

ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
FUNCTION GENERATOR CONTROLLED BY
MICROCONTROLLER



โดย
นายชนะ ศรีวรรณ
นายสมคิด จันทร์ทอง

เลขที่.....
เลขทะเบียน..... 42716
วัน, เดือน, ปี 7 ส.ย. 2545

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรม
ศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

FUNCTION GENERATOR CONTROLLED BY MICROCONTROLLER

โดย นายชนะ ศรีวรรณ 41013168

นายสมคิด จันทร์ทอง 41013236

อาจารย์ที่ปรึกษา



(ดร. สุริภณ สมควรพาณิชย์)

คณะวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันเงินเนอเรเตอร์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

โดย นายชนะ ศรีวรรณ 41013168

นายสมคิด จันทร์ทอง 41013236

อาจารย์ที่ปรึกษา คร. สุริภณ สมควรพาณิชย์

บทคัดย่อ

โดยทั่วไปฟังก์ชันเงินเนอเรเตอร์จะมีระบบการทำงานเป็นแบบสัญญาณอะนาลอกทั้งหมด การปรับค่าต่างๆ จะเป็นแบบอะนาลอกด้วย ซึ่งควบคุมโดยผู้ใช้งาน ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเสนอแนวคิดและหลักการออกแบบในการนำระบบควบคุมดิจิทัลมาใช้ในการควบคุมการทำงานของฟังก์ชันเงินเนอเรเตอร์ สามารถผลิตรูปสัญญาณได้ 5 รูปสัญญาณคือ สัญญาณไซน์, สัญญาณรูปสามเหลี่ยม, สัญญาณรูปสี่เหลี่ยม, สัญญาณรูปฟันเลื่อย และสัญญาณรูปพัลส์ ความถี่ที่ผลิตได้ $10\text{Hz} - 3\text{MHz}$, แอมพลิจูด $0\text{V} - 20\text{V}$, คิวตี้ไซเคิล $15\% - 85\%$, แรงดันออฟเซต $0.0\text{V} - 5.0\text{V}$ โดยอาศัยการควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต การปรับตั้งค่าจะใช้ปุ่มกดและแสดงผลด้วยจอ LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FUNCTION GENERATOR CONTROLLED BY MICROCONTROLLER

By : Chana Sriwan 41013168

Somkid Janthong 41013236

Adviser : Dr. Suriphol Somkuanpanit

Abstract

The most function generator operate with analog circuit. All function control by user in analog type. This thesis presents idea and circuit design about function generator controlled by microcontroller. This function generator can produce 5 wave form such as square, sine, triangle, rectangular, pulse and sawtooth. Frequency range are 10Hz – 3MHz, Amplitude are 0V – 20V, Duty cycle are 15% – 85% and Offset voltage are 0.0V – 5.0V. All function control by digital circuit and user can assign with keypads. For display system use LCD dot matrix module.

สารบัญ

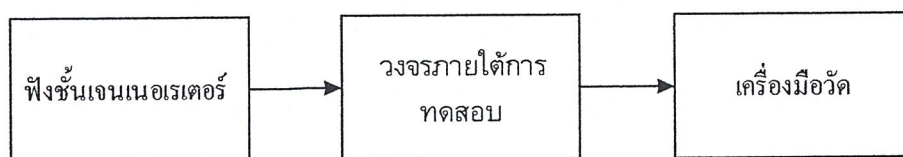
	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการทํางาน	3
2.1 รายละเอียดทางเทคนิคของ MAX038	3
2.2 ระบบควบคุมการทํางาน	14
2.3 ภาคไมโครคอนโทรลเลอร์	16
2.4 การควบคุมเพื่อเลือกโหมดการทํางาน	20
2.5 การควบคุมเพื่อปรับเลือกรูปสัญญาณและวงจรใช้งานของ MAX038	21
2.6 การควบคุมเพื่อปรับเลือกความถี่	23
2.7 การควบคุมเพื่อปรับเลือกควิตีไซเคิล	24
2.8 การควบคุมเพื่อปรับเลือกระดับแอมพลิจูด	25
2.9 การควบคุมเพื่อปรับเลือกแรงดันไฟตรงออฟเซต	26
2.10 การทํางานของวงจรภาคจ่ายไฟ	26
2.11 โปรแกรมควบคุมการทํางาน	28
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	41
3.1 การคำนวณหาค่า R และ C	41
3.2 การออกแบบ DAC0800	44
3.3 การออกแบบวงจรใช้งาน DAC122	48
3.4 การคำนวณหาข้อมูล 12 บิต ในการกำหนดความความถี่	49
บทที่ 4 การทดลอง	51
4.1 การทดลองวัดค่าของแรงดันที่ความถี่ต่างๆ	51
4.2 ผลการวัดรูปสัญญาณต่าง ๆ ที่ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ผลิตได้	59
บทที่ 5 สรุป	67
ภาคผนวก ก. วงจรฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์	
ภาคผนวก ข. โปรแกรมควบคุมฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์	
ภาคผนวก ค. รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้งาน	
บรรณานุกรม	

บทที่ 1

บทนำ

การศึกษาและการทดลองด้านอิเล็กทรอนิกส์มีความเกี่ยวข้องกับโดยตรงกับสัญญาณไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นอิเล็กทรอนิกส์ในสาขาใดก็ตามก็ต้องได้รับการสอนเกี่ยวกับสัญญาณไฟฟ้าทั้งสิ้น ซึ่งนับเป็นวิชาพื้นฐานที่ทุกคนต้องรู้ นอกจากนี้ในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์จำเป็นต้องใช้เครื่องมือหลายชนิด ส่วนใหญ่เป็นเครื่องมือที่ใช้แสดงผลและกำเนิดสัญญาณ อาทิฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ (Function Generator) จะทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณสำหรับการทดสอบ เครื่องออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) จะทำหน้าที่ในการแสดงผลรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้า โดยเทียบกับแกนเวลา เป็นต้น ซึ่งล้วนแต่เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า

ในการทดลองบ่อยครั้งจำเป็นต้องมีการป้อนสัญญาณไฟฟ้าเข้าไปยังวงจรภายใต้การทดสอบ และนำเครื่องมือมาทำการวัดเพื่อแสดงผลการตอบสนองของสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนให้ เครื่องมือที่ใช้ในการกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าเพื่อใช้ในการทดสอบก็คือ เครื่องฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ ซึ่งสามารถกำเนิดสัญญาณได้หลายรูปแบบ เช่น สัญญาณไซน์ (sine wave) , สัญญาณรูปสามเหลี่ยม (triangle wave) , สัญญาณรูปสี่เหลี่ยม (rectangular wave) , สัญญาณรูปฟันเลื่อย (sawtooth wave) , สัญญาณพัลส์ (pulse wave) เป็นต้น และสามารถปรับค่าแอมพลิจูด (Amplitude) และความถี่ (Frequency) ของสัญญาณไฟฟ้าได้ การเชื่อมต่ วงจรเพื่อทำการทดสอบ โดยทั่วไปมีรูปแบบดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 การจัดวงจรโดยทั่วไปเพื่อทดสอบหาผลการตอบสนองการทำงานภายใต้การทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันเงินเนอเรเตอร์ส่วนใหญ่ถูกออกแบบให้มีระบบการทำงานเป็นอนาลอก (analog) กล่าวคือวงจรที่ใช้กำเนิดสัญญาณจะมีรูปแบบการทำงานเป็นอนาลอก ตลอดจนการควบคุมต่างๆ ของเครื่องทั้งหมด ปรับตั้งเครื่องมักใช้วิธีปรับตัวค่านทานปรับค่าได้หรือตัวเก็บประจุปรับค่าได้ และสวิตช์ต่างๆ ควบคุมกัน บางครั้งจึงทำให้เสียเวลาและไม่มีความแน่นอนในการปรับตั้งค่าในแต่ละครั้ง

ปัญหานี้สามารถปรับปรุงแก้ไขได้โดยการนำระบบควบคุมแบบดิจิทัล (digital) มาใช้ซึ่งสามารถจัดลำดับการทำงานได้แน่นอน และสามารถโปรแกรมหรือกำหนดองค์ประกอบต่างๆ ของสัญญาณไฟฟ้าได้อย่างแน่นอน ซึ่งในปฏิญานิทรรศการฉบับนี้จะกล่าวถึงแนวความคิดและวิธีการออกแบบในการนำระบบควบคุมแบบดิจิทัลมาใช้กับเครื่องฟังก์ชันเงินเนอเรเตอร์ เพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งานและความสามารถในการปรับแต่งองค์ประกอบต่างๆ ของสัญญาณไฟฟ้าได้อย่างแน่นอนและรวดเร็วมากขึ้น

การกำเนิดรูปสัญญาณ จะใช้ไอซี MAX038 เป็นตัวกำเนิดและใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการปรับความถี่ คิวตี้ไซเคิล แอมพลิฟายด์ เป็นต้น ซึ่งข้อมูลทางดิจิทัลที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งออกมาจะถูกแปลงให้เป็นแรงดันโดยใช้วงจรแปลงข้อมูลดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอกเพื่อควบคุมการทำงานของ MAX038 ซึ่งคุณสมบัติของเครื่องฟังก์ชันเงินเนอเรเตอร์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ จะมีคุณสมบัติต่างๆ ของเครื่องดังนี้

- Output waveform : sine, triangle, rectangular, sawtooth, pulse
- Frequency Range : 10Hz – 10MHz
- Output Level (analogue) : 20 V_{p-p}
- Display : LCD Mmatrix Display
- FM Modulation : $f_o \pm 70\%$
- FM Sensitivity : $\pm 1V$
- FM Bandwidth : 10 kHz
- Sweep Sensitivity : 0 – 1 V
- Sweep Bandwidth : 10 kHz
- Control Method : Keypads
- Control By : MCS-51

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการทำงาน

เครื่องกำเนิดสัญญาณฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Function Generator Controlled By Microcontroller) ที่จะกล่าวต่อไปนี้ได้นำระบบควบคุมแบบดิจิทัลมาประยุกต์ใช้ แทนการควบคุมแบบอนาลอก ดังนั้นในส่วนของการกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าจึงยังคงเป็นวงจรถอนาลอกอยู่ ในที่นี้จะนำเอาไอซีกำเนิดสัญญาณเบอร์ MAX038 มาใช้โดยคุณสมบัติของไอซีตัวนี้สามารถกำเนิดสัญญาณพื้นฐานได้สามรูปแบบคือ สัญญาณรูปไซน์ สัญญาณรูปสามเหลี่ยม และสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม สามารถปรับความถี่ได้ในช่วง 0.1Hz – 20MHz โดยใช้อุปกรณ์ต่อร่วมเพียงเล็กน้อย และมีเสถียรภาพในการทำงานดีพอสมควร ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดทางเทคนิคของไอซีเบอร์นี้ต่อไป

ในส่วนการควบคุมแบบดิจิทัลนำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์ ในตระกูล MCS-51 มาใช้งานในการควบคุมการทำงานทั้งหมดของเครื่อง ดังนั้นจึงสามารถแบ่งการทำงานได้เป็นสองส่วนคือ ส่วนของวงจรถมการทำงานไอซี MAX038 และส่วนของวงจรมิคโครคอนโทรลเลอร์ ในฉบับนี้เราจะกล่าวถึงเฉพาะวงจรถมการทำงานของไอซี MAX038 เท่านั้น

2.1 รายละเอียดทางเทคนิคของ MAX038

MAX038 เป็นไอซีกำเนิดสัญญาณความถี่สูง และมีความเที่ยงตรงสูงด้วย สามารถผลิตรูปสัญญาณไซน์ , สามเหลี่ยม , ฟันเลื่อย , สี่เหลี่ยม และพัลส์ ด้วยการต่ออุปกรณ์เพิ่มเพียงเล็กน้อย ความถี่เอาต์พุตสามารถควบคุมให้อยู่ในช่วง 0.1Hz – 20 MHz โดยใช้แรงดันอ้างอิง 2.5V จากตัวไอซีเอง ต่อร่วมกับตัวต้านทานกับตัวเก็บประจุภายนอก ค่าควิตซ์ไซ้เกิดสามารถควบคุมโดยใช้แรงดัน $\pm 2.5V$ ซึ่งทำให้เป็นการง่ายที่จะผลิตสัญญาณฟันเลื่อย และพัลส์วิธี่ร้อมอดูเลชั่น (Pulse Width Modulation) ฟรีควนซึ่มอดูเลชั่น (Frequency Modulation) และการสวิปความถี่ (Frequency sweeping) ก็ใช้การควบคุมโดยวิธีเดียวกัน การควบคุมค่าควิตซ์ไซ้เกิด และความถี่จะเป็นอิสระต่อกับรูปสัญญาณไซน์ สี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยม สามารถเลือกได้จากรหัสที่ป้อนให้

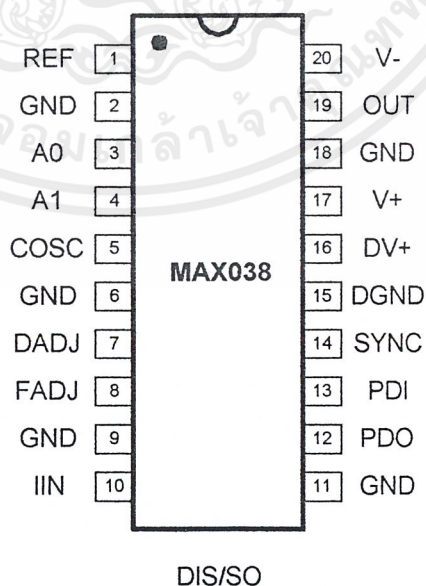
ไอซี เอาต์พุตของสัญญาณจะมีค่าเท่ากับ $2V_{p-p}$ และสมมาตรกัน ความต้านทานทางเอาต์พุตของไอซีมีค่าต่ำทำให้สามารถจ่ายกระแสได้สูงกว่า ± 20 mA

สัญญาณ SYNC ทางเอาต์พุตจะเกิดจากออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) ภายในตัวมันเอง และจะมีค่าควิตซ์เฟสเกิดเท่ากับ 50% คงที่ โดยไม่คำนึงถึงค่าควิตซ์เฟสเกิดของรูปสัญญาณอื่นทางเอาต์พุตของไอซีและการซิงโครไนซ์ของอุปกรณ์อื่นๆ ในระบบ ความถี่ออสซิลเลเตอร์ภายในสามารถที่จะซิงโครไนซ์กับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกได้โดยต่อเข้ากับขา PDI

2.1.1 คุณสมบัติของไอซี MAX038

- ความถี่ใช้งานอยู่ช่วง 0.1 Hz – 20 MHz
- สร้างรูปสัญญาณ รูปไซน์ รูปสามเหลี่ยม รูปสี่เหลี่ยม รูปฟันเลื่อย และรูปพัลส์ ได้
- ความถี่และควิตซ์เฟสเกิดสามารถปรับได้อิสระต่อกัน
- ควิตซ์เฟสเกิดสามารถปรับได้ในช่วง 15% ถึง 81%
- ความต้านทานเอาต์พุตต่ำ : 0.1Ω
- ความผิดเพี้ยนของสัญญาณรูปไซน์มีค่าต่ำ : 0.75%

TOP VIEW



รูปที่ 2.1 รูปร่างและการจัดขาของ MAX038

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN	NAME	FUNCTION
1	REF	2.50V bandgap voltage reference output
2	GND	Ground*
3	A0	Wave form selection input; TTL/CMOS compatible
4	A1	Wave form selection input; TTL/CMOS compatible
5	COSC	External capacitor connection
6	GND	Ground*
7	DADJ	Dutycycle adjust input
8	FADJ	Frequency adjust input
9	GND	Ground*
10	IIN	Current input for frequency control
11	GND	Ground*
12	PDO	Phase detector input. 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 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

* The five ground pins are internally connected. Connect all five ground pins to a quiet ground close to device. A ground plane is recommended (see layout conditions).

รูปที่ 2.2 หน้าที่การทำงานของขาต่างๆ ของ MAX038

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 หลักการทำงานโดยละเอียดของ MAX038

MAX038 เป็นฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ความถี่สูง ใช้แรงดันไฟเลี้ยง $\pm 5V$ ผิดพลาดได้ไม่เกิน $\pm 5\%$ ออสซิลเลเตอร์พื้นฐานเป็นซิงโครไนซ์ (relaxation) ทำงานโดยการชาร์จและดิสชาร์จของคาปาซิเตอร์ C_r ด้วยกระแสที่คงที่ ทำให้ได้สัญญาณสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมออกมาในเวลาเดียวกัน การชาร์จและดิสชาร์จของ C_r นี้ถูกควบคุมด้วยกระแสที่ขา IIN และการมอดูเลตสัญญาณทำได้โดยป้อนแรงดันเข้าที่ขา FADJ และ DADJ กระแสที่ป้อนเข้าไปที่ขา IIN สามารถแปลงจาก $2 \mu A$ จนถึง $750 \mu A$ เราสามารถปรับความถี่ได้อย่างละเอียดโดยป้อนแรงดันขาที่ขา FADJ ตั้งแต่ $-2.4 V$ ถึง $+2.4 V$ และทำให้ความถี่เบี่ยงเบนจากความถี่ปกติ $\pm 70\%$ โดยปกติแล้ว FADJ นี้จะมีแรงดัน $0V$

ค่าควิตซ์ไซเคิลสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่ 10% ถึง 90% โดยใช้แรงดัน $\pm 2.3V$ ป้อนเข้าที่ขา DADJ ซึ่งจะไปเปลี่ยนอัตราส่วนการชาร์จของ C_r โดยให้ความถี่ทางเอาต์พุตคงที่

ขา REF จะจ่ายแรงดันอ้างอิง $2.5V$ การคำนวณกระแสและแรงดันของ IIN, FADJ, หรือ DADJ สามารถคำนวณได้โดยง่าย ด้วยการต่อตัวต้านทานคงที่จากขา REF ไปยัง IIN, FADJ หรือ DADJ และเรายังสามารถปรับค่าต่างๆ เหล่านี้โดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ ขา FADJ และขา DADJ สามารถต่อลงกราวด์ ถ้าเราต้องการให้ควิตซ์ไซเคิลเป็น 50% และไม่ต้องการให้ความถี่เบี่ยงเบนจากความถี่ปกติ

ความถี่ของทางด้านเอาต์พุตเป็นส่วนกลับของคาปาซิเตอร์ C_r ค่าของ C_r จะเป็นตัวเลือกย่านของความถี่

สัญญาณรูปไซน์จะได้จากวงจรเปลี่ยนรูปคลื่นจากรูปคลื่นสามเหลี่ยม หลังจากเปลี่ยนแล้วจะได้รูปคลื่นไซน์ความถี่ขึ้นค่าและแอมพลิจูดคงที่ สัญญาณรูปไซน์ สามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยมจะไปป้อนให้กับวงจรมัลติเพล็กซ์ ซึ่งรูปสัญญาณทั้งสามแบบจะเลือกได้จากขา A0 กับ A1 การขยายสัญญาณเอาต์พุตจะมีค่าคงที่เท่ากับ $2 V_{pp}$ โดยไม่คำนึงถึงรูปสัญญาณและความถี่

สัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้จากออสซิลเลเตอร์จะส่งไปเปรียบเทียบกับความเร็วสูง ทำให้ได้สัญญาณซิงค์ (SYNC) รูปสี่เหลี่ยม ซึ่งสามารถใช้ซิงโครไนซ์กับออสซิลเลเตอร์ตัวเองได้ วงจรผลิตสัญญาณซิงค์จะใช้แหล่งจ่ายแรงดันแยกจากวงจรส่วนอื่นๆ

สัญญาณรูปสี่เหลี่ยม 2 สัญญาณ จากออสซิลเลเตอร์พื้นฐานจะถูกส่งเข้ามาด้านหนึ่งของเฟสดีเทคเตอร์ (Phase Detector) และอีกด้านหนึ่งเป็นเฟสดีเทคเตอร์อินพุต (PDI) ซึ่งสามารถต่อกับออสซิลเลเตอร์ภายนอกได้ เฟสดีเทคเตอร์เอาต์พุต (PDO) สามารถที่จะเชื่อมต่อกับ FADJ ได้โดยตรงเพื่อให้ MAX038 ซิงโครไนซ์กับออสซิลเลเตอร์จากภายนอก

2.1.3 การเลือกรูปสัญญาณ

MAX038 สามารถเลือกผลิตรูปสัญญาณไซน์ สี่เหลี่ยม หรือสามเหลี่ยม เพียงอย่างเดียวหนึ่งเท่านั้น ระดับลอจิกแต่ละตำแหน่งขาที่ใช้เลือกรูปสัญญาณแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงการเลือกรูปสัญญาณเอาต์พุต

รูปสัญญาณ	A0	A1
สัญญาณไซน์	X	1
สัญญาณรูปสี่เหลี่ยม	0	0
สัญญาณรูปสามเหลี่ยม	1	0

การเปลี่ยนแปลงรูปสัญญาณสามารถทำได้โดยใช้เวลาเพียงเล็กน้อย คือ $0.3 \mu\text{s}$ แต่จะมีทรานเซียนต์(Transient) เกิดขึ้นเล็กน้อยในรูปสัญญาณเอาต์พุตที่ช้ากว่า $0.5 \mu\text{s}$

2.1.4 คาบเวลาของรูปสัญญาณ

ความถี่ของเอาต์พุตคำนวณได้จากกระแสที่ป้อนเข้าที่ขา IIN , คาปาซิเตอร์ที่ขา CSOC และแระ ดันที่ขา FADJ เมื่อแรงดัน $V_{FADJ} = 0\text{V}$ ความถี่เอาต์พุตพื้นฐาน (F_0) คำนวณได้จากสูตร

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

คาบเวลา (t_0) หาได้จากสูตร

$$t_0(\mu\text{S}) = C_f(\text{PF}) \div I_{IN}(\mu\text{A})$$

เมื่อ I_{IN} = การที่กระแสไหลเข้าไปในขา IIN (ระหว่าง $2 \mu\text{A} - 750\mu\text{A}$)

C_f = คาปาซิเตอร์ที่ระหว่างขา COSC และ GND ($20\text{pF} - 100\text{pF}$)

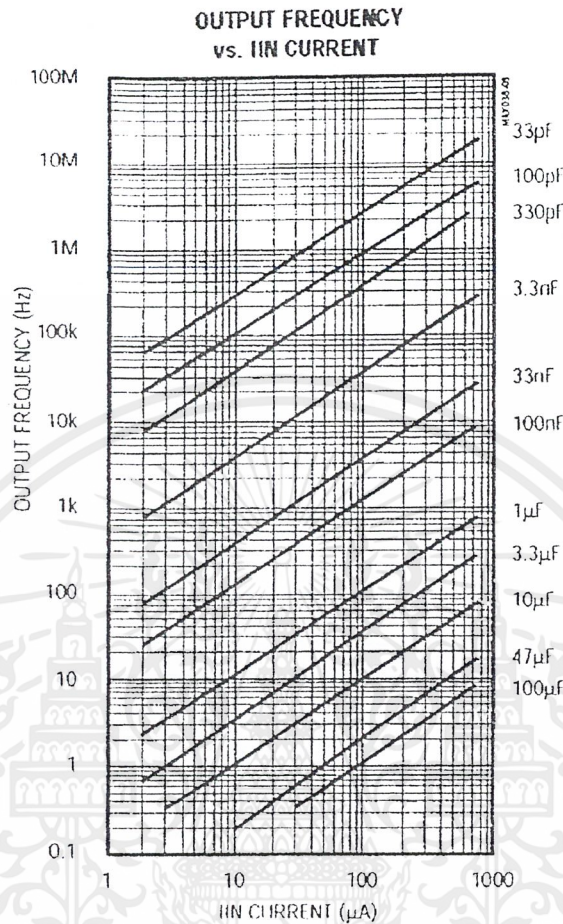
ตัวอย่างเช่น

$$0.5\text{MHZ} = 100 \text{ pF} \div 200 \text{ pF}$$

$$2 \mu\text{S} = 200 \text{ Pf} \div 100\mu\text{S}$$

การปฏิบัติการให้ได้ผลดีที่สุด กระแส I_{IN} จะอยู่ในระหว่าง $10\mu\text{A}$ ถึง $400\mu\text{A}$ แม้ว่ากระแสจะใช้งานได้ดีในช่วง I_{IN} ระหว่าง $2\mu\text{A}$ ถึง $750\mu\text{A}$ ค่าของกระแสนอกเหนือจากช่วงที่กำหนดจะไม่แนะนำให้ใช้ การทำงานที่ความถี่ที่จะตั้งกระแส I_{IN} ประมาณ $100\mu\text{A}$ และเลือกค่าคาปาซิเตอร์ที่เหมาะสมที่เสถียรจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิ (Temperature coefficient) ต่ำที่สุด และมีการเปลี่ยนแปลงเฟดต่ำสุดเมื่อเปลี่ยนค่าควิต์ไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เอาต์พุต, กระแส และ C_f กำหนดความถี่

คาปาซิเตอร์สามารถที่จะใช้ในช่วง 20 pF ถึง 100 pF แต่ค่าคาปาซิเตอร์ที่เกิดขึ้นในวงจรจะต้องมีค่าน้อยที่สุด ครอบงำ COSC และลายวงจรที่สำคัญๆ จะต้องมีการกราวด์เพลน (ground plane) และเชื่อมต่อสัญญาณภายนอกที่จุดนี้ให้น้อยที่สุด การออสซิลเลทความถี่สูงกว่า 20 MHz สามารถทำได้แต่รูปคลื่นจะผิดเพี้ยนเพิ่มขึ้น ภายใต้เงื่อนไขต่อไปนี้เป็นคือ ความถี่ต่ำที่สุดที่ถูกจำกัดโดยค่าการรั่วไหลของคาปาซิเตอร์ C_{OSC} และโดยจะต้องมีความเที่ยงตรงจะใช้คาปาซิเตอร์ 10µF หรือมากกว่านั้น โดยใช้คาปาซิเตอร์แบบไม่มีขั้ว

ที่ขา IIN จะมีระดับแรงดันเป็นกราวด์เสมือน ซึ่งมีแรงดันน้อยกว่า ± 2 mV ค่ากระแส IIN นี้จะหาได้จากตัวต้านทานที่ต่ออยู่ระหว่างขา REF กับขา IIN คำนวณได้จาก

$I_{IN} = V_{ref} \div R_{IN}$ เมื่อใช้แรงดันต่ออนุกรมกับตัวต้านทาน สูตรในการคำนวณความถี่ออสซิลเลทคือ

$$F_0 = V_{IN} \div (R_{IN} \times C_f)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อความถี่ของ MAX038 ควบคุมโดยแหล่งจ่ายแรงดัน (V_{in}) ที่ต่ออนุกรมกับตัวต้านทานคงที่ (R_{in}) ความถี่ทางเอาต์พุตจะควบคุมได้จาก V_{in} โดยตรง ดังแสดงในสมการ

2.1.5 การใช้งานขา FADJ

ความถี่เอาต์พุตสามารถมอดูเลตโดยใช้ขา FADJ ซึ่งจุดประสงค์สำคัญจะใช้สำหรับปรับความถี่อย่างละเอียด โดยใช้เฟสล็อกลูป (Phase Lock Loop) ภายใน ความถี่กลางที่ตั้งค่าโดย I_{IN} นั้น C_f จะถูกทำให้ชาร์จมากขึ้น โดยการตั้งค่าแรงดันที่ขา FADJ ให้มากกว่า 0 แรงดันนี้สามารถที่จะเปลี่ยนจาก -2.4 V ถึง +2.4 V ความถี่ทางเอาต์พุตสามารถเปลี่ยนจาก 0.3 เท่าจนถึง 1.7 เท่า หรือความถี่เบี่ยงเบนจากความถี่ $F_0 \pm 70\%$ ถ้าแรงดันเกิน ± 2.4 V จะทำให้การเปลี่ยนความถี่ไม่มีเสถียรภาพอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางตรงกันข้ามได้ (Revers Slope)

แรงดัน V_{fadj} หาได้จากการเปลี่ยนแปลงเอาต์พุตจาก F_0 โดย D_x (เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความถี่ F_0) โดยใช้สูตร

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

เมื่อแรงดันที่ FADJ นี้อยู่ระหว่าง -2.4 V ถึง +2.4 V

หมายเหตุ : I_{IN} จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่กลาง V_{fadj} จะมีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงจาก F_0 V_{fadj} ที่เปลี่ยนแปลงจาก 0 เป็นบวกหรือลบ จะตรงกับการเปลี่ยนแปลงทางบวกและลบของความถี่ โดยคำนวณได้จากสูตร

$$V_{FADJ} = (F_0 - F_x) \div (0.2915 \times F_0)$$

เมื่อ F_x = ความถี่เอาต์พุต

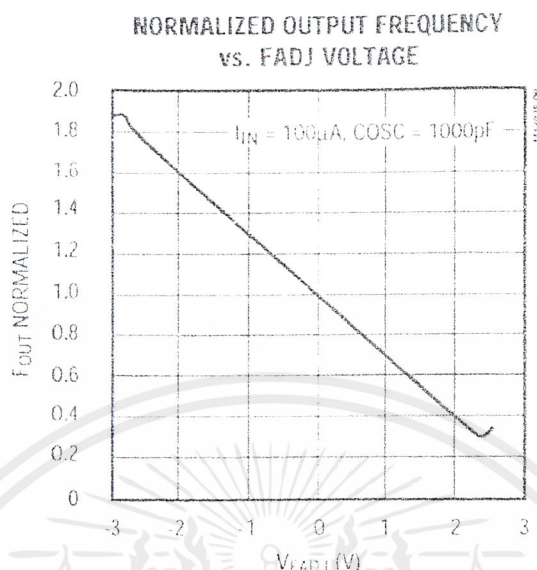
$$F_0 = \text{ความถี่เอาต์พุตที่ } V_{FADJ} = 0$$

แรงดัน V_{FADJ} หาโดยคาบเวลาจากสูตร

$$V_{FADJ} = 3.43 \times (t_x - t_0) \div t_x$$

เมื่อ t_x = คาบเวลาเอาต์พุต

$$t_0 = \text{คาบเวลาเอาต์พุต } V_{FADJ} = 0$$



รูป 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดไลต์ความถี่เอาต์พุตกับแรงดันที่ขา FADJ

ที่ขา FADJ จะมีกระแส 250 μ A คงที่ไหลไปยัง V- ดังนั้นขานี้จะต้องควบคุมโดยใช้แหล่งจ่ายแรงดัน การใช้งานจะต่อตัวต้านทานปรับค่าได้ ระหว่างขา REF (+2.5 V) กับขา FADJ เมื่อเรที่ตั้งค่าความถี่เบี่ยงเบนเราสามารถตั้งค่าความต้านทาน (R_p) ได้โดย

การใช้งานขาี้จะมีผลต่อความถี่เอาต์พุต ดังนั้นถ้าเราไม่ต้องการใช้งานควรจะต่อตัวต้าน 12 k Ω ที่ขานี้ลงกราวด์

2.1.6 การสวิตช์ของความถี่

ความถี่เอาต์พุตสามารถที่จะสวิตช์ได้โดยการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่ขา IIN และ FADJ ที่ขา IIN จะมีย่านการสวิตช์ที่กว้าง แต่การตอบสนองค่อนข้างช้า สัมประสิทธิ์ทางอูณหภูมิต่ำ และแหล่งจ่ายกระแสที่ต่อจะต้องถูกขั้ว FADJ จะใช้ในกรณีกวาดความถี่ในช่วงแคบๆ คือน้อยกว่า $\pm 70\%$ จากความถี่ปลานกลางและเหมาะสมที่จะใช้ในการจัดวงจรเฟสล็อกกลุ๊ป สัญญาณที่สวิตช์จะต้องมีแรงดันบวกและลบสมมาตรกับกราวด์

การเชื่อมต่อจะใช้ตัวต้านทานต่อระหว่างขา REF หรือแหล่งจ่ายแรงดันกับขา FADJ หรือ IIN เพื่อสะดวกในการปรับแรงดันที่ใช้สวิตช์

2.1.7 คิวตี้ไซเคิล

แรงดันที่ขา DADJ จะควบคุมค่าคิวตี้ไซเคิลของรูปสัญญาณ ปกติแล้ว V_{dadj} จะมีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งจะให้ค่าคิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 50% แรงดันที่ขา DADJ สามารถเปลี่ยนแปลงได้จาก -3.2V ถึง +3.2V เนื่องจากค่าคิวตี้ไซเคิลเปลี่ยนแปลงได้จาก 15% ถึง 85% หรือประมาณ 15% ต่อ 1V ถ้าแรงดันเกิน $\pm 2.5V$ จะทำให้เฟสเอาต์พุตเลื่อนไปจากเดิม

DADJ สามารถใช้ลดค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณรูปไซน์ได้ ในขณะที่เราไม่ปรับ ($V_{dadj} = 0V$) คิวตี้ไซเคิลจะมีค่าเท่ากับ 50% ผิดพลาด $\pm 2\%$ การเปลี่ยนแปลงจาก 50% จะเกิดโดยฮาร์โมนิก (Harmonic) ที่เกิดขึ้น เราจะแก้โดยการปรับแรงดัน V_{dadj} เพียงเล็กน้อยที่สุด

แรงดัน V_{dadj} ที่ใช้เปลี่ยนค่าคิวตี้ไซเคิลหาได้จากสูตร

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

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

เมื่อ $V_{DADJ} =$ แรงดันที่ขา DADJ

DC = คิวตี้ไซเคิล (%)

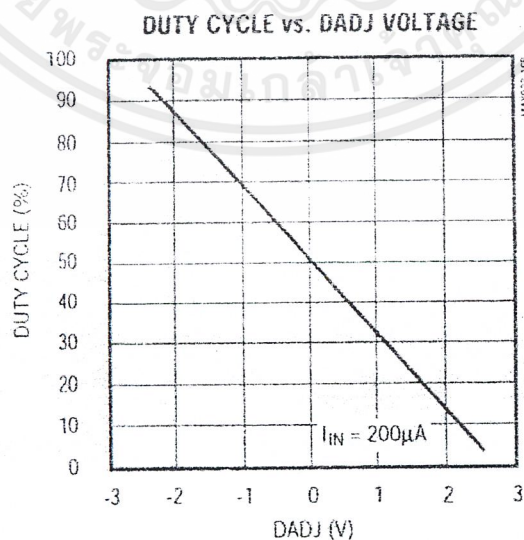
t_{on} = ช่วงเวลาที่เป็นบวก

t_0 = คาบเวลาของรูปคลื่น

ถ้าเราทราบค่า V_{DADJ} จะสามารถหาค่าคิวตี้ไซเคิลและ t_{on} ได้จากสูตร

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

$$t_{on} = t_0 \times \{0.5 - (V_{DADJ} \times 0.174)\}$$



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์คิวตี้ไซเคิลกับแรงดันที่ขา DADJ

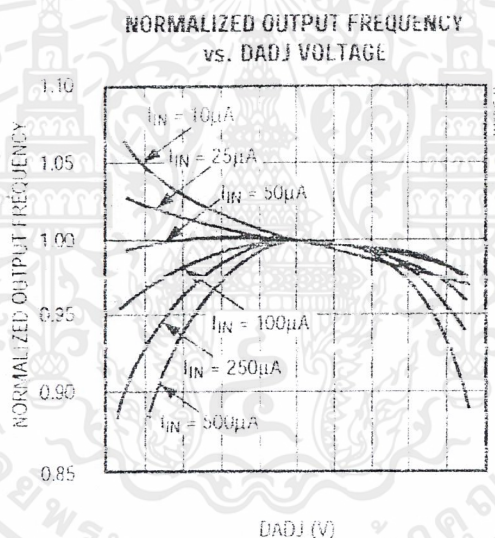
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.8 การใช้งานขา DADJ

ขา DADJ จะคล้ายกับขา FADJ คือกระแส 250µA ไหลไปยัง V- และต้องใช้แหล่งจ่าย แรงดันในการควบคุมค่าควิตซ์ไซเคิล การใช้งานจะใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ (R_D) ระหว่างขา REF (+2.5V) กับขา DADJ เพื่อเลือกค่าควิตซ์ไซเคิล จากการเปลี่ยนแปลงค่าควิตซ์ไซเคิล จะอยู่ในช่วง 15% ถึง 85% ซึ่งค่าควิตซ์ไซเคิลช่วงนี้จะมีผลกระทบต่อความถี่เอาต์พุตน้อย โดยปกติจะน้อยกว่า 2% เมื่อ 25µA < I_{in} < 250µA

การต่อตัวต้านทานปรับค่าได้ (R_D) เข้าไประหว่างขา REF กับ DADJ จะทำให้ปรับค่าควิตซ์ไซเคิลได้ ค่าความต้านทาน R_D หาได้โดย

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



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดความถี่เอาต์พุตกับแรงดันที่ขา DADJ

2.1.9 เอาต์พุต

ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตจะมีที่คงที่คือ 2V_{pp} รูปร่างสัญญาณจะเป็นแบบซิมเพิลที่เนตและที่เนบ ภาสมมาตรกันความต้านทานทางเอาต์พุตมีค่าต่ำกว่า 0.1 Ω และสามารถจ่ายกระแสได้ ±20mA ที่โหลดสูงกว่า 50 pF ถ้าค่าคาปาซิแตนซ์ทางเอาต์พุตมีค่าสูงจะต้องแยกความต้านทานเอาต์พุตด้วยตัวต้านทาน (ปกติใช้ 50 Ω) หรือวงจรบัฟเฟอร์ (Buffer amplifier)

2.1.10 แรงดันอ้างอิง

ขา REF จะมีแรงดัน 2.5V ใช้เป็นระดับอ้างอิง จ่ายกระแสได้ 4 mA ส่วนใหญ่แล้วขา REF นี้จะถูกใช้เป็นตัวจ่ายกระแส I_{in} หรือไปอัสที่ขา DADJ และ FADJ นอกจากนั้นยังสามารถประยุกต์ใช้งานอย่างอื่นกับวงจรภายนอกส่วนอื่นๆ ได้ด้วย ที่ขานี้ควรจะต่อตัวเก็บประจุบายพาสค่า 100 μF ไว้เพื่อลดสัญญาณรบกวนให้น้อยที่สุด

2.1.11 การเลือกตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ

MAX038 เป็นอุปกรณ์ที่มีเสถียรภาพทางความถี่และอุณหภูมิ แต่ตัวเก็บประจุและตัวต้านทานที่คำนวณออกมาได้เมื่อนำไปใช้งานอาจทำให้ความถี่ผิดพลาดได้ ซึ่งเกิดขึ้นจากการเลือกใช้อุปกรณ์ที่ไม่มีคุณภาพเพียงพอ ตัวต้านทานควรเลือกใช้ชนิดเมทอลฟิล์ม (metal film) มีความผิดพลาด 1% ตัวเก็บประจุที่ใช้ควรมีค่าสัมประสิทธิ์ต่ออุณหภูมิต่ำตลอดย่านอุณหภูมิที่ใช้งาน ซึ่งควรเป็นชนิดเซรามิกมีคุณสมบัติทางอุณหภูมิประมาณ ± 30 ppm/ C หรือน้อยกว่านั้นจึงจะเหมาะสม

แรงดันที่ขา COSC จะเป็นสัญญาณรูปสามเหลี่ยมที่มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันระหว่าง 0V ถึง -1V ตัวเก็บประจุแบบมีขั้วโดยทั่วไปไม่แนะนำให้ใช้ แต่ถ้าจำเป็นต้องใช้ให้ต่อขาลบที่ขา COSC และต่อขั้วบวกลงกราวด์ ที่ความถี่ต่ำจะใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่ามากจึงจำเป็นต้องเลือกใช้อย่างระมัดระวัง เพราะตัวเก็บประจุที่มีค่ามากจะมีกระแสรั่วไหลมากและการดुकคลื่นเนื่องจากไดอิเล็กตริก (Dielectric) จะสูง ทำให้เกิดการรบกวนเมื่อ C_f เกิดการชาร์จและดิชาร์จ ถ้าจำเป็นต้องใช้ควรรีให้กระแส I_{in} ต่ำๆ เพื่อให้ค่าตัวเก็บประจุลดลง

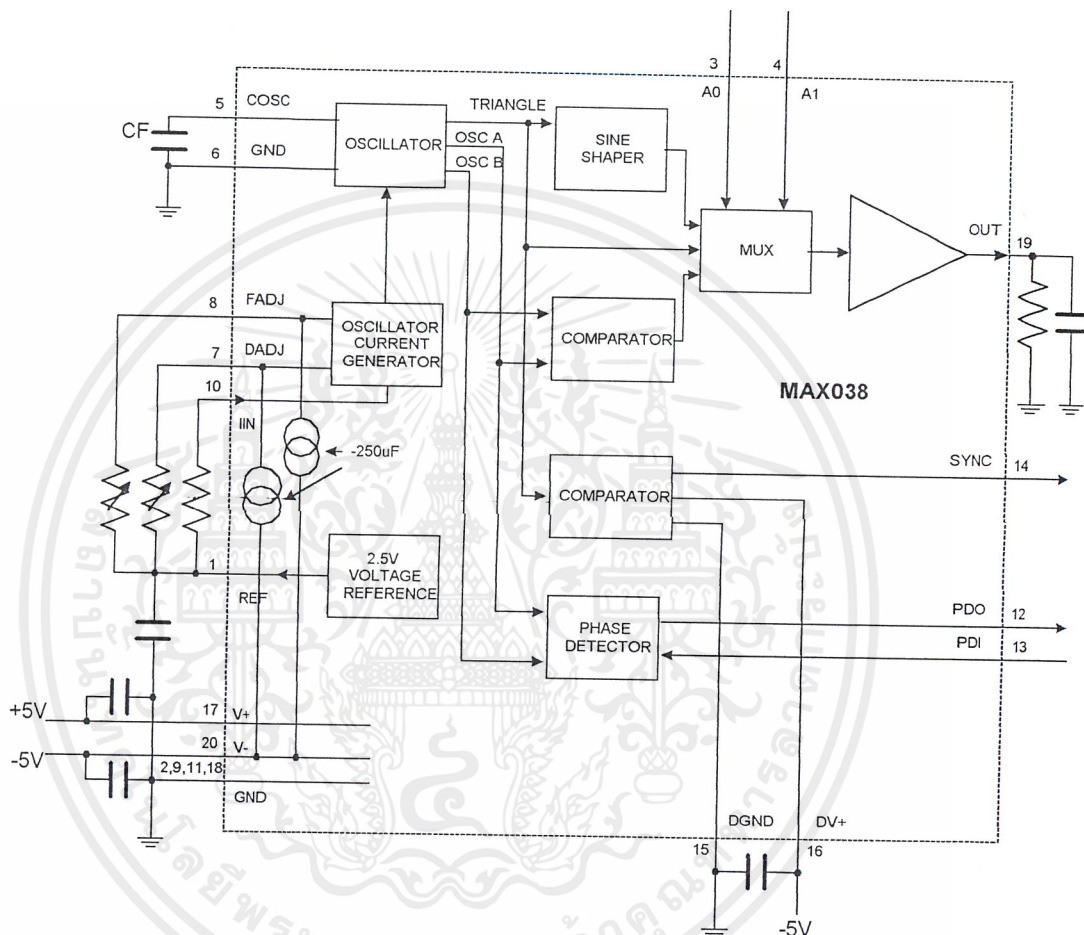
2.1.12 สัญญาณ SYNC ทางเอาต์พุต

เอาต์พุต SYNC สามารถใช้ซิงโครไนซ์กับวงจรภายนอก เอาต์พุตที่ขา SYNC จะเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่มีขอบขาขึ้นพร้อมกับเอาต์พุตที่เป็นสัญญาณไซน์หรือสามเหลี่ยม เมื่อเราเลือกสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม ขอบขาขึ้นของสัญญาณ SYNC จะกุดที่กลางสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม สัญญาณ SYNC จึงล้าหลังสัญญาณสี่เหลี่ยมไป 90° เนื่องจาก SYNC มีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณเร็วมากทำให้เกิดทรานเซียนต์ขึ้นที่ขา DV+ และ DGND และทำให้เกิดการแพร่กระจายพลังงานไปยังวงจรส่วนเอาต์พุต ทำให้เกิด สไปค์ (Spike) แคบๆ ในรูปสัญญาณเอาต์พุต ถ้าเราต้องการใช้สัญญาณ SYNC จึงไม่ควรใส่ช็อกเก็ตไอซีเพราะจะทำให้เกิดค่า L และ C ทำให้ผลของสไปค์เพิ่มมากขึ้น แรงดันไฟเลี้ยงและกราวด์ของวงจรส่วนนี้จะแยกออกจากส่วนอื่น ดังนั้นถ้าไม่ต้องการใช้สัญญาณ SYNC ก็ไม่ต้องจ่ายไฟเลี้ยงที่ขา DV+ ทั้งนี้เพื่อลดสไปค์ที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.13 โครงสร้างภายในและการต่อใช้งานเบื้องต้นของ MAX038

จากรายละเอียดการทำงานที่กล่าวมาแล้วสามารถนำค่าที่ได้จากการออกแบบมาจัดวงจรเบื้องต้นได้ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งแสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานภายในของ MAX038



รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างภายในและการต่อใช้งานเบื้องต้นของ MAX038

2.2 ระบบควบคุมการทำงาน

การควบคุมหรือการกำหนดค่าในการปรับฟังก์ชันเซนเซอร์สามารถแบ่งออกได้เป็นดังนี้

2.2.1 การปรับเลือกโหมดการทำงาน แบ่งออกได้เป็นเป็น 3 โหมดการทำงานคือ

2.2.1.1 โหมดการทำงานปกติ (INTERN) เป็นโหมดที่ใช้งานทั่วไป เครื่องจะทำหน้าที่กำเนิดรูปสัญญาณ สามารถปรับ ความถี่, ค่าดิวตี้ไซเคิล, แอมพลิจูด และค่าดีซีออฟเซตตามที่ได้กำหนดไว้โดยไม่มีกรปรับแบบสวิปหรือแบบเอฟเอ็มมอดูเลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.2 โหมดการทำงานแบบสวิป (SWEEP) เป็นโหมดที่ใช้ในการปรับค่าความถี่แบบสวิปโดยใช้แรงดันไฟตรงจากภายนอก โดยกำหนดค่าความถี่หลักและองค์ประกอบอื่นๆ จากการปรับในโหมดการทำงานปกติ

2.2.1.3 โหมดการทำงานแบบเอฟเอ็มมอดูเลชัน (FREQUENCY MODULATION : FM) เป็นโหมดที่ใช้การปรับความถี่แบบเอฟเอ็ม โดยการป้อนสัญญาณที่ต้องการมอดูเลตเข้าสู่เครื่อง ผลของสัญญาณที่ป้อนเข้ามาจะทำให้มีค่าความถี่หลักที่กำหนดไว้มีค่าเปลี่ยนแปลงไปในช่วงที่ต่ำกว่าหรือสูงกว่าในช่วงเดิม ซึ่งก็คือการมอดูเลตทางความถี่ของสัญญาณอินพุตจากภายนอกและความถี่หลักของเครื่องฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์นั่นเอง

2.2.2 การปรับเลือกรูปสัญญาณ เป็นการปรับตั้งเพื่อเลือกรูปสัญญาณเอาต์พุต (Wave form) ที่ต้องผลิตขึ้น จากคุณสมบัติของไอซีกำเนิดรูปสัญญาณ MAX038 สามารถกำเนิดรูปสัญญาณพื้นฐานได้ 3 แบบคือ สัญญาณรูปไซน์, รูปสามเหลี่ยม และรูปสี่เหลี่ยม โดยการปรับที่ขา A0 และ A1 ของ MAX038 ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ดังนั้นเมื่อทำการปรับร่วมกับควิตซ์ไชเคิลจะสามารถกำเนิดรูปสัญญาณได้ 5 รูปสัญญาณ คือ

- รูปสัญญาณฟังก์ชันไซน์
- รูปสัญญาณสามเหลี่ยม
- รูปสัญญาณฟันเลื่อย
- รูปสัญญาณสี่เหลี่ยม
- รูปสัญญาณพัลส์

2.2.2 การปรับเลือกความถี่ เป็นการปรับตั้งค่าความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตที่ต้องการผลิตขึ้น โดยสามารถปรับได้ในช่วง 10Hz – 100MHz แบ่งเป็น 6 ช่วงความถี่คือ 10-99.9Hz , 100-999Hz , 1kHz-9.99kHz , 10kHz-99.9kHz , 100kHz-999kHz , 1MHz-9.99MHz แต่ละช่วงความถี่สามารถเลือกได้โดยการเปลี่ยนตัวเก็บประจุที่ต่อกับขา COSC ของ MAX038 ค่า R_{in} ซึ่งเป็นตัวต้านทานที่ต่อกับขา IIN และแรงดัน V_{in} ที่ป้อนเข้าที่ขา IIN โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

การปรับความถี่จะใช้ตัวแปร 2 ตัว จากสมการคือค่า C_f และ V_{in} โดย R_{in} จะคงค่าความต้านทานไว้ ส่วน C_f จะกำหนดจากช่วงความถี่ที่ตั้งค่าไว้ 6 ช่วง นั่นคือต้องใช้ค่า C_f จำนวน 6 ค่า เพื่อแทนค่าความถี่ทั้ง 6 ช่วง จากนั้นการปรับค่าความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับค่าตัวแปร V_{in} ในการปรับเลือกค่าความถี่แต่ละย่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 การปรับเลือกค่าคิวดั้ไซเคลิล เป็นการปรับตั้งเพื่อเลือกค่าคิวดั้ไซเคลิลของสัญญาณเอาต์พุตที่ผลิตขึ้น การปรับค่าคิวดั้ไซเคลิลนี้จะกำหนดเฉพาะเมื่อเลือกใช้เป็นรูปสัญญาณเอาต์พุตเป็นรูปสัญญาณฟันเลื่อยและรูปพัลส์เท่านั้น การควบคุมค่าคิวดั้ไซเคลิลสามารถทำได้โดยการป้อนแรงดันไฟตรงไปที่ขา DADJ โดยอาศัยความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

จากความสัมพันธ์ดังสมการจะเห็นได้ว่าเมื่อปรับค่าแรงดัน V_{dadj} จะทำให้ค่าคิวดั้ไซเคลิลของสัญญาณเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งค่าคิวดั้ไซเคลิลนี้สามารถปรับได้อยู่ในช่วง $\pm 2.3 \text{ V}$ ตามคุณสมบัติทางเทคนิคของ MAX038

2.2.5 การปรับเลือกระดับแอมพลิจูด ใช้วิธีการปรับอัตราขยายด้วยการป้อนแรงดันไฟตรง ดังนั้นวงจรที่ใช้ในส่วนนี้จึงเป็นวงจร VCA (Voltage Controlled Amplifier Circuit)

2.2.6 การปรับเลือกแรงดันไฟตรงออฟเซต ใช้วิธีการปรับตั้งแรงดันไฟตรงที่ป้อนเข้าไปร่วมกับสัญญาณเอาต์พุต ทำให้ได้เอาต์พุตที่มีองค์ประกอบของแรงดันไฟตรงรวมอยู่ด้วย

2.3 ภาคไมโครคอนโทรลเลอร์

จากระบบควบคุมดังที่ได้กล่าวไปแล้วจะเห็นได้ว่าการทำงานในระบบควบคุมทุกส่วนจะอยู่ในรูปของการปรับตั้งค่าแรงดันไฟตรงทั้งหมด ดังนั้นเมื่อนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ในการควบคุมซึ่งให้ผลการเป็นแปลงแบบดิจิทัลจึงต้องทำการเปลี่ยนแปลงค่าข้อมูลเหล่านั้นให้เป็นแรงดันไฟตรงที่สัมพันธ์กับค่าข้อมูลก่อนด้วยวงจร DAC (Digital to Analog Converter) ซึ่งจะต่ออยู่กับพอร์ตควบคุมต่าง ๆ ระดับแรงดันไฟตรงที่ได้จากเอาต์พุตของวงจร DAC จะถูกไปควบคุมการปรับตั้งค่าต่าง ๆ ในส่วนของวงจรกิจรูปสัญญาณ การปรับตั้งค่าความถี่ ค่าคิวดั้ไซเคลิล ค่าระดับแอมพลิจูดและค่าระดับแรงดันออฟเซต ส่วนการควบคุมการเลือกโหมดการทำงานจะใช้วงจรถูกเลือกทรานซิสต์วิตท์ทำหน้าที่เลือกการควบคุมทางดิจิทัลโดยตรง

จากรูที่ 2.8 สามารถแบ่งวงจรได้เป็น 4 ภาคคือ ภาคไมโครคอนโทรลเลอร์ ภาคการส่งข้อมูลออกพอร์ตเอาต์พุต จอแสดงผล LCD และภาคคีย์บอร์ด

2.3.1 ภาจอแสดงผล LCD

การแสดงผลการทำงานของเครื่องออกแบบให้ใช้จอแสดงผล LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัดซึ่งสามารถแสดงข้อความตัวอักษรได้อย่างชัดเจนและทำให้ผู้ใช้งานทำความเข้าใจได้ง่าย การเชื่อมต่อจอแสดงผล LCD เข้ากับภาคไมโครคอนโทรลเลอร์

จอแสดงผล LCD มีขาต่อใช้งานทั้งหมด 14 ขา ดังแสดงหน้าที่การทำงานของแต่ละขาในตารางที่ 2.4 ตัวต้านทานปรับค่าได้ที่ต่อที่ขา 3 ของจอแสดงผล LCD ทำหน้าที่ในการปรับความเข้มในการแสดงผลและจากวงจรที่เชื่อมต่อขา IOA₃ เข้ากับขา RS (Register Select) ซึ่งทำหน้าที่ในการเลือกรีจิสเตอร์ที่รับคำสั่งและรีจิสเตอร์ที่รับข้อมูลการแสดงผล และขา EN ที่เชื่อมต่อเข้ากับขา สัญญาณ LCD EN จึงทำให้

ตำแหน่งขา	หน้าที่การทำงาน
1	เป็นกราวด์
2	ต่อไฟตรง + 5 โวลต์
3	ปรับความเข้ม (โดยปรับที่ VR)
4	ขา RS (register select) ต่อกับขา IOA3 0 = ข้อมูลที่ได้รับเป็นคำสั่ง (command) 1 = ข้อมูลที่ได้รับเป็นข้อมูล (data)
5	ขา RD (read) จะแอกทีฟที่ลอจิกไฮ 0 = เขียนข้อมูล 1 = อ่านข้อมูล
6	ขา E (enable) จะแอกทีฟที่ลอจิกไฮเมื่อเลือกแอดเดรสตรงกับ LED C001H = ส่งผ่านข้อมูลคำสั่งไป/อ่านกับ LCD C009H = ส่งผ่านข้อมูลไป/อ่านกับ LCD
7-14	เป็นบัสข้อมูลบิต 0 ถึง 7

ตารางที่ 2.2 แสดงหน้าที่การทำงานของแต่ละขาของจอแสดงผล LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งแอดเดรสพอร์ตของจอแสดงผล LCD ที่ใช้งานมีอยู่ 2 ตำแหน่งคือตำแหน่ง C001H และ C009H ซึ่งถ้าอ้างในตำแหน่งพอร์ต C001H จะเป็นการติดต่อเพื่อรับหรือส่งข้อมูลคำสั่งกับจอแสดงผล LCD แต่ถ้าอ้างในตำแหน่งพอร์ต C009H จะเป็นการติดต่อเพื่อรับหรือส่งข้อมูลกับจอแสดงผล LCD

สำหรับการเชื่อมต่อเพื่อรับหรือส่งข้อมูลใด ๆ กับจอแสดงผล LCD จะใช้ขา D_0-D_7 (ขา 7-14) เชื่อมต่อกับบัสข้อมูลของภาคไมโครคอนโทรลเลอร์

2.3.2 ภาครับข้อมูลการสั่งการจากคีย์บอร์ด

การรับคำสั่งควบคุมจากผู้ใช้งานสามารถทำได้โดยการกดปุ่มบนคีย์บอร์ด ซึ่งแบ่งออกเป็น 12 ปุ่มคือ เลข 0-9, เครื่องหมาย + และ - โดยเลือกใช้ไอซีเข้ารหัสคีย์บอร์ดเบอร์ 74C922(16 Key Encoder) มาใช้งาน ดังแสดงวงจรสมบูรณในรูปที่ 2.13

การเชื่อมต่อสวิตซ์ทั้ง 12 ปุ่ม ซึ่งเป็นสวิตซ์แบบกดคิดป้อยดับเป็นแบบเมตริกซ์ โดยใช้ขา X_1-X_4 และ Y_1-Y_3 ต่อกัน รหัสข้อมูลที่ได้จากการเข้ารหัสสามารถแทนได้ด้วยข้อมูลขนาด 4 บิตที่เอาต์พุตขา A ,B ,C และ D ซึ่งจะเชื่อมต่อเข้ากับบัสข้อมูลที่ขา D_0-D_3 การส่งข้อมูลรหัสคีย์บอร์ดออกจากเอาต์พุตจะสัมพันธ์กับสถานะของขา DA (Data Available) ซึ่งจะเปลี่ยนสถานะเป็นลอจิกไฮเมื่อมีการกดคีย์และมีการส่งข้อมูลออก ดังนั้นเพื่อให้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถตรวจสอบการกดคีย์ได้อย่างถูกต้อง จึงอาศัยการตรวจจับสัญญาณนี้เพื่อทำการรับข้อมูลมาประมวลผลต่อไป ซึ่งที่ขา DA นี้จะถูกต่อเข้ากับบัสข้อมูลที่ขา D_7

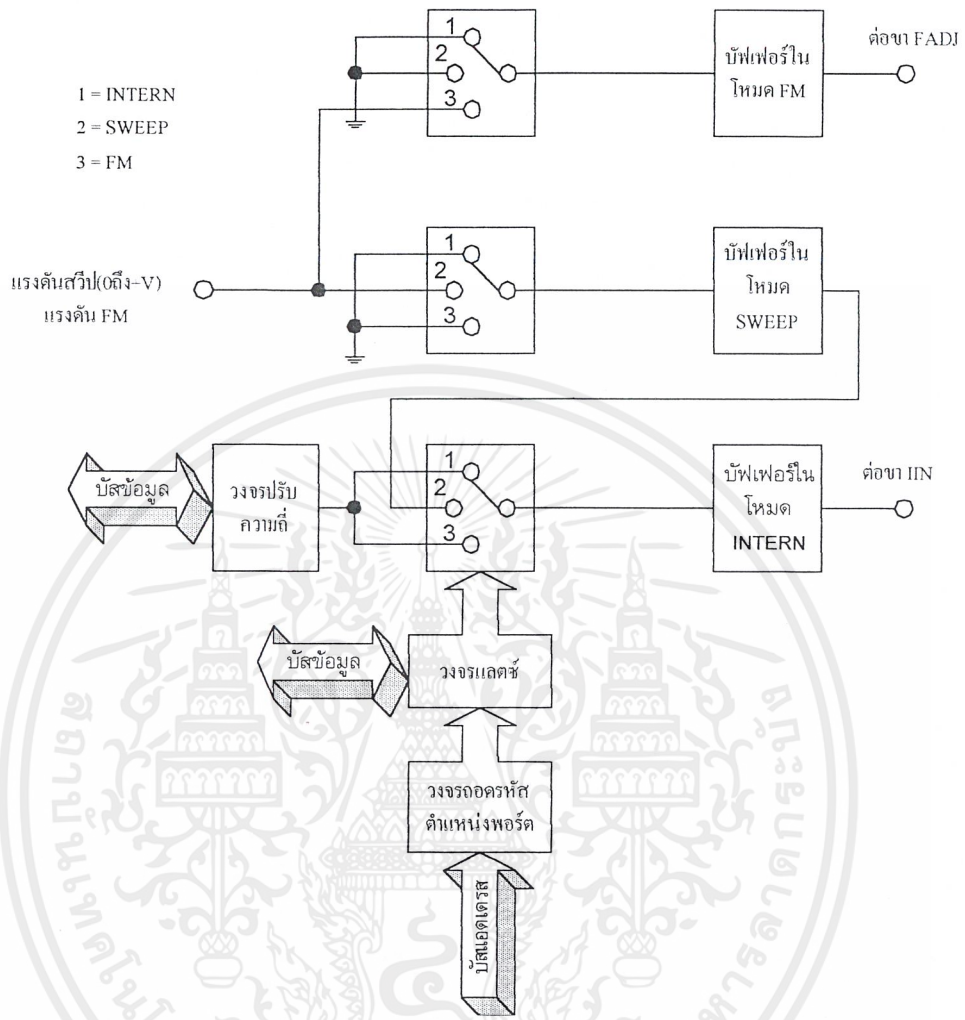
2.4 การควบคุมเพื่อเลือกโหมดการทำงาน

การควบคุมเพื่อเลือกโหมดการทำงานออกแบบให้ใช้อิเล็กทรอนิกส์สวิทช์ 3 ตำแหน่งทั้งหมด 3 ชุดจัดการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.14 การกำหนดตำแหน่งของสวิทช์จะถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ตำแหน่งการทำงานดังนี้

ในโหมดการทำงานปกติ การควบคุมที่ขา FADJ จะไม่ถูกต่อใช้งาน ไม่มีการป้อนสัญญาณไปยังบัฟเฟอร์ในโหมดเอฟเอ็ม ไม่มีการป้อนสัญญาณไปยังบัฟเฟอร์ในโหมดสวีป การควบคุมความถี่จะใช้จากวงจรปรับความถี่เท่านั้น ซึ่งจะป้อนแรงดันไฟตรงที่กำหนดค่าความถี่ไปยังขา IIN

ในโหมดการทำงานแบบสวีป การควบคุมที่ขา FADJ จะไม่ถูกใช้งาน ไม่มีการป้อนสัญญาณไปยังบัฟเฟอร์ในโหมดเอฟเอ็ม แต่ที่ตำแหน่งนี้สัญญาณควบคุมการสวีปจากภายนอกจะถูกต่อผ่านบัฟเฟอร์ในโหมดสวีป และส่งผ่านไปยังบัฟเฟอร์ในโหมดการทำงานปกติ ก่อนส่งค่าแรงดันในการสวีปซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง +1V ไปยังขา IIN ของ MAX038 ดังนั้นการควบคุมความถี่จะใช้จากระดับสัญญาณไฟตรงจากภายนอกเท่านั้น

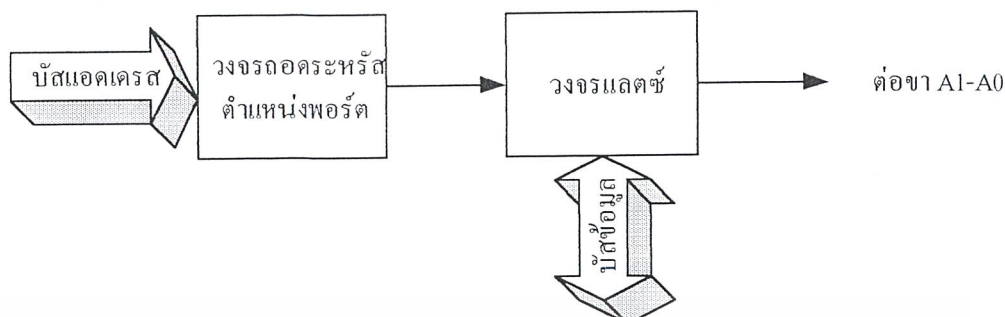
ในโหมดการทำงานแบบเอฟเอ็ม การควบคุมที่ขา FADJ จะถูกต่อเข้ากับสัญญาณภายนอกที่ต้องการนำมามอดูเลตกับสัญญาณที่กำเนิดจาก MAX038 ระดับแรงดันไฟตรงจะมีค่าอยู่ในช่วง +V และ -V ซึ่งทำให้ความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงจากค่าความถี่หลักเพิ่มสูงขึ้นและลดลงตามระดับแรงดันไฟตรงที่ป้อนเข้ามามอดูเลต ที่ตำแหน่งนี้บัฟเฟอร์ในโหมดสวีปจะไม่ถูกต่อใช้งาน ไม่มีการป้อนสัญญาณไปยังบัฟเฟอร์ในโหมดสวีป ในโหมดนี้จะมีการปรับความถี่ของวงจรกำเนิดสัญญาณด้วย โดยใช้จากวงจรปรับความถี่เพื่อทำการปรับตั้งค่าความถี่หลักที่ใช้ในการนำไปมอดูเลต ซึ่งจะป้อนแรงดันไฟตรงที่กำหนดค่าความถี่ไปยังขา IIN



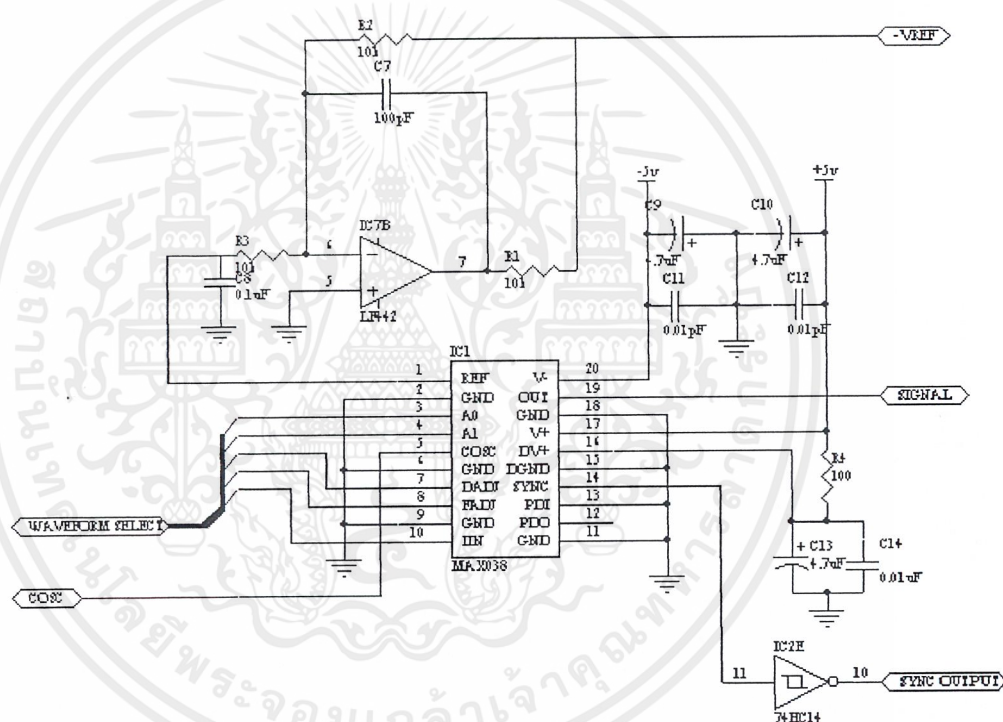
รูปที่ 2.9 แสดงการควบคุมเพื่อเลือกโหมดการทำงาน

2.5 การควบคุมเพื่อปรับเลือกรูปสัญญาณและวงจรใช้งานของ MAX038

จากข้อมูลในตารางที่ 2.1 การปรับเลือกสัญญาณจะทำได้โดยการกำหนดค่าลอจิกไปยังขา A_0 และ A_1 ของ MAX038 โดยมีการจัดวงจรดังแสดงในรูปที่ 2.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะกำหนดการเลือกรูปสัญญาณมาทางบัลลอคข้อมูล ในขณะที่เดียวกันก็จะระบุให้วงจรถอดรหัสตำแหน่งพอร์ตอื่นาเปิดการรับข้อมูลจากนั้นข้อมูลจะถูกแลตช์ (latch) ไว้ ข้อมูลที่ใช้ควบคุมจะเป็นไปดังแสดงในตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.10 แสดงการควบคุมเพื่อปรับเลือกรูปสัญญาณ



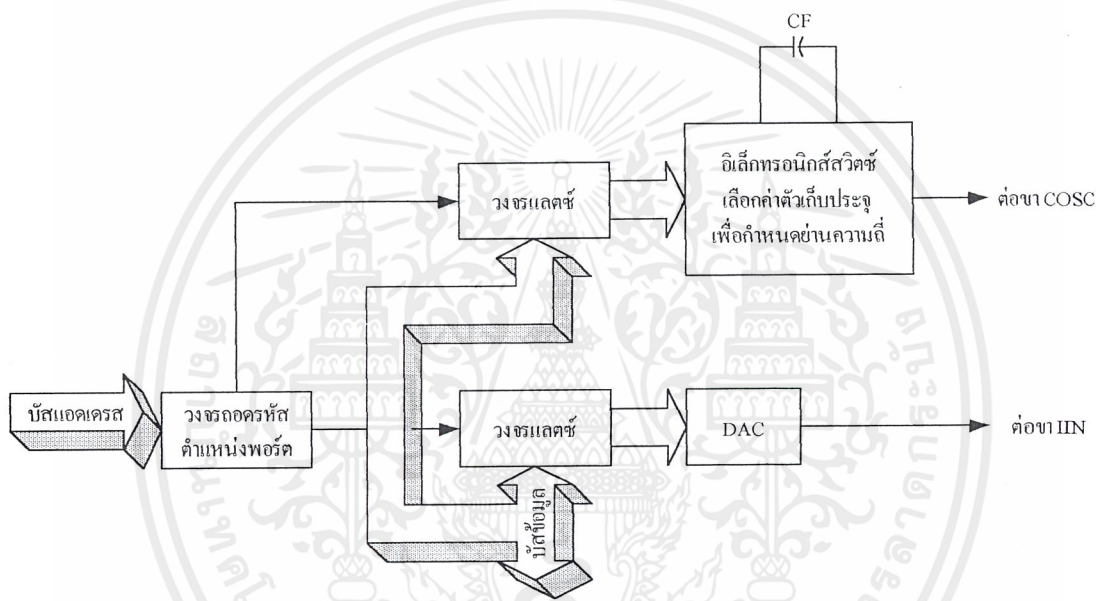
รูปที่ 2.11 วงจรสมบูร์นที่เชื่อมต่อกับ MAX38

จากรูปที่ 2.10 ลอจิกที่ใช้ในการปรับเลือกรูปสัญญาณจะถูกส่งมาจากพอร์ต ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนขาควบคุมควิตซ์ไชเกิด,ควบคุมความถี่,ควบคุมการเบี่ยงเบนของความถี่และควบคุมย่านความถี่ จะรับค่าแรงดันและกระแสจากวงจรควบคุมมาควบคุมการทำงานของไอซี MAX38 ขา OUT ของไอซี MAX38 จะส่งสัญญาณที่ผลิตขึ้นไปยังวงจรปรับแอมพลิจูดและวงจรปรับออฟเซต ขา REE ของไอซี MAX38 จะผลิตแรงดันอ้างอิง 2.5V ผ่านวงจรกลับเฟสสัญญาณเพื่อเปลี่ยนแรงดันอ้างอิง +2.5V ให้เป็น -2.5V ขา SYNC ของไอซี MAX38 จะต่อกับมิตต์ทรานซิสเตอร์อินเวอร์เตอร์เกตและใช้เอาต์พุตของเกตเป็น SYNC เอาต์พุต

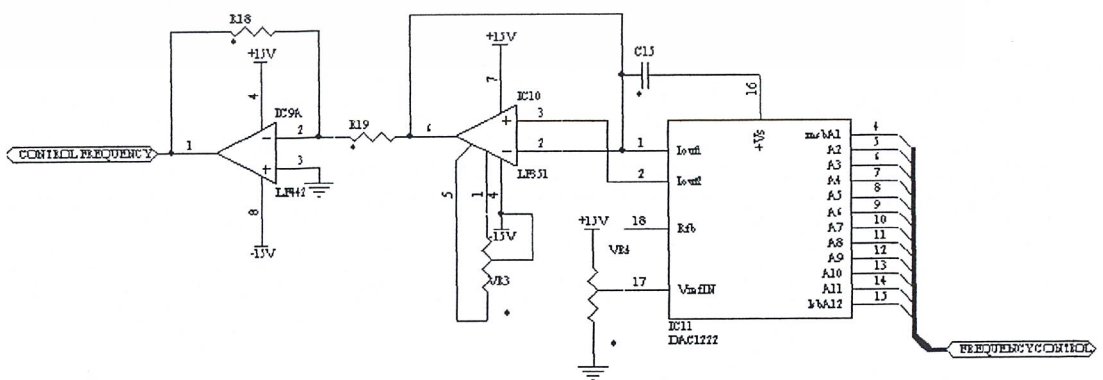
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การควบคุมเพื่อปรับเลือกความถี่

การควบคุมเพื่อปรับเลือกความถี่มี 2 ขั้นตอน การกำหนดย่านความถี่ซึ่งมีอยู่ทั้งหมด 6 ย่าน คือ ช่วง 10Hz-99.9Hz, 1kHz-9.99kHz, 10kHz-99.9kHz ,100kHz-999kHz และ 1MHz-9.99MHz ขั้นตอนต่อไปเป็นขั้นตอนการกำหนดค่าความถี่ที่ต้องการ ซึ่งการปรับย่านความถี่กับการกำหนดย่านความถี่จะต้องมีความสัมพันธ์กัน ตามรูปที่ 2.12 แสดงบล็อกไดอะแกรมการควบคุมเพื่อปรับเลือกความถี่



รูปที่ 2.12 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมเพื่อปรับเลือกความถี่



รูปที่ 2.13 แสดงวงจรควบคุมการกำหนดความถี่ด้วยข้อมูลขนาด 12 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 ขั้นตอนการกำหนดความถี่

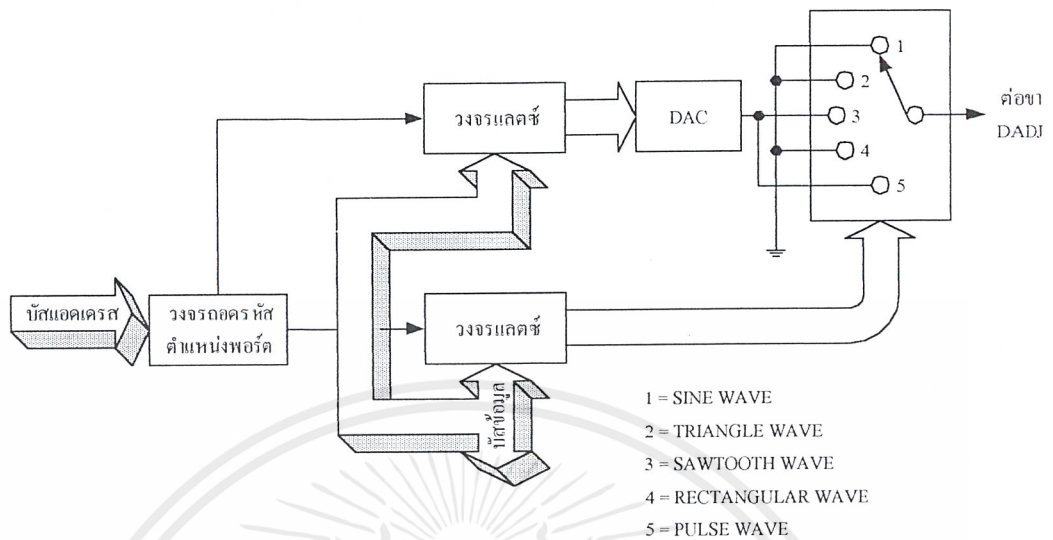
การกำหนดความถี่ของไอซี MAX038 จะใช้ค่ากระแสที่ป้อนเข้าที่ขา IIN ของไอซี MAX038 เป็นตัวกำหนด ซึ่งกระแสที่ใช้จะอยู่ระหว่าง $16\mu\text{A}$ เพื่อให้ง่ายต่อการควบคุมจึงใช้การปรับแรงดันแทนการปรับกระแส โดยนำแรงดันที่ปรับได้มาต่ออนุกรมกับตัวต้านทาน $10\text{ k}\Omega$ เพื่อเปลี่ยนแรงดันให้เป็นกระแสจึงสามารถใช้แรงดันควบคุมความถี่ที่ไอซี MAX038 ผลิตรึ้นได้ จากรูปที่ 2.20 แรงดันที่ใช้ควบคุมความถี่จะได้อมาจากไอซี ADC1222 ซึ่งเป็นไอซีที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลให้เป็นอนาลอก โดยสัญญาณดิจิทัลที่รับเข้ามาจะมีขนาด 12 บิต เอาต์พุตของไอซี ADC1222 จะต่อกับไอซี 2/2 ซึ่งเป็นออปแอมป์ใช้ทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสให้เป็นแรงดัน และแรงดันทางเอาต์พุตจะต้องมีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.5V ทำให้เมื่อแปลงเป็นกระแสแล้วมีค่า $250\mu\text{A}$ การปรับค่าแรงดันทางเอาต์พุตของไอซี 2/2 ทำได้โดยการปรับค่าของตัวต้านทาน 5K สัญญาณดิจิทัลที่ใช้ในการควบคุมแรงดันเพื่อปรับค่าความถี่ที่ MAX038 ผลิตรึ้นจะมาจากพอร์ต ของไมโครคอนโทรลเลอร์

2.7 การควบคุมเพื่อปรับเลือกค่าความถี่ไซเกิล

การควบคุมเพื่อปรับเลือกค่าความถี่ไซเกิลมี 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการกำหนดเลือกสวิตช์ควบคุมการปรับความถี่ไซเกิล ซึ่งออกแบบให้สามารถทำการปรับค่าความถี่ไซเกิลได้เฉพาะที่ตำแหน่งรูปสัญญาณฟันเลื่อยและสัญญาณพัลส์เท่านั้น และขั้นตอนการกำหนดค่าความถี่ไซเกิล ดังแสดงการจัดการทำงานในรูปที่ 2.14

ในส่วนของการกำหนดเลือกสวิตช์ควบคุมการปรับความถี่ไซเกิล ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งผ่านการควบคุมมายังตำแหน่งพอร์ตของวงจรถ่ายเพื่อกำหนดตำแหน่งของสวิตช์ควบคุม ข้อมูลที่แลตซ์ไว้จะไปควบคุมให้สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ทำการปรับระดับแรงดันไฟตรงที่ได้จากการปรับตั้งค่าไว้ป้อนผ่านไปยังขา DADJ ของ MAX038 เฉพาะเมื่อมีการเลือกรูปสัญญาณเอาต์พุตเป็นรูปฟันเลื่อยและรูปพัลส์เท่านั้น

เมื่อกำหนดเลือกสวิตช์ควบคุมการปรับความถี่ไซเกิลแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งข้อมูลไปยังตำแหน่งของพอร์ตเพื่อกำหนดค่าความถี่ไซเกิล ข้อมูลที่แลตซ์ไว้จะถูกส่งไปยังวงจรถ่ายข้อมูลดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก (DAC) ระดับแรงดันไฟตรงที่ได้จะถูกส่งไปยังสวิตช์ควบคุมการปรับความถี่ไซเกิลและส่งผ่านไปยังขา DADJ

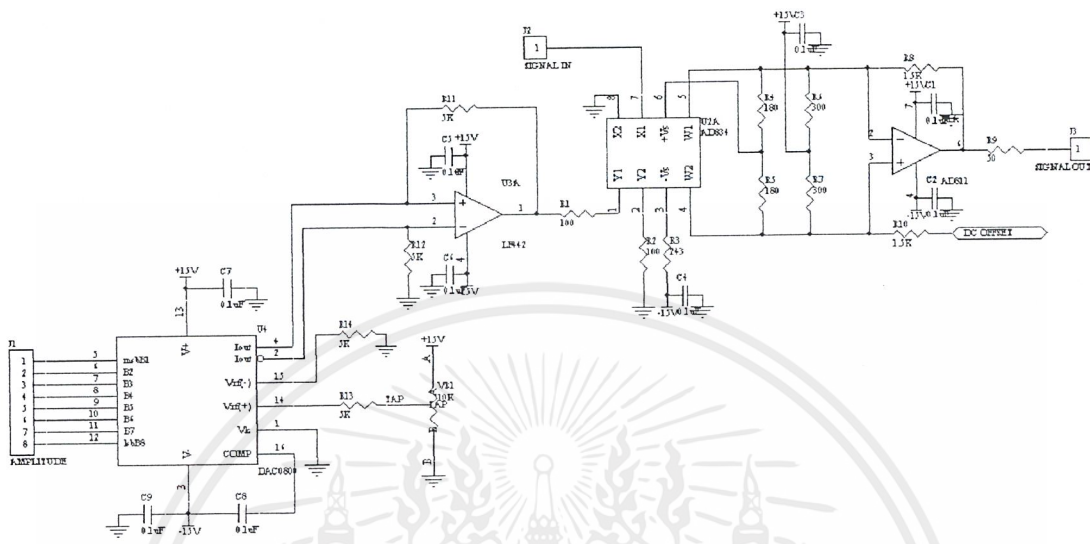


รูปที่ 2.14 แสดงการควบคุมเพื่อปรับเลือกค่าคิวดิจิทัล

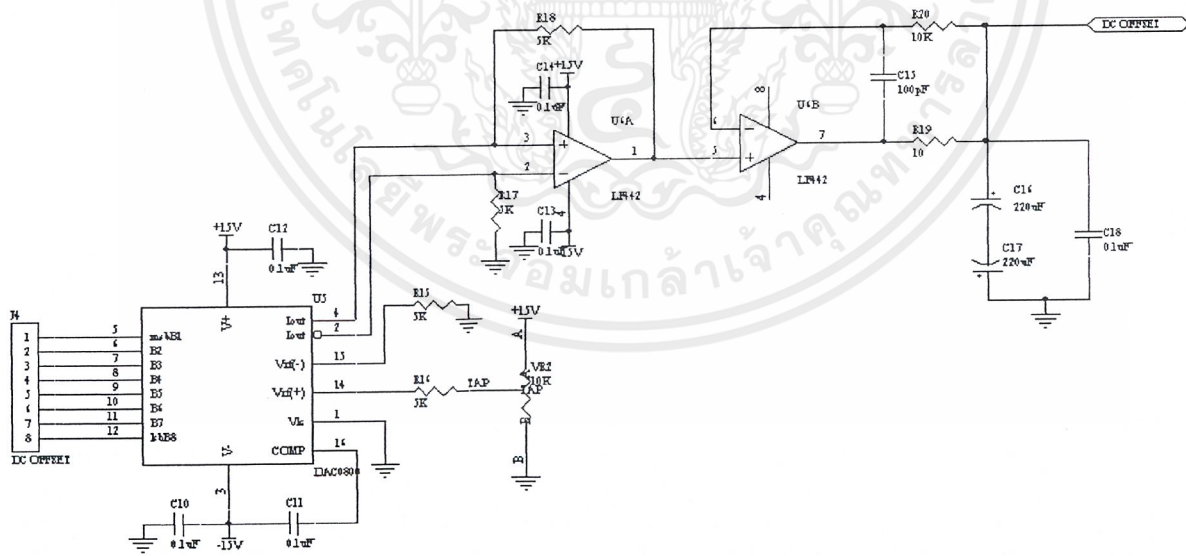
การปรับค่าคิวดิจิทัลทำได้โดยป้อนแรงดันไฟตรงตั้งแต่ $-2.3V$ ถึง $+2.3V$ เข้าที่ขา DADJ ของไอซี MAX038 การปรับค่าแรงดันที่ป้อนขา DADJ ของไอซี MAX038 จะได้มาจากวงจรแปลงข้อมูลดิจิทัลเป็นสัญญาณอะนาลอกดังแสดงในรูปที่ 2.14 ซึ่งข้อมูลที่จะนำมาแปลงนั้นจะได้อมาจากพอร์ต ของไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากมีรูปสัญญาณเพียง 2 แบบที่สามารถปรับค่าคิวดิจิทัลได้ ดังนั้นแรงดันจากวงจรแปลงข้อมูลดิจิทัลเป็นสัญญาณอะนาลอกจะต้องผ่านอะนาลอกมัลติเพล็กซ์เพื่อเลือกปรับค่าคิวดิจิทัลเฉพาะรูปคลื่นฟันเลื่อยและรูปคลื่นพัลส์ ส่วนรูปคลื่นอื่น ๆ จะนาลอกมัลติเพล็กซ์จะต่อให้ขา DADJ ของไอซี MAX038 ลงกราวด์เพื่อให้ค่าคิวดิจิทัลของรูปสัญญาณอื่นมีค่าเท่ากับ 50% ไอซี 2/1 ซึ่งเป็นออปแอมป์ที่ต่อจากเอาต์พุตของอะนาลอกมัลติเพล็กซ์จะทำหน้าที่ปรับค่าแรงดันเพื่อควบคุมค่าคิวดิจิทัลของไอซี MAX038 ให้เหมาะสม

2.8 การควบคุมเพื่อปรับเลือกระดับแอมพลิจูด

การควบคุมเพื่อปรับเลือกระดับแอมพลิจูดทำได้โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งข้อมูลมายังตำแหน่งพอร์ตเพื่อกำหนดระดับแอมพลิจูด ข้อมูลที่แลตซ์ไว้จะถูกส่งไปยังวงจรแปลงข้อมูลดิจิทัลเป็นสัญญาณอะนาลอก (DAC) จากนั้นจึงส่งเข้าไปยังวงจรคูณสัญญาณ ระดับแรงดันไฟตรงที่ใส่จะถูกนำไปคูณกับสัญญาณเอาต์พุตที่กำเนิดจาก MAX038 นั่นคือไมโครคอนโทรลเลอร์จะสามารถควบคุมอัตราขยายโดยการกำหนดตัวแปรในการคูณได้ จากการทำงานในลักษณะนี้จึงอาจเรียกได้ว่าเป็นวงจรควบคุมอัตราขยายด้วยแรงดันไฟตรงหรือวงจร VCA สัญญาณที่ได้จากการปรับ



รูปที่ 2.15 แสดงวงจรควบคุมระดับแอมพลิจูดของสัญญาณเอาต์พุต



รูปที่ 2.16 แสดงวงจรควบคุมระดับแรงไฟตรงออฟเซตของสัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับสัญญาณแล้วจะถูกป้อนผ่านวงจรภาคขยายเอาต์พุตและปรับออฟเซต ดังแสดงการทำงานในรูปที่ 2.16

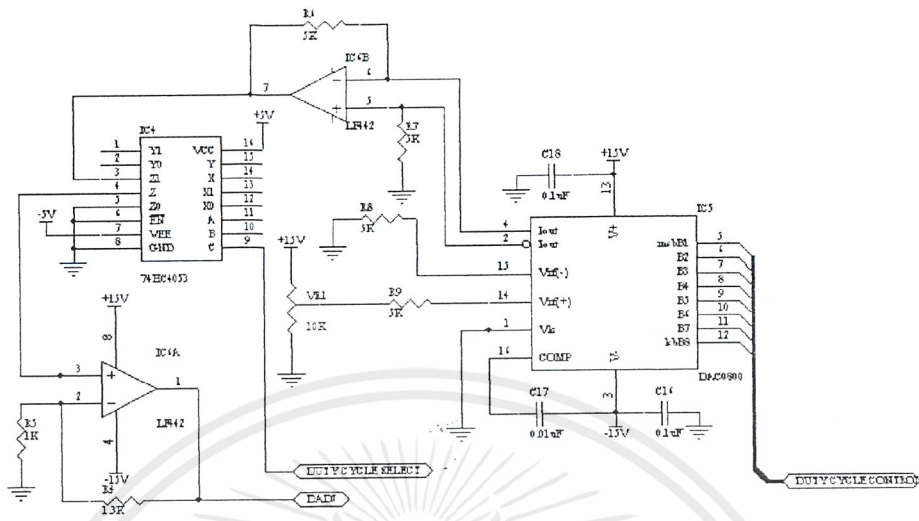
การควบคุมอัตราขยายด้วยแรงดันไฟตรงจะใช้วงจรคูณสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 2.24 ซึ่งวงจรคูณสัญญาณนี้จะใช้ไอซีเบอร์ AD834 โดยทำหน้าที่คูณสัญญาณเอาต์พุตของไอซี MAX038 กับแรงดันไฟตรงซึ่งแรงดันไฟตรงที่ใช้คูณกับสัญญาณจะมีแอมพลิจูดตั้งแต่ 0V ถึง 1V แรงดันไฟตรงนี้จะมาจากวงจรแปลงข้อมูลดิจิทัลเป็นสัญญาณอะนาลอก ข้อมูลดิจิทัลที่ใช้ควบคุมแรงดันของ DAC จะถูกส่งมาจากพอร์ต C005H ของไมโครคอนโทรลเลอร์ สัญญาณที่คูณแล้วจะถูกส่งไปยังวงจรภาคขยายสัญญาณเอาต์พุตคือ ไอซี AD811 ซึ่งวงจรมีจะขยายสัญญาณที่ถูกคูณให้เพิ่มขึ้น 10 เท่า

2.9 การควบคุมเพื่อปรับเลือกแรงดันไฟตรงออฟเซต

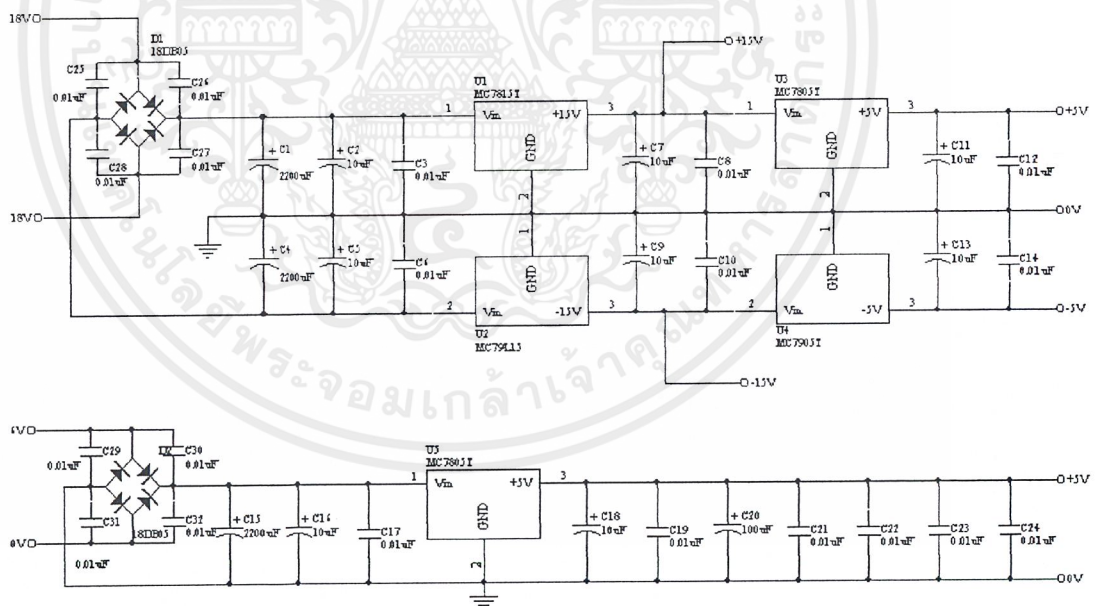
หลังจากสัญญาณถูกปรับระดับแอมพลิจูดตามต้องการแล้ว สัญญาณที่ได้จะถูกป้อนเข้าสู่วงจรปรับแรงดันไฟตรงออฟเซต การควบคุมจะเริ่มจากไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งข้อมูลมายังตำแหน่งพอร์ตเพื่อกำหนดระดับแรงดันไฟตรงออฟเซต ข้อมูลที่แลตซ์ไว้จะถูกส่งไปยังวงจรแปลงข้อมูลดิจิทัลเป็นสัญญาณอะนาลอก (DAC) ระดับแรงดันไฟตรงที่ได้จะถูกส่งไปยังวงจรรวมสัญญาณ เพื่อรวมสัญญาณเอาต์พุตที่กำเนิดขึ้นจาก MAX038 กับแรงดันไฟตรงเป็นการเพิ่มองค์ประกอบของแรงดันไฟตรงรวมกับสัญญาณเอาต์พุต

2.10 การทำงานของวงจรภาคจ่ายไฟ

หม้อแปลงที่ใช้จะเป็นหม้อแปลงขนาด 3A 2 ขด ขดแรกจะเป็นขด 18V-0V-18V ขดที่สองจะเป็นขด 6V-0V ขด 18V-0V-18V จะใช้จ่ายให้กับวงจรกำเนิดสัญญาณและวงจรควบคุม โดยเมื่อผ่านวงจรเรกติไฟเออร์แบบบริดจ์ (Bridge Rectifier) และวงจรฟิลเตอร์ (Filter) แล้วจะได้แรงดันไฟบวก ลง และกราวด์แรงดันที่ได้จะถูกทำให้มีค่าคงที่โดยใช้ไอซีเรกูเลเตอร์ (Regulator) ควบคุมแรงดันคงที่ 3 ขด ขดแรงจะควบคุมแรงดันคงที่ +18V กับ -18V โดยใช้ไอซีเรกูเลเตอร์เบอร์ 7818,7918 ขดที่สองจะควบคุมแรงดันคงที่ +15V กับ -15V โดยใช้ไอซีเรกูเลเตอร์เบอร์ 7815,7915 ขดที่สามจะควบคุมแรงดันคงที่ +5V กับ -5V โดยใช้ไอซีเรกูเลเตอร์เบอร์ 7805,7905 คาปาซิเตอร์ที่ต่ออยู่ที่ขาอินพุตและเอาต์พุตของ ไอซีเรกูเลเตอร์จะทำหน้าที่บายพาส (By Pass) สัญญาณรบกวนที่เกิดจากภาคจ่ายไฟลงกราวด์ วงจรภาคจ่ายไฟแสดงดังในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.17 แสดงวงจรควบคุมการปรับค่าตัวชี้ไขเกิล



รูปที่ 2.18 แสดงวงจรภาคจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 โปรแกรมควบคุมการทำงาน

จากระบบการทำงานของวงจรในส่วนต่าง ๆ ทั้งหมดของเครื่องฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ จะเห็นได้ว่ามีขั้นตอนการทำงานอยู่มากมายพอสมควร แต่อย่างไรก็ตามก็สามารถจัดรูปแบบการทำงานแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ

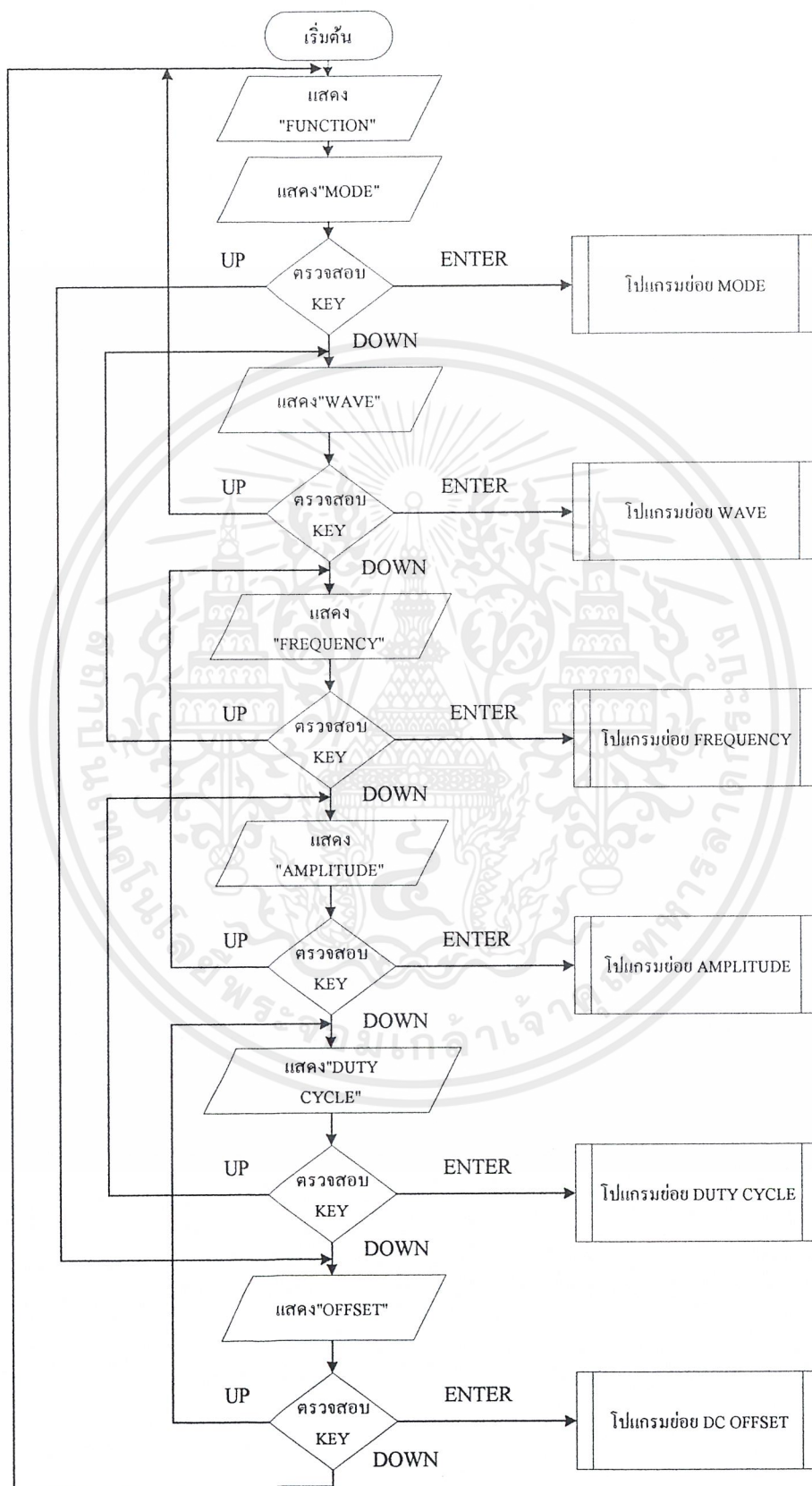
- การรับข้อมูลจากคีย์บอร์ด
- การส่งข้อมูลไปแสดงผลยังจอแสดงผล LCD
- การส่งข้อมูลไปยังพอร์ตเพื่อควบคุมการทำงานของวงจรในส่วนต่าง ๆ

แต่อย่างไรก็ตามการควบคุมทั้ง 3 ลักษณะ ต่างก็มีลำดับขั้นตอนการทำงานเป็น 2 ขั้นตอน คือ กำหนดตำแหน่งแอดเดรสของพอร์ตที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการติดต่อด้วยผ่านทางพอร์ต P2 และตามด้วยการอ่านหรือเขียนข้อมูลเพื่อรับหรือส่งข้อมูลผ่านทางบัสข้อมูลทางพอร์ต P0 แอดเดรสที่กำหนดให้แต่ละฟังก์ชันมีดังนี้

แอดเดรส	ฟังก์ชัน
00H	โหมดและรูปสัญญาณ
01H	ความถี่ ไบต์ต่ำ
02H	ความถี่ ไบต์สูง
03H	แอมป์ลิจูด
04H	คิวต์ไซเคิล
05H	แรงดัน ออปเซต
06H	ย่านความถี่
07H	คำสั่ง LCD
0FH	ข้อมูล LCD

ตารางที่ 2.3 แอดเดรสที่กำหนดให้แต่ละฟังก์ชันการทำงาน

การทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงานทั้งหมดสามารถอธิบายด้วยโฟลว์ชาร์ตดังแสดงในรูปที่ 2.16 การทำงานจะเริ่มต้นจากการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับจอแสดงผล LCD ให้ทำงานตามรูปแบบที่กำหนดไว้และทำการส่งข้อความเบื้องต้นไปแสดงผล ต่อไปโปรแกรมจะเข้าสู่การรับคำสั่งเพื่อกำหนดการทำงานของฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ทั้งหมด โปรแกรมจะหยุดรอรับการกดคีย์ เราสามารถเลือกฟังก์ชันการทำงานได้โดยการกดคีย์ UP หรือ คีย์ DOWN ถ้าหากมีการกดคีย์ ENTER โปรแกรมจะกระโดดไปที่ฟังก์ชันที่เลือกไว้แต่ถ้าตรวจสอบไม่พบการกดคีย์ก็จะรอรับการกดคีย์ต่อไป การทำงานของโปรแกรมจะวนอยู่เช่นนี้เรื่อยไป



รูปที่ 2.19 การทำงานทั้งหมดของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อวัตถุประสงค์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.1 โปรแกรมกำหนดค่าเริ่มต้นและแสดงข้อความให้กับจอแสดงผล LCD

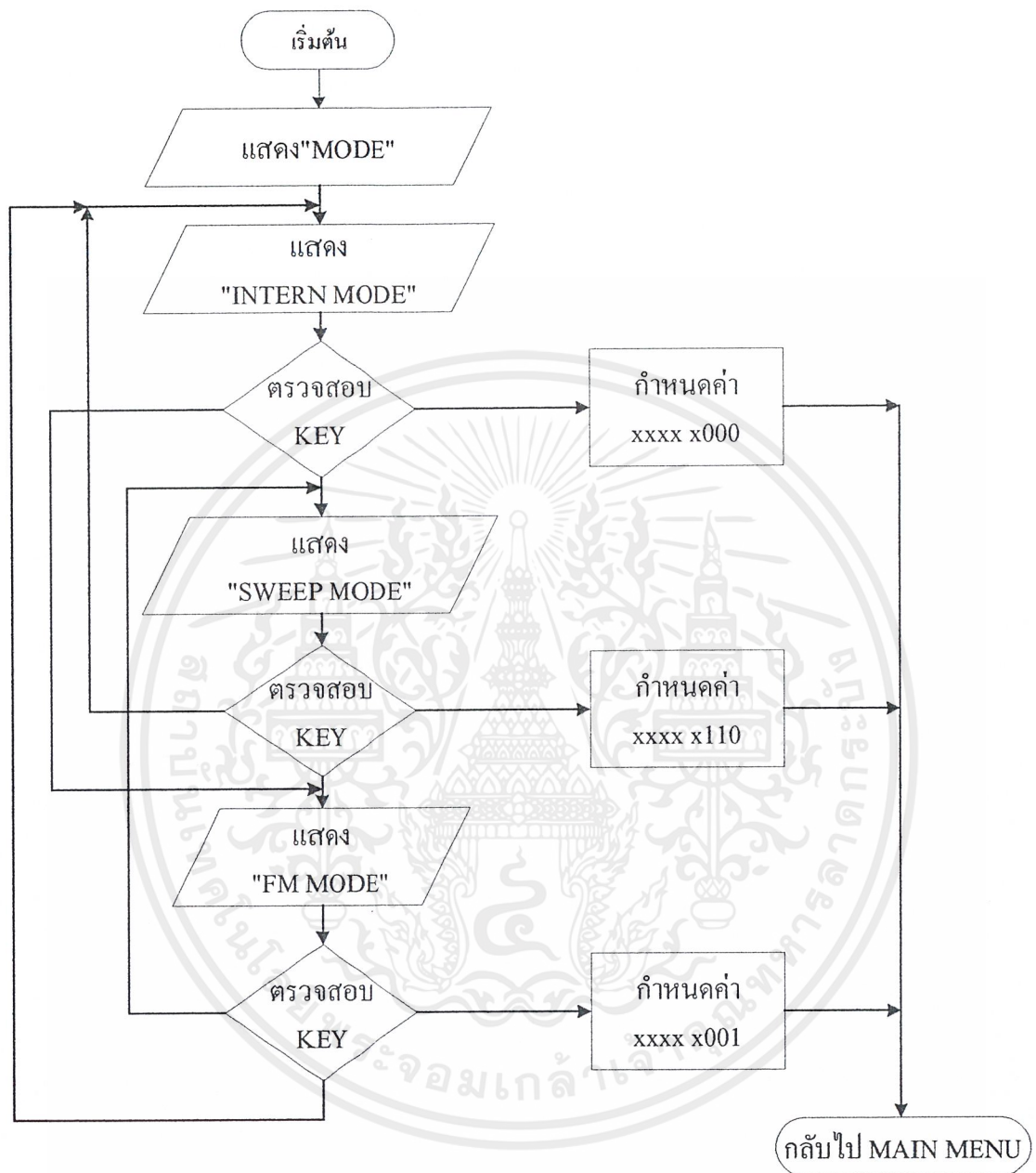
การทำงานของโปรแกรมในส่วนนี้จะทำการส่งข้อมูลกำหนดค่าเริ่มต้นให้จอแสดงผล LCD ทำงานเป็นแบบรับส่งข้อมูลขนาด 8 บิต, แสดงผล 2 บรรทัด, ความละเอียดของตัวอักษร 5x7 จุด, แสดงผลเคอร์เซอร์ (cursor) และกะพริบ (flash) จากนั้นจึงส่งข้อความเบื้องต้นไปแสดงผลคือ

“FUNCTION”

“MODE”

2.11.2 โปรแกรมปรับเลือกโหมดการทำงาน

การทำงานของโปรแกรมปรับเลือกโหมดการทำงานสามารถอธิบายเป็นโฟลว์ชาร์ตได้ดังในรูปที่ 2.17 ซึ่งเริ่มต้นทำงานด้วยการส่งข้อความแสดงโหมดแรกคือ “INTERN MODE” เราสามารถเลือกอีก 2 โหมดคือโหมด “FM MODE” และ “SWEEP MODE” ได้โดยการกดคีย์ UP หรือ DOWN ถ้ากด ENTER โปรแกรมจะรับค่าโหมคนั้นไว้ จากนั้นจึงตรวจสอบค่าที่ได้รับว่าถูกต้องหรือไม่ ถ้าเป็นค่าที่ถูกต้องโปรแกรมจะกำหนดข้อมูลที่ใช้ในการควบคุมโหมด

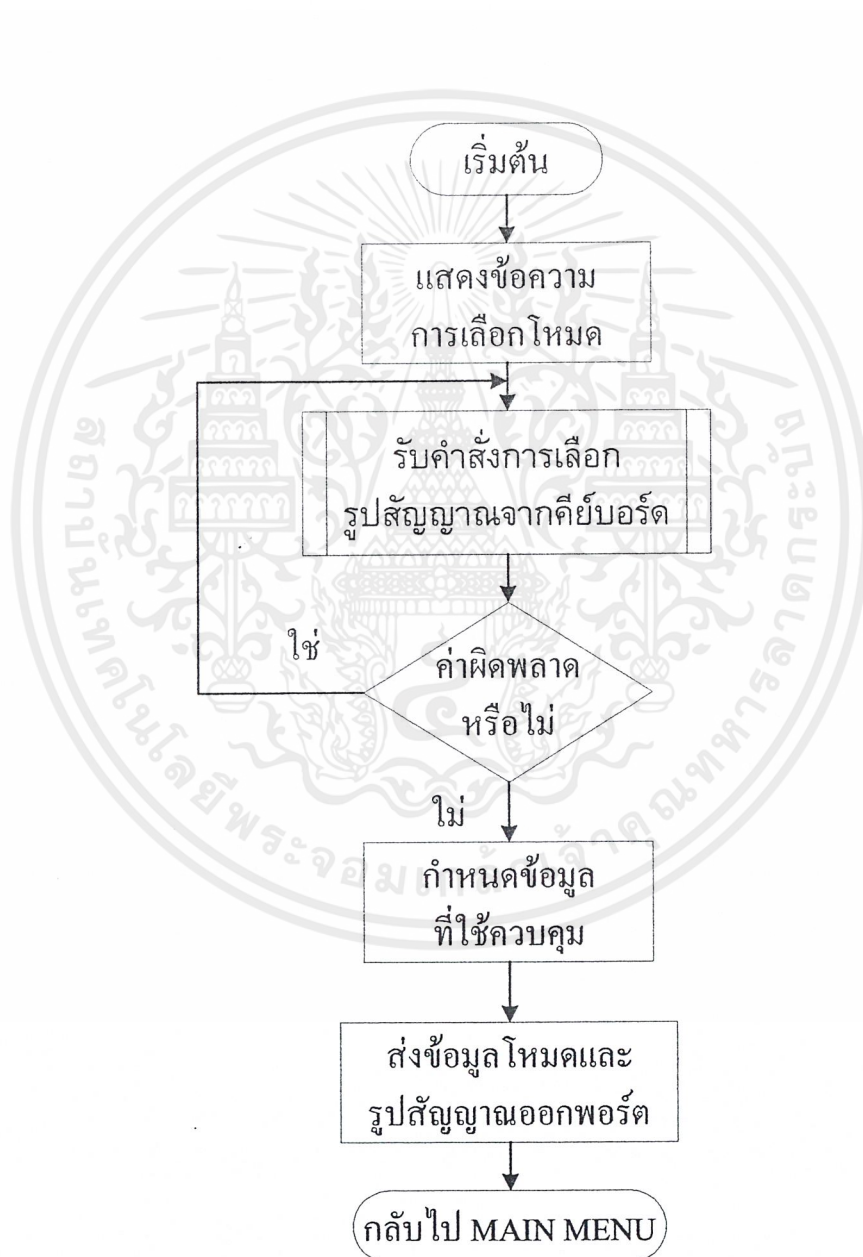


รูปที่ 2.20 การทำงานของโปรแกรมการเลือกโหมด

2.11.3 โปรแกรมปรับเลือกรูปสัญญาณ

การทำงานของโปรแกรมปรับเลือกรูปสัญญาณสามารถอธิบายเป็นโฟลว์ชาร์ตได้ดังในรูปที่ 2.18 ซึ่งเริ่มต้นทำงานด้วยการส่งข้อความ “SINE WAVE” สามารถเลือกได้อีก 4 รูปสัญญาณคือ “TRIANGLE WAVE”, “RECTANGLE WAVE”, “SAWTOOTH WAVE” และ “PULSE” ได้โดยการกดคีย์ UP หรือ DOWN ถ้ากด ENTER โปรแกรมจะรับค่ารูปสัญญาณนั้นไว้ จากนั้นจึงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบค่าที่ได้รับว่าถูกต้องหรือไม่ ถ้าเป็นค่าที่ถูกต้องโปรแกรมจะกำหนดข้อมูลที่ใช้ในการควบคุมการเลือกรูปสัญญาณ สุดท้ายข้อมูลที่ใช้ควบคุมการเลือกโหมดและรูปสัญญาณจะถูกส่งออกไปยังพอร์ต P0 แอดเดรส 00H



รูปที่ 2.21 การทำงานของโปรแกรมการเลือกรูปสัญญาณ

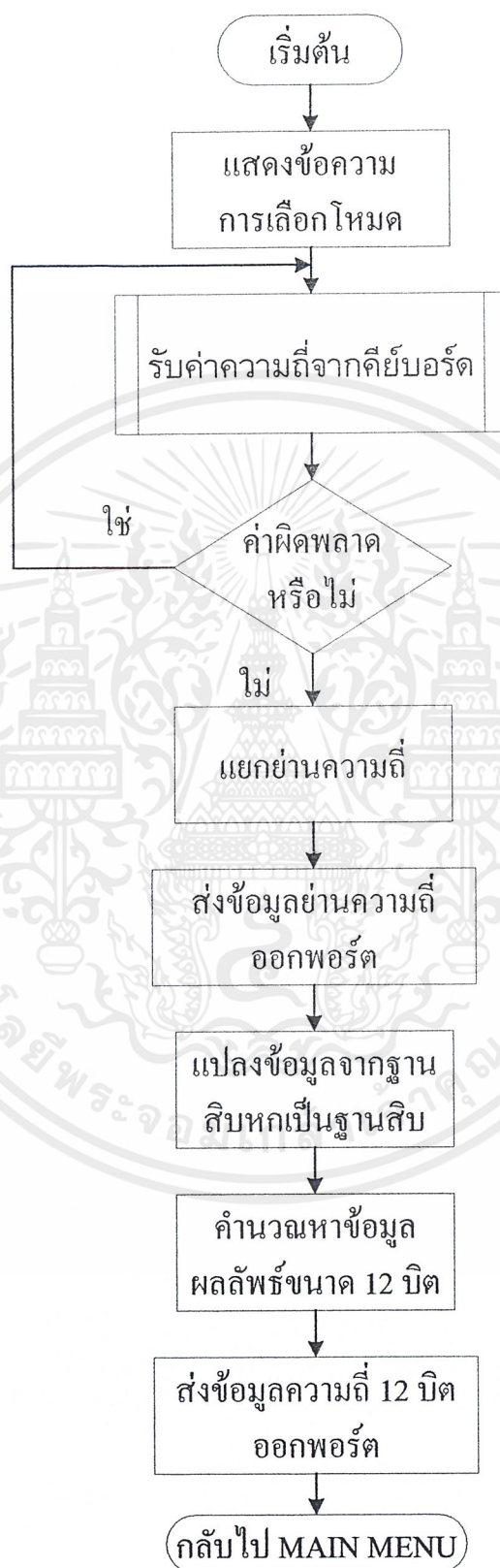
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.4 โปรแกรมกำหนดค่าความถี่

การทำงานของโปรแกรมกำหนดค่าความถี่สามารถอธิบายเป็นโฟลว์ชาร์ตได้ดังในรูปที่ 2.21 ซึ่งเริ่มต้นทำงานด้วยการส่งข้อความ “VALUE = 10.0 Hz” และรอรับค่าความถี่ผ่านคีย์บอร์ดจากผู้ใช้งานตรวจสอบค่าที่ได้รับว่าถูกต้องหรือไม่ ถ้าเป็นค่าที่ถูกต้อง โปรแกรมจะทำการแปลงค่าความถี่จากข้อมูลเลขฐานสิบหกเป็นเลขฐานสิบ จากนั้นจึงนำข้อมูลมาทำการชดเชยค่าในแต่ละย่านความถี่ และนำข้อมูลมาคำนวณเพื่อหาข้อมูลผลลัพธ์ที่จะส่งไปควบคุมการกำหนดย่านความถี่และความถี่ ซึ่งความถี่นี้เป็นข้อมูลขนาด 12 บิต สุดท้ายข้อมูลที่ใช้ควบคุมการกำหนดความถี่บิตที่ D₀-D₇ จะถูกส่งไปยังพอร์ตแอดเดรส 01H และบิตที่ D₈-D₁₁ ไปยังพอร์ตแอดเดรส 02H ย่านความถี่ส่งที่แอดเดรส 06H

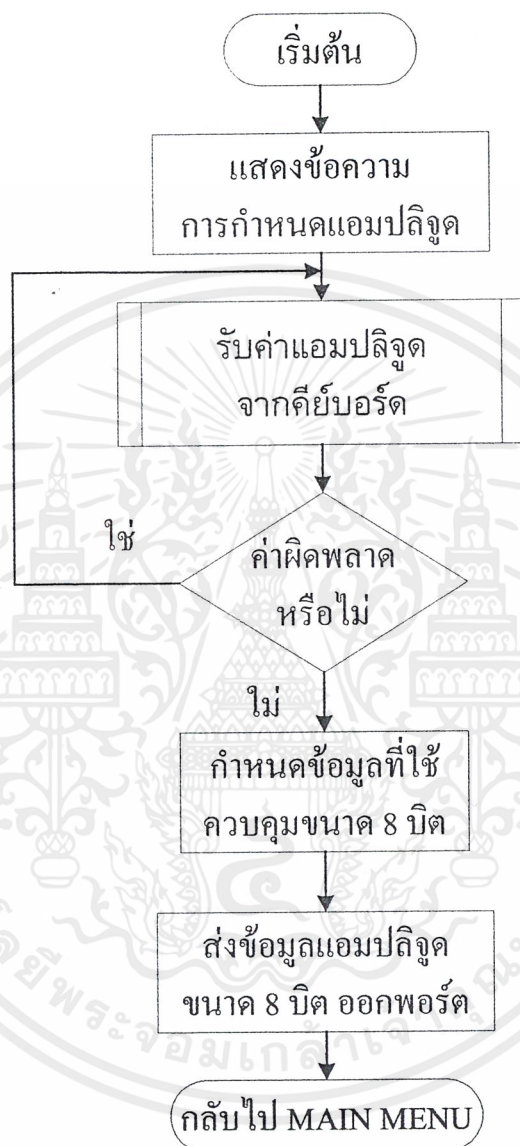
2.11.5 โปรแกรมกำหนดค่าแอมพลิจูด

การทำงานของโปรแกรมกำหนดค่าแอมพลิจูดสามารถอธิบายเป็นโฟลว์ชาร์ตได้ดังในรูปที่ 2.23 ซึ่งเริ่มต้นทำงานด้วยการส่งข้อความ “VALUE = 1.0 Vpp” และรับค่าแอมพลิจูดผ่านคีย์บอร์ดจากผู้ใช้งาน ตรวจสอบค่าที่ได้รับว่าถูกต้องหรือไม่ ถ้าเป็นค่าที่ถูกต้อง โปรแกรมจะกำหนดข้อมูลที่ใช้ในการกำหนดค่าแอมพลิจูดขนาด 8 บิต สุดท้ายข้อมูลที่ใช้ควบคุมการกำหนดแอมพลิจูดจะถูกส่งออกไปยังพอร์ตแอดเดรส 03H



รูปที่ 2.22 การทำงานของโปรแกรมการปรับความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

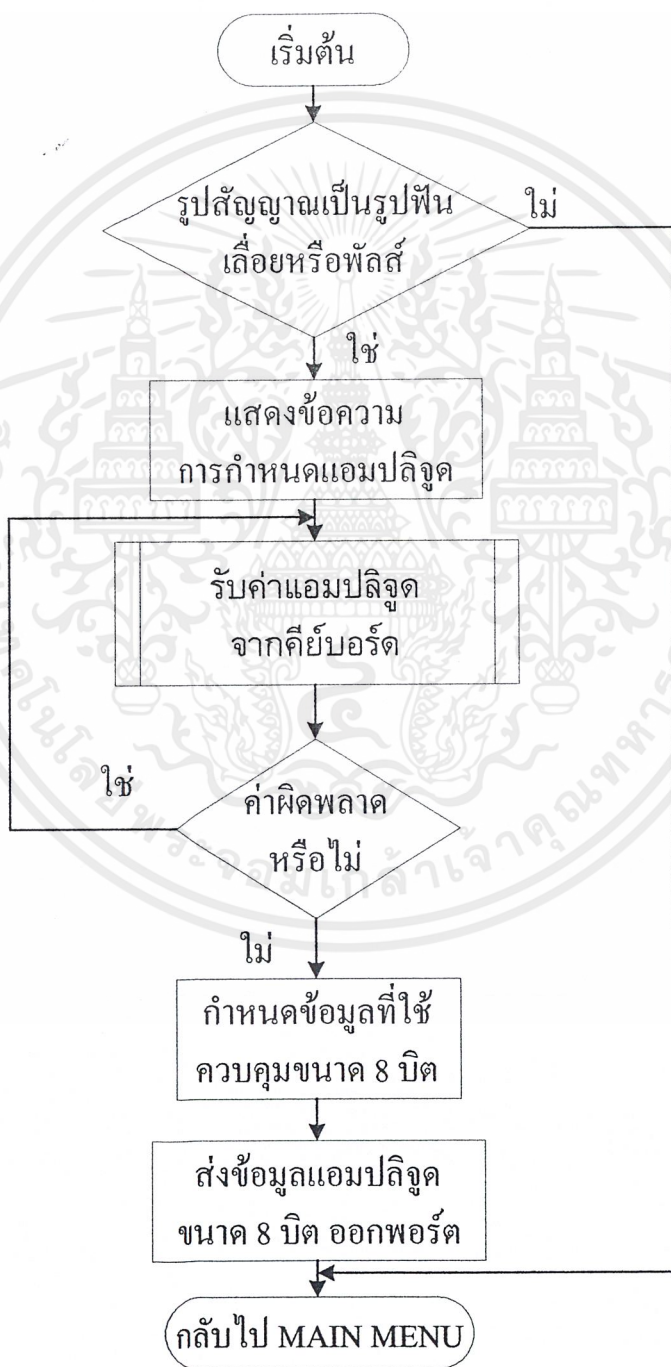


รูปที่ 2.23 การทำงานของโปรแกรมการปรับแอมพลิจูด

2.8.6 โปรแกรมกำหนดค่าตัวที่ไซเกิด

การทำงานของโปรแกรมกำหนดค่าตัวที่ไซเกิดสามารถอธิบายเป็น โฟลว์ชาร์ตได้ดังในรูปที่ 2.24 ซึ่งเริ่มต้นทำงานด้วยการตรวจสอบการเลือกรูปสัญญาณว่าเป็นสัญญาณรูปฟันเลื่อยหรือพัลส์หรือไม่ ถ้าถูกต้องจะเริ่มเข้าสู่กระบวนการปรับค่าตัวที่ไซเกิด แต่ถ้าไม่โปรแกรมจะกระโดดไปสู่การปรับค่าไฟตรงออฟเซตต่อไป ในกรณีถ้าเป็นการเลือกรูปสัญญาณเป็นรูปฟันเลื่อยหรือพัลส์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมจะทำงานต่อด้วยการส่งข้อความ “VALUE = 15 %” และรับค่าตัวเลขที่เกิดผ่านคีย์บอร์ดจากผู้ใช้งาน ตรวจสอบค่าที่ได้รับว่าถูกต้องหรือไม่ ถ้าเป็นค่าที่ถูกต้อง โปรแกรมจะกำหนดข้อมูลที่ใช้ในการกำหนดค่าตัวเลขเกิดขนาด 8 บิต สุดท้ายข้อมูลที่ใช้ควบคุมการกำหนดค่าตัวเลขเกิดจะถูกส่งออกไปยังพอร์ตแอดเดรส 04H

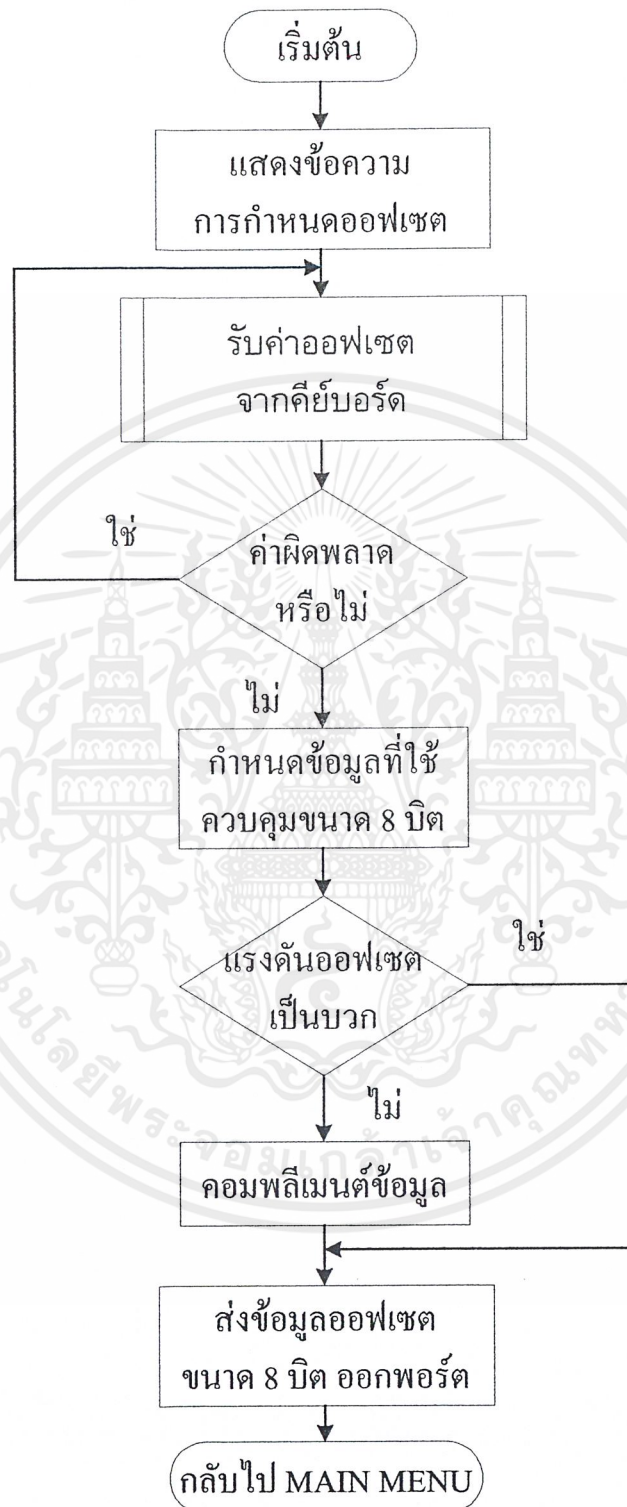


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 2.24 การทำงานของโปรแกรมการปรับตัวเลขเกิดค่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.7 โปรแกรมกำหนดค่าแรงดันไฟตรงออฟเซต

การทำงานของโปรแกรมกำหนดค่าแรงดันไฟตรงออฟเซตสามารถอธิบายเป็นโฟลว์ชาร์ตได้ดังในรูปที่ 2.25 ซึ่งเริ่มต้นทำงานด้วยการส่งข้อความ “VALUE = + 0.0 V” และรับค่าแรงดันไฟตรงออฟเซตผ่านคีย์บอร์ดจากผู้ใช้งาน ตรวจสอบค่าที่ได้รับว่าถูกต้องหรือไม่ ถ้าเป็นค่าที่ถูกต้อง โปรแกรมจะกำหนดข้อมูลที่ใช้ในการกำหนดค่าแรงดันไฟตรงออฟเซตขนาด 8 บิต จากนั้น โปรแกรมจะตรวจสอบว่าแรงดันไฟตรงออฟเซตที่ต้องการเป็นค่าแรงดันบวกหรือลบ ถ้าเป็นแรงดันบวกจะทำการคอมพิวต์เลขฐานสิบสองทั้ง 8 บิตเสียก่อน แต่ถ้าเป็นแรงดันลบข้อมูลจะไม่ถูกคอมพิวต์เลขฐานสิบสอง สุดท้ายข้อมูลที่ใช้ควบคุมการกำหนดแรงดันไฟตรงออฟเซตจะถูกส่งออกไปยังพอร์ตแอดเดรส 05H





รูปที่ 2.25 การทำงานของโปรแกรมการปรับค่าแรงดันไฟตรงออฟเซต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.8 โปรแกรมควบคุมการรับข้อมูลจากคีย์บอร์ด

จากการทำงานของโปรแกรมต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่าการเรียกใช้ชิพรูดที่รับการรับข้อมูลจากคีย์บอร์ดบ่อยครั้ง ซึ่งเริ่มต้นทำงานด้วยการอ่านค่าข้อมูลจากการกดคีย์บอร์ดที่พอร์ต P1 และตรวจสอบสถานะของบิต D₇ ว่าเป็นลอจิกไฮหรือไม่ ถ้าถูกต้องแสดงว่ามีการกดคีย์บอร์ดเกิดขึ้น แต่ถ้าไม่โปรแกรมจะวนลูปเพื่อรอรับการกดคีย์บอร์ดต่อไป จากนั้นโปรแกรมจะส่งข้อมูลจากการกดคีย์ไปแสดงผลบนจอแสดงผล LCD และจัดเก็บข้อมูลจากการกดคีย์ไว้ในรีจิสเตอร์ A ก่อนที่จะกระโดดกลับไปยังตำแหน่งของโปรแกรมที่ทำการเรียกใช้

สำหรับ โปรแกรมที่ใช้งานจริงทั้งหมด ซึ่งเขียนขึ้นจากภาษาแอสเซมบลีของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ของเครื่องฟิงก์ชั่นเจนเนอเรเตอร์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกบรรจุอยู่ในภาคผนวก ก.



จากรูปที่ 3.1 วงจรเราจะแบ่งย่านความถี่ออกเป็น 6 ย่านดังนี้คือ

10Hz – 99.99Hz

100Hz – 999Hz

1kHz – 9.99kHz

10kHz – 99.9kHz

100kHz – 999kHz

1MHz – 9.99MHz

สูตรที่ใช้ในการคำนวณมี 2 สูตรคือ

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

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

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 ย่านสามารถทำได้โดยเปลี่ยน C_F จำนวน 6 ค่า ซึ่งค่า C_F ที่ใช้ในแต่ละย่านความถี่จะมีค่าแตกต่างกันย่านละ 10 เท่าเพื่อให้ความถี่ในแต่ละย่านแตกต่างกัน 10 เท่า จากรูปที่ 3.1 เราจะได้ค่า C_F เป็น 6 ค่าและย่านกระแส 6 ย่านตามตารางที่ 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 $I_{IN} = \frac{V_{IN}}{R_{IN}}$ 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} สูงสุดจะมีกระแสไหล $220 \mu A$ นำค่า V_{IN} และ I_{IN} แทนในสูตรเพื่อหาค่า R_{IN}

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

ดังนั้นเราจะเลือกที่ใกล้เคียง $11.36 k\Omega$ คือ $10 k\Omega$

จาก $R = 10 k\Omega$ เราจะได้ V_{IN} ต่ำสุดคือ

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

ถ้าเราใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้มีค่าเท่ากับ $1 k\Omega$ เราจะคำนวณค่า R ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{2.5R}{1k + R} &= 0.22V \\ 2.5R &= 0.22R + 220 \\ R &= 96.49 \Omega \end{aligned}$$

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

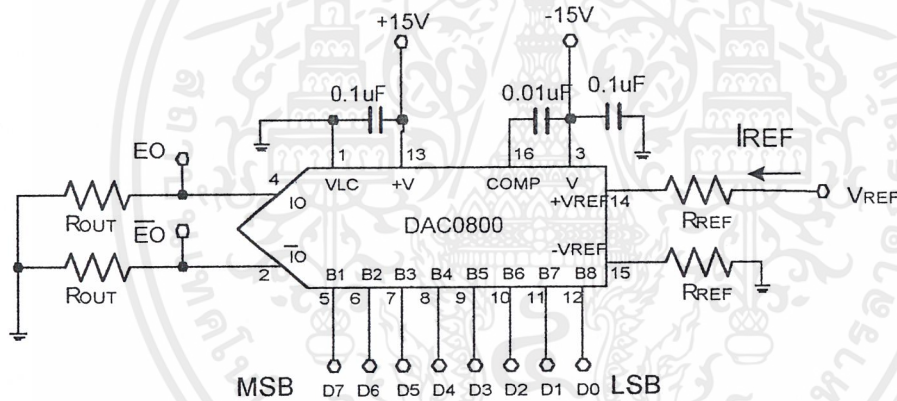
จากการคำนวณเราจะได้ค่า $R_{IN} = 10 k\Omega$, $R = 68 \Omega$ และตัวต้านทานปรับค่าได้ $1 k\Omega$ ซึ่งค่าต่าง ๆ ที่เราใช้นี้จะทำให้ได้กระแสอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่า $22 \mu A$ ถึงสูงกว่า $220 \mu A$ การที่ใช้ I_{IN} ไม่ตรงกับที่คำนวณเนื่องจาก C_F ที่ใช้ย่อมมีความคลาดเคลื่อนในตัวเอง ทำให้ความถี่คลาดเคลื่อนไปจากที่คำนวณได้ ซึ่งอาจทำให้ไม่ได้ความถี่ในช่วงที่ต้องการ จึงจำเป็นต้องเผื่อค่ากระแสให้สูงและต่ำกว่าที่คำนวณได้เล็กน้อย

3.2 การออกแบบ DAC0800

การออกแบบ DAC0800 สามารถทำได้ 2 แบบคือ ออกแบบให้ DAC0800 จ่ายเอาต์พุตลบเพียงอย่างเดียว (Unipolar Negative Operation) กับออกแบบให้ DAC0800 จ่ายเอาต์พุตได้ 2 ขั้ว (Bipolar Output Operation)

3.1.2 การออกแบบให้ DAC จ่ายเอาต์พุตไฟลบเพียงอย่างเดียว

การออกแบบ DAC แบบนี้จะใช้กับภาคปรับแอมพลิจูดของสัญญาณเอาต์พุต ซึ่งควบคุมแอมพลิจูดของสัญญาณโดยใช้แรงดันไฟตรงตั้งแต่ $-1V$ ถึง $0V$ คู่กับสัญญาณที่ต้องการปรับแอมพลิจูดในการออกแบบให้เอาต์พุตของ DAC จ่ายแรงดันได้ตามต้องการ 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}

R_{REF} สามารถกำหนดให้ใช้ได้ตั้งแต่ $0.4mA$ ในที่นี้ใช้ $1mA$

V_{REF} กำหนดให้เท่ากับ $5V$

ค่า R_{REF} สามารถคำนวณได้จาก

$$R_{REF} = \frac{V_{REF}}{I_{REF}}$$

$$= \frac{5V}{1mA}$$

$$R_{REF} = 5k\Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

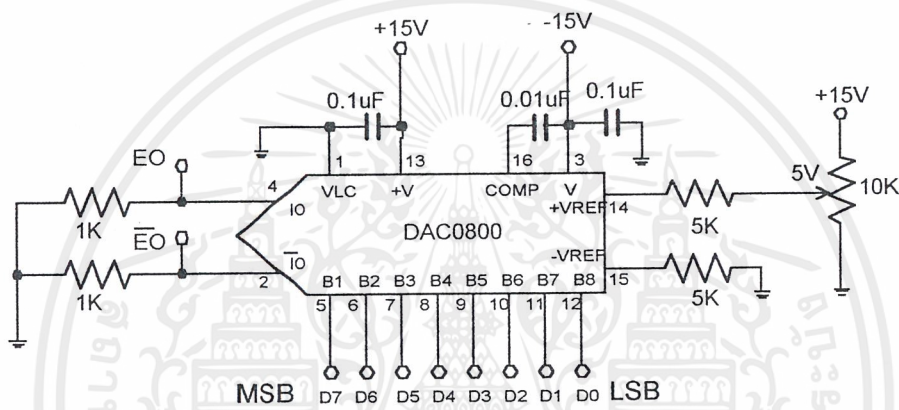
2. คำนวณหาค่า

ค่า R_{OUT} สามารถคำนวณได้จาก $R_{OUT} = \frac{|E_{O(MAX)}|}{I_{O(MAX)}}$

$E_{O(MAX)} = -1 \text{ V}$

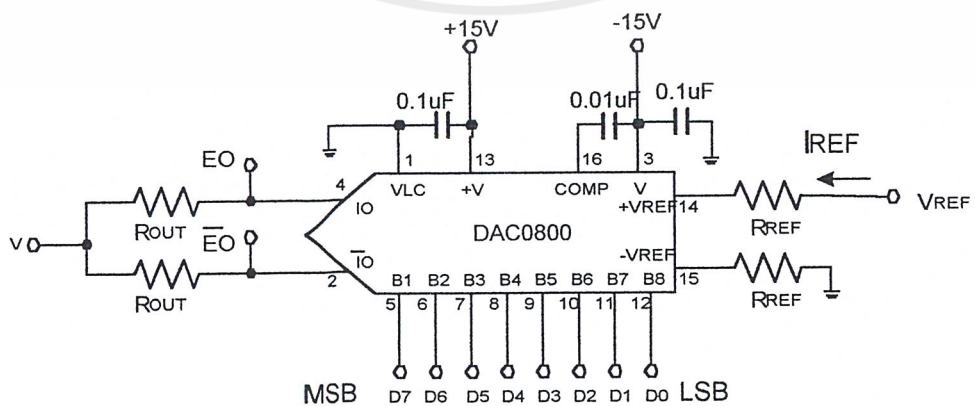
$I_{O(MAX)} = I_{REF}$

$R_{OUT} = \frac{1\text{V}}{1\text{mA}}$
 $= 1\text{k}\Omega$



รูปที่ 3.3 วงจร DAC แบบปรับแรงดันไฟได้ตั้งแต่ -1V ถึง 0V

3.2.2 ออกแบบให้ DAC แบบนี้จะใช้กับภาคปรับแรงดันออกเฟสและภาคปรับคิวต์ไซเกิล วงจรใช้งาน DAC ที่สามารถปรับปรองคั่นได้ 2 ขั้ว แสดงตามรูปที่ ในการออกแบบให้ DAC จ่ายแรงดันได้ทั้งบวกและลบตามต้องการขึ้นอยู่กับ R_{REF} , R_{OUT} , V_{REF} และ V



รูปที่ 3.4 วงจร DAC ชนิดจ่ายแรงดันไฟได้ทั้ง 2 ขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการออกแบบ DAC ใช้กับภาคปรับแรงดันออฟเซต

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

ค่า I_{REF} จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 2mA

ค่า V_{REF} จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 10V

ค่า R_{REF} สามารถคำนวณได้จากสูตร

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

2. คำนวณหาค่า R_{OUT} และ V

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

ในภาคปรับแต่งแรงดันออฟเซตต้องการปรับค่าแรงดัน E_o ตั้งแต่ $-5V$ ถึง $+5V$

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

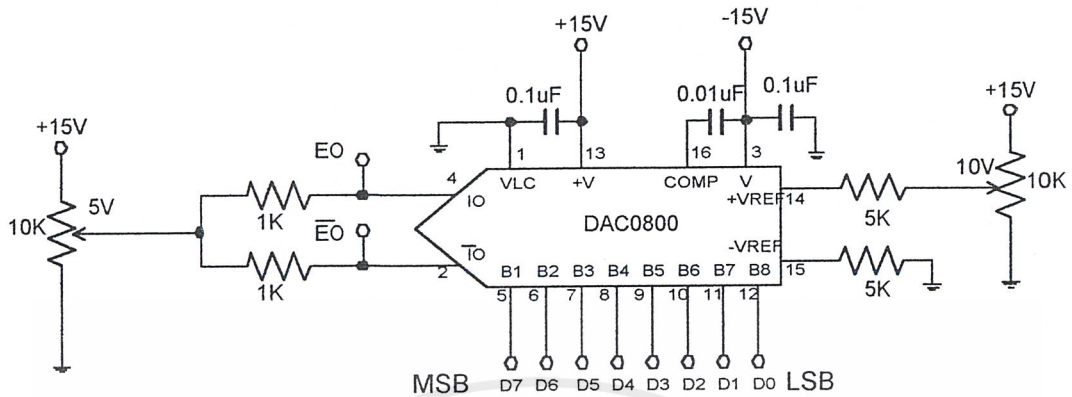
$$R_{OUT} = \frac{2 \times 5V}{2mA}$$

$$R_{OUT} = 5k\Omega$$

ค่า V สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\begin{aligned} V &= \frac{I_{REF} \times R_{OUT}}{2} \\ &= \frac{2mA \times 5k\Omega}{2} \end{aligned}$$

$$V = 5V$$



รูปที่ 3.5 วงจร DAC แบบปรับแรงดันไฟตรงได้ $-5V$ ถึง $+5V$

ขั้นตอนการออกแบบ DAC ใช้กับภาคปรับคี่วดีไซเคิล

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

ค่า I_{REF} จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ $2mA$

ค่า V_{REF} จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ $10V$

ค่า R_{REF} สามารถคำนวณได้จากสูตร

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

3. คำนวณหาค่า R_{OUT} และ V

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

ในภาคปรับแต่งแรงดันออกเฟสตรงต้องการปรับค่า E_o ตั้งแต่ $-2.5V$ ถึง $+2.5V$

$$|E_{O(MAX)}| = 2.5V$$

$$R_{OUT} = \frac{2 \times 2.5V}{2mA}$$

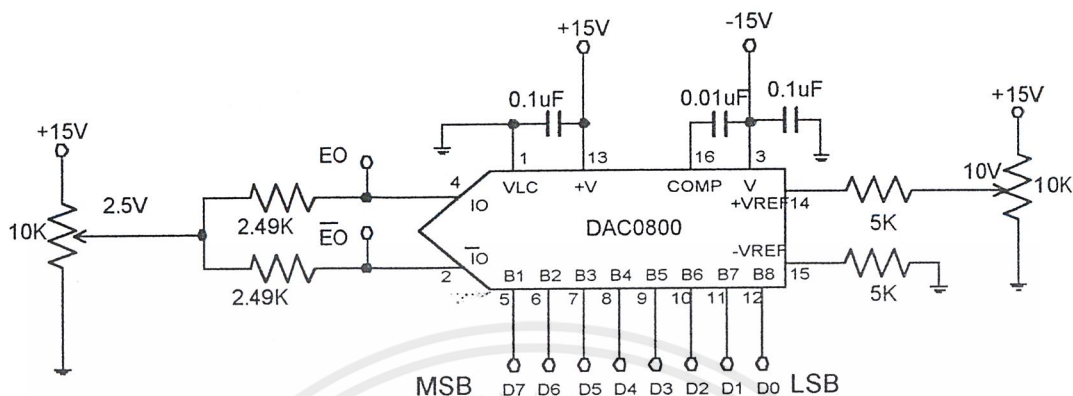
$$R_{OUT} = 2.5k\Omega$$

ค่า V สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\begin{aligned} V &= \frac{I_{REF} \times R_{OUT}}{2} \\ &= \frac{2mA \times 2.5k\Omega}{2} \end{aligned}$$

$$V = 2.5V$$

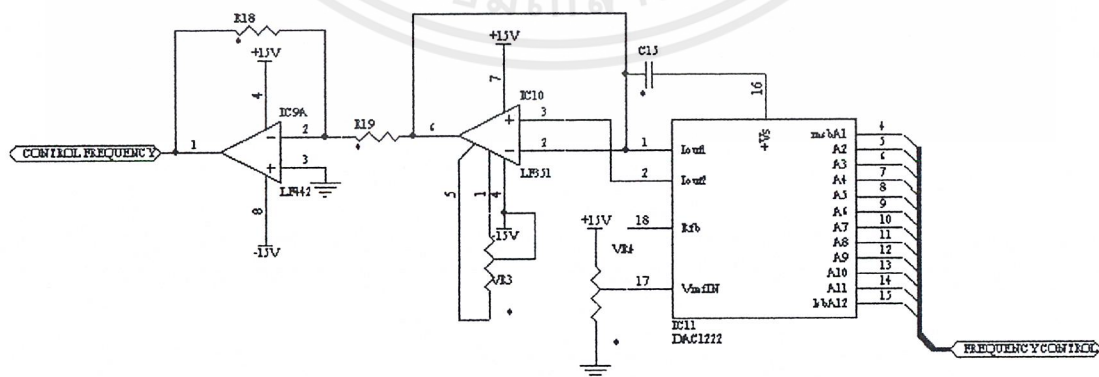
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

3.3 การออกแบบวงจรใช้งาน DAC1222

ไอซี DAC1222 เป็นไอซีที่ทำหน้าที่เปลี่ยนข้อมูลดิจิทัลขนาด 12 บิตให้เป็นสัญญาณอนาลอกใช้ควบคุมการเปลี่ยนค่าความถี่ที่ไอซี MAX038 ผลิตขึ้น โดยแรงดันที่ใช้ควบคุมการเปลี่ยนค่าความถี่จะมีค่าตั้งแต่ 0V ถึง 2.5V ซึ่งการออกแบบให้ไอซี DAC1222 สามารถเปลี่ยนแปลงแรงดันได้ตามที่ต้องการนั้นสามารถทำได้ง่ายโดยต่อวงจรตามรูป และต่อตัวต้านทานปรับค่าได้กับขา 9 และ 10 เพื่อปรับค่าเอาต์พุตให้ได้แรงดันตามต้องการ ตัวต้านทาน 50Ω ที่ต่อขา 4 กับขา 6 จะทำหน้าที่กำหนดค่า I_{REF} เป็น 0.5 mA ขา 8 ต่อลงกราวด์เนื่องจากต้องการให้เอาต์พุตจ่ายแรงดันเพียงขั้วเดียว



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การคำนวณเพื่อหาค่าข้อมูล 12 บิต ในการกำหนดค่าความถี่

การกำหนดค่าความถี่ที่ใช้ในการสร้างรูปสัญญาณของไอซี MAX038 ขึ้นอยู่กับตัวแปร 2 ตัวคือ กระแสไฟที่ป้อนเข้าที่ขา IIN และค่าตัวเก็บประจุ C_F ที่ต่อเข้าที่ขา COSC ดังสมการต่อไปนี้

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

เมื่อ F_o คือความถี่เอาต์พุต

I_{IN} คือกระแสไฟที่ขา IIN มีค่าอยู่ระหว่าง 2-750 ไมโครแอมป์

C_F คือตัวเก็บประจุที่ต่อที่ขา COSC และกราวด์

แต่จากวงจรกระแส I_{IN} ถูกกำหนดค่าจากแรงดันไฟตรงจาก DAC ขนาด 12 บิตเบอร์ DAC1222 โดยต่อผ่านตัวต้านทานค่า 10 กิโลโอห์ม

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

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

แทนค่า I_{IN} เพื่อหาค่า F_o

$$F_o(MHz) = \frac{V_{ADC} \times 10^6}{R_{IN} \times C_F(pF)}$$

$$V_{DAC} = F_o(MHz) \times R_{IN} \times C_F \times 10^6 \quad (1)$$

เนื่องจากการกำหนดค่าแรงดัน V_{DAC} ขึ้นอยู่กับค่าข้อมูลขนาด 12 บิต ดังนั้นจึงสามารถแบ่งแรงดันออกได้เป็น $2^{12} = 4096$ สเต็ป โดยปรับแรงดันให้ V_{DAC} มีค่าสูงสุดที่สเต็ปสูงสุดคือ 2.5 โวลต์ เพื่อให้กระแส I_{IN} มีค่าสูงสุดคือ 250 ไมโครแอมป์ ดังนั้นแรงดันของ V_{DAC} แต่ละสเต็ปสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\frac{2.5V}{4095} = 610.5 \mu V / step$$

$$\text{ดังนั้น } step = \frac{V_{DAC}}{610.5 \times 10^{-6}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เมื่อนำสมการที่ (1) เท่ากับ (2) จะได้ว่า

$$step = \frac{F_O(MHz) \times R_{IN} \times C_F(pF) \times 10^{-6}}{610.5 \times 10^{-6}}$$

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

$$step = \frac{F_O(MHz) \times 10^3 \times C_F(pF)}{610.5}$$

$$step = 1.638 \times F_O(MHz) \times C_F(pF) \quad (3)$$

สมการที่ 3 เป็นสมการที่นำมาใช้ในการคำนวณในโปรแกรมเพื่อหาค่าข้อมูล 12 บิต ในการกำหนดค่าความถี่ แต่เนื่องจากการเขียนโปรแกรมให้สามารถคำนวณค่าทศนิยมได้ต้องทำการแปลงค่าตัว เลขทศนิยมนั้นให้เป็นค่าจำนวนเต็มเสียก่อน ซึ่งในที่นี้จะใช้การคำนวณด้วยการแทนตัวเลข 1.638 ด้วยการแทนจำนวนเต็ม 2 จำนวนตั้งหารกันคือ $4095/2500$ ซึ่งจะได้ค่าเท่ากับ 1.638 พอ ดี โดยใน โปรแกรมจะใช้ตัวแปร p1 กำหนดเป็นตัวเศษเท่ากับ 4095 และใช้ตัวแปร q1 กำหนดเป็นตัวส่วนเท่ากับ 2500

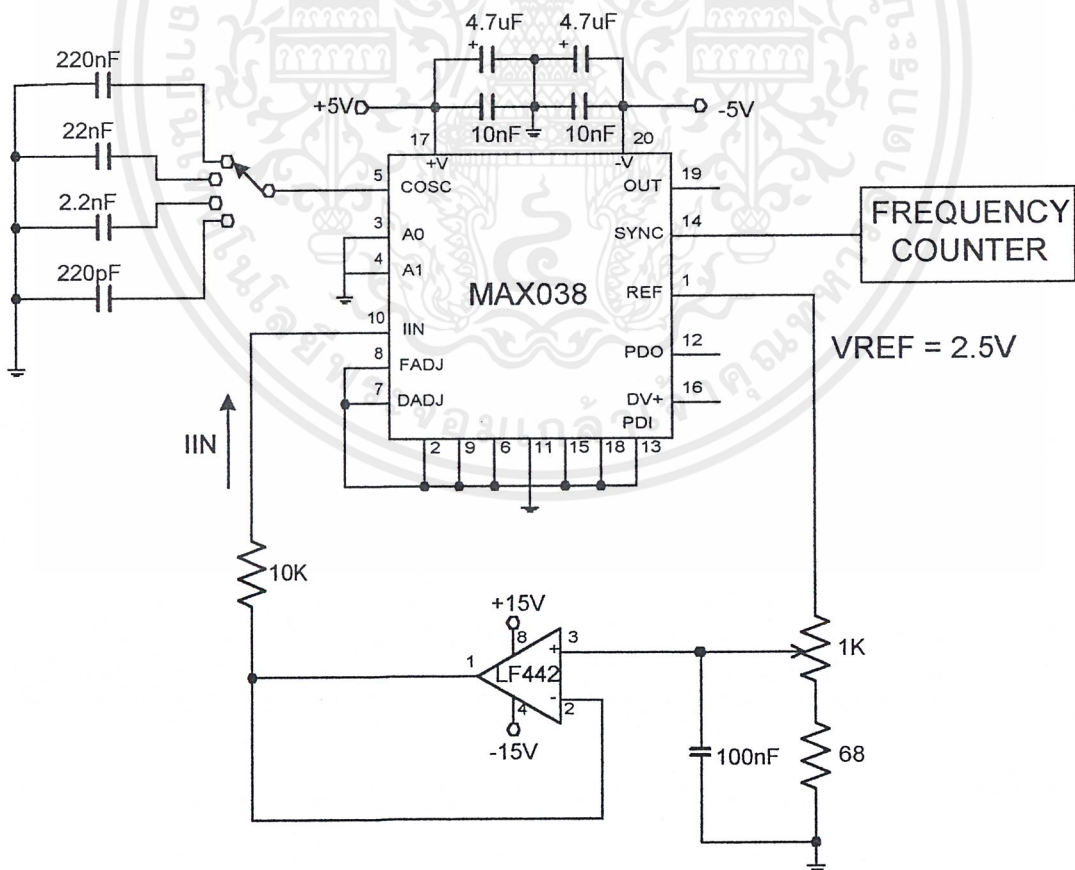
บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองวัดค่าของแรงดันที่ความถี่ต่างๆ

ย่านความถี่ของ MAX 038 จะสามารถกำหนดได้โดย C_r และการเปลี่ยนแปลงความถี่จะขึ้นอยู่กับกระแส I_{IN} ที่ไหลเข้าที่ขา I_{IN} นี้ แต่การควบคุมโดยใช้แหล่งจ่ายกระแสจะยุ่งยากกว่าการใช้แหล่งจ่ายแรงดันควบคุม เมื่อเป็นเช่นนี้เราจึงใช้การควบคุมโดยแหล่งจ่ายแรงดัน

4.1.1 ตัวอย่างวงจรรูป



รูปที่ 4.1 วงจรทดลองวัดค่าแรงดันที่ความถี่ต่างๆ

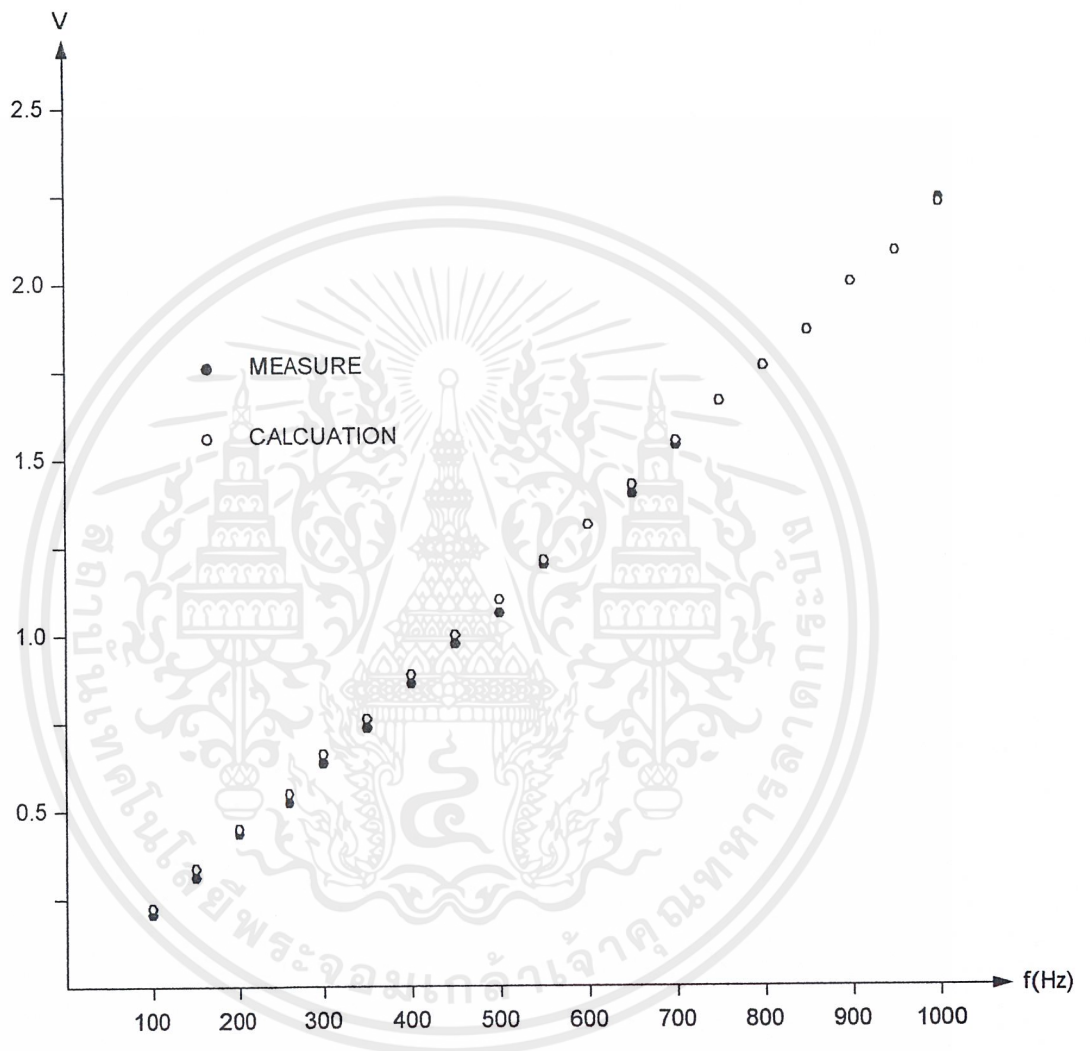
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.1.2 ที่ $C_F = 220 \text{ nF}$ ปรับความถี่ตั้งแต่ 100 Hz ถึง 1000 Hz วัดแรงดันที่ความถี่ต่างๆ แล้วบันทึกผลในตารางที่ 4.1
- 4.1.3 ที่ $C_F = 22 \text{ nF}$ ปรับความถี่ตั้งแต่ 1kHz ถึง 10kHz วัดแรงดันที่ความถี่ต่างๆ แล้วบันทึกผลในตารางที่ 4.2
- 4.1.4 ที่ $C_F = 2.2 \text{ nF}$ ปรับความถี่ตั้งแต่ 10 kHz ถึง 100 kHz วัดแรงดันที่ความถี่ต่างๆ แล้วบันทึกผลลงในตารางที่ 4.3
- 4.1.5 ที่ $C_F = 220 \text{ pF}$ ปรับความถี่ตั้งแต่ 100 kHz ถึง 1 MHz วัดแรงดันที่ความถี่ต่างๆ แล้วบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.4

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

ความถี่ (Hz)	แรงดันที่วัด (Volt)	แรงดันที่คำนวณ (Volt)	ความผิดพลาด (%)
100	0.212	0.220	3.636
150	0.320	0.330	3.030
200	0.432	0.440	1.818
250	0.528	0.550	4.000
300	0.632	0.660	4.242
350	0.740	0.770	3.896
400	0.860	0.880	2.273
450	0.980	0.990	1.010
500	1.060	1.100	3.636
550	1.200	1.210	0.826
600	1.320	1.320	0.000
650	1.400	1.430	2.098
700	1.540	1.540	0.000
750	1.660	1.650	0.606
800	1.760	1.760	0.000
850	1.860	1.870	0.575
900	2.000	1.980	1.000
950	2.080	2.090	0.478
1000	2.240	2.200	1.786

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



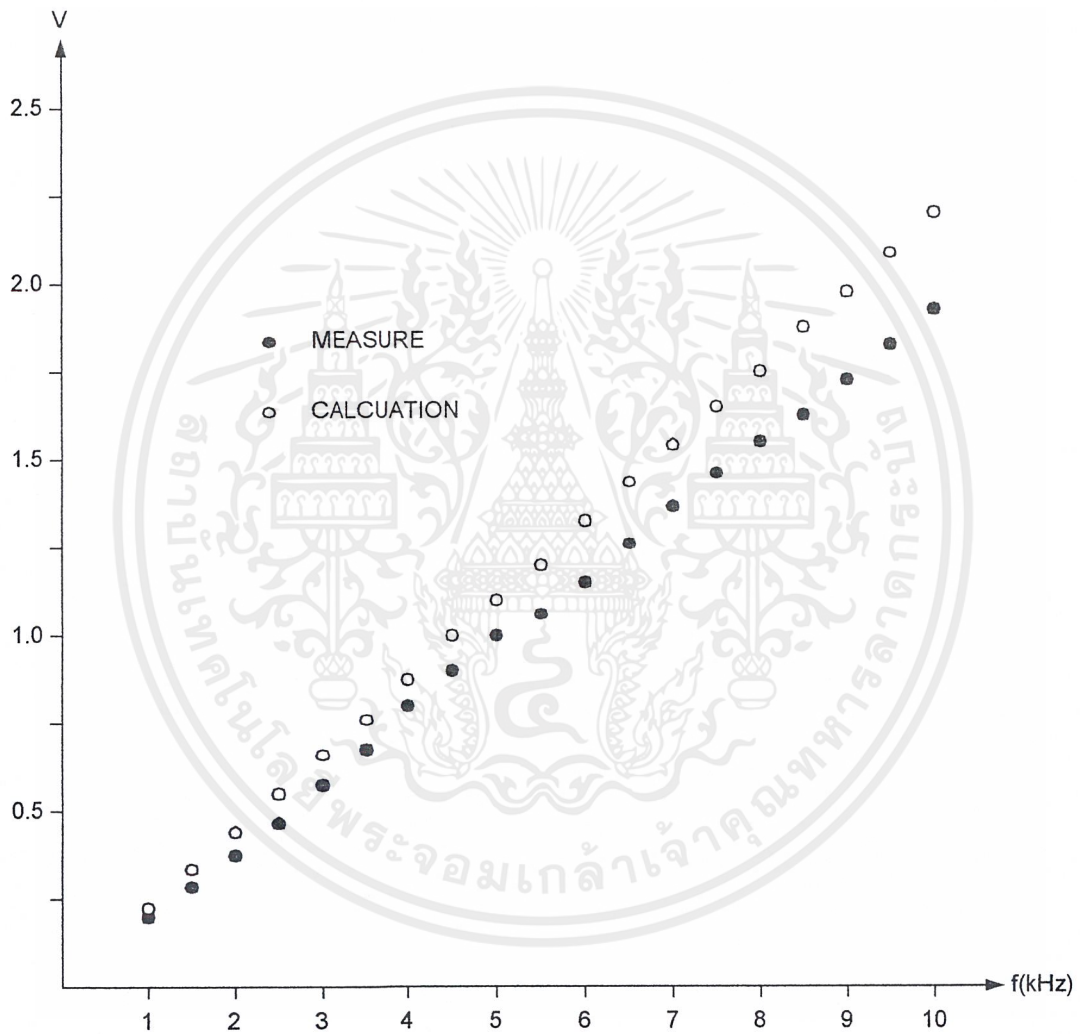
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความถี่และแรงดันจากตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ความถี่ (kHz)	แรงดันที่วัด(Volt)	แรงดันที่ คำนวณ(Volt)	ความผิดพลาด (%)
1.0	0.200	0.220	9.091
1.5	0.296	0.330	10.303
2.0	0.384	0.440	12.727
2.5	0.472	0.550	14.182
3.0	0.592	0.660	10.303
3.5	0.680	0.770	11.688
4.0	0.800	0.880	9.091
4.5	0.900	0.990	9.091
5.0	1.000	1.100	9.091
5.5	1.060	1.210	12.396
6.0	1.140	1.320	13.636
6.5	1.260	1.430	11.888
7.0	1.380	1.540	10.389
7.5	1.480	1.650	10.303
8.0	1.560	1.760	11.364
8.5	1.620	1.870	13.369
9.0	1.720	1.980	13.131
9.5	1.820	2.090	12.919
10	1.920	2.200	12.727

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



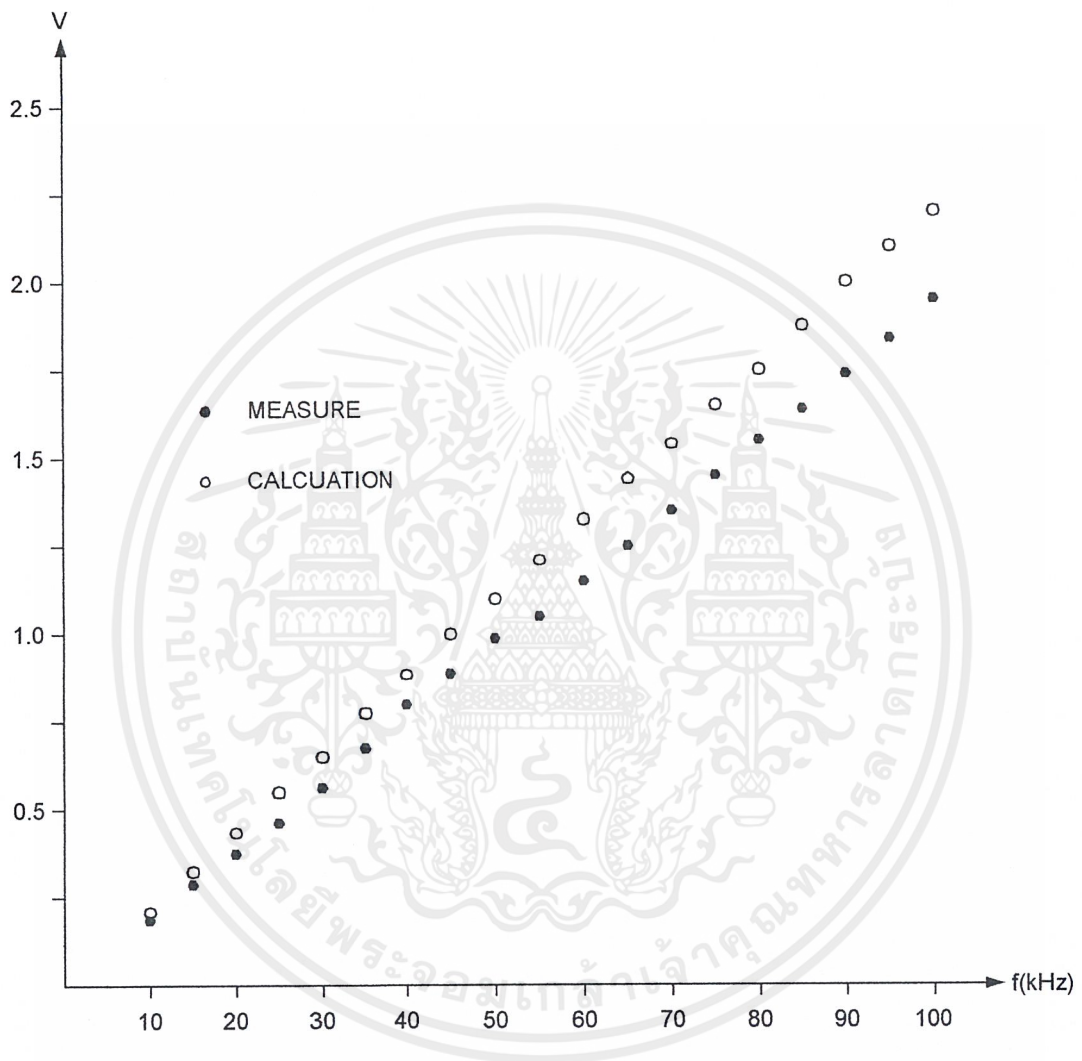
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความถี่และแรงดันจากรางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ความถี่ (kHz)	แรงดันที่วัด(Volt)	แรงดันที่ คำนวณ(Volt)	ความผิดพลาด (%)
10	0.192	0.220	12.727
15	0.288	0.330	12.727
20	0.376	0.440	14.545
25	0.464	0.550	15.636
30	0.560	0.660	15.152
35	0.688	0.770	10.649
40	0.800	0.880	9.091
45	0.880	0.990	11.111
50	0.950	1.100	13.636
55	1.040	1.210	14.049
60	1.160	1.320	12.121
65	1.240	1.430	13.287
70	1.340	1.540	12.987
75	1.460	1.650	11.515
80	1.560	1.760	11.364
85	1.620	1.870	13.369
90	1.720	1.980	13.131
95	1.820	2.090	12.919
100	1.960	2.200	10.909

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



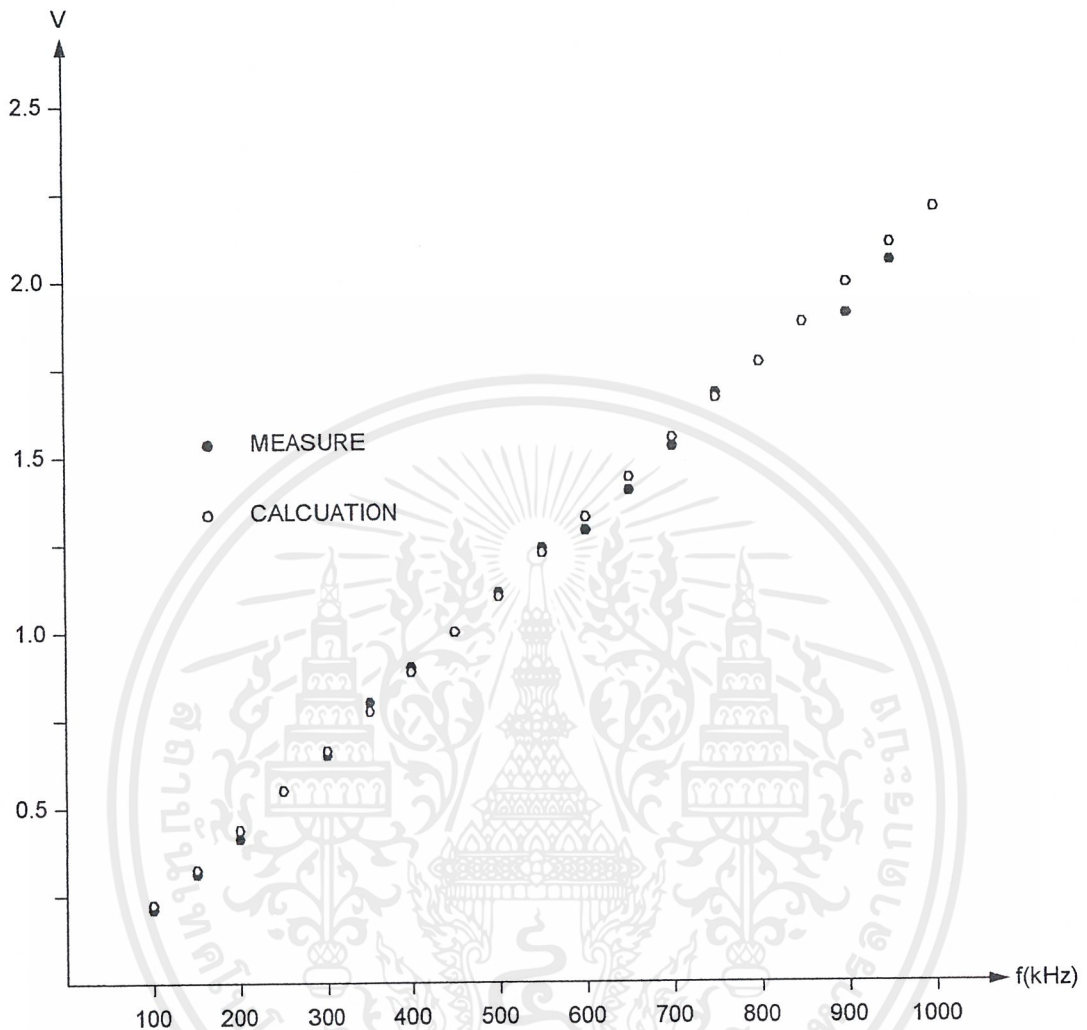
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความถี่และแรงดันจากรายที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองที่ $C_F = 220 \text{ pF}$

ความถี่ (kHz)	แรงดันที่วัด(Volt)	แรงดันที่ คำนวณ(Volt)	ความผิดพลาด (%)
100	0.208	0.220	5.455
150	0.312	0.330	5.455
200	0.408	0.440	7.273
250	0.560	0.550	1.818
300	0.640	0.660	3.030
350	0.800	0.770	3.896
400	0.840	0.880	4.545
450	1.000	0.990	1.010
500	1.120	1.100	1.818
550	1.240	1.210	2.479
600	1.280	1.320	3.030
650	1.400	1.430	2.098
700	1.520	1.540	1.299
750	1.680	1.650	1.818
800	1.760	1.760	0.000
850	1.880	1.870	0.535
900	1.900	1.980	4.040
950	2.050	2.090	1.914
1000	2.200	2.200	0.000

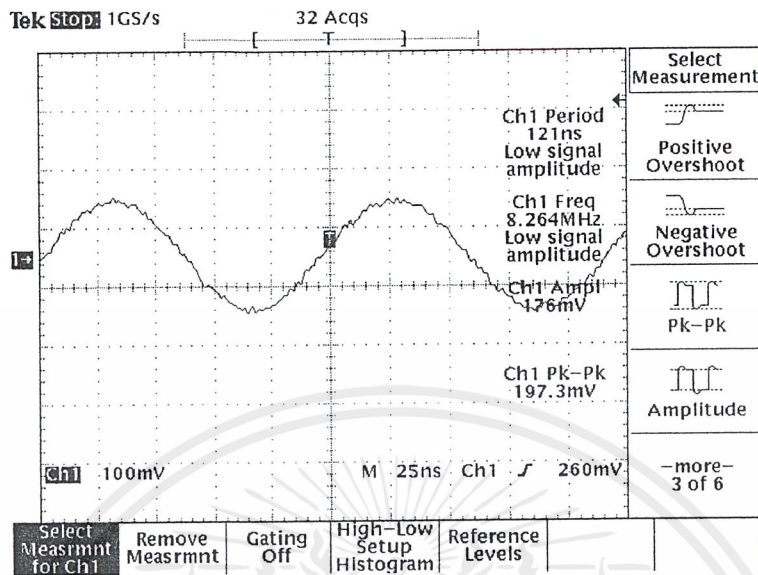
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



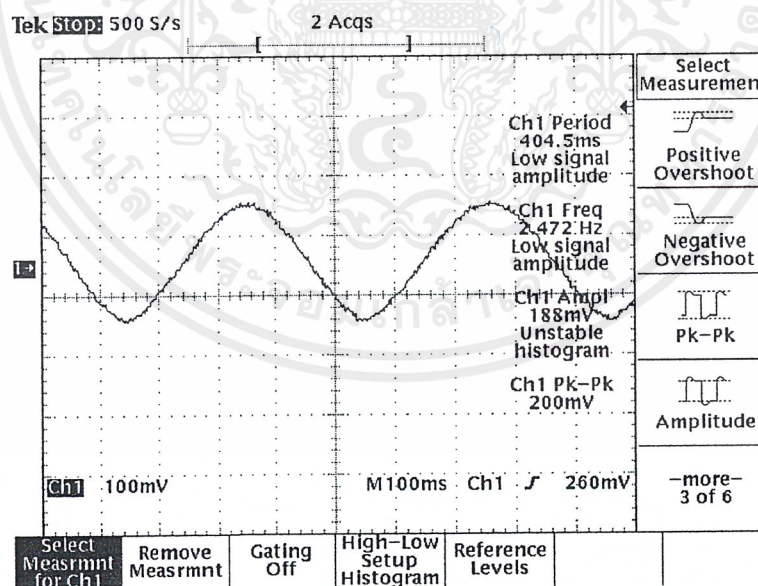
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความถี่และแรงดันจากร่างที่ 4.4

4.2 ผลการวัดรูปสัญญาณต่างๆ ที่ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์สร้างได้

จากการทดลองวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากเครื่อง ปรากฏว่าได้รูปสัญญาณพื้นฐาน 3 รูปสัญญาณคือ สัญญาณไซน์ สัญญาณสี่เหลี่ยม และสัญญาณสามเหลี่ยม นอกจากนี้ยังได้รูปสัญญาณที่เกิดจากการปรับค่าควิตซ์เฟสเกิดที่สัญญาณสี่เหลี่ยม และสัญญาณสามเหลี่ยมอีก 2 รูปคือ สัญญาณพัลส์ และสัญญาณฟันเลื่อยตามลำดับ ซึ่งจะ ได้แสดงรูปสัญญาณที่ความถี่สูงสุดและที่ความถี่ต่ำสุดของสัญญาณแต่ละแบบดังต่อไปนี้

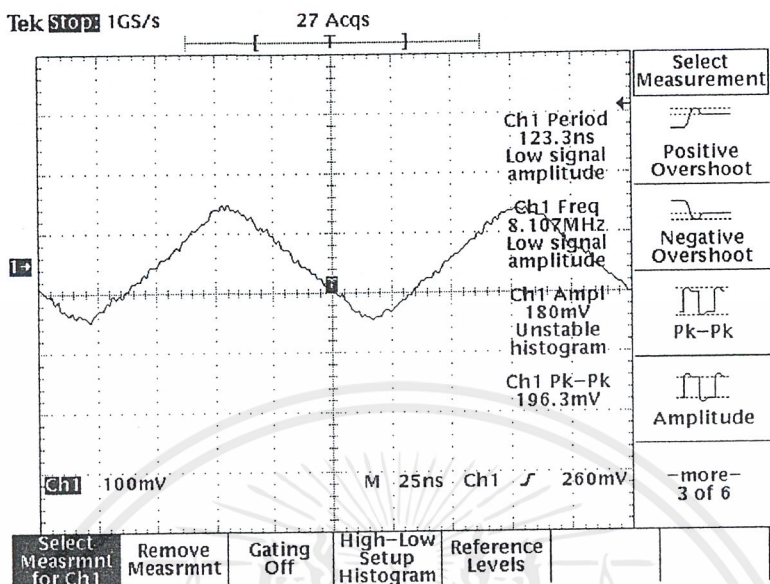


รูปที่ 4.6 แสดงรูปสัญญาณ SINE ที่ความถี่สูงสุด 8.264MHz

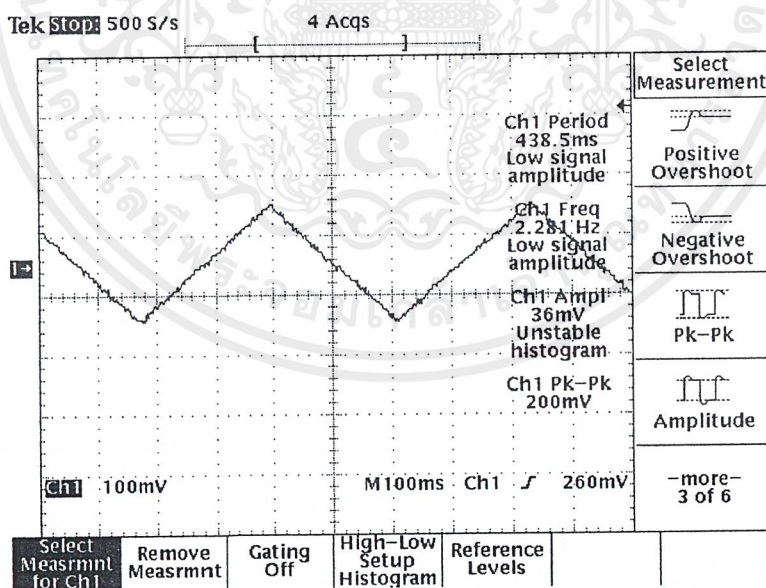


รูปที่ 4.7 แสดงรูปสัญญาณ SINE ที่ความถี่ต่ำสุด 2.472Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

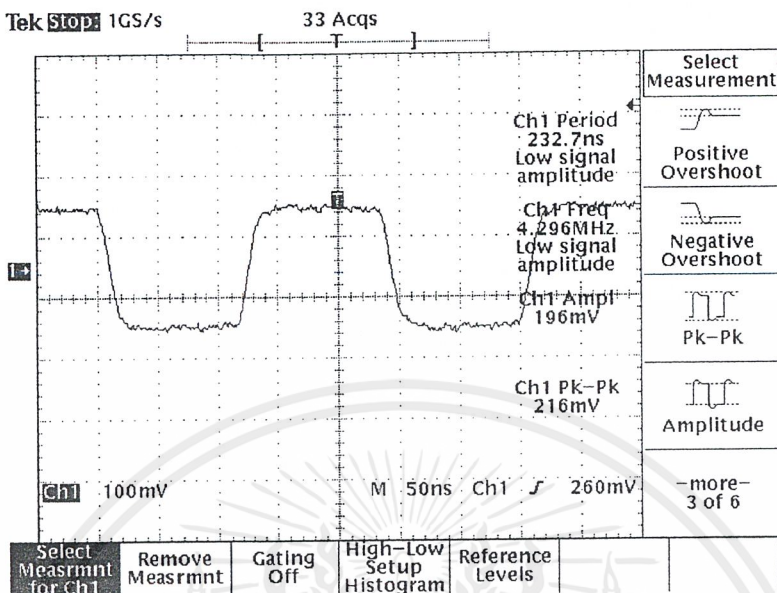


รูปที่ 4.8 แสดงรูปสัญญาณสามเหลี่ยมที่มีความถี่สูงสุด 8.107MHz

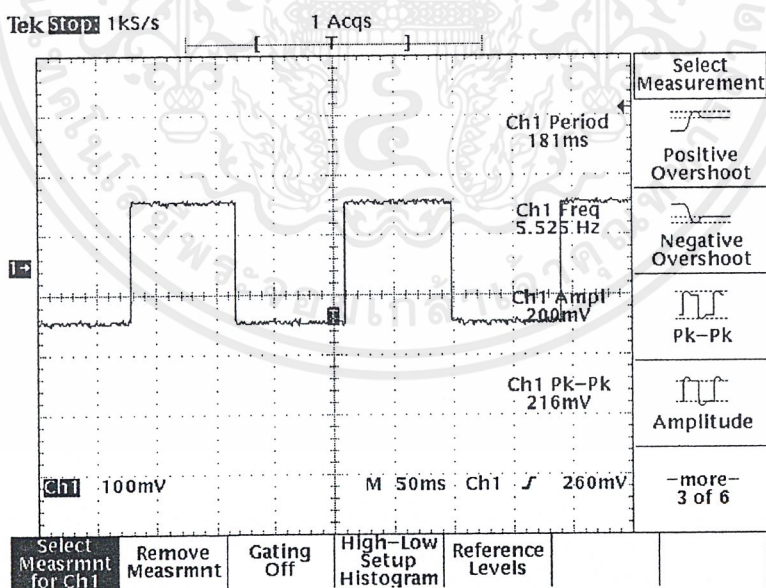


รูปที่ 4.9 แสดงรูปสัญญาณสามเหลี่ยมที่มีความถี่ต่ำสุด 2.281Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

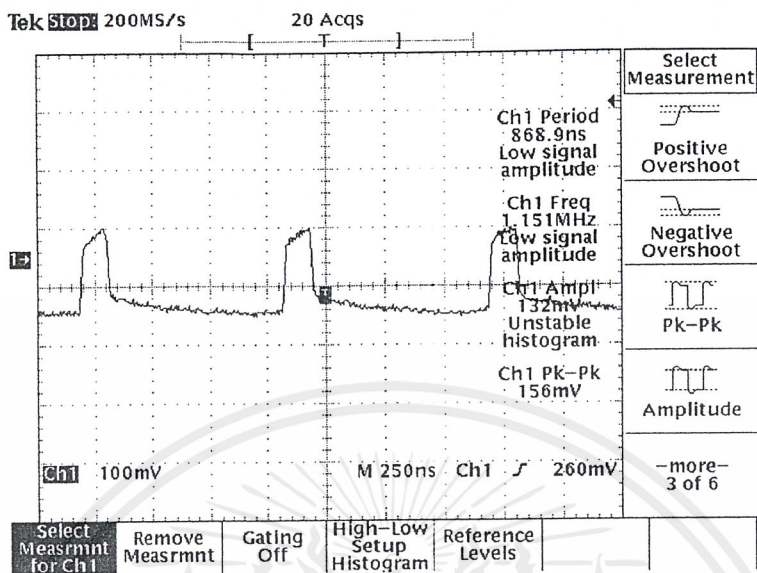


รูปที่ 4.10 แสดงรูปสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ความถี่สูงสุด 4.296MHz

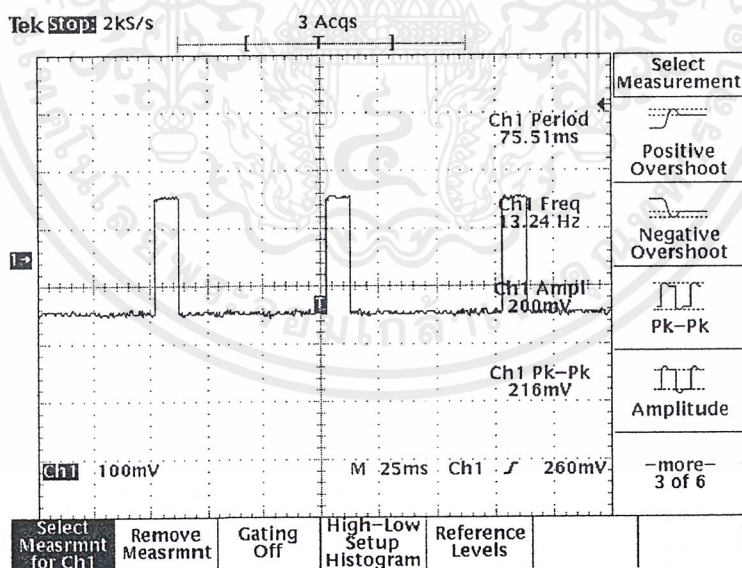


รูปที่ 4.11 แสดงรูปสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ความถี่ต่ำสุด 5.525Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

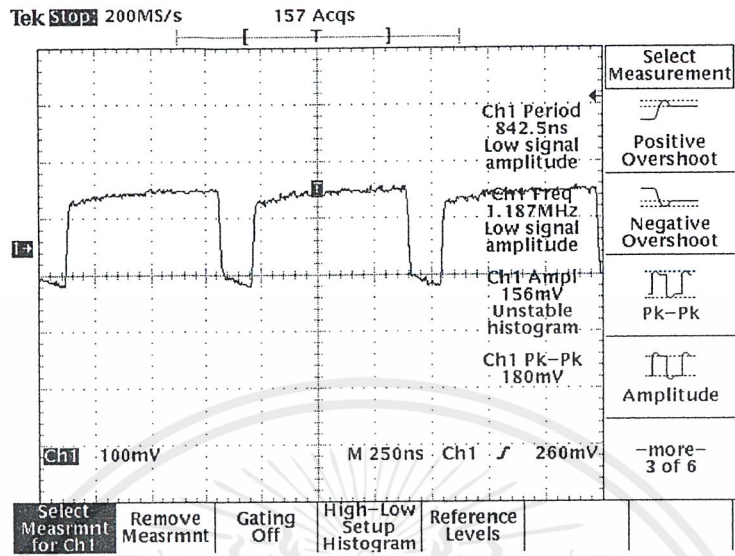


รูปที่ 4.12 แสดงรูปสัญญาณพัลส์ คิวตี้เซเคิล 16.67% ที่ความถี่สูงสุด 1.151MHz

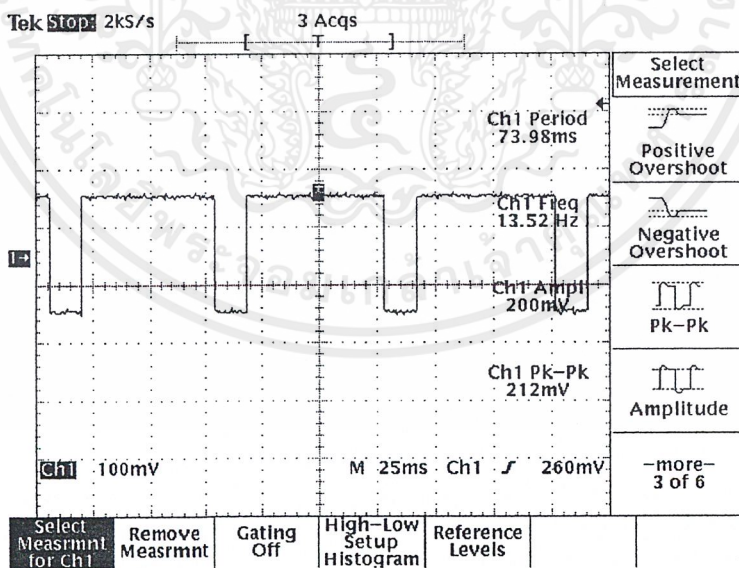


รูปที่ 4.13 แสดงรูปสัญญาณพัลส์ คิวตี้เซเคิล 16.67% ที่ความถี่ต่ำสุด 13.24Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

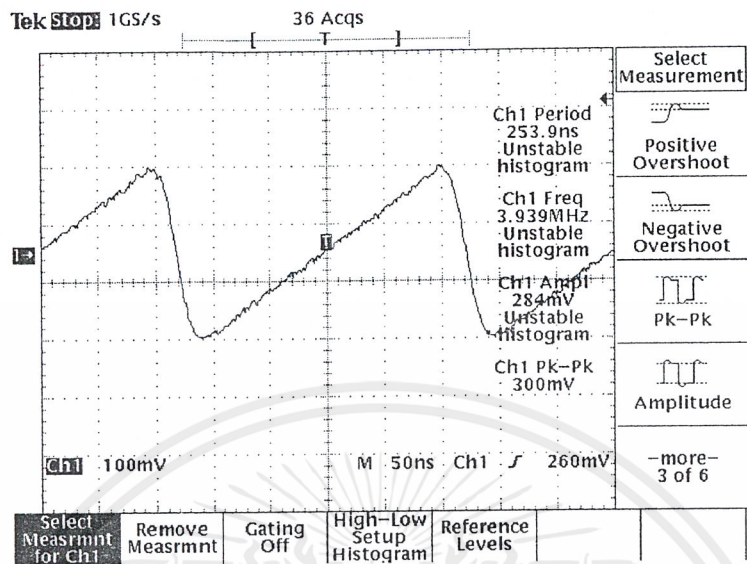


รูปที่ 4.14 แสดงรูปสัญญาณพัลส์ คิวตี้ไซเคิล 83.33% ที่ความถี่สูงสุด 1.187MHz

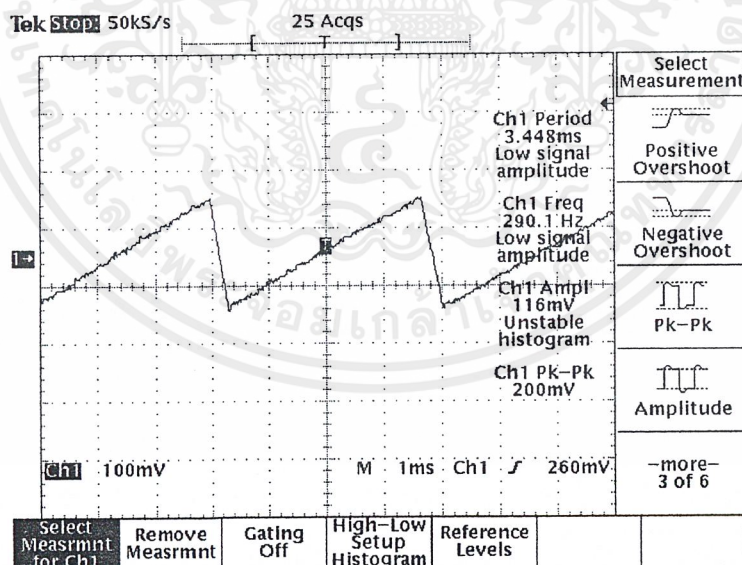


รูปที่ 4.15 แสดงรูปสัญญาณพัลส์ คิวตี้ไซเคิล 83.33% ที่ความถี่ต่ำสุด 13.52Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

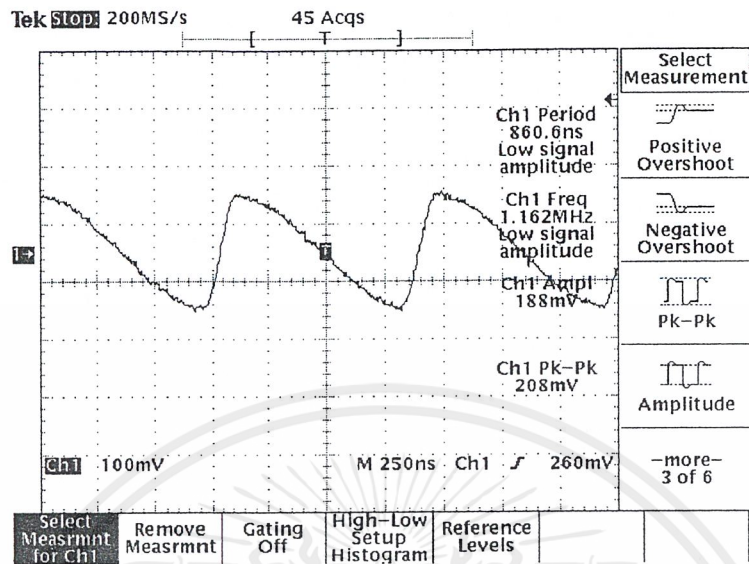


รูปที่ 4.16 แสดงรูปสัญญาณฟันเลื่อย คิวตี้ไซเคิล 16.67% ที่ความถี่สูงสุด 3.939MHz

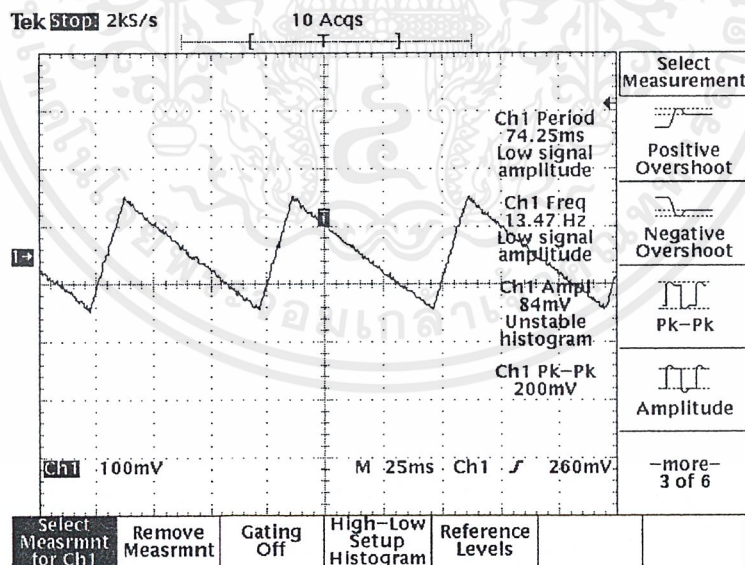


รูปที่ 4.17 แสดงรูปสัญญาณฟันเลื่อย คิวตี้ไซเคิล 16.67% ที่ความถี่ต่ำสุด 290.1Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 แสดงรูปสัญญาณฟันเลื่อย ดิวตี้ไซเคิล 83.33% ที่ความถี่สูงสุด 1.162MHz



รูปที่ 4.19 แสดงรูปสัญญาณฟันเลื่อย ดิวตี้ไซเคิล 83.33% ที่ความถี่ต่ำสุด 13.47Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และบทสรุป

จากแนวความคิดที่จะออกแบบฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้ไอซีเบอร์ MAX038 เป็นภาคกำเนิดสัญญาณ ซึ่งไอซี MAX038 เป็นไอซีที่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสามารถเปลี่ยนย่านความถี่ที่ผลิตด้วยคาปาซิเตอร์ที่ต่อกับขา COSC การเปลี่ยนค่าคาปาซิเตอร์ทำได้โดยการใช้รีเลย์แทนซีเล็กเตอร์สวิตช์ ความจำเป็นที่ต้องใช้รีเลย์ก็เนื่องมาจากอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่นำมาใช้แทนซีเล็กเตอร์สวิตช์นั้นมีค่าคาปาซิแตนซ์ภายใน ทำให้ความถี่ที่ผลิตขึ้นได้เพียง 3MHz เท่านั้น ถึงอย่างไรก็ยังมีค่าคาปาซิแตนซ์ระหว่างลายทองแดงเกิดขึ้นอีกด้วย ซึ่งต้องได้รับการแก้ไขต่อไป ปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็คือความเที่ยงตรงของวงจรแปลงข้อมูลดิจิทัลให้เป็นสัญญาณอะนาลอก เพราะ MAX038 ใช้กระแสเพียง $22\mu\text{A}$ - $220\mu\text{A}$ เท่านั้นในการควบคุม ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงที่แรงดันหรือกระแสควบคุมเพียงเล็กน้อยสัญญาณทางเอาต์พุตจะเกิดการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก จึงทำให้ข้อมูลที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งออกมาผ่าน DAC เพื่อควบคุมความถี่ที่ MAX038 ผลิตขึ้นไม่ตรงกับความถี่ที่ต้องการ จึงจำเป็นต้องใส่ค่าชดเชยในการประมวลผลทางไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะได้ออกมาต่อไป ปัญหาที่เกิดขึ้นมาแล้วทำให้ได้รูปสัญญาณไม่คมชัดเท่าที่ควรจะเกิดจากสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นภายในวงจร ในการออกวงจรนี้ยังไม่สามารถขจัดสัญญาณรบกวนได้ทั้งหมด ทำให้รูปสัญญาณความถี่สูงๆ ยังไม่คมชัด

แนวทางที่จะพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องให้มากขึ้นกว่านี้ทำได้โดย พัฒนาประสิทธิภาพของ DAC ให้มีความเที่ยงตรงมากขึ้น การออกแบบลายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ต้องแบบให้ลดค่า L และ C ที่เกิดขึ้นในลายวงจรให้เหลือน้อยที่สุด และควรออกแบบวงจรอะนาลอกให้รวมอยู่บนแผ่นวงจรพิมพ์เดียวกัน ส่วนวงจรดิจิทัลให้รวมอยู่บนแผ่นวงจรเดียวกัน เพื่อเป็นการป้องกันการรบกวนระหว่างกัน



บรรณานุกรม

วรพันธ์ พิศาลสุนทร. ประยุกต์ใช้ไอซีMAX038 ออกแบบเป็นฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ 10Hz - 10MHz :
วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์. ฉบับที่ 207. หน้า 198. กรุงเทพมหานคร: บริษัทซีเอ็ด
ยูเคชั่น(มหาชน)จำกัด, 2543

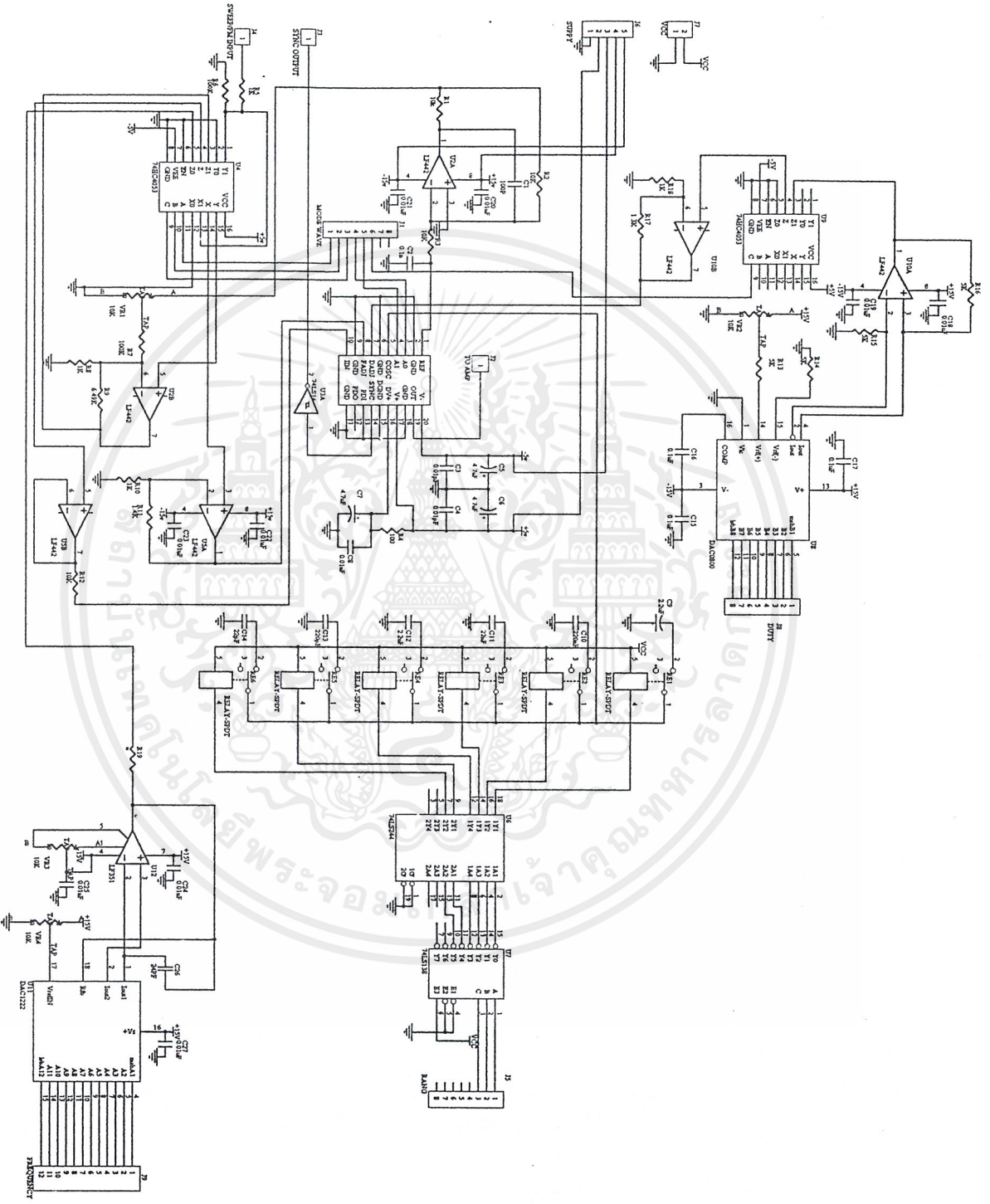
Ken Levine. Low – Cost function Generator : Electronic Design. April 3, 2000. page 153.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.
วงจรฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

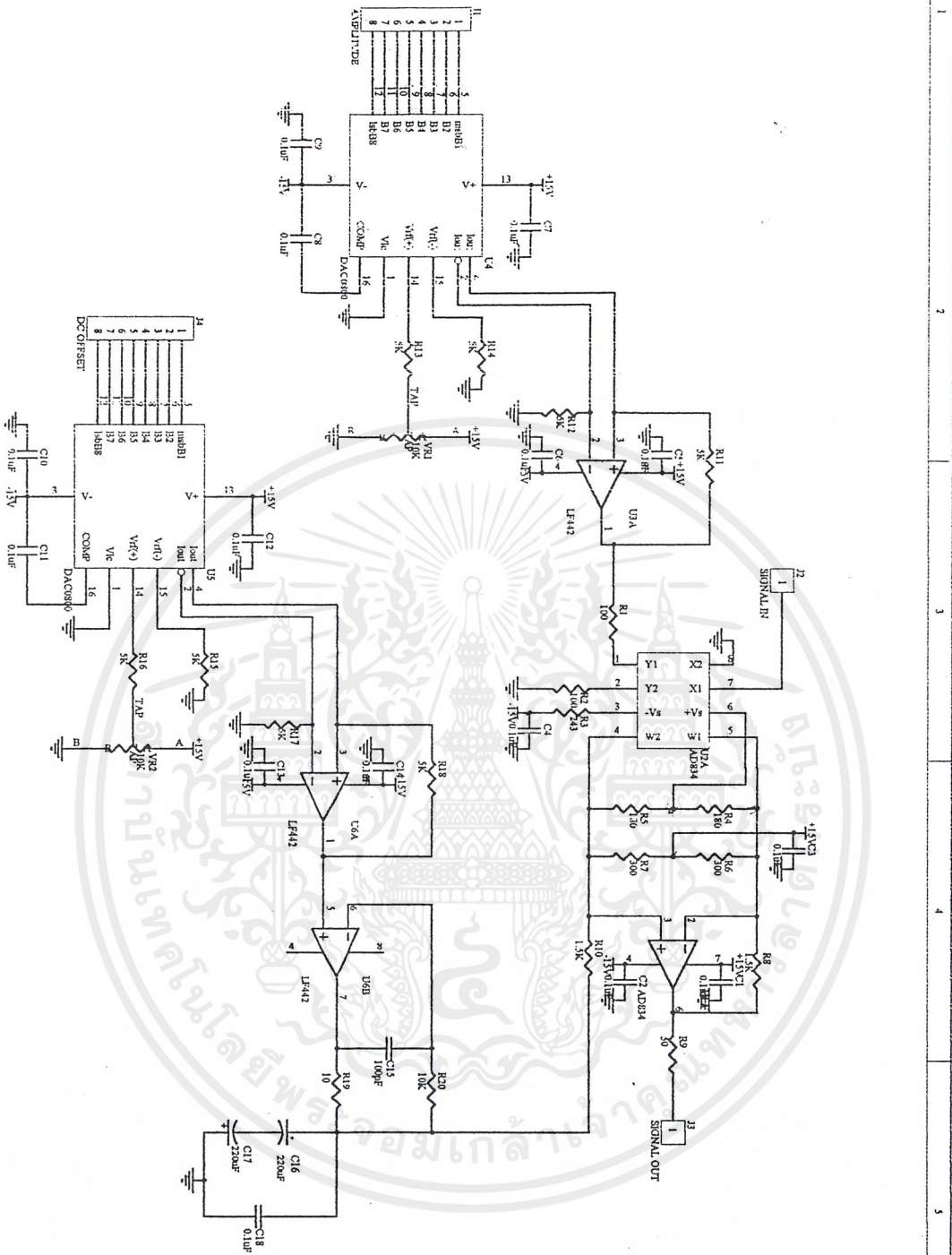
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจรถ่ายค่าแรงดัน

01

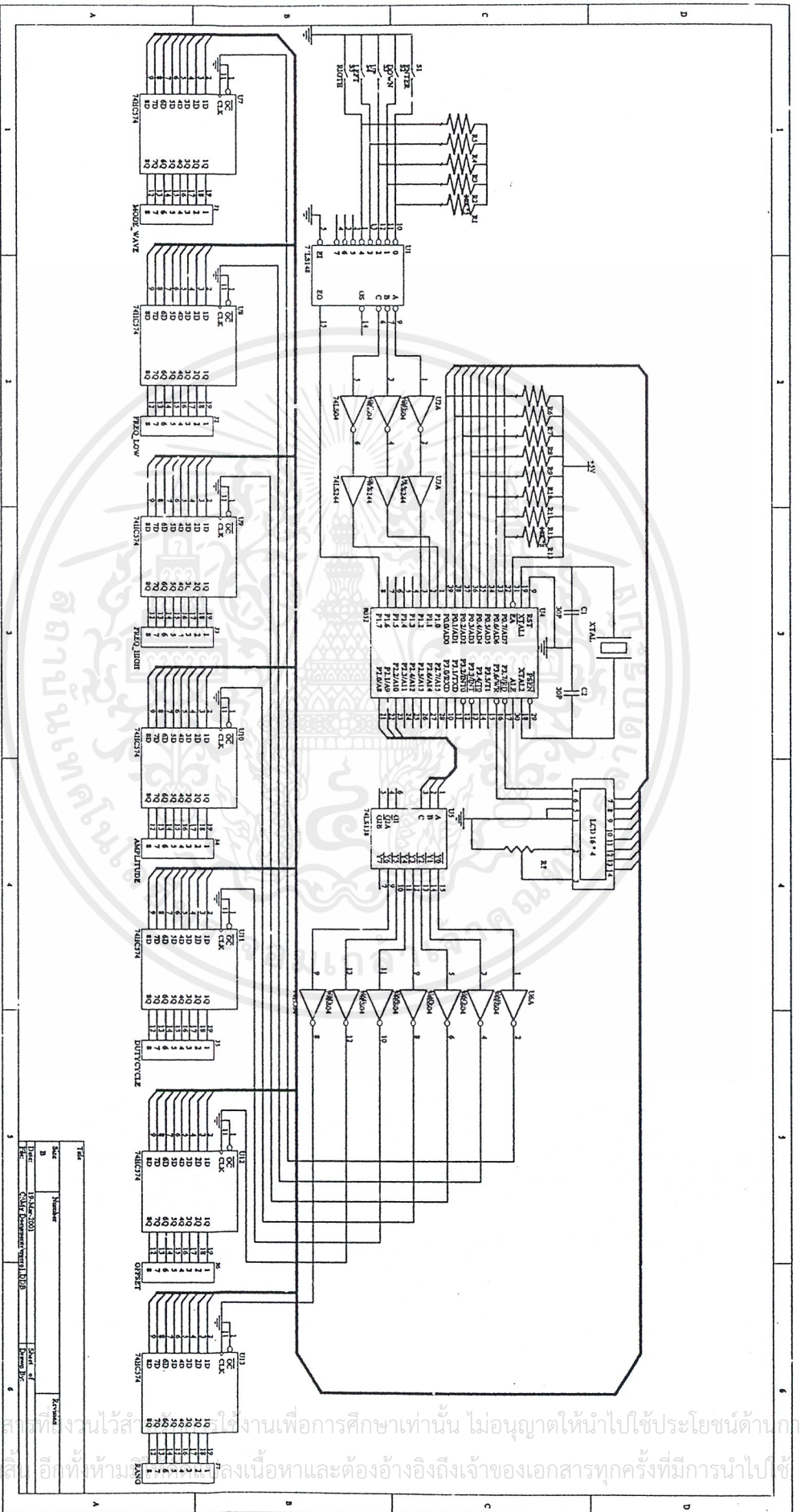
ชื่อ	ผู้จัดทำ	ชื่อ	ผู้ตรวจ
เลขที่	13/44/2551	ชื่อ	ผู้ตรวจ
ชื่อ	วิชา	ชื่อ	ผู้ตรวจ
ชื่อ	วิชา	ชื่อ	ผู้ตรวจ



วงจรถ่ายทอดสัญญาณ

Title	Size	Number	Revision
Disc	B		
File	C:\MY Documents\งาน\143		Sheet of
			Drawn By

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ ห้ามการนำออกนอกประเทศโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจรรถไฟไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาคผนวก ข.
โปรแกรมควบคุมฟังก์ชันเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

***** FUNCGENERATOR PROGRAM *****

```

k1      EQU      4095          ;Product
q1      EQU      2500         ;Determination of cal. factor

LCD_EN  BIT      P3.6
LCD_RS  BIT      P3.7

                ORG      0030H
RANG:    DS      1            ;Reserve address for keep value
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
AMPV:    DS      3
DUTYV:   DS      2
OFFSET:  DS      3
FVAL:    DS      2
ADD16:   DS      2
ADD16A:  DS      2
ADD16B:  DS      2
SUB16A:  DS      2

CLR      AMPV+0
MOV      AMPV+1,#1H
CLR      AMPV+2
MOV      DUTYV+0,#1H      ;Set initail value
MOV      DUTYV+1,#5H
CLR      OFFSET+0
CLR      OFFSET+1
MOV      OFFSET+2,#2BH
MOV      FR+0,#1H
CLR      FR+1
MOV      FR+2,#0AH
CLR      FR+3
MOV      RANG,#0BH
MOV      POSF,#048H
MOV      P0,#00000000B
MOV      P1,#00H
MOV      P2,#00H
MOV      P3,#00H

```

***** INITIAL FUNCTION GENERATOR *****

```

START:  LCALL   INIT_LCD          ;Initailize LCD
        MOV     LCD_ADDR,#00H
        LCALL   SET_ADDR_LCD      ;Send text to first line
        MOV     DPTR,#TXTFUNC
        LCALL   WRLINE_LCD

```

```

        ;Show menu of second line
MODET1: MOV     LCD_ADDR,#40H
        LCALL   SET_ADDR_LCD      ;Send text to second line

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV     DPTR,#TXTMODE   ;Show menu 'MODE'
LCALL  WRLINE_LCD

KEY1:   LCALL  KEY       ;Scan key
        ANL   A,#0FH
        CJNE  A,#00H,KEY1A
        LJMP  MODE       ;Pressed Enter go to MODE
KEY1A:  CJNE  A,#01H,KEY1B
        SJMP  WAVET1    ;Pressed Down go to WAVET1
KEY1B:  CJNE  A,#02H,KEY1
        LJMP  OFFSETT1  ;Pressed Right go to OFFSETT1

```

```

-----
WAVET1: MOV     LCD_ADDR,#40H
        LCALL  SET_ADDR_LCD
        MOV    DPTR,#TXTWAVE
        LCALL  WRLINE_LCD

```

```

KEY2:   LCALL  KEY       ;Scan key
        ANL   A,#0FH
        CJNE  A,#0H,KEY2A
        LJMP  WAVE
KEY2A:  CJNE  A,#01H,KEY2B ;Check key Down
        SJMP  FREQT1
KEY2B:  CJNE  A,#2H,KEY2  ;Check key Up
        SJMP  MODET1

```

```

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

```

```

FREQT2: MOV     LCD_ADDR,#40H
        LCALL  SET_ADDR_LCD
        MOV    DPTR,#TXTFREQ
        LCALL  WRLINE_LCD

```

```

KEY3:   LCALL  KEY
        ANL   A,#0FH
        CJNE  A,#0H,KEY3A
        LJMP  FREQ
KEY3A:  CJNE  A,#1H,KEY3B
        SJMP  AMPT1
KEY3B:  CJNE  A,#02H,KEY3
        SJMP  WAVET1

```

```

-----
AMPT1:  MOV     LCD_ADDR,#40H
        LCALL  SET_ADDR_LCD
        MOV    DPTR,#TXTAMP
        LCALL  WRLINE_LCD

```

```

KEY4:   LCALL  KEY
        ANL   A,#0FH
        CJNE  A,#0H,KEY4A
        LJMP  AMP
KEY4A:  CJNE  A,#01H,KEY4B
        SJMP  DUTY1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
KEY4B:  CJNE    A, #02H, KEY4
        SJMP    FREQT1
```

```
-----
DUTYT1: MOV     A, MD_WV           ;Show menu 'DUTY CYCLE'
        ANL     A, #20H
        CJNE    A, #00H, DUTYT2
        LJMP    OFFSETT1
```

```
DUTYT2: MOV     LCD_ADDR, #40H
        LCALL   SET_ADDR_LCD
        MOV     DPTR, #TXTDUTY
        LCALL   WRLINE_LCD
```

```
KEY5:   LCALL   KEY
        ANL     A, #0FH
        CJNE    A, #0H, KEY5A
        LJMP    DUTY
```

```
KEY5A:  CJNE    A, #01F, KEY5B
        SJMP    OFFSETT1
```

```
KEY5B:  CJNE    A, #02H, KEY5
        SJMP    AMPT1
```

```
-----
OFFSETT1: MOV    LCD_ADDR, #40H
          LCALL   SET_ADDR_LCD
          MOV     DPTR, #TXTOFFSET
          LCALL   WRLINE_LCD
```

```
KEY6:   LCALL   KEY
        ANL     A, #0FH
        CJNE    A, #0H, KEY6A
        LJMP    OFFS
```

```
KEY6A:  CJNE    A, #01H, KEY6B
        LJMP    MODET1
```

```
KEY6B:  CJNE    A, #02H, KEY6
        MOV     A, MD_WV
        ANL     A, #20H
        CJNE    A, #00H, DUTYT1
        SJMP    AMPT1
```

```
-----
*****  MODE      *****
```

```
MODE:   LCALL   INIT_LCD           ;Reset LCD register
MODE1:  MOV     LCD_ADDR, #00H
        LCALL   SET_ADDR_LCD
        MOV     DPTR, #TXTMODE
        LCALL   WRLINE_LCD
```

```
-----
;Show menu on the 2nd line
INTERN: MOV    LCD_ADDR, #40H
          LCALL   SET_ADDR_LCD
          MOV     DPTR, #TXTINTERN
          LCALL   WRLINE_LCD
```

```
KEY7:   LCALL   KEY           ;Scan key
        ANL     A, #0FH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        CJNE     A, #00H, KEY7A      ;Shoosed Intern mode
        MOV      MD, #00H           ;Keep XXXX X000
        LJMP     START
KEY7A:   CJNE     A, #01H, KEY7B      ;Check key Down
        SJMP     SWEEP
KEY7B:   CJNE     A, #02H, KEY7      ;Check key Up
        SJMP     FM
-----

SWEEP:   MOV      LCD_ADDR, #40H
        LCALL    SET_ADDR_LCD
        MOV      DPTR, #TXTSWEEP
        LCALL    WRLINE_LCD

KEY8:    LCALL    KEY                ;Scan key
        ANL     A, #0FH
        CJNE     A, #00H, KEY8A      ;Shoosed Sweep mode
        MOV      MD, #06H           ;Keep XXXX X110
        LJMP     START
KEY8A:   CJNE     A, #01H, KEY8B
        SJMP     FM
KEY8B:   CJNE     A, #02H, KEY8
        SJMP     INTERN
-----

FM:      MOV      LCD_ADDR, #40H
        LCALL    SET_ADDR_LCD
        MOV      DPTR, #TXTFM
        LCALL    WRLINE_LCD

KEY9:    LCALL    KEY                ;Scan key
        ANL     A, #0FH
        CJNE     A, #00H, KEY9A      ;Shoosed FM mode
        MOV      MD, #01H           ;Keep XXXX X001
        LJMP     START
KEY9A:   CJNE     A, #01H, KEY9B
        LJMP     INTERN
KEY9B:   CJNE     A, #02H, KEY9
        SJMP     SWEEP
-----

***** WAVE FORM *****

WAVE:    LCALL    INIT_LCD           ;Show text 'WAVE FORM' on the 1st line
WAVE1:   MOV      LCD_ADDR, #00H
        LCALL    SET_ADDR_LCD
        MOV      R1, MD
        MOV      DPTR, #TXTWAVE1
        LCALL    WRLINE_LCD
-----

SINE:    MOV      LCD_ADDR, #40H
        LCALL    SET_ADDR_LCD
        MOV      DPTR, #TXTSINE
        LCALL    WRLINE_LCD

KEY10:   LCALL    KEY                ;Scan key
        ANL     A, #0FH
        MOV      R2, A
        CJNE     R2, #0H, KEY10A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      A,#18H      ;Sine = XX01 1XXX
ORL      A,R1        ;Sum wave wiht mode
MOV      R1,A
LJMP     SENDMW      ;Send value mode and wave
KEY10A:  CJNE        R2,#01H,KEY10B ;If pressed key Donw go to TRIANGLE
SJMP     TRIANGLE
KEY10B:  CJNE        R2,#02H,KEY10  ;Check key Up
CJNE     R1,#06H,KEY10C ;If shoosed Sweep mode go to RECTANG
SJMP     RECTANG
KEY10C:  LJMP        PULSE          ;If shoosed Intern or FM mode go to PULSE
;
-----

```

```

TRIANGLE:MOV      LCD_ADDR,#40H
LCALL     SET_ADDR_LCD
MOV      DPTR,#TXTTRI
LCALL     WRLINE_LCD

```

```

KEY11:  LCALL     KEY          ;Scan key
ANL      A,#0FH
MOV      R2,A
CJNE     R2,#00H,KEY11A
MOV      A,#08H      ;Triangle = XX00 1XXX
ORL      A,R1        ;Sum wave wiht mode
MOV      R1,A
LJMP     SENDMW      ;Send value mode and wave
KEY11A:  CJNE        R2,#01H,KEY11B ;Pressed key Down go to RECTANG
SJMP     RECTANG
KEY11B:  CJNE        R2,#02H,KEY11  ;Pressed key go to SINE
SJMP     SINE
;
-----

```

```

RECTANG:MOV      LCD_ADDR,#40H
LCALL     SET_ADDR_LCD
MOV      DPTR,#TXTRECT
LCALL     WRLINE_LCD

```

```

KEY12:  LCALL     KEY
ANL      A,#0FH
MOV      R2,A
CJNE     R2,#00H,KEY12A
MOV      A,#00H      ;Rectang = XX00 0XXX
ORL      A,R1
MOV      R1,A
LJMP     SENDMW
KEY12A:  CJNE        R2,#01H,KEY12B
CJNE     R1,#06H,SAWTOOTH
LJMP     SINE
KEY12B:  CJNE        R2,#02H,KEY12
SJMP     TRIANGLE
;
-----

```

```

SAWTOOTH:MOV      LCD_ADDR,#40H
LCALL     SET_ADDR_LCD
MOV      DPTR,#TXTSAW
LCALL     WRLINE_LCD

```

```

KEY13:  LCALL     KEY
ANL      A,#0FH
MOV      R2,A
CJNE     R2,#00H,KEY13A
MOV      A,#28H      ;Sawtooth = XX10 1XXX

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        ORL      A,R1
        MOV      R1,A
        LJMP     SENDMW
KEY13A: CJNE    R2,#01H,KEY13B
        SJMP     PULSE
KEY13B: CJNE    R2,#02H,KEY13
        SJMP     RECTANG
;
-----

```

```

PULSE:  MOV      LCD_ADDR,#40H
        LCALL   SET_ADDR_LCD
        MOV      DPTR,#TXTPULSE
        LCALL   WRLINE_LCD

```

```

KEY14:  LCALL   KEY
        ANL     A,#0FH
        MOV     R2,A
        CJNE   R2,#00H,KEY14A
        MOV     A,#20H      ;Pulse = XX10 0XXX
        ORL    A,R1
        MOV     R1,A
        LJMP   SENDMW
KEY14A: CJNE   A,#01H,KEY14B
        LJMP   SINE
KEY14B: CJNE   A,#02H,KEY14
        SJMP   SAWTOOTH
;
-----

```

```

;
; ***** SEND MODE AND WAVE TO PORT0 *****

```

```

SENDMW: MOV      MD_WV,R1      ;Keep data in MD_WV
        MOV      P2,#0H      ;Select channel0 for send mode and wave
data
        MOV      P0,R1      ;Sand data to port0
        MOV      P2,#0FH
        LCALL   DELAY_10ms
        LJMP   START      ;Go to start menu program
;
-----

```

```

;
; ***** FREQUENCY SETING *****

```

```

FREQ:   LCALL   INIT_LCD

        MOV      LCD_ADDR,#00H
        LCALL   SET_ADDR_LCD
        MOV      DPTR,#TXTFREQ
        LCALL   WRLINE_LCD

```

```

FREQ1:  MOV      LCD_ADDR,#40H
        LCALL   SET_ADDR_LCD
        MOV      DPTR,#TXTHz
        LCALL   WRLINE_LCD

```

```

        MOV      R0,#FR+0
        MOV      R5,RANG
        MOV      R6,#48H
RES:    MOV      LCD_ADDR,R6
        LCALL   SET_ADDR_LCD      ;Send position to LCD
        MOV      A,@R0
        MOV      R4,A      ;Keep value in R4
        ACALL   SHOF

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        INC      R6                ;Next value
        INC      R0                ;Next position
        CJNE    R6,#04EH,RES      ;Address = 04EH : Exit loop

FREQ3:  MOV      R0,FR+0          ;Set initial Frequency value
        MOV      R1,FR+1          ;Set initial Frequency value
        MOV      R2,FR+2          ;Set initial Frequency value
        MOV      R3,FR+3          ;Set initial Frequency value
        MOV      R5,RANG          ;Set initial Rang value
        MOV      R6,POSF          ;Set initial Position of LCD
        MOV      LCD_ADDR,R6
        LCALL   SET_ADDR_LCD     ;Send position to LCD
        LJMP    KEYF             ;Scan key

SHOF:   CJNE    R6,#04CH,SHOF1    ;Check address of LCD
        SJMP    SHOF8            ;If address is 04CH, pass away
SHOF1:  CJNE    R6,#04DH,SHOF4
        CJNE    R5,#0BH,SHOF2
        MOV     A,#20H            ;If address = 04D, RANG = 0BH: put
space
        SJMP    SHOF7
SHOF2:  CJNE    R5,#0CH,SHOF3
        MOV     A,#6BH            ;If address = 04D, RANG = 0CH: put 'k'
        SJMP    SHOF7
SHOF3:  MOV     A,#4DH
        SJMP    SHOF7
SHOF4:  CJNE    R6,#04BH,SHOF5
        CJNE    R4,#0AH,SHOF6
        MOV     A,#20H            ;If address = 04BH, value = 0AH: put
space
        SJMP    SHOF7
SHOF5:  CJNE    R4,#0AH,SHOF6
        MOV     A,#2EH            ;Other address, other value = 0Ah: put
        SJMP    SHOF7
SHOF6:  MOV     A,R4              ;Other address, other value: put 0-9
        ORL    A,#30H            ;Enter ACCII code
SHOF7:  MOV     LCD_DATA,A
        LCALL   WRCHAR_LCD       ;Show the data on display
        LCALL   LCD_BLINK
SHOF8:  RET

; ***** CHECK KEY *****
KEYF:   LCALL   KEY              ;Scan key
        ANL    A,#0FH

KEYUP:  CJNE    A,#02H,UPOSI1_3   ;Check key Up
UPOSI1: CJNE    R6,#048H,UPOSI2   ;Check address 048H = 09H
        CJNE    R0,#09H,UPOSI1_1 ;If value in address 048H = 09H
        MOV     R0,#01H          ;Change to 01H
        SJMP    UPOSI1_2
UPOSI1_1:INC    R0                ;Other value add one
UPOSI1_2:MOV    A,R0
        MOV     R4,A              ;Show on display
        LCALL   SHOF
        LJMP    KEYF             ;Scan key again
UPOSI1_3:LJMP   KEYDONW

UPOSI2: CJNE    R6,#049H,UPOSI3   ;Check address = 049H
        CJNE    R5,#0BH,UPOSI2_2 ;Check Rang 'Hz'

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CJNE    R1,#09H,UPOSI2_1
MOV     R1,#0H
SJMP    UPOSI2_7

UPOSI2_1:INC    R1
SJMP    UPOSI2_7

UPOSI2_2:CJNE   R5,#0DH,UPOSI2_4
CJNE   R0,#01H,UPOSI2_4
CJNE   R1,#0AH,UPOSI2_3
MOV    R1,#0H
SJMP   UPOSI2_7

UPOSI2_3:MOV    R1,#0AH
SJMP    UPOSI2_7

UPOSI2_4:CJNE   R2,#0AH,UPOSI2_5
CJNE   R1,#09H,UPOSI2_6
MOV    R1,#0H
SJMP   UPOSI2_7

UPOSI2_5:CJNE   R1,#0AH,UPOSI2_6
MOV    R1,#0H
SJMP   UPOSI2_7

UPOSI2_6:INC    R1

UPOSI2_7:MOV    A,R1
MOV    R4,A
LCALL SHOF
SJMP   KEYF

UPOSI3: CJNE   R6,#04AH,UPOSI4
CJNE   R5,#0DH,UPOSI3_3
CJNE   R0,#1H,UPOSI3_3
CJNE   R1,#0AH,UPOSI3_2
CJNE   R2,#09H,UPOSI3_1
MOV    R2,#0H
SJMP   UPOSI3_6

UPOSI3_1:INC    R2
SJMP   UPOSI3_6

UPOSI3_2:MOV    R2,#0AH
SJMP   UPOSI3_6

UPOSI3_3:CJNE   R1,#0AH,UPOSI3_4
CJNE   R2,#09H,UPOSI3_5
MOV    R2,#0H
SJMP   UPOSI3_6

UPOSI3_4:CJNE   R2,#0AH,UPOSI3_5
MOV    R2,#0H
SJMP   UPOSI3_6

UPOSI3_5:INC    R2

UPOSI3_6:MOV    A,R2
MOV    R4,A
LCALL SHOF
LJMP   KEYF

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

UPOSI4: CJNE    R6,#04BH,UPOSI5
        CJNE    R5,#0DH,UPOSI4_1
        CJNE    R0,#1H,UPOSI4_1
        CJNE    R1,#0AH,UPOSI4_1
        MOV     R3,#0H
        SJMP    UPOSI4_3

UPOSI4_1:CJNE  R3,#0AH,UPOSI4_2
        MOV     R3,#0H
        SJMP    UPOSI4_3

UPOSI4_2:INC   R3

UPOSI4_3:MOV   A,R3
        MOV     R4,A
        LCALL  SHOF
        LJMP   KEYF

UPOSI5: CJNE    R6,#04DH,UPOSI5_2
        CJNE    R5,#0DH,UPOSI5_1
        MOV     R5,#0BH
        LCALL  SHOF
        LJMP   KEYF

UPOSI5_1:INC   R5
        LCALL  SHOF

UPOSI5_2:LJMP  KEYF

KEYDONW:CJNE  A,#01H,DPOSI1_3
DPOSI1: CJNE  R6,#048H,DPOSI2
        CJNE  R0,#01H,DPOSI1_1
        MOV   R0,#09H
        SJMP  DPOSI1_2

DPOSI1_1:DEC  R0

DPOSI1_2:MOV  A,R0
        MOV   R4,A
        LCALL SHOF
        LJMP  KEYF

DPOSI1_3:LJMP KEYLEFT
DPOSI2:  CJNE R6,#049H,DPOSI3
        CJNE R5,#0BH,DPOSI2_2
        CJNE R1,#0H,DPOSI2_1
        MOV  R1,#09H
        SJMP DPOSI2_7

DPOSI2_1:DEC  R1
        SJMP  DPOSI2_7

DPOSI2_2:CJNE R5,#0DH,DPOSI2_4
        CJNE R0,#01H,DPOSI2_4
        CJNE R1,#00H,DPOSI2_3
        MOV  R1,#0AH
        SJMP DPOSI2_7

DPOSI2_3:MOV  R1,#00H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        SJMP      DPOSI2_7

DPOSI2_4:CJNE  R2,#0AH,DPOSI2_5
        CJNE    R1,#0H,DPOSI2_6
        MOV     R1,#09H
        SJMP    DPOSI2_7

DPOSI2_5:CJNE  R1,#0H,DPOSI2_6
        MOV     R1,#0AH
        SJMP    DPOSI2_7

DPOSI2_6:DEC   R1

DPOSI2_7:MOV   A,R1
        MOV    R4,A
        LCALL SHOF
        LJMP   KEYF

DPOSI3: CJNE   R6,#04AH,DPOSI4
        CJNE   R5,#0DH,DPOSI3_3
        CJNE   R0,#1H,DPOSI3_3
        CJNE   R1,#0AH,DPOSI3_2
        CJNE   R2,#00H,DPOSI3_1
        MOV    R2,#09H
        SJMP   DPOSI3_6

DPOSI3_1:DEC   R2
        SJMP   DPOSI3_6

DPOSI3_2:MOV   R2,#0AH
        SJMP   DPOSI3_6

DPOSI3_3:CJNE  R1,#0AH,DPOSI3_4
        CJNE  R2,#00H,DPOSI3_5
        MOV   R2,#09H
        SJMP DPOSI3_6

DPOSI3_4:CJNE  R2,#0H,DPOSI3_5
        MOV   R2,#0AH
        SJMP DPOSI3_6

DPOSI3_5:DEC   R2

DPOSI3_6:MOV   A,R2
        MOV   R4,A
        LCALL SHOF
        LJMP   KEYF

DPOSI4: CJNE   R6,#04BH,DPOSI5
        CJNE   R5,#0DH,DPOSI4_1
        CJNE   R0,#1H,DPOSI4_1
        CJNE   R1,#0H,DPOSI4_1
        MOV   R3,#0H
        SJMP DPOSI4_3

DPOSI4_1:CJNE  R3,#0H,DPOSI4_2
        MOV   R3,#0AH
        SJMP DPOSI4_3

DPOSI4_2:DEC   R3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DPOSI4_3:MOV    A,R3
            MOV    R4,A
            LCALL  SHOF
            LJMP   KEYF

DPOSI5: CJNE   R6,#04DH,DPOSI5_2
            CJNE   R5,#0BH,DPOSI5_1
            MOV    R5,#0DH
            LCALL  SHOF
            LJMP   KEYF

DPOSI5_1:DEC    R5
            LCALL  SHOF

DPOSI5_2:LJMP   KEYF

KEYLEFT:CJNE   A,#03H,KEYRIGH    ;Check key Left
LPOSI1:CJNE    R6,#048H,LPOSI1_1
            LJMP   KEYF

LPOSI1_1:CJNE   R6,#04DH,LPOSI1_2
            MOV    R6,#04BH
            MOV    LCD_ADDR,R6
            LCALL  SET_ADDR_LCD
            LJMP   KEYF

LPOSI1_2:DEC    R6
            MOV    LCD_ADDR,R6
            LCALL  SET_ADDR_LCD
            LJMP   KEYF

KEYRIGH:CJNE   A,#04H,KEYENTER    ;Check Key Right
RPOSI1: CJNE   R6.#04DH,RPOSI1_1
            LJMP   KEYF

RPOSI1_1:CJNE   R6,#04BH,RPOSI1_2
            MOV    R6,#04DH
            MOV    LCD_ADDR,R6
            LCALL  SET_ADDR_LCD
            LJMP   KEYF

RPOSI1_2:INC    R6
            MOV    LCD_ADDR,R6
            LCALL  SET_ADDR_LCD

RPOSI1_3:LJMP   KEYF

KEYENTER:CJNE   A,#0H,RPOSI1_3    ;Check key Enter
            MOV    FR+0,R0          ;Keep data in buffer
            MOV    FR+1,R1
            MOV    FR+2,R2
            MOV    FR+3,R3
            MOV    RANG,R5
            MOV    POSF,R6

```

; ***** RANG SEPARATE *****

```

RANG_Hz: CJNE   R5,#0BH,RANG_KHz
            CJNE   R2,#0AH,RANG_Hz1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV R7,#0H ;10Hz - 99Hz = 0GH
SJMP XRANG
RANG_Hz1:CJNE R3,#0AH,RANG_Hz2 ;100Hz - 999Hz = 01H
MOV R7,#1H
SJMP XRANG
RANG_Hz2:MOV R7,#2H
SJMP XRANG

RANG_KHz:CJNE R5,#0CH,RANG_MHz
CJNE R1,#0AH,RANG_KHz1
MOV R7,#2H ;1kHz - 10kHz = 02H
SJMP XRANG
RANG_KHz1:CJNE R2,#0AH,RANG_KHz2
MOV R7,#3H ;10kHz - 99kHz = 03H
SJMP XRANG
RANG_KHz2:CJNE R3,#0AH,RANG_KHz3 ;100kHz - 999kHz = 04H
MOV R7,#4H
SJMP XRANG
RANG_KHz3:MOV R7,#5H
SJMP XRANG

RANG_MHz:CJNE R1,#0AH,RANG_MHz1 ;1MHz - 10MHz = 05H
MOV R7,#5H
SJMP XRANG
RANG_MHz1:MOV LCD_ADDR,#40H
LCALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#ERROR_V
LCALL WRLINE_LCD
LCALL DELAY_1s
LJMP FREQ

; ***** SEND RANG *****

XRANG: MOV P0,R7
MOV P2,#06H
LCALL DELAY_10ms

; -----

KEEP_F: MOV FRE+2,R0
CJNE R1,#0AH,KEEP_F1
MOV FRE+1,R2
SJMP KEEP_F2
KEEP_F1:MOV FRE+1,R1
CJNE R2,#0AH,KEEP_F3
KEEP_F2:MOV FRE+0,R3
SJMP HEX_DEC
KEEP_F3:MOV FRE+0,R2

; -----

HEX_DEC:
MOV A,FRE+2
MOV B,#064H
MUL AB
MOV ADD16A+0,A
MOV ADD16A+1,B

MOV A,FRE+1
MOV B,#0AH
MUL AB

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV     ADD16B+0,A
MOV     ADD16B+1,B
LCALL  ADD

MOV     A,FRE+0
MOV     B,#01H
MUL    AB
MOV     ADD16B+0,A
MOV     ADD16B+1,B
MOV     ADD16A+0,ADD16+0
MOV     ADD16A+1,ADD16+1
LCALL  ADD

```

***** COMPENSATE FREQUENCY VALUE *****

```

MOV     A,R7
MOV     SUB16A+1,#00H

CFR1:   CJNE   A,#00H,CFR2
        MOV    A,FRE+2
        CJNE   A,#01H,CFVR1
        MOV    SUB16A+0,#017H
        LJMP  SUB
CFVR1:  CJNE   A,#02H,CFVR1C
        MOV    SUB16A+0,#026H
        LJMP  SUB
CFVR1C: MOV    SUB16A+0,#032H
        LJMP  SUB

CFR2:   CJNE   A,#01H,CFR3
        MOV    A,FRE+2
        CJNE   A,#01H,CFVR2
        MOV    SUB16A,#012H
        SJMP  SUB
CFVR2:  CJNE   A,#02H,CFVR2C
        MOV    SUB16A,#01EH
        SJMP  SUB
CFVR2C: MOV    SUB16A,#033H
        SJMP  SUB

CFR3:   CJNE   A,#02H,CFR4
        MOV    A,FRE+2
        CJNE   A,#01H,CFVR3
        MOV    SUB16A,#011H
        SJMP  SUB
CFVR3:  CJNE   A,#02H,CFVR3C
        MOV    SUB16A,#014H
        SJMP  SUB
CFVR3C: MOV    SUB16A,#025H
        SJMP  SUB

CFR4:   CJNE   A,#03H,CFR5
        MOV    A,FRE+2
        CJNE   A,#01H,CFVR4C
        MOV    SUB16A,#010H
        SJMP  SUB
CFVR4:  CJNE   A,#02H,CFVR4
        MOV    SUB16A,#17H
        SJMP  SUB
CFVR4C: MOV    SUB16A,#025H
        SJMP  SUB

```

```

CFR5:  CJNE    A, #04H, CFR6
        MOV     A, FRE+2
        CJNE    A, #01H, CFVR5
        MOV     SUB16A, #014H
        SJMP    SUB
CFVR5:  CJNE    A, #02H, CFVR5C
        MOV     SUB16A, #01CH
        SJMP    SUB
CFVR5C: MOV     SUB16A, #027H
        SJMP    SUB

CFR6:  CJNE    A, #05H, CFRA
        MOV     A, FRE+2
        CJNE    A, #01H, CFVR6
        MOV     SUB16A, #11H
        SJMP    SUB
CFVR6:  CJNE    A, #02H, CFVR6C
        MOV     SUB16A, #01AH
        SJMP    SUB
CFVR6C: MOV     SUB16A, #05H
        SJMP    SUB

CFRA:  MOV     SUB16A, #010H

```

```

-----
SUB:   PUSH    ACC
        PUSH    0
        PUSH    1
        MOV     R0, #ADD16
        MOV     R1, #SUB16A
        CLR     C
        MOV     A, @R0
        SUBB    A, @R1
        MOV     ADD16+0, A
        INC     R0
        INC     R1
        MOV     A, @R0
        SUBB    A, @R1
        MOV     ADD16+1, A
        POP     1
        POP     0
        POP     ACC
        LJMP   CALCU

```

```

-----
ADD:   PUSH    ACC
        PUSH    0
        PUSH    1
        MOV     R0, #ADD16A
        MOV     R1, #ADD16B
        MOV     A, @R0
        ADD     A, @R1
        MOV     ADD16+0, A
        INC     R0
        INC     R1
        MOV     A, @R0
        ADDC   A, @R1
        MOV     ADD16+1, A
        POP     1

```

```
POP    0
POP    ACC
RET
```

```
; -----
; MULTIPLEX    R4R5R6R7 = ADD16 * DPTR
```

```
DPMUL:    PUSH    ACC
           PUSH    PSW
           CLR     C
           CLR     A
           MOV     R4,A
           MOV     R5,A
           MOV     R6,A
           MOV     R7,A
```

```
DPMUL1:   MOV     A,DPL
           SUBB   A,#01H
           MOV     DPL,A
           MOV     A,DPH
           SUBB   A,#0H
           MOV     DPH,A
           JC     DPMUL2
```

```
MOV     A,R7
ADD     A,ADD16+0
MOV     R7,A
MOV     A,R6
ADDC   A,ADD16+1
MOV     R6,A
MOV     A,R5
ADDC   A,#0H
MOV     R5,A
MOV     A,R4
ADDC   A,#0H
MOV     R4,A
SJMP   DPMUL1
```

```
DPMUL2:   POP     PSW
           POP     ACC
           RET
```

```
; ***** DPDIV SUB *****
; Divide    FVAL = R4R5R6R7 / R2R3
```

```
DPDIV:    PUSH    ACC
           PUSH    PSW
           MOV     FVAL+0,#00
           MOV     FVAL+1,#00
DIVIDE1:  CLR     C
           MOV     A,R7
           SUBB   A,R3
           MOV     R7,A
           MOV     A,R6
           SUBB   A,R2
           MOV     R6,A
           MOV     A,R5
           SUBB   A,#00
           MOV     R5,A
           MOV     A,R4
           SUBB   A,#00
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV     R4,A
JC      DIVIDE2
MOV     A,FVAL+0
ADD     A,#01
MOV     FVAL+0,A
MOV     A,FVAL+1
ADDC   A,#00
MOV     FVAL+1,A
SJMP   DIVIDE1
DIVIDE2: POP  PSW
        POP  ACC
        RET

```

```

-----
CALCU:  MOV     DPTR,#k1
        LCALL  DPMUL
        MOV     DPTR,#q1
        MOV     R3,DPL
        MOV     R2,DPH
        LCALL  DPDIV

```

```

-----
***** SEND FREQUENCY VALUE TO PORT *****

```

```

VALEND: MOV     P0,FVAL+0
        MOV     P2,#01H
        LCALL  DELAY_10ms
        MOV     P2,#0FH

        MOV     P0,FVAL+1
        MOV     P2,#02H
        LCALL  DELAY_10ms
        MOV     P2,#0FH
        LJMP   START

```

```

-----
***** AMPLIJUDE SETING *****

```

```

AMP:    LCALL  INIT_LCD

        MOV     LCD_ADDR,#00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD
        MOV     DPTR,#TXTAMP
        LCALL  WRLINE_LCD

AMP1:   MOV     LCD_ADDR,#40H
        LCALL  SET_ADDR_LCD
        MOV     DPTR,#TXTVOLT
        LCALL  WRLINE_LCD

        MOV     R6,#048H
        MOV     LCD_ADDR,R6
        LCALL  SET_ADDR_LCD

        MOV     A,AMPV+2
        CJNE   A,#00H,A1
        MOV     A,#20H
        SJMP   A2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

A1: ORL      A, #30H
A2: MOV      LCD_DATA, A
      LCALL   WRCHAR_LCD

      LCALL   LCD_RSHF
      MOV     A, AMPV+1
      ORL    A, #30H
      MOV     LCD_DATA, A
      LCALL   WRCHAR_LCD

      LCALL   LCD_RSHF
      LCALL   LCD_RSHF
      MOV     A, AMPV+0
      ORL    A, #30H
      MOV     LCD_DATA, A
      LCALL   WRCHAR_LCD

      MOV     LCD_ADDR, R6
      LCALL   SET_ADDR_LCD
      LCALL   LCD_BLINK

KEYA:  LCALL   KEY
      ANL    A, #0FH

A_U1_1: CJNE  A, #02H, A_D1_1
      CJNE  R6, #48H, A_U2_1
      MOV   A, AMPV+2

      CJNE  A, #2H, A_U1_2
      MOV   A, #20H
      MOV   AMPV+2, #00H
      SJMP A_U1_4

A_U1_2: CJNE  A, #1H, A_U1_3
      MOV   A, #32H
      MOV   AMPV+2, #02H
      SJMP A_U1_4

A_U1_3: MOV   A, #31H
      MOV   AMPV+2, #01H

A_U1_4: MOV   LCD_DATA, A
      LCALL   WRCHAR_LCD
      LCALL   LCD_BLINK
      SJMP   KEYA

A_U2_1: CJNE  R6, #049H, A_U3_1
      MOV   A, AMPV+1
      CJNE  A, #9H, A_U2_3
      MOV   R2, AMPV+2
      CJNE  R2, #0H, A_U2_2
      MOV   A, #1H
      MOV   AMPV+1, A
      SJMP A_U2_4

A_U2_2: MOV   A, #0H
      MOV   AMPV+1, A
      SJMP A_U2_4

A_U2_3: INC   A
      MOV   AMPV+1, A

A_U2_4: ORL   A, #30H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV     LCD_DATA,A
LCALL  WRCHAR_LCD
LCALL  LCD_BLINK
SJMP   KEYA

A_U3_1: CJNE   R6,#04BH,KEYA
MOV     A,AMPV+0
CJNE   A,#5H,A_U3_2
MOV     A,#0H
MOV     AMPV+0,A
SJMP   A_U2_4
A_U3_2: MOV     A,#5H
MOV     AMPV+0,A
SJMP   A_U2_4

A_D1_1: CJNE   A,#01H,A_R1_1
CJNE   R6,#048H,A_D2_1
MOV     A,AMPV+2

CJNE   A,#0H,A_D1_2
MOV     A,#32H
MOV     AMPV+2,#02H
SJMP   A_D1_4
A_D1_2: CJNE   A,#1H,A_D1_3
MOV     A,#20H
MOV     AMPV+2,#00H
SJMP   A_D1_4
A_D1_3: MOV     A,#31H
MOV     AMPV+2,#01H
A_D1_4: MOV     LCD_DATA,A
LCALL  WRCHAR_LCD
LCALL  LCD_BLINK
LJMP   KEYA

A_D2_1: CJNE   R6,#049H,A_D3_1
MOV     A,AMPV+1
MOV     R2,AMPV+2
CJNE   R2,#0H,A_D2_4
CJNE   A,#1H,A_D2_3
A_D2_2: MOV     A,#09H
MOV     AMPV+1,A
SJMP   A_D2_5
A_D2_3: DEC     A
MOV     AMPV+1,A
SJMP   A_D2_5
A_D2_4: CJNE   A,#0H,A_D2_3
SJMP   A_D2_2

A_D2_5: ORL    A,#30H
MOV     LCD_DATA,A
LCALL  WRCHAR_LCD
LCALL  LCD_BLINK
A_D2_5A: LJMP   KEYA

A_D3_1: CJNE   R6,#04BH,A_D2_5A
MOV     A,AMPV+0
CJNE   A,#0H,A_D3_2

```

```

MOV      A, #05H
MOV      AMPV+0, A
SJMP    A_D2_5
A_D3_2: MOV      A, #0H
MOV      AMPV+0, A
SJMP    A_D2_5

A_R1_1: CJNE    A, #04H, A_L1_1
CJNE    R6, #04BH, A_R1_2
SJMP    A_R1_4
A_R1_2: CJNE    R6, #049H, A_R1_3
MOV      R6, #04BH
SJMP    A_R1_4
A_R1_3: INC      R6
A_R1_4: MOV      LCD_ADDR, R6
LCALL   SET_ADDR_LCD
A_R1_4A: LJMP   KEYA

```

```

A_L1_1: CJNE    A, #03H, A_E1_1
CJNE    R6, #048H, A_L1_2
SJMP    A_L1_4
A_L1_2: CJNE    R6, #04BH, A_L1_3
MOV      R6, #049H
SJMP    A_L1_4
A_L1_3: DEC      R6
A_L1_4: MOV      LCD_ADDR, R6
LCALL   SET_ADDR_LCD
A_L1_4A: LJMP   KEYA

```

```

A_E1_1: CJNE    A, #0H, A_L1_4A
MOV      R4, AMPV+2
MOV      A, AMPV+1
SWAP    A
MOV      R3, A
MOV      A, AMPV+0
ORL     A, R3
MOV      A, R3
LCALL   DTOH

```

```

MOV      A, MD_WV
ANL     A, #018H
CJNE    A, 018H, AMPT

```

```

AS00:    CJNE    R4, #00H, AS100
MOV      A, DPL
MOV      B, #05H
DIV     AB
SUBB    A, #2H
MOV      DPTR, #TABLE_SINO
MOVC    A, @A+DPTR
LJMP    AMPEND

```

```

TABLE_SINO: DB 06H, 0AH, 011H, 017H, 01DH
DB 023H, 029H, 02EH, 035H, 03AH, 040H
DB 046H, 04CH, 052H, 058H, 05EH, 064H, 06AH

```

```

AS100:   CJNE    R4, #01H, AS200
MOV      A, DPL
MOV      B, #05H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DIV      AB
MOV      DPTR, #TABLE_SIN1
MOVC     A, @A+DPTR
LJMP     AMPEND
TABLE_SIN1:
DB       06FH, 075H, 07BH, 081H, 088H
DB       08DH, 092H, 097H, 09BH, 0A1H, 0AAH, 0B1H
DB       0B7H, 0BDH, 0C2H, 0C7H, 0CFH, 0D2H, 0D8H, 0DEH

AS200A:  LJMP     AMP
AS200:   CJNE     R4, #02H, AS200A
         CJNE     R5, #00H, AS200A
         MOV      R6, #0E3H
         LJMP     AMPEND

AMPT:    CJNE     A, #08H, AMPALL
         CJNE     R4, #00H, AT100
         MOV      A, DPL
         MOV      B, #05H
         DIV      AB
         SUBB     A, #2H
         MOV      DPTR, #TABLE_TRIO
         MOVC     A, @A+DPTR
         LJMP     AMPEND
TABLE_TRIO:
DB       06H, 0CH, 012H, 01EH, 01FH
DB       025H, 02BH, 031H, 037H, 03DH, 043H
DB       049H, 04FH, 055H, 05BH, 062H, 068H, 06DH

AT100:   CJNE     R4, #01H, AT200
         MOV      A, DPL
         MOV      B, #05H
         DIV      AB
         MOV      DPTR, #TABLE_TRI1
         MOVC     A, @A+DPTR
         LJMP     AMPEND
TABLE_TRI1:
DB       075H, 07BH, 081H, 087H
DB       08EH, 093H, 098H, 09DH, 0A1H, 0A7H, 0B0H
DB       0B7H, 0BDH, 0C3H, 0C8H, 0CDH, 0D5H, 0D8H, 0DEH, 0E7H

AT200A:  LJMP     AMP
AT200:   CJNE     R4, #02H, AT200A
         CJNE     R5, #00H, AT200A
         MOV      R6, #0EDH
         LJMP     AMPEND

AMPALL:  CJNE     R4, #00H, AA100
         MOV      A, DPL
         MOV      B, #05H
         DIV      AB
         SUBB     A, #2H
         MOV      DPTR, #TABLE_ALLO
         MOVC     A, @A+DPTR
         LJMP     AMPEND
TABLE_ALLO:
DB       05H, 0BH, 010H, 016H, 01BH
DB       022H, 027H, 02DH, 033H, 038H, 03DH
DB       043H, 049H, 04EH, 054H, 05AH, 060H, 066H

AA100:   CJNE     R4, #01H, AA200
         MOV      A, DPL
         MOV      B, #05H
         DIV      AB
         MOV      DPTR, #TABLE_ALL1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV C    A,@A+DPTR
LJMP    AMPEND
TABLE_ALL1: DB    06BH,071H,077H,07DH
           DB    084H,089H,08EH,093H,097H,09DH,0A6H
           DB    0ADH,0B3H,0B9H,0BEH,0C3H,0CBH,0CEH,0D4H,0DAH

AA200A:   LJMP    AMP
AA200:    CJNE   R4,#02H,AA200A
           CJNE   R5,#00H,AA200A
           MOV    R6,#0DFH

```

```

; ***** SEND AMPLITUDE *****

```

```

AMPEND:   MOV    P0,A
           MOV    P2,#03H
           LCALL  DELAY_10ms
           MOV    P2,#0FH
           LJMP  START

```

```

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

```

```

DUTY:     LCALL  INIT_LCD

           MOV    LCD_ADDR,#00H
           LCALL  SET_ADDR_LCD ;Send text to first line
           MOV    DPTR,#TXTDUTY
           LCALL  WRLINE_LCD

           MOV    LCD_ADDR,#40H
           LCALL  SET_ADDR_LCD ;Send text to 2nd line
           MOV    DPTR,#TXTDUTL2
           LCALL  WRLINE_LCD

DUTRDY:   MOV    R6,#048H
           MOV    LCD_ADDR,R6
           LCALL  SET_ADDR_LCD
           MOV    A,DUTYV+0
           ORL   A,#30H
           MOV    LCD_DATA,A
           LCALL  WRCHAR_LCD

           LCALL  LCD_RSHF
           MOV    A,DUTYV+1
           ORL   A,#30H
           MOV    LCD_DATA,A
           LCALL  WRCHAR_LCD

           MOV    LCD_ADDR,R6
           LCALL  SET_ADDR_LCD
           LCALL  LCD_BLINK

KEYD:     LCALL  KEY
           ANL   A,#0FH

```

```

KEYD_U:   CJNE   A,#02H,KEYD_D
           CJNE   R6,#048H,D_U1_2
           MOV    A,DUTYV+0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        CJNE    A, #8H, D_U1_0
        MOV     A, #1H
        SJMP    D_U1_1
D_U1_0: INC     A
D_U1_1: MOV     DUTYV+0, A
        ANL    A, #0FH
        ORL    A, #30H
        MOV    LCD_DATA, A
        LCALL  WRCHAR_LCD
        LCALL  LCD_BLINK
        SJMP   KEYD

D_U1_2: MOV     A, DUTYV+1
        MOV    R1, DUTYV+0
        CJNE  A, #9H, D_U1_5
        CJNE  R1, #1H, D_U1_3
        MOV    A, #5H
        SJMP  D_U1_4
D_U1_3: MOV     A, #1H
D_U1_4: MOV     DUTYV+1, A
        ANL    A, #0FH
        ORL    A, #30H
        MOV    LCD_DATA, A
        LCALL  WRCHAR_LCD
        LCALL  LCD_BLINK
        SJMP   KEYD
D_U1_5: INC     A
        SJMP  D_U1_4

KEYD_D: CJNE  A, #01H, KEYD_R
        CJNE  R6, #048H, D_D1_2
        MOV   A, DUTYV+0
        CJNE  A, #1H, D_D1_1
        MOV   A, #8H
        SJMP  D_U1_1
D_D1_1: DEC     A
        SJMP  D_U1_1
D_D1_2: MOV     A, DUTYV+1
        MOV   R1, DUTYV+0
        CJNE  R1, #1H, D_D1_4
        CJNE  A, #5H, D_D1_3
        MOV   A, #9H
        SJMP  D_U1_4
D_D1_3: DEC     A
        SJMP  D_U1_4
D_D1_4: CJNE  A, #0H, D_D1_3
        MOV   A, #9H
        SJMP  D_U1_4

KEYD_R: CJNE  A, #4H, KEYD_L
        MOV   R6, #049H
        SJMP  D_L1_1

KEYD_L: CJNE  A, #3H, KEYD_E
        MOV   R6, #048H
D_L1_1: MOV     A, R6
        MOV   LCD_ADDR, A
        LCALL  SET_ADDR_LCD

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

D_L1_1A:LJMP    KEYD

KEYD_E: CJNE    A,#0H,D_L1_1A
          CLR    C
          MOV    A,DUTYV+0
          SWAP   A
          ORL    A,DUTYV+1
          MOV    R0,A
          SUBB   A,#86H
          JNC    D_Er_V
          CLR    C
          MOV    A,R0
          SUBB   A,#15H
          JC     D_Er_L
          MOV    DPTR,#TABLE_D
          MOVC   A,@A+DPTR

```

```

; ***** SEND DUTY CYCLE *****

```

```

          MOV    P0,A
          MOV    P2,#04H
          LCALL  DELAY_10ms
          MOV    P2,#0FH
          LJMP   START

```

```

D_Er_V: MOV    LCD_ADDR,#40H
          LCALL  SET_ADDR_LCD
          MOV    DPTR,#ERROR_V
          LCALL  WRLINE_LCD
          LCALL  DELAY_1s
          LJMP   DUTY

```

```

D_Er_L: MOV    LCD_ADDR,#40H
          LCALL  SET_ADDR_LCD
          MOV    DPTR,#ERROR_L
          LCALL  WRLINE_LCD
          LCALL  DELAY_1s
          LJMP   DUTY

```

```

TABLE_D: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

```

```

; -----
; ***** OFFSET VOLTAGE *****

```

```

OFFS:  LCALL  INIT_LCD
          MOV    LCD_ADDR,#00H
          LCALL  SET_ADDR_LCD           ;Send text to first line
          MOV    DPTR,#TXTOFFSET
          LCALL  WRLINE_LCD

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV     LCD_ADDR,#40H
LCALL  SET_ADDR_LCD           ;Send text to 2nd line
MOV     DPTR,#TXTOFFL2
LCALL  WRLINE_LCD

OFFRDY: MOV     R6,#048H
MOV     LCD_ADDR,R6
LCALL  SET_ADDR_LCD
MOV     A,OFFSET+2
MOV     LCD_DATA,A
LCALL  WRCHAR_LCD

LCALL  LCD_RSHP
MOV     A,OFFSET+1
ORL     A,#30H
MOV     LCD_DATA,A
LCALL  WRCHAR_LCD

LCALL  LCD_RSHP
LCALL  LCD_RSHP
MOV     A,OFFSET+0
ORL     A,#30H
MOV     LCD_DATA,A
LCALL  WRCHAR_LCD

MOV     LCD_ADDR,R6
LCALL  SET_ADDR_LCD
LCALL  LCD_BLINK

KEYO:   LCALL  KEY
        ANL   A,#0FH

KEYO_U: CJNE   A,#02H,KEYO_D
        CJNE  R6,#048H,O_U2_1
        MOV   A,OFFSET+2
        CJNE  A,#2BH,O_U1_2
        MOV   A,#2DH
O_U1_1: MOV   OFFSET+2,A
        MOV   LCD_DATA,A
        LCALL WRCHAR_LCD
        LCALL LCD_BLINK
        SJMP  KEYO

O_U1_2: MOV   A,#2BH
        SJMP  O_U1_1

O_U2_1: CJNE  R6,#049H,O_U3_1
        MOV   A,OFFSET+1
        CJNE  A,#5H,O_U2_3
        MOV   A,#0H
O_U2_2: MOV   OFFSET+1,A
        ORL   A,#30H
        MOV   LCD_DATA,A
        LCALL WRCHAR_LCD
        LCALL LCD_BLINK
        SJMP  KEYO

O_U2_3: INC   A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        SJMP      O_U2_2

O_U3_1: CJNE    R6,#04BH,KEYO
        MOV     A,OFFSET+0
        CJNE    A,#05H,O_U3_3
        MOV     A,#0H
O_U3_2: MOV     OFFSET+0,A
        ORL    A,#30H
        MOV     LCD_DATA,A
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK
        SJMP    KEYO

O_U3_3: MOV     A,#05H
        SJMP    O_U3_2

KEYO_D: CJNE    A,#01H,KEYO_R
        CJNE    R6,#048H,O_D2_1
        MOV     A,OFFSET+2
        CJNE    A,#2DH,O_D1_2
        MOV     A,#2BH

O_D1_1: MOV     OFFSET+2,A
        MOV     LCD_DATA,A
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK
        LJMP    KEYO

O_D1_2: MOV     A,#2DH
        SJMP    O_D1_1

O_D2_1: CJNE    R6,#049H,O_D3_1
        MOV     A,OFFSET+1
        CJNE    A,#0H,O_D2_3
        MOV     A,#5H

O_D2_2: MOV     OFFSET+1,A
        ORL    A,#30H
        MOV     LCD_DATA,A
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK
O_D2_2A: LJMP    KEYO

O_D2_3: DEC     A
        SJMP    O_D2_2

O_D3_1: CJNE    R6,#04BH,O_D2_2A
        MOV     A,OFFSET+0
        CJNE    A,#0H,O_D3_3
        MOV     A,#05H

O_D3_2: MOV     OFFSET+0,A
        ORL    A,#30H
        MOV     LCD_DATA,A
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK
        LJMP    KEYO

O_D3_3: MOV     A,#0H
        SJMP    O_D3_2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

KEYO_R: CJNE    A,#04H,KEYO_L
        CJNE    R6,#049H,O_R1_0
        MOV     R6,#04BH
O_R1_0: CJNE    R6,#04BH,O_R1_2
O_R1_1: MOV     LCD_ADDR,R6
        LCALL  SET_ADDR_LCD
        LJMP   KEYO
O_R1_2: INC     R6
        SJMP   O_R1_1

```

```

KEYO_L: CJNE    A,#03H,KEYO_E
        CJNE    R6,#04BH,O_L1_0
        MOV     R6,#049H
        SJMP   O_L1_1
O_L1_0: CJNE    R6,#048H,O_L1_2
O_L1_1: MOV     LCD_ADDR,R6
        LCALL  SET_ADDR_LCD
O_L1_1A:LJMP   KEYO
O_L1_2: DEC     R6
        SJMP   O_L1_1

```

```

KEYO_E: CJNE    A,#0H,O_L1_1A
        MOV     A,OFFSET+1
        SWAP   A
        MOV     R3,OFFSET+0
        ORL    A,R3
        MOV     B,#05H
        DIV    AB
        MOV     DPTR,#TABLE_OFF
        MOVC   A,@A+DPTR

        MOV     R3,OFFSET+2
        CJNE   R3,#2BH,OFFEND
        CLR    C
        CPL    A

```

```

; ***** SEND OFFSET VOLTAGE *****

```

```

OFFEND: MOV     P0,A
        MOV     P2,#05H
        LCALL  DELAY_10ms
        MOV     P2,#0FH
        LJMP   START

```

```

TABLE_OFF:DB 080H,08DH,000H,099H
            DB 0A5H,000H,0B2H,0BEH
            DB 000H,0C9H,0D8H,000H
            DB 0E2H,0F3H,000H,0FAH

```

```

; -----
; ***** SCAN KEY *****

```

```

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

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RET

```
-----  
; ***** DTOH SUB *****  
; DECIMAL TO HEX  
; IN = R1,R2,R3  
; OUT = DPTR  
; REG = A,R0,R1,R2,R3,R4,R5,DPTR  
  
DTOH:   PUSH   5  
        PUSH   4  
        PUSH   2  
        PUSH   1  
        PUSH   0  
        PUSH   ACC  
        MOV    R1,#0  
        MOV    R2,#0  
        MOV    R4,#16  
DTOH1:  MOV    R5,#3           ;SHIFT & SUB  
        MOV    R0,#1         ;INDEX TO R1  
        CLR    C  
DTOH2:  MOV    A,@R0  
        RRC    A  
        PUSH  PSW           ;-[  
        JNB   ACC.7,DTOH3  
        CLR    C  
        SUBB  A,#30H  
DTOH3:  JNB   ACC.3,DTOH4  
        CLR    C  
        SUBB  A,#03H  
DTOH4:  MOV    @R0,A  
        INC   R0  
        POP   PSW           ;-]  
        DJNZ  R5,DTOH2  
  
        MOV   A,DPH  
        RRC   A  
        MOV   DPH,A  
        MOV   A,DPL  
        RRC   A  
        MOV   DPL,A  
        DJNZ  R4,DTOH1  
        POP   ACC  
        POP   0  
        POP   1  
        POP   2  
        POP   4  
        POP   5  
        RET  
  
-----  
; ***** LCD MANAGMENT *****  
;*****  
;LCD INITIALIZE  
;*****  
INIT_LCD:  ACALL  DELAY_100ms  
          CLR    LCD_RS
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV     P0,#00111000B
ACALL  LCD_CLK
ACALL  DELAY_10ms

MOV     P0,#00111000B
ACALL  LCD_CLK

ACALL  LCD_OFF
ACALL  LCD_CLR

MOV     P0,#00000110B
ACALL  LCD_CLK

ACALL  LCD_HOME
RET

```

```

;*****
;LCD CLEAR DISPLAY
;*****

```

```

LCD_CLR:  CLR     LCD_RS
          MOV     P0,#00000001B
          ACALL  LCD_CLK
          RET

```

```

;*****
;LCD RETURN HOME
;*****

```

```

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

```

```

;*****
;LCD DISPLAY OFF
;*****

```

```

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

```

```

;*****
;LCD CLK
;*****

```

```

LCD_CLK:  SETB    LCD_EN
          ACALL  LCD_DELAY
          CLR     LCD_EN
          ACALL  LCD_DELAY
          RET

```

```

;*****
;LCD DISPLAY ON
;*****

```

```

LCD_ON:   CLR     LCD_RS
          MOV     P0,#00001100B
          ACALL  LCD_CLK
          RET

```

```

;*****
;LCD CURSOR ON
;*****

```

```

LCD_BLINK: CLR     LCD_RS

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV     P0,#00001111B
ACALL  LCD_CLK
RET

```

```

;*****
;LCD LEFT SHIFT DISPLAY
;*****

```

```

LCD_LSHF:  CLR     LCD_RS
           MOV     P0,#00010000B
           ACALL  LCD_CLK
           RET

```

```

;*****
;LCD RIGHT SHIFT DISPLAY
;*****

```

```

LCD_RSHF:  CLR     LCD_RS
           MOV     P0,#00010100B
           ACALL  LCD_CLK
           RET

```

```

;*****
;SET LCD ADDRESS
;*****

```

```

SET_ADDR_LCD: CLR     LCD_RS
              MOV     A,LCD_ADDR
              SETB   ACC.7
              MOV     P0,A
              ACALL  LCD_CLK
              RET

```

```

;*****
;WRITE CHARACTER TO SHOW LCD
;*****

```

```

WRCHAR_LCD: SETB   LCD_RS
            MOV     P0,LCD_DATA
            ACALL  LCD_CLK
            ACALL  LCD_LSHF
            ACALL  LCD_ON
            RET

```

```

;*****
;WRITE LINE OF 16 CHARACTER FROM ROM
;*****

```

```

WRLINE_LCD: MOV     R0,#0
WRLINE_LCD_1: SETB   LCD_RS
              CLR     A
              MOVC   A,@A+DPTR
              MOV     P0,A
              ACALL  LCD_CLK
              INC     DPTR
              INC     R0
              CJNE   R0,#16,WRLINE_LCD_1
              ACALL  LCD_ON
              RET

```

```

WRLINE_LCD_3: MOV     R0,#0
WRLINE_LCD_4: SETB   LCD_RS
              CLR     A
              MOVC   A,@A+DPTR
              MOV     P0,A
              ACALL  LCD_CLK

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

INC     DPTR
INC     R0
CJNE   R0,#24,WRLINE_LCD_4
ACALL  LCD_ON
RET

```

```

;*****
;DUMMY 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

```

```

TXTFUNC:   DB     'FUNCTION'
TXTMODE:   DB     'MODE'
TXTWAVE:   DB     'WAVE'
TXTFREQ:   DB     'FREQUENCY'
TXTAMP:    DB     'AMPLITUDE'
TXTDUTY:   DB     'DUTY CYCLE'

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

TXTOFFSET:    DB      'OFFSET VOLTAGE  '
TXTINTERN:   DB      'INTERN MODE    '
TXTSWEEP:     DB      'SWEEP MODE     '
TXTFM:       DB      'FM MODE       '
TXTWAVE1:    DB      'WAVE FORM     '
TXTSINE:     DB      'SINE WAVE     '
TXTTRI:      DB      'TRIANGLE WAVE  '
TXTRECT:     DB      'RECTANGULAR WAVE'
TXTSAW:      DB      'SAWTOOTH WAVE  '
TXTPULSE:    DB      'PULSE SIGNAL   '
TXTHz:       DB      'VALUE = 10.0 Hz'
TXTVOLT:     DB      'VALUE = 1.0 Vpp'
TXTDUTL2:    DB      'VALUE = 15%    '
TXTOFFL2:    DB      'VALUE = +0.0 V  '
ERROR_V:     DB      'VALUES WAS OVER'
ERROR_L:     DB      'VALUES WAS LOWER'

```

END





ภาคผนวก ค.

รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD811

FEATURES

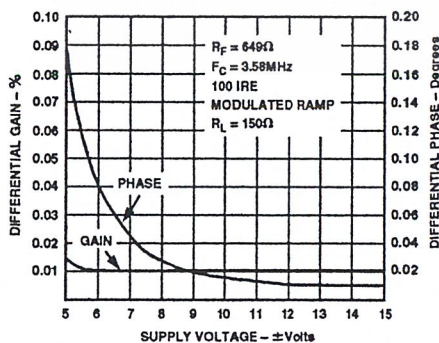
- High Speed**
 - 140 MHz Bandwidth (3 dB, G = +1)
 - 120 MHz Bandwidth (3 dB, G = +2)
 - 35 MHz Bandwidth (0.1 dB, G = +2)
 - 2500 V/ μ s Slew Rate
 - 25 ns Settling Time to 0.1% (For a 2 V Step)
 - 65 ns Settling Time to 0.01% (For a 10 V Step)
- Excellent Video Performance ($R_L = 150 \Omega$)**
 - 0.01% Differential Gain, 0.01° Differential Phase
 - Voltage Noise of 1.9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
- Low Distortion: THD = -74 dB @ 10 MHz**
- Excellent DC Precision**
 - 3 mV max Input Offset Voltage
- Flexible Operation**
 - Specified for ± 5 V and ± 15 V Operation
 - ± 2.3 V Output Swing into a 75 Ω Load ($V_S = \pm 5$ V)

APPLICATIONS

- Video Crosspoint Switchers, Multimedia Broadcast Systems
- HDTV Compatible Systems
- Video Line Drivers, Distribution Amplifiers
- ADC/DAC Buffers
- DC Restoration Circuits
- Medical—Ultrasound, PET, Gamma and Counter Applications

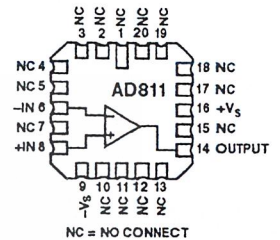
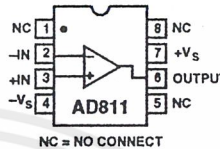
PRODUCT DESCRIPTION

The AD811 is a wideband current-feedback operational amplifier, optimized for broadcast quality video systems. The -3 dB bandwidth of 120 MHz at a gain of +2 and differential gain and phase of 0.01% and 0.01° ($R_L = 150 \Omega$) make the AD811 an excellent choice for all video systems. The AD811 is designed to meet a stringent 0.1 dB gain flatness specification to a bandwidth of 35 MHz ($G = +2$) in addition to the low differential gain and phase errors. This performance is achieved whether driving one or two back terminated 75 Ω cables, with a low power supply current of 16.5 mA. Furthermore, the AD811 is specified over a power supply range of ± 4.5 V to ± 18 V.

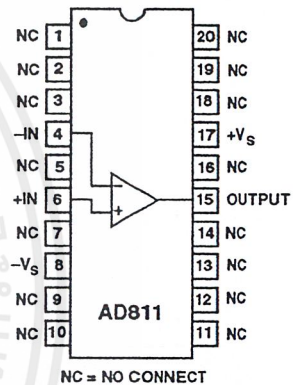
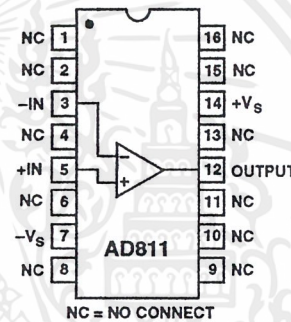


CONNECTION DIAGRAMS

- 8-Lead Plastic (N-8) Cerdip (Q-8) SOIC (SO-8) Packages
- 20-Lead LCC (E-20A) Package

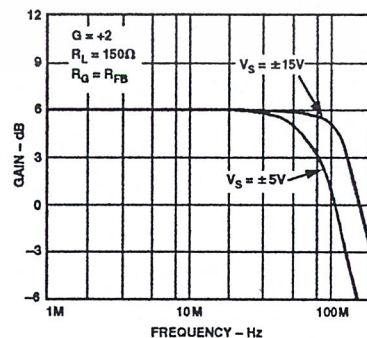


- 16-Lead SOIC (R-16) Package
- 20-Lead SOIC (R-20) Package



The AD811 is also excellent for pulsed applications where transient response is critical. It can achieve a maximum slew rate of greater than 2500 V/ μ s with a settling time of less than 25 ns to 0.1% on a 2 volt step and 65 ns to 0.01% on a 10 volt step.

The AD811 is ideal as an ADC or DAC buffer in data acquisition systems due to its low distortion up to 10 MHz and its wide unity gain bandwidth. Because the AD811 is a current feedback amplifier, this bandwidth can be maintained over a wide range of gains. The AD811 also offers low voltage and current noise of 1.9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ and 20 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$, respectively, and excellent dc accuracy for wide dynamic range applications.



REV. D

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
 Tel: 781/329-4700 World Wide Web Site: <http://www.analog.com>
 Fax: 781/326-8703 © Analog Devices, Inc., 1999

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD811—SPECIFICATIONS (@ $T_A = +25^\circ\text{C}$ and $V_S = \pm 15\text{ V dc}$, $R_{LOAD} = 150\ \Omega$ unless otherwise noted)

Model	Conditions	V_S	AD811J/A ¹			AD811S ²			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
DYNAMIC PERFORMANCE									
Small Signal Bandwidth (No Peaking)									
-3 dB									
G = +1	$R_{FB} = 562\ \Omega$	$\pm 15\text{ V}$		140		140			MHz
G = +2	$R_{FB} = 649\ \Omega$	$\pm 15\text{ V}$		120		120			MHz
G = +2	$R_{FB} = 562\ \Omega$	$\pm 5\text{ V}$		80		80			MHz
G = +10	$R_{FB} = 511\ \Omega$	$\pm 15\text{ V}$		100		100			MHz
0.1 dB Flat									
G = +2	$R_{FB} = 562\ \Omega$	$\pm 5\text{ V}$		25		25			MHz
	$R_{FB} = 649\ \Omega$	$\pm 15\text{ V}$		35		35			MHz
Full Power Bandwidth ³									
Slew Rate									
	$V_{OUT} = 20\text{ V p-p}$	$\pm 15\text{ V}$		40		40			MHz
	$V_{OUT} = 4\text{ V p-p}$	$\pm 5\text{ V}$		400		400			V/ μs
	$V_{OUT} = 20\text{ V p-p}$	$\pm 15\text{ V}$		2500		2500			V/ μs
Settling Time to 0.1%									
Settling Time to 0.01%									
Settling Time to 0.1%									
Rise Time, Fall Time									
Differential Gain									
Differential Phase									
THD @ $f_C = 10\text{ MHz}$									
Third Order Intercept ⁴									
	10 V Step , $A_V = -1$	$\pm 15\text{ V}$		50		50			ns
				65		65			ns
	2 V Step , $A_V = -1$	$\pm 5\text{ V}$		25		25			ns
	$R_{FB} = 649$, $A_V = +2$	$\pm 15\text{ V}$		3.5		3.5			ns
	$f = 3.58\text{ MHz}$	$\pm 15\text{ V}$		0.01		0.01			%
	$f = 3.58\text{ MHz}$	$\pm 15\text{ V}$		0.01		0.01			Degree
	$V_{OUT} = 2\text{ V p-p}$, $A_V = +2$	$\pm 15\text{ V}$		-74		-74			dBc
	@ $f_C = 10\text{ MHz}$	$\pm 5\text{ V}$		36		36			dBm
		$\pm 15\text{ V}$		43		43			dBm
INPUT OFFSET VOLTAGE									
Offset Voltage Drift									
	T_{MIN} to T_{MAX}	$\pm 5\text{ V}$, $\pm 15\text{ V}$		0.5	3	0.5	3		mV
				5	5	5	5		mV
				5		5			$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
INPUT BIAS CURRENT									
-Input									
	T_{MIN} to T_{MAX}	$\pm 5\text{ V}$, $\pm 15\text{ V}$		2	5	2	5		μA
				15	30	15	30		μA
+Input									
	T_{MIN} to T_{MAX}	$\pm 5\text{ V}$, $\pm 15\text{ V}$		2	10	2	10		μA
				20	25	20	25		μA
TRANSRESISTANCE									
	T_{MIN} to T_{MAX}								
	$V_{OUT} = \pm 10\text{ V}$								
	$R_L = \infty$	$\pm 15\text{ V}$		0.75	1.5	0.75	1.5		M Ω
	$R_L = 200\ \Omega$	$\pm 15\text{ V}$		0.5	0.75	0.5	0.75		M Ω
	$V_{OUT} = \pm 2.5\text{ V}$								
	$R_L = 150\ \Omega$	$\pm 5\text{ V}$		0.25	0.4	0.125	0.4		M Ω
COMMON-MODE REJECTION									
V_{OS} (vs. Common Mode)									
T_{MIN} to T_{MAX}									
	$V_{CM} = \pm 2.5$	$\pm 5\text{ V}$		56	60	50	60		dB
	$V_{CM} = \pm 10\text{ V}$	$\pm 15\text{ V}$		60	66	56	66		dB
Input Current (vs. Common Mode)									
	T_{MIN} to T_{MAX}			1	3	1	3		$\mu\text{A/V}$
POWER SUPPLY REJECTION									
V_{OS}									
T_{MIN} to T_{MAX}									
	$V_S = \pm 4.5\text{ V}$ to $\pm 18\text{ V}$			60	70	60	70		dB
+Input Current									
	T_{MIN} to T_{MAX}			0.3	2	0.3	2		$\mu\text{A/V}$
-Input Current									
	T_{MIN} to T_{MAX}			0.4	2	0.4	2		$\mu\text{A/V}$
INPUT VOLTAGE NOISE									
	$f = 1\text{ kHz}$			1.9		1.9			$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
INPUT CURRENT NOISE									
	$f = 1\text{ kHz}$			20		20			$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
OUTPUT CHARACTERISTICS									
Voltage Swing, Useful Operating Range ⁵									
		$\pm 5\text{ V}$		± 2.9		± 2.9			V
		$\pm 15\text{ V}$		± 12		± 12			V
Output Current									
	$T_J = +25^\circ\text{C}$			100		100			mA
Short-Circuit Current									
				150		150			mA
Output Resistance									
	(Open Loop @ 5 MHz)			9		9			Ω
INPUT CHARACTERISTICS									
+Input Resistance									
				1.5		1.5			M Ω
-Input Resistance									
				14		14			Ω
Input Capacitance									
	+Input			7.5		7.5			pF
Common-Mode Voltage Range									
		$\pm 5\text{ V}$		± 3		± 3			V
		$\pm 15\text{ V}$		± 13		± 13			V
POWER SUPPLY									
Operating Range									
				± 4.5	± 18	± 4.5	± 18		V
Quiescent Current									
		$\pm 5\text{ V}$		14.5	16.0	14.5	16.0		mA
		$\pm 15\text{ V}$		16.5	18.0	16.5	18.0		mA
TRANSISTOR COUNT									
	# of Transistors			40		40			

NOTES

¹The AD811JR is specified with $\pm 5\text{ V}$ power supplies only, with operation up to $\pm 12\text{ volts}$.

²See Analog Devices' military data sheet for 883B tested specifications.

³FPBW = $\text{slew rate}/(2\pi V_{PEAK})$.

⁴Output power level, tested at a closed loop gain of two.

⁵Useful operating range is defined as the output voltage at which linearity begins to degrade.

Specifications subject to change without notice.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS¹

Supply Voltage	±18 V
AD811JR Grade Only	±12 V
Internal Power Dissipation ²	Observe Derating Curves
Output Short Circuit Duration	Observe Derating Curves
Common-Mode Input Voltage	±V _S
Differential Input Voltage	±6 V
Storage Temperature Range (Q, E)	-65°C to +150°C
Storage Temperature Range (N, R)	-65°C to +125°C
Operating Temperature Range	
AD811J	0°C to +70°C
AD811A	-40°C to +85°C
AD811S	-55°C to +125°C
Lead Temperature Range (Soldering 60 sec)	+300°C

NOTES

¹Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational section of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

- ²8-Lead Plastic Package: $\theta_{JA} = 90^\circ\text{C/W}$
 8-Lead Cerdip Package: $\theta_{JA} = 110^\circ\text{C/W}$
 8-Lead SOIC Package: $\theta_{JA} = 155^\circ\text{C/W}$
 16-Lead SOIC Package: $\theta_{JA} = 85^\circ\text{C/W}$
 20-Lead SOIC Package: $\theta_{JA} = 80^\circ\text{C/W}$
 20-Lead LCC Package: $\theta_{JA} = 70^\circ\text{C/W}$

ORDERING GUIDE

Model	Temperature Range	Package Option*
AD811AN	-40°C to +85°C	N-8
AD811AR-16	-40°C to +85°C	R-16
AD811AR-20	-40°C to +85°C	R-20
AD811JR	0°C to +70°C	SO-8
AD811SQ/883B	-55°C to +125°C	Q-8
5962-9313101MPA	-55°C to +125°C	Q-8
AD811SE/883B	-55°C to +125°C	E-20A
5962-9313101M2A	-55°C to +125°C	E-20A
AD811JR-REEL	0°C to +70°C	SO-8
AD811JR-REEL7	0°C to +70°C	SO-8
AD811AR-16-REEL	-40°C to +85°C	R-16
AD811AR-16-REEL7	-40°C to +85°C	R-16
AD811AR-20-REEL	-40°C to +85°C	R-20
AD811ACHIPS	-40°C to +85°C	Die
AD811SCHIPS	-55°C to +125°C	Die

*E = Ceramic Leadless Chip Carrier; N = Plastic DIP; Q = Cerdip; SO (R) = Small Outline IC (SOIC).

MAXIMUM POWER DISSIPATION

The maximum power that can be safely dissipated by the AD811 is limited by the associated rise in junction temperature. For the plastic packages, the maximum safe junction temperature is +145°C. For the cerdip and LCC packages, the maximum junction temperature is +175°C. If these maximums are exceeded momentarily, proper circuit operation will be restored as soon as the die temperature is reduced. Leaving the device in the "overheated" condition for an extended period can result in device burnout. To ensure proper operation, it is important to observe the derating curves in Figures 17 and 18.

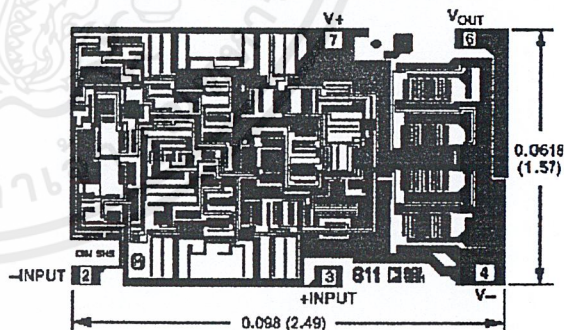
While the AD811 is internally short circuit protected, this may not be sufficient to guarantee that the maximum junction temperature is not exceeded under all conditions. One important example is when the amplifier is driving a reverse terminated 75 Ω cable and the cable's far end is shorted to a power supply. With power supplies of ±12 volts (or less) at an ambient temperature of +25°C or less, if the cable is shorted to a supply rail, then the amplifier will not be destroyed, even if this condition persists for an extended period.

ESD SUSCEPTIBILITY

ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Electrostatic charges as high as 4000 volts, which readily accumulate on the human body and on test equipment, can discharge without detection. Although the AD811 features proprietary ESD protection circuitry, permanent damage may still occur on these devices if they are subjected to high energy electrostatic discharges. Therefore, proper ESD precautions are recommended to avoid any performance degradation or loss of functionality.

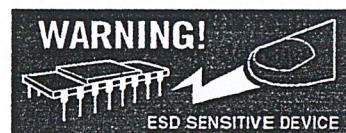
METALIZATION PHOTOGRAPH

Contact Factory for Latest Dimensions.
 Dimensions Shown in Inches and (mm).



CAUTION

ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Electrostatic charges as high as 4000 V readily accumulate on the human body and test equipment and can discharge without detection. Although the AD811 features proprietary ESD protection circuitry, permanent damage may occur on devices subjected to high energy electrostatic discharges. Therefore, proper ESD precautions are recommended to avoid performance degradation or loss of functionality.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD811—Typical Performance Characteristics

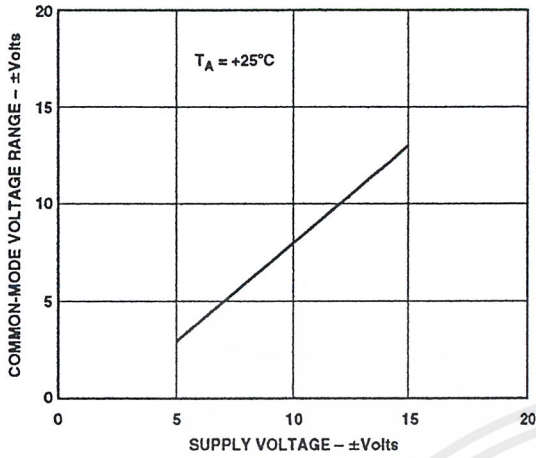


Figure 1. Input Common-Mode Voltage Range vs. Supply

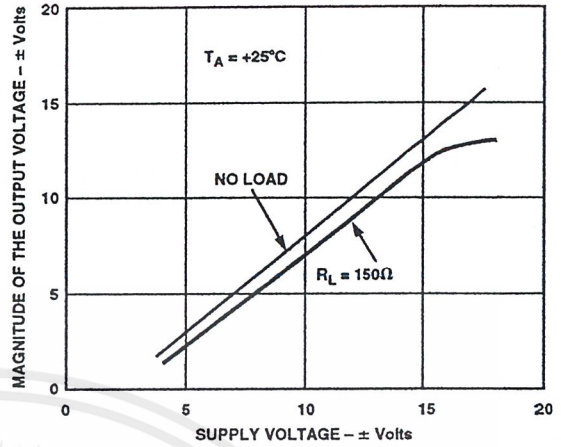


Figure 4. Output Voltage Swing vs. Supply

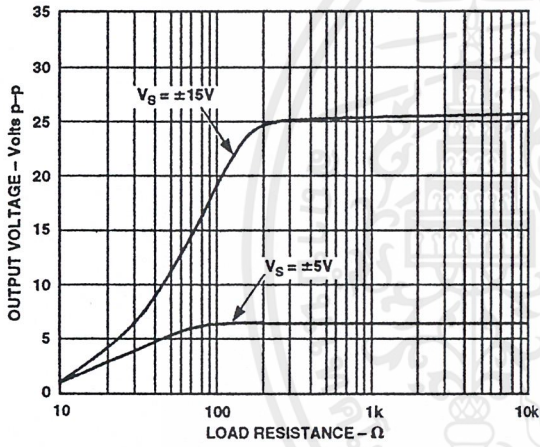


Figure 2. Output Voltage Swing vs. Resistive Load

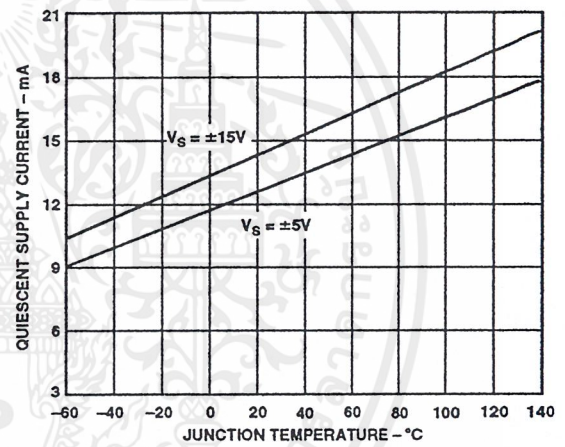


Figure 5. Quiescent Supply Current vs. Junction Temperature

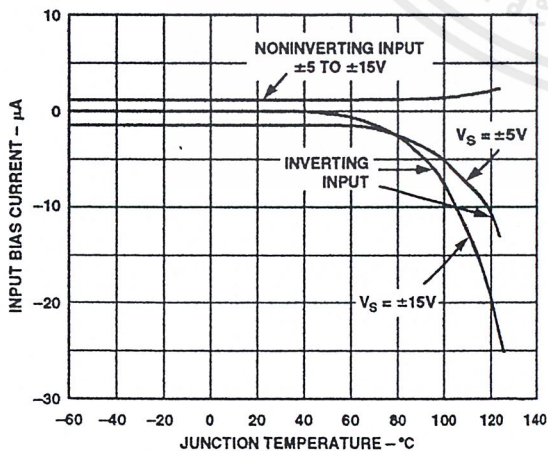


Figure 3. Input Bias Current vs. Junction Temperature

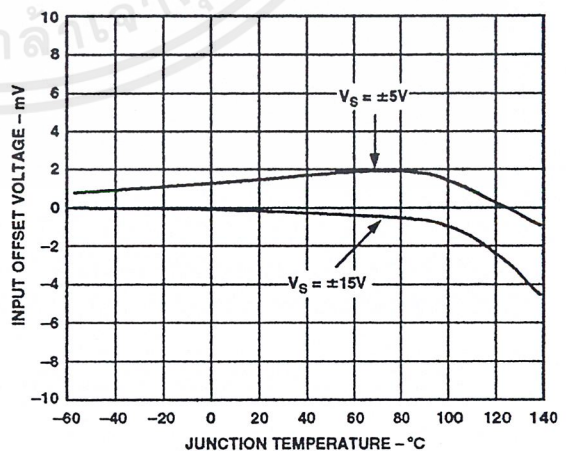


Figure 6. Input Offset Voltage vs. Junction Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

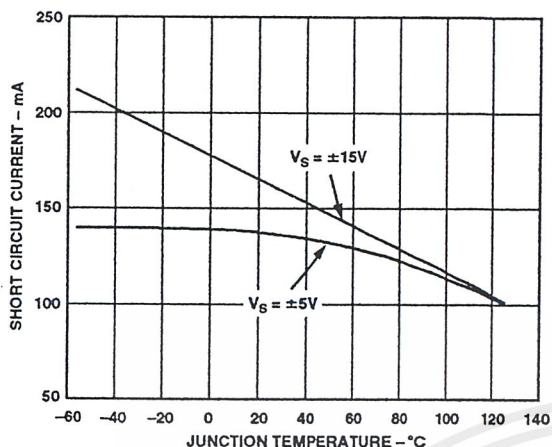


Figure 7. Short Circuit Current vs. Junction Temperature

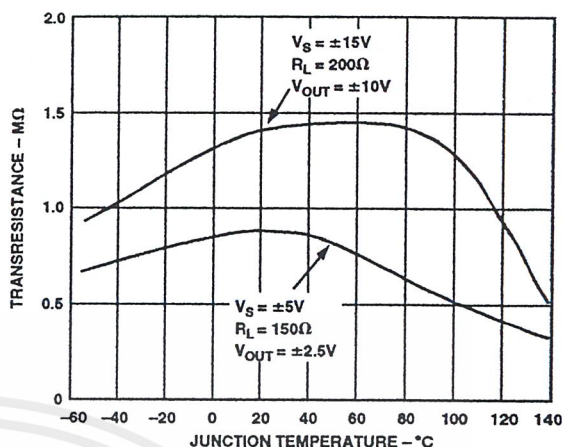


Figure 10. Transresistance vs. Junction Temperature

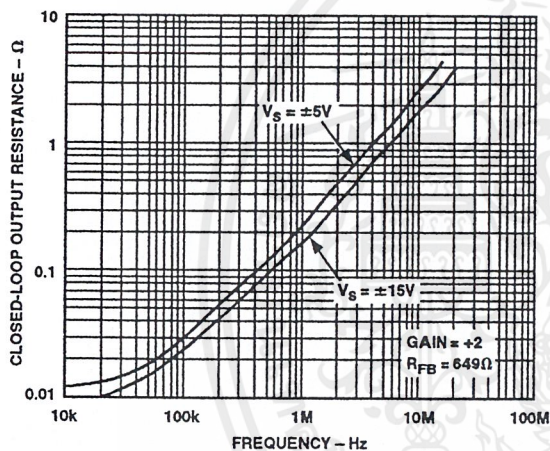


Figure 8. Closed-Loop Output Resistance vs. Frequency

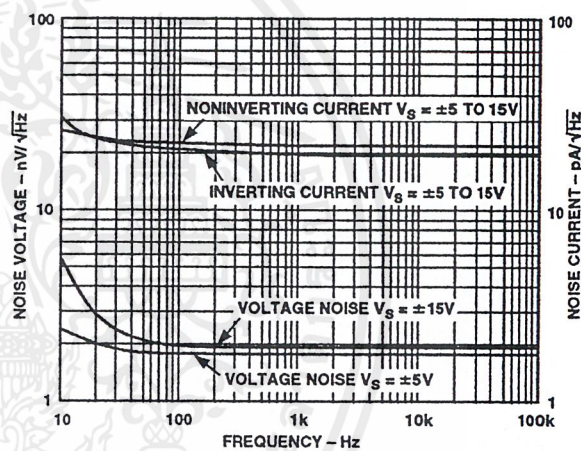


Figure 11. Input Noise vs. Frequency

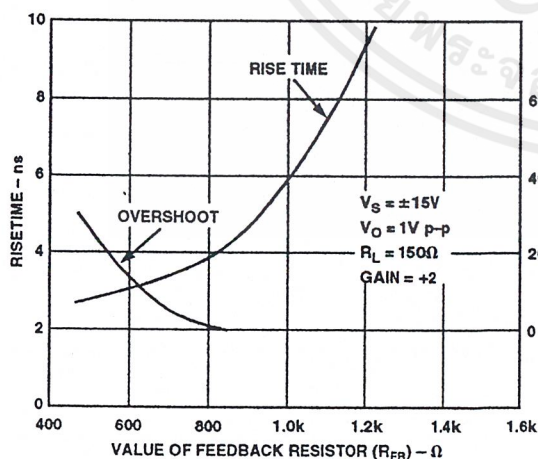


Figure 9. Rise Time and Overshoot vs. Value of Feedback Resistor, R_{FB}

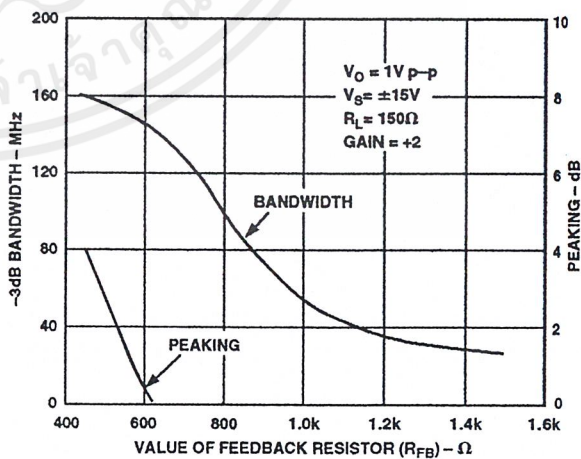


Figure 12. 3 dB Bandwidth and Peaking vs. Value of R_{FB}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD811

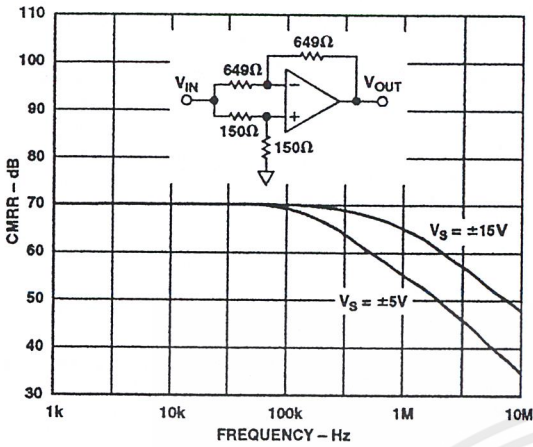


Figure 13. Common-Mode Rejection vs. Frequency

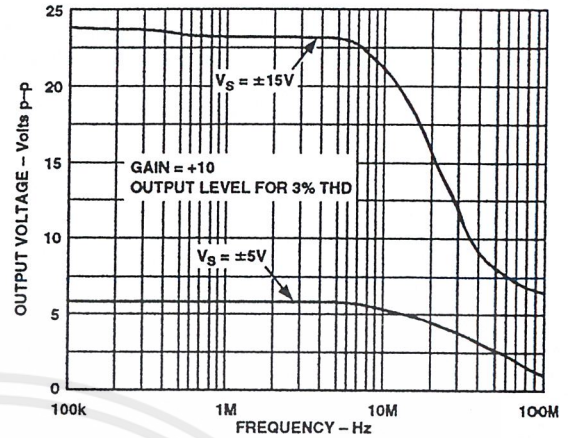


Figure 16. Large Signal Frequency Response

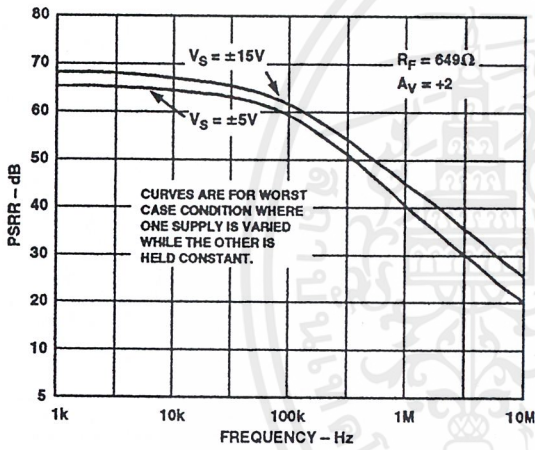


Figure 14. Power Supply Rejection vs. Frequency

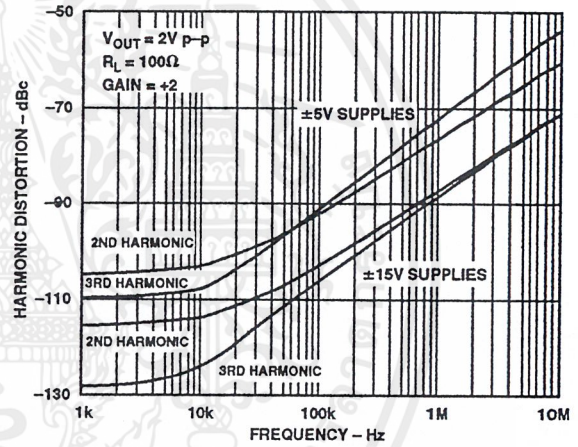


Figure 17. Harmonic Distortion vs. Frequency

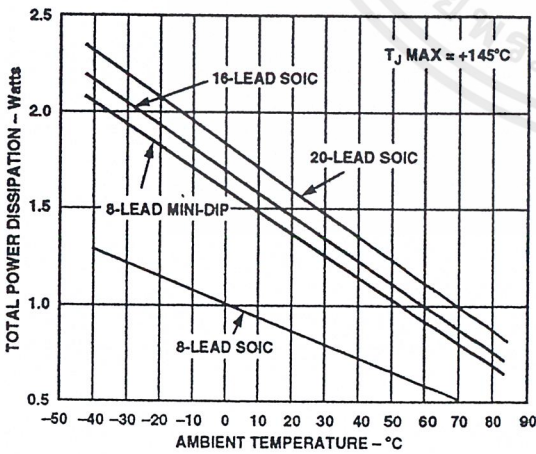


Figure 15. Maximum Power Dissipation vs. Temperature for Plastic Packages

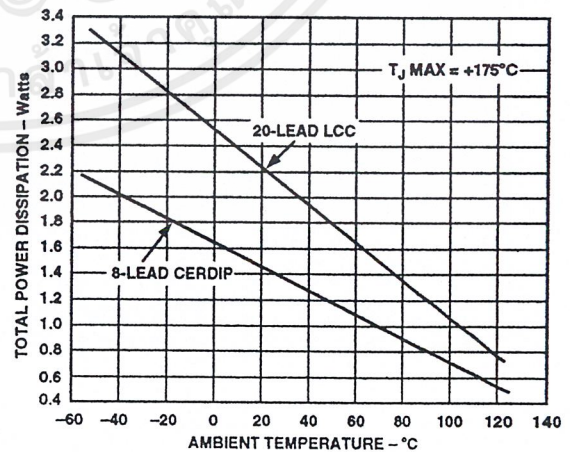


Figure 18. Maximum Power Dissipation vs. Temperature for Hermetic Packages

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Characteristics, Noninverting Connection—AD811

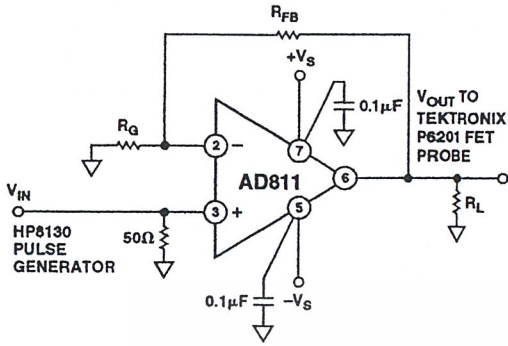


Figure 19. Noninverting Amplifier Connection

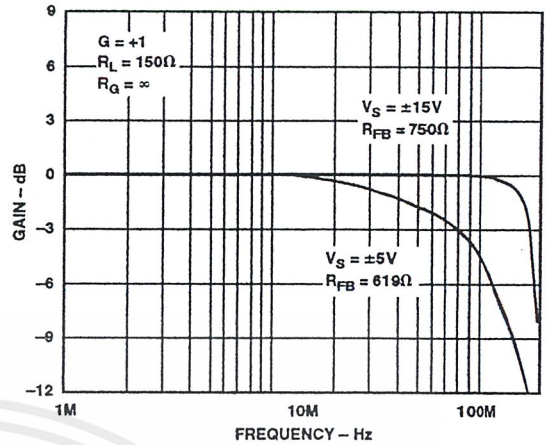


Figure 22. Closed-Loop Gain vs. Frequency, Gain = +1

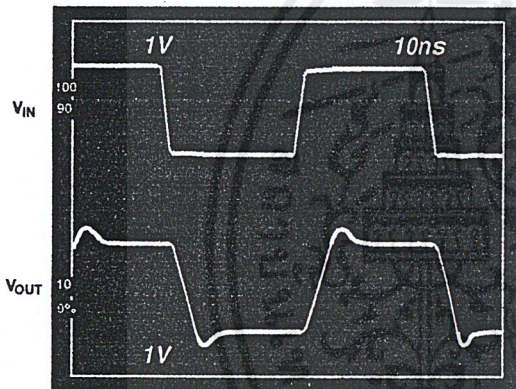


Figure 20. Small Signal Pulse Response, Gain = +1

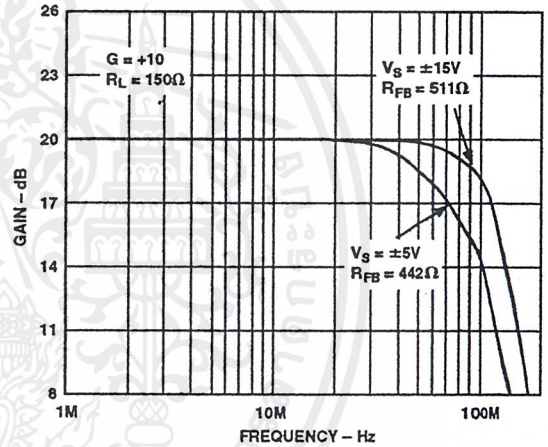


Figure 23. Closed-Loop Gain vs. Frequency, Gain = +10

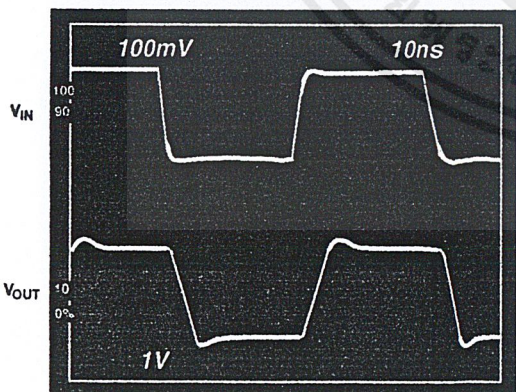


Figure 21. Small Signal Pulse Response, Gain = +10

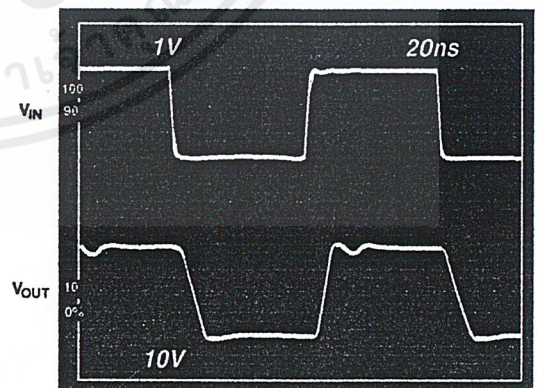


Figure 24. Large Signal Pulse Response, Gain = +10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD811—Typical Characteristics, Inverting Connection

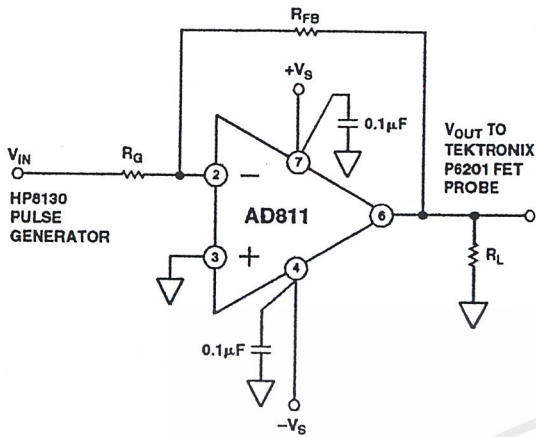


Figure 25. Inverting Amplifier Connection

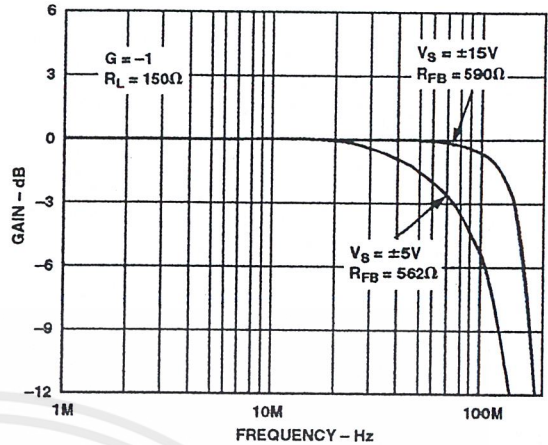


Figure 28. Closed-Loop Gain vs. Frequency, Gain = -1

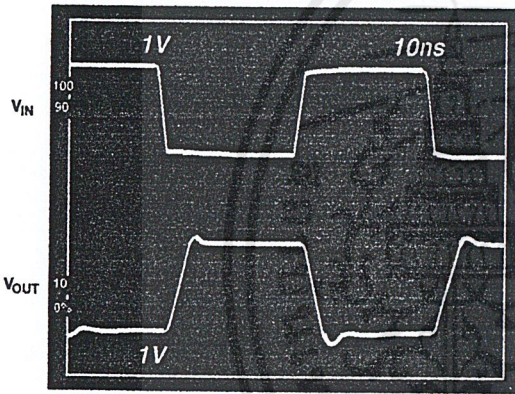


Figure 26. Small Signal Pulse Response, Gain = -1

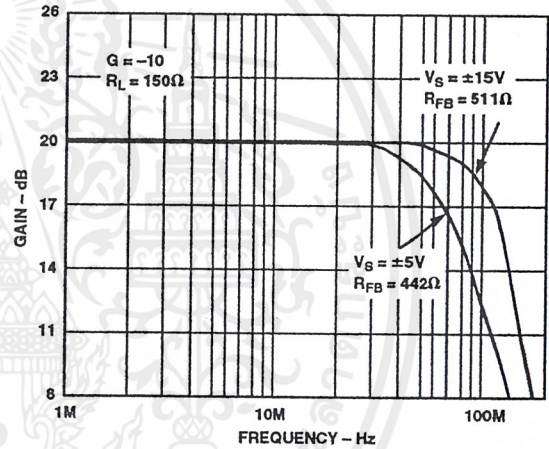


Figure 29. Closed-Loop Gain vs. Frequency, Gain = -10

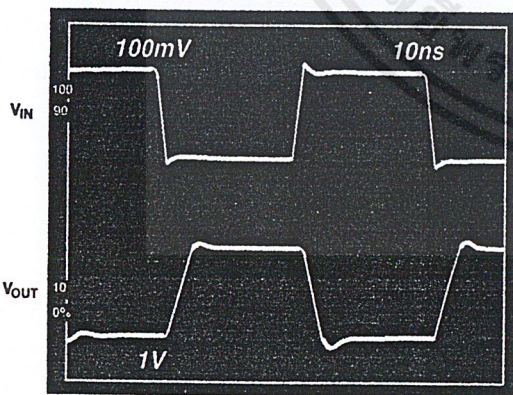


Figure 27. Small Signal Pulse Response, Gain = -10

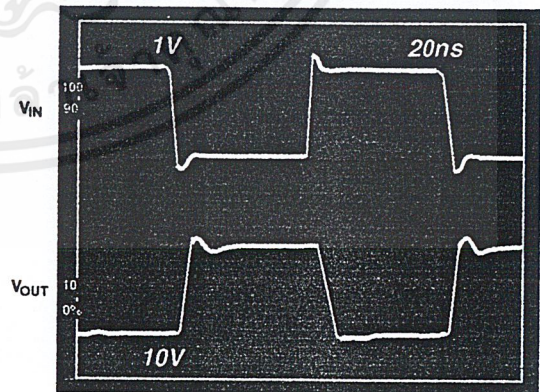


Figure 30. Large Signal Pulse Response, Gain = -10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATIONS

General Design Considerations

The AD811 is a current feedback amplifier optimized for use in high performance video and data acquisition applications. Since it uses a current feedback architecture, its closed-loop -3 dB bandwidth is dependent on the magnitude of the feedback resistor. The desired closed-loop gain and bandwidth are obtained by varying the feedback resistor (R_{FB}) to tune the bandwidth, and varying the gain resistor (R_G) to get the correct gain. Table I contains recommended resistor values for a variety of useful closed-loop gains and supply voltages.

Table I. -3 dB Bandwidth vs. Closed-Loop Gain and Resistance Values

$V_S = \pm 15$ V Closed-Loop Gain	R_{FB}	R_G	-3 dB BW (MHz)
+1	750 Ω		140
+2	649 Ω	649 Ω	120
+10	511 Ω	56.2 Ω	100
-1	590 Ω	590 Ω	115
-10	511 Ω	51.1 Ω	95
$V_S = \pm 5$ V Closed-Loop Gain	R_{FB}	R_G	-3 dB BW (MHz)
+1	619 Ω		80
+2	562 Ω	562 Ω	80
+10	442 Ω	48.7 Ω	65
-1	562 Ω	562 Ω	75
-10	442 Ω	44.2 Ω	65
$V_S = \pm 10$ V Closed-Loop Gain	R_{FB}	R_G	-3 dB BW (MHz)
+1	649 Ω		105
+2	590 Ω	590 Ω	105
+10	499 Ω	49.9 Ω	80
-1	590 Ω	590 Ω	105
-10	499 Ω	49.9 Ω	80

Figures 11 and 12 illustrate the relationship between the feedback resistor and the frequency and time domain response characteristics for a closed-loop gain of +2. (The response at other gains will be similar.)

The 3 dB bandwidth is somewhat dependent on the power supply voltage. As the supply voltage is decreased for example, the magnitude of internal junction capacitances is increased, causing a reduction in closed-loop bandwidth. To compensate for this, smaller values of feedback resistor are used at lower supply voltages.

Achieving the Flattest Gain Response at High Frequency

Achieving and maintaining gain flatness of better than 0.1 dB at frequencies above 10 MHz requires careful consideration of several issues.

Choice of Feedback and Gain Resistors

Because of the above-mentioned relationship between the 3 dB bandwidth and the feedback resistor, the fine scale gain flatness will, to some extent, vary with feedback resistor tolerance. It is, therefore, recommended that resistors with a 1% tolerance be used if it is desired to maintain flatness over a wide range of production lots. In addition, resistors of different construction have different associated parasitic capacitance and inductance. Metal-film resistors were used for the bulk of the characterization for this data sheet. It is possible that values other than those indicated will be optimal for other resistor types.

Printed Circuit Board Layout Considerations

As to be expected for a wideband amplifier, PC board parasitics can affect the overall closed loop performance. Of concern are stray capacitances at the output and the inverting input nodes. If a ground plane is to be used on the same side of the board as the signal traces, a space (3/16" is plenty) should be left around the signal lines to minimize coupling. Additionally, signal lines connecting the feedback and gain resistors should be short enough so that their associated inductance does not cause high frequency gain errors. Line lengths less than 1/4" are recommended.

Quality of Coaxial Cable

Optimum flatness when driving a coax cable is possible only when the driven cable is terminated at each end with a resistor matching its characteristic impedance. If the coax was ideal, then the resulting flatness would not be affected by the length of the cable. While outstanding results can be achieved using inexpensive cables, it should be noted that some variation in flatness due to varying cable lengths may be experienced.

Power Supply Bypassing

Adequate power supply bypassing can be critical when optimizing the performance of a high frequency circuit. Inductance in the power supply leads can form resonant circuits that produce peaking in the amplifier's response. In addition, if large current transients must be delivered to the load, then bypass capacitors (typically greater than 1 μ F) will be required to provide the best settling time and lowest distortion. Although the recommended 0.1 μ F power supply bypass capacitors will be sufficient in many applications, more elaborate bypassing (such as using two parallel capacitors) may be required in some cases.

AD811

Driving Capacitive Loads

The feedback and gain resistor values in Table I will result in very flat closed-loop responses in applications where the load capacitances are below 10 pF. Capacitances greater than this will result in increased peaking and overshoot, although not necessarily in a sustained oscillation.

There are at least two very effective ways to compensate for this effect. One way is to increase the magnitude of the feedback resistor, which lowers the 3 dB frequency. The other method is to include a small resistor in series with the output of the amplifier to isolate it from the load capacitance. The results of these two techniques are illustrated in Figure 32. Using a 1.5 kΩ feedback resistor, the output ripple is less than 0.5 dB when driving 100 pF. The main disadvantage of this method is that it sacrifices a little bit of gain flatness for increased capacitive load drive capability. With the second method, using a series resistor, the loss of flatness does not occur.

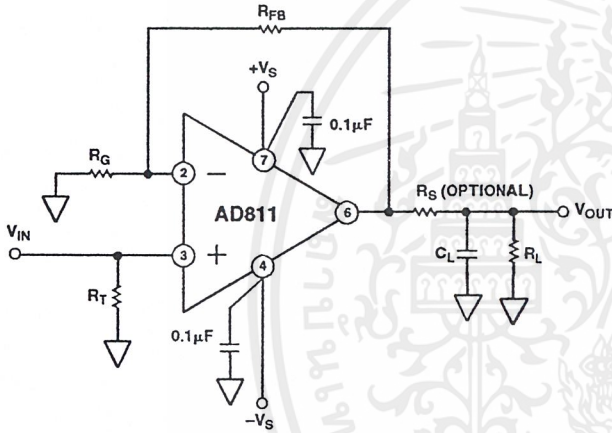


Figure 31. Recommended Connection for Driving a Large Capacitive Load

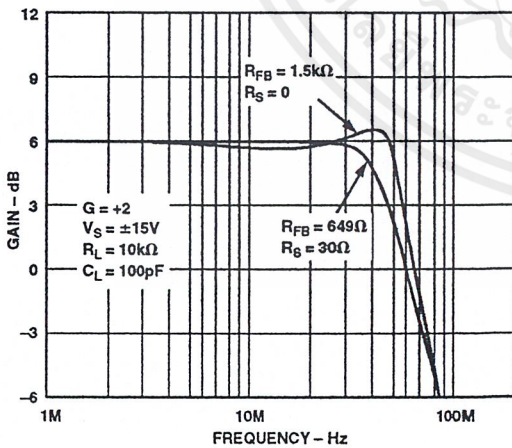


Figure 32. Performance Comparison of Two Methods for Driving a Capacitive Load

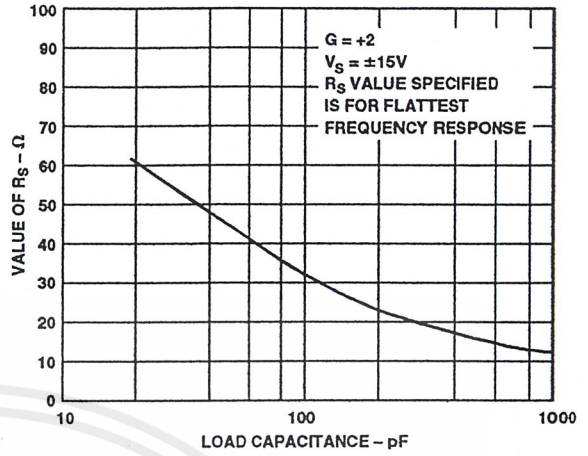


Figure 33. Recommended Value of Series Resistor vs. the Amount of Capacitive Load

Figure 33 shows recommended resistor values for different load capacitances. Refer again to Figure 32 for an example of the results of this method. Note that it may be necessary to adjust the gain setting resistor, R_G , to correct for the attenuation which results due to the divider formed by the series resistor, R_S , and the load resistance.

Applications which require driving a large load capacitance at a high slew rate are often limited by the output current available from the driving amplifier. For example, an amplifier limited to 25 mA output current cannot drive a 500 pF load at a slew rate greater than 50 V/μs. However, because of the AD811's 100 mA output current, a slew rate of 200 V/μs is achievable when driving this same 500 pF capacitor (see Figure 34).

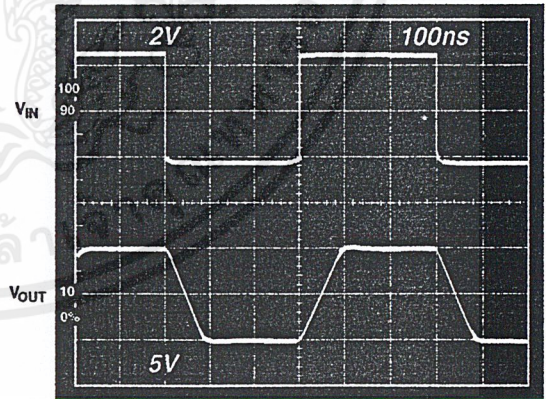


Figure 34. Output Waveform of an AD811 Driving a 500 pF Load. Gain = +2, $R_{FB} = 649 \Omega$, $R_S = 15 \Omega$, $R_L = 10 \text{ k}\Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Operation as a Video Line Driver

The AD811 has been designed to offer outstanding performance at closed-loop gains of one or greater, while driving multiple reverse-terminated video loads. The lowest differential gain and phase errors will be obtained when using ± 15 volt power supplies. With ± 12 volt supplies, there will be an insignificant increase in these errors and a slight improvement in gain flatness. Due to power dissipation considerations, ± 12 volt supplies are recommended for optimum video performance. Excellent performance can be achieved at much lower supplies as well.

The closed-loop gain vs. frequency at different supply voltages is shown in Figure 36. Figure 37 is an oscilloscope photograph of an AD811 line driver's pulse response with ± 15 volt supplies. The differential gain and phase error vs. supply are plotted in Figures 38 and 39, respectively.

Another important consideration when driving multiple cables is the high frequency isolation between the outputs of the cables. Due to its low output impedance, the AD811 achieves better than 40 dB of output to output isolation at 5 MHz driving back terminated 75 Ω cables.

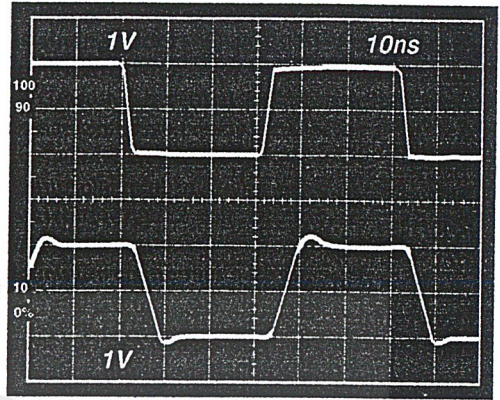


Figure 37. Small Signal Pulse Response, Gain = +2, $V_S = \pm 15$ V

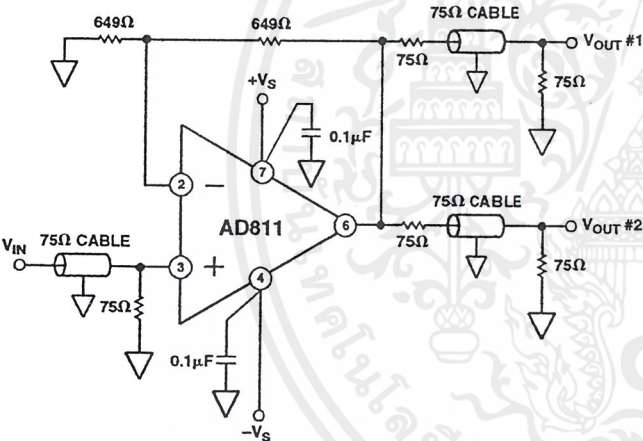


Figure 35. A Video Line Driver Operating at a Gain of +2

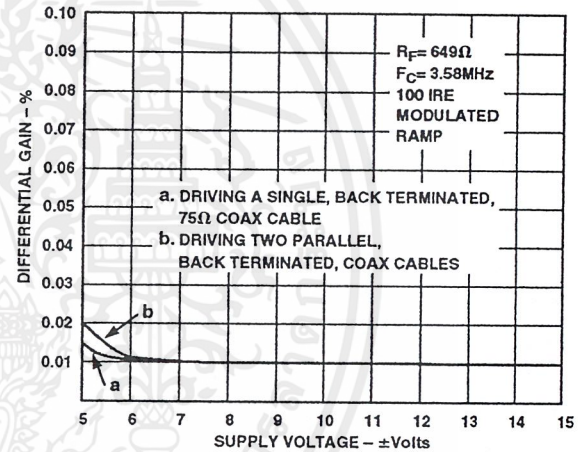


Figure 38. Differential Gain Error vs. Supply Voltage for the Video Line Driver of Figure 35

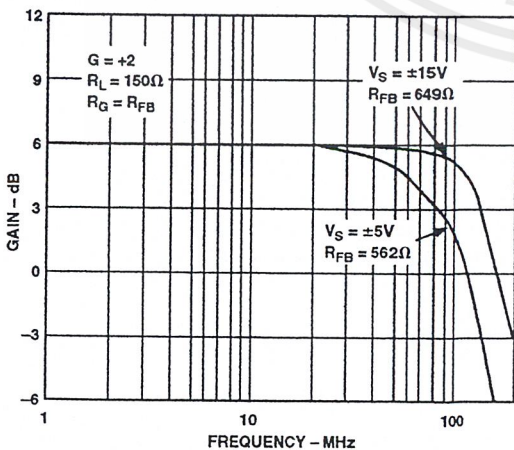


Figure 36. Closed-Loop Gain vs. Frequency, Gain = +2

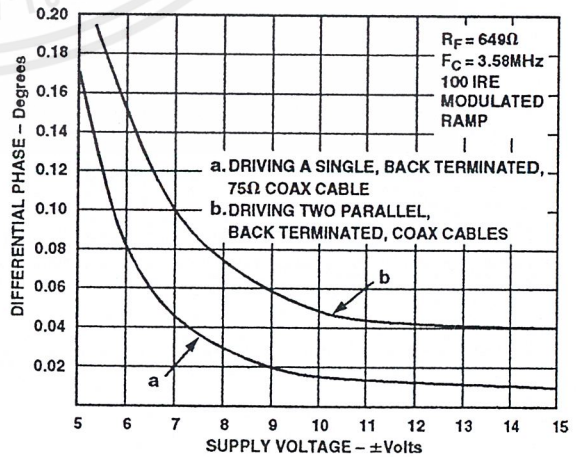


Figure 39. Differential Phase Error vs. Supply Voltage for the Video Line Driver of Figure 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD811

An 80 MHz Voltage-Controlled Amplifier Circuit

The voltage-controlled amplifier (VCA) circuit of Figure 40 shows the AD811 being used with the AD834, a 500 MHz, 4-quadrant multiplier. The AD834 multiplies the signal input by the dc control voltage, V_G . The AD834 outputs are in the form of differential currents from a pair of open collectors, ensuring that the full bandwidth of the multiplier (which exceeds 500 MHz) is available for certain applications. Here, the AD811 op amp provides a buffered, single-ended ground-referenced output. Using feedback resistors R8 and R9 of 511 Ω , the overall gain ranges from -70 dB, for $V_G = 0$ dB to +12 dB, (a numerical gain of four), when $V_G = +1$ V. The overall transfer function of the VCA is:

$$V_{OUT} = 4 (X1 - X2)(Y1 - Y2)$$

which reduces to $V_{OUT} = 4 V_G V_{IN}$ using the labeling conventions shown in Figure 40. The circuit's -3 dB bandwidth of 80 MHz, is maintained essentially constant— independent of gain. The response can be maintained flat to within ± 0.1 dB from dc to 40 MHz at full gain with the addition of an optional capacitor of about 0.3 pF across the feedback resistor R8. The circuit produces a full-scale output of ± 4 V for a ± 1 V input, and can drive a reverse-terminated load of 50 Ω or 75 Ω to ± 2 V.

The gain can be increased to 20 dB ($\times 10$) by raising R8 and R9 to 1.27 k Ω , with a corresponding decrease in -3 dB bandwidth to about 25 MHz. The maximum output voltage under these conditions will be increased to ± 9 V using ± 12 V supplies.

The gain-control input voltage, V_G , may be a positive or negative ground-referenced voltage, or fully differential, depending on the user's choice of connections at Pins 7 and 8. A positive value of V_G results in an overall noninverting response. Reversing the sign of V_G simply causes the sign of the overall response to invert. In fact, although this circuit has been classified as a voltage-controlled amplifier, it is also quite useful as a general-purpose four-quadrant multiplier, with good load-driving capabilities and fully-symmetrical responses from X- and Y-inputs.

The AD811 and AD834 can both be operated from power supply voltages of ± 5 V. While it is not necessary to power them from the same supplies, the common-mode voltage at W1 and W2 must be biased within the common-mode range of the AD811's input stage. To achieve the lowest differential gain and phase errors, it is recommended that the AD811 be operated from power supply voltages of ± 10 volts or greater. This VCA circuit is designed to operate from a ± 12 volt dual power supply.

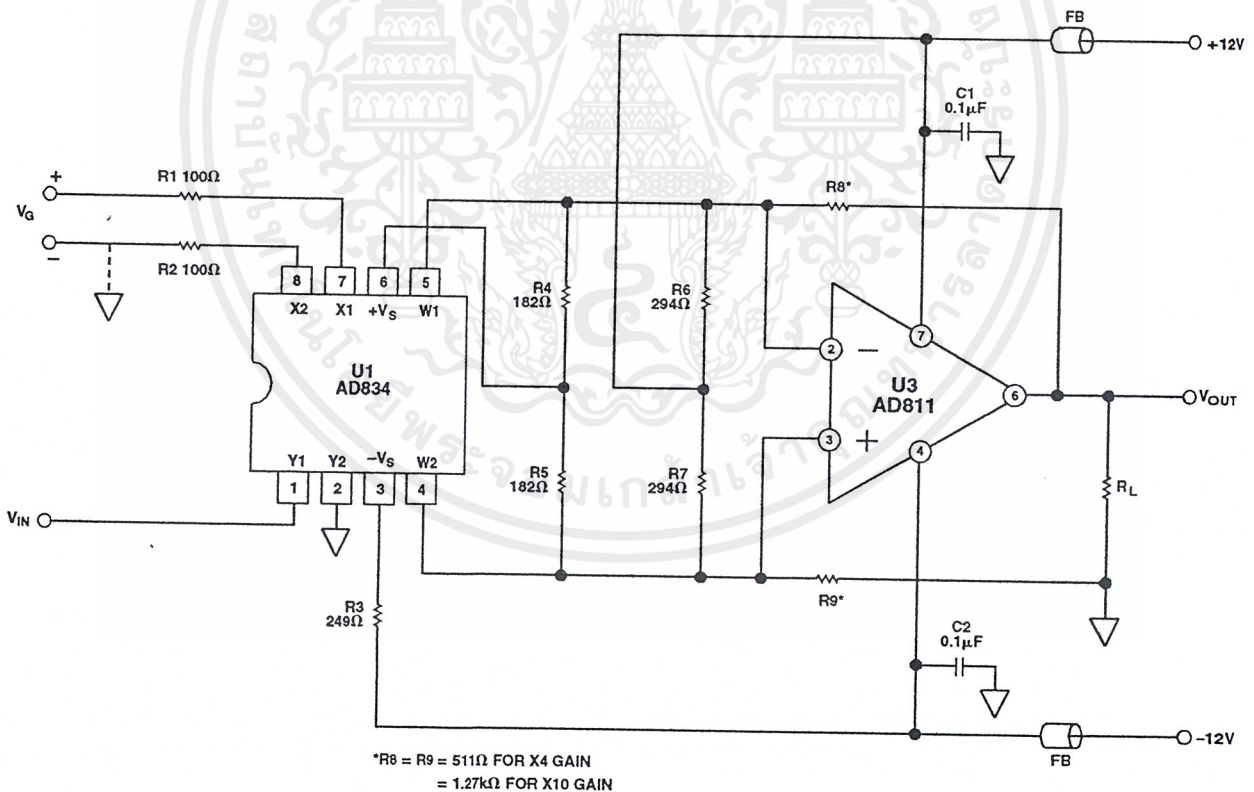


Figure 40. An 80 MHz Voltage-Controlled Amplifier

A Video Keyer Circuit

By using two AD834 multipliers, an AD811, and a 1 V dc source, a special form of a two-input VCA circuit called a video keyer can be assembled. "Keying" is the term used in reference to blending two or more video sources under the control of a third signal or signals to create such special effects as dissolves and overlays. The circuit shown in Figure 41 is a two-input keyer, with video inputs V_A and V_B , and a control input V_G . The transfer function (with V_{OUT} at the load) is given by:

$$V_{OUT} = G V_A + (1-G) V_B$$

where G is a dimensionless variable (actually, just the gain of the "A" signal path) that ranges from 0 when $V_G = 0$, to 1 when $V_G = +1$ V. Thus, V_{OUT} varies continuously between V_A and V_B as G varies from 0 to 1.

Circuit operation is straightforward. Consider first the signal path through $U1$, which handles video input V_A . Its gain is clearly zero when $V_G = 0$ and the scaling we have chosen ensures that it is unity when $V_G = +1$ V; this takes care of the first term of the transfer function. On the other hand, the V_G input to $U2$ is taken to the inverting input $X2$ while $X1$ is biased at an accurate +1 V. Thus, when $V_G = 0$, the response to video input V_B is already at its full-scale value of unity, whereas when $V_G = +1$ V, the differential input $X1-X2$ is zero. This generates the second term.

The bias currents required at the output of the multipliers are provided by $R8$ and $R9$. A dc-level-shifting network comprising $R10/R12$ and $R11/R13$ ensures that the input nodes of the AD811 are positioned at a voltage within its common-mode range. At high frequencies $C1$ and $C2$ bypass $R10$ and $R11$ respectively. $R14$ is included to lower the HF loop gain, and is needed because the voltage-to-current conversion in the AD834s, via the $Y2$ inputs, results in an effective value of the feedback resistance of 250Ω ; this is only about half the value required for optimum flatness in the AD811's response. (Note that this resistance is unaffected by G : when $G = 1$, all the feedback is via $U1$, while when $G = 0$ it is all via $U2$). $R14$ reduces the fractional amount of output current from the multipliers into the current-summing inverting input of the AD811, by sharing it with $R8$. This resistor can be used to adjust the bandwidth and damping factor to best suit the application.

To generate the 1 V dc needed for the "1-G" term an AD589 reference supplies $1.225 \text{ V} \pm 25 \text{ mV}$ to a voltage divider consisting of resistors $R2$ through $R4$. Potentiometer $R3$ should be adjusted to provide exactly +1 V at the $X1$ input.

In this case, we have shown an arrangement using dual supplies of ± 5 V for both the AD834 and the AD811. Also, the overall gain in this case is arranged to be unity at the load, when it is driven from a reverse-terminated 75Ω line. This means that the "dual VCA" has to operate at a maximum gain of 2, rather

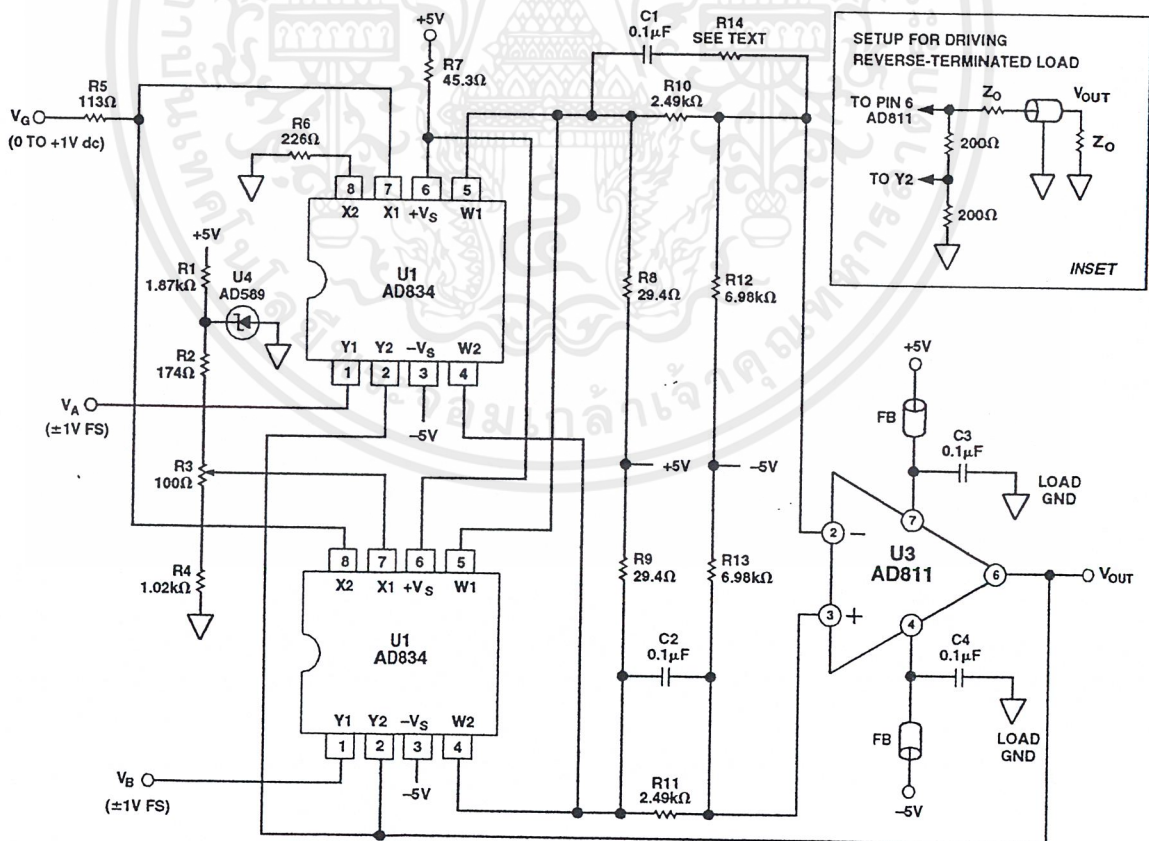


Figure 41. A Practical Video Keyer Circuit

AD811

than 4 as in the VCA circuit of Figure 40. However, this cannot be achieved by lowering the feedback resistor, since below a critical value (not much less than $500\ \Omega$) the AD811's peaking may be unacceptable. This is because the dominant pole in the open-loop ac response of a current-feedback amplifier is controlled by this feedback resistor. It would be possible to operate at a gain of X4 and then attenuate the signal at the output. Instead, we have chosen to attenuate the signals by 6 dB at the input to the AD811; this is the function of R8 through R11.

Figure 42 is a plot of the ac response of the feedback keyer, when driving a reverse terminated $50\ \Omega$ cable. Output noise and adjacent channel feedthrough, with either channel fully off and the other fully on, is about $-50\ \text{dB}$ to $10\ \text{MHz}$. The feedthrough at $100\ \text{MHz}$ is limited primarily by board layout. For $V_G = +1\ \text{V}$, the $-3\ \text{dB}$ bandwidth is $15\ \text{MHz}$ when using a $137\ \Omega$ resistor for R14 and $70\ \text{MHz}$ with $R14 = 49.9\ \Omega$. For further information regarding the design and operation of the VCA and video keyer circuits, refer to the application note "Video VCA's and Keyers Using the AD834 & AD811" by Brunner, Clarke, and Gilbert, available FREE from Analog Devices.

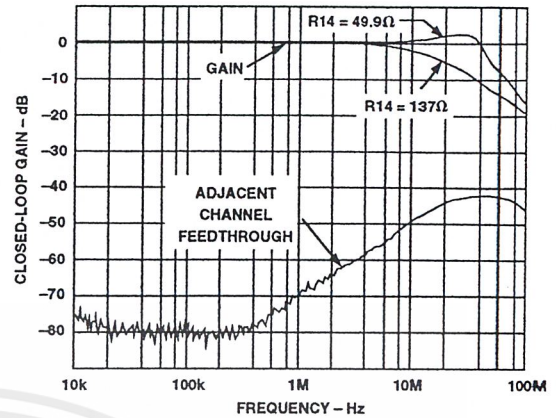
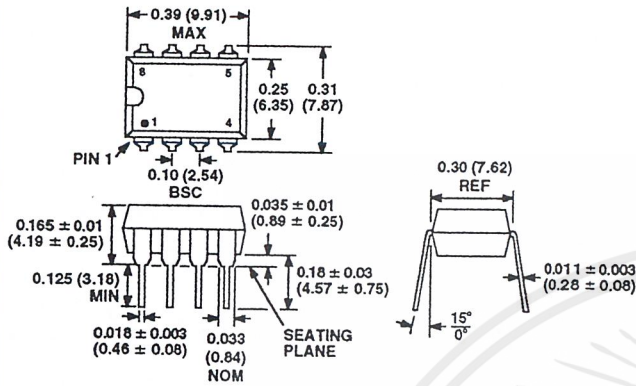


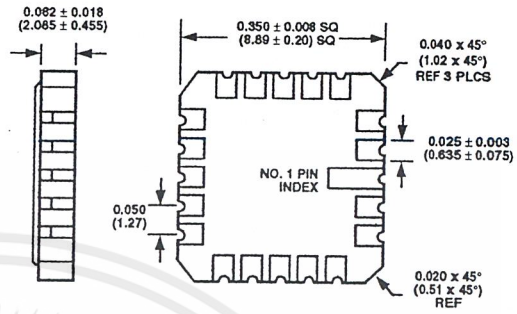
Figure 42. A Plot of the AC Response of the Video Keyer

OUTLINE DIMENSIONS
Dimensions shown in inches and (mm).

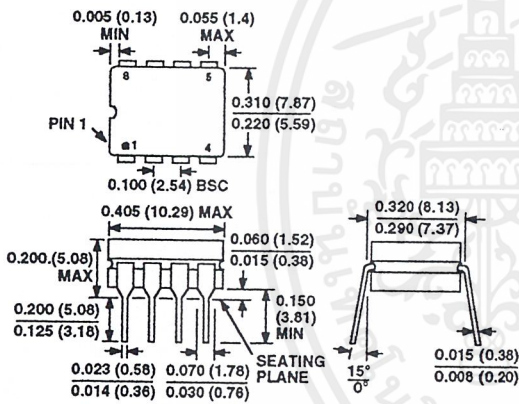
8-Lead Plastic DIP (N) Package



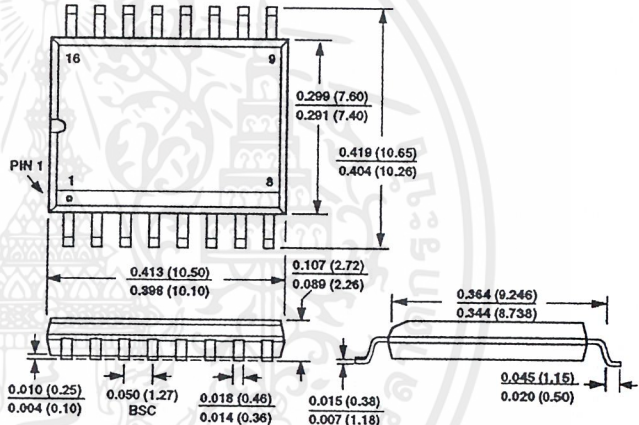
20-Lead LCC (E-20A) Package



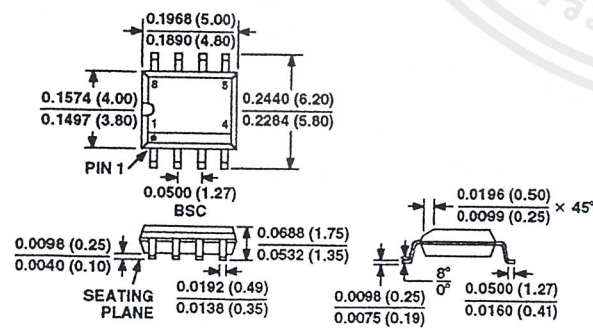
8-Lead Cerdip (Q) Package



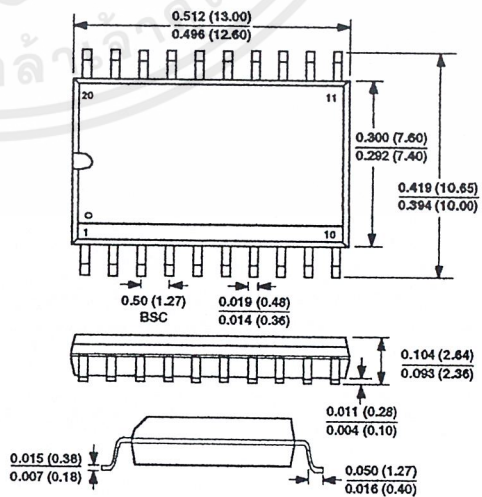
16-Lead SOIC (R-16) Package



8-Lead SOIC (SO-8) Package



20-Lead Wide Body SOIC (R-20) Package



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LF442 Dual Low Power JFET Input Operational Amplifier

General Description

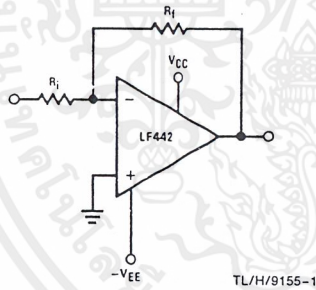
The LF442 dual low power operational amplifiers provide many of the same AC characteristics as the industry standard LM1458 while greatly improving the DC characteristics of the LM1458. The amplifiers have the same bandwidth, slew rate, and gain (10 k Ω load) as the LM1458 and only draw one tenth the supply current of the LM1458. In addition the well matched high voltage JFET input devices of the LF442 reduce the input bias and offset currents by a factor of 10,000 over the LM1458. A combination of careful layout design and internal trimming guarantees very low input offset voltage and voltage drift. The LF442 also has a very low equivalent input noise voltage for a low power amplifier.

The LF442 is pin compatible with the LM1458 allowing an immediate 10 times reduction in power drain in many applications. The LF442 should be used where low power dissipation and good electrical characteristics are the major considerations.

Features

- $\frac{1}{10}$ supply current of a LM1458 400 μ A (max)
- Low input bias current 50 pA (max)
- Low input offset voltage 1 mV (max)
- Low input offset voltage drift 10 μ V/ $^{\circ}$ C (max)
- High gain bandwidth 1 MHz
- High slew rate 1 V/ μ s
- Low noise voltage for low power 35 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
- Low input noise current 0.01 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
- High input impedance 10¹² Ω
- High gain $V_O = \pm 10V, R_L = 10k$ 50k (min)

Typical Connection



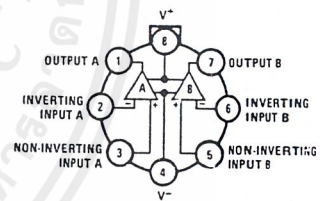
Ordering Information

LF442XYZ

- X indicates electrical grade
- Y indicates temperature range
- "M" for military
- "C" for commercial
- Z indicates package type
- "H" or "N"

Connection Diagrams

Metal Can Package

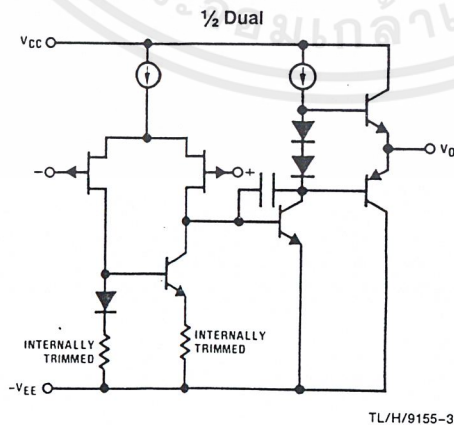


Top View

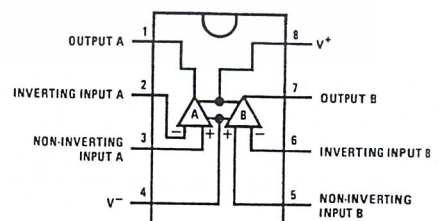
Note: Pin 4 connected to case

Order Number LF442AMH
or LF442MH/883
See NS Package Number H08A

Simplified Schematic



Dual-In-Line Package



Top View

Order Number LF442ACN or LF442CN
See NS Package Number N08E

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications. (Note 9)

	LF442A	LF442		H Package	N Package
Supply Voltage	± 22V	± 18V	T _j max	150°C	115°C
Differential Input Voltage	± 38V	± 30V	θ _{JA} (Typical)	65°C/W	114°C/W
Input Voltage Range (Note 1)	± 19V	± 15V	(Note 3)	165°C/W	152°C/W
Output Short Circuit Duration (Note 2)	Continuous	Continuous	(Note 4)	21°C/W	(Note 4)
			Operating Temperature Range	(Note 4)	(Note 4)
			Storage Temperature Range	-65°C ≤ T _A ≤ 150°C - 65°C ≤ T _A ≤ 150°C	
			Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	260°C	260°C
			ESD Tolerance	Rating to be determined	

DC Electrical Characteristics (Note 6)

Symbol	Parameter	Conditions	LF442A			LF442			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V _{OS}	Input Offset Voltage	R _S = 10 kΩ, T _A = 25°C		0.5	1.0		1.0	5.0	mV
		Over Temperature						7.5	mV
ΔV _{OS} /ΔT	Average TC of Input Offset Voltage	R _S = 10 kΩ		7	10		7		μV/°C
I _{OS}	Input Offset Current	V _S = ± 15V (Notes 6 and 7)	T _j = 25°C	5	25	5	50	pA	
			T _j = 70°C		1.5		1.5	nA	
			T _j = 125°C		10			nA	
I _B	Input Bias Current	V _S = ± 15V (Notes 6 and 7)	T _j = 25°C	10	50	10	100	pA	
			T _j = 70°C		3		3	nA	
			T _j = 125°C		20			nA	
R _{IN}	Input Resistance	T _j = 25°C		10 ¹²		10 ¹²		Ω	
A _{VOL}	Large Signal Voltage Gain	V _S = ± 15V, V _O = ± 10V, R _L = 10 kΩ, T _A = 25°C	50	200		25	200		V/mV
		Over Temperature	25	200		15	200		V/mV
V _O	Output Voltage Swing	V _S = ± 15V, R _L = 10 kΩ	± 12	± 13		± 12	± 13		V
V _{CM}	Input Common-Mode Voltage Range		± 16	+ 18 - 17		± 11	+ 14 - 12		V V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	R _S ≤ 10 kΩ	80	100		70	95		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 8)	80	100		70	90		dB
I _S	Supply Current			300	400		400	500	μA

AC Electrical Characteristics (Note 6)

Symbol	Parameter	Conditions	LF442A			LF442			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
	Amplifier to Amplifier Coupling	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $f = 1\text{ Hz-20 kHz}$ (Input Referred)		-120			-120		dB
SR	Slew Rate	$V_S = \pm 15\text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	0.8	1		0.6	1		$\text{V}/\mu\text{s}$
GBW	Gain-Bandwidth Product	$V_S = \pm 15\text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	0.8	1		0.6	1		MHz
e_n	Equivalent Input Noise Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $R_S = 100\Omega$, $f = 1\text{ kHz}$		35			35		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
i_n	Equivalent Input Noise Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $f = 1\text{ kHz}$		0.01			0.01		$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$

Note 1: Unless otherwise specified the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage.

Note 2: Any of the amplifier outputs can be shorted to ground indefinitely, however, more than one should not be simultaneously shorted as the maximum junction temperature will be exceeded.

Note 3: The value given is in 400 linear feet/min air flow.

Note 4: The value given is in static air.

Note 5: These devices are available in both the commercial temperature range $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$ and the military temperature range $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq 125^\circ\text{C}$. The temperature range is designated by the position just before the package type in the device number. A "C" indicates the commercial temperature range and an "M" indicates the military temperature range. The military temperature range is available in "H" package only.

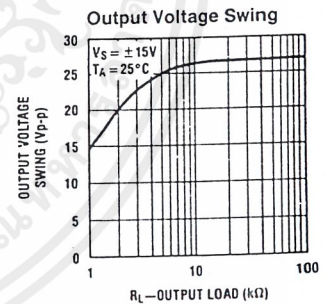
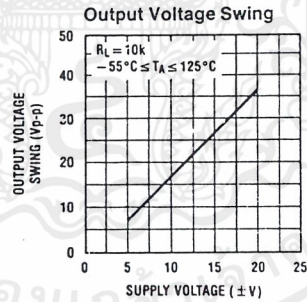
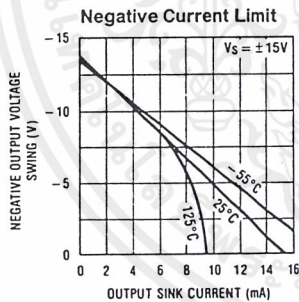
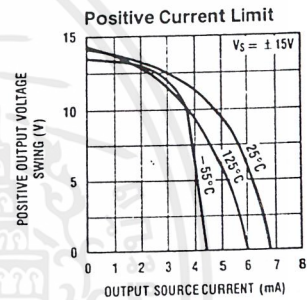
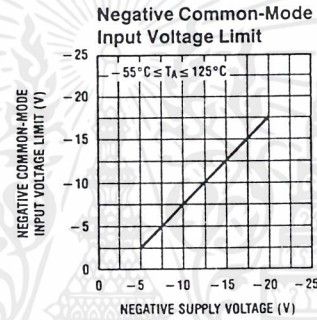
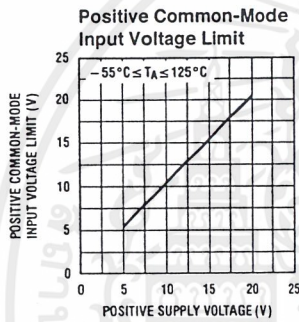
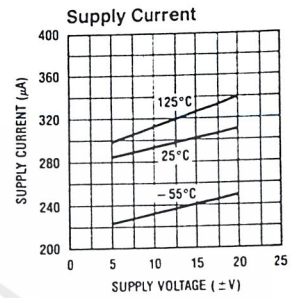
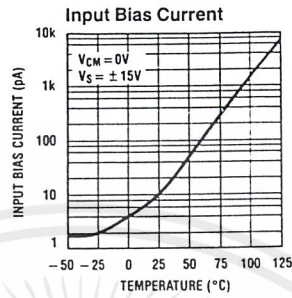
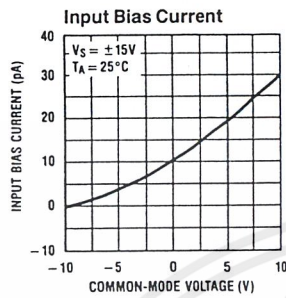
Note 6: Unless otherwise specified, the specifications apply over the full temperature range and for $V_S = \pm 20\text{V}$ for the LF442A and for $V_S = \pm 15\text{V}$ for the LF442. V_{OS} , I_B , and I_{OS} are measured at $V_{CM} = 0$.

Note 7: The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature, T_J . Due to limited production test time, the input bias currents measured are correlated to junction temperature. In normal operation the junction temperature rises above the ambient temperature as a result of internal power dissipation, P_D . $T_J = T_A + \theta_{JA}P_D$ where θ_{JA} is the thermal resistance from junction to ambient. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.

Note 8: Supply voltage rejection ratio is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously in accordance with common practice from $\pm 15\text{V}$ to $\pm 5\text{V}$ for the LF442 and $\pm 20\text{V}$ to $\pm 5\text{V}$ for the LF442A.

Note 9: Refer to RETS442X for LF442MH military specifications.

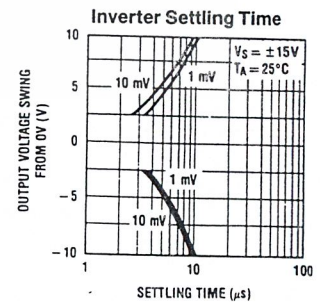
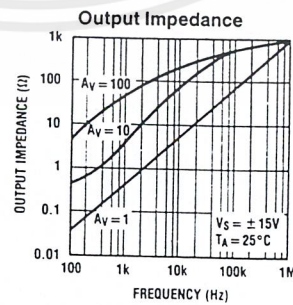
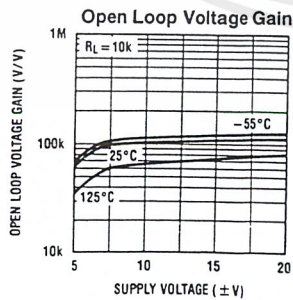
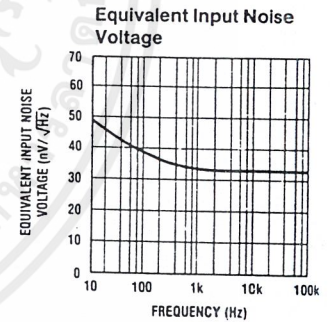
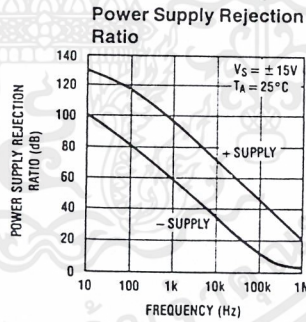
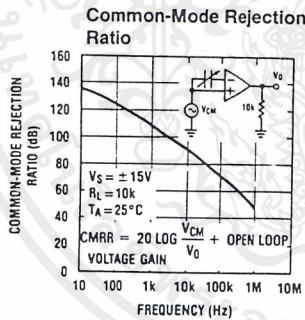
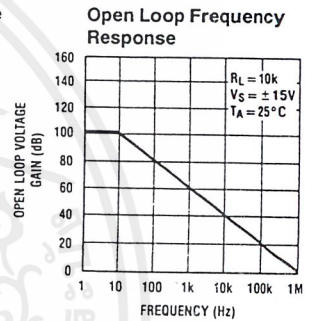
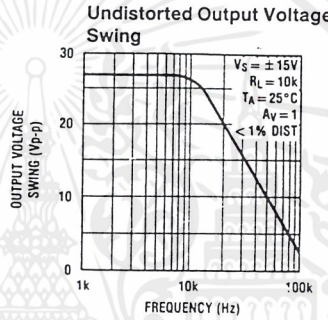
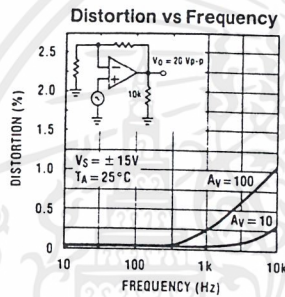
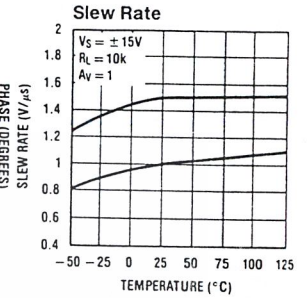
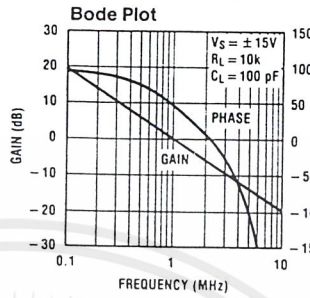
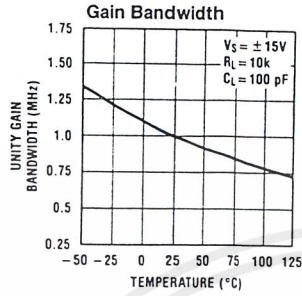
Typical Performance Characteristics



TL/H/9155-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)

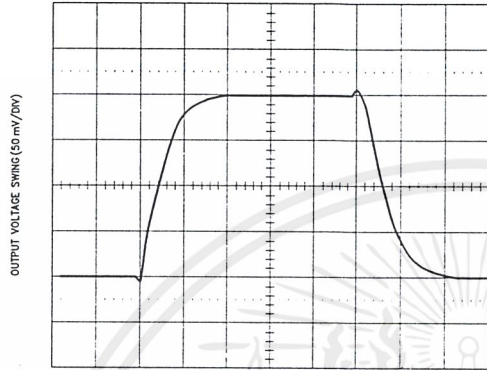


TL/H/9155-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

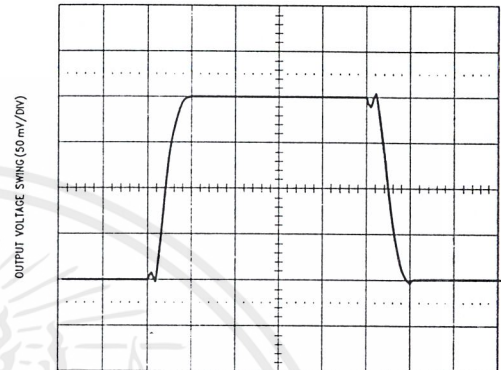
Pulse Response $R_L = 10\text{ k}\Omega, C_L = 10\text{ pF}$

Small Signal Inverting



TL/H/9155-7

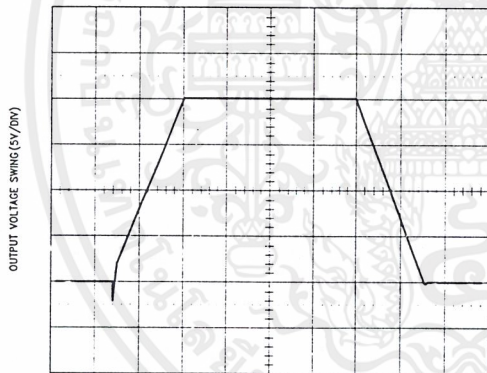
Small Signal Non-Inverting



TIME (0.5 μ s/DIV)

TL/H/9155-8

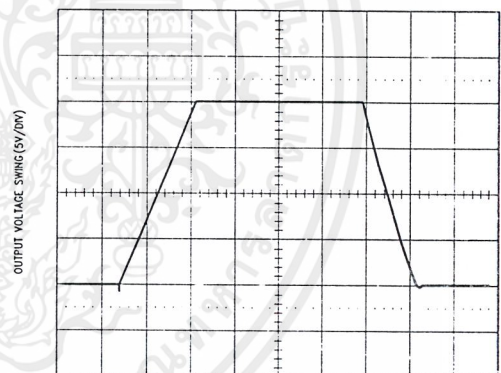
Large Signal Inverting



TIME (10 μ s/DIV)

TL/H/9155-9

Large Signal Non-Inverting



TIME (10 μ s/DIV)

TL/H/9155-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Application Hints

This device is a dual low power op amp with internally trimmed input offset voltages and JFET input devices (BI-FET II). These JFETs have large reverse breakdown voltages from gate to source and drain eliminating the need for clamps across the inputs. Therefore, large differential input voltages can easily be accommodated without a large increase in input current. The maximum differential input voltage is independent of the supply voltages. However, neither of the input voltages should be allowed to exceed the negative supply as this will cause large currents to flow which can result in a destroyed unit.

Exceeding the negative common-mode limit on either input will force the output to a high state, potentially causing a reversal of phase to the output. Exceeding the negative common-mode limit on both inputs will force the amplifier output to a high state. In neither case does a latch occur since raising the input back within the common-mode range again puts the input stage and thus the amplifier in a normal operating mode.

Exceeding the positive common-mode limit on a single input will not change the phase of the output; however, if both inputs exceed the limit, the output of the amplifier will be forced to a high state.

The amplifiers will operate with a common-mode input voltage equal to the positive supply; however, the gain bandwidth and slew rate may be decreased in this condition. When the negative common-mode voltage swings to within 3V of the negative supply, an increase in input offset voltage may occur.

Each amplifier is individually biased to allow normal circuit operation with power supplies of $\pm 3.0V$. Supply voltages less than these may degrade the common-mode rejection and restrict the output voltage swing.

The amplifiers will drive a 10 k Ω load resistance to $\pm 10V$ over the full temperature range.

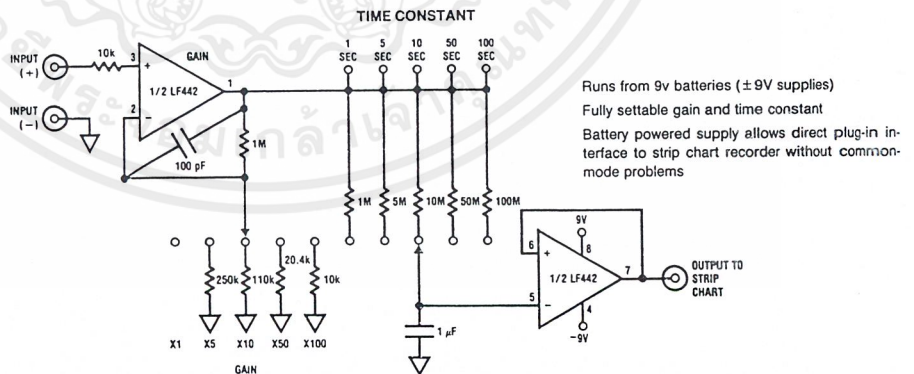
Precautions should be taken to ensure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed backwards in a socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

As with most amplifiers, care should be taken with lead dress, component placement and supply decoupling in order to ensure stability. For example, resistors from the output to an input should be placed with the body close to the input to minimize "pick-up" and maximize the frequency of the feedback pole by minimizing the capacitance from the input to ground.

A feedback pole is created when the feedback around any amplifier is resistive. The parallel resistance and capacitance from the input of the device (usually the inverting input) to AC ground set the frequency of the pole. In many instances the frequency of this pole is much greater than the expected 3 dB frequency of the closed loop gain and consequently there is negligible effect on stability margin. However, if the feedback pole is less than approximately 6 times the expected 3 dB frequency a lead capacitor should be placed from the output to the input of the op amp. The value of the added capacitor should be such that the RC time constant of this capacitor and the resistance it parallels is greater than or equal to the original feedback pole time constant.

Typical Applications

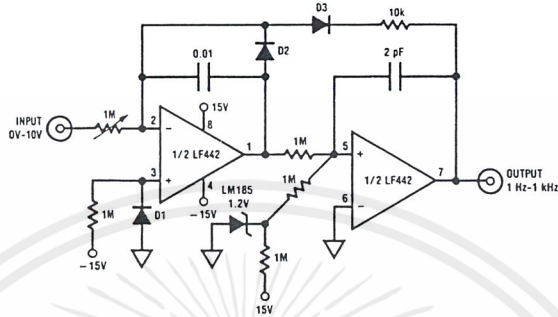
Battery Powered Strip Chart Preamplifier



TL/H/9155-11

Typical Applications (Continued)

"No FET" Low Power V → F Converter

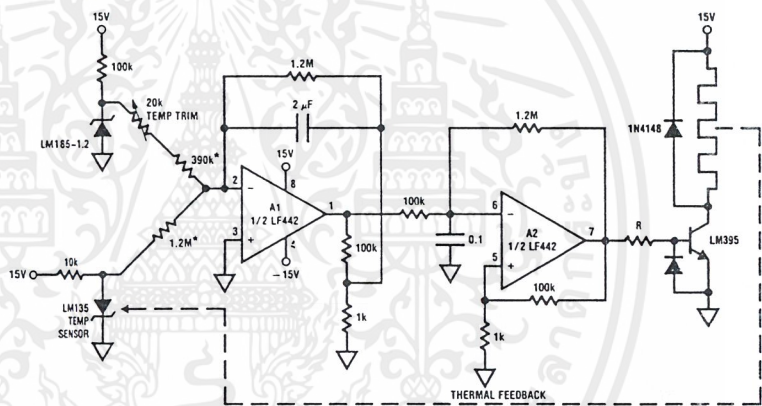


Trim 1M pot for 1 kHz full-scale output
 15 mW power drain
 No integrator reset FET required
 Mount D1 and D2 in close proximity
 1% linearity to 1 kHz

TL/H/9155-12

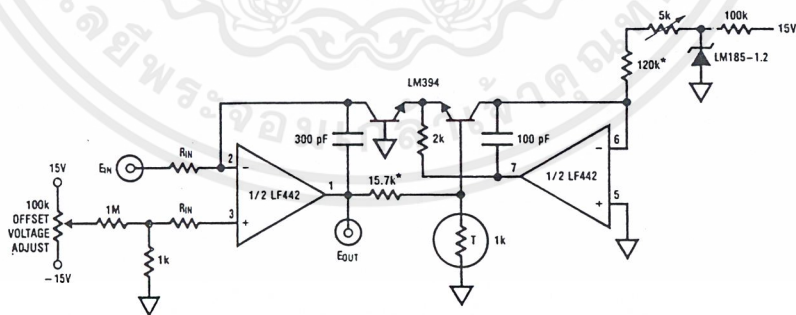
High Efficiency Crystal Oven Controller

- $T_{control} = 75^{\circ}C$
- A1's output represents the amplified difference between the LM335 temperature sensor and the crystal oven's temperature
- A2, a free running duty cycle modulator, drives the LM395 to complete a servo loop
- Switched mode operation yields high efficiency
- 1% metal film resistor



TL/H/9155-13

Conventional Log Amplifier



TL/H/9155-14

$$E_{OUT} = - \left[\log_{10} \left(\frac{E_{IN}}{R_{IN}} \right) + 5 \right]$$

$R_T = \text{Tel Labs type Q81}$

Trim 5k for 10 μA through the 5k-120k combination

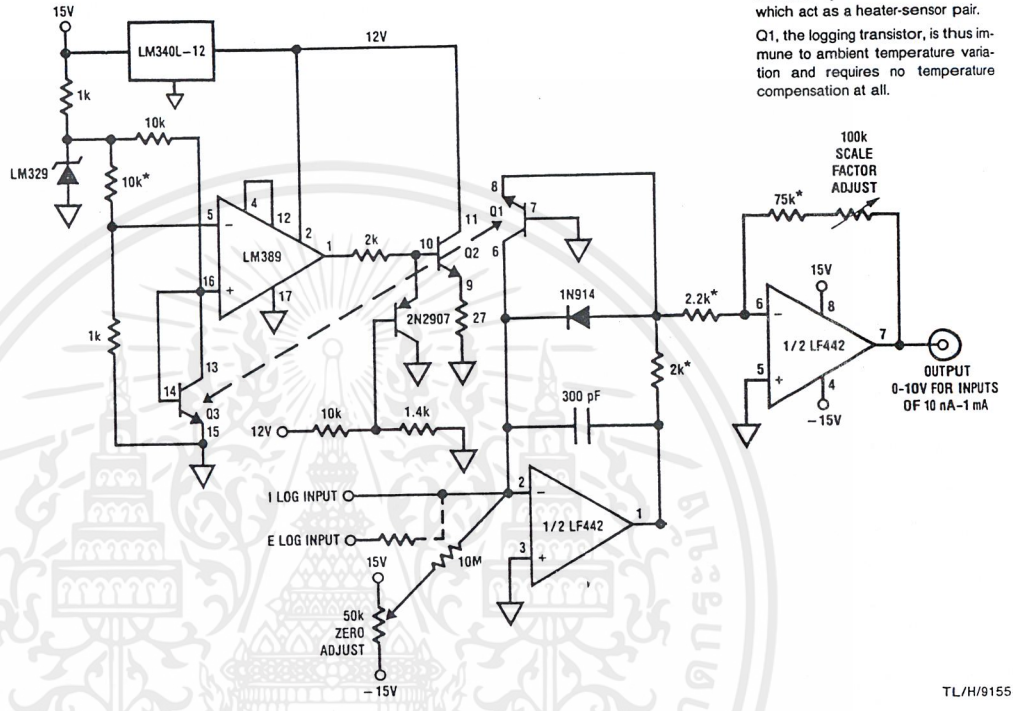
*1% film resistor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

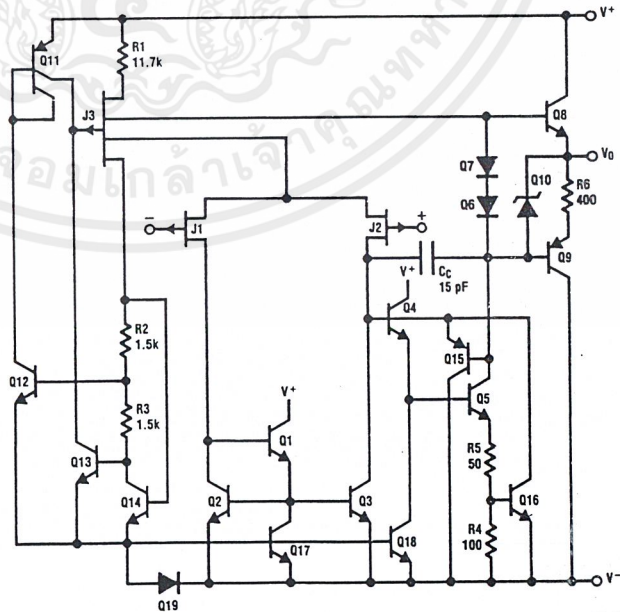
Unconventional Log Amplifier

Q1, Q2, Q3 are included on LM389 amplifier chip which is temperature-stabilized by the LM389 and Q2-Q3, which act as a heater-sensor pair. Q1, the logging transistor, is thus immune to ambient temperature variation and requires no temperature compensation at all.



Detailed Schematic

1/2 Dual



TL/H/9155-16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้