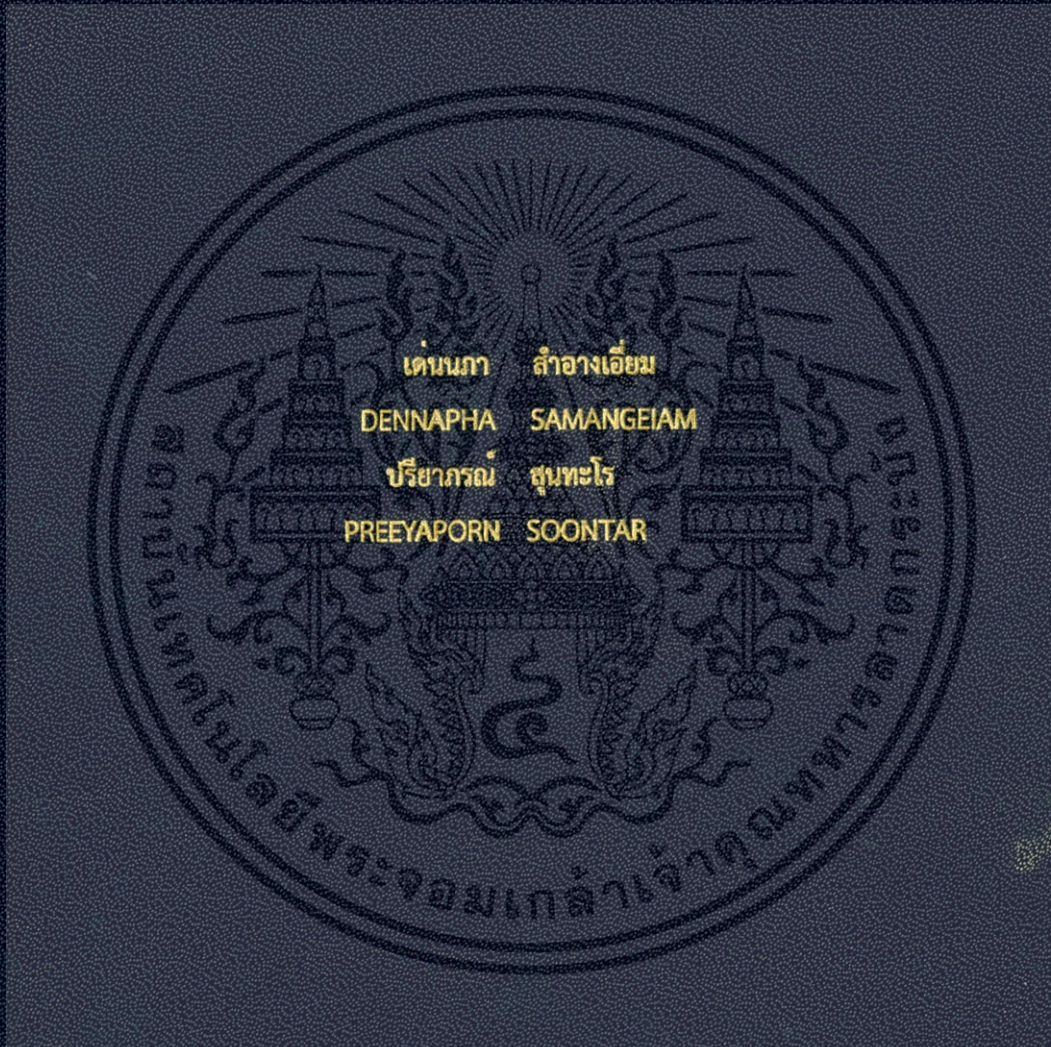


การสังเคราะห์เสียงแคนด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
ELECTRONIC KAEN SYNTHESIZER WITH MICROCONTROLLER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

การสังเคราะห์เสียงแคนด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

ELECTRONIC KAEN SYNTHESIZER WITH MICROCONTROLLER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	ELECTRONIC KAEN SYNTHESIZER WITH MICROCONTROLLER
Student	Miss.Dennapha Samangeiam Student ID. 54010479 Miss.Preeyaporn Soontaro Student ID. 54010799
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Information Engineering
Academic Year	2557
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dolchai Sookcharoenphol

ABSTRACT

This project is studied about sound signals of “Kaen-Pad” by using the principles of digital signal processing for analysis of frequency and three- dimension spectrum. The Analysis used to synthesis sound with additive technique on Max/MSP for finding number of harmonics and size of amplitude. Controller and synthesizer device intent by using Arduino nano as main processor, receive input from pressing switch to control note and receive power of pressure input from pressure sensor to control volume. Then bring the results for synthesis sound by Arduino nano. Controller and Synthesizer device called “Electronic Kaen” is smaller and use less blowing power than real Kaen.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การสังเคราะห์เสียงแคนด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความเมตตากรุณาและความอนุเคราะห์เป็นอย่างดีจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดลชัย สุขเจริญผล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษาและได้ให้การสนับสนุนในด้านต่างๆ เป็นอย่างดี คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่งและกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สุเวช สุนทะโร ที่สละเวลาสอนเป่าแคน ให้ความรู้และความอนุเคราะห์ในการบันทึกเสียงระนาดเพื่อใช้ในการทำโครงการ ตลอดจนให้คำแนะนำช่วยเหลือทุกๆด้าน คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง ที่อบรม สั่งสอน ให้กำลังใจ ตลอดจนให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้านเป็นอย่างดี คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการทำโครงการด้วยดีมาตลอด

ขอขอบคุณ ทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงและมีส่วนร่วมที่ทำให้โครงการฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี สุดท้ายนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงได้รับจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เด็นนภา สำอางเอี่ยม
ปริญญานิพนธ์ สุนทะโร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 จุดประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	1
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 อุปกรณ์ที่ต้องใช้.....	2
1.5.1 ฮาร์ดแวร์.....	2
1.5.2 ซอฟต์แวร์.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้.....	3
2.1 โครงสร้างทางกายภาพของแคน.....	3
2.1.1 ส่วนประกอบของแคน.....	3
2.1.2 ประเภทของแคน.....	7
2.2 พื้นฐานของเสียงดนตรี.....	7
2.2.1 ระดับเสียง (Pitch).....	7
2.2.2 ความสั้นยาวของเสียง (Duration).....	7
2.2.3 ความเข้มของเสียง (Sound Intensity).....	8
2.2.4 สีสั้นเสียง (Timbre or Tone Color).....	8
2.3 หลักการเกิดของเสียงแคน.....	8
2.4 การเกิดการสั่นพ้องของเสียงในท่อปลายเปิด.....	9
2.5 การวิเคราะห์ลักษณะของเสียง.....	10
2.5.1 ลักษณะกรอบของเสียง (Envelop characterization).....	10
2.5.2 คุณภาพของเสียง (Quality).....	11
2.6 การศึกษาในเชิงตัวเลขการสั่นสะเทือนของเสียงในเครื่องดนตรีกับ LES.....	11
2.6.1 ทฤษฎีที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดเสียงของเครื่องดนตรีท่อปลายเปิด.....	11
2.6.1.1 ทฤษฎีของ Lighthill.....	11

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.6.1.2 โทนเสียงขอบ (Edge tone)	12
2.6.1.3 ทฤษฎี Phenomenological ของเครื่องดนตรีที่อปลายเปิด	13
2.6.2 รูปแบบและโครงสร้างเชิงตัวเลข.....	11
2.7 ทฤษฎีไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR รุ่น ATmega 328P.....	15
2.7.1 สถาปัตยกรรมชั้นสูงแบบ RISC (Reduce Instruction Set Computer)	15
2.7.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของไอซี ATmega 328P	17
2.8 การติดต่อสื่อสารแบบ I2C	19
2.9 การสังเคราะห์เสียงด้วยการบวก (Additive Synthesis)	21
2.10 MOZZI	22
2.11 MSE (Mean Square Error)	23
บทที่ 3 การวิเคราะห์เสียงและการสังเคราะห์เสียงด้วยโปรแกรม.....	24
3.1 การเก็บบันทึกเสียงโน้ตของแคน	24
3.2 การวิเคราะห์เสียงด้วยโปรแกรม Adobe Audition CS6.....	25
3.3 การวิเคราะห์เสียงด้วยโปรแกรม MATLAB	27
3.4 การสังเคราะห์สัญญาณเสียงด้วย MAX/MSP	29
3.4.1 เกี่ยวกับ MAX/MSP.....	29
3.4.2 การใช้งาน MAX/MSP เบื้องต้น.....	30
3.4.3 การใช้งานโปรแกรมสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟบน MAX/MSP.....	32
บทที่ 4 การประดิษฐ์แคนไฟฟ้า	34
4.1 อุปกรณ์	34
4.1.1 Arduino nano 3.0.....	35
4.1.2 Pressure sensor.....	36
4.1.3 ไอซี pcf8574A	37
4.1.4 สวิตช์กดติดปล่อยดับ.....	39
4.2 การทดลอง	39
4.2.1 การต่อสวิตช์กดติดปล่อยดับผ่านไอซี PCF8574A เข้าสู่บอร์ดอาดูโน่.....	39
4.2.2 การต่อเซนเซอร์วัดความดันเข้าสู่บอร์ดอาดูโน่	40
4.2.3 การต่อวงจรเอาท์พุท	40
4.3 การโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์	41
4.4 โค้ดการสังเคราะห์เสียงบนอาดูโน่ด้วยไลบรารี MOZZI	42
4.5 ผลการทดลองที่ได้จากการรันโปรแกรม	55
บทที่ 5 การประกอบแคนไฟฟ้า	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.1 การประกอบแกนไฟฟ้า.....	57
5.2 สรุปค่าใช้จ่ายในการทำแกนไฟฟ้า.....	64
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง.....	65
6.1 สรุปผลการทดลอง	65
6.2 ปัญหาและอุปสรรค.....	65
6.2.1 การวิเคราะห์สัญญาณเสียง.....	65
6.2.2 การสังเคราะห์สัญญาณเสียง.....	65
6.3 แนวทางการพัฒนาต่อ.....	66
บรรณานุกรม.....	67
ภาคผนวก ก. แสดงผลการวิเคราะห์เสียงด้วยโปรแกรม MATLAB.....	70
ภาคผนวก ข. แสดงการสังเคราะห์เสียงด้วยโปรแกรม MAX/MSP.....	85



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงฟังก์ชันการทำงานของ ATmega 328P.....	13
ตารางที่ 3.1 ความถี่มูลฐานและความถี่ฮาร์โมนิกของแต่ละโน้ต.....	25
ตารางที่ 3.2 แสดงเครื่องมือภายในโปรแกรม MAX/MSP.....	28
ตารางที่ 3.3 แสดงคำสั่งต่างๆที่กำหนดให้กับเครื่องมือ Object Box.....	28
ตารางที่ 3.4 แสดงค่าที่ได้จากการหา MSE ของโน้ตแต่ละฮาร์โมนิก.....	28
ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของบอร์ด Arduino Nano 3.0.....	31
ตารางที่ 4.2 ขาไอซี PCF8574A สำหรับตัวถังแบบ PDIP-16.....	33
ตารางที่ 4.3 Address Reference.....	34



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของแคน.....	3
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างลูกแคน.....	4
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างลื่นแคน	6
รูปที่ 2.4 การเกิดคลื่นนิ่งในท่อปลายเปิดทั้งสองข้าง	9
รูปที่ 2.5 ลักษณะกรอบของเสียง (Envelop characterization).....	10
รูปที่ 2.6 ขอบเสียงขอบ (Edge tone).....	12
รูปที่ 2.7 Jet oscilation	13
รูปที่ 2.8 ท่อที่ถูกแรงขับออกมา.....	13
รูปที่ 2.9 Equivalent circuit network.....	14
รูปที่ 2.10 Oscillation frequency vs. jet velocity	14
รูปที่ 2.11 รูปแบบและโครงข่าย.....	15
รูปที่ 2.12 สถาปัตยกรรมชั้นสูงแบบ RISC [1].....	16
รูปที่ 2.13 ไอซี ATmega 328P [1].....	17
รูปที่ 2.14 โครงสร้างการเชื่อมต่อแบบ I ² C Bus.....	19
รูปที่ 2.15 BUS START and STOP Condition.....	19
รูปที่ 2.16 การเขียนข้อมูลบน I ² C Bus.....	20
รูปที่ 2.17 การอ่านข้อมูลบน I ² C Bus.....	20
รูปที่ 2.18 สถานะ Acknowledge, No-acknowledge.....	21
รูปที่ 2.19 รหัสควบคุมของ Bus (Control Byte)	21
รูปที่ 2.20 การสังเคราะห์เสียงด้วยการบวก (Additive Synthesis).....	22
รูปที่ 3.1 การออกแบบขั้นตอนการทดลอง.....	24
รูปที่ 3.2 เครื่องบันทึกเสียง (Digital Sound Recorder).....	25
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์การเสียงด้วยโปรแกรม Adobe Audition CS6	25
รูปที่ 3.4 แสดงรูปคลื่นของสัญญาณเสียง (Waveform) ก่อนตัดสัญญาณรบกวน	26
รูปที่ 3.5 แสดงรูปคลื่นของสัญญาณเสียง (Waveform) หลังตัดสัญญาณรบกวน.....	26
รูปที่ 3.6 แสดงรูปคลื่นของสัญญาณเสียง (Waveform) หลังตัดช่วงเสียงที่ต้องการ.....	27
รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการวิเคราะห์การเสียงด้วยโปรแกรม MATLAB.....	27
รูปที่ 3.8 แสดงองค์ประกอบของเสียงโดต่ำ.....	28
รูปที่ 3.9 แสดงองค์ประกอบของเสียงเรต่ำ	28
รูปที่ 3.10 แสดงองค์ประกอบของเสียงมีต่ำ.....	28
รูปที่ 3.11 แสดงองค์ประกอบของเสียงฟาต่ำ.....	34

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.12 แสดงองค์ประกอบของเสียงซอลต่ำ	31
รูปที่ 3.13 แสดงองค์ประกอบของเสียงลาต่ำ	31
รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบของแคนไฟฟ้า.....	30
รูปที่ 4.2 Arduino nano 3.0.....	35
รูปที่ 4.3 MPXV7002DP	36
รูปที่ 4.4 แสดงขาของไอซี PCF 8574A.....	38
รูปที่ 4.5 การสวิตช์กดติดปล่อยดับผ่านไอซี PCF8574A เข้าสู่บอร์ดอาดูโน่.....	39
รูปที่ 4.6 การต่อเซนเซอร์วัดความดันเข้าสู่บอร์ดอาดูโน่.....	40
รูปที่ 4.7 การต่อวงจรเอาต์พุต	40
รูปที่ 4.8 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรม	41
รูปที่ 4.9 การต่อวงจรเอาต์พุต.....	55
รูปที่ 4.10 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรม.....	55
รูปที่ 4.11 การต่อวงจรเอาต์พุต.....	56
รูปที่ 5.1 ภาพจำลองแคนไฟฟ้า.....	57
รูปที่ 5.2 ภาพแสดงการออกแบบแคนไฟฟ้า.....	58
รูปที่ 5.3 ภาพแสดงโครงสร้างด้านซ้ายของแคนไฟฟ้า	59
รูปที่ 5.4 ภาพแสดงโครงสร้างด้านขวาของแคนไฟฟ้า	59
รูปที่ 5.5 ภาพแสดงโครงสร้างด้านบนของแคนไฟฟ้า	60
รูปที่ 5.6 ภาพแสดงโครงสร้างด้านล่างของแคนไฟฟ้า	60
รูปที่ 5.7 ภาพแสดงโครงสร้างด้านที่เสียงออก(ลำโพง)ของแคนไฟฟ้า.....	61
รูปที่ 5.8 ภาพแสดงโครงสร้างด้านหน้า(เป่า)ของแคนไฟฟ้า	61
รูปที่ 5.9 ภาพแสดงโครงสร้างด้านหน้าในของแคนไฟฟ้า	62
รูปที่ 5.10 ภาพแสดงโครงสร้างของแคนไฟฟ้าก่อนใส่ที่จับด้านข้าง.....	62
รูปที่ 5.11 ภาพแสดงโครงสร้างด้านที่เสียงออก(ลำโพง)ของแคนไฟฟ้า.....	63
รูปที่ 5.12 ภาพแสดงโครงสร้างด้านหน้า (เป่า) ของแคนไฟฟ้า.....	63

IX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันเครื่องดนตรีมีอยู่มากมายหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดก็มีเสียงที่ไพเราะแตกต่างกันไป ซึ่งแคนถือเป็นเครื่องดนตรีชนิดหนึ่งที่ทำให้เสียงที่ไพเราะ มีเอกลักษณ์เฉพาะตัวและสามารถสร้างเสียงประสานได้ในตัวเอง

แคนเป็นเครื่องเป่าพื้นเมืองของชาวอีสานเหนือ เป็นสัญลักษณ์ของภาคอีสาน ทำจากไม้ซาง ซึ่งปัจจุบันต้องทำเข้าจากประเทศเพื่อนบ้าน มีหลักการเกิดเสียงที่ซับซ้อน และมีการเล่นที่ยาก ต้องใช้ลมในการเป่าเยอะพอสสมควรทั้งดูดเข้าและเป่าออก การทำแคนต้องอาศัยความชำนาญของช่างในการฟังเสียงและการวัดระยะ ช่างแต่ละคนต่างก็มีเทคนิคที่แตกต่างกัน เช่น ช่างบางคนใช้การวัดระยะจากนิ้วโป้งหรือระยะโป้ง ช่างบางคนใช้การวัดระยะจากใบไม้ ทำให้เสียงแคนที่ได้มีความแตกต่างกันตามเทคนิคและความชำนาญของช่างทำแคน ถึงแม้แคนจะเป็นเครื่องดนตรีที่มีมายาวนานแล้ว แต่น้อยคนที่จะศึกษาอย่างจริงจัง

ทำให้ผู้จัดทำมีความสนใจที่ศึกษาอยากถ่องแท้ เสียงดนตรีที่มีความไพเราะเหล่านั้นเกิดขึ้นได้อย่างไร เกี่ยวข้องกับศาสตร์ใดบ้าง เพื่อวิเคราะห์หลักการการเกิดเสียง การทำแคนนั้นมีหลักการสร้างอย่างไร ทำจากอะไรบ้าง และทำได้อย่างไร ทางผู้จัดทำจึงจัดทำโครงการการสังเคราะห์เสียงแคนด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ขึ้น เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ปรับเสียงดนตรีให้ไพเราะมากขึ้น และสร้างแคนไฟฟ้าให้สามารถเล่นได้ง่ายกว่าของจริง

1.2 จุดประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาคุณลักษณะของสัญญาณเสียงแคน
- 2) เพื่อศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของแคน
- 3) สามารถสร้างแคนไฟฟ้าที่มีขนาดเล็ก และเล่นได้ง่ายกว่าแคนจริง
- 4) เพื่อนำผลที่ได้ไปประยุกต์ดัดแปลงให้สามารถเล่นแคนได้ง่ายขึ้น และพัฒนาเสียงของแคนให้ดีขึ้น

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1) รวบรวมเสียงโน้ตของแคน 8 เพื่อนำไปวิเคราะห์สัญญาณเสียง
- 2) วิเคราะห์สัญญาณเสียงในโปรแกรม MATLAB โดยวิเคราะห์เพื่อหาความถี่มูลฐาน และความถี่ฮาร์โมนิก เสียงโน้ตของแคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) สังเคราะห์เสียงบน Arduino nano 3.0

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ค่าความถี่มูลฐานของแต่ละโน้ตของเสียงแคน
- 2) สามารถหาความเป็นเอกลักษณ์ของเสียงแคนได้

1.5 อุปกรณ์ที่ต้องใช้

1.5.1 ฮาร์ดแวร์

- แคน สำหรับศึกษาคุณลักษณะของเสียง
- เครื่องคอมพิวเตอร์ สำหรับวิเคราะห์เสียง
- เครื่องบันทึกเสียง สำหรับบันทึกเสียงเพื่อศึกษา
- ตลับเมตร สำหรับวัดโครงสร้างทางกายภาพของแคน
- Arduino nano 3.0 (ATmega328)

1.5.2 ซอฟต์แวร์

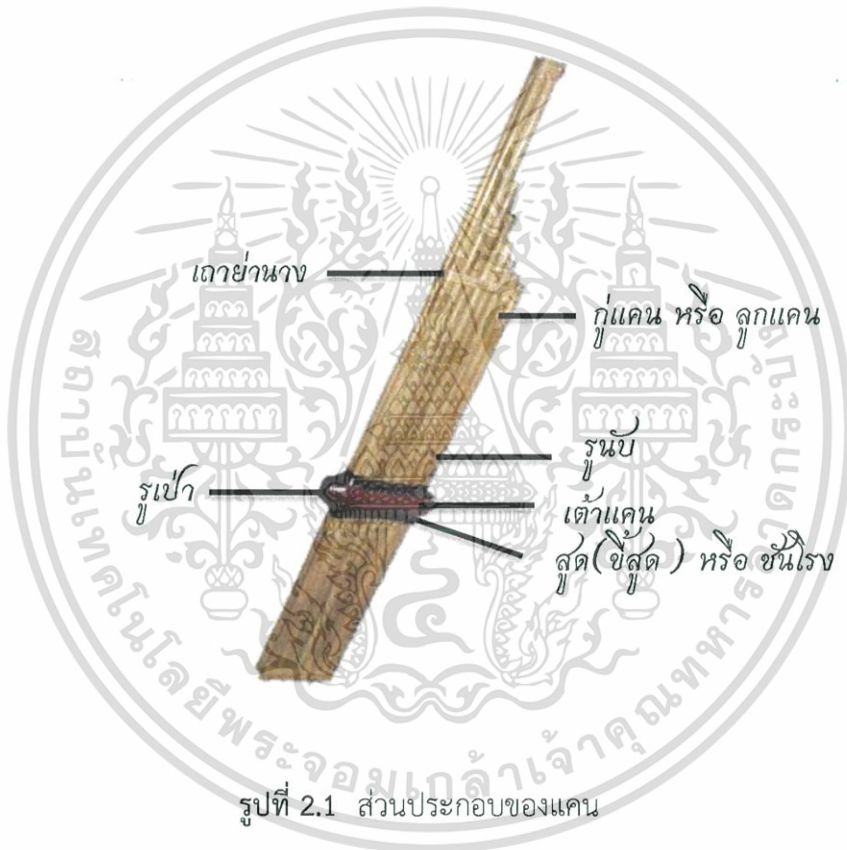
- MATLAB
- ADOBE AUDITION CS6
- MAX/MSP
- ARDUINO IDE

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้

2.1 โครงสร้างทางกายภาพของแคน

2.1.1 ส่วนประกอบของแคน



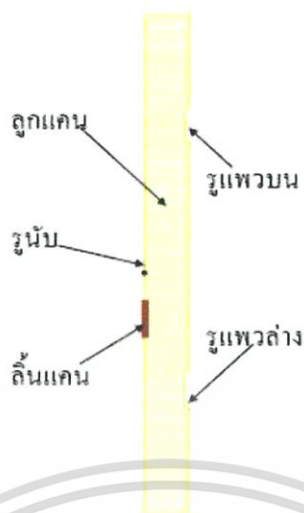
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของแคน

แคน มีส่วนประกอบต่างๆ ได้แก่ ลูกแคน เต้าแคน หลาบโลหะ ขี้สัดหรือชันโรง ไม้กั้นและเชือกมัด

1) ลูกแคน

ลูกแคน ทำจากไม้ตระกูลไผ่ชนิดหนึ่ง ทางภาคอีสานเรียกว่าไม้ไผ่เฮี้ย ชาวลาวเรียกว่า ไม้เฮี้ยน้อย ทางภาคกลางและทางเหนือเรียกไม้ซาง และเนื่องจากไม้ไผ่เฮี้ยนี้ โดยมากนำมาใช้ทำแคนเป็นหลัก ช่างแคน จึงนิยมเรียกว่า ไม้กู่แคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างลูกแคน

(อ้างอิงโดย 540200025.blogspot.com/p/blog-page_6749.html)

ไม้กู่แคน เป็นพืชตระกูลไผ่ มีลำเล็กๆ ขนาดประมาณเท่านิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้และนิ้วนาง มีปล้องค่อนข้างยาว ภายในมีรู มีเปลือกบาง ก่อนนำมาใช้ จะลนไฟแล้วตัดให้ตรง แบ่งขนาดความยาวตามความเหมาะสมของเสียงแคนและรูปทรงแคน ไม้กู่แคนทุกลำทะลุขี้ออกเพื่อให้ลมผ่าน ฟังหลายโลหะเรียกว่า ลิ้นแคน (ซึ่งเลียนแบบมาจากลิ้นนก) ตรงรูสี่เหลี่ยมผืนผ้าเล็กๆ ซึ่งตรงลิ้นแคนนี้ เมื่อประกอบเป็นแคนแล้ว จะอยู่ภายในเต้าแคนอีกที มองไม่เห็น หากเป็นแคนลิ้นคู้ รูใส่ลิ้นแคนจะมีสองรูต่อหนึ่งลูกแคน

ถัดจากลิ้นแคนขึ้นไปประมาณ 15-20 ซม. ในแนวเดียวกัน จะเจาะรูกลมเล็กๆ ลำละหนึ่งรู เพื่อใช้นิ้วปิดเปิดเวลาบรรเลงเพลง เรียกรูนี้ว่า รูนิ้ว

ถัดจากลิ้นแคนลงมาด้านล่าง ระยะห่างขึ้นอยู่กับเสียงที่ต้องการ ด้านในจะบากรูไว้ลำละรู รูนี้คือรูแพวล่าง เป็นรูพื้นฐานในการกำหนดระดับเสียง และถัดจากรูนิ้วขึ้นไปอีก ระยะห่างขึ้นอยู่กับเสียงที่ต้องการ หรือประมาณ 3 เท่าของระยะรูแพวล่างกับลิ้นแคน ด้านในจะบากรูไว้ลำละรู รูนี้ เป็นรูแพวบน เป็นรูสำหรับปรับแต่งระดับเสียง (การปรับเสียง มีสองวิธีคือ ปรับโดยระยะห่างของรูแพวบน กับปรับโดยขุดลิ้นแคน) แคนแต่ละดวงจะมีจำนวนลูกแคนไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับชนิดของแคน เช่น แคนเจ็ดมี 14 ลูก แคนแปด มี 16 ลูก เป็นต้น

2) เต้าแคน

เต้าแคน ทำจากแก่นไม้ที่เนื้อไม้แข็งมากนั้ก เช่นไม้แคนหรือไม้ตะเคียน ไม้หนามแห้ง ไม้ประดู่ แต่ที่นิยมมากที่สุดคือ รากไม้ประดู่ เพราะรากไม้ประดู่ไม่แข็งมากนั้ก ตัด บาก เจาะทำรูปทรงของเต้าแคนได้ง่าย

เต้าแคน มีลักษณะกลมเป็นกระเปาะ หัวท้ายสอบ ตรงกลางเจาะบากเป็นรูทะลุรูสี่เหลี่ยมสำหรับใส่ลูกแคน ด้านหน้าหรือหัวเต้า เจาะรูกลมทะลุถึงรูสี่เหลี่ยมตรงกลาง สำหรับเป่าให้ลมเข้าไป สันสะเทือนลิ้นแคนภายในเต้าแคน ด้านท้ายเต้า เหลาดกแต่งเป็นรูปทรงคล้ายหัวนม ซึ่งเต้าแคนของช่างแคนแต่ละคนจะไม่เหมือนกัน ช่างแคนตัวจริงทุกคนจะมีรูปร่างเต้าแคนอันเป็นเอกลักษณ์ของตนเอง เต้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคนก็คือโลโก้ของช่างแคนคนนั้นนั่นเอง ช่องว่างระหว่างเต้าแคนและลูกแคนจะถูกปิดผนึกแน่นด้วยขี้สาคู เพื่อปิดกั้นมิให้ลมที่เป่าเข้าไปนั้นรั่วออกมาข้างนอก ลมที่เป่าเข้าไปจะได้ผ่านออกทางลิ้นแคนอย่างเดียว

3) หลาบโลหะ

หลาบโลหะ คือแผ่นโลหะบางๆ ใช้สำหรับทำลิ้นแคน โดยช่างแคน จะค่อยๆ ทบตีก้อนโลหะ จากที่เป็นก้อน ให้เป็นแผ่นเส้นยาวๆ จากที่เป็นแผ่น ให้กลายเป็นแผ่นบางๆ พอเหมาะกับการใช้งาน หลาบโลหะที่ใช้ทำลิ้นแคน เป็นโลหะผสม โดยมากใช้โลหะผสมระหว่างทองแดงกับเงิน โลหะที่ช่างแคน นิยมใช้นั้น ไม่ใช่โลหะบริสุทธิ์ เพราะโลหะบริสุทธิ์หาได้ยาก ช่างแคนมักจะใช้เหรียญสตางค์แดง ซึ่งเป็นเหรียญหนึ่งสตางค์สมัยก่อน ผสมกับเงิน(เกือบ)บริสุทธิ์ที่หาซื้อจากร้านทอง บางทีเงินบริสุทธิ์ไม่มี ก็ใช้เหรียญ 5 บาทแบบโบราณแทน เพราะมีส่วนผสมของเงินอยู่มาก ช่างแคนแต่ละคน จะมีสูตรผสมโลหะ อันเป็นสูตรของตนอยู่ ซึ่งการผสมโลหะนี้ โดยมากช่างแคนมิได้ผสมเอง จะจ้างช่างผสมโลหะอีกที เพียงแต่กำชับอัตราการผสมโลหะแก่ช่างผสมโลหะเท่านั้น นอกจากใช้ทองแดงกับเงินแล้วบางแห่ง(แคนตลาด) ก็นิยมใช้หลาบโลหะที่เป็นทองเหลืองเพราะราคาถูก หาได้ง่าย แคนที่ใช้ลิ้นที่ทำจากทองแดงผสมกับเงิน เรียกว่า แคนลิ้นเงิน ให้โทนเสียงออกนุ่มๆ มีเสียงสดใสโทนแหลมของโลหะทองแดง และเสียงโทนทุ้มของโลหะเงิน ดังนั้น แคนลิ้นเงิน จึงให้เสียงที่ฟังไพเราะ สบายหู นุ่มหู... หากต้องการให้ออกโทนทุ้มมากๆ ก็ใส่เงินเข้าไปมากขึ้น... แต่ว่า การใส่เงินเข้าไปมาก จะทำให้หลาบโลหะนั้น อ่อนเกินไป การสปริงตัวหรือการคืนตัวไม่ดี ส่งผลให้ลิ้นน่องง่าย ซึ่งไม่เป็นผลดี ... สูตรผสมที่พอเหมาะ ช่างแคนแต่ละคนจะทราบดี ...เนื่องจากแคนลิ้นเงิน ให้เสียงที่สดใสปนนุ่มนวล จึงเป็นแคนที่หมอแคนทั้งหลาย นิยมเป็นที่สุด และเนื่องจากเงินและสตางค์แดง ปัจจุบันราคาแพงขึ้น แคนลิ้นเงิน (สูตรนี้) จึงราคาแพงขึ้นตามไปด้วย แคนที่ใช้ลิ้นที่ทำจากสตางค์แดงล้วนๆ ไม่ผสมเงิน เรียกว่า แคนลิ้นทองแดง หรือแคนลิ้นทอง แคนลิ้นทอง (แดง)นี้ เนื่องจากหลาบโลหะสตางค์แดง มีความแข็งมาก จึงให้เสียงโทนแหลมใส เป่าแล้วเสียงดังไกล แต่มีความนุ่มนวลน้อย คนที่ชอบเสียงโทนทุ้ม ฟังแล้วอาจจะบอกว่า แสบแก้วหู แต่คนที่ชอบเสียงโทนสดใส อาจจะบอกว่า เสียงใสไพเราะดี ซึ่งก็แล้วแต่คนชอบ ลิ้นแคนที่ทำจากหลาบโลหะสตางค์แดง เนื่องจากแข็ง เหนียว ทน มีการคืนตัวดี อายุการใช้งาน จึงนานกว่าลิ้นเงินเล็กน้อย (ตามความเข้าใจของช่างแคน)

แคนที่ใช้ลิ้นที่ทำจากทองเหลือง เรียกว่า แคนลิ้นทองเหลือง หรือเพื่อให้ดูมีคุณภาพ บางทีก็บอกว่า แคนลิ้นทอง (เหลือง..อยู่ในวงเล็บ) ทองเหลือง หากค่อนข้างง่ายกว่าสตางค์แดง และราคาไม่แพงเท่า สตางค์แดง (สตางค์แดง ในอดีตมีราคาแค่หนึ่งสตางค์ แต่ปัจจุบัน ราคาแพงขึ้นหลายพันเท่าตัว) ช่างแคนที่ทำแคนตลาด (แคนคุณภาพต่ำ-ปานกลาง) จึงนิยมใช้... ทองเหลืองเป็นโลหะอ่อน ไม่เหนียว มีการคืนตัวปานกลาง ให้เสียงใสนุ่ม แต่ไม่แน่น เสียงจะออกแนวโปร่งๆ หลวมๆ เพราะลิ้นทองเหลืองค่อนข้างอ่อน โดนลมกระทบนิดเดียว ก็สั่นเกิดเสียง ดังนั้น แคนลิ้นทองเหลือง เมื่อเราลองเป่าดูตอนแรกซื้อ จะเป่าง่ายมาก เป่าเบาๆ ก็ดัง ไม่เปลืองลม แต่หลังจากเป่าไปเป่ามา ลิ้นทองเหลืองนั้น เนื่องจากอ่อน คืนตัวไม่ดี ก็ไม่คืนเข้าที่เดิม เป็นลิ้นน่อง หรือลิ้นหุบหลบเข้าข้างใน ทำให้ลมหนีออกตามช่องนั้นๆ ได้ แทนที่จะไปออกเฉพาะลิ้นที่เราขับหรือปิดรู ลักษณะนี้ จะทำให้ผู้เป่าเปลืองลมมากขึ้น เพราะลมรั่ว นั่นเอง อีกอย่างหนึ่ง เนื่องจากลิ้นอ่อน และคืนตัวไม่ดี เมื่อเป่าแรงๆ หรือดูดแรงๆ ลิ้นอาจงอแล้วไม่คืนตัว หรือลิ้นอาจหักได้ง่าย แคนลิ้นทองเหลือง หมอแคนอาชีพไม่นิยมใช้ (แต่หมอแคนตามบ้าน อาจจะใช้ เพราะราคาถูก... ไม่มีเงินซื้อแคนแพงๆ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคน จะให้เสียงที่ไพเราะหรือไม่ นอกจากความกลมกลืน ความเข้ากัน ความกินกันดี ของเสียงแต่ละเสียงแล้ว วัสดุของตัวหลอดโลหะที่ใช้ทำลิ้น ก็ถือว่าสำคัญ เพราะเป็นการกำหนดโทนของเสียง แคน แผ่นโลหะที่ใช้ทำลิ้นแคน จะกว้างแคบ สั้นยาว ขึ้นอยู่กับระดับเสียงของลูกแคนนั้นๆ เช่น เสียงต่ำ จะยาวกว่าเสียงสูง โดยประมาณแล้ว แต่ละแผ่นจะยาวประมาณ 3 เซนติเมตร กว้างประมาณ 4 เซนติเมตร และหนาประมาณ 0.5 มิลลิเมตร ที่แผ่นแต่ละแผ่น จะตัดตรงกลางแนวยาวทำเป็นลิ้น ดังรูป และลิ้นนี้ จะหนาบางไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับเสียงที่ต้องการ ช่างแคน จะใช้มีดตอกและตีไม้รวกชุดแต่งลิ้น เพื่อปรับเสียง... หากชุดด้านปลายลิ้นให้บางลง เสียงจะสูงขึ้น หากชุดด้านโคนลิ้นให้บางลง เสียงจะต่ำลง... ซึ่งถ้าชุดจนบางเต็มที่แล้ว เสียงยังไม่ได้ ช่างแคนก็จะแก้ที่ รูแพวบนของแคนลูกนั้น ... บากรูให้ใกล้ลิ้นเข้ามาอีก จะทำให้เสียงสูงขึ้น... การแก้ที่รูแพวบนนั้น แก้ได้เพียงบากรูให้ใกล้ลิ้นแคนเข้าไปอีก เท่านั้น ดังนั้น ตอนแรกที่บากรูแพวบน ช่างแคนมักจะเผื่อเอาไว้ คือบากรูให้ไกลๆ เอาไว้ก่อน แล้วค่อย บากรูเข้ามาทีหลัง... แต่สำหรับช่างแคนที่ชำนาญ ก็บากรูได้ค่อนข้างแม่นยำ



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างลิ้นแคน

(อ้างอิงโดย <http://www.slideshare.net/koh1999/ss-12678747>)

4) ซี่สุดหรือชั้นโรง

เป็นซี่ผึ้งเหนียวสีดำที่ได้จากรังของแมลงชนิดหนึ่งตัวเล็กกว่าผึ้งเรียกว่า แมลงซี่สุด หรือบางแห่งเรียก แมงน้อย คุณสมบัติของซี่สุดคือ อ่อน เหนียว ยืดหยุ่น ไม่ติดมือและไม่แห้งกรอบ ซี่สุดใช้สำหรับติดยึดลูกแคนเข้ากับเต้าแคน ทั้งยังช่วยปิดอุดช่องว่างระหว่างลูกแคนกับเต้า และระหว่างลูกแคนกับลูกแคน เพื่อไม่ให้ลมที่ผ่านเข้าสู่โพรงเต้าแคน รั่วไหลออกจากเต้า

5) ไม้กั้น

ไม้กั้นทำจากไม้ไผ่ เหลาเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม กว้างประมาณ 1 ซม. หนาประมาณ 1 ซม. และยาวประมาณ ไม่เกินความกว้างของแคนดวงนั้น ไม้กั้นนี้ ใช้กั้นระหว่างลูกแคนแพะซ้ายกับแพะขวา ตรงจุดที่มีเชือกมัด ซึ่งจุดที่มีเชือกมัด โดยมากจะมีอยู่ 3 จุดคือ ด้านล่าง 1 จุด ตรงกลางแถวๆปลายลูกแคนที่ลิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สุด 1 จุด และด้านบนตรงปลายลูกแคนที่ยาวที่สุดอีก 1 จุด นอกจากนั้นตรงรูสี่เหลี่ยมของเต้าแคนก็ใช้ไม้ก้านอีก 2 จุด บน-ล่าง รวมแล้วแคน 1 ดวง ใช้ไม้ก้านประมาณ 5 อัน

6) เชือก

เชือก ใช้สำหรับมัดยึดลูกแคนให้อยู่ในรูปทรงที่ต้องการ ให้แคนมีความแข็งแรงขึ้น เชือกมัดนี้นิยมใช้ เครือหญ้านาง และหวาย แต่บางแห่งในปัจจุบันก็ใช้เชือกฟาง แคนที่ผลิตที่แถวร้อยเอ็ด นิยมใช้เครือหญ้านางเป็นเชือกรัดแคน แคนที่ผลิตที่แถวนครพนม นิยมใช้หวายเป็นเชือกรัดแคน

2.1.2 ประเภทของแคน

- 1) แคนหก มีลูกแคน 6 ลูก (3 คู่)
- 2) แคนเจ็ด มีลูกแคน 7 คู่ (14 ลูก)
- 3) แคนแปด มีลูกแคน 8 คู่ (16 ลูก)
- 4) แคนเก้า มีลูกแคน 9 คู่ (18 ลูก)

2.2 พื้นฐานของเสียงดนตรี

เสียงสูงต่ำตามธรรมชาติของเครื่องดนตรีถูกจำแนกออกมาในรูปแบบของความถี่ ระยะของคลื่นเสียง ของเครื่องดนตรีเสียงสูงต่ำนั้นจะแสดงส่วนสูงสุดของคลื่นที่ ฮาร์โมนิก โดยเสียงประกอบไปด้วยคุณสมบัติสำคัญ 4 ประการคือ ระดับเสียง ความสั้นยาวของเสียง ความเข้มของเสียง และสีสันของเสียง

2.2.1 ระดับเสียง (Pitch)

ระดับเสียง เกิดจากความถี่ของการสั่นสะเทือนของวัตถุ วัตถุที่สั่นสะเทือนเร็วกว่าทำให้เกิดเสียงระดับสูงกว่า ในขณะที่วัตถุที่สั่นสะเทือนช้ากว่าทำให้เกิดระดับเสียงต่ำกว่า ซึ่งความถี่เป็นตัวกำหนดระดับเสียงได้มาจากการวัดความถี่ของวัตถุ โดยมีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที หรือเฮิรตซ์ (Hz) ของโน้ตแต่ละตัว ถ้าความถี่มากขึ้นเท่าตัว ระดับเสียงจะสูงขึ้น 1 ช่วงคู่แปด เช่น โน้ตที่มีความถี่ 220 Hz จะมีระดับเสียงสูงกว่าโน้ตที่มีความถี่ 110 Hz อยู่ 1 ช่วงคู่แปด และเช่นเดียวกันในกรณีที่มีความถี่น้อยลง 1 เท่าตัว ระดับเสียงจะต่ำลง 1 ช่วงคู่แปด เช่น โน้ตที่มีความถี่ 440 Hz จะมีระดับเสียงต่ำกว่าโน้ตที่มีความถี่ 880 Hz เป็นระยะ 1 ช่วงคู่แปด เช่น ความถี่เสียงเปียโน

2.2.2 ความสั้นยาวของเสียง (Duration)

ความยาวสั้นยาวของเสียง เป็นพื้นฐานของดนตรีที่เกี่ยวข้องกับระยะเวลา เสียงแต่ละเสียงที่เกิดขึ้นต้องมีระยะเวลา ซึ่งทำให้เกิดเสียงยาว เสียงสั้น เสียงไม่ว่าจะมีระดับเสียงที่แน่นอนหรือไม่ ก็ต้องมีความยาวเข้ามาเกี่ยวข้อง ความยาวเสียงที่มาของจังหวะ ซึ่งมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในดนตรีของทุกชาติทุกภาษา ความยาวเสียงในที่นี้ หมายถึง ความเงียบของตัวหยุดด้วย เนื่องจากดนตรีเป็นผลของกระบวนการเกิดเสียง (Sound) สลับกับความเงียบ (Silence) ไม่ว่าจะเสียงหรือความเงียบ ย่อมต้องมีความยาวหรือระยะเวลาทั้งสิ้น

2.2.3 ความเข้มของเสียง (Sound Intensity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดัง-เบาในทางดนตรีเรียกว่า “Dynamic” เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในทางดนตรี มีความสัมพันธ์กับช่วงกว้างของคลื่นเสียง (Amplitude) ในการสั่นสะเทือนที่ทำให้เกิดเสียงนั้น ๆ ช่วงกว้างมากเสียงจะดัง และช่วงกว้างน้อยเสียงจะเบา เช่น ถ้าตีตีสายกีตาร์แรงเท่าใดเสียงที่ออกมาจะดังในทางตรงกันข้าม หากตีตีสายกีตาร์เบาเสียงที่ออกมาจะเบา เป็นต้น

ในระหว่างที่นักดนตรีบรรเลงดนตรีในวงให้มีความดังมาแล้วเบาลงหรือมีการเปลี่ยนแปลงจาวนขึ้น ของเครื่องดนตรีที่เล่นให้น้อยลงผลที่ตามมาคือมีการเปลี่ยนแปลงของความดัง-เบา (Dynamic) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้สามารถทำให้เกิดได้โดยทันทีทันใดหรือให้เกิดทีละน้อยก็ได้การทำให้เกิดเสียงที่เป็นลักษณะของความดัง-เบาของเสียงนี้มีผลทำให้เกิดความตื่นเต้น (excitement) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีระดับเสียง (pitch) สูงขึ้นและถ้าหากค่อยๆลดความดังของเสียงลงทีละน้อย ๆ เสียงต่ำลงก็สามารถทำให้เกิดความรู้สึกสงบ (sense of calm) เช่นกัน

2.2.4 สีสนเสียง (Timbre or Tone Color)

สีสนเสียง หมายถึง เสียงที่มาจากแหล่งกำเนิดเสียงต่างๆกัน เช่น เสียงระนาด เสียงกีตาร์ เสียงร้อง เสียงสัตว์ เสียงลม ฯลฯ คลื่นเสียงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดที่มีสีสนเสียงแตกต่างกันจะมีรูปร่างลักษณะต่างกัน เช่น คลื่นเสียงของไวโอลิน จะมีรูปร่างต่างจากคลื่นของทรัมเป็ต สือดนตรีที่ต่างกันทำให้เกิดสีสนเสียงต่างกัน สือดนตรี ก็คือเครื่องดนตรีหรือเส้นเสียงดนตรีในกรณีของการขับร้อง เครื่องดนตรีต่างชนิดกันจะทำให้เกิดสีสนเสียงต่างกัน เพลงเดียวที่บรรเลงโดยเครื่องดนตรีต่างชนิดกันจะทำให้เกิดรสชาติต่างกันเพราะสีสนเสียงต่างกัน สิ่งที่สำคัญที่สุดที่เป็นตัวกำหนดเสียง ก็คือ พาร์เซี่ยล(Partials) ซึ่งเป็นระดับเสียงจำนวนหนึ่งที่ประกอบกันเป็นเสียงที่เราได้ยิน เพราะฉะนั้น จำนวนระดับเสียงของพาร์เซี่ยล ความเข้มเสียงของพาร์เซี่ยล และการกระจายของพาร์เซี่ยล จะเป็นตัวกำหนดสีสนเสียงทั้งสิ้น เสียงที่มีจำนวนพาร์เซี่ยลน้อยจะมีเสียงใส เช่น เสียงของฟรุตที่เล่นโน้ตสูงๆ ส่วนเสียงที่มีจำนวนพาร์เซี่ยลมากจะมีเสียงที่หนักแน่นกว่า เช่น เสียงของเซลโล เสียงที่ไม่มีจำนวนพาร์เซี่ยลเลย หรือเสียงบริสุทธิ์เกิดขึ้นได้จากเครื่องเสียงดนตรีไฟฟ้า และจะเป็นช่วงเสียงสูงมากๆ ไม่ไพเราะสำหรับหูคนทั่วไป

2.3 หลักการเกิดของเสียงแคน

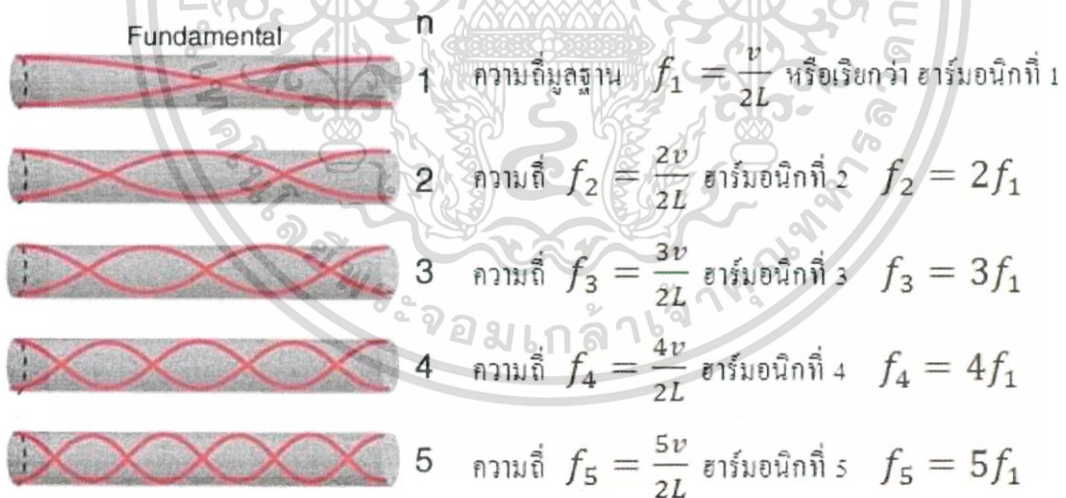
ลูกแคนลักษณะทั่วไปทำจากไม้้อหรือไม้ไผ่เล็กยาว โดยทำเป็นท่อกลวงปลายเปิดสองข้าง ลึ้นทำด้วยโลหะทองเหลือง วางที่ประมาณ $1/4$ ของความยาวท่อ ลึ้นนี้สามารถทำให้เกิดเสียงได้ ทั้งการดูดและเป่า เสียงที่ได้เป็นโน้ตตัวเดิม แต่ spectrum อาจจะไม่เหมือนกัน นอกจากนั้นยังมีรูนิ้วปิด (รูเล็กๆ) เจาะที่ประมาณ $1/2$ ของความยาวท่อ ถ้ารูนี้เปิดจะไม่มีเสียง ต้องปิดด้วยนิ้วจึงจะมีเสียงดัง เนื่องจากเป็นท่อปลายเปิดสองข้าง ขณะเกิดเสียงบริเวณตรงกลางท่อจะเป็น anti-node ของคลื่นนิ่ง (พิจารณาจากความดัน) ทำให้ความยาวท่อเท่ากับ $1/2$ เมื่อมีรูที่บริเวณนี้ จะทำให้อากาศรั่วออกจากรู เป็นผลให้ไม่เกิดคลื่นนิ่ง จึงไม่มีเสียง แต่เมื่อปิดรูก็จะเกิดคลื่นนิ่ง ทำให้ได้ยินเสียง ความถี่ของเสียงที่ได้ยิน จะขึ้นกับความถี่จากการสั่นของลึ้นโลหะ กับการสั่นของลึ้นอากาศภายในท่อ (กลางท่อจะเป็น node ของการกระจัด แต่จะเป็น anti-node ของความดัน ดังนั้นเมื่อมีการเจาะรู ทำให้ความดันอากาศภายในท่อ เท่ากับความดันอากาศข้างนอก จึงไม่เกิด anti-node ของความดัน เป็นผลให้ไม่มีเสียงเกิดขึ้น)

ความยาวของลำอากาศภายในท่อของของแคน มีผลต่อความถี่ของเสียง (คล้ายกับขลุ่ยที่ความถี่ของเสียงขึ้นกับความยาวลำอากาศภายในท่อ) แต่สิ่งที่แตกต่างจากขลุ่ยคือ แหล่งกำเนิดเสียงของแคน ใช้การสั่นของแผ่นทองเหลืองลิ้นโลหะ ที่มีความถี่คงที่ กำหนดให้ท่อ 1 มีเสียงความถี่ 1 ท่อ 2 จะมีความยาวแตกต่างจากท่อ 1 ทำให้ได้เสียงความถี่ 2 สิ่งที่น่าสังเกตคือ ยังใช้การสั่นของแผ่นทองเหลือง ที่มีความถี่เท่ากับของท่อ 1 เปลี่ยนเฉพาะความยาวของท่อเท่านั้น ตรงนี้ไม่อาจจะอธิบาย ด้วยหลักการของคลาริเน็ต เพราะว่าความถี่ของลิ้นคลาริเน็ตแตกต่างกัน ตามการปิดเปิดรูเพื่อเปลี่ยนตัวโน้ต เพราะผู้เป่าให้ความดันที่ลิ้นปีไม่เท่ากัน เป็น forced reed vibration นับว่าแคนมีลักษณะเฉพาะของการเกิดเสียงความถี่ต่าง ๆ แตกต่างไปจากเครื่องดนตรีทั่วไป

แหล่งกำเนิดเสียงของแคน ใช้การสั่นของลิ้นโลหะ ที่มีความถี่คงที่ เป็น free reed vibration แต่เสียงที่เกิดจากการสั่นของลิ้นโลหะ จะไปบังคับให้ลำอากาศสั่น เป็น forced vibration ดังนั้นเสียงของแคนจะเป็นเสียงที่เกิดการสั่นของลิ้นโลหะ และการสั่นของลำอากาศ แต่ความยาวของลำอากาศเป็นตัวกำหนดความถี่ลัพธ์ที่เราได้ยิน

2.4 การเกิดการสั่นพ้องของเสียงในท่อปลายเปิด

ท่อปลายเปิด เป็นท่อที่ปลายทั้งสองข้างเปิดสู่อากาศ คลื่นเสียงที่สะท้อนบริเวณปากหลอดทั้งสองข้าง โมเลกุลของอากาศเคลื่อนที่ได้โดยอิสระจะเป็นตำแหน่งปฏิบัพของคลื่น ดังนั้นถ้าท่อยาว L



รูปที่ 2.4 การเกิดคลื่นนิ่งในท่อปลายเปิดทั้งสองข้าง

(อ้างอิงโดย http://www.sa.ac.th/winyoo/Sound/sound_resonance.htm)

จะสังเกตได้ว่า ความถี่ซึ่งทำให้เกิดการสั่นพ้องนั้นมีได้หลายค่า โดยสรุปเป็นความสัมพันธ์ได้ว่า

$$f_n = \frac{nv}{2L} \quad ; n = 1, 2, 3, \dots \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือหากพิจารณาในรูปของความยาวคลื่น จะได้ว่า

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \quad ; n = 1, 2, 3, \dots \quad (2.2)$$

2.5 การวิเคราะห์ลักษณะของเสียง

2.5.1 ลักษณะกรอบของเสียง (Envelop characterization)

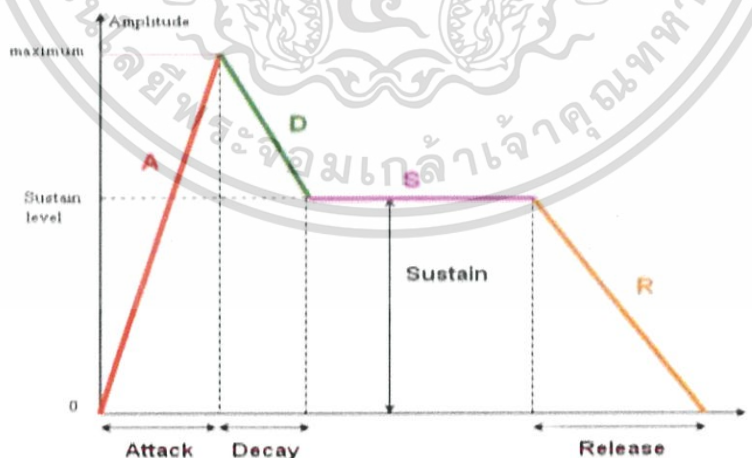
ADSR เป็นเรื่องเกี่ยวกับการกำหนดปริมาณและเวลา เกิดจากการศึกษาและเลียนเสียงในธรรมชาติ เป็นคุณสมบัติที่ทำให้เกิดเสียงที่มีลักษณะที่แตกต่างกัน เช่น เสียงระฆังหรือเสียงแคช จะมี Release time ที่ยาวมากกว่าส่วนเสียงเครื่องเคาะจะมี Attack และ Decay time ที่เร็ว มี Release time เล็กน้อย และพวกเครื่องสาย หรือออแกนจะมี sustain ยาวได้ตามการสีหรือกด ในการสังเคราะห์เสียง ADSR จะมีบทบาทเป็นอย่างมาก ตั้งแต่การกำหนดรูปความดัง แอมพลิจูด ที่เกี่ยวข้องกับเวลา

2.5.1.1 Attack (A) คือช่วงเวลาเปลี่ยนแปลงระหว่างช่วงที่เสียงเงียบไปหาช่วงเวลาที่มีเสียงดังที่สุดครั้งแรก ในธรรมชาติเสียงที่เกิดจากการตีหรือดีด จะมี Attack ที่เร็วมาก คือเกิดทันทีที่มีวัตถุ 2 ชิ้นกระทบกัน

2.5.1.2 Decay (D) หลังจากเสียงเคลื่อนที่ผ่านจุดที่แอมพลิจูดสูงสุด ความดังก็จะลดลงมา เทียบได้กับการคืนตัวครั้งแรกหลังจากการกระทบกันของวัตถุ

2.5.1.3 Sustain (S) คือส่วนที่เรากำหนดการค้างของเสียง เทียบได้กับการค้างของเสียงออแกน ในช่วงที่มีมือของเรายังกดอยู่บนลิ้น

2.5.1.4 Release (R) คือหางเสียงที่ค้างอยู่ก่อนจนกระทั่งเงียบดูได้จากรูปคลื่น



รูปที่ 2.5 ลักษณะกรอบของเสียง (Envelop characterization)

(อ้างอิงโดย <http://soundtechcollegeblog.blogspot.com>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 คุณภาพของเสียง (Quality)

คุณภาพของเสียง หมายถึง ลักษณะเฉพาะตัวของเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงแต่ละชนิดเช่น เสียงจากปี่หรือเสียงจากไวโอลินจะแตกต่างกัน ทั้ง ๆ ที่เล่นดนตรีโน้ตตัวเดียวกันแต่เสียงที่เกิดขึ้นจะต่างกัน เสียงพูดของมนุษย์แต่ละคนจะไม่เหมือนกันเพราะมีคุณภาพของเสียงหรือลักษณะเฉพาะต่างกัน ปัจจัยที่ทำให้คุณภาพของเสียงจากแหล่งกำเนิดต่างกันก็คือชนิด ขนาดและลักษณะของวัสดุที่เป็นต้นกำเนิดเสียง รวมไปถึงลักษณะและขนาดของ "กล่องเสียง" ที่ทำให้เสียงที่เกิดขึ้นมีความชัดเจนกังวานด้วย

2.6 การศึกษาในเชิงตัวเลขการสั่นสะเทือนของเสียงในเครื่องดนตรีกับ LES (Numerical study on sound vibration of an air-reed instrument with compressible LES)

2.6.1 ทฤษฎีที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดเสียงของเครื่องดนตรีท่อปลายเปิด

2.6.1.1 ทฤษฎีของ Lighthill

เสียงถูกสร้างโดยการเคลื่อนไหวที่ผิดปกติของอากาศ เรียกโดยปกติจะถูกเรียกว่า เสียงพลศาสตร์ เป็นสิ่งที่ได้ที่มีขนาดเล็กมากของการเคลื่อนไหวของการไหลที่ไม่สม่ำเสมอของจำนวน Reynolds สูงๆ ที่มาของเสียงพลศาสตร์ถูกกำหนดแบบแผนโดย Lighthill ได้เปลี่ยนตรงชุดของสมการพื้นฐาน Navier - Stokes และสมการต่อเนื่อง สมการคลื่นที่มีลักษณะไม่เหมือนกัน มีกฎที่มา:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial t^2} - c^2 \nabla^2\right)(\rho - \rho_0) = \frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j}, \quad (2.1)$$

T_{ij} จะถูกเรียกว่า เมตริกซ์ Lighthill นิยามโดย

$$T_{ij} = \rho v_1 v_2 + ((\rho - \rho_0) - c^2(\rho - \rho_0))\delta_{ij} + \sigma_{ij}, \quad (2.2)$$

c หมายถึง ความเร็วของเสียง

ρ หมายถึง ความดันอากาศ, ρ_0 คือ ความดันอากาศเฉลี่ย

ρ หมายถึง ความหนาแน่นของอากาศ, ρ_0 คือความหนาแน่นอากาศเฉลี่ย

T_{ij} หมายถึง เมตริกซ์ความเครียดหนืด

เสียงถูกสร้างโดยมีการกระจายคลื่นอย่างคงที่ในตัวกลาง ตามสมการที่แรกของ Lighthill สำหรับ-ของไหลสองมิติ (2D) สมการจะถูกลดเป็น

$$\frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j} \sim -2\rho_0 \left(\frac{\partial v_1}{\partial x_1} \frac{\partial v_2}{\partial x_2} - \frac{\partial v_2}{\partial x_1} \frac{\partial v_1}{\partial x_2} \right) \quad (2.3)$$

2.6.1.2 โทนเสียงขอบ (Edge tone)

ดังแสดงในรูป 2.6 เสียงขอบเป็นเสียงอากาศพลศาสตร์ที่สร้างขึ้นโดยไม่อยู่คงที่ แต่ช่วงกระจายเสียงส่วนใหญ่ของเล็ดลอดออกมาจากรูจากขอบ เสียงขอบเป็นที่มาของเสียงที่ใช้ลิ้นเป่าสมการคือ

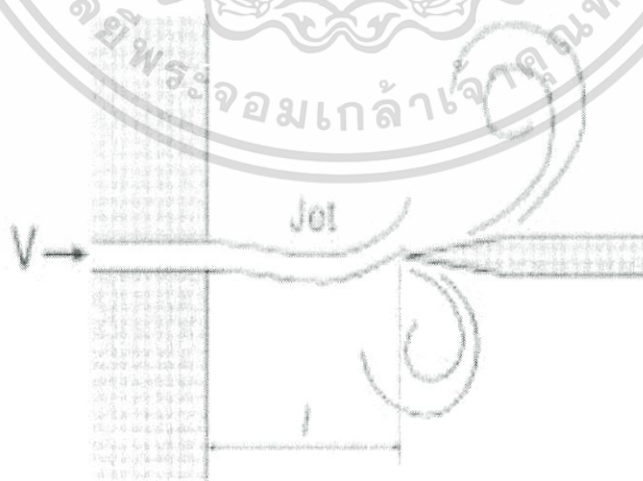
$$v = 0.466j(100V - 40) \left(\left(\frac{1}{100l} \right) - 0.07 \right), \quad (2.4)$$

V หมายถึง ความเร็วที่ออกมา

l หมายถึง เป็นระยะห่างระหว่างช่องและขอบ

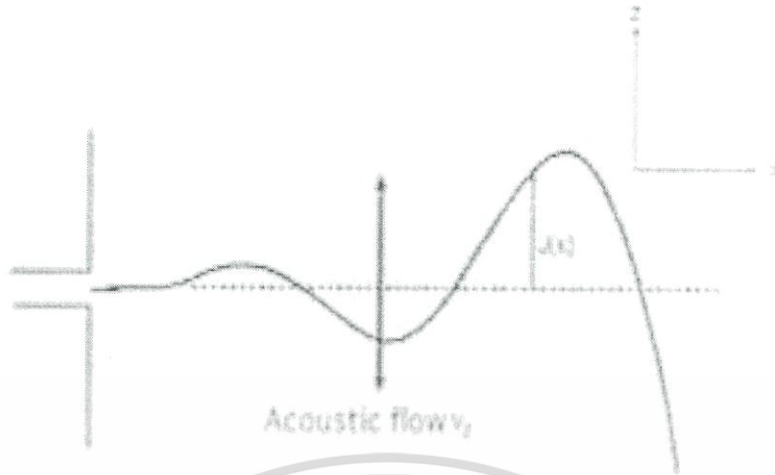
$j = 1.0, 2.3, 3.8, 5.4$; $j = 1$ ให้ความถี่มูลฐานและความถี่อื่น ๆ

การเพิ่มค่าของ V การสั่นพื้นฐานและการเพิ่มขึ้นของความถี่ในสัดส่วนที่ V แต่ค่าจะกระโดดไปหนึ่งค่าเกินกว่าค่าเกณฑ์และมันจะกระโดดอย่างต่อเนื่องจากหนึ่งถึงค่าอื่นๆ พร้อมกับ การเพิ่มขึ้นของ V ค่าของ V จากกรณีที่ลดต่ำลงเรื่อย ๆ จากที่เพิ่มขึ้นในตอนแรก



รูปที่ 2.6 ขอบเสียงขอบ (Edge tone)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



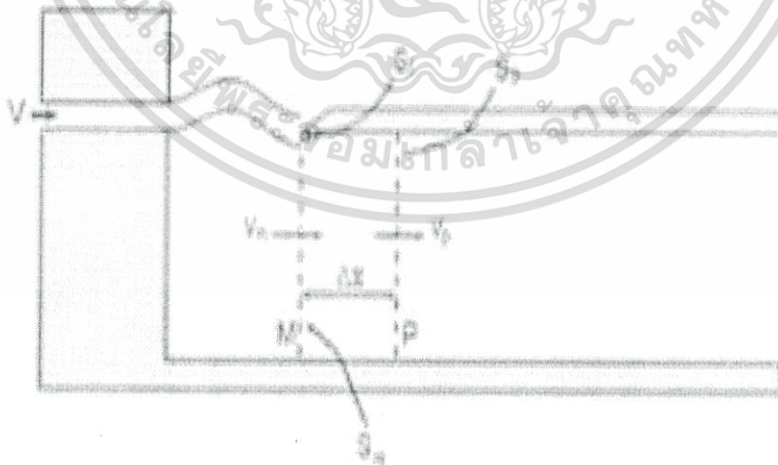
รูปที่ 2.7 Jet oscilation

2.6.1.3 ทฤษฎี Phenomenological ของเครื่องดนตรีท่อปลายเปิด

1. กลไกแรงขับ

แรงลมที่ลอดออกมาจะถูกรบกวนด้วย $v_z \exp(i\omega t)$ และรูปแบบคลื่นสั้นที่แพร่กระจายด้วยความเร็ว u และการเพิ่มแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล μ คลื่นของแรงที่ออกไปกระจายในทิศทาง x เป็นค่าที่เหมาะสมตามสมการ

$$J(x) = i \left(\frac{v_z}{w} \right) \{ \exp(i\omega t) - \cosh(ur) \exp(i\omega(t - x/u)) \} \quad (2.5)$$



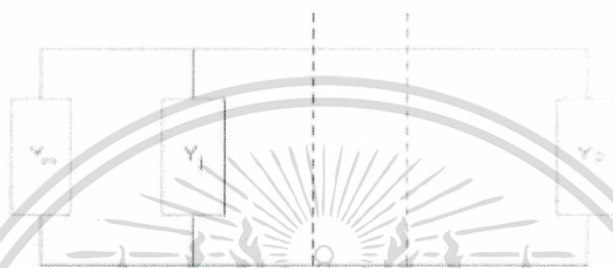
รูปที่ 2.8 ท่อที่ถูกแรงขับออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กลไกการกระตุ้นสร้างใหม่

จากการวิเคราะห์ในส่วนย่อยก่อนหน้านี้นี้เราสามารถอธิบายกลไกการกระตุ้นเครื่องดนตรีใช้ลิ้นในการสั่น ทำการแยกระบบเข้าสู่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความถี่รีโซแนนท์โดยแรงขับ เช่น P หรือ M จะได้เงื่อนไขของจรรยาความถี่เสียงของโหมดฟังก์ชันของความเร็วของแรงที่ขับออกมา ดังสมการที่ 2.6

$$Y_j + Y_m + Y_p = 0 \quad (2.6)$$



รูปที่ 2.9 Equivalent circuit network



รูปที่ 2.10 Oscillation frequency vs. jet velocity

2.6.2 รูปแบบและโครงสร้างเชิงตัวเลข

A. รูปแบบตัวเลข

สำหรับการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของเครื่องดนตรี คำนวณการเปลี่ยนแปลงของแรงขับและการไหลของอากาศและสนามแม่เหล็กความถี่รีโซแนนท์ ความเร็วเสียงประมาณ 340 เมตร / วินาทีที่สูงกว่าความเร็ว V ซึ่งเป็นหลายส่วนใหญ่นับในหน่วย MKS สำหรับการสร้างเสียงเวลาแต่ละชั้นที่เล็กมากจะต้องเทียบกับการคำนวณตัวเลขธรรมดาของการเปลี่ยนแปลงของไหลบนมือ,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องขังน้ำหนักเชิงพื้นที่ที่ใช้สำหรับคำนวณการเปลี่ยนแปลงเหล่านั้น บางส่วนที่อาจจะมีความเล็กกว่า 1 มม. มีมากน้อยกว่าความยาวของคลื่นเสียง เช่น 34 mm แม้ในที่ 10 kHz ดังนั้นในการคำนวณเราจะต้องได้ค่าที่ต้องการทั้งสองอย่าง เพื่ออธิบายการแพร่กระจายของเสียงและมากพอที่จะทำให้เกิดการไหลในท่อ, ความเร็วอนุภาคของเสียง (หรือพลังงานของเสียง) มักจะมีมากน้อยกว่าชั้นของการไหล แต่กลกลายเป็นว่าพลังเสียงในสภาพแวดล้อมที่ได้ คือ 10^{-4} ครั้ง ซึ่งมีขนาดเล็กหรือขนาดเล็กกว่าชั้นที่มีการไหล



รูปที่ 2.11 รูปแบบและโครงข่าย

(a) รูปแบบ 2 มิติ (หน่วยของความยาว : mm หน่วยของมุม : องศา) (b) โครงข่ายเชิงตัวเลข
เส้นประแสดงผนังโปร่งใส

B. วิธีการเชิงตัวเลข

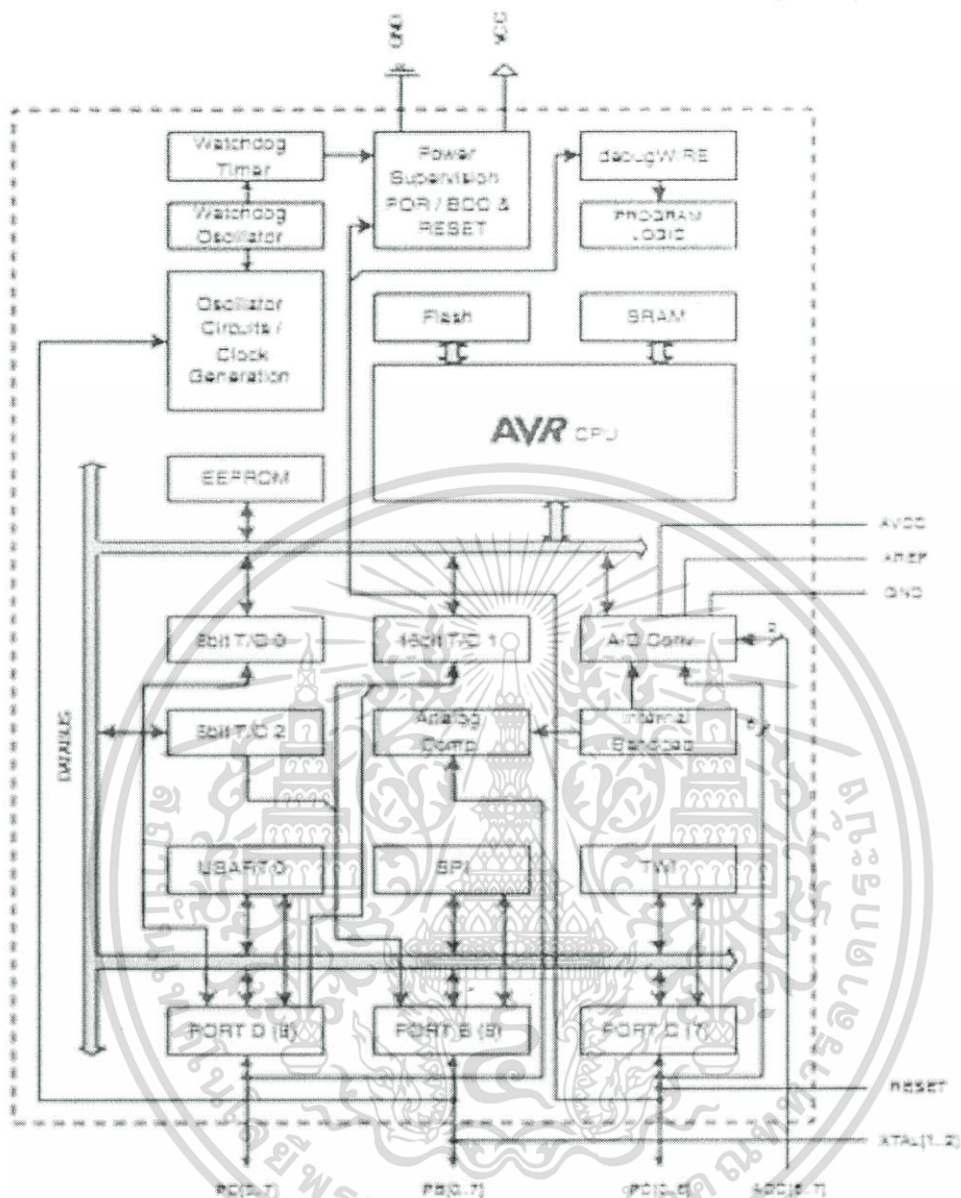
สำหรับการคำนวณตัวเลขที่เราใช้บีบอัด LES เป็นที่นิยมมากในเครื่องดนตรีที่มีการเกิดเสียงแบบท่อปลายเปิด

2.7 ทฤษฎีไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR รุ่น ATmega 328P

2.7.1 สถาปัตยกรรมขั้นสูงแบบ RISC (Reduce Instruction Set Computer)

- RISC คือตัวทำให้การประมวลผลมีความเร็ว 1 คำสั่ง/1 clock หรือ CPU สามารถประมวลคำสั่งได้ 1 MIPS/MHz
- ชุดคำสั่ง 131 คำสั่งต่อ 1 รอบนาฬิกา
- รีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต 32 ตัว
- ความเร็วในการประมวลผลมากกว่า 20 ล้านคำสั่งต่อวินาที (MIPS) ที่ 20 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 สถาปัตยกรรมขั้นสูงแบบ RISC [1]

(อ้างอิงโดย <http://freedatasheets.com/datasheetblog/2012/02/atmel-atmega168-microcontroller-avr/>)

โดยมีคุณสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้

หน่วยความจำ

- แบบ 32 Kbyte สามารถเขียนลบโปรแกรมได้ 10,000 ครั้ง
- แบบ EPROM 1 Kbyte สามารถเขียนและลบโปรแกรมได้ 100,000 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แบบ SRAM 2 Kbyte

ไฟเลี้ยง

- ระหว่าง 1.8 ถึง 2.5 v

ความถี่สัญญาณนาฬิกา

- ระหว่าง 0 ถึง 4 MHz

อื่น ๆ

- มีระบบ Reset แบบอัตโนมัติเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์
- มีฟังก์ชันตรวจสอบแรงดัน
- มีระบบการขัดจังหวะทั้งภายในและภายนอก
- มีระบบตรวจจับความผิดพลาดของ CPU
- มีโหมดอนุรักษ์พลังงาน 5 mode ได้แก่ Idle, ADC Noise Reduction, PowerSave, Power-Down, Standby

2.7.2 ส่วนประกอบต่างๆของไอซี ATmega 328P



รูปที่ 2.13 ไอซี ATmega 328P [1]

(อ้างอิงโดย http://electronics-diy.com/avr_programmer.php)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงฟังก์ชันการทำงานของ ATmega 328P

ชื่อ	รายละเอียด	ขา
GND	- ขากราวด์ต่อสายดิน	8,22
VCC	- ไฟเลี้ยง 1.8 ถึง 5.5v	7
Port B(PB 7: 0) XTAL1/XTAL2/TOSC1/TOSC2	- เป็นพอร์ต 2 ทิศทาง ขนาด 8 บิต โดยสามารถกำหนดให้ขาของแต่ละพอร์ตสามารถตั้งค่าให้ Pull up Resistor ได้ (ภายในเป็นอิสระแยกจากกัน เพื่อตั้งแรงดันของลอจิก 1 ให้เท่ากับ 5 v) - สามารถใช้งานพิเศษตามความต้องการของ ATmega 328 โดยขึ้นอยู่กับค่าการตั้งค่าสัญญาณนาฬิกาที่ขา PB6 ที่ใช้เป็นแรงดัน Oscillator และ ขาอินพุตของวงจรสัญญาณ Clock Oscillator	9,10,14-19 8
PC6/RESET	- ขา Reset	1
Port D (PD7:0)	- เป็นพอร์ตสองทิศทางขนาด 8 บิต โดยสามารถกำหนดให้ขาของแต่ละพอร์ตสามารถตั้งค่าให้ Pull up Resistor ได้ - สามารถใช้งานพิเศษตามความต้องการของ ATmega 328	1-6,11-1
AVCC	- ใช้จ่ายไฟให้กับวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็น ดิจิตอล มักจะต่อเข้ากับขา VCC	20
AREF	- แรงดันอ้างอิงที่ใช้งานในส่วนของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลมักต่อกับ VCC	21
ADC7:6 (TQFP and QFN/MLF Package Only)	- ขากำลังงานใช้แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็น ดิจิตอล	23-28
Port C (PC5:0)	- เป็นพอร์ตสองทิศทางขนาด 8 บิต โดยสามารถกำหนดให้ขาของแต่ละพอร์ตสามารถตั้งค่าให้ Pull up Resistor ได้ - สามารถใช้งานพิเศษตามความต้องการของ ATmega 328	23-28

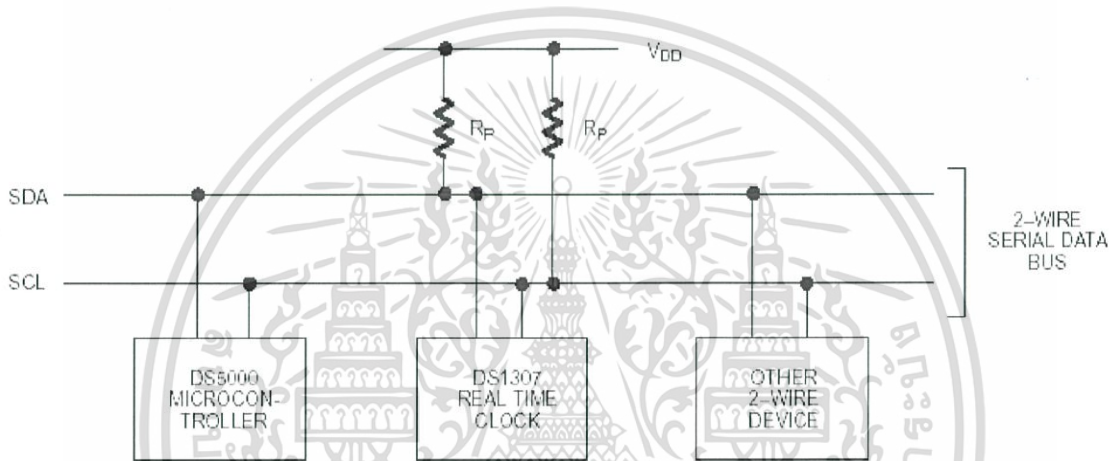
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การติดต่อสื่อสารแบบ I²C

I²C (Inter Integrated Circuit Bus) โดยทั่วไปเรียก I²C (Bus เป็นการสื่อสารแบบอนุกรมแบบซิงโครนัส (Synchronous) ใช้ติดต่อสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller - MCU) กับอุปกรณ์ภายนอก ใช้สายสัญญาณจำนวน 2 เส้น คือ

1. Serial Data (SDA) เป็นสายส่งข้อมูล มีหน้าที่อ่าน/เขียน ข้อมูลกับอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อด้วย
2. Serial Clock (SCL) เป็นสายสัญญาณนาฬิกา มีหน้าที่คุมจังหวะการทำงานของบัส

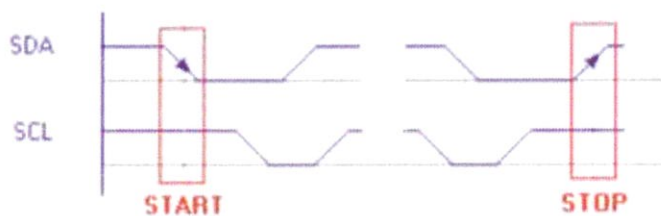
อุปกรณ์ที่นำมาเชื่อมต่อกับบัส I²C จะมีชื่อ Address ต่างกัน ทำให้ I²C เพียงบัสเดียวสามารถต่อพ่วงอุปกรณ์ได้หลาย ๆ ตัวในเวลาเดียวกันได้



รูปที่ 2.14 โครงสร้างการเชื่อมต่อแบบ I²C Bus

(อ้างอิงโดย <http://web.bs-cham.de/wiki/index.php/I2C-Bus>)

โดยปกติแล้ว การติดต่อแบบ I²C สัญญาณบนเส้น SDA จะเปลี่ยนระดับได้ก็ต่อเมื่อ สัญญาณ SCL เป็น '0' เท่านั้น (สถานะ อ่าน / เขียน ปกติ) แต่ถ้ามีการเปลี่ยน SDA ขณะที่ SCL เป็น '1' จะมีความหมายว่าเป็น Start หรือ Stop Condition ดังรูป

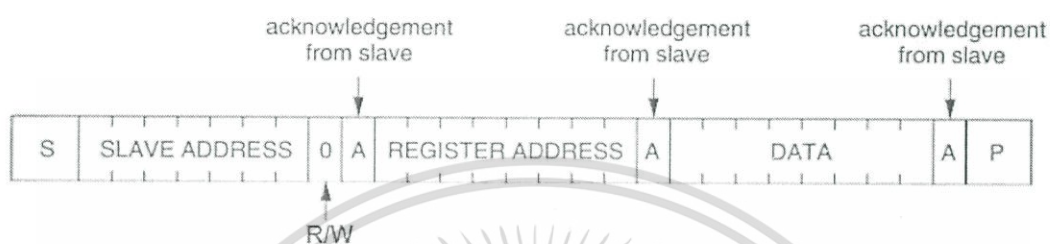


รูปที่ 2.15 BUS START and STOP Condition

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(อ้างอิงโดย <http://narong.ee.engr.tu.ac.th/miniproject/article.php?ID=5>)

การเขียนข้อมูลบนบัส I²C ทำได้โดยการส่ง START, Write Address, W (Write Status), Acknowledge, Write Register Address, Acknowledge, Write Data, Acknowledge และ STOP ไปยังไอซีเป้าหมายตามลำดับ



รูปที่ 2.16 การเขียนข้อมูลบน I²C Bus

(อ้างอิงโดย <http://narong.ee.engr.tu.ac.th/miniproject/article.php?ID=5>)

การอ่านข้อมูลบนบัส I²C ทำได้โดย START, Write Address, W (Write Status), Acknowledge, Write Register Address, Acknowledge, START, Write Address R (Read Status), Acknowledge, Read Data, No-acknowledge, STOP

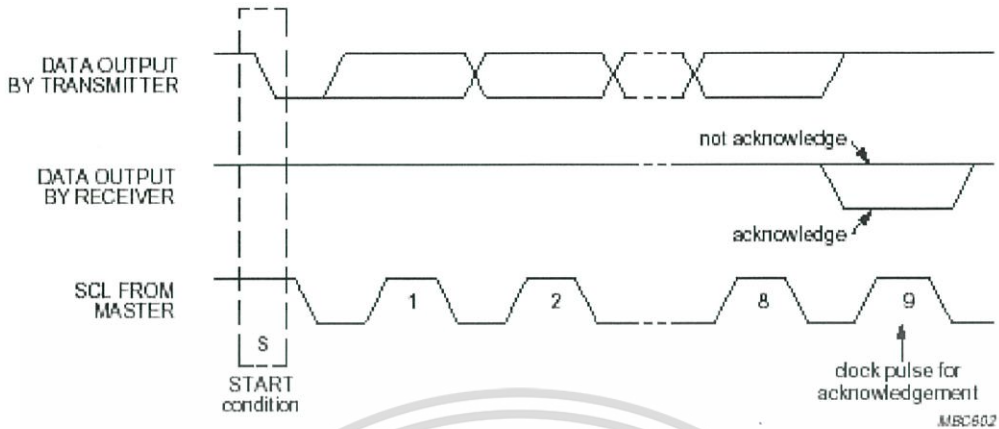


รูปที่ 2.17 การอ่านข้อมูลบน I²C Bus

(อ้างอิงโดย <http://narong.ee.engr.tu.ac.th/miniproject/article.php?ID=5>)

สถานะ Acknowledge และ No-acknowledge เป็นการสื่อสารระหว่าง MCU และไอซี ซึ่งติดต่อกันด้วยบัส I²C เพื่อเป็นการรับรู้ว่าการอ่านหรือเขียนข้อมูลแต่ละชุดเสร็จสิ้นแล้ว ให้ทำการอ่านหรือเขียนข้อมูลชุดต่อ ๆ ไปได้ ซึ่งถ้าหากสถานะเหล่านี้เป็นไปอย่างผิดพลาด มีการตอบรับกันระหว่าง MCU และไอซีไม่ถูกต้อง จะทำให้การติดต่อข้อมูลผิดพลาด จนอาจทำให้ไม่สามารถติดต่อกันได้เลย ซึ่งสถานะ Acknowledge จะถูกส่งมาจากไอซีให้ MCU รับรู้ว่าข้อมูลถูกเขียนครบแล้ว ส่วนสถานะ No-acknowledge จะถูกส่งจาก MCU ไปยังไอซี บอกว่าข้อมูลถูกอ่านครบแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 สถานะ Acknowledge, No-acknowledge

(อ้างอิงโดย <http://narong.ee.engr.tu.ac.th/miniproject/article.php?ID=5>)

จากรูปที่ 2.10 จะเห็นได้ว่า สถานะ Acknowledge สัญญาณเส้น SDA จะถูกกำหนดเป็น '0' โดยไอซี ใช้ Clock 1 ลูกในการรับรู้ ส่วนสัญญาณ No-acknowledge สัญญาณเส้น SDA จะถูกกำหนดให้เป็น '1' โดย MCU ใช้ Clock 1 ลูกในการรับรู้เช่นกัน

รหัสควบคุมของ Bus (Control Byte) เป็นรหัสประจำตัวของอุปกรณ์ ประกอบด้วยรหัสประจำตัวจากผู้ผลิต Product ID 4 บิต (บิต 4-7) ที่เปลี่ยนแปลงแก้ไขไม่ได้ และ Device Address 3 บิต (บิต 1-3) ซึ่งผู้ใช้ สามารถกำหนดเองได้ รวมแล้วเป็นรหัส 7 บิต ใช้ระบุตัวอุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนบัส จะมีค่าซ้ำกันไม่ได้ บิตควบคุมการเขียนอ่าน (Mode) บิต 0 เมื่อ MCU ต้องการเขียนข้อมูลไปยังอุปกรณ์ก็กำหนดให้บิตนี้เป็น 0 และเมื่อต้องการ อ่านข้อมูล จากอุปกรณ์ ก็กำหนดให้บิตนี้เป็น 1



รูปที่ 2.19 รหัสควบคุมของ Bus (Control Byte)

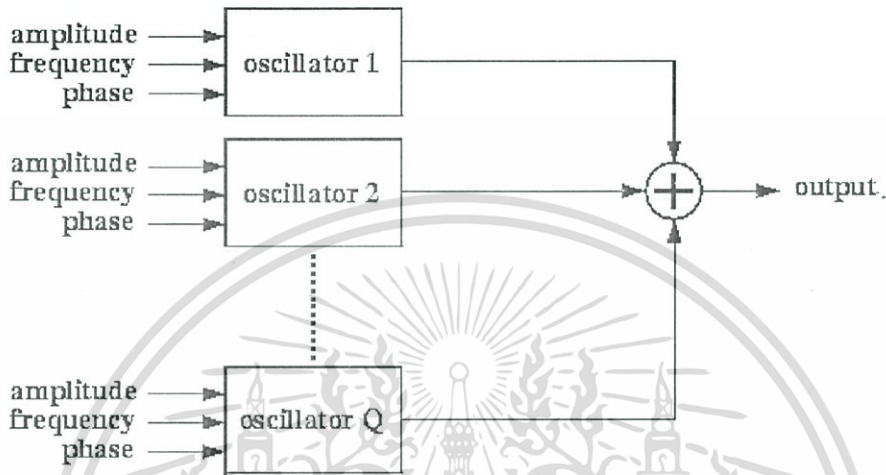
(อ้างอิงโดย <http://wintesla2003.com/topic/123740>)

2.9 การสังเคราะห์เสียงด้วยการบวก (Additive Synthesis)

การสังเคราะห์เสียงด้วยวิธีนี้ หมายถึง การนำเอาเสียงหลายๆเสียง มารวม (บวก) สัญญาณกัน ผลที่ได้คือ เสียงที่มีความซับซ้อน (complexity) เพิ่มขึ้น มีคลื่นความถี่ต่างๆรวมกันมากขึ้นตามเสียงต่างๆ ที่นำเอามารวมกัน การบวกกันนั้น จะใช้เสียงพวกที่เป็นทั้ง periodic และ non-periodic ก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเช่น เสียง Organ ซึ่งเป็นการนำเอา Sine Wave ที่มีความถี่เป็นเท่าตัวของโน้ตนั้นๆ บวกเข้าไป เช่น เล่นโน้ต A 440 Hz บน Organ เราสามารถเลือกที่ Drawbar ได้ว่า เราจะเพิ่มความถี่ที่เป็น 2, 3, 4, ... เท่าของ 440 Hz เข้าไปเป็นความดัง (amplitude) เท่าใด เป็นวิธีการสังเคราะห์เสียงแบบ Real-time โดยที่ใช้อุปกรณ์น้อยที่สุดด้วย



รูปที่ 2.20 การสังเคราะห์เสียงด้วยการบวก (Additive Synthesis)
(อ้างอิงโดย <http://archive.cnmat.berkeley.edu/~tristan/Report/node2.html>)

2.10 Mozzi

ใช้ในการสร้างอัลกอริทึมของเสียงสำหรับสร้างเสียงของอคูโน้ตที่สะดวกง่าย โดยไม่ต้องซิงค์จากภายนอก

คุณสมบัติ

- แคมป์เรท 16,384Hz หรือการทดลองอัตรา 32,768 Hz
- มีโหมดเอาต์พุต 8 บิต หรือ 14 บิต (12 บิตบน teensy 3.1)
- PWM เป็นเสียงเอาต์พุตบนบอร์ด Atmel หรือเสียงอะนาล็อกจริงที่ออกมาบน teensy 3.1
- อัตราการควบคุมค่าที่เปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่ 64 Hz ขึ้นไป
- เป็นประโยชน์เครื่องมือพื้นฐานของเสียง: oscillators , samples, lines, envelopes, scheduling, filtering
- แปลงเป็น ADC อย่างรวดเร็วและรหัสซีพียูที่มีประสิทธิภาพเพื่อช่วยให้เสียงที่ได้ราบรื่นขึ้น
- มีตัวอย่างสำหรับที่ปรับเปลี่ยนได้ง่าย
- มีเวฟสำเร็จรูปและสคริปต์การแปลงไฟล์เสียงของคุณสำหรับ Mozzi
- ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่ายเพราะเป็น open source

การติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดาวนิโหลต Mozzi จากนั้นติดตั้งลงในไลบรารีของอาดูโน้

การใช้งานเริ่มต้น

จะได้ยินเสียงจาก Mozzi เชื่อมต่อแจ็คขนาด 3.5 มม. เสียงจะออกด้วยวิธี PWM ในขาคิจิตอลขา 9 และต่อกราวด์ในขากราวด์บนบอร์ด Arduino nano และใช้สายออกที่เสียบเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ของคุณและฟังด้วยโปรแกรมเสียง โดยขาที่ใช้สำหรับการส่งเสียงออกของ Mozzi ขึ้นอยู่กับบอร์ดที่คุณใช้

คำเตือนและวิธีแก้ไขปัญหา

- Mozzi ไม่สามารถใช้งานบนบอร์ด Arduino millis () micros () delay () และ delayMicroseconds ().
- แต่ให้ใช้ Metronome () หรือ EventDelay () สำหรับการจัดตารางและ mozziMicros () สำหรับระยะเวลา
- analogRead () ถูกปิดใช้งานแทนด้วย mozziAnalogRead () ซึ่งทำงานแทนการปิดการประมวลผล
- Mozzi ไม่สามารถใช้คำสั่ง analogWrite () บนขาที่ 5 และ 6 (Timer 0), 9 และ 10 (Timer 1) ในโหมด STANDARD และในโหมด HI-FI ของขาที่ 3 และ 11 (Timer 2) ตัวเลขของขาแต่ละบอร์ดไม่เหมือนกัน

การหยุดพักทำงาน Mozzi

ในการเรียกคืนเวลาของ Arduino และฟังก์ชัน สามารถใช้ pauseMozzi () เพื่อหยุดเสียงและการซัดจังหวะและเริ่มต้นทำงานอีกครั้งด้วย unpauseMozzi ()

2.11 MSE (Mean Square Error)

ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยหรืออาจจะใช้ เป็นค่าวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ที่วัดจากขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ที่ได้จากการยกกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อน โดยจะให้ความสำคัญกับค่าพยากรณ์ที่แตกต่างไปจากค่าจริงมาก ค่า MSE จะไวต่อค่าคลาดเคลื่อนที่มีขนาดใหญ่ หากค่าความคลาดเคลื่อนใดมีค่าสูงเมื่อยกกำลังสองแล้วจะสูงมาก ในบางครั้งผู้พยากรณ์จะใช้รากที่สองของค่า MSE ตามสมการ

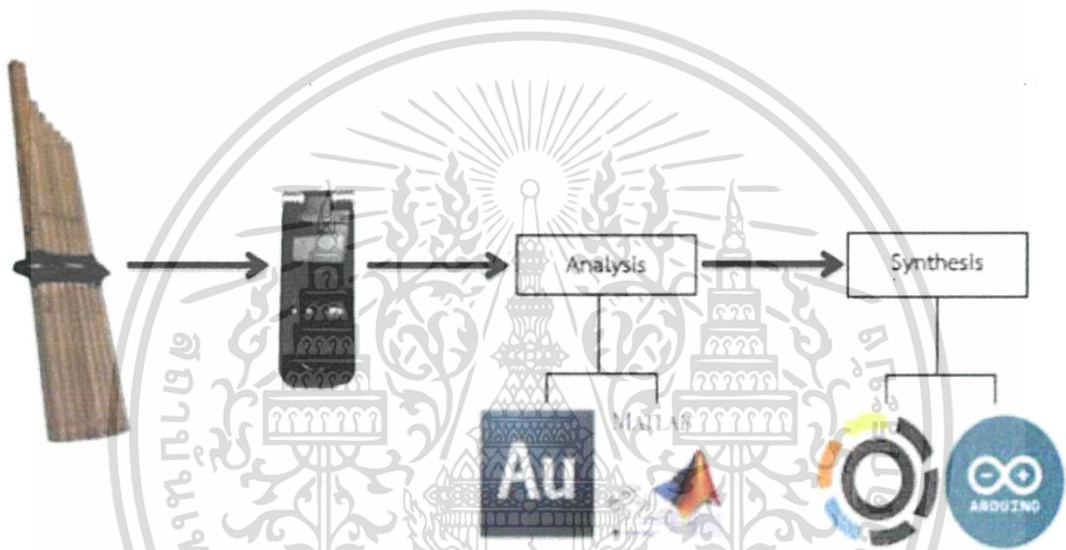
$$MSE = 1/n \sum_{i=1}^n (X_i - F_i)^2 \quad MSE \geq 0 \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวิเคราะห์เสียงและการสังเคราะห์เสียงด้วยโปรแกรม

จะทำการบันทึกเสียงแคน เพื่อนำไปวิเคราะห์สัญญาณเสียง นำไปเข้าโปรแกรม Adobe Audition CS6 เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนและตัดช่วงเสียงที่ต้องการ แล้วนำสัญญาณเสียงที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB จากนั้นสังเคราะห์เสียงด้วยโปรแกรม MAX/MSP เพื่อหาจำนวนฮาร์โมนิกและแอมพลิจูดที่ใช้สังเคราะห์เสียง ก่อนจะนำไปสังเคราะห์จริงบนไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.1 การออกแบบขั้นตอนการทดลอง

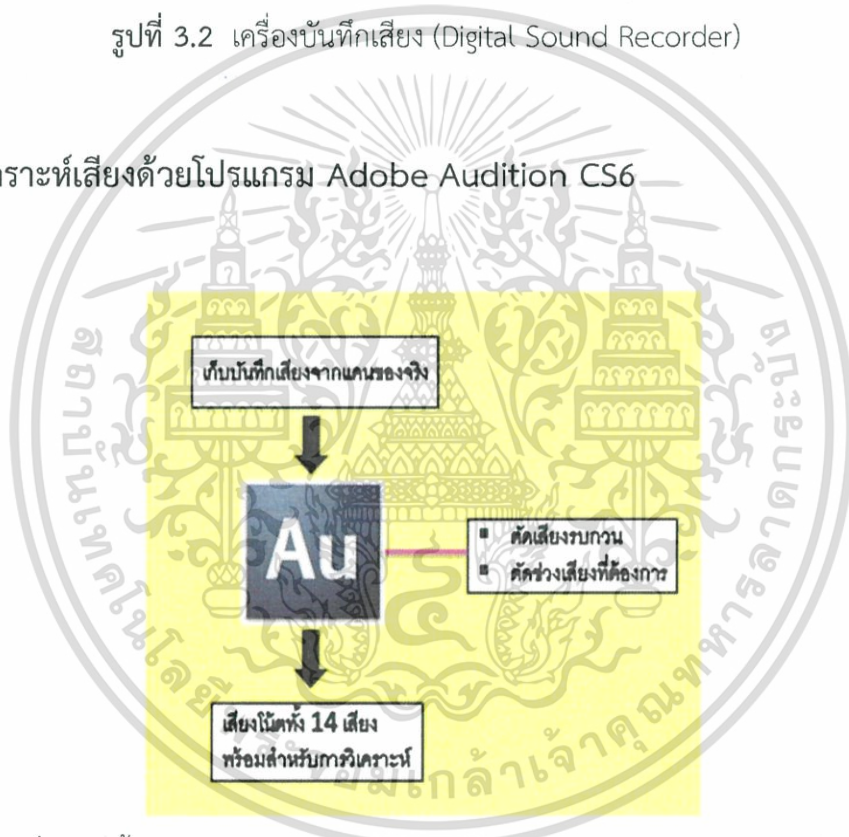
3.1 การเก็บบันทึกเสียงโน้ตของแคน(Record)

ทำการบันทึกเสียงโน้ตของแคนด้วยเครื่องบันทึกเสียง จากนั้นนำไปเข้าโปรแกรม Adobe Audition CS6 เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนและตัดช่วงเสียงที่ต้องการ แล้วนำสัญญาณเสียงโน้ตที่ได้ไปทำการวิเคราะห์เสียง



รูปที่ 3.2 เครื่องบันทึกเสียง (Digital Sound Recorder)

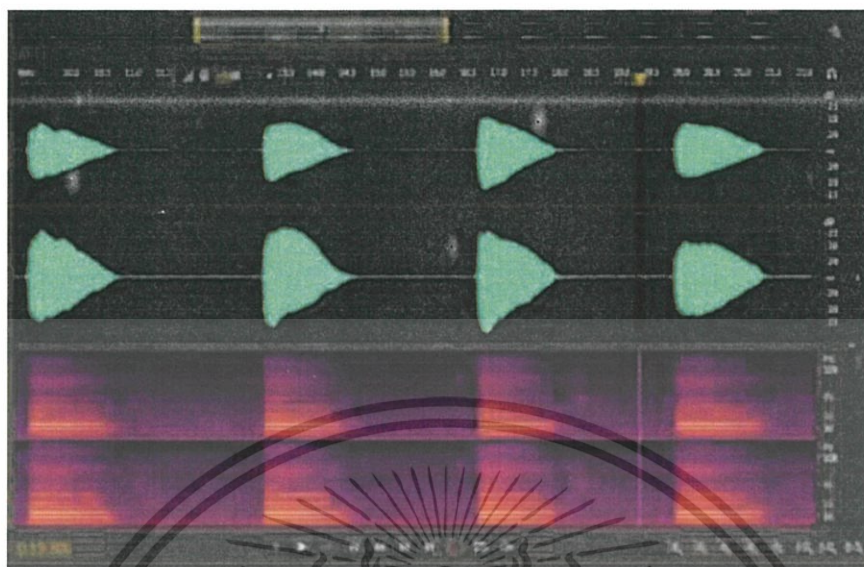
3.2 การวิเคราะห์เสียงด้วยโปรแกรม Adobe Audition CS6



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์การเสียงด้วยโปรแกรม Adobe Audition CS6

เมื่อได้สัญญาณเสียงที่กำจัดสัญญาณรบกวนแล้ว นำสัญญาณทั้งหมดมาวิเคราะห์ลักษณะกรอบของโทนเสียงจากรูปคลื่นของสัญญาณ (Waveform), สเปกโตรแกรม (Spectrogram), ค่าความถี่มูลฐาน (Fundamental Frequency) องค์ประกอบฮาร์โมนิก และความสัมพันธ์ของฮาร์โมนิก (Harmonics) สำหรับสัญญาณเสียงแต่ละโน้ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

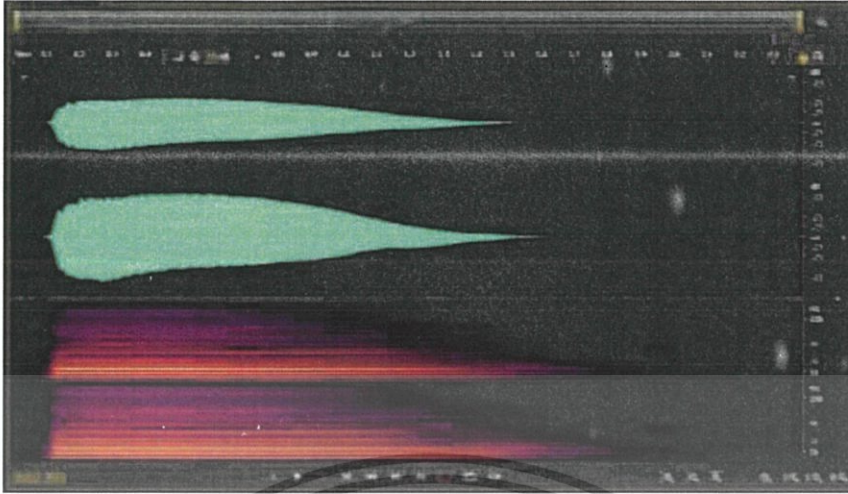


รูปที่ 3.4 แสดงรูปคลื่นของสัญญาณเสียง (Waveform) ก่อนตัดสัญญาณรบกวน



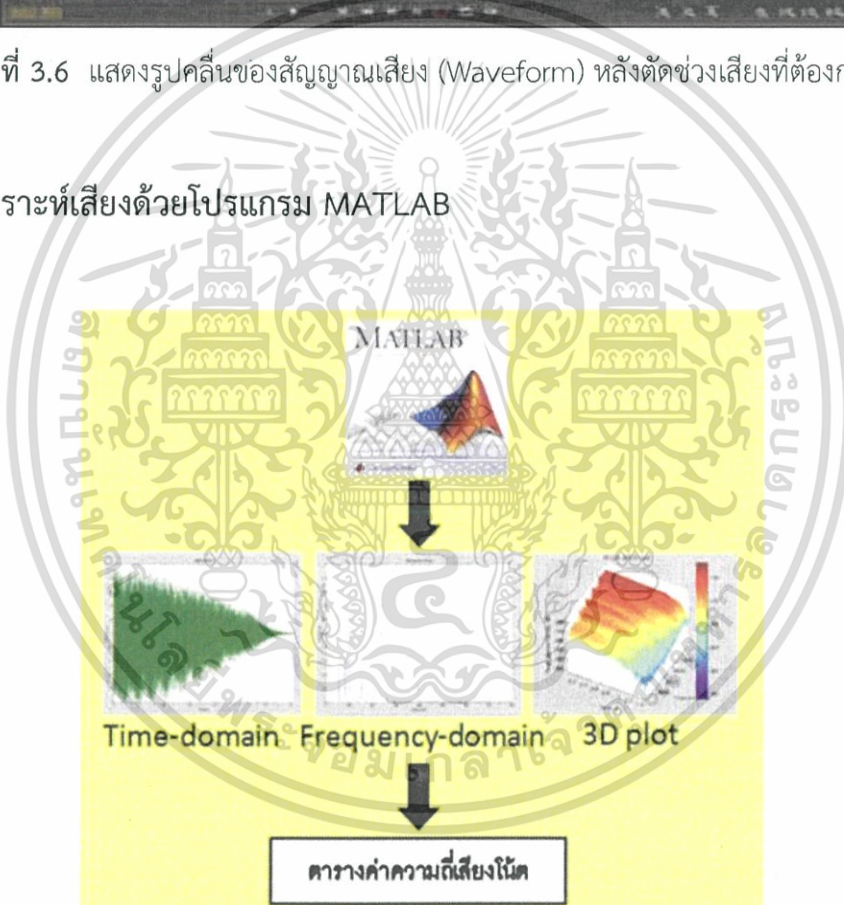
รูปที่ 3.5 แสดงรูปคลื่นของสัญญาณเสียง (Waveform) หลังตัดสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงรูปคลื่นของสัญญาณเสียง (Waveform) หลังตัดช่วงเสียงที่ต้องการ

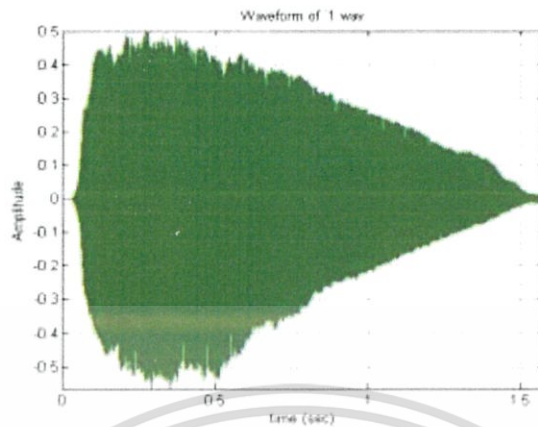
3.3 การวิเคราะห์เสียงด้วยโปรแกรม MATLAB



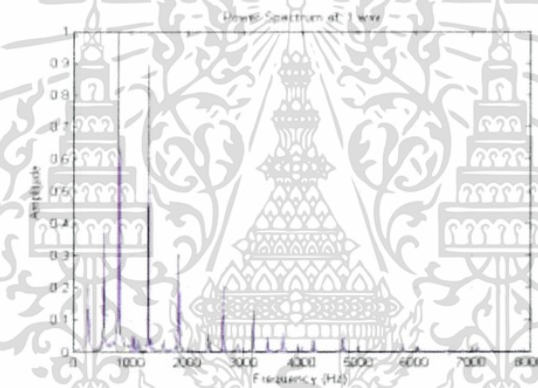
รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการวิเคราะห์การเสียงด้วยโปรแกรม MATLAB

วิเคราะห์หาองค์ประกอบของเสียง นำเสียงโน้ตมาวิเคราะห์ลักษณะกรอบของโทนเสียงจากรูปคลื่นของสัญญาณ (Waveform), สเปกโตรแกรม (Spectrogram), ดูค่าความถี่มูลฐาน (Fundamental Frequency) องค์ประกอบฮาร์โมนิก และความสัมพันธ์ของฮาร์โมนิก (Harmonics) สัญญาณเสียงแต่ละโน้ตด้วยโปรแกรม MATLAB ทำให้ได้ค่าความถี่ของแต่ละโน้ต

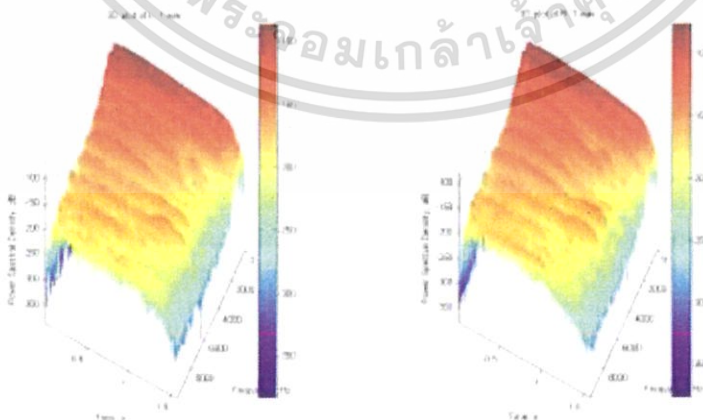
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงรูปคลื่น (waveform)



รูปที่ 3.9 แสดงสเปกตรัม (Power Spectrum)



รูปที่ 3.10 แสดงสเปกตรัม 3 มิติ (3D plot) มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์เสียงด้วยโปรแกรม MATLAB ทำให้ได้ค่าของ Fundamental Frequency และความถี่ฮาร์โมนิก ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ความถี่มูลฐานและความถี่ฮาร์โมนิกของแต่ละโน้ต

กลุ่มโน้ต	โน้ต	1 st Harmonic (Hz)	2 nd Harmonic (Hz)	3 rd Harmonic (Hz)	4 th Harmonic (Hz)	5 th Harmonic (Hz)
เดี่ยวต่ำ	โด	258.3984	527.5635	785.9619	1044.3604	1313.5254
	เร	301.4648	592.1631	893.6279	1184.3262	1485.7910
	มี	333.7646	667.5293	1001.2939	1335.0586	1668.8232
	ฟา	344.5313	699.8291	1044.3604	1399.6582	1744.189
	ซอล	387.5977	785.9619	1173.5596	1571.9238	1959.5215
	ลา	226.0986	441.4307	667.5293	882.8613	1108.9600
	ที	247.6318	495.2637	742.8955	990.5273	1238.1592
เดี่ยวสูง	โด	527.5635	1044.3604	1571.9238	2088.7207	2616.2842
	เร	592.1631	1184.3262	1776.4893	2357.8857	2950.0488
	มี	667.5293	1335.0586	2002.5879	2670.1172	3337.6465
	ฟา	710.5957	1410.4248	2121.0205	2820.8496	3531.4453
	ซอล	398.3643	785.9619	1184.3262	1571.9238	1970.2881
	ลา	441.4307	893.6279	1335.0586	1787.2559	2228.6865
	ที	495.2637	990.5273	1485.7910	1981.0547	2476.3184

3.4 การสังเคราะห์สัญญาณเสียงด้วย MAX/MSP

จากการนำเสียงไปวิเคราะห์สัญญาณเสียงด้วยโปรแกรม Adobe Audition CS6 และ MATLAB ทำให้ทราบค่าของความถี่แต่ละฮาร์โมนิก จากนั้นนำโน้ตทั้ง 14 เสียงมาออกแบบการสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟ (Additive Synthesis) โดยใช้โปรแกรมแม็กซ์/เอ็มเอสพี (

3.4.1 เกี่ยวกับ MAX/MSP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

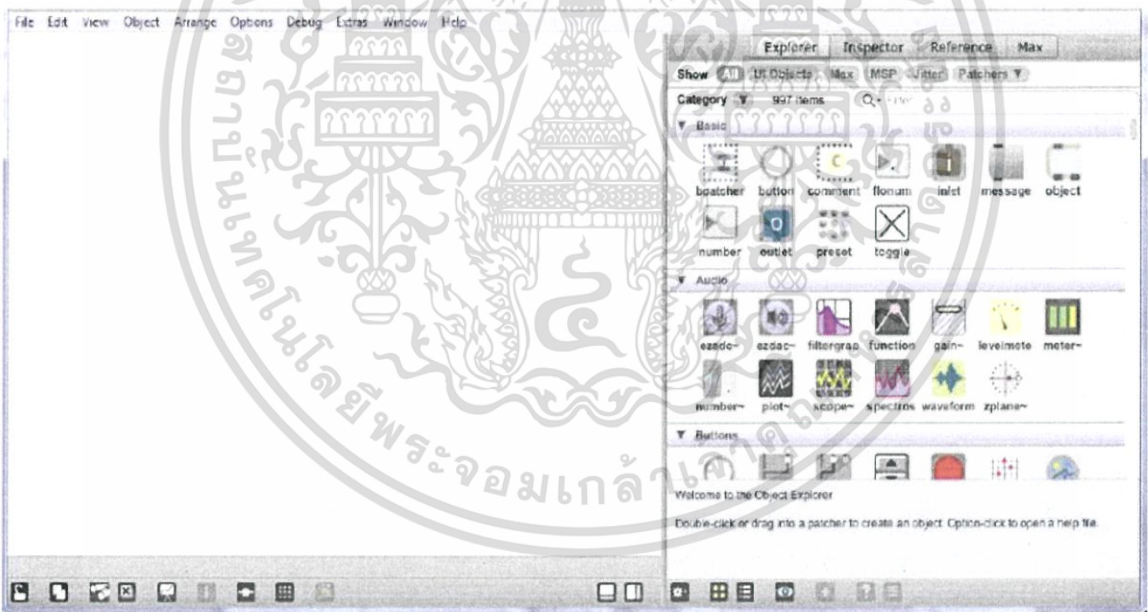
MAX/MSP คือ เครื่องมือสำหรับการสร้างโปรแกรมโดยที่เราไม่ต้องเรียนรู้ภาษา (Syntax) ใดๆ การเขียนโปรแกรมเป็นเพียงการนำกล่อง(Object) ที่มีหน้าที่ต่างๆ กันตามชื่อของมันมาเชื่อมต่อกัน เพื่อให้โปรแกรมทำงานตามที่เรต้องการ ซึ่งชื่อ MAX/MSP ประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ MAX กับ MSP แยกกันตามหน้าที่ ซึ่งมาอยู่ในโครงสร้างเดียวกัน เลยเรียกรวมกันว่า MAX/MSP

- MAX คือ ชุดซอฟต์แวร์สำหรับเขียนโปรแกรมด้านดนตรี โดยใช้กราฟฟิกแทนที่การเขียนด้วยตัวอักษร (Graphical Music Programming Environment) สำหรับผู้ที่ตะขิดจำกัดของซีควเอนเซอร์หรือโปรแกรมที่ใช้กับอุปกรณ์ MIDI ตามท้องตลาด”
- MSP (Max Signal Processing) คือชุดของออบเจกต์ที่เพิ่มเข้าไปบน Max สำหรับประมวลผลสัญญาณเสียง (Audio) เพื่อเพิ่มขีดจำกัดการทำงานของ Max ให้มีความสามารถด้านสัญญาณเสียงด้วย แทนที่จะมีแต่ MIDI เพียงอย่างเดียว

3.4.2 การใช้งาน MAX/MSP เบื้องต้น

โปรแกรม MAX/MSP นั้นจะมีเครื่องมือที่พร้อมให้ใช้งานอย่างสะดวก สามารถแสดงหน้าที่ทำการเชื่อมต่อบล็อกวงจรหรือแสดงหน้าที่เอาไว้เป็นการนำเสนอที่สวยงามก็ได้ ซึ่งจะมีส่วนประกอบดังนี้

- หน้าต่างสำหรับต่อบล็อกวงจร (Patcher)



รูปที่ 3.11 หน้าต่างสำหรับต่อบล็อกวงจร

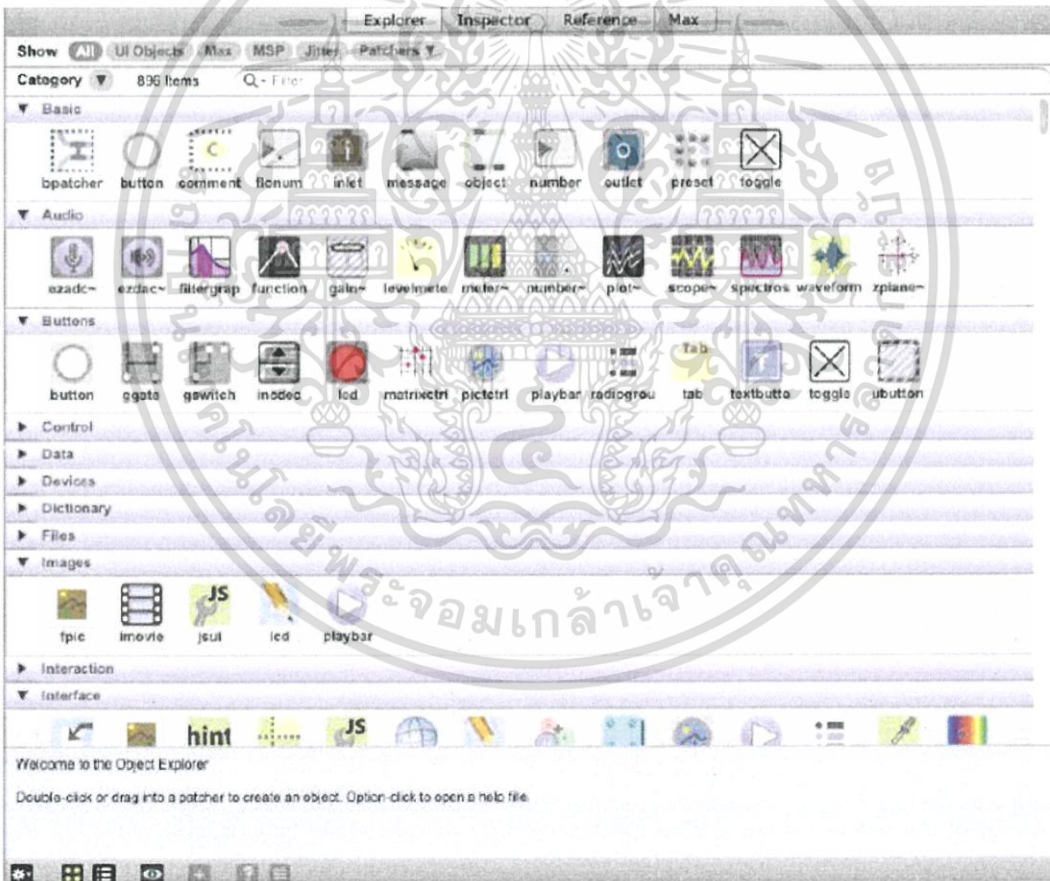
- แถบเครื่องมือหน้าต่างสำหรับต่อบล็อกวงจร (Patcher Windows Toolbar)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แถบเครื่องมือบนหน้าต่างสำหรับต่อบล็อกวงจร (อ้างอิงโดย <http://www.microsoft.com>)

- หน้าต่างเครื่องมือที่นำมาต่อวงจร (Explorer)









รูปที่ 3.13 หน้าต่างเครื่องมือที่นำมาต่อวงจร (อ้างอิงโดย <http://www.microsoft.com>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของการสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟนั้นจะใช้เครื่องมือและคำสั่งต่างๆ ดังตารางที่ 3.2 และตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 แสดงเครื่องมือภายในโปรแกรม MAX/MSP

ชื่อเครื่องมือ	สัญลักษณ์	ภาพเครื่องมือ	ลักษณะการทำงาน
Object Box			ขึ้นอยู่กับคำสั่งที่กำหนดใส่ให้ หรืออาจเลือกใช้งานได้ตามรูปแบบที่โปรแกรมเตรียมไว้ให้แล้ว
Comment			แสดงคำอธิบาย
Toggle			ปิด/เปิด

ตารางที่ 3.3 แสดงคำสั่งต่างๆที่กำหนดให้กับเครื่องมือ Object Box

คำสั่ง	ลักษณะการทำงาน
cycle~	สร้างสัญญาณคลื่นไซน์ (sine wave)
*~	การคูณสัญญาณ 2 สัญญาณ
dac~	แสดงผลทางเสียง
sfrecord~	เก็บบันทึกเสียงที่ได้จากบล็อกวงจรที่สร้าง

3.4.3 การใช้งานโปรแกรมสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟบน MAX/MSP

จากรูปที่ 3.14 แสดงหน้าการเชื่อมต่อหลักของบล็อกการสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟ โดยใช้เวลา 10 ฮาร์โมนิก โดยกำหนดแอมพลิจูดให้แต่ละฮาร์โมนิก และนำแต่ละฮาร์โมนิกมาบวกกัน แสดงผลทางเสียง พร้อมกับบันทึกเสียงที่สังเคราะห์ได้

ตารางที่ 3.4 แสดงค่าที่ได้จากการหา MSE ของโน้ตแต่ละฮาร์โมนิก

	ด	รี	มี	ฟ	ซ	ถ	ท	ด	ร	ม	พ	ช	ล	ท
3	0.01177 0269	0.0031 42653	0.0035 48484	0.0028 4821	0.0066 40652	0.0046 52139	0.0041 57645	0.0142 46234	0.0048 40924	0.0102 94658	0.0157 59816	0.0102 82226	0.0091 38027	0.0056 04423
4	0.01187 6116	0.0031 50535	0.0040 14052	0.0031 41649	0.0065 62574	0.0046 75376	0.0041 58523	0.0143 35021	0.0048 33375	0.0107 41169	0.0158 46642	0.0102 86666	0.0091 21896	0.0145 93659
5	0.01183 8256	0.0035 26521	0.0040 70603	0.0030 96553	0.0066 42833	0.0047 49005	0.0049 32139	0.0189 74264	0.0051 9288	0.0106 09438	0.0159 30296	0.0103 21308	0.0091 13229	0.0148 73371

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6	0.01187 7954	0.0034 49209	0.0043 06112	0.0030 96553	0.0069 36681	0.0047 8947	0.0049 38246	0.0193 76613	0.0052 74391	0.0106 02024	0.0159 39682	0.0103 25337	0.0092 03612	0.0154 202
7	0.01162 5618	0.0035 64713	0.0042 84148	0.0031 86693	0.0068 60157	0.0047 8409	0.0049 80145	0.0195 34401	0.0053 18545	0.0110 44081	0.0160 44387	0.0104 16869	0.0090 52154	0.0152 28728
8	0.01184 8063	0.0034 3756	0.0041 73403	0.0032 10227	0.0072 28543	0.0047 60707	0.0050 24104	0.0197 79652	0.0053 22909	0.0107 64969	0.0160 40114	0.0103 46702	0.0091 60139	0.0151 53504
9	0.01176 2368	0.0035 81145	0.0041 72579	0.0031 95527	0.0072 15854	0.0047 83744	0.0050 44042	0.0196 53621	0.0053 24087	0.0105 19185	0.0160 54145	0.0103 42889	0.0092 11848	0.0156 12978
10	0.01163 6716	0.0035 48484	0.0042 98689	0.0031 44629	0.0073 88435	0.0047 84765	0.0049 25414	0.0196 15741	0.0053 52277	0.0107 6237	0.0160 63488	0.0103 95079	0.0091 79009	0.0152 96067

สีน้ำเงิน หมายถึง ค่า MSE ที่น้อยที่สุดของโน้ตแต่ละฮาร์โมนิก

จากการสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟบน MAX/MSP เพื่อหาว่าต้องใช้จำนวนกีฮาร์โมนิกในการสังเคราะห์เสียง เพื่อให้ได้เสียงที่ไพเราะที่สุด โดยคำนวณด้วยวิธีหาค่า MSE โดยใช้ค่าความถี่จากเสียงแคนจริงที่ไพเราะที่สุดเป็นเสียงอ้างอิงและค่าใช้ค่าความถี่แต่ละฮาร์โมนิกมาคำนวณเปรียบเทียบ

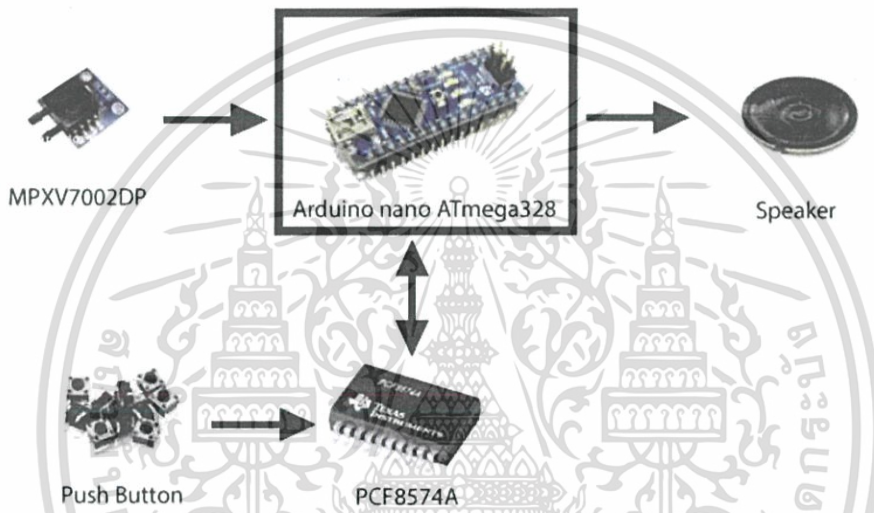
จากผลการคำนวณยิ่งใช้จำนวนฮาร์โมนิกน้อยๆ ค่า MSE ที่ได้ก็มีค่าน้อย แต่เสียงที่ได้กลับยังไม่ไพเราะ แต่ค่าที่ได้จากการใช้จำนวนฮาร์โมนิกมากๆ ค่า MSE ที่ได้มีค่ามาก แต่เสียงที่ได้กลับไพเราะ เลยใช้การฟังเพื่อเทียบเสียงจากเสียงแคนจริง เพื่อให้ได้เสียงที่ไพเราะและมีความใกล้เคียงกับเสียงของแคนจริงมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การประดิษฐ์แคนไฟฟ้า

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างอุปกรณ์เพื่อควบคุมการสังเคราะห์เสียง ซึ่งอุปกรณ์ควบคุมหลัก ได้แก่ Arduino nano 3.0 รับอินพุตจากปุ่มสวิตช์และเซนเซอร์วัดความดัน ทำการประมวลผล และสังเคราะห์เสียงตามที่ได้วิเคราะห์ไว้



รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบของแคนไฟฟ้า

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้

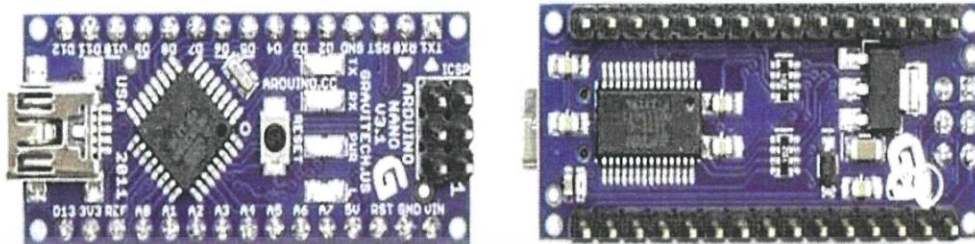
- Arduino nano 3.0 1 ตัว
- เซนเซอร์วัดความดัน 1 ตัว
- สวิตช์กดติดปล่อยดับ 16 ตัว
- ไอซี PCF8574A 2 ตัว
- ลำโพง 1 ตัว

อุปกรณ์อื่นๆ

- แผ่นพลาสติกขนาด 2 มม. 1 แผ่น
- คัตเตอร์สำหรับตัดแผ่นพลาสติก 1 อัน
- น้ำยาเชื่อมประสานแผ่นพลาสติก 1 ขวด
- สว่าน 1 ตัว
- แผ่น PCB 1 ตัว
- กาวตาช้าง 1 หลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 Arduino nano 3.0



รูปที่ 4.2 Arduino nano 3.0

(อ้างอิงโดย <http://www.gravitech.us/arna30wiatp.html>)

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำเร็จรูป ที่รวมเอาตัวไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์อื่นๆที่จำเป็น มาในบอร์ดเดียว แถมยังเปิดเผยข้อมูลทุกอย่าง ทั้งลายวงจรและตัวอย่างโปรแกรม ทำให้ผู้ใช้สามารถนำไปพัฒนาต่อได้ง่าย เพียงแค่เรามีบอร์ด Arduino กับคอมพิวเตอร์อีกซักเครื่อง ก็พร้อมใช้งานได้แล้ว โดยที่ไม่ต้องมาปวดหัว กับการทำวงจรที่ซับซ้อน หรือการติดตั้งโปรแกรมที่ยุ่งยาก

Arduino nano ซึ่งเป็นรุ่นที่มีขนาดเล็ก เมื่อเสียบสาย USB บอร์ดของเราก็พร้อมสำหรับการเขียนโปรแกรม โดยอาศัยไฟเลี้ยงที่มาจากสาย USB นั้นเอง ตอนนี้อย่างไรก็ตาม Arduino nano ของเรายังไม่ทำงานอะไรเลย เพราะเรายังไม่ได้เขียนโปรแกรมสั่งงานมันลงไปครับ ตอนต่อไปจะเป็นการติดตั้งโปรแกรมสำหรับพัฒนา และการเขียนโปรแกรมให้กับ Arduino nano เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการเริ่มต้นเขียนโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อศึกษา หรือเพื่อนำมาประยุกต์ใช้สร้างงานอดิเรกง่ายๆ

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของบอร์ด Arduino Nano 3.0

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage (logic level)	5 V
Input Voltage (recommended)	7-12 V
Input Voltage (limits)	6-20 V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	8
DC Current per I/O Pin	40 mA
Flash Memory	32 KB of which 2 KB used by bootloader

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz
Dimensions	0.73" x 1.70"

4.1.2 เซนเซอร์วัดความดัน (Pressure Sensor) โดยใช้ เซนเซอร์รุ่น MPXV7002DP



รูปที่ 4.3 MPXV7002DP

(อ้างอิงโดย http://www.aliexpress.com/price/breakout-board-mpxv7002dp_price_2.html)

MPXV7002DP เป็นเซนเซอร์ที่ต้องการไฟเลี้ยง 5 V ให้เอาต์พุตเป็นระดับแรงดัน DC แปรผันตามระดับ ความดันผลต่างของอินพุต จึงสามารถนำไปต่อร่วมกับโมดูล ADC ของ MCU เพื่ออ่านค่าความดันอินพุตได้ โดยการ ประยุกต์ใช้งานทำได้โดยการต่อท่อเข้ากับอินพุตด้านบวกของเซนเซอร์ แล้วเจาะรูเล็ก ๆ ที่ท่อ เพื่อให้อากาศที่เป่าเข้ามาสามารถไหลออกได้ ขณะที่อากาศที่ไหลออกสามารถไหลได้ช้ากว่าอากาศที่ไหลเข้า เนื่องจากรูระบายอากาศมีขนาดเล็ก ทำให้เกิดความดันเพิ่มขึ้นภายในท่อ ระดับแรงดันเอาต์พุตจึงเพิ่มขึ้นด้วย จึงสามารถตรวจจับความแรงของการเป่าลมได้

4.1.3 ไอซี PCF8574A

โดยไอซี PCF 8574A สามารถนำมาใช้เชื่อมต่อ I/O แบบดิจิทัลได้ถึง 8 บิต และเชื่อมต่อแบบ บัส I²C ซึ่งใช้สัญญาณเพียงสองเส้นคือ (SCL และ SDA) เท่านั้นดังนั้นจึงใช้ขาดิจิทัล I/O ของไมโครคอนโทรลเลอร์ เพียงสองเส้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่เป็น I²C Master (เป็นฝ่ายเริ่มติดต่อสื่อสารและกำหนดจังหวะ การทำงานด้วยสัญญาณ Clock) ในขณะที่ไอซี PCF8574A ทำงานเป็น I²C Slave (เป็นฝ่ายคอยตอบสนองต่อ การติดต่อสื่อสารจาก I²C Master) นอกจากนี้ ถ้าต้องการมากกว่า 8 บิต ก็สามารถใช้อิซี PCF8574A ได้หลาย ตัวในระบบบัสเดียวกันเพียงแต่กำหนดหมายเลขที่อยู่ของไอซีแต่ละตัวให้ต่างกัน ตัวถังของไอซีมีขา A2, A1, A0 สำหรับใช้กำหนดค่าให้ 3 บิตล่างจากทั้งหมด 7 บิตของเลขที่อยู่ (7-bit Address) ดังนั้นในบัส I²C เดียวกันจึงสามารถต่อไอซีเดียวกันได้ถึง 8 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลเชิงเทคนิคเกี่ยวกับไอซีโดยสรุป

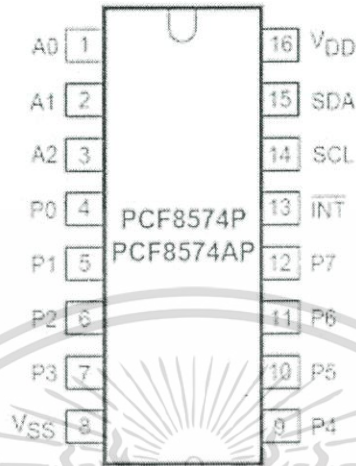
- ช่วงแรงดันไฟเลี้ยง 2.5V ถึง 6V
- กำหนดค่าบิตสำหรับเลขที่อยู่ได้ 3 บิต (ขา A2, A1,A0)
- ใช้ความถี่ SCL ได้เพียง 100 kHz
- ขา I/O มี 8 บิต ใช้งานได้แบบดิจิตอลและสองทิศทาง (Bidirectional)
- ปริมาณกระแสไหลแบบ Sink ได้ขาละไม่เกิน 25mA แต่ปริมาณกระแสไหลแบบ Source ได้ขาละ ไม่เกิน 0.3 mA

ตารางที่ 4.2 ขาไอซี PCF8574A สำหรับตัวถังแบบ PDIP-16

สัญลักษณ์	PIN	คำอธิบาย
A0	1	เป็นขาอินพุต Address Input0 (สำหรับกำหนดค่าให้หมายเลขที่อยู่สำหรับบิตที่ 0)
A1	2	เป็นขาอินพุต Address Input1 (สำหรับกำหนดค่าให้หมายเลขที่อยู่สำหรับบิตที่ 1)
A2	3	เป็นขาอินพุต Address Input2 (สำหรับกำหนดค่าให้หมายเลขที่อยู่สำหรับบิตที่ 2)
P0	4	เป็นขา Digital I/O 0
P1	5	เป็นขา Digital I/O 1
P2	6	เป็นขา Digital I/O 2
P3	7	เป็นขา Digital I/O 3
VSS	8	เป็นขา Supply Ground
P4	9	เป็นขา Digital I/O 4
P5	10	เป็นขา Digital I/O 5
P6	11	เป็นขา Digital I/O 6
P7	12	เป็นขา Digital I/O 7
INT	13	Interrupt Output (Active LOW) เป็นขาเอาต์พุต (Open-drain output) ให้ต่อ Pull-up ด้วย
SCL	14	เป็นขา Serial Clock Line (SCL) ของบัส I ² C
SDA	15	เป็นขา Serial Data Line (SDA) ของบัส I ² C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VDD	16	เป็นขา Supply Voltage (สำหรับป้อนแรงดันไฟเลี้ยง)
-----	----	--



รูปที่ 4.4 แสดงขาของไอซี PCF 8574A

(อ้างอิงโดย <http://circuitsforbeginners.blogspot.com/2009/11/project-rolling-dice-expanding-arduino.html>)

ตารางที่ 4.3 Address Reference

Inputs			I ² C Bus Slave Address
A2	A1	A0	
L	L	L	56 (decimal), 38 (hexadecimal)
L	L	H	57 (decimal), 39 (hexadecimal)
L	H	L	58 (decimal), 40 (hexadecimal)
L	H	H	59 (decimal), 41 (hexadecimal)
H	L	L	60 (decimal), 42 (hexadecimal)
H	L	H	61 (decimal), 43 (hexadecimal)
H	H	L	62 (decimal), 44 (hexadecimal)
H	H	H	63 (decimal), 45 (hexadecimal)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

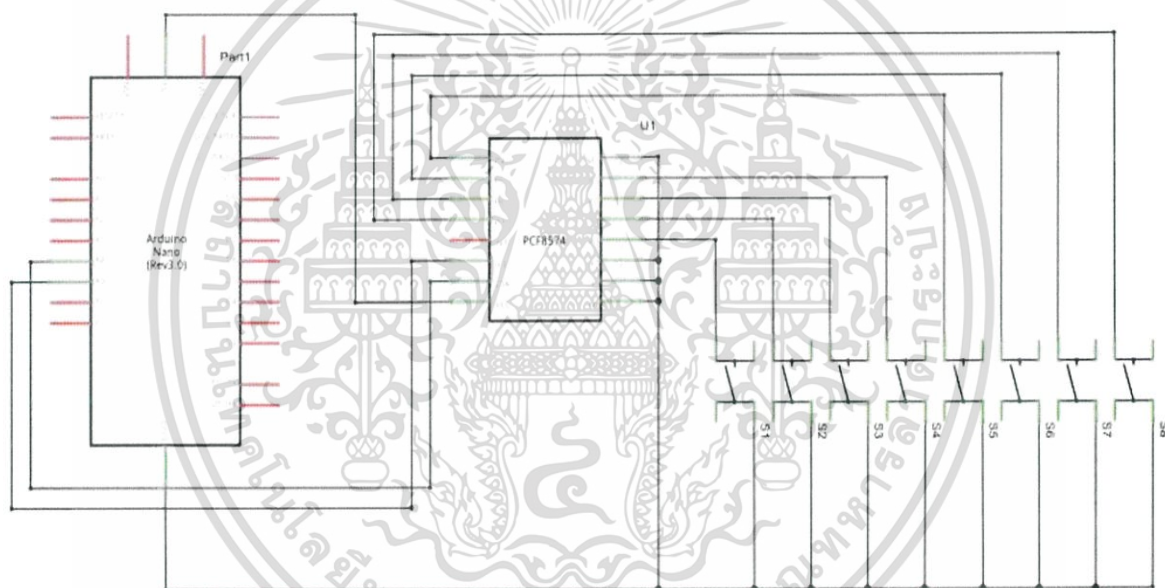
ตารางกำหนด Address Reference ที่จะทำให้ไอซี PCF8574A สามารถเชื่อมต่อกับ Arduino ได้ โดยต้องทำการกำหนดค่าตามตารางนี้ ซึ่งค่า Low คือต่อลง Ground และค่า High คือต่อเข้ากับไฟ 5V โดยการทดลองนี้จะใช้ Reference คือ 56 และ 57

4.1.4 สวิตช์กดติดปล่อยดับ

สวิตช์ชนิดกดติดปล่อยดับ คือ ขณะกดปุ่มสวิตช์เป็นการต่อ (ON) เมื่อปล่อยมือออกจากปุ่มสวิตช์เป็นการตัด (OFF) ทันที

4.2 การทดลอง

4.2.1 การต่อสวิตช์กดติดปล่อยดับผ่านไอซี PCF8574A เข้าสู่บอร์ดอาดูโน่



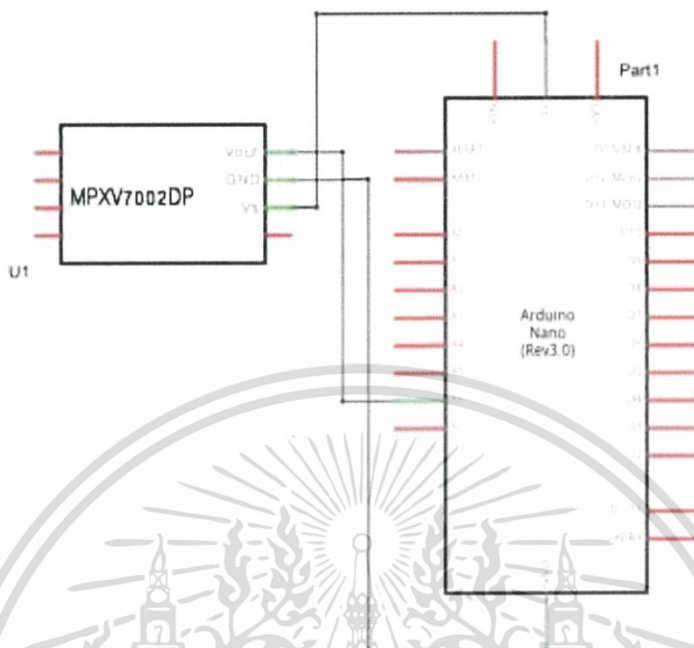
รูปที่ 4.5 การสวิตช์กดติดปล่อยดับผ่านไอซี PCF8574A เข้าสู่บอร์ดอาดูโน่

โดยต่อขา SDA และ SCL ของไอซี PCF8574A เข้ากับขา A4 และ A5 ของอาดูโน่ ซึ่งเป็นขาเฉพาะสำหรับการสื่อสารแบบ I²C ต่อขา VCC และ GND ของไอซีเข้ากับขา 5V และ GND ของอาดูโน่ ต่อสวิตช์เข้ากับขา Digital I/O ของไอซี ส่วนอีกขาต่อ GND ทำงานโดยจะเช็คค่าของขา Digital I/O ของไอซีเป็น 1 ทั้งหมด เมื่อมีการกดสวิตช์ จะทำให้ค่าของขานั้นเป็น 0 เมื่อปล่อยสวิตช์ ค่าจะกลับเป็น 1 ตามเดิม

เนื่องจากเราใช้ไอซี PCF8574A ทั้งหมด 2 ตัว จึงกำหนด Address Input ของไอซีตัวที่ 1 เป็น 56 (A0=0, A1=0, A2=0) ส่วนไอซีตัวที่ 2 กำหนด Address Input เป็น 57 (A0=1, A1=0, A2=0) ในที่นี้จะขอแสดงวงจรโดยใช้ไอซีตัวที่ 1 เพียงตัวเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

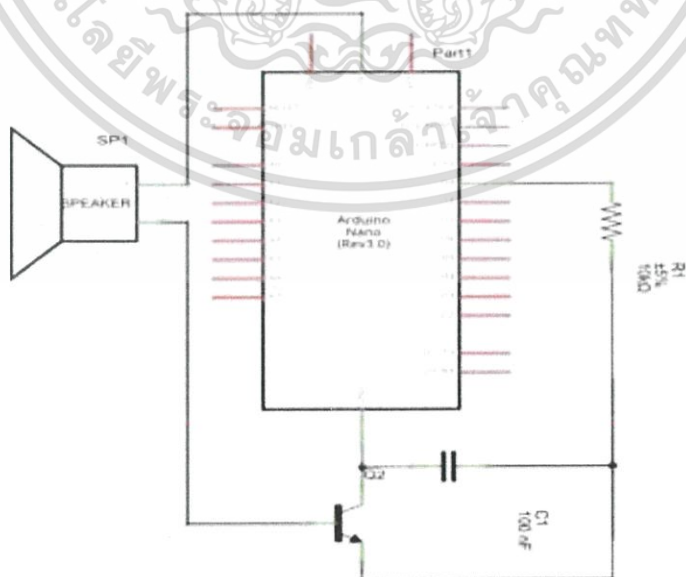
4.2.2 การต่อเซนเซอร์วัดความดันเข้าสู่บอร์ดอาดูโน่



รูปที่ 4.6 การต่อเซนเซอร์วัดความดันเข้าสู่บอร์ดอาดูโน่

โดยต่อขา Vout (ขา 4), GND (ขา 3) และ Vs (ขา 2) ของเซนเซอร์วัดความดันเข้ากับขา A6, GND และ 5V ของอาดูโน่

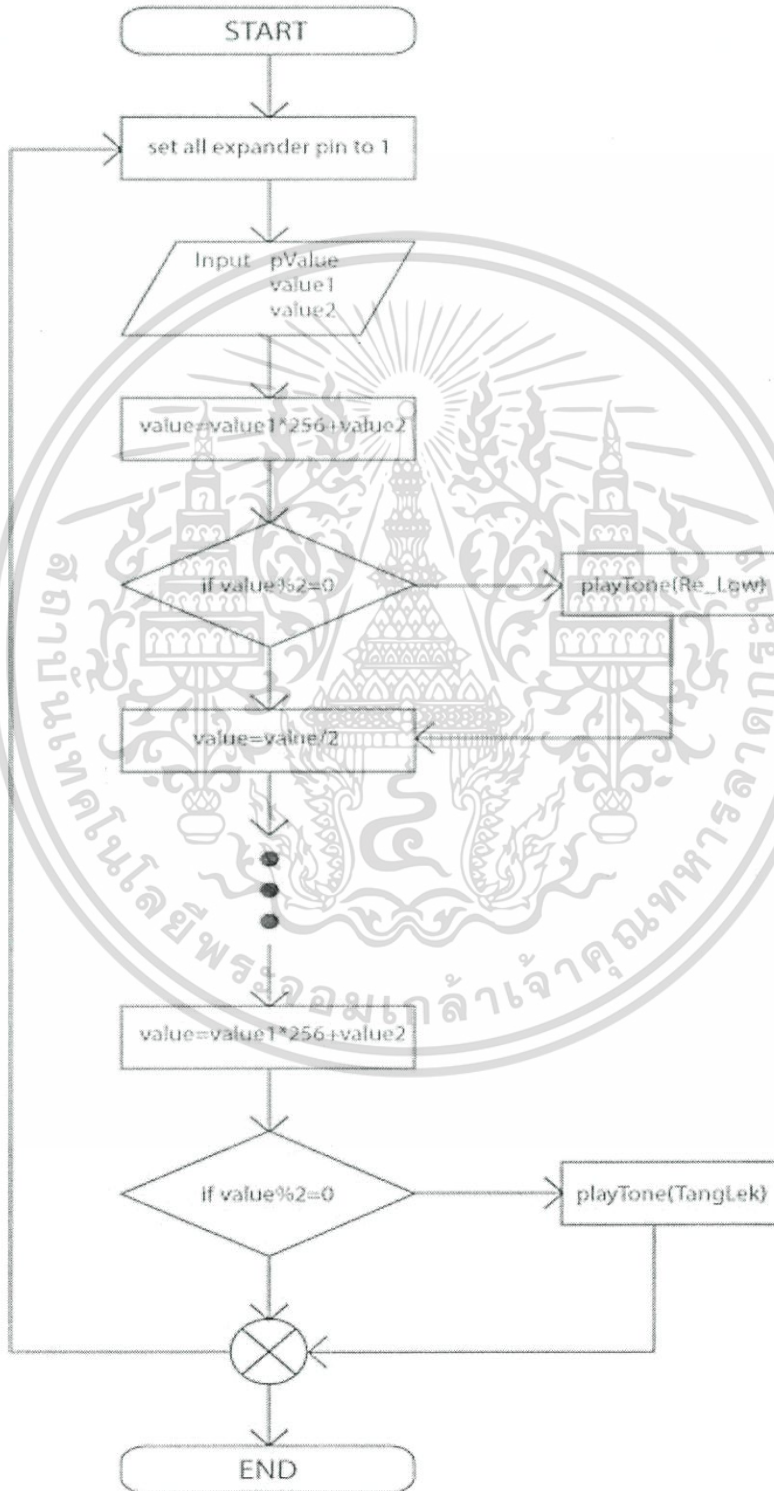
4.2.3 การต่อวงจรเอาท์พุท



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 การต่อวงจรเอาต์พุต

4.3 การโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรม

เริ่มต้นโดยการตั้งค่าขา Digital I/O ของไอซี PCF8574A ของทั้ง 2 ตัวให้เป็น 1 ทั้งหมด จากนั้นรับอินพุต pValue จากเซนเซอร์วัดความดัน รับค่า value1 จากไอซีตัวที่ 1 รับค่า value 2 จากไอซีตัวที่ 2 ซึ่ง value1 และ value2 มีขนาด 8 บิต จากนั้นคำนวณค่า value โดยเมื่ออยู่ในรูปฐานสอง บิตที่ 1-8 จะเป็นค่าจาก value2 และบิตที่ 9-16 จะเป็นค่าจาก value1 จากนั้นใช้ค่า value เพื่อกำหนดตัวโน้ต และใช้ค่า pValue เพื่อกำหนดความดังของเสียง

4.4 โค้ดการสังเคราะห์เสียงบนอาคูโมด้วยไลบรารี MOZZI

```
#include <MozziGuts.h>
#include <Oscil.h> // oscillator template
#include <tables/sin2048_int8.h> // sine table for oscillator
#include <twi_nonblock.h>

#define PCF8574A_1 B0111000 //R mode=0, W mode=1
#define PCF8574A_2 B0111001

#define CONTROL_RATE 128

// harmonics
Oscil<SIN2048_NUM_CELLS, AUDIO_RATE> aSin1(SIN2048_DATA);
Oscil<SIN2048_NUM_CELLS, AUDIO_RATE> aSin2(SIN2048_DATA);
Oscil<SIN2048_NUM_CELLS, AUDIO_RATE> aSin3(SIN2048_DATA);
Oscil<SIN2048_NUM_CELLS, AUDIO_RATE> aSin4(SIN2048_DATA);
Oscil<SIN2048_NUM_CELLS, AUDIO_RATE> aSin5(SIN2048_DATA);
Oscil<SIN2048_NUM_CELLS, AUDIO_RATE> aSin6(SIN2048_DATA);
Oscil<SIN2048_NUM_CELLS, AUDIO_RATE> aSin7(SIN2048_DATA);
Oscil<SIN2048_NUM_CELLS, AUDIO_RATE> aSin8(SIN2048_DATA);
Oscil<SIN2048_NUM_CELLS, AUDIO_RATE> aSin9(SIN2048_DATA);
Oscil<SIN2048_NUM_CELLS, AUDIO_RATE> aSin10(SIN2048_DATA);
Oscil<SIN2048_NUM_CELLS, AUDIO_RATE> aSin11(SIN2048_DATA);
Oscil<SIN2048_NUM_CELLS, AUDIO_RATE> aSin12(SIN2048_DATA);
Oscil<SIN2048_NUM_CELLS, AUDIO_RATE> aSin13(SIN2048_DATA);
Oscil<SIN2048_NUM_CELLS, AUDIO_RATE> aSin14(SIN2048_DATA);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// volume controls
Oscil<SIN2048_NUM_CELLS, CONTROL_RATE> kVol1(SIN2048_DATA);
Oscil<SIN2048_NUM_CELLS, CONTROL_RATE> kVol2(SIN2048_DATA);
Oscil<SIN2048_NUM_CELLS, CONTROL_RATE> kVol3(SIN2048_DATA);
Oscil<SIN2048_NUM_CELLS, CONTROL_RATE> kVol4(SIN2048_DATA);
Oscil<SIN2048_NUM_CELLS, CONTROL_RATE> kVol5(SIN2048_DATA);
Oscil<SIN2048_NUM_CELLS, CONTROL_RATE> kVol6(SIN2048_DATA);
Oscil<SIN2048_NUM_CELLS, CONTROL_RATE> kVol7(SIN2048_DATA);
Oscil<SIN2048_NUM_CELLS, CONTROL_RATE> kVol8(SIN2048_DATA);
Oscil<SIN2048_NUM_CELLS, CONTROL_RATE> kVol9(SIN2048_DATA);
Oscil<SIN2048_NUM_CELLS, CONTROL_RATE> kVol10(SIN2048_DATA);
Oscil<SIN2048_NUM_CELLS, CONTROL_RATE> kVol11(SIN2048_DATA);
Oscil<SIN2048_NUM_CELLS, CONTROL_RATE> kVol12(SIN2048_DATA);
Oscil<SIN2048_NUM_CELLS, CONTROL_RATE> kVol13(SIN2048_DATA);
Oscil<SIN2048_NUM_CELLS, CONTROL_RATE> kVol14(SIN2048_DATA);

// audio volumes updated each control interrupt and reused in audio till next
control
char v1,v2,v3,v4,v5,v6,v7,v8,v9,v10,v11,v12,v13,v14;
int volume;

byte value[2];

void writeOutput(byte value){
  txBufferIndex = 0;
  txBufferLength = 0;
  txBuffer[txBufferIndex] = 0xFF;
  ++txBufferIndex;
  txBufferLength = txBufferIndex;
  twi_initiateWriteTo(PCF8574A_1, txBuffer, txBufferLength);

  txBufferIndex = 0;
  txBufferLength = 0;
  txBuffer[txBufferIndex] = 0xFF;
  ++txBufferIndex;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

txBufferLength = txBufferIndex;
twi_initiateWriteTo(PCF8574A_2, txBuffer, txBufferLength);
}

void readInput1() { //read from expander1
  byte read_status1=twi_initiateReadFrom(PCF8574A_1,1);
  Serial.print("read status1=");
  Serial.print(read_status1);
  if(read_status1==0){
    byte read= twi_readMasterBuffer( rxBuffer, 1 );
    rxBufferIndex = 0;
    rxBufferLength = read;
    while( rxBufferLength - rxBufferIndex > 0){ // device may send less than
requested (abnormal)
      value[0] = rxBuffer[rxBufferIndex];
      ++rxBufferIndex;
    }
  }
}

void readInput2() { //read from expander2
  byte read_status2=twi_initiateReadFrom(PCF8574A_2,1);
  Serial.print(" read status2=");
  Serial.print(read_status2);
  if(read_status2==0){
    byte read= twi_readMasterBuffer( rxBuffer, 1);
    rxBufferIndex = 0;
    rxBufferLength = read;
    while( rxBufferLength - rxBufferIndex > 0){ // device may send less than
requested (abnormal)
      value[1] = rxBuffer[rxBufferIndex];
      ++rxBufferIndex;
    }
  }
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void playTone(unsigned int data){
  aSin1.setFreq(0); //silent
  aSin2.setFreq(0);
  aSin3.setFreq(0);
  aSin4.setFreq(0);
  aSin5.setFreq(0);
  aSin6.setFreq(0); //silent
  aSin7.setFreq(0);
  aSin8.setFreq(0);
  aSin9.setFreq(0);
  aSin10.setFreq(0);
  aSin11.setFreq(0); //sitent
  aSin12.setFreq(0);
  aSin13.setFreq(0);
  aSin14.setFreq(0);

  kVol1.setFreq(0);
  kVol2.setFreq(0);
  kVol3.setFreq(0);
  kVol4.setFreq(0);
  kVol5.setFreq(0);
  kVol6.setFreq(0);
  kVol7.setFreq(0);
  kVol8.setFreq(0);
  kVol9.setFreq(0);
  kVol10.setFreq(0);
  kVol11.setFreq(0);
  kVol12.setFreq(0);
  kVol13.setFreq(0);
  kVol14.setFreq(0);

  if(data%2==0){ //ckeck หลักที่1:ทางเล็ก *****
    Serial.print(" tang lek");
    aSin1.setFreq(258);
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

aSin2.setFreq(990.5273f);
aSin3.setFreq(1485.7910f);
aSin4.setFreq(1981.0547f);
aSin5.setFreq(2476.3184f);

kVol1.setFreq(0.2f); // more of a pulse
kVol2.setFreq(0.4f);
kVol3.setFreq(1.0f);
kVol4.setFreq(0.05f);
kVol5.setFreq(0.9f);
}
data=data/2;
if(data%2==0){ //ckeck หลักที่2:มี สูง
  Serial.print(" me h");
  aSin8.setFreq(667.5293f);
  aSin9.setFreq(1335.0586f);
  aSin10.setFreq(2002.5879f);
// aSin11.setFreq(2670.1172f);
// aSin12.setFreq(3337.6465f);

  kVol1.setFreq(0.2f); // more of a pulse
  kVol2.setFreq(0.4f);
  kVol3.setFreq(1.0f);
// kVol4.setFreq(0.05f);
// kVol5.setFreq(0.9f);
}
data=data/2;
if(data%2==0){ //ckeck หลักที่3:เร สูง
  Serial.print(" re h");
  aSin8.setFreq(592.1631f);
  aSin9.setFreq(1184.3262f);
  aSin10.setFreq(1776.4893f);
// aSin11.setFreq(2357.8857f);
// aSin12.setFreq(2950.0488f);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

kVol8.setFreq(0.2f); // more of a pulse
kVol9.setFreq(0.4f);
kVol10.setFreq(1.0f);
// kVol11.setFreq(0.05f);
// kVol12.setFreq(0.9f);
}
data=data/2;
if(data%2==0){ //ckeck หลักที่4:ที่ สูง
  Serial.print(" te h");
  aSin8.setFreq(495.2637f);
  aSin9.setFreq(990.5273f);
  aSin10.setFreq(1485.7910f);
  aSin11.setFreq(1981.0547f);
// aSin12.setFreq(2476.3184f);

  kVol8.setFreq(0.2f); // more of a pulse
  kVol9.setFreq(0.4f);
  kVol10.setFreq(1.0f);
  kVol11.setFreq(0.05f);
// kVol12.setFreq(0.9f);
}
data=data/2;
if(data%2==0){ //ckeck หลักที่5:ลา สูง
  Serial.print(" la h");
  aSin8.setFreq(441.4307f);
  aSin9.setFreq(893.6279f);
  aSin10.setFreq(1335.0586f);
  aSin11.setFreq(1787.2559f);
// aSin12.setFreq(2228.6865f);

  kVol8.setFreq(0.2f); // more of a pulse
  kVol9.setFreq(0.4f);
  kVol10.setFreq(1.0f);
  kVol11.setFreq(0.05f);
// kVol12.setFreq(0.9f);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
data=data/2;
if(data%2==0){ //ckeck หลักที่6:ซอล สูง
  Serial.print(" sol h");
  aSin8.setFreq(398.3643f);
  aSin9.setFreq(785.9619f);
  aSin10.setFreq(1184.3262f);
  aSin11.setFreq(1571.9238f);
  aSin12.setFreq(1970.2881f);

  kVol8.setFreq(0.2f); // more of a pulse
  kVol9.setFreq(0.4f);
  kVol10.setFreq(1.0f);
  kVol11.setFreq(0.05f);
  kVol12.setFreq(0.9f);
}
data=data/2;
if(data%2==0){ //ckeck หลักที่7:โด ต่ำ
  Serial.print(" do l");
  aSin1.setFreq(258.3984f);
  aSin2.setFreq(527.5635f);
  aSin3.setFreq(785.9619f);
  aSin4.setFreq(1044.3604f);
  aSin5.setFreq(1313.5254f);

  kVol1.setFreq(0.2f); // more of a pulse
  kVol2.setFreq(0.4f);
  kVol3.setFreq(1.0f);
  kVol4.setFreq(0.05f);
  kVol5.setFreq(0.9f);
}
data=data/2;
if(data%2==0){ //ckeck หลักที่8:ลา ต่ำ
  Serial.print(" la l");
  aSin1.setFreq(226.0986f);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

aSin2.setFreq(441.4307f);
aSin3.setFreq(667.5293f);
aSin4.setFreq(882.8613f);
aSin5.setFreq(1108.9600f);

kVol1.setFreq(0.2f); // more of a pulse
kVol2.setFreq(0.4f);
kVol3.setFreq(1.0f);
kVol4.setFreq(0.05f);
kVol5.setFreq(0.9f);
}
data=data/2;
if(data%2==0){ //ckeck หลักที่9:ฟา ต่ำ
  Serial.println(" fa l");
  aSin1.setFreq(344.5313f);
  aSin2.setFreq(699.8291f);
  aSin3.setFreq(1044.3604f);
  aSin4.setFreq(1399.6582f);
  aSin5.setFreq(1744.189f);

  kVol1.setFreq(0.2f); // more of a pulse
  kVol2.setFreq(0.4f);
  kVol3.setFreq(1.0f);
  kVol4.setFreq(0.05f);
  kVol5.setFreq(0.9f);
}
data=data/2;
if(data%2==0){ //ckeck หลักที่10:ซอล ต่ำ
  Serial.print(" sol l");
  aSin1.setFreq(387.5977f);
  aSin2.setFreq(785.9619f);
  aSin3.setFreq(1173.5596f);
  aSin4.setFreq(1571.9238f);
  aSin5.setFreq(1959.5215f);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

kVol1.setFreq(0.2f); // more of a pulse
kVol2.setFreq(0.4f);
kVol3.setFreq(1.0f);
kVol4.setFreq(0.05f);
kVol5.setFreq(0.9f);
}
data=data/2;
if(data%2==0){ //ckeck หลักที่11:ฟา สูง
  Serial.print(" fa h");
  aSin8.setFreq(710.5957f);
  aSin9.setFreq(1410.4248f);
  aSin10.setFreq(2121.0205f);
//  aSin11.setFreq(2820.8496f);
//  aSin12.setFreq(3531.4453f);

  kVol8.setFreq(0.2f); // more of a pulse
  kVol9.setFreq(0.4f);
  kVol10.setFreq(1.0f);
//  kVol11.setFreq(0.05f);
//  kVol12.setFreq(0.9f);
}
data=data/2;
if(data%2==0){ //ckeck หลักที่12:ทางใหญ่
  Serial.print(" tang yai");
  aSin8.setFreq(258);
  aSin9.setFreq(258);
  aSin10.setFreq(258);
  aSin11.setFreq(258);
  aSin12.setFreq(258);

  kVol8.setFreq(0.2f); // more of a pulse
  kVol9.setFreq(0.4f);
  kVol10.setFreq(1.0f);
  kVol11.setFreq(0.05f);
  kVol12.setFreq(0.9f);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
data=data/2;
if(data%2==0){ //ckeck หลักที่13:โด สูง
  Serial.print(" do h");
  aSin8.setFreq(527.5635f);
  aSin9.setFreq(1044.3604f);
  aSin10.setFreq(1571.9238f);
  aSin11.setFreq(2088.7207f);
  // aSin12.setFreq(2616.2842f);

  kVol8.setFreq(0.2f); // more of a pulse
  kVol9.setFreq(0.4f);
  kVol10.setFreq(1.0f);
  kVol11.setFreq(0.05f);
  // kVol12.setFreq(0.9f);
}
data=data/2;
if(data%2==0){ //ckeck หลักที่14:ที ต่ำ
  Serial.print(" te l");
  aSin1.setFreq(247.6318f);
  aSin2.setFreq(495.2637f);
  aSin3.setFreq(742.8955f);
  aSin4.setFreq(990.5273f);
  aSin5.setFreq(1238.1592f);

  kVol1.setFreq(0.2f); // more of a pulse
  kVol2.setFreq(0.4f);
  kVol3.setFreq(1.0f);
  kVol4.setFreq(0.05f);
  kVol5.setFreq(0.9f);
}
data=data/2;
if(data%2==0){ //ckeck หลักที่15:เร ต่ำ
  Serial.print(" re l");
  aSin1.setFreq(301.4648f);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

aSin2.setFreq(592.1631f);
aSin3.setFreq(893.6279f);
aSin4.setFreq(1184.3262f);
aSin5.setFreq(1485.7910f);

kVol1.setFreq(0.2f); // more of a pulse
kVol2.setFreq(0.4f);
kVol3.setFreq(1.0f);
kVol4.setFreq(0.05f);
kVol5.setFreq(0.9f);
}
data=data/2;
if(data%2==0){ //ckeck หลักที่16:มี ต่ำ
  Serial.print(" me l");
  aSin1.setFreq(333.7646f);
  aSin2.setFreq(667.5293f);
  aSin3.setFreq(1001.2939f);
  aSin4.setFreq(1335.0586f);
  aSin5.setFreq(1668.8232f);

  kVol1.setFreq(0.2f); // more of a pulse
  kVol2.setFreq(0.4f);
  kVol3.setFreq(1.0f);
  kVol4.setFreq(0.05f);
  kVol5.setFreq(0.9f);
}
Serial.println();
}

void setup(){
  startMozzi(CONTROL_RATE); // set a control rate of 64 (powers of 2 please)
  Serial.begin( 115200 );
  initialize_twi_nonblock();
  writeOutput(0xFF);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void updateControl(){ // put changing controls in here
// int pressure_value = mozzAnalogRead(6); // pressure value(0-1023) input
pinA6
  int pressure_value=100;
  volume = map(pressure_value, 0, 1023, 0, 16); // map it to 8 bit range(5
partials: 1 partial=225/5=25.4=>25) for efficient calculations in updateAudio
  readInput1();
  readInput2();
  Serial.print(" pressure=");
  Serial.print(pressure_value);
  Serial.print(" volume=");
  Serial.print(volume);
  Serial.print(" ");
  unsigned int data=int(value[0])*256+int(value[1]);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(data,BIN);
  playTone(data);

  v1 = kVol1.next(); // going at a higher freq, this creates zipper noise, so reduce
the gain
  v2 = kVol2.next();
  v3 = kVol3.next();
  v4 = kVol4.next();
  v5 = kVol5.next();
  v6 = kVol6.next();
  v7 = kVol7.next();
  v8 = kVol8.next();
  v9 = kVol9.next();
  v10 = kVol10.next();
  v11 = kVol11.next();
  v12 = kVol12.next();
  v13 = kVol13.next();
  v14 = kVol14.next();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

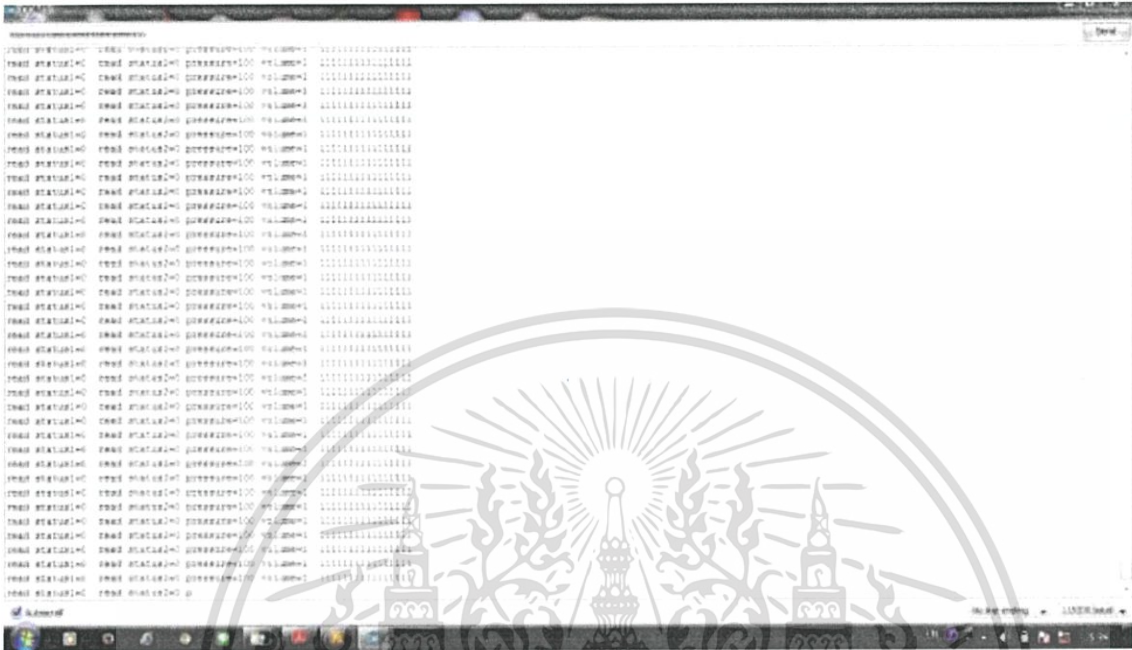
int updateAudio(){
// return aSin1.next();
long asig = (long)aSin1.next()*v1 +
aSin2.next()*v2 +
aSin3.next()*v3 +
aSin4.next()*v4 +
aSin5.next()*v5 +
aSin6.next()*v6 +
aSin7.next()*v7 +
aSin8.next()*v8 +
aSin9.next()*v9 +
aSin10.next()*v10 +
aSin11.next()*v11 +
aSin12.next()*v12 +
aSin13.next()*v13 +
aSin14.next()*v14;
asig >>= 9;
return (int) asig*volume;
}

void loop(){
audioHook(); // required here
}

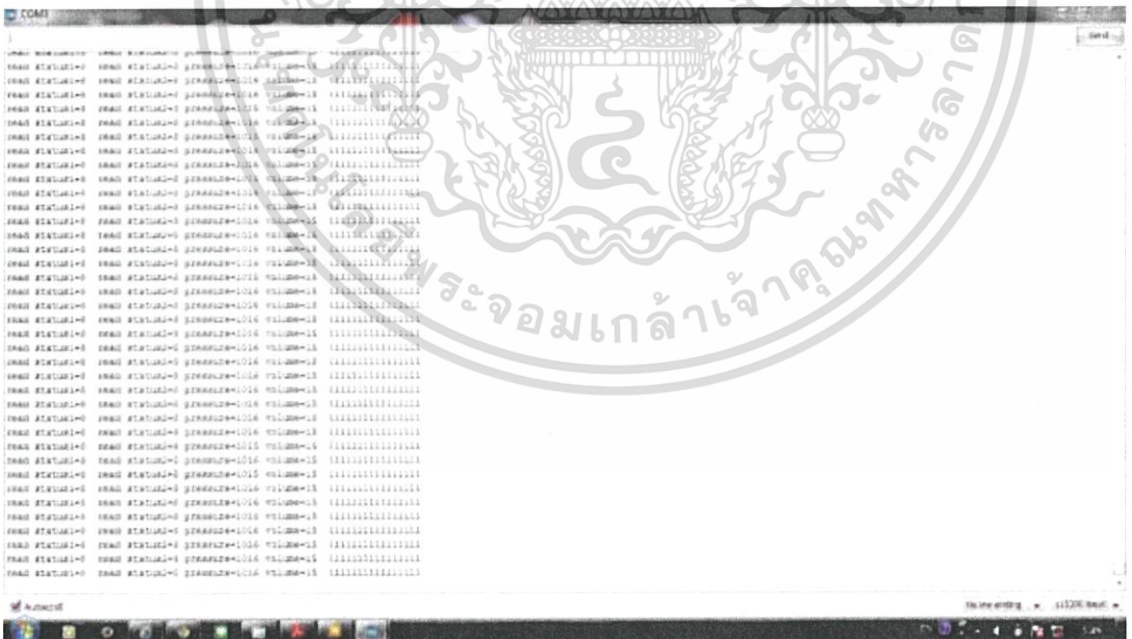
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการทดลองที่ได้จากการรันโปรแกรม

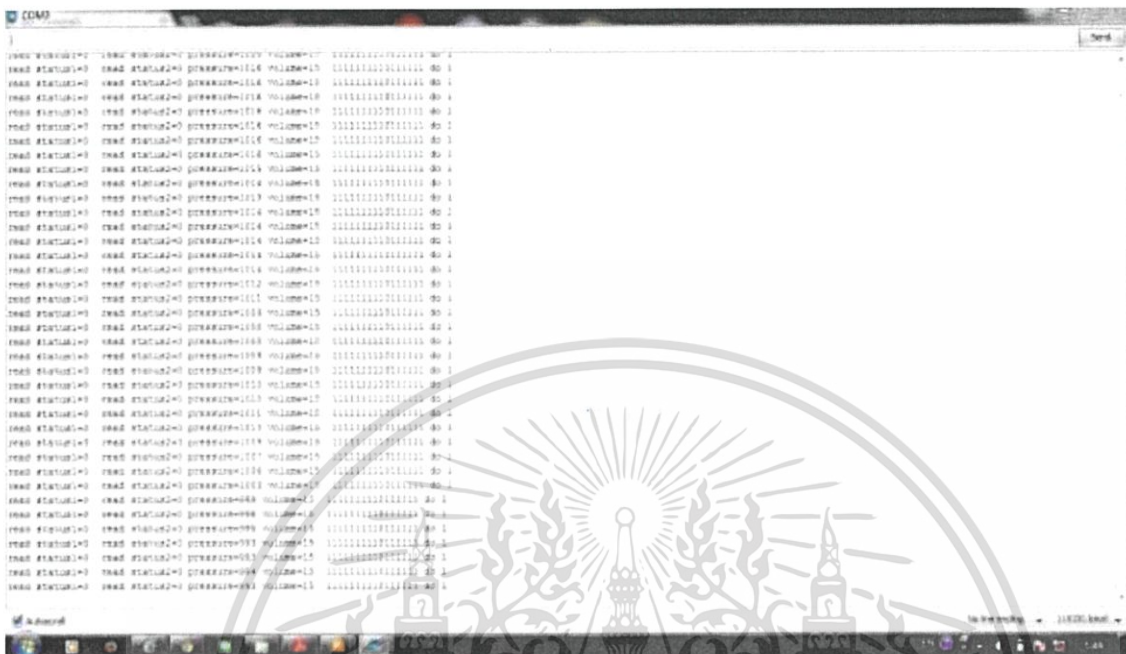


รูปที่ 4.9 แสดงผลบนหน้าจออาดูโนก่อนเป่า



รูปที่ 4.10 แสดงผลบนหน้าจออาดูโนหลังเป่าวัตต์ค่าแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



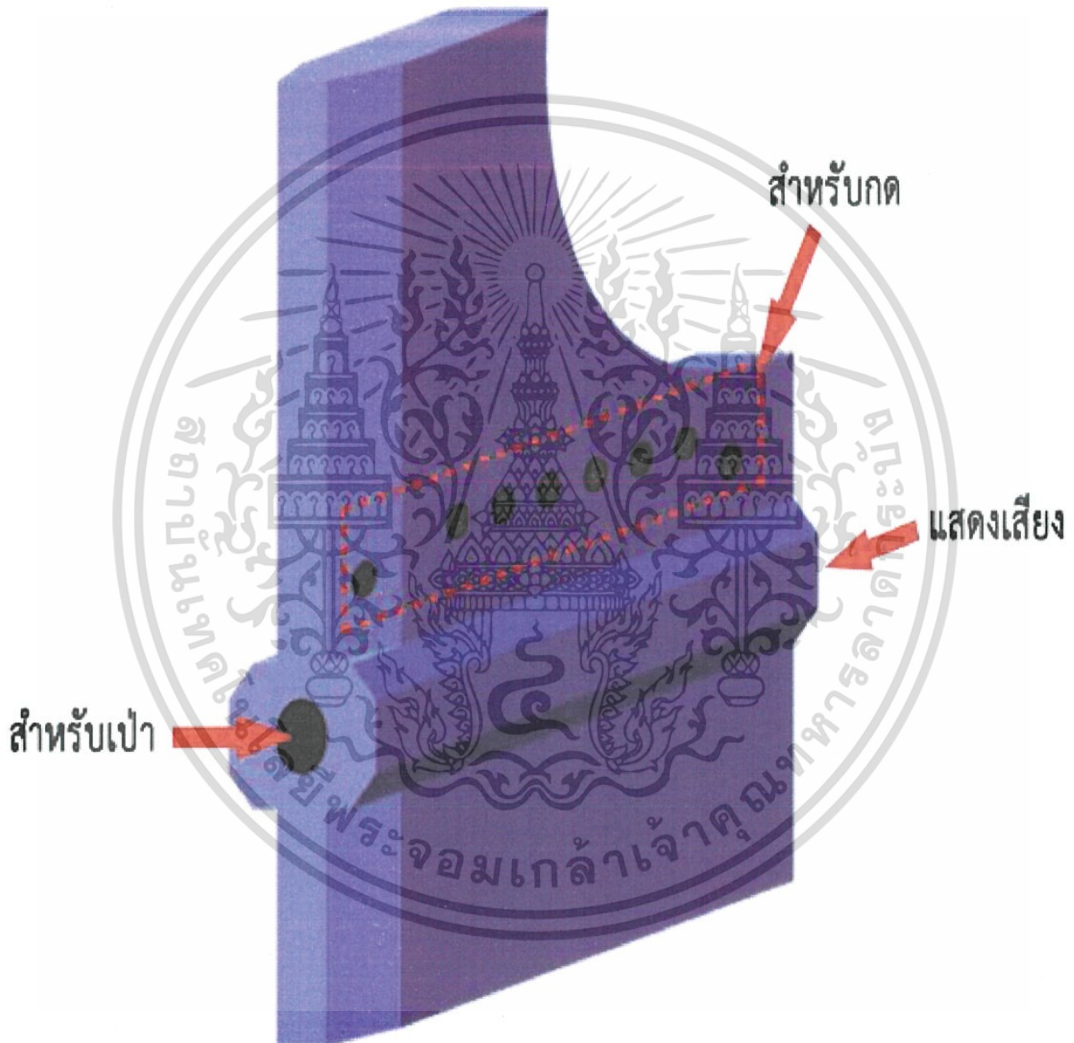
รูปที่ 4.11 แสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์หลังเป่าวัดแรงดันพร้อมกดปุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

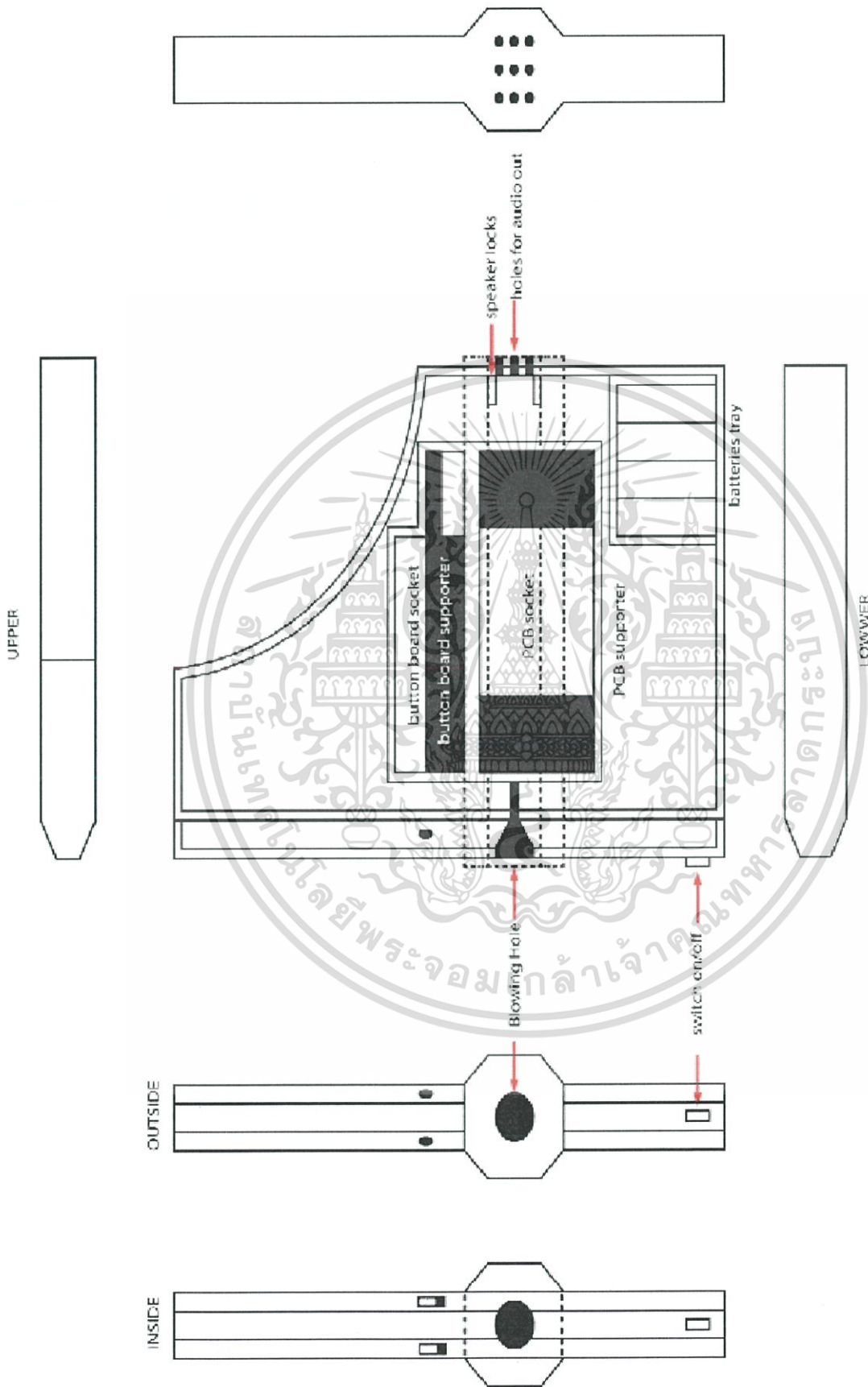
การประกอบแคนไฟฟ้า

5.1 การประกอบแคนไฟฟ้า



รูปที่ 5.1 ภาพจำลองแคนไฟฟ้า

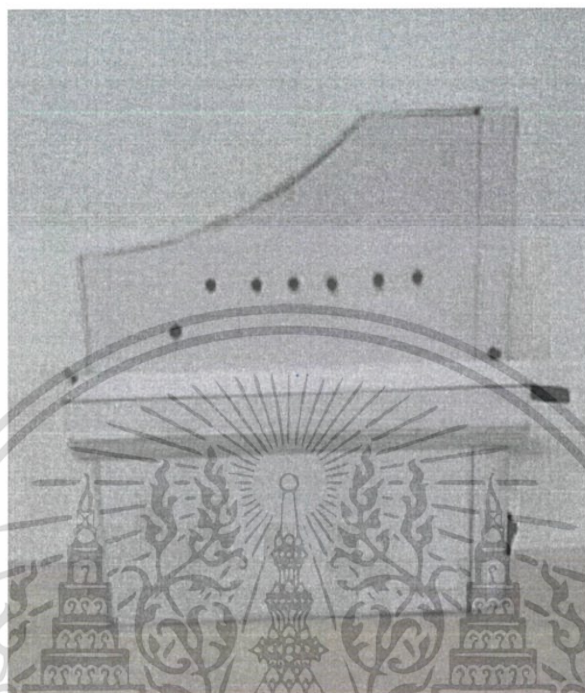
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



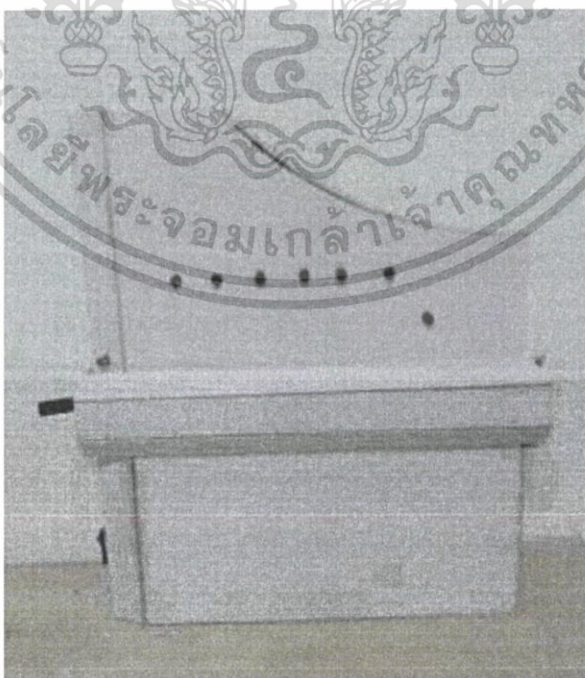
รูปที่ 5.2 ภาพแสดงการออกแบบเคสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการประกอบแคนไฟฟ้าตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยที่ออกแบบให้เป่าง่าย มีขนาดเล็ก ทำการพกพาได้สะดวก ต้องมีราคาถูกและทนทาน

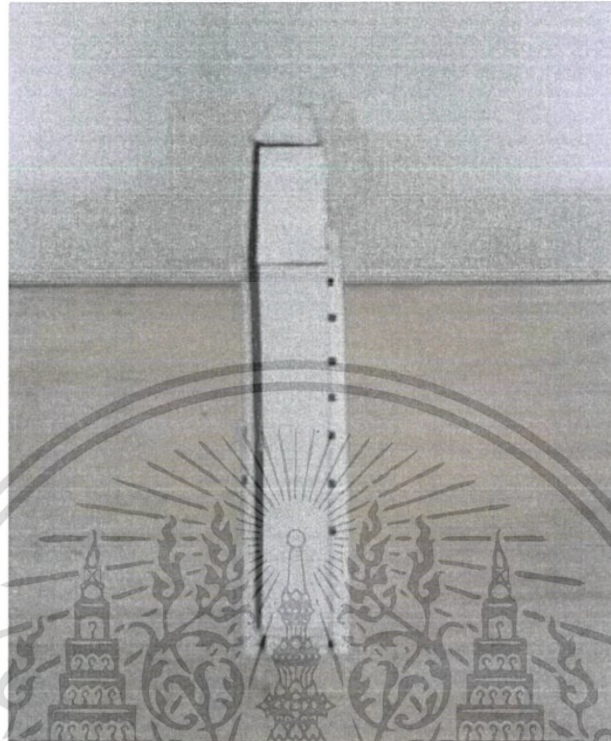


รูปที่ 5.3 ภาพแสดงโครงสร้างด้านซ้ายของแคนไฟฟ้า

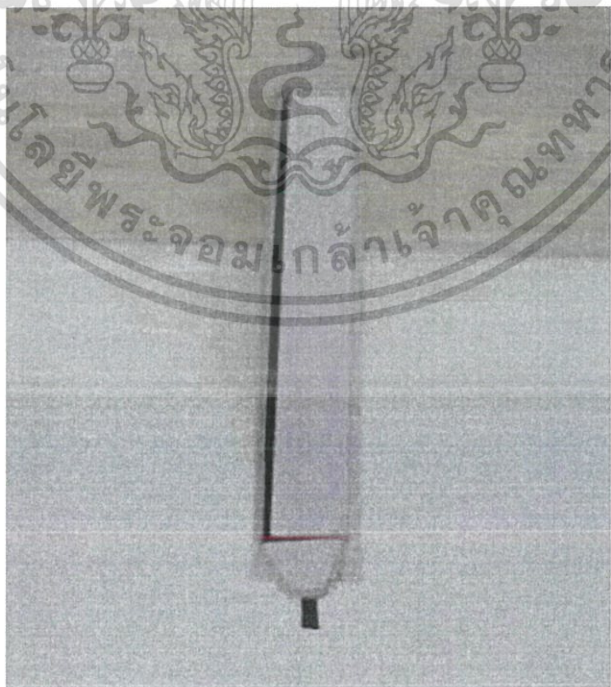


รูปที่ 5.4 ภาพแสดงโครงสร้างด้านขวาของแคนไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

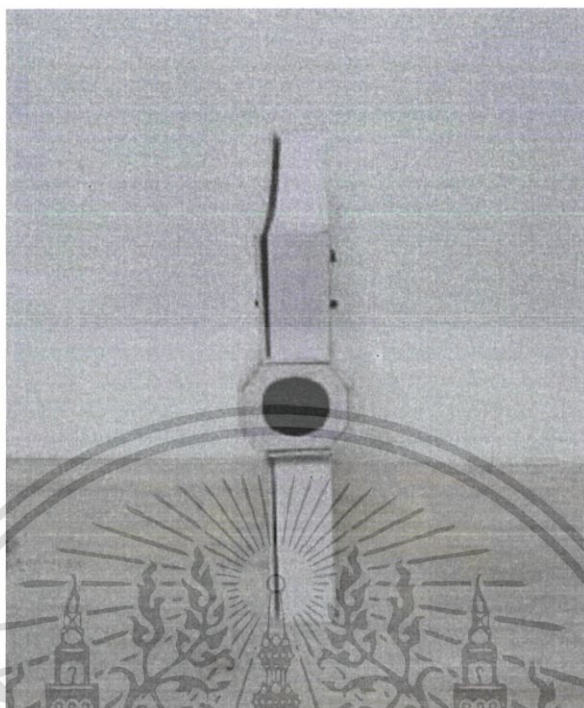


รูปที่ 5.5 ภาพแสดงโครงสร้างด้านบนของแกนไฟฟ้า

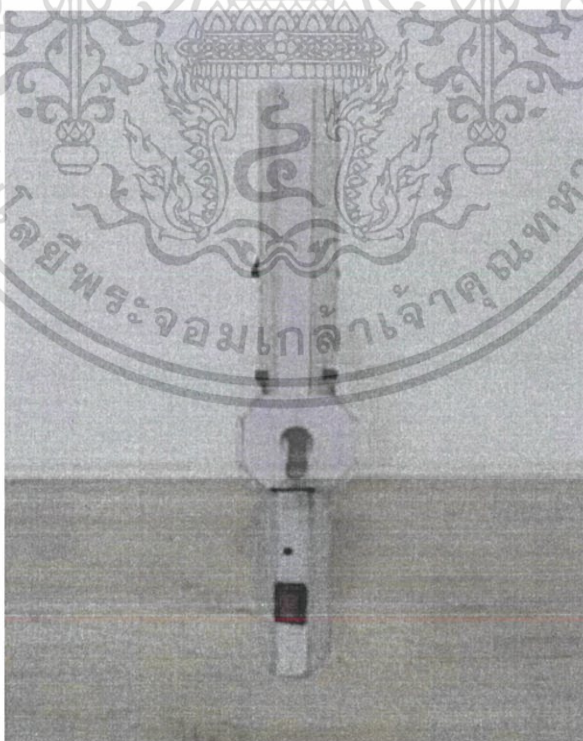


รูปที่ 5.6 ภาพแสดงโครงสร้างด้านล่างของแกนไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

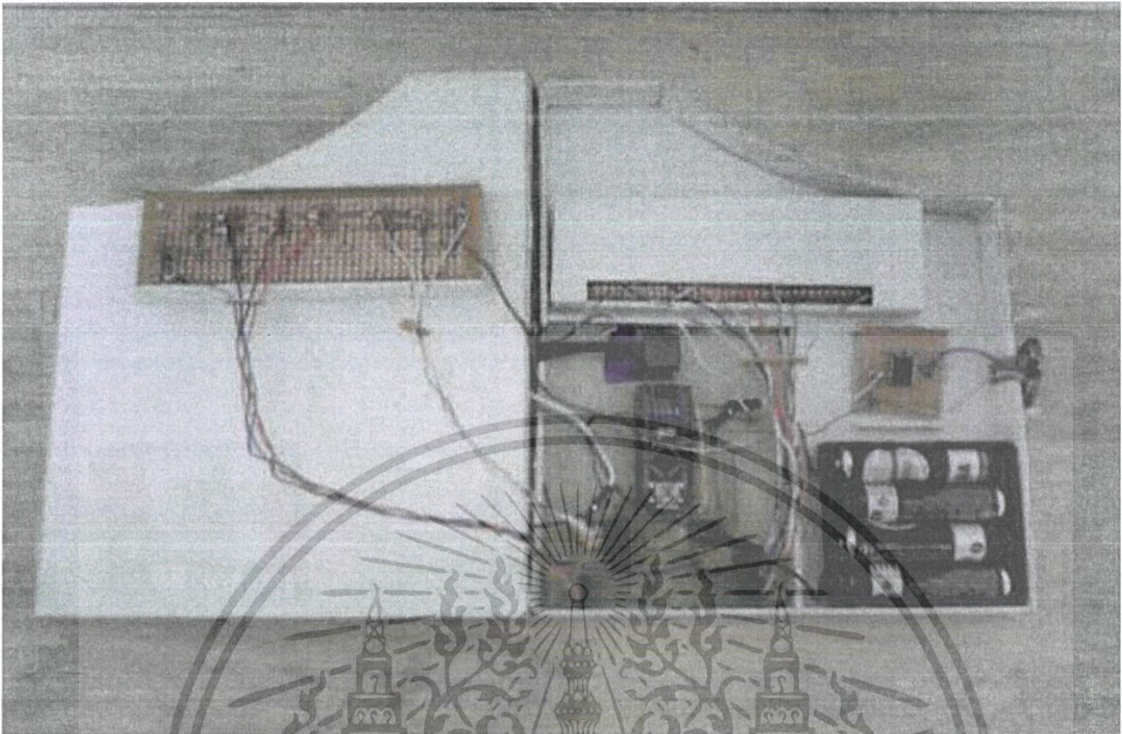


รูปที่ 5.7 ภาพแสดงโครงสร้างด้านที่เสียงออก(ลำโพง)ของแคนไฟฟ้า



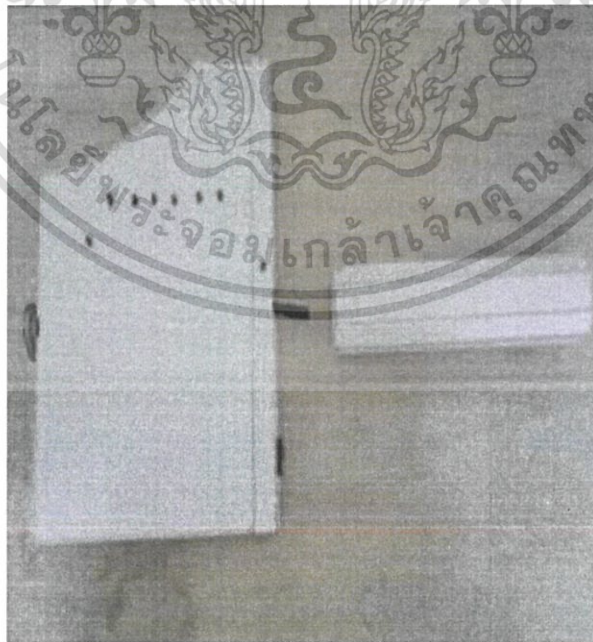
รูปที่ 5.8 ภาพแสดงโครงสร้างด้านหน้า(เป่า)ของแคนไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



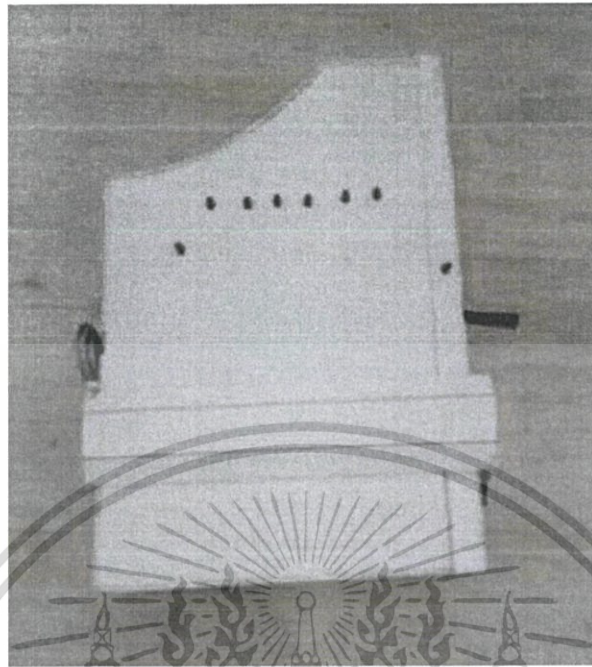
รูปที่ 5.9 ภาพแสดงโครงสร้างด้านหน้าในของแคนไฟฟ้า

โดยที่แคนไฟฟ้าสามารถถอดที่จับออก แล้วเปิดออกเพื่อสามารถดู ตรวจสอบเช็ค อุปกรณ์ภายในได้

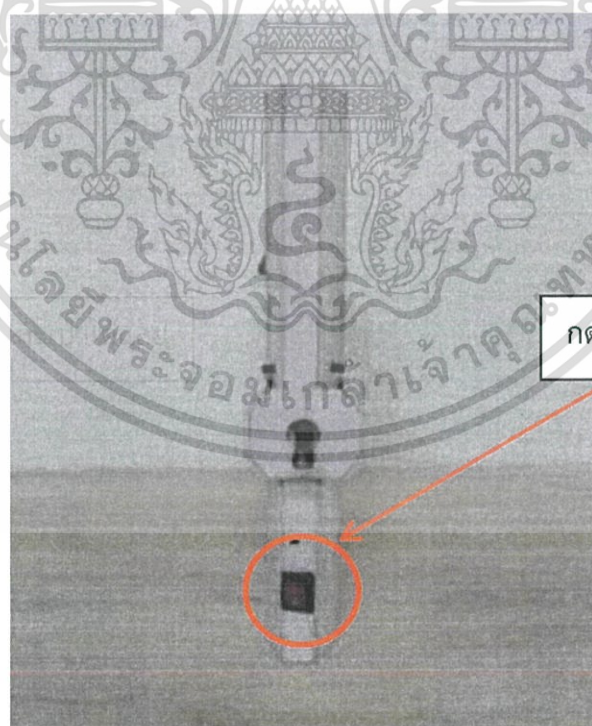


รูปที่ 5.10 ภาพแสดงโครงสร้างของแคนไฟฟ้าก่อนใส่ที่จับด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 ภาพแสดงโครงสร้างของแคนไฟฟ้าขณะใส่ที่จับด้านข้าง



กดเปิดสวิตช์และเป่าได้เลย

รูปที่ 5.12 ภาพแสดงโครงสร้างของแคนไฟฟ้าขณะใส่ที่จับด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 สรุปค่าใช้จ่ายในการทำแคนไฟฟ้า

- Arduino nano 3.0	220
- เซนเซอร์วัดความดัน	550
- สวิตช์กดติดปล่อยดับ	30
- ไอซี PCF8574A	100
- ลำโพง	20
- แผ่นพลาสติก	150
- อื่นๆ	100
รวมทั้งหมด	<u>1,170</u>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

6.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการนี้นำเสนอในเรื่องของการสังเคราะห์เสียงแคนด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ จากการวิเคราะห์สัญญาณเสียง ความถี่มูลฐานของแคนมีความถี่ตั้งแต่ 226.0986 Hz ถึง 710.5957 Hz โดยเสียงโน้ตต่ำจะมีค่าความถี่ต่ำสุด และเสียงโน้ตฟาสูงจะมีค่าความถี่สูงสุด โดยที่ความถี่ของโน้ตจะขึ้นอยู่กับระยะห่างของรูแพว ยิ่งระยะห่างของรูแพวมาก ความถี่มูลฐานจะยิ่งมีค่าน้อย ตามสมการ $v = f\lambda$ เสียงของแคนมีลักษณะต่างจากเสียงของดนตรีชนิดอื่นๆ คือ ความถี่ที่มีแอมพลิจูดสูงสุด จะเป็นความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2, 3 หรือ 4 ไม่ใช่ความถี่มูลฐานเหมือนเสียงดนตรีชนิดอื่นส่วนใหญ่ และจากการสังเคราะห์สัญญาณเสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟโดยใช้โปรแกรม MAX/MSP ในการสร้างเสียง ทำให้ทราบว่าจำนวนฮาร์โมนิกและขนาดของแอมพลิจูดที่ใช้ในการสร้างเสียงของแคนที่ไพเราะ และนำค่ามาสังเคราะห์เสียง โดยใช้บอร์ดอาดูโนน่าโนสร้างเสียงแคนโดยใช้เทคนิคแอดดิทีฟ เพื่อนำมาประดิษฐ์แคนไฟฟ้าที่เล่นได้ง่าย และราคาถูกกว่าแคนจริง

6.2 ปัญหาและอุปสรรค

6.2.1 การวิเคราะห์สัญญาณเสียง

- 1) การบันทึกเสียงจะมีสัญญาณเสียงอื่นรบกวน จึงต้องมีการตัดสัญญาณรบกวนและมีการตัดช่วงเสียงที่ไม่ต้องการทิ้งก่อนนำไปวิเคราะห์
- 2) ต้องทำการบันทึกเสียงหลายครั้งกว่าจะได้ทราบค่าความถี่ที่แน่นอน
- 3) ปัญหาจากการหาหลักการเกิดเสียง เนื่องจากไม่สามารถแยกส่วนประกอบของแคนออกจากกันได้ ทำให้การวัดขนาดต่างๆ เช่น ระยะห่างของรูแพวมีความยากมากขึ้น

6.2.2 การสังเคราะห์สัญญาณเสียง

- 1) โปรแกรม MAX/MSP เป็นโปรแกรมที่มีราคาแพงและมีลิขสิทธิ์ เปิดให้ทดลองใช้งานในเวลาจำกัด ทำให้เป็นอุปสรรคในการใช้งาน
- 2) โปรแกรม MAX/MSP เป็นโปรแกรมที่ไม่นิยมนำมาใช้งานมากนัก ทำให้ต้องเสียเวลาในการศึกษาวิธีการใช้โปรแกรมต่าง ๆ
- 3) เนื่องจากการสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟไม่นิยมนำมาสังเคราะห์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้มีข้อมูลน้อย ต้องใช้เวลาในการศึกษานาน
- 4) เนื่องจากไลบรารีและฟังก์ชันของ MOZZI ที่ใช้ในการสังเคราะห์เสียง ผู้จัดทำไม่เคยศึกษามาก่อนและมีข้อมูลน้อย ทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการศึกษานาน และยังไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถใช้ร่วมกับไลบรารี Wire ที่เขียนโปรแกรมรับอินพุตได้ จึงทำให้ต้องเขียนโปรแกรมรับอินพุตเข้าใหม่

5) มีการปรับ แก๊วหลายรอบกว่าจะได้เสียงที่ต้องการ

6.3 แนวทางการพัฒนาต่อ

- 1) ปรับปรุงเสียงของแคน ให้มีความไพเราะมากขึ้น
- 2) นำการวิเคราะห์และการสังเคราะห์เสียงไปประยุกต์ใช้กับดนตรีประเภทอื่นๆ ได้
- 3) พัฒนาอุปกรณ์ ให้มีคุณภาพดีและทนทานมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ปลาทิวแหวน. 2556. Tutorial 02 : Arduino nano. [Online].

Available : <https://www.gravitechthai.com/guru2.php?p=215>

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2558. แคน. [Online].

Available : <http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%81%E0%B8%84%E0%B8%99>

ศิวะกุล เข้มจ้อย & ศุภชัย ต่ายทรัพย์. 2556. ช็องไฟฟ้า เฟส2. [Online].

Available : https://app.enit.kku.ac.th/mis/administrator/doc_upload/20140307094534.pdf

Arduino nano. [Online].

Available : <http://www.arduitronics.com/product/9/arduino-nano-atmega328-free-usb-cable>

Arduino nano. [Online].

Available : <http://elecymwang.com/index.php/8-arduino/1-start-arduino-nano>

Arduino. 2015. Arduino Synth Page. [Online].

Available : <http://playground.arduino.cc/Main/ArduinoSynth>

Atmel. 2014. ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P. [Online].

Available : http://www.atmel.com/Images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Summary.pdf

Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated. [Online].

Available : http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPXV7002.pdf

Freescale Semiconductor. 2015. MPXV7002 Integrated Silicon Pressure Sensor On-

Jon Thompson. 2013. Skill Builder: Advanced Arduino Sound Synthesis. [Online].

Available : <http://makezine.com/projects/make-35/advanced-arduino-sound-synthesis/>

Masataka Miyamoto, Yasunori Ito, and Kin'ya Takahashi, Toshiya Takami, Taizo Kobayashi, Akira Nishida, and Mutsumi Aoyagi. 2010. Numerical study on sound vibration of an air-reed instrument with compressible LES. [Online].

Available : arxiv.org/pdf/1005.3413.pdf

Mozzi Sound Synthesis Library for Arduino. [Online].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Available : <http://sensorium.github.io/Mozzi/>

Philips Semiconductor. 2002. PCF8574 Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus. [Online].

Available : http://www.nxp.com/documents/data_sheet/PCF8574.pdf



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



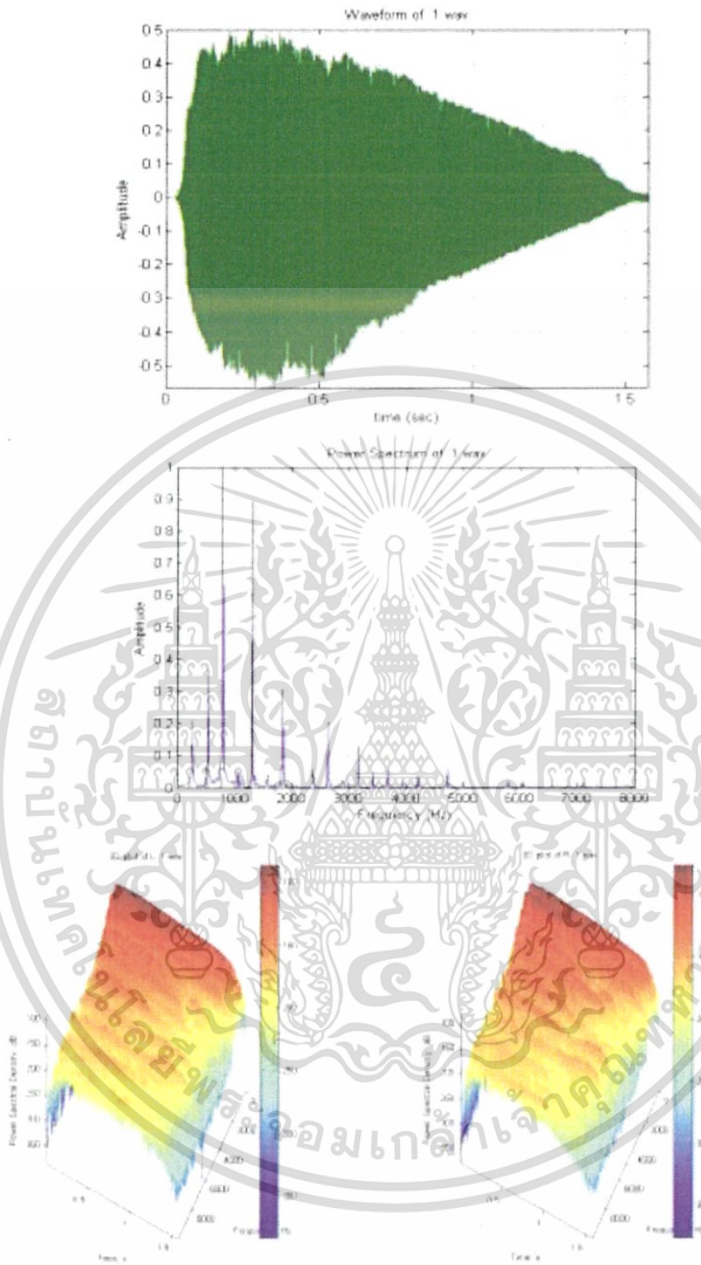
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

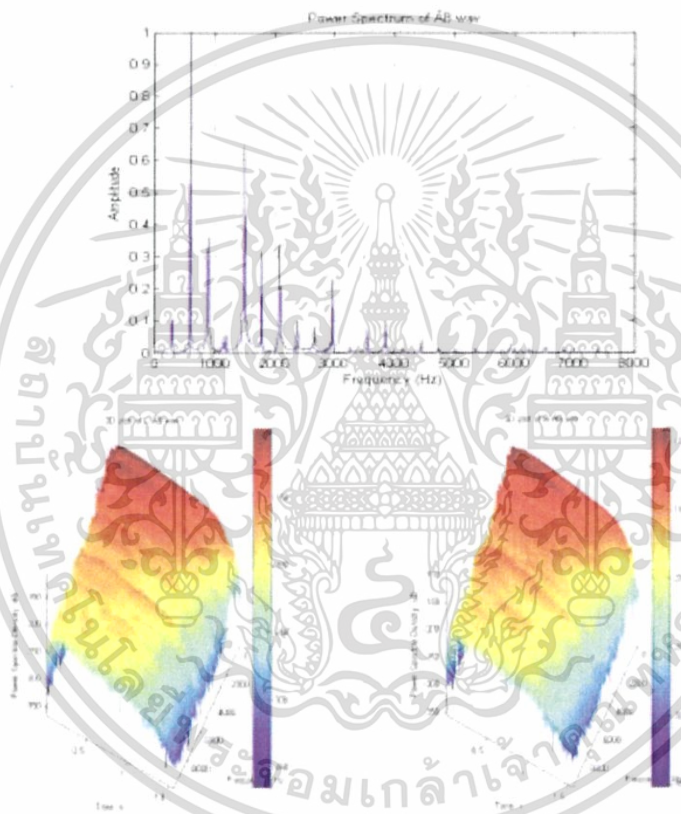
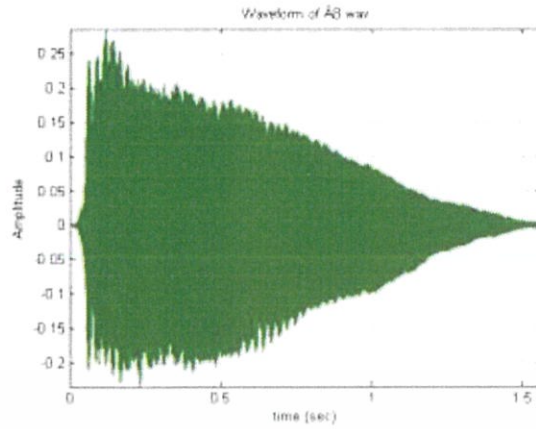
เสียงโน้ตเดี่ยวต่ำ



รูปที่ ก.1 แสดงองค์ประกอบของเสียงโดต่ำ

- (a) แสดงรูปคลื่น (waveform)
- (b) แสดงสเปกตรัม (Power Spectrum)
- (c) แสดงสเปกตรัม 3 มิติ (3D plot) มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม

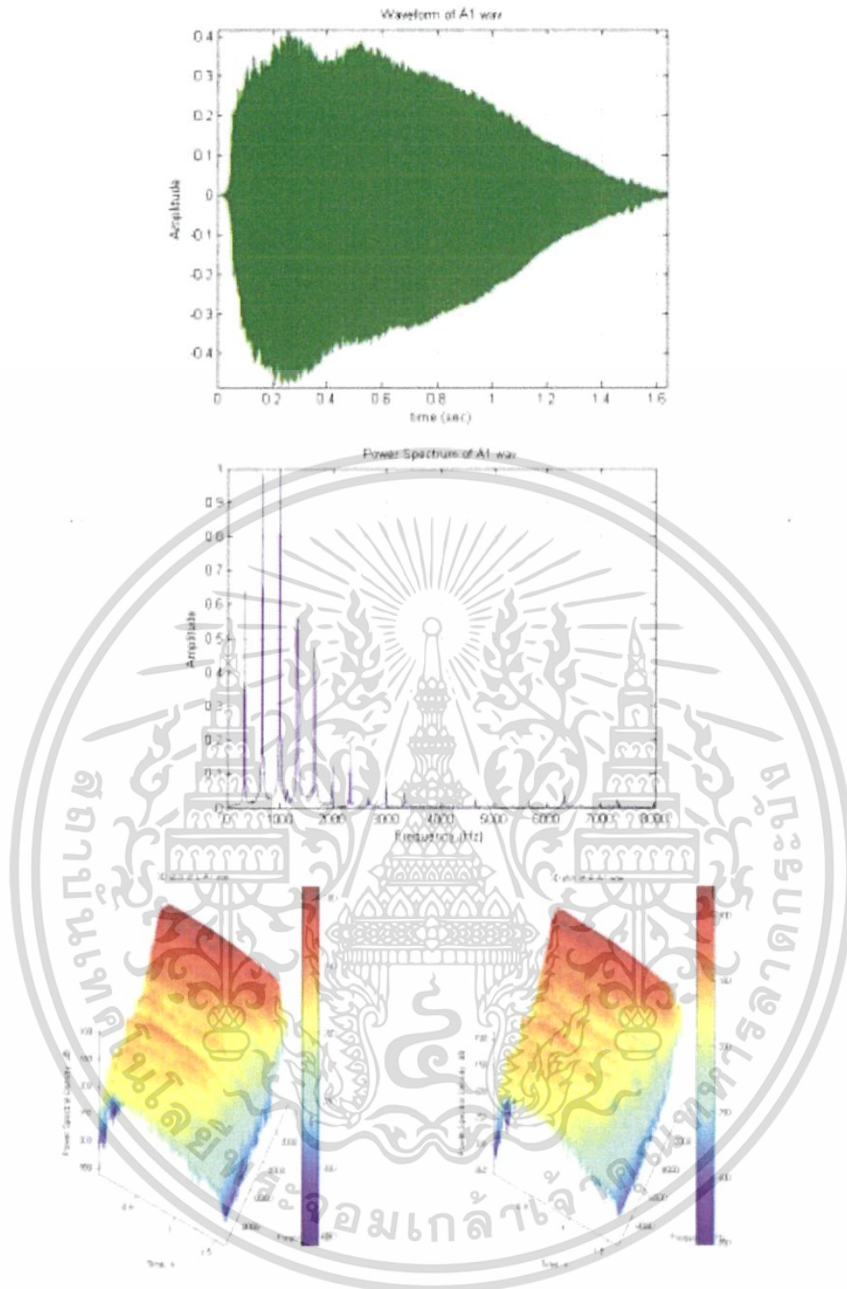
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.2 แสดงองค์ประกอบของเสียงเรต๋า

- (a) แสดงรูปคลื่น (waveform)
- (b) แสดงสเปกตรัม (Power Spectrum)
- (c) แสดงสเปกตรัม 3 มิติ (3D plot) มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม

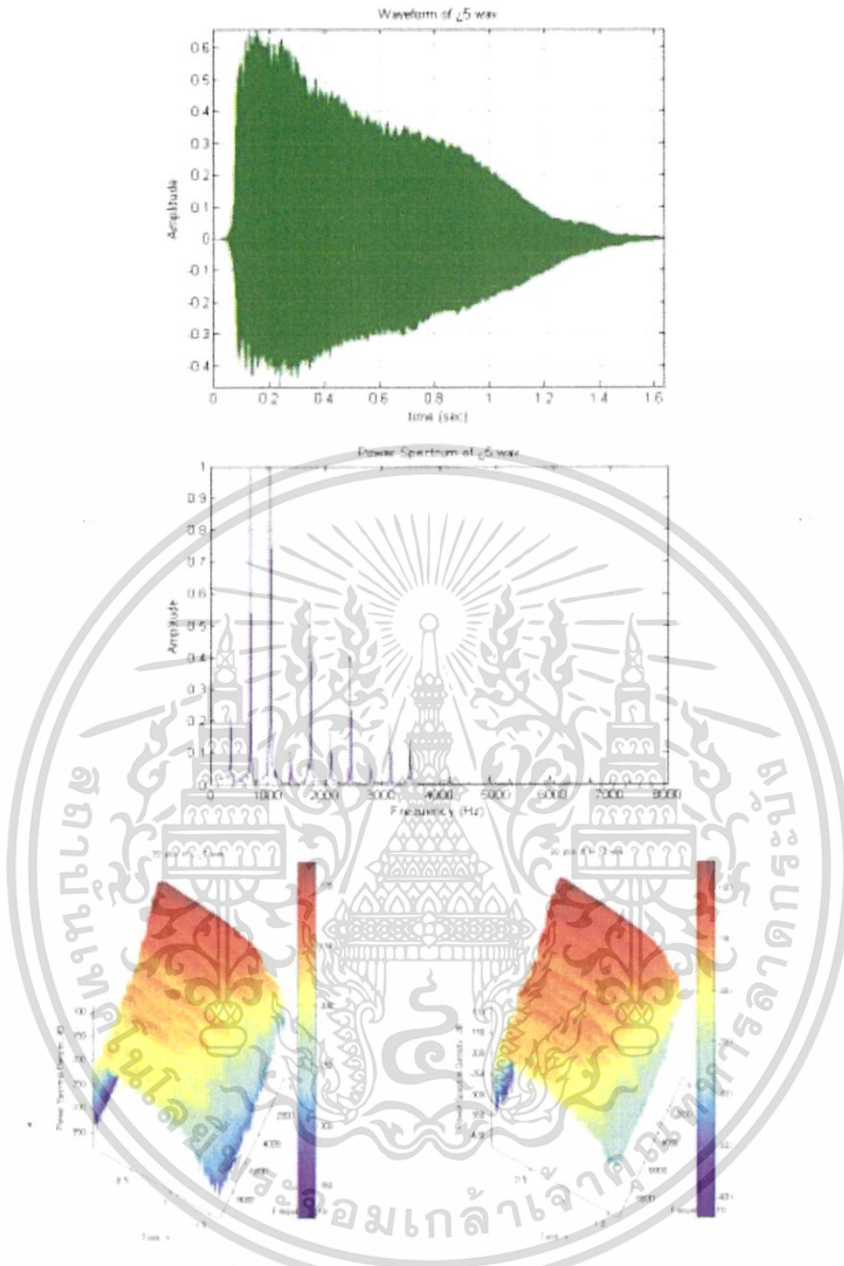
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 แสดงองค์ประกอบของเสียงมีตัว

- (a) แสดงรูปคลื่น (waveform)
- (b) แสดงสเปกตรัม (Power Spectrum)
- (c) แสดงสเปกตรัม 3 มิติ (3D plot) มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม

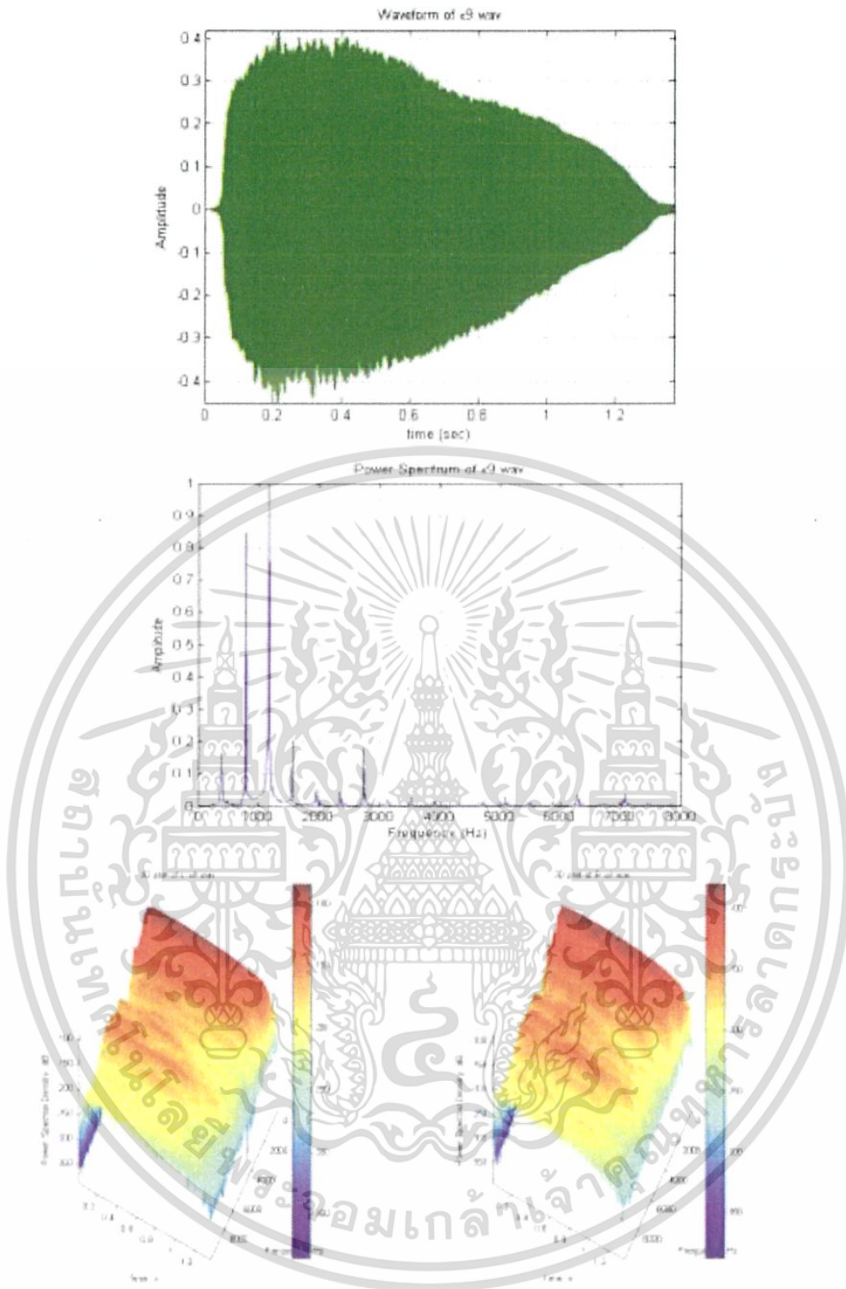
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.4 แสดงองค์ประกอบของเสียงพาด้า

- (a) แสดงรูปคลื่น (waveform)
- (b) แสดงสเปกตรัม (Power Spectrum)
- (c) แสดงสเปกตรัม 3 มิติ (3D plot) มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม

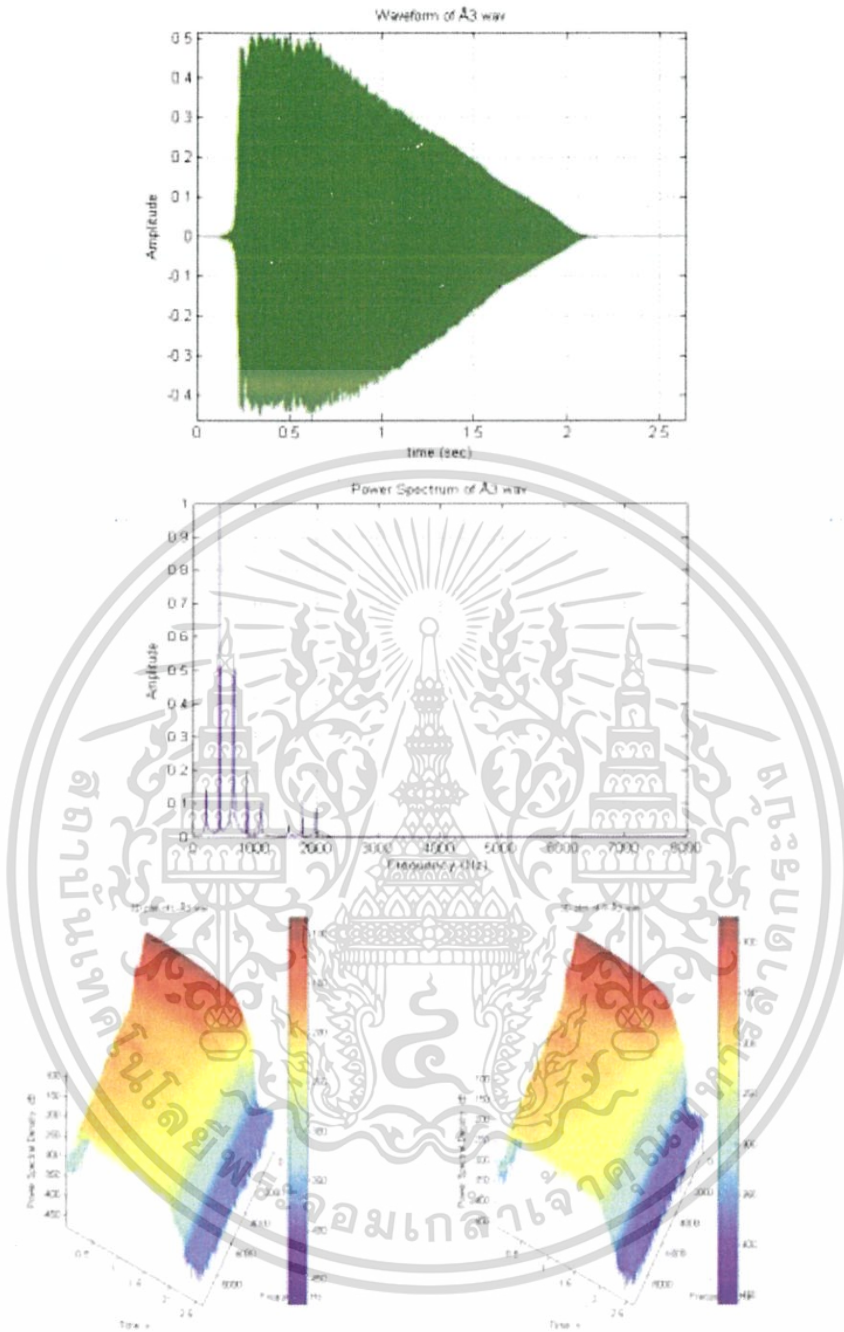
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.5 แสดงองค์ประกอบของเสียงซอลต่ำ

- (a) แสดงรูปคลื่น (waveform)
- (b) แสดงสเปกตรัม (Power Spectrum)
- (c) แสดงสเปกตรัม 3 มิติ (3D plot) มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม

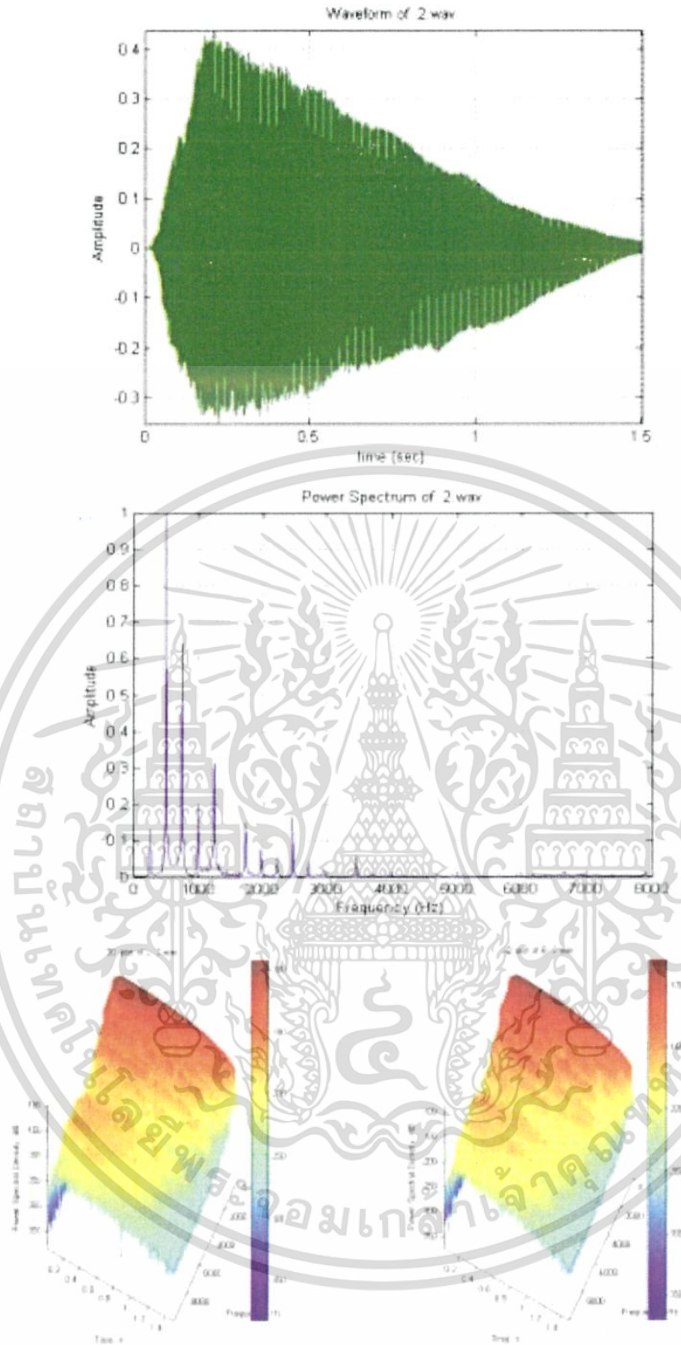
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.6 แสดงองค์ประกอบของเสียงลาต้า

- (a) แสดงรูปคลื่น (waveform)
- (b) แสดงสเปกตรัม (Power Spectrum)
- (c) แสดงสเปกตรัม 3 มิติ (3D plot) มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

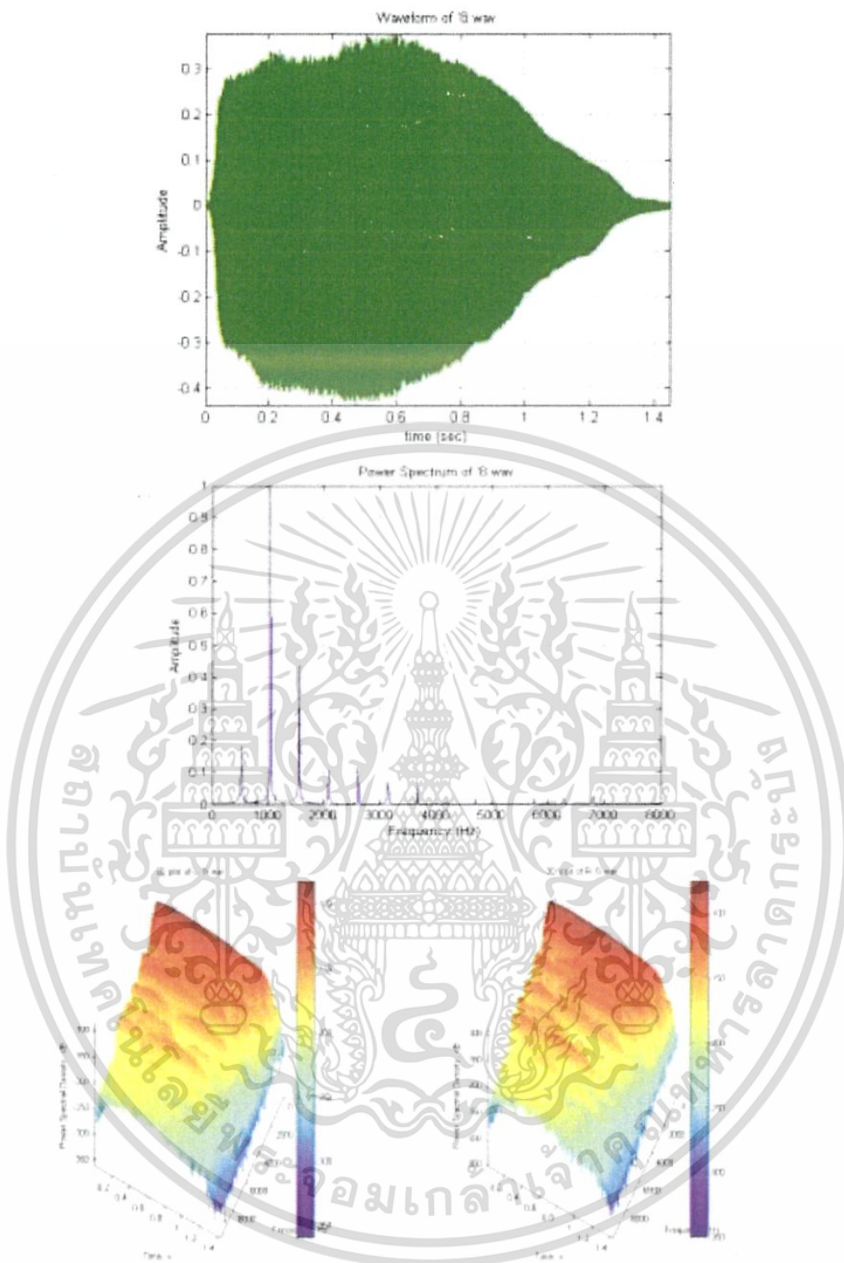


รูปที่ ก.7 แสดงองค์ประกอบของเสียงที่ต่ำ

- (a) แสดงรูปคลื่น (waveform)
- (b) แสดงสเปกตรัม (Power Spectrum)
- (c) แสดงสเปกตรัม 3 มิติ (3D plot) มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม

เสียงโน้ตเดี่ยวสูง

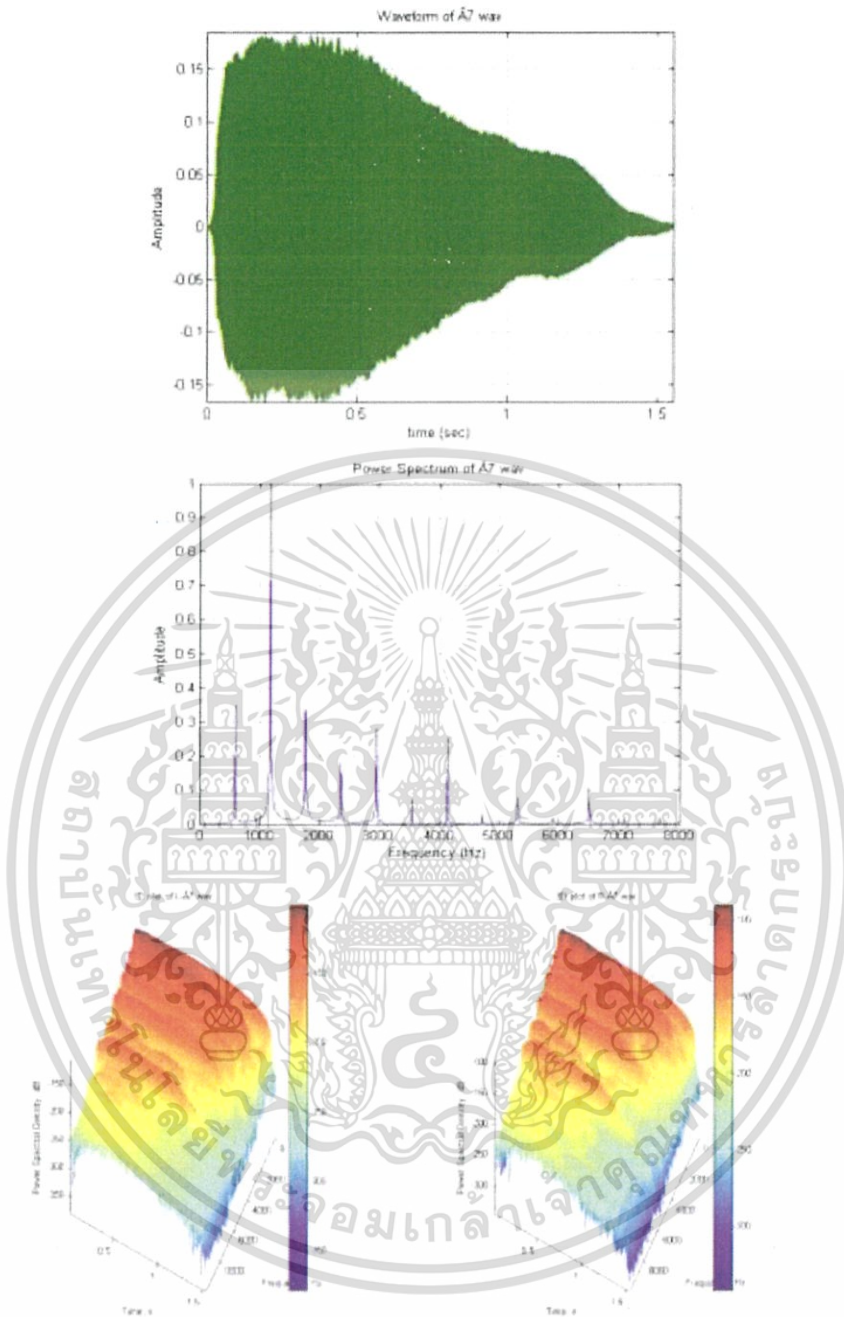
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.8 แสดงองค์ประกอบของเสียงโดสูง

- (a) แสดงรูปคลื่น (waveform)
- (b) แสดงสเปกตรัม (Power Spectrum)
- (c) แสดงสเปกตรัม 3 มิติ (3D plot) มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม

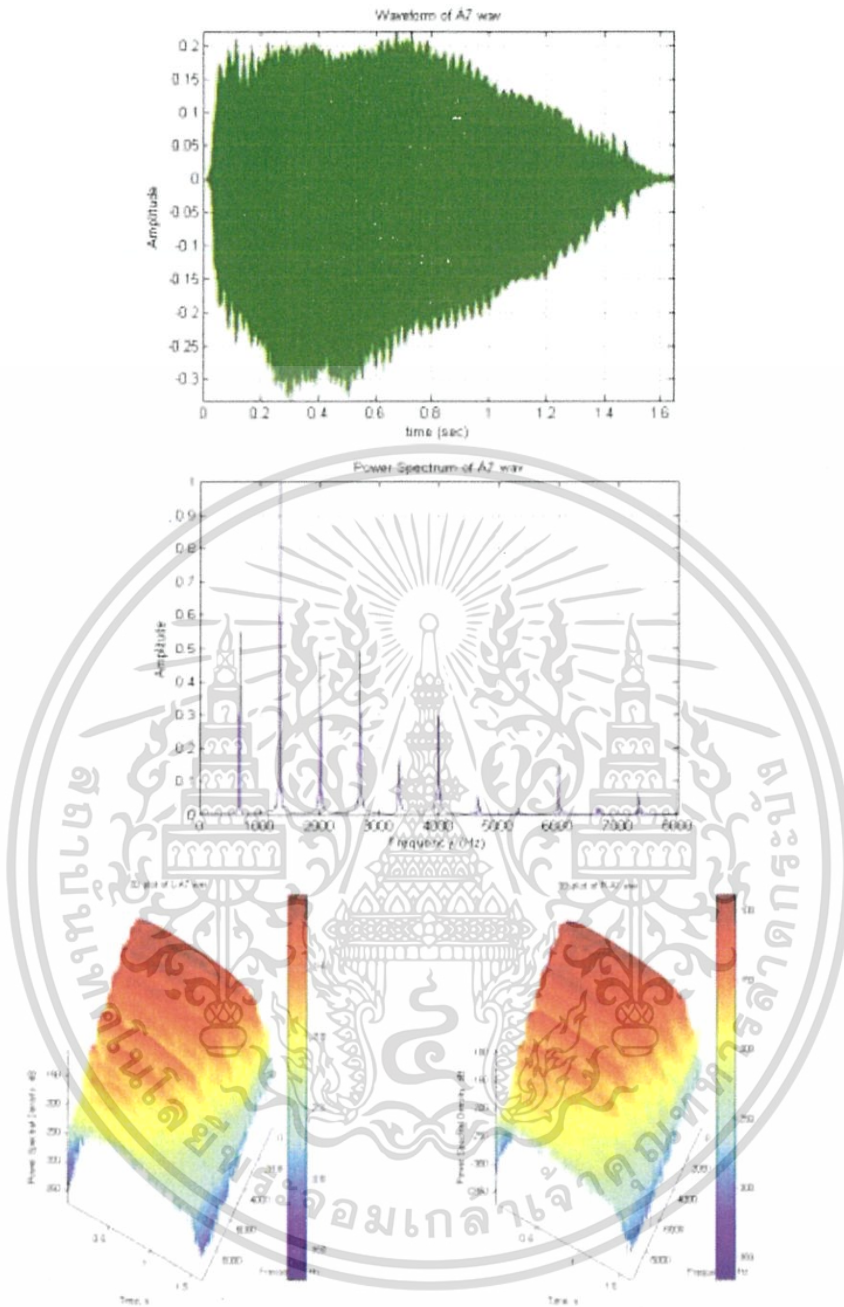
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.9 แสดงองค์ประกอบของเสียงเรสูง

- (a) แสดงรูปคลื่น (waveform)
- (b) แสดงสเปกตรัม (Power Spectrum)
- (c) แสดงสเปกตรัม 3 มิติ (3D plot) มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม

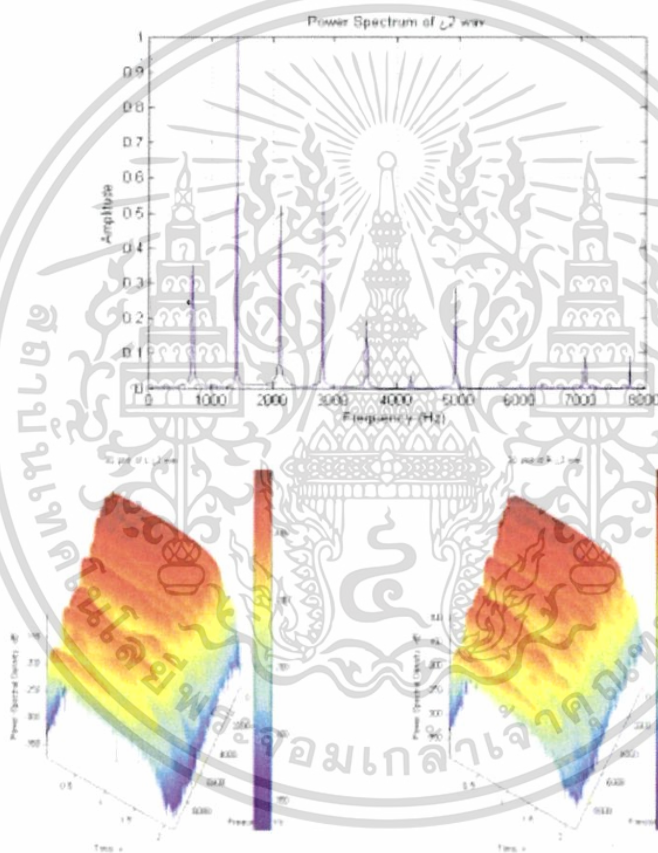
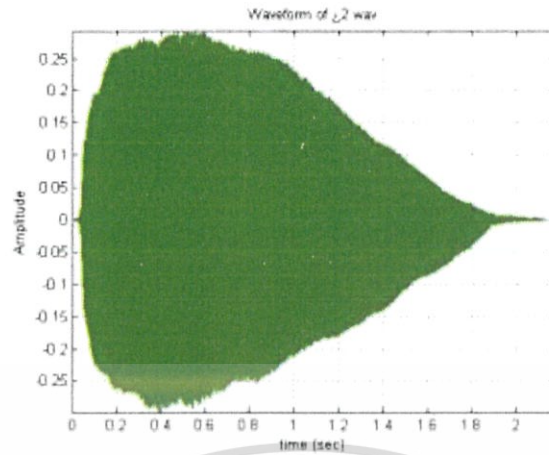
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.10 แสดงองค์ประกอบของเสียงมีสูง

- (a) แสดงรูปคลื่น (waveform)
- (b) แสดงสเปกตรัม (Power Spectrum)
- (c) แสดงสเปกตรัม 3 มิติ (3D plot) มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม

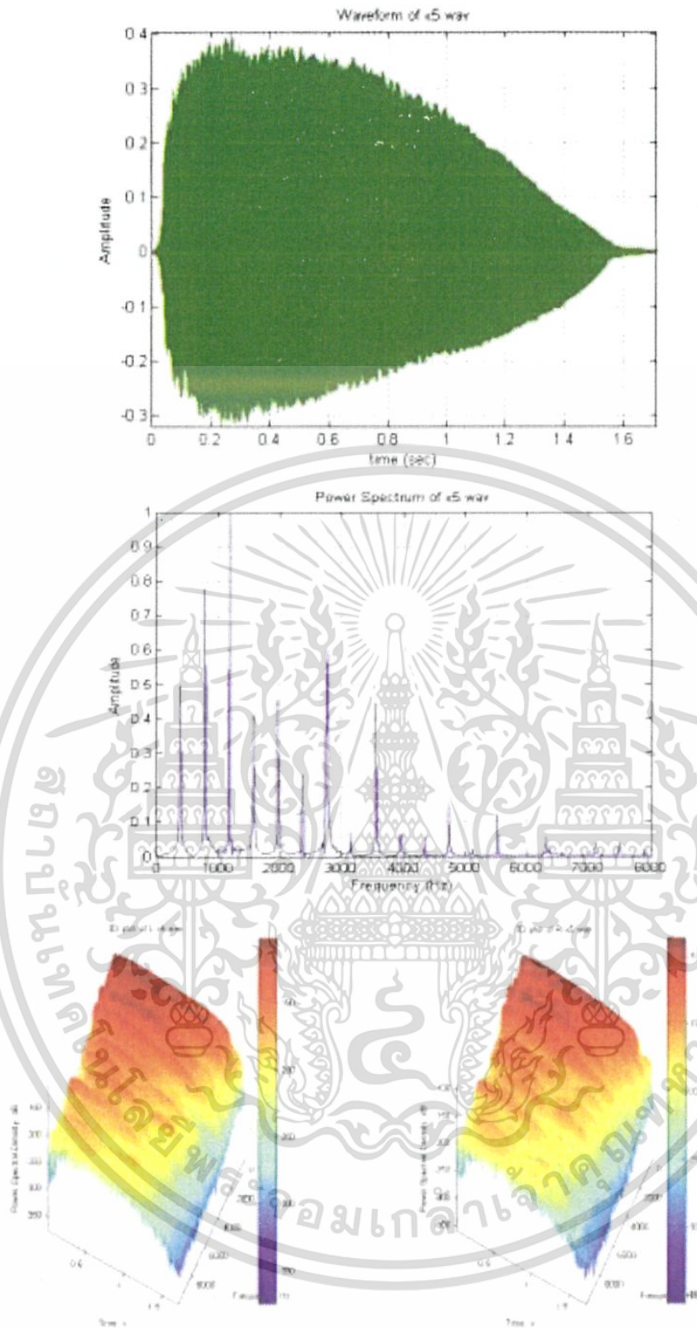
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.11 แสดงองค์ประกอบของเสียงฟาสุง

- (a) แสดงรูปคลื่น (waveform)
- (b) แสดงสเปกตรัม (Power Spectrum)
- (c) แสดงสเปกตรัม 3 มิติ (3D plot) มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม

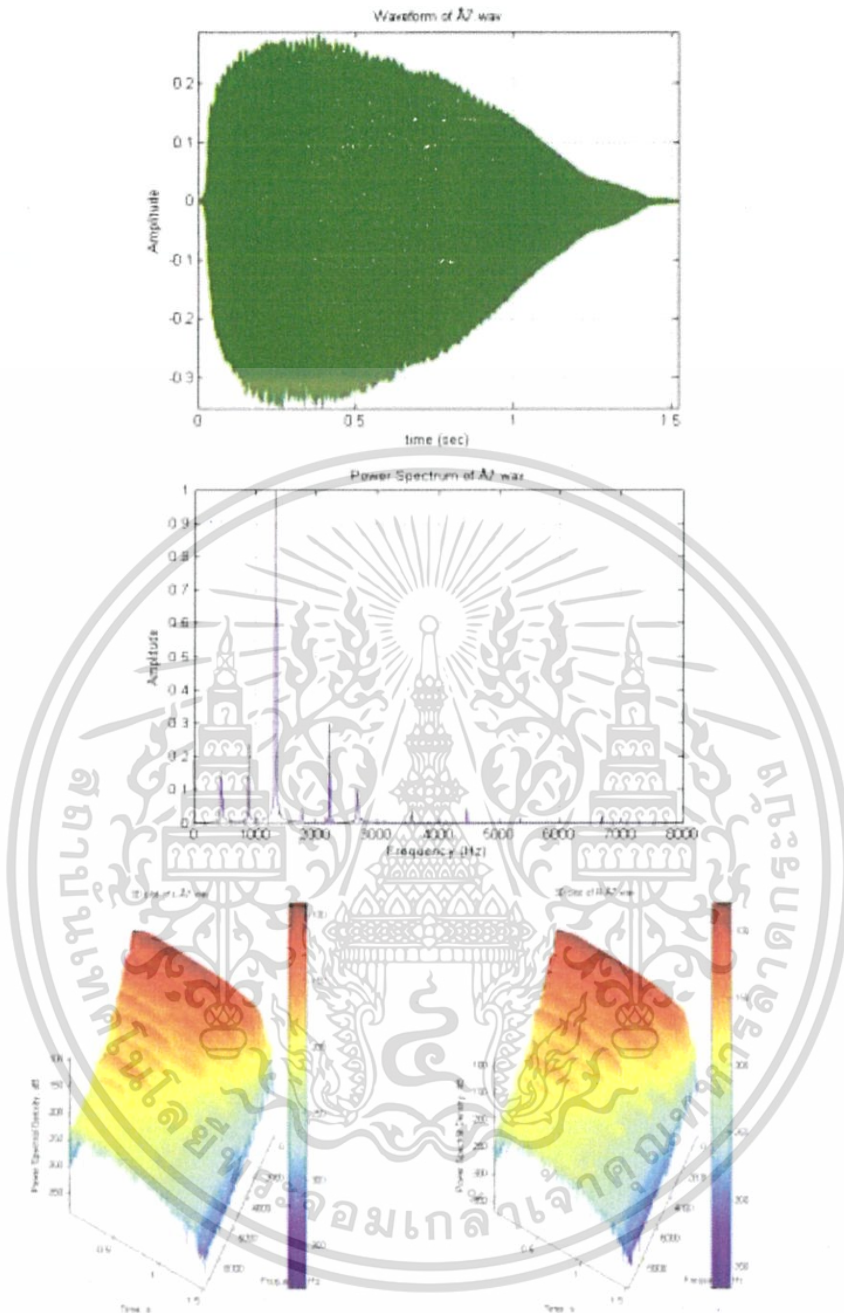
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.12 แสดงองค์ประกอบของเสียงซอลสูง

- (a) แสดงรูปคลื่น (waveform)
 (b) แสดงสเปกตรัม (Power Spectrum)
 (c) แสดงสเปกตรัม 3 มิติ (3D plot) มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม

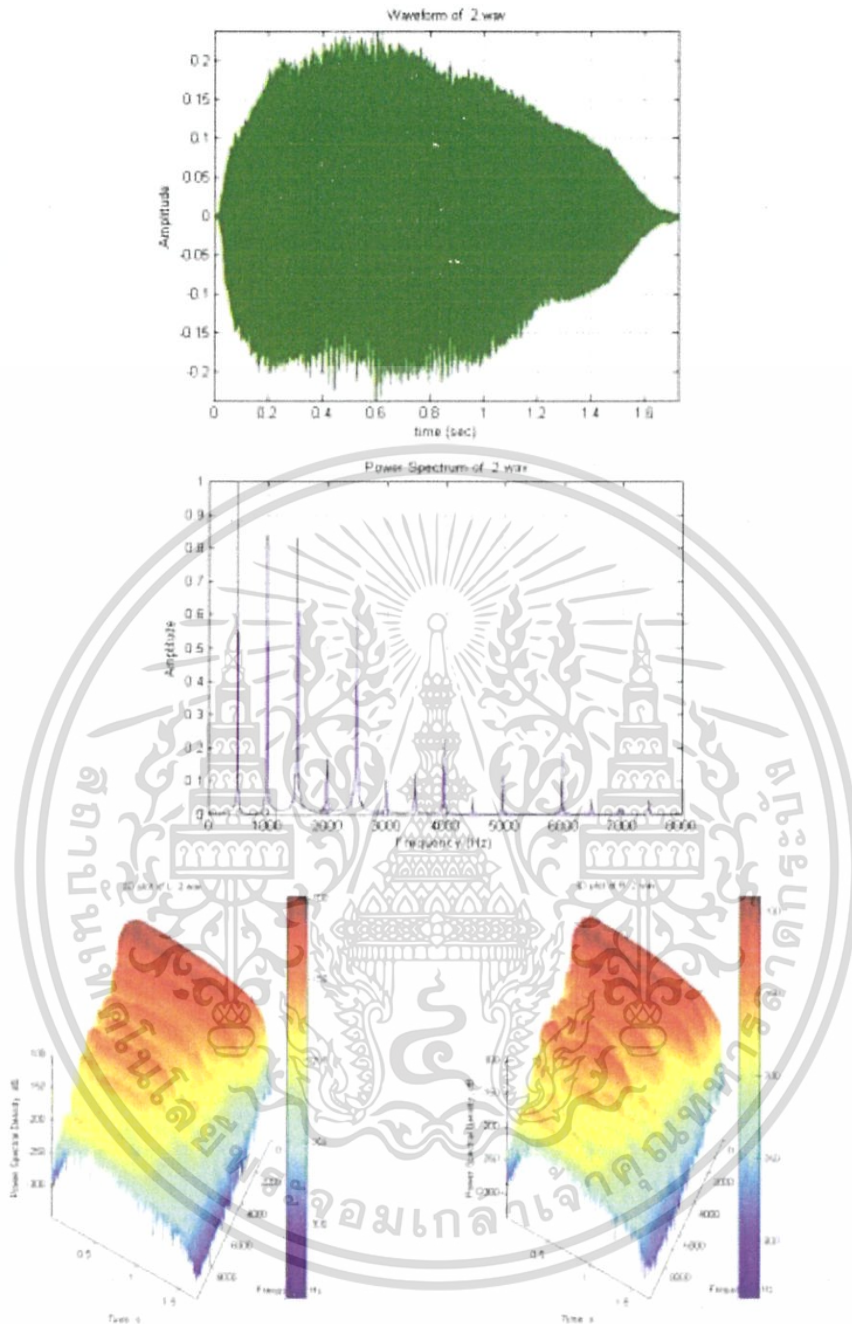
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.13 แสดงองค์ประกอบของเสียงลาสูง

- (a) แสดงรูปคลื่น (waveform)
- (b) แสดงสเปกตรัม (Power Spectrum)
- (c) แสดงสเปกตรัม 3 มิติ (3D plot) มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



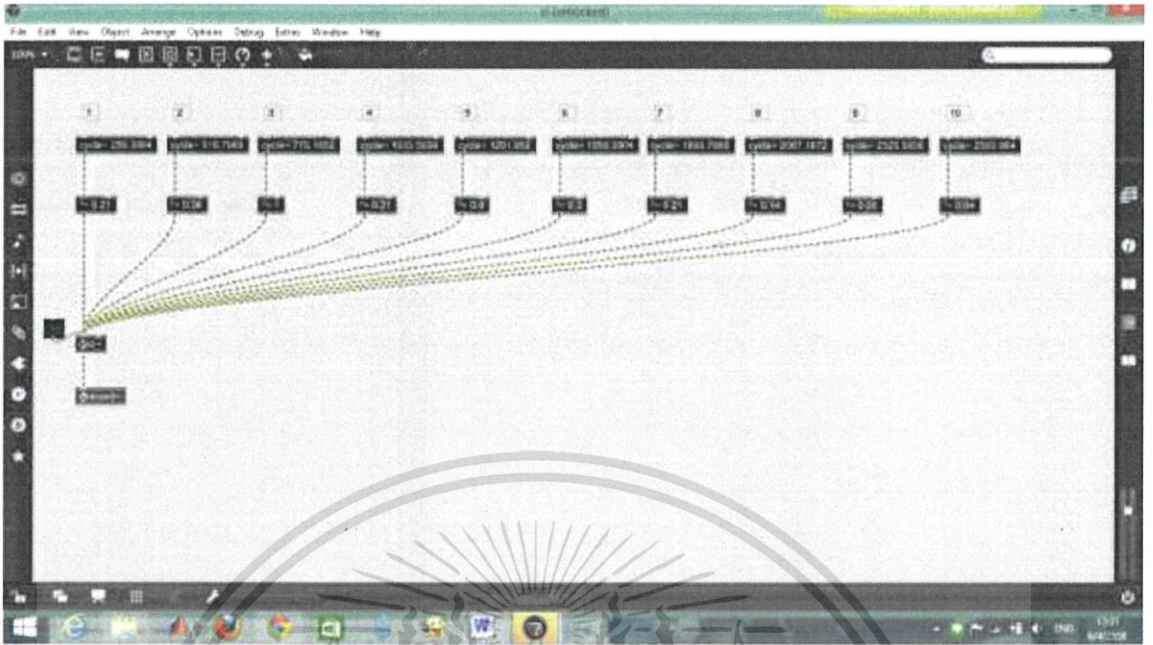
รูปที่ ก.14 แสดงองค์ประกอบของเสียงที่สูง

- (a) แสดงรูปคลื่น (waveform)
- (b) แสดงสเปกตรัม (Power Spectrum)
- (c) แสดงสเปกตรัม 3 มิติ (3D plot) มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิก, แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม

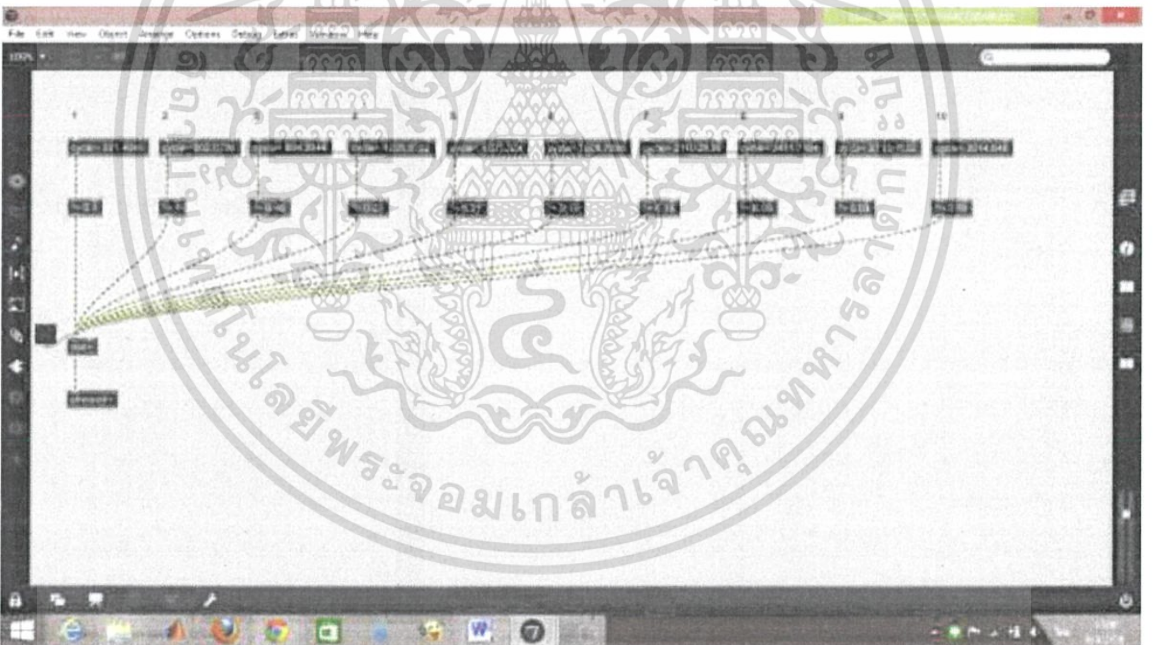
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า .
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

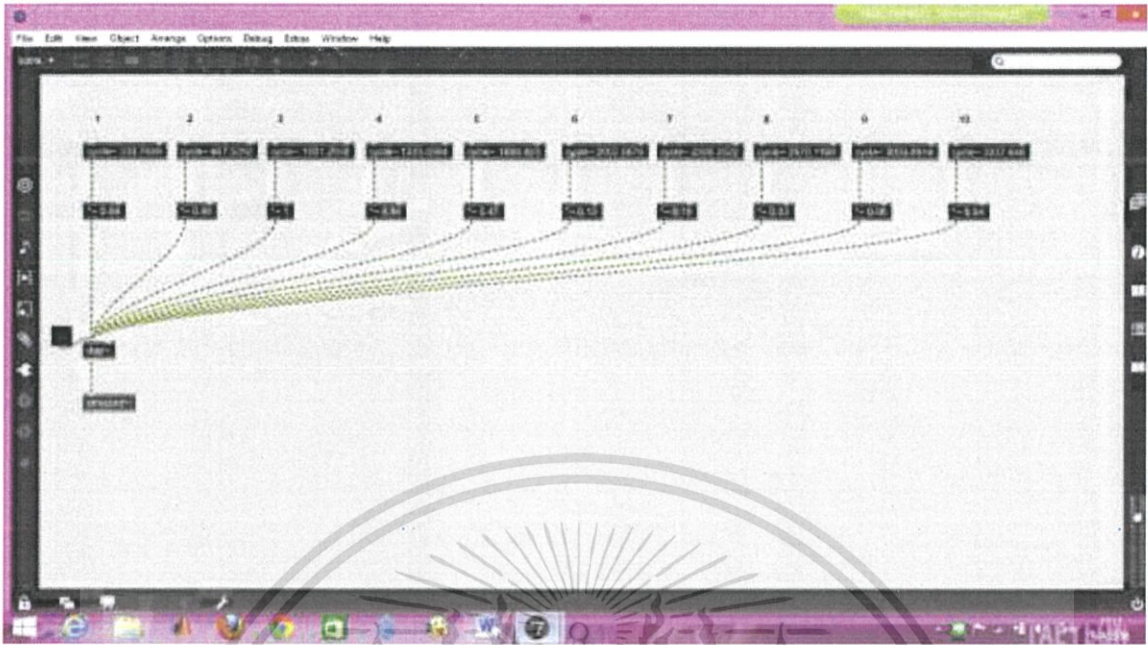


รูปที่ ข.1 เสียงโดต่ำ

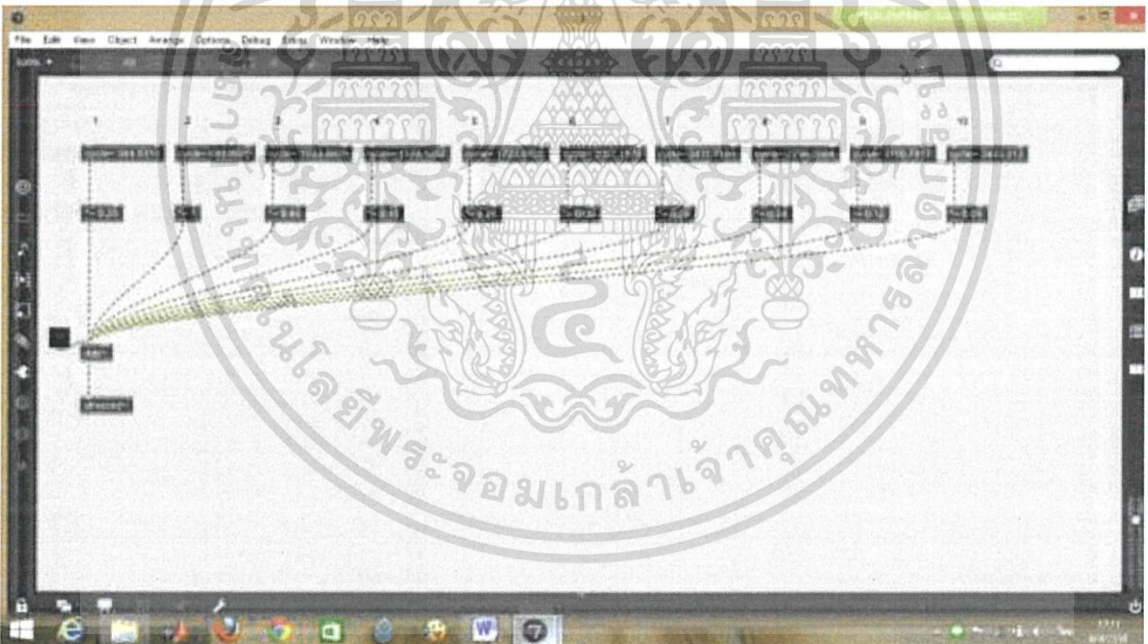


รูปที่ ข.2 เสียงเรตต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

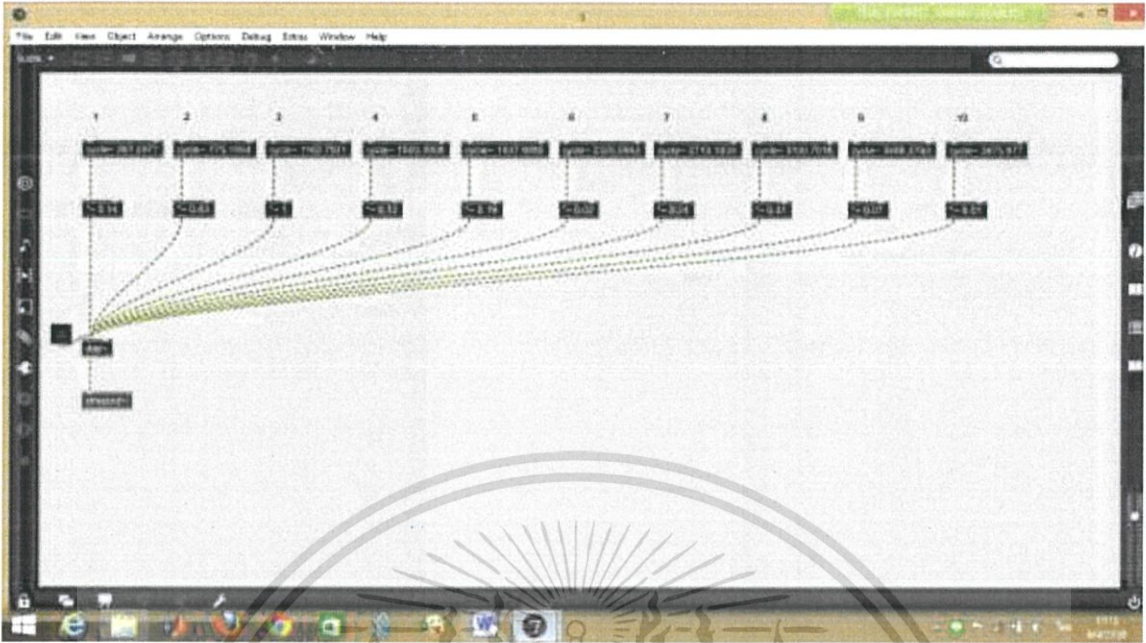


รูปที่ ข.3 เสียงมิต้า

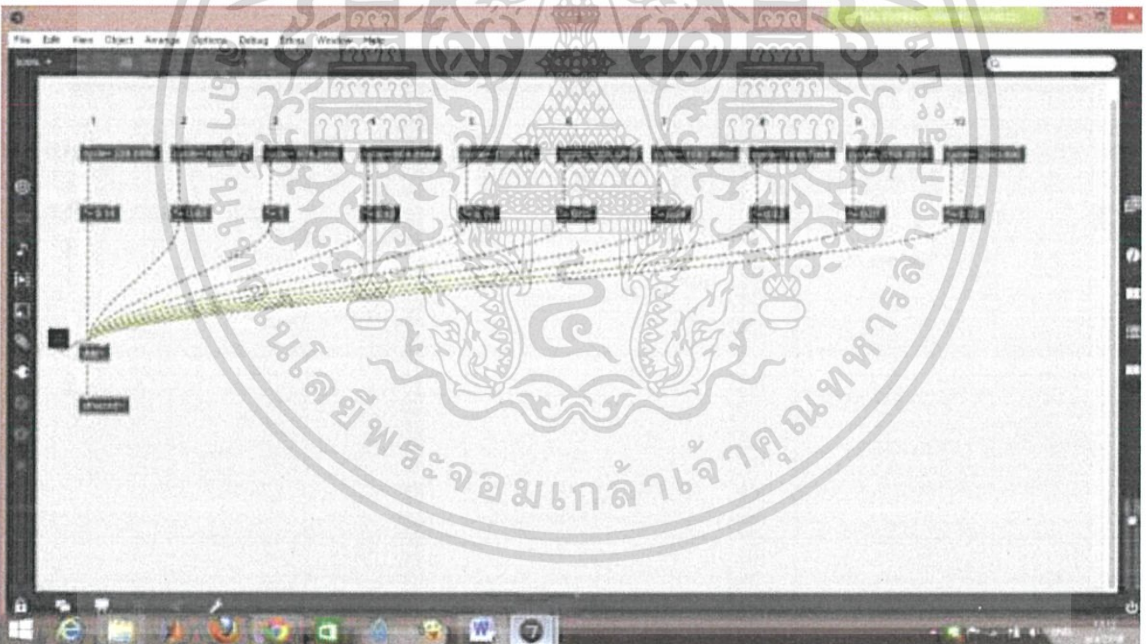


รูปที่ ข.4 เสียงฟาต้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

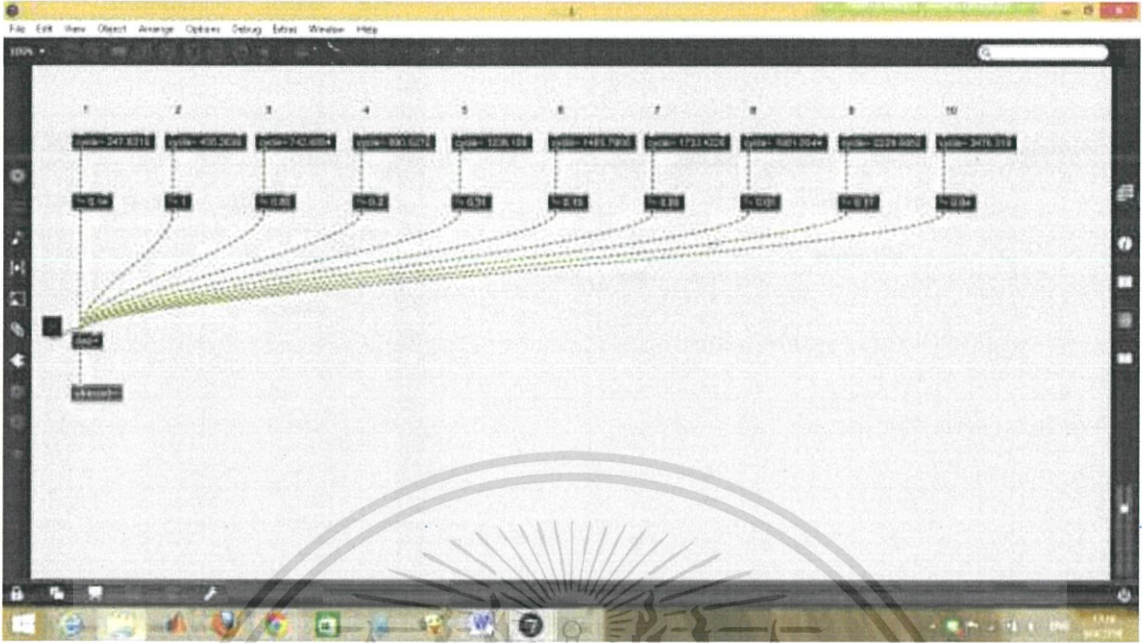


รูปที่ ข.5 เสียงซอลต่ำ

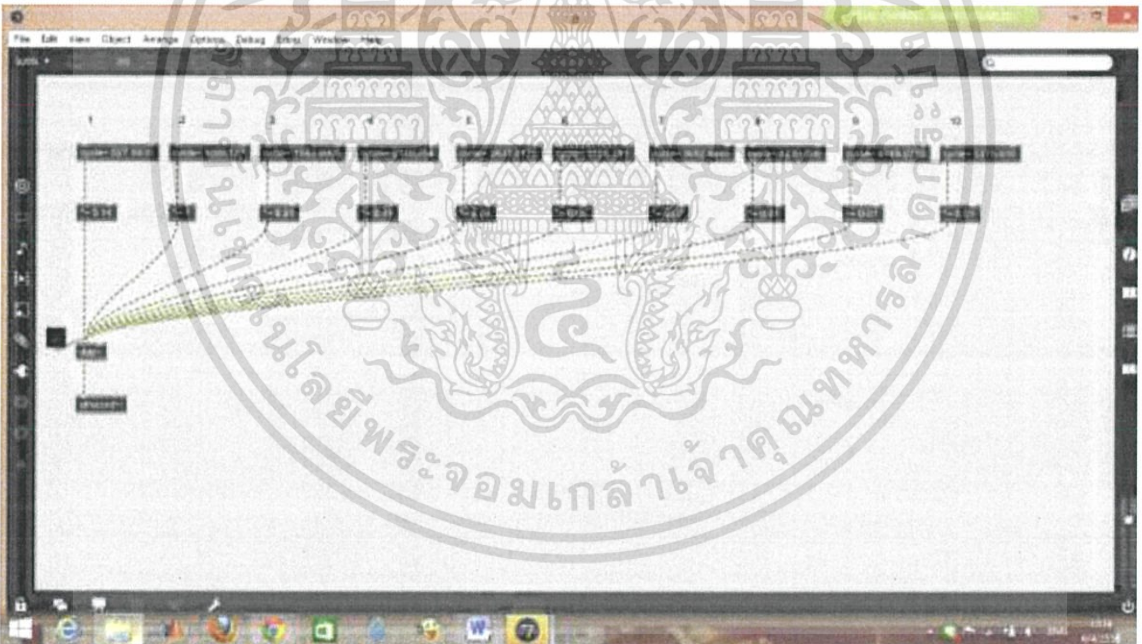


รูปที่ ข.6 เสียงลาต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

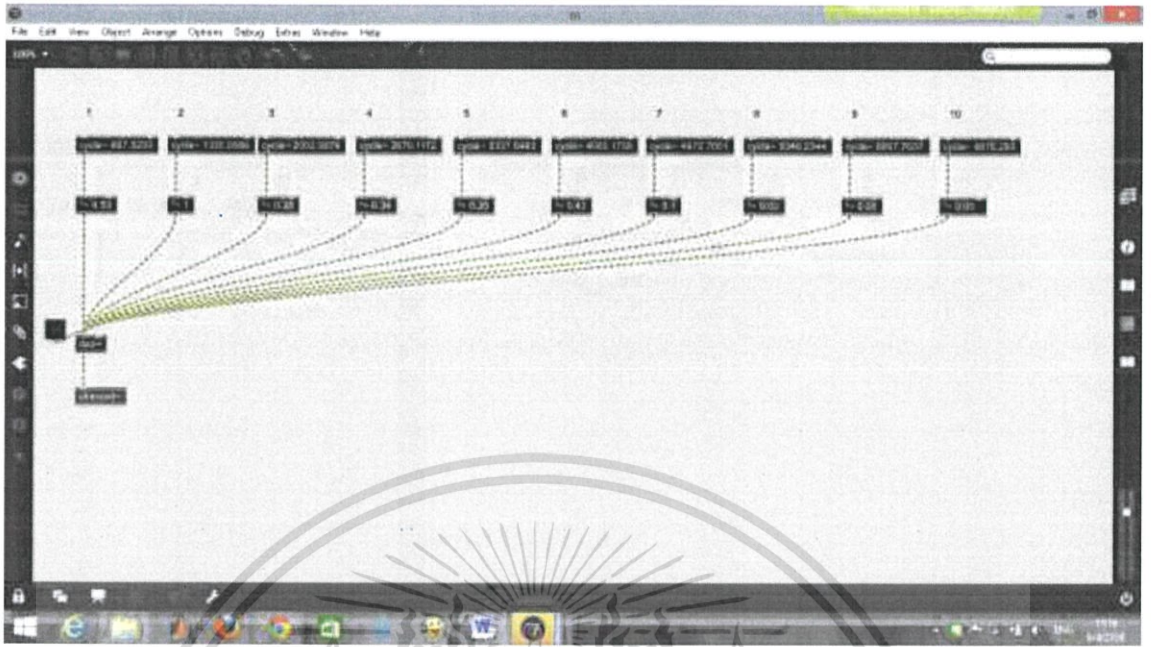


รูปที่ ข.7 เสียงที่ต่ำ

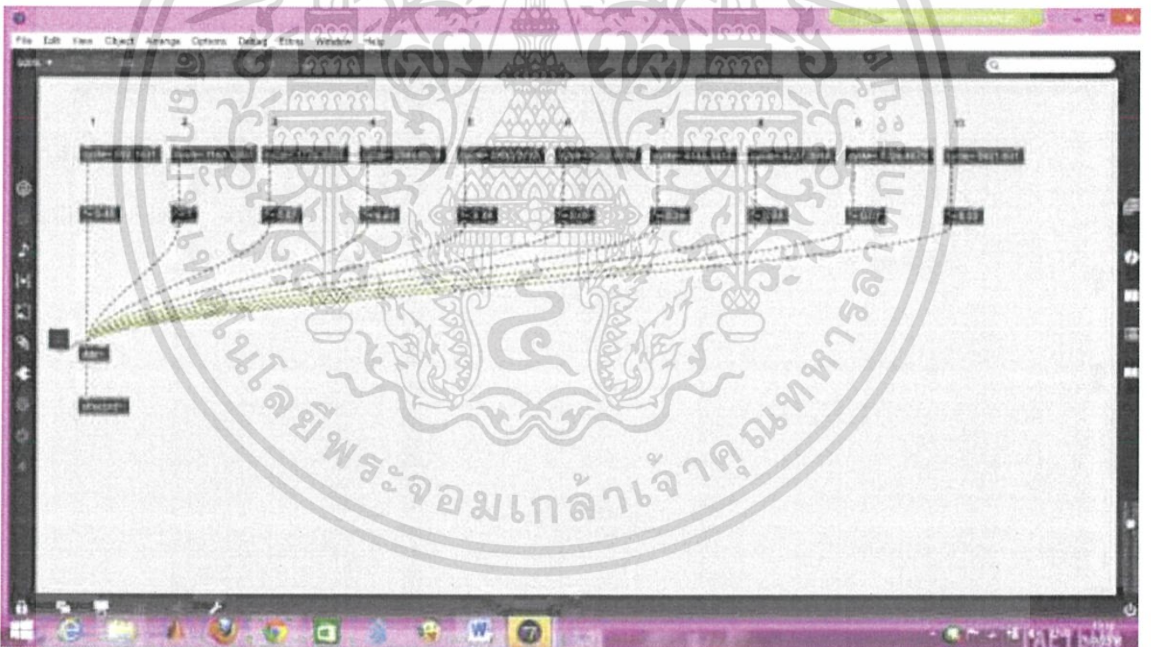


รูปที่ ข.8 เสียงโดสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

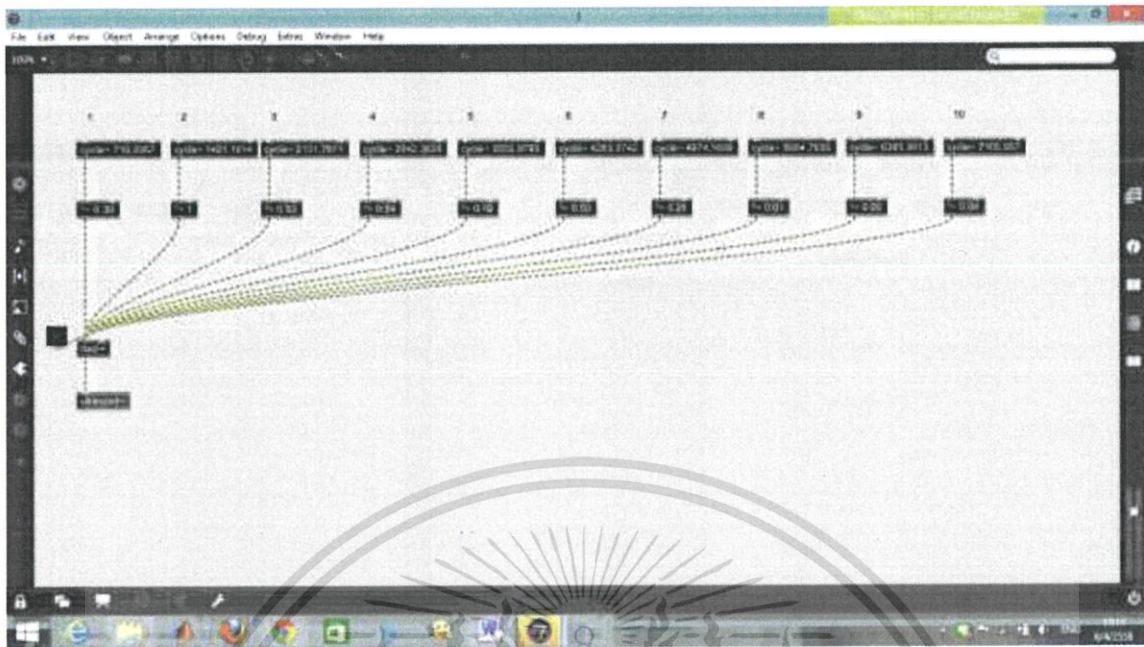


รูปที่ ข.9 เสียงเรสูง

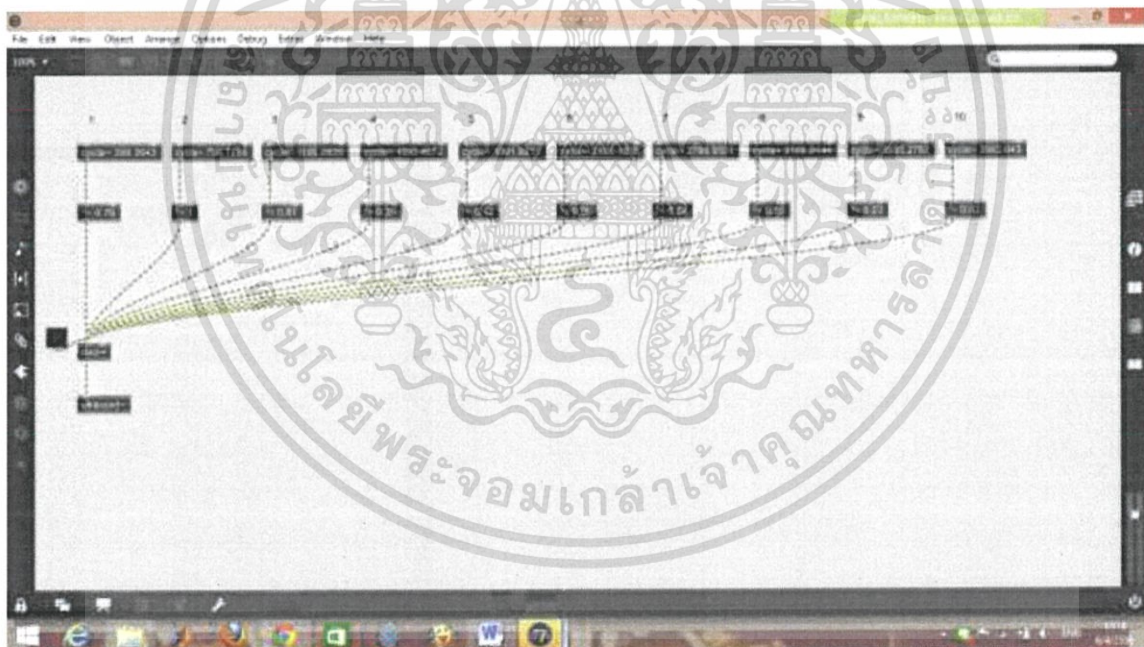


รูปที่ ข.10 เสียงมีสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

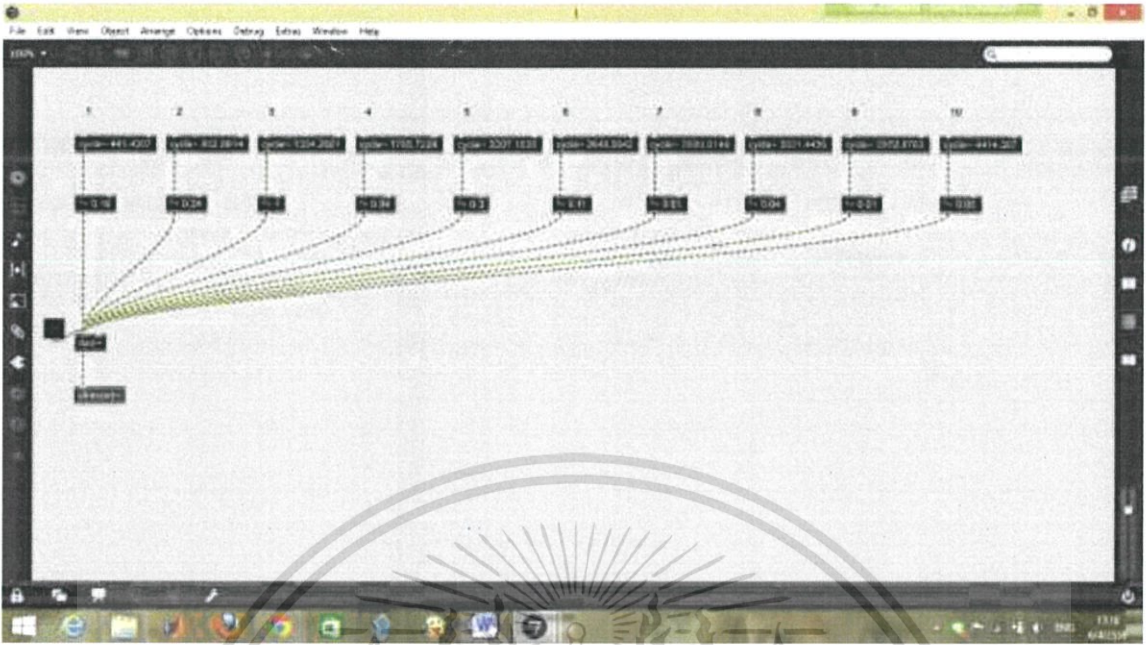


รูปที่ ข.11 เสียงฟ้าสูง

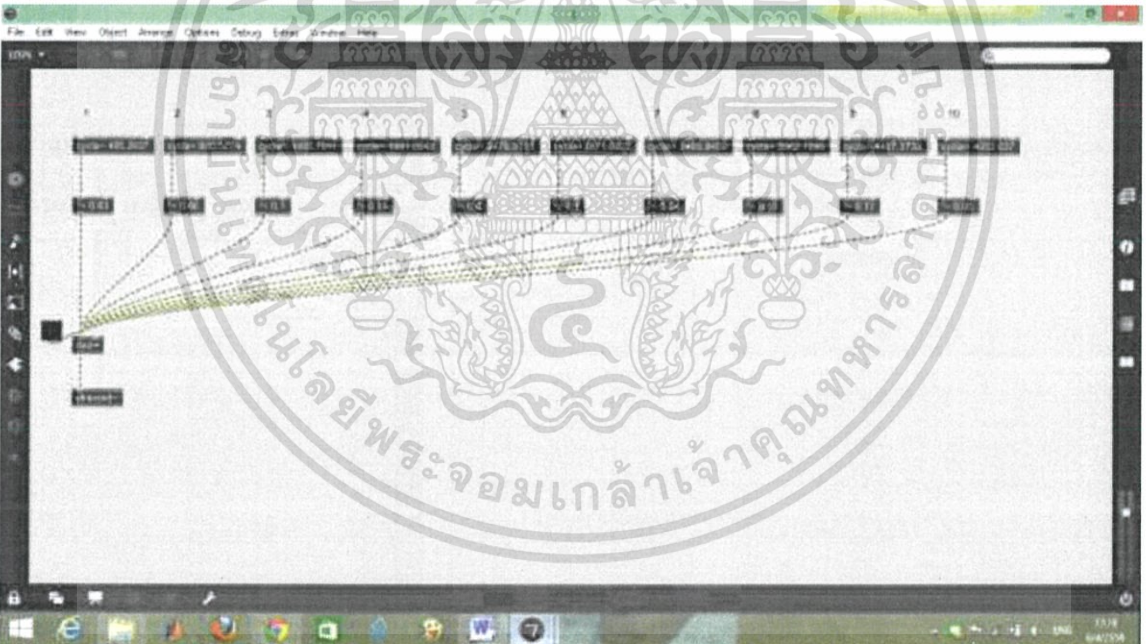


รูปที่ ข.12 เสียงซอลสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.13 เสียงลาสูง



รูปที่ ข.14 เสียงทีสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การสังเคราะห์เสียงแคนด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

ELECTRONIC KAEN SYNTHESIZER WITH MICROCONTROLLER

นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมสารสนเทศ นางสาวเด่นนภา ลำอาจเอี่ยม, นางสาวปรียาภรณ์ สุนทรโร
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดลชัย สุขเจริญผล

บทคัดย่อ

โครงการนี้ศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์และสังเคราะห์สัญญาณเสียงของแคนแปด โดยใช้หลักการประมวลผลสัญญาณแบบดิจิทัลในการวิเคราะห์แถบความถี่และการกระจายสเปกตรัม 3 มิติ แล้วนำผลการวิเคราะห์สัญญาณที่ได้มาสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟบนบนโปรแกรมแม็กซ์/เอ็มเอสพี เพื่อหาจำนวนฮาร์โมนิกและขนาดแอมพลิจูดที่ใช้ในการสังเคราะห์เสียง และสร้างอุปกรณ์ควบคุมและสังเคราะห์เสียงแคน โดยใช้อาร์ดูโนนาโนเป็นตัวประมวลผลหลัก รับข้อมูลจากการกดสวิตช์กดติดปล่อยดับเพื่อควบคุมตัวโน้ต และรับความแรงของการเป่าผ่านเซนเซอร์วัดความดันเพื่อควบคุมความดังของเสียง แล้วนำข้อมูลจากการกดและการเป่าที่ได้มาสังเคราะห์เสียงโดยใช้เทคนิคแอดดิทีฟในอาร์ดูโนนาโน โดยอุปกรณ์ควบคุมและสังเคราะห์เสียงแคนหรือแคนไฟฟ้าจะมีขนาดเล็กและใช้แรงเป่าน้อยกว่าแคนจริง

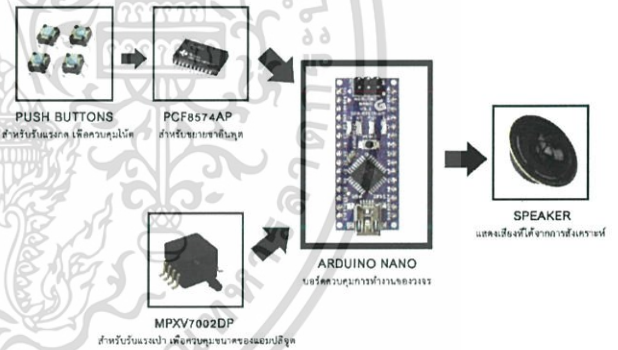
แนวคิดและที่มา

แคน เป็นเครื่องเป่าพื้นเมืองของชาวอีสานเหนือ เป็นสัญลักษณ์ของภาคอีสาน ทำจากไม้ซาง ซึ่งปัจจุบันต้องนำเข้าจากประเทศเพื่อนบ้าน มีหลักการเกิดเสียงที่ซับซ้อน และมีการเล่นที่ยาก ต้องใช้ลมในการเป่าเยอะพอสมควรทั้งดูดเข้าและเป่าออก การทำแคนต้องอาศัยความชำนาญของช่างในการฟังเสียงและการวัดระยะ ช่างแต่ละคนต่างก็มีเทคนิคที่แตกต่างกัน เช่น ช่างบางคนใช้การวัดระยะจากนิ้วโป้งหรือระยะเบ้ง ช่างบางคนใช้การวัดระยะจากใบไม้ ทำให้เสียงแคนที่ได้มีความแตกต่างกันตามเทคนิคและความชำนาญของช่างทำแคน ถึงแม้แคนจะเป็นเครื่องดนตรีที่มีมายาวนานแล้ว แต่น้อยคนที่จะศึกษาอย่างจริงจัง

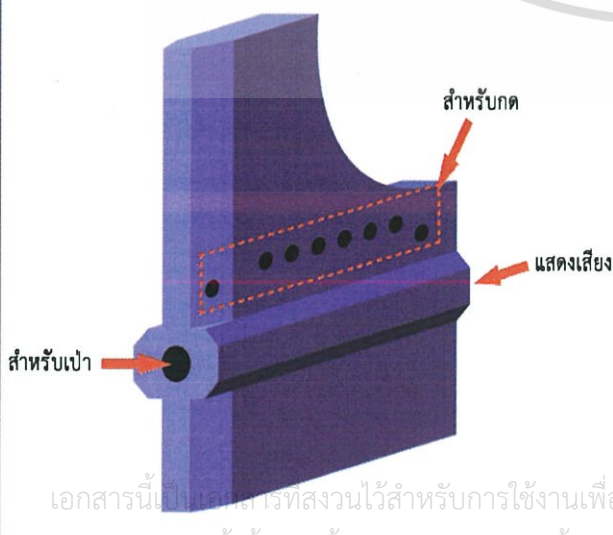
วัตถุประสงค์ของโครงการ

- เพื่อศึกษาคุณลักษณะของสัญญาณเสียงแคน
- เพื่อศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของแคน
- สามารถสร้างแคนไฟฟ้าที่มีขนาดเล็ก และเล่นได้ง่ายกว่าแคนจริง
- เพื่อนำผลที่ได้ไปประยุกต์ดัดแปลงให้สามารถเล่นแคนได้ง่ายขึ้น และพัฒนาเสียงของแคนให้ดีขึ้น

วงจรควบคุมการทำงาน



ลักษณะทางกายภาพของแคนไฟฟ้า



สรุปผลการทดลอง

ความถี่มูลฐานของแคนมีความถี่ตั้งแต่ 226.0986 Hz ถึง 710.5957 Hz โดยเสียงโน้ตต่ำจะมีค่าความถี่ต่ำสุดและเสียงโน้ตพาสสูงจะมีค่าความถี่สูงสุด โดยที่ความถี่ของโน้ตจะขึ้นอยู่กับระยะห่างของรูแพว ยิ่งระยะห่างของรูแพวมมาก ความถี่มูลฐานจะยังมีค่าน้อย เสียงของแคนมีลักษณะต่างจากเสียงของดนตรีชนิดอื่นๆ คือ ความถี่ที่มีแอมพลิจูดสูงสุด จะเป็นความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2, 3 หรือ 4 ไม่ใช่ความถี่มูลฐานเหมือนเสียงดนตรีชนิดอื่นส่วนใหญ่ และจากการสังเคราะห์สัญญาณเสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟโดยใช้โปรแกรม MAX/MSP ในการสร้างเสียง ทำให้ทราบว่าจำนวนฮาร์โมนิกและขนาดของแอมพลิจูดที่ใช้ในการสร้างเสียงของแคนที่ไพเราะ และนำค่ามาสังเคราะห์เสียงโดยใช้บอร์ดอาดูโนนาโนสร้างเสียงแคนโดยใช้เทคนิคแอดดิทีฟ เพื่อนำมาประดิษฐ์แคนไฟฟ้าที่เล่นได้ง่ายและราคาถูกกว่าแคนจริง