2$			V
Open-loop voltage amplification	$\Delta V_O = 3\text{ V}$ , $R_L = 2\text{ k}\Omega$ , $V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$	70	95		dB
Unity-gain bandwidth	$V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$ , $R_L = 2\text{ k}\Omega$		800		kHz
Common-mode rejection ratio	$\Delta V_O = 40\text{ V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	65	80		dB
Output sink current (FEEDBACK)	$V_{ID} = -15\text{ mV to }-5\text{ V}$ , $V (\text{FEEDBACK}) = 0.7\text{ V}$	0.3	0.7		mA
Output source current (FEEDBACK)	$V_{ID} = 15\text{ mV to }5\text{ V}$ , $V (\text{FEEDBACK}) = 3.5\text{ V}$	-2			mA

‡ All typical values, except for parameter changes with temperature, are at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range,  $V_{CC} = 15\text{ V}$ ,  $f = 10\text{ kHz}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$  (unless otherwise noted)

## reference section

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Output voltage (REF)	$I_O = 1\text{ mA}$		5		V
Input regulation	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$		2		mV
Output regulation	$I_O = 1\text{ mA to }10\text{ mA}$		1		mV
Short-circuit output current‡	REF = 0 V		25		mA

† All typical values, except for parameter changes with temperature, are at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .

‡ Duration of the short circuit should not exceed one second.

## oscillator section, $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$ , $R_T = 12\text{ k}\Omega$ (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Frequency			10		kHz
Standard deviation of frequency§	All values of $V_{CC}$ , $C_T$ , $R_T$ , and $T_A$ constant		100		Hz/kHz
Frequency change with voltage	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$		1		Hz/kHz

† All typical values, except for parameter changes with temperature, are at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .

§ Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (x_n - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

## error-amplifier section (see Figure 2)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Input offset voltage	$V_O$ (FEEDBACK) = 2.5 V		2		mV
Input offset current	$V_O$ (FEEDBACK) = 2.5 V		25		nA
Input bias current	$V_O$ (FEEDBACK) = 2.5 V		0.2		$\mu\text{A}$
Open-loop voltage amplification	$\Delta V_O = 3\text{ V}$ , $R_L = 2\text{ k}\Omega$ , $V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$		95		dB
Unity-gain bandwidth	$V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$ , $R_L = 2\text{ k}\Omega$		800		kHz
Common-mode rejection ratio	$\Delta V_O = 40\text{ V}$		80		dB
Output sink current (FEEDBACK)	$V_{ID} = -15\text{ mV to }-5\text{ V}$ , $V$ (FEEDBACK) = 0.7 V		0.7		mA

† All typical values, except for parameter changes with temperature, are at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

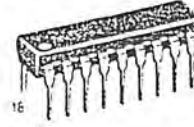
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Advance Information  
**Pulse/Tone Repertory Dialer**  
Low Power Silicon-Gate CMOS

The MC145412/13 and MC145512 are silicon gate, monolithic CMOS integrated circuits which convert keyboard inputs into either pulse or DTMF outputs. They are packaged in a standard 18-pin (0.3" wide) plastic DIP.

- 3 x 4 or 4 x 4 Keyboard Compatibility Which Allows the Use of 2-of-7, 2-of-8, or Form A Type Keyboards
- MC145413 Adds Keyboard Selectable Pause Switch Function
- Single Pin Switchable Between DTMF, 10 pps and 20 pps
- 500-Hz Tone Signal Output in the Pulse Dialing Mode
- Memory Storage for Ten 18-Digit Numbers. Including Last Number Redial
- Uses 3.579545-MHz Colorburst Crystal
- Telephone Line Powered
- Silicon Gate CMOS Technology for 1.7 to 5.5 V Low Power Operation
- Stand Alone DTMF Dialer/Stand Alone Pulse Dialer
- Mute Output Used to Isolate Receiver from Dialing Output
- Memory Programming Options by Keyboard Configuration

MC145412  
MC145413  
MC145512

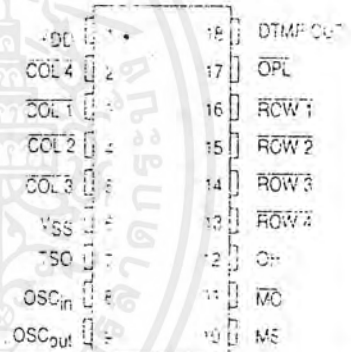


P SUFFIX  
PLASTIC  
CASE 707

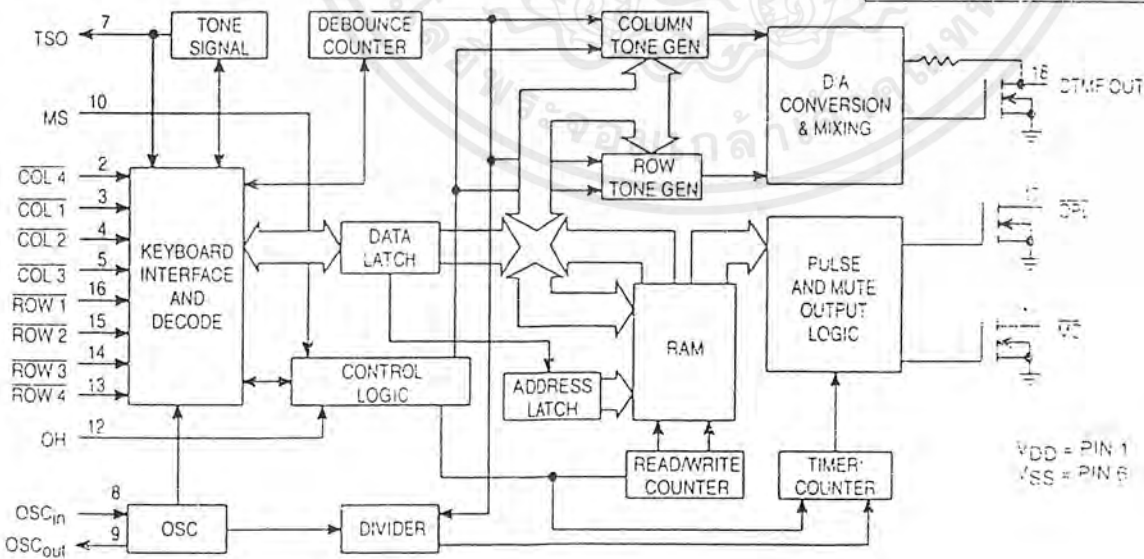
ORDERING INFORMATION

MC1454XX	Suffix	Denotes
	P	Plastic DIP
	4	40/60 M/B Ratio
	5	32/68 M/B Ratio

PIN ASSIGNMENT



BLOCK DIAGRAM



VDD = PIN 1  
VSS = PIN 6

This document contains information on a new product. Specification and information herein are subject to change without notice

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (V<sub>SS</sub> = 0 V)**

Rating	Symbol	Value	Unit
DC Supply Voltage	V <sub>DD</sub>	- 0.5 to + 8.0	V
Operating Temperature	T <sub>A</sub>	- 30 to + 60	°C
Storage Temperature	T <sub>stg</sub>	- 65 to + 150	°C
DC Current Drain Per Pin	I	10	mA
Maximum Voltage On Any Pin Relative to V <sub>SS</sub> On Any Pin Relative to V <sub>DD</sub>	V <sub>in1</sub> V <sub>in2</sub>	- 0.5 + 0.5	V

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T<sub>A</sub> = -30 to +60°C, V<sub>DD</sub> = 2.5 V, V<sub>SS</sub> = 0 V, Unless Otherwise Noted)**

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	
DC Supply Voltage	Pulse Mode DTMF Mode	V <sub>DD</sub>	2.0 2.5	— —	5.5 5.5	V
Operating Current	Pulse Mode (MS = V <sub>DD</sub> ) DTMF Mode (MS = V <sub>SS</sub> )	I <sub>DD</sub>	— —	0.25 1.0	0.7 2.0	mA
Memory Retention Voltage		V <sub>stby</sub>	1.7	—	—	V
Memory Retention Current	(V <sub>DD</sub> = 1.7 V) (V <sub>DD</sub> = 2.5 V)	I <sub>stby</sub>	— —	1.0 1.2	2.0 2.5	μA
Input Voltage, Row/Column/OH	"0" Level "1" Level	V <sub>IL</sub> V <sub>IH</sub>	— 0.8 V <sub>DD</sub>	— —	0.2 V <sub>DD</sub> —	V
Row Column Input Impedance	To V <sub>DD</sub> To V <sub>SS</sub>	Z <sub>in</sub>	— —	100 2	— —	kΩ
OH Pull-Up Resistance		R	—	50	—	kΩ
Input Capacitance (All Inputs)		C <sub>in</sub>	—	10	—	pF
MS Pin Input Impedance		Z <sub>in</sub>	50	200	—	kΩ
Output Sink Current	(V <sub>DD</sub> = 2.5 V) TSO Pin MO Pin OPL Pin (V <sub>DD</sub> = 4.0) MO Pin OPL Pin	I <sub>OL</sub>	0.5 1.0 1.0 3.0 4.5	0.7 2.0 2.0 — —	— — — — —	mA
TSC Output Source Current (V <sub>out</sub> = 2.0 V)		I <sub>OH</sub>	0.5	0.7	—	mA
Output Leakage Current	MO, OPL Pins	I <sub>lkg</sub>	—	—	1.0	μA
DTMF Output Level Referenced to V <sub>DD</sub> /2 (V <sub>DD</sub> = 2.5 to 4.0 V, R <sub>L</sub> = 600 Ω to V <sub>DD</sub> )	Row Tone Column Tone	V <sub>out</sub>	260 330	310 390	370 460	mV <sub>rms</sub>
DTMF Output Tone Leakage (V <sub>DD</sub> = 3.5, R <sub>L</sub> = 600 Ω, 300 to 4000 Hz)			—	—	-80	dBm
DTMF Output Tone Distortion (V <sub>DD</sub> = 3.5, R <sub>L</sub> = 600 Ω, 300 to 4000 Hz)			—	—	5	%
Pre-Emphasis			1	2	2.5	dB
DTMF Output Leakage Current While Not Dialing Tones (V <sub>DD</sub> = 2.5 V)			—	—	1.0	μA
DTMF Output Sink Current While Dialing Tones			20	—	—	μA

SWITCHING CHARACTERISTICS (T<sub>A</sub> = 25°C, V<sub>DD</sub> = 2.5 V, Osc. Freq. = 3.579545 MHz, Unless Otherwise Noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit		
Row/Column Scan Frequency	f	—	250	—	Hz		
Key Debounce .me	t <sub>DB</sub>	16	—	20	ms		
DTMF Tone Duration for Keypad Dialing	t <sub>w1</sub>	60	78	—	ms		
DTMF Tone Duration for Memory Dialing	t <sub>w2</sub>	90	102	110	ms		
Inter-Digit Pause Time	DTMF (Memory Dialing)	t <sub>ID</sub>	90	98	110	ms	
		Pulse 10 pps 20 pps	0.8 0.4	1.0 0.5	1.2 0.6	s	
MS Pin Scan Rate	t <sub>rms</sub>	—	1	—	kHz		
Make/Break Ratio (MC = Open or V <sub>DD</sub> )	MC145412/13	MBR	—	40/60	—	%	
	MC145512	—	—	32/68	—	—	
Outpulsing Rate	MS = Open	f <sub>OPL</sub>	—	10	—	pps	
	MS = V <sub>DD</sub>	—	—	20	—	—	
MUTE Output ( $\overline{MO}$ ) Overlap Time	t <sub>MO</sub>	—	2	—	ms		
TSO Output Frequency	f <sub>TSO</sub>	—	500	—	Hz		
TSO Output Duration	t <sub>TSO</sub>	35	—	40	ms		
DTMF Cycle Time	(Memory Dialing)	—	5	—	tones/s		
	(Keypad Dialing)	—	10	—	—		
DTMF Frequency Deviation	—	—	—	+1.0	%		
Predigit Mute	MC145412/13	Pulse 10 pps	t <sub>d</sub>	—	40	—	ms
		20 pps	—	—	20	—	
	MC145512	Pulse 10 pps	—	—	32	—	
		20 pps	—	—	16	—	
DTMF	—	—	—	1	—		

PIN DESCRIPTIONS

V<sub>DD</sub>, V<sub>SS</sub>  
Power Supply (Pins 1, 6)

DC power is supplied to the part on these two pins, with V<sub>DD</sub> being the most positive. Permissible ranges are from 1.7 to 5.5 V.

MS  
Mode Select (Pin 10)

The MS pin is a three-state input for switching between DTMF, 10 pps, and 20 pps dialing modes. Mode selection is done during the first key entry debounce period after the dialer has completed a dialing sequence or has just come off hook. When this pin is not scanned it is high impedance.

This pin is a combination input and weak output. The input circuitry has the capability to determine each of these three states. When the pin is open, the weak driver will be able to clock the pin at 1 kHz. The relationship between pin input voltage and operating mode is shown in Table 1.

Table 1. Mode Select Options

MS	Dialing Mode
V <sub>DD</sub>	20 pps Pulse Dialing
Open	10 pps Pulse Dialing
V <sub>SS</sub>	DTMF Dialing

OH  
On-Hook (Pin 12)

Connecting the OH pin to V<sub>DD</sub> or allowing it to float sets the device in the On-hook mode. Connecting this pin to V<sub>SS</sub> selects the Off-hook mode. When in the On-hook mode, repertory memory can be programmed without a dialing output.

TSO  
Tone Signal Output (Pin 7)

TSO emits 500-Hz tone signals after valid key inputs are accepted providing audio feedback for key depressions (except when DTMF tones are generated). This pin also outputs a tone during on-hook programming.

DTMF OUT  
Dual Tone Multifrequency Output (Pin 18)

When the MS pin is set to V<sub>SS</sub> the DTMF OUT pin outputs tones corresponding to the row and column of the key depressed. Simultaneously depressing two or more keys in a single row (or column) will generate the corresponding row (or column) tone on 4 x 4 keypad mode only.

In pulse dialing mode (MS = V<sub>DD</sub> or float) and during on-hook programming this pin is high impedance. While outputting tones, this pin has a dc bias at (V<sub>DD</sub> - V<sub>SS</sub>)/2. DTMF OUT is an open-drain output requiring an external pull-up to V<sub>DD</sub>. This pull-up resistor must satisfy the instantaneous current requirements of the internal feedback network in addition to the load applied to the pin.

## $\overline{OPL}$

### Outpulsing (Pin 17)

This pin outputs pulses at 10 pps (MS is open) or 20 pps (MS =  $V_{DD}$ ). The MC145412/13 have a make/break ratio of 40/60, while the MC145512 has a make/break ratio of 32/68. In the DTMF dialing mode (MS =  $V_{SS}$ ), this output is high impedance. During on-hook programming this pin will not outpulse. This pin is an open drain N-channel output which pulls low to break the loop current.

## $\overline{MO}$

### Mute Output (Pin 11)

The Mute Output is an open drain N-channel output that pulls to  $V_{SS}$  during  $\overline{OPL}$  outpulsing and during off-hook key depressions and memory dialing in DTMF mode.

## $\overline{COL 1-COL 4}$ and $\overline{ROW 1-ROW 4}$

### KEYBOARD INPUTS (Pins 2, 3, 4, 5, 13, 14, 15, 16)

The keyboard inputs allow either a single contact (Class A) keyboard, or a standard 2-of-8 or 2-of-7 keyboard with  $V_{SS}$  tied to common. A valid key entry occurs when either a single row is tied to a single column, or a single row and column are simultaneously connected to  $V_{SS}$ . Connecting pin 2,  $\overline{COL 4}$ , to  $V_{DD}$  sets the part to 3 x 4 keyboard mode. Keyboard mode selection is performed during application of power.

Typical keyboard configurations are shown in Figure 1.

## $OSC_{in}$ , $OSC_{out}$

### Oscillator Input and Oscillator Output (Pins 8, 9)

A 3.579545-MHz crystal is required as the frequency reference for the on-chip oscillator. Crystal biasing is accomplished by an internal resistor and capacitors.

## GENERAL DEVICE DESCRIPTION

The MC145412/MC145512 and the MC145413 provide users with switchable pulse and DTMF dialing functions. The MC145412/MC145512 change dialing modes via the MS pin. The MC145413 allows users to switch dialing modes via the keyboard in addition to the MS pin. All devices have 10 memories, LNR (last number redial) inclusive, each 18 digits long.

On application of power, there is a 64-ms initialization period during which the oscillator is enabled and the keyboard inputs are disabled. During initialization  $\overline{COL 4}$  is scanned to set the keyboard mode. If the  $\overline{COL 4}$  input is high ( $V_{DD}$ ), the dialer is set to the 3 x 4 keypad mode; otherwise, the 4 x 4 keypad mode is selected. Changing modes is not possible after this initialization period.

During normal dialing, the oscillator starts when a key is depressed. The key input is debounced for 32 ms. During this debounce period the RAM and dialing circuits are disabled and the mode select pin is scanned to determine the dialing mode (either 10 pps, 20 pps, or DTMF). After debounce, the keypad entry is checked and the input is latched into LNR memory followed by a stop code. This process continues until 18 digits have been entered. If a 19th digit is entered, it will overwrite the first digit and will be followed by a stop code. When dialing, the device fetches data from memory until a stop code is encountered or 18 digits have been dialed.

During manual DTMF dialing, a minimum tone duration of

60-ms DTMF is output and will continuously output in 32-ms increments as long as the key is depressed. The DTMF OUT pin is designed to drive an external PNP transistor which can be used to modulate tip and ring voltage at the DTMF frequencies.

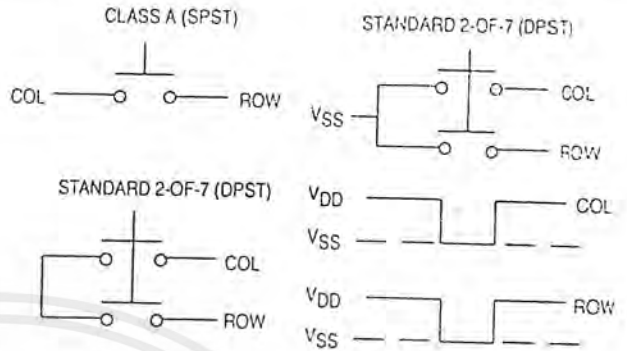


Figure 1. Keyboard Configurations

If the first key is for redial or recall, the device will respond accordingly, either redialing the last number entered, or recalling and dialing the number selected by a subsequent key depression. Responses to dialing sequences for 4 x 4 key-boards are shown in Figure 2, and 3 x 4 keyboard responses are shown in Figure 3.

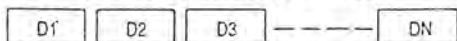
The MC145412 series can be configured with an external battery to provide memory retention power and allow on-hook programming of the repertory memory. If the part is in the on-hook mode and a key is depressed, the oscillator will start and the key entry will be stored in the last number redial memory. Dialing outputs will not be activated while the device is in the on-hook condition. Dialing inputs will be stored in last number redial memory, as during off-hook operation. After the number has been entered in the on-hook mode, it can be stored in repertory memory. For the 4 x 4 keyboard, pressing the STORE key (\* for 3 x 4 keyboard), followed by a digit (1 through 9) will store the number in the repertory memory location specified by the digit.

The RECALL key for the 4 x 4 keypad is used to recall and dial numbers stored in the repertory memory. The digit immediately following the RECALL key designates the memory location of the number to be auto-dialed. For the 4 x 4 keyboard, a last number redial can be accomplished if the RED/P key ( $\overline{COL 4}$ ,  $\overline{ROW 1}$ ) is the first key depressed after an on-hook to off-hook transition. Otherwise the RED/P key will effect a 4 second pause. If the pulse mode is selected, redial can be accomplished if the first key depressed on a transition to off-hook is #. For the 3 x 4 keyboard, redial occurs if the first key depressed is \*,0.

The PAUSE key ( $\overline{COL 4}$ ,  $\overline{ROW 2}$ ) for the MC145412/MC145512 will cause a 4 second pause. The PAUSE/S key ( $\overline{COL 4}$ ,  $\overline{ROW 2}$ ) is a feature offered on the MC145413. Depressing this key will cause a 4 second delay, and will switch dialing modes, PAUSE (and PAUSE/S) is stored in memory for pauses (and mode switching) during auto-dialing.

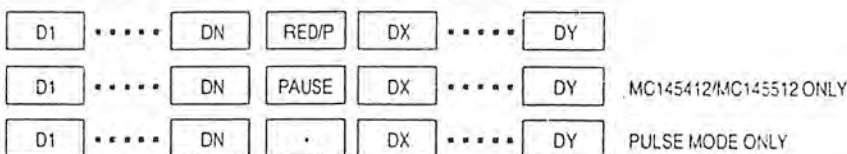
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

1. MANUAL DIALING — OFF-HOOK (PULSE OR DTMF MODE)



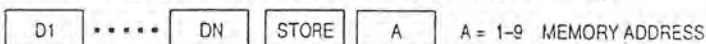
ALL DIGITS ENTERED WILL BE STORED IN THE LAST NUMBER REDIAL REGISTER. PRESSING \* OR # WILL DIAL OUT THE DTMF SIGNAL IN TONE MODE ONLY.

2. MANUAL DIALING WITH AUTO ACCESS PAUSE — OFF-HOOK (PULSE OR DTMF MODE)



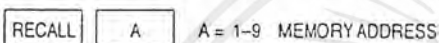
THE AUTO ACCESS PAUSE WILL NOT OCCUR DURING MANUAL DIALING IN DTMF MODE. IT IS RETRIEVED DURING RECALL OR REDIAL.

3. STORING NUMBERS INTO MEMORY — ON-HOOK/OFF-HOOK (PULSE OR DTMF MODE)

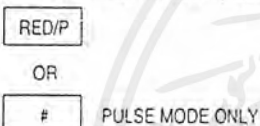


THIS OPERATION TRANSFERS THE DIGITS D1 TO DN FROM THE LAST NUMBER REDIAL REGISTER TO AN ADDRESS SPACE SPECIFIED BY 'A'. DIALING OUTPUTS ARE NOT ACTIVATED DURING ON-HOOK PROGRAMMING

4. MEMORY REDIAL — OFF-HOOK (PULSE OR DTMF MODE)

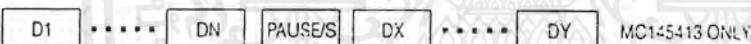


5. LAST NUMBER REDIAL — OFF-HOOK (PULSE OR DTMF MODE)

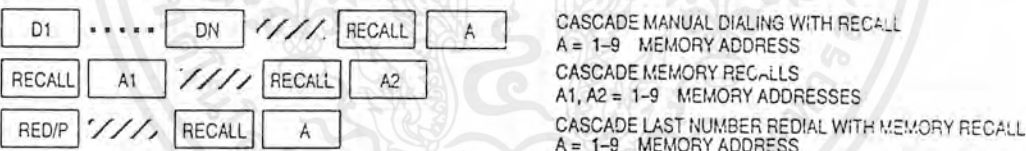


REDIALS THE NUMBER THAT WAS PREVIOUSLY ENTERED INTO THE LAST NUMBER REDIAL REGISTER.

6. PULSE-TO-TONE MODE SWITCH — OFF-HOOK (PULSE OR DTMF MODE)

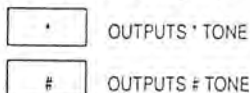


7. CASCADED DIALING — OFF-HOOK (PULSE OR DTMF MODE)



//, WAIT UNTIL PREVIOUS REDIAL OR RECALL SIGNALS HAVE BEEN SENT BEFORE SUBSEQUENT ENTRIES ARE MADE.

8. SIGNALING \* AND # TONES — OFF-HOOK (DTMF MODE ONLY)



		4 X 4 KEY MATRIX				
		COL 1	COL 2	COL 3	COL 4	
697 Hz		1	2	3	RED/P	ROW 1
770 Hz		4	5	6	PAUSE	ROW 2
852 Hz		7	8	9	STORE	ROW 3
941 Hz		.	0	#	RECALL	ROW 4
		1209 Hz	1336 Hz	1477 Hz		

MC145413 PAUSE/S KEY FOR PAUSE & SWITCHING DIALING MODES

Figure 2. 4 x 4 Keyboard Dialing Sequences

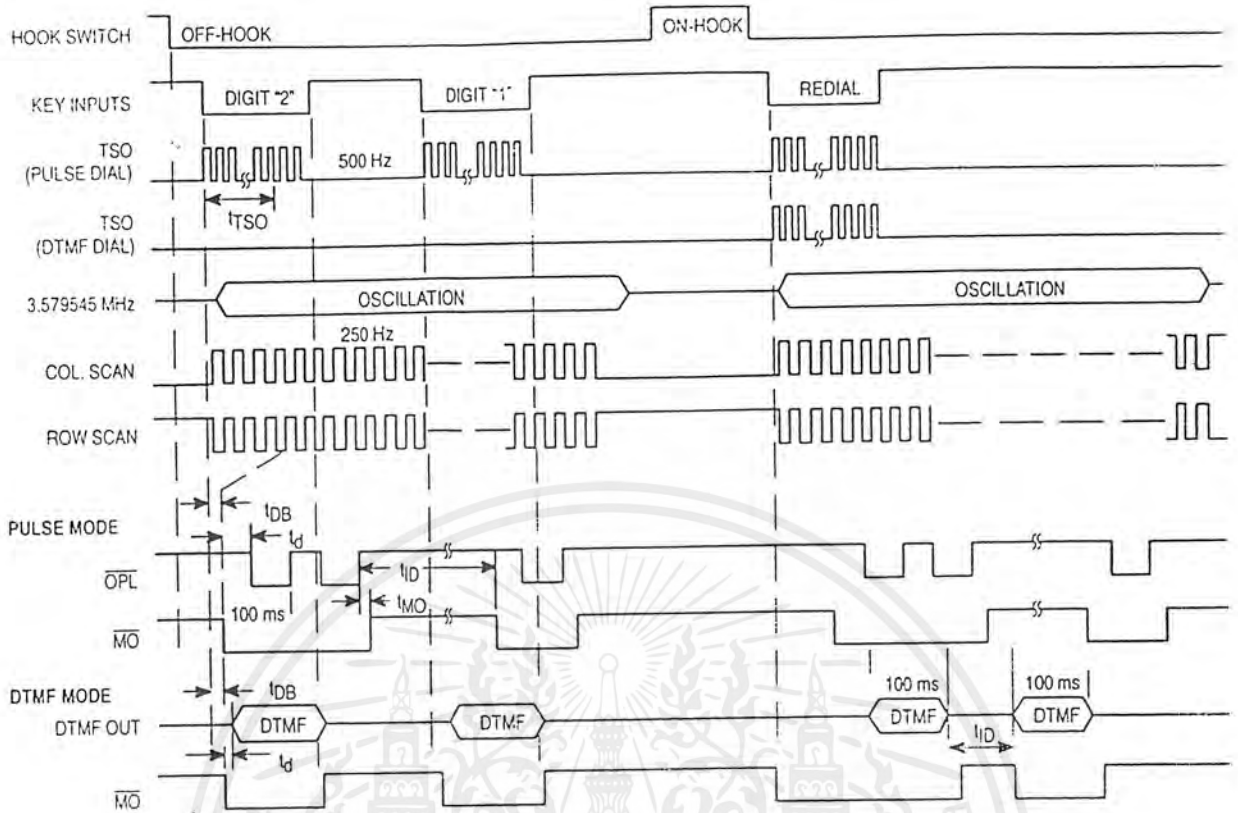


Figure 4. Timing Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์

**Features**

- Complete DTMF Receiver
- Low power consumption
- Internal gain setting amplifier
- Adjustable guard time
- Central office quality
- Power-down mode
- Inhibit mode
- Backward compatible with MT8870C/MT8870C-1

**Applications**

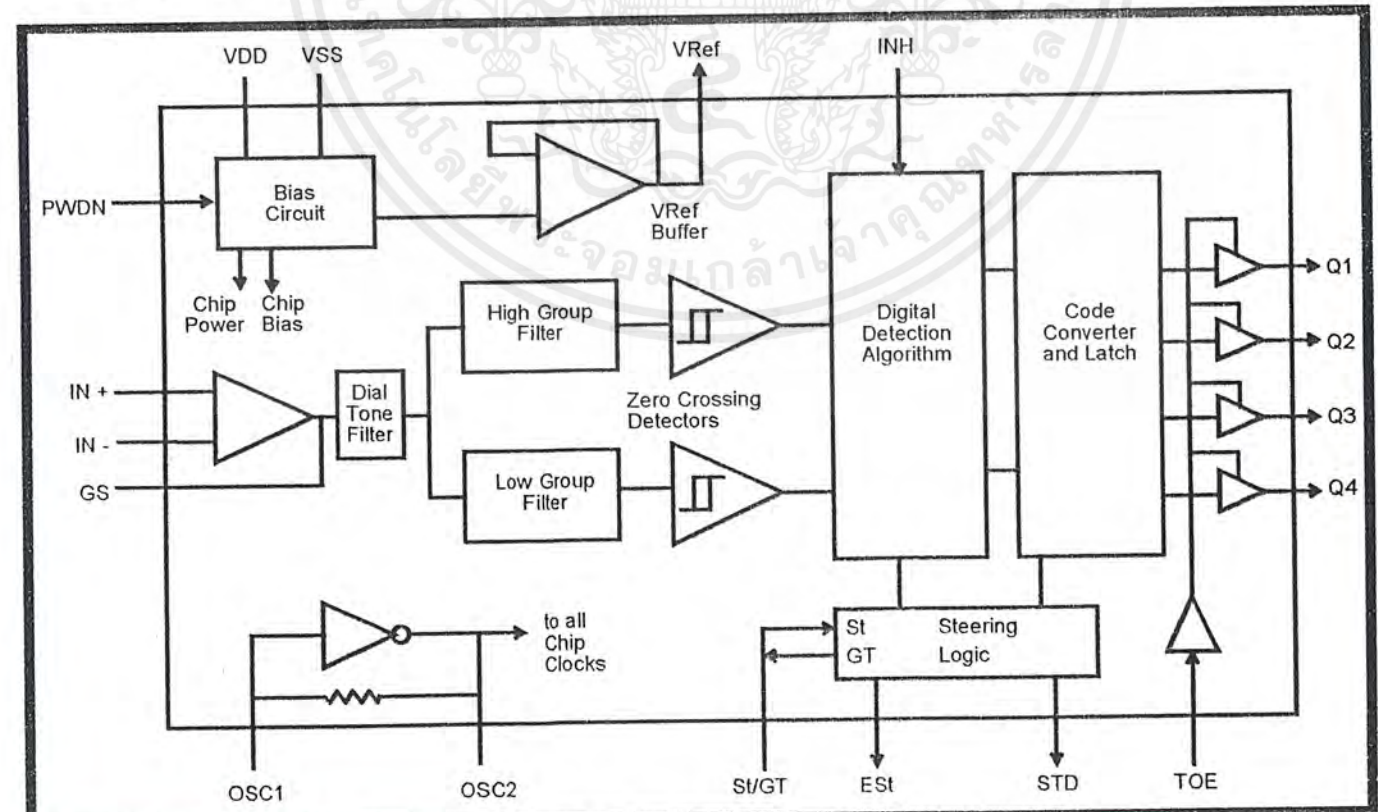
- Receiver system for British Telecom (BT) or CEPT Spec (MT8870D-1)
- Paging systems
- Repeater systems/mobile radio
- Credit card systems
- Remote control
- Personal computers
- Telephone answering machine

**Ordering Information**

MT8870DE/DE-1	18 Pin Plastic DIP
MT8870DS/DS-1	18 Pin SOIC
MT8870DN/DN-1	20 Pin SSOP
-40 °C to +85 °C	

**Description**

The MT8870D/MT8870D-1 is a complete DTMF receiver integrating both the bandsplit filter and digital decoder functions. The filter section uses switched capacitor techniques for high and low group filters; the decoder uses digital counting techniques to detect and decode all 16 DTMF tone-pairs into a 4-bit code. External component count is minimized by on chip provision of a differential input amplifier, clock oscillator and latched three-state bus interface.


**Figure 1 - Functional Block Diagram**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

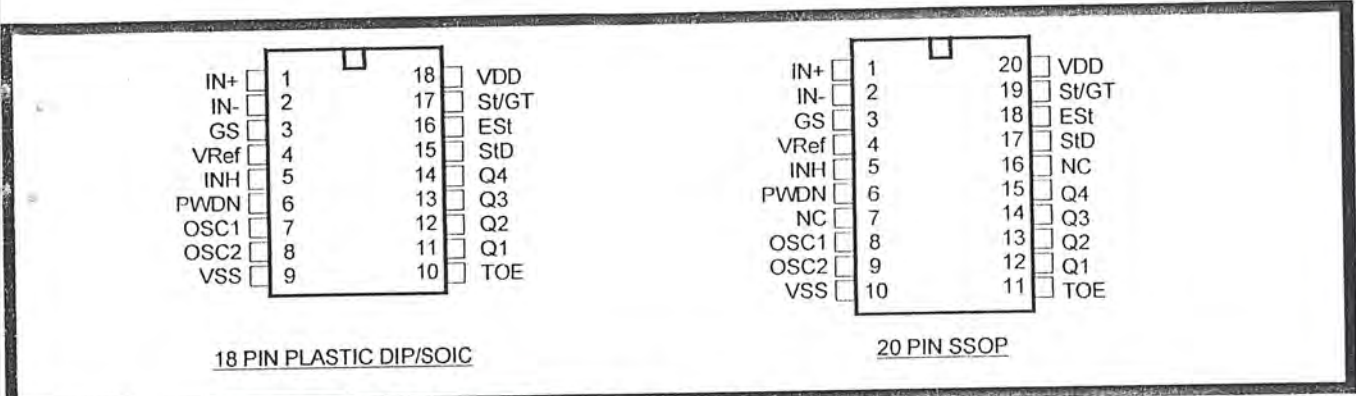


Figure 2 - Pin Connections

Pin Description

Pin #		Name	Description
18	20		
1	1	IN+	<b>Non-Inverting Op-Amp (Input).</b>
2	2	IN-	<b>Inverting Op-Amp (Input).</b>
3	3	GS	<b>Gain Select.</b> Gives access to output of front end differential amplifier for connection of feedback resistor.
4	4	V <sub>Ref</sub>	<b>Reference Voltage (Output).</b> Nominally V <sub>DD</sub> /2 is used to bias inputs at mid-rail (see Fig. 6 and Fig. 10).
5	5	INH	<b>Inhibit (Input).</b> Logic high inhibits the detection of tones representing characters A, B, C and D. This pin input is internally pulled down.
6	6	PWDN	<b>Power Down (Input).</b> Active high. Powers down the device and inhibits the oscillator. This pin input is internally pulled down.
7	8	OSC1	<b>Clock (Input).</b>
8	9	OSC2	<b>Clock (Output).</b> A 3.579545 MHz crystal connected between pins OSC1 and OSC2 completes the internal oscillator circuit.
9	10	V <sub>SS</sub>	<b>Ground (Input).</b> 0V typical.
10	11	TOE	<b>Three State Output Enable (Input).</b> Logic high enables the outputs Q1-Q4. This pin is pulled up internally.
11-14	12-15	Q1-Q4	<b>Three State Data (Output).</b> When enabled by TOE, provide the code corresponding to the last valid tone-pair received (see Table 1). When TOE is logic low, the data outputs are high impedance.
15	17	StD	<b>Delayed Steering (Output).</b> Presents a logic high when a received tone-pair has been registered and the output latch updated; returns to logic low when the voltage on St/GT falls below V <sub>TSt</sub> .
16	18	Est	<b>Early Steering (Output).</b> Presents a logic high once the digital algorithm has detected a valid tone pair (signal condition). Any momentary loss of signal condition will cause Est to return to a logic low.
17	19	St/GT	<b>Steering Input/Guard time (Output) Bidirectional.</b> A voltage greater than V <sub>TSt</sub> detected at St causes the device to register the detected tone pair and update the output latch. A voltage less than V <sub>TSt</sub> frees the device to accept a new tone pair. The GT output acts to reset the external steering time-constant; its state is a function of Est and the voltage on St.
18	20	V <sub>DD</sub>	<b>Positive power supply (Input).</b> +5V typical.
	7, 16	NC	No Connection.

**Functional Description**

The MT8870D/MT8870D-1 monolithic DTMF receiver offers small size, low power consumption and high performance. Its architecture consists of a bandsplit filter section, which separates the high and low group tones, followed by a digital counting section which verifies the frequency and duration of the received tones before passing the corresponding code to the output bus.

**Filter Section**

Separation of the low-group and high group tones is achieved by applying the DTMF signal to the inputs of two sixth-order switched capacitor bandpass filters, the bandwidths of which correspond to the low and high group frequencies. The filter section also incorporates notches at 350 and 440 Hz for exceptional dial tone rejection (see Figure 3). Each filter output is followed by a single order switched capacitor filter section which smooths the signals prior to limiting. Limiting is performed by high-gain comparators which are provided with hysteresis to prevent detection of unwanted low-level signals. The outputs of the comparators provide full rail logic swings at the frequencies of the incoming DTMF signals.

**Decoder Section**

Following the filter section is a decoder employing digital counting techniques to determine the frequencies of the incoming tones and to verify that they correspond to standard DTMF frequencies. A complex averaging algorithm protects against tone simulation by extraneous signals such as voice while

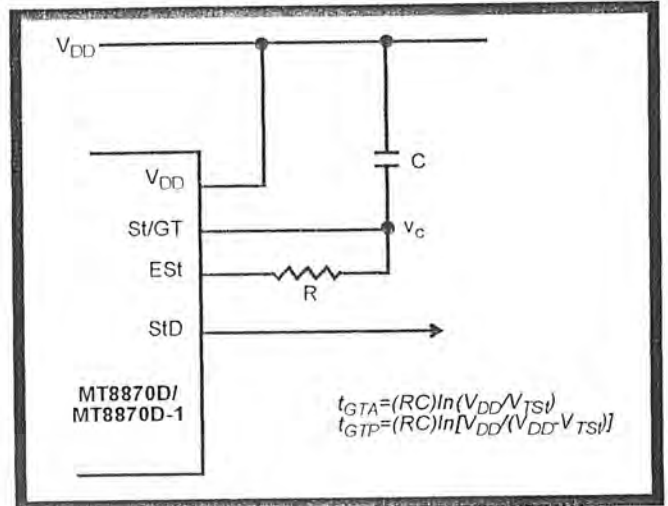


Figure 4 - Basic Steering Circuit

providing tolerance to small frequency deviations and variations. This averaging algorithm has been developed to ensure an optimum combination of immunity to talk-off and tolerance to the presence of interfering frequencies (third tones) and noise. When the detector recognizes the presence of two valid tones (this is referred to as the "signal condition" in some industry specifications) the "Early Steering" (Est) output will go to an active state. Any subsequent loss of signal condition will cause Est to assume an inactive state (see "Steering Circuit").

**Steering Circuit**

Before registration of a decoded tone pair, the receiver checks for a valid signal duration (referred to as character recognition condition). This check is performed by an external RC time constant driven by Est. A logic high on Est causes v<sub>c</sub> (see Figure 4) to rise as the capacitor discharges. Provided signal

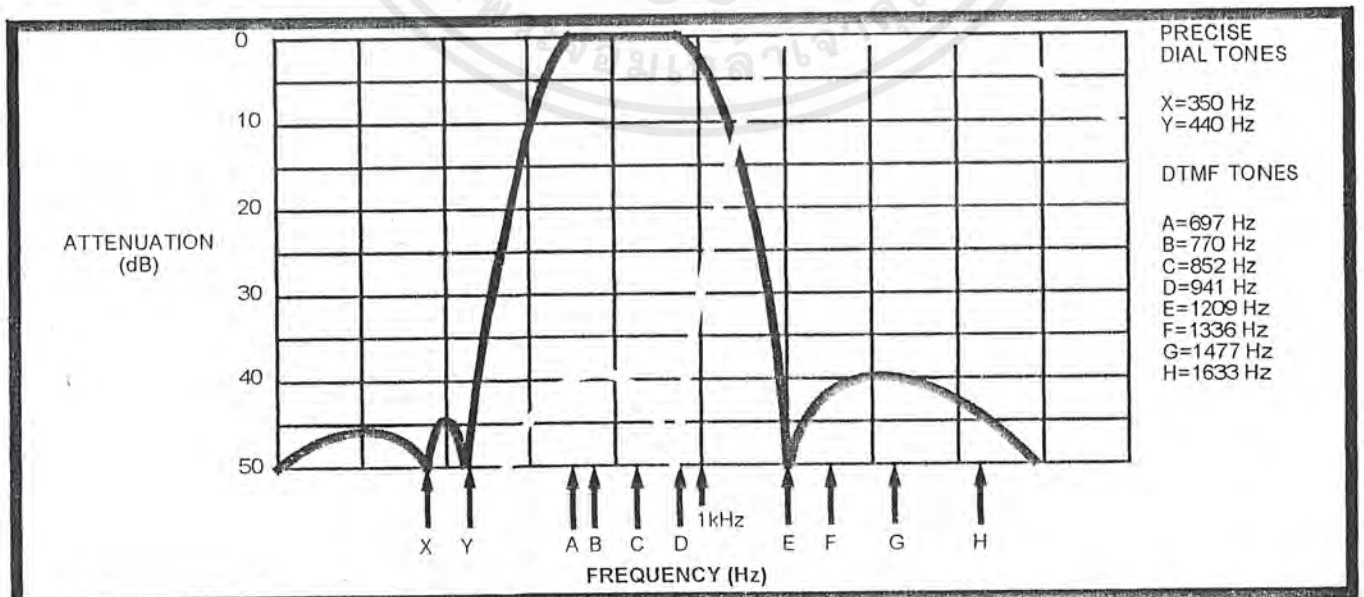


Figure 3 - Filter Response

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

condition is maintained (EST remains high) for the validation period ( $t_{GTP}$ ),  $v_c$  reaches the threshold ( $V_{TSI}$ ) of the steering logic to register the tone pair, latching its corresponding 4-bit code (see Table 1) into the output latch. At this point the GT output is activated and drives  $v_c$  to  $V_{DD}$ . GT continues to drive high as long as EST remains high. Finally, after a short delay to allow the output latch to settle, the delayed steering output flag (StD) goes high, signalling that a received tone pair has been registered. The contents of the output latch are made available on the 4-bit output bus by raising the three state control input (TOE) to a logic high. The steering circuit works in reverse to validate the interdigit pause between signals. Thus, as well as rejecting signals too short to be considered valid, the receiver will tolerate signal interruptions (dropout) too short to be considered a valid pause. This facility, together with the capability of selecting the steering time constants externally, allows the designer to tailor performance to meet a wide variety of system requirements.

**Guard Time Adjustment**

In many situations not requiring selection of tone duration and interdigital pause, the simple steering circuit shown in Figure 4 is applicable. Component values are chosen according to the formula:

$$t_{REC} = t_{DP} + t_{GTP}$$

$$t_{ID} = t_{DA} + t_{GTA}$$

The value of  $t_{DP}$  is a device parameter (see Figure 11) and  $t_{REC}$  is the minimum signal duration to be recognized by the receiver. A value for C of 0.1  $\mu F$  is

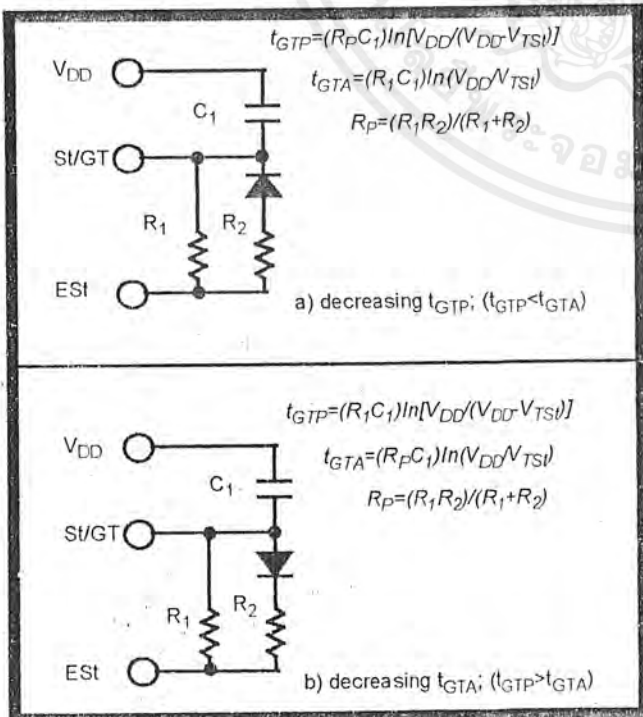
Digit	TOE	INH	EST	Q <sub>4</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>
ANY	L	X	H	Z	Z	Z	Z
1	H	X	H	0	0	0	1
2	H	X	H	0	0	1	0
3	H	X	H	0	0	1	1
4	H	X	H	0	1	0	0
5	H	X	H	0	1	0	1
6	H	X	H	0	1	1	0
7	H	X	H	0	1	1	1
8	H	X	H	1	0	0	0
9	H	X	H	1	0	0	1
0	H	X	H	1	0	1	0
*	H	X	H	1	0	1	1
#	H	X	H	1	1	0	0
A	H	L	H	1	1	0	1
B	H	L	H	1	1	1	0
C	H	L	H	1	1	1	1
D	H	L	H	0	0	0	0
A	H	H	L	undetected, the output code will remain the same as the previous detected code			
B	H	H	L				
C	H	H	L				
D	H	H	L				

**Table 1. Functional Decode Table**

L=LOGIC LOW, H=LOGIC HIGH, Z=HIGH IMPEDANCE  
X = DON'T CARE

recommended for most applications, leaving R to be selected by the designer.

Different steering arrangements may be used to select independently the guard times for tone present ( $t_{GTP}$ ) and tone absent ( $t_{GTA}$ ). This may be necessary to meet system specifications which place both accept and reject limits on both tone duration and interdigital pause. Guard time adjustment also allows the designer to tailor system parameters such as talk off and noise immunity. Increasing  $t_{REC}$  improves talk-off performance since it reduces the probability that tones simulated by speech will maintain signal condition long enough to be registered. Alternatively, a relatively short  $t_{REC}$  with a long  $t_{DO}$  would be appropriate for extremely noisy environments where fast acquisition time and immunity to tone drop-outs are required. Design information for guard time adjustment is shown in Figure 5.



**Figure 5. Guard Time Adjustment**

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของ บริษัท เซมิคอนดักเตอร์ เทคโนโลยี จำกัด เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**Power-down and Inhibit Mode**

A logic high applied to pin 6 (PWDN) will power down the device to minimize the power consumption in a standby mode. It stops the oscillator and the functions of the filters.

Inhibit mode is enabled by a logic high input to the pin 5 (INH). It inhibits the detection of tones representing characters A, B, C, and D. The output code will remain the same as the previous detected code (see Table 1).

**Differential Input Configuration**

The input arrangement of the MT8870D/MT8870D-1 provides a differential-input operational amplifier as well as a bias source ( $V_{Ref}$ ) which is used to bias the inputs at mid-rail. Provision is made for connection of a feedback resistor to the op-amp output (GS) for adjustment of gain. In a single-ended configuration, the input pins are connected as shown in Figure 10 with the op-amp connected for unity gain and  $V_{Ref}$  biasing the input at  $1/2 V_{DD}$ . Figure 6 shows the differential configuration, which permits the adjustment of gain with the feedback resistor  $R_5$ .

**Crystal Oscillator**

The internal clock circuit is completed with the addition of an external 3.579545 MHz crystal and is normally connected as shown in Figure 10 (Single-Ended Input Configuration). However, it is possible to configure several MT8870D/MT8870D-1 devices employing only a single oscillator crystal. The oscillator output of the first device in the chain is coupled through a 30 pF capacitor to the oscillator input (OSC1) of the next device. Subsequent devices are connected in a similar fashion. Refer to Figure 7 for details. The problems associated with unbalanced loading are not a concern with the arrangement shown, i.e., precision balancing capacitors are not required.

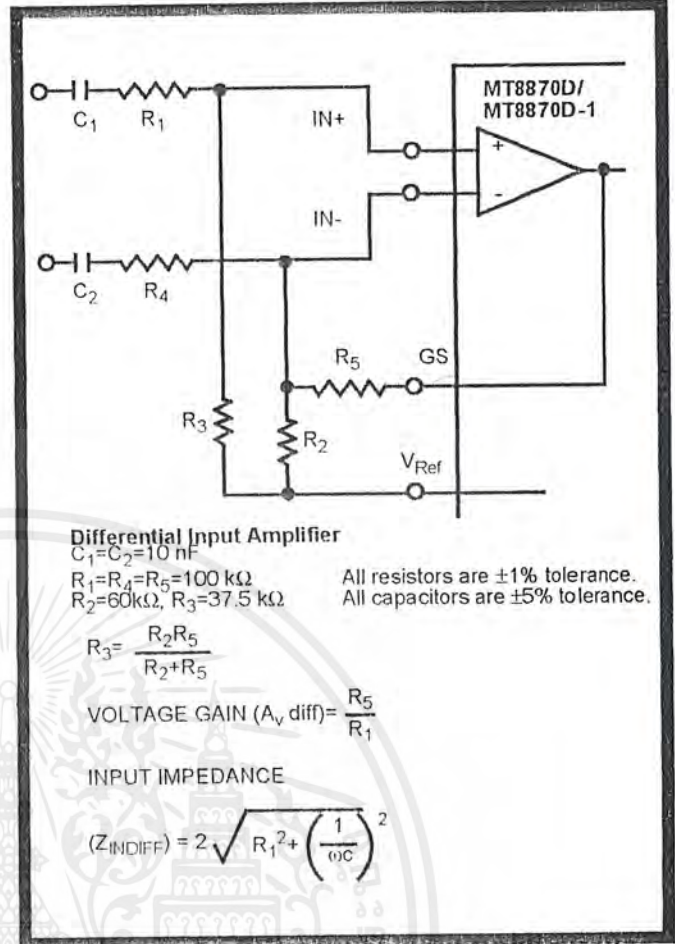


Figure 6 - Differential Input Configuration

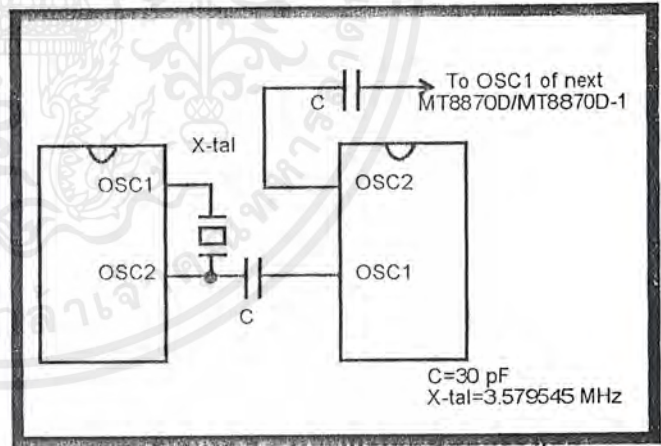


Figure 7 - Oscillator Connection

Parameter	Unit	Resonator
R1	Ohms	10.752
L1	mH	.432
C1	pF	4.984
C0	pF	37.915
Qm	-	896.37
$\Delta f$	%	$\pm 0.2\%$

Table 2. Recommended Resonator Specifications  
 Note:  $Q_m$ =quality factor of RLC model, i.e.,  $1/2IIfR1C1$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Applications

### RECEIVER SYSTEM FOR BRITISH TELECOM SPEC POR 1151

The circuit shown in Fig. 9 illustrates the use of MT8870D-1 device in a typical receiver system. BT Spec defines the input signals less than -34 dBm as the non-operate level. This condition can be attained by choosing a suitable values of  $R_1$  and  $R_2$  to provide 3 dB attenuation, such that -34 dBm input signal will correspond to -37 dBm at the gain setting pin GS of MT8870D-1. As shown in the diagram, the component values of  $R_3$  and  $C_2$  are the guard time requirements when the total component tolerance is .6%. For better performance, it is recommended to use the non-symmetric guard time circuit in Fig. 8.

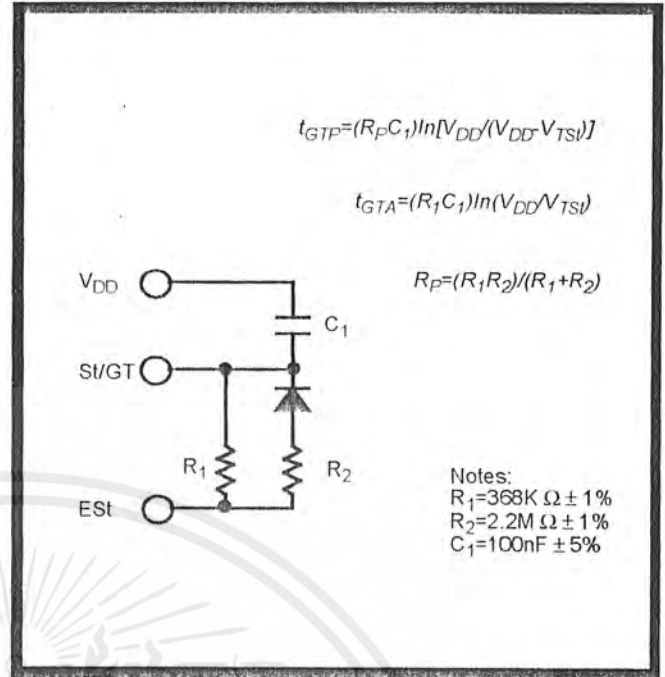


Figure 8 - Non-Symmetric Guard Time Circuit

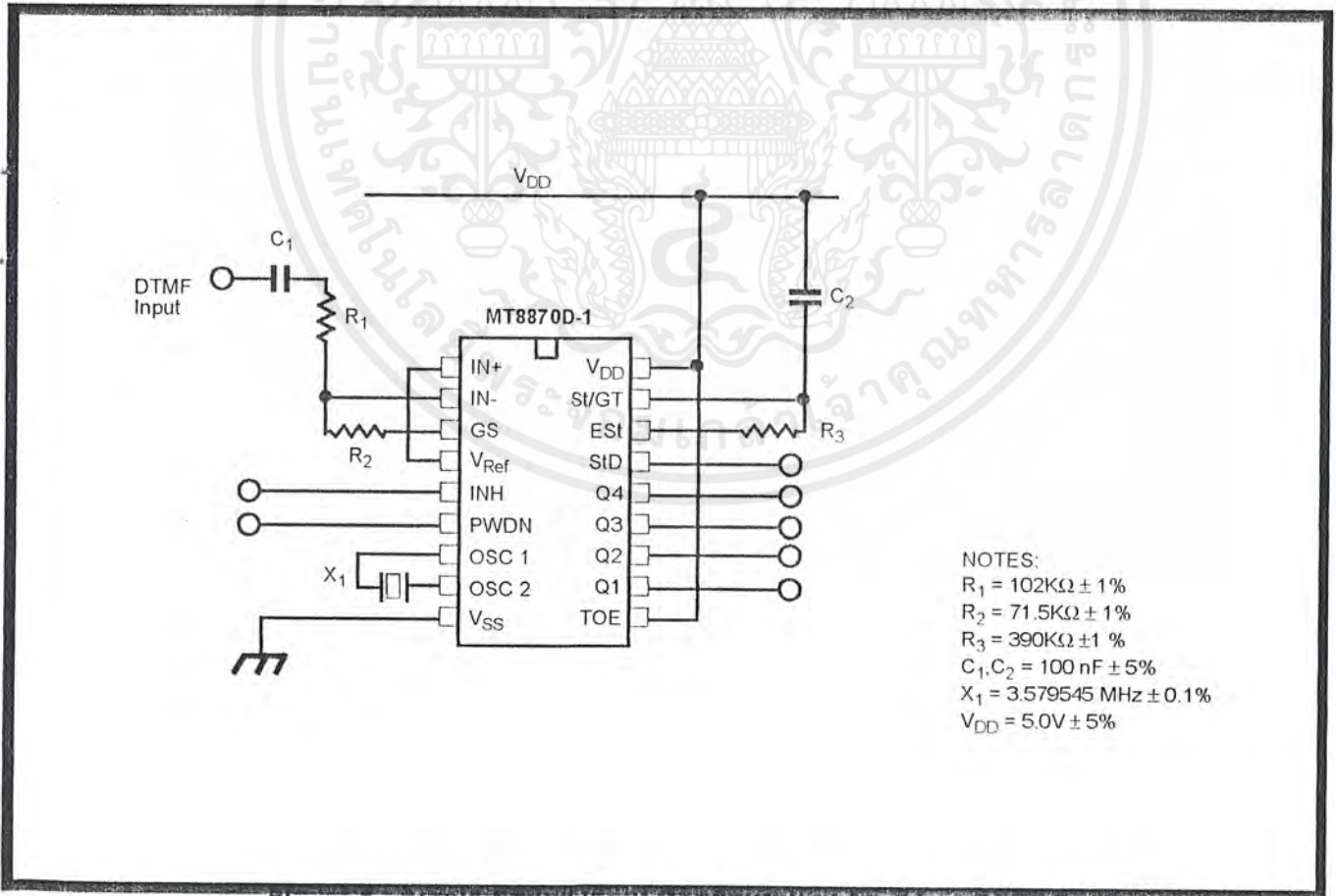


Figure 9 - Single-Ended Input Configuration for BT or CEPT Spec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MT8870D/MT8870D-1 ISO<sup>2</sup>-CMOS

**Operating Characteristics** -  $V_{DD}=5.0V\pm 5\%$ ,  $V_{SS}=0V$ ,  $-40^{\circ}C \leq T_O \leq +85^{\circ}C$ , unless otherwise stated.  
**Gain Setting Amplifier**

	Characteristics	Sym	Min	Typ <sup>†</sup>	Max	Units	Test Conditions
1	Input leakage current	$I_{IN}$			100	nA	$V_{SS} \leq V_{IN} \leq V_{DD}$
2	Input resistance	$R_{IN}$	10			M $\Omega$	
3	Input offset voltage	$V_{OS}$			25	mV	
4	Power supply rejection	PSRR	50			dB	1 kHz
5	Common mode rejection	CMRR	40			dB	$0.75 V \leq V_{IN} \leq 4.25 V$ biased at $V_{Ref}=2.5 V$
6	DC open loop voltage gain	$A_{VOL}$	32			dB	
7	Unity gain bandwidth	$f_c$	0.30			MHz	
8	Output voltage swing	$V_O$	4.0			$V_{pp}$	Load $\geq 100 k\Omega$ to $V_{SS}$ @ GS
9	Maximum capacitive load (GS)	$C_L$			100	pF	
10	Resistive load (GS)	$R_L$			50	k $\Omega$	
11	Common mode range	$V_{CM}$	2.5			$V_{pp}$	No Load

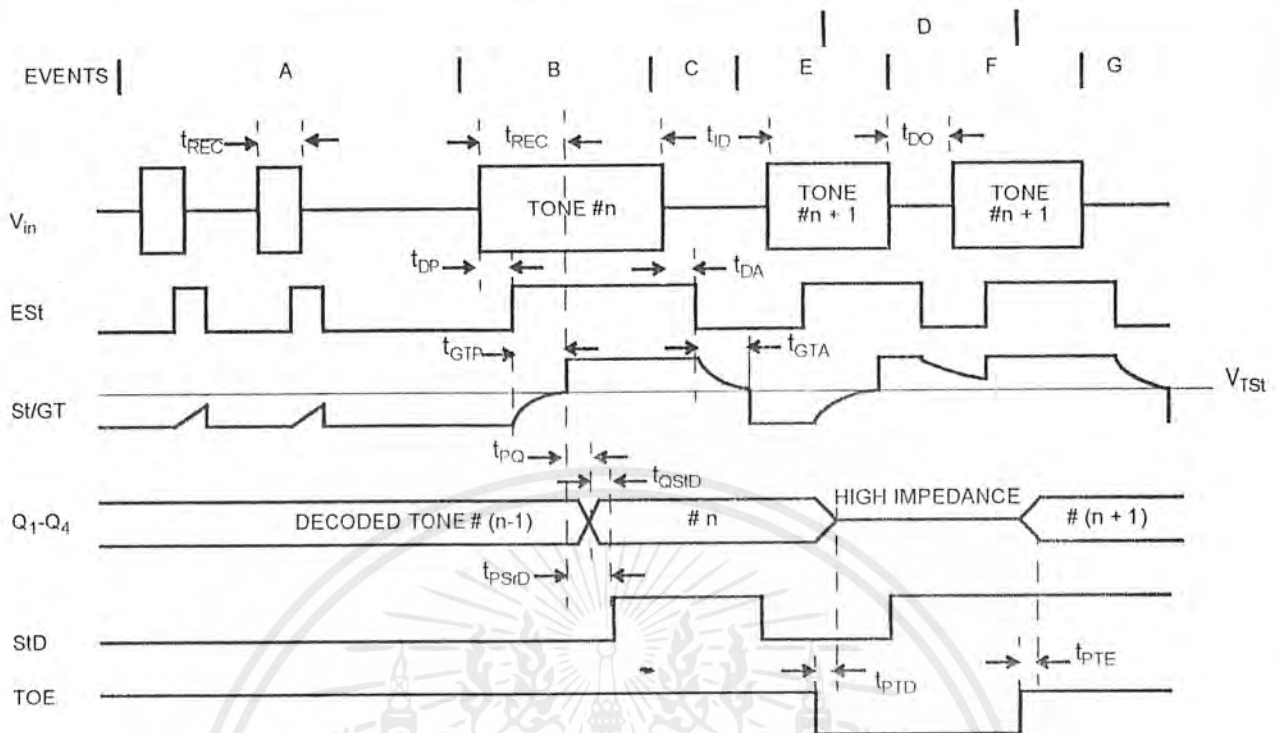
**MT8870D AC Electrical Characteristics** -  $V_{DD}=5.0V \pm 5\%$ ,  $V_{SS}=0V$ ,  $-40^{\circ}C \leq T_O \leq +85^{\circ}C$ , using Test Circuit shown in Figure 10.

	Characteristics	Sym	Min	Typ <sup>†</sup>	Max	Units	Notes*
1	Valid input signal levels (each tone of composite signal)		-29		+1	dBm	1,2,3,5,6,9
			27.5		869	mV <sub>RMS</sub>	1,2,3,5,6,9
2	Negative twist accept				8	dB	2,3,6,9,12
3	Positive twist accept				8	dB	2,3,6,9,12
4	Frequency deviation accept		$\pm 1.5\% \pm 2 Hz$				2,3,5,9
5	Frequency deviation reject		$\pm 3.5\%$				2,3,5,9
6	Third tone tolerance				-16	dB	2,3,4,5,9,10
7	Noise tolerance				-12	dB	2,3,4,5,7,9,10
8	Dial tone tolerance				+22	dB	2,3,4,5,8,9,11

<sup>†</sup> Typical figures are at 25 °C and are for design aid only: not guaranteed and not subject to production testing.

**\*NOTES**

1. dBm= decibels above or below a reference power of 1 mW into a 600 ohm load.
2. Digit sequence consists of all DTMF tones.
3. Tone duration= 40 ms, tone pause= 40 ms.
4. Signal condition consists of nominal DTMF frequencies.
5. Both tones in composite signal have an equal amplitude.
6. Tone pair is deviated by  $\pm 1.5\% \pm 2 Hz$ .
7. Bandwidth limited (3 kHz) Gaussian noise.
8. The precise dial tone frequencies are (350 Hz and 440 Hz)  $\pm 2\%$ .
9. For an error rate of better than 1 in 10,000.
10. Referenced to lowest level frequency component in DTMF signal.
11. Referenced to the minimum valid accept level.
12. Guaranteed by design and characterization.



**EXPLANATION OF EVENTS**

- A) TONE BURSTS DETECTED, TONE DURATION INVALID, OUTPUTS NOT UPDATED.
- B) TONE #n DETECTED, TONE DURATION VALID, TONE DECODED AND LATCHED IN OUTPUTS
- C) END OF TONE #n DETECTED, TONE ABSENT DURATION VALID, OUTPUTS REMIAN LATCHED UNTIL NEXT VALID TONE.
- D) OUTPUTS SWITCHED TO HIGH IMPEDANCE STATE.
- E) TONE #n + 1 DETECTED, TONE DURATION VALID, TONE DECODED AND LATCHED IN OUTPUTS (CURRENTLY HIGH IMPEDANCE).
- F) ACCEPTABLE DROPOUT OF TONE #n + 1, TONE ABSENT DURATION INVALID, OUTPUTS REMAIN LATCHED.
- G) END OF TONE #n + 1 DETECTED, TONE ABSENT DURATION VALID, OUTPUTS REMAIN LATCHED UNTIL NEXT VALID TONE.

**EXPLANATION OF SYMBOLS**

- $V_{in}$  DTMF COMPOSITE INPUT SIGNAL.
- EST EARLY STEERING OUTPUT. INDICATES DETECTION OF VALID TONE FREQUENCIES.
- SI/GT STEERING INPUT/GUARD TIME OUTPUT. DRIVES EXTERNAL RC TIMING CIRCUIT.
- Q<sub>1</sub>-Q<sub>4</sub> 4-BIT DECODED TONE OUTPUT.
- SID DELAYED STEERING OUTPUT. INDICATES THAT VALID FREQUENCIES HAVE BEEN PRESENT/ABSENT FOR THE REQUIRED GUARD TIME THUS CONSTITUTING A VALID SIGNAL.
- TOE TONE OUTPUT ENABLE (INPUT). A LOW LEVEL SHIFTS Q<sub>1</sub>-Q<sub>4</sub> TO ITS HIGH IMPEDANCE STATE.
- $t_{REC}$  MAXIMUM DTMF SIGNAL DURATION NOT DETECED AS VALID
- $t_{REC}$  MINIMUM DTMF SIGNAL DURATION REQUIRED FOR VALID RECOGNITION
- $t_{ID}$  MAXIMUM TIME BETWEEN VALID DTMF SIGNALS.
- $t_{DO}$  MAXIMUM ALLOWABLE DROP OUT DURING VALID DTMF SIGNAL.
- $t_{DP}$  TIME TO DETECT THE PRESENCE OF VALID DTMF SIGNALS.
- $t_{DA}$  TIME TO DETECT THE ABSENCE OF VALID DTMF SIGNALS.
- $t_{GTP}$  GUARD TIME, TONE PRESENT.
- $t_{GTA}$  GUARD TIME, TONE ABSENT.

Figure 11 - Timing Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในบริษัทที่ผลิตขึ้น มิใช่ข้อมูลให้แนวทางไปใช้ประโยชน์จนการคา  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LM3361A Low Voltage/Power Narrow Band FM IF System

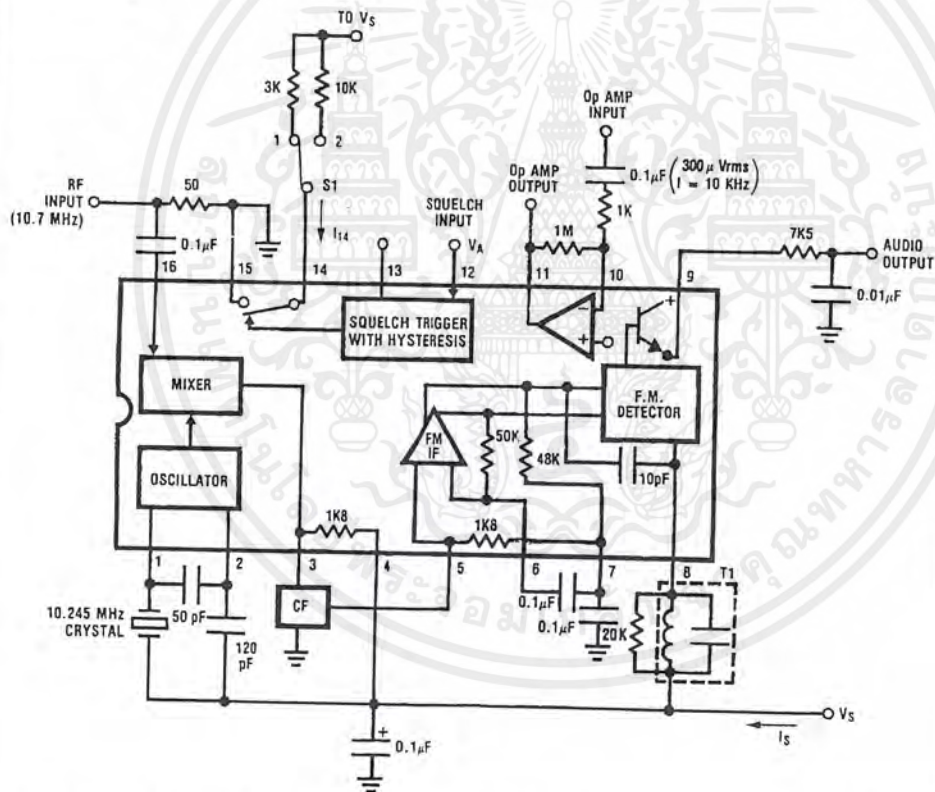
### General Description

The LM3361A contains a complete narrow band FM demodulation system operable to less than 2V supply voltage. Blocks within the device include an oscillator, mixer, FM IF limiting amplifier, FM demodulator, op amp, scan control, and mute switch. The LM3361A is similar to the MC3361 with the following improvements: the LM3361A has higher voltage swing both at the op amp and audio outputs. It also has lower nominal drain current and a squelch circuit that draws significantly less current than the MC3361. Device pinout functions are identical with some slightly different operating characteristics.

### Features

- Functions at low supply voltage (less than 2V)
- Highly sensitive (-3 dB limiting at 2.0  $\mu$ V input typical)
- High audio output (increased 6 dB over MC3361)
- Low drain current (2.8 mA typ.,  $V_{CC}=3.6V$ )
- Minimal drain current increase when squelched
- Low external parts count

### Block Diagram and Test Circuit



Order Number LM3361AM  
or LM3361AN  
See NS Package Number  
M16A or N16E

T1-TOKO RMC-2A6597HM  
CF-MURATA CFU 455E

TL/H/5586-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Absolute Maximum Ratings

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

Package Dissipation (Note 1)	1500 mW
Power Supply Voltage ( $V_S$ )	12 V
RF Input Voltage ( $V_S > 3.6V$ )	1 Vrms
Mute Function (pin 14)	-0.7 to 5 Vp
Operating Ambient Temperature Range	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-55°C to +150°C

## Soldering Information

Dual-In-Line Package	
Soldering (10 seconds)	260°C
Small Outline Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

## Parameters Guaranteed By Electrical Testing

(Test ckt.,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = 3.6V$ ,  $f_O = 10.7\text{ MHz}$ ,  $\Delta f = \pm 3\text{ kHz}$ ,  $f_{MOD} = 1\text{ kHz}$ ,  $50\Omega$  source)

Parameter	Measure	Min	Typ	Max	Units
Supply Voltage Range	$V_S$	2.0	3.6	9.0	V
Supply Current					
Squelch Off	$I_S$		2.8	5.0	mA
Squelch On	$I_S$		3.6	6.0	mA
RF Input for -3 dB Limiting	RF Input		2.0	6.0	$\mu\text{V}$
Recovered Audio at Audio Output	Audio Output	200	350		mV <sub>RMS</sub>
Audio Out DC	$V_9$	1.2	1.5	1.8	$V_{DC}$
Op Amp Gain	$V_{11}/V_{IN}$	40	55		dB
Op Amp Output DC	$V_{10}$	0.4	0.7		$V_{DC}$
Op Amp Input Bias Current	$(V_{10} - V_{11})/1M\Omega$		20	75	nA
Scan Voltage					
Pin 12 high (2V)	$V_{13}$		0	0.5	$V_{DC}$
Pin 12 Low (0V)	$V_{13}$	3.0	3.4		$V_{DC}$
Mute Switch Impedance, Pin 12 = 0V Switch S1 from pos.1 to pos.2	$\Delta V_{14}/\Delta I_{14}$		15	30	$\Omega$

## Design Parameters Not Tested or Guaranteed

	Typ	
Mixer Conversion Gain (Note 2)	46	V/V
Mixer Input Resistance	3.6	k $\Omega$
Mixer Input Capacitance	2.2	pF
Detector Output Impedance	500	$\Omega$
Squelch Hysteresis	100	mV
Mute Off Impedance (measure pin 14 with pin 12 @ 2V)	10	M $\Omega$
Squelch Threshold	0.65	$V_{DC}$
Detector Center Frequency Slope	0.15	V/kHz

Note 1. For operation above 25°C ambient temperature, the device must be derated based on 150°C maximum junction temperature and a thermal resistance  $\theta_{JA}$  of 80°C/W.

Note 2. Mixer gain is supply dependent and affects overall sensitivity accordingly (See Typical Performance Characteristics).

### Colls:

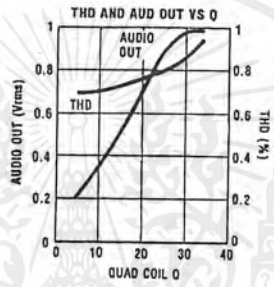
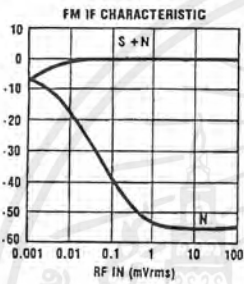
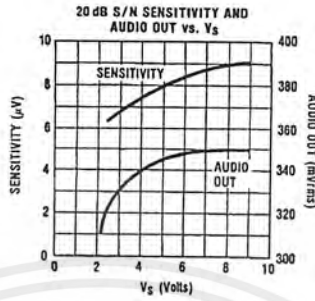
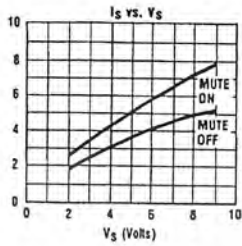
Toko America  
1250 Feehanville Drive  
Mount Prospect, IL 60056  
(312) 297-0070

### Filters:

Murata  
2200 Lake Park Drive  
Smyrna, GA 30080  
(404) 436-1300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Test Circuits)



TL/H/5586-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

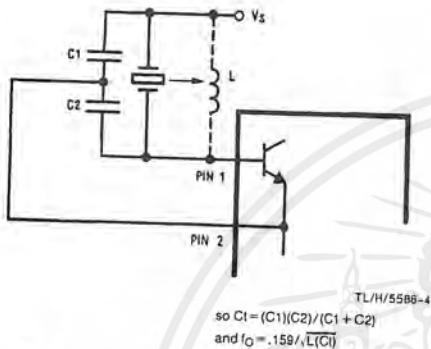


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Applications Information (See Internal Schematic)

### OSCILLATOR

The Colpitts type oscillator is internally biased with a regulated current source which assures proper operation over a wide supply range. The collector, base, and emitter terminals are at pins 4, 1, and 2 respectively. The crystal, which is used in the parallel resonant mode, may be replaced with an appropriate inductor if the application does not require the stability of a crystal oscillator. In this case, the resonant frequency will be determined by the inductor in parallel with the series combination of C1 and C2.



$$\text{so } C1 = (C1)(C2)/(C1 + C2)$$

$$\text{and } f_0 = .159/\sqrt{L(C)}$$

### MIXER

The mixer is double balanced to reduce spurious responses. The upper pairs are switched by the oscillator while the RF input is applied to the lower pair (pin 16). R43 sets the mixer input impedance at 3.6 k $\Omega$ . The mixer output impedance of 1.8 k $\Omega$  will properly match the input impedance of a ceramic filter which is used as a bandpass filter coupling the mixer output to the IF limiting amplifier.

### IF LIMITER

The IF amplifier consists of six differential gain stages, with the input impedance set by R2 at 1.8 k $\Omega$  to properly terminate the ceramic filter driving the IF. The IF alone (without mixer) has a -3 dB limiting sensitivity of approximately 50  $\mu$ V. The system bandwidth is limited to about 5 MHz due to high impedances in the IF which are necessary to meet low power requirements. The IF output is connected to the external quad coil at pin 8 via an internal 10 pF capacitor.

### FM DEMOD AUDIO OUT

A conventional quadrature detector is used to demodulate the FM signal. The Q of the quad coil, which is determined by the external resistor placed across it, has multiple effects on the audio output. Increasing the Q increases output level but because of nonlinearities in the tank phase characteris-

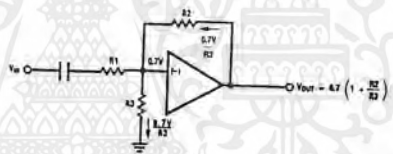
tic, also increases distortion (see Typical Performance Characteristics). For proper operation, the voltage swing on pin 8 should be adequate to drive the upper rank of the multiplier into switching (about 100 mVrms). This voltage level is dependent on the internal 10 pF capacitor and the tank R<sub>p</sub> voltage divider network. After detection and de-emphasis, the audio output at pin 9 is buffered by an emitter follower.

### OP AMP

The op amp inverting input (pin 10) which is internally referenced to 0.7V, receives dc bias from the output at pin 11 through the external feedback network. Because of the low D.C. bias, maximum swing on the op amp output with 10% distortion is 500 mVrms. This can be increased when operating on supplies over 2.3V by adding a resistor from the op amp input to ground which raises the quiescent D.C. at the output allowing more swing (see figure below for selection of added resistor). The op amp is normally utilized as either a bandpass filter to extract a specific frequency from the audio output, such as a ring or dial tone, or as a high pass filter to detect noise due to no input at the mixer. The latter condition will generate a signal at the op amp output, which when applied to pin 12 can mute the external audio amp. For max swing:  $V_{OUT} = (V_S - V_{BE})/2$  (from internal circuit)

$$\text{so } (V_S - V_{BE})/2 = 0.7 \left( 1 + \frac{R2}{R3} \right)$$

$$\text{therefore } \frac{R2}{R3} = \left( \frac{V_S - V_{BE}}{1.4} \right) - 1$$

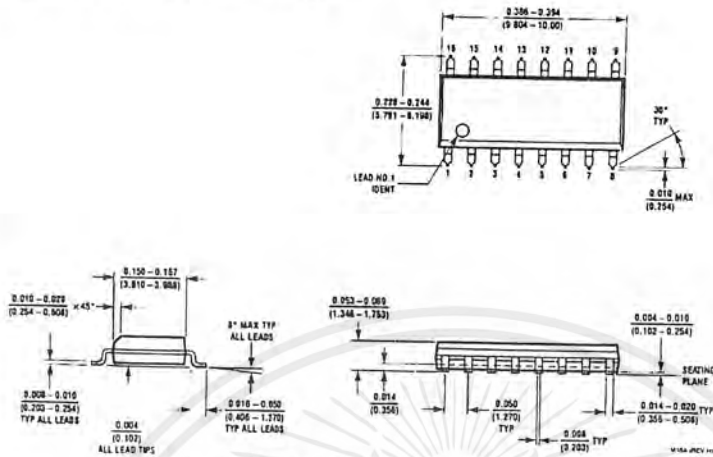


Increasing OP Amp Swing

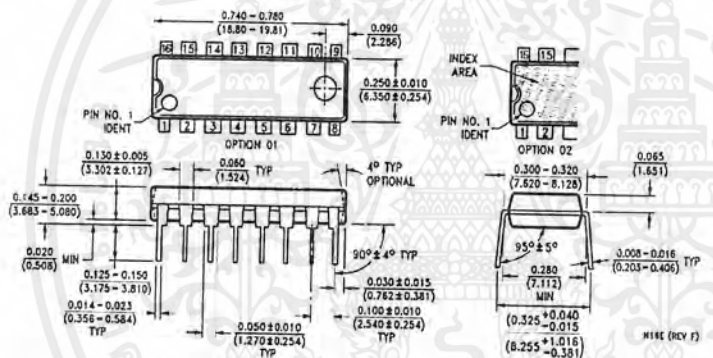
### SQUELCH TRIGGER CIRCUIT

The squelch trigger circuit is configured such that a low bias on the input (pin 12) will force pin 13 high (200 mV below supply), where it can support at least a 1 mA load, and pin 14 to be a low impedance, typically 15 $\Omega$  to ground. Connecting pin 14 to a high impedance ground reference point in the audio path between pin 9 and the audio amp will mute the audio output. Pulling pin 12 above mute threshold (0.65V) will force pin 13 to an impedance of about 60 k $\Omega$  to ground and pin 14 will be an open circuit. There is 100 mV of hysteresis at pin 12 which effectively prevents jitter.

**Physical Dimensions** inches (millimeters)



**Molded Small Outline Package (M)**  
**Order Number LM3361AM**  
**NS Package Number M16A**



**Molded Dual-In-Line Package (N)**  
**Order Number LM3361AN**  
**NS Package Number N16E**

**LIFE SUPPORT POLICY**

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



**National Semiconductor Corporation**  
 1111 West Bardin Road  
 Arlington, TX 76017  
 Tel: 1(800) 272-9959  
 Fax: 1(800) 737-7016

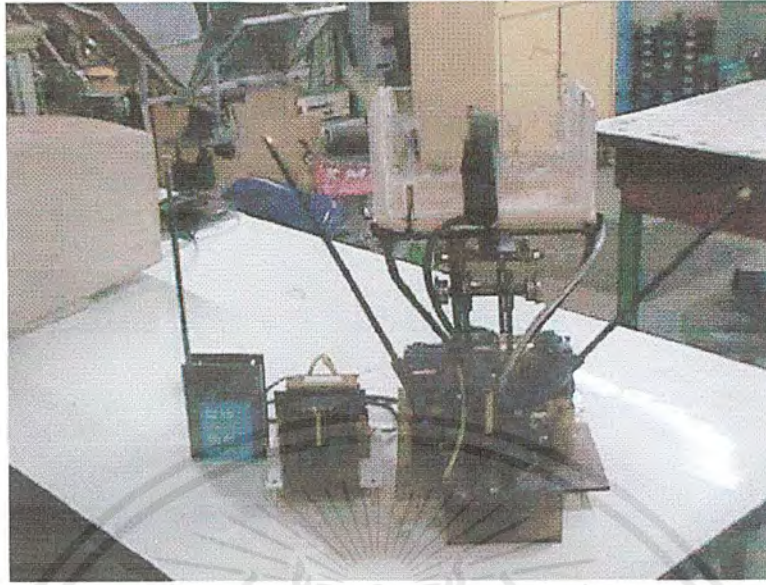
**National Semiconductor Europe**  
 Fax: (+49) 0-180-530 85 86  
 Email: cnjwge@tevm2.nsc.com  
 Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85  
 English Tel: (+49) 0-180-532 78 32  
 Français Tel: (+49) 0-180-532 93 58  
 Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 80

**National Semiconductor Hong Kong Ltd.**  
 13th Floor, Straight Block,  
 Ocean Centre, 5 Canton Rd.  
 Tsimshatsui, Kowloon  
 Hong Kong  
 Tel: (852) 2736-1600  
 Fax: (852) 2736-9960

**National Semiconductor Japan Ltd.**  
 Tel: 81-043-299-2309  
 Fax: 81-043-299-2408

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

## ภาพแสดงเครื่องพ่นสารเคมี



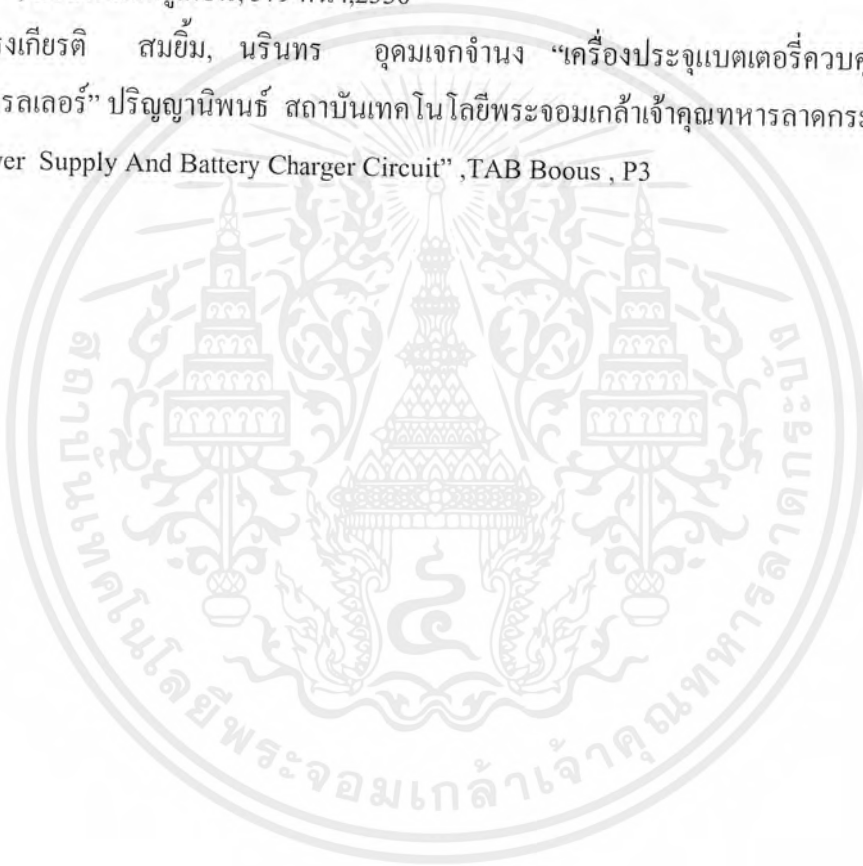
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

1. ชูชัย ธนสารตั้งเจริญ , พิชัย ภักดีพานิชเจริญ “ระบบสื่อสารวิทยุ” ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์,2536
2. สุชาติ กังวาลจิตต์ ,” หลักการทำงานเครื่องรับส่งวิทยุและระบบวิทยุสื่อสาร ” ซีเอ็ดยูเคชั่น 2535
3. Finn Lied “ HF Radio Communications “ Unwin Brothers Ltd,1967
4. ปรามหัฐ ประณยานันท์ , ปิยพงศ์ เผ่าณิข, “คู่มือและการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-5” , บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น, 379 หน้า,2536
5. คำรงเกียรติ สมอ้อม, นรินทร อุดมเจกจำนง “เครื่องประจุแบตเตอรี่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์” ปริญญาโทเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540
7. “Power Supply And Battery Charger Circuit” ,TAB Boous , P3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้