

เครื่องสังเคราะห์เสียงระบบอนาล็อก

Analog Synthesizer



โดย

นายสุภชัย คำรงกิจไพบูลย์ 40010896

นายอภิวัฒน์ ลูวีระ 40010949

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ยุทรนา คิดใจเดียว

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 42728
วัน, เดือน, ปี..... 7 ส.ย. 2545

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

ปริญญาโท สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

611212810

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตร ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องส่งเคราะห์เสียงระบบอนาล็อก

ผู้จัดทำ

นายสุภชัย คัมภักดิ์ไพบูลย์

นายอภิรักษ์ สุวีระ



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ.ชญาภา คีรีไศย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องสังเคราะห์เสียงระบบอนาล็อก

ANALOG SYNTHESIZER

นายสุกษัย คำรงกิจไพบูลย์ 40010896

นายอภิวัฒน์ ฤวีระ 40010949

โครงการได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมทั้งจะทำการสอบได้




(.....)อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับคำแนะนำและความช่วยเหลืออย่างมากมาจาก อ.บุรณา ทิศจิตใจ (อาจารย์ที่ปรึกษา) และ อ.ประภากร สุวรรณะ เกี่ยวกับคำแนะนำต่างๆสำหรับ โครงงานนี้ ที่ๆรุ่น 33 ชุมนุมดนตรีสากล คณะวิศวกรรมศาสตร์ พระจอมเกล้าลาดกระบัง ที่ได้ยืม Analog Synthesizer เครื่องต้นแบบสำหรับแนวคิดต่างๆ คณะอาจารย์ในห้อง Biolab ที่ได้ให้ความ กรรณาและอนุญาตให้ใช้งานอุปกรณ์ต่างๆสำหรับการสร้างโครงงานนี้ขึ้นมา

และเพื่อนๆทุกคนที่คอยให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือที่มีตลอดมาจนกระทั่งประสบผล สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย


.....
(นายสุกชัย คำรงกิจไพบูลย์)


.....
(นายอนันต์ ลูวีระ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องสังเคราะห์เสียงระบบอนาล็อก

สุภชัย คำรงกิจไพบูลย์

อภิรักษ์ ลูวีระ

อ.ยุทธนา คัดใจเดียว อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบเครื่องสังเคราะห์เสียงระบบอนาล็อกในแบบเบื้องต้น ซึ่งสามารถสังเคราะห์เป็นเสียงต่างๆและยังทำการประยุกต์ให้สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ดนตรีต่างๆเช่น คีย์บอร์ด หรือ ซินธิไซเซอร์ ได้โดยผ่านทางมาตรฐาน MIDI ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เป็นตัวรับข้อมูลและควบคุมการทำงานส่วนใหญ่ของระบบจึงทำให้อุปกรณ์ดนตรีในปัจจุบันที่ส่วนใหญ่ ส่วนของการสังเคราะห์เสียงจะทำงานในระบบดิจิทัลก็สามารถที่จะสังเคราะห์เสียงในระบบอนาล็อกได้เช่นกัน รวมทั้งยังสะดวกในการที่จะประยุกต์ใช้งาน เพื่อการสร้างสรรค์งานดนตรีต่างๆต่อไป

ANALOG SYNTHESIZER

Supachai Dumrongkijpaiboon

Apinunt Luvira

Yuttana Kidjaidure Advisor

2000

ABSTRACT

The main point of this project is to present the design of Analog synthesizer in the simple model. This analog synthesizer can synthesis a sound and application to interface to musical instrument that process in digital system. Ex Keyboard or Synthesizer can be connect to this project by MIDI (Musical Instrument Digital Interface) standard.

The microcontroller MCS-51 series has a duty to receive translate a MIDI language and control the most part in this system. So it can synthesis in analog system but control from the digital musical instrument that is easy to use for create musical work.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	i
บทคัดย่อ	ii
Abstract	iii
สารบัญ	iv
สารบัญรูป	vi
สารบัญตาราง	vii
บทที่1 บทนำ	1
บทที่2 ทฤษฎีเบื้องต้นของการทำงาน	4
2.1 ส่วนควบคุมการทำงาน(Controiler Part)	4
2.1.1 มาตรฐานทางอุปกรณ์(Interface Hardware)	5
2.1.2 มาตรฐานข้อความ(MIDI Message)	6
2.2 ส่วนสังเคราะห์เสียง (Analog Synthesis Part)	7
2.2.1 Voltage Control Oscillator (VCO)	7
2.2.2 Voltage Control Amplifier (VCA)	8
2.2.3 Voltage Control Filter (VCF)	9
2.2.4 วงจรกำเนิดสัญญาณรบกวน(Noise Generator)	12
2.3 ส่วนสร้างแรงดันควบคุม(Control Voltage Part)	13
2.3.1 Keyboard	13
2.3.2 Low Frequency Oscillator (LFO)	13
2.3.3 Envelope Generator	13
บทที่3 หลักการออกแบบและการทำงาน	15
3.1 วงจร Voltage Control Oscillator (VCO)	16
3.2 วงจรรับข้อมูลMIDIและควบคุมการทำงาน	18
3.3 วงจรD/A Converter	21
3.4 วงจร Voltage Vontrol Filter (VCF)	21
3.5 วงจร Voltage Control Amplifier (VCA)	23
3.6 วงจร Envelope Generator	24

3.7 วงจร Low Frequency Oscillator (LFO)	26
3.8 วงจร Noise Generator	27
บทที่ 4 ผลการทดลอง	28
4.1 ผลการสร้างความถี่ของสัญญาณ	28
4.2 ผลของวงจร ADSR	30
4.3 ผลของวงจร LFO	31
4.4 ผลของวงจร VCA	31
บทที่ 5 บทสรุป	32
บรรณานุกรม	33
ภาคผนวก ก	
Table 1: Summary of MIDI Status & Data Bytes	34
Table 2: Summary of MIDI Note Numbers for Different Octaves	39
ภาคผนวก ข โปรแกรมรับข้อมูล MIDI และควบคุมการทำงาน	40

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมองค์ประกอบของ Analog Synthesizer	1
รูปที่2.1 แสดงแผนผังวงจรที่เป็นองค์ประกอบหลัก	4
รูปที่2.2 แสดงรายละเอียดพอร์ต DIN ชนิด5ขาตามมาตรฐานMIDI	5
รูปที่2.3 แสดงข้อมูลในการส่งข้อความMIDI ในการกดหรือปล่อยโน้ต 1 ครั้ง	7
รูปที่2.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของ State Variable Filter	10
รูปที่2.5 แสดงรูปวงจรหลังจากกำหนดค่าต่างๆ	11
รูปที่2.6 แสดงวงจร Normalized ของ State Variable Filter	12
รูปที่2.7 กราฟแสดงถึงขนาดแอมพลิจูดของแต่ละช่วงเวลาของเสียง	13
รูปที่3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ	15
รูปที่3.2 วงจร Voltage Control Oscillator 1 ชุด	17
รูปที่3.3 วงจรรับข้อมูล MIDI และควบคุมการทำงาน	18
รูปที่3.4 แสดงโฟลวชาร์ตโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์	20
รูปที่3.5 วงจรD/A Converter แบบ R-2R Ladder	21
รูปที่3.6 วงจร Voltage Control Filter	22
รูปที่3.7 วงจร Voltage Control Amplifier	23
รูปที่3.8 วงจร Envelope Generator หรือ ADSR	24
รูปที่3.9 วงจร Low Frequency Oscillator	26
รูปที่3.10 วงจร Noise Generator	27

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความถี่มาตรฐานของไม้คณตรี	8
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าผลการสร้างความถี่ของสัญญาณ	28-30

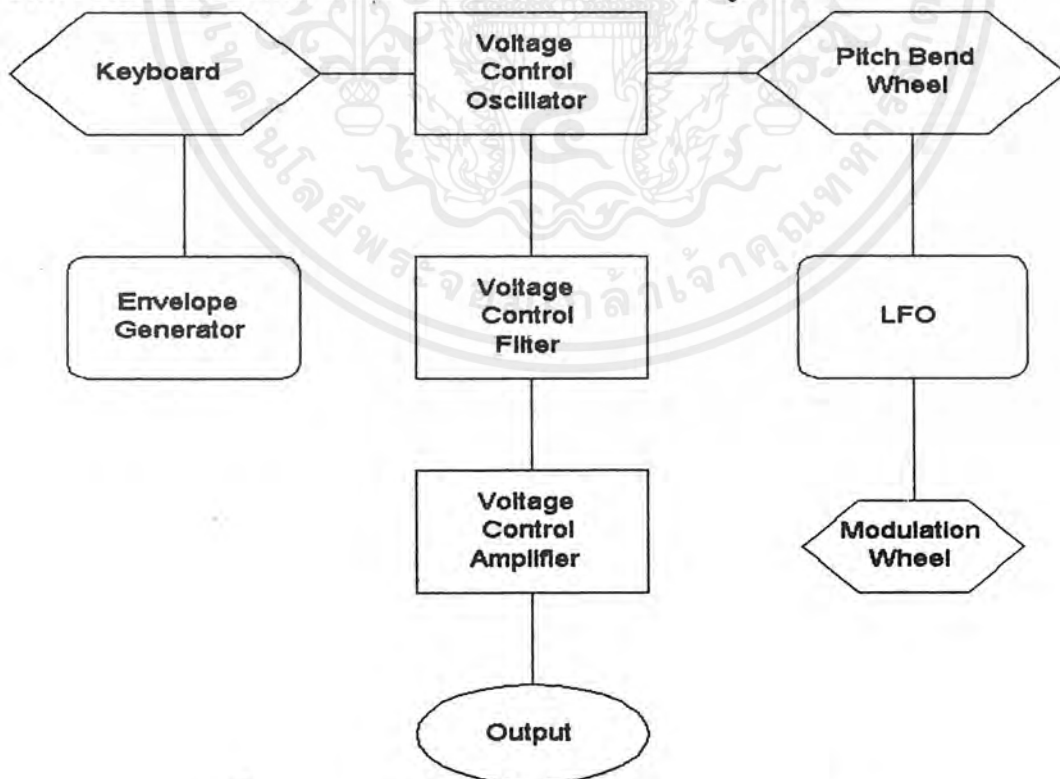


บทที่ 1

บทนำ

เครื่องสังเคราะห์เสียงระบบอนาล็อก (Analog synthesizer) เป็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณเสียงต่างๆ เช่น สัญญาณรูปสี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม หรือสัญญาณรูปซายน์ เป็นต้น และนำสัญญาณดังกล่าวไปทำการสังเคราะห์ในรูปแบบต่างๆ กันไป โดยการใช้งานทั่วไปแล้วมักจะนำไปเป็นอุปกรณ์ดนตรีในแนวอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Music) หรือเพลงเต้นรำต่างๆ (Dance Music) ซึ่งการออกแบบในยุคแรกๆ นั้นได้แนวความคิดมาจากเครื่องมือที่ใช้ภายในห้องปฏิบัติการทางอิเล็กทรอนิกส์ อันได้แก่ เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator) วงจรกรองความถี่ในแบบต่างๆ (Signal Filter) ฯลฯ เป็นต้นแบบในการออกแบบ

พื้นฐานในการสร้างและออกแบบ Analog Synthesizer นั้นคือการนำวงจรที่มีความสามารถในการสร้างและการสังเคราะห์สัญญาณต่างๆ มาต่อไว้ด้วยกัน โดยที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอนในการออกแบบ ซึ่งส่วนมากมักขึ้นอยู่กับลักษณะของสัญญาณเสียงที่ผู้ออกแบบต้องการ แต่ถึงกระนั้นก็สามารถแสดงถึงองค์ประกอบหลักของเครื่องสังเคราะห์เสียงระบบอนาล็อกได้ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมองค์ประกอบของ Analog Synthesizer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 1.1 เราสามารถแบ่งวงจรที่เป็นองค์ประกอบหลักๆที่ใช้ภายในเครื่องได้เป็น 5 ส่วนคือ

1.Voltage Control Oscillator (VCO) มีหน้าที่ในการสร้างสัญญาณเสียงในรูปแบบต่างๆตาม โทนเสียงมาตรฐาน โดยมีอินพุทของระบบเป็นแรงดันไฟฟ้าเพื่อนำไปควบคุมให้วงจรสร้างความถี่ของ สัญญาณตามต้องการ

2.Voltage Control Filter (VCF) มีหน้าที่เป็นวงจรกรองความถี่ของสัญญาณเสียงที่สร้างมา จาก VCO โดยค่าของความถี่คัทออฟ และลักษณะการทำงานของวงจรสามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลง ได้โดยค่าของแรงดันไฟฟ้าที่สร้างมาจากวงจร ENV และ LFO ซึ่งสัญญาณเอาท์พุทที่ได้ จะมีค่าต่างๆที่ เปลี่ยนแปลงไป เช่น ฮาร์โมนิก เป็นต้น

3.Voltage Control Amplifier (VCA) มีหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณตามค่าแรง ดันอินพุทที่ได้มาจากวงจร ENV และ LFO รวมทั้งยังสามารถใช้ในการทำหน้าที่หนักรของการกดคีย์ เช่น หากกดแรงจะมีเสียงดังกว่ากดเบา เป็นต้น

4.Envelope Generator (ENV) เป็นวงจรที่สร้างแรงดัน ไฟฟ้าเพื่อนำไปเป็นส่วนควบคุมการ ทำงานของวงจร VCF และ VCA โดยมักจะใช้ในการปรับค่า Attack Time, Decay Time, Release Time และ Sustain ของสัญญาณ

5.Low Frequency Oscillator (LFO) เป็นวงจรที่สร้างแรงดันที่มีลักษณะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม และสามเหลี่ยมที่มีความถี่ต่ำๆ ใช้ในการควบคุมการทำงานของวงจร VCF และ VCA เช่นกัน เพื่อให้ สัญญาณเสียงที่ออกมามีลักษณะคังและค้อยสลับกัน

6.Noise Generator เป็นวงจรที่สร้างสัญญาณรบกวนหรือ Noise ขึ้นเพื่อนำไปผสมกับเสียงหลัก แล้วทำให้เสียงแตกพร่า นอกจากนั้นยังใช้เลียนเสียงเครื่องดนตรีประเภทเครื่องประกอบจังหวะต่างๆ ที่ เป็นเหล็ก เช่น ฉาบ กลองแขก เป็นต้น

เนื่องจากการสังเคราะห์เสียงในระบบอนาล็อกเพื่อเลียนแบบเสียงเครื่องดนตรีแบบต่างๆเป็น กระบวนการที่มีหลักการทำงานและการใช้งานที่เข้าใจยาก รวมทั้งเครื่องมือหรืออุปกรณ์ดนตรีส่วน ใหญ่ในปัจจุบันที่มีทั้งกระบวนการสังเคราะห์เสียงในแบบดิจิทัลและการทำงานในระบบ Digital Signal Processing หรือ DSP เช่น คีย์บอร์ด ซินธิไซเซอร์ เป็นต้นจะมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เหมือนกับเสียงเครื่องดนตรีไว้เรียบร้อยแล้ว ทำให้เป็นที่นิยมมากกว่า แต่ก็ยังมีกลุ่มนักดนตรีไม่น้อย ที่ยังหลงใหลและสนใจในเสียงที่ผ่านการสังเคราะห์แบบอนาล็อก เพราะเสียงที่ได้เป็นเอกลักษณ์และ ระบบ DSP ไม่สามารถทำเลียนแบบได้ ซึ่งโครงการนี้จะเป็นการออกแบบเครื่องสังเคราะห์เสียงระบบ

อนาล็อกที่สามารถควบคุมผ่านเครื่องดนตรีในระบบดิจิทัลได้โดยผ่านโปรโตคอลที่เรียกว่า MIDI ซึ่ง
ย่อมาจาก Musical Instrument Digital Interface โดยในโครงการนี้จะใช้การทำงานของไมโคร
คอนโทรลเลอร์ MCS-51 เป็นส่วนที่ควบคุมการติดต่อกับเครื่องดนตรีดังกล่าว ซึ่งจะช่วยให้มีความสะดวก
ในการใช้งานและการประยุกต์ใช้ได้กว้างขึ้นอีกด้วย รวมทั้งยังก่อให้เกิดประโยชน์จากการศึกษาหลัก
การทำงานของวงจรซึ่งเป็นองค์ประกอบต่างๆภายในซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นวงจรพื้นฐานในสายงานด้าน
อิเล็กทรอนิกส์ทั้งสิ้น

ในปฏิญานพันธบัตรฉบับนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นของการทำงานในบทที่2 รายละเอียดและการ
ออกแบบโครงการในบทที่3 รวมไปถึงผลการทำงานที่ได้และสรุปผลในบทที่4และ5 ตามลำดับ

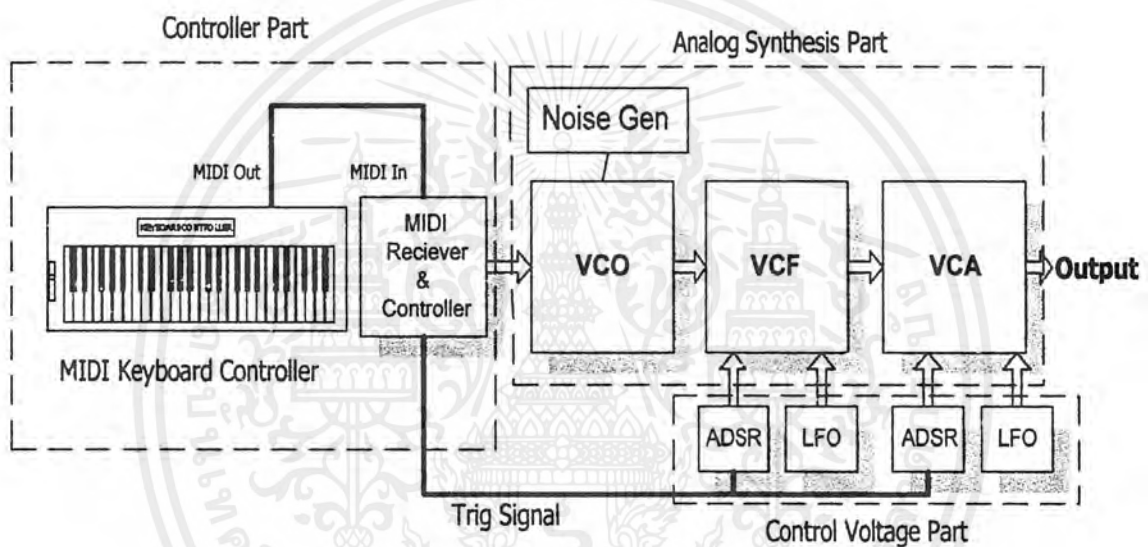


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการทำงาน

จากบทที่แล้วเราได้ทราบถึงภาพรวมและรายละเอียดคร่าวๆของโครงการ ในบทนี้เราจะกล่าวถึงทฤษฎีของการออกแบบที่ต้องทราบของการทำงานในแต่ละส่วน โดยละเอียด



รูปที่ 2.1 แสดงแผนผังวงจรที่เป็นองค์ประกอบหลัก

จากรูปที่ 2.1 แสดงถึงส่วนประกอบทั้งหมดของ Analog Synthesizer ในโครงการนี้ซึ่งสามารถแบ่งตามหน้าที่การทำงานเป็นส่วนหลักๆได้ 3 ส่วนคือ

1. Controller Part เป็นส่วนที่ทำงานตามมาตรฐาน MIDI
2. Analog Synthesis Part เป็นส่วนที่สร้างและสังเคราะห์สัญญาณเสียงระบบอนาล็อก
3. Control Voltage เป็นส่วนที่ควบคุมวงจรในส่วนที่ 2 ด้วยระดับแรงดันไฟฟ้า

2.1 Controller Part

เป็นส่วนที่ประกอบไปด้วย Keyboard ซึ่งเป็นตัวป้อนคำสั่งต่างๆในการทำงานและใช้การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในการรับคำสั่งและควบคุมการทำงาน โดยในส่วนนี้ส่วนใหญ่จะเป็นการทำงานในแบบดิจิทัล MIDI หรือ Musical Instrument Digital Interface ซึ่งมีมาตรฐานที่ควรทราบดังนี้

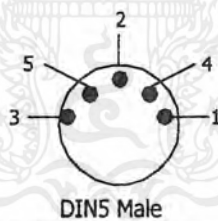
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 มาตรฐานทางค้ำอุปกรณ (Interface Hardware)

การรับส่งข้อมูลของ MIDI มีการรับส่งในลักษณะอนุกรมแบบที่ไม่เกิดในเวลาเดียวกันหรือ (Asynchronous) โดยอัตราการส่งมีค่า 31.25 กิโลบิตต่อวินาที ที่มีค่าความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 1\%$ ในการส่งแต่ละไบต์จะประกอบไปด้วยบิตเริ่มต้น (start bit) 1 บิต บิตข้อมูล (data bits) 8 บิต และบิตหยุด (stop bit) 1 บิต รวมทั้งหมด 10 บิต ในการส่ง 1 ไบต์ ซึ่งมีค่าของคาบในการส่ง 320 ไมโครวินาทีต่อ 1 ไบต์อนุกรม

วงจรของพอร์ตรับส่ง MIDI เป็นวงจรแบบวงรูปกระแสดวงขนาด 5 มิลลิแอมป์ โดยตรรกะค่า "0" จึงจะมีกระแสไหล ซึ่งเอาท์พุทจะขับกระแสให้อินพุทแบบตัวต่อตัว เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการเกิดลูปที่กราวนด์ ซึ่งอาจก่อให้เกิดความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูลได้ ดังนั้นที่อินพุทต้องทำการต่อไอซีชนิด Opto-Isolated เช่น Sharp PC-900 และ HP 6N138 Optoisolators อุปกรณ์ดังกล่าวควรมีค่าของการเปลี่ยนแปลงของเวลาขึ้นและลง (Risetime and Falltime) น้อยกว่า 2 ไมโครวินาที

มาตรฐานอุปกรณ์เชื่อมต่อหรือคอนเน็คเตอร์ของ MIDI จะเป็น DIN ชนิด 5 ขา ซึ่งใช้ทั้งอินพุทและเอาท์พุท โดยทางอินพุทจะเป็นช่อง MIDI IN ทางค้ำเอาท์พุทจะเรียกว่า MIDI OUT และเป็นช่อง MIDI THRU สำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์หลายๆชิ้น สายเคเบิลสำหรับการเชื่อมต่อไม่ควรยาวเกิน 50 ฟุต โดยแต่ละขามีคุณสมบัติดังรูปที่ 2.2



Pin	Name	Description
1	CLOCK	Keyboard Clock
2	DATA	Keyboard Data
3	N/C or RESET	Not connect or Keyboard Reset
4	GND	Ground
5	VCC	+5V DC

รูปที่ 2.2 แสดงรายละเอียดคัพอร์ต DIN ชนิด 5 ขาตามมาตรฐานของ MIDI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 มาตรฐานข้อความ(MIDI Message)

MIDIจะมีการกำหนดมาตรฐานของข้อความคือ ใน1ข้อความจะประกอบไปด้วยการเรียงกันของไบต์ข้อมูลขนาด 8 บิตจำนวนมาก บางข้อความอาจมีแค่1ไบต์ บางข้อความอาจมีแค่2ไบต์หรือ3ไบต์ หรืออาจจะไม่จำกัดจำนวน ขึ้นกับชนิดของข้อความ ปกติแล้วไบต์แรกของการรับส่งแต่ละข้อความจะเรียกว่าไบต์สถานะหรือ Status byte จากนั้นจะตามด้วยไบต์ข้อมูลหรือ Data Byte โดยที่ไบต์สถานะจะมีข้อแตกต่างจากไบต์ชนิดอื่นๆตรงที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเพียงแค่บิตที่7 เท่านั้น โดยที่ไบต์อื่นๆที่ตามมา จะไม่มีการเซตค่าที่บิต7 จึงสามารถตรวจสอบได้ว่าไบต์นี้เป็นไบต์เริ่มต้นของข้อความ เพราะเมื่อได้รับบิตที่7มีการเซตค่า นั่นทำให้ไบต์สถานะมีค่าตั้งแต่ 0X00 ถึง 0XFF ขณะที่ไบต์อื่นๆที่ตามมาเช่น ไบต์ข้อมูลมีค่าในช่วง 0X00 ถึง 0X7F ในค่าเลขฐานสิบหก ทำให้ค่าของไบต์สถานะยังสามารถนั้นสามารถแบ่งช่องของข้อมูลเสียงได้เป็น16ช่อง เนื่องด้วยเหตุผลนี้ทำให้เราเรียกข้อความจากไบต์สถานะว่า ข้อความของเสียง (Voice Message) โดยที่ค่าไบต์สูงจะเป็นค่าที่เรียกว่า “ชนิด” ของข้อความซึ่งมีค่าดังนี้

- 8 = Note Off
- 9 = Note On
- A = After Touch
- B = Control Change
- C = Program (Patch) Change
- D = Channel Pressure
- E = Pitch Wheel

ส่วน ไบต์ค่านั้นจะเป็นค่าของช่องเสียง(Channel)ที่ 0-15 ตัวอย่างเช่น ไบต์สถานะมีค่าเป็น 0X92 ซึ่ง ไบต์สูงมีค่าเท่ากับ 9 ส่วน ไบต์ต่ำมีค่าเท่ากับ 2 จะหมายความว่า เป็นข้อความชนิด Note On ที่ช่องเสียงที่ 2 (โดยค่าของไบต์สถานะทั้งหมดสามารถดูได้ที่ตารางที่1 และ ตารางที่2)

เนื่องจากในโครงการนี้สนใจแค่เพียงการกดคีย์และการสร้างความถี่ตามเสียงของโน้ตมาตรฐานเท่านั้นเท่านั้นซึ่งจะมีไบต์สถานะที่ใช้เพียงแค่ Note On และ Note Off เท่านั้น จึงขออธิบายความหมายของ 2 ชนิดนี้เท่านั้น

Note On เป็น ไบต์สถานะที่แสดงว่ามีการกดคีย์นั้นๆของตัว โน้ตขึ้น โดยไบต์สถานะชนิดนี้จะมีค่าตั้งแต่ 0X90 จนถึง 0X9F โดยที่ไบต์ต่ำจะมีค่า 0-F เป็นการแสดงว่าไบต์สถานะดังกล่าวเป็นของช่องเสียงใดตั้งแต่ 0-15

Note Off เป็นไบต์สถานะที่แสดงว่ามีการปล่อยคีย์ของโน้ตตัวนั้นๆ โดยไบต์สถานะชนิดนี้จะมีค่าตั้งแต่ 0X80 จนถึง 0X8F โดยที่ไบต์ต่ำจะมีค่าตั้งแต่ 0-F เป็นการแสดงถึงช่องเสียงเช่นกัน

ในการรับส่งข้อความ โดยการกดแป้นคีย์บอร์ดที่เป็นตัวโน้ตนั้น ใน 1 ข้อความจะประกอบไปด้วยการส่ง 3 ไบต์ โดยไบต์เริ่มต้นจะเป็นไบต์สถานะนั่นก็คือ Note On หรือ Note Off ส่วนไบต์ที่ 2 และ 3 จะเป็นไบต์ข้อมูล โดยไบต์ที่ 2 จะแสดงว่าเป็นโน้ตตัวใด เช่น หากข้อมูลในไบต์ที่ 2 มีค่า 00111011 หรือ 3C ในเลขฐานสิบหก จะมีความหมายว่าเป็นโน้ตเสียง C ชั้นเสียงที่ 3 ส่วนในไบต์ที่ 3 จะเป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับน้ำหนักของการกดหรือปล่อย จะมีค่าตั้งแต่ 0-127 ระดับ เช่นข้อมูลในไบต์ที่ 3 มีค่าเป็น 00111100 จะมีค่าน้ำหนักการกดหรือปล่อยเท่ากับ 60

(สามารถดูข้อมูลทั้งหมดของไบต์ที่ 2 และ 3 ได้จากภาคผนวก ก)

ดังนั้นเราจึงสรุปได้ว่าในการกดคีย์ของตัวโน้ต 1 ครั้งจะประกอบไปด้วย 3 ไบต์ นั่นคือ ไบต์สถานะ 1 ไบต์ และไบต์ข้อมูลอีก 2 ไบต์ ดังรูปที่ 2.3

Status Byte	Data Byte	Data Byte
10010100	00111100	00111100

รูปที่ 2.3 แสดงข้อมูลในการส่งข้อความ MIDI ในการกดหรือปล่อยโน้ต 1 ครั้ง

2.2 Analog Synthesis Part

เป็นส่วนที่ทำงานในการสร้างและสังเคราะห์สัญญาณเสียงซึ่งประกอบไปด้วยวงจรต่างๆที่มีหน้าที่การทำงานดังนี้

2.2.1 Voltage Control Oscillator (VCO) เป็นวงจรที่เป็นหัวใจในส่วนนี้ โดยทำหน้าที่สร้างสัญญาณเสียงที่มีรูปร่างต่างๆ ที่มีความถี่ตามระดับแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง เช่น สัญญาณรูปสี่เหลี่ยม (Square) สามเหลี่ยม (Triangular) พัลส์ (Pulse) ฟันเลื่อย (Sawtooth) และคลื่นไซน์ (Sinewave) ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการสังเคราะห์เสียง โดยสัญญาณที่ได้จะมีความถี่พื้นฐานเพียงค่าเดียวให้เสียงที่เป็น pure sound ซึ่งฟังแล้วจะน่าเบื่อ เสียงดนตรีที่ไพเราะควรจะเป็นเสียงที่ประกอบไปด้วยความถี่ฮาร์โมนิกหลายๆค่า เช่น ในเสียงโน้ต A ที่ต่ำกว่า C เสียงกลาง มีค่าความถี่พื้นฐาน 220 เฮิรตซ์ จะต้องมีความถี่ฮาร์โมนิกที่ค่า 440, 660 และ 880 เฮิรตซ์ โดยปกติในการทำงานลักษณะนี้ VCO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 วงจรจะสร้างได้เพียง 1 ความถี่ต่อการกด 1 ครั้งซึ่งการบอกถึงจำนวน VCO จะสามารถบอกได้ว่า Analog synthesizer ตัวนั้นสามารถกดตัวโน้ตได้กี่ตัวใน 1 ครั้งเช่น หากมีจำนวน VCO ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ก็จะสามารถสร้างเสียงที่มีลักษณะคล้ายเครื่องดนตรีประเภท เปียโน หรือ ออแกนได้ สัญญาณความถี่ต่างๆจะมีการเปลี่ยนแปลงตามระดับแรงดัน ไฟตรงที่ควบคุม ซึ่งมีมาตรฐานอยู่ 2 แบบ คือ 1 โวลต์ต่อ 1 ชั้นเสียง (Octave) และ แรงดัน 1 หน่วยต่อความถี่ 1 เฮิร์ตซ์ การสร้างสัญญาณเสียงที่มีค่าเท่ากับคีย์ที่กดซึ่งฟังแล้วเป็น โน้ตที่ไม่ผิดเพี้ยน นั้นหมายความว่าสัญญาณเสียงนั้นจะต้องมีความถี่เท่ากับ ความถี่มาตรฐานของเสียงดนตรี มีค่าดังตารางข้างล่างนี้ โดยมีหน่วยเป็นเฮิร์ตซ์

Octave Note	1	2	3	4	5	6
C	65	131	262	523	1010	2093
C# / Db	69	139	277	554	1103	2217
D	73	147	294	587	1176	2349
D# / Eb	78	156	311	622	1241	2489
E	82	165	330	659	1311	2637
F	87	175	349	698	1391	2794
F# / Gb	93	185	370	740	1488	2960
G	98	196	392	784	1568	3136
G# / Ab	104	208	415	831	1662	3322
A	110	220	440	880	1760	3520
A# / Bb	117	233	466	932	1866	3729
B	123	248	494	988	1973	3951

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความถี่มาตรฐานของตัวโน้ตดนตรี

2.2.2 Voltage Control Amplifier (VCA) เป็นวงจรที่สามารถกำหนดระดับเอาต์พุตของสัญญาณ ตั้งแต่ 0 จนถึงค่าสูงสุด โดยค่าเฉลี่ยของแรงดันอินพุตที่มาจากส่วน Control Voltage โดยปกติแล้วค่าแรงดันควบคุมนี้หากมาจากคีย์บอร์ดแล้ว จะทำให้สามารถกำหนดเอาต์พุตได้ตามน้ำหนักการกดคีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 *Voltage Control Filter (VCF)* เป็นวงจรที่เชื่อมต่อระหว่าง VCO และ VCA ซึ่งทำงานเป็น วงจรกรองความถี่ของสัญญาณในแบบต่างๆ คือ Bandpass Filter , Hipass Filter และ Lowpass Filter ที่ สามารถเปลี่ยนค่า resonance และค่า Q ของสัญญาณได้ นอกจากนั้นยังสามารถปรับและควบคุมค่า ความถี่คัทออฟของวงจรได้โดยระดับแรงดันอินพุตจากส่วน Control Voltage ที่มีอัตราส่วนการลดทอน ของความถี่ประมาณ 12 dB หรือ 24 dB ต่อ 1 ชั้นเสียง (Octave)

โดยปกติวงจร VCF จะมีการทำงานของวงจรที่ทำให้มีลักษณะของสัญญาณที่ต่างกั นนั้นจะขึ้นกับชนิดหรือลักษณะของแหล่ง Control Voltage ที่ได้ป้อนอินพุตให้กับ VCF ซึ่งสามารถ จำแนกได้มาจาก 3 แหล่งคือ

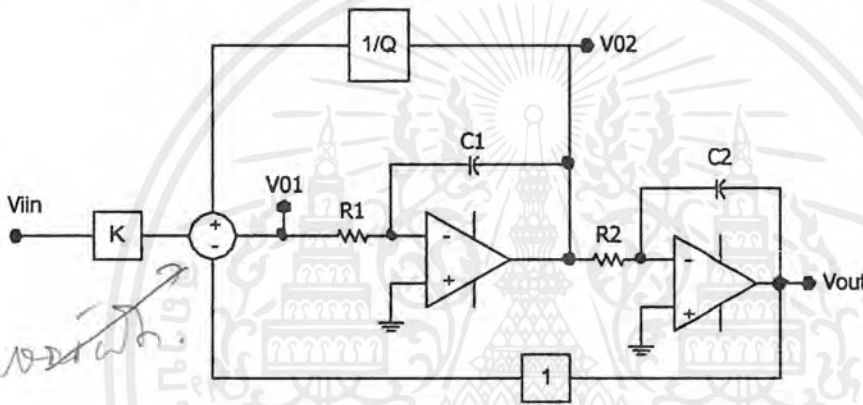
1. มาจากการปรับค่าต่างๆของ Filter เองในลักษณะการปรับค่าที่หน้าปัดเช่น ค่า Filter Frequency ค่าที่ได้จะเป็นไปตามการปรับด้วยตนเองหรือลักษณะของ manual mode
2. มาจาก Keyboard การทำงานจะมุ่งให้การกรองสัญญาณเป็นไปตามค่าฮาร์โมนิกของ สัญญาณ หรือการกรองค่าฮาร์โมนิกที่สูงๆออกไปนั่นเอง แต่การทำงานในลักษณะนี้จะมี ปัญหาตรงที่ เสียงของโน้ตที่มีค่า Pitch สูงๆ จะไม่เหมือนกับ โน้ตที่มีค่า pitch ต่ำๆ เป็นผล จากค่าความถี่พื้นฐานและฮาร์โมนิกของสัญญาณมีการลดทอนที่เหมือนกับค่าของการ pitch ที่ถูกเลือก
3. มาจากวงจร Envelope Generator เป็นผลเนื่องมาจากต้องการจะสังเคราะห์สัญญาณเสียง ธรรมชาติหลายชนิดจะมีความถี่ฮาร์โมนิกมากมายตอนเริ่มและจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไปซึ่ง จะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อของ Envelope Generator

การออกแบบ VCF ของ Analog synth บางชนิดนั้นอาจมีการตอบสนองการทำงาน ของวงจรกรองชนิดต่างๆที่ต่างกันเช่น บางวงจรการทำงานของ bandpass จะเหมือนกับ lowpass เพื่อ เพิ่มขีดความสามารถในการควบคุมค่า resonance ให้การทำงานที่ค่าความถี่ต่ำไม่ไปลดทอนค่าที่ความถี่ สูงด้วย การกรองที่ความถี่สูงมีเสียงที่หายขึ้นเป็นเพราะ ค่าความถี่ฮาร์โมนิกที่ต่ำกว่าจะ โคนลดทอน ขณะที่ค่าความถี่ฮาร์โมนิกที่สูงกว่าก็จะสามารถผ่านไปโดยไม่ถูกลดทอน

นอกจากนั้นยังมีการทำงานของการกรองความถี่แบบ Notch ที่มีการลดทอนในย่านความถี่ แคบๆ มีผลทำให้สามารถตัดค่าความถี่พื้นฐานและค่าฮาร์โมนิกที่สำคัญออกได้ สำหรับวงจร VCF ใน โครงงานนี้เราเลือกใช้วงจรกรองความถี่แบบ State Variable Filter เนื่องจากโดยปกติแล้ววงจรกรอง ความถี่แบบแอกทีฟที่ใช้ op-amp เพียงตัวเดียว จะทำให้คุณสมบัติของ filter นั้นเปลี่ยนแปลงค่าพารา มิเตอร์มากกว่า 1 พารามิเตอร์ เช่นการเปลี่ยนค่า R ต่างๆภายในวงจร LPF ก็จะทำให้ค่า Q และ K เปลี่ยน

แปลง ข้อยู่ยากอีกประการหนึ่งที่เห็นได้ชัดเจนคือการเปลี่ยน passband gain ก็ทำได้ยากเช่นเดียวกัน โดยการใช้วงจร State Variable Filter เราจะสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของ filter ได้อย่างอิสระ

State Variable Filter ประกอบไปด้วยวงจร integrator 2 ชุดต่อ cascade กันและนำเอาที่พหุของ แต่ละชุดป้อนกลับมารวมกับอินพุตจะได้ filter ที่ให้ response ได้ทุกรูปแบบ (Lowpass , Hipass , Bandpass,) ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนการรวมกันของสัญญาณ และจุดที่นำสัญญาณเอาต์พุตไปใช้งาน



รูปที่ 2.4 แสดงบล็อกโคแอดแกรมของ State Variable Filter

Transfer Function ของ Integrator คือ

$$T = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{-1}{SRC}$$

ดังนั้นจากรูป

$$V_{02} = \frac{-V_{01}}{SR_1C_1}$$

$$V_{03} = \frac{-V_{02}}{SR_2C_2}$$

$$\begin{aligned} V_{01} &= -KV_{IN} + \frac{1}{Q}V_{02} - V_{03} \\ &= -KV_{IN} + \frac{1}{Q}\left(\frac{-V_{01}}{SR_1C_1}\right) - \left(-\frac{V_{02}}{SC_2R_2}\right) \\ &= -KV_{IN} - \frac{1}{Q}\left(\frac{V_{01}}{SR_1C_1}\right) - \frac{V_{01}}{SR_1C_1} \cdot \frac{1}{SC_2R_2} \quad (1) \end{aligned}$$

$$\frac{V_{01}}{V_{IN}} = \frac{-KS^2}{S^2 + S\left(\frac{1}{QR_1C_1} + \frac{1}{R_1R_2C_1C_2}\right)} \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า, ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Normalized $\omega_p = 1$, ดังนั้น $R_1C_1 = R_2C_2 = 1$ จะได้

$$\frac{V_{o1}}{V_{IN}} = \frac{-KS^2}{S^2 + S\frac{1}{Q} + 1} \text{HPF(3)}$$

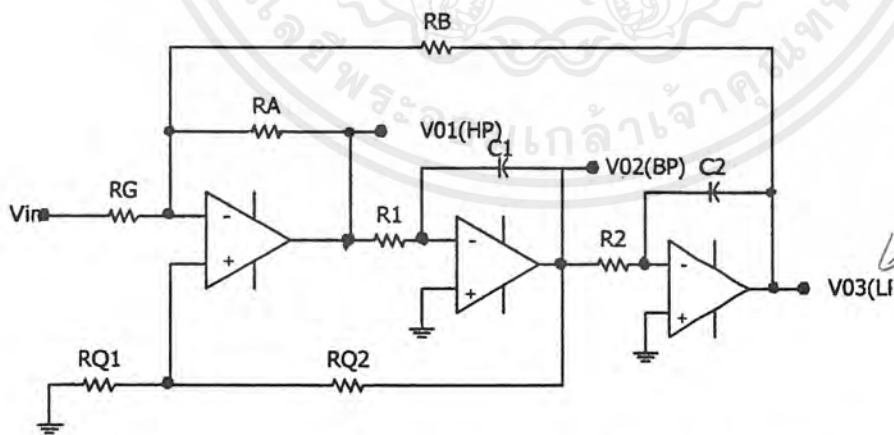
ทำนองเดียวกัน

$$\begin{aligned} \frac{V_{o2}}{V_{IN}} &= \frac{KS\frac{1}{R_1C_1}}{S^2 + S\frac{1}{Q}\frac{1}{R_1C_1} + \frac{1}{R_1R_2C_1C_2}} \text{BPF(4)} \\ &= \frac{KS}{S^2 + S\frac{1}{Q} + 1} \end{aligned}$$

และจะได้

$$\begin{aligned} \frac{V_{o3}}{V_{IN}} &= \frac{-K}{S^2 + S\frac{1}{Q}\frac{1}{R_1C_1} + \frac{1}{R_1R_2C_1C_2}} \text{LPF(5)} \\ &= \frac{-K}{S^2 + S\frac{1}{Q} + 1} \end{aligned}$$

สามารถกำหนดค่า Gain:K,Q ได้จาก summing ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.5 แสดงรูปวงจรหลังจากกำหนดค่าต่างๆแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป

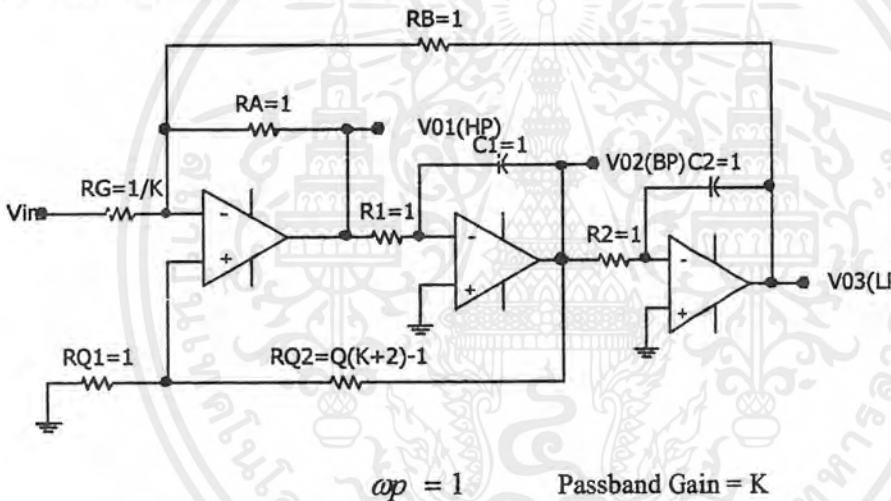
เทียบสัมประสิทธิ์กับสมการที่ 1 จะได้ว่า

$$\frac{R_A}{R_B} = 1 \text{ ให้ } R_A = R_B = 1 \quad K = \frac{R_A}{R_G} \text{ ดังนั้น } K = \frac{1}{R_G}$$

$$\frac{1}{Q} = \left(\frac{R_{Q1}}{R_{Q1} + R_{Q2}} \right) \left(1 + \frac{R_A}{R_G // R_B} \right) = \frac{R_{Q1}}{R_{Q1} + R_{Q2}} (K + 2)$$

$$\text{ให้ } R_{Q1} = 1 \text{ จะได้ } R_{Q2} = Q(K + 2) - 1$$

จะได้วงจร Normalized State variable ดังรูป



รูปที่ 2.6 แสดงวงจร Normalized State variable Filter

2.2.4 วงจรกำเนิดสัญญาณรบกวน (Noise Generator) เป็นวงจรที่สร้างสัญญาณรบกวนหรือ noise โดยแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

1. White Noise เป็นสัญญาณรบกวนที่มีย่านความถี่ตลอดทั้งแถบความถี่
2. Pink Noise เป็นสัญญาณรบกวนที่มีย่านความถี่เฉพาะความถี่ต่ำๆ

โดยปกติภายใน Analog Synthesizer มักสร้างสัญญาณ noise เพื่อทำให้เสียงแตกพร่า และมักจะใช้เลียนเสียงเครื่องให้จังหวะที่เป็นเหล็ก เช่น ฉาบ ฉาบคู่ เป็นต้น

2.3 Control Voltage Part

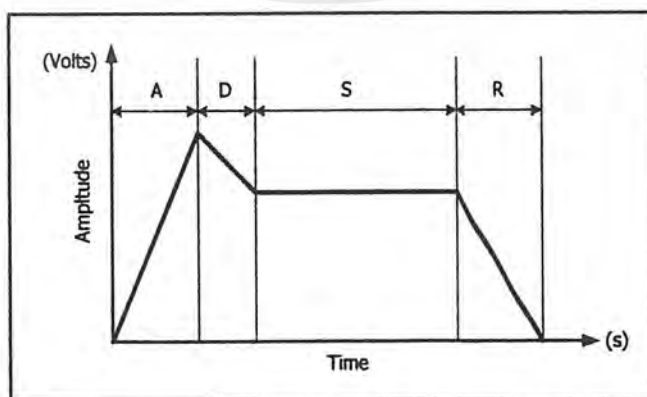
เป็นส่วนที่สร้างแรงดันไฟตรงที่สามารถปรับค่าได้เพื่อใช้ในการควบคุมวงจรในส่วนของ Analog Synthesis Part โดยที่นิยมใช้จะมีทั้งหมด 3 แหล่งคือ

2.3.1 Keyboard สำหรับวงจร VCO จะมีผลเพื่อใช้ในการเลื่อนระดับเสียงหรือ pitch shift สัญญาณเสียง เช่นการดันสายกีตาร์ เป็นต้น ส่วนการป้อนให้กับ VCA และ VCF ได้กล่าวถึงไปแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา

2.3.2 Low Frequency Oscillator (LFO) เป็นวงจรที่สร้างสัญญาณพัลส์และสามเหลี่ยม ที่มีค่าความถี่ต่ำๆ ประมาณ 15-500 เฮิรตซ์ ที่สามารถปรับค่าได้ โดยมากมักจะใช้เพื่อนำไปมอดูเลชัน (Modulation) เช่น หากนำไปใช้ร่วมกับวงจร VCO ก็จะเป็นการมอดูเลตเชิงความถี่ (Frequency Modulation: FM) ในขณะที่หากนำไปใช้ควบคุมวงจร VCA และ VCF ก็จะเป็นการมอดูเลตเชิงขนาด (Amplitude Modulation: AM) ซึ่งจะทำให้เสียงที่ได้เกิดการสั่นหรือการดั่งค่อยสลับกันของเสียงที่เรียกว่า Tremolo Effect แต่จะแตกต่างกันที่การใช้ควบคุม VCF ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงของเสียงตามการปรับค่าของ VCF ด้วย

2.3.3 Envelope Generator (ENV) หรืออาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ADSR Generator เป็นวงจรที่สร้างแรงดันควบคุม โดยมีการทริกของสัญญาณทริกจาก Controller part เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เพื่อให้เข้าใจมากขึ้นจะขออธิบายถึงค่า ADSR ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการจำแนกประเภทของเสียงดนตรี

ADSR ย่อมาจาก Attack , Decay , Sustain และ Release time ซึ่งเป็นช่วงเวลาต่างๆที่เริ่มตั้งแต่การทำให้เกิดเสียงจนกระทั่งเสียงนั้นสิ้นสุดลงไป โดยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับเวลา โดยให้แกนตั้งเป็นขนาดของเสียงและแกนนอนเป็นช่วงเวลาของเสียง



รูปที่ 2.7 กราฟแสดงถึงขนาดของแอมพลิจูดแต่ละช่วงเวลาของเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปสามารถอธิบายได้ว่า

1. *Attack Time* : A คือช่วงเวลาที่ทำการกดคีย์ให้เกิดเสียงขึ้น
 2. *Decay Time* : D คือช่วงเวลาที่เสียงคงตัวขณะที่เกิดการกดคีย์ขึ้นแล้วเสียงมีค่าลดลงจากค่าของขนาดสูงสุดลงมาจนถึงค่าๆหนึ่ง
 3. *Sustain* : S เป็นค่าของขนาดแรงดันหลังจากที่มีการกดคีย์ค้างไว้
 4. *Release Time* : R คือช่วงเวลาที่หลังจากปล่อยคีย์ไปแล้วเสียงจะค่อยๆเบาลงจนเงียบหายไป
- ช่วงเวลาทั้ง 4 ชนิดนี้สามารถที่จะใช้แสดงถึงคุณลักษณะของเครื่องดนตรีประเภทต่างๆได้ เช่น การตีกลองจะมีค่า *Attack Time* ต่ำกว่าการตีไวโอลิน เป็นต้น

การทำงานของ *Envelope Generator* สามารถที่จะปรับค่าของ *ADSR* ได้ตามต้องการ โดยมีสัญญาณทริกจากส่วน *Controller part* เพื่อให้รู้ว่ามีกรกดหรือปล่อยคีย์ เพื่อให้ค่าของแรงดันควบคุมมีลำดับเป็นไปตามรูปที่ 2.7

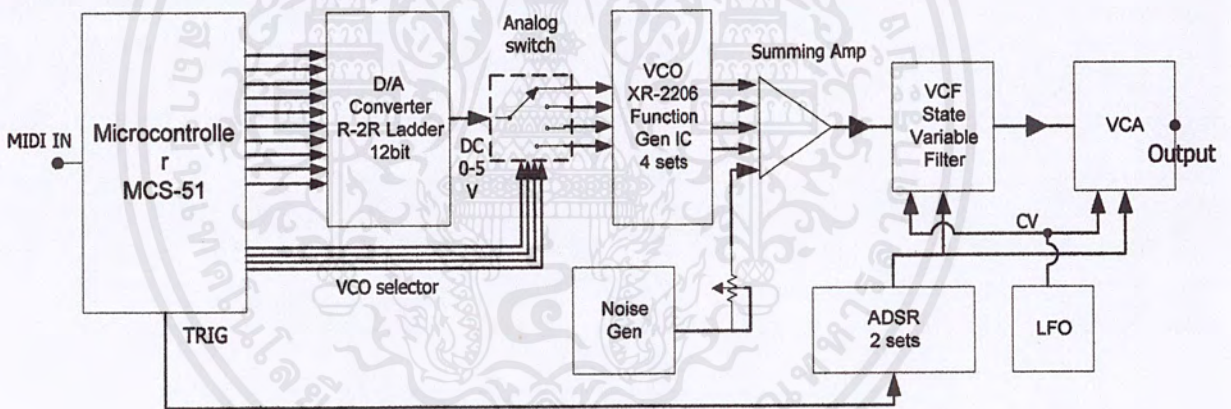
การป้อนแรงดันควบคุมของ *Envelope Generator* ให้แก่วงจร *VCA* ก็จะเป็นการควบคุมให้ขนาดของสัญญาณเอาท์พุทหรือความดังเป็นไปตามลำดับที่กำหนด สำหรับการป้อนให้กับวงจร *VCF* นั้นเพื่อให้สัญญาณเสียงที่ได้มีความถี่ฮาร์โมนิกมากในช่วงเริ่มต้นและจะค่อยๆลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ตามลักษณะของเสียงตามธรรมชาติที่เกิดขึ้น ดังนั้นก็จะต้องให้การทำงานของ *VCF* มีค่าความถี่คัทออฟค่อยๆลดลงตามค่าของแรงดันควบคุมจาก *Envelope Generator* นอกจากนั้นหากต้องการให้วงจร *VCF* มีค่า *resonance* มากๆ สามารถทำได้โดยให้แรงดันจาก *Envelope Generator* มีค่ามากๆ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องมาจาก *VCO* ผลิตสัญญาณที่มีค่าฮาร์โมนิกมากมายออกมา

บทที่ 3

หลักการออกแบบและการทำงาน

ในบทที่แล้ว เป็นเพียงทฤษฎีหรือหลักการของวงจรแต่ละวงจรที่เป็นองค์ประกอบของระบบ เนื่องจากสำหรับวงจรภายใน Analog synthesizer แต่ละวงจรมันล้วนเป็นวงจรพื้นฐานทางอิเล็กทรอนิกส์ทั้งสิ้น ดังนั้นหลักการออกแบบในแต่ละส่วนจึงสามารถทำได้อย่างกว้างขวาง ไม่มีรูปแบบตายตัว ขึ้นอยู่กับความต้องการในลักษณะเสียงที่ผู้ออกแบบแต่ละคนต้องการ

สำหรับโครงการนี้สิ่งที่ต้องการคือการให้ระบบสังเคราะห์เสียงอนาล็อกสามารถเชื่อมต่อกับเครื่องดนตรีระบบดิจิทัลโดยผ่านมาตรฐาน MIDI ซึ่งมีวงจรที่เป็นองค์ประกอบในการทำงานของระบบสามารถแสดงได้อย่างละเอียดดังรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกโคอะแกรมการทำงานของระบบ

จากรูปสามารถอธิบายการทำงานของระบบได้ดังนี้

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกโปรแกรมให้ทำงานโดยแปลข้อมูล MIDI IN ที่เข้ามาทางพอร์ตรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมว่าเป็นการกดคีย์ของโน้ตตัวใดตั้งแต่เสียง C2 จนถึงเสียง C6 เมื่อทราบแล้วว่าเป็นโน้ตตัวใด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งค่าออกที่พอร์ตจำนวน 12 บิต ค่าที่ส่งออกมาจะถูกแปลงเป็นค่าแรงดันไฟตรงตั้งแต่ 0-5 โวลต์ เนื่องจากระบบออกแบบมาให้สามารถกดคีย์ได้พร้อมกัน 4 คีย์ ดังนั้นจึงต้องมีวงจร VCO ทั้งหมด 4 ชุด โดยจะมีคอนโทรลเลอร์คอยควบคุมการทำงานของ VCO แต่ละชุด โดยการป้อนแรงดันไฟตรงผ่านอนาล็อกสวิตช์ (ไอซีเบอร์ 4046) ที่มีควบคุมการปิดเปิดของสวิตช์ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าส่งค่าออกพอร์ตของคอนโทรลเลอร์

วงจร VCO จะใช้การทำงานของไอซีกำเนิดสัญญาณ(Function Generator IC)เบอร์ XR-2206 โดยป้อนแรงดันไฟตรงตั้งแต่ 0-3 โวลต์เพื่อผลิตสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม สามเหลี่ยมและคลื่นซายน์ที่มีความถี่ต่างๆกัน ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟตรงอินพุตกับความถี่เอาต์พุตจะแปรผกผันกัน ตามคุณสมบัติของ ไอซีกำเนิดสัญญาณ นั่นคือถ้าต้องการให้วงจรผลิตสัญญาณความถี่สูงจะต้องป้อนแรงดันไฟตรงค่าต่ำ ขณะเดียวกันหากต้องการให้วงจรผลิตสัญญาณความถี่ต่ำก็ต้องป้อนแรงดันไฟตรงที่มีค่ามาก

สัญญาณจากวงจร VCO ทั้ง 4 ชุดและจาก Noise Generator จะเข้าสู่ Summing Amp ที่เป็นภาคแรกของวงจร VCF ซึ่งในโครงงานนี้เลือกใช้วงจร State Variable Filter ที่ปรับความถี่คัทออฟทั้งแบบ Lowpass Bandpass และ Hipass ของสัญญาณ ได้ซึ่งตรงกับหลักการออกแบบของวงจร VCF ซึ่งได้กล่าวถึงในบทที่แล้ว สัญญาณที่ผ่าน VCF ก็จะผ่าน VCA สำหรับปรับค่าแอมพลิจูดของสัญญาณ

ในส่วนของวงจร ADSR และ LFO ที่เป็นวงจรที่สร้างแรงดันไฟตรงสำหรับควบคุมวงจร VCF และ VCA นั้น ADSR จะมีขาของสัญญาณทริกที่ควบคุมจากคอนโทรลเลอร์ โดยสัญญาณทริกนั้นจะเป็นสัญญาณที่บอกถึงการกดคีย์หรือปล่อยคีย์เพื่อให้งจรทำงานได้ดังหัวข้อที่ 2.3.3 ในรูปที่ 2.7 โดยในระบบจะมีวงจร ADSR 2 ชุดคือสำหรับ VCF 1 ชุดและ วงจร VCA 1 ชุด ส่วนวงจร LFO มีเพียงชุดเดียวใช้ร่วมกันทั้ง VCF และ VCA ผลิตสัญญาณสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยมที่ความถี่สามารถปรับได้ตั้งแต่ 15 ถึง 500 เฮิรตซ์ ใช้สำหรับการมอดูเลตเป็นส่วนใหญ่ ดังที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 2.3.2

ทั้งหมดที่กล่าวมาเป็นการกล่าวเพียงคร่าวๆถึงหลักการทำงานของระบบ โดยรวม เพื่อให้เข้าใจถึงภาพรวมทั้งหมดของโครงงาน ซึ่งหัวข้อต่อจากนี้จะเป็นการกล่าวถึงหลักการทำงานของวงจรแต่ละวงจร โดยละเอียด

3.1 วงจร Voltage Control Oscillator (VCO)

การทำงานส่วนนี้เราจะนำไอซีกำเนิดสัญญาณเบอร์ XR-2206 ซึ่งมีคุณสมบัติในการสร้างสัญญาณรูปต่างๆที่มีความถี่ขึ้นกับแรงดันไฟตรงที่ป้อนให้ โดยแผนผังของวงจร VCO ที่แสดงในรูปที่ 3.2 เป็นวงจรที่แสดงในภาค Application ของ Datasheet ไอซี XR-2206 (สามารถดูได้ที่ภาคผนวก) จากรูปจะเห็นว่าขาที่ 2 จะเป็นขาของสัญญาณเอาต์พุต โดยที่ขา 3 จะมีการต่อกับตัวต้านทานปรับค่าได้ขนาด 50 กิโลโอห์มเพื่อจุดประสงค์ในการปรับค่า Sweep ของสัญญาณเอาต์พุต ขณะที่ขา 7 เป็นขาที่ป้อนแรงดันไฟตรงเพื่อการควบคุมความถี่ของสัญญาณ มีความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ป้อนให้กับความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตดังสมการที่ 3.1

$$f = \frac{320 I_T (mA)}{C (\mu F)} \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

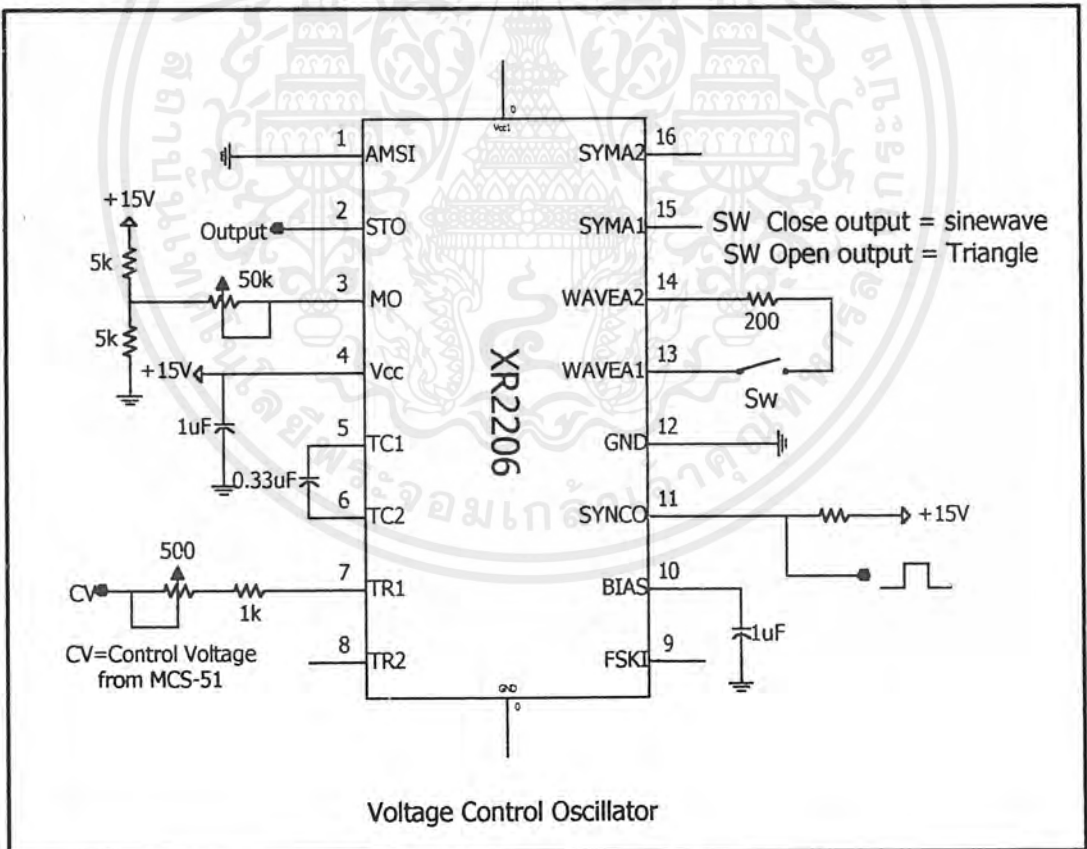
โดยที่ค่า I_T เป็นค่าของกระแสที่ไหลผ่านขา 7 ซึ่งค่า I_T นี้ควรจะมิต่าไม่เกิน 3 มิลลิแอมป์ มิฉะนั้นอาจเกิดอันตรายต่อวงจรได้ นอกจากนั้นยังมีความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟตรง CV ต่อความถี่ของสัญญาณคือ

$$f = \frac{1}{RC} \left(1 + \frac{R}{R_c} \left(1 - \frac{V_c}{3}\right)\right) \text{Hz} \quad (3.2)$$

หรือเขียนเป็น Voltage-to-Frequency gain Conversion ได้เป็น

$$K = \frac{\partial f}{\partial V_c} = -\frac{0.32}{R_c C} \text{Hz/V} \quad (3.3)$$

ถ้าหรับแถบของความถี่ (Bandwidth Signal) สามารถเลือกได้โดยขึ้นกับค่าของตัวเก็บประจุที่ต่อคร่อมระหว่างขา 5 และขา 6 โดยค่าของความต้านทานควรมิต่าระหว่าง 1000 โห้โกฟารัด จนถึง 100 ไมโครฟารัด ยิ่งค่าของตัวเก็บประจุมิต่าน้อยจะทำให้ได้แถบความถี่ของสัญญาณมาก



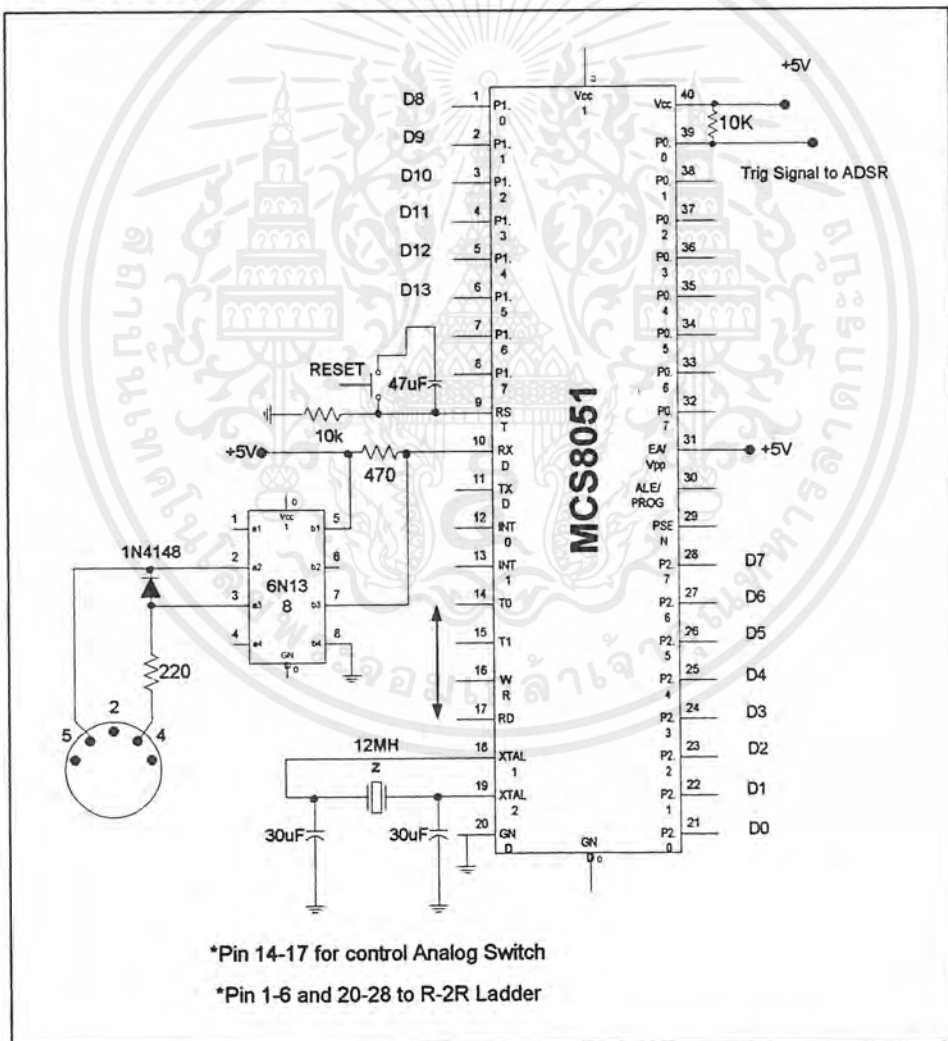
รูปที่3.2 วงจร Voltage Control Oscillator 1 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสวิตช์ที่ขา 13 มีไว้สำหรับเลือกชนิดของสัญญาณเอาต์พุตคือเมื่อสวิตช์ทำการเปิดดังรูป วงจรจะสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมออกมา ขณะที่เมื่อสวิตช์ปิดวงจรก็จะสร้างสัญญาณรูปคลื่นซายน์ออกมา

จากสมการที่ 3.1 ถึง 3.3 เมื่อคำนวณแล้วพบว่าแรงดันไฟตรงที่ป้อนให้กับไอซีกำเนิดสัญญาณจะต้องมีความละเอียดสูง ดังนั้นจึงให้ข้อมูลที่ออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์มีจำนวน 14 บิต ทำให้ได้ความละเอียดถึง 16384 ระดับ

3.2 วงจรรับข้อมูล MIDI และควบคุมการทำงาน



รูปที่ 3.3 วงจรรับข้อมูล MIDI และควบคุมการทำงาน

ในวงจรส่วนนี้ ใช้การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีการต่อวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

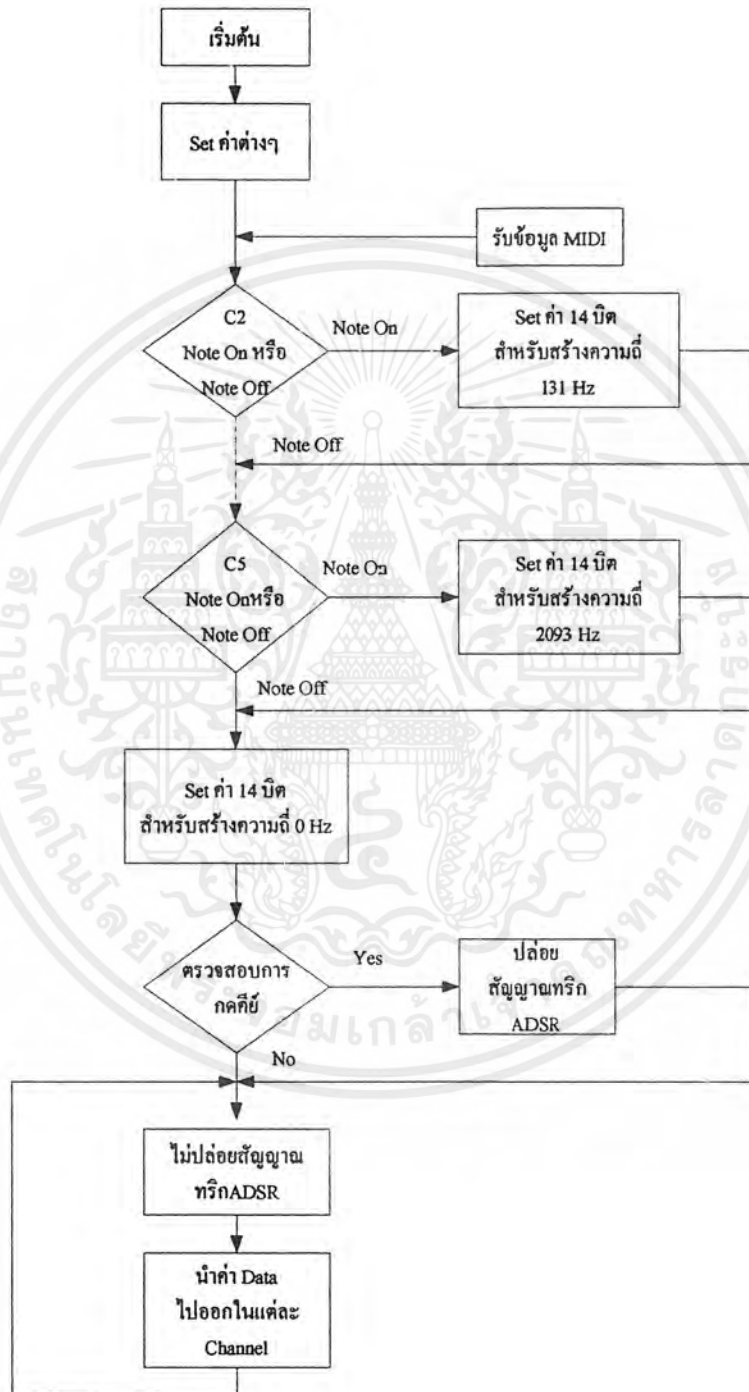
จะเห็นว่าพอร์ตรับข้อมูลอนุกรมถูกต่อเพื่อรับข้อมูล MIDI และตามเงื่อนไขของขนาดแรงดัน CV ทำให้ขนาดของข้อมูลต้องมีค่า 14 บิต ดังนั้นจึงใช้ขาที่ 1-6 และขาที่ 20-28 เป็นพอร์ตรับส่งค่าของข้อมูล DO-D13 เพื่อนำไปผ่านวงจร R-2R Ladder ซึ่งเป็นวงจร D/A Converter แปลงเป็นค่าแรงดันไฟตรงควบคุมวงจร VCO สำหรับขาที่ 14-17 เป็นพอร์ตที่ต่อกับขาควบคุมของอนาล็อกสวิตช์ สำหรับควบคุมช่องเสียงของ VCO และขาที่ 39 สำหรับสัญญาณทริกเพื่อควบคุมการทำงานของ Envelope Generator

ในการเขียนโปรแกรมสำหรับการควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะเริ่มต้นด้วยการเซ็ตค่าที่จำเป็นต่อกระบวนการทำงาน เริ่มจากการเซ็ตค่าอัตราบิตซึ่งเป็นความเร็วในการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม โดยการใช้ Crystal Oscillator ความเร็ว 12 Mhz เป็นตัวกำเนิดสัญญาณนาฬิกาให้กับวงจร จะทำให้ได้ค่าอัตราบิตเท่ากับ 31.25 กิโลบิตต่อวินาทีซึ่งก็เท่ากับมาตรฐาน MIDI จากนั้นจะเป็นการเซ็ตค่าในการตรวจสอบค่าของข้อมูล MIDI ที่ใช้

หลังจากขั้นตอนการเซ็ตค่าโปรแกรมจะเริ่มทำงานก็ต่อเมื่อมีข้อมูล MIDI ส่งเข้ามา ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำการตรวจสอบว่าข้อมูลนั้นเป็นการกดคีย์ของโน้ตตัวใด เมื่อทราบแล้วก็จะตรวจสอบไบต์สถานะว่าเป็นเช่นไร หากเป็นค่า Note On ก็ส่งค่าของข้อมูล 14 บิตเพื่อไปผ่านวงจร R-2R Ladder เป็นแรงดันไฟตรงเพื่อให้งจร VCO นั้นสร้างสัญญาณความถี่ของโน้ตตัวนั้นๆ ออกมาดังตารางที่ 2.1 โดยจะทำงานวนเป็นรูปไปเรื่อยๆ จนกว่าไบต์สถานะจะเปลี่ยนเป็น Note Off เมื่อนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะส่งค่าข้อมูล 14 บิตทำให้งจร VCO สร้างสัญญาณความถี่ 0 Hz ออกมา

ขณะที่ไบต์สถานะของโน้ตตัวนั้นเป็น Note On นอกจากไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำงานในขั้นตอนการส่งข้อมูลเพื่อใช้สร้างสัญญาณของ VCO แล้ว จะยังเป็นการตรวจสอบการกดคีย์ว่ายังมีการกดคีย์อยู่ เพื่อสร้างสัญญาณทริกที่มีค่าตรรกะเป็น "1" แต่เมื่อเป็น Note Off แล้วก็จะส่งค่าตรรกะ "0" ออกมา เพื่อไปควบคุมการทำงานของ Envelope Generator

เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการส่งค่าข้อมูล 14 บิต เมื่อมีการรับค่าของ MIDI เกิดขึ้นในกรณีที่มีการกดคีย์พร้อมกันมากกว่า 1 คีย์ขึ้นไป ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะส่งค่าออกไปเท่ากับจำนวนของคีย์ที่กด แต่เนื่องจากพอร์ตส่งข้อมูลมีเพียงแค่พอร์ตเดียวจึงต้องมีพอร์ตที่ต่อกับอนาล็อกสวิตช์เพื่อทำการสับค่าของแรงดันไฟตรงที่ควบคุม VCO ไปสู่วงจรแต่ละชุด ด้วยวิธีนี้จึงสามารถกดคีย์ได้เท่ากับจำนวนชุดของ VCO ซึ่งก็คือ 4 คีย์โน้ตนั่นเอง สำหรับการดำเนินงานของโปรแกรมสามารถแสดงเป็นโฟลวชาร์ตในรูปที่ 3.4

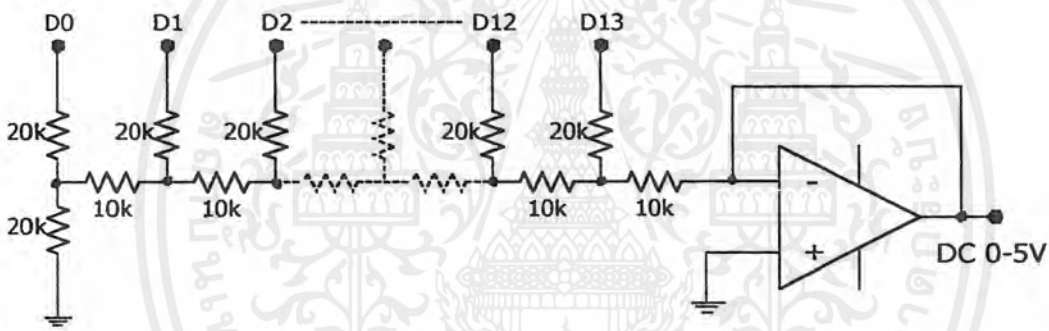


รูปที่ 3.4 แสดงโฟลวชาร์ต โปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วงจร D/A คอนเวอร์เตอร์

เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างแรงดันไฟตรงกับความถี่ของสัญญาณที่สร้างขึ้นเราใช้เป็นปริมาณของแรงดันไฟตรง (โวลต์) ต่อความถี่สัญญาณที่เปลี่ยนแปลง (เฮิรตซ์) ซึ่งในการสร้างสัญญาณที่ความถี่ต่างๆของไอซีเบอร์ XR-2206 แรงดันอินพุตที่มีค่าตั้งแต่ 0-3 โวลต์จะต้องมีความละเอียดสูง จากคุณสมบัติที่ได้แสดงไว้ในสมการที่ 3.1 พบว่าจะต้องใช้ข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ประมาณ 14 บิต นั่นคือเท่ากับ ขนาดของแรงดัน 5 โวลต์หารด้วยสองยกกำลังจำนวนบิตทั้งหมดก็จะได้ปริมาณแรงดันไฟตรงประมาณ 0.12 mV ซึ่งเป็นความละเอียดที่สามารถทำการปรับแต่งได้ง่าย ดังนั้นเราจึงสามารถต่อวงจรที่ใช้ในการเปลี่ยนข้อมูล 14 บิตจากคอนโทรลเลอร์ให้เป็นแรงดันไฟตรงสำหรับ VCO ได้ดังรูปที่ 3.5

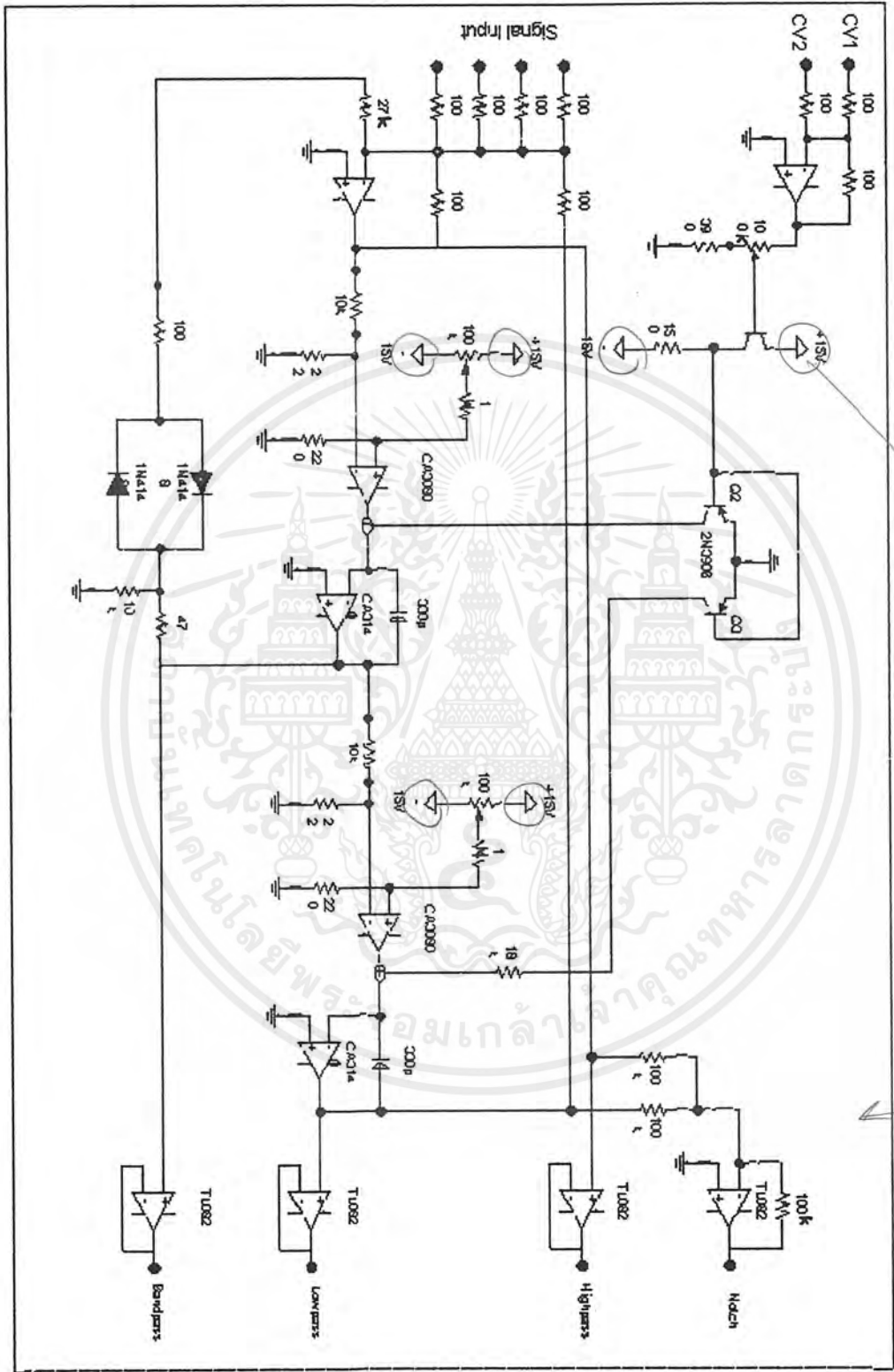


รูปที่ 3.5 วงจร D/A Converter แบบ R-2R Ladder

3.4 วงจร Voltage Control Filter (VCF)

จากทฤษฎีของวงจร VCF ซึ่งได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 2.2.3 ทำให้ทราบว่าวงจร VCF ในโครงการนี้จะใช้วงจร State Variable Filter ซึ่งมีคุณสมบัติสามารถปรับค่าความถี่คัทออฟและค่าเรโซแนนซ์ได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อกัน รวมทั้งยังให้เอาต์พุตได้หลายแบบดังเช่นในรูปที่ 3.6 จะเห็นว่าเอาต์พุตที่ได้มีทั้ง Lowpass Bandpass Highpass และ Notch ซึ่งคือการรวมเอาต์พุตของ Lowpass และ Highpass เข้าไว้ด้วยกัน

จากรูปที่ 3.6 แสดงถึงการทำงานของวงจร VCF เริ่มต้นด้วยอินพุตของวงจรจะมี 2 อย่าง โดยอย่างแรกคือสัญญาณที่มาจากวงจร VCO และอย่างที่สองคือ แรงดันอินพุตที่เป็นไฟตรงสำหรับควบคุมการทำงานของวงจรหรือ Control Voltage: CV โดยแรงดันดังกล่าวจะมาจากวงจร Envelope Generator และ



รูปที่3.6 วงจรVoltage Control Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

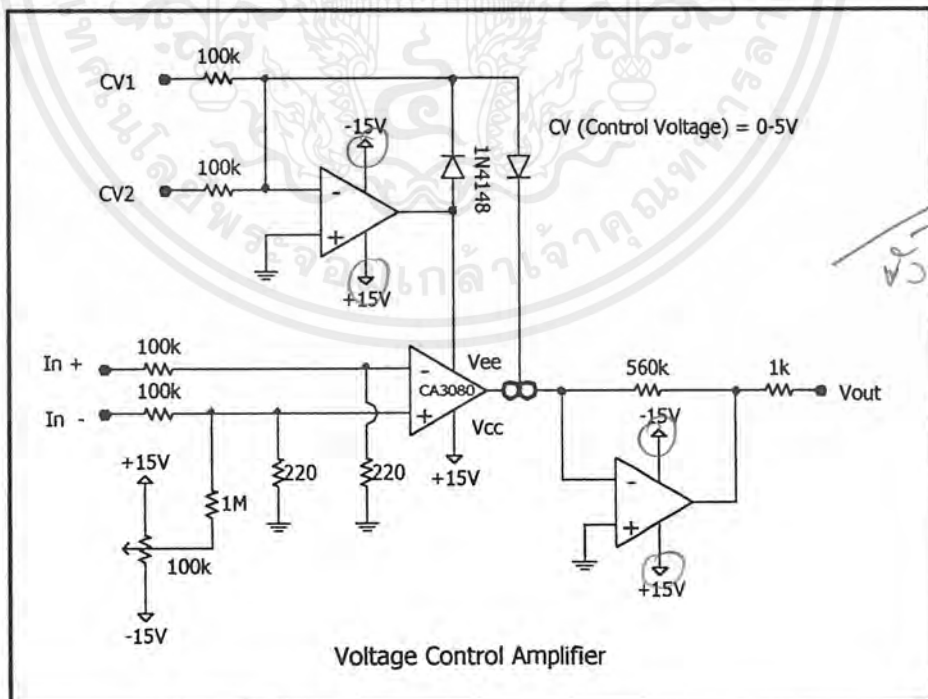
วงจรถ้า LFO ซึ่งใน Analog Synthesizer บางตัวอาจจะมีส่วนของ CV มากกว่า 2 วงจรนี้ก็ได้ แรงดัน CV จากทั้ง 2 วงจรจะถูกนำมารวมกัน โดยการใช้ Summing Amp แรงดัน CV จะถูกเปลี่ยนให้เป็นกระแส เพื่อนำไปใช้เป็นกระแสไบอัสสำหรับ Operational Transconductance Amplifier หรือ OTA เบอร์ CA3080 ซึ่งค่า Transconductance หรือ G_m สามารถเปลี่ยนแปลงตามกระแสไบอัส ตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$I_{bias} = G_m V_{in} \quad (3.4)$$

โดยที่ค่า V_{in} คือค่าความแตกต่างระหว่างแรงดันทั้ง 2 ขาของออปแอมป์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่า หากป้อนกระแสไบอัสให้กับ OTA มากก็จะทำให้สัญญาณผ่านไปได้มาก ดังนั้นในวงจรถ้าเราสามารถมอง OTA ได้เสมือนเป็น ตัวต้านทานปรับค่าตัวหนึ่ง ส่วนออปแอมป์เบอร์ CA3140 ที่ขาลบต่อกับตัวเก็บประจุขนาด 330pF และขาวงคต่อลงกราวด์ จะเป็นส่วนที่แปลงกระแสจาก OTA กลับเป็นค่าของแรงดัน เนื่องจากฟังก์ชัน โอนย้ายของ OTA เป็น Transconductance ซึ่งโดยรวมทั้งหมดก็เป็นการทำงานตามเงื่อนไขของ State Variable Filter ที่ได้กล่าวไปแล้ว

3.5 วงจร Voltage Control Amplifier (VCA)

สำหรับวงจรถ้า VCA นั้นมีหลักการทำงานง่ายๆ โดยแสดงแผนผังวงจรถ้ารูปที่ 3.7



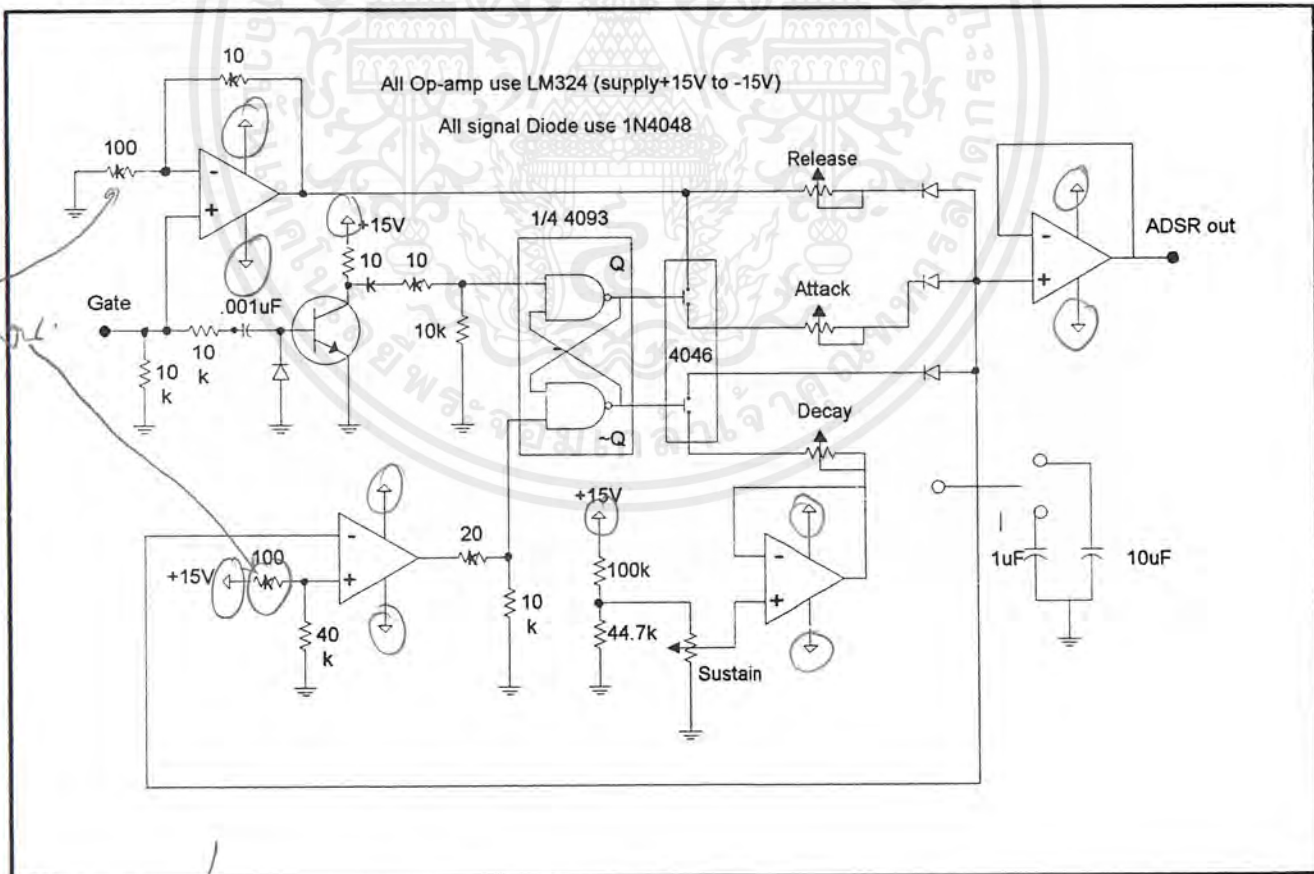
รูปที่ 3.7 วงจร Voltage Control Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปข้างต้น เมื่อรับสัญญาณอินพุตมาจาก VCF หลักการทำงานของวงจรก็คือการปรับขนาดหรือแอมพลิจูดของสัญญาณให้เป็นไปตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟตรง CV ซึ่งมาจาก Envelope Generator และ LFO เช่นเดียวกับ VCF ซึ่งใช้หลักการเช่นเดียวกันกับ VCF นั่นคือ ทำการรวมแรงดัน CV หลังจากนั้นจึงเปลี่ยนเป็นกระแสไบอัสสำหรับ OTA เมื่อกระแสไบอัสมากก็จะทำให้สัญญาณผ่านไปได้มากตามความสัมพันธ์ในสมการที่ 3.4 หลังจากนั้นแปลงจึงสัญญาณที่ออกจาก OTA ในรูปของกระแสให้อยู่ในรูปแรงดันอีกครั้ง โดยที่ส่วนท้ายของวงจรทำการต่อออปแอมป์เป็นบัฟเฟอร์เพื่อป้องกันแรงดันไม่เท่ากันเมื่อต่อกับวงจรอื่นๆต่อไป

3.6 วงจร Envelope Generator

สำหรับวงจร ADSR มีการออกแบบการทำงานที่อิงกับทฤษฎีที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 2.3.3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการทำงานของวงจรจะแบ่งออกเป็น 4 โหมดเช่นกราฟในรูปที่ 2.7 นั่นคือ Attack Time, Decay Time, Sustain และ Release Time ตามลำดับ แผนผังวงจรแสดงในรูปที่ 3.8



Handwritten signature and scribbles

รูปที่ 3.8 วงจร Envelope Generator หรือ ADSR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสัญญาณทริกขนาด +5V จากไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาที่ขา gate ซึ่งแสดงว่ามีการกดคีย์เกิดขึ้นนั้นสัญญาณจะผ่านตัวต้านทานขนาด 10 กิโลโอห์ม และถูกชาร์จประจุโดยตัวเก็บประจุขนาด 0.001 ไมโครฟารัด จะทำให้เกิดแรงดันขึ้นชั่วขณะที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ 2N3904 เป็นผลให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่คอลเล็กเตอร์ขึ้นด้วย โดยที่ขาคอลเล็กเตอร์เป็นอินพุทของฟลิปฟลอปที่ประกอบไปด้วย NAND gate 2 ตัวในที่นี้เราใช้ไอซีเบอร์ 4093 แรงดันที่ตกคร่อมขาคอลเล็กเตอร์เป็นผลให้ฟลิปฟลอปมีสถานะเป็น “เซต” และทำให้ขา Q ซึ่งต่อกับขาควบคุมการทำงานของอนาล็อกสวิทช์ 4066 มีค่าเป็น 1 ทำให้สวิทช์ปิด (นำสัญญาณ)

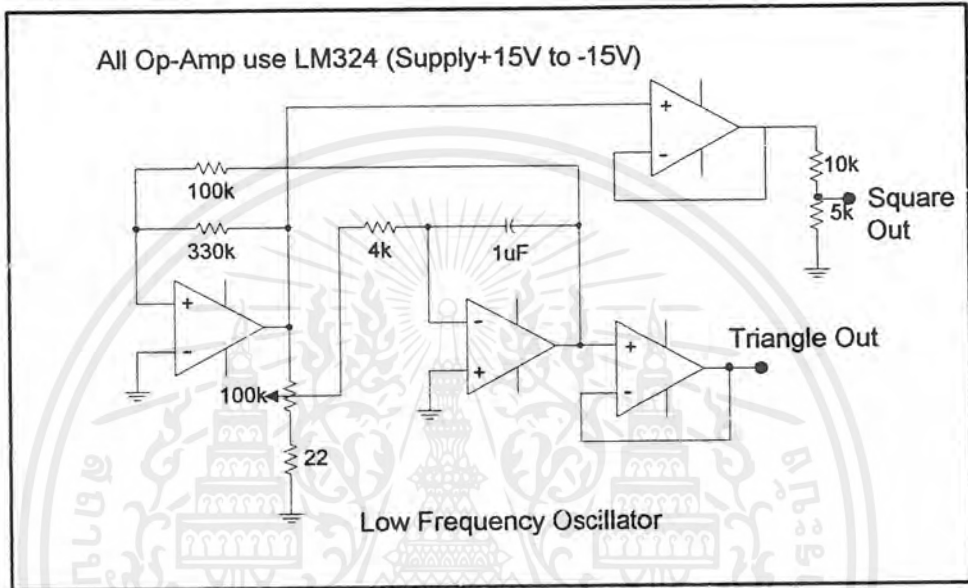
สวิทช์ที่ต่อกับสัญญาณทริกจากขา gate (ที่มีการบัฟเฟอร์และค่อยๆมีการขยายแรงดันโดย ออปแอมป์)ซึ่งไหลผ่านตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ของ โหมด Attack และผ่าน ไดโอด ไปยังตัวเก็บประจุที่มีค่าต่างกัน 2 ค่าคือ 1 หรือ 10 ไมโครฟารัด (เป็นส่วนที่ปรับค่าความชันของโหมดต่างๆ) เมื่อสวิทช์ปิดตัวเก็บประจุจะเริ่มคืนชาร์จประจุด้วยอัตราที่สามารถปรับได้ด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้ขนาด 1 เมกกะโอห์มของ Attack โดยที่การชาร์จประจุจะเป็นระดับสำหรับเปรียบเทียบแรงดันของออปแอมป์ที่ต่อเป็นแบบ Comparator

เมื่อความต่างศักย์ตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่าที่ต่ำกว่า 5 โวลต์เล็กน้อยลง (ในที่นี้คือการแบ่งแรงดัน 100k กับ 40k โอห์มสำหรับอินพุทของขาบวกของออปแอมป์ซึ่งประมาณ 4 โวลต์ จะทำให้เอาต์พุทของ comparator มีค่าเป็นแรงดันกลาง เนื่องจากเอาต์พุทของ comparator ต่อกับขารีเซตของฟลิปฟลอป ซึ่งจะทำงานหากมีการทริกของสัญญาณที่มีค่าต่ำๆ ฟลิปฟลอปจะทำการรีเซต ทำให้เอาต์พุทของ $\sim Q$ มีค่าเป็น 1 และทำให้เอาต์พุทของ Q มีค่าเป็น 0 ซึ่งเมื่อ Q มีค่าเป็น 0 แล้วทำให้ขาควบคุมของอนาล็อกสวิทช์มีค่าเป็น 0 สวิทช์ก็จะเปิด (ไม่นำสัญญาณ) และทำให้ตัวเก็บประจุไม่สามารถชาร์จประจุที่ไหลผ่านตัวปรับค่าของ Attack มาได้ จากการที่เอาต์พุทของ $\sim Q$ มีค่าเป็น 1 จะทำให้สวิทช์ซึ่งต่อกับตัวปรับค่าของโหมด Decay นำสัญญาณแทน ซึ่งจะทำให้ตัวเก็บประจุจะทำการคายประจุที่ไหลผ่านจากตัวต้านทานปรับค่าได้ขนาด 1 เมกกะโอห์มของ Decay และไดโอด ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งความต่างศักย์ตกคร่อมของมันจะมีค่าเท่ากับแรงดันที่เซตค่าไว้โดยตัวต้านทานปรับค่าได้ของโหมด Sustain ซึ่งต่อกับออปแอมป์บัฟเฟอร์วงจรจะทำงานในสถานะนี้ไปเรื่อยๆจนกระทั่งสัญญาณทริกจากขา gate มีค่าเป็น 0 ซึ่งเป็นผลทำให้ตัวเก็บประจุเกิด drain กระแสไหลผ่านไปยังตัวต้านทานปรับค่าได้ของ Release ซึ่งต่อกับเอาต์พุทของ gate ออปแอมป์ที่จะเป็นสัญญาณกลางเมื่อมีสัญญาณทริกเข้ามา แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุที่ต่อกับออปแอมป์บัฟเฟอร์ซึ่งเอาต์พุทของบัฟเฟอร์นี้จะเป็นเอาต์พุทของวงจร และมี LED ที่ต่อกับบัฟเฟอร์นี้เพื่อแสดงระดับแรงดันเอาต์พุทที่ได้จากวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 วงจร Low Frequency Oscillator (LFO)

วงจรสร้างแรงดันไฟตรงสำหรับควบคุมวงจร VCF และ VCA เพื่อทำให้เกิดการมอดูเลทแบบต่างๆของสัญญาณเสียงนั้น มีแผนผังของวงจรดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 วงจร Low Frequency Oscillator

วงจรจะมีการกำเนิดสัญญาณ โดยต่อออปแอมป์ตัวซ้ายสุดของวงจรให้มีการป้อนกลับแบบบวก (Positive Feedback) ทำให้เกิดการ ทำงานในแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ ผลิตสัญญาณพัลส์ออกมา เอาท์พุทของออปแอมป์ภาคแรกจะถูกนำไปใช้เป็นเอาท์พุทของ LFO รูปคลื่นสี่เหลี่ยม ขณะที่บางส่วนจะถูกนำไปป้อนเข้าขา Non-Inverting ของออปแอมป์ของภาคถัดมาซึ่งมีการต่อเป็นวงจรอินทิเกรเตอร์ สัญญาณเอาท์พุทจากภาคแรกที่เป็นคลื่นสี่เหลี่ยมเมื่อผ่านวงจรอินทิเกรเตอร์จะได้เอาท์พุทเป็นรูปสามเหลี่ยมซึ่งก็จะเป็นเอาท์พุทของ LFO รูปคลื่นสี่เหลี่ยม ขณะที่สัญญาณบางส่วนก็จะถูกป้อนกลับไปที่ขา Non-Inverting ของออปแอมป์ภาคแรก กลายเป็นวงจรหิมตกเกอร์ เพื่อให้เกิดทำการสร้างสัญญาณต่อไป สัญญาณเอาท์พุทสี่เหลี่ยมจะได้ 30 Vpp แต่เราทำการแบ่งแรงดันทำให้ได้ขนาด 10 Vpp ส่วนสัญญาณเอาท์พุทสามเหลี่ยมจะมีขนาด 10 Vpp พอดี

บทที่ 4

ผลการทดลอง

หลังจากที่ทราบถึงทฤษฎีและหลักการทำงานของ Analog Synthesizer ทั้งหมดแล้ว ในบทนี้จะเป็นการแสดงถึงผลของการทำงานของระบบ โดยจะใช้เสียงของสัญญาณเอาต์พุตเป็นผลหลัก

4.1 ผลการสร้างความถี่ของสัญญาณ

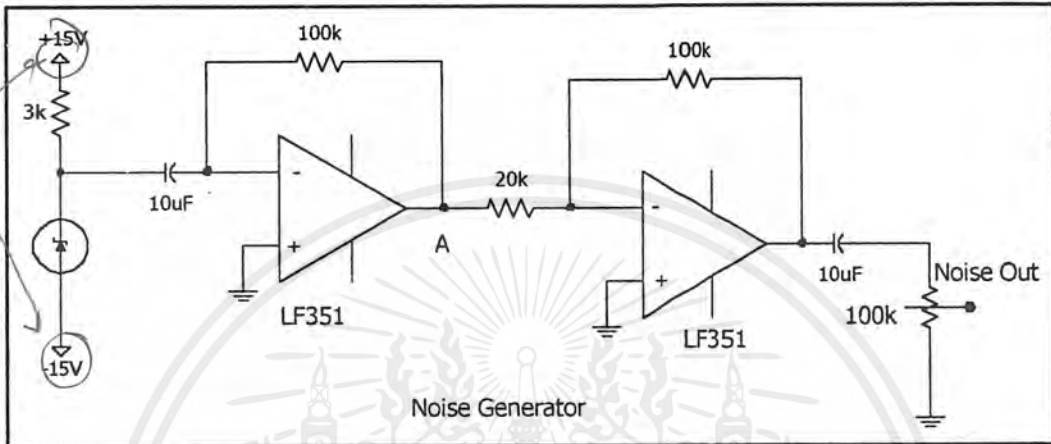
หลังจากที่อธิบายถึงหลักการทำงานในการสร้างสัญญาณความถี่ต่างๆ เราต้องทำการเขียนโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ส่งค่าต่างๆออกที่พอร์ต เพื่อไปผ่านวงจร D/A Converter เป็นแรงดันไฟตรงสำหรับควบคุมวงจร VCO และต้องให้ได้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ 3.3 ในหัวข้อที่ 3.2 จึงสามารถแสดงผลของการสร้างค่าต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์และความถี่ที่สร้างได้จากวงจร VCO

โดยช่วงของความถี่ของตัวโน้ตจะเป็นไปตามตารางที่ 2.1 เริ่มตั้งแต่โน้ต C ในชั้นเสียงที่ 2 มีความถี่ 131 เฮิร์ตซ์ จนถึง โน้ต C ในชั้นเสียงที่ 6 ที่มีความถี่ 2053 เฮิร์ตซ์ ดังตารางข้างล่างนี้

โน้ตเสียง	ความถี่ที่ต้องการ (เฮิร์ตซ์)	ค่าข้อมูลไบต์บน (D13-D8)	ค่าข้อมูลไบต์ล่าง (D7-D0)	ความถี่ที่ได้ (เฮิร์ตซ์)
C2	131	37	70	131.5
C#2 / Db2	139	37	35	139.8
D2	147	36	250	148
D#2 / Eb2	156	36	210	156.9
E2	165	36	174	165.4
F2	175	36	130	175
F#2 / Gb2	185	36	94	185.6
G2	196	36	45	196.5
G#2 / Ab2	208	35	252	209.7
A2	220	35	205	221
A#2 / Bb2	233	35	143	232.9
B2	248	35	77	249.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 วงจร Noise Generator



รูปที่ 3.10 วงจร Noise Generator

จากรูปข้างบนเป็นแผนผังของวงจรผลิตสัญญาณ White Noise โดยเมื่อต่อซีเนอร์ไดโอดในลักษณะการป้อนไบอัสย้อนกลับดังรูป เมื่อถึงแรงดัน Breakdown ของไดโอดซึ่งในที่นี้คือ 2.4 โวลต์สิ่งที่ได้จากซีเนอร์ไดโอดคือจะมีทั้งแรงดันไบอัสย้อนกลับกับกระแสของสัญญาณ Noise โดยค่าความต้านทานที่ต่ออยู่กับซีเนอร์ไดโอดมีจุดประสงค์เพื่อกำหนดค่าของกระแสที่ไหลผ่าน โดยยิ่งกระแสที่ไหลผ่านมีค่ามาก สัญญาณ Noise ก็จะมีมากขึ้นด้วย

กระแส Noise ที่สร้างขึ้นจะผ่านการคัปปลิ่งโดยตัวเก็บประจุขนาด 10 ไมโครฟารัด ออปแอมป์ตัวแรกจะทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณในรูปของกระแสให้เป็นแรงดัน ดังนั้นที่จุด A เราจะได้สัญญาณ Noise ที่เป็นแรงดันขนาดประมาณ 1 โวลต์ หลังจากนั้นจะผ่านออปแอมป์ภาคที่สองที่มีการต่อลักษณะของวงจรขยายเพื่อทำการขยายสัญญาณ Noise ให้มากขึ้นประมาณ 5 เท่า

สัญญาณ Noise ที่ผ่านการขยายแล้วจะผ่านการคัปปลิ่งอีกครั้งและผ่าน โหลดที่เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้เพื่อที่จะได้สามารถปรับขนาดของสัญญาณแรงดัน Noise ได้โดยขนาดที่ได้จะมีค่าประมาณ ± 5 Vpp

โน้ตเสียง	ความถี่ที่ต้องการ (เฮิรตซ์)	ค่าข้อมูลไบต์บน (D13-D8)	ค่าข้อมูลไบต์ล่าง (D7-D0)	ความถี่ที่ได้ (เฮิรตซ์)
C3	262	35	6	262.1
C#3 / Db3	277	34	203	277.5
D3	294	34	128	294.8
D#3 / Eb3	311	34	53	312
E3	330	33	224	331
F3	349	33	149	350
F#3 / Gb3	370	33	79	370.7
G3	392	33	59	392.3
G#3 / Ab3	415	32	218	415.2
A3	440	32	118	441
A#3 / Bb3	466	32	5	467
B3	494	31	163	494
C3	523	31	35	523.6
C#4 / Db4	554	30	169	554.8
D4	587	30	32	587.1
D#4 / Eb4	622	29	148	622.4
E4	659	28	250	670
F4	698	28	93	699.1
F#4 / Gb4	740	27	182	740.7
G4	784	27	0	784.5
G#4 / Ab4	831	26	66	831.2
A4	880	25	116	880
A#4 / Bb4	932	24	160	932.3
B4	988	23	83	987
C4	1010	22	98	1012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โน้ตเสียง	ความถี่ที่ต้องการ (เฮิรตซ์)	ค่าข้อมูลไบต์บน (D13-D8)	ค่าข้อมูลไบต์ล่าง (D7-D0)	ความถี่ที่ได้ (เฮิรตซ์)
C#5 / Db5	1103	20	184	1104
D5	1176	19	158	1176
D#5 / Eb5	1241	18	115	1242
E5	1311	17	45	1312
F5	1391	15	219	1391
F#5 / Gb5	1488	14	117	1487
G5	1568	12	248	1569
G#5 / Ab5	1662	11	98	1661
A5	1760	9	173	1762
A#5 / Bb5	1866	7	221	1865
B5	1973	5	242	1974
C6	2093	3	245	2092

(*หมายเหตุ เลขของข้อมูล ไบต์บนและ ไบต์ล่างเป็นเลขฐานสิบซึ่ง 1 ไบต์จะมีค่า 2⁸ หรือเท่ากับ 256 ค่า)

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการสร้างความถี่ของสัญญาณ

จากตารางจะเห็นได้ว่าความถี่ที่ได้มีความผิดเพี้ยนน้อยมาก เนื่องจากเราสามารถปรับค่าของแรงดันไฟตรงขนาด 5 โวลต์ได้ละเอียดมากถึง 2¹⁴ หรือ 16384 ระดับ

4.2 ผลของวงจร ADSR

จากการทดลองป้อนสัญญาณ TRIG เข้าที่ GATE ของวงจร ADSR วัดสัญญาณที่จุด ADSROUT ได้ผลดังนี้

แรงดันสูงสุด	4.28 โวลต์
ระดับแรงดัน sustain สูงสุด	4.1 โวลต์
ระดับแรงดัน sustain ต่ำสุด	0.65 โวลต์
ระดับแรงดัน release ต่ำสุด	0.00 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลของวงจร LFO

เมื่อทำการป้อนไฟเลี้ยงให้แก่วงจร LFO และปรับค่า VR frequency ทำให้ได้รูปสัญญาณที่จุด

LFO OUT

ได้ผลดังนี้

ขนาดของสัญญาณ	10 Vpp
ความถี่สูงสุด	895 Hz
ความถี่ต่ำสุด	0 Hz

4.4 ผลของวงจร VCA

เมื่อทำการป้อนแรงดันควบคุมต่าง ๆ ให้ที่จุด CV และป้อนสัญญาณที่มาจากวงจร VCF เข้าที่จุด Signal input แล้วทำการหาค่าอัตราขยายแรงดัน ได้ผลดังนี้

ที่แรงดันควบคุม 5 โวลต์ได้อัตราขยายแรงดัน	-6.19 dB
ที่แรงดันควบคุม 0 โวลต์ได้อัตราขยายแรงดัน	-87.9 dB

บทที่ 5

บทสรุป

จากการทดลองการทำงานของ Analog Synthesizer พบว่าระบบสามารถทำการสังเคราะห์เสียง ได้ลักษณะของสัญญาณเสียงเอาท์พุทตามการออกแบบของวงจรแต่ละส่วน แต่การออกแบบคั้งกล่าวก็มีข้อเสียให้เห็นบ้าง เช่น ในส่วนของการสร้างสัญญาณเสียง วงจร VCO ที่ใช้การทำงานของ ไอซี XR-2206 เนื่องจาก ไอซีมีแถบความถี่ของสัญญาณเอาท์พุทมากแต่ระดับแรงดันอินพุทมีค่าน้อยมากคือ 0-3 โวลต์ ทำให้เมื่อเกิดการรบกวนจากภายนอกเช่น สัญญาณนาฬิกาของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือการรบกวนจากภาควิชาอื่น ๆ ทำให้แรงดันอินพุทมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้ความถี่สัญญาณที่ต้องการเปลี่ยนแปลง ไปด้วย

เมื่อสามารถทำการออกแบบและสร้าง โครงงาน ได้แล้วปัญหาที่พบอีกอย่างก็คือความชำนาญในการใช้งาน นั่นเป็นเพราะว่า Analog Synthesizer เปรียบเสมือนเครื่องดนตรีชนิดหนึ่งซึ่งถือว่าเป็นเครื่องดนตรีที่ใช้งานยาก หากต้องการให้สามารถสังเคราะห์เสียงเลียนแบบเครื่องดนตรีต่างๆหรือต้องการการสร้างเสียงใหม่ขึ้นมา ผู้ใช้ต้องมีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเรื่องของวงจรต่างๆและทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับเสียงมากพอสมควร จึงเป็นปัญหาของการใช้งานและความนิยมของ Analog Synthesizer คั้งที่ได้กล่าวไปแล้วในบทนำ

บรรณานุกรม

1. "คู่มือปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ 2" ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง หัวเรื่อง EL312 Operational Transconductance Amplifier และการประยุกต์ใช้งาน,EL319 วงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ
2. Penfold Book Chapter1-4
3. Dual ADSR , Christopher Mcdonald , <http://www.evenfall.com/diy/adrsrchm.html>
4. Analog Synthesizer Module (ASM-1 homepage) ,www.it.kth.se/~e93_mda/synths/friends/stop/#0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

Table 1: Summary of MIDI Status & Data Bytes

(adapted from "MIDI by the Numbers" by D. Valenti, Electronic Musician 2/88)

Updated 1995 By the MIDI Manufacturers Association.

WARNING: The details of this implementation could dramatically affect compatibility with other products. It is recommended that you consult the official MMA detailed specification for any additional information.

STATUS BYTE			DATA BYTES		
1st Byte Value			Function	2nd Byte	3rd Byte
Binary	Hex	Dec			
10000000	80	128	Chan 1 Note off	Note Number	Note Velocity
10000001	81	129	Chan 2 "	(0-127)	(0-127)
10000010	82	130	Chan 3 "	see	"
10000011	83	131	Chan 4 "	Table	"
10000100	84	132	Chan 5 "	2	"
10000101	85	133	Chan 6 "	"	"
10000110	86	134	Chan 7 "	"	"
10000111	87	135	Chan 8 "	"	"
10001000	88	136	Chan 9 "	"	"
10001001	89	137	Chan 10 "	"	"
10001010	8A	138	Chan 11 "	"	"
10001011	8B	139	Chan 12 "	"	"
10001100	8C	140	Chan 13 "	"	"
10001101	8D	141	Chan 14 "	"	"
10001110	8E	142	Chan 15 "	"	"
10001111	8F	143	Chan 16 "	"	"
10010000	90	144	Chan 1 Note on	"	"
10010001	91	145	Chan 2 "	"	"
10010010	92	146	Chan 3 "	"	"
10010011	93	147	Chan 4 "	"	"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10010100	94	148	Chan 5 "	"	"
10010101	95	149	Chan 6 "	"	"
10010110	96	150	Chan 7 "	"	"
10010111	97	151	Chan 8 "	"	"
10011000	98	152	Chan 9 "	"	"
10011001	99	153	Chan 10 "	"	"
10011010	9A	154	Chan 11 "	"	"
10011011	9B	155	Chan 12 "	"	"
10011100	9C	156	Chan 13 "	"	"
10011101	9D	157	Chan 14 "	"	"
10011110	9E	158	Chan 15 "	"	"
10011111	9F	159	Chan 16 "	"	"
10100000	A0	160	Chan 1 Polyphonic	"	Aftertouch
10100001	A1	161	Chan 2 aftertouch	"	amount
10100010	A2	162	Chan 3 "	"	(0-127)
10100011	A3	163	Chan 4 "	"	"
10100100	A4	164	Chan 5 "	"	"
10100101	A5	165	Chan 6 "	"	"
10100110	A6	166	Chan 7 "	"	"
10100111	A7	167	Chan 8 "	"	"
10101000	A8	168	Chan 9 "	"	"
10101001	A9	169	Chan 10 "	"	"
10101010	AA	170	Chan 11 "	"	"
10101011	AB	171	Chan 12 "	"	"
10101100	AC	172	Chan 13 "	"	"
10101101	AD	173	Chan 14 "	"	"
10101110	AE	174	Chan 15 "	"	"
10101111	AF	175	Chan 16 "	"	"
10110000	B0	176	Chan 1 Control/	See	See
10110001	B1	177	Chan 2 Mode change	Table	Table
10110010	B2	178	Chan 3 "	three	three
10110011	B3	179	Chan 4 "	"	"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10110100	B4	180	Chan 5 "	"	"
10110101	B5	181	Chan 6 "	"	"
10110110	B6	182	Chan 7 "	"	"
10110111	B7	183	Chan 8 "	"	"
10111000	B8	184	Chan 9 "	"	"
10111001	B9	185	Chan 10 "	"	"
10111010	BA	186	Chan 11 "	"	"
10111011	BB	187	Chan 12 "	"	"
10111100	BC	188	Chan 13 "	"	"
10111101	BD	189	Chan 14 "	"	"
10111110	BE	190	Chan 15 "	"	"
10111111	BF	191	Chan 16 "	"	"
11000000	C0	192	Chan 1 Program	Program #	NONE
11000001	C1	193	Chan 2 change	(0-127)	"
11000010	C2	194	Chan 3 "	"	"
11000011	C3	195	Chan 4 "	"	"
11000100	C4	196	Chan 5 "	"	"
11000101	C5	197	Chan 6 "	"	"
11000110	C6	198	Chan 7 "	"	"
11000111	C7	199	Chan 8 "	"	"
11001000	C8	200	Chan 9 "	"	"
11001001	C9	201	Chan 10 "	"	"
11001010	CA	202	Chan 11 "	"	"
11001011	CB	203	Chan 12 "	"	"
11001100	CC	204	Chan 13 "	"	"
11001101	CD	205	Chan 14 "	"	"
11001110	CE	206	Chan 15 "	"	"
11001111	CF	207	Chan 16 "	"	"
11010000	D0	208	Chan 1 Channel	Aftertouch	"
11010001	D1	209	Chan 2 aftertouch	amount	"
11010010	D2	210	Chan 3 "	(0-127)	"
11010011	D3	211	Chan 4 "	"	"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11010100	D4	212	Chan 5 "	"	"
11010101	D5	213	Chan 6 "	"	"
11010110	D6	214	Chan 7 "	"	"
11010111	D7	215	Chan 8 "	"	"
11011000	D8	216	Chan 9 "	"	"
11011001	D9	217	Chan 10 "	"	"
11011010	DA	218	Chan 11 "	"	"
11011011	DB	219	Chan 12 "	"	"
11011100	DC	220	Chan 13 "	"	"
11011101	DD	221	Chan 14 "	"	"
11011110	DE	222	Chan 15 "	"	"
11011111	DF	223	Chan 16 "	"	"
11100000	E0	224	Chan 1 Pitch	Pitch	Pitch
11100001	E1	225	Chan 2 wheel	wheel	wheel
11100010	E2	226	Chan 3 control	LSB	MSB
11100011	E3	227	Chan 4 "	(0-127)	(0-127)
11100100	E4	228	Chan 5 "	"	"
11100101	E5	229	Chan 6 "	"	"
11100110	E6	230	Chan 7 "	"	"
11100111	E7	231	Chan 8 "	"	"
11101000	E8	232	Chan 9 "	"	"
11101001	E9	233	Chan 10 "	"	"
11101010	EA	234	Chan 11 "	"	"
11101011	EB	235	Chan 12 "	"	"
11101100	EC	236	Chan 13 "	"	"
11101101	ED	237	Chan 14 "	"	"
11101110	EE	238	Chan 15 "	"	"
11101111	EF	239	Chan 16 "	"	"
11110000	F0	240	System Exclusive	**	**
11110001	F1	241	MIDI Time Code	-see spec-	-see spec-
11110010	F2	242	Qtr. Frame	LSB	MSB
11110011	F3	243	Song Position Pointer	(0-127)	NONE

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11110100	F4	244	Song Select (Song #)	?	?
11110101	F5	245	Undefined	?	?
11110110	F6	246	Undefined	NONE	NONE
11110111	F7	247	Tune request	"	"
11111000	F8	248	End of SysEx (EOX)	"	"
11111001	F9	249	Timing clock	"	"
11111010	FA	250	Undefined	"	"
11111011	FB	251	Start	"	"
11111100	FC	252	Continue	"	"
11111101	FD	253	Stop	"	"
11111110	FE	254	Undefined	"	"
11111111	FF	255	Active Sensing	"	"
			System Reset		

**** Note:** System Exclusive (data dump) 2nd byte= Vendor ID followed by more data bytes and ending with EOX.

The MIDI Manufacturers Association approves of electronic distribution of this document via this and other sites, as long as it is not modified in any way.

HTML coding by Scott Lehman

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 2: Summary of MIDI Note Numbers for Different Octaves

(adapted from "MIDI by the Numbers" by D. Valenti - Electronic Musician 2/88)

Updated 1995 By the MIDI Manufacturers Association

WARNING: The details of this implementation could dramatically affect compatibility with other products. It is recommended that you consult the official MMA detailed specification for any additional information.

Octave #	Note Numbers											
	C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B
-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
2	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
3	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
4	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
5	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83
6	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
7	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107
8	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119
9	120	121	122	123	124	125	126	127				

Note: The MIDI specification only defines note number 60 as "Middle C", and all other notes are relative. The absolute octave number designations shown here are based on Middle C = C4, which is an arbitrary assignment.

The MIDI Manufacturers Association approves of electronic distribution of this document via this and other sites, as long as it is not modified in any way.

HTML coding by Scott Lehman

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

โปรแกรมรับข้อมูลMIDI และควบคุมการทำงาน

```

ORG 0000H
    JMP SET
ORG 0023H
    JMP MIDI
SET: MOV SP,#75H
    MOV SCON,#01010000B
    MOV PCON,#80H
    MOV TMOD,#20H
    MOV TH1,#254
    MOV TL1,#254
    SETB TR1
    SETB EA
    SETB ES
    MOV 30H,#0
    MOV 31H,#0
    MOV R0,#30H
    MOV P3,#01H
    MOV 70H,#90H;BYTE LOW
    MOV 71H,#00H;BYTE HIGH
    MOV 24H,#00000000B
    MOV 25H,#00000000B
    MOV 26H,#00000000B
    MOV 27H,#00000000B
    MOV 28H,#00000000B
    MOV 29H,#00000000B
    MOV 2AH,#00000000B

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        JMP   POUT
MIDI:  CLR  RI
        CLR  RS1
        MOV  @R0,SBUF
        INC  R0
        CJNE R0,#32H,SEND
        POP  40H
        POP  40H
        PUSH 70H
        PUSH 71H
        MOV  R0,#30H
SEND:  SETB  RS1
        RETI
ORG    0090H
MAIN:  CLR  RS1
        MOV  SP,#75H
        MOV  R1,31H
        MOV  A,#54H
        SUBB A,30H
        MOV  B,#3H
        MUL  AB
        MOV  DPTR,#00F0H
        JMP  @A+DPTR

```

```

ORG    00F0H      ;DPTR POINT AT HERE
C54:   LJMP W54
C53:   LJMP W53
C52:   LJMP W52

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C51: LJMP W51
C50: LJMP W50
C4F: LJMP W4F
C4E: LJMP W4E
C4D: LJMP W4D
C4C: LJMP W4C
C4B: LJMP W4B
C4A: LJMP W4A
C49: LJMP W49
C48: LJMP W48
C47: LJMP W47
C46: LJMP W46
C45: LJMP W45
C44: LJMP W44
C43: LJMP W43
C42: LJMP W42
C41: LJMP W41
C40: LJMP W40
C3F: LJMP W3F
C3E: LJMP W3E
C3D: LJMP W3D
C3C: LJMP W3C
C3B: LJMP W3B
C3A: LJMP W3A
C39: LJMP W39
C38: LJMP W38
C37: LJMP W37
C36: LJMP W36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C35: LJMP W35
 C34: LJMP W34
 C33: LJMP W33
 C32: LJMP W32
 C31: LJMP W31
 C30: LJMP W30
 C2F: LJMP W2F
 C2E: LJMP W2E
 C2D: LJMP W2D
 C2C: LJMP W2C
 C2B: LJMP W2B
 C2A: LJMP W2A
 C29: LJMP W29
 C28: LJMP W28
 C27: LJMP W27
 C26: LJMP W26
 C25: LJMP W25
 C24: LJMP W24

W24: CJNE R1,#00H,S24

CLR 24H

JMP POUT

S24: SETB 24H

JMP POUT

W25: CJNE R1,#00H,S25

CLR 25H

JMP POUT

S25: SETB 25H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        JMP    POUT
W26:   CJNE R1,#00H,S26
        CLR    26H
        JMP    POUT
S26:   SETB   26H
        JMP    POUT
W27:   CJNE R1,#00H,S27
        CLR    27H
        JMP    POUT
S27:   SETB   27H
        JMP    POUT
W28:   CJNE R1,#00H,S28
        CLR    28H
        JMP    POUT
S28:   SETB   28H
        JMP    POUT
W29:   CJNE R1,#00H,S29
        CLR    29H
        JMP    POUT
S29:   SETB   29H
        JMP    POUT
W2A:   CJNE R1,#00H,S2A
        CLR    2AH
        JMP    POUT
S2A:   SETB   2AH
        JMP    POUT
W2B:   CJNE R1,#00H,S2B
        CLR    2BH

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        JMP    POUT
S2B:   SETB  2BH
        JMP    POUT
W2C:   CJNE  R1,#00H,S2C
        CLR   2CH
        JMP    POUT
S2C:   SETB  2CH
        JMP    POUT
W2D:   CJNE  R1,#00H,S2D
        CLR   2DH
        JMP    POUT
S2D:   SETB  2DH
        JMP    POUT
W2E:   CJNE  R1,#00H,S2E
        CLR   2EH
        JMP    POUT
S2E:   SETB  2EH
        JMP    POUT
W2F:   CJNE  R1,#00H,S2F
        CLR   2FH
        JMP    POUT
S2F:   SETB  2FH
        JMP    POUT
W30:   CJNE  R1,#00H,S30
        CLR   30H
        JMP    POUT
S30:   SETB  30H
        JMP    POUT

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

W31: CJNE R1,#00H,S31

CLR 31H

JMP POUT

S31: SETB 31H

JMP POUT

W32: CJNE R1,#00H,S32

CLR 32H

JMP POUT

S32: SETB 32H

JMP POUT

W33: CJNE R1,#00H,S33

CLR 33H

JMP POUT

S33: SETB 33H

JMP POUT

W34: CJNE R1,#00H,S34

CLR 34H

JMP POUT

S34: SETB 34H

JMP POUT

W35: CJNE R1,#00H,S35

CLR 35H

JMP POUT

S35: SETB 35H

JMP POUT

W36: CJNE R1,#00H,S36

CLR 36H

JMP POUT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

S36: SETB 36H
      JMP  POUT
W37: CJNE R1,#00H,S37
      CLR  37H
      JMP  POUT
S37: SETB 37H
      JMP  POUT
W38: CJNE R1,#00H,S38
      CLR  38H
      JMP  POUT
S38: SETB 38H
      JMP  POUT
W39: CJNE R1,#00H,S39
      CLR  39H
      JMP  POUT
S39: SETB 39H
      JMP  POUT
W3A: CJNE R1,#00H,S3A
      CLR  3AH
      JMP  POUT
S3A: SETB 3AH
      JMP  POUT
W3B: CJNE R1,#00H,S3B
      CLR  3BH
      JMP  POUT
S3B: SETB 3BH
      JMP  POUT
W3C: CJNE R1,#00H,S3C

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    CLR    3CH
    JMP    POUT
S3C:    SETB 3CH
    JMP    POUT
W3D:    CJNE R1,#00H,S3D
    CLR    3DH
    JMP    POUT
S3D:    SETB 3DH
    JMP    POUT
W3E:    CJNE R1,#00H,S3E
    CLR    3EH
    JMP    POUT
S3E:    SETB 3EH
    JMP    POUT
W3F:    CJNE R1,#00H,S3F
    CLR    3FH
    JMP    POUT
S3F:    SETB 3FH
    JMP    POUT
W40:    CJNE R1,#00H,S40
    CLR    40H
    JMP    POUT
S40:    SETB 40H
    JMP    POUT
W41:    CJNE R1,#00H,S41
    CLR    41H
    JMP    POUT
S41:    SETB 41H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        JMP    POUT
W42:  CJNE R1,#00H,S42
        CLR   42H
        JMP   POUT
S42:  SETB  42H
        JMP   POUT
W43:  CJNE R1,#00H,S43
        CLR   43H
        JMP   POUT
S43:  SETB  43H
        JMP   POUT
W44:  CJNE R1,#00H,S44
        CLR   44H
        JMP   POUT
S44:  SETB  44H
        JMP   POUT
W45:  CJNE R1,#00H,S45
        CLR   45H
        JMP   POUT
S45:  SETB  45H
        JMP   POUT
W46:  CJNE R1,#00H,S46
        CLR   46H
        JMP   POUT
S46:  SETB  46H
        JMP   POUT
W47:  CJNE R1,#00H,S47
        CLR   47H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        JMP    POUT
S47:   SETB  47H
        JMP    POUT
W48:   CJNE  R1,#00H,S48
        CLR   48H
        JMP    POUT
S48:   SETB  48H
        JMP    POUT
W49:   CJNE  R1,#00H,S49
        CLR   49H
        JMP    POUT
S49:   SETB  49H
        JMP    POUT
W4A:   CJNE  R1,#00H,S4A
        CLR   4AH
        JMP    POUT
S4A:   SETB  4AH
        JMP    POUT
W4B:   CJNE  R1,#00H,S4B
        CLR   4BH
        JMP    POUT
S4B:   SETB  4BH
        JMP    POUT
W4C:   CJNE  R1,#00H,S4C
        CLR   4CH
        JMP    POUT
S4C:   SETB  4CH
        JMP    POUT

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

W4D: CJNE R1,#00H,S4D

CLR 4DH

JMP POUT

S4D: SETB 4DH

JMP POUT

W4E: CJNE R1,#00H,S4E

CLR 4EH

JMP POUT

S4E: SETB 4EH

JMP POUT

W4F: CJNE R1,#00H,S4F

CLR 4FH

JMP POUT

S4F: SETB 4FH

JMP POUT

W50: CJNE R1,#00H,S50

CLR 50H

JMP POUT

S50: SETB 50H

JMP POUT

W51: CJNE R1,#00H,S51

CLR 51H

JMP POUT

S51: SETB 51H

JMP POUT

W52: CJNE R1,#00H,S52

CLR 52H

JMP POUT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

S52:  SETB  52H
      JMP   POUT
W53:  CJNE  R1,#00H,S53
      CLR   53H
      JMP   POUT
S53:  SETB  53H
      JMP   POUT
W54:  CJNE  R1,#00H,S54
      CLR   54H
      JMP   POUT
S54:  SETB  54H
      JMP   POUT

POUT: SETB  RS1
      MOV  R1,#50H
      MOV  R0,#60H

K24:  JNB   24H,K25
      MOV  A,#00
      MOV  R3,A
      CALL COMPARE_TABLE
K25:  JNB   25H,K26
      MOV  A,#02
      MOV  R3,A
      CALL COMPARE_TABLE
K26:  JNB   26H,K27
      MOV  A,#04
      MOV  R3,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CALL COMPARE_TABLE
K27: JNB 27H,P27
MOV A,#06
MOV R3,A
CALL COMPARE_TABLE
P27: CJNE R1,#54H,K28
JMP OUT
K28: JNB 28H,P28
MOV A,#08
MOV R3,A
CALL COMPARE_TABLE
P28: CJNE R1,#54H,K29
JMP OUT
K29: JNB 29H,P29
MOV A,#10
MOV R3,A
CALL COMPARE_TABLE
P29: CJNE R1,#54H,K2A
JMP OUT
K2A: JNB 2AH,P2A
MOV A,#12
MOV R3,A
CALL COMPARE_TABLE
P2A: CJNE R1,#54H,K2B
JMP OUT
K2B: JNB 2BH,P2B
MOV A,#14
MOV R3,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CALL COMPARE_TABLE
P2B: CJNE R1,#54H,K2C
      JMP OUT
K2C: JNB 2CH,P2C
      MOV A,#16
      MOV R3,A
      CALL COMPARE_TABLE
P2C: CJNE R1,#54H,K2D
      JMP OUT
K2D: JNB 2DH,P2D
      MOV A,#18
      MOV R3,A
      CALL COMPARE_TABLE
P2D: CJNE R1,#54H,K2E
      JMP OUT
K2E: JNB 2EH,P2E
      MOV A,#20
      MOV R3,A
      CALL COMPARE_TABLE
P2E: CJNE R1,#54H,K2F
      JMP OUT
K2F: JNB 2FH,P2F
      MOV A,#22
      MOV R3,A
      CALL COMPARE_TABLE
P2F: CJNE R1,#54H,K30
      JMP OUT
K30: JNB 30H,P30

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV A,#24
MOV R3,A
CALL COMPARE_TABLE
P30: CJNE R1,#54H,K31
      JMP OUT
K31: JNB 31H,P31
      MOV A,#26
      MOV R3,A
      CALL COMPARE_TABLE
P31: CJNE R1,#54H,K32
      JMP OUT
K32: JNB 32H,P32
      MOV A,#28
      MOV R3,A
      CALL COMPARE_TABLE
P32: CJNE R1,#54H,K33
      JMP OUT
K33: JNB 33H,P33
      MOV A,#30
      MOV R3,A
      CALL COMPARE_TABLE
P33: CJNE R1,#54H,K34
      JMP OUT
K34: JNB 34H,P34
      MOV A,#32
      MOV R3,A
      CALL COMPARE_TABLE
P34: CJNE R1,#54H,K35

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        JMP    OUT
K35:   JNB    35H,P35
        MOV   A,#34
        MOV   R3,A
        CALL COMPARE_TABLE
P35:   CJNE  R1,#54H,K36
        JMP   OUT
K36:   JNB    36H,P36
        MOV   A,#36
        MOV   R3,A
        CALL COMPARE_TABLE
P36:   CJNE  R1,#54H,K37
        JMP   OUT
K37:   JNB    37H,P37
        MOV   A,#38
        MOV   R3,A
        CALL COMPARE_TABLE
P37:   CJNE  R1,#54H,K38
        JMP   OUT
K38:   JNB    38H,P38
        MOV   A,#40
        MOV   R3,A
        CALL COMPARE_TABLE
P38:   CJNE  R1,#54H,K39
        JMP   OUT
K39:   JNB    39H,P39
        MOV   A,#42
        MOV   R3,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CALL COMPARE_TABLE
P39: CJNE R1,#54H,K3A
      JMP OUT
K3A: JNB 3AH,P3A
      MOV A,#44
      MOV R3,A
      CALL COMPARE_TABLE
P3A: CJNE R1,#54H,K3B
      JMP OUT
K3B: JNB 3BH,P3B
      MOV A,#46
      MOV R3,A
      CALL COMPARE_TABLE
P3B: CJNE R1,#54H,K3C
      JMP OUT
K3C: JNB 3CH,P3C
      MOV A,#48
      MOV R3,A
      CALL COMPARE_TABLE
P3C: CJNE R1,#54H,K3D
      JMP OUT
K3D: JNB 3DH,P3D
      MOV A,#50
      MOV R3,A
      CALL COMPARE_TABLE
P3D: CJNE R1,#54H,K3E
      JMP OUT
K3E: JNB 3EH,P3E

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV A,#52
MOV R3,A
CALL COMPARE_TABLE
P3E: CJNE R1,#54H,K3F
      JMP OUT
K3F: JNB 3FH,P3F
      MOV A,#54
      MOV R3,A
      CALL COMPARE_TABLE
P3F: CJNE R1,#54H,K40
      JMP OUT
K40: JNB 40H,P40
      MOV A,#56
      MOV R3,A
      CALL COMPARE_TABLE
P40: CJNE R1,#54H,K41
      JMP OUT
K41: JNB 41H,P41
      MOV A,#58
      MOV R3,A
      CALL COMPARE_TABLE
P41: CJNE R1,#54H,K42
      JMP OUT
K42: JNB 42H,P42
      MOV A,#60
      MOV R3,A
      CALL COMPARE_TABLE
P42: CJNE R1,#54H,K43

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

      JMP     OUT
K43:  JNB     43H,P43
      MOV     A,#62
      MOV     R3,A
      CALL    COMPARE_TABLE
P43:  CJNE   R1,#54H,K44
      JMP     OUT
K44:  JNB     44H,P44
      MOV     A,#64
      MOV     R3,A
      CALL    COMPARE_TABLE
P44:  CJNE   R1,#54H,K45
      JMP     OUT
K45:  JNB     45H,P45
      MOV     A,#66
      MOV     R3,A
      CALL    COMPARE_TABLE
P45:  CJNE   R1,#54H,K46
      JMP     OUT
K46:  JNB     46H,P46
      MOV     A,#68
      MOV     R3,A
      CALL    COMPARE_TABLE
P46:  CJNE   R1,#54H,K47
      JMP     OUT
K47:  JNB     47H,P47
      MOV     A,#70
      MOV     R3,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CALL COMPARE_TABLE
P47: CJNE R1,#54H,K48
      JMP OUT
K48: JNB 48H,P48
      MOV A,#72
      MOV R3,A
      CALL COMPARE_TABLE
P48: CJNE R1,#54H,K49
      JMP OUT
K49: JNB 49H,P49
      MOV A,#74
      MOV R3,A
      CALL COMPARE_TABLE
P49: CJNE R1,#54H,K4A
      JMP OUT
K4A: JNB 4AH,P4A
      MOV A,#76
      MOV R3,A
      CALL COMPARE_TABLE
P4A: CJNE R1,#54H,K4B
      JMP OUT
K4B: JNB 4BH,P4B
      MOV A,#78
      MOV R3,A
      CALL COMPARE_TABLE
P4B: CJNE R1,#54H,K4C
      JMP OUT
K4C: JNB 4CH,P4C

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV A,#80
MOV R3,A
CALL COMPARE_TABLE
P4C: CJNE R1,#54H,K4D
      JMP OUT
K4D: JNB 4DH,P4D
      MOV A,#82
      MOV R3,A
      CALL COMPARE_TABLE
P4D: CJNE R1,#54H,K4E
      JMP OUT
K4E: JNB 4EH,P4E
      MOV A,#84
      MOV R3,A
      CALL COMPARE_TABLE
P4E: CJNE R1,#54H,K4F
      JMP OUT
K4F: JNB 4FH,P4F
      MOV A,#86
      MOV R3,A
      CALL COMPARE_TABLE
P4F: CJNE R1,#54H,K50
      JMP OUT
K50: JNB 50H,P50
      MOV A,#88
      MOV R3,A
      CALL COMPARE_TABLE
P50: CJNE R1,#54H,K51

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        JMP    OUT
K51:   JNB    51H,P51
        MOV   A,#90
        MOV   R3,A
        CALL COMPARE_TABLE
P51:   CJNE  R1,#54H,K52
        JMP   OUT
K52:   JNB    52H,P52
        MOV   A,#92
        MOV   R3,A
        CALL COMPARE_TABLE
P52:   CJNE  R1,#54H,K53
        JMP   OUT
K53:   JNB    53H,P53
        MOV   A,#94
        MOV   R3,A
        CALL COMPARE_TABLE
P53:   CJNE  R1,#54H,K54
        JMP   OUT
K54:   JNB    54H,P54
        MOV   A,#96
        MOV   R3,A
        CALL COMPARE_TABLE
P54:   CJNE  R1,#54H,P55
        JMP   OUT
P55:   CJNE  R1,#54H,Q55
        JMP   OUT
Q55:   MOV   @R0,#39

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV @R1,#100
INC R0
INC R1
P56: CJNE R1,#54H,Q56
      JMP OUT
Q56: MOV @R0,#39
      MOV @R1,#100
      INC R0
      INC R1
P57: CJNE R1,#54H,Q57
      JMP OUT
Q57: MOV @R0,#39
      MOV @R1,#100
      INC R0
      INC R1
P58: CJNE R1,#54H,Q58
      JMP OUT
Q58: MOV @R0,#39
      MOV @R1,#100
      INC R0
      INC R1
      JMP OUT

```

COMPARE_TABLE:

```

MOV DPTR,#TABLE1
MOVC A,@A+DPTR
MOV @R0,A
INC R3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV  A,R3
MOVC A,@A+DPTR
MOV  @R1,A
INC  R0
INC  R1
RET

```

```

OUT:  MOV  R5,60H
      CJNE R5,#39,OUTON
      JMP  OUTOFF
OUTON: SETB  P0.0,TRIG ON ADSR
      JMP  OUTR
OUTOFF: CLR  P0.0,TRIG OFF ADSR
OUTR:  MOV  P1,60H
      MOV  P2,50H
      MOV  P3,#11H
      CALL DELAY1
      CALL DELAY2
      MOV  P1,61H
      MOV  P2,51H
      MOV  P3,#21H
      CALL DELAY1
      CALL DELAY2
      MOV  P1,62H
      MOV  P2,52H
      MOV  P3,#41H
      CALL DELAY1
      CALL DELAY2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV P1,63H
MOV P2,53H
MOV P3,#81H
CALL DELAY1
CALL DELAY2
JMP OUTR

```

```

DELAY1:MOV R2,#100

```

```

SOE: DJNZ R2,SOE

```

```

RET

```

```

DELAY2:MOV R3,#20

```

```

MOV P3,#01H

```

```

SOE1:DJNZ R3,SOE1

```

```

RET

```

```

TABLE1: DB 37,70

```

```

DB 37,35

```

```

DB 36,250

```

```

DB 36,210

```

```

DB 36,174

```

```

DB 36,130

```

```

DB 36,94

```

```

DB 36,45

```

```

DB 35,252

```

```

DB 35,205

```

```

DB 35,143

```

```

DB 35,77

```

```

DB 35,6

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DB	34,203
DB	34,128
DB	34,53
DB	33,224
DB	33,149
DB	33,79
DB	33,59
DB	32,218
DB	32,118
DB	32,5
DB	31,163
DB	31,35
DB	30,169
DB	30,32
DB	29,148
DB	28,250
DB	28,93
DB	27,182
DB	27,0
DB	26,66
DB	25,116
DB	24,160
DB	23,83
DB	22,98
DB	20,184
DB	19,158
DB	18,115
DB	17,45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DB 15,219
DB 14,117
DB 12,248
DB 11,98
DB 9,173
DB 7,221
DB 5,242
DB 3,245

END



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FEATURES

- Low-Sine Wave Distortion, 0.5%, Typical
- Excellent Temperature Stability, 20ppm/°C, Typ.
- Wide Sweep Range, 2000:1, Typical
- Low-Supply Sensitivity, 0.01%V, Typ.
- Linear Amplitude Modulation
- TTL Compatible FSK Controls
- Wide Supply Range, 10V to 26V
- Adjustable Duty Cycle, 1% TO 99%

APPLICATIONS

- Waveform Generation
- Sweep Generation
- AM/FM Generation
- V/F Conversion
- FSK Generation
- Phase-Locked Loops (VCO)

GENERAL DESCRIPTION

The XR-2206 is a monolithic function generator integrated circuit capable of producing high quality sine, square, triangle, ramp, and pulse waveforms of high-stability and accuracy. The output waveforms can be both amplitude and frequency modulated by an external voltage. Frequency of operation can be selected externally over a range of 0.01Hz to more than 1MHz.

The circuit is ideally suited for communications, instrumentation, and function generator applications requiring sinusoidal tone, AM, FM, or FSK generation. It has a typical drift specification of 20ppm/°C. The oscillator frequency can be linearly swept over a 2000:1 frequency range with an external control voltage, while maintaining low distortion.

ORDERING INFORMATION

Part No.	Package	Operating Temperature Range
XR-2206M	16 Lead 300 Mil CDIP	-55°C to +125°C
XR-2206P	16 Lead 300 Mil PDIP	-40°C to +85°C
XR-2206CP	16 Lead 300 Mil PDIP	0°C to +70°C
XR-2206D	16 Lead 300 Mil JEDEC SOIC	0°C to +70°C

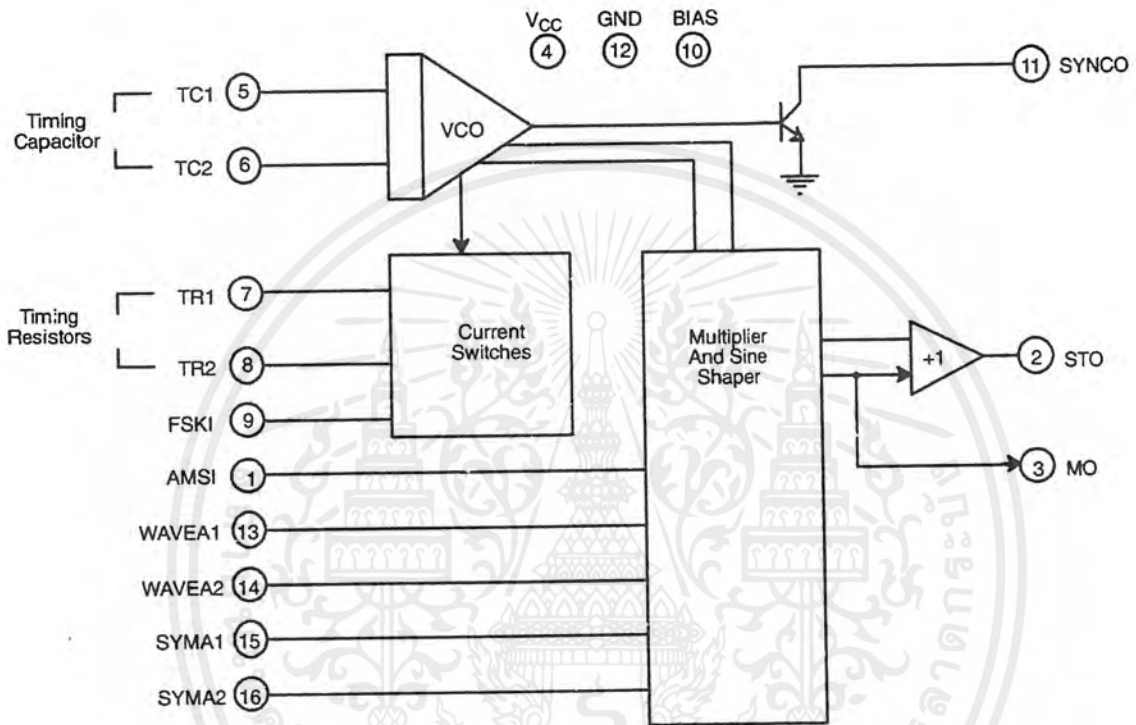
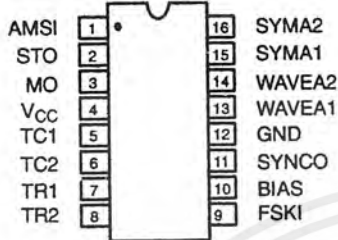
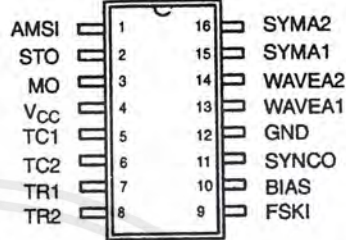


Figure 1. XR-2206 Block Diagram



16 Lead PDIP, CDIP (0.300")



16 Lead SOIC (Jedec, 0.300")

PIN DESCRIPTION

Pin #	Symbol	Type	Description
1	AMSI	I	Amplitude Modulating Signal Input.
2	STO	O	Sine or Triangle Wave Output.
3	MO	O	Multiplier Output.
4	V _{CC}		Positive Power Supply.
5	TC1	I	Timing Capacitor Input.
6	TC2	I	Timing Capacitor Input.
7	TR1	O	Timing Resistor 1 Output.
8	TR2	O	Timing Resistor 2 Output.
9	FSKI	I	Frequency Shift Keying Input.
10	BIAS	O	Internal Voltage Reference.
11	SYNCO	O	Sync Output. This output is a open collector and needs a pull up resistor to V _{CC} .
12	GND		Ground pin.
13	WAVEA1	I	Wave Form Adjust Input 1.
14	WAVEA2	I	Wave Form Adjust Input 2.
15	SYMA1	I	Wave Symetry Adjust 1.
16	SYMA2	I	Wave Symetry Adjust 2.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Test Conditions: Test Circuit of *Figure 2* $V_{CC} = 12V$, $T_A = 25^\circ C$, $C = 0.01\mu F$, $R_1 = 100k\Omega$, $R_2 = 10k\Omega$, $R_3 = 25k\Omega$
 Unless Otherwise Specified. S_1 open for triangle, closed for sine wave.

Parameters	XR-2206M/P			XR-2206CP/D			Units	Conditions
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
General Characteristics								
Single Supply Voltage	10		26	10		26	V	
Split-Supply Voltage	± 5		± 13	± 5		± 13	V	
Supply Current		12	17		14	20	mA	$R_1 \geq 10k\Omega$
Oscillator Section								
Max. Operating Frequency	0.5	1		0.5	1		MHz	$C = 1000pF$, $R_1 = 1k\Omega$
Lowest Practical Frequency		0.01			0.01		Hz	$C = 50\mu F$, $R_1 = 2M\Omega$
Frequency Accuracy		± 1	± 4		± 2		% of f_o	$f_o = 1/R_1C$
Temperature Stability Frequency		± 10	± 50		± 20		ppm/ $^\circ C$	$0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$ $R_1 = R_2 = 20k\Omega$
Sine Wave Amplitude Stability ²		4800			4800		ppm/ $^\circ C$	
Supply Sensitivity		0.01	0.1		0.01		%/V	$V_{LOW} = 10V$, $V_{HIGH} = 20V$, $R_1 = R_2 = 20k\Omega$
Sweep Range	1000:1	2000:1			2000:1		$f_H = f_L$	$f_H @ R_1 = 1k\Omega$ $f_L @ R_1 = 2M\Omega$
Sweep Linearity								
10:1 Sweep		2			2		%	$f_L = 1kHz$, $f_H = 10kHz$
1000:1 Sweep		8			8		%	$f_L = 100Hz$, $f_H = 100kHz$
FM Distortion		0.1			0.1		%	$\pm 10\%$ Deviation
Recommended Timing Components								
Timing Capacitor: C	0.001		100	0.001		100	μF	<i>Figure 5</i>
Timing Resistors: R_1 & R_2	1		2000	1		2000	k Ω	
Triangle Sine Wave Output¹								<i>Figure 3</i>
Triangle Amplitude		160			160		mV/k Ω	<i>Figure 2</i> , S_1 Open
Sine Wave Amplitude	40	60	80		60		mV/k Ω	<i>Figure 2</i> , S_1 Closed
Max. Output Swing		6			6		Vp-p	
Output Impedance		600			600		Ω	
Triangle Linearity		1			1		%	
Amplitude Stability		0.5			0.5		dB	For 1000:1 Sweep
Sine Wave Distortion								
Without Adjustment		2.5			2.5		%	$R_1 = 30k\Omega$
With Adjustment		0.4	1.0		0.5	1.5	%	See <i>Figure 7</i> and <i>Figure 8</i>

Notes

¹ Output amplitude is directly proportional to the resistance, R_3 , on Pin 3. See *Figure 3*.

² For maximum amplitude stability, R_3 should be a positive temperature coefficient resistor.

Bold face parameters are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONT'D)

Parameters	XR-2206M/P			XR-2206CP/D			Units	Conditions
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Amplitude Modulation								
Input Impedance	50	100		50	100		k Ω	
Modulation Range		100			100		%	
Carrier Suppression		55			55		dB	
Linearity		2			2		%	For 95% modulation
Square-Wave Output								
Amplitude		12			12		Vp-p	Measured at Pin 11.
Rise Time		250			250		ns	$C_L = 10\text{pF}$
Fall Time		50			50		ns	$C_L = 10\text{pF}$
Saturation Voltage		0.2	0.4		0.2	0.6	V	$I_L = 2\text{mA}$
Leakage Current		0.1	20		0.1	100	μA	$V_{CC} = 26\text{V}$
FSK Keying Level (Pin 9)	0.8	1.4	2.4	0.8	1.4	2.4	V	See section on circuit controls
Reference Bypass Voltage	2.9	3.1	3.3	2.5	3	3.5	V	Measured at Pin 10.

Notes

¹ Output amplitude is directly proportional to the resistance, R_3 , on Pin 3. See Figure 3.

² For maximum amplitude stability, R_3 should be a positive temperature coefficient resistor.

Bold face parameters are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.

Specifications are subject to change without notice

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Power Supply	26V	Total Timing Current	6mA
Power Dissipation	750mW	Storage Temperature	-65°C to +150°C
Derate Above 25°C	5mW/°C		

SYSTEM DESCRIPTION

The XR-2206 is comprised of four functional blocks; a voltage-controlled oscillator (VCO), an analog multiplier and sine-shaper; a unity gain buffer amplifier; and a set of current switches.

The VCO produces an output frequency proportional to an input current, which is set by a resistor from the timing

terminals to ground. With two timing pins, two discrete output frequencies can be independently produced for FSK generation applications by using the FSK input control pin. This input controls the current switches which select one of the timing resistor currents, and routes it to the VCO.

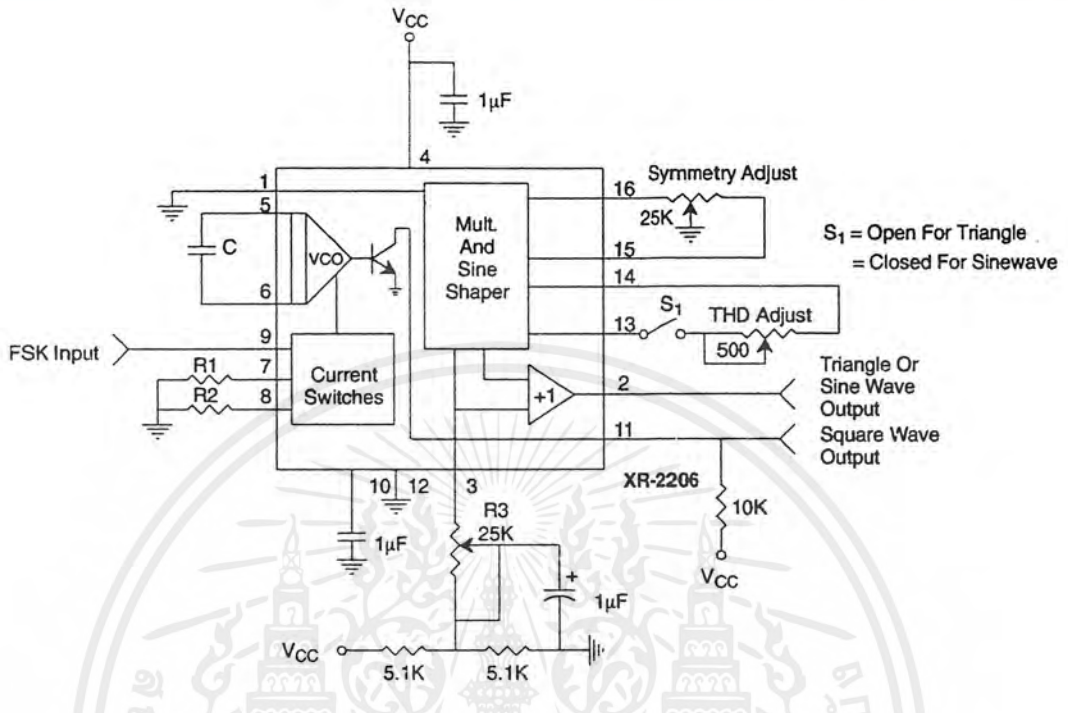


Figure 2. Basic Test Circuit

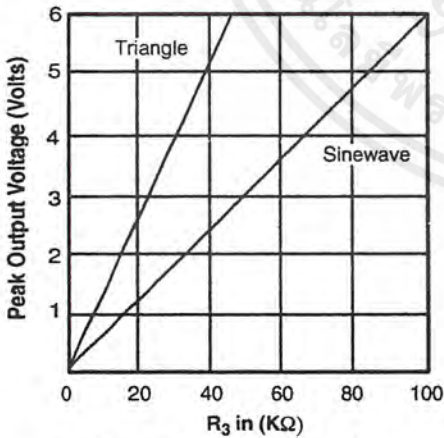


Figure 3. Output Amplitude as a Function of the Resistor, R3, at Pin 3

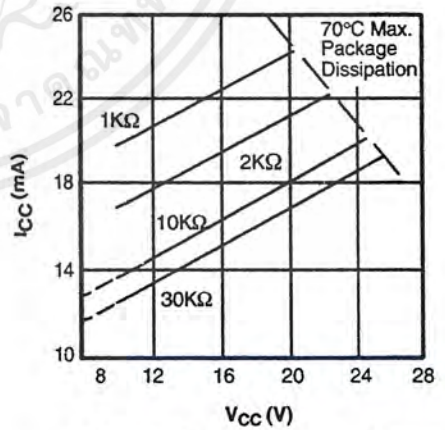


Figure 4. Supply Current vs Supply Voltage, Timing, R

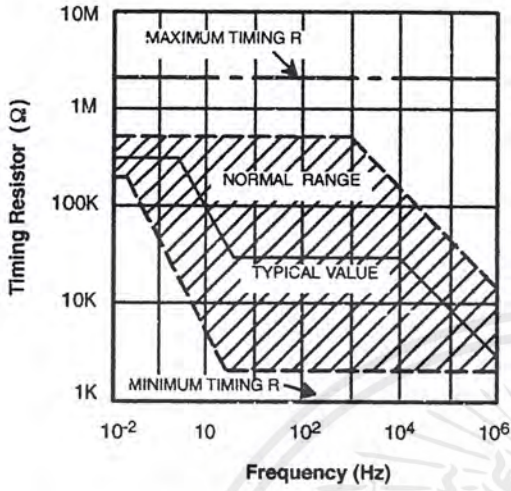


Figure 5. R versus Oscillation Frequency.

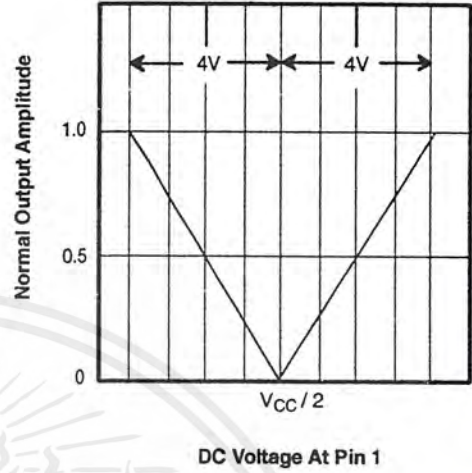


Figure 6. Normalized Output Amplitude versus DC Bias at AM Input (Pin 1)

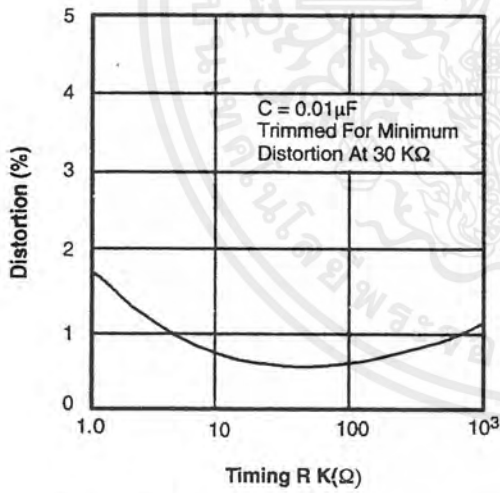


Figure 7. Trimmed Distortion versus Timing Resistor.

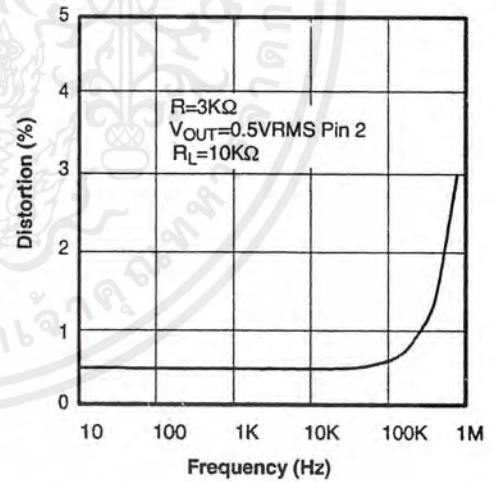


Figure 8. Sine Wave Distortion versus Operating Frequency with Timing Capacitors Varied.

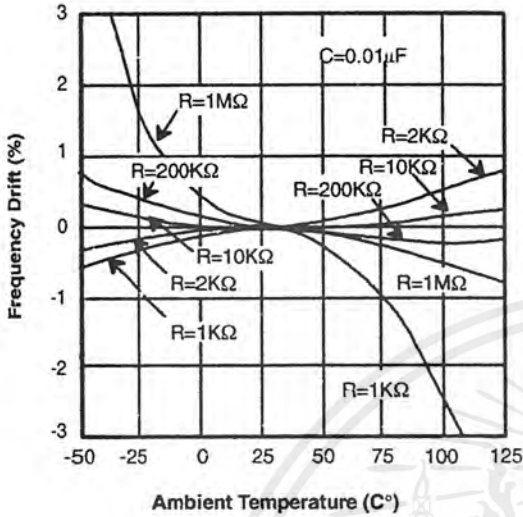


Figure 9. Frequency Drift versus Temperature.

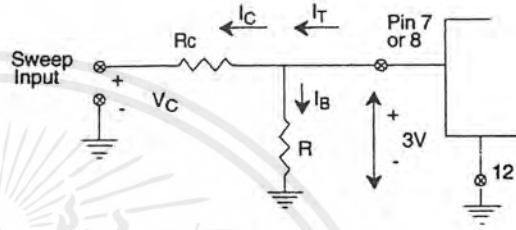


Figure 10. Circuit Connection for Frequency Sweep.

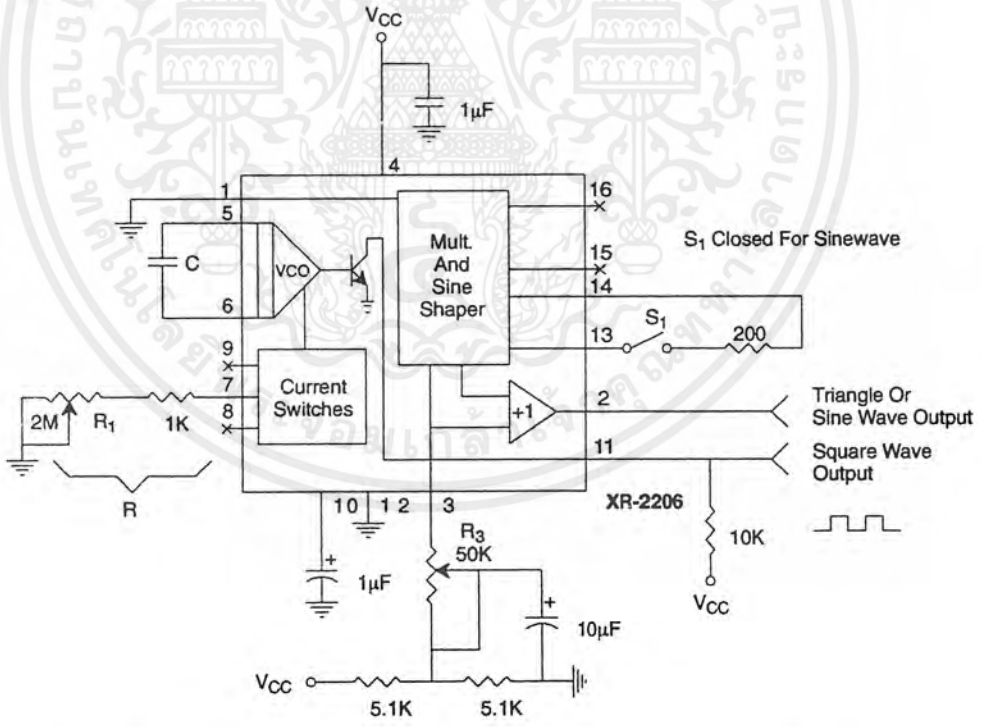


Figure 11. Circuit for Sine Wave Generation without External Adjustment. (See Figure 3 for Choice of R₃)

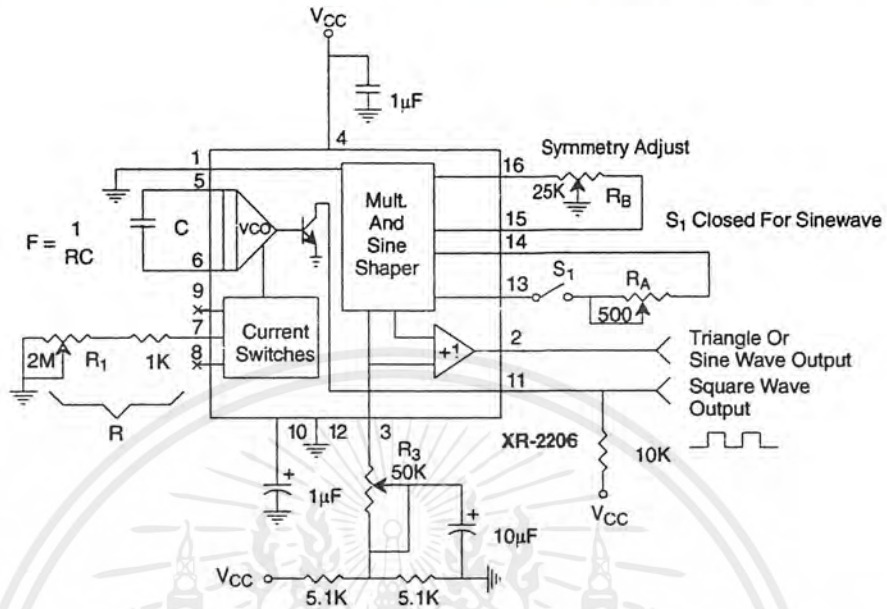


Figure 12. Circuit for Sine Wave Generation with Minimum Harmonic Distortion. (R_3 Determines Output Swing - See Figure 3)

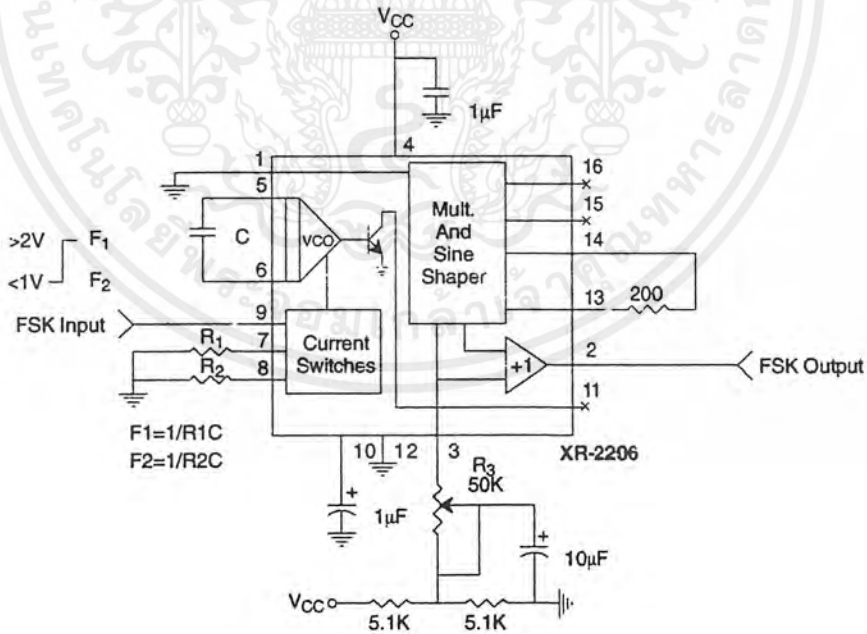


Figure 13. Sinusoidal FSK Generator

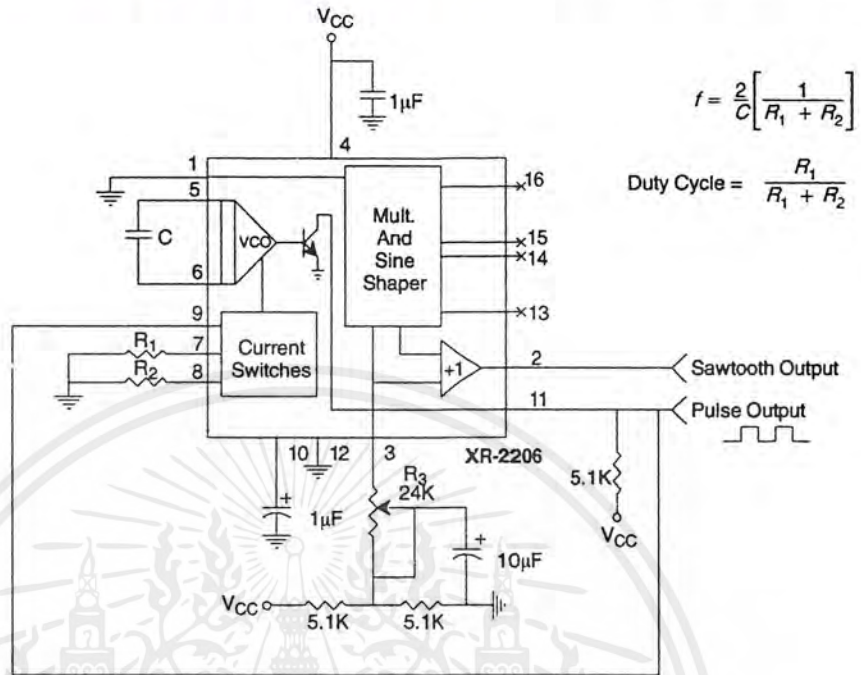


Figure 14. Circuit for Pulse and Ramp Generation.

Frequency-Shift Keying

The XR-2206 can be operated with two separate timing resistors, R_1 and R_2 , connected to the timing Pin 7 and 8, respectively, as shown in *Figure 13*. Depending on the polarity of the logic signal at Pin 9, either one or the other of these timing resistors is activated. If Pin 9 is open-circuited or connected to a bias voltage $\geq 2V$, only R_1 is activated. Similarly, if the voltage level at Pin 9 is $\leq 1V$, only R_2 is activated. Thus, the output frequency can be keyed between two levels, f_1 and f_2 , as:

$$f_1 = 1/R_1C \text{ and } f_2 = 1/R_2C$$

For split-supply operation, the keying voltage at Pin 9 is referenced to V^- .

Output DC Level Control

The dc level at the output (Pin 2) is approximately the same as the dc bias at Pin 3. In *Figure 11*, *Figure 12* and *Figure 13*, Pin 3 is biased midway between V^+ and ground, to give an output dc level of $\approx V^+/2$.

APPLICATIONS INFORMATION

Sine Wave Generation

Without External Adjustment

Figure 11 shows the circuit connection for generating a sinusoidal output from the XR-2206. The potentiometer, R_1 at Pin 7, provides the desired frequency tuning. The maximum output swing is greater than $V^+/2$, and the typical distortion (THD) is $< 2.5\%$. If lower sine wave distortion is desired, additional adjustments can be provided as described in the following section.

The circuit of *Figure 11* can be converted to split-supply operation, simply by replacing all ground connections with V^- . For split-supply operation, R_3 can be directly connected to ground.

With External Adjustment:

The harmonic content of sinusoidal output can be reduced to -0.5% by additional adjustments as shown in *Figure 12*. The potentiometer, R_A , adjusts the sine-shaping resistor, and R_B provides the fine adjustment for the waveform symmetry. The adjustment procedure is as follows:

1. Set R_B at midpoint and adjust R_A for minimum distortion.
2. With R_A set as above, adjust R_B to further reduce distortion.

Triangle Wave Generation

The circuits of *Figure 11* and *Figure 12* can be converted to triangle wave generation, by simply open-circuiting Pin 13 and 14 (i.e., S_1 open). Amplitude of the triangle is approximately twice the sine wave output.

FSK Generation

Figure 13 shows the circuit connection for sinusoidal FSK signal operation. Mark and space frequencies can be independently adjusted by the choice of timing resistors, R_1 and R_2 ; the output is phase-continuous during transitions. The keying signal is applied to Pin 9. The circuit can be converted to split-supply operation by simply replacing ground with V .

Pulse and Ramp Generation

Figure 14 shows the circuit for pulse and ramp waveform generation. In this mode of operation, the FSK keying terminal (Pin 9) is shorted to the square-wave output (Pin 11), and the circuit automatically frequency-shift keys itself between two separate frequencies during the positive-going and negative-going output waveforms. The pulse width and duty cycle can be adjusted from 1% to 99% by the choice of R_1 and R_2 . The values of R_1 and R_2 should be in the range of $1k\Omega$ to $2M\Omega$.

PRINCIPLES OF OPERATION**Description of Controls****Frequency of Operation:**

The frequency of oscillation, f_o , is determined by the external timing capacitor, C , across Pin 5 and 6, and by the timing resistor, R , connected to either Pin 7 or 8. The frequency is given as:

$$f_o = \frac{1}{RC} \text{ Hz}$$

and can be adjusted by varying either R or C . The recommended values of R , for a given frequency range, as shown in *Figure 5*. Temperature stability is optimum for $4k\Omega < R < 200k\Omega$. Recommended values of C are from $1000pF$ to $100\mu F$.

Frequency Sweep and Modulation:

Frequency of oscillation is proportional to the total timing current, I_T , drawn from Pin 7 or 8:

$$f = \frac{320I_T(mA)}{C(\mu F)} \text{ Hz}$$

Timing terminals (Pin 7 or 8) are low-impedance points, and are internally biased at +3V, with respect to Pin 12. Frequency varies linearly with I_T , over a wide range of current values, from $1\mu A$ to $3mA$. The frequency can be controlled by applying a control voltage, V_C , to the activated timing pin as shown in *Figure 10*. The frequency of oscillation is related to V_C as:

$$f = \frac{1}{RC} \left(1 + \frac{R}{R_c} \left(1 - \frac{V_C}{3} \right) \right) \text{ Hz}$$

where V_C is in volts. The voltage-to-frequency conversion gain, K , is given as:

$$K = \partial f / \partial V_C = -\frac{0.32}{R_c C} \text{ Hz/V}$$

CAUTION: For safety operation of the circuit, I_T should be limited to $\leq 3mA$.

Output Amplitude:

Maximum output amplitude is inversely proportional to the external resistor, R_3 , connected to Pin 3 (see Figure 3). For sine wave output, amplitude is approximately 60mV peak per k Ω of R_3 ; for triangle, the peak amplitude is approximately 160mV peak per k Ω of R_3 . Thus, for example, $R_3 = 50k\Omega$ would produce approximately 13V sinusoidal output amplitude.

Amplitude Modulation:

Output amplitude can be modulated by applying a dc bias and a modulating signal to Pin 1. The internal impedance

at Pin 1 is approximately 100k Ω . Output amplitude varies linearly with the applied voltage at Pin 1, for values of dc bias at this pin, within 14 volts of $V_{CC}/2$ as shown in Figure 6. As this bias level approaches $V_{CC}/2$, the phase of the output signal is reversed, and the amplitude goes through zero. This property is suitable for phase-shift keying and suppressed-carrier AM generation. Total dynamic range of amplitude modulation is approximately 55dB.

CAUTION: AM control must be used in conjunction with a well-regulated supply, since the output amplitude now becomes a function of V_{CC} .

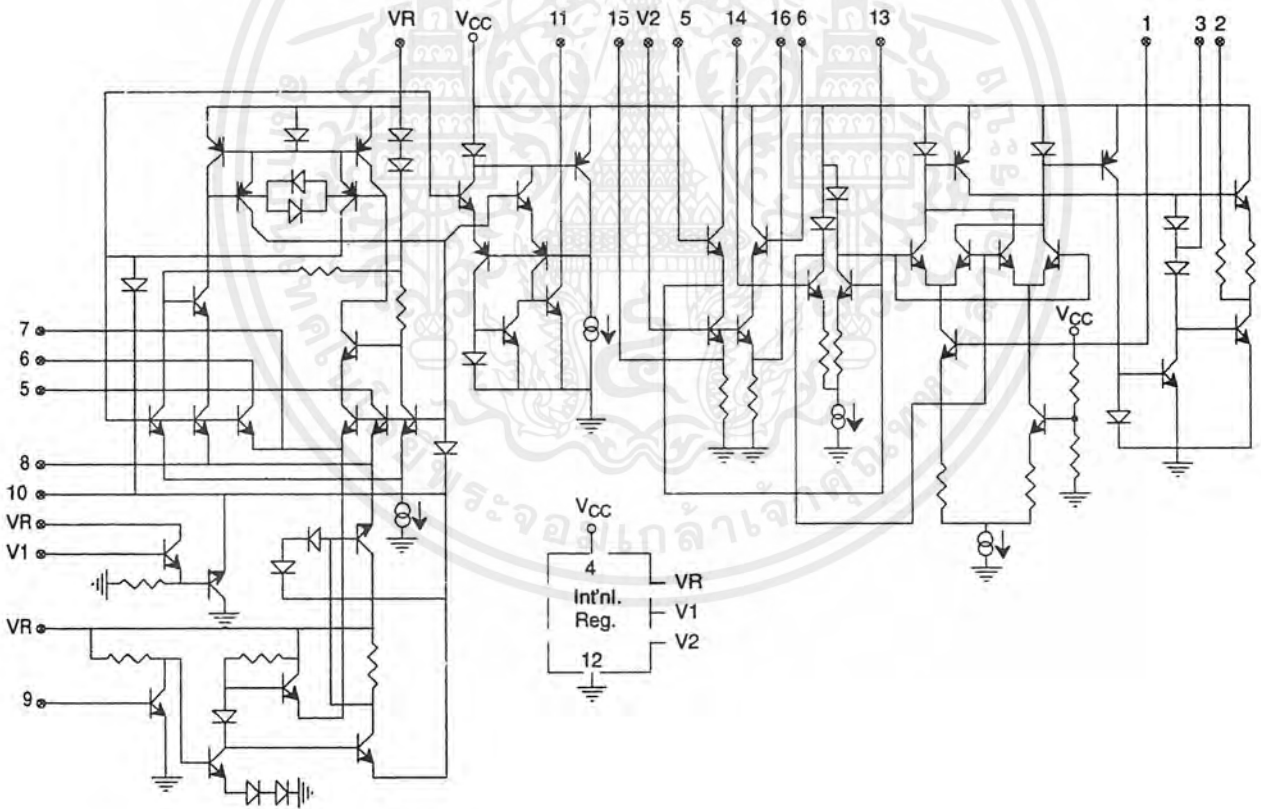
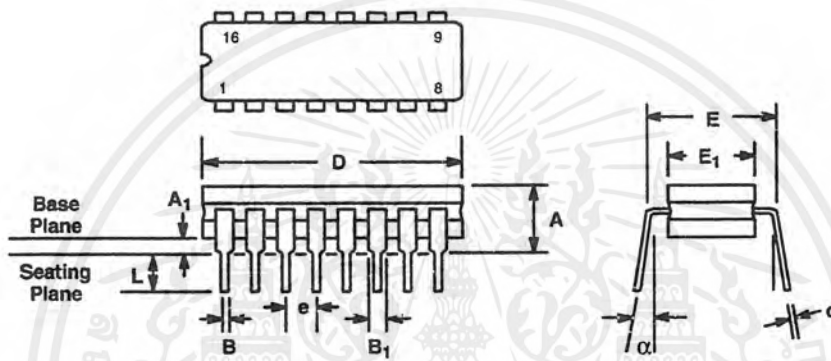


Figure 15. Equivalent Schematic Diagram

16 LEAD CERAMIC DUAL-IN-LINE
(300 MIL CDIP)

Rev. 1.00

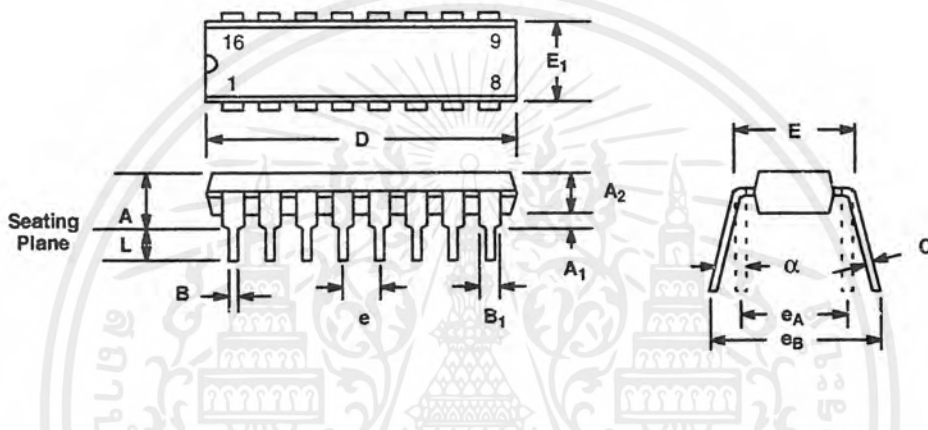


SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.100	0.200	2.54	5.08
A ₁	0.015	0.060	0.38	1.52
B	0.014	0.026	0.36	0.66
B ₁	0.045	0.065	1.14	1.65
c	0.008	0.018	0.20	0.46
D	0.740	0.840	18.80	21.34
E ₁	0.250	0.310	6.35	7.87
E	0.300 BSC		7.62 BSC	
e	0.100 BSC		2.54 BSC	
L	0.125	0.200	3.18	5.08
α	0°	15°	0°	15°

Note: The control dimension is the inch column

16 LEAD PLASTIC DUAL-IN-LINE
(300 MIL PDIP)

Rev. 1.00

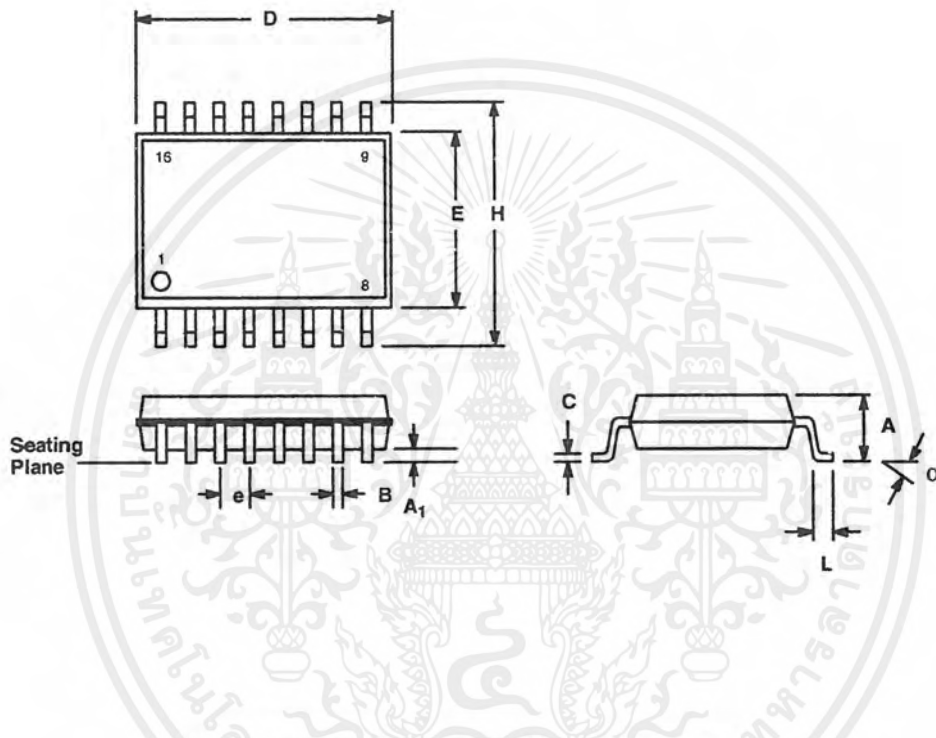


SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.145	0.210	3.68	5.33
A ₁	0.015	0.070	0.38	1.78
A ₂	0.115	0.195	2.92	4.95
B	0.014	0.024	0.36	0.56
B ₁	0.030	0.070	0.76	1.78
C	0.008	0.014	0.20	0.38
D	0.745	0.840	18.92	21.34
E	0.300	0.325	7.62	8.26
E ₁	0.240	0.280	6.10	7.11
e	0.100 BSC		2.54 BSC	
e _A	0.300 BSC		7.62 BSC	
e _B	0.310	0.430	7.87	10.92
L	0.115	0.160	2.92	4.06
α	0°	15°	0°	15°

Note: The control dimension is the inch column

16 LEAD SMALL OUTLINE
(300 MIL JEDEC SOIC)

Rev. 1.00



SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.093	0.104	2.35	2.65
A ₁	0.004	0.012	0.10	0.30
B	0.013	0.020	0.33	0.51
C	0.009	0.013	0.23	0.32
D	0.398	0.413	10.10	10.50
E	0.291	0.299	7.40	7.60
e	0.050 BSC		1.27 BSC	
H	0.394	0.419	10.00	10.65
L	0.016	0.050	0.40	1.27
α	0°	8°	0°	8°

Note: The control dimension is the millimeter column



NOTICE

EXAR Corporation reserves the right to make changes to the products contained in this publication in order to improve design, performance or reliability. EXAR Corporation assumes no responsibility for the use of any circuits described herein, conveys no license under any patent or other right, and makes no representation that the circuits are free of patent infringement. Charts and schedules contained here in are only for illustration purposes and may vary depending upon a user's specific application. While the information in this publication has been carefully checked; no responsibility, however, is assumed for inaccuracies.

EXAR Corporation does not recommend the use of any of its products in life support applications where the failure or malfunction of the product can reasonably be expected to cause failure of the life support system or to significantly affect its safety or effectiveness. Products are not authorized for use in such applications unless EXAR Corporation receives, in writing, assurances to its satisfaction that: (a) the risk of injury or damage has been minimized; (b) the user assumes all such risks; (c) potential liability of EXAR Corporation is adequately protected under the circumstances.

Copyright 1972 EXAR Corporation

Datasheet June 1997

Reproduction, in part or whole, without the prior written consent of EXAR Corporation is prohibited.

Absolute Maximum Ratings

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

Supply Voltage (Note 2)

LM3080 $\pm 18V$
LM3080A $\pm 22V$

Power Dissipation 250 mW

Differential Input Voltage $\pm 5V$

Amplifier Bias Current (I_{ABC}) 2 mA

DC Input Voltage $+V_S$ to $-V_S$

Output Short Circuit Duration Indefinite

Operating Temperature Range
LM3080N or LM3080AN $0^\circ C$ to $+70^\circ C$

Storage Temperature Range $-65^\circ C$ to $+150^\circ C$

Lead Temperature (Soldering, 10 sec.) $260^\circ C$

Electrical Characteristics (Note 1)

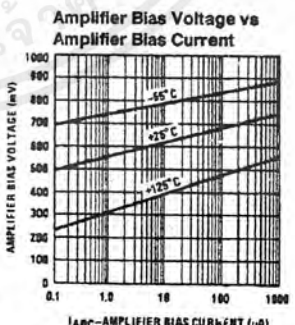
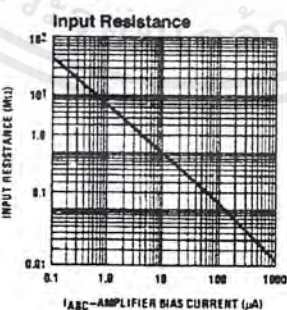
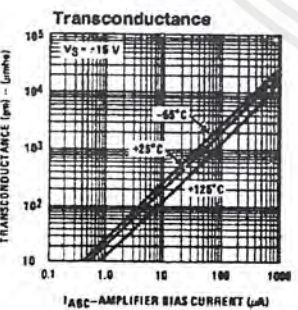
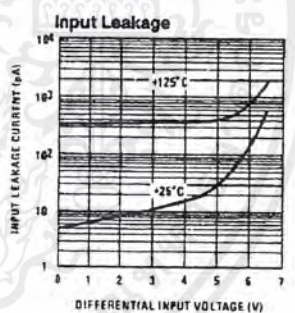
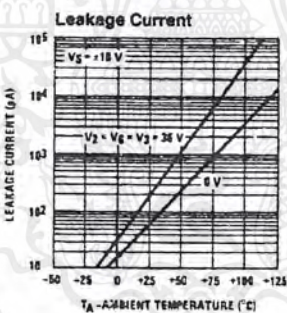
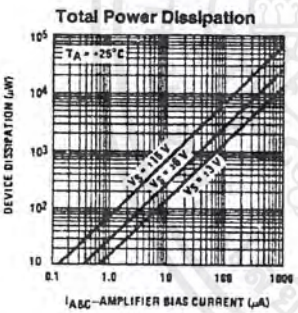
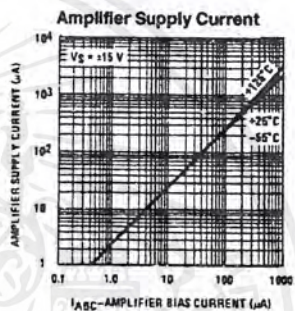
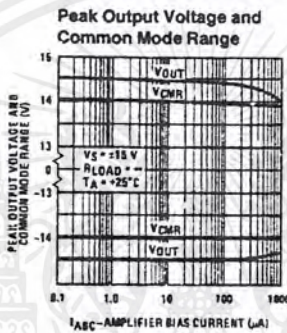
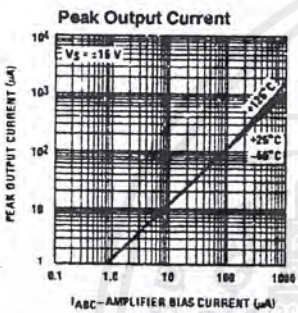
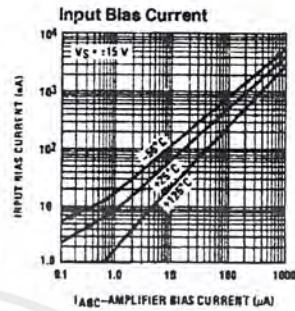
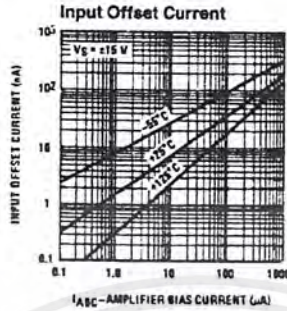
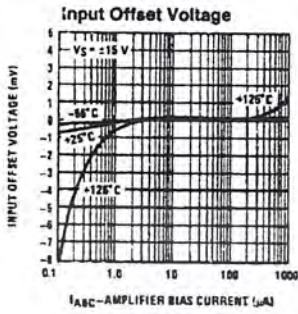
Parameter	Conditions	LM3080			LM3080A			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	Over Specified Temperature Range $I_{ABC} = 5 \mu A$		0.4	5		0.4	2	mV
				6			5	mV
			0.3			0.3	2	mV
Input Offset Voltage Change	$5 \mu A \leq I_{ABC} \leq 500 \mu A$		0.1			0.1	3	mV
Input Offset Current			0.1	0.6		0.1	0.6	μA
Input Bias Current	Over Specified Temperature Range		0.4	5		0.4	5	μA
			1	7		1	8	μA
Forward Transconductance (g_m)	Over Specified Temperature Range	6700	9600	13000	7700	9600	12000	μmho
		5400			4000			μmho
Peak Output Current	$R_L = 0, I_{ABC} = 5 \mu A$		5		3	5	7	μA
	$R_L = 0$	350	500	650	350	500	650	μA
	$R_L = 0$ Over Specified Temperature Range	300			300			μA
Peak Output Voltage	$R_L = \infty, 5 \mu A \leq I_{ABC} \leq 500 \mu A$ Over Specified Temperature Range	+12	+14.2		+12	+14.2		V
		-12	-14.4		-12	-14.4		V
Amplifier Supply Current			1.1			1.1		mA
Input Offset Voltage Sensitivity	$\Delta V_{OFFSET} / \Delta V +$ $\Delta V_{OFFSET} / \Delta V -$		20	150		20	150	$\mu V/V$
			20	150		20	150	$\mu V/V$
Common Mode Rejection Ratio		80	110		80	110		dB
Common Mode Range		± 12	± 14		± 12	± 14		V
Input Resistance		10	26		10	26		k Ω
Magnitude of Leakage Current	$I_{ABC} = 0$		0.2	100		0.2	5	nA
Differential Input Current	$I_{ABC} = 0, \text{Input} = \pm 4V$		0.02	100		0.02	5	nA
Open Loop Bandwidth			2			2		MHz
Slew Rate	Unity Gain Compensated		50			50		V/ μs

Note 1: These specifications apply for $V_S = \pm 15V$ and $T_A = 25^\circ C$, amplifier bias current (I_{ABC}) = 500 μA , unless otherwise specified.

Note 2: Selection to supply voltage above $\pm 22V$, contact the factory.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics



TL/H/7148-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้