การออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดความไม่สมดุลพัดลมระบายความร้อนเก้าอี้รถยนต์

DESIGN AND DEVELOPMENT OF UNBALANCE MEASURING MACHINE FOR CAR SEAT VENTILATION FAN

นนท์ อาชวานันทกุล

รรัญช์ หวังปรีดาเลศกุล

สิทธิพล แสงมงคลพิพัฒน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดความไม่สมดุลพัดลมระบายความร้อนเก้าอี้รถยนต์

DESIGN AND DEVELOPMENT OF UNBALANCE MEASURING MACHINE FOR CAR SEAT VENTILATION FAN

นนท์ อาชวานันทกุล

รรัญช์ หวังปรีดาเลศกุล

สิทธิพล แสงมงคลพิพัฒน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND DEVELOPMENT OF UNBALANCE MEASURING MACHINE FOR CAR SEAT VENTILATION FAN

Non Achavanuntaku

Rarun Wangpreedalertkul

Sittipol Saengmongkolpipat

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2562

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดความไม่สมดุลพัดลมระบายความร้อนเก้าอี้รถยนต์

DESIGN AND DEVELOPMENT OF UNBALANCE MEASURING MACHINE

FOR CAR SEAT VENTILATION FAN

ผู้จัดทำ

1. นาย นนท์ อาชวานันทกุล รหัสประจำตัว 59010685
2. นาย รรัญช์ หวังปรีดาเลิศกุล รหัสประจำตัว 59011123
3. นาย สิทธิพล แสงมงคลพิพัฒน์ รหัสประจำตัว 59011398

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดความไม่สมดุลพัดลมระบายความร้อน

นนท์	อาชวานันทกุล	59010685
รรัญช์	หวังปรีดาเลิศกุล	59011123
สิทธิพล	แสงมงคลพิพัฒน์	59011398
มนต์ศักดิ์	พิมสาร	อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องวัดความไม่สมดุลพัดลมระบายความร้อนเก้าอี้รถยนต์ เพื่อนำไปเป็นเครื่องต้นแบบให้แก่บริษัท เดลต้าอิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) สิ่งที่ต้องการปรับปรุงคือการควบคุมความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์ให้มีค่าคงที่ที่ 3,900 รอบต่อนาที ด้วยการรับสัญญาณความเร็วรอบจากเครื่องวัดความเร็วรอบ ประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม LabVIEW ด้วยหลักการฟัซซี่โลจิก เพื่อประมวลสัญญาณ ในรูปแบบสัญญาณควบคุมดิจิตอล ในการทดลอง มีการศึกษาการควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วยสามวิธี คือวิธีต่อกระแสตรง วิธีควบคุมด้วยสัญญาณพัลซ์ วิดท์ โมดูเลชั่น และวิธีควบคุมโดยใช้ฟัซซี่โลจิก จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการควบคุมด้วย เปอร์เซ็นความคลาดเคลื่อน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากผลการทดลองพบว่า วิธีต่อกระแสตรง ให้ค่าเปอร์เซ็นความคลาดเคลื่อน และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมากที่สุด วิธีควบคุมด้วยสัญญาณพัลซ์ วิดท์ โมดูเลชั่นให้ค่าเปอร์เซ็นความคลาดเคลื่อน และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดน้อยลง และวิธีการควบคุมมอเตอร์แบบฟัซซี่โลจิกให้ค่าเปอร์เซ็นความคลาดเคลื่อนเท่ากับวิธีพัลซ์ วิดท์ โมดูเลชั่น และให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND DEVELOPMENT OF UNBALANCE MEASURING MACHINE FOR CAR SEAT VENTILATION FAN

Non	Achavanuntaku	59010685
Rarun	Wangpreedalertkul	59011123
Sittipol	Saengmongkolpipat	59011398
Monsak	Pimsarn	Advisor

Abstract

This thesis is intended to enhance the performance of unbalance measuring machine for a car seat ventilation fan. This machine is supposed to be used as a prototype machine for the Delta Electronics (Thailand) Public Company Limited. The enhanced feature of this machine is the motor speed control where the target speed is set at 3,900 rounds per minute. The angular speed signal was measured by tachometer and processed by using LabVIEW program. In the experiment, there were three motor speed control methods, namely, direct current control, PWM control and Fuzzy logic control. Later, the control results were justified by comparing the percentage error and standard deviation. From the experimental results, it was found that the direct current method yielded the highest percentage error and standard deviation. These values were decreased when the PWM control was adopted. Meanwhile, the fuzzy logic control method gave the same percentage error as in PWM method. Moreover, the standard deviation was the lowest for the fuzzy logic control.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดีหากไม่ได้รับความช่วยเหลือและร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกันลำดับแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ปริญญานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คืออาจารย์ที่ปรึกษา ปริญญานิพนธ์ ผศ.ดร. มนต์ศักดิ์ พิมสาร ที่ให้คำปรึกษาแนะนำ และช่วยเหลือเสมอมาซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบพระคุณบริษัท เดลต้า อีเลคโทรนิคส์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ที่ให้คำปรึกษาแนะนำวิธีการทำงานและสนับสนุนอุปกรณ์ ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. อุนนัติ พิณโสภณ ผู้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับงานด้านระบบการควบคุม ขอขอบพระคุณคณาจารย์จากวิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูงที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการทดลองและการใช้งานโปรแกรม ขอขอบคุณห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาตร์ สำนักหอสมุดกลางที่เป็นแหล่งสนับสนุนทางตำราและเอกสารอ้างอิง ตลอดจนเพื่อนๆทุกคนที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกทุกๆเรื่อง ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่สนับสนุนงบประมาณในการทำโครงงานรวมทั้งบุคคลอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวนาม ณ ที่นี้ที่มีส่วนร่วมให้ปริญญานิพนธ์ฉบับบนี้สำเร็จได้ด้วยดี

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ลืมไม่ได้คือบุคคลที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้บิดามารดาอันเป็นที่เคารพรักยิ่งซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดีพร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมาในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นนท์ อาชวานันทกุล
รรัญช์ หวังปรีดาเลิศกุล
สิทธิพล แสงมงคลพิพัฒน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ I
Abstract II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญรูป VIII
สารบัญตาราง XII
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา 1
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย 1
1.5 ขอบเขตการวิจัย 2
1.6 ขั้นตอนการศึกษา 2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 บทนำ 3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.3 ข้อกำหนดและคำจำกัดความ 4
2.3.1 การปรับสมดุล (Balancing) 4
2.3.2 ความไม่สมดุล (Unbalance) 4
2.3.3 ความไม่สมดุลเริ่มต้น (Initial Unbalance) 4
2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4
2.4.1 รูปแบบของความไม่สมดุล 4
2.4.1.1 ความไม่สมดุลสถิตยศาสตร์ (Static Unbalance) 4
2.4.1.2 ความไม่สมดุลคับเปิล (Couple Unbalance) 5
2.4.1.3 ความไม่สมดุลพลศาสตร์ (Dynamic Unbalance) 5
2.4.2 ข้อกำหนดของพิกัดเผื่อของความไม่สมดุล
(Specification of Balance Tolerances) มาตรฐาน ISO 1940-1 5
2.4.2.1 เกรดคุณภาพของความสมดุล G (Balance Quality Grades G) 5
2.4.2.2 ความไม่สมดุลคงเหลือที่สามารถยอมรับได้
(Permissible Residual Unbalance) 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.3 การกระจายความไม่สมดุลคงเหลือที่สามารถยอมรับได้ไปยังระนาบพิกัดเผื่อ (Allocation of Permissible Residual Unbalance to Tolerance Planes) 9
2.5 อุปกรณ์วิเคราะห์ข้อมูล Data Acquisition (DAQ) 10
2.5.1 อุปกรณ์ NI DAQ 11
2.5.2 Compact DAQ 11
2.6 เวลาการดิจิไทซ์ (Digitization Timing) 12
2.6.1 Digitization Timing Architectures 12
2.7 สัญญาณทางไฟฟ้า (Signal) 14
2.7.1 การแบ่งประเภทสัญญาณ 14
2.7.2 สัญญาณดิจิทัล (Digital Signal) 15
2.7.3 สัญญาณอนาล็อก (Analog Signal) 16
2.8 โดเมนของสัญญาณความถี่ (Frequency Domain Signals) 16
2.9 แหล่งสัญญาณทางไฟฟ้า 16
2.10 การปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning) 16
2.11 ขั้นตอนการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล 17
2.12 การสุ่มสัญญาณ (Sampling) 17
2.12.1 ทฤษฎี Nyquist 18
2.13 ระบบฟัซซี 20
2.13.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี 20
2.13.2 แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับฟัซซีลอจิก 20
2.13.3 ฟัซซีเซต 21
2.13.4 นิยามของฟัซซีเซต 21
2.13.5 การดำเนินการทางฟัซซีเซต 23
2.13.6 กฎฟัซซี (fuzzy rules) 24
2.13.7 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก 26
2.13.8 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก 27
2.13.9 การหาจุดศูนย์กลางของฟัซซี (defuzzification centroid method) 29
2.13.10 ความสัมพันธ์ฟัซซี (Fuzzy Relation) 30
2.14 Pulse Width Modulation (PWM) 31
2.15 ทฤษฎี H-Bridge Switching 32
2.16 โปรแกรมรับข้อมูลและแสดงผลการสั่นสะเทือน 34
2.16.1 การเขียนโปรแกรมแบบแผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Programming) 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16.2 หน้าปัด (Front Panels) และ แผนภาพบล็อก (Block Diagrams) 35
2.16.3 โปรแกรมลูป (Loop) 36
2.16.4 โครงสร้างแบบเคส (Case structures) 38
2.16.5 โครงสร้างตามลำดับ (Sequence Structure) 39
2.16.6 ตัวแปรโลคอล (Local Variable) และ ตัวแปรโกลบอล (Global Variable) .. 40
2.17 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) 41
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 42
3.1 บทนำ 42
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน 42
3.3 อุปกรณ์การทดลอง 42
3.3.1 เครื่องวัดความสมดุลของพัดลมที่นั่งรถยนต์ส่วนอุปกรณ์ติดยึด 42
3.3.2 อุปกรณ์ขับเคลื่อนพัดลมระบายอากาศในเก้าอี้รถยนต์ 45
3.3.3 การเลือกอุปกรณ์วิเคราะห์ข้อมูล National Instruments Data Acquisition Device 45
3.3.4 การเลือกใช้เซ็นเซอร์วัดความเร่ง 47
3.3.5 การเลือกใช้เซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบ 48
3.3.6 การเลือกใช้โมดูลขับมอเตอร์ 50
3.3.7 พารามิเตอร์ของอุปกรณ์ 50
3.4 วิธีการทำงานของเครื่องวัดความไม่สมดุลพัดลมระบายความร้อนเก้าอี้รถยนต์ 52
3.5 การออกแบบการทำงานของซอฟท์แวร์ใช้งาน 54
3.5.1 ภาพรวมการทำงานของโปรแกรม 54
3.5.2 โมดูลตั้งค่า 55
3.5.3 โมดูลบันทึกค่า 57
3.5.4 โมดูลอ่านค่า 58
3.5.5 ส่วนการควบคุมความเร็วรอบ 59
บทที่ 4 วิธีการทดลองและผลลัพธ์ 62
4.1 บทนำ 62
4.2 การออกแบบและจำลองผลของระบบควบคุม 62
4.2.1 การออกแบบระบบควบคุมความเร็ว 62
4.2.2 การกำหนด Rule ของ Fuzzy logic 64
4.2.3 โปรแกรม MATLAB/Simulink และผลลัพธ์ 65
4.3 การวาง Control logic ในโปรแกรม LabVIEW 67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 การวัดความเร็ว 67
4.3.2 การวิเคราะห์สัญญาณควบคุม 68
4.3.3 การออกแบบ Fuzzy logic control 69
4.3.4 การคำณวณเพื่อหาค่า Duty cycle 72
4.4 ผลการทดลอง 73
4.4.1 การเปรียบเทียบความเร็วรอบพัดลม 73
4.4.2 คำนวณหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 82
4.4.3 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของความเร็วรอบทั้งหมดและการกระจายของข้อมูลแต่ละความเร็วรอบ 83
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 90
5.1 บทนำ 90
5.2 สรุปผลการทดลอง 90
5.3 ปัญหาจากการศึกษา 90
5.4 ข้อเสนอแนะ 90
บรรณานุกรม 91
ภาคผนวก 92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

บทที่ 2
รูปที่ 2.1 ความไม่สมดุลสถิตยศาสตร์ 4
รูปที่ 2.2 ความไม่สมดุลคับเปิล (Couple Unbalance) 5
รูปที่ 2.3 ความไม่สมดุลพลศาสตร์ (Dynamic Unbalance) 5
รูปที่ 2.4 ความไม่สมดุลคงเหลือเฉพาะที่อยู่บนพื้นฐานของเกรดคุณภาพความสมดุลและความเร็ว 8
รูปที่ 2.5 วัตถุหมุน (Rotor) ที่มีศูนย์กลางมวลอยู่ในตำแหน่งที่ไม่สมมาตร 9
รูปที่ 2.6 วัตถุหมุน (Rotor) ด้านนอกที่มีศูนย์กลางมวลอยู่ในตำแหน่งที่สูงเกินไป 10
รูปที่ 2.7 แผนผังการส่งข้อมูล 10
รูปที่ 2.8 Compact DAQ 11
รูปที่ 2.9 Multiplexed Sampling Architecture 12
รูปที่ 2.10 การสุ่มสัญญาณ 13
รูปที่ 2.11 การสุ่มสัญญาณ 13
รูปที่ 2.12 สัญญาณดิจิทัลแบบ TTL (Transistor to Transistor Logic) และ Pulse Train Signal 15
รูปที่ 2.13 สัญญาณอนาล็อกทั้ง 3 ชนิด 15
รูปที่ 2.14 ตัวอย่างวิธีการสุ่มสัญญาณแต่ละความถี่ 18
รูปที่ 2.15 ทฤษฎี Nyquist 19
รูปที่ 2.16 อัตราการสุ่มสัญญาณ (Sampling rate) ที่น้อยเกินไป 19
รูปที่ 2.17 ตรรกะแบบจริงเท็จ (บูลีนลอจิก) กับตรรกะแบบฟัซซี (ฟัซซีลอจิก) 21
รูปที่ 2.18 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตฟัซซีแบบวิยุต $\underset{\sim}{A}$ 22
รูปที่ 2.19 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตฟัซซีแบบต่อเนื่อง $\underset{\sim}{A}$ 22
รูปที่ 2.20 ยูเนียนของฟัซซีเซต $\underset{\sim}{A}$ และ $\underset{\sim}{B}$ 23
รูปที่ 2.21 Intersection ของฟัซซีเซต $\underset{\sim}{A}$ และ $\underset{\sim}{B}$ 24
รูปที่ 2.22 Complement ของฟัซซีเซต $\underset{\sim}{A}$ 24
รูปที่ 2.23 ตัวอย่างปริภูมิรูปแบบการจัดกลุ่มด้วยกฎฟัซซี 25
รูปที่ 2.24 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี 26
รูปที่ 2.25 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก 27
รูปที่ 2.26 ขั้นตอนที่ 1 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก 27
รูปที่ 2.27 ขั้นตอนที่ 2 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.28 ขั้นตอนที่ 3 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก 28
รูปที่ 2.29 ขั้นตอนที่ 4 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก 28
รูปที่ 2.30 แสดงการดีฟัซซิเคชันด้วยวิธีการหาจุดศูนย์กลางของฟัซซี 29
รูปที่ 2.31 ความสัมพันธ์ฟัซซี 30
รูปที่ 2.32 สัญญาณเปิด (High) และปิด (Low) 31
รูปที่ 2.33 สัญญาณ PWM ที่แต่ละ % Duty Cycle 31
รูปที่ 2.34 แสดงวงจรควบคุมมอเตอร์แบบ H-Bridge Drive 33
รูปที่ 2.35 ตัวอย่างวงจร H-Bridge 34
รูปที่ 2.36 โปรแกรม LabVIEW 34
รูปที่ 2.37 การเขียนโค้ดแบบ While Loop 36
รูปที่ 2.38 การเขียนโค้ดแบบ For Loop 37
รูปที่ 2.39 การเขียนโค้ดแบบ Conditional For Loop 37
รูปที่ 2.40 แสดง Input Tunnel และ Output Tunnel ของ Loop 38
รูปที่ 2.41 Case structure 38
รูปที่ 2.42 Frame 39
บทที่ 3
รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบเครื่องวัดความสมดุลของพัดลมที่นั่งรถยนต์ 44
รูปที่ 3.2 แบบจำลองเครื่องวัดความไม่สมดุล 44
รูปที่ 3.3 ตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความเร่ง 45
รูปที่ 3.4 อุปกรณ์วิเคราะห์ข้อมูล NI cDAQ-9232 และ Ni cDAQ-9269 47
รูปที่ 3.5 Ceramic Shear ICP® Accelerometer, 100 มิลลิโวลต์/หน่วยความเร่ง (mV/g) จาก PCB Piezotronics, Inc 47
รูปที่ 3.6 วิธีการต่อเซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบ 48
รูปที่ 3.7 LV-S41 Optical Laser Type Tachometer 49
รูปที่ 3.8 วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) 49
รูปที่ 3.9 โมดูลขับมอเตอร์ L298N 50
รูปที่ 3.10 โมเดล 3 มิติและ 2 มิติจากโปรแกรม SOLIDWORKS 51
รูปที่ 3.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและความเร็วรอบ 52
รูปที่ 3.12 แสดงภาพรวมการทำงานของเครื่องวัดความไม่สมดุล 53
รูปที่ 3.13 หน้าต่างโปรแกรมหลัก 54
รูปที่ 3.14 แผนผัง (Flow Chart) ภาพรวมการทำงานของโปรแกรมหลัก 55
รูปที่ 3.15 แผนผัง (Flow Chart) การทำงานของโมดูลการตั้งค่า 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.16 หน้าต่างโมดูลการตั้งค่า 56
รูปที่ 3.17 หน้าต่างโปรแกรมบันทึกค่า 57
รูปที่ 3.18 แผนผัง (Flow Chart) การทำงานของโมดูลบันทึกค่า 58
รูปที่ 3.19 แผนผัง (Flow Chart) การทำงานของโมดูลอ่านค่า 59
รูปที่ 3.20 บล็อกไดอะแกรม (BlockDiagram) ของส่วนการควบคุมความเร็วรอบ 60
รูปที่ 3.21 หน้าต่างส่วนโปรแกรมควบคุมรอบ 60
บทที่ 4
รูปที่ 4.1 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุตค่าสัญญาณความผิดพลาด ERROR 62
รูปที่ 4.2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุตอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณความผิดพลาด 63
รูปที่ 4.3 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอ้าต์พุต 63
รูปที่ 4.4 หน้าต่างการออกแบบกฎการควบคุม 64
รูปที่ 4.5 วิเคราะห์ผลลัพธ์อินพุตและเอ้าต์พุต 65
รูปที่ 4.6 การจำลองระบบควบคุมจากโปรแกรม Simulink 65
รูปที่ 4.7 กราฟการตอบสนองจากโปรแกรม Simulink 66
รูปที่ 4.8 Peak time ของระบบ 66
รูปที่ 4.9 Overshoot ของระบบ 67
รูปที่ 4.10 while loop เพื่อใช้ในการวัดความเร็ว 67
รูปที่ 4.11 While loop เพื่อการคำณวณค่า Duty cycle ในการ Feedback 68
รูปที่ 4.12 Fuzzy logic ในการคำนวณ Input (1) 69
รูปที่ 4.13 Fuzzy logic ในการคำนวณ Input (2) 69
รูปที่ 4.14 Fuzzy logic ในการคำนวณ Output 70
รูปที่ 4.15 หน้าต่างการออกแบบกฎควบคุม 70
รูปที่ 4.16 อ้างอิงจาก National Instrument ด้วยวิธีการ Defuzzification แบบ Centroid 71
รูปที่ 4.17 จำลองความสัมพันธ์ของ Input และ Output 71
รูปที่ 4.18 While loop เพื่อสั่งควบคุม Motor drive L298N 72
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 3500 rpm กับเวลา ครั้งที่ 1 73
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 3500 rpm กับเวลา ครั้งที่ 2 73
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 3500 rpm กับเวลา ครั้งที่ 3 74
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 3500 rpm กับเวลา ครั้งที่ 4 74
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 3500 rpm กับเวลา ครั้งที่ 5 75
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 3900 rpm กับเวลา ครั้งที่ 1 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 3900 rpm กับเวลา ครั้งที่ 2 76
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 3900 rpm กับเวลา ครั้งที่ 3 76
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 3900 rpm กับเวลา ครั้งที่ 4 77
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 3900 rpm กับเวลา ครั้งที่ 5 77
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 4300 rpm กับเวลา ครั้งที่ 1 78
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 4300 rpm กับเวลา ครั้งที่ 2 78
รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 4300 rpm กับเวลา ครั้งที่ 3 79
รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 4300 rpm กับเวลา ครั้งที่ 4 79
รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 4300 rpm กับเวลา ครั้งที่ 5 80
รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความถี่ของความเร็วรอบที่ 3500 rpm (Direct) 84
รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความถี่ของความเร็วรอบที่ 3500 rpm (PWM) 84
รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความถี่ของความเร็วรอบที่ 3500 rpm (Fuzzy) 85
รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความถี่ของความเร็วรอบที่ 3900 rpm (Direct) 85
รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความถี่ของความเร็วรอบที่ 3900 rpm (PWM) 86
รูปที่ 4.39 กราฟแสดงความถี่ของความเร็วรอบที่ 3900 rpm (Fuzzy) 86
รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความถี่ของความเร็วรอบที่ 4300 rpm (Direct) 87
รูปที่ 4.41 กราฟแสดงความถี่ของความเร็วรอบที่ 4300 rpm (PWM) 87
รูปที่ 4.42 กราฟแสดงความถี่ของความเร็วรอบที่ 4300 rpm (Fuzzy) 88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

บทที่ 2

ตารางที่ 2.1 คำแนะนำสำหรับเกรดคุณภาพสมดุลสำหรับวัตถุหมุน (Rotor) ที่เป็นวัตถุแข็งเกร็ง 7

บทที่ 4

ตารางที่ 4.1 แสดงกฎการควบคุม 64

ตารางที่ 4.2 ตารางกำหนดความสัมพันธ์ Input (1,2) และ Output 70

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วรอบเฉลี่ยกับค่าความคลาดเคลื่อน 81

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในภาคอุตสาหกรรมการผลิตพัดลมระบายความร้อนเก้าอี้รถยนต์ผู้ผลิตต้องทำการปรับสมดุลทางกลก่อนจัดจำหน่าย เพราะจากการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 ความเร่งของวัตถุจะแปรผันตรงและมีทิศเดียวดับแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุ และแปรผกผันกับมวลของวัตถุ เมื่อมีแรงลัพธ์ขนาดไม่เท่ากับศูนย์มากระทำกับวัตถุ โดยเครื่องจักรกลหมุนเคลื่อนที่เป็นวงกลม จะมีความเร่งเข้าสู่ศูนย์กลาง ดังนั้นวัตถุที่มีการแผ่กระจายมวลไม่สม่ำเสมอจะเกิดแรงเฉื่อยจากความไม่สมดุล ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่ส่งผลต่อการสึกหรอของตลับลูกปืนและเกิดเสียงที่ไม่พึงประสงค์อย่างยิ่ง เนื่องจากรบกวนสมาธิผู้ขับขี่ ดังนั้นเครื่องปรับสมดุลพัดลมระบายความร้อนเก้าอี้รถยนต์จึงเป็นสิ่งจำเป็นในการบวนการผลิตพัดลมระบายความร้อนเก้าอี้รถยนต์ เพื่อช่วยลดแรงเฉื่อยซึ่งนำมาสู่การสั่นสะเทือนให้อยู่ในค่ามาตรฐานการผลิต

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาวิธีการลดความไม่สมดุลของวัตถุหมุนอันเนื่องมาจากการการกระจายตัวของมวลไม่สม่ำเสมอ

1.2.2 เพื่อออกแบบเครื่องวัดความไม่สมดุลพัดลมระบายความร้อนเก้าอี้รถยนต์ให้มีความเร็วรอบการหมุนของพัดลมที่คงที่

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1.3.1 การควบบคุมสัญญาณทางไฟฟ้าด้วย PWM สามารถจ่ายไฟที่มีความละเอียดมากกว่าการจ่ายไฟตรงแก่มอเตอร์

1.3.2 การควบคุมความเร็วรอบการหมุนด้วยฟัซซี่ลอจิกมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าการควบคุมด้วยสัญญาณ PWM เพียงอย่างเดียว

1.3.3 การนำฟัซซี่โลจิกมาใช้ในการควบคุมทำให้สามารถออกแบบระบบป้อนกลับได้ส่งผลให้สามารถนำค่าเอาต์พุตมาคำนวณการควบคุมอินพุต

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

1.4.1 ทฤษฎีการวัดและเครื่องมือวัด

1.4.2 ทฤษฎีสัญญาณทางไฟฟ้า

1.4.3 ทฤษฎีการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 พัฒนาและออกแบบเครื่องปรับสมดุลพัดลมระบายความร้อนเก้าอี้รถยนต์ส่วนอุปกรณ์ส่วนฐานชิ้นงานรองรับการสั่นสะเทือนขณะพัดลมหมุน

1.5.2 ออกแบบเครื่องปรับสมดุลพัดลมระบายความร้อนเก้าอี้รถยนต์ให้ความเร็วรอบในการหมุนของพัดลมอยู่ที่ 3900 rpm

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

1.6.1 ศึกษาทฤษฎีการสั่นสะเทือนทางกล ทฤษฎีความไม่สมดุล และวิธีการปรับความไม่สมดุล

1.6.2 ศึกษามาตรฐานระดับความสมดุลพัดลม

1.6.3 ศึกษาอุปกรณ์ในการออกแบบเครื่องปรับสมดุลพัดลมระบายความร้อนเก้าอี้รถยนต์

1.6.4 พัฒนาและออกแบบเครื่องปรับสมดุลพัดลมระบายความร้อนเก้าอี้รถยนต์ ให้มีประสิทธิภาพในการรองรับการสั่นสะเทือนมากขึ้น

1.6.5 เขียนโปรแกรมเพื่อให้สามารถควบคุมรอบการหมุนของพัดลมให้คงที่

1.6.6 ทดสอบเครื่องปรับสมดุลพัดลมระบายความร้อนเก้าอี้รถยนต์ด้วยการวิเคราะห์แบบการวัด

1.6.7 สรุปการทดสอบเครื่องปรับสมดุลพัดลมระบายความร้อนเก้าอี้รถยนต์ ผลที่ได้รับ และแนวทางการพัฒนาในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในการศึกษาการออกแบบเครื่องวัดความไม่สมดุลของพัดลม จำเป็นต้องมีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการสั่นสะเทือน เข้าใจในหลักการทำงานของพัดลมและพื้นฐานการเขียนโปรแกรม LabVIEW รวมถึงความรู้ทางไฟฟ้าเบื้องต้น

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากวิทยานิพนธ์เรื่องการปรับสมดุลของวัตถุแข็งเกร็งของ นายนัฐพล ทรงพัฒนะโยธิน และนายปกรณ์ พรเติม [2] ปีการศึกษา 2545 ได้การศึกษาทฤษฎีการหมุนของวัตถุหมุนเกร็งที่มีการหมุนอย่างไม่สมดุลอันเนื่องมาจากการแผ่กระจายมวลอย่างไม่สม่ำเสมอและทำการแก้ไขโดยวิธีการปรับสมดุลโดยใช้วิธีคำนวณจากเวกเตอร์ของการสั่นสะเทือนโดยได้ทำการออกแบบชุดจำลองการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรหมุนเพื่อทำการทดลองเปรียบเทียบผลทางปฏิบัติกับผลทางทฤษฎีเพื่อหาขนาดและตำแหน่งของความไม่สมดุลโดยพิจารณาจากการสั่นสะเทือนในขณะหมุนด้วยความเร็วคงที่ของวัตถุหมุนเกร็งชุดจำลองการสั่นสะเทือนที่สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นชุดสาธิตในการศึกษาการปรับสมดุลของวัตถุหมุน

Wang Qiuxiao และ Wang Fei [3] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนทางกลของเครื่องสมดุลการหมุนของดาวเทียม การวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าส่วนผสมของการสั่นสะเทือนในแนวนอนและการสั่นสะเทือนแบบบิดของกลไกการสั่นสะเทือนนั้นส่วนใหญ่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องเช่นเดียวกับความเสถียรของตำแหน่งศูนย์กลางการสั่นสะเทือน ซึ่งปริญญานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาและประยุกต์ใช้ทฤษฎีการสั่นสะเทือนในแนวนอนและการสั่นสะเทือนแบบบิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เพียงเท่านั้น

จากวิทยานิพนธ์การออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดความไม่สมดุลพัดลมระบายความร้อนเก้าอี้รถยนต์ของ นายกฤษณ์ดนัย สอนศรี นายโชติภน ขจรวิทยา และนายนันทวัฒน์ วงศ์วานโต๊ะขุน ปีการศึกษา 2561 [4] ได้ศึกษา ออกแบบ และพัฒนาเครื่องวัดความไม่สมดุลพัดลมระบายความร้อนเก้าอี้รถยนต์ เพื่อนำไปเป็นเครื่องต้นแบบให้แก่บริษัทเดลต้า อีเลคโทรนิคส์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) โดยใช้ทฤษฎีการหมุนของวัตถุแข็งเกร็งที่มีการหมุนอย่างไม่สมดุลแบบพลศาสตร์สองระนาบจากมวลที่กระจายตัวไม่สม่ำเสมอ และปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ออกแบบส่วนอุปกรณ์เพื่อส่งสัญญาณข้อมูลให้โปรแกรมคำนวณความไม่สมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ข้อกำหนดและคำจำกัดความ

2.3.1 การปรับสมดุล (Balancing)

ตรวจสอบโดยการกระจายมวลของวัตถุหมุน (Rotor) และถ้าจำเป็นให้ปรับแก้ไขเพื่อให้มั่นใจว่าความไม่สมดุลตกค้าง หรือการสั่นสะเทือนของแรง บนตลับลูกปืน (Bearing) ที่ความถี่ที่สอดคล้องกับความเร็วให้บริการให้อยู่ภายในขีดจำกัดที่ระบุ (ISO 1940-1) [1]

2.3.2 ความไม่สมดุล (Unbalance)

สภาพที่มีอยู่ในวัตถุหมุน (Rotor) เมื่อมีแรงสั่นสะเทือนหรือการเคลื่อนที่เกิดขึ้นกับตลับลูกปืน (Bearing) อันเป็นผลมาจากแรงเหวี่ยง (ISO 1940-1) [1]

2.3.3 ความไม่สมดุลเริ่มต้น (Initial Unbalance)

ความไม่สมดุลของทุกรูปแบบที่มีอยู่ในวัตถุหมุน(Rotor)ก่อนที่จะทำการปรับสมดุล (ISO 1940-1) [1]

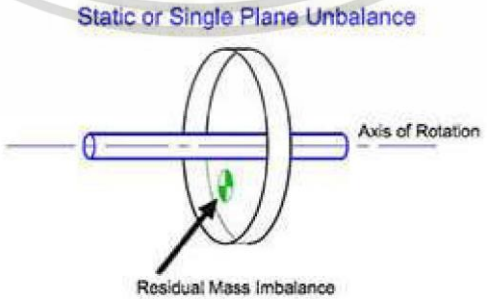
2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 รูปแบบของความไม่สมดุล

ความไม่สมดุลสามารถแยกออกได้เป็น 3 รูปแบบ [5] ความไม่สมดุลสถิตยศาสตร์ (StaticUnbalance) ความไม่สมดุลคับเปิล (Couple Unbalance) และ ความไม่สมดุลพลศาสตร์ (DynamicUnbalance)

2.4.1.1 ความไม่สมดุลสถิตยศาสตร์ (Static Unbalance)

หมายถึงปรากฏการณ์การทำงานผ่านจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุหมุน (Rotor) และตามคำจำกัดความสามารถแก้ไขได้ด้วยการเพิ่มหรือลดมวลที่ตำแหน่งเดียวตามแนวศูนย์กลางมวล ความหมายโดยนัย คือ การทำให้แกนวัตถุหมุน (Rotor) ขนานกับแนวแกนของตลับลูกปืน (Bearing) ความไม่สมดุลสถิตยศาสตร์สามารถตรวจวัดได้โดยไม่ต้องหมุนวัตถุหมุน (Rotor)



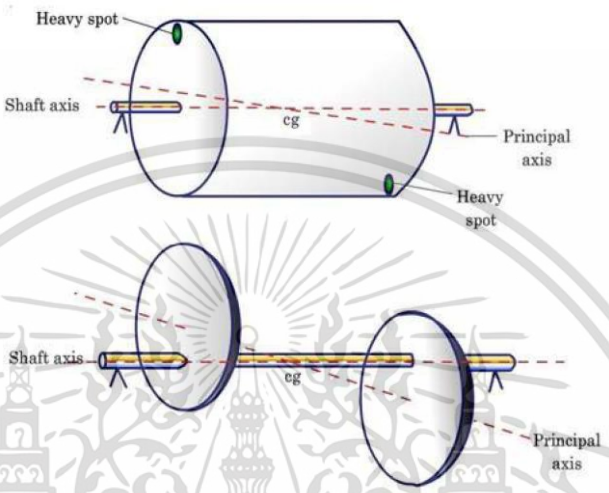
รูปที่ 2.1 ความไม่สมดุลสถิตยศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ถ้าวัตถุหมุน (Rotor) มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าความยาวของเพลาหรือแกนหมุนมากกว่า 7 ถึง 10 เท่า จะใช้การแก้ไขความไม่สมดุลในรูปแบบของ ความไม่สมดุลสถิตยศาสตร์

2.4.1.2 ความไม่สมดุลคับเปิล (Couple Unbalance)

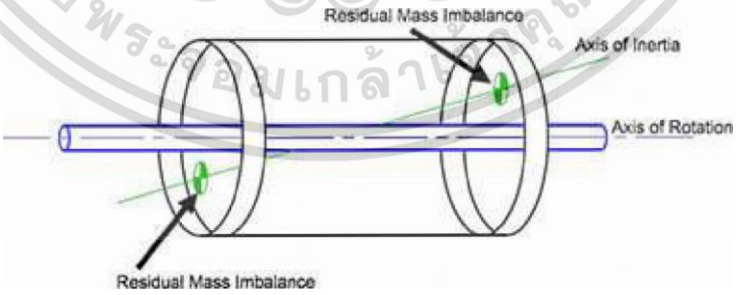
หมายถึงความไม่สมดุลเมื่อวัตถุหมุน (Rotor) มีเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบกับขนาดของเพลาหรือแกนหมุนน้อยกว่า 7 ถึง 10 เท่า (ทรงกระบอก) [5]



รูปที่ 2.2 ความไม่สมดุลคับเปิล (Couple Unbalance)

2.4.1.3 ความไม่สมดุลพลศาสตร์ (Dynamic Unbalance)

ความไม่สมดุลพลศาสตร์คือการรวมกันของทั้งความไม่สมดุลแบบสถิตยศาสตร์ และความไม่สมดุลคับเปิล อีกทั้งยังเป็นรูปแบบส่วนใหญ่ของความไม่สมดุล ในการวัดค่าความไม่สมดุลแบบพลศาสตร์ต้องวัดในขณะที่วัตถุหมุน (Rotor) หมุนในความเร็วให้บริการ จากนั้นใช้วิธีเพิ่มหรือลดมวลลงในทั้งสองระนอบของวัตถุหมุน (Rotor) เพื่อให้เกิดความสมดุล



รูปที่ 2.3 ความไม่สมดุลพลศาสตร์ (Dynamic Unbalance)

2.4.2 ข้อกำหนดของพิกัดเผื่อของความไม่สมดุล (Specification of Balance Tolerances) ตามมาตรฐาน ISO 1940-1 [1]

2.4.2.1 เกรดคุณภาพของความสมดุล G (Balance Quality Grades G)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกตั้งขึ้นเพื่ออนุญาตการจัดประเภทของคุณภาพความสมดุลที่ต้องการสำหรับแต่ละรูปแบบของเครื่องจักร ดูตารางที่ 2.1 เกรดคุณภาพความสมดุล G ได้รับการออกแบบให้สอดคล้องกับขนาดของ $e_{per}\Omega$ แสดงในหน่วยมิลลิเมตรต่อวินาที (mm/s) ถ้าหากขนาดเท่ากับ 6.3 มิลลิเมตรต่อวินาที, เกรดคุณภาพความสมดุลที่ถูกออกแบบ คือ G 6.3 และค่าของ e_{per} (ซึ่งก็คือ U_{per}/m) จะถูกวาดด้วยความเร็วสูงสุดในรูปที่ 2.1

2.4.2.2 ความไม่สมดุลคงเหลือที่สามารถยอมรับได้ (Permissible Residual Unbalance)

U_{per} สามารถคำนวณได้โดยการเลือกเกรดคุณภาพขของความสมดุล G ลงในสมการสมการต่อไปนี้

$$U_{per} = 1000\frac{\left(e_{per}\Omega\right)m}{\Omega} \tag{2.1}$$

U_{per} คือ ค่าตัวเลขของความไม่สมดุลคงค้างที่สามารถยอมรับได้, อธิบายในหน่วยกรัมมิลลิเมตร (g-mm)

$e_{per}\Omega$ คือ ค่าตัวเลขของเกรดคุณภาพของความสมดุลที่เลือก, อธิบายในหน่อยมิลลิเมตรต่อวินาที (mm/s)

m คือ ค่าตัวเลขขนาดของมวลวัตถุหมุน (Rotor) ในหน่วยกิโลกรัม (kg)

Ω คือ ค่าตัวเลขของความเร็วเชิงมุมของความเร็วให้บริการ, อธิบายในหน่วยเรเดียนต่อวินาที (rad/s), เมื่อ $\Omega \approx n/10$ และ n คือความเร็วให้บริการในหน่วยรอบต่อนาที (RPM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Machinery types: General examples	Balance quality grade G	Magnitude $e_{per} \cdot \Omega$ mm/s
Crankshaft drives for large slow marine diesel engines (piston speed below 9 m/s), inherently unbalanced	G 4000	4 000
Crankshaft drives for large slow marine diesel engines (piston speed below 9 m/s), inherently balanced	G 1600	1 600
Crankshaft drives, inherently unbalanced, elastically mounted	G 630	630
Crankshaft drives, inherently unbalanced, rigidly mounted	G 250	250
Complete reciprocating engines for cars, trucks and locomotives	G 100	100
Cars: wheels, wheel rims, wheel sets, drive shafts Crankshaft drives, inherently balanced, elastically mounted	G 40	40
Agricultural machinery Crankshaft drives, inherently balanced, rigidly mounted Crushing machines Drive shafts (cardan shafts, propeller shafts)	G 16	16
Aircraft gas turbines Centrifuges (separators, decanters) Electric motors and generators (of at least 80 mm shaft height), of maximum rated speeds up to 950 r/min Electric motors of shaft heights smaller than 80 mm Fans Gears Machinery, general Machine-tools Paper machines Process plant machines Pumps Turbo-chargers Water turbines	G 6,3	6,3
Compressors Computer drives Electric motors and generators (of at least 80 mm shaft height), of maximum rated speeds above 950 r/min Gas turbines and steam turbines Machine-tool drives Textile machines	G 2,5	2,5
Audio and video drives Grinding machine drives	G 1	1
Gyroscopes Spindles and drives of high-precision systems	G 0,4	0,4

NOTE 1 Typically completely assembled rotors are classified here. Depending on the particular application, the next higher or lower grade may be used instead. For components, see Clause 9.

NOTE 2 All items are rotating if not otherwise mentioned (reciprocating) or self-evident (e.g. crankshaft drives).

NOTE 3 For limitations due to set-up conditions (balancing machine, tooling), see Notes 4 and 5 in 5.2.

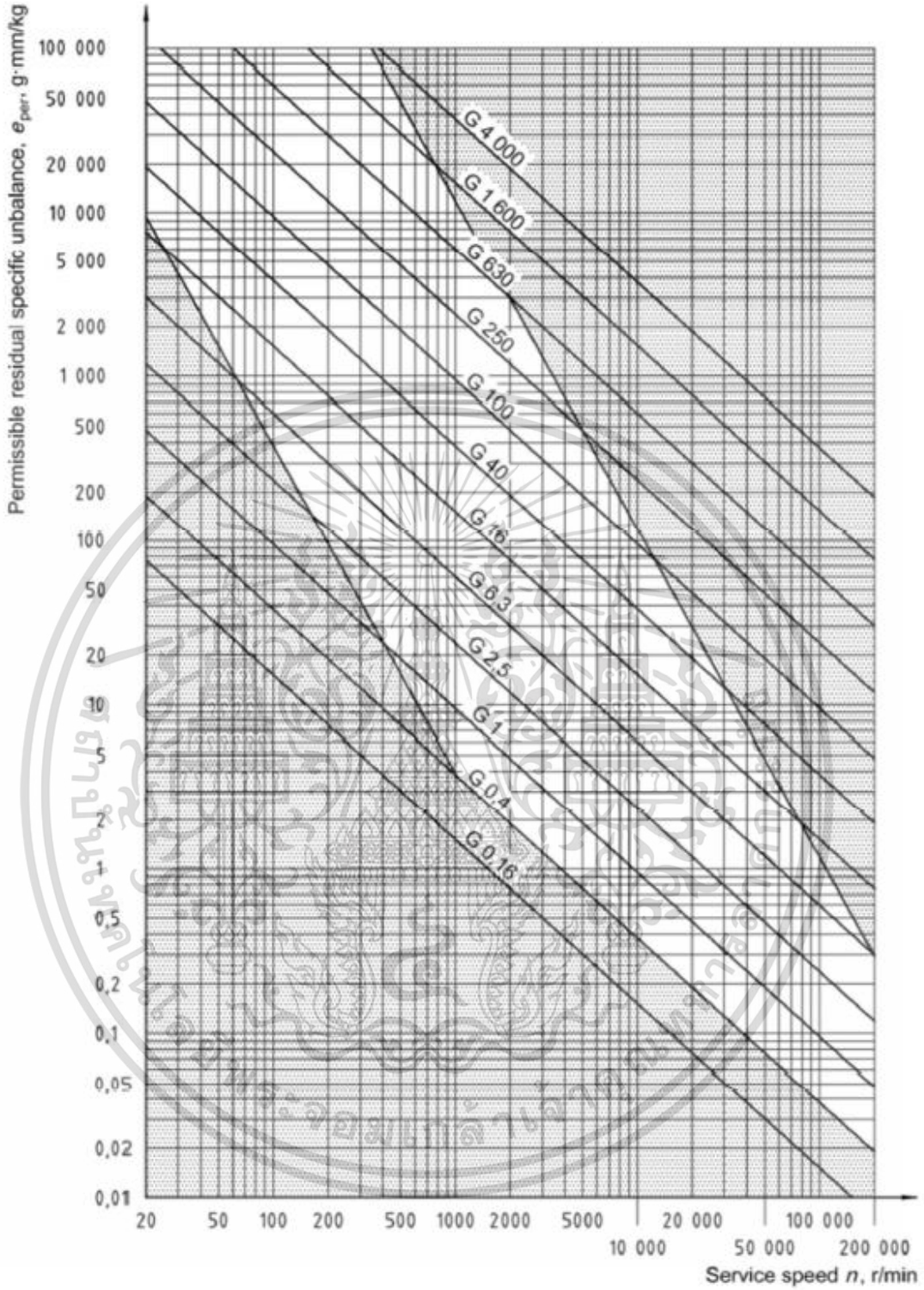
NOTE 4 For some additional information on the chosen balance quality grade, see Figure 2. It contains generally used areas (service speed and balance quality grade G), based on common experience.

NOTE 5 Crankshaft drives may include crankshaft, flywheel, clutch, vibration damper, rotating portion of connecting rod. Inherently unbalanced crankshaft drives theoretically cannot be balanced, inherently balanced crankshaft drives theoretically can be balanced.

NOTE 6 For some machines, specific International Standards stating balance tolerances may exist (see Bibliography).

ตารางที่ 2.1 คำแนะนำสำหรับเกรดคุณภาพสมดุลสำหรับวัตถุหมุน (Rotor) ที่เป็นวัตถุแข็งเกร็ง [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ความไม่สมดุลคงเหลือเฉพาะที่อยู่บนพื้นฐานของเกรดคุณภาพความสมดุลและความเร็ว [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.3 การกระจายความไม่สมดุลคงเหลือที่สามารถยอมรับได้ไปยังระนาบพิกัดเผื่อ (Allocation of Permissible Residual Unbalance to Tolerance Planes) [6]

1) ในกรณีของการแก้ไขระนาบเดียว U_{per} ถูกใช้กับทั้งระนาบ ส่วนในกรณีอื่นๆใช้จากกรณีระนาบพิกัดเผื่อแบบสองระนาบ

2) ในกรณีของการแก้ไขสองระนาบ ความไม่สมดุลคงเหลือที่สามารถยอมรับได้ U_{per} ถูกกระจายส่วนจามระยะจากจุดศูนย์กลางมวลไปยังระนาบพิกัดเผื่อด้านตรงข้าม ตามรูปที่ 2.5 และ รูปที่ 2.6 เมื่อระนาบพิกัดเผื่อคือระนาบตลับลูกปืน (Bearing) A และ B กล่าวได้ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$U_{per,A} = \frac{U_{per} \times L_B}{L} \tag{2.2}$$

$$U_{per,B} = \frac{U_{per} \times L_A}{L} \tag{2.3}$$

เมื่อ $U_{per,A}$ คือ ความไม่สมดุลคงเหลือที่สามารถยอมรับได้ในตลับลูกปืน (Bearing) ระนาบ A

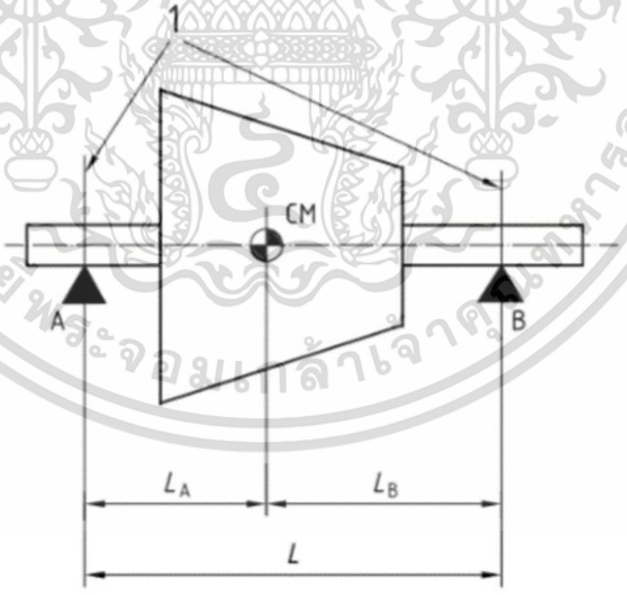
$U_{per,B}$ คือ ความไม่สมดุลคงเหลือที่สามารถยอมรับได้ในตลับลูกปืน (Bearing) ระนาบ B

U_{per} คือ ความไม่สมดุลคงเหลือ (รวม) ที่สามารถยอมรับได้ (ในระนาบศูนย์กลางมวล)

L_A คือ ระยะจากจุดศูนย์กลางมวลไปยังตลับลูกปืน (Bearing) ระนาบ A

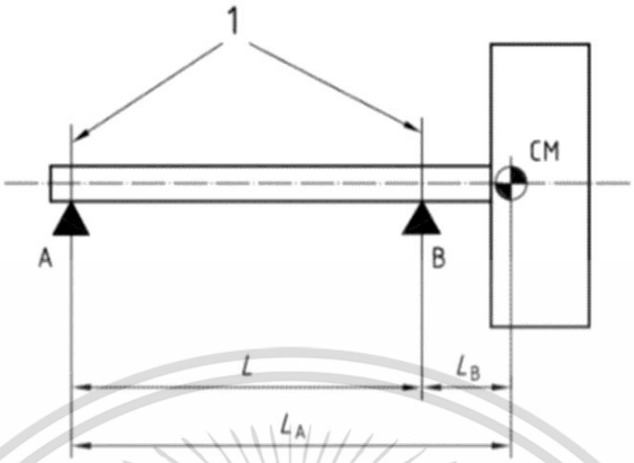
L_B คือ ระยะจากจุดศูนย์กลางมวลไปยังตลับลูกปืน (Bearing) ระนาบ B

L คือ ความกว้างตลับลูกปืน (Bearing)



รูปที่ 2.5 วัตถุหมุน (Rotor) ที่มีศูนย์กลางมวลอยู่ในตำแหน่งที่ไม่สมมาตร

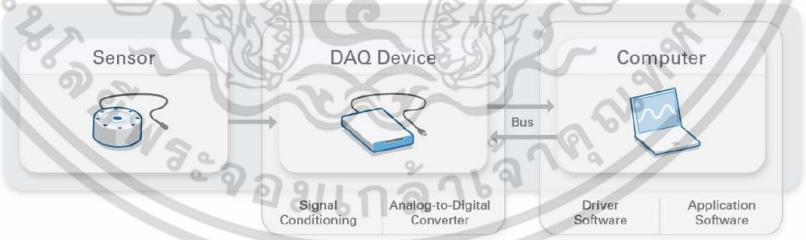
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 วัตถุหมุน (Rotor) ด้านนอกที่มีศูนย์กลางมวลอยู่ในตำแหน่งที่สูงเกินไป

2.5 อุปกรณ์วิเคราะห์ข้อมูล Data Acquisition (DAQ)

อุปกรณ์วิเคราะห์ข้อมูล Data Acquisition (DAQ) [7] ทำการแปลงเป็นดิจิทัลเป็นสัญญาณไฟฟ้าซึ่งมาจากเซ็นเซอร์เป็นสัญญาณดิจิทัลที่คอมพิวเตอร์สามารถอ่านได้ ซึ่งเป็นฟังก์ชันหลักของระบบเก็บข้อมูล DAQ ประกอบด้วยเซ็นเซอร์ฮาร์ดแวร์การวัด DAQ และซอฟต์แวร์บนคอมพิวเตอร์ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการวัดแบบเดิม ระบบ DAQ ที่ใช้คอมพิวเตอร์จะมีการประมวลผลและความสามารถในการเชื่อมต่อของคอมพิวเตอร์ในอุตสาหกรรมเพื่อการวัดที่มีประสิทธิภาพ ยืดหยุ่น และคุ้มค่ามากขึ้น



รูปที่ 2.7 แผนผังการส่งข้อมูล

ที่มา NI Engineers Guide to Digitization

การใช้อุปกรณ์วิเคราะห์ข้อมูล Data Acquisition (DAQ) จากบริษัท National instruments (NI) อ่านค่าสัญญาณทางไฟฟ้าแล้วนำไปเก็บไว้ในหน่วยความจำบนคอมพิวเตอร์เพื่อทำการวิเคราะห์และแสดงผลซึ่งขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการเขียนโปรแกรม ระบบวิเคราะห์ข้อมูลบนคอมพิวเตอร์จะมีส่วนประกอบอยู่สี่ส่วนด้วยกันคือส่วนของแหล่งสัญญาณจากเซ็นเซอร์, ส่วนฮาร์ดแวร์ การปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning), ส่วนอุปกรณ์วิเคราะห์ข้อมูล, และซอฟต์แวร์บนคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่เราจะวัดอาจเป็นสัญญาณอนาล็อก (+10 โวลต์ หรือ 4-20 มิลลิแอมป์) หรือเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มาจากเซ็นเซอร์และจะถูกต่อสายเข้าไปในอุปกรณ์การปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning) ซึ่งจะทำหน้าที่ในการปรับปรุงสัญญาณให้เหมาะสมก่อนที่จะวัดด้วยฮาร์ดแวร์ DAQ เช่นถ้าสัญญาณมีขนาดเล็กเกินไปก็จะต้องขยายให้ใหญ่ขึ้นหรือถ้าสัญญาณเข้ามาใหญ่เกินไปก็ต้องลดทอนสัญญาณให้เล็กลงเป็นต้น แต่ถ้าสัญญาณมีลักษณะเหมาะสมแล้วก็ไม่จำเป็นต้องนำการปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning) มาใช้สำหรับอุปกรณ์ DAQ แบบพื้นฐานจะสามารถวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง +10 โวลต์ (Volts) เท่านั้นซึ่งฮาร์ดแวร์นี้จะถูกติดตั้งบนพีซีที่มีไดร์ฟเวอร์และมีแอพพลิเคชั่นที่เขียนด้วยซอฟต์แวร์สำหรับพัฒนาระบบเช่น LabVIEW

2.5.1 อุปกรณ์ NI DAQ

อุปกรณ์ NI DAQ [7] ประเภทหลายฟังก์ชันก์ซึ่งมีหน้าที่หลักอยู่สี่ระบบได้แก่ อนาล็อก Input, อนาล็อก Output, ดิจิทัล Input / Output, และ Counter Input / Output (อุปกรณ์บางรุ่นอาจมีไม่ครบทุกหน้าที่ขึ้นอยู่กับการออกแบบ) โดยจะสามารถต่อกับคอมพิวเตอร์ได้หลายช่องทางซึ่งแต่ละแบบจะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไปให้เราเลือกใช้

2.5.2 Compact DAQ

รูปที่ 2.8 Compact DAQ

ที่มา http://www.ni.com/product-documentation/9939/en/

Data Acquisition แบบคอมแพกต์ซึ่งมีความสามารถและยืดหยุ่นสูงกว่าแบบอื่นๆเพราะจะสามารถเลือกโมดูลการปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning) ได้หลายแบบตามความต้องการว่าต้องการวัดสัญญาณหรือสร้างสัญญาณประเภทไหนบ้างและกี่ช่องสัญญาณซึ่งเราจะมีอิสระในการเลือกใช้โมดูลที่มีมากกว่า 50 แบบและสามารถเลือกขนาดของสล็อต (Slot) เสียบโมดูลได้ทั้งแบบ 1, 4, และ 8 สล็อต (Slot) รวมถึงวิธีการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ที่มีให้เลือกหลายแบบ อุปกรณ์ NI DAQ ทุกรุ่นทุกแบบจะใช้ซอฟต์แวร์ไดร์ฟเวอร์ (Driver) ชื่อว่า NI DAQmx จึงสามารถทดลองนำอุปกรณ์แบบใดก็ได้มาทำการทดลองศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 เวลาการดิจิไทซ์ (Digitization Timing)

อุปกรณ์วิเคราะห์ข้อมูล Data Acquisition (DAQ) สมัยใหม่นำเสนอโครงสร้างดิจิทัลที่หลากหลาย ซึ่งทั้งหมดนี้ต้องใช้การเชื่อมต่อไฟฟ้าบางประเภทกับขาหรือเทอร์มินัลจริงเพื่อรับสัญญาณที่คุณกำลังวัดตัวเลือกในอุดมคตินั้นแตกต่างกันไปตามความต้องการของแอปพลิเคชัน DAQ ของคุณรวมถึงความหนาแน่นของแชนเนล, อัตราการได้มาต่อชาแนลและการจัดตำแหน่งเฟสระหว่างแชนเนลที่อยู่ติดกันบนอุปกรณ์

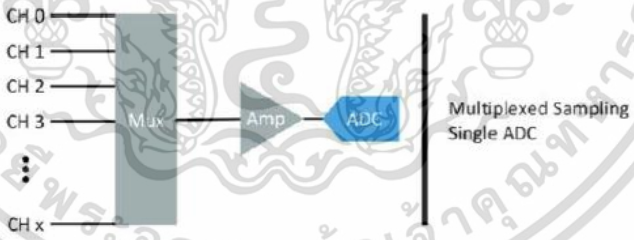
2.6.1 Digitization Timing Architectures

การแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นดิจิทัลนั้นควบคุมโดยโครงสร้างพื้นฐานเวลาภายในอุปกรณ์ DAQ แหล่งเวลาหนึ่งหรือหลายแหล่งอาจระบุเมื่อตัวอย่างถูกแปลงจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล และในอัตราใดสองแบบคืออุปกรณ์ DAQ แบบ Simultaneous และ Multiplexed Sampling Architecture [7]

อุปกรณ์ DAQ ทั่วไปจะมีช่องสำหรับ อนาล็อก Input จำนวนหลายช่องเพื่อให้สามารถวัดสัญญาณอนาล็อก ได้หลาย ๆ ช่องพร้อมกันซึ่งในทางการออกแบบฮาร์ดแวร์หรือ Architecture จะมีสองวิธีให้เราเลือก

1) Multiplexed Sampling Architecture

Multiplexed Sampling Architecture คือการใช้ Multiplexer (MUX) เข้ามาช่วยในการสวิตช์สัญญาณที่ละช่องเข้ามาในอุปกรณ์ขยายสัญญาณ ซึ่งเป็นการสวิตช์แบบกลับไปมาที่รวดเร็วมากก่อนจะเข้าไปถึง ADC ดังภาพ

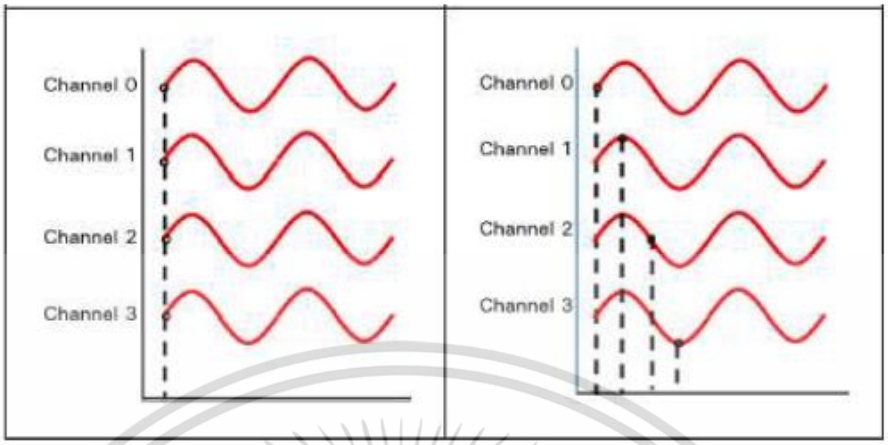


รูปที่ 2.9 Multiplexed Sampling Architecture
ที่มา NI Engineers Guide to Digitization

ข้อดีของอุปกรณ์แบบนี้คือมีต้นทุนที่ต่ำกว่าเพราะใช้ ADC เพียงตัวเดียวก็สามารถวัดสัญญาณหลาย ๆ ช่องได้ในคราวเดียวกันส่วนข้อเสียคือ อัตราการสุ่มสัญญาณ (Sampling rate) สูงสุดที่สามารถใช้ได้จะต้องถูกหารด้วยจำนวนช่องที่ใช้ตัวอย่างเช่น ถ้าการสุ่มตัวอย่างสัญญาณสูงสุด (Maximum Sampling rate) ของอุปกรณ์คือ 100,000 ตัวอย่าง/วินาที แล้วเราต้องการวัดพร้อมกันสิบช่องกรณีนี้อัตราการสุ่มสัญญาณ (Sampling rate) จะเหลือให้ใช้ได้สูงสุดเพียงช่องละ 10,000 ตัวอย่าง/วินาที เท่านั้น ข้อเสียอีกประการคือการเกิด Phase Shift Error [7] เนื่องจากวิธีการนี้จะเป็นการวัดสัญญาณด้วยการสแกนสัญญาณเข้า ADC ที่ละช่องไม่ได้สุ่มสัญญาณพร้อมกันจริง ๆ จึงทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

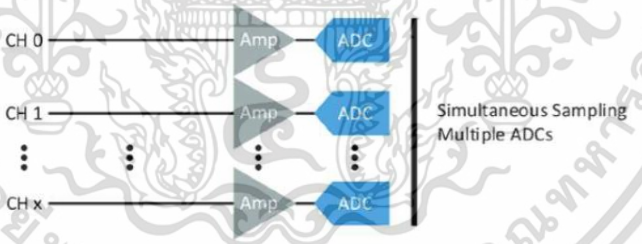
ให้สัญญาณที่อ่านได้แต่ละช่องมีเฟสคลาดเคลื่อนออกไปซึ่งจะเห็นชัดเจนมากขึ้นในกรณีที่สัญญาณมีความถี่สูงอุปกรณ์ที่ใช้วิธีการสุ่มแบบนี้ จึงใช้ได้กับสัญญาณที่เฟสในแต่ละช่องไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน



รูปที่ 2.10 การสุ่มสัญญาณ
ที่มา NI Engineers Guide to Digitization

ฝั่งขวาใช้การสุ่มสัญญาณแบบ Multiplexed สี่ช่องโดยต่อสายวัดไปที่แหล่งสัญญาณเดียวกัน จะเห็นได้ว่าที่จังหวะการสแกนเดียวกันกว่าจะสแกนจากช่องแรกไปถึงช่องสุดท้ายต้องใช้เวลาไป 15 ไมโครวินาทีสัญญาณช่องสุดท้ายอาจจะเลื่อนไปแล้วถึง 270 องศา ในขณะที่ฝั่งซ้ายใช้การสุ่มแบบ simultaneous ที่แทบจะไม่มีการเลื่อนของเฟสในแต่ละช่องสัญญาณ

2) Simultaneous Sampling Architecture



รูปที่ 2.11 Simultaneous Sampling Architecture
ที่มา NI Engineers Guide to Digitization

วิธีการนี้จะติดตั้ง ADC ประจำอยู่ในแต่ละช่องสัญญาณเพื่อให้สามารถใช้อัตราการสุ่มสัญญาณได้อย่างเต็มที่และยังสามารถสุ่มสัญญาณได้พร้อมกันอย่างแท้จริงเพื่อรักษาความสัมพันธ์ทางเฟสของสัญญาณในแต่ละช่อง ซึ่งจะเหมาะกับการอ่านข้อมูลที่เฟสในแต่ละช่องมีความสำคัญต่อการวิเคราะห์สัญญาณ เช่น การวิเคราะห์เสียงและความมั่นสะเทือน, การวิเคราะห์แรงเครียดแบบไดนามิกส์ในโครงสร้าง, การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้า ซึ่งในโครงงานนี้ได้เลือกใช้แบบ Simultaneous Sampling Architecture

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 สัญญาณทางไฟฟ้า (Signal)

สัญญาณทางไฟฟ้าคือลักษณะของสัญญาณที่จะเข้าสู่เครื่องมือวัด [7] เพราะลักษณะของสัญญาณที่จะเข้าสู่เครื่องมือวัดเป็นสิ่งที่จะกำหนดระบบที่ใช้ในการเก็บข้อมูลทั้งหมด และถ้าหากระบบเก็บข้อมูลที่เรามีอยู่ไม่สามารถที่จะเก็บสัญญาณที่ออกมาจากตัวแปลงสัญญาณ (Transducer) ได้เราอาจจำเป็นต้องเปลี่ยนเครื่องมือเก็บสัญญาณหรือตัวแปลงสัญญาณ (Transducer) อย่างใดอย่างหนึ่ง สิ่งที่ทำให้เกิดข้อจำกัดของอุปกรณ์ส่วนใหญ่จะมาจาก เวลาการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล

เวลามักจะเป็นตัวแปรที่วิกฤติที่สุดในการวัดแทบทุกรูปแบบ ไม่ว่าเราต้องการที่จะวัดปริมาณใดก็ตาม การเปลี่ยนแปลงของปริมาณนั้นไปกับเวลามักจะทำให้ การวัดเปลี่ยนแปลงวิธีการไปด้วย ในการวัดปริมาณใดก็ตามอาจจะไม่เพียงพอถ้าเรารู้เฉพาะว่าเราจะวัดอะไรเท่านั้น แต่เราจะต้องรู้ว่ามันมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรบ้าง ดังนั้นแม้แต่สัญญาณที่เรียกว่าสัญญาณกระแสตรง (Direct Current) ในความหมายด้านการวัดไม่ได้หมายถึงไฟฟ้ากระแสตรงเพียงอย่างเดียว แต่หมายถึงปริมาณสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงช้ามากก็ยังต้องเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

เวลาจะมีความสำคัญในการออกแบบอุปกรณ์วิเคราะห์ข้อมูล DAQ (Data Acquisition) อยู่สองประการคือ เราต้องการทราบว่า อัตราการสุ่มสัญญาณข้อมูล ซึ่งเป็นค่าที่บอกว่าคอมพิวเตอร์ต้องทำการวัดบ่อยครั้งเพียงใดในช่วงเวลาหนึ่ง และประการที่สองเราจำเป็นต้องทราบว่าเมื่อวัดปริมาณนั้น ได้แล้ว เรามีเวลาเหลืออีกเท่าใดเพื่อที่จะนำข้อมูลที่วัดได้ไปประมวลผล

2.7.1 การแบ่งประเภทสัญญาณ

เราสามารถแยกประเภทสัญญาณได้ตามลักษณะของมันได้เป็น 2 แบบ [7] คือ

1) สัญญาณดิจิทัล (Digital Signal)

2) สัญญาณอนาล็อก (Analog Signal)

สำหรับปริมาณที่เกิดขึ้นตามปรากฏการณ์ธรรมชาติจะเป็นสัญญาณประเภทอนาล็อกแทบทั้งสิ้นส่วนสัญญาณดิจิทัลนั้นโดยมากแล้วจะเป็นสัญญาณที่มนุษย์สร้างขึ้น และมักใช้ประโยชน์ในงานควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

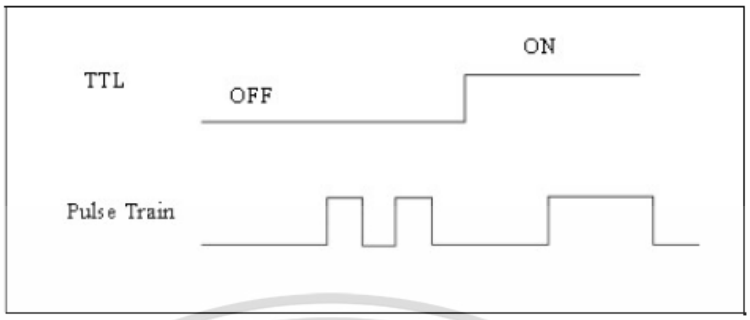
โดยปกติเมื่อสัญญาณผ่านออกจากตัวแปลงสัญญาณ (Transducer) มาแล้ว สัญญาณจะมีลักษณะเป็นสัญญาณไฟฟ้าแต่ยังคงเป็นสัญญาณอนาล็อก (Analog Signal) อยู่ การจะนำปริมาณนั้นเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผล เราจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า A/C (Analog to Digital Converter) เมื่อสัญญาณเข้าสู่ ADC จะได้รับการเปลี่ยนลักษณะให้เป็นสัญญาณดิจิทัลจากนั้นเราจึงสามารถให้คอมพิวเตอร์ดึงข้อมูลของสัญญาณนั้นออกมาได้ ข้อมูลที่สำคัญที่บันจุอยู่ในสัญญาณนั้นก็เช่น รูปร่าง, ปริมาณ, ความถี่เป็นต้น

ถ้าจะแบ่งประเภทของสัญญาณกัน แล้วสัญญาณทุกแบบเป็นสัญญาณเชิงอุปมานแทบทั้งสิ้นและมักเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา อย่างไรก็ตามในการพิจารณาเรื่องการวัดสัญญาณเราจะแบ่งสัญญาณ 2 ประเภทคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) สัญญาณดิจิทัล (Digital Signal) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- ON-OFF Signal หรือ TTL (Transistor to Transistor Logic)
- Pulse Train Signal

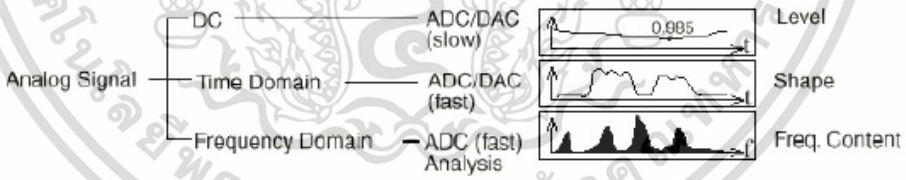


รูปที่ 2.12 สัญญาณดิจิทัลแบบ TTL (Transistor to Transistor Logic) และ Pulse Train Signal

สำหรับเปิด-ปิดสัญญาณ มักจะเป็นสัญญาณที่มีข้อมูลที่เป็นสภาวะ (State) ว่าขณะนี้มีสัญญาณเกิดขึ้นหรือไม่มีสัญญาณ

2) สัญญาณอนาล็อก (Analog Signal) สามารถแบ่งแยกย่อยออกเป็น 3 ชนิด คือ

- สัญญาณกระแสตรง (DC Signal) สัญญาณที่เปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ
- สัญญาณกระแสสลับ (AC Signal) สัญญาณที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเทียบกับเวลา (Time Domain)
- โดเมนของสัญญาณความถี่ (Frequency Domain Signal) สัญญาณที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วแต่เป็นการพิจารณาว่าสัญญาณนั้น มีความถี่ใดบ้างที่บรรจุอยู่สัญญาณอนาล็อกทั้ง 3 ชนิด แสดงในรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.13 สัญญาณอนาล็อกทั้ง 3 ชนิด

2.7.2 สัญญาณดิจิทัล (Digital Signal)

สัญญาณเชิงอุปมานนี้จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างช้าๆ เทียบต่อเวลา คุณลักษณะที่สำคัญของสัญญาณกระแสตรงก็ คือ ปริมาณหรือขนาดของสัญญาณที่ได้ขณะนั้น เนื่องจากสัญญาณกระแสตรงเปลี่ยนแปลงไปอย่างช้าๆ ความแม่นยำในการวัดจึงสำคัญมากกว่าอัตราการเก็บข้อมูล ลักษณะของสัญญาณกระแสตรงนี้มักได้จากอุปกรณ์การวัดทางกลขั้นพื้นฐาน เช่น อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหลในท่อปกติ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 สัญญาณอนาล็อก (Analog Signal)

ลักษณะของสัญญาณอนาล็อก (AC Signal) ที่สำคัญก็คือจะส่งผ่านทั้งขนาดของสัญญาณและการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณเทียบต่อเวลา ในการวัดปริมาณและแสดงผลของสัญญาณในลักษณะนี้เรามักเรียกสัญญาณนี้ว่าอยู่ในรูปของ waveformในการวัดสัญญาณอนาล็อก (AC Signal) เราจำเป็นจะต้องวัดข้อมูลต่อเนื่องกันเพื่อจะหาขนาดของสัญญาณในแต่ละเวลา การวัดจะต้องกระทำบ่อยครั้งเพื่อให้เพียงพอต่อการนำข้อมูลนี้ไปแปรความหมายได้อย่างถูกต้องแต่ต้องไม่มากจนเกินไป เพราะเราคงไม่มีทรัพยากรในคอมพิวเตอร์เพียงพอที่จะบรรจุข้อมูลเหล่านี้ตลอดเวลา ลักษณะของ DAQ ที่เหมาะสมกับงานประเภทนี้

2.8 โดเมนของสัญญาณความถี่ (Frequency Domain Signals)

อนาล็อกทุกรูปแบบข้อมูลที่สำคัญที่อยู่ในข้อมูลนั้นคืออะไร สำหรับสัญญาณประเภทนี้นั้นมีความแตกต่างจากสัญญาณอนาล็อกตรงที่ต้องการทราบว่าในสัญญาณที่วัดโดยรวมนั้นมีสัญญาณที่มีความถี่เท่าใดบ้างบรรจุอยู่ด้วยและแต่ละความถี่มีปริมาณเท่าใด แต่ในสัญญาณอนาล็อกปกติทั่วไปเราจะให้ความสำคัญกับรูปทรงของสัญญาณมากกว่าความถี่ที่บรรจุอยู่

- High Bandwidths สุ่มตัวอย่างด้วยอัตราสูง
- Accurate Sample Clock สามารถสุ่มตัวอย่างเป็นช่วงด้วยความแม่นยำ
- Triggering เริ่มสุ่มตัวอย่างด้วยเวลาที่แม่นยำ
- Analysis Function เปลี่ยนข้อมูลใน Time Domain ให้อยู่ใน Frequency Domain

2.9 แหล่งสัญญาณทางไฟฟ้า

สัญญาณทางไฟฟ้ามีหลากหลายรูปแบบซึ่งแหล่งกำเนิดอาจมาจากตัวส่งสัญญาณหรือเซ็นเซอร์ซึ่งสัญญาณเหล่านี้จะเป็นตัวแสดงถึงปริมาณทางกายภาพที่เราจะวัดคือความเร่งและความเร็วแล้วสัญญาณอนาล็อกจะต้องถูกแปลงไปเป็นแรงดันไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์การปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning) ก่อนที่จะถูกอ่านค่าด้วยอุปกรณ์ DAQ, โดยเราจะเรียกแหล่งกำเนิดสัญญาณ [7] ประเภทแรงดันไฟฟ้าว่าเป็นความต่างศักย์ระหว่างสายสองเส้น จึงเป็นตัวแทนของแหล่งสัญญาณที่พร้อมที่จะถูกวัดด้วยอุปกรณ์ DAQ ซึ่งแบ่งออกเป็นสองชนิด ได้แก่ แหล่งสัญญาณแบบต่อกราวด์ (Grounded Source) และแบบไม่ต่อกราวด์หรือแบบลอย (Floating Source)

2.10 การปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning)

การปรับสภาพสัญญาณ คืออุปกรณ์เสริมที่ทำหน้าที่ปรับสัญญาณให้เหมาะสมก่อนการวัดด้วยอุปกรณ์ DAQ [7] เพื่อให้ได้ผลการวัดที่เที่ยงตรงและปลอดภัยมากขึ้นทั้งนี้เราอาจสร้างวงจรแปลงสัญญาณขึ้นมาเองหรือใช้อุปกรณ์สำเร็จรูปที่มีคุณภาพสูงเพื่อความแม่นยำมากขึ้นก็ได้ซึ่งอุปกรณ์การปรับสภาพสัญญาณ มีหลากหลายรูปแบบให้เลือกทั้งแบบติดตั้งแยกจาก DAQ, และแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่รวมเป็นชิ้นเดียวกันกับ DAQ และแต่ละแบบก็ยังแยกตามชนิดของสัญญาณตัวอย่างของการปรับสภาพสัญญาณ

1. การขยายสัญญาณ (Amplification) คือการขยายสัญญาณที่เล็กเกินไปให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้อุปกรณ์ DAQ สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณได้ละเอียดมากขึ้นเช่นสัญญาณจากเทอร์โมคัพเปอร์ซึ่งจะอยู่ในระดับมิลลิโวลต์

2. การกระตุ้น (Excitation) คือการจ่ายไฟกระตุ้นเนื่องจากเซ็นเซอร์บางชนิดเช่นโหลดเซลล์จำเป็นต้องมีการจ่ายแรงดันไปเลี้ยงการปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning) จะทำการจ่ายไฟเลี้ยงให้ในรูปแบบและขนาดที่เหมาะสม

3. วงจรบริดจ์ (Configuration) คือการต่อตัวต้านทานเพิ่มให้ครบสี่ตัวเป็นวงจรแบบบริดจ์ซึ่งใช้กับการวัดอย่างเช่น สเตรนเกจ (Strain Gauge)

4. การกรองสัญญาณ (Filtering) คือการกรองสัญญาณในย่านความถี่ที่ไม่ต้องการออกเช่นถ้าสัญญาณที่เราต้องการมีความถี่ต่ำแต่ในระบบมีสัญญาณรบกวนความถี่สูงปะปนเข้ามาด้วยเราสามารถใช้ตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำ (Low-Pass Filter) เพื่อตัดสัญญาณรบกวนย่านความถี่สูงออกหรือในกระบวนการสุ่มสัญญาณเราสามารถใช้ ตัวเกลี่ยความขรุขระของสัญญาณ (Anti-Aliasing Filter) เพื่อตัดสัญญาณที่เราไม่ต้องการอ่านออกไปจากระบบเพื่อให้สัญญาณมีคุณภาพดีขึ้น

5. การแยก (Isolation) คือการแยกตัวนำไฟฟ้าของระบบวัดสัญญาณสองส่วนออกจากกันเพื่อความปลอดภัยในกรณีที่อาจมีทรานเซียนขนาดใหญ่วิ่งเข้ามาในระบบและยังสามารถแก้ปัญหาเรื่องกราวด์ลูปที่กล่าวไว้ในตอนต้นได้อีกด้วย

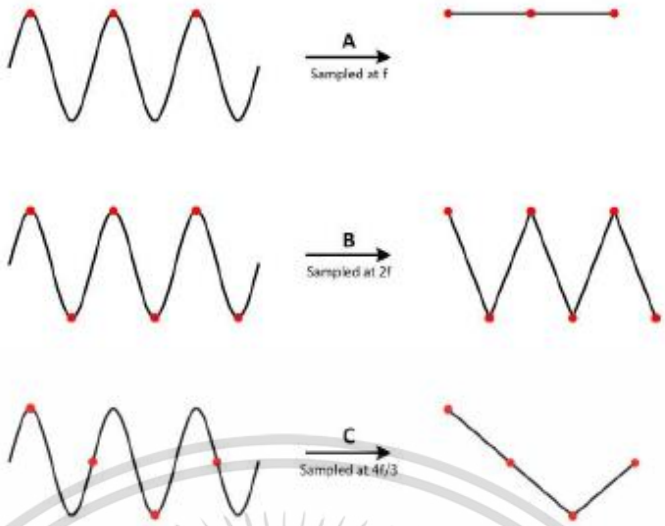
2.11 ขั้นตอนการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล

ในอุปกรณ์ DAQ ทั่วไปจะมีช่องสำหรับวัดสัญญาณอนาล็อกเรียกว่าช่อง Analog Input ซึ่งจะวัดสัญญาณในช่วง + 10 โวลต์ ได้ (แล้วแต่รุ่น) การนำสัญญาณอนาล็อกนี้เข้ามาอยู่ในพีซีซึ่งเป็นฟอร์มแมตแบบดิจิทัลจะต้องผ่านอุปกรณ์แปลงสัญญาณที่เป็นกระบวนการในการนำค่าทางดิจิทัล (ซึ่งมีจำนวนจำกัด) มาเลียนแบบค่าอนาล็อก (ซึ่งมีจำนวนไม่จำกัด) โดยกระบวนการนี้มีขั้นตอนบางอย่างที่เราควรทราบเพื่อใช้นำไปปรับแต่งค่าอุปกรณ์ในการดึงสัญญาณดังนี้

2.12 การสุ่มสัญญาณ (Sampling)

เนื่องจากคอมพิวเตอร์จะเก็บและประมวลผลข้อมูลในรูปแบบดิจิทัลเท่านั้นกระบวนการนี้จึงเป็นการเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกที่เป็นเส้นกราฟต่อเนื่องให้กลายเป็นจุดของข้อมูลดิจิทัลที่ไม่ต่อเนื่องด้วยวิธีการสุ่มสัญญาณหรือที่เรียกว่าการสุ่มสัญญาณด้วยอัตราเร็วที่คงที่ สัญญาณอนาล็อกต้นฉบับและสัญญาณที่ถูกกลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



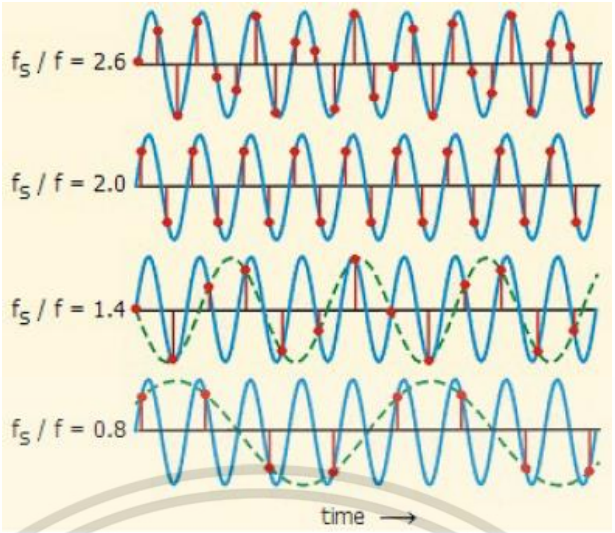
รูปที่ 2.14 ตัวอย่างวิธีการสุ่มสัญญาณแต่ละความถี่
ที่มา https://psychology.stackexchange.com/questions/18237/what-happens-atsampling-rates-lower-or-higher-that-the-nyquist-rate

จะสังเกตได้ว่าถ้าหากเรายิ่งสุ่มสัญญาณเร็วจุดที่ได้จากการสุ่มก็จะหนาแน่นมากขึ้นก็จะยิ่งเก็บความละเอียดของเส้นกราฟได้ใกล้เคียงต้นฉบับมากขึ้นความเร็วในการสุ่มสัญญาณนี้เรียกกว่าอัตราการสุ่มสัญญาณซึ่งมีหน่วยเป็นจุดตัวอย่างต่อวินาที (Sample/s) หรือเฮิรตซ์ (Hz) ก็ได้แต่ความเร็วนี้จะมีข้อจำกัดอยู่ที่ Sample Cock ของอุปกรณ์ว่าจะสามารถสุ่มได้เร็วสูงสุดเท่าไหร่แต่การสุ่มข้อมูลด้วยความเร็วมากเกินไปก็ไม่ใช่สิ่งที่จำเป็นเพราะจะทำให้สิ้นเปลืองหน่วยความจำและพื้นที่เก็บข้อมูลเราสามารถกำหนดอัตราการสุ่มสัญญาณในการแปลงสัญญาณที่เหมาะสมได้เองโดยยึดตามหลักการแปลงสัญญาณที่เรียกว่าทฤษฎี Nyquist [7]

2.12.1 ทฤษฎี Nyquist

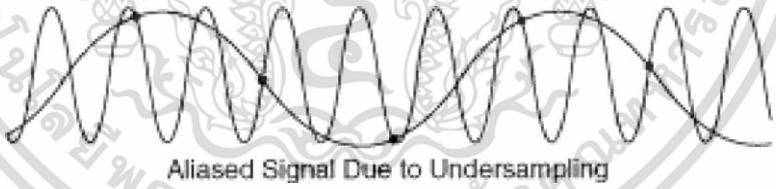
กล่าวไว้ว่าสัญญาณจะต้องถูกสุ่มด้วยความเร็วอย่างน้อยสองเท่าของความถี่สูงสุดที่มีอยู่ในสัญญาณเพื่อให้สามารถนำจุดข้อมูลเหล่านั้นมาสร้างเป็นลักษณะคลื่นกลับมาให้เหมือนกับสัญญาณต้นฉบับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 ทฤษฎี Nyquist

ถ้าเราใช้อัตราการสุ่มสัญญาณ (Sampling Rate) ที่สองเท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณ พอดีเราอาจได้ข้อมูลทางความถี่ของสัญญาณที่ถูกต้องแต่จะไม่สามารถเก็บรายละเอียดของรูปทรงของกราฟได้ทั้งหมดเพราะฉะนั้นในทางปฏิบัติเราควรใช้อัตราการสุ่มสัญญาณ (Sampling Rate) ที่ประมาณ 5 เท่าถึง 10 เท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณเพื่อให้ได้รูปทรงของกราฟที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้นซึ่งในเครื่องวัดความไม่สมดุลในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้อัตราการสุ่มสัญญาณ (Sampling Rate) 102,400 ตัวอย่าง/วินาที กรณีที่เราตั้งอัตราการสุ่มสัญญาณ (Sampling Rate) ช้ากว่าที่ในทฤษฎี Nyquist กำหนดไว้ เช่น ถ้าเราตั้งเป็น 11 เฮิรตซ์ จะมีความถี่ผิดไปจากต้นฉบับคือจะต่ำกว่าเดิมเหตุการณ์แบบนี้เรียกว่าข้อผิดพลาดแฝง



รูปที่ 2.16 อัตราการสุ่มสัญญาณ (Sampling rate) ที่น้อยเกินไป

ที่มา https://blogs.umass.edu/Techbytes/2018/04/20/a-mathematical-analysis-of-sample-ratesand-audio-quality/

เราจึงควรทราบลักษณะของสัญญาณที่เราจะดึงก่อนที่จะตั้งค่าอัตราการสุ่มสัญญาณ (Sampling Rate) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดข้อผิดพลาดเข้ามาปะปนกับสัญญาณที่เราต้องการในกรณีที่ไม่สามารถเลี่ยงได้ เช่น ระบบที่มีสัญญาณรบกวนความถี่สูงเราสามารถเลือกใช้การปรับสภาพสัญญาณรุ่นที่มีตัวกรองเพื่อกรองเอาเฉพาะความถีในช่วงที่ต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของอัตราการสุ่มสัญญาณ (Sampling Rate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสัญญาณที่เราไม่สนใจความถี่หรือไม่มีความถี่เช่นสัญญาณอุณหภูมิ, ระดับของเหลว, น้ำหนัก, และสัญญาณต่าง ๆ ที่ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วให้เราใช้อัตราการสุ่มสัญญาณ (Sampling Rate) ตามความเหมาะสมเช่นเราอาจสนใจข้อมูลทุกวินาทีหรือทุกสิบวินาทีหรืออาจจะทุกหนึ่งนาทีก็แล้วแต่ความต้องการ

2.13 ระบบฟัซซี

เป็นระบบด้านคอมพิวเตอร์ที่ทางานโดยอาศัยฟัซซีลอจิกที่คิดค้นโดย L. A. Zadeh ในปี ค.ศ. 1965 ซึ่งเป็นผลงานวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอก ฟัซซีลอจิกเป็นตรรกะที่อยู่บนพื้นฐานความเป็นจริงที่ว่า ทุกสิ่งบนโลกแห่งความเป็นจริงไม่ใช่มีเฉพาะสิ่งมีความแน่นอนเท่านั้น แต่มีหลายสิ่งหลายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่เที่ยงและไม่แน่นอน (uncertain) อาจเป็นสิ่งที่คลุมเครือ (fuzzy)

จากแนวความคิดของ Zadeh เกี่ยวกับความไม่แน่นอนได้มีการขยายแนวคิดเพื่อนาไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ มากมายจนนับไม่ถ้วน ได้มีนักวิจัยได้คิดค้นทฤษฎีเสริมกับแนวคิดเดิมจนทาให้ฟัซซีเซตโดดเด่นในวงการคอมพิวเตอร์ ถึงแม้ว่าฟัซซีเซตจะนาเสนอจากคนอเมริกันแต่ประเทศอเมริกาก็ไม่ได้นาไปประยุกต์ใช้อย่างจริงจังในช่วงต้น ๆ แต่ประเทศญี่ปุ่นเล็งเห็นคุณค่าของศาสตร์ด้านนี้ได้เป็นผู้บุกเบิกฟัซซีเซตทางการค้า โดยได้นาไปประยุกต์ใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้ามากมาย เช่น เครื่องปรับอากาศ เครื่องซักผ้า หม้อหุงข้าว และอื่น ๆ อีกมากมาย

2.13.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี

ฟัซซีลอจิกและโครงข่ายประสาทเทียมต่างก็มีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน ฟัซซีลอจิกมีข้อดีในเรื่องการมีเหตุผลเชิงตรรกะ โครงสร้างของระบบฟัซซีสามารถเข้าใจได้เนื่องจากสามารถตีความให้ในรูป If-Then ซึ่งสอดคล้องกับตรรกะความคิดของมนุษย์ และนอกจากนั้นฟัซซีลอจิกยังช่วยในการตัดสินใจที่คลุมเครือที่ยอมให้การตัดสินใจเป็นแบบส่วน ไม่ใช่ผิดหรือถูกเพียงสองสถานะ แต่จะเป็นดีกรีของความถูกหรือผิด ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติอยู่แล้ว

2.13.2 แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับฟัซซีลอจิก

ตรรกะแบบฟัซซี(fuzzy logic) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจภายในใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูลโดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ ใช้หลักเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิธีความคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ ฟัซซีลอจิกมีลักษณะที่พิเศษกว่าตรรกะแบบจริงเท็จ (Boolean logic) เป็นแนวคิดที่มีการต่อขยายในส่วนของความจริง(partial true) โดยค่าความจริงจะอยู่ในช่วงระหว่างจริง (completely true) กับเท็จ (completely false) ส่วนตรรกศาสตร์เดิมจะมีค่าเป็นจริงกับเท็จเท่านั้น แสดงดังภาพที่ 2.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.17 ตรรกะแบบจริงเท็จ (บูลีนลอจิก) กับตรรกะแบบฟัซซี (ฟัซซีลอจิก)

2.13.3 ฟัซซีเซต

ฟัซซีเซต (Fuzzy Set) เป็นเซตที่มีขอบเขตที่ราบเรียบ ทฤษฎีฟัซซีเซตจะครอบคลุมทฤษฎีเซตแบบฉบับ โดยฟัซซีเซตยอมให้มีค่าความเป็นสมาชิกของเซตระหว่าง 0 และ 1 ในโลกแห่งความเป็นจริงเซตไม่ใช่มีเฉพาะเซตแบบฉบับเท่านั้น จะมีเซตแบบฟัซซีด้วย ฟัซซีเซตจะมีขอบเขตแบบฟัซซีไม่ใช่เปลี่ยนแปลงทันทีทัน

2.13.4 นิยามของฟัซซีเซต

กำหนดให้ X เป็นเซตที่ไม่ว่าง ฟัซซีเซต A สามารถแสดงลักษณะเฉพาะได้จากฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

$$\mu_{\underset{\sim}{A}}(x): X \rightarrow [0,1] \tag{2.4}$$

เมื่อ $\mu_{\underset{\sim}{A}}$ สามารถตีความเป็นค่าของความเป็นสมาชิกภาพของตัวประกอบ x ในฟัซซีเซต Aสาหรับแต่ละ (อ่านว่า “x เป็นสมาชิกของ X”) ฟัซซีเซต สามารถเขียนเป็นเซตของคู่ลำดับ (tuples)

$$\underset{\sim}{A} = \{(x, \mu_{\underset{\sim}{A}}(x)) \,|\, x \in X\} \tag{2.5}$$

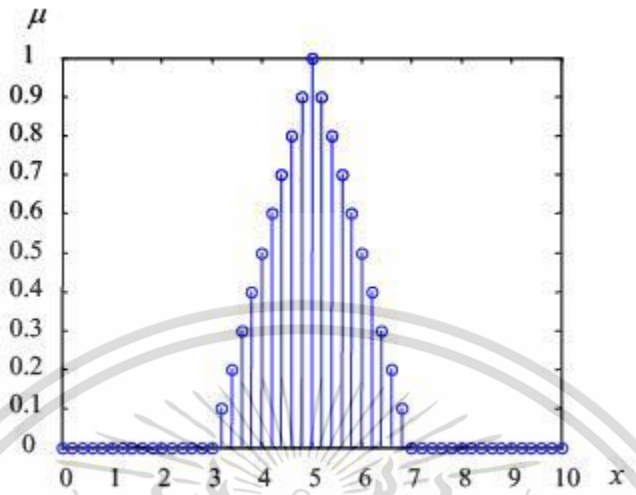
เมื่อ A หมายถึง ฟัซซีเซต, A(x) หมายถึงสมาชิกของเซต (set membership), $\mu_{\underset{\sim}{A}}$ หมายถึงฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (membership function) $\mu_{\underset{\sim}{A}}$(x) บางครั้งแทนด้วย A(x) หมายถึงเอกภพสัมพัทธ์ (universe) หรือประชากร

ถ้า X = {x_1,x_2,x_3,...,x_n} เป็นเซตจากัด และ A เป็นฟัซซีเซตใน X ซึ่งเป็นชนิดวิยุต (discrete) และจำกัด สัญกรณ์ (notation) ของฟัซซีเซต เขียนได้เป็น

$$\underset{\sim}{A} = \{\frac{\mu_{\underset{\sim}{A}}(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_{\underset{\sim}{A}}(x_2)}{x_2} + \ldots + \frac{\mu_{\underset{\sim}{A}}(x_n)}{x_n}\} = \{\sum_{i=1}^{n} \frac{\mu_{\underset{\sim}{A}}(x_i)}{x_i}\} \tag{2.6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

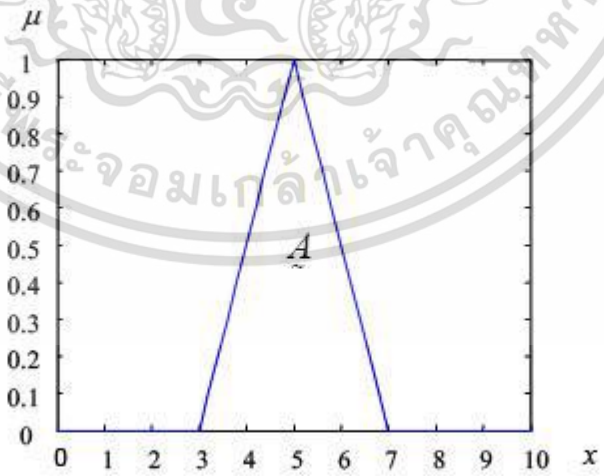
เมื่อพจน์ $\mu_{\tilde{A}}(x_i)/x_i, i=1,2,...,n$ หมายถึงค่าความเป็นสมาชิก $\mu_{\tilde{A}}(x_i)$ ของ x_i ในเซต $\tilde{A}$ และเครื่องหมาย “+” หมายถึงยูเนียน (union)



รูปที่ 2.18 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตฟัซซีแบบวิยุต $\tilde{A}$

ถ้าเอกภพสัมพัทธ์ X เป็นต่อเนื่อง (continuous) สัญกรณ์ (notation) ของฟัซซีเซต A เขียนได้เป็น

$$\tilde{A}=\left\{\int\frac{\mu_{\tilde{A}}(x)}{x}\right\} \tag{2.7}$$



รูปที่ 2.19 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตฟัซซีแบบต่อเนื่อง $\tilde{A}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีฟัซซีเซตสามารถแก้ปัญญาข้อจากัดของเซตแบบดั้งเดิมได้ โดยฟัซซีเซตยอมให้มีค่าหรือดีกรีของความเป็นสมาชิก (degree of membership) ซึ่งแสดงด้วยค่าตัวเลขระหว่าง 0 และ 1 หรือเขียนเป็นสัญลักษณ์ [0, 1], โดย 0 หมายถึง ไม่เป็นสมาชิกในเซต 1 หมายถึง เป็นสมาชิกในเซต และค่าระหว่าง 0 กับ 1 เป็นสมาชิกบางส่วนในเซต การทาเช่นนี้ ทาให้เกิดความราบเรียบในการเปลี่ยนจากพื้นที่นอกเซตไปอยู่ในเซตของสมาชิกต่าง ๆ โดยมีฟังก์ชันสมาชิก (membership function) เป็นฟังก์ชันจัดเทียบ (mapping function) วัตถุในโดเมนใด ๆ ให้เป็นค่าความเป็นสมาชิกในฟัซซีเซต ความเป็นสมาชิกสาหรับฟัซซีเซต มีจานวนระดับความเป็นสมาชิกเป็นอนันต์ คือค่าต่อเนื่องในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 1 ซึ่งครอบคลุมการกำหนดสมาชิกแบบฉบับ และเซตแบบฉบับหรือเซตทวินัย (crisp set) จะกำหนดตามดังสมการ

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, x \in A \\ 0, x \notin A \end{cases} \tag{2.8}$$

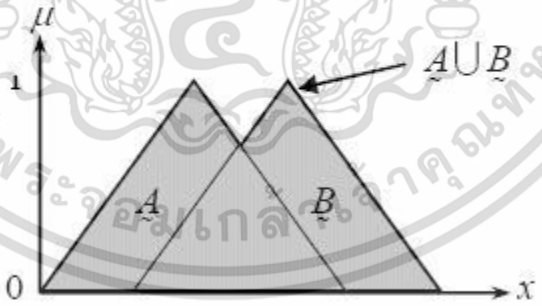
เมื่อ A เป็นเซตแบบฉบับบหรือเซตแบบทวินัย x เป็นสมาชิกในเซต μ_A เป็นค่าความเป็นสมาชิกในเซตและ $\mu_A(x)$ เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซต A

2.13.5 การดำเนินการทางฟัซซีเซต

การดำเนินการของฟัซซีเซตมีคุณสมบัติเหมือนกับเซตโดยทั่วไป มีการดาเนินการ (operation) คือ Union Intersection และ Complement

1. ยูเนียน (Union) ของฟัซซีเซต จะเป็น OR operation ในสมการ และ รูปที่ 2.20

$$\begin{aligned} \mu_{\underset{\sim}{A}\cup\underset{\sim}{B}}(x) &= \mu_{\underset{\sim}{A}}(x) \vee \mu_{\underset{\sim}{B}}(x) \\ &= \max(\mu_{\underset{\sim}{A}}(x), \mu_{\underset{\sim}{B}}(x)) \end{aligned} \tag{2.9}$$

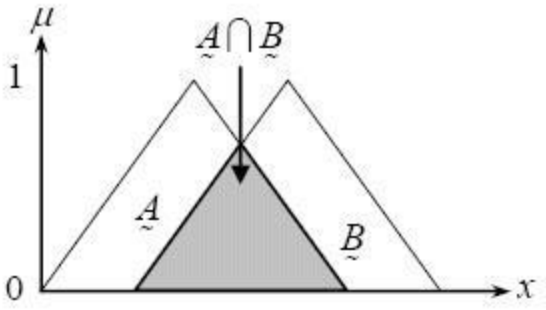


รูปที่ 2.20 ยูเนียนของฟัซซีเซต $\underset{\sim}{A}$ และ $\underset{\sim}{B}$

2. อินเตอร์เซกชัน (Intersection) ของฟัซซีเซต จะเป็น AND operation ในสมการ และรูปที่ 2.21

$$\begin{aligned} \mu_{\underset{\sim}{A}\cap\underset{\sim}{B}}(x) &= \mu_{\underset{\sim}{A}}(x) \wedge \mu_{\underset{\sim}{B}}(x) \\ &= \min(\mu_{\underset{\sim}{A}}(x), \mu_{\underset{\sim}{B}}(x)) \end{aligned} \tag{2.10}$$

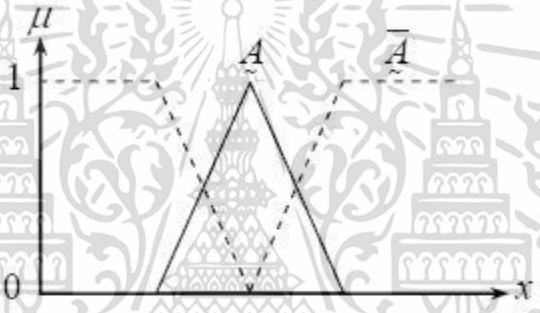
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 Intersection ของฟัซซีเซต $\underset{\sim}{A}$ และ $\underset{\sim}{B}$

3. คอมพลีเมนต์ (Complement) ของฟัซซีเซต

$$\mu_{\bar{\underset{\sim}{A}}}(x) = 1 - \mu_{\underset{\sim}{A}}(x)$$

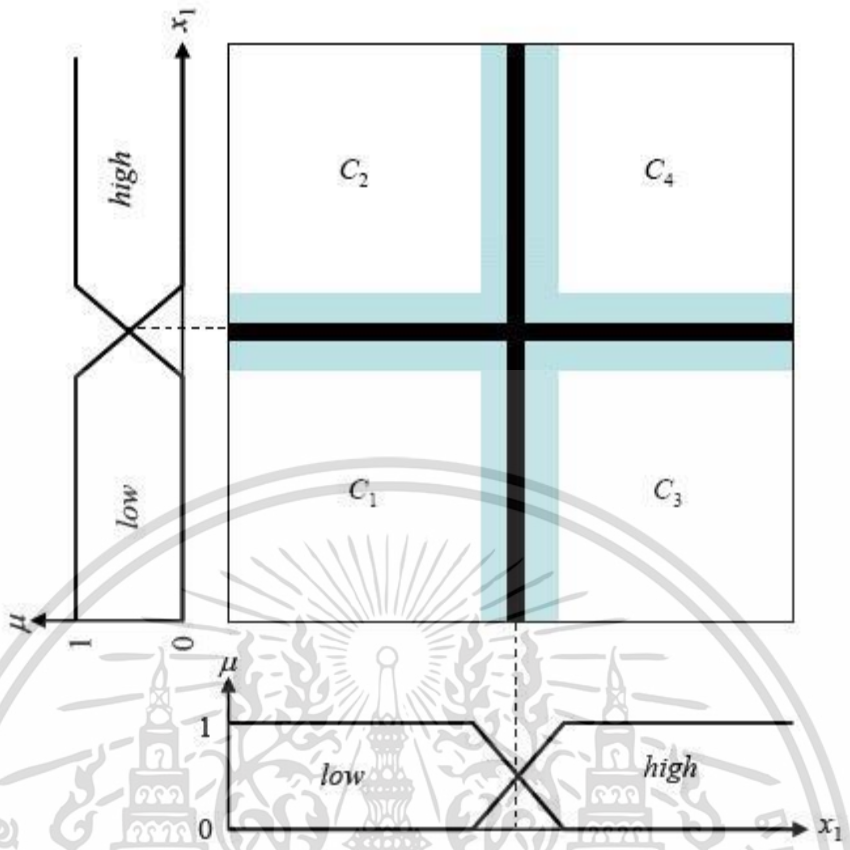


รูปที่ 2.22 Complement ของฟัซซีเซต $\underset{\sim}{A}$

2.13.6 กฎฟัซซี (fuzzy rules) [8]

วิทยาการเกี่ยวกับฟัซซีลอจิกมีจานวนมาก แต่ที่นิยมและการประยุกต์ใช้งานมากที่สุดเห็นจะได้แก่ กฎฟัซซีแบบถ้า-แล้ว (fuzzy if-then rule) ตัวอย่างการใช้กฎในการแยกกลุ่มดังรูปที่ 2.18 ในรูปที่ 2.19 แสดงปริภูมิรูปแบบ (pattern space) การจัดกลุ่มด้วยกฎฟัซซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 ตัวอย่างปริภูมิรูปแบบการจัดกลุ่มด้วยกฎฟัซซี

จากรูปที่ 2.23 สามารถเขียนเป็นกฎในรูปประโยคภาษาได้ดังนี้

กฎข้อ 1: ถ้า x_1 มีค่า low และ x_2 มีค่า low แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_1

กฎข้อ 2: ถ้า x_1 มีค่า low และ x_2 มีค่า high แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_2

กฎข้อ 3: ถ้า x_1 มีค่า high และ x_2 มีค่า low แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_3

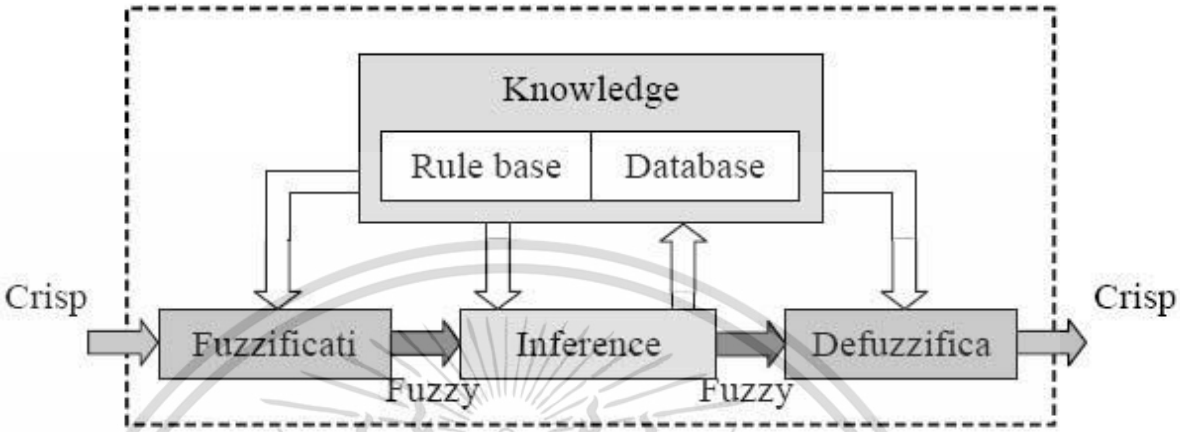
กฎข้อ 4: ถ้า x_1 มีค่า high และ x_2 มีค่า high แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_4

เมื่อ x_1 เป็นตัวแปรภาษาในมิติที่ 1, x_2 เป็นตัวแปรภาษาในมิติที่ 2, low และ high เป็นพจน์ภาษา (linguistic terms), ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นคู่ลำดับของวัตถุที่ต้องการจัดกลุ่ม และ C_1, C_2, C_3 และ C_4 เป็นกลุ่มข้อมูล 1, 2, 3 และ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.7 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วน ดังนี้ ดังภาพที่ 2.24



รูปที่ 2.24 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี

ส่วนที่แปลงการอินพุตทั่วไปเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี (Fuzzification) หรือในรูปแบบเซตฟัซซีหรือเรียกว่าเป็นตัวแปรภาษา (Linguistic Variable)

ฐานความรู้ (Knowledge base) เป็นส่วนที่จัดเก็บรวบรวมข้อมูลในการควบคุมประกอบ 2 ส่วนคือ ฐานกฎ (Rule base) และฐานข้อมูล (Database)

ฐานกฎ (Rule base) ส่วนของการกำหนดวิธีการควบคุม ซึ่งได้จากผู้เชี่ยวชาญในรูปแบบของชุดข้อมูลแบบกฎของภาษา (Linguistic rule)

ฐานข้อมูล (Database) เป็นการจัดเตรียมส่วนที่จาเป็นเพื่อที่จะใช้ในการกำหนดกฎการควบคุม และการจัดการข้อมูลของตรรกศาสตร์ฟัซซี

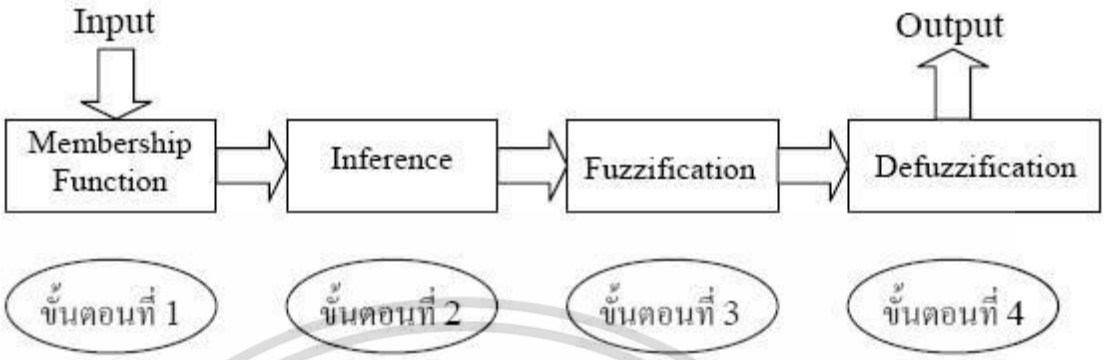
เครื่องอนุมานหรือการตีความ (Inference Engine) เป็นส่วนที่ทาหน้าที่ตรวจสอบข้อเท็จจริงและกฎ เพื่อใช้ในการตีความหาเหตุผล เหมือนกลไกสาหรับควบคุมการใช้ความรู้ในการแก้ไขปัญหา รวมทั้งการกำหนดวิธีการของการตีความเพื่อหาคาตอบ

ส่วนที่แปลงการเอาต์พุตให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม (Defuzzification) เป็นการทาการแปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบฟัซซีให้เป็นค่าที่สรุปผลหรือค่าการควบคุมระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

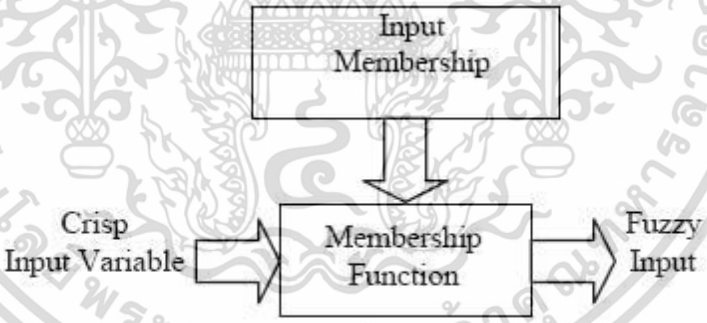
2.13.8 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิกมีรูปแบบการทางานเป็น 4 ส่วนจะแสดงดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

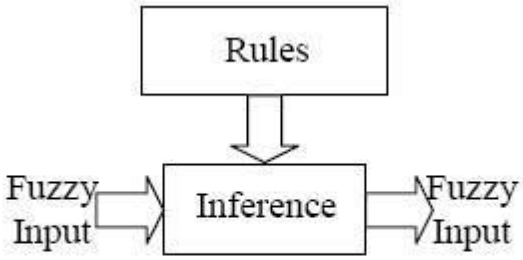
ขั้นตอนที่ 1 เป็นการแปลงการอินพุตแบบทวินัยเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี โดยจะสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก โดยไม่จาเป็นต้องมีลักษณะเดียวกัน ขึ้นกับคุณลักษณะของแต่ละการอินพุต (Input) และความสำคัญต่อการเอาต์พุต (Output) ที่น่าสนใจโดยฟังก์ชันจะมีลักษณะเป็นการกำหนดภาษาสามัญ เพื่อให้เป็นฟัซซีการอินพุต ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 ขั้นตอนที่ 1 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

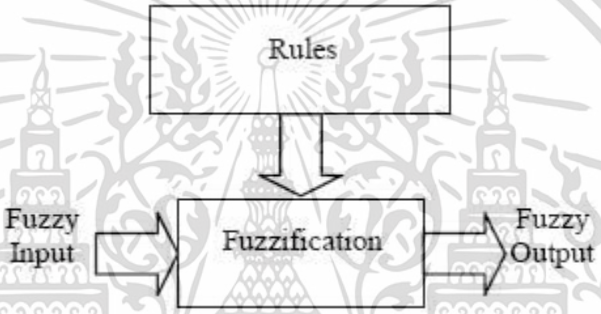
ขั้นตอนที่ 2 เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างการอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุตที่อาศัยหลักการของการหาเหตุและผล อาจจะสร้างการเก็บข้อมูล การคาดการณ์จากการตัดสินใจของมนุษย์ หรือค่าจากการทดลอง โดยเขียนเป็นกฎการควบคุมระบบ ซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูปแบบ ถ้า (If) และ (And) หรือ (Or) ซึ่งเป็นภาษาสามัญ นากฎทั้งหมดมาประมวลผลรวมกัน เพื่อการหาตัดสินใจที่เหมาะสม ดังรูปที่ 2.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 ขั้นตอนที่ 2 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

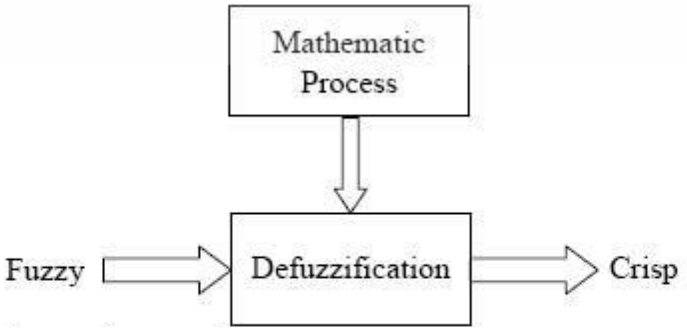
ขั้นตอนที่ 3 เป็นการหาฟัซซีเอาต์พุต โดยการนากฎการควบคุมที่สร้างขึ้น ในขั้นตอนที่ 2 มาประมวลผลกับฟัซซีอินพุต โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อนาค่าที่ได้ประมวลผล ดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 ขั้นตอนที่ 3 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

วิธีการทำเป็นค่าคลุมเครือ (Fuzzification) วิธีการที่นิยมใช้ในการตีความหาเหตุผลเลือกใช้ Max-Min method และ Max-Dot method

ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนสุดท้ายหรือขั้นตอนการสรุปเหตุผลฟัซซี โดยจะเปลี่ยนฟัซซีเอาต์พุตให้เป็นทวินัยเอาต์พุตตามรูปที่ 2.29 และด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ เช่น วิธีการหาจุดศูนย์ถ่วง (Central of Gravity) เพื่อนาค่าที่ได้มาใช้ในการตัดสินใจเพื่อควบคุมระบบในสถานการณ์นั้นๆ



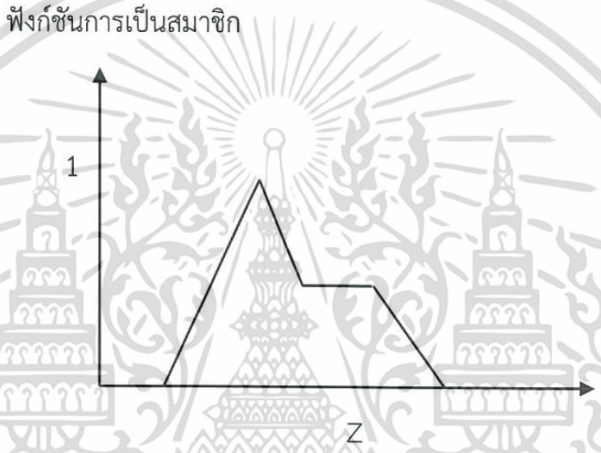
รูปที่ 2.29 ขั้นตอนที่ 4 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทำค่าฟัซซีให้เป็นค่าปกติ (Defuzzification) วิธีการที่เป็นเทคนิคการเลือกค่าสูงสุดหรือสรุปหาเหตุผลจากหลาย ๆ เซตมาเพียงค่าเดียว ซึ่งเป็นการใช้ค่าสูงสุดของค่าระดับการเป็นสมาชิกจากการกระทาหลายๆ แบบ และเลือกกระทาเพียงรูปแบบเดียว

2.13.9 การหาจุดศูนย์กลางของฟัซซี (defuzzification centroid method)

รูปที่ 2.30 จะแสดงให้เห็นว่า ค่าเอาต์พุตของการดีฟัซซิเคชันด้วยวิธีการหาจุดศูนย์กลางของฟัซซีจะเป็นการหาจุดศูนย์กลางของพื้นที่ซึ่งได้มาจากการอินเฟอเรนท์ โดยคำตอบของการดีฟัซซิเคชัน ที่ได้ คือ Z ซึ่งถ้ากำหนดให้ C เป็นเอาต์พุต Z ได้จาก สมการต่อไปนี้



รูปที่ 2.30 แสดงการดีฟัซซิเคชันด้วยวิธีการหาจุดศูนย์กลางของฟัซซี

$$Z = \frac{\int \mu_C(u) \cdot u du}{\int \mu_C(u) \cdot du} \tag{2.11}$$

กำหนดให้ c คือ เซตเอาต์พุต

μ คือ สมาชิกของเอกภพสัมพัทธ์ทางเอาต์พุต

Z คือ ค่าที่ได้จากการดีฟัซซิฟิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.10 ความสัมพันธ์ฟัซซี (Fuzzy Relation)

- ผลคูณคาร์ทีเชียน (Cartesian Product)

กำหนดให้ A_1, ..., A_n เป็นฟัซซีเซตในเอกภพสัมพัทธ์ U_1, ..., U_n

โดยที่ u_1, ..., $u_n \in U_1$, ..., U_n ผลคูณคาร์ทีเชียนของ A_1, ..., A_n คือ ฟัซซีเซตในเอกภพสัมพันธ์ $U_1 \times ... \times U_n$ มีฟังก์ชันการเป็นสมาชิกดังนี้

$$\mu A_1 \times ... \times \mu A_n(u_1, \ldots, u_n) = MIN\{\mu A_1(u_1), ..., \mu A_n(u_1)\}$$

ตัวอย่าง ถ้า A_1 = {(1,0.2), (2,0.5), (3,1.0), (4,0.6)}

A_2 = {(4,0.1), (5,0.4), (6,1.9), (7,0.3)}

ผลคูณคาร์ทีเชียน ของ $A_1 \times A_2$ หาได้จาก

โดย $\mu A_1 \times ... \times \mu A_n(u_1, \ldots, u_n) = MIN\{\mu A_1(u_1), ..., \mu A_n(u_1)\}$

โดย u_1, u_2 แทนสมาชิกของเซต A_1 และ A_2 ตามลำดับ

ซึ่งจากรูปที่ 2.25 แสดงการหาความสัมพันธ์ของ $A_1 \times A_2$ ซึ่งในการหาค่าความสัมพันธ์ดังในรูปจะใช้วิธีคำนวณโดยใช้ผลคูณคาร์ทีเชียน ซึ่งจะจับคู่ของระดับความเป็นสมาชิกทุกคู่ โดยในแต่ละคู่จะเลือกใช้เฉพาะค่าที่มีค่าน้อยเป็นคำตอบ

$A_1 \times A_2 = A_1$

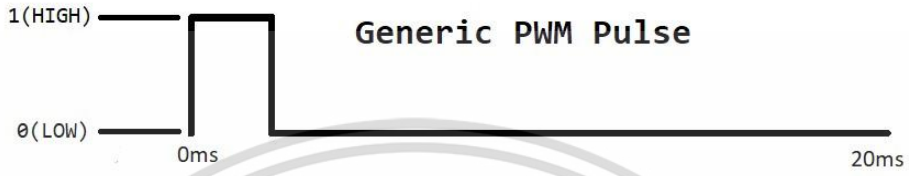
A_1 \ A_2	4	5	6	7
1	0.1	0.2	0.2	0.2
2	0.1	0.4	0.5	0.3
3	0.1	0.4	0.9	0.3
4	0.1	0.4	0.6	0.3

รูปที่ 2.31 ความสัมพันธ์ฟัซซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

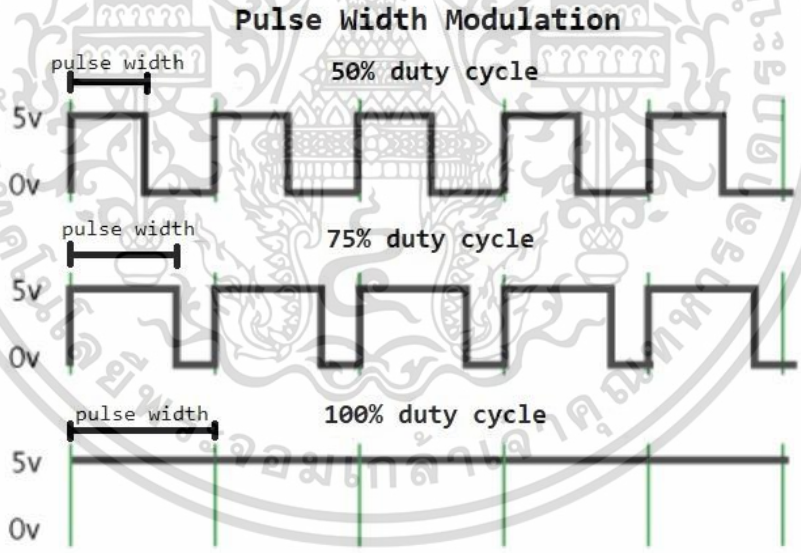
2.14 Pulse Width Modulation (PWM)

PWM คือ สัญญาณพลัสที่มีค่าความถี่คงที่ แต่ความกว้างของสัญญาณเปลี่ยนแปลงได้ PWM เป็นเทคนิคที่ทำให้สามารถอ่านหรือเขียนข้อมูลแบบอนาล็อกด้วยสัญญาณดิจิตอล โดยตัวควบคุมการสร้างสัญญาณดิจิตอลจะสร้างสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมออกมาดังรูปที่ 2.32 สัญญาณที่สร้างออกมาจะสลับกันระหว่างเปิด (High) กับปิด (Low) รูป



รูปที่ 2.32 สัญญาณเปิด (High) และปิด (Low)

เมื่อเทียบช่วงเวลาที่สัญญาณเปิดกับช่วงเวลาที่สัญญาณออกมาทั้งหมดจะเรียกช่วงเวลานี้ว่าความกว้างของสัญญาณ (Pulse width) ซึ่งความกว้างของสัญญาณที่แตกต่างกันสามารถแสดงข้อมูลแบบอนาล็อกได้ดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 สัญญาณ PWM ที่แต่ละ % Duty Cycle

โดยรูปที่ 2.33 ในแนวแกน X จะแสดงถึงระยะเวลาเป็นคาบ (Period) ซึ่งค่าความกว้างของสัญญาณจะไม่เกินหนึ่งคาบ เมื่อเปรียบเทียบความกว้างของสัญญาณกับคาบจะได้เปอร์เซ็นต์ของดิวตี้ไซเคิล (%Duty cycle) หรืออัตราส่วนของรูปคลื่น ในแนวแกน Y จะแสดงถึงแอมพลิจูด (Amplitude) ของค่าสัญญาณนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้สัญญาณไฟกระแสตรงเฉลี่ย (mean d.c. voltage supply) หรือก็คือ การสร้างความต่างศักย์ที่ต่ำลงจากการให้ความต่างศักย์สูง ค่าเฉลี่ยของความต่างศักดิ์ที่ปล่อยออกมา คือ

$$V_{dc} = V_L = V\frac{T_{ON}}{T_{ON}+T_{OFF}} = V\frac{T_{ON}}{T} \quad (2.12)$$

ดังสมการ จะสามารถปรับเพิ่มหรือลดความต่างศักดิ์ที่ใช้ควบคุมมอเตอร์จากการเพิ่มหรือลด %Duty cycle ที่เป็นสัญญาณAnalog ผ่านอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมความต่างศักด

2.15 ทฤษฎี H-Bridge Switching

หลักการของวงจรนั้นจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์สวิตซ์ 4 ตัว สำหรับควบคุมมอเตอร์กระแสตรง (DC-Motor) เป็นโหลด (Load) ของวงจร ซึ่งอุปกรณ์สวิตซ์จะใช้มอสเฟตจำนวน 4 ตัว ดังรูปที่ 29 ในการทำงานสามารถควบคุมการทำงานของมอเตอร์ได้ 4 โหมด คือ

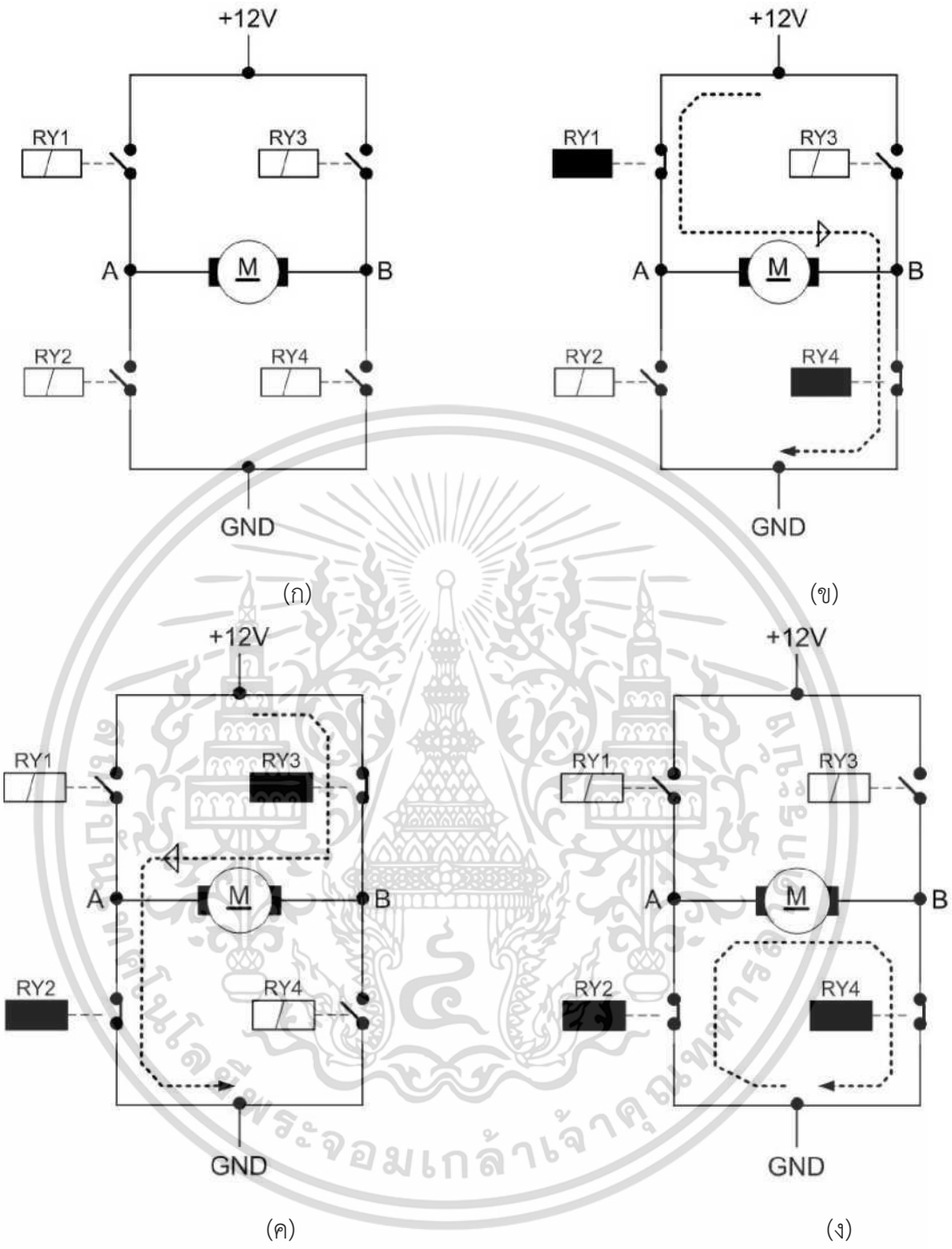
1) โหมดหมุนอิสระ (Free Run stop) คือ การสั่งให้มอสเฟตเปิดทั้ง 4 ตัว ดังรูปที่ 2.34 (ก) ทำให้มอเตอร์ไม่มีไฟ มอเตอร์จะหยุดไปเองเมื่อหมดแรงเฉื่อย

2) โหมดหมุนไปข้างหน้า (Forward Drive) คือ การสั่งให้มอสเฟต RY1 กับ RY4 ทำงาน 2 ตัว ดังรูปที่ 2.34 (ข) ทำให้มีกระแสไฟไหลเข้าขั้วมอเตอร์ทิศทางจาก A ไป B เป็นทิศทางสมมติให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา

3) โหมดหมุนย้อนกลับ (Reward Drive) คือ การสั่งให้มอสเฟต RY2 กับ RY3 ทำงานแค่ 2 ตัว ดังรูปที่ 2.34 (ค) ทำให้มีกระแสไฟไหลเข้าขั้วมอเตอร์ทิศทางจาก B ไป A เป็นทิศทางสมมติให้มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา

4) โหมดหยุดหมุน (Fast Stop หรือ Brake) คือ การสั่งให้มอสเฟต RY2 กับ RY4 หรือ RY1 กับ RY3 ทำงานคู่ใดคู่หนึ่งเพียง 2 ตัวดังรูปที่ 2.34 (ง) ในลักษณะนี้ทำให้ขั้วมอเตอร์ลัดวงจรกันในขณะที่มอเตอร์กำลังหมุนด้วยแรงเฉื่อยขดลวดทุ่นอาร์มเมเจอร์ที่ตัดสนามแม่เหล็กจะมีกระแสเหนี่ยวนำทำให้มีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นในทิศทางด้านกับการหมุนของขดลวดทุ่นอาร์มเมเจอร์ ทำให้แกนมอเตอร์หยุดหมุนอย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

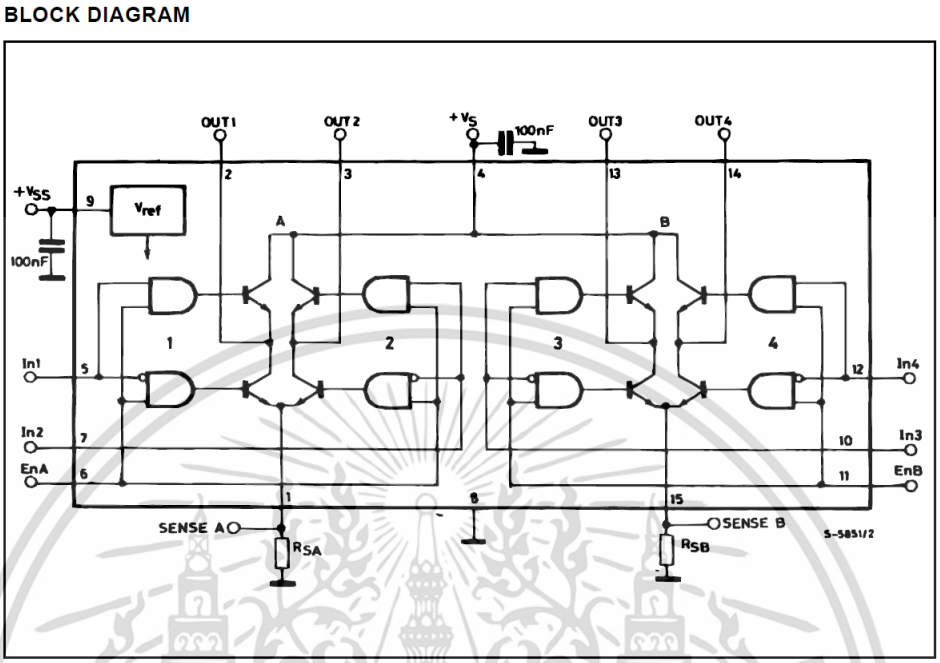


รูปที่ 2.34 แสดงวงจรควบคุมมอเตอร์แบบ H-Bridge Driver

หากมอสเฟตทำงานนอกเหนือไปจากนี้จะมีผลเกิดขึ้น 2 อย่างคือ มอเตอร์ไม่หมุนกับไฟลัดวงจรทำให้อุปกรณ์สวิตซ์พัง ดังนั้นในการเขียนโปรแกรมควบคุมรีเลย์ทั้ง 4 ตัว จำเป็นต้องมีการป้องกันผลเสียหายที่เกิดจากการทำงานผิดพลาดนี้ด้วย และเนื่องจากการควบคุมดังกล่าวที่ผ่านมาไม่สามารถปรับความเร็วของมอเตอร์ได้ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง จะใช้สัญญาณพัลส์

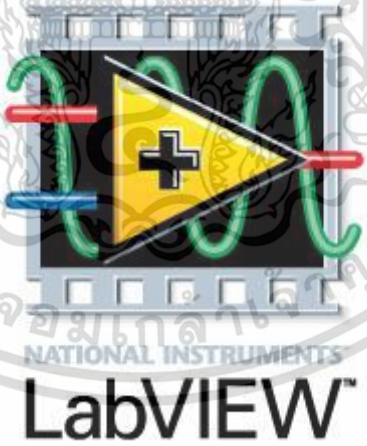
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ PWM การปรับค่าอัตราการขยาย (Gain) หรือความเร็วจะใช้การปรับดิวตี้ไซเคิล (Duty cycle) เพื่อควบคุมความเร็วให้มากหรือน้อย



รูปที่ 2.35 ตัวอย่างวงจร H-Bridge

2.16 โปรแกรมรับข้อมูลและแสดงผลการสั่นสะเทือน



รูปที่ 2.36 โปรแกรม LabVIEW

โปรแกรมรับข้อมูลและแสดงผลการสั่นสะเทือนใช้โปรแกรม LabVIEW ซึ่งเป็นโปรแกรมชุดพัฒนาแอพพลิเคชั่น (Development Environment) จากเนชั่นแนลอินสทรูเม้นทส์ (National Instruments) เพื่อใช้ในการสร้างระบบการวัด, ทดสอบ, และควบคุมโดยใช้การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาโค้ดรูปภาพ (Graphical Programming) และมีการต่อสายส่งค่าข้อมูลคล้ายกับการวาดแผนผังที่เข้าใจได้ง่าย ซึ่งชุดพัฒนาจะมาพร้อมกับชุดฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์และวิศวกรรมนับร้อยแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการวิเคราะห์ประมวลผล, และแสดงข้อมูลรวมถึงความสามารถต่าง ๆ ในการใช้งานร่วมกับฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์อื่นๆ ได้ดีทำให้ LabVIEW ซึ่งออกสู่ตลาดมาตั้งแต่ปีค.ศ. 1986 ถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมและการวิจัยที่ต้องการระบบอัตโนมัติในการวัดและการควบคุม อาทิเช่นในอุตสาหกรรมการผลิต, ยานยนต์, การทหารและอากาศยาน, พลังงาน, การสื่อสาร, เครื่องมือแพทย์ไปจนถึงเครื่องจักรที่ซับซ้อนที่สุดอย่างเครื่องเร่งอนุภาค ปัจจุบันนอกจาก LabVIEW จะถูกใช้งานบนคอมพิวเตอร์ทั่วไปเพื่อการดึงสัญญาณหรือควบคุมเครื่องมือวัดแล้วแนวคิดของเนชั่นแนลอินสทรูเม้นทส์ ขยายขีดความสามารถของแพลตฟอร์ม LabVIEW ให้สามารถทำการออกแบบได้ทั้งระบบตั้งแต่ส่วนของการออกแบบซอฟต์แวร์, การคำนวณไปจนถึงการดึงสัญญาณและการติดตั้งลงไปรันในฮาร์ดแวร์ทั้งแบบวินโดวส์, เรียลไทม์ โดยใช้แพลตฟอร์ม LabVIEW เพียงแพล็ตฟอร์มเดียวจึงทำให้สามารถทำงานต่อยอดได้ทันทีเมื่อเวลาที่เราต้องการย้ายจากการทำงานกับพีซีบนวินโดวส์ไปเป็นฮาร์ดแวร์แบบฝังตัวเป็นต้น

2.16.1 การเขียนโปรแกรมแบบแผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Programming)

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า LabVIEW เป็นโปรแกรมที่ใช้รูปภาพ หรือสัญลักษณ์แทนการเขียนด้วยตัวอักษรเหมือนโปรแกรมปกติทั่วไป ซึ่งข้อดีข้อแรกก็คือการลดความผิดพลาดด้านการสะกดผิดหรือพิมพ์ผิดออกไป ข้อแตกต่างอีกประการหนึ่งที่สำคัญของการเขียนโปรแกรมแบบจีกับการเขียนด้วยตัวหนังสือก็ คือ การเขียนด้วยภาษาจีนี้เป็นการเขียนโดยใช้หลักการของแผนภาพกระแสข้อมูลซึ่งเมื่อเริ่มส่งข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม เราจะต้องกำหนดทิศทางไหลของข้อมูลว่าจะไปที่ส่วนใด ผ่านการประเมินผลและคำนวณในส่วนใดบ้าง และจะให้แสดงผลอย่างไร ซึ่งลักษณะการเขียนภาษาจีหรือแผนภาพกระแสข้อมูลนี้จะมีลักษณะเหมือนกับการแผนภาพบล็อก (Block Diagrams) ซึ่งทำให้ผู้เขียนโปรแกรมสามารถให้ความสนใจกับการเคลื่อนที่และเปลี่ยนแปลงข้อมูลได้โดยไม่ต้องจดจำรูปแบบคำสั่งที่ยุ่งยาก เนื่องจาก LabVIEW ใช้ลักษณะการเขียนแบบ แผนภาพบล็อก (Block Diagrams) ซึ่งวิศวกรส่วนใหญ่มีความคุ้นเคยอยู่แล้ว จึงเป็นการง่ายที่จะทำความเข้าใจและนำไปพัฒนาใช้ต่อไปได้ และถ้าหากเราจำได้ถึงขั้นตอนการเขียนโปรแกรมว่าก่อนที่จะเขียนโปรแกรม เราควรจะต้องเขียนผังงาน (Flow Chart) ให้เสร็จสิ้นก่อน หลังจากตรวจสอบผังงาน (Flow Chart) เรียบร้อยแล้วเราจึงนำไปเขียนโปรแกรม ดังนั้นเราจะมีความสะดวกมากขึ้น ถ้าหากการเขียนผังงาน (Flow Chart) ของ LabVIEW ก็คือการเขียนโปรแกรมนั่นเอง

2.16.2 หน้าปัด (Front Panels) และ แผนภาพบล็อก (Block Diagrams)

องค์ประกอบพื้นฐานของ LabVIEW สองส่วนคือส่วนติดต่อกับโปรแกรมหรือหน้าปัด (Front Panels) และส่วนที่ผู้เขียนจะต้องกำหนดการทำงานของโปรแกรม

- หน้าปัด (Front Panels) คือ ส่วนที่ผู้ใช้จะใช้ติดต่อกับโปรแกรม ในขณะที่เราให้ VI ทำงานอยู่นั้นหน้าปัดนี้จะต้องทำงานร่วมอยู่ด้วย เพื่อให้ผู้ใช้หรือผู้ควบคุมสามารถให้ข้อมูลเข้าสู่โปรแกรมและเมื่อข้อมูลได้รับการประมวลผลแล้วก็จะแสดงออกมาทางหน้าปัด (Front Panels) นี้ ดังนั้นหาก

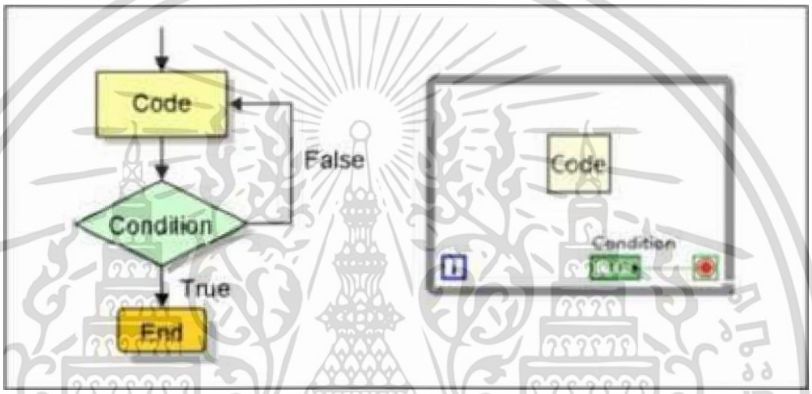
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเปรียบกับโปรแกรมสำเร็จรูปอื่นและหน้าปัดนี้ก็คือ Graphic User Interface (GUI) ของ LabVIEW นั่นเอง

- แผนภาพบล็อก (Block Diagrams) สามารถสร้างหน้าปัด (Front Panels) ได้ให้เป็นไปตามต้องการของเรา ไม่ใช่สิ่งที่ยากมากนักสำหรับ LabVIEW แต่สิ่งที่จะยุ่งยากมากกว่า คือ การกำหนดให้สิ่งต่างๆ ให้มีขั้นตอนหรือมีกระบวนการของการวิเคราะห์ต่างๆ ตามที่เราต้องการ

2.16.3 โปรแกรมลูป (Loop)

- การเขียนโค้ด (Code) ให้มีการทำซ้ำหรือวนลูปเป็นสิ่งที่จำเป็นในแทบทุกโปรแกรม เนื่องจากการประมวลผล บางอย่างจำเป็นจะต้องทำในลักษณะซ้ำลำหรับ LabVIEW ลูปคือกรอบสี่เหลี่ยมที่ล้อมรอบโค้ดวนซ้ำ (While Loop)

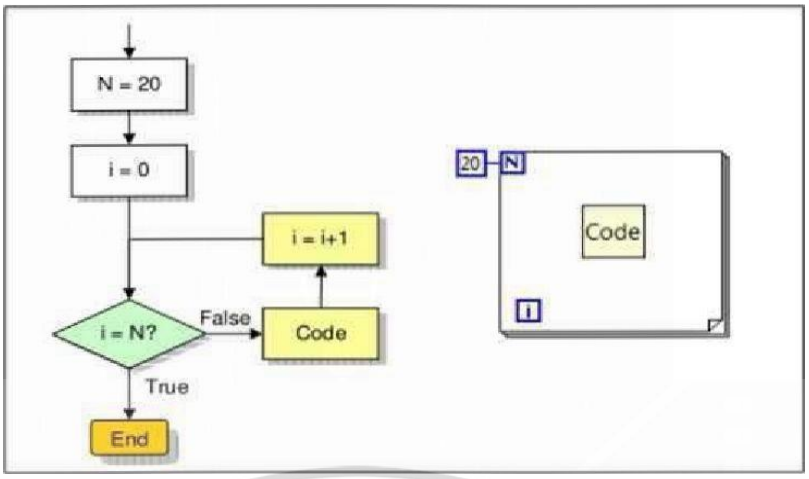


รูปที่ 2.37 การเขียนโค้ดแบบ While Loop

- สิ่งที่น่าลังเกตคือการเช็คเงื่อนไขของลูปจะทำหลังจากรันโค้ดครั้งแรกไปแล้วซึ่งก็หมายความว่าอย่างน้อยที่สุดโค้ดวนซ้ำ (While Loop) จะต้องรันหนึ่งครั้งก่อนที่จะถูกหยุดการสร้างโค้ดวนซ้ำ (While Loop) ทำได้โดยเลือกจาก Functions Palette : Programming » Structures » While Loop จากนั้นให้นำเม้ามาครอบเป็นกรอบสี่เหลี่ยมตามขนาดที่ต้องการ

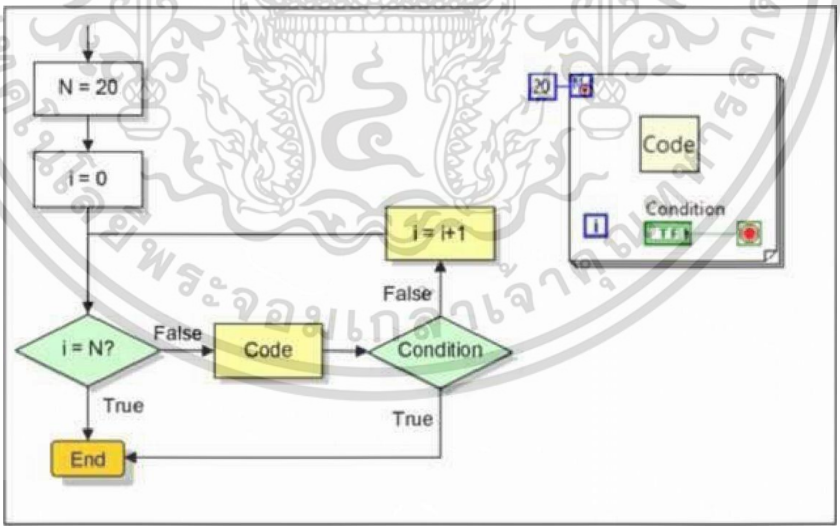
- For Loop มีไว้สำหรับการรันลูปที่แน่นอนว่าต้องการรันทั้งหมดกี่ครั้ง โดยเราจำเป็นจะต้องระบุจำนวนครั้ง (N) ของ For Loop ไว้ก่อน มิฉะนั้นจะรันโค้ดไม่ได้ส่วน Iteration จะเหมือนกับ While Loop คือให้ผลเป็นตัวเลขแสดงจำนวนลูปที่รันไปแล้วโดยเริ่มนับจากศูนย์ซึ่งกลไกใน For Loop เป็นไปดังโฟล์วชาร์ตตามนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.38 การเขียนโค้ดแบบ For Loop

จะเห็นได้ว่าโค้ดใน For Loop มีโอกาสที่จะไม่ถูกรันเลยถ้า N มีค่าเป็นศูนย์ และ For Loop จะมีเงื่อนไขเดียวเท่านั้นที่จะจบได้ คือเมื่อรันครบ N ครั้งแล้วเท่านั้น For Loop ยังสามารถ เพิ่มเงื่อนไขการจบให้เหมือนกับ While Loop ได้อีกด้วยโดยการคลิกขวาที่ขอบ ของFor Loop แล้วเลือก Conditional Terminalและเราสามารถจะให้ For Loop ที่มีเงื่อนไขการจบได้ ซึ่งเราเรียกลูปแบบนี้ว่า Conditional For Loop ซึ่งมีประโยชน์สามารถใช้ทดแทน While Loop ได้ในหลายกรณี และช่วยในเรื่องการใช้ หน่วยความจำ สรุป การทำงานของ Conditional For Loop เป็นโฟลว์ชาร์ตได้ดังนี้

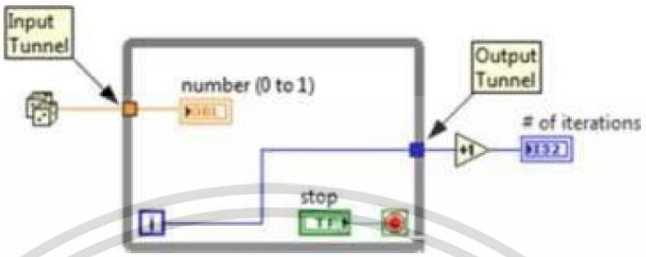


รูปที่ 2.39 การเขียนโค้ดแบบ Conditional For Loop

การส่งค่าเข้า-ออกจากลูปก็เป็นอีกสิ่งหนึ่งที่ต้องทำความเข้าใจ ลูปเป็น Structure ซึ่งสามารถมองให้ เป็น Node ใหญ่อันหนึ่งที่สามารถมีได้ทั้ง Input และ Output, การที่โยงสายเข้าไปในลูปหรือออกจากลูป จะเห็นเกิดเป็นจุดสี่เหลี่ยมตันขึ้นที่ขอบของลูป จุดแบบนี้เรียกว่า Tunnel ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

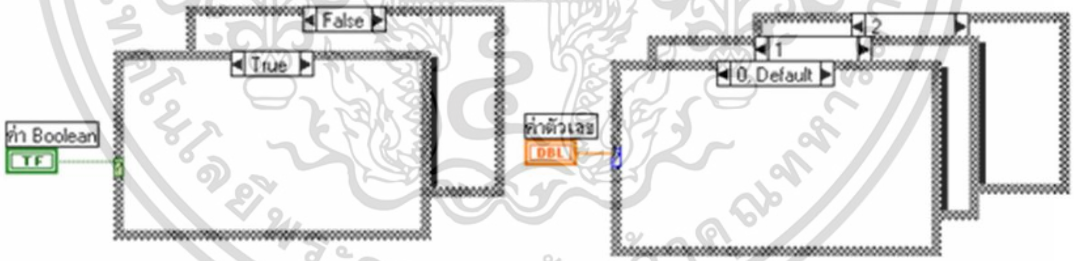
แสดงให้เห็นว่านี้คือ ให้ข้อมูลเข้า หรือ ส่งข้อมูลออก ของลูป และตามหลักการ Dataflow, ลูป (Node) จะไม่สามารถเริ่มได้จนกว่าจะได้รับข้อมูลเข้าครบและลูปจะส่งข้อมูลอกมาจาก Output Tunnel ได้ก็ต่อเมื่อลูปจบการทำงานแล้วเท่านั้น ซึ่งหลักการนี้สำคัญมากในการออกแบบโปรแกรมที่ต้องมีลำดับก่อนหลังในการรัน



รูปที่ 2.40 แสดง Input Tunnel และ Output Tunnel ของ Loop

2.16.4 โครงสร้างแบบเคส (Case structures)

เป็นโครงสร้างการทำงานที่สั่งให้ LabVIEW ทำงานตามแต่ละกรณีที่เรากำหนดซึ่งเราอาจจะกำหนดด้วย Boolean คือจริงหรือเท็จ ซึ่งก็จะเหมือนกับการใช้คำ สั่ง “if-then-else” ของภาษาคอมพิวเตอร์ทั่วๆ ไป หรืออาจกำหนดเป็นตัวเลข 0, 1, 2, 3, ... โดยถ้าค่า Input เท่ากับ 2 จะทำให้ LabVIEW ก็จะทำตามข้อกำหนดที่ 2 ถ้า Input เท่ากับ 5 LabVIEW ก็จะทำตามข้อกำหนดที่ 5 เป็นต้น



รูปที่ 2.41 Case structure

ถ้าตัวแปรที่เราต่อเข้า terminal เป็น Boolean ลักษณะของ case จะเป็น 2 กรณี คือ FALSE และ TRUE แต่ถ้านำตัวเลขต่อเข้าไปสู่ Selector Terminal โครงสร้างนั้นจะมีกรณีพิจารณาได้จาก 0 ถึง 215-1 กรณี ซึ่งด้านบนของ structure จะมีแถบบอก กรณีว่าเป็นกรณีใด ในการสร้างโครงสร้างแบบเคส (Case structures) ครั้งแรก เราจะได้กรณีที่เป็น Boolean คือ FALSE และ TRUE เท่านั้น แต่ case จะเปลี่ยนเป็นตัวเลขทันทีที่เราต่อสายตัวเลขจาก Numeric Control เข้าสู่ Selector Terminal ในตอนแรกที่เราสร้างโครงสร้างแบบเคส (Case structures) ที่เป็นตัวเลขขึ้นมาใหม่นั้นเราจะมีกรณีให้เลือกเพียง 2 กรณีคือ กรณี 0 และกรณี 1 เราสามารถเพิ่มหรือลดจำนวนกรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้โดยการใช้ Pop-up menu ของโครงสร้างแล้วเลือก Add Case Before หรือ Add Case After โครงสร้างแบบเคส (Case structures) สามารถมีได้หลาย Sub-diagram แต่เราจะสามารถมองเห็นได้เพียงครั้งละกรณีเท่านั้น เหมือนกับการวางไพ่ทั้งสำรับทับกันไว้ การที่จะเปลี่ยนคู่กรณีอื่นให้เรากดเมาส์ที่ตำแหน่งลูกศรซ้ายมือหรือขวามือของแถบด้านนั้นของโครงสร้างแบบเคส (Case structures) หรืออาจใช้คำสั่ง Show Case จาก Pop-up menu

2.16.5 โครงสร้างตามลำดับ (Sequence Structure)

การทำงานของ โครงสร้างแบบลำดับ (Sequence Structure) จะเป็นในลักษณะกำหนดให้โปรแกรมทำงานที่ละขั้นจากขั้น 0, ขั้นที่ 1 ต่อ ไปจนกระทั่งขั้นสุดท้าย เมื่อโปรแกรมทำงานขั้นตอนสุดท้ายเสร็จแล้ว ข้อมูลจึงจะออกไปจากโครงสร้าง ขั้นตอนแต่ละขั้นตอน LabVIEW จะเรียกว่าเฟรม (Frame) ลักษณะของโครงสร้างแบบลำดับ (Sequence Structure) แสดงในรูปต่อไป

รูปที่ 2.42 Frame

การสร้างโครงสร้างแบบลำดับ (Sequence Structure) จะสร้างจาก Structures Sub palette ของ Function Palette และเหมือนกับโครงสร้างแบบเคส (Case Structures) คือเฟรมจะปรากฏให้เห็นครั้งละ 1 เฟรมเท่านั้น เราต้องกดเมาส์ที่ลูกศรบนกรอบบนของโครงสร้างเพื่อสลับดูสิ่งที่แสดงในเฟรมอื่นหรืออาจจะใช้ Pop-up menu ที่ขอบเขตโครงสร้างแล้วใช้คำสั่ง Show Frame นอกจากนี้การเพิ่มหรือลดเฟรมจะใช้คำสั่ง Add Frame After, Add Frame Before จาก Pop-up menu ในการส่งข้อมูลของโครงสร้างแบบลำดับ (Sequence Structure) ออกสู่ภายนอก เราจะส่งออกที่เฟรมใดก็ได้ และอุโมงค์ที่ส่งข้อมูลออกจะใช้เฉพาะเฟรมนั้นๆ เท่านั้น ไม่ใช่ร่วมกับเฟรมอื่น ซึ่งทำให้แตกต่างจากในกรณีของการใช้โครงสร้างแบบเคส (Case Structures) อย่างไรก็ตามข้อมูลจะส่งออกจากโครงสร้างก็ต่อเมื่อโปรแกรมทำการประเมินทุกเฟรมจนครบแล้ว เราจะใช้โครงสร้างแบบลำดับเพื่อควบคุมลำดับขั้นการทำงานของ Node ซึ่งข้อมูลของแต่ละเฟรมไม่เกี่ยวข้องกัน ทำให้ในแต่ละเฟรมจะมีลักษณะคล้ายกับ Block Diagram ที่แยกออกมาต่างหาก อย่างไรก็ตามเราสามารถส่งผ่านข้อมูลข้ามระหว่างเฟรมได้โดยใช้ Terminal ที่เรียกว่า Sequence Local ซึ่งจะเป็นการฝากและดึงข้อมูลในระหว่างเฟรม ในการจะเพิ่ม Sequence Local นี้เราจะได้จากการใช้คำ สั่ง Add Sequence Local ภายใต้ Pop-up Menu ของโครงสร้างแบบลำดับ (Sequence Structure) เมื่อเราเลือกใช้ Sequence Local ครั้งแรก Terminal จะปรากฏเป็นสี่เหลี่ยมสีเหลืองดังที่แสดงในรูปต่อไปนี้ เราสามารถสังเกตเห็นลักษณะของ Sequence Local Terminal เมื่อเราต่อสาย terminal เข้ากับแหล่งข้อมูลก็จะปรากฏลูกศรขึ้น ถ้าเราต่อสายจาก Control เข้าสู่ Terminal นี้ก็เสมือนกับว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราต้องการให้ Terminal นั้นเป็นที่เก็บข้อมูลเข้าสู่โครงสร้างเพื่อเอาไว้ใช้ในเฟรมอื่น ลูกศรจะกลายเป็นลูกศรที่พุ่งเข้าหากรอบ นอกเหนือจากนั้นเราจะเห็นว่าทุกเฟรมต่อจากนั้นจะเกิดเป็นลูกศรชี้เข้าแสดงให้เห็นว่ามีข้อมูลที่จะให้ใช้ในเฟรมเหล่านั้นได้ ยกเว้นในเฟรมก่อนหน้าเฟรมที่มีการส่งข้อมูลเข้าโครงสร้างเพราะขณะนั้นในเฟรมเหล่านั้นจะยังไม่มีข้อมูลส่งเข้าสู่โครงสร้าง จึงยังไม่สามารถดึงข้อมูลไปใช้ได้ และลักษณะจะปรากฏเป็นสี่เหลี่ยมที่ปรากฏไม่ชัดเจน อย่าลืมว่าการทำงานของโครงสร้างแบบลำดับ (Sequence Structure) จะทำงานจากเฟรม 0 ก่อนจากนั้นจะทำต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งจบเฟรมสุดท้ายจึงจะออกจาก Structure นั้น

2.16.6 ตัวแปรโลคอล (Local Variable) และ ตัวแปรโกลบอล (Global Variable)

Local Variable และ Global Variable สำหรับใน LabVIEW ก็จะมีตัวแปรทั้ง 2 ประเภทนี้อยู่ด้วย ที่ผ่านมาอาจจะรู้สึกเข้าใจยากกับการเขียนโปรแกรมในลักษณะที่เป็น Data Flow อยู่บ้าง เช่นหากต้องการแสดงผลให้กับ Indicator ตัวหนึ่งเราก็จะต้องต่อสายเข้ากับ Indicator นั้น แต่เนื่องจาก Terminalของ Indicator แต่ละตัวจะมี Input เข้าสู่ Terminal นั้นได้เพียงตัวเดียวเท่านั้น ดังนั้นถ้าหากเราต้องการให้ Indicator นั้นแสดงค่าที่ได้จากการประมาณผลหลายวิธี ทั้งนี้ขึ้นกับสภาพที่กำหนดโดยปกติแล้วเราไม่สามารถทำได้ หรือตัวอย่างเช่นเรากำหนดค่าที่ Control ค่าหนึ่งแล้วส่งเข้าสู่การทำงานของโปรแกรมเมื่อ VI ทำงานไปเราต้องการปรับค่าของ Control นั้นโดยอัตโนมัติตามสภาวะของ VI นั้น จากขีดจำกัดที่เราศึกษามาก่อนหน้านี้ก็จะบอกว่าเราไม่สามารถทำงานได้ เพราะโดยปกติเราไม่สามารถต่อสายเข้าไปสู่ Control เพื่อกำหนดค่าได้ ปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้หากเราใช้ Local หรือ Global Variable

- Local Variable ช่วยให้เราสามารถกำหนดค่าของ Object บน Front Panel จากจุดต่างๆ บน Block Diagram ของ VI แทนในกรณีที่เราไม่สามารถหรือไม่ต้องการจะต่อสายเข้ากับ Terminal ของ Object นั้น

- Global Variable ในหลายๆ กรณี Global Variable จะทำ งานคล้ายกับ Local Variable เพียงแต่ Global Variable ไม่ได้จำกัดการทำงานอยู่เพียงภายใน VI หนึ่งๆ เท่านั้นเราสามารถส่งค่าของ Global Variable ไประหว่างที่ VI หลายชุดกำลังทำงานอยู่พร้อมๆ กันได้

อย่างไรก็ตามเนื่องจากการทำความเข้าใจ Global Variable อย่างแท้จริงเป็นเรื่องยากและการนำไปใช้ในความเป็นจริงมีโอกาสผิดพลาดได้ง่ายหากไม่ได้รับการวางแผนการเขียน VI ทั้งระบบมาอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.17 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน [7] ของตัวแปรสุ่ม X มีการนิยามไว้ ดังนี้

$$\sigma = \sqrt{E\left((X - E(X))^2\right)} = \sqrt{E(X)^2 - \left(E(X)\right)^2} = \sqrt{Var(X)} \tag{2.13}$$

เมื่อ E(X) หมายถึงค่าคาดหมายของ X (เป็นอีกความหมายหนึ่งของมัชฌิม) และ Var(X) หมายถึงความแปรปรวนของ X แต่ก็ไม่ใช่ว่าตัวแปรสุ่มทุกตัวจะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ถ้าหากค่าคาดหมายไม่มีอยู่จริงหรือไม่นิยาม ตัวอย่างเช่น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรสุ่มภายใต้การแจกแจงโคชี (Cauchy distribution) จะไม่นิยาม เพราะว่า E(X) ก็ไม่นิยามเช่นกัน ถ้าตัวแปรสุ่ม X มีพื้นฐานอยู่บนเซตข้อมูลซึ่งสมาชิกเป็นจำนวนจริงและมีความน่าจะเป็นเท่ากัน ดังนั้นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสามารถคำนวณได้จากสูตรข้างล่างนี้ อันดับแรกต้องคำนวณหาค่าเฉลี่ยของ X เสียก่อน ค่าเฉลี่ยเขียนแทนด้วยซึ่งนิยามด้วยผลรวม (Summation) ดังนี้

$$\overline{x} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_N}{N} \tag{2.14}$$

เมื่อ N คือ จำนวนสมาชิกของเซตข้อมูล จากนั้นจึงสามารถคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้จาก

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(x_i - \overline{x}\right)^2} \tag{2.15}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

ในการดำเนินงานเรื่องการออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดความไม่สมดุลพัดลมระบายความร้อนเก้าอี้รถยนต์เริ่มต้นจากการวิเคราะห์ปัญหาที่ส่งผลให้ความเร็วรอบในการหมุนของพัดลมไม่ได้ตามที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกแบบพัฒนาอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐานและในการนำค่าต่างๆ ที่ได้จากการวัดมาแสดงบนจอคอมพิวเตอร์ผ่านการเขียนโปรแกรม LABVIEW จากนั้นจะส่งข้อมูลไปยังส่วนประมวลผลต่อไป

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในการดำเนินงานจะเริ่มต้นตั้งแต่การศึกษาหลักการทำงานและอุปกรณ์ของเครื่องวัดความไม่สมดุลพัดลมระบายความร้อนเก้าอี้รถยนต์ศึกษาทฤษฎีการสั่นเนื่องจากความไม่สมดุลของมวลรวมไปถึงการนำไปใช้งานได้จริง โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

1) ศึกษาหลักการทำงานและอุปกรณ์ของเครื่องวัดความไม่สมดุลพัดลมระบายความร้อนเก้าอี้รถยนต์

2) ศึกษาการสั่นสะเทือนที่เกิดจากความไม่สมดุลของพัดลมบนสองระนาบ

3) ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4) ศึกษาการควบคุมความเร็วรอบในการหมุนของมอเตอร์

5) ออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดความไม่สมดุลพัดลมระบายความร้อนเก้าอี้รถยนต์

6) ออกแบบการเก็บข้อมูลและการควบคุม โดยใช้ NI LabVIEW ในการเก็บข้อมูล

7) ทดสอบเครื่องวัดความไม่สมดุลพัดลมระบายความร้อนเก้าอี้รถยนต์

8) นำไปใช้จริงในทางอุตสาหกรรม

3.3 อุปกรณ์การทดลอง

3.3.1 เครื่องวัดความสมดุลของพัดลมที่นั่งรถยนต์ส่วนอุปกรณ์ติดยึด

เครื่องวัดความสมดุลของพัดลมที่นั่งรถยนต์ส่วนอุปกรณ์ติดยึดออกแบบและคำนวณจากสมการความไม่สมดุลให้สอดคล้องกับโปรแกรมคำนวณความแข็งแรงและคำนึงถึงพื้นที่การทำงานของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พนักงานวัดเป็นสำคัญเพื่อให้มีความสะดวกรวดเร็วในการทำงานเพื่อเพิ่มอัตราการวัด โดยมีองค์ประกอบดังนี้

1) ตลับลูกปืน (Bearing) ใช้รองรับเพลาให้เที่ยงตรงทั้งแนวรัศมีและแนวแกน มีหน้าที่หลักในการรับน้ำหนักช่วยลดแรงเสียดทานหรือลดความปิด (Friction) ระหว่างการหมุน

2) ฐานรองสเตเตอร์ (Stator Base) ทำจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) ทำหน้าที่ติดยึดสเตเตอร์ (Stator) เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนพัดลมระบายความร้อนในที่นั่งรถยนต์

3) ฐานติดเซ็นเซอร์วัดความเร่ง (Accelerometer Base) ทำจากวัสดุเบคิไลต์ (Bakelite) ลักษณะเป็นแผ่นทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตรเป็นวัสดุแข็งและมีความหนาแน่นสูง เกิดจากการใช้ความร้อนและความดันกับชั้นของกระดาษหรือผ้า แล้วหุ้มด้วยเรซิน ทำหน้าที่รองรับฐานรองสเตเตอร์ (Stator Base) ติดยึดด้วยน็อตตัวผู้แฉกแบนและน็อตตัวเมีย และทำหน้าที่รองรับเซ็นเซอร์วัดความเร่ง (Accelerometer) 2ตัวในแนวแกนตั้งและแกนนอนโดยการเจาะรูขนาด 2 มิลลิเมตร

4) ยางป้องกันการสั่นสะเทือน (Antivibration Rubber) ยางป้องกันการสั่นสะเทือนคำนวณตามสมการการสั่นสะเทือนให้มีค่าความแข็ง (Stiffness) ของยาง

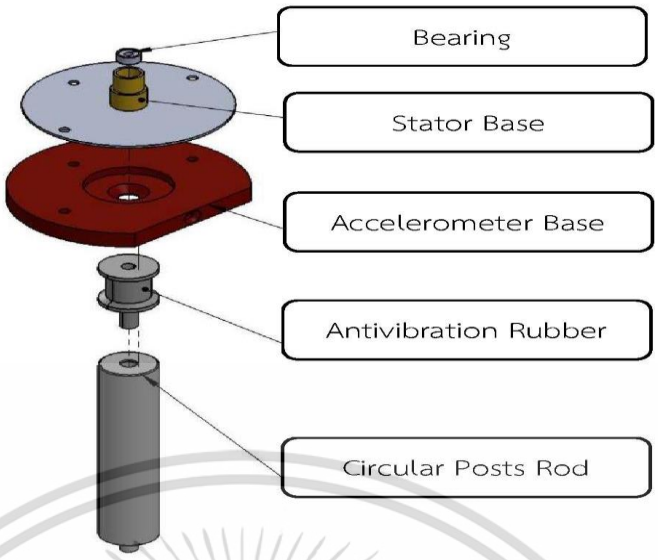
5) เหล็กแท่งรองรับอุปกรณ์ (Circular Posts Rod) เสาเหล็กทำจากวัสดุเหล็กสำหรับโครงสร้างทั่วไป (Steel For General Structure) เป็นส่วนที่รองรับอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการวัดความไม่สมดุลพัดลมและเชื่อมต่อกับส่วนฐาน โดยด้านนึงเป็นเกลียวตัวผู้และอีกด้านเป็นเกลียวตัวเมียขนาด 6 มิลลิเมตร

6) ส่วนฐาน (Base) ทำจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) หนา 2 มิลลิเมตรเพื่อความแข็งแรงออกแบบจากการคำนึงถึงพื้นที่ทำงานของพนักงานวัดความไม่สมดุล โดยการนำเหล็กแผ่นมาตัดด้วยเครื่องจักรกลแบบอัตโนมัติที่มีการทำงานด้วยระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Computer Numerical Control) และเชื่อมเป็นรูปกล่องเพื่อใช้ในการเก็บสายไฟและติดตั้งปุ่มเปิดปิดพัดลมและปุ่มหยุดฉุกเฉินในอนาคตต่อไป

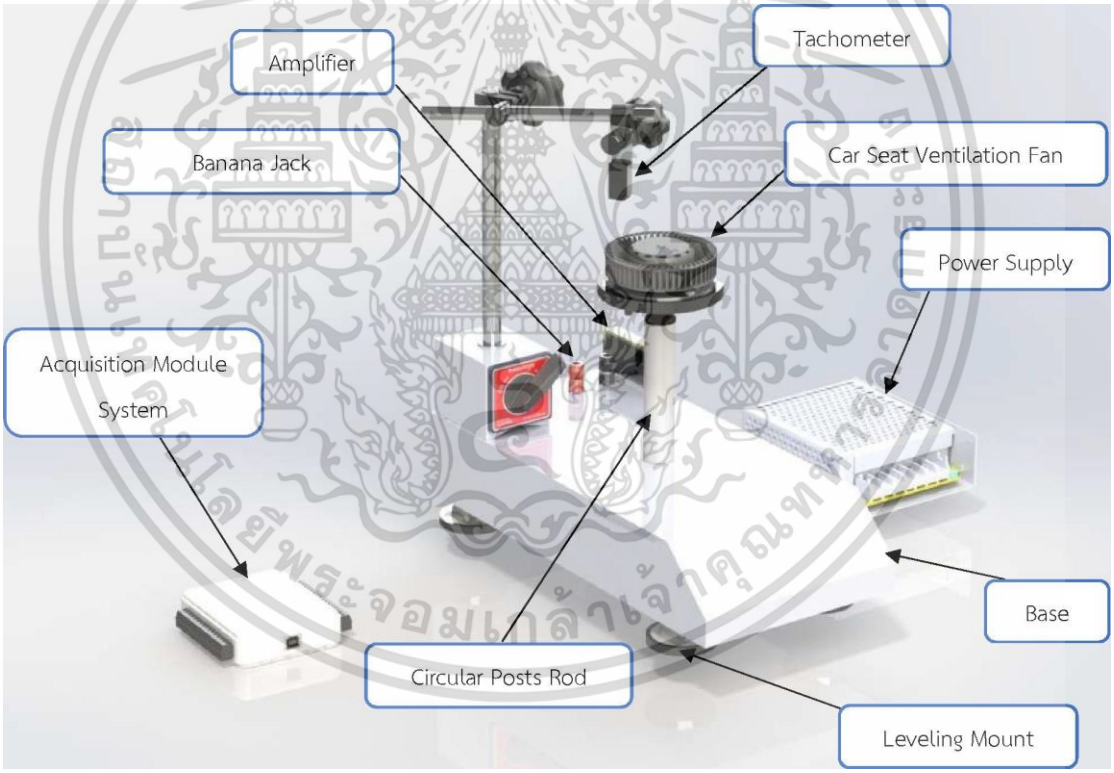
7) ขาปรับระดับ (Adjustable Foot) อุปกรณ์ที่ใช้ติดตั้งเพื่อปรับตั้งระดับความสูง หรือปรับตั้งระดับความลาดเอียงของเครื่องเพื่อให้อุปกรณ์เหล่านั้นมีระดับความเอียงให้เหมาะสมตามเครื่องวัดระดับน้ำ

8) ขาตั้งจับเซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบ ทำหน้าที่ติดยึดเซ็นเซอร์วัดความเร่งยึดติดกับฐานโดยการการต๊าปเกลียว (Tap) และยึดด้วยน็อตตัวเมีย สามารถปรับตำแหน่งได้เพื่อให้เลเซอร์จากเซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบตรงกับตำแหน่งอ้างอิงการวัดในพัดลมระบายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

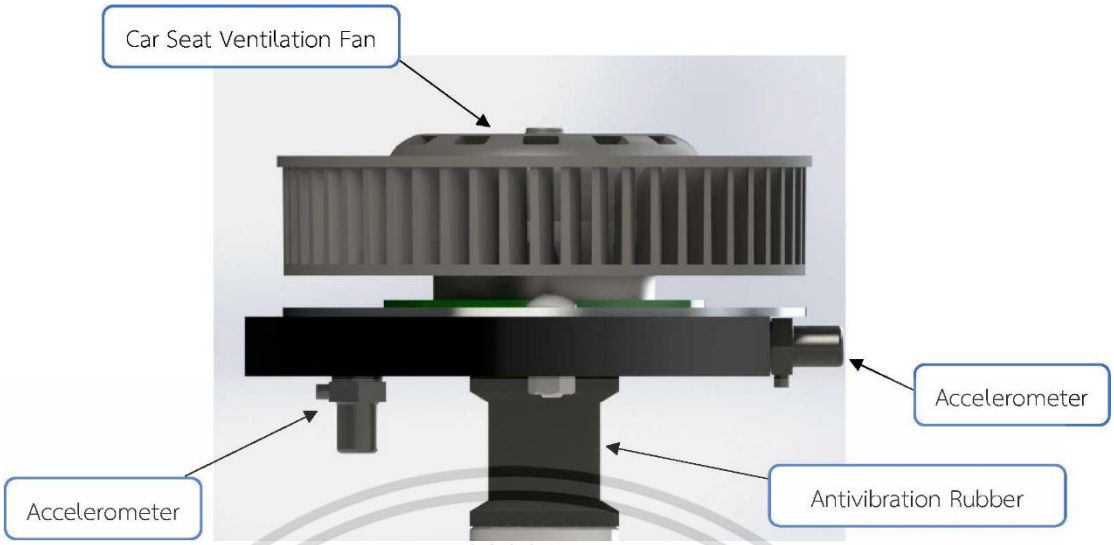


รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบเครื่องวัดความสมดุลของพัดลมที่นั่งรถยนต์



รูปที่ 3.2 แบบจำลองเครื่องวัดความไม่สมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความเร่ง

3.3.2 อุปกรณ์ขับเคลื่อนพัดลมระบายอากาศในเก้าอี้รถยนต์

1) อุปกรณ์จ่ายไฟ (Power Supply) รุ่น MCP M10-QD305 2x30V/5A เป็นอุปกรณ์ที่จ่ายพลังงาไฟฟ้าแบบ Dual Linear Adjustable Power เป็นอุปกรณ์ที่มีความเสถียรสูง, เสียงรบกวนต่ำ, แรงดันเอาต์พุตหรือกระแสสามารถปรับได้อย่างต่อเนื่องและแรงดันคงที่และกระแสสามารถแปลงโดยอัตโนมัติได้ จ่ายไฟเอาต์พุต แบบกระแสตรงสามารถปรับอิสระได้สองช่องทางความต่างศักย์ 0-30 โวลต์ (Volts) และกระแส 0-5 แอมป์

2) สเตเตอร์ (Stator) ใช้ในการขับเคลื่อนพัดลมผ่านขดลวดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำลับแถบแม่เหล็กที่ติดตั้งในพัดลมโดยสเตเตอร์จะเป็นส่วนที่หยุดนิ่งอยู่ลับที่ทำให้!ม,ส่งผลลับการสั่นสะเทือนจากความไม่สมดุลเคลื่อนที่ ซึ่งต่างจากการใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนที่จะทำให้เกิดความไม่สมดุลจากมอเตอร์ด้วย

3.3.3 การเลือกอุปกรณ์วิเคราะห์ข้อมูล National Instruments Data Acquisition Device

อุปกรณ์วิเคราะห์ข้อมูล DAQ สำหรับส่วนงานสัญญาณการสั่นสะเทือน (Vibration) มีหน้าที่รับสัญญาณที่ส่งออกมาจากเซ็นเซอร์วัดความเร่ง (Accelerometer) และทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าสำหรับเลี้ยงอุปกรณ์เซ็นเซอร์ประเภท IEPE (Integrated Electronics Piezo-Electric) โดยใช้อุปกรณ์วิเคราะห์ข้อมูล สัญญาณการสั่นสะเทือน cDAQ-9232 จากบริษัท National Instruments

- ความสามารถในการสุ่มตัวอย่างสัญญาณสูงสุด (Maximum Sample Rate) คือ จำนวนจุดตัวอย่าง สูงสุดที่สามารถกำหนดได้บนกราฟสัญญาณเข้าจากเซ็นเซอร์ใน 1 วินาที มีค่า 102,400 ตัวอย่าง/วินาที/ช่องสัญญาณ (S/s/ch)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ช่วงแรงดันสัญญาณแอนะล็อกขาเข้า (Analog Input Voltage Range) คือ สัญญาณอินพุตแอนะล็อกเป็นช่วงแรงดันไฟฟ้าสูงสุด มีหน่วยเป็น โวลต์ อยู่ในช่วงสูงสุด ±30 โวลต์ (Volts)

- ปริมาณกระแสไฟฟ้าสำหรับเลี้ยงเซ็นเซอร์ IEPE (IEPE Excitation) คือ ปริมาณกระแสไฟฟ้าสำหรับเลี้ยง IEPE เซ็นเซอร์ขนาดเป็นมิลลิแอมป์ เพื่อใช้จ่ายให้กับเซ็นเซอร์วัดความเร่ง

- ช่วงแรงดันไฟฟ้าที่เข้ากันได้กับเซ็นเซอร์ IEPE (IEPE Compliance Voltage Range) คือ ช่วงความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เข้ากันได้กับ เซ็นเซอร์ IEPE คำนวณได้จากสมการ102,400 ตัวอย่าง/วินาที/ช่องสัญญาณ(S/s/ch)

1) ค่าความสามารถในอัตราการสุ่มสัญญาณต่ำสุด (Minimum Sample Rate)

- พิจารณาจากการ แบ่งพัดลมออกเป็นช่วง ช่วง 10° จากจุดศูนย์เป็นวงกลม จะได้ทั้งหมด 36 ช่วง จาก 360°

- เนื่องจากความเร็วรอบให้บริการของการหมุดของพัดลมที่ใช้ในการวัด เท่ากับ 3900 รอบ/นาที หรือ 65 เฮิรตซ์

- จากทฤษฎี Nyquist ทำให้ต้องใช้จำนวณการสุ่มสัญญาณ 5-10 เท่า(ผู้ทดลองเลือกใช้ 10 เท่า) จากการวัดใน 1 รอบ

ดังนั้น สามารถหาขนาดของอัตราการสุ่มสัญญาณต่ำสุด ได้จาก

อัตราการสุ่มสัญญาณต่ำสุด = 36 x 65 x 10 = 23,400 ตัวอย่าง/วินาที/ช่องสัญญาณ (S/s/ch)

ผู้ทดลองได้เลือกใช้อุปกรณ์ National Instruments Data Acquisition Device รุ่น NI cDAQ-9232 สามารถเชื่อมต่อเซ็นเซอร์ได้ 3 ช่องสัญญาณ ที่มีขนาดการสุ่มตัวอย่างสัญญาณสูงสุด/ช่องสัญญาณ (Maximum Sample Rate/Channel) 102,400 ตัวอย่าง/วินาที/ช่องสัญญาณ (S/s/ch) เพื่อนเป็นการเผื่อขีดจำกัดความสามารถในการวัดของอุปกรณ์หากต้องการใช้ความละเอียดในการทดลองมากขึ้น

2) ช่วงแรงดันไฟฟ้าที่เข้ากันได้กับเซ็นเซอร์ IEPE (IEPE Compliance Voltage Range) คำนวณได้คู่มือของอุปกรณ์ DAQ

$$V_{IEPE} = (0.67x\ V_{common\text{-}mode}) + V_{bias} \pm V_{full\text{-}scale} \qquad (3.1)$$

(แสดงการคำนวณในหัวข้อที่ 3.3.4 ในส่วนของเซ็นเซอร์ความเร่ง)

อุปกรณ์วิเคราะห์ข้อมูล DAQ สำหรับส่วนงานส่งสัญญาณแรงดันไฟอนาล็อกเอาต์พุตมีหน้าที่สร้างสัญญาณแรงดันไฟฟ้าไปยังโมดูลควบคุมมอเตอร์ เพื่อสร้างสัญญาณ PWM(Pulse Width Modulation) ซึ่งเป็นสัญญาณที่สามารถใช้ควบคุมความเร็วมอเตอร์ได้ โดยจะทำงานร่วมกับเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัดความเร็วรอบ(Tachometer Sensor) เพื่อ feedback รอบการหมุนของ stator โดยใช้อุปกรณ์วิเคราะห์ข้อมูล สัญญาณแรงดันอนาล็อก cDAQ-9269 จากบริษัท National Instruments

- ความสามารถในการสุ่มตัวอย่างสัญญาณสูงสุด (Maximum Sample Rate) คือ จำนวนจุดตัวอย่าง สูงสุดที่สามารถกำหนดได้บนกราฟสัญญาณใน 1 วินาทีมีค่า 100,000 ตัวอย่าง/วินาที/ช่องสัญญาณ (S/s/ch)

- สามารถจ่ายสัญญาณแรงดันไฟฟ้าแอนะล็อก (Analog Output Voltage) ในช่วงสูงสุดที่ ±10 โวลต์ (Volts) ต่อแชนแนล โดยสามารถต่อแชนแนลรวมกันเพื่อจ่ายแรงดันได้สูงสุด ±40 โวลต์ (Volts)

รูปที่ 3.4 อุปกรณ์วิเคราะห์ข้อมูล NI cDAQ-9232 และ Ni cDAQ-9269

ที่มา http://www.ni.com/en-th/shop/select/compactdaq-modules-category#facet:&productBeginIndex:0&orderBy:&pageView:grid&pageSize:&

3.3.4 การเลือกใช้เซ็นเซอร์วัดความเร่ง

เซ็นเซอร์วัดความเร่งในแนวแกนเดี่ยว (วัดในหน่วยความเร่ง g หรือ m/s2) เซ็นเซอร์วัดความเร่งแบบ Ceramic Shear 100 มิลลิโวลต์/หน่วยความเร่ง (mV/g) จำนวน 2 ตัวติดตั้งในแนวแกนนอนและแกนตั้งเพื่อนำค่าความเร่งไปหาความสั่นสะเทือนโดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับเซ็นเซอร์วัดความเร่งดังนี้

รูปที่ 3.5 Ceramic Shear ICP® Accelerometer, 100 มิลลิโวลต์/หน่วยความเร่ง (mV/g) จาก PCB Piezotronics, Inc

ที่มา http://www.pcb.com/Products.aspx?m=352C33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) การคำนวณช่วงแรงดันไฟฟ้าที่เข้ากันได้กับเซ็นเซอร์ IEPE หรือ VIEPE (IEPE Compliance Voltage Range) ในการใช้กับ DAQ สามารถคำนวณได้จาก สมการในคู่มือของ National Instruments โดยค่าของ Vcommon-mode , Vbias , Vfull-scale เป็นค่ากำหนดของเซ็นเซอร์ (ระบุไว้ในภาคผนวก)

$$VIEPE = 0.67\ V_{common\text{-}mode} + V_{bias} \pm V_{full\text{-}scale} \qquad (3.2)$$

VIEPE-Max = (+50 x 100) + 12 โวลต์ (Volts)

= 17 โวลต์ (Volts)

VIEPE-Min = (-50 x 100) + 8 โวลต์ (Volts)

= 3 โวลต์ (Volts)

ดังนั้น VIEPE = 3 - 17 โวลต์ (Volts)

หมายเหตุ สำหรับ NI cDAQ-9232 เซ็นเซอร์ที่มีค่า VIEPE อยู่นช่วง 0-22 โวลต์ (Volts) ดังนั้นจึงสามารถใช้งานกับเซ็นเซอร์ IEPE รุ่น Ceramic Shear ICP® Accelerometer, 100 มิลลิโวลต์/หน่วยความเร่ง (mV/g)จาก PCB Piezotronics, Inc ได้

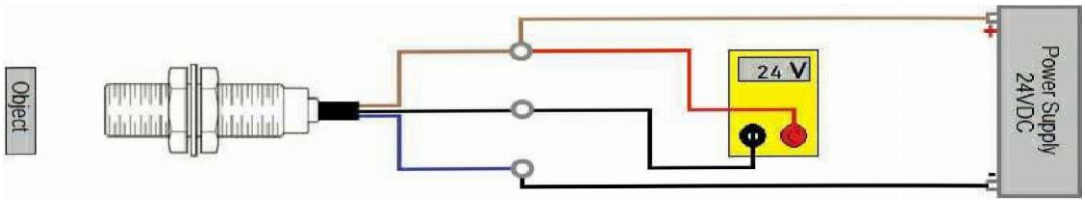
2) ช่วงขนาดของความเร่งสูงสุด เลือกใช้ค่า ± 50 ในหน่วยความเร่ง (g) เพื่อเป็นการเผื่อขนาดของความเร่งที่สามารถวัดได้ โดยที่ค่าขนาดของความเร่งจริง ทั้งสองแกนวัดได้ไม่เกิน 1 g แต่เนื่องจากผู้วิจัยมีทรัพยากรจำกัดจึงจำเป็นต้องใช้เซ็นเซอร์ขนาด ± 50 ในหน่วยความเร่ง (g) นี้

3.3.5 การเลือกใช้เซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบ

เครื่องวัดความเร็วรอบเป็นอุปกรณ์สำหรับการวัดความเร็วในการหมุนของพัดลมระบายอากาศมีหน่วยเป็นรอบต่อนาทีโดยใช้เซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบแบบ เครื่องวัดความเร็วรอบ แบบเลเซอร์ (Optical Laser Type Tachometer) ติดกับขาตั้งปรับตำแหน่งได้อยู่ด้านบนพัดลมซึ่งเลเซอร์จะวัดกับตำแหน่งอ้างอิงบนพัดลมเพื่อปรับความเร็วรอบให้ได้ตามการใช้งานจริงของพัดลมขณะทำการวัดค่าความไม่สมดุล

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับ เซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบ (Tachometer Sensor)

- แผนภาพตัวอย่างการต่อใช้งาน เซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบ



รูปที่ 3.6 วิธีการต่อเซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความดันไฟฟ้าเลี้ยงเซ็นเซอร์ (Excitation Voltage) คือความดันไฟฟ้าที่จ่ายให้เซ็นเซอร์สำหรับทำงาน ขนาด 12-24 โวลต์ (Volts)

- แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุด (Control Output Voltage Max**)** สัญญาณเอาต์พุตเป็นแรงดันไฟฟ้าทางออกสูงสุด ขนาด ±40 โวลต์ (Volts)

รูปที่ 3.7 LV-S41 Optical Laser Type Tachometer

ที่มา https://www.keyence.com/products/sensor/laser/lv-s/models/lv-s41/index.jsp

วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) Keyence LV-11SAP อุปกรณ์หรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ช่วยเพิ่มขนาดหรือกำลังของสัญญาณจากเซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบ (Tachometer Sensor) ควบคุมสัญญาณเอาต์พุทให้มีรูปร่างเหมือนสัญญาณอินพุท แต่มีขนาดใหญ่กว่า

รูปที่ 3.8 วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier)

ทั้งนี้ถึงแม้ว่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุด จะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 40 โวลต์ (Volts) แต่ขนาดแรงดันที่ปล่อยออกมาจริงขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรขยายสัญญาณ ดังนั้นผู้ทดลองจึงปรับแรงดันไฟฟ้าจ่ายให้อยู่ที่ขนาดไม่เกิน 30 โวลต์ (Volts) เพื่อให้อุปกรณ์วัดความเร็วรอบสามารถใช้งานกับอุปกรณ์ National Instruments Data Acquisition Device

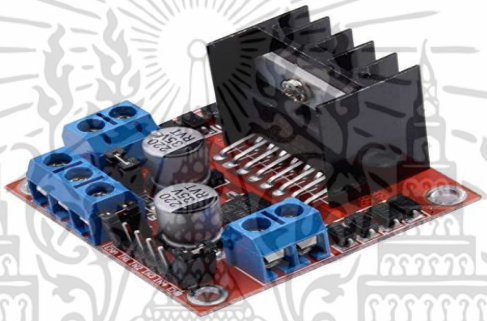
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 การเลือกใช้โมดูลขับมอเตอร์

โมดูลขับมอเตอร์เป็นวงจรที่ประกอบด้วยไอซีหรืออินทิเกรตเทด เซอร์กิต (integrated circuit) โดยใช้หลักการ H-Bridge ในการควบคุมรอบและทิศทางของมอเตอร์ สำหรับโมดูล L298N สามารถใช้ขับมอเตอร์ได้ 2 ตัวแบบแยกอิสระ รับแรงดันไฟอินพุตท์ 7-35 โวลต์ จ่ายกระแสสูงสุด 2 แอมป์ และมีซัพพลายไฟในตัว 5 โวลต์

สำหรับใช้งาน ในการควบคุมตัวโมดูลต้องการสัญญาณ 3 อย่างด้วยกัน ประกอบด้วย

- สัญญาณ PWM ในการควบคุมรอบการหมุนของมอเตอร์
- สัญาณดิจิตอล high ในการควบคุมทิศการหมุนของมอเตอร์
- สัญาณดิจิตอล low ในการควบคุมทิศการหมุนของมอเตอร์



รูปที่ 3.9 โมดูลขับมอเตอร์ L298N

3.3.7 พารามิเตอร์ของอุปกรณ์

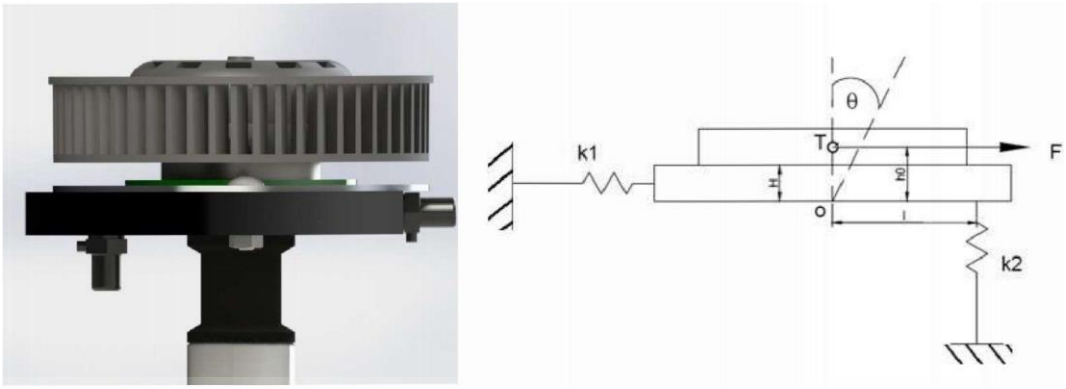
พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของเครื่องวัดความไม่สมดุลจากการหมุนของพัดลมสามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่ (2.5) และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่สอดคล้องกับแบบจำลองเครื่องวัดความไม่สมดุลที่ได้จากออกแบบ ในโปรแกรม SOLIDWORKS โดยการกำหนดวัสดุและน้ำหนักที่ได้จากการชั่งลงในโปรแกรมหลังจากนั้นดู ค่าพารามิเตอร์ในสมการที่ (2.11) มวลอุปกรณ์เหนือยางกันสั่นรวมพัดลมและโมเมนต์ความเฉื่อยรวมถึงค่าอื่นหาได้จากคุณสมบัติของมวลในภาคผนวก ส่วนระยะจากจุดหมุนถึงจุดศูนย์ถ่วงของมวลระยะจากจุดหมุนถึงเซ็นเซอร์ความเร่งในแนวตั้งและระยะจากจุดหมุนถึงกึ่งกลางความสูงของพัดลมหาจากการวัดระยะในโปรแกรมได้ตามลำดับ โดยที่ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยหมุนที่จุดศูนย์ถ่วงมวล (Jo) จะได้มา

จากในโปรแกรม SOLIDWORKS ตามภาคผนวก ดังนั้นค่าโมเมนต์ความเฉื่อยที่จุดหมุนของระบบจะเท่ากับ

$$J = Jo + MH^2 \qquad (3.3)$$

จะได้ค่า $J = 124662.7737$ กรัม-มิลลิเมตร^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 โมเดล 3 มิติและ 2 มิติจากโปรแกรม SOLIDWORKS

พารามิเตอร์	ตัวแปร	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
มวลอุปกรณ์เหนือยางกันสั่นรวมพัดลม	M	0.16379	กิโลกรัม
โมเมนต์ความเฉื่อย	J	0.0001246627	กิโลกรัม-เมตร^2
ค่าความแข็งของยางป้องกันการสั่นสะเทือน ในแนวนอน	k_t	19360	นิวตัน/เมตร
ค่าความแข็งของยางป้องกันการสั่นสะเทือน ในแนวตั้ง	k_t	88000	นิวตัน/เมตร
ระยะจากจุดหมุนถึงจุดศูนย์ถ่วงของมวล	H	0.01196	เมตร
ระยะจากจุดหมุนถึงเซ็นเซอร์ความเร่งในแนวตั้ง	1	0.02964	เมตร
ระยะจากจุดหมุนถึงกึ่งกลางความสูงของพัดลม	ho	0.02196	เมตร

การคำนวณการเลือกใช้ ยางป้องกันการสั่นสะเทือน (Antivibration Rubber) มีข้อจำกัดในเรื่องของขนาด ข้อจำกัดของจุดประสงค์ที่สามารถซ่อมบำรุงได้ง่ายและได้มาตรฐานตามอุตสาหกรรม และข้อจำกัดความหลากหลายในการเลือกใช้จากภาคอุตสาหกรรม ดังนั้นเราจึงเลือกยางป้องกันการสั่นสะเทือน(Antivibration Rubber) ความเหมาะสมในรูปร่างและนำค่าค่าความแข็งของยางป้องกันการสั่นสะเทือน(k) สำหรับยางป้องกันการสั่นสะเทือน (Antivibration Rubber) เพื่อให้มีคำความถี่ธรรมชาติ มีค่าต่างกับความถี่ใช้งานของพัดลมที่ได้จากความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณการเลือกใช้ของยางป้องกันการสั่นสะเทือน (Antivibration Rubber) ยี่ห้อ misumi รุ่น BGONA 20200 ตามภาคผนวก ก โดย จะได้ค่า k2 เท่ากับ 88000 นิวตัน/เมตร และค่าอัตราส่วนความแข็งระหว่าง k 2 ต่อk 1 เท่ากับ 0.22 ดังนั้น จะได้

ki = 88000(0.22) = 19360 นิวตัน/เมตร

k2 = 88000 นิวตัน/เมตร

เมื่อได้ค่าความแข็งของยางป้องกันการสั่นสะเทือน (k) สำหรับยางป้องกันการสั่นสะเทือน (Antivibration Rubber) เพื่อตรวจสอบค่าความถี่ธรรมชาติให้มีค่าต่างกับความถี่ใช้งานของพัดลมที่ได้จากความเร็วรอบซึ่งมีค่าเท่ากับ (ง = 308.117 เรเดียน/วินาที โดยจะคำนวณผ่านโปรแกรม MATLAB ตามภาคผนวก ก จะได้ค่าความถี่ธรรมชาติดังนี้

$\omega_{n,1}$ = 336.7672 เรเดียน/วินาที

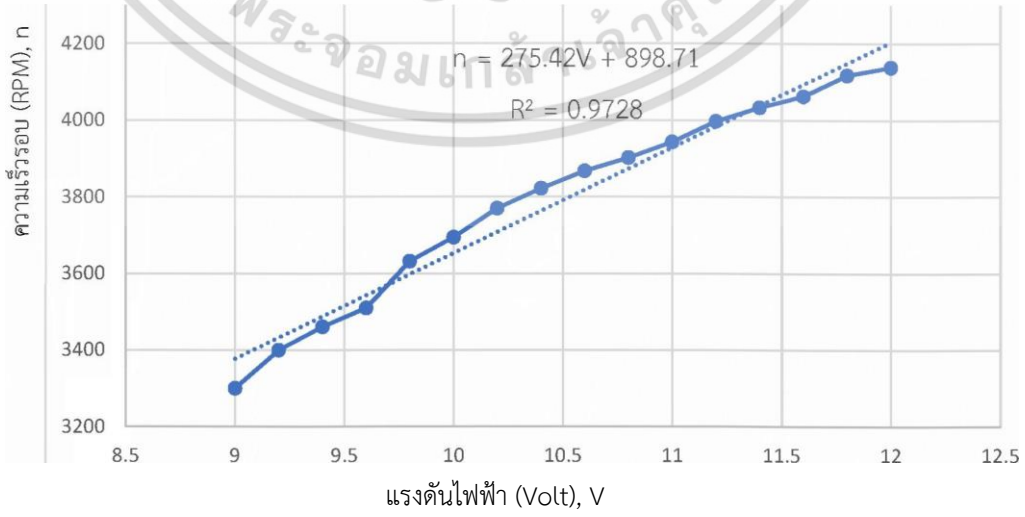
$\omega_{n,1}$ = 883.1801 เรเดียน/วินาที

เพราะฉะนั้นจึงจะสามารถยางป้องกันการสั่นสะเทือน (Antivibration Rubber) ยี่ห้อ Misumi รุ่น BGONA 20200 ได้

3.4 วิธีการทำงานของเครื่องวัดความไม่สมดุลพัดลมระบายความร้อนเก้าอี้รถยนต์

1) ปรับระดับเครื่องวัดความไม่สมดุลพัดลมระบายความร้อนเก้าอี้รถยนต์ที่ขาปรับระดับโดยใช้ระดับน้ำเพื่อให้ส่งผลต่อความไม่สมดุล

2) เมื่อใช้งานอุปกรณ์โดยการเปิดอุปกรณ์จ่ายไฟ (Power Supply) จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงไปยังสเตเตอร์ผ่านแจ๊คปลั๊กกล้วย (Banana Jack) ซึ่งความเร็วรอบพัดลมที่ขับเคลื่อนโดยสเตเตอร์แปรผันตรงกับความต่างศักย์เป็นไปดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่ากราฟจะมีลักษณะเป็นเชิงเส้นระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ปรับจากแหล่งจ่ายไฟกับความเร็วรอบ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.11

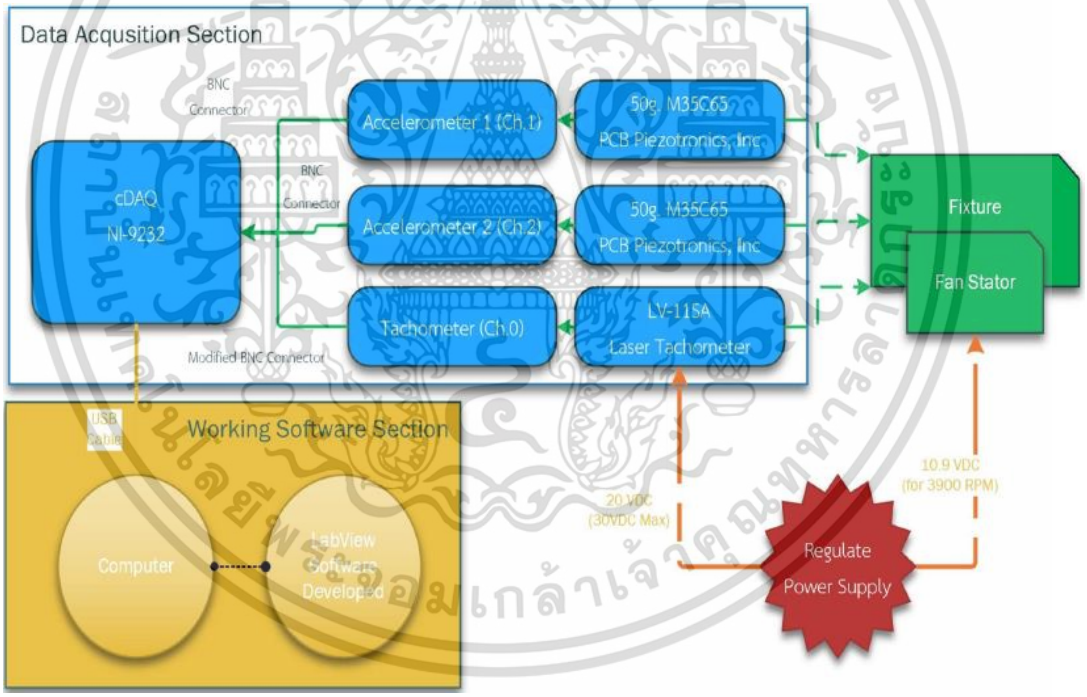
$$n = 275.42V + 898.71 \quad (3.4)$$

โดยที่ V คือ แรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายไฟ โวลต์ (Volts)

n คือ ความเร็วรอบ รอบต่อนาที (RPM)

3) เซ็นเซอร์วัดความเร่ง (Accelerometer Sensor) ทั้ง 2 ตัววัดความเร่งจากพัดลมและส่งค่าไปยังอุปกรณ์วิเคราะห์ข้อมูล National Instruments Data Acquisition Device Vibration Moduleโดยการเชื่อต่อด้วยขั้วต่อบีเอ็นซี (BNC Connector) เป็นขั้วต่อสัญญาณความถี่วิทยุ (RF) แบบหนึ่ง ใช้สำหรับเชื่อมต่อสายเคเบิลแบบโคแอกเชียล

4) เซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบ (Tachometer Sensor) วัดความเร็วรอบโดยส่งค่าไปยังอุปกรณ์วิเคราะห์ข้อมูล National Instruments Data Acquisition โดยการเชื่อมต่อแบบวงจร NPN

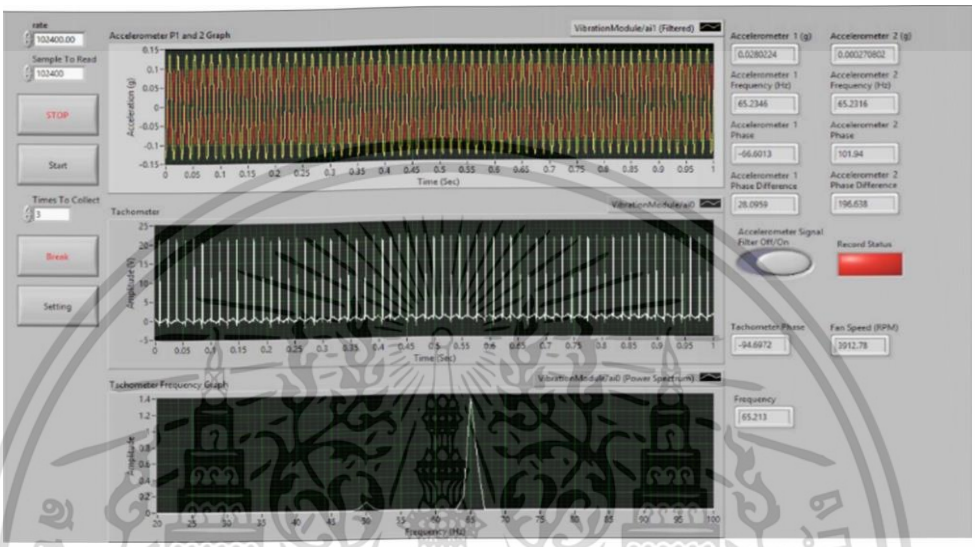


รูปที่ 3.12 แสดงภาพรวมการทำงานของเครื่องวัดความไม่สมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบการทำงานของซอฟท์แวร์ใช้งาน

ผู้ทดลองได้ออกแบบและเขียนโค้ดของโปรแกรมในการใช้งานของอุปกรณ์เอง โดยใช้ซอฟท์แวร์ LabVIEW ในการสร้างระบบการทำงานของอุปกรณ์ สามารถอธิบายได้ออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่ ภาพรวมการทำงานของโปรแกรม, โปรแกรมอ่านค่า, โปรแกรมการตั้งค่า, โปรแกรมบันทึกค่า และส่วนการควบคุมความเร็วรอบ



รูปที่ 3.13 หน้าต่างโปรแกรมหลัก

3.5.1 ภาพรวมการทำงานของโปรแกรม

ในส่วนนี้กล่าวถึงภาพรรวมทั้งหมดของโปรแกรมทั้งหมด โดยมีทั้งโปรแกรมอ่านค่าโปรแกรมตั้งค่า และ โปรแกรมบันทึกค่า บรรจุอยู่ภายใน แบ่งลำดับการทำงานออกเป็นสองลำดับด้วยการเขียนโครงสร้างแบบลำดับ (Sequent Structure) โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน อธิบายลำดับการทำงานได้ดังนี้

ลำดับการทำงานที่ 1

- เริ่มต้นโปรแกรมหลัก
- อ่านค่า Setting File ที่มีชื่อว่า “Binary Sensor Setting” ซึ่งถูกสร้างไว้ภายในโปรแกรม
- เก็บค่าที่อ่านได้จาก Setting File เก็บไว้ในตัวแปรแบบ Global และ Local Variable ตามลำดับ

ลำดับการทำงานที่ 2

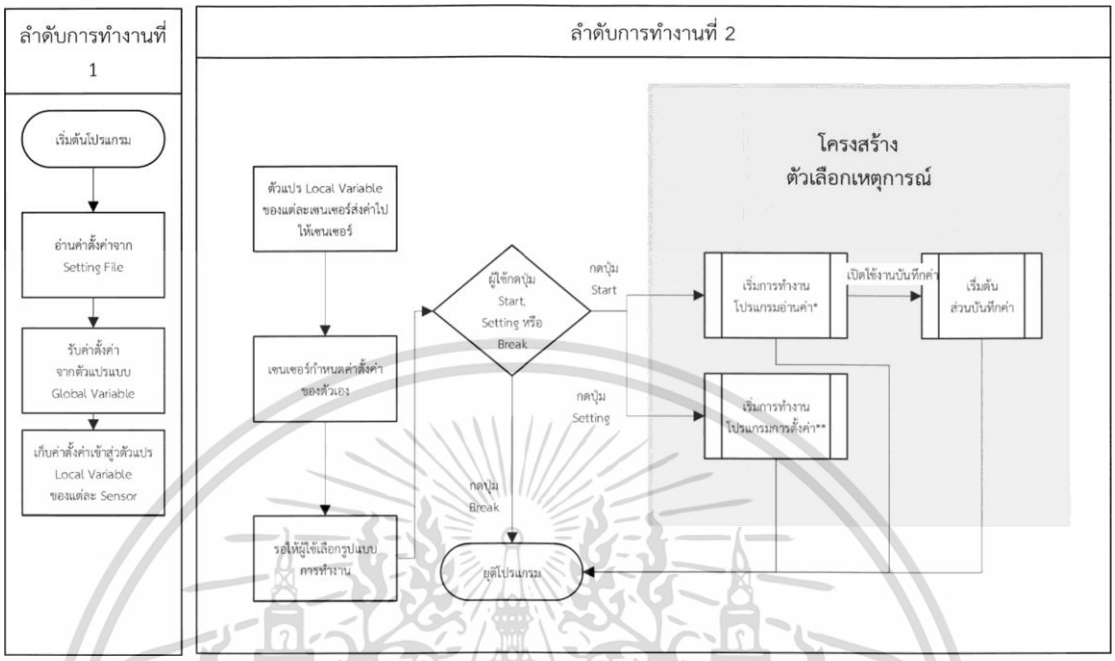
- ตัวแปร Local Variable ส่งค่าที่ตั้งไว้เข้าสู่เซ็นเซอร์แต่ละตัว เพราะเตรียมพร้อมทำงาน
- โปรแกรมรอให้ผู้ใช้กดปุ่ม เพื่อเลือกสิ่งที่จะทำงานต่อไปโดยใช้โครงสร้างแบบ Event Structure แบ่งออกเป็น 3 เหตุการณ์ได้แก่

1. กดปุ่ม Start : โปรแกรมจะเริ่มการทำงานในส่วน โปรแกรมอ่านค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กดปุ่ม Setting : โปรแกรมจะเริ่มทำงานในส่วน Setting

3. กดปุ่ม Break : โปรแกรมจะยุติการทำงานทั้งหมด



รูปที่ 3.14 แผนผัง (Flow Chart) ภาพรวมการทำงานของโปรแกรมหลัก

3.5.2 โมดูลตั้งค่า

ในส่วนโปรแกรมการตั้งค่ามีไว้เพื่อความสะดวกแก่ผู้ใช้ในการเปลี่ยนแปลงค่าตั้งค่าต่างๆ อธิบายลำดับการ ทำงานได้ดังนี้

- ผู้ใช้กดปุ่ม “Setting” จากหน้าโปรแกรมหลัก
- หน้าต่างโปรแกรมการตั้งค่าลูกเปิดขึ้น
- ระบบอ่านค่าจาก Setting File ที่มีอยู่เดิม เพื่อป้อนค่า Default ให้กับหน้าต่างของโมดูล เพื่อโมดูลจะได้ไม่ต้องเริ่มต้นที่ค่า 0 ในทุกๆครั้ง
- ผู้ใช้งานกรอกค่าตั้งค่าที่ต้องการตามต้องการ
- หากกดปุ่ม “Accept” โปรแกรมจะสร้าง Setting File ใหม่แทนไฟล์เดิม ค่าที่กำหนดขึ้นมาใหม่จะถูกเก็บไว้ในรูปแบบของตัวแปร Global Variable
- จากนั้นหน้าต่างโปรแกรมการตั้งค่าจะลูกปิดและกลับออกมาที่หน้าโปรแกรมหลักหากกดปุ่ม “Cancel” ส่วนโปรแกรมการตั้งค่าจะลูกปิดและไม่มีการบันทึกค่าใหม่ใดๆ
- ผู้ใช้กดปุ่ม “Setting” จากหน้าโปรแกรมหลัก
- หน้าต่างโปรแกรมการตั้งค่าถูกเปิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบบอ่านค่าจาก Setting File ที่มีอยู่เดิม เพื่อป้อนค่า Default ให้กับหน้าต่างของโมดูล เพื่อโมดูลจะได้ไม่ต้องเริ่มต้นที่ค่า 0 ในทุกๆครั้ง

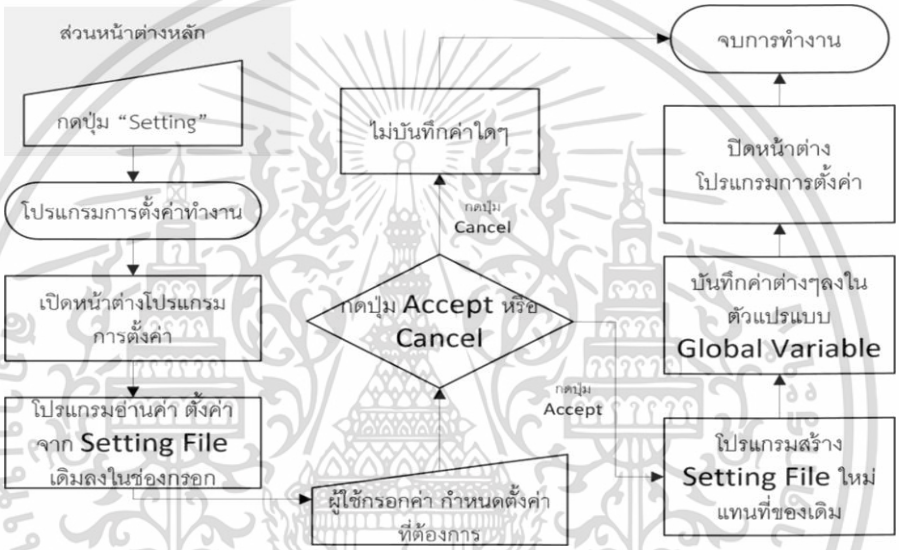
- ผู้ใช้งานกรอกคา ตั้งค่าที่ต้องการตามต้องการ

- หากกดปุ่ม “Accept” โปรแกรมจะสร้าง Setting File ใหม่แทนไฟล์เดิม ค่าที่กำหนดขึ้นมา

ใหม่จะถูกเก็บไว้ในรูปแบบของตัวแปร Global Variable

- จากนั้นหน้าต่างโปรแรกมการตั้งค่าจะถูกปิดและกลับออกมาที่หน้าโปรแกรมหลัก

- หากกดปุ่ม “Cancel” ส่วนโปรแกรมการตั้งค่าจะถูกปิดและไม่มีการบันทึกค่าใหม่ใดๆ



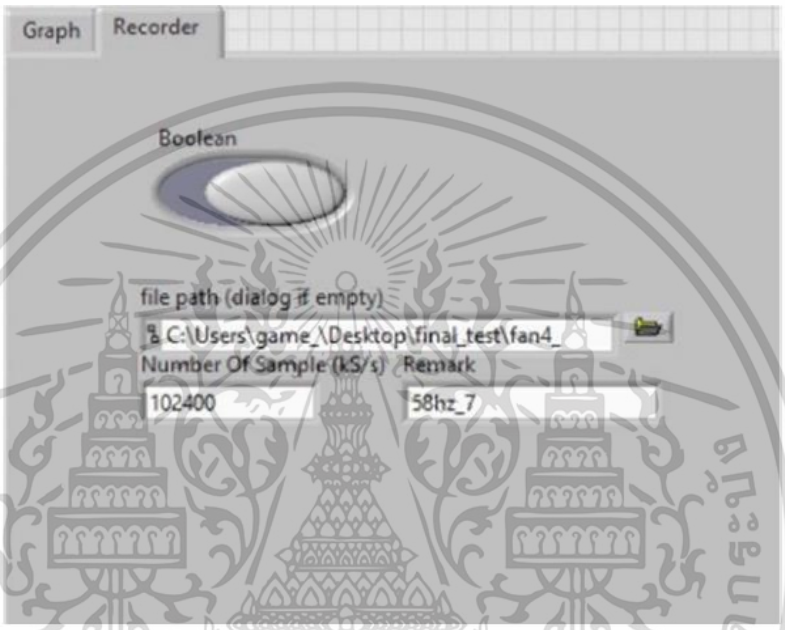
รูปที่ 3.15 แผนผัง (Flow Chart) การทำงานของโมดูลการตั้งค่า

รูปที่ 3.16 หน้าต่างโมดูลการตั้งค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 โมดูลบันทึกค่า

ส่วนของโมดูลบันทึกค่าคือส่วนที่ใช้ในการเก็บค่าข้อมูลจากการวัด โดยอธิบายได้ว่า 1 รอบของการวัดจะได้ค่าเท่ากับจำนวนของ Sample to Read ตัวอย่างเช่น หากทำการตั้งค่า Sample to Read ไว้เท่ากับ 102,400 ในการวัดหนึ่งรอบก็จะได้ค่าที่อ่านทั้งหมด 102,400 ค่าเช่นเดียวกันโดยจะเก็บค่าที่ได้ในรูปแบบของไฟล์นามสกุล .tdm ซึ่งเป็นไฟล์จากการบันทึกของโปรแกรม LabVIEW ซึ่งสามารถเปิดใช้งานได้ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel เช่นเดียวกัน

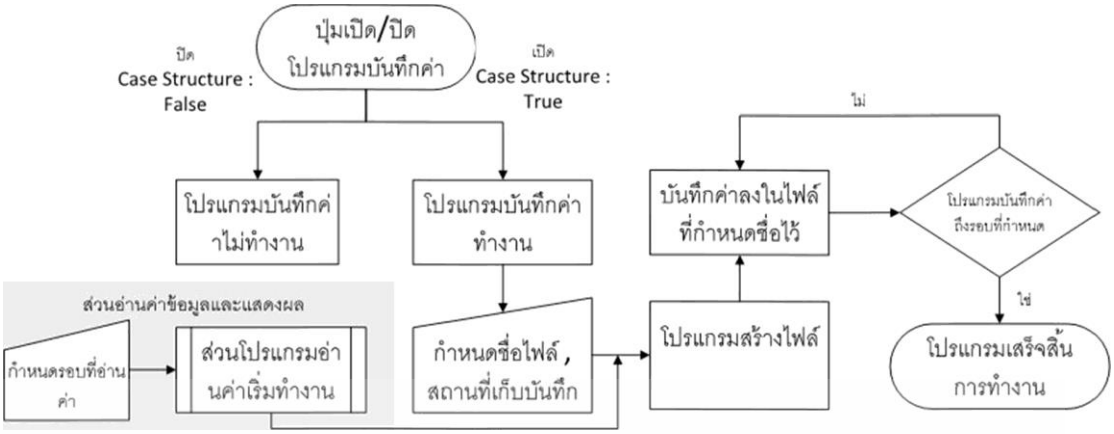


รูปที่ 3.17 หน้าต่างโปรแกรมบันทึกค่า

อธิบายลำดับการทำงานของโปรแกรมได้ดังนี้

- เมื่อโปรแกรมอ่านค่าทำการอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ จะส่งผ่านค่าที่ได้มายังโปรแกรมบันทึกค่า
- ก่อนเริ่มต้นมีการกำหนดชื่อไฟล์ และจำนวนรอบของการวัดไว้ก่อน
- โปรแกรมบันทึกค่า รับค่าที่ได้รับมาในแต่ละรอบจนถึงรอบที่กำหนด
- นำค่าทั้งหมดที่รับได้ เขียนลงไฟล์ .tdm
- ไฟสัญญาณสีแดงที่หน้าโปรแกรมหลัก เปลี่ยนเป็นสีเขียว หมายถึงเสร็จสิ้นกระบวนการบันทึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 แผนผัง (Flow Chart) การทำงานของโมดูลบันทึกค่า

3.5.4 โมดูลอ่านค่า

ส่วนโมดูลทำงานคือส่วนที่มีหน้าที่ในการรับค่าจากเซ็นเซอร์ ทั้งจาก 3 เซ็นเซอร์ เป็นส่วนที่จะคำนวณและแสดงผลของค่าที่อ่านได้ ทั้งค่าข้อมูลดิบจากเซ็นเซอร์วัดความเร่งและเซ็นเซอร์วัดความเร็วข้อมูลที่คำนวณ ความถี่ หรือ เฟส เป็นต้น อีกทั้งมีหน้าที่ส่งต่อข้อมูลที่อ่านได้ไปยังส่วนโปรแกรมบันทึกค่าโดยผู้ใช้สามารถกำหนดรอบในการอ่านค่าได้ว่า ให้อ่านค่า ทั้งหมดกี่รอบของ Sample to Read อีกทั้งยังสามารถกำหนดจำนวนของอัตราการสุ่มสัญญาณ (Sample Rate) และจำนวนของ Sample to Read ได้ว่ามีจำนวนเท่าไรใน 1 รอบ อธิบายลำดับการทำงานของโปรแกรมได้ดังนี้

- เมื่อโมดูลอ่านค่าเริ่มทำงานจะรับค่าจากเซ็นเซอร์ทั้ง 3ได้แก่ เซ็นเซอร์วัดความเร่ง 1 (Ch.l), เซ็นเซอร์วัดความเร่ง 2 (Ch.2) และ เซ็นเซอร์วัดความเร็ว (Ch.o)

- สัญญาณทั้ง 3 จะถูกแยกออกไปโดยที่ สัญญาณจากเซ็นเซอร์วัดความเร่งจะนำไปผ่านตัวกรองสัญญาณ

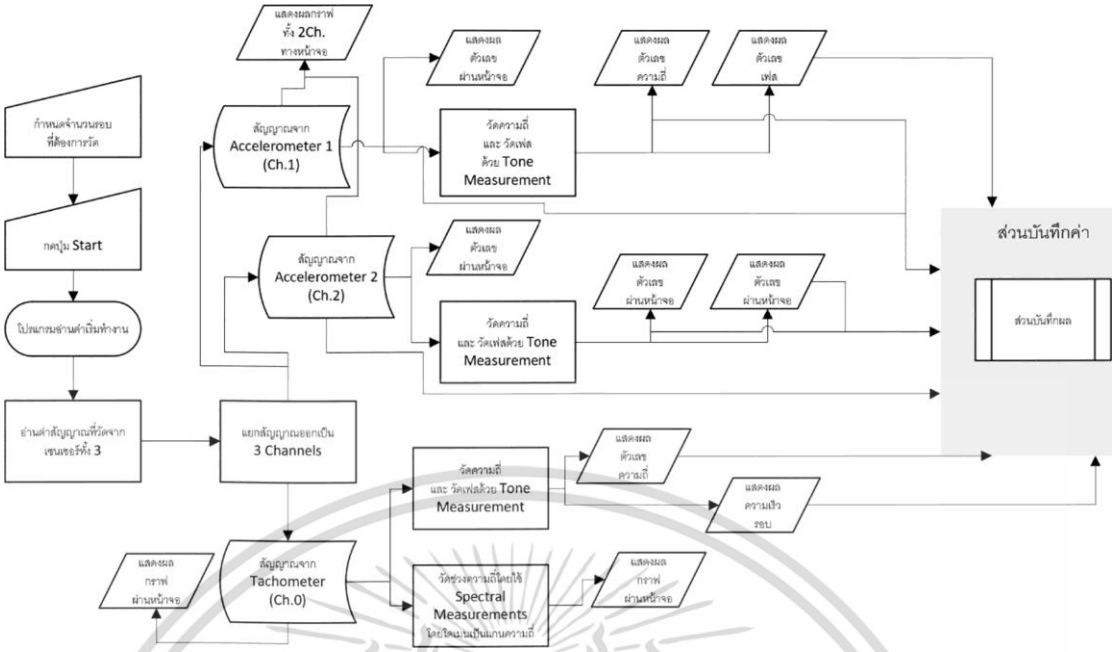
- สัญญาณดิบจากทั้ง 3 จะถูกแยกออกไปแสดงผลเป็นค่าตัวเลข และกราฟเพื่อแสดงบนหน้าจอ

- สัญญาณทั้ง 3 ใช้ Tone Measurements ในการวัดค่าความถี่ และ วัดเฟส จากนั้นแสดงผลตัวเลขผ่านหน้าจอ

- ค่าความถี่จากเซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบ จากหน่วย เฮิร์ทซ์ (Hz) ให้อยู่ในหน่วยความเร็วรอบต่อนาที (RPM)

- จากนั้นสัญญาณทั้งหมดถูกส่งต่อให้กับส่วนโปรแกรมบันทึกค่าเพื่อเก็บค่าลงไฟล์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



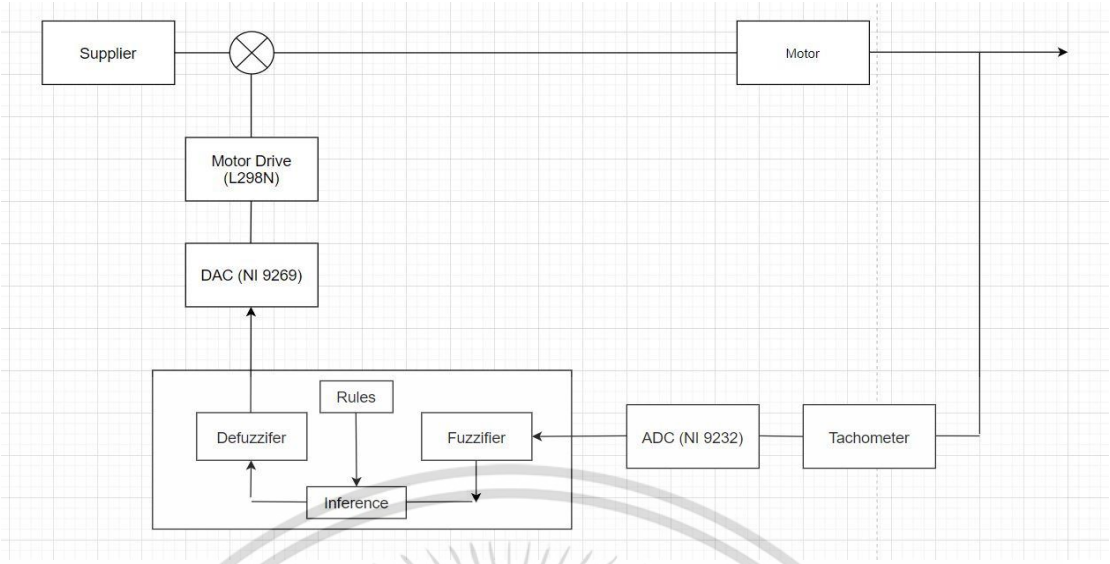
รูปที่ 3.19 แผนผัง (Flow Chart) การทำงานของโมดูลอ่านค่า

3.5.5 ส่วนการควบคุมความเร็วรอบ

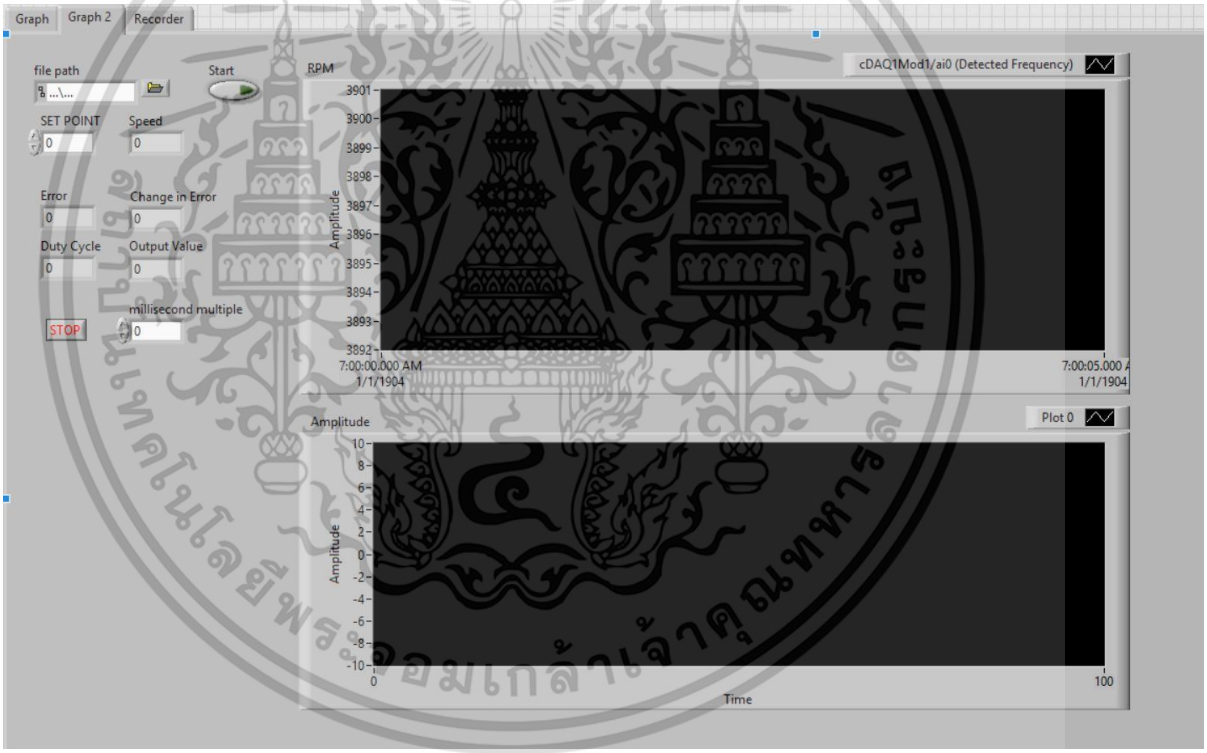
ส่วนการควบคุมความเร็วรอบเป็นส่วนที่ใช้ควบคุมรอบการหมุนของสเตเตอร์ให้คงที่ โดยใช้การจ่ายไฟแบบ PWM จากอุปกรณ์วิเคราะห์ข้อมูลไปยังโมดูลขับเตอร์ แล้วจึงมีการปรับแรงดันไฟที่ออกจากโมดูลด้วยโปรแกรมแลปวิวออกไปยังสเตเตอร์ ร่วมด้วยการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิคเพื่อให้รอบการหมุนคงที่ โดยผู้ใช้จะสามารถกำหนดรอบการหมุนของสเตเตอร์ได้ผ่านหน้าจอการใช้งาน อธิบายลำดับการทำงานได้ดังนี้

- ส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าไปยังสเตเตอร์
- เมื่อสเตเตอร์หมุน tachometer ทำการวัดรอบ
- โปรแกรม feedback เอ้าพุตกลับไปเพื่อทำการคำนวณ
- โปรแกรมทำการเปรียบเทียบเอ้าพุตกับอินพุตเพื่อคำนวณหา error
- มีการปรับอินพุตของระบบจนกว่าค่า error จะเป็น 0
- ได้รอบการหมุนของสเตเตอร์ที่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 บล็อกไดอะแกรม (BlockDiagram) ของส่วนการควบคุมความเร็วรอบ



รูปที่ 3.21 หน้าต่างส่วนโปรแกรมควบคุมรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อธิบายการใช้งานของโปรแกรมได้ดังนี้

- ณ หัวข้อ file path สามารถเลือกใช้ไฟล์ฟัซซี่จากเครื่องคอมพิวเตอร์
- กดปุ่ม start เพื่อสั่งการจ่ายไฟไปยังสเตเตอร์ พัดลมเริ่มหมุน
- เลือก set point ที่ต้องการให้พัดลมหมุน ณ ความเร็วรอบนั้น
- สามารถดูความเร็วรอบได้ ณ หัวข้อ speed และจากกราฟ RPM
- กราฟ amplitude แสดงแอมพลิจูดของ tachometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
วิธีการทดลองและผลลัพธ์

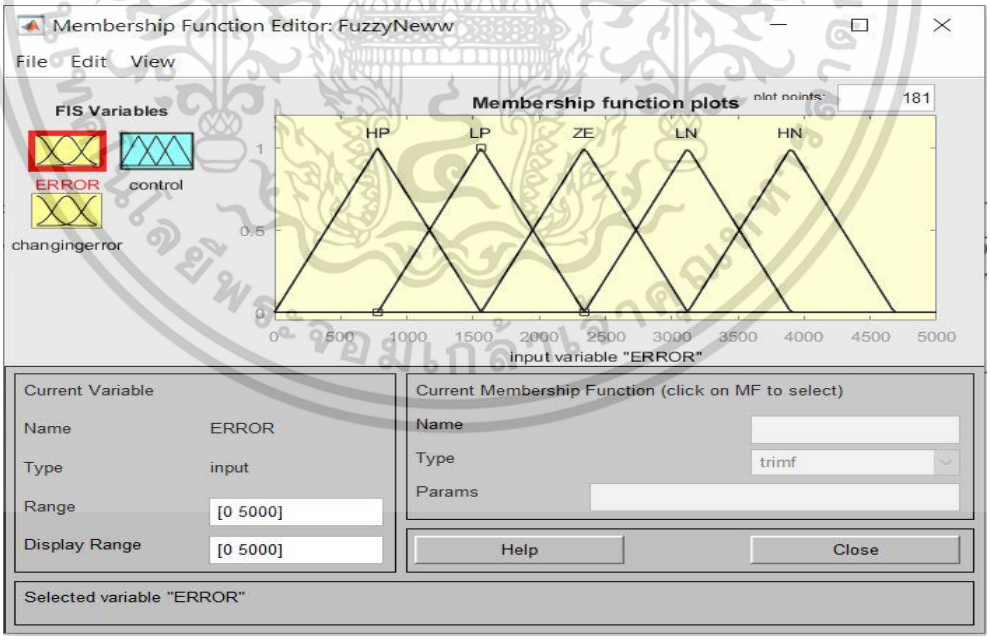
4.1 บทนำ

ในบทนี้จะอธิบายวิธีการทดลองของเครื่องวัดความไม่สมดุลพัดลมระบายความร้อนส่วนอุปกรณ์จะวิเคราะห์ระบบการวัดตามคุณสมบัติคือ เสถียรภาพ และ เที่ยงตรง เพื่อจะส่งข้อมูลให้โปรแกรมคำนวณได้อย่างถูกต้อง และอธิบายวิธีออกแบบ Fuzzy logic ผ่านการวิเคราะห์จาก Simulink ของโปรแกรม MATLAB เพื่อนำมาเป็นตรรกะความคุมในระบบจริง

4.2 การออกแบบและจำลองผลของระบบควบคุม

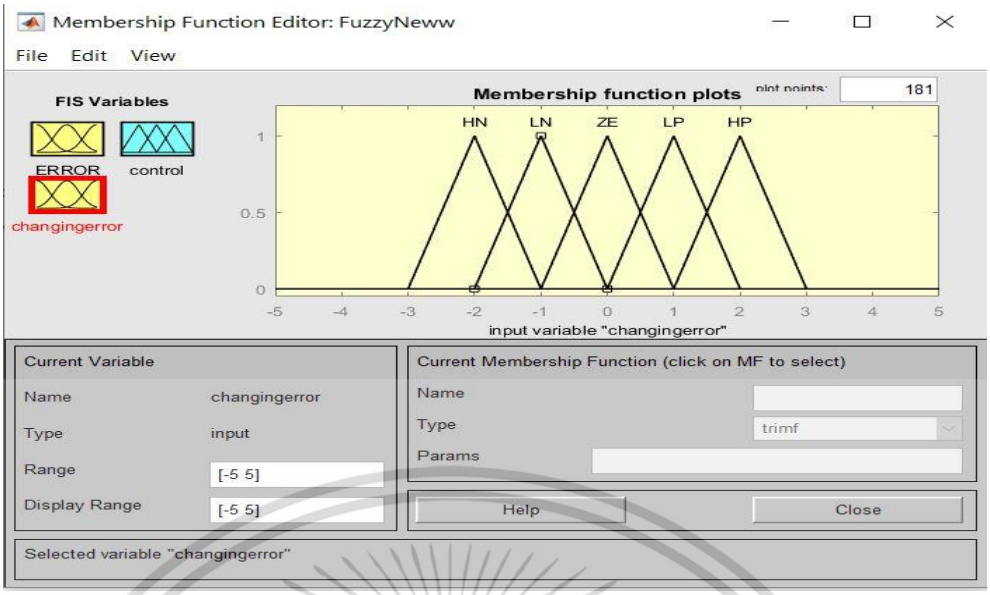
4.2.1 การออกแบบระบบควบคุมความเร็ว

เริ่มต้นด้วยออกแบบ Fuzzy logic โดย Toolbox ในโปรแกรม MATLAB โดยจะได้ออกมาเป็นไฟล์ FIS ในการออกแบบต้องมีการกำหนด Membership Function ของอินพุตและเอาต์พุต หลังจากนั้นจะมีการสร้าง Rule base ขึ้นเพื่อกำหนดผลลัพธ์ของโลจิคการทำงาน ซึ่งจะถูกควบคุมโดย Error (E1) , Change in Error (A2) และ Output เรียกว่า Multi-input Single-output

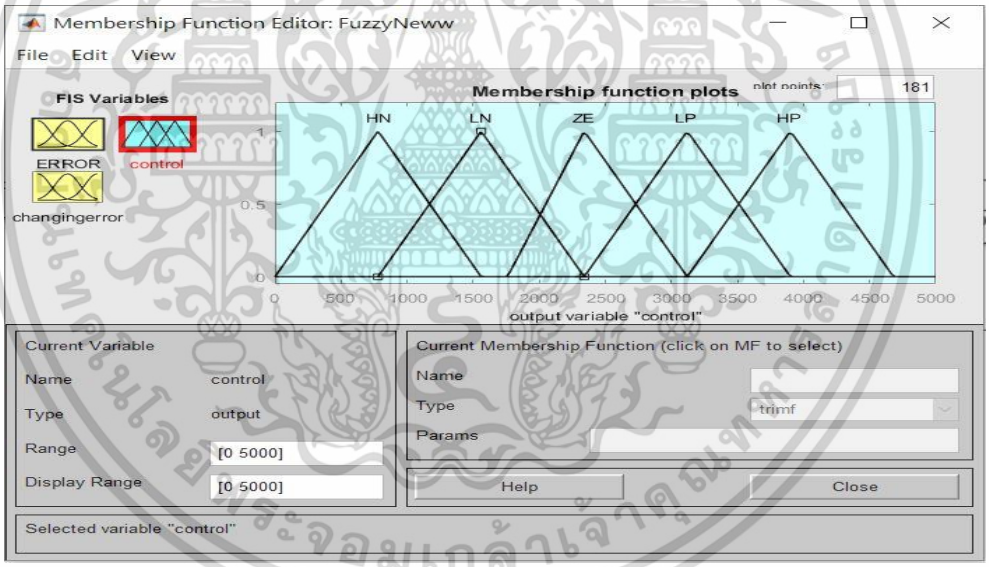


รูปที่ 4.1 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุตค่าสัญญาณความผิดพลาด ERROR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุตอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณความผิดพลาด Chang in Error



รูปที่ 4.3 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอ้าต์พุต

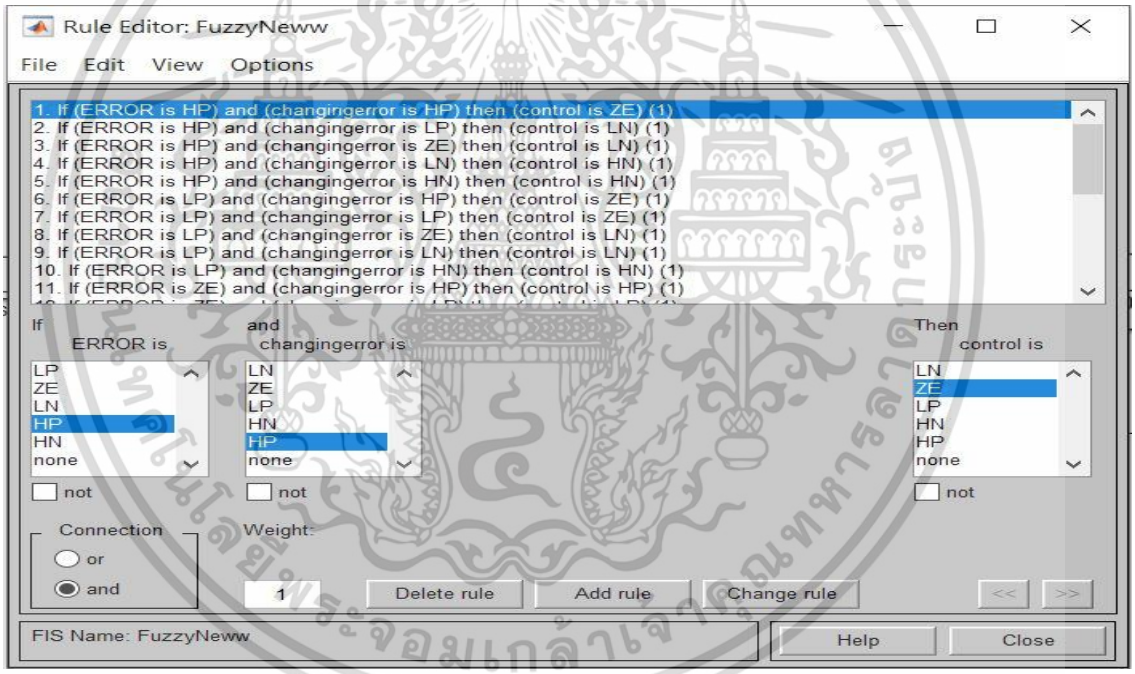
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การกำหนด Rule ของ Fuzzy logic

ในรูปที่ 4.4 คือการกำหนดกฎของฟัซซี โดยการวางเงื่อนไขตามตาราง 4.1 เพื่อจับคู่ 2 input กับ 1 output ทั้งหมด 25 เงื่อนไขที่เป็นไปได้

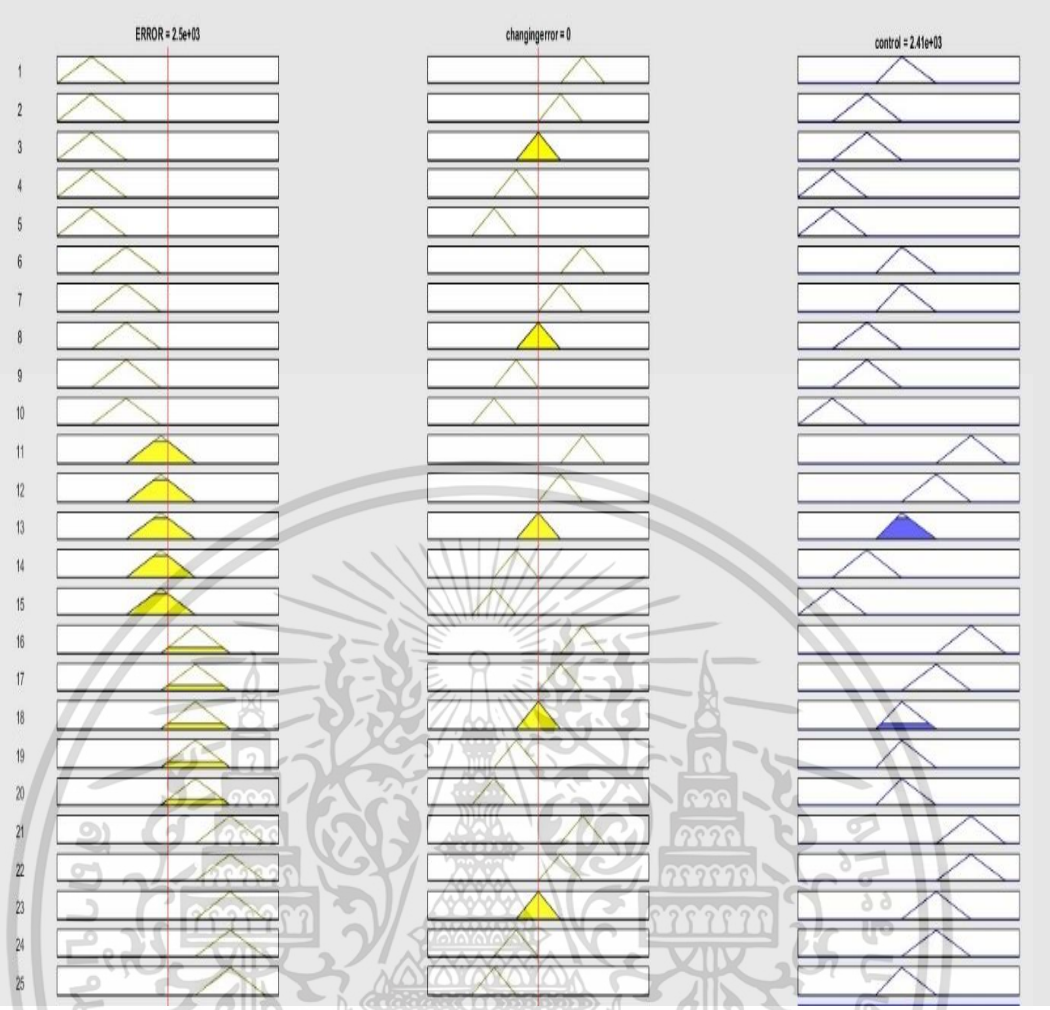
E/CE	HN	LN	ZE	LP	HP
HP	ZE	LP	HP	HP	HP
LP	LN	ZE	LP	HP	HP
ZE	HN	LN	ZE	LP	HP
LN	HN	HN	LN	ZE	LP
HN	HN	HN	HN	LN	ZE

ตารางที่ 4.1 แสดงกฎการควบคุม



รูปที่ 4.4 หน้าต่างการออกแบบกฎการควบคุม

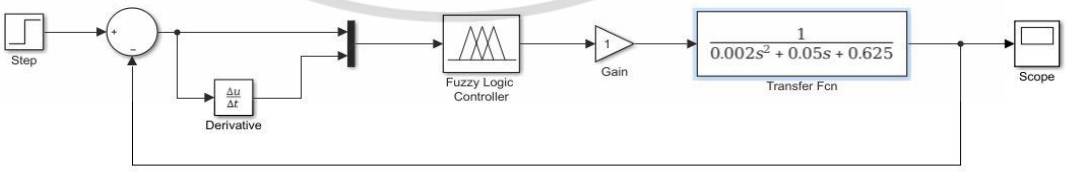
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 วิเคราะห์ผลลัพธ์อินพุตและเอ้าต์พุต

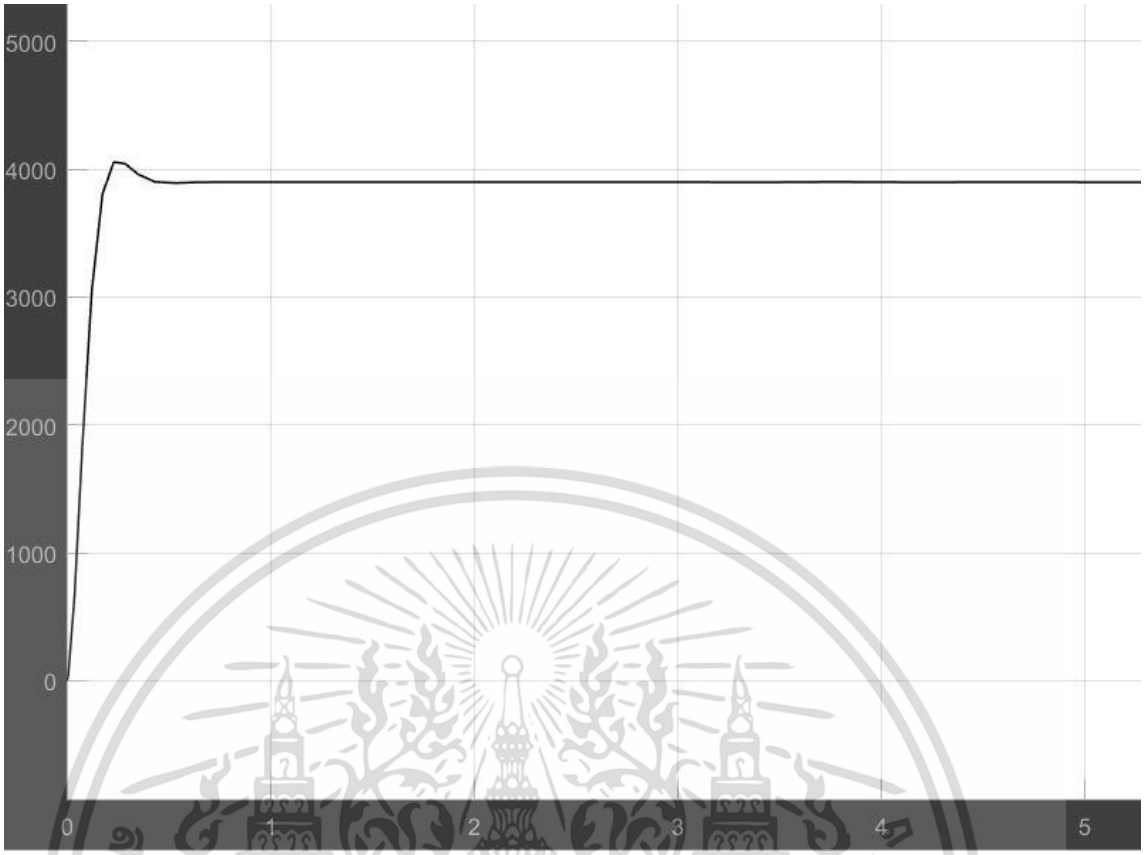
4.2.3 โปรแกรม MATLAB/Simulink และผลลัพธ์

แสดงผลลัพธ์ของระบบที่จำลอง ในกระบวนการนี้ Transfer function ของมอเตอร์กระแสตรงจะถูกนำมาใช้เพื่อหาการตอบสนองของระบบที่ถูกกระตุ้นด้วย Step function



รูปที่ 4.6 การจำลองระบบควบคุมจากโปรแกรม Simulink

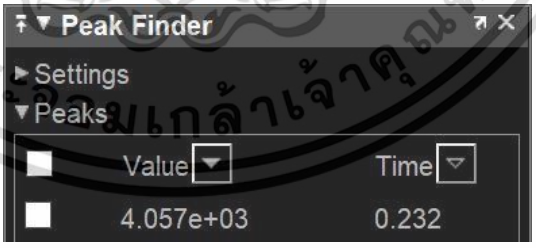
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟการตอบสนองจากโปรแกรม Simulink

จากรูปที่ 4.7 แสดงผลลัพธ์ของการตอบสนองของระบบควบคุม โดย แกน y คือความเร็วรอบมีหน่วยเป็นรอบต่อนาที และแกน x คือเวลามีหน่วยเป็นวินาที

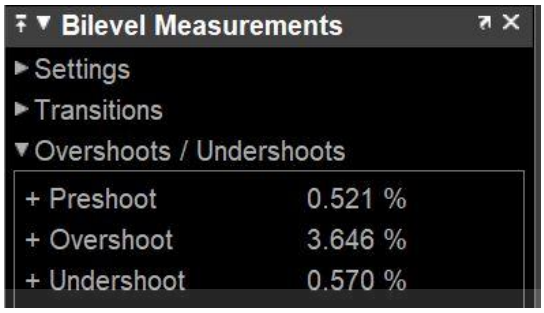
- Output responses ของตัวควบคุม



รูปที่ 4.8 Peak time ของระบบ

ใช้คำสั่ง Peak Finder ทำให้ทราบค่า Peak time ของระบบที่ 0.232 วินาที ณ ความเร็วรอบ 4057 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

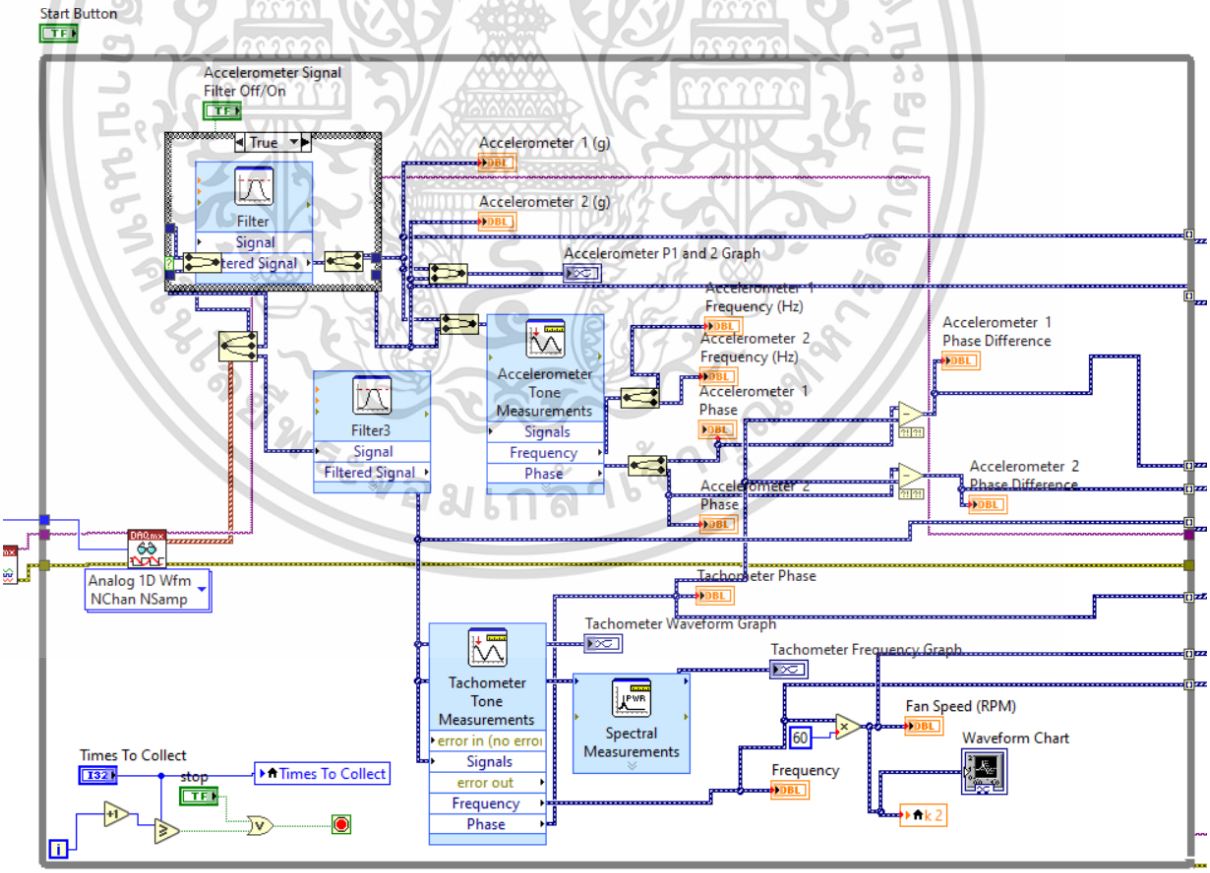


รูปที่ 4.9 Overshoot ของระบบ

ใช้คำสั่ง Bilevel Measurements ทำให้ทราบค่า Preshoot, Overshoot, และ Undershoot ของระบบโดย Overshoot มีค่า 3.646 เปอร์เซ็นต์ จากสถานะคงตัวของระบบ

4.3 การวาง Control logic ในโปรแกรม LabVIEW

4.3.1 การวัดความเร็ว



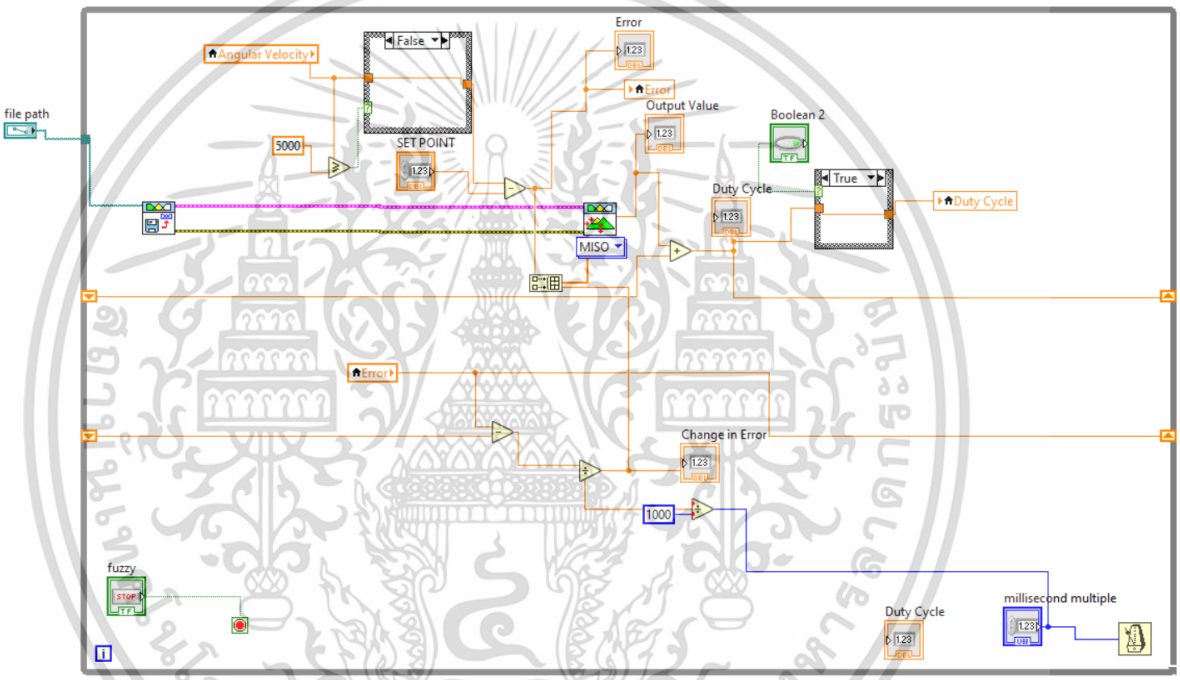
รูปที่ 4.10 while loop เพื่อใช้ในการวัดความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.8 คือ while loop เพื่อใช้ในการวัดความเร็ว การเก็บความเร็วด้วย Tachometer ใช้การนับสัญญาณที่ถูกกรองด้วยคำสั่ง Filter Brand Pass 10-80 Hz เพื่อลด Noise ที่ทำให้การนับความเร็วผิดเพี้ยนและนับความถี่ของสัญญาณไฟ 20V ด้วยคำสั่ง Tachometer Tone Measurement เพื่อนำมาคำวัดความเร็ว โดยค่าความเร็วจะถูกเก็บไว้ในตัวแปร k2 ของคำสั่ง Local variable ค่าความเร็วนี้จะถูกนำมาใช้ในการสร้างสัญญาณควบคุมต่อไป

4.3.2 การวิเคราะห์สัญญาณควบคุม

- คำณวณค่า Error



รูปที่ 4.11 While loop เพื่อการคำณวณค่า Duty cycle ในการ Feedback

นำค่าความเร็วที่ได้มาจะได้

$$Error = \omega - Setpoint$$

Error คือ ค่าความผิดพลาดระหว่างความเร็วในปัจจุบันกับ Setpoint

ω คือ ความเร็วปัจจุบัน (RPM)

Setpoint คือ ปริมาณค่าที่ต้องการควบคุม (ต้องการรอบ 3900 RPM setpoint = 3900)

- คำณวณค่า Change in Error

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

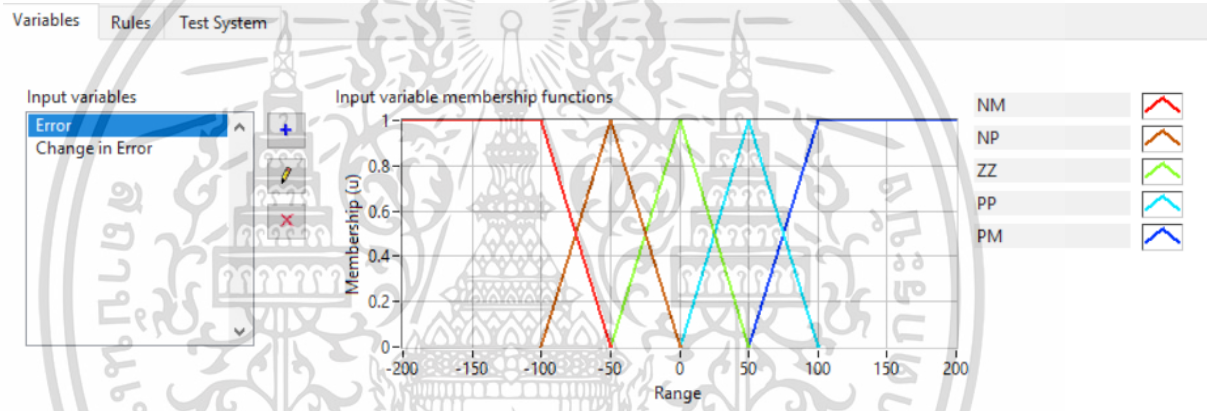
$$Change\ in\ Error = \frac{Error(while\ loop\ n) - Error(while\ loop\ (n-1))}{millisecond\ multiplex 1000}$$

Change in Error = อัตราการเปลี่ยนแปลง Error ต่อวินาที (RPM/s)

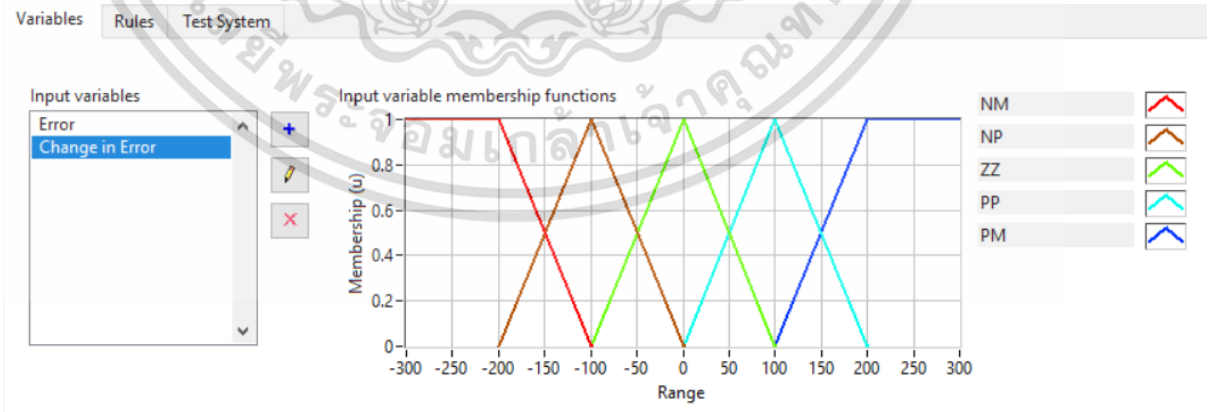
ผ่านคำสั่ง Shift register นำ Error ใน While loop ปัจจุบัน (n) ลบด้วย Error ใน While loop (n-1) หารด้วยเวลาที่ใช้ในต่อ 1 While loop

4.3.3 การออกแบบ Fuzzy logic control

การออกแบบจะนำค่า input Error และ Change in error มาผ่าน Rule ออกมาเป็น Output เพื่อส่งกลับไปควบคุมตัวระบบ

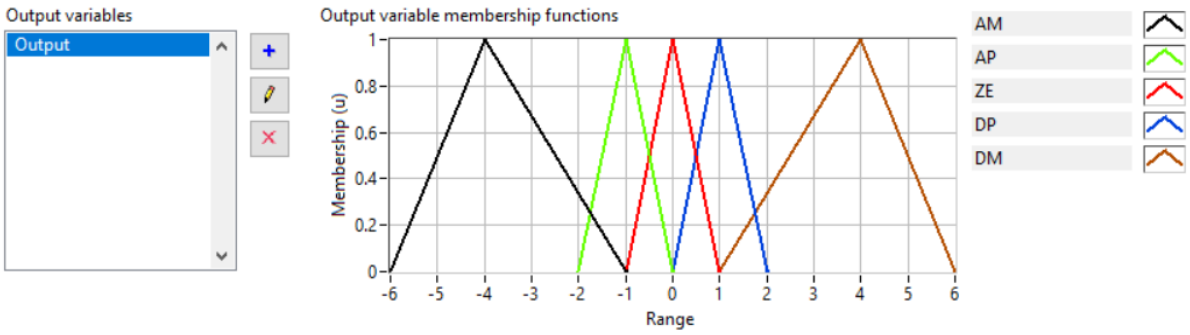


รูปที่ 4.12 Fuzzy logic ในการคำนวณ Input (1)



รูปที่ 4.13 Fuzzy logic ในการคำนวณ Input (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

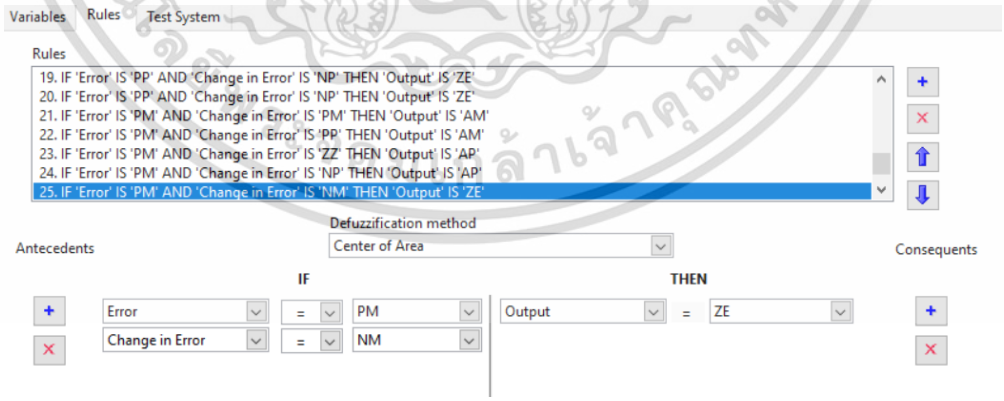


รูปที่ 4.14 Fuzzy logic ในการคำนวณ Output

E/EC	PM	PP	ZZ	NP	NM
NM	ZE	DP	DP	DM	DM
NP	AP	ZE	DP	DP	DM
ZZ	AP	AP	ZE	DP	DP
PP	AM	AP	ZE	ZE	DP
PM	AM	AM	AP	AP	ZE

ตารางที่ 4.2 ตารางกำหนดความสัมพันธ์ Input (1,2) และ Output

จากตารางที่ 4.2 คือตารางที่กำหนดความสัมพันธ์แบบ Multi input single output ใช้ Rule ในตารางเพื่อกำหนดความสัมพันธ์ ตามรูป 4.15 และ Defuzzification ด้วยวิธี Centroid อ้างอิงจากรูปที่ 4.16

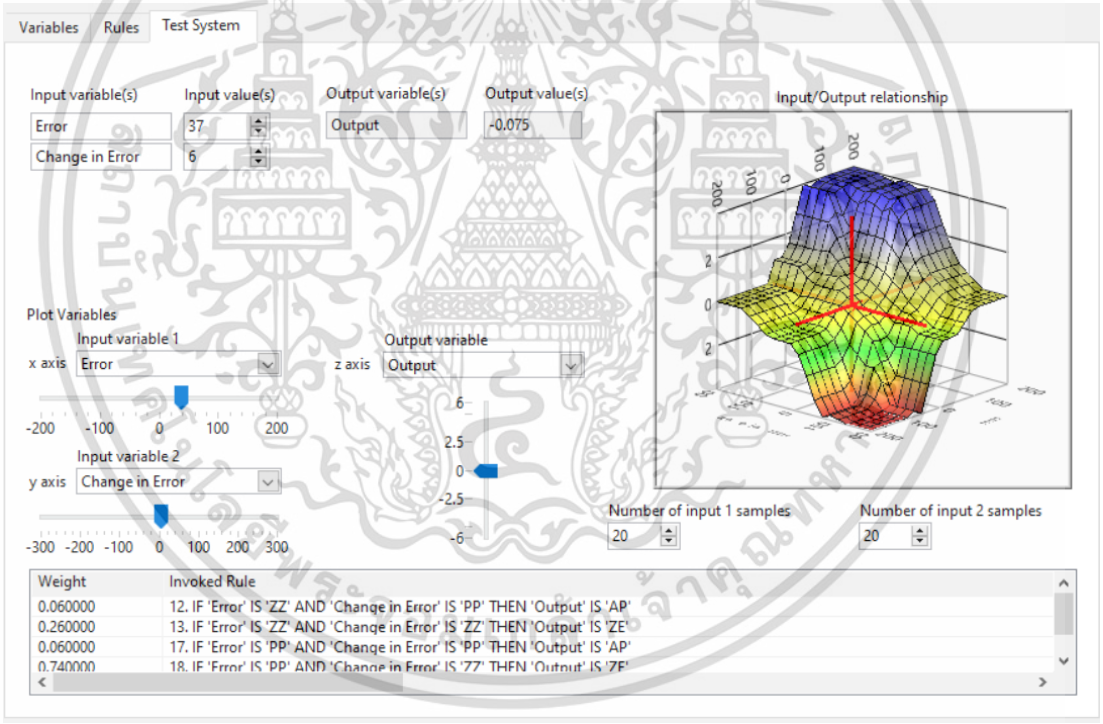


รูปที่ 4.15 หน้าต่างการออกแบบกฎควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Assessment Criteria	Method			
	Center of Area (CoA) and Modified Center of Area (mCoA)	Center of Sums (CoS)	Center of Maximum (CoM)	Mean of Maximum (MoM)
Linguistic Characteristic	Best Compromise	Best Compromise	Best Compromise	Most Plausible Result
Fit with Intuition	Implausible with varying membership function shapes and strong overlapping membership functions	Implausible with varying membership function shapes and strong overlapping membership functions	Good	Good
Continuity	Yes	Yes	Yes	No
Computational Effort	Very High	Medium	Low	Very Low
Application Field	Closed-Loop Control, Decision Support, Data Analysis	Closed-Loop Control, Decision Support, Data Analysis	Closed-Loop Control, Decision Support, Data Analysis	Pattern Recognition, Decision Support, Data Analysis

รูปที่ 4.16 อ้างอิงจาก National Instrument ด้วยวิธีการ Defuzzification แบบ Centroid



รูปที่ 4.17 จำลองความสัมพันธ์ของ Input และ Output

จากรูปที่ 4.17 เพื่อทดสอบ Input และ Output ของ Fuzzy logic ที่สร้างขึ้น แสดงออกมาเป็น กราฟ Contour ของ Input error และ Change in error

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 การคำณวณเพื่อหาค่า Duty cycle

จากการออกแบบ Logic ในรูปที่ 4.9 ด้วยคำสั่ง Shift register ผลลัพธ์ของค่า duty cycle ถูกคำณวณในรูปสมการ

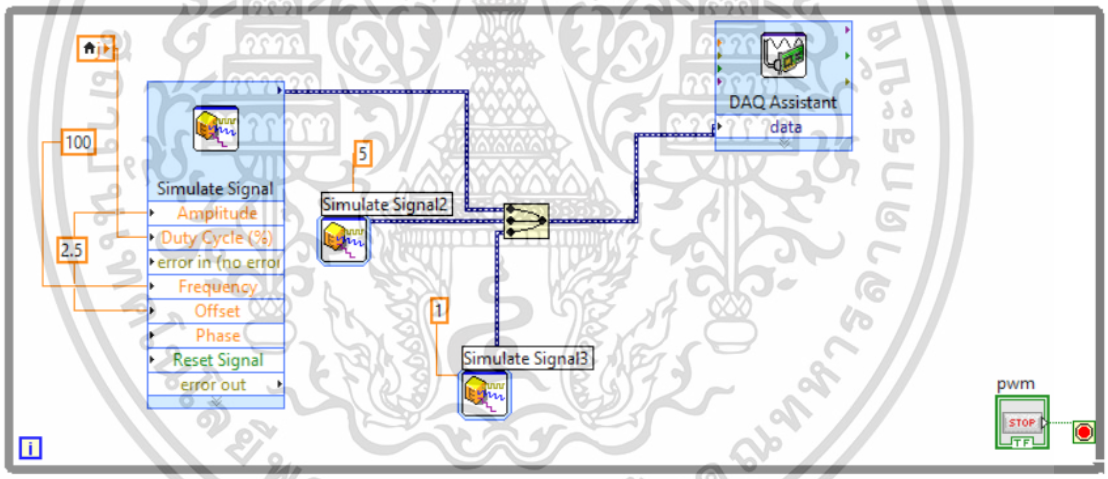
$$F(x) = x_N + x_{N-1} + x_{N-2} \ldots.$$

$$F(x) = \ duty\ cycle\ (\%) \tag{2.22}$$

$x_N =$ ค่า $output$ ที่ $fuzzy\ logic$ คำนวณออกมาใน $while\ loop$ นั้น

$N =$ จำนวน $while\ loop$ ที่ทำงานทั้งหมด

เมื่อได้ค่า Duty cycle แล้วจะทำการสั่งให้ While loop สำหรับป้อนสัญญาณควบคุม ในรูปที่ 4.16 เพื่อแก้ไขความเร็วของมอเตอร์ หลังจากนั้น ความเร็วของมอเตอร์จะถูก วัดอีกครั้งโดย Tachometer เพื่อใช้ในการแก้ไขความเร็วใน While loop หน้าต่อไป



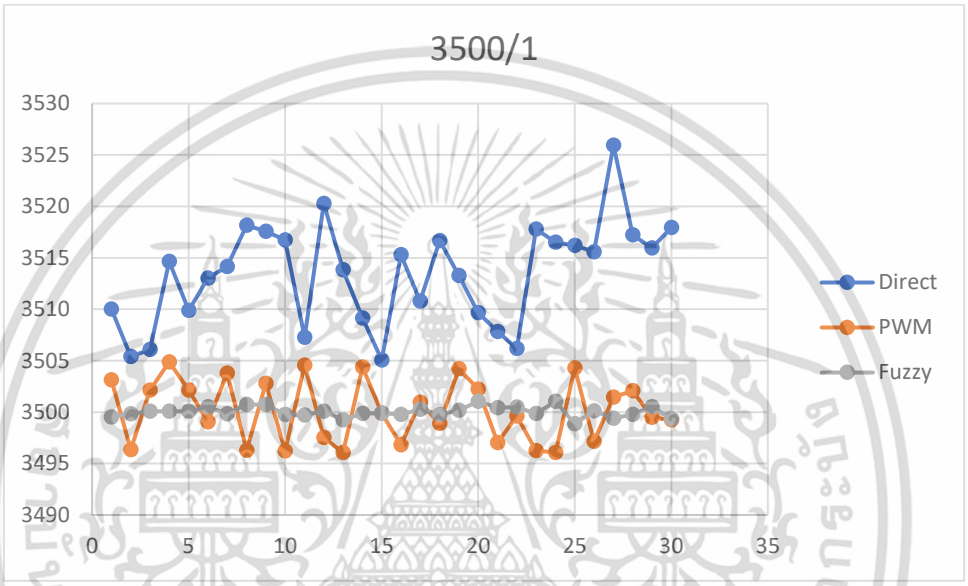
รูปที่ 4.18 While loop เพื่อสั่งควบคุม Motor drive L298N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

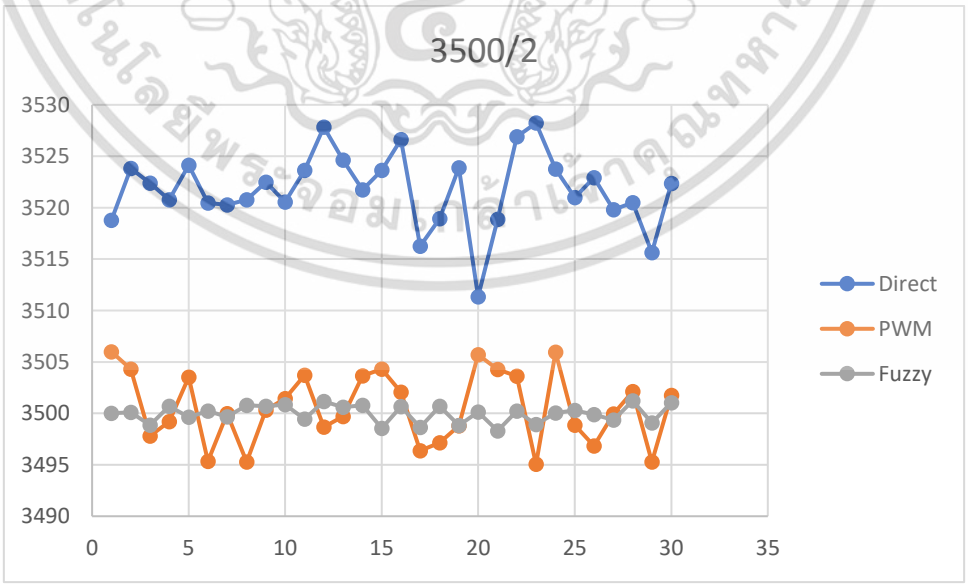
4.4 ผลการทดลอง

4.4.1 การเปรียบเทียบความเร็วรอบพัดลม

ทำการวัดความเร็วรอบพัดลมที่ความเร็วรอบเท่ากับ 3500, 3900 และ 4300 rpm แต่ละความเร็วรอบจะวัดจำนวน 3 ครั้ง โดยแต่ละครั้งจะวัดความเร็วรอบเป็นเวลา 30 วินาที เพื่อนำข้อมูลมาพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการใช้ fuzzy logic control ในการควบคุมกับการจ่ายไฟโดยตรงให้กับพัดลม หรือการใช้ PWM มาควบคุมจะเป็นอย่างไร

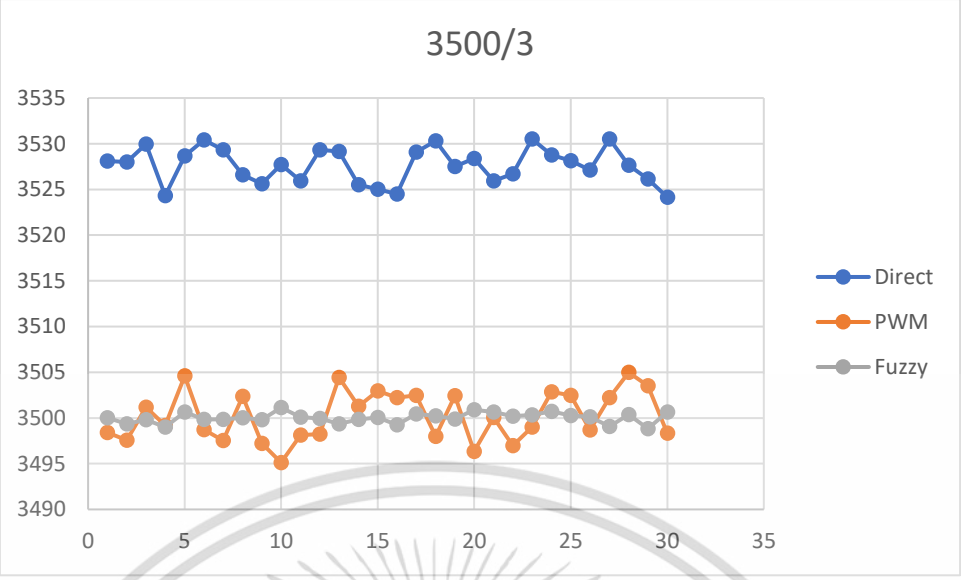


รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 3500 rpm กับเวลา ครั้งที่ 1

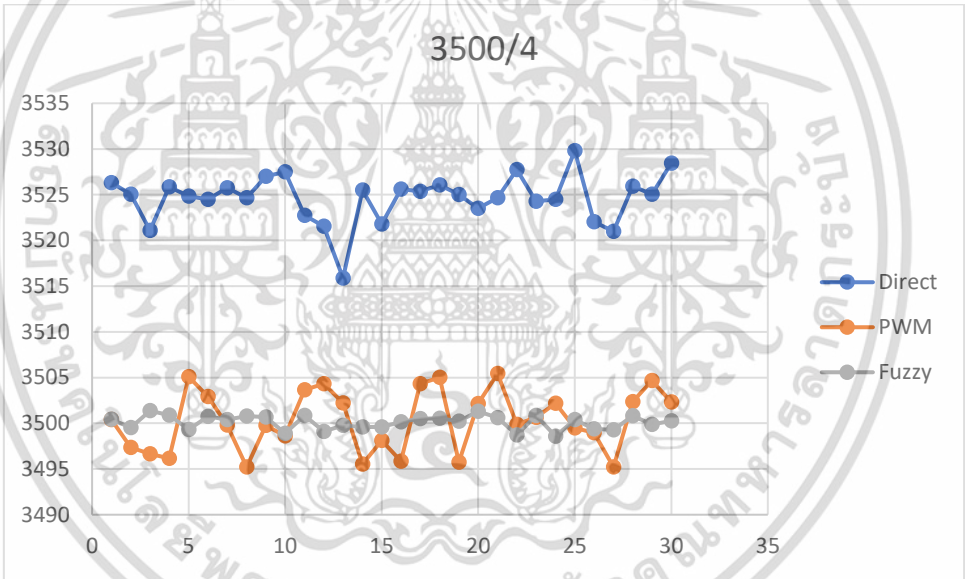


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 3500 rpm กับเวลา ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

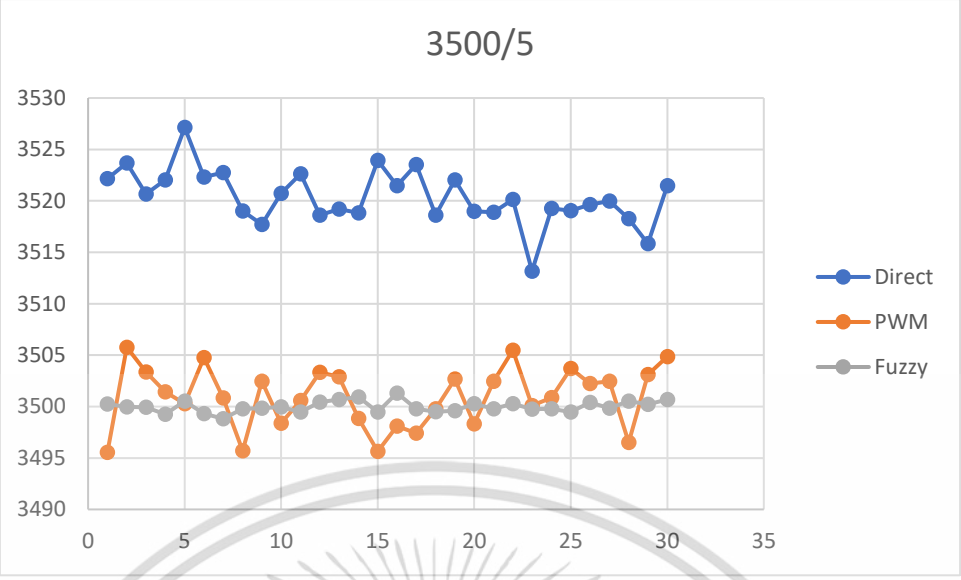


รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 3500 rpm กับเวลา ครั้งที่ 3

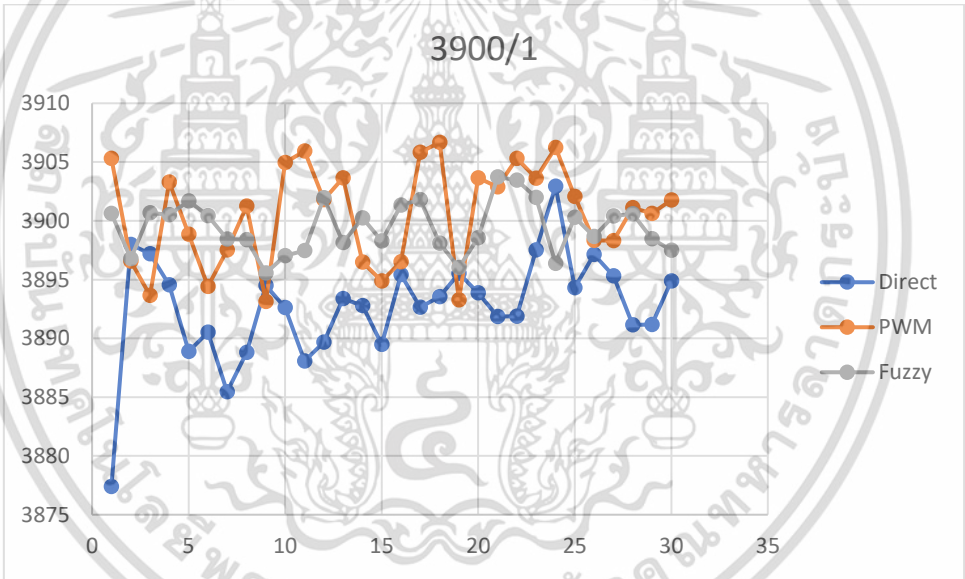


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 3500 rpm กับเวลา ครั้งที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

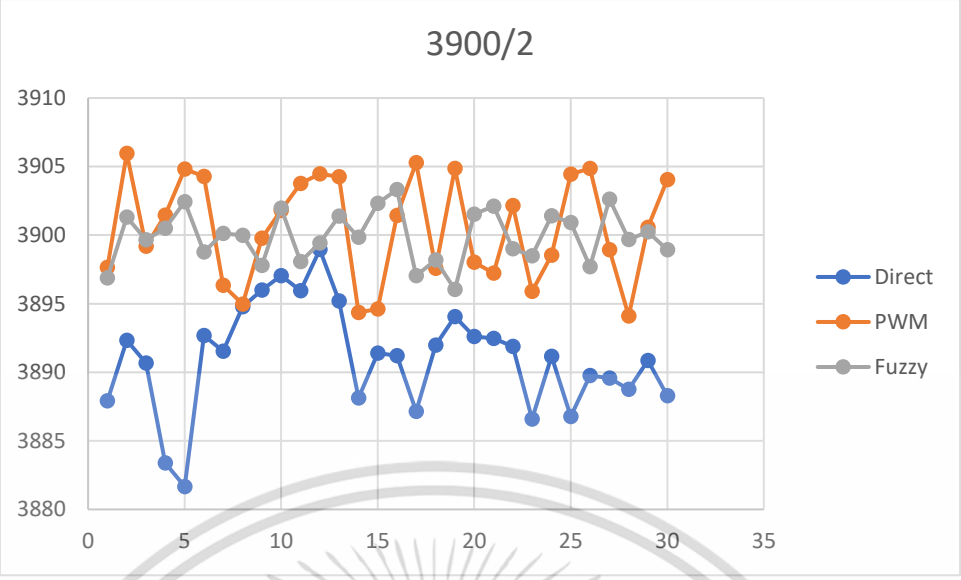


รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 3500 rpm กับเวลา ครั้งที่ 5

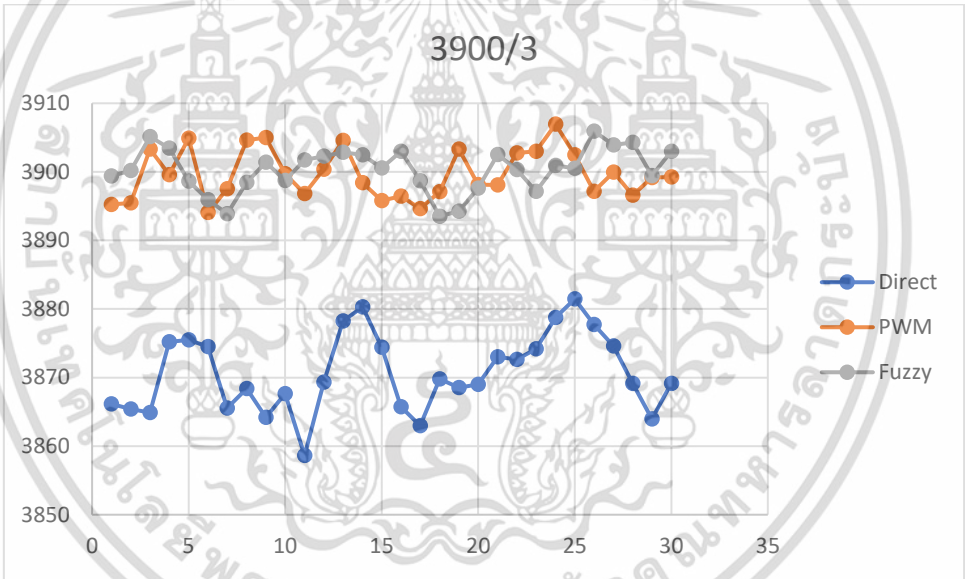


รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 3900 rpm กับเวลา ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

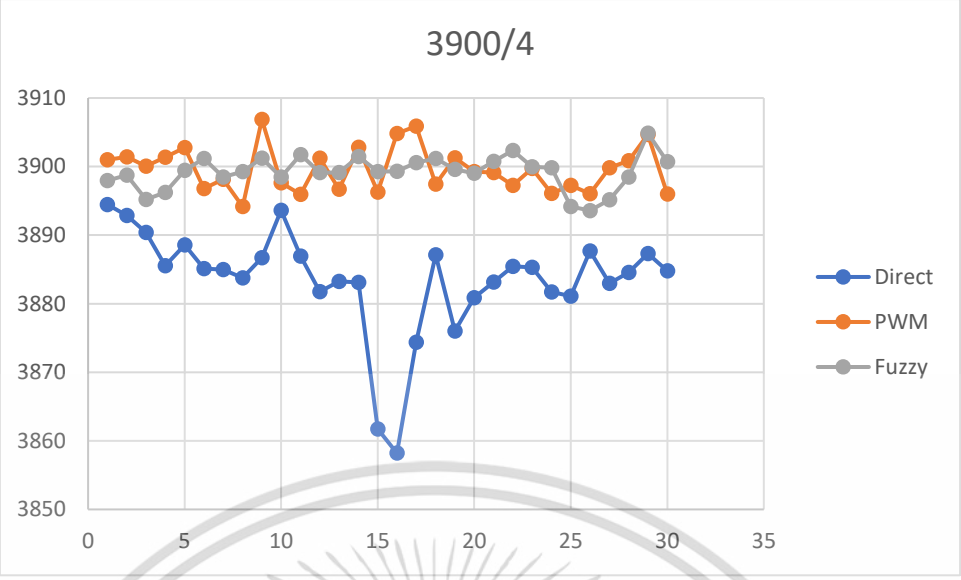


รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 3900 rpm กับเวลา ครั้งที่ 2

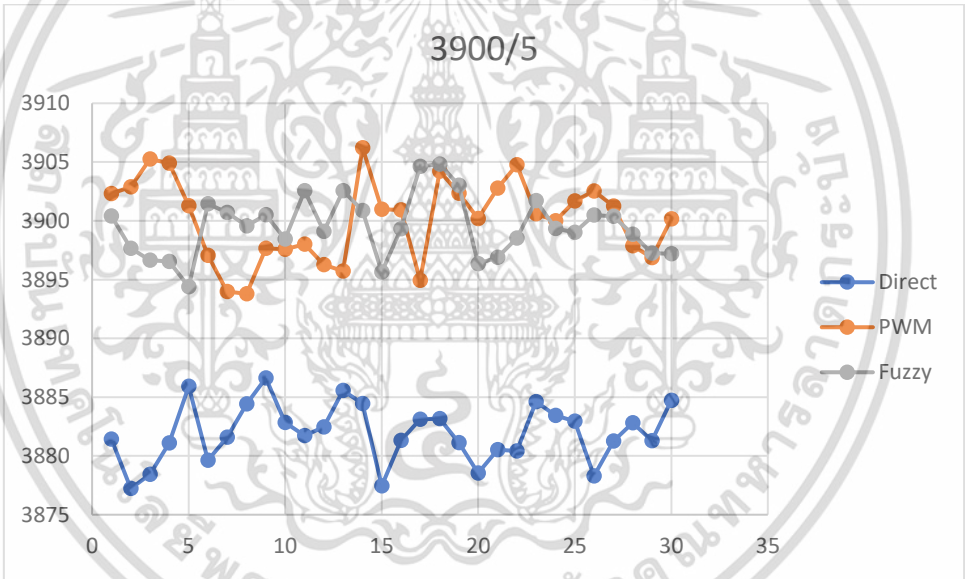


รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 3900 rpm กับเวลา ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

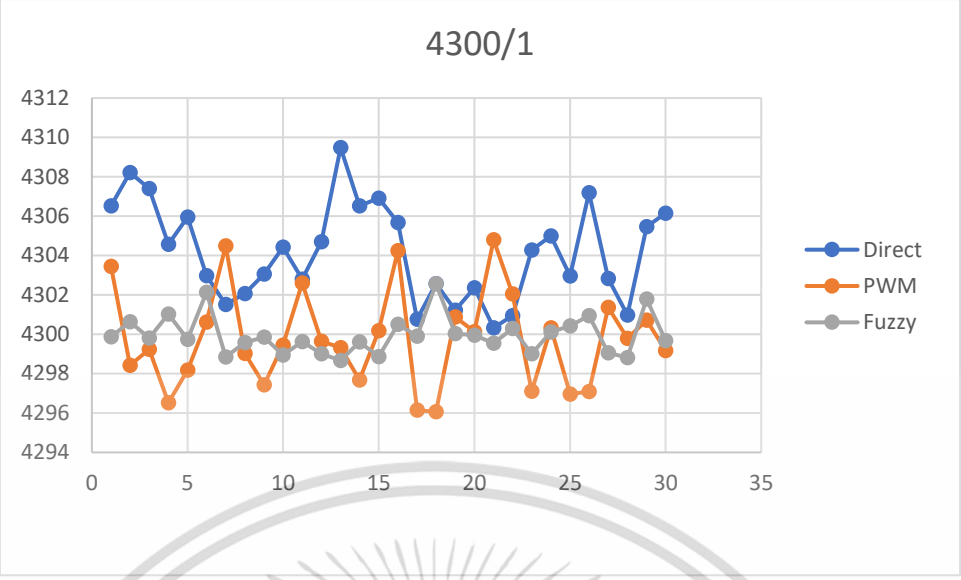


รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 3900 rpm กับเวลา ครั้งที่ 4

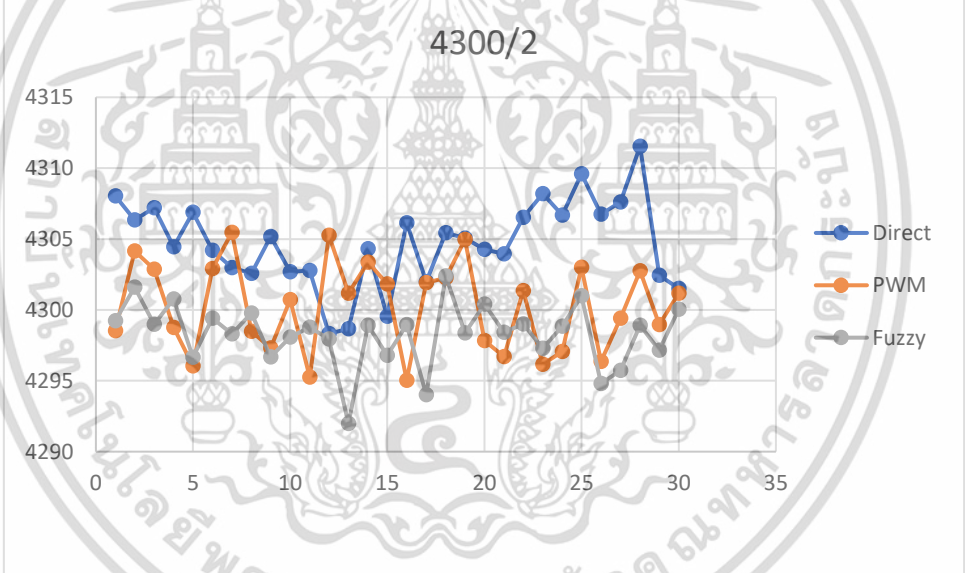


รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 3900 rpm กับเวลา ครั้งที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

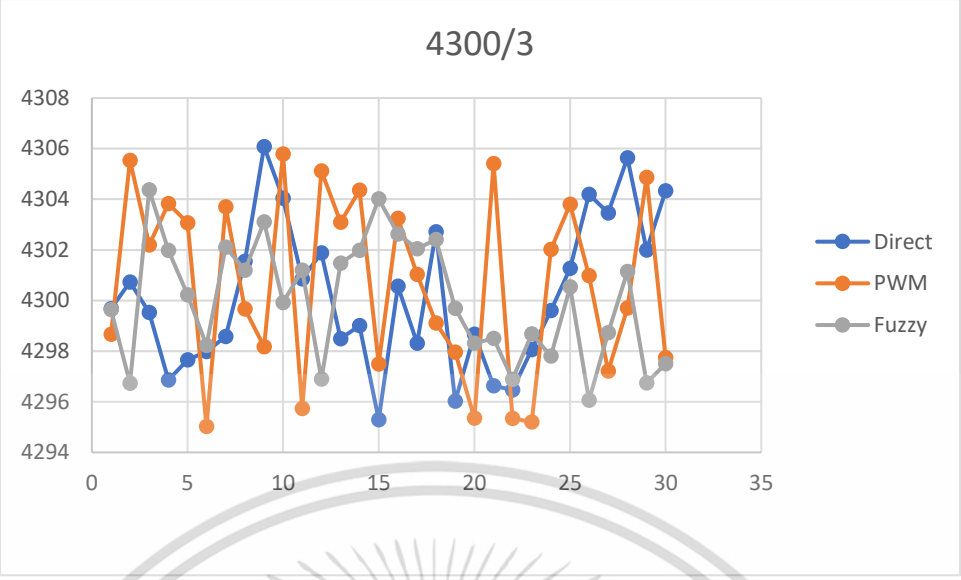


รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 4300 rpm กับเวลา ครั้งที่ 1

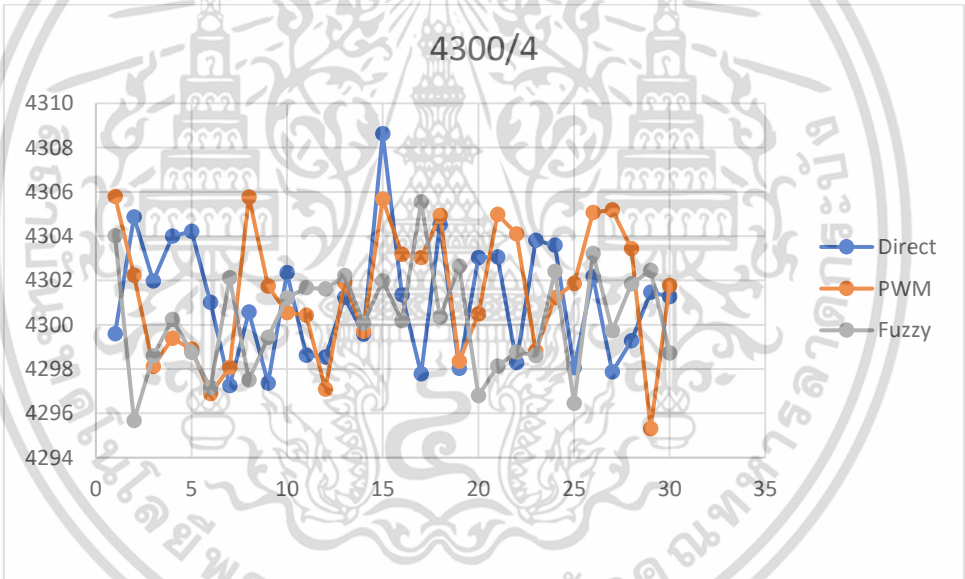


รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 4300 rpm กับเวลา ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

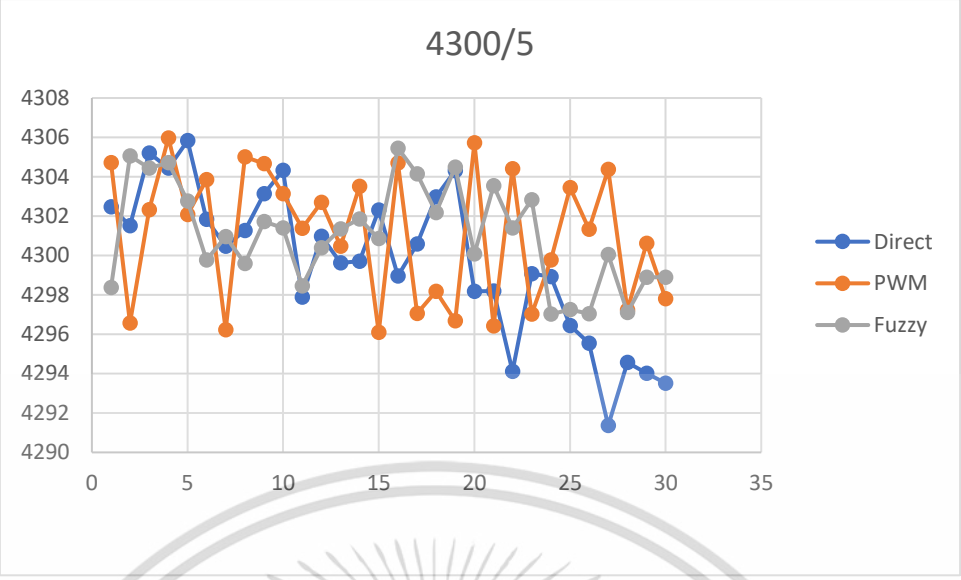


รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 4300 rpm กับเวลา ครั้งที่ 3



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 4300 rpm กับเวลา ครั้งที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่ 4300 rpm กับเวลา ครั้งที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วรอบ	ครั้งที่	ค่าความเร็วรอบเฉลี่ย			ค่าความคลาดเคลื่อน (%)		
		Direct	PWM	Fuzzy	Direct	PWM	Fuzzy
3500	1	3513.474	3500.166	3500.028	0.384979	0.004744	0.000795
	2	3521.763	3500.570	3499.981	0.621794	0.016273	0.000538
	3	3527.639	3500.256	3500.028	0.789699	0.007300	0.000808
	4	3524.634	3500.335	3500.117	0.703833	0.009576	0.003334
	5	3520.393	3500.930	3499.994	0.582643	0.026585	0.000160
	เฉลี่ยทั้งหมด	3521.581	3500.451	3500.030	0.616590	0.012896	0.001127
3900	1	3892.683	3900.599	3899.453	0.187616	0.015359	0.014030
	2	3891.025	3900.524	3899.926	0.230121	0.013443	0.001905
	3	3870.635	3899.681	3900.341	0.752940	0.008174	0.008749
	4	3883.453	3899.629	3899.218	0.424271	0.009526	0.020059
	5	3881.950	3900.168	3899.498	0.462810	0.004308	0.012882
	เฉลี่ยทั้งหมด	3883.949	3900.120	3899.687	0.411552	0.010162	0.011525
4300	1	4304.193	4299.770	4299.962	0.097516	0.005340	0.000888
	2	4304.730	4300.237	4298.311	0.109996	0.005513	0.039281
	3	4300.205	4300.682	4300.024	0.004771	0.015860	0.000564
	4	4301.112	4301.467	4300.270	0.025860	0.034106	0.006286
	5	4299.726	4301.117	4301.070	0.006367	0.025969	0.024888
	เฉลี่ยทั้งหมด	4301.993	4300.655	4299.928	0.048902	0.017358	0.014382

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วรอบเฉลี่ยกับค่าความคลาดเคลื่อน

จากการทดลองพบว่าที่ความเร็วรอบ 3500 rpm การใช้ Direct เกิดความคลาดเคลื่อนมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.616590% รองลงมาจะเป็น PWM มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.012896% และค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดคือ Fuzzy มีค่าเท่ากับ 0.001127%

ที่ความเร็วรอบ 3900 rpm การใช้ Direct เกิดความคลาดเคลื่อนมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.411552% รองลงมาจะเป็น Fuzzy มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.011525% และค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดคือ PWM มีค่าเท่ากับ 0.010162%

ที่ความเร็วรอบ 4300 rpm การใช้ Direct เกิดความคลาดเคลื่อนมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.048902% รองลงมาจะเป็น PWM มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.017358% และค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดคือ Fuzzy มีค่าเท่ากับ 0.014382%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ใช้ Fuzzy และ PWM ความเร็วรอบเฉลี่ยมีความเสถียรและใกล้เคียงค่าความเร็วรอบที่ต้องการมากกว่า Direct ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความคลาดเคลื่อนมากที่สุดจากค่าความเร็วรอบที่ต้องการ

4.4.2 คำนวณหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ในการคำหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะคำนวณเพื่อตรวจสอบการกระจายของข้อมูล และบอกถึงค่าความแตกต่างของข้อมูลว่าข้อมูลมีการกระจายมากหรือน้อยเพียงใด

จากสูตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง $S.D. = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$

ความเร็วรอบ	ครั้งที่	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
		Direct	PWM	Fuzzy
3500	1	5.005783	3.081238	0.513090
	2	3.618728	3.468263	0.846749
	3	1.941911	2.731611	0.565950
	4	2.683674	3.350398	0.765641
	5	2.681203	2.984061	0.548914
	เฉลี่ยทั้งหมด	5.809552	3.104035	0.654304
3900	1	4.560679	4.294943	2.165658
	2	3.864411	3.818660	1.896637
	3	5.707208	3.590647	3.241572
	4	7.750799	3.277805	2.450966
	5	2.482627	3.437091	2.578612
	เฉลี่ยทั้งหมด	9.389868	3.673569	2.506331
4300	1	2.461219	2.461723	0.980253
	2	3.071227	3.159259	2.218808
	3	2.922989	3.574144	2.346358
	4	2.774250	2.981509	2.392164
	5	3.799144	3.369913	2.548741
	เฉลี่ยทั้งหมด	3.647200	3.149162	2.325873

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางจะเห็นได้ว่าที่ความเร็วรอบ 3500 rpm Direct จะมีการกระจายของข้อมูลมากที่สุดมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.18626 รองลงมาจะเป็น PWM มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.104035 และสุดท้ายคือ Fuzzy จะมีการกระจายข้อมูลน้อยที่สุด โดยมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.654304

ที่ความเร็วรอบ 3900 rpm ข้อมูลที่มีการกระจายตัวมากที่สุดคือ Direct มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 9.389868 รองลงมาจะเป็น PWM มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.673569 และข้อมูลที่มีการกระจายตัวน้อยที่สุดคือ Fuzzy โดยมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.506331

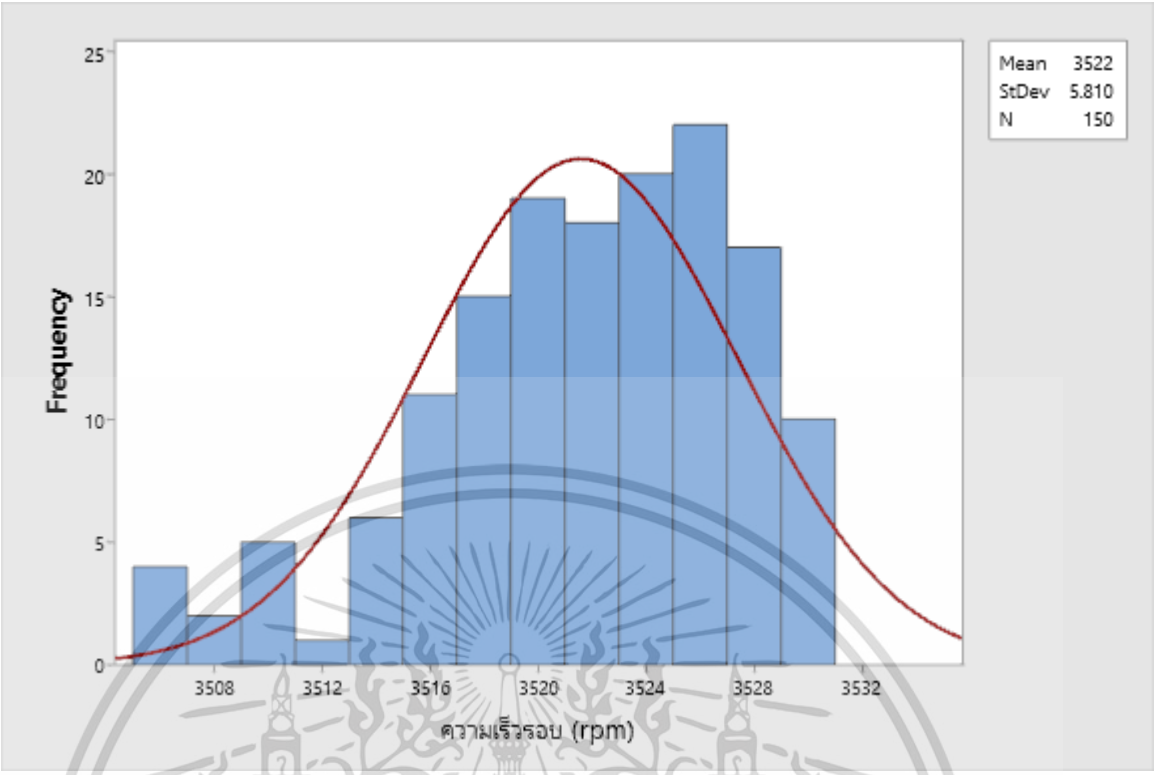
ที่ความเร็วรอบ 4300 rpm การกระจายตัวของข้อมูลที่มากที่สุดคือ Direct มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.647200 รองลงมาจะเป็น PWM มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.149162 และสุดท้ายที่มีการกระจายตัวน้อยที่สุดคือ Fuzzy ซึ่งมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.325873

โดยการเปรียบเทียบทั้ง 3 แบบนี้ทำให้สามารถใช้ค่าเฉลี่ย เพื่อมาใช้ในการคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนได้ใน 4.3.1 เนื่องจากแต่ละค่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เมื่อนำมาคูณด้วย 2 แล้วไม่เกินค่าเฉลี่ย (อ้างอิงจากสถิติและการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยของ ดร.สุทิน ชนะบุญ)

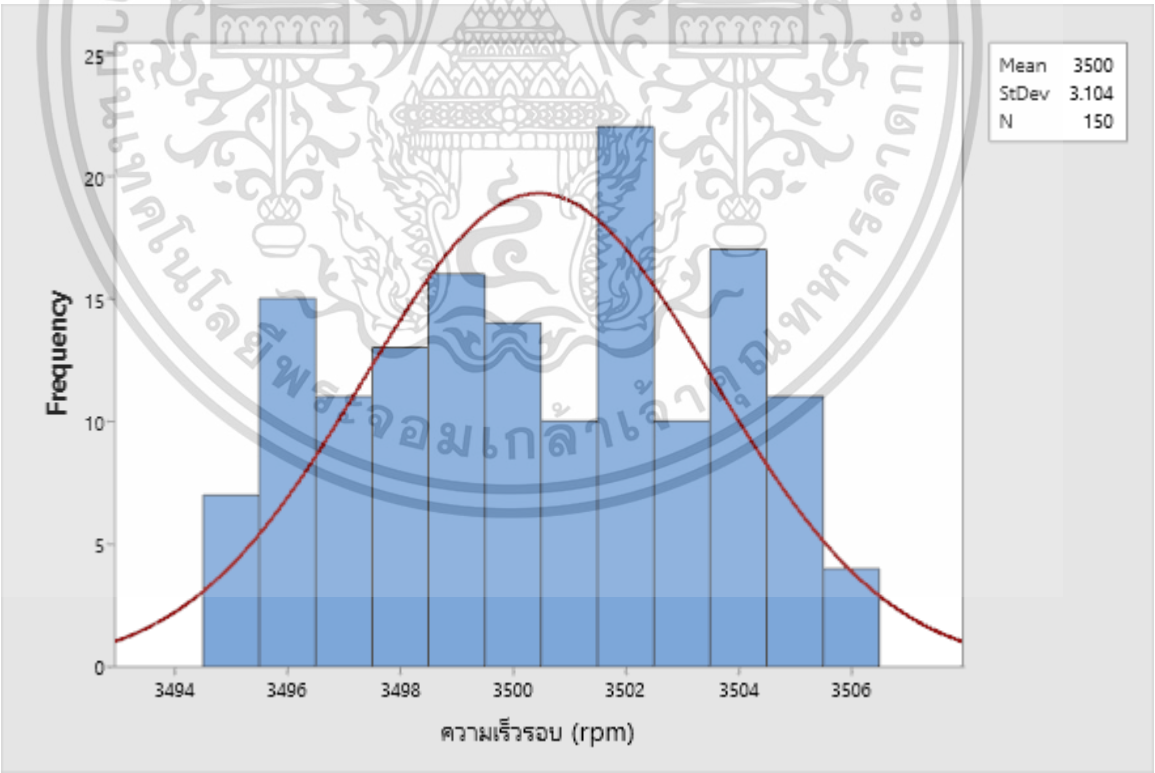
4.4.3 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของความเร็วรอบทั้งหมดและการกระจายของข้อมูลแต่ละความเร็วรอบ

ทำการเฉลี่ยความเร็วรอบทั้งหมดของแต่ละความเร็วรอบ และหาการกระจายข้อมูลของแต่ละความเร็วรอบเขียนเป็นกราฟแท่ง เพื่อแสดงความถี่ของแต่ละความเร็วรอบจากข้อมูลทั้งหมด 150 ครั้ง (1 ครั้ง/1 วินาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

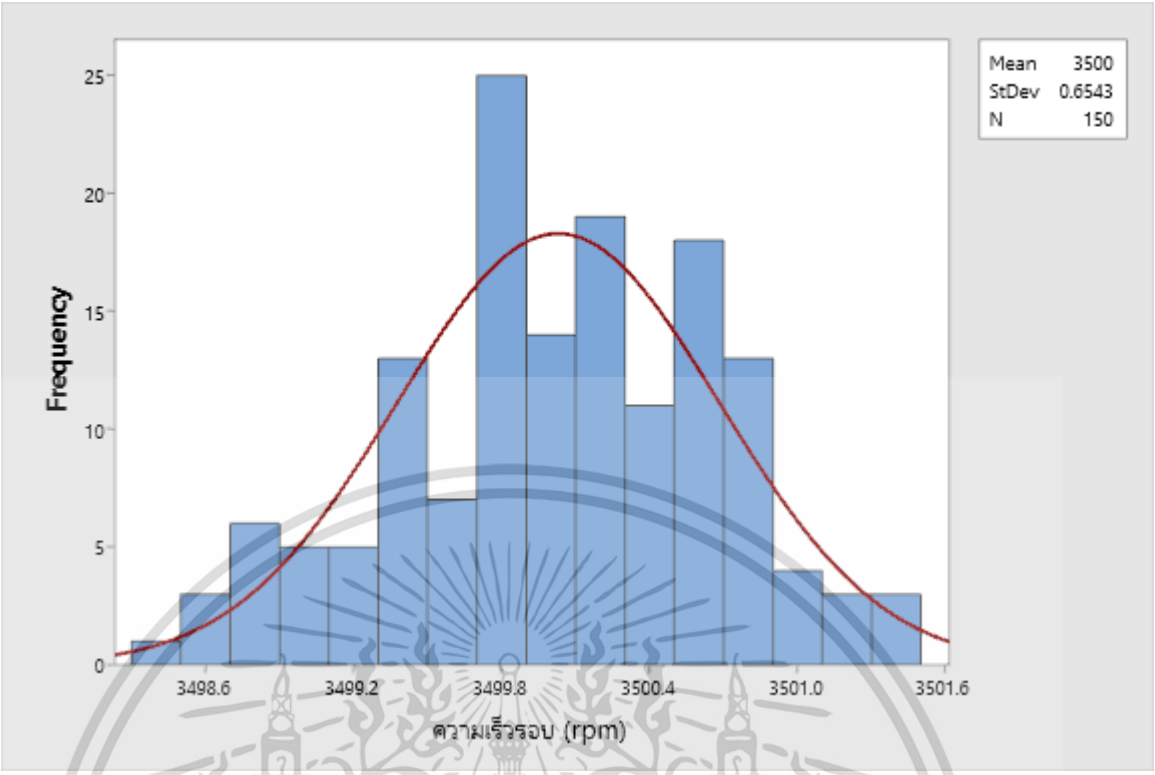


รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความถี่ของความเร็วรอบที่ 3500 rpm (Direct)

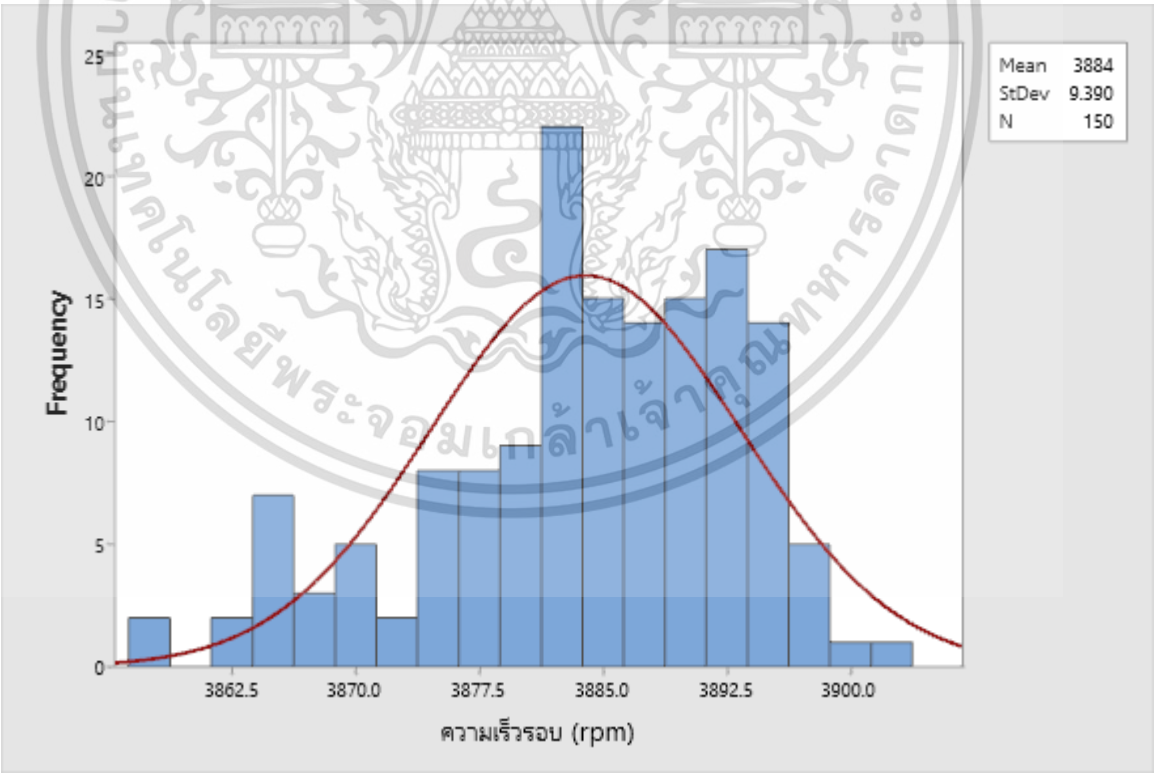


รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความถี่ของความเร็วรอบที่ 3500 rpm (PWM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

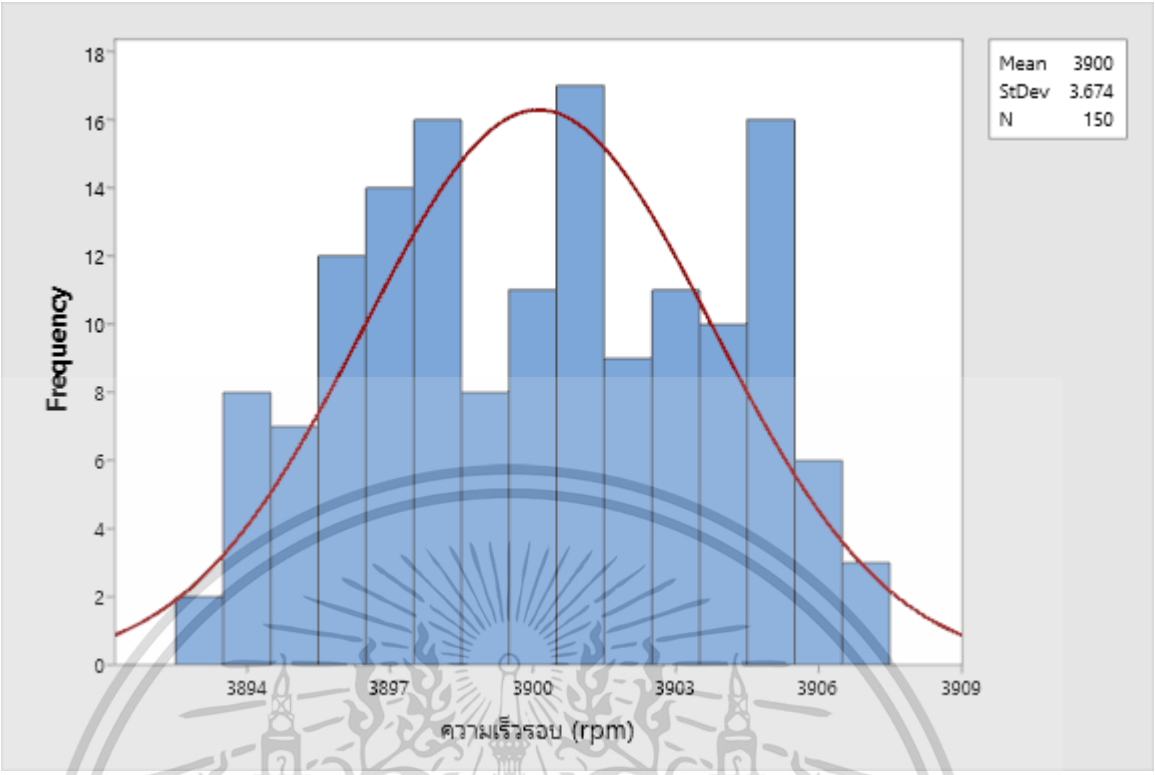


รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความถี่ของความเร็วรอบที่ 3500 rpm (Fuzzy)

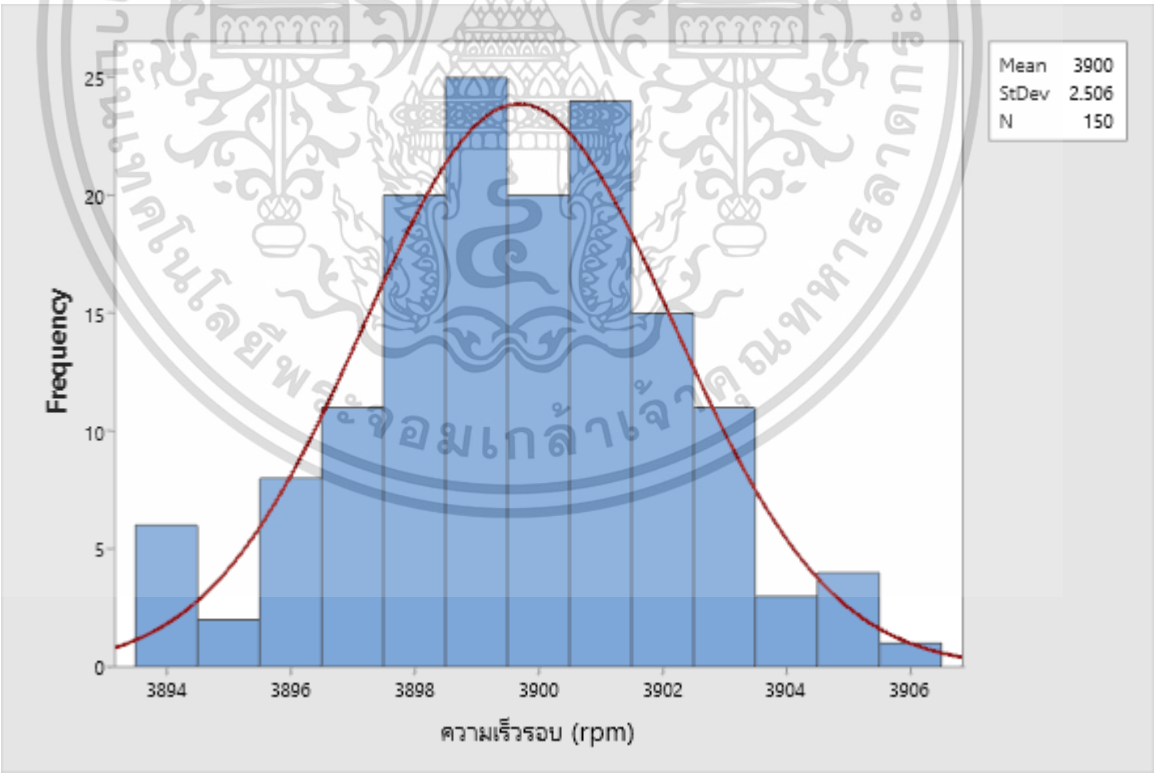


รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความถี่ของความเร็วรอบที่ 3900 rpm (Direct)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

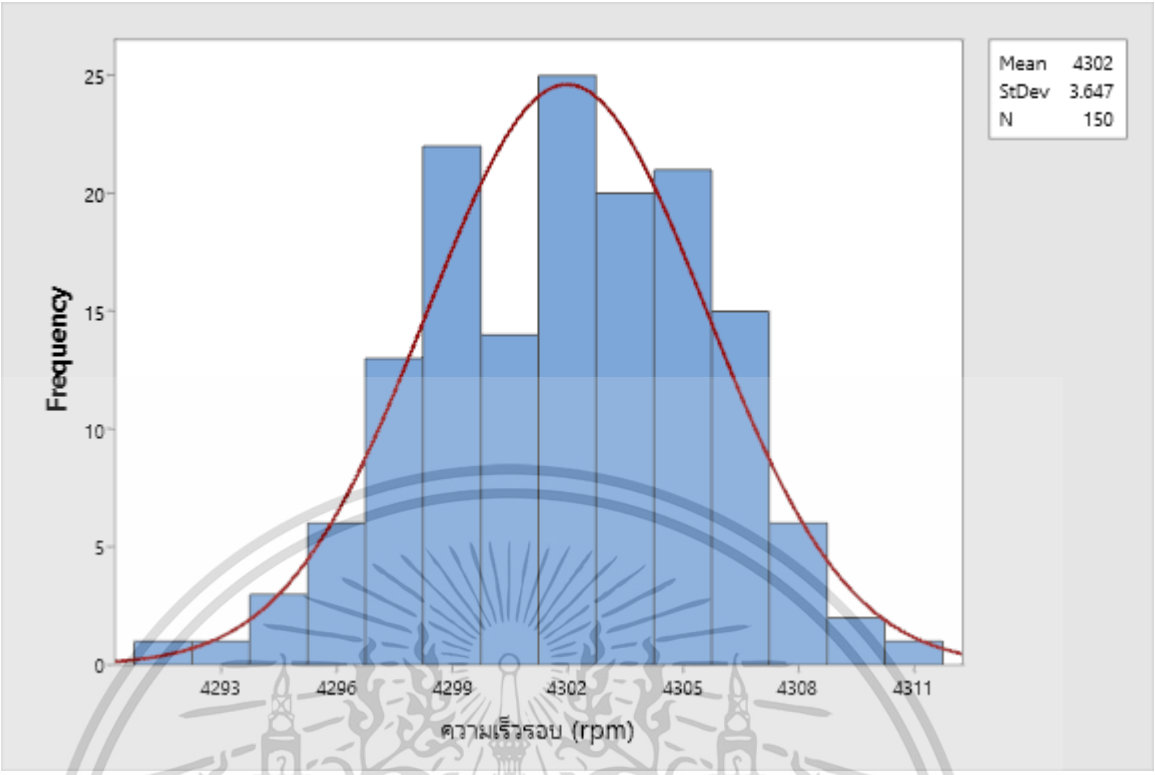


รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความถี่ของความเร็วรอบที่ 3900 rpm (PWM)

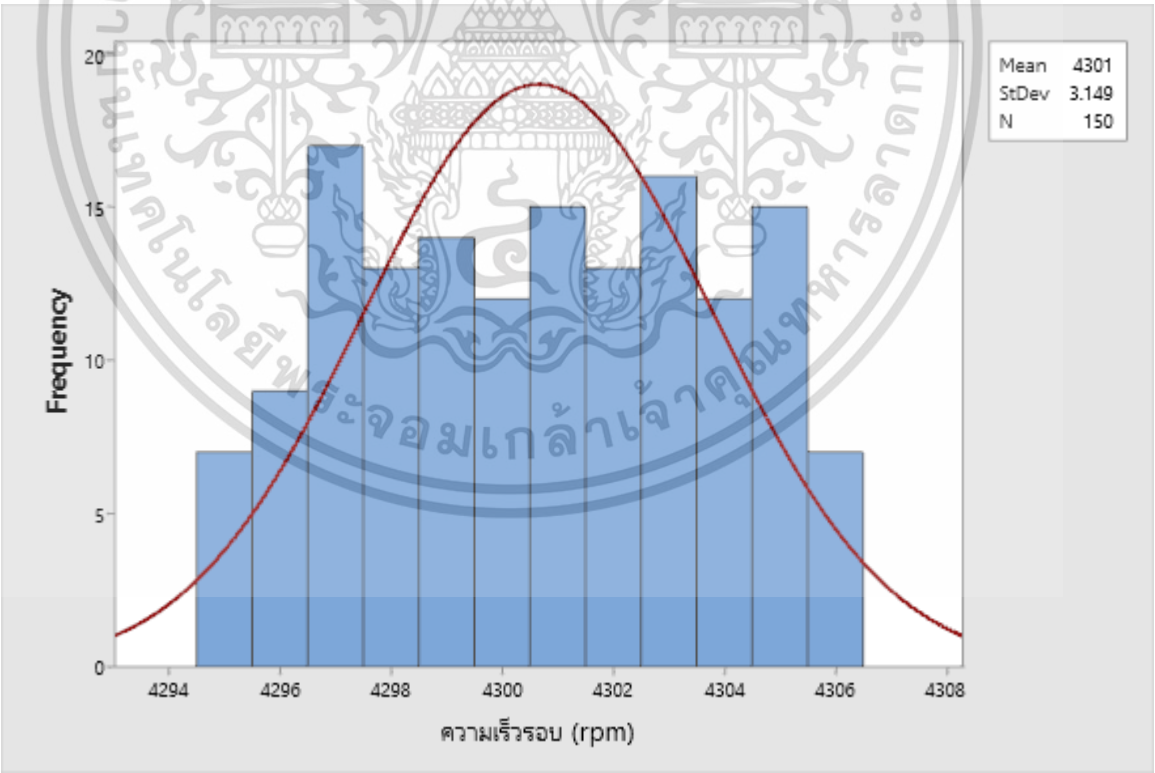


รูปที่ 4.39 กราฟแสดงความถี่ของความเร็วรอบที่ 3900 rpm (Fuzzy)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

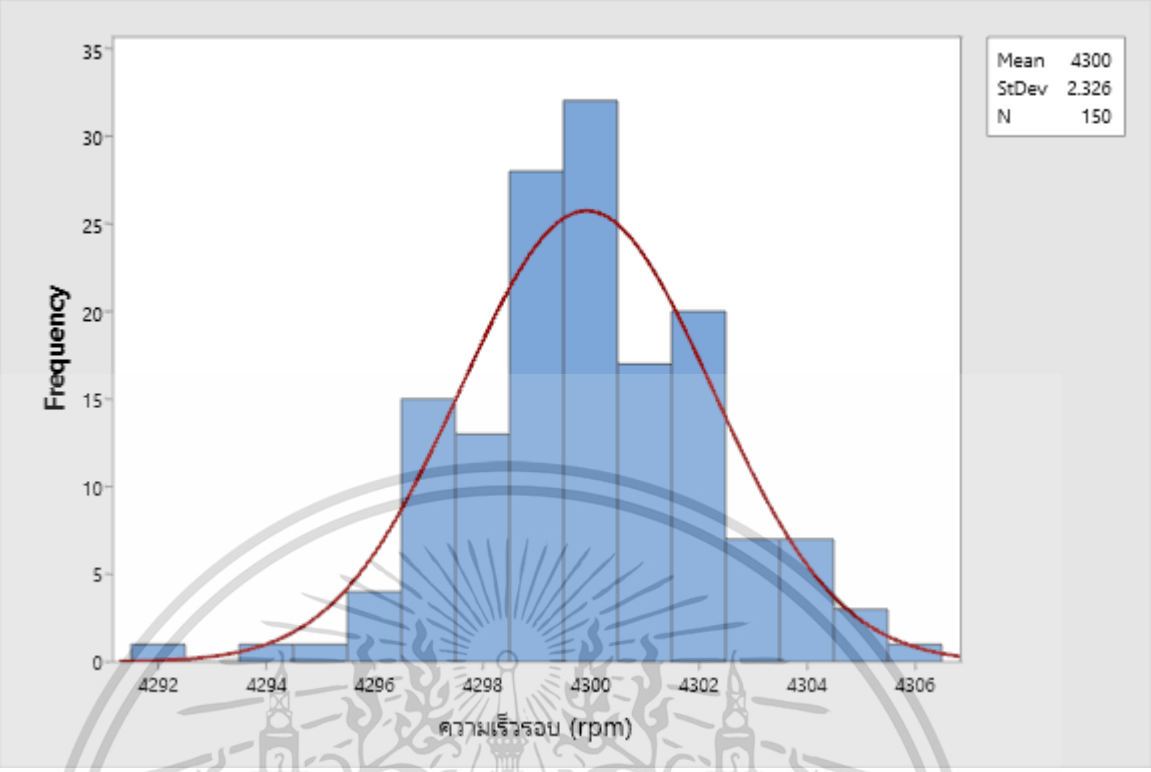


รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความถี่ของความเร็วรอบที่ 4300 rpm (Direct)



รูปที่ 4.41 กราฟแสดงความถี่ของความเร็วรอบที่ 4300 rpm (PWM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.42 กราฟแสดงความถี่ของความเร็วรอบที่ 4300 rpm (Fuzzy)

ที่ความเร็วรอบ 3500 rpm ค่าความเร็วรอบเฉลี่ยของ Direct จะอยู่ที่ 3522 rpm มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5.810 แสดงให้เห็นว่าความเร็วรอบเฉลี่ยมากกว่าค่าที่ต้องการ 22 rpm มีการกระจายของข้อมูลอยู่พอสมควร PWM มีค่าความเร็วรอบเฉลี่ย 3500 rpm มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3.104 แสดงว่าความเร็วรอบเฉลี่ยตามค่าที่ต้องการ แต่ยังมีการกระจายของข้อมูลอยู่บ้าง ค่าความเร็วรอบเฉลี่ยของ Fuzzy อยู่ที่ 3500 rpm มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.6543 แสดงให้เห็นว่าความเร็วรอบเฉลี่ยที่ได้เป็นไปตามค่าที่ต้องการ และมีการกระจายข้อมูลน้อยมาก

ที่ความเร็วรอบ 3900 rpm ค่าความเร็วรอบเฉลี่ยของ Direct จะอยู่ที่ 3884 rpm มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 9.390 แสดงว่าความเร็วรอบเฉลี่ยน้อยกว่าค่าที่ต้องการ 16 rpm มีการกระจายของข้อมูลมาก PWM มีค่าความเร็วรอบเฉลี่ย 3900 rpm มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3.674 แสดงให้เห็นว่าความเร็วรอบเฉลี่ยเป็นไปตามค่าที่ต้องการ ส่วนการกระจายของข้อมูลยังมีอยู่บ้างเล็กน้อย ค่าความเร็วรอบเฉลี่ยของ Fuzzy ได้ 3900 rpm เป็นไปตามค่าที่ต้องการ มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.506 ซึ่งเป็นการกระจายของข้อมูลที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ Direct และ PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความเร็วรอบ 4300 rpm ค่าความเร็วรอบเฉลี่ยของ Direct จะอยู่ที่ 4302 rpm มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3.647 แสดงให้เห็นว่าความเร็วรอบเฉลี่ยมากกว่าค่าที่ต้องการ 2 rpm มีการกระจายของข้อมูลอยู่พอสมควร ค่าความเร็วรอบเฉลี่ยของ PWM ได้ 4301 rpm มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3.149 แสดงว่าความเร็วรอบเฉลี่ยมากกว่าค่าที่ต้องอยู่ 1 rpm มีการกระจายของข้อมูลอยู่พอสมควร ค่าความเร็วรอบเฉลี่ยของ Fuzzy อยู่ที่ 4300 เป็นไปตามค่าที่ต้องการ มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.326 ซึ่งเป็นการกระจายของข้อมูลที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ Direct และ PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

เมื่อได้ผลการทดลองที่นำมาเปรียบเทียบกันระหว่างการต่อตรง, PWM และ Fuzzy logic control ผู้ทำการทดลองจะทราบถึงความผิดพลาดที่เกิดขึ้นซึ่งจะกล่าวไว้ในบทนี้ รวมถึงปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะในการพัฒนาชุดทดลองในอนาคต

5.2 สรุปผลการทดลอง

1. สามารถติดตั้งส่วนควบคุมความเร็วรอบ และจัดระเบียบสายไฟได้เรียบร้อย

2. ในการพัฒนาเครื่องวัดความไม่สมดุลพัดลมระบายความร้อนเก้าอี้รถยนต์ ให้พัดลมสามารถหมุนในความเร็วรอบที่เสถียรมากกว่าเดิมทั้ง 3 ความเร็วรอบ (3500, 3900, 4300) โดยการต่อตรงมีค่าความคลาดเคลื่อน 0.616590%, 0.411552%, 0.48902% ตามลำดับ และการใช้ฟัซซี่โลจิกคอนโทรลมีค่าความคลาดเคลื่อน 0.001127%, 0.011525%, 0.014382% ตามลำดับ

3. สามารถออกแบบโปรแกรมควบคุมรอบที่ใช้งานได้อเนกประสงค์

5.3 ปัญหาจากการศึกษา

1. การศึกษาและใช้งานโปรแกรม LabVIEW จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาหนึ่งเพื่อเรียนรู้และใช้งานในการทำโปรเจคในครั้งนี้

2. สถานการณ์ COVID-19 ในช่วงภาคเรียนที่ 2

3. การเรียนออนไลน์ทำให้ไม่สามารถเข้าถึงอุปกรณ์ได้ และการประสานงานทำได้ลำบาก

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. ควรควบคุมสภาพแวดล้อมในการทดลองเนื่องด้วยพัดลมมีน้ำหนักเบาและส่งผลทำให้เกิดความผันแปรต่อสภาพแวดล้อมขณะทำการวัดได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] INTERNATIONAL STANDARD, 2003, ISO 1940-1 Second edition

[2] นัฐพล ทรงพัฒนะโยธิน, ปกรณ์ พรเติม, พ.ศ.2545, การปรับสมดุลวัตถุหมุนเกร็ง, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[3] Wang Qiuxiao, Wang Fei, 2013, A new vibration mechanism of balancing machine for satellite-borne spinning rotors, Chinese Society of Aeronautics and Astronautics and Beinhang University

[4] กฤษณ์ดนัย สอนศรี, โชติภน ขจรวิทยา, นันทวัฒน์ วงศ์วานโต๊ะขุน, พ.ศ.2561, การออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดความไม่สมดุลพัดลมระบายความร้อนเก้าอี้รถยนต์ของ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[5] Victor Wowk, 1994, Mechinery Vibration Balancing, McGraw-Hill, Inc.

[6] วราคม เนิดน้อย, พรชัย นิเวศน์รังสรรค์, พ.ศ.2552, เครื่องถ่วงสมดุลด้วยโปรแกรม LabVIEW, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

[7] กิจไพบูลย์ ชีวพันธศรี, 2011, National Instruments LabVIEW ซอฟต์แวร์เพื่อการพัฒนาระบบการวัดและควบคุม, ซีเอ็ดยูเคชั่น, บมจ.

[8] Timothy J. Ross, Fuzzy Logic With Engineering Applications, Third Edition

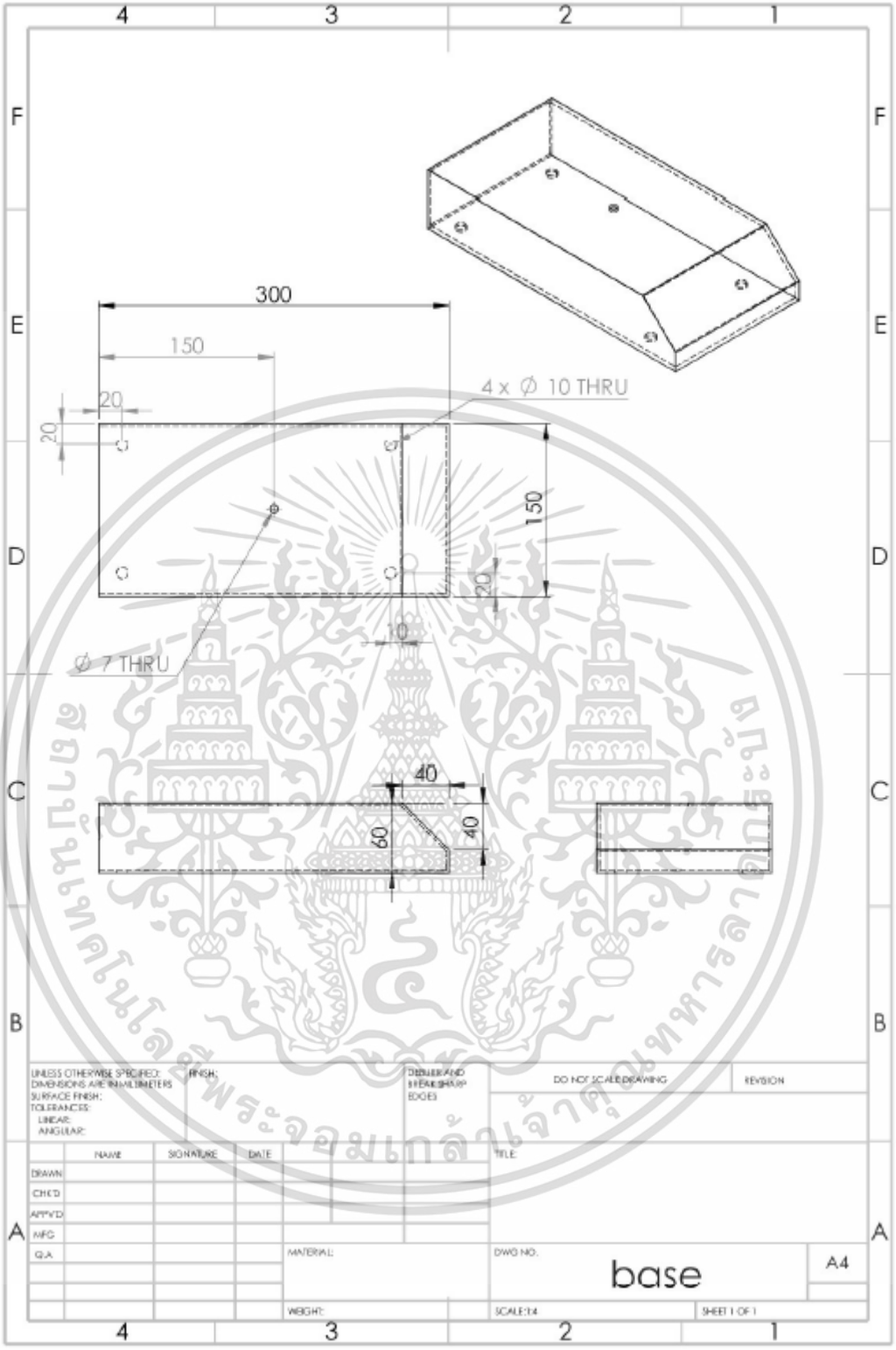
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
เครื่องวัดความไม่สมดุลพัดลมระบายความร้อนเก้าอี้รถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ฐานเครื่องวัดความไม่สมดุลพัดลมระบายความร้อนเก้าอี้รถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Circular Posts

One End Threaded One End Tapped, Wrench Flats

■For this product, L dim. can be configured in 0.1mm increments by specifying LKC Alteration.

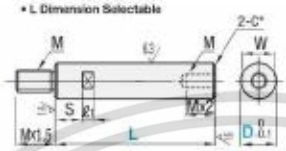
■One End Threaded One End Tapped

RoHS

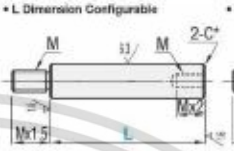
Type	L Dimension Configurable				M Material	S Surface Treatment
L Dimension Selectable	Standard	Wrench Flats	Thread Dia. Configurable	Thread Dia. Configurable, Wrench Flats		
-	NETGRF	NETGRS	NETG	NETGS	Steel for General Structure	-
ETKGR	ETKGRF	ETKGRS	ETKG	ETKGS		Black Oxide
PETGR	PETGRF	PETGRS	PETG	PETGS		Electroless Nickel Plating
-	BETGRF	BETGRS	BETG	BETGS		Trivalent Chromate (Black)
SETGR	SETGRF	SETGRS	SETG	SETGS	SUS304	-

* C0.2~0.5 at the corner

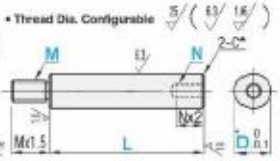
• L Dimension Selectable



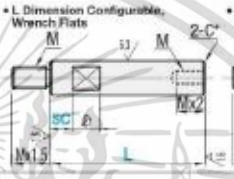
• L Dimension Configurable



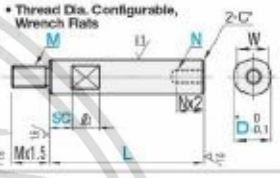
• Thread Dia. Configurable



• L Dimension Configurable, Wrench Flats



• Thread Dia. Configurable, Wrench Flats



Trivalent Chromate (Black) may not always be fully deposited on internal tapped threads.

* D tolerance of trivalent chromate (black) is ±0.05.

SC≥L-ℓ1

Tapping may cause slight swelling of D dimension.

Anti-rust Oil is applied on products made of Steel for General Structure.

Wrench flats vicinity with no surface treatment may become glossy due to barrel grinding.

■L Dimension Selectable

Part Number Type	D	L Selection	M (Coarse)	S	W	ℓ1
Steel for General Structure ETKGR PETGR	6	15 20 25 30 35 40 45 50	3	3.5	5	8
	8	20 25 30 35 40 45 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150	4	6	7	
	10	20 25 30 35 40 45 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 200	5	6	8	
	12	25 30 35 40 45 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 200	6	7.5	10	10
SUS304 SETGR	15	30 35 40 45 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 200	8	10	13	
	20	40 45 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 200	10	15	17	

■L Dimension Configurable / L Dimension Configurable, Wrench Flats

Part Number Type		D	L 0.5mm Increment	SC 1mm Increment (For Wrench Flats Type only)	M (Coarse)	W	ℓ1
L Dimension Configurable Steel for General Structure	L Dimension Configurable, Wrench Flats Steel for General Structure	6	15~100	0~92	2.6	4	8
		6	15~100	0~92	3	5	
		8	20~200	0~192	4	7	
NETGRF	NETGRS	10	30~400	0~392	5	8	
ETKGRF	ETKGRS	12	25~500	0~490	6	10	10
PETGRF	PETGRS	15	30~600	0~590	8	13	
BETGRF	BETGRS	20	40~600	0~590	10	17	
SUS304	SUS304	25	45~700	0~690	12	22	
SETGRF	SETGRS	30	55~800	0~785	16	27	15
		*35	55~900	0~885	16	30	15
		*40	65~1000	0~980	20	36	20
		*50	80~1000	0~980	24	41	20

* D≥35 is applicable only to N□□□□, E□□□□ and P□□□□.

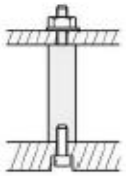
■Thread Dia. Configurable / Thread Dia. Configurable, Wrench Flats

Part Number Type		D	L 0.5mm Increment	SC 1mm Increment (For Wrench Flats Type only)	M (Coarse) Selection	N (Coarse) Selection	W	ℓ1
Thread Dia. Configurable Steel for General Structure	Thread Dia. Configurable, Wrench Flats Steel for General Structure	6	15~100	0~92	2.6 3 4	2.6 3	4	8
		6	15~100	0~92	3 4 5	3 4	5	
		8	20~200	0~192	3 4 5 6	3 4 5	7	
NETG	NETGS	10	30~400	0~392	3 4 5 6 8	3 4 5 6	8	
ETKG	ETKGS	12	25~500	0~490	4 5 6 8	4 5 6 8	10	10
BETG	PETGS	15	30~600	0~590	5 6 8 10 12	5 6 8 10	13	
	BETGS	20	40~600	0~590	5 6 8 10 12 16	5 6 8 10 12	17	
		25	55~700	0~690	5 6 8 10 12 16 20	5 6 8 10 12 16	22	
		30	55~800	0~785	5 6 8 10 12 16 20 24	5 6 8 10 12 16 20	27	15
SUS304	SUS304	*35	80~900	0~885	6 8 10 12 16 20 24	6 8 10 12 16 20 24	30	15
SETG	SETGS	*40	80~1000	0~980	8 10 12 16 20 24	8 10 12 16 20 24	36	20
		*50	80~1000	0~980	10 12 16 20 24	10 12 16 20 24	41	20

* D≥35 is applicable only to N□□□□, E□□□□ and P□□□□. When L-SC≥Nx3, W-N≥2 is required. L≥Nx 3+2

L Dimension Tolerance	
L15~300	±0.1
L300.5~600	±0.3
L600.5~1000	±0.4

ex Example

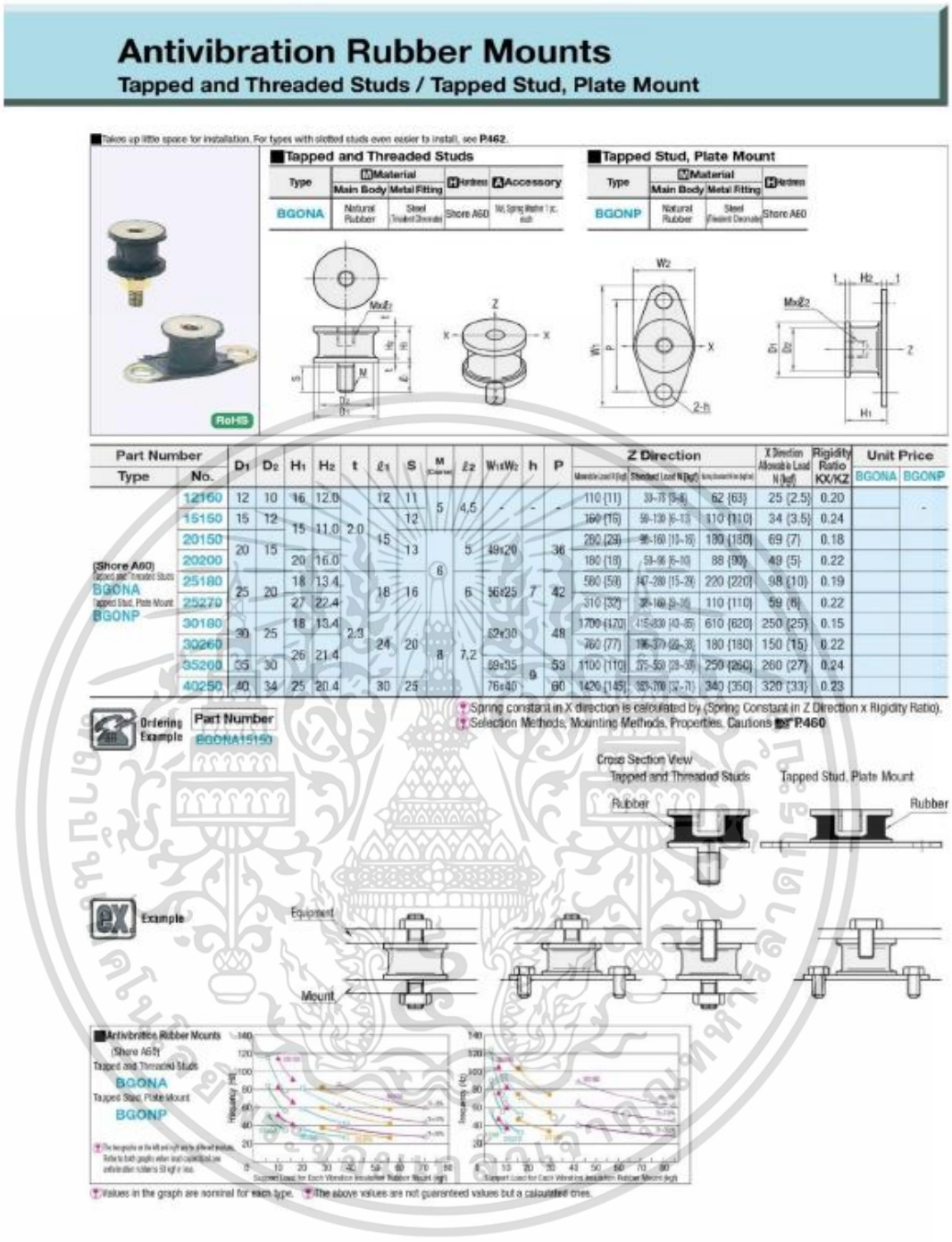


Ordering Example

Part Number	-	L	-	SC	-	M	-	N
ETKGR10	-	150						
ETKGRF6	-	32						
ETKG12	-	250			-	M6	-	N6
ETKGS20	-	400	-	SC100	-	M8	-	N10

เหล็กแท่งรองรับอุปกรณ์ (Circular Posts Rod) แบบ NETG D20 L100 M6 N6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Antivibration Rubber Mounts

Tapped and Threaded Studs / Tapped Stud, Plate Mount

Takes up little space for installation. For types with slotted studs even easier to install, see P462.

Tapped and Threaded Studs

Type	Material: Main Body	Material: Metal Fitting	Hardness	Accessory
BGONA	Natural Rubber	Steel	Shore A60	

Tapped Stud, Plate Mount

Type	Material: Main Body	Material: Metal Fitting	Hardness
BGONP	Natural Rubber	Steel	Shore A60

RoHS

Part Number Type	No.	D1	D2	H1	H2	t	ℓ1	S	M	ℓ2	W1×W2	h	P	Z Direction			X Direction Allowable Load N {kgf}	Rigidity Ratio KX/KZ	Unit Price BGONA	Unit Price BGONP
(Shore A60) BGONA / BGONP	12160	12	10	16	12.0	2.0	12	11	5	4.5	-	-	-	110 {11}	33–78 {3–8}	62 {63}	25 {2.5}	0.20		-
	15150	15	12	15	11.0		15	12			-	-	-	160 {16}	59–130 {6–13}	110 {110}	34 {3.5}	0.24		
	20150	20	15					13		5	49×20		36	290 {29}	98–160 {10–16}	180 {180}	69 {7}	0.18		
	20200			20	16.0				6					180 {18}	59–96 {6–10}	88 {90}	49 {5}	0.22		
	25180	25	20	18	13.4		18	16		6	56×25	7	42	580 {59}	147–288 {15–29}	220 {220}	98 {10}	0.19		
	25270			27	22.4									310 {32}	98–160 {10–16}	110 {110}	59 {6}	0.22		
	30180	30	25	18	13.4	2.3	24	20	8	7.2	62×30		48	1700 {170}	415–830 {40–85}	610 {620}	250 {25}	0.15		
	30260			26	21.4									760 {77}	196–370 {20–38}	180 {180}	150 {15}	0.22		
	35260	35	30								69×35	9	53	1100 {110}	275–550 {28–56}	250 {260}	260 {27}	0.24		
	40250	40	34	25	20.4		30	25			76×40		60	1420 {145}	353–706 {36–71}	340 {350}	320 {33}	0.23		

Ordering Example: Part Number BGONA15150

Spring constant in X direction is calculated by (Spring Constant in Z Direction x Rigidity Ratio).
Selection Methods, Mounting Methods, Properties, Cautions P460

Example

Cross Section View
Tapped and Threaded Studs
Tapped Stud, Plate Mount
Rubber
Equipment
Mount

Antivibration Rubber Mounts (Shore A60)
Tapped and Threaded Studs BGONA
Tapped Stud, Plate Mount BGONP

Values in the graph are nominal for each type. The above values are not guaranteed values but a calculated ones.

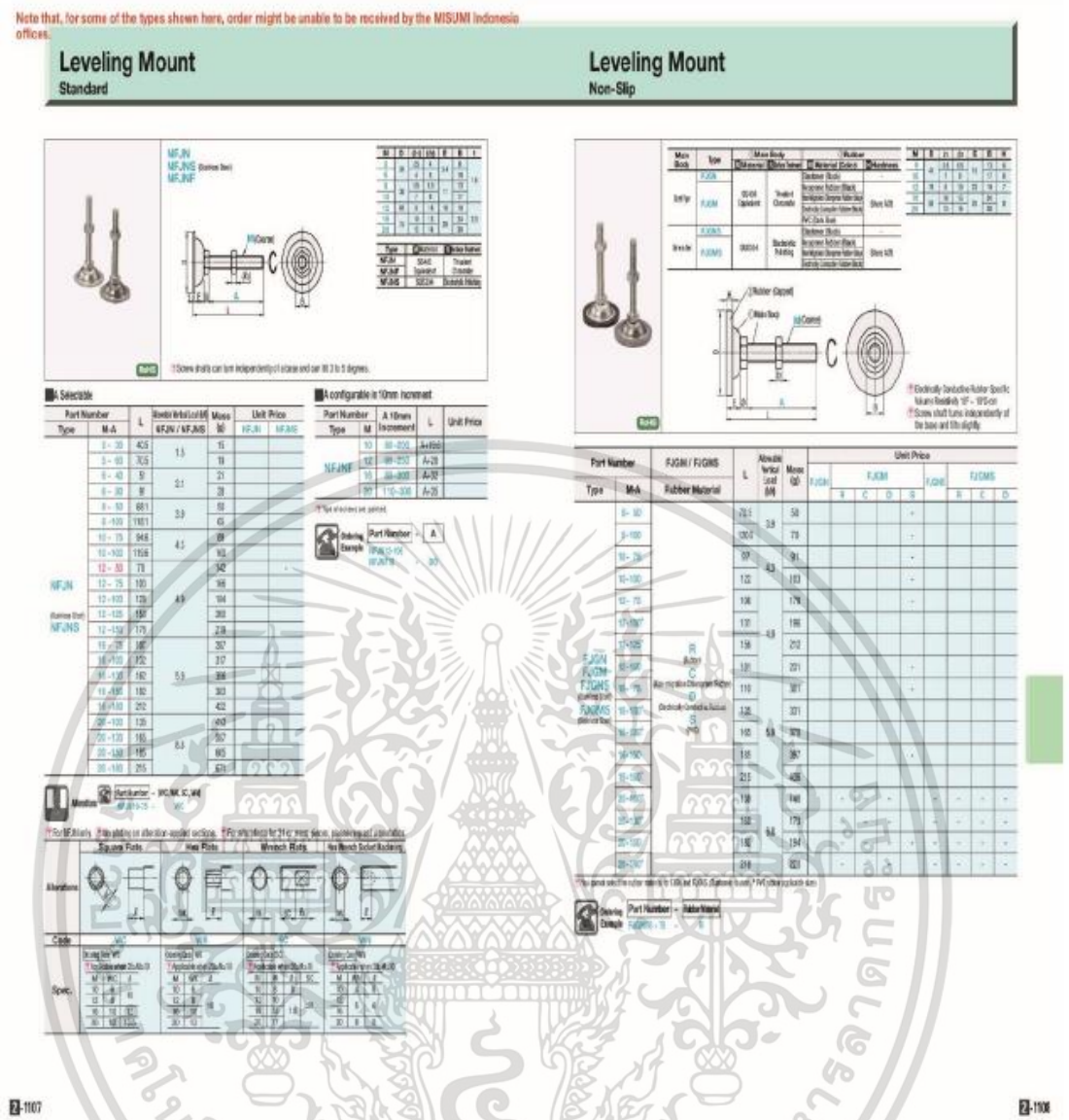
เลือกยางป้องกันการสั่นสะเทือน (Antivibration Rubber) รุ่น BGONA 20200

ซึ่งจะมีค่าความแข็ง $k = 8800$ และมีอัตราส่วนความแข็ง 0.22 จะได้

$$k_1 = 8800(0.22) = 19360 \quad \text{นิวตัน/เมตร}$$

$$k_2 = 8800 \quad \text{นิวตัน/เมตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



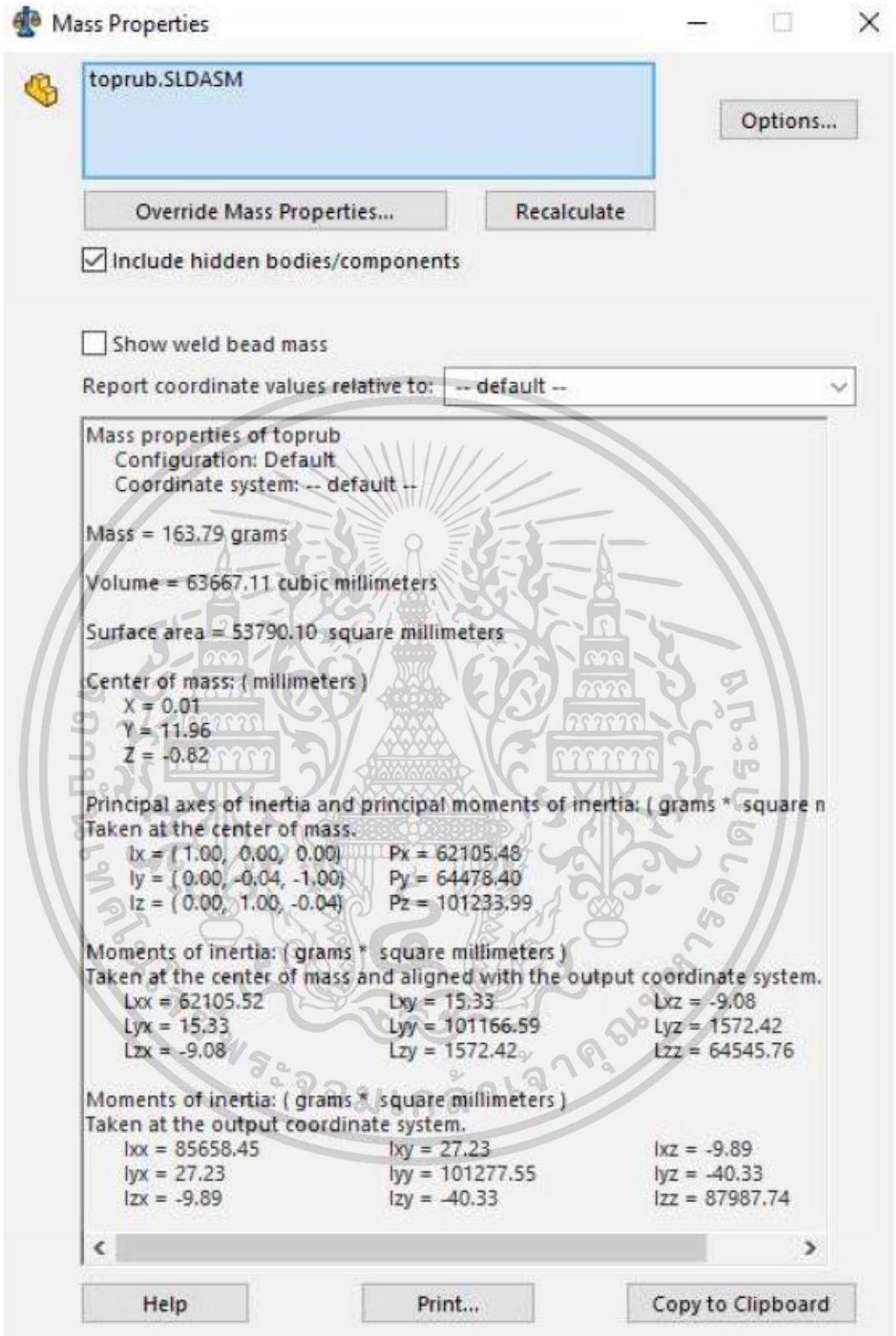
Note that, for some of the types shown here, order might be unable to be received by the MISUMI Indonesia offices.

Leveling Mount
Standard

Leveling Mount
Non-Slip

Leveling Mount NGJN 10-100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

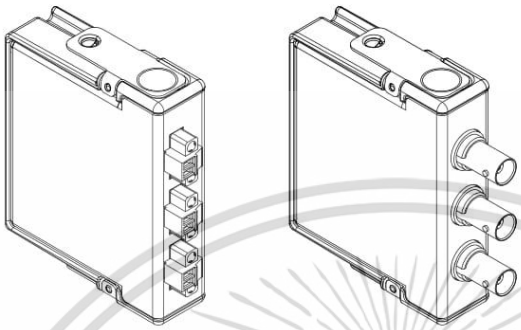
NI cDAQ 9232 Data Sheet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATASHEET

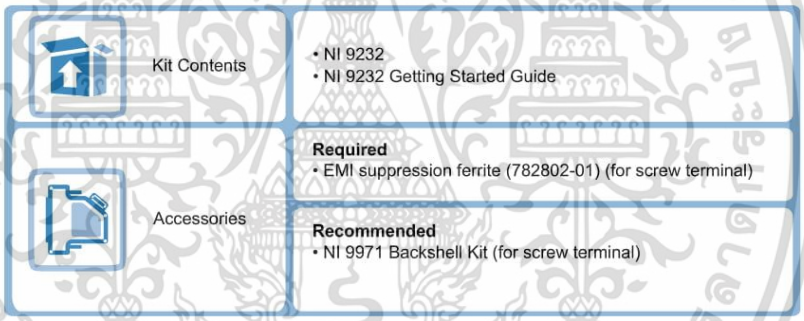
NI 9232

3 AI, ±30 V, 24 Bit, 102.4 kS/s/ch Simultaneous



- Screw-terminal or BNC connectivity
- Software-selectable AC/DC coupling
- Software-selectable IEPE signal conditioning (0 mA or 4 mA)
- Smart TEDS sensor compatibility
- 60 VDC, CAT I, channel-to-earth isolation

The NI 9232 is a 3-channel C Series dynamic signal acquisition module for making industrial measurements from integrated electronic piezoelectric (IEPE) and non-IEPE sensors with NI CompactDAQ or NI CompactRIO systems.



NATIONAL INSTRUMENTS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C SERIES DYNAMIC SIGNAL ACQUISITION MODULE COMPARISON							
Product Name	Signal Ranges	Channels	Sample Rate	Input Configurations	Noise at Maximum Sample Rate	Connectivity	Isolation Continuous
NI 9218	±5 V	2	51.2 kS/s/ch	IEPE with AC Coupling	50 µVrms	9-Position DSUB, LEMO	60 VDC Ch-Ch
NI 9230	±30 V	3	12.8 kS/s/ch	IEPE with AC Coupling, AC Coupling, DC Coupling	106 µVrms	Screw Terminal, BNC	60 VDC Ch-Earth
NI 9232	±30 V	3	102.4 kS/s/ch	IEPE with AC Coupling, AC Coupling, DC Coupling	251 µVrms	Screw Terminal, BNC	60 VDC Ch-Earth
NI 9234	±5 V	4	51.2 kS/s/ch	IEPE with AC Coupling, AC Coupling, DC Coupling	50 µVrms	BNC	None
NI 9251	3 Vrms (±4.243 V)	2	102.4 kS/s/ch	AC Coupling, DC Coupling	9.2 µVrms	mini XLR	None

NI C Series Overview

NI provides more than 100 C Series modules for measurement, control, and communication applications. C Series modules can connect to any sensor or bus and allow for high-accuracy measurements that meet the demands of advanced data acquisition and control applications.

- Measurement-specific signal conditioning that connects to an array of sensors and signals
- Isolation options such as bank-to-bank, channel-to-channel, and channel-to-earth ground
- -40 °C to 70 °C temperature range to meet a variety of application and environmental needs
- Hot-swappable

The majority of C Series modules are supported in both CompactRIO and CompactDAQ platforms and you can move modules from one platform to the other with no modification.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CompactRIO

CompactRIO combines an open-embedded architecture with small size, extreme ruggedness, and C Series modules in a platform powered by the NI LabVIEW reconfigurable I/O (RIO) architecture. Each system contains an FPGA for custom timing, triggering, and processing with a wide array of available modular I/O to meet any embedded application requirement.

CompactDAQ

CompactDAQ is a portable, rugged data acquisition platform that integrates connectivity, data acquisition, and signal conditioning into modular I/O for directly interfacing to any sensor or signal. Using CompactDAQ with LabVIEW, you can easily customize how you acquire, analyze, visualize, and manage your measurement data.

Software

LabVIEW Professional Development System for Windows

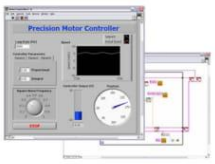
- Use advanced software tools for large project development
- Generate code automatically using DAQ Assistant and Instrument I/O Assistant
- Use advanced measurement analysis and digital signal processing
- Take advantage of open connectivity with DLLs, ActiveX, and .NET objects
- Build DLLs, executables, and MSI installers

NI LabVIEW FPGA Module

- Design FPGA applications for NI RIO hardware
- Program with the same graphical environment used for desktop and real-time applications
- Execute control algorithms with loop rates up to 300 MHz
- Implement custom timing and triggering logic, digital protocols, and DSP algorithms
- Incorporate existing HDL code and third-party IP including Xilinx IP generator functions
- Purchase as part of the LabVIEW Embedded Control and Monitoring Suite

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NI LabVIEW Real-Time Module

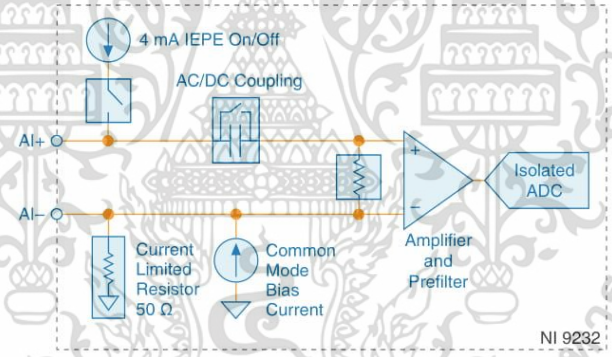


- Design deterministic real-time applications with LabVIEW graphical programming
- Download to dedicated NI or third-party hardware for reliable execution and a wide selection of I/O
- Take advantage of built-in PID control, signal processing, and analysis functions
- Automatically take advantage of multicore CPUs or set processor affinity manually
- Take advantage of real-time OS, development and debugging support, and board support
- Purchase individually or as part of a LabVIEW suite

Circuitry

The NI 9232 analog input channels are referenced to an isolated ground through a 50 Ω resistor. Each channel is protected from overvoltages. The input signal on each channel is buffered, conditioned, and then sampled by an isolated 24-bit Delta-Sigma ADC. You can configure each channel in software for AC or DC coupling. For channels set to AC coupling, you can turn the IEPE excitation current on or off. Refer to the software help for information about configuring channels on the NI 9232.

Figure 1. Input Circuitry for One Channel



The NI 9232 also has TEDS circuitry. For more information about TEDS, visit `ni.com/info` and enter the Info Code `rdteds`.

Filtering

The NI 9232 uses a combination of analog and digital filtering to provide an accurate representation of in-band signals while rejecting out-of-band signals. The filters discriminate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

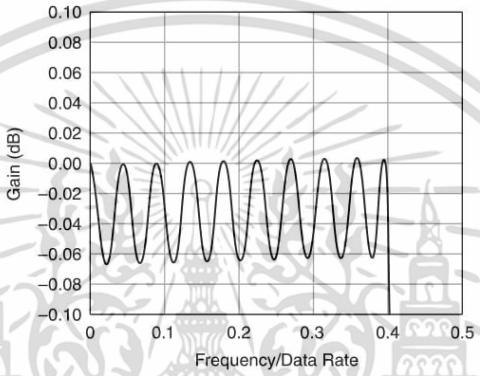
between signals based on the frequency range, or bandwidth, of the signal. The three important bandwidths to consider are the passband, the stopband, and the alias-free bandwidth.

The NI 9232 represents signals within the passband, as quantified primarily by passband ripple and phase nonlinearity. All signals that appear in the alias-free bandwidth are either unaliased signals or signals that have been filtered by at least the amount of the stopband rejection.

Passband

The signals within the passband have frequency-dependent gain or attenuation. The small amount of variation in gain with respect to frequency is called the passband flatness. The digital filters of the NI 9232 adjust the frequency range of the passband to match the data rate. Therefore, the amount of gain or attenuation at a given frequency depends on the data rate.

Figure 2. Typical Passband Flatness



Stopband

The filter significantly attenuates all signals above the stopband frequency. The primary goal of the filter is to prevent aliasing. Therefore, the stopband frequency scales precisely with the data rate. The stopband rejection is the minimum amount of attenuation applied by the filter to all signals with frequencies within the stopband.

Alias-Free Bandwidth

Any signal that appears in the alias-free bandwidth of the NI 9232 is not an aliased artifact of signals at a higher frequency. The alias-free bandwidth is defined by the ability of the filter to reject frequencies above the stopband frequency, and it is equal to the data rate minus the stopband frequency.

Data Rates

The frequency of a master timebase (f_M) controls the data rate (f_s) of the NI 9232.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Internal Master Timebase

The NI 9232 includes an internal master timebase with a frequency of 13.1072 MHz. When using the internal master timebase, the result is data rates of 102.4 kS/s, 51.2 kS/s, 34.13 kS/s, 25.6 kS/s, and so on down to 0.98 kS/s, depending on the decimation rate and the value of the clock divider. However, the data rate must remain within the appropriate data rate range.

The following equation provides the available data rates of the NI 9232:

$$f_s = \frac{f_M}{2 \times m \times n}$$

where

f_s is the data rate
f_M is the master timebase
m is the decimation rate
n is the clock divider from 1 to 26

There are multiple combinations of clock divider and decimation rate that yield the same data rate. The software always picks the highest decimation rate for the selected data rate.

Data Rates with the Internal Master Timebase

The following table lists the available data rates with the internal master timebase.

Table 1. Available Data Rates with the Internal Master Timebase

f_s (kS/s)	Decimation Rate	Clock Divider
102.40	64	1
51.20	128	1
34.13	64	3
25.60	256	1
20.48	64	5
17.07	128	3
14.63	64	7
12.80	256	2
11.38	64	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1. Available Data Rates with the Internal Master Timebase (Continued)

f_s (kS/s)	Decimation Rate	Clock Divider
10.24	128	5
9.31	64	11
8.53	256	3
7.88	64	13
7.31	128	7
6.83	64	15
6.40	256	4
6.02	64	17
5.69	128	9
5.39	64	19
5.12	256	5
4.88	64	21
4.65	128	11
4.45	64	23
4.27	256	6
4.10	64	25
3.94	128	13
3.66	256	7
3.41	128	15
3.20	256	8
3.01	128	17
2.84	256	9
2.69	128	19
2.56	256	10
2.44	128	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1. Available Data Rates with the Internal Master Timebase (Continued)

f_s (kS/s)	Decimation Rate	Clock Divider
2.33	256	11
2.23	128	23
2.13	256	12
2.05	128	25
1.97	256	13
1.83	256	14
1.71	256	15
1.60	256	16
1.51	256	17
1.42	256	18
1.35	256	19
1.28	256	20
1.22	256	21
1.16	256	22
1.11	256	23
1.07	256	24
1.02	256	25
0.98	256	26

External Master Timebase

The NI 9232 also can accept an external master timebase or export its own master timebase. To synchronize the data rate of an NI 9232 with other modules that use master timebases to control sampling, all of the modules must share a single master timebase source. When using an external timebase with a frequency other than 13.1072 MHz, the NI 9232 has a different set of data rates. Refer to the software help for information about configuring the master timebase source for the NI 9232.

Note The NI 9151 R Series Expansion chassis does not support sharing timebases between modules.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NI 9232 Specifications

The following specifications are typical for the range -40 °C to 70 °C unless otherwise noted.

Caution Do not operate the NI 9232 in a manner not specified in this document. Product misuse can result in a hazard. You can compromise the safety protection built into the product if the product is damaged in any way. If the product is damaged, return it to NI for repair.

Input Characteristics

Number of channels	3 analog input channels
ADC resolution	24 bits
Type of ADC	Delta-Sigma (with analog prefiltering)
Sampling mode	Simultaneous
Type of TEDS supported	IEEE 1451.4 TEDS Class I
TEDS capacitive drive	3000 pF
Internal master timebase (f_M)	
Frequency	13.1072 MHz
Accuracy	±100 ppm
Data rate range (f_s) using internal master timebase	
Minimum	0.985 kS/s
Maximum	102.4 kS/s
Data rate range (f_s) using external master timebase	
Minimum	0.977 kS/s
Maximum	102.73 kS/s

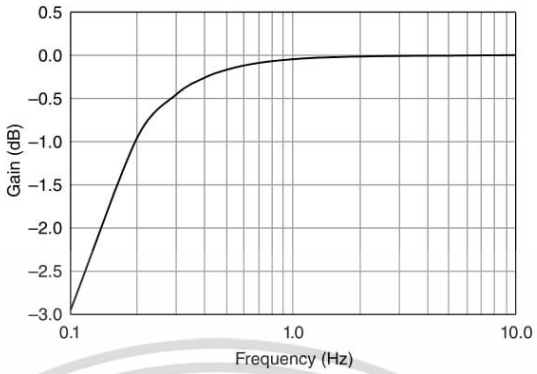
Figure 3. Data Rates (f_s)

$$\frac{f_M}{2 \times m \times n}$$

Input coupling	AC/DC (software-selectable)
AC cutoff frequency	
-3 dB	0.1 Hz
-0.1 dB	0.87 Hz maximum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 4. AC Cutoff Frequency Response



DC voltage input range	
Minimum	±30.87 V
Typical	±31.5 V
Maximum	±32.13 V
AC voltage full-scale range[1]	
Minimum	±30.87 Vpk
Typical	±31.5 Vpk
Maximum	±32.13 Vpk
Channel-to-channel common-mode voltage range (AI- to AI-)	±1 V maximum
IEPE excitation current (software-selectable on/off)	
Minimum	4 mA
Typical	4.25 mA
IEPE excitation noise	100 nArms
IEPE compliance voltage	22 V minimum

If you are using an IEPE sensor, use the following equation to make sure your configuration meets the IEPE compliance voltage range.

Figure 5. IEPE Compliance Voltage Range

$$\left(0.67 \times V_{\text{common-mode}} + V_{\text{bias}} \pm V_{\text{full-scale}}\right)$$

[1] The DC + AC voltage must be below the overvoltage protection of the NI 9232.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

where

$V_{common\text{-}mode}$ is the channel-to-channel common-mode voltage across two or more channels

V_{bias} is the bias voltage of the IEPE sensor

$V_{full\text{-}scale}$ is the full-scale voltage of the IEPE sensor

Note This equation must resolve to 0 V to 22 V.

IEPE fault detection[2]	
Short circuit	V AI < 1.5 V
Open loop	V AI > 24 V
Overvoltage protection	±45 V for a low impedance source connected between any two terminals
Input delay	
64x decimation	$30/f_s$ + 3.0 µs
128x decimation	$29/f_s$ + 3.0 µs
256x decimation	$28/f_s$ + 3.0 µs

Table 2. Accuracy

Measurement Conditions		Percent of Reading (Gain Error)	Percent of Range[3] (Offset Error)[4]
Calibrated	Maximum (-40 °C to 70 °C)	±0.60%	±0.23%
	Typical (23 °C, ±5 °C)	±0.10%	±0.023%
Uncalibrated[5]	Maximum (-40 °C to 70 °C)	±1.50%	±0.59%
	Typical (23 °C, ±5 °C)	±0.40%	±0.12%

Stability	
Gain drift	±25 ppm/°C
Offset drift (DC coupled)	±320 µV/°C

[2] Refer to the software help for information on reading the IEPE fault detection status.
[3] Range equals 31.5 V
[4] DC coupled
[5] Uncalibrated accuracy refers to the accuracy achieved when acquiring data in raw or unscaled modes and in which calibration constants that are stored in the module are not applied to the data.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 3. Gain Matching (Calibrated)

Frequency Band	20 Hz to 40.96 kHz	
	Typical	Maximum
Channel-to-channel	25 mdB	120 mdB

Table 4. Phase Matching (Maximum)

Frequency Band	20 Hz to 40.96 kHz
Channel-to-channel	$(0.022°/\text{kHz} \times f_{in}) + 0.045°$
Module-to-module	$(0.022°/\text{kHz} \times f_{in}) + 0.045° + (360° \times f_{in} / f_M)$
Passband frequency	$0.4 \cdot f_s$

Table 5. Flatness (Peak-to-Peak)

Frequency Band	20 Hz to 20.48 kHz	20 hz to 40.96 kHz
Typical	70 mdB	75 mdB
Maximum	75 mdB[6]	100 mdB[7]

Table 6. Phase Nonlinearity (Maximum)

Frequency Band	20 Hz to 20.48 kHz	20 Hz to 40.96 kHz
AC Coupled	0.31°	0.31°
DC Coupled	0.025°	0.19°
Stopband		
Frequency	$0.5 \cdot f_s$	
Rejection	120 dB	
Alias-free bandwidth	$0.4 \cdot f_s$	
Oversample rate	$64 \cdot f_s$, $128 \cdot f_s$, and $256 \cdot f_s$	

[6] For conformal coated version, the maximum flatness for 20 Hz to 20.48 kHz is 76 mdB.
[7] For conformal coated version, the maximum flatness for 20 Hz to 40.96 kHz is 102 mdB.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rejection at oversample rate[8]	
f_s = 10.24 kS/s	95 dB at 1.311 MHz
f_s = 102.4 kS/s	120 dB at 6.554 MHz
Crosstalk (f_{in} = 1 kHz)	-125 dB
CMRR	
Channel-to-channel ($f_{in} \leq$ 1 kHz)	56 dB
Channel-to-earth (f_{in} = 60 Hz)	107 dB
SFDR (f_{in} = 1 kHz, -60 dBFS)	
f_s = 102.4 kS/s	120 dBFS
f_s = 51.2 kS/s	123 dBFS
f_s = 25.6 kS/s	126 dBFS

Table 7. Input Noise

Data Rate	102.4 kS/s	51.2 kS/s	25.6 kS/s
AC coupled	251 µVrms	171 µVrms	127 µVrms
DC coupled	223 µVrms	150 µVrms	112 µVrms

Table 8. Dynamic range (f_{in} = 1 kHz, -60 dBFS)

Data Rate	102.4 kS/s	51.2 kS/s	25.6 kS/s
AC coupled	99 dBFS	102 dBFS	105 dBFS
DC coupled	100 dBFS	103 dBFS	106 dBFS

Input impedance	
Differential	324 kΩ
AI- to isolated ground	50 Ω

[8] Rejection of analog prefilter at oversample rate.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 9. Total Harmonic Distortion (THD)

Input Amplitude	1 kHz	10 kHz
-10.5424 dBFS	-95 dB	-85 dB
-20 dBFS	-95 dB	-85 dB

Intermodulation distortion (-10.5424 dBFS)	
DIN 250 Hz/8 kHz 4:1 amplitude ratio	-80 dB
CCIF 11 kHz/12 kHz 1:1 amplitude ratio	-100 dB

Power Requirements

Power consumption from chassis	
Active mode	1 W maximum
Sleep mode	25 µW maximum
Thermal dissipation (at 70 °C)	
Active mode	1 W maximum
Active mode (BNC variant)	1.5 W maximum
Sleep mode	25 µW maximum

Physical Characteristics

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.

Tip For two-dimensional drawings and three-dimensional models of the C Series module and connectors, visit *ni.com/dimensions* and search by module number.

Screw-terminal wiring	
Gauge	0.05 mm^2 to 1.5 mm^2 (30 AWG to 14 AWG) copper conductor wire
Wire strip length	6 mm (0.24 in.) of insulation stripped from the end
Temperature rating	90 °C minimum
Torque for screw terminals	0.22 N · m to 0.25 N · m (1.95 lb · in. to 2.21 lb · in.)
Wires per screw terminal	One wire per screw terminal; two wires per screw terminal using a 2-wire ferrule
Ferrules	0.25 mm^2 to 1.5 mm^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connector securement	
Securement type	Screw flanges provided
Torque for screw flanges	0.2 N · m (1.80 lb · in.)
Weight	
NI 9232 with screw terminal	142 g (5.0 oz)
NI 9232 with BNC	159 g (5.6 oz)

Safety Voltages

Connect only voltages that are within the following limits.

Isolation	
Channel-to-channel	None
Channel-to-earth ground	
Continuous	60 VDC, Measurement Category I
Withstand	1,000 Vrms, verified by a 5 s dielectric withstand test

Measurement Category I is for measurements performed on circuits not directly connected to the electrical distribution system referred to as *MAINS* voltage. MAINS is a hazardous live electrical supply system that powers equipment. This category is for measurements of voltages from specially protected secondary circuits. Such voltage measurements include signal levels, special equipment, limited-energy parts of equipment, circuits powered by regulated low-voltage sources, and electronics.

Caution Do not connect the NI 9232 to signals or use for measurements within Measurement Categories II, III, or IV.

Note Measurement Categories CAT I and CAT O are equivalent. These test and measurement circuits are not intended for direct connection to the MAINS building installations of Measurement Categories CAT II, CAT III, or CAT IV.

Hazardous Locations

U.S. (UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, AEx nA IIC T4
Canada (C-UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, Ex nA IIC T4
Europe (ATEX) and International (IECEx)	Ex nA IIC T4 Gc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Safety and Hazardous Locations Standards

This product is designed to meet the requirements of the following electrical equipment safety standards for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA 61010-1
- EN 60079-0:2012, EN 60079-15:2010
- IEC 60079-0: Ed 6, IEC 60079-15; Ed 4
- UL 60079-0; Ed 6, UL 60079-15; Ed 4
- CSA 60079-0:2011, CSA 60079-15:2012

Note For UL and other safety certifications, refer to the product label or the *Online Product Certification* section.

Electromagnetic Compatibility

This product meets the requirements of the following EMC standards for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326-1 (IEC 61326-1): Class A emissions; Industrial immunity
- EN 55011 (CISPR 11): Group 1, Class A emissions
- EN 55022 (CISPR 22): Class A emissions
- EN 55024 (CISPR 24): Immunity
- AS/NZS CISPR 11: Group 1, Class A emissions
- AS/NZS CISPR 22: Class A emissions
- FCC 47 CFR Part 15B: Class A emissions
- ICES-001: Class A emissions

Note In the United States (per FCC 47 CFR), Class A equipment is intended for use in commercial, light-industrial, and heavy-industrial locations. In Europe, Canada, Australia and New Zealand (per CISPR 11) Class A equipment is intended for use only in heavy-industrial locations.

Note Group 1 equipment (per CISPR 11) is any industrial, scientific, or medical equipment that does not intentionally generate radio frequency energy for the treatment of material or inspection/analysis purposes.

Note For EMC declarations and certifications, and additional information, refer to the *Online Product Certification* section.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CE Compliance CE

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as follows:

- 2014/35/EU; Low-Voltage Directive (safety)
- 2014/30/EU; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)
- 2014/34/EU; Potentially Explosive Atmospheres (ATEX)

Online Product Certification

Refer to the product Declaration of Conformity (DoC) for additional regulatory compliance information. To obtain product certifications and the DoC for this product, visit *ni.com/certification*, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Shock and Vibration

To meet these specifications, you must panel mount the system.

Operating vibration	
Random (IEC 60068-2-64)	5 g_{rms}, 10 Hz to 500 Hz
Sinusoidal (IEC 60068-2-6)	5 g, 10 Hz to 500 Hz
Operating shock (IEC 60068-2-27)	30 g, 11 ms half sine; 50 g, 3 ms half sine; 18 shocks at 6 orientations

Environmental

Refer to the manual for the chassis you are using for more information about meeting these specifications.

Operating temperature (IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2)	-40 °C to 70 °C
Storage temperature (IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2)	-40 °C to 85 °C
Ingress protection	IP40
Operating humidity (IEC 60068-2-78)	10% RH to 90% RH, noncondensing
Storage humidity (IEC 60068-2-78)	5% RH to 95% RH, noncondensing
Pollution Degree	2
Maximum altitude	5,000 m

Indoor use only.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Environmental Management

NI is committed to designing and manufacturing products in an environmentally responsible manner. NI recognizes that eliminating certain hazardous substances from our products is beneficial to the environment and to NI customers.

For additional environmental information, refer to the *Minimize Our Environmental Impact* web page at *ni.com/environment*. This page contains the environmental regulations and directives with which NI complies, as well as other environmental information not included in this document.

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)

EU Customers At the end of the product life cycle, all NI products must be disposed of according to local laws and regulations. For more information about how to recycle NI products in your region, visit *ni.com/environment/weee*.

电子信息产品污染控制管理办法（中国 RoHS）

中国客户 National Instruments 符合中国电子信息产品中限制使用某些有害物质指令(RoHS)。关于 National Instruments 中国 RoHS 合规性信息，请登录 `ni.com/environment/rohs_china`。(For information about China RoHS compliance, go to `ni.com/environment/rohs_china`.)

Calibration

You can obtain the calibration certificate and information about calibration services for the NI 9232 at *ni.com/calibration*.

Calibration interval	1 year

Refer to the *NI Trademarks and Logo Guidelines* at `ni.com/trademarks` for information on NI trademarks. Other product and company names mentioned herein are trademarks or trade names of their respective companies. For patents covering NI products/technology, refer to the appropriate location: **Help»Patents** in your software, the `patents.txt` file on your media, or the *National Instruments Patent Notice* at `ni.com/patents`. You can find information about end-user license agreements (EULAs) and third-party legal notices in the readme file for your NI product. Refer to the *Export Compliance Information* at `ni.com/legal/export-compliance` for the NI global trade compliance policy and how to obtain relevant HTS codes, ECCNs, and other import/export data. NI MAKES NO EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES AS TO THE ACCURACY OF THE INFORMATION CONTAINED HEREIN AND SHALL NOT BE LIABLE FOR ANY ERRORS. U.S. Government Customers: The data contained in this manual was developed at private expense and is subject to the applicable limited rights and restricted data rights as set forth in FAR 52.227-14, DFAR 252.227-7014, and DFAR 252.227-7015.

© 2015 National Instruments. All rights reserved.

373932A-02 Dec15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

NI cDAQ 9269 Data Sheet

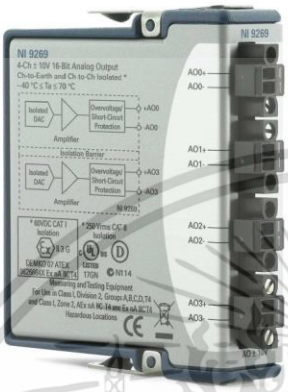
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATASHEET

NI 9269

4 AO, ±10 V, ±40 V Stacked, 16 Bit, 100 kS/s/ch Simultaneous

- Screw-terminal connectivity
- 250 Vrms, CAT II, channel-to-channel isolation



The NI 9269 is a four-channel, 100 kS/s per channel, channel-to-channel isolated module for any NI CompactRIO and NI CompactDAQ chassis. Similar to the NI 9263 module, the NI 9269 adds channel-to-channel isolation for increased safety, improved signal quality, and the ability to stack channels to output up to 40 V. NI CompactDAQ support has been added as of NI-DAQmx Version 9.1 Channel-to-channel isolation is commonly needed for applications that have multiple electrical systems, such as automotive test, or industrial applications that are subjected to increased noise and often contain multiple ground planes.

NATIONAL INSTRUMENTS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C SERIES ANALOG OUTPUT MODULE COMPARISON

Product Name	Module Type	Signal Ranges	Channels	Sample Rate	Isolation	Resolution	Connectivity
NI 9260	Voltage Output	3 Vrms	2	51.2 kS/s/ch	None	24-Bit	BNC, mini XLR
NI 9263	Voltage Output	±10 V	4	100 kS/s/ch	250 Vrms Ch-Earth	16-Bit	Screw-Terminal, Spring-Terminal
NI 9264	Voltage Output	±10 V	16	25 kS/s/ch	250 Vrms Ch-Earth (Spring) 60 VDC Ch-Earth (DSUB)	16-Bit	Spring-Terminal, 37-Pin DSUB
NI 9265	Current Output	0 mA to 20 mA	4	100 kS/s/ch	250 Vrms Ch-Earth, Vsup-Earth, COM-Earth	16-Bit	Screw-Terminal
NI 9269	Voltage Output	±10 V	4	100 kS/s/ch	250 Vrms Ch-Ch 250 Vrms Ch-Earth	16-Bit	Screw-Terminal

Kit Contents	• NI 9269 • NI 9269 Getting Started Guide
Accessories	• NI 9971 backshell kit

NI C Series Overview

NI provides more than 100 C Series modules for measurement, control, and communication applications. C Series modules can connect to any sensor or bus and allow for high-accuracy measurements that meet the demands of advanced data acquisition and control applications.

- Measurement-specific signal conditioning that connects to an array of sensors and signals
- Isolation options such as bank-to-bank, channel-to-channel, and channel-to-earth ground
- -40 °C to 70 °C temperature range to meet a variety of application and environmental needs
- Hot-swappable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The majority of C Series modules are supported in both CompactRIO and CompactDAQ platforms and you can move modules from one platform to the other with no modification.

CompactRIO

CompactRIO combines an open-embedded architecture with small size, extreme ruggedness, and C Series modules in a platform powered by the NI LabVIEW reconfigurable I/O (RIO) architecture. Each system contains an FPGA for custom timing, triggering, and processing with a wide array of available modular I/O to meet any embedded application requirement.

CompactDAQ

CompactDAQ is a portable, rugged data acquisition platform that integrates connectivity, data acquisition, and signal conditioning into modular I/O for directly interfacing to any sensor or signal. Using CompactDAQ with LabVIEW, you can easily customize how you acquire, analyze, visualize, and manage your measurement data.

Software

LabVIEW Professional Development System for Windows

- Use advanced software tools for large project development
- Generate code automatically using DAQ Assistant and Instrument I/O Assistant
- Use advanced measurement analysis and digital signal processing
- Take advantage of open connectivity with DLLs, ActiveX, and .NET objects
- Build DLLs, executables, and MSI installers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

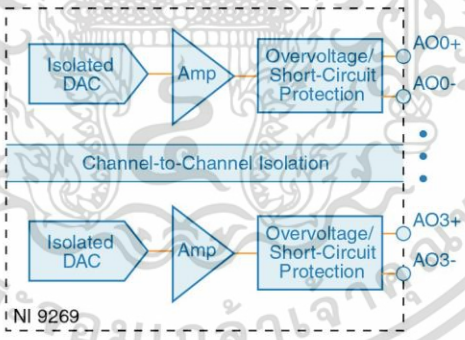
NI LabVIEW FPGA Module

- Design FPGA applications for NI RIO hardware
- Program with the same graphical environment used for desktop and real-time applications
- Execute control algorithms with loop rates up to 300 MHz
- Implement custom timing and triggering logic, digital protocols, and DSP algorithms
- Incorporate existing HDL code and third-party IP including Xilinx IP generator functions
- Purchase as part of the LabVIEW Embedded Control and Monitoring Suite

NI LabVIEW Real-Time Module

- Design deterministic real-time applications with LabVIEW graphical programming
- Download to dedicated NI or third-party hardware for reliable execution and a wide selection of I/O
- Take advantage of built-in PID control, signal processing, and analysis functions
- Automatically take advantage of multicore CPUs or set processor affinity manually
- Take advantage of real-time OS, development and debugging support, and board support
- Purchase individually or as part of a LabVIEW suite

Circuitry



The analog output channels are floating with respect to earth ground and each other. Each channel has a digital-to-analog converter (DAC) that produces a voltage signal. Each channel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

provides an independent signal path, enabling you to update all four channels simultaneously. Each channel also has overvoltage and short-circuit protection.

NI 9269 Specifications

The following specifications are typical for the range -40 °C to 70 °C unless otherwise noted. All voltages are relative to the AO- signal on each channel unless otherwise noted.

Caution Do not operate the NI 9269 in a manner not specified in this document. Product misuse can result in a hazard. You can compromise the safety protection built into the product if the product is damaged in any way. If the product is damaged, return it to NI for repair.

Output Characteristics

Number of channels	4 analog output channels
DAC resolution	16 bits
Type of DAC	R-2R
Power-on output state	High impedance
Startup voltage[1]	0 V
Power-down output state[2]	High impedance
Output voltage range[3]	
Nominal	±10 V
Minimum	±10.38 V
Typical	±10.47 V
Maximum	±10.56 V
Current drive	±20 mA all channels maximum; ±10 mA per channel typical
Output impedance	100 mΩ

1 When the output stage powers on, a glitch occurs for 5 µs peaking at -900 mV.
2 When the module powers down, a glitch occurs for 20 µs peaking at -600 mV.
3 Refer to the device Getting Started Guide on *ni.com/manuals* for information about the stacked nominal output voltage range and current drive.
4 Range equals 10.47 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1. Accuracy

Measurement Conditions		Percent of Reading (Gain Error)	Percent of Range[4] (Offset Error)
Calibrated	Maximum (-40 °C to 70 °C)	0.17%	0.15%
	Typical (25 °C, ±5 °C)	0.05%	0.01%
Uncalibrated[5]	Maximum (-40 °C to 70 °C)	0.44%	0.37%
	Typical (25 °C, ±5 °C)	0.14%	0.05%

Stability	
Gain drift	5 ppm/°C
Offset drift	80 µV/°C
Protection	
Overvoltage	±30 V
Short-circuit	Indefinitely

Table 2. Update Time

Number of Channels	Update Time for NI cRIO-9151 R Series Expansion Chassis	Update Time for All Other Chassis
1	3.5 µs minimum	3 µs minimum
2	6.5 µs minimum	5 µs minimum
3	9.3 µs minimum	7.5 µs minimum
4	12.3 µs minimum	9.7 µs minimum

Noise	300 µVrms
Slew rate	7 V/µs
Crosstalk	
Channel-to-channel	100 dB
Common-mode voltage	120 dB

[5] Uncalibrated accuracy refers to the accuracy achieved when acquiring in raw or unscaled modes where the calibration constants stored in the module are not applied to the data.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Settling time	
100 pF load, to 1 LSB	
Full-scale step	20 µs
1 V step	10 µs
0.1 V step	10 µs
1 kΩ || 100 pF load, to 4 LSB	
Full-scale step	20 µs
Capacity drive	1,500 pF maximum
Monotonicity	16 bits
DNL	±1 LSB maximum
INL (best fit)	±2 LSBs maximum

Power Requirements

Power consumption from chassis	
Active mode	1 W maximum
Sleep mode	120 µW maximum
Thermal dissipation (at 70 °C)	
Active mode	1.4 W maximum
Sleep mode	77 mW maximum

Physical Characteristics

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.

Tip For two-dimensional drawings and three-dimensional models of the C Series module and connectors, visit *ni.com/dimensions* and search by module number.

Screw-terminal wiring	
Gauge	0.05 mm^2 to 1.5 mm^2 (30 AWG to 14 AWG) copper conductor wire
Wire strip length	6 mm (0.24 in.) of insulation stripped from the end
Temperature rating	90 °C minimum
Torque for screw terminals	0.22 N · m to 0.25 N · m (1.95 lb · in. to 2.21 lb · in.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wires per screw terminal	One wire per screw terminal; two wires per screw terminal using a 2-wire ferrule
Ferrules	0.25 mm^2 to 1.5 mm^2
Connector securement	
Securement type	Screw flanges provided
Torque for screw flanges	0.2 N · m (1.80 lb · in.)
Weight	156 g (5.5 oz)

Safety Voltages

Channel-to-channel	
Continuous	250 Vrms, Measurement Category II
Withstand	1,390 Vrms, verified by a 5 s dielectric withstand test
Channel-to-earth ground	
Continuous	250 Vrms, Measurement Category II
Withstand	2,300 Vrms, verified by a 5 s dielectric withstand test
Division 2/Zone 2 hazardous locations applications (Channel-to-channel and channel-to-earth ground)	60 VDC, Measurement Category I

Measurement Category I is for measurements performed on circuits not directly connected to the electrical distribution system referred to as *MAINS* voltage. MAINS is a hazardous live electrical supply system that powers equipment. This category is for measurements of voltages from specially protected secondary circuits. Such voltage measurements include signal levels, special equipment, limited-energy parts of equipment, circuits powered by regulated low-voltage sources, and electronics.

Caution Do not connect the NI 9269 to signals or use for measurements within Measurement Categories II, III, or IV.

Note Measurement Categories CAT I and CAT O are equivalent. These test and measurement circuits are not intended for direct connection to the MAINS building installations of Measurement Categories CAT II, CAT III, or CAT IV.

Measurement Category II is for measurements performed on circuits directly connected to the electrical distribution system. This category refers to local-level electrical distribution, such as that provided by a standard wall outlet, for example, 115 V for U.S. or 230 V for Europe.

Caution Do not connect the NI 9269 to signals or use for measurements within Measurement Categories III or IV.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hazardous Locations

U.S. (UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, AEx nA IIC T4
Canada (C-UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, Ex nA IIC T4
Europe (ATEX) and International (IECEx)	Ex nA IIC T4 Gc

Safety and Hazardous Locations Standards

This product is designed to meet the requirements of the following electrical equipment safety standards for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA 61010-1
- EN 60079-0:2012, EN 60079-15:2010
- IEC 60079-0: Ed 6, IEC 60079-15; Ed 4
- UL 60079-0; Ed 5, UL 60079-15; Ed 3
- CSA 60079-0:2011, CSA 60079-15:2012

Note For UL and other safety certifications, refer to the product label or the *Online Product Certification* section.

Electromagnetic Compatibility

This product meets the requirements of the following EMC standards for sensitive electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326 (IEC 61326): Class A emissions; Industrial immunity
- EN 55011 (CISPR 11): Group 1, Class A emissions
- AS/NZS CISPR 11: Group 1, Class A emissions
- FCC 47 CFR Part 15B: Class A emissions
- ICES-001: Class A emissions

Note For the standards applied to assess the EMC of this product, refer to the *Online Product Certification* section.

CE Compliance CE

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as follows:

- 2014/35/EU; Low-Voltage Directive (safety)
- 2014/30/EU; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)
- 94/9/EC; Potentially Explosive Atmospheres (ATEX)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Online Product Certification

Refer to the product Declaration of Conformity (DoC) for additional regulatory compliance information. To obtain product certifications and the DoC for this product, visit *ni.com/certification*, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Shock and Vibration

To meet these specifications, you must panel mount the system.

Operating vibration	
Random (IEC 60068-2-64)	5 g_{rms}, 10 Hz to 500 Hz
Sinusoidal (IEC 60068-2-6)	5 g, 10 Hz to 500 Hz
Operating shock (IEC 60068-2-27)	30 g, 11 ms half sine; 50 g, 3 ms half sine; 18 shocks at 6 orientations

Environmental

Refer to the manual for the chassis you are using for more information about meeting these specifications.

Operating temperature (IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2)	-40 °C to 70 °C
Storage temperature (IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2)	-40 °C to 85 °C
Ingress protection	IP40
Operating humidity (IEC 60068-2-78)	10% RH to 90% RH, noncondensing
Storage humidity (IEC 60068-2-78)	5% RH to 95% RH, noncondensing
Pollution Degree	2
Maximum altitude	2,000 m

Indoor use only.

Environmental Management

NI is committed to designing and manufacturing products in an environmentally responsible manner. NI recognizes that eliminating certain hazardous substances from our products is beneficial to the environment and to NI customers.

For additional environmental information, refer to the *Minimize Our Environmental Impact* web page at *ni.com/environment*. This page contains the environmental regulations and directives with which NI complies, as well as other environmental information not included in this document.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)

EU Customers At the end of the product life cycle, all NI products must be disposed of according to local laws and regulations. For more information about how to recycle NI products in your region, visit *ni.com/environment/weee*.

电子信息产品污染控制管理办法（中国 RoHS）

中国客户 National Instruments 符合中国电子信息产品中限制使用某些有害物质指令(RoHS)。关于 National Instruments 中国 RoHS 合规性信息，请登录 ni.com/environment/rohs_china。(For information about China RoHS compliance, go to ni.com/environment/rohs_china.)

Calibration

You can obtain the calibration certificate and information about calibration services for the NI 9269 at *ni.com/calibration*.

Calibration interval	1

Refer to the *NI Trademarks and Logo Guidelines* at ni.com/trademarks for information on NI trademarks. Other product and company names mentioned herein are trademarks or trade names of their respective companies. For patents covering NI products/technology, refer to the appropriate location: **Help»Patents** in your software, the patents.txt file on your media, or the *National Instruments Patent Notice* at ni.com/patents. You can find information about end-user license agreements (EULAs) and third-party legal notices in the readme file for your NI product. Refer to the *Export Compliance Information* at ni.com/legal/export-compliance for the NI global trade compliance policy and how to obtain relevant HTS codes, ECCNs, and other import/export data. NI MAKES NO EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES AS TO THE ACCURACY OF THE INFORMATION CONTAINED HEREIN AND SHALL NOT BE LIABLE FOR ANY ERRORS. U.S. Government Customers: The data contained in this manual was developed at private expense and is subject to the applicable limited rights and restricted data rights as set forth in FAR 52.227-14, DFAR 252.227-7014, and DFAR 252.227-7015.

© 2016 National Instruments. All rights reserved.

375099A-02 Apr16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

PCB Piezotronics, Inc. Model: 352C65

ICP® accel., 100 mV/g, 0.5 to 10k เฮิรตซ์, 5-44 side conn. ±50g

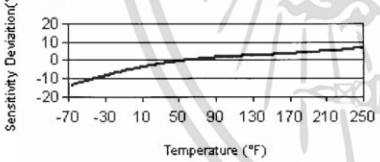
Data Sheet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Model Number	ICP® ACCELEROMETER	Revision: L
352C65		ECN #: 16511

Performance	ENGLISH	SI	
Sensitivity (±10 %)	100 mV/g	10.2 mV/(m/s²)	
Measurement Range	±50 g pk	±491 m/s² pk	
Frequency Range (±5 %)	0.5 to 10000 Hz	0.5 to 10000 Hz	
Frequency Range (±10 %)	0.3 to 12000 Hz	0.3 to 12000 Hz	
Frequency Range (±3 dB)	0.2 to 20000 Hz	0.2 to 20000 Hz	
Resonant Frequency	≥35 kHz	≥35 kHz	
Phase Response (±5 °) (at 70° F [21° C])	2 to 6000 Hz	2 to 6000 Hz	
Broadband Resolution (1 to 10000 Hz)	0.00016 g rms	0.0015 m/s² rms	[1]
Non-Linearity	≤1 %	≤1 %	[3]
Transverse Sensitivity	≤5 %	≤5 %	[4]
Environmental			
Overload Limit (Shock)	±5000 g pk	±49050 m/s² pk	
Temperature Range (Operating)	-65 to +200 °F	-54 to +93 °C	[2]
Temperature Response	See Graph	See Graph	
Base Strain Sensitivity	<0.005 g/με	<0.05 (m/s²)/με	[1]
Electrical			
Excitation Voltage	18 to 30 VDC	18 to 30 VDC	
Constant Current Excitation	2 to 20 mA	2 to 20 mA	
Output Impedance	≤300 ohms	≤300 ohms	
Output Bias Voltage	8 to 12 VDC	8 to 12 VDC	
Discharge Time Constant	0.8 to 2.4 sec	0.8 to 2.4 sec	
Settling Time (within 10% of bias)	<10 sec	<10 sec	
Spectral Noise (1 Hz)	60 μg/√Hz	588 (μm/s²)/√Hz	[1]
Spectral Noise (10 Hz)	16 μg/√Hz	157 (μm/s²)/√Hz	[1]
Spectral Noise (100 Hz)	5 μg/√Hz	49 (μm/s²)/√Hz	[1]
Spectral Noise (1 kHz)	1.5 μg/√Hz	14.7 (μm/s²)/√Hz	[1]
Physical			
Sensing Element	Ceramic	Ceramic	
Sensing Geometry	Shear	Shear	
Housing Material	Titanium	Titanium	
Sealing	Welded Hermetic	Welded Hermetic	
Size (Hex x Height)	0.31 in x 0.42 in	7.9 mm x 10.7 mm	
Weight	0.070 oz	2.0 gm	[1]
Electrical Connector	5-44 Coaxial	5-44 Coaxial	
Electrical Connection Position	Side	Side	
Mounting Thread	5-40 Male	5-40 Male	
Mounting Torque	8 to 12 in-lb	90 to 135 N-cm	

Typical Sensitivity Deviation vs Temperature



CE [5]

All specifications are at room temperature unless otherwise specified.
In the interest of constant product improvement, we reserve the right to change specifications without notice.

ICP® is a registered trademark of PCB Group, Inc.

OPTIONAL VERSIONS

Optional versions have identical specifications and accessories as listed for the standard model except where noted below. More than one option may be used.

A - Adhesive Mount [6]
Supplied Accessory : Model 080A90 Quick Bonding Gel (1) replaces Model 080A15

HT - High temperature, extends normal operation temperatures

Frequency Range (5 %)	5 Hz	5 Hz
Frequency Range (10 %)	3 Hz	3 Hz
Frequency Range (3 dB)	2 Hz	2 Hz
Temperature Range (Operating)	-65 to +250 °F	-54 to +121 °C
Discharge Time Constant	0.08 to 0.24 sec	0.08 to 0.24 sec
Broadband Resolution (1 to 10000 Hz)	0.0002 g rms	0.002 m/s² rms
Spectral Noise (1 Hz)	75 μg/√Hz	736 (μm/s²)/√Hz
Spectral Noise (10 Hz)	25 μg/√Hz	245 (μm/s²)/√Hz
Spectral Noise (100 Hz)	5 μg/√Hz	49 (μm/s²)/√Hz
Spectral Noise (1 kHz)	1.5 μg/√Hz	14.7 (μm/s²)/√Hz

J - Ground Isolated

Frequency Range (5 %)	8 kHz	8 kHz
Frequency Range (10 %)	10 kHz	10 kHz
Frequency Range (3 dB)	16 kHz	16 kHz
Resonant Frequency	≥30 kHz	≥30 kHz
Electrical Isolation (Base)	$>10^8$ ohms	$>10^8$ ohms
Size (Hex x Height)	0.37 in x 0.55 in	9.5 mm x 14.0 mm
Weight	0.1 oz	2.8 gm

M - Metric Mount

Mounting Thread	M3 x 0.50 Male	M3 x 0.50 Male

Supplied Accessory : Model M080A15 Adhesive Mounting Base (1) replaces Model 080A15

W - Water Resistant Cable

Electrical Connector	Sealed Integral Cable	Sealed Integral Cable
Electrical Connection Position	Side	Side

NOTES:
[1] Typical.
[2] 200°F to 250°F data valid with HT option only
[3] Zero-based, least-squares, straight line method.
[4] Transverse sensitivity is typically <= 3%.
[5] See PCB Declaration of Conformance PS023 for details.
[6] Mounting stud removed, adhesive mounting base not required.

SUPPLIED ACCESSORIES:
Model 080A109 Petro Wax (1)
Model 080A15 Adhesive Mounting Base (1)
Model ACS-1 NIST traceable frequency response (10 Hz to upper 5% point)

Entered: DD	Engineer: DD	Sales: WDL	Approved: BT	Spec Number:
Date: 11/22/02	Date: 11/22/02	Date: 11/22/2	Date: 11/23/2	8339

PCB PIEZOTRONICS
VIBRATION DIVISION
3425 Walden Avenue, Depew, NY 14043
Phone: 716-684-0001
Fax: 716-685-3886
E-Mail: vibration@pcb.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงความเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

Keyence LV-11SA

Laser Tachometer

Data Sheet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LV-11SA

แอมพลิฟายเออร์ยูนิต, ยูนิต Parent, NPN

ข้อมูลจำเพาะ

รุ่น			LV-11SA
ชนิด			หน่วยอุปกรณ์หลัก
ยูนิตหลัก/ยูนิตขยาย			
รุ่นที่ใช้ได้			LV-S61/S41/S41L/S31/S71/S72
เอาต์พุตควบคุม			NPN open collector x 2 ช่องสัญญาณ สูงสุด 40 VDC สูงสุด 100 mA ต่อหนึ่งเอาท์พุท
เวลาตอบสนอง	ยกเว้น LV-S31	ULTRA	4 ms
		SUPER	2 ms
		TURBO	500 µs
		FINE	250 µs
		HSP	80 µs
	โหมดมาตรฐานของ LV-S31		500 µs
	โหมดมาตรฐานของ LV-S31	SPED2	2 ms
		SPED3	8 ms
		SPED4	32 ms
	โหมดความเร็วสูงของ LV-S31		250 µs
อินพุตควบคุม			อินพุตอุปกรณ์การปล่อยแสง, การปรับแต่งจากภายนอก, ตั้งค่าอินพุตการเลือกช่องการตั้งค่า หรืออินพุตปรับค่า
จำนวนชุดป้องกันการกีดขวาง	ULTRA		7
	SUPER		
	TURBO		
	FINE		
	HSP		
การต่อขยายชุดอุปกรณ์			
อัตรา	แรงดันแหล่งจ่ายไฟ		12 ถึง 24 VDC, การกระเพื่อม (P-P) 10 % หรือน้อยกว่า, คลาส 2 *1
	การสิ้นเปลืองกำลังไฟ	ปกติ	สูงสุด 1.5 W (สูงสุด 62.5 mA สำหรับ 24 V)
		Eco-กริ่งหนึ่ง Eco-ทั้งหมด	สูงสุด 1.35 W (สูงสุด 57.3 mA สำหรับ 24 V)
ความทนทานต่อสภาพแวดล้อม	อุณหภูมิแวดล้อมในการทำงาน		-10 ถึง +55 °C (ไม่เป็นน้ำแข็ง) *2
	การสั่นสะเทือน		10 ถึง 55 Hz, แอมพลิจูดสองเท่า 1.5 มม., 2 ชั่วโมง สำหรับแต่ละแนวแกน X, Y และ Z
วัสดุ	ชุดอุปกรณ์หลัก		ชุดอุปกรณ์หลัก, ฝาครอบ: โพลีคาร์บอเนต
น้ำหนัก			ประมาณ 80 กรัม (รวมสายเคเบิล 2 ม.)

*1 เมื่อเชื่อมต่อเกินกว่า 8 ยูนิตขึ้นไป แรงดันของแหล่งจ่ายไฟจะต้องเท่ากับ 24 VDC การกระเพื่อม (P-P) 10 % หรือน้อยกว่า

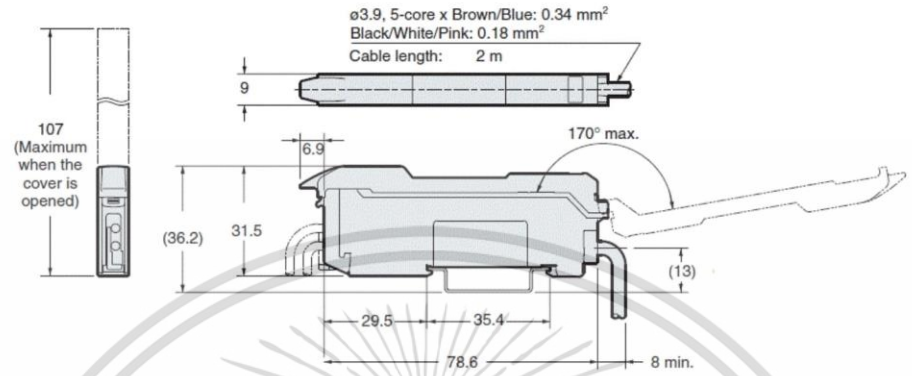
*2 ในกรณีเชื่อมต่อหลายยูนิตเข้าด้วยกัน ต้องติดตั้งบนราง DIN ที่เป็นโลหะ และตรวจสอบให้แน่ใจว่ากระแสเอาต์พุตสูงสุดคือ 20 mA ในการต่อหลายยูนิตเข้าด้วยกัน ช่วงของอุณหภูมิแวดล้อมที่เหมาะสมจะแตกต่างกันดังต่อไปนี้.
เมื่อเชื่อมต่อ 1 ถึง 2 ยูนิต: -10 ถึง +55 °C, เมื่อเชื่อมต่อ 3 หรือ 10 ยูนิต: -10 ถึง +50 °C, เมื่อเชื่อมต่อ 11 หรือ 16 ยูนิต: -10 ถึง +45 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

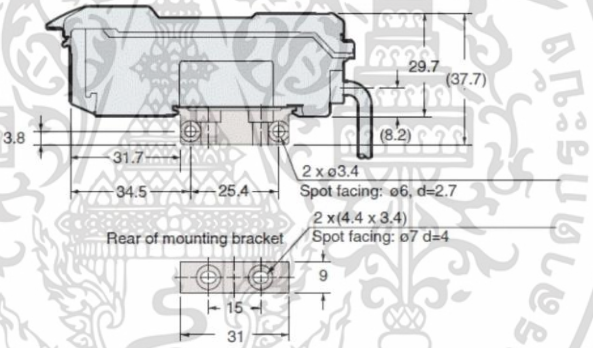
ขนาด

*หากข้อความนี้อ่านยาก โปรดตรวจสอบ CAD หรือคู่มือ

LV-11SA/11SAP



When the mounting bracket (included with LV-11SA(P)) is attached:



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ.

Keyence LV-S41

Optical Laser Type Tachometer

Data Sheet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LV-S41

Sensor head, Spot Reflective, Small

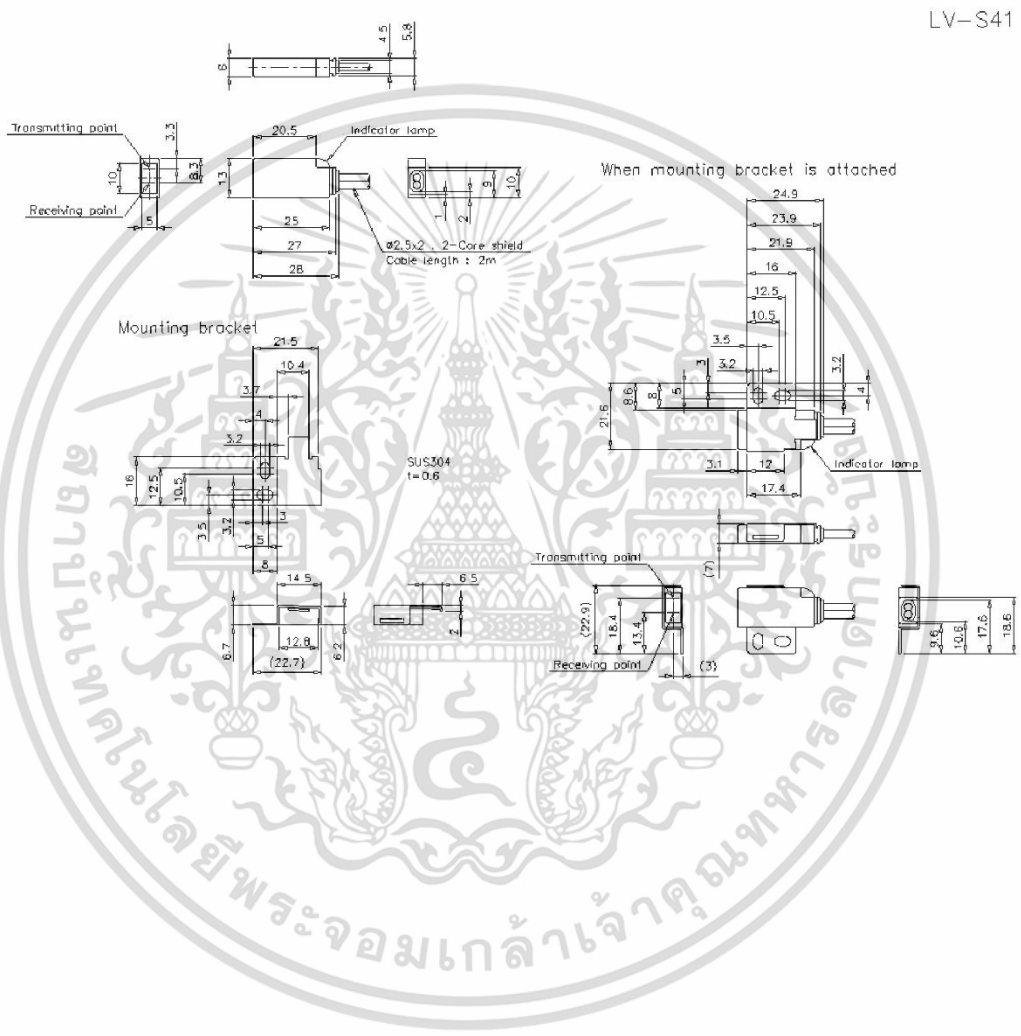
CE

SPECIFICATIONS

Model		LV-S41
Type		Small
FDA (CDRH) Part 1040.10		Class 1 Laser Product
IEC 60825-1		
Light source		Visible red semiconductor laser, Wavelength: 655 nm
Detecting distance	MEGA	600 mm
	ULTRA	500 mm
	SUPER	400 mm
	TURBO	300 mm
	FINE	200 mm
	HSP	150 mm
Environmental resistance	Ambient temperature	-10 to +50 °C (No freezing)
Material	Case	Glass reinforced plastic
	Display	Polycarbonate
	Lens cover	Norbornene plastic
Weight		Approx. 70 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

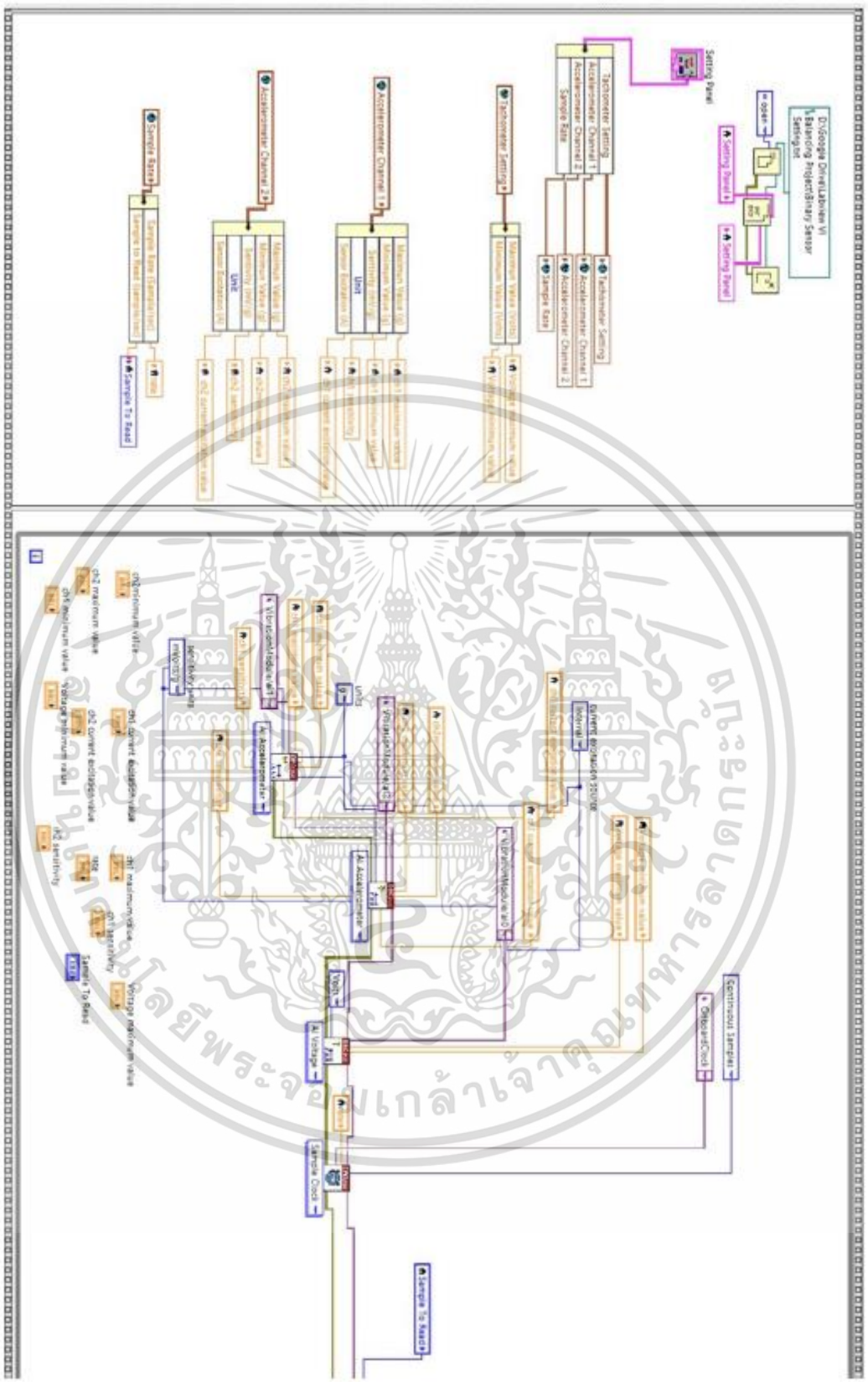
Dimensions



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

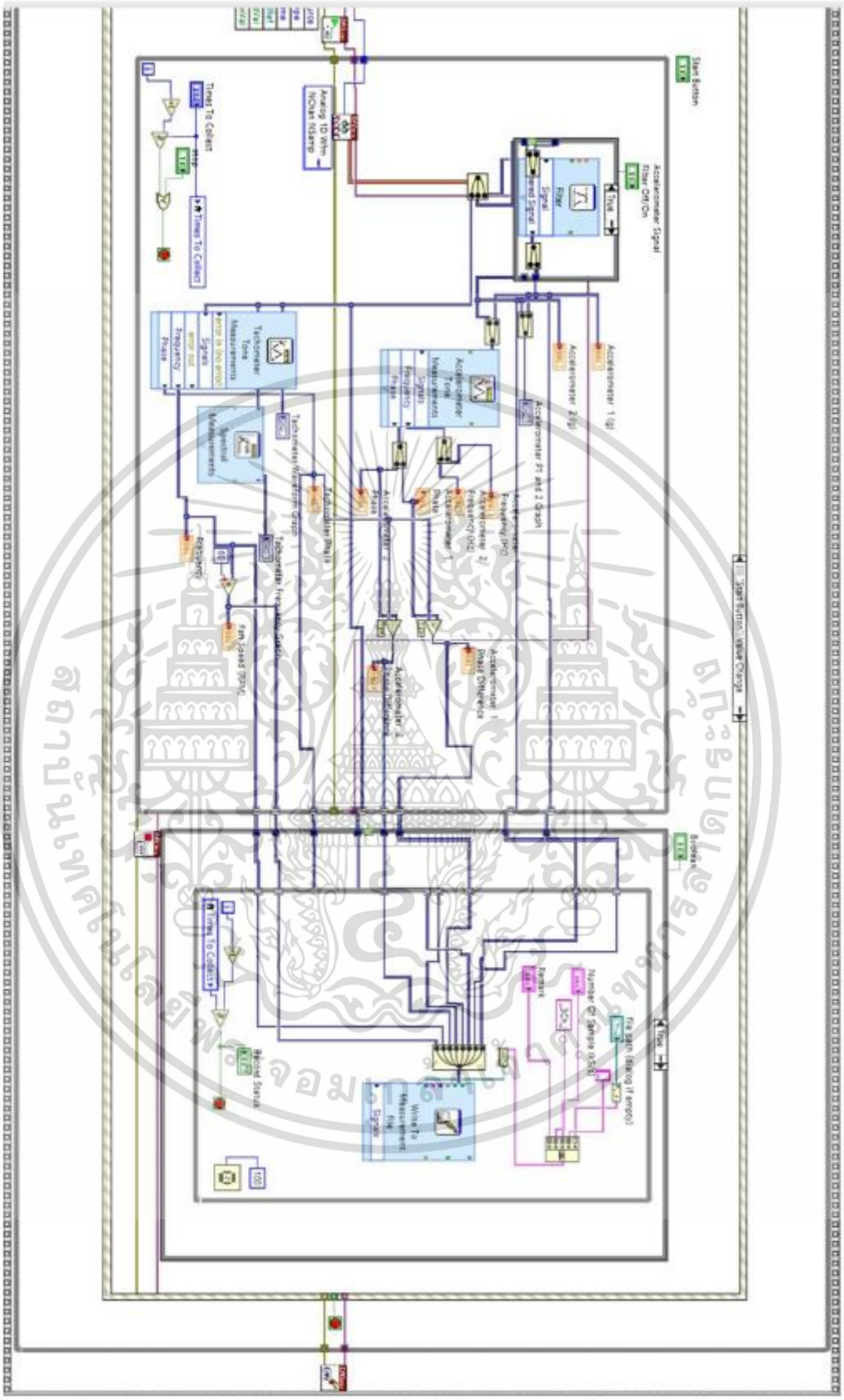
ภาคผนวก ช.
ซอฟท์แวร์ใช้งานจากโปรแกรม LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



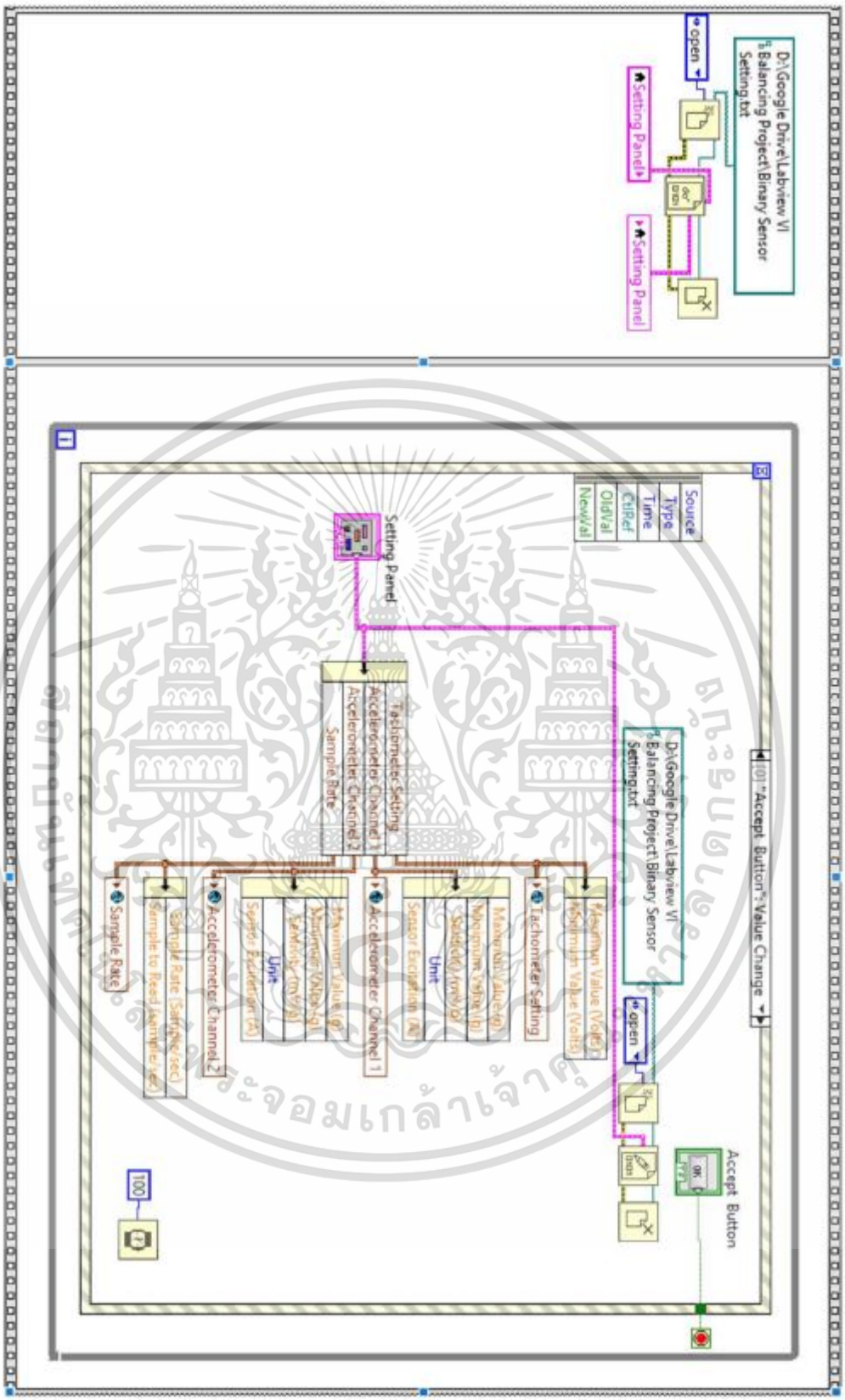
Block Diagram ของภาพรวมการทำงานโปรแกรมหลักจากซอฟท์แวร์ LabVIEW (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



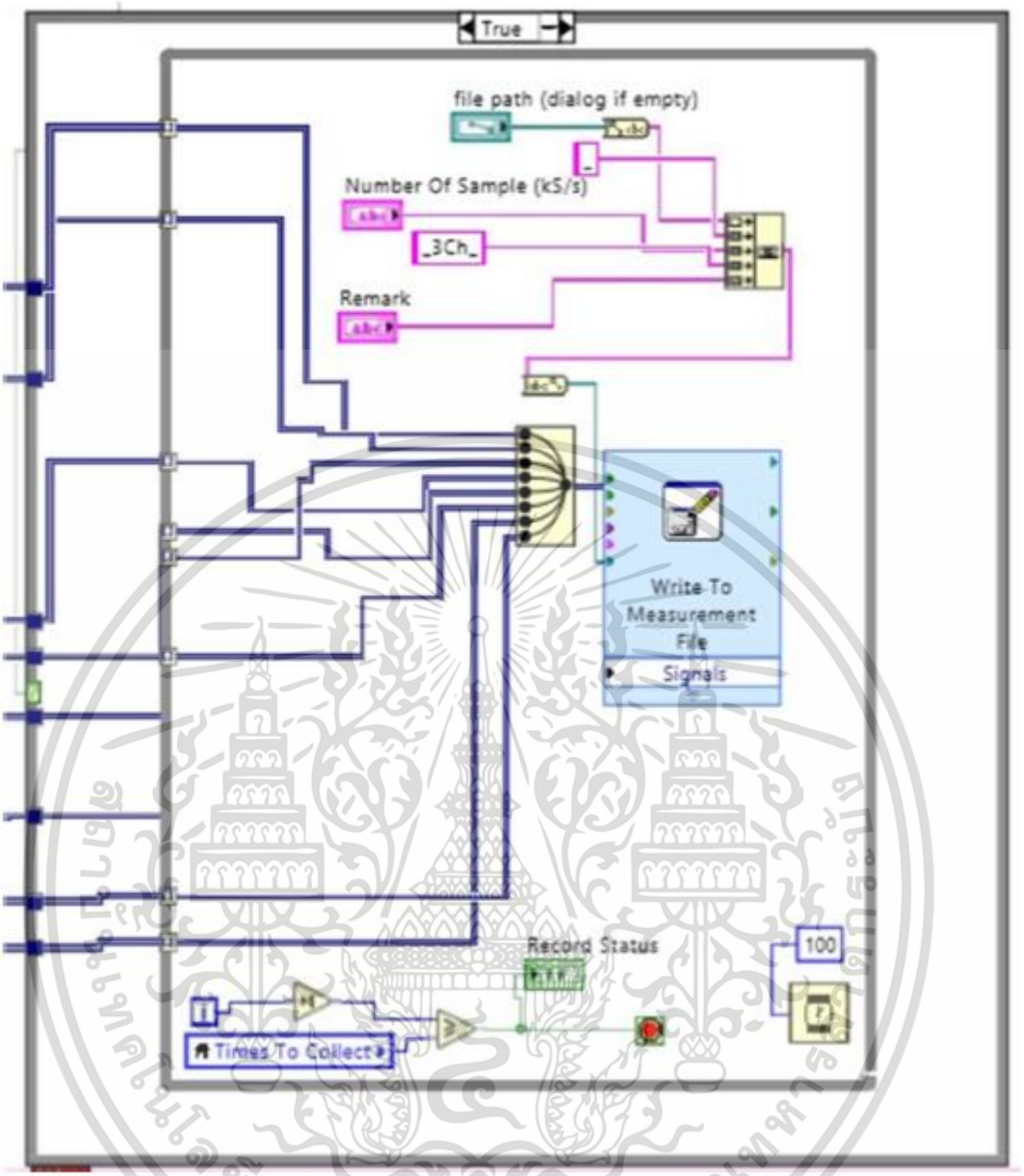
Block Diagram ของภาพรวมการทำงานโปรแกรมหลักจากซอฟท์แวร์ LabVIEW (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



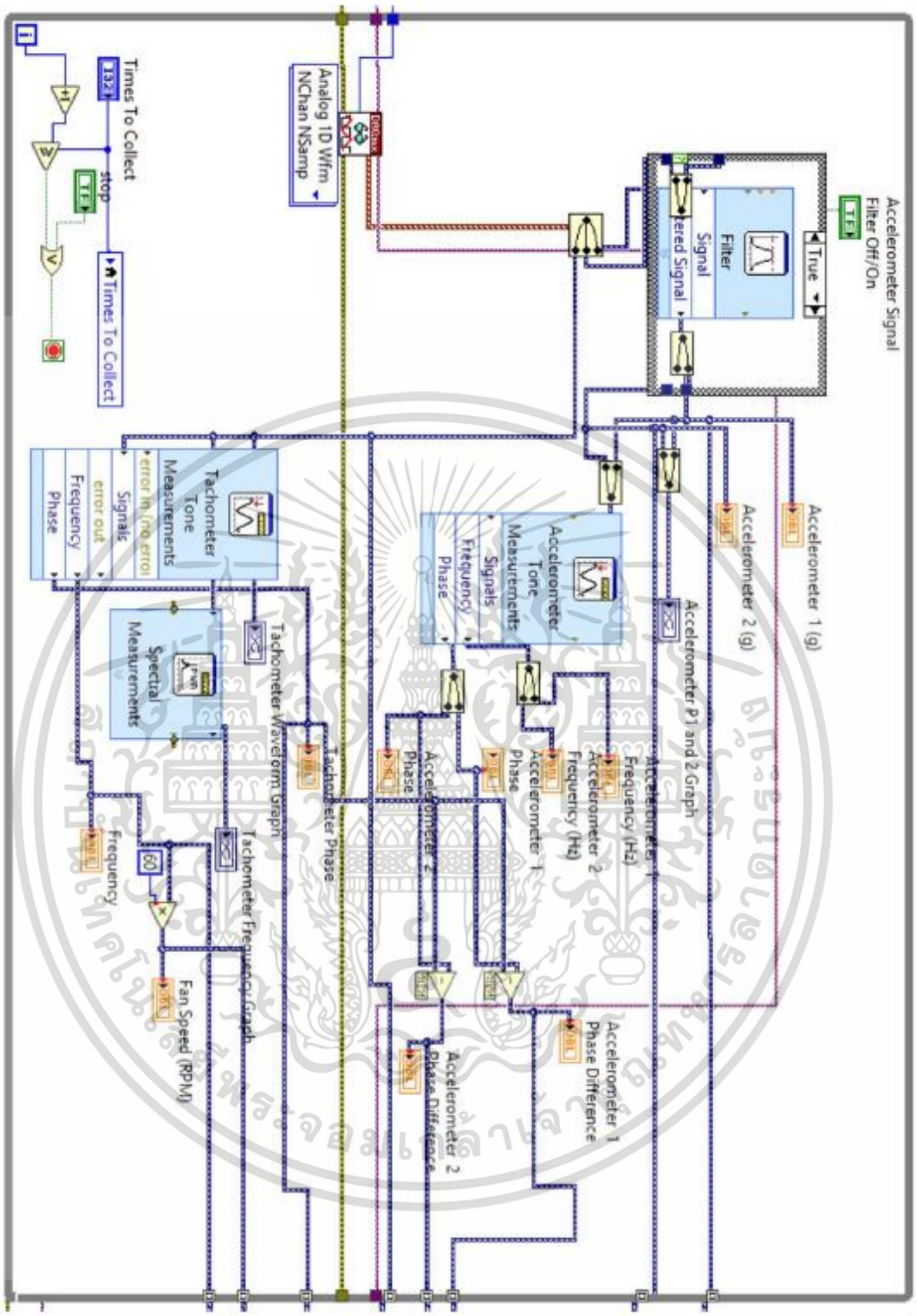
Block Diagram ของโปรแกรมการตั้งค่าจากซอฟท์แวร์ LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Block Diagram ของโปรแกรมการตั้งค่าจากซอฟท์แวร์ LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Block Diagram ของโปรแกรมอ่านค่าจากซอฟท์แวร์ LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้