

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบตั้งสายกีตาร์อัตโนมัติ

GUITAR TUNING SYSTEM



T117579



นายอนุวัตร

จันทร์แจ่ม

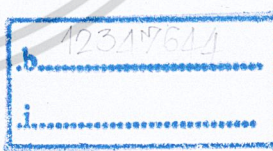
นายอภิวัฒน์

เดชสุภา

นายเอกฉัตร

รุ่งโรจน์กาลนาน

เลขหมู่.....**117579**
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี...**๙** ค.ศ. 2554



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสำนักหอสมุดกลางฯ ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงปีการศึกษา 2553 อิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GUITAR TUNING SYSTEM



**THIS THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHATRONICS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING**

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ACADEMIC YEAR 2010
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

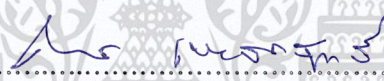
ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบตั้งสายกีตาร์อัตโนมัติ
GUITAR TUNING SYSTEM

| | | | |
|----------|--------------|-----------------|----------|
| ผู้จัดทำ | นายอนุวัตร | จันทร์แจ้ง | 50011846 |
| | นายอภิวัฒน์ | เดชสุภา | 50011865 |
| | นายเอกลักษณ์ | รุ่งโรจน์กาลนาน | 50011975 |


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ถาวร เบนจอนนราสุทธิ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบตั้งสายกีตาร์อัตโนมัติ

โดย

นายอนุวัตร จันทร์แจ้ง 50011846

นายอภิวัฒน์ เศรษฐา 50011865

นายเอกลักษณ์ รุ่งโรจน์กาลนาน 50011975

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.ถาวร เบนญจนราษฎร์

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอระบบตั้งสายกีตาร์ เพื่อช่วยให้ผู้เล่นกีตาร์สามารถตั้งสายได้ง่ายและแม่นยำ ระบบตั้งสายกีตาร์ที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นระบบกึ่งอัตโนมัติ อาศัยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผล โดยคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์วัดเพื่อประมวลผลหาความถี่ในสัญญาณเสียงกีตาร์ แล้วจึงส่งค่าวัดไปยัง ไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะประมวลผลและส่งสัญญาณควบคุมไปยังมอเตอร์ชุดครอบหัวบิคกีตาร์เพื่อให้ได้ระดับเสียงตามความถี่ที่สอดคล้องกับสายที่ต้องการตั้ง จากผลการทดลองพบว่าระบบตั้งสายกีตาร์อัตโนมัตินี้สามารถตั้งสายได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GUITAR TUNING SYSTEM

By

Mr.Anuwat Chanchaeng

Mr.Aphiwat Deachsupa

Mr.Ekaluk Rongrojkanranan

Advisor

Assoc. Prof. Dr.Taworn Benjanarasuth

Academic Year 2010

ABSTRACT

This thesis presents a guitar tuning system for assisting a player to tune the guitar easily and precisely. The developed guitar tuning system is a semi-automatic system using a personal computer and microcontroller as processors. The main tasks of the computer are to measure the frequency of the guitar's signal and to send it to the microcontroller. The microcontroller then computes and outputs the appropriate command signal to drive the motor fastening or losing the guitar's string until the reference frequency of that string is achieved. From experiments, the implemented guitar tuning system can tune the guitar correctly.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดี จาก รองศาสตราจารย์ ดร.ถาวร เบญจนราสุทธิที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำที่ดี มาโดยตลอด เอาใจใส่ดูแลสอบถามถึงความก้าวหน้าอย่างสม่ำเสมอ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและ ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทั้งทางทฤษฎีและทาง ปฏิบัติแก่ผู้จัดทำ ทำให้สามารถนำความรู้มาใช้ในการปริญญาโทฉบับนี้ได้

และท้ายที่สุดผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและครอบครัวที่คอยเป็น กำลังใจที่ดีตลอดมา ตลอดจนเพื่อน ๆ พี่ ๆ ในห้องวิจัยที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และเป็น กำลังใจที่ดีเสมอมาทำให้ปริญญาโทฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

คณะผู้จัดทำ

นายอนุวัตร จันทร์แจ้ง 50011846

นายอภิวัฒน์ เตชสุภา 50011865

นายเอกลักษณ์ รุ่งโรจน์กาลนาน 50011975

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อ | I |
| บทคัดย่ออังกฤษ | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญภาพ | VI |
| สารบัญตาราง | VII |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 กล่าวนำ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์ | 1 |
| 1.3 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์ | 1 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง | 2 |
| 2.1 หลักการของเสียงกีตาร์ | 2 |
| 2.2 การแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว | 4 |
| 2.3 มอเตอร์กระแสตรง | 10 |
| 2.3.1 การขับและกลับทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง | 11 |
| 2.3.2 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง ด้วยวิธีการมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์ | 13 |
| 2.4 ไมโครโฟน | 14 |
| 2.4.1 ความสามารถของไมโครโฟน | 14 |
| 2.4.2 ชนิดของไมโครโฟน | 15 |
| บทที่ 3 การออกแบบและโครงสร้าง | 17 |
| 3.1 โครงสร้างของระบบ | 17 |
| 3.2 ส่วนประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์ | 19 |
| 3.2.1 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ | 19 |
| 3.2.2 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรง | 20 |
| 3.2.3 วงจรสวิตช์ | 21 |
| 3.2.4 ชุดครอบหัวบิคีตาร์ | 21 |
| 3.3 ส่วนประกอบทางด้านซอฟต์แวร์ | 22 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|--------------------------------------------------------------|------|
| บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง | |
| 4.1 การพิจารณาองค์ประกอบความถี่ของสายเปล่า | 24 |
| 4.2 การทดลองตั้งสายกีตาร์ | 31 |
| บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป | 37 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง | 37 |
| 5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข | 37 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา | 37 |
| ภาคผนวก | 38 |
| ภาคผนวก ก โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น | 39 |
| ก.1 โปรแกรมส่วนคอมพิวเตอร์ | 39 |
| ก.2 โปรแกรมส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ | 40 |
| ภาคผนวก ข เอกสารคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และภาพร่าง | 51 |
| ข.1 เอกสารคู่มือการใช้งาน dsPIC30F4011 | 51 |
| ข.2 เอกสารคู่มือการใช้งาน L298 | 54 |
| ข.3 ภาพร่างชุดหัวบิดกีตาร์ | 58 |
| เอกสารอ้างอิง | 59 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

| รูปที่ | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 กีตาร์ | 2 |
| 2.2 การสั่นของสายกีตาร์เมื่อกดเฟร็ต 12 และสายเปล่า | 3 |
| 2.3 โน้ตของสายเปล่าเส้นต่าง ๆ บนฟิงเกอร์บอร์ด | 3 |
| 2.4 โน้ตในแต่ละช่องบนฟิงเกอร์บอร์ดของสายกีตาร์แต่ละเส้น | 3 |
| 2.5 การกระจาย DFT 8 จุด เป็น DFT 4 จุด | 6 |
| 2.6 การกระจาย DFT 8 จุด เป็น DFT 4 จุด หลังจากใช้คุณสมบัติความสมมาตร | 7 |
| 2.7 การกระจาย DFT 4 จุด เป็น DFT 2 จุด | 7 |
| 2.8 แผนภาพรวมของการคำนวณ FFT 8 จุด | 8 |
| 2.9 โครงสร้างทั่วไปของมอเตอร์กระแสตรง | 10 |
| 2.10 การกลับทิศทางของมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้รีเลย์ | 11 |
| 2.11 การใช้ทรานซิสเตอร์เพื่อขับรีเลย์ให้ทำงาน | 11 |
| 2.12 การใช้ทรานซิสเตอร์เป็นวงจรถับและกำหนดทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง | 12 |
| 2.13 ความกว้างของพัลส์ขนาดต่าง ๆ | 13 |
| 2.14 การแปลงคลื่นเสียงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าของไมโครโฟน | 14 |
| 2.15 พัลส์พลวัตและผลตอบสนองทางความถี่ของไมโครโฟน | 15 |
| 3.1 โครงสร้างโดยรวมของระบบตั้งสายกีตาร์อัตโนมัติ | 17 |
| 3.2 แผนภาพกระบวนการทำงานของระบบ | 18 |
| 3.3 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 | 19 |
| 3.4 วงจรถับมอเตอร์ | 20 |
| 3.5 วงจรถับมอเตอร์ที่ใช้งานจริง | 20 |
| 3.6 วงจรสวิตช์ | 21 |
| 3.7 ชุดครอบหัวบิดกีตาร์ | 21 |
| 3.8 แผนภาพกระบวนการทำงานของโปรแกรมในคอมพิวเตอร์ | 22 |
| 3.9 แผนภาพกระบวนการทำงานของโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ | 23 |
| 4.1 เครื่องเทียบเสียงดนตรีและการใช้งาน | 24 |
| 4.2 สัญญาณเวลาและขนาดของการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็วของสายเปล่าเส้นที่ 1 | 25 |
| 4.3 สัญญาณเวลาและขนาดของการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็วของสายเปล่าเส้นที่ 2 | 26 |
| 4.4 สัญญาณเวลาและขนาดของการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็วของสายเปล่าเส้นที่ 3 | 27 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่ควรนำเนื้อหาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------|------|
| 4.5 สัญญาณเวลาและขนาดของการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็วของสายเปล่าเส้นที่ 4 | 28 |
| 4.6 สัญญาณเวลาและขนาดของการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็วของสายเปล่าเส้นที่ 5 | 29 |
| 4.7 สัญญาณเวลาและขนาดของการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็วของสายเปล่าเส้นที่ 6 | 30 |
| 4.8 ผลการทดลองตั้งสายกีตาร์เส้นที่ 1 | 34 |
| 4.9 ผลการทดลองตั้งสายกีตาร์เส้นที่ 2 | 34 |
| 4.10 ผลการทดลองตั้งสายกีตาร์เส้นที่ 3 | 35 |
| 4.11 ผลการทดลองตั้งสายกีตาร์เส้นที่ 4 | 35 |
| 4.12 ผลการทดลองตั้งสายกีตาร์เส้นที่ 5 | 36 |
| 4.13 ผลการทดลองตั้งสายกีตาร์เส้นที่ 6 | 36 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|-----------------------------------------------------|------|
| 2.1 ความถี่มูลฐานมาตรฐานของสายเปล่า | 4 |
| 2.2 การเรียงลำดับสัญญาณขาเข้า ของการคำนวณ FFT 8 จุด | 9 |
| 4.1 ผลการทดลองตั้งสายที่ 1 | 31 |
| 4.2 ผลการทดลองตั้งสายที่ 2 | 31 |
| 4.3 ผลการทดลองตั้งสายที่ 3 | 32 |
| 4.4 ผลการทดลองตั้งสายที่ 4 | 32 |
| 4.5 ผลการทดลองตั้งสายที่ 5 | 33 |
| 4.6 ผลการทดลองตั้งสายที่ 6 | 33 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

เสียงอาจเป็นเพียงคลื่นที่เกิดจากการสั่นสะเทือนชนิดหนึ่ง แต่เสียงนั้นมีประโยชน์อย่างมาก ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้กับการติดต่อสื่อสารระหว่างมนุษย์หรือสัตว์อื่น ๆ นอกจากนั้นเสียงที่ประกอบกันเป็นทำนองทำให้เกิดความรู้สึกเพลิดเพลิน เกิดอารมณ์รัก หรืออารมณ์โศกเศร้านั้น ได้ถูกเรียกว่า เสียงดนตรี ซึ่งการที่จะทำให้เกิดเป็นทำนองที่ไพเราะได้นั้น มนุษย์จึงได้สร้างเครื่องดนตรีขึ้นมาเพื่อการนี้ และหนึ่งในนั้นคือ กีตาร์

กีตาร์เป็นเครื่องดนตรีประเภทหนึ่งที่ได้รับคามนิยมมากในปัจจุบัน แต่มีผู้เล่นจำนวนไม่น้อยยังคงประสบปัญหาเกี่ยวกับการตั้งสายกีตาร์ เนื่องจากไม่สามารถเทียบระดับเสียงได้ด้วยตนเอง จึงต้องใช้เครื่องตั้งสายกีตาร์มาช่วยในการหาระดับเสียงที่ถูกต้อง อย่างไรก็ตามเครื่องตั้งสายเหล่านี้ยังคงต้องตั้งสายด้วยตัวเองทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนอยู่บ้างและตั้งสายได้ช้า ดังนั้นโครงการนี้จึงพัฒนาเครื่องตั้งสายกีตาร์ให้มีประโยชน์ต่อผู้ที่เพิ่งหัดเล่นกีตาร์ ซึ่งสามารถตั้งสายกีตาร์ได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำ และตรงตามมาตรฐาน

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

เพื่อพัฒนาการตั้งสายกีตาร์ให้มีความแม่นยำ และมีความสะดวกรวดเร็ว สามารถตั้งสายได้อัตโนมัติ โดยอาศัยองค์ความรู้การวิเคราะห์สัญญาณเสียงด้วยการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว เป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาโครงการนี้

1.3 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์

เนื้อหาที่จะกล่าวในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย

บทที่ 1 กล่าวนำถึงวัตถุประสงค์ รายละเอียดของปริญญานิพนธ์ของแต่ละบท

บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 หลักการออกแบบ นำเสนอโครงสร้างโดยรวมของระบบ รวมทั้งส่วนประกอบทางด้านซอฟต์แวร์และส่วนประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์

บทที่ 4 การทดลอง เป็นส่วนการทดสอบองค์ประกอบต่าง ๆ ในระบบ

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป จะสรุปผลการดำเนินงาน ปัญหาที่เกิดขึ้น และแนวทางการ

เอกสปรับปรุงพัฒนาโครงการต่อไป การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดในการพัฒนาเครื่องตั้งสายกีตาร์ให้สามารถตั้งสายได้แบบอัตโนมัติ จำเป็นต้องใช้ความรู้ในหลาย ๆ ด้านมาประกอบกันในการทำงาน ซึ่งสามารถแบ่งหัวข้อในการอธิบายได้ดังนี้

2.1 หลักการของเสียงกีตาร์

กีตาร์เป็นเครื่องดนตรีประเภทเครื่องสาย มีเสียงที่ไพเราะ ซึ่งสามารถทำให้เสียงที่เกิดขึ้นแตกต่างกันได้ โดยใช้ลวดที่มีขนาดต่างกัน ความตึงที่ต่างกัน รวมถึงความยาวของสาย โดยมีหลักเบื้องต้นในการทำงานดังนี้

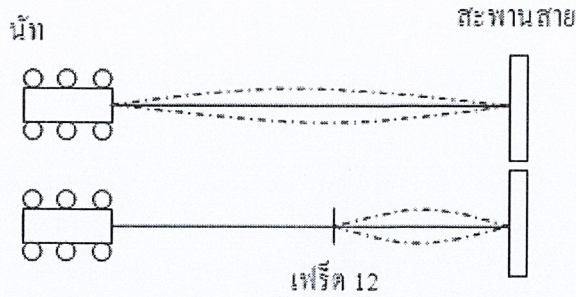
- สายที่ตึงกว่าจะให้เสียงที่มีระดับสูงกว่าสายที่หย่อนกว่า
- สายที่มีขนาดใหญ่กว่าจะให้เสียงที่มีระดับต่ำ หรือทุ้มกว่าสายที่มีขนาดเล็กกว่า
- สายที่สั้นกว่าจะมีระดับเสียงที่สูงกว่าสายที่ยาวกว่า



รูปที่ 2.1 กีตาร์

กีตาร์มาตรฐานมีสาย 6 เส้น ดังรูปที่ 2.1 มีขนาดแตกต่างกัน ซึ่งสามารถปรับความตึงสายได้โดยบิดลูกบิด และมีเฟร็ต (Fret) กีตาร์ตั้งแต่ประมาณ 20 - 24 อัน ซึ่งเป็นการจำกัดความสั้นยาวของสายกีตาร์ เมื่อกดที่เฟร็ตสายจะถูกจำกัดความยาวเหลือจากเฟร็ตที่กดไปถึงสะพานสาย เช่น เมื่อกดช่อง 12 ของสายใดสายหนึ่ง ก็จะทำให้สายนั้นเหลือความยาวเพียงครึ่งเดียวเนื่องจากระยะระหว่างนัทจนถึงเฟร็ต 12 และระยะจากเฟร็ต 12 ถึง สะพานสายนั้นมีระยะเท่ากัน จากผลดังกล่าว เมื่อกด ไปที่ช่อง 12 จะทำให้ได้เสียงกีตาร์สูงขึ้น 1 เท่า ของสายที่ไม่ได้กดช่อง 12 ก็จะได้ความแตกต่างของเสียงในแต่ละเส้นอีก 20 - 24 เสียง ดังนั้นบนคอกีตาร์จะมีเสียงทั้งหมด 120 - 144 เสียง ดังแสดงไว้รูปที่ 2.2

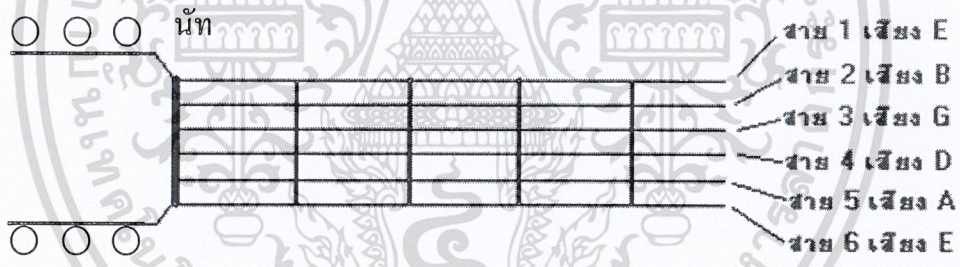
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการฯ ผลิตขึ้นเพื่อใช้ภายในโรงเรียนเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่หรือจำหน่ายได้โดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 0-2626-1000



รูปที่ 2.2 การสั่นของสายกีตาร์เมื่อกดเฟร็ต 12 และสายเปล่า

โน้ตของกีตาร์

สายเปล่า (Open String) คือการจับกีตาร์มาดีดทีละสาย โดยไม่ต้องกดสายเลย ซึ่งทั้ง 6 สายจะมีระดับเสียงมาตรฐาน (เมื่อตั้งเสียงแบบมาตรฐาน) คือจากสาย 6 ไปหาสาย 1 เป็น E, A, D, G, B และ E' (ระดับเสียงสูงกว่าสาย 1) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.3 และ 2.4 และความถี่มูลฐานมาตรฐานของสายเปล่ามีค่าดังตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.3 โน้ตของสายเปล่าเส้นต่าง ๆ บนฟิงเกอร์บอร์ด

| โน้ต | เฟร็ตที่ 3 | เฟร็ตที่ 5 | เฟร็ตที่ 7 | เฟร็ตที่ 9 | เฟร็ตที่ 12 | | | | | | | |
|---------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------|-------|-------|-------|---|-------|---|
| สาย 1 (E) — E | F | F#/Gb | G | G#/Ab | A | A#/Bb | B | C | C#/Db | D | D#/Eb | E |
| สาย 2 (B) — B | C | C#/Db | D | D#/Eb | E | F | F#/Gb | G | G#/Ab | A | A#/Bb | B |
| สาย 3 (G) — G | G#/Ab | A | A#/Bb | B | C | C#/Db | D | D#/Eb | E | F | F#/Gb | G |
| สาย 4 (D) — D | D#/Eb | E | F | F#/Gb | G | G#/Ab | A | A#/Bb | B | C | C#/Db | D |
| สาย 5 (A) — A | A#/Bb | B | C | C#/Db | D | D#/Eb | E | F | F#/Gb | G | G#/Ab | A |
| สาย 6 (E) — E | F | F#/Gb | G | G#/Ab | A | A#/Bb | B | C | C#/Db | D | D#/Eb | E |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น **รูปที่ 2.4** โน้ตในแต่ละช่องบนฟิงเกอร์บอร์ดของสายกีตาร์แต่ละเส้นที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ความถี่มาตรฐานมาตรฐานของสายเปล่า

| ลำดับสายกีตาร์ | เสียง | ความถี่มาตรฐาน |
|----------------|-------|----------------|
| 1 | E' | 329.628 |
| 2 | B | 246.942 |
| 3 | G | 195.998 |
| 4 | D | 146.832 |
| 5 | A | 110.000 |
| 6 | E | 82.407 |

ในกรณีที่จำโน้ตไม่ได้ หรือส่วนที่เกินเฟรต 12 ขึ้นไปสามารถไล่หรือหาโน้ตได้ โดยใช้คุณสมบัติของเฟรตกีตาร์ ที่แบ่งเสียงแต่ละช่องเป็นครึ่งเสียง ดังนั้นเมื่อคุณช่องที่สูงขึ้นไป 1 ช่องเฟรต ก็จะทำให้เสียงสูงขึ้นครึ่งเสียงคนตรีหรือ 1 # และ ถ้า 2 ช่องเฟรตก็เป็น 1 เสียงคนตรี หรือเท่ากับ 2 # นั่นเอง เช่นจากรูป ที่ช่อง 3 สาย 1 มีเสียง G เมื่อเลื่อน ไปกดช่อง 4 เสียงจะสูงขึ้น 1 # หรือครึ่งเสียงคือ G# (Ab) หรือเมื่อเลื่อนลงมากดที่ช่อง 2 เสียงจะลดลงมาครึ่งเสียงหรือ 1 b ก็คือ Gb (F#) นั่นเอง

2.2 การแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว

เนื่องจาก การแปลงฟูรีเยร์เต็มหน่วย (Discrete Fourier Transform) หรือที่เรียกกัน โดยย่อว่า DFT มีประโยชน์ในการใช้งานมาก โดยเฉพาะการใช้วิเคราะห์องค์ประกอบความถี่ของสัญญาณ จึงได้มีการพยายามคิดค้นวิธีที่จะคำนวณ DFT ให้เร็วขึ้น และมีประสิทธิภาพขึ้นกว่าปกติ ซึ่งเรียกว่า การแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform) หรือ FFT

ในหัวข้อนี้จะศึกษาวิธีการทำ FFT วิธีพื้นฐานวิธีหนึ่ง คือวิธีแบบแตกเป็นส่วนย่อยทางฝั่งเวลา (Decimation In Time) ซึ่งมีแนวคิดอธิบายได้ดังนี้

การแปลง DFT นิยามโดยสมการที่ (2.1)

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)W_N^{kn} \quad \text{โดยที่ } W_N = e^{-j2\pi/N} \text{ และ } k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2.1)$$

ถ้าให้ N เป็นเลขคู่ จะสามารถกระจาย $X(k)$ ให้อยู่ในรูปของผลบวกของเทอมที่ n เป็นคู่และเทอมที่ n เป็นคี่ได้ ดังสมการที่ (2.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X(k) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n)W_N^{2nk} + \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n+1)W_N^{(2n+1)k} \quad (2.2)$$

ถ้าพิจารณาเทอม W_N^{ab} ที่มี a และ b เป็นจำนวนใด ๆ ที่ไม่เท่ากับ 0 จะพบว่าสามารถย้ายด้วยกำลังของ W ไปเป็นตัวหารของ N ได้ดังสมการที่ (2.3)

$$W_N^{ab} = e^{-j\frac{2\pi}{N}ab} = e^{-j\frac{2\pi}{N/b}a} = W_{N/b}^a \quad (2.3)$$

ใช้ความจริงข้อนี้ แทนค่าเทอม W_N^{2nk} ด้วย $W_{N/2}^{nk}$ ในสมการที่ (2.1)

$$X(k) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n)W_{N/2}^{nk} + \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n+1)W_{N/2}^{nk} \times W_N^k \quad (2.4)$$

เห็นได้ว่า $X(k)$ ได้กลายเป็นผลบวกของสองเทอม แต่ละเทอมเป็นรูปแบบของการคำนวณฟูริเยร์เต็มหน่วย $N/2$ จุด โดยเทอมแรกกระทำกับสัญญาณ $x(0), x(2), \dots, x(N-2)$ และเทอมที่สองกระทำกับสัญญาณ $x(1), x(3), \dots, x(N-1)$

ถ้าดูวิธีการแตกกระจายเป็นเทอมย่อยแต่เพียงเท่านี้ และคำนวณ DFT โดยใช้สมการ $X(k)$ จะได้ว่า ต้องคำนวณ DFT $N/2$ จุด เป็นจำนวน 2 ชุด ซึ่งแต่ละชุดจะต้องใช้จำนวนการบวกและการคูณเลขเชิงซ้อน (Complex Multiplication and Accumulation) หรือ CMAC ในการคำนวณเท่ากับ $(N/2)^2$ ดังนั้น ต้องใช้จำนวน CMAC ในการคำนวณทั้งสิ้นประมาณ $2(N/2)^2 = N^2/2$ ซึ่งจริง ๆ แล้ว ต้องใช้การบวกอีก N จุด เพื่อนำผลลัพธ์ของแต่ละชุดมาบวกกัน แต่เนื่องจากถ้า N ใหญ่พอประมาณ N จะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับ $N^2/2$ จึงประมาณว่าไม่ต้องคิดการบวก N ครั้งนี้ได้

สรุปว่า การหา $W(k)$ ซึ่งเป็น DFT N จุด สามารถกระจายให้อยู่ในเทอมของ DFT $N/2$ จุด ซึ่งจะทำให้จำนวน CMAC ที่ต้องใช้ลดลงประมาณครึ่งหนึ่งเช่นเดียวกัน ถ้าทำการแตกเทอม DFT $N/2$ จุดที่อยู่ในสมการ $X(k)$ นี้ต่อไป แต่ละเทอมก็จะสามารถกระจายให้กลายเป็นผลบวกของ DFT $N/4$ จุดสองเทอม ซึ่งก็จะทำให้จำนวน CMAC ที่ต้องใช้ลดลงอีกประมาณครึ่งหนึ่ง สามารถกระจายเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งทุกตัวอยู่ในรูปของ DFT 2 จุด ซึ่ง DFT 2 จุดสามารถคำนวณได้ง่าย ๆ ดังสมการที่ (2.5)

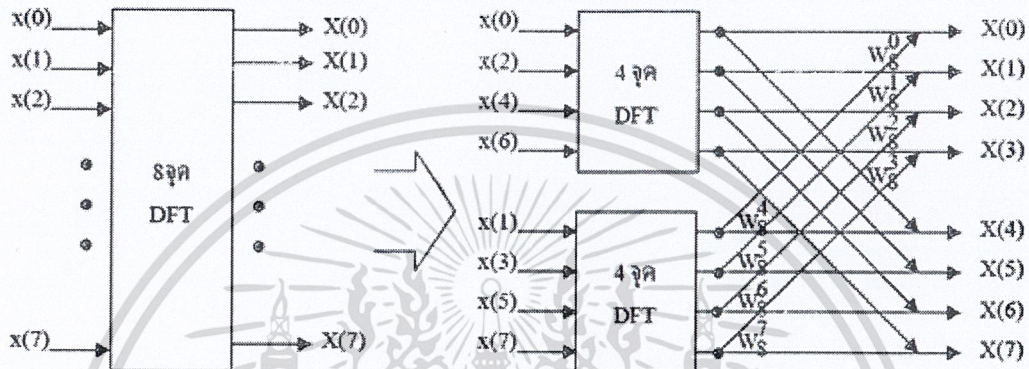
$$\text{สมมติให้ } x(n) \text{ ยาว 2 จุดจะได้ } X(k) = \sum_{n=0}^1 x(n)W_2^{kn} \quad (2.5)$$

อาศัยความจริงว่า $W_2^0 = 1$ และ $W_2^1 = e^{-j\pi} = -1$ จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน $X(0) = x(0) + x(1)$ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข $X(1) = x(0) - x(1)$ ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากขั้นตอนที่ได้อธิบายมาทั้งหมดนี้ อาจเขียนวิธีคำนวณ FFT โดยใช้แผนภาพเรียกว่า แผนภาพผีเสื้อ (Butterfly Diagram) ดังตัวอย่างแผนภาพผีเสื้อจากกรณีสัญญาณ $x(n)$ ยาว 8 จุด ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง การคิดแผนภาพผีเสื้อสำหรับการแปลง FFT ของสัญญาณ 8 จุด



รูปที่ 2.5 การกระจาย DFT 8 จุด เป็น DFT 4 จุด

โดยนิยามสัญลักษณ์ที่ใช้ในแผนภาพผีเสื้อ ดังนี้



ก่อนจะกระจายต่อไป สามารถทำสัมประสิทธิ์ที่อยู่ในแผนภาพในรูปที่ 2.5 ให้ง่ายลงได้ โดยใช้คุณสมบัติความสมมาตรของ W_N ดังสมการที่ (2.6)

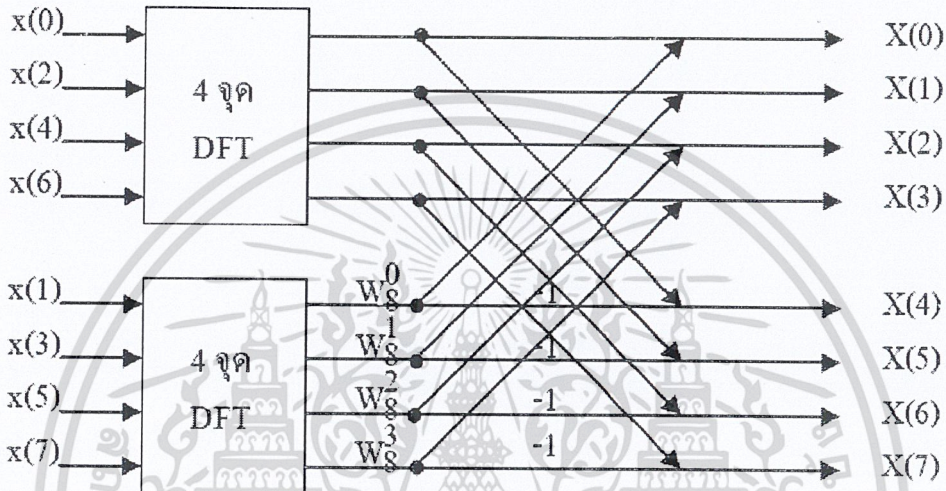
$$W_N^{k+N/2} = W_N^k W_N^{N/2} = W_N^k (-1) = -W_N^k \quad (2.6)$$

ใช้คุณสมบัติตามด้านบน จะได้ว่า

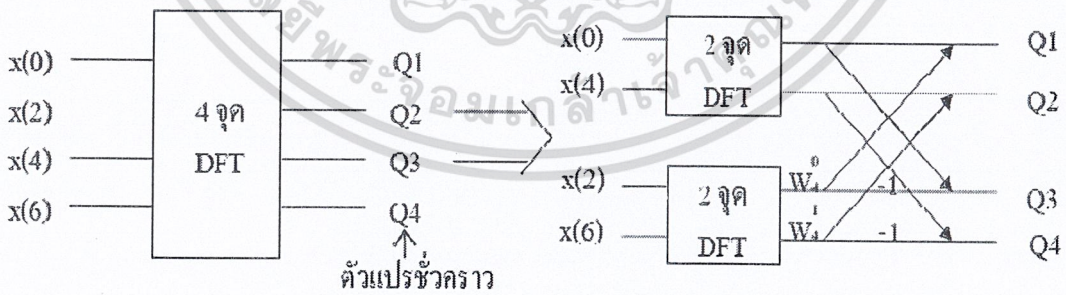
$$W_8^4 = -W_8^0, \quad W_8^5 = -W_8^1, \quad W_8^6 = -W_8^2, \quad \text{และ} \quad W_8^7 = -W_8^3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่แทนค่าทั้งหมดลงในแผนภาพในรูปที่ 2.5 จะได้แผนภาพดังรูปที่ 2.6 ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทำนองเดียวกัน DFT 4 จุดก็สามารถกระจายเป็น DFT 2 จุดได้ดังรูปที่ 2.6 และเมื่อรวมผลลัพธ์แต่ละส่วนเข้าเป็นแผนภาพเดียวกัน ก็จะปรากฏดังในรูปที่ 2.8 จากรูปที่ 2.7 นี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการเขียนแผนภาพสำหรับ FFT N จุดใด ๆ ได้ทันที โดยไม่จำเป็นต้องเริ่มต้นจากการกระจายที่ละขั้นดังที่ได้แสดงมารวมทั้งใช้เป็นแนวทางในการเขียนโปรแกรมเพื่อคำนวณ FFT N จุดใด ๆ ได้

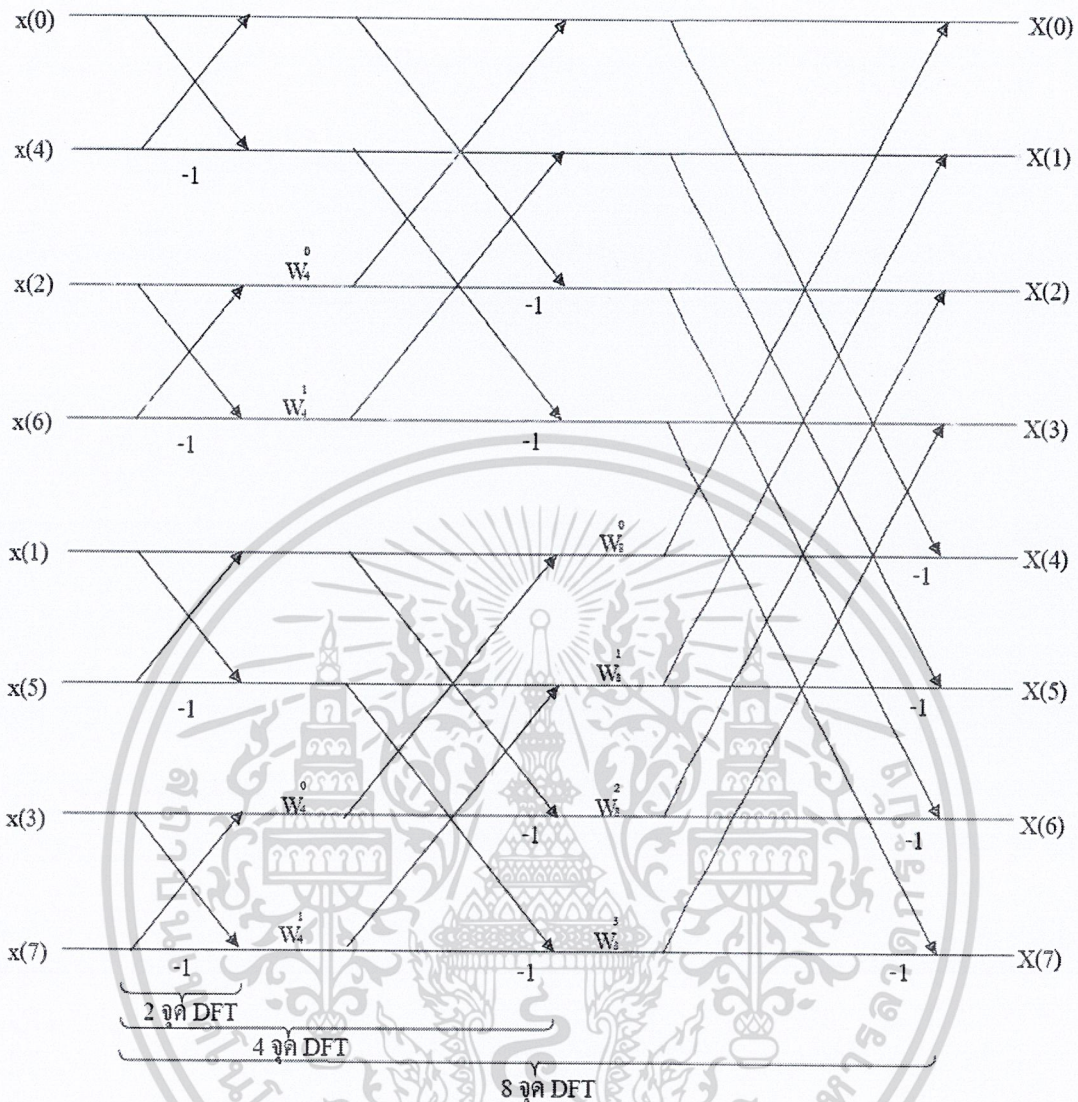


รูปที่ 2.6 การกระจาย DFT 8 จุด เป็น DFT 4 จุด หลังจากใช้คุณสมบัติความสมมาตร



รูปที่ 2.7 การกระจาย DFT 4 จุด เป็น DFT 2 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แผนภาพรวมของการคำนวณ FFT 8 จุด

จุดที่ควรสังเกตจากแผนภาพผีเสื้อของการคำนวณ FFT มีดังนี้คือ

1. ถ้าต้องการได้ผลตอบในเชิงความถี่เรียงตามลำดับจาก $X(0)$, $X(1)$, ..., $X(7)$ ต้องทำการเรียงลำดับสัญญาณขาเข้าใหม่ เป็นดังนี้ $x(0)$, $x(4)$, $x(2)$, $x(6)$, $x(1)$, $x(5)$, $x(3)$ และ $x(7)$ เมื่อเขียนลำดับเหล่านี้ในเลขฐานสองจะได้ดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 การเรียงลำดับสัญญาณขาเข้า ของการคำนวณ FFT 8 จุด

| ลำดับใหม่ฐานสิบ | ลำดับใหม่ฐานสอง |
|-----------------|-----------------|
| 0 | 000 |
| 4 | 100 |
| 2 | 010 |
| 6 | 110 |
| 1 | 001 |
| 5 | 101 |
| 3 | 011 |
| 7 | 111 |

เห็นได้ว่าลำดับใหม่เกิดจากการเรียงลำดับบิตจากหลังไปหน้าของลำดับปกติ (Bit Reversed Order) ซึ่งข้อนี้พบว่าเป็นจริงสำหรับ FFT ที่จำนวนจุดใด ๆ ด้วย

2. ค่าคงที่ W ที่ใช้คูณกับส่วนก็สามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของ W_8 ได้ทั้งหมด โดยคูณตัวห้อยและตัวยกกำลังด้วยค่าเดียวกัน ดังในตัวอย่างสามารถเปลี่ยนเทอมต่อไปนี้ได้

$$W_4^0 \rightarrow W_8^0 \text{ และ } W_4^1 \rightarrow W_8^2$$

ดังนั้นสามารถใช้ W_8 แทนค่าได้ทั้งหมด ซึ่งสามารถคำนวณ W_8 ที่ k ต่าง ๆ นี้ไว้ล่วงหน้าได้ และใช้มันเสมือนเป็นค่าคงที่สำหรับ FFT 8 จุด ข้อนี้ก็เป็นจริงเช่นกันสำหรับ FFT จำนวน N จุดใด ๆ

3. พิจารณาโดยรวมแล้วจะเห็นว่า การคำนวณ FFT N จุด ถูกแบ่งเป็น $\log_2 N$ ขั้นตอน โดยอาจประมาณได้ว่าแต่ละขั้นตอนมีการคำนวณเท่ากับ N ดังนั้น CMAC (มีเส้นทแยงในแผนภาพ N เส้นในทุก ๆ ขั้นตอน) สามารถหาได้จากสมการที่ (2.7)

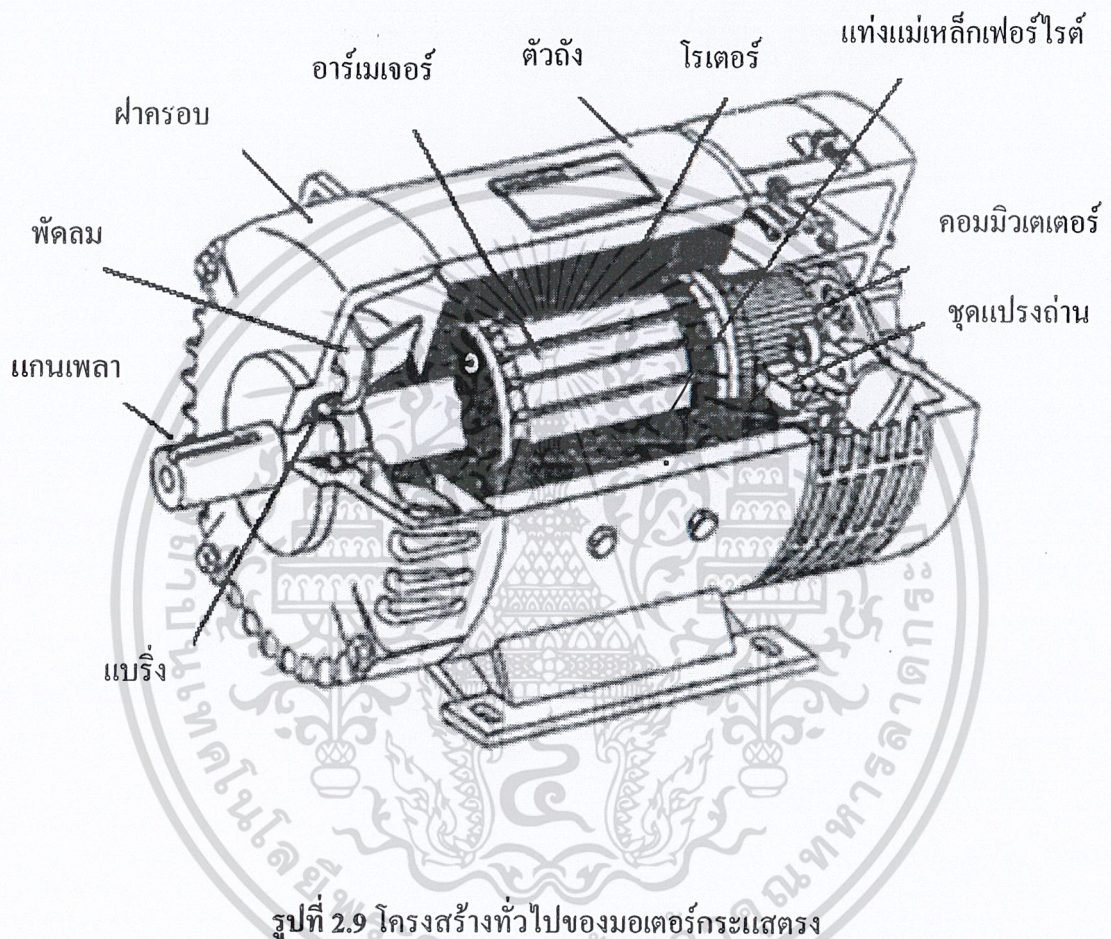
$$\text{จำนวน CMAC ที่ต้องใช้ในการคำนวณ FFT } N \text{ จุด} = N \log_2 N \quad (2.7)$$

4. วิธี radix-2 นี้ใช้ได้ก็ต่อเมื่อค่า N เท่ากับ 2^b โดย b เป็นจำนวนเต็มบวกใด ๆ ซึ่งข้อนี้ไม่เป็นปัญหา เนื่องจากถ้าไม่สามารถแบ่งสัญญาณให้มีความยาวเท่ากับ 2^b ได้ ก็ใช้วิธีเติมศูนย์เพิ่มไปในสัญญาณให้ได้ความยาวตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 มอเตอร์กระแสตรง

มอเตอร์กระแสตรงมีหลักการทำงานโดยวิธีการผ่านกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดในสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะทำให้เกิดแรงแม่เหล็ก โดยส่วนของแรงนี้จะขึ้นอยู่กับกระแสและกำลังของสนามแม่เหล็ก โครงสร้างทั่วไปของมอเตอร์กระแสตรง แสดงได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 โครงสร้างทั่วไปของมอเตอร์กระแสตรง

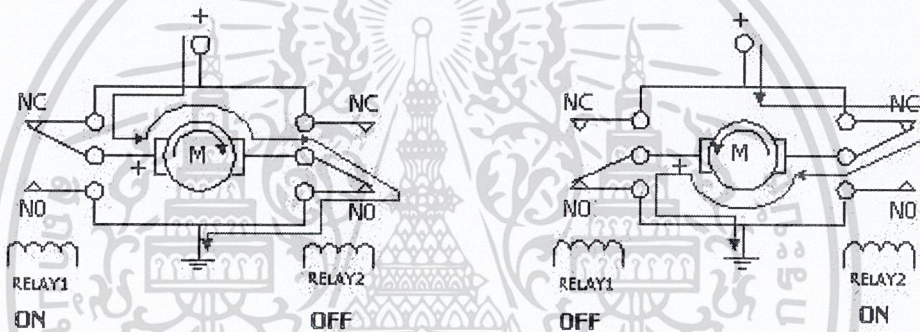
จากรูปที่ 2.9 ทางเดินของฟลักซ์แม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก จะเกิดจากแท่งแม่เหล็กเพอร์ไรต์ 2 ชั้นที่ขึ้นรูปเป็นแบบโค้งยึดติดกับตัวถังได้พอดี เพื่อที่จะให้เส้นแรงแม่เหล็กวิ่งเข้าสู่ใจกลางของมอเตอร์ได้ ดังนั้นความเข้มของแม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับขนาดความหนาของแม่เหล็กด้วย ซึ่งส่งผลให้ฟลักซ์แม่เหล็กวิ่งไปบนตัวถังโลหะ กระแสไฟฟ้าในขดลวดที่พันกับขดลวดโรเตอร์ก็จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และต้านกับสนามแม่เหล็กถาวร จึงเกิดเป็นแรงบิดเพื่อที่จะหมุนขดลวดโรเตอร์ให้ไปในทิศทางเดียวกันกับทิศทางของสนามแม่เหล็กที่มีแรงมากกว่า กระแสก็จะไหลผ่านไปยังขดลวดโรเตอร์โดยผ่านแปรงถ่าน ซึ่งจะสัมผัสกับแหวนตัวนำในขดลวดโรเตอร์และแหวนคอมมิวเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

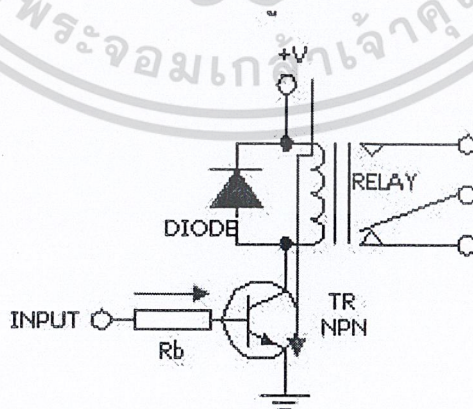
2.3.1 การขับและกลับทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง

ในการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการหมุน และทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง นั้น จะต้องมีส่วนของวงจร ที่เรียกว่าวงจรขับมอเตอร์ (Driver) และในส่วนของวงจรกลับทิศทางของมอเตอร์นั้น สามารถที่จะใช้รีเลย์ต่อวงจรสวิตช์ เพื่อกลับทิศทางของขั้วไฟกระแสตรง หรืออาจใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่เป็นวงจรขับกำลัง

จากรูป 2.10 เป็นการใช้อุปกรณ์ควบคุมการเปลี่ยนทิศทางการหมุนของมอเตอร์ โดยการควบคุมการปิด - เปิดที่รีเลย์ 2 ตัว ซึ่งจะทำหน้าที่กลับทิศทางของขั้วไฟที่ป้อนให้กับมอเตอร์ โดยการสลับการทำงานของรีเลย์ เช่น ให้รีเลย์ตัวที่ 1 ทำงาน (ON) และรีเลย์ตัวที่ 2 หยุดทำงาน (OFF) จะทำให้มอเตอร์หมุนไปทางซ้าย และในทำนองเดียวกันถ้าหากรีเลย์ตัวที่ 1 หยุดทำงาน (OFF) และรีเลย์ตัวที่ 2 ทำงาน (ON) ก็จะทำให้มอเตอร์หมุนไปทางขวา



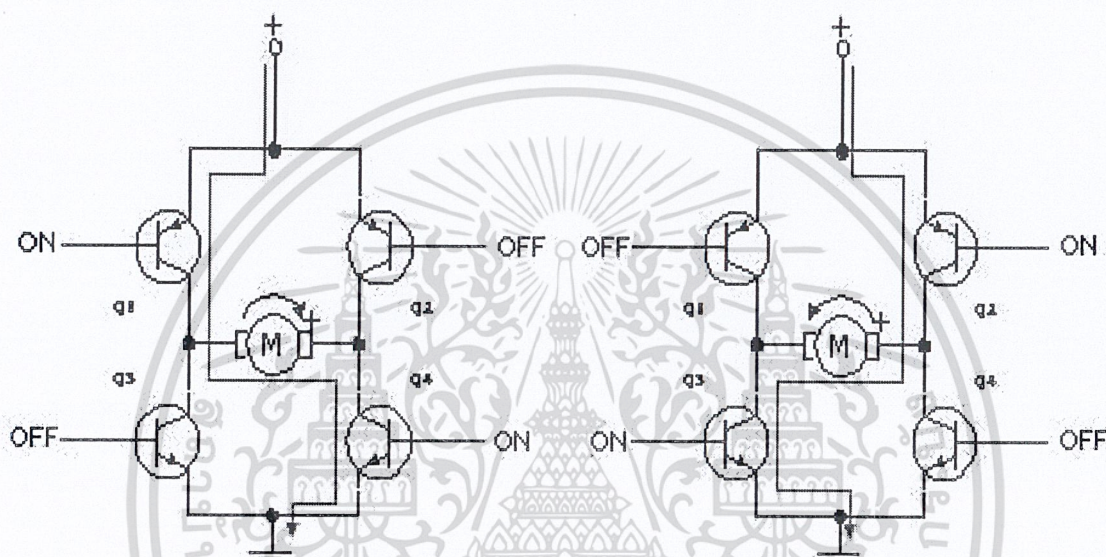
รูปที่ 2.10 การกลับทิศทางของมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้รีเลย์



รูปที่ 2.11 การใช้ทรานซิสเตอร์เพื่อขับรีเลย์ให้ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะทางวิชาการเท่านั้น ไม่ใช่ว่าจะให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.11 เป็นวงจรขั้วรีเลย์โดยใช้ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่ขยายกระแส ด้วยเหตุผลเพราะไม่สามารถจะใช้ขาเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ป้อนกระแสไฟที่ขดลวดของรีเลย์โดยตรงได้ เนื่องจากว่ากระแสที่จ่ายออกมาจากขาเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่าน้อยเกินไป ดังนั้นจึงต้องมีส่วนของวงจรถานซิสเตอร์เพื่อที่จะทำการขยายกระแสให้เพียงพอในการป้อนให้กับขดลวดของรีเลย์ ส่วนไดโอดนำมาต่อไว้สำหรับป้องกันแรงดันย้อนกลับที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กในขณะที่เกิดการยุบตัว ซึ่งอาจจะทำให้ทรานซิสเตอร์เสียหายได้



รูปที่ 2.12 การใช้ทรานซิสเตอร์เป็นวงจรถับและกำหนดทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง

จากรูปที่ 2.12 เป็นวงจรลิเนียร์บริดจ์แอมป์ ซึ่งจะประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์กำลัง 4 ตัวที่ทำหน้าที่ขับ และควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ถ้าหากกำหนดให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q4 อยู่ในสภาวะทำงาน (Active) กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านทรานซิสเตอร์จากซ้ายไปขวา โดยผ่านมอเตอร์กระแสตรงทำให้มอเตอร์หมุนไปทางขวา ในทำนองเดียวกันถ้าหากทำให้ทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q3 อยู่ในสภาวะทำงาน กระแสไฟฟ้าก็จะไหลจากทางขวาไปทางซ้ายซึ่งจะส่งผลให้มอเตอร์กลับทิศทางการหมุนจากทางขวาไปทางซ้าย

อย่างไรก็ตาม มีไอซีสำเร็จรูปจำนวนมากที่สามารถนำมาใช้เป็นวงจรถับมอเตอร์ได้ โดยในที่นี้ได้เลือกใช้ไอซีเบอร์ L298 ซึ่งสามารถใช้งานได้สูงสุดถึงระดับแรงดัน 46 โวลต์ และกระแส 4 แอมแปร์

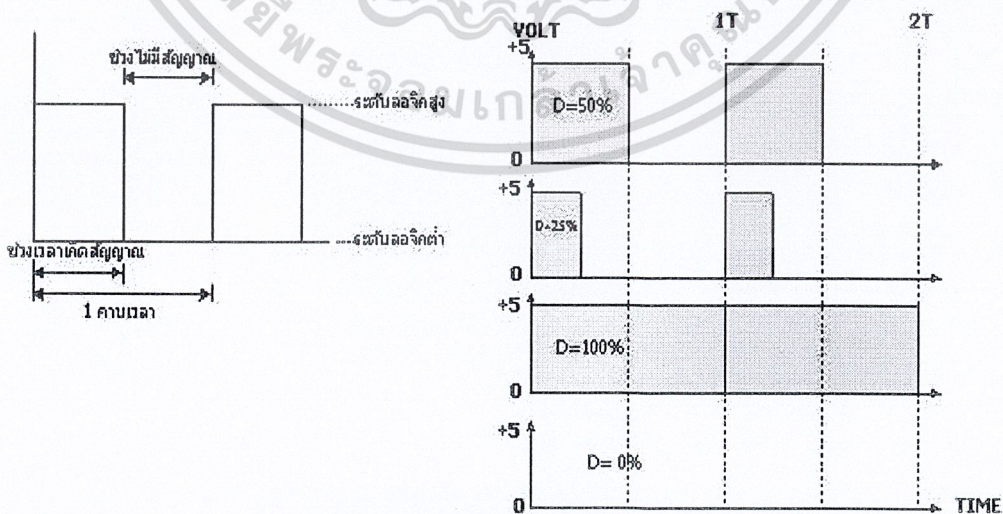
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงวิธีการมอดูเลชันความกว้างของพัลส์

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงมีหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งอาจจะใช้วิธีการควบคุมแบบพื้นฐานทั่วไปเช่นการควบคุมด้วยวิธีการใช้ตัวต้านทานปรับค่าโดยต่ออนุกรมกับมอเตอร์ หรือใช้วิธีการการควบคุมโดยการเปลี่ยนค่าของระดับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ แต่การควบคุมในวิธีดังกล่าวถึงแม้ว่าจะควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้คงที่ได้ แต่ที่ความเร็วต่ำจะส่งผลให้แรงบิดต่ำไปด้วย ดังนั้นจึงเลือกใช้วิธีการควบคุมโดยการจ่ายกระแสไฟให้กับมอเตอร์เป็นช่วง ๆ โดยอาศัยกระแสไฟที่ป้อนให้กับมอเตอร์ให้เป็นค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วง เรียกว่าวิธีการมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์หรือ PWM (Pulse Width Modulation) ซึ่งมีหลักการดังนี้

การมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์หรือ PWM เป็นการปรับเปลี่ยนที่สัดส่วน และความกว้างของสัญญาณพัลส์ โดยความถี่ของสัญญาณพัลส์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่เป็นการเปลี่ยนแปลงที่ค่าของดีวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) นั้นเอง ซึ่งค่าของดีวตี้ไซเคิล ก็คือช่วงความกว้างของพัลส์ที่มีสถานะลอจิกสูง โดยคิดสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์จากความกว้างของพัลส์ทั้งหมด ยกตัวอย่างเช่น ถ้าหากค่าดีวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับเท่ากับ 50% ก็หมายถึงใน 1 วัฏสัญญาณพัลส์จะมีช่วงของสัญญาณที่เป็นสถานะลอจิกสูงอยู่ครึ่งหนึ่ง และสถานะลอจิกต่ำอยู่อีกครึ่งหนึ่ง ดังรูปที่ 2.13 และในการทำงานเดียวกันถ้าหากค่าดีวตี้ไซเคิลมีค่ามาก หมายความว่าความกว้างของพัลส์ที่เป็นสถานะลอจิกสูงจะมีความกว้างมากขึ้น หากค่าดีวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 100% ก็หมายความว่าไม่มีสถานะลอจิกต่ำเลย ซึ่งค่าดีวตี้ไซเคิลสามารถหาได้จากค่าสมการที่ (2.8)

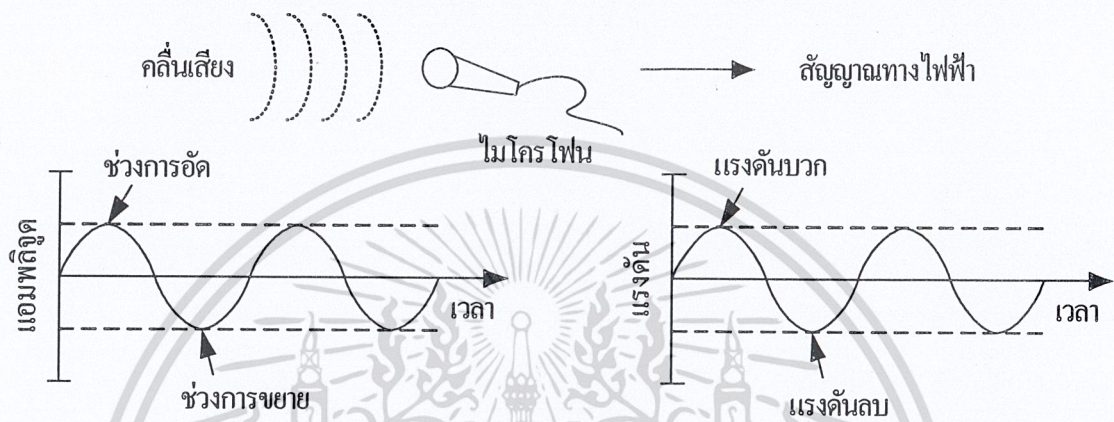
$$\text{ค่าดีวตี้ไซเคิล} = \frac{\text{ช่วงของสัญญาณพัลส์}}{\text{คาบเวลาทั้งหมดของสัญญาณ}} \times 100\% \tag{2.8}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.13 ความกว้างของพัลส์ขนาดต่าง ๆ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ไมโครโฟน

อุปกรณ์สำคัญซึ่งทำหน้าที่ในการรับคลื่นเสียง และแปลงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าคือ ไมโครโฟน แอมพลิจูดของสัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้จากไมโครโฟนเป็นสัดส่วนกับแอมพลิจูดของคลื่นเสียงที่ผ่านเข้ามา โดยขึ้นอยู่กับความสามารถของไมโครโฟนด้วย รูปที่ 2.14 แสดงตัวอย่างการแปลงสัญญาณของไมโครโฟน



รูปที่ 2.14 การแปลงคลื่นเสียงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าของไมโครโฟน

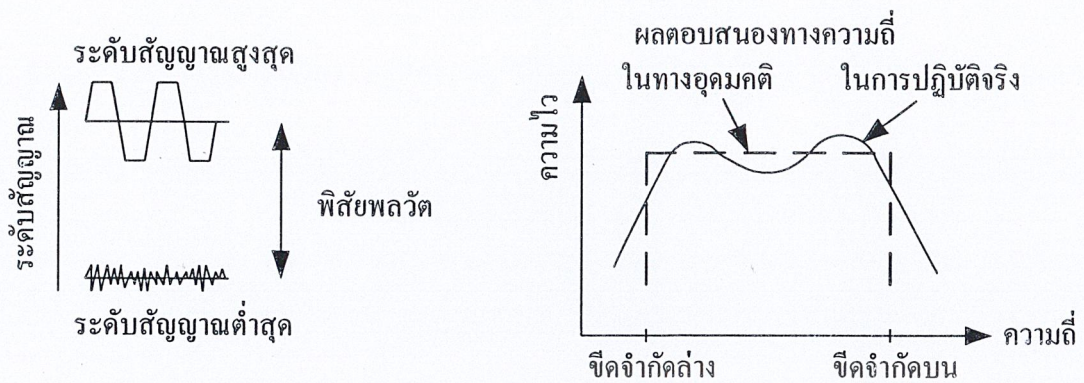
จากรูปที่ 2.14 เห็นว่าแอมพลิจูดของคลื่นเสียงถูกแปลงไปเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า โดยในช่วงการอัดของโมเลกุลของอากาศ ซึ่งมีแอมพลิจูดสูงสุดนั้น จะเกิดแรงดันบวกของสัญญาณทางไฟฟ้าขึ้น และในช่วงการขยายของ โมเลกุลของอากาศ ซึ่งมีแอมพลิจูดต่ำสุด จะเกิดแรงดันลบของสัญญาณทางไฟฟ้า

2.4.1. ความสามารถของไมโครโฟน

ความสามารถของไมโครโฟนอาจพิจารณาได้จากลักษณะสมบัติที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. ความไว (Sensitivity) คือ ค่าอัตราส่วนของแรงดันเอาต์พุตที่เกิดจากไมโครโฟนเทียบกับความดันเสียงที่เข้ามา มีหน่วยเป็น โวลต์ต่อปาสคาล (V/Pa) และอาจแสดงในหน่วยเดซิเบล (dB) ก็ได้ ซึ่งไมโครโฟนที่ดีควรมีค่าความไวสูง

2. พิสัยพลวัต (Dynamic Range) คือ พิสัยการวัดของไมโครโฟนซึ่งถูกจำกัดการวัดที่ระดับต่ำสุด ด้วยสัญญาณรบกวนทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Noise) ของไมโครโฟน (สัญญาณรบกวนทางอิเล็กทรอนิกส์ คือ เอาต์พุตที่เกิดขึ้นแม้ไม่มีความดันเสียงเข้ามายังไมโครโฟนเลย) และถูกจำกัดการวัดที่ระดับสูงสุดด้วยความไม่เป็นเชิงเส้นของไมโครโฟน และการเพี้ยนของรูปคลื่นการคำนวณพิสัยพลวัตอาจแสดงได้ดังรูปที่ 2.15 แปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 พิสัยพลวัตและผลตอบสนองทางความถี่ของไมโครโฟน

3. ผลตอบสนองทางความถี่ (Frequency Response) ของไมโครโฟน คือค่าความไวเทียบกับความถี่ ในทางอุดมคติ ไมโครโฟนควรมีค่าความไวเท่ากันตลอดทุกความถี่ หรือมีผลตอบสนองทางความถี่ที่แบนราบ (Flat) แต่ในทางปฏิบัติจริงนั้นพบว่า ผลตอบสนองทางความถี่ เพียงแต่ค่อนข้างแบนราบเท่านั้น ในช่วงระหว่างขีดจำกัดความถี่บนและล่าง และผลตอบสนองจะลดลงอย่างรวดเร็วที่ขีดจำกัดความถี่บนและล่าง ดังที่แสดงในรูปที่ 2.15

2.4.2. ชนิดของไมโครโฟน

ไมโครโฟนสามารถแบ่งได้ตามชนิดของวัสดุที่ใช้ ดังนี้

1. ไมโครโฟนที่ค่าความจุแปรผันได้ (Variable Capacitance Microphone) ประกอบด้วยแผ่นโลหะขนาดเล็ก 2 แผ่นวางขนานกัน แผ่นหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ตามการเปลี่ยนแปลงของความดันเสียง ส่วนอีกแผ่นหนึ่งอยู่กับที่ การเปลี่ยนแปลงของค่าความจุที่เกิดจากความดันเสียง จะถูกแปลงไปเป็นค่าแรงดันที่เปลี่ยนแปลงระหว่างแผ่น โลหะทั้งสอง เรียกไมโครโฟนชนิดนี้ว่า คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน (Condenser Microphone) หรือในบางครั้งอาจเรียกว่า อิเล็กโตรสแตติกไมโครโฟน (Electrostatic Microphone) คอนเดนเซอร์ไมโครโฟนสามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าตามสัญญาณเสียงที่ผ่านเข้ามาได้แม่นยำมาก แต่มีข้อเสียคือต้องการแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงจากภายนอก เพื่อรักษาให้ค่าประจุไฟฟ้าระหว่างแผ่น โลหะทั้งสองคงที่ และไม่สามารถทนต่อสภาพอากาศชื้นได้

2. อิเล็กเตรตไมโครโฟน (Electret Microphone) ได้รับการพัฒนาขึ้นจากคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน โดยใช้แผ่นพอลิเมอร์บางๆ เคลือบบนพื้นผิวด้านหนึ่งของแผ่นโลหะ พอลิเมอร์จะทำให้ประจุไฟฟ้ายังคงอยู่บนแผ่น โลหะทั้งสอง จึงไม่ต้องการแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงเหมือนคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน และยังสามารถทนต่อสภาพอากาศชื้นได้ดี จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้

อิเล็กเตรตไมโครโฟนเป็นที่นิยมใช้กันมากในการวัดและบันทึกเสียงของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. พิโซอิเล็กทริกไมโครโฟน (Piezoelectric Microphone) ประกอบด้วยวัสดุพิโซอิเล็กทริก ได้แก่ ผลึก (Crystal) และเซรามิก (Ceramic) ต่ออยู่กับแผ่นโลหะบาง ๆ เมื่อความดันเสียงกระทบกับแผ่นโลหะ วัสดุพิโซอิเล็กทริกจะเกิดความเค้น (Stress) ขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ของแผ่นโลหะซึ่งความเค้นนี้จะเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้า เรียกไมโครโฟนชนิดนี้ว่า คริสตอลไมโครโฟน (Crystal Microphone) หรือเซรามิกไมโครโฟน (Ceramic Microphone) ตามวัสดุที่ใช้ พิโซอิเล็กทริกไมโครโฟนมีราคาถูกกว่าทั้งคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน และอิเล็กเทรคไมโครโฟน แต่มีข้อดีโดยตรงที่วัสดุพิโซอิเล็กทริกจะเปลี่ยนไปตามอายุการใช้งาน และพิโซอิเล็กทริกไมโครโฟนยังมีผลตอบสนองทางความถี่ไม่บ่อยคีนัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

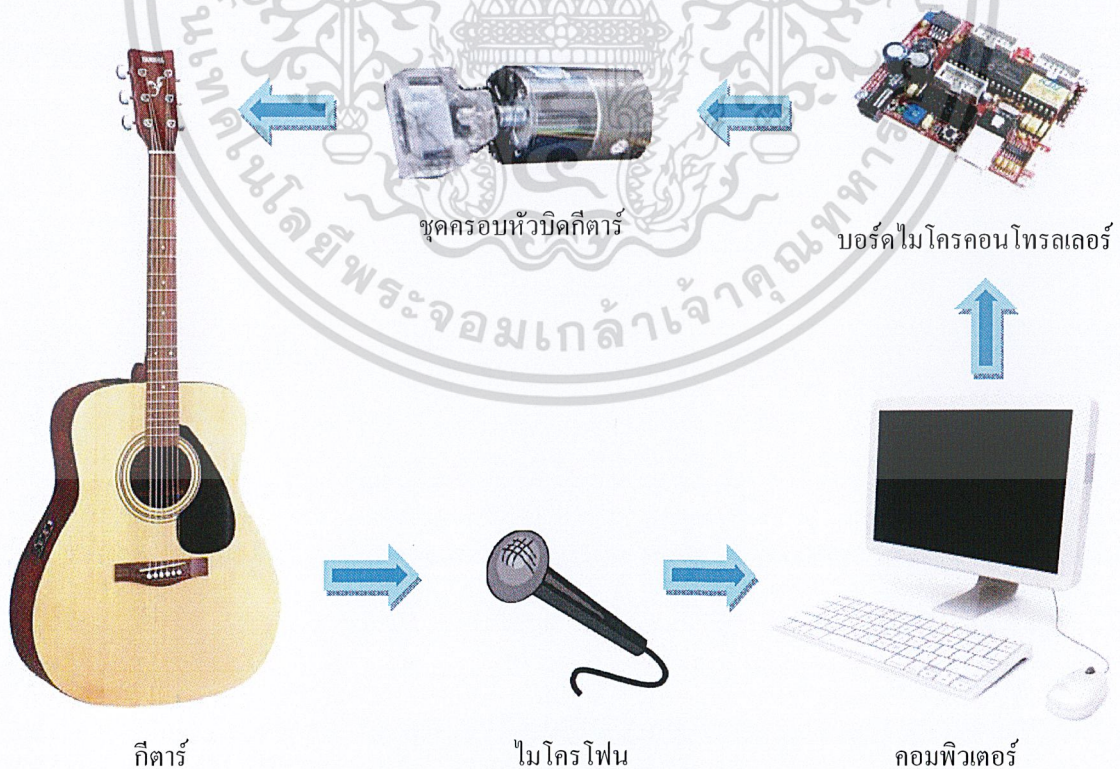
บทที่ 3

การออกแบบและโครงสร้าง

การออกแบบระบบตั้งสายกีตาร์อัตโนมัตินั้นเริ่มต้นมาจากแนวคิดที่จะพัฒนาการตั้งสายกีตาร์ให้มีความสะดวกรวดเร็วต่อการใช้งานและมีความแม่นยำ สามารถตั้งได้ถูกต้องตามมาตรฐานของแต่ละสาย โดยที่ทุกคนสามารถนำไปใช้งานได้ด้วยตนเอง ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนประกอบใหญ่ ๆ 2 ส่วนคือ ส่วนประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์ และส่วนประกอบทางด้านซอฟต์แวร์ดังหัวข้อต่อไป

3.1 โครงสร้างของระบบ

โครงสร้างของระบบมีการทำงานเริ่มจากการรับสัญญาณเสียงกีตาร์ผ่านไมโครโฟน และส่งสัญญาณเข้าคอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผลต่าง ๆ จากสัญญาณที่ได้รับมาและส่งสัญญาณที่ประมวลผลได้ออกไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งการเพื่อขับมอเตอร์ต่อไป ให้มอเตอร์บิดหัวบิดกีตาร์ให้ได้ความถี่ที่ต้องการ ดังโครงสร้างโดยรวมของระบบในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างโดยรวมของระบบตั้งสายกีตาร์อัตโนมัติ

จากโครงสร้างโดยรวมของระบบจะเห็นได้ถึงส่วนประกอบต่าง ๆ ของโครงการนี้ซึ่งมีหน้าที่แตกต่างกันไป ทุกส่วนจะถูกเชื่อมโยงเข้าหากัน โดยมีกระบวนการทำงานของระบบแสดงดังรูปที่ 3.2



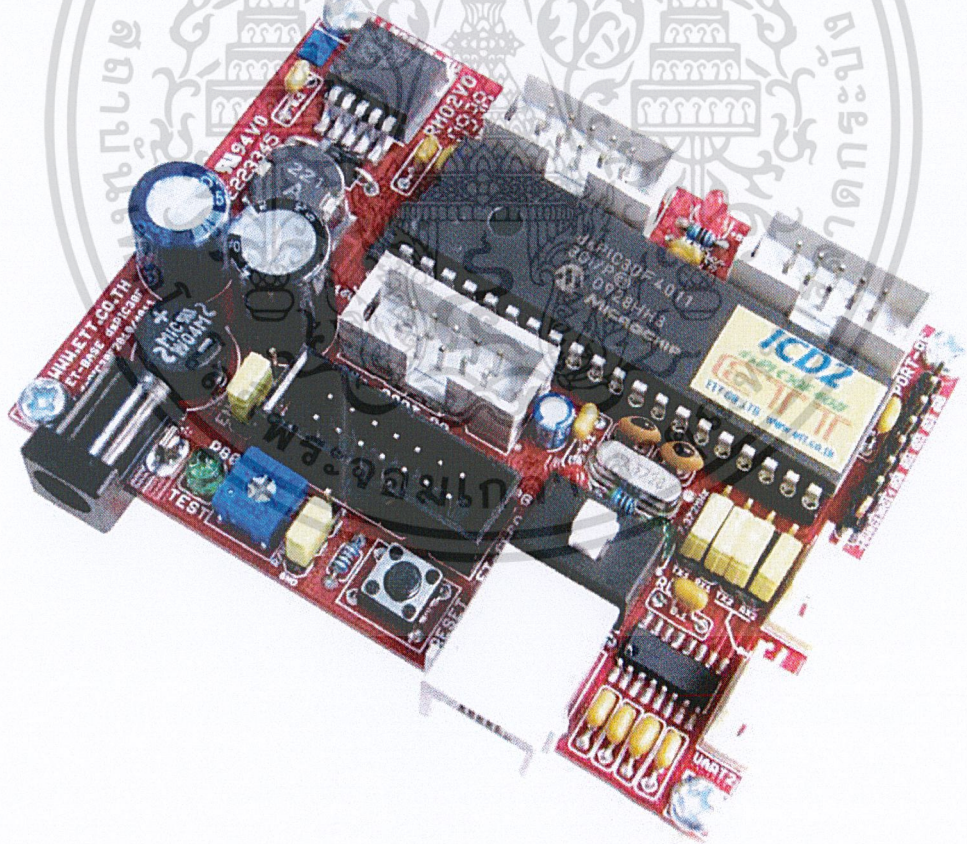
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.2 แผนภาพกระบวนการทำงานของระบบ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ส่วนประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์

3.2.1. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

ในโครงงานนี้อาศัย ET-BASE dsPIC30F4011 ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล dsPIC30F ของไมโครชิพ ซึ่งได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ 40 ขา รุ่น dsPIC30F4011 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ประจำบอร์ด โดย dsPIC30F4011 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งใช้การประมวลผลข้อมูลแบบ 16 บิต ซึ่งมีจุดเด่นในด้านของความสามารถในการประมวลผลข้อมูลสัญญาณแบบดิจิทัล โดยโครงสร้างภายในจะเป็นการผสมผสานระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรประมวลผลสัญญาณดิจิทัลรวมเข้าไว้ด้วยกัน

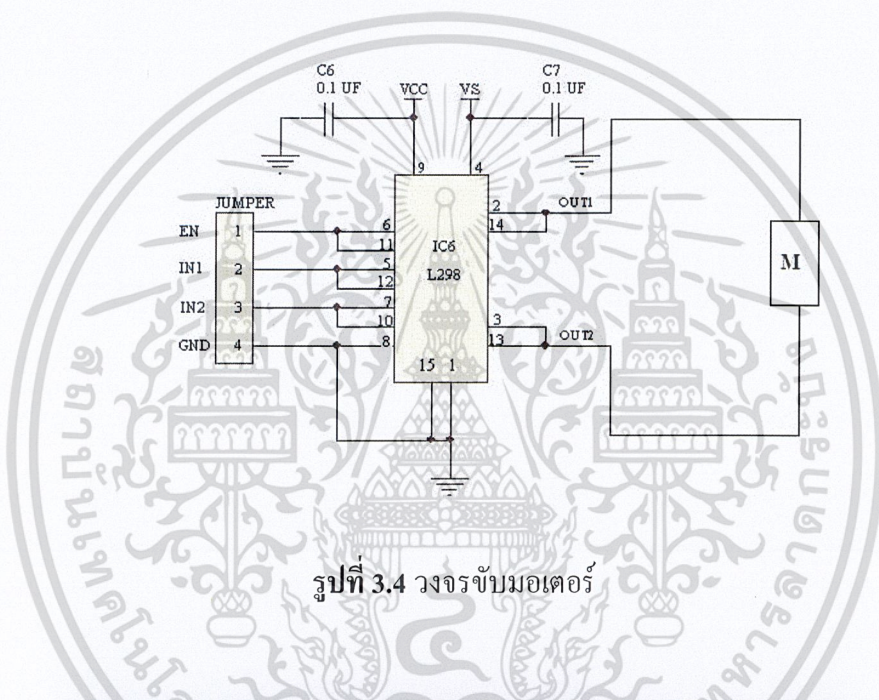
โครงสร้างของบอร์ด ET-BASE dsPIC30F4011 มีขนาดเล็ก เหมาะต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นหลัก โดยภายในบอร์ดได้บรรจุเอาวงจรที่จำเป็นต่อการใช้งาน และสะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรม มีความยืดหยุ่น สามารถปรับเปลี่ยนสัญญาณ I/O เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในลักษณะต่าง ๆ ให้สอดคล้องและเหมาะสมกับความต้องการใช้งานได้ในหลาย ๆ ลักษณะตามต้องการ



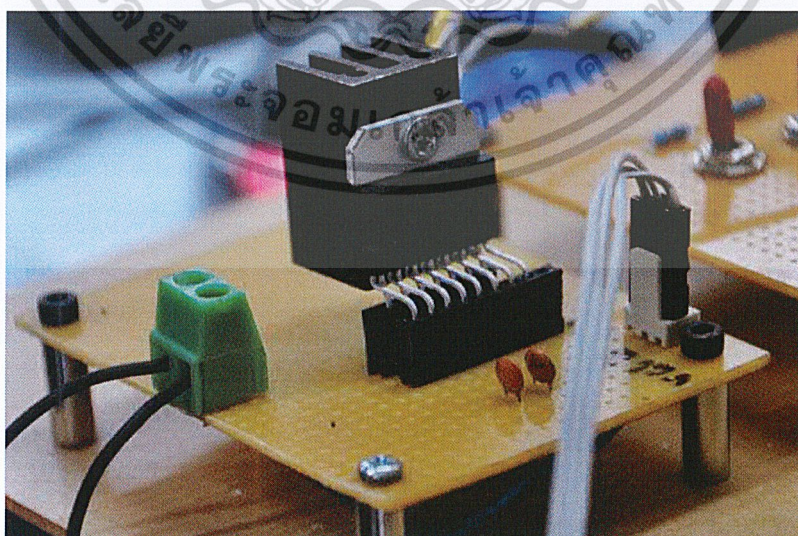
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การคุ้มครองของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่สงวนสิทธิ์ในการนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2. วงจรขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

วงจรที่ใช้ในการขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.4 ใช้ไอซีในการขับมอเตอร์ เบอร์ L298 ซึ่งมีขาเอ็นเนเบิลอยู่ที่ขา 6 และ 11 มีหน้าที่เปิดหรือปิดการใช้งาน ถ้ามีการควบคุมแบบ PWM ก็สามารถจ่ายพัลส์เข้าที่ขา 1 และขาอินพุตที่ 1 ของวงจรอยู่ที่ขา 5 และ 12 ส่วนขาอินพุตที่ 2 อยู่ที่ขา 7 และ 10 มีหน้าที่ควบคุมการหมุนของมอเตอร์ นอกจากนี้แหล่งจ่ายไฟของวงจรลอจิกขนาด 5 โวลต์ จะจ่ายเข้าขาที่ 9 และแหล่งจากไฟสำหรับมอเตอร์ขนาดไม่เกิน 46 โวลต์ จะจ่ายเข้าที่ขา 4 ส่วนขาสัญญาณเอาต์พุตจะอยู่ที่ขา 2,3,13 และ 14 โดยที่ขาที่ 2 และ 14 ต่อขนานกัน ส่วนขาที่ 3 และ 13 ก็ขนานอยู่เช่นกัน เมื่อต่อเสร็จแล้วได้วงจรดังรูปที่ 3.5



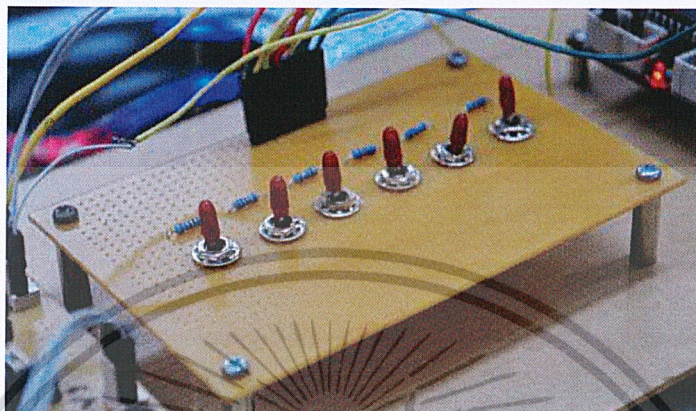
รูปที่ 3.4 วงจรขับมอเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3. วงจรสวิตช์

เป็นวงจรที่ใช้ในการตั้งค่าของสายกีตาร์แต่ละเส้น โดยเมื่อต้องการตั้งค่าสายเส้นใดนั้น ให้เปิดสวิตช์ของเส้นนั้น ๆ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 วงจรสวิตช์

3.2.4. ชุดครอบหัวบิตกีตาร์

ส่วนของชุดครอบหัวบิตกีตาร์ดังรูปที่ 3.7 ประกอบไปด้วยมอเตอร์กระแสตรง 12 โวลต์ มีชุดทดเฟืองประกอบอยู่ มีความเร็วสูงสุด 5 รอบต่อนาที แกนเพลามีขนาด 6 มิลลิเมตร และที่ครอบหัวบิตกีตาร์ ซึ่งถูกออกแบบให้สามารถสวมเข้าไปที่หัวบิตกีตาร์ได้พอดี และไม่เกิดช่องว่างภายใน ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อย โดยใช้อะคริลิกเป็นวัสดุในการสร้าง ดังภาพร่างในภาคผนวก ข.3

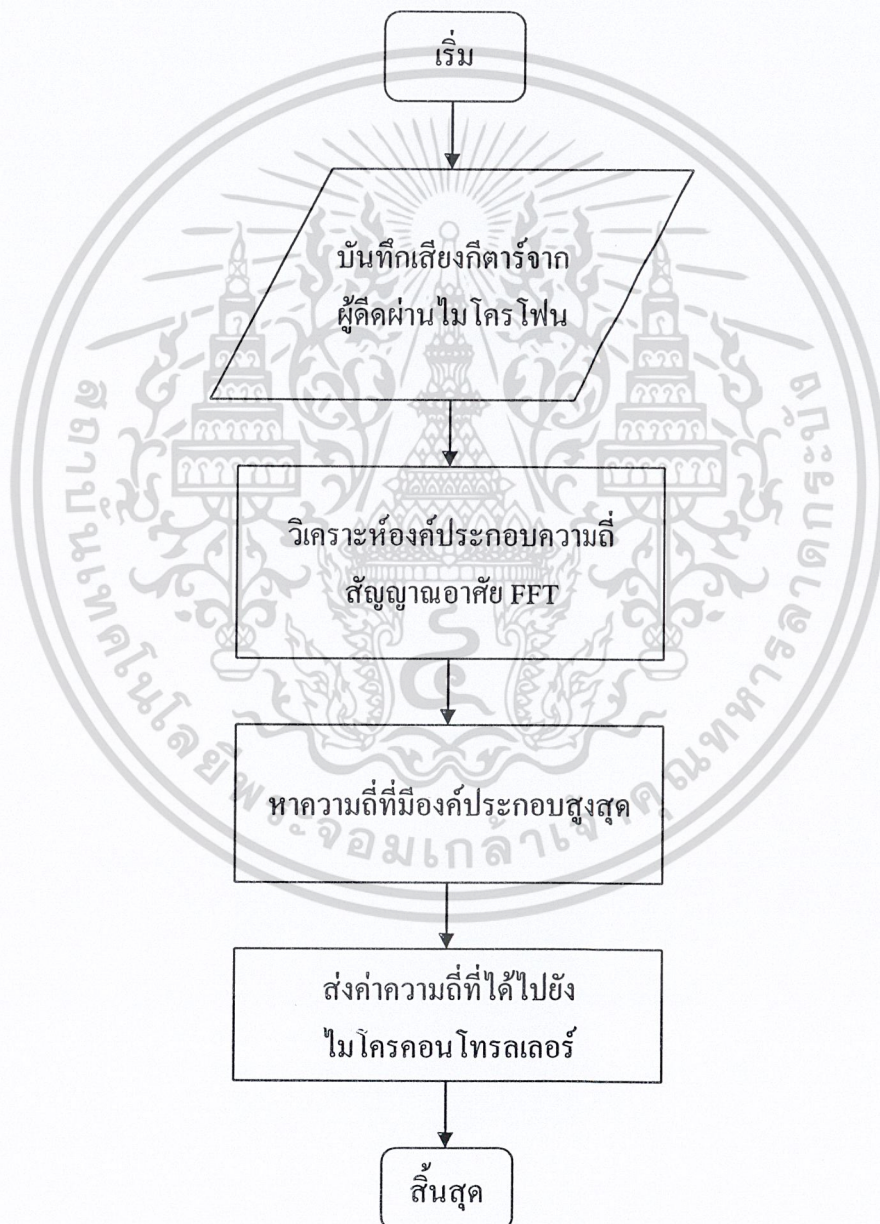


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.7 ชุดครอบหัวบิตกีตาร์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ส่วนประกอบทางด้านซอฟต์แวร์

ส่วนประกอบทางด้านซอฟต์แวร์ของระบบตั้งสายกีตาร์ในโครงการนี้ ประกอบไปด้วย 2 ส่วนย่อย ได้แก่ โปรแกรมในคอมพิวเตอร์และโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์

โปรแกรมในคอมพิวเตอร์อาศัยโปรแกรม MATLAB ในการพัฒนาโดยมีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อระบุความถี่ของสายแล้วส่งค่าความถี่ที่วัดได้ไปยัง ไมโครคอนโทรลเลอร์ แผนภาพกระบวนการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.8 โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นอยู่ในภาคผนวก ก.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ผู้ไปส่วนราชการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไปลงภาคใดบ้างไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.8 แผนภาพกระบวนการทำงานของโปรแกรมในคอมพิวเตอร์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ มีหน้าที่รับค่าความถี่ของสายกีตาร์จากคอมพิวเตอร์ นำไปประมวลผลเปรียบเทียบกับความถี่อ้างอิง เพื่อประมวลผลและส่งสัญญาณควบคุมชุดครอบหัวบิคกีตาร์ โดยแผนภาพกระบวนการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.9 โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นอยู่ในภาคผนวก ก.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.9 แผนภาพกระบวนการทำงานของโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์
 ไม่ว่าจะกรณีใดก็ตามสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏและไม่รับผิดชอบต่อการใช้งานและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

บทนี้นำเสนอการทดลองและผลการทดลอง โดยประกอบด้วยการทดลองเพื่อพิจารณาองค์ประกอบความถี่ของสายเปล่า และการทดลองตั้งสายกีตาร์อัตโนมัติ

4.1 การพิจารณาองค์ประกอบความถี่ของสายเปล่า

ในส่วนของการพิจารณาองค์ประกอบความถี่ของสายเปล่า นั้น เริ่มจากการตั้งสายกีตาร์ด้วยเครื่องเทียบเสียงดนตรีของบริษัท BELCAT รุ่น BC 850 ดังในรูปที่ 4.1 ให้แต่ละสายมีความถี่มูลฐานตรงตามมาตรฐาน หลังจากได้ค่าความถี่ตามที่ต้องการแล้ว จึงทำการดีดสายกีตาร์พร้อมกับบันทึกเสียง เป็นเวลา 5 วินาที โดยใช้ไมโครโฟนเป็นตัวรับเสียงและส่งไปยังคอมพิวเตอร์ อาศัยโปรแกรม MATLAB ในการประมวลผลเพื่อหาขนาดของการแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.2 ถึง 4.7 ตามลำดับ



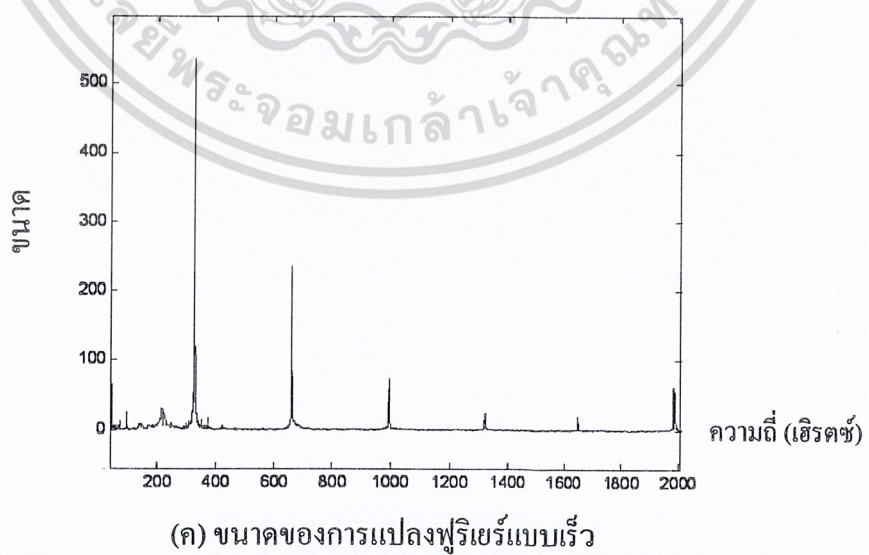
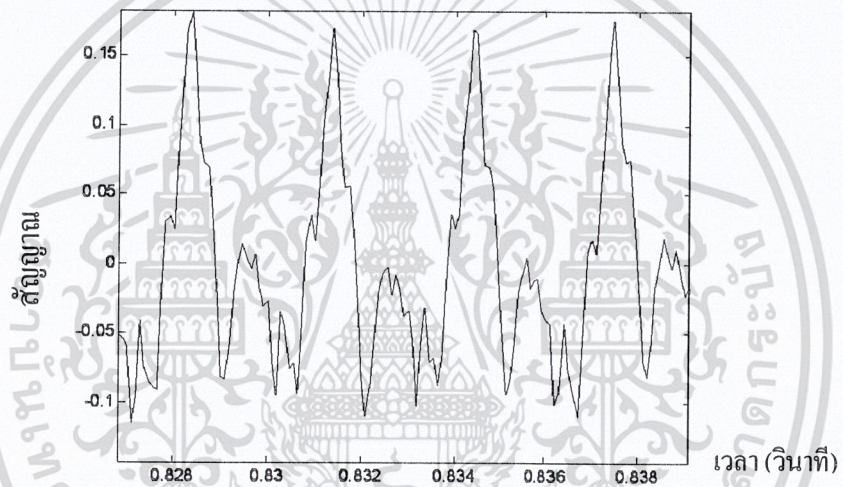
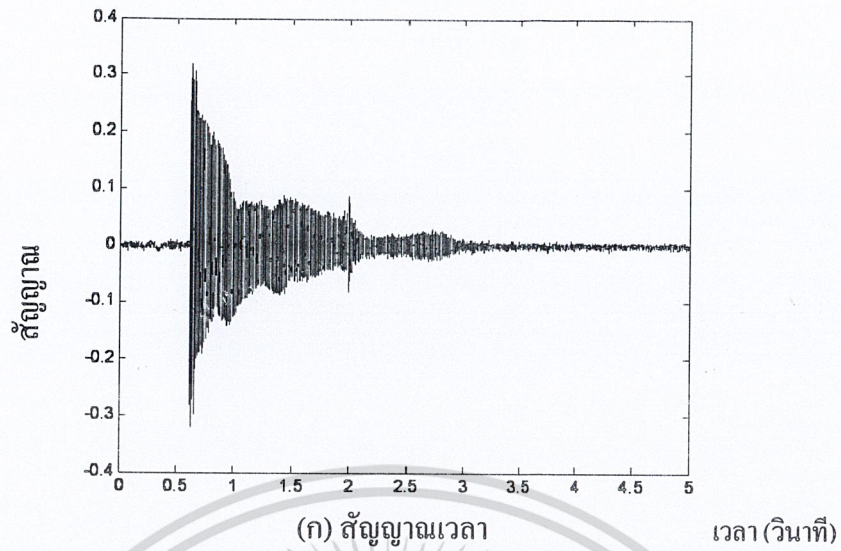
(ก) เครื่องเทียบเสียงดนตรี

(ข) การตั้งสายกีตาร์ด้วยเครื่องเทียบเสียงดนตรี

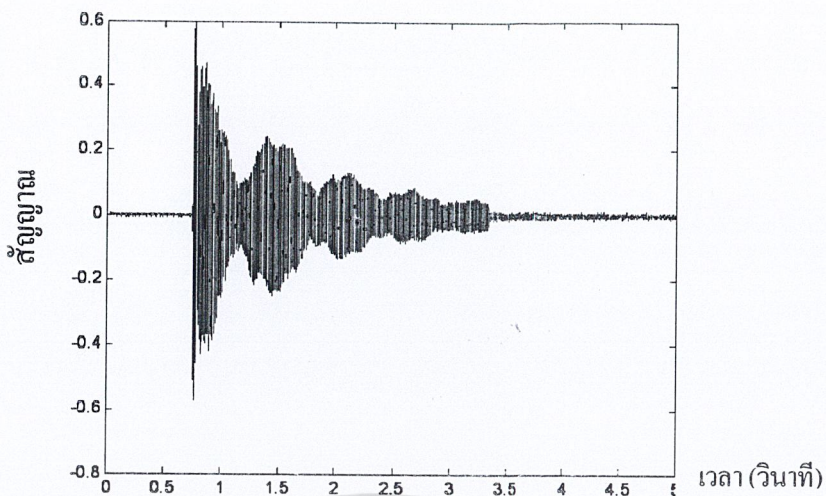
รูปที่ 4.1 เครื่องเทียบเสียงดนตรีและการทำงาน

จากรูปที่ 4.2 ถึง 4.7 ได้ค่าความถี่ซึ่งเสียงกีตาร์มีองค์ประกอบสูงสุดในแต่ละสายจากสายที่ 1 ถึงสายที่ 6 มีค่าตามลำดับดังนี้ 329.2, 246.2, 194.2, 146.8, 219.8 และ 164.8 เฮิรตซ์ จากการทดลองเห็นว่าความถี่ซึ่งมีองค์ประกอบสูงสุดในสายที่ 1 ถึงสายที่ 4 ตรงกับความถี่มูลฐานหรือความถี่ฮาร์โมนิกที่ 1 ในขณะที่ความถี่ซึ่งมีองค์ประกอบสูงสุดในสายที่ 5 และ 6 นั้น ได้ค่าความถี่ตรงกับฮาร์โมนิกที่ 2 ซึ่งค่าความถี่เหล่านี้จะใช้เป็นค่าอ้างอิงในการเปรียบเทียบการตั้งสายต่อไป

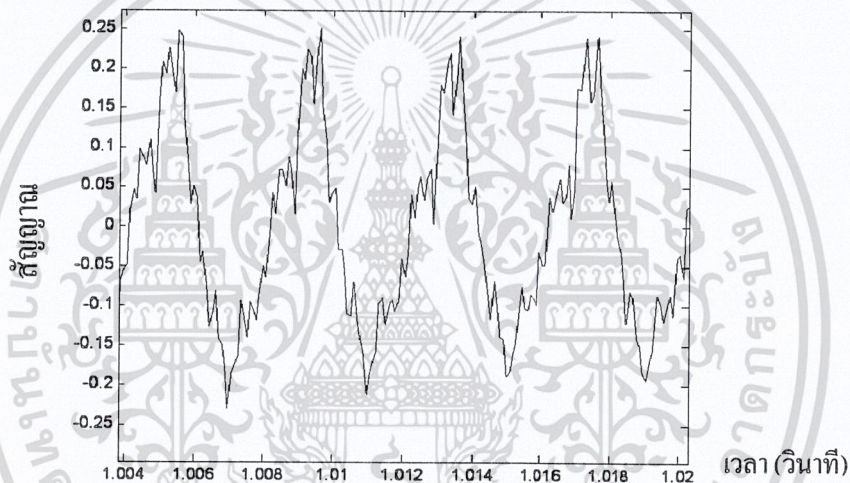
ไม่ว่าการณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



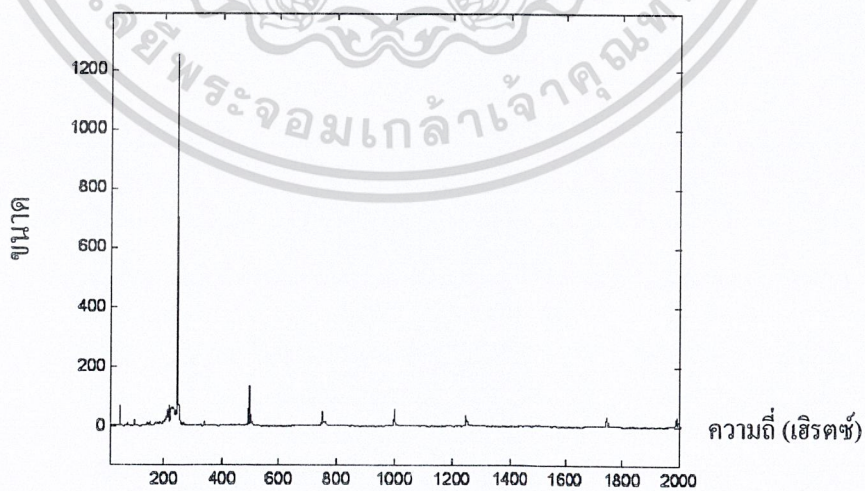
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีรูปที่ 4.2 สัญญาณเวลาและขนาดของการแปลงฟูริเยร์แบบเร็วของสายเปล่าเส้นที่ 1 มีการนำไปใช้



(ก) สัญญาณเวลา

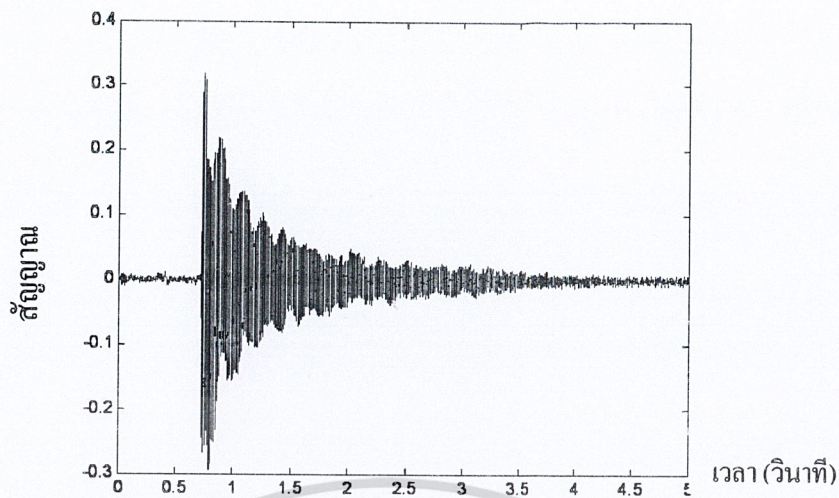


(ข) ภาพขยายสัญญาณเวลาช่วง 4 คาบ

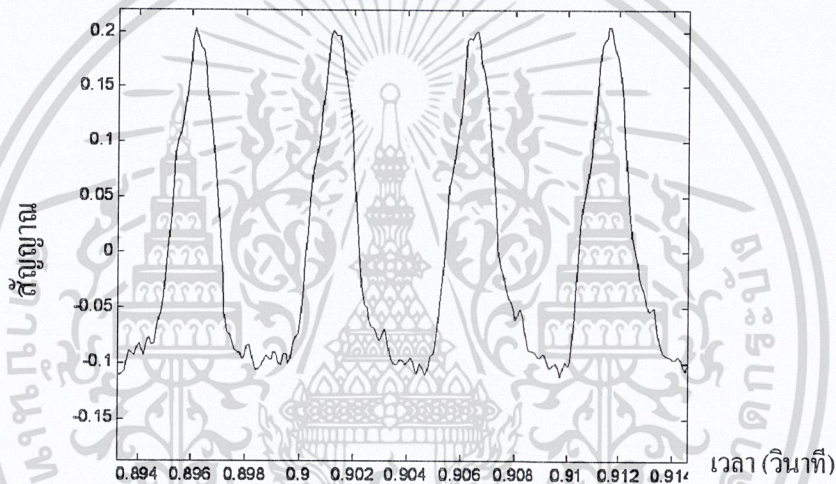


(ค) ขนาดของการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว

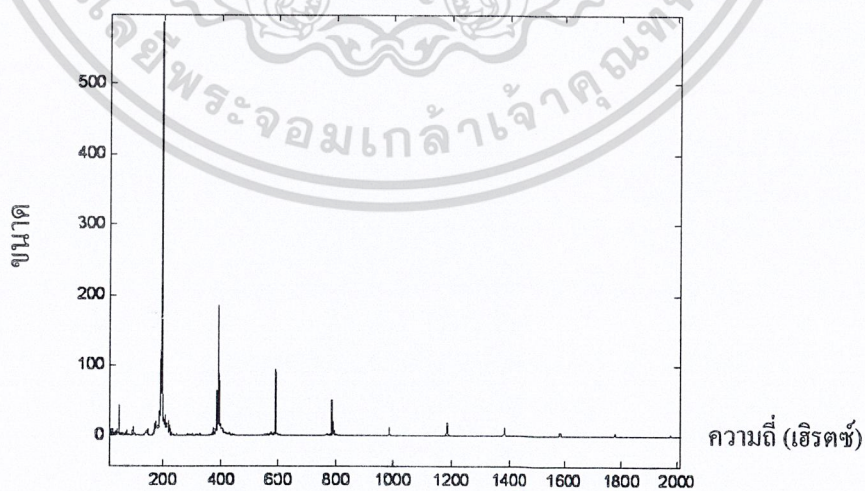
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 4.3 สัญญาณเวลาและขนาดของการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็วของสายเปล่าเส้นที่ 2 การนำไปใช้



(ก) สัญญาณเวลา

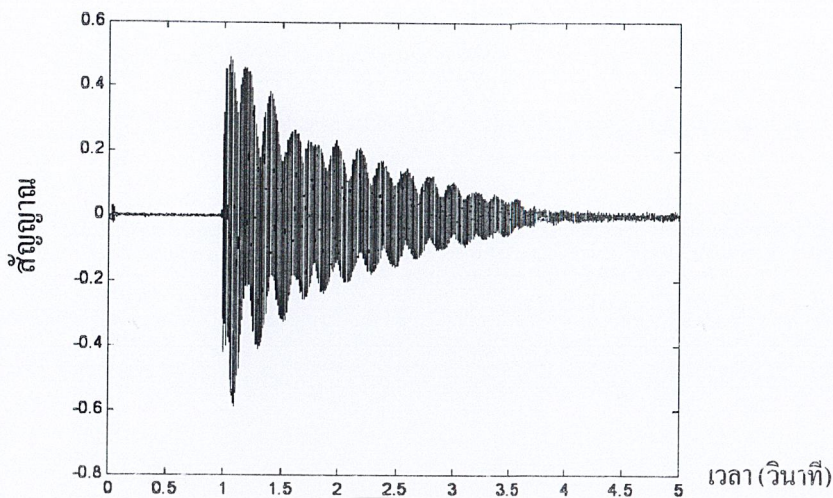


(ข) ภาพขยายสัญญาณเวลาช่วง 4 คาบ

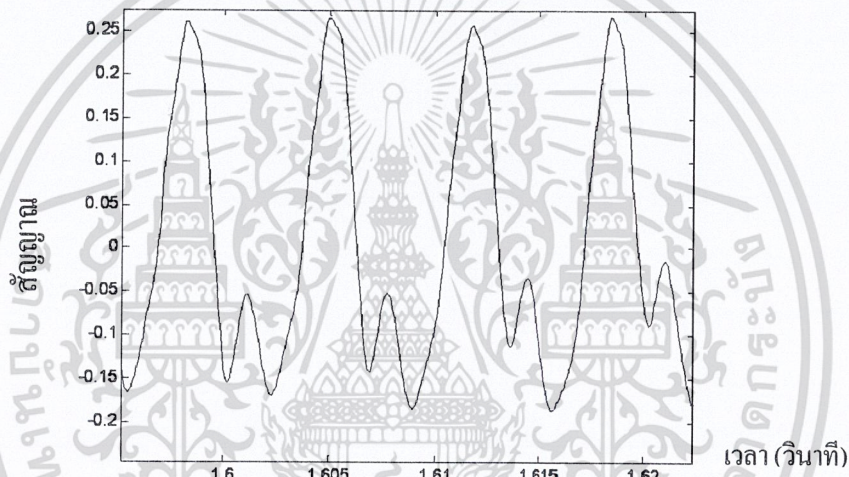


(ค) ขนาดของการแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว

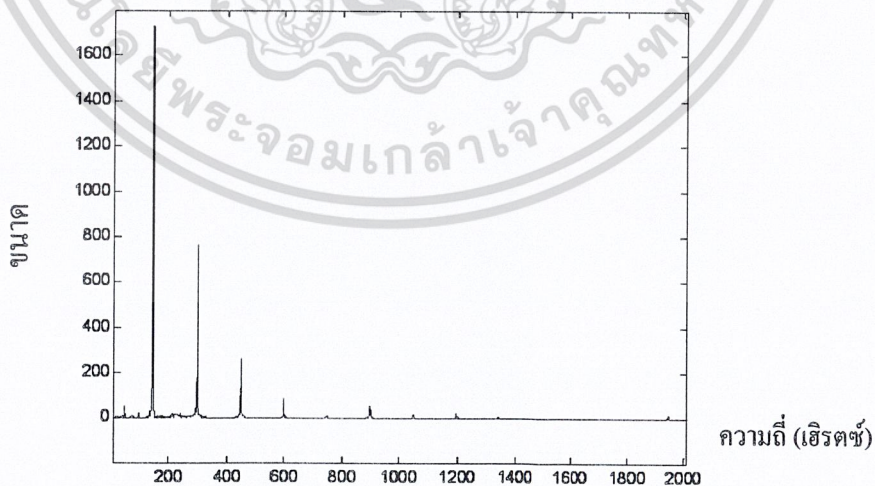
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.4 สัญญาณเวลาและขนาดของการแปลงฟูริเยร์แบบเร็วของสายเปล่าเส้นที่ 3



(ก) สัญญาณเวลา

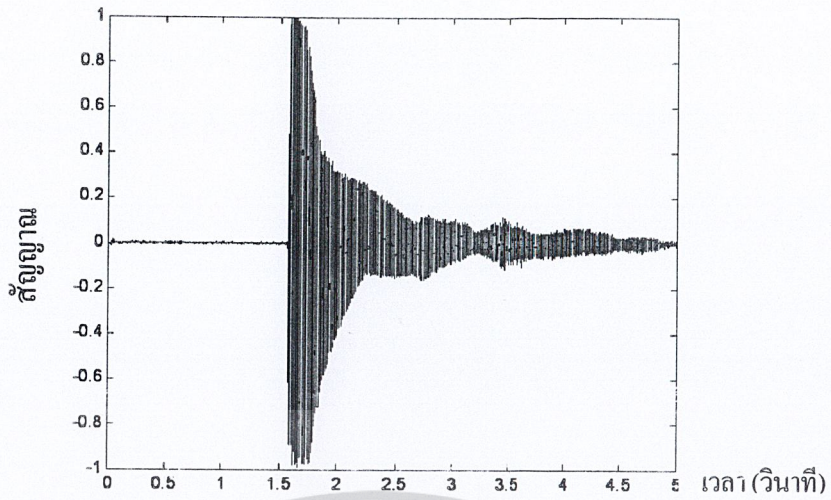


(ข) ภาพขยายสัญญาณเวลาช่วง 4 คาบ

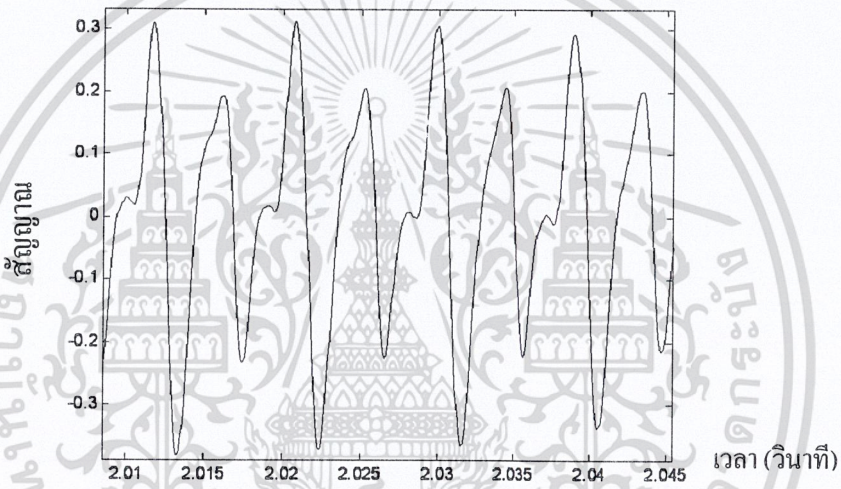


(ค) ขนาดของการแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว

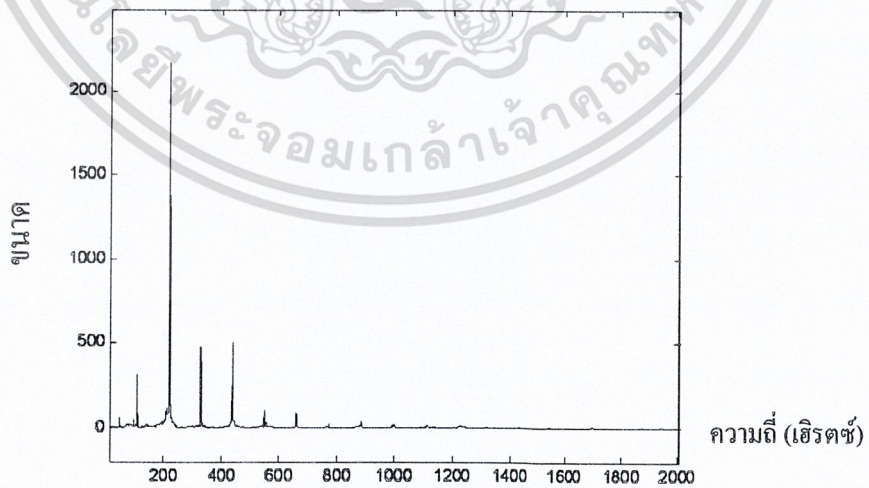
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเอาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สัญญาณเวลา

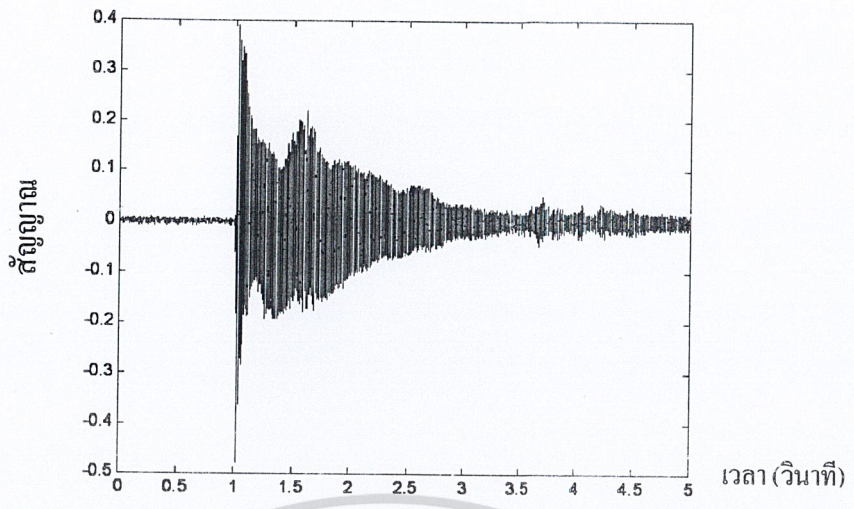


(ข) ภาพขยายสัญญาณเวลาช่วง 4 คาบ

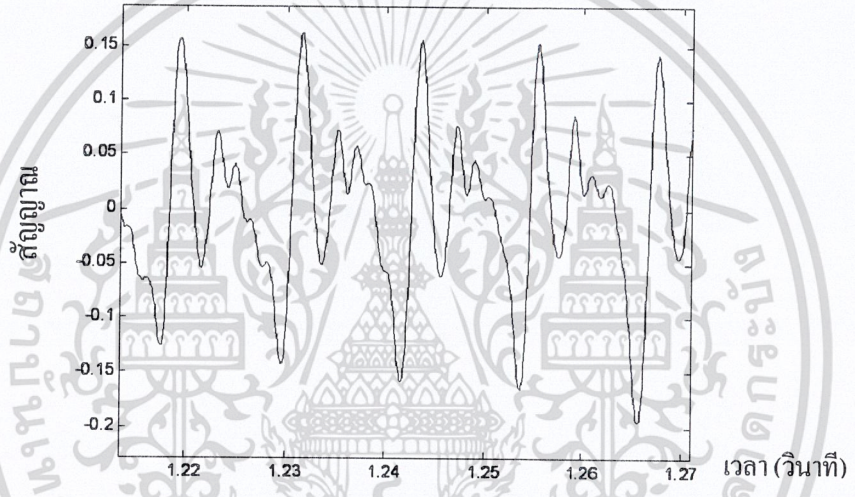


(ค) ขนาดของการแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว

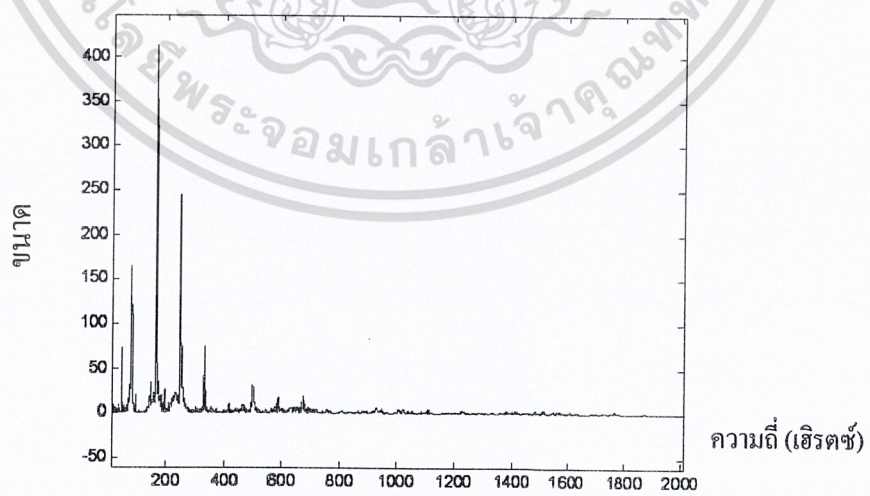
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถตีพิมพ์ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.6 สัญญาณเวลาและขนาดของการแปลงฟูริเยร์แบบเร็วของสายเปล่าเส้นที่ 5
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สัญญาณเวลา



(ข) ภาพขยายสัญญาณเวลาช่วง 4 คาบ



(ค) ขนาดของการแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ไว้สำหรับใช้ในการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.7 สัญญาณเวลาและขนาดของการแปลงฟูริเยร์แบบเร็วของสายเปล่าเส้นที่ 6
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองตั้งสายกีตาร์อัตโนมัติ

ในหัวข้อนี้นำเสนอการทดลองและผลการทดลองตั้งสายกีตาร์ทุกสาย สายละ4 การทดลอง เพื่อทดสอบความแม่นยำของระบบตั้งสายกีตาร์ที่พัฒนาขึ้น

การเตรียมการทดลองเริ่มจากการตั้งค่าเริ่มต้นให้มีความถี่ที่ต่างจากความถี่อ้างอิงทั้งสูงกว่าและต่ำกว่า โดยการบิดสายกีตาร์ให้ตึงขึ้นและหย่อนลง แล้วนำชุดหัวบิดกีตาร์เสียบเข้ากับหัวบิด และเลือกสวิตช์ที่สอดคล้องกับสายที่จะตั้ง จากนั้นจึงเริ่มทำการทดลอง โดยเริ่มต้นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นใน MATLAB และคิดสายที่ต้องการตั้ง รอกจนชุดหัวบิดกีตาร์หยุดหมุน ซึ่งนับเป็นหนึ่งรอบการทำงาน ทำซ้ำจนกระทั่งโปรแกรมแจ้งว่าได้ความถี่ตามต้องการแล้วและมอเตอร์ไม่มีการหมุน ซึ่งยังหากทำการทดลองซ้ำต่อไปก็จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ผลการทดลองตั้งสายที่ 1 ถึงสายที่ 6 แสดงดังตารางที่ 4.1 ถึง 4.6 และรูปที่ 4.8 ถึง 4.13 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองตั้งสายที่ 1

| รอบการทำงานที่ | ความถี่ (เฮิรตซ์) [ความถี่อ้างอิง 329.2 เฮิรตซ์] | | | |
|----------------|--------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | การทดลองครั้งที่ 1 | การทดลองครั้งที่ 2 | การทดลองครั้งที่ 3 | การทดลองครั้งที่ 4 |
| 1 | 343.6 | 345.4 | 286.2 | 277.0 |
| 2 | 334.0 | 333.0 | 320.0 | 315.0 |
| 3 | 330.4 | 330.4 | 328.8 | 322.2 |
| 4 | - | - | 329.4 | 327.4 |
| 5 | - | - | - | 329.4 |

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองตั้งสายที่ 2

| รอบการทำงานที่ | ความถี่ (เฮิรตซ์) [ความถี่อ้างอิง 246.2 เฮิรตซ์] | | | |
|----------------|--------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | การทดลองครั้งที่ 1 | การทดลองครั้งที่ 2 | การทดลองครั้งที่ 3 | การทดลองครั้งที่ 4 |
| 1 | 264.4 | 258.0 | 225.0 | 206.2 |
| 2 | 248.0 | 249.4 | 246.2 | 255.0 |
| 3 | 247.2 | 246.4 | - | 250.4 |
| 4 | 246.4 | - | - | 246.8 |
| 5 | - | - | - | - |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่มีการตีพิมพ์ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองตั้งสายที่ 3

| รอบการทำงานที่ | ความถี่ (เฮิรตซ์) [ความถี่อ้างอิง 194.2 เฮิรตซ์] | | | |
|----------------|--------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | การทดลองครั้งที่ 1 | การทดลองครั้งที่ 2 | การทดลองครั้งที่ 3 | การทดลองครั้งที่ 4 |
| 1 | 198.4 | 199.6 | 174.0 | 183.0 |
| 2 | 198.0 | 199.4 | 183.6 | 187.2 |
| 3 | 197.6 | 197.4 | 190.4 | 192.0 |
| 4 | 197.0 | 197.0 | 193.0 | 194.0 |
| 5 | 196.8 | 196.6 | 194.0 | 194.8 |
| 6 | 196.2 | 196.2 | 194.6 | 195.0 |
| 7 | - | - | 194.8 | 195.6 |
| 8 | - | - | 195.2 | 196.0 |
| 9 | - | - | 195.8 | - |
| 10 | - | - | 196.0 | - |

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองตั้งสายที่ 4

| รอบการทำงานที่ | ความถี่ (เฮิรตซ์) [ความถี่อ้างอิง 146.8 เฮิรตซ์] | | | |
|----------------|--------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | การทดลองครั้งที่ 1 | การทดลองครั้งที่ 2 | การทดลองครั้งที่ 3 | การทดลองครั้งที่ 4 |
| 1 | 152.0 | 148.2 | 132.6 | 139.6 |
| 2 | 151.6 | 148.0 | 135.8 | 140.0 |
| 3 | 150.0 | 147.6 | 140.0 | 140.4 |
| 4 | 148.6 | 147.0 | 141.2 | 141.0 |
| 5 | 148.0 | 146.8 | 142.2 | 142.2 |
| 6 | 147.6 | - | 143.0 | 143.0 |
| 7 | 147.0 | - | 144.8 | 144.6 |
| 8 | 146.6 | - | 146.0 | 146.0 |
| 9 | 146.2 | - | 146.2 | 146.4 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองตั้งสายที่ 5

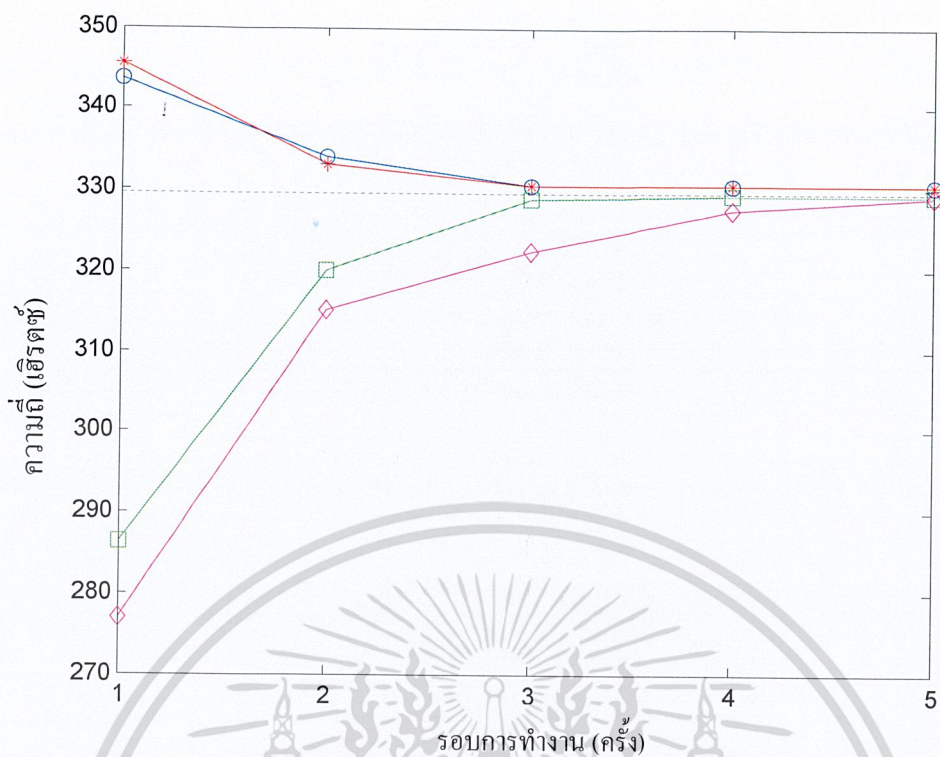
| รอบการทำงานที่ | ความถี่ (เฮิรตซ์) [ความถี่อ้างอิง 219.8 เฮิรตซ์] | | | |
|----------------|--------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | การทดลองครั้งที่ 1 | การทดลองครั้งที่ 2 | การทดลองครั้งที่ 3 | การทดลองครั้งที่ 4 |
| 1 | 239.6 | 236.8 | 181.2 | 153.2 |
| 2 | 221.6 | 216.6 | 228.0 | 1730 |
| 3 | 220.4 | 217.2 | 224.2 | 196.0 |
| 4 | - | 218.8 | 215.6 | 224.4 |
| 5 | - | 219.2 | 216.6 | 221.8 |
| 6 | - | 220.0 | 217.8 | 219.4 |
| 7 | - | - | 220.0 | 220.0 |

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองตั้งสายที่ 6

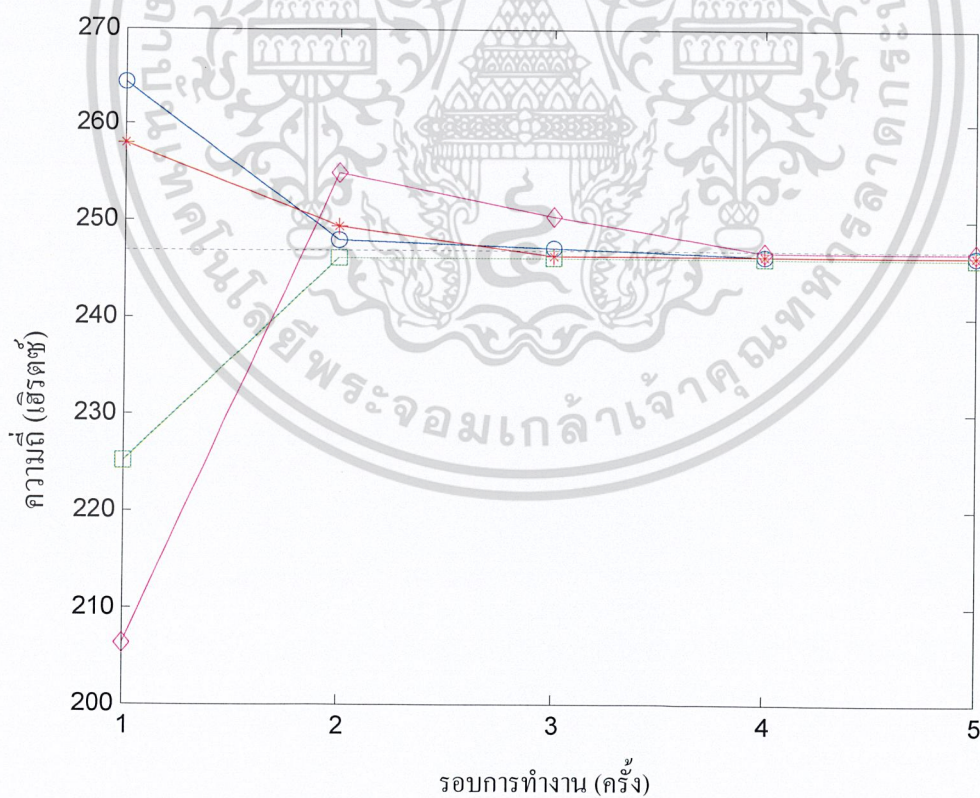
| รอบการทำงานที่ | ความถี่ (เฮิรตซ์) [ความถี่อ้างอิง 164.8 เฮิรตซ์] | | | |
|----------------|--------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | การทดลองครั้งที่ 1 | การทดลองครั้งที่ 2 | การทดลองครั้งที่ 3 | การทดลองครั้งที่ 4 |
| 1 | 196.0 | 180.0 | 122.0 | 111.0 |
| 2 | 184.2 | 172.2 | 145.6 | 133.2 |
| 3 | 169.4 | 166.6 | 155.6 | 142.2 |
| 4 | 165.4 | 165.8 | 162.2 | 158.4 |
| 5 | 165.0 | 164.6 | 164.2 | 165.2 |
| 6 | 164.8 | - | 164.8 | 164.4 |

จากผลการทดลองพบว่าระบบตั้งสายกีตาร์ที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถตั้งสายกีตาร์ทุกสายให้ได้ความถี่ใกล้เคียงกับความถี่อ้างอิงทุกสาย ซึ่งทำให้กีตาร์มีเสียงเป็นไปตามระดับเสียงมาตรฐาน โดยในการตั้งสายที่ 2 สามารถตั้งค่าได้รวดเร็วที่สุดอาศัยเพียงไม่เกิน 4 รอบการทำงานในทุกการทดลอง ในขณะที่การตั้งสายที่ 3 ต้องใช้รอบการทำงานมากที่สุด โดยอาจสูงถึง 10 รอบการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

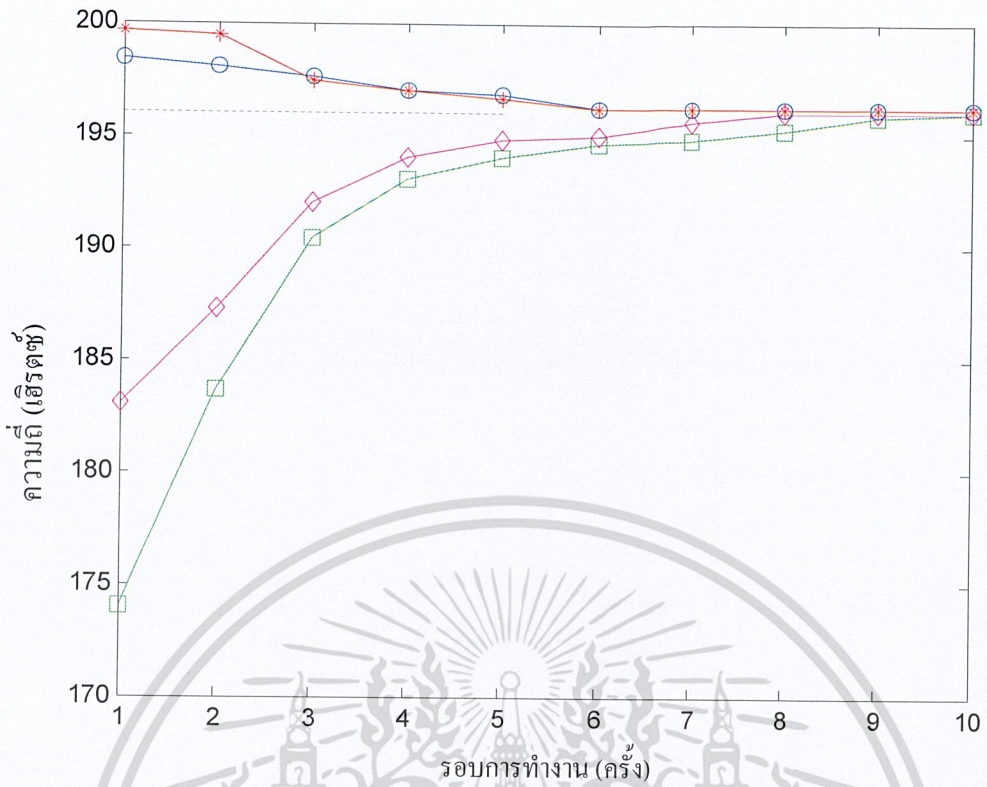


รูปที่ 4.8 ผลการทดลองตั้งสายกีตาร์เส้นที่ 1

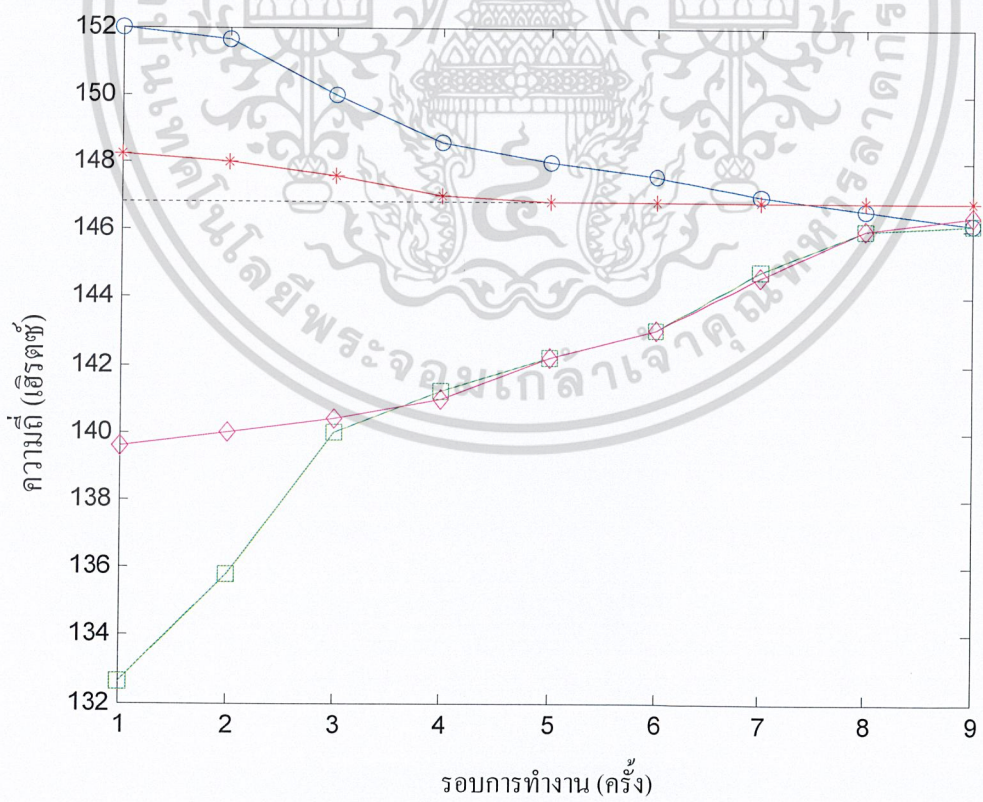


รูปที่ 4.9 ผลการทดลองตั้งสายกีตาร์เส้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

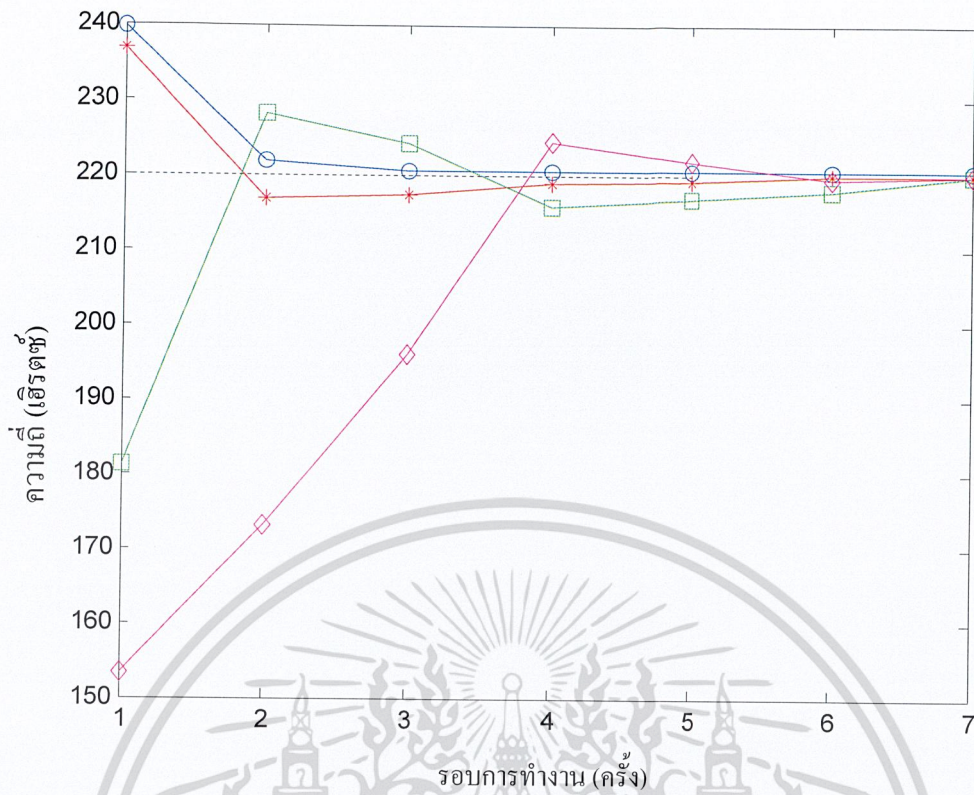


รูปที่ 4.10 ผลการทดลองตั้งสายกีตาร์เส้นที่ 3

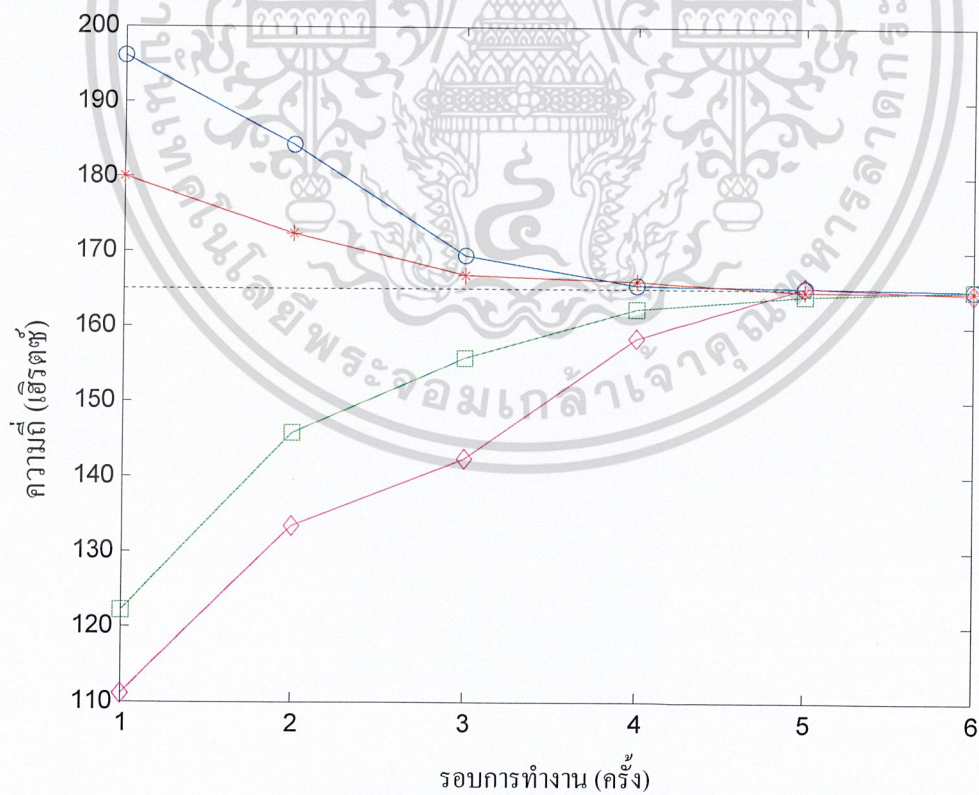


รูปที่ 4.11 ผลการทดลองตั้งสายกีตาร์เส้นที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในเชิงวิชาการเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ผลการทดลองตั้งสายกีตาร์เส้นที่ 5



รูปที่ 4.13 ผลการทดลองตั้งสายกีตาร์เส้นที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

การทดลองของระบบตั้งสายกีตาร์อัตโนมัติ ได้นำเอาการประมวลผลสัญญาณ FFT มาใช้เพื่อตั้งสายกีตาร์ โดยหลักการทำงานของระบบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนโปรแกรมในคอมพิวเตอร์ และส่วนโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์

จากการทดลองพบว่า สายกีตาร์เส้นที่ 1 ถึงสายที่ 4 จะใช้ความถี่ฮาร์โมนิกที่ 1 เป็นความถี่อ้างอิง ส่วนสายกีตาร์เส้นที่ 5 และ 6 นั้น ต้องใช้ความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2 เป็นความถี่อ้างอิง โดยเมื่อโปรแกรม MATLAB รับสัญญาณเสียงที่เข้ามาแล้วจึงประมวลผลสัญญาณ FFT ส่งออกไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถควบคุมมอเตอร์ให้บิดหัวหมุกกีตาร์จนความถี่ของสายกีตาร์แต่ละเส้นเข้าสู่ความถี่อ้างอิงได้ การทดลองพบว่าความถี่ของสายกีตาร์แต่ละเส้นค่อย ๆ เข้าสู่ความถี่อ้างอิงอย่างช้า ๆ และมีค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยมาก

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข

จากการศึกษาและทำโครงการนี้ได้พบปัญหาคือ สัญญาณเสียงที่รับเข้ามานั้นอาจมีเสียงที่ไม่พึงประสงค์รบกวนทำให้ค่าที่ได้เกิดความผิดพลาดได้ และการประมวลผลสัญญาณได้ใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในการประมวลผลพบว่าการรับสัญญาณแต่ละครั้งนั้นมีความไม่เสถียรอยู่บ้าง มีการประมวลผลผิดพลาดบ่อยครั้งจึงควรใช้คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะในการประมวลผลแทน นอกจากนั้น หัวหมุกกีตาร์ที่นำมาใช้ในการทดลองบางอันมีความฝืดมาก ทำให้มอเตอร์หมุนไม่ไปหรือหมุนได้ทีละน้อย ทำให้ต้องรับค่าสัญญาณเสียงหลายครั้งมากเกินไป จึงควรเปลี่ยนสายใหม่แทนสายเก่าที่ขึ้นสนิมและหยอดน้ำมันหล่อลื่นช่วย

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา

โครงการปัจจุบันมีขนาดใหญ่เกินไป ควรทำให้มีขนาดเล็กลงกะทัดรัด โดยทำให้เป็นชิ้นเดียวกัน สามารถพกพาไปใช้งานได้ และไม่ต้องใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการประมวลผลสัญญาณ ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลด้วยตัวเองได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

ในภาคผนวกนี้แนะนำเสนอโค้ดโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในโครงการซึ่งประกอบด้วย โปรแกรมส่วนคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังต่อไปนี้

ก.1 โปรแกรมส่วนคอมพิวเตอร์

```
s = serial('COM6','BaudRate',9600);
fopen(s);
Fs = 11025;
y = wavrecord(5*Fs, Fs, 'double');
T = 0:0.2:11024.8;
X = abs(fft(y));
plot(T, X);
[A,I] = max(X);
T(I)
A=T(I);
fwrite(s, ['a'])
for n=2:-1:0
    aa=floor(A/10^n);
    fwrite(s,aa+48);
    A=A-aa*10^n;
end
fwrite(s, ['b'])
p=fscanf(s,'%s')
fclose(s);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 โปรแกรมส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์

```

#include <p30f4011.h> // generic header file for dsPIC
#include <uart.h> // Module function for UART
#include <pwm.h> // Module function for PWM
_FOSC(CSW_FSCM_OFF & XT_PLL4); // Sw Disabled, Mon Disabled, XT w/PLL 4x
_FWDT(WDT_OFF); // Watchdog timer off
//-----:Calc Baud Rate Generator
#define Fcy 7372800.0 // Fosc 7.3728MHz
#define BAUD_RATE 9600.0 // Baud Rate 9600 bps
#define BAUD_RATE_GEN (Fcy/(16.0*BAUD_RATE))-1 // Baud Rate Generator

char Buf[80];
int c_buf=0;
int ch;
char Input[1];
int k1=0;
int k2=0;
int N=0;
int i;
int f[15];

// UART1 Receiver Interrupt Service Routine
void _ISR_U1RXInterrupt(void)
{
    _U1RXiF = 0; // Clear interrupt flag RX

    // Read the receive buffer till atleast one or more character can be read
    while (DataRdyUART1()) {

```

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    if(ch==97){
        k1=1;
    }
    else if((ch!=98)&&(k1==1)){
        f[c_buf] = ch; // write to buf
        c_buf++;
    }
    else if((ch==98)&&(k1==1)){
        k1=0;
        k2=1;
        N=c_buf;
        c_buf=0;
    }
}

// UART1 Transmitter Interrupt Service Routine
void _ISR_U1TXInterrupt(void)
{
    _U1TXIF = 0; // Clear interrupt flag TX
}

//-----:Uart1_Init
// Initialize UART1
void Uart1_Init(void)
{
    unsigned int U1MODEvalue, U1STAValue, BaudRate;

    CloseUART1(); // Close UART1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าใครผิดแต่เพียงผู้เดียว ห้ามนำไปดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ConfigIntUART1(UART_RX_INT_EN & // Receive interrupt enabled
               UART_RX_INT_PR6 & // Priority RX interrupt 6
               UART_TX_INT_EN & // transmit interrupt enabled
               UART_TX_INT_PR2); // Priority TX interrupt 2

U1MODEvalue = UART_EN & // Module enable
             UART_IDLE_CON & // Work in IDLE mode
             //UART_RX_TX & // Communication through the normal pins
             //UART_ALTRX_ALTTX & // Communication through ALT pins

UART_DIS_WAKE & // Disable Wake-up on START bit Detect during SLEEP
Mode bit
UART_DIS_LOOPBACK & // Loop back disabled
UART_DIS_ABAUD & // Input to Capture module from ICx pin
UART_NO_PAR_8BIT & // no parity 8 bit
UART_1STOPBIT; // 1 stop bit

U1STAvale = UART_INT_TX_BUF_EMPTY & // Interrupt on TXBUF becoming empty
           UART_TX_PIN_NORMAL & // UART TX pin operates normally
           UART_INT_RX_CHAR & // Interrupt on every char received
           UART_ADR_DETECT_DIS & // address detect disable
           UART_RX_OVERRUN_CLEAR; // Rx buffer Over run status bit clear

BaudRate = BAUD_RATE_GEN; // BaudRate 9600 pbs

// Open UART1
OpenUART1(U1MODEvalue, U1STAvale, BaudRate);
}

// print string to uart1
void Uart1_PrintStr(unsigned char *str_uart)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่มีการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

putsUART1 ((unsigned int *)str_uart);
while (BusyUART1());    // wait for transmission to complete
}

//-----:delay
void delay(unsigned long int ms)
{
    unsigned long int x,a;
    for(x=0;x<ms;x++)
    {
        for(a=0;a<816;a++);
    }
}
void _ISR_PWMInterrupt(void)
{
    _PWMIF = 0; // clear MCPWM interrupt flag
}

//-----:Init_MCPWM
// Initialize MCPWM
void Init_MCPWM(void)
{
    unsigned int config, period, sptime;
    unsigned int config1, config2, config3;
    unsigned int dutycyclereg, dutycycle, updatedisable;

    // Configure pwm interrupt enable/disable and set interrupt priorities
    config = (PWM_INT_EN & // Enable PWM interrupt
             PWM_FLTA_DIS_INT & //Disable Fault A Interrupt
             PWM_INT_PR1 & // period interrupt priority 1

```

```
PWM_FLTA_INT_PRO); // FaultA interrupt priority 0
```

```
ConfigIntMCPWM(config);
```

```
period = 11519; // Set to PTPER register
```

```
sptime = 0x0; // Set to SEVTCMP register
```

```
config1 = (PWM_EN & // Module enable
```

```
    PWM_OP_SCALE1 & // Out put post scaler 1:1
```

```
    PWM_IPCLK_SCALE16 & // Input pre scaler 1:16
```

```
    PWM_MOD_FREE // Mode of operation Free Running
```

```
);
```

```
config2 = (PWM_MOD1_IND & // 1th channel in independant mode
```

```
    PWM_PDIS3H & // H of channel 3 works as IO
```

```
    PWM_PDIS2H & // H of channel 2 works as IO
```

```
    PWM_PEN1H & // H of channel 1 works as PWM
```

```
    PWM_PDIS3L & // L of channel 2 works as IO
```

```
    PWM_PDIS2L & // L of channel 2 works as IO
```

```
    PWM_PDIS1L // L of channel 1 works as IO
```

```
);
```

```
config3 = (PWM_SEVOPS1 & // Special event post scaler 1:1
```

```
    PWM_OSYNC_PWM & // over ride synchronised with PWM clk
```

```
    PWM_UEN // Update of PDCs and PTPER enabled
```

```
);
```

```
OpenMCPWM(period, sptime, config1, config2, config3);
```

```
// Configre PWM to generate square wave of 100% duty cycle
```

```
dutycyclereg = 1; // duty cycle register (PDC1)
```

```
dutycycle = 11519; // Assign dutycycle to PDC1<15:1>
```

```
updatedisable = 0; // update enable
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารผลงานสร้างสรรค์ที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นผู้ที่มีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SetDCMCPWM(dutycyclereg, dutycycle, updatedisable);
}

```

```

int main(void)
{

```

```

    Uart1_Init(); // Initialize UART

```

```

        ADPCFG = 0xFF; // set port RB is digital

```

```

        _TRISB0=0; // set port RB0 is output

```

```

        _TRISB1=0; // set port RB1 is output

```

```

        _TRISB2=1; // set port RB2 is input

```

```

        _TRISB3=1; // set port RB3 is input

```

```

        _TRISB4=1; // set port RB4 is input

```

```

        _TRISB5=1; // set port RB5 is input

```

```

        _TRISB6=1; // set port RB6 is input

```

```

        _TRISB7=1; // set port RB7 is input

```

```

char    b[15];

```

```

unsigned int o1,o2,o3,o4,result,x,y;

```

```

unsigned int dutycycle, per_duty,i1,i2,i3,i4;

```

```

Init_MCPWM(); // Initialize MCPWM

```

```

per_duty = 20; // 20%

```

```

for(;;){

```

```

    if(k2==1){

```

```

        i1=f[0]-48;

```

```

        i2=f[1]-48;

```

```

        i3=f[2]-48;

```

```

        o1=i1*100;

```

```

        o2=i2*10;

```

```

        o3=i3*1;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

result=o1+o2+o3;
//-----สาย1-----//
if((result>330)&&(_RB2==0)){
    x=(result-330);
    y=((x*1000)/3);
    _LATB0=0;
    _LATB1=1;
    delay(y);
    _LATB0=0;
    _LATB1=0;

    Uart1_PrintStr("end11");
    Uart1_PrintStr("\n");
}
if((result<330)&&(_RB2==0)) {
    x=(330-result);
    y=((x*1000)/3);
    _LATB0=1;
    _LATB1=0;
    delay(y);
    _LATB0=0;
    _LATB1=0;

    Uart1_PrintStr("end12");
    Uart1_PrintStr("\n");
}
//-----สาย2-----//
if((result>247)&&(_RB3==0)){

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        _LATB1=1;
        delay(y);
        _LATB0=0;
        _LATB1=0;
        Uart1_PrintStr("end21");
        Uart1_PrintStr("\n");
    }

    if((result<247)&&(_RB3==0)) {
        x=(247-result);
        y=((x*1000)/3) ;
        _LATB0=1;
        _LATB1=0;
        delay(y);
        _LATB0=0;
        _LATB1=0;
        Uart1_PrintStr("end22");
        Uart1_PrintStr("\n");
    }

//-----สาย3-----//
    if((result>196)&&(_RB4==0)){
        x=(result-196);
        y=((x*1000)/3) ;
        _LATB0=0;
        _LATB1=1;
        delay(y);
        _LATB0=0;
        _LATB1=0;
        Uart1_PrintStr("end31");
        Uart1_PrintStr("\n");
    }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้งานใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if((result<196)&&(_RB4==0)) {
    x=(196-result);
    y=((x*1000)/3);
    _LATB0=1;
    _LATB1=0;
    delay(y);
    _LATB0=0;
    _LATB1=0;
    Uart1_PrintStr("end32");
    Uart1_PrintStr("\n");
}

//-----สาย4-----//
if((result>147)&&(_RB5==0)){
    x=(result-147);
    y=((x*1000)/3);
    _LATB0=0;
    _LATB1=1;
    delay(y);
    _LATB0=0;
    _LATB1=0;
    Uart1_PrintStr("end41");
    Uart1_PrintStr("\n");
}

if((result<147)&&(_RB5==0)) {
    x=(147-result);
    y=((x*1000)/3);
    _LATB0=1;
    _LATB1=0;
    delay(y);
    _LATB0=0;
    _LATB1=0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Uart1_PrintStr("end42");
Uart1_PrintStr("\n");
}

```

```
//-----สาย5-----//
```

```

if((result>220)&&(_RB6==0)){
    x=(result-220);
    y=((x*1000)/3);
    _LATB0=0;
    _LATB1=1;
    delay(y);
    _LATB0=0;
    _LATB1=0;
    Uart1_PrintStr("end51");
    Uart1_PrintStr("\n");
}
if((result<220)&&(_RB6==0)) {
    x=(220-result);
    y=((x*1000)/3);
    _LATB0=1;
    _LATB1=0;
    delay(y);
    _LATB0=0;
    _LATB1=0;
    Uart1_PrintStr("end52");
    Uart1_PrintStr("\n");
}

```

```
//-----สาย6-----//
```

```

if((result>165)&&(_RB7==0)){
    x=(result-165);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้เผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        _LATB1=1;
        delay(y);
        _LATB0=0;
        _LATB1=0;
        Uart1_PrintStr("end61");
        Uart1_PrintStr("\n");
    }

    if((result<165)&&(_RB7==0)) {
        x=(165-result);
        y=((x*1000)/3) ;
        _LATB0=1;
        _LATB1=0;
        delay(y);
        _LATB0=0;
        _LATB1=0;
        Uart1_PrintStr("end62");
        Uart1_PrintStr("\n");
    }

    f[c_buf]=0;
    c_buf=0;
    N=0;
    y=0;
    x=0;

    result=0;

    ch=0;

    k2=0;

}

}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ข.1 เอกสารคู่มือการใช้งาน dsPIC30F4011



MICROCHIP

dsPIC30F4011/4012

**dsPIC30F4011/4012 Enhanced Flash
16-bit Digital Signal Controller**

Note: This data sheet summarizes features of this group of dsPIC30F devices and is not intended to be a complete reference source. For more information on the CPU, peripherals, register descriptions and general device functionality, refer to the *dsPIC30F Family Reference Manual* (DS70046). For more information on the device instruction set and programming, refer to the *dsPIC30F Programmer's Reference Manual* (DS70030).

High Performance Modified RISC CPU:

- Modified Harvard architecture
- C compiler optimized instruction set architecture with flexible addressing modes
- 84 base instructions
- 24-bit wide instructions, 16-bit wide data path
- 48 Kbytes on-chip Flash program space (16K Instruction words)
- 2 Kbytes of on-chip data RAM
- 1 Kbytes of non-volatile data EEPROM
- Up to 30 MIPS operation:
 - DC to 40 MHz external clock input
 - 4 MHz-10 MHz oscillator input with PLL active (4x, 8x, 16x)
- 30 interrupt sources
 - 3 external interrupt sources
 - 8 user selectable priority levels for each interrupt source
 - 4 processor trap sources
- 16 x 16-bit working register array

DSP Engine Features:

- Dual data fetch
- Accumulator write back for DSP operations
- Modulo and Bit-Reversed Addressing modes
- Two, 40-bit wide accumulators with optional saturation logic
- 17-bit x 17-bit single cycle hardware fractional/integer multiplier
- All DSP instructions single cycle
- \pm 16-bit single cycle shift

Peripheral Features:

- High current sink/source I/O pins: 25 mA/25 mA
- Timer module with programmable prescaler:
 - Five 16-bit timers/counters; optionally pair 16-bit timers into 32-bit timer modules
- 16-bit Capture input functions
- 16-bit Compare/PWM output functions
- 3-wire SPI™ modules (supports 4 Frame modes)
- I²C™ module supports Multi-Master/Slave mode and 7-bit/10-bit addressing
- 2 UART modules with FIFO Buffers
- 1 CAN modules, 2.0B compliant

Motor Control PWM Module Features:

- 6 PWM output channels
 - Complementary or Independent Output modes
 - Edge and Center Aligned modes
- 3 duty cycle generators
- Dedicated time base
- Programmable output polarity
- Dead-time control for Complementary mode
- Manual output control
- Trigger for A/D conversions

Quadrature Encoder Interface Module Features:

- Phase A, Phase B and Index Pulse input
- 16-bit up/down position counter
- Count direction status
- Position Measurement (x2 and x4) mode
- Programmable digital noise filters on inputs
- Alternate 16-bit Timer/Counter mode
- Interrupt on position counter rollover/underflow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dsPIC30F4011/4012

Analog Features:

- 10-bit Analog-to-Digital Converter (A/D) with 4 S/H Inputs:
 - 500 Ksps conversion rate
 - 9 input channels
 - Conversion available during Sleep and Idle
- Programmable Brown-out Detection and Reset generation

Special Microcontroller Features:

- Enhanced Flash program memory:
 - 10,000 erase/write cycle (min.) for industrial temperature range, 100K (typical)
- Data EEPROM memory:
 - 100,000 erase/write cycle (min.) for industrial temperature range, 1M (typical)
- Self-reprogrammable under software control

- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Flexible Watchdog Timer (WDT) with on-chip low power RC oscillator for reliable operation
- Fail-Safe clock monitor operation detects clock failure and switches to on-chip low power RC oscillator
- Programmable code protection
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™)
- Selectable Power Management modes
 - Sleep, Idle and Alternate Clock modes

CMOS Technology:

- Low power, high speed Flash technology
- Wide operating voltage range (2.5V to 5.5V)
- Industrial and Extended temperature ranges
- Low power consumption

dsPIC30F Motor Control and Power Conversion Family*

| Device | Pins | Program Mem. Bytes/Instructions | SRAM Bytes | EEPROM Bytes | Timer 16-bit | Input Cap | Output Comp/Std PWM | Moto Control PWM | A/D 10-bit 500 Ksps | Quad Enc | UART | SPI™ | I ² C™ | CAN |
|--------------|-------|---------------------------------|------------|--------------|--------------|-----------|---------------------|------------------|---------------------|----------|------|------|-------------------|-----|
| dsPIC30F2010 | 28 | 12K/4K | 512 | 1024 | 3 | 4 | 2 | 6 ch | 6 ch | Yes | 1 | 1 | 1 | - |
| dsPIC30F3010 | 28 | 24K/8K | 1024 | 1024 | 5 | 4 | 2 | 6 ch | 6 ch | Yes | 1 | 1 | 1 | - |
| dsPIC30F4012 | 28 | 48K/16K | 2048 | 1024 | 5 | 4 | 2 | 6 ch | 6 ch | Yes | 1 | 1 | 1 | 1 |
| dsPIC30F3011 | 40/44 | 24K/8K | 1024 | 1024 | 5 | 4 | 4 | 6 ch | 9 ch | Yes | 2 | 1 | 1 | - |
| dsPIC30F4011 | 40/44 | 48K/16K | 2048 | 1024 | 5 | 4 | 4 | 6 ch | 9 ch | Yes | 2 | 1 | 1 | 1 |
| dsPIC30F5015 | 64 | 66K/22K | 2048 | 1024 | 5 | 4 | 4 | 8 ch | 16 ch | Yes | 1 | 2 | 1 | 1 |
| dsPIC30F6010 | 80 | 144K/48K | 8192 | 4096 | 5 | 8 | 8 | 8 ch | 16 ch | Yes | 2 | 2 | 1 | 2 |

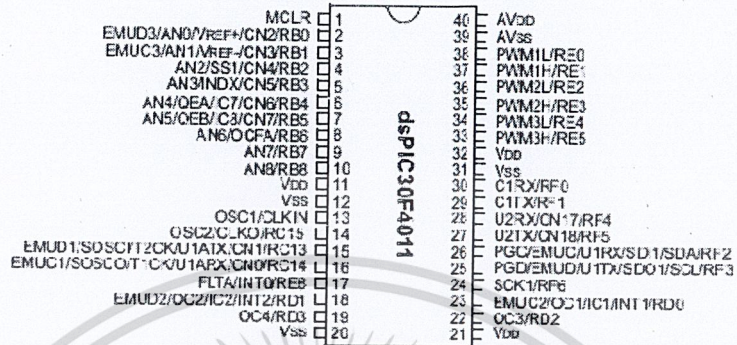
* This table provides a summary of the dsPIC30F6010 peripheral features. Other available devices in the dsPIC30F Motor Control and Power Conversion Family are shown for feature comparison.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

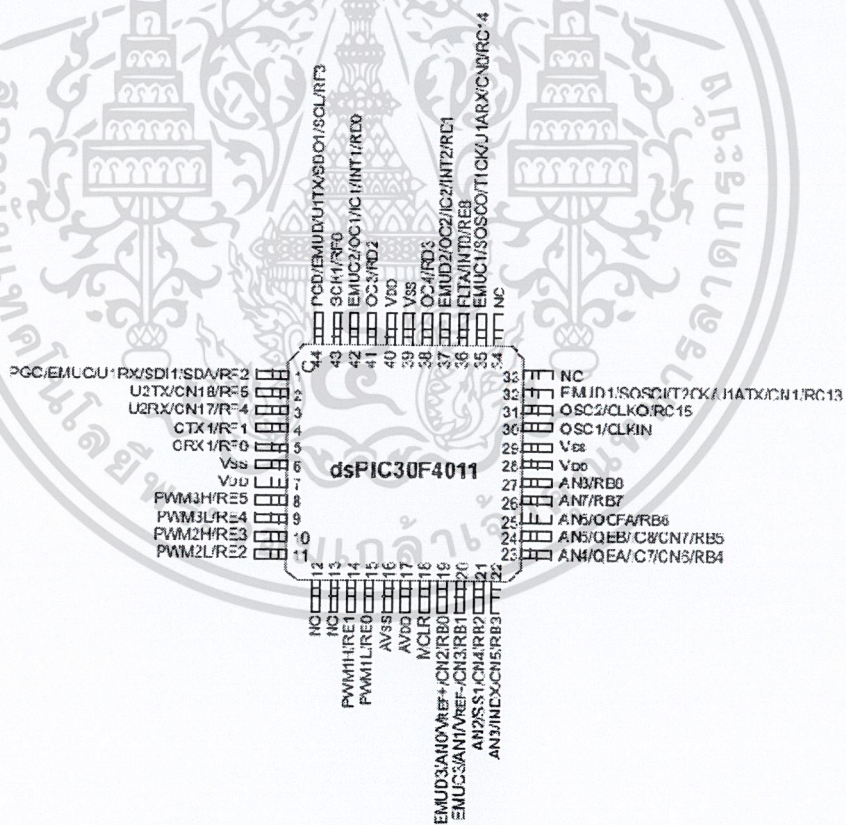
dsPIC30F4011/4012

Pin Diagrams

40-Pin PDIP



44-Pin TQFP



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2 เอกสารคู่มือการใช้งาน L298



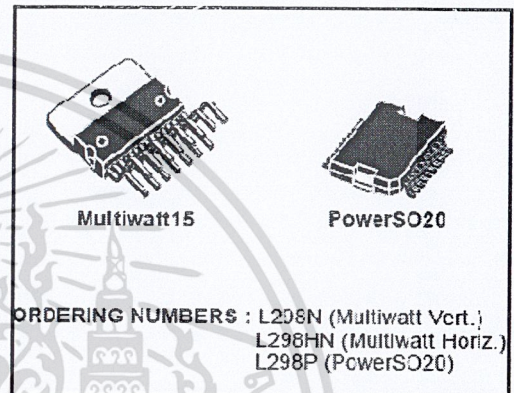
L298

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

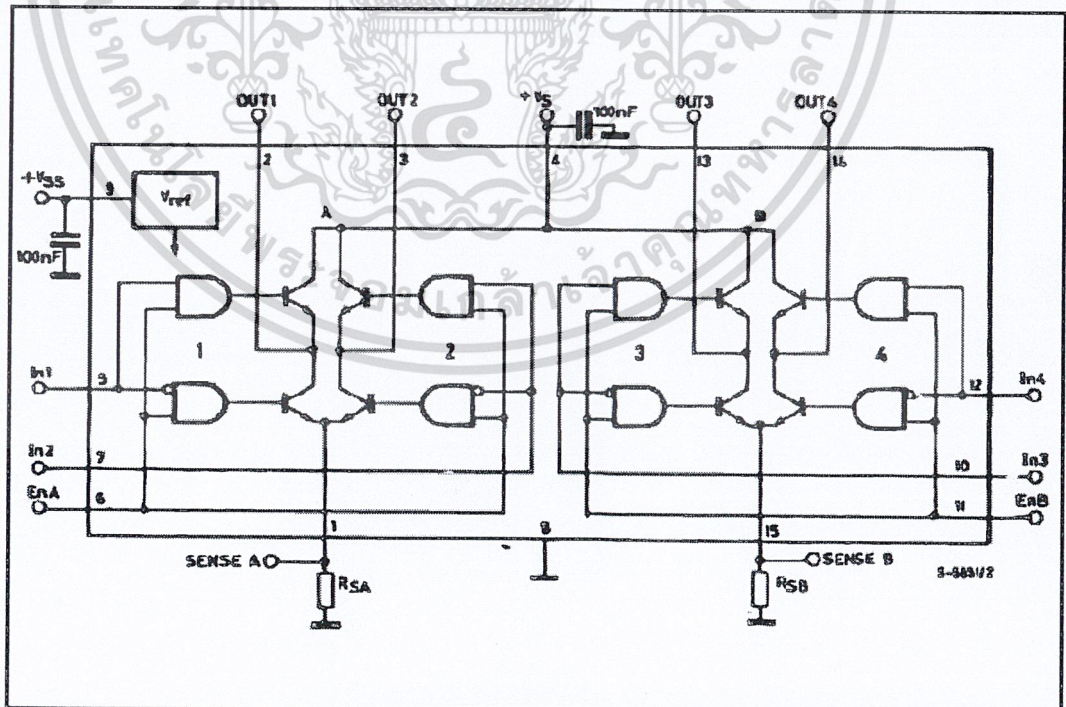
DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the connection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.



nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

BLOCK DIAGRAM



January 2000

1/13

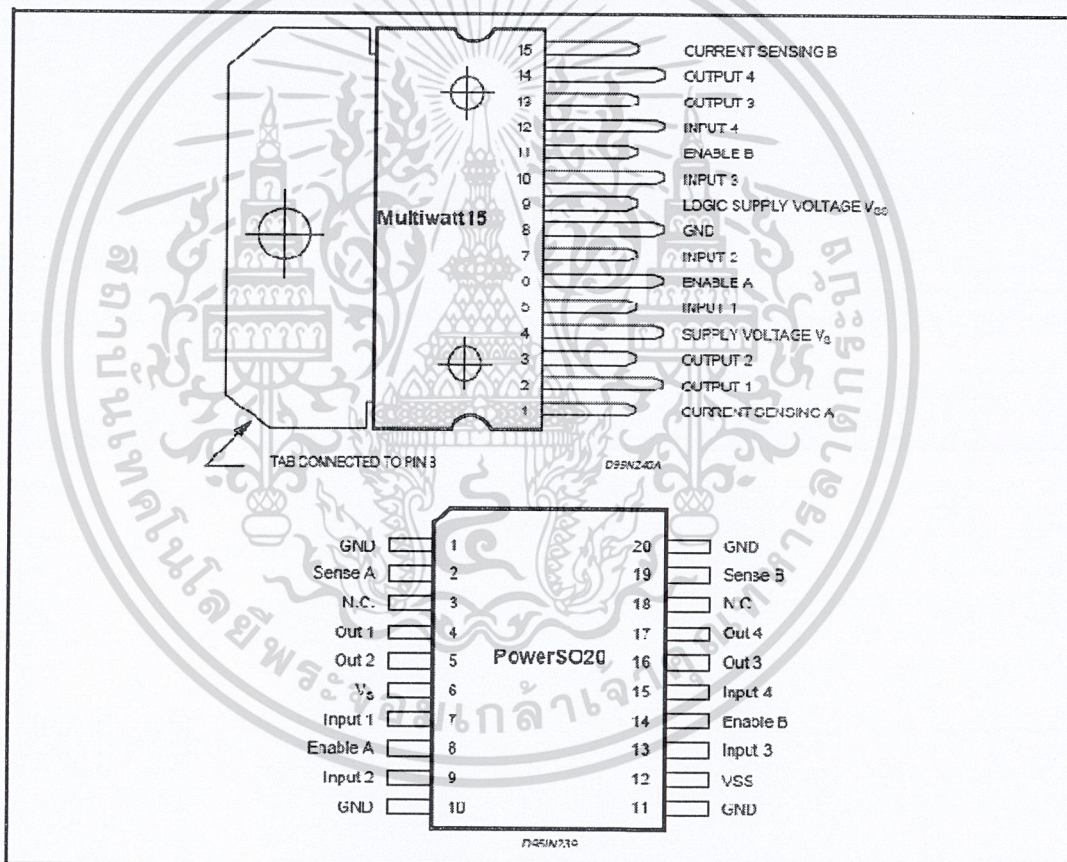
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ส่วนตัวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L298

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

| Symbol | Parameter | Value | Unit |
|----------------|----------------------------------------------------|------------|------------|
| V_S | Power Supply | 50 | V |
| V_{GS} | Logic Supply Voltage | 7 | V |
| V_i, V_{en} | Input and Enable Voltage | -0.3 to 7 | V |
| I_o | Peak Output Current (each Channel) | ... | A |
| | - Non Repetitive ($t = 100\mu s$) | 3 | A |
| | - Repetitive (80% on -20% off; $t_{on} = 10ms$) | 2.5 | A |
| | -DC Operation | 2 | A |
| V_{sens} | Sensing Voltage | -1 to 2.3 | V |
| P_{tot} | Total Power Dissipation ($T_{amb} = 75^\circ C$) | 25 | W |
| T_{op} | Junction Operating Temperature | -25 to 130 | $^\circ C$ |
| T_{stg}, T_j | Storage and Junction Temperature | -40 to 150 | $^\circ C$ |

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

| Symbol | Parameter | | Powerso20 | Multiwatt15 | Unit |
|-----------------|-------------------------------------|------|-----------|-------------|--------------|
| $R_{th j-case}$ | Thermal Resistance Junction-case | Max. | - | 3 | $^\circ C/W$ |
| $R_{th j-amb}$ | Thermal Resistance Junction-ambient | Max. | 13 (*) | 35 | $^\circ C/W$ |

(*) Mounted on aluminum substrate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

| MW.15 | PowerSO | Name | Function |
|--------|------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1;15 | 2;19 | Sense A; Sense B | Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load. |
| 2,3 | 4,5 | Out 1, Out 2 | Outputs of the Bridge A, the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1. |
| 4 | 6 | V _s | Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground. |
| 5;7 | 7;9 | Input 1; Input 2 | TTL Compatible Inputs of the Bridge A |
| 6;11 | 8;14 | Enable A; Enable B | TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B). |
| 8 | 1,10,11,20 | GND | Ground. |
| 9 | 12 | V _{SS} | Supply Voltage for the Logic Blocks. A 100nF capacitor must be connected between this pin and ground. |
| 10; 12 | 13;15 | Input 3; Input 4 | TTL Compatible Inputs of the Bridge B |
| 13; 14 | 16;17 | Out 3; Out 4 | Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15. |
| - | 3;18 | N.C. | Not Connected |

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_s = 42V; V_{SS} = 5V; T_j = 25°C; unless otherwise specified)

| Symbol | Parameter | Test Conditions | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|-----------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------|------------|-----------------|--------|
| V _s | Supply Voltage (pin 4) | Operative Condition | V _H +2.5 | | 46 | V |
| V _{SS} | Logic Supply Voltage (pin 9) | | 4.5 | 5 | 7 | V |
| I _Q | Quiescent Supply Current (pin 4) | V _{en} = H; I _L = 0 | | 13 | 22 | mA |
| | | V _i = L | | 50 | 70 | mA |
| | | V _i = H | | | | mA |
| | | V _{en} = L | | | 4 | mA |
| I _{SS} | Quiescent Current from V _{SS} (pin 9) | V _{en} = H; I _L = 0 | | 24 | 36 | mA |
| | | V _i = L | | 7 | 12 | mA |
| | | V _i = H | | | | mA |
| | | V _{en} = L | | | 6 | mA |
| V _{IL} | Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12) | | -0.3 | | 1.5 | V |
| V _{IH} | Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12) | | 2.3 | | V _{SS} | V |
| I _{IL} | Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12) | V _i = L | | | -10 | μA |
| I _{IH} | High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12) | V _i = H ≤ V _{SS} - 0.6V | | 30 | 100 | μA |
| V _{en} = L | Enable Low Voltage (pins 6, 11) | | -0.3 | | 1.5 | V |
| V _{en} = H | Enable High Voltage (pins 6, 11) | | 2.3 | | V _{SS} | V |
| I _{en} = L | Low Voltage Enable Current (pins 6, 11) | V _{en} = L | | | -10 | μA |
| I _{en} = H | High Voltage Enable Current (pins 6, 11) | V _{en} = H ≤ V _{SS} - 0.6V | | 30 | 100 | μA |
| V _{CEsat(H)} | Source Saturation Voltage | I _L = 1A I _L = 2A | 0.95 | 1.35 2 | 1.7 2.7 | V V |
| V _{OCsat(L)} | Sink Saturation Voltage | I _L = 1A (5) I _L = 2A (5) | 0.85 | 1.2 1.7 | 1.6 2.3 | V V |
| V _{CEsat} | Total Drop | I _L = 1A (5) I _L = 2A (5) | 1.80 | | 3.2 4.9 | V V |
| V _{sens} | Sensing Voltage (pins 1, 15) | | -1 (1) | | 2 | V |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L298

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

| Symbol | Parameter | Test Conditions | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------|------|------|------|------|
| T ₁ (V _i) | Source Current Turn-off Delay | 0.5 V _i to 0.9 I _L (2); (4) | | 1.5 | | μs |
| T ₂ (V _i) | Source Current Fall Time | 0.9 I _L to 0.1 I _L (2); (4) | | 0.2 | | μs |
| T ₃ (V _i) | Source Current Turn-on Delay | 0.5 V _i to 0.1 I _L (2); (4) | | 2 | | μs |
| T ₄ (V _i) | Source Current Rise Time | 0.1 I _L to 0.9 I _L (2); (4) | | 0.7 | | μs |
| T ₅ (V _i) | Sink Current Turn-off Delay | 0.5 V _i to 0.9 I _L (3); (4) | | 0.7 | | μs |
| T ₆ (V _i) | Sink Current Fall Time | 0.9 I _L to 0.1 I _L (3); (4) | | 0.25 | | μs |
| T ₇ (V _i) | Sink Current Turn-on Delay | 0.5 V _i to 0.9 I _L (3); (4) | | 1.6 | | μs |
| T ₈ (V _i) | Sink Current Rise Time | 0.1 I _L to 0.9 I _L (3); (4) | | 0.2 | | μs |
| f _c (V _i) | Commutation Frequency | I _L = 2A | | 25 | 40 | KHz |
| T ₁ (V _{en}) | Source Current Turn-off Delay | 0.5 V _{en} to 0.9 I _L (2); (4) | | 3 | | μs |
| T ₂ (V _{en}) | Source Current Fall Time | 0.9 I _L to 0.1 I _L (2); (4) | | 1 | | μs |
| T ₃ (V _{en}) | Source Current Turn-on Delay | 0.5 V _{en} to 0.1 I _L (2); (4) | | 0.3 | | μs |
| T ₄ (V _{en}) | Source Current Rise Time | 0.1 I _L to 0.9 I _L (2); (4) | | 0.4 | | μs |
| T ₅ (V _{en}) | Sink Current Turn-off Delay | 0.5 V _{en} to 0.9 I _L (3); (4) | | 2.2 | | μs |
| T ₆ (V _{en}) | Sink Current Fall Time | 0.9 I _L to 0.1 I _L (3); (4) | | 0.35 | | μs |
| T ₇ (V _{en}) | Sink Current Turn-on Delay | 0.5 V _{en} to 0.9 I _L (3); (4) | | 0.25 | | μs |
| T ₈ (V _{en}) | Sink Current Rise Time | 0.1 I _L to 0.9 I _L (3); (4) | | 0.1 | | μs |

1) Sensing voltage can be -1 V for t_s ≤ 50 μsec, in steady state V_{sen} min ≥ -0.5 V.

2) See fig. 2.

3) See fig. 4.

4) The load must be a pure resistor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] นคร ภัคดีชาติ, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. คู่มือการทดลอง dsPIC Microcontroller เบื้องต้นด้วยโปรแกรมภาษา C กับ MPLAB C30. กรุงเทพฯ: อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด.
- [2] ประจัน พลังสันติกุล. การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F ด้วยคอมไพเลอร์ MPLAB C. กรุงเทพฯ : แอพซอฟต์เทค จำกัด. 2551



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้