ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

T032796

ชื่อหัวข้อ การรู้จำเสียงพูดคำไทย (0-9)

Thai Speech Recognition (0-9)

ชื่อนักศึกษา

1. นายคมกฤษณ์	หาญคำภา	รหัสประจำตัว	40031102
2. นายประมาณ	จันโท	รหัสประจำตัว	40031117
3. นายพิสิฐ	พางาม	รหัสประจำตัว	40031121
4. นายสหรัฐ	น่าบัณฑิต	รหัสประจำตัว	40031135

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์วรวิทย์ สมหา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์		ลายมือชื่อ
1. อาจารย์วรวิทย์	สมหา	.....
2. อาจารย์ปิยะ	ศุภวราสุวัฒน์	.....
3. อาจารย์พีระวุฒิ	สุวรรณจันทร์	.....
4. อาจารย์โกศล	ตราชู	.....
5. อาจารย์พงษ์เกียรติ	เชษฐพิทักษ์สกุล	.....

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันจันทร์ที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2542 เวลา 12.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.310 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่...1...เดือน.....พ.ศ.....

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 32796
วัน, เดือน, ปี 10 มิ.ย. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ แสวงหาผลประโยชน์ในการค้า กรณีการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

การรู้จำเสียงพูดคำไทย (0-9)

THAI SPEECH RECOGNITION (0-9)

นายคมกฤษณ์ หาญคำภา

นายประมาณ จันโท

นายพิสิฐ พางาม

นายสหรัฐ น่าบัญฑิตย์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง การรู้จำเสียงพูดคำไทย (0-9)

Thai Speech Recognition (0-9)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อการศึกษาการรู้จำเสียงพูดโดยใช้คอมพิวเตอร์
2. เพื่อออกแบบระบบการรู้จำเสียงพูดโดยใช้คอมพิวเตอร์
3. เพื่อสร้างระบบการจดจำเสียงพูดคำไทย (0-9)
4. เพื่อทดสอบระบบการจดจำเสียงพูดคำไทย (0-9)
5. เพื่อนำระบบการจดจำเสียงพูดคำไทย (0-9) ไปใช้งานจริง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้เกี่ยวกับระบบการรู้จำเสียงพูดคำไทย
2. ได้เครื่องต้นแบบเกี่ยวกับระบบการรู้จำเสียงพูดคำไทย
3. ได้ผลการทดสอบระบบการรู้จำเสียงพูดคำไทย อันที่จะทำให้ทราบประสิทธิภาพของระบบ
4. ได้นำระบบการรู้จำเสียงพูดคำไทยไปใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	การรู้จำเสียงพูดคำไทย (0-9)
นักศึกษา	นายคมกฤษณ์ หาญคำภา
	นายประมาณ จันโท
	นายพิสิฐ พางาม
	นายสหรัฐ น่าบัญฑิตย์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์วรวิทย์ สมหา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
ปีการศึกษา	2541

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการรู้จำเสียงพูดคำไทย (0-9) โดยมีลักษณะการรู้จำเสียงพูดคำไทยได้ 10 ตัวด้วยกัน คือ เลขศูนย์, หนึ่ง, สอง, สาม, สี่, ห้า, หก, เจ็ด, แปด, และเก้า ซึ่งจะนำสัญญาณแอนะลอกที่อยู่ในแกนของเวลามาแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิตอล โดยวิธีการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็วซึ่งจะใช้การเขียนโปรแกรม Visual Basic version 5.0 ในการควบคุมการทำงานร่วมกับ Windows 95, 98 โดยใช้หลักการเปรียบเทียบเสียง แล้วแสดงผลผ่านจอคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Thai Speech Recognition (0-9)
Students	Mr.Khomkrich Hankhompha
	Mr.Praman Junto
	Mr.Pisit Pangam
	Mr.Saharut Nabundit
Advisor	Mr.Worawit Somha
Co-Advisor	Mr.Piya Supavarasuwat
Education Level	Bachelor of Science in Industrial Education
Program in	Telecommunication Engineering
Academic Year	1998

ABSTRACT

This thesis presents the extensive Thai Speech Recognition (0-9). Characteristics speech recognition for Thai language is ten words, consist of zero, one, two, three, four, five, six, seven, eight and nine which carry a time domain speech signal analog converted to digital, converted to fast fourier. Controlled the program by writing Visual Basic version 5.0 combined with window 95, 98. The results compared are shown on display

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องมาจากความช่วยเหลือและการสนับสนุนทางด้านอุปกรณ์ เครื่องมือต่างๆ ตลอดจนได้รับการสนับสนุนด้านทุนทรัพย์จากภาควิชาครุศาสตร์-วิศวกรรม ขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่านที่คอยให้คำแนะนำ วิธีการแก้ปัญหาต่างๆ ขอขอบคุณอาจารย์วรวิทย์ สมหา รวมทั้งครู – อาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนมาในอดีต และเพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจ อีกทั้งยังสนับสนุนทางด้านเครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์

สุดท้าย ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติ ที่สนับสนุนการศึกษามาจนถึงปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 ลักษณะของเสียงพูด	3
2.2.1 อวัยวะที่ใช้ในการออกเสียง	3
2.2.2 การเกิดเสียง	4
2.3 ระบบการได้ยินและการวิเคราะห์เสียงของมนุษย์	5
2.3.1 หูและการได้ยิน	5
2.3.2 ธรรมชาติการรู้จำเสียง	6
2.4 หลักการเข้าถึงข้อมูลและการแปลงข้อมูล	8
2.4.1 ทฤษฎีการสุ่มสัญญาณ	9
2.4.2 วงจรสุ่มสัญญาณ, เก็บสัญญาณและค่าความผิดพลาดจากช่วงเวลาที่ไม่แน่นอน	11
2.4.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	24
2.4.4 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก	34
2.5 การแปลงฟาสท์ฟูริเยร์	38
2.5.1 ฟาสท์ฟูริเยร์แบบฐานสอง	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.5.2 วิธีการลดทอนเวลา	42
2.5.3 การลดทอนทางเวลาแบบอื่นๆ	45
2.6 โครงสร้างของการ์ดเสียง	49
2.6.1 ลักษณะทางกายภาพของเสียง	50
2.6.2 ฟังก์ชั่นของการ์ดเสียง	51
บทที่ 3 การออกแบบและการทำงาน	54
3.1 หน่วยการรู้จำเสียงพูด	54
3.1.1 ผู้พูดคนเดิมหรือผู้พูดคนเดียวกัน	54
3.1.2 สอนให้เครื่องได้รู้จักคำในลักษณะของหน่วยเสียงหรือหน่วยพยางค์	54
3.2 วิธีการวิเคราะห์และการศึกษาเสียงพูด	54
3.2.1 การวิเคราะห์เสียงโดยวิธีโดเมนเวลา	55
3.2.2 การวิเคราะห์จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ	55
3.2.3 การวิเคราะห์โดยวิธีชอร์ตไทม์สเปคตรัม	55
3.2.4 การวิเคระห์แบบการคาดเดาเชิงเส้น	56
3.3 อัลกอริทึม	57
3.4 ลักษณะหัวแฟ้มของไฟล์จุดเวฟ	57
3.5 หลักการออกแบบโปรแกรมการรู้จำเสียงพูดคำไทย	58
3.5.1 รูปแบบโปรแกรม	62
3.5.2 การออกแบบผังงานของโปรแกรมส่วนต่างๆ	66
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	71
4.1 การทดลอง	71
4.1.1 สอนให้คอมพิวเตอร์รู้จักกับเสียงต้นแบบ	71
4.1.2 รับเสียงเพื่อนำไปเปรียบเทียบแบบกึ่งอัตโนมัติ	76
4.1.3 รับเสียงเพื่อนำไปเปรียบเทียบแบบอัตโนมัติ	77
4.2 ผลการทดลอง	77
4.2.1 ผลการทดลองแบบกึ่งอัตโนมัติ	77
4.2.2 ผลการทดลองแบบอัตโนมัติ	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.3 สรุปผลการทดลอง	81
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไขและพัฒนา	83
5.1 บทสรุป	83
5.2 ปัญหา	83
5.3 แนวทางการแก้ไขและพัฒนา	84
ภาคผนวก ก โปรแกรมการรู้จำเสียงพูดคำไทย (0-9)	85
ภาคผนวก ข การติดตั้งโปรแกรมรู้จำเสียงพูดคำไทย (0-9)	138
บรรณานุกรม	140
ประวัติผู้แต่ง	141

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 3.1 ลักษณะหัวแฟ้มของไฟล์จุดเวฟ	58
ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของวินโดว์ชนิดต่างๆ	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 อวัยวะที่ใช้ในการออกเสียงพูดของมนุษย์	4
รูปที่ 2.2 หูส่วนนอก, ส่วนกลาง, ส่วนในและส่วนประกอบต่างๆ ของหู	6
รูปที่ 2.3 ระบบควบคุมที่มีการประมวลผลทางดิจิตอล	8
รูปที่ 2.4 ค่าผิดพลาดจากการวัดเวลาที่เกิดความไม่แน่นอน	9
รูปที่ 2.5 การสุ่มสัญญาณ	11
รูปที่ 2.6 (ก) สเปคตรัมของสัญญาณแอนะลอกที่จะถูกสุ่ม	12
รูปที่ 2.6 (ข) สเปคตรัมหลังจากการสุ่มซึ่งจะทำให้เกิดความถี่ซ้อน	12
รูปที่ 2.7 การเกิดความถี่เพี้ยนจากการสุ่มความถี่ต่ำกว่า 2 เท่าของความถี่สัญญาณแอนะลอก	13
รูปที่ 2.8 ฟังก์ชั่นถ่ายโอนของการควอนไตซิ่ง 3 บิตตามทฤษฎี	14
รูปที่ 2.9 ฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของ ADC 3 บิตที่ใช้รหัสออฟ-เซ็ต ไบนารี	16
รูปที่ 2.10 (ก) พื้นฐานของวงจรสุ่มและเก็บสัญญาณ	17
รูปที่ 2.10 (ข) วงจรสุ่มและเก็บสัญญาณที่ใช้ในทางปฏิบัติทั่วๆ ไป	18
รูปที่ 2.11 รูปคลื่นเอาต์พุตของวงจรสุ่มและเก็บสัญญาณ	18
รูปที่ 2.12 (ก) เอาต์พุตจากวงจรสุ่มและเก็บสัญญาณ	18
รูปที่ 2.12 (ข) เอาต์พุตจากวงจรจับและเก็บสัญญาณ	18
รูปที่ 2.13 (ก) วงจรกลับเฟสแบบลูปปิดอัตราการขยายเท่ากับ 0.5	19
รูปที่ 2.13 (ข) วงจรกลับเฟสแบบลูปปิดอัตราการขยายเท่ากับ 1	19
รูปที่ 2.14 วงจรไม่กลับเฟสแบบลูปปิด	20
รูปที่ 2.15 (ก) วงจรแรงดันอ้างอิงบวก	21
รูปที่ 2.15 (ข) วงจรแรงดันอ้างอิงลบ	21
รูปที่ 2.15 (ค) กราฟแสดงคุณสมบัติของซีเนอร์ไดโอด	21
รูปที่ 2.16 (ก) แรงดันอ้างอิงบวก	22
รูปที่ 2.16 (ข) แรงดันอ้างอิงลบ	22
รูปที่ 2.17 แรงดันอ้างอิงปรับค่าได้	23
รูปที่ 2.18 วงจรแรงดันอ้างอิงพื้นฐานแบบแบนด์แก็ป	24
รูปที่ 2.19 วิธีพื้นฐานของ DAC	24

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.20 ฟังก์ชั่นถ่ายโอนของวงจรเปรียบเทียบ	25
รูปที่ 2.21 แผนผังการทำงานของ DAC แบบใช้การนับ	25
รูปที่ 2.22 ADC แบบใช้การนับ	26
รูปที่ 2.23 แผนผังการทำงานของวงจรแทรคกิ้ง	27
รูปที่ 2.24 แผนผังเวลาของวงจรแทรคกิ้ง	27
รูปที่ 2.25 วงจรแปลงแบบสโลปเดี่ยว	28
รูปที่ 2.26 วงจรกำเนิดสัญญาณแรมพ์	29
รูปที่ 2.27 (ก) แผนผังการทำงานของ DAC แบบสโลปคู่	30
รูปที่ 2.27 (ข) รูปคลื่นเอาต์พุตของ DAC แบบสโลปคู่	31
รูปที่ 2.28 แผนผังการทำงานของ DAC แบบใช้การประมาณค่าอย่างต่อเนื่อง	31
รูปที่ 2.29 แผนผังเวลาของ SAR	32
รูปที่ 2.30 ADC แบบขนาน	33
รูปที่ 2.31 ฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของ DAC 3 บิตตามทฤษฎี	34
รูปที่ 2.32 แผนผังการทำงานของ DAC	34
รูปที่ 2.33 แบบไบนารี่เวจท์แลดเดอร์	35
รูปที่ 2.34 วงจร DAC แบบ R-2R แลดเดอร์ขนาด 4 บิต	36
รูปที่ 2.35 วงจรรีซิสทีฟแลดเดอร์	36
รูปที่ 2.36 วงจร DAC แบบ R-2R แลดเดอร์ที่กลับเฟส	37
รูปที่ 2.37 กราฟการไหลของสัญญาณที่ได้จากการคำนวณ FFT	42
รูปที่ 2.38 หน่วยผีเสื้อของการคำนวณตามขั้นตอนวิธีลดทอนทางเวลา	45
รูปที่ 2.39 (ก) กราฟการไหลสัญญาณ	46
รูปที่ 2.39 (ข) การสลับตำแหน่งของลำดับ x(n) ด้วยการผันกลับบิต	46
รูปที่ 2.40 (ก) กราฟการไหลตามวิธีของคูลีย์และทูคีย์	47
รูปที่ 2.40 (ข) กราฟการไหลตามวิธีของเยนเทิลแมนและแซนดี	48
รูปที่ 2.40 (ค) กราฟการไหลตามวิธีของซิงเกิลตัน	48
รูปที่ 2.41 ลักษณะของสัญญาณไซน์	50
รูปที่ 2.42 แซมปลิ้งเรตสูงและแซมปลิ้งเรตต่ำ	52

เอกสารนี้ใช้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของการวิเคราะห์โดยวิธีชอร์ตไทม์	57
รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของการวิเคราะห์	57
รูปที่ 3.3 รายการหลัก	62
รูปที่ 3.4 รายการบันทึกเสียง	63
รูปที่ 3.5 รายการเปรียบเทียบเสียง	64
รูปที่ 3.6 รายการผู้จัดทำ	65
รูปที่ 3.7 รายการช่วยเหลือ	66
รูปที่ 3.8 ผังงานของโปรแกรมหลัก	66
รูปที่ 3.9 ผังงานของโปรแกรมอัดและบันทึกเสียง	67
รูปที่ 3.10 ผังงานของโปรแกรมสร้างไฟล์จุดทิม	67
รูปที่ 3.11 ผังงานของโปรแกรม FFT	68
รูปที่ 3.12 ผังงานของโปรแกรมเปรียบเทียบเสียง	69
รูปที่ 3.13 ผังงานของโปรแกรมแสดงกราฟ	70
รูปที่ 4.1 การเลือกเข้า โปรแกรม Thai Speech Recognition (0-9)	71
รูปที่ 4.2 รายการหลัก	72
รูปที่ 4.3 รายการรับเสียง	72
รูปที่ 4.4 รายการอัดและบันทึกเสียง	73
รูปที่ 4.5 กราฟในโดเมนความถี่	74
รูปที่ 4.6 กราฟในโดเมนเวลา	74
รูปที่ 4.7 กราฟ 3 มิติ	75
รูปที่ 4.8 รายการเปรียบเทียบ	76
รูปที่ 4.9 ผลการเปรียบเทียบแบบอัตโนมัติ	77
รูปที่ 4.10 ผลการเปรียบเทียบแบบแฮมมิ่ง	78
รูปที่ 4.11 ผลการเปรียบเทียบแบบฮาร์น	78
รูปที่ 4.12 ผลการเปรียบเทียบแบบเรกแทน	79
รูปที่ 4.13 การผลเปรียบเทียบแบบแบล็กแมน	79

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 4.14 การผลเปรียบเทียบเสียง “ศูนย์” แบบอัตโนมัติ	80
รูปที่ 4.15 การผลเปรียบเทียบเสียง “หนึ่ง” แบบอัตโนมัติ	80
รูปที่ 4.16 การผลเปรียบเทียบเสียง “สอง” แบบอัตโนมัติ	81
รูปที่ 4.17 การผลเปรียบเทียบเสียง “สาม” แบบอัตโนมัติ	81
รูป ก.1 โปรแกรมเริ่มต้นการทำงาน	86
รูป ก.2 โปรแกรมแสดงฟังก์ชั่นหลัก	87
รูป ก.3 โปรแกรมบันทึกเสียง	91
รูป ก.4 โปรแกรมเปรียบเทียบ	109
รูป ก.5 โปรแกรมพารามิเตอร์	114
รูป ก.6 โปรแกรมแสดงกราฟ	117
รูป ก.7 โปรแกรมอัตโนมัติ	127
รูป ก.8 โปรแกรมช่วยเหลือ	128
รูป ก.9 โปรแกรมแสดงผู้จัดทำ (1)	130
รูป ก.10 โปรแกรมแสดงผู้จัดทำ (2)	132
รูป ก.11โปรแกรมแสดงประวัติผู้จัดทำ	133
รูป ก.12โปรแกรมโมดูล	135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

การวิเคราะห์เสียงที่ไม่ขึ้นกับผู้พูดเป็นการพัฒนาระบบการรับคำสั่งของคอมพิวเตอร์ โดยไม่เจาะจงผู้ออกเสียงคำสั่งเป็นการเปิดกว้างให้กับคนทั่วไปสามารถออกคำสั่งกับคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาระบบการสื่อสารระหว่างมนุษย์กับคอมพิวเตอร์โดยใช้เสียงพูดเป็นสื่อ ทำให้การติดต่อด้วยเสียงมีความรวดเร็วกว่าการติดต่อโดยผ่านทางสวิตช์หรือคีย์บอร์ดมาก อีกทั้งยังมีความสะดวกต่อการใช้งาน ซึ่งสามารถที่จะประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง เช่น การป้อนข้อมูลด้วยเสียงพูด, การติดต่อเลขหมายโทรศัพท์ด้วยเสียงพูด, การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ของคนพิการหรือผู้ป่วยอัมพาตโดยใช้เสียงและการควบคุมหุ่นยนต์โดยใช้คอมพิวเตอร์

1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน

โครงงานนี้มีขีดความสามารถดังต่อไปนี้

1. สามารถจดจำเสียงพูดคำไทยตั้งแต่ 0-9
2. สามารถแสดงผลการรู้จำโดยผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์

1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเป็นบทต่างๆ เพื่อความสะดวกต่อการศึกษาและทำความเข้าใจ ในแต่ละบทจะประกอบด้วยเนื้อหาที่สำคัญดังนี้

บทที่ 1 บทนำ เป็นส่วนเริ่มต้นของเนื้อหา จะกล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์, ขีดความสามารถของโครงงานและเนื้อหาโดยสังเขป

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ กล่าวถึง ลักษณะของเสียงพูด, ระบบการได้ยินเสียง, การวิเคราะห์เสียงของมนุษย์, หลักการเข้าถึงข้อมูล, การแปลงข้อมูล, การแปลงฟาสท์ฟูริเยร์, การควอนไตซ์, โครงสร้างของการ์ดซาวน์บลาสเตอร์

บทที่ 3 การออกแบบ การสร้างและการทำงาน กล่าวถึง หน่วยการรู้จำเสียงพูด, วิธีการวิเคราะห์และศึกษาเสียงพูด, อัลกอริทึม และหลักการออกแบบโปรแกรมการรู้จำเสียงพูดคำไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลองโปรแกรม ซึ่งเป็นการรับเสียงคำไทยเข้ามาเพื่อทำการเปรียบเทียบเสียง แล้วแสดงคำไทยดังกล่าวบนจอคอมพิวเตอร์

บทที่ 5 บทสรุปปัญหา และแนวทางการพัฒนา กล่าวถึงประโยชน์ที่ได้รับจาการทำโครงงาน, ปัญหา, แนวทางการแก้ไข และแนวทางในการพัฒนาโครงงาน

ภาคผนวก จะแบ่งออกเป็น 2 ภาค ซึ่งจะประกอบด้วย

ภาคผนวก ก โปรแกรมการรู้จำเสียงพูดคำไทย (0-9)

ภาคผนวก ข การติดตั้งโปรแกรมการรู้จำเสียงพูดคำไทย (0-9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กล่าวนำ

เนื้อหาของปริญญานิพนธ์ในบทนี้เป็นทฤษฎีและหลักการที่นำมาใช้ประกอบการสร้างโครงงาน โดยประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญของหัวข้อหลักๆ ของทฤษฎีและหลักการ ซึ่งจะกล่าวถึงดังต่อไปนี้

2.2 ลักษณะของเสียงพูด (Speech Characteristic)

คนเราเปล่งเสียงพูดด้วยอวัยวะที่ใช้ในการออกเสียง (Organs of Speech) โดยเปล่งเสียงสำคัญตามที่มีอยู่ในระบบภาษาของคน แม้ว่าคนที่อยู่ในสังคมเดียวกันจะใช้ภาษาเดียวกันแต่ถ้าเราพิจารณาเสียงที่เราเปล่งออกมาจริงๆ ในแต่ละครั้ง ก็อาจจะสังเกตลักษณะที่แตกต่างกันได้เราจึงสามารถจำเสียง จำผู้พูด จำคนที่เราคุ้นเคยได้ เสียงพูดนี้มีลักษณะที่จะอธิบายได้ด้วยหลักเกณฑ์ทางวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นสากลแม้ภาษาหนึ่งๆ จะมีเสียงที่แตกต่างกันไปแต่ละเสียงก็สามารถที่จะนำมาพิจารณา, อธิบายให้รู้ลักษณะการออกเสียง และตำแหน่งที่เกิดของเสียงได้ คำอธิบายนี้จะทำให้เข้าใจลักษณะเสียงได้ทุกเสียงซึ่งวิชาที่ว่าด้วยเสียงพูดเราจะเรียกว่า "วิชาสัทศาสตร์ (Phonetics)"

ในการศึกษาเรื่องเสียงพูดจะสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

1) สรีระสัทศาสตร์ (Articulatory Phonetics) เป็นการศึกษาเสียงพูดที่เกิดจากอวัยวะและการเคลื่อนไหวของอวัยวะที่ทำให้เกิดเสียงพูดขึ้น การอธิบายก็จะอธิบายโดยอาศัยลักษณะและอาการเคลื่อนไหวของอวัยวะที่เกี่ยวข้องในการเปล่งเสียงพูดนั้น

2) กลสัทศาสตร์ (Acoustic Phonetics) เป็นการศึกษาเสียงพูดจากลักษณะคลื่นเสียงที่ผู้พูดเปล่งออกมาแล้วและผู้ฟังได้ยินว่ามีลักษณะทางกลศาสตร์เป็นอย่างใด การศึกษาตามแนวนี้ต้องอาศัยวามรู้ทางฟิสิกส์และคณิตศาสตร์เข้าช่วยอธิบายลักษณะของคลื่นเสียง

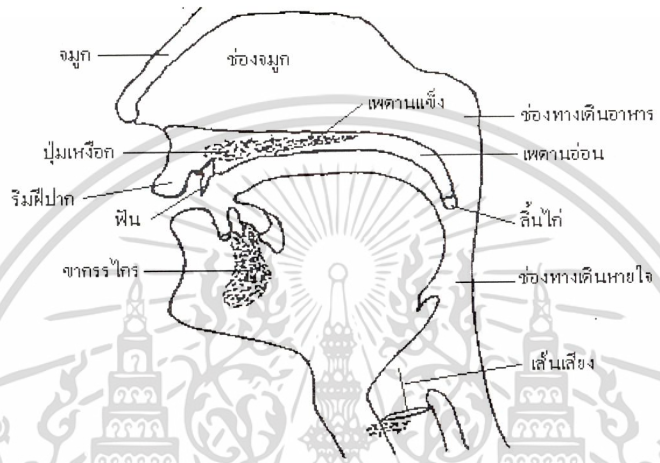
2.2.1 อวัยวะที่ใช้ในการออกเสียง (Organs of Speech)

อวัยวะที่ใช้ในการออกเสียงพูดมีอยู่หลายส่วน แต่ละส่วนสามารถที่ให้เสียงพูดแตกต่างกันไป อวัยวะเหล่านี้ได้แก่ ปากและส่วนต่างๆในปากเช่นช่องปาก, ช่องคอ, ช่องจมูกและกล่องเสียง อวัยวะที่ใช้ในการออกเสียงแบ่งได้เป็น 2 พวกได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) อวัยวะที่ใช้ในการกระทำอาการ (Articulator) หมายถึงอวัยวะที่เคลื่อนไหว เพื่อผลักลมไปยังส่วนต่างๆ อวัยวะตัวกระทำอาการที่สำคัญ คือ ลิ้น ซึ่งเป็นส่วนที่เคลื่อนไหวได้มากที่สุด

2) อวัยวะที่เป็นตำแหน่งที่เกิดเสียงต่างๆ (Point of Articulator) หมายถึงตำแหน่งหรือฐานที่เกิดของเสียงต่างๆ เช่น ริมฝีปาก ฟัน เพดานส่วนต่างๆ เป็นต้น



รูปที่ 2.1 อวัยวะที่ใช้ในการออกเสียงพูดของมนุษย์

2.2.2 การเกิดของเสียง (Speech Production)

ขั้นตอนการเกิดของเสียงแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือ

1) ขั้นเริ่มต้น (Initination) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ลมเริ่มถูกขับออกจากปอดเพื่อเดินทางเข้าสู่ขั้นตอนที่สองต่อไป

2) ขั้นตอนการดัดแปลงเสียงที่เส้นเสียง (Phonation) เป็นขั้นตอนที่ลมจากปอดจะผ่านมายังหลอดลมและกล่องเสียง ซึ่งกล่องเสียงนี้จะมีเส้นเสียงจะทำหน้าที่เป็น ลิ้นเปิด ปิด ทำให้เกิดเสียงได้สองชนิด คือ เสียงก้อง (Voiced Sound) และเสียงที่ไม่ก้อง (Unvoiced Sound) อวัยวะที่ใช้ในตอนนี้คือ ส่วนที่ต่อจากปอดขึ้นมาจนถึงริมฝีปาก

เสียงที่เกิดจากขั้นตอนดังกล่าว จะถูกแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1) เสียงก้อง (Voiced Sounds) เกิดเนื่องจากการออกเสียงในลักษณะที่เส้นเสียงถูกดึงเข้ามาใกล้กันจนเกือบปิดช่องทางลมเสียสนิท ลมที่ดันขึ้นมาจากปอดจะทำให้เส้นเสียงสั่น ลมที่ออกมาไม่สะดวกเพราะต้องบีบตัวผ่านช่องแคบเป็นจังหวะจนทำให้เกิดเป็นเสียงขึ้น เรียกว่า "เสียงก้อง"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เสียงไม่ก้อง (Unvoiced Sound) เป็นการออกเสียงในขณะที่เส้นเสียงยังเปิดกว้างโดยเปิดช่องระหว่างเส้นเสียงหรือช่องคอหอย (Glottis) ให้ลมหายใจผ่านเข้าออกสะดวก เรียกเสียงเหล่านี้ว่า "เสียงไม่ก้อง"

2.3 ระบบการได้ยินและการวิเคราะห์เสียงของมนุษย์

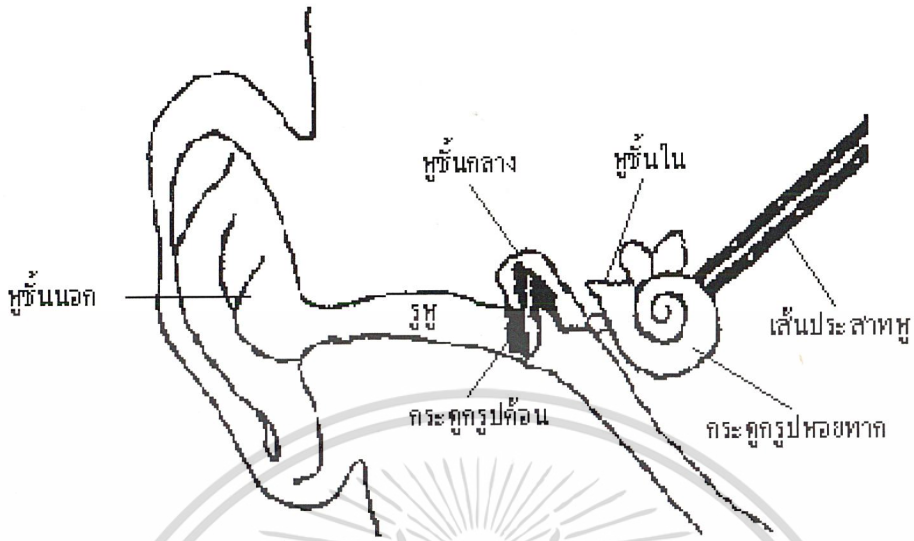
เราอาจแบ่งระบบการรับรู้ด้านเสียงของมนุษย์ได้ 2 ส่วน คือ ระบบการได้ยิน และระบบการวิเคราะห์ความหมายของเสียง ระบบการได้ยินประกอบด้วยอวัยวะต่างๆ ที่ใช้ในการรับเสียง ทำหน้าที่รับเสียงจากสิ่งแวดล้อมแปลงเป็นสัญญาณอิมพัลส์ (Impulse) ผ่านเส้นประสาทเสียงไปยังสมองส่วนรับรู้เสียง (Auditory) ที่ทำหน้าที่เป็นระบบวิเคราะห์ความหมายของเสียง

2.3.1 หูและการได้ยิน

หู เป็นอวัยวะที่ใช้ในการรับรู้เสียงทุกๆ เสียง ประกอบด้วย 3 ส่วนอันได้แก่ หูส่วนนอก หูส่วนกลาง และหูส่วนใน แรงอัดและขยายของคลื่นเสียงที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ จะเดินทางเข้ามาทางใบหู (Pinna), ช่องหู (Auditory cannal) ซึ่งเป็นหูส่วนนอก ผ่านหูส่วนกลางที่มีโพรงอากาศที่ประกอบด้วย Ear drum และกระดูก 3 ชิ้นได้แก่ Hammer, Anvil และ Stirrup ทำหน้าที่ถ่ายทอดความสั่นสะเทือนสู่ของเหลวที่บรรจุอยู่ภายในอวัยวะรูปเปลือกหอยทาก (The snale-shaped cochlea) ซึ่งเป็นหูส่วนใน ของเหลวที่อยู่ในอวัยวะรูปเปลือกหอยทากถ่ายทอดความสั่นสะเทือนเคลื่อนไปตามความยาวของ Cochlea (The basilar membrane) ภายในเยื่อ Basilar มีเซลล์ขน (Hair-cell) ที่มีคุณลักษณะการตอบสนองความถี่แตกต่างกันนับพัน แผ่อยู่ตั้งแต่ฐานถึงยอดของ Cochlea เมื่อเซลล์ขนเหล่านี้ถูกของเหลวจะทำให้ลักษณะเปลี่ยนไป โดยจะเกิดเป็นสัญญาณอิมพัลส์ไฟฟ้า (Electric impulse) กระตุ้นเป็นทอดๆ ผ่านเส้นประสาทเสียง (Auditory nerve) เข้าสู่สมอง โดยเซลล์ขนจะมีคุณลักษณะการตอบสนองความถี่ต่ำที่ส่วนยอดของ Cochles และที่ส่วนฐานเซลล์ขนจะมีคุณลักษณะการตอบสนองความถี่สูง

คุณลักษณะของเสียงที่มนุษย์สามารถแยกแยะออกได้นั้นประกอบด้วย ปริมาณ (Volume), พิท (Pitch) และโทน (Tone) ปริมาณความดังของเสียงขึ้นอยู่กับแอมปลิจูดหรือความเข้มของคลื่นเสียง พิทเป็นความสัมพันธ์กับความถี่ของคลื่นเสียงหมายถึง จำนวนของคลื่นที่ผ่านจุดอ้างอิงต่อหนึ่งหน่วยเวลา เมื่อความถี่สูงขึ้นพิทก็จะมากขึ้น, โทนหรือ Quality ของเสียงที่มีคุณสมบัติที่ซับซ้อนมากกว่าวอลลุ่ม โดยพิท guality จะแปลตามจำนวนและชนิดของ Overtone หรือฮาร์โมนิคส์ (Combination of frequency) โดยทั่วไปมนุษย์สามารถได้ยินเสียงความถี่ตั้งแต่ 30 Hz ถึง 20 kHz และช่วงแถบความถี่ที่ของเสียงพูดที่ใช้ในระบบสื่อสารมีแบนวิดธ์อยู่ในช่วง 300 Hz ถึง 3.4 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 หูส่วนนอก, ส่วนกลาง, ส่วนใน และส่วนประกอบต่างๆ ของหู

2.3.2 ธรรมชาติการรู้จำ

ระบบการรู้จำเสียงของมนุษย์ มีความละเอียดอ่อนซับซ้อน มีการเรียนรู้ และปรับปรุงความสามารถไปพร้อมกับการพัฒนาของร่างกายตั้งแต่เยาว์วัย ระดับการรู้จำจะดำเนินไปตามขั้นตอนของมันจนกระทั่งมีความเชี่ยวชาญในการฟัง ประกอบกับมีโครงสร้างที่มีประสิทธิภาพสอดคล้องกับระบบการได้ยิน ทำให้สามารถแยกแยะคำและเสียงที่ซับซ้อนได้อย่างดี ความชำนาญในการฟังเกิดจากการ เรียนรู้ ฝึกฝนและมีการปรับปรุงอยู่ตลอดเวลา จากการศึกษาพฤติกรรมพบว่าการวิเคราะห์และรู้จำเสียงของมนุษย์มีคุณลักษณะและความสามารถหลายอย่าง ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

1) การตีความหมายของคำที่ได้ยินนั้นจะขึ้นกับสถานการณ์, เวลา, สถานที่, ความรู้สึก, เรื่องที่กำลังสนใจ

2) สามารถรับรู้ความหมายเดียวกันได้แม้ ความดัง, ความถี่, พิท, ความยาวของเสียงที่เปล่งแตกต่างกัน

3) ขณะสนใจจะวิเคราะห์เสียงใดเสียงหนึ่ง ความสามารถวิเคราะห์เสียงอื่นรอบข้างจะด้อยลง

4) สามารถเลือกฟังเสียงที่ต้องการฟังเพื่อตีความหมายได้

5) สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเสียงภาษาของบุคคลทั่วไปและบุคคลเฉพาะ

6) สามารถรับรู้ทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) สามารถตีความได้โดยไม่ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดเสียงพูด

8) รับรู้อารมณ์, ความรู้สึก, น้ำเสียงของแหล่งกำเนิดเสียงพูดได้

9) การรับรู้มีความถูกต้องมากขึ้นเมื่อคู่สนทนาได้เห็นลีลา, สายตา, ท่าทางประกอบการพูด

10) สามารถแยกแยะคุณสมบัติของเสียงที่มีลักษณะใกล้เคียงกันมาก ได้อย่างมีประสิทธิ-ภาพ

11) มีการเรียนรู้ตลอดเวลา และปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมได้อย่างรวดเร็ว (ก่อนการวิเคราะห์เสียงใดๆ ได้ถูกต้อง ต้องมีประสบการณ์และการเรียนรู้ก่อน)

12) การปรับระดับความดังของการรับฟังให้อยู่ระดับที่จะสามารถนำไปวิเคราะห์ได้อย่างอัตโนมัติ โดยไม่คำนึงแหล่งกำเนิดเสียงว่าจะดังค่อยเพียงใด

13) มีการทำงานสอดคล้องประสานกันจิตใจที่สามารถควบคุมการวิเคราะห์จากการได้ยินได้

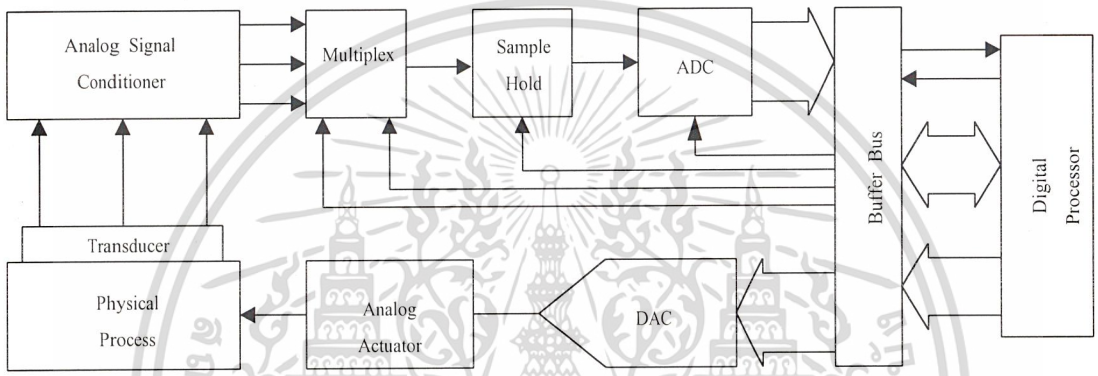
ดังนั้นการสร้างเครื่องจักรให้มีความสามารถรู้จำเสียงได้อย่างมีประสิทธิภาพเท่าเทียมมนุษย์เป็นเรื่องค่อนข้างยากหรือหากจะทำเครื่องจักรจะต้องทำให้มีลักษณะการลอกเลียนแบบพฤติ-กรรมของมนุษย์ คือ "การเรียนรู้ การฝึกฝน มีการปรับปรุงอยู่ตลอดเวลาและต้องกระทำอย่างอัตโนมัติ" การวิจัยดังกล่าวยังต้องอาศัยเวลาอีกพอสมควร เพราะต้องใช้คอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วสูงมากในขั้นตอนการฝึกฝน ซึ่งต้องใช้เวลามากหากต้องมีการฝึกฝนบ่อยๆ และเมื่อต้องการให้ระบบรู้จักคำมากขึ้นประสิทธิภาพและความเร็วก็จะลดลง นอกจากนี้ระบบก็ยังต้องการอัลกอริทึมหลายๆ แบบร่วมกันที่ให้ความเร็วสูง หากจะพิจารณาดูคุณลักษณะสมบัติการวิเคราะห์เสียงของมนุษย์พบว่ามีความละเอียดอ่อน มีความแม่นยำสูง ลึกซึ้งทำงานร่วมกับจิตใจซึ่งเป็นการยากที่จะสร้างระบบการวิเคราะห์ให้มีความสามารถสูงดัง เช่น ระบบการวิเคราะห์เสียงมนุษย์ การวิจัยจึงมุ่งเน้นประเด็นการรู้จำเสียงในจำนวนจำกัด, กลุ่มทดสอบการใช้งานและกลุ่มของตัวอย่างที่ค่อนข้างแคบแต่กำหนดให้เพียงพอต่อการใช้งานเฉพาะกิจ โดยมุ่งเน้นความถูกต้องเป็นหลัก

2.4 หลักการของการเข้าถึงข้อมูลและการแปลงข้อมูล

รูปแบบสัญญาณไฟฟ้าที่เราพบเห็นและคุ้นเคยในชีวิตประจำวันจะอยู่ในรูปแบบของสัญญาณที่ต่อเนื่อง หรือที่เรียกว่าสัญญาณแอนะลอกซึ่งแต่เดิมจะนำเอาสัญญาณไฟฟ้าดังกล่าวมาประมวลกระทำในแบบแอนะลอกนั่นเอง แต่เมื่อเริ่มมีเทคนิคการประมวลสัญญาณทางดิจิตอลได้รับการพิจารณาเนื่องจากพบว่า ในรูปแบบของดิจิตอลการประมวลผลการสื่อสารและการแสดงผลสามารถกระทำได้ง่ายกว่าและมีประสิทธิภาพมากกว่า ดังนั้นในการเปลี่ยนรูปของสัญญาณจึงได้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความจำเป็นขึ้น จากสัญญาณแอนะลอกที่มีอยู่ตามธรรมชาติมาเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog to Digital Convertors) หรือ ADC และนำมาประมวลโดยตัวประมวลทางดิจิตอล เช่น คอมพิวเตอร์ จากนั้นจะถูกนำมาแสดงผลเลยหรือถูกเปลี่ยนกลับมาอยู่ในรูปแอนะลอกที่ใช้งานได้ง่ายกว่ามาก โดยจะใช้วงจรการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก (Digital to Analog Convertors) หรือ DAC ในรูปที่ 2.3 ซึ่งแสดงระบบควบคุมโดยการประมวลข้อมูลในระบบดิจิตอล



รูปที่ 2.3 ระบบควบคุมที่มีการประมวลผลทางดิจิตอล

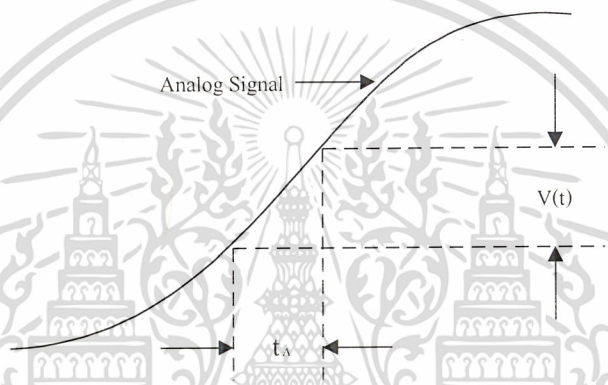
การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพไม่ว่าในลักษณะใดๆ ก็ตาม เช่น ความดันอุณหภูมิ ฯลฯ จะต้องถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าแอนะลอก โดยทรานสดิวเซอร์ที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับรูปแบบทางกายภาพนั้น สัญญาณไฟฟ้านั้นจะถูกปรับให้อยู่ในรูปและขนาดที่เหมาะสมโดยวงจรจัดสัญญาณ เช่น วงจรขยายหรือฟิลเตอร์ เป็นต้น

ในระบบข้อมูลที่ต้องการประมวลผลในเวลาเดียวกันมีหลายๆ ข้อมูล แต่เนื่องจากวงจร ADC ทำงานได้ไม่เร็วพอจึงไม่สามารถทำได้ จำเป็นต้องใช้ ADC หลายๆ ตัวทำงานแยกกันได้ แต่จะใช้วิธีการแบ่งเวลาโดยการมัลติเพล็กซ์ วงจรสุ่มและเก็บสัญญาณ จะสุ่มขนาดของสัญญาณแอนะลอกและมาเก็บไว้เพื่อรอให้วงจร ADC รับไปเปลี่ยนเป็นกระแสดิจิตอลจนเรียบร้อยแล้วค่อยรับสัญญาณใหม่ ทั้งนี้เพื่อที่จะไม่จำเป็นต้องใช้วงจร ADC ที่ทำงานได้เร็วมากนักข้อมูลทางดิจิตอลจะถูกส่งต่อไปยังเส้นทางส่งข้อมูล จากนั้นจะทำการประมวลผลโดยตัวประมวลผล แล้วจึงเปลี่ยนกลับมาเป็นสัญญาณแอนะลอกโดยวงจร ADC เพื่อทำการควบคุมกิจกรรมของระบบผ่านตัวดำเนินการทางแอนะลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 ทฤษฎีการสุ่ม (Sampling)

ในการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลนั้น ADC จะต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งในการจัดการ ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวนั้นมักจะขึ้นอยู่กับตัวแปลหลายตัว เช่น ความละเอียดของการเปลี่ยนสัญญาณ, เทคนิคของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณและความเร็วในการทำงานของอุปกรณ์ร่วมอื่นๆ ความเร็วของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณจำเป็นใช้ในการประยุกต์ใช้งานเฉพาะอย่างและความแม่นยำที่ต้องการ



รูปที่ 2.4 ค่าผิดพลาดจากการวัดในช่วงเวลาที่เกิดความไม่แน่นอน

ช่วงเวลาในการแปลงสัญญาณบางครั้งอาจเรียกว่า "ช่วงเวลาเกิดความไม่แน่นอน" ซึ่งโดยทั่วไปหมายถึงช่วงเวลาที่เกิดความไม่แน่นอนในการวัดและผลก็คือเกิดค่าความผิดพลาดต่อค่าที่วัดได้

ในรูปที่ 2.4 สัญญาณแอนะลอก V(t) มักมีอัตราการเปลี่ยน $\frac{dv}{dt}$ ในช่วงของช่วงเวลาที่ไม่แน่นอน t_A ดังนั้นช่วงการเปลี่ยนแปลงแอนะลอกจะเท่ากับ V โดย

$$\Delta V = t_A \frac{dv(t)}{dt} \tag{2.1}$$

ดังนั้นหากเวลาที่ ADC ใช้ในการเปลี่ยนสัญญาณเวลา t_A นี้รหัสดิจิตอลที่ได้อาจจะตรงกับขนาดของสัญญาณแอนะลอกค่าใดค่าหนึ่งในช่วงนี้ และส่วนอื่นๆ ที่เหลือคือค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้น ซึ่งแน่นอนในบางครั้ง เป็นไปได้ที่รหัสดิจิตอลจะตรงกับค่าแอนะลอกที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างในกรณีของสัญญาณอินพุตเป็นรูปไซน์ อัตราการเปลี่ยนแปลงบนรูปคลื่นจะเกิดดีที่สุด ตรงบริเวณจุดตัดแกนเวลารอบๆ จุดศูนย์โวลต์ (Zero crossing) และในช่วงเวลาที่ไม่แน่นอนเพราะฉะนั้นค่าผิดพลาด คือ

$$\begin{aligned}\Delta V &= t_A \; d(A\sin \omega t) \\ &= t_A \; A\omega \end{aligned} \tag{2.2}$$

และค่าผิดพลาดรวมคิดจากอัตราส่วนของขนาดเต็มสเกล คือ

$$\begin{aligned}\sum &= \frac{V}{2A} \\ &= \pi f t_A \end{aligned} \tag{2.3}$$

หากต้องการจะเปลี่ยนสัญญาณรูปไซน์ ความถี่ 1 kHz ให้เป็นสัญญาณดิจิตอล 10 บิต ซึ่งจะยอมให้ค่าผิดพลาดไม่เกินกว่าค่าความแม่นยำ คือ 1^{10} LSB หรือ 0.001 ดังนั้นช่วงเวลาที่ไม่แน่นอนจะต้องอยู่ในช่วง

$$\begin{aligned}t_A &= \frac{\sum}{\pi f} \\ &= \frac{0.001}{(\pi \times 10^3)} \\ &= 318 \times 10^{-9} \text{ sec} \end{aligned} \tag{2.4}$$

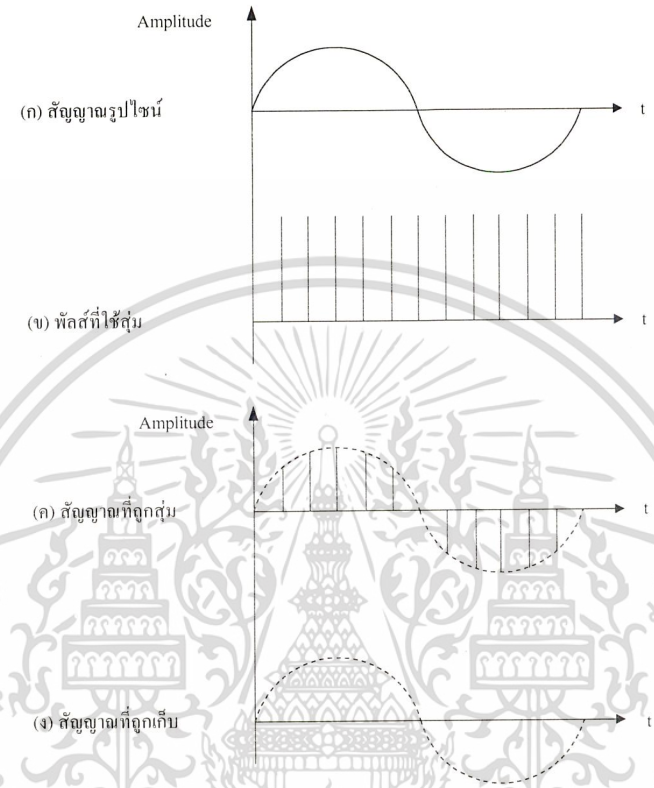
จะเห็นว่าแม้สัญญาณ 1 kHz จะไม่ใช้ความถี่สูงก็จริงแต่ ADC ที่ใช้ต้องการเวลาในการเปลี่ยนภายใน 230 นาโนวินาทีเป็นรหัส 10 บิต นั้นไม่ใช่หาได้ง่ายๆ ซึ่งวิธีอื่นที่ไม่จำเป็นต้องใช้ ADC ความเร็วสูงเช่นนั้น คือ การใช้วงจรสุ่มและเก็บสัญญาณ ซึ่งวงจรสุ่มและเก็บสัญญาณที่มีช่วงเวลาที่ไม่แน่นอนน้อยๆ นั้นทำได้ง่ายและราคาถูกกว่า

2.4.2 วงจรสุ่มและเก็บสัญญาณ และค่าผิดพลาดจากช่วงเวลาไม่แน่นอน

วงจรสุ่มและเก็บสัญญาณ จะสุ่มสัญญาณอินพุตและนำสัญญาณที่สุ่มนั้นมาเก็บไว้ในช่วงเวลาช่วงหนึ่ง ช่วงเวลาที่ไม่แน่นอนของวงจรสุ่มและเก็บสัญญาณ คือ เวลาตั้งแต่เริ่มการสุ่มสัญญาณจะเก็บประจุค่าแรงดันจนถึงค่าสุ่ม สำหรับวงจรสุ่มและเก็บสัญญาณนั้นช่วงเวลาที่ไม่แน่-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอนขึ้นอยู่กับแบนด์วิดธ์ และเวลาในการกลับตัวของอุปกรณ์แอคทีฟที่ใช้ในวงจร ซึ่งหาและสร้างได้ง่ายและราคาถูกกว่าการสร้าง ADC ความเร็วสูง



รูปที่ 2.5 การสุ่มสัญญาณ

1) ระบบการสุ่มสัญญาณและทฤษฎีการสุ่ม

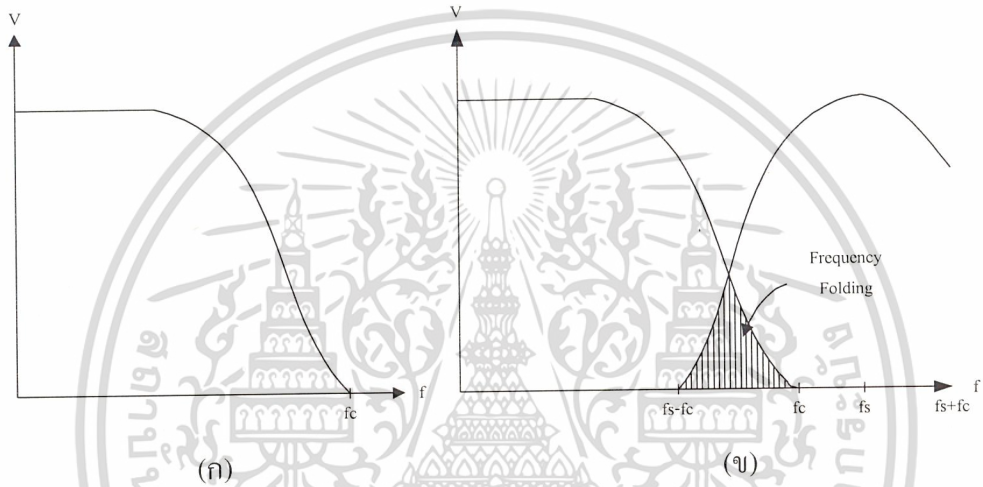
ในระบบการสุ่มสัญญาณแอนะลอกจะถูกส่งเป็นระยะคงที่ตามรูปที่ 2.5 กลุ่มของสัญญาณสุ่มจะแทนแบนด์วิดธ์ที่ทำงานด้วยความเร็วสูง ซึ่งจะทำการตัดต่อสัญญาณแอนะลอกในช่วงเวลาอันสั้นๆ

ผลของการสุ่มสัญญาณด้วยความเร็วจะเสมือนกับการคูณขบวนสัญญาณพัลซ์แคบๆ กับสัญญาณแอนะลอก ซึ่งจะได้เป็นสัญญาณอันเกิดการจากมอดูเลตระหว่างขบวนพัลส์กับสัญญาณแอนะลอก ดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ค) โดยสัญญาณแอนะลอกจะขี่มาบนขบวนพัลส์ ถ้าหากนำเอาสวิตช์และตัวเก็บประจุแทนสวิตช์แล้ว สัญญาณแอนะลอกที่ถูกสุ่มจะถูกเก็บไว้ในตัวเก็บประจุจนกว่าสัญญาณค่าใหม่ถูกสุ่มเข้ามา ซึ่งลักษณะของเอาต์พุตแสดงในรูปที่ 2.5 (ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งปัญหาที่ว่าอัตราการสุ่มสัญญาณนั้นควรมีขนาดเท่าใดนั้น จะไม่ทำใยห้ข้อมูลสูญเสียไป เมื่อสัญญาณนั้นถูกเปลี่ยนกลับมาเป็นเช่นเดิม แต่จะขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณแอนะลอก และทฤษฎีการสุ่มที่กล่าวว่า "ถ้าสัญญาณต่อเนื่องที่มีความถี่และฮาร์โมนิคไม่เกิน fc สัญญาณดังกล่าวจะสามารถเปลี่ยนกลับมาเป็นอย่างเดิม โดยไม่สูญเสียรายละเอียดหรือผิดเพี้ยนไปถ้าอัตราการสุ่มไม่น้อยกว่า 2fc ต่อวินาที"

2) การเกิดความถี่ซ้อนและความถี่เพี้ยน



รูปที่ 2.6 (ก) สเปคตรัมของสัญญาณแอนะลอกที่จะถูกสุ่ม
(ข) สเปคตรัมหลังจากการสุ่มซึ่งจะทำให้เกิดความถี่ซ้อน

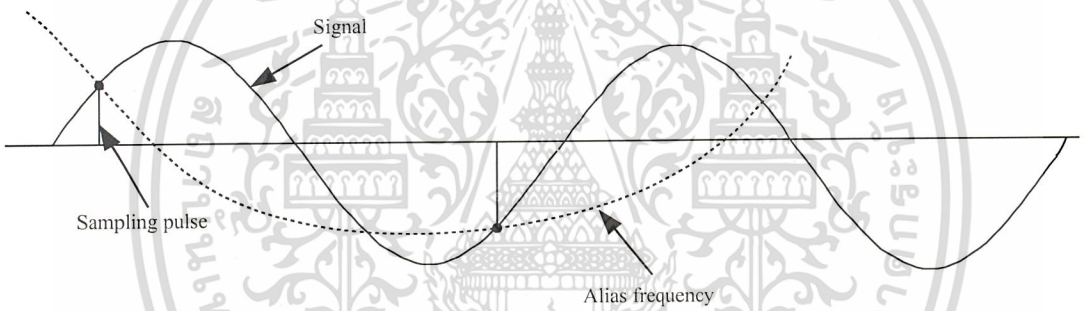
จากทฤษฎีของการสุ่มสามารถอธิบายได้ด้วยลักษณะ ดังรูปสเปคตรัมของสัญญาณในรูปที่ 2.6 (ก) ซึ่งแสดงให้เห็นสเปคตรัมของสัญญาณที่ถูกสุ่มซึ่งแบนวิดธ์ไม่เกิน fc ในขณะที่สัญญาณนี้จะถูกสุ่มด้วยความถี่ fs ขบวนการมอดูเลตจะทำให้แถบสเปคตรัมของสัญญาณสุ่มขยายกว้างออกจาก fs เป็น 2fs, 3fs , ... ได้เป็นดังรูปที่ 2.6 (ข)

ถ้าความถี่ของสัญญาณสุ่ม (fs) ไม่สูงพอ หลังจากการสุ่มสเปคตรัมบางส่วนของสัญญาณสุ่มจะมาซ้อนกับสเปคตรัมของสัญญาณซึ่งเรียกว่า "การเกิดความถี่ซ้อน" หากเป็นเช่นนี้ก็จะทำให้เกิดความเพี้ยนแก่สัญญาณแอนะลอกจากการซ้อนของสเปคตรัม เมื่อสัญญาณถูกเปลี่ยนกลับไปอยู่ในรูปเดิม และถ้าเลื่อนความถี่ในการสุ่มให้สูงขึ้น จนโอกาสการซ้อนของสเปคตรัมหมดไปการเปลี่ยนกลับของสัญญาหลังจากถูกสุ่มก็ยังคงเหมือนเดิมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่ได้กล่าวมาแล้วถึงทฤษฎีการสุ่ม ที่ว่าให้ fs>2fc นั่น คือ เป็นการกำจัดการซ้อนกันของสเปคตรัมได้สองวิธี คือ ด้วยการใช้อัตราการสุ่มที่สูงเพียงพอและทำการฟิลเตอร์ความถี่ของสัญญาณแอนะลอกก่อนการสุ่มเพื่อให้แบนวิดธ์ไม่เกินไปกว่า fs/2 ส่วนในทางปฏิบัติแล้วยังคงเกิดความถี่ซ้อนได้เสมอจากส่วนฮาร์โมนิคของสัญญาณ รวมทั้งสเปคตรัมของสัญญาณรบกวนที่ยังคงอยู่แม้ว่าทำการฟิลเตอร์ก่อนหน้านี้มาแล้วก็ตาม วิธีที่ได้ผลคือพยายามให้การสุ่มสัญญาณเป็นไปอย่างรวดเร็วมากที่สุด ซึ่งปกติแล้วความถี่ที่ใช้ในการสุ่มจะสูงกว่าความถี่ต่ำตามทฤษฎีการสุ่ม คือ 2fc เสมอ

ผลของการใช้อัตราการสุ่มที่ไม่เหมาะสมอีกประการหนึ่งที่เกิดสัญญาณรูปไซน์ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.7 เรียกว่าการเกิดความถี่ผิดเพี้ยน (Alias Frequency) ซึ่งเกิดกับสัญญาณที่เปลี่ยนกลับไปกลับมาเช่นเดิมหลังจากการสุ่มแล้ว



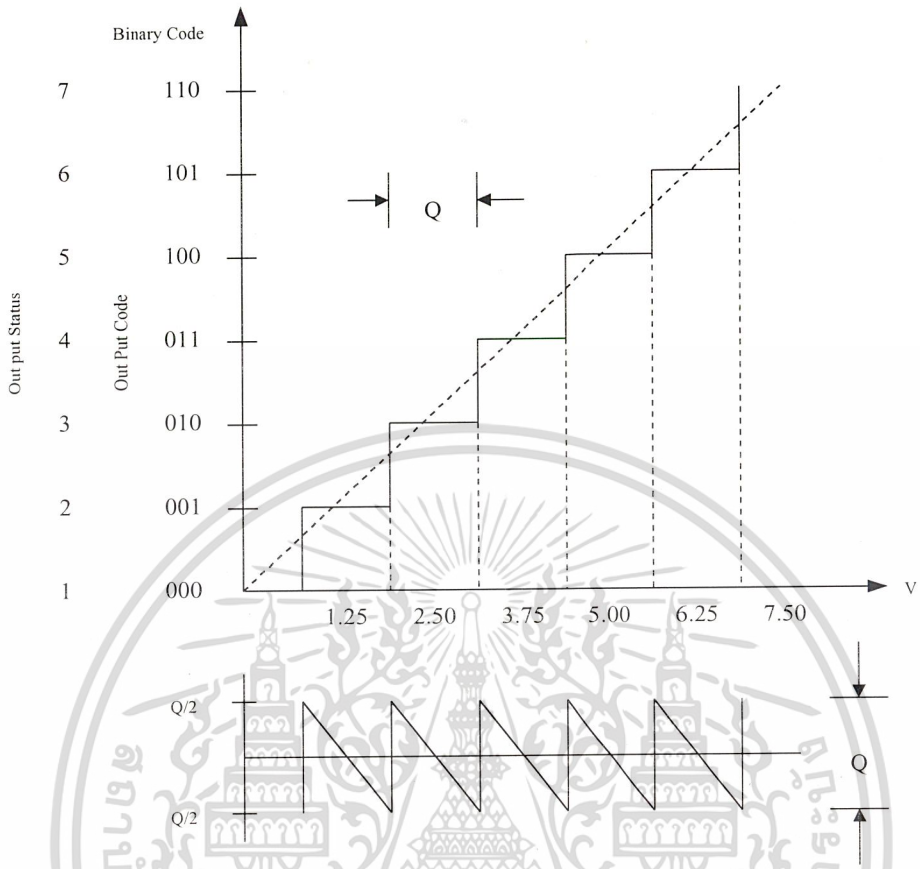
รูปที่ 2.7 การเกิดความถี่เพี้ยนจากการสุ่มความถี่ต่ำกว่า 2 เท่าของความถี่สัญญาณแอนะลอก

ในกรณีการสุ่มนี้ ในอัตราที่ต่ำกว่า 2 เท่าของสัญญาณอินพุต จะทำให้ได้สัญญาณไซน์ที่ความถี่ต่ำๆ แสดงให้เป็นจุดไข่ปลาดังในรูปที่ 2.7 ซึ่งจะเห็นว่าความถี่ที่เพี้ยนอาจจะแตกต่างไปจากความถี่เดิมมาก

3) ทฤษฎีการควอนไตซิ่ง (Quantizing Theory)

ขบวนการที่เปลี่ยนแปลงสัญญาณแอนะลอกให้เป็นสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่อง (Digital signal) จะเรียกว่าการควอนไตซิ่ง (Quantizing) ซึ่งจากนี้ก็จะผ่านการเข้ารหัส จัดให้สัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องให้อยู่ในรูปที่ง่ายต่อการประมวลผล และเป็นสัดส่วนสัมพันธ์กับสัญญาณแอนะลอก เช่น อยู่ในรูปของรหัสไบนารี เป็นต้น หากนำเอาขนาดของสัญญาณแอนะลอก, สัญญาณดิจิตอลที่สัมพันธ์จากการควอนไตซิ่งและการถอดรหัส (Encode) นำมาเขียนกราฟก็จะได้กราฟแสดงฟังก์ชั่นถ่ายโอนดังรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ฟังก์ชั่นถ่ายโอนของการควอนไตซิ่ง 3 บิตตามทฤษฎี

ในรูปกราฟแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กันระหว่าง การควอนไตซิ่งช่วง 0 ถึง +10 โวลต์ และการเข้ารหัสเป็นรหัสไบนารี 3 บิตได้ 8 ระดับจาก “000” ถึง “111” ในระบบไบนารีรหัสดิจิตอล แต่ละค่าจะแทนขนาดของสัญญาณแอนะลอกแต่ละค่าที่เป็นสัดส่วนกับค่าเต็มสเกล โดยค่าสูงสุดของรหัสดิจิตอล คือ ทุกบิตที่เป็น “1” จะเท่ากับสัญญาณแอนะลอกเต็มสเกลคูณด้วย $(1\text{-}2^{N})$ โดย N เป็นจำนวนบิตของรหัสดิจิตอลและรหัสดิจิตอลแต่ละบิตที่เป็นมีค่าเป็น “1” จะเท่ากับขนาดเต็มสเกลของแอนะลอกคูณกับค่าประจำหลัก (Weighting) ของรหัสชนิดนั้นหารด้วย 2^{N}

จุดสำคัญที่เกี่ยวกับกราฟในรูปที่ 2.8 อันแรกได้แก่ความแม่นยำของการควอนไตซิ่ง ซึ่งสามารถกำหนดได้จากจำนวนบิตของรหัสดิจิตอลหรือจากกราฟ คือ ความกว้างของสเกลของแกนแอนะลอกว่าเป็นสัดส่วนเท่าใดระหว่างเต็มสเกลแอนะลอกกับค่า 2^{N}

แรงดันที่ 1.25, 2.50, 3.75, 5.0, 6.25, 7.20 และ 8.75 โวลต์ เป็นจุดกึ่งกลางในช่วงของสัญญาณแอนะลอกที่แสดง “1” สถานะเอาต์พุตดิจิตอลฟังก์ชั่นที่เป็นขั้นบันไดเป็นเส้นตรงระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดเริ่มและจุดปลาย ณ จุดกึ่งกลางของรหัสดิจิตอลสถานะสุดท้าย สังเกตว่าในทางทฤษฎีแล้วเส้นตรงนี้จะต้องผ่านจุดกึ่งกลางของรหัสดิจิตอล

4) ค่าความแม่นยำของการควอนไตซิ่งและค่าผิดพลาด

ค่าความแม่นยำของสัญญาณดิจิตอลเอาต์พุต จะแทนขนาดช่องสัญญาณแอนะลอกค่าใดค่าหนึ่งในช่วงเล็กๆ ระหว่างจุดแบ่งระดับช่วงเล็กๆ นี้ว่าเป็นขนาด 1 แอนะลอกควอนไตเซชันหรือ 1 ควอนตรัม หรือ 1 LSB (Least Significant Bit) ของการเปลี่ยนสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งควอนตรัม คือ 1.25 โวลต์ ค่านี้ได้จากการคำนวณจาก

$$Q = \frac{FSR}{2^N} \tag{2.5}$$

เมื่อ FSR คือ ช่วงเต็มสเกลของแรงดันแอนะลอก (Full Scale Range)

N คือ จำนวนบิตของรหัสดิจิตอล

จากสมการจะเห็นว่าหากจำนวนบิตมากขนาดของการควอนไตซิ่งซึ่งจัดทำการแก้ไขไม่ได้นอกจากการเพิ่มจำนวนบิตของการควอนไตซิ่งกวาดไปตลอดช่วงของสัญญาณแอนะลอก ก็จะเห็นช่วงของผลต่างของแอนะลอกอินพุตและดิจิตอลเอาต์พุตเป็นช่วงซึ่งพล็อตได้เป็นรูปฟันเลื่อยดังรูปที่ 2.8 ซึ่งเรียกว่าค่าผิดพลาดของการควอนไตซิ่ง ซึ่งค่าผิดพลาดนั้นก็ คือ 1 ช่วงของสัญญาณแอนะลอกแปลงเป็นรหัสดิจิตอล 1 สถานะดังกล่าวมาแล้วนั่นเอง

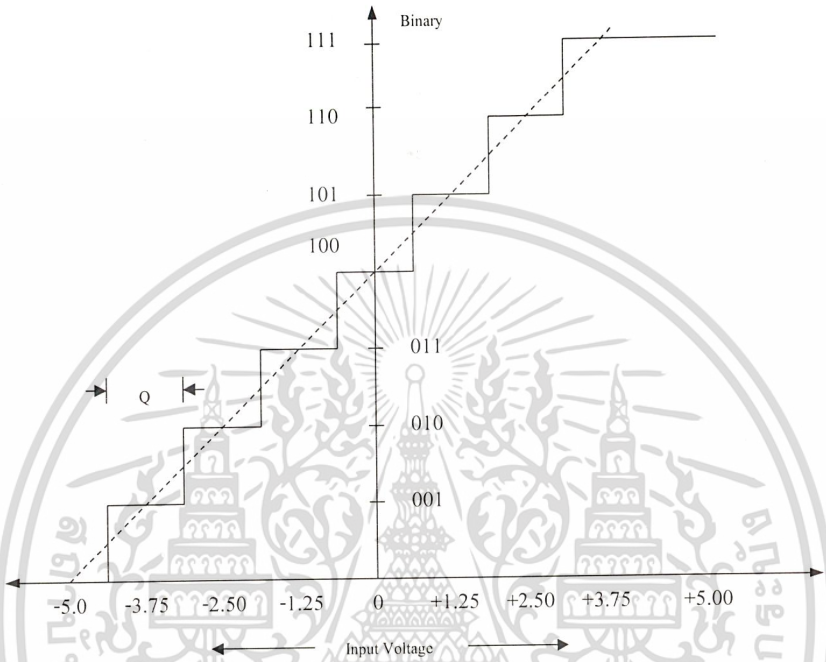
ค่าผิดพลาดนี้เป็นธรรมชาติของการควอนไตซิ่ง ซึ่งจัดทำการแก้ไขไม่ได้ นอกจากเพิ่มจำนวนบิตของการควอนไตซิ่งให้มากขึ้นและค่าผิดพลาดทางเอาต์พุตจะอยู่ระหว่าง 0-(Q/2) โดยค่าผิดพลาดอาจเป็นศูนย์เมื่อสัญญาณแอนะลอกที่จุดกึ่งกลางของควอนตรัมพอดี ลักษณะค่าความผิดพลาดของฟังก์ชั่นจะสามารถคิดเป็นสัญญาณรบกวนทางอินพุต ซึ่งมีค่าเป็น Q Vp-p และเฉลี่ยเป็นศูนย์ ค่า rms. เป็น Q/2 ซึ่งจะได้จากการวิเคราะห์รูปคลื่นฟันเลื่อย

5) รหัสตัวเลขของการเปลี่ยนข้อมูล

รหัสตัวเลขที่มักนิยมนำไปใช้ในระบบเปลี่ยนข้อมูล ได้แก่รหัสไบนารี โดยที่รหัสไบนารีสถานะสูงสุดจะแทนสัญญาณแอนะลอก FSR ($1-2^N$) โวลต์ ดังตัวอย่างเช่น สัญญาณแอนะลอกเต็มสเกล (FSR) เท่ากับ 20 โวลต์ สำหรับข้อมูลขนาด 12 บิต ดังนั้นรหัส 111 111 111 จะแทนสัญญาณแอนะลอกขนาด 20 ($1-2^N$) = 19.9951171 โวลต์ นอกจากรหัสไบนารีธรรมดาดังที่มากล่าวยังมีการใช้ระบบตัวเลขไบนารีแบบอื่นๆอีกด้วย ในระบบของการแปลงสัญญาณได้แก่ออฟ-เซ็ตไบนารี, two's complement ซึ่งแต่ละแบบมีข้อดีและความเหมาะสมที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ระบบ BCD เหมาะสำหรับการแสดงเป็นตัวเลขหน้าปัทม์หรือต่อเข้ากับดิจิตอลมิเตอร์ รหัส two's-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

complement เหมาะสำหรับการคำนวณทางคณิตศาสตร์และระบบออฟ-เซ็ตไบนารีเหมาะสำหรับการใช้แปลงสัญญาณอินพุตที่มีช่วงบวกและช่วงลบ ในรูปที่ 2.9 แสดงฟังก์ชั่นการถ่ายโอน ของ ADC 3 บิตที่ใช้รหัสออฟ-เซ็ตไบนารี



รูปที่ 2.9 ฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของ ADC 3 บิตที่ใช้รหัสออฟ-เซ็ตไบนารี

นอกจากมาตราฐานของการใช้รหัสตัวเลขแล้ว ยังมีมาตรฐานของการเลือกของขนาดแรงดันอินพุตสำหรับ ADC คือ หากเป็นสัญญาณช่วงบวกหรือลบเพียงอย่างเดียวจะใช้ 0-5 โวลต์ หรือ 0-10 โวลต์ แต่ถ้าเป็นช่วงลบจะใช้ -2.5 โวลต์, -5 โวลต์ และ 10 โวลต์ เป็นมาตรฐาน

6) วงจรสุ่มและเก็บสัญญาณ (S/H)

ในตอนต้นได้กล่าวถึง จุดมุ่งหมายในการใช้วงจรสุ่ม, เก็บสัญญาณและ ADC ต่อจากนี้จะได้กล่าวถึงรายละเอียดของวงจรสุ่มและเก็บสัญญาณบางวงจรที่ใช้ในปัจจุบัน

ความจริงแล้ววงจรสุ่มและเก็บสัญญาณมิได้ใช้เฉพาะกับ ADC เท่านั้นแต่ยังใช้กันทั่วๆ ไปแล้ว เช่นในระบบ Data Distribution, Sampling Scope, Reconstruction Filter และแอนะลอกคอมพิวเตอร์เป็นต้น

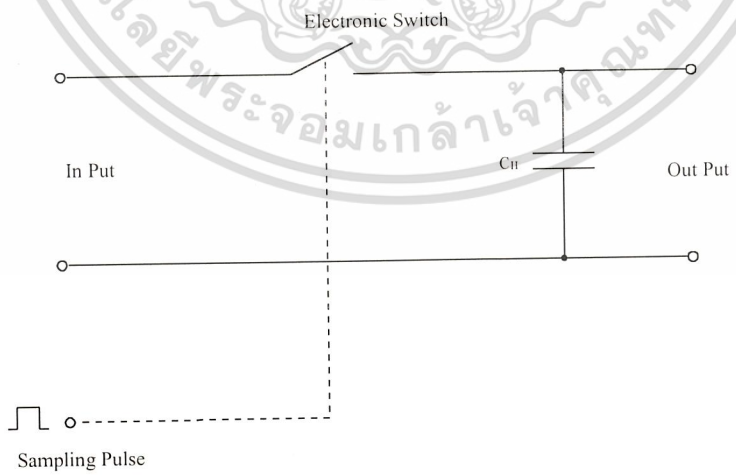
วงจรสุ่มและเก็บสัญญาณโดยพื้นฐานแล้วเป็นอุปกรณ์หรือวงจรเก็บแรงดัน ซึ่งใช้อุปกรณ์ร่วมสำคัญ คือ ตัวเก็บประจุ ในรูปที่ 2.10 (ก) แสดงพื้นฐานพัลส์ที่ใช้สุ่ม ช่วงการตัดสวิตช์ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาผลประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาในการประจุแรงดันถึงค่าที่สุ่มเข้ามานั้น เราจะเรียกว่า "ช่วงเวลาที่คลาดเคลื่อนของวงจรสุ่ม" และ "เก็บสัญญาณ" จากลักษณะการทำงานดังกล่าววงจรสุ่มและเก็บสัญญาณ จะมีจุดต่อสัญญาณเข้าออก 3 จุดด้วยกัน คือ สัญญาณแอนะลอกอินพุต, สัญญาณการสุ่มและเอาต์พุต

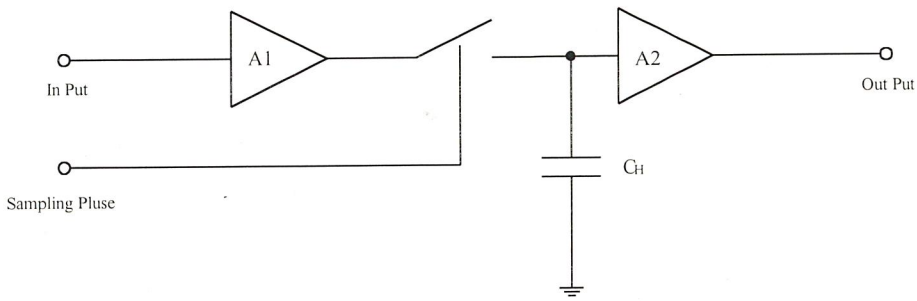
รูปที่ 2.10 (ข) จะแสดงวงจรที่ใกล้เคียงกับวงจรที่ใช้งานในทางปฏิบัติ โดยเพิ่มเติมวงจรขยายบัฟเฟอร์เข้าทางด้านอินพุตและเอาต์พุตของวงจรสุ่มและเก็บสัญญาณ พื้นฐานของวงจรขยายทางด้านอินพุตช่วยทำให้วงจรมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูงสะดวกต่อการใช้งานและสามารถเพิ่มกระแสเพื่อทำการประจุ C_H ได้เร็วขึ้น ส่วนทางเอาต์พุตช่วยทำให้เอาต์พุตอิมพีแดนซ์สามารถขับ ADC ได้ง่าย มีจุดสำคัญที่ต้องพิจารณา คือ ในส่วนของวงจรขยายเหล่านี้ ปกติแล้วจำเป็นต้องมีวงจรขยายที่ใช้กระแสอินพุตต่ำเป็นส่วนประกอบ ทั้งนี้เพื่อให้ดึงกระแสจากตัวเก็บประจุในช่วงที่เก็บสัญญาณน้อยที่สุดมิฉะนั้นจะเกิดการสูญเสียแรงดันที่เก็บไว้ ซึ่งแสดงไว้ดังรูปที่ 2.11 ซึ่งปกติแล้วมักใช้กับวงจรขยายที่มีเฟสเป็นอินพุต เพราะการไบอัสด้วยแรงดันทำให้กระแสอินพุตต่ำด้วย

วงจรสุ่มและเก็บสัญญาณต้องใช้ระบบการเข้าถึงข้อมูล ที่นิยมใช้มีสองแบบ คือ วงจรสุ่มและเก็บสัญญาณ, วงจรจับและเก็บสัญญาณ สำหรับวงจรสุ่มและเก็บสัญญาณจะใช้วิธีสุ่มสัญญาณอย่างรวดเร็วแล้วเข้าสู่ช่วงการเก็บสัญญาณ ซึ่งหมายความว่าสวิตช์ควบคุมจะต้องต่อในเวลาอันสั้นและอย่างต่อเนื่อง ส่วนวงจรจับและเก็บสัญญาณ จะต้องต่อสวิตช์การสุ่มให้ช้ากว่า แต่ขณะที่ตัดสัญญาณออกวงจรจะจับสัญญาณอินพุตจนกว่าจะมีสัญญาณอินพุตเข้ามาใหม่ ลักษณะเอาต์พุตของวงจรสุ่มและเก็บสัญญาณ, วงจรจับของวงจรและเก็บสัญญาณแสดงในรูปที่ 2.11 และ 2.12



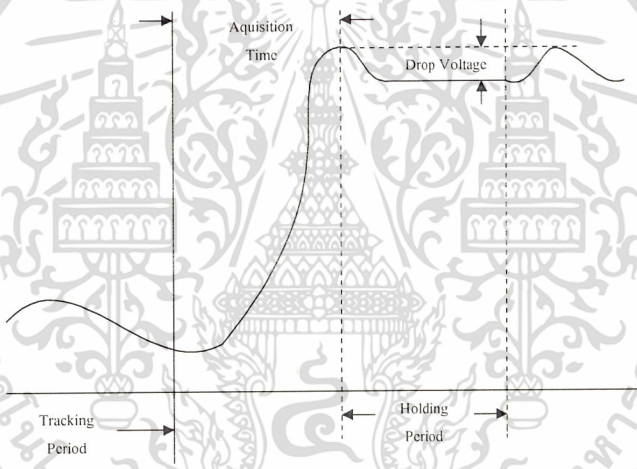
(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

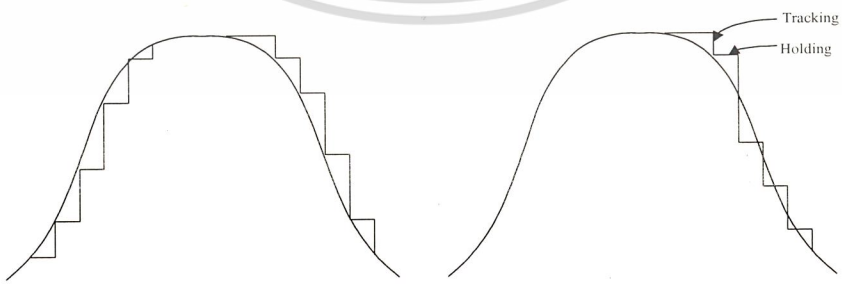


(ข)

รูปที่ 2.10 (ก) แสดงพื้นฐานของวงจรสุ่มและเก็บสัญญาณ
(ข) วงจรสุ่มและเก็บสัญญาณที่ใช้ในทางปฏิบัติทั่วๆไป



รูปที่ 2.11 รูปคลื่นเอาต์พุตของวงจรสุ่มและเก็บสัญญาณ



(ก) (ข)

รูปที่ 2.12 (ก) เอาต์พุตจากวงจรสุ่มและเก็บสัญญาณ
(ข) เอาต์พุตจากวงจรจับและเก็บสัญญาณ

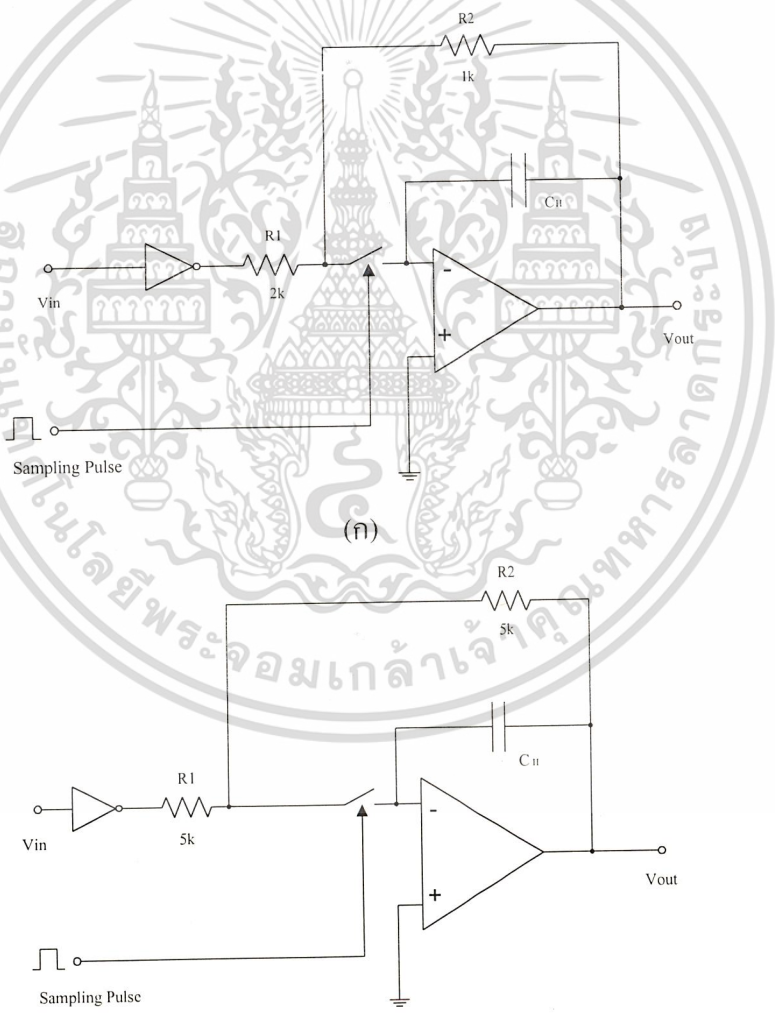
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากวงจรสุ่มและเก็บสัญญาณทั้งสองแบบแล้วยังมีแบบอื่นๆ ที่นำมาใช้แต่ในที่นี้ไม่ได้นำมากล่าวไว้ ณ ที่นี้

การจัดวงจรสุ่มและเก็บสัญญาณสามารถที่จะจัดวงจรได้หลายลักษณะซึ่งอาจนำไอซีหรือทรานซิสเตอร์มาประกอบเป็นวงจร ตลอดจนการสร้างวงจรทั้งหมดของวงจรสุ่มและเก็บสัญญาณลงบนชิปไอซีตัวเดียวกัน เช่น เบอร์ LF 398

7) วงจรกลับเฟสแบบลูปปิด

ในวงจรนี้จะประกอบด้วยอัตรา RC ซึ่งสามารถเพิ่มความเร็วได้โดยเพิ่มวงจรขยายกระแสอยู่ในลูปป้อนกลับดังรูปที่ 2.13 โดยวงจรขยายนี้มีอัตราการขยายเท่ากับ 1

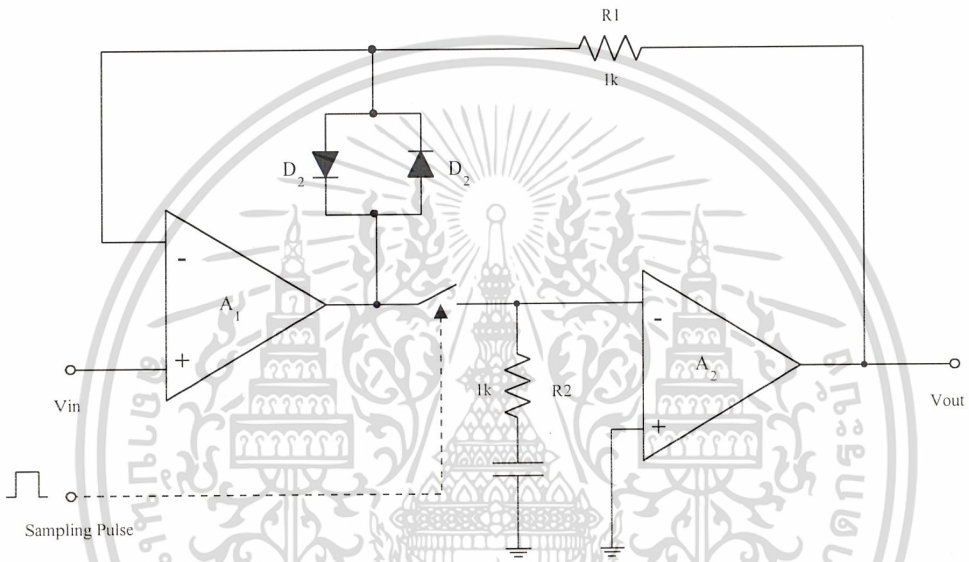


รูปที่ 2.13 (ก) วงจรกลับเฟสแบบลูปปิดอัตราขยายเท่ากับ 0.5
(ข) วงจรกลับเฟสแบบลูปปิดอัตราขยายเท่ากับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) วงจรไม่กลับเฟสแบบลูปปิด

แสดงในรูปที่ 2.14 ในวงจรนี้ A1 จะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ และค่าผิดพลาดของวงจรขยายในตัวซึ่งจะทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดันเอาต์พุตกับแรงดันอินพุต แล้วจะประจุ C จนค่าผิดพลาดเท่ากับศูนย์ A2 ในวงจรนี้จะมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง และการป้อนกลับใน A1 ด้วยไดโอดทำให้ A1 ไม่ต้องใช้ออปแอมป์ที่มีคุณภาพดีนัก ตัวต้านทาน R จะแยกอินพุตของ A1 และเอาต์พุตของ A2 ออกจากกันในช่วงเก็บสัญญาณ



รูปที่ 2.14 วงจรไม่กลับเฟสแบบลูปปิด

ข้อดีของวงจรนี้อยู่ที่สามารถอยู่ที่สามารถทำงานได้รวดเร็วและแม่นยำ ความเร็วในการประจุขึ้นอยู่กับความเร็วของ A1 และความสามารถในการจ่ายกระแสของมัน ไดโอดสองตัวจะทำหน้าที่ยกระดับสัญญาณเอาต์พุตไปที่อินพุตอินเวอร์ติ้งของ A1 เพื่อยังคงให้วงจรมีเสถียรภาพดีเมื่อสวิตช์การสุ่มเปิดวงจร วงจรลักษณะนี้เป็นพื้นฐานของไอซีเบอร์ LF 398

9) วงจรแรงดันอ้างอิง

วงจรกระแสแรงดันอ้างอิงนั้นเป็นวงจรที่สำคัญวงจรหนึ่งในระบบการเข้าถึงข้อมูล เนื่องจากเป็นส่วนสำคัญในการกำหนดคุณภาพของวงจร ADC หรือ DAC บางเบอร์จะมีวงจรแรงดันอ้างอิงในตัวและบางเบอร์จะต้องเพิ่มเข้าไป ซึ่งในตอนนี้จะกล่าวถึงแรงดันอ้างอิงแบบ

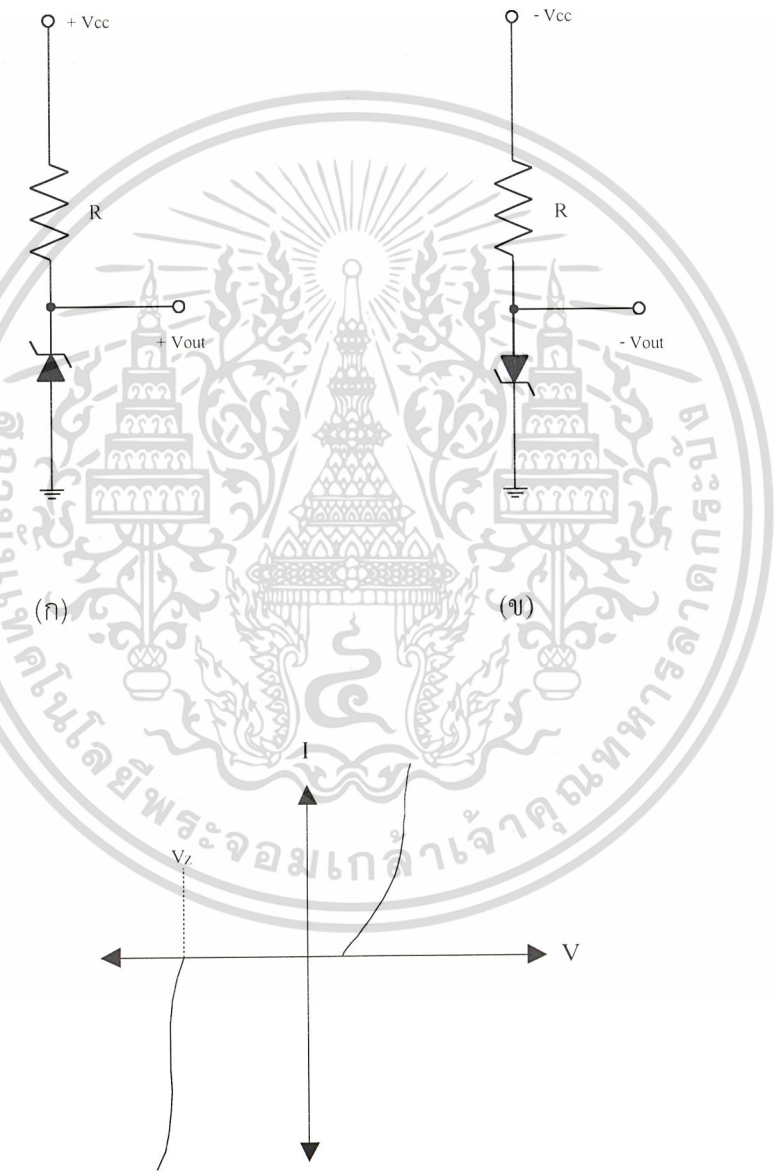
9.1) แรงดันอ้างอิงพื้นฐาน (Basic Reference Voltage)

อุปกรณ์ที่นิยมใช้เป็นแหล่งกำเนิดแรงดันอ้างอิงได้แก่ซีเนอร์ไดโอด ซึ่งเมื่อให้รีเวิร์ดไบอัสจนเกิดแรงดันเบรคดาวน์ แรงดันตกคร่อมซีเนอร์ไดโอดจะคงที่ เท่ากับแรงดันเบรคดาวน์ R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ต่ออนุกรมกับซีเนอร์ไดโอด จะทำหน้าที่จ่ายกระแสไบอัสให้กับซีเนอร์ไดโอดเพื่อให้เบรคดาวน์และจำกัดค่ากระแสย้อนกลับไม่ให้ไหลมากจนเป็นอันตรายแก่ซีเนอร์ไดโอด ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.15

ข้อเสียของวงจรนี้คือแรงดันมักเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิได้ง่าย หรือเรียกว่ามีสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิสูง และจ่ายกระแสได้ในจำนวนจำกัดจึงมักใช้วงจรนี้กับ ADC ที่ต้องการคุณภาพมานัก



รูปที่ 2.15 (ก) แรงดันอ้างอิงบวก

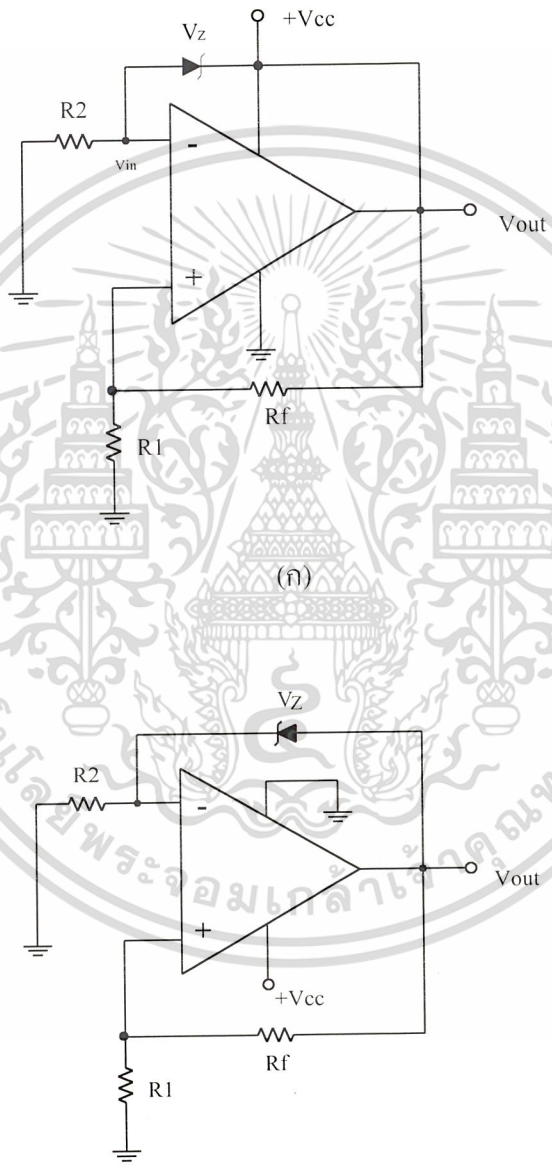
(ข) แรงดันอ้างอิงลบ

(ค) กราฟแสดงคุณสมบัติของซีเนอร์ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.2) แรงดันอ้างอิงเที่ยงตรง (Precision Reference Voltage)

แรงดันอ้างอิงที่มีคุณภาพดีกว่าจะใช้ออปแอมป์ร่วมกับซีเนอร์ไดโอด ซึ่งนอกจากจะใช้แรงดันที่คงที่มากกว่า แล้วยังสามารถปรับปรุงแรงดันเอาต์พุตได้มากหรือน้อยกว่าแรงดันซีเนอร์ไดโอดได้ด้วยลักษณะการจัดวงจรต่างๆ ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 (ก) แรงดันอ้างอิงบวก

(ข) แรงดันอ้างอิงลบ

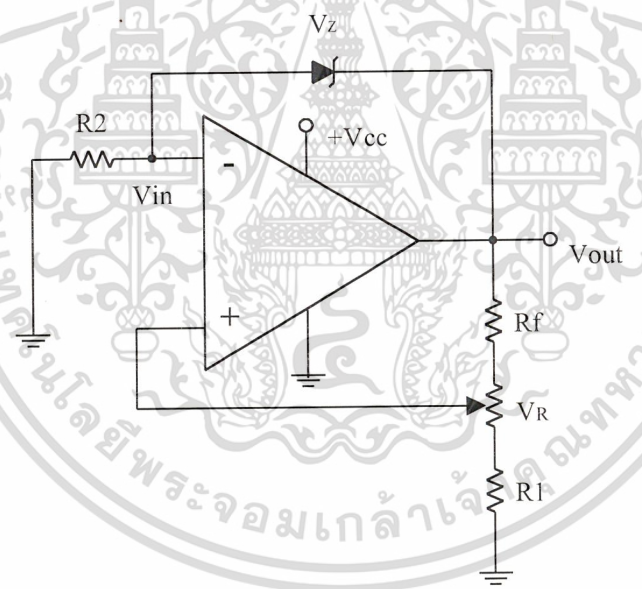
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามปกติแล้วแรงดันอ้างอิงที่ใช้ซีเนอร์ไดโอดจะให้คุณภาพได้ก็ต่อเมื่อ กระแสที่จ่ายให้แก่ซีเนอร์ไดโอดคงที่อยู่ตลอดเวลาและทุกช่วงอุณหภูมิ ในวงจรรูปที่ 2.17 ออปแอมป์จะทำหน้าที่จ่ายกระแสคงที่ และมีสัมประสิทธิ์อุณหภูมิต่ำกว่ากระแสที่ผ่านซีเนอร์ไดโอด ซึ่งขึ้นอยู่กับการเลือกค่า R1, R2, Rf และ ค่า Vo โดยสามารถกำหนดจาก R1, Rf และ Vz การออกแบบต้องเลือกใช้ซีเนอร์ไดโอดซึ่งรู้ค่า Iz และ Vz ซึ่งทำการเลือกค่า R1 และหาค่าของ Rf จากสมการหา Vo

$$Vo = \frac{Vz(R1 + Rf)}{Rf} \tag{2.6}$$

$$Iz = \frac{VoR1}{R2(R1 + Rf)} \tag{2.7}$$

$$V1 = \frac{VoR1}{R1 + Rf} = IzR2 \tag{2.8}$$

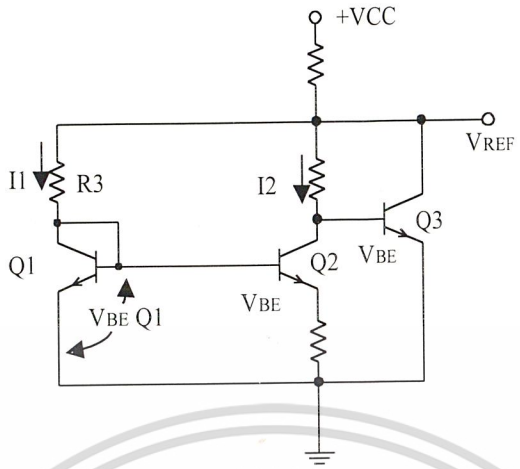


รูปที่ 2.17 แรงดันอ้างอิงปรับค่าได้

9.3) แรงดันอ้างอิงแบบแบนด์แก็ป (Bandgap Reference Voltage)

แรงดันอ้างอิงแบบแบนด์แก็ป ได้รับการออกแบบเพื่อแก้ไขสัมประสิทธิ์ทางด้านอุณหภูมิ โดยใช้ผลต่างของแรงดัน เบสอิมิเตอร์ของทรานซิสเตอร์สองตัวที่ทำงานที่กระแสต่างกัน แรงดันอ้างอิงแบบนี้ได้ถูกสร้างโดยใช้พื้นฐานของรูปที่ 2.18 และที่มีจำหน่ายจะเป็นตัวถังคล้ายกันกับตัวทรานซิสเตอร์ เช่น เบอร์ LM 336 ซึ่งสามารถปรับขนาดของแรงดันเอาต์พุตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

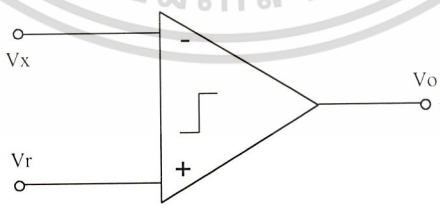


รูปที่ 2.18 วงจรแรงดันอ้างอิงพื้นฐานแบบแบนด์แก็ป

2.4.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

ลักษณะการจัดวงจร ADC มีหลายแบบ แต่ที่นิยมใช้มีเพียงไม่กี่แบบ และส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของวงจรรวม

ทฤษฎีการแปลงสัญญาณเบื้องต้นเป็นวิธีการแปลงจากสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลที่แสดงในรูปที่ 2.19 แรงดันอินพุตที่ไม่ทราบค่า Vx จะต่อเข้ากับขาอินพุตขาหนึ่งของวงจรเปรียบเทียบ และแรงดันอ้างอิงที่ขนาดแปรตามเวลา Vr จะต้องต่อเข้ากับอีกอินพุตหนึ่งของวงจรเปรียบเทียบ ลักษณะของฟังก์ชั่นถ่ายโอนของวงจรเปรียบเทียบในรูปที่ 2.20 ถ้าแรงดันอินพุต V2 มากกว่าอินพุต V2 แล้วแรงดันเอาต์พุตจะมีลอจิก “1” แต่ถ้าหากแรงดันอินพุต V1 มากกว่า V2 แล้วเอาต์พุตจะเป็นลอจิก “0”



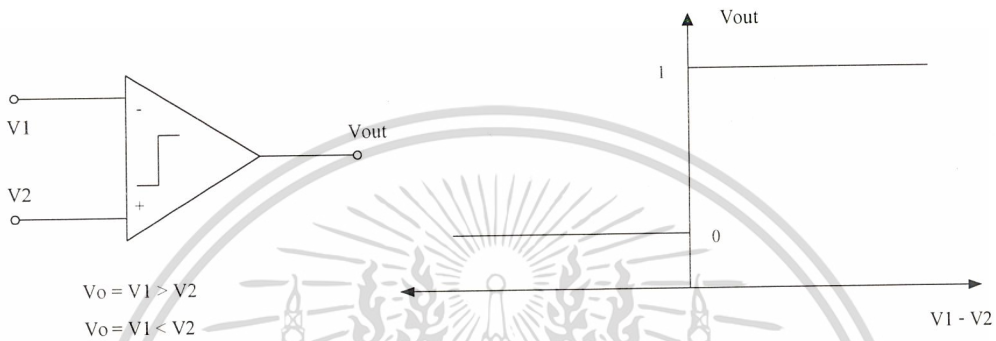
รูปที่ 2.19 วิธีพื้นฐานของ ADC

วิธีในการแปลงข้อมูล คือ แรงดันอ้างอิงจะถูกแปรจนกระทั่งรู้ค่าแรงดันอินพุต ที่ผิดพลาดไม่เกินค่าผิดพลาดของการควอนไตซิ่งของวงจรคอนเวอร์เตอร์ ในแนวคิดแล้วลอจิกของ ADC คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพยายามเลือกกลุ่มของสัมประสิทธิ์ไบนารี ar เพื่อให้ผลต่างระหว่างแรงดันอินพุต Vx และค่าคงที่ควอนไตซิ่งได้ครั้งสุดท้ายน้อยกว่า 0.5 LSB เขียนเป็นสมการได้

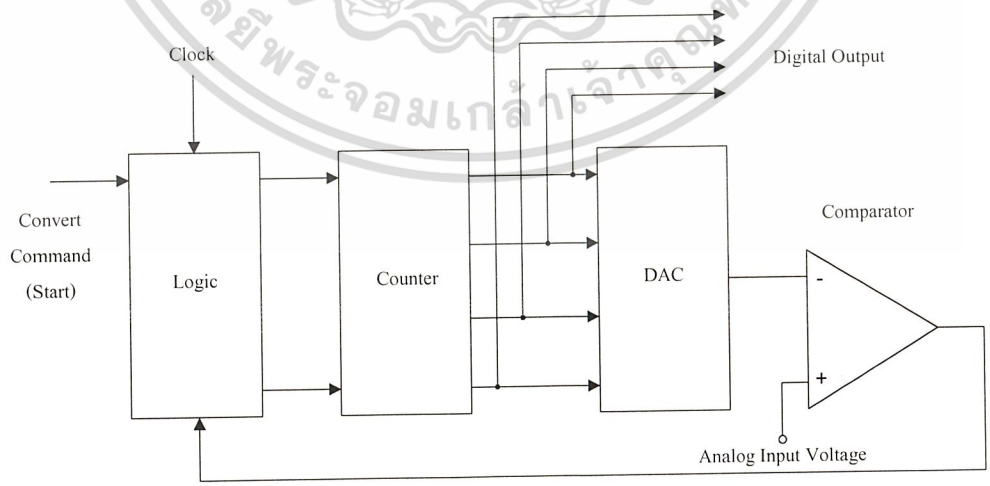
$$\left|Vx - Vfsr(ar)\left(2^{-1}\right)\right| \; < \; 0.5LSB \tag{2.9}$$



รูปที่ 2.20 แสดงฟังก์ชั่นถ่ายโอนของวงจรเปรียบเทียบ

1) ADC แบบใช้การนับ

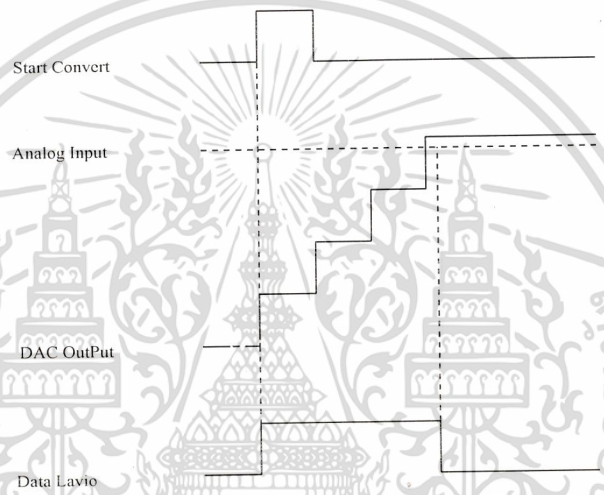
การจัดวงจร ADC ลักษณะนี้เป็นวงจร ADC ที่ใช้งานแบบง่ายที่สุดโดยการจัดลักษณะแผนผังการทำงาน ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 แผนผังการทำงานของ ADC แบบใช้การนับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงานของแผนผังการทำงาน คือ การเปรียบเทียบขนาดของแรงดันที่เอาต์พุตของ DAC กับสัญญาณแอนะลอกที่เป็นอินพุตไม่ทราบค่า การทำงานจะเริ่มโดยสัญญาณ Start ลอจิกควบคุมจะรีเซ็ตทำให้วงจรนับให้เป็นศูนย์แล้วเริ่มขึ้นจากศูนย์ เอาต์พุตของวงจรนับจะป้อนให้ DAC เพื่อแปลงเป็นสัญญาณแอนะลอกได้ลักษณะเป็นขั้นบันได แล้วนำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณแอนะลอกอินพุตที่วงจรเปรียบเทียบ โดยวงจรนับจะยังคงนับไปจนกว่าเอาต์พุตจะเท่ากับสัญญาณแอนะลอกอินพุตหรือต่างกันไม่เกิน 1 LSB วงจรเปรียบเทียบจะเปลี่ยนสถานะไปซึ่งจะหยุดการนับของวงจรนับ และจำค่าจากวงจรนับเพื่อรอการประมวลผลต่อไป และได้รับสัญญาณ Start ใหม่



รูปที่ 2.22 ADC แบบใช้การนับ

วงจรนี้มีข้อเสีย คือ การทำงานทำได้ช้า เพราะการแปลงสัญญาณแต่ละครั้งวงจรนับจะต้องถูกรีเซ็ตดังนั้นในการแปลงสัญญาณเป็นดิจิตอล n บิตจะใช้จำนวนสัญญาณนาฬิกาถึง 2^n ลูก ส่วนข้อดี คือ สร้างได้ง่ายและรวดเร็ว ราคาถูก แต่ความแม่นยำขึ้นอยู่กับ DAC ที่ใช้

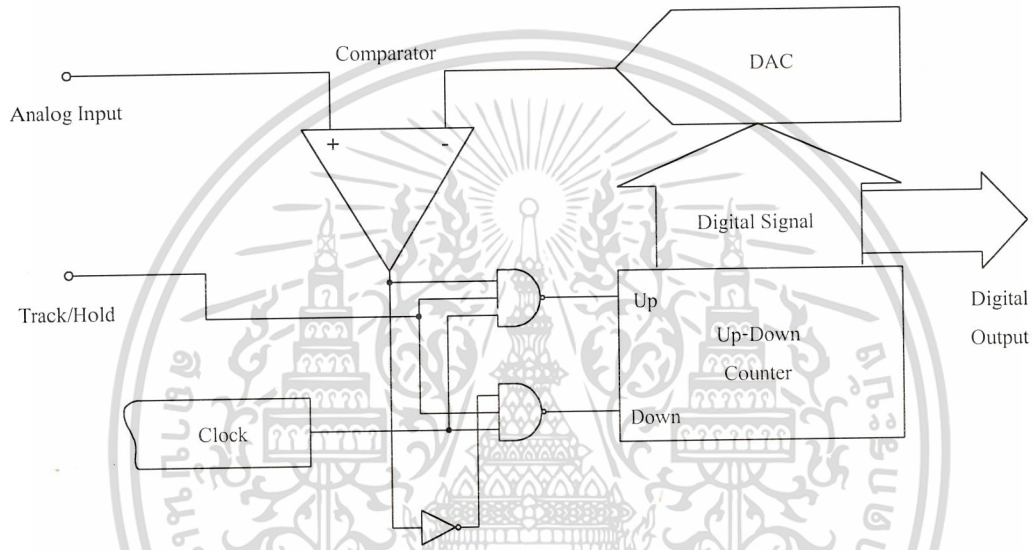
2) ADC แบบแทรคกิ้ง

ADC แบบปรับปรุงวงจรแบบใช้การนับทางด้านความเร็ว โดยใช้วงจรนับแบบขันลงได้ไม่จำเป็นต้องเริ่มจากศูนย์ทุกครั้ง แต่จะเริ่มนับค่าที่ได้จำไว้การเปลี่ยนสัญญาณครั้งหลังสุด ดังนั้นส่วนควบคุมทางลอจิกจึงซับซ้อนมากกว่า การทำงานจะเป็นดังนี้ เอาต์พุตจาก DAC จะเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต หากสัญญาณทางอินพุตมีมากกว่าลักษณะทางลอจิกของวงจรเปรียบเทียบจะควบคุมให้วงจรนับนับขึ้น แต่ถ้าค่าสัญญาณอินพุตน้อยกว่าค่าของวงจรนับจะนับลงจนกว่าค่าหลัง

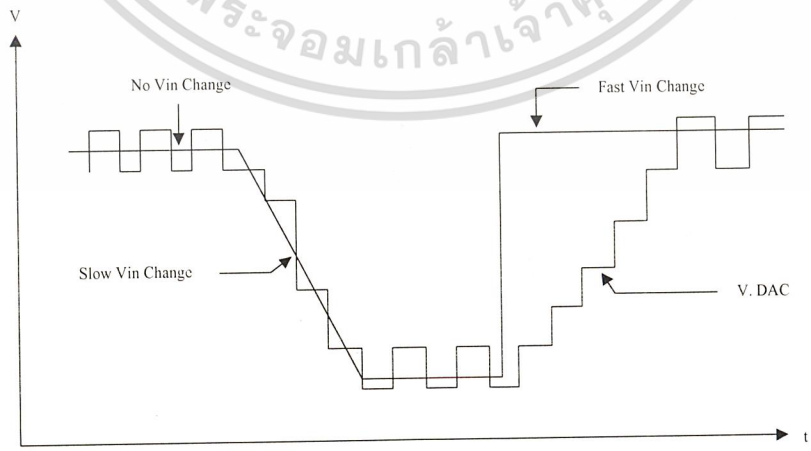
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุดของวงจรนับจะต่างจากสัญญาณแอนะลอกอินพุตไม่เกิน 1 LSB และค่าของวงจรนับจะถูกจำไว้จากวงจรนับการทำงานแทรกตามอินพุตจนได้ค่าเท่ากันอีกก็จะจำค่าใหม่

จากลักษณะการทำงานสัญญาณอินพุตจะต้องไม่เปลี่ยนแปลงความเร็วมากกว่าการทำงานของวงจรนับ มิฉะนั้นค่าเอาต์พุตที่ได้จะไม่ถูกต้องกับสัญญาอินพุต ตัวอย่างกรณีสัญญาณรูปไซน์ซึ่งเปลี่ยนแปลงขนาดได้มากเท่ากับค่าเต็มสเกล อัตราการเปลี่ยนแปลงจะเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงเอาต์พุตของวงจรนับ คือ 1 LSB/คาบเวลาสัญญาณนาฬิกา



รูปที่ 2.23 แผนผังการทำงานของวงจรแทรคกิ้ง



รูปที่ 2.24 แผนผังเวลาของวงจรแทรคกิ้ง

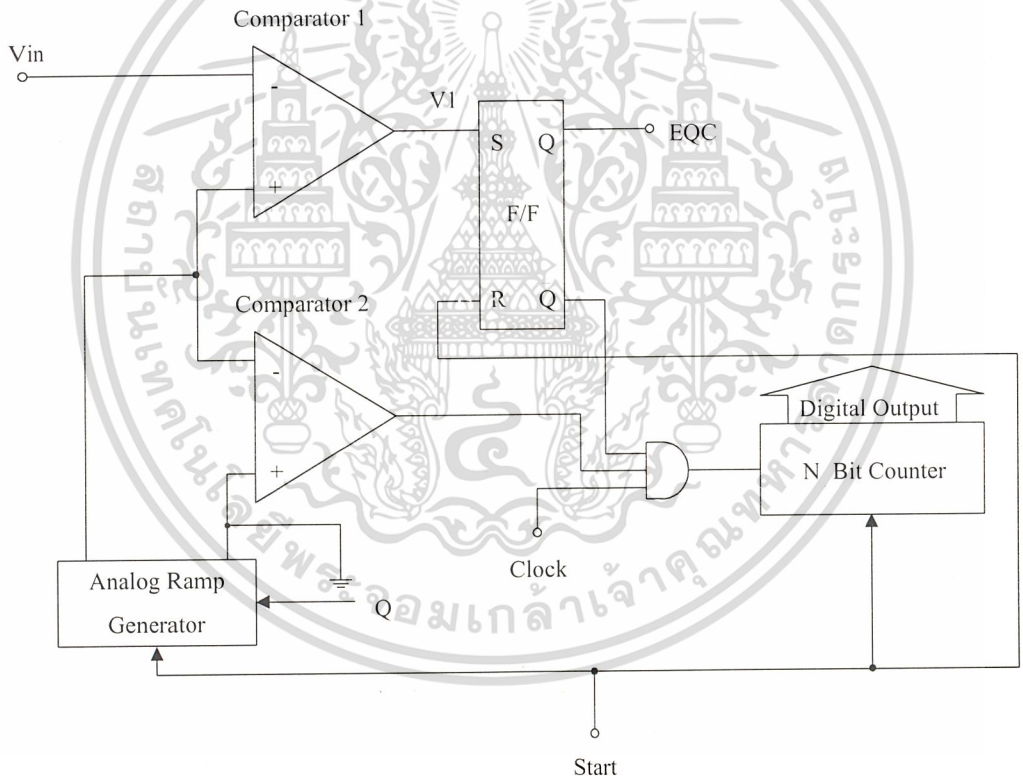
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ADC แบบใช้วงจรอินทิเกรติง

หัวใจสำคัญที่สุดของวงจร ADC ชนิดนี้ คือ วงจรอินทิเกรติงและเทคนิคสำคัญของ ADC แบบใช้วงจรอินทิเกรติง คือ จะใช้สัญญาณแรมพ์ต่อเนื่องแทนสัญญาณขั้นบันไดจาก DAC ซึ่งแบ่งตามลักษณะการทำงานได้ 2 แบบ คือ ADC แบบสโลบเดี่ยว (Single Slope) และ ADC แบบสโลบคู่ (Dual Slope Converter)

3.1) ADC แบบสโลบเดี่ยว

สัญญาณแอนะลอกแรมพ์จะใช้เพื่อเป็นแรงดันอ้างอิงที่เพิ่มขึ้นอย่างคงที่ เริ่มจากต่ำกว่าศูนย์เล็กน้อยจนถึงค่าที่สูงสุดกว่าเต็มสเกลเพียงเล็กน้อย ซึ่งเวลาที่ใช้จากการสแกนของสัญญาณแรมพ์ จำนวน n แรมพ์ จากศูนย์ถึงค่าแรงดันอินพุตซึ่งจะเป็นสัดส่วนกับแรงดันเอาต์พุต



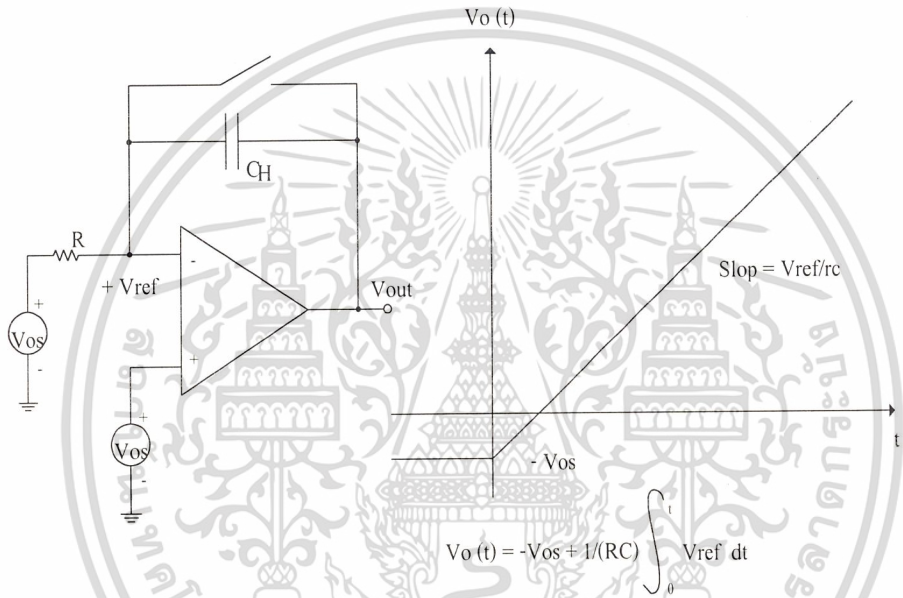
รูปที่ 2.25 วงจรแปลงแบบสโลปเดี่ยว

การแปลงเริ่มด้วยสัญญาณเริ่มทำการรีเซ็ทวงจรนับไบนารีและทำการเริ่มสร้างสัญญาณแรมพ์จากแรงดันที่ต่ำกว่าศูนย์โวลต์ เมื่อสัญญาณแรมพ์ผ่านศูนย์โวลต์เอาต์พุตจากวงจรเปรียบเทียบ 2 จะเป็นลอจิกสูงและเปิดเกตปล่อยพัลส์เข้าสู่วงจรนับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรนับจะเริ่มนับจนกระทั่งสัญญาณแรมพ์มีขนาดเท่ากับแรงดันแอนะลอกอินพุต ในเวลานี้เอาต์พุตจากวงจรเปรียบเทียบ 1 จะเป็นลอจิกสูงและปิดเกตไม่ให้สัญญาณนาฬิกาเข้าสู่วงจรนับจำนวนพัลซ์จากวงจรนับจะเป็นสัดส่วนแรงดันกับอินพุต

การกำเนิดแรงดันแรมพ์กำเนิดโดยต่อแรงดันอ้างอิงที่อินทิเกรเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.26 เมื่อสวิตช์เปิดเอาต์พุต เอาต์พุตจะมีข้อเสียอยู่อย่างหนึ่งซึ่งหากใช้ไปนานๆ การเปลี่ยนแปลงค่า RC ตามอุณหภูมิจะทำให้สโลปคลาดเคลื่อน



รูปที่ 2.26 วงจรกำเนิดสัญญาณแรมพ์

3.2) ADC แบบสโลปคู่

ADC แบบสโลปคู่ได้รับการพัฒนาขึ้นมา เพื่อแก้ไขจุดบกพร่องของ ADC แบบสโลป-เดียวซึ่งวงจรได้แสดงในรูปที่ 2.27

ในไซเคิลการทำงานของวงจรจะมี 2 ช่ว งคือ t1 และ t2 ในเวลา t1 จะเป็นช่วงเวลาที่ได้รับการออกแบบให้มีค่าคงที่ในช่วงเวลานี้ สัญญาณอินพุตจะต่อเข้ากับอินทิเกรเตอร์ผ่านสวิตช์ S ซึ่งทำให้เอาต์พุตที่ถูกอินทิเกรต หรือ V_{INT} เป็นรูปสัญญาณแรมพ์เพิ่มขึ้นทางบวกและสโลปจะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันอินพุต จนกระทั่ง V_{INT} ถึงค่าหนึ่งเมื่อสิ้นสุดเวลา t1

ในช่วงเวลา t2 อินพุตจะถูกตัดออกจากอินทิเกรเตอร์และต่อเข้ากับแรงดันอ้างอิงซึ่งมีค่าเป็นลบเข้ากับอินพุตอินทิเกรเตอร์ โดยผ่านการควบคุมทางลอจิก ในลักษณะเช่นนี้ทำให้ V_{INT} ลด

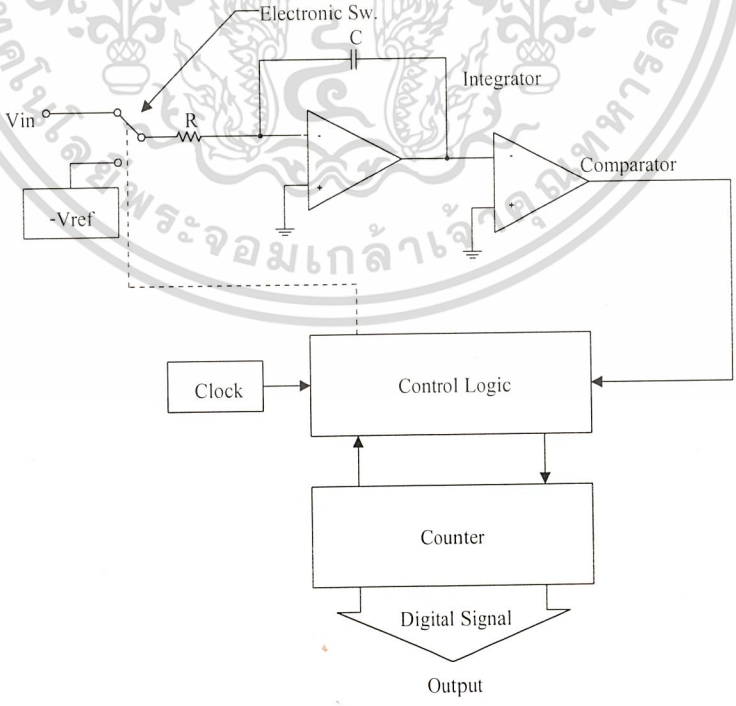
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ แสวงหาผลประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลงด้วย สโลปคงที่จากการคายประจุลง -Vrefเมื่อเริ่มต้นเวลา t2 วงจรนับจะรีเซ็ตและเริ่มนับจนเมื่อ V_{INT} มีค่าลดลงถึงศูนย์ วงจรเปรียบเทียบจะเปลี่ยนสถานะไปบอกส่วนควบคุมลอจิกช่วงเวลากับแรงดันอินพุตจะเป็นไปตามสมการ

$$t2 = \frac{t2(V_{INT})}{V_{REF}} \tag{2.10}$$

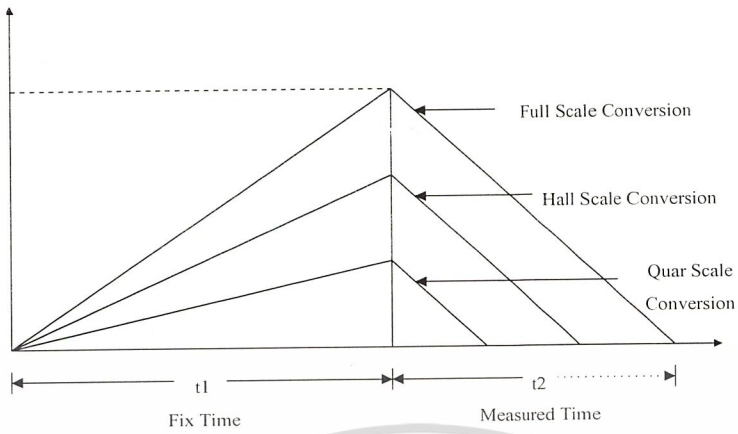
ดังนั้นรหัสดิจิตอลที่แสดงค่า t2 จะแสดงอัตราส่วนของแรงดันอินพุตต่อแรงดันอ้างอิง ด้วยคุณลักษณะของ ADC แบบสโลปคู่มีหลายชนิด คือ ประการแรกความแม่นยำของวงจรมันจะไม่ขึ้นอยู่กับเสถียรภาพของสัญญาณนาฬิกาและตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะขึ้นอยู่กับค่าความเที่ยงตรงของแรงดันอ้างอิงและความเป็นเชิงเส้นของการอินทิเกรเตอร์และประการที่สองนั้นการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยตัวเองของวงจรสามารถกระทำได้ถ้าเซ็ตให้ t1 มีขนาดเท่ากับคาบเวลาของสัญญาณรบกวน เช่นในการกำจัดสัญญาณ 50 เฮิรตซ์ t1 จะมีค่า 20 ms

ส่วนข้อเสียที่สำคัญของ ADC นี้ คือ ความเร็วในการแปลงสัญญาณค่อนข้างต่ำ มักนิยมใช้กับเครื่องมือวัดที่ไม่ต้องการความเร็ว เช่น ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ เป็นต้น



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

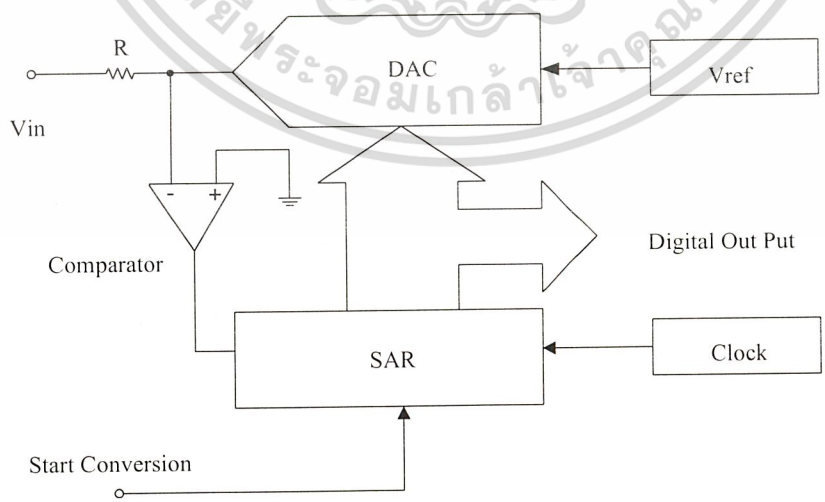


(ข)

รูปที่ 2.27 (ก) แผนผังการทำงานของ ADC แบบสโลปคู่
(ข) รูปคลื่นเอาต์พุตของ ADC แบบสโลปคู่

4) ADC แบบใช้การประมาณอย่างต่อเนื่อง

วงจร ADC ชนิดนี้เป็นชนิดที่ได้รับความ นิยมในงาน ประยุกต์ที่ต้องการความเร็วสูง และปานกลาง การจัดวงจะจัดคล้ายกับแบบวงจรนับที่ทำงานในลักษณะการป้อนกลับ แผนผังการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.28 ซึ่งแสดงฟังก์ชั่นต่างๆ ใน ADC ชนิดนี้ วงจรเปรียบเทียบจะคอยเปรียบเทียบเอาต์พุตจาก DAC กับสัญญาณแอนะลอกอินพุต เอาต์พุตจะควบคุมรีจิสเตอร์ประมาณค่า (SAR) ซึ่งเป็นไอซี MSI ที่ได้รับการออกแบบเป็นพิเศษเพื่อทำหน้าที่นี้โดยเฉพาะ การทำงานของ SAR เป็นดังนี้

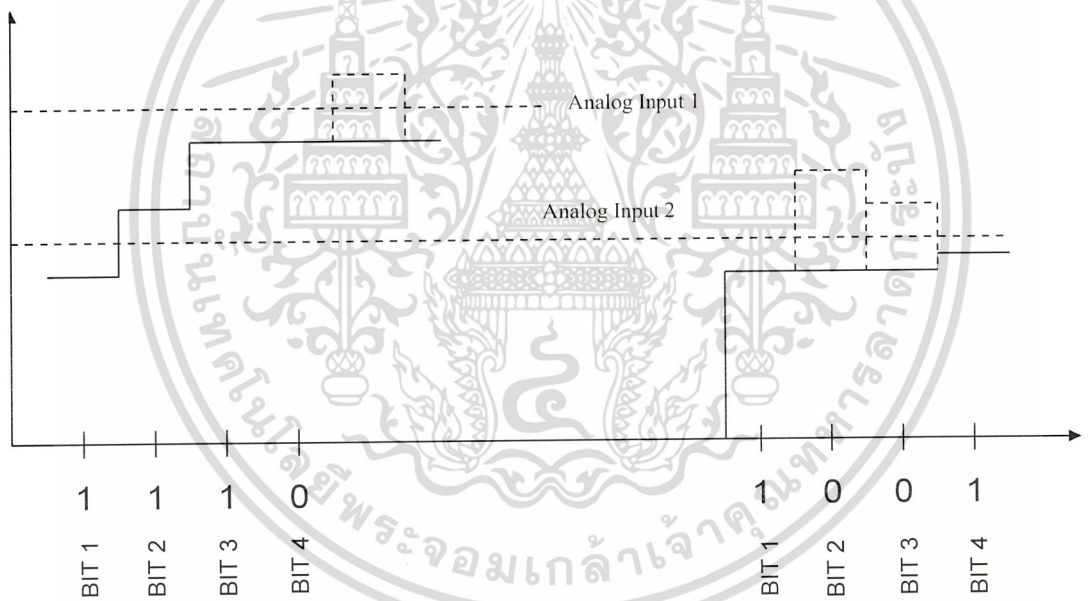


รูปที่ 2.28 แผนผังการทำงานของ ADC แบบใช้การประมาณค่าอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.29 แสดงแผนผังเวลาของ ADC ที่มีระดับแอนะลอก 1 และ 2 ที่ระดับหนึ่งเมื่อสัญญาณนาฬิกาเข้าไป 1 ลูก จะทำให้ MSB บิต 1 เป็น 1 และบิตอื่นๆ ยังคงเป็นศูนย์ DAC จะเปลี่ยนเอาต์พุตของ SAR เป็นแอนะลอกเปรียบเทียบกับสัญญาณแอนะลอกอินพุต ถ้าผลการเปรียบเทียบที่วงจรการเปรียบเทียบน้อยกว่าอินพุต ให้คงบิตนั้นไว้เป็น 1 แต่ถ้ามากกว่าจะแทนบิตนั้นไว้เป็นศูนย์จากนั้นทำการทดสอบบิตถัดไปอีก กรรมวิธีดังกล่าวจะกระทำต่อไปจนครบทุกบิตหรือจนกว่าเอาต์พุตจะต่างจากแรงดันอินพุต ไม่เกิน $\frac{1}{2}$ LSB

มีข้อจำกัด อีกประการหนึ่งสำหรับการแปลงสัญญาณ คือ สัญญาณแอนะลอกอินพุต จะต้องคงที่ในช่วงเวลาที่ทำการเปลี่ยนสัญญาณโดยเปลี่ยนได้ไม่เกิน 1/2 LSB ในช่วงสุดท้ายของการเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเอาต์พุตจะออกมาขนานกันทุกบิท แต่บางแบบอาจจะให้เอาต์พุตออกมาในลักษณะอนุกรม



รูปที่ 2.29 แผนผังเวลาของ SAR

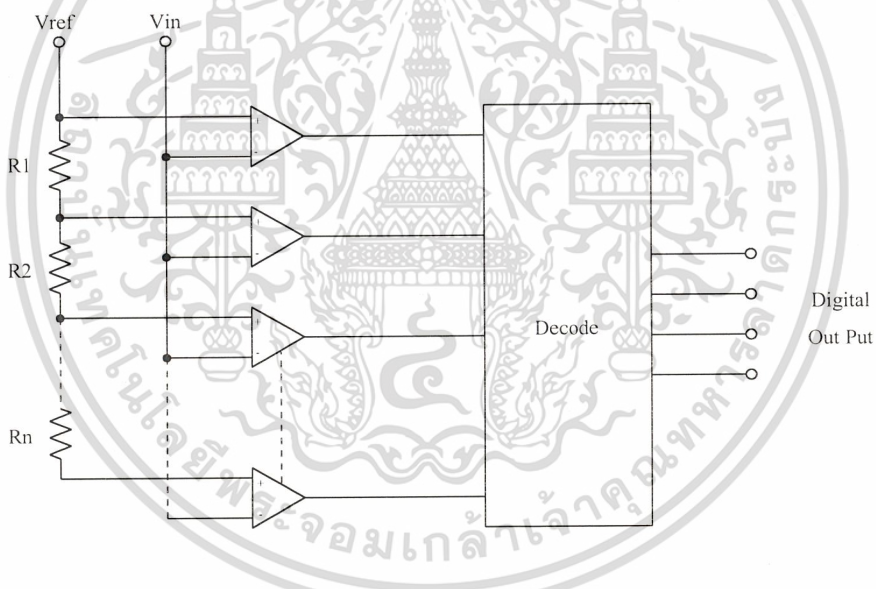
วงจร ADC แบบนี้สามารถทำงานได้ 2 โหมด คือ โหมดทีทำงานอิสระและโหมดที่รอคำสั่งเริ่มทำงานจากภายนอก เวลาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณซึ่งจะใช้สัญญาณนาฬิกา (N+1) ลูก โดยสัญญาณนาฬิกาลูกแรกจะใช้ในการรีเซ็ตรีจิสเตอร์ภายในและคุณภาพของระบบจะแย่ลงหาก DAC ไม่มีคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ADC แบบขนาน

สำหรับการแปลงสัญญาณที่ต้องการความเร็วสูงมากๆ เช่น ในการแปลงสัญญาณภาพของโทรทัศน์และเรดาร์ ซึ่งจำเป็นที่จะต้องใช้ ADC แบบขนาน ซึ่งแสดงแผนผังการทำงานได้ดังรูปที่ 2.30

หลักการทำงาน คือ จะใช้วงจรเปรียบเทียบมาใช้ในการเปรียบเทียบสัญญาณแอนะลอกอินพุตกับแรงดันอ้างอิงที่แบ่งแรงดันให้สอดคล้องกับรหัสดิจิตอล โดยที่จะใช้ตัวต้านทานและจะแปลเอาต์พุตจากวงจรเปรียบเทียบให้ตรงกับรหัสดิจิตอลซึ่งจะเห็นว่าอุปสรรคทางด้านความเร็วจะถูกจำกัดเพียงคาบเวลาการทำงานของวงจรเปรียบเทียบเท่านั้นและเป็นอุปสรรคที่สำคัญต่อการพัฒนาวงจรชิปไอซี คือวงจรที่ต้องการวงจรเปรียบเทียบมากถึง 2^{n-1} ตัว สำหรับ ADC แต่ ADC ชนิดนี้ก็ยังทำงานได้เร็วที่สุด

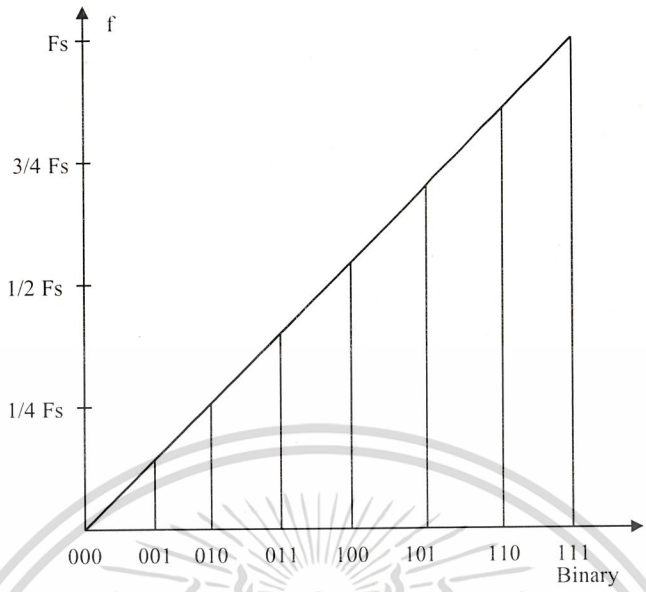


รูปที่ 2.30 ADC แบบขนาน

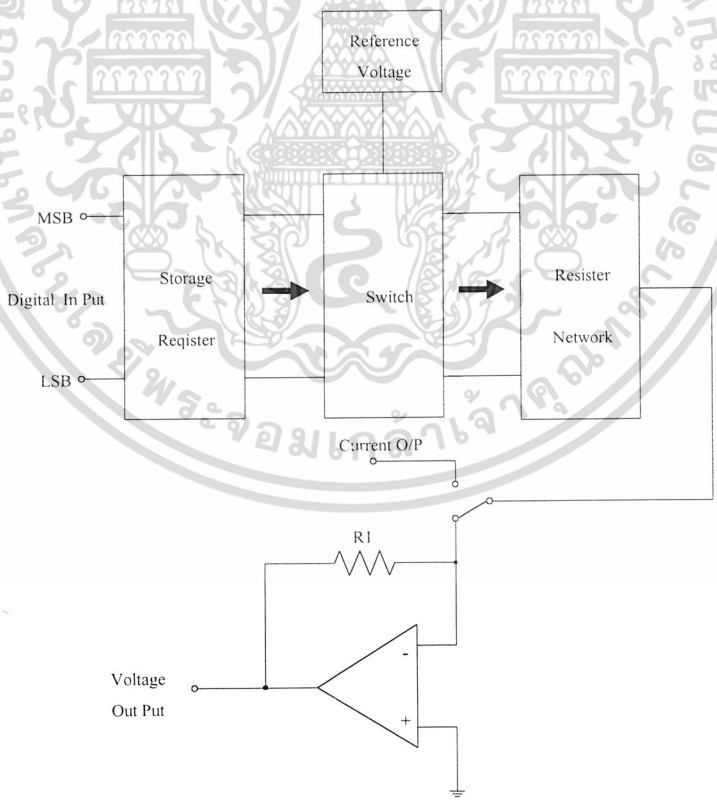
2.4.4 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก (DAC)

DAC นับเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมาก ตัวอย่างการใช้งานของ DAC คือ ระบบแสดงผลบนจอภาพและระบบสังเคราะห์เสียง ที่สำคัญ DAC ยังเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่ใช้ในระบบ ADC ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันซึ่งรูปที่ 2.31 แสดงฟังก์ชั่นถ่ายโอนของ DAC 3 รหัสดิจิตอลอินพุต 1 เวิร์ด จะแปลงเป็นแรงดันแอนะลอก 1 ค่า ซึ่งลักษณะการจัดวงจรจะเป็นดังรูปที่ 2.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 ฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของ DAC 3 บิตตามทฤษฎี



รูปที่ 2.32 แผนผังการทำงานของ DAC

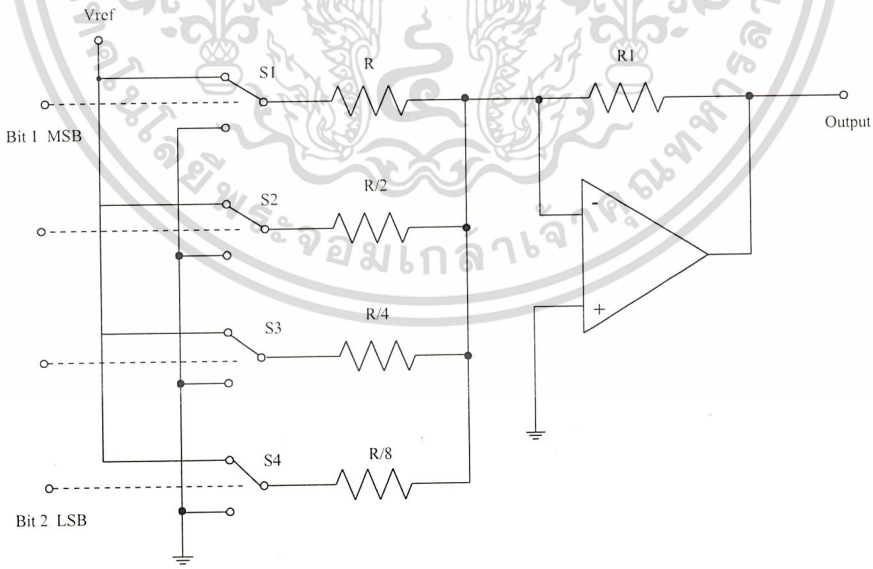
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวใจที่สำคัญของ DAC คือ อาเรย์สวิตช์ถูกควบคุมด้วยลอจิก ซึ่งมีจำนวน N ชุดเท่ากับจำนวนไบนารีบิตสวิตช์หล่านี้จะตัดต่อแรงดันอ้างอิงขนานเท่ากับวงจรอาเรย์รีจิสเตอร์ค่าต่างๆ ที่มีค่าประจำตามรหัสไบนารี บัฟเฟอร์เอาต์พุตของวงจรขยายจะทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสที่ถูกทำให้ค่าโดยวงจรรีจิสเตอร์ให้เป็นแรงดันแอนะลอกที่มีความสัมพันธ์ต่อกัน ใน DAC บางวงจรอาจจะมีดิจิตอลรีจิสเตอร์อยู่ในตัวเพื่อคงค่ารหัสอินพุตไว้ในขณะที่ DAC กำลังทำการเปลี่ยนเป็นสัญญาณแอนะลอก

1) DAC แบบไบนารีเวจท์แลดเดอร์

การจัดวงจรไบนารีเวจท์แลดเดอร์มีลักษณะตามรูปที่ 2.33 สวิตช์ S_1 - S_4 นั้นจะถูกควบคุมการเปิดปิดด้วยรหัสดิจิตอล เพื่อตัดต่อแรงดันอ้างอิงเข้ากับวงจรรีจิสเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ R, 2R, 4R, ..., 2^N R ตัวอย่างในกรณี DAC แบบ 4 บิตจะใช้รีจิสเตอร์เป็น 10k, 20k, 40k และ 80k เป็นต้น

ค่าที่รีจิสเตอร์มีค่าตามรหัสดิจิตอลที่เพิ่มขึ้นจะทำให้กระแสไหลผ่านรีจิสเตอร์เข้าไปรวมกันก่อนเข้าออปแอมป์แล้วลดลงด้วยแฟคเตอร์ 2 ตามค่า R ที่เพิ่มขึ้น เช่น หากใช้แรงดันอ้างอิงเป็น 10 โวลต์ในตัวอย่างนี้ กระแสที่ผ่านตัวต้านทานจะเป็น 1.0, 0.5, 0.25 และ 0.125 mA ตามลำดับ ออปแอมป์ที่เอาต์พุตจะทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสรวมให้เป็นแรงดันเอาต์พุต

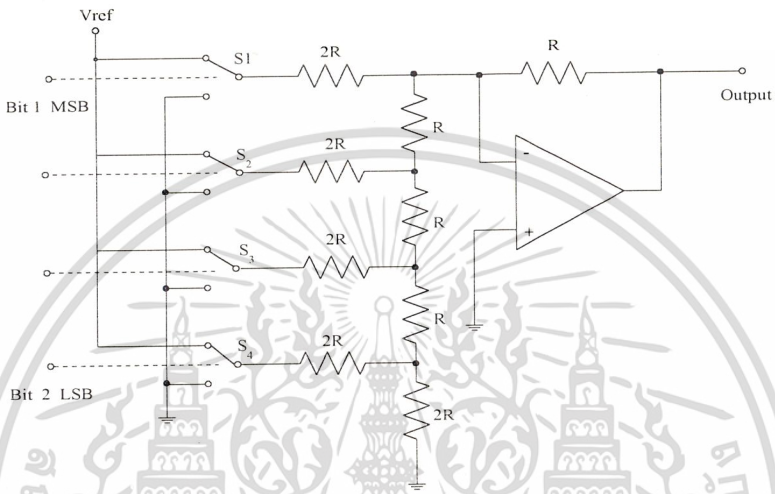


รูปที่ 2.33 DAC แบบไบนารีเวจท์แลดเดอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

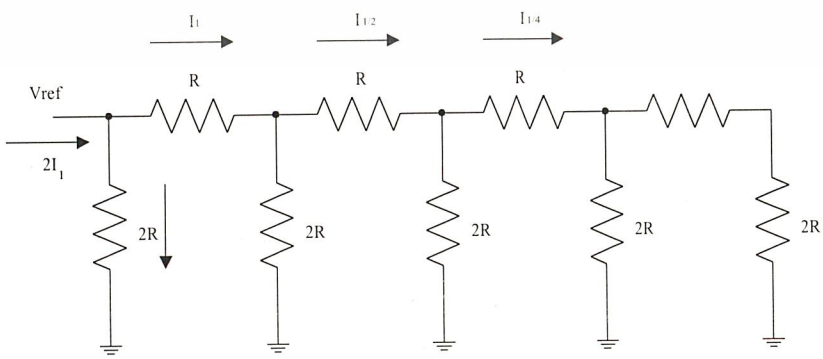
2) DAC แบบ R-2R แลดเดอร์

ถึงแม้ว่า DAC แบบไบนารีเวจแลดเดอร์จะใช้ค่ารีจิสเตอร์เพียง 4 ค่าก็ตาม แต่ในการผลิต DAC แบบนี้บนชิปไอซีเดียวกันก็ยังเป็นปัญหายุ่งยากในการผลิตอยู่ดี ซึ่งรูปแบบที่ดีกว่าคือการจัดวงจรแบบ R- 2R แลดเดอร์ ดังรูปที่ 2.34



รูปที่2.34 วงจร DAC แบบ R-2R แลดเดอร์ขนาด 4 บิต

ในวงจรสวิตช์จะตัดต่อให้แรงดันอ้างอิงต่อเข้ากับวงจรแลดเดอร์หรือต่อลงกราวด์ที่ขา 2R จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานอินพุต (2R) มองเข้าไปจะเห็นคู่ของรีจิสเตอร์ระหว่างจุดต่อจุด R-2R ที่ติดกัน กระแสจะถูกบั่นทอนไปในอัตรา 2/1 ซึ่งสอดคล้องกับรหัสไบนารี ดังแสดงในรูปที่ 2.35

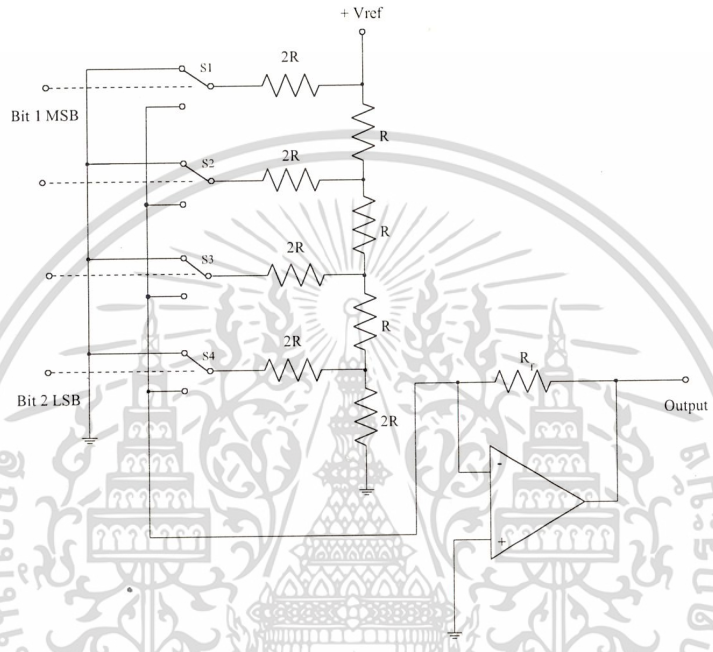


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.35 วงจรรีซิสทีฟแลดเดอร์

3) DAC แบบ R/2R แลดเดอร์

ลักษณะการจัดวงจรแบบนี้คล้ายกับแบบ R-2R แลดเดอร์ แต่สวิตช์ตัดต่อขา R กับขาอินพุตของวงจรรวมและขยายสัญญาณจะไม่เป็นแรงดันอ้างอิง วิธีการนี้นิยมใช้ในการทำ DAC ในวงจรรวมเพราะสวิตช์จะตัดต่อที่แรงดันตกคร่อมต่ำกว่า ซึ่งสร้างได้ง่ายกว่า



รูปที่ 2.36 วงจร DAC แบบ R/2R แลดเดอร์ที่กลับเฟส

2.5 การแปลงฟาสท์ฟูริเยร์ (Fast Fourier Transform or FFT)

อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ในปัจจุบันมีราคาถูกและมีประสิทธิภาพสูง อีกทั้งความแม่นยำและความแน่นอนจากการคำนวณโดยใช้คอมพิวเตอร์ก็มีมาก จึงทำให้การวิจัยและพัฒนาของระบบการประมวลสัญญาณเชิงเลขเพื่อนำไปใช้งานในสาขาวิชาต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประมวลผลทางด้านสาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์มีอย่างกว้างขวาง ตัวอย่างเช่นการประมวลสัญญาณเสียง การประมวลสัญญาณภาพ การประมวลสัญญาณเรดาร์ และการประมวลสัญญาณชีวภาพ เป็นต้น การประมวลสัญญาณดังที่กล่าวมานี้มีการคำนวณ ผลการประสานสำคัญ โดยทั่วไปแล้วการแปลงฟูริเยร์เต็มหน่วย (DFT) นั้นสามารถนำมาใช้ในการคำนวณการประสานได้ แต่การคำนวณ DFT เองนั้นเมื่อจำนวนลำดับข้อมูลมีมากก็ใช้เวลาในการคำนวณของคอมพิวเตอร์มาก ตัวอย่างเช่น การคำนวณ DFT สำหรับลำดับสัญญาณเข้ายาว N ลำดับ คอมพิวเตอร์ต้องทำการคำนวณจำนวนเชิงซ้อน ถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N*N ครั้งและบวกจำนวนเชิงซ้อนอีก N(N-1) ครั้ง ซึ่งคอมพิวเตอร์ทั่วไปแล้วไม่มีคำสั่งภาษาเครื่องที่ใช้การคูณตัวเลขจึงต้องเขียนเป็นโปรแกรมย่อย หรือเพิ่มเติมวงจรคูณโดยเฉพาะเข้าไป ส่วนการบวกตัวเลขของคอมพิวเตอร์นั้นทำได้ง่ายและรวดเร็ว จึงสามารถกล่าวได้ว่ากระบวนการคูณตัวเลขนั้นใช้เวลาคำนวณมากกว่าการบวกตัวเลขมาก จากผลอันนี้ทำให้เห็นชัดว่าความเร็วในการคำนวณ DFT จึงขึ้นปนอยู่กับความเร็วและจำนวนครั้งในการคูณตัวเลขเป็นสำคัญ ถ้าหากสามารถหาวิธีการคำนวณ DFT ที่ใช้จำนวนครั้งในการคูณน้อยลงแล้วก็เป็นประโยชน์อย่างมาก โดยจะได้แสดงให้เห็นว่า DFT นั้นจะใช้ช่วยในการคำนวณ, การประสานการคำนวณ, การแปลงแซด หรือการทำสหสัมพันธ์ ดังนั้นถ้ามี DFT ที่คำนวณได้เร็วก็ทำให้การคำนวณที่กล่าวไปแล้วเร็วขึ้นด้วย

ขั้นตอนวิธีหรือลำดับการในการคำนวณ DFT ให้เร็วมีชื่อเรียกว่า "การแปลงฟาสท์ฟูริเยร์ (ต่อไปจะเรียกย่อว่า FFT)" ที่ได้มีการพัฒนาวิธีการต่างๆ กันอย่างมากนั้นเป็นผลมาจากผลงานของคูลีย์กับทูคีย์ ที่เสนอไว้ในปี ค.ศ. 1965 หลังผลงานชิ้นนี้แล้ว ทำให้เกิดการพัฒนาวิธีการขึ้นมาอีกหลายวิธี FFT จะทำให้การคำนวณ DFT ใช้ในการคูณเชิงซ้อนเพียง N $\log_2$N ครั้งเท่านั้นหรือจำนวนครั้งในการคูณตัวเลขลดลงไปถึงจำนวน N/($\log_2$N) เท่า ตัวอย่างเช่น สำหรับสัญญาณขนาด N = 1024 จุด การคูณจำนวนเชิงซ้อนลดลงไปถึง 102 เท่า ผลอีกประการหนึ่งก็คือทำให้การสร้างวงจรเฉพาะเพื่อการคำนวณ DFT ทำได้ง่ายและคำนวณได้เร็วขึ้น เป็นผลให้ของการประมวลผลสัญญาณเชิงเลขสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบเวลาจริงได้ อย่างไรก็ตามถึงแม้จะมีชื่อเรียกว่าการแปลงฟาสท์ฟูริเยร์แต่ตัว FFT เองนั้นไม่ใช่การแปลงฟูริเยร์ แท้จริงแล้วเป็นเพียงวิธีการหรือลำดับการในการคำนวณ DFT ซึ่งเป็นการแปลงฟูริเยร์ได้รวดเร็วขึ้น

จนถึงปัจจุบันนี้ได้มีการคิดค้น ดัดแปลงและเสนอผลงานเกี่ยวกับ FFT มากมายหลายแบบ ซึ่งแต่ละแบบก็มีทั้งข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างต่างกันออกไป โดยทั่วไปแล้วแบ่งออกได้เป็นชนิดใหญ่ๆ ได้ 2 ชนิดด้วยกัน คือ ชนิดลดทอนทางเวลาและลดทอนทางความถี่ ทั้งสองชนิดนี้โดยหลักการแล้วมีความคล้ายคลึงกัน ดังนั้นในการอธิบายจะขออธิบายเพียงหลักการลดทอนทางเวลาอย่างละเอียดเพียงอย่างเดียวซึ่งจะอธิบายหลักการเบื้องต้นก่อนเพื่อให้เห็นวิธีการว่า "FFT" สามารถลดการคำนวณลงได้อย่างไร ส่วนการดัดแปลงเพื่อให้ได้วิธีการแบบอื่นจะแสดงโดยการใช้กราฟการไหลแทน

2.5.1 ฟาสท์ฟูริเยร์แบบฐานสอง

1) หลักการเบื้องต้นของ FFT

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงคำนิยาม การแปลงฟูริเยร์เต็มหน่วย รวมถึงคุณสมบัติต่างๆ ไว้อย่างละเอียด แต่เพื่อสะดวกในการอธิบายจะขอนำคำนิยามมากล่าวไว้ก่อน การแปลงฟูริเยร์แบบเต็มหน่วย สำหรับลำดับ x(m) ที่ยาว N จุด สามารถนิยามได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X(k) = \sum_{m=0}^{N-1} x(m) \cdot w^{mk} \qquad (2.11)$$

โดยดรรชนี k, m = 0, 1, …, N-1 และจำนวนเชิงซ้อน $w = \exp^{(\frac{j2}{N})}$ ในทางวิชาอิเล็กทรอนิกส์ ลำดับ x(m) มักจะเกี่ยวข้องกับสัญญาณในโดเมนเวลา ส่วน X(k) เกี่ยวข้องกับสัญญาณในโดเมนความถี่หรือเรียกว่าสเปคตรัมของสัญญาณ สำหรับการเขียนสมการ 2.11 นั้น ความจริงแล้ว การคำนวณหา DFT จะต้องมีพจน์ 1/N ประกอบด้วยเสมอ แต่ที่ละไว้ก็เพื่อความสะดวกในการอธิบาย

สมการ 2.11 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการเมตริกซ์ได้ คือ

$$X = \{A\} \cdot \{x\} \qquad (2.12)$$

โดยที่ X และ x เป็นเวกเตอร์แนวตั้ง ที่ประกอบด้วยลำดับ X(k) และ x(m) ตามลำดับจำนวน N ลำดับ และ A เป็นเมตริกซ์จตุรัส ขนาด N*N ที่มีสมาชิกเป็นจำนวนเชิงซ้อน w^{mk} ตัวอย่างเช่น พิจารณาสำหรับ N = 4 ระบบสมการ 2.12 สมการสามารถเขียนแยกออกได้เป็น

$$\begin{bmatrix} X(0) \\ X(1) \\ X(2) \\ X(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W^0 & W^0 & W^0 & W^0 \\ W^0 & W^1 & W^2 & W^3 \\ W^0 & W^2 & W^4 & W^6 \\ W^0 & W^3 & W^6 & W^9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(0) \\ x(1) \\ x(2) \\ x(3) \end{bmatrix} \qquad (2.13)$$

การคำนวณจากสมการ 2.13 นี้สังเกตเห็นได้ว่า ต้องใช้การคูณจำนวนเชิงซ้อน 4*4 หรือ 16 ครั้ง และต้องทำการบวกจำนวนเชิงซ้อนอีก N(N-1) = (4(4-1)) = 12 ครั้งจากหลักการของ FFT ที่สามารถลดจำนวนครั้งในการคูณจำนวนเชิงซ้อนได้ก็โดยการอาศัยคุณสมบัติภาวะเป็นคาบของจำนวนเชิงซ้อน คือ

$$w^{mk} = w^{(mk \bmod (N))} \qquad (2.14)$$

ซึ่ง (mk mod (N)) หมายถึง ส่วนที่เหลือหลังจากการหารพจน์ mk ด้วย N โดยอาศัยคุณสมบัติความเป็นคาบนี้ ทำให้สมการ 2.13 อาจเขียนได้เป็น

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} X(0) \\ X(1) \\ X(2) \\ X(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & W^1 & W^2 & W^3 \\ 1 & W^2 & W^0 & W^2 \\ 1 & W^3 & W^2 & W^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(0) \\ x(1) \\ x(2) \\ x(3) \end{bmatrix} \qquad (2.15)$$

จากคุณสมบัติความเป็นคาบนี้เองทำให้ เราสามารถแยกตัวประกอบของเมตริกซ์ A ออกเป็นเมตริกซ์ย่อยหลายเมตริกซ์คูณกัน และสมาชิกภายในเมตริกซ์ย่อยควรให้มีค่าเป็นศูนย์มากที่สุด วิธีการแยกตัวประกอบนี้อาจจะไม่กระทำโดยตรงจาก A แต่จะมีการสลับตำแหน่งหรือจัดกลุ่มของเมตริกซ์ด้วยวิธีการของการผันกลับบิต และเมตริกซ์หลังจากสลับแถวแล้วจะนำมาแยกตัวประกอบอีกครั้งหนึ่ง

ในที่นี้จะขออธิบายวิธีการแยกตัวประกอบด้วยการเขียนแทน ดรรชนี k และ m ของสมการ 2.11 ด้วยตัวเลขฐานสอง ซึ่งสำหรับกรณี N = 4 ซึ่งดรรชนี k และ m จะมีค่าได้เพียง 0, 1, 2 และ 3 เท่านั้น เพราะฉะนั้นเราสามารถแทนตัวเลข 4 ฐานสิบได้ด้วยตัวเลขฐานสองได้สองหลัก คือ

$$k = (k_1, k_0) \quad , \quad m = (m_1, m_0) \qquad (2.16)$$

โดยที่ k_1, k_0, m_1 และ m_0 เป็นเลขโดดที่มีค่าได้แค่ "0" หรือ "1" เท่านั้น ดรรชนีในสมการ 2.16 นี้สามารถเขียนได้ใหม่เป็น

$$k = 2k_1 + k_0 \quad , \quad m = 2m_1 + m_0 \qquad (2.17)$$

เมื่อนำค่าดรรชนี k และ m นี้ไปแทนลงในสมการ 2.11 ทำให้ได้

$$k(k_1, k_0) = \sum_{m0=0}^{1} \sum_{m1=0}^{1} x(m_1, m_0) W^{(2m1+m0)(2k1+k0)} \qquad (2.18)$$

จากคุณสมบัติการเป็นคาบของ ω ทำให้ได้ความสัมพันธ์

$$\begin{aligned} W^{(2m1+m0).(2k1+k0)} &= W^{(2k1+k0)} \cdot W^{(2k1+k0)m0} \\ &= W^{4m1k1} \cdot W^{2m1k0} \cdot W^{(2k1+k0)m0} \\ &= W^{2m1k0} \cdot W^{(2k1+k0)m0} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $w^{4m_1k_1} = 1$ เพราะฉะนั้นเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$X(k_1, k_0) = \sum_{m=0}^{1} \{x_1(k_0, m_0)\} \, w^{(2k_1 + k_0)m_0} \qquad (2.19)$$

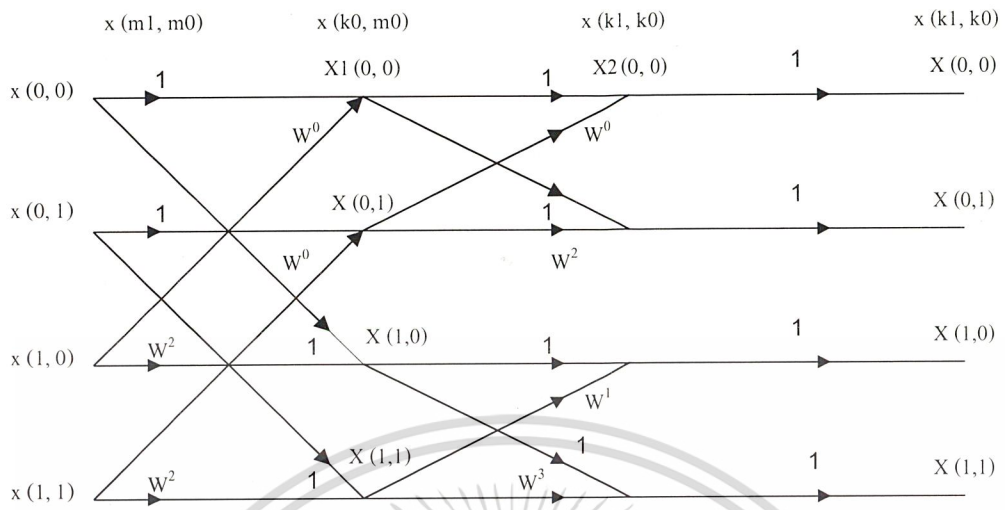
โดยการสมมุติให้ ตัวแปร $x_1(k_0, m_0)$ ในการคำนวณระหว่างกลาง ผลจากสมการ 2.19 อาจเขียนเป็นสมการเมตริกซ์ได้ คือ

$$\begin{matrix} (k_1, k_0) \\ \begin{bmatrix} x_1(0,0) \\ x_1(0,1) \\ x_1(1,0) \\ x_1(1,1) \end{bmatrix} \end{matrix} = \begin{bmatrix} 1 & W^0 & 0 & 0 \\ 1 & W^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & W^1 \\ 0 & 0 & 1 & W^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & W^0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & W^2 \\ 1 & 0 & W^2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & W^2 \end{bmatrix} \begin{matrix} (m_1, m_0) \\ \begin{bmatrix} x(0,0) \\ x(0,1) \\ x(1,0) \\ x(1,1) \end{bmatrix} \end{matrix} \qquad (2.20)$$

ผลที่ได้จากสมการ 2.20 ซึ่งเป็นสมการแยกตัวประกอบของ A นี้จะเห็นว่าสมาชิกตามแนวนอนของเมตริกซ์ที่ได้ จากการแยกตัวประกอบนั้นมีเพียง 2 ตัวเท่านั้นที่มีค่าไม่เป็นศูนย์ และในสองตัวนี้มีสมาชิกตัวหนึ่งมีค่าเป็นหนึ่งเสมอ ส่วนอีกตัวหนึ่งก็จะเป็นจำนวนเชิงซ้อน แต่ถ้าพิจารณาการคูณเมตริกซ์ย่อยจะเห็นว่าต้องการคูณจำนวนเชิงซ้อนเพียง N = 4 ครั้ง โดยที่ N อยู่ในรูปของสองยกกำลังใดๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าในกรณีโดยทั่วๆ ไปถ้าหากเรามีวิธีในการแยกการคำนวณ DFT ให้เป็นเมตริกซ์ย่อยก็จะทำให้จำนวนครั้งในการคูณจำนวนเชิงซ้อนน้อยลง

ความจริงแล้วจำนวนครั้งในการคูณจำนวนเชิงซ้อนอาจลดทอนลงไปได้อีก ซึ่งต่อมาก็ได้มีผู้เสนอวิธีการคำนวณ FFT แบบอื่นขึ้นมา ผลงานเหล่านี้หลักการใหญ่แล้วหมือนกันต่างกันเพียงรายละเอียดย่อยเท่านั้น ในรูปที่ 2.37 เป็นกราฟการไหลของสัญญาณ (Signal Flow Graph) ที่แสดงวิธีการคำนวณ FFT โดยที่หัวลูกศรชี้ทิศทางการคำนวณ ส่วนตัวอักษรกำกับ เป็นตัวคูณค่าของสัญญาณที่ต้นทางของลูกศรนั้น และที่บัพ หรือ ปม (Node) เป็นการรวมหรือบวกกันของสัญญาณ ส่วน $x_1(k_0, m_0)$ แทนลำดับการคำนวณระหว่างกลาง และ $X(k_1, k_0)$ เป็นค่า DFT ของลำดับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.37 กราฟการไหลของสัญญาณที่ได้จากการคำนวณ FFT

2.5.2 วิธีการลดทอนทางเวลา

วิธีการที่เสนอโดย คูลีย์และทูคีย์ ซึ่งได้กล่าวมาแล้วนั้นความเป็นจริงแล้วเป็นการจัดแบ่งกลุ่มลำดับสัญญาณในโดเมนเวลา x (m) ที่มีขนาด N จุด ออกเป็นสองลำดับสัญญาณที่มีความยาว N/2 จุดเท่ากัน ทั้งสองลำดับนี้ให้เรียกชื่อว่า "ลำดับสัญญาณคู่" และลำดับสัญญาณคี่ โดยที่ลำดับสัญญาณคู่เกิดจากการเอาลำดับในตำแหน่งเป็นเลขคู่มาเรียงกัน ที่เหลือคี่เป็นลำดับสัญญาณคี่ ดังนั้นถ้าเรสนิยามให้ $x_E(m)$ เป็นลำดับสัญญาณคู่ และลำดับคี่เป็น $x_O(m)$ ตามลำดับ

$$\begin{aligned} x_E(m) &= x(2m) \quad ; \ m = 0, 1,\ldots,(N/2)-1 \\ x_O(m) &= x(2m+1) \quad ; \ m = 0, 1,\ldots,(N/2)-1 \end{aligned} \tag{2.21}$$

ด้วยการจัดแบ่งเช่นนี้ ถ้าให้ W_N แทนค่า W ของลำดับยาว N จุด ทำให้การคำนวณการแปลง DFT ของลำดับสัญญาณ x(m) ที่ยาว N จุดเขียนใหม่ได้เป็น

$$X(k) = \sum_{m=0}^{N-1} X \in (m)(w_N^{km}) + \sum_{m=0}^{N-1} Xo(m)(w_N^{km})$$

$$= \sum_{m=0}^{(N/2)} X(2m)(w_N^{(2m+1)k}) + \sum_{m=0}^{(N/2)-1} X(2m+1)(w_N^{(2m+1)k}) \tag{2.22}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่เขียนให้พจน์ (w_N^2) เป็น

$$(w_N^2) = \exp\left(\frac{j2}{N^2}\right)$$
$$= W_{N/2} \qquad (2.23)$$

ซึ่ง $W_{N/2}$ หรือค่า W ของค่าลำดับยาว N/2 จุด เพราะฉะนั้น 2.22 จัดพจน์ใหม่ได้เป็น

$$X(k) = \sum_{m=0}^{(N/2)-1} X \in (m)(w_{N/2}^{km}) + (w_N^k) \sum_{m=0}^{(N/2)-1} Xo(m)(w_{N/2}^{km}) \qquad (2.24)$$

โดย $X_1(k)$ และ $X_2(k)$ แทนผลการแปลง DFT ขนาด N/2 จุด ของลำดับ $x_E(m)$ และ $X_O(m)$ ตามลำดับสมการที่ 2.24 แสดงให้เห็นว่าการคำนวณ DFT ขนาด N จุด นั้นสามารถแบ่งคำนวณย่อยออกเป็นการคำนวณ DFT ขนาด N/2 จุด สองอันดับได้ และข้อสำคัญก็คือการคูณจำนวนเชิงซ้อนจะลดลงเหลือ $2(N/2)^2 = N^2/2$ ครั้ง ซึ่งจะเห็นได้ว่าลดเวลาการคำนวณลงไปได้ถึง 50% โดยอาศัยหลักการเดียวกันกับการแบ่งทอนลำดับ $x_E(m)$ และ $x_O(m)$ ออกเป็นลำดับคู่และลำดับคี่ลงไปตามลำดับ จนในที่สุดเหลือเป็นลำดับขนาด 2 จุดจำนวน N/2 ภาคด้วยกัน ข้อสังเกตที่สำคัญก็คือการซอย เพื่อแบ่งลำดับ x(n) ออกเป็นทีละครึ่งจนเหลือการคำนวณ DFT ขนาด 2 จุดนี้สำหรับสัญญาณขนาด N ลำดับ จะทำการแบ่งออกได้ $\log_2 N$ ครั้ง

ปัญหาต่อมา คือ เมื่อแบ่งย่อยลงไปแล้วจะเอาการแปลง DFT ขนาด 2 จุด จำนวน N/2 ภาคนี้มาประกอบกันหรือรวมตัวกันเพื่อให้เป็นการคำนวณ DFT ขนาด N จุดได้อย่างไร เพราะถ้านำมาประกอบกันอย่างไม่มีหลักเกณฑ์ ผลการคำนวณ DFT ที่ได้ก็จะมีค่าผิดพลาดไป ตัวอย่างเช่น การนำเอา DFT ขนาด N/2 จุดมาต่อกันโดยตรงตามสมการ 2.24 ย่อมมีข้อผิดพลาดเพราะว่าทั้ง $X_1(k)$ และ $X_2(k)$ เป็น DFT ขนาด N/2 ที่นิยามเฉพาะสำหรับช่วง $0 < k < N/2$ เท่านั้น การนำมาประกอบกันสำหรับลำดับสัญญาณ N ลำดับอย่างถูกต้อง เราต้องทำการนิยามค่าของสมการ 2.24 สำหรับค่า $k > N/2$ ด้วยซึ่งทำได้โดยเขียน

$$X(k) = X_1(k) + (w_N^k) X_2(k) \quad ; \quad \frac{N}{2} < k < \left(\frac{N}{2}\right) - 1 \qquad (2.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พจน์ (w_N^k) ในสมการ 2.25 นี้มีชื่อเรียกว่า "ตัวประกอบหมุน" พจน์นี้เป็นส่วนสำคัญร่วมกับ DFT ขนาด 2 จุด หรือขนาด N/2 จุด ที่จะนำมาประกอบกันเข้าเป็น DFT ขนาด N จุด ได้เหมือนเดิม

ในสมการที่ 2.25 นี้ถ้าหากเรานำเอาความสำพันธ์ $(w_N^{k+(N/2)}) = -(w_N^k)$ แทนลงไปแล้ว สมการนี้สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

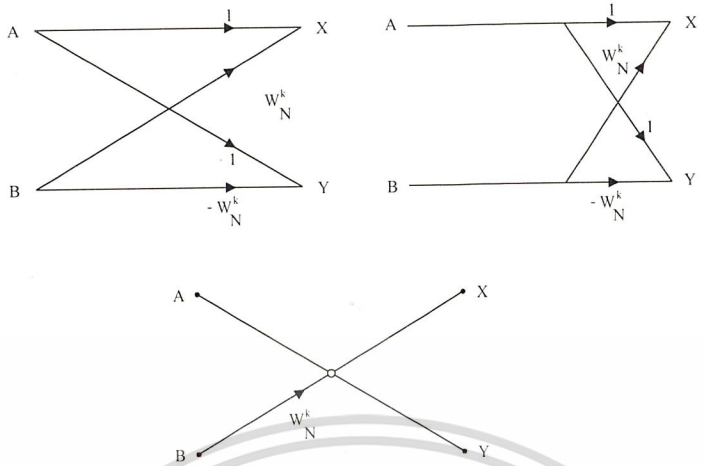
$$X(k) = X_1\left(k-\frac{N}{2}\right)-(w_N^{k-(N/2)}) \quad ; \quad \frac{N}{2} < k < \frac{N}{2}-1 \tag{2.26}$$

สมการที่ได้เป็นหลักการสำคัญสำหรับ FFT ซึ่งสมการที่ 2.26 บอกเราว่าในการคำนวณหา DFT ของลำดับคู่หนึ่ง จะประกอบไปด้วยลำดับ X(k) ซึ่งห่างออกไปจากลำดับ X(k) นั้นสามารถคำนวณได้โดยใช้การคูณจำนวนเชิงซ้อนเพียงข้างเดียวเท่านั้น จากผลนี้เราสามารถที่จะนำไปสร้างหน่วยคำนวณที่มีชื่อเรียกว่า หน่วยผีเสื้อ โดยหน่วยคำนวณนี้มีข้อมูลเข้า 2 ข้อมูล คือ A และ B ซึ่งจะให้ข้อมูลออกเป็น X และ Y

$$\begin{aligned} X &= A+(w_N^k).B \\ &= A-(w_N^k).B \end{aligned} \tag{2.27}$$

จากรูปที่ 2.38 มีข้อสังเกต คือ ลำดับสัญญาณเข้า x(n) ไม่ได้ถูกจัดเรียงอย่างต่อเนื่องหรือตามธรรมชาติแต่ได้ถูกสลับตำแหน่งกันอย่างมีหลักเกณฑ์ คือ การสลับตำแหน่งหรือสลับอันดับ กันนี้เป็นไปตามวิธีที่เรียกว่า การผันกลับบิตนั่น คือ ถ้าเราแทนดรรชนี n ของลำดับ x(n) ด้วยเลขฐานสอง โดยที่จำนวนบิตของเลขฐานสองต้องเพียงพอที่จะแทนค่า N ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.38 หน่วยผีเสื้อของการคำนวณตามขั้นตอนวิธีลดทอนทางเวลา

อย่างไรก็ตามสำหรับ N มีค่าใหญ่มาก การที่จะเขียนโปรแกรมหรือสร้างวงจร ซึ่งสามารถใช้กับกรณีทั่วๆ ไปได้ด้วยนั้น ข้อสังเกตเหล่านี้จำเป็นต้องมีโปรแกรมหรือวงจรส่วนหนึ่งเพื่อมาวิเคราะห์ด้วย ทำให้เกิดความยุ่งยากโดยไม่จำเป็น ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่า การคูณจำนวนเชิงซ้อนของลำดับ FFT จะมีปริมาณ $N\log_2 N$ ครั้ง

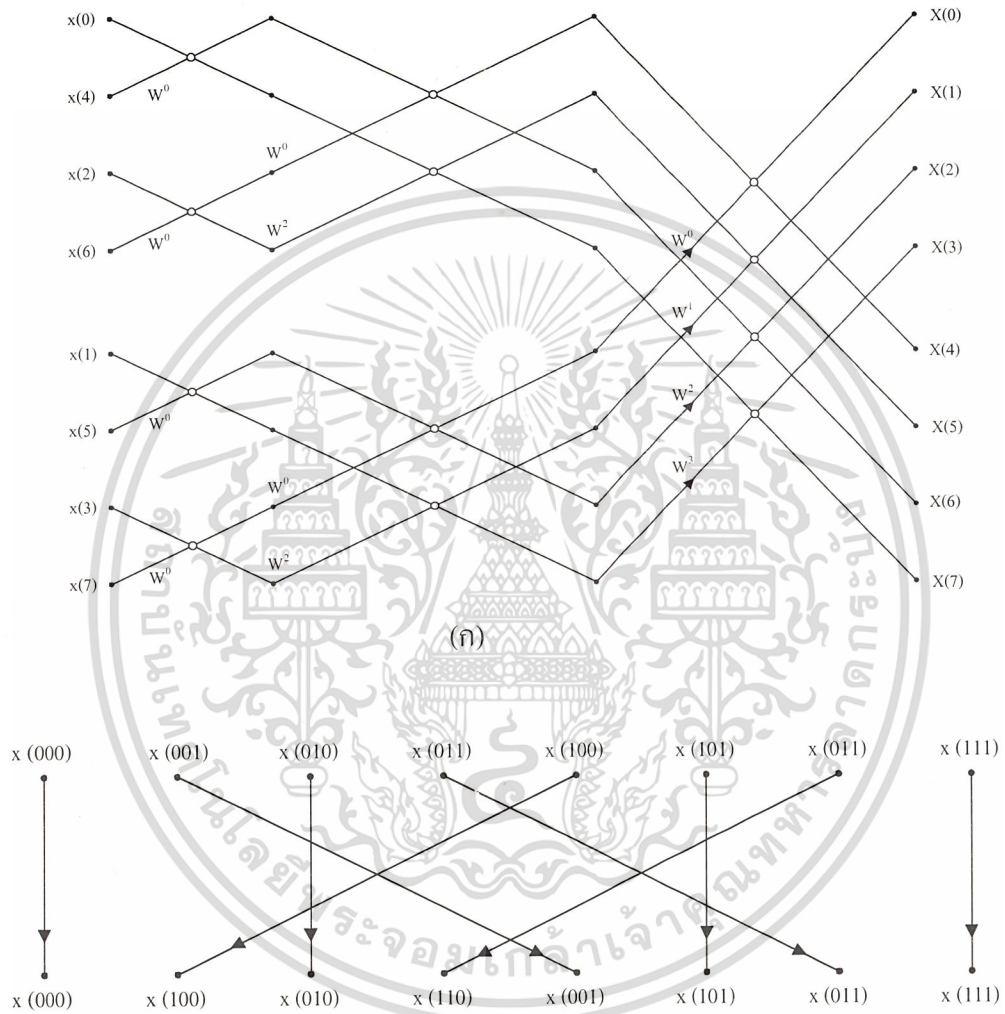
2.5.3 การลดทอนทางเวลาแบบอื่น สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1) ขั้นตอนวิธีแบบการคำนวณซ้ำที่

คุณสมบัติบางประการซึ่งเป็นข้อดีของการแปลงฟาสท์ฟูริเยร์ตามรูปที่ 2.39 (ก) โดยทั่วไปอาจกล่าวได้ว่าการคำนวณการแปลง DFT นั้นแท้จริงก็ คือ การนำกลุ่มลำดับจำนวนเชิงซ้อนที่มีอยู่ N ลำดับ มาทำการแปลงให้เป็นลำดับจำนวนเชิงซ้อนอีกกลุ่มหนึ่งที่มีอยู่ N ลำดับเช่นกัน โดยการใช้ FFT การแปลงนี้จะกระทำ $\log_2 N$ ขั้นตอนด้วยกันตามรูปที่ 2.39 (ก) ซึ่ง N =8 ควรต้องมีหน่วยความจำถึง $\log_2 N$ หรือ 3 แถวลำดับด้วยกันสำหรับข้อมูลที่ต้องการใช้การคำนวณโดยที่ แถวลำดับแรกไว้เก็บข้อมูล x(n) สองแถวลำดับต่อมาไว้เก็บผลการคำนวณระหว่างกลาง $x_1(k)$ และแถวลำดับสุดท้ายสำหรับผลลัพธ์ X(k) ทีนี้มาพิจารณาลำดับการคำนวณที่อธิบายด้วย กราฟการไหลตามรูปที่ 2.39 (ก) นั้นการคำนวณประกอบขึ้นด้วย หน่วยผีเสื้อ ถ้าหากเรามีหน่วยความจำต่างหากไว้สำหรับเก็บค่าผลคูณของจำนวนเชิงซ้อน $(w_N^k).B$ ผลลัพธ์ X กับ Y ที่คำนวณสามารถเก็บแทนที่ไว้ในหน่วยความจำที่เก็บลำดับข้อมูลเข้า A และ B ได้ โดยลักษณะการคำนวณเช่นนี้จะเห็นได้ว่า ผลลัพธ์ในการคำนวณทางด้านขวามือ สามารถบรรจุแทนในหน่วยความจำทางด้านซ้ายมือได้โดยไม่มีผลต่อการคำนวณส่วนอื่นๆ ซึ่งการคำนวณเหล่านี้จึงเรียกว่า "การคำนวณซ้ำที่ (In Place)" ซึ่งมี

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดี คือ ใช้หน่วยความจำเพียง 1 แถวลำดับหรือต้องการหน่วยความจำสำหรับเก็บจำนวนเชิงซ้อนเพียง N+1 ค่าเท่านั้น ส่วนข้อเสีย คือ ก่อนทำการคำนวณลำดับ x(n) ต้องมีการสลับตำแหน่งกันตามวิธีผันกลับบิต นั้นหมายถึงว่าเราต้องมีโปรแกรมหรือวงจรเพิ่มเติมเพื่อทำการจัดเรียงข้อมูลนี้ใหม่



รูปที่ 2.39 (ก) กราฟการไหลสัญญาณ

(ข) แสดงการสลับตำแหน่งของลำดับ x(n) ด้วยการผันกลับบิต

2) วิธีลดข้อมูลทางเวลาเรียงตามธรรมชาติ

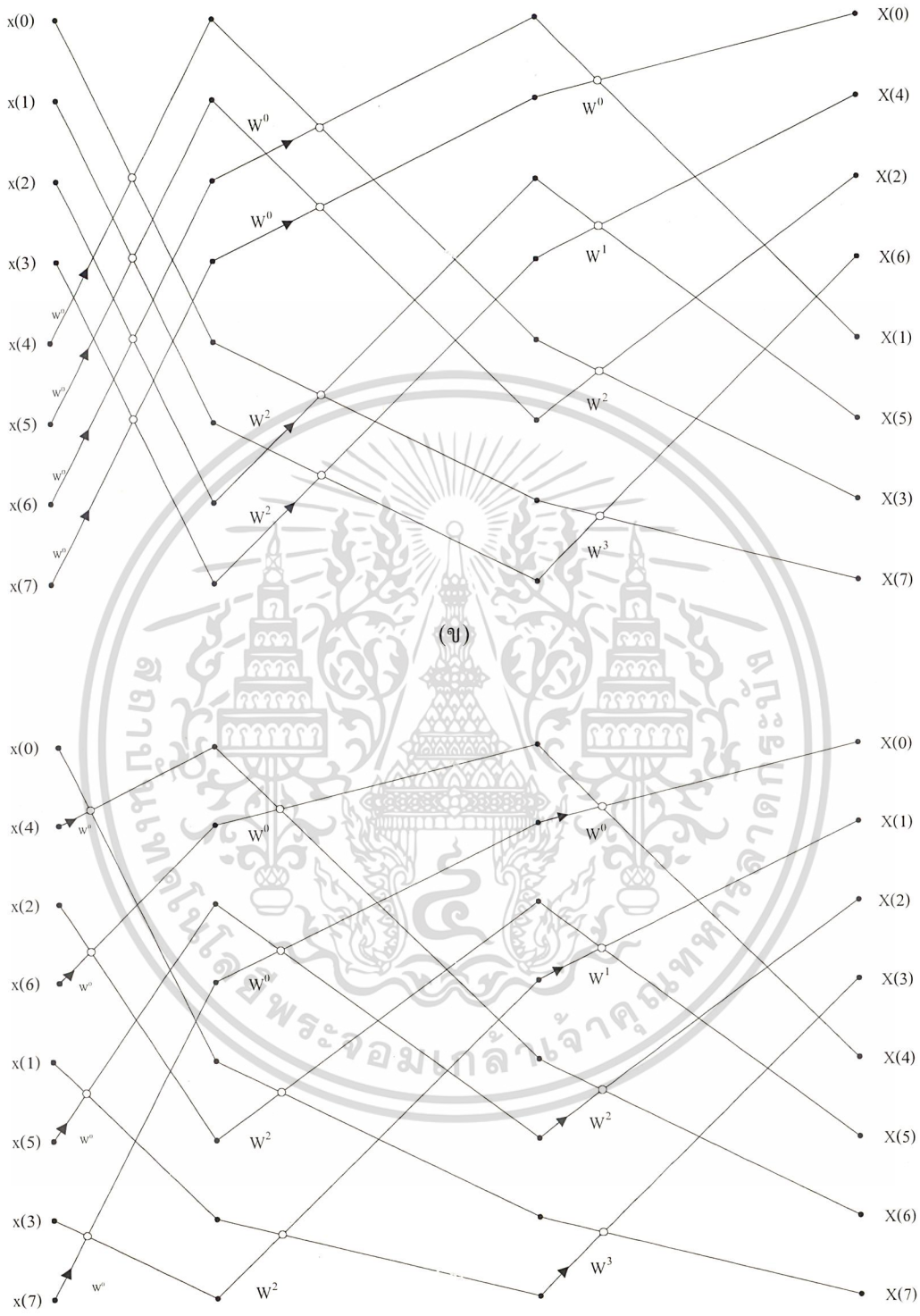
วิธีการแบบนี้ทำโดย จากรูปที่ 2.39 (ก) จัดให้ลำดับ x(n) ถูกจัดเรียงกันตามธรรมชาติ โดยที่ปมที่อยู่ในแถวเดียวกับ x(n) ก็จัดเรียงอยู่ในแถวเดียวกันด้วย อย่างไรก็ตามถึงแม้วิธีนี้ให้ x(n)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เรียงกันตามธรรมชาติ แต่ลำดับของ X(k) กลับถูกจัดเรียงแบบกลับบิตและข้อเสียอีกประการหนึ่ง คือ ดรรชนีชี้กำลังของตัวประกอบหมุน (w_N^k) ไม่ได้จัดเรียงจากน้อยไปมาก จึงทำให้เพิ่มความยุ่งยากตอนนำไปสร้างใช้งาน รูปที่ 2.40 ก. นี้ที่จริงก็คือวิธีการที่เสนอโดยคูลีย์และทูคีย์นั่นเอง ขั้นตอนอีกวิธีแบบหนึ่งที่ได้เสนอโดยเยนเทิลแมนกับแซนดีนั้น เป็นการจัดลำดับการคำนวณในรูป 2.39 ก. เสียใหม่เพื่อให้ได้ลำดับการคำนวณที่ x(n) และ X(k) ถูกจัดเรียงกันตามธรรมชาติโดยขั้นตอนวิธีแบบนี้ สามารถเขียนเป็นกราฟการไหลได้ตามรูป 2.40 ข. ถึงแม้ผลที่ได้กำลังของตัวประกอบหมุน (w_N^k) จะเรียงจากน้อยไปหาค่ามากก็ตาม แต่ผลการคำนวณระหว่างกลางได้สลับตำแหน่งไปจากแถวที่มีอยู่เดิมทำให้การคำนวณทำแบบซ้ำทำไม่ได้ ซึ่งหมายถึงลำดับการคำนวณแบบนี้ต้องมีหน่วยความจำสำหรับเก็บจำนวณเชิงซ้อน N ค่าถึงสองแถวลำดับ

(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.40 (ก)วิธีของคูลีย์และทูคีย์

(ข) วิธีของเยนเทิลแมนและแซนดี

(ค) วิธีของซิงเกิลตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ขั้นตอนวิธีสำหรับการเก็บข้อมูลแบบต่อเนื่อง

ในคอมพิวเตอร์นั้นปกติข้อมูลที่ต้องใช้บ่อยหรือต้องการความเร็วในการอ่านค่า หรือจะเก็บค่าสูงมากข้อมูลเหล่านี้จะบรรจุในหน่วยความจำประเภทที่มีชื่อเรียกกันทั่วไปว่า "แรม" หน่วยความจำชนิดนี้มีราคาแพงดังนั้นขนาดหน่วยความจำแบบนี้จึงมีจำกัดและมีจำนวนไม่มาก ส่วนข้อมูลที่สำคัญรองลงไปนั้นก็มักจะบรรจุลงในหน่วยความจำที่ต้องใช้เวลาในการอ่านค่าช้ากว่า ดังเช่น หน่วยความจำประเภทเทปแม่เหล็ก เป็นต้น หน่วยความจำประเภทนี้เหมาะสำหรับข้อมูลที่ต้องการอ่านหรืออ่านบรรจุค่าไว้ต่อเนื่องกันไปทีละมากๆ ข้อมูลหรือการคำนวณประเภทที่ต้องการอ่านหรือเก็บข้อมูลที่เก็บไว้อย่างไม่เป็นระเบียบหรือเรียงตามลำดับ จึงไม่เหมาะสมกับหน่วยความจำประเภทนี้ ดังนั้นถ้าหาก N มีค่ามากลำดับข้อมูล x(n) ไม่อาจเก็บในแรมได้หมดที่เหลือจำเป็นต้องบรรจุในเทปแม่เหล็ก ถ้าพิจารณา FFT แบบต่างๆ ที่ได้กล่าวมานั้น ต่างต้องการหน่วยความจำแบบเก็บไว้อย่างไม่ต่อเนื่องได้ ตัวอย่างเช่น กราฟการไหลของรูป 2.39 (ก) ข้อมูลเข้าของหน่วยผีเสื้อสำหรับการคำนวณสัญญาณระหว่างกลาง จะถูกเก็บในหน่วยความจำตำแหน่งถัดไป แต่สำหรับข้อมูลเข้าของหน่วยผีเสื้อที่ใช้คำนวณนั้นอยู่ห่างข้ามถัดไปหนึ่งตำแหน่ง ถ้าหาก N มีค่ามากการคำนวณสัญญาณระหว่างกลางจะมีมากขึ้น ข้อมูลเข้าหน่วยผีเสื้อก็อยู่ถัดไปอีกเรื่อยๆ และเป็นไปได้ที่อาจจะจัดถูกเก็บลงไปในหน่วยความจำแตกต่างชนิดกันออกไปได้

จากรูปที่ 2.40 (ค) เป็นกราฟการไหลแสดงวิธีการคำนวณของ FFT แบบนี้จะเห็นว่าการคำนวณสัญญาณระหว่างกลางหรือผลลัพธ์ มีขั้นตอนการคำนวณที่เหมือนกัน ดังนั้นถ้าหากเรามีเทปแม่เหล็กอยู่ 4 ม้วน การคำนวณก็ทำได้โดยวิธีการแบ่งลำดับสัญญาณออกเป็น 2 ส่วน ส่วนละ N/2 จุดเท่าๆ กัน ข้อมูลเข้า N/2 จุดแรกจะเก็บไว้ในเทป จากนั้นเมื่อคำนวณสัญญาณระหว่างกลางได้ก็จะเก็บไว้ในม้วนเทปที่สองตามลำดับเช่นกัน เทปอีก 2 ม้วนก็ทำแบบเดียวกันกับสองม้วนแรก แต่เป็นการคำนวณสำหรับข้อมูล N /2 จุดหลัง จากนั้นทำการคำนวณสัญญาณระหว่างกลางตอนถัดไป เทปแม่เหล็กที่เก็บผลลัพธ์ก็จะทำหน้าที่เป็นเทปข้อมูลเข้า และเทปสำหรับข้อมูลเข้าเดิมก็นำมาใช้สำหรับเก็บข้อมูลต่อไป

2.6 โครงสร้างของการ์ดเสียง

การ์ดเสียง เป็นการรวมเอาการ์ด 5 การ์ดเข้าด้วยกัน คือ

1. CMS Game Blaster Card โดยนำเอา Stereo Chip มาใช้บนการ์ดเสียง
2. Adlib Music Synthesizer Card โดยนำเอา FM Chip มาใช้บนการ์ดเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Digital Signal Processing (DSP) Card เพื่อทำงานเกี่ยวกับเสียงแบบดิจิตอลและแอนะลอก

4. Midi Card เพื่อใช้สื่อสารกับสัญญาณแบบ Synthesizer

5. Joystic Card เพื่อเล่นเกมส์

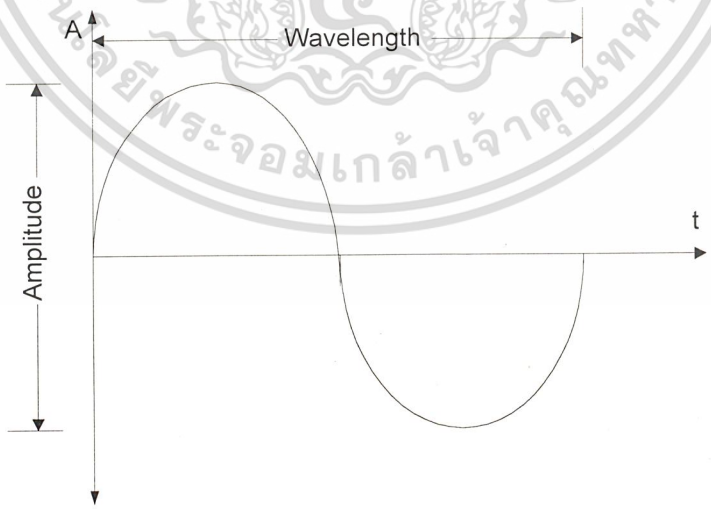
2.6.1 ลักษณะทางกายภาพของเสียง

เสียงเกิดจากการสั่นสะเทือนเรียกว่า "คลื่นเสียง" เมื่อคลื่นเสียงถูกผลิตขึ้นซ้ำๆ กันเป็นจังหวะๆ จะเกิดเป็นเสียงความถี่คงที่ เมื่อคลื่นเสียงเกิดไม่เป็นจังหวะจะเกิดเป็นระดับต่ำๆ หรือไม่เกิดเลยและให้กำเนิดเสียงที่ไม่คงที่เป็นเสียงปัง หรือ คลิก

ความถี่ของเสียงถูกกำหนดด้วยตัวเลขที่เป็นจำนวนการเกิดคลื่นเสียงซ้ำในหนึ่งคาบเวลา ระดับเสียงถูกกำหนดโดยความถี่ถ้าความถี่สูงระดับเสียงก็จะสูง โดยหน่วยที่ใช้วัดความถี่เรียกว่า "เฮิรตซ์" หรือเขียนย่อๆ ว่า Hz เป็นหน่วยของคลื่นเสียงต่อวินาที โดยหูของคนจะได้ยินเสียงในช่วง (20 ถึง 20,000 Hz)

เพื่อที่จะได้มีความเข้าใจเกี่ยวกับคลื่นเสียงและการใช้งานคลื่นเสียงดังรูปที่ 2.41 ซึ่งเป็นรูปภาพของสัญญาณเสียงที่เป็นสัญญาณไซน์ ซึ่งในรูปจะเป็นการพล็อตเมื่อสัญญาณเปลี่ยน ตัวอย่างจากรูปเสียงนี้เกิดจากการเป่าฟลุต เข้าไมโครโฟนโดยมีสัญญาณปรากฏที่ออออสซิลโลสโคป

ในรูปแกน n แสดงถึงเวลาและแกน y แสดงถึงขนาดแอมปลิจูดในการวัดสิ่งต่างๆ ที่เพิ่มขึ้นของคลื่นเสียง ซึ่งความสูงของแอมปลิจูดจะแสดงถึงความดังของเสียง



รูปที่ 2.43 ลักษณะของสัญญาณไซน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 ฟังก์ชั่นของการ์ดเสียง

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงฟังก์ชั่นของการ์ดเสียงโดยละเอียด แต่จอยสติ๊กไม่ได้ใช้งานเกี่ยวกับงานทางเสียงจึงขอกล่าวถึงเพียงฟังก์ชั่น CMS , FM , DSP และ มิดี้

1) CMS (Stereo Chip)

การ์ดเสียงบลาสเตอร์ไม่ใช่การ์ดทางเสียงการ์ดแรกที่ผลิตขึ้นมา แต่การ์ดนี้ผลิตโดย Creative Labs บริษัทแรกที่ผลิตการ์ดทางเสียงคือ Game Blaster การ์ดนี้ใช้วิธีวิเคราะห์แบบ AM การ์ด Game Blaster ถูกผลิตในปี 1987 และใช้เป็นการ์ดเสียงของ IBM PC แต่การ์ดนี้ไม่นิยมใช้เนื่องจากไม่สามารถใช้ได้กับ Adlib Card

อย่างไรก็ตามการ์ดเสียงได้รับเอาอุปกรณ์มาจาก Game Blaster คือ CMS หรือ Creative Music System ซึ่งเป็นชิพสเตอริโอ ซึ่งเมื่อชิพ CMS ได้รับเสียง 12 เสียง ที่ไม่เหมือนกันในระบบสเตอริโอจะได้เสียงที่เกิดใหม่ซึ่งไม่เหมือนเดิมในชิฟนี้ ซึ่งเราสามารถปรับวอลลุ่ม คือได้ทั้งซ้ายและขวา และความถี่ได้

ชิพ CMS นี้แม้ไม่มีสัญญาณนาฬิกาติดตั้งอยู่ แต่ก็สามารถโปรแกรมได้ โดยสามารถใช้ชิพสเตอริโอนี้ทำงานกับเสียงแบบเอฟเอ็มได้

ถ้าไม่ติดตั้ง CMS จะทำให้ขาดเครื่องทุ่นแรงใน 2 ลักษณะ คือ

เมื่อเราต้องการเขียนโปรแกรมให้ซอฟแวร์ต้องใช้งานร่วมกับ CMS

อย่างไรก็ตามมีการสำรองใช้งานชิพ CMS ไว้แล้ว เมื่อชิพ CMS ถูกนำมาใช้ในการ์ดเสียง ซึ่งไม่มีการใช้ชิพ CMS ดังนั้นไม่จำเป็นต้องใช้มัน

2) การแปลงความถี่เสียงด้วยชิพ FM

คำว่า "FM ย่อมาจาก Frequency Modulation" ด้วยชิพตัวนี้เราสามารถแปลงความถี่เสียงได้ด้วยการผสมสัญญาณไซน์กับสัญญาณ FM ความถี่เสียงที่ผลิตขึ้นมานี้สามารถทำ ให้เกิดได้ 3 ลักษณะ คือการออกเสียง , Timebre และระดับของสัญญาณ ดังนั้นเราสามารถตกแต่งแก้ไขเสียงทั้ง 3 นี้ได้ด้วยชิพเอฟเอ็ม

3) การกำหนดลักษณะของชิพ FM

กำหนดเสียงได้ 11 เสียง แบ่งเป็นเสียงพูด 6 เสียงและเสียงดนตรี 5 เสียง ซึ่งทั้ง 6 เสียงนี้สามารถสร้างได้ตามใจชอบ แต่เสียงดนตรี 5 เสียงจะมีข้อจำกัด ซึ่งชิพ FM นี้ สามารถผลิตเสียงทั้ง 11 เสียง ให้มีความถูกต้องและชัดเจนสูงในเวลาเดียวกัน

กำหนดเสียง FM ได้ 9 เสียง ทั้ง 9 เสียงสามารถกำหนดได้ตามใจชอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) การประมวลผลสัญญาณดิจิตอล

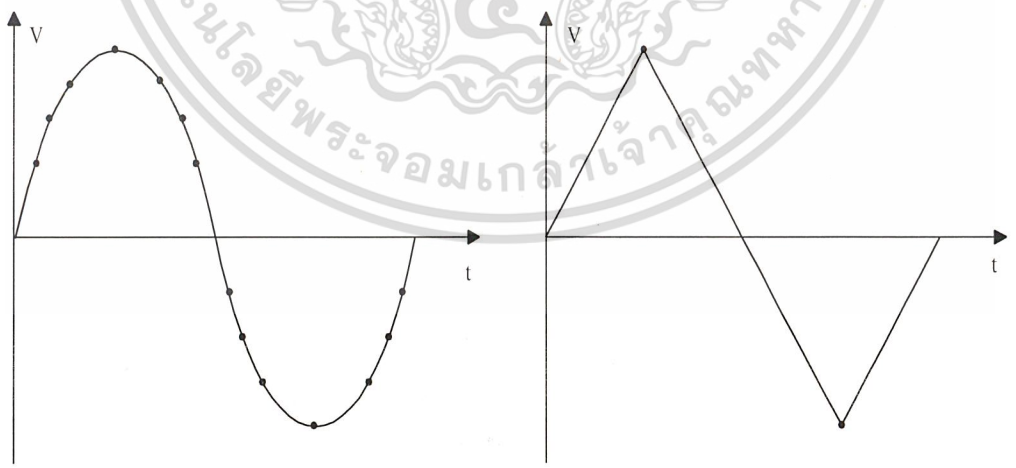
โดยปกติแล้วคลื่นเสียงจะเป็นแบบแอนะลอก การขึ้นลงของสัญญาณจะเปลี่ยนแปลงความถี่และแอมปลิจูดอย่างต่อเนื่อง จะพบว่าคอมพิวเตอร์ไม่สามารถเก็บเสียงนี้ไว้ได้ ในการเก็บรักษาเสียงมีรูปแบบที่ต้องการให้คอมพิวเตอร์เก็บรักษาเสียงหรือผสมกับข้อมูลในหน่วยความจำได้ หรือกล่าวได้ว่า ต้องการสื่อความหมายแบบดิจิตอลโดยการแปลงสัญญาณแอนะลอก เป็นเลขดิจิตอลซึ่งคอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจได้

การทำคลื่นเสียงให้เป็นค่าดิจิตอล คอมพิวเตอร์จะต้องมีวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล (ADC) ซึ่งจะเปลี่ยนข้อมูลได้โดยวิธีการนี้ กล่าวคือ คอมพิวเตอร์สามารถสร้างสัญญาณแซมปลิ้งได้

การสุ่ม บางครั้งก็ทำให้สัญญาณเกิดการสูญเสียได้เพราะ ADC การสุ่มไม่ต่อเนื่องอาจจะเกิดการผิดเพี้ยนขึ้นในคาบสัญญาณระหว่างการสุ่ม นี่ก็คือเหตุผลที่ว่าทำไมถึงการสุ่มที่อัตราสูงๆ ซึ่งทำงานได้ความแน่นอนสูง เช่น ในสัญญาณเสียงพูดนั้นจะใช้อัตราการแซมปลิ้ง อย่างน้อยเท่ากับ 8 kHz

เมื่อต้องการทำสัญญาณกลับมาเหมือนเดิม แต่ถ้าหากเราต้องใช้การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก DAC เป็นการแปลงตัวเลขกลับเป็นสัญญาณแอนะลอกตามเดิม

ADC ที่ทำหน้าที่บันทึกและเก็บสัญญาณแอนะลอก และ DAC ทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่บันทึกไว้กลับมา ซึ่งสามารถรวมเข้าด้วยกันเป็น Digital Signal Processor



รูปที่ 2.44 แซมปลิ้งเรทสูงและ แซมปลิ้งเรทต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) อุปกรณ์ที่ใช้ต่อกับมิดี้

มิดี้ (Music Instrument Digital Interface) หรืออีกชื่อหนึ่ง คือ "Middy" เป็นอินเตอร์เฟสแบบอนุกรม แบบมาตราฐานเพื่อใช้วิเคราะห์เสียง สร้างเสียงดนตรี มิดี้เป็นอุปกรณ์มาตราฐานที่ช่วยในการเข้ารหัสดนตรีและเสียงได้อย่างถูกต้องเพื่อติดต่อระหว่างอุปกรณ์ด้วยกัน

ในปัจจุบันนี้นักแต่งเพลงมักจะทำงานด้วยซินทิไซเซอร์ในการแต่งเพลงทั่วๆไป ซึ่งมิดี้นั้น สามารถสร้างเสียงที่แตกต่างจากเสียงธรรมดาได้ซึ่งได้รับการยอมรับจากทั่วโลก โดยอาจกล่าวได้ว่ามิดี้เป็นหัวใจของดนตรีและการ์ดเสียงทั้งหมด

มิดี้จะมีพอร์ตอยู่ 2 พอร์ต คือ

1. Midi In ใช้รับรหัสของมิดี้
2. Midi Out ใช้ส่งรหัสของมิดี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ การสร้างและการทำงาน

3.1 หน่วยความจำเสียงพูด

มีการจำแนกตามลักษณะเสียงพูดไว้ 2 แบบ คือ

3.1.1 ผู้พูดคนเดิมหรือผู้พูดคนเดียวกัน

มีวิธีการพูดแบบคำแยกจากกัน (Discrete Utterance) คือ การพูดเป็นหน่วยเสียง หน่วยพยางค์ หน่วยคำ หรือหน่วยวลี สิ่งที่จะต้องทำก็คือเมื่อฟังจากเสียงผู้พูดแล้วจะบันทึกรูปแบบของเสียงตามวิธีของเสียงตามวิธีของเครื่องและเครื่องจะรู้เองว่าหากพูดให้ฟังอีกครั้งจะเหมือนกับคำที่ผู้พูดเดิมได้สอนไว้ด้วยหรือไม่ โดยอาศัยขั้นตอนดังนี้

เมื่อผู้ใช้ต้องการให้เครื่องรู้จักคำโดยพูดผ่านไมโครโฟน สัญญาณเสียงซึ่งขณะนี้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณดิจิตอลก่อน จากนั้นก็จะนำเอาข้อมูลดิจิตอลไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ชุดหนึ่ง ซึ่งจะบอกถึงลักษณะเฉพาะของคำนั้นๆ และเก็บข้อมูลต้นแบบนี้ไว้ในหน่วยความจำหรือในแผ่นแม่เหล็กก็ได้ข้อมูลต้นแบบของคำๆ นี้เรียกว่า "เทมเพลทต้นแบบ (Templates)" ขบวนการจนถึงขั้นตอนนี้เรียกว่า "การสอนเครื่องให้รู้จักคำ (Training)" การทำงานของเครื่องจะมีความเชื่อถือได้มากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับยุทธวิธี (Algorithm) ที่ใช้ในการวิเคราะห์สำหรับความจุของจำนวนคำซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของหน่วยความจำ เครื่องคอมพิวเตอร์ในระดับไมโครคอมพิวเตอร์ 8 บิต สามารถจำได้นับ 100 คำ เวลาของการค้นหาคำที่รู้จักแล้วจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนที่สอนไว้ด้วย ถ้ามีจำนวนคำมากยุทธวิธีที่จะใช้ค้นหาคำให้ได้รวดเร็ว

3.1.2 สอนให้เครื่องได้รู้จักคำในลักษณะของหน่วยเสียงหรือหน่วยพยางค์

เป็นวิธีการที่เริ่มใช้มาก่อนใช้ระบบที่ไม่แพง ตัวเทมเพลทต้นแบบจะถูกเก็บไว้เป็นหน่วยเสียงหรือหน่วยพยางค์เท่านั้น ต่างกันกับแบบแรกซึ่งจะเป็นหน่วยเสียง หน่วยพยางค์ หน่วยคำ หรือหน่วยวลีก็ได้

3.2 วิธีการวิเคราะห์และการศึกษาเสียงพูด

การวิเคราะห์เสียงพูด (Speech analysis methods) มีหลายวิธีใหญ่ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การวิเคราะห์เสียงโดยวิธีโดเมนเวลา

การวิเคราะห์สัญญาณเสียงที่แปรตามเวลาสัญญาณเสียงจะถูกแทนด้วยลำดับการแซมปลิ้งประมาณ 8,000 ครั้ง/วินาที ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติของเสียงที่เปลี่ยนตามเวลาจะมีการเปลี่ยนเสียงระหว่างมีสัญญาณเสียงและไม่มีสัญญาณเสียง การเปลี่ยนแปลงของแอมปลิจูดสูงสุด (Peak Amplitude) และการเปลี่ยนแปลงของความถี่พื้นฐานการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดจะเห็นอย่างชัดเจนเมื่อพล็อตรูปคลื่นการแซมปลิ้งทางด้านเวลาซึ่งแทนลักษณะของสัญญาณเสียงได้

3.2.2 การวิเคราะห์จุดตัดศูนย์ของสัญญาณ

ในสัญญาณดิสครีทจุดตัดศูนย์จะเกิดขึ้นเมื่อเกิดการเปลี่ยนเครื่องหมาย ซึ่งอัตราการเกิดจุดตัดศูนย์จะขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณเสียง ตัวอย่างเช่น สัญญาณไซน์ความถี่ Fo มีอัตราการแซมปลิ้งเท่ากับ Fs

เพราะฉะนั้น

$$\text{จุดตัดศูนย์} = \frac{2\,Fo}{Fs} \quad \text{จุดตัดต่อวินาที} \tag{3.1}$$

ดังนั้นอัตราเฉลี่ยของจุดตัดศูนย์จะเป็นหลักการหนึ่งในการคาดเดาความถี่ของรูปคลื่นไซน์

การนำเอาจุดตัดศูนย์เฉลี่ยมาประยุกต์ใช้งานกับสัญญาณเสียงนั้น เราทราบว่าสัญญาณเสียงนั้นจะมีความถี่ต่ำกว่า 3 kHz ขณะที่ไม่มีสัญญาณเสียงเราจะพบว่าจะมีสัญญาณรบกวนที่ความถี่ที่สูงกว่า ดังนั้นสรุปว่าถ้าอัตราจุดตัดศูนย์มีค่ามากๆ แสดงว่าไม่ใช่เสียงพูดถ้าจุดตัดศูนย์น้อยแสดงว่าอยู่ในช่วงเสียงพูด แต่อย่างไรก็ตามก็ยังคงไม่มีความแน่นอนมากนัก

3.2.3 การวิเคราะห์โดยวิธีชอร์ตไทม์สเปคตรัม

ในทางวิทยาศาสตร์และทางวิศวกรรมจะแทนสัญญาณต่างๆ ให้อยู่ในรูปของผลรวมของสัญญาณรูปไซน์หรือสัญญาณเอกโปเนนเชียล เพื่อในการแก้ปัญหาและเพื่อจะเข้าใจอย่างลึกซึ้งเกี่ยวกับลักษณะทางฟิสิกส์มากขึ้นกว่าเดิม เช่น การแทนด้วยฟูริเยร์ซึ่งใช้ในการประมวลสัญญาณซึ่งมีเหตุผล 2 ประการ

ประการที่ 1 ใช้กับระบบที่เป็นเชิงเส้นเพื่อสะดวกในการหาผลตอบสนองโดยใช้ทฤษฎีทับซ้อนของสัญญาณรูปไซน์หรือสัญญาณเอ็กซ์โปเนนเชียล

ประการที่ 2 การแทนด้วยฟูริเยร์จะช่วยทำให้สามารถมองเห็นคุณสมบัติของสัญญาณที่ได้ชัดเจนมากกว่าสัญญาณเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิจัยด้านการสื่อสารทางเสียง จะใช้หลักการของฟูริเยร์ในการแก้ไข เพราะฟูริเยร์จะช่วยในการสร้างรูปแบบสำหรับสัญญาณของระบบเชิงเส้นที่เป็นคาบเวลาหรือการสุ่มของสัญญาณที่แปรตามเวลา โดยทั่วไปสเปคตรัมของสัญญาณที่ออกมาจะอยู่ในรูปของผลตอบสนองทางด้านความถี่ดังนี้ มันจึงจะสามารถคาดเดาได้ว่าสเปคตรัมของเอาต์พุตจะสะท้อนให้เห็นคุณสมบัติของความถี่เสียง แต่อย่างไรก็ตามรูปแบบของเสียงนี้อาจจะยุ่งยากมากกว่าในเรื่องสระเสียงและการออกเสียง ดังนั้นการแทนด้วยฟูริเยร์จะเหมาะสมสำหรับสัญญาณคาบ, ทรานเซียนต์หรือสัญญาณสุ่มที่ไม่ใช้สำหรับเป็นเสียงพูดที่ต่อเนื่อง ซึ่งคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงเป็นฟังก์ชั่นของเวลา อย่างไรก็ตามเราสามารถเห็นคุณสมบัติของเสียงได้มากกว่าการวิเคราะห์โดยวิธีชอร์ตไทม์ ยกตัวอย่างเช่น คุณสมบัติของพลังงานและจุดตัดศูนย์ ซึ่งสามารถประมาณเวลาประมาณ 10–30 มิลลิวินาที

ในการศึกษาคุณสมบัติของสัญญาณเสียง เราสามารถศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบ หลักการของฟูริเยร์ของสัญญาณที่เปลี่ยนไปตามเวลา เราจะกำหนดการแปลงฟูริเยร์และการกระทำของการวิเคราะห์ของการแปลงฟูริเยร์เราสามารถใช้เทคนิคการคำนวณพื้นฐานโดยใช้อัลกอริทึมที่เร็วกว่าดิสครีทฟูริเยร์ทรานสฟอร์มการใช้งานและวิเคราะห์เสียงพูดการแสดงสเปคตรัม

3.2.4 การวิเคราะห์แบบการคาดเดาเชิงเส้น

การวิเคราะห์แบบการคาดเดาเชิงเส้น (Linear Predictive Coding) หรือ LPC นี้เป็นเทคนิคอย่างหนึ่งในการวิเคราะห์เกี่ยวกับเสียง วิธีนี้เป็นเทคนิคที่ดีกว่าในการตัดพารามิเตอร์พื้นฐานออกไป เช่น การออกเสียงระดับความดังของเสียง ส่วนสำคัญของวิธีนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถที่ให้ความแม่นยำในการตัดพารามิเตอร์ต่างๆ และขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของความเร็วในการคำนวณ

ความคิดพื้นฐานของการวิเคราะห์แบบ PLC คือ การสุ่มสัญญาณซึ่งสามารถประมาณว่าเป็นการรวมเชิงเส้นของสัญญาณสุ่มเดิม โดยลดผลบวกของความแตกต่างระหว่างสัญญาณสุ่มจริงกับสัญญาณที่คาดว่าเป็นเชิงเส้น

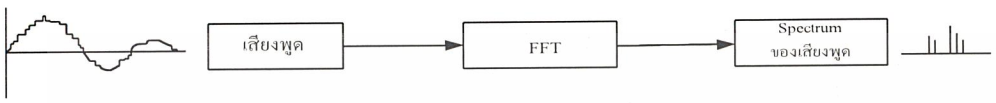
ปรัชญาของการคาดเดาแบบเชิงเส้น จะเกี่ยวข้องกับรูปแบบในการสังเคราะห์เสียงพื้นฐาน เช่นความเป็นเชิงเส้น ระบบที่แปรผันตามเวลาทั้งขณะมีเสียงและขณะไม่มีเสียง วิธี LPC นี้จะให้ความแม่นยำ ความเชื่อมั่นในการตัดพารามิเตอร์

ระบบนี้จะถูกกระตุ้นโดยขบวนอิมพัลส์ของเสียงพูดหรือสัญญาณรบกวน ในกรณีที่ไม่มีเสียงพูด ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบนี้คือ การแยกระหว่าง มีเสียงกับไม่มีเสียง คาบเวลาของระดับเสียง อัตราขยายเสียง (G) และค่าสัมประสิทธิ์ (ak) ของดิจิตอลฟิลเตอร์ ค่าพารามิเตอร์จะเปลี่ยนแปลงช้าๆ ตามกาลเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

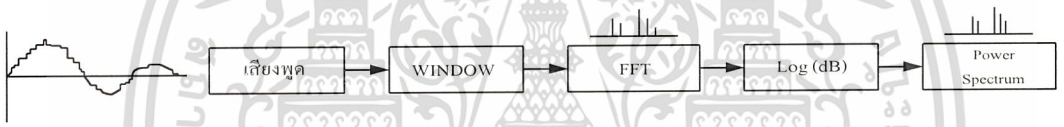
3.3 อัลกอริทึม

โครงงานการสร้างระบบวิเคราะห์และรู้จำเสียงพูด โดย Visual Basic 5.0 อาศัยทฤษฎีการวิเคราะห์สัญญาณเสียง คือ วิธีชอร์ตไทม์และการวิเคราะห์สเปคตรัม ซึ่งก็สามารถแสดงเป็นแผนผังการทำงาน ได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของการวิเคราะห์โดยวิธีชอร์ตไทม์

แต่ในกระบวนการวิเคราะห์จริงในโครงงานนี้ได้เพิ่มเติมขั้นตอนเข้าหลายขั้น ดังรูป



รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของการวิเคราะห์

เมื่อได้ผลลัพธ์ในขั้นสุดท้ายก็จะจัดเก็บข้อมูลลงแฟ้มเพื่อสามารถนำไปเปรียบเทียบต่อไป

3.4 ลักษณะหัวแฟ้มของไฟล์จุดเวฟ

หลังจากที่พูดเสียง 0-9 ผ่านไมโครโฟน ซาวการ์ดก็จะทำการแปลงสัญญาณแอนะลอกให้เป็นสัญญาณข้อมูลเสียงจะถูกเก็บให้อยู่ในรูปของหัวแฟ้มจุดเวฟโดยลักษณะการเก็บของหัวแฟ้มของแฟ้มจุดเวฟแสดงดังตารางที่ 3.1

แฟ้มจุดเวฟจะถูกอ่านค่าโดยการนำเอาค่าที่อยู่ด้านบนสุดของแฟ้มจุดเวฟจำนวน 44 ไบต์ และนำค่าต่างๆ ที่อยู่ในหัวแฟ้มจุดเวฟซึ่งจะเป็นเลขฐานสิบหกก็จะนำตัวเลขเหล่านี้มาแปลงเป็นตัวเลขฐานสิบ ด้วยวิธีการแปลงเลขฐานโดยการคูณค่าประจำหลัก ก็จะทำให้เราทราบถึงจำนวนการแซมปลิ้งต่อวินาที บิตต่อแซมปลิ้ง ไบต์ต่อแซมปลิ้ง จำนวนไบต์ต่อวินาที รวมทั้งค่าอื่นๆ ที่ได้แสดงในตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ลักษณะหัวแฟ้มของไฟล์จุดเวฟ

R	I	F	F	$			
W	A	V	E	F	M	T	
จำนวนข้อมูลในแฟ้ม				รูปแบบ		แชนแนล	
จำนวนการแซมปลิ้งต่อวินาที				จำนวนไบต์ต่อวินาที			
ไบต์ต่อแซมปลิ้ง		บิตต่อแซมปลิ้ง		D	A	T	A
Data	Data	Data	Data	Data	Data	Data	Data

R	I	F	E	$	0	0	0
W	A	V	E	F	M	t	20
10	00	00	00	01	00	01	00
11	2B	00	00	11	2B	00	00
01	00	80	00	D	a	t	a
7f	7f	7f	7f	7f	7f	7f	7f

3.5 หลักการออกแบบโปรแกรมการรู้จำเสียงพูด (0-9)

จากการวิเคราะห์ทั้ง 4 แบบที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นซึ่งแต่ละวิธีนั้นก็จะมีข้อดี ข้อเสียที่ต่างกัน จากการค้นคว้าศึกษาวิเคราะห์ จึงได้วิธีการวิเคราะห์เสียงชอร์ตไทม์ การวิเคราะห์สเปคตรัมเนื่องจากสามารถแสดงให้เห็นคุณสมบัติต่างๆ ของสัญญาณเสียงได้มาก เช่น สามารถบอกได้ว่าเสียงที่วิเคราะห์อยู่นั้นประกอบด้วยความถี่อะไรบ้าง แต่ละความถี่มีขนาดเท่าไร ความถี่ใดเป็นความถี่หลักและความถี่ใดเป็นความถี่ฮาร์โมนิคส์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์มากในการวิเคราะห์เปรียบเทียบสัญญาณเสียง

กระบวนการทำงานการทำงานนั้นจะมีอยู่ด้วยกัน 2 กระบวนใหญ่ๆ คือ

1. กระบวนการในการเรียนรู้เสียง เป็นกระบวนการที่นำเอาเสียงจากไมโครโฟนโดยการแซมปลิ้งหรือจากแฟ้มข้อมูลไปวิเคราะห์และเก็บแฟ้มต้นแบบสำหรับการเปรียบเทียบเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กระบวนการในการรับเสียงเพื่อเปรียบเทียบเป็นกระบวนการที่นำเอาเสียงมาจากไมโครโฟนนำไปวิเคราะห์เพื่อหาค่าแล้วเปรียบเทียบ กับแฟ้มต้นแบบว่าเหมือนกับแฟ้มต้นแบบใดบ้าง

เสียงที่ได้รับจากไมโครโฟนจะนำมาตัดสัญญาณขณะไม่มีเสียงให้เหลือเฉพาะสัญญาณเสียงเท่านั้นแล้วจึงเก็บในรูปของแฟ้มชนิดจุดเวฟ จากนั้นเสียงจะถูกวิเคราะห์โดยการแปลงฟาส์ท-ฟูริเยร์โดยสามารถเรียกวินโดว์แบบต่างๆ ซึ่งในการวิเคราะห์ ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 4 แบบ คือ

แบบที่ 1 แบบสี่เหลี่ยม (Rectangle)

แบบที่ 2 แบบฮาน (Hann)

แบบที่ 3 แบบเฮมมิ่ง (Haming)

แบบที่ 4 แบบเบล็คแมน (Blackman)

ซึ่งมีคุณสมบัติดังตารางที่ 3.1

เมื่อทำการวิเคราะห์ FFT เรียบร้อยแล้ว จึงนำเอาผลลัพธ์ที่ได้มาทำการบันทึกโดยการนอร์-มอลไลซ์ ขนาดของผลลัพธ์ให้มีกำลังสูงสุดเท่ากับ 100 แล้วจึงนำเอาขนาดผลลัพธ์ 25 อันดับสูงสุดและความถี่ที่ 25 อันดับสูงสุดไปเก็บไว้ในแฟ้มชนิดจุดเอฟเอฟทีซึ่งมีรูปแบบดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ซึ่งการเก็บจะเก็บตามลักษณะวินโดว์ในการวิเคราะห์ เช่น การทำการวิเคราะห์ด้วยวินโดว์แบบเบล็คแมน ก็จะอยู่ในไดเร็กตอรีย่อยของเบล็คแมน เป็นต้น เพื่อความสะดวกในการที่จะนำข้อมูลนี้ไปเปรียบเทียบต่อไป

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของวินโดว์ชนิดต่างๆ

ชนิดของวินโดว์	ความกว้างของโหลปหลัก	อัตราการลดทอน	ความสูงของโหลปข้าง (dB)	อัตราลดลง (dB)
สี่เหลี่ยม	2 Ws/N	21.80	-13	-21
ฮันน์	4 Ws/N	2.67	-31	-44
แฮมมิ่ง	4 Ws/N	0.97	-41	-53
แบล็คแมน	6 Ws/N	0.12	-57	-74

การทำวินโดว์เป็นการคูณสัญญาณเสียง โดยวินโดว์ที่มีช่วงเวลาจำกัดซึ่งกลุ่มของสัญญาณเสียงที่สุ่มมาจะถูกทำให้มีน้ำหนักโดยรูปของวินโดว์ การทำงานจะมีการให้เลือกชนิดของวินโดว์ต่างๆ ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 4 แบบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ Rectangle โดยจะทำการคูณสัญญาณด้วยค่าองค์ประกอบ $W_R(nT)$

$$W_R(nT) = 1 \qquad \text{สำหรับ } n < (N-1)/2$$

$$= 0 \qquad \text{สำหรับ } n \text{ ค่าอื่นๆ}$$

แบบ Hann ก็จะทำการคูณสัญญาณด้วยค่าองค์ประกอบ $W_H(n)$ ซึ่งมีค่า

$$W_H(n) = 0.5 + 0.5\cos(\frac{2n\pi}{N}) \qquad \text{สำหรับ } n < (N-1)/2$$

$$= 0 \qquad \text{สำหรับ } n \text{ ค่าอื่นๆ}$$

แบบ Hamming

$$W_{Hm}(n) = 0.54 + 0.46\cos(\frac{2n\pi}{N}) \qquad \text{สำหรับ } n < (N-1)/2$$

$$= 0 \qquad \text{สำหรับ } n \text{ ค่าอื่นๆ}$$

แบบ Blackman

$$W_B(n) = 0.42 + 0.5\cos(\frac{2n\pi}{N}) + 0.08\cos(\frac{4n\pi}{N}) \qquad \text{สำหรับ } n < (N-1)/2$$

$$= 0 \qquad \text{สำหรับ } n \text{ ค่าอื่นๆ}$$

จากนั้นก็เข้าสู่กระบวนการ FFT ซึ่งเป็นกระบวนการที่จะเปลี่ยนสัญญาณที่อยู่ในโดเมนเวลาให้อยู่ในโดเมนความถี่ซึ่งได้จัดทำโปรแกรมวิเคราะห์ FFT ให้เป็นฟังก์ชั่นเพื่อสะดวกในการเรียกใช้งาน การแปลง FFT ที่ใช้นี้จะเป็นการคำนวณที่อันดับ 10 (1024 จุด) ที่ความถี่การแซมปลิ้ง 8 kHz

การทำงานของโปรแกรมคำนวณ FFT จะใช้วิธีการคำนวณแบบหน่วยผีเสื้อ ซึ่งจะช่วยลดทอนทางเวลาลงได้ เพื่อการคำนวณมีความเร็วมากยิ่งขึ้น

การผันกลับบิตจะเป็นการสลับตำแหน่งค่าของสัญญาณที่อยู่ในโดเมนของเวลาเพื่อให้สามารถนำเข้าสู่การคำนวณแบบผีเสื้อได้ง่าย โดยการเปลี่ยนหลักของเลขไบนารี เช่น

	n = 001	จะถูกกลับบิตเป็น	n = 100
หรือ	n = 110	จะถูกกลับบิตเป็น	n = 011

เมื่อกลับบิตเรียบร้อยแล้วต่อไปนี้จะนำข้อมูลเข้าสู่วงรอบ การคำนวณของหน่วยผีเสื้อตามจำนวนอันดับที่กำหนดไว้ (อันดับ 11) ซึ่งผลลัพธ์จะประกอบด้วยส่วนของจำนวนจริงและจำนวนจินตภาพ ขั้นต่อมา คือ การหาขนาดจากสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$|A| = \sqrt{(\text{real})^2 + (\text{imaginary})^2} \quad (3.2)$$

โปรแกรมรู้จำเสียงพูดคำไทย 0-9 ใช้ FFT 1024 จุดในการวิเคราะห์และใช้การ์ดเสียง Creative Sound Blaster PCI64 กำหนดอัตราแซมปลิ้งไว้ที่ 8000 Hz อัตราการแปลงแอนะลอกเป็นดิจิตอลที่ 16 บิตต่อแซมปลิ้ง และใช้เวลาในการบันทึกเสียงหนึ่งวินาที จะได้

จำนวนข้อมูลในแต่ละไฟล์ = 16 บิต * 8000 Hz

= 16000 ไบต์

เวลาต่อหนึ่งแซมปลิ้ง (Ts) = $\frac{1}{f}$

= $\frac{1}{8000}$ Hz

= 125 μS

อัตราการแซมปลิ้ง = $\frac{Fs}{nSample}$

= $\frac{8000\,Hz}{1024\,Sample}$

= 7.8125 Hz/sample

หรือ

อัตราการแซมปลิ้ง = $\frac{1}{Ts * n}$

= $\frac{1}{125\mu s * 1024\,Sample}$

= 7.8125 Hz/sample

ย่านความถี่ที่ใช้งานประมาณ 0 Hz ถึง 4 kHz

จะได้แฟ้มข้อมูล FFT ที่มีขนาด = $\frac{4000}{7.8125}$

= 512 ชุดข้อมูล

วิธีการนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาความคล้ายคลึงกระทำโดยนำไฟล์เอฟเอฟที ที่เป็นอินพุตมาทำการเปรียบเทียบกับไฟล์เอฟเอฟที ที่เป็นฐานข้อมูล ซึ่งจะมีจำนวนชุดข้อมูลในแต่ละไฟล์เท่ากับ 512 ชุดข้อมูล โดยนำมาเปรียบเทียบในตำแหน่งเดียวกันทีละชุดข้อมูล แล้วนำมาคำนวณหาค่าอัตราส่วนของสัญญาณเสียงอินพุตต่อผลต่างระหว่างสัญญาณเสียงที่ต้องการทดสอบกับสัญญาณเสียงที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล โดยใช้สมการที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$SNR_m = 10 \log \sum_{m=1}^{128} \frac{[X(n)]^2}{[X(n)] - [\overline{X}(n)]^2} \quad (3.3)$$

เมื่อ X (n) = สัญญาณเสียงที่ต้องการทดสอบ (อินพุต)

$\overline{X}$ (n) = สัญญาณเสียงในฐานข้อมูล

จากสมการที่ 3.3 นำมาหาค่าเฉลี่ยโดยใช้สมการที่ 3.4

$$SNR \text{ total} = \frac{1}{S} \sum_{m=1}^{S} SNR_m \quad (3.4)$$

S = จำนวนแฟรม

ขบวนการเปรียบเทียบจะเลือกโดยชื่อแฟ้มที่ต้องการจะเปรียบเทียบโดยเลือกชนิดของวินโดว์แบบต่างๆ แล้วทำการเปรียบเทียบพร้อมทั้งแสดงเปอร์เซ็นต์ของความใกล้เคียงเพื่อเปรียบเทียบครบทุกแฟ้มแล้วทำการแสดงชื่อแฟ้มที่มีความใกล้เคียงมากที่สุด โดยจะแสดงเป็นตัวเลขว่าเหมือนเลขใดตลอดจนแสดงค่าออกเป็นเปอร์เซ็นต์ พร้อมทั้งแสดงค่า SNR เฉลี่ยด้วย

3.5.1 รูปแบบโปรแกรม

โปรแกรมการรู้จำเสียงพูดคำไทย (0-9) นี้เป็นโปรแกรมที่ทำงานบนวินโดว์ ซึ่งจะให้ความสามารถเกี่ยวกับการจัดหน่วยความจำรวมทั้งด้านกราฟฟิค ตลอดจนสามารถแสดงรูปคลื่นต่างๆ โดยโปรแกรมที่เขียนขึ้นมีรายการดังต่อไปนี้

รายการหลักประกอบด้วย 5 รายการ ดังแสดงในรูปที่ 3.3

รายการหลักประกอบด้วยรายการต่างๆ ดังนี้

1. รับเสียง
2. เปรียบเทียบ
3. คณะผู้จัดทำ
4. ช่วยเหลือ
5. ออกโปรแกรม

ในรายการหลักจะเป็นรายการที่ผู้ใช้โปรแกรมสามารถเลือกใช้รายการย่อยในส่วนต่างๆ โดยจะรวมไว้เป็นรายการเดียวกัน เพื่อสะดวกต่อการใช้งาน

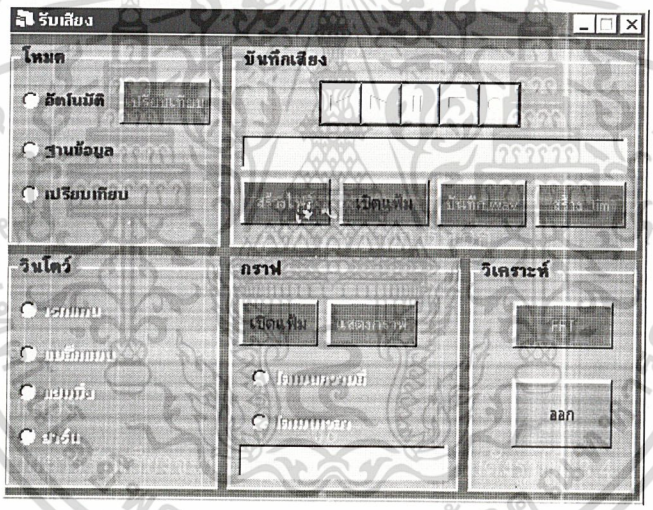
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 รายการหลัก

รายละเอียดของแต่ละรายการมีดังนี้

1) รายการรับเสียง

เมื่อเข้าสู่รายการรับเสียงจะปรากฏรูปแบบโปรแกรมดังรูปที่ 3.4 ซึ่งในรายการรับเสียงจะแสดงรายการย่อยๆ อีกทั้งหมด 5 รายการ คือ



รูปที่ 3.4 รายการรับเสียง

1.1) รายการเกี่ยวกับโหมด ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 รายการย่อย คือ

1. ข้อมูล คือ ข้อมูลของเสียงที่รับเข้ามาโดยไมโครโฟน

2. เปรียบเทียบ คือ การนำเอาเสียงผ่านกระบวนการ FFT เพื่อการสอนให้รู้จักตัวเลข แล้วเก็บเป็นข้อมูลเอาไว้สำหรับอ้างอิงกับข้อมูลที่ต้องการเปรียบเทียบ

3. อัตโนมัติ คือ การนำเอาเสียงที่ได้รับมาจากไมโครโฟนไปผ่านการทำกระบวนการวิเคราะห์แล้วทำรายการเปรียบเทียบและแสดงผลการรู้จำ

1.2) รายการเกี่ยวกับการบันทึกเสียง แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สร้างไฟล์ ทำได้โดยการตั้งชื่อข้อมูลหรือเสียงที่รับเข้ามาจากไมโครโฟน

2. เปิดแฟ้ม เป็นการเปิดแฟ้มข้อมูลของเสียงทั้งหมด

3. เก็บข้อมูล เป็นการเก็บข้อมูลเสียงที่ผ่านการตั้งชื่อและอัดเสียงแล้ว

1.3) รายการเกี่ยวกับวินโดว์ แบ่งออกเป็น 4 ชนิดให้เลือกใช้ คือ

1. Rectangle

2. Hann

3. Haming

4. Black man

1.4) รายการแสดงผล แบ่งออกเป็น 3 รายการย่อย คือ

1. Frequency domain แสดงสัญญาณข้อมูลในโดเมนของความถี่

2. Time domain แสดงสัญญาณข้อมูลในโดเมนของเวลา

3. แสดงตัวเลขความคล้ายคลึงที่รับเข้ามา

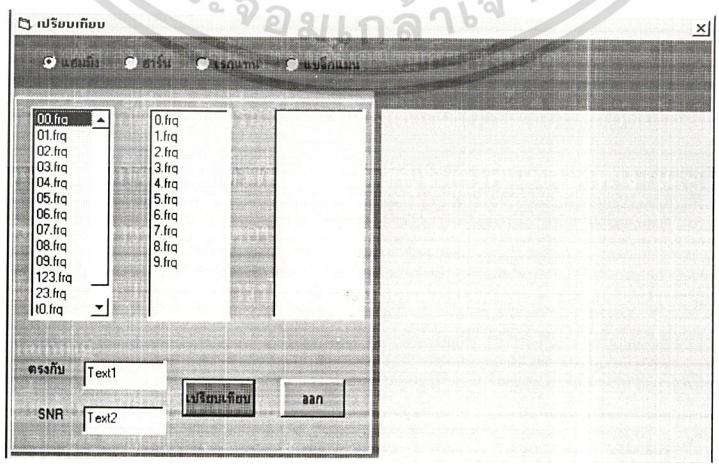
1.5) รายการเกี่ยวกับการวิเคราะห์ จะแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

1. FFT เป็นกระบวนการที่จะเปลี่ยนสัญญาณที่รับเข้ามาทางไมโครโฟนให้อยู่ในรูปโดเมนความถี่ ซึ่งกระบวนการและขั้นตอนต่างๆ ได้กล่าวไว้แล้ว

2. บันทึก FFT เป็นการบันทึกสัญญาณที่ผ่านการทำ FFT แล้ว เพื่อเอาไว้ทำการเปรียบเทียบ

2) รายการเกี่ยวกับการเปรียบเทียบ

เป็นรายการที่นำเข้าสู่กระบวนการเปรียบเทียบ โดยจะเปรียบเทียบจากลักษณะความคล้ายคลึงกันระหว่างเสียงที่รับเข้ากับเสียงที่เก็บไว้ ผลของการเปรียบจะแสดงออกมาเป็นตัวเลข



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 รายการเปรียบเทียบ

3) รายการคณะผู้จัดทำ

เป็นรายการที่แสดงรูปของผู้จัดทั้งหมด ซึ่งถ้าหากคลิกไปที่รูปของบุคคลใดก็จะปรากฏประวัติของบุคคลนั้น ดังแสดงในรูปที่ 3.6

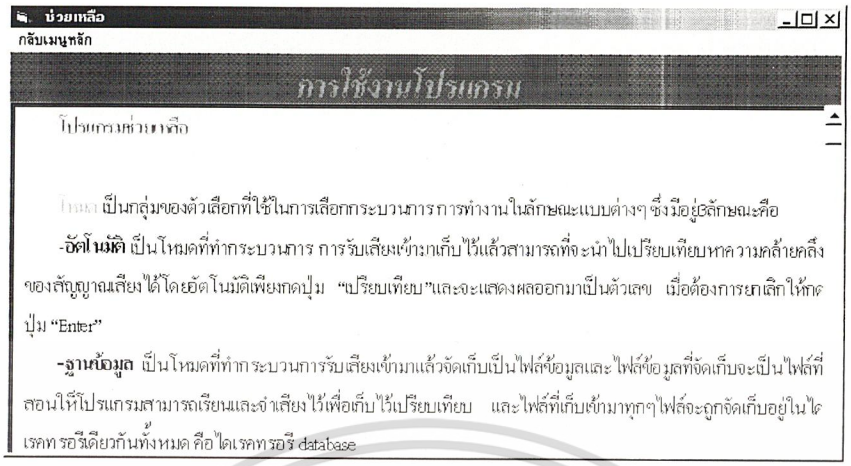
รูปที่ 3.6 รายการผู้จัดทำ

4) รายการการช่วยเหลือ

เป็นรายการที่ใช้สำหรับการช่วยเหลือในการใช้งานโปรแกรมรวมทั้งขั้นตอนต่างๆ ในการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 3.7

ในรายการช่วยเหลือจะอธิบายหน้าที่ต่างๆ ของโปรแกรม เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้น โดยในรายการช่วยเหลือจะอธิบายการใช้งานโปรแกรมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



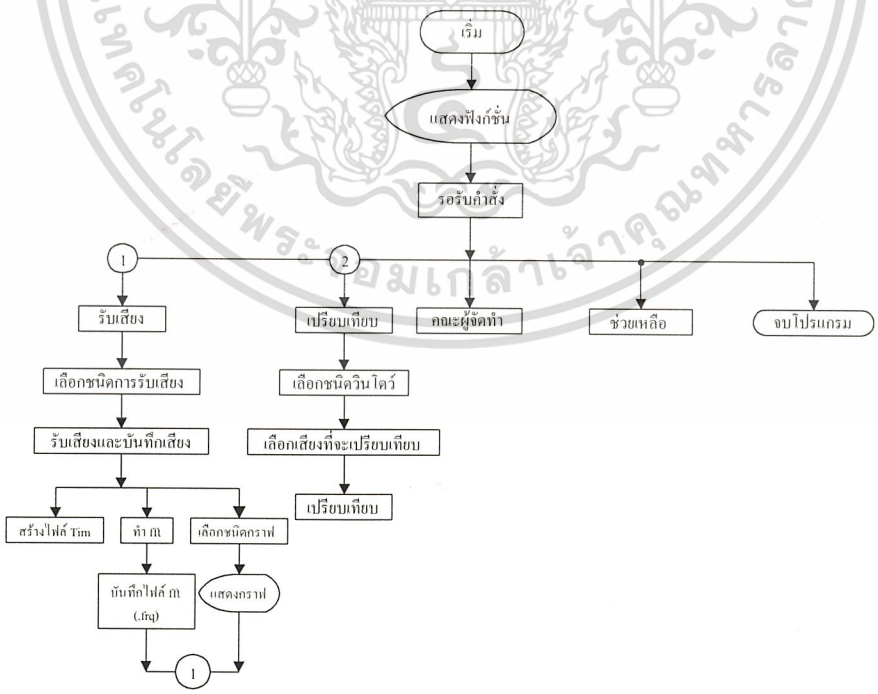
รูปที่ 3.7 รายการช่วยเหลือ

3) รายการออกจากโปรแกรม

เป็นรายการในการเลิกการทำงานทุกอย่างของโปรแกรมเพื่อออกไปยังโปรแกรมวินโดว์

3.5.2 การออกแบบผังงานของโปรแกรมส่วนต่างๆ

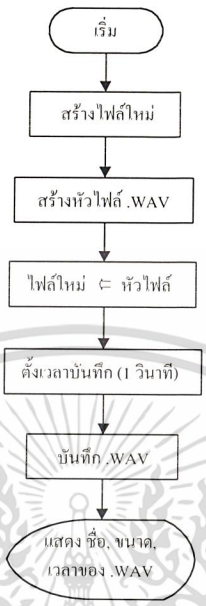
1) การออกแบบโปรแกรมหลัก ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ผังงานของโปรแกรมหลัก

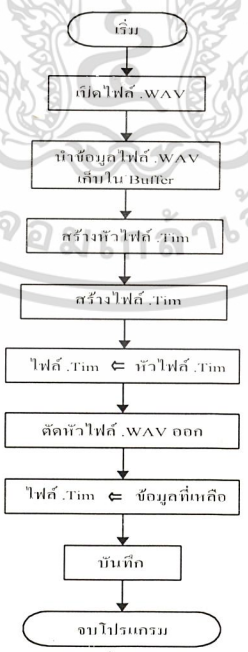
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การออกแบบโปรแกรมอัดและบันทึกเสียง แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ผังงานของโปรแกรมอัดและบันทึกเสียง

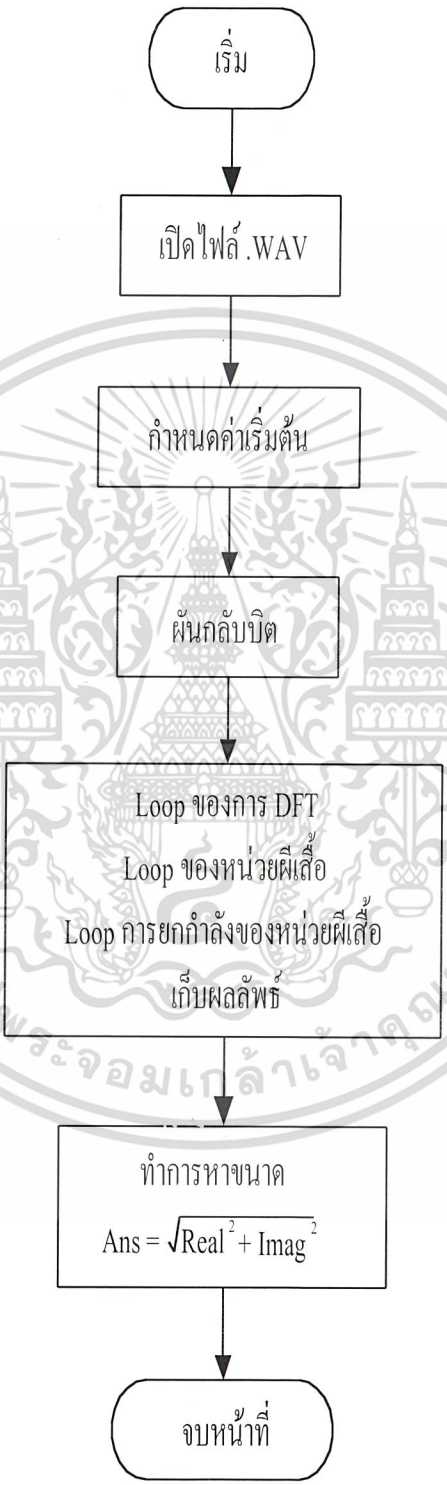
3) การออกแบบโปรแกรมสร้างไฟล์ .Tim แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ผังงานของโปรแกรมสร้างไฟล์ .Tim

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

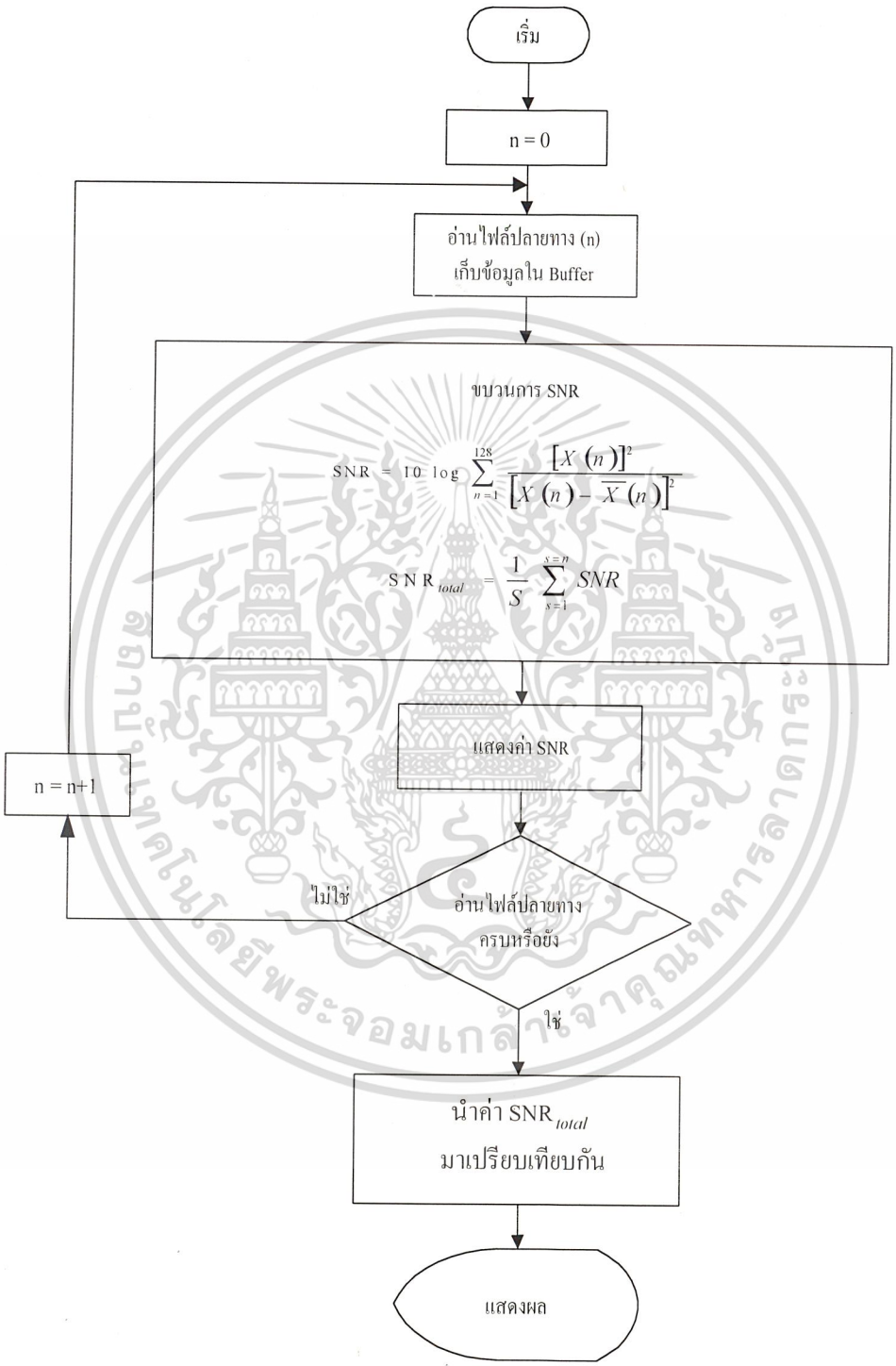
4) การออกแบบโปรแกรม FFT แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ผังงานของโปรแกรม FFT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

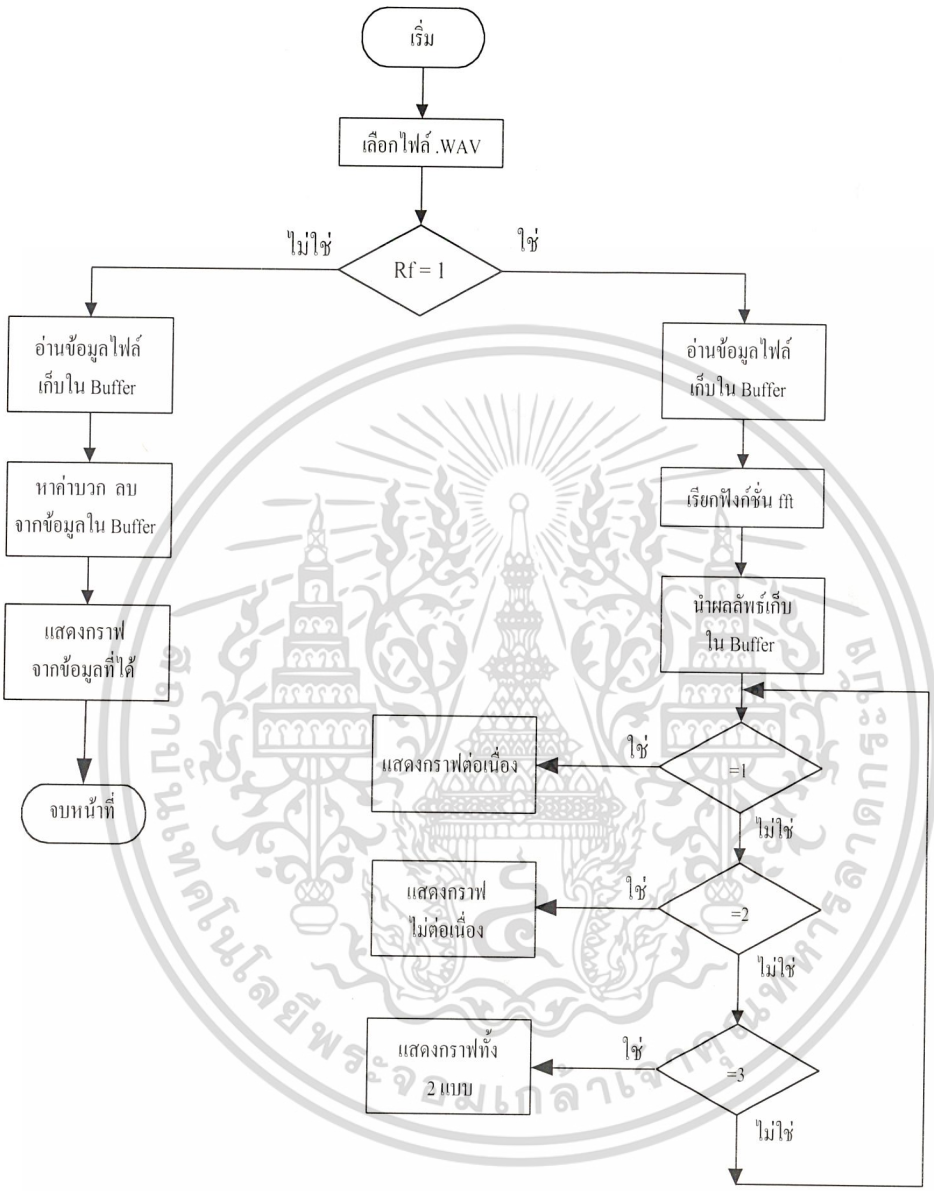
5) การออกแบบโปรแกรมเปรียบเทียบ แสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ผังงานของโปรแกรมเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) การออกแบบโปรแกรมแสดงกราฟ แสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ผังงานของโปรแกรมแสดงกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลอง

โปรแกรมการรู้จำเสียงพูดคำไทย (0-9) เป็นโปรแกรมที่พัฒนาเพื่อให้เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถรับรู้และแยกแยะเสียงพูดของคนได้ ในการใช้งานจะแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ

4.1.1 สอนให้คอมพิวเตอร์รู้จักกับเสียงต้นแบบ

การทดลองแบบนี้จะเก็บเสียง 0-9 จากคนเพียงคนเดียว เพื่อเป็นฐานข้อมูลโดยจะเก็บไว้ในวินโดว์ต่างๆ ทั้ง 4 วินโดว์ วินโดว์ละ 10 เสียง รวมทั้งหมด 40 เสียง ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

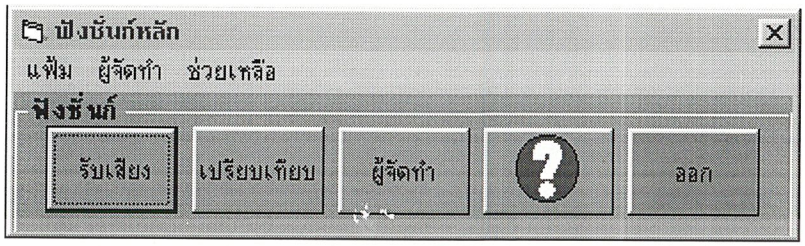
1. ติดตั้งโปรแกรมและอุปกรณ์ร่วมให้เรียบร้อย
2. เริ่มจากการเรียกโปรแกรม Thai Speech Recognition (0-9)
3. คลิกเริ่มเข้าโปรแกรม ดังรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 แสดงการเลือกเข้าโปรแกรม Thai Speech Recognition (0-9)

ลักษณะหน้าจอคอมพิวเตอร์ที่ใช้โปรแกรมรู้จำเสียงพูดคำไทย (0-9) เมื่อเริ่มต้นการใช้งาน โปรแกรมก็จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.1

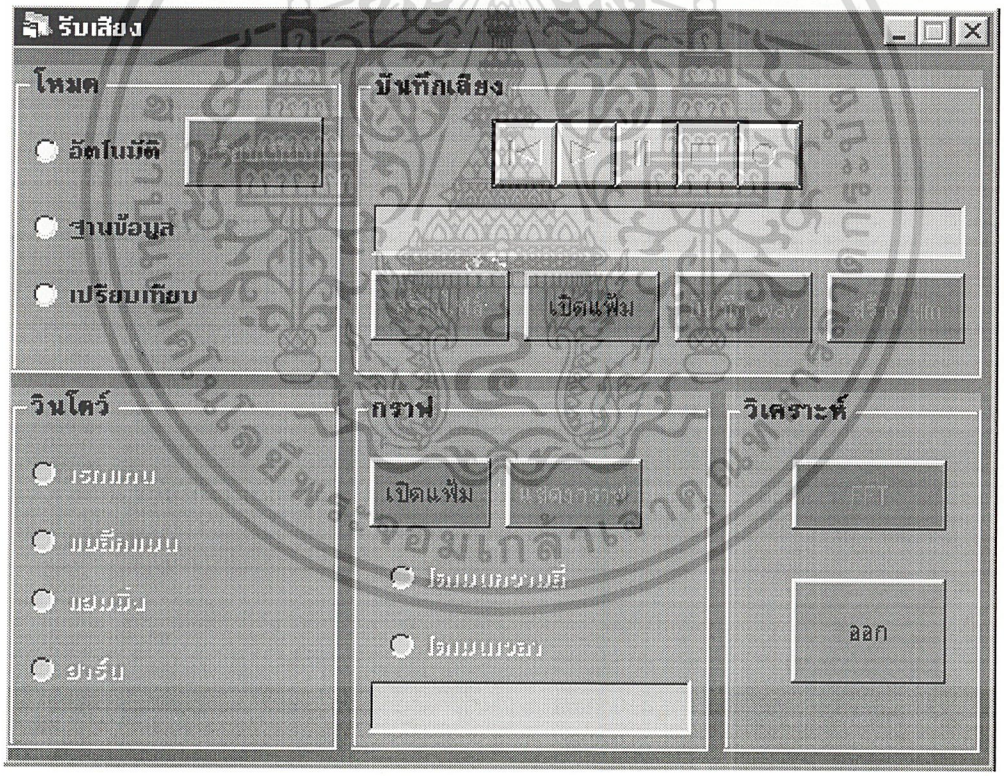
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เข้าสู่รายการหลักดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 รายการหลัก

5. คลิกเข้าสู่เมนูรับเสียงดังแสดงในรูปที่ 4.3 ซึ่งจะแสดงเมนูรับเสียง ดังนี้



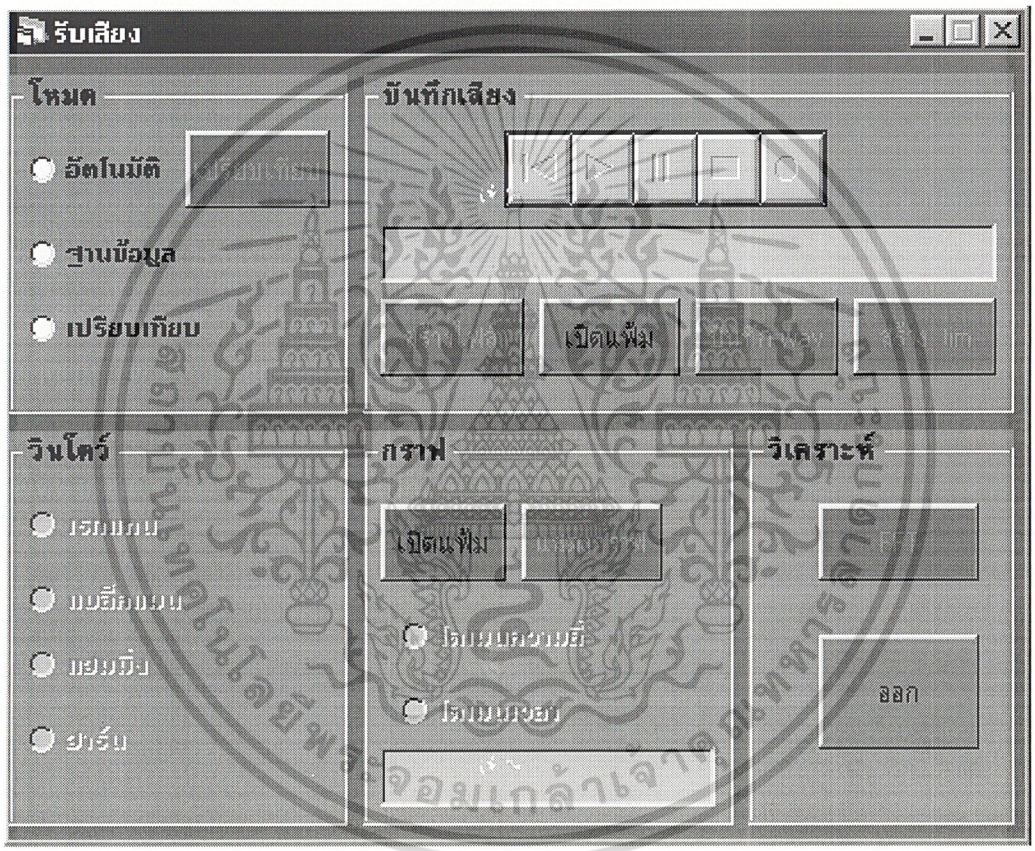
รูปที่ 4.3 รายการรับเสียง

6. จากนั้นคลิก "ฐานข้อมูล" เพื่อสอนให้คอมพิวเตอร์รู้และจำเสียงต้นแบบ แล้วทำการเลือกชนิดของวินโดว์ว่าต้องการใช้งานวินโดว์แบบใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ทำการคลิกที่ปุ่ม "สร้างไฟล์" เพื่อทำการตั้งชื่อไฟล์ก่อนการอัดและบันทึกเสียง ในการทดลองผู้จัดทำตั้งชื่อไฟล์เป็น "0" เพื่ออัดเสียง

8. กดปุ่ม "อัด" โดยให้พูดเสียงที่ต้องการจะสอนภายในเวลา 1 วินาที เมื่อพูดจบสามารถที่จะบันทึกเป็น .WAV ได้เลย หรือจะลองฟังเสียงที่บันทึก ถ้าหากไม่พอใจก็สามารถอัดเสียงทับได้ ในการทดลองนี้ผู้จัดทำจะแสดงรูปเฉพาะการเปรียบเทียบ "ศูนย์" เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ซึ่งผู้จัดทำได้ทำการอัดเสียง "ศูนย์" ลงในไฟล์ "0" ที่ได้ตั้งไว้แล้ว

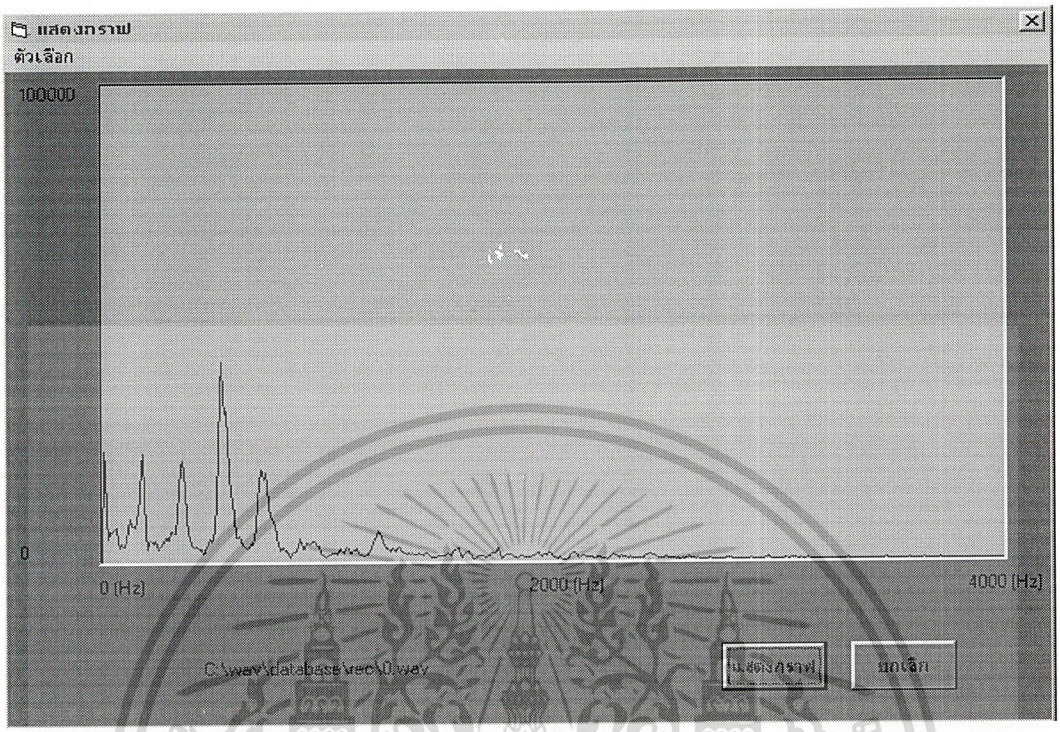


รูปที่ 4.4 รายการอัดและบันทึกเสียง

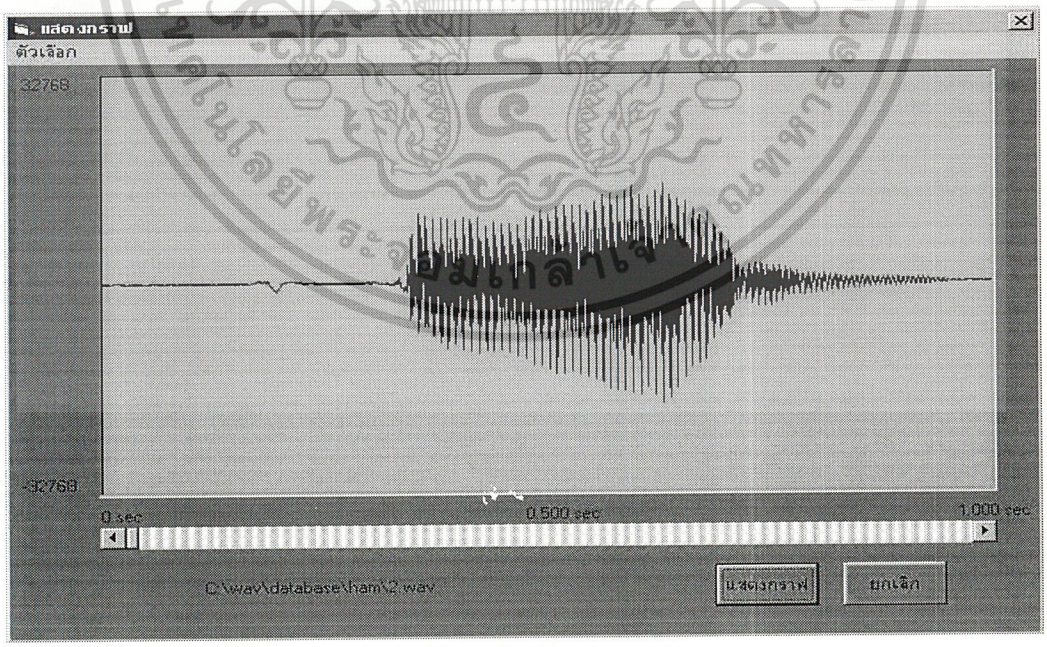
9. คลิกที่ปุ่ม "FFT" เพื่อทำการวิเคราะห์ แล้วทำการบันทึกโดยคลิกที่ปุ่ม "บันทึก FFT" ซึ่งจะได้ไฟล์เสียงเป็น .frq

10. ผู้ใช้สามารถดูลักษณะของสัญญาณเสียงที่บันทึกได้ทั้งในโดเมนความถี่และโดเมนเวลา โดยคลิกที่ปุ่ม "โดเมนความถี่" หรือ "โดเมนเวลา" ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟในโดเมนความถี่



รูปที่ 4.6 กราฟในโดเมนของเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

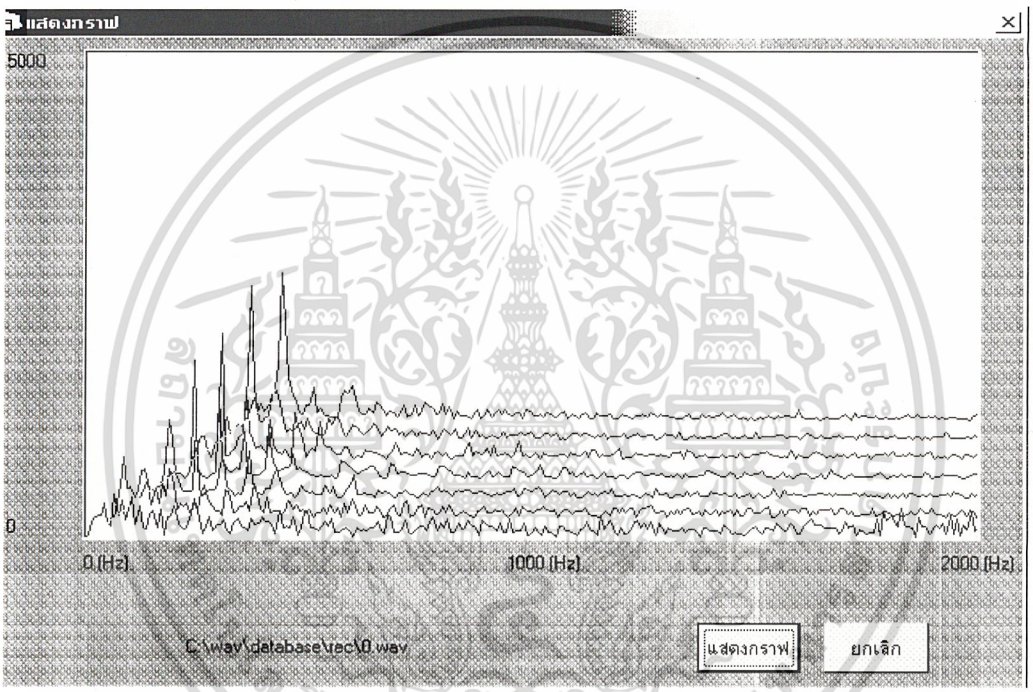
เมื่อคลิกที่ตัวเลือกโปรแกรมจะแสดงรายการให้เลือกแสดงกราฟคือ

1. การตั้งค่าพารามิเตอร์ทั้งแกนตั้งและแกนนอน

2. ชนิดของการพล็อตมีทั้งแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง โดยสามารถแสดงได้ทั้งแบบใดแบบหนึ่งหรือแสดงได้ทั้ง 2 แบบ

3. โปรแกรมจะแสดงผล ซึ่งมีทั้งซ่อนตารางและแสดงตาราง

4. กราฟแบบ 3 มิติ แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงกราฟแบบ 3 มิติ

ถึงกระบวนการนี้ก็เป็นเสร็จขบวนการสอน

<u>ลักษณะของแฟ้มข้อมูลต้นแบบ</u>

C:\WAV\database\.....

- Rec (เก็บแฟ้มที่วิเคราะห์แล้วผ่าน Rectangle Windows)
- Hann (เก็บแฟ้มที่วิเคราะห์แล้วผ่าน Hann Windows)
- Hamming (เก็บแฟ้มที่วิเคราะห์แล้วผ่าน Hamming Windows)
- Blackman (เก็บแฟ้มที่วิเคราะห์แล้วผ่าน Blackman Windows)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

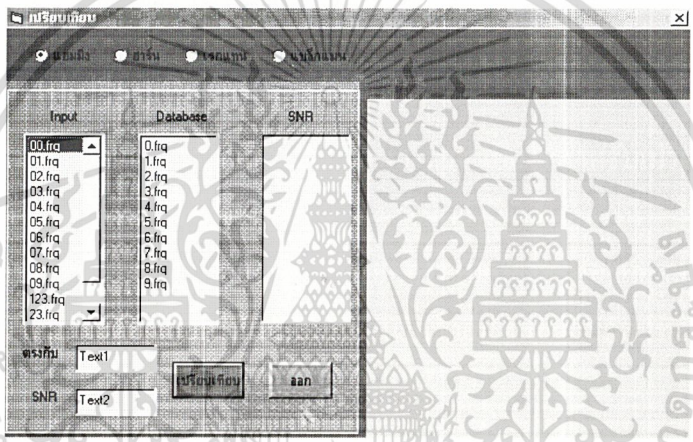
4.1.2 รับเสียงเพื่อนำไปเปรียบเทียบแบบกึ่งอัตโนมัติ

ผู้ใช้โปรแกรมต้องอัดและบันทึกเสียง 0-9 อีก 40 เสียง เพื่อใช้สำหรับเปรียบเทียบกับเสียงที่ได้บันทึกไว้ก่อนแล้ว โดยการทดลองจะทดลองทั้ง 4 วินโดว์ มีขั้นตอนดังนี้

1. ทำคล้ายกับหัวข้อ 4.1.1 เพียงแต่ในโหมดการรับเสียงจะต้องเลือกแบบเปรียบเทียบ (Compare) ส่วนวินโดว์ก็จะต้องเลือกให้เหมือนกับวินโดว์ตอนที่สอนให้คอมพิวเตอร์ได้รู้จักเสียงต้นแบบ (ในครั้งแรก)

2. คลิก "ออก" เพื่อกลับสู่รายการหลัก

3. คลิกที่ "เปรียบเทียบ" เพื่อทำการเปรียบเทียบเสียง



รูปที่ 4.8 รายการเปรียบเทียบ

4. คลิกไฟล์เสียงแต่ละเสียงในคอลัมน์แรก โดยเลือกเพียงไฟล์เดียวแล้วคลิกปุ่ม "เปรียบ-เทียบ" เพื่อที่จะทำการเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลในแต่ละเสียง ซึ่งฐานข้อมูลจะอยู่ในคอลัมน์ที่ 2 ส่วนในคอลัมน์ที่ 3 จะแสดงค่า SNR ในแต่ละตัวที่เปรียบเทียบได้ ซึ่ง SNR ตัวที่มากที่สุดจะแสดงเป็นตัวเลขที่มีความคล้ายคลึงกับเสียงที่รับเข้ามา

<u>ลักษณะของแฟ้มข้อมูลรับเสียงเพื่อนำไปวิเคราะห์กับเสียงต้นแบบ</u>

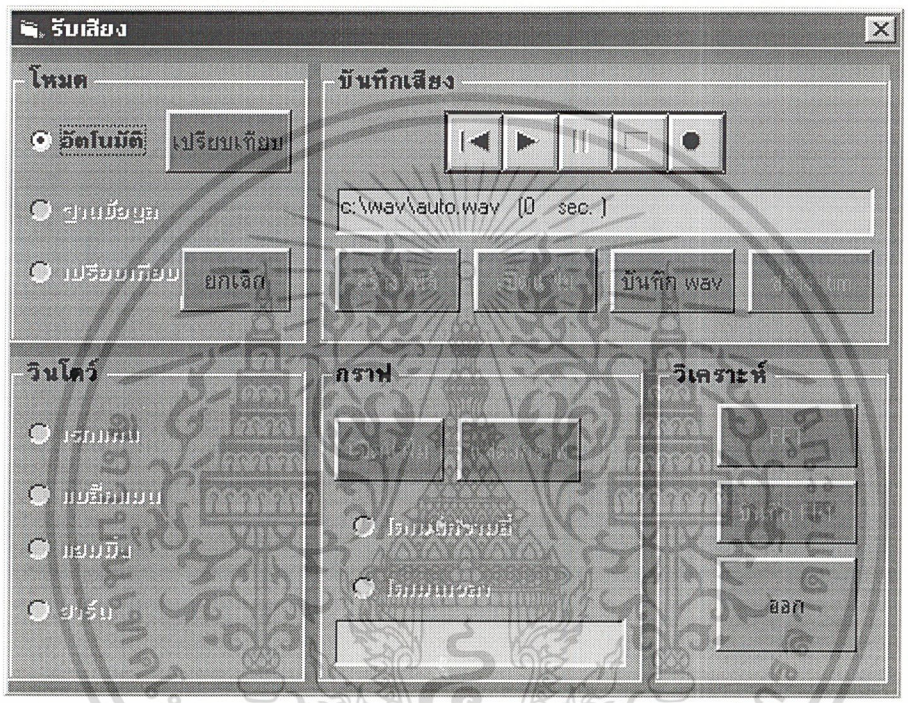
C:\WAV\ANALY\.....

- Rec (เก็บแฟ้มที่วิเคราะห์แล้วผ่าน Rectangle Windows)
- Hann (เก็บแฟ้มที่วิเคราะห์แล้วผ่าน Hann Windows)
- Hamming (เก็บแฟ้มที่วิเคราะห์แล้วผ่าน Hamming Windows)
- Blackman (เก็บแฟ้มที่วิเคราะห์แล้วผ่าน Blackman Windows)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 รับเสียงเพื่อนำไปเปรียบเทียบแบบอัตโนมัติ

การเปรียบเทียบแบบอัตโนมัตินี้ไม่ต้องทำการคลิกเพื่อเปรียบเทียบกันที่ละเสียง โดยเริ่มจากรายการรับเสียง ทำการคลิกที่ "อัตโนมัติ" ซึ่งโปรแกรมจะเลือกใช้ Windows เป็นแบบ Rectangle เพียงอย่างเดียวเท่านั้น จากนั้นทำการอัดเสียงแล้วบันทึกเสียงเข้าไป แล้วคลิกที่ปุ่ม "เปรียบเทียบ" โปรแกรมก็จะแสดงตัวเลขที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับเสียงที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล



รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบแบบอัตโนมัติ

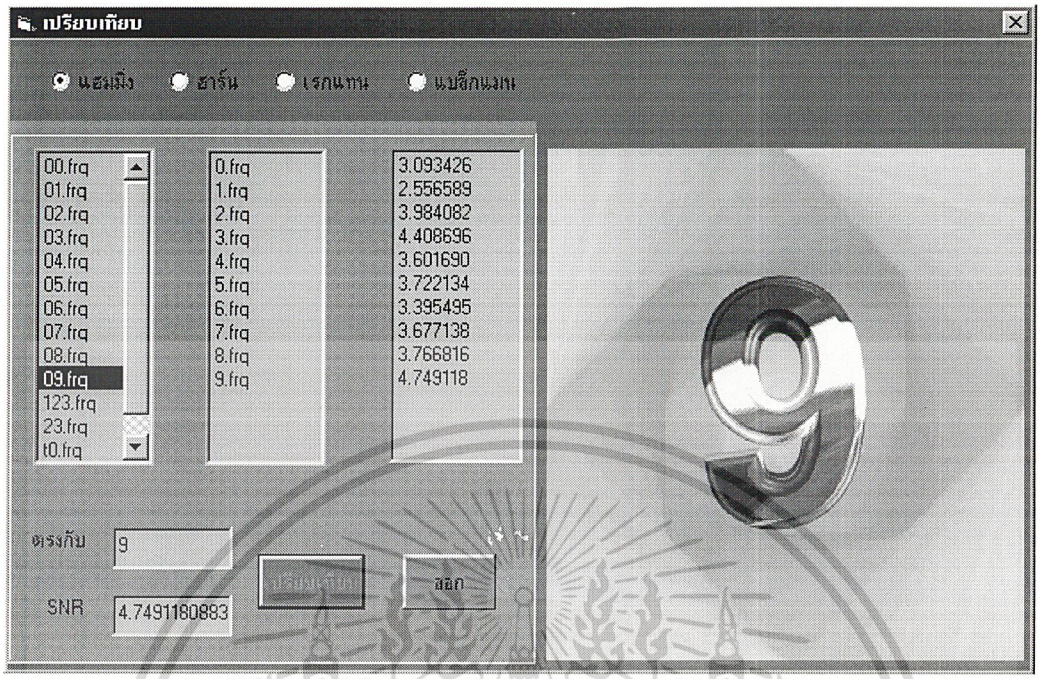
4.2 ผลการทดลอง

จากการทดลองทั้ง 2 แบบ คือ แบบกึ่งอัตโนมัติและเปรียบเทียบเสียงแบบอัตโนมัติให้ผลการทดลองดังนี้

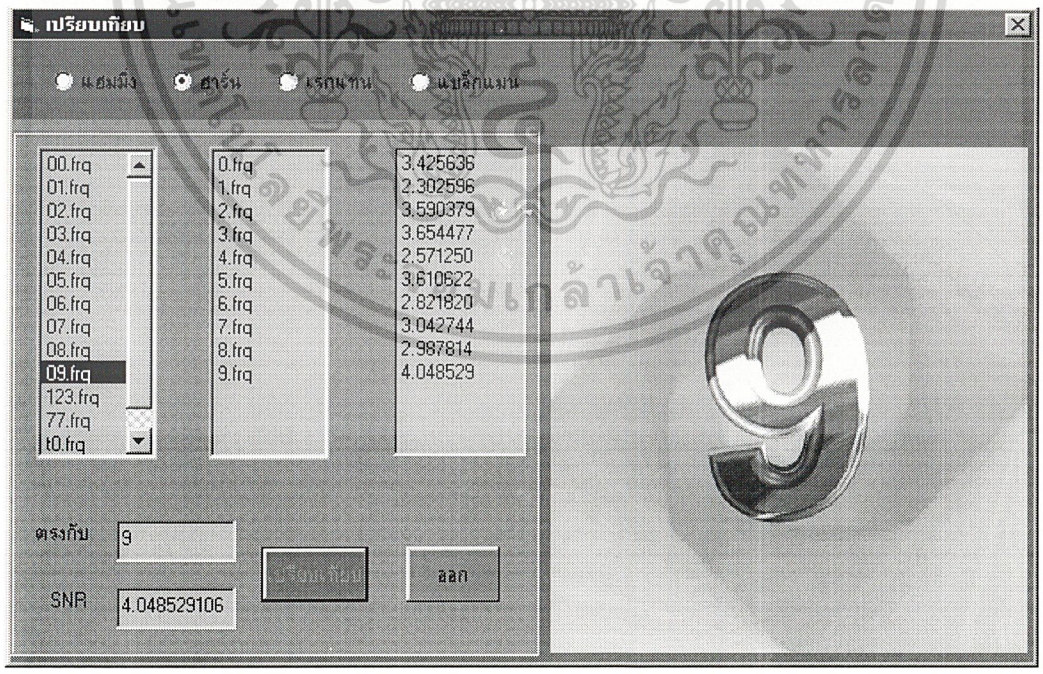
4.2.1 ผลการทดลองแบบกึ่งอัตโนมัติ

ผลการทดลองแบบกึ่งอัตโนมัติผู้จัดทำได้แสดงผลการเปรียบเทียบทั้ง 4 วินโดว์ โดยได้แสดงเพียงการเปรียบเทียบเสียง "เก้า" ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

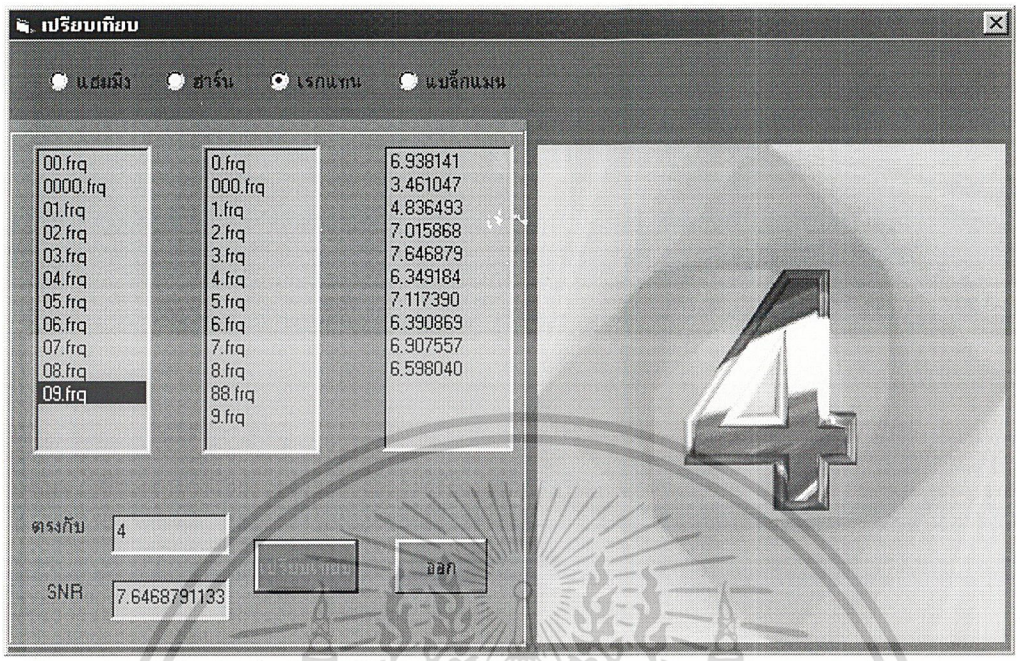


รูปที่ 4.10 ผลการเปรียบเทียบแบบแฮมมิ่ง

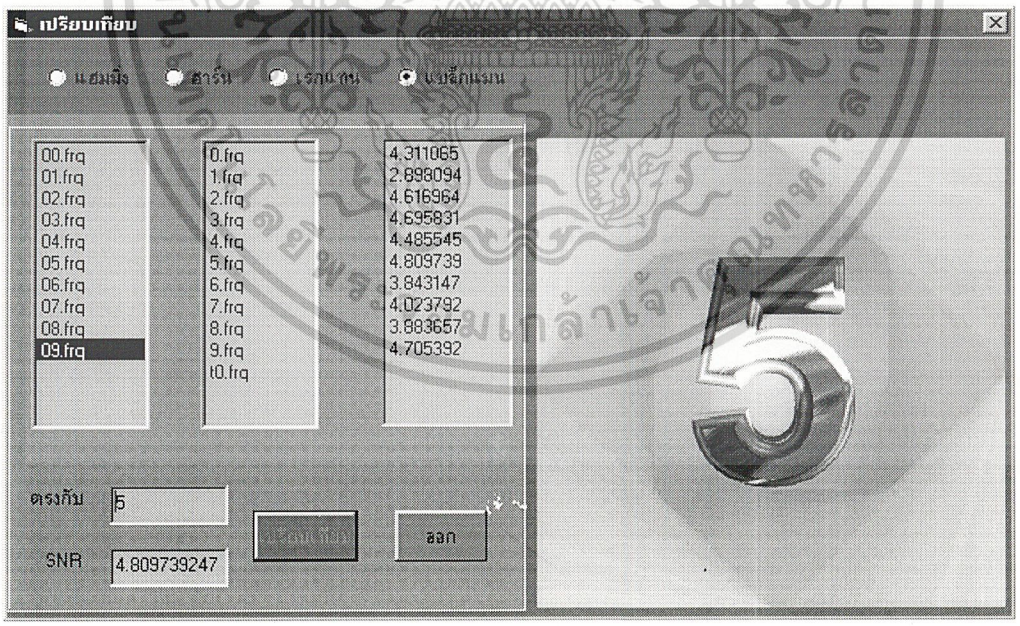


รูปที่ 4.11 ผลการเปรียบเทียบแบบฮาร์น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ผลการเปรียบเทียบแบบเรกแทน



รูปที่ 4.13 ผลการเปรียบเทียบแบบแบล็กแมน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการทดลองแบบอัตโนมัติ

ผลการทดลองแบบกึ่งอัตโนมัติผู้จัดทำได้กำหนดวินโดว์สำหรับใช้ในการเปรียบเทียบเพียงวินโดว์แบบ “เรกแทน” แบบเดียวเท่านั้น และได้แสดงผลการเปรียบเทียบเสียง 4 เสียงคือ “ศูนย์”, “หนึ่ง”, “สอง” และ “สาม” ตามลำดับ ซึ่งมีผลการทดลองดังรูปต่อไปนี้

รูปที่ 4.14 ผลการเปรียบเทียบเสียง “ศูนย์” แบบอัตโนมัติ

รูปที่ 4.15 ผลการเปรียบเทียบเสียง “หนึ่ง” แบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.16 ผลการเปรียบเทียบเสียง “สอง” แบบอัตโนมัติ

รูปที่ 4.17 ผลการเปรียบเทียบเสียง “สาม” แบบอัตโนมัติ

4.3 สรุปผลการทดลอง

เสียงแต่ละครั้งจะประกอบไปด้วยความถี่ต่างๆ ผสมกันออกมาพร้อมๆ กัน ดังนั้นถ้าเราสามารถแยกแยะความถี่ที่ประกอบขึ้นเป็นเสียง ก็จะทำให้เราสามารถวิเคราะห์และกำหนดค่าต่างๆ ของเสียงได้ก็ คือ FFT ซึ่งก็เป็นเพียงหนึ่งในหลายๆ วิธีในการจดจำลักษณะจำเพาะของเสียงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองแบบกึ่งอัตโนมัติ ปรากฏว่าวินโดว์แบบ Hamming ให้ผลความคล้ายคลึงได้ 100% ส่วนอีก 3 วินโดว์มีความผิดพลาดประมาณ 10-30% ซึ่งผลการทดลองจัดได้ว่าอยู่ในเกณฑ์ดีถึงดีมาก ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับผู้เสียงของผู้พูดด้วยว่าเหมาะกับวินโดว์แบบใด

ส่วนการทดลองแบบอัตโนมัติ มีข้อจำกัดอยู่ที่ว่าจะใช้วินโดว์เดียว คือ Rectangle จึงอาจทำให้ผลการทดลองมีความถูกต้องไม่เต็ม 100%

แต่จากการทดลองจัดได้ว่าอยู่ในเกณฑ์ดี ซึ่งอาจมีข้อผิดพลาดอยู่บ้างโดยข้อผิดพลาดเกิดจากการบันทึกเสียง เช่น คุณสมบัติของไมโครโฟน, เสียงรบกวนจากภายนอกและเสียงจากลมหายใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไขและพัฒนา

5.1 บทสรุป

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้จัดทำขึ้นโดยรวบรวมทฤษฎีและหลักการตลอดจนการเขียนโปรแกรมด้วย Visual Basic Version 5 ซึ่งจะแสดงให้เห็นตั้งแต่การรับเสียงเข้ามา แสดงรูปแบบของสัญญาณเสียงนั้นๆ และนำสัญญาณดังกล่าวไปทำกระบวนการวิเคราะห์หาสเปคตรัมของเสียงและนำไปแสดงผลอยู่ในแกนความถี่ และแกนเวลา แล้วนำไปจัดเก็บเอาไว้เพื่อเปรียบเทียบกับเสียงอื่นๆ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ความคล้ายคลึงกัน แสดงออกมาเป็นตัวเลข นอกจากนี้ในโปรแกรมยังสามารถทดลองฟังเสียงและแสดงข้อมูลของเสียงออกมาในช่วงเวลาหนึ่งวินาทีซึ่งมีข้อมูล 16,000 ไบต์

ในการศึกษา และจัดทำโครงงาน เรื่องการรู้จำเสียงพูดคำไทย (0-9) นี้ผู้จัดทำหวังว่าจะเป็นแนวทางในการพัฒนาให้กับผู้ที่สนใจได้อีกส่วนหนึ่ง

5.2 ปัญหา

ในการจัดทำโครงงาน การรู้จำเสียงพูดคำไทย (0-9) จริงๆ แล้วเป็นโครงงานที่ผู้จัดทำต้องการทดสอบกระบวนการที่ได้คิดไว้ว่าน่าจะเป็นไปได้ ดังเช่นการวิเคราะห์ทางสเปคตรัมของสัญญาณเสียงถึงจะมีทฤษฎีที่กล่าวในเนื้อเรื่องแล้วก็ตามแต่ก็ไม่มีต้นแบบให้ศึกษาจะมีเฉพาะทฤษฎีเท่านั้น ดังนั้นการจัดทำโครงงานนี้จึงเสมือนว่าไม่สามารถคาดผลสำเร็จได้เต็มที่นัก แต่เมื่อได้ลงมือทำจนกระทั่งสำเร็จก็ปรากฏว่า มีความใกล้เคียงกับทฤษฎีมากพอสมควร และในระหว่างการจัดทำก็ประสบปัญหาต่างๆ มากมายซึ่งพอจะกล่าวเป็นประเด็นสำคัญๆ ได้ดังนี้

1. เครื่องมือทดสอบทฤษฎีและกระบวนการ ในการจัดทำต้องใช้เวลามากกว่าครึ่งในการทดสอบความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติตามทฤษฎี และการจัดทำกระบวนการวิเคราะห์ตามทฤษฎี

2. เครื่องมือเครื่องใช้ในการจัดทำโครงงาน เนื่องจากทฤษฎีที่นำมาใช้ในโครงงานนี้ ส่วนมากเป็นคณิตศาสตร์ชั้นสูงในการวิเคราะห์ ดังนั้นการในการเขียนโปรแกรมจึงต้องเสียเวลาในการประมวลผลของโปรแกรมบ้างเล็กน้อย

3. ต้องเสียเวลาในการศึกษาโปรแกรม Visual Basic Version 5 พอสมควรเพราะไม่เคยใช้โปรแกรมมาก่อน แต่พอมีพื้นฐานการเขียนโปรแกรมในภาษา Basic อยู่บ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 แนวทางการแก้ไขและพัฒนา

1.เลือกภาษาที่มีความเร็วมากว่าภาษา Visual Basic อาจจะใช้ภาษาซี หรือ แอสแซมบลี้ เพราะมีความเร็วในการประมวลผลมากกว่า

2.จัดทำโปรแกรมให้กระชับขึ้น เนื่องจากโปรแกรมที่มีจำนวนของคำสั่งที่มากจะทำการประมวลผลช้า ดั้งนั้นควรที่จะพยายามใช้คำสั่งให้น้อยที่สุดเพื่อจะทำงานได้เร็วขึ้น

3. การจัดทำวงจรช่วยประมวลผล โดยอาศัยตัวประมวลผลดิจิตอล (DSP) ในการประมวลผลช่วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะทำให้ค่าเวลามีความใกล้กับความเป็นจริงมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

โปรแกรมควบคุมภาคต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
VERESION 5.00
   Object  =  "{CIA8AF28-1257-101B-8FB0-0020AF039CA3}#1.1#0";
              "MCI32.OCX"
   Begin VB.Form Form1
     BorderStyle  =  4 'Fixed ToolWindow
     Caption  =  การรู้จำเสียงพูดคำไทย(0-9)
     ClientHeight  =  4410
     ClientLeft  =  2775
     ClientTop  =  6810
     LinkTopic  =  "Form1"
     MaxButton  =  0 'False
     MinButton  =  0 'False
     Picture  =  (Bitmap)
     ScaleHeight  =  4410
     ScaleWidth  =  6810
     ShowINTasbar  =  0 'False
     Begin VB.CommandButton Command2
       Backcolor  =  &H006796C9&
       Caption  =  เริ่มโปรแกรม
       Default  =  -1 'True
       Height  =  495
       Left  =  5280
       Style  =  1 'Graphical
       TabIndex  =  2
       Top  =  3840
       Width  =  1095
     End
     Begin VB.CommandButton cmd1
       Backcolor  =  &H006796C9&
       Caption  =  ออกโปรแกรม
       Default  =  -1 'True
       Height  =  495
       Left  =  3840
       Style  =  1 'Graphical
       TabIndex  =  1
       Top  =  3840
       Width  =  1215
     End
     Begin MCI.MmControl MMControl1
     Height  =  495
     Left  =  4080
     TabINdex  =  0
     Top  =  3840
     Width  =  420
     _ExtentX  =  741
     _EtentY  =  873
     _Version  =  327680
     PlayEnabled  =  -1 'True
     PrevVisible  =  0 'False
     NextVisible  =  0 'False
     PauseVisible  =  0 'False
     BackVisible  =  0 'False
     StepVisible  =  0 'False
     StopVisible  =  0 'Fale
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        RecordVisible  =  0 'False
        EjectVisible  =  0 'False
        DeviceType  =  ""
        FileName  =  ""
        End
    End

Private Sub cmd1_Click()
MMControl1.Command = "stop"
MMControl1.Notify = False
MMControl1.Wait = True
Unload Form1
main.Show
End Sub

Private Sub Command2_Click()
MMControl1.Command = "stop"
MMControl1.Notify = False
MMControl1.Wait = True
End
End Sub

Private Sub Form_Activate()
cmd1.Default = True
Command2.Default = False
MMControl1.DeviceType = "Sequencer"
MMControl1.Wait = True
M MControl1.Shareable = False
MMControl1.Notify = False
MMControl1.filename = "c:\thaispeech\wave.mid"
MMControl1.Command = "OPEN"
'MMControl1.TimeFormat = mciFormatMilliseconds
MMControl1.Command = "play"
MMControl1.From = 50
MMControl1.To = 10000
End Sub
```

รูปที่ ก.1 โปรแกรมเริ่มต้นการทำงาน

```
VERION 5.00
Begin VB.From main
  BackColor  =  &H009E435&
  Caption  =  "ฟังก์ชั่นหลัก"
  ClientHeight  =  6375
  ClientLeft  =  1455
  ClientTop  =  1035
  ClientWidth  =  9435
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
VERION 5.00
Begin VB.From main
  BackColor  =  &H009E435&
  Caption  =  "ฟังก์ชั่นหลัก"
  ClientHeight  =  6375
  ClientLeft  =  1455
  ClientTop  =  1035
  ClientWidth  =  9435
  LinkTopic  =  "Form2"
  ScaleHeight  =  6375
  ScaleWidth  =  9435
  Begin VB.Frame f1
    BackColor  =  &H00AE9975&
    Caption  =  "ฟังก์ชั่น"
    BeginProperty Font
      Name  =  "MS Sans Serif"
      Size  =  9.75
      Charset  =  222
      Weight  =  700
      Underline  =  0 'False
      Italic  =  0 'False
      Strikethrough  =  0 'False
    EndProperty
    Height  =  5295
    Left  =  120
    TabIndex  =  1
    Top  =  600
    Width  =  1455
    Begin VB.CommanButton Command5
      BackColor  =  &H000000FF&
      Caption  =  "ออก"
      DownPicture  =  (Icon)
      Height  =  855
      Left  =  240
      Style  =  1 'Graphical
      TabIndex  = 6
      Top  =  4200
      Width  =  975
    End
    Begin VB.CommandButton Command4
      BackColor  =  &H00C9CC57&
      Height  =  855
      Left  =  240
    Picture  =  (Icon)
    Style  =  1 'Graphical
    TabIndex  =  5
    Top  =  3240
    Width  =  975
  End
  Begin VB.CommandButton Command3
    BackColor  =  &H00C9CC57&
    Caption  =  "ผู้จัดทำ"
    Height  =  855
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Style  =  1 'Graphical
   TabIndex  =  4
   Top  =  2280
   Width  =  975
  End
  Begin VB.commandButton Command2
   BackColor  =  &H00C9CC57&
   Caption  =  "เปรียบเทียบ"
   Height  =  855
   Left  =  240
   Right = 240 'bobo
   Style  =  1 'Graphical
   TabIndex  =  3
   Top  =  1320
   Width  =  975
  End
  Begin VB.CommandButton Command1
   BackColor  =  &H00C9CC57&
   Caption  =  "รับเสียง"
   DownPicture  =  (Icon)
   Height  =  855
   Left  =  240
   Style  =  1 'Graphical
   TabIndex  =  2
   Top  =  360
   Width  =  975
  End
  Begin VB.PictureBox p1
   BackColor  =  &H80000009&
   Height  =  6255
   ScaleHeight  =  6195
   ScaleWidth  =  7635
   TabIndex  =  0
   Top  =  0
   Width  =  7695
  End
  Begin VB.Menu mnufile
   Caption  =  "แฟ้ม"
   NegotiatePosition  =  1 'Left
   Begin VB.Menu mnuwi
    Caption  =  "รับเสียง"
    Shortcut  =  ^A
   End
   Begin VB.Menu mu
    Caption  =  "-"
   End
   Begin VB.Menu mnucomp
    Caption  =  "เปรียบเทียบ"
    Shortcut  =  ^B
   End
   Begin VB.Menu mk
    Caption  =  "-"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End
   Begin VB.Menu munexit
     Caption   =   "ออก"
     Shortcut   =   {F12}
    End
  End
  Begin VB.Menu mnucd
    Caption   =   "ผู้จัดทำ"
    Shortcut   =   1
  Begin VB.Menu mnucredit
    Caption   =   "ผู้จัดทำ"
    '
    '
  Shortcut   =   {F2}
  End
End
  Begin VB.Menu mnuhelp
    Caption   =   "ช่วยเหลือ"
    Begin VB.Menu mnuhelp1
      Caption   =   "ช่วยเหลือ"
      Shortcut   =   {F1}
    End
  End
End

Private Sub Command1_Click()
wavin.Show
End Sub

Private Sub Command2_Click()
compare.Show
End Sub

Private Sub Command3_Click()
MousePointer = 11
credit.Show
MousePointer = 0
End Sub

Private Sub Command4_Click()
help1.Show
End Sub

Private Sub Command5_Click()
End
End Sub

Private Sub mnucomp_Click()
compare.Show
End Sub

Private Sub mnucredit_Click()
MousePointer = 11
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
credit.Show
MousePointer = 0
End Sub

Private Sub mnuhelp1_Click()
help1.Show
End Sub

Private Sub mnuwi_Click()
wavin.Show
End Sub

Private Sub munexit_Click()
End
End Sub
```

รูปที่ ก.2 โปรแกรมแสดงฟังก์ชั่นหลัก

```
Wavin
Begin  VB.From  wavin
   BackColor  =  &H009EA435&
  Caption  =  "การรับเสียง"
  ClientHight  =  5025
  ClientLeft  =  3915
  ClientTop  =  2160
  ClientWidth  =  6930
  LinkTopic  =  "From2"
  ScaleHeight  =  5025
  ScaleWidth  =  6930
  Begin MSComDlg.CommonDialog CommonDialog1
    Left  =  4920
    Top  =  4560
    _ExtentX  =  847
    _ExtentY  =  847
    _Verion  =  327680
    InitDir  =  "c:\wav"
  End
  Begin VB.Frame f5
    BackColor  =  &H00ae9975&
    Caption  =  "วิเคราะห์"
    BeginProperty Font
      Name  =  "MS Sans Serif"
      Size  =  9.75
      Charset  =  222
      Weight  =  700
      Underline  =  0
      Italic  =  0
      Strikethrough  =  0
    EndProperty
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Height  =  2535
    Left  =  5040
    TabIndex  =  4
    Top  =  2400
    Width  =  1815
    Begin VB.CommandButton cmdsavefft
      BackColor  =  &H00AA9F42&
      Caption  =  "บันทึก FFT"
      Height  =  495
      Left  =  480
      Style  =  1
      TabIndex  =  20
      Top  =  960
      Width  =  1095
    End
    Begin VB.CommandButton cmdfft
      BackColor  =  &H00AA9F42&
      Caption  =  "FFT"
      Height  =  495
      Left  =  480
      Style  =  1
      TabIndex  =  19
      Top  =  360
      Width  =  1095
    End
    Begin VB. CommandButton Command9
      BackColor  =  &H000000FF&
      Caption  =  "ออก"
      Height  =  735
      Left  =  480
      Style  =  1
      TabIndex  =  18
      Top  =  1560
      Width  =  1095
    End
  End
  Begin VB.Frame f4
    BackColor  =  &H00AE9975&
    Caption  =  "กราฟ"
    BeginProperty Font
      Name  =  "MS Sans Serif"
      Size  =  9.75
      Charset  =  222
      Weight  =  700
      Underline  =  0
      Italic  =  0
      Strikethrough  =  0
    EndProperty
    Height  =  2535
    Left  =  2400
    TabIndex  =  3
    Top  =  2400
    Width  =  2535
    Begin VB.OptionButton Optime
      BackColor  =  &H00AE9975&
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      Caption   =   "โดเมนเวลา"
      BeginProperty Font
      Name   =   "MS Sans Serif"
      Size   =   8.25
      Charset   =   222
      Weight   =   700
      Underline   =   0
      Italic   =   0
      Strikethrough   =   0
    EndProperty
    Height   =   255
    Left   =   240
    TabIndex   =   17
    Top   =   1680
    Width   =   1455
  End
  Begin VB.OptionButton Optfrc
    BackColor   =   &H00AE9975&
    Caption   =   "โดเมนความถี่"
    BeginProperty Font
    Name   =   "MS Sans Serif"
    Size   =   8.25
    Charset   =   222
    Weight   =   700
    Underline   =   0
    Italic   =   0
    Strikethrough   =   0
  EndProperty
  Height   =   255
  Left   =   240
  TabIndex   =   16
  Top   =   1200
  Width   =   1815
End
Begin VB.CommanButton cmdshow
  BackColor   =   &H00AA9F42&
  Caption   =   "แสดงกราฟ"
  Height   =   495
  Left   =   1080
  Style   =   1
  TabIndex   =   15
  Top   =   480
  Width   =   975
End
Begin VB.CommandButton cmdopeng
  BackColor   =   &H00AA9F42&
  Caption   =   "เปิดแฟ้ม"
  Height   =   495
  Left   =   120
  Style   =   1
  TabIndex   =   14
  Top   =   480
  Width   =   855
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 End
 Begin VB.Label Label1
  BackColor   =  &H00FFFF80&
  BorderStyle   =  1
    Height   =  375
  Left   =  120
  TabIndex   =  25
  Top   =  2040
  Width   =  2295
     End
 End
 Begin VB.Frame f3
  BackColor   =  &H00AE9975&
  Caption   =  "บันทึกเสียง"
  BeginProperty Font
    Name   =  "MS Sans Serif "
    Size   =  9.75
    Charset   =  222
    Weight   =  700
    Underline   =  0
    Italic   =  0
    Strikethrough   =  0
  EndProperty
  Height   =  2175
  Left   =  2400
  TabIndex   =  2
  Top   =  120
  Width   =  4455
  Begin VB.CommandButton cmdtim
    BackColor   =  &H00AA9F42&
    Caption   =  "สร้าง tim"
    Height   =  495
    Left   =  3360
    Style   =  1
    TabIndex   =  26
    Top   =  1440
    Width   =  975
  End
  Begin VB.CommandButton cmdsaves
    BackColor   =  &H00AA9F42&
    Caption   =  "บันทึก wav"
    Height   =  495
    Left   =  2280
    Style   =  1
    TabIndex   =  13
    Top   =  1440
    Width   =  975
  End
  Begin VB.CommandButton cmdopens
    BackColor   =  &H00AA9F42&
    Caption   =  "เปิดไฟล์"
    Height   =  495
    Left   =  1200
    Style   =  1
    TabIndex   =  12
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Top   =   1440
    Width   =    975
  End
  Begin VB.CommandButton cmdnew
    BackColor   =   &H00AA9F42&
    Caption   =   "สร้างไฟล์"
    Height   =   495
    Left   =   120
    Style   =   1
    TabIndex   =   11
    Top   =   1440
    Width   =   975
  End
  Begin MCI.MMControl   MMControl1
    Height   =   495
    Left   =   960
    TabIndex   =   10
    Top   =   360
    Width   =   2220
    _ExtentX   =   3916
    _ExtentY   =   873
    _Version   =   327680
    PrevEnabled   =   -1   'True
    PlayEnabled   =   -1   'True
    PauseEnabled   =   -1   'True
    StopEnabled   =   -1   'True
    RecordEnabled   =   -1   'True
    NextVisible   =   0   ' False
    BackVisible   =   0   ' False
    StepVisible   =   0   ' False
    EjectVisible   =   0   ' False
    Device Type   =   ""
    FileName   =   ""
  End
  Begin VB.Lable Lable3
    BackColor   =   &H00FFFF80&
    BorderStyle   =   1
    Height   =   375
    Left   =   120
    TabIndex   =   21
    Top   =   960
    Width   =   4215
  End
End
Begin VB.Frame f2
  BackColor   =   &H00AE9975&
  Caption   =   "วินโดว์"
  BeginProperty Font
  Name   =   " MS Sans Serif"
  Size   =   9.75
  Charset   =   222
  Weight   =   700
  Underline   =   0
  Italic   =   0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 Strikethrough  =  0
 EndProperty
Height  =  2535
Left  = 0
TabIndex   =  1
Top  =  2400
Width  =  2295
Begin VB.OptionButton Opthan
  BackColor  =  &H00AE9975&
  Caption  =  "ฮาร์น"
  BeginProperty  Font
  Name  =  " MS Sans Serif"
  Size  =  8.25
  Charset  =  222
  Weight  =  700
  Underline  =  0
  Italic  =  0
  Strikethrough  =  0
EndProperty
Height  =  375
Left  =  120
Tablndex  =   9
Top  =  1800
Width  =  975
End
Begin VB.OptionButton optham
   BackColor  =  &H00AE9975&
   Caption  =  "แฮมมิ่ง"
   BeginProperty Font
     Name  =  "MS Sans Serif"
     Size  =  8.25
     Charset  =  222
     Weight  =  700
     Underline  =  0
     Italic  =  0
     Strikethrough  =  0
   EndProperty
   Height  =  375
   Left  =  120
   Tablndex  =  8
   Top  =  1320
   Width  =  1215
 End
 Begin  VB.OptionButton  optblack
   BackColor  =  &H00AE9975&
   Caption  =  "แบล็กแมน"
   BeginProperty Font
     Name  =  "MS Sans Serif"
     Size  =  8.25
     Charset  =  222
     Weight  =  700
     Underline  =  0
     Italic  =  0
     Strikethrough  =  0
   EndProperty
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Height  =  255
    Left  =  120
    TabIndex  =  7
    Top  =  960
    Width  = 1215
  End
  Begin VB.OptionButton  optrec
    BackColor  =  &H00AE9975&
    Caption  = "เรกแทน"
    BeginProperty Font
      Name  =  "MS Sans Serif"
      Size  =  8.25
      Charset  =  222
      Weight  =  700
      Underline  =  0
      Italic  =  0
      Strikethrough  =  0
    EndProperty
    Height  =  255
    Left  =  120
    TabIndex  =  6
    Top  =  480
    Width  =  1095
  End
End
Begin  VB.Frame f1
  BackColor  =  &H00AE9975&
  Caption  =  "โหมด"
  BeginProperty  Font
    Name =  "MS Sans Serif"
    Size  =  9.75
    Charset  =  222
    Weight  =  700
    Underline  = 0
    Italic  =  0
    Strikethrough  =  0
  EndProperty
  Height  =  2175
  Left  =  0
  TabIndex  =  0
  Top  =  120
  Width  =  2295
  Begin VB.CommandButton cmdauto
    BackColor  =  &H00AA9F42&
    Caption  =  "เปรียบเทียบ"
    Height  =  495
    Left  =  1200
    Style  =  1
    TabIndex  =  27
    Top  =  360
    Width  =  975
  End
  Begin  VB.OptionButton  optanaly
    BackColor  =  &H00AE9975&
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Caption   =   "เปรียบเทียบ"
    BeginProperty  Font
      Name   =   "MS Sans Serif"
      Size   =   8.25
      Charset    =   222
      Weight   =   700
      Underline   =   0
      Italic   =   0
      Strikethrough   =   0
    EndProperty
    Height    =   375
    Left   =   120
    TabIndex   =   24
    Top   =   1440
    Width   =   1215
  End
  Begin VB.OptionButton   optdata
    BackColor   =   &H00AE9975&
    Caption   =   "ฐานข้อมูล"
    BeginProperty Font
      Name   =   "MS Sans Serif"
      Size   =   8.25
      Charset   =   222
      Weight   =   700
      Underline   =   0
        Italic   =   0
      Strikethrough   =   0
    EndProperty
      Height   =   375
      Left   =   120
      TabIndex   =   23
      Top   =   960
      Width   =   1095
    End
    Begin VB.Option optauto
      BackColor   = &H00AE9975&
      Caption   =   "อัตโนมัติ"
      BeginProperty Font
        Name   =   "MS Sans Serif"
        Size   =   8.25
        Charset   =   222
        Weight   =   700
        Underline   =   0
        Italic   = 0
        Strikethrough   =   0
      EndProperty
      Height   =   255
      Left   =   120
      TabIndex   =   22
      Top   =   480
      Width   =   1215
    End
    Begin VB.CommandButton   cmdnom
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
     BackColor  =  & H00AA9F42&
     Caption  =  "ยกเลิก"
     Height  =  495
     Left  =  1320
     Style  =  1
     TabIndex  =  5
     Top  =  1440
     Width  =  855
   End
  End
End


Dim filename As String
Dim filename1 As String
Dim nametim1 As String
Dim nametim As String
Dim k
Dim a 'As String
Dim r 'As Integer
Dim d1 'As Integer
Dim msc 'As Double
Dim X As Integer
Dim X2 As Integer
Dim sample(1 To 8000) As String
Dim samdata(1 To 8000) As Integer
Dim gbyte(4) As Integer

Private Sub cmdauto_Click()
'MMControl1.Command = "record"
'MMControl1.TimeFormat = mciFormatMilliseconds 'msec
'MMControl1.Wait = False
'MMControl1.Notify = True
'MMControl1.From = 0   ' 0 sec
'MMControl1.To = 1000                ' 1.2 sec
'MMControl1.Command = "record"
'Label3 = MMControl1.filename & "    (" & CDbl(MMControl1.Length /
1000) _
'                    & "    sec. )"


    MousePointer = 11
    MMControl1.Notify = False
    MMControl1.Wait = True
    MMControl1.filename = filename
    MMControl1.Command = "save"
    MMControl1.Command = "close"
    'MMControl1.Command = "open"
xx = FreeFile
Open filename For Binary As xx
For i = 1 To 46
        a = Input$(1, #xx)
        info(i) = Asc(a)
Next i
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
numdata = info(43) * 1 + info(44) * 16 ^ 2 + info(45) * 16 ^ 4 +
info(46) * 16 ^ 6
numdata = numdata / 2
max = 0

For i = 1 To numdata
    a = Input$(1, 1)
    a = Asc(a)
    q = Input$(1, 1)
    q = Asc(q) * 16 ^ 2
    real(i) = a + q
    imag(i) = 0
Next i
Close           '************* close all

        If optblack.Value = True Then
                For i = 1 To numdata
                        w = 0.42 + 0.5 * (Cos(2 * p * i /
numdata)) + 0.08 * (Cos(2 * p * i / numdata))
                        real(i) = real(i) * w
                Next i
    End If
     If opthan.Value = True Then
                For i = 1 To numdata
                    w = 0.5 * (1 + Cos(2 * p * i / numdata))
                        real(i) = real(i) * w
                Next i
    End If
        If optham.Value = True Then
                For i = 1 To numdata
                    w = 0.54 + 0.46 * Cos(2 * p * i / numdata)
                        real(i) = real(i) * w
                Next i
      Else
                w = 1
   End If
        n = 0
        n0 = 1
        n3 = 0
        v = 0
fft1024order:       ' fastfourier 2048 order
        n = 2 ^ m + n
        n1 = n - 1
        n2 = (2 ^ m) / 2
        fft         'call fft function
        n0 = n + 1
        n3 = n
        n4 = numdata - n
If n4 >= 1024 Then GoTo fft1024order
        '************************************* save fft
s = InStr(filename, ".")     ' find "."
newname1 = Left$(filename, s - 1) ' cut filename except "."
newname = newname1 & ".frq"                    '   ".fft"
File1 = FreeFile
Open newname For Output As #File1
    For i = 1 To v - 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            Print #File1, ans(i + 1)
            ans(i) = 0
    Next i
Close #File1
Close
cmdauto.Enabled = False
MousePointer = 0
wavin.Hide
auto.Show

End Sub

Private Sub cmdfft_Click()
MousePointer = 11
xx = FreeFile
Open filename For Binary As xx
For i = 1 To 46
        a = Input$(1, #xx)
        info(i) = Asc(a)
Next i
numdata = info(43) * 1 + info(44) * 16 ^ 2 + info(45) * 16 ^ 4 +
info(46) * 16 ^ 6
numdata = numdata / 2
max = 0

For i = 1 To numdata
    a = Input$(1, 1)
    a = Asc(a)
    q = Input$(1, 1)
    q = Asc(q) * 16 ^ 2
    real(i) = a + q
    imag(i) = 0
Next i
Close           '************ close all

        If optblack.Value = True Then
                For i = 1 To numdata
                        w = 0.42 + 0.5 * (Cos(2 * p * i /
numdata)) + 0.08 * (Cos(2 * p * i / numdata))
                        real(i) = real(i) * w
                Next i
    End If
     If opthan.Value = True Then
                For i = 1 To numdata
                     w = 0.5 * (1 + Cos(2 * p * i / numdata))
                        real(i) = real(i) * w
                Next i
    End If
        If optham.Value = True Then
                For i = 1 To numdata
                     w = 0.54 + 0.46 * Cos(2 * p * i / numdata)
                        real(i) = real(i) * w
                Next i
        Else
                w = 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 End If
        n = 0
        n0 = 1
        n3 = 0
        v = 0
fft1024order:        ' fastfourier 2048 order
        n = 2 ^ m + n
        n1 = n - 1
        n2 = (2 ^ m) / 2
        fft          'call fft function
        n0 = n + 1
        n3 = n
        n4 = numdata - n
If n4 >= 1024 Then GoTo fft1024order
      '  If n >= 512 Then
 '               m = m - 1
 '               n = (2 ^ m) + n
'                n1 = n - 1
 '               n2 = (2 ^ m) / 4
'                fft      'call fftfunc
'         End If
'Else
 '       GoTo fft1024order
'End If
    wavin.Hide
  MousePointer = 0
  cmdsavefft.Enabled = True
End Sub


Private Sub cmdnew_Click()
name2 = InputBox$("pleasetype name of file", "Name of file","0")
filename = name1 & name2 & ".wav"
f = FreeFile
Open filename For Output As #f
d$ = Chr$(&H52)+ Chr$(&H49)+ Chr$(&H46)+ Chr$(&H46)+ Chr$(&H68)
+ Chr$(&H30) + Chr$(0) + Chr$(0) _
+ Chr$(&H57) + Chr$(&H41) + Chr$(&H56) + Chr$(&H45) + Chr$
(&H66) + Chr$(&H6D) + Chr$(&H74) + Chr$(&H20) + _
Chr$(&H12)+ Chr$(&H0)+Chr$(&H0)+ Chr$(&H0)+ Chr$(&H1)+ Chr$(&H0)
+ Chr$(&H1)+ Chr$(&H0)+ _
Chr$(&H40)+ Chr$(&H1F)+ Chr$(&H0)+ Chr$(&H0)+ Chr$(&H80)+ Chr$
(&H3E)+ Chr$(&H0)+ Chr$(&H0) + _
Chr$(&H2)+ Chr$(&H0)+ Chr$(&H10)+ Chr$(&H0)+Chr$(&H0)+ Chr$(&H0)
 + Chr$(&H66)+ Chr$(&H61)+ _
Chr$(&H63)+ Chr$(&H74)+ Chr$(&H4)+ Chr$(&H0)+ Chr$(&H0) + Chr$
(&H0)+ Chr$(&HA0)+ Chr$(&H28) + _
Chr$(&H0)+ Chr$(&H0)+ Chr$(&H64)+ Chr$(&H61) + Chr$(&H74) + Chr$
(&H61) + Chr$(&H0)+ Cr$(&H0) + _
Chr$(&H0)+ Chr$(&H0)
Print #f, d$
Close #f
If Err = cdlCancel Then Exit Sub
If Not MMControl1.Mode = mciModeNotOpen Then
MMControl1.Command = "close"
End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MMControl1.Shareable = False
MMControl1.DeviceType = "waveaudio"
MMControl1.Wait = True
MMControl1.UpdateInterval = 1500  '1000
MMControl1.filename = filename          'CommonDialog1.filename
MMControl1.Command = "open"
cmdnew.Enabled = False
optrec.Enabled = False
optblack.Enabled = False
optham.Enabled = False
opthan.Enabled = False
End Sub

Private Sub cmdnom_Click()
optauto.Enabled = True
optdata.Enabled = True
optanaly.Enabled = True
optrec.Value = False
optblack.Value = False
optham.Value = False
opthan.Value = False
optrec.Enabled = False
optblack.Enabled = False
optham.Enabled = False
opthan.Enabled = False
optanaly.Value = False
optdata.Value = False
optauto.Value = False

End Sub


Private Sub cmdopeng_Click()
MMControl1.Command = "close"
On Error Resume Next
CommonDialog1.DialogTitle = "open"
CommonDialog1.Filter = "waveform file (*.wav)|*.wav"    '| fft
files (*.*)|*.*"
CommonDialog1.FilterIndex = 1
CommonDialog1.ShowOpen
CommonDialog1.Flags = &H800
filename = CommonDialog1.filename
If Err = cdlCancel Then Exit Sub
If Not MMControl1.Mode = mciModeNotOpen Then
MMControl1.Command = "close"
End If
MMControl1.DeviceType = "waveaudio"
MMControl1.Wait = True
MMControl1.UpdateInterval = 1000
MMControl1.filename = CommonDialog1.filename
MMControl1.Command = "open"
msc = (CDbl(MMControl1.Length) / 1000)
Label3 = MMControl1.filename & Format$(msc, "0.00") & "  sec"
Optfrc.Enabled = True
Opttime.Enabled = True
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Label1.Caption = filename
   cmdfft.Enabled = True
End Sub

Private Sub cmdopens_Click()
On Error Resume Next
CommonDialog1.DialogTitle = "open"
CommonDialog1.Filter = "waveform file (*.wav)|*.wav| fft files
(*.*)|*.*"
CommonDialog1.FilterIndex = 1
CommonDialog1.ShowOpen
CommonDialog1.Flags = &H800
filename = CommonDialog1.filename
If Err = cdlCancel Then Exit Sub
If Not MMControl1.Mode = mciModeNotOpen Then
MMControl1.Command = "close"
End If
MMControl1.DeviceType = "waveaudio"
MMControl1.Wait = True
MMControl1.UpdateInterval = 1000
MMControl1.filename = CommonDialog1.filename
MMControl1.Command = "open"
msc = (CDbl(MMControl1.Length) / 1000)
Label3 = MMControl1.filename & Format$(msc, "0.00") & "  sec"
Optfrc.Enabled = True
Opttime.Enabled = True
cmdfft.Enabled = True
End Sub

Private Sub cmdsavefft_Click()
MousePointer = 11
s = InStr(filename, ".")      ' find "."
newname1 = Left$(filename, s - 1) ' cut filename except "."
newname = newname1 & ".frq"                '   ".fft"
File1 = FreeFile
Open newname For Output As #File1
    For i = 1 To v - 1
            Print #File1, ans(i + 1)
            ans(i) = 0
    Next i
Close #File1
MousePointer = 0
cmdsavefft.Enabled = False
End Sub

Private Sub cmdsaves_Click()

MousePointer = 11
MMControl1.Notify = False
MMControl1.Wait = True
MMControl1.filename = filename
MMControl1.Command = "save"
MMControl1.Command = "close"
MMControl1.Command = "open"
'Label3 = MMControl1.filename & "    ( " & X1 & "  )  byte"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MousePointer = 0
'Label3 = MMControl1.filename & Format$(msc, "0.00") & "  sec"
'*****************************************
cmdsaves.Enabled = False
cmdfft.Enabled = True
cmdtim.Enabled = True
'Optfrc.Enabled = False
'Opttime.Enabled = False
cmdshow.Enabled = False
Label1.Caption = filename
Optfrc.Enabled = True
Opttime.Enabled = True

End Sub

Private Sub cmdshow_Click()
wavin.Hide
MousePointer = 11
graph.Show
MousePointer = 0
End Sub



Private Sub cmdtim_Click()

filename = filename
MousePointer = 11
ti = FreeFile
Open filename For Binary As #ti
For i = 1 To 46
        a = Input$(1, #ti)
        info(i) = Asc(a)
Next i
numdata = info(43) * 1 + info(44) * 16 ^ 2 + info(45) * 16 ^ 4 +
info(46) * 16 ^ 6
ReDim g(numdata) As String
For i = 1 To numdata
     a = Input$(1, #ti)
    'info(i) = Asc(a)
    g(i) = a
Next i
Close #ti

t$ = Chr$(&HFF)+ Chr$(&H7E)+ Chr$(&H0)+ Chr$(&H4)+ Chr$(&H40) +
Chr$(&H1F) + Chr$(0) + Chr$(0) _
+ Chr$(&H0)+ Chr$(&H40)+ Chr$(&H0)+ Chr$(&H0)+ Chr$(&H0)+ Chr$
(&H0) + Chr$(&H0) + Chr$(&H0) + _
Chr$(&H0)+ Chr$(&H0)+ Chr$(&H0)+ Chr$(&H0)

s = InStr(filename, ".")     ' find "."
newname1 = Left$(filename, s - 1) ' cut filename except "."
newname = newname1 & ".tim"
'File1 = FreeFile
tt = FreeFile
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Open newname For Output As #tt
    Print #tt, t$
Close #tt
ttt = FreeFile
Open newname For Binary As #ttt
    d = 21                          '********** after hdr file
    For i = 1 To numdata
        Put #ttt, d, g(i)
            'Print FreeFile, info(i)
            d = d + 1
    Next i
Close #ttt
MousePointer = 0
End Sub



Private Sub Command9_Click()
Unload wavin

End Sub

Private Sub Form_Load()
'm = 10
cmdauto.Enabled = False
cmdnew.Enabled = False
cmdsaves.Enabled = False
cmdshow.Enabled = False
cmdsavefft.Enabled = False
cmdtim.Enabled = False
'cmdcomp.Enabled = False
opthan.Enabled = False
optham.Enabled = False
optblack.Enabled = False
optrec.Enabled = False
Optfrc.Enabled = False
Opttime.Enabled = False
optdata.Enabled = False
cmdfft.Enabled = False
'HScroll1.Visible = False
cmdfft.Enabled = True              ' False
End Sub

Private Sub MMControl1_PlayClick(Cancel As Integer)

MMControl1.From = 0
Label3 = MMControl1.filename & "(" & Format(CDbl
(MMControl1.Length / 1000), "0.000")
                    & "  sec. )" & "( " & CInt(CDbl
(MMControl1.Length / 1000) * 8000 * 2) & "  byte)"
cmdsaves.Enabled = True

End Sub

Private Sub MMControl1_RecordClick(Cancel As Integer)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MMControl1.TimeFormat = mciFormatMilliseconds 'msec
MMControl1.Wait = False
MMControl1.Notify = True
MMControl1.From = 0    ' 0 sec
MMControl1.To = 1000              ' 1.2 sec
Label3 = MMControl1.filename & "  (" & CDbl(MMControl1.Length /
1000) _
                    & "    sec. )"
If optauto.Value = True Then
    cmdauto.Enabled = True
    optauto.Value = False
End If
 '
End Sub

Private Sub optanaly_Click()
name0 = "c:\wav\analy\"
optrec.Enabled = True
optblack.Enabled = True
optham.Enabled = True
opthan.Enabled = True
End Sub

Private Sub optauto_Click()
filename = "c:\wav\auto.wav"
f = FreeFile
Open filename For Output As #f
d$ = Chr$(&H52) + Chr$(&H49) + Chr$(&H46) + Chr$(&H46) + Chr$
(&H68) + Chr$(&H30) + Chr$(0) + Chr$(0) _
+ Chr$(&H57) + Chr$(&H41)+ Chr$(&H56)+ Chr$(&H45)+ Chr$(&H66) +
Chr$(&H6D) + Chr$(&H74) + Chr$(&H20) + _
Chr$(&H12) + Chr$(&H0) + Chr$(&H0)+ Chr$(&H0)+ Chr$(&H1) + Chr$
(&H0) + Chr$(&H1) + Chr$(&H0) + _
Chr$(&H40) + Chr$(&H1F) + Chr$(&H0) + Chr$(&H0) + Chr$(&H80) +
Chr$(&H3E) + Chr$(&H0) + Chr$(&H0) + _
Chr$(&H2) + Chr$(&H0) + Chr$(&H10)+ Chr$(&H0)+ Chr$(&H0) + Chr$
(&H0) + Chr$(&H66) + Chr$(&H61) + _
Chr$(&H63) + Chr$(&H74) + Chr$(&H4)+ Chr$(&H0)+ Chr$(&H0)+ Chr$
(&H0) + Chr$(&HA0) + Chr$(&H28) + _
Chr$(&H0) + Chr$(&H0) + Chr$(&H64) + Chr$(&H61) + Chr$(&H74) +
Chr$(&H61) + Chr$(&H0) + Chr$(&H0) + _
Chr$(&H0) + Chr$(&H0)
Print #f, d$
Close #f
If Err = cdlCancel Then Exit Sub
If Not MMControl1.Mode = mciModeNotOpen Then
MMControl1.Command = "close"
End If
MMControl1.Shareable = False
MMControl1.DeviceType = "waveaudio"
MMControl1.Wait = True
MMControl1.UpdateInterval = 1500  '1000
MMControl1.filename = filename        'CommonDialog1.filename
MMControl1.Command = "open"
optanaly.Enabled = False
cmdnew.Enabled = False
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
cmdopens.Enabled = False
cmdopeng.Enabled = False
cmdfft.Enabled = False
optrec.Enabled = False
optblack.Enabled = False
optham.Enabled = False
opthan.Enabled = False
End Sub

Private Sub optblack_Click()
name1 = name0 + "black\"
optauto.Enabled = False
optanaly.Enabled = False
optdata.Enabled = False
cmdnew.Enabled = True
End Sub

Private Sub optdata_Click()
name0 = "c:\wav\database\"
optrec.Enabled = True
optblack.Enabled = True
optham.Enabled = True
opthan.Enabled = True
filename2 = name1
End Sub

Private Sub optfrc_Click()
'graph.HScroll1.Visible = False
rf = 1
cmdshow.Enabled = True
Label1.Caption = filename
End Sub

Private Sub optham_Click()
name1 = name0 & "ham\"
optauto.Enabled = False
optanaly.Enabled = False
optdata.Enabled = False
cmdnew.Enabled = True
End Sub

Private Sub opthan_Click()
name1 = name0 & "hann\"
optauto.Enabled = False
optanaly.Enabled = False
optdata.Enabled = False
cmdnew.Enabled = True
End Sub

Private Sub optrec_Click()
name1 = name0 & "rec\"
optauto.Enabled = False
optanaly.Enabled = False
optdata.Enabled = False
cmdnew.Enabled = True
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub

Private Sub Opttime_Click()
cmdshow.Enabled = True
rf = 2
'graph.HScroll1.Enabled = True
Label1.Caption = filename
End Sub
```

รูปที่ ก.3 โปรแกรมบันทึกเสียง

```
VERSION 5.00
Object  =  "{FE0065C0-1B7B-11CF-9D53-00AA003C9CB6}#1.0#0;
"COMCT232.OCX"
Begin VB.From compare
    BackColor  =  &H009EA435&
    Caption  =  "เปรียบเทียบ"
    Clientheight  =  5595
    ClientLeft  =  1575
    ClientTop = 2220
    Clientwidth = 9405
    LinkTopic  =  "Form2"
    ScaleHeight  =  5595
    ScaleWidth  =  9405
    Begin ComCtl2.Animation Animation1
        Height  =  4695
        Left  =  4920
        TabIndex  =  14
        Top  =  840
        Width  =  4335
        _ExtentX  =  7646
        _ExtentY  =  8281
        _Version  =  387680
        BackColor =  16776960
        FullWidth  =  289
        FullHeight  =  313
    End
    Begin VB.OptionButton Option4
        BackColor  =  &H009EA435&
        Caption  =  "แบล็กแมน"
        Height  =  255
        Left  =  3600
        TabIndex  =  13
        Top  =  240
        Width  =  1095
   End
   Begin VB.OptionButton Option3
        BackColor  =  &H009EA435&
        Caption  =  "เรกแทน"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Height  =  255
        Left  =  2400
        TabIndex  =  12
        Top  =  240
        Width  =  1215
    End
    Begin VB.OptionButton Option2
        BackColor  =  &H009EA435&
        Caption  =  "ฮาร์น"
        Height  =  255
        Left  =  1440
        TabIndex  =  11
        Top  =  240
        Width  =  975
    End
    Begin VB.OptionButton Option1
        BackColor  =  &H009EA435&
        Caption  =  "แฮมมิ่ง"
        Height  =  255
        Left  =  360
        TabIndex  =  10
        Top  =  240
        Width  =  1095
    End
    Begin VB.Frame Frame1
        BackColor  =  &H00AE9975&
        Height  =  4815
        Left  =  0
        TabIndex  =  0
        Top  =  720
        Width  =  4815
        Begin VB.TextBox Text2
            BackColor  =  &H00FFFF80&
            Height  =  375
            Left  =  960
            TabIndex  =  7
            Text  =  "Text2"
            Top  =  4200
            Width  =  1095
        End
        Begin VB.TextBox Text1
            BackColor  =  &H00FFFF80&
            Height  =  375
            Left  =  960
            TabIndex  =  6
            Text  =  "Text1"
            Top  =  3600
            Width  =  1095
        End
        Begin VB.CommandButton cmdcomp
            BackColor  =  &H00AA942&
            Caption  =  "เปรียบเทียบ"
            Default  =  -1  'True
            Height  =  495
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      Left  =  2280
      MaskColor  =  &H00AA9F42&
      Style  =  1 'Graphical
      TabIndex  =  5
      Top  =  3840
      Width  =  975
End
Begin VB.CommandButton cmdno
    BackColor  =  &H000000FF&
    Caption  =  "ออก"
    Height  =  495
    Left  =  3600
    Style  =  1 'Graphical
    TabIndex  =  4
    Top  =  3840
   Width  =  855
End
Begin VB.ListBox List1
    BackColor  =  &H00FFFF80&
    Height  =  2790
    Left  =  3480
    TabIndex  =  3
    Top  =  240
    Width  =  1215
End
Begin VB.ListBox List2
    BackColor  =  &H00FFFF80&
    Height  =  2820
    Left  =  1800
    Pattern  =  "*.frq"
    TabIndex  =  2
    Top  =  240
    Width  =  1095
End
Begin VB.ListBox List1
    BackColor  =  &H00FFFF80&
    Height  =  2820
    Left  =  240
    Pattern  =  "*.frq"
    TabIndex  =  1
    Top  =  240
    Width  =  1095
End
Begin VB.Label Label2
    BackColor  =  &H00AE9975&
    Caption  =  "SNR"
    Height  =  225
    Left  =  360
    TabIndex  =  9
    Top  =  4200
    Width  =  615
End
Begin VB.Label Label1
    BackColor  =  &H00AE9975&
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Caption   =   "ตรงกัน"
             Height   =   375
             Left   =   240
             TabIndex   =   8
             Top   =   3600
             Width   =   855
         End
    End
End

Dim h(128) As Double
Dim z(128) As Double
Dim re1, re2, re3, re4, re5, re6, re7, maxi As Double
Dim xn, xn1, dis(), mypath, filename1 As String
Dim SNR, frame  As Double
Dim num, numfile As Integer

Private Sub cmdcomp_Click()
'
MousePointer = 11
numfile = 10                          'File2.ListCount
ReDim dis(numfile)
    For i = 0 To numfile - 1
        dis(i) = File2.List(i)
        List1.Clear
    Next i
maxi = -20
re7 = 0
For j = 0 To numfile - 1
    xn1 = "c:\wav\database\" & mypath & dis(j)
xnf = FreeFile
Open xn For Input As #xnf
xn1f = FreeFile
Open xn1 For Input As #xn1f
num = 0
frame = 0
SNR = 0
i = 129
Do While 512 - num >= 128
    For i = 1 To 128
        num = num + 1
        If EOF(xnf) = True Then Exit Do
          If EOF(xn1f) = True Then Exit Do
        Input #xnf, h(i)
        Input #xn1f, z(i)
    Next i
  frame = frame + 1
  re5 = re6 = 0
    For i = 1 To 128
        re2 = h(i) * h(i)             ' re1 * re1
        re4 = (h(i) - z(i)) ^ 2       '(re1 - re3) ^ 2
        re5 = re5 + re2
        re6 = re6 + re4
    Next i
    re5 = re5 / re6
    re6 = 10 * (Log(re5) / Log(10))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    SNR = SNR + re6
Loop
    re4 = SNR / frame
    List1.List(j) = Format(re4, "0.000000")
    If maxi < re4 Then
        maxi = re4
        re7 = j
        Text1.Text = j
        Text2.Text = maxi
    End If
    Close
Next j
        MousePointer = 0
        cmdcomp.Enabled = False
        If re7 = 0 Then
            filename1 = "c:\thaispeech\animation\0.avi"
       ElseIf re7 = 1 Then
            filename1 = "c:\thaispeech\animation\1.avi"
        ElseIf re7 = 2 Then
            filename1 = "c:\thaispeech\animation\2.avi"
       ElseIf re7 = 3 Then
            filename1 = "c:\thaispeech\animation\3.avi"
       ElseIf re7 = 4 Then
            filename1 = "c:\thaispeech\animation\4.avi"
        ElseIf re7 = 5 Then
            filename1 = "c:\thaispeech\animation\5.avi"
       ElseIf re7 = 6 Then
            filename1 = "c:\thaispeech\animation\6.avi"
       ElseIf re7 = 7 Then
            filename1 = "c:\thaispeech\animation\7.avi"
       ElseIf re7 = 8 Then
            filename1 = "c:\thaispeech\animation\8.avi"
        ElseIf re7 = 9 Then
            filename1 = "c:\thaispeech\animation\9.avi"
        End If
        Animation1.Open filename1
        Animation1.Play

End Sub

Private Sub cmdno_Click()
Animation1.Stop
compare.Hide
End Sub

Private Sub File1_Click()
Animation1.Stop
cmdcomp.Enabled = True
xn = File1.Path & "\" & File1.filename
filename = File1.Path & "\" & File1.filename
End Sub

Private Sub File2_Click()
xn1 = File2.Path & "\" & File2.filename
filename = File2.Path & "\" & File2.filename
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Form_Load()
cmdcomp.Enabled = False
Option1.Value = True
End Sub

Private Sub Option1_Click()
File2.Path = "c:\wav\database\ham"
File1.Path = "c:\wav\analy\ham"
mypath = "ham\"
End Sub

Private Sub Option2_Click()
File2.Path = "c:\wav\database\hann"
File1.Path = "c:\wav\analy\hann"
mypath = "hann\"
End Sub

Private Sub Option3_Click()
File2.Path = "c:\wav\database\rec"
File1.Path = "c:\wav\analy\rec"
mypath = "rec\"
End Sub

Private Sub Option4_Click()
File2.Path = "c:\wav\database\black"
File1.Path = "c:\wav\analy\black"
mypath = "black\"
End Sub
```

รูปที่ ก.4 โปรแกรมเปรียบเทียบ

```
VERSION 5.00
Begin VB.From parameter
  BackColor   =   &H00B39539&
  BorderStyle   =   5 'Sizable ToolWindow
  Caption   =   "พารามิเตอร์"
  ClientHeight   =   1980
  ClientLeft   =   4305
  ClientTop   =   3705
  ClientWidth   =   3585
  LinkTopic   =   "Form2"
  MaxButton   =   0 'False
  MinButton   =   0 'False
  ScaleHeight   =   1980
  ScaleWidth   =   3585
  ShowInTakbar   =   0 'False
  Begin VB.CommandButton cmddef
     BackColor   =   &H00C9CC57&
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Caption   =   "ค่าเริ่มต้น"
    Height    =   495
    Left      =   2400
    Style     =   1 'Graphical
    TabIndex  =   5
    Top       =   1440
    Width     =   795
  End
  Begin VB.CommandButton cmdp
    BackColor =   &H00C9CC57&
    Caption   =   "ตกลง"
    Default   =   -1 'True
    Height    =   495
    Left      =   480
    Style     =   1 'Graphical
    TabIndex  =   4
    Top       =   1440
    Width     =   975
  End
  Begin VB.TextBox Text2
    BackColor =   &H00FFFF00&
    Height    =   375
    Left      =   1560
    TabIndex  =   3
    Text      =   "1"
    Top       =   840
    Width     =   1095
  End
  Begin VB.TextBox Text1
    BackColor =   &H00FFFF00&
    Height    =   375
    Left      =   1560
    TabIndex  =   2
    Text      =   "1"
    Top       =   240
    Width     =   1095
  End
  Begin VB.Label Label2
    AutoSize  =   -1 'True
    BackColor =   &H00B39539&
    Caption   =   "ค่าแกนนอน"
    BeginProperty Font
      Name    =   "MS Sans Serif"
      Size    =   12
      Charset =   222
      Weight  =   700
      Underline   =   0 'False
      Italic  =   0 'False
      Strikethrough   =   0 'False
      EndProperty
      Height  =   300
      Left    =   120
      TabIndex    =   1
      Top     =   840
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Width   =   1185
    End
    Begin VB.Label Label1
      AutoSize   =   -1 'True
      BackColor   =   &H00B39539&
      Caption   =   "แอมปลิจูด"
      BeginProperty Font
      Name   =   "MS Sans Serif"
      Size   =   12
      Charset   =   222
      Weight   =   700
      Underline   =   0 'False
      Italic   =   0 'False
      Strikethrough   =   0 'False
      EndProperty
      Height   =   300
      Left   =   120
      TabIndex   =   0
      Top   =   240
      Width   =   1065
  End
End

Private Sub cmddef_Click()
If rf = 2 Then
    Text1.Text = 32768
    Text2.Text = 8000
Else
    Text1.Text = 1000000
    Text2.Text = 512
End If
    amp = Val(Text1.Text)
    za = Val(Text2.Text)
    amp1 = Val(Text1.Text)
    za1 = Val(Text2.Text)

End Sub
Private Sub cmdp_Click()
amp = Val(Text1.Text)
za = Val(Text2.Text)
amp1 = Val(Text1.Text)
za1 = Val(Text2.Text)
'graph.Label4.Caption = amp
'graph.Label5.Caption = "-" & amp
'If rf = 2 Then
    'graph.Label2.Caption = Format((za/2)/8000, "0.000")& " sec"
     'graph.Label3.Caption = Format(za/8000,"0.000") & " sec"
'End If
    parameter.Hide
End Sub

Private Sub Form_Load()
If rf = 1 Then
Text1.Text = amp1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Else
Text1.Text = amp
Text2.Text = za
End If

End Sub

Private Sub Text2_Change()
za = Val(Text2.Text)
End Sub
```

รูปที่ ก.5 โปรแกรมพารามิเตอร์

```
VERSTION 5.00
Begin VB.Form graph
  BackColor   =  &H00B39539&
  BorderStyle   =  1  'Fixed Single
  Caption  =  "แสดงกราฟ"
  ClientHeight  =  6690
  ClientLeft  =  1680
  ClientTop  =  2550
  ClientWidth  =  9660
  LinkTopic  =  "Form2"
  MaxButton  =  0  'False
  MinButton  =  0  'False
  ScaleHeight  =  6690
  ScaleWidth  =  9660
  Begin VB.CommandButton Command1
  BackColor  =  &H00AA9F42&
  Caption  =  "ยกเลิก"
  Height  =  495
  Left  =  7800
  Style  =  1  'Graphical
  TabIndex       =  4
  Top  =  5880
  Width  =  975
End
Begin VB.CommandButtom Cmd1
  BackColor  =  &H00AA9F42&
  Caption  =  "แสดงกราฟ"
  Height  =  495
  Left  =  6600
  Style  =  1  'Graphical
  TabIndex =  3
  Top  =  5880
  Width  =  975
End
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Begin VB.HscrollBar Hscroll1
  Height  =  225
  LargeChange  =  20
  Left  =  840
  SmallChange  =  10
  TabIndex  =  1
  Top  =  5400
  Width  =  8415
End
Begin VB.PictureBox p1
  BackColer  = &H00FFFF00&
  Height  =  4935
  Left  =  840
  ScaleHeight  =  4875
  ScaleWidth  =  8355
  TabIndex  =  0
  Top  =  120
  Width  =  8415
End
Begin VB.Label Label5
  AutoSize  =  -1 'True
  BackColor  =  &H00B39539&
  Height  =  210
  Left  =  120
  TabIndex  =  9
  Top  =  4800
  Width  =  45
End
Begin VB.Label Label4
  AutoSize  =  -1 'True
  BackColor  =  &H00B39539&
  Height  =  210
  Left  =  120
  TabIndex  =  8
  Top  =  120
  Width  =  45
End
Begin VB.Label Label3
  AutoSize  =  -1 'True
  BackColor  =  &H00B39539&
  Height  =  210
  Left  = 8880
  TabIndex  =  7
  Top  =  5160
  Width  =  45
  End
  Begin VB.Label Label2
  AutoSize  =  -1 'True
  BackColor  =  &H00B39539&
  Height  =  210
  Left  =  4800
  TabIndex  =  6
  Top  =  5160
  Width  =  45
End
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Begin VB.Label Label1
  AutoSize   =  -1 'True
  BackColor   =  &H00B39539&
  Height   =  210
  Left   =  840
  TabIndex   =  5
  Top   =  5160
  Width   =  45
End
Begin VB.Label lbl1
  BackColor   =  &H00B39539&
  Height   =  255
  Left   =  1800
  TabIndex   =  2
  Top   =  6000
  Width   =  3975
End
Begin VB,Menu o
  Caption   =  "ตัวเลือก"
  Begin VB.Menu pa
        Caption   =  "พารามิเตอร์"
End
Begin VB.Menu qw1
       Caption   =  "_"
End
Begin VB.Menu disp
  Caption   =  "แสดงผล"
Begin VB.Menu ms
  Caption   =  "แสดงตาราง"
End
Begin VB.Menu qaq
  Caption   =  "_"
End
Begin VB.Menu mhg
  Caption   =  "ซ่อนตาราง"
End
Begin VB.Menu q12
  Caption   =  "_"
End
Begin VB.Menu mplot
  Caption   =  "ชนิดของกราฟ"
  Begin VB,Menu mcon
  Caption   =  "ต่อเนื่อง"
End
Begin VB,Menu kl
  Caption   =  "_"
  Index   =  2
End
Begin VB,Menu mdisc
  Caption   =  "ไม่ต่อเนื่อง"
End
Begin VB,Menu ppp
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Caption  =    "_"
End
Begin VB,Menu mbot
  Caption  =  "ทั้งคู่"
End
Begn VB.Menu xc
  Caption  =  "_"
End
Begin VB.Menu x3d
  Caption  =  "3D"
     End
   End
End

Dim filename As String
Dim filename1 As String
Dim p2 As Integer
Dim a As String
Dim i As Integer
Dim numdata As Integer
Dim startx, plt As Integer
Dim starty As Integer
Dim endx As Integer
Dim endy, stepx, stepy, widt, apm As Integer
Dim max
'Dim ans(1 To 18000) 'As Double
Dim r As Integer
Dim d1 As Integer
Dim ymax As Integer
Dim msc As Double
Dim X As Integer
Dim sample(1 To 8000) As String
Dim samdata(1 To 8000) As Double
Dim gbyte(4) As Integer

Private Sub as_Click()
rf = 1
End Sub

Private Sub cmd1_Click()
    p1.BackColor = &HFFFF00
    p1.Cls
If sg = 1 Then
    p1.ScaleMode = 3
    p1.DrawStyle = 0
    startx = p1.ScaleLeft
    endx = p1.ScaleWidth - p1.ScaleLeft
    starty = p1.ScaleTop
    endy = p1.ScaleHeight - p1.ScaleTop
For i = startx To endx Step p1.ScaleWidth / 18
    p1.Line (i, starty)-(i, endy), QBColor(10)
Next i
For i = starty To endy Step p1.ScaleHeight / 10
    p1.Line (startx, i)-(endx, i), QBColor(10)
    Next I
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
     graph.p1.DrawStyle = 2
     graph.p1.Line (startx, p1.ScaleHeight / 2)-(endx,
p1.ScaleHeight / 2), QBColor(1)
     p1.Line(p1.ScaleWidth / 2,starty)-(p1.ScaleWidth/2, endy),
QBColor(1)
End If

If rf = 1 Then
        Label1.Caption = "0 (Hz)"
        Label3.Caption = Int(za1 * 7.8127) & " (Hz)"
        Label2.Caption = Int(Val(Label3.Caption) / 2) & " (Hz)"
        Label4.Caption = amp1
        Label5.Caption = "0"
        'disp.Enabled = False
If plt = 1 Then
        p1.ScaleMode = 3
        p1.DrawStyle = 0
        ymax = p1.ScaleHeight - p1.ScaleTop
        p1.PSet (0, p1.ScaleHeight)
  For i = 1 To v
        p1.Line -(i *((p1.ScaleWidth)/za1),(p1.ScaleHeight)-(ans
(i) / amp1)),QBColor(1)
              'p1.Line(i*((p1.ScaleWidth)/512),ymax - 50)-(i *
((p1.ScaleWidth)/512),(ymax -50)-ans(i)/2)
        Next i
        graph.MousePointer = 0
    End If
    If plt = 2 Then
        p1.ScaleMode = 3
        p1.DrawStyle = 0
        ymax = p1.ScaleHeight - p1.ScaleTop
        p1.PSet (0, p1.ScaleHeight)
        For i = 1 To v
              'p1.Line -(i*((p1.ScaleWidth)/512),(ymax-50)-
ans(i) / 2), QBColor(1)
              p1.Line (i *((p1.ScaleWidth)/za1),ymax)-(i *
((p1.ScaleWidth) / za1), (p1.ScaleHeight) - (ans(i) / amp1)),
QBColor(12)
        Next i
        graph.MousePointer = 0
    End If
     If plt = 3 Then
        p1.ScaleMode = 3
        p1.DrawStyle = 0
        ymax = p1.ScaleHeight - p1.ScaleTop
         p1.PSet (0, p1.ScaleHeight)
        For i = 1 To v
              'p1.Line -(i * ((p1.ScaleWidth) / 512), (ymax -
50) - ans(i) / 2), QBColor(12)
             p1.Line -(i * ((p1.ScaleWidth) / za1),
(p1.ScaleHeight) - (ans(i) / amp1)), QBColor(1)
              p1.Line (i * ((p1.ScaleWidth) / za1), ymax)-(i *
((p1.ScaleWidth) / za1), (p1.ScaleHeight) - (ans(i) / amp1)),
QBColor(12)
        Next I
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
graph.MousePointer = 0
    End If

        '************************************ time domain
Else
            Label1.Caption = "0 sec"
            graph.Label2.Caption = Format((za / 2) / 8000,
"0.000") & " sec"
            graph.Label3.Caption = Format(za/8000,"0.000")
& " sec"
            graph.Label4.Caption = amp
            graph.Label5.Caption = "-" & amp
            Label4.Caption = amp
            Label5.Caption = "-" & amp
            Label4.Visible = True
            Label5.Visible = True
            disp.Enabled = True
            graph.MousePointer = 11
            HScroll1.Visible = True
             p1.ScaleMode = 0          '  use defined scale x,y
            p1.ScaleTop = 0
            p1.ScaleLeft = 0
            p1.ScaleHeight = 2 * amp          '65535
            p1.ScaleWidth = za                'numdata
    'p1.Scale (0, 0)-(numdata, 65536)   ' defined screen
        graph.p1.PSet (p1.ScaleLeft, amp) ' defined begin point
        graph.p1.DrawStyle = 0
    For i = 1 To numdata - p3             'numdata
        graph.p1.Line -((p1.ScaleLeft + i), amp - samdata(i))
        'graph.p1.Line -((p1.ScaleLeft + (i/2 *(za))),32768 -
samdata(i + p3)/10 * amp)
    Next i

     MousePointer = 0
  End If

End Sub

Private Sub Command1_Click()
wavin.cmdshow.Enabled = False
wavin.Optfrc.Value = False
wavin.Opttime.Value = False
wavin.MousePointer = 0
Unload graph
wavin.Show
End Sub

Private Sub Form_Load()
amp1 = 1000000
za1 = 512
amp = 32768
za = 8000
plt = 1
sg = 2
HScroll1.Visible = False
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
       filename = wavin.Label1.Caption
     ok2 = FreeFile
     Open filename For Binary As #ok2
         For i = 1 To 46
         a = Input$(1, #ok2)
         info(i) = Asc(a)
            Next i
     numdata = info(43)*1 + info(44)* 16^2 + info(45)* 16 ^ 4 +
info(46) * 16 ^ 6
     numdata = numdata / 2
     max = 0
     For i = 1 To numdata
         a = Input$(1, 1)
         a = Asc(a)
         q = Input$(1, 1)
         q = Asc(q) * 16 ^ 2
         real(i) = (a + q)
         imag(i) = 0
         samdata(i) = real(i)
         If max < samdata(i) Then max = samdata(i)
         If samdata(i) >= 32768 Then
            samdata(i) = samdata(i)And 32767 '****** and by 7fff
            samdata(i) = samdata(i) - 32767  '**** sub by 7fff
            If Min > samdata(i) Then Min = samdata(i)
         Else
            samdata(i) = samdata(i)
         End If

     Next i
     Close #ok2
     lbl1.Caption = filename
     If rf = 1 Then
'If wavin.Optfrc.Value = True Then  '************************
frequency domain
Label3.Visible = True
x3d.Enabled = True
 graph.MousePointer = 11
    n = 0
         n0 = 1
         n3 = 0
         v = 0
fft1024order:        ' fastfourier 2048 order
         n = 2 ^ m + n
         n1 = n - 1
         n2 = (2 ^ m) / 2
         fft          'call fft function
         n0 = n + 1
         n3 = n
         n4 = numdata - n
If n4 >= 1024 Then GoTo fft1024order
   'find amplitude
   max = 0
   For i = 1 To v - 1
         ans(i) = ans(i + 1) '/ p1.ScaleHeight  'Sqr(real(i) ^ 2
+ imag(i) ^ 2)
         'If fftmax < ans(i) Then fftmax = ans(i)
         'If Abs(ans(i)) > max Then max = Abs(ans(i))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Next i
         graph.MousePointer = 0
    Else:
    x3d.Enabled = False
    HScroll1.Visible = True
     mplot.Enabled = False
   End If

End Sub

Private Sub HScroll1_Change()
p1.Cls
    graph.Label2.Caption = Format((za / 2) / 8000, "0.000") & "
sec"
     graph.Label3.Caption = Format(za / 8000, "0.000") & " sec"
If sg = 1 Then
    p1.ScaleMode = 3
    p1.DrawStyle = 0
    startx = p1.ScaleLeft
    endx = p1.ScaleWidth - p1.ScaleLeft
    starty = p1.ScaleTop
    endy = p1.ScaleHeight - p1.ScaleTop
For i = startx To endx Step p1.ScaleWidth / 18
    p1.Line (i, starty)-(i, endy), QBColor(10)
Next i
For i = starty To endy Step p1.ScaleHeight / 10
    p1.Line (startx, i)-(endx, i), QBColor(10)
Next i
      graph.p1.DrawStyle = 2
    graph.p1.Line (startx, p1.ScaleHeight / 2)-(endx,
p1.ScaleHeight / 2), QBColor(1)
    p1.Line (p1.ScaleWidth /2, staty)-(p1.ScaleWidth / 2, endy),
QBColor(1)

       graph.p1.DrawStyle = 2
    graph.p1.Line (p1.ScaleLeft, p1.ScaleHeight / 2)-
(p1.ScaleWidth - p1.ScaleLeft, p1.ScaleHeight / 2), QBColor(1)
HScroll1.max = (numdata) - 100

End If
    HScroll1.max = numdata
    p3 = HScroll1.Value
    p1.ScaleMode = 0              '  use defined scale x,y
    p1.ScaleTop = 0
    p1.ScaleLeft = 0
    p1.ScaleHeight = 2 * amp          '65535
    p1.ScaleWidth = za                     'numdata
    'p1.Scale (0, 0)-(numdata, 65536)     ' defined screen
    graph.p1.PSet (p1.ScaleLeft, amp)    ' defined begin point
    graph.p1.DrawStyle = 0
    For i = 1 To numdata - p3                    'numdata
        graph.p1.Line -((p1.ScaleLeft + i),amp- samdata(i + p3))
        'graph.p1.Line -((p1.ScaleLeft + (i / 2 * (za))),32768 -
samdata(i + p3) / 10 * amp)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Next i

Erase info

End Sub

Private Sub mbot_Click()
plt = 3
End Sub

Private Sub mcon_Click()
plt = 1
End Sub

Private Sub mdisc_Click()
plt = 2
End Sub

Private Sub mhg_Click()
sg = 2
End Sub

Private Sub msg_Click()
sg = 1
End Sub


Private Sub pa_Click()
parameter.Show
End Sub


Private Sub ttt_Click()
rf = 2
End Sub


Private Sub x3d_Click()
p1.BackColor = &H0                  '******** black
p1.Cls
filename = filename      '"c:\wav\analy\ham\02.wav"
apm = 0
widt = 0
stepx = 250
stepy = 200
MousePointer = 11
xx = FreeFile
Open filename For Binary As xx
For i = 1 To 46
        a = Input$(1, #xx)
        info(i) = Asc(a)
Next i
numdata = info(43) * 1 + info(44) * 16 ^ 2 + info(45) * 16 ^ 4 +
info(46) * 16 ^ 6
numdata = numdata / 2
max = 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
For i = 1 To numdata
    a = Input$(1, 1)
    a = Asc(a)
    q = Input$(1, 1)
    q = Asc(q) * 16 ^ 2
    real(i) = a + q
    imag(i) = 0
Next i
Close            '************* close all
              n = 0
        n0 = 1
        n3 = 0
        v = 0
fft1024order:        ' fastfourier 2048 order
        n = 2 ^ m + n
        n1 = n - 1
        n2 = (2 ^ m) / 2
        fft          'call fft function
 '***********    ****************************************
        Label1.Caption = "0 (Hz)"
        Label3.Caption = Int(za1 * 7.8127) & " (Hz)"
        Label2.Caption = Int(Val(Label3.Caption) / 2) & " (Hz)"
        Label4.Caption = amp1
        Label5.Caption = "0"
        p1.ScaleMode = 0
        p1.ScaleLeft = 0
        p1.ScaleTop = 0
        p1.ScaleHeight = 4935
        p1.ScaleWidth = 8415
        p1.DrawStyle = 0
        ymax = p1.ScaleHeight - p1.ScaleTop

        p1.PSet (p1.ScaleLeft + widt, ymax - apm)
  For i = 1 To v - 1
        ann(i) = ann(i + 1)          '/ p1.ScaleHeight
        p1.Line -(i * ((p1.ScaleWidth) / za1) + widt,
(p1.ScaleHeight - apm) - (ans(i) / amp1)), QBColor(12)
        'p1.Line -(i * ((p1.ScaleWidth) / 512) + widt, (ymax -
amp) - ann(i) / 5), QBColor(12)
        'p1.Line (i * ((p1.ScaleWidth) / 512), ymax - 50)-(i *
((p1.ScaleWidth) / 512), (ymax - 50) - ans(i) / 2)
        Next i
        apm = apm + stepy
        widt = widt + stepx

 '****************************************************
        n0 = n + 1
        n3 = n
        n4 = numdata - n
If n4 >= 1024 Then GoTo fft1024order
        p1.Line (0, ymax)-(p1.ScaleLeft + widt, ymax - apm),
QBColor(7)              '(stepx * 7, stepy * 7), QBColor(1)
        p1.Line(p1.ScaleLeft + widt, ymax - apm)-(p1.ScaleLeft +
widt, (ymax - apm) - 3000), QBColor(7)     '(stepx * 7, stepy *
7)-(stepx * 7, (stepy * 7) - (1500)), QBColor(1)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MousePointer = 0
End Sub
```

รูปที่ ก.6 โปรแกรมแสดงกราฟ

```
VERSION 5.00
Object = "{FE0065C0-1B7B-11CF-9D53-00AA003C9CB6}#1.0#0";
"COMCT232.OCX"
Begin VB.From auto
  BackColor = &H009EA435&
  BorderStyle = 1 'Fixed Single
  Caption = "อัตโนมัติ"
  ClientHeight = 4740
  ClientLeft = 4110
  ClientTop = 2580
  ClientWidth = 4455
  BeginProperty Font
    Name = "AngsanaUPC"
    Size = 14.25
    Charset = 222
    Weight = 400
    Underline = 0 'False
    Italic = 0 'False
    Strikethrough = 0 'False
  EndProperty
  LinkTopic = "Form2"
  MaxButton = 0 'False
  MinButton = 0 'False
  ScaleHeight = 4740
  ScaleWidth = 4450
  Begin ComCtl2.Animation Animation1
    Height = 4695
    Left = 0
    TabIndex = 2
    Top = 0
    Width = 4815
    _ExtentX = 8493
    _ExtentY = 8281
    BackColor = 10396725
    FullWidth = 321
    FullHeight = 313
  End
Begin VB.CommandButton cmd1
Caption = "Command1"
Height = 495
   Left = 3600
   TabIndex = 1
   Top = 2880
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Width  =  735
End
Begin VB.FileListBox File1
  Height  =  2820
  Left  =  1440
  Pattern  =  "*.frq"
    TabIndex  =  0
    Top  =  480
    Width  =  1575
End
End
```

รูปที่ ก.7 โปรแกรมอัตโนมัติ

```
VERSION 5.00
Begin VB.Form help1
    BackColor  =  &H00B39539&
BorderStyle  =  1 'Fixed Single
Caption  =  "ช่วยเหลือ"
ClientHeight  =  7965
ClientLeft  =  1050
ClientTop  =  990
ClientWidth  =  10230
BeginProperty Font
   Name  =  "CordiaUPC"
   Size  =  14.25
   Charset  =  222
   Weight  =  400
   Underline  =  0 'False
   Italic  =  0 'False
   Strikethrough  =  0 'False
  EndProperty
  LinkTopic  =  "Form2"
  MaxButton  =  0 'False
  MinButton = 0 'False
  ScaleHeight  =  7965
  ScaleWidth  =  10230
  Begin VB.VscrollBar V1
    Height  =  7335
    Left  =  9960
    TabIndex  =  2
    Top  =  600
    Width  =  255
   End
   Begin VB.PictureBox p1
     Beginproperty Font
        Name  =  "MS Sans Serif"
        Size  =  8.25
        Charset  =  222
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Weight  = 400
        Underline  =  0 'False
        Italic  =  0 'False
        Strikethrough  =  0 'False
    Endproperty
    Height  =  7335
    Left  =  0
    ScaleHeight  =  7275
    ScaleWidth  =  9915
    TabIndex  =  0
    Top  =  600
    Width  =  9975
  End
End
Begin VB.PictureBox p2
   BackColor  =  &H80000018&
   Beginproprety Font
     Name  =  "MS Sans Serif"
     Size  =  8.25
     Charset  =  222
     Weight  = 400
     Underline  =  0 'False
     Italic  =  0 'False
     Strikethrough  =  0 'False
    EndProperty
    Height  =  23280
    Left  =  0
    Picture  =  (Metafile)
    ScaleHeight  =  23220
    ScaleWidth  =  9915
    TabIndex  =  1
    Top  =  0
    Width  =  9975
 End
End
Begin VB.Label Label1
  BackColor  =  &H00B39539&
  Caption = "การใช้งานโปรแกรม"
  Beginproprety Font
     Name  =  "AngsanaUPC"
     Size  =  26.25
     Charset  =  222
     Weight  = 700
     Underline  =  0 'False
     Italic  =  -1 'False
     Strikethrough  =  0 'False
    EndProperty
    ForeColor = &H000000FF&
    Height  =  615
    Left  =  3480
    TabIndex  =  0
    Top  =  0
    Width  =  3135
  End
  Begin VB.Label Label1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Caption   =   "กลับเมนูหลัก"
  End
End


Private Sub bck_Click()
help1.Hide
main.Show
End Sub

Private Sub V1_Change()
V1.Min = p2.ScaleTop
V1.max = p2.ScaleHeight - p1.ScaleHeight
V1.LargeChange = 1000
V1.SmallChange = 200
p2.Top = -V1.Value

End Sub
```

รูปที่ ก.8 โปรแกรมช่วยเหลือ

```
 VERSION 5.00
Begin VB.From credit
    BorderStyle      =   1 'Fixed Single
    Caption    =    "ผู้จัดทำ"
    ClientHeight      =   6195
    ClientLeft    =   4140
    ClientTop    =   930
    ClientWidth    =  5190
    LinkTopic    =   "Form2"
    MaxButton    =   0 'False
    MinButton    =   0 'false
    ScaleHeight       =   6195
    ScaleWidth        =  5190
    Begin VB.CommandButtom Command1
        BackColor    =  &H000000FF&
        Caption    =   "OK"
        Defaulf    =   -1 'True
        Height    =   495
        Left    =   2160
 Style    =   1 'Graphical
 TabIndex        =   0
 Top    = 5520
 Width    =855
End
Begin VB.Image Image3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 Height  =  3015
  Left  =  0
  Picture  =  (Bitmap)
  Stretch  =  -1 'True
  ToolTipText  =  "คลิกดูประวัติ"
  Top  =  3120
  Width  =  2535
 End
 Begin VB.Image Image4
  Height  =  3015
  Left  =  2640
  Picture  =  (Bitmap)
  Stretch  =  -1 'True
  ToolTipText  =  "คลิกดูประวัติ"
  Top  =  3120
  Width  =  2535
 End
 Begin VB.Image Image2
  Height  =  3015
  Left  =  2640
  Picture  =  (Bitmap)
  Stretch  =  -1 'True
  ToolTipText  =  "คลิกดูประวัติ"
  Top  =  3120
  Width  =  2535
 End
 Begin VB.Image Image4
  Height  =  3135
  Left  =  2640
  Picture  =  (Bitmap)
  Stretch = -1 'True
  ToolTipText  =  "คลิกดูประวัติ"
  Top  =  -120
  Width  =  2535
  End
  Begin VB.Image Image4
    Height  =  3015
    Left  =  0
    MousePointer  =  4 'Icon
    Picture  =  (Bitmap)
    Stretch  =  -1 'True
    ToolTipText  =  "คลิกดูประวัติ"
    Top  = 0
    Width = 2535
  End
End

Private Sub Command1_Click()
credit.Hide
main.Show
End Sub
Private Sub Form_Load()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
   MousePointer  =  0
   End Sub
'
Private Sub Image1_Click()
mi = 1
sume1.Show
credit.Hide
End Sub

Private Sub Image2_Click()
mi  =  2
sume1.Show
credit.Hide
End Sub

Private Sub Image3_Click()
mi  =  3
sume1.Show
credit.Hide
End Sub

Private Sub Image4_Click()
harut.Show
credit.Hide
End Sub
```

รูปที่ ก.9 โปรแกรมแสดงผู้จัดทำ (1)

```
VERSION 5.00
Begin VB.From harut
Caption  =  "สหรัฐ น่าบัญทิตย์"
  ClientHeight  =  7665
  ClientLeft  =  1815
  ClientTop  =  585
  ClientWidth  =  7230
  LinkTopic  =  "Form2"
  ScaleHeight  =  7665
  ScaleWidth  =  7230
  Begin VB.PictureBox p1
  BackColor  =  &H80000018&
  Height  =  7695
  Left  =  0
  Picture  =  (Metafile)
  ScaleHeight  =  7635
  ScaleWidth  =  7155
  TabIndex  =  0
  Top  =  0
  Width  =  7215
  Begin VB.CommandButton command1
    BackColor  =  &H00AA9F42&
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Caption  =  "OK"
   Default  =  -1 'True
         Height  =  615
         Left  =  5400
         Style  =  1 'Graphical
         TabIndex  =  1
         Top  =  6720
         Width  =  1215
   End
  End
End
Private Sub Command1_Click()
harut.Hide
credit.Show
End Sub

Private Sub Form_Load()
Command1.Default = True
End Sub
```

รูปที่ ก.10 โปรแกรมแสดงผู้จัดทำ (2)

```
VERSION 5.00
Begin VB.From sume1
 BackColor  =  &H00C9CC57&
 BorderStyle  =  1 'Fixed Single
 ClientHeight  =  7770
 ClientLeft  =  2460
 ClientTop  =  285
 ClientWidth  =  7470
 LinkTopic  =  "Form2"
 MaxButton  =  0 'False
 MinButton  =  0 'False
 ScaleHeight  =  7770
 ScaleWidth  =  7470
 Begin VB.PictureBox p3
  BackColor  =  &H80000018&
  Height  =  7815
  Left  =  0
  Picture  =  (Metafile)
  ScaleHeight  =  7755
  ScaleWidth  =  7395
  TabIndex  =  2
  Top  =  0
  Width  =  7455
  Begin VB.CommandButton cmd3
   BackColor  =  &H00AA9F42&
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      Caption  =  "OK"
      Height  =  735
      Left  =  6120
      Style  =  1 'Graphical
      TabIndex  =  5
      Top  =  6840
      Width  =  1095
    End
  End
  Begin VB.PictureBox p2
    BackColor  =  &H80000018&
    Height  =  7815
    Left  =  0
    Picture  =  (Metafile)
    ScaleHeight  =  7755
    ScaleWidth  =  7395
    TabIndex  =  1
    Top  =  0
    Width  =  7695
    Begin VB.CommandButton cmd2
      BackColor  =  &H00AA9F42&
      Caption  =  "OK"
      Default  =  -1 'True
      Height  =  735
      Left  =  6000
      Style  =  1 'Graphical
      TabIndex  =  3
      Top  =  6840
      Width  =  1215
    End
  End
    Begin VB.PictureBox p1
      BackColor  =  &H80000018&
      Height  =  7815
      Left  =  0
      Picture  =  (Metafile)
      ScaleHeight  =  7755
      ScaleWidth  =  7395
      TabIndex  =  0
      Top  =  0
      Width  =  7455
      Begin VB.CommandButton cmd1
        BackColor  =  &H00AA9F42&
        Caption  =  "OK"
        Height  =  615
        Left  =  6120
        Style  =  1 'Graphical
        TabIndex  =  4
        Top  =  6240
        Width  =  1215
      End
    End
End
Private Sub cmd1_Click()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
sume1.Hide
credit.Show
End Sub

Private Sub cmd2_Click()
sume1.Hide
credit.Show
End Sub

Private Sub cmd3_Click()
sume1.Hide
credit.Show
End Sub

Private Sub Form_Activate()
p1.Visible = False
p2.Visible = False
p3.Visible = False

If mi = 1 Then
    cmd1.Default = True
    sume1.Caption = "คมกฤษณ์ หาญคำภา"
    p1.Visible = True
ElseIf mi = 2 Then
    cmd2.Default = True
    sume1.Caption = "ประมาณ จันโท"
    p2.Visible = True
Else
    p3.Visible = True
    sume1.Caption = "พิสิฐ พางาม"
    cmd3.Default = True
End If
End Sub
```

รูปที่ ก.11 โปรแกรมแสดงประวัติผู้จัดทำ

```
Public name0 As String
Public name1 As String
Public name2 As String
Public filename1 As String
Public filename As String
Public info(46) As Integer
Public newname As String
Public numdata As Integer
Public newname1 As String
Public ans(1 To 513), ann(513) As Double
Public ans1(1 To 8000) As Double
Public real(1 To 8000) As Double
Public imag(1 To 8000) As Double
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Public b(6000)  As Integer
Public rf, sg, plt, za, amp, za1, amp1, ee, eee As Single
Public max As Integer
Public v As Integer
Public n As Integer
Public n0 As Integer
Public n1 As Integer
Public n2 As Integer
Public n3, mi As Integer
'Public i As Integer
Public j  As Integer
Public j1 As Integer
Public Const m = 10
Public Const p = 3.141592654
Public Function fft()

   m1 = 1
'fft
   'bit reverse
   j = n0
   For i = n0 To n1
      If i <= j Then
         r1 = real(j)
         r2 = imag(j)
         real(j) = real(i)
         imag(j) = imag(i)
         real(i) = r1
         imag(i) = r2
       End If
       k = n2
       j1 = j - n3
       Do While k < j1
         j1 = j1 - k
         k = k / 2
       Loop
       j = j1 + k + n3
     Next i
     For l = 1 To m
       Y = l
       z = 2 ^ Y
       l0 = z
       l1 = l0 / 2
       u1 = 1
       u2 = 0
       w1 = Cos(p / l1)
       w2 = -m1 * Sin(p / l1)
     For j = 1 To l1
     For i = (j + n3) To n Step l0
       i1 = i + l1
       r1 = real(i1) * u1 - imag(i1) * u2
       r2 = real(i1) * u2 + imag(i1) * u1
       real(i1) = real(i) - r1
       imag(i1) = imag(i) - r2
       real(i) = real(i) + r1
       imag(i) = imag(i) + r2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Next i
        u9 = u1
        u1 = u1 * w1 - u2 * w2
        u2 = u9 * w2 + u2 * w1
      Next j
      Next l
        ' Amplitude  FFT
                v = 0
       '  If n2 * 2 = 1024 Then
             For i = (n3 + 1) To (n3 + 513)  '******* 4000 Hz
                ans1(i) = Format(Sqr(real(i) ^ 2 + imag(i) ^ 2),
"0.00")
                v = v + 1
                ans(v) = ans(v) + ans1(i)
                ann(v) = ans1(i)
             Next i
        ' Else
             '   For i = (n3 + 1) To (n3 + 200) '******* 3000 Hz
             ' ans1(i) = Format(Sqr(real(i) ^ 2 + imag(i) ^ 2),
"0.00")
               ' v = v + 1
               '  ans(v) = ans(v) + ans1(i)
               '  Next i
       '  End If

End Function
```

รูปที่ ก.12 โปรแกรมโมดูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
การติดตั้งโปรแกรมการรู้จำเสียงพูดคำไทย (0-9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้งโปรแกรมรู้จำเสียงพูดคำไทย (0-9)

ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรมรู้จำเสียงพูดคำไทย (0-9) (TSP)

1. ใส่คอมแพ็คดีสเพื่อการติดตั้งเข้าไปใน ซีดีรอม

2. ดับเบิ้ลคลิกที่ไฟล์ชื่อ Setup.exe หรือกดปุ่ม Start แล้วกดที่ RUN และทำการการหาไฟล์ Setup.exe ใน ซีดีรอม ในสับไดเร็คทอรี TSP

3. ทำตามคำแนะนำที่อยู่บนหน้าจอจนการติดตั้งสำเร็จ และในระหว่างการติดตั้งสามารถใส่พาธ (path) ได้ตามต้องการ

4. ทำการคัดลอกไฟล์โฟลเดอร์ (Subdirestory) ที่ชื่อ WAV และ Thaispeech ไปไว้ในไดร์ฟ C:\

ข้อสังเกตุ

1. พาธของ WAV คือ C:\WAV และภายในโฟลเดอร์ WAV จะต้องมี โฟลเดอร์ Database และ Analy ซึ่งใน Database และ Analy จะมีโฟลเดอร์ Rec,Black,Harn,Ham

2. พาธของ Thaispeech คือ C"\Thaispeech ซึ่งภายในจะมี ไฟล์ Wave.mid และโฟลเดอร์ Animation ซึ่งภายในจะมีไฟล์นานสกุล AVI อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

พงษ์ศักดิ์ ชูงาม และคณะ.“โปรแกรมวิเคราะห์และรู้จำเสียงพูด.” ปริญญานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2537

วรวิทย์ สมหา. **เอกสารการสอนวิชาการประมวลผลสัญญาณดิจิตอล.** กรุงเทพฯ. : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2541

วิชิต ปณุวัตร์. **พจนานุกรมภาษาเบสิค.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. : ซีเอ็ดยูเคชั่น. 2540

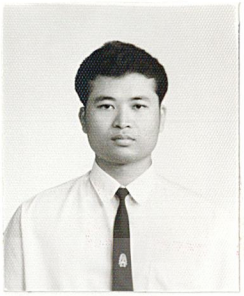
สุทธิศักดิ์ พงศ์ธนาพานิช. “เปิดโลกมัลติมีเดีย VB/Win ตอน การเล่นไฟล์ .WAV (ตอนที่ 1).” **วารสารไมโครคอมพิวเตอร์.** 12(116) : หน้า 243-250. 2538

._____. **Visual Basic 4.0 Professional.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. ซีเอ็ดยูเคชั่น. 2539

._____. **Visual Basic 5.0 Professional การใช้งานคำสั่งและคอนโทรล.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. : ซีเอ็ยูเคชั่น. 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายคมกฤษณ์ หาญคำภา
วันเดือนปีเกิด	23 เมษายน 2519
สถานที่เกิด	จังหวัดยโสธร
ภูมิลำเนาเดิม	2107 ถ.แจ้งสนิท ต.ส่อง ต.ตลาด อ.เมือง จ.มหาสารคาม 44000
ที่อยู่ปัจจุบัน	2107 ถ.แจ้งสนิท ต.ส่อง ต.ตลาด อ.เมือง จ.มหาสารคาม 44000
โทรศัพท์	(043) 740157
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนเทศบาลบ้านส่องนางใย
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนมหาสารคามพิทยาคม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คติพจน์	มองหลังมองอดีตบ้าง แล้วจะเจอทางข้างหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายประมาณ จันโท
วันเดือนปีเกิด	13 มิถุนายน 2519
สถานที่เกิด	จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
ภูมิลำเนาเดิม	77/29 หมู่ที่ 2 ต.หันตรา อ.พระนครศรีอยุธยา จ.พระนครศรีอยุธยา
ที่อยู่ปัจจุบัน	77/29 หมู่ที่ 2 ต.หันตรา อ.พระนครศรีอยุธยา จ.พระนครศรีอยุธยา
โทรศัพท์	(035) 285426
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนกำจรวิทย์
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนอยุธยาวิทยาลัย
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคพระนครศรีอยุธยา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคพระนครศรีอยุธยา
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ทุนการศึกษา	ทุนยกเว้นหน่วยกิต ทุนงบประมาณ
คติพจน์	ขยัน หมั่นเพียร อดทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายพิสิฐ พางาม
วันเดือนปีเกิด	27 มกราคม 2520
สถานที่เกิด	จังหวัดบุรีรัมย์
ภูมิลำเนาเดิม	75 หมู่ 1 ต.สะแกโพรง อ.เมือง จ.บุรีรัมย์ 31000
ที่อยู่ปัจจุบัน	75 หมู่ 1 ต.สะแกโพรง อ.เมือง จ.บุรีรัมย์ 31000
โทรศัพท์	(01) 4704145
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนอนุบาลบุรีรัมย์
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาคม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คติพจน์	ท้อไม่ถอย (สู้สู้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายสหรัฐ น่าบัญฑิตย์
วันเดือนปีเกิด	9 ธันวาคม 2519
สถานที่เกิด	จังหวัดชัยภูมิ
ภูมิลำเนาเดิม	613 บ.หนองบัวแดง ต.หนองฉิม อ.เนินสง่า จ.ชัยภูมิ 36130
ที่อยู่ปัจจุบัน	613 บ.หนองบัวแดง ต.หนองฉิม อ.เนินสง่า จ.ชัยภูมิ 36130
โทรศัพท์	(044) 846322
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านห้วยผักหนาม
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนฉิมพลีวิทยา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคชัยภูมิ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคชัยภูมิ
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คติพจน์	ตนเป็นที่พึ่งแห่งตน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้