อภินันทนาการ

สำนักหอสมุด

ปรับปรุงเครื่องวัดแรงม้าแบบลูกกลิ้ง ระยะที่ 2

OVERHAUL THE CHASSIS DYNAMOMETER Phase 2

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน
เลขทะเบียน 1919634X
เลขเรียกหนังสือ

นายภาคิไนย ดาวดาษ รหัสนิสิต 55363414
นายรพิธร ศรศาสตร์ปรีชา รหัสนิสิต 55363469
นายไอศูรย์ หล้าสมบูรณ์ รหัสนิสิต 55363728

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2558

ใบรับรองโครงงาน

ชื่อหัวข้อโครงงาน : ปรับปรุงเครื่องวัดแรงม้าแบบลูกกลิ้ง ระยะที่ 2
Overhaul the Chassis Dynamometer Phase 2

ผู้ดำเนินโครงงาน : นายภาคิไนย ดาวดาษ รหัสนิสิต 55363414
นายรพิธร ศรศาสตร์ปรีชา รหัสนิสิต 55363469
นายไอศูรย์ หล้าสมบูรณ์ รหัสนิสิต 55363728

ที่ปรึกษาโครงงาน : นายสุรเจษฎ์ สุขไชยพร

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2558

คณะกรรมการสอบโครงงาน

Surajed S. ที่ปรึกษาโครงงาน
(อ.สุรเจษฎ์ สุขไชยพร)

กรรมการ
(ผศ. อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

กรรมการ
(อ.ชูพงศ์ ช่วยเพ็ญ)

ชื่อหัวข้อโครงงาน : ปรับปรุงเครื่องวัดแรงม้าแบบลูกกลิ้ง ระยะที่ 2
ผู้ดำเนินโครงงาน : นายภาคิไนย ดาวดาษ รหัสนิสิต 55363414
นายรพิธร ศรศาสตร์ปรีชา รหัสนิสิต 55363469
นายไอศูรย์ หล้าสมบูรณ์ รหัสนิสิต 55363728
ที่ปรึกษาโครงงาน : นายสุรเจษฎ์ สุขไชยพร
ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา : 2558

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงเครื่องวัดแรงม้าแบบลูกกลิ้ง หรือ "ไดนาโมมิเตอร์" ที่ติดตั้งอยู่ในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก เพื่อทำการทดสอบความเร็วรอบ, แรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ การปรับปรุงที่สำคัญ ได้แก่ การตรวจเช็คอุปกรณ์ การซ่อมแซมและการทดสอบ และการทดสอบบอร์ด Arduino ซึ่งเป็นบอร์ดที่นำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ แทนบอร์ดของไดนาโมมิเตอร์โดยการเขียนคำสั่งให้บอร์ด Arduino ให้รับค่าจากการทดสอบ และใช้โปรแกรม LabVIEW ในการบันทึกค่าการทดสอบ

ผลการทดสอบไดนาโมมิเตอร์ที่ปรับปรุงแล้ว โดยการใช้โปรแกรม Arduino ป้อนคำสั่งเข้าไปที่บอร์ด Arduino และใช้โปรแกรม LabVIEW ในการบันทึกค่า จากผลการทดสอบโปรแกรมสามารถวัดค่าแรงบิดได้มากที่สุด คือ 5.412 นิวตันเมตร ที่ความเร็วรอบ 819.726-952.726 รอบต่อนาที และกำลังที่มากที่สุดที่วัดได้ คือ 2920 วัตต์ ที่ความเร็วรอบ 1086.679 รอบต่อนาที

Project Title : Overhaul the Chassis Dynamometer Phase 2
Name : Mr. Pakinai Dawdas ID : 55363414
Mr. Rapitorn Sorasartprecha ID : 55363469
Mr. Aisoon Larsomboon ID : 55363728
Project Advisor : Mr. Surajed Sookchaiyaporn
Academic Year : 2015

Abstract

This project pointed to improving Dynamometer, which is in the Work Shop Mechanical Engineering Naresuan University Phitsanulok Province, to test Speed, Torque and Power. The important improvement is checking repairing and testing and apply board 'Aduino', to control devices instead of the Dynamometer board which be ruined, then written Code to measure Volts, Force and Speed from Loads and use LabVIEW for controlling and calculating.

The test results of improved Dynamometer by using Arduino and LabVIEW. Overall test result, maximum torque is 5.412 Nm when the speed reached to 818.726-952.726 rpm and maximum power is 2920 watt when speed reached to 1086.679 rpm

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือในด้านการให้คำแนะนำในการทำโครงงานจาก นายสุรเจษฎ์ สุขไชยพร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานให้คำปรึกษาแก่ผู้ดำเนินโครงงานตลอดมา ผู้ดำเนินโครงงานขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณบุคคลอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูล แนะนำช่วยเหลือในการจัดทำโครงงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

และขอขอบพระคุณบิดา – มารดา ที่สนับสนุนและให้กำลังใจกับผู้ดำเนินโครงงานจนโครงงานฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

นายภาคิไนย ดาวดาษ
นายรพิธร ศรศาสตร์ปรีชา
นายไอศูรย์ หล้าสมบูรณ์

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงงาน	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
สัญลักษณ์และอักษรย่อ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.4 ขอบเขตการทำโครงงาน	1
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.6 แผนการดำเนินงาน	2
1.7 งบประมาณ	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน	4
2.2 หลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.3 สมการที่ใช้ในการศึกษา	13
2.4 โปรแกรมที่ใช้ในการศึกษา	16
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	
3.1 ปัญหาและแนวทางการปรับปรุงไดนาโมมิเตอร์	24
3.2 เขียนโปรแกรมปรับค่าความต่างศักย์เพื่อใช้ในการเพิ่ม หรือลดแรงดันไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรม LabVIEW	25

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 เขียนคำสั่งของบอร์ด Arduino เพื่อเก็บค่าจากไดนาโมมิเตอร์ และให้โปรแกรม LabVIEW เก็บค่าที่ได้ใช้ในการคำนวณเพื่อหาค่าแรงบิดและกำลังของภาระที่นำมาทดสอบ 28

3.4 ทดสอบไดนาโมมิเตอร์ที่อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล 29

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดสอบของไดนาโมมิเตอร์ในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล 31

4.2 ปัญหาที่พบระหว่างการทดสอบไดนาโมมิเตอร์ 38

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปสมบัติของไดนาโมมิเตอร์ 39

5.2 ข้อเสนอแนะ 40

เอกสารอ้างอิง 41

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก 43

ภาคผนวก ข 48

ภาคผนวก ค 57

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	แผนการดำเนินงาน	3
ตารางที่ 5.1	อุปกรณ์เสริมในการทดสอบเครื่องที่เกี่ยวข้อง	39
ตารางที่ ก.1	ค่าที่ได้จากโปรแกรม Tracker	44
ตารางที่ ก.2	ค่าที่ได้จากโปรแกรม Tracker	46
ตารางที่ ค.1	ค่าที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1	58
ตารางที่ ค.2	ค่าที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2	59
ตารางที่ ค.3	ค่าที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3	60

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	ส่วนประกอบของ Prony brake	6
รูปที่ 2.2	ไฮดรอลิคไดนาโมมิเตอร์	6
รูปที่ 2.3	ลักษณะลูกกลิ้งของไดนาโมมิเตอร์ด้านหน้า	8
รูปที่ 2.4	ลักษณะลูกกลิ้งของไดนาโมมิเตอร์ด้านข้าง	9
รูปที่ 2.5	ตำแหน่งกล่องแผงบอร์ดและเซนเซอร์วัดความเร็วรอบ	9
รูปที่ 2.6	ลักษณะเซนเซอร์วัดความเร็วรอบ	10
รูปที่ 2.7	ตำแหน่งของ Eddy current brake และ Force Sensor	10
รูปที่ 2.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ และ Torque ที่เกิดขึ้น	11
รูปที่ 2.9	บอร์ดและวงจรต่างๆที่ใช้ในการส่งข้อมูลให้กับโปรแกรม LabVIEW	11
รูปที่ 2.10	แผงวงจร Pulse Width Modulation (PWM)	12
รูปที่ 2.11	แผงวงจร Comparator with Hysteresis	12
รูปที่ 2.12	ลักษณะของ Eddy current brake (ซ้าย) และ Force Sensor (ขวา)	13
รูปที่ 2.13	ลักษณะการทำงานเมื่อนำรถยนต์ไปทดสอบตัวอย่างการต่อวงจรเปิด-ปิดไฟ	13
รูปที่ 2.14	(ก) หาโมเมนต์ความเฉื่อยของลูกกลิ้ง (ข) FBD ของการหาโมเมนต์ความเฉื่อย	14
รูปที่ 2.15	ลักษณะของโปรแกรม Tracker	16
รูปที่ 2.16	การเริ่มโปรแกรม Tracker	16
รูปที่ 2.17	การกำหนดจุดอ้างอิงต่างๆของโปรแกรม Tracker	17
รูปที่ 2.18	การอ่านค่าจากโปรแกรม Tracker	18
รูปที่ 2.19	โปรแกรม Arduino	19
รูปที่ 2.20	ตัวอย่างการต่อวงจรเปิด-ปิดไฟ	20
รูปที่ 2.21	Front Panel โปรแกรมวัดค่าความต่างศักย์	20
รูปที่ 2.22	Block Diagram โปรแกรมวัดแรงดันไฟฟ้า	21
รูปที่ 2.23	ตัวอย่างการต่อวงจรวัดแรงดันไฟฟ้า	21
รูปที่ 2.24	Front Panel โปรแกรมปรับความสว่างของหลอดไฟ LED	22
รูปที่ 2.25	Block Diagram โปรแกรมปรับความสว่างของหลอดไฟ LED	22
รูปที่ 2.26	ตัวอย่างการต่อวงจรปรับความสว่างหลอดไฟ LED	23
รูปที่ 3.1	ปัญหาเสียงที่เกิดจาก Eddy current brake	25

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.2	การต่อวงจรเพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้า เพื่อเพิ่ม หรือลดความสว่าง	26
รูปที่ 3.3	การเขียนโปรแกรมควบคุมแรงดันไฟฟ้า โดยใช้ LabVIEW	27
รูปที่ 3.4	Flowchart แสดงการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบ	28
รูปที่ 4.1	การทดสอบวัดค่าความเร็วรอบ กำลัง และแรงบิด ของเครื่องยนต์	31
รูปที่ 4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Torque กับ Speed ครั้งที่ 1	32
รูปที่ 4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Power กับ Speed ครั้งที่ 1	33
รูปที่ 4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Torque กับ Speed ครั้งที่ 2	34
รูปที่ 4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Power กับ Speed ครั้งที่ 2	35
รูปที่ 4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Torque กับ Speed ครั้งที่ 3	36
รูปที่ 4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Power กับ Speed ครั้งที่ 2	37
รูปที่ ก.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\sin\theta$ และ $\omega\theta$	47
รูปที่ ข.1	แผนผังโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในการทดสอบ	49
รูปที่ ข.2	แผนผัง Front Panel โปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในการทดสอบ	50

สัญลักษณ์และอักษรย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
N	จำนวนสัญญาณพัลส์ของลูกกลิ้ง มีค่าเท่ากับ 96	รอบต่อนาที (rpm)
T	ทอร์กของแรง	นิวตันเมตร (N•m)
m	น้ำหนักของมวลที่นำมาใช้ทดสอบ	กิโลกรัม (kg)
g	ค่าความโน้มถ่วงของโลก	เมตรต่อวินาที^{2} (m/s^2)
R	ความยาวของแท่งเหล็ก	เมตร (m)
I	โมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุ	กิโลกรัมเมตร^2 ($kg•m^2$)
I_D	โมเมนต์ความเฉื่อยของ Dynamometer	กิโลกรัมเมตร^2 ($kg•m^2$)
P	กำลัง	วัตต์ (watt)
θ	มุมของการเคลื่อนที่	เรเดียน (rad)
T	เวลา	วินาที (s)
V	ความเร็ว	เมตรต่อวินาที (m/s)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

จากโครงงาน "ปรับปรุงเครื่องวัดแรงม้าแบบลูกกลิ้ง" หรือไดนาโมมิเตอร์ พบว่าสามารถทำการทดสอบได้ในระดับหนึ่ง แต่ยังไม่มีความแม่นยำในการวัดค่า และโปรแกรมที่ใช้ยังไม่มีความสมบูรณ์ อีกทั้งในระหว่างการทดสอบก็พบว่าบริเวณ Eddy current break เกิดเสียงรบกวนในขณะที่ทำการวัดค่า ซึ่งกลุ่มของข้าพเจ้าได้เล็งเห็นจุดบกพร่องของไดนาโมมิเตอร์แบบลูกกลิ้งดังกล่าว และมีความสนใจที่จะพัฒนาให้มีการใช้งานได้เต็มประสิทธิภาพมากขึ้น และเพิ่มศักยภาพของโปรแกรมให้มาสารถใช้งานได้ดี และมีความถูกต้อง แม่นยำในระดับที่สามารถเชื่อถือได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการของไดนาโมมิเตอร์

1.2.2 ประยุกต์ใช้ Arduino เพื่อใช้งานร่วมกับโปรแกรม LabVIEW

1.2.3 ทำการปรับปรุงไดนาโมมิเตอร์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.2.4 แก้ปัญหาเสียงที่เกิดจาก Eddy current break

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 เข้าใจหลักการทำงานของไดนาโมมิเตอร์

1.3.2 เข้าใจหลักการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ร่วมกับไดนาโมมิเตอร์

1.3.3 ไดนาโมมิเตอร์ที่ทำการปรับปรุงแล้วมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

1.4 ขอบเขตของโครงงาน

1.4.1 ปรับปรุงให้สามารถใช้กับความเร็วรอบทุกระดับของเครื่องยนต์ได้

1.4.2 ปรับปรุงให้สามารถใช้กับรถยนต์ส่วนบุคคลได้

1.4.3 ใช้ฟังก์ชันในโปรแกรม LabVIEW ในการรับคำสั่ง วิเคราะห์ และสร้างแบบจำลองและแสดงผลในการทดสอบตั้งแต่เริ่มทดสอบจนจบการทดสอบ

1.4.4 ปรับปรุงอุปกรณ์การรับส่งข้อมูลภายในไดนาโมมิเตอร์ เพื่อให้มีการรับส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้กับไดนาโมมิเตอร์ให้แม่นยำขึ้น

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับไดนาโมมิเตอร์

1.5.2 ศึกษาการทำงานของโปรแกรม Arduino และ LabVIEW

1.5.3 เริ่มกระบวนการเขียนโปรแกรมด้วย LabVIEW

1.5.4 ทดสอบการใช้งานของโปรแกรมโดยการเก็บข้อมูลจากไดนาโมมิเตอร์

1.5.5 แก้ไขข้อบกพร่องของโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบของไดนาโมมิเตอร์

1.5.6 สรุปผล จัดทำรูปเล่มรายงาน และอภิปรายผลจากการปฏิบัติงาน

1.6 แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนในการดำเนินงานในช่วงเวลาต่างๆ แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	2558					2559			
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับไดนาโมมิเตอร์									
2. ศึกษาการทำงานของโปรแกรม Arduino และ LabVIEW									
3. เริ่มกระบวนการเขียนโปรแกรมด้วย LabVIEW									
4. ทดสอบการใช้งานของโปรแกรมโดยการเก็บข้อมูลจากไดนาโมมิเตอร์									
5. แก้ไขข้อบกพร่องของโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบของไดนาโมมิเตอร์									
6. สรุปผล จัดทำรูปเล่มรายงาน และอภิปรายผลจากการปฏิบัติงาน									

1.7 งบประมาณ

1.7.1 กระดาษ	1000	บาท
1.7.2 จัดทำรูปเล่ม	1000	บาท
1.7.3 ค่าอุปกรณ์อื่น ๆ	1000	บาท

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

จากโครงงาน “ปรับปรุงเครื่องวัดแรงม้าแบบลูกกลิ้ง” หรือไดนาโมมิเตอร์ในระยะที่ 1 พบว่าสามารถทำได้ในระดับหนึ่ง แต่ยังไม่มีความแม่นยำในการวัดค่า และโปรแกรมที่ใช้ยังไม่มีความสมบูรณ์ อีกทั้งในระหว่างการทดสอบก็พบว่าบริเวณ Eddy current break เกิดเสียงรบกวนในขณะที่ทำการวัดค่า ซึ่งกลุ่มของข้าพเจ้าได้เล็งเห็นจุดบกพร่องของดังกล่าว และมีความสนใจที่จะพัฒนาให้ไดนาโมมิเตอรสามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และเพิ่มศักยภาพของโปรแกรมให้สามารถใช้งานได้ดี และมีความถูกต้อง แม่นยำในระดับที่สามารถเชื่อถือได้

2.2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ไดนาโมมิเตอร์

ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) เป็นอุปกณ์สำหรับทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่นิยมใช้ โดยที่เป็นอุปกรณ์ที่สามารถวัดแรงบิดและความเร็วเชิงมุม ลักษณะของภาระที่กระทำต่อเครื่องยนต์ซึ่งมีผลต่อแรงบิดที่วัดได้ แบ่งเป็น 3 แบบ คือ

2.2.1.1 Absorption dynamometer

2.2.1.2 Driving dynamometer

2.2.1.3 Transmission dynamometer

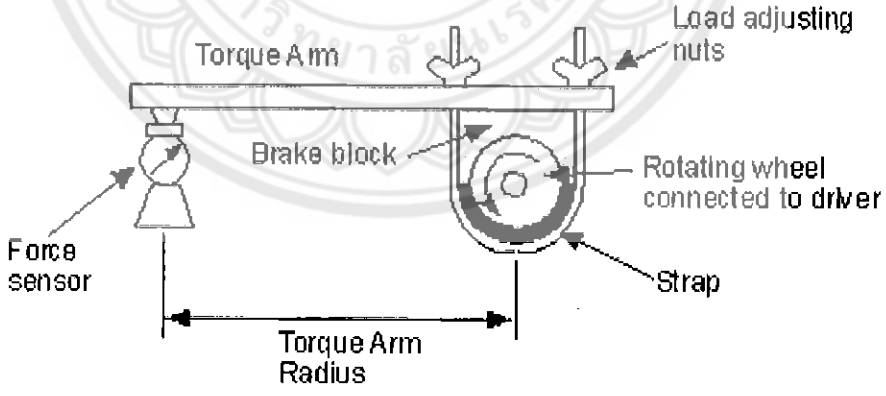
Absorption dynamometer แบบนี้ใช้เครื่องต้นกำลังขับแล้วหาค่าแรงบิดออกมา เหมาะสำหรับวัดกำลังหรือแรงบิดของเครื่องต้นกำลังต่าง ๆ เช่น เครื่องยนต์ มอเตอร์ไฟฟ้า ฯลฯ

Driving dynamometer แบบนี้จะใช้เครื่องต้นกำลังมาเป็นตัวขับเพื่อวัดแรงบิด หรือกำลังของเครื่องต้นกำลังนั้น ๆ เช่นเดียวกับ Absorption dynamometer แต่ Driving dynamometer สามารถนำไปใช้ขับเครื่องจักรกล ต่าง ๆ ได้ด้วย โดยมีจุดประสงค์ที่จะหาสมรรถนะของเครื่องจักรกลแต่ละชนิดนั้น ๆ เช่นในกรณีที่ต้องการหาสมรรถนะของปั๊มหรือเครื่องอัดอากาศ จะใช้ Driving dynamometer มาเป็นตัวขับปั๊มหรือเครื่องอัดอากาศ เป็นต้น

Transmission dynamometer จะติดตั้งอยู่ภายในเครื่องจักรกลที่ต้องการทดอบ หรือติดตั้งอยู่ระหว่างเครื่องจักรกล 2 เครื่อง เพื่อต้องการหาค่าแรงบิด เฉพาะที่นั้น ๆ โดยที่ Transmission dynamometer ไม่ช่วยในการลดหรือเพิ่มพลังงาน แต่อย่างใด บางทีเรียกว่า "Torque meter"

ชนิดต่าง ๆ ของ Dynamometer

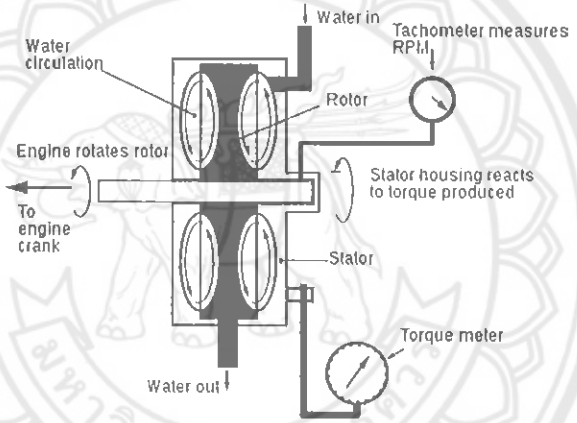
1. Mechanical dynamometer เป็น Absorption dynamometer มีชื่ออีกอย่างหนึ่งว่าโพรนี่เบรก (Prony brake) ใช้แรงเสียดทานที่เกิดจากการเสียดสีของวัสดุ 2 ชนิด (Dry friction) มาเป็นตัวเบรก เพื่อเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานความร้อนของไดนาโมมิเตอร์ ประกอบไปด้วยพูลเลย์ใหญ่ และมีชุดเบรกที่มีด้ามต่อยาวประกอบอยู่ และที่ปลายด้ามต่อจะมีน้ำหนักถ่วงซึ่งสามารถเพิ่มและลดน้ำหนักดังกล่าวได้ การปรับความฝืดเพื่อลดหรือเพิ่มความฝืดเพื่อการทดสอบโดยการเปลี่ยนภาระของเครื่องยนต์ กระทำได้โดยขันสกรูที่มีสปริงรองรับอยู่ ในขณะทดลองคานเบรกจะต้องอยู่ในแนวระดับตลอดเวลา



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของ Prony brake

(ที่มา : Craig T. Evers, PhD, PE, Principles of Dynamometer Operation,Minnesota State University – Mankato)

2. Hydraulic dynamometer มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Water brake ไดนาโมมิเตอร์ชนิดนี้จะใช้หลักการการคัปปลิ้งแบบหนืด (Viscous Coupling) โดยมีส่วนประกอบหลักคือโรเตอร์แบบใบพัด ไปปั่นน้ำทำให้เกิดแรงต้านจากความหนืดไดนาโมมิเตอร์แบบนี้สามารถใช้งานที่ความเร็วต่ำและที่สภาวะกำลังสูงได้ดี แต่ไดนาโมมิเตอร์แบบนี้พลังงานจากเครื่องยนต์ที่นำมาทดสอบจะไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ พลังงานจะสูญเสียไปในระบบการทดสอบทั้งหมด ซึ่งส่วนมากจะกลายเป็นความร้อน ไดนาโมมิเตอร์แบบ Water brake สามารถแบ่งการทำงานได้ 2 แบบ คือ Absorption dynamometer คือ ใช้เครื่องยนต์ที่จะทดสอบมาต่อเข้ากับเพลาของไดนาโมมิเตอร์และวัดแรงบิดของเครื่องยนต์นั้น และแบบที่เรียกว่า Driving dynamometer คือ เครื่องยนต์ที่นำมาทดสอบต่อกำลังเข้ามายังไดนาโมมิเตอร์วัดแรงบิดและผ่านไปขับเครื่องจักรที่ต้องการให้ทำงานไปได้ในขณะที่วัดกำลังเครื่องยนต์ด้วย



รูปที่ 2.2 ไฮดรอลิคไดนาโมมิเตอร์ (ที่มา : Rao, Narayan N.N. The Basic Theory of Hydraulic Dynamometers and Retarders. India: SAE paper 680178)

3. Electrical dynamometer สามารถใช้เป็น Absorption dynamometer หรือ Driving dynamometer หรืออาจใช้เป็นทั้ง Absorption dynamometer และ Driving dynamometer ขึ้นอยู่กับการออกแบบเพื่อความสะดวกและเหมาะสมกับงาน

Electrical dynamometer แบ่งเป็น

- Eddy current dynamometer
- D – C dynamometer or generator
- D – C Motor or generator
- A – C Motor or generator

- Eddy current dynamometer ใช้หลักการที่ว่า เมื่อขดลวดตัวนำไฟฟ้า เคลื่อนที่ผ่านไปในสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงเคลื่อนขึ้นในขดลวดตัวนำ ทำให้มีกระแสไฟฟ้าในวงจร กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นกระแสสลับหรือกระแสตรง ขึ้นอยู่กับลักษณะของเครื่องแลกเปลี่ยนกระแสไฟฟ้า (Commutator)

ถ้าเปลี่ยนจากขดลวดตัวนำเป็นชิ้นโลหะเล็ก ๆ เมื่อเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็กจะเกิดกระแสไฟฟ้าวนเวียนอยู่ภายในชิ้นโลหะเล็ก ๆ กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นทั้งในลวดตัวนำไฟฟ้า และในแผ่นเหล็กเล็ก ๆ เรียกว่า "Eddy current" กระแสไฟฟ้าที่ไหลวนเวียนเป็นวงจรสั้น ๆ บนแผ่นเหล็กจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน

Eddy current dynamometer ประกอบด้วยแผ่นโลหะบาง ๆ หมุนตัดกับสนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กจะมีความเข้มมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่เข้ามากระตุ้นส่วนที่เป็นแม่เหล็กนี้

- D – C dynamometer Dynamometer สามารถเป็นได้ทั้ง Absorption dynamometer หรือ Driving dynamometer ก็ได้ สามารถรับภาระได้สูงถึง 5,000 แรงม้ามีลักษณะเป็น D – C motor & generator โดยจะมีสวิตช์ควบคุมให้ทำงานเป็นมอเตอร์ หรือเจนเนอเรเตอร์

ถ้าทำงานแบบ Absorption dynamometer ต้องควบคุมเป็น D – C generator เปลี่ยนพลังงานเป็นพลังงานไฟฟ้า แล้วเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน โดยผ่าน Resistance racks

ถ้าทำงานแบบ Driving dynamometer ต้องควบคุมเป็น D-C motor รับไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอกมาขับ ข้อดีในการใช้มอเตอร์ไฟฟ้า คือ สามารถควบคุมได้ดีที่ความเร็วต่ำ ทั้งมอเตอร์แบบกระแสตรง และกระแสสลับ แต่ทั่ว ๆ ไปนิยมใช้เป็นมอเตอร์กระแสตรง การ

ค่าของแรงเคลื่อนและกระแสไฟฟ้า อาจจะวัดค่าแต่ละตัว หรือจะใช้ Watt meter วัดออกมาเป็นค่ารวมก็ได้

4. <u>Fan brakes Propellers หรือ Fan</u> ใช้กับงานทดลองที่ต้องการทดลองเป็นเวลานาน ๆ และไม่ต้องการความแม่นยำมาก เพื่อใช้หา breading in period ของเครื่องยนต์ใหม่ แต่ Fan brake ไม่สะดวกหลายอย่างในการปรับภาระ (Load) เพราะการเปลี่ยนต้องเปลี่ยนความยาวใบพัด ขนาดและมุมของใบพัด ซึ่งต้องมีการดับเครื่องเสียก่อนจึงจะทำได้

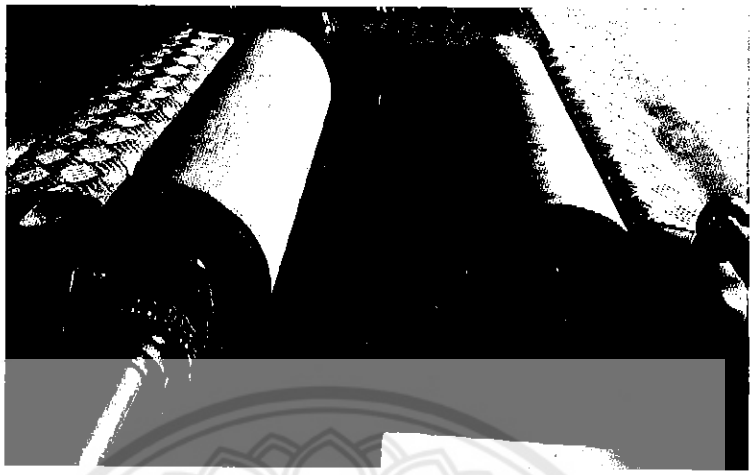
การเปลี่ยนความหนาแน่นของอากาศขณะทำการทดลองทำให้ภาระ เปลี่ยนได้เช่นกัน โดยทั่วไป Fan brake จะต้องปิดต้นจากบรรยากาศภายนอกที่อยู่รอบ ๆ ซึ่งเราสามารถทำการเบรก ได้โดยการค่อย ๆ ปิดท่อทางออกหรือเข้าของอากาศ

สิ่งที่ได้จากเครื่องยนต์ที่ใช้ขับ Fan ก็หาได้โดยจัดแรงพยายามบิดตัวของเครื่องยนต์โดยเอาเครื่องยนต์ที่จะทดสอบนั้นมาติดตั้งอยู่บนเครื่อง ซึ่งรองรับหัวท้าย ขณะที่เครื่องส่งถ่ายแรงปิดให้แก่ใบพัด ตัวเครื่องยนต์ก็จะถูกแรงบิดกระทำด้วย เมื่อวัดแรงบิดได้ ก็คำนวณออกมาเป็นแรงม้าได้

2.2.2 ไดนาโมมิเตอร์ในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล

ไดนาโมมิเตอร์ที่ตั้งอยู่ในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกลเป็นแบบที่ใช้ Eddy current brake ยี่ห้อ Dyno Max งบประมาณปี 2543 โดยลักษณะและส่วนประกอบต่างๆ ของ Dynamometer ในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล ดังแสดงในรูปที่ 2.3 – 2.10

รูปที่ 2.3 ลักษณะลูกกลิ้งของไดนาโมมิเตอร์ด้านหน้า

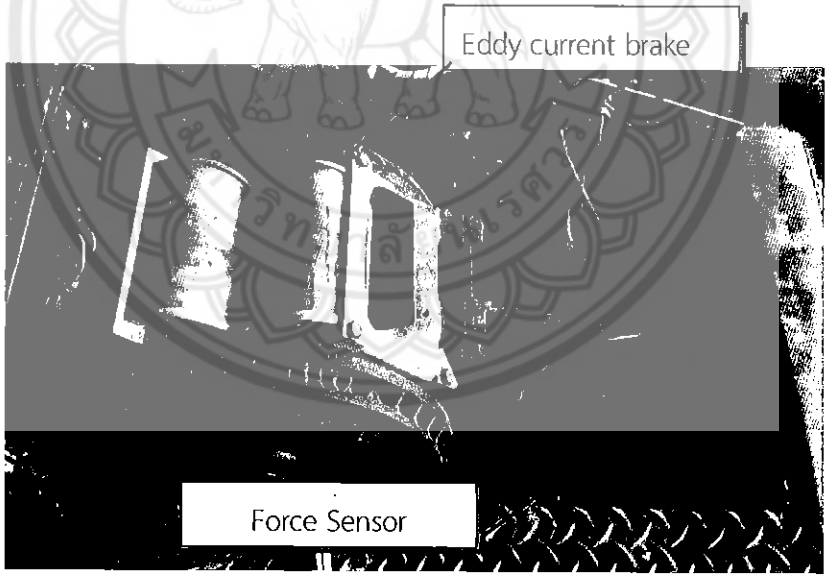


รูปที่ 2.4 ลักษณะลูกกลิ้งของไดนาโมมิเตอร์ด้านข้าง

รูปที่ 2.5 ตำแหน่งกล่องแผงบอร์ดและเซนเซอร์วัดความเร็วรอบ

รูปที่ 2.6 ลักษณะเซนเซอร์วัดความเร็วรอบ

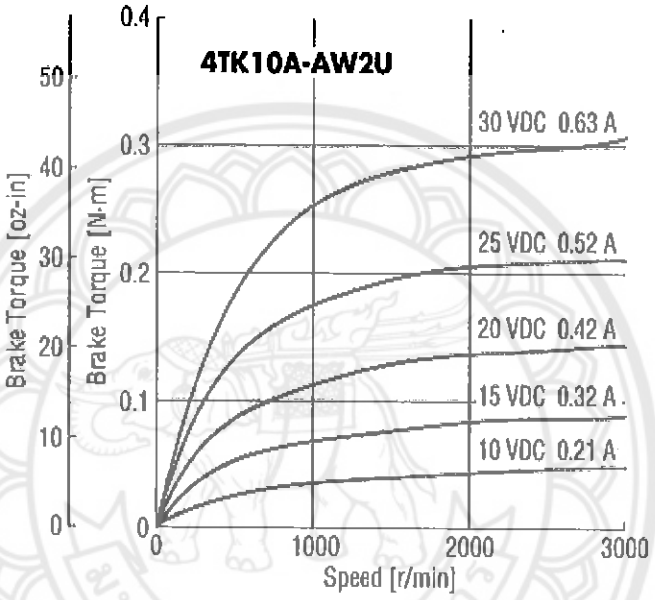
เซนเซอร์วัดความเร็วรอบเป็นแบบ Magnetic pickup อาศัยหลักการตรวจนับสัญญาณพัลส์ที่มีการส่งออกมาเมื่อมีการหมุนครบรอบในช่วงเวลาหนึ่ง



รูปที่ 2.7 ตำแหน่งของ Eddy current brake และ Force Sensor

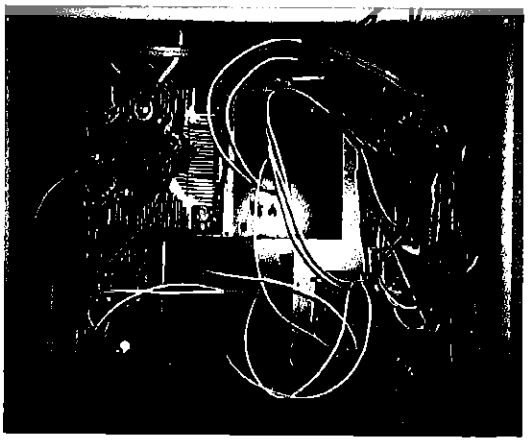
Eddy current brake หลักการทางไฟฟ้า โดยใช้หลักการของ Eddy Current ที่จะเหนี่ยวนำขึ้นในแผ่นโลหะที่หมุนได้โดยใช้สนามแม่เหล็ก จะทำให้แผ่นโลหะนี้เกิดการสูญเสียแบบ Eddy Current ทำให้แผ่นโลหะไม่สามารถหมุนได้อย่างอิสระ หรือถูกหน่วงหรือเบรกให้หมุนช้าลง โดยแรงบิดที่เบรกจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มสนามแม่เหล็ก ซึ่งความเข้มสนามแม่เหล็กแปรผันตรงกับกระแสที่จ่ายให้

ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก ดังนั้นเราสามารถควบคุมแรงบิดที่ใช้ในการเบรกได้จากกระแสที่จ่ายให้กับขดลวดได้ โดยขนาดของแรงเบรกจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับโหลดที่มากระทำกับลูกกลิ้ง

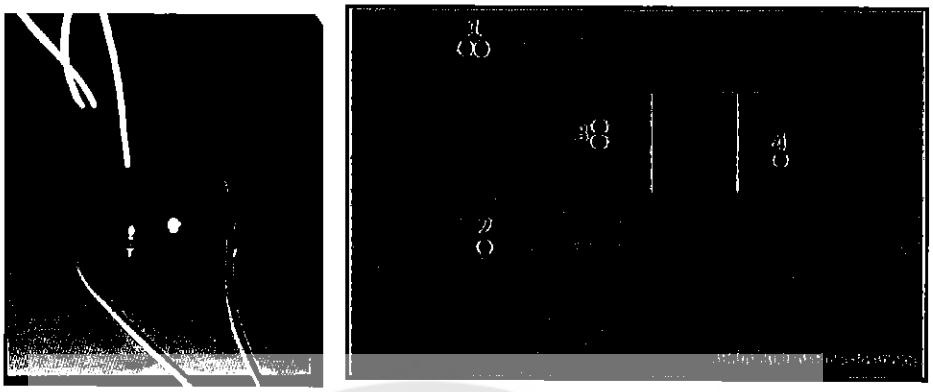


รูปที่ 2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ และ Torque ที่เกิดขึ้น

(ที่มา : Orientalmotor. AC Constant Speed Motor Overview สืบค้นเมื่อ 18 พฤษภาคม 2559, จาก http://www.orientalmotor.com/products/pdfs/2012-2013/C/usa_ac_cons_intro.pdf)



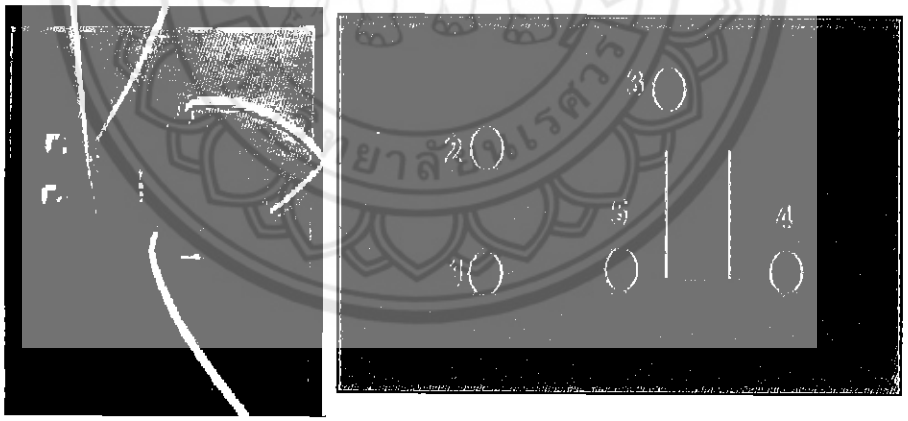
รูปที่ 2.9 บอร์ดและวงจรต่างๆที่ใช้ในการส่งข้อมูลให้กับโปรแกรม LabVIEW



รูปที่ 2.10 แผงวงจร Pulse Width Modulation (PWM)

จากรูปที่ 2.10

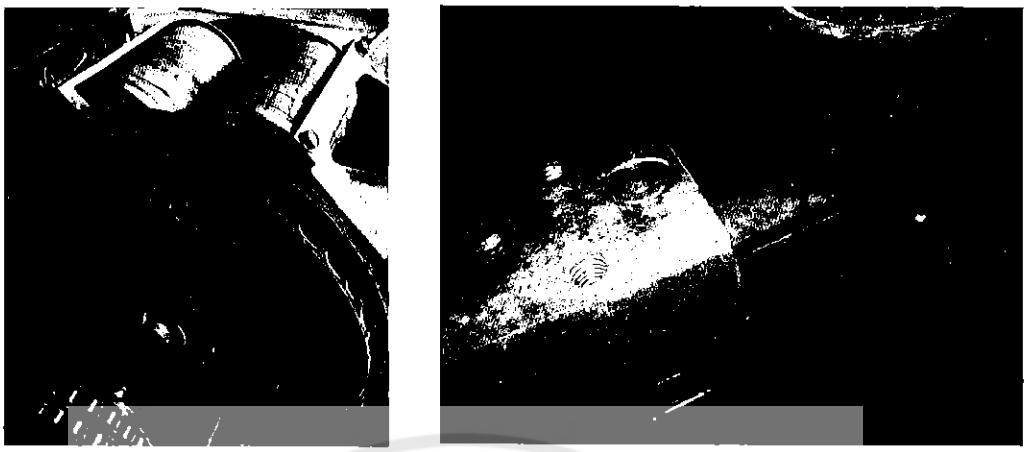
หมายเลข 1 คือ Ground
หมายเลข 2 คือ สัญญาณขาเข้า
หมายเลข 3 คือ สัญญาณขาออก
หมายเลข 4 คือ สัญญาณกระแสไฟ +5v



รูปที่ 2.11 แผงวงจร Comparator with Hysteresis

จากรูปที่ 2.11

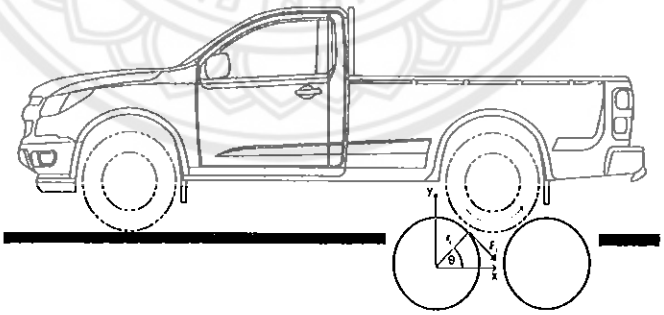
หมายเลข 1 คือ สัญญาณขาเข้า
หมายเลข 2 คือ Ground
หมายเลข 3 คือ Ground
หมายเลข 4 คือ ไฟเลี้ยงขนาด 5v
หมายเลข 5 คือ สัญญาณขาออก



รูปที่ 2.12 ลักษณะของ Eddy current brake (ซ้าย) และ Force Sensor (ขวา)

2.3 สมการที่ใช้ในการศึกษา

จากหลักการทำงานของเครื่องวัดแรงม้าแบบลูกกลิ้ง หรือไดนาโมมิเตอร์มีลักษณะการทำงานโดยการส่งถ่ายแรงจากการหมุนของล้อรถยนต์ไปยังลูกกลิ้ง โดยลูกกลิ้งจะหมุนทำให้เกิดสนามแม่เหล็กระหว่างจานเบรกภายใน Eddy current break ทำให้เกิดแรงต้านระหว่างลูกกลิ้งและล้อรถยนต์ จากนั้นเซนเซอร์จะส่งกระแสไปยังแผงควบคุม และแผงควบคุมจะสั่งงาน Eddy current break ให้ออกแรงต้านระหว่างลูกกลิ้งและล้อรถยนต์ และส่งสัญญาณไปยังจอแสดงผล



รูปที่ 2.13 ลักษณะการทำงานเมื่อนำรถยนต์ไปทดสอบ

2.3.1 สมการหาโมเมนต์ความเฉื่อยของลูกกลิ้ง

(ก) (ข)

รูป 2.14 (ก) หาโมเมนต์ความเฉื่อยของลูกกลิ้ง (ข) FBD ของการหาโมเมนต์ความเฉื่อย

จากภาพ FBD ทำการทดสอบเพื่อวัดโมเมนต์ความเฉื่อย ซึ่งได้สมาการที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

$$\Sigma \tau = mg\sin\theta(R) \quad (1)$$

$$I = I_D + mR^2 \quad (2)$$

จากสมการที่ (1)

$$(I)\left(\frac{d^2\theta}{dt^2}\right) = mg\sin\theta(R)$$

$$\sin\theta = \left(\frac{I}{mgR}\right)\left(\frac{d^2\theta}{dt^2}\right)$$

กำหนดให้ $y = (k)(x)$

เมื่อ

$$y = \sin\theta \quad (3)$$

$$k = \frac{I}{mgR} \quad (4)$$

$$x = \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (5)$$

จากสมการที่ (3) $I = mgR(k)$ นำไปแทนค่าลงใน (2) เพื่อหา I_D

ได้

$$I_D = I - mR^2 \quad (6)$$

กำหนดให้ m คือ มวลของวัตถุ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

g คือ ค่าความโน้มถ่วงของโลก มีค่าเท่ากับ 9.81 มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาทีกำลังสอง (m/s^2)

R คือ ความยาวของแท่งเหล็ก มีหน่วยเป็นเมตร (m)

I_D คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของลูกกลิ้ง มีหน่วยเป็นกิโลกรัมเมตรยกกำลังสอง ($kg \cdot m^2$)

θ คือ มุมของการเคลื่อนที่ มีหน่วยเป็นเรเดียน (rad)

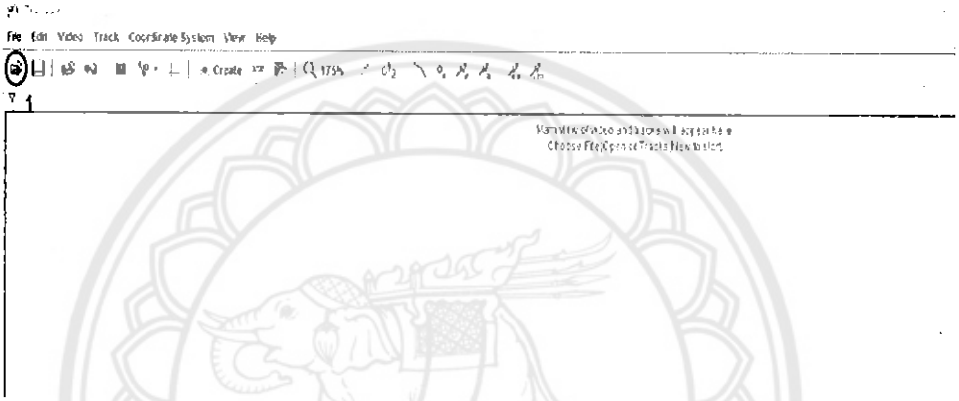
t คือ เวลา มีหน่วยเป็นวินาที (s)

2.4 โปรแกรมที่ใช้ในการศึกษา

2.4.1 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม Tracker

สามารถ Download ได้จาก http://physlets.org/tracker/

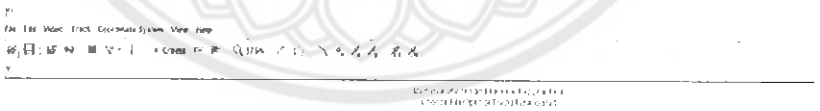
ขั้นตอนที่ 1 กดเปิดโฟลเดอร์ที่เราจะนำไฟล์มาใช้งานตามรูปภาพที่ 2.15

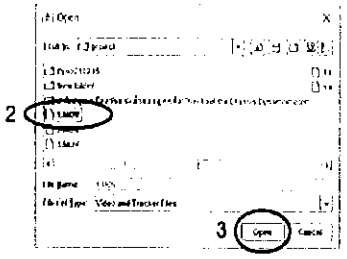


รูปที่ 2.15 ลักษณะของโปรแกรม Tracker

ขั้นตอนที่ 2 เลือกไฟล์ที่เราจะใช้งานตามรูปภาพที่ 2.16

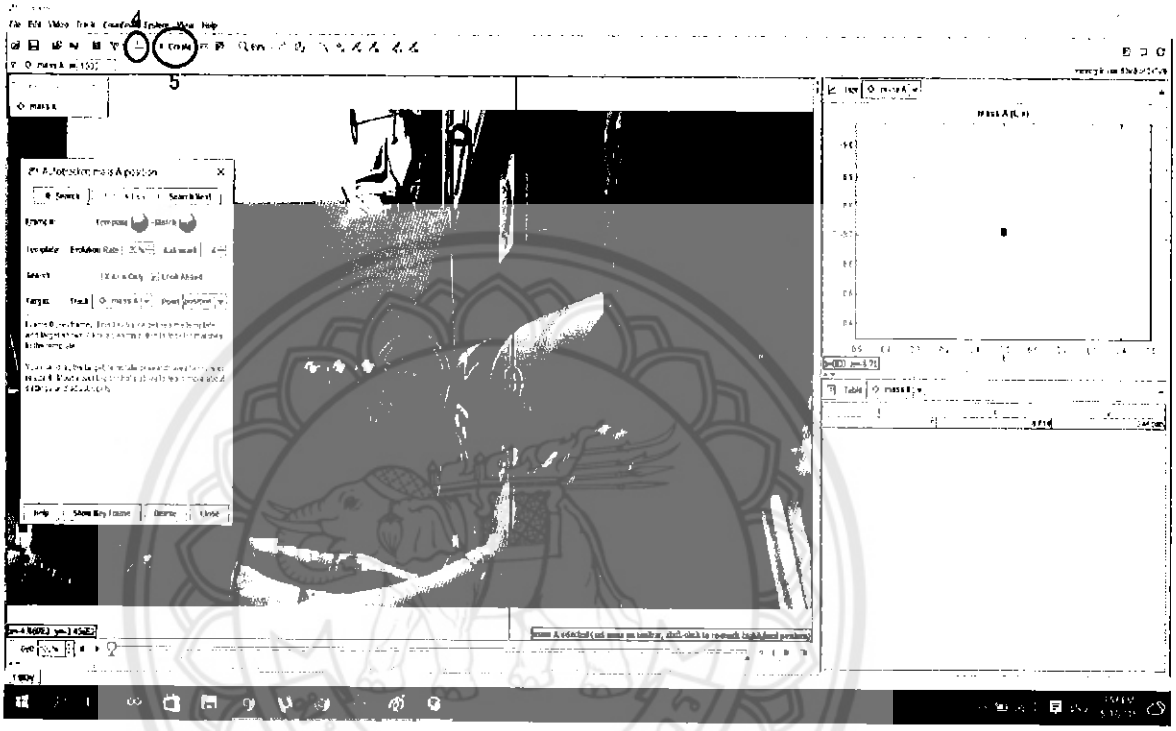
ขั้นตอนที่ 3 กดปุ่ม Open ตามรูปภาพที่ 2.16





รูปที่ 2.16 การเริ่มโปรแกรม Tracker

ขั้นตอนที่ 4 ตั้งกราฟแกน X-Y ให้ถูกต้องกับทิศของไฟล์วิดีโอ ตามรูปที่ 2.17

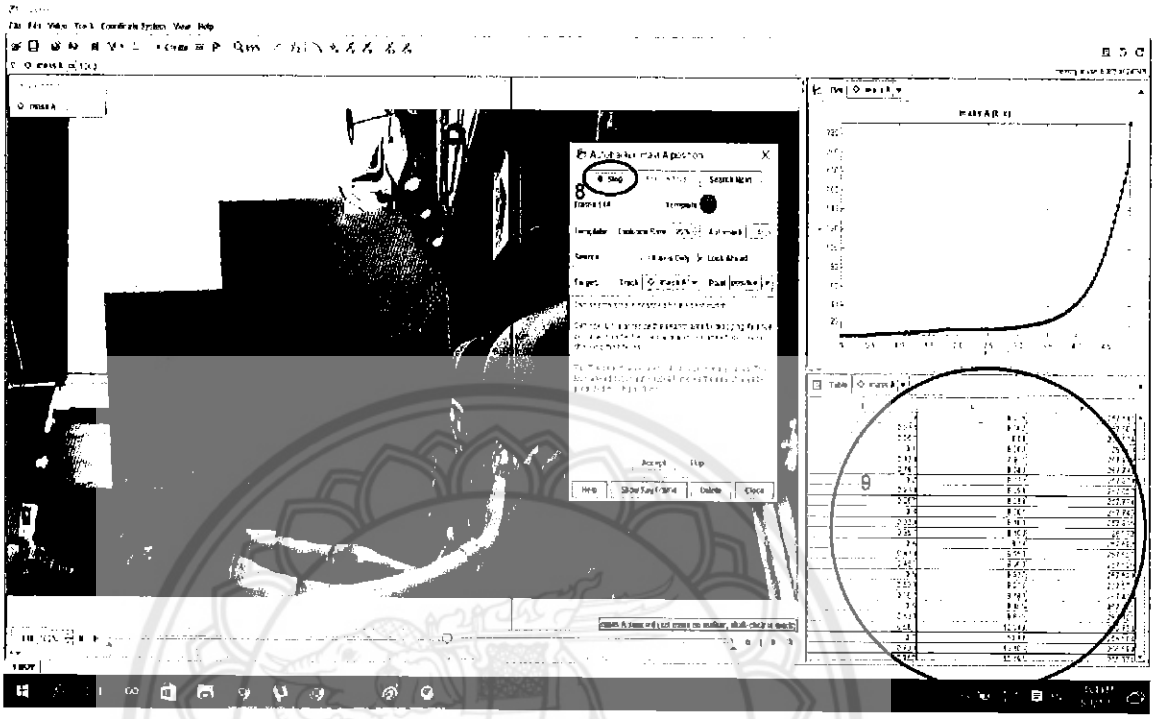


รูปที่ 2.17 การกำหนดจุดอ้างอิงต่างๆของโปรแกรม Tracker

ขั้นตอนที่ 5 กดปุ่ม Create จากนั้นกด Point of mass ตามรูปที่ 2.17

ขั้นตอนที่ 6 ทำการตั้งแกนกราฟให้ถูกต้องกับทิศของไฟล์วิดีโอ ตามรูปที่2.17

ขั้นตอนที่ 7 กด Shift+Ctrl แล้วคลิกที่จุดที่เราต้องการอ้างอิงเพื่อหาตำแหน่ง X-Y ตามรูปที่ 2.17

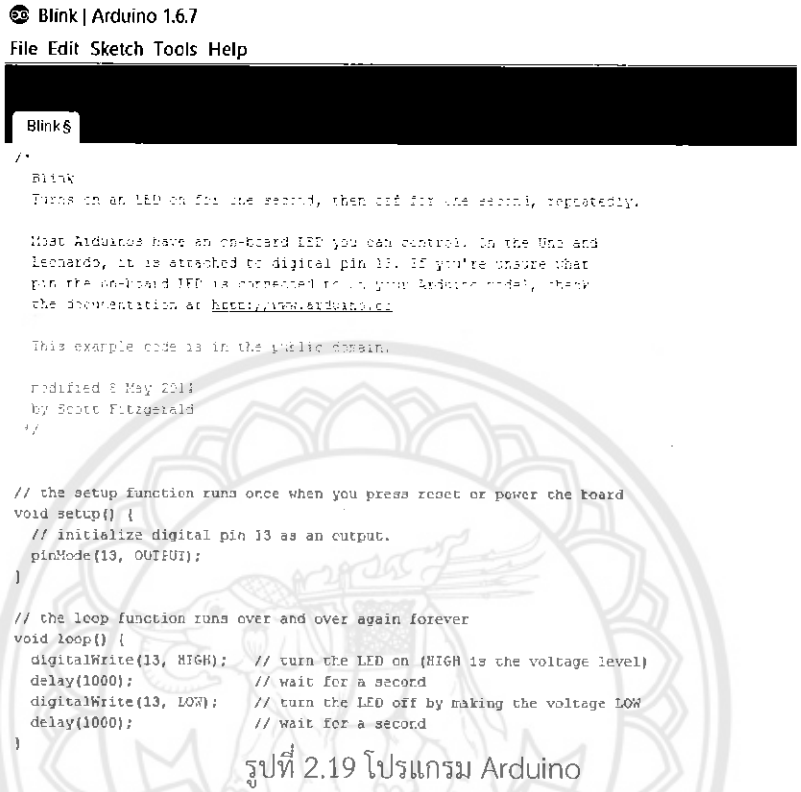


รูปที่ 2.18 การอ่านค่าจากโปรแกรม Tracker

ขั้นตอนที่ 8 กดปุ่ม Search เพื่อทำการเริ่มโปรแกรม Tracker ตามรูปที่ 2.18

ขั้นตอนที่ 9 นำค่าที่ได้ไปพล็อตกราฟโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel เพื่อหาค่า I และ I_0 ตามรูปที่ 2.18

2.4.2 โปรแกรมเปิด-ปิดไฟ LED



รูปที่ 2.19 โปรแกรม Arduino

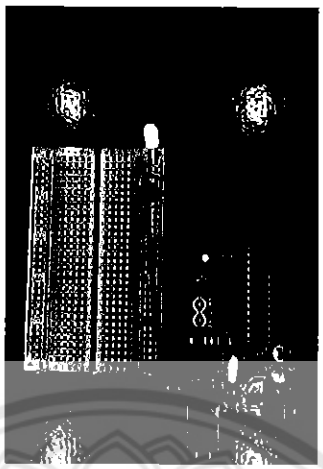
จากรูป 2.19

คำสั่ง pinMode (13, out); คือ สั่งให้สัญญาณไฟบวก ออกที่ตำแหน่งที่13

คำสั่ง digitalWrite(13, HIGH); คือ สั่งให้ไฟเปิด

คำสั่ง delay(1000); คือ สั่งให้หน่วงเวลา 1000มิลลิวินาที

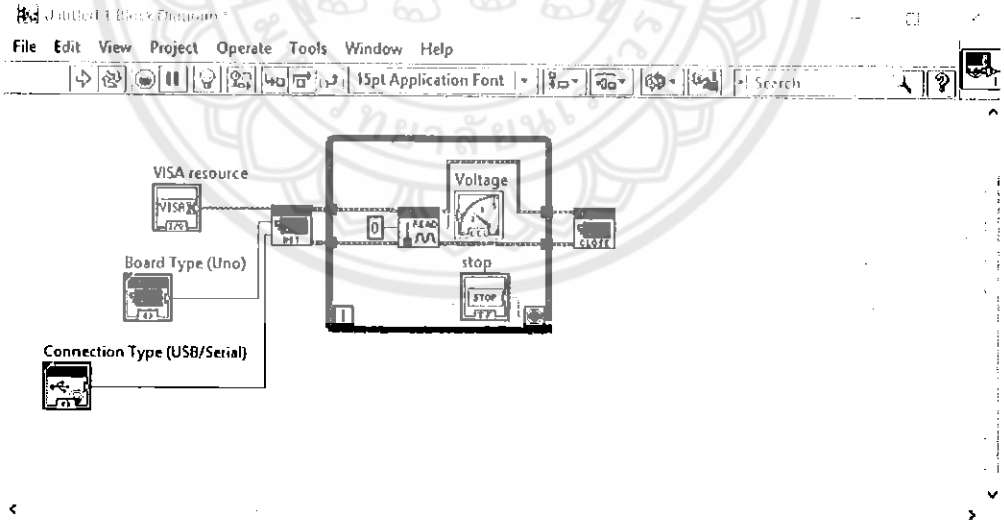
คำสั่ง digitalWrite(13, LOW); คือ สั่งให้หยุดจ่ายไฟ



รูปที่ 2.20 ตัวอย่างการต่อวงจรเปิด-ปิดไฟ

2.4.3 วิธีทำโปรแกรมวัดแรงดันไฟฟ้า

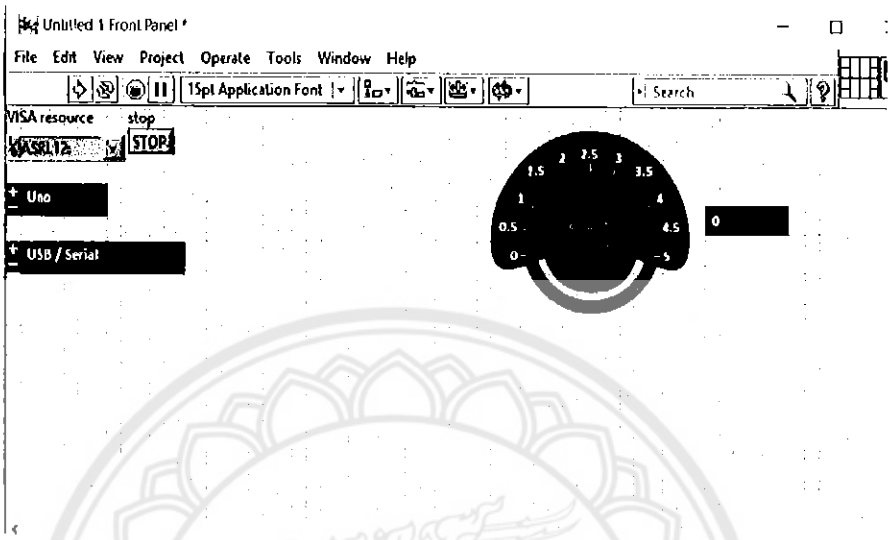
โปรแกรมที่ใช้คือ LabVIEW 2014 ซึ่งสามารถใช้งานร่วมกับ Arduino ได้



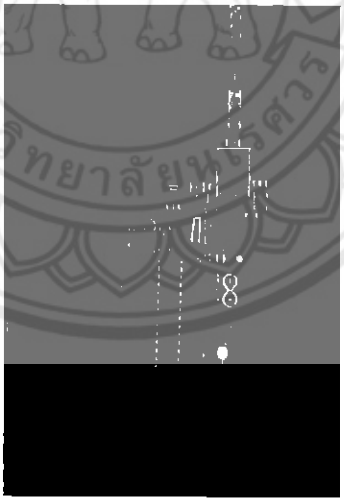
รูปที่ 2.21 Front Panel โปรแกรมวัดแรงดันไฟฟ้า

นำสายสัญญาณขั้วบวกที่เราต้องการวัดค่า เสียบลงไปในบอร์ดช่องA0 และสัญญาณขั้วลบเสียบช่อง GND ที่บอร์ด

จากนั้นทำการเปิดโปรแกรมและสั่งทำงาน ค่าความต่างศักย์จะแสดงขึ้นที่หน้าจอ

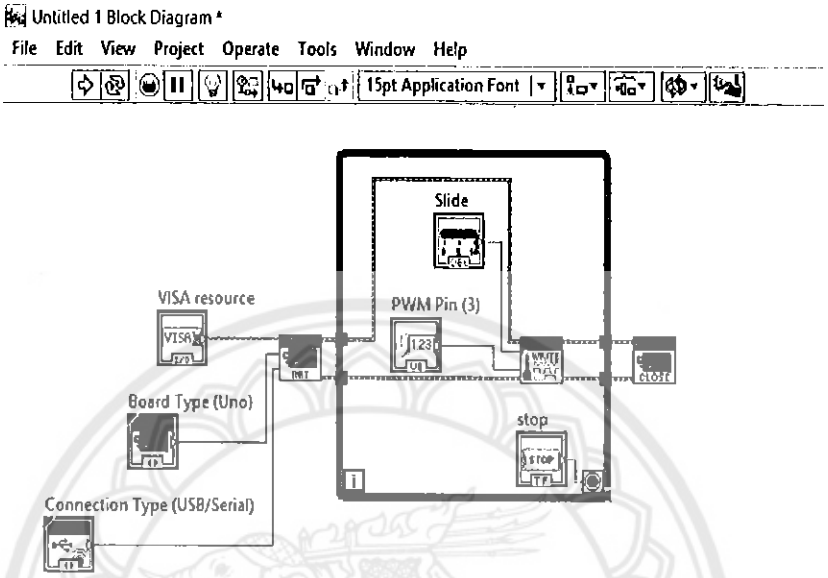


รูปที่ 2.22 Block Diagram โปรแกรมวัดแรงดันไฟฟ้า



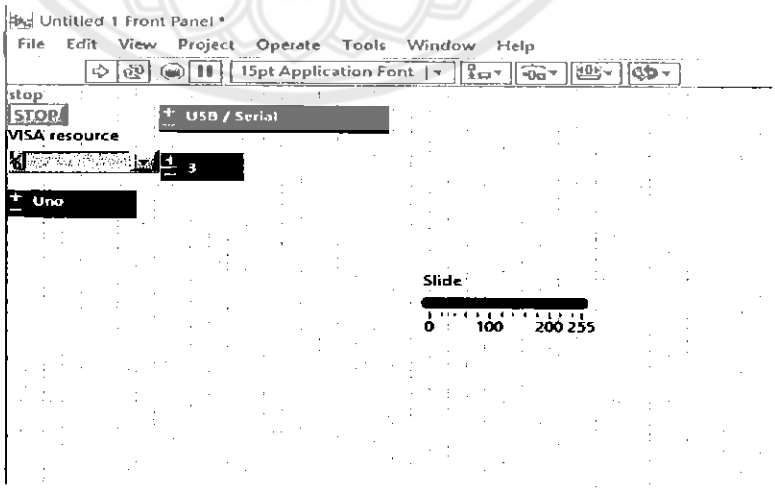
รูปที่ 2.23 ตัวอย่างการต่อวงจรวัดแรงดันไฟฟ้า

2.4.4 วิธีทำโปรแกรมปรับความสว่างของหลอดไฟ LED

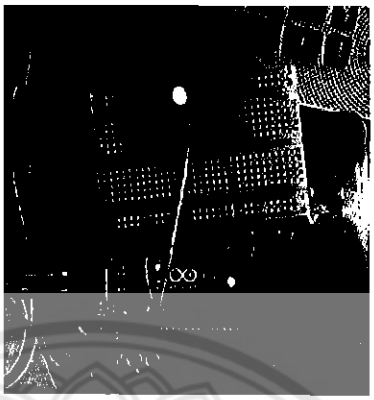


รูปที่ 2.24 Front Panel โปรแกรมปรับความสว่างของหลอดไฟ LED

เราจะใช้สัญญาณไฟขั้วบวกจากตำแหน่งช่อง PWNที่ 3 และขั้ว GND ที่บอร์ด โดยเราสามารถปรับความสว่างของหลอดไฟ LED ได้จากตัว Slide ในโปรแกรม LabVIEW โดยทำการปรับค่าจาก 0-10 เป็น 0-255



รูปที่ 2.25 Block Diagram โปรแกรมปรับความสว่างของหลอดไฟ LED



รูปที่ 2.26 ตัวอย่างการต่อวงจรปรับความสว่างหลอดไฟ LED

2.4.5 โปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบ Dynamometer

โปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย Code ของโปรแกรม Arduino และแผนผังการทำงานของโปรแกรม LabVIEW อยู่ในภาคผนวก ข

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

โครงงานนี้มีขั้นตอนการดำเนินงาน แบ่งเป็นการศึกษาปัญหาของไดนาโมมิเตอร์ที่ติดตั้งอยู่ในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล ศึกษาปัญหาของโปรแกรมที่นำมาใช้ทดสอบที่ยังไม่สมบูรณ์ และการทดสอบเครื่องโดยใช้รถยนต์

3.1 ปัญหาและแนวทางการปรับปรุงไดนาโมมิเตอร์

เมื่อทำการศึกษาโครงงานนี้ในระยะแรก พบว่ามีปัญหาเสียงรบกวนที่เกิดจาก Eddy current brake เมื่อทำการทดสอบ

3.1.1 ปัญหาไดนาโมมิเตอร์เกิดเสียงดังระหว่างการทดสอบ

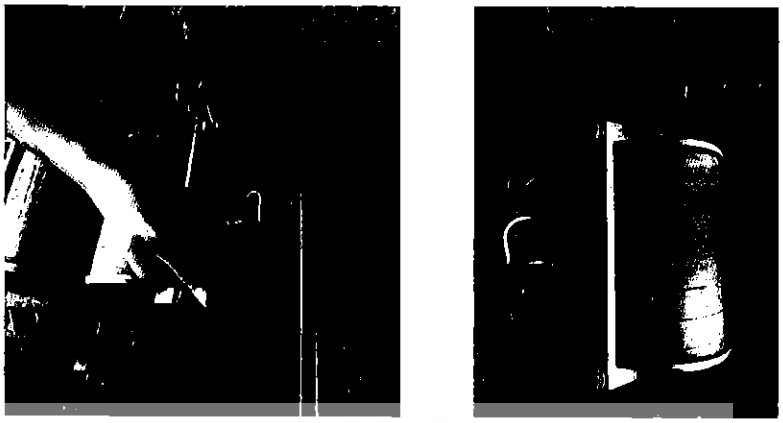
1) ลักษณะของปัญหา

ตรวจสอบปัญหาว่าระหว่างนำรถไปวิ่งบนลูกกลิ้ง และทำการทดสอบเกิดเสียงดังขึ้น จากการเสียดสีระหว่างแผ่นโลหะ กับขดลวดเหนี่ยวนำ ในขณะที่เกิดการหมุนพบว่าระหว่างทดสอบไม่ได้ใส่น็อต 2 ตัวที่ติดอยู่ด้านหลังของ Eddy current brake ทำให้ระหว่างการหมุนที่เกิดสนามแม่เหล็กแผ่นโลหะถูกับ ขดลวดเหนี่ยวนำทำให้เกิดเสียงดังขึ้นระหว่างทดสอบ

2) แนวทางการปรับปรุง

แก้ไขโดยการนำน็อต 2 ตัวมาใส่กลับคืนตำแหน่งเดิม และทดสอบโดยการนำรถมาวิ่งพบว่าเสียงที่เกิดขึ้นเบาลง

i 9179634X
สำนักหอสมุด



รูป 3.1 ปัญหาเสียงที่เกิดจาก Eddy current brake

3.2 เขียนโปรแกรมปรับค่าความต่างศักย์เพื่อใช้ในการเพิ่ม หรือลดแรงดันไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรม LabVIEW

เพื่อใช้ในการควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้า ไปสู่ Eddy current brake และนำมาคำนวณหาค่าจากการทดสอบไดนาโมมิเตอร์

อุปกรณ์ที่ใช้

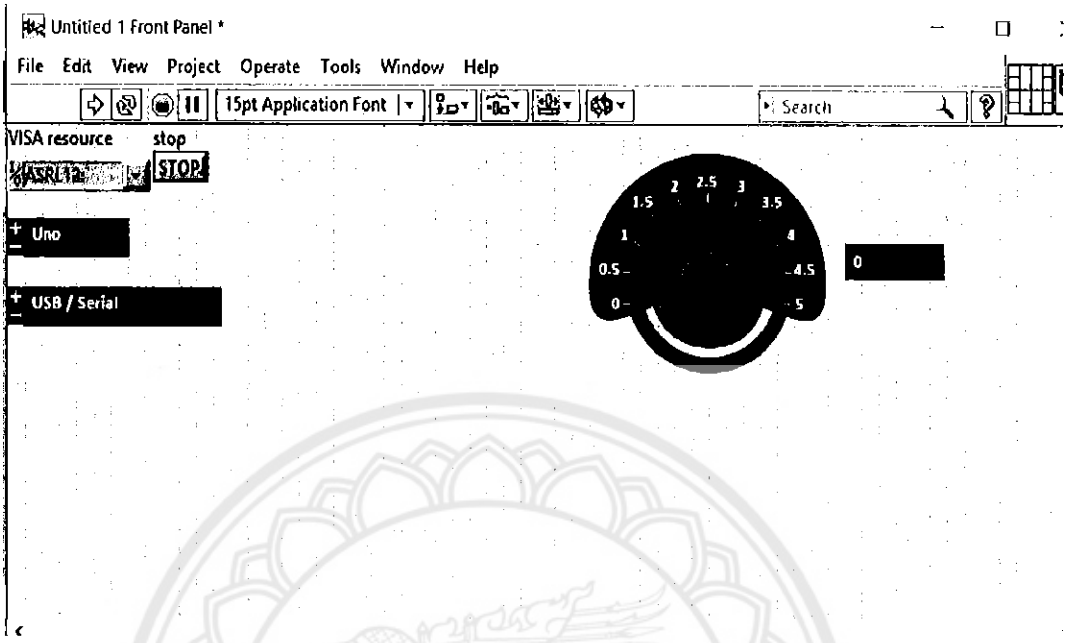
1) บอร์ด Arduino
2) หลอดไฟ LED
3) แผงวงจร Comparator with Hysteresis
4) แผงวงจร Pulse Width Modulation (PWM)
5) UNIVERSAL PHASE ANGLE TRIGGER MODULE (model Fc11al)
6) Crydom M505012F
7) RC Filter, Voltage follower low pass filter

วิธีการทดสอบ

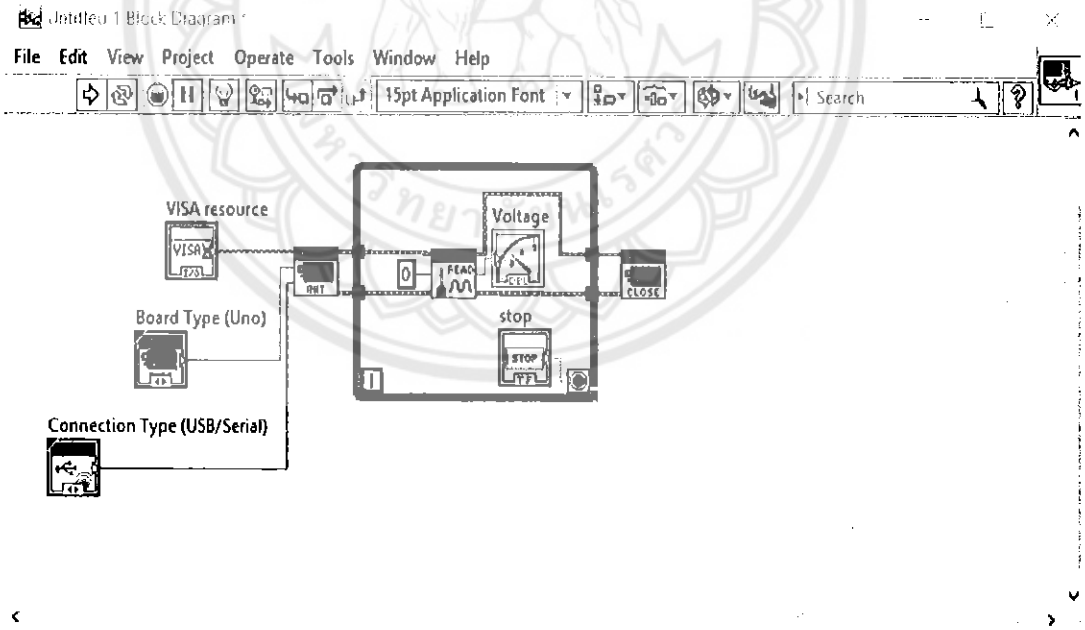
1) ต่อสายสัญญาณระหว่าง Arduino, RC Filter, Voltage follower low pass filter, แผงวงจร Comparator with Hysteresis และแผงวงจร Pulse Width Modulation (PWM) ดังรูปที่ 3.2

2) ต่อสายไฟกับหลอด LED ไปยัง Crydom M505012F และUNIVERSAL PHASE ANGLE TRIGGER MODULE (model Fc11al)
3) เขียนโปรแกรมการสั่งงานโดยใช้ LabVIEW ดังรูปที่ 3.3
4) ทำการเพิ่ม – ลด ค่าความต่างศักย์ เพื่อดูความถูกต้องของโปรแกรม

รูปที่ 3.2 การต่อวงจรเพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้า เพื่อเพิ่ม หรือลดความสว่าง



(ก) Front panel ของโปรแกรมเพิ่ม-ลด แรงดันไฟฟ้า

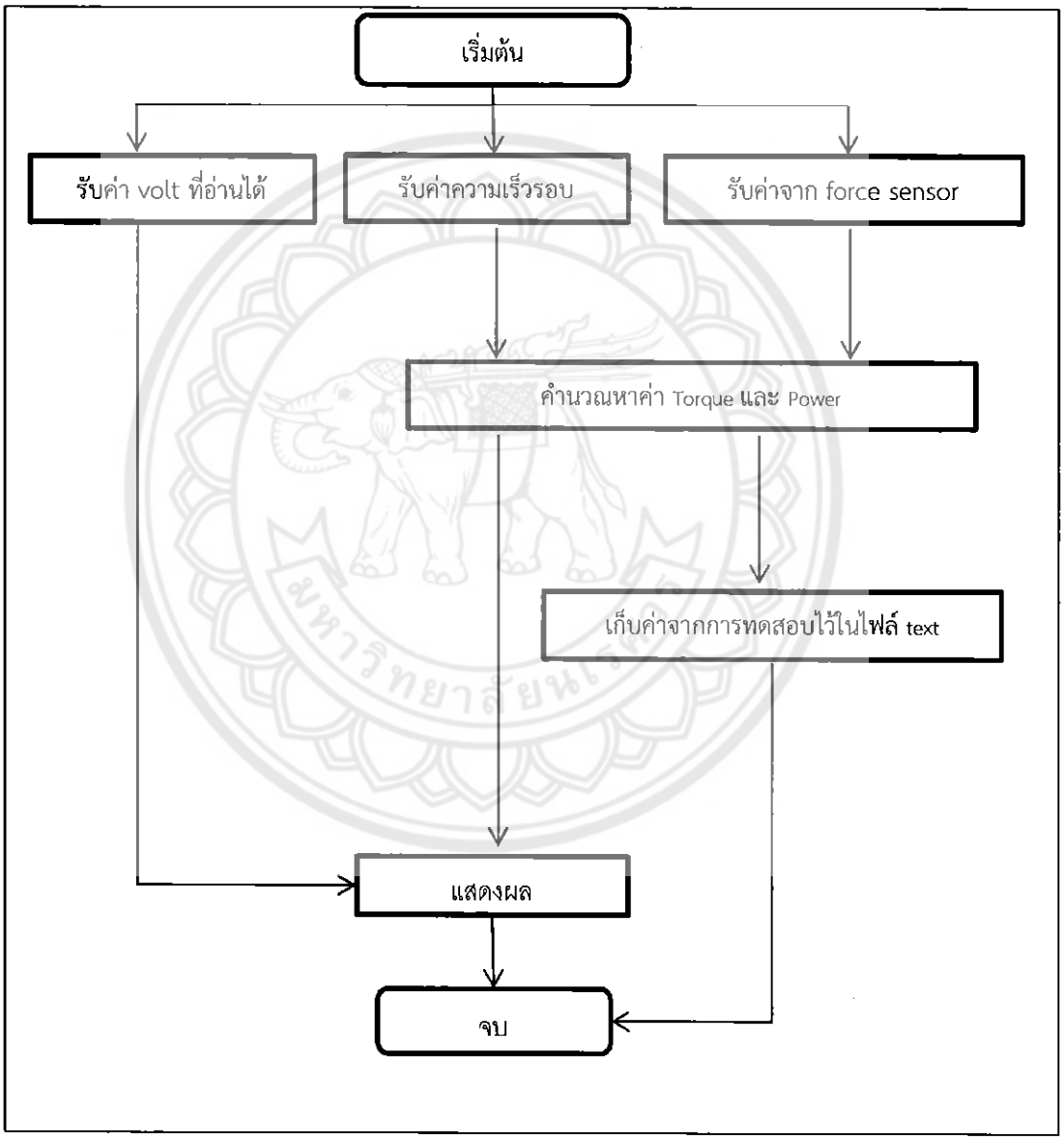


(ข) Block diagram ของโปรแกรม เพิ่ม-ลด แรงดันไฟฟ้า

รูปที่ 3.3 การเขียนโปรแกรมควบคุมแรงดันไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม LabVIEW

3.3 เขียนคำสั่งของบอร์ด Arduino เพื่อเก็บค่าจากไดนาโมมิเตอร์ และให้โปรแกรม LabVIEW เก็บค่าที่ได้ใช้ในการคำนวณเพื่อหาค่าแรงบิดและกำลังของภาระที่นำมาทดสอบ

3.3.1 Flowchart แสดงการทำงานของโปรแกรม LabVIEW



รูปที่ 3.4 Flowchart แสดงการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบ

Code คำสั่งบอร์ด Arduino เป็น Code ที่เขียนขึ้นเพื่อนำมาใช้ในการรับค่าของเครื่อง Dynamometer และส่งต่อไปยังโปรแกรม LabVIEW เพื่อคำนวณค่าที่อ่านได้ออกมา แสดงดังภาคผนวก ข และนอกจากนั้นได้เขียนคำสั่งในโปรแกรม LabVIEW เพื่อให้เบรกทำงาน ช่วยการนำรถขึ้นทดสอบดำเนินการได้ง่ายขึ้นโดยจ่ายไฟเข้าไปที่ Eddy current brake 50 V_{AC} เทียบให้ Volt ที่จ่ายให้ Eddy current brake 25 V_{AC}

3.4 ทดสอบไดนาโมมิเตอร์ในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล

การทดสอบไดนาโมมิเตอร์ในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาค่าแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ ในโครงงานนี้ได้รับความอนุเคราะห์ไดนาโมมิเตอร์เพื่อใช้ในการทดสอบจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลในอาคารปฏิบัติการ โดยรายละเอียดของวิธีการทดสอบและอุปกรณ์ที่ใช้ มีดังต่อไปนี้

อุปกรณ์ที่ใช้

1) ไดนาโมมิเตอร์ที่ปรับปรุงแล้ว
2) รถยนต์ เพื่อเป็นต้นกำลัง
3) โน้ตบุ๊ก
4) ปลั๊กไฟ

3.4.1 การเตรียมการทดสอบ

การเตรียมระบบสำหรับการทำการทดสอบไดนาโมมิเตอร์มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) เตรียมพื้นที่ให้สะดวกในการทำงาน
2) เตรียมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบให้พร้อม
3) ทำการต่อแผงวงจรที่ใช้ในการแปลงสัญญาณต่อเข้ากับเซนเซอร์วัดความเร็วรอบ Eddy current brake และ Force Sensor ที่ติดตั้งอยู่กับไดนาโมมิเตอร์
4) ทำการต่อวงจรทั้งหมด และติดตั้งอุปกรณ์ให้พร้อมสำหรับการทำงาน

3.4.2 การออกแบบการทดสอบ

การทดสอบดำเนินโดยการใช้โปรแกรม Arduino ป้อนคำสั่งให้บอร์ด Arduino รับค่าความเร็วรอบ ค่าความต่างศักย์ที่ได้ และค่าจาก Force sensor จากนั้นเปิดโปรแกรม LabVIEW เพื่อเริ่มการทดสอบ โดยการทดสอบจะทำโดยการนำรถยนต์ไปวิ่งบนไดนาโมมิเตอร์จะใช้เกียร์ 3 ในการทดสอบ เนื่องจากความเร็วรอบของเครื่องยนต์ กับไดนาโมมิเตอร์จะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยจะทำการเพิ่มความเร็วรอบของรถไปให้สุด แล้วจะผ่อนเครื่องยนต์ แล้วให้โปรแกรม LabVIEW บันทึกค่าจากการทดสอบแสดงค่าความต่างศักย์ ความเร็วรอบ และค่าจาก Force sensor ที่ได้ลงในหน้าต่างของโปรแกรม เมื่อความเร็วรอบของรถเร่งสูงขึ้น ค่าแรงบิด และกำลังที่คำนวณได้จากโปรแกรมก็จะเพิ่มขึ้น จากนั้นนำค่าที่ได้จากโปรแกรม LabVIEW มาวิเคราะห์ และสรุปผลการทดสอบ

3.4.3 การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูล จะทำการเก็บค่าความเร็วรอบ แรงบิด และกำลังของเครื่องยนต์ โปรแกรม LabVIEW ได้แสดงผลการทดสอบออกมาเป็นไฟล์ *.txt โดยจะนำค่าที่ได้จากการทดสอบซ้ำๆ กันหลายครั้งเพื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกัน เพื่อความแม่นยำในการทดสอบเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ และสรุปผลการทดสอบ

บทที่ 4
ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

ผลการทดสอบของไดนาโมมิเตอร์ในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกลที่ปรับปรุงแล้ว และการวิเคราะห์ผล สรุปได้ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดสอบของไดนาโมมิเตอร์ ในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล

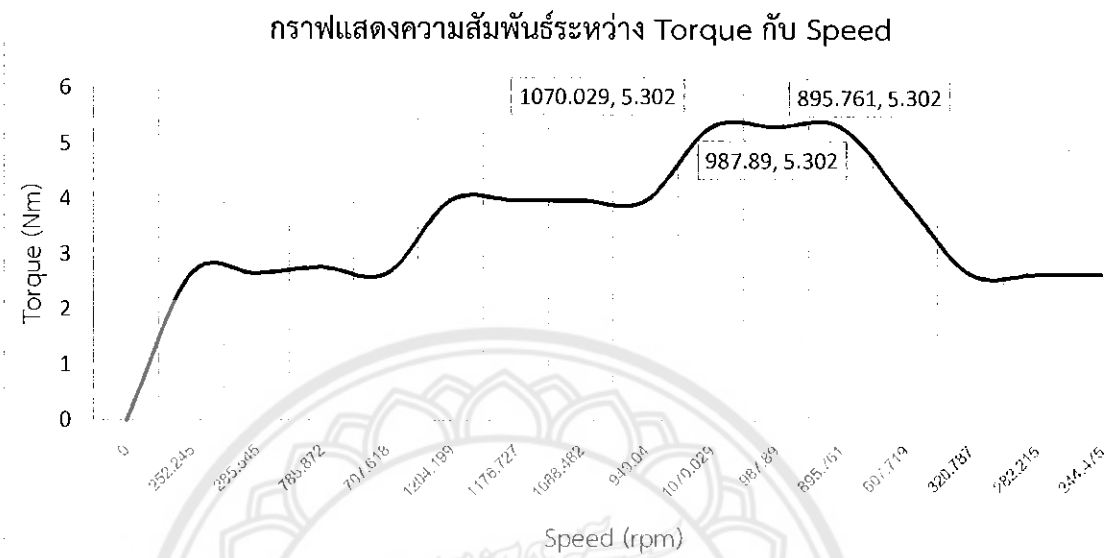
4.1.1 ผลการทดสอบหาแรงบิดและแรงม้าของรถยนต์

ผลการทดสอบหาแรงบิด และกำลังของรถยนต์เมื่อผ่านไดนาโมมิเตอร์ในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกลโดยกำหนดให้รถใช้เกียร์ 3 ในการสร้างภาระ (Load) ให้กับไดนาโมมิเตอร์และเก็บข้อมูลจากโปรแกรม LabVIEW

(ก) รถยนต์ที่นำมาใช้ในการทดสอบ (ข) สายรั้งเพื่อไม่ให้รถยนต์ขยับขณะทำการทดลอง

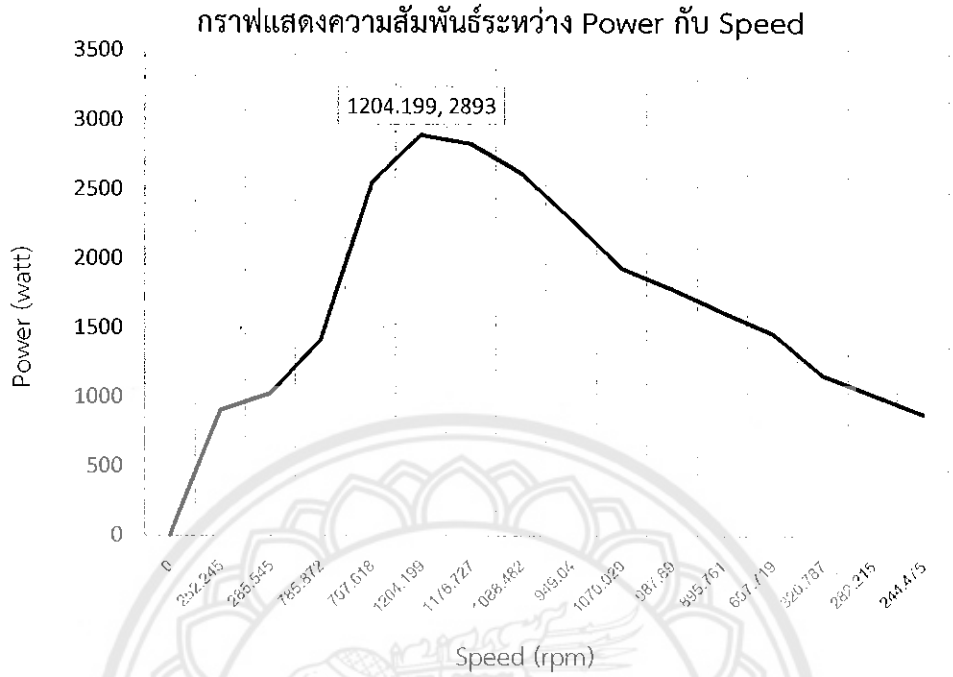
รูปที่ 4.1 การทดสอบวัดค่าความเร็วรอบ กำลัง และแรงบิด ของเครื่องยนต์

ครั้งที่ 1



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Torque กับ Speed ครั้งที่ 1

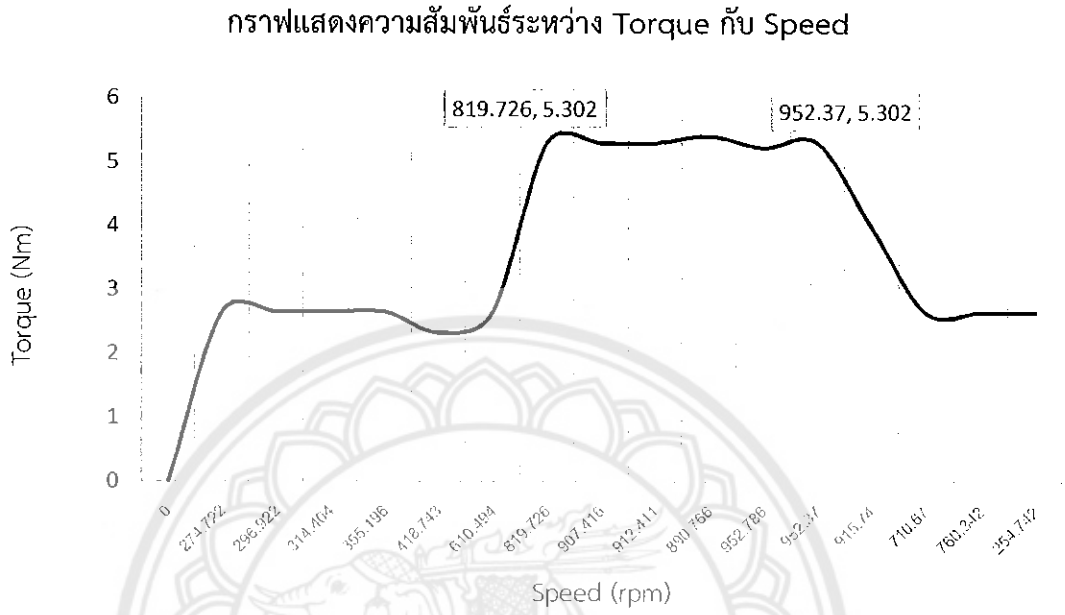
จากกราฟในรูป 4.2 แสดงผลการทดสอบแรงบิดของรถยนต์เมื่อผ่านไดนา**โมมิเตอร์ จะเห็นได้เมื่อเครื่องยนต์เมื่อเพิ่มความเร็ว** ค่าแรงบิดที่ได้ก็จะมากขึ้นโดยค่าแรงบิดที่มากที่**สุดคือ** 5.302 Nm **ในช่วงความเร็ว** 1070.029, 987.89 และ 895.761 rpm



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Power กับ Speed ครั้งที่ 1

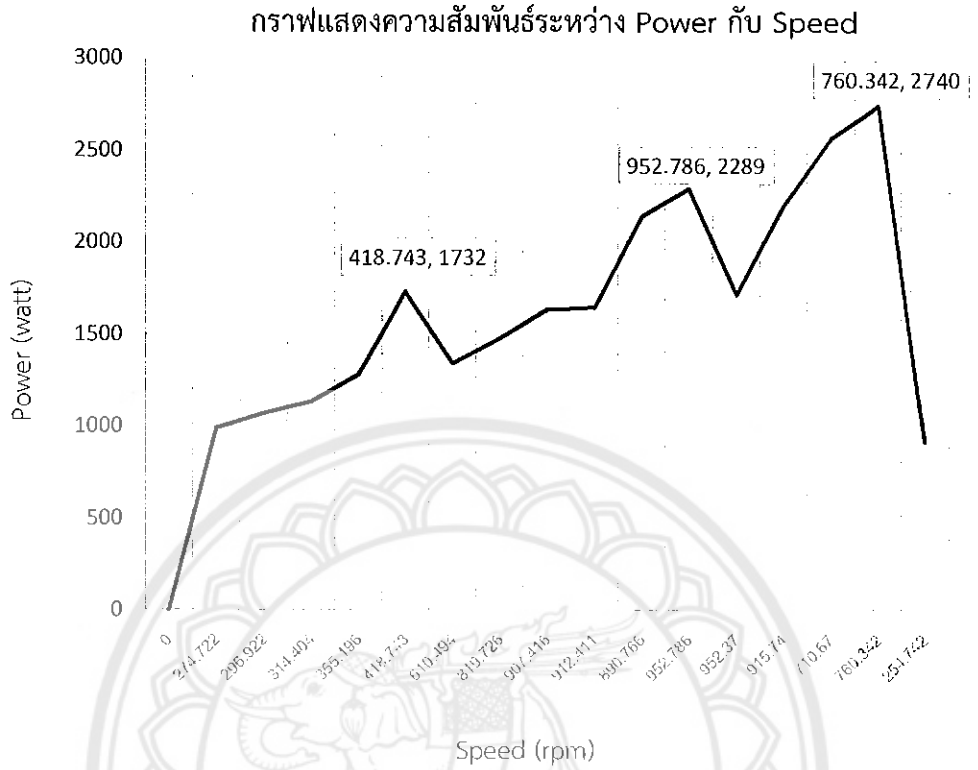
จากกราฟในรูป 4.3 แสดงผลการทดสอบกำลังของรถยนต์เมื่อผ่านไดนาโมมิเตอร์ จะเห็นได้เมื่อเครื่องยนต์เพิ่มความเร็วจนถึงที่ 1204.199 rpm จะให้กำลังของเครื่องยนต์สูงสุดอยู่ที่ 2893 watt

ครั้งที่ 2



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Torque กับ Speed ครั้งที่ 2

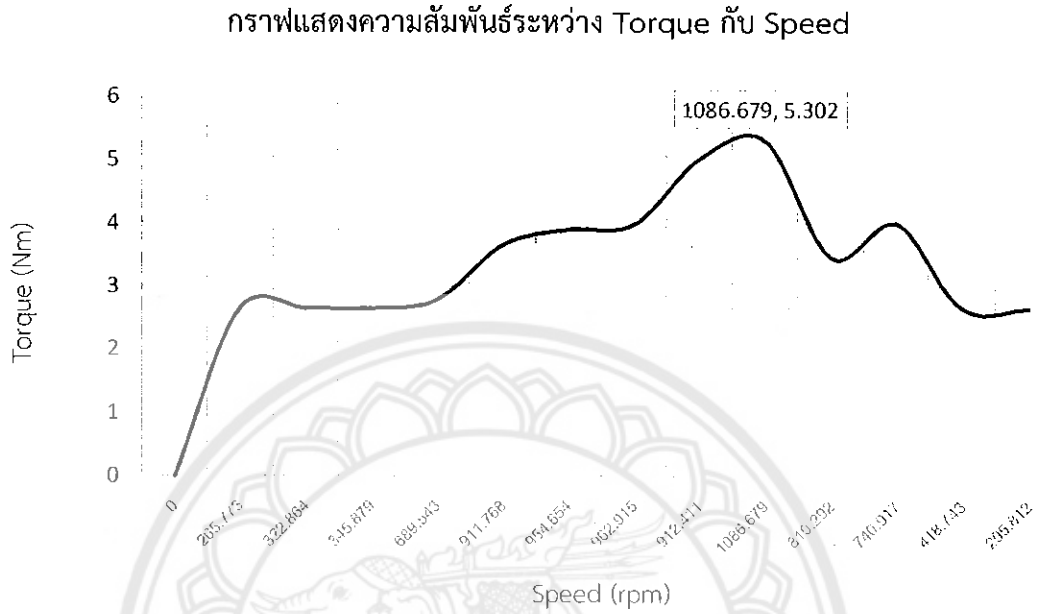
จากกราฟในรูป 4.4 แสดงผลการทดสอบแรงบิดของรถยนต์เมื่อผ่านไดนาโมมิเตอร์ จะเห็นได้เมื่อเครื่องยนต์เมื่อเพิ่มความเร็ว ค่าแรงบิดที่ได้ก็จะมากขึ้นโดยค่าแรงบิดที่มากที่สุดคือ 5.412 Nm ในช่วงความเร็ว 819.726 - 952.37 rpm



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Power กับ Speed ครั้งที่ 2

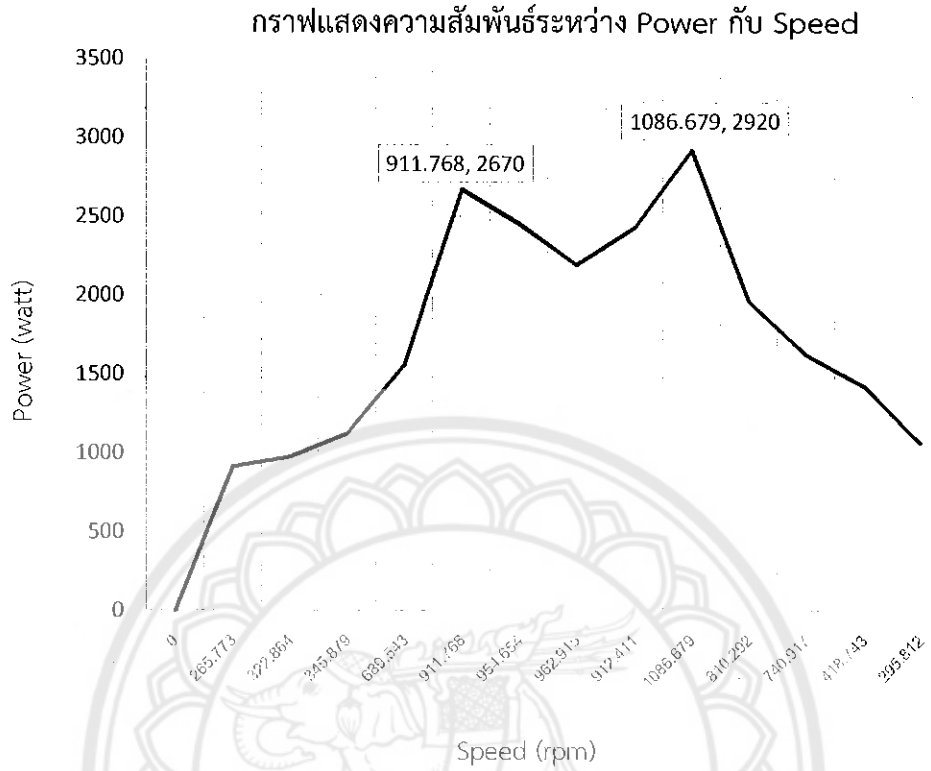
จากกราฟในรูป 4.5 แสดงผลการทดสอบกำลังของรถยนต์เมื่อผ่านไดนาโมมิเตอร์ จะเห็นได้เมื่อเครื่องยนต์เพิ่มความเร็วจนถึงที่ 760.342 rpm จะให้กำลังของเครื่องยนต์อยู่ที่ 2740 watt

ครั้งที่ 3



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Torque กับ Speed ครั้งที่ 3

จากกราฟในรูป 4.6 แสดงผลการทดสอบแรงบิดของรถยนต์เมื่อผ่านไดนาโมมิเตอร์ จะเห็นได้เมื่อเครื่องยนต์เมื่อเพิ่มความเร็ว ค่าแรงบิดที่ได้ก็จะมากขึ้นโดยค่าแรงบิดที่มากที่สุดคือ 5.302 Nm ในช่วงความเร็ว 1086.679 rpm



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Power กับ Speed ครั้งที่ 2

จากกราฟในรูป 4.7 แสดงผลการทดสอบกำลังของรถยนต์เมื่อผ่านไดนาโมมิเตอร์ จะเห็นได้เมื่อเครื่องยนต์เพิ่มความเร็วจนถึงที่ 1086.679 rpm จะให้กำลังของเครื่องยนต์สูงสุดอยู่ที่ 2920 watt

4.2 ปัญหาที่พบระหว่างการทดสอบไดนาโมมิเตอร์

1. จะต้องเสียบสายไฟของ Eddy current brake ให้ตรงกับของบอร์ดเพื่อป้องกันไม่ให้มีกระแสไฟจ่ายเข้าไปโดยตรงที่ Eddy current brake และทำให้ Eddy current brake ทำงานเต็มประสิทธิภาพ ทำให้ลูกกลิ้งไม่สามารถหมุนได้

2. เกิดปัญหาในการเชื่อมต่อสายสัญญาณ USB ของ Ardiono กับคอมพิวเตอร์ที่นำมาทดสอบบางครั้งไม่สามารถ upload คำสั่งให้ Arduino ได้

โดยสรุปแล้วการทดสอบไดนาโมมิเตอร์สามารถใช้วัดค่าแรงบิด และกำลังของเครื่องยนต์ได้แต่ค่าที่ได้นั้นยังไม่ได้ตามค่าคุณสมบัติของรถที่มาใช้ในการทดสอบ โดยอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณที่อ่านได้จาก Load cell พบว่าหากคูณปรับด้วยค่า 50 แรงบิด และกำลังของเครื่องยนต์ที่ได้จะได้ใกล้เคียงกับค่าคุณสมบัติของรถที่ใช้ในการทดสอบ และเนื่องจากโปรแกรมยังต้องมีการพัฒนาในระดับต่อไป ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุง และทดสอบไดนาโมมิเตอร์เพิ่มเติมอีกในอนาคต รวมทั้งแก้ไขปัญหาบางอย่างที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปสมบัติของไดนาโมมิเตอร์

จากการทดสอบไดนาโมมิเตอร์ ในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล สามารถใช้วัดความเร็วรอบ แรงบิด และกำลังของเครื่องยนต์ สามารถวัดได้ทั้งรถจักรยานยนต์ และรถยนต์ โดยใช้ Arduino เป็นตัวเก็บค่า ความเร็วรอบ, ความต่างศักย์และค่าจาก Force sensor แล้วส่งต่อให้โปรแกรม LabVIEW คำนวณ และแสดงผลในโปรแกรมในรูปแบบของกราฟ และบันทึกค่าความเร็วรอบ แรงบิด และกำลังของเครื่องยนต์ ลงในไฟล์ *.txt เพื่ออ้างอิงผลการทดลอง

ตาราง 5.1 อุปกรณ์เสริมในการทดสอบเครื่องที่เกี่ยวข้อง

อุปกรณ์เสริมในการทดสอบเครื่อง	
รถยนต์	
-รุ่น	Ford Ranger Wildtrak 4x2 HR 6MT
-เครื่องยนต์	Inline 4-Cylinder DOHC 16V
-ปริมาตรกระบอกสูบ	2198 cc
-กระบอกสูบ x ช่วงชัก	86 x 94.6 mm
-อัตราส่วนแรงอัด	15.7 : 1
-ระบบเกียร์	6-speed manual
-ขนาด (กว้าง x ยาว x สูง)	1,850 x 5,359 x 1,815 mm
-ระยะห่างช่วงล้อ	3,220 mm
-ระบบห้ามล้อ	ล้อหน้า Ventilated ล้อหลัง Drum
-ขนาดยาง หน้า หลัง	265/65 R17

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ปรับปรุงโปรแกรมที่ใช้ทดสอบไดนาโมมิเตอร์

- เนื่องจากมีตัวแปรในสมการไม่ได้ถูกนำมาใช้ในโปรแกรม ทำให้ค่าที่ได้ยังไม่มีความแม่นยำเท่าที่ควร ซึ่งคือค่า โมเมนต์ความเฉื่อยไดนาโมมิเตอร์ (I_D)
- เนื่องจากบอร์ด Arduino มีความเร็วเพียง 16MHz 8Bits ซึ่งเร็วไม่พอต่อการรับและส่งข้อมูลต่างๆ จึงควรเลือกใช้บอร์ดรุ่นอื่นๆ เช่น Intel Curie 101 32MHz, Due 84MHz เป็นต้น
- ผลการทดสอบจะนำค่าจากการทดสอบมาวาดกราฟในโปรแกรม Microsoft excel เพื่อให้ได้กราฟที่ถูกต้อง
- ควรมีการพัฒนาโปรแกรม เพื่อให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

อ้างอิง

[1] Winther, J. B. (1975). Dynamometer Handbook of Basic Theory and Applications. Cleveland, Ohio: Eaton Corporation.

[2] Martyr, A.; Plint, M. (2007). Engine Testing - Theory and Practice (Fourth ed.). Oxford, UK: ELSEVIER. ISBN 978-0-08-096949-7.

[3] SRUJAN KUSUMBA.(2001); DYNAMOMETER PROPORTIONAL LOAD CONTROL, Bachelor of Engineering in Electrical and Electronics Engineering Kakatiya University, India

[4] การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์, สืบค้นเมื่อ 7 มกราคม 2559, จาก http://203.172.175.5/planteach/16082553z0a.doc

[5] Q-WAVE STSTEM. Arduino compatible compiler for LabVIEW. สืบค้นเมื่อ, 22 พฤศจิกายน 2558,จาก http://support.qwavesys.com/tag/labview/

[6] Ford. Double Cab Hi-Rider 2.2L Wildtrak 6MT (MY15). สืบค้นเมื่อ, 6 มกราคม 2559, จาก http://www.ford.co.th/en/trucks/ranger/specifications/spec-data

[7] Orientalmotor. AC Constant Speed Motor Overview สืบค้นเมื่อ 18 พฤษภาคม 2559, จาก http://www.orientalmotor.com/products/pdfs/2012-2013/C/usa_ac_cons_intro.pdf

ภาคผนวก

ภาพผนวก ก

ตารางบันทึกผลการหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของไดนาโมมิเตอร์

จากโปรแกรม Tracker

ตารางบันทึกผลจากโปรแกรม Tracker

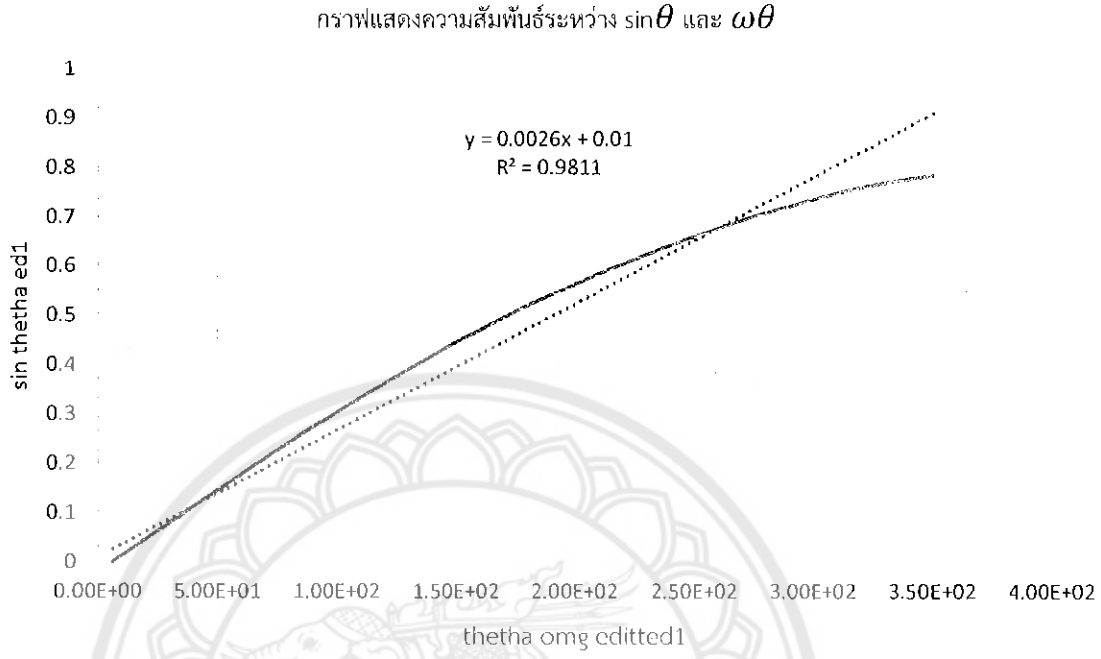
ตารางที่ ก.1 ค่าที่ได้จากโปรแกรม Tracker

t	y	x	x/y	θ	Thetha rad	ω	$\propto$	$\sin\theta$
0.00E+00	4.96E+02	7.38E-04	1.49E-06	8.53557E-05	1.48974E-06	0	0.00E+00	1.48974E-06
3.33E-02	4.96E+02	9.18E-01	1.85E-03	0.106043432	0.001850807	3.18E+00	9.54E+01	0.001850806
6.67E-02	4.97E+02	1.63E+00	3.28E-03	0.187921135	0.003279843	2.46E+00	-2.17E+01	0.003279837
1.00E-01	4.97E+02	2.77E+00	5.57E-03	0.319076251	0.005568931	3.93E+00	4.43E+01	0.005568902
1.33E-01	4.97E+02	3.84E+00	7.72E-03	0.442294036	0.007719487	3.70E+00	-7.14E+00	0.007719411
1.67E-01	4.98E+02	4.81E+00	9.67E-03	0.553918702	0.009667705	3.35E+00	-1.04E+01	0.009667555
2.00E-01	4.98E+02	5.85E+00	1.17E-02	0.672917671	0.011744629	3.57E+00	6.64E+00	0.011744359
2.33E-01	4.98E+02	6.92E+00	1.39E-02	0.796431574	0.013900353	3.71E+00	4.06E+00	0.013899906
2.67E-01	4.98E+02	8.13E+00	1.63E-02	0.934371166	0.016307853	4.14E+00	1.30E+01	0.01630713
3.00E-01	4.98E+02	9.73E+00	1.95E-02	1.118488358	0.019521304	5.52E+00	4.16E+01	0.019520065
3.33E-01	4.99E+02	1.11E+01	2.22E-02	1.270133609	0.022168013	4.55E+00	-2.92E+01	0.022166198
3.67E-01	4.99E+02	1.28E+01	2.56E-02	1.464942835	0.025568076	5.84E+00	3.88E+01	0.02556529
4.00E-01	4.99E+02	1.46E+01	2.92E-02	1.670831731	0.029161515	6.18E+00	9.97E+00	0.029157382
4.33E-01	4.99E+02	1.62E+01	3.24E-02	1.854533257	0.032367711	5.51E+00	-2.00E+01	0.03236206
4.67E-01	4.99E+02	1.87E+01	3.74E-02	2.140404892	0.037357113	8.58E+00	9.20E+01	0.037348424
5.00E-01	4.99E+02	2.08E+01	4.16E-02	2.381198086	0.041559747	7.22E+00	-4.06E+01	0.041547784

t	y	x	x/y	θ	Thetha rad	ω	$\propto$	$\sin\theta$
5.67E-01	4.99E+02	2.56E+01	5.13E-02	2.93713662	0.051262705	9.24E+00	5.38E+01	0.051240256
6.00E-01	4.99E+02	2.82E+01	5.66E-02	3.240580185	0.056558794	9.10E+00	-3.97E+00	0.056528644
6.33E-01	4.98E+02	3.12E+01	6.27E-02	3.588383709	0.062629111	1.04E+01	3.99E+01	0.062588176
6.67E-01	4.98E+02	3.45E+01	6.93E-02	3.966469286	0.069227949	1.13E+01	2.73E+01	0.069172666
7.00E-01	4.98E+02	3.79E+01	7.62E-02	4.35618838	0.07602983	1.17E+01	1.05E+01	0.075956602
7.33E-01	4.97E+02	4.17E+01	8.38E-02	4.788311476	0.083571801	1.30E+01	3.82E+01	0.083474554
7.67E-01	4.97E+02	4.55E+01	9.17E-02	5.237158636	0.091405662	1.35E+01	1.51E+01	0.091278432
8.00E-01	4.96E+02	4.98E+01	1.00E-01	5.735886097	0.100110098	1.50E+01	4.49E+01	0.099942964
8.33E-01	4.95E+02	5.47E+01	1.10E-01	6.296039597	0.109886621	1.68E+01	5.53E+01	0.109665606
8.67E-01	4.94E+02	5.98E+01	1.21E-01	6.900701985	0.12043997	1.81E+01	4.01E+01	0.120149002
9.00E-01	4.93E+02	6.52E+01	1.32E-01	7.537509035	0.13155435	1.91E+01	2.89E+01	0.13117522
9.33E-01	4.92E+02	7.11E+01	1.45E-01	8.225520896	0.143562422	2.06E+01	4.61E+01	0.143069789
9.67E-01	4.90E+02	7.74E+01	1.58E-01	8.968356213	0.156527344	2.23E+01	4.93E+01	0.155888953
1.00E+00	4.89E+02	8.42E+01	1.72E-01	9.774447718	0.170596295	2.42E+01	5.69E+01	0.169770018

ตารางที่ ก.2 ค่าที่ได้จากโปรแกรม Tracker

t	$\omega\ \theta$	$\sin\theta$ ed1	$\omega\ \theta$	$\sin\theta$
0.00E+00	6.02E+00	1.48974E-06	6.02E+00	1.48974E-06
3.33E-02	6.49E+00	0.001850806	6.49E+00	0.001850805
6.67E-02	7.00E+00	0.003279837	7.00E+00	0.003279831
1.00E-01	7.55E+00	0.005568902	7.55E+00	0.005568874
1.33E-01	8.13E+00	0.007719411	8.13E+00	0.007719334
1.67E-01	8.77E+00	0.009667555	8.77E+00	0.009667404
2.00E-01	9.45E+00	0.011744359	9.45E+00	0.011744089
2.33E-01	1.02E+01	0.013899906	1.02E+01	0.013899458
2.67E-01	1.10E+01	0.01630713	1.10E+01	0.016306408
3.00E-01	1.18E+01	0.019520065	1.18E+01	0.019518825
3.33E-01	1.28E+01	0.022166198	1.28E+01	0.022164383
3.67E-01	1.38E+01	0.02556529	1.38E+01	0.025562505
4.00E-01	1.48E+01	0.029157382	1.48E+01	0.029153251
4.33E-01	1.60E+01	0.03236206	1.60E+01	0.032356411
4.67E-01	1.73E+01	0.037348424	1.73E+01	0.037339742
5.00E-01	1.86E+01	0.041547784	1.86E+01	0.041535832



รูป ก.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง sinθ และ ωθ

จากสมการ $I = mgR(k)$ แทนค่า

m = 1.53 kg, g = 9.81 m/s^2 ,R = 0.348 m และ k = 9.811

ได้ค่า I = 5.123 kg(m^2)

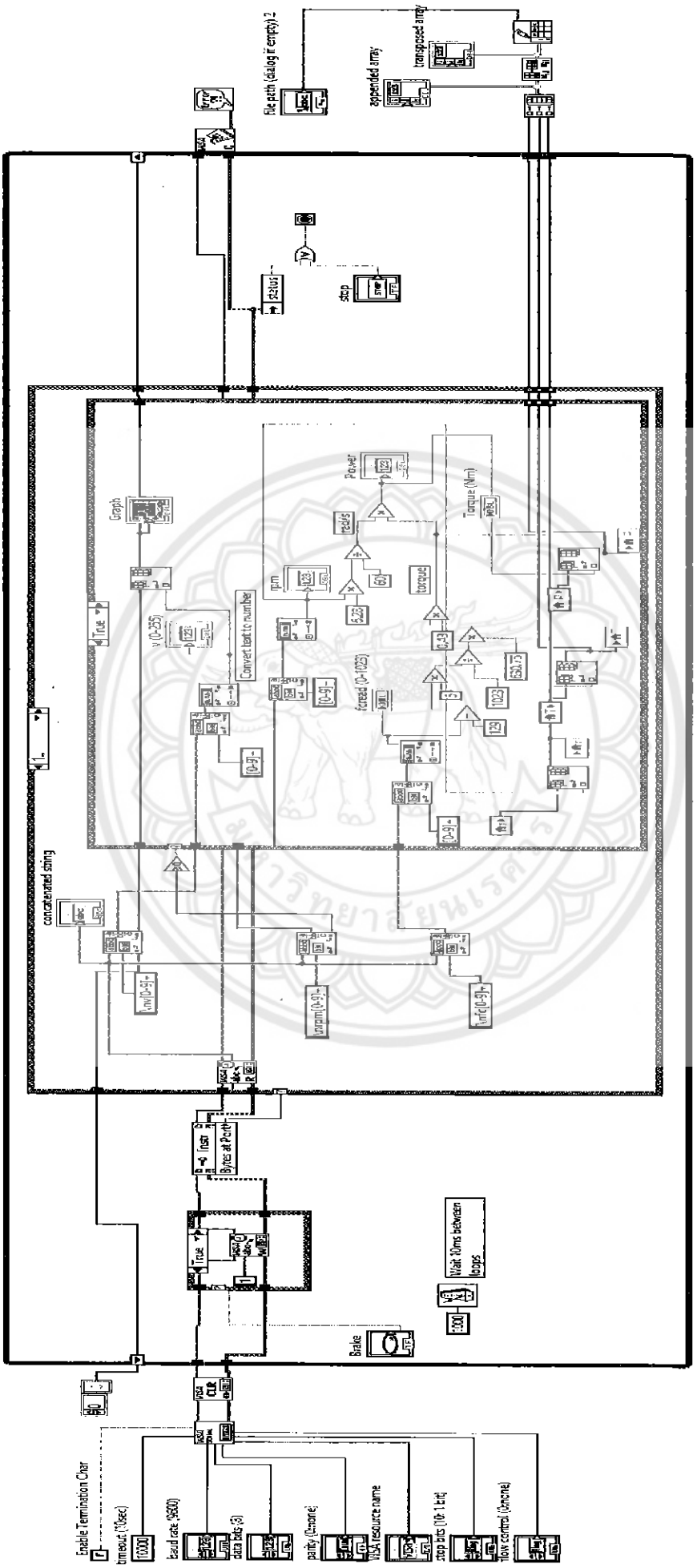
จากสมการ $I_D = I\text{-}mR^2$ แทนค่า

I = 5.123 kg(m^2), m = 1.53 kg และ R = 0.348 m

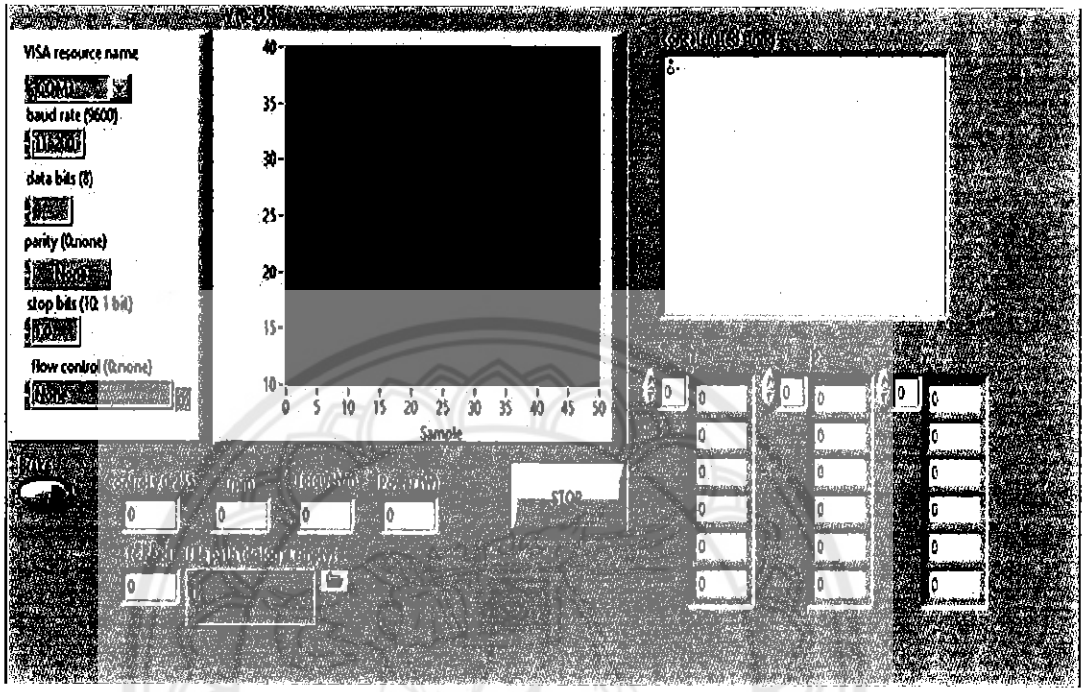
ได้ค่า I_D = 4.939 kg(m^2)

ภาพผนวก ข

โปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบไดนาโมมิเตอร์



รูปที่ ข.1 แผนผังโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ ข.2 แผนผัง Front Panel โปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในการทดสอบ

อธิบายคำสั่งของโปรแกรม Arduino

การเขียนโปรแกรม Arduino จะใช้รูปแบบการเขียนของภาษาซี ซึ่งสามารถแบ่งส่วนประกอบได้ 5 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 ประกาศใช้ฟังก์ชั่นพิเศษ และกำหนดค่า
ส่วนที่ 2 การการประกาศใช้ตัวแปร
ส่วนที่ 3 การแสดงผลเมื่อเริ่มต้นโปรแกรม
ส่วนที่ 4การเขียนโปรแกรมและสั่งให้โปรแกรมทำงาน
ส่วนที่ 5 การแสดงผลลัพธ์ของการคำนวณ

ส่วนที่ 1 ประกาศใช้ฟังก์ชั่นพิเศษ และกำหนดค่า

```
//include avr library
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>

#define EXT_INT 1   // Uno: D3 pin used to be EXT_INT (1)

volatile uint16_t ovf_count = 0;

ISR(TIMER1_OVF_vect) { // overflow rate: every 32768 usec (32.768msec)
  ovf_count++;
}

void timer1_start() {
  uint8_t SREG_tmp = SREG;  // save the status register
  ovf_count = 0;            // reset overflow counter
  cli();                    // disable interrupts
  TIMSK1 = 0;
  TCNT1  = 0;               // reset Timer1 count register
  TCCR1A = 0;
  TCCR1B = 0;
  // use Timer1 in Normal mode
  TIMSK1 |= (1<<TOIE1);     // Enable Timer1 overflow interrupt
  TCCR1B |= (1<<CS11);      // start timer at f_CPU/8: 16Mhz/8=2MHz => 0.5usec step,
  SREG = SREG_tmp;          // restore the status register
}

volatile uint8_t edge_count;
volatile boolean done;
volatile uint32_t prev_ts;
volatile uint32_t period;

uint32_t get_timestamp() { // get current time with 0.5usec precision
```

```
  uint8_t SREG_tmp = SREG;
  cli();
  uint16_t count_value = TCNT1;
  // In normal operation the Timer/Counter Overflow Flag (TOV1) will be
  // set in the same timer clock cycle as the TCNT1 becomes zero.
  if ( TIFR1 & _BV(TOV1) ) { // check overflow
    TIFR1 |= _BV(TOV1); // clear overflow flag
    ++ovf_count;
  }
  uint32_t ts = ovf_count;
  ts = ((ts << 16) + count_value);
  SREG = SREG_tmp;
  return ts;
}

void ext_isr() {
 if (edge_count==1) {
   prev_ts = get_timestamp();
 }
 else if (edge_count==5) {
   // period (usec) = (difference between two timestamps / 4) * 0.5 usec
   period = (get_timestamp() - prev_ts) >> 3;
   done = true;
 }
 edge_count++;
}

uint32_t period_measure() {
 edge_count = 0;
 done = false;
 uint8_t TCCR2A_tmp = TCCR2A;
 uint8_t TCCR2B_tmp = TCCR2B;
 TCCR2A = 0;
```

```
  TCCR2B = 0;
  attachInterrupt( EXT_INT, ext_isr, FALLING );
  while (!done) ;
  detachInterrupt( EXT_INT );
  TCCR2A = TCCR2A_tmp;
  TCCR2B = TCCR2B_tmp;
  return period;
}
```

ส่วนที่ 2 เป็นการการประกาศใช้ตัวแปร

```
char sbuf[32];
  int freq1;
 // float dN;      //Speed different
  int v = 0;    //voltage command is set to 0 (0 to 255)
 // int dv = 10;   //Factor for voltage Diff
  int Nset=50; //Desired Speed
  int Speed;
  int fcread;  //voltage from force sensor
  //float force;    //force from sensor
  //float torque;   //torque in N.m
  float factor = 0.2684; //freq to speed convertor
 // float factor2 = 416.925; //radius of retarder
 // float F0;
 // float F1;
 // float F2;
 // float F3;
 // float P;
 // float ratio;
  boolean fnsh = false;
  int ctrl = 6;     //set voltage command into pin 6
  int readf = A4;    //set reading force into pin 3
  int br = 0;
```

ส่วนที่ 3 จะเป็นการเขียนการแสดงผลเมื่อเริ่มต้นโปรแกรม และการประมวลผลของข้อมูล

```
void setup() {
  //analogWrite(ctrl, v);
  Serial.begin( 115200 );
    Serial.println("start testing");
 // Serial.println( "Dyno Start" );
 // Serial.println("Please set engine speed in rpm : ");  //Set Nset
 // while(Serial.available()==0){ }  //Waiting for Nset

 // Nset = Serial.parseInt();  //convert ascii into int
 // Serial.println("Setting Speed is : ");
 // Serial.print(Nset);
 // Serial.println(" rpm");

  timer1_start();

pinMode(ctrl, OUTPUT);
  pinMode(readf, INPUT);
  TCCR0A = _BV(COM0A1) | _BV(COM0B1) | _BV(WGM01) | _BV(WGM00); //setting register
timer on pin 5,6
  TCCR0B = _BV(CS00);   //Setting Register timer on pin 5,6

}
```

ส่วนที่ 4 จะเป็นส่วนการเขียนโปรแกรมและสั่งให้โปรแกรมทำงาน ซึ่งในการทำงานจะเป็นแบบวนลูปไปเรื่อยๆ

```
void loop() {
  if (Serial.available()){
    br=Serial.parseInt();
  }
   if(br==1){v=100;}
    else
```

```
{v=0;}
br=0;

  period = period_measure();
  freq1 = (1000000ul)/period;
  Speed = freq1*factor;  //factor = freq to speed in rpm convertor
//   dN = Speed - Nset;
//   ratio = dN/Nset;
//   v = v + dv * ratio; //algorithm to control voltage
  if(Speed > Nset) {
    v=50;
  }

  if(v > 100) {
    v = 100;
  }
```

ส่วนที่ 5 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของการคำนวณ

```
analogWrite(ctrl, v); //used to be 'v'  try to use 180 for diagnosis

  //Printing Output
      fcread = analogRead(readf);
//      F0 = (float) fcread;
//      F1 = fcread*5;
//      F2 = F1/1023;
//      F3 = F2-0.5;
//      force =100*F3;  //***Convert voltage into Force
//      torque = force*factor2;
//      P = (torque * Speed)/9535.434;
      Serial.println("");
```

```
        Serial.print("v");
        Serial.println(v);
        Serial.print("rpm");
        Serial.println(Speed);
        Serial.print("fc");
        Serial.println(fcread);
      //   Serial.println(br);



       //Serial.println("Press any key to restart.. ");

      delay(50000);

}


/* frequency measure
  uint32_t period = period_measure();
  uint32_t freq = (1000000ul)/period;
  sprintf( sbuf, "Period = %lu us, Freq. = %lu Hz", period, freq );
  Serial.println( sbuf );
  delay(1000);
*/
```

ภาพผนวก ค

ค่าที่ได้จากการทดสอบโดยใช้โปรแกรม LabVIEW

ตาราง ค.1 ค่าที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1

ครั้งที่ 1

rpm	T	power
0	0	0
252.245	2.651	909
285.545	2.651	1029
785.872	2.765	1416
707.618	2.651	2550
1204.2	3.977	2893
1176.73	3.977	2827
1088.48	3.977	2615
949.04	3.977	2280
1070.03	5.302	1928
987.89	5.302	1780
895.761	5.302	1614
607.719	3.977	1460
320.787	2.651	1156
282.215	2.651	1017
244.475	2.651	881

ตาราง ค.2 ค่าที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2

ครั้งที่ 2

rpm	T	power
0	0	0
274.722	2.651	990
296.922	2.651	1070
314.404	2.651	1133
355.196	2.651	1280
418.743	2.326	1732
610.494	2.651	1342
819.726	5.302	1477
907.416	5.302	1635
912.411	5.302	1644
890.766	5.412	2140
952.786	5.228	2289
952.37	5.302	1716
915.74	3.977	2200
710.67	2.651	2561
760.342	2.651	2740
254.742	2.651	918

ตาราง ค.3 ค่าที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3

ครั้งที่ 3

rpm	T	power
0	0	0
265.773	2.651	913
322.864	2.651	976
345.879	2.651	1123
689.543	2.786	1563
911.768	3.652	2670
954.654	3.899	2452
962.915	3.977	2192
912.411	5.008	2427
1086.68	5.302	2920
810.292	3.456	1958
740.917	3.986	1623
418.743	2.651	1422
295.812	2.651	1066

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน

นายภาคิไนย ดาวดาษ

รหัสนิสิต 55363414

ปีการศึกษา 2554	จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนสวรรค์อนันต์วิทยา
ปีการศึกษา 2558	กำลังศึกษาอยู่ที่มหาวิทยาลัยนเรศวร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน

นายรพิธร ศรศาสตร์ปรีชา

รหัสนิสิต 55363469

ปีการศึกษา 2554 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม

ปีการศึกษา 2558 กำลังศึกษาอยู่ที่มหาวิทยาลัยนเรศวร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน

นายไอศูรย์ หล้าสมบูรณ์

รหัสนิสิต 55363728

ปีการศึกษา 2554 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนอัสสัมชัญลำปาง

ปีการศึกษา 2558 กำลังศึกษาอยู่ที่มหาวิทยาลัยนเรศวร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล