

ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์  
FUNCTION GENERATOR



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

ชพ.  
ท ๕๖๕๗  
๕๕๖๖

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 46513  
วัน, เดือน, ปี ๕ ๕๕.๒. 2546

ปีการศึกษา 2544

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์

ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

TITLE

FUNCTION GENERATOR

โดย

นายเทอดธรรมบุญ นิคม รหัสประจำตัว 43015817

นายขงยุทธ อิงเสรี รหัสประจำตัว 43015834

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

ผศ.นภพินท์ อนันตรศิริชัย

ภาควิชา

วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา

2544

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

(ผศ.นภพินท์ อนันตรศิริชัย)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์	
นักศึกษา	นายเทอดธรรมบุญ นิคม	รหัสประจำตัว 43015817
	นายขงยุทธ อิงเสรี	รหัสประจำตัว 43015834
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ผศ.นภพินท์ อนันตรศิริชัย	
ระดับการศึกษา	ปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต	
	สาขาเทคโนโลยีโทรคมนาคม	
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ	
ปีการศึกษา	2544	

### บทคัดย่อ

ในห้องทดลองอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องกำเนิดสัญญาณมีความสำคัญมากในการใช้งานด้านทดสอบเครื่องมือวัดต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเสนอแนวคิด และหลักการออกแบบในการนำระบบควบคุมแบบดิจิทัลมาใช้ในการปรับตั้งค่าของเครื่องกำเนิดสัญญาณ ที่สามารถเลือกค่าสัญญาณไซน์, รูปสี่เหลี่ยม, รูปสามเหลี่ยม, พัลส์, รูปฟันเลื่อย เป็นต้น เพื่อใช้ในการป้อนให้กับวงจรภายใต้การทดสอบ โดยอาศัยการควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ และแสดงผลด้วยจอแสดงผลผลึกเหลว ( LCD ) จุดมุ่งหมายหลักเพื่อเป็นการศึกษาถึงการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อเป็นพัฒนาทักษะการเขียนโปรแกรมใช้งานในระบบควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

<b>THESIS TITLE</b>	FUNCTION GENERATOR		
<b>STUDENT</b>	Mr.Thoedthammanoon Nicom	No. 43015817	
	Mr. Yongyut Ingseree	No. 43015834	
<b>ADVISOR</b>	Asst.Prof.Noppin Anantrasirichai		
<b>COURSE</b>	Bachelor of Industrial Technology in Telecommunications		
<b>DEPARTMENT</b>	Information Engineering		
<b>YEAR</b>	2001		

### ABSTRACT

In the Electronic laboratory, the function generator is an important equipment for testing. This thesis presents idea and circuit design about Function Generator Controlled By Microcontroller. It can produce sine wave, square wave, triangle wave, pulse wave and sawtooth wave for supply to input of testing circuit which is controlled by Microcontroller and display on LCD. The main purpose is to study the function of microcontroller MCS-51 for development the skill of writing the assembly language.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี โดยการได้รับการสนับสนุนและการให้คำปรึกษาจากหลายฝ่าย ฉะนั้นผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณท่าน อาจารย์ประดิษฐ์ วัชรพิบูลย์ และ อาจารย์นภพินท์ อนันตรศิริชัย เป็นอย่างสูงในการให้คำปรึกษาชี้แนะและติชมแก้ไขพร้อมทั้ง ขอบคุณเพื่อนๆทุกท่านที่ให้ความสนับสนุนและช่วยเหลือในการทำโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยดี ตามวัตถุประสงค์

ขอขอบพระคุณอย่างสูง

คณะผู้จัดทำ

นายเทอดธรรมบุญ นิกม

นายขงยุทธ อิงเสรี



# สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีทั่วไป	3
2.1 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์	3
2.2 รายละเอียดทางเทคนิคของMAX038	24
2.3 ระบบควบคุมการทำงาน	33
2.4 ภาคไมโครคอนโทรลเลอร์	35
2.5 การควบคุมเพื่อเลือกโหมดการทำงาน	40
2.6 การควบคุมเพื่อปรับเลือกรูปสัญญาณและวงจรใช้งานของ MAX038	43
2.7 การควบคุมเพื่อปรับเลือกความถี่	44
2.8 การควบคุมเพื่อปรับเลือกค่าควิตซ์ไซเคิล	46
2.9 ปรับเลือกแอมพลิจูด	48
2.10 วงจรนับความถี่	49
2.11 การทำงานของวงจรภาคจ่ายไฟ	50
2.12 โปรแกรมควบคุมการทำงาน	51
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	58
3.1 การคำนวณค่า R และ C	60
3.2 การออกแบบ DAC 0800	61
3.3 การออกแบบวงจรใช้งาน AD565AJD	65
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	68
4.1 ทดลองวัดค่าแรงดันที่ความถี่ต่างๆ	68
4.2 การทดลองวัดค่าของแรงดันของวงจรปรับเลือกค่าควิตซ์ไซเคิล	75

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.3 ผลการทดลองจากการวิเคราะห์รูปสัญลักษณ์ที่ความถี่ต่างๆ	77
บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป บรรณานุกรม	83
ภาคผนวก ก. วงจร, แผ่นวงจรพิมพ์ และการลงอุปกรณ์	
ภาคผนวก ข. โปรแกรมควบคุมการทำงาน	
ภาคผนวก ค. ข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์ที่ใช้	



## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 รายละเอียดโดยสรุปบางส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช	5
ตารางที่ 2.2 หน้าที่พิเศษของพอร์ต 1 ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช	9
ตารางที่ 2.3 แสดงการเลือกรูปสัญญาณเอาต์พุต	25
ตารางที่ 2.4 แสดงรหัสและความหมายของแต่ละคีย์บนคีย์บอร์ดทั้ง 12 คีย์	38
ตารางที่ 2.5 แสดงสถานะที่ขา A,B และ C ของ 74HC4053 เมื่อเลือกโหมดการทำงานต่างๆ	41
ตารางที่ 2.6 แอดเดรสที่กำหนดให้แต่ละฟังก์ชันการทำงาน	52
ตารางที่ 3.1 แสดงการกำหนดค่าในการคำนวณ	59
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความถี่และแรงดันเมื่อใช้ $C_F = 220\text{nF}$	69
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความถี่และแรงดันเมื่อใช้ $C_F = 22\text{nF}$	71
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความถี่และแรงดันเมื่อใช้ $C_F = 2.2\text{nF}$	73
ตารางที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันกับค่าควิตซ์ไช้เกิดต่างๆ	76

## สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 1 แสดงวงจร โดยทั่วไปเพื่อใช้ทดสอบการตอบสนองการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์	1
รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89Cxx	4
รูปที่ 2.2 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89Sxx	5
รูปที่ 2.3 รายละเอียดโครงสร้างหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช	7
รูปที่ 2.4 การจัดขามาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	7
รูปที่ 2.5 วงจรภายในของพอร์ตในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช	12
รูปที่ 2.6 วงจรพูลอ์ภายในพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช	12
รูปที่ 2.7 ไซเกิลการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช	15
รูปที่ 2.8 การจัดสรรหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช	17
รูปที่ 2.9 การเชื่อมต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	18
รูปที่ 2.10 การเชื่อมต่อหน่วยความจำข้อมูลภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช	18
รูปที่ 2.11 การจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช	19
รูปที่ 2.12 โครงสร้างของหน่วยความจำข้อมูลภายในส่วนบนของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	21
รูปที่ 2.13 การจัดสรรพื้นที่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ	21
รูปที่ 2.14 รูปร่างและการจัดขาของ MAX038	23
รูปที่ 2.15 หน้าที่การทำงานของขาต่างๆของ MAX 038	23
รูปที่ 2.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เอาต์พุต, กระแสและ $C_f$ กำหนดความถี่	26
รูปที่ 2.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่านอมอลไลท์ความถี่เอาต์พุตกับ แรงดันที่ขาFADJ	28

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความถี่ที่เกิดกับแรงดันที่ขาDADJ	30
รูปที่ 2.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอนมอดโลทกับความถี่ เอาต์พุตกับแรงดันที่ขา DADJ	31
รูปที่ 2.20 แสดง โครงสร้างภายในและการต่อใช้งานเบื้องต้นของ MAX038	33
รูปที่ 2.21 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์	36
รูปที่ 2.22 วงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์	36
รูปที่ 2.22 แสดงวงจรภาครับข้อมูลการตั้งการจากคีย์บอร์ด	37
รูปที่ 2.23 วงจรภาคส่งข้อมูลผ่านพอร์ต	39
รูปที่ 2.24 แสดงวงจรภาคแสดงผล LCD	39
รูปที่ 2.25 แสดงการควบคุมเพื่อเลือกโหมดการทำงาน	41
รูปที่ 2.26 วงจรควบคุมเพื่อเลือก โหมดการทำงาน	42
รูปที่ 2.27 แสดงวงจรการควบคุมเพื่อปรับเลือกรูปสัญญาณ	43
รูปที่ 2.28 วงจรสมบรูณ์ที่เชื่อมต่อกับ MAX038	44
รูปที่ 2.29 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมเพื่อปรับเลือกความถี่	45
รูปที่ 2.30 แสดงวงจรควบคุมการกำหนดย่านความถี่	45
รูปที่ 2.31 แสดงวงจรควบคุมการกำหนดความถี่ด้วยข้อมูลขนาด 12 บิต	46
รูปที่ 2.32 แสดงการควบคุมเพื่อปรับเลือกค่าความถี่ที่เกิด	47
รูปที่ 2.33 แสดงวงจรควบคุมการปรับค่าความถี่ที่เกิด	48
รูปที่ 2.34 วงจรปรับแอมพลิจูด	48
รูปที่ 2.35 วงจรนับความถี่	50
รูปที่ 2.36 แสดงวงจรภาคจ่ายไฟ	51
รูปที่ 2.37 การทำงานทั้งหมดของโปรแกรม	53
รูปที่ 2.38 การทำงานของโปรแกรมการเลือกโหมด	54
รูปที่ 2.39 การทำงานของโปรแกรมการเลือกรูปสัญญาณ	55
รูปที่ 2.40 การทำงานของโปรแกรมการปรับความถี่	56
รูปที่ 2.41 การทำงานของโปรแกรมการปรับความถี่ที่เกิด	57

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 3.1 แสดงวงจรที่ใช้คำนวณ	58
รูปที่ 3.2 วงจร DAC ชนิดจ่ายแรงดันไฟลบเพียงอย่างเดียว	61
รูปที่ 3.3 วงจรDAC แบบปรับแรงดันไฟได้ตั้งแต่ -1V ถึง 0V	62
รูปที่ 3.4 วงจร DAC ชนิด จ่ายแรงดันไฟได้ทั้ง 2 ขั้ว	63
รูปที่ 3.5 วงจรDAC แบบปรับแรงดันไฟได้ตั้งแต่ -5V ถึง +5V	64
รูปที่ 3.6 วงจร DAC แบบปรับแรงดันไฟได้ตั้งแต่ -2.5V ถึง +2.5V	65
รูปที่ 3.7 วงจร DAC 12 บิต แบบปรับแรงดันไฟได้ตั้งแต่ 0V ถึง 2.5 V	65
รูปที่ 4.1 แสดงวงจรที่ใช้ในการทดลองวัดค่าแรงที่ความถี่ต่างๆ	68
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความถี่กับแรงดันจากตารางที่ 4.1	70
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความถี่กับแรงดันจากตารางที่ 4.2	72
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความถี่กับแรงดันจากตารางที่ 4.3	74
รูปที่ 4.5 แสดงวงจรที่ใช้ทดลองวัดค่าแรงดันที่ค่าควิตซ์ไซเคิลต่างๆ	75
รูปที่ 4.6 แสดงรูปสัญญาณ SINE ที่ 2MHz	77
รูปที่ 4.7 แสดงรูปสัญญาณ SINE ที่ 1MHz	77
รูปที่ 4.8 แสดงรูปสัญญาณ TRIANGLE ที่ 10Hz	78
รูปที่ 4.9 แสดงรูปสัญญาณ TRIANGLE ที่ 1KHz	78
รูปที่ 4.10 แสดงรูปสัญญาณ TRIANGLE ที่ 10KHz	78
รูปที่ 4.11 แสดงรูปสัญญาณ TRIANGLE ที่ 100KHz	79
รูปที่ 4.12 แสดงรูปสัญญาณ TRIANGLE ที่ 1MHz	79
รูปที่ 4.13 แสดงรูปสัญญาณ RECTANGULAR ที่ 10Hz	79
รูปที่ 4.14 แสดงรูปสัญญาณ RECTANGULAR ที่ 1KHz	80
รูปที่ 4.15 แสดงรูปสัญญาณ RECTANGULAR ที่ 10KHz	80
รูปที่ 4.16 แสดงรูปสัญญาณ RECTANGULAR ที่ 100 KHz	80
รูปที่ 4.17 แสดงรูปสัญญาณ RECTANGULAR ที่ 1MHz	81
รูปที่ 4.18 แสดงรูปสัญญาณ PULSE , DUTY CYCLE 15%	81
รูปที่ 4.19 แสดงรูปสัญญาณ PULSE , DUTY CYCLE 85%	81

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.20 แสดงรูปสัญญาณ SAWTOOTH , DUTY CYCLE 15%

82

รูปที่ 4.21 แสดงรูปสัญญาณ SAWTOOTH , DUTY CYCLE 85%

82

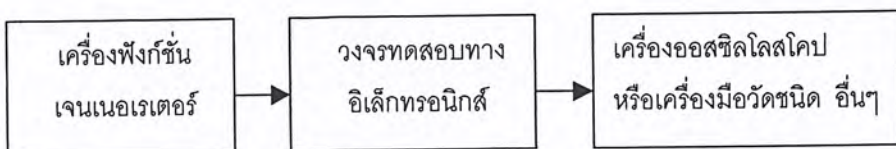


# บทที่ 1

## บทนำ

ในการศึกษาและการทดลองทางด้านอิเล็กทรอนิกส์มีความเกี่ยวข้องกันโดยตรงกับสัญญาณไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็นอิเล็กทรอนิกส์สาขาใดก็ตามต่างต้องได้รับการเรียนการสอนในเรื่องเกี่ยวกับ องค์ประกอบของสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งการเรียนรู้องค์ประกอบของสัญญาณไฟฟ้านี้นับว่าเป็นวิชาพื้นฐานที่ทุกคนต้องเรียนรู้ ในส่วนของการปฏิบัติการทดลองวงจรอิเล็กทรอนิกส์ก็นับว่าเป็นส่วนสำคัญสำหรับการนำความรู้ในเชิงทฤษฎีมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองว่าเป็นไปตามทฤษฎีที่ว่าไว้หรือไม่รวมถึงทำให้เกิดความเข้าใจมากยิ่งขึ้น โดยการทดลองทางวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จำเป็นต้องใช้เครื่องมือในการทดลองหลายๆ ชนิด โดยส่วนใหญ่แล้วก็เป็นเครื่องมือที่ทำให้เกิดนิคสัญญาณไฟฟ้าหรือในส่วนของ การแสดงผลที่ได้รับจากการทดลอง ตัวอย่างเช่น เครื่องออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) จะทำหน้าที่ในการแสดงผลรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าโดยเทียบกับแกนเวลา เครื่องฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ (Function Generator) จะทำหน้าที่ในการกำเนิดรูปคลื่นสัญญาณต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ซึ่งเครื่องมือเหล่านี้มีความสำคัญที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองทางวงจรอิเล็กทรอนิกส์

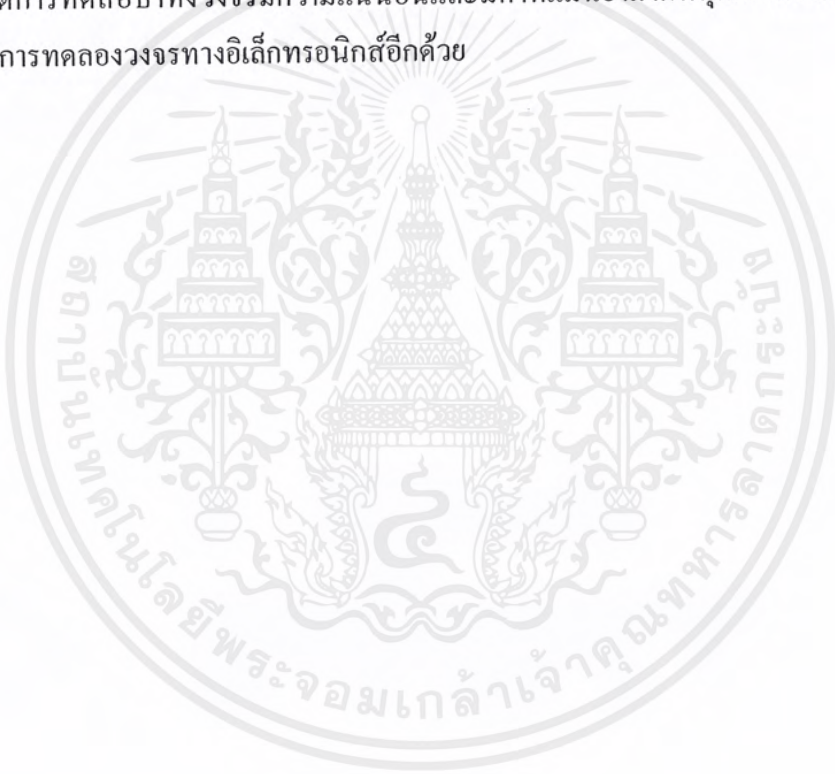
บ่อยครั้งในการทดลองจำเป็นต้องมีการป้อนสัญญาณไฟฟ้าเข้าไปยังวงจรที่ใช้ในการทดสอบ จากนั้นก็นำเครื่องมือมาทำการวัดเพื่อจะนำมาทำการวิเคราะห์การตอบสนองต่อสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนให้กับวงจรการทดลอง ซึ่งเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง ก็คือ ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ (Function Generator) ซึ่งจะให้กำเนิดสัญญาณได้หลายลักษณะ เช่น สัญญาณไซน์ (Sine Wave), สัญญาณรูปสามเหลี่ยม (Triangle wave), สัญญาณรูปสี่เหลี่ยม (Rectangular wave) เป็นต้น โดยเราสามารถทำการการปรับค่า แอมพลิจูด (Amplitude) และเลือกย่านความถี่ใช้งานต่างๆ ได้ การเชื่อมต่อวงจรเพื่อทำการทดสอบทางวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยทั่วไปมีรูปแบบดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงวงจร โดยทั่วไปเพื่อใช้ทดสอบการตอบสนองการทำงานของวงจร อิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันเซนเซอร์ส่วนใหญ่แล้วจะถูกออกแบบมาในลักษณะที่เป็นแบบ อนุาล็อก (Analog) ซึ่งหมายถึงว่าวงจรที่ใช้ในการกำเนิดสัญญาณมีรูปแบบการทำงานที่เป็นแบบวงจร อนุาล็อกรวมไปถึงการควบคุมต่างๆของเครื่องก็เป็นแบบอนุาล็อกด้วย ซึ่งการควบคุมแบบอนุาล็อกนี้บ่อยครั้งทำให้เกิดการเสียเวลารวมถึงทำให้ขาดความแน่นอนในการปรับแต่งค่าต่างๆ ซึ่งในส่วนนี้ได้มีการปรับปรุงโดยการนำเอาความรู้ในเรื่องของไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) มาประยุกต์ใช้งาน โดยอยู่ในลักษณะระบบแบบดิจิทัล (Digital) เพื่อเป็นการนำความรู้ที่เรียนมาพัฒนาให้การทำงานของฟังก์ชันเซนเซอร์นี้มีประสิทธิภาพในการทำงานมากยิ่งขึ้น เพิ่มความสามารถในการปรับแต่งค่าต่างๆ ทำให้การทดลองทางวงจรอิเล็กทรอนิกส์สามารถวิเคราะห์หาผลลัพธ์ภายใต้การทดสอบทางวงจรมีความแน่นอนและมีค่าที่แม่นยำมากที่สุดและเป็นการเพิ่มความสะดวกในการทดลองวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์อีกด้วย



## บทที่ 2

### ทฤษฎีทั่วไป

#### 2.1 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์

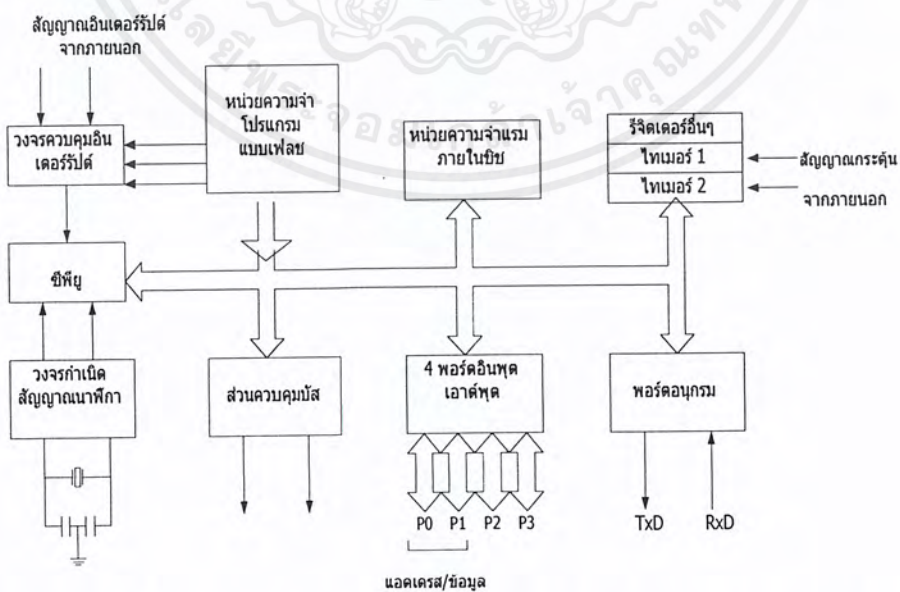
ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีหน่วยความจำภายในเป็นแบบแฟลช (flash - memory) ของ Atmel Corporation มีเบอร์ขึ้นต้นด้วย AT89 เหตุการณ์ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบนี้ในการเรียนรู้เพื่อใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีด้วยกันหลายประการดังนี้

1. หน่วยความจำโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นแบบแฟลช ทำให้สามารถลบและเขียนใหม่ได้นับพันครั้ง จึงสามารถใช้งานในรูปแบบของไมโครคอนโทรลเลอร์ชิปเดี่ยวไม่ต้องใช้หน่วยความจำภายนอกส่งผลให้สามารถใช้งานพอร์ตอินพุตเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ
2. ต้นทุนและเวลาในการพัฒนาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ลดลงอย่างมากเนื่องจากไม่ต้องใช้เครื่องมือพัฒนาจำพวกอิมูเลเตอร์และเครื่องโปรแกรมอีพรอม
3. บริษัทผู้ผลิตได้ทำการผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ออกมาหลายเบอร์ และมีความสามารถแตกต่างกันไป ทำให้มีทางเลือกในการใช้งานสูง
4. ด้วยการใช้หน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ทำให้สามารถป้องกันการคัดลอกข้อมูลของหน่วยความจำโปรแกรมได้เป็นอย่างดี
5. ในบางเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ผลิตโดย Atmel สามารถทำการโปรแกรมข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมได้โดยไม่ต้องถอดตัวไมโครคอนโทรลเลอร์มาทำการโปรแกรมใหม่ หรือเรียกว่า การโปรแกรมในวงจร หรือ ในระบบ (In-system programming) โดยใช้ลักษณะการติดต่อแบบ SPI (Serial Peripheral Interface) ทำให้การพัฒนาหรือการซ่อมบำรุง ตลอดจนการปรับปรุง หรืออัปเดตข้อมูลใหม่ในหน่วยความจำโปรแกรมทำได้สะดวก ภายใต้งบประมาณที่ไม่สูงมากนัก
6. ชุดคำสั่งและสถาปัตยกรรมพื้นฐานเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ของผู้ผลิตอื่นไม่ว่าจะเป็นอินเทล ซิเมนส์ หรือดัลลัส

## คุณสมบัติทางเทคนิคของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 อนุกรม AT89xx

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูขนาด 8 บิต
- ภายในมีหน่วยความจำข้อมูลพื้นฐานเป็นหน่วยความจำแบบแรม ในบางเบอร์จะมีหน่วยความจำแบบอีอีพรอมเพิ่มเติม
- ขาพอร์ตเป็นแบบสองทิศทาง สามารถใช้งานเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลคูเพิล็กซ์
- ไทเมอร์/ เคอร์นเตอร์ขนาด 16 บิตอย่างน้อย 2 ตัว
- สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ได้ 6 ประเภท
- สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
- มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาอยู่ในชิป
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบ SPI สำหรับในอนุกรม AT89Sxx
- มีวอตช์ด็อกไทเมอร์ในตัว สำหรับในอนุกรม AT89Sxx

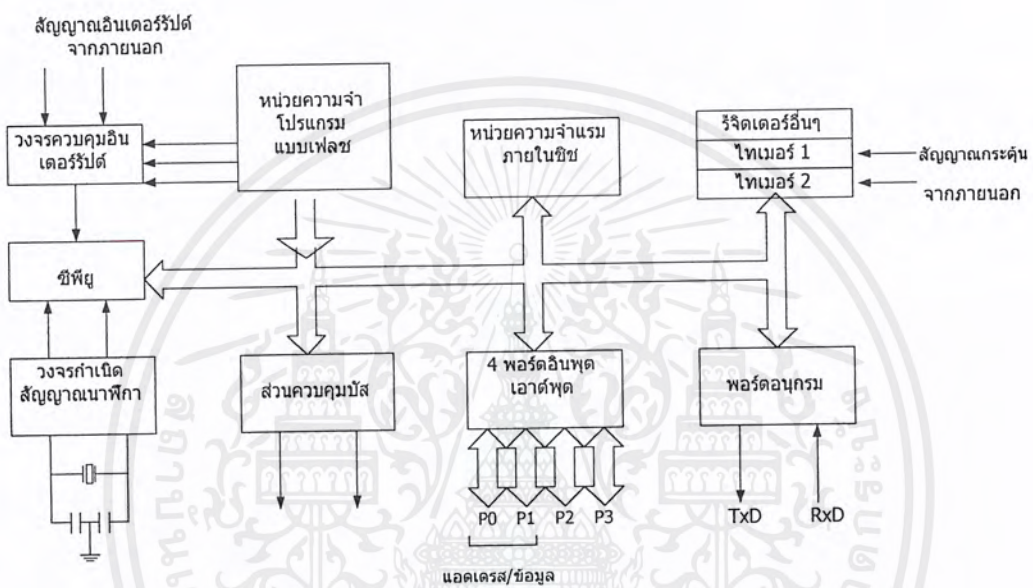
ในรูปที่ 2.1 เป็นโครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในอนุกรม AT89Cxx จะเห็นได้ว่า โครงสร้างของ AT89Cxx จะเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 พื้นฐานหากแต่แตกต่างกันเฉพาะหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชที่เพิ่มเติมเข้ามา หากเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ในอนุกรม 87xx หน่วยความจำโปรแกรมภายในจะเป็นแบบอีอีพรอม และบางเบอร์สามารถโปรแกรมได้เพียงครั้งเดียว



รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89Cxx

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับในรูปที่ 2.2 เป็นโครงสร้างพื้นฐานของอนุกรม AT89Sxx จะเห็นได้ว่ามีส่วนประกอบที่เพิ่มเติมแตกต่างจาก AT89Cxx อยู่หลายส่วน อาทิ วงจรเชื่อมต่ออนุกรมแบบ SPI ซึ่งในไมโครคอนโทรลเลอร์อนุกรมนี้ใช้ในการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำโปรแกรมโดยไม่ต้องถอดตัวชิปออกไปจากระบบหรือเรียกว่า การโปรแกรมในวงจร ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิตที่เพิ่มเติมเข้ามาอีกหนึ่งตัวเป็นไทเมอร์ 2 และวงจรวอตซ์ค็อกที่ใช้ในการตรวจสอบการทำงานผิดพลาดของชิพ



รูปที่ 2.2 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89Sxx

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดโดยสรุปบางส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

เบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์	หน่วยความจำโปรแกรม	หน่วยความจำข้อมูล	จำนวนไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 16 บิต
AT89C1051	แบบแฟลช ขนาด 1 กิโลไบต์	แรม 64 ไบต์	1
AT89C2051	แบบแฟลช ขนาด 2 กิโลไบต์	แรม 128 ไบต์	2
AT89C51	แบบแฟลช ขนาด 4 กิโลไบต์	แรม 128 ไบต์	2
AT89C52	แบบแฟลช ขนาด 8 กิโลไบต์	แรม 256 ไบต์	3
AT89C55	แบบแฟลช ขนาด 20 กิโลไบต์	แรม 256 ไบต์	3
AT89S8252	แบบแฟลช ขนาด 8 กิโลไบต์	แรม 256 ไบต์ อีอีพรอม 2 กิโลไบต์	3
AT89S53	แบบแฟลช ขนาด 12 กิโลไบต์	แรม 256 ไบต์	3

ในตารางที่ 2.1 แสดงรายละเอียดบางส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แต่  
ละเบอร์ที่ Atmel ผลิตขึ้น และมีใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

### การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทุกเบอร์จะมีสถาปัตยกรรมและขาใช้งานพื้นฐานเหมือน  
กันดังแสดงในรูปที่ 2.3 และ 2.4 โดยมีรายละเอียดขั้นต้น ดังนี้

ขา Vcc ใช้สำหรับต่อไฟเลี้ยง +5

ขา GND เป็นขากราวด์ สำหรับต่อกับกราวด์ของระบบ

ขาพอร์ต 0 (P0.0-P0.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นที่ตั้งอินพุตและเอาต์พุต  
สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการ  
เขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย นอกจากนั้นในอนุกรม AT89Sxx  
จะใช้ขา P1.0 เป็นขาอินพุตสำหรับเชื่อมต่อแบบ SPI เพื่อทำการโปรแกรมข้อมูลในระบบ

ขาพอร์ต 1 (P1.0-P1.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นที่ตั้งอินพุตและเอาต์พุต  
สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 เป็นขาอินพุตสำหรับนับค่าของไทมเมอร์  
2 และ P1.1 เป็นขาอินพุตทริกเกอร์ของไทมเมอร์ 2 ในขณะที่ขา P1.4-P1.7 เป็นขาสำหรับเชื่อมต่อ  
แบบ SPI เพื่อทำการโปรแกรมข้อมูลในระบบ

ขาพอร์ต 2 (P0.2-P2.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นที่ตั้งอินพุตและเอาต์พุต  
สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้  
โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมี  
สถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจาก  
นั้นขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก (A8-  
A15)

ขาพอร์ต 3 (P3.0-P3.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นที่ตั้งอินพุตและเอาต์พุต  
สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้  
โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมี  
สถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาอินพุตได้ นอกจากนั้นขา  
พอร์ต 3 ยังเป็นขาที่มีหน้าที่ใช้งานพิเศษ ดังมีรายละเอียดขั้นต้นดังต่อไปนี้



- P3.0 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา RxD
- P3.1 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับส่งข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา TxD
- P3.2 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่องที่ 0 หรือขา  $\overline{INT0}$
- P3.3 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่องที่ 1 หรือขา  $\overline{INT1}$
- P3.4 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทมเมอร์จากภายนอกช่องที่ 0 หรือขา T0
- P3.5 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่องที่ 1 หรือขา T1
- P3.6 ใช้เป็นขาสัญญาณ  $\overline{WR}$  ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก
- P3.7 ใช้เป็นขาสัญญาณ  $\overline{RD}$  ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

ขารีเซต ใช้ในการรีเซ็ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในการป้อนสัญญาณเพื่อรีเซต สถานะที่ขานี้ต้องอยู่ในระดับรีเซตอย่างน้อย 2 เมกซีไนซ์เกิด โดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องไปอย่างเป็นปกติ

ขา  $\overline{ALE}/\overline{PROG}$  (Address Latch Enable/Program pulse input) เป็นขาที่ใช้ในการควบคุมการแลตช์ของขาพอร์ต 0 เมื่อมีการใช้งานหน่วยความจำภายนอก นอกจากนั้นขานี้ยังใช้เป็นขาสำหรับรับพัลส์ของการโปรแกรมสำหรับโปรแกรมข้อมูลลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในรุ่นที่มีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบอีอีพรอม

ขา  $\overline{PSEN}$  (Program Store Enable) ขานี้ใช้ในการส่งสัญญาณเพื่อร้องขาคิดต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณออกมาที่ขา  $\overline{PSEN}$  2 ครั้งในแต่ละเมกซีไนซ์เกิด แต่ถ้าหากคิดต่อหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ขานี้จะไม่มีสัญญาณใดๆ ออกมา

ขา  $\overline{EA}/V_{pp}$  (External Access enable/Programming voltage input) ใช้สำหรับเลือกการติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมจากภายนอกหรือภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าหากขานี้เป็น "0" เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้ที่ขา  $\overline{EA}$  ยังใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับแรงดันไฟสูงสำหรับการโปรแกรมหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชต้องการแรงดันสำหรับการโปรแกรม +12V

ขา XTAL1 และ XTAL2 เป็นขาสำหรับต่อคริสตอลเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

### โครงสร้างและการทำงานของพอร์ต

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีพอร์ตให้ใช้งานทั้งสิ้น 4 พอร์ต คือ พอร์ต 0 ถึงพอร์ต 3 แต่ละพอร์ตขนาด 8 บิตเป็นพอร์ตแบบ 2 ทิศทาง กล่าวคือ สามารถเป็นได้ทั้งอินพุตสำหรับรับข้อมูลเข้าและเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณข้อมูลออก ทุกพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีวงแลตซ์และวงจรจับคอลลอดจันบัฟเฟอร์อินพุต ดังแสดงให้เห็นในสถาปัตยกรรมรูปที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 หน้าที่พิเศษของพอร์ต 1 ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

ขา	เบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์	หน้าที่พิเศษ
P1.0	AT89C52/AT89Sxx	ขา T2 เป็นขาอินพุตนับค่าของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 และเป็นขาเอาต์พุตของการกำเนิดสัญญาณนาฬิกาโดยไทเมอร์ 2 (clock out)
P1.1	AT89C52/AT89Sxx	ขา T2EX เป็นขาอินพุตทริกเกอร์สำหรับการแคปเจอร์/รีโหลด และควบคุมทิศทางของสัญญาณ
P1.4	AT89Sxx	ขา $\overline{SS}$ (Slave Select) เป็นขาเลือกการติดต่อในกรณีที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์สเลฟ ในระบบการติดต่อแบบ SPI
P1.5	AT89Sxx	ขา MOSI (Master data output, Slave data input) ใช้ในการติดต่อกับพอร์ต SPI
P1.6	AT89Sxx	ขา MISO (Master data input, Slave data output) ใช้ในการติดต่อกับพอร์ต SPI
P1.7	AT89Sxx	ขา SCK (Master clock output) เป็นขาสัญญาณนาฬิกาของการติดต่อกับพอร์ต SPI

ที่พอร์ต 0 และพอร์ต 2 จะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตสำหรับงานทั่วไปและ ใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก สำหรับพอร์ต 3 ทั้งพอร์ตและพอร์ต 1 บางขานอกจากจะใช้

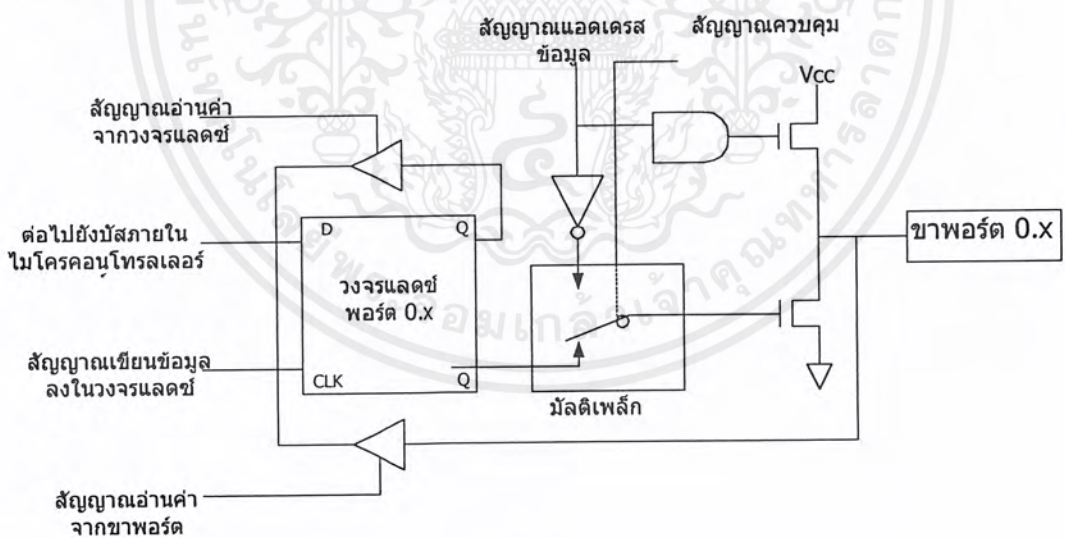
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตตามปกติแล้ว ยังสามารถใช้งานในหน้าที่พิเศษได้อีก ขึ้นอยู่กับว่าเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ใด ดังสรุปได้ในตารางที่ 2.2

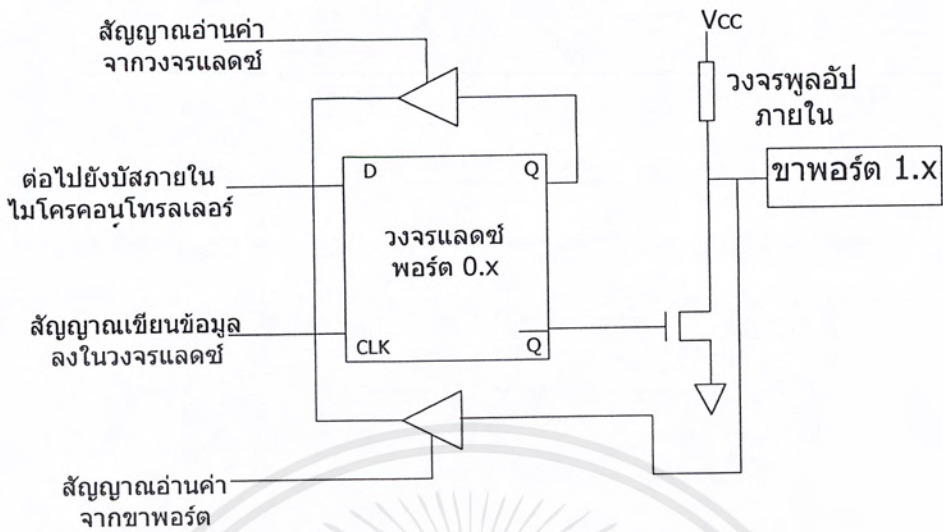
ในรูปที่ 2.5 แสดงวงจรภายในของแต่ละพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชโดยในรูปที่ 2.5 (ก) เป็นวงจรของพอร์ต 0 วงจรแลตช์ของแต่ละบิตในแต่ละพอร์ตก็คือวงจรดีฟลิปฟล็อปนั่นเอง การอ่านค่าสถานะของพอร์ตและสถานะของวงจรแลตช์สามารถกระทำได้อย่างอิสระต่อกันด้วยสัญญาณที่แยกจากกัน นั่นคือ สัญญาณอ่านข้อมูลจากขาพอร์ตและสัญญาณอ่านข้อมูลจากวงจรแลตช์ ส่วนการเขียนข้อมูลมายังพอร์ตต้องส่งสัญญาณมายังCLK ของดีฟลิปฟล็อป ในขณะที่ข้อมูลจะส่งผ่านมาทางขาบัสข้อมูลภายในเข้าสู่ขา D ของดีฟลิปฟล็อป

ที่พอร์ตนี้มีวงจรมัลติเพล็กซ์สำหรับกำหนดลักษณะการทำงานของพอร์ตว่า ต้องการใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติหรือใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกไมโครคอนโทรลเลอร์

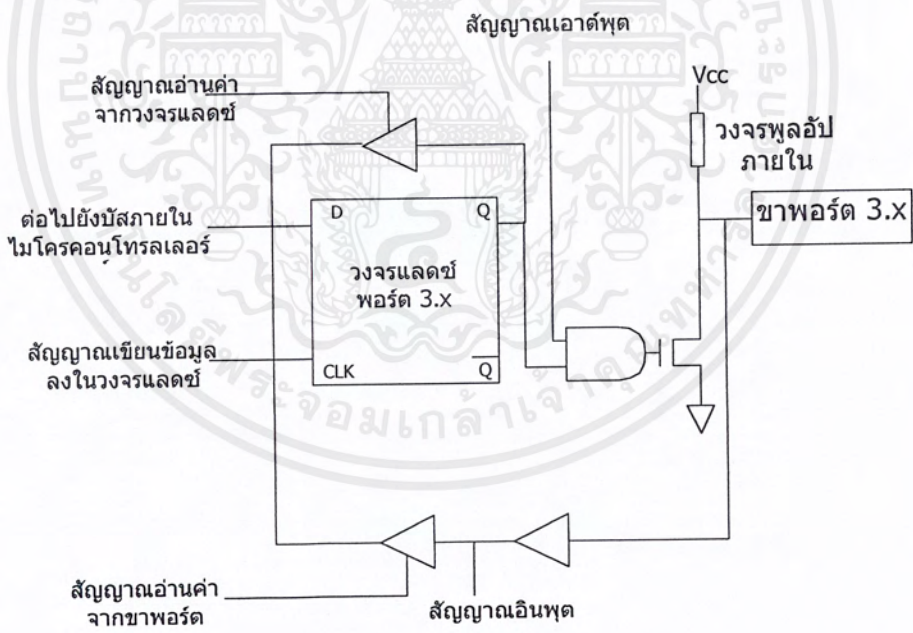
เนื่องจากที่ขาพอร์ต 0 ไม่มีวงจรพูลอัปภายใน หากมีการนำพอร์ต 0 ไปใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตจะต้องต่อตัวต้านทานพูลอัปภายนอกเข้าที่ขาพอร์ต 0 ทุกขาด้วย



(ก)

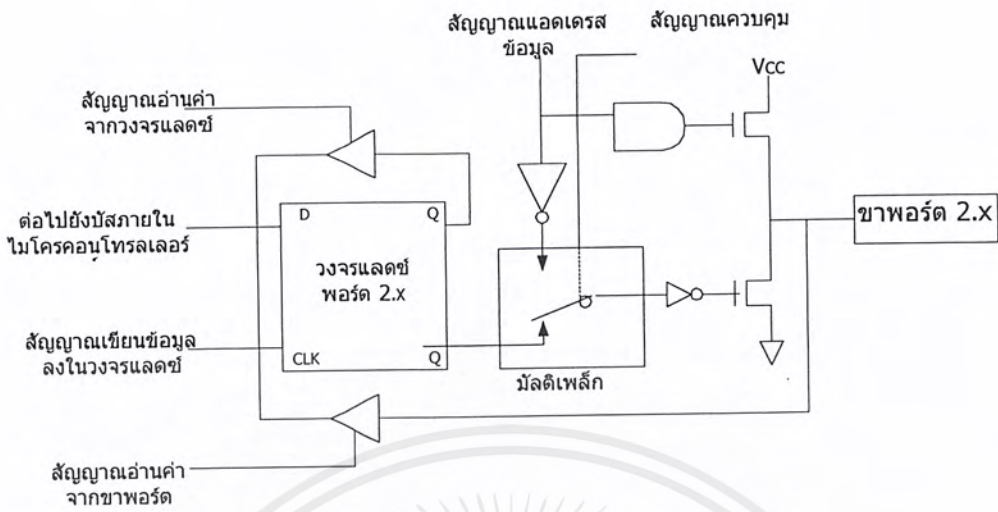


(ข)

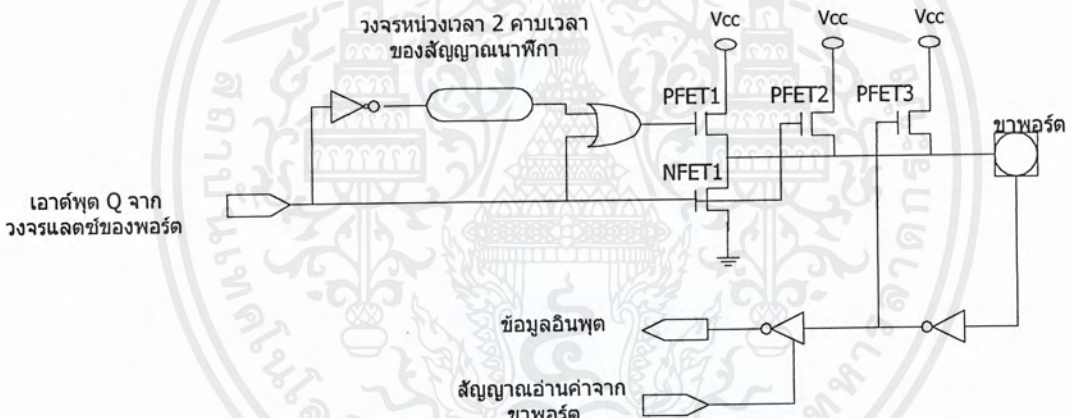


(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 วงจรภายในของพอร์ตในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช



วงจรมัลติเพล็กซ์ประกอบด้วยเฟตชนิดพีแชนแนล 3 ตัวคือ PFET1 - PFET3 โดย NFET1 จะทำงานเมื่อได้รับลอจิก "1" จากขา Q และหยุดทำงานเมื่อได้รับลอจิก "0" วงจรมัลติเพล็กซ์จะเริ่มทำงานเมื่อ NFET 1 ได้รับลอจิก "1" PFET1 จะทำงานนานประมาณ 2 คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกาภายในหลังจากที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจากลอจิก "0" เป็นลอจิก "1" ในขณะที่ PFET1 ทำงานจะทำให้ PFET3 ทำงานตามไปด้วย ทำให้เกิดการพูลล์อัพขาพอร์ต

รูปที่ 2.6 วงจรพูลล์อัพภายในพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

รูปที่ 2.5 (ข) เป็นวงจรของพอร์ต 1 ซึ่งมีลักษณะโดยทั่วไปคล้ายกับพอร์ต 0 หากแต่ไม่มีวงจรมัลติเพล็กซ์เนื่องจากพอร์ตนี้จะไม่ใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก แต่จะมีวงจรมัลติเพล็กซ์ภายในที่แต่ละบิตของพอร์ตนี้แทน สำหรับรายละเอียดของวงจรมัลติเพล็กซ์แสดงในรูปที่ 2.6

ในรูปที่ 2.5 (ค) เป็นวงจรภายในของพอร์ต 2 จะคล้ายกับพอร์ต 0 มาก ต่างกันเพียงมี วงจรมัลติเพล็กซ์เพิ่มเติมเข้ามา ส่วนในรูปที่ 2.5(ง) เป็นวงจรภายในของพอร์ต 3 จะเห็นได้ว่าคล้ายกับพอร์ต

1 มีการเพิ่มเติมวงจรบัฟเฟอร์ และวงจรอินพุตเอาต์พุตเมื่อทำงานในฟังก์ชันพิเศษเข้ามา เนื่องจากพอร์ต 3 สามารถนำไปใช้งานในหน้าที่พิเศษได้ทุกสาขา

### การใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต

เนื่องจากพอร์ตทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชสามารถเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต้องทำความเข้าใจถึงการกำหนดลักษณะการทำงานให้แก่พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

ในการกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต ต้องเริ่มต้นด้วยการเขียนข้อมูล “1” มาที่แต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการใช้งานเป็นอินพุต เพื่อหยุดการทำงานของเฟตที่ใช้ในการจับสัญญาณเอาต์พุตของบิตนั้นๆ ทำให้ขาสัญญาณของพอร์ตเชื่อมต่อเข้ากับวงจรพูลอัปภายในโดยตรง ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีลอจิกเป็น “1” สามารถรับสัญญาณลอจิก “0” จากอุปกรณ์ภายนอกได้ง่าย สัญญาณข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกจะถูส่งเข้ามาแล้วเก็บไว้ในวงจรบัฟเฟอร์ภายในพอร์ต แล้วรอให้วีทียูมาอ่านค่าเข้าไปเมื่อเป็นเช่นนี้ อุปกรณ์ภายนอกที่เชื่อมต่อกับพอร์ตอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชควรกำหนดให้ทำงานในสภาวะลอจิก “0” จะดีและสะดวกที่สุด (ซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์อินพุต ที่เชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์แทบทั้งหมดทำงานที่ลอจิก “0” แล้ว)

### การใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต

โดยปกติแล้ว ขาพอร์ตจะกำหนดให้เป็นลักษณะเป็นเอาต์พุตอยู่แล้ว ดังนั้นจึงสามารถส่งข้อมูลออกไปได้อย่างง่ายดายและตรงไปตรงมากล่าวคือ เมื่อต้องการส่งข้อมูล “0” ออกไปทางเอาต์พุตก็ให้เขียนข้อมูล “0” ไปยังวงจรแลตซ์ ซึ่งก็จะส่งต่อไปจับเฟตทำให้เฟตทำงานที่ขาพอร์ตที่กำหนดให้ทำงานก็จะเกิดลอจิก “0” ขึ้น ในทางตรงข้ามหากต้องการส่งข้อมูล “1” ออกไปก็ให้เขียนข้อมูล “1” ไปยังวงจรแลตซ์ วงจรจับก็จะหยุดทำงาน ทำให้ที่ขาพอร์ตเชื่อมต่อกับวงจรพูลอัปภายในเกิดเป็นลอจิก “1” ที่ขาพอร์ตนั้น ซึ่งจะคล้ายกับการกำหนดให้เป็นขาอินพุตมาก เพียงแต่แตกต่างกันที่กระบวนการในการเคลื่อนย้ายข้อมูล โดยถ้าเป็นอินพุตจะมีสัญญาณมาอ่านข้อมูลที่บัฟเฟอร์ แต่ถ้าหากเอาต์พุตจะไม่มี การอ่านข้อมูลที่บัฟเฟอร์แต่อย่างใด เว้นแต่ในกรณีที่ต้องการตรวจสอบข้อมูลที่ส่งออกมาทางเอาต์พุต เมื่อใช้งานพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเป็นพอร์ตเอาต์พุต แต่ละขา(หรือแต่ละบิต) ของแต่ละพอร์ตมีความสามารถในการจ่ายกระแสหรือที่เรียกว่า กระแสซอร์ส (source current) ได้สูงสุด 10mA และทุกขารวมกันในแต่ละพอร์ต (ทั้ง 8 บิต) สูงสุด 26mA สำหรับพอร์ต 0 และ 15mA สำหรับพอร์ต 1-3 ในกรณีที่ใช้งานทุกพอร์ตเอาต์พุตจะสามารถจ่ายกระแสได้รวมกันสูงสุด 71mA ดังนั้นในการใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุตเพื่อไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับความสามารถในการจ่ายกระแสจึงควรต่อวงจรบัฟเฟอร์ทางเอาต์พุตเพื่อช่วยในการขับกระแสอีกทางหนึ่ง

### การอ่านค่าลอจิกจากพอร์ต

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชสามารถอ่านค่าลอจิกจากพอร์ตได้ 2 ลักษณะ คือ อ่านจากขาพอร์ตโดยตรง และอ่านจากวงจรแลตช์ของแต่ละพอร์ต

ในกรณีที่พอร์ตต่อกับขาเบสทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ตัวนั้นต่อลงกราวด์ หากมีการส่งข้อมูล “1” ไปยังทรานซิสเตอร์จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานสถานะลอจิกจากที่ขาพอร์ตจะเป็น “0” เนื่องจากเมื่อทรานซิสเตอร์ทำงานจะเสมือนว่าขาพอร์ตนั้นถูกต่อลงกราวด์ทำให้หากอ่านค่าลอจิกที่ขาพอร์ตจะได้ผลตรงข้ามกับที่ส่งออกมา แต่ถ้าหากทำงานอ่านค่าลอจิกที่แลตช์จะได้ค่าที่ตรงกับค่าที่ต้องการส่งจริง ดังนั้นในการค่าลอจิกพอร์ตจึงต้องเลือกวิธีการให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่นำมาต่อด้วย

### จังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ในการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะต้องทำความเข้าใจถึงจังหวะการทำงานของซีพียูและลำดับขั้นการประมวลผลคำสั่ง ในการประมวลผลคำสั่งของซีพียูจะมีขั้นตอนหลักๆ 2 ขั้นตอน คือ กระบวนการเฟตช์ (fetch) เป็นการเรียกคำสั่งออกจากหน่วยความจำโปรแกรมแล้วทำการแปลรหัสคำสั่งนั้นเป็นภาษาเครื่องเพื่อเตรียมการประมวลผล ขั้นตอนต่อมาคือ กระบวนการเอ็กซีคิวต์ (execute) เป็นการกระทำตามคำสั่งที่กำหนดหรือตามที่เฟตช์ขึ้นมา โดยกระบวนการก่อนหน้านี้ เมื่อการเอ็กซีคิวต์คำสั่งเรียบร้อยแล้ว ก็จะไปเริ่มกระบวนการเฟตช์คำสั่งใหม่ต่อไป

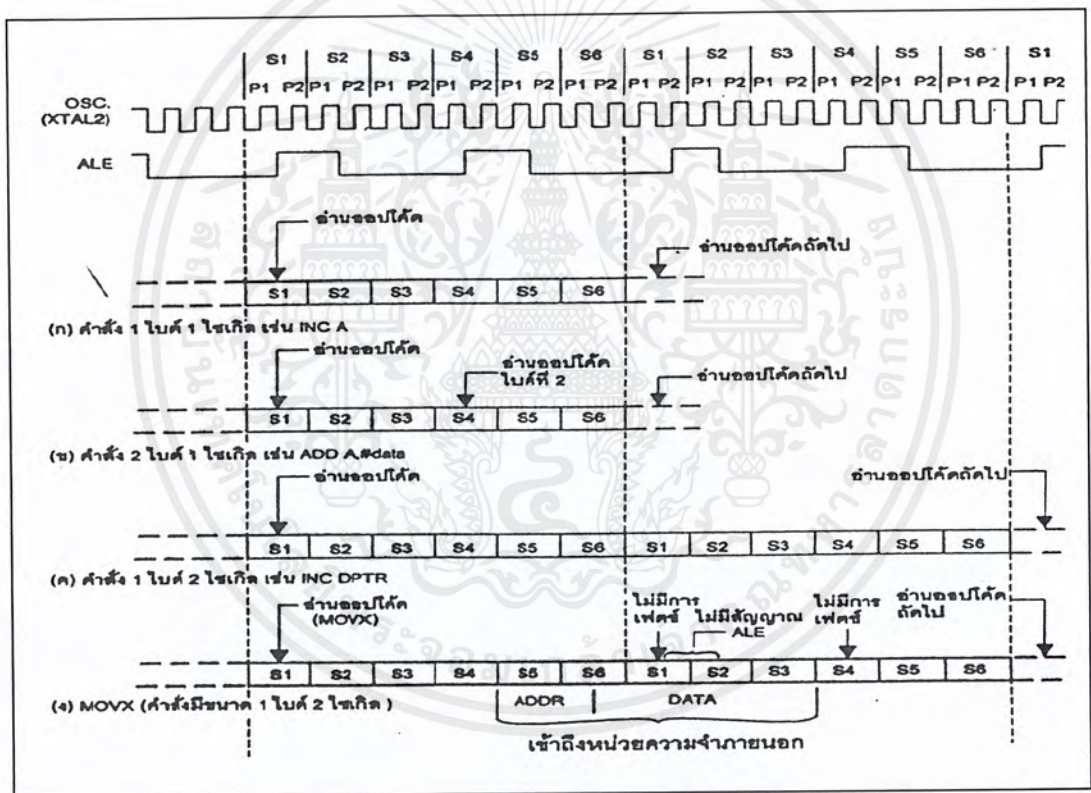
เมื่อเริ่มจ่ายไฟให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช จะเกิดการรีเซ็ตในลักษณะที่เรียกว่า พาวเวอร์ ออนรีเซ็ต (power - on reset) ทำให้ซีพียูไปเริ่มต้นการทำงานที่ แอดเดรส 0000H ของหน่วยความจำโปรแกรมหรือ เมชีนไซเคิล (machinecycle) ในรูปที่ 2.7 เป็นไดอะแกรมเวลาแสดงจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 โดยใน 1 รอบการทำงานหรือ เมชีนไซเคิลจะแบ่งย่อยออกเป็น 6 สเตต (state) กำหนดชื่อเป็น S1-S6 ในแต่ละ สเตตมีค่าเวลาเท่ากับ 2 คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา ถ้าสัญญาณนาฬิกามีความถี่ 12 MHz จะมีคาบเวลาเท่ากับ 1 mS คาบเวลาทั้งสองภายในหนึ่งสเตตจะเรียกว่า เฟส 1 (phase) และเฟส 2 (phase 2)

ในรูปที่ 2.7 (ก) และ (ข) จะเป็นเอ็กซีคิวต์คำสั่งที่ใช้เวลา 1 ไซเคิล เริ่มต้นที่สเตต 1 จะเป็นการอ่านค่าออกไปโค้ด อันเป็นกระบวนการแลตช์ค่าของออกไปโค้ดส่งไปให้รีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register : IR) การเฟตช์ครั้งที่สองจะเกิดขึ้นที่สเตต 4 ภายในเมชีนไซเคิลเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่เป็นการคำสั่งไบต์เดียวกันเฟลชครั้งที่ 2 ภายในเมซซึนไซเกิลเดียวกันจะถูกตัดทิ้งไป ในคำสั่งที่ใช้เวลา 1 ไซเกิลจะสิ้นสุดการทำงานลงในสแตต 6 ของเมซซึนไซเกิลเดียวกัน

ในกรณีที่คำสั่งใช้เวลา 2 ไซเกิล การทำงานของคำสั่งนั้นจะสิ้นสุดลงในสแตต 6 ของเมซซึนไซเกิลที่สอง ดังในไดอะแกรมรูปที่ 2.14 (ค) สำหรับในการกระทำคำสั่ง MOVX ซึ่งเป็นคำสั่งขนาด 1 ไบต์ 2 ไซเกิล จะไม่มีการเฟลชเกิดขึ้นในไซเกิลที่สองของคำสั่ง MOVX นี้ เนื่องจากซีพียูจะไปทำการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก ดังแสดงในไดอะแกรมรูปที่ 2.7 (ง) จะเห็นได้ว่าเวลาในการเอ็คซิวคิ้วจะไม่ได้อันุอยู่กับว่าทำการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายในหรือภายนอก



รูปที่ 2.7 ไซเกิลการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบเฟลช

จากไดอะแกรมเวลาทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า ในการทำงาน 1 รอบ หรือ 1 เมซซึนไซเกิล ซีพียูในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะใช้เวลา 12 คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา นั่นคือ เวลาในการทำงาน 1 ไซเกิลมีค่าเท่ากับ 1ms หรือมีความเร็วในการทำงานภายใน 1 MHz ในกรณีที่ใช้ความถี่สัญญาณนาฬิกา 12 MHz ดังนั้นถ้าต้องการทราบความเร็วของการทำงานภายในของไมโคร

คอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถหาได้จากค่าความถี่สัญญาณนาฬิกาหารด้วย 12 และถ้าต้องการหาค่าเวลาของ 1 รอบการทำงานหรือ 1 แมซชีนไซเคิล สามารถทำได้โดยการหาส่วนกลับของความถี่ในการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถสรุปเป็นสูตรทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

ความเร็วในการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์เท่ากับ

ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา (ค่าของคริสตอลที่ต่ออยู่ที่ขา XTAL1 และ XTAL2) / 12

เวลา 1 แมซชีนไซเคิล = 1/ความเร็วในการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์

### หน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีหน่วยความจำภายในหลักๆ อยู่ 2 ส่วนคือ หน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล ซึ่งก็มีขนาดและการจัดสรรแตกต่างกันไปในแต่ละเบอร์ ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดของการจัดสรรหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 51 แบบแฟลช การเชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก และข้อมูลเบื้องต้นของรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษที่ใช้ควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

### หน่วยความจำโปรแกรม (Program memory)

รูปที่ 2.8 แสดงการจัดหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในเบอร์ต่างๆ ที่นิยมใช้งาน อันประกอบด้วยเบอร์ AT89C51 และ AT89C52 จะเห็นได้ว่าทั้งสองเบอร์สามารถติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ โดยสามารถเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายในอย่างเดียวหรือรวมกับภายนอกหรือเลือกใช้หน่วยความจำภายนอกอย่างเดียวก็ได้ ดังในรูปที่ 2.8 (ก) โดยภายใน AT89C51 จะมีหน่วยความจำโปรแกรมภายใน 4 กิโลไบต์ ในขณะที่ AT89C52 จะมีขนาด 8 กิโลไบต์

ในกรณีที่ใช้หน่วยความจำภายในและภายนอกรวมกัน หากใช้ AT89C51 ก็จะสามารถติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกได้ 60 กิโลไบต์ และถ้าใช้เบอร์ AT89C52 จะสามารถติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 56 กิโลไบต์

หน่วยความจำโปรแกรมใช้เก็บข้อมูลของโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์หรือที่เรียกว่า โปรแกรมมอนิเตอร์ (monitor program) หากใช้หน่วยความจำภายนอกมักจะบรรจุในหน่วยความจำชนิดอีพรอม (EPROM : Erasable Programmable Read-Only Memory) ซึ่งสามารถกระทำการอ่านได้เพียงอย่างเดียว

หน่วยความจำโปรแกรมมีแอดเดรสเริ่มต้นที่ 000H เมื่อซีพียูได้รับการรีเซตให้เริ่มต้นการทำงาน จะต้องเริ่มต้นที่แอดเดรส 000H นี้เสมอ อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่ของหน่วยความจำโปรแกรมไม่ว่าจะใช้งานจากภายในหรือภายนอกก็ตาม ต้องมีการสงวนพื้นที่บางตำแหน่งเอาไว้สำหรับการบริการอินเตอร์รัปต์ 6 ประเภท ประเภทละ 8 ไบต์ ประกอบด้วย

พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์ 0 จากภายนอก กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0003H

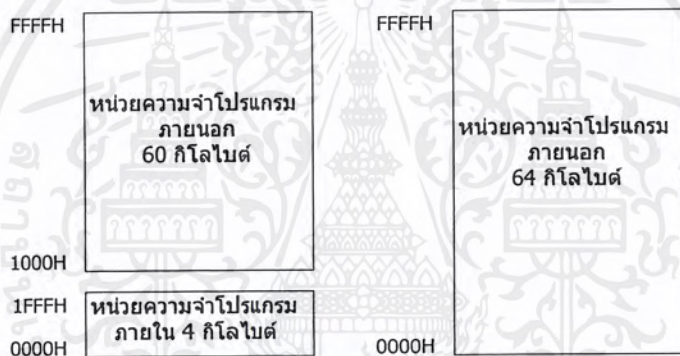
พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์จากไทมเมอร์ 0 จากภายนอก กำหนดไว้ที่แอดเดรส 000BH

พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์ 1 จากภายนอก กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0013H

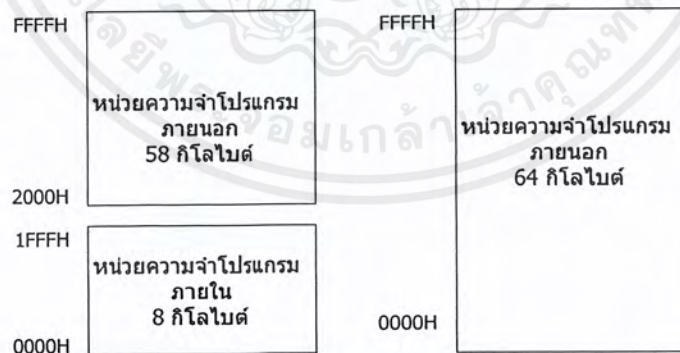
พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์จากไทมเมอร์ 1 จากภายนอก กำหนดไว้ที่แอดเดรส 001BH

พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์ของการสื่อสารอนุกรม กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0023H

พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์จากไทมเมอร์ 2 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 002BH



(ก) การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51



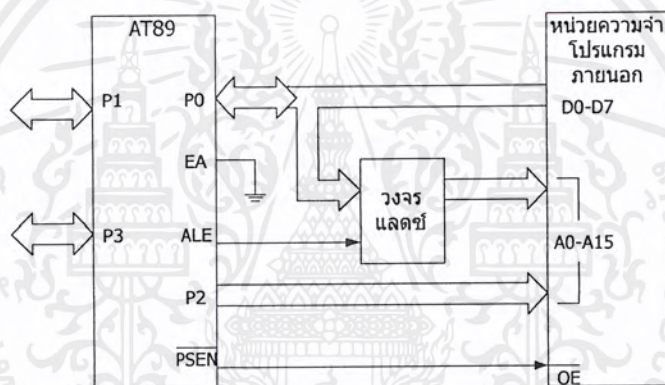
(ข) การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C52

## รูปที่ 2.8 การจัดสรรหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

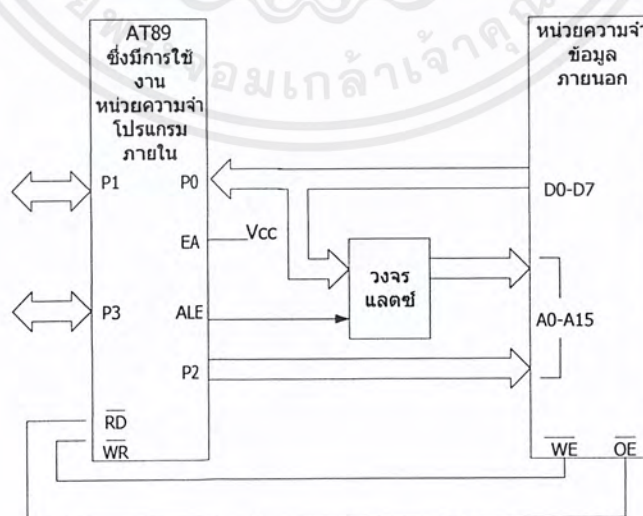
กรณีที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชที่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายใน แต่ต้องการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกด้วยสามารถทำได้โดยต้องกำหนดแอดเดรส

ของหน่วยความจำโปรแกรมให้ต่อจากแอดเดรสสุดท้ายของหน่วยความจำโปรแกรมภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ ยกตัวอย่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 มีหน่วยความจำโปรแกรมขนาด 4 กิโลไบต์ มีแอดเดรสอยู่ระหว่าง 0000H-0FFFH เมื่อต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกต้องกำหนดให้แอดเดรสอยู่ในช่วง 1000H-FFFFH

การต่อหน่วยความจำภายนอกแสดงดังในรูปที่ 2.9 จะเห็นได้ว่าขาพอร์ต P0.0-P0.7 ถูกใช้เป็นขาข้อมูล D0-D7 และขาแอดเดรสไบต์ต่ำ โดยผ่านวงจรถ่ายกลับ ซึ่งปกติใช้ไอซีเบอร์ 74HC573 และใช้สัญญาณ ALE และ  $\overline{PSEN}$  ในการเลือกว่าต้องการใช้งานขา P0.0-P0.7 เพื่อเป็นขาข้อมูลหรือขาแอดเดรสในขณะที่ขา P2.0-P2.7 ในการเชื่อมต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูง A8-A15 ดังนั้นเมื่อมีการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกไมโครคอนโทรลเลอร์จะเหลือขาพอร์ตใช้งานเพียง 16 ขาคือที่ขาพอร์ต P1.0-P1.7 และ P3.0-P3.7



รูปที่ 2.9 การเชื่อมต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51



รูปที่ 2.10 การเชื่อมต่อหน่วยความจำข้อมูลภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

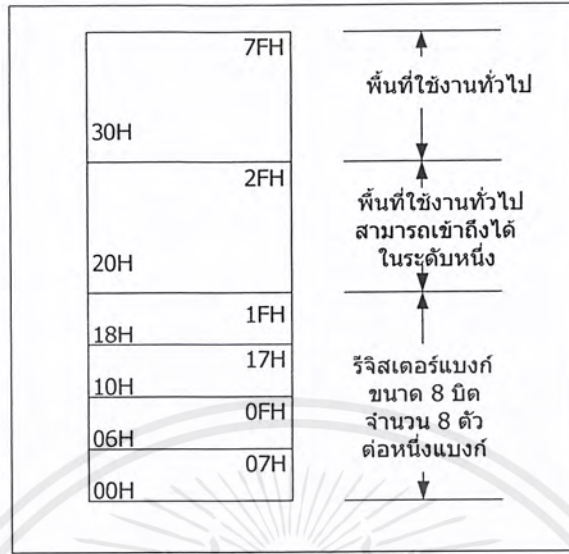
## หน่วยความจำข้อมูล (Data memory)

มีด้วยกัน 2 แบบ คือ หน่วยความจำข้อมูลภายนอกและภายในโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89 สามารถติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ โดยการใช้คำสั่ง MOVX ในการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก การติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชแสดงดังในรูปที่ 2.10 จะเห็นได้ว่า มีลักษณะคล้ายกับการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกแตกต่างกันที่มีสัญญาณใช้สำหรับการอ่านและเขียนหน่วยความจำข้อมูลภายนอก นั่นคือ ขา  $\overline{RD}$  และ  $\overline{WR}$

สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89 ทุกเบอร์มีหน่วยความจำข้อมูลภายในเป็นแบบแรม (RAM : Random Access Memory) โดยแต่ละเบอร์จะมีขนาดแตกต่างกันไป ในเบอร์ AT89C5 มีหน่วยความจำข้อมูลภายในขนาด 128 ไบต์ ในขณะที่เบอร์ AT89C52 มีขนาด 256 ไบต์ สำหรับการจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลภายในแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ หน่วยความจำข้อมูลส่วนล่าง (lower), ส่วนบน (upper) และรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (SFR : Special Function Register) แต่ละส่วนมีขนาด 128 ดังแสดงการจัดสรรในรูปที่ 2.11

FFH	หน่วยความจำข้อมูลส่วนบนสามารถเข้าถึงแบบโดยอ้อมเท่านั้น	รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (SFR) สามารถเข้าถึงแบบโดยตรงได้
80H 7FH	หน่วยความจำข้อมูลส่วนล่างสามารถเข้าถึงได้ทั้งแบบโดยตรงและโดยอ้อม	
00H		

รูปที่ 2.11 การจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช



รูปที่ 2.11 การจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลภายในส่วนล่างของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

จะเห็นได้ว่าหน่วยความจำข้อมูลส่วนบนและรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษมีตำแหน่งทับซ้อนกัน แต่จะใช้งานติดต่อที่แตกต่างกัน และในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 บางเบอร์จะไม่มีหน่วยความจำข้อมูลส่วนบน

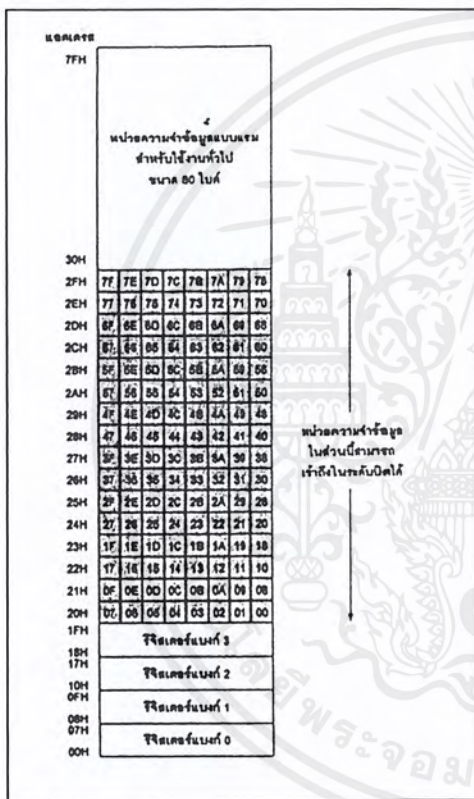
ขนาดของหน่วยความจำข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชโดยแท้จริงแล้วมีเพียง 256 ไบต์ แต่ด้วยการจัดการเข้าถึงที่แตกต่างกัน จึงดูเหมือนว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีหน่วยความจำข้อมูลภายในสูงถึง 384 ไบต์ โดยในหน่วยความจำข้อมูลส่วนล่างขนาด 128 ไบต์ มีแอดเดรสอยู่ที่ 00H-7FH สามารถเข้าถึงได้โดยตรงและโดยอ้อม สำหรับหน่วยความจำข้อมูลส่วนบนมีขนาด 128 ไบต์ เช่นกัน มีแอดเดรสอยู่ที่ 80H-FFH สามารถเข้าถึงแบบโดยอ้อมเท่านั้น ในขณะที่รีจิสเตอร์ SFR มีแอดเดรสอยู่ที่ 80H-FFH เช่นเดียวกับหน่วยความจำข้อมูลส่วนบน แต่สำหรับรีจิสเตอร์ SFR ใช้งานเข้าถึงแบบโดยตรง

ดังนั้นเพื่อความสะดวกและง่าย ตลอดจนป้องกันความสับสนในการเขียนโปรแกรมสำหรับผู้เริ่มต้นจึงควรใช้หน่วยความจำข้อมูลภายในเพียง 128 ไบต์ จากหน่วยความจำข้อมูลส่วนล่างร่วมกับรีจิสเตอร์ SFR

ในรูปที่ 2.11 แสดงการจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลส่วนล่าง หน่วยความจำ 32 ไบต์ต่ำสุดที่แอดเดรส 00H-1FH แบ่งเป็น 4 กลุ่ม เรียกว่า 4 แบงก์ (bank) แต่ละแบงก์ก็มีรีจิสเตอร์ 8 ตัว คือ R0-R7

การติดต่อกับหน่วยความจำในแบงก์ให้กำหนดที่รีจิสเตอร์ PSW (Program Status Word register) ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

หน่วยความจำข้อมูล 16 ไบต์ถัดมาที่แอดเดรส 20H-2FH เป็นพื้นที่สำหรับใช้งานทั่วไป สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต (Bit addressable) และหน่วยความจำข้อมูลที่เหลือ 80 ไบต์ จะต้องแบ่งส่วนหนึ่งสำรองไว้เป็นพื้นที่ของสแต็ก (stack : ที่พักข้อมูลชั่วคราวในกรณีที่ใช้พียูมีการกระโดดไปทำงานในโปรแกรมย่อย) การเข้าถึงหน่วยความจำในส่วนนี้ต้องใช้การเข้าถึงในระดับไบต์



แอดเดรส	บิต	รีจิสเตอร์
FFH		
F0H	B7 B6 B5 B4 B3 B2 B1 B0	รีจิสเตอร์ B
E0H	A7 A6 A5 A4 A3 A2 A1 A0	รีจิสเตอร์ ACC
D0H	D7 D6 D5 D4 D3 D2 - D0	รีจิสเตอร์ PSW
B0H	- - - D4 D3 D2 D1 D0	รีจิสเตอร์ SP
B0H	3.7 3.6 3.5 3.4 3.3 3.2 3.1 3.0	รีจิสเตอร์ P3
A0H	D7 - - D4 D3 D2 D1 D0	รีจิสเตอร์ IE
A0H	2.7 2.6 2.5 2.4 2.3 2.2 2.1 2.0	รีจิสเตอร์ P2
90H	ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้	รีจิสเตอร์ SBUF
90H	B7 B6 B5 B4 B3 B2 B1 B0	รีจิสเตอร์ SCON
80H	1.7 1.6 1.5 1.4 1.3 1.2 1.1 1.0	รีจิสเตอร์ P1
80H	ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้	รีจิสเตอร์ TH1
80H	ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้	รีจิสเตอร์ TH0
80H	ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้	รีจิสเตอร์ TL1
80H	ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้	รีจิสเตอร์ TL0
80H	ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้	รีจิสเตอร์ TMO0
80H	T7 T6 T5 T4 T3 T2 T1 T0	รีจิสเตอร์ TCON
80H	ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้	รีจิสเตอร์ PCON
80H	ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้	รีจิสเตอร์ DPH
80H	ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้	รีจิสเตอร์ DPL
80H	ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้	รีจิสเตอร์ SP
80H	0.7 0.6 0.5 0.4 0.3 0.2 0.1 0.0	รีจิสเตอร์ P0

หมายเหตุ: ชื่อของบิตที่กำหนดในรูปเป็นการกำหนดให้ในกรณีที่มีการเรียงลำดับบิตสำคัญของรีจิสเตอร์แต่ละตัว โดยเรียงจากบิตสูงมาลงบิตต่ำ สำหรับบิตที่ว่างของบิตบิต ให้ตรวจสอบกับทออลเช็ทของรีจิสเตอร์ตัวนั้นๆ ต่อไป

รูปที่ 2.12 โครงสร้างของหน่วยความจำข้อมูลภายในส่วนบนของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

รูปที่ 2.13 การจัดสรรพื้นที่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ

ในรูปที่ 2.12 แสดงโครงสร้างของหน่วยความจำข้อมูลส่วนบนซึ่งจะมีลักษณะที่คล้ายกับหน่วยความจำข้อมูลส่วนล่าง หากแต่ใน 80 ไบต์บน ไม่จำเป็นต้องสำรองไว้สำหรับสแต็ก และต้องใช้การเข้าถึงในลักษณะโดยอ้อมเท่านั้น

## 2.2 รายละเอียดทางเทคนิคของMAX038

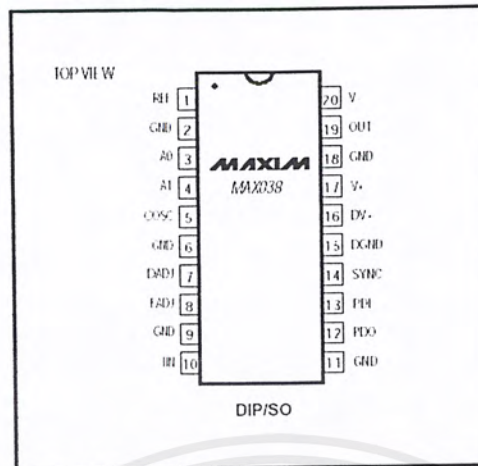
MAX038 เป็นไอซีที่ใช้ในการผลิตรูปเครื่องสัญญาณในเครื่องฟังกึ่งอัตโนมัติ และมีความเที่ยงตรงสูง ไอซีตัวนี้สามารถผลิตรูปคลื่นสัญญาณสามเหลี่ยม, รูปสี่เหลี่ยม, รูปไซน์ ด้วยการต่ออุปกรณ์ภายนอกเพียงเล็กน้อย ความถี่ทางเอาต์พุตสามารถควบคุมให้อยู่ในช่วง 0.1Hz ถึง 20MHz โดยใช้แรงดันอ้างอิง 2.5V จากตัวของไอซีเอง ต่อกับตัวต้านทานและตัวเก็บประจุที่อยู่ภายนอก ค่าควิตซ์ไซเคิลสามารถควบคุมได้โดยใช้แรงดัน 2.5V ซึ่งทำให้เป็นการง่ายที่จะผลิตสัญญาณฟันเลื่อย และพัลส์วีดท์มอดูเลชัน (Pulse Width Modulation) ฟรีแควนซีมอดูเลชัน (Frequency Modulation) และการสวิปความถี่ (Frequency Sweeping) ควบคุมโดยใช้วิธีเดียวกันกับสัญญาณฟันเลื่อยและพัลส์วีดท์มอดูเลชัน การควบคุมค่าควิตซ์ไซเคิล (Duty Cycle) และความถี่จะเป็นอิสระต่อกัน

รูปสัญญาณไซน์ สี่เหลี่ยม และสามเหลี่ยมทางเอาต์พุตสามารถเลือกได้จากรหัสที่ป้อนเข้าที่ขาของตัวไอซี เอาต์พุตของสัญญาณจะมีค่าเท่ากับ  $2V_{pp}$  และสมมาตรกัน ความต้านทานทางเอาต์พุตของไอซีมีค่าต่ำทำให้สามารถจ่ายกระแสได้สูงกว่า 20mA

สัญญาณ SYNC ทางเอาต์พุตจะเกิดการออสซิลเลเตอร์ภายในตัวมันเอง และจะมีค่าควิตซ์ไซเคิลเท่ากับ 50 % คงที่ โดยไม่คำนึงถึงค่าควิตซ์ไซเคิลของรูปสัญญาณอื่นทางเอาต์พุตของไอซีและการซิงโครไนซ์ของอุปกรณ์อื่นๆ ในระบบ ความถี่ออสซิลเลเตอร์ภายในสามารถที่จะซิงโครไนซ์กับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกได้โดยต่อเข้ากับขา PDI

### 2.2.1 คุณสมบัติของ IC MAX038

- ความถี่ใช้งานอยู่ในช่วง 0.1Hz-20MHz
- รูปสัญญาณที่สร้างได้มีสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม , สามเหลี่ยม , รูปไซน์
- ความถี่และควิตซ์ไซเคิล สามารถปรับได้โดยอิสระต่อกัน
- ความต้านทานทางเอาต์พุตค่า : 0.1 โอห์ม
- ความผิดเพี้ยนของสัญญาณรูปไซน์มีค่าต่ำ : 0.75%
- ควิตซ์ไซเคิลสามารถปรับได้ในช่วง 15 – 85เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.14 รูปร่างและการจัดขาของ MAX038

PIN	NAME	FUNTION
1	REF	2.50V bandgap voltage reference output
2	GND	Ground*
3	A0	Waveform selection input ; TTL/CMOS compatible
4	A1	Waveform selection input ; TTL/CMOS compatible
5	COSC	External capacitor connection
6	GND	Ground*
7	DADJ	Duty-cycle adjust input
8	FADJ	Frequency adjust input
9	GND	Ground*
10	IIN	Current input for frequency control
11	GND	Ground*
12	PDO	Phase detector output, Connect to GND if phase detector is not used
13	PDI	Phase Detector reference clock input, Connect to GND if phase detector is not used
14	SYNC	TTL-/CMOS-compatible output, referenced between DGND and DV+, Permits the internal oscillator to be synchronized with an extennal signal. Leave open if unused
15	DGND	Digital ground
16	DV+	Digital +5V supply input. Can be left open if SYNC is not used
17	V+	+5V supply input
18	GND	Ground*
19	OUT	Sine ,square ,or triangle output
20	V-	-5V supply input

รูปที่ 2.15 หน้าที่การทำงานของขาต่างๆของ MAX 038

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.2 หลักการทำงานโดยละเอียดของ MAX038

MAX 038 เป็นฟังก์ชันเนอเรเตอร์ความถี่สูง สามารถสร้างรูปสัญญาณไซน์ สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม ที่มีความผิดเพี้ยนของสัญญาณต่ำสัญญาณที่ผลิตได้จะอยู่ในช่วง 0.1Hz ถึง 20MHz การใช้งานจะต่ออุปกรณ์ภายนอกเพียงเล็กน้อย ความถี่และควิตซ์ไชเกิดจะเป็นอิสระต่อกันและสามารถควบคุมได้โดยใช้กระแส แรงดัน หรือความต้านทาน รูปสัญญาณทางเอาต์พุตจะเลือกโดยใช้รหัสที่ขา อินพุต A0 และ A1

MAX038 จะใช้แรงดันไฟเลี้ยง  $\pm 5V$  ผิดพลาดได้ไม่เกิน 5% ออสซิลเลเตอร์ พื้นฐานเป็น ชนิดรีแลกเซชัน (Relaxation) ทำงานโดยใช้การชาร์จและคิซาร์จของคาปาซิเตอร์  $C_F$  ด้วยกระแส คงที่ ทำให้ได้สัญญาณสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมออกมาในเวลาเดียวกัน การชาร์จและคิซาร์จกระแส นี้ถูกควบคุมโดยกระแสที่ไหลเข้ามาที่ขา IIN และการมอดูเลตสัญญาณทำได้โดยป้อนแรงดันเข้า ที่ขา FADJ และ DADJ กระแสที่ป้อนเข้าที่ขา IIN สามารถเปลี่ยนแปลงจาก  $2 \mu A$  จนถึง  $750 \mu A$  เราสามารถปรับความถี่อย่างละเอียดได้โดยป้อนแรงดันเข้าที่ขา FADJ ตั้งแต่  $-2.4 V$  ถึง  $+2.4V$  และทำให้ความเบี่ยงเบนจากความถี่ปกติ 70% โดยปกติแล้ว FADJ นี้จะมีแรงดัน 0V

ค่าควิตซ์ไชเกิดสามารถควบคุมได้ตั้งแต่ 10 % จนถึง 90 % โดยใช้แรงดัน 2.3 V ป้อนเข้าที่ขา DADJ ซึ่งแรงดันนี้จะไปเปลี่ยนอัตราส่วนการชาร์จและคิซาร์จของ  $C_F$  โดยใช้ความถี่ทางเอาต์พุต คงที่

ขา REF จะจ่ายแรงดันอ้างอิง 2.5 V การคำนวณค่ากระแสและแรงดันของ IIN ,FADJ หรือ DADJ สามารถคำนวณได้ง่ายโดยการต่อความต้านทานคงที่จากขา REF ไปยัง IIN, FADJ หรือ DADJ และเรายังสามารถปรับค่าต่างๆเหล่านี้ได้โดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ ขา FADJ และขา DADJ สามารถต่อลงกราวด์ ถ้าเราต้องการให้ควิตซ์ไชเกิดเป็น 50% และไม่ต้องการให้ความถี่เบี่ยงเบนจากความถี่ปกติ

ความถี่ทางด้านเอาต์พุตจะเป็นส่วนกลับกับคาปาซิเตอร์ ( $C_F$ ) ค่าของ  $C_F$  สามารถที่จะเลือก ให้ผลิตความถี่สูงอยู่ในช่วงใดก็ได้

สัญญาณรูปไซน์ จะได้จากวงจรเปลี่ยนรูปคลื่นจากรูปคลื่นสามเหลี่ยม หลังจากทีเปลี่ยนแล้ว จะได้รูปคลื่นไซน์ที่มีความผิดเพี้ยนต่ำและแอมพลิจูดคงที่ สัญญาณไซน์, สี่เหลี่ยม และสามเหลี่ยม จะไปป้อนให้กับส่วนมัลติเพล็กซ์ ซึ่งรูปสัญญาณทั้งสามแบบจะเลือกได้จากขา A0 และ A1 การขยายสัญญาณเอาต์พุตจะมีค่าคงที่เท่ากับ  $2V_{p-p}$  โดยไม่คำนึงถึงรูปสัญญาณและความถี่

สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่ได้จากออสซิลเลเตอร์จะส่งไปเปรียบเทียบด้วยความเร็วสูง ทำให้ได้ สัญญาณ SYNCรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งสามารถใช้ซิงโครไนซ์กับออสซิลเลเตอร์ตัวอื่นได้ วงจรผลิต สัญญาณ SYNC นี้จะให้แหล่งจ่ายแรงดันแยกจากวงจรส่วนอื่นๆ

สัญญาณรูปสี่เหลี่ยม 2 สัญญาณ จากออสซิลเลเตอร์พื้นฐานจะถูกส่งเข้าที่ด้านหนึ่งของเฟสดีเท็คเตอร์ (phase detector “Exclusive – OR”) และอีกด้านหนึ่งจะเป็นเฟสดีเท็คเตอร์อินพุต ( PDI ) ซึ่งสามารถต่อกับออสซิลเลเตอร์ภายนอกได้ เฟสดีเท็คเตอร์เอาต์พุต ( PDO) สามารถที่จะเชื่อมต่อกับ FADJ ได้โดยตรงเพื่อให้ MAX038 ซิงโครไนซ์กับออสซิลเลเตอร์จากภายนอก

### 2.2.3 การเลือกรูปสัญญาณ

MAX038 สามารถที่จะผลิตรูปไซน์, สี่เหลี่ยม หรือ สามเหลี่ยม เพียงอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น ระดับลอจิกและตำแหน่งขาที่ใช้ในการเลือกรูปสัญญาณแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงการเลือกรูปสัญญาณเอาต์พุต

A1	A1	รูปสัญญาณ
1	X	สัญญาณไซน์
0	0	สัญญาณรูปสี่เหลี่ยม
0	1	สัญญาณรูปสามเหลี่ยม

**X = Don't care**

การเปลี่ยนรูปสัญญาณทำได้โดยใช้เวลาเพียงเล็กน้อย การเปลี่ยนรูปสัญญาณจะเกิดขึ้นในเวลา  $0.3 \mu S$  แต่จะมีทรานเซียนต์ (transient) เล็กน้อยในรูปสัญญาณเอาต์พุตที่ช้ากว่า  $0.5 \mu S$

### 2.2.4 คาบเวลาและรูปคลื่นสัญญาณ

ความถี่ของเอาต์พุตคำนวณได้จากกระแสที่ป้อนเข้าที่ขา IIN, คาปาซิเตอร์ที่ขา CSOC และแรงดันที่ขา FADJ เมื่อแรงดัน  $V_{FADJ} = 0 V$  ความถี่เอาต์พุตพื้นฐาน ( $F_0$ )

คำนวณได้จากสูตร

$$F_0 \text{ (MHz)} = I_{IN} \text{ (}\mu\text{A)} \div CF \text{ (pF)}$$

คาบเวลา ( $t_0$ ) หาได้จากสูตร

$$t_0 \text{ (}\mu\text{S)} = C_F \text{ (pF)} \div I_{IN} \text{ (}\mu\text{A)}$$

เมื่อ  $I_{IN}$  = กระแสที่ไหลเข้าไปในขา  $I_{IN}$  (ระหว่าง  $2 \mu A$  –  $750 \mu A$ )

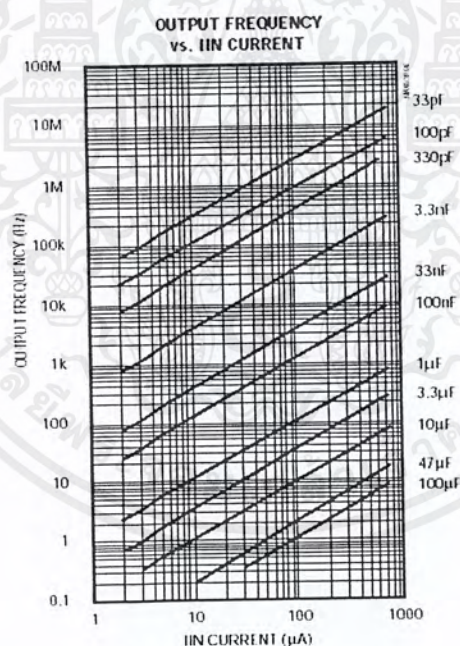
$C_F$  = คาปาซิเตอร์ที่ต่อระหว่างขา COSC และ GND ( $20 pF$  –  $100 \mu F$ )

ตัวอย่างเช่น

$$0.5 \text{ MHz} = 100 \mu A \div 200 pF$$

$$2 \mu S = 200 pF \div 100 \mu A$$

การปฏิบัติการให้ได้ผลดีที่สุด กระแส  $I_{IN}$  จะอยู่ในระหว่าง  $10 \mu A$  ถึง  $400 \mu A$  แม้ว่ากระแสจะใช้งานได้ดีในช่วง  $I_{IN}$  ระหว่าง  $2 \mu A$  ถึง  $750 \mu A$  ค่าของกระแสนอกเหนือจากช่วงที่กำหนดจะไม่แนะนำให้ใช้การทำงานที่ความถี่ที่ตั้งกระแส  $I_{IN}$  ประมาณ  $100 \mu A$  และเลือกค่าคาปาซิเตอร์ที่เหมาะสมที่กระแสนี้จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิ (temperature coefficient) ต่ำที่สุด และมีการเปลี่ยนแปลงค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อเปลี่ยนค่าความถี่



รูปที่ 2.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เอาต์พุต, กระแส และ  $C_F$  กำหนดความถี่

คาปาซิเตอร์สามารถที่จะใช้ในช่วง  $20 pF$  จนถึง  $100 \mu F$  แต่ค่าคาปาซิเตอร์ที่เกิดขึ้นในวงจรจะต้องมีค่าน้อยที่สุดซึ่งทำได้โดยการเดินสายให้สั้นที่สุด รอบๆขา COSC และลายวงจรที่สำคัญๆ จะต้องมีการวางแผ่น (ground plane) และเชื่อมต่อสัญญาณภายนอกที่จุดนี้ให้น้อยที่สุด การออกแบบความถี่ที่สูงกว่า  $20 \text{ MHz}$  สามารถทำได้ แต่รูปคลื่นจะผิดเพี้ยนเพิ่มขึ้น ภายใต้เงื่อนไขต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปนี้คือ ความถี่ที่ต่ำสุดที่ถูกจำกัดโดยค่าการรั่วไหลของคาปาซิเตอร์  $C_{OSC}$  และโดยจะต้องมีความเที่ยงตรงของความถี่เอาต์พุต ความถี่ที่ต่ำที่สุดที่สามารถทำงานได้ดีและมีความเที่ยงตรงจะใช้คาปาซิเตอร์  $10 \mu F$  หรือมากกว่านั้น โดยใช้คาปาซิเตอร์แบบไม่มีขั้ว

ที่ขา IIN จะมีระดับแรงดันเป็นกราวด์เสมือน ซึ่งมีแรงคั้นน้อยกว่า 20 mV ค่ากระแส  $I_{IN}$  นี้จะหาได้จากตัวต้านทานที่ต่ออยู่ระหว่างขา REF กับ IIN คำนวณได้จาก  $I_{IN} = V_{REF}/R_{IN}$  เมื่อใช้แรงคั้นต่ออนุกรมกับตัวต้านทาน สูตรในการคำนวณความถี่ออสซิลเลเตอร์ คือ

$$F_o (\text{MHz}) = V_{IN} \div [R_{IN} \times C_F (\text{pF})]$$

$$t_o (\mu S) = C_F (\text{pF}) \times R_{IN} \div V_{IN}$$

เมื่อความถี่ของ MAX038 ควบคุมโดยแหล่งจ่ายแรงคั้น ( $V_{IN}$ ) ที่ต่ออนุกรมกับตัวต้านทานคั้นที่ ( $R_{IN}$ ) ความถี่ทางเอาต์พุตจะควบคุมได้จาก  $V_{IN}$  โดยตรง ดังในสมการ

## 2.2.5 การใช้งานขา FADJ

ความถี่เอาต์พุตสามารถมอดูเลตโดยใช้ขา FADJ ซึ่งจุดประสงค์สำคัญจะใช้สำหรับปรับความถี่อย่างละเอียด โดยใช้เฟสล็อกลูป (phase lock loop) ภายใน หลักการเบื้องต้น ความถี่กลาง ( $F_o$ ) ที่ตั้งโดย  $I_{IN}$  นั้น  $C_F$  จะถูกทำให้ซาร์จมากขึ้น โดยการตั้งค่าแรงคั้นที่ขา FADJ ให้มากกว่า 0 แรงคั้นนี้สามารถที่จะเปลี่ยนจาก  $-2.4 \text{ V}$  ถึง  $+2.4 \text{ V}$  ความถี่ทางเอาต์พุตสามารถเปลี่ยนแปลงจาก 0.3 เท่าจนถึง 1.7 เท่า หรือความเบี่ยงเบนจากความถี่  $f_o \pm 70\%$  ถ้าแรงคั้นเกิน 2.4 V จะทำให้การเปลี่ยนแปลงความถี่ไม่มีเสถียรภาพอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางตรงกันข้ามได้ (reverse slope)

แรงคั้น  $V_{FADJ}$  หาได้จากการเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุตจาก  $F_o$  โดย  $D_x$  (เปอร์เซ็นต์การเบี่ยงเบนจากความถี่  $F_o$ ) โดยใช้สูตร

$$V_{FADJ} = -0.0343 \times D_x$$

เมื่อแรงคั้นที่ FADJ นี้อยู่ระหว่าง  $-2.4 \text{ V}$  ถึง  $+2.4 \text{ V}$

หมายเหตุ :  $I_{IN}$  จะเป็นสัดส่วนโดยตรง กับความถี่กลาง ( $F_o$ )  $V_{FADJ}$  จะมีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงจาก  $F_o$   $V_{FADJ}$  ที่เปลี่ยนแปลงจาก 0 เป็นบวกหรือลบ จะตรงกับการเปลี่ยนแปลงทางบวกและลบของความถี่ โดยคำนวณได้จากสูตร

$$V_{FADJ} = (F_o - F_x) \div (0.2915 \times F_o)$$

เมื่อ  $F_x =$  ความถี่เอาต์พุต  
 $F_o =$  ความถี่เอาต์พุตขณะที่  $V_{FADJ} = 0\text{ V}$

แรงดันของ FADJ หาโดยคาบเวลาจากสูตร

$$V_{FADJ} = 3.43 \times (t_x - t_o) \div t_x$$

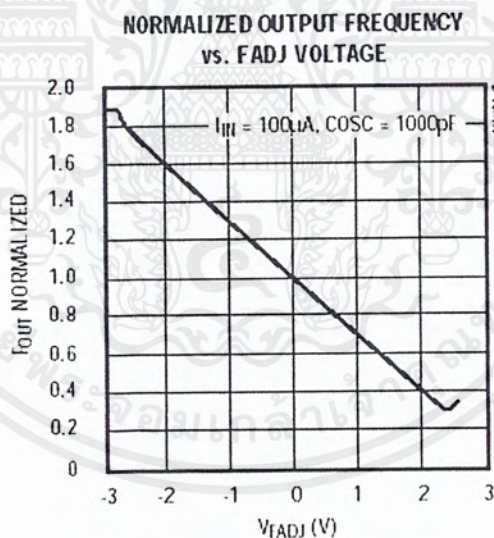
เมื่อ  $t_x =$  คาบเวลาของเอาต์พุต  
 $t_o =$  คาบเวลาของเอาต์พุตเมื่อ  $V_{FADJ} = 0\text{ V}$

ถ้าเรารู้  $V_{FADJ}$  สามารถหาความถี่ได้โดยใช้สูตร

$$F_x = F_o \times [1 - (0.2915 \times V_{FADJ})]$$

และคาบเวลาหาโดยสูตร

$$t_x = t_o \div [1 - (0.2915 \times V_{FADJ})]$$



รูปที่ 2.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอนมอลไลท์ความถี่เอาต์พุตกับแรงดันที่ขา FADJ ที่ขา FADJ จะมีกระแส  $250\ \mu\text{A}$  คงที่ไหลไปยัง V- ดังนั้นที่ขา FADJ นี้จะต้องควบคุมโดยใช้แหล่งจ่ายแรงดัน การใช้งานจะต่อตัวต้านทานปรับค่าได้ ( $R_F$ ) ระหว่างขา REF (+ 2.5V) กับขา FADJ เมื่อเราตั้งความถี่เทียบเบนเราสามารถหาค่าความต้านทาน ( $R_F$ ) ได้โดย

$$R_F = (V_{REF} - V_{FADJ}) \div 250\ \mu\text{A}$$

การใช้งานขานี้จะมีผลต่อความถี่เอาต์พุต ดังนั้นถ้าเราไม่ต้องการใช้งานควรจะต้องตัวต้านทาน 12 กิโลโอห์ม ที่ขานี้ลงกราวด์

## 2.2.6 การสวิตช์ของความถี่

ความถี่เอาต์พุตสามารถจะสวิตช์ได้โดยการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่ขา IIN และ FADJ ที่ขา IIN จะมีย่านในการสวิตช์กว้าง แต่การตอบสนองจะค่อนข้างช้า สัมประสิทธิ์ทางอุนหภูมิต่ำ และแหล่งจ่ายกระแสที่ต่อจะต้องถูกซั้ว FADJ จะใช้ในการกวาดความถี่ในช่วงแคบๆ คือน้อยกว่า 70 % จากความถี่กลาง และเหมาะสมที่จะใช้สำหรับการจัดวงจรแบบเฟสล็อกกลูป สัญญาณที่สวิตช์จะต้องมีแรงดันทางบวกและลบสมมาตรกับกราวด์ การเชื่อมต่อจะใช้ตัวต้านทานต่อระหว่างขา REF หรือแหล่งจ่ายแรงดันกับขา FADJ หรือ IIN เพื่อสะดวกในการปรับแรงดันที่ใช้สวิตช์

## 2.1.7 คิวตี้ไซเกิล

แรงดันที่ขา DADJ จะควบคุมค่าคิวตี้ไซเกิลของรูปสัญญาณ ปกติแล้ว  $V_{DADJ}$  จะมีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งจะให้ค่าคิวตี้ไซเกิลเท่ากับ 50% แรงดันที่ขานี้สามารถเปลี่ยนได้จาก  $-2.3 \text{ V}$  ถึง  $+2.3 \text{ V}$  เนื่องจากค่าคิวตี้ไซเกิลเปลี่ยนแปลงได้จาก 15% ถึง 85 % หรือประมาณ 15% ต่อ 1 โวลต์ ถ้าแรงดันเกิน 2.3V จะทำให้เฟสของเอาต์พุตเลื่อนไปจากเดิม

DADJ สามารถใช้ลดความผิดเพี้ยนของสัญญาณรูปไซน์ได้ ในขณะที่เราไม่ปรับ ( $V_{DADJ} = 0 \text{ V}$ ) คิวตี้ไซเกิลจะมีค่าเท่ากับ 50% ผิดพลาด 2% การเปลี่ยนแปลงจาก 50% จะเกิดโดยฮาร์โมนิก (Harmonic) ที่เกิดขึ้น เราจะแก้ไขโดยปรับแรงดัน  $V_{DADJ}$  เพียงเล็กน้อย เพื่อให้รูปสัญญาณสมมาตร และเกิดความผิดเพี้ยนน้อยที่สุด

แรงดัน  $V_{DADJ}$  ที่ใช้เปลี่ยนค่าคิวตี้ไซเกิลได้จากสูตร

$$V_{DADJ} = (50\% - dc) 0.0575 \text{ หรือ}$$

$$V_{DADJ} = (0.5 - [t_{ON} \div t_0]) \times 5.75$$

เมื่อ  $V_{DADJ} =$  แรงดันที่ขา DADJ

dc = คิวตี้ไซเกิล (%)

$t_{ON} =$  ช่วงเวลาที่เป็นบวก

$t_0 =$  คาบเวลาของรูปคลื่น

ถ้าเราทราบค่า  $V_{DADJ}$  จะสามารถหาค่าคิวตี้ไซเกิลและ  $t_{ON}$  ได้จากสูตร

$$dc = 50\% - (V_{DADJ} \times 17.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

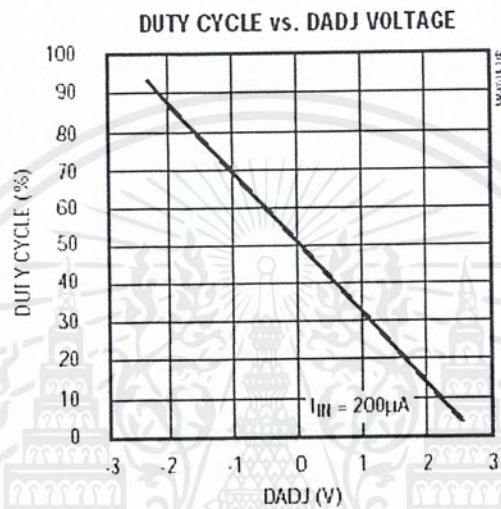
$$t_{ON} = t_0 \times [0.5 - (V_{DADJ} \times 0.174)]$$

เมื่อ  $V_{DADJ}$  = แรงดันที่ขา DADJ

dc = คิวตี้ไซเคิล (%)

$t_{ON}$  = ช่วงเวลาที่เป็นบวก

$t_0$  = คาบเวลาของรูปคลื่น



รูปที่ 2.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์คิวตี้ไซเคิลกับแรงดันที่ขาDADJ

## 2.2.8 การใช้งานขา DADJ

ขา DADJ จะคล้ายกับ FADJ คือมีกระแส  $250 \mu A$  ไหลไปยัง V- และต้องใช้แหล่งจ่ายแรงดันในการควบคุมค่าคิวตี้ไซเคิล การใช้งานจะต่อต้านทานปรับค่าได้ ( $R_D$ ) ระหว่างขา REF (+2.5V) กับขา DADJ เพื่อเลือกค่าคิวตี้ไซเคิล การเปลี่ยนแปลงค่าคิวตี้ไซเคิลจะอยู่ในช่วง 15% ถึง 85% ซึ่งค่าคิวตี้ไซเคิลช่วงนี้จะมีผลกระทบต่อความถี่เอาต์พุตน้อย โดยปกติจะน้อยกว่า 2% เมื่อ  $25 \mu A < I_{IN} < 250 \mu A$

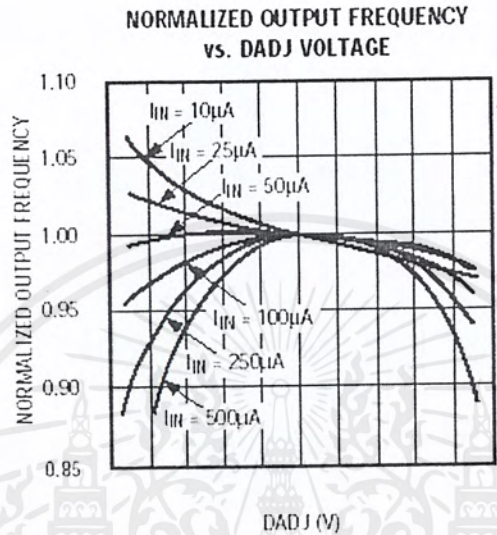
การต่อตัวต้านทานปรับค่าได้ ( $R_D$ ) เข้าไประหว่างขา REF และ DADJ จะทำให้สามารถปรับค่าคิวตี้ไซเคิลได้ ค่าความต้านทาน  $R_D$  หาได้โดย

$$R_D = (V_{REF} - V_{DADJ}) \div 250 \mu A$$

ตัวอย่าง ถ้า  $V_{DADJ}$  มีค่าเป็น  $-2V$  (ควิตซ์เกิด คือ 23%)

$$R_D = (2.5V - (-2V)) / 250 \mu A$$

$$= 4.5V \div 250 \mu A = 18K \Omega$$



รูปที่ 2.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่านอมอลไลท์ความถี่เอาต์พุตกับแรงดันที่ขา DADJ

## 2.2.9 เอาต์พุต

ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตจะมีค่าคงที่คือ  $2 V_{P-P}$  รูปคลื่นทุกแบบจะมีด้านบวกและสมมาตรกัน ความต้านทานทางเอาต์พุตมีค่าต่ำกว่า  $0.1 \Omega$  และสามารถจ่ายกระแสได้  $20mA$  ที่โหลดสูงกว่า  $50 pF$  ถ้าค่าคาปาซิแตนซ์ทางเอาต์พุตมีค่าสูงจะต้องแยกวงจรด้านเอาต์พุตด้วยตัวต้านทาน (ปกติใช้  $50 \Omega$ ) หรือวงจรบัฟเฟอร์ (buffer amplifier)

## 2.2.10 แรงดันอ้างอิง

ขา REF จะมีแรงดัน  $2.5 V$  ใช้เป็นแรงดันอ้างอิง จ่ายกระแสได้  $4mA$  ส่วนใหญ่แล้วขา REF นี้จะถูกใช้เป็นตัวจ่ายกระแส  $I_{IN}$  หรือ ไบอัสที่ขา DADJ และ FADJ นอกจากนั้นยังสามารถประยุกต์ใช้งานอย่างอื่นกับวงจรภายนอกในส่วนอื่นๆ ได้ด้วย ที่ขานี้ควรจะต้องต่อตัวเก็บประจุบายพาสค่า  $100nF$  ไว้ด้วยเพื่อลดสัญญาณรบกวนให้น้อยที่สุด

### 2.2.11 การเลือกตัวต้านทานและคาปาซิเตอร์

MAX038 เป็นอุปกรณ์ที่มีเสถียรภาพทางความถี่และอุณหภูมิ แต่คาปาซิเตอร์และรีซิสเตอร์ที่คำนวณออกมาได้เมื่อนำไปใช้งานอาจทำให้ความถี่ที่ผลิตได้ผิดพลาด การผิดพลาดนี้จะเกิดเนื่องจากเราเลือกรีซิสเตอร์และคาปาซิเตอร์มีคุณภาพไม่ดีพอ รีซิสเตอร์ควรจะเลือกชนิดเมทอลฟิล์ม (metal film) ซึ่งมีค่าความผิดพลาดเพียง 1% หรือ ดีที่สุด คาปาซิเตอร์ที่ใช้ควรเป็นชนิดเซรามิกที่มีคุณสมบัติทางอุณหภูมิประมาณ 30 ppm/°C หรือน้อยกว่านั้นจึงจะเหมาะสม

แรงดันที่ขา COSC จะเป็นสัญญาณรูปสามเหลี่ยมที่มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันระหว่าง 0V ถึง -1 V คาปาซิเตอร์แบบมีขั้วโดยทั่วไปจะไม่นำไปใช้ แต่ถ้าต้องการใช้จะต้องต่อขั้วลบของคาปาซิเตอร์เข้ากับขา COSC และขั้วบวกของคาปาซิเตอร์ต่อลงกราวด์ ที่ความถี่ต่ำจะใช้คาปาซิเตอร์ที่มีค่ามากจึงจำเป็นต้องเลือกอย่างระมัดระวัง เพราะคาปาซิเตอร์ที่มีค่ามากกระแสรั่วไหลจะมากตาม และการดูดกลืนเนื่องจากไดอิเล็กตริก (dielectric) จะสูง ทำให้เกิดการรบกวนเมื่อ  $C_F$  ทำการชาร์จและดิสชาร์จ ถ้าจำเป็นต้องใช้ควรใช้กระแส  $I_{IN}$  ต่ำๆ เพื่อให้ค่าของคาปาซิเตอร์ลดลง

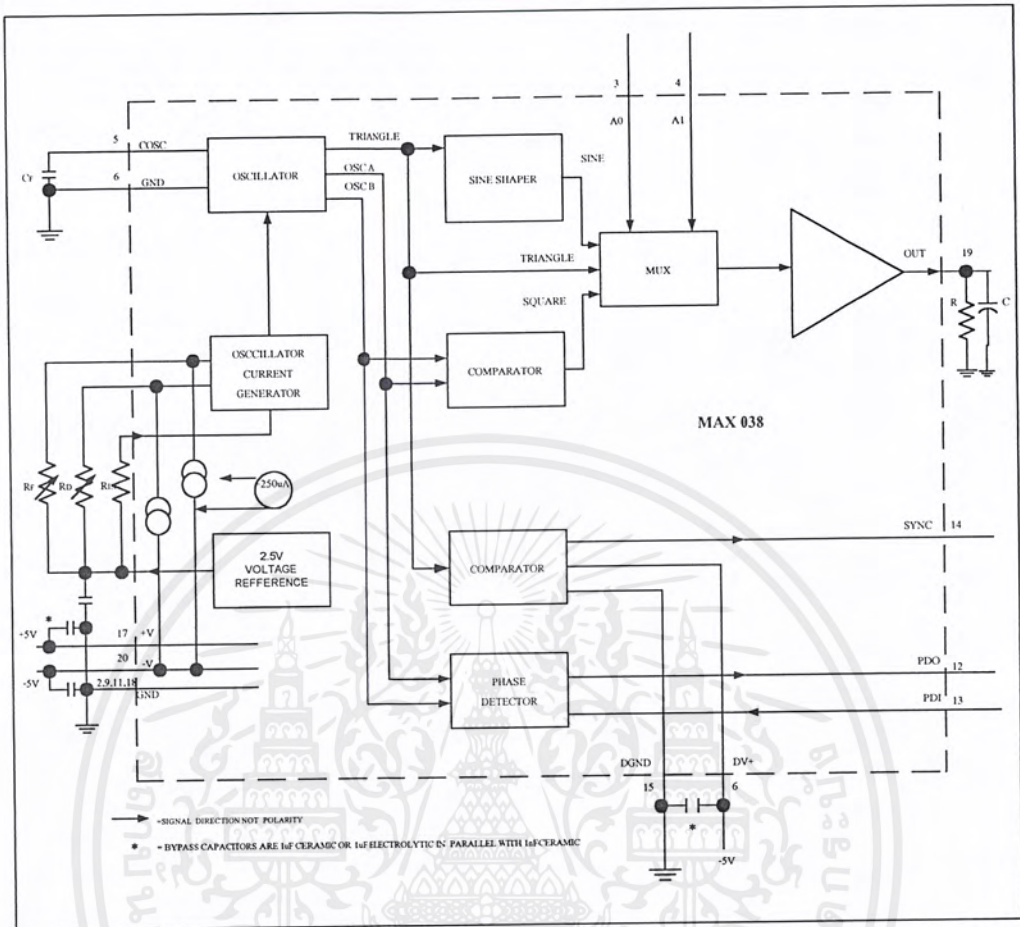
### 2.2.12 สัญญาณ SYNC ทางเอาต์พุต

เอาต์พุต SYNC สามารถจะใช้ซิงโครไนซ์กับวงจรภายนอก เอาต์พุตที่ขา SYNC จะเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่มีขอบขาขึ้นพร้อมกับเอาต์พุตที่เป็นสัญญาณ ไซน์หรือสามเหลี่ยม เมื่อเลือกสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม ขอบขาขึ้นของ SYNC จะเกิดขึ้นที่กึ่งกลางของคลื่นบวกของสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมซึ่งทำให้สัญญาณ SYNC ส้าหลังสัญญาณสี่เหลี่ยม 90 องศา

เนื่องจาก SYNC มีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณเร็วมากทำให้เกิดทรานส์เซียนต์ขึ้นที่ขา DV+ และ DGND และทำให้เกิดการแพร่กระจายของพลังงานไปยังวงจรในส่วนเอาต์พุต ทำให้เกิดสัญญาณสปาร์ (spike) แคบๆ ในรูปสัญญาณทางเอาต์พุต ถ้าเราต้องการใช้สัญญาณ SYNC จึงไม่ควรจะใส่ช้อกเกตไอซีเพราะจะทำให้เกิดค่า L และ C ทำให้ผลของสปาร์เพิ่มมากขึ้น แรงดันไฟเลี้ยงและกราวด์ของวงจรมันจะแยกจากส่วนอื่น ดังนั้นถ้าไม่ต้องการใช้สัญญาณ SYNC ก็ไม่ต้องจ่ายไฟเลี้ยงที่ขา DV+ ทั้งนี้เพื่อลดผลของสปาร์ที่เกิดขึ้น

### 2.2.13 โครงสร้างภายในและการต่อใช้งานเบื้องต้นของ MAX038

จากรายละเอียดการทำงานที่กล่าวมาแล้วสามารถนำค่าที่ได้จากการออกแบบวงจรเบื้องต้นได้แสดงในรูปที่ 2.20 ซึ่งแสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานภายในของ MAX038 ไว้ด้วย



รูปที่ 2.20 แสดงโครงสร้างภายในและการต่อใช้งานเบื้องต้นของ MAX038

## 2.3 ระบบควบคุมการทำงาน

การควบคุมการทำงานในการปรับฟังก์ชันเงินเนอเรเตอร์สามารถแบ่งออกได้เป็นดังนี้

### 2.3.1 ปรับเลือกโหมดการทำงาน แบ่ง ออกเป็น 3 โหมดการทำงานคือ

2.3.1.1 โหมดการทำงานปกติ (INTERN) เป็นโหมดที่ใช้งานทั่วไป เครื่องจะทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณตามรูปสัญญาณ ความถี่ ค่าความถี่ที่เลือก ระดับแอมพลิจูดเอาต์พุต และค่าดีซีออฟเซตตามที่กำหนดโดยไม่มี การปรับสวิตช์หรือแบบเอฟเอ็มมอดูเลชัน

2.3.1.2 โหมดการทำงานแบบสวิตช์ (SWEEP) เป็นโหมดที่ใช้ในการปรับค่าความถี่แบบสวิตช์โดยใช้แรงดันไฟตรงจากภายนอก โดยกำหนดค่าความถี่หลักและองค์ประกอบอื่นๆ จากการปรับในโหมดการทำงานปกติ

2.3.1.3 โหมดการทำงานแบบเอฟเอ็มมอดูเลชัน ( FREQUENCY MODULATION : FM ) เป็นโหมดที่ใช้ในการปรับค่าความถี่แบบเอฟเอ็มมอดูเลชันเข้าสู่เครื่อง ผลของสัญญาณที่ป้อนเข้ามา มอดูเลชันจะทำให้ค่าความถี่หลักที่กำหนดไว้เปลี่ยนไปในช่วงที่ต่ำกว่าและสูงกว่าค่าเดิม ซึ่งก็คือการ มอดูเลชันทางความถี่ของสัญญาณอินพุตจากภายนอกและความถี่หลักของเครื่องฟังก็ขึ้นเงินเนอร์ เตอร์นั่นเอง

2.3.2 การปรับเลือกรูปสัญญาณ เป็นการปรับตั้งเพื่อเลือกรูปสัญญาณเอาต์พุต ( WAVE FORM ) ที่ต้องผลิตขึ้น จากคุณสมบัติของไอซีกำเนิดรูปสัญญาณ MAX038 สามารถกำเนิดรูปสัญญาณพื้นฐานได้ 3 รูปคลื่นสัญญาณคือ สัญญาณรูปไซน์ , สัญญาณรูปสามเหลี่ยม และสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม โดยการปรับที่ขา A0 และ A1 ของ MAX038 ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ดังนั้นเมื่อทำการปรับร่วมกับ คิวตี้ไซเคิลจะสามารถกำเนิดรูปสัญญาณได้ 5 รูปสัญญาณ คือ

- รูปสัญญาณฟังก์ชันไซน์
- รูปสัญญาณสามเหลี่ยม
- รูปสัญญาณฟันเลื่อย
- รูปสัญญาณสี่เหลี่ยม
- รูปสัญญาณพัลส์

2.3.3 การปรับเลือกความถี่ เป็นการปรับตั้งค่าความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตที่ต้องการผลิตขึ้น โดยสามารถปรับได้ในช่วง 10Hz – 10MHz แบ่งเป็น 6 ช่วงความถี่คือ 10 - 99.9Hz , 100 - 999Hz, 1kHz - 9.99kHz, 10kHz-99.9kHz, 100kHz - 999kHz, 1MHz - 9.99 MHz แต่ละช่วงความถี่ สามารถเลือกได้โดยการเปลี่ยนตัวเก็บประจุที่ต่อกับขา COSC ของMAX038, ค่า  $R_{IN}$  ซึ่งเป็นตัวต้านทานที่ต่อกับขา  $I_{IN}$  ของ MAX038 และแรงดัน  $V_{IN}$  ที่ป้อนเข้าที่ขา IINโดยมีความสัมพันธ์ดังในสมการต่อไปนี้

$$F_o \text{ (MHz)} = V_{IN} \div [ R_{IN} \times C_F \text{ (pF)} ]$$

การปรับค่าความถี่จะใช้ตัวแปร 2 ตัว จากสมการ คือ  $C_F$  และ  $V_{IN}$  โดย  $R_{IN}$  จะคงที่ค่าความต้านทานไว้ ส่วน  $C_F$  จะกำหนดจากช่วงความถี่ที่ตั้งค่าไว้ 6 ช่วง นั่นคือจะต้องใช้ค่า  $C_F$  จำนวน 6 ค่า เพื่อแทนค่าความถี่ทั้ง 6 ช่วง จากนั้นการปรับค่าความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับตัว

แปร  $V_{IN}$  ซึ่งในระบบควบคุมนี้จะอาศัยการปรับค่าของ  $V_{IN}$  นี้ในการปรับเลือกค่าความถี่ในแต่ละย่าน

**2.3.4 การปรับเลือกค่าควิตซ์ไชเกิด** เป็นการปรับตั้งเพื่อเลือกค่าควิตซ์ไชเกิดนี้จะกำหนดเฉพาะเมื่อเลือกใช้รูปสัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณรูปฟันเลื่อยและรูปสัญญาณพัลส์เท่านั้น การควบคุมค่าควิตซ์ไชเกิดสามารถทำได้โดยการป้อนแรงดันไฟตรงไปที่ขา DADJ ของ MAX038 โดยอาศัยจากความสัมพันธ์ดังในสมการต่อไปนี้

$$dc = 50\% - (V_{DADJ} \times 17.4)$$

$$t_{ON} = t_0 \times [0.5 - (V_{DADJ} \times 0.174)]$$

เมื่อ  $V_{DADJ}$  = แรงดันที่ขา DADJ

dc = ควิตซ์ไชเกิด (%)

$t_{ON}$  = ช่วงเวลาที่เปิด

$t_0$  = คาบเวลาของรูปคลื่น

จากความสัมพันธ์ดังในสมการจะเห็นได้ว่าเมื่อปรับค่าแรงดัน  $V_{DADJ}$  จะทำให้ค่าควิตซ์ไชเกิดของสัญญาณเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งค่าแรงดันนี้สามารถปรับเลือกได้อยู่ในช่วง 2.3 V ตามคุณสมบัติทางเทคนิคของ MAX038

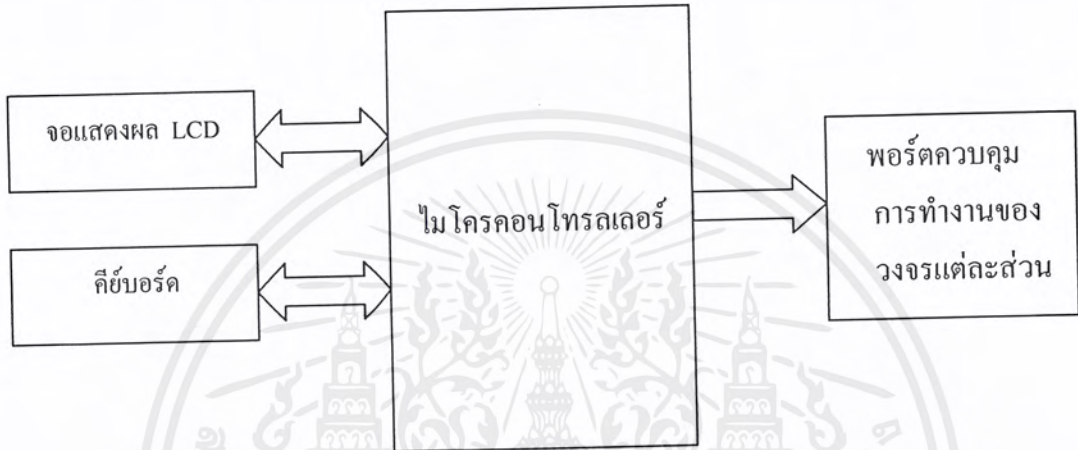
**2.3.5 ปรับเลือกแอมพลิจูด** เป็นการปรับตั้งเพื่อกำหนดค่าแอมพลิจูดของสัญญาณเอาต์พุตที่เกิดขึ้น โดยใช้ ออปแอมป์ต่อเป็นวงจรขยายแบบอินเวอร์ตติ้งแอมป์ และสามารถเลือกอัตราขยายโดยการเปลี่ยนค่า  $R_f$  ซึ่งในที่นี้จะใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ในการปรับเปลี่ยนค่าความต้านทาน

## 2.3 ภาคไมโครคอนโทรลเลอร์

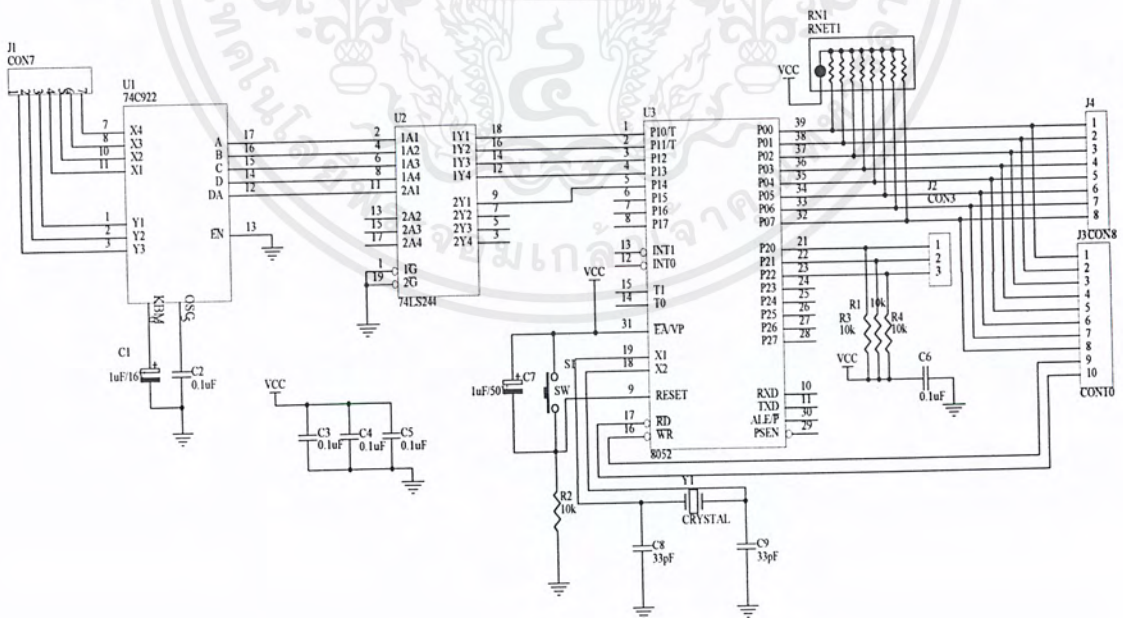
จากระบบควบคุมดังที่ได้กล่าวไปแล้วจะเห็นได้ว่าการทำงานในระบบควบคุมทุกส่วนจะอยู่ในรูปของการปรับตั้งค่าแรงดันไฟตรง ดังนั้นเมื่อนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ในการควบคุมซึ่งให้ผลการเปลี่ยนแปลงแบบดิจิทัลจึงต้องทำการเปลี่ยนแปลงค่าข้อมูลเหล่านั้นให้เป็นแรงดันไฟตรงที่สัมพันธ์กับค่าข้อมูลก่อนด้วยวงจร DAC (Digital to Analog Converter) ซึ่งจะต่ออยู่กับพอร์ตควบคุมต่างๆ ระดับแรงดันไฟตรงที่ได้จากเอาต์พุตของวงจร DAC จะถูกส่งไปควบคุมการปรับตั้งค่าต่างๆ ในส่วนของวงจรกำเนิดรูปสัญญาณ การปรับตั้งค่าความถี่ ค่าควิตซ์ไชเกิด ส่วนการควบคุม

การเลือกโหมดการทำงานจะใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์สวิตซ์ทำหน้าที่เลือกการควบคุมทางดิจิทัลโดยตรง

จากรูปที่ 2.21 สามารถแบ่งวงจรได้เป็น 4 ภาค คือ ภาคไมโครคอนโทรลเลอร์ ภาคการส่งข้อมูลออกพอร์ตเอาต์พุต จอแสดงผล LCD และภาคคีย์บอร์ด และรูปที่ 2.9 แสดงวงจรภาคไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.21 แสดงบล็อกโคะแกรมการทำงานของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์



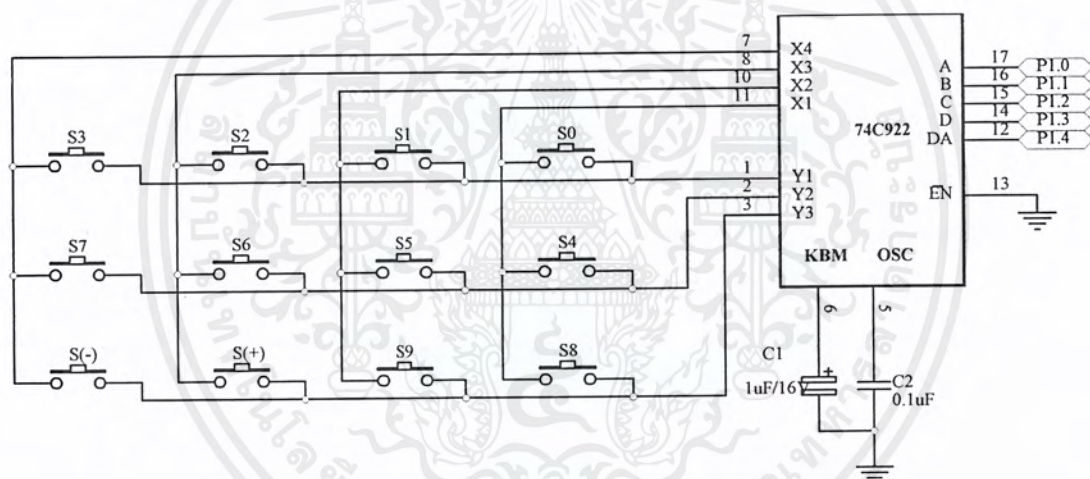
รูปที่ 2.22 วงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.1 ภาครับข้อมูลการสั่งการทางคีย์บอร์ด

การรับคำสั่งควบคุมจากผู้ใช้งานสามารถทำได้โดยการกดปุ่มบนคีย์บอร์ด ซึ่งแบ่งเป็น 12 ปุ่ม คือเลข 0-9 และเครื่องหมายบวกและลบโดยเลือกใช้ไอซีเข้ารหัสคีย์บอร์ดเบอร์ 74C922 (16 Key Encode) มาใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 2.22

การเชื่อมต่อสวิทช์ทั้ง 12 ปุ่ม ซึ่งเป็นสวิทช์แบบกดคิดป้อนเป็นเมตริกซ์ โดยใช้ขา  $X_1 - X_4$  และ  $Y_1 - Y_3$  ต่อร่วมกัน รหัสข้อมูลที่ได้จากการเข้ารหัสสามารถแทนได้ด้วยข้อมูล 4 บิตที่เอาต์พุตขา A,B,C และ D ซึ่งจะเชื่อมต่อเข้ากับขาไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ขา P1.0-P1.4 การส่งข้อมูลรหัสคีย์บอร์ดออกจากเอาต์พุตจะสัมพันธ์กับสถานะของขา DA (Data Available) ซึ่งจะเปลี่ยนสถานะเป็นโลจิกไฮเมื่อมีการกดคีย์และมีการส่งข้อมูลออก ดังนั้นเพื่อทำการรับข้อมูลมาประมวลผลต่อไป ซึ่งที่ขา DA นี้จะถูกต่อเข้ากับบัสข้อมูลที่ขา D, สำหรับรหัสการกดคีย์ทั้ง 12 ปุ่ม และความหมายของแต่ละคีย์แสดงดังในตารางที่ 2.4



รูปที่ 2.22 แสดงวงจรภาครับข้อมูลการสั่งการจากคีย์บอร์ด

ตารางที่ 2.4 แสดงรหัสและความหมายของแต่ละคีย์บนคีย์บอร์ดทั้ง 12 คีย์

ตำแหน่งสวิตช์	ข้อมูลเอาต์พุต				ความหมาย
	D	C	B	A	
0 (Y1,X1)	0	0	0	0	เลข0
1 (Y1,X2)	0	0	0	1	เลข1
2 (Y1,X3)	0	0	1	0	เลข2
3 (Y1,X4)	0	0	1	1	เลข3
4 (Y2,X1)	0	1	0	0	เลข4
5 (Y2,X2)	0	1	0	1	เลข5
6 (Y2,X3)	0	1	1	0	เลข6
7 (Y2,X4)	0	1	1	1	เลข7
8 (Y3,X1)	1	0	0	0	เลข8
9 (Y3,X2)	1	0	0	1	เลข9
10(Y3,X3)	1	0	1	0	เครื่องหมาย
11 (Y3,X4)	1	0	1	1	บวกลบ

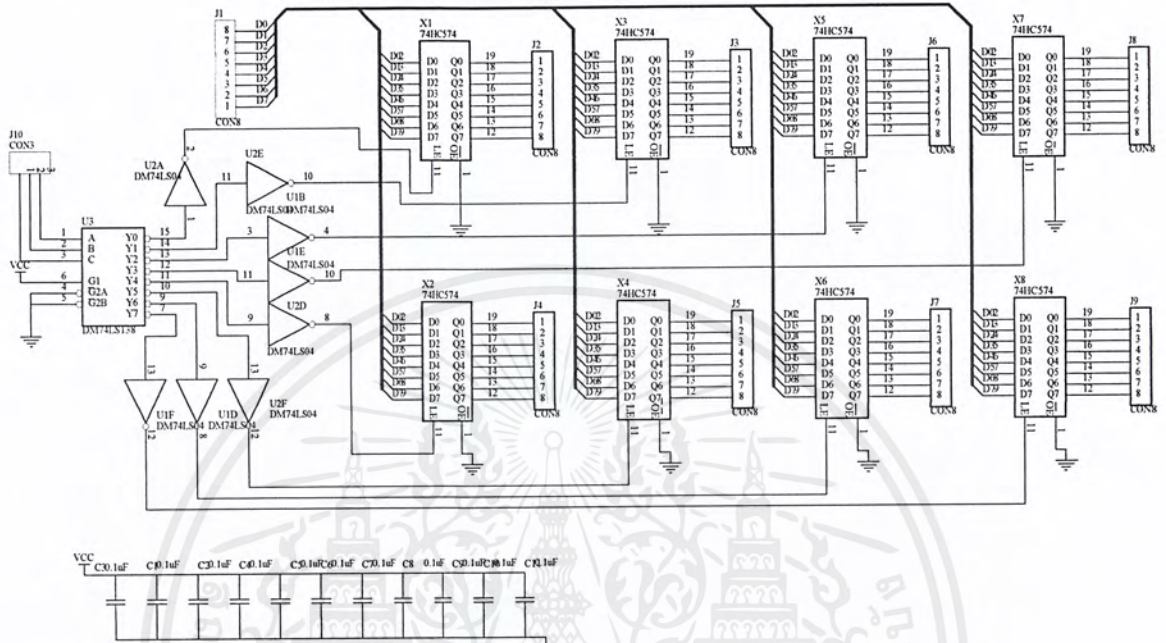
การอินทิเกรตให้ไอซี 74C922 ทำงานโดยจะให้ขา KEY EN ต่อกับกราวด์ สำหรับตัวเก็บประจุค่า 0.1 ไมโครฟารัดที่ต่อเข้ากับขา OSC ทำหน้าที่ในการกำหนดสัญญาณนาฬิกาในการทำงานให้กับ 74C922 ส่วนตัวเก็บประจุค่า 1 ไมโครฟารัดที่ต่อเข้ากับขา KBM ทำหน้าที่ในการกำหนดช่วงเวลาการดีเบานซ์ (Debounce Period) เพื่อแก้ปัญหาการเกิดเบานซ์ของสวิตช์

#### 2.4.2 ภาคการส่งข้อมูลผ่านพอร์ต

ภาคการส่งข้อมูลผ่านพอร์ตแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนใหญ่คือ ส่วนของการถอดรหัสตำแหน่งพอร์ตและอีกส่วนหนึ่งคือวงจรแลตซ์ข้อมูลลงพอร์ต ดังแสดงในรูปที่ 2.23

ในส่วนการถอดรหัสตำแหน่งพอร์ตจะใช้ไอซีเบอร์ 74HC138 (3 Line to 8 Line Decode) ทำหน้าที่โดยเชื่อมต่อขาอินพุต A,B และ C เข้ากับ ขา P2.0-P2.2 จากนั้นทำการถอดรหัสข้อมูลเพิ่มใช้

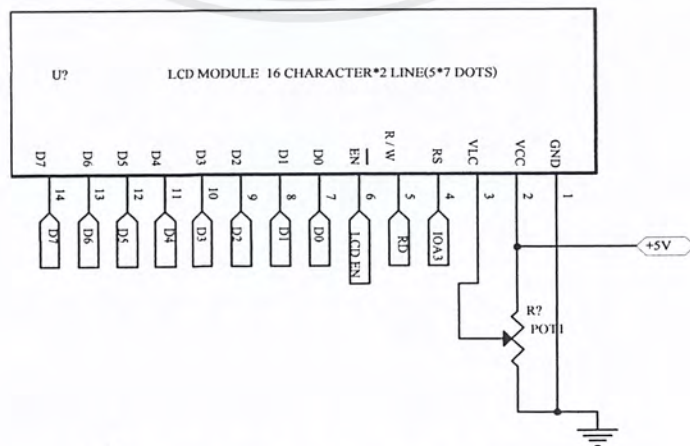
ในการอินทิเกรตให้กับวงจรแลตซ์ข้อมูลซึ่งจะใช้ไอซีเบอร์ 74HC574 สำหรับการส่งข้อมูลมาควบคุมการทำงานในส่วนวงจรต่างๆ



รูปที่ 2.23 วงจรภาคส่งข้อมูลผ่านพอร์ต

### 2.4.3 ภาคจอแสดงผล LCD

การแสดงผลการทำงานของเครื่องออกแบบให้ใช้จอแสดงผล LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัดซึ่งสามารถแสดงข้อความตัวอักษร ได้อย่างชัดเจนและทำให้ผู้ใช้งานทำความเข้าใจได้ง่าย การเชื่อมต่อจอแสดงผล LCD เข้ากับภาคไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงดังในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 แสดงวงจรภาคแสดงผล LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จอแสดงผล LCD มีขาต่อใช้งานทั้งหมด 14 ขา ตัวด้านทานปรับค่าได้ที่ต่อที่ขา 3 ของจอแสดงผล LCD ทำหน้าที่ในการปรับความเข้มในการแสดงผลและจากวงจรที่เชื่อมต่อขา P3.7 เข้ากับขา RS (Register Select) ซึ่งทำหน้าที่ในการเลือกรีจิสเตอร์ที่รับคำสั่งและรีจิสเตอร์ที่รับข้อมูลการแสดงผลและขา EN ที่เชื่อมต่อเข้ากับขาสัญญาณ LCD จึงทำให้ตำแหน่งแอดเดรส

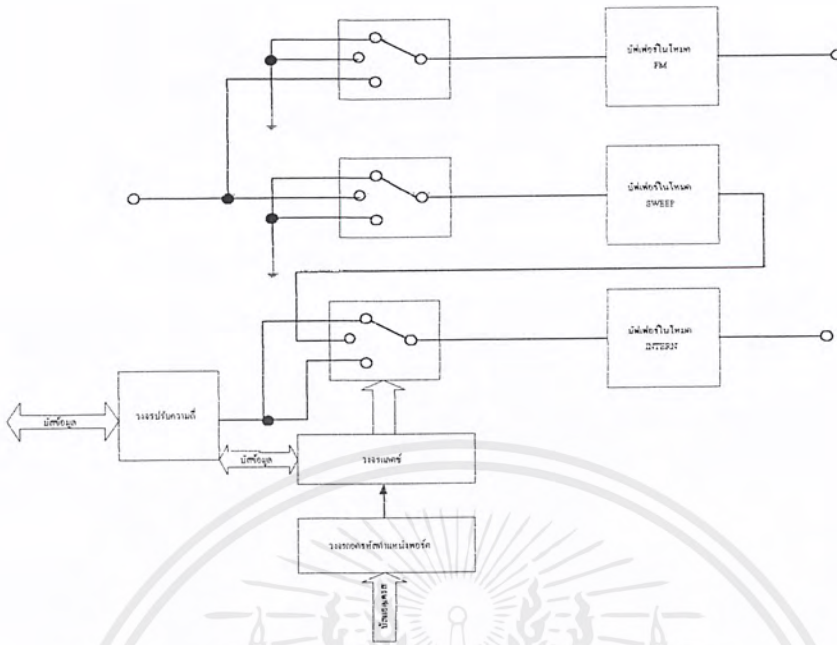
## 2.5 การควบคุมเพื่อเลือกโหมดการทำงาน

การควบคุมเพื่อเลือกโหมดการทำงานออกแบบให้ใช้ไอ้เกิ้ลทรอนิกส์สวิทช์ 3 ตำแหน่ง จำนวน 3 ชุด จัดการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.25 การกำหนดตำแหน่งของสวิทช์จะถูกควบคุมโดย ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ตำแหน่งการทำงานดังนี้

- ในโหมดการทำงานปกติ การควบคุมที่ FADJ จะไม่ถูกต่อใช้งาน ไม่มีการป้อนสัญญาณไปยังปีเฟอร์ในโหมดเอฟเอ็ม ไม่มีการป้อนสัญญาณไปยังบีฟเฟอร์ในโหมดสวีป การควบคุมความถี่จะใช้จากวงจรปรับความถี่เท่านั้น ซึ่งจะป้อนแรงดันไฟตรงที่กำหนดค่าความถี่ไปยังขา IIN

- ในโหมดการทำงานแบบสวีป การควบคุมที่ขา FADJ จะไม่ถูกใช้งาน ไม่มีการป้อนสัญญาณไปยังปีเฟอร์ในโหมดเอฟเอ็ม แต่ที่ตำแหน่งนี้สัญญาณควบคุมการสวีปจากภายนอกจะถูกต่อผ่านปีเฟอร์ในโหมดสวีป และส่งผ่านไปยังปีเฟอร์ในโหมดการทำงานปกติ ก่อนส่งค่าแรงดันในการสวีปซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง +1V ไปยังขา IIN ของ MAX038 ดังนั้นการควบคุมความถี่จะใช้จากระดับสัญญาณไฟตรงจากภายนอกเท่านั้น

- ในโหมดการทำงานแบบเอฟเอ็ม การควบคุมที่ขา FADJ จะถูกต่อเข้ากับสัญญาณภายนอกที่ต้องการนำมอดูเลตกับสัญญาณที่กำเนิดจาก MAX038 ระดับแรงดันไฟตรงจะมีค่าอยู่ในช่วง +V ถึง -V ซึ่งทำให้ความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงจากค่าความถี่หลักเพิ่มสูงขึ้นและลดลงตามระดับแรงดันไฟตรงที่ป้อนเข้ามอดูเลต ที่ตำแหน่งนี้ปีเฟอร์ในโหมดสวีปจะไม่ถูกต่อใช้งาน ไม่มีการป้อนสัญญาณไปยังปีเฟอร์ในโหมดสวีป ในโหมดนี้จะมีการปรับความถี่ของวงจรกำเนิดสัญญาณด้วย โดยการนำจากวงจรปรับความถี่เพื่อทำการปรับตั้งค่าความถี่หลักที่ใช้ในการนำไปมอดูเลต ซึ่งจะป้อนแรงดันไฟตรงที่กำหนดค่าความถี่ไปยังขา IIN



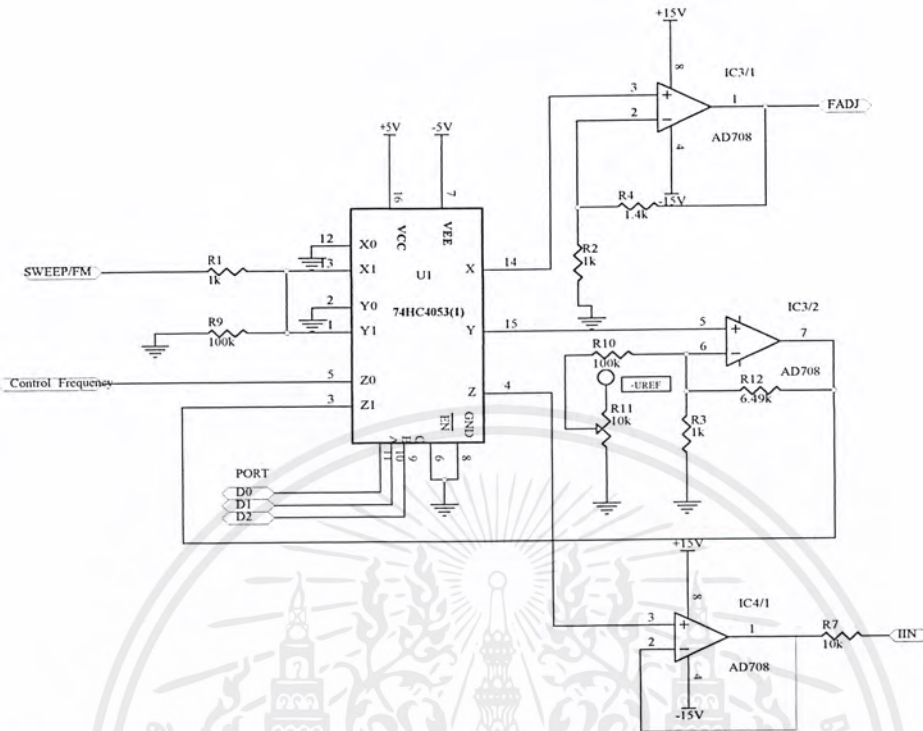
รูปที่ 2.25 แสดงการควบคุมเพื่อเลือกโหมดการทำงาน

### 2.5.1 วงจรส่วนควบคุมเพื่อเลือกโหมด

จากวงจรรูปที่ 2.26 จะใช้อะนาลอกมัลติเพล็กซ์ (Analog Multiplex) แทนสวิตช์เลือกโหมดการทำงาน ซึ่ง อะนาลอกมัลติเพล็กซ์ ดับเบิล โพลิชัน (Single pole, Double Position) แสดงตามรูปที่ 2.26 เนื่องจากสวิตช์ภายนอกในอะนาลอกมัลติเพล็กซ์ เป็นสวิตช์แบบ 2 ตำแหน่ง ซึ่งแตกต่างจากบล็อกล็อกไดอะแกรมการควบคุมเพื่อเลือกโหมดการทำงานที่เป็นสวิตช์แบบ 3 ตำแหน่ง ทำให้การควบคุมสวิตช์ของวงจรส่วนควบคุมเพื่อเลือกโหมดการทำงานต่างจากบล็อกล็อกไดอะแกรมการควบคุมเพื่อเลือกโหมดการทำงาน การควบคุมตำแหน่งของสวิตช์แต่ละตัวภายในอะนาลอกมัลติเพล็กซ์จะถูกควบคุมจากขา A,B และ C สัญญาณที่ควบคุมจะถูกส่งมาจากพอร์ต 00H จากไมโครคอนโทรลเลอร์ สัญญาณควบคุมที่ถูกส่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงสถานะที่ขา A,B และ C ของ 74HC4053 เมื่อเลือกโหมดการทำงานต่างๆ

โหมดการทำงาน	ขาของไอซี 74HC 4053		
	A	B	C
INTERN	0	0	0
SWEEP	0	1	1
FM	1	0	0



รูปที่ 2.26 วงจรควบคุมเพื่อเลือกโหมดการทำงาน

การทำงานของวงจรในแต่ละโหมดจะมีต่อไปนี้

- โหมดการทำงานแบบปกติ อินพุตของไอซี 3/1 และ 3/2 จะต่อผ่านอะนาลอกมัลติเพล็กซ์ลงกราวด์ และไอซี 4/1 ระบุรับแรงดันเพื่อใช้ในการปรับค่าความถี่ผ่านอะนาลอกมัลติเพล็กซ์ โดยไอซี 4/1 จะทำหน้าที่เป็นปฟเฟอร์ เอาต์พุตของไอซี 4/1 จะต่อกับตัวต้านทาน 10K เพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันที่รับเข้ามาให้เป็นกระแสใช้ในการควบคุมความถี่ที่ไอซี MAX038 ผลิตขึ้น

- โหมดการทำงานแบบสวீป อินพุตของไอซี 3/1 จะต่อผ่านอะนาลอกมัลติเพล็กซ์ลงกราวด์ ไอซี 3/2 จะรับสัญญาณจากสวี่ป/เอฟเอ็ม อินพุต ( SWEEP/FM INPUT ) ผ่านอะนาลอกมัลติเพล็กซ์เพื่อขยายสัญญาณที่รับเข้ามา สัญญาณที่รับเข้ามาจะมีแอมพลิจูด ( Amplitude ) ตั้งแต่ 0-1 V ไอซี 3/2 จะขยายให้สัญญาณทางเอาต์พุตเป็น 7.5 เท่าของสัญญาณอินพุต ที่ขา 6 ของไอซี 3/2 จะต่อตัวต้านทาน 100K อนุกรมกับตัวต้านทานปรับค่าได้ 10K เพื่อทำหน้าที่ปรับค่าความถี่ต่ำสุดในการสวี่ป สัญญาณเอาต์พุตของไอซี 3/2 จะต่อผ่านสวิทช์ภายในอะนาลอกมัลติเพล็กซ์อีกชุดหนึ่ง เพื่อป้อนให้ไอซี 4/1 เอาต์พุตของไอซี 4/1 จะต่อตัวต้านทาน 10K เพื่อเปลี่ยนแรงดันให้เป็นกระแส ควบคุมความถี่ที่ไอซี MAX038 ผลิตขึ้นให้เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณที่รับเข้ามาทางสวี่ป/เอฟเอ็ม อินพุต

- โหมดการทำงานแบบเอฟเอ็ม เป็นโหมดที่ใช้ในกามอดูเลตสัญญาณแบบเอฟเอ็ม สัญญาณที่นำมามอดูเลตจะป้อนเข้าที่ สวี่ป/เอฟเอ็ม อินพุตเหมือนกับโหมดการทำงานแบบสวี่ป

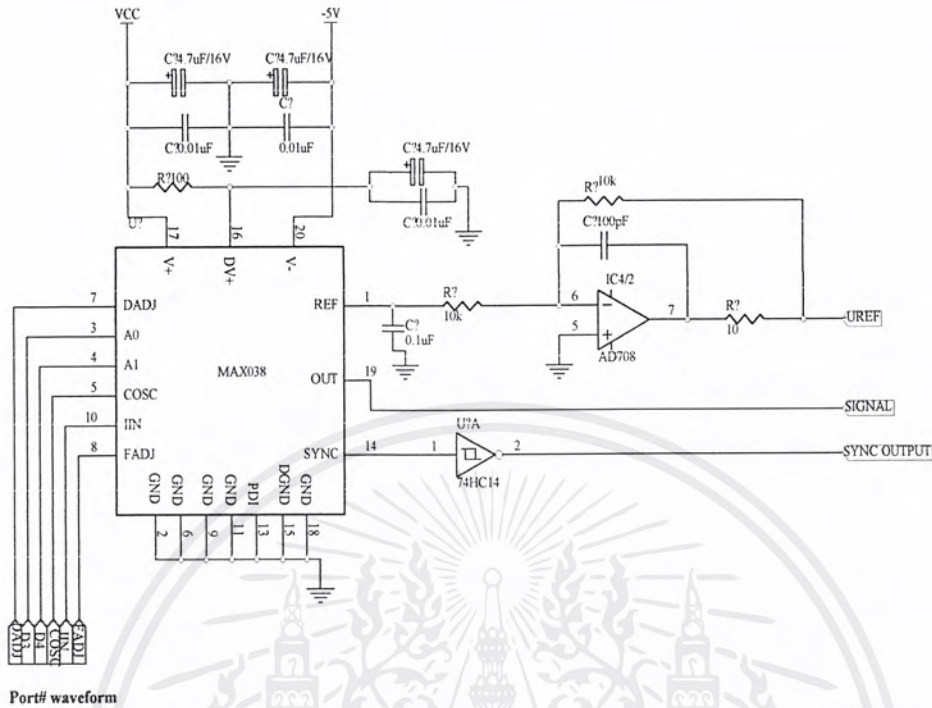
แต่ตำแหน่งของสวิตช์ภายในไอซีอะนาลอกมัลติเพล็กซ์จะต่างกัน โดยในโหมดนี้อินพุตของไอซี 3/2 จะถูกสวิตช์ภายในไอซีอะนาลอกมัลติเพล็กซ์ต่อลงกราวด์ อินพุตไอซี 4/1 จะถูกสวิตช์ภายในไอซีอะนาลอกมัลติเพล็กซ์ต่อวงจรปรับต่อความถี่ ซึ่งในโหมดการทำงานแบบเอฟเอ็มนี้วงจรปรับค่าความถี่จะทำหน้าที่ปรับค่าความถี่กลางที่จะนำไปมอดูเลตกับสัญญาณที่รับเข้ามา ส่วนไอซี 3/1 จะถูกสวิตช์ภายในไอซีอะนาลอกมัลติเพล็กซ์เชื่อมต่อกับสวิป/เอฟเอ็มอินพุต เพื่อรับสัญญาณที่จะนำมามอดูเลต ซึ่งแอมพลิจูดตั้งแต่  $-1$  โวลต์จนถึง  $+1$  โวลต์สัญญาณที่รับเข้ามาที่จะถูกไอซี 3/1 ขยายให้มีแอมพลิจูดเพิ่มขึ้นเป็น 2.4 เท่าป้อนให้กับขา FADJ ของไอซี MAX038 เพื่อใช้ในการควบคุมความถี่ที่ไอซี MAX038 ผลิตขึ้น เบี่ยงเบนออกจากความถี่กลาง ตามค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุต ที่รับเข้ามา

## 2.6 การควบคุมเพื่อปรับเลือกรูปสัญญาณและวงจรใช้งานของ MAX038

จากข้อมูลในตารางที่ 2.3 การปรับเลือกสัญญาณจะทำได้โดยการกำหนดค่าลอจิกไปยังขา  $A_0$  และ  $A_1$  ของ MAX038 โดยมีการจัดวงจรดังแสดงในรูปที่ 2.27 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะกำหนดการเลือกรูปสัญญาณมาทางบัสข้อมูล ในขณะที่เดียวกันก็จะระบุให้วงจรถอดรหัสตำแหน่งพอร์ตอีนามิเบิลการรับข้อมูลจากนั้นข้อมูลจะถูกแลตช์ (latch) ไว้ ข้อมูลที่ใช้ควบคุมจะเป็นไป ดังแสดงในตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.27 แสดงวงจรการควบคุมเพื่อปรับเลือกรูปสัญญาณ

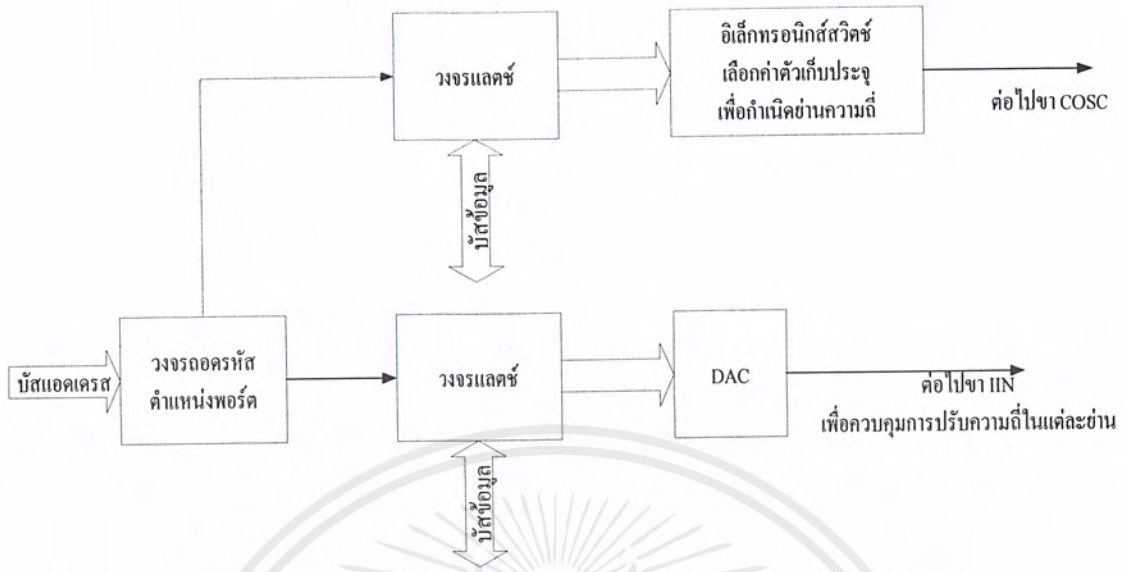


รูปที่ 2.28 วงจรสมบรูณ์ที่เชื่อมต่อกับ MAX038

จากรูปที่ 2.28 ลอจิกที่ใช้ในการปรับเลือกรูปสัญญาณจะถูกส่งมาจากพอร์ต 00H ของ ไมคอนโทรลเลอร์ ส่วนขาควบคุมควิตซ์ไชเกิล,ควบคุมความถี่ ,ควบคุมการเบี่ยงเบนของความถี่และ ควบคุมย่านความถี่ จะรับค่าแรงดันและกระแสจากวงจรควบคุมมาควบคุมการทำงานของไอซี MAX038 ขา OUT ของไอซี MAX038 จะส่งสัญญาณที่ผลิตขึ้น ไปยังวงจรปรับแอมพลิจูดปรับขา REF ของไอซี MAX038 จะผลิตแรงดันอ้างอิง 2.5 V ผ่านวงจรกลับเฟสสัญญาณเพื่อเปลี่ยนแรงดัน อ้างอิง +2.5V ให้เป็น -2.5V ขา SYNC ของไอซี MAX038 จะต่อกับขมิตต์ทริกเกอร์และใช้เอาต์ พุดของเกิดเป็น SYNCเอาต์พุต

### 2.7 การควบคุมเพื่อปรับเลือกความถี่

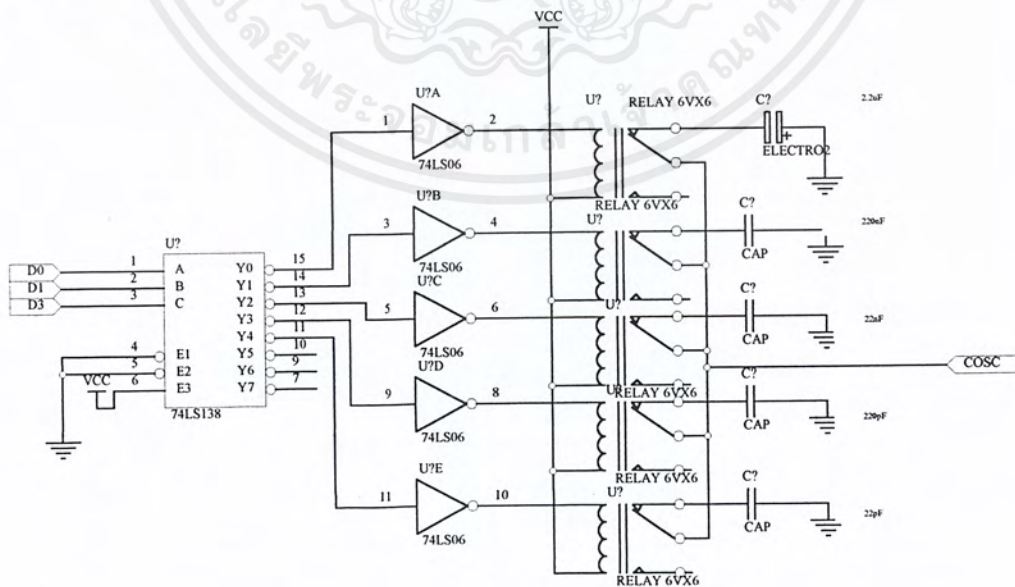
การควบคุมเพื่อปรับเลือกความถี่มี 2 ขั้นตอน การกำหนดย่านความถี่ซึ่งมีอยู่ทั้งหมด 6 ย่าน คือช่วงต่อไปเป็นขั้นตอนการกำหนดค่าความถี่ที่ต้องการ ซึ่งการปรับย่านความถี่กับการกำหนดย่าน ความถี่จะต้องมีความสัมพันธ์กัน ตามรูปที่ 2.29 แสดงบล็อกไดอะแกรมการควบคุมเพื่อปรับเลือก ความถี่



รูปที่ 2.29 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมเพื่อปรับเลือกความถี่

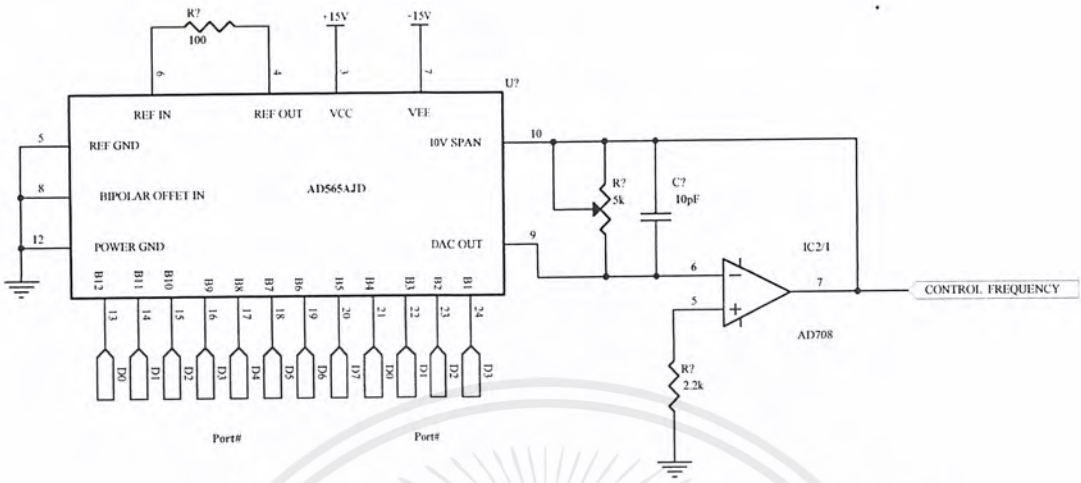
### 2.7.1 ขั้นตอนการกำหนดย่านความถี่

การกำหนดย่านความถี่ของไอซี MAX038 จะถูกกำหนดโดยค่าความจุของคาปาซิเตอร์ที่ต่ออยู่กับขา COSC ของไอซี MAX 038 และการทำงานของรีเลย์จะถูกควบคุมโดยไอซี 74LS138 ซึ่งทำหน้าที่ที่เป็นดีโคเดอร์ (Decoder) โดยสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมไอซี 74LS138 นี้จะถูกส่งมาจากพอร์ต 06H ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 แสดงวงจรควบคุมการกำหนดย่านความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 แสดงวงจรควบคุมการกำหนดความถี่ด้วยข้อมูลขนาด 12 บิต

### 2.7.2 ขั้นตอนการกำหนดความถี่

การกำหนดความถี่ของไอซี MAX038 จะใช้กระแสที่ป้อนเข้าที่ขา IIN ของไอซี MAX038 เป็นตัวกำหนด ซึ่งกระแสที่ใส่จะอยู่ระหว่าง  $16 \mu A$  ถึง  $250 \mu A$  เพื่อให้ง่ายต่อการควบคุมจึงใช้การปรับแรงดันแทนการปรับกระแส โดยนำแรงดันที่ปรับได้มาอนุกรมกับตัวต้านทาน 10K เพื่อเปลี่ยนแรงดันให้เป็นกระแสจึงสามารถใช้แรงดันควบคุมความถี่ที่ไอซี MAX038 ผลิตขึ้นได้ จากรูปที่ 2.19 แรงดันที่ใช้ควบคุมความถี่จะได้มาจากไอซี AD565AJD ซึ่งเป็นไอซีที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลให้เป็นอนาลอก โดยสัญญาณดิจิทัลที่รับเข้ามาจะมีขนาด 12 บิต เอาต์พุตของไอซี AD565AJD จะต่อกับ ไอซี 2/2 ซึ่งเป็นออปแอมป์ใช้ทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสให้เป็นแรงดัน และแรงดันทางเอาต์พุตจะต้องมีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.5V ทำให้เมื่อแปลงเป็นกระแสแล้วมีค่า  $250 \mu A$  การปรับค่าแรงดันทางเอาต์พุตของ ไอซี 2/1 ทำได้โดยการปรับค่าของตัวต้านทาน 5k สัญญาณดิจิทัลที่ใช้ในการควบคุมแรงดันเพื่อปรับค่าความถี่ที่ MAX038 ผลิตขึ้นจะมาจากพอร์ต 01H และ 02H ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์

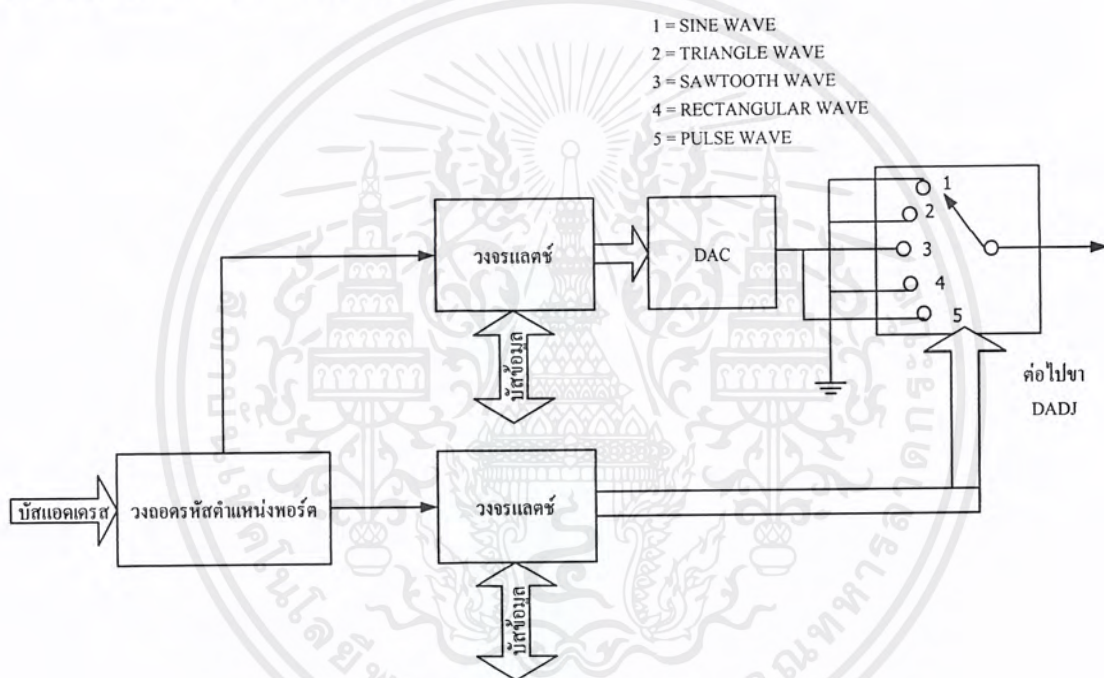
### 2.8 การควบคุมเพื่อปรับเลือกค่าความถี่ไซกิล

การควบคุมเพื่อปรับเลือกค่าความถี่ไซกิลมี 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการกำหนดเลือกสวิทช์ควบคุมตำแหน่งรูปสัญญาณพื้นเลื้อยและสัญญาณพัลส์เท่านั้น และขั้นตอนการกำหนดค่าความถี่ไซกิล ดังแสดงการจัดการทำงานในรูปที่ 2.32 ในส่วนของการกำหนดเลือกสวิทช์ควบคุมการปรับความถี่ไซกิล ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งผ่านการควบคุมมายังตำแหน่งพอร์ตของวงจรแลตซ์เพื่อกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งของสวิตช์ควบคุมข้อมูลที่ที่คุมการปรับคิตัว้ไ้เกิด ซึ่งออกแบบให้สามารถทำการปรับค่าคิตัว้ไ้เกิดได้เฉพาะที่แลตซ์ไ้จะไปควบคุมให้สวิตซ์อิเล็ททรอนิกส์ทำการปรับระดับแรงดันไฟตรงที่ได้จากการปรับตั้งค่าไ้ป้อนผ่านไปยังขา DADJ ของMAX038 เฉพาะเมื่อมีการเลือกรูปสัญญาณเอาต์พุตเป็นรูปฟันเลื่อยและรูปพัลส์เท่านั้น

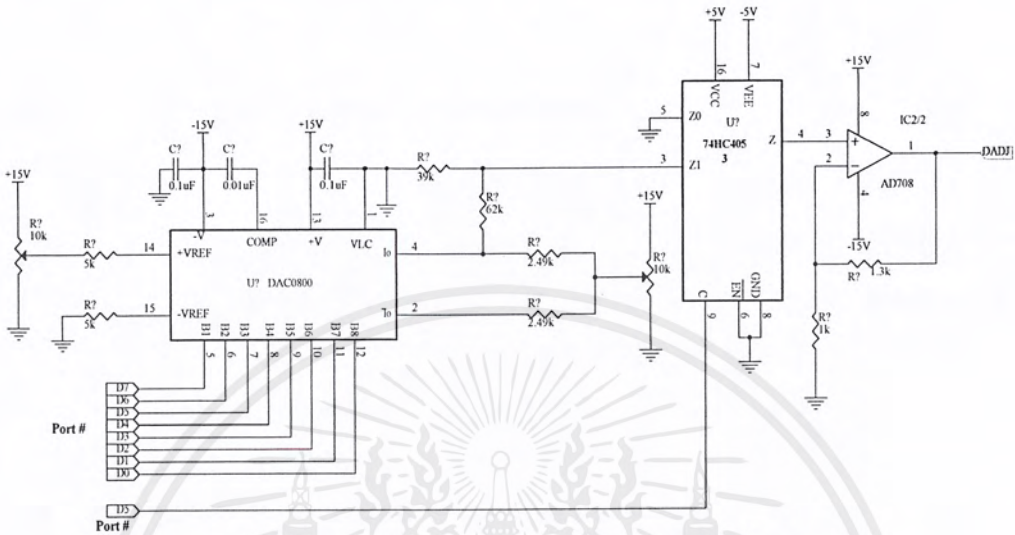
เมื่อกำหนดเลือกสวิตช์ควบคุมการปรับคิตัว้ไ้เกิดแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งข้อมูลไปยังตำแหน่งของพอร์ตเพื่อกำหนดค่าคิตัว้ไ้เกิด ข้อมูลที่แลตซ์ไ้จะถูกส่งไปยังวงจรแปลงข้อมูลดิจิตอลเป็นสัญญาณอะนาลอก (DAC) ระดับแรงดันไฟตรงที่ได้จะถูกต่อไปยังสวิตช์ควบคุมการปรับคิตัว้ไ้เกิดและส่งผ่านต่อไปยังขา DADJ



รูปที่ 2.32 แสดงการควบคุมเพื่อปรับเลือกค่าคิตัว้ไ้เกิด

การปรับค่าคิตัว้ไ้เกิดทำได้โดยป้อนแรงดันไฟตรงตั้งแต่ -2.3 ถึง +2.3 เข้าที่ขา DADJ ของไอซี MAX038 การปรับค่าแรงดันที่ป้อนขา DADJ ของไอซี MAX038 จะได้มาจากวงจรแปลงข้อมูลดิจิตอลเป็นสัญญาณอะนาลอกดังแสดงในรูปที่2.33 ซึ่งข้อมูลที่จะนำมาแปลงนั้นจะได้มาจากพอร์ต 04H ของไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากมีรูปสัญญาณเพียง 2 แบบที่สามารถปรับคิตัว้ไ้เกิดได้ ดังนั้นแรงดันจากวงจรแปลงข้อมูลดิจิตอลเป็นสัญญาณอะนาลอกจะต้องผ่านอะนาลอกมัลติเพล็กซ์เพื่อเอกรปรับค่าคิตัว้ไ้เกิดเฉพาะรูปคลื่นฟันเลื่อยและรูปคลื่นพัลส์ ส่วนรูปคลื่นอื่นอะนาลอกมัลติเพล็กซ์จะต่อให้ขา DADJของไอซีMAX038 ลงกราวด์เพื่อให้ได้ค่าคิตัว้ไ้เกิดของ

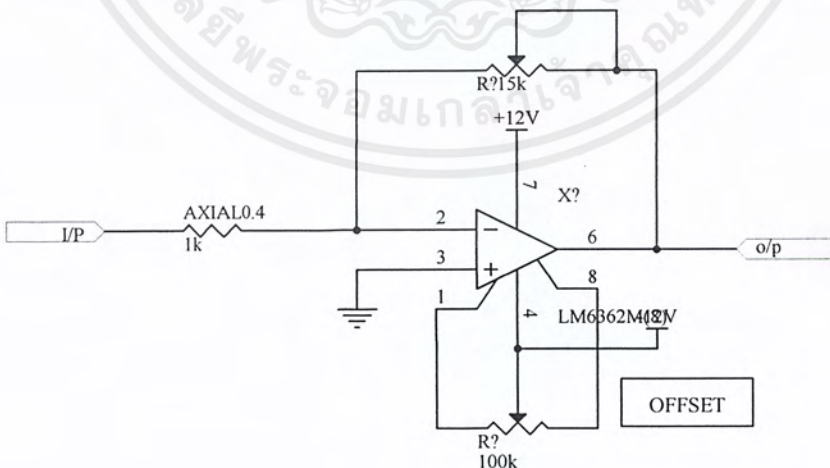
รูปสัญญาณอื่นมีค่าเท่ากับ 50% ไอซี 2/2 ซึ่งออปแอมป์ที่ต่อจากเอาต์พุตของอะนาล็อกมัลติเพล็กซ์ จะทำหน้าที่ที่ปรับค่าแรงดันเพื่อควบคุมค่าความถี่ไซเคิลของ ไอซี MAX038 ให้เหมาะสม



รูปที่ 2.33 แสดงวงจรควบคุมการปรับค่าความถี่ไซเคิล

## 2.9 ปรับเลือกแอมพลิฟายด์

เป็นการปรับตั้งเพื่อกำหนดค่าแอมพลิฟายด์ของสัญญาณเอาต์พุตที่เกิดขึ้น โดยใช้ ออปแอมป์ ต่อเป็นวงจรขยายแบบอินเวอร์ตติ้งแอมป์ และสามารถเลือกอัตราขยายโดยการเปลี่ยนค่า  $R_f$  ซึ่งในที่นี้จะใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ในการปรับเปลี่ยนค่าความต้านทาน ดังแสดงในรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 วงจรปรับแอมพลิฟายด์

## 2.10 วงจรนับความถี่

วงนับความถี่จะประกอบด้วย IC1 ,IC2-IC7 สัญญาณอินพุตที่ต้องการจะนับความถี่จะถูกป้อนเข้าที่ขา 1 ของIC2 โดยที่ IC2 จะเป็นวงจรรับหารความถี่อันดับแรก แล้วส่งผ่านสัญญาณที่ถูกรับหารแล้วไปยังหลักต่อไปหรือวงจรรับหลักต่อไปคือ IC3 พร้อมกับทำการนับ และหารสิบเช่นกัน และจะถูกส่งผ่านออกไปยังหลักต่อไปจนถึงหลักสุดท้ายที่ IC7 ซึ่งการต่อกันของ IC2-IC7 จะเป็นการต่อในลักษณะคาสเคดนับและหารสิบ IC2-IC7 สามารถให้เอาต์พุตออกมาจับชุดแสดงผล 7 ส่วน ได้โดยตรงไม่ต้องอาศัยตัวต้านทานจำกัดกระแสให้กับชุดแสดงผล 7 ส่วน จึงเป็นการประหยัด และเป็นการสะดวกขึ้นมากกว่า

เนื่องจากวงจรรับความถี่ประกอบขึ้นจากวงจรรับหารความถี่ 6 หลัก ซึ่งใช้ CD4026B หลังจากการแสดงผลรวมกันทั้งหกหลักนี้เอง จึงทำให้สามารถที่จะแสดงค่าออกมาได้ทั้งหมด 6 หลัก และเลือกค่าในการอ่านได้สามย่าน คือ 99999.9,9999.99 หรือ 999.999 กิโลเฮิร์ตซ์ การแสดงผลในลักษณะนี้ก็จะขึ้นอยู่กับค่าเวลาของเกตหรือค่าที่เกิดการลุ่มด้วยค่าของตัวเก็บประจุ ผลคืออีกอย่างของ CD4026B คือจุดทศนิยม (decimal point) ของแต่ละหลักจะไม่ขึ้นตรงต่อกัน จะแยกอิสระจากกันในแต่ละหลักของชุดแสดงผล 7 ส่วน ผลจากการต่อคาสเคดกัน 6 หลักของ CD4026B ทำให้วงจรรับความถี่นี้สามารถ ที่จะนับความถี่ที่ 10 เมกกะเฮิร์ตซ์ เมื่อสวิตช์ SW1ทำหน้าที่เลือกจุดทศนิยมซึ่งจะสัมพันธ์กันกับการเลือกค่าเวลาเกต ก็จะแสดงออกมาเป็นค่า 10000.0 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งก็คือ 10 เมกกะเฮิร์ตซ์ นั่นเอง

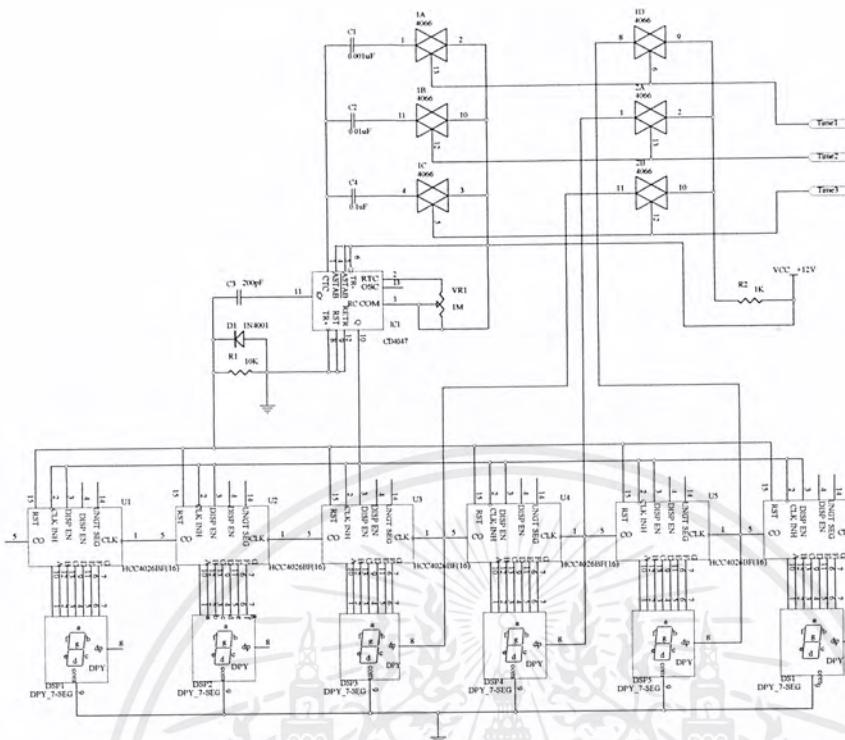
วงจรรีเลือกค่าเวลาเกต จะใช้ IC1 คือ 4047Bเป็นวงจรรับหารความถี่และกำหนดค่าเวลาเกตให้กับวงจรรับความถี่โดยค่าเวลาเกตในแต่ละช่วงจะถูกกำหนดจากค่าของ C1, C2 หรือ C3 ที่ทำการเลือกโดย SW1 –SW3 ค่าของตัวเก็บประจุเหล่านี้ที่ถูกเลือกจะถูกนำมารวมกับค่าของ VR1 ประกอบกันเป็นวงจร RC ค่าเวลาคงที่

เมื่อเลือก SW1 ที่ตำแหน่ง C1 หลักหน่วยตัวเลขที่อยู่หน้าจุดทศนิยมจะเลื่อนขึ้นครั้งละ 10 กิโลเฮิร์ตซ์ และค่าเวลาเกตของตำแหน่งนี้จะเป็น 10 มิลลิวินาที

เมื่อเลือก SW2 ที่ตำแหน่ง C2 ตัวเลขหน้าจุดทศนิยมจะเลื่อนขึ้นครั้งละ 1000 กิโลเฮิร์ตซ์ และค่าเวลาเกตที่ตำแหน่งนี้จะเป็น 1 วินาที

เมื่อเลือก SW3 ที่ตำแหน่ง C3 ค่าเวลาเกตในย่านนี้จะนานมากคือ 10 วินาที ผลเกิดการกระพริบประมาณ 3 เฮิร์ตซ์อาจเป็นผลดีในแง่อ่านค่าออกมาง่าย แต่ส่วนมากแล้วจะไม่ค่อยดีเท่าใดนักกับการกระพริบของชุดแสดงผล

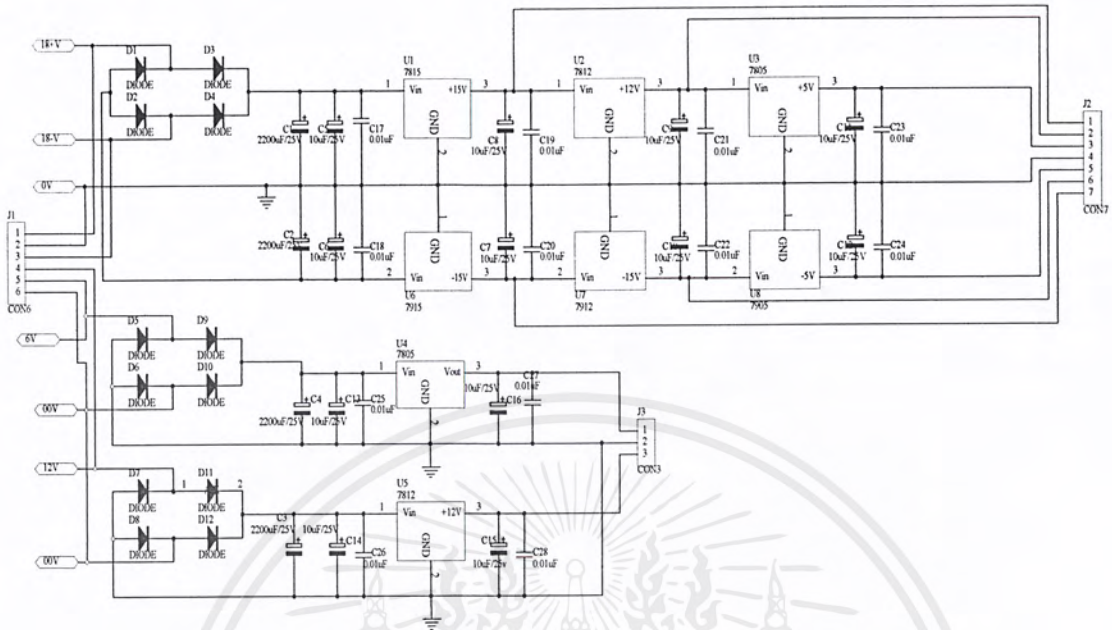
ตำแหน่งของ SW4 เป็นตัวเลือกว่าจะให้ชุดความถี่นี้ทำการนับความถี่ของสัญญาณที่กำหนดขึ้นจากวงจรถูกกำเนิดภายใน หรือจะให้ทำการนับความถี่ของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณภายนอก



รูปที่ 2.35 วงจรนับความถี่

2.11 การทำงานของวงจรภาคจ่ายไฟ

หม้อแปลงที่ใช้จะเป็นหม้อแปลงขนาด 3A 3 ขด ขดแรกจะเป็นขด 18V-0V-18V ขดที่สองจะเป็นขด 12V-0V และ 6V-0V ขด 18V-0V-18V จะใช้จ่ายให้กับวงจรกำเนิดสัญญาณและวงจรควบคุมโดยเมื่อผ่านวงจรเรกติไฟเออร์แบบบริดจ์ (Bridge Rectifier) และวงจรฟิเตอร์ (Filter) แล้วจะได้แรงดันไฟบวก ลบ และกราวด์ แรงดันที่ได้จะถูกทำให้มีค่าคงที่โดยใช้ไอซีเรกูเลเตอร์ (Regulator) ควบคุมแรงดันคงที่ 3 ขด ขดแรกจะควบคุมแรงดันคงที่ +15V กับ -15V โดยใช้ไอซีเรกูเลเตอร์เบอร์ 7815, 7915 ขดที่สองควบคุมแรงดันคงที่ +12V กับ -12V โดยใช้ไอซีเรกูเลเตอร์เบอร์ 7812, 7912 ขดที่สามจะควบคุมแรงดันคงที่ +5V กับ -5V โดยใช้ไอซีเรกูเลเตอร์เบอร์ 7805, 7905 ในส่วนของขดที่สองคือ 12V-0V จะใช้เฉพาะแรงดันที่เป็นแรงดันไฟบวก 12V เพื่อที่ใช้ให้วงจรนับความถี่ของฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ และขดที่สามคือ 6V-0V ใช้จ่ายให้กับวงจรควบคุมในส่วนของภาคไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยคาปาซิเตอร์ที่ต่ออยู่ที่ขาอินพุตและเอาต์พุตของไอซีเรกูเลเตอร์จะทำหน้าที่บายพาส (By Pass) สัญญาณรบกวนที่เกิดจากภาคจ่ายไฟลงกราวด์



รูปที่ 2.36 แสดงวงจรภาคจ่ายไฟ

## 2.12 โปรแกรมควบคุมการทำงาน

การทำงานของวงจรในส่วนต่างๆของเครื่องฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์จะถูกควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งมีการทำงานหลายขั้นตอนเกี่ยวข้องกัน แต่ก็สามารถจัดรูปแบบการทำงานออกได้เป็น 3 ลักษณะคือ

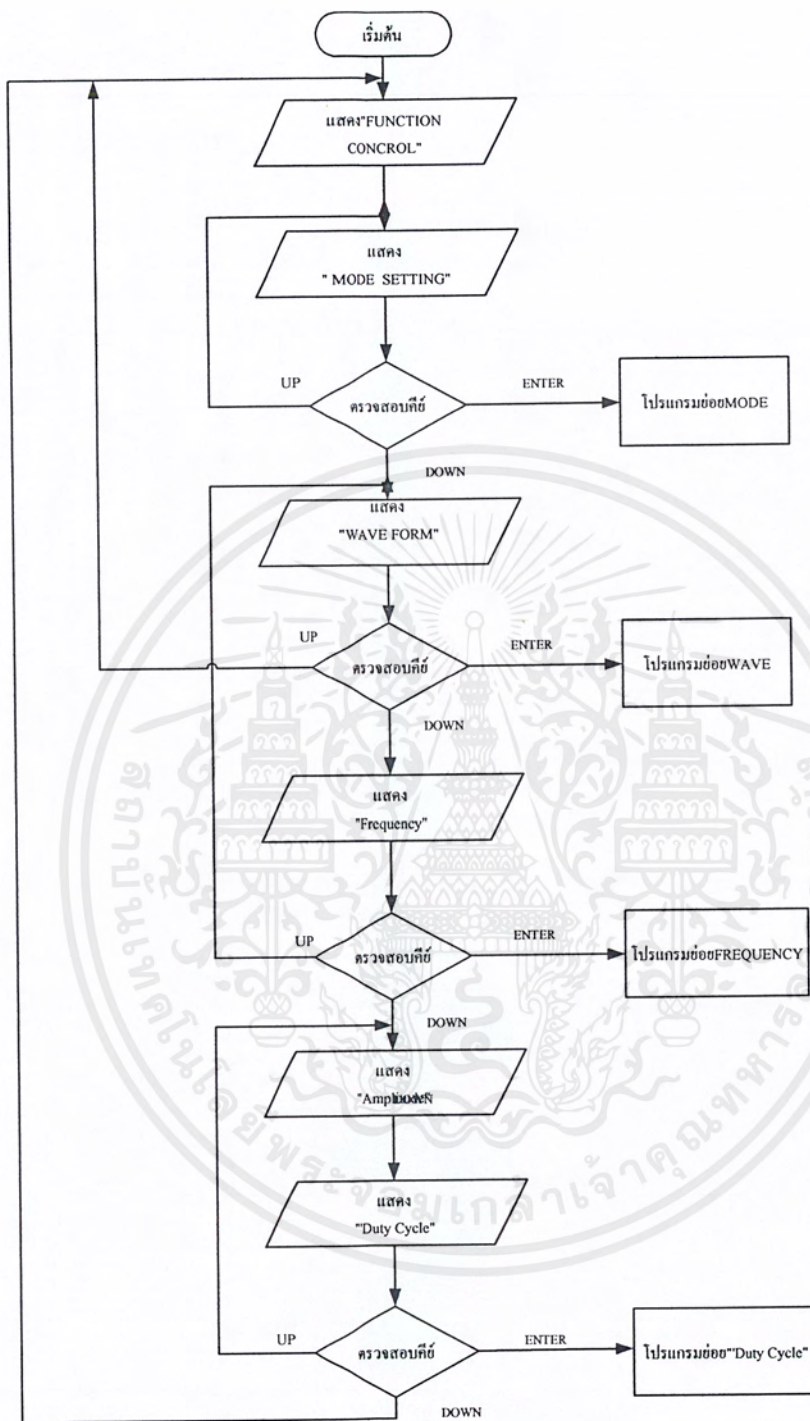
- การรับข้อมูลจากคีย์บอร์ด
- การส่งข้อมูลไปยังจอแสดงผล LCD
- การส่งข้อมูลไปยังพอร์ตเพื่อควบคุมการทำงานของวงจรต่างๆ

ซึ่งการควบคุมทั้ง 3 ลักษณะ ต่างมีลำดับขั้นตอนการทำงาน เป็น 2 ขั้นตอน คือ กำหนดตำแหน่งแอดเดรสของพอร์ตที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการติดต่อด้วยผ่านพอร์ต P2 และตามด้วยการอ่านหรือเขียนข้อมูลเพื่อรับหรือส่งข้อมูลผ่านทางบัสข้อมูลทาง พอร์ต P0 แอดเดรสที่กำหนดให้แต่ละฟังก์ชันมีดังนี้

ตารางที่ 2.6 แอดเดรสที่กำหนดให้แต่ละฟังก์ชันการทำงาน

แอดเดรส	ฟังก์ชันการทำงาน
00H	โหมคและรูปสัญลักษณ์
01H	ความถี่ ไบต์ต่ำ
05H	ความถี่ ไบต์สูง
03H	คิวตี้ไซเกิล
04H	ย่านความถี่
02H	คำสั่ง LCD
0FH	ข้อมูล LCD

การทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงานทั้งหมดสามารถอธิบายด้วยโฟลว์ชาร์ตดังแสดงในรูปที่ 2.37 การทำงานเริ่มต้นจากการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับจอแสดงผล LCD ให้ทำงานตามรูปแบบที่กำหนดไว้และทำการส่งข้อมูลออกไปแสดงผล ต่อไปโปรแกรมจะเข้าสู่การรับคำสั่งเพื่อกำหนดการทำงานของฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ โปรแกรมจะหยุดรอรับค่าข้อมูลจากคีย์บอร์ดเราสามารถเลือกฟังก์ชันการทำงานโดยการกดคีย์ UP และ DOWN ถ้าหากมีการกดคีย์ ENTER โปรแกรมจะกระโดดไปยังฟังก์ชันการทำงานที่ได้ทำการเลือก หากว่าการตรวจสอบไม่พบการกดคีย์ก็จะรอรับการกดคีย์ต่อไป ซึ่งการทำงานของโปรแกรมจะวนอยู่อย่างนี้ไปเรื่อย



รูปที่ 2.37 การทำงานทั้งหมดของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

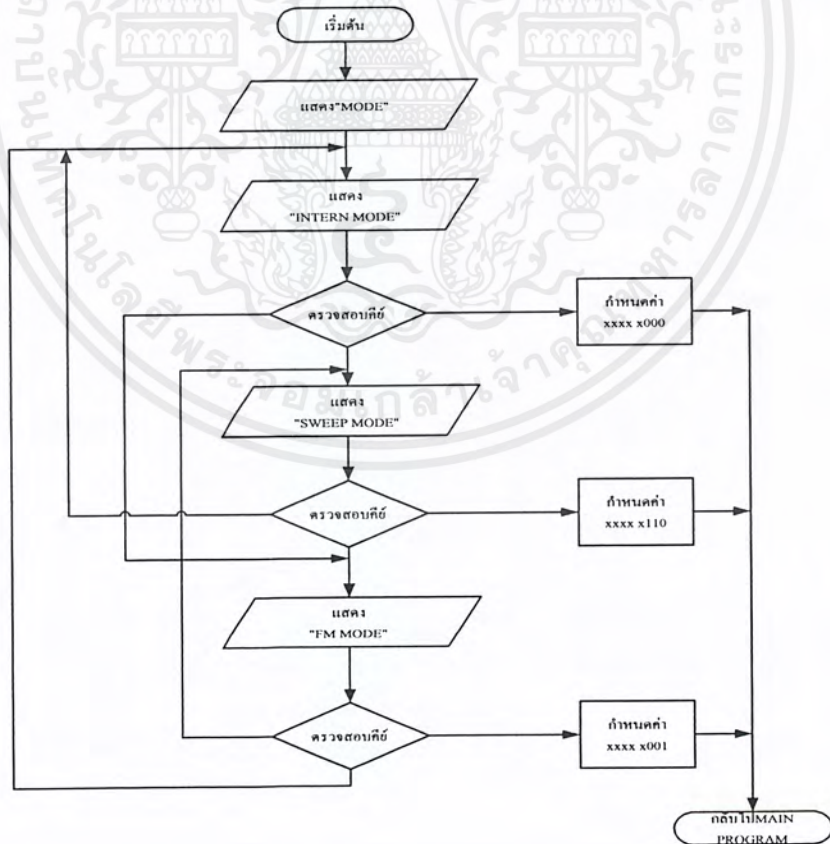
### 2.12.1 โปรแกรมกำหนดค่าเริ่มต้นและแสดงข้อความให้กับจอแสดงผล LCD

การทำงานของโปรแกรมในส่วนนี้จะทำการส่งข้อมูลกำหนดค่าเริ่มต้นให้จอแสดงผล LCD ทำงานเป็นแบบรับส่งข้อมูลขนาด 8 บิต, แสดงผล 2 บรรทัด, ความละเอียดของตัวอักษร 5x7 จุดมแสดงผลเคอร์เซอร์(cursor) และกะพริบ ( flash ) จากนั้นจึงส่งข้อความเบื้องต้นไปแสดงผลคือ

“ FUNTION CONTROL ”

### 2.12.2 โปรแกรมปรับเลือกโหมดการทำงาน

การทำงานของโปรแกรมปรับเลือกโหมดการทำงานสามารถอธิบายเป็น โพล์ชาร์ตได้ดังรูปที่ 2.38 ซึ่งเริ่มต้นทำงานด้วยการส่งข้อความแสดงโหมดแรก คือ “ INTERN MODE ” ซึ่งสามารถทำการปรับเลือกได้อีก 2 โหมด คือ โหมด “ FM MODE ” และ “ SWEEP MODE ” ได้โดยการกดคีย์ UP หรือ DOWN ถ้ากด ENTER โปรแกรม จะรับค่าโหมดนั้นไว้ จากนั้นจึงตรวจสอบค่าที่ได้รับว่าถูกต้องหรือไม่ ถ้าเป็นค่าที่ถูกต้อง โปรแกรมจะกำหนดข้อมูลที่ใช้ในการควบคุมโหมด

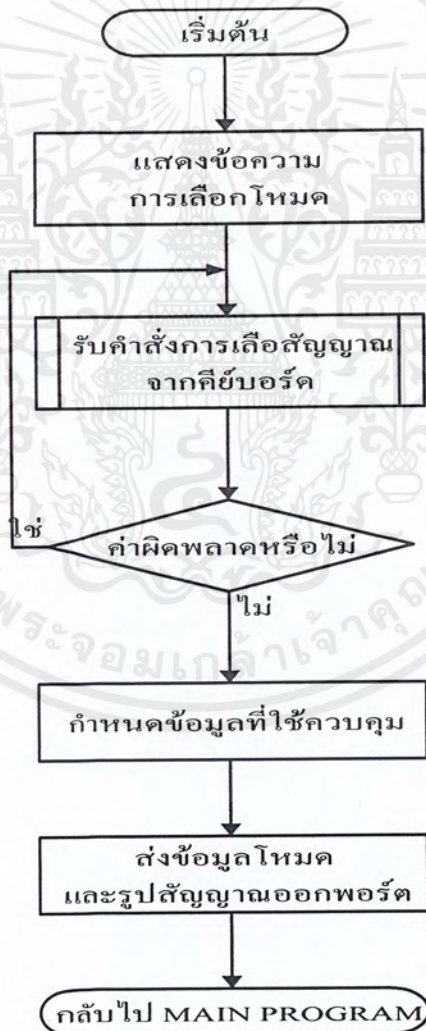


รูปที่ 2.38 การทำงานของโปรแกรมการเลือกโหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.12.3 โปรแกรมปรับเลือกรูปสัญญาณ

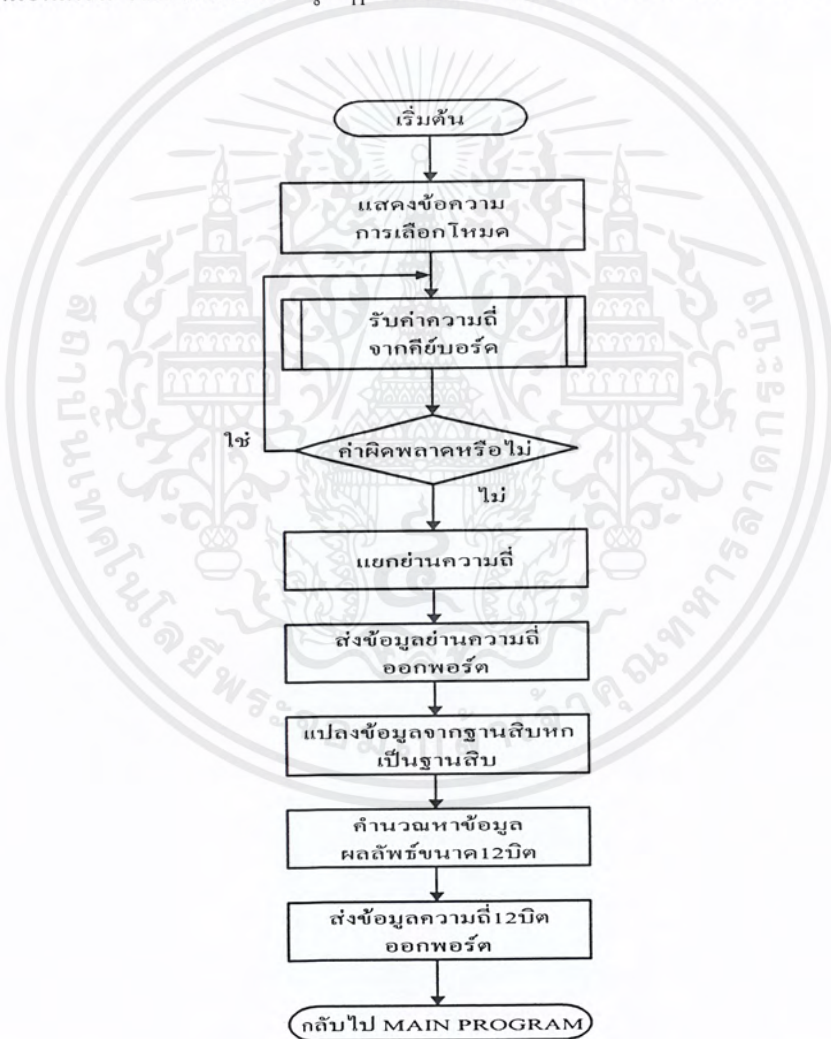
การทำงานของโปรแกรมปรับเลือกรูปสัญญาณสามารถอธิบายเป็นโฟลว์ชาร์ตได้ดังในรูปที่ 2.39 ซึ่งเริ่มต้นทำงานด้วยการส่งข้อความ “SINE WAVE” ซึ่งสามารถทำการเลือกรูปสัญญาณได้ อีก 4 รูปสัญญาณคือ “ TRIANGLE WAVE” “RECTANGLE WAVE” “ SAWTOOTH WAVE” และ “PULSE” ได้โดยการกดคีย์ UP หรือ DOWN ถ้ากด ENTER โปรแกรมจะรับค่ารูปสัญญาณนั้นไว้จากนั้นจึงตรวจสอบค่าที่ได้รับว่าถูกต้องหรือไม่ ถ้าเป็นค่าที่ถูกต้องโปรแกรมจะกำหนดข้อมูลที่ใช้ในการควบคุมการเลือกรูปสัญญาณ สุดท้ายข้อมูลที่ใช้ควบคุมการเลือกโหมดและรูปสัญญาณจะถูกส่งออกไปยังพอร์ต PO แอดเดรส 00H



รูปที่ 2.39 การทำงานของโปรแกรมการเลือกรูปสัญญาณ

#### 2.12.4 โปรแกรมกำหนดค่าความถี่

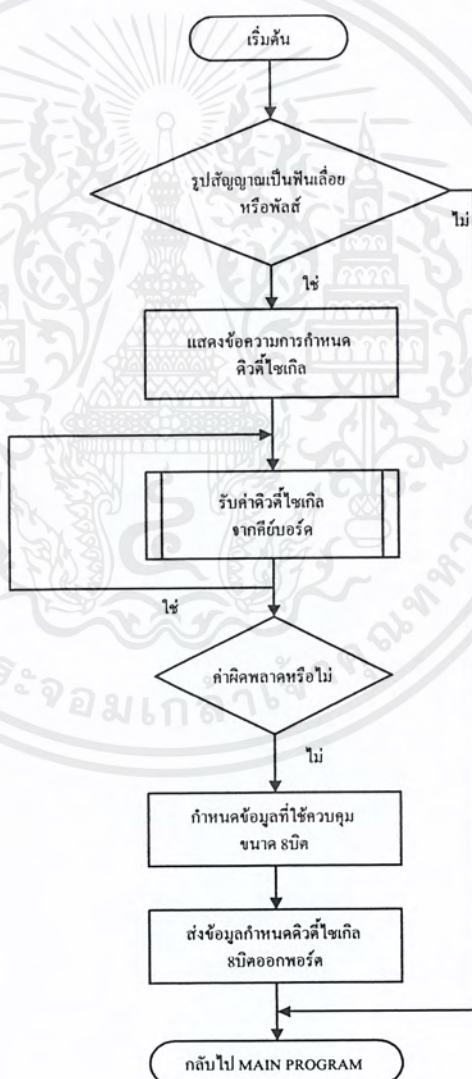
การทำงานของโปรแกรมกำหนดค่าความถี่สามารถอธิบายโดยโฟลว์ชาร์ตได้ดังในรูปที่ที่ 2.40 ซึ่งเริ่มต้นทำงานด้วยการส่งข้อความ “VALUE = 10Hz” และรอรับค่าความถี่ผ่านคีย์บอร์ดจากผู้ใช้งานตรวจสอบค่าที่ได้รับถูกต้องหรือไม่ ถ้าเป็นค่าที่ถูกต้องโปรแกรมจะทำการแปลงค่าความถี่จากข้อมูลเลขฐานสิบหกเป็นเลขฐานสิบ จากนั้นจึงนำข้อมูลมาทำการชดเชยค่าในแต่ละย่านความถี่และนำข้อมูลมาคำนวณเพื่อหาข้อมูลผลลัพธ์ที่จะส่งไปควบคุมการกำหนดย่านความถี่และความถี่ ซึ่งความถี่นี้เป็นข้อมูลขนาด 12 บิต โดยข้อมูลที่ใช้ควบคุมการกำหนดความถี่บิตที่  $D_0-D_7$  จะถูกส่งไปยังพอร์ตแอดเดรส 01H และบิตที่  $D_8-D_{11}$  ไปยังพอร์ตแอดเดรส 02 H ย่านความถี่ส่งที่แอดเดรส 04H



รูปที่ 2.40 การทำงานของโปรแกรมการปรับความถี่

## 2.12.5 โปรแกรมกำหนดค่าตัวชี้เิก

สามารถอธิบายเป็นโฟลว์ชาร์ตได้ดังในรูปที่ 2.41 ซึ่งเริ่มต้นทำงานด้วยการตรวจสอบการเลือกรูปสัญญาณว่าเป็นสัญญาณรูปฟันเลื่อยหรือพัลส์หรือไม่ ถ้าถูกต้องจะเริ่มเข้าสู่กระบวนการปรับค่าตัวชี้เิก แต่ถ้าไม่ใช่โปรแกรมจะกระโดดไปทำโปรแกรมควบคุมส่วนอื่น ในกรณีถ้าเป็นการเลือกรูปสัญญาณเป็นรูปฟันเลื่อยหรือพัลส์ โปรแกรมจะทำงานต่อด้วยการส่งข้อความ “VALUE = 15%” และรับค่าตัวชี้เิกผ่านคีย์บอร์ดจากผู้ใช้งาน ตรวจสอบค่าที่ได้รับว่าถูกต้องหรือไม่ ถ้าเป็นค่าที่ถูกต้องโปรแกรมจะกำหนดข้อมูลที่ใช้ในการกำหนดค่าตัวชี้เิกขนาด 8 บิตสุดท้ายข้อมูลที่ใช้ควบคุมการกำหนดค่าตัวชี้เิกจะถูกส่งออกไปยังพอร์ตแอดเดรส 03H



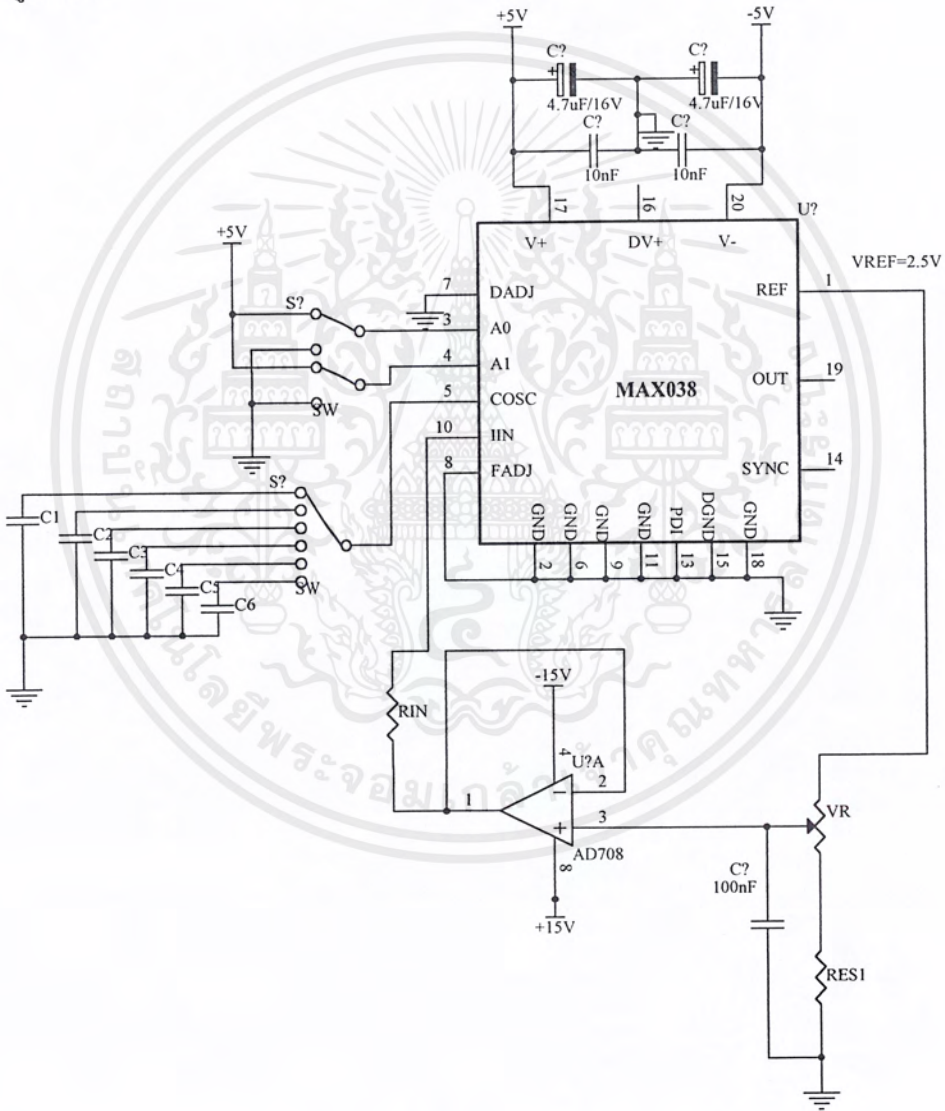
รูปที่ 2.41 การทำงานของโปรแกรมการปรับค่าตัวชี้เิก

# บทที่ 3

## การคำนวณและการสร้าง

### 3.1 การคำนวณค่า R และ C

การคำนวณค่า R และ ค่า C เพื่อให้ MAX038 ผลิตความถี่ในช่วง 10 Hz-10MHz โดยอ้างอิงจากวงจรดังในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงวงจรที่ใช้คำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.1 วงจรเราแบ่งย่านความถี่ออกเป็น 6 ย่านดังนี้คือ

- 10Hz-99.9Hz
- 100Hz-999Hz
- 1kHz -9.99kHz
- 10kHz-99.9kHz
- 100kHz-999kHz
- 1MHz- 9.99MHz

สูตรที่ใช้ในการคำนวณมี 2 สูตร คือ

$$F_o \text{ (MHz)} = I_{IN} \text{ (}\mu\text{A)} \div C_F \text{ (pF)}$$

$$I_{IN} = V_{IN} \div R_{IN}$$

ข้อกำหนดทางเทคนิคของ MAX038 มีดังนี้คือ

- $I_{IN}$  มีค่าระหว่าง  $2\mu\text{A} - 750\mu\text{A}$
- $C_F$  มีค่าระหว่าง  $20\text{pF} - 100\mu\text{F}$

จากสูตรจะพบว่าความถี่  $F_o$  จะขึ้นอยู่กับ  $I_{IN}$  และ  $C_F$  เมื่อเราให้  $C_F$  คงที่และปรับ  $I_{IN}$  จะทำให้  $F_o$  เกิดการเปลี่ยนแปลงในย่านความถี่ช่วงหนึ่ง ดังนั้นถ้าเราต้องการให้มีย่านความถี่ 6 ย่านสามารถทำได้โดยการเปลี่ยน  $C_F$  จำนวน 6 ค่า ซึ่งค่า  $C_F$  ที่ใช้ในแต่ละย่านความถี่จะมีค่าแตกต่างกัน ย่านละ 10 เท่า เพื่อให้ความถี่ในแต่ละย่านแตกต่างกัน 10 เท่า จากรูปที่ 3.1 เราจะได้ค่า  $C_F$  เป็น 6 ค่าและย่านกระแsey่านตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงการกำหนดค่าในการคำนวณ

ย่านความถี่	$C_F$	$I_{IN} = F_o \times C_F$
10Hz-99.9Hz	$2.2\mu\text{F}$	$22\mu\text{A} - 220\mu\text{A}$
100Hz-999Hz	220nF	$22\mu\text{A} - 220\mu\text{A}$
1kHz-9.99kHz	22nF	$22\mu\text{A} - 220\mu\text{A}$
10kHz-99.9kHz	2.2nF	$22\mu\text{A} - 220\mu\text{A}$
100KHz-999kHz	220pF	$22\mu\text{A} - 220\mu\text{A}$
1MHz-9.99MHz	22pF	$22\mu\text{A} - 220\mu\text{A}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสูตร  $I_{IN} = V_{IN} \div R_{IN}$  เราจะให้ค่า  $R_{IN}$  คงที่แล้วเปลี่ยนค่า  $V_{IN}$  เพื่อให้  $I_{IN}$  เปลี่ยนแปลง จากรูปจะเห็นว่าเราได้  $V_{IN}$  มาจากการแบ่งแรงดันของ  $V_{REF}$  และค่า  $V_{IN}$  ที่สูงสุดจะเท่ากับ  $V_{REF}$  (2.5V) ส่วนค่า  $V_{IN}$  ต่ำสุดจะเท่ากับ  $V_R$  ที่ค่า  $V_{IN}$  สูงสุดที่จะมีกระแสไหล  $220 \mu A$  นำค่า  $V_{IN}$  และ  $I_{IN}$  แทนในสูตรเพื่อหาค่า  $R_{IN}$

$$\begin{aligned} R_{IN} &= V_{IN} \div I_{IN} \\ &= 2.5V \div 220 \mu A \\ &= 11.36k\Omega \end{aligned}$$

ดังนั้นเราจะเลือกค่าที่ใกล้เคียง  $11.36k\Omega$  คือ  $10k\Omega$

จาก  $R_{IN} = 10k\Omega$  เราจะได้ค่า  $V_{IN}$  ต่ำที่สุด คือ

$$\begin{aligned} V_{IN} &= R_{IN} \times I_{IN} \\ &= 10k\Omega \times 22 \mu A \\ &= 0.22V \end{aligned}$$

ถ้าเราใช้ค่าความต้านทานปรับค่าได้มีค่าเท่ากับ  $1k\Omega$  เราจะคำนวณค่า  $R$  ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} 2.5R \div (1K+R) &= 0.22V \\ 2.5R &= 0.22R + 220 \\ R &= 96.49\Omega \end{aligned}$$

แต่เราจะใช้  $R = 68 \Omega$  เพื่อให้กระแส  $I_{IN}$  ต่ำกว่าที่คำนวณเล็กน้อย

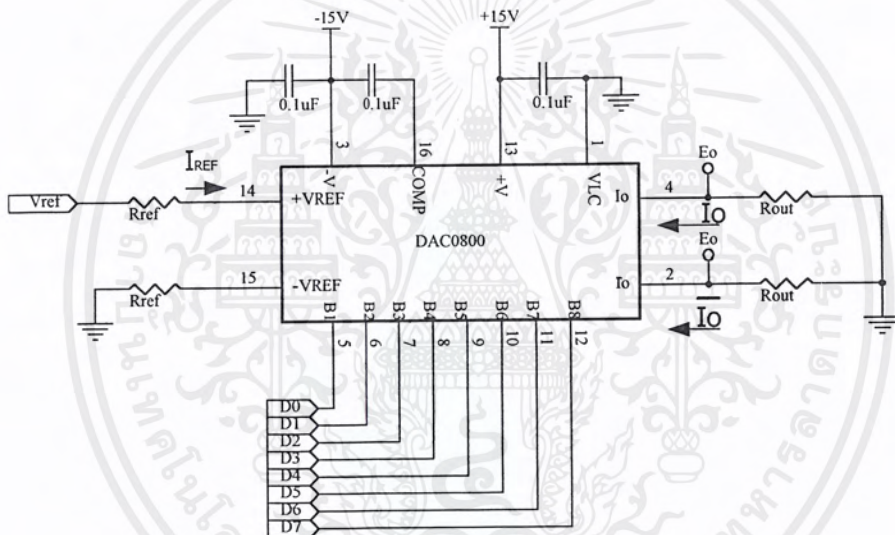
จากการคำนวณเราจะได้ค่า  $R_{IN} = 10k\Omega$ ,  $R = 68\Omega$  และตัวต้านทานปรับค่าได้  $1k\Omega$  ซึ่งค่าต่างๆที่เราใช้นี้จะทำให้ได้กระแสอยู่ในช่วงต่ำกว่า  $22 \mu A$  ถึงสูงกว่า  $220 \mu A$  การที่ใช้กระแส  $I_{IN}$  ไม่ตรงกับที่คำนวณเนื่องจาก  $C_F$  ที่ใช้ข้อมมีความคลาดเคลื่อนในตัวมันเอง ทำให้ความถี่คลาดเคลื่อนไปจากที่คำนวณได้ ซึ่งอาจทำให้ไม่ได้ความถี่ในช่วงที่ต้องการ จึงจำเป็นต้องเผื่อค่ากระแสให้สูงและต่ำกว่าที่ที่คำนวณได้เล็กน้อย

### 3.2 การออกแบบ DAC 0800

การออกแบบ DAC 0800 สามารถทำได้ 2 แบบ คือ ออกแบบให้ DAC จ่ายเอาต์พุตลบเพียงอย่างเดียว (Unipolar Negative Operation) กับออกแบบให้ DAC 0800 จ่ายเอาต์พุตได้ 2 ขั้ว (Bipolar Output Operation)

#### 3.2.1 การออกแบบให้ DAC จ่ายเอาต์พุตไฟลบเพียงอย่างเดียว

การออกแบบ DAC แบบนี้จะใช้กับภาคปรับแอมพลิจูดของสัญญาณเอาต์พุต ซึ่งควบคุมแอมพลิจูดของสัญญาณโดยใช้แรงดันไฟตรงตั้งแต่  $-1V$  ถึง  $0V$  คู่กับสัญญาณที่ต้องการปรับแอมพลิจูด ในการออกแบบให้เอาต์พุตของ DAC จ่ายแรงดันได้ตามที่ต้องการ จะขึ้นอยู่กับ  $R_{REF}$ ,  $R_{OUT}$  และ  $V_{REF}$



รูปที่ 3.2 วงจร DAC ชนิดจ่ายแรงดันไฟลบเพียงอย่างเดียว

#### ขั้นตอนการออกแบบ

1. กำหนดค่า  $I_{REF}$  และ  $V_{REF}$  เพื่อหาค่า  $R_{REF}$

ค่า  $I_{REF}$  สามารถใช้ได้ตั้งแต่  $0-4 \text{ mA}$  สำหรับในวงจรนี้จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ  $1 \text{ mA}$

ค่า  $V_{REF}$  กำหนดให้มีค่าเท่ากับ  $5V$

ค่า  $R_{REF}$  สามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} \text{สูตร } R_{REF} &= V_{REF} \div I_{REF} \\ &= 5V \div 1 \text{ mA} \\ &= 5 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

## 2. คำนวณหาค่า $R_{OUT}$

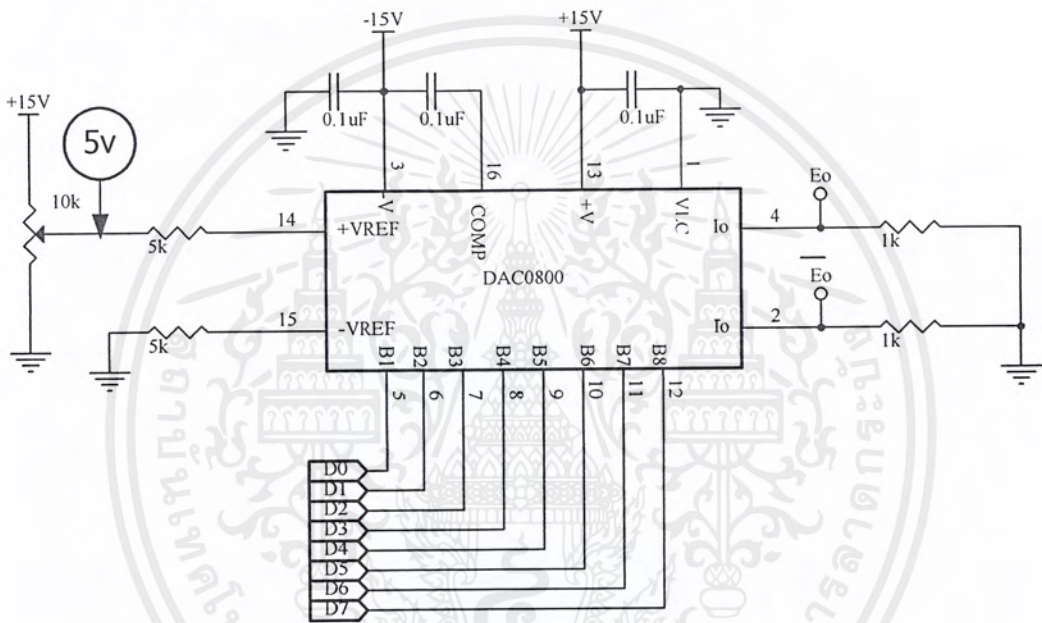
ค่า  $R_{OUT}$  สามารถคำนวณได้จากสูตร  $R_{OUT} = \left| E_{O(MAX)} \right| \div I_{O(MAX)}$

$E_{O(MAX)}$  มีค่าเท่ากับ  $-1V$  เพราะ DAC ปรับค่าแรงดันตั้งแต่  $-1V$  ถึง  $0V$

$I_{O(MAX)}$  มีค่าประมาณ  $I_{REF}$

$$R_{OUT} = 1V \div 1mA$$

$$= 1k\Omega$$



รูปที่ 3.3 วงจรDAC แบบปรับแรงดันไฟได้ตั้งแต่  $-1V$  ถึง  $0V$

### 3.2.2 ออกแบบให้ DAC จ่ายเอาต์พุตได้ 2 ขั้ว

การออกแบบ DAC แบบนี้จะใช้กับภาคปรับแรงดันออฟเซตและภาคปรับคิวดั้ไซเกิล วงจรใช้งาน DAC ที่สามารถปรับแรงดันได้ 2 ขั้ว แสดงตามรูปที่ ในการออกแบบให้ DAC จ่ายแรงดันได้ทั้งบวกและลบตามต้องการจะขึ้นอยู่กับ  $R_{REF}$ ,  $R_{OUT}$ ,  $V_{REF}$  และ  $V$  ขั้นตอนการออกแบบ DAC ใช้กับภาคปรับแรงดันออฟเซต

#### 1. กำหนด $I_{REF}$ และ $V_{REF}$ เพื่อหาค่า $R_{REF}$

ค่า  $I_{REF}$  จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ  $2mA$

ค่า  $V_{REF}$  กำหนดให้มีค่าเท่ากับ  $10V$

ค่า  $R_{REF}$  สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{สูตร } R_{REF} = V_{REF} \div I_{REF}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 10V \div 2mA$$

$$= 5k\Omega$$

คำนวณหาค่า  $R_{OUT}$  และ  $V$

ค่า  $R_{OUT}$  สามารถคำนวณได้จากสูตร  $R_{OUT} = 2|E_{o(MAX)}| \div I_{REF}$

ในภาคปรับแรงดันออฟเซตต้องการปรับค่า  $E_o$  ตั้งแต่  $-5V$  ถึง  $+5V$  ดังนั้น

$$|E_{o(MAX)}| = 5V$$

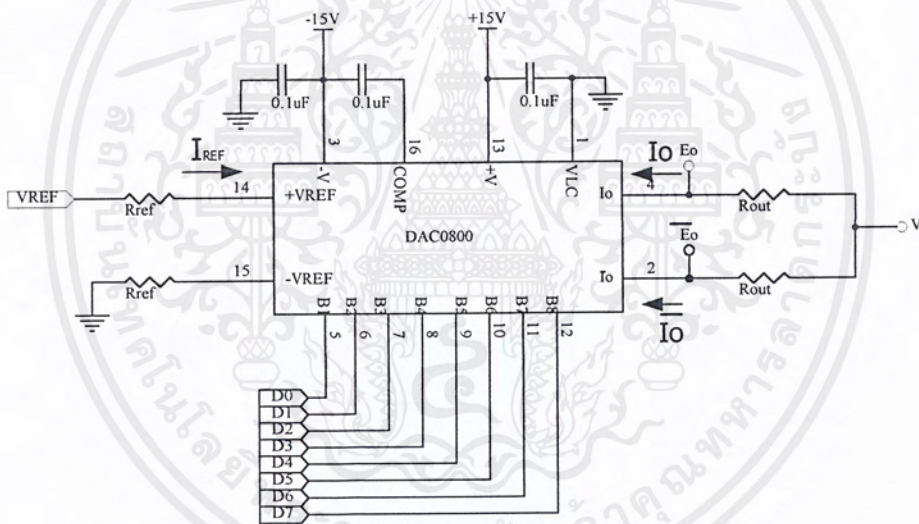
$$R_{OUT} = (2 \times 5V) \div 2mA$$

$$= 5k\Omega$$

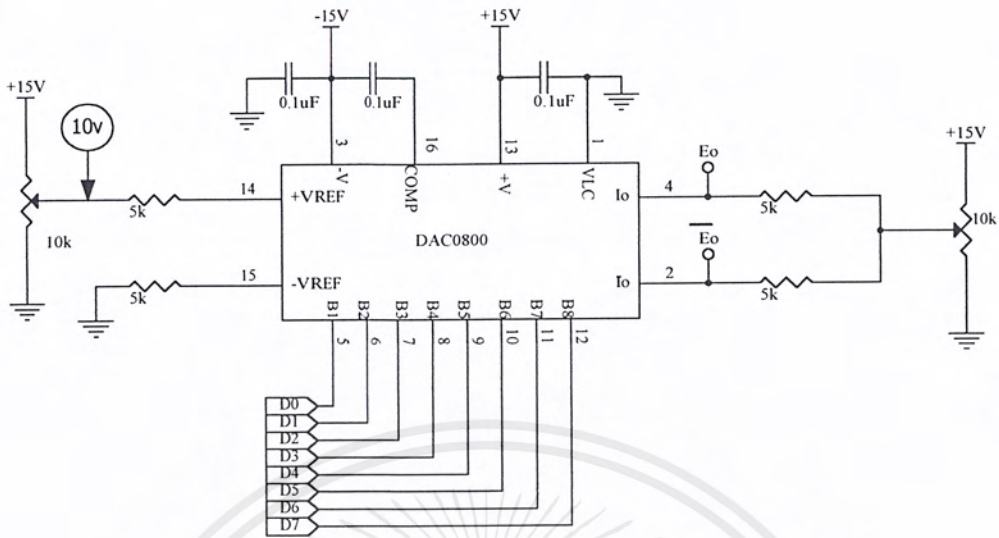
ค่า  $V$  สามารถคำนวณได้จากสูตร  $V = (I_{REF} \times R_{OUT}) \div 2$

$$= (2mA \times 5k\Omega) \div 2$$

$$= 5V$$



รูปที่ 3.4 วงจร DAC ชนิด จ่ายแรงดันไฟได้ทั้ง 2 ขั้ว



รูปที่ 3.5 วงจร DAC แบบปรับแรงดันไฟได้ตั้งแต่ -5V ถึง +5V

ขั้นตอนการออกแบบ DAC ใช้กับภาคปรับควิตีไซเกิด

1. กำหนดค่า  $I_{REF}$  และ  $V_{REF}$  เพื่อหาค่า  $R_{REF}$

ค่า  $I_{REF}$  จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 2mA

ค่า  $V_{REF}$  กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 10V

ค่า  $R_{REF}$  สามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} \text{สูตร } R_{REF} &= V_{REF} \div I_{REF} \\ &= 10V \div 2mA \\ &= 5k\Omega \end{aligned}$$

2. คำนวณหาค่า  $R_{OUT}$  และ V

ค่า  $R_{OUT}$  สามารถคำนวณได้จากสูตร  $R_{OUT} = 2|E_o(MAX)| \div I_{REF}$

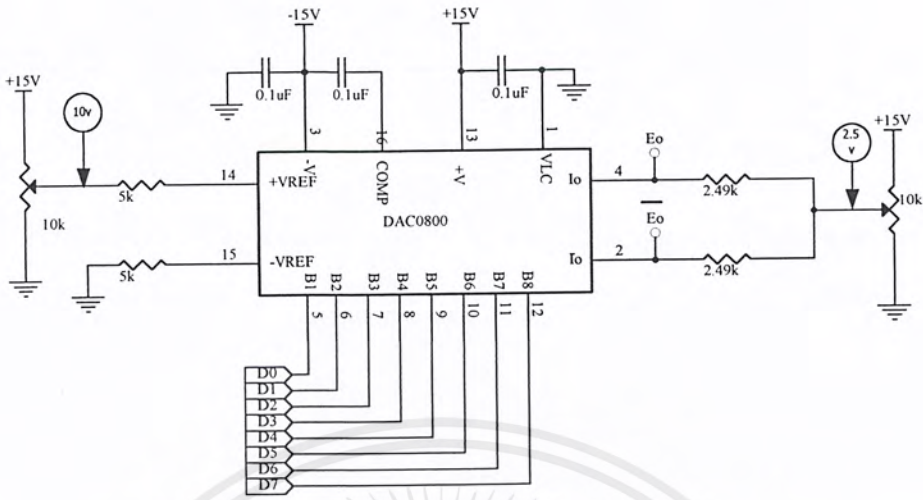
ในภาคปรับแรงดันออฟเซตต้องการปรับค่า  $E_o$  ตั้งแต่ -2.5V ถึง +2.5V ดังนั้น

$$|E_o(MAX)| = 2.5V$$

$$\begin{aligned} R_{OUT} &= (2 \times 2.5V) \div 2mA \\ &= 2.5k\Omega \end{aligned}$$

ค่า V สามารถคำนวณได้จากสูตร  $V = (I_{REF} \times R_{OUT}) \div 2$

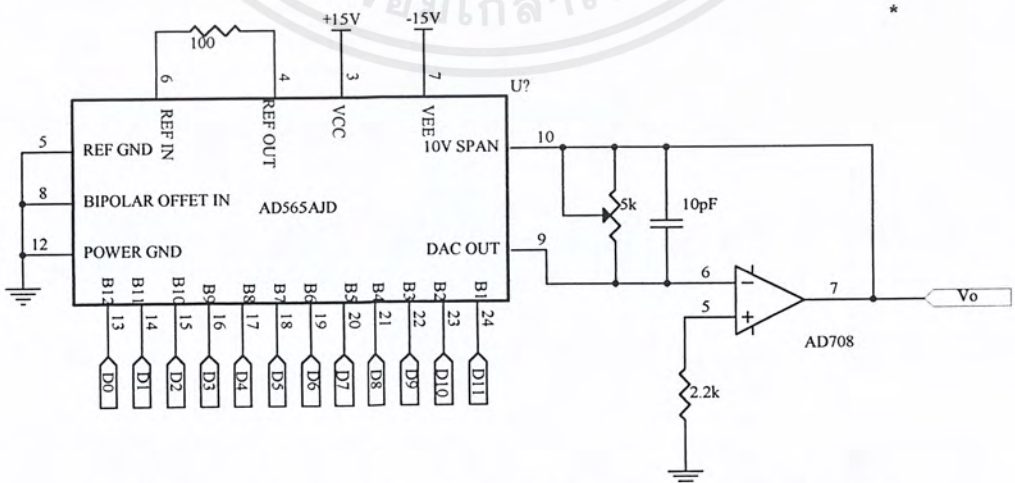
$$\begin{aligned} &= (2mA \times 2.5k\Omega) \div 2 \\ &= 2.5V \end{aligned}$$



รูปที่ 3.6 วงจร DAC แบบปรับแรงดันไฟได้ตั้งแต่ -2.5V ถึง +2.5V

### 3.3 การออกแบบวงจรใช้งาน AD565AJD

ไอซี AD565AJD เป็นไอซีที่ทำหน้าที่เปลี่ยนข้อมูลดิจิทัลขนาด 12 บิต ให้เป็นสัญญาณอนาลอกใช้ควบคุมการเปลี่ยนค่าความถี่ที่ไอซี MAX038 ผลิตขึ้น โดยแรงดันที่ใช้ควบคุมการเปลี่ยนค่าความถี่จะมีค่าตั้งแต่ 0 V ถึง 2.5 V ซึ่งการออกแบบให้ไอซี AD565AJD สามารถเปลี่ยนแปลงแรงดันได้ตามที่ต้องการนั้นสามารถทำได้ง่ายโดยต่อวงจรตามรูป และต่อตัวต้านทานปรับค่าได้กับขา 9 และ 10 เพื่อปรับค่าเอาต์พุตให้ได้แรงดันตามที่ต้องการ ตัวต้านทาน 50 Ω ที่ต่อขา 4 และขา 6 จะทำหน้าที่กำหนดค่า  $I_{REF}$  เป็น 0.5mA ขา 8 ต่อลงกราวด์เนื่องจากต้องการให้เอาต์พุตจ่ายแรงดันเพียงขั้วเดียว



รูปที่ 3.7 วงจร DAC 12 บิต แบบปรับแรงดันไฟได้ตั้งแต่ 0V ถึง 2.5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.1 การคำนวณเพื่อหาค่าข้อมูล 12 บิต ในการกำหนดค่าความถี่

การกำหนดค่าความถี่ที่ใช้ในการสร้างรูปสัญญาณของไอซี MAX038 ขึ้นอยู่กับตัวแปร 2 ตัว คือ กระแสไฟที่ป้อนเข้าที่ขา IIN และค่าตัวเก็บประจุ  $C_F$  ที่ต่อเข้าที่ขา COSC ดังสมการต่อไปนี้

$$F_o = I_{IN} (\mu A) \div C_F (pF)$$

เมื่อ  $F_o$  คือความถี่เอาต์พุต

$I_{IN}$  คือ กระแสไฟที่ขา IIN มีค่าอยู่ระหว่าง 2-750 ไมโครแอมป์

$C_F$  คือ ตัวเก็บประจุที่ต่อที่ขา COSC และกราวด์

แต่จากวงจรกระแส  $I_{IN}$  ถูกกำหนดค่าจากแรงดันไฟตรงจาก DAC ขนาด 12 บิตเบอร์ AD565AJD โดยต่อผ่านตัวต้านทานค่า  $10k\Omega$

$$I_{IN} (\mu A) = V_{DAC} \div R_{IN}$$

$$I_{IN} (A) = [V_{DAC} \times 10^6] \div R_{IN}$$

แทนค่า  $I_{IN}$  เพื่อหาค่า  $F_o$

$$F_o (MHz) = [V_{DAC} \times 10^6] \div [R_{IN} \times C_F (pF)]$$

$$V_{DAC} = [F_o (MHz) \times 10^6 \times R_{IN} \times C_F (pF)] \dots\dots\dots(1)$$

เนื่องจากการกำหนดค่าแรงดัน  $V_{DAC}$  ขึ้นอยู่กับค่าข้อมูลขนาด 12 บิต ดังนั้นจึงสามารถแบ่งแรงดันออกได้เป็น  $2^{12} = 4096$  โดยปรับแรงดันให้  $V_{DAC}$  มีค่าสูงสุดที่สเต็ปสูงสุด คือ 2.5 V เพื่อให้กระแส  $I_{IN}$  มีค่าสูงสุดคือ  $250 \mu A$  ดังนั้นแรงดันของ  $V_{DAC}$  แต่ละสเต็ปสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$2.5V \div 4095 = 610.5 \mu V/step$$

$$\text{ดังนั้น Step} = V_{DAC} \div (610.5 \times 10^{-6})$$

$$V_{DAC} = step \times 610.5 \times 10^{-6} \dots\dots\dots(2)$$

เมื่อนำสมการที่ (1) เท้ากับ (2) จะได้ว่า

$$Step = [F_o (MHz) \times R_{IN} \times C_F (pF) \times 10^{-6}] \div 610.5 \times 10^{-6}$$

เมื่อแทนค่า  $R_{IN}$  ที่ใช้ในวงจรซึ่งเท่ากับ  $10 k\Omega$  จะได้ว่า

$$Step = [F_o (MHz) \times 10^3 \times C_F (pF) \times ] \div 610.5$$

$$Step = 1.638 \times F_o (MHz) \times C_F (pF) \dots\dots\dots(3)$$

สมการที่ 3 เป็นสมการที่นำมาใช้ในการคำนวณในโปรแกรมเพื่อหาค่าข้อมูล 12 บิต ในการกำหนดค่าความถี่ แต่เนื่องจากการเขียนโปรแกรมให้สามารถคำนวณค่าทศนิยมได้ต้องทำการแปลงค่าตัวเลขทศนิยมนั้นให้เป็นค่าจำนวนเต็มเสียก่อน ซึ่งในที่นี้จะใช้การคำนวณด้วยการแทนตัวเลข

1.638 คิวการแทนจำนวนเต็ม 2 จำนวนตั้งหารกันคือ 4095/2500 ซึ่งจะได้ค่าเท่ากับ 1.638 พอดี โดยโปรแกรมจะใช้ตัวแปร p1 กำหนดเป็นตัวเศษเท่ากับ 4095 และใช้ตัวแปร q1 กำหนดเป็นตัวส่วนเท่ากับ 2500



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

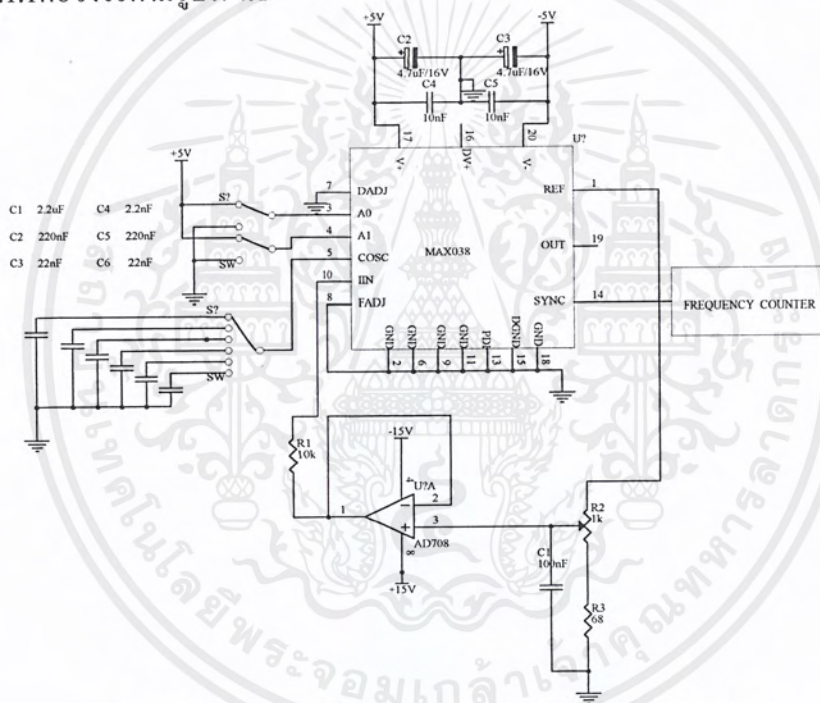
# บทที่ 4

## การทดลองและผลการทดลอง

### 4.1 ทดลองวัดค่าแรงดันที่ความถี่ต่างๆ

ย่านความถี่ของ MAX038 จะถูกกำหนดโดย  $C_F$  และการเปลี่ยนแปลงของความถี่ภายในย่านจะขึ้นอยู่กับกระแส  $I_{IN}$  ที่ไหลเข้าไปในขา IIN แต่การควบคุมโดยใช้แหล่งจ่ายกระแสจะยุ่งยากกว่าการใช้แหล่งจ่ายแรงดันควบคุม ดังนั้นเราจึงหาผลของความถี่ที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากแรงดัน

#### 4.1.1 ตัวอย่างตามรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงวงจรที่ใช้ในการทดลองวัดค่าแรงที่ความถี่ต่างๆ

4.1.2 ที่  $C_F = 220nF$  ปรับความถี่เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 100Hz ไปจนถึงความถี่ 990Hz วัดแรงดันที่ความถี่ต่างๆ บันทึกผลลงในตารางที่ 4.1

4.1.3 ที่  $C_F = 22nF$  ปรับความถี่เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 1kHz เพิ่มขึ้นทีละ 100Hz ไปจนถึงความถี่ 9.9kHz วัดแรงดันที่ความถี่ต่างๆ บันทึกผลลงในตารางที่ 4.2

4.1.4 ที่  $C_F = 2.2nF$  ปรับความถี่เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 10kHz เพิ่มขึ้นทีละ 1kHz ไปจนถึงความถี่ 99kHz วัดแรงดันที่ความถี่ต่างๆ บันทึกผลลงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความถี่และแรงดันเมื่อใช้  $C_F = 220\text{nF}$

Frequency ( Hz )	Voltage ( V )
100	0.181
110	0.198
120	0.210
130	0.232
140	0.251
150	0.265
160	0.274
170	0.298
180	0.324
190	0.346
200	0.367
210	0.374
220	0.387
230	0.409
240	0.424
250	0.440
260	0.461
270	0.479
280	0.493
290	0.514
300	0.535
310	0.563
320	0.589
330	0.610
340	0.642
350	0.655
360	0.669
370	0.676
380	0.693
390	0.712

Frequency ( Hz )	Voltage ( V )
400	0.726
410	0.743
420	0.761
430	0.776
440	0.791
450	0.804
460	0.832
470	0.855
480	0.871
490	0.892
500	0.905
510	0.920
520	0.943
530	0.968
540	0.983
550	1.008
560	1.021
570	1.041
580	1.062
590	1.081
600	1.102
610	1.123
620	1.142
630	1.161
640	1.182
650	1.202
660	1.221
670	1.249
680	1.267
690	1.279

Frequency ( Hz )	Voltage ( V )
700	1.296
710	1.314
720	1.331
730	1.350
740	1.369
750	1.389
760	1.407
770	1.425
780	1.445
790	1.464
800	1.482
810	1.503
820	1.522
830	1.541
840	1.561
850	1.579
860	1.597
870	1.615
880	1.632
890	1.649
900	1.667
910	1.686
920	1.705
930	1.723
940	1.742
950	1.759
960	1.776
970	1.793
980	1.812
990	1.831



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความถี่กับแรงดันจากตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความถี่และแรงดันเมื่อใช้  $C_F = 22\text{nF}$

Frequency (k Hz)	Voltage ( V )	Frequency ( kHz)	Voltage ( V )	Frequency ( kHz)	Voltage ( V )
1.0	0.182	4.0	0.748	7.0	1.328
1.1	0.201	4.1	0.768	7.1	1.348
1.2	0.220	4.2	0.788	7.2	1.368
1.3	0.239	4.3	0.807	7.3	1.387
1.4	0.258	4.4	0.827	7.4	1.407
1.5	0.277	4.5	0.846	7.5	1.426
1.6	0.296	4.6	0.866	7.6	1.445
1.7	0.315	4.7	0.884	7.7	1.465
1.8	0.334	4.8	0.903	7.8	1.485
1.9	0.351	4.9	0.922	7.9	1.505
2.0	0.369	5.0	0.940	8.0	1.524
2.1	0.389	5.1	0.959	8.1	1.543
2.2	0.408	5.2	0.979	8.2	1.563
2.3	0.427	5.3	0.998	8.3	1.582
2.4	0.445	5.4	1.016	8.4	1.602
2.5	0.464	5.5	1.036	8.5	1.621
2.6	0.483	5.6	1.055	8.6	1.641
2.7	0.500	5.7	1.072	8.7	1.659
2.8	0.518	5.8	1.092	8.8	1.679
2.9	0.538	5.9	1.112	8.9	1.698
3.0	0.558	6.0	1.131	9.0	1.718
3.1	0.557	6.1	1.151	9.1	1.737
3.2	0.596	6.2	1.171	9.2	1.757
3.3	0.614	6.3	1.189	9.3	1.779
3.4	0.631	6.4	1.209	9.4	1.799
3.5	0.650	6.5	1.229	9.5	1.817
3.6	0.669	6.6	1.249	9.6	1.837
3.7	0.689	6.7	1.269	9.7	1.857
3.8	0.709	6.8	1.288	9.8	1.877
3.9	0.728	6.9	1.308	9.9	1.906



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความถี่กับแรงดันจากรางที่ 4.2

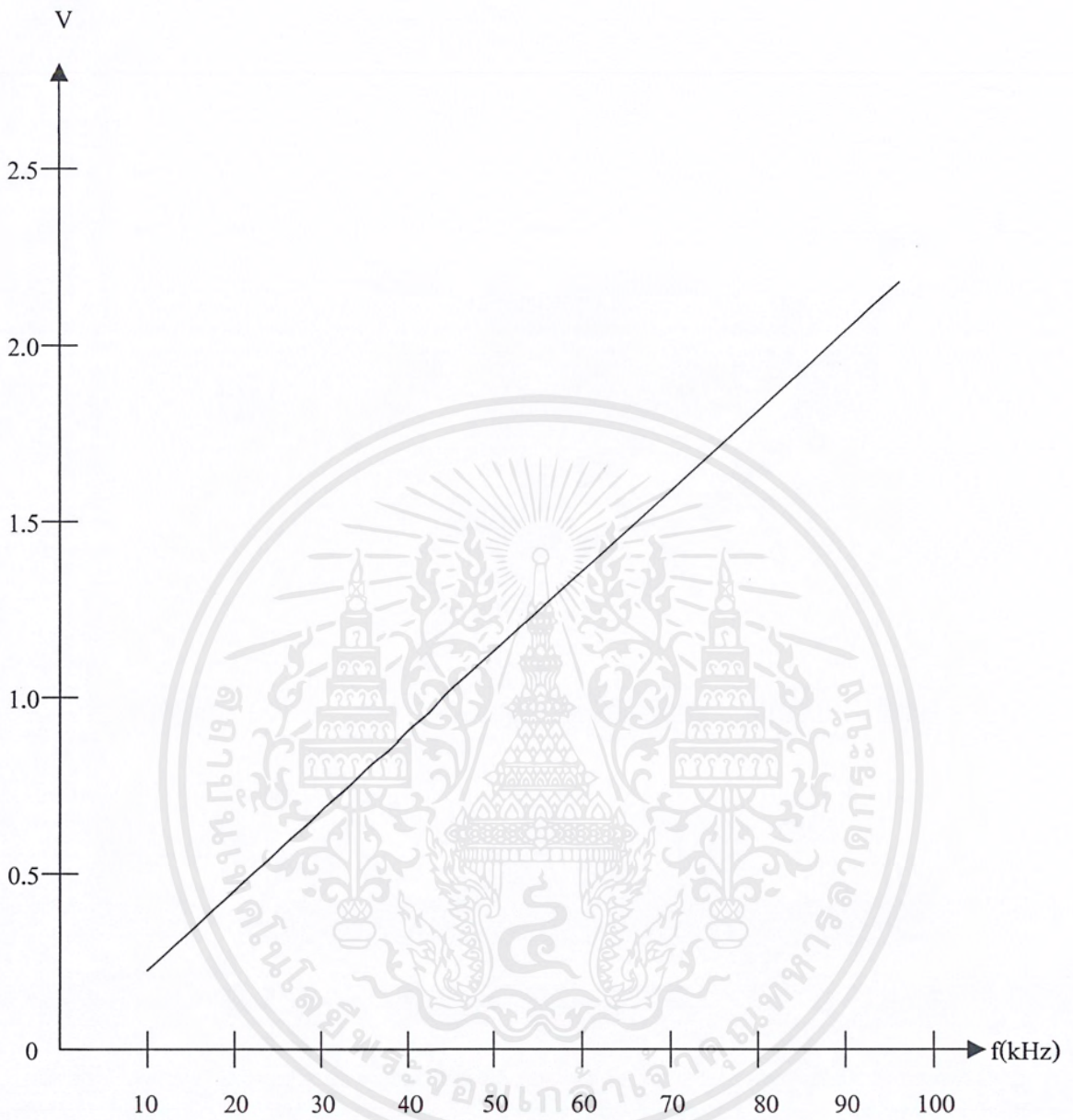
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความถี่และแรงดันเมื่อใช้  $C_F = 2.2\text{nF}$

Frequency ( kHz )	Voltage ( V )
10	0.208
11	0.229
12	0.249
13	0.268
14	0.289
15	0.309
16	0.328
17	0.347
18	0.367
19	0.388
20	0.407
21	0.426
22	0.446
23	0.465
24	0.484
25	0.505
26	0.527
27	0.549
28	0.569
29	0.588
30	0.609
31	0.629
32	0.651
33	0.672
34	0.691
35	0.711
36	0.734
37	0.755
38	0.774
39	0.793

Frequency ( kHz )	Voltage ( V )
40	0.817
41	0.840
42	0.862
43	0.883
44	0.905
45	0.928
46	0.951
47	0.975
48	0.997
49	1.020
50	1.041
51	1.065
52	1.089
53	1.113
54	1.136
55	1.160
56	1.184
57	1.208
58	1.232
59	1.472
60	1.492
61	1.511
62	1.534
63	1.556
64	1.579
65	1.603
66	1.625
67	1.648
68	1.672
69	1.695

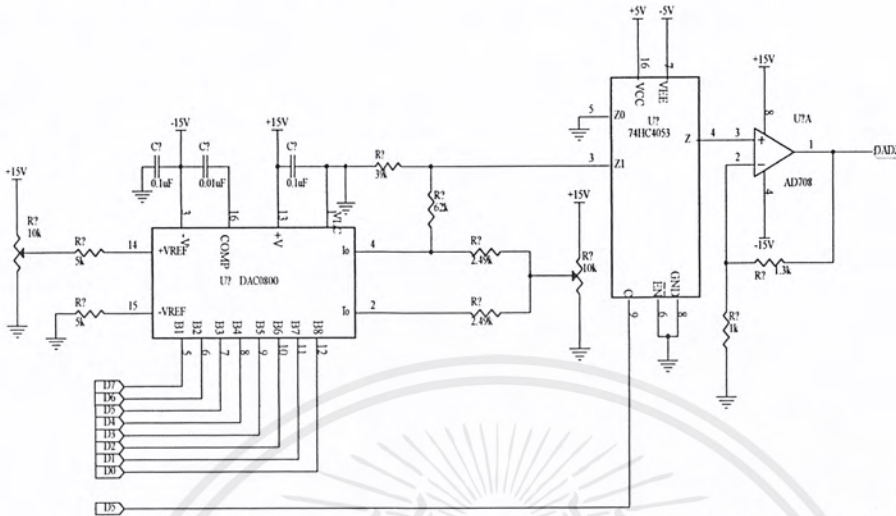
Frequency ( kHz )	Voltage ( V )
70	1.719
71	1.743
72	1.767
73	1.791
74	1.814
75	1.836
76	1.856
77	1.877
78	1.899
79	1.923
80	1.946
81	1.970
82	1.992
83	2.001
84	2.020
85	2.039
86	2.058
87	2.109
88	2.077
89	2.097
90	2.116
91	2.135
92	2.153
93	2.172
94	2.191
95	2.209
96	2.229
97	2.247
98	2.265
99	2.284



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความถี่กับแรงดันจากรายที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2 การทดลองวัดค่าของแรงดันของวงจรปรับเลือกค่าตัวชี้เกิด



รูปที่ 4.5 แสดงวงจรที่ใช้ทดลองวัดค่าแรงดันที่ค่าตัวชี้เกิดต่างๆ

ค่าตัวชี้เกิด	ข้อมูล	แรงดัน
15%	0FH	1.85V
16%	12H	1.80V
17%	16H	1.75V
18%	19H	1.70V
19%	1DH	1.65V
20V	20H	1.60V
21V	24H	1.55V
22%	27H	1.50V
23%	2BH	1.45V
24%	2EH	1.40V
25%	32H	1.325V
26%	35H	1.30V
27%	38H	1.25V
28%	3BH	1.20V
29%	3FH	1.10V
30%	43H	1.05V
31%	46H	1.00V
32%	49H	0.95V
33%	4CH	0.90V
34%	50H	0.85V
35%	53H	0.8V

ค่าตัวชี้เกิด	ข้อมูล	แรงดัน
36%	56H	0.75V
37%	59H	0.7V
38%	5DH	0.65V
39%	60H	0.60V
40%	63H	0.55V
41%	66H	0.5V
42%	69H	0.45V
43%	6CH	0.40V
44%	70H	0.35V
45%	72H	0.30V
46%	76H	0.25V
47%	79H	0.2V
48%	7CH	0.15V
49%	7FH	0.1V
50%	83H	0.0V
51%5	86H	-0.05V
52%	89H	-0.1V
53%	8DH	-0.15V
54%	8FH	-0.1525V
55%	93H	-0.225V
56%	96H	-0.25V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

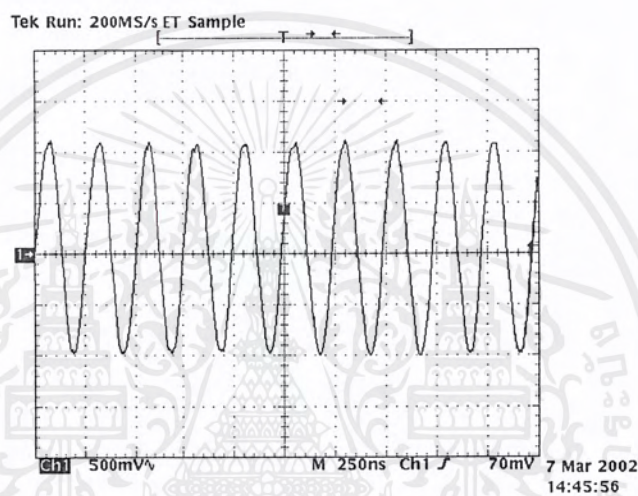
ค่าควิตซ์ไชเกิด	ข้อมูล	แรงดัน
57%	98H	-0.30V
58%	9CH	-0.35 V
59%	9FH	-0.40 V
60%	A2H	-0.45 V
61%	A5H	-0.50 V
62%	A8H	-0.55 V
63%	ABH	-0.60 V
64%	AFH	-0.65 V
65%	B3H	-0.7 0 V
66%	B6H	-0.75 V
67%	B8H	-0.80 V
68%	BCH	-0.85 V
69%	BFH	-0.90 V
70%	C2H	-0.95 V
71%	C5H	-1.00 V
72%	C8H	-1.05 V
73%	CCH	-1.10 V
74%	CFH	-1.15 V
75%	D2H	-1.20 V
76%	D5H	-1.25V
77%	D9H	-1.30 V
78%	DCH	-1.35 V
79%	DFH	-1.40 V
80%	E3H	-1.5 0V
81%	E6H	-1.55 V
82%	EAH	-1.60 V
83%	EDH	-1.65 V
84%	F0H	-1.7 0V
85%	F4H	-1.75 V

ตารางที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันกับค่าควิตซ์ไชเกิดต่างๆ

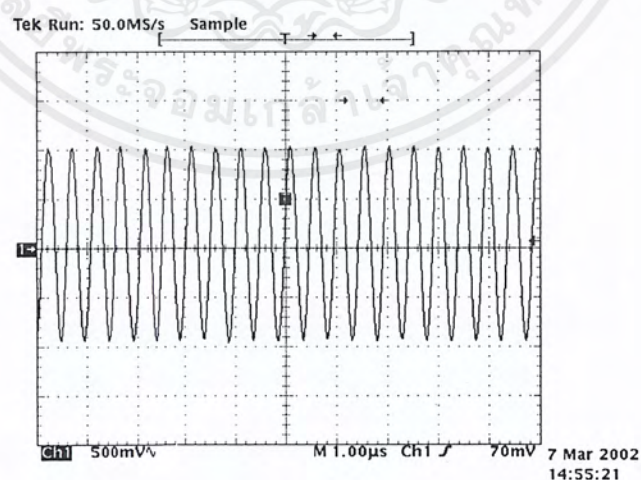
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ผลการทดลองจากการวัดรูปสัญญาณที่ความถี่ต่างๆ

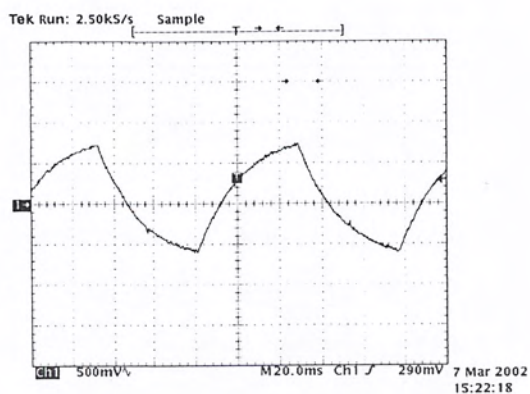
จากทดลองวัดสัญญาณที่เอาต์พุตที่ได้จากเครื่องกำเนิดสัญญาณซึ่งเป็นสัญญาณพื้นฐาน 3 สัญญาณ คือ สัญญาณไซน์ , สัญญาณสามเหลี่ยม,สัญญาณสี่เหลี่ยมที่ความถี่ค่าต่างๆและสัญญาณซึ่งเกิดจากการปรับค่าควิตซ์ไซเคิลของสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยม ซึ่งจะได้สัญญาณใหม่ขึ้นมาอีกคือ สัญญาณพัลส์และสัญญาณรูปฟันเลื่อย ซึ่งจะเห็นได้ว่าสัญญาณมีความผิดเพี้ยนแตกต่างกันไปดังแสดงในรูปข้างล่างต่อไปนี้



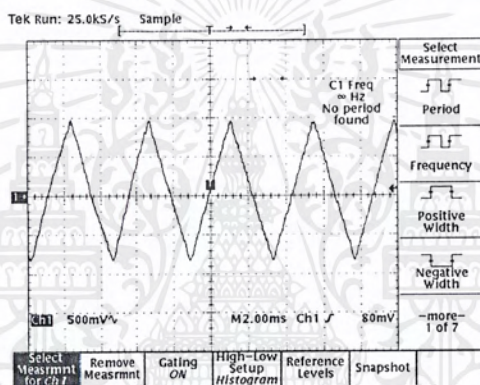
รูปที่ 4.6 แสดงรูปสัญญาณ SINE ที่ 2MHz



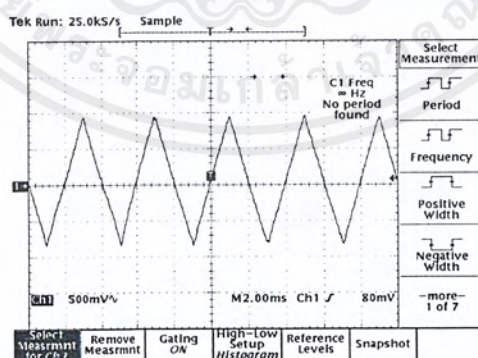
รูปที่ 4.7 แสดงรูปสัญญาณ SINE ที่ 1MHz



รูปที่ 4.8 แสดงรูปสัญญาณ TRIANGLE ที่ 10Hz

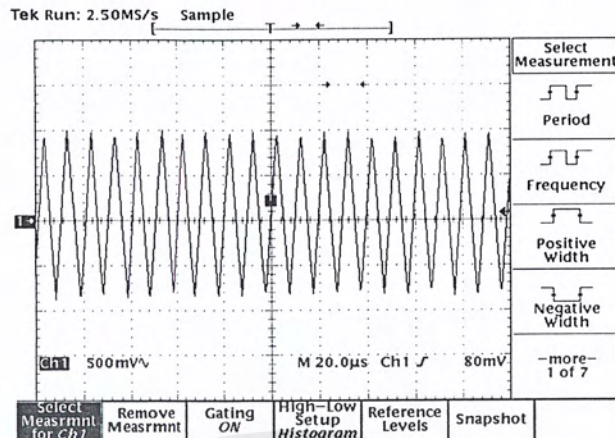


รูปที่ 4.9 แสดงรูปสัญญาณ TRIANGLE ที่ 1KHz

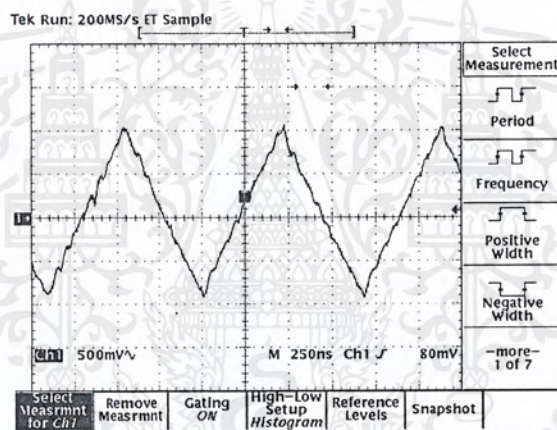


รูปที่ 4.10 แสดงรูปสัญญาณ TRIANGLE ที่ 10KHz

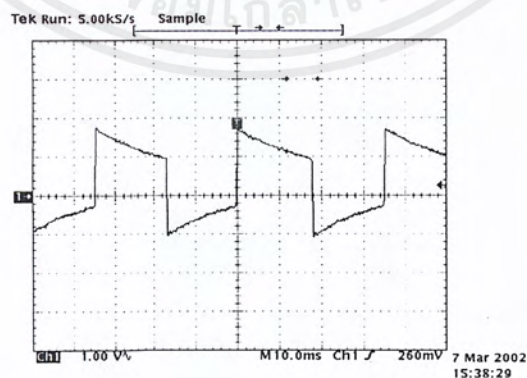
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงรูปสัญญาณ TRIANGLE ที่ 100kHz

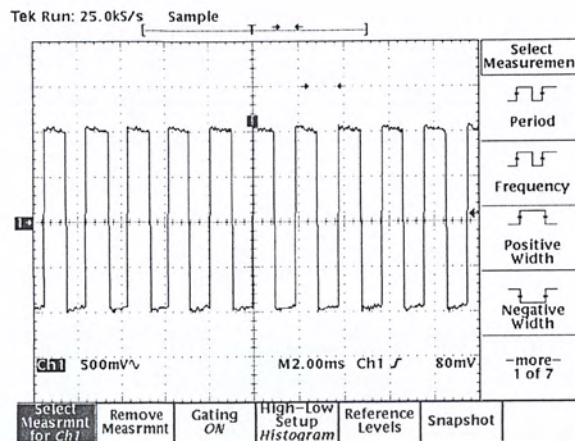


รูปที่ 4.12 แสดงรูปสัญญาณ TRIANGLE ที่ 1MHz

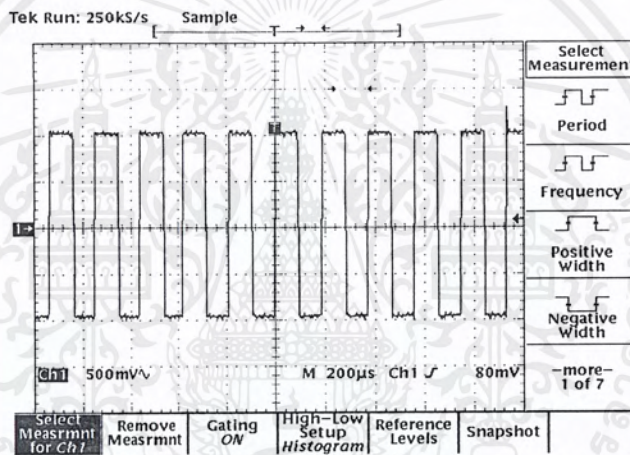


รูปที่ 4.13 แสดงรูปสัญญาณ RECTANGULAR ที่ 10Hz

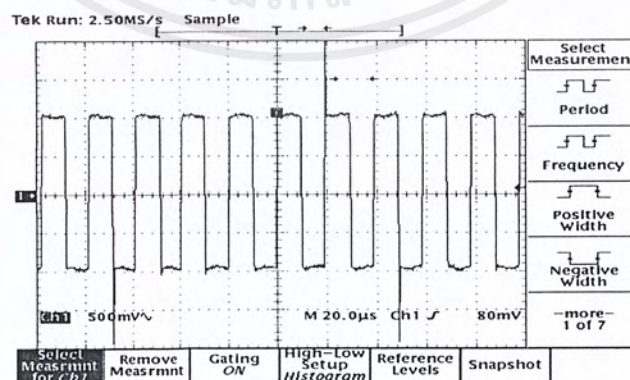
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงรูปสัญญาณ RECTANGULAR ที่ 1KHz

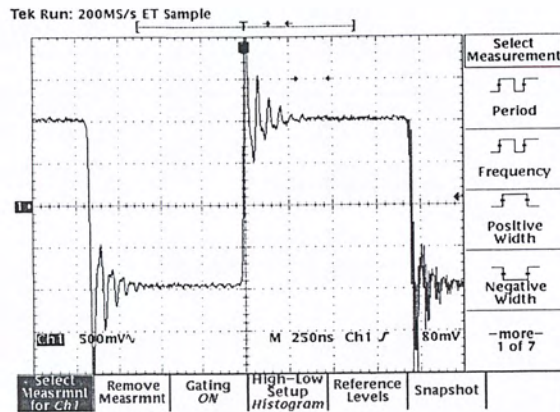


รูปที่ 4.15 แสดงรูปสัญญาณ RECTANGULAR ที่ 10KHz

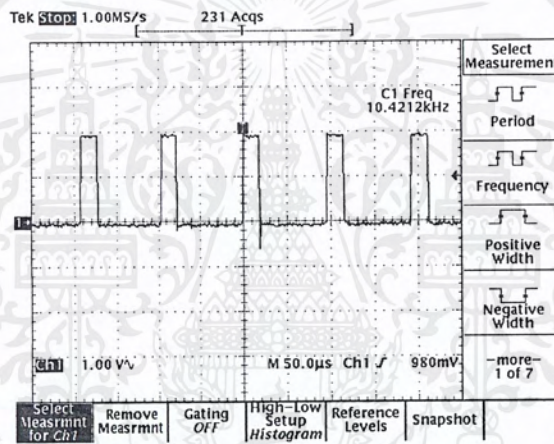


รูปที่ 4.16 แสดงรูปสัญญาณ RECTANGULAR ที่ 100 KHz

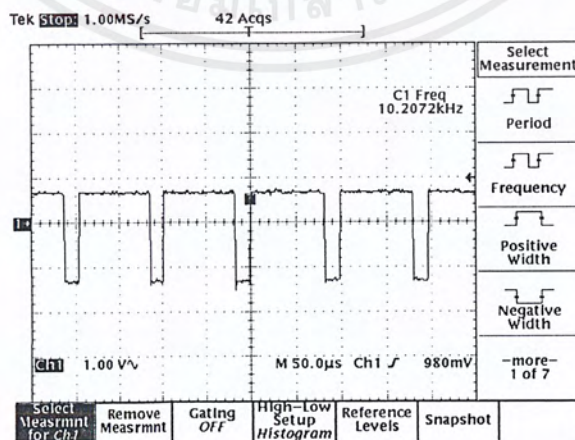
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 แสดงรูปสัญญาณ RECTANGULAR ที่ 1MHz

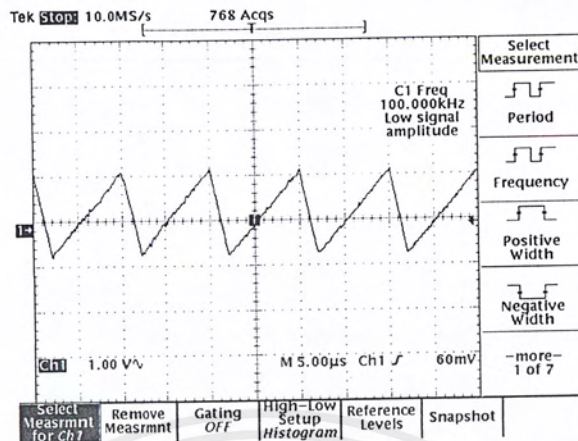


รูปที่ 4.18 แสดงรูปสัญญาณ PULSE , DUTY CYCLE 15%

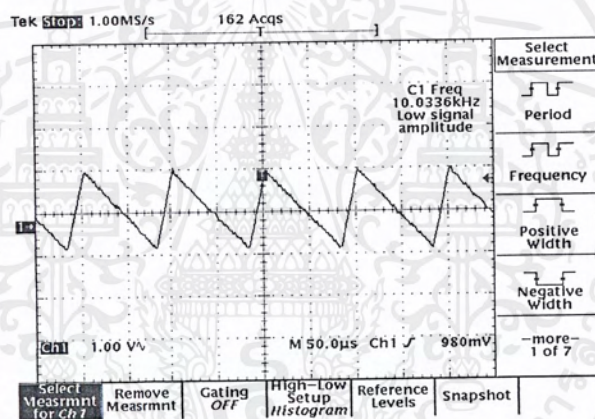


รูปที่ 4.19 แสดงรูปสัญญาณ PULSE , DUTY CYCLE 85%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 แสดงรูปสัญญาณ SAWTOOTH , DUTY CYCLE 15%



รูปที่ 4.21 แสดงรูปสัญญาณ SAWTOOTH , DUTY CYCLE 85%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทวิจารณ์และบทสรุป

จากแนวความคิดในการทำการออกแบบฟังก์ชันเงินเนอเรเตอร์ควบคุมโดยการนำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์มาทำการประยุกต์ใช้งานในการควบคุมการทำงาน ซึ่งใช้ไอซีเบอร์ MAX038 เป็นภาคกำเนิดสัญญาณ ซึ่งไอซี MAX 038 เป็นไอซีที่มีประสิทธิภาพในการทำงาน รวมไปถึงยังสามารถเปลี่ยนย่านความถี่ใช้งานด้วยคาปาซิเตอร์ที่ต่ออยู่กับขา CSOC การเปลี่ยนค่าของคาปาซิเตอร์สามารถทำได้โดยการใช้รีเลย์ในการควบคุมการซีเล็กเตอร์สวิตช์ ความจำเป็นที่ต้องใช้รีเลย์ ก็เนื่องมาจากอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่นำมาใช้แทนสวิตช์ นั้นมีค่าคาปาซิเตอร์อยู่ภายใน แต่การใช้รีเลย์แทนซีเล็กเตอร์สวิตช์นั้นยังพบกับปัญหาค่าคาปาซิเตอร์ระหว่างลายทองแดง ในส่วนของปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือความเที่ยงตรงของวงจรแปลงข้อมูลดิจิทัลให้เป็นสัญญาณอะนาลอก เพราะ MAX038 ใช้แรงดันและกระแสเพียงเล็กน้อยในการควบคุม ดังนั้นถ้าแรงดันและกระแสที่ควบคุมการทำงานของ MAX038 มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยสัญญาณทางเอาต์พุตจะเกิดการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก จึงทำให้ข้อมูลที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งออกมาผ่านในส่วนของ DAC เพื่อใช้ในการควบคุมความถี่ที่ MAX038 ผลิตขึ้นไม่ตรงกับความต้องการ จึงจำเป็นต้องใส่ค่าชดเชยในการประมวลผลทางไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งจะได้มีการปรับปรุงต่อไป ปัญหาที่เกิดขึ้นมาแล้วทำให้ได้รูปสัญญาณไม่คมชัดเท่าที่ควรซึ่งเกิดขึ้นจากสัญญาณรบกวนภายในวงในการออกแบบวงจรนี้ยังไม่สามารถขจัดสัญญาณรบกวนได้หมด ทำให้รูปสัญญาณในส่วนของความถี่สูงยังไม่คมชัด

แนวทางการปรับปรุงและพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องให้มากกว่าชิ้นก่อนนี้ทำได้โดยปรับปรุงในส่วนของ DAC ให้มีความเที่ยงตรงมากขึ้น การออกแบบลายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ต้องออกแบบให้ลดค่า L และ C ที่เกิดขึ้นในลายวงจรให้เหลือน้อยที่สุด และควรออกแบบวงจรอะนาลอกให้รวมอยู่บนแผ่นวงจรพิมพ์เดียวกัน เพื่อเป็นการป้องกันการเกิดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบ

## บรรณานุกรม

วรพันธ์ พิศาสสุนทร. ประยุกต์ใช้ไอซีMAX038 ออกแบบเป็นฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์:  
10Hz-10MHz วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์. ฉบับที่207. หน้า 198.  
กรุงเทพมหานคร:บริษัทซีเอ็ดดูเคชั่น(มหาชน)จำกัด,2543

ชัยวัฒน์ ลิ่มพรจิตรวิไล และคณะ “เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51”  
บริษัท อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด

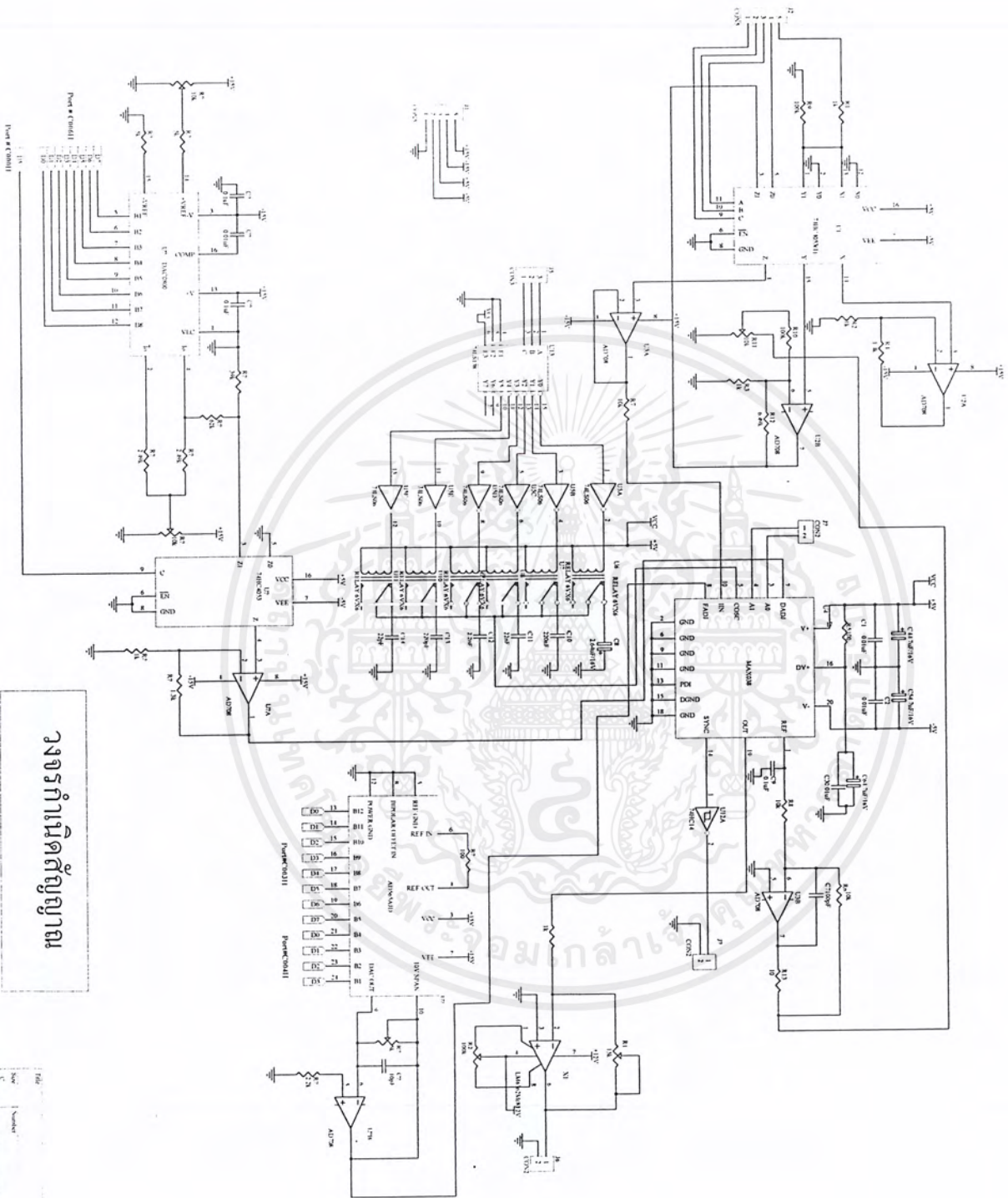
Analog Devices Data Sheet. AD708 Ultralow Offset Voltage Dual Op Amp. (n.p,n.d.)

Maxim Integrated Products. Max038 High-Frequency Waveform Generator. (n.p.),1995

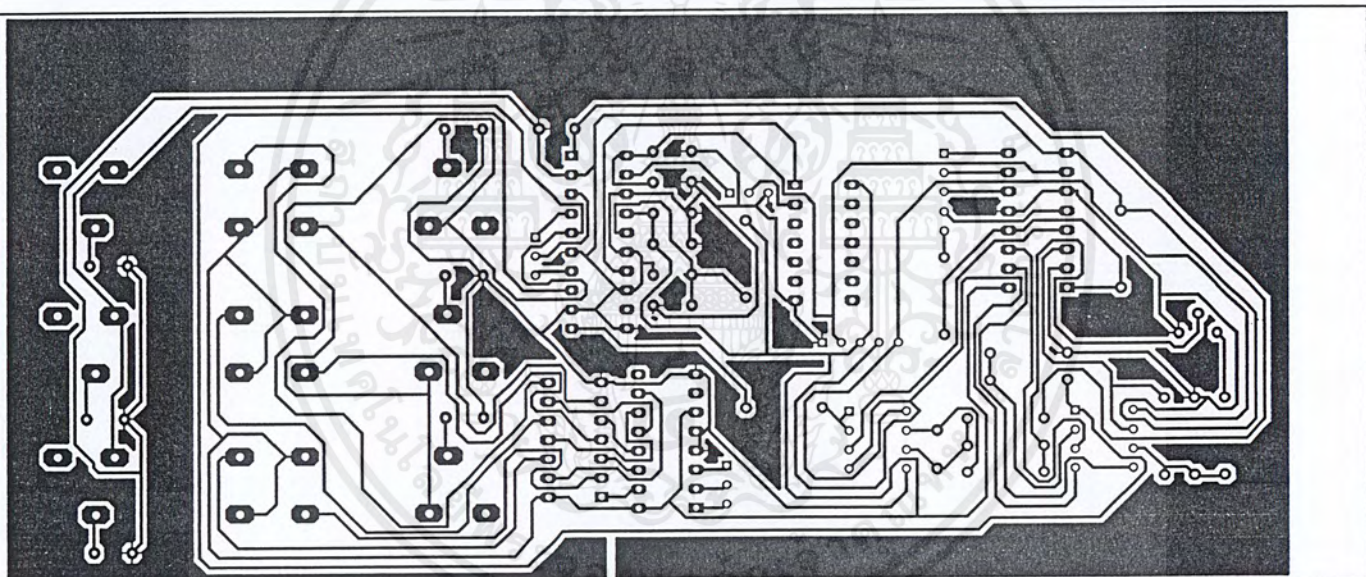


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

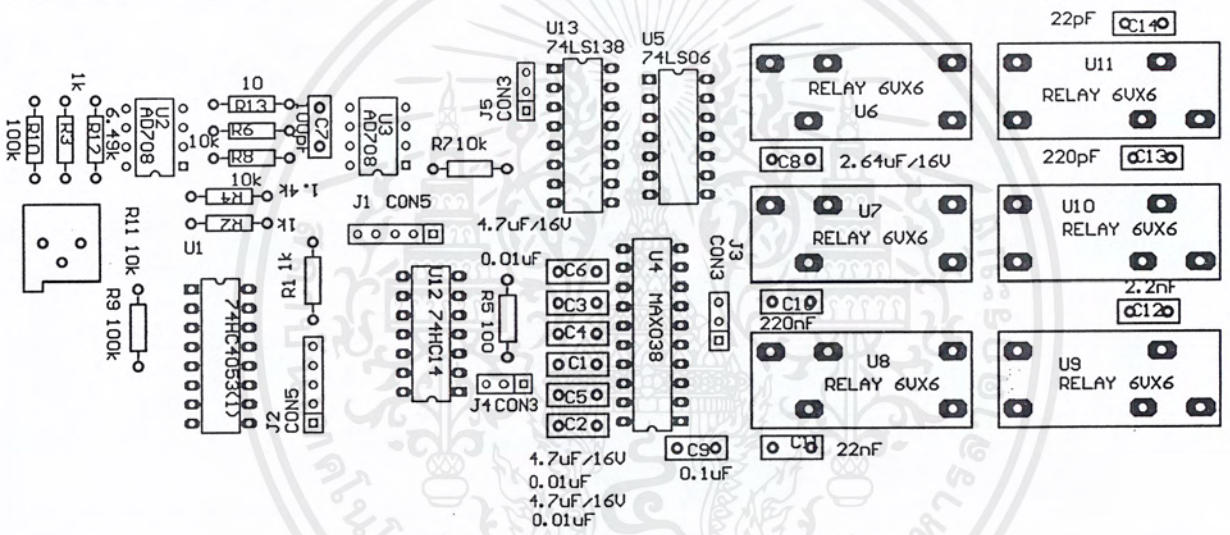
# วงจรถ่ายสัญญาณ



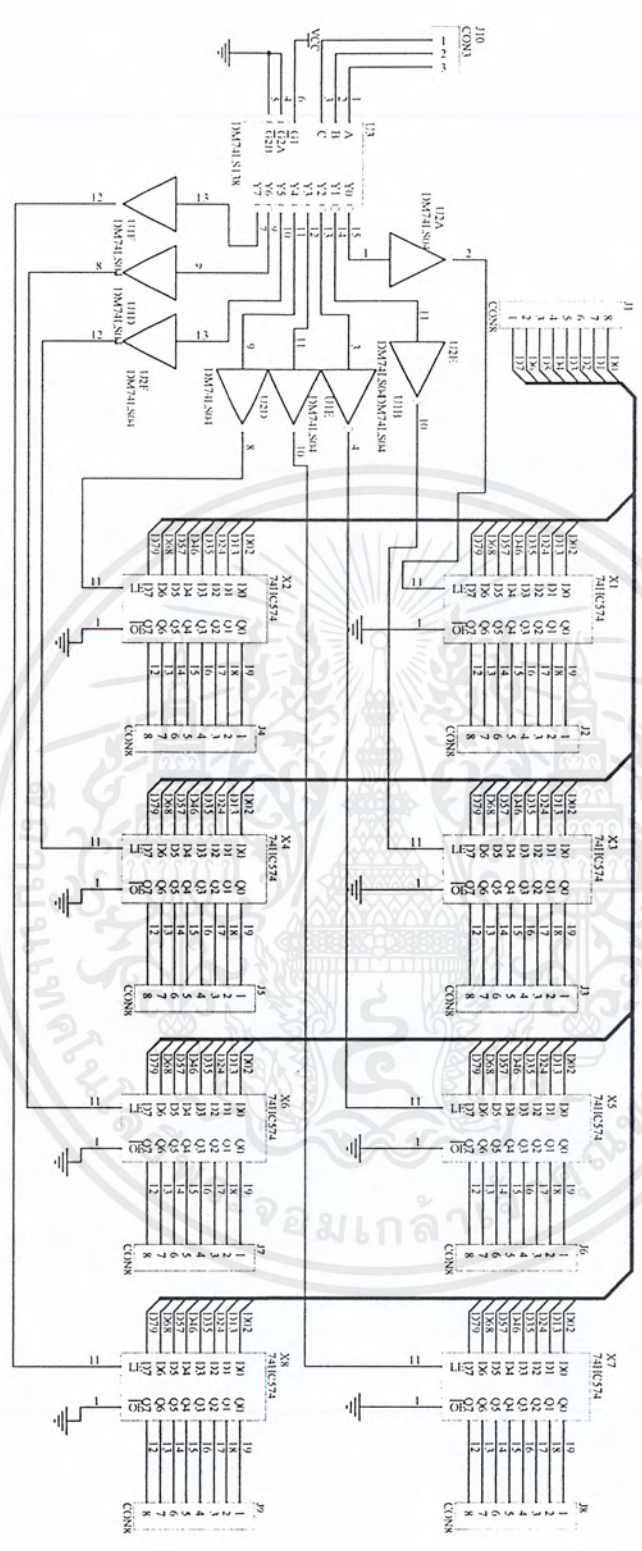
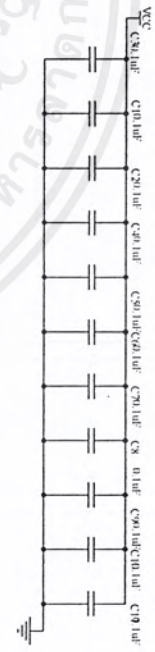
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม้วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



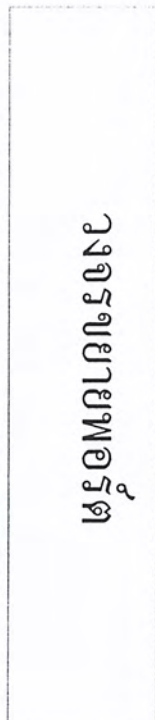
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

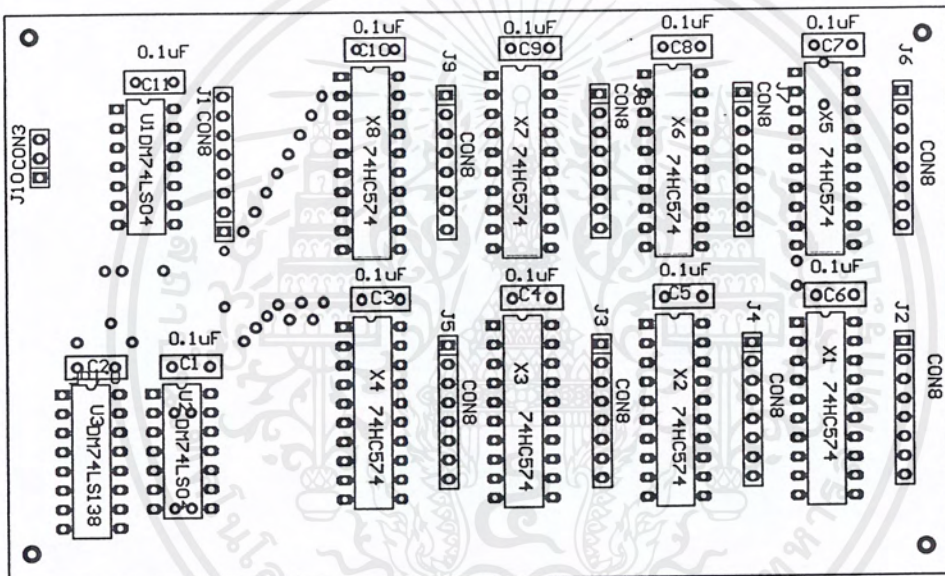


# วงจรมายาพอร์ต

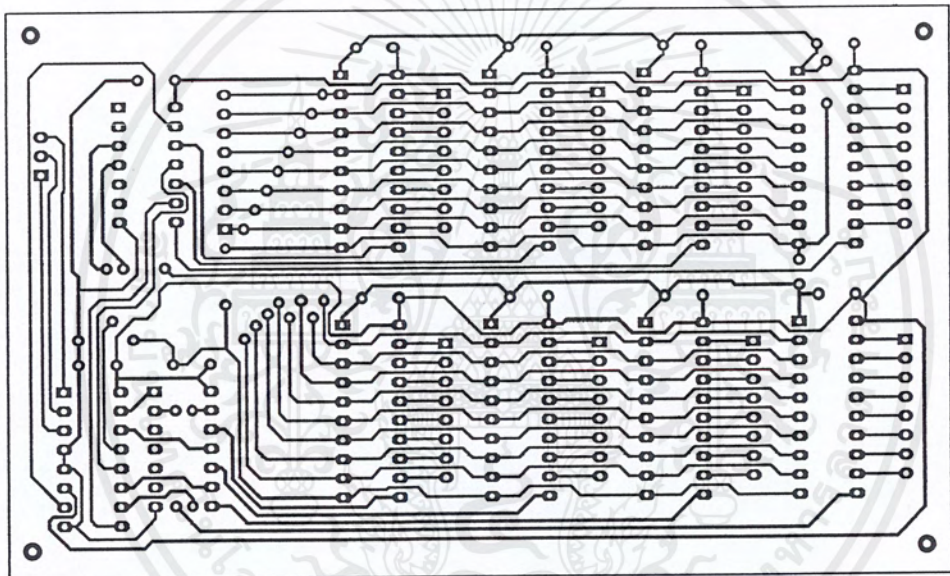


Title	
Scale	Number
Rev	Revision
Date	7-Mar-2012
Sheet of	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ใม่การณใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

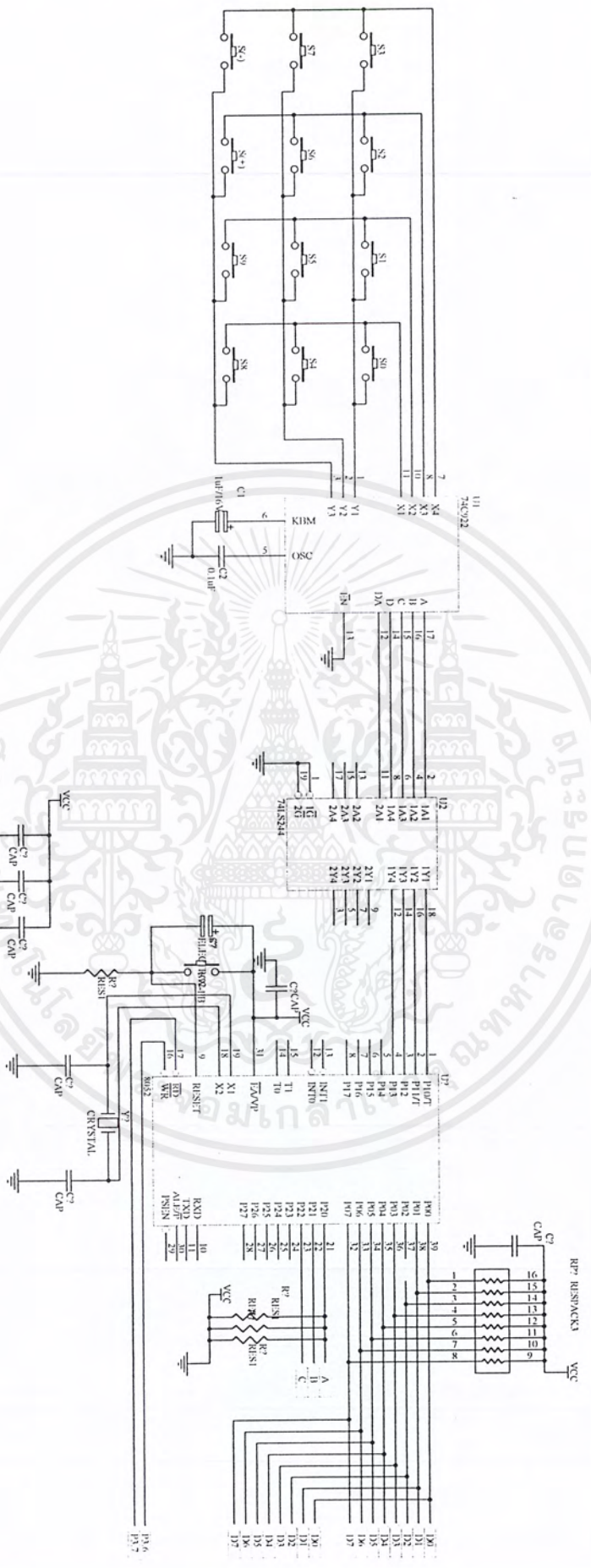


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



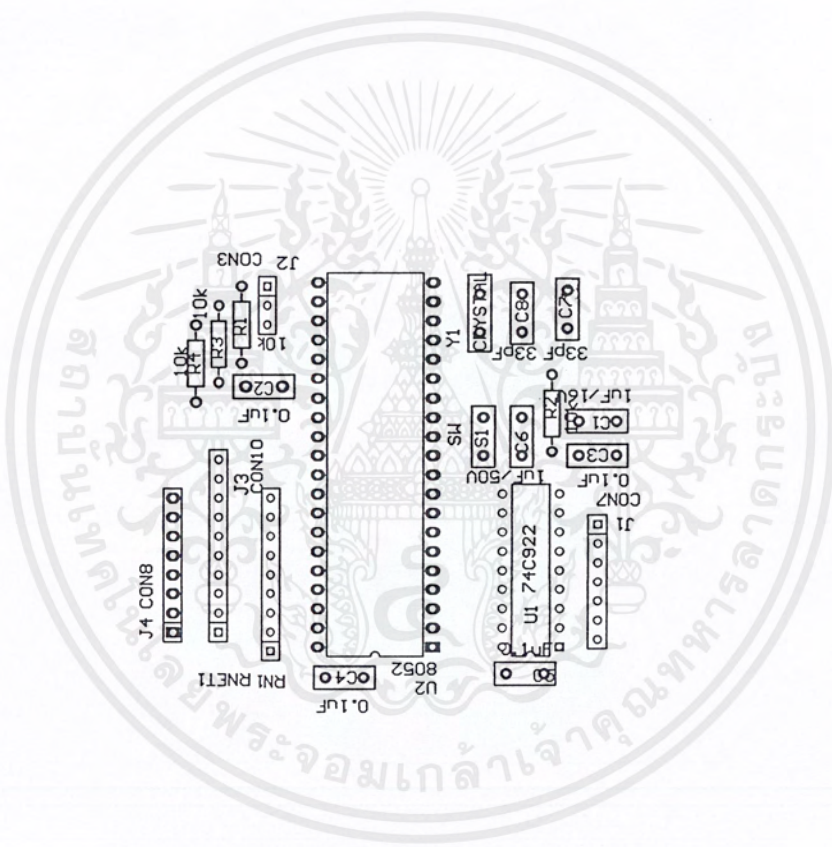
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# วงจรถามคำถาม

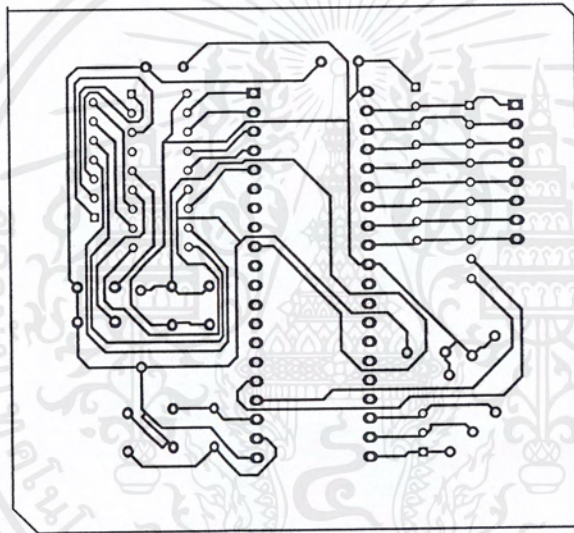


Title	Size	Number	Revision
11			

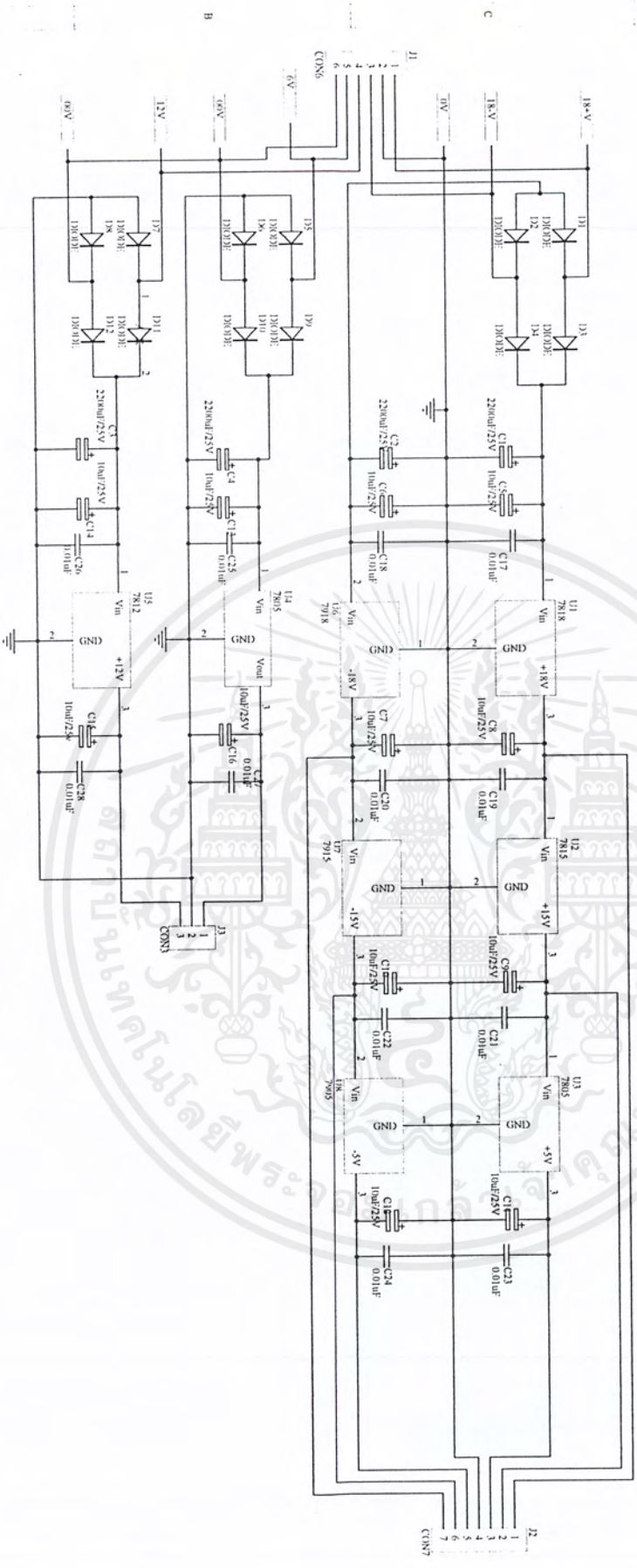
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่สามารถใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



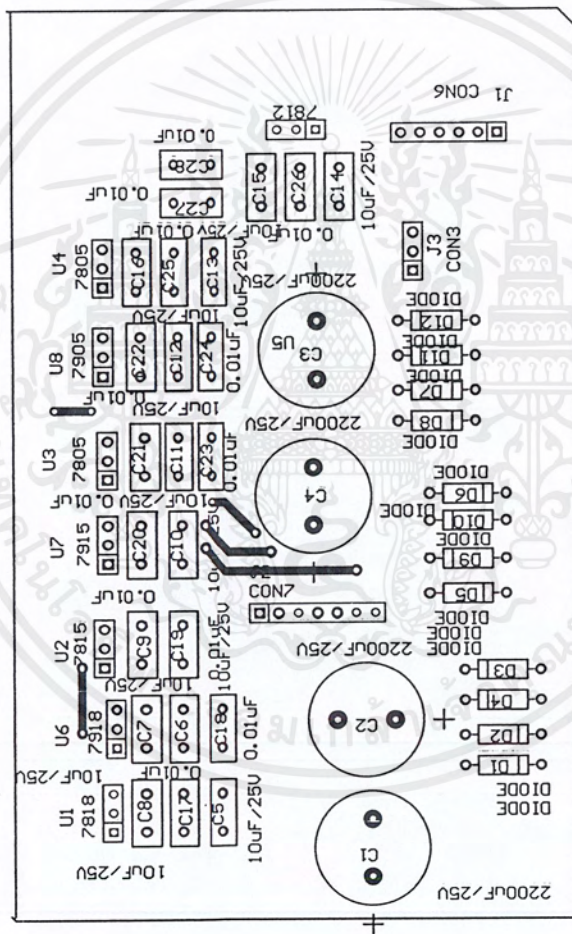
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



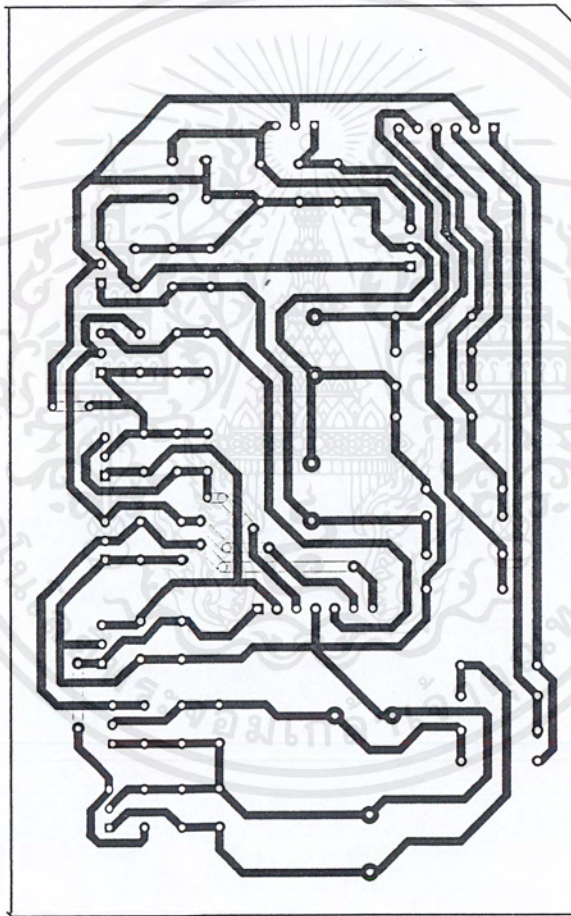
# วงจรPOWER SUPPLY

Title	วงจรPOWER SUPPLY	
Size	A	Revision
Number	B	Revision
Date	7-Mar-2002	Sheet of
File	D:\MSI Documents\21010101\big.dwg	Person

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

; Program

## DIGITAL FUNCTION GENERATOR

-----  
ORG 0000H

```
SJMP          STAR
LCD_EN       BIT    P3.6 ; LCD Module Enable (Active High : Level)
LCD_RS       BIT    P3.7 ; LCD Module Register Select
k1           EQU    4095
q1           EQU    2500
STAR:        ORG    0030H
RANG:        DS     1
POSF:        DS     1
MD:          DS     1
MD_WV:       DS     1
VALF:        DS     1
MULFG:       DS     1
LCD_ADDR:    DS     1
LCD_DATA:    DS     1
FR:          DS     4
FRE:         DS     3
DUTYV:       DS     2
OFFSET:      DS     3
FVAL:        DS     2
ADD16:       DS     2
ADD16A:      DS     2
ADD16B:      DS     2
SUB16A:      DS     2

MOV          POSF,#048H
MOV          P0,#00000000B
MOV          P1,#00H
MOV          P2,#00H
MOV          P3,#00H
```

-----

```
START:       LCALL   INIT_LCD
             MOV     LCD_ADDR,#00H
             LCALL   SET_ADDR_LCD
             MOV     DPTR,#FUNC1 ;LCD Show "Funtion
Control"
             LCALL   WRLINE_LCD
```

-----

```
MODET1:     MOV     LCD_ADDR,#40H
             LCALL   SET_ADDR_LCD
```

```

MOV     DPTR,#FUNC2   ;LCD Show "MODE"
LCALL   WRLINE_LCD

Y1:     LCALL   KEY
        ANL     A,#0FH
        CJNE   A,#00H,KEY1A
        LJMP   MODE

Y1A:    CJNE   A,#01H,Y1B
        LJMP   WAVET1

Y1B:    CJNE   A,#02H,Y1
        LJMP   OFFSETT1

;-----
WAVET1: MOV     LCD_ADDR,#40H
        LCALL   SET_ADDR_LCD
        MOV     DPTR,#FUNC3   ;LCD SHOW "WAVE FORM"
        LCALL   WRLINE_LCD

Y2:     LCALL   KEY
        ANL     A,#0FH
        CJNE   A,#0H,Y2A
        LJMP   WAVE

Y2A:    CJNE   A,#01H,Y2B
        SJMP   FREQT1

Y2B:    CJNE   A,#02H,Y2
        SJMP   MODET1

;-----
FREQT1: MOV     A,MD_WV
        ANL     A,#07H
        CJNE   A,#06H,FREQT2
        SJMP   AMPT1

FREQT2: MOV     LCD_ADDR,#40H
        LCALL   SET_ADDR_LCD
        MOV     DPTR,#FUNC4   ; LCD SHOW "
FREQUENCY"
        LCALL   WRLINE_LCD

Y3:     LCALL   KEY
        ANL     A,#0FH
        CJNE   A,#0H,Y3A
        LJMP   FREQ

Y3A:    CJNE   A,#01H,Y3B
        SJMP   AMPT1

Y3B:    CJNE   A,#02H,Y3
        SJMP   WAVET1

```

```

;-----
AMPT1:      MOV      LCD_ADDR,#40H
            LCALL   SET_ADDR_LCD
            MOV      DPTR,#FUNC6 ;LCD SHOW
"AMPLITUDE"
            LCALL   WRLINE_LCD
Y4:         LCALL   KEY
            ANL     A,#0FH
            CJNE    A,#0H,Y4A
            LJMP    AMP
Y4A:        CJNE    A,#01H,Y4B
            SJMP    DUTYT1
Y4B:        CJNE    A,#02H,Y4
            SJMP    FREQT1
;-----
DUTYT1:     MOV      A,MD_WV
            ANL     A,#20H
            CJNE    A,#00H,DUTYT2
            LJMP    OFFSETT1
DUTYT2:     MOV      LCD_ADDR,#40H
            LCALL   SET_ADDR_LCD
            MOV      DPTR,#FUNC5 ;LCD SHOW "DUTY"
            LCALL   WRLINE_LCD
Y5:         LCALL   KEY
            ANL     A,#0FH
            CJNE    A,#00H,Y5A
            LJMP    DUTY
Y5A:        CJNE    A,#01H,Y5B
            LJMP    OFFSETT1
Y5B:        CJNE    A,#02H,Y5
            SJMP    AMPT1
;-----
OFFSETT1:   MOV      LCD_ADDR,#40H
            LCALL   SET_ADDR_LCD
            MOV      DPTR,#FUNC7 ;LCD SHOW "OFFSET"
            LCALL   WRLINE_LCD
Y6:         LCALL   KEY
            ANL     A,#0FH
            CJNE    A,#00H,Y6A
            LJMP    OFFS1
Y6A:        CJNE    A,#01H,Y6B
            LJMP    MODET1
Y6B:        CJNE    A,#02H,Y6

```



```

;-----
FM:      MOV      LCD_ADDR,#40H
        LCALL    SET_ADDR_LCD
        MOV      DPTR,#TXTFM ;LCD SHOW " FM MODE "
        LCALL    WRLINE_LCD
Y9:      LCALL    KEY
        ANL      A,#0FH
        CJNE     A,#00H,Y9A ; Shoosed FM
        MOV      MD,#01H ;Keep XXXX X001
        LJMPL   START
Y9A:     CJNE     A,#01H,Y9B
        SJMP     INTERN
Y9B:     CJNE     A,#02H,Y7
        SJMP     SWEEP
;-----

```

```

;-----
; *** WAVE FROM ***
;-----

```

```

WAVE:    LCALL    INIT_LCD
WAVE1:   MOV      LCD_ADDR,#00H
        LCALL    SET_ADDR_LCD
        MOV      R1,MD
        MOV      DPTR,#TXTWAVE ;LCD SHOW " WAVE
FORM "
        LCALL    WRLINE_LCD
;-----

```

```

SINE:    MOV      LCD_ADDR,#40H
        LCALL    SET_ADDR_LCD
        MOV      DPTR,#TXTSINE ;LCD SHOW "SINE
WAVE "
        LCALL    WRLINE_LCD
Y10:     LCALL    KEY
        ANL      A,#0FH
        MOV      R2,A
        CJNE     R2,#0H,KEY10A
        MOV      A,#18H ;SINE = XX01 1XXX
        ORL      A,R1
        MOV      R1,A
        LJMPL   SENDMW
Y10A:    CJNE     R2,#01H,Y10B
        SJMP     TRIANGLE

```

```

Y10B:      CJNE      R2,#02H,KEY10
           CJNE      R1,#06H,Y10C
           SJMP      RECTANG
Y10C:      LJMP      PULSE
;-----
TRIANGLE:  MOV       LCD_ADDR,#40H
           LCALL    SET_ADDR_LCD
           MOV      DPTR,#TXTTRIANGLE ;LCD SHOW "
           TRIANGLE "
           LCALL    WRLINE_LCD
Y11:       LCALL    KEY
           ANL      A,#0FH
           MOV      R2,A
           CJNE    R2,#00H,Y11A
           MOV      A,#08H ;TRIANGLE = XX00 1XXX
           ORL     A,R1
           MOV      R1,A
           LJMP    SENDMW
Y11A:      CJNE    R2,#01H,Y11B
           SJMP    RECTANG
Y11B:      CJNE    R2,#02H,Y11
           LJMP    SINE
;-----
RECTANG:   MOV       LCD_ADDR,#40H
           LCALL    SET_ADDR_LCD
           MOV      DPTR,#TXTRECTANG ;LCD SHOW
           "RECTANG "
           LCALL    WRLINE_LCD
Y12:       LCALL    KEY
           ANL      A,#0FH
           MOV      R2,A
           CJNE    R2,#00H,Y12A
           MOV      A,#00H ;RECTANG = XX00
           ORL     A,R1
           MOV      R1,A
           LJMP    SENDMW
Y12A:      CJNE    R2,#01H,Y12B
           CJNE    R1,#06H,SAWTOOTH
           SJMP    SINE
Y12B:      CJNE    R2 ,#02H,Y12
           SJMP    TRIANGLE
;-----

```

```

SAWTOOTH:    MOV    LCD_ADDR,#40H
              LCALL  SET_ADDR_LCD
              MOV    DPTR,#TXTSAWTOOTH ;LCD SHOW
"SAWTOOTH "
              LCALL  WRLINE_LCD
Y13:         LCALL  KEY
              ANL    A,#0FH
              MOV    R2,A
              CJNE   R2,#00H,Y13A
              MOV    A,#28H           ;SAWTOOTH = XX10 1XXX
              ORL    A,R1
              MOV    R1,A
              LJMP   SENDMW
Y13A:        CJNE   R2,#01H,Y13B
              SJMP   PULSE
Y13B:        CJNE   R2,#02H,Y13
              SJMP   RECTANG
;-----
PULSE:       MOV    LCD_ADDR,#40H
              LCALL  SET_ADDR_LCD
              MOV    DPTR,#TXTPULSE ;LCD SHOW "
PULSE "
              LCALL  WRLINE_LCD
Y14:         LCALL  KEY
              ANL    A,#0FH
              MOV    R2,A
              CJNE   R2,#0H,Y14A
              MOV    A,#20H           ;PULSE = XX10 0XXX
              ORL    A,R1
              MOV    R1,A
              SJMP   SENDMW
Y14A:        CJNE   A,#01H,Y14B
              LJMP   SINE
K14B:        CJNE   A,#02H,KEY14
              SJMP   SAWTOOTH
;-----
; *** SEND MODE AND WAVE TO PORT0***
;-----
SENDMW:      MOV    MD_WV,R1
              MOV    P2,#0H
              MOV    P0,R1
              MOV    P2,#0FH
              LCALL  DELAY_10ms
              LJMP   START

```

-----  
; \*\*\* DUTY CYCLE SETTING \*\*\*

```
DUTY:          LCALL  INIT_LCD

                MOV    LCD_ADDR,#00H
                LCALL  SET_ADDR_LCD
                MOV    DPTR,#FUNC5          ;LCD SHOW "DUTY
CYCLE "
                LCALL  WRLINE_LCD

                MOV    LCD_ADDR,#40H
                LCALL  SET_ADDR_LCD
                MOV    DPTR,#TXTDUTY      ;LCD SHOW VALUE=15%"
                LCALL  WRLINE_LCD

                MOV    R0,#00H
                MOV    R1,#00H
                MOV    R2,#00H
STR_DUTY:
                MOV    A,R1
                MOV    R0,A
                MOV    A,R0
                LCALL  SHOW_DUTY
                MOV    DPTR,#TABLE_Duty
                MOVC   A,@A+DPTR
                MOV    R6,A
                CJNE   R1,#00H,DUTY01
                MOV    LCD_ADDR,#40H
                LCALL  SET_ADDR_LCD
                MOV    DPTR,#DTY00      ;LCD SHOW " VALUE=15% "
                LCALL  WRLINE_LCD
DUTY01:
                CJNE   R1,#01H,DUTY02
                MOV    LCD_ADDR,#40H
                LCALL  SET_ADDR_LCD
                MOV    DPTR,#DTY01      ;LCD SHOW " VALUE=16% "
                LCALL  WRLINE_LCD

DUTY02:
                CJNE   R1,#02H,DUTY03
                MOV    LCD_ADDR,#40H
                LCALL  SET_ADDR_LCD
                MOV    DPTR,#DTY02      ;LCD SHOW" VALUE =17% "
                LCALL  WRLINE_LCD
DUTY03:
                CJNE   R1,#03H,DUTY04
                MOV    LCD_ADDR,#40H
```

```

                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV  DPTR,#DTY03      ;LCD SHOW" VALUE=18% "
DUTY04:        LCALL WRLINE_LCD
                CJNE R1,#04H,DUTY05
                MOV  LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV  DPTR,#DTY04      ;LCD SHOW " VALUE=19%"
                LCALL WRLINE_LCD
DUTY05:        CJNE R1,#05H,DUTY06
                MOV  LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV  DPTR,#DTY05      ;LCD SHOW " VALUE=20% "
                LCALL WRLINE_LCD
DUTY06:        CJNE R1,#06H,DUTY07
                MOV  LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV  DPTR,#DTY06      ;LCD SHOW " VALUE=21%"
                LCALL WRLINE_LCD
DUTY07:        CJNE R1,#07H,DUTY08
                MOV  LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV  DPTR,#DTY07      ;LCD SHOW "VALUE = 22%"
                LCALL WRLINE_LCD
DUTY08:        CJNE R1,#08H,DUTY09
                MOV  LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV  DPTR,#DTY08      ;LCD SHOW"VALUE=23%"
                LCALL WRLINE_LCD
DUTY09:        CJNE R1,#09H,DUTY10
                MOV  LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV  DPTR,#DTY09      ;LCD SHOW" VALUE=24%"
                LCALL WRLINE_LCD
DUTY10:        CJNE R1,#10,DUTY11
                MOV  LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV  DPTR,#DTY10      ;LCD SHOW " VALUE=25% "
                LCALL WRLINE_LCD
DUTY11:        CJNE R1,#11,DUTY12
                MOV  LCD_ADDR,#40H

```

```

                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY11           ;LCD SHOW "VALUE=26%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY12:        CJNE R1,#12,DUTY13
                MOV   LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY12         ;LCD SHOW "VALUE =27%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY13:        CJNE R1,#13,DUTY14
                MOV   LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY13         ;LCD SHOW" VALUE=28% "
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY14:        CJNE R1,#14,DUTY15
                MOV   LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY14         ;LCD SHOW" VALUE= 29%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY15:        CJNE R1,#15,DUTY16
                MOV   LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY15         ;LCD SHOW"VALUE=30%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY16:        CJNE R1,#16,DUTY17
                MOV   LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY16         ;LCD SHOW "VALUE=31%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY17:        CJNE R1,#17,DUTY18
                MOV   LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY17         ;LCD SHOW "VALUE=32%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY18:        CJNE R1,#18,DUTY19
                MOV   LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY18         ;LCD SHOW " VALUE = 33%"

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                LCALL  WRLINE_LCD

DUTY19:        CJNE  R1,#19,DUTY20
                MOV   LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY19      ;LCD SHOW"VALUE=34%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY20:        CJNE  R1,#20,DUTY21
                MOV   LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY20      ;LCD SHOW" VALUE=35%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY21:        CJNE  R1,#21,DUTY22
                MOV   LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY21      ;LCD SHOW " VALUE=36%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY22:        CJNE  R1,#22,DUTY23
                MOV   LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY22      ;LCD SHOW " VALUE=37%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY23:        CJNE  R1,#23,DUTY24
                MOV   LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY23      ;LCD SHOW " VALUE=38%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY24:        CJNE  R1,#24,DUTY25
                MOV   LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY24      ;LCD SHOW" VALUE=39%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY25:        CJNE  R1,#25,DUTY26
                MOV   LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY25      ;LCD SHOW " VALUE=40%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY26:        CJNE  R1,#26,DUTY27

```

```

MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#DTY26 ;LCD SHOW "VALUE=41%"
LCALL WRLINE_LCD

DUTY27: CJNE R1,#27,DUTY28
MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#DTY27 ;LCD SHOW "VALUE= 42%"
LCALL WRLINE_LCD

DUTY28: CJNE R1,#28,DUTY29
MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#DTY28 ;LCD SHOW" VALUE=43%"
LCALL WRLINE_LCD

DUTY29: CJNE R1,#29,DUTY30
MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#DTY29 ;LCD SHOW " VALUE= 44%"
LCALL WRLINE_LCD

DUTY30: CJNE R1,#30,DUTY31
MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#DTY30 ;LCD SHOW" VALUE=45%"
LCALL WRLINE_LCD

DUTY31: CJNE R1,#31,DUTY32
MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#DTY31 ;LCD SHOW "VALUE= 46% "
LCALL WRLINE_LCD

DUTY32: CJNE R1,#32,DUTY33
MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#DTY32 ;LCD SHOW" VALUE= 47%
LCALL WRLINE_LCD

DUTY33: CJNE R1,#33,DUTY34
MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#DTY33 ;LCD SHOW" VALUE =48%"

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                LCALL WRLINE_LCD

DUTY34:        CJNE R1,#34,DUTY35
                MOV  LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV  DPTR,#DTY30      ;LCD SHOW"VALUE= 49%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY35:        CJNE R1,#35,DUTY36
                MOV  LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV  DPTR,#DTY35      ;LCD SHOW" VALUE=50%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY36:        CJNE R1,#36,DUTY37
                MOV  LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV  DPTR,#DTY36      ;LCD SHOW" VALUE= 51%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY37:        CJNE R1,#37,DUTY38
                MOV  LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV  DPTR,#DTY37      ;LCD SHOW" VALUE=52% "
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY38:        CJNE R1,#38,DUTY39
                MOV  LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV  DPTR,#DTY38      ;LCD SHOW " VALUE=53%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY39:        CJNE R1,#39,DUTY40
                MOV  LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV  DPTR,#DTY39      ;LCD SHOW " VALUE=54%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY40:        CJNE R1,#40,DUTY41
                MOV  LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV  DPTR,#DTY40      ;LCD SHOW " VALUE=55%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY41:        CJNE R1,#41,DUTY42

```

```

MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#DTY41 ;LCD SHOW" VALUE= 56% "
LCALL WRLINE_LCD

DUTY42: CJNE R1,#42,DUTY43
MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#DTY42 ;LCD SHOW" VALUE=57%"
LCALL WRLINE_LCD

DUTY43: CJNE R1,#43,DUTY44
MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#DTY43 ;LCD SHOW " VALUE=58%"
LCALL WRLINE_LCD

DUTY44: CJNE R1,#44,DUTY45
MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#DTY44 ;LCD SHOW " VALUE=59%"
LCALL WRLINE_LCD

DUTY45: CJNE R1,#45,DUTY46
MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#DTY45 ;LCD SHOW" VALUE= 60%"
LCALL WRLINE_LCD

DUTY46: CJNE R1,#46,DUTY47
MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#DTY46 ;LCD SHOW " VALUE= 61% "
LCALL WRLINE_LCD

DUTY47: CJNE R1,#47,DUTY48
MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#DTY47 ;LCD SHOW" VALUE=62%"
LCALL WRLINE_LCD

DUTY48: CJNE R1,#48,DUTY49
MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#DTY50 ;LCD SHOW" VALUE= 63%"

```

```

                LCALL  WRLINE_LCD

DUTY49:        CJNE  R1,#49,DUTY50
                MOV   LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY49      ;LCD SHOW" VALUE= 64%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY50:        CJNE  R1,#50,DUTY51
                MOV   LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY50      ;LCD SHOW "VALUE=65%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY51:        CJNE  R1,#51,DUTY52
                MOV   LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY51      ;LCD SHOW" VALUE= 66%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY52:        CJNE  R1,#52,DUTY53
                MOV   LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY52      ;LCD SHOW " VALUE = 67%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY53:        CJNE  R1,#53,DUTY54
                MOV   LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY53      ;LCD SHOW" VALUE=68%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY54:        CJNE  R1,#54,DUTY55
                MOV   LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY54      ;LCD SHOW " VALUE=69%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY55:        CJNE  R1,#55,DUTY56
                MOV   LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY55      ;LCD SHOW "VALUE=70%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY56:        CJNE  R1,#56,DUTY57

```

```

MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#DTY56 ;LCD SHOW " VALUE= 71%"
LCALL WRLINE_LCD

DUTY57: CJNE R1,#57,DUTY58
MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#DTY57 ;LCD SHOW " VALUE=72%"
LCALL WRLINE_LCD

DUTY58: CJNE R1,#58,DUTY59
MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#DTY58 ;LCD SHOW" VALUE=73% "
LCALL WRLINE_LCD

DUTY59: CJNE R1,#59,DUTY60
MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#DTY60 ;LCD SHOW" VALUE=74% "
LCALL WRLINE_LCD

DUTY60: CJNE R1,#60,DUTY61
MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#DTY60 ;LCD SHOW" VALUE=75%"
LCALL WRLINE_LCD

DUTY61: CJNE R1,#61,DUTY62
MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#DTY61 ;LCD SHOW" VALUE=76%"
LCALL WRLINE_LCD

DUTY62: CJNE R1,#62,DUTY63
MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#DTY62 ;LCD SHOW" VALUE=77%"
LCALL WRLINE_LCD

DUTY63: CJNE R1,#63,DUTY64
MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#DTY63 ;LCD SHOW" VALUE=78%"

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                LCALL  WRLINE_LCD

DUTY64:        CJNE  R1,#64,DUTY65
                MOV   LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY64      ;LCD SHOW " VALUE =79%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY65:        CJNE  R1,#65,DUTY66
                MOV   LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY65      ;LCD SHOW" VALUE= 80%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY66:        CJNE  R1,#66,DUTY67
                MOV   LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY66      ;LCD SHOW" VALUE= 81% "
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY67:        CJNE  R1,#67,DUTY68
                MOV   LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY67      ;LCD SHOW " VALUE=82%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY68:        CJNE  R1,#68,DUTY69
                MOV   LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY68      ;LCD SHOW " VALUE= 83% "
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY69:        CJNE  R1,#69,DUTY70
                MOV   LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY69      ;LCD SHOW "VALUE=84%"
                LCALL WRLINE_LCD

DUTY70:        CJNE  R1,#70,duty_end
                MOV   LCD_ADDR,#40H
                LCALL SET_ADDR_LCD
                MOV   DPTR,#DTY70      ;LCD SHOW" VALUE=85% "
                LCALL WRLINE_LCD

```

```

duty_end:
;*****
;
;   LCALL KEY
;   ANL  A,#0FH
;   MOV  R3,A
;*****
;
;   CJNE R3,#00H,NX00
;   LCALL START
NX00:   CJNE  R3,#02H,NX01
;   INC  R1
;   CJNE R1,#71,NX01
;   MOV  R1,#00H
NX01:   CJNE  R3,#01H,NX02
;   CJNE R1,#00,NX03
;   MOV  R1,#71
NX03:   DEC  R1
;   SJMP NX02
;
;   MOV  A,R1

TABLE_Duty: DB 0FH,12H,16H,19H,1DH,20H,24H
;   DB 27H,2BH,2EH,32H,35H,38H,3BH
;   DB 3FH,43H,46H,49H,4CH,50H,53H
;   DB 56H,59H,5DH,60H,63H,66H,69H
;   DB 6CH,70H,72H,76H,79H,7CH,7FH
;   DB 83H,86H,89H,8DH,8FH,93H,96H
;   DB 98H,9CH,9FH,0A2H,0A5H,0A8H,0ACH
;   DB 0AFH,0B3H,0B6H,0B8H,0BCH,0BFH,0C2H
;   DB 0C5H,0C8H,0CCH,0CFH,0D2H,0D5H,0D9H
;   DB 0DCH,0DFH,0E3H,0E6H,0EAH,0EDH,0F0H,0F4H

;-----
; ***SEND DUTY CYCLE***
;-----
NX02:   MOV  P0,R6
;   MOV  P2,#04H
;   LCALL DELAY_10ms
;   LCALL DELAY_10ms
;   MOV  P2,#0FH
;   LJMP STR_DUTY

```

```
-----  
; ***AMPLITUDE***  
-----
```

```
AMP:          LCALL  INIT_LCD  
              MOV    LCD_ADDR,#00H  
              LCALL  SET_ADDR_LCD  
              MOV    DPTR,#FUNC6   ;LCD SHOW " AMPLITUDE "  
              LCALL  WRLINE_LCD  
AMP1:         MOV    LCD_ADDR,#40H  
              LCALL  SET_ADDR_LCD  
              MOV    DPTR,#TXTAMP   ;LCD SHOW " ADJ  
              AMPLITUDE "  
              LCALL  WRLINE_LCD  
              LCALL  DELAY_1s  
              LCALL  DELAY_1s  
              LCALL  DELAY_1s  
              NOP  
              NOP  
              LJMP  START
```

```
-----  
OFFS1:       LCALL  INIT_LCD  
              MOV    LCD_ADDR,#00H  
              LCALL  SET_ADDR_LCD  
              MOV    DPTR,#FUNC7   ;LCD SHOW " OFFSET "  
              LCALL  WRLINE_LCD  
              MOV    LCD_ADDR,#40H  
              LCALL  SET_ADDR_LCD  
              MOV    DPTR,#TXTOFFS ;LCD SHOW " ADJ OFFSET "  
              LCALL  WRLINE_LCD  
              LCALL  DELAY_1s  
              LCALL  DELAY_1s  
              LCALL  DELAY_1s  
              NOP  
              NOP  
              LJMP  START
```

-----  
;\*\*\*FREQUENCY SETTING\*\*\*  
-----

FREQ:            LCALL  INIT\_LCD  
                  MOV    LCD\_ADDR,#00H  
                  LCALL  SET\_ADDR\_LCD  
                  MOV    DPTR,#FUNC4  
                  LCALL  WRLINE\_LCD

FREQ1:           MOV    LCD\_ADDR,#40H  
                  LCALL  SET\_ADDR\_LCD  
                  MOV    DPTR,#TXTHZ  
                  LCALL  WRLINE\_LCD

INT:             MOV    R1,#03H  
                  LCALL  KEY  
                  ANL    A,#0FH  
                  CJNE  A,#00H,NX0  
                  LCALL  START

NX0:             CJNE  A,#01H,NX  
                  CJNE  R1,#5,NX1  
                  MOV    R1,#00H  
                  SJMP  NX

NX1:             INC    R1

NX:              CJNE  A,#02H,JP01  
                  CJNE  R1,#00,NX3  
                  MOV    R1,#05H  
                  SJMP  JP01

NX3:             DEC    R1

JP01:            CJNE  R1,#00H,JP02  
                  LCALL  SEND\_PORT  
                  MOV    LCD\_ADDR,#40H  
                  LCALL  SET\_ADDR\_LCD  
                  MOV    DPTR,#RANGE1  
                  LCALL  WRLINE\_LCD

JP02:            CJNE  R1,#01H,JP03  
                  LCALL  SEND\_PORT  
                  MOV    LCD\_ADDR,#40H  
                  LCALL  SET\_ADDR\_LCD  
                  MOV    DPTR,#RANGE2  
                  LCALL  WRLINE\_LCD

JP03:            CJNE  R1,#02H,JP04

```

LCALL SEND_PORT
MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#RANGE3
LCALL WRLINE_LCD
JP04: CJNE R1,#03H,JP05
LCALL SEND_PORT
MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#RANGE4
LCALL WRLINE_LCD
JP05: CJNE R1,#04H,JP06
LCALL SEND_PORT
MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#RANGE5
LCALL WRLINE_LCD
JP06: CJNE R1,#05H,JP07
LCALL SEND_PORT
MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#RANGE6
LCALL WRLINE_LCD
JP07: LJMP INT

SEND_PORT: MOV P0,R1
MOV P2,#06H
LCALL DELAY_10ms
MOV P2,#0FH
RET

```

```

;-----
;***SACAN KEY***
;-----

```

```

KEY: CLR A
MOV A,P1
JNB ACC.7,KEY
LCALL DELAY_100ms
RET

```

```

;-----
;LCD MANAGMENT
;-----

```

```

INIT_LCD:      LCALL  DELAY_100ms    ; Delay
               CLR    LCD_RS      ; Clear LCD_RS Pin for order
               MOV    P0,#00111000B ; ( Order define function of
operate )

```

```

               LCALL  LCD_CLK
               LCALL  DELAY_10ms
               MOV    P0,#00111000B ; Entry Mode
               ACALL LCD_CLK      ; Pulse LCD Clock
               ACALL  LCD_OFF     ; Clear Display
               ACALL  LCD_CLR     ; Display on
               MOV    P0,#00000110B
               ACALL  LCD_CLK
               ACALL  LCD_HOME
               RET

```

```

;-----
LCD_CLR:      CLR    LCD_RS      ; Clear LCD_RS Pin for order
               MOV    P0,#00000001B ; Display Clear for emtry lcd
               ACALL LCD_CLK      ; Pulse LCD Clock
               RET

```

```

;-----
LCD_HOME:    CLR    LCD_RS
               MOV    P0,#00000010B
               ACALL  LCD_CLK
               RET

```

```

;-----
LCD_OFF:     CLR    LCD_RS
               MOV    P0,#00001000B
               ACALL  LCD_CLK
               RET

```

```

;-----
LCD_CLK:     SETB   LCD_EN      ; Pulse Clock to LCD_EN
               ACALL LCD_DELAY
               CLR    LCD_EN
               ACALL LCD_DELAY
               RET

```

```

;-----
LCD_ON:      CLR    LCD_RS      ; Clear LCD_RS Pin
               MOV    P0,#00001100B ; Display On
               ACALL LCD_CLK      ; Pulse LCD Clock
               RET

```

```

;-----
LCD_BLINK:   CLR    LCD_RS
               MOV    P0,#00001111B

```

```

                                ACALL LCD_CLK
RET
;-----
LCD_LSHF:  CLR   LCD_RS
           MOV   P0,#00010000B
           ACALL LCD_CLK
           RET
;-----
LCD_RSHF:  CLR   LCD_RS
           MOV   P0,#00010100B
           ACALL LCD_CLK
           RET
;-----
SET_ADDR_LCD: CLR   LCD_RS           ; Clear LCD_RS Pin
              MOV   A,LCD_ADDR       ; Move
LCD_ADDR to ACC.
              SETB  ACC.7           ; Set bit ACC.7
              MOV   P0,A            ; Move to
DATABUS
              ACALL LCD_CLK         ; Pulse LCD Clock
              RET
;-----
WRCHAR_LCD: SETB  LCD_RS
            MOV   P0,LCD_DATA
            ACALL LCD_CLK
            ACALL LCD_LSHF
            ACALL LCD_ON
            RET
;-----
WRLINE_LCD: MOV   R0,#0           ; Clear loop counter
WRLINE_LCD_1: SETB  LCD_RS       ; Set LCD_RS Pin
              CLR   A             ; Clear ACC.
              MOVC A,@A+DPTR      ; Move data from @DPTR to
ACC.
              MOV   P0,A          ; Move ACC. to DATABUS
              ACALL LCD_CLK       ; Pulse LCD Clock
              INC   DPTR          ; Increase Pointer
              INC   R0            ; Increase loop counter
              CJNE  R0,#16,WRLINE_LCD_1 ; Do until 8 times
              ACALL LCD_ON
              RET

WRLINE_LCD_3: MOV   R0,#0           ; Clear loop counter
WRLINE_LCD_4: SETB  LCD_RS       ; Set LCD_RS Pin
              CLR   A             ; Clear ACC.

```

```

ACC.          MOV C A,@A+DPTR          ; Move data from @DPTR to
              MOV P0,A                ; Move ACC. to DATABUS
              ACALL LCD_CLK           ; Pulse LCD Clock
              INC DPTR                ; Increase Pointer
              INC R0                  ; Increase loop counter
              CJNE R0,#24,WRLINE_LCD_4
              ACALL LCD_ON
              RET

```

```

;-----
; Delay time I2C_DELAY, LCD_DELAY, 10m, 100m, 1s
;-----

```

```

LCD_DELAY:   PUSH 6
             PUSH 7
             MOV 7,#002
LCD_DELAY_1: MOV 6,#0E6H
LCD_DELAY_2: NOP
             NOP
             DJNZ R6,LCD_DELAY_2
             DJNZ R7,LCD_DELAY_1
             POP 7
             POP 6
             RET

```

```

DELAY_10ms:  PUSH 6
             PUSH 7
             MOV 7,#010H
DELAY_10ms_1: MOV 6,#0E6H
DELAY_10ms_2: NOP
             NOP
             DJNZ R6,DELAY_10ms_2
             DJNZ R7,DELAY_10ms_1
             POP 7
             POP 6
             RET

```

```

DELAY_100ms: PUSH 6
             PUSH 7
             MOV 7,#100H

```

```

DELAY_100ms_1: MOV 6,#0E6H
DELAY_100ms_2: NOP
             NOP
             DJNZ R6,DELAY_100ms_2
             DJNZ R7,DELAY_100ms_1

```

```

POP 7
POP 6
RET
DELAY_1s: PUSH 6
          PUSH 7
          MOV 5,#100
DELAY_1s_1: ACALL DELAY_10ms
           DJNZ R5,DELAY_1s_1
           POP 7
           POP 6
           RET

```

```

;-----
;Define Constant < Store in Flash Program Memory >
;-----

```

```

FUNC1:    DB ' FUNCTION CONTROL'
FUNC2:    DB '   MODE'
FUNC3:    DB '  WAVE FORM'
FUNC4:    DB '  FREQUENCY'
FUNC5:    DB '  DUTY CYCLE'
FUNC6:    DB '  AMPLITUDE'
FUNC7:    DB '  OFFSET'
TXTMODE:  DB ' MODE SETTING'
TXTINTERN: DB ' INTERN MODE'
TXTSWEEP:  DB ' SWEEP MODE'
TXTFM:    DB '  FM MODE'
TXTWAVE:   DB '  WAVE FORM'
TXTSINE:   DB '  SINE WAVE'
TXTTRIANGLE: DB ' TRIANGLE WAVE'
TXTRECTANG: DB ' RECTANG WAVE'
TXTSAWTOOTH: DB ' SAWTOOTH WAVE'
TXTPULSE:  DB ' PULSE WAVE'
TXTAMP:    DB ' ADJUST VALUE'
TXTOFFS:   DB ' ADJUST VALUE'
TXTHZ:     DB ' SELECT RANGE'
TXTDUTY:   DB ' VALUE = 15%'
DTY00:     DB ' VALUE = 85%'
DTY01:     DB ' VALUE = 15%'
DTY02:     DB ' VALUE = 16%'
DTY03:     DB ' VALUE = 17%'
DTY04:     DB ' VALUE = 18%'
DTY05:     DB ' VALUE = 19%'
DTY06:     DB ' VALUE = 20%'
DTY07:     DB ' VALUE = 21%'
DTY08:     DB ' VALUE = 22%'

```

DTY09:	DB ' VALUE = 23%	'
DTY10:	DB ' VALUE = 24%	'
DTY11:	DB ' VALUE = 25%	'
DTY12:	DB ' VALUE = 26%	'
DTY13:	DB ' VALUE = 27%	'
DTY14:	DB ' VALUE = 28%	'
DTY15:	DB ' VALUE = 29%	'
DTY16:	DB ' VALUE = 30%	'
DTY17:	DB ' VALUE = 31%	'
DTY18:	DB ' VALUE = 32%	'
DTY19:	DB ' VALUE = 33%	'
DTY20:	DB ' VALUE = 34%	'
DTY21:	DB ' VALUE = 35%	'
DTY22:	DB ' VALUE = 36%	'
DTY23:	DB ' VALUE = 37%	'
DTY24:	DB ' VALUE = 38%	'
DTY25:	DB ' VALUE = 39%	'
DTY26:	DB ' VALUE = 40%	'
DTY27:	DB ' VALUE = 41%	'
DTY28:	DB ' VALUE = 42%	'
DTY29:	DB ' VALUE = 43%	'
DTY30:	DB ' VALUE = 44%	'
DTY31:	DB ' VALUE = 45%	'
DTY32:	DB ' VALUE = 46%	'
DTY33:	DB ' VALUE = 47%	'
DTY34:	DB ' VALUE = 48%	'
DTY35:	DB ' VALUE = 49%	'
DTY36:	DB ' VALUE = 50%	'
DTY37:	DB ' VALUE = 51%	'
DTY38:	DB ' VALUE = 52%	'
DTY39:	DB ' VALUE = 53%	'
DTY40:	DB ' VALUE = 54%	'
DTY41:	DB ' VALUE = 55%	'
DTY42:	DB ' VALUE = 56%	'
DTY43:	DB ' VALUE = 57%	'
DTY44:	DB ' VALUE = 58%	'
DTY45:	DB ' VALUE = 59%	'
DTY46:	DB ' VALUE = 60%	'
DTY47:	DB ' VALUE = 61%	'
DTY48:	DB ' VALUE = 62%	'
DTY49:	DB ' VALUE = 63%	'
DTY50:	DB ' VALUE = 64%	'
DTY51:	DB ' VALUE = 65%	'
DTY52:	DB ' VALUE = 66%	'
DTY53:	DB ' VALUE = 67%	'

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DTY54:      DB ' VALUE = 68% '
DTY55:      DB ' VALUE = 69% '
DTY56:      DB ' VALUE = 70% '
DTY57:      DB ' VALUE = 71% '
DTY58:      DB ' VALUE = 72% '
DTY59:      DB ' VALUE = 73% '
DTY60:      DB ' VALUE = 74% '
DTY61:      DB ' VALUE = 75% '
DTY62:      DB ' VALUE = 76% '
DTY63:      DB ' VALUE = 77% '
DTY64:      DB ' VALUE = 78% '
DTY65:      DB ' VALUE = 79% '
DTY66:      DB ' VALUE = 80% '
DTY67:      DB ' VALUE = 81% '
DTY68:      DB ' VALUE = 82% '
DTY69:      DB ' VALUE = 83% '
DTY70:      DB ' VALUE = 84% '
RANGE1:     DB ' 10Hz - 100Hz '
RANGE2:     DB ' 100Hz - 1kHz '
RANGE3:     DB ' 1kHz - 10kHz '
RANGE4:     DB ' 10kHz - 100kHz '
RANGE5:     DB ' 100kHz - 1MHz '
RANGE6:     DB ' 1MHz - 10MHz '
            end
```

ภาคผนวก ก.

## ข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์ที่ใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## High-Frequency Waveform Generator

## General Description

The MAX038 is a high-frequency, precision function generator producing accurate, high-frequency triangle, sawtooth, sine, square, and pulse waveforms with a minimum of external components. The output frequency can be controlled over a frequency range of 0.1Hz to 20MHz by an internal 2.5V bandgap voltage reference and an external resistor and capacitor. The duty cycle can be varied over a wide range by applying a  $\pm 2.3V$  control signal, facilitating pulse-width modulation and the generation of sawtooth waveforms. Frequency modulation and frequency sweeping are achieved in the same way. The duty cycle and frequency controls are independent.

Sine, square, or triangle waveforms can be selected at the output by setting the appropriate code at two TTL-compatible select pins. The output signal for all waveforms is a 2V<sub>p-p</sub> signal that is symmetrical around ground. The low-impedance output can drive up to  $\pm 20mA$ .

The TTL-compatible SYNC output from the internal oscillator maintains a 50% duty cycle—regardless of the duty cycle of the other waveforms—to synchronize other devices in the system. The internal oscillator can be synchronized to an external TTL clock connected to PDI.

## Applications

Precision Function Generators  
Voltage-Controlled Oscillators  
Frequency Modulators  
Pulse-Width Modulators  
Phase-Locked Loops  
Frequency Synthesizer  
FSK Generator—Sine and Square Waves

## Features

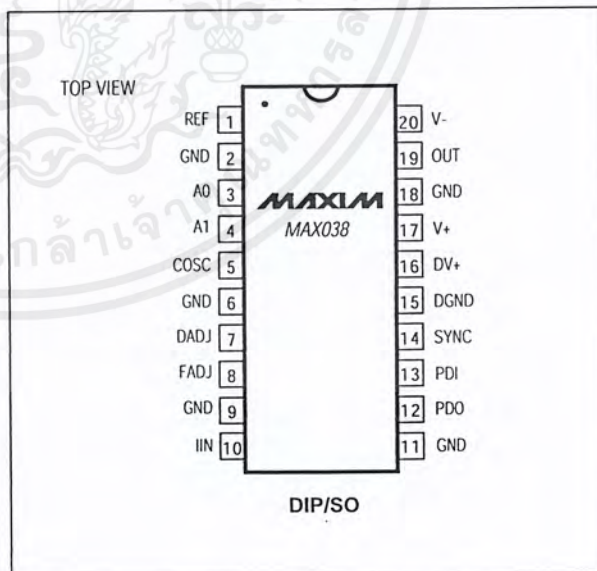
- ◆ 0.1Hz to 20MHz Operating Frequency Range
- ◆ Triangle, Sawtooth, Sine, Square, and Pulse Waveforms
- ◆ Independent Frequency and Duty-Cycle Adjustments
- ◆ 350 to 1 Frequency Sweep Range
- ◆ 15% to 85% Variable Duty Cycle
- ◆ Low-Impedance Output Buffer: 0.1 $\Omega$
- ◆ Low-Distortion Sine Wave: 0.75%
- ◆ Low 200ppm/ $^{\circ}C$  Temperature Drift

## Ordering Information

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX038CPP	0 $^{\circ}C$ to +70 $^{\circ}C$	20 Plastic DIP
MAX038CWP	0 $^{\circ}C$ to +70 $^{\circ}C$	20 SO
MAX038C/D	0 $^{\circ}C$ to +70 $^{\circ}C$	Dice*
MAX038EPP	-40 $^{\circ}C$ to +85 $^{\circ}C$	20 Plastic DIP
MAX038EWP	-40 $^{\circ}C$ to +85 $^{\circ}C$	20 SO

\*Contact factory for dice specifications.

## Pin Configuration



# High-Frequency Waveform Generator

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

V+ to GND	-0.3V to +6V
DV+ to DGND	-0.3V to +6V
V- to GND	+0.3V to -6V
Pin Voltages	
IIN, FADJ, DADJ, PDO	(V- - 0.3V) to (V+ + 0.3V)
COSC	+0.3V to V-
A0, A1, PDI, SYNC, REF	-0.3V to V+
GND to DGND	±0.3V
Maximum Current into Any Pin	±50mA
OUT, REF Short-Circuit Duration to GND, V+, V-	30sec

Continuous Power Dissipation (TA = +70°C)	
Plastic DIP (derate 11.11mW/°C above +70°C)	889mW
SO (derate 10.00mW/°C above +70°C)	800mW
CERDIP (derate 11.11mW/°C above +70°C)	889mW
Operating Temperature Ranges	
MAX038C	0°C to +70°C
MAX038E	-40°C to +85°C
Maximum Junction Temperature	+150°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temperature (soldering, 10sec)	+300°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 in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Circuit of Figure 1, GND = DGND = 0V, V+ = DV+ = 5V, V- = -5V, VDADJ = VFADJ = VPDI = VPDO = 0V, CF = 100pF, RIN = 25kΩ, RL = 1kΩ, CL = 20pF, TA = TMIN to TMAX, unless otherwise noted. Typical values are at TA = +25°C.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>FREQUENCY CHARACTERISTICS</b>						
Maximum Operating Frequency	F <sub>0</sub>	15pCF ≤ 15pF, I <sub>IN</sub> = 500μA	20.0	40.0		MHz
Frequency Programming Current	I <sub>IN</sub>	VFADJ = 0V	2.50		750	μA
		VFADJ = -3V	1.25		375	
IIN Offset Voltage	V <sub>IN</sub>			±1.0	±2.0	mV
Frequency Temperature Coefficient	ΔF <sub>0</sub> /°C	VFADJ = 0V		600		ppm/°C
		VFADJ = -3V		200		
Frequency Power-Supply Rejection	(ΔF <sub>0</sub> /F <sub>0</sub> )/ΔV	V- = -5V, V+ = 4.75V to 5.25V		±0.4	±2.00	%V
		V+ = 5V, V- = -4.75V to -5.25V		±0.2	±1.00	
<b>OUTPUT AMPLIFIER (applies to all waveforms)</b>						
Output Peak-to-Peak Symmetry	V <sub>OUT</sub>			±4		mV
Output Resistance	R <sub>OUT</sub>			0.1	0.2	Ω
Output Short-Circuit Current	I <sub>OUT</sub>	Short circuit to GND		40		mA
<b>SQUARE-WAVE OUTPUT (RL = 100Ω)</b>						
Amplitude	V <sub>OUT</sub>		1.9	2.0	2.1	V <sub>p-p</sub>
Rise Time	t <sub>R</sub>	10% to 90%		12		ns
Fall Time	t <sub>F</sub>	90% to 10%		12		ns
Duty Cycle	dc	VDADJ = 0V, dc = t <sub>ON</sub> /t × 100%	47	50	53	%
<b>TRIANGLE-WAVE OUTPUT (RL = 100Ω)</b>						
Amplitude	V <sub>OUT</sub>		1.9	2.0	2.1	V <sub>p-p</sub>
Nonlinearity		F <sub>0</sub> = 100kHz, 5% to 95%		0.5		%
Duty Cycle	dc	VDADJ = 0V (Note 1)	47	50	53	%
<b>SINE-WAVE OUTPUT (RL = 100Ω)</b>						
Amplitude	V <sub>OUT</sub>		1.9	2.0	2.1	V <sub>p-p</sub>
Total Harmonic Distortion	THD	Duty cycle adjusted to 50%		0.75		%
		Duty cycle unadjusted		1.50		

# High-Frequency Waveform Generator

MAX038

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

(Circuit of Figure 1, GND = DGND = 0V, V+ = DV+ = 5V, V- = -5V, VDADJ = VFADJ = VPDI = VPDO = 0V, CF = 100pF, RIN = 25kΩ, RL = 1kΩ, CL = 20pF, TA = TMIN to TMAX, unless otherwise noted. Typical values are at TA = +25°C.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>SYNC OUTPUT</b>						
Output Low Voltage	VOL	ISINK = 3.2mA		0.3	0.4	V
Output High Voltage	VOH	ISOURCE = 400μA	2.8	3.5		V
Rise Time	tR	10% to 90%, RL = 3kΩ, CL = 15pF		10		ns
Fall Time	tF	90% to 10%, RL = 3kΩ, CL = 15pF		10		ns
Duty Cycle	dcsync			50		%
<b>DUTY-CYCLE ADJUSTMENT (DADJ)</b>						
DADJ Input Current	IDADJ		190	250	320	μA
DADJ Voltage Range	VDADJ			±2.3		V
Duty-Cycle Adjustment Range	dc	-2.3V ≤ VDADJ ≤ 2.3V	15		85	%
DADJ Nonlinearity	dc/VFADJ	-2V ≤ VDADJ ≤ 2V		2	4	%
Change in Output Frequency with DADJ	Fo/VDADJ	-2V ≤ VDADJ ≤ 2V		±2.5	±8	%
Maximum DADJ Modulating Frequency	FDC			2		MHz
<b>FREQUENCY ADJUSTMENT (FADJ)</b>						
FADJ Input Current	IFADJ		190	250	320	μA
FADJ Voltage Range	VFADJ			±2.4		V
Frequency Sweep Range	Fo	-2.4V ≤ VFADJ ≤ 2.4V		±70		%
FM Nonlinearity with FADJ	Fo/VFADJ	-2V ≤ VFADJ ≤ 2V		±0.2		%
Change in Duty Cycle with FADJ	dc/VFADJ	-2V ≤ VFADJ ≤ 2V		±2		%
Maximum FADJ Modulating Frequency	FF			2		MHz
<b>VOLTAGE REFERENCE</b>						
Output Voltage	VREF	IREF = 0	2.48	2.50	2.52	V
Temperature Coefficient	VREF/°C			20		ppm/°C
Load Regulation	VREF/IREF	0mA ≤ IREF ≤ 4mA (source) -100μA ≤ IREF ≤ 0μA (sink)		1	2	mV/mA
Line Regulation	VREF/V+	4.75V ≤ V+ ≤ 5.25V (Note 2)		1	2	mV/V
<b>LOGIC INPUTS (A0, A1, PDI)</b>						
Input Low Voltage	VIL				0.8	V
Input High Voltage	VIH		2.4			V
Input Current (A0, A1)	IIL, IIH	VA0, VA1 = VIL, VIH			±5	μA
Input Current (PDI)	IIL, IIH	VPDI = VIL, VIH			±25	μA
<b>POWER SUPPLY</b>						
Positive Supply Voltage	V+		4.75		5.25	V
SYNC Supply Voltage	DV+		4.75		5.25	V
Negative Supply Voltage	V-		-4.75		-5.25	V
Positive Supply Current	I+			35	45	mA
SYNC Supply Current	IDV+			1	2	mA
Negative Supply Current	I-			45	55	mA

**Note 1:** Guaranteed by duty-cycle test on square wave.

**Note 2:** VREF is independent of V-.

MAXIM

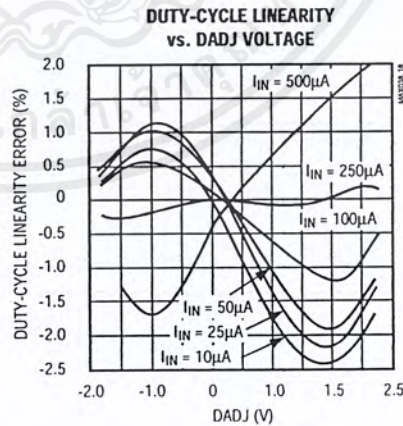
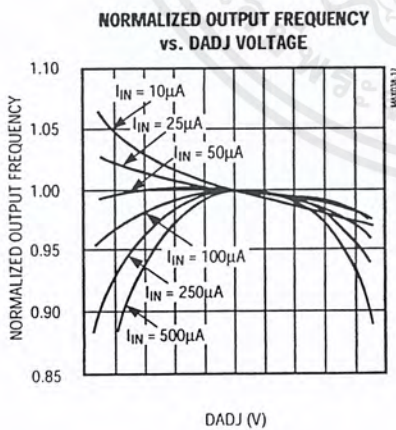
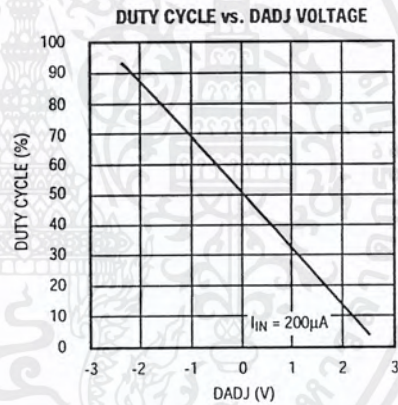
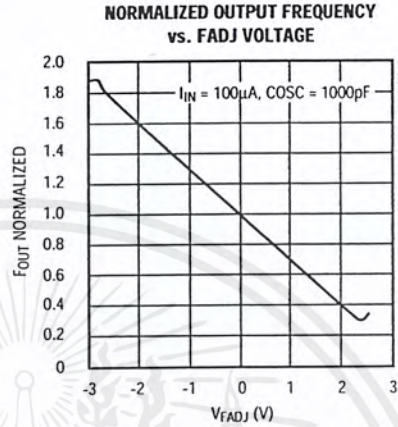
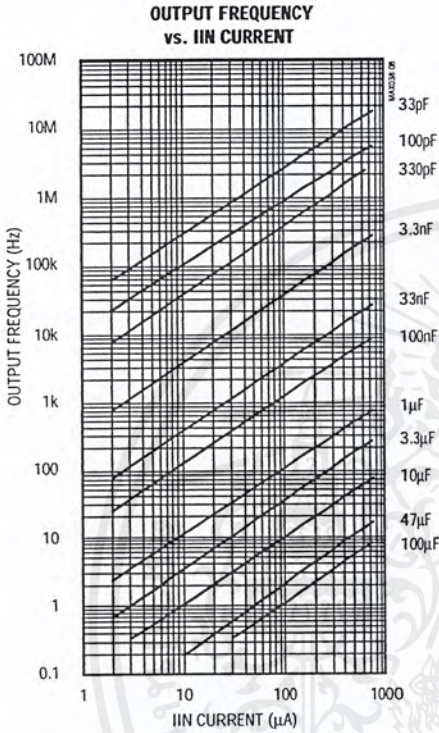
3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# High-Frequency Waveform Generator

## Typical Operating Characteristics

(Circuit of Figure 1,  $V_+ = DV_+ = 5V$ ,  $V_- = -5V$ ,  $V_{DADJ} = V_{FADJ} = V_{PDI} = V_{PDO} = 0V$ ,  $R_L = 1k\Omega$ ,  $C_L = 20pF$ ,  $T_A = +25^\circ C$ , unless otherwise noted.)

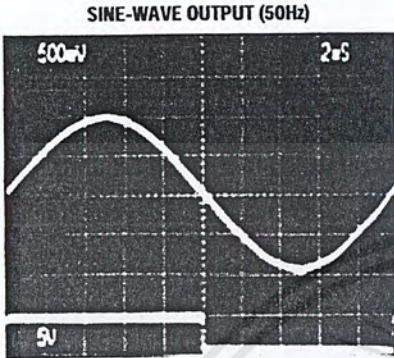


# High-Frequency Waveform Generator

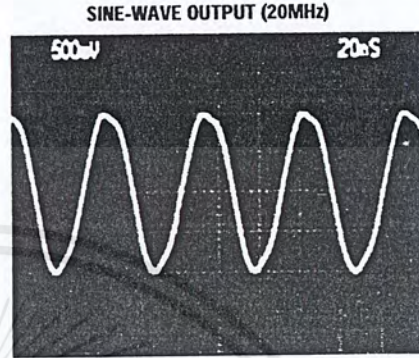
MAX038

## Typical Operating Characteristics (continued)

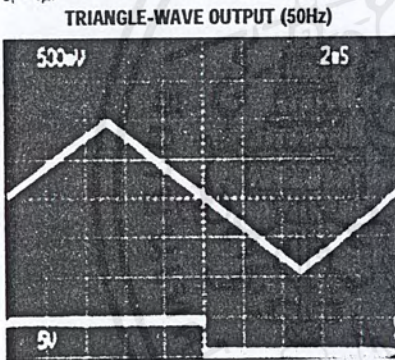
(Circuit of Figure 1,  $V_+ = DV_+ = 5V$ ,  $V_- = -5V$ ,  $V_{DADJ} = V_{FADJ} = V_{PDI} = V_{PDO} = 0V$ ,  $R_L = 1k\Omega$ ,  $C_L = 20pF$ ,  $T_A = +25^\circ C$ , unless otherwise noted.)



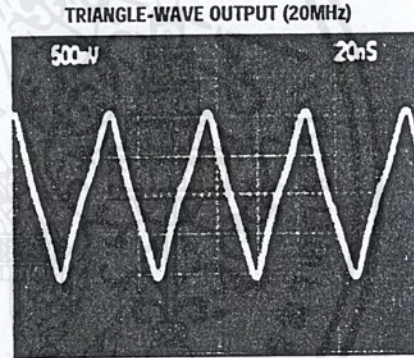
TOP: OUTPUT 50Hz =  $F_0$   
 BOTTOM: SYNC  
 $I_N = 50\mu A$   
 $C_F = 1\mu F$



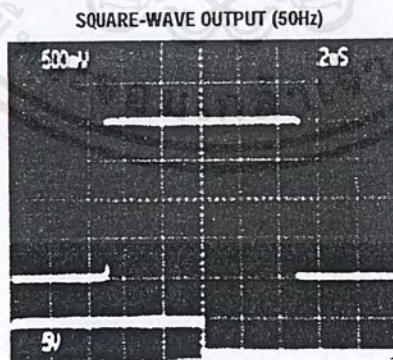
$I_N = 400\mu A$   
 $C_F = 20pF$



TOP: OUTPUT 50Hz =  $F_0$   
 BOTTOM: SYNC  
 $I_N = 50\mu A$   
 $C_F = 1\mu F$



$I_N = 400\mu A$   
 $C_F = 20pF$



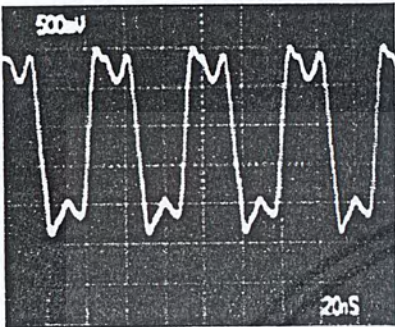
TOP: OUTPUT 50Hz =  $F_0$   
 BOTTOM: SYNC  
 $I_N = 50\mu A$   
 $C_F = 1\mu F$

# High-Frequency Waveform Generator

## Typical Operating Characteristics (continued)

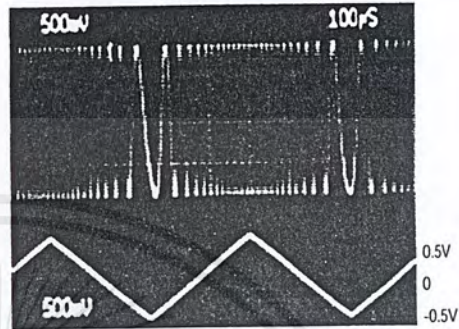
(Circuit of Figure 1,  $V_+ = DV_+ = 5V$ ,  $V_- = -5V$ ,  $V_{DADJ} = V_{FADJ} = V_{PDI} = V_{PDO} = 0V$ ,  $R_L = 1k\Omega$ ,  $C_L = 20pF$ ,  $T_A = +25^\circ C$ , unless otherwise noted.)

SQUARE-WAVE OUTPUT (20MHz)



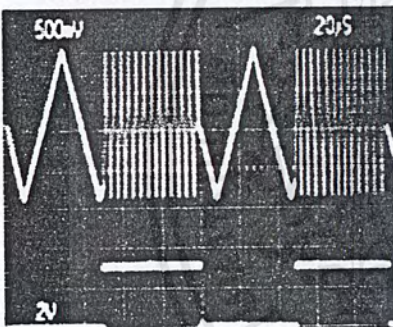
$I_{IN} = 400\mu A$   
 $C_F = 20pF$

FREQUENCY MODULATION USING FADJ



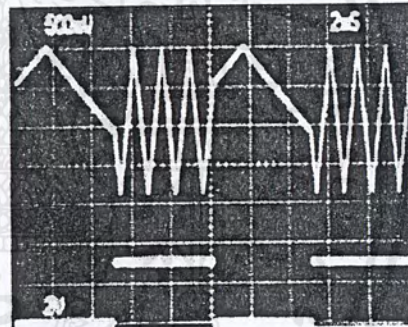
TOP: OUTPUT  
BOTTOM: FADJ

FREQUENCY MODULATION USING  $I_{IN}$



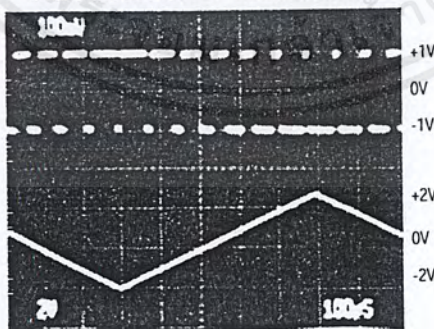
TOP: OUTPUT  
BOTTOM:  $I_{IN}$

FREQUENCY MODULATION USING  $I_{IN}$



TOP: OUTPUT  
BOTTOM:  $I_{IN}$

PULSE-WIDTH MODULATION USING DADJ



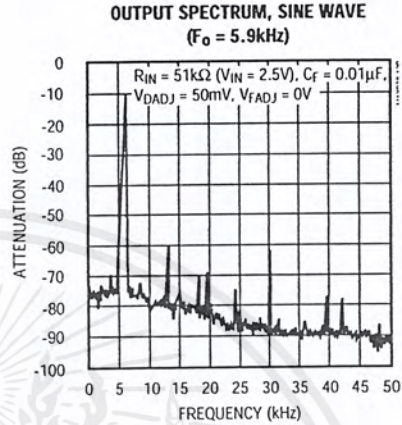
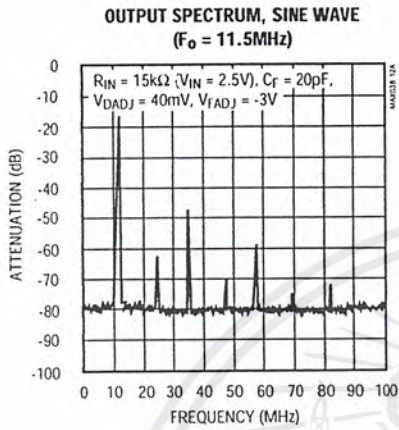
TOP: SQUARE-WAVE OUT, 2Vp.p  
BOTTOM:  $V_{DADJ}$ , -2V to +2.3V

# High-Frequency Waveform Generator

MAX038

## Typical Operating Characteristics (continued)

(Circuit of Figure 1,  $V_+ = DV_+ = 5V$ ,  $V_- = -5V$ ,  $V_{DADJ} = V_{FADJ} = V_{PDI} = V_{PDO} = 0V$ ,  $R_L = 1k\Omega$ ,  $C_L = 20pF$ ,  $T_A = +25^\circ C$ , unless otherwise noted.)



## Pin Description

PIN	NAME	FUNCTION
1	REF	2.50V bandgap voltage reference output
2, 6, 9, 11, 18	GND	Ground*
3	A0	Waveform selection input; TTL/CMOS compatible
4	A1	Waveform selection input; TTL/CMOS compatible
5	COSC	External capacitor connection
7	DADJ	Duty-cycle adjust input
8	FADJ	Frequency adjust input
10	IIN	Current input for frequency control
12	PDO	Phase detector output. Connect to GND if phase detector is not used.
13	PDI	Phase detector reference clock input. Connect to GND if phase detector is not used.
14	SYNC	TTL/CMOS-compatible output, referenced between DGND and $DV_+$ . Permits the internal oscillator to be synchronized with an external signal. Leave open if unused.
15	DGND	Digital ground
16	$DV_-$	Digital +5V supply input. Can be left open if SYNC is not used.
17	$V_+$	+5V supply input
19	OUT	Sine, square, or triangle output
20	$V_-$	-5V supply input

\*The five GND pins are not internally connected. Connect all five GND pins to a quiet ground close to the device. A ground plane is recommended (see Layout Considerations).

MAXIM

7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# High-Frequency Waveform Generator

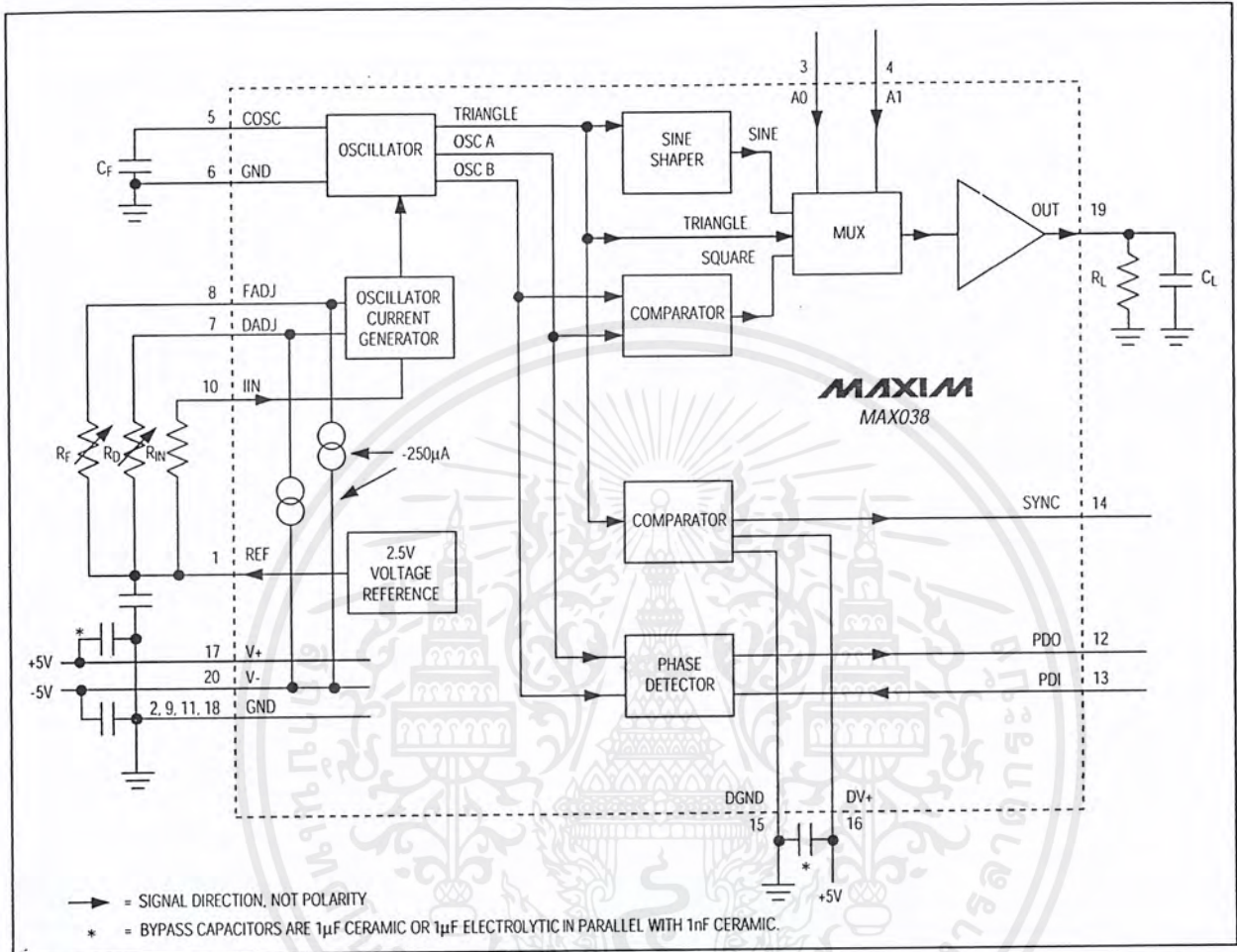


Figure 1. Block Diagram and Basic Operating Circuit

## Detailed Description

The MAX038 is a high-frequency function generator that produces low-distortion sine, triangle, sawtooth, or square (pulse) waveforms at frequencies from less than 1Hz to 20MHz or more, using a minimum of external components. Frequency and duty cycle can be independently controlled by programming the current, voltage, or resistance. The desired output waveform is selected under logic control by setting the appropriate code at the A0 and A1 inputs. A SYNC output and phase detector are included to simplify designs requiring tracking to an external signal source.

The MAX038 operates with  $\pm 5V \pm 5\%$  power supplies. The basic oscillator is a relaxation type that operates by alternately charging and discharging a capacitor,  $C_f$ ,

with constant currents, simultaneously producing a triangle wave and a square wave (Figure 1). The charging and discharging currents are controlled by the current flowing into IIN, and are modulated by the voltages applied to FADJ and DADJ. The current into IIN can be varied from  $2\mu A$  to  $750\mu A$ , producing more than two decades of frequency for any value of  $C_f$ . Applying  $\pm 2.4V$  to FADJ changes the nominal frequency (with  $V_{FADJ} = 0V$ ) by  $\pm 70\%$ ; this procedure can be used for fine control.

Duty cycle (the percentage of time that the output waveform is positive) can be controlled from 10% to 90% by applying  $\pm 2.3V$  to DADJ. This voltage changes the  $C_f$  charging and discharging current ratio while maintaining nearly constant frequency.

## High-Frequency Waveform Generator

A stable 2.5V reference voltage, REF, allows simple determination of IIN, FADJ, or DADJ with fixed resistors, and permits adjustable operation when potentiometers are connected from each of these inputs to REF. FADJ and/or DADJ can be grounded, producing the nominal frequency with a 50% duty cycle.

The output frequency is inversely proportional to capacitor  $C_F$ .  $C_F$  values can be selected to produce frequencies above 20MHz.

A sine-shaping circuit converts the oscillator triangle wave into a low-distortion sine wave with constant amplitude. The triangle, square, and sine waves are input to a multiplexer. Two address lines, A0 and A1, control which of the three waveforms is selected. The output amplifier produces a constant 2V<sub>p-p</sub> amplitude ( $\pm 1V$ ), regardless of wave shape or frequency.

The triangle wave is also sent to a comparator that produces a high-speed square-wave SYNC waveform that can be used to synchronize other oscillators. The SYNC circuit has separate power-supply leads and can be disabled.

Two other phase-quadrature square waves are generated in the basic oscillator and sent to one side of an "exclusive-OR" phase detector. The other side of the phase-detector input (PDI) can be connected to an external oscillator. The phase-detector output (PDO) is a current source that can be connected directly to FADJ to synchronize the MAX038 with the external oscillator.

### Waveform Selection

The MAX038 can produce either sine, square, or triangle waveforms. The TTL/CMOS-logic address pins (A0 and A1) set the waveform, as shown below:

A0	A1	WAVEFORM
X	1	Sine wave
0	0	Square wave
1	0	Triangle wave

X = Don't care

Waveform switching can be done at any time, without regard to the phase of the output. Switching occurs within 0.3 $\mu$ s, but there may be a small transient in the output waveform that lasts 0.5 $\mu$ s.

### Waveform Timing

#### Output Frequency

The output frequency is determined by the current injected into the IIN pin, the COSC capacitance (to ground), and the voltage on the FADJ pin. When

$V_{FADJ} = 0V$ , the fundamental output frequency ( $F_o$ ) is given by the formula:

$$F_o \text{ (MHz)} = I_{IN} \text{ (\mu A)} \div C_F \text{ (pF)} \quad [1]$$

The period ( $t_o$ ) is:

$$t_o \text{ (\mu s)} = C_F \text{ (pF)} \div I_{IN} \text{ (\mu A)} \quad [2]$$

where:

$I_{IN}$  = current injected into IIN (between 2 $\mu$ A and 750 $\mu$ A)

$C_F$  = capacitance connected to COSC and GND (20pF to >100 $\mu$ F).

For example:

$$0.5\text{MHz} = 100\mu\text{A} \div 200\text{pF}$$

and

$$2\mu\text{s} = 200\text{pF} \div 100\mu\text{A}$$

Optimum performance is achieved with  $I_{IN}$  between 10 $\mu$ A and 400 $\mu$ A, although linearity is good with  $I_{IN}$  between 2 $\mu$ A and 750 $\mu$ A. Current levels outside of this range are not recommended. For fixed-frequency operation, set  $I_{IN}$  to approximately 100 $\mu$ A and select a suitable capacitor value. This current produces the lowest temperature coefficient, and produces the lowest frequency shift when varying the duty cycle.

The capacitance can range from 20pF to more than 100 $\mu$ F, but stray circuit capacitance must be minimized by using short traces. Surround the COSC pin and the trace leading to it with a ground plane to minimize coupling of extraneous signals to this node. Oscillation above 20MHz is possible, but waveform distortion increases under these conditions. The low frequency limit is set by the leakage of the COSC capacitor and by the required accuracy of the output frequency. Lowest frequency operation with good accuracy is usually achieved with 10 $\mu$ F or greater non-polarized capacitors.

An internal closed-loop amplifier forces IIN to virtual ground, with an input offset voltage less than  $\pm 2mV$ . IIN may be driven with either a current source ( $I_{IN}$ ), or a voltage ( $V_{IN}$ ) in series with a resistor ( $R_{IN}$ ). (A resistor between REF and IIN provides a convenient method of generating  $I_{IN}$ :  $I_{IN} = V_{REF}/R_{IN}$ .) When using a voltage in series with a resistor, the formula for the oscillator frequency is:

$$F_o \text{ (MHz)} = V_{IN} \div [R_{IN} \times C_F \text{ (pF)}] \quad [3]$$

and:

$$t_o \text{ (\mu s)} = C_F \text{ (pF)} \times R_{IN} \div V_{IN} \quad [4]$$

# High-Frequency Waveform Generator

When the MAX038's frequency is controlled by a voltage source ( $V_{IN}$ ) in series with a fixed resistor ( $R_{IN}$ ), the output frequency is a direct function of  $V_{IN}$  as shown in the above equations. Varying  $V_{IN}$  modulates the oscillator frequency. For example, using a 10k $\Omega$  resistor for  $R_{IN}$  and sweeping  $V_{IN}$  from 20mV to 7.5V produces large frequency deviations (up to 375:1). Select  $R_{IN}$  so that  $I_{IN}$  stays within the 2 $\mu$ A to 750 $\mu$ A range. The bandwidth of the IIN control amplifier, which limits the modulating signal's highest frequency, is typically 2MHz.

IIN can be used as a summing point to add or subtract currents from several sources. This allows the output frequency to be a function of the sum of several variables. As  $V_{IN}$  approaches 0V, the  $I_{IN}$  error increases due to the offset voltage of IIN.

Output frequency will be offset 1% from its final value for 10 seconds after power-up.

## FADJ Input

The output frequency can be modulated by FADJ, which is intended principally for fine frequency control, usually inside phase-locked loops. Once the fundamental, or center frequency ( $F_0$ ) is set by  $I_{IN}$ , it may be changed further by setting FADJ to a voltage other than 0V. This voltage can vary from -2.4V to +2.4V, causing the output frequency to vary from 1.7 to 0.30 times the value when FADJ is 0V ( $F_0 \pm 70\%$ ). Voltages beyond  $\pm 2.4V$  can cause instability or cause the frequency change to reverse slope.

The voltage on FADJ required to cause the output to deviate from  $F_0$  by  $D_x$  (expressed in %) is given by the formula:

$$V_{FADJ} = -0.0343 \times D_x \quad [5]$$

where  $V_{FADJ}$ , the voltage on FADJ, is between -2.4V and +2.4V.

Note: While  $I_{IN}$  is directly proportional to the fundamental, or center frequency ( $F_0$ ),  $V_{FADJ}$  is linearly related to % deviation from  $F_0$ .  $V_{FADJ}$  goes to either side of 0V, corresponding to plus and minus deviation.

The voltage on FADJ for any frequency is given by the formula:

$$V_{FADJ} = (F_0 - F_x) \div (0.2915 \times F_0) \quad [6]$$

where:

$F_x$  = output frequency

$F_0$  = frequency when  $V_{FADJ} = 0V$ .

Likewise, for period calculations:

$$V_{FADJ} = 3.43 \times (t_x - t_0) \div t_x \quad [7]$$

where:

$t_x$  = output period

$t_0$  = period when  $V_{FADJ} = 0V$ .

Conversely, if  $V_{FADJ}$  is known, the frequency is given by:

$$F_x = F_0 \times (1 - [0.2915 \times V_{FADJ}]) \quad [8]$$

and the period ( $t_x$ ) is:

$$t_x = t_0 \div (1 - [0.2915 \times V_{FADJ}]) \quad [9]$$

## Programming FADJ

FADJ has a 250 $\mu$ A constant current sink to V- that must be furnished by the voltage source. The source is usually an op-amp output, and the temperature coefficient of the current sink becomes unimportant. For manual adjustment of the deviation, a variable resistor can be used to set  $V_{FADJ}$ , but then the 250 $\mu$ A current sink's temperature coefficient becomes significant. Since external resistors cannot match the internal temperature-coefficient curve, using external resistors to program  $V_{FADJ}$  is intended only for manual operation, when the operator can correct for any errors. This restriction does not apply when  $V_{FADJ}$  is a true voltage source.

A variable resistor,  $R_f$ , connected between REF (+2.5V) and FADJ provides a convenient means of manually setting the frequency deviation. The resistance value ( $R_f$ ) is:

$$R_f = (V_{REF} - V_{FADJ}) \div 250\mu A \quad [10]$$

$V_{REF}$  and  $V_{FADJ}$  are signed numbers, so use correct algebraic convention. For example, if  $V_{FADJ}$  is -2.0V (+58.3% deviation), the formula becomes:

$$\begin{aligned} R_f &= (+2.5V - (-2.0V)) \div 250\mu A \\ &= (4.5V) \div 250\mu A \\ &= 18k\Omega \end{aligned}$$

## Disabling FADJ

The FADJ circuit adds a small temperature coefficient to the output frequency. For critical open-loop applications, it can be turned off by connecting FADJ to GND (not REF) through a 12k $\Omega$  resistor ( $R_1$  in Figure 2). The -250 $\mu$ A current sink at FADJ causes -3V to be developed across this resistor, producing two results. First, the FADJ circuit remains in its linear region, but disconnects itself from the main oscillator, improving temperature stability. Second, the oscillator frequency doubles. If FADJ is turned off in this manner, be sure to correct equations 1-4 and 6-9 above, and 12 and 14 below by doubling  $F_0$  or halving  $t_0$ . Although this method doubles the normal output frequency, it does not double the upper frequency limit. Do not operate FADJ open circuit or with voltages more negative than -3.5V. Doing so may cause transistor saturation inside the IC, leading to unwanted changes in frequency and duty cycle.

# High-Frequency Waveform Generator

MAX038

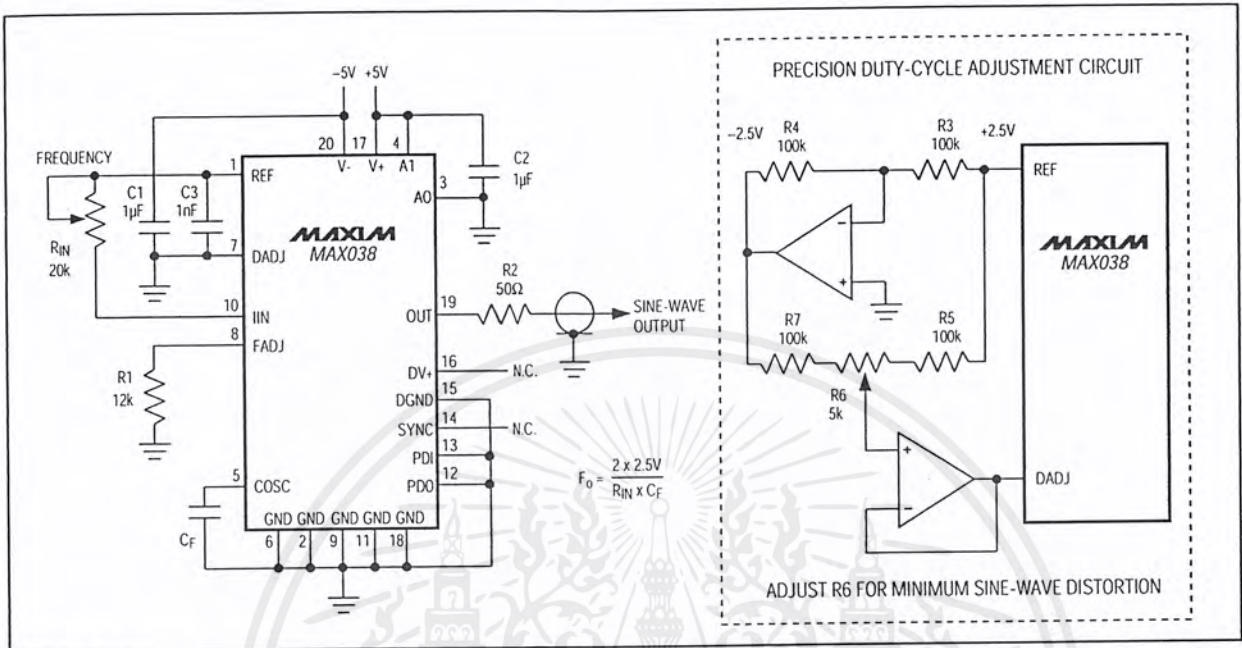


Figure 2. Operating Circuit with Sine-Wave Output and 50% Duty Cycle; SYNC and FADJ Disabled

With FADJ disabled, the output frequency can still be changed by modulating IIN.

### Swept Frequency Operation

The output frequency can be swept by applying a varying signal to IIN or FADJ. IIN has a wider range, slightly slower response, lower temperature coefficient, and requires a single polarity current source. FADJ may be used when the swept range is less than  $\pm 70\%$  of the center frequency, and it is suitable for phase-locked loops and other low-deviation, high-accuracy closed-loop controls. It uses a sweeping voltage symmetrical about ground.

Connecting a resistive network between REF, the voltage source, and FADJ or IIN is a convenient means of offsetting the sweep voltage.

### Duty Cycle

The voltage on DADJ controls the waveform duty cycle (defined as the percentage of time that the output waveform is positive). Normally,  $V_{DADJ} = 0V$ , and the duty cycle is 50% (Figure 2). Varying this voltage from +2.3V to -2.3V causes the output duty cycle to vary from 15% to 85%, about -15% per volt. Voltages beyond  $\pm 2.3V$  can shift the output frequency and/or cause instability.

DADJ can be used to reduce the sine-wave distortion. The unadjusted duty cycle ( $V_{DADJ} = 0V$ ) is  $50\% \pm 2\%$ ; any deviation from exactly 50% causes even order harmonics to be generated. By applying a small adjustable voltage (typically less than  $\pm 100mV$ ) to  $V_{DADJ}$ , exact symmetry can be attained and the distortion can be minimized (see Figure 2).

The voltage on DADJ needed to produce a specific duty cycle is given by the formula:

$$V_{DADJ} = (50\% - dc) \times 0.0575 \quad [11]$$

or:

$$V_{DADJ} = (0.5 - [t_{ON} + t_0]) \times 5.75 \quad [12]$$

where:

$$V_{DADJ} = \text{DADJ voltage (observe the polarity)}$$

$$dc = \text{duty cycle (in \%)}$$

$$t_{ON} = \text{ON (positive) time}$$

$$t_0 = \text{waveform period.}$$

Conversely, if  $V_{DADJ}$  is known, the duty cycle and ON time are given by:

$$dc = 50\% - (V_{DADJ} \times 17.4) \quad [13]$$

$$t_{ON} = t_0 \times (0.5 - [V_{DADJ} \times 0.174]) \quad [14]$$

# High-Frequency Waveform Generator

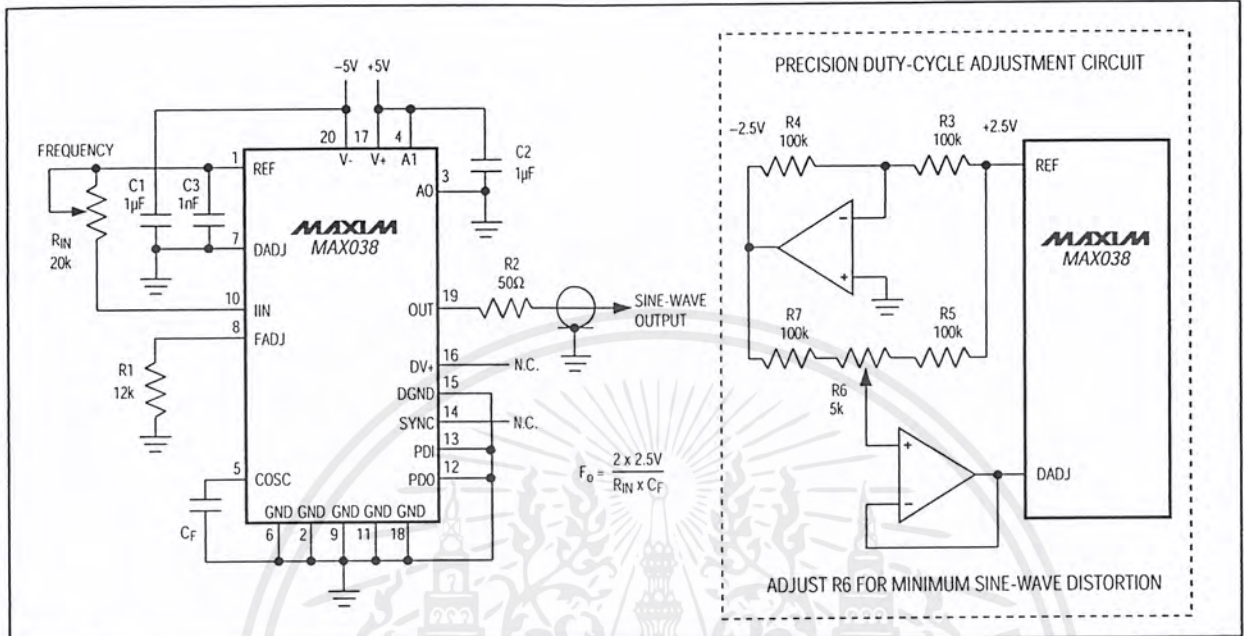


Figure 2. Operating Circuit with Sine-Wave Output and 50% Duty Cycle; SYNC and FADJ Disabled

With FADJ disabled, the output frequency can still be changed by modulating IIN.

### Swept Frequency Operation

The output frequency can be swept by applying a varying signal to IIN or FADJ. IIN has a wider range, slightly slower response, lower temperature coefficient, and requires a single polarity current source. FADJ may be used when the swept range is less than  $\pm 70\%$  of the center frequency, and it is suitable for phase-locked loops and other low-deviation, high-accuracy closed-loop controls. It uses a sweeping voltage symmetrical about ground.

Connecting a resistive network between REF, the voltage source, and FADJ or IIN is a convenient means of offsetting the sweep voltage.

### Duty Cycle

The voltage on DADJ controls the waveform duty cycle (defined as the percentage of time that the output waveform is positive). Normally,  $V_{DADJ} = 0V$ , and the duty cycle is 50% (Figure 2). Varying this voltage from +2.3V to -2.3V causes the output duty cycle to vary from 15% to 85%, about -15% per volt. Voltages beyond  $\pm 2.3V$  can shift the output frequency and/or cause instability.

DADJ can be used to reduce the sine-wave distortion. The unadjusted duty cycle ( $V_{DADJ} = 0V$ ) is  $50\% \pm 2\%$ ; any deviation from exactly 50% causes even order harmonics to be generated. By applying a small adjustable voltage (typically less than  $\pm 100mV$ ) to  $V_{DADJ}$ , exact symmetry can be attained and the distortion can be minimized (see Figure 2).

The voltage on DADJ needed to produce a specific duty cycle is given by the formula:

$$V_{DADJ} = (50\% - dc) \times 0.0575 \quad [11]$$

or:

$$V_{DADJ} = (0.5 - [t_{ON} \div t_0]) \times 5.75 \quad [12]$$

where:

$V_{DADJ}$  = DADJ voltage (observe the polarity)

dc = duty cycle (in %)

$t_{ON}$  = ON (positive) time

$t_0$  = waveform period.

Conversely, if  $V_{DADJ}$  is known, the duty cycle and ON time are given by:

$$dc = 50\% - (V_{DADJ} \times 17.4) \quad [13]$$

$$t_{ON} = t_0 \times (0.5 - [V_{DADJ} \times 0.174]) \quad [14]$$

# High-Frequency Waveform Generator

## Programming DADJ

DADJ is similar to FADJ; it has a 250 $\mu$ A constant current sink to V- that must be furnished by the voltage source. The source is usually an op-amp output, and the temperature coefficient of the current sink becomes unimportant. For manual adjustment of the duty cycle, a variable resistor can be used to set VDADJ, but then the 250 $\mu$ A current sink's temperature coefficient becomes significant. Since external resistors cannot match the internal temperature-coefficient curve, using external resistors to program VDADJ is intended only for manual operation, when the operator can correct for any errors. This restriction does not apply when VDADJ is a true voltage source.

A variable resistor, RD, connected between REF (+2.5V) and DADJ provides a convenient means of manually setting the duty cycle. The resistance value (RD) is:

$$R_D = (V_{REF} - V_{DADJ}) \div 250\mu A \quad [15]$$

Note that both VREF and VDADJ are signed values, so observe correct algebraic convention. For example, if VDADJ is -1.5V (23% duty cycle), the formula becomes:

$$\begin{aligned} R_D &= (+2.5V - (-1.5V)) \div 250\mu A \\ &= (4.0V) \div 250\mu A = 16k\Omega \end{aligned}$$

Varying the duty cycle in the range 15% to 85% has minimal effect on the output frequency—typically less than 2% when 25 $\mu$ A < IIN < 250 $\mu$ A. The DADJ circuit is wideband, and can be modulated at up to 2MHz (see photos, *Typical Operating Characteristics*).

## Output

The output amplitude is fixed at 2VP-P, symmetrical around ground, for all output waveforms. OUT has an output resistance of under 0.1 $\Omega$ , and can drive  $\pm$ 20mA with up to a 50pF load. Isolate higher output capacitance from OUT with a resistor (typically 50 $\Omega$ ) or buffer amplifier.

## Reference Voltage

REF is a stable 2.50V bandgap voltage reference capable of sourcing 4mA or sinking 100 $\mu$ A. It is principally used to furnish a stable current to IIN or to bias DADJ and FADJ. It can also be used for other applications external to the MAX038. Bypass REF with 100nF to minimize noise.

## Selecting Resistors and Capacitors

The MAX038 produces a stable output frequency over time and temperature, but the capacitor and resistors that determine frequency can degrade performance if they are not carefully chosen. Resistors should be metal film, 1% or better. Capacitors should be chosen

for low temperature coefficient over the whole temperature range. NPO ceramics are usually satisfactory.

The voltage on COSC is a triangle wave that varies between 0V and -1V. Polarized capacitors are generally not recommended (because of their outrageous temperature dependence and leakage currents), but if they are used, the negative terminal should be connected to COSC and the positive terminal to GND. Large-value capacitors, necessary for very low frequencies, should be chosen with care, since potentially large leakage currents and high dielectric absorption can interfere with the orderly charge and discharge of CF. If possible, for a given frequency, use lower IIN currents to reduce the size of the capacitor.

## SYNC Output

SYNC is a TTL/CMOS-compatible output that can be used to synchronize external circuits. The SYNC output is a square wave whose rising edge coincides with the output rising sine or triangle wave as it crosses through 0V. When the square wave is selected, the rising edge of SYNC occurs in the middle of the positive half of the output square wave, effectively 90° ahead of the output. The SYNC duty cycle is fixed at 50% and is independent of the DADJ control.

Because SYNC is a very-high-speed TTL output, the high-speed transient currents in DGND and DV+ can radiate energy into the output circuit, causing a narrow spike in the output waveform. (This spike is difficult to see with oscilloscopes having less than 100MHz bandwidth). The inductance and capacitance of IC sockets tend to amplify this effect, so sockets are not recommended when SYNC is on. SYNC is powered from separate ground and supply pins (DGND and DV+), and it can be turned off by making DV+ open circuit. If synchronization of external circuits is not used, turning off SYNC by DV+ opening eliminates the spike.

## Phase Detectors

### Internal Phase Detector

The MAX038 contains a TTL/CMOS phase detector that can be used in a phase-locked loop (PLL) to synchronize its output to an external signal (Figure 3). The external source is connected to the phase-detector input (PDI) and the phase-detector output is taken from PDO. PDO is the output of an exclusive-OR gate, and produces a rectangular current waveform at the MAX038 output frequency, even with PDI grounded. PDO is normally connected to FADJ and a resistor, RPD, and a capacitor CPD, to GND. RPD sets the gain of the phase detector, while the capacitor attenuates high-frequency components and forms a pole in the phase-locked loop filter.

# DAC0800/DAC0802

## 8-Bit Digital-to-Analog Converters

### General Description

The DAC0800 series are monolithic 8-bit high-speed current-output digital-to-analog converters (DAC) featuring typical settling times of 100 ns. When used as a multiplying DAC, monotonic performance over a 40 to 1 reference current range is possible. The DAC0800 series also features high compliance complementary current outputs to allow differential output voltages of 20 V<sub>p-p</sub> with simple resistor loads as shown in Figure 1. The reference-to-full-scale current matching of better than ±1 LSB eliminates the need for full-scale trims in most applications while the nonlinearities of better than ±0.1% over temperature minimizes system error accumulations.

The noise immune inputs of the DAC0800 series will accept TTL levels with the logic threshold pin, V<sub>LC</sub>, grounded. Changing the V<sub>LC</sub> potential will allow direct interface to other logic families. The performance and characteristics of the device are essentially unchanged over the full ±4.5V to ±18V power supply range; power dissipation is only 33 mW with ±5V supplies and is independent of the logic input states.

The DAC0800, DAC0802, DAC0800C and DAC0802C are a direct replacement for the DAC-08, DAC-08A, DAC-08C, and DAC-08H, respectively.

### Features

- Fast settling output current: 100 ns
- Full scale error: ±1 LSB
- Nonlinearity over temperature: ±0.1%
- Full scale current drift: ±10 ppm/°C
- High output compliance: -10V to +18V
- Complementary current outputs
- Interface directly with TTL, CMOS, PMOS and others
- 2 quadrant wide range multiplying capability
- Wide power supply range: ±4.5V to ±18V
- Low power consumption: 33 mW at ±5V
- Low cost

### Typical Applications

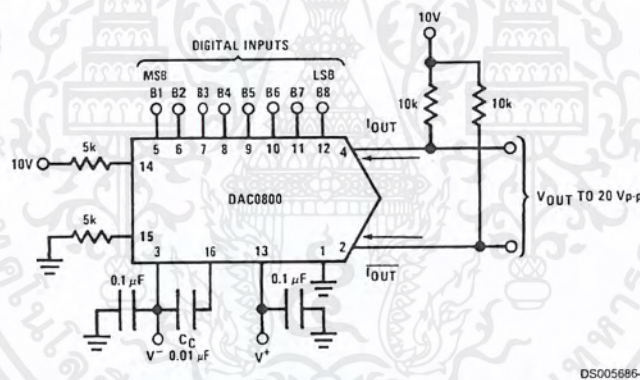


FIGURE 1. ±20 V<sub>p-p</sub> Output Digital-to-Analog Converter (Note 5)

### Ordering Information

Non-Linearity	Temperature Range	Order Numbers				
		J Package (J16A) (Note 1)	N Package (N16E) (Note 1)	SO Package (M16A)		
±0.1% FS	0°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ +70°C	DAC0802LCJ	DAC-08HQ	DAC0802LCN	DAC-08HP	DAC0802LCM
±0.19% FS	-55°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ +125°C	DAC0800LJ	DAC-08Q			
±0.19% FS	0°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ +70°C	DAC0800LCJ	DAC-08EQ	DAC0800LCN	DAC-08EP	DAC0800LCM

Note 1: Devices may be ordered by using either order number.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Absolute Maximum Ratings** (Note 2)

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

Supply Voltage ( $V^+ - V^-$ )	$\pm 18V$ or $36V$
Power Dissipation (Note 3)	500 mW
Reference Input Differential Voltage (V14 to V15)	$V^-$ to $V^+$
Reference Input Common-Mode Range (V14, V15)	$V^-$ to $V^+$
Reference Input Current	5 mA
Logic Inputs	$V^-$ to $V^-$ plus $36V$
Analog Current Outputs ( $V_{S-} = -15V$ )	4.25 mA
ESD Susceptibility (Note 4)	TBD V

Storage Temperature	$-65^\circ C$ to $+150^\circ C$
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (plastic)	$260^\circ C$
Dual-In-Line Package (ceramic)	$300^\circ C$
Surface Mount Package	
Vapor Phase (60 seconds)	$215^\circ C$
Infrared (15 seconds)	$220^\circ C$

**Operating Conditions** (Note 2)

	Min	Max	Units
Temperature ( $T_A$ )			
DAC0800L	-55	+125	$^\circ C$
DAC0800LC	0	+70	$^\circ C$
DAC0802LC	0	+70	$^\circ C$

**Electrical Characteristics**

The following specifications apply for  $V_S = \pm 15V$ ,  $I_{REF} = 2$  mA and  $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$  unless otherwise specified. Output characteristics refer to both  $I_{OUT}$  and  $I_{OUT-}$ .

Symbol	Parameter	Conditions	DAC0802LC			DAC0800L/ DAC0800LC			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
	Resolution		8	8	8	8	8	8	Bits
	Monotonicity		8	8	8	8	8	8	Bits
	Nonlinearity				$\pm 0.1$			$\pm 0.19$	%FS
$t_s$	Settling Time	To $\pm 1/2$ LSB, All Bits Switched "ON" or "OFF", $T_A = 25^\circ C$ DAC0800L DAC0800LC		100	135		100	135	ns
							100	150	ns
$t_{PLH}$ , $t_{PHL}$	Propagation Delay Each Bit All Bits Switched	$T_A = 25^\circ C$		35	60		35	60	ns
				35	60		35	60	ns
$TCI_{FS}$	Full Scale Tempco			$\pm 10$	$\pm 50$		$\pm 10$	$\pm 50$	ppm/ $^\circ C$
$V_{OC}$	Output Voltage Compliance	Full Scale Current Change $< 1/2$ LSB, $R_{OUT} > 20$ M $\Omega$ Typ	-10		18	-10		18	V
$I_{FS+}$	Full Scale Current	$V_{REF} = 10.000V$ , $R_{14} = 5.000$ k $\Omega$ $R_{15} = 5.000$ k $\Omega$ , $T_A = 25^\circ C$	1.984	1.992	2.000	1.94	1.99	2.04	mA
$I_{FSS}$	Full Scale Symmetry	$I_{FS+} - I_{FS-}$		$\pm 0.5$	$\pm 4.0$		$\pm 1$	$\pm 8.0$	$\mu A$
$I_{ZS}$	Zero Scale Current			0.1	1.0		0.2	2.0	$\mu A$
$I_{FSR}$	Output Current Range	$V^- = -5V$ $V^- = -8V$ to $-18V$	0	2.0	2.1	0	2.0	2.1	mA
			0	2.0	4.2	0	2.0	4.2	mA
$V_{IL}$ $V_{IH}$	Logic Input Levels Logic "0" Logic "1"	$V_{LC} = 0V$			0.8			0.8	V
			2.0			2.0			V
$I_{IL}$ $I_{IH}$	Logic Input Current Logic "0" Logic "1"	$V_{LC} = 0V$ $-10V \leq V_{IN} \leq +0.8V$ $2V \leq V_{IN} \leq +18V$		-2.0	-10		-2.0	-10	$\mu A$
				0.002	10		0.002	10	$\mu A$
$V_{IS}$	Logic Input Swing	$V^- = -15V$	-10		18	-10		18	V
$V_{THR}$	Logic Threshold Range	$V_S = \pm 15V$	-10		13.5	-10		13.5	V
$I_{IS}$	Reference Bias Current			-1.0	-3.0		-1.0	-3.0	$\mu A$
$dI/dt$	Reference Input Slew Rate	(Figure 11)	4.0	8.0		4.0	8.0		mA/ $\mu s$
$PSSI_{FS+}$	Power Supply Sensitivity	$4.5V \leq V^+ \leq 18V$		0.0001	0.01		0.0001	0.01	%/%
$PSSI_{FS-}$		$-4.5V \leq V^- \leq 18V$ $I_{REF} = 1mA$			0.0001	0.01		0.0001	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics (Continued)

The following specifications apply for  $V_S = \pm 15V$ ,  $I_{REF} = 2\text{ mA}$  and  $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$  unless otherwise specified. Output characteristics refer to both  $I_{OUT}$  and  $\overline{I_{OUT}}$ .

Symbol	Parameter	Conditions	DAC0802LC			DAC0800L/ DAC0800LC			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
I <sup>+</sup> I <sup>-</sup>	Power Supply Current	$V_S = \pm 5V$ , $I_{REF} = 1\text{ mA}$		2.3 -4.3	3.8 -5.8		2.3 -4.3	3.8 -5.8	mA mA
		$V_S = 5V$ , $-15V$ , $I_{REF} = 2\text{ mA}$		2.4 -6.4	3.8 -7.8		2.4 -6.4	3.8 -7.8	mA mA
		$V_S = \pm 15V$ , $I_{REF} = 2\text{ mA}$		2.5 -6.5	3.8 -7.8		2.5 -6.5	3.8 -7.8	mA mA
P <sub>D</sub>	Power Dissipation	$\pm 5V$ , $I_{REF} = 1\text{ mA}$		33	48		33	48	mW
		$5V$ , $-15V$ , $I_{REF} = 2\text{ mA}$		108	136		108	136	mW
		$\pm 15V$ , $I_{REF} = 2\text{ mA}$		135	174		135	174	mW

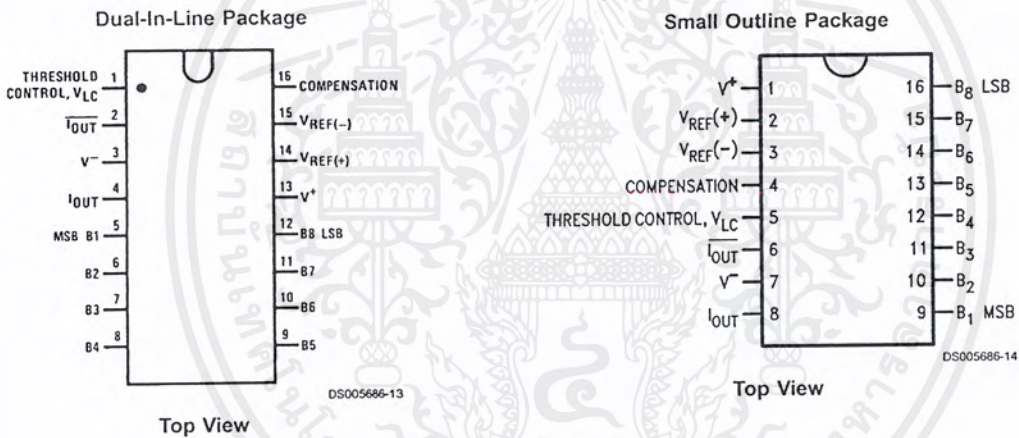
**Note 2:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

**Note 3:** The maximum junction temperature of the DAC0800 and DAC0802 is 125°C. For operating at elevated temperatures, devices in the Dual-In-Line J package must be derated based on a thermal resistance of 100°C/W, junction-to-ambient, 175°C/W for the molded Dual-In-Line N package and 100°C/W for the Small Outline M package.

**Note 4:** Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 kΩ resistor.

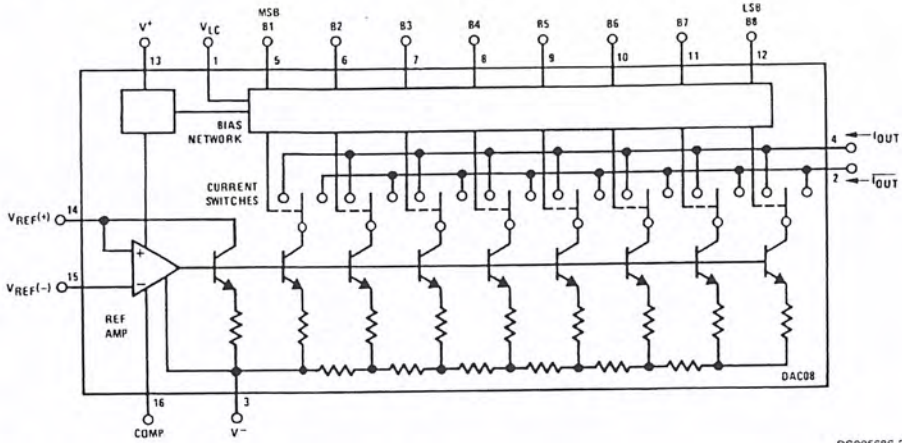
**Note 5:** Pin-out numbers for the DAC080X represent the Dual-In-Line package. The Small Outline package pin-out differs from the Dual-In-Line package.

## Connection Diagrams



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

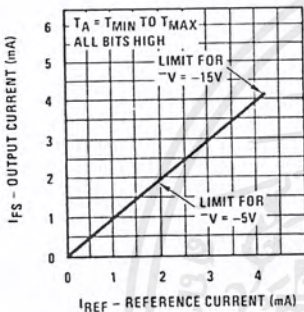
Block Diagram (Note 5)



DS005686-2

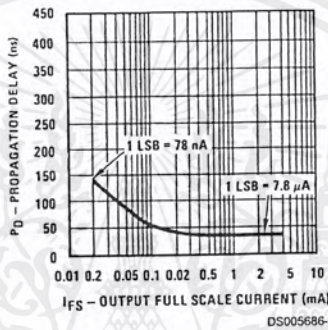
Typical Performance Characteristics

Full Scale Current vs Reference Current



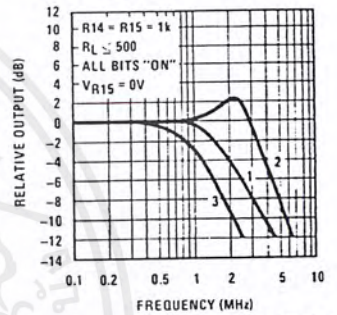
DS005686-22

LSB Propagation Delay vs I<sub>FS</sub>



DS005686-23

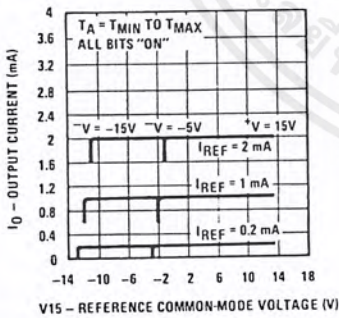
Reference Input Frequency Response



DS005686-24

Curve 1: C<sub>C</sub> = 15 pF, V<sub>IN</sub> = 2 V<sub>p-p</sub> centered at 1V.  
 Curve 2: C<sub>C</sub> = 15 pF, V<sub>IN</sub> = 50 mV<sub>p-p</sub> centered at 200 mV.  
 Curve 3: C<sub>C</sub> = 0 pF, V<sub>IN</sub> = 100 mV<sub>p-p</sub> centered at 0V and applied through 50Ω connected to pin 14.2V.

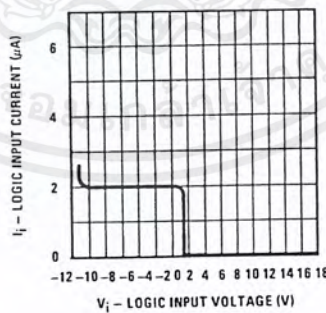
Reference Amp Common-Mode Range



DS005686-25

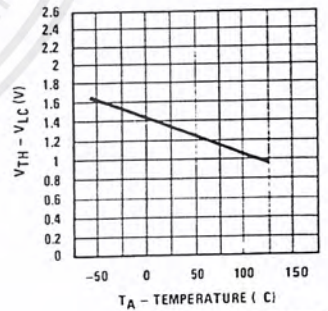
Note. Positive common-mode range is always (V<sup>+</sup>) - 1.5V.

Logic Input Current vs Input Voltage



DS005686-26

V<sub>TH</sub> - V<sub>LC</sub> vs Temperature

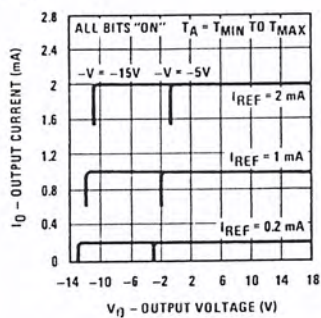


DS005686-27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

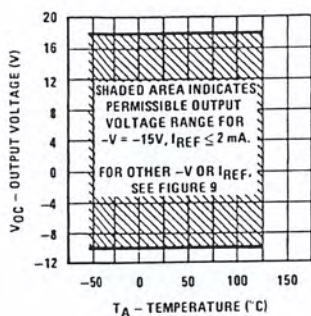
## Typical Performance Characteristics (Continued)

Output Current vs Output Voltage (Output Voltage Compliance)



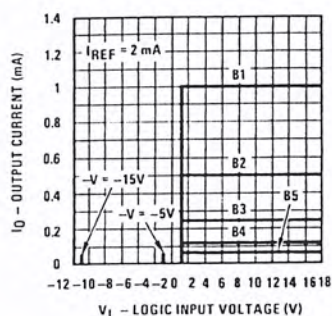
DS005686-28

Output Voltage Compliance vs Temperature



DS005686-29

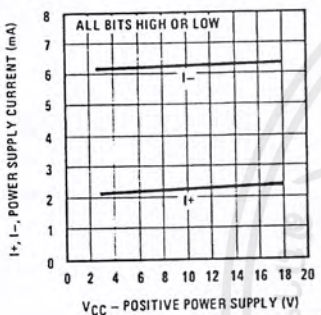
Bit Transfer Characteristics



DS005686-30

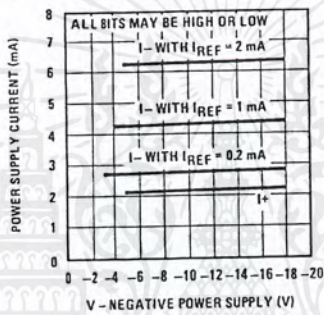
Note. B1-B8 have identical transfer characteristics. Bits are fully switched with less than 1/2 LSB error, at less than ±100 mV from actual threshold. These switching points are guaranteed to lie between 0.8 and 2V over the operating temperature range ( $V_{LC} = 0V$ ).

Power Supply Current vs +V



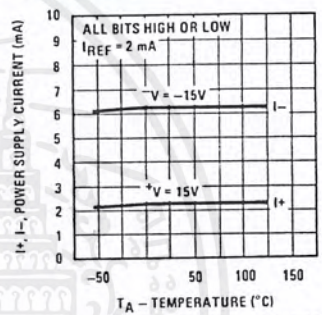
DS005686-31

Power Supply Current vs -V



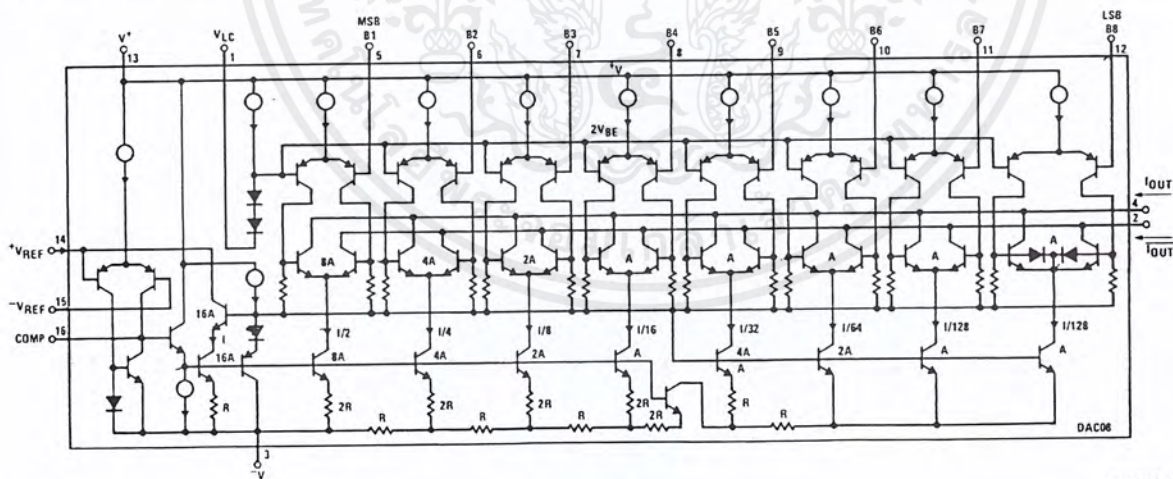
DS005686-32

Power Supply Current vs Temperature



DS005686-33

## Equivalent Circuit



DS005686-15

FIGURE 2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MM74HC4051 • MM74HC4052 • MM74HC4053**  
**8-Channel Analog Multiplexer •**  
**Dual 4-Channel Analog Multiplexer •**  
**Triple 2-Channel Analog Multiplexer**

**General Description**

The MM74HC4051, MM74HC4052 and MM74HC4053 multiplexers are digitally controlled analog switches implemented in advanced silicon-gate CMOS technology. These switches have low "on" resistance and low "off" leakages. They are bidirectional switches, thus any analog input may be used as an output and vice-versa. Also these switches contain linearization circuitry which lowers the on resistance and increases switch linearity. These devices allow control of up to ±6V (peak) analog signals with digital control signals of 0 to 6V. Three supply pins are provided for V<sub>CC</sub>, ground, and V<sub>EE</sub>. This enables the connection of 0–5V logic signals when V<sub>CC</sub> = 5V and an analog input range of ±5V when V<sub>EE</sub> = 5V. All three devices also have an inhibit control which when HIGH will disable all switches to their off state. All analog inputs and outputs and digital inputs are protected from electrostatic damage by diodes to V<sub>CC</sub> and ground.

**MM74HC4051:** This device connects together the outputs of 8 switches, thus achieving an 8 channel Multiplexer. The binary code placed on the A, B, and C select lines determines which one of the eight switches is "on", and connects one of the eight inputs to the common output.

**MM74HC4052:** This device connects together the outputs of 4 switches in two sets, thus achieving a pair of 4-channel multiplexers. The binary code placed on the A, and B select lines determine which switch in each 4 channel section is "on", connecting one of the four inputs in each section to its common output. This enables the implementation of a 4-channel differential multiplexer.

**MM74HC4053:** This device contains 6 switches whose outputs are connected together in pairs, thus implementing a triple 2 channel multiplexer, or the equivalent of 3 single-pole-double throw configurations. Each of the A, B, or C select lines independently controls one pair of switches, selecting one of the two switches to be "on".

**Features**

- Wide analog input voltage range: ±6V
- Low "on" resistance:
  - 50 typ. (V<sub>CC</sub>–V<sub>EE</sub> = 4.5V)
  - 30 typ. (V<sub>CC</sub>–V<sub>EE</sub> = 9V)
- Logic level translation to enable 5V logic with ±5V analog signals
- Low quiescent current: 80 μA maximum (74HC)
- Matched Switch characteristic

**Ordering Code:**

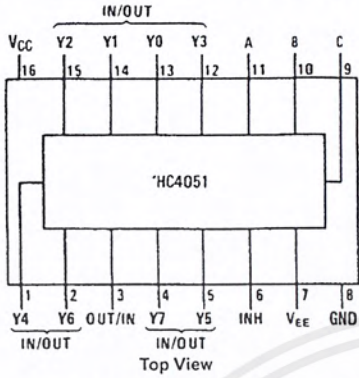
Order Number	Package Number	Package Description
MM74HC4051M	M16A	16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
MM74HC4051WM	M16B	16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-013, 0.300" Wide
MM74HC4051SJ	M16D	16-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
MM74HC4051MTC	MTC16	16-Lead Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP), JEDEC MO-153, 4.4mm Wide
MM74HC4051N	N16E	16-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-0010.300" Wide
MM74HC4052M	M16A	16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
MM74HC4052WM	M16B	16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-013, 0.300" Wide
MM74HC4052SJ	M16D	16-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
MM74HC4052MTC	MTC16	16-Lead Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP), JEDEC MO-153, 4.4mm Wide
MM74HC4052N	N16E	16-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-0010.300" Wide
MM74HC4053M	M16A	16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
MM74HC4053WM	M16B	16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-013, 0.300" Wide
MM74HC4053SJ	M16D	16-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
MM74HC4053MTC	MTC16	16-Lead Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP), JEDEC MO-153, 4.4mm Wide
MM74HC4053N	N16E	16-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-0010.300" Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connection Diagrams

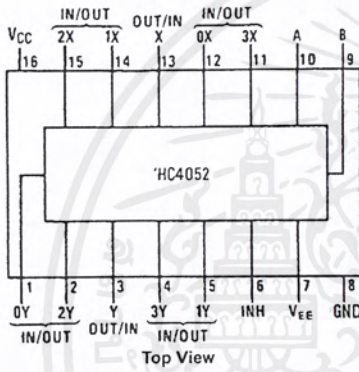
Pin Assignments for DIP, SOIC, SOP and TSSOP



Truth Tables

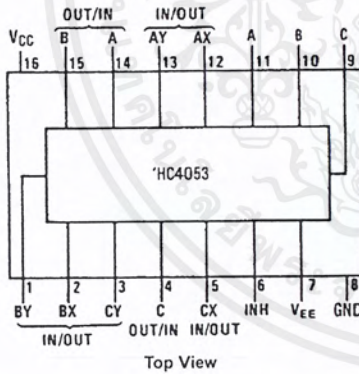
MM744051

Inh	Input			"ON"
	C	B	A	Channel
H	X	X	X	None
L	L	L	L	Y0
L	L	L	H	Y1
L	L	H	L	Y2
L	L	H	H	Y3
L	H	L	L	Y4
L	H	L	H	Y5
L	H	H	L	Y6
L	H	H	H	Y7



MM744052

Inh	Input			"ON"	
	C	B	A	0Y	1Y
H	X	X	X	None	None
L	L	L	L	0X	0Y
L	L	L	H	1X	1Y
L	L	H	L	2X	2Y
L	L	H	H	3X	3Y

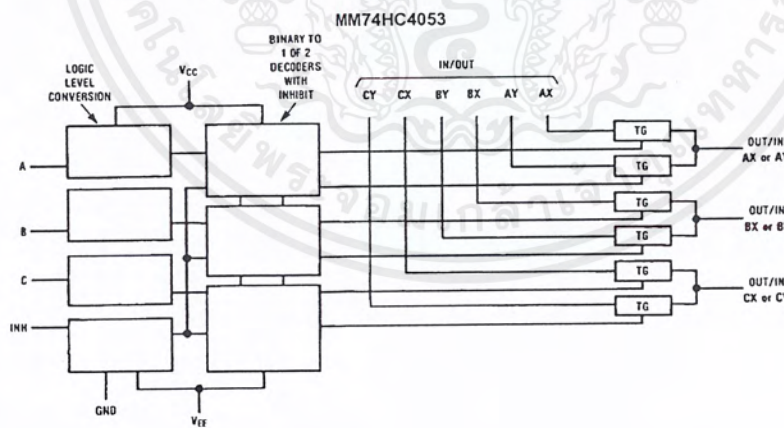
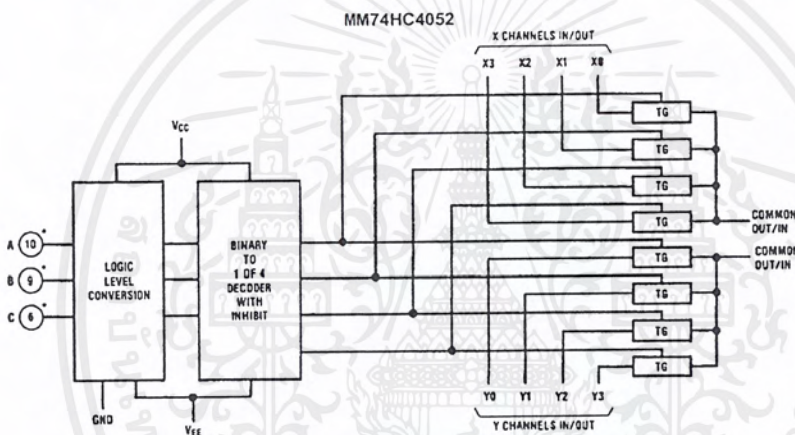
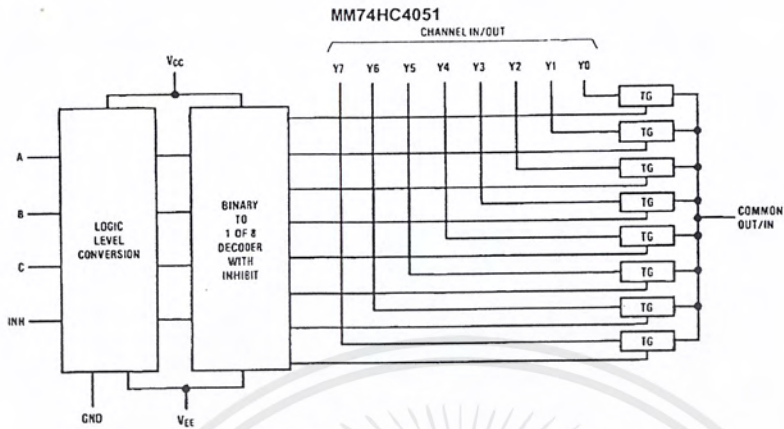


MM744053

Inh	Input			"ON"		
	C	B	A	None	None	None
H	X	X	X	None	None	None
L	L	L	L	CX	BX	AX
L	L	L	H	CX	BX	AY
L	L	H	L	CX	BY	AX
L	L	H	H	CX	BY	AY
L	H	L	L	CY	BX	AX
L	H	L	H	CY	BX	AY
L	H	H	L	CY	BY	AX
L	H	H	H	CY	BY	AY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Logic Diagrams



MM74HC4051 • MM74HC4052 • MM74HC4053

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Absolute Maximum Ratings**(Note 1)

(Note 2)

Supply Voltage ( $V_{CC}$ )	-0.5 to +7.5V
Supply Voltage ( $V_{EE}$ )	+0.5 to -7.5V
Control Input Voltage ( $V_{IN}$ )	-1.5 to $V_{CC}$ +1.5V
Switch I/O Voltage ( $V_{IO}$ )	$V_{EE}$ -0.5 to $V_{CC}$ +0.5V
Clamp Diode Current ( $I_{IK}$ , $I_{OK}$ )	$\pm 20$ mA
Output Current, per pin ( $I_{OUT}$ )	$\pm 25$ mA
$V_{CC}$ or GND Current, per pin ( $I_{CC}$ )	$\pm 50$ mA
Storage Temperature Range ( $T_{STG}$ )	-65°C to +150°C
Power Dissipation ( $P_D$ )	
(Note 3)	600 mW
S.O. Package only	500 mW
Lead Temperature ( $T_L$ )	
(Soldering 10 seconds)	260°C

**Recommended Operating Conditions**

Supply Voltage ( $V_{CC}$ )	Min	Max	Units
Supply Voltage ( $V_{EE}$ )	2	6	V
Supply Voltage ( $V_{EE}$ )	0	-6	V
DC Input or Output Voltage ( $V_{IN}$ , $V_{OUT}$ )	0	$V_{CC}$	V
Operating Temperature Range ( $T_A$ )	-40	+85	°C
Input Rise or Fall Times ( $t_r$ , $t_f$ )			
$V_{CC} = 2.0V$		1000	ns
$V_{CC} = 4.5V$		500	ns
$V_{CC} = 6.0V$		400	ns

**Note 1:** Absolute Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur.**Note 2:** Unless otherwise specified all voltages are referenced to ground.**Note 3:** Power Dissipation temperature derating — plastic "N" package: -12 mW/°C from 65°C to 85°C.**DC Electrical Characteristics** (Note 4)

Symbol	Parameter	Conditions	$V_{EE}$	$V_{CC}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$		$T_A = -40$ to $85^\circ\text{C}$		$T_A = -55$ to $125^\circ\text{C}$		Units
					Typ	Guaranteed Limits					
$V_{IH}$	Minimum HIGH Level Input Voltage			2.0V	1.5	1.5	1.5			V	
				4.5V	3.15	3.15	3.15		V		
				6.0V	4.2	4.2	4.2		V		
$V_{IL}$	Maximum LOW Level Input Voltage			2.0V	0.5	0.5	0.5			V	
				4.5V	1.35	1.35	1.35		V		
				6.0V	1.8	1.8	1.8		V		
$R_{ON}$	Maximum "ON" Resistance (Note 5)	$V_{INH} = V_{IL}$ , $I_S = 2.0$ mA	$V_{IS} = V_{CC}$ to $V_{EE}$ (Figure 1)	GND	4.5V	40	160	200	240	$\Omega$	
				-4.5V	4.5V	30	120	150	170	$\Omega$	
				-6.0V	6.0V	20	100	125	140	$\Omega$	
				GND	2.0V	100	230	280	320	$\Omega$	
				GND	4.5V	40	110	140	170	$\Omega$	
				-4.5V	4.5V	20	90	120	140	$\Omega$	
$R_{ON}$	Maximum "ON" Resistance Matching	$V_{CTL} = V_{IL}$ $V_{IS} = V_{CC}$ to GND		GND	4.5V	10	20	25	25	$\Omega$	
				-4.5V	4.5V	5	10	15	15	$\Omega$	
				-6.0V	6.0V	5	10	12	15	$\Omega$	
$I_{IN}$	Maximum Control Input Current	$V_{IN} = V_{CC}$ or GND $V_{CC} = 2-6V$				$\pm 0.1$	$\pm 1.0$	$\pm 1.0$	$\mu\text{A}$		
$I_{CC}$	Maximum Quiescent Supply Current	$V_{IN} = V_{CC}$ or GND $I_{OUT} = 0$ $\mu\text{A}$		GND	6.0V	8	80	160	320	$\mu\text{A}$	
				-6.0V	6.0V	16	160	320	$\mu\text{A}$		
$I_{IZ}$	Maximum Switch "OFF" Leakage Current (Switch Input)	$V_{OS} = V_{CC}$ or $V_{EE}$ $V_{IS} = V_{EE}$ or $V_{CC}$ $V_{INH} = V_{IH}$ (Figure 2)		GND	6.0V	$\pm 60$	$\pm 600$	$\pm 600$	$\pm 600$	nA	
				-6.0V	6.0V	$\pm 100$	$\pm 1000$	$\pm 1000$	nA		
$I_{IZ}$	Maximum Switch "ON" Leakage Current	$V_{IS} = V_{CC}$ to $V_{EE}$ $V_{INH} = V_{IL}$ (Figure 3)		GND	6.0V	$\pm 0.2$	$\pm 2.0$	$\pm 2.0$	$\pm 2.0$	$\mu\text{A}$	
				-6.0V	6.0V	$\pm 0.4$	$\pm 4.0$	$\pm 4.0$	$\mu\text{A}$		
				GND	6.0V	$\pm 0.1$	$\pm 1.0$	$\pm 1.0$	$\mu\text{A}$		
				-6.0V	6.0V	$\pm 0.2$	$\pm 2.0$	$\pm 2.0$	$\mu\text{A}$		
		$V_{IS} = V_{CC}$ to $V_{EE}$ $V_{INH} = V_{IL}$ (Figure 3)		GND	6.0V	$\pm 0.1$	$\pm 1.0$	$\pm 1.0$	$\mu\text{A}$		
		$V_{IS} = V_{CC}$ to $V_{EE}$ $V_{INH} = V_{IL}$ (Figure 3)		-6.0V	6.0V	$\pm 0.2$	$\pm 2.0$	$\pm 2.0$	$\mu\text{A}$		
		$V_{IS} = V_{CC}$ to $V_{EE}$ $V_{INH} = V_{IL}$ (Figure 3)		GND	6.0V	$\pm 0.1$	$\pm 1.0$	$\pm 1.0$	$\mu\text{A}$		
		$V_{IS} = V_{CC}$ to $V_{EE}$ $V_{INH} = V_{IL}$ (Figure 3)		-6.0V	6.0V	$\pm 0.1$	$\pm 1.0$	$\pm 1.0$	$\mu\text{A}$		

## DC Electrical Characteristics (Continued)

Symbol	Parameter	Conditions	V <sub>EE</sub>	V <sub>CC</sub>	T <sub>A</sub> = 25°C			T <sub>A</sub> = -40 to 85°C			T <sub>A</sub> = -55 to 125°C			Units
					Typ	Guaranteed Limits		Typ	Guaranteed Limits		Typ	Guaranteed Limits		
I <sub>IZ</sub>	Maximum Switch "OFF" Leakage Current (Common Pin)	HC4051 V <sub>OS</sub> = V <sub>CC</sub> or V <sub>EE</sub> V <sub>IS</sub> = V <sub>EE</sub> or V <sub>CC</sub> V <sub>INH</sub> = V <sub>IH</sub>	GND	6.0V		±0.2	±2.0	±2.0	±0.2	±4.0	±4.0	±2.0	±4.0	μA
			-6.0V	6.0V		±0.4	±4.0	±4.0	±0.4	±4.0	±4.0	±2.0	±4.0	μA
			GND	6.0V		±0.1	±1.0	±1.0	±0.1	±1.0	±1.0	±0.1	±1.0	μA
HC4052	V <sub>OS</sub> = V <sub>CC</sub> or V <sub>EE</sub> V <sub>IS</sub> = V <sub>EE</sub> or V <sub>CC</sub> V <sub>INH</sub> = V <sub>IH</sub>	GND	6.0V		±0.1	±1.0	±1.0	±0.1	±1.0	±1.0	±0.1	±1.0	μA	
		-6.0V	6.0V		±0.2	±2.0	±2.0	±0.2	±2.0	±2.0	±0.2	±2.0	μA	
		GND	6.0V		±0.1	±1.0	±1.0	±0.1	±1.0	±1.0	±0.1	±1.0	μA	
HC4053	V <sub>OS</sub> = V <sub>CC</sub> or V <sub>EE</sub> V <sub>IS</sub> = V <sub>EE</sub> or V <sub>CC</sub> V <sub>INH</sub> = V <sub>IH</sub>	GND	6.0V		±0.1	±1.0	±1.0	±0.1	±1.0	±1.0	±0.1	±1.0	μA	
		-6.0V	6.0V		±0.1	±1.0	±1.0	±0.1	±1.0	±1.0	±0.1	±1.0	μA	
		GND	6.0V		±0.1	±1.0	±1.0	±0.1	±1.0	±1.0	±0.1	±1.0	μA	

Note 4: For a power supply of 5V ±10% the worst case on resistances (R<sub>ON</sub>) occurs for HC at 4.5V. Thus the 4.5V values should be used when designing with this supply. Worst case V<sub>IH</sub> and V<sub>IL</sub> occur at V<sub>CC</sub> = 5.5V and 4.5V respectively. (The V<sub>IH</sub> value at 5.5V is 3.85V.) The worst case leakage current occur for CMOS at the higher voltage and so the 5.5V values should be used.

Note 5: At supply voltages (V<sub>CC</sub>-V<sub>EE</sub>) approaching 2V the analog switch on resistance becomes extremely non-linear. Therefore it is recommended that these devices be used to transmit digital only when using these supply voltages.

## AC Electrical Characteristics

V<sub>CC</sub> = 2.0V-6.0V, V<sub>EE</sub> = 0V-6V, C<sub>L</sub> = 50 pF (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Conditions	V <sub>EE</sub>	V <sub>CC</sub>	T <sub>A</sub> = 25°C			T <sub>A</sub> = -40 to 85°C			T <sub>A</sub> = -55 to 125°C			Units
					Typ	Guaranteed Limits		Typ	Guaranteed Limits		Typ	Guaranteed Limits		
t <sub>PHL</sub> , t <sub>PLH</sub>	Maximum Propagation Delay Switch In to Out		GND	2.0V	25	60	75	90	ns					
			GND	4.5V	5	12	15	18	ns					
			-4.5V	4.5V	4	8	12	14	ns					
			-6.0V	6.0V	3	7	11	13	ns					
t <sub>ZL</sub> , t <sub>ZH</sub>	Maximum Switch Turn "ON" Delay	R <sub>L</sub> = 1 kΩ	GND	2.0V	92	355	435	515	ns					
			GND	4.5V	69	87	103	ns						
			-4.5V	4.5V	16	46	58	69	ns					
			-6.0V	6.0V	15	41	51	62	ns					
t <sub>PHZ</sub> , t <sub>PLZ</sub>	Maximum Switch Turn "OFF" Delay		GND	2.0V	65	290	365	435	ns					
			GND	4.5V	28	58	73	87	ns					
			-4.5V	4.5V	18	37	46	56	ns					
			-6.0V	6.0V	16	32	41	48	ns					
f <sub>MAX</sub>	Minimum Switch Frequency Response 20 log (V <sub>I</sub> /V <sub>O</sub> ) = 3 dB		GND	4.5V	30				MHz					
			-4.5V	4.5V	35				MHz					
	Control to Switch Feedthrough Noise	R <sub>L</sub> = 600Ω, f = 1 MHz, C <sub>L</sub> = 50 pF	V <sub>IS</sub> = 4 V <sub>PP</sub>	0V	4.5V	1080			mV					
			V <sub>IS</sub> = 8 V <sub>PP</sub>	-4.5V	4.5V	250			mV					
	Crosstalk between any Two Switches	R <sub>L</sub> = 600Ω, f = 1 MHz	V <sub>IS</sub> = 4 V <sub>PP</sub>	0V	4.5	-52			dB					
			V <sub>IS</sub> = 8 V <sub>PP</sub>	-4.5V	4.5V	-50			dB					
	Switch OFF Signal Feedthrough Isolation	R <sub>L</sub> = 600Ω, f = 1 MHz, V <sub>CTL</sub> = V <sub>IL</sub>	V <sub>IS</sub> = 4 V <sub>PP</sub>	0V	4.5V	-42			dB					
			V <sub>IS</sub> = 8 V <sub>PP</sub>	-4.5V	4.5V	-44			dB					
THD	Sinewave Harmonic Distortion	R <sub>L</sub> = 10 kΩ, C <sub>L</sub> = 50 pF, f = 1 kHz	V <sub>IS</sub> = 4 V <sub>PP</sub>	0V	4.5V	0.013			%					
			V <sub>IS</sub> = 8 V <sub>PP</sub>	-4.5V	4.5V	0.008			%					
C <sub>IN</sub>	Maximum Control Input Capacitance				5	10	10	10	pF					
C <sub>IN</sub>	Maximum Switch Input Capacitance	Input 4051 Common 4052 Common 4053 Common			15				pF					
					90				pF					
					45				pF					
					30				pF					
C <sub>IN</sub>	Maximum Feedthrough Capacitance				5				pF					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Test Circuits and Switching Time Waveforms

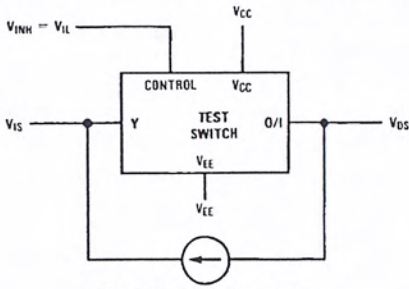


FIGURE 1. "ON" Resistance

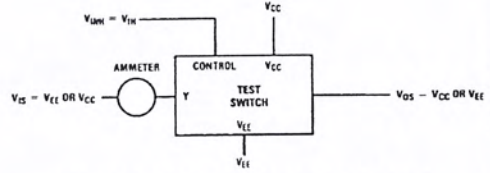


FIGURE 2. "OFF" Channel Leakage Current

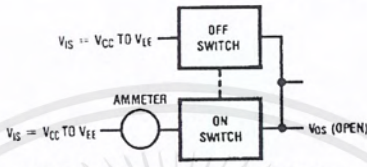


FIGURE 3. "ON" Channel Leakage Current



FIGURE 4.  $t_{PHL}$ ,  $t_{PLH}$  Propagation Delay Time Signal Input to Signal Output

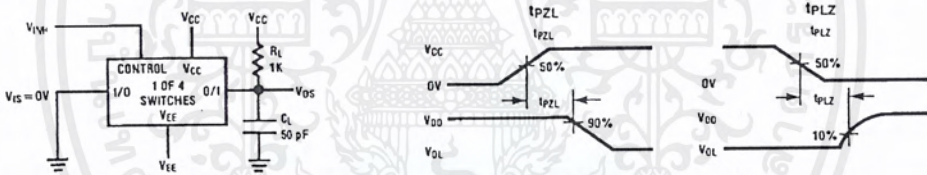


FIGURE 5.  $t_{pZL}$ ,  $t_{PLZ}$  Propagation Delay Time Control to Signal Output

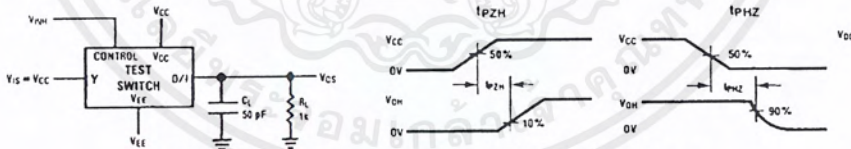


FIGURE 6.  $t_{pZH}$ ,  $t_{PHZ}$  Propagation Delay Time Control to Signal Output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Test Circuits and Switching Time Waveforms (Continued)

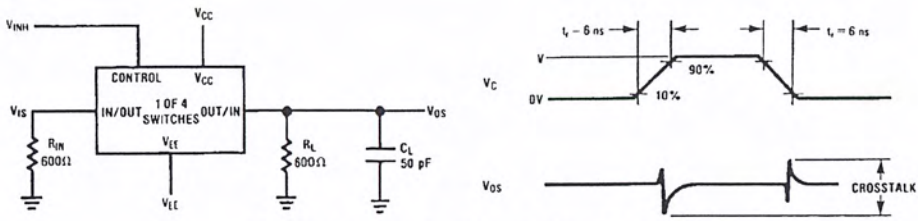


FIGURE 7. Crosstalk: Control Input to Signal Output

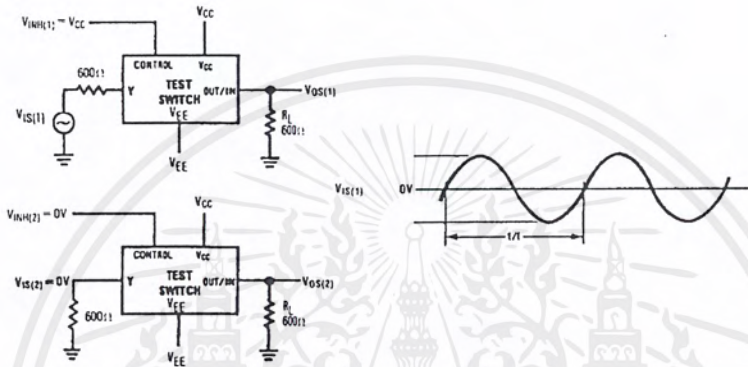
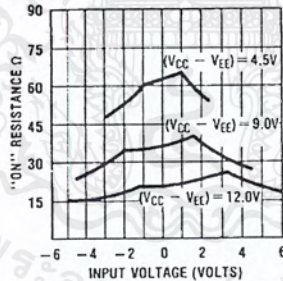


FIGURE 8. Crosstalk Between Any Two Switches

Typical Performance Characteristics

Typical "On" Resistance vs Input Voltage



$V_{CC} = -V_{EE}$

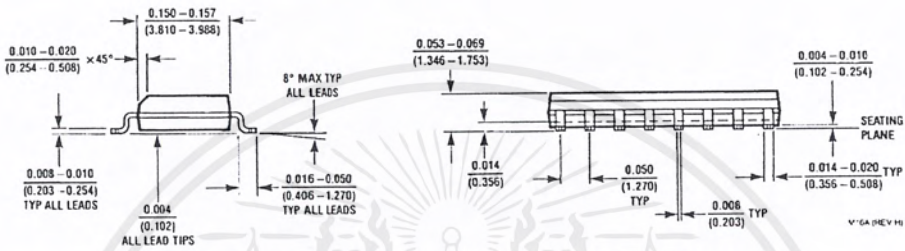
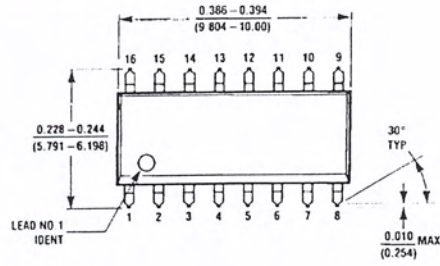
Special Considerations

In certain applications the external load-resistor current may include both  $V_{CC}$  and signal line components. To

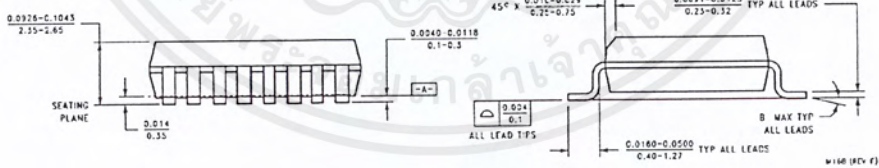
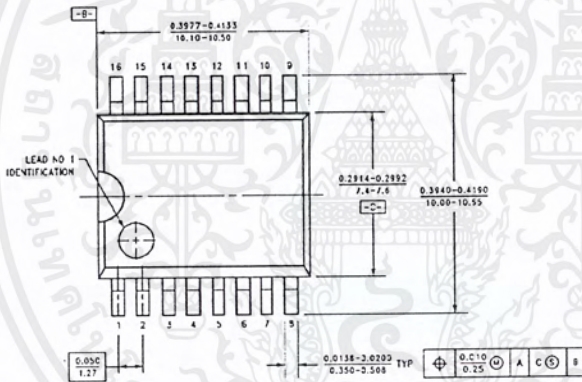
avoid drawing  $V_{CC}$  current when switch current flows into the analog switch pins, the voltage drop across the switch must not exceed 1.2V (calculated from the ON resistance).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



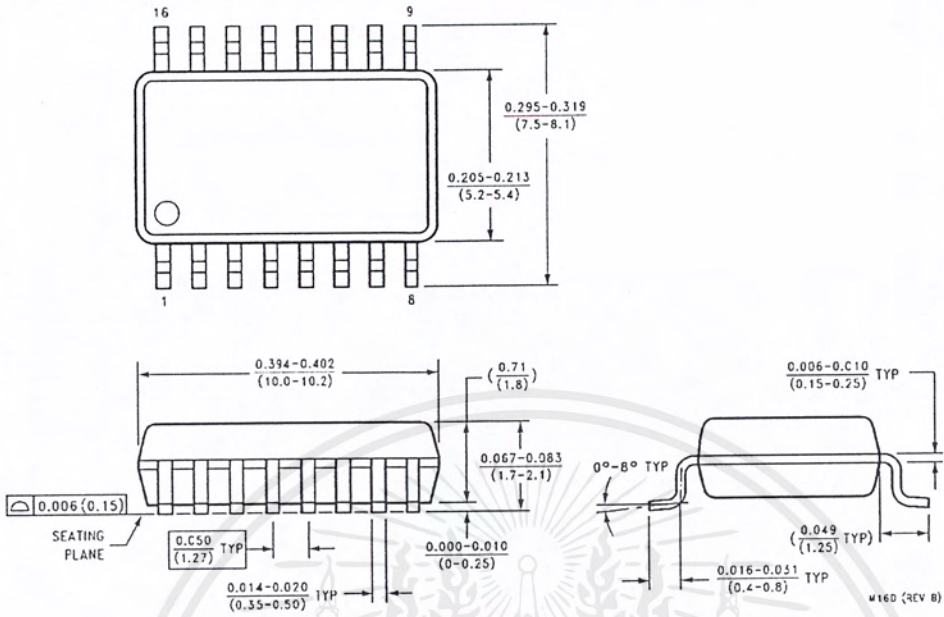
16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow Package Number M16A



16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-013, 0.300" Wide Package Number M16B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

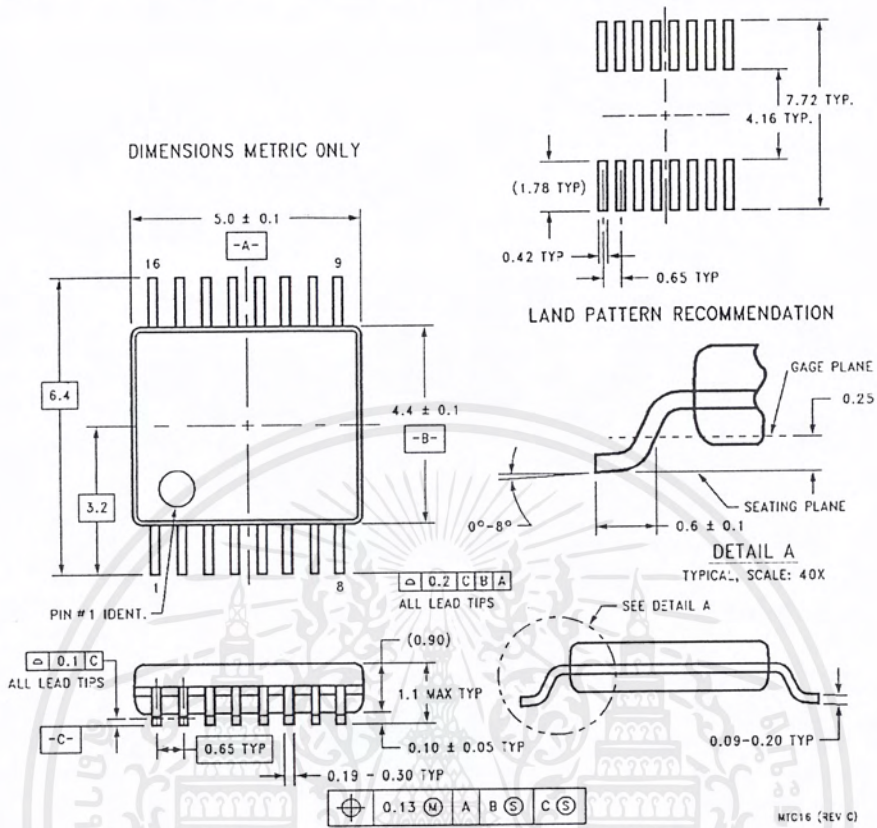
Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



16-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide  
Package Number M16D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



16-Lead Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP), JEDEC MO-153, 4.4mm Wide Package Number MTC16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้