

การควบคุมเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดโดยใช้ LabVIEW



นายจักรา นันทสุคนธ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2556

**CONTROLLING OF SPARK IGNITION ENGINE
BY USING LabVIEW**

Jakkra Nanthasukon



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2013

การควบคุมเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดโดยใช้ LabVIEW

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(อ. ดร.ธีรทัต คลวิชัย)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.จิระพล ศรีเสวีผล)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ จำพิศ)

กรรมการ

(ผศ. ดร.สุภกิจ รูปจันทร์)

กรรมการ

(อ. ดร.ชโลธร ธรรมแท้)

กรรมการ

(ศ. ดร.สุภกิจ ลิ้มปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

จักรา นันทสุคนธ์ : การควบคุมเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดโดยใช้ LabVIEW

(CONTROLLING OF SPARK IGNITION ENGINE BY USING LabVIEW)

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล, 151 หน้า.

ในปัจจุบันมีการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์โดยการนำระบบควบคุมระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ไปควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ เพื่อให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเกิดมลภาวะทางอากาศที่เป็นพิษจากแก๊สไอเสียให้น้อยที่สุด และมีการตอบสนองต่อการจับข้ออย่างรวดเร็ว ดังนั้นในการศึกษาระบบการวัดและการควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ในยานยนต์ เป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการเรียนปฏิบัติการทางวิศวกรรมของนักศึกษา วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมอากาศยาน วิศวกรรมการผลิต วิศวกรรมเกษตรและอาหาร และ วิศวกรรมยานยนต์ เนื่องจากชุดอุปกรณ์การทดลองทางด้านยานยนต์จะต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาแพงและยังมีข้อจำกัดทางด้านการทดลอง ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการวัดและการแสดงผลรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณ สัญญาณจากอุปกรณ์ทำงาน และแสดงผลการตอบสนองแบบพลวัตในการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด ซึ่งเป็นเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยประยุกต์ใช้โปรแกรม LabVIEW ในการแสดงผลการทำงานและศึกษาวิเคราะห์ผลการตอบสนองต่าง ๆ ในการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการเรียนการสอนสำหรับการเรียนปฏิบัติการทางด้านวิศวกรรมยานยนต์

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม_____

JAKKRA NANTHASUKON : CONTROLLING OF SPARK IGNITION

ENGINE BY USING LabVIEW. THESIS ADVISOR : ASST. PROF.

JIRAPHON SRISERTPOL, Ph.D., 151 PP.

ELECTRONIC CONTROL UNIT/SPARK IGNITION ENGINE/MEASUREMENT

At the present, there is a study for increasing the performance of engine operation by using an electronic control unit system to control its operation in order to minimize the rate of fuel consumption which causes air pollution from exhausted gas but increase the speed. Thus, it is very essential to study the measurement and electronic control system in the vehicle in the laboratory of Mechanical Engineering, Aeronautical Engineering, Manufacturing Engineering, Agricultural and Food Engineering and Automotive Engineering. However, the equipments which is used for the automotive testing systems has to be imported from overseas at a high cost. Moreover, there is a limitation in testing. Therefore, this research has presented the method of measurement, the results signal from the sensor, actuator, and also displayed the dynamic response of the 4-cylinder spark ignition engine. It was the application of LabVIEW program to display the work and study the analysis of the response in the 4-cylinder spark ignition engine. which benefits the teaching and learning in laboratories and the study of the automotive engineering.

School of Mechanical Engineering

Academic Year 2013

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

Co-Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ทุกประการ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลต่าง ๆ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลืออย่างยิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนการศึกษาสำหรับผู้มีศักยภาพ เข้าศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา และทุนอุดหนุนโครงการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ นาวาอากาศเอก ดร.วราพงษ์ จำพิศ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้ความรู้ และคำปรึกษาแนะนำในการทำงานวิจัย รวมทั้งให้คำแนะนำในการดำเนินชีวิตด้วยความเมตตาโดยตลอด และสละเวลาตรวจสอบแก้ไขให้วิทยานิพนธ์มีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภกิจ รูปจันทร์ อาจารย์ ดร.ธีทัต ดลวิชัย และอาจารย์ ดร.ชโลธร ธรรมแท้ ที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินงานวิจัย และให้โอกาสการทำงานในหลายด้านด้วยความกรุณาเสมอมา

คุณฐิติ สุทธิวงศ์ ที่ให้คำแนะนำด้านวิชาการ ที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินงานวิจัย

คุณจริยาพร ศรีวิไลลักษณ์ คุณอาภรณ์พรรณ ศรีอัครวิทยา และคณะเจ้าหน้าที่ประจำสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ที่อำนวยความสะดวกในด้านธุรการต่าง ๆ

วิศวกรและเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้คำแนะนำ และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือต่าง ๆ

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้ทำวิจัยทั้งในอดีตจนถึงปัจจุบัน

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณพ่อประจักษ์ นันทสุคนธ์ และคุณแม่ราตรี นันทสุคนธ์ รวมถึงสมาชิกในครอบครัวทุกท่านที่ให้การอบรมเลี้ยงดูและส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดีมาโดยตลอดจนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา และขาดไม่ได้ขอขอบคุณเพื่อน ๆ และน้อง ๆ บัณฑิตศึกษาที่ใกล้ชิดทุกคนที่มีส่วนทำให้การเรียนในระดับปริญญาโท

จักรา นันทสุคนธ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ต
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตเบื้องต้น	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 การจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์	3
2 ปรีक्षणัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด	4
2.1.1 วัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 จังหวะ	4
2.1.2 กระบวนการทำงานเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 จังหวะ	5
2.2.3 การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด	6
2.2 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ	9
2.2.1 หลักการทำงานเบื้องต้น	9
2.2.2 ชนิดของระบบ EFI	9
2.2.3 ส่วนประกอบของระบบ EFI	11

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3	ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์	12
2.3.1	ส่วนประกอบของระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์	12
2.4	การวัด.....	31
2.5	ปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	34
2.6	สรุป	36
3	วิธีการดำเนินงานวิจัย	37
3.1	แนวทางและวิธีการในการดำเนินงานวิจัย	37
3.2	เก็บข้อมูลรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับและอุปกรณ์การทำงาน ของเครื่องชนิดแบบจุลระเบิด	38
3.2.1	สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งลื่นปีกลีเสื้อ	39
3.2.2	สัญญาณตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ.....	46
3.2.3	สัญญาณตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน.....	48
3.2.4	สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยว	49
3.2.5	สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยว	52
3.2.6	สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง	53
3.2.7	สัญญาณคอยล์จุลระเบิด.....	54
3.2.8	สรุปค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดของสัญญาณจากตัวตรวจจับ สัญญาณและอุปกรณ์ทำงานของเครื่องชนิดจุลระเบิด 4 สูบ	55
3.3	ศึกษาคุณสมบัติของอุปกรณ์เชื่อมต่อ.....	56
3.4	ออกแบบชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณ	57
3.5	ตรวจสอบรูปแบบสัญญาณเมื่อผ่านชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณ	60
3.6	เชื่อมต่อสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของ เครื่องชนิดแบบจุลระเบิด 4 สูบ กับอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณและ อุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณ NI PXI-6259	61

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.7	แสดงผลข้อมูลจากตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของ เครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ	63
3.8	สรุป	65
4	การทดลองการแสดงผลสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและ อุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ.....	67
4.1	ส่วนที่ 1 การแสดงผลสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์ การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการแสดงผลและบันทึกผลการทดลอง.....	67
4.1.1	แสดงผลสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของ เครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ	69
4.1.2	การศึกษาและวิเคราะห์การทำงานของเครื่องยนต์แบบ จุดระเบิด 4 สูบจากสัญญาณตัวตรวจจับสัญญาณและสัญญาณ อุปกรณ์การทำงาน	89
4.2	ส่วนที่ 2 ศึกษาการตอบสนองแบบพลวัตในการทำงานของเครื่องยนต์ แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการแสดงผลและบันทึกผลการทดลอง	98
4.2.1	ศึกษาการตอบสนองแบบพลวัตในการทำงานของของเครื่องยนต์ แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบของ เครื่องยนต์ 3000 และ 3500 รอบต่อนาที.....	102
4.2.2	ศึกษาการตอบสนองแบบพลวัตในการทำงานของของเครื่องยนต์ แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์แบบขั้นที่ความเร็วรอบของ เครื่องยนต์ 3000 - 3500 รอบต่อนาที	112

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3	สรุป	116
5	สรุปและข้อเสนอแนะ	118
5.1	สรุป	118
5.2	ข้อเสนอแนะ	119
	รายการอ้างอิง	120
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. เครื่องยนต์ที่ใช้ในงานวิจัยและอุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI-6259	122
	ภาคผนวก ข. การกำหนดค่าในโปรแกรม LabVIEW	125
	ภาคผนวก ค. โปรแกรมแสดงผลการทำงานของเครื่องแบบจุดระเบิด 4 สูบ	135
	ภาคผนวก ง. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่	138
	ประวัติผู้เขียน	151

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	แสดงตำแหน่งองศาเส้นปีกผีเสื้อเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้า..... 41
3.2	ความคลาดเคลื่อนเชิงเส้นของการเปรียบวัดตำแหน่งองศา เส้นปีกผีเสื้อเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้า..... 43
3.3	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าความต้านทานไฟฟ้า..... 45
3.4	ความคลาดเคลื่อนของการเปรียบวัดอุณหภูมิกับค่าความต้านทานไฟฟ้า..... 47
3.5	ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดของสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณ และอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ..... 48
4.1	แสดงความเร็วของแต่ละความถี่รอบของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ..... 75
4.2	แสดงระยะเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละความถี่รอบ ของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ..... 86
4.3	ลำดับขั้นตอนการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ..... 95
4.4	หน้าที่ของอุปกรณ์ในระบบควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้า..... 99

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	วัฏจักรออตโต..... 5
2.2	กระบวนการทำงานเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 จังหวะ5
2.3	ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแบบฉีดเข้าที่หัวไอดีควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์.....6
2.4	ลำดับเหตุการณ์ในวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 จังหวะ7
2.5	หลักการเบื้องต้นของระบบ EFI9
2.6	หลักการของ EFI แบบ D – Jetronic.....10
2.7	หลักการของ EFI แบบ L – Jetronic11
2.8	แผนภูมิอุปกรณ์ในระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์.....13
2.9	รูปร่างและตำแหน่งการติดตั้งของตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ13
2.10	โครงสร้างของตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อแบบเชิงเส้น.....14
2.11	วงจรไฟฟ้าของตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเชิงเส้น15
2.12	รูปร่างและตำแหน่งการติดตั้งตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ.....16
2.13	ส่วนประกอบและคุณสมบัติของตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ.....17
2.14	วงจรไฟฟ้าของตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ.....17
2.15	ส่วนประกอบตรวจจับปริมาณออกซิเจน.....18
2.16	หลักการทำงานของตรวจจับปริมาณออกซิเจน19
2.17	กราฟค่าแรงดันของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน20
2.18	วงจรไฟฟ้าตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน.....20
2.19	ลักษณะรูปแบบสัญญาณของตัวตรวจจับตำแหน่ง เพลาลูกเบี้ยวละเพลาช้อเหวี่ยง.....21
2.20	ส่วนประกอบของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวแบบมี ไทมิ่งโรเตอร์ 1 ฟัน และ 24 ฟัน22
2.21	วงจรไฟฟ้าสัญญาณจากขดลวด G และขดลวด NE แบบมีไทมิ่งโรเตอร์ 1 ฟัน และ 24 ฟัน24
2.22	ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาช้อเหวี่ยง (Crankshaft Sensor).....25

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.23	หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบและตำแหน่งการติดตั้ง25
2.24	โครงสร้างของหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบ26
2.25	ช่วงเวลาที่หัวฉีดเปิดฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง27
2.26	สัญญาณการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง.....27
2.27	สัญญาณการทำงานของหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบ.....28
2.28	ระบบจุดระเบิดแบบใช้ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์.....29
2.29	รูปแบบสัญญาณการจุดระเบิดที่ส่งสัญญาณไปยังจานจ่าย30
2.30	แผนภาพการทำงานของระบบการวัดสัญญาณของเครื่องยนต์.....31
2.31	การแปลงรูปแบบสัญญาณ ฟังก์ชันคือ สัญญาณอะนาลอกดันดัน และฟังก์ชันคือ สัญญาณที่ถูกส่ง.....32
2.32	การดิจิไทซ์สัญญาณโดยใช้ ADC 3 บิต และ ADC 16 บิต.....33
2.33	ช่วงการทำดิจิไทซ์เซนเซอร์ -10 V ถึง +10 V33
2.34	ช่วงการทำดิจิไทซ์เซนเซอร์ -2.5 V ถึง +2.5 V34
3.1	ขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัย.....38
3.2	วิธีการดำเนินการเก็บข้อมูลรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับและ อุปกรณ์การทำงาน.....39
3.3	ตำแหน่งการวัดแรงดันไฟฟ้าของตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ40
3.4	ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อที่ตำแหน่ง 0 องศา.....40
3.5	ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อที่ตำแหน่ง 90 องศา.....40
3.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งองศาลิ้นปีกผีเสื้อกับแรงดันไฟฟ้า42
3.7	วิธีการเปรียบวัดอุณหภูมิและตำแหน่งในการวัดอุณหภูมิ.....46
3.8	ตำแหน่งการวัดของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน46
3.9	สัญญาณแรงดันไฟฟ้าเปรียบเทียบกับอัตราส่วนผสมอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิง48
3.10	ตำแหน่งการวัดตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยว.....49
3.11	รูปแบบสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ NE50
3.12	รูปแบบสัญญาณของตัวตรวจตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ G (G1,G2)50

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.13	ตำแหน่งการวัดตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยง (Crankshaft Sensor).....51
3.14	รูปแบบสัญญาณของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยง (Crankshaft Sensor)52
3.15	ตำแหน่งการวัดสัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง52
3.16	ข้อมูลรูปแบบสัญญาณของหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง53
3.17	ตำแหน่งการวัดสัญญาณคอยล์จุดระเบิด.....53
3.18	ข้อมูลรูปแบบสัญญาณคอยล์จุดระเบิด54
3.19	อุปกรณ์เชื่อมต่อของ NI PXI-625955
3.20	โครงสร้างของหม้อแปลง56
3.21	วงจรชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณของสัญญาณตัวตรวจจับ ตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยง (Crankshaft Sensor).....58
3.22	วงจรชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจุทั้ง 4 สูบ59
3.23	วงจรชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณคอยล์จุดระเบิด59
3.24	สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยง (Crankshaft Sensor) ปรับแต่งสัญญาณเมื่อผ่านชุดอุปกรณ์59
3.25	สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบเมื่อผ่านชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณ60
3.26	สัญญาณคอยล์จุดระเบิดเมื่อผ่านชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณ60
3.27	วงจรเชื่อมต่อสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานเข้ากับ ชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณและอุปกรณ์เชื่อมต่อNI PXI-625961
3.28	การเชื่อมต่อสัญญาณจากตัวตรวจจับและจากอุปกรณ์การทำงานกับชุดอุปกรณ์ ปรับแต่งสัญญาณและอุปกรณ์เชื่อมต่อNI PXI-6259.....62
3.29	การแสดงผลรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับและอุปกรณ์การทำงาน ของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ62
3.30	การแสดงผลการทำงานของเครื่องยนต์เกี่ยวกับกระบวนการจุดระเบิดและปัจจัย ที่ส่งผลต่อกระบวนการจุดระเบิดของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ63
3.31	การแสดงผลการทำงานของเครื่องยนต์เกี่ยวกับกระบวนการจุดระเบิดและปัจจัยที่ ส่งผลต่อการกระบวนการจุดระเบิดของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ63

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1	แสดงรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและสัญญาณอุปกรณ์การทำงาน ของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW68
4.2	รูปแบบสัญญาณของตัวตรวจจับตำแหน่งลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ NE70
4.3	สัญญาณและสเปกตรัมของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวด สัญญาณ NE ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000 รอบต่อนาที71
4.4	สัญญาณและสเปกตรัมของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวด สัญญาณ NE ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2500 รอบต่อนาที72
4.5	สัญญาณและสเปกตรัมของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวด สัญญาณ NE ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3000 รอบต่อนาที73
4.6	สัญญาณและสเปกตรัมของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวด สัญญาณ NE ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3500 รอบต่อนาที74
4.7	รูปแบบสัญญาณของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ G1 และคลวดสัญญาณ G276
4.8	สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ G1 และคลวดสัญญาณ G2 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000 รอบต่อนาที77
4.9	สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ G1 และคลวดสัญญาณ G2 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2500 รอบต่อนาที77
4.10	สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ G1 และคลวดสัญญาณ G2 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3000 รอบต่อนาที78
4.11	สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ G1 และคลวดสัญญาณ G2 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000 รอบต่อนาที78
4.12	รูปแบบสัญญาณของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ80
4.13	สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ ของเครื่องยนต์ 2000 รอบต่อนาที81
4.14	สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ ของเครื่องยนต์ 2500 รอบต่อนาที81

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15	สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาค้อเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ 3000 รอบต่อนาที.....82
4.16	สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาค้อเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ 3500 รอบต่อนาที.....82
4.17	สัญญาณหัวฉีดเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000 รอบต่อนาที.....84
4.18	สัญญาณหัวฉีดเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2500 รอบต่อนาที.....84
4.19	สัญญาณหัวฉีดเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3000 รอบต่อนาที.....85
4.20	สัญญาณหัวฉีดเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3500 รอบต่อนาที.....85
4.21	สัญญาณคอยล์จุดระเบิดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000 รอบต่อนาที87
4.22	สัญญาณคอยล์จุดระเบิดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2500 รอบต่อนาที87
4.23	สัญญาณคอยล์จุดระเบิดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3000 รอบต่อนาที88
4.24	สัญญาณคอยล์จุดระเบิดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3500 รอบต่อนาที88
4.25	สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ NE เปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาค้อเหวี่ยง89
4.26	สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ G1 และ ขดลวด สัญญาณ G2 เปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาค้อเหวี่ยง.....90
4.27	สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบที่ 1 และสัญญาณคอยล์จุดระเบิด เปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาค้อเหวี่ยง92
4.28	สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบที่ 2 และสัญญาณคอยล์จุดระเบิด เปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาค้อเหวี่ยง92
4.29	สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบที่ 3 และสัญญาณคอยล์จุดระเบิด เปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาค้อเหวี่ยง93
4.30	สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบที่ 4 และสัญญาณคอยล์จุดระเบิด เปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาค้อเหวี่ยง93
4.31	สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบที่ 1, 2, 3, 4 และสัญญาณคอยล์จุดระเบิด เปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาค้อเหวี่ยง94

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.32	สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบที่ 1, 2, 3, 4 และสัญญาณคอยล์จุดระเบิด เปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาค้อเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ประมาณ 2000 รอบต่อนาที.....96
4.33	สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบที่ 1, 2, 3, 4 และสัญญาณคอยล์จุดระเบิด เปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาค้อเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ประมาณ 2500 รอบต่อนาที.....96
4.34	สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบที่ 1, 2, 3, 4 และสัญญาณคอยล์จุดระเบิด เปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาค้อเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ประมาณ 3000 รอบต่อนาที.....97
4.35	สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบที่ 1, 2, 3, 4 และสัญญาณคอยล์จุดระเบิด เปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาค้อเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ประมาณ 3500 รอบต่อนาที.....97
4.36	การแสดงผลและบันทึกผลการทดลองเป็นการศึกษาปัจจัยต่างๆที่มี ผลการตอบสนองในการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW101
4.37	การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งองศาสิ้นปีคี่สี่ของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของ เครื่องยนต์แบบขึ้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3000 รอบต่อนาที โดยเปรียบเทียบกับเวลา102
4.38	การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขึ้นบันไดที่ความเร็วรอบของ เครื่องยนต์ 3000 รอบต่อนาที โดยเปรียบเทียบกับเวลา103
4.39	ผลการตอบสนองขององศาจุดระเบิดล่วงหน้าของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของ เครื่องยนต์แบบขึ้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3000 รอบต่อนาที โดยเปรียบเทียบกับเวลา103
4.40	ผลการตอบสนองของระยะเวลาเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของการ เปลี่ยนแปลงเครื่องยนต์แบบขึ้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3000 รอบต่อนาที โดยเปรียบเทียบกับเวลา104

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.41	การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งองศาเส้นปิกซีเสื้อของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของ เครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3500 รอบต่อนาที โดยเปรียบเทียบกับเวลา104
4.42	การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบของ เครื่องยนต์ 3000 รอบต่อนาที โดยเปรียบเทียบกับเวลา105
4.43	ผลการตอบสนองขององศาจุดระเบิดล่วงหน้าของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3000 รอบต่อนาที โดยเปรียบเทียบกับเวลา106
4.44	ผลการตอบสนองของระยะเวลาเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของการ เปลี่ยนแปลงเครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3000 รอบต่อนาที โดยเปรียบเทียบกับเวลา106
4.45	การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งองศาเส้นปิกซีเสื้อของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000 - 3500 รอบต่อนาที โดยเปรียบเทียบกับเวลา107
4.46	การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบของ เครื่องยนต์ 2000 - 3000 รอบต่อนาที โดยเปรียบเทียบกับเวลา107
4.47	ผลการตอบสนองขององศาจุดระเบิดล่วงหน้าของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000 - 3000 รอบต่อนาที โดยเปรียบเทียบกับเวลา108
4.48	ผลการตอบสนองของระยะเวลาเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของการ เปลี่ยนแปลงเครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000 - 3000 รอบต่อนาที โดยเปรียบเทียบกับเวลา109
4.49	การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบของ เครื่องยนต์ 3500 รอบต่อนาที109

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.50	ผลการตอบสนองของระยะเวลาเวลาตั้งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของ การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ 3500 รอบต่อนาที.....110
4.51	ผลการตอบสนองขององศาจุดระเบิดล่วงหน้าของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3500 รอบต่อนาที.....110
4.52	การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งองศาลิ้นปีกผีเสื้อของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์แบบขั้นที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000 - 3500 รอบต่อนาที.....113
4.53	การเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้ของอากาศของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์แบบขั้นที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000 - 3500 รอบต่อนาที.....113
4.54	การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นที่ความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ 2000 - 3500 รอบต่อนาที.....114
4.55	ผลการตอบสนองของระยะเวลาเวลาตั้งเปิดหัวฉีดเชื้อเพลิงของการเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000 - 3500 รอบต่อนาที.....114
4.56	ผลการตอบสนองขององศาจุดระเบิดล่วงหน้าของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์แบบขั้นความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000 - 3500 รอบต่อนาที โดยเปรียบเทียบกับเวลา.....115
ก.1	เครื่องยนต์แบบจุดระเบิดด้วยหัว Toyota รุ่น 4AFE.....123
ก.2	ส่วนประกอบที่ใช้ในการทำงานของชุดอุปกรณ์ การเชื่อมต่อสัญญาณ NI PXI-6259124
ก.3	อุปกรณ์เชื่อมต่อของ NI PXI-6259124
ข.1	การเชื่อมต่อสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและสัญญาณจากอุปกรณ์ ทำงานเข้ากับชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณและเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์ เชื่อมต่อ NI PXI – 6259.....126

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.2	บล็อก DAQ Assistant127
ข.3	Analog Input ใน DAQ Assistant127
ข.4	เลือกช่องสัญญาณอินพุต128
ข.5	การกำหนดค่า DAQ Assistant (Analog Input).....129
ข.6	การเชื่อมสัญญาณกับอุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI - 6259 ในการแสดงเวลาและองศา การจู่ระเบิดล่วงหน้าของเครื่องชนิดแบบจู่ระเบิดโดยใช้โปรแกรม LabVIEW130
ข.7	บล็อก DAQ Assistant131
ข.8	Counter Input ใน DAQ Assistant131
ข.9	เลือกช่องสัญญาณอินพุต132
ข.10	การกำหนดค่า DAQ Assistant (Counter Input<<Pulse Width).....133
ข.11	การกำหนดค่า DAQ Assistant (Counter Input<< Two Ede Separation).....134
ค.1	โปรแกรมแสดงผลรูปแบบสัญญาณของตัวตรวจจับสัญญาณและ ตัวปฏิบัติการของเครื่องชนิดแบบจู่ระเบิด 4 สุ่ม.....136
ค.2	โปรแกรมแสดงผลการตอบสนองการทำงานของเครื่องชนิดตัวปฏิบัติการ ของเครื่องชนิดแบบจู่ระเบิด 4 สุ่ม.....137

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

BDC	=	ตำแหน่งลูกสูบที่ศูนย์ตายล่าง
TDC	=	ตำแหน่งลูกสูบที่ศูนย์ตายบน
IVO	=	Intake Valve Open
IVC	=	Intake Valve Close
EVO	=	Exhaust Valve Open
EVC	=	Intake Valve Close
MBT	=	Maximum Brake Torque
EFI	=	Electronic Fuel Injection System
ECU	=	Electronic Control Unit
NTC	=	Negative Temperature Coefficient
TCCS	=	Toyota Computer Controlled System
ADC	=	การแปลงค่าสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล
O ₂	=	ก๊าซออกซิเจน
E _{Lmax}	=	ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงเส้นสูงสุด
E _{max}	=	ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด
A/F	=	อัตราส่วนผสมของอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิง
T	=	อุณหภูมิองศาเซลเซียส
R	=	ความต้านทานไฟฟ้า (Ω)
V	=	แรงดันไฟฟ้า (V.)
f	=	ความถี่ (Hz)
T	=	คาบการเคลื่อนที่ (second)
N	=	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rpm)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเราได้ใช้รถยนต์เป็นยานพาหนะพื้นฐานในการคมนาคมและขนส่ง ที่สำคัญของประเทศ เนื่องจากในปัจจุบันมีความเจริญก้าวหน้าเทคโนโลยีทางด้านยานยนต์จึงได้มีการพัฒนาระบบเครื่องยนต์โดยการนำระบบควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ด้วยระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (Engine Control Unit) มาควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องยนต์ให้สูงมากยิ่งขึ้นและทำให้ได้กำลังสูงสุด อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและเกิดมลภาวะทางอากาศที่เป็นพิษจากแก๊สไอเสียให้น้อยที่สุด เพื่อนำมาทดแทนระบบการทำงานของเครื่องยนต์แบบเดิม คือระบบคาร์บูเรเตอร์ ซึ่งอาศัยหลักการทำงานด้วยแรงดึงดูดของเครื่องยนต์ร่วมกับระบบกลไก ทำให้บางจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงไม่สัมพันธ์กัน กับสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ เนื่องด้วยสาเหตุที่ได้กล่าวมาข้างต้น จึงเล็งเห็นความสำคัญในการศึกษาระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องยนต์ จึงได้ทำการปรับปรุงชุดอุปกรณ์ปฏิบัติการเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด (Spark Ignition Engine) ในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมยานยนต์ ซึ่งเป็นชุดปฏิบัติการทดลองที่ใช้ในการเรียนการสอนในรายวิชาปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมยานยนต์ และวิศวกรรมอากาศยาน ให้สามารถแสดงผลการทำงานและรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยใช้เป็นสื่อในการเรียนและการสอน เพื่อให้นักศึกษามีความรู้ความเข้าใจในเรื่องระบบการวัดและระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ เช่น สัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensors) และสัญญาณจากอุปกรณ์ทำงาน (Actuator) การกำหนดองศาจุดระเบิดล่วงหน้า และระยะเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการควบคุมและแสดงระบบการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ 4 สูบ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการแสดงผลและบันทึกผลการการทำงานของเครื่องยนต์

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1) เพื่อศึกษาระบบการวัดและระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด เพื่อใช้เป็นสื่อในการเรียนการสอนสำหรับการเรียนปฏิบัติการทางวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมยานยนต์ และวิศวกรรมอากาศยาน

2) สามารถนำความรู้ในระบบการวัดและระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดไปประยุกต์ใช้กับการใช้งานจริง

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

1) แสดงรูปแบบสัญญาณจากสัญญาณของตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensors) และสัญญาณจากอุปกรณ์ทำงาน (Actuator) ของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW

2) ศึกษากระบวนการในการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบจากรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensors) และสัญญาณจากอุปกรณ์ทำงาน (Actuator) ของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ

3) ศึกษาและวิเคราะห์ผลการตอบสนองแบบพลวัตในการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบจากรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensors) และสัญญาณจากอุปกรณ์ทำงาน (Actuator) ของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1) ศึกษากระบวนการวัดและกระบวนการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบจากรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensors) และสัญญาณจากอุปกรณ์ทำงาน (Actuator)

2) ปรับปรุงชุดอุปกรณ์การทดลองเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบยี่ห้อ TOYOTA รุ่น 4 AFE

3) แสดงผลการทำงานของรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensors) และสัญญาณจากอุปกรณ์ทำงาน (Actuator) และควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์โดยใช้โปรแกรม LabVIEW

4) ศึกษาและวิเคราะห์ผลการตอบสนองในการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบจากรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensors) และสัญญาณจากอุปกรณ์ทำงาน (Actuator) ของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบการวัดและระบบควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ

2) สามารถแสดงผลการทำงานและรูปแบบสัญญาณของสัญญาณเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW เพื่อใช้เป็นสื่อในการเรียนในราชวิทยาลัยการวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมยานยนต์ และวิศวกรรมอากาศยาน

3) มีความรู้ความเข้าใจในกระบวนการควบคุมการทำงานและผลการตอบสนองแบบพลวัตในการกำหนดองศาจุดระเบิดล่วงหน้า และระยะเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ

1.6 การจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

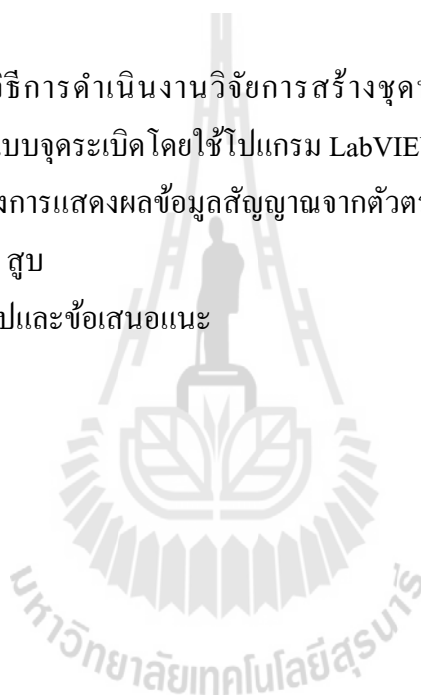
บทที่ 1 เป็นบทนำซึ่งจะกล่าวถึงความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ตลอดจนขอบเขตและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวกับระบบการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด และทฤษฎีพื้นฐานการวัด

บทที่ 3 กล่าวถึงวิธีการดำเนินงานวิจัยการสร้างชุดทดลองการวัดและการแสดงผลการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดโดยใช้โปรแกรม LabVIEW

บทที่ 4 การทดลองการแสดงผลข้อมูลสัญญาณจากตัวตรวจจับและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ

บทที่ 5 เป็นบทสรุปและข้อเสนอแนะ



บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

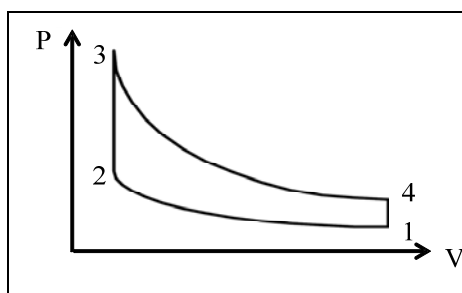
ปัจจุบันระบบเครื่องยนต์ที่ใช้ในยานยนต์ได้มีการพัฒนาโดยการนำระบบควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ด้วยระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (Engine Control Unit) เพื่อนำมาทดแทนข้อจำกัดของการจ่ายน้ำมันแบบดั้งเดิม คือระบบคาร์บูเรเตอร์ โดยอาศัยหลักการทำงานด้วยแรงดึงดูดของเครื่องยนต์ร่วมกับระบบกลไก ทำให้บางจังหวะของการทำงาน การจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงไม่สัมพันธ์กันกับสถานะการทำงานของเครื่องยนต์ในสถานะการทำงานต่าง ๆ การควบคุมเครื่องยนต์ด้วยระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องยนต์ให้ได้กำลังที่สูงสุด อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงที่ต่ำลงและเกิดมลภาวะทางอากาศที่เป็นพิษจากแก๊สไอเสียน้อยที่สุด ซึ่งระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (Engine Control Unit) จะนำข้อมูลมาประมวลผลการทำงานของเครื่องยนต์เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ในระบบการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ระบบการจุดระเบิดและระบบการทำงานรอบเดินเบา ให้สอดคล้องกับสถานะการทำงานและวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการควบคุมระบบการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด ซึ่งเป็นเครื่องยนต์จุดระเบิด 4 สูบ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW เพื่อใช้เป็นชุดอุปกรณ์การทดลองในการเรียนปฏิบัติการวิศวกรรมยานยนต์

2.1 ทฤษฎีเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด

เครื่องยนต์แบบจุดระเบิดเป็นเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในโดยเชื้อเพลิงและออกซิเจนจากอากาศเกิดการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบเกิดเป็นพลังงานความร้อนให้เป็นงานและกำลังงาน

2.1.1 วัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 จังหวะ

เครื่องยนต์แบบจุดระเบิดทำงานใช้หลักการของวัฏจักรออตโต วัฏจักรนี้จะประกอบด้วยกระบวนการต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วัฏจักรออตโต

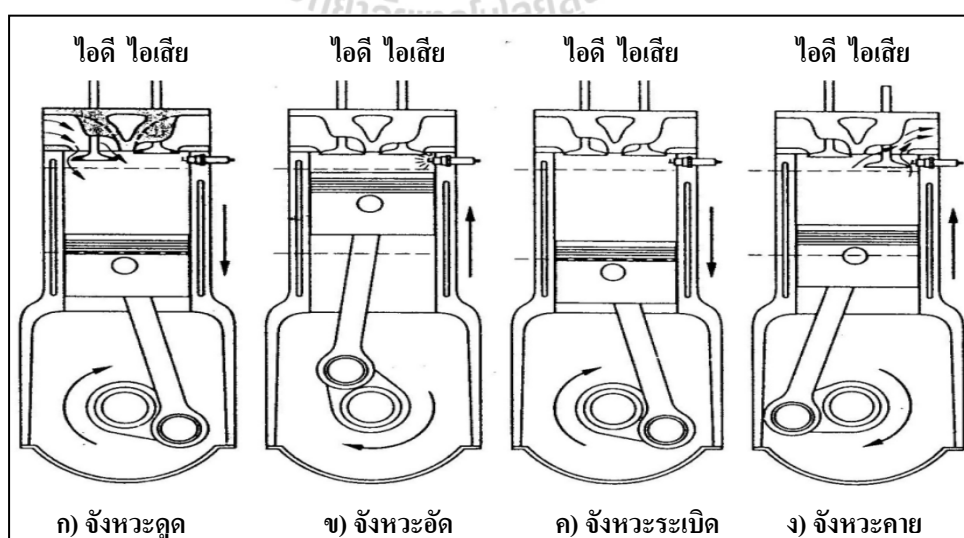
จาก 1-2 เป็นกระบวนการอัดของผสมแบบอะไดแบติก (Adiabatic) ทำให้ปริมาตรของผสมลดลง ซึ่งเป็นจังหวะการอัดของเครื่องยนต์

จาก 2-3 เป็นกระบวนการให้ความร้อนแบบปริมาตรคงที่ (Constsnt Volume) โดยการให้ความร้อนกับของผสมซึ่งทำให้เกิดกระบวนการเผาไหม้ ทำให้เกิดความดันที่เพิ่มขึ้นและปริมาตรยังคงที่ ซึ่งเป็นจังหวะการระเบิดของเครื่องยนต์

จาก 3-4 เป็นกระบวนการอะไดแบติกเป็นการขยายตัวปริมาตรของผสมจากการเผาไหม้ ซึ่งเป็นจังหวะกำลังของเครื่องยนต์

จาก 4-1 เป็นกระบวนการส่งความร้อนออกโดยความดันลดลงแต่ปริมาตรคงที่ ซึ่งเป็นจังหวะการคายหรือไล่ไอเสีย

2.1.2 กระบวนการทำงานเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 จังหวะ



รูปที่ 2.2 กระบวนการทำงานเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 จังหวะ

1) จังหวะดูด (Intake Stroke) หรือจังหวะเอาไอดีเข้า เริ่มต้นเมื่อลูกสูบอยู่ที่ TDC และสิ้นสุดเมื่อลูกสูบอยู่ที่ BDC ไอดีจะถูกนำเข้าไปในกระบอกสูบโดยในระหว่างจังหวะดูดนี้วาล์วไอดีจะเปิดและวาล์วไอเสียจะปิด

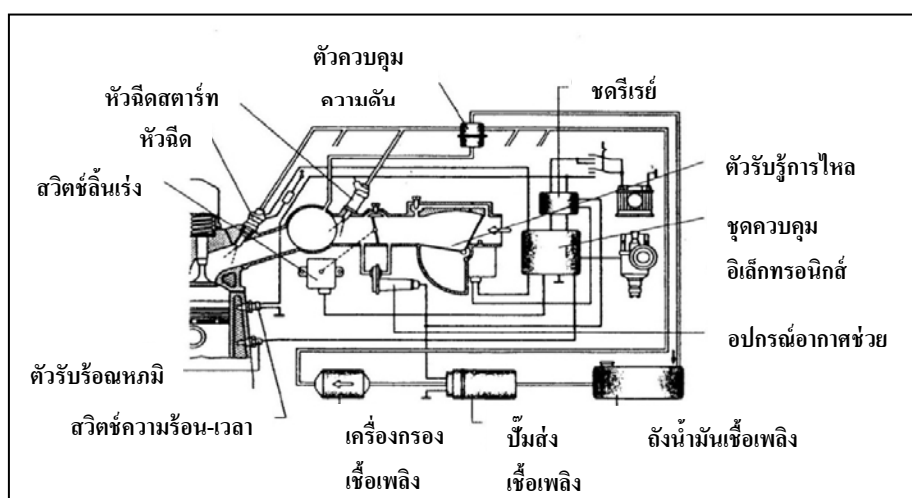
2) จังหวะอัด (Compression Stroke) สารผสมในกระบอกสูบถูกอัดให้ปริมาตรลดลงโดยลูกสูบเคลื่อนที่จาก BDC ไปยัง TDC ในขณะที่วาล์วทั้งสองปิดอยู่ และเมื่อลูกสูบอยู่ที่ TDC จะมีการจุดระเบิดและการเผาไหม้ของสารผสมอากาศกับเชื้อเพลิง ทำให้ความดันกระบอกสูบเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

3) จังหวะกำลังหรือจังหวะขยาย (Power Stroke) ซึ่งเริ่มต้นเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ TDC และสิ้นสุดเมื่อลูกสูบอยู่ที่ BDC โดยแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ของอากาศกับเชื้อเพลิงซึ่งมีอุณหภูมิและความดันสูงจะดันลูกสูบลงและไปทำให้เพลาช้อเหวี่ยงหมุน ในระหว่างจังหวะกำลังนี้วาล์วไอดีและวาล์วไอเสียจะปิด

4) จังหวะคาย (Exhaust Stroke) เริ่มต้นเมื่อลูกสูบอยู่ที่ BDC และวาล์วไอเสียเปิด ส่วนวาล์วไอดียังคงปิดอยู่ แก๊สที่ขยายตัวแล้วถูกดันออกจากกระบอกสูบเคลื่อนที่จาก BDC ไปยัง TDC

2.1.3 การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด (Spark Ignition Engine)

ในเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด (Spark Ignition Engine) อากาศกับเชื้อเพลิงผสมกันในระบบไอดีก่อนที่จะเข้าไปในกระบอกสูบโดยใช้ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยมีอัตราส่วนการไหลของมวลอากาศต่อเชื้อเพลิงประมาณ 14.7:1 เพื่อให้มีการเผาไหม้ที่เหมาะสม

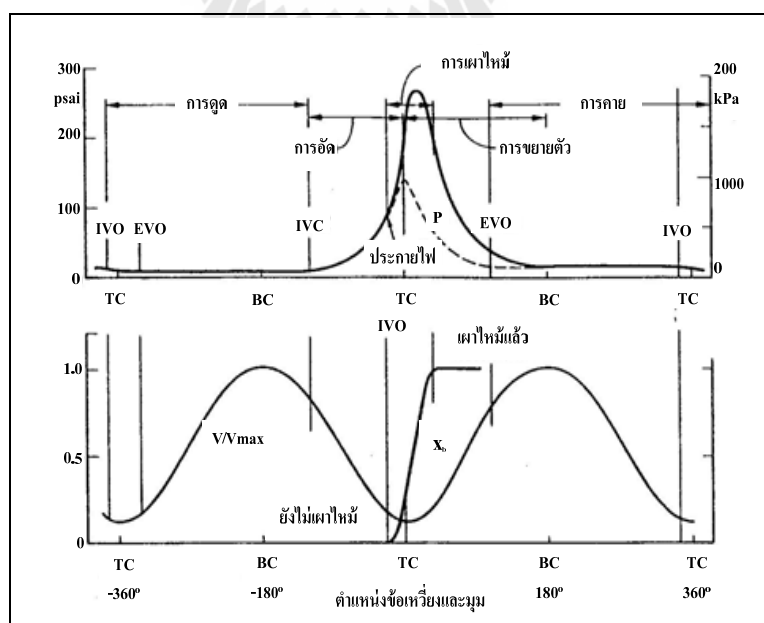


รูปที่ 2.3 ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแบบฉีดเข้าที่ช่องไอดีควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์

สำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบฉีดเข้าที่ช่องไอดี เชื้อเพลิงจะถูกฉีดผ่านหัวฉีดเข้าที่ช่องไอดีของแต่ละสูบ ซึ่งในระบบที่ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดโดยหัวฉีดจะถูกควบคุมโดยชุดควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งรับสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณ (sensor) และสวิทช์ต่าง ๆ แล้วนำมาประมวลผลและส่งสัญญาณไปที่หัวฉีดเพื่อทำการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงออกในปริมาณที่ต้องการ

หลังจากการเตรียมสารผสมอากาศกับเชื้อเพลิงแล้วสารผสมก็จะไหลเข้าไปในกระบอกสูบ โดยลำดับของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด (Spark Ignition Engine) ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.4 สำหรับวัฏจักรการทำงานแต่ละวัฏจักรจะเริ่มจากการนำไอดีเข้าหรือการดูดซึ่งจะเริ่มขึ้นเมื่อวาล์วไอดีเปิดและไปสิ้นสุดเมื่อวาล์วไอดีปิด ในทางปฏิบัติ เพื่อรักษาการไหลของสารผสมให้สูงไว้ที่อัตราความเร็วเครื่องยนต์สูงวาล์วไอดีจะเปิดก่อน TDC และปิดหลัง BDC ในระหว่างการนำไอดีเข้า (สารผสมอากาศกับเชื้อเพลิง) ที่เข้าไปในกระบอกสูบจะผสมกับแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ค้างอยู่ในกระบอกสูบจากวัฏจักรการทำงานที่ผ่านมา

หลังจากที่วาล์วไอดีปิด แก๊สที่อยู่ในกระบอกสูบจะถูกอัด ทำให้ความดันและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในขณะที่ปริมาตรลดลง ซึ่งเรียกว่า การอัด การอัดเริ่มต้นเมื่อวาล์วไอดีปิดและไปสิ้นสุดเมื่อลูกสูบถึง TDC



รูปที่ 2.4 ลำดับเหตุการณ์ในวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 จังหวะ

IVO	=	Intake Valve Open
IVC	=	Intake Valve Close
EVO	=	Exhaust Valve Open
EVC	=	Intake Valve Close

ก่อนที่ลูกสูบจะถึง TDC ระหว่าง 10 ถึง องศาข้อเหวี่ยง หัวเทียนจะให้ประกายไฟออกมาเพื่อเริ่มต้นการเผาไหม้ ซึ่งจะเกิดเป็นเปลวไฟขึ้นแล้วเปลวไฟก็จะแพร่ออกไปในสารผสมของอากาศ เชื้อเพลิงและแก๊สที่ค้างอยู่ในกระบอกสูบ ช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่ระหว่าง 40 ถึง 60 องศาข้อเหวี่ยง เมื่อสารผสมเชื้อเพลิงกับอากาศเผาไหม้ ความดันในกระบอกสูบจะเพิ่มขึ้น (เส้นเต็มในรูปที่ 2.4) สูงกว่าระดับความดันที่เกิดขึ้นจากการอัดเพียงอย่างเดียว (เส้นประในรูปที่ 2.4) ซึ่งกราฟเส้นประนี้เป็นกราฟความดันกระบอกสูบที่เกิดจากการหมุนเครื่องยนต์โดยการเผาไหม้ (Motored Cycle) ส่วนกราฟเส้นเต็มที่เป็นกราฟความดันกระบอกสูบที่มีการเผาไหม้ (Firing Cycle) ในช่วงการเผาไหม้นั้น ในแต่ละกระบอกสูบและวัฏจักรการทำงานจะไม่เหมือนกัน ทั้งนี้เนื่องจากรูปแบบการไหลและส่วนประกอบของสารผสมระหว่างแต่ละกระบอกสูบ และในกระบอกสูบเดียวกันแต่คนละวัฏจักรการทำงานก็จะแตกต่างกัน ทำให้กระบวนการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นแต่ละครั้งไม่เหมือนกัน

นอกจากนี้มวลของเชื้อเพลิงกับอากาศภายในกระบอกสูบจะมีจังหวะการจุดระเบิดหรือที่หัวเทียนให้ประกายไฟออกมา (Spark Timing) ซึ่งจะให้ทอร์กเบรกสูงสุดที่เรียกว่าจังหวะทอร์กเบรกสูงสุด (Maximum Brake Torque, MBT) ถ้าจังหวะที่หัวเทียนให้ประกายไฟออกมาก่อน (Advanced timing) หรือหลัง (Retarded timing) จังหวะทอร์กเบรกสูงสุดกำลังเครื่องยนต์ก็จะลดลง

จังหวะขยายตัวหรือจังหวะกำลังจะเริ่มเมื่อลูกสูบอยู่ที่ TDC และไปสิ้นสุดเมื่อลูกสูบอยู่ที่ BDC ในระหว่างจังหวะขยายตัว เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ไปประมาณสองในสามของระยะชัก วาล์วไอดีจะเริ่มเปิด ที่ตำแหน่งนี้ความดันในกระบอกสูบจะสูงกว่าความดันในท่อร่วมไอดี หลังจากนั้นเมื่อลูกสูบถึง BDC ก็จะเคลื่อนที่กลับไปยัง TDC ดันไอดีออกจากกระบอกสูบ

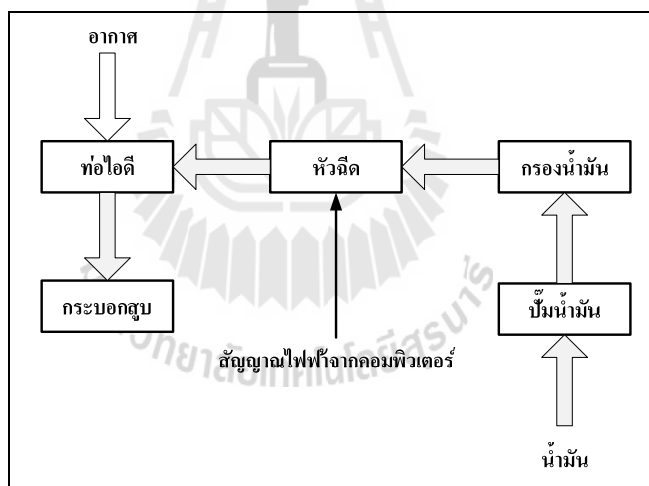
วาล์วไอดีจะยังคงเปิดอยู่จนกระทั่งหลังลูกสูบผ่าน TDC ไปเล็กน้อย และวาล์วไอดีจะปิดก่อนลูกสูบถึง TDC จึงทำให้มีองศาซ้อนเหลื่อม (Valve Overlap, ช่วงเหลื่อมกันของวาล์วทั้งสอง) ซึ่งถ้าการไหลเข้าถูกหรือจนกระทั่งความดันต่ำกว่าความดันในท่อร่วมไอดี ก็จะทำให้ไอดีไหลกลับ (Backflow) เข้าไปในท่อร่วมไอดีได้

2.2 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

เป็นเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องยนต์ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Fuel Injection System) หรือเรียกว่า EFI ซึ่งเป็นระบบควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์หรือคอมพิวเตอร์

2.2.1 หลักการทำงานเบื้องต้น

น้ำมันเชื้อเพลิงจากถังน้ำมันจะถูกส่งผ่านกรองน้ำมัน ไปยังหัวฉีดซึ่งติดตั้งไว้ที่ท่อไอดีของแต่ละสูบ โดยใช้ปั๊มน้ำมันไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 2.5 เมื่อสัญญาณไฟฟ้าจากระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ป้อนเข้าหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีความดัน 2.5 บาร์ (bar) หรือ 2.5 kg/cm^2 จะถูกฉีดเข้าไปผสมกับอากาศในท่อไอดี แล้วถูกดูดเข้ากระบอกสูบของเครื่องยนต์ สำหรับปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดในปริมาณมากหรือน้อยนั้น จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการป้อนไฟฟ้าเข้าหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ถ้ามีสัญญาณไฟฟ้าป้อนเข้าหัวฉีดในระยะเวลาสั้น ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดออกมาในปริมาณมาก



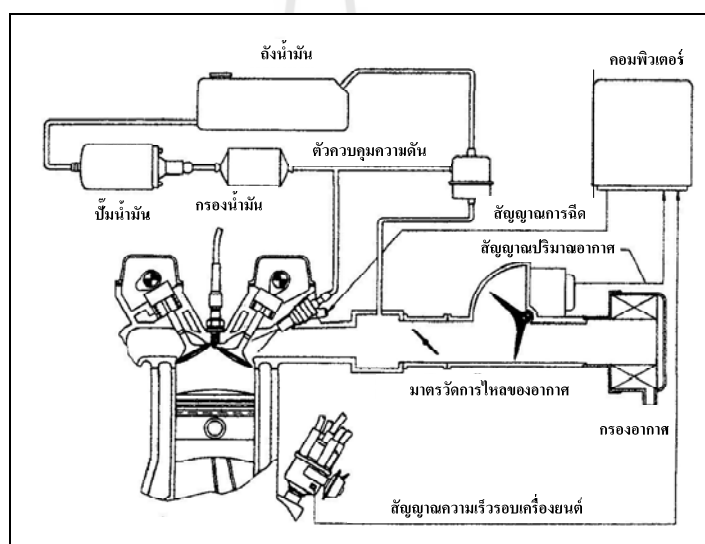
รูปที่ 2.5 หลักการเบื้องต้นของระบบ EFI

2.2.2 ชนิดของระบบ EFI

ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ หรือระบบ EFI ที่ใช้กันมากในเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดปัจจุบันจะมีอยู่ 2 แบบใหญ่ ๆ ด้วยกัน โดยจะมีความแตกต่างกันตามวิธีการวัดปริมาณอากาศที่บรรจุเข้ากระบอกสูบ คือ

- ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ แบบ L-Jetronic หรือ EFI แบบ L

ระบบ EFI แบบ L-Jetronic เป็นระบบที่พัฒนามาจากระบบ EFI แบบ D-Jetronic ซึ่งมีการวัดปริมาณอากาศที่ไหลเข้ากระบอกสูบจากแรงดันอากาศในท่อร่วมไอดี แต่เนื่องจากปริมาตรกับแรงดันของอากาศมีสัดส่วนแปรผันไม่คงที่แน่นอน กล่าวคือ ปริมาตรอากาศไม่แปรผันตรงกับแรงดัน ทำให้การวัดปริมาณอากาศจากค่าแรงดันไม่เที่ยงตรง จึงเป็นสาเหตุให้ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์กำหนดระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงขาดความเที่ยงตรงไปด้วย จากเหตุผลดังกล่าว ในระบบฉีดแบบ L-Jetronic จะทำการวัดปริมาณอากาศที่ถูกดูดเข้ากระบอกสูบโดยตรง โดยใช้มาตรวัดการไหลของอากาศ (air flow meter) เป็นตัวตรวจจับปริมาณอากาศที่ถูกดูดเข้ากระบอกสูบ แล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าป้อนเข้าระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อกำหนดระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 หลักการของ EFI แบบ L – Jetronic

2.2.3 ส่วนประกอบของระบบ EFI

ในระบบ EFI แบบ D และ L จะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่สำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และรูปที่ 2.7 ซึ่งหากแยกอุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านี้ไปตามหน้าที่การทำงาน จะสามารถแยกออกเป็นระบบได้ 3 ระบบ คือ

ระบบเชื้อเพลิง (Fuel System) ที่ประกอบด้วย ถังน้ำมัน ปั๊มน้ำมัน กรองน้ำมันท่อจ่ายน้ำมัน ตัวควบคุมความดันน้ำมัน หัวฉีดประจำสูบ และหัวฉีดสตาร์ทเย็น

ระบบประจุอากาศ (Air Induction System) ที่ประกอบด้วย กรองอากาศ มาตรวัดการไหลของอากาศ เรือนลิ้นเร่ง ห้องลิ้นเร่ง ห้องประจุไอดี ท่อไอดี และลิ้นอากาศ

ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (Engine Control Unit) ที่ประกอบด้วย หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์หรือคอมพิวเตอร์ ตัวตรวจจับอุณหภูมิ น้ำ ตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง และตัวตรวจจับสัญญาณ (sensor) อื่น ๆ

เนื้อหาที่จะนำเสนอในบทนี้จะเป็นเนื้อหาเกี่ยวกับระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (Engine Control Unit)

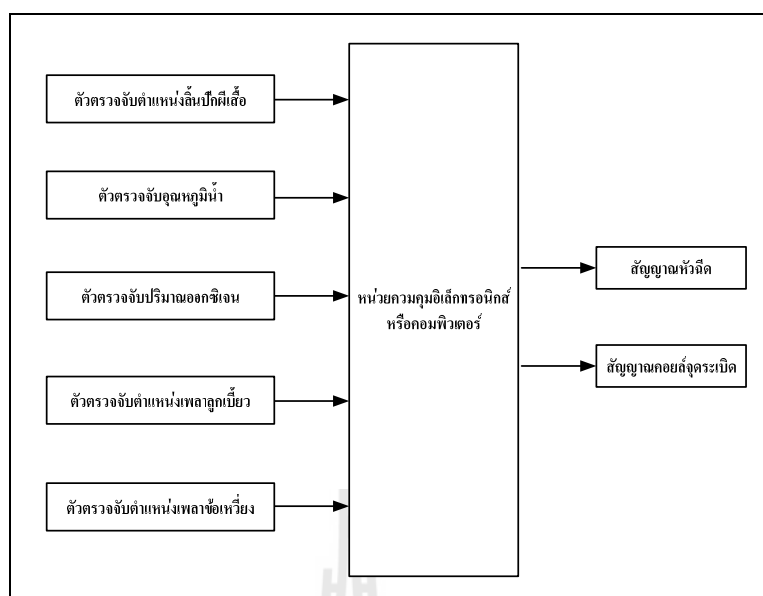
2.3 ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์

ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ มีชื่อเรียกหลายชื่อ เช่น ECU ECM PCM คอมพิวเตอร์ คอนโทรลเลอร์ และไมโครโปรเซสเซอร์ นับว่าเป็นหัวใจสำคัญของระบบควบคุมเครื่องยนต์ด้วยอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเปรียบเสมือนกับสมองของมนุษย์

ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ในเซ็นเซอร์ส่วนมากจะส่งสัญญาณเข้าเป็นสัญญาณแอนะล็อกหรือที่เรียกสั้น ๆ ว่า สัญญาณแอนะล็อก (Analog Singnal) กล้องควบคุมหรือ ECU จะไม่เข้าใจสัญญาณแอนะล็อกอ่านได้เฉพาะสัญญาณแรงดันไฟฟ้าดิจิทัลเท่านั้น สัญญาณดิจิทัลคือสัญญาณเปิด (ON) หรือปิด (OFF) ดังนั้นเพื่อให้กล้องควบคุมอ่านสัญญาณที่ได้รับจากตัวตรวจจับสัญญาณได้ จึงจำเป็นต้องติดตั้งตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยตรง ได้แก่ เซ็นเซอร์ฮอลล์เอฟเฟกต์ ดังนั้นสัญญาณเข้าจากเซ็นเซอร์นี้สามารถส่งเข้าไปยังกล้องควบคุมโดยตรง ไม่จำเป็นต้องผ่านตัวแปลงสัญญาณกล้องควบคุมจะได้รับสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและสวิทช์ต่าง ๆ จากนั้นมาทำการคำนวณและเปรียบเทียบกับตารางข้อมูลที่บันทึกไว้ในหน่วยความจำ และนำสัญญาณที่ดีที่สุดส่งไปยังอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์

2.3.1 ส่วนประกอบของระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์

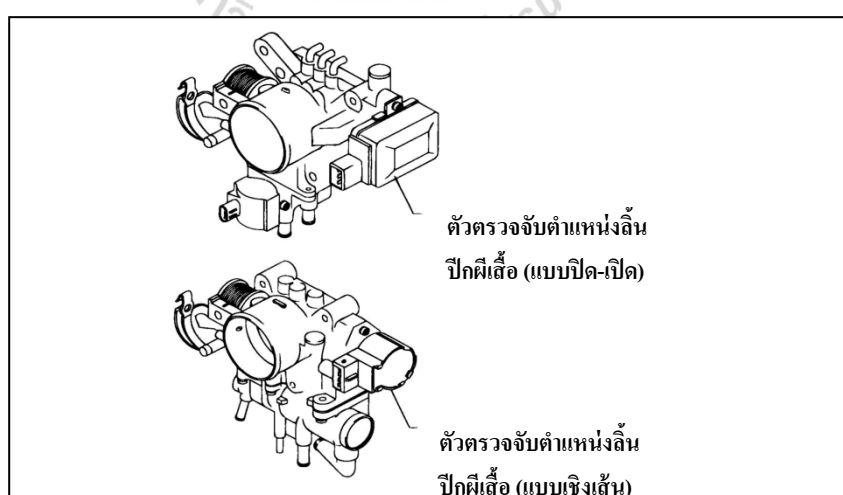
ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะประกอบด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับควบคุมการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและควบคุมการจุดระเบิด ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แผนภูมิอุปกรณ์ในระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ

- **ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ (Throttle Position Sensor)**

ตัวตรวจตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ จะทำหน้าที่บอกตำแหน่งการเปิดของลิ้นปีกผีเสื้อ หรือบอกสถานะการรับภาระของเครื่องยนต์ ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าให้กับระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อเพิ่มระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงหรือตัดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

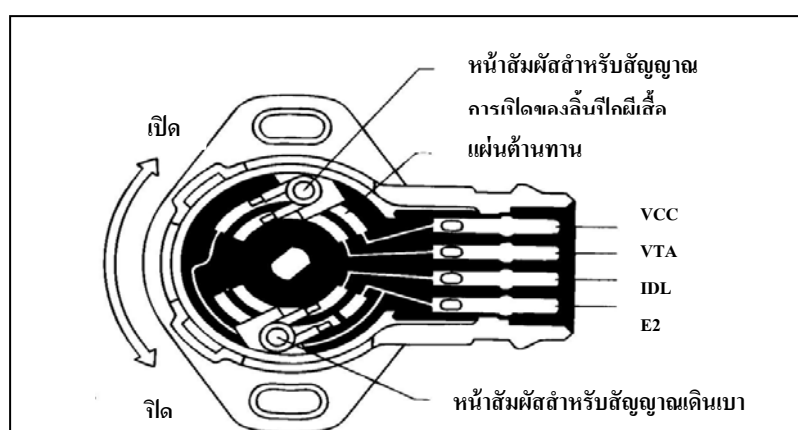


รูปที่ 2.9 รูปร่างและตำแหน่งการติดตั้งของตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ

ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อที่ใช้ในระบบ EFI จะมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ ตามการออกแบบของผู้ผลิต ซึ่งแบบที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 แบบ

1. แบบหน้าสัมผัสปิด-เปิด (On-Off Type)
2. แบบเชิงเส้น (Linear Type)

เนื้อหาที่นำเสนอในบทนี้จะเป็นเนื้อหาเกี่ยวกับตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อแบบเชิงเส้น (Linear Type)



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อแบบเชิงเส้น

ภายในตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อแบบเชิงเส้น จะประกอบด้วย แผ่นความต้านทาน ชุดหน้าสัมผัสสัญญาณเดินเบา ชุดหน้าสัมผัสสัญญาณการเปิดของลิ้นปีกผีเสื้อ และแผ่นวงจรไฟในการทำงานชุดหน้าสัมผัสทั้งสองที่ทำจากโลหะจะหมุนไปพร้อมกับการหมุนของลิ้นปีกผีเสื้อ ชุดหน้าสัมผัสจะเป็นสะพานไฟต่อเชื่อมระหว่างขั้วของตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ โดยชุดหน้าสัมผัสสัญญาณเดินเบาจะต่อเชื่อมระหว่างขั้ว IDL และ E2 โดยชุดหน้าสัมผัสสัญญาณการเปิดของลิ้นจะเชื่อมระหว่างขั้ว VTA และ VCC ซึ่งมีตัวต้านทานต่ออยู่

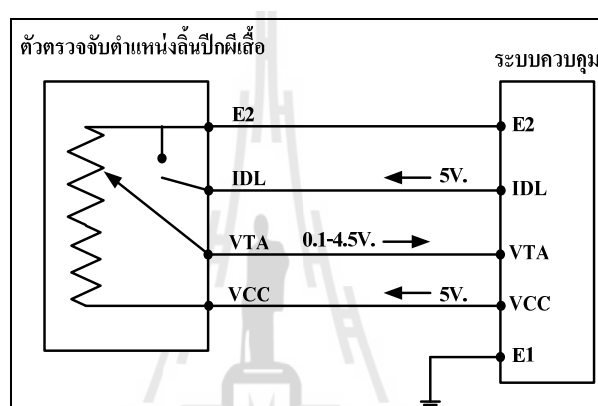
หลักการทำงาน

ที่ตำแหน่งเดินเบา ลิ้นปีกผีเสื้อ ชุดหน้าสัมผัสสัญญาณทั้งสองจะหมุนมาอยู่ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจนสุด โดยชุดหน้าสัมผัสสัญญาณเดินเบา จะต่อวงจรระหว่างขั้ว IDL และ E2 โดยชุดหน้าสัมผัสสัญญาณการเปิดลิ้นปีกผีเสื้อจะต่อที่ปลายของแผ่นความต้านทานของขั้ว VCC และแผ่นวงจรขั้ว VTA ในตำแหน่งนี้ค่าความต้านทานระหว่างขั้ว VCC และ VTA จะมีค่ามาก

เมื่อเร่งเครื่องยนต์ ชุดหน้าสัมผัสสัญญาณเดินเบาและการเปิดของลิ้นปีกผีเสื้อ จะหมุนไปทิศทางตามเข็มนาฬิกาพร้อม ๆ กัน ทำให้การต่อวงจรระหว่างขั้ว IDL และ

E2 จะถูกตัดออกจากกัน เนื่องจากชุดหน้าสัมผัสสัญญาณเดินเบาลงตำแหน่งที่แผ่นวงจรไฟของขั้ว E2 ขาดออกจากกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ในขณะเดียวกันชุดหน้าสัมผัสการเปิดของลื่นปีกผีเสื้อจะหมุนเลื่อนไป ทำให้ความยาวของแผ่นต้านทานที่สัมผัสกับชุดหน้าสัมผัสลดลง ส่งผลให้ค่าความต้านทานระหว่างขั้ว VCC และ VTA ลดลงตามไปด้วย

จากการเปลี่ยนค่าความต้านทานระหว่างขั้ว VCC และ VTA และการตัดต่อวงจรระหว่างขั้ว IDL และ E2 จะถูกนำไปใช้ในการส่งสัญญาณไฟฟ้าเข้าสู่ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อบอกตำแหน่งของลื่นปีกผีเสื้อ ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 วงจรไฟฟ้าของตัวตรวจจับตำแหน่งลื่นปีกผีเสื้อเชิงเส้น

จากวงจรไฟฟ้าระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะจ่ายแรงดันไฟฟ้าคงที่ประมาณ 5V เข้าที่ขั้ว VCC ของตัวตรวจจับตำแหน่งลื่นแรง ผ่านตัวต้านทานภายใน ออกจากขั้ว VTA ป้อนกลับเข้าสู่ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ เป็นสัญญาณการเปิดลื่นปีกผีเสื้อ และลงกราวด์ที่ขั้ว E2 และระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ จ่ายแรงดันไฟฟ้าคงที่ออกจากขั้ว IDL เพื่อรอลงกราวด์ที่ขั้ว E2

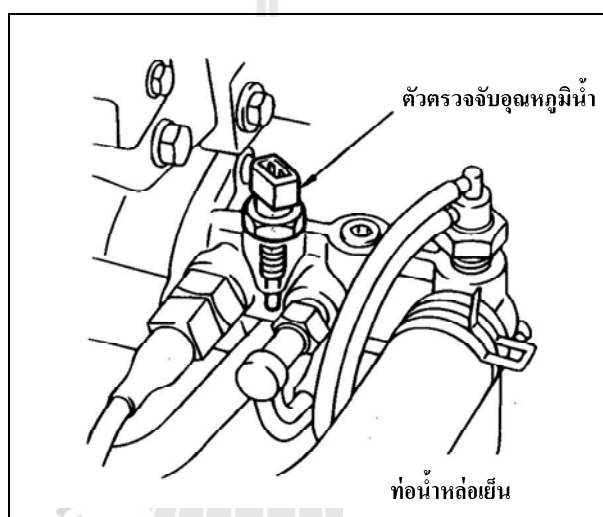
ที่ตำแหน่งเดินเบาลง หน้าสัมผัสเดินเบาลง (ขั้ว IDL และ E2) จะต่อถึงกัน ทำให้แรงดันไฟฟ้า 5 V ที่ขั้ว IDL มาลงกราวด์ที่ขั้ว E2 ซึ่งบอกสถานะเดินเบาลงของเครื่องยนต์ หรือลื่นปีกผีเสื้อปิดให้ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ทราบส่วนที่ชุดหน้าสัมผัสสัญญาณการเปิดของลื่นแรง ในตำแหน่งเดินเบาลงค่าความต้านทานระหว่างขั้ว VCC และ VTA จะมาก ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ไหลผ่านขั้วจากขั้ว VCC ออกทางขั้ว VTA มีค่าน้อยประมาณ 0.1-0.5 V.

ตำแหน่งลื่นแรงเครื่องยนต์ ชุดหน้าสัมผัสสัญญาณเดินเบาลง จะตัดวงจรระหว่างขั้ว IDL และ E2 ทำให้กระแสจากขั้ว IDL ของระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ไม่สามารถลงกราวด์ได้

ซึ่งเป็นการบอกถึงเครื่องยนต์ไม่ได้อยู่ในสถานะเดินเบา ส่วนชุดหน้าสัมผัสสัญญาณการเปิดของลิ้นปีกผีเสื้อในสถานะนี้ค่าความต้านทานระหว่างขั้ว VCC และ VTA จะลดลง ตามมุมการเปิดของลิ้นปีกผีเสื้อ ทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากขั้ว VTA เพิ่มขึ้นจาก 0.1 - 0.5V ที่ตำแหน่งเดินเบา จนถึงประมาณ 4.5V ที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดสุด

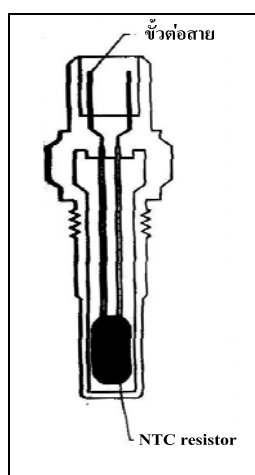
- **ตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ (Water Temperature Sensor)**

ตัวตรวจอุณหภูมิน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น แล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าป้อนเข้าระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ให้เพิ่มระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง เมื่อเครื่องยนต์มีอุณหภูมิต่ำ



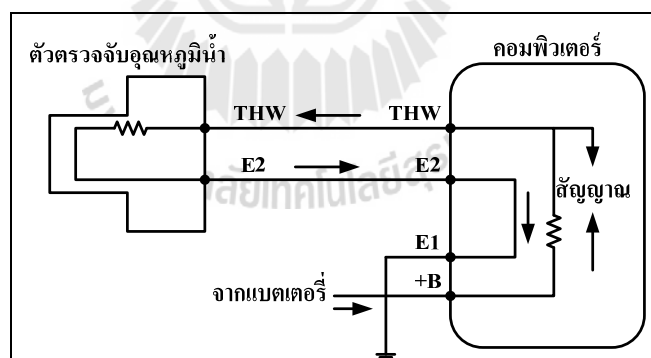
รูปที่ 2.12 รูปร่างและตำแหน่งการติดตั้งตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ

ตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ จะถูกติดตั้งไว้ที่บริเวณช่องทางออกของน้ำหล่อเย็นที่ตัวเครื่องยนต์ ภายในตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำจะประกอบด้วย ตัวต้านทานแบบมีค่าสัมประสิทธิ์เป็นลบที่เรียกว่า NTC Resistor ย่อมาจากคำว่า Negative Temperature Coefficient ซึ่งจะมีค่าความต้านทานลดลงเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ส่วนประกอบและคุณสมบัติของตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ

จากคุณสมบัติของ NTC Resistor จะถูกนำไปใช้เปลี่ยนแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้า สำหรับป้อนเข้าระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์เพื่อเป็นข้อมูลในการแก้ไขระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเหมาะสมกับอุณหภูมิของเครื่องยนต์ กล่าวคือ มีส่วนผสมที่หนาขึ้น เมื่อเครื่องยนต์อุณหภูมิต่ำ



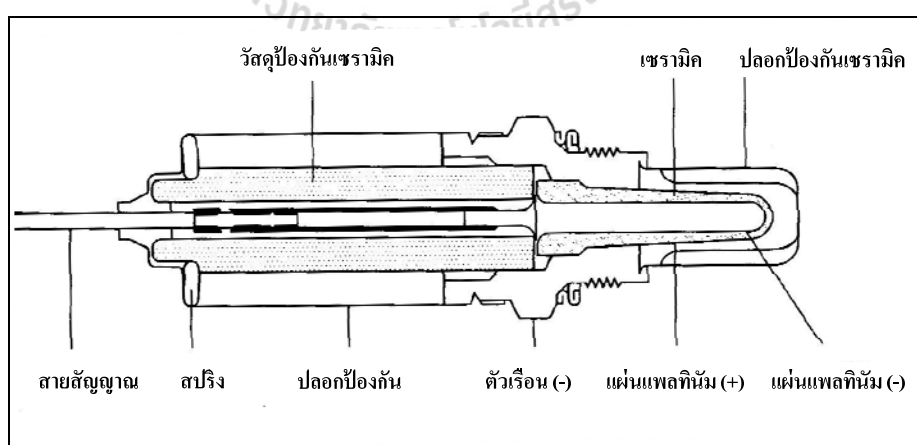
รูปที่ 2.14 วงจรไฟฟ้าของตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ

- **ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน (Oxygen Sensor or Lambda Sensor)**

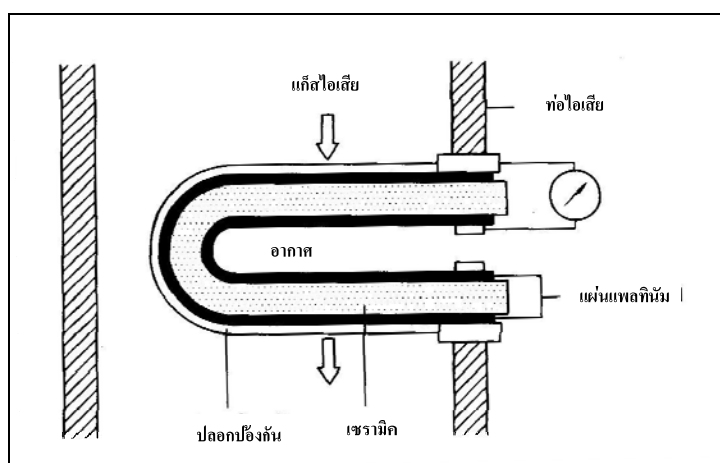
ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดปริมาณออกซิเจน (O_2) ในแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ แล้วส่งสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากการวัดป้อนเข้าระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อปรับระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีดให้ได้ส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงตามทฤษฎี (14.7:1)

ขณะเครื่องยนต์ทำงานในสภาวะปกติ เครื่องยนต์จะต้องการส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงตามทฤษฎี ซึ่งเป็นส่วนผสมที่มีการเผาไหม้มาจากตัวตรวจจับสัญญาณต่าง ๆ แต่อย่างไรก็ตามอัตราส่วนผสมที่ได้จากการระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ อาจมีการผิดพลาดเบี่ยงเบนไปจากค่า 14.7:1 ได้ เนื่องจากสาเหตุของความบกพร่อง หรือความคลาดเคลื่อนในการทำงานของอุปกรณ์ในระบบ การเบี่ยงเบนไปของอัตราส่วนผสมนี้สามารถตรวจสอบได้โดยการวัดปริมาณของออกซิเจนในแก๊สไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ หากอัตราส่วนผสมที่ป้อนเข้ากระบอกสูบหนา การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจะไม่สมบูรณ์ เนื่องจากมีออกซิเจนน้อย ทำให้ปริมาณของออกซิเจนในแก๊สไอเสียน้อย และในทางตรงกันข้าม ถ้าอัตราส่วนผสมที่ป้อนเข้ากระบอกสูบบาง ปริมาณของออกซิเจนในไอเสียจะมาก จากปริมาณของออกซิเจนในแก๊สไอเสียจะถูกนำมาใช้ปรับแก้ไประยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้ได้ส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงตามทฤษฎี

ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน จะมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ เซรามิกชนิดพิเศษที่ทำจาก เซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (Zirconium Dioxide) ฉาบด้วยผิวแผ่นแพลทินัมที่มีลักษณะเป็นรูปวงแหวนทั้งด้านนอกและด้านใน ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนจะถูกติดตั้งยื่นเข้าไปในท่อไอเสียของเครื่องยนต์ ให้แผ่นแพลทินัม (+) ที่ฉาบอยู่ด้านนอกของเซรามิกได้สัมผัสกับไอเสีย ส่วนแผ่นแพลทินัม (-) ทางด้านในของเซรามิกจะต่อกับบรรยากาศภายนอก สำหรับปลอกป้องกันจะเป็นท่อโลหะหุ้มตัวเซรามิก ที่มีช่องไอเสียผ่านไปยังแผ่นแพลทินัมและเซรามิกได้ ปลอกนี้จะทำหน้าที่ป้องกันของแข็งเล็ก ๆ ที่ปนอยู่ในแก๊สไอเสียกระทบกับเซรามิก



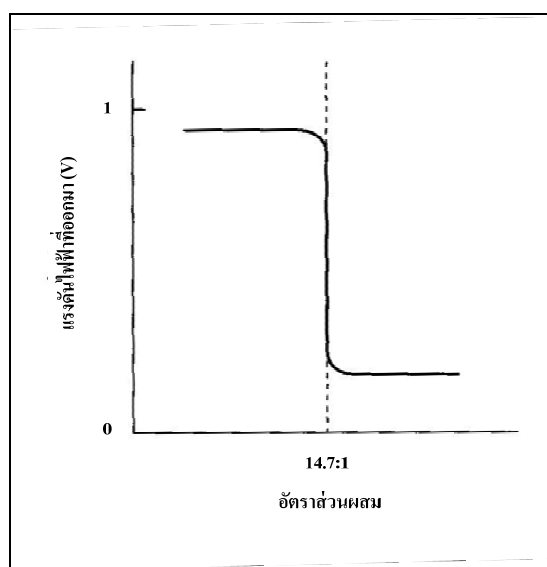
รูปที่ 2.15 ส่วนประกอบตรวจจับปริมาณออกซิเจน



รูปที่ 2.16 หลักการทำงานของตรวจจับปริมาณออกซิเจน

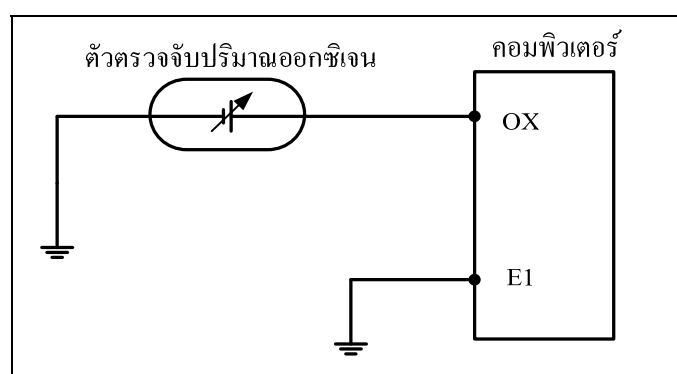
หลักการทำงาน

ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนจะเปรียบเสมือนแบตเตอรี่ขนาดเล็กที่มีการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณออกซิเจนที่ได้รับจากแก๊สไอเสีย ในการทำงานของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนจะอาศัยความแตกต่างของจำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้น ระหว่างแผ่นแพลทินัมที่ฉาบไว้ทั้งสองด้านของเซรามิกและเป็นตัวนำไฟฟ้าของเซรามิก เมื่อตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนที่ได้รับออกซิเจนจากแก๊สไอเสีย แผ่นแพลทินัมจะมีอิเล็กตรอนอิสระเกิดขึ้นในส่วนแผ่นแพลทินัมที่ต่อกับบรรยากาศซึ่งได้รับออกซิเจนเป็นจำนวนมากจะมีอิเล็กตรอนอิสระเกิดขึ้นมากและส่วนแผ่นแพลทินัมที่สัมผัสกับไอเสียจะรับแก๊สไอเสียจะได้รับออกซิเจนน้อยกว่า ก็จะมีอิเล็กตรอนเกิดขึ้นน้อย สำหรับเซรามิกเมื่อได้รับออกซิเจนและความร้อนจากแก๊สไอเสีย จะมีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า ทำให้เกิดการถ่ายเทของอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในแผ่นแพลทินัมทั้ง 2 แผ่นดังนั้นหากมีการต่อแผ่นแพลทินัมทั้งสองแผ่นเข้าด้วยกันเป็นวงจร ก็จะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหล จากการดำเนินงานดังกล่าว จะมีแรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้นประมาณ 100-900 mV. โดยแปรผันไปตามปริมาณของออกซิเจนในแก๊สไอเสียซึ่งมีผลมาจากอัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้ากระบอกสูบ ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 กราฟค่าแรงดันไฟฟ้าของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน

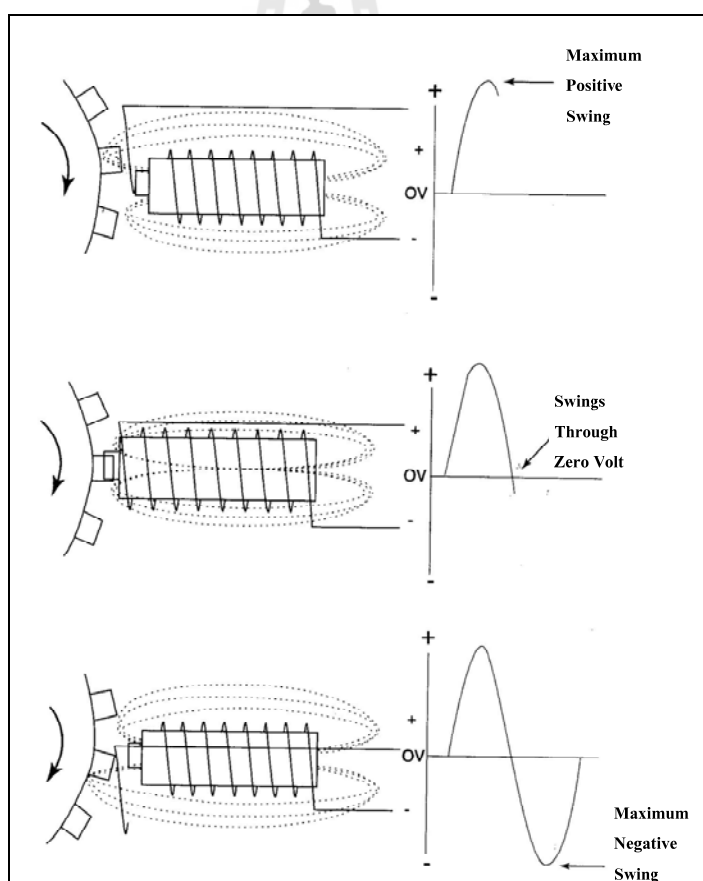
จากกราฟค่าแรงดันไฟฟ้าของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน จะเห็นที่อัตราส่วนผสมหนา ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะสูง และลดต่ำลง เมื่ออัตราส่วนผสมบางลง จากค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะถูกป้อนเข้าระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อใช้ในการปรับระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้ได้อัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงตามทฤษฎีตั้งในวงจรไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.18 ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะปรับระยะเวลาในการฉีดน้อยลง เมื่อค่าแรงดันไฟฟ้ามากกว่า 0.45 V. และปรับระยะเวลาดำเนินการฉีดมากขึ้น เมื่อแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่า 0.45 V.



รูปที่ 2.18 วงจรไฟฟ้าตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน

ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวและตำแหน่งเพลาช้อเหวี่ยง

เป็นตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวและตำแหน่งเพลาช้อเหวี่ยงแบบขดลวดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำงานโดยใช้หลักการขดลวดพิคอัพ (Pick Up Coil) ซึ่งประกอบด้วยแม่เหล็กถาวร (Magnet) ขดลวด (Coil) และแกนขดลวด (Core) โดยติดตั้งอยู่กับฟันของเฟือง เมื่อเพลาลูกเบี้ยวทำให้โรเตอร์หมุนไปด้วย แต่ละครั้งที่ฟันเฟือง (Rotor) หมุนผ่านตัวตรวจจับ สัญญาณจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตามระยะความห่างระหว่างฟันทำให้เกิดเป็นลูกคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับเกิดขึ้นที่ขดลวด ถ้าเครื่องยนต์มีความเร็วรอบสูงเฟืองก็จะหมุนเร็วลูกคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับก็จะได้มากตามไปด้วย แต่ถ้าความเร็วเครื่องยนต์ต่ำลูกคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับที่ได้ก็จะน้อยลง จำนวนลูกคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้ต่อวินาที คือสัญญาณความถี่ (Signal Frequency) ดังแสดงในรูปที่ 2.19 ในบทนี้จะกล่าวถึงตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวและเพลาช้อเหวี่ยงซึ่งใช้หลักการเดียวกันที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น



รูปที่ 2.19 ลักษณะรูปแบบสัญญาณของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยว
และตำแหน่งเพลาช้อเหวี่ยง

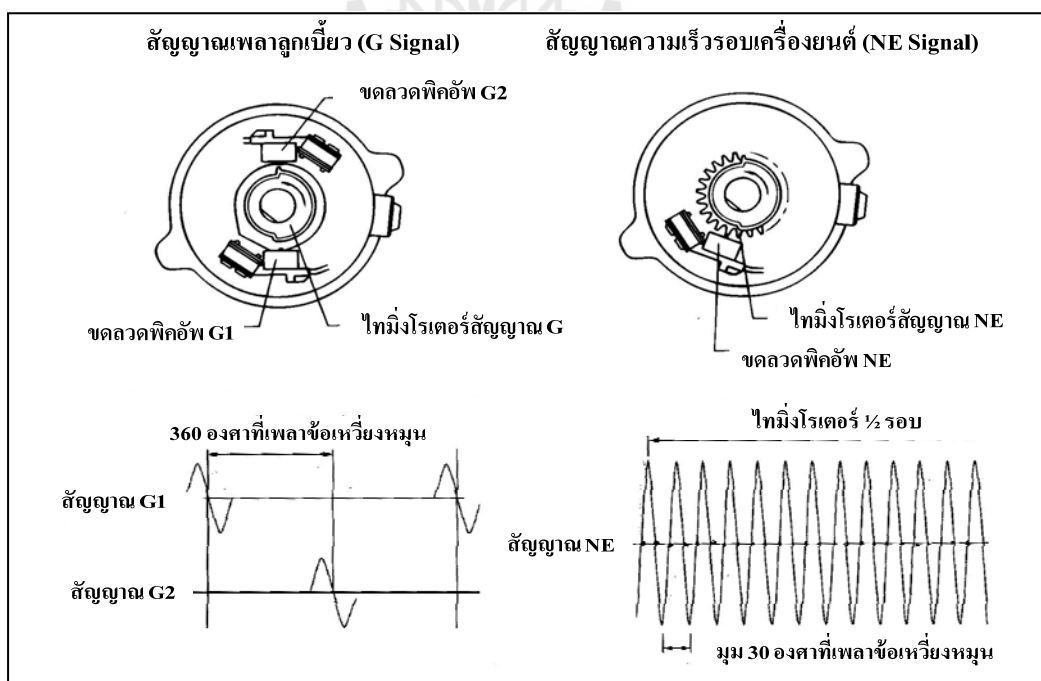
- ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยว

ในรถยนต์รุ่นแรก ๆ ที่ใช้ระบบ EFI แบบธรรมดา สัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะมาจากขั้วลบของคอยล์จุดระเบิด แต่ในระบบควบคุมเครื่องยนต์แบบ TCCS (Toyota Computer Controlled System) สัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะมาจากสัญญาณตัวตรวจจับ สำหรับตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวโดยตรง โดยตัวตรวจจับจะถูกติดตั้งไว้ภายในจานจ่าย แต่ในเครื่องยนต์บางรุ่นอาจมีการติดตั้งไว้แยกต่างหากและไม่มีจานจ่าย

ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวจะมีหน้าที่ส่งสัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์ และสัญญาณตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยว ป้อนเข้าสู่ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์เพื่อกำหนดระยะเวลาในการฉีดพื้นฐานของหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง กำหนดจังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง และกำหนดจังหวะการจุดระเบิด เนื่องจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวจะมีอยู่กันหลายแบบแต่ในบทนี้จะเสนอตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยว

แบบมี ไทมิ่งโรเตอร์สัญญาณ G 1 ฟัน ขดลวดฟลักซ์ 2 ขด

ไทมิ่งโรเตอร์สัญญาณ NE 24 ฟัน ขดลวดฟลักซ์ 1 ขด

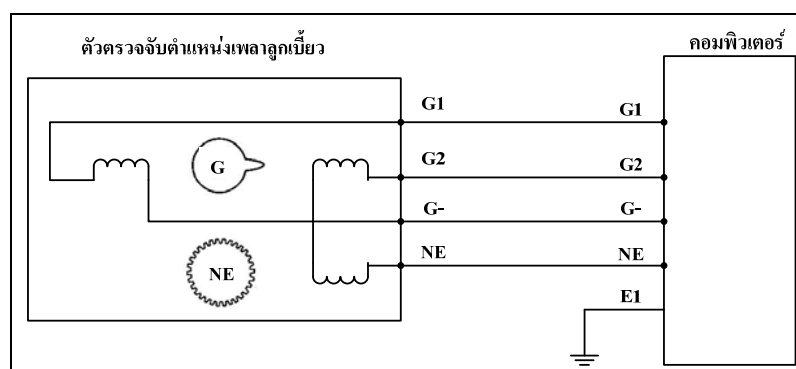


รูปที่ 2.20 ส่วนประกอบของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวแบบมีไทมิ่งโรเตอร์ 1 ฟัน และ 24 ฟัน

จากรูปที่ 2.20 ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวจะประกอบด้วยไทมิ่งโรเตอร์ 2 ชุด ชุดบนมี 1 ฟันและชุดล่างมี 24 ฟัน ติดตั้งอยู่บนจานจ่าย บริเวณด้านข้างของตัวเรือน จานจ่ายจะติดตั้งขดลวดพิกอัพ (pick-up coil) ซึ่งเป็นขดลวดพันแกนเหล็กที่ต่อมาจากแม่เหล็กถาวร จำนวน 3 ชุด เป็นขดลวดสัญญาณ G จำนวน 2 ชุด (G1 และ G2) อยู่ด้านบน และมีขดลวดสัญญาณ NE 1 ชุด อยู่ด้านล่าง ขดลวดสัญญาณ G1 และ G2 ถูกใช้เป็นสัญญาณการควบคุมจังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและจังหวะการจุดระเบิด และขดลวดสัญญาณ NE ใช้เป็นสัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์

หลักการทำงาน

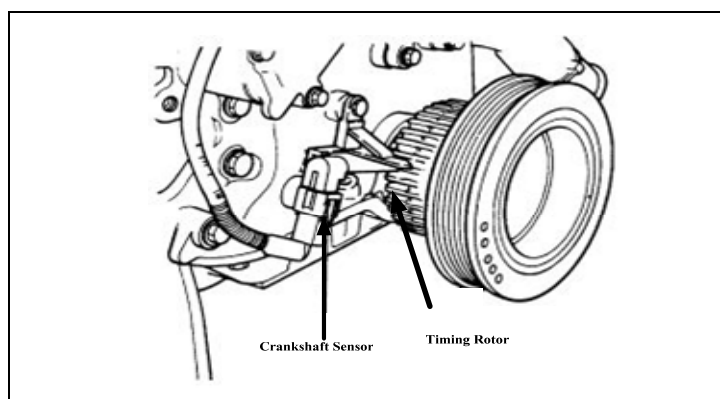
การทำงานของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวแบบมีขดลวดพิกอัพ G1 และ G2 และมีไทมิ่งโรเตอร์สัญญาณ G 1 ฟัน เมื่อหมุนของเพลาจานจ่าย 1 รอบไทมิ่งโรเตอร์หมุนตัดกับขดลวดพิกอัพทำให้เกิดสัญญาณ G1 และสัญญาณ G2 จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตามระยะความห่างระหว่างฟันทำให้เกิดเป็นลูกคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับ โดยสัญญาณที่เกิดจากขดลวดพิกอัพสัญญาณ G1 และขดลวดพิกอัพสัญญาณ G2 จะมีระยะห่างระหว่างลูกคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับเท่ากับ 360 องศาที่เพลาช้อเหวี่ยงหมุน แต่ถ้าเป็นสัญญาณที่เกิดจากขดลวดพิกอัพเดียวกันจะมีระยะห่างระหว่างคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับเท่ากับ 720 องศาที่เพลาช้อเหวี่ยงหมุน และในส่วนของตัวตรวจจับตำแหน่งของเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ NE มีไทมิ่งโรเตอร์ที่มีฟันจำนวน 24 ฟัน เมื่อไทมิ่งโรเตอร์หมุนตัดผ่านขดลวดพิกอัพ NE จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตามระยะความห่างระหว่างฟันทำให้เกิดเป็นลูกคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับเกิดขึ้น ทั้งหมด 24 ลูกคลื่น ซึ่งจะมีค่าเท่ากับการหมุนของเพลาช้อเหวี่ยงหมุน 2 รอบ ฉะนั้นการหมุนของเพลาช้อเหวี่ยงหมุน 1 รอบ หรือ 360 องศาเพลาช้อเหวี่ยง จะมีค่าเท่ากับไทมิ่งโรเตอร์ของเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ NE หมุนตัดผ่านขดลวดพิกอัพ NE เพียง 1/2 รอบ หรือเกิดลูกคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับ 12 ลูกคลื่น โดย 1 ลูกคลื่นของสัญญาณตัวตรวจจับเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ NE จะมีค่าเท่ากับ 30 องศาที่เพลาช้อเหวี่ยงหมุน ดังแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.21 วงจรไฟฟ้าสัญญาณจากขดลวด G และขดลวด NE แบบมี
ไทมิ่งโรเตอร์ 1 พิน และ 24 พิน

- ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยว (Crankshaft Sensor)

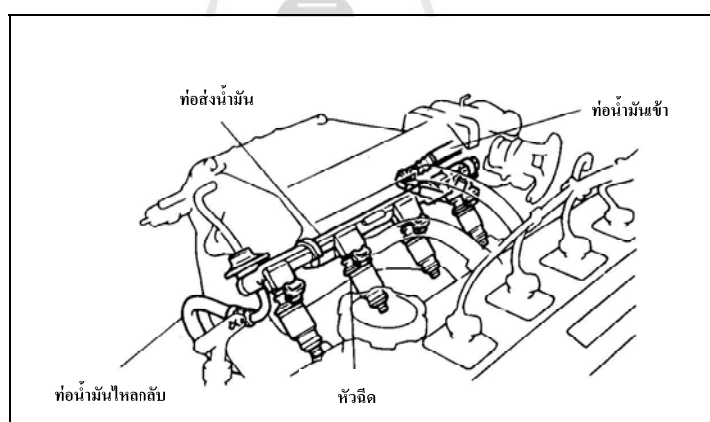
ตัวตรวจจับมุมเพลาลูกเบี้ยว (Crankshaft Sensor) จะมีหน้าที่ส่งสัญญาณวัดตำแหน่งของเพลาลูกเบี้ยวและวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ป้อนเข้าระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ เป็นสัญญาณที่เกิดขึ้นจากไทมิ่งโรเตอร์ที่มีฟันทั้งหมด 32 ฟัน โดยจะมีฟันที่มีระยะห่างของฟันมากกว่าฟันอื่น ๆ จำนวน 1 ฟัน ซึ่งฟันที่ได้กล่าวมาจะเป็นจุดอ้างอิงตำแหน่งศูนย์ตายบนของลูกสูบในกระบอกสูบที่ 1 และ 4 เมื่อไทมิ่งโรเตอร์ของเพลาลูกเบี้ยวหมุนผ่านขดลวดฟลักซ์ จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตามระยะความห่างระหว่างฟันทำให้เกิดเป็นลูกคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับ โดยสัญญาณลูกคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับที่มีแอมพลิจูดที่สูงกว่าสัญญาณลูกคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับของลูกคลื่นอื่น ๆ แสดงให้เห็นว่าเป็นลูกคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับที่บอกตำแหน่งอ้างอิงศูนย์ตายบน (TDC) ของลูกสูบในกระบอกสูบที่ 1 และ 4 เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประมวลผลของระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ในการกำหนดระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงพื้นฐาน กำหนดจังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและกำหนดจังหวะการจุดระเบิด ดังแสดงในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยง (Crankshaft Sensor)

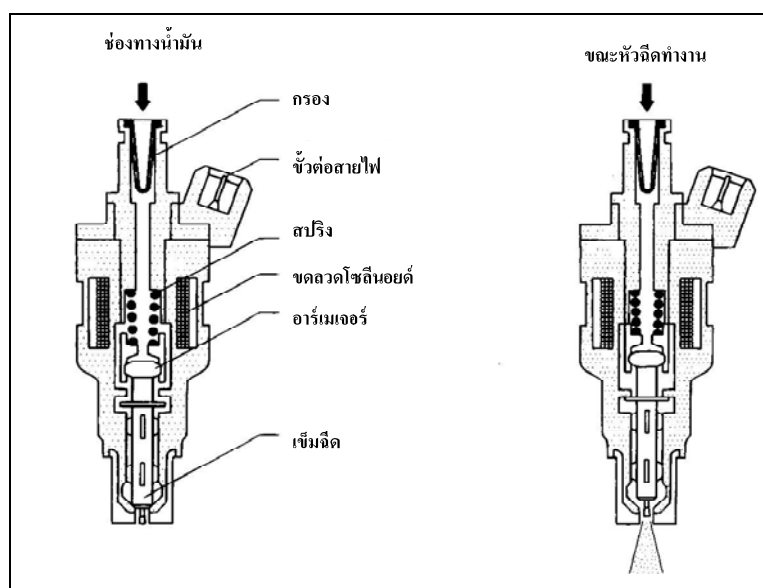
- ระบบการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจําสูบ (Injection System)

เครื่องยนต์หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแบบ EFI โดยทั่วไปจะมีหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจําสูบ สิบละ 1 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจําสูบและตำแหน่งการติดตั้ง

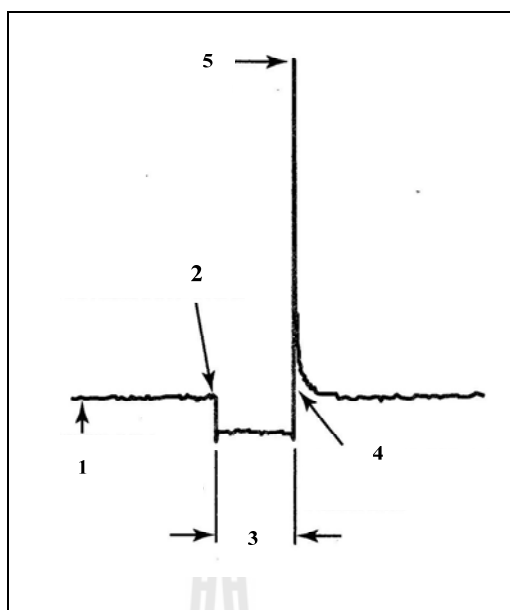
หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้จะเป็นแบบที่บังคับการปิดเปิดลิ้นของหัวฉีดด้วยโซลีนอยด์ไฟฟ้า โดยมีโครงสร้างและส่วนประกอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 โครงสร้างของหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบ

หลักการทำงาน

จากรูปที่ 2.24 น้ำมันจากท่อจ่ายจะไหลเข้าหัวฉีดโดยผ่านกรองละเอียดที่ช่องทางเข้า ผ่านลงไปยังเข็มหัวฉีดที่ปลายด้านล่างของหัวฉีด ในตำแหน่งที่หัวฉีดยังไม่ทำงาน เข็มของหัวฉีดจะถูกสปริงดันให้แนบสนิทอยู่กับบ่าลิ้นไม่ให้น้ำมันไหลออก เมื่อหัวฉีดได้รับสัญญาณพัลส์หรือสัญญาณดิจิทัลจากระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ เมื่อปิดสวิตช์กุญแจอยู่ที่ตำแหน่ง ON แรงดันไฟฟ้าจะไหลไปยังหัวฉีด ขดลวดโซลินอยด์จะถูกกระตุ้นให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นที่ขดลวดเมื่อระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ สั่งให้ขดลวดโซลินอยด์ล่งกรวดเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเพื่อจะดูดให้ตัวอาร์เมเจอร์ที่อยู่ตรงกลางยกตัวขึ้น เข็มหัวฉีดที่ติดกับตัวอาร์เมเจอร์ก็จะยกตัวขึ้นจากบ่าลิ้น ทำให้น้ำมันซึ่งมีความดันประมาณ 2.5 บาร์ ถูกฉีดออกมาจากหัวฉีดในลักษณะของฝอยละออง สำหรับปริมาณน้ำมันที่ถูกฉีดออกมาจะมากหรือน้อยนั้นจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาป้อนสัญญาณไฟฟ้าเข้าขดลวดโซลินอยด์หัวฉีด ในการเปิดและปิดของเข็มหัวฉีดจะมีความไวสูงมาก ประมาณ 1-1.5 ms เนื่องจากเข็มหัวฉีดมีระยะในการยกตัวน้อยมาก ประมาณ 0.1 mm ดังนั้นในการฉีดของหัวฉีดจึงมีความเที่ยงตรงและแม่นยำสูง โดยระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องยนต์จะนำข้อมูลที่รับจากตัวตรวจจับสัญญาณต่าง ๆ มาประมวลผล โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลที่บันทึกไว้ในหน่วยความจำ จากนั้นระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ จะสั่งให้หัวฉีดเปิดเพื่อทำการจ่ายน้ำมันส่วนระยะเวลาในการจ่ายน้ำมันจะเปิดนานแค่ไหนนั้น จะขึ้นอยู่กับสภาพการทำงานของเครื่องยนต์ในขณะนั้นดังแสดงในรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.27 สัญญาณการทำงานของหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบ

หมายเลข 1 แรงดันไฟฟ้าจากเบตเตอร์จ่ายไปยังหัวฉีด

หมายเลข 2 ขดลวดโซลินอยด์จะถูกกระตุ้นให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นที่ขดลวดเมื่อระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ สั่งให้ขดลวดโซลินอยด์ลงกราวด์ เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเพื่อจะดูดให้ตัวอาร์เมเจอร์ที่อยู่ตรงกลางยกตัวขึ้น เข็มหัวฉีดที่ติดกับตัวอาร์เมเจอร์ก็จะยกตัวขึ้นจากบ่าลิ้น

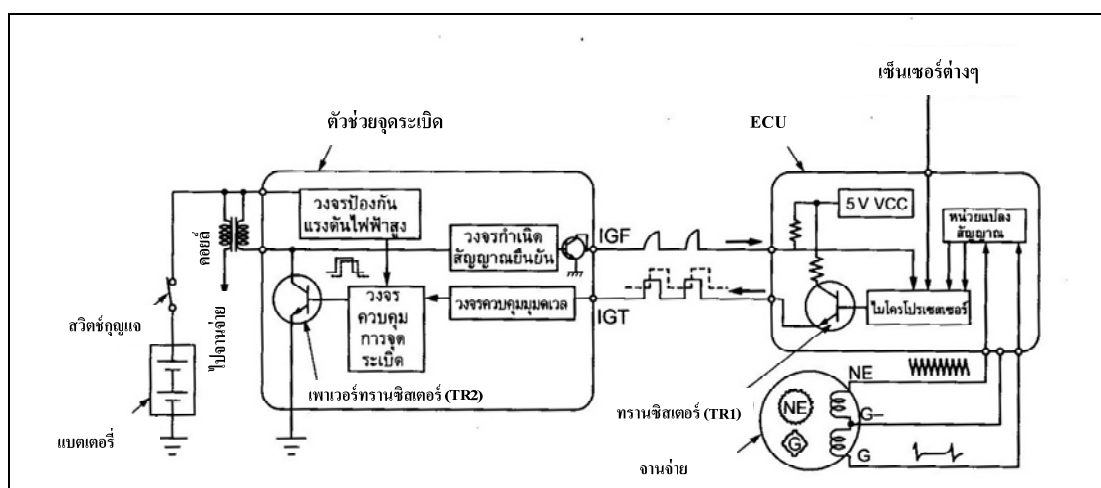
หมายเลข 3 หัวฉีดทำการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

หมายเลข 4 หัวฉีดหยุดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อโซลินอยด์ไม่ลงกราวด์

หมายเลข 5 การที่แรงดันไฟฟ้ายกตัวสูงขึ้นเพราะเกิดการตัดต่อของโซลินอยด์ในการหยุดจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีด

• ระบบจุดระเบิด (Ignition System)

ระบบจุดระเบิดที่มีระบบควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์สามารถควบคุมองศาการจุดระเบิด (จังหวะการจุดระเบิด) ได้เที่ยงตรงแม่นยำกว่าระบบการจุดระเบิดแบบที่ไม่มีระบบควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ควบคุม (ควบคุมด้วยกลไก) ที่งานจ่ายไฟจะไม่มีกลไกแรงไฟแบบสุญญากาศและกลไกแบบแรงเหวี่ยง แต่จะใช้สัญญาณเข้าจากตัวตรวจจับสัญญาณต่าง ๆ ที่ส่งเข้ามายังระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ จากระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะนำข้อมูลที่ได้เปรียบเทียบกับข้อมูลองศาการจุดระเบิดที่เก็บไว้ในหน่วยความจำ และเลือกองศาจุดระเบิดที่ดีที่สุดไปยังตัวช่วยจุดระเบิด



รูปที่ 2.28 ระบบจุดระเบิดแบบใช้ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์

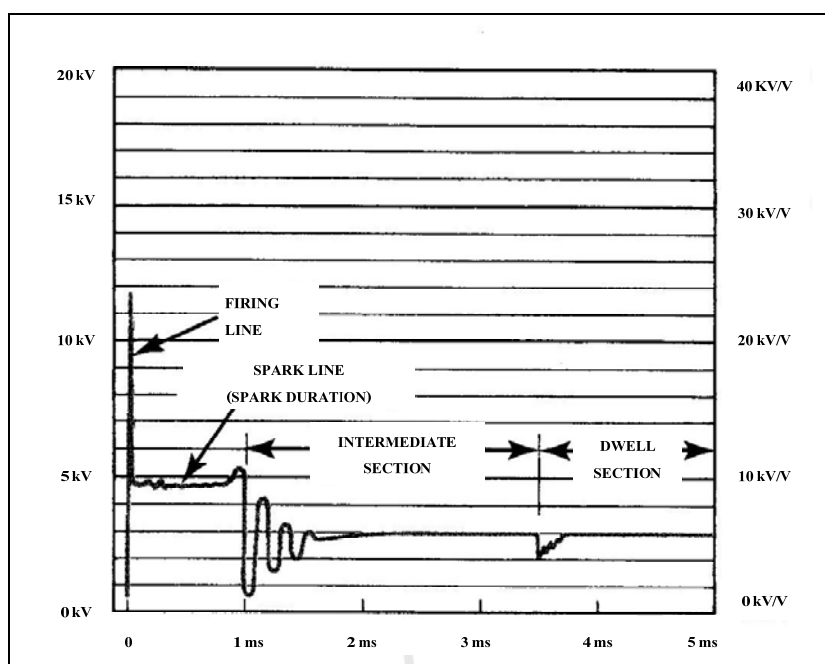
การทำงานของระบบจุดระเบิดแบบใช้ ECU ควบคุมองศาการจุดระเบิด

ขณะสตาร์ทเครื่องยนต์ จะเกิดสัญญาณกระแสสลับออกจากขดลวดกำเนิดสัญญาณ NE และ G สัญญาณนี้เป็นสัญญาณแอนะล็อก และจะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยหน่วยแปลงสัญญาณจะอยู่ภายใน ECU เนื่องจากสัญญาณที่ส่งเข้าระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะต้องเป็นสัญญาณดิจิทัลเท่านั้น จากนั้นระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ จะส่งสัญญาณการจุดระเบิด (IGT) ผ่านทรานซิสเตอร์ (TR1) ไปยังตัวช่วยจุดระเบิด ผ่านวงจรควบคุมมุมเวลา วงจรควบคุมการจุดระเบิด ผ่านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (TR2) ลงกราวด์ ขณะเดียวกัน กระแสไฟฟ้าจะผ่านขดลวดไฟฟ้าแรงต่ำและไหลผ่านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ลงกราวด์

ถ้าสัญญาณการจุดระเบิด (IGT) หยุดไหล เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (TR2) จะหยุดทำงานทำให้กระแสไฟฟ้าที่ผ่านขดลวดแรงดันต่ำหยุดด้วยในขณะเดียวกัน ก็จะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดไฟฟ้าแรงสูงขึ้นที่ขดลวดไฟฟ้าแรงสูงประมาณ 20-35 kV. ส่งไปยังหัวเทียน เพื่อจุดระเบิดส่วนผสมให้เกิดการเผาไหม้ได้กำลังงานออกมา

ทุกครั้งที่มีการจุดระเบิดเกิดขึ้น สัญญาณยืนยันการจุดระเบิด (IGF) จากตัวช่วยจุดระเบิดจะถูกส่งไปยังระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์รู้ว่าการจุดระเบิดเกิดขึ้นจริง โดยสัญญาณ IGF จะใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา

ลักษณะรูปแบบสัญญาณการจุดระเบิดที่ส่งสัญญาณไปยังจานจ่ายในการจุดระเบิดส่วนผสมดังแสดงในรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 รูปแบบสัญญาณการจุดระเบิดที่ส่งสัญญาณไปยังจานจ่าย

Firing Line เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ขดลวด Primary จะค่อย ๆ เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบขดลวดไปเหนี่ยวนำให้แผ่นแกนเหล็ก เป็นแม่เหล็กอย่างช้า ๆ เช่นกัน และสนามแม่เหล็กนี้จะไปเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นที่ขดลวด Secondary อย่างช้า ๆ จึงเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นต่ำ ๆ แต่ทันทีที่ตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ขดลวด Primary สนามแม่เหล็กที่ขดลวดและแผ่นแกนเหล็กจะยุบตัวหมดลงทันทีทันใด จึงเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นที่ขดลวด Secondary

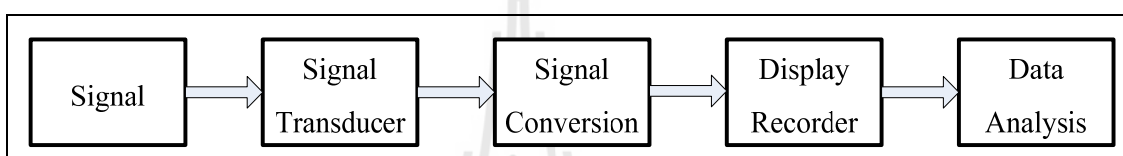
Spark Line จะเกิดขึ้นทันทีทันใดเมื่อเกิด Fring Line โดยมีการส่งผ่านแรงดันไฟฟ้าจากคอยล์จุดระเบิดไปยังหัวเทียนเพื่อให้เกิดประกายไฟ จากรูปแบบของสัญญาณ Fring Line จะแสดงให้เห็นระยะเวลาในการจุดระเบิดอยู่ระหว่าง 1 - 2 ms. โดยเวลาในการจุดระเบิดจะถูกควบคุมด้วยระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์

Intermediate Oscillation เกิดขึ้นหลังจากการจุดระเบิดสิ้นสุดลงโดยยังมีพลังงานที่ยังคงเหลือในคอยล์จุดระเบิดซึ่งพลังงานยังคงค้างอยู่ในขดลวดทุติยภูมิของคอยล์จุดระเบิด

Dwell Section เป็นช่วงเวลาที่กระแสไฟฟ้าถูกเก็บที่คอยล์จุดระเบิด

2.4 การวัด

การวัด (Measurement) เป็นพื้นฐานสำหรับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทุกสาขา การวัดเกี่ยวข้องกับอย่างใกล้ชิดกับมนุษย์ในชีวิตประจำวันเป็นกระบวนการดำเนินการพื้นฐาน เพื่อให้ได้มาซึ่งความรู้และเพื่อควบคุมระบบ การวัดนั้นจะต้องมีความรู้และความเข้าใจในเครื่องมือวัด การวัด และการวิเคราะห์สัญญาณ จากรูปที่ 2.30 แสดงแผนภาพการทำงานของระบบการวัดสัญญาณของเครื่องยนต์ โดยสัญญาณจากเครื่องยนต์ถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าด้วยทรานสดิวเซอร์ แต่สัญญาณที่ออกจากทรานสดิวเซอร์จะมีขนาดของสัญญาณน้อยมาก จึงต้องมีการปรับปรุงสัญญาณให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและลดสัญญาณรบกวน

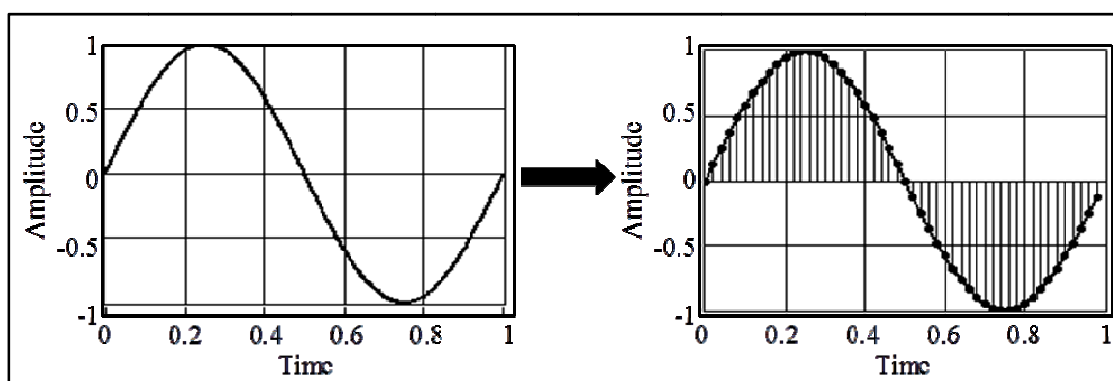


รูปที่ 2.30 แผนภาพการทำงานของระบบการวัดสัญญาณของเครื่องยนต์

สัญญาณที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์เป็นสัญญาณแบบต่อเนื่อง การวิเคราะห์สัญญาณมีความต้องการสัญญาณที่เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง จึงจำเป็นต้องมีการแปลงค่าสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog To Digital Converter, ADC) ซึ่งขั้นตอนการแปลงสัญญาณจากอะนาลอกเป็นดิจิทัลมีดังนี้

- **การสุ่มสัญญาณ (Sampling)**

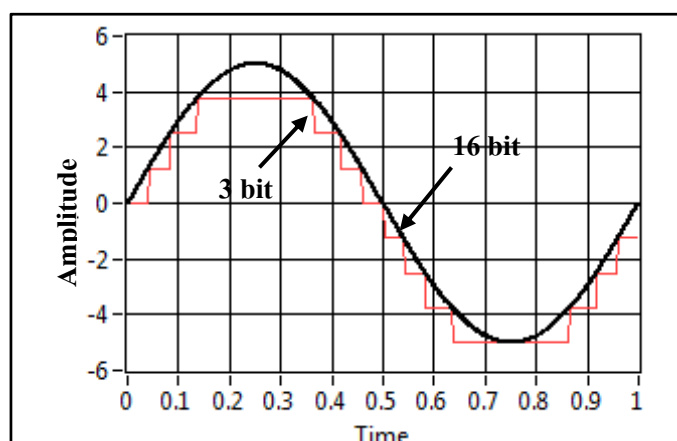
เนื่องจากคอมพิวเตอร์จะเก็บและประมวลผลข้อมูลในรูปของดิจิทัลเท่านั้น กระบวนการนี้จึงเป็นการเปลี่ยนสัญญาณอะนาลอกที่เป็นเส้นกราฟต่อเนื่องให้กลายเป็นจุดของข้อมูลดิจิทัลที่ไม่ต่อเนื่องโดยวิธีการสุ่มสัญญาณ ด้วยอัตราเร็วที่คงที่ จากรูปที่ 2.31 แสดงการแปลงรูปสัญญาณ โดยฝั่งซ้าย คือ สัญญาณอะนาลอกต้นฉบับและฝั่งขวา คือ สัญญาณที่ถูกสุ่ม จะสังเกตได้ว่าถ้ามีการสุ่มสัญญาณเร็ว จุดที่ได้จากการสุ่มจะมีความหนาแน่นมากขึ้น จะทำให้เก็บความละเอียดของกราฟได้ใกล้เคียงกับต้นฉบับมากขึ้น ความเร็วในการสุ่มสัญญาณนี้เรียกว่า อัตราการสุ่ม (Sampling rate) มีหน่วยเป็นจุดต่อวินาที หรือเฮิรตซ์ ก็ได้ แต่ความเร็วนี้จะมีข้อจำกัดอยู่ที่สัญญาณนาฬิกาของอุปกรณ์ว่าจะสามารถสุ่มได้เร็วสูงสุดเท่าไร แต่การสุ่มข้อมูลด้วยความเร็วมากเกินไป ก็ไม่ใช่สิ่งที่จำเป็น เพราะจะทำให้สิ้นเปลืองหน่วยความจำและพื้นที่ในการเก็บข้อมูล เราสามารถกำหนดอัตราการสุ่มในการแปลงสัญญาณที่เหมาะสมได้ โดยยึดตามหลักการแปลงสัญญาณที่เรียกว่า ทฤษฎีไนควิสต์ (Nyquist Theory)



รูปที่ 2.31 การแปลงรูปสัญญาณ ฟังก์ชันคือ สัญญาณอะนาลอกต้นฉบับ
และฟังก์ชาก็คือ สัญญาณที่ถูกสุ่ม

- **ความละเอียด (Resolution)**

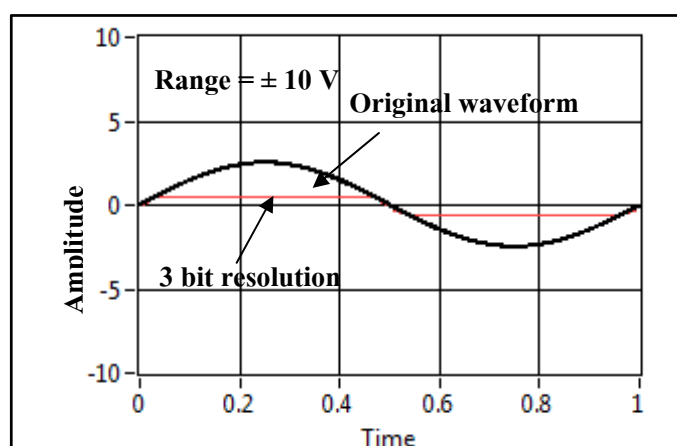
การสุ่มสัญญาณเป็นการสุ่มสัญญาณทางแกนเวลา (แกนแนวนอน) แต่สำหรับแกนตั้ง ซึ่งเป็นค่าของสัญญาณก็จะต้องทำการสุ่มเช่นกัน โดยวิธีการแปลงเป็นค่าทางดิจิทัลด้วยวิธีการปิดค่าทศนิยมขึ้นหรือลง เรียกขั้นตอนนี้ว่า ควอนไทเซชัน (quantization) หรือดิจิทัลิเซชัน (digitization) ซึ่งความละเอียดของดิจิทัลิเซชันขึ้นอยู่กับความละเอียดของ ADC ถ้ายังมีความละเอียดมากก็จะยังสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณอะนาลอกได้ละเอียดยิ่งขึ้น ซึ่งความละเอียดของ ADC จะนับเป็นจำนวนบิต ยกตัวอย่างเช่น ADC ที่มีความละเอียด 3 บิต จะสามารถแสดงระดับของสัญญาณได้ 8 ระดับ ($2^3=8$) โดยเริ่มนับจากรหัสเลขฐานสอง 000 ไปจนถึง 111 ดังรูปที่ 2.32 ซึ่งแสดงการดิจิทัลิเซชันสัญญาณโดยใช้ ADC 3 บิต ซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณที่ได้จะไม่ค่อยเหมือนต้นฉบับนัก เพราะถูกปรับค่าจนเพี้ยนไปมาก จนมองเห็นเป็นรูปขั้นบันได แต่ถ้าเราใช้ความละเอียดที่มากขึ้นก็จะได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับต้นฉบับมากขึ้น เช่น การใช้ ADC ความละเอียด 16 บิต ก็จะสามารถแสดงระดับสัญญาณได้ถึง 65536 ค่าดังแสดงในรูปที่ 2.32



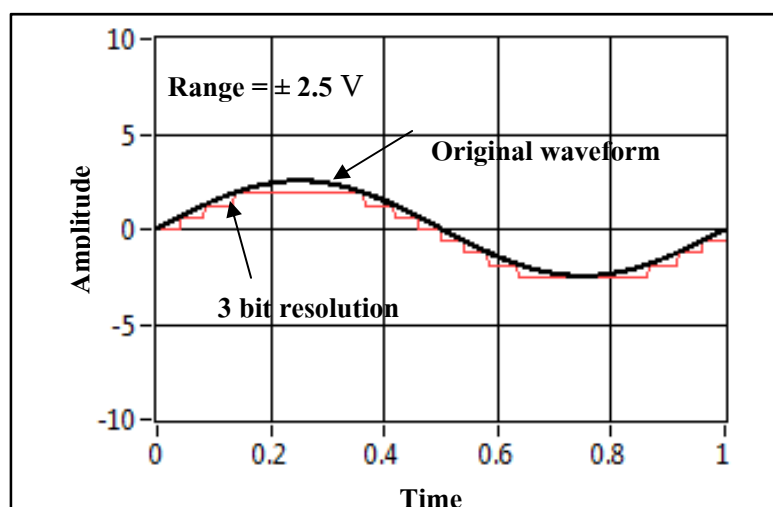
รูปที่ 2.32 การดิจิไทซ์สัญญาณโดยใช้ ADC 3 บิต และ ADC 16 บิต

- ช่วง (Range)

ช่วง คือ การกำหนดความกว้างในขั้นตอนการทำดิจิไทเซชัน เช่น ถ้าเรามี ADC ความละเอียด 3 บิต และตั้งช่วงการวัดคือ -10 V. ถึง +10 V. (peak-to-peak = 20 V.) แต่สัญญาณที่จะวัดกลับเล็กกว่านั้นมาก จะทำให้เราได้ผลลัพธ์ที่หยาบกว่าปกติ โดยจะวัดได้ระดับละ 2.5 V. คำนวณได้จากช่วงหารด้วยจำนวนระดับของ ADC ($20/8 = 2.5$) ดังรูปที่ 2.33 แต่ถ้าตั้งให้แคบลงใกล้เคียงกับระดับสัญญาณเหลือ -2.5 V ถึง +2.5 V (peak-to-peak = 5 V) เราจะสามารถดิจิไทซ์สัญญาณได้ดีขึ้น โดยวัดได้ระดับละ 0.625 V ดังแสดงในรูปที่ 2.34 ทั้งนี้การตั้งช่วงที่แคบจะสามารถตรวจวัดสัญญาณขนาดเล็กได้ดี แต่จะไม่สามารถตรวจวัดสัญญาณที่เกินระดับช่วงที่กำหนดไว้ได้



รูปที่ 2.33 ช่วงการทำดิจิไทเซชัน -10 V ถึง +10 V



รูปที่ 2.34 ช่วงการทำดิจิทัลไชนะเซน -2.5 V ถึง +2.5 V

2.5 ปรัชณัวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของการกระบวนการทำงานของเครื่องยนต์ ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดและการแสดงผลรูปแบบสัญญาณของตัวตรวจจับสัญญาณ รูปแบบสัญญาณของตัวปฏิบัติงาน โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในข้างต้น อีกทั้งยังได้ศึกษาเพิ่มเติมจากงานวิจัย บทความ และตำราต่าง ๆ ที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ซึ่งเนื้อหาต่าง ๆ ที่ได้นั้นสามารถใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ในงานวิจัยต่าง ๆ ดังนี้

Palladino (2012) ได้นำเสนอการทดสอบระบบควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดของชุดทดลองซึ่งใช้เครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 1.6 ลิตร ของ Fiat โดยระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ของdSPACE ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถจำลองการทำงานของเครื่องยนต์ เช่น การกำหนดองศาการจุดระเบิด การกำหนดองศาและปริมาณในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง โดยทำการแสดงผลการทำงานของเครื่องยนต์

Ernesto Gutierrez Gonzalez (2008) ได้นำเสนอการจำลองระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดที่มีระบบควบคุมการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (EFI) โดยทำการจำลองโมเดลของระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ตลอดจนค่าตัวแปรทางกายภาพของเครื่องยนต์และนำเสนอระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์แบบ EFI และความสัมพันธ์ของปริมาณอากาศ อุณหภูมิอากาศ ปริมาณออกซิเจนที่เกิดจากการเผาไหม้ อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น กับอัตราการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มหรือลด จะขึ้นอยู่กับสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์

Jiangyan Zhang (2010) ได้นำเสนอการควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ในขณะที่เครื่องยนต์มีอุณหภูมิเย็นเพื่อนำมาพัฒนาประสิทธิภาพของระบบการสตาร์ทของเครื่องยนต์ เช่น การควบคุมการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง การควบคุมตำแหน่งองศาลิ้นปีกผีเสื้อ และการควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้า โดยปัจจัยเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของเครื่องยนต์และอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่เครื่องยนต์

Chen Liangliang (2010) ได้นำเสนอสมการทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณระยะเวลาในการเปิดและระยะเวลาในการปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง และอธิบายกราฟการทำงานของสัญญาณการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงในการวัดการเปิดระยะเวลาในการเปิดและระยะเวลาในการปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง และการจำลองสถานการณ์การวัดการเปิดระยะเวลาในการเปิดและระยะเวลาในการปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของสมการทางคณิตศาสตร์เทียบกับการวัดจากเครื่องยนต์จริง

Luigi Glielmo (2000) ได้นำเสนอการออกแบบโครงสร้างระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด โดยทำการแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ตัวปฏิบัติการ ชุดควบคุมเครื่องยนต์ และชุดควบคุมการสั่งการ และได้นำเสนอโครงสร้างการทำงานของระบบการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ระบบการจุดระเบิด และรูปแบบสัญญาณของเพลาคือเพื่อกำหนดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและการจุดระเบิด

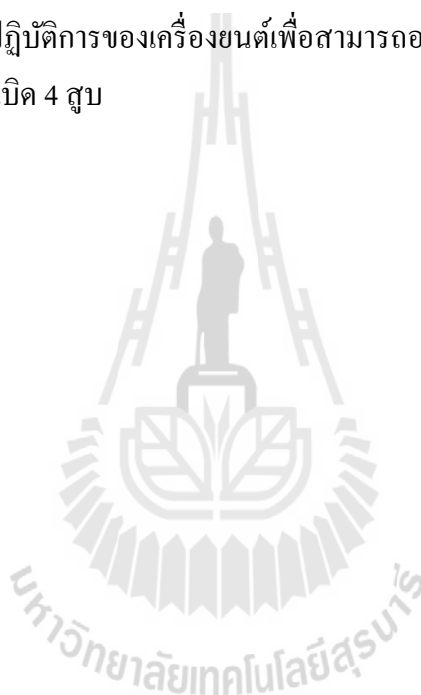
Feng Kong (2007) ได้นำเสนอการพัฒนากระบวนการวัดและระบบควบคุมอัตโนมัติเพื่อประยุกต์ใช้ในการควบคุมเครื่องยนต์ เช่น การวัดสัญญาณ การเก็บข้อมูล การส่งต่อข้อมูลระบบควบคุมกับเครื่องยนต์

Wei-bi WU (2010) ได้ทำการจำลองระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์เสมือนจริงโดยใช้อุปกรณ์ของ National Instruments Company's PXI system, Compact RIO LabVIEW โดยใช้ LabVIEW ในการออกแบบและทำการจำลองการทดสอบ AI test, DC output test, PWM output test, sine wave output test, digital switch test, PWM input test และทำการเปรียบเทียบหาค่าความผิดพลาดกับดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ออสซิลโลสโคป ขั้นตอนต่อมาคือนำข้อมูลมาวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดเพื่อนำค่าสัญญาณไปควบคุมระบบควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์

Haiping Yu (2010) ได้นำเสนอการศึกษากระบวนการควบคุมการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของรถยนต์ ในกระบวนการควบคุมฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและคำนวณหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมของหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงโดยทำการออกแบบปริมาณการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อปรับปรุงพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

2.6 สรุป

ระบบเครื่องยนต์ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาโดยการนำระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์มาควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ เช่น ระบบการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและระบบการจุดระเบิด เพื่อให้การทำงานของเครื่องยนต์มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นและประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงมากขึ้น โดยระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะทำการรับสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณต่าง ๆ เพื่อนำข้อมูลเหล่านี้มาทำการประมวลผลเพื่อสั่งการไปยังหัวฉีดน้ำมันเพื่อทำการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณที่เหมาะสมตรงตามจังหวะการทำงานและสั่งการไปยังคอยล์จุดระเบิดเพื่อทำการจุดระเบิดในระยะเวลาที่เหมาะสมตามสภาพการทำงานของเครื่องยนต์ อีกทั้งยังศึกษารูปแบบสัญญาณของตัวตรวจจับสัญญาณและตัวปฏิบัติการของเครื่องยนต์เพื่อสามารถอธิบายลักษณะการทำงานและหน้าที่ของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ



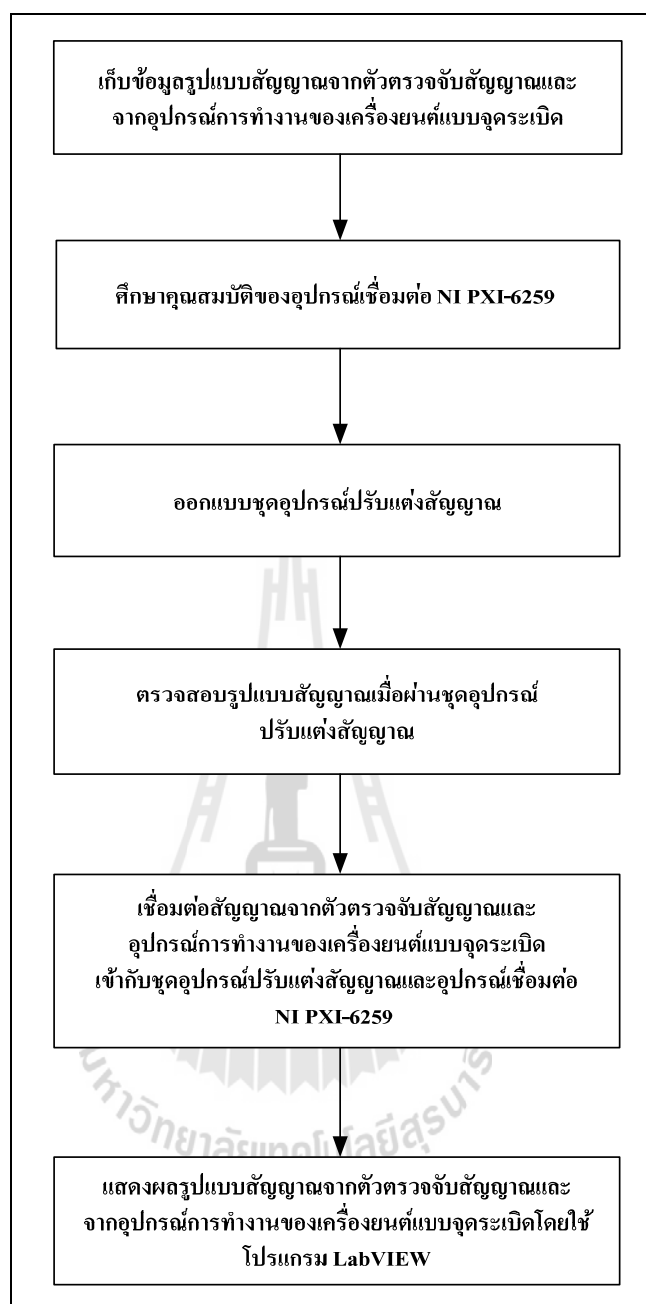
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยเพื่อสร้างชุดอุปกรณ์ทดลองเกี่ยวกับการแสดงรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor) และสัญญาณจากอุปกรณ์ทำงาน (Actuator) ของเครื่องชนิดแบบจุดระเบิด 4 สูบ เช่น สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ สัญญาณตัวตรวจจับอุณหภูมิ น้ำมัน สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวและตำแหน่งเพลาช้อเหวี่ยง สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง และสัญญาณคอยล์จุดระเบิด เพื่อนำมาศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการทำงานจากรูปแบบสัญญาณต่างๆของเครื่องชนิดแบบจุดระเบิด 4 สูบ ด้วยโปรแกรม LabVIEW ซึ่งในการควบคุมการทำงานของเครื่องชนิดแบบจุดระเบิด 4 สูบ ด้วยระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะทำการประมวลผลข้อมูลจากสัญญาณตัวตรวจจับสัญญาณ เพื่อควบคุมการทำงานในส่วนของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ระบบการจุดระเบิดและระบบการทำงานรอบเดินเบา เพื่อให้เหมาะสมกับสถานะการทำงานของเครื่องชนิดแบบจุดระเบิด ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องชนิดให้ได้กำลังที่สูงสุดและมีการตอบสนองต่อการขับขี้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังลดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงให้ต่ำลงและเกิดมลภาวะทางอากาศที่เป็นพิษจากแก๊สไอเสียน้อยที่สุด เนื่องด้วยสาเหตุที่ได้กล่าวมาข้างต้นจึงทำการศึกษาและดำเนินงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษากระบวนการทำงานของเครื่องชนิดแบบจุดระเบิด รูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor) สัญญาณจากอุปกรณ์ทำงาน (Actuator) โดยดำเนินการสร้างชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณเพื่อเชื่อมต่อสัญญาณกับชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI-6259 และดำเนินการเขียนโปรแกรม LabVIEW เพื่อแสดงรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและสัญญาณจากอุปกรณ์การทำงานของเครื่องชนิดแบบจุดระเบิด 4 สูบ เพื่อใช้ในเป็นชุดอุปกรณ์การทดลองในการเรียนการสอนในรายวิชาปฏิบัติการวิศวกรรมยานยนต์ ในส่วนของรายละเอียดของวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

3.1 แนวทางและวิธีการในการดำเนินงานวิจัย

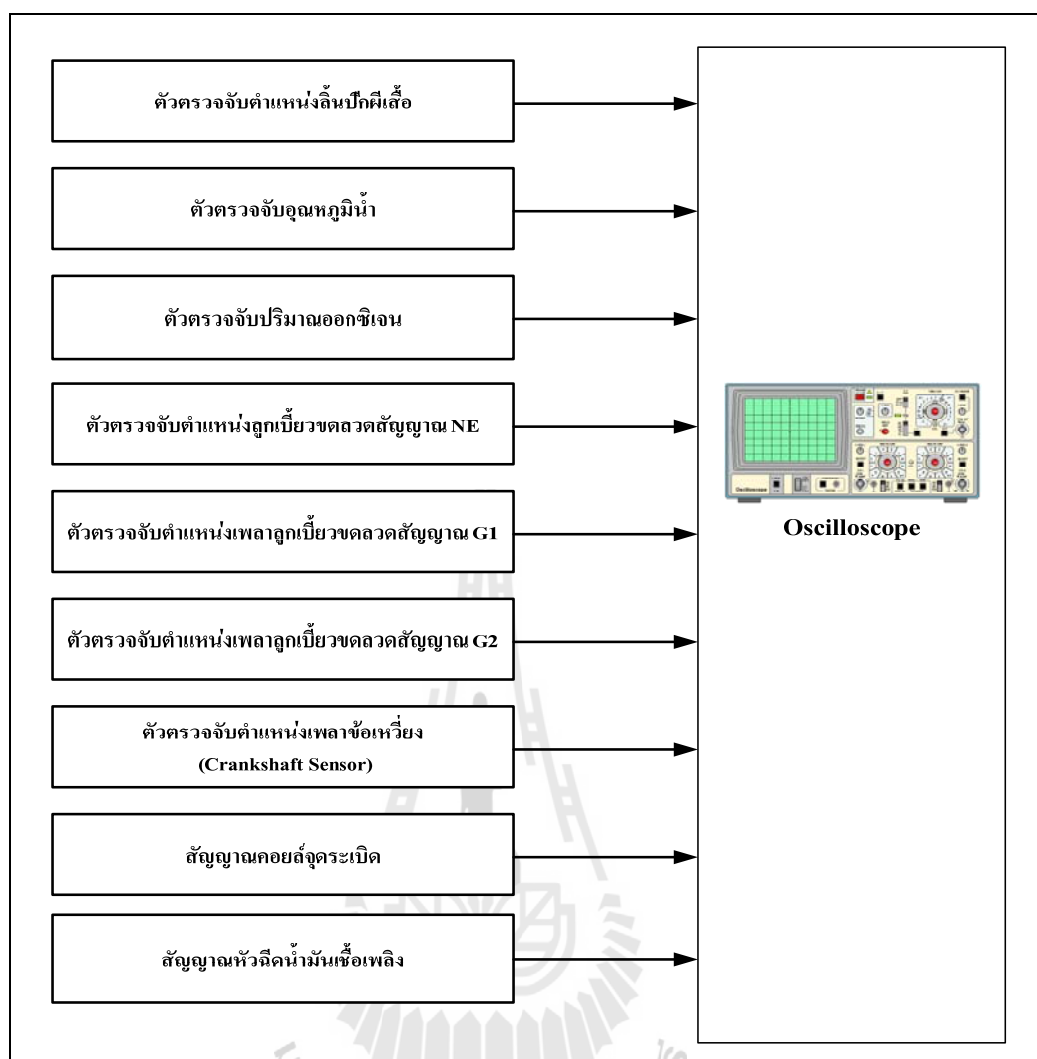
การดำเนินงานวิจัยได้แบ่งขบวนการในการดำเนินงานทั้งหมด 6 ขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.2 เก็บข้อมูลรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุลระเบิด

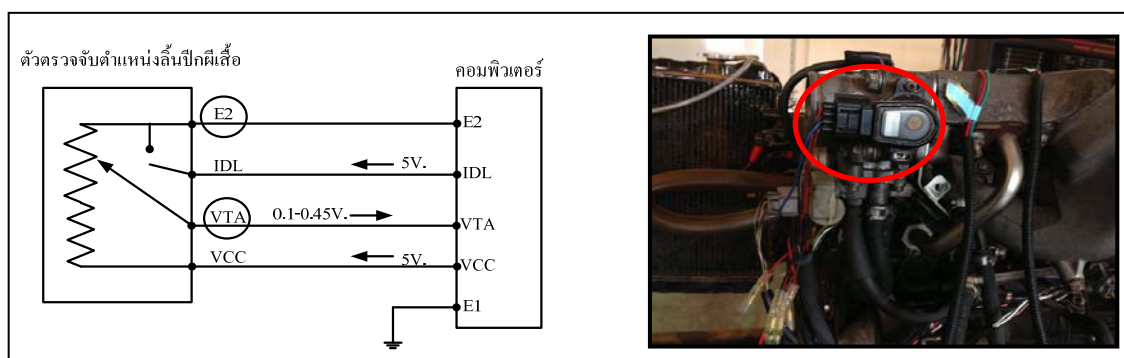
การเก็บข้อมูลรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและจากอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุลระเบิด เพื่อนำข้อมูลมาศึกษาคุณสมบัติและรูปแบบสัญญาณของตัวตรวจจับสัญญาณและสัญญาณจากอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุลระเบิดดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วิธีการดำเนินการเก็บข้อมูลรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงาน

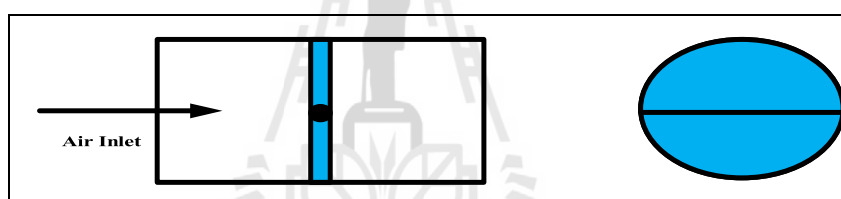
3.2.1 สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ

สัญญาณตัวตรวจจับสัญญาณตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ ทำหน้าที่บอกตำแหน่งองศาการเปิดลิ้นปีกผีเสื้อเพื่อบอกภาระโหลดของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด ซึ่งในการวัดข้อมูลสัญญาณจะใช้เครื่องมือในการวัดคือ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ โดยทำการวัดที่ตำแหน่งขั้ว VTA กับ E2 ดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยค่าที่ได้จากการวัดออกมาเป็นค่า Analog Output ซึ่งมีค่าแรงดันไฟฟ้า 0 - 4.5 V. เปรียบเทียบกับตำแหน่งองศาลิ้นปีกผีเสื้อที่ 0 จนถึง 90 องศา โดยทำการเพิ่มตำแหน่งองศาลิ้นปีกผีเสื้อครั้งละ 10 องศา เพื่อนำมาเปรียบวัดตำแหน่งองศาลิ้นปีกผีเสื้อเปรียบเทียบกับค่าแรงดันไฟฟ้าเพื่อหาสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น

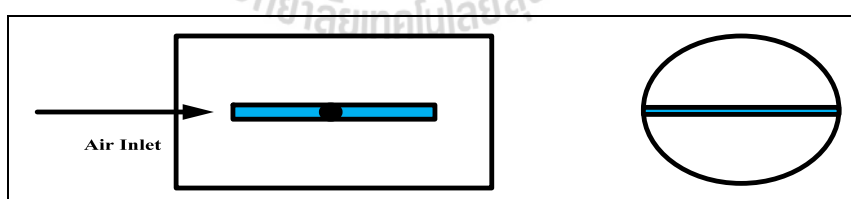


รูปที่ 3.3 ตำแหน่งการวัดแรงดันไฟฟ้าของตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ

ทำการเปรียบเทียบวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งองศาลิ้นปีกผีเสื้ออยู่ในตำแหน่ง ปิดที่ 0 องศาจนถึงตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดสุดที่ 90 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อที่ 0 องศา



รูปที่ 3.5 ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อที่ 90 องศา

วิธีการในการเปรียบเทียบวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากับตำแหน่งองศาลิ้นปีกผีเสื้อ โดยทำการปรับตำแหน่งองศาลิ้นปีกผีเสื้อครั้งละ 1 องศา จนถึง 20 องศา หลังจาก 20 องศา ทำการปรับตำแหน่งองศาลิ้นปีกผีเสื้อครั้งละ 5 องศา จนถึงตำแหน่งที่ 90 องศา จำนวนครั้งในการเปรียบเทียบตำแหน่งองศาลิ้นปีกผีเสื้อละ 5 ครั้ง เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการเปรียบเทียบมาหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเปรียบเทียบ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

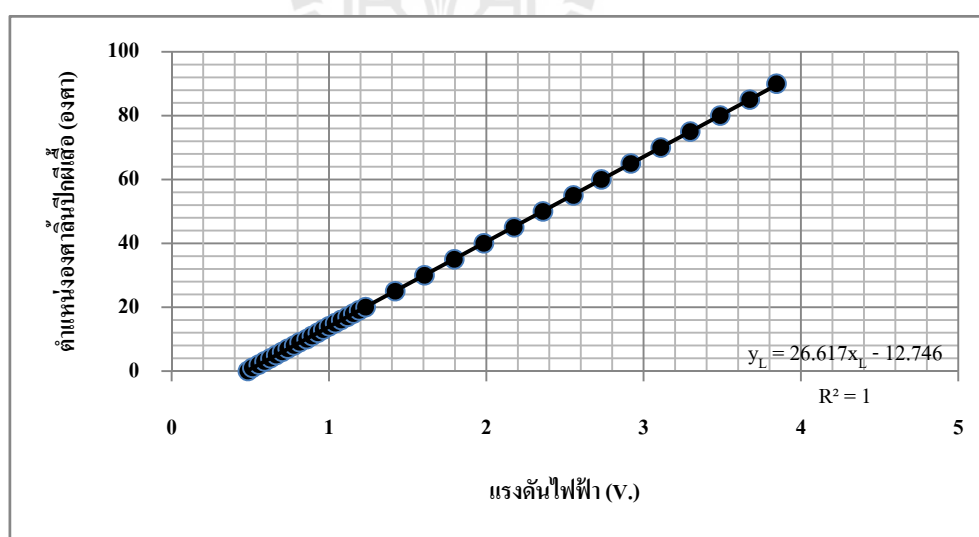
ตารางที่ 3.1 แสดงตำแหน่งองศาเส้นปีกผีเสื้อต่อแรงดันไฟฟ้า

องศาเส้น ปีกผีเสื้อ	แรงดันไฟฟ้า (V)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย	S.D.
0	0.486	0.484	0.485	0.485	0.484	0.485	0.001
1	0.516	0.514	0.513	0.512	0.513	0.514	0.002
2	0.558	0.552	0.554	0.555	0.553	0.554	0.002
3	0.590	0.587	0.590	0.596	0.592	0.591	0.003
4	0.626	0.625	0.628	0.627	0.633	0.628	0.003
5	0.666	0.662	0.666	0.665	0.664	0.665	0.002
6	0.700	0.703	0.705	0.700	0.706	0.703	0.003
7	0.738	0.739	0.738	0.738	0.740	0.739	0.001
8	0.778	0.776	0.778	0.780	0.780	0.778	0.002
9	0.814	0.812	0.812	0.815	0.816	0.814	0.002
10	0.860	0.858	0.862	0.857	0.855	0.858	0.003
11	0.898	0.891	0.891	0.890	0.890	0.892	0.003
12	0.927	0.930	0.929	0.930	0.930	0.929	0.001
13	0.965	0.965	0.960	0.963	0.966	0.964	0.002
14	0.486	0.484	0.485	0.485	0.484	0.485	0.001
15	1.041	1.039	1.040	1.040	1.038	1.040	0.001
16	1.080	1.078	1.077	1.078	1.076	1.078	0.001
17	1.121	1.117	1.118	1.118	1.118	1.118	0.002
18	1.157	1.156	1.157	1.153	1.154	1.155	0.002
19	1.188	1.191	1.189	1.196	1.195	1.192	0.004
20	1.233	1.231	1.239	1.230	1.230	1.233	0.004
25	1.417	1.425	1.419	1.421	1.422	1.421	0.003
30	1.600	1.618	1.607	1.607	1.605	1.607	0.007
35	1.795	1.795	1.800	1.801	1.795	1.797	0.003
40	1.982	1.981	1.989	1.982	1.990	1.985	0.004
45	2.173	2.178	2.178	2.178	2.178	2.177	0.002
50	2.359	2.359	2.361	2.356	2.365	2.360	0.003

ตารางที่ 3.1 แสดงตำแหน่งองศาเส้นปีกผีเสื้อต่อแรงดันไฟฟ้า (ต่อ)

องศาเส้น ปีกผีเสื้อ	แรงดันไฟฟ้า (V)						S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย	
55	2.557	2.567	2.552	2.542	2.553	2.554	0.009
60	2.734	2.720	2.734	2.731	2.739	2.732	0.007
65	2.917	2.920	2.921	2.924	2.914	2.919	0.004
70	3.107	3.111	3.111	3.109	3.107	3.109	0.002
75	3.296	3.308	3.293	3.290	3.297	3.297	0.007
80	3.484	3.491	3.483	3.488	3.490	3.487	0.004
85	3.679	3.668	3.668	3.670	3.688	3.675	0.009
90	3.850	3.853	3.842	3.835	3.845	3.845	0.007

จากข้อมูลของการเปรียบเทียบในตารางที่ 3.1 สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นของระหว่างตำแหน่งองศาเส้นปีกผีเสื้อกับค่าแรงดันไฟฟ้างแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งองศาเส้นปีกผีเสื้อกับแรงดันไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.6 จะได้สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นของการเปรียบเทียบตำแหน่งองศาเส้นปีกผีเสื้อกับค่าแรงดันไฟฟ้างดังนี้

$$y_L = 26.617x_L - 12.746 \quad (3.1)$$

การวิเคราะห์กระบวนการทางกรวัดโดยการหาค่า Maximum Hysteresis Error ของการเปรียบวัดตำแหน่งองศาเส้นปีกผีเสื้อกับค่าแรงดันไฟฟ้า ดังสมการที่ 3.2

$$\text{Maximum Hysteresis Error} = \frac{E_{L\max}}{\text{rank}} \times 100 \quad (3.2)$$

ตารางที่ 3.2 หาค่าความคลาดเคลื่อนของการเปรียบวัดตำแหน่งองศาเส้นผีเสื้อกับแรงดันไฟฟ้า

ตำแหน่งองศาเส้นปีกผีเสื้อ (องศา)	ค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้า ที่อ่านได้ (V.)	ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ จากการคำนวณ (V.)	ค่าความคลาด เคลื่อนเชิง เส้น (%)
0	0.485	0.479	1.224
1	0.514	0.516	0.552
2	0.554	0.554	0.071
3	0.591	0.592	0.098
4	0.628	0.629	0.215
5	0.665	0.667	0.319
6	0.703	0.704	0.212
7	0.739	0.742	0.441
8	0.778	0.779	0.132
9	0.814	0.817	0.393
10	0.858	0.855	0.447
11	0.892	0.892	0.015
12	0.929	0.930	0.055
13	0.964	0.967	0.361
14	0.485	1.005	0.404
15	1.040	1.042	0.271
16	1.078	1.080	0.203
17	1.118	1.118	0.075
18	1.155	1.155	0.024

ตารางที่ 3.2 หาค่าความคลาดเคลื่อนของการเปรียบวัดตำแหน่งองศาเส้นผีเสื้อกับแรงดันไฟฟ้า (ต่อ)

ตำแหน่งองศาเส้นผีเสื้อ (องศา)	ค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้า ที่อ่านได้ (V.)	ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ จากการคำนวณ (V.)	ค่าความคลาด เคลื่อนเชิง เส้น (%)
19	1.192	1.193	0.075
20	1.233	1.230	0.189
25	1.421	1.418	0.189
30	1.607	1.606	0.089
35	1.797	1.794	0.188
40	1.985	1.982	0.158
45	2.177	2.170	0.344
50	2.360	2.357	0.112
55	2.554	2.545	0.352
60	2.732	2.733	0.054
65	2.919	2.921	0.059
70	3.109	3.109	0.008
75	3.297	3.297	0.006
80	3.487	3.484	0.078
85	3.675	3.672	0.062
90	3.845	3.860	0.394
ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด (E_{Lmax})			1.224

จากตารางที่ 3.2 สามารถนำมาคำนวณหาค่า Maximum Hysteresis Error โดยใช้สมการที่ 3.2 ในการคำนวณ ซึ่งจะมีค่า Maximum Hysteresis Error เท่ากับ 1.360%

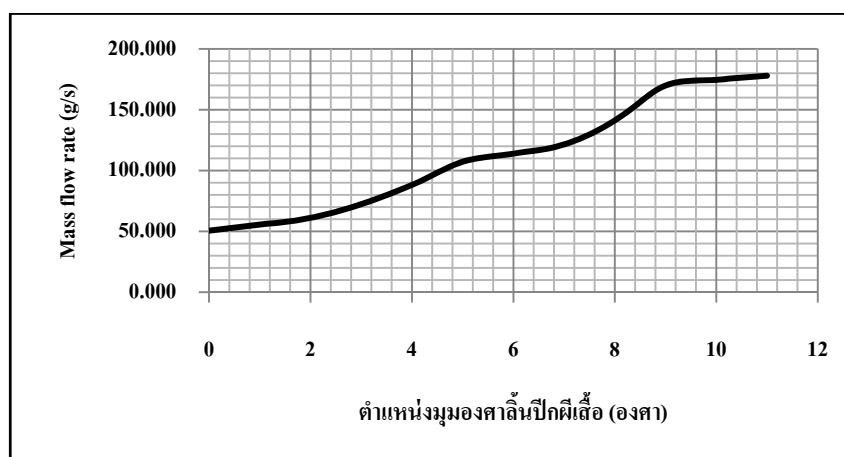
การเปรียบวัดตำแหน่งองศาเส้นผีเสื้อกับอัตราการไหลของอากาศ

โดยทำการเปรียบวัดตำแหน่งองศาเส้นผีเสื้อกับอัตราการไหลของอากาศในสถานะไม่มีไหลดมากระทำกับเครื่องชั่งโดยทำการปรับตำแหน่งองศาเส้นผีเสื้อครั้งละ 1 องศา จนถึง 11 องศา จำนวนองศาเส้นผีเสื้อละ 5 ครั้ง โดยมีพื้นที่หน้าตัดของเส้นผีเสื้อ (A) เท่ากับ 0.024 m^2 และมีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (c_d) เท่ากับ 0.6 ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การเปรียบเทียบตำแหน่งองศาเส้นปีกผีเสื้อกับอัตราการไหลของอากาศในสถานะไม่มี
โหลดมากระทำกับเครื่องยนต์

มุมมองศา เส้นปีก ผีเสื้อ	V(1) m/s	V(2) m/s	V(3) m/s	V(4) m/s	V(5) m/s	ค่าเฉลี่ย V m/s	อัตรา การไหล ของ อากาศ (m ³ /s)	Mass flow rate (g/s)
0	3.000	3.100	2.900	3.100	3.000	3.020	0.043	50.620
1	3.200	3.500	3.400	3.300	3.200	3.320	0.048	55.649
2	3.700	3.700	3.600	3.500	3.700	3.640	0.052	61.012
3	4.300	4.300	4.100	4.400	4.500	4.320	0.062	72.410
4	5.000	5.400	5.300	5.500	5.100	5.260	0.076	88.166
5	6.200	6.600	6.400	6.700	6.100	6.400	0.092	107.274
6	6.700	6.800	7.000	6.900	6.600	6.800	0.098	113.979
7	7.300	7.200	7.400	7.100	7.200	7.240	0.104	121.354
8	8.500	8.400	8.300	8.400	8.500	8.420	0.121	141.133
9	10.200	10.100	10.000	10.200	10.200	10.140	0.146	169.963
10	10.500	10.200	10.400	10.500	10.500	10.420	0.150	174.656
11	10.600	10.500	10.700	10.700	10.600	10.620	0.153	178.008

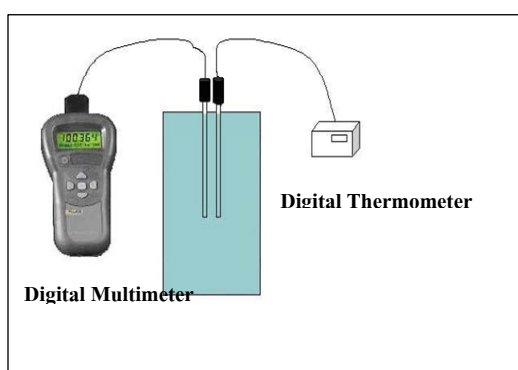
จากข้อมูลของการเปรียบเทียบในตารางที่ 3.3 สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง
ตำแหน่งองศาเส้นปีกผีเสื้อกับ Mass flow rate ในสถานะไม่มีโหลดมากระทำกับเครื่องยนต์ ดังแสดง
ในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งองศาลิ้นปีกผีเสื้อกับ Mass flow rate ในสถานะไม่มีไหลมากกระทำกับเครื่องยนต์

3.2.2 สัญญาณตัวตรวจจับอุณหภูมิ (Water Temperature Sensor)

ตัวตรวจจับอุณหภูมิ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิหล่อเย็นของเครื่องยนต์โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของโลหะซึ่งค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงโดยจะมีค่าลดลงตามอุณหภูมิ ค่าความต้านทานไฟฟ้าของโลหะที่ลดลงนี้เรียกว่า “สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบลบ (Negative Temperature Coefficient : NTC) หรือเรียกว่า Thermistor” ซึ่งถูกติดตั้งไว้ที่บริเวณช่องทางออกของน้ำหล่อเย็นเครื่องยนต์ ในการเปรียบเทียบข้อมูลสัญญาณจะใช้เครื่องมือในการวัดคือ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ และ Digital Thermometer โดยทำการวัดที่ตำแหน่งขั้วสัญญาณของตัวตรวจจับอุณหภูมิ เพื่อวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าเปรียบเทียบกับอุณหภูมิของน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 วิธีการเปรียบเทียบวัดอุณหภูมิและตำแหน่งในการเปรียบเทียบวัดอุณหภูมิ

โดยทำการเปรียบเทียบวัดอุณหภูมิน้ำทั้งหมด 3 อุณหภูมิ โดยใช้สมการความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าความต้านไฟฟ้า ซึ่งเป็นสมการความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น ของ Steinhart-Hart Equation ในการเปรียบเทียบวัดอุณหภูมิกับค่าความต้านไฟฟ้า ดังสมการที่ 3.3

$$\frac{1}{T} = A + B \ln(R) + C(\ln(R))^3 \quad (3.3)$$

โดยทำการเลือกอุณหภูมิที่อยู่ในช่วงการทำงานของเครื่องชนิดแบบจุดระเบิดที่ 30 – 80 °C เปรียบเทียบกับค่าความต้านทานไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่หล่อเย็นและค่าความต้านไฟฟ้า

อุณหภูมิ (°C)	ค่าความต้านทานไฟฟ้า(Ω)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย	S.D.
30	288.960	280.310	279.670	285.340	275.130	281.882	5.362
60	228.610	226.430	230.890	215.570	235.780	227.456	7.495
80	181.790	179.090	180.350	187.230	175.460	180.784	4.300

จากตารางที่ 3.4 นำค่าความต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยของแต่ละอุณหภูมิมาหาค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปรของสมการ Steinhart-Hart Equation ในสมการที่ 3.3 จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปร ดังนี้

$$A = 0.02628 \quad B = -0.00697 \quad C = 0.00009$$

การวิเคราะห์กระบวนการวัด โดยการหาค่า Maximum Hysteresis Error ของการเปรียบเทียบตำแหน่งอุณหภูมิกับค่าความต้านทานไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 3.4

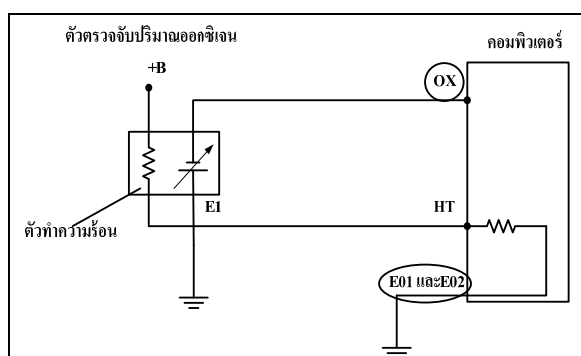
ตารางที่ 3.5 หาความคลาดเคลื่อนของการเปรียบวัดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น

อุณหภูมิ (°C)	ค่าความต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยที่อ่านได้ (Ω)	ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ได้จากสมการที่ 3.2 (Ω)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
30	281.882	282.494	0.217
60	227.456	235.784	3.661
80	180.784	203.869	12.769
ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ($E_{\max}$)			12.769

จากตารางที่ 3.4 สามารถนำมาคำนวณหาค่า Maximum Hysteresis Error โดยใช้สมการที่ 3.2 ในการคำนวณ ซึ่งจะมีค่า Maximum Hysteresis Error เท่ากับ 25.539%

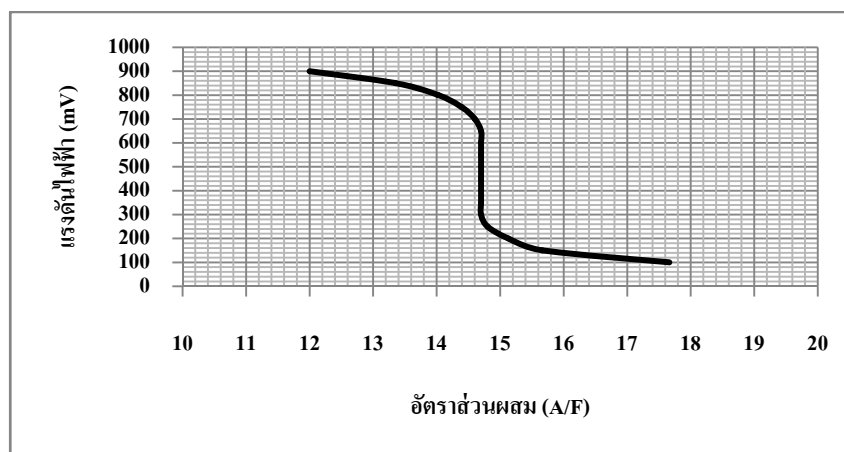
3.2.3 สัญญาณตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน

ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในแก๊สไอเสียเพื่อส่งสัญญาณให้ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์เพื่อปรับระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้ได้อัตราส่วนผสมอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงตรงตามทฤษฎี (14.7:1) ในการเปรียบวัดข้อมูลสัญญาณของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนซึ่งเป็นแบบใช้สารเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ในการปริมาณออกซิเจน ในการเปรียบวัดข้อมูลสัญญาณจะใช้เครื่องมือในการวัดคือ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ โดยทำการวัดที่ตำแหน่งขั้ว OX กับ E01 ดังแสดงในรูปที่ 3.9 เพื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเทียบกับอัตราส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิง โดยแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะอยู่ในช่วงประมาณ 100 mV. – 900 mV. ซึ่งจะแปรผันตามปริมาณของออกซิเจนในแก๊สไอเสีย



รูปที่ 3.9 ตำแหน่งการวัดของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน

ทำการวัดเปรียบวัดอัตราส่วนผสมอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงกับค่าแรงดันไฟฟ้า
 ดังแสดงในรูปที่ 3.10



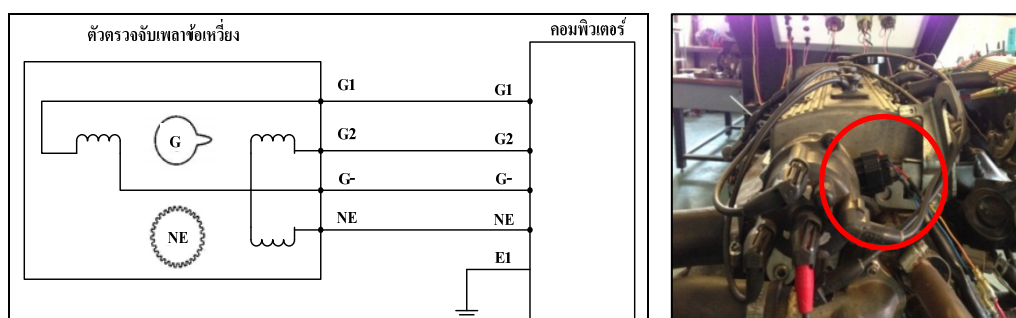
รูปที่ 3.10 ส่วนผสมอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงกับค่าแรงดันไฟฟ้า

ในการทำงานของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนที่เกิดจากการสันดาปภายในว่ามี
 ปริมาณออกซิเจนมากหรือน้อย สามารถอธิบายได้ดังนี้

- ถ้าแรงดันไฟฟ้ามีค่าประมาณ 450 mV. แสดงว่าส่วนผสมของอากาศกับน้ำมัน
 เชื้อเพลิงใกล้เคียงกับทฤษฎี (ประมาณ 14.7:1)
- ถ้าแรงดันไฟฟ้ามีค่ามากกว่า 450 mV. แสดงว่าอัตราส่วนผสมหนา (ในแก๊ส
 ไอเสียมีปริมาณออกซิเจนน้อย)
- ถ้าแรงดันไฟฟ้ามีค่าน้อยกว่า 450 mV. แสดงว่าอัตราส่วนผสมบาง (ในแก๊ส
 ไอเสียมีปริมาณออกซิเจนมาก)

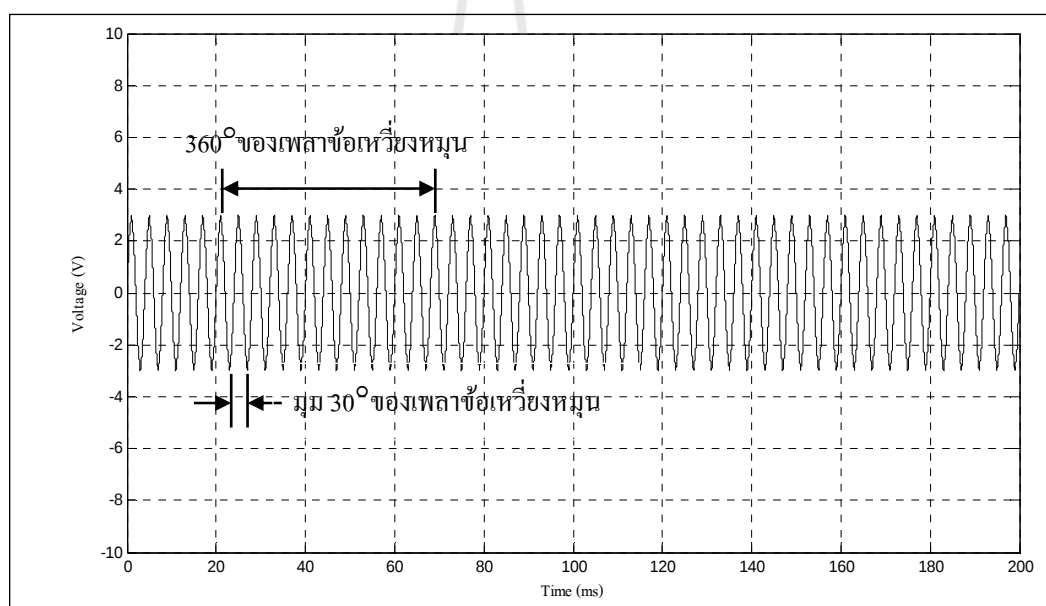
3.2.4 สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยว

สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวจะมีหน้าที่ส่งสัญญาณวัดความเร็วรอบ
 เครื่องยนต์และวัดตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวเปรียบเทียบกับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวเพื่อควบคุมจังหวะ
 การฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและจังหวะการจุดระเบิด โดยสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวได้ทำ
 การแบ่งขดลวดสัญญาณออกเป็น 2 ขดลวดสัญญาณ คือ ขดลวดสัญญาณ NE ใช้เป็นสัญญาณวัด
 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ และขดลวดสัญญาณ G ใช้เป็นสัญญาณในควบคุมการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง
 และจังหวะการจุดระเบิด ในการวัดข้อมูลสัญญาณจะใช้เครื่องมือในการวัดคือออสซิลโคป
 ในการวัดของขดลวดสัญญาณ NE ทำการวัดสัญญาณที่ตำแหน่ง NE กับ G- และในส่วนของการวัด
 สัญญาณ G ทำการวัดสัญญาณที่ตำแหน่ง G1 กับ G- และ G2 กับ G- ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ตำแหน่งการวัดตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยว

รูปแบบสัญญาณของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ NE ดังแสดงในรูปที่ 3.12



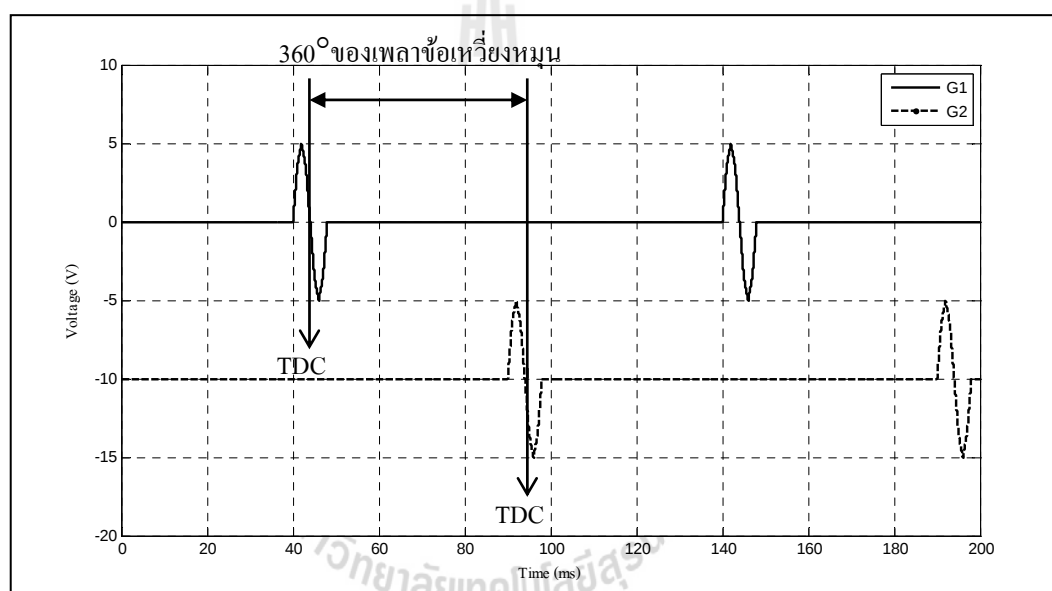
รูปที่ 3.12 รูปแบบสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ NE

รูปแบบสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ NE มีหน้าที่ส่งสัญญาณความเร็วรอบเครื่องยนต์และบอกตำแหน่งของเพลาลูกเบี้ยวไปยังระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อคำนวณหาความเร็วรอบของเครื่องยนต์จากสัญญาณของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ NE จะเป็นสัญญาณแบบอนาล็อกที่มีลักษณะเป็นลูกคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับซึ่งจะมีความถี่ของสัญญาณที่มีความแตกต่างกันตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ในแต่ละความเร็วรอบ จากเหตุผลที่ได้กล่าวขึ้นต้นจะต้องหาความถี่ (f) ของลูกคลื่นกระแสไฟฟ้า

สลับเพื่อนำมาหาเวลาของคาบ (T) จากรูปที่ 3.12 แสดงให้เห็นว่าลูกคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับจำนวน 12 ลูกคลื่น จะมีค่าเท่ากับ เฟลาข้อเหวี่ยงหมุนครบ 360 องศา ซึ่งจะสามารถหาความเร็วรอบของเครื่องยนต์ได้ดังสมการที่ 3.3

$$N = \frac{60}{12T} \text{ (rpm)} \quad (3.3)$$

รูปแบบสัญญาณของตัวตรวจตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ G (G1,G2) ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 รูปแบบสัญญาณของตัวตรวจตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ G (G1,G2)

รูปแบบสัญญาณของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ G (G1,G2) ทำหน้าที่ส่งสัญญาณบอกตำแหน่งการหมุนมาตรฐานของเพลาลูกเหวี่ยง เพื่อเป็นข้อมูลในการประมวลผลด้วยระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์เพื่อควบคุมการจุดระเบิด ควบคุมการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง และควบคุมรอบเดินเบา ของการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ ซึ่งจะใช้สัญญาณนี้ในการอ้างอิงตำแหน่งศูนย์ตายบน (TDC) ของลูกสูบในกระบอกสูบที่ 1 และ 4 เพื่อกำหนดจังหวะในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและจังหวะจุดระเบิดให้ตรงตามจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดและสอดคล้องกันในแต่ละสูบ

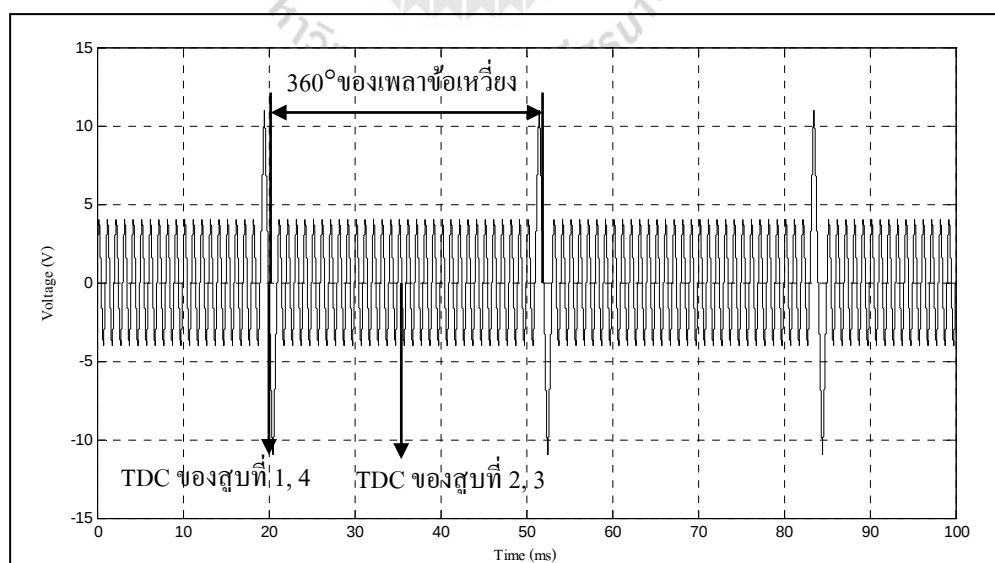
3.2.5 สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยง (Crankshaft Sensor)

สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยงจะมีลักษณะการทำงานเหมือนกันตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคือ ส่งสัญญาณความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่แท้จริง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในประมวลผลของระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ในการกำหนดองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและจังหวะการจุดระเบิด ในการวัดข้อมูลของสัญญาณจะใช้เครื่องมือในการวัดคือ ออสซิลโลสโคป โดยทำการวัดที่ตำแหน่งของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยง ดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ตำแหน่งการวัดตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยง (Crankshaft Sensor)

รูปแบบสัญญาณที่วัดจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยง

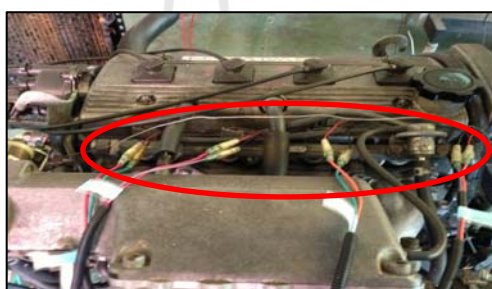


รูปที่ 3.15 รูปแบบสัญญาณของตัวตรวจจับมุมเพลาคือเหวี่ยง (Crankshaft Sensor)

รูปแบบสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหียง (Crankshaft Sensor) มีหน้าที่การทำงานเหมือนกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยว (ขดลวดสัญญาณ G) ซึ่งใช้อ้างอิงตำแหน่งเพลาคือเหียง เพื่อควบคุมจังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง และจังหวะการจุดระเบิดให้ตรงตามจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดและสอดคล้องกันในแต่ละสูบ

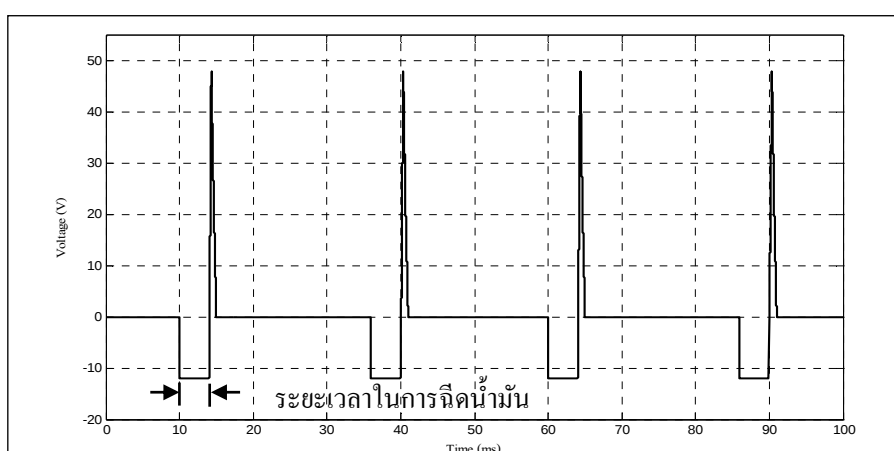
3.2.6 สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงมีหน้าที่ในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงโดยรับค่าสัญญาณจากระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อควบคุมระยะเวลาและปริมาณในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง โดยระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะประมวลผลค่าสัญญาณจากตัวตรวจจับต่างๆเพื่อกำหนดระยะเวลาและปริมาณในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งในการวัดข้อมูลสัญญาณจะใช้เครื่องมือในการวัดคือ ออสซิลโลสโคป โดยทำการวัดในตำแหน่งของหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบ ดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 ตำแหน่งการวัดสัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

รูปแบบสัญญาณการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง



รูปที่ 3.17 ข้อมูลรูปแบบสัญญาณของหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

สัญญาณของหัวฉีดจะทำงานการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงน้ำมัน 2 ครั้งต่อหนึ่งรอบการทำงานของเครื่องยนต์ซึ่งจะเป็นการฉีดตามลำดับการทำงานของเครื่องยนต์ โดยอ้างอิงตำแหน่งการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจากสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวและเพลาช้อเหวี่ยง

ในส่วนของระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกทำการประมวลผลด้วยระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จากสัญญาณตัวตรวจจับสัญญาณต่างๆเพื่อกำหนดระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้ตรงกับสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด

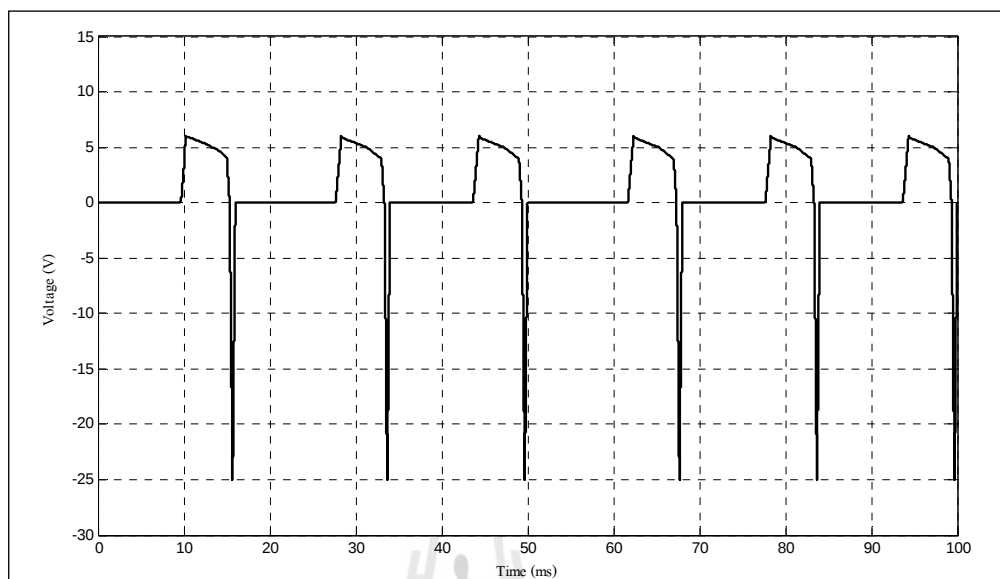
3.2.7 สัญญาณคอยล์จุดระเบิด

สัญญาณคอยล์จุดระเบิดมีหน้าจ่ายไฟฟ้าที่มีแรงดันสูงส่งไปยังหัวเทียนทำให้เกิดประกายไฟในกระบอกสูบ โดยสัญญาณในการจุดระเบิดจะถูกควบคุมโดยระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ จะทำการประมวลผลจากสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณต่างๆเพื่อกำหนดองศาที่ดีที่สุดในการจุดระเบิด ในการวัดข้อมูลสัญญาณจะใช้เครื่องมือในการวัดคือ ออสซิลโลสโคป โดยทำการวัดในตำแหน่งของคอยล์จุดระเบิด ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ตำแหน่งการวัดสัญญาณคอยล์จุดระเบิด

รูปแบบสัญญาณที่วัดจากคอยล์กระแสเปิด



รูปที่ 3.19 ข้อมูลรูปแบบสัญญาณคอยล์กระแสเปิด

สัญญาณคอยล์กระแสเปิดเป็นสัญญาณที่ถูกควบคุมด้วยระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะทำให้การประมวลผลข้อมูลจากจากตัวตรวจจับสัญญาณต่างๆเพื่อกำหนดองศากระแสเปิดโดยจะอ้างอิงกับสัญญาณตัวตรวจจับเพลาลูกเบี้ยวและเพลาช้อเหวี่ยง เพื่อส่งสัญญาณการกระแสเปิดไปยังหัวเทียนกระแสเปิด

3.2.8 สรุปค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดของสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดในการทำงาน

จากการเก็บข้อมูลรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและสัญญาณจากอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด เพื่อหาช่วงของค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุด โดยแสดงในตารางที่ 3.6 เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ในขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 3.6 สรุปค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดของรูปแบบสัญญาณของตัวตรวจจับและสัญญาณอุปกรณ์การทำงานของเครื่องชนิดแบบจุลระเบิดที่รอบการทำงานสูงสุด

ชนิดของสัญญาณ	แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด (V)	แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V)
ตัวตรวจจับตำแหน่งลื่นปีกผีเสื้อ	0.5	4.5
ตัวตรวจจับอุณหภูมิ	-	-
ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน	0.1	0.9
ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลากลูกเบี้ยวควบคุมสัญญาณ NE	-10	10
ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลากลูกเบี้ยวควบคุมสัญญาณ G1&G2	-10	10
ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาช้อเหวี่ยง	-15	15
หัวฉีดประจำสูบ	12	60
คอยล์จุลระเบิด	-100	12

หมายเหตุ : เนื่องจากสัญญาณตัวตรวจจับอุณหภูมิหล่อเย็นข้อมูลที่วัดออกมาเป็นค่าความต้านทานไฟฟ้า

3.3 ศึกษาคุณสมบัติของอุปกรณ์เชื่อมต่อ

ศึกษาคุณสมบัติของอุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI-6259 เพื่อนำมาออกแบบชุดปรับแต่งสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 อุปกรณ์เชื่อมต่อของ NI PXI-6259

คุณสมบัติของ NI PXI-6259

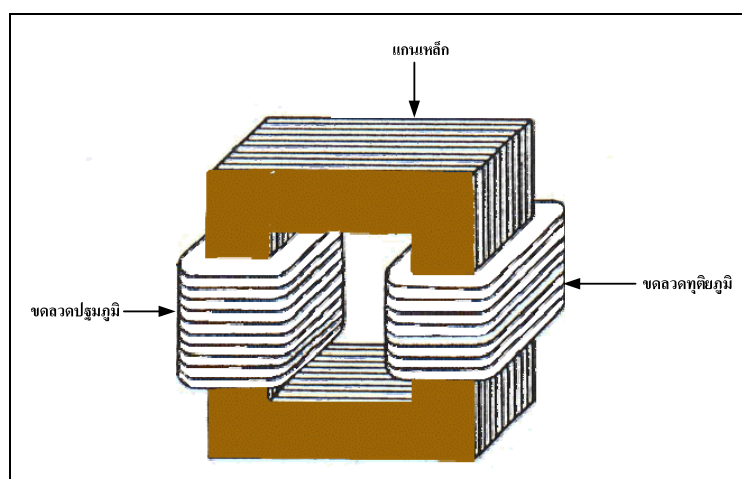
- 16-Bit, 1 MS/s (Multichannel), 1.25 MS/s (1-Channel), 32 Analog Inputs
- Four 16-bit analog outputs (2.8 MS/s); 48 digital I/O; 32-bit counters
- Correlated DIO (32 clocked lines, 10 MHz); analog and digital triggering
- 7 programmable input ranges (± 100 mV to ± 10 V) per channel
- Two 32-bit, 80 MHz counter/timers
- Analog and digital triggering

จากการศึกษาคุณสมบัติข้างต้นของ NI PXI - 6259 สามารถรับแรงดันไฟฟ้าของช่องสัญญาณอินพุตของ NI PXI - 6259 อยู่ระหว่าง ± 100 mV ถึง ± 10 V จากการเก็บข้อมูลรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและจากอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์ จากขั้นตอนที่ได้กล่าวมาในตารางที่ 3.5 แสดงให้เห็นว่ารูปแบบสัญญาณที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าเกินช่วงการทำงานของอุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI-6259 ในช่องสัญญาณอินพุต คือ สัญญาณตัวจับเพลลาข้อเหวี่ยง (Crankshaft Sensor) สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและสัญญาณคอยล์จุดระเบิด จึงต้องทำการออกแบบชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วงการทำงานในช่องสัญญาณอินพุตของอุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI-6259

3.4 ออกแบบชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณ

เนื่องจากสัญญาณเป็นรูปแบบสัญญาณต่อเนื่องในการออกแบบชุดปรับแต่งสัญญาณเพื่อลดแรงดันไฟฟ้าจะต้องหลักการของหม้อแปลงไฟฟ้า

การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า อาศัยหลักการความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเส้นแรงแม่เหล็กในการสร้างแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำให้กับตัวนำ คือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดตัวนำก็จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กรอบ ๆ ตัวนำนั้น และถ้ากระแสที่ป้อนมีขนาดและทิศทางที่เปลี่ยนแปลงไปมา ก็จะทำให้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยถ้าสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวตัดผ่านตัวนำ ก็จะเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำขึ้นที่ตัวนำนั้น โดยขนาดของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำจะสัมพันธ์กับ ความเข้มของสนามแม่เหล็กและความเร็วในการตัดผ่านตัวนำของสนามแม่เหล็ก

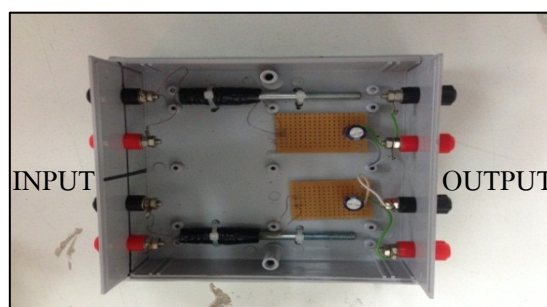
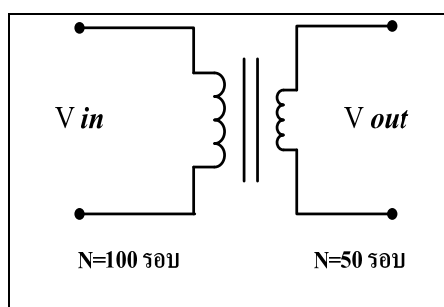


รูปที่ 3.21 โครงสร้างของหม้อแปลง

พิจารณาจากรูปที่ 3.21 จะเห็นว่าโครงสร้างของหม้อแปลงจะประกอบไปด้วยขดลวด 2 ขดพันรอบแกนที่เป็นสื่อกลางของเส้นแรงแม่เหล็กซึ่งอาจเป็นแกนเหล็กแกนเฟอร์ไรท์ หรือแกนอากาศ ขดลวดที่เราจ่ายไฟเข้าไปเราเรียกว่า ขดปฐมภูมิ (Primary Winding) และขดลวดอีกขดที่ต่อเข้ากับโหลด เราเรียกว่า ขดทุติยภูมิ (Secondary Winding) เมื่อเราจ่ายกระแสไฟฟ้าสลับให้กับขดปฐมภูมิก็จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงไป-มา โดยเส้นแรงแม่เหล็กดังกล่าวก็จะวิ่งไป-มาตามแกนและไปตัดกับขดทุติยภูมิทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดทุติยภูมิที่ต่อกับโหลด โดยแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น จะมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กและจำนวนรอบของขดลวด

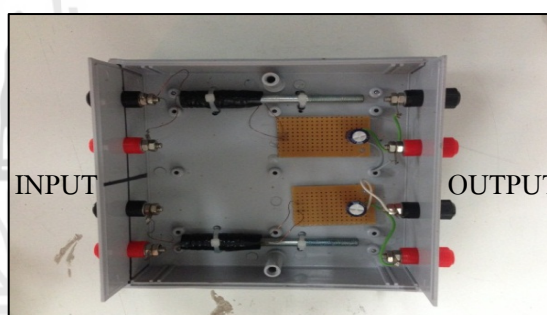
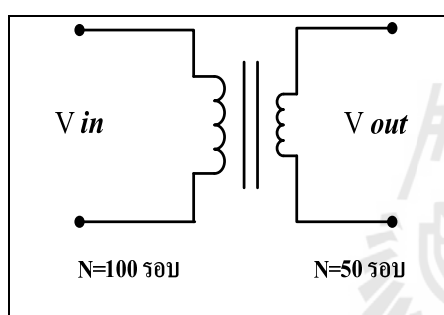
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบชุดอุปกรณ์ลดแรงดันไฟฟ้าโดยทำการพันขดลวดทุติยภูมิให้มีจำนวนรอบน้อยกว่าขดลวดปฐมภูมิแรงดันไฟฟ้าทางขดทุติยภูมิก็จะมีค่าต่ำกว่าแรงดันที่จ่ายเข้ามาทางขดลวดปฐมภูมิหรือเรียกว่า หม้อแปลงชนิดแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าลดลง (Step Down Transformer) ได้ออกแบบวงจรดังรูปที่ 3.22 - 3.24

วงจรชุดอุปกรณ์ลดแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาค้อเหวี่ยง (Crankshaft Sensor)



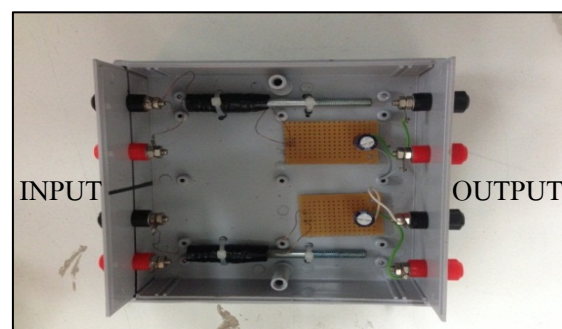
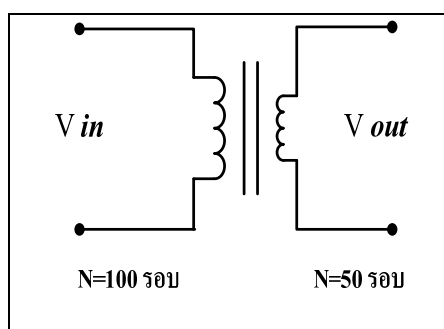
รูปที่ 3.22 วงจรชุดอุปกรณ์ลดแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยง (Crankshaft Sensor)

วงจรชุดอุปกรณ์ลดแรงดันไฟฟ้าสัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจุทั้ง 4 สูบ



รูปที่ 3.23 วงจรชุดอุปกรณ์ลดแรงดันไฟฟ้าสัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

วงจรชุดอุปกรณ์ลดแรงดันไฟฟ้าสัญญาณคอยล์จุดระเบิด

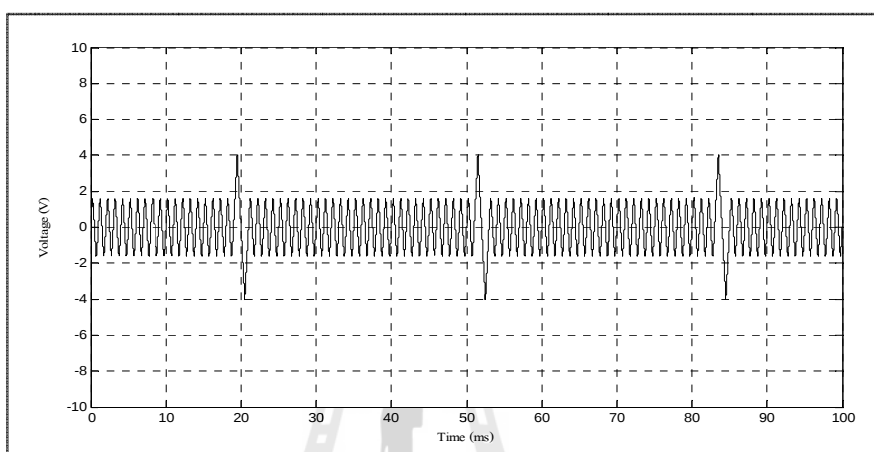


รูปที่ 3.24 วงจรชุดอุปกรณ์ลดแรงดันไฟฟ้าสัญญาณคอยล์จุดระเบิด

3.5 ตรวจสอบรูปแบบสัญญาณเมื่อผ่านชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณ

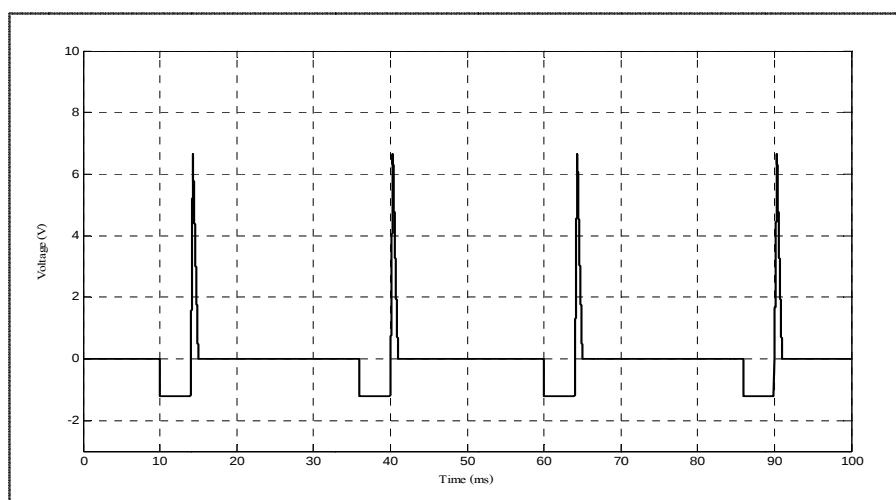
ทำการทดสอบอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณกับสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและจากอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด ดังแสดงในรูปที่ 3.25 - 3.27

สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยง (Crankshaft Sensor) เมื่อผ่านชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณ



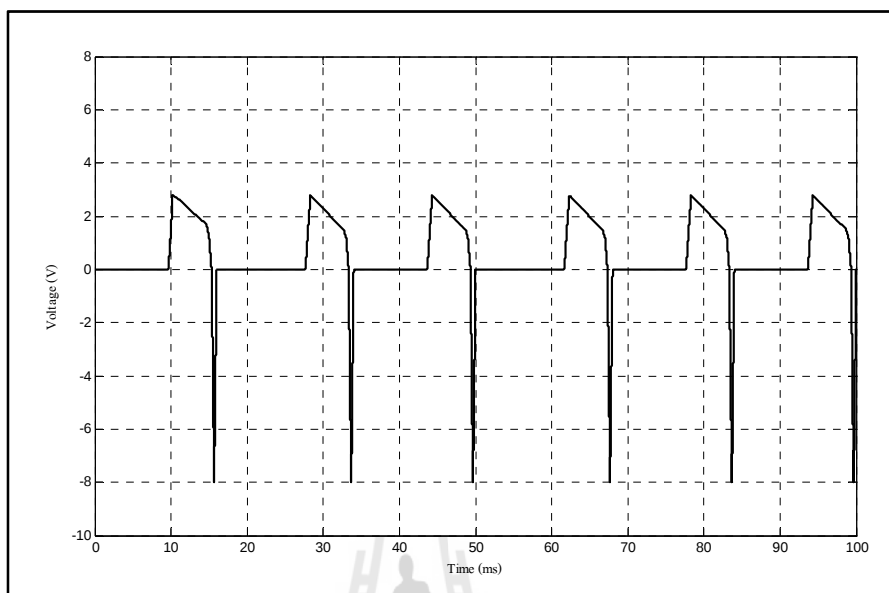
รูปที่ 3.25 สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยง (Crankshaft Sensor) เมื่อผ่านชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณ

สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบเมื่อผ่านชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณ



รูปที่ 3.26 สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบเมื่อผ่านชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณ

สัญญาณคอสส์จกระเปิดเมื่อผ่านชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณ

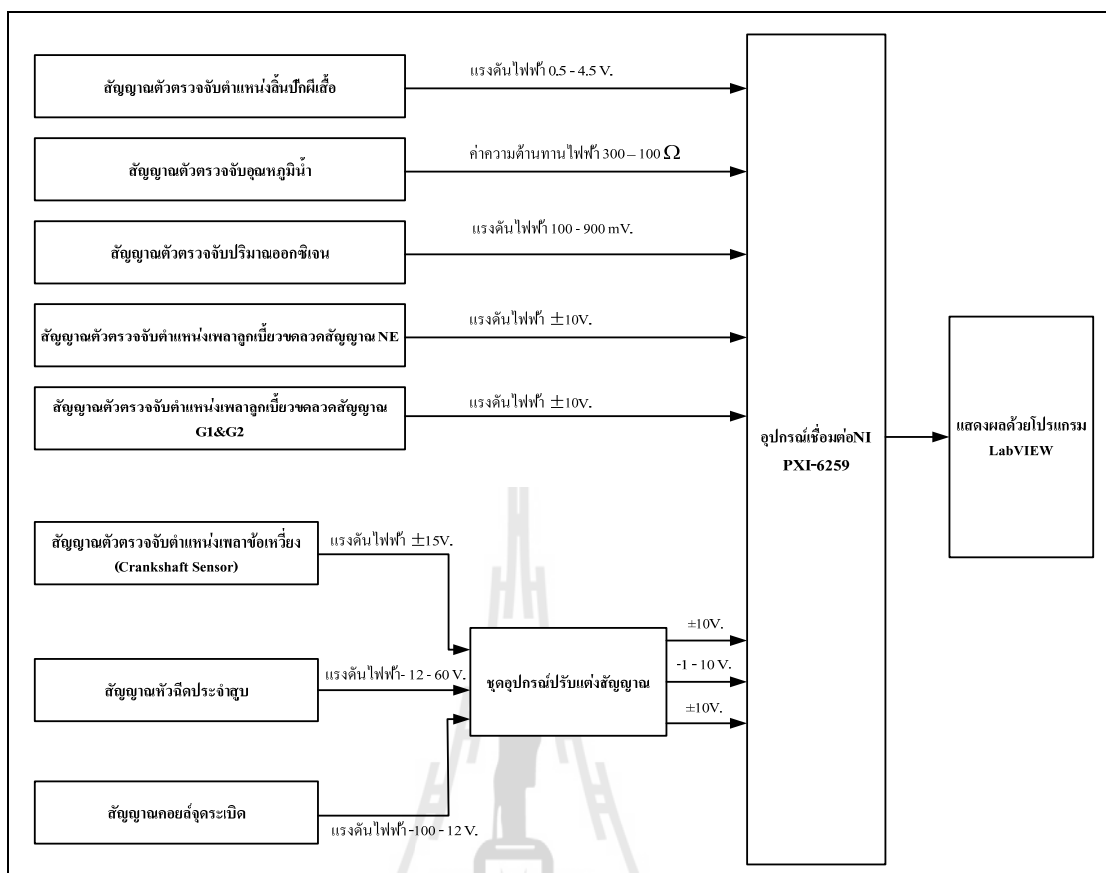


รูปที่ 3.27 สัญญาณคอสส์จกระเปิดเมื่อผ่านชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณ

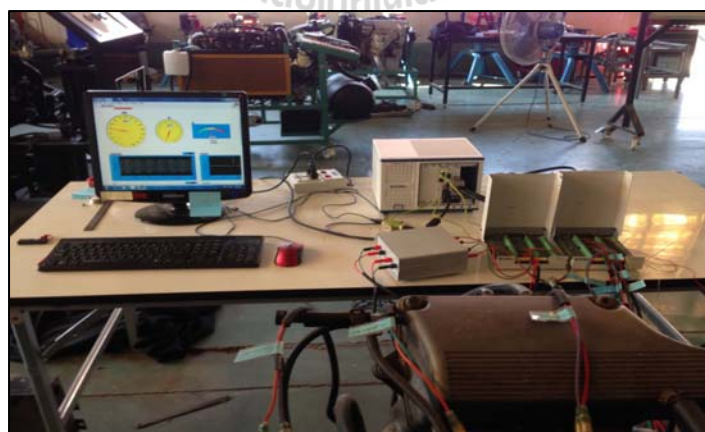
จากการทดลองเมื่อทำการเชื่อมต่อสัญญาณในส่วนของสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยง สัญญาณหัวฉีดประจำสูบ และสัญญาณคอสส์จกระเปิดเข้ากับชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณค่าแรงดันไฟฟ้าเมื่อทำการทดลองวัดสัญญาณจากออสซิลโลสโคป แสดงให้เห็นว่าค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำลงจนสามารถเชื่อมต่อกับช่องสัญญาณอินพุตของ NI PXI - 6259 ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าจะอยู่ในช่วงระหว่าง ± 100 mV. ถึง ± 10 V.

3.6 เชื่อมต่อสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ เข้ากับชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณและอุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณ NI PXI-6259

ทำการเชื่อมต่อสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณ อุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดเข้ากับชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณและอุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI-6259 ดังแสดงในรูปที่ 3.28 และรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.28 วงจรการเชื่อมต่อสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและจากอุปกรณ์การทำงานเข้ากับชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณและอุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI-6259



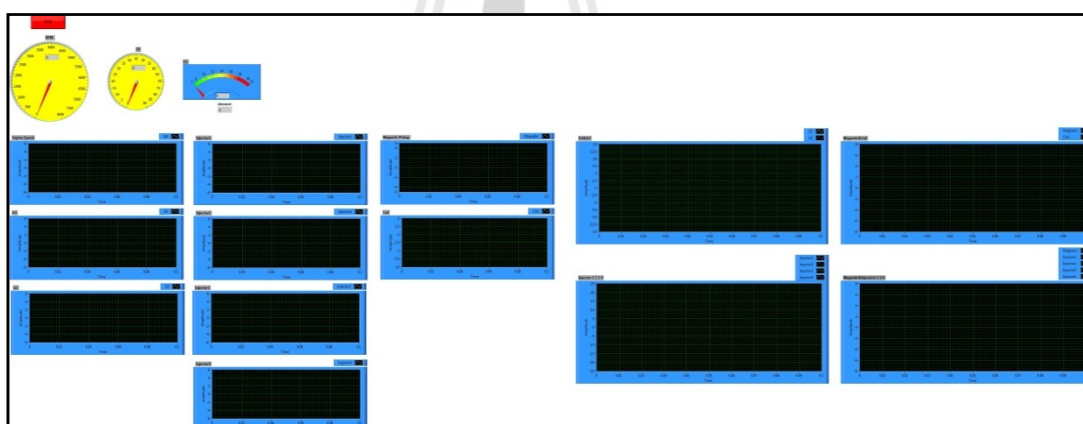
รูปที่ 3.29 การเชื่อมต่อสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและจากอุปกรณ์การทำงานเข้ากับชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณและอุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI-6259

3.7 แสดงผลรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ

การแสดงผลข้อมูลสัญญาณจากตัวตรวจจับและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์กับอุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI-6259 โดยใช้โปรแกรม LabVIEW โดยทำการเขียนโปรแกรมเพื่อแสดงผลและบันทึกผลรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดได้กำหนดความเร็วในการดึงสัญญาณและกำหนดอัตราการสุ่มข้อมูลที่เหมาะสมกับสัญญาณ โดยทำการเก็บค่าไว้เป็นอะเรย์ ซึ่งในการแสดงผลรูปแบบสัญญาณได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 การแสดงรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.30

แสดงรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ



รูปที่ 3.30 การแสดงผลรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ

เป็นการแสดงผลข้อมูลสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดกับชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณและอุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI-6259 โดยใช้โปรแกรม LabVIEW โดยทำการแสดงผลการทำงานดังนี้

- อัตราความเร็วรอบของเครื่องยนต์
- ตำแหน่งองศาสิ้นปีกลีเสื้อ
- อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิง

- อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น
- สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ NE ขดลวดสัญญาณ G1

และขดลวดสัญญาณ G2

- สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบทั้ง 4 สูบ
- สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาช้อเหวี่ยง (Crankshaft Sensor)
- สัญญาณคอยล์จุดระเบิด
- สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาช้อเหวี่ยง (Crankshaft Sensor) เปรียบเทียบกับ

สัญญาณคอยล์จุดระเบิด

- สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาช้อเหวี่ยง (Crankshaft Sensor) เปรียบเทียบกับ

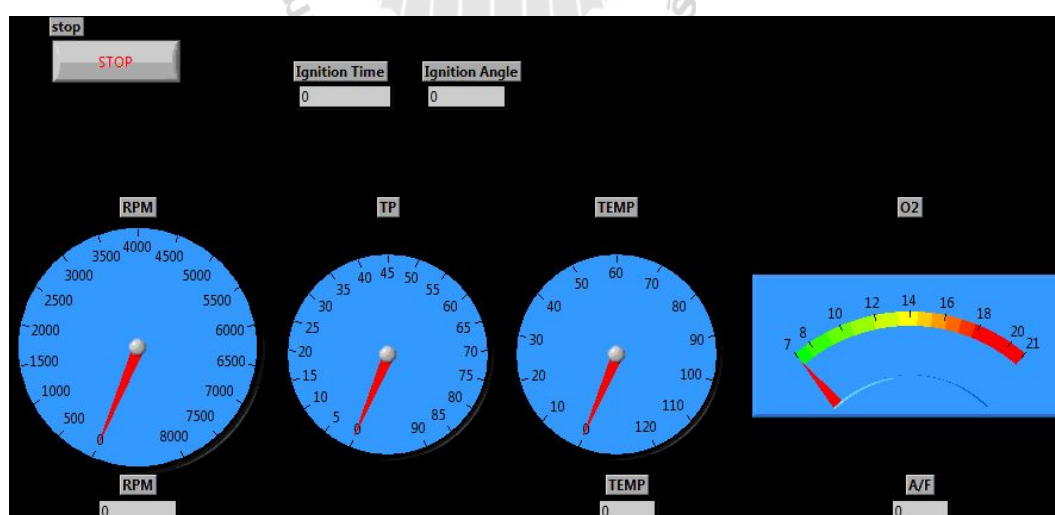
สัญญาณหัวฉีดเชื้อเพลิงประจำสูบทั้ง 4 สูบ

- สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาช้อเหวี่ยง (Crankshaft Sensor) เปรียบเทียบกับ

สัญญาณคอยล์จุดระเบิด และสัญญาณหัวฉีดเชื้อเพลิงประจำสูบทั้ง 4 สูบ

เพื่อศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบสัญญาณของสัญญาณต่างๆและกระบวนการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ

ส่วนที่ 2 การศึกษาการตอบสนองแบบพลวัตในการทำงานเครื่องยนต์เกี่ยวกับกระบวนการจุดระเบิดของเครื่องยนต์และปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระบวนการจุดระเบิดในเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด ดังแสดงในรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 การแสดงผลการทำงานของเครื่องยนต์เกี่ยวกับกระบวนการจุดระเบิดและปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระบวนการจุดระเบิดของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ

เป็นการแสดงผลการทำงานของเครื่องยนต์ เช่น อัตราความเร็วรอบของเครื่องยนต์ตำแหน่ง มุมองศาคลื่นปีกผีเสื้อ อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิง อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น เวลาและ องศาในการจุดระเบิดล่วงหน้า

3.8 สรุป

ก่อนที่กล่าวถึงวิธีในการดำเนินการวิจัยในการดำเนินงานวิจัยจะต้องมีความรู้และความเข้าใจในหลักการทำงานพื้นฐาน โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่หนึ่ง จะต้องมีความรู้และความเข้าใจในหลักการทำงานพื้นฐานของเครื่องยนต์แบบ จุดระเบิดเช่น วัฏจักรกระบวนการทำงานของเครื่องยนต์จุดระเบิด, หลักการทำงานพื้นฐานของ เครื่องยนต์ที่ควบคุมการทำงานด้วยระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ในการกำหนดระยะเวลาและองศา จุดระเบิดล่วงหน้า การกำหนดจังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง และการกำหนดระยะเวลาตั้งเปิดหัวฉีด น้ำมันเชื้อเพลิง

ส่วนที่สอง จะต้องมีความรู้ความเข้าใจในหลักการพื้นฐานในการวัดและแสดงผลการ ทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดโดยใช้โปรแกรม LabVIEW เช่น ลักษณะรูปแบบสัญญาณ และหน้าที่ของสัญญาณตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์ อุปกรณ์ การเชื่อมต่อ NI PXI-6259 โปรแกรม LabVIEW ในการแสดงผลการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุด ระเบิด 4 สูบ สาเหตุที่ใช้โปรแกรมนี้เนื่องจากโปรแกรม LabVIEW ไม่จำเป็นต้องเขียนโค้ดโดย ภาษาที่ใช้ในโปรแกรมนี้เรียกว่า ภาษารูปภาพ หรือเรียกอีกอย่างว่า ภาษา (Graphical Language) ซึ่งจะมีความสะดวกในการเขียนโปรแกรมโดยเฉพาะในงานเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อ เชื่อมต่ออุปกรณ์

จากความรู้ความเข้าใจในหลักการพื้นฐานที่ได้กล่าวมาในวิธีดำเนินงานวิจัยได้ทำการแบ่ง กระบวนการออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่หนึ่ง การเก็บข้อมูลรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การ ทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด เพื่อศึกษารูปแบบสัญญาณและหาค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและ ต่ำสุด

ขั้นตอนที่สอง ศึกษาคุณสมบัติของอุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI-6259 ซึ่งจะสามารถรับ แรงดันไฟฟ้าของช่องสัญญาณอินพุตอยู่ระหว่าง $\pm 100\text{mV}$. ถึง $\pm 10\text{V}$. จากการเก็บข้อมูลรูปแบบ สัญญาณจากขั้นตอนแรก แสดงให้เห็นว่ารูปแบบสัญญาณที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าเกินช่วง การทำงานของอุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI-6259 ในช่องสัญญาณอินพุตคือ สัญญาณตัวตรวจจับ ตำแหน่งเพลาคือหัวเข็ม น้ำมันเชื้อเพลิง และสัญญาณคอยล์จุดระเบิด จึงต้องทำการ

ออกแบบชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณเพื่อลดแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในช่วงการทำงานในช่องสัญญาณ อินพุตของอุปกรณ์เชื่อมต่อ

ขั้นตอนที่สาม ออกแบบชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณโดยใช้หลักการทำงานของหม้อแปลง ชนิดแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าลดลง (Step Down Transformer)

ขั้นตอนที่สี่ ทดลองทำการเชื่อมต่อสัญญาณในส่วนของสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลลาเพลลาข้อเหวี่ยง สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง และสัญญาณคอยล์จุดระเบิด เข้ากับชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณโดยทำการวัดรูปแบบสัญญาณด้วย ออสซิลโลสโคป

ขั้นตอนที่ห้า เชื่อมต่อสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของ เครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ กับอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณและอุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI-6259

ขั้นตอนสุดท้าย เป็นการแสดงผลรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ กับอุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI-6259 โดยใช้โปรแกรม LabVIEW โดยดำเนินการเขียนโปรแกรมเพื่อแสดงผลและบันทึกผลรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ เพื่อทำการออกแบบการทดลอง การทำงานของเครื่องยนต์ในบทต่อไป



บทที่ 4

การทดลองการแสดงผลข้อมูลสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์ การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ

ในบทนี้เป็นการแสดงผลข้อมูลของสัญญาณจากตัวตรวจจับและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการแสดงผลและบันทึกผลการทดลอง ซึ่งได้ออกแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 การแสดงสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ซึ่งได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1.1 แสดงสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและสัญญาณอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการแสดงผลและบันทึกผลการทดลอง

1.2 การศึกษาและวิเคราะห์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ จากสัญญาณตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการแสดงผลและบันทึกผลการทดลอง

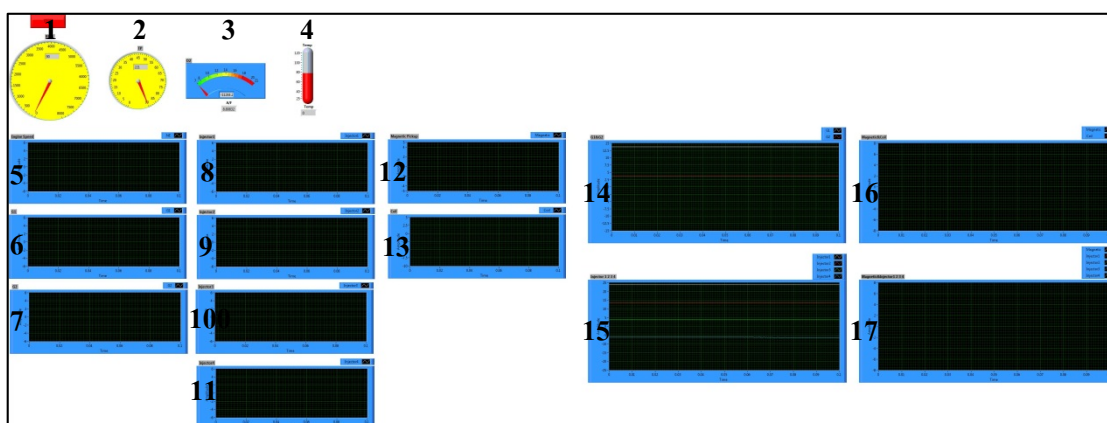
ส่วนที่ 2 ศึกษาการตอบสนองแบบพลวัตในการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ซึ่งได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

2.1 ศึกษาการตอบสนองแบบพลวัตในการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบเครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3000 และ 3500 รอบต่อนาที

2.2 ศึกษาการตอบสนองแบบพลวัตในการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบเครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000 ถึง 3500 รอบต่อนาที

4.1 ส่วนที่ 1 การแสดงสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการแสดงผลและบันทึกผลการทดลอง

ในส่วนที่ 1 เป็นการแสดงรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและสัญญาณอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ ในขณะที่เปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แต่ละความเร็วรอบของเครื่องยนต์ เพื่อศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการแสดงผลและบันทึกผลการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและสัญญาณอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW

หมายเลข 1	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์
หมายเลข 2	ตำแหน่งสาลีนปีกผีเสื้อ
หมายเลข 3	อัตราส่วนผสมอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิง
หมายเลข 4	อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น
หมายเลข 5	สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยว (NE)
หมายเลข 6	สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยว (G1)
หมายเลข 7	สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยว (G2)
หมายเลข 8	สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบที่ 1
หมายเลข 9	สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบที่ 2
หมายเลข 10	สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบที่ 3
หมายเลข 11	สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบที่ 4
หมายเลข 12	สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาช้อเหวี่ยง (Crankshaft Sensor)
หมายเลข 13	สัญญาณคอยล์จุดระเบิด

หมายเลข 14 เปรียบเทียบสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาค้อเหวี่ยง (G1) กับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาค้อเหวี่ยง (G2)

หมายเลข 15 เปรียบเทียบสัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบที่ 1 2 3 4

หมายเลข 16 เปรียบเทียบสัญญาณคอยล์จุดระเบิด กับสัญญาณตรวจจับตำแหน่งเพลาค้อเหวี่ยง (Crankshaft Sensor)

หมายเลข 17 เปรียบเทียบสัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบที่ 1 2 3 4 กับสัญญาณตรวจจับตำแหน่งเพลาค้อเหวี่ยง (Crankshaft Sensor)

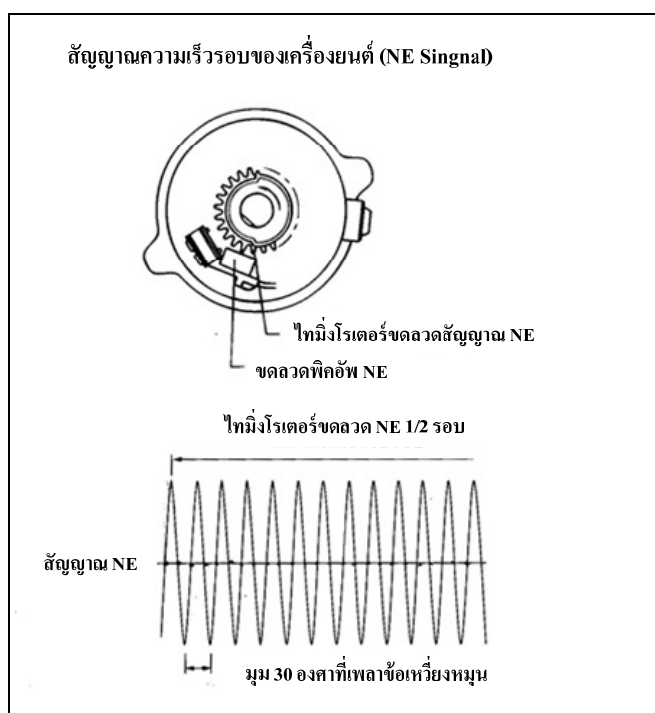
4.1.1 แสดงสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและสัญญาณอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ

ในส่วนนี้เป็นการแสดงสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและสัญญาณอุปกรณ์การทำงานต่าง ๆ ของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการแสดงผลและบันทึกผลการทดลอง

สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยว แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือสัญญาณตัวตรวจจับเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ NE สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ G1 และขดลวดสัญญาณ G2

สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ NE

ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ NE เป็นสัญญาณที่มีหน้าที่ในการตรวจจับความเร็วรอบของเครื่องยนต์และบอกตำแหน่งของเพลาค้อเหวี่ยงเพื่อกำหนดจังหวะในการจุดระเบิดและจังหวะในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง จากรูปที่ 4.2 เป็นสัญญาณที่เกิดจากไทมิ่งโรเตอร์ของเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ NE ซึ่งมีลักษณะเป็นฟันเฟืองที่มีฟันจำนวน 24 ฟัน หมุนตัดผ่านขดลวดฟลักซ์ NE จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตามระยะความห่างระหว่างฟัน จึงทำให้เกิดเป็นสัญญาณลูกคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับทั้งหมด 24 ลูกคลื่น ซึ่งจะมีค่าเท่ากับการหมุนของเพลาค้อเหวี่ยง 2 รอบ ดังนั้นการหมุนของเพลาค้อเหวี่ยงหมุน 1 รอบ หรือ 360 องศาของเพลาค้อเหวี่ยง จะมีค่าเท่ากับไทมิ่งโรเตอร์ของเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ NE หมุนตัดผ่านขดลวดฟลักซ์ NE 1/2 รอบ หรือเกิดสัญญาณคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับจำนวน 12 ลูกคลื่น โดย 1 ลูกคลื่นของสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ NE จะมีค่าเท่ากับ 30 องศาที่เพลาค้อเหวี่ยงหมุน



รูปที่ 4.2 รูปแบบสัญญาณของตัวตรวจจับตำแหน่งลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ NE

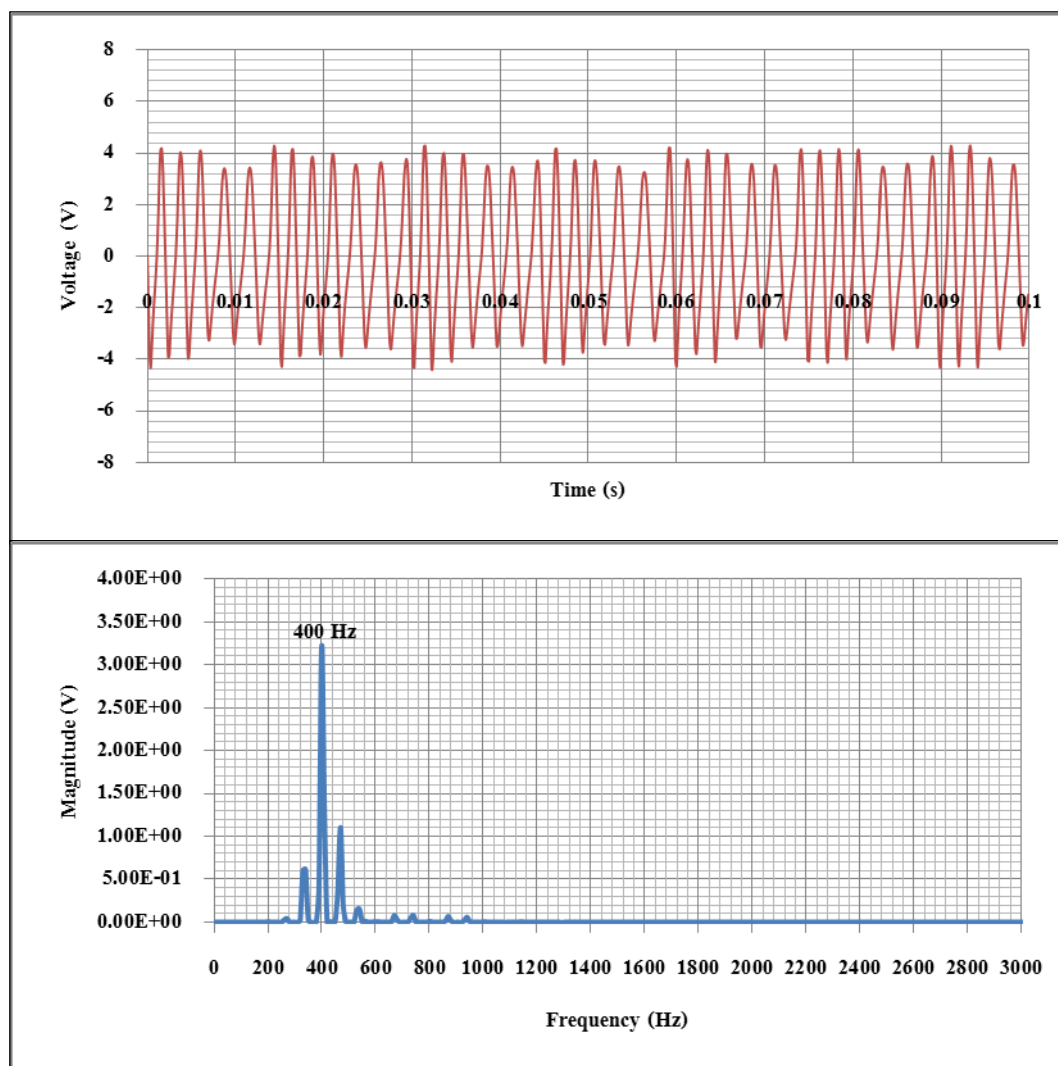
ซึ่งได้แสดงผลรูปแบบสัญญาณและสเปกตรัมของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ NE โดยแบ่งการแสดงผลการทดลองออกเป็น 4 กรณี ดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 2000 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 4.3

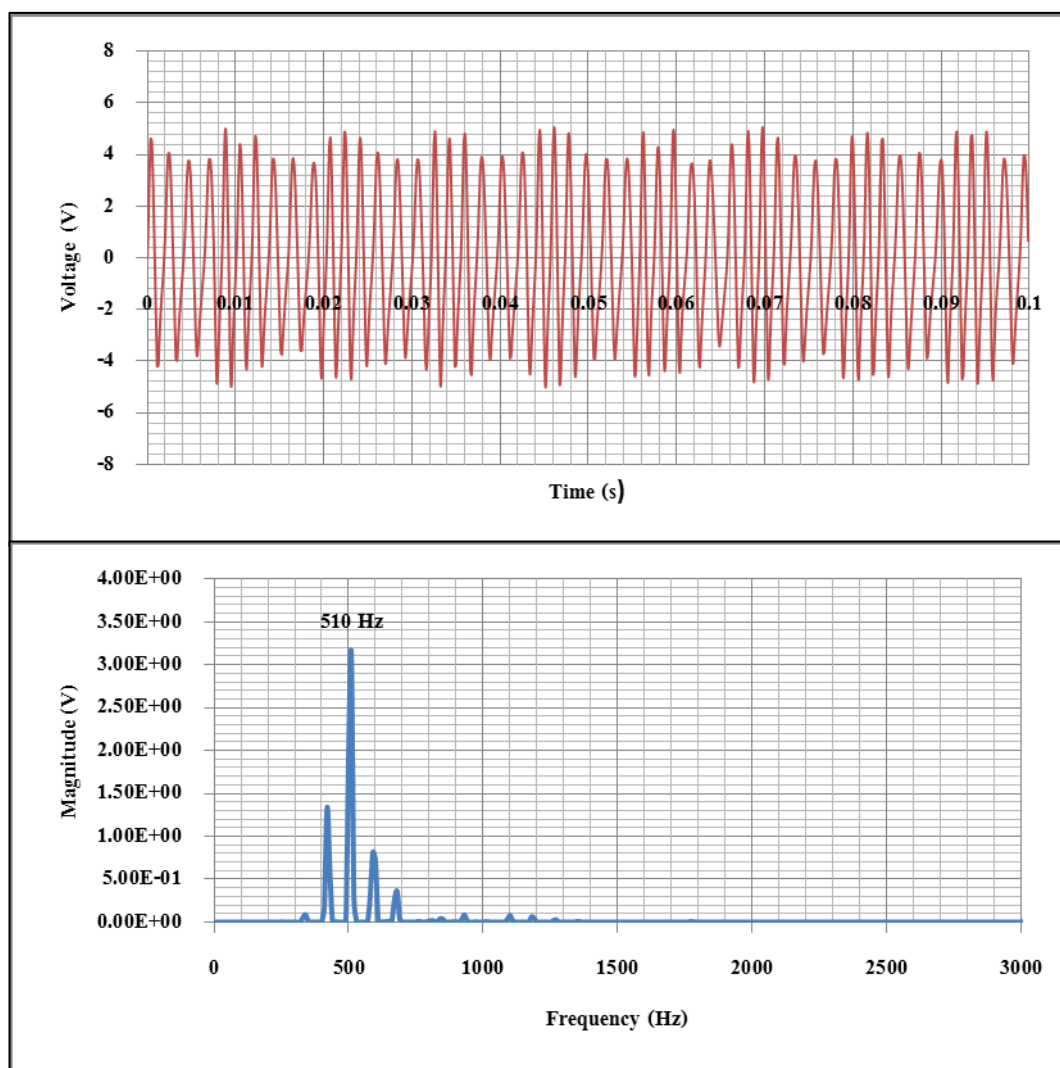
กรณีที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 2500 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 4.4

กรณีที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 3000 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 4.5

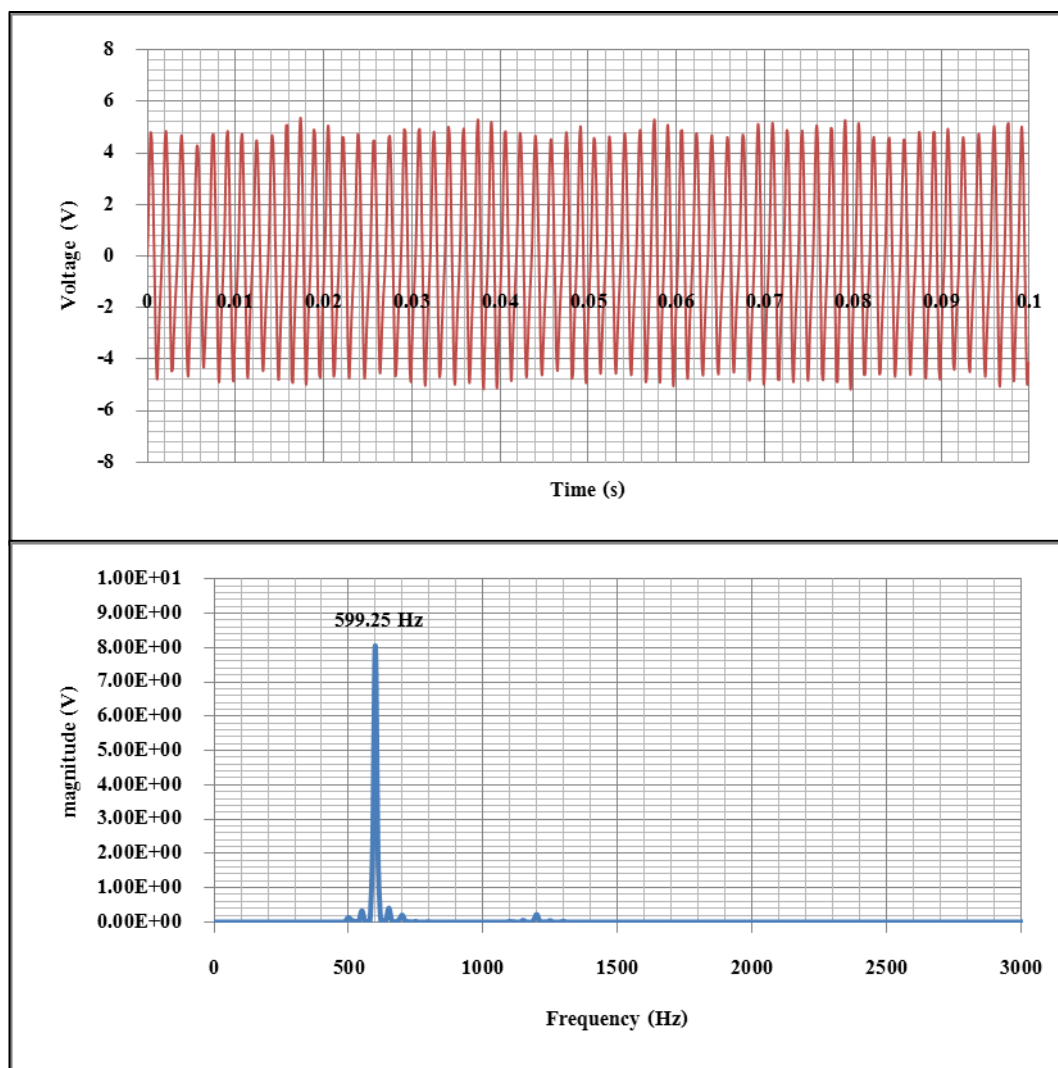
กรณีที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 3500 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 4.6



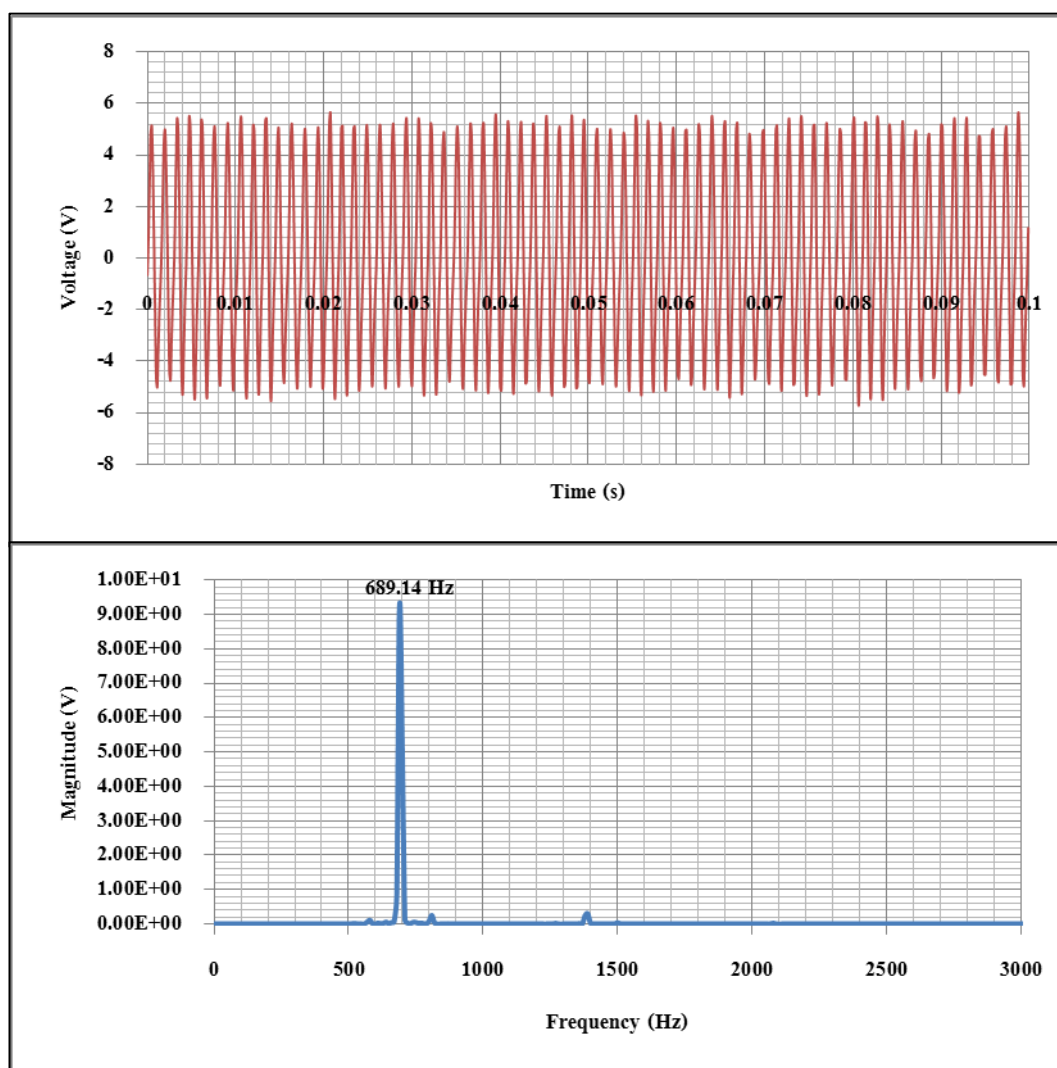
รูปที่ 4.3 รูปแบบสัญญาณและสเปกตรัมของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวควบคุมสัญญาณ NE ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.4 รูปแบบสัญญาณและสเปกตรัมตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ NE ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2500 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.5 รูปแบบสัญญาณและสเปกตรัมของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ NE ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3000 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.6 รูปแบบสัญญาณและสเปกตรัมของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ NE ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3500 รอบต่อนาที

จากการศึกษารูปแบบสัญญาณของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ NE จะเห็นว่าที่ส่งสัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์และองศาของมุมเพลาลูกเบี้ยวไปยังระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์เพื่อกำหนดระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง จังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและจังหวะการจุดระเบิดจากรูปที่ 4.3 - 4.6 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วของเครื่องยนต์ให้สูงขึ้นไทมิ่งโรเตอร์ของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ NE จะหมุนตัดผ่านขดลวดพิคอัพสัญญาณ NE เร็วขึ้น จึงทำให้เกิดสัญญาณถูกคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับต่อวินาทีที่มากขึ้น หรือมีความถี่ที่สูงขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ จากความถี่ที่เกิดขึ้นในแต่ละความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะสามารถหาความเร็วของเครื่องยนต์ได้โดยทำการเปลี่ยน

รูปแบบสัญญาณในโดเมนของเวลาให้อยู่ในรูปแบบสัญญาณในโดเมนของความถี่ โดยใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์ คือ Fast Fourier Transform (FFT) เพื่อหาความถี่และความเร็วรอบของเครื่องยนต์แต่ละ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

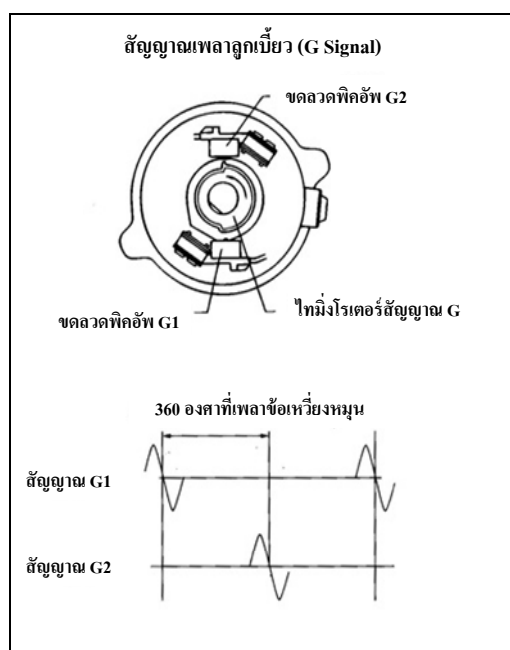
ตารางที่ 4.1 แสดงความถี่ของแต่ละความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ

ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rpm)	ความถี่ (Hz)	คำนวณความเร็วรอบของ เครื่องยนต์จากความถี่ (rpm)
2000.00	400.00	2000.00
2500.00	510.00	2550.00
3000.00	599.25	2996.25
3500.00	689.34	3446.70

จากการคำนวณหาความเร็วรอบของเครื่องยนต์จากความถี่ของแต่ละความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะมีค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่กำหนดไว้

สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ G1 และคลวดสัญญาณ G2

ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ G1 และคลวดสัญญาณ G2 มีหน้าที่ควบคุมจังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและจังหวะการจุดระเบิดของเครื่องยนต์จากรูปที่ 4.7 เป็นสัญญาณที่เกิดขึ้นจากไทมิ่งโรเตอร์ของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ G ซึ่งมีลักษณะเป็นฟันเฟืองที่มีฟันจำนวน 1 ฟัน หมุนตัดผ่านคลวดpick-off จำนวน 2 คลวด ซึ่งอยู่ในทิศทางตรงกันข้ามกัน คือ คลวดpick-off สัญญาณ G1 และคลวดpick-off สัญญาณ G2 จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงของความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตามระยะความห่างระหว่างฟัน จึงทำให้เกิดเป็นลูกคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับ ในการหมุนของไทมิ่งโรเตอร์ของเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ G หมุน 1 รอบ จะเกิดสัญญาณลูกคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับทั้งหมด 3 ลูกคลื่น ซึ่งจะมีค่าเท่ากับการหมุนของเพลาลูกเบี้ยว 2 รอบ ดังนั้นการหมุนของเพลาลูกเบี้ยว 1 รอบ หรือ 360 องศาเพลาลูกเบี้ยว จะมีค่าเท่ากับไทมิ่งโรเตอร์ของเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ G หมุนตัดผ่านคลวดpick-off สัญญาณ G1 และ G2 เพียง 1/2 รอบ โดยสัญญาณที่เกิดจากคลวดpick-off สัญญาณ G1 และคลวดpick-off สัญญาณ G2 ซึ่งจะมีระยะห่างระหว่างลูกคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับเท่ากับ 360 องศาเพลาลูกเบี้ยว 1 หมุน



รูปที่ 4.7 รูปแบบสัญญาณของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ G1 และขดลวดสัญญาณ G2

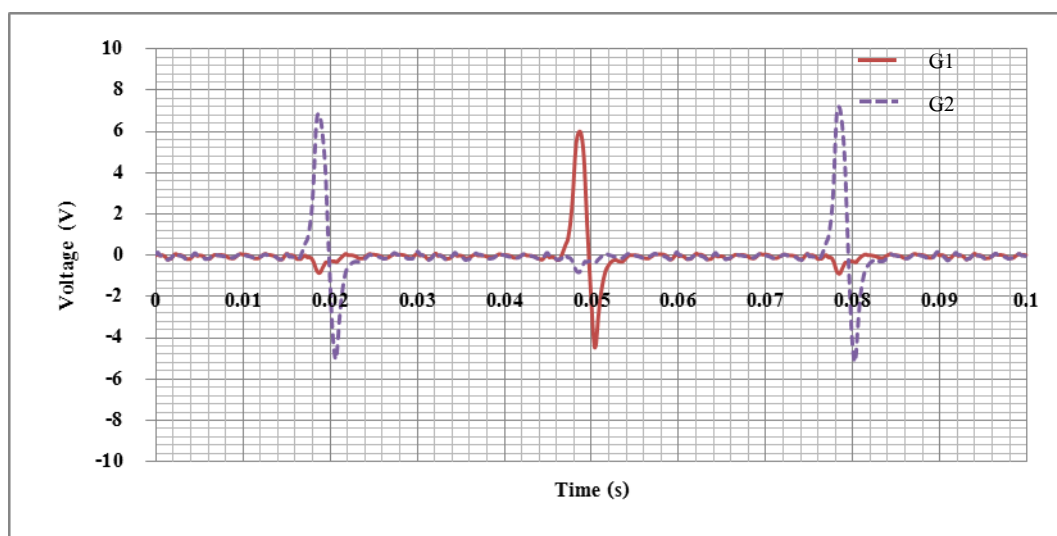
ซึ่งได้แสดงผลรูปแบบสัญญาณของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ G1 และขดลวดสัญญาณ G2 โดยแบ่งการแสดงผลการทดลองออกเป็น 4 กรณี ดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 2000 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 4.8

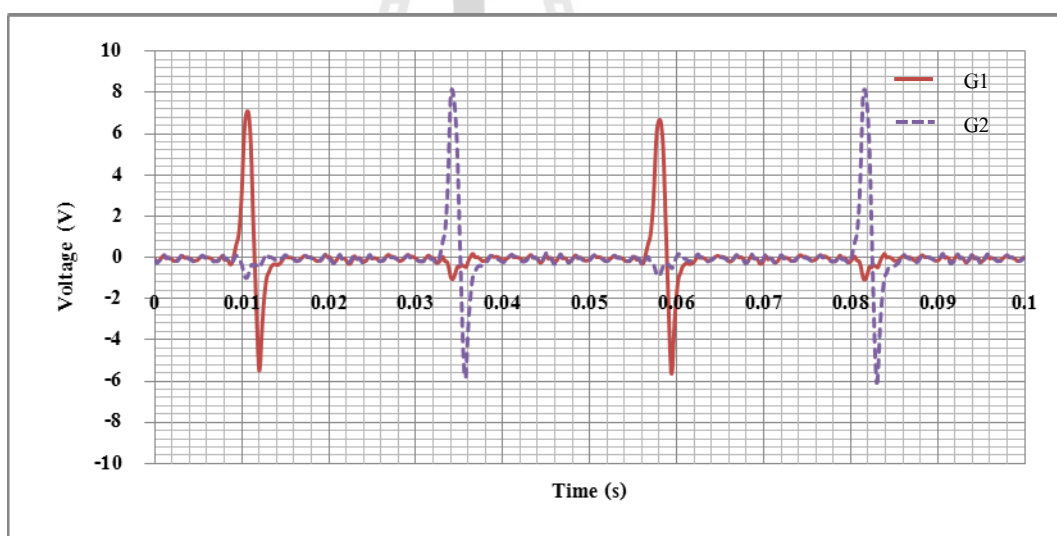
กรณีที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 2500 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 4.9

กรณีที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 3000 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 4.10

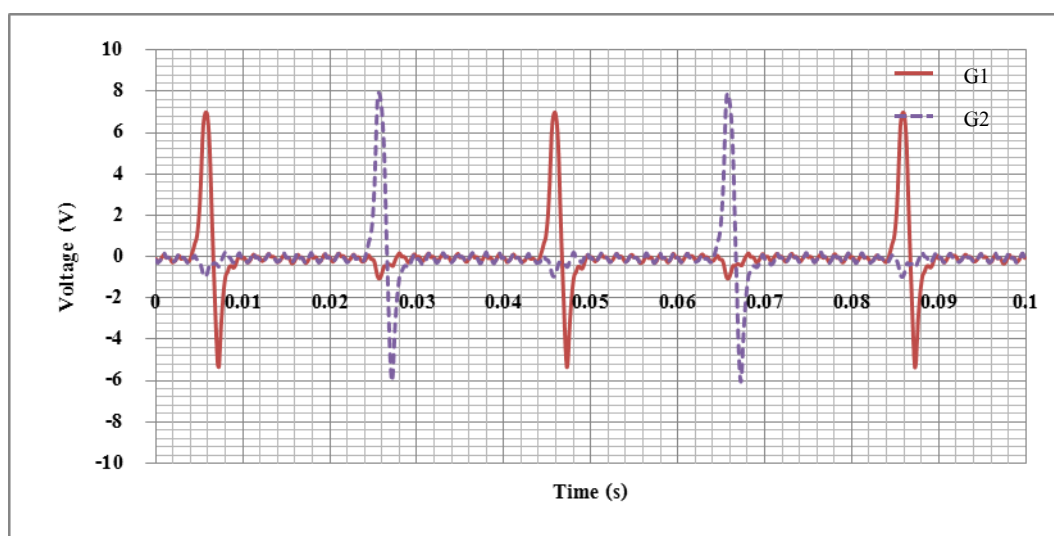
กรณีที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 3500 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 4.11



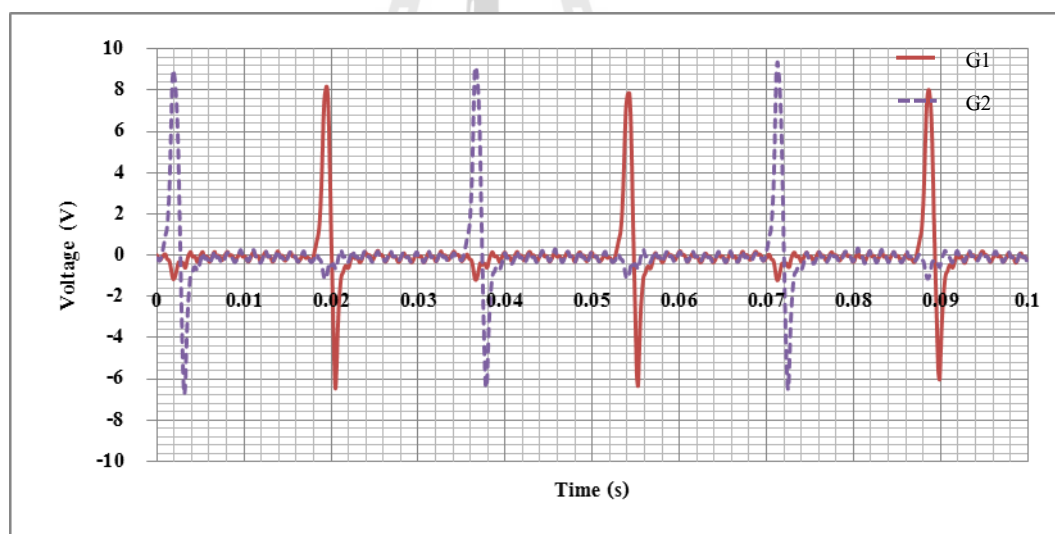
รูปที่ 4.8 สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ G1 และขดลวดสัญญาณ G2 ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.9 สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ G1 และขดลวดสัญญาณ G2 ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2500 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.10 สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ G1 และขดลวดสัญญาณ G2 ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3000 รอบต่อนาที



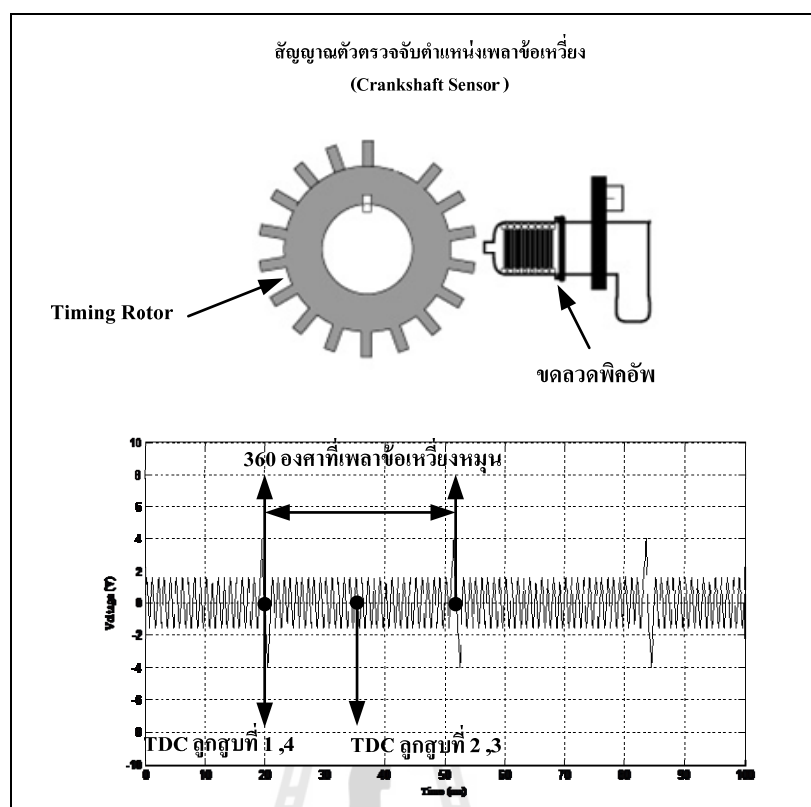
รูปที่ 4.11 สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ G1 และขดลวดสัญญาณ G2 ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3500 รอบต่อนาที

จากการศึกษารูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ G1 และขดลวดสัญญาณ G2 จะมีลักษณะเป็นสัญญาณลูกคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับเพื่อบอกตำแหน่งการเคลื่อนที่ของลูกสูบ จากรูปที่ 4.8 - 4.11 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลง

ความเร็วของเครื่องยนต์ให้สูงขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ได้กำหนดไว้ ไทมิ่งโรเตอร์ของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ G หมุนตัดผ่านขดลวดฟลักซ์สัญญาณ G1 และขดลวดฟลักซ์สัญญาณ G2 ที่เร็วขึ้น จึงทำให้เกิดลูกคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับที่มีความถี่ในการเกิดลูกคลื่นไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าสลับที่สูงขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ โดยสัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ G1 และขดลวดสัญญาณ G2 จะมีหน้าที่ในการส่งสัญญาณบอกตำแหน่งการหมุนของเพลาช้อเหวี่ยงให้กับระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประมวลผลโดยการอ้างอิงตำแหน่งมุมของเพลาช้อเหวี่ยงเพื่อควบคุมจังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและควบคุมจังหวะการจุดระเบิดให้ถูกต้องและสอดคล้องตามวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด

สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาช้อเหวี่ยง

สัญญาณแสดงสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาช้อเหวี่ยงมีหน้าที่การทำงานเหมือนกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยว จากรูปแบบสัญญาณในรูปที่ 4.12 เป็นสัญญาณที่เกิดขึ้นจากไทมิ่งโรเตอร์ของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาช้อเหวี่ยงซึ่งลักษณะเป็นฟันเฟืองที่มีฟันจำนวน 34 ฟัน โดยจะมีฟันที่หลอ จำนวน 1 ฟัน ซึ่งฟันที่ได้กล่าวมาจะเป็นจุดอ้างอิงตำแหน่งศูนย์ตายบนของลูกสูบในกระบอกสูบที่ 1 และ 4 เมื่อไทมิ่งโรเตอร์ของเพลาช้อเหวี่ยงหมุนผ่านขดลวดฟลักซ์ จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงของความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตามระยะความห่างระหว่างฟัน จึงทำให้เกิดเป็นลูกคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับ โดยสัญญาณลูกคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับที่เกิดจากฟันหลอจะมีแอมพลิจูดที่สูงกว่าสัญญาณลูกคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับของลูกคลื่นอื่น ๆ เนื่องจากระยะความห่างระหว่างฟันที่มีมากกว่าฟันอื่น ๆ จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่สูง ลูกคลื่นที่ได้กล่าวข้างต้นจะมีหน้าที่ในบอกตำแหน่งอ้างอิงศูนย์ตายบน (TDC) ของลูกสูบในกระบอกสูบที่ 1 และ 4 เพื่อควบคุมการจังหวะในฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและการจุดระเบิด



รูปที่ 4.12 รูปแบบสัญญาณของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยง

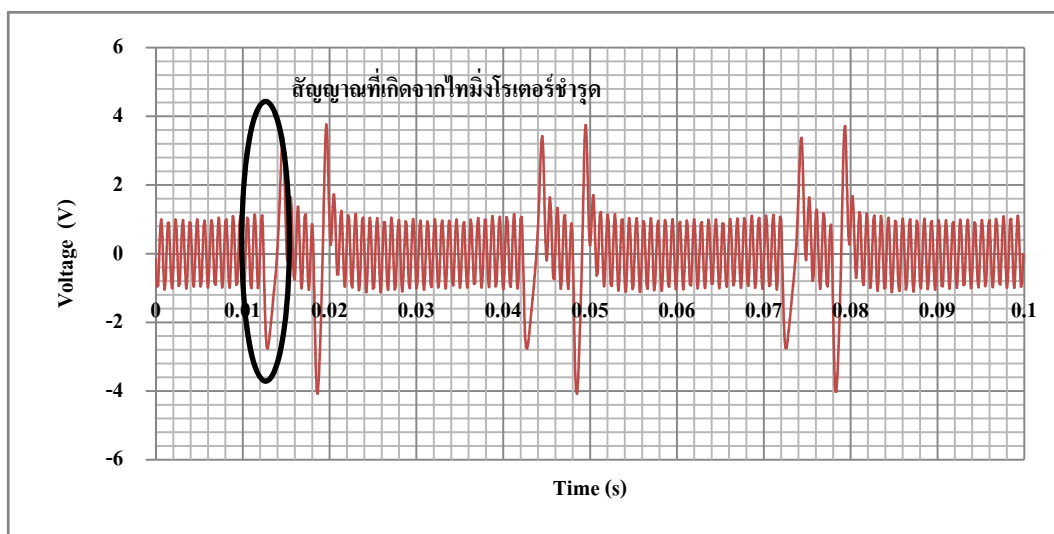
ซึ่งได้แสดงผลรูปแบบสัญญาณของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยง โดยแบ่งการแสดงผลการทดลองออกเป็น 4 กรณี ดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 2000 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 4.13

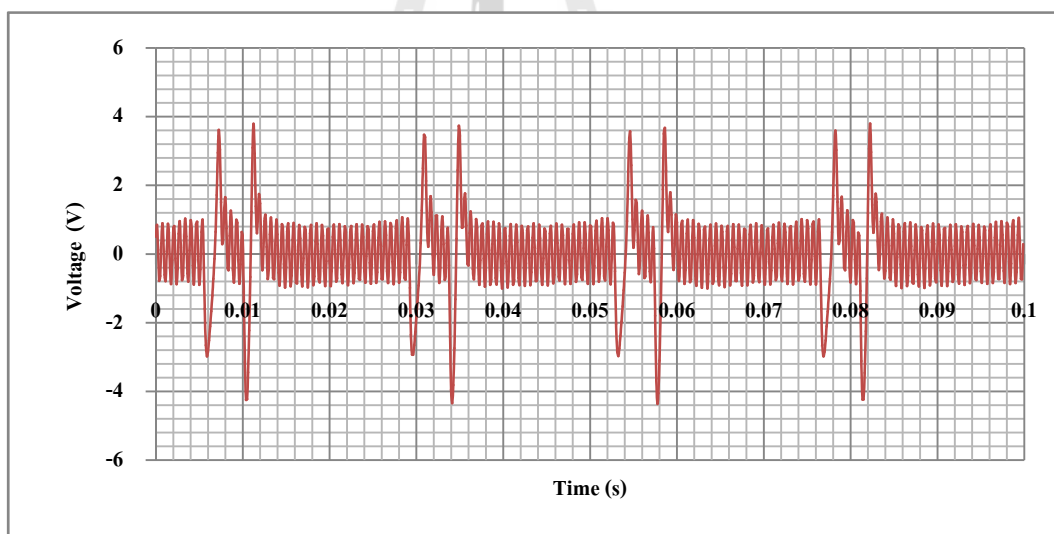
กรณีที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 2500 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 4.14

กรณีที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 3000 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 4.15

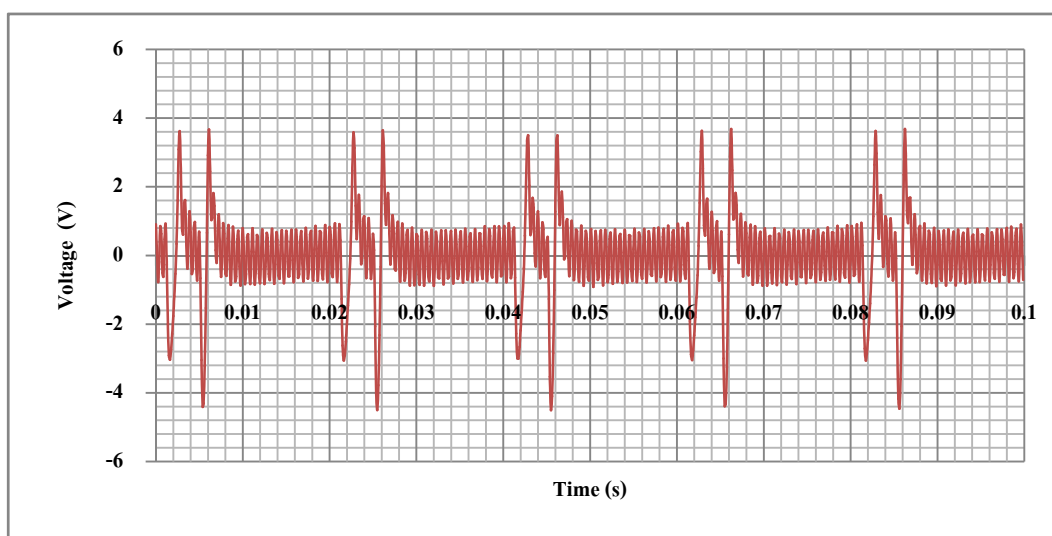
กรณีที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 3500 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 4.16



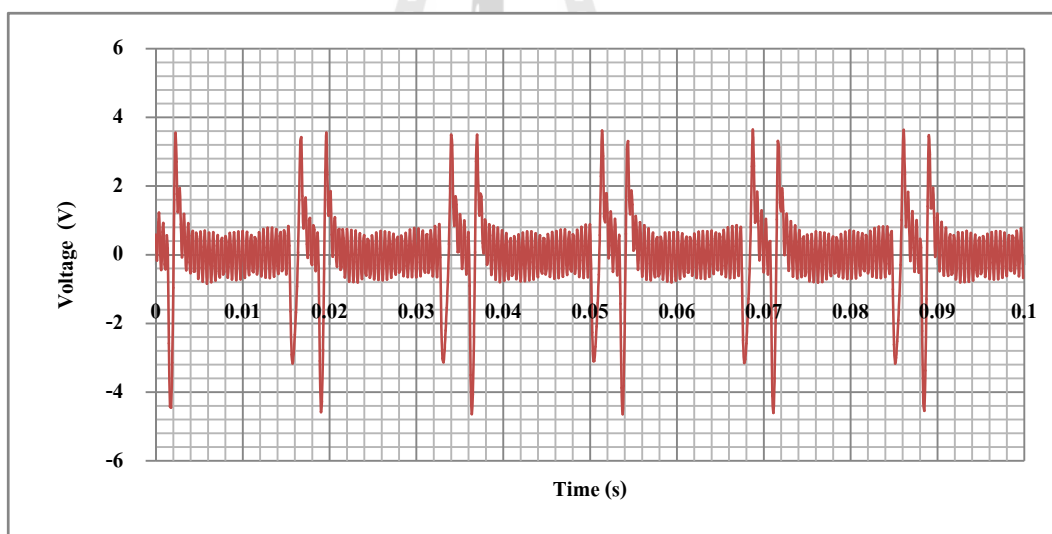
รูปที่ 4.13 สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเฟลาข้อเหวี่ยงที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.14 สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเฟลาข้อเหวี่ยงที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2500 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.15 สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาช้อเหวี่ยงที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3000 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.16 สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาช้อเหวี่ยงที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3500 รอบต่อนาที

จากการศึกษารูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาช้อเหวี่ยง จะมีลักษณะเป็นสัญญาณลูกคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับเพื่อบอกตำแหน่งการเคลื่อนที่ของลูกสูบ จากรูปที่ 4.13 – 4.16 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วของเครื่องยนต์ให้สูงขึ้นตามความเร็วรอบของ

เครื่องยนต์ที่ได้กำหนดไว้ ไทมิ่งโรเตอร์ของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาค้อเหวี่ยงหมุนตัดผ่านขดลวดฟลักซ์เร็วขึ้น จึงทำให้เกิดลูกคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับที่มีความถี่สูงขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ โดยสัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาค้อเหวี่ยงจะมีหน้าที่ส่งสัญญาณบอกตำแหน่งการหมุนของเพลาค้อเหวี่ยงให้กับระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประมวลผลโดยการอ้างอิงตำแหน่งมุมของเพลาค้อเหวี่ยงเพื่อควบคุมจังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและจังหวะการจุดระเบิดให้ถูกต้องตามวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด

หมายเหตุ ไทมิ่งโรเตอร์ของตัวตรวจจับเพลาค้อเหวี่ยง ในฟันเฟืองซี่ที่ 5 เกิดการชำรุด

สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

สัญญาณของหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นสัญญาณของอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์ที่เกิดจากการประมวลผลจากสัญญาณตัวตรวจจับสัญญาณต่าง ๆ ของระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์เพื่อควบคุมจังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและระยะเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงไปผสมกับอากาศในกระบอกสูบตามสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ โดยส่งสัญญาณการทำงานไปยังหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นสัญญาณ ON- OFF เรียกว่า สัญญาณ Duty Cycle เพื่อสั่งให้หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงทำงาน

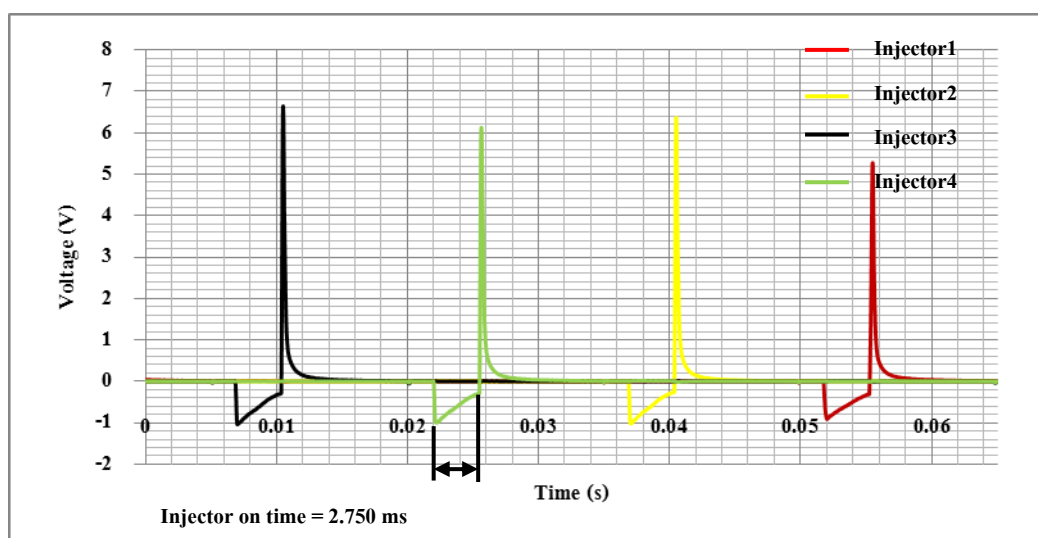
ซึ่งได้แสดงผลรูปแบบของสัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงโดยแบ่งการแสดงผลการทดลองออกเป็น 4 กรณี ดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 2000 รอบต่อนาที
ดังแสดงในรูปที่ 4.17

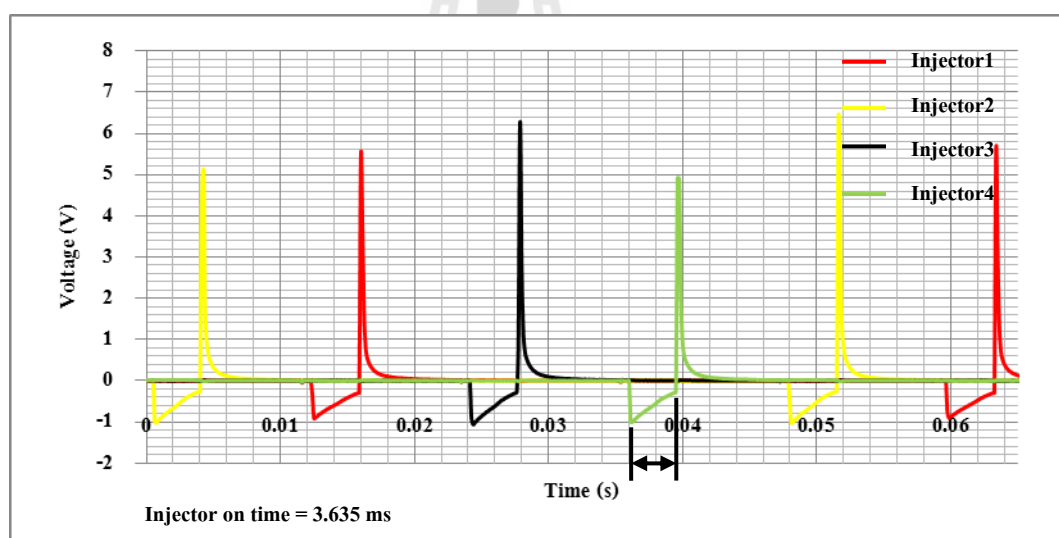
กรณีที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 2500 รอบต่อนาที
ดังแสดงในรูปที่ 4.18

กรณีที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 3000 รอบต่อนาที
ดังแสดงในรูปที่ 4.19

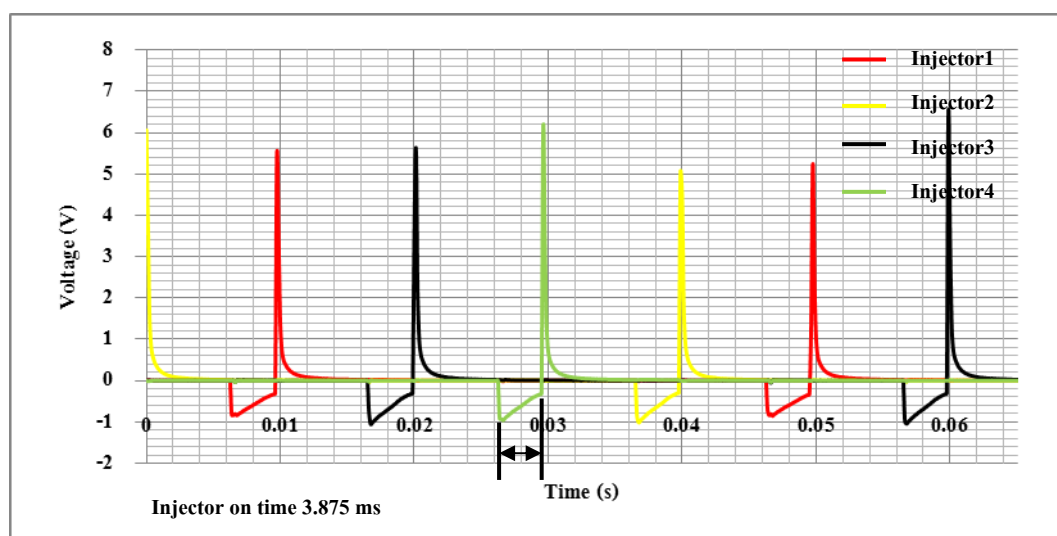
กรณีที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 3500 รอบต่อนาที
ดังแสดงในรูปที่ 4.20



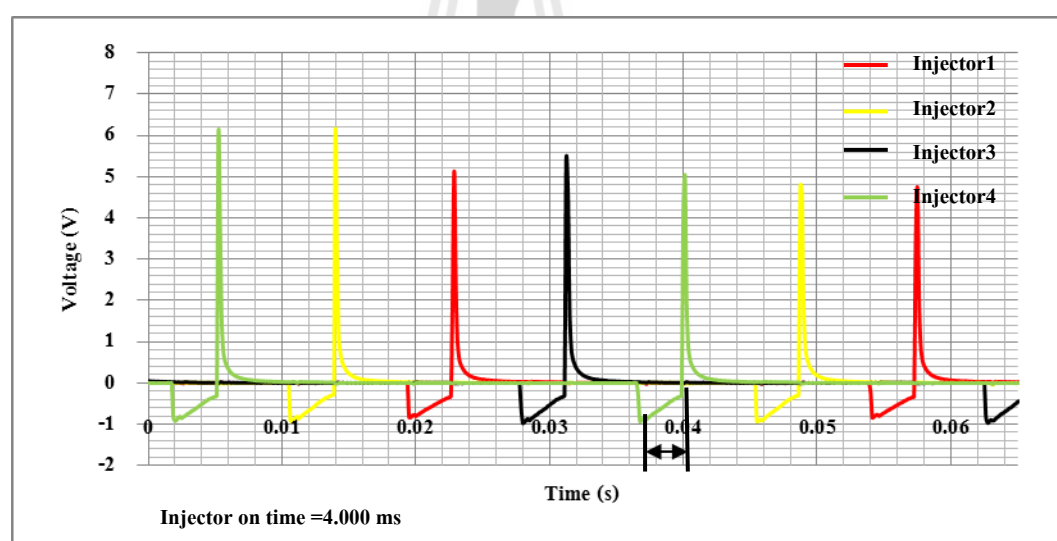
รูปที่ 4.17 สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.18 สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2500 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.19 สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3000 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.20 สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3500 รอบต่อนาที

จากการศึกษากระบวนการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบของระบบควบคุมการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ในการกำหนดจังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและระยะเวลาตั้งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง จะถูกควบคุมด้วยระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์โดยรับสัญญาณจากตัวตรวจจับต่าง ๆ โดยนำข้อมูลเหล่านี้มาประมวลผลเพื่อส่งสัญญาณการทำงานไปยังหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง จากรูปที่ 4.17 – 4.20 เป็นการแสดงสัญญาณหัวฉีดเชื้อเพลิงโดยทำการเปลี่ยนแปลง

ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 2000 2500 3000 และ 3500 รอบต่อนาที เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงขึ้น ระยะเวลาตั้งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจะมีระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่มากขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ เนื่องจากเครื่องยนต์ก็ต้องการน้ำมันเชื้อเพลิงและอากาศในการสันดาปภายในที่มากขึ้น โดยระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะทำการคำนวณหาระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงพื้นฐานจากสัญญาณการไหลของอากาศและสัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์ หลังจากนั้นระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงพื้นฐานจะถูกแก้ไขให้มีระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงมากขึ้นตามสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ โดยจะรับสัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ สัญญาณตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ และสัญญาณอุณหภูมิอากาศ โดยระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง จะเท่ากับ ระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงพื้นฐาน + ระยะเวลาที่แก้ไขเพื่อเพิ่มความหนาตามสภาวะการทำงาน+ระยะเวลาที่แก้ไขจากแรงดันไฟฟ้า เพื่อกำหนดระยะเวลาตั้งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้เพิ่มมากขึ้นตามสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ที่มีความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่สูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงระยะเวลาตั้งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของแต่ละความเร็วรอบของเครื่องยนต์

แบบจุดระเบิด 4 สูบ

ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rpm)	ระยะเวลาตั้งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (ms)
2000	2.750
2500	3.625
3000	3.875
3500	4.000

สัญญาณคอยล์จุดระเบิด

สัญญาณคอยล์จุดระเบิดเป็นสัญญาณของอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์ที่เกิดจากการประมวลผลจากสัญญาณตัวตรวจจับสัญญาณต่าง ๆ ของระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์เพื่อควบคุมจังหวะในการจุดระเบิดและควบคุมการตัดต่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของคอยล์จุดระเบิด ซึ่งทำให้เกิดไฟฟ้าแรงสูงส่งต่อไปยังหัวเทียน

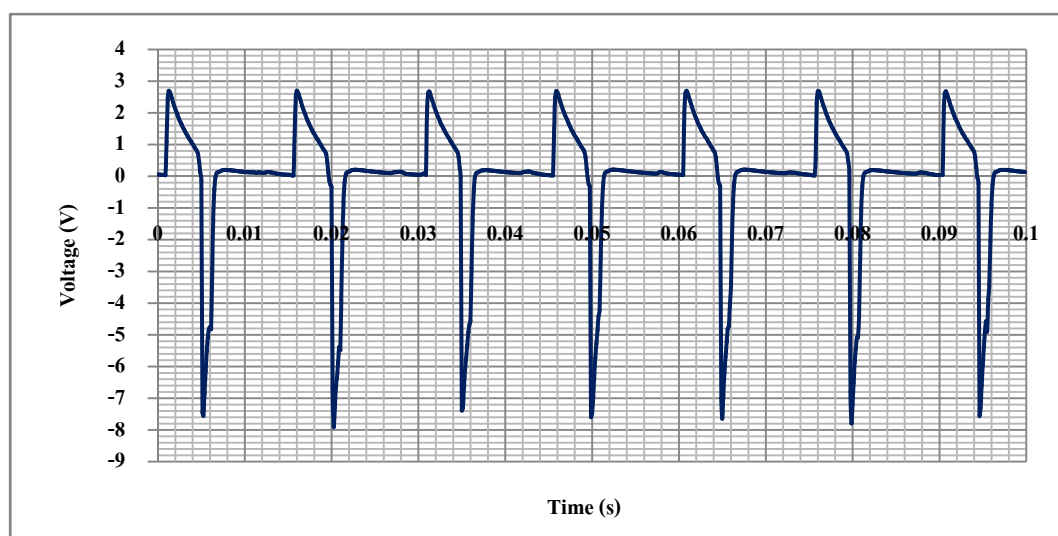
ซึ่งได้แสดงผลรูปแบบของสัญญาณคอยล์จุดระเบิด โดยแบ่งการแสดงผลการทดลองออกเป็น 4 กรณี ดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 2000 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 4.21

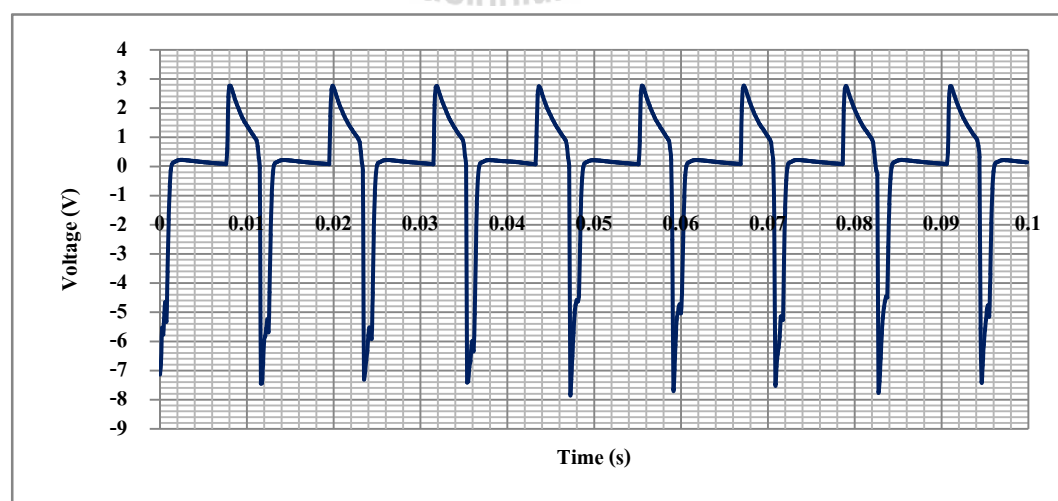
กรณีที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 2500 รอบต่อนาที
 ดังแสดงในรูปที่ 4.22

กรณีที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 3000 รอบต่อนาที
 ดังแสดงในรูปที่ 4.23

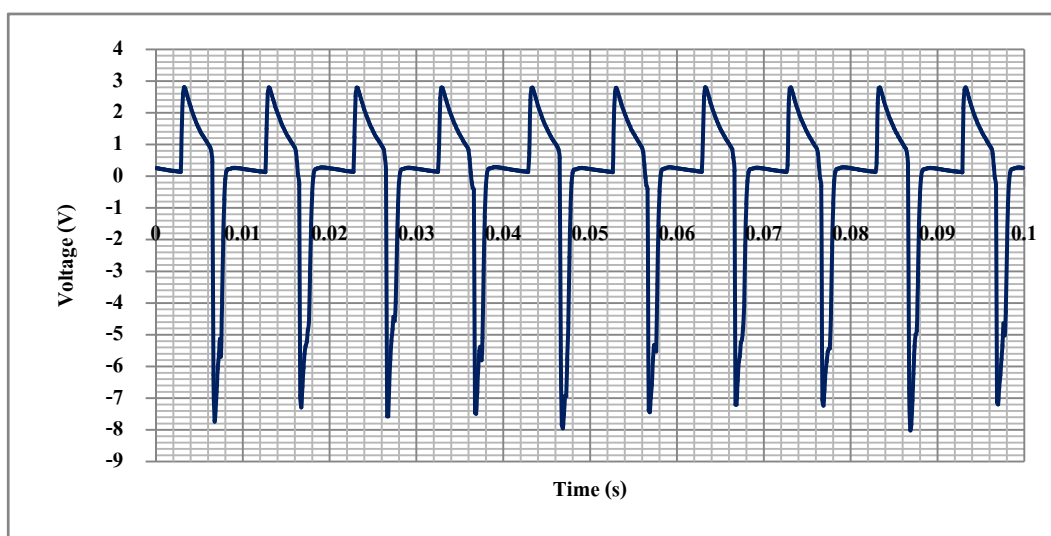
กรณีที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 3500 รอบต่อนาที
 ดังแสดงในรูปที่ 4.24



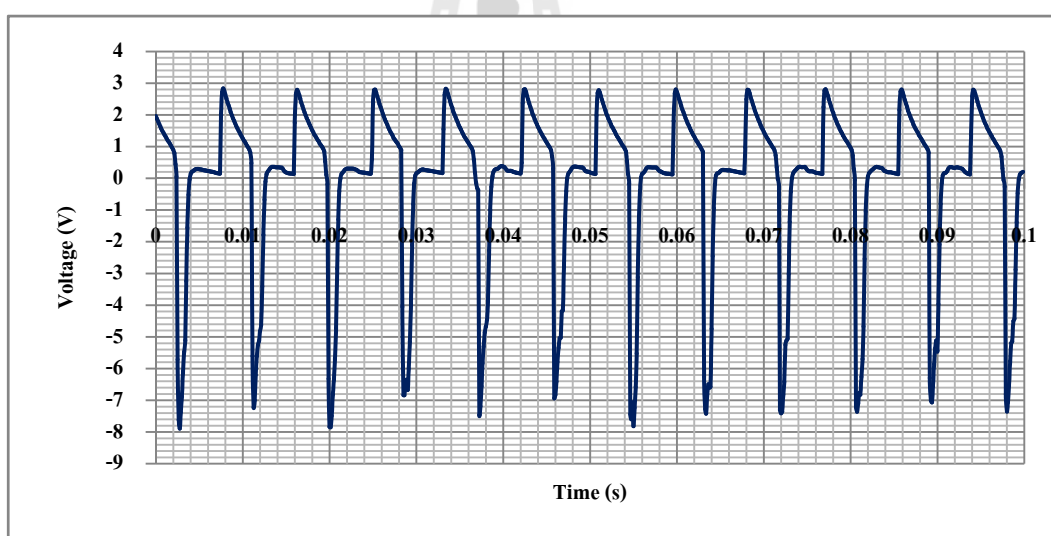
รูปที่ 4.21 สัญญาณคอสต์จูดระเบิดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.22 สัญญาณคอสต์จูดระเบิดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2500 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.23 สัญญาณคอยล์จุดระเบิดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3000 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.24 สัญญาณคอยล์จุดระเบิดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3000 รอบต่อนาที

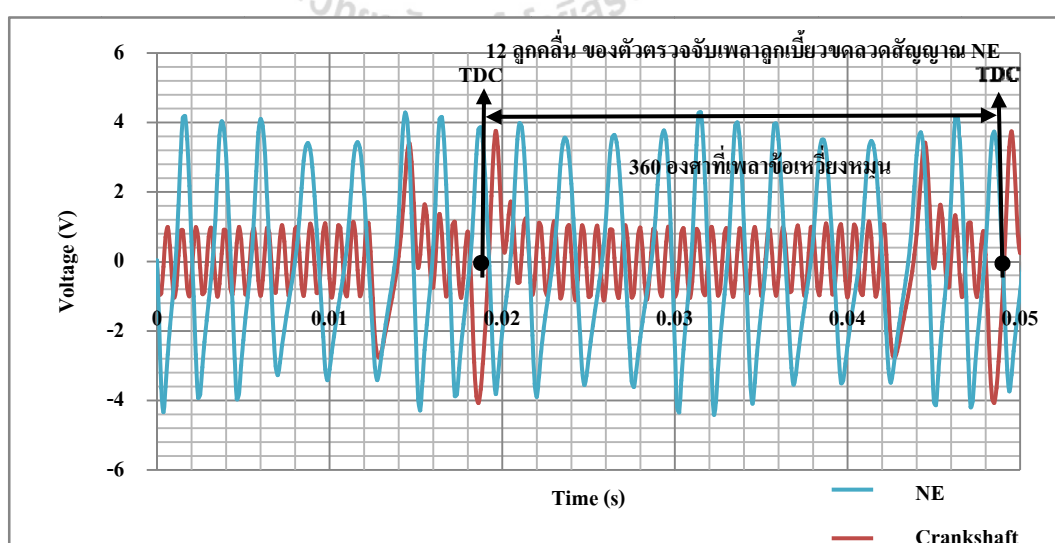
จากการศึกษากระบวนการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ ในการกำหนดจังหวะการจุดระเบิด จะถูกควบคุมด้วยระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์โดยรับสัญญาณจากตัวตรวจจับต่าง ๆ โดยนำข้อมูลเหล่านี้มาประมวลผลเพื่อส่งสัญญาณการทำงานไปยังชุดควบคุมของคอยล์จุดระเบิดเพื่อควบคุมการตัดต่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน ซึ่งทำให้เกิดไฟฟ้าแรงสูงส่งต่อไปยังหัวเทียน จากรูปที่ 4.21 – 4.24 เป็นการแสดงรูปแบบสัญญาณคอยล์จุดระเบิด โดยทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 2000 2500 3000 และ 3500 รอบต่อนาที

เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงขึ้นระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะทำการประมวลผลข้อมูลที่ได้จากสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยว สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาช้อเหวี่ยง และสัญญาณตัวตรวจจับสัญญาณอื่น ๆ เพื่อกำหนดองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าโดยหลักการในการกำหนดองศาการจุดระเบิดล่วงหน้า จะมีค่าเท่ากับ องศาจุดระเบิดล่วงหน้าขั้นต้น ซึ่งจะถูกกำหนดที่ 10 องศาก่อนศูนย์ตายบน เป็นอย่างต่ำ+องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าพื้นฐาน เป็นองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าที่สูงขึ้นอยู่กับปริมาตรที่ไหลเข้าไปในกระบอกสูบและความเร็วรอบของเครื่องยนต์+องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าแก้ไขเพิ่มเติมซึ่งเป็นองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าที่แก้ไขตามสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ โดยระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะมีหน้าที่ในการกำหนดจังหวะในการตัดต่อของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของคอยล์จุดระเบิดที่มีความถี่มากขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้นเพื่อให้สอดคล้องกับวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์

4.1.2 การศึกษาและวิเคราะห์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ จากสัญญาณตัวตรวจจับสัญญาณและสัญญาณอุปกรณ์การทำงาน

การศึกษาและวิเคราะห์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ จากสัญญาณตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์ โดยการนำสัญญาณตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์ มาเปรียบเทียบกับเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ลำดับขั้นตอนกระบวนการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ ดังต่อไปนี้

แสดงสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ NE เปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาช้อเหวี่ยง ดังแสดงในรูปที่ 4.25

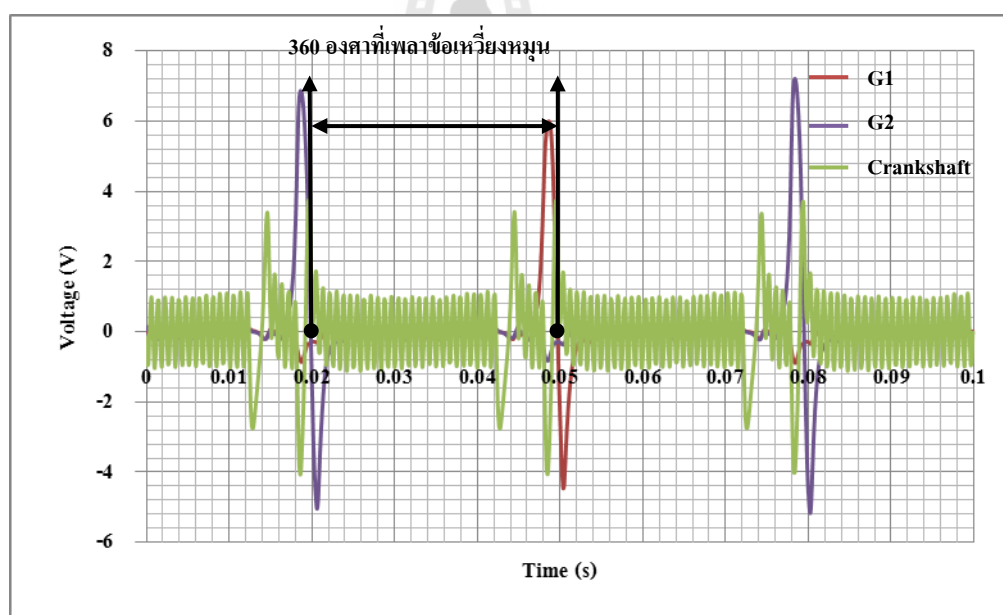


รูปที่ 4.25 สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ NE เปรียบเทียบกับ

สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยง

จากการศึกษาและวิเคราะห์สัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ NE เปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยงจากรูปที่ 4.25 แสดงให้เห็นว่าสัญญาณที่เกิดจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ NE เป็นสัญญาณที่เกิดจากการหมุนของไทมิ่งโรเตอร์ของเพลาลูกเบี้ยวตัดกับขดลวดฟลักซ์สัญญาณ NE 1/2 รอบ หรือเกิดลูกคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับ 12 ลูกคลื่น เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยงจะมีค่าเท่ากับการหมุนของไทมิ่งโรเตอร์ของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยงตัดกับขดลวดฟลักซ์ 1 รอบ ดังนั้น 1 ลูกคลื่นของสัญญาณตัวตรวจจับเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ NE จะมีค่าเท่ากับ 30 องศาเพลาคือเหวี่ยงหมุน

แสดงสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ G1 และขดลวดสัญญาณ G2 เปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยง ดังแสดงในรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ G1 และ ขดลวดสัญญาณ G2 เปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยง

จากการศึกษาและวิเคราะห์สัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ G1 และขดลวดสัญญาณ G2 เปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยงจากรูปที่ 4.26 แสดงให้เห็นว่าสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ G1 และ

ขดลวดสัญญาณ G2 เป็นสัญญาณที่เกิดขึ้นจากไทมิ่งโรเตอร์ของตัวตรวจจับเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ G ที่มีฟัน 1 ฟัน หมุนตัดผ่านขดลวดpickup จำนวน 2 ขดลวด ซึ่งอยู่ในทิศทางตรงกันข้ามกัน คือ ขดลวดpickup สัญญาณ G1 และขดลวดpickup สัญญาณ G2 จึงทำให้เกิดโดยสัญญาณลูกคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับที่เกิดขึ้นจากขดลวดสัญญาณ G1 และ ขดลวดสัญญาณ G2 จะมีระยะห่างกันเท่ากับ 360 องศาเพลารัศมีของเพลาลูกเบี้ยว เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลารัศมีของเพลาลูกเบี้ยว จะมีค่าเท่ากับการหมุนของไทมิ่งโรเตอร์ของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลารัศมีของเพลาลูกเบี้ยวตัดกับขดลวดpickup 1 รอบ

จากรูปที่ 4.25 และรูปที่ 4.26 เป็นการศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบสัญญาณโดยการนำสัญญาณมาเปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ NE สัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ G1 และ ขดลวดสัญญาณ G2 และสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลารัศมีของเพลาลูกเบี้ยว แสดงให้เห็นว่าสัญญาณทั้ง 3 สัญญาณ มีหน้าในการทำงานที่เหมือนกันคือ ส่งสัญญาณตำแหน่งองศาการหมุนของเพลารัศมีของเพลาลูกเบี้ยวและส่งสัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประมวลผลของระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์เพื่อกำหนดองศาในการจุดระเบิด กำหนดระยะเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง และองศาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงในการทำงานของเครื่องยนต์

แสดงสัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบและสัญญาณคอยล์จุดระเบิดเปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลารัศมีของเพลาลูกเบี้ยว

โดยกำหนดความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ประมาณ 2000 รอบต่อนาที เพื่อศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบสัญญาณในการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ ซึ่งได้แบ่งการแสดงผลการทดลองออกเป็น 5 กรณี ดังต่อไปนี้

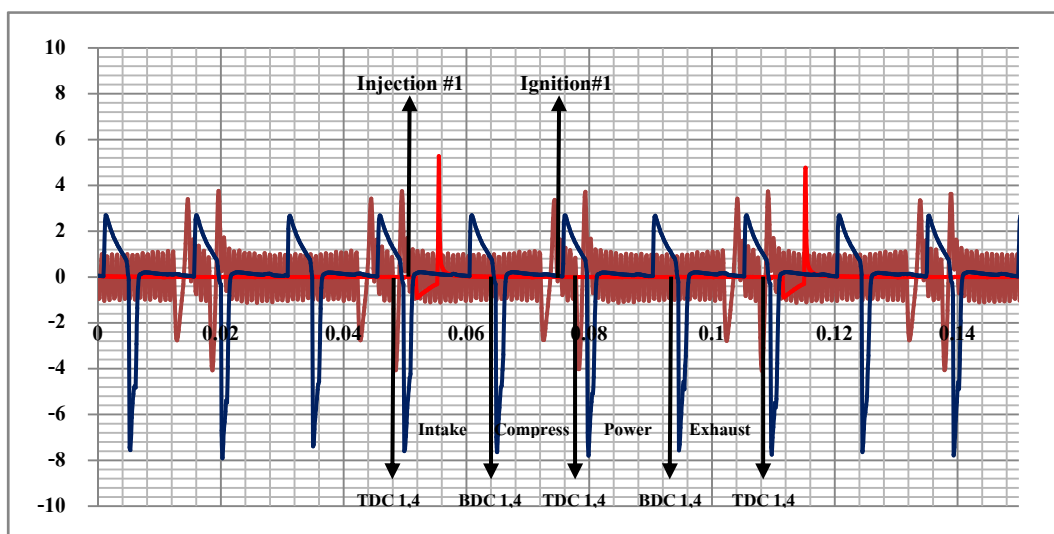
กรณีที่ 1 การแสดงสัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบที่ 1 และสัญญาณคอยล์จุดระเบิดเปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลารัศมีของเพลาลูกเบี้ยวแสดงในรูปที่ 4.27

กรณีที่ 2 การแสดงสัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบที่ 2 และสัญญาณคอยล์จุดระเบิดเปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลารัศมีของเพลาลูกเบี้ยวแสดงในรูปที่ 4.28

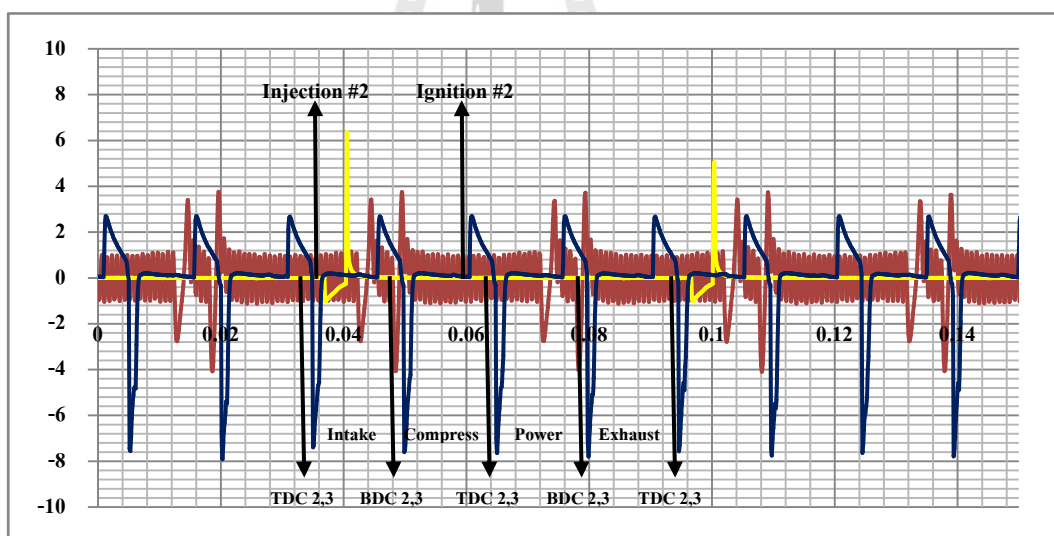
กรณีที่ 3 การแสดงสัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบที่ 3 และสัญญาณคอยล์จุดระเบิดเปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลารัศมีของเพลาลูกเบี้ยวแสดงในรูปที่ 4.29

กรณีที่ 4 การแสดงสัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบที่ 4 และสัญญาณคอยล์จุดระเบิดเปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลารัศมีของเพลาลูกเบี้ยวแสดงในรูปที่ 4.30

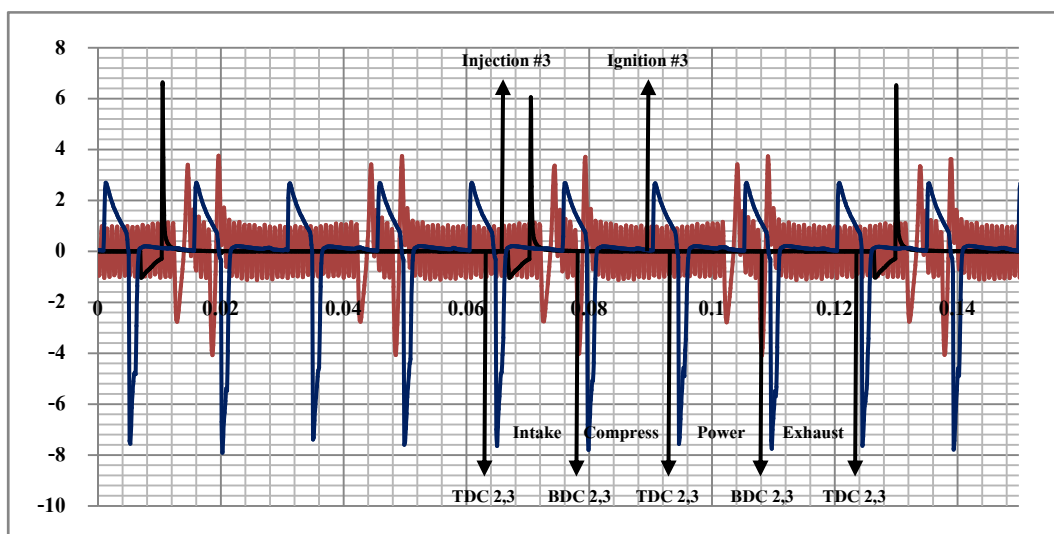
กรณีที่ 5 การแสดงสัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบที่ 1, 2, 3, 4 และสัญญาณคอยล์จุดระเบิดเปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลารัศมีของเพลาลูกเบี้ยวแสดงในรูปที่ 4.31



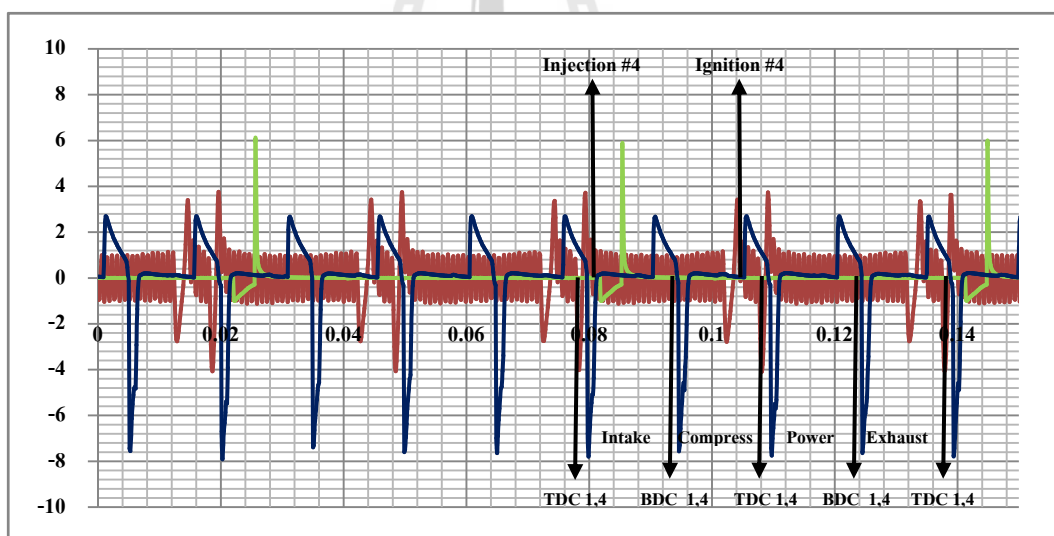
รูปที่ 4.27 สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบที่ 1 และสัญญาณคอยล์จุดระเบิดเปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยง



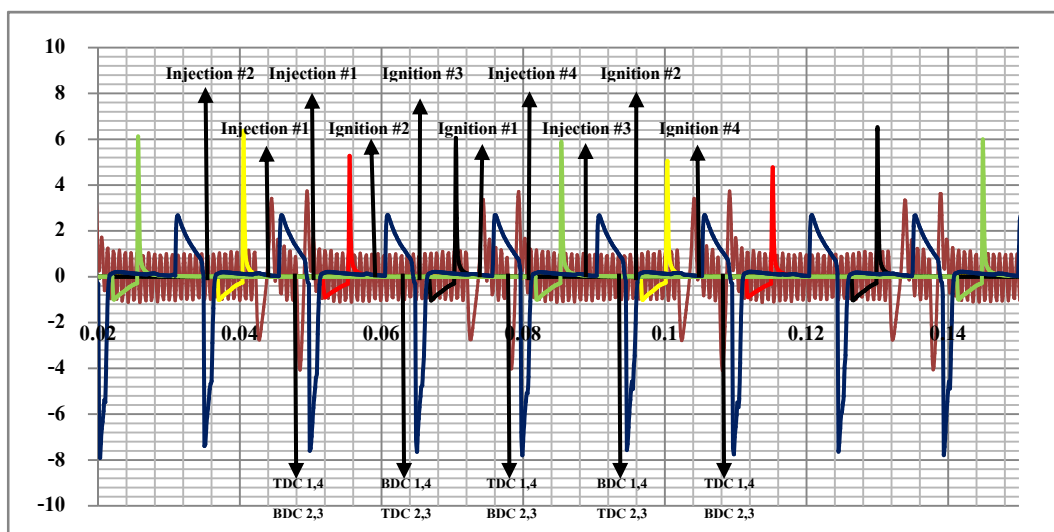
รูปที่ 4.28 สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบที่ 2 และสัญญาณคอยล์จุดระเบิดเปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยง



รูปที่ 4.29 สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบที่ 3 และสัญญาณคอยล์จุดระเบิดเปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยง



รูปที่ 4.30 สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบที่ 4 และสัญญาณคอยล์จุดระเบิดเปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยง



รูปที่ 4.31 สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบที่ 1, 2, 3, 4 และสัญญาณคอยล์จุดระเบิด
เปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาช้อเหวี่ยง

จากการศึกษากระบวนการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ มีกระบวนการในการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด ทั้งหมด 4 จังหวะ คือ จังหวะการดูด, จังหวะการอัด, จังหวะการระเบิด, และจังหวะการคาย จากรูปที่ 4.27 – 4.31 เป็นการแสดงกระบวนการทำงานของเครื่องแบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยเริ่มจากขั้นตอนแรกคือ จังหวะการดูด (Intake Stroke) เริ่มต้นจากลูกสูบเคลื่อนที่ลงจาก TDC ลึกลงสุดที่ BDC เพื่อดูดอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปในกระบอกสูบในระหว่างจังหวะดูดนี้ วาล์วไอดีจะเปิดและวาล์วไอเสียจะปิดโดยระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะส่งฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงหลังลูกสูบเคลื่อนลงจาก TDC เพียงเล็กน้อย ขั้นตอนที่ 2 คือ จังหวะการอัด (Compression Stroke) เริ่มต้นจากลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นจาก BDC ลึกลงสุดที่ TDC ในขณะที่วาล์วทั้งสองปิดอยู่เพื่อทำการอัดอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงให้มีปริมาตรที่ลดลงและความดันกระบอกสูบเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วโดยระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะสั่งจุดระเบิดไปที่หัวเทียนก่อนลูกสูบเคลื่อนที่ถึง TDC เพียงเล็กน้อยเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ ขั้นตอนที่ 3 คือ จังหวะการระเบิด (Power Stroke) เริ่มต้นจากลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นจาก TDC ลึกลงสุดที่ BDC โดยวาล์วไอดีและวาล์วไอเสียจะปิด หลังจากการจุดระเบิดของหัวเทียนจะเกิดการเผาไหม้ระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงและอากาศจะทำให้เกิดอุณหภูมิและความดันสูงดันลูกสูบลงและทำให้เพลาช้อเหวี่ยงหมุนและในขั้นตอนสุดท้าย คือ จังหวะการคาย (Exhaust Stroke) เริ่มต้นเมื่อลูกสูบอยู่ที่ BDC และวาล์วไอเสียเปิดส่วนวาล์วไอดียังคงปิดอยู่ แก๊สที่ขยายตัวแล้วจะถูกดันออกจากกระบอกสูบเคลื่อนที่จาก BDC ไปยัง TDC ซึ่งในกระบวนการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยจะมีการ

เรียงลำดับการทำงานของเครื่องยนต์ตามกระบอกสูบ คือ 1-3-4-2 โดยสามารถสรุปลำดับขั้นตอนการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ลำดับขั้นตอนการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ

กระบอกสูบที่	กระบวนการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ			
1	ระเบิด	คาย	ดูด	อัด
2	คาย	ดูด	อัด	ระเบิด
3	อัด	ระเบิด	คาย	ดูด
4	ดูด	อัด	ระเบิด	คาย

แสดงสัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบทั้ง 4 สูบ และสัญญาณคอยล์จุดระเบิดเปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยว

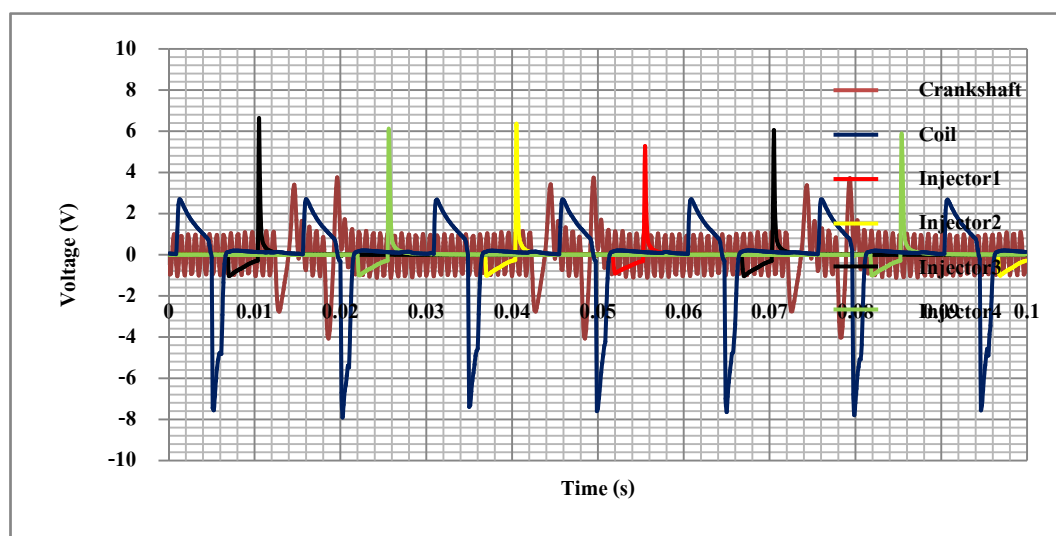
เพื่อศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบสัญญาณในการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยทำการแบ่งการแสดงผลการทดลองออกเป็น 4 กรณี ดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 2000 รอบต่อนาที
ดังแสดงในรูปที่ 4.32

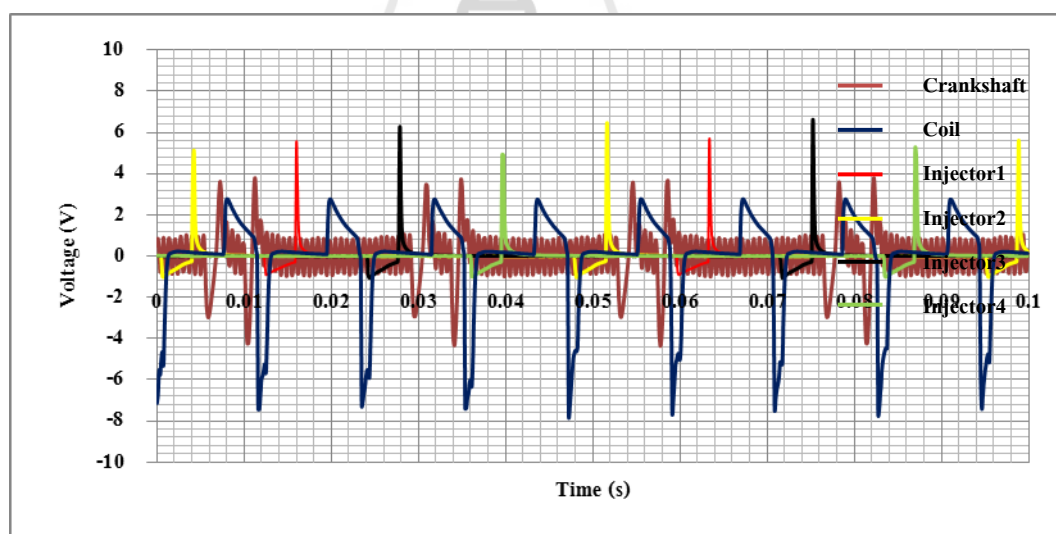
กรณีที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 2500 รอบต่อนาที
ดังแสดงในรูปที่ 4.33

กรณีที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 3000 รอบต่อนาที
ดังแสดงในรูปที่ 4.34

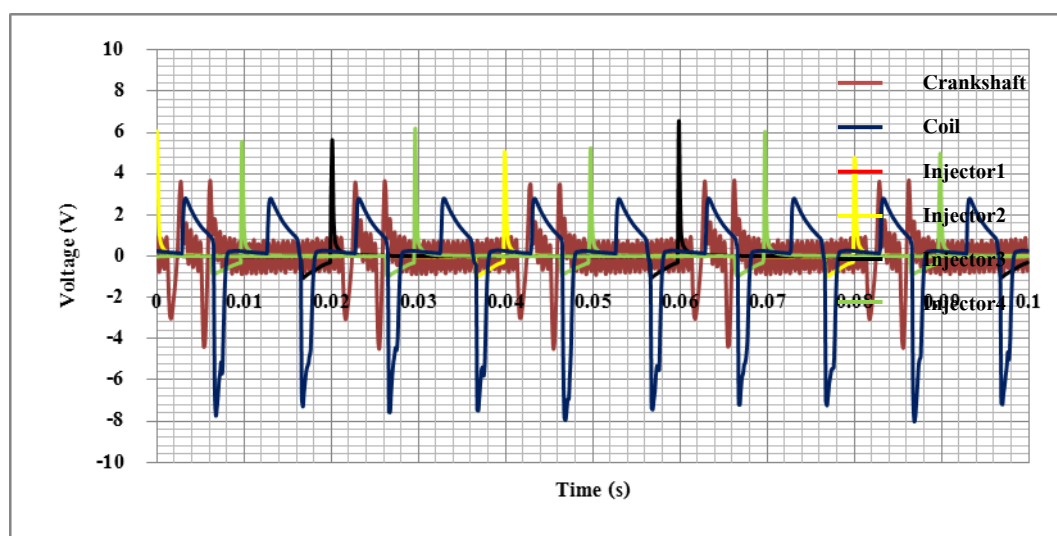
กรณีที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 3500 รอบต่อนาที
ดังแสดงในรูปที่ 4.35



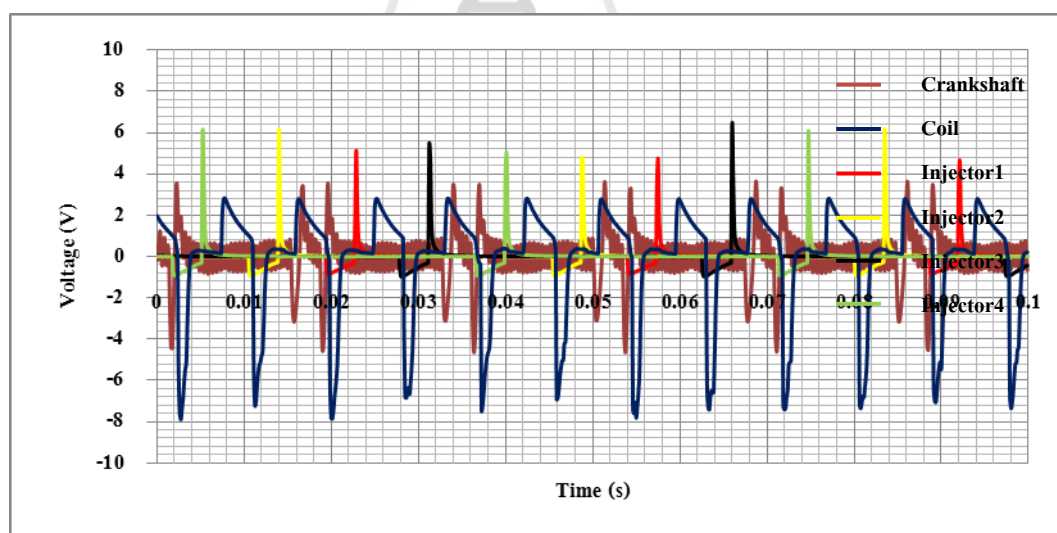
รูปที่ 4.32 สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบทั้ง 4 สูบและสัญญาณคอยล์จุดระเบิด
เปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ
ของเครื่องยนต์ประมาณ 2000 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.33 สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบทั้ง 4 สูบและสัญญาณคอยล์จุดระเบิด
เปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ
ของเครื่องยนต์ประมาณ 2500 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.34 สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบทั้ง 4 สูบและสัญญาณคอยล์จุดระเบิด
เปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ
ของเครื่องยนต์ประมาณ 3000 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.35 สัญญาณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประจำสูบทั้ง 4 สูบและสัญญาณคอยล์จุดระเบิด
เปรียบเทียบกับสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ
ของเครื่องยนต์ประมาณ 3500 รอบต่อนาที

จากการศึกษากระบวนการทำงานของเครื่องยนต์โดยทั่วไปเมื่อทำการปรับองศาของมุมลิ้นปีกผีเสื้อเพิ่มขึ้น ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ก็จะเพิ่มขึ้น ระบบควบคุมการจุดระเบิดและระบบควบคุมการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง จะได้รับสัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยว สัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาช้อเหวี่ยง และสัญญาณตัวตรวจจับอื่น ๆ โดยนำข้อมูลเหล่านี้มาประมวลผลเพื่อกำหนดจังหวะในการจุดระเบิดล่วงหน้าและจังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง จากรูปที่ 4.32 – 4.35 แสดงให้เห็นว่าการกำหนดองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 2000 2500 3000 และ 3500 รอบต่อนาที การกำหนดองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจะมีค่าองศาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่น้อยลง เนื่องจากกระบวนการทำงานของเครื่องยนต์ในการจังหวะการดูด - จังหวะการอัด - จังหวะการระเบิด - จังหวะการคาย มีช่วงระยะเวลาที่เร็วขึ้น โดยระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะทำการกำหนดองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่น้อยลงเพื่อให้สอดคล้องกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้นและรักษาการไหลของผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงในกระบอกสูบให้สูงไว้ที่อัตราความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่สูงขึ้น ในการกำหนดระยะเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้นระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะทำการกำหนดระยะเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้เพิ่มมากขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์เนื่องจากเครื่องยนต์ต้องการน้ำมันเชื้อเพลิงและอากาศในการสันดาปภายในที่มากขึ้น

ในส่วนของการกำหนดองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์มุมองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากช่วงระยะเวลาวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์สั้นลงและช่วงการเผาไหม้โดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 40 ถึง 60 องศาเพลาช้อเหวี่ยง จะทำให้เกิดเปลวไฟขึ้นแล้วเปลวไฟก็แพร่ออกไปในสารผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงสั้นลง จึงทำให้ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์กำหนดองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าให้มีองศาที่มากขึ้นเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ระหว่างของผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่สมบูรณ์

4.2 ส่วนที่ 2 ศึกษาการตอบสนองแบบพลวัตในการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการแสดงผลและบันทึกผลการทดลอง

การศึกษาการตอบสนองแบบพลวัตในการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการแสดงผลและบันทึกผลการทดลอง ก่อนจะกล่าวถึงการแสดงผลการตอบสนองแบบพลวัตในการทำงานของเครื่องยนต์ จะต้องทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบควบคุมองศาจุดระเบิดล่วงหน้าของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด ดังนี้

การศึกษาระบบควบคุมองศาจุดระเบิดล่วงหน้า (Electronic Spark Advance)

จะใช้ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์เพื่อควบคุมการทำงานของคอยล์จุดระเบิดในการทำงานระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะได้รับสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor) จากนั้นระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะทำการประมวลผลเพื่อกำหนดจังหวะการจุดระเบิดที่เหมาะสมสำหรับแต่ละสภาพการทำงานของเครื่องยนต์ โดยส่งสัญญาณไปควบคุมตัวช่วยจุดระเบิด ทำให้คอยล์จุดระเบิดจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงไปยังจานจ่าย และหัวเทียนแต่ละสูบ

หน้าที่ของอุปกรณ์ในระบบควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้า

ในการควบคุมองศาจุดระเบิดล่วงหน้าของเครื่องยนต์จะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 หน้าที่ของอุปกรณ์ในระบบควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้า

อุปกรณ์	หน้าที่
ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง	ส่งสัญญาณสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์
ตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ	ส่งสัญญาณอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นให้แก่ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ใช้เป็นข้อมูลในการปรับจังหวะการจุดระเบิดให้เหมาะสมกับอุณหภูมิเครื่องยนต์
ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยว - สัญญาณ G1, G2 - สัญญาณ NE	- ส่งสัญญาณองศาการหมุนมาตรฐานของเพลาช้อเหวี่ยงเพื่อเป็นข้อมูลในการกำหนดองศาการจุดระเบิดและการจุดระเบิดในแต่ละสูบ - ส่งสัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์และองศาการหมุนของเพลาช้อเหวี่ยง
ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาช้อเหวี่ยง (Crankshaft Sensor)	ส่งสัญญาณองศาการหมุนของเพลาช้อเหวี่ยง
ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์	กำหนดองศาการหมุนพื้นฐานจากความเร็วรอบของเครื่องยนต์และปรับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าตามสภาวะการทำงาน จากสัญญาณที่ส่งมาจากสัญญาณตัวตรวจจับสัญญาณต่าง ๆ
ตัวช่วยจุดระเบิด	- รับสัญญาณการจุดระเบิดจากระบบควบคุม เพื่อควบคุมการตัดต่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของคอยล์จุดระเบิด ซึ่งทำให้เกิดไฟฟ้าแรงสูงส่งไปยังหัวเทียน

การกำหนดองศาจุดระเบิดล่วงหน้า จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. องศาจุดระเบิดล่วงหน้าขั้นต้น
2. องศาการจุดระเบิดหน้าพื้นฐาน
3. องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าแก้ไขเพิ่มเติม

ในการทำงานของเครื่องยนต์ องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าทั้งหมด จะเท่ากับ องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าขั้นต้น + องศาการจุดระเบิดพื้นฐาน + องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าแก้ไขเพิ่มเติม

1. องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าขั้นต้น

องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าขั้นต้น คือ องศามุมเพลาช้อเหวี่ยงเบื้องต้นที่มีการจุดระเบิดเกิดขึ้น โดยที่ค่าเริ่มต้นที่เครื่องยนต์ได้กำหนดไว้ โดยจะเริ่มการจุดระเบิดล่วงหน้า 10 องศา ก่อนศูนย์ตายบนเป็นอย่างต่ำ (TDC) เช่น ขณะทำการสตาร์ทเครื่องยนต์ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ยังไม่สม่ำเสมอ ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ยังไม่สามารถที่จะกำหนดองศาการจุดระเบิดได้อย่างถูกต้อง การเร่งไฟที่มากกว่าองศาการจุดระเบิดขั้นต้น (10°TDC) จะยังไม่เกิดขึ้น จนกว่าจะมีความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่สม่ำเสมอ

2. องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าพื้นฐาน

ในหน่วยความจำของระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ จะบรรจุข้อมูลองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าที่เหมาะสมกับปริมาณอากาศ ที่บรรจุเข้ากระบอกสูบต่อหนึ่งรอบการหมุนของเครื่องยนต์ และความเร็วรอบของเครื่องยนต์ โดยระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะได้รับสัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์จากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวดสัญญาณ NE เพื่อการกำหนดองศาจุดระเบิดพื้นฐาน ให้สอดคล้องกับสัญญาณที่ได้รับ

3. องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าแก้ไขเพิ่มเติม

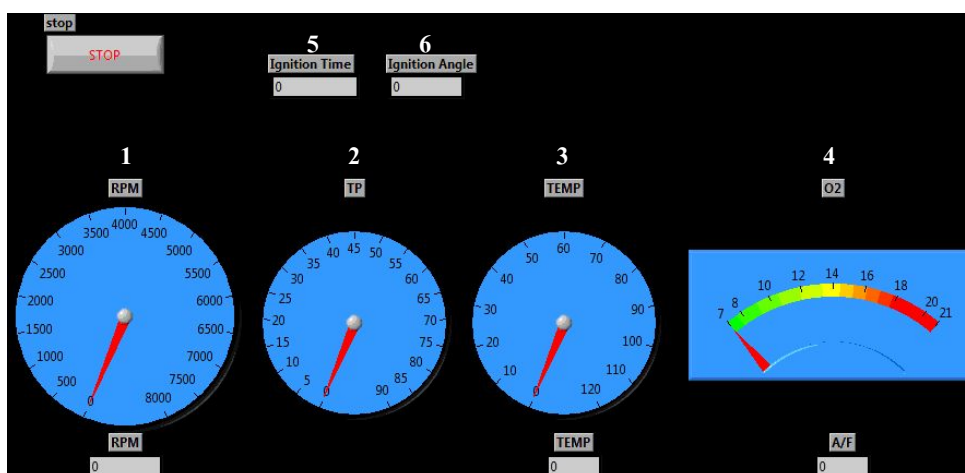
องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าแก้ไขเพิ่มเติมเป็นองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าที่แก้ไขตามสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ เช่น ขณะทำการอุ่นเครื่องยนต์ ขณะเครื่องยนต์มีอุณหภูมิสูงเกิดกำหนด ขณะเครื่องยนต์มีการน็อก ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะทำการปรับแก้ไขให้องศาการจุดระเบิดเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากผลรวมขององศาการจุดระเบิดล่วงหน้าขั้นต้น และองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าพื้นฐาน ดังนี้

การปรับแก้ไขขณะเครื่องยนต์อุ่น เพื่อให้สมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ ขณะที่อุณหภูมิห้ององศาจุดระเบิดล่วงหน้าจะถูกปรับเพิ่มขึ้นหรือลดลง

การปรับแก้ไขเมื่ออุณหภูมิเครื่องยนต์สูง เพื่อป้องกันการน็อกของเครื่องยนต์ เมื่อเครื่องยนต์ร้อนจัด ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะทำการลดองศาจุดระเบิดลงเมื่ออุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นเกิน 100 °C

การปรับแก้ไขเมื่อเครื่องยนต์เกิดการน็อก ในเครื่องยนต์บางรุ่นจะมีตัวตรวจจับการน็อกติดตั้งอยู่ เมื่อเครื่องยนต์เกิดการน็อก ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะทำการปรับลดองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าลง

ในส่วนของการแสดงผลและบันทึกผลการทดลองเป็นการศึกษาและวิเคราะห์ผลการตอบสนองในการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ ดังแสดงในรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 การแสดงผลและบันทึกผลการทดลองเป็นการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลการตอบสนองในการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW

- หมายเลข 1 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์
- หมายเลข 2 ตำแหน่งองศาลิ้นปีกผีเสื้อ
- หมายเลข 3 อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น
- หมายเลข 4 อัตราส่วนผสมอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิง
- หมายเลข 5 เวลาการจุดระเบิดล่วงหน้า
- หมายเลข 6 เวลาการจุดระเบิดล่วงหน้า

ในการศึกษาการตอบสนองแบบพลวัตในการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ ออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

- 4.2.1 ศึกษาการตอบสนองแบบพลวัตในการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2500 3000 และ 3500 รอบต่อนาที

การแสดงผลการตอบสนองแบบพลวัตในการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2500 รอบต่อนาที ซึ่งได้แบ่งการแสดงผลการทดลองออกเป็น 5 กรณี ดังต่อไปนี้

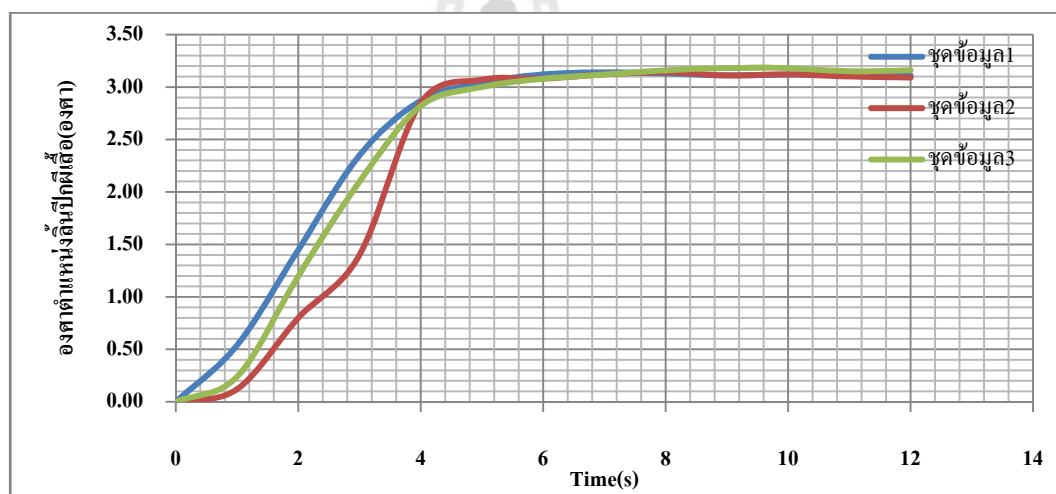
กรณีที่ 1 การแสดงผลการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งองศาสิ้นปีกผีเสื้อดังแสดงในรูปที่ 4.37

กรณีที่ 2 การแสดงผลการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศดังแสดงในรูปที่ 4.38

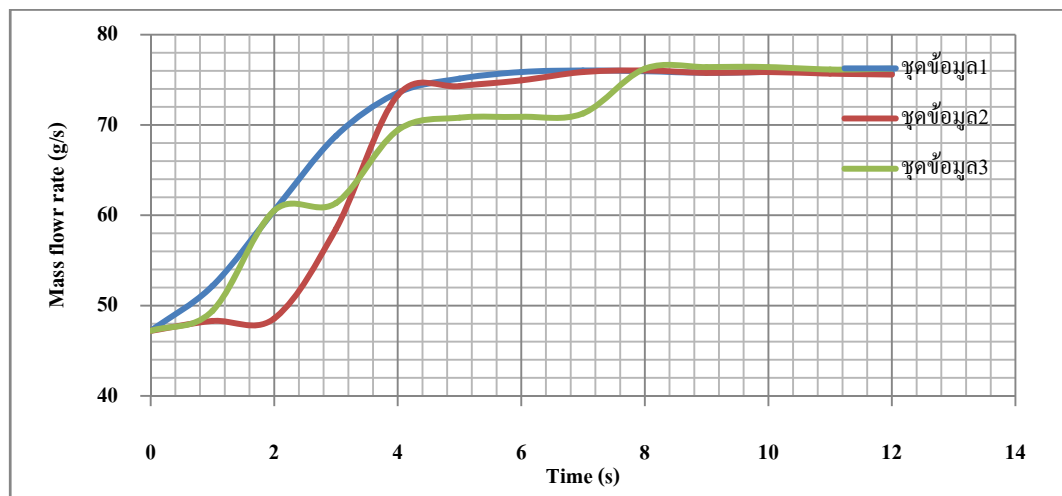
กรณีที่ 3 การแสดงผลความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.39

กรณีที่ 4 การแสดงผลการตอบสนองของระยะเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 4.40

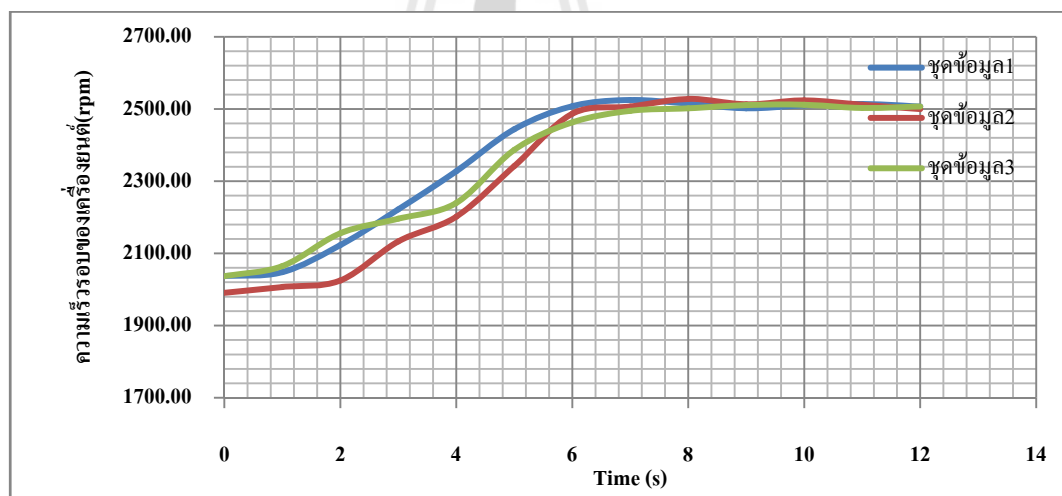
กรณีที่ 5 การผลการตอบสนองของสากุระเบิดล่วงหน้า ดังแสดงในรูปที่ 4.41



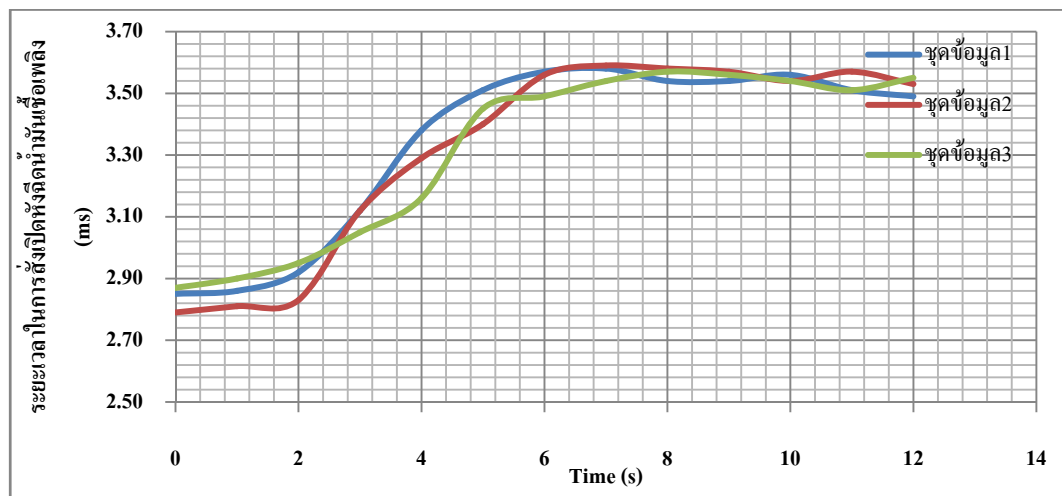
รูปที่ 4.37 การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งองศาสิ้นปีกผีเสื้อของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2500 รอบต่อนาที



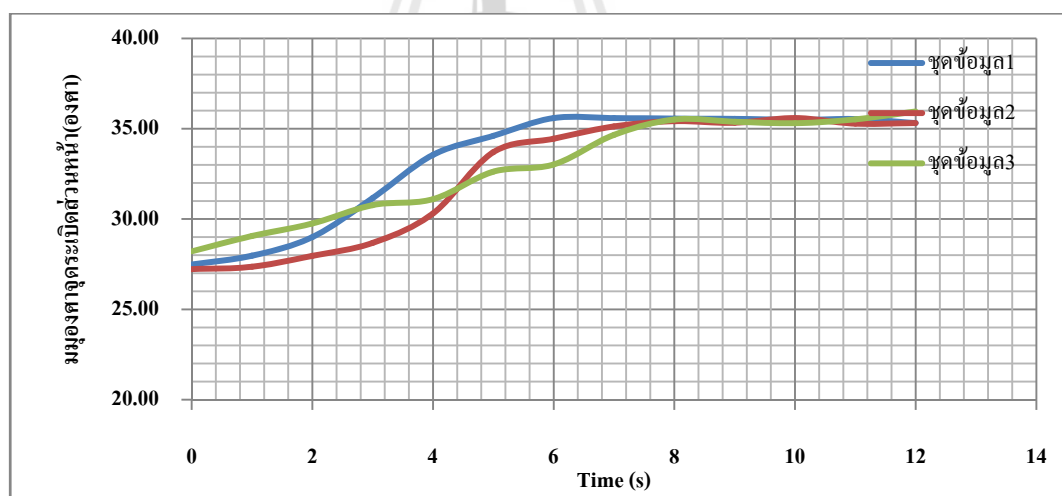
รูปที่ 4.38 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขึ้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2500 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.39 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขึ้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2500 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.40 ผลการตอบสนองของระยะเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2500 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.41 ผลการตอบสนองขององศาจุดระเบิดล่วงหน้าของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2500 รอบต่อนาที

ผลการตอบสนองแบบพลวัตในการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3000 รอบต่อนาที ซึ่งได้แบ่งการแสดงผลการทดลองออกเป็น 5 กรณี ดังต่อไปนี้

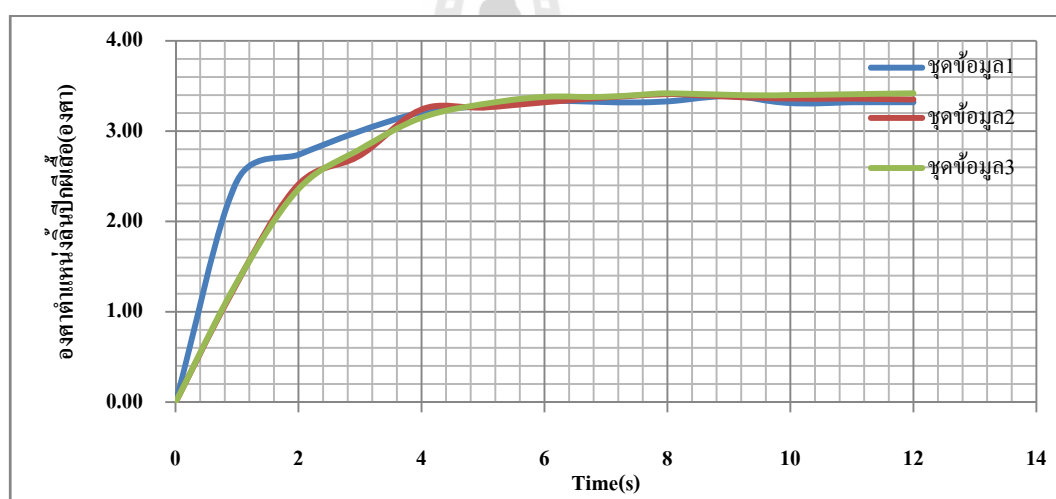
กรณีที่ 1 การแสดงผลการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งองศาสิ้นปีกผีเสื้อดังแสดงในรูปที่ 4.42

กรณีที่ 2 การแสดงผลการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้ของอากาศดังแสดงในรูปที่ 4.43

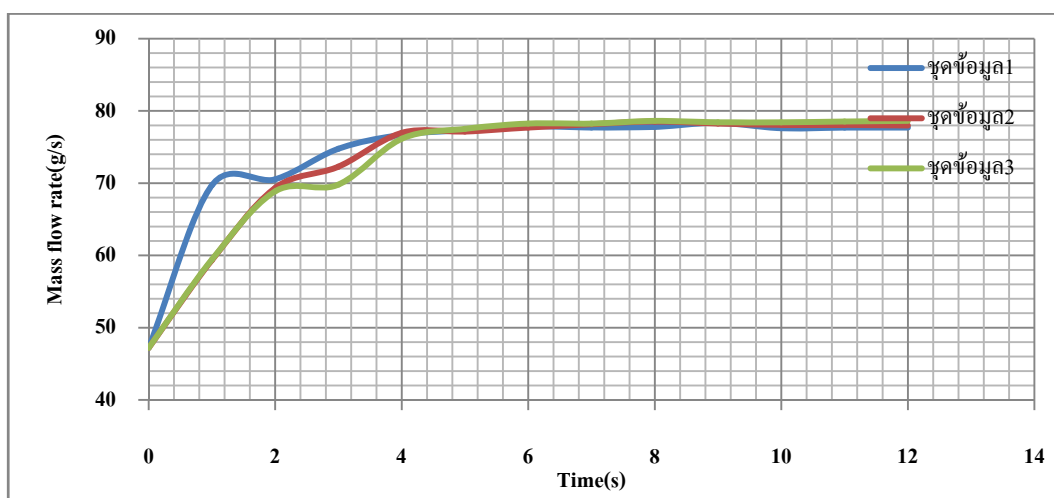
กรณีที่ 3 การแสดงผลความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.44

กรณีที่ 4 การแสดงผลการตอบสนองของระยะเวลาดังเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 4.45

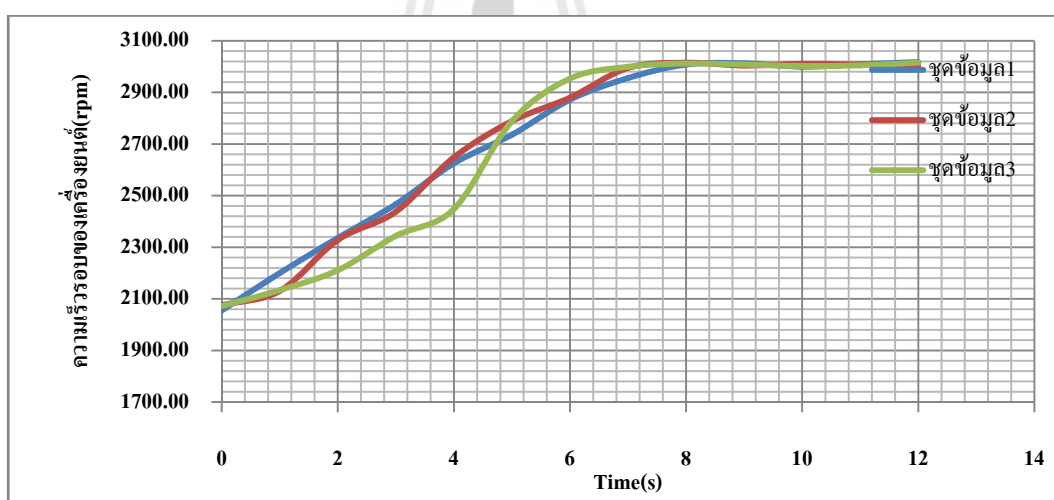
กรณีที่ 5 การผลการตอบสนองขององศาจุดระเบิดล่วงหน้า ดังแสดงในรูปที่ 4.46



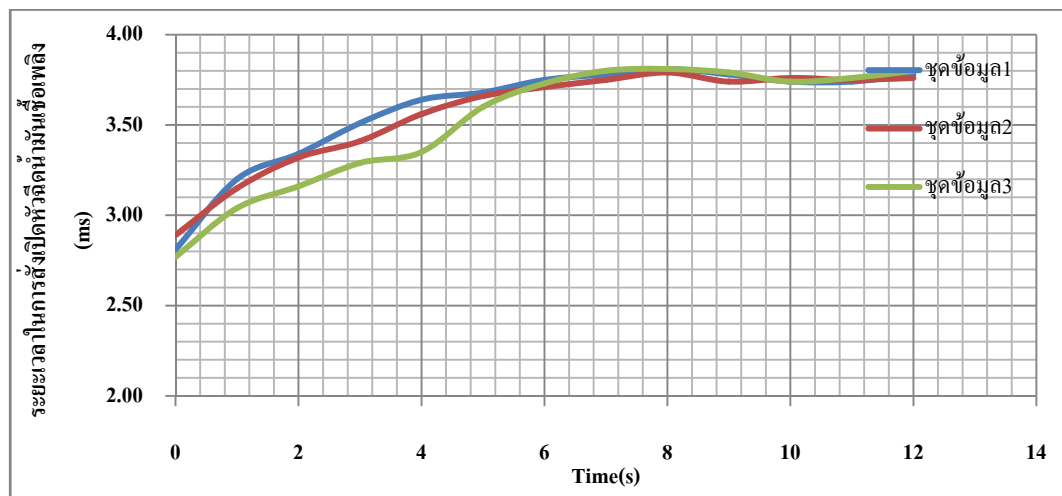
รูปที่ 4.42 การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งองศาสิ้นปีกผีเสื้อของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3000 รอบต่อนาที



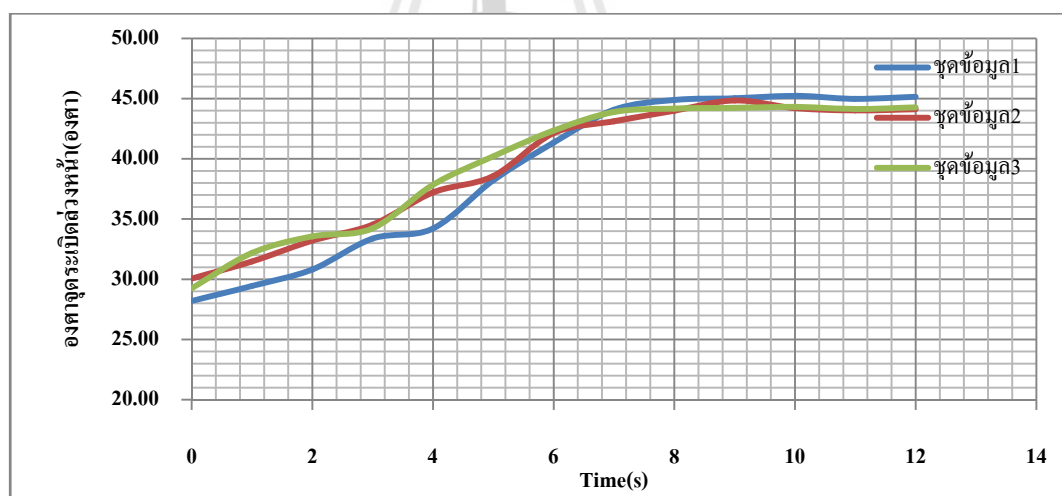
รูปที่ 4.43 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขึ้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3000 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.44 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขึ้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3000 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.45 ผลการตอบสนองของระยะเวลาเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3000 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.46 ผลการตอบสนองขององศาจุดระเบิดล่วงหน้าของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3000 รอบต่อนาที

ผลการตอบสนองแบบพลวัตในการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3500 รอบต่อนาที ซึ่งได้แบ่งการแสดงผลการทดลองออกเป็น 5 กรณี ดังต่อไปนี้

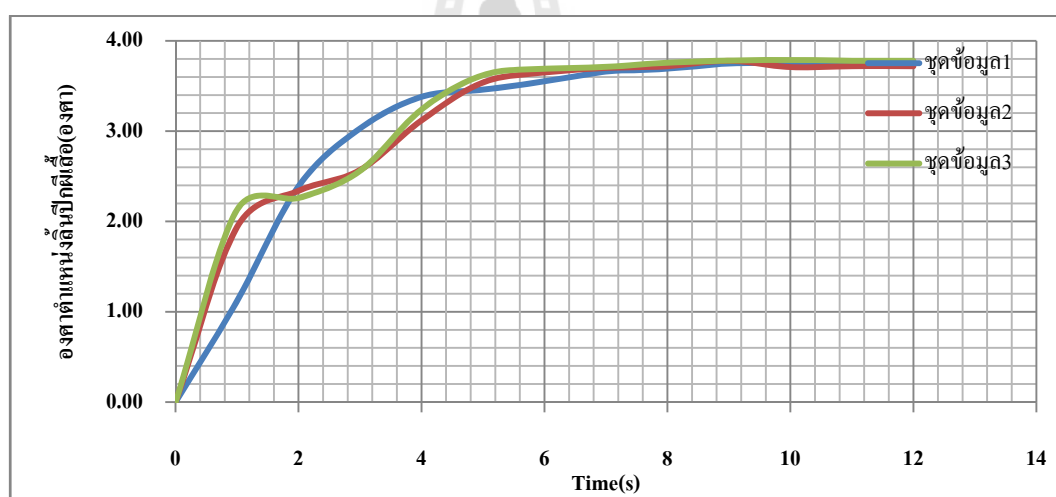
กรณีที่ 1 การแสดงผลการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งองศาสิ้นปีกลีเสื้อดังแสดงในรูปที่ 4.47

กรณีที่ 2 การแสดงผลการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศดังแสดงในรูปที่ 4.48

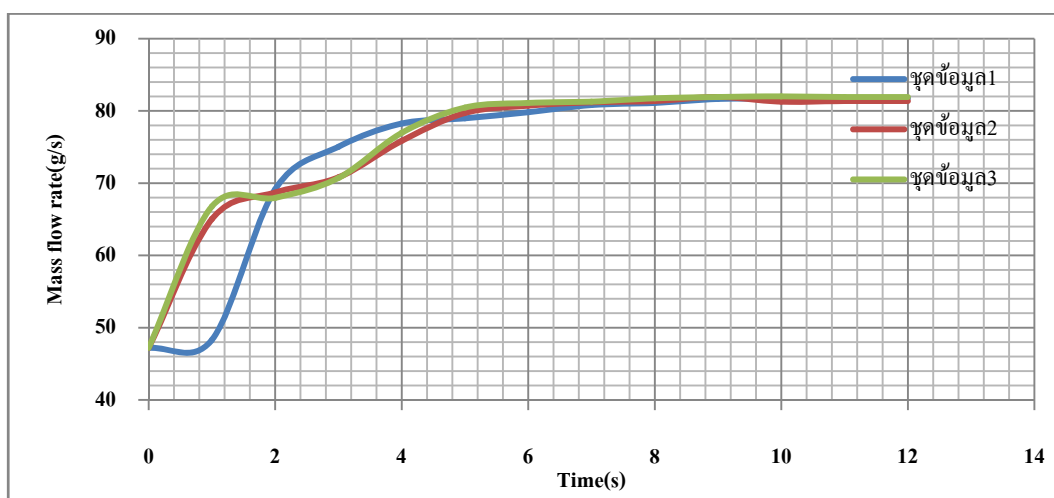
กรณีที่ 3 การแสดงผลความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.49

กรณีที่ 4 การแสดงผลการตอบสนองของระยะเวลาลังเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 4.50

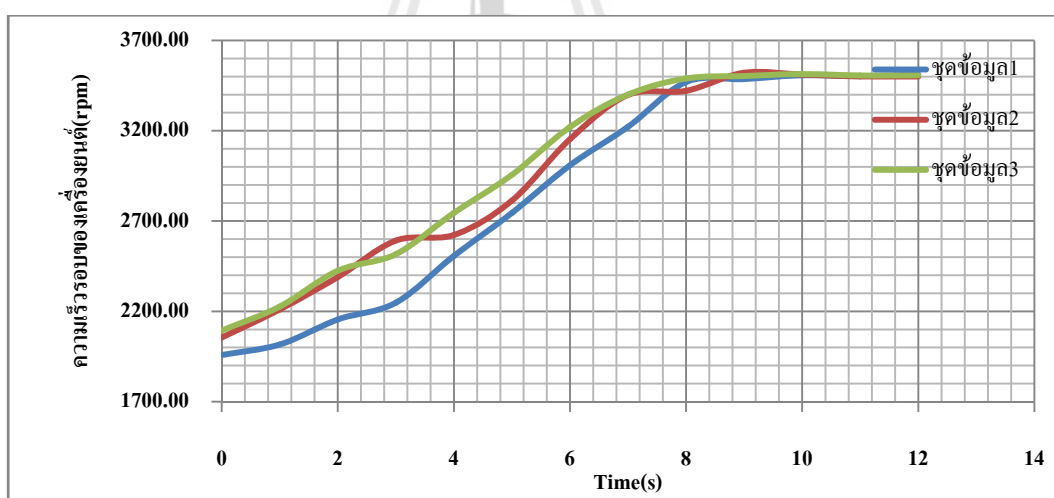
กรณีที่ 5 การผลการตอบสนองขององศาจุดระเบิดล่วงหน้า ดังแสดงในรูปที่ 4.51



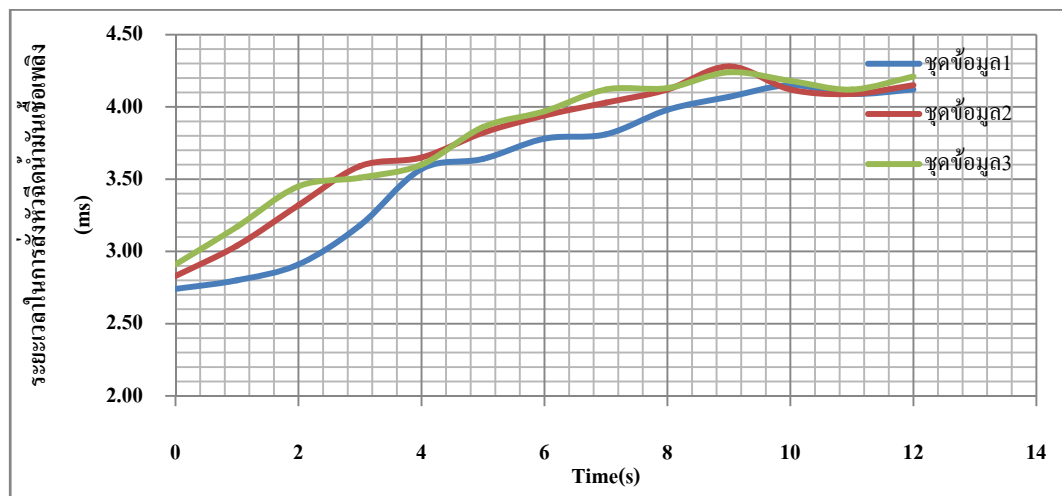
รูปที่ 4.47 การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งองศาสิ้นปีกลีเสื้อของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3500 รอบต่อนาที โดยเปรียบเทียบกับเวลา



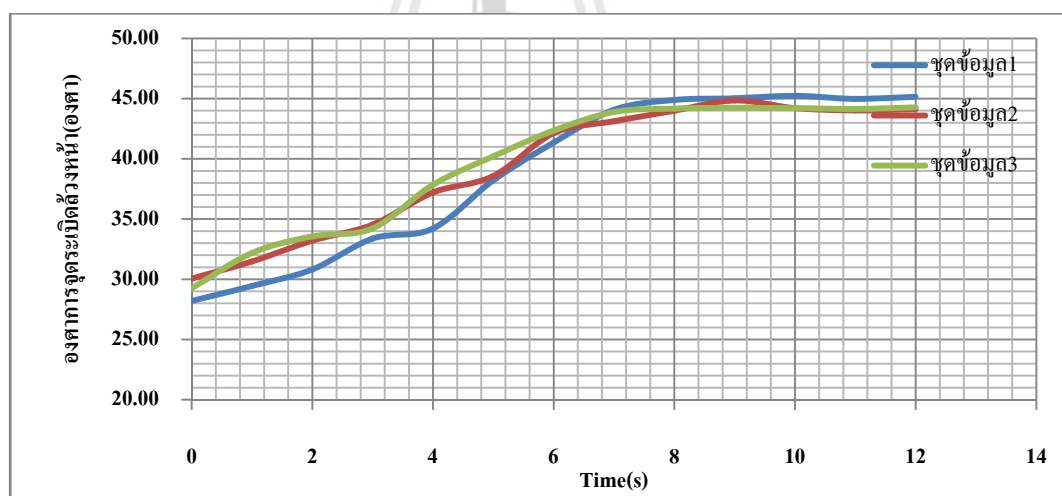
รูปที่ 4.48 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขึ้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3500 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.49 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขึ้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3500 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.50 ผลการตอบสนองของระยะเวลาเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3500 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.51 ผลการตอบสนองขององศาจุดระเบิดล่วงหน้าของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3500 รอบต่อนาที

จากการศึกษาผลการตอบสนองแบบพลวัตของเครื่องยนต์แบบจตุระเบ็ด 4 สูบ โดยเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2500 3000 3500 รอบต่อนาที จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การกำหนดระยะเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงในช่วงTransientเมื่อทำการปรับตำแหน่งองศาลิ้นปีกผีเสื้อเพิ่มขึ้นจะทำให้อากาศไหลเข้าท่อร่วมไอดีในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะทำการประมวลผลข้อมูลจากการสัญญาณตรวจจับสัญญาณต่าง ๆ เพื่อกำหนดระยะเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นตามปริมาณอากาศที่ไหลเข้าท่อร่วมไอดีและความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น โดยมีกระบวนการในการกำหนดระยะเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงดังต่อไปนี้ การกำหนดระยะเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจะมีค่าเท่ากับ การกำหนดระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงพื้นฐาน โดยระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะรับสัญญาณจากมาตรวัดการไหลของอากาศและสัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์ เพื่อทำการประมวลผลข้อมูลเพื่อกำหนดระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงพื้นฐานให้เพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้น และการเพิ่มระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเนื่องจากการทำงานของเครื่องยนต์ต้องทำงานอยู่ภายใต้สภาวะต่าง ๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงที่จ่ายให้กับเครื่องยนต์ ต้องมีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะการทำงานเหล่านั้น จึงทำให้มีการปรับแก้ระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงพื้นฐานให้เพิ่มมากขึ้น เพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมที่หนาเพียงพอกับความต้องการของเครื่องยนต์ และในส่วนของการกำหนดระยะเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงในช่วงSteady – State โดยทำการรักษาตำแหน่งองศาลิ้นปีกผีเสื้อคงที่จะทำให้อากาศไหลเข้าท่อร่วมไอดีในปริมาณคงที่ ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะทำการประมวลผลจากการสัญญาณตรวจจับสัญญาณต่าง ๆ เพื่อกำหนดระยะเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงพื้นฐานคงที่ และจะมีการเพิ่มระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งจะขึ้นอยู่กับสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์

จากการศึกษาผลการตอบสนองแบบพลวัตของเครื่องยนต์แบบจตุระเบ็ด 4 สูบ โดยเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2500 3000 3500 รอบต่อนาที ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การกำหนดองศาการจตุระเบ็ดล่วงหน้า เมื่อทำการปรับตำแหน่งองศาลิ้นปีกผีเสื้อเพิ่มขึ้นในช่วงTransientอัตราการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ก็จะเพิ่มขึ้น การกำหนดองศาการจตุระเบ็ดล่วงหน้าก็จะเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากช่วงระยะเวลาวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์สั้นลงและช่วงการเผาไหม้โดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 40 ถึง 60 องศาเพลวข้อเหวี่ยง จะทำให้เกิดเปลวไฟขึ้นแล้วเปลวไฟก็แพร่ออกไปในสารผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงสั้นลง จึงทำให้ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์กำหนดองศาการจตุระเบ็ดล่วงหน้าให้มีองศาที่มากขึ้นเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ระหว่างของผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่สมบูรณ์โดยกระบวนการในการกำหนดองศาการจตุระเบ็ด

ล่วงหน้าจะเท่ากับ องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าขั้นต้นค่าเริ่มต้นที่เครื่องยนต์ได้กำหนดไว้โดยจะเริ่มการจุดระเบิดล่วงหน้า 10 องศา ก่อนศูนย์ตายบนเป็นอย่างต่ำ (TDC) + องศาการจุดระเบิดพื้นฐานจะขึ้นอยู่กับปริมาตรอากาศ ที่บรรจุเข้ากระสอบสูบล้อต่อหนึ่งรอบการหมุนของเครื่องยนต์ และความเร็วรอบของเครื่องยนต์ โดยระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะได้รับสัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์จากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวคลวคสัญญาณ NE เพื่อกำหนดองศาล่วงหน้าพื้นฐาน ให้สอดคล้องกับสัญญาณที่ได้รับ + องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าแก้ไขเพิ่มเติมจะขึ้นอยู่กับสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ เช่น ขณะทำการอุ่นเครื่องยนต์ ขณะเครื่องยนต์มีอุณหภูมิสูงเกิดกำหนด ขณะเครื่องยนต์มีการน็อก ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะทำการปรับแก้ให้องศาการจุดระเบิดเพิ่มขึ้นหรือลดลงและในช่วงSteady – State โดยทำการรักษาตำแหน่งองศาสิ้นปีกผีเสื้อคงที่ จะทำให้อากาศไหลเข้าท่อร่วมไอดีในปริมาณคงที่และความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะทำการประมวลผลจากการสัญญาณตรวจจับสัญญาณต่าง ๆ เพื่อกำหนดองศาการจุดระเบิดเชื้อเพลิงพื้นฐานที่คงที่ และองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าแก้ไขเพิ่มเติมจะขึ้นอยู่กับสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์

4.2.2 ศึกษาการตอบสนองแบบพลวัตในการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ การโดยเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000 - 3500 รอบต่อนาที

ผลการตอบสนองแบบพลวัตในการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000 - 3500 รอบต่อนาทีซึ่งได้แบ่งการแสดงผลการทดลองออกเป็น 5 กรณี ดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 การแสดงผลการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งองศาสิ้นปีกผีเสื้อแสดงในรูปที่

4.42

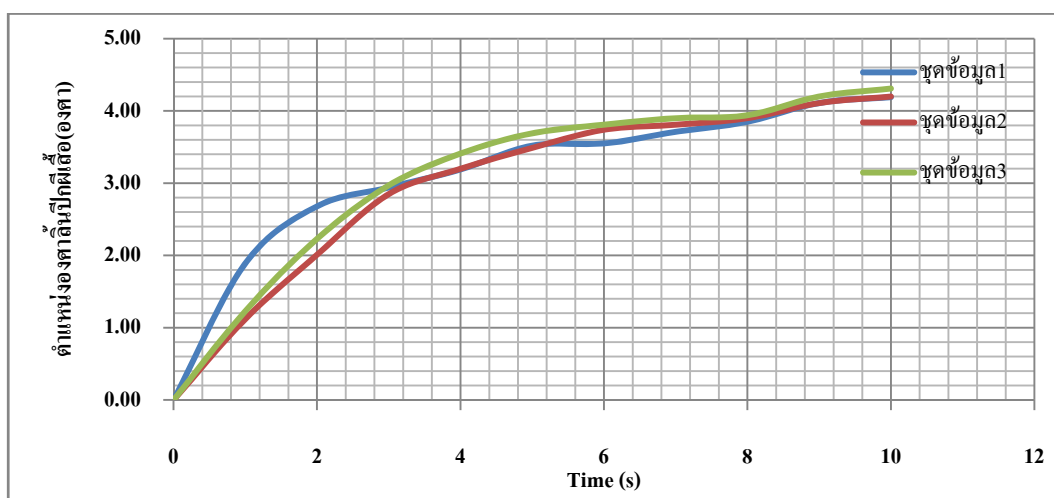
กรณีที่ 2 การแสดงผลการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศแสดงในรูปที่

4.43

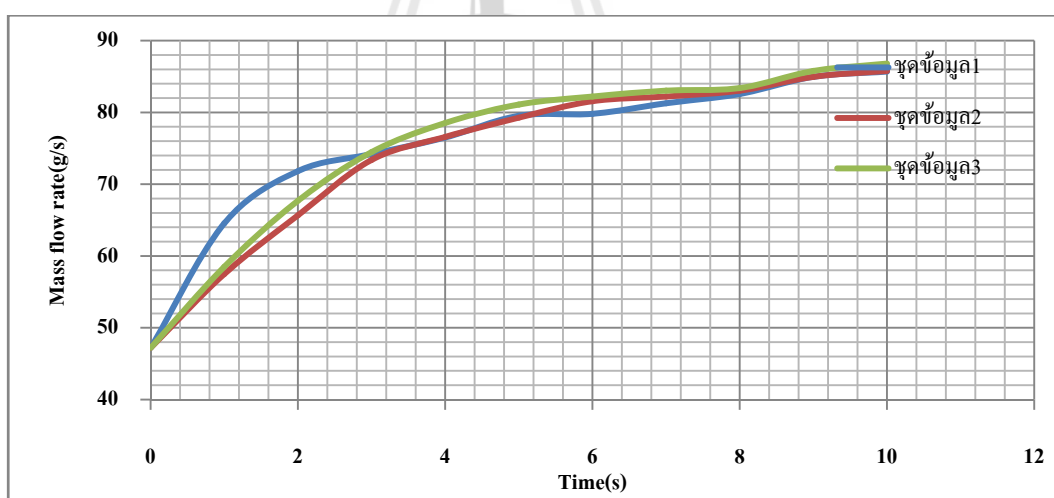
กรณีที่ 3 การแสดงผลความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.44

กรณีที่ 4 การแสดงผลการตอบสนองของระยะเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 4.45

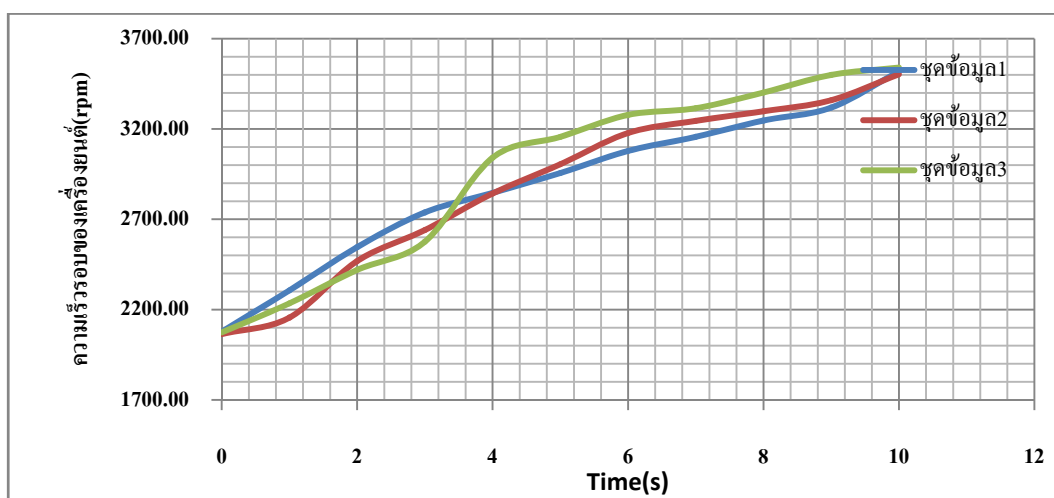
กรณีที่ 5 การผลการตอบสนองขององศาจุดระเบิดล่วงหน้า ดังแสดงในรูปที่ 4.46



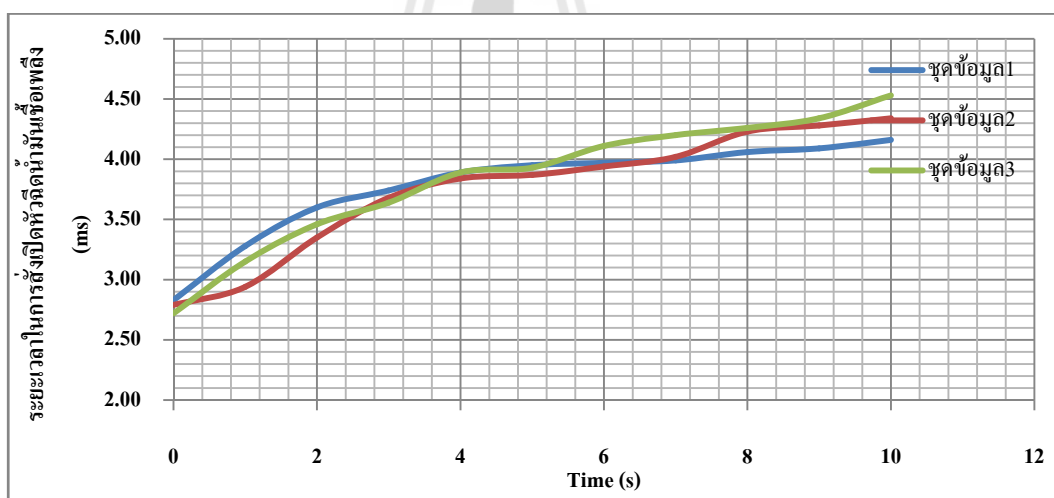
รูปที่ 4.52 การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งศาลีนปีกผีเสื้อของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000 - 3500 รอบต่อนาที



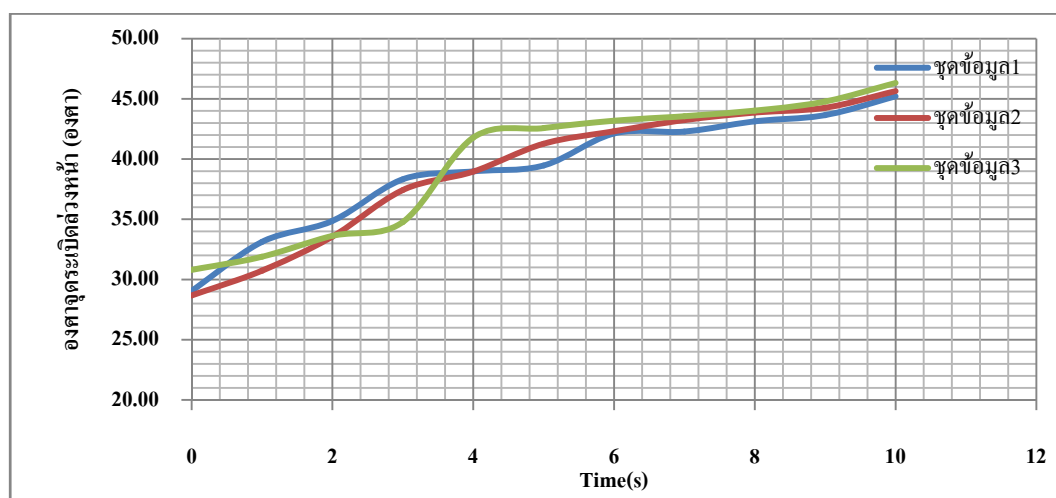
รูปที่ 4.53 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000 - 3500 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.54 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000 - 3500 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.55 ผลการตอบสนองของระยะเวลาเวลาสั่งเปิดหัวฉีดเชื้อเพลิงของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000 - 3500 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.56 ผลการตอบสนองขององศาจุดระเบิดล่วงหน้าของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบชันความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000 - 3500 รอบต่อนาที โดยเปรียบเทียบกับเวลา

จากการศึกษาผลการตอบสนองแบบพลวัตของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบชันที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000 - 3500 รอบต่อนาที จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การกำหนดระยะเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อทำการปรับตำแหน่งองศาสิ้นปีกลี้อเพิ่มขึ้นจะทำให้อากาศไหลเข้าท่อร่วมไอดีในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะทำการประมวลผลข้อมูลจากการสัญญาณตรวจจับสัญญาณต่าง ๆ เพื่อกำหนดระยะเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นตามปริมาณอากาศที่ไหลเข้าท่อร่วมไอดีและความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น โดยมีกระบวนการในการกำหนดระยะเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงดังต่อไปนี้ การกำหนดระยะเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง จะมีค่าเท่ากับ การกำหนดระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงพื้นฐาน โดยระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะรับสัญญาณจากมาตรวัดการไหลของอากาศและสัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์ เพื่อทำการประมวลผลข้อมูลเพื่อกำหนดระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงพื้นฐานให้เพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้น และการเพิ่มระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเนื่องจากการทำงานของเครื่องยนต์ต้องทำงานอยู่ภายใต้สภาวะต่าง ๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงที่จ่ายให้กับเครื่องยนต์ ต้องมีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะการทำงานเหล่านั้น จึงทำให้มีการปรับแก้ระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงพื้นฐานให้เพิ่มขึ้น เพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมที่หนาเพียงพอกับความต้องการของเครื่องยนต์ เนื่องจากการทดลองการเปลี่ยนความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบชันจะมีการปรับแก้ระยะเวลาในการฉีดน้ำมัน

เชื้อเพลิงพื้นฐานมากขึ้นกว่าสภาวะการทำงานอื่น ๆ ของเครื่องยนต์เนื่องจากเป็นสภาวะเปรียบเสมือนการเหยียบคันเร่งซึ่งระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะได้รับสัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งองศาลิ้นปีกผีเสื้อมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งอย่างรวดเร็ว

จากการศึกษาผลการตอบสนองแบบพลวัตของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000- 3500 รอบต่อนาที ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การกำหนดองศาจุดระเบิดล่วงหน้า เมื่อทำการปรับตำแหน่งองศาลิ้นปีกผีเสื้อเพิ่มขึ้นอัตราการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ก็จะเพิ่มขึ้น การกำหนดองศาจุดระเบิดล่วงหน้าก็จะเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากช่วงระยะเวลาวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์สั้นลงและช่วงการเผาไหม้โดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 40 ถึง 60 องศาเพลวข้อเหวี่ยง จะทำให้เกิดเปลวไฟขึ้นแล้วเปลวไฟก็แพร่ออกไปในสารผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงสั้นลง จึงทำให้ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์กำหนดองศาจุดระเบิดล่วงหน้าให้มีองศาที่มากขึ้นเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ระหว่างของผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่สมบูรณ์โดยกระบวนการในการกำหนดองศาจุดระเบิดล่วงหน้าจะเท่ากับ องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าขั้นต้นค่าเริ่มต้นที่เครื่องยนต์ได้กำหนดไว้โดยจะเริ่มการจุดระเบิดล่วงหน้า 10 องศา ก่อนศูนย์ตายบนเป็นอย่าต่ำ (TDC) + องศาการจุดระเบิดพื้นฐานจะขึ้นอยู่กับปริมาตรอากาศ ที่บรรจุเข้ากระสอบสูบลดหนึ่งรอบการหมุนของเครื่องยนต์ และความเร็วรอบของเครื่องยนต์ โดยระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะได้รับสัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์จากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวขดลวดสัญญาณ NE เพื่อการกำหนดองศาล่วงหน้าพื้นฐาน ให้สอดคล้องกับสัญญาณที่ได้รับ + องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าแก้ไขเพิ่มเติมจะขึ้นอยู่กับสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ เช่น ขณะทำการอุ่นเครื่องยนต์ ขณะเครื่องยนต์มีอุณหภูมิสูงเกิดกำหนด ขณะเครื่องยนต์มีการน็อก ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะทำการปรับแก้ไของศาการจุดระเบิดล่วงหน้าเพิ่มขึ้นเนื่องจากการทดลองการเปลี่ยนความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขั้นจะมีการปรับแก้ระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงพื้นฐานมากขึ้นกว่าสภาวะการทำงานอื่น ๆ ดังนั้นการการปรับแก้ไของศาการจุดระเบิดก็จะมีเพิ่มขึ้นเล็กน้อยกว่าสภาวะการทำงานอื่นๆของเครื่องยนต์ เนื่องจากเป็นสภาวะเปรียบเสมือนการเหยียบคันเร่งเพื่อเร่งเครื่องยนต์

4.3 สรุป

จากการแสดงผลข้อมูลของสัญญาณจากตัวตรวจจับและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 เป็นการแสดงรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า

รูปแบบสัญญาณของสัญญาณตรวจจับเพลาลูกเบี้ยวของชุดสัญญาณ NE ชุดสัญญาณ G1 และชุดสัญญาณ G2 สัญญาณตัวตรวจจับเพลาลูกเบี้ยว เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ไทมิ่งโรเตอร์หมุนตัดผ่านชุดคัพคัพเร็วขึ้น จึงทำให้เกิดลูกคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับต่อวินาทีมากขึ้นหรือมีความถี่ที่สูงขึ้น โดยสัญญาณทั้ง 3 สัญญาณ จะมีหน้าที่ส่งสัญญาณบอกความเร็วของเครื่องยนต์และบอกตำแหน่งของเพลาลูกเบี้ยว เพื่อนำข้อมูลไปประมวลผลที่ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์เพื่อกำหนดระยะเวลาในการเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้มากขึ้นเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น จึงหวั่นการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและจังหวะในการจุดระเบิดที่มีความถี่ที่มากขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ เพื่อให้สอดคล้องกับกระบวนการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ

ในส่วนที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขึ้นบันไดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2500 3000 3500 รอบต่อนาที และการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบชันที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000 - 3500 รอบต่อนาที เพื่อศึกษาผลการตอบสนองแบบพลวัตของการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ผลการตอบสนองของระยะเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง แสดงให้เห็นว่าในช่วงที่เปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นหรือช่วง Transient ระยะเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์เนื่องจากมีปริมาตรอากาศไหลเข้าท่อไอดีมาก ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จึงสั่งระยะเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้นเพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่เหมาะสม และในช่วงรักษาความเร็วรอบของเครื่องยนต์หรือช่วง Steady – State จะมีระยะเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงคงที่และค่อยๆลดลงเพียงเล็กน้อยและจะคงที่ และในส่วนของการตอบสนองขององศาการจุดระเบิดล่วงหน้าจะขึ้นอยู่กับปริมาตรของอากาศที่ไหลเข้ากระบอกสูบและความเร็วรอบของเครื่องยนต์ โดยแต่ละความเร็วรอบของเครื่องยนต์ก็จะมียองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าของความเร็วรอบของเครื่องยนต์นั้นๆ และองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าแก้ไขเพิ่มเติมจะขึ้นอยู่กับสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์

จากผลการทดลองการแสดงผลข้อมูลของสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ ทั้ง 2 ส่วน เป็นการศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการทำงานจากรูปแบบของสัญญาณของตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดในควบคุมการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและการจุดระเบิดล่วงหน้า โดยนำความรู้พื้นฐานเหล่านี้ไปประยุกต์และพัฒนาสู่การสร้างระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการวัดและการแสดงผลรูปแบบสัญญาณของตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของระบบควบคุมเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด (Spark Ignition Engine) ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ 4 สูบ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ซึ่งได้แบ่งขั้นตอนของการทดลองดังนี้

1. ศึกษากระบวนการทำงานและรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและสัญญาณจากอุปกรณ์ทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ
2. เก็บข้อมูลรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและสัญญาณอุปกรณ์ทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ เพื่อศึกษารูปแบบสัญญาณและค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดของแต่ละสัญญาณ
3. ศึกษาคุณสมบัติและวิธีการใช้ของอุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI - 6259 และตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าจากข้อมูลรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ
4. ศึกษาขั้นตอนและทฤษฎีการลดแรงดันไฟฟ้าและสร้างชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณเพื่อลดแรงดันไฟฟ้าให้สามารถเชื่อมกับอุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI - 6259
5. เชื่อมต่อสัญญาณของตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ กับอุปกรณ์ลดแรงดันไฟฟ้าและอุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI - 6259
6. แสดงรูปแบบสัญญาณของตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการแสดงผลและบันทึกผล
7. ศึกษาและวิเคราะห์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ จากสัญญาณตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการแสดงผลและบันทึกผล
8. ศึกษาการตอบสนองแบบพลวัตในกำหนดองศาจุดระเบิดล่วงหน้าและระยะเวลาตั้งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงในการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการแสดงผลและบันทึกผลโดยเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบขึ้นบันไดและแบบขั้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

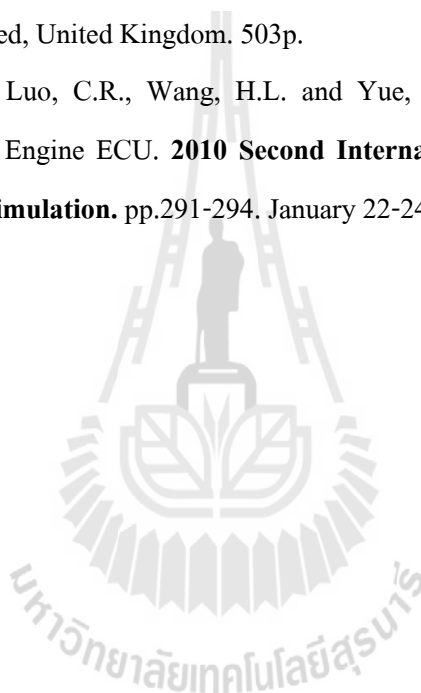
แสดงระบบการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด (Spark Ignition Engine) ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ 4 สูบ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW เป็นแนวทางการพัฒนาไปสู่การสร้างชุดควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ในการควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ มีข้อเสนอแนะดังนี้

1. เครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ ที่ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้ ควรจะมีอุปกรณ์ตัวตรวจจับปริมาณอากาศ ตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง และอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิง
2. ในงานวิจัยนี้ควรมีโหลดมากระทำกับเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ ที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาผลการตอบสนองของกระบวนการทำงานของเครื่องยนต์ เช่น การจุดระเบิด ล้วงหน้าและระยะเวลาสั่งเปิดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง จะทำให้เห็นกระบวนการทำงานของระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ ในสถานะที่มีโหลดมากระทำกับเครื่องยนต์
3. ในงานวิจัยต่อไปควรมีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในสถานะการทำงานต่าง ๆ ของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด
4. จากการศึกษารูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ ในครั้งนี้ สามารถนำความรู้นี้ไปปรับแต่งเครื่องยนต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดให้ดียิ่งขึ้นและสามารถพัฒนาและสร้างระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ไปใช้กับเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดได้

รายการอ้างอิง

- กิจไพบูลย์ ชีวพันธุ์ศรี (2554). **LabVIEW ซอฟต์แวร์เพื่อการพัฒนากระบวนการวัดและควบคุม**. ซีเอ็ดดูเคชั่น, กรุงเทพมหานคร. 267 หน้า.
- วีระศักดิ์ กรัยวิเชียร (1999). **เครื่องยนต์เผาไหม้ภายในและทฤษฎีการคำนวณ**. (แปลจากต้นฉบับของ Heywood, J.B., 1998), วิทย์พัฒน์, กรุงเทพมหานคร. 564 หน้า
- นพดล เวชวิฐาน (2009). **เครื่องยนต์หัวฉีด EFI**. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพมหานคร. 384 หน้า
- สมปอง คงน้อม (2553). **เครื่องยนต์เบนซินควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์**. ซีเอ็ดดูเคชั่น, กรุงเทพมหานคร. 342 หน้า.
- Chen, L., and Zhang, Z. (2011). Study on The Measurement of Dynamic Characteristics for Automotive Electronic Fuel Injector. **International Conference on Transportation Mechanical and Electrical Engineering (TMEE)**, pp.512-514. December 16-18, 2011. Changchun, China
- Ernesto, G.G., Jesus, A.F. and Sebastien, A. (2008). Development of The Management Strategies of The ECU for An Internal Combustion Engine Computer Simulation. **Mechanical Systems and Signal Processing**. Vol.22: No.6, August 2008. pp.1356-1373.
- Feng, K., Liyan, Z., Jie, Z. and Yuhua Z. (2007). Automatic Measurement and Control System for Vehicle ECU Based on CAN Bus. **Proceedings of the IEEE International Conference on Automotive and Logistics**, pp.964-968. August 18-21, 2007. Jinan, China
- Haiping, Y. and Xiangi, Q. (2010). The Calculation of Main Parameter of The Gasoline Engine Fuel Injection System. **International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCSM)**. pp.635-637. October 22-24, 2010. Taiyuan, China
- Jiangyan, Z., Tielong, S. and Riccardo, M. (2010). Model-Base Cold-Start Speed Control Scheme for Spark Ignition Engines. **Control Engineering Practice**. Vol.18: No.11, February 12, 2010. pp.1285-1294
- Jame, D.H., and Jim, L. (2009). **Automotive Fuel and Emissions Control System**. Pearson Education, Inc., United State of America. 558p.

- Luigi, G., Francesco, V. and Carlo, R. (2000). Architecture for Electronic Control Unit Tasks in Automotive Engine Control. **Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium on Computer-Aided Control System Design**. pp.42-47. September 25-27, 2000. Alaska, USA
- Palladino, A., Fiego, G. and Lanzo, D. (2010). A Portable Hardware-in-the-loop (HIL) Device for Automotive Diagnostic Control System. **ISA Transactions**. Vol.51, November 8, 2011. pp.229-239
- Robert, B.G. (2004). **Automotive Electrics Automotive Electronics**. Professional Engineering Publishing Limited, United Kingdom. 503p.
- Wu, W.B., Hong, T.S., Luo, C.R., Wang, H.L. and Yue, X.I. (2010). Hardware-in-loop of Alternative Fuel Engine ECU. **2010 Second International Conference on Computer Modeling and Simulation**. pp.291-294. January 22-24, 2010. Hainan, China





ภาคผนวก ก

เครื่องยนต์ที่ใช้ในงานวิจัยและอุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI-6259

ก.1 เครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ ที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องยนต์แบบจุดระเบิดยี่ห้อ Toyota รุ่น 4AFE



รูปที่ ก.1 เครื่องยนต์แบบจุดระเบิดยี่ห้อ Toyota รุ่น 4AFE

ชุดอุปกรณ์การทดลองของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดยี่ห้อ TOYOTA รุ่น 4AFE โดยมี
ละเอียดข้อมูลพื้นฐานของเครื่องยนต์ดังนี้

ตารางที่ ก.1 แสดงข้อมูลพื้นฐานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดยี่ห้อ TOYOTA รุ่น 4AFE

SPECIFICATIONS	
Model	TOYOTA 4 AFE
Base Engine Configuration	4 cycle / inline 4
Cam configuration	SOHC
Displacement (cc)	1,587
Bore & stroke (mm)	81 × 77
Engine Ratings	125
Peak power (hp) / Peak torque (kg-m)	115@6000/ 15@4800

ก.2 อุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI-6259

ชุดอุปกรณ์การเชื่อมต่อสัญญาณ NI PXI-6259 กับโปรแกรม LabVIEW เพื่อใช้แสดงผลรูปแบบสัญญาณของเครื่องดนตรี ซึ่งมีส่วนประกอบในการทำงานทั้งหมด 4 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 ส่วนประกอบที่ใช้ในการทำงานของชุดอุปกรณ์การเชื่อมต่อสัญญาณ NI PXI-6259

ชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI-6259 แสดงดังรูป ก.3 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์การทำงานของเครื่องดนตรีแบบจุกระเบิดเพื่อแสดงผลรูปแบบสัญญาณด้วยโปรแกรม LabVIEW



รูปที่ ก.3 อุปกรณ์เชื่อมต่อของ NI PXI-6259

คุณสมบัติของ NI PXI-6259

- 16-Bit, 1 MS/s (Multichannel), 1.25 MS/s (1-Channel), 32 Analog Inputs
- Four 16-bit analog outputs (2.8 MS/s); 48 digital I/O; 32-bit counters
- Correlated DIO (32 clocked lines, 10 MHz); analog and digital triggering
- 7 programmable input ranges (± 100 mV to ± 10 V) per channel
- Two 32-bit, 80 MHz counter/timers
- Analog and digital triggering

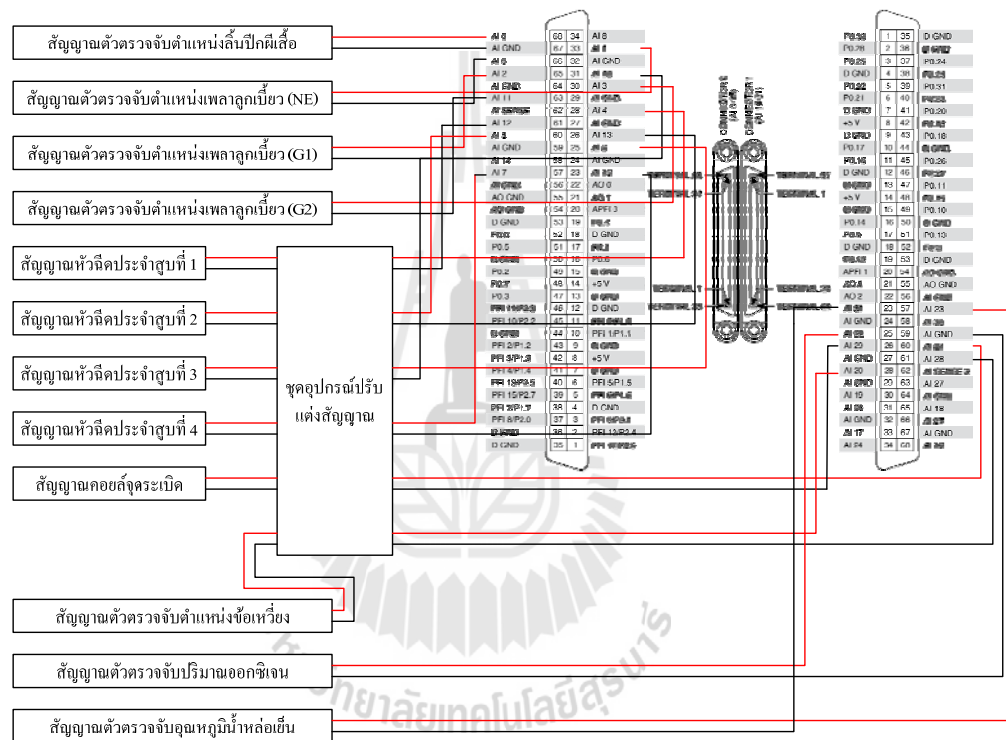


ภาคผนวก ข

การกำหนดค่าในโปรแกรม LabVIEW

ข.1 การเชื่อมสัญญาณกับอุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI - 6259 ในการทดลองแสดงผลรูปแบบสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและสัญญาณจากอุปกรณ์ทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด4 สูบ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW

ในการทดลองได้ทำการเชื่อมต่อสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและสัญญาณจากอุปกรณ์ทำงานเข้ากับชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณและเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI - 6259 โดยจะรับค่าสัญญาณเป็นอะนาล็อก ดังแสดงในรูปที่ ข.1



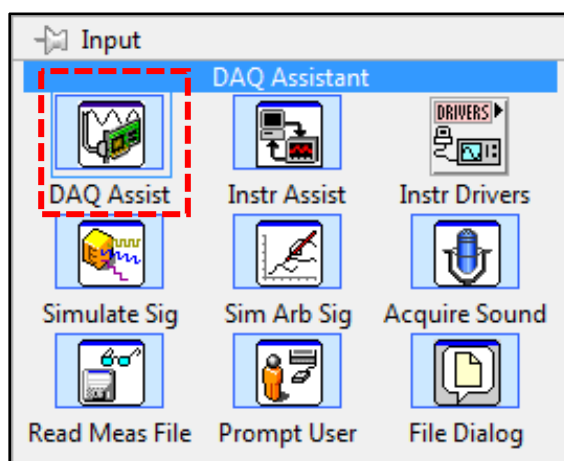
รูปที่ ข.1 การเชื่อมต่อสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและสัญญาณจากอุปกรณ์ทำงานเข้ากับชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณและเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI - 6259

การกำหนดค่าในโปรแกรมLabVIEW

ในการรับสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและสัญญาณจากอุปกรณ์ทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดเชื่อมต่อเข้ากับชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI - 6259 เพื่อแสดงผลในโปรแกรม LabVIEW จะต้องกำหนดค่าดังต่อไปนี้

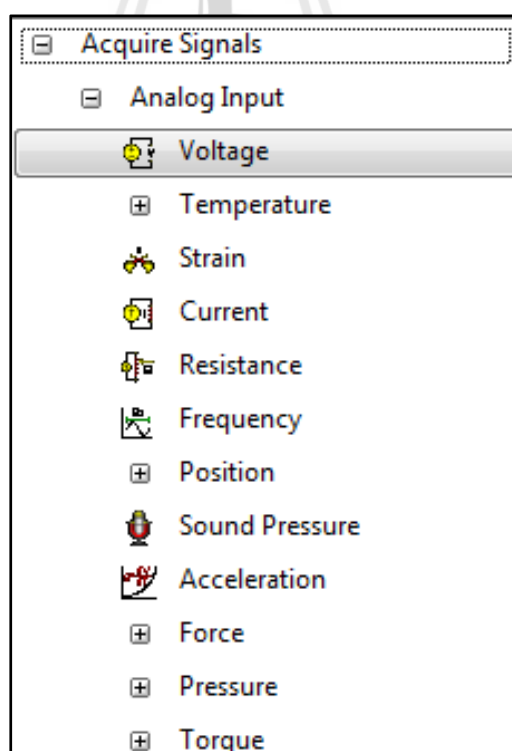
- การเชื่อมต่ออุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI - 6259 กับโปรแกรม LabVIEW เลือกใช้บล็อก

<< Express >> Input >> DAQ Assistant แสดงในรูปที่ ข.2



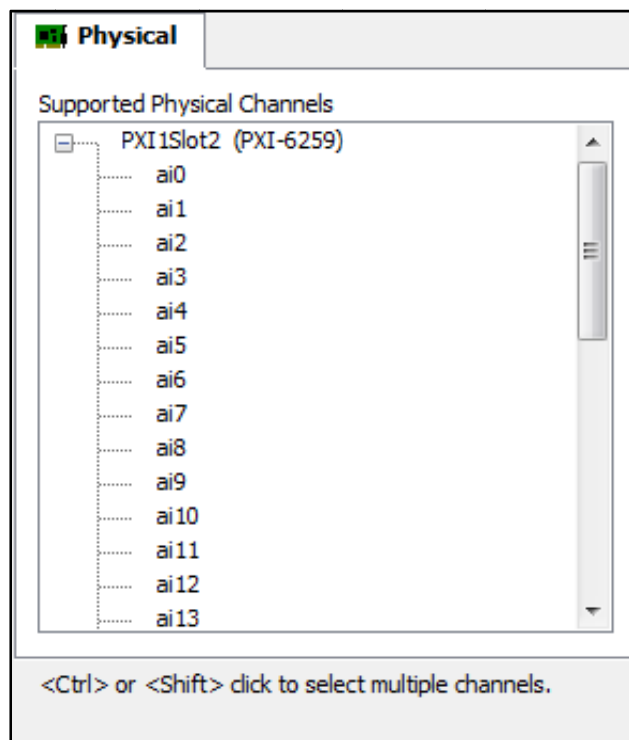
รูปที่ ข.2 บล็อก DAQ Assistant

- การกำหนดค่า Analog Input ใน DAQ Assistant เลือก >> Acquire Signals >> Analog Input >> Voltage



รูปที่ ข.3 Analog Input ใน DAQ Assistant

- กำหนดค่า Supported Physical Channel เลือกช่องสัญญาณอินพุต



รูปที่ ข.4 เลือกช่องสัญญาณอินพุต

- การกำหนดค่า Configuration

Channel Settings >>

ให้เพิ่มช่องสัญญาณอินพุต

Voltage Input Setup >>

กำหนดค่าต่ำสุดและสูงสุด

กำหนดชนิดของหน่วยในการวัด

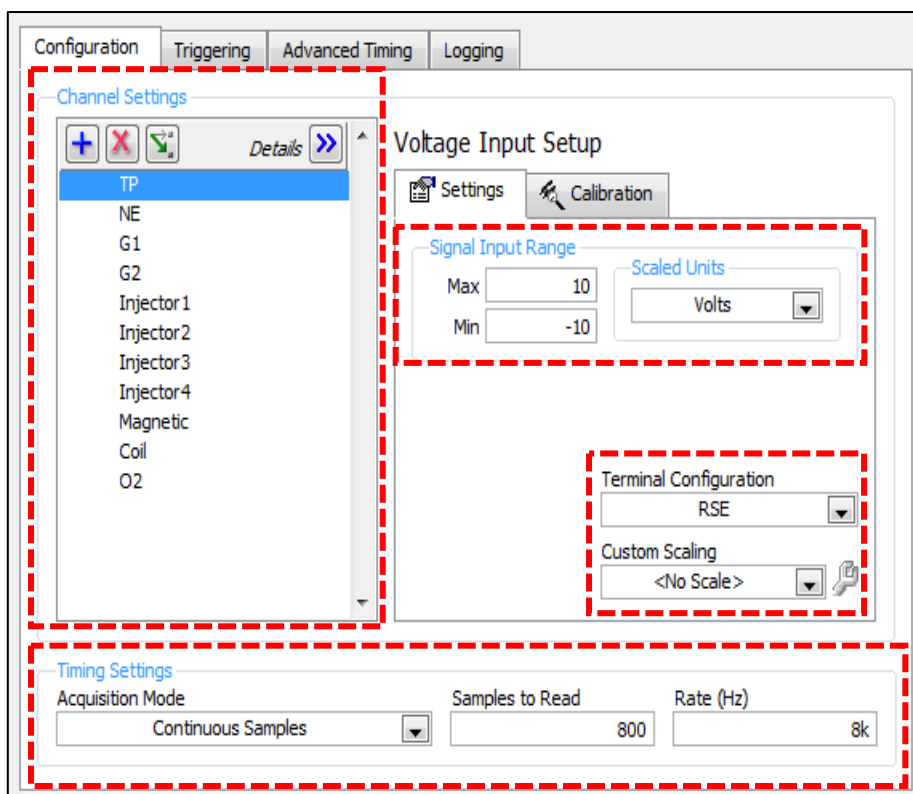
Terminal Configuration >>

เลือก RSE (คือ การใช้กราวด์ร่วมกัน)

เลือกDifferential (คือ การใช้กราวด์แยกกัน)

Timing Setting >> Acquisition Mode >> Continuous Samples >>Sample to Read >>

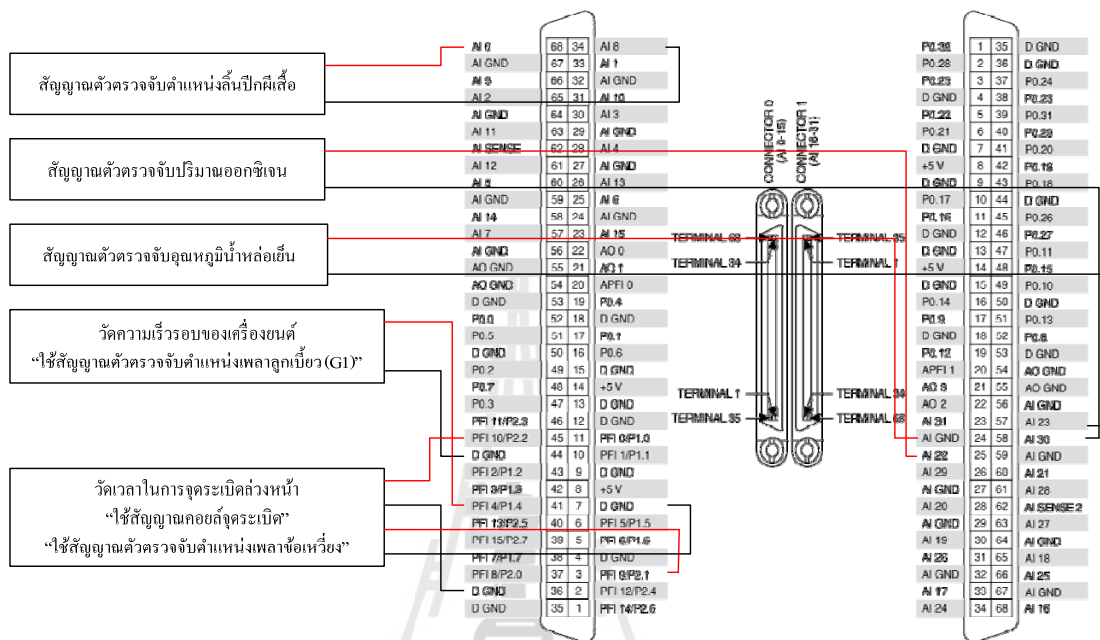
800 >> Rate (Hz) >> 800



รูปที่ ข.5 การกำหนดค่า DAQ Assistant (Analog Input)



ข.2 การเชื่อมสัญญาณกับอุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI - 6259 ในการแสดงเวลาและองศาการจู่ระเบิดล่วงหน้าของเครื่องยนต์แบบจู่ระเบิด 4 สูบโดยใช้โปรแกรม LabVIEW

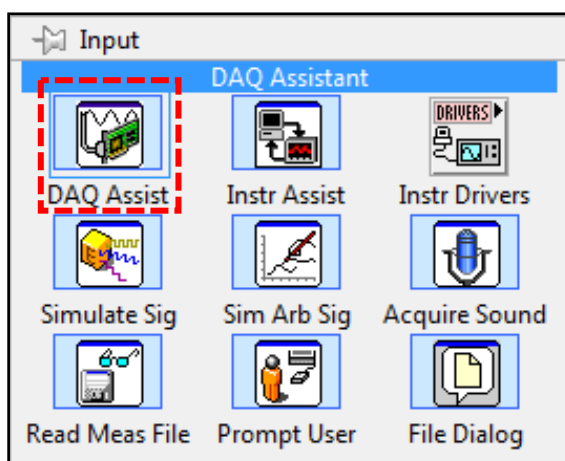


รูปที่ ข.6 การเชื่อมต่อสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณและสัญญาณจากอุปกรณ์ทำงานเข้ากับอุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI - 6259 ในการแสดงเวลาและองศาการจู่ระเบิดล่วงหน้าของเครื่องยนต์แบบจู่ระเบิดโดยใช้โปรแกรม LabVIEW

การกำหนดค่าในโปรแกรม LabVIEW

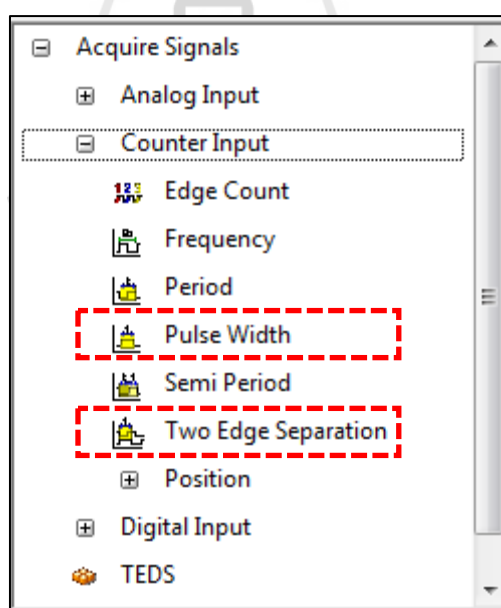
การทดลองแสดงเวลาและองศาการจู่ระเบิดล่วงหน้าในส่วนของการแสดงสัญญาณตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ สัญญาณตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน และสัญญาณตัวตรวจจับอุณหภูมิหล่อเย็น ได้กำหนดค่าต่าง ๆ เหมือนในหัวข้อที่ ค.1 และในส่วนของการแสดงการวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์และแสดงการวัดเวลาในการจู่ระเบิดล่วงหน้า กำหนดค่าในโปรแกรมดังนี้

- การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เชื่อมต่อ NI PXI - 6259 กับโปรแกรม LabVIEW เลือกใช้บล็อก << Express >> Input >> DAQ Assistant แสดงในรูปที่ ข.2



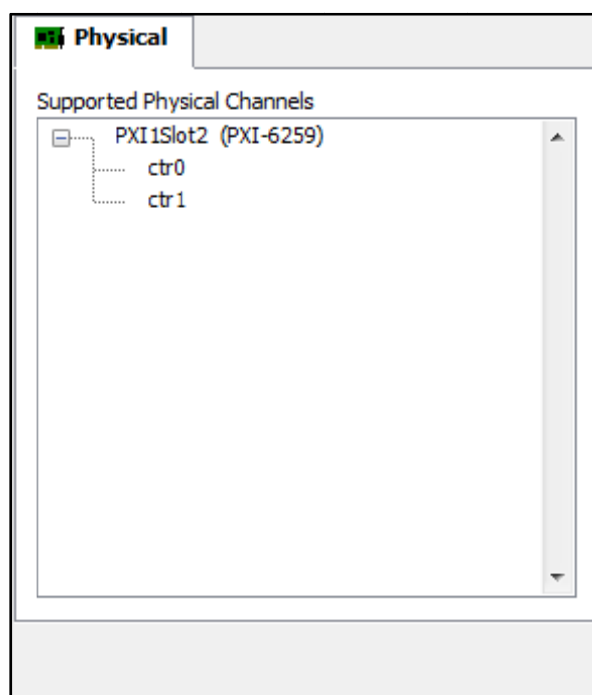
รูปที่ ข.7 บล็อก DAQ Assistant

- การกำหนดค่า Counter Input ใน DAQ Assistant
เลือก >> Acquire Signals >> Counter Input >> Pluse Width & Two Ede Separation



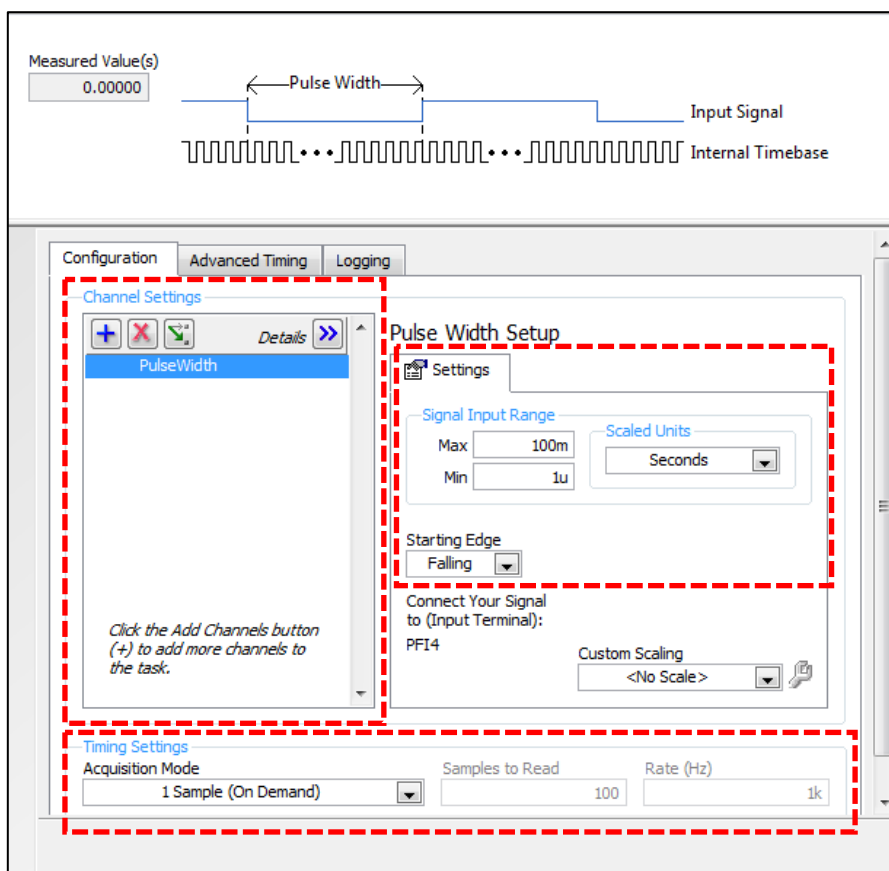
รูปที่ ข.8 Counter Input ใน DAQ Assistant

- กำหนดค่า Supported Physical Channel
เลือกช่องสัญญาณอินพุต



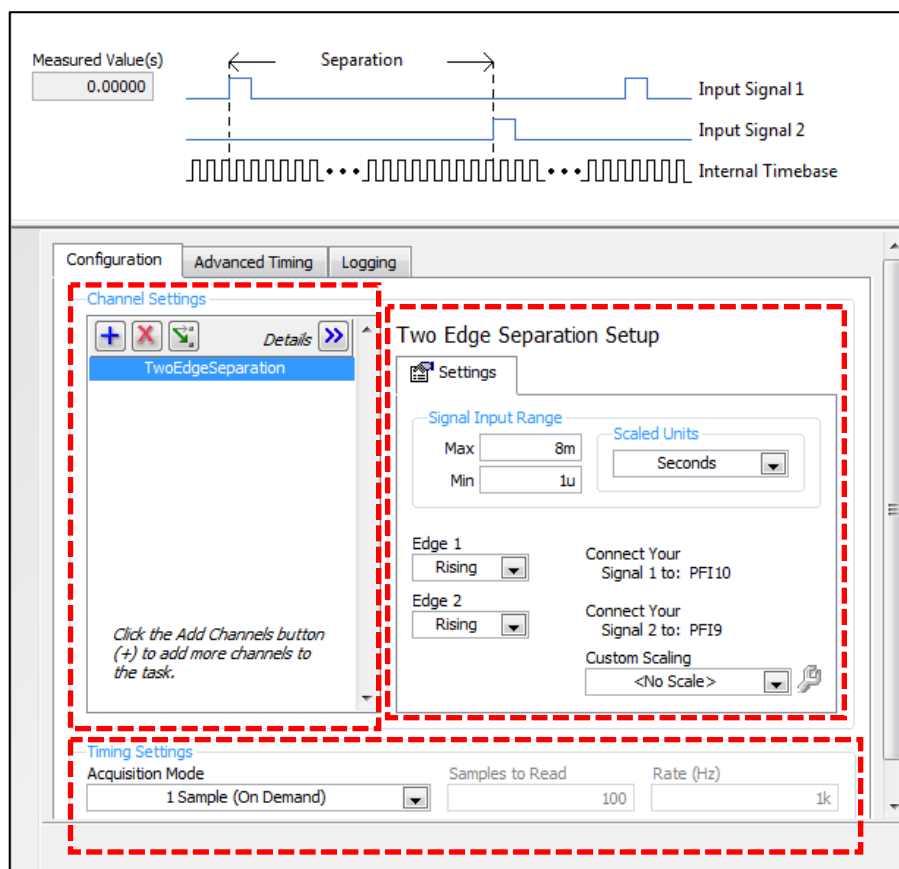
รูปที่ ข.9 เลือกช่องสัญญาณอินพุต

- การกำหนดค่า Configuration (Pulse Width Setup)
 - Channel Settings >> ให้เพิ่มช่องสัญญาณอินพุต
 - Pulse Width Setup >> กำหนดค่าต่ำสุดและสูงสุด
 - กำหนดชนิดของหน่วยในการวัด
 - กำหนดการวัดแรงดันไฟฟ้าขาขึ้นหรือขาลง
 - Timing Setting >> Acquisition Mode >> 1 Sample (On Demand)



รูปที่ ข.10 การกำหนดค่า DAQ Assistant (Counter Input<<Pulse Width)

- การกำหนดค่า Configuration (Two Edge Separation)
 - Channel Settings >> ให้เพิ่มช่องสัญญาณอินพุต
 - Two Edge Separation>> กำหนดค่าต่ำสุดและสูงสุด
 - กำหนดชนิดของหน่วยในการวัด
 - กำหนดการวัดแรงดันไฟฟ้าขาขึ้นหรือขาลง
 - Timing Setting >> Acquisition Mode >> 1 Sample (On Demand)



รูปที่ ข.11 การกำหนดค่า DAQ Assistant (Counter Input<< Two Ede Separation)

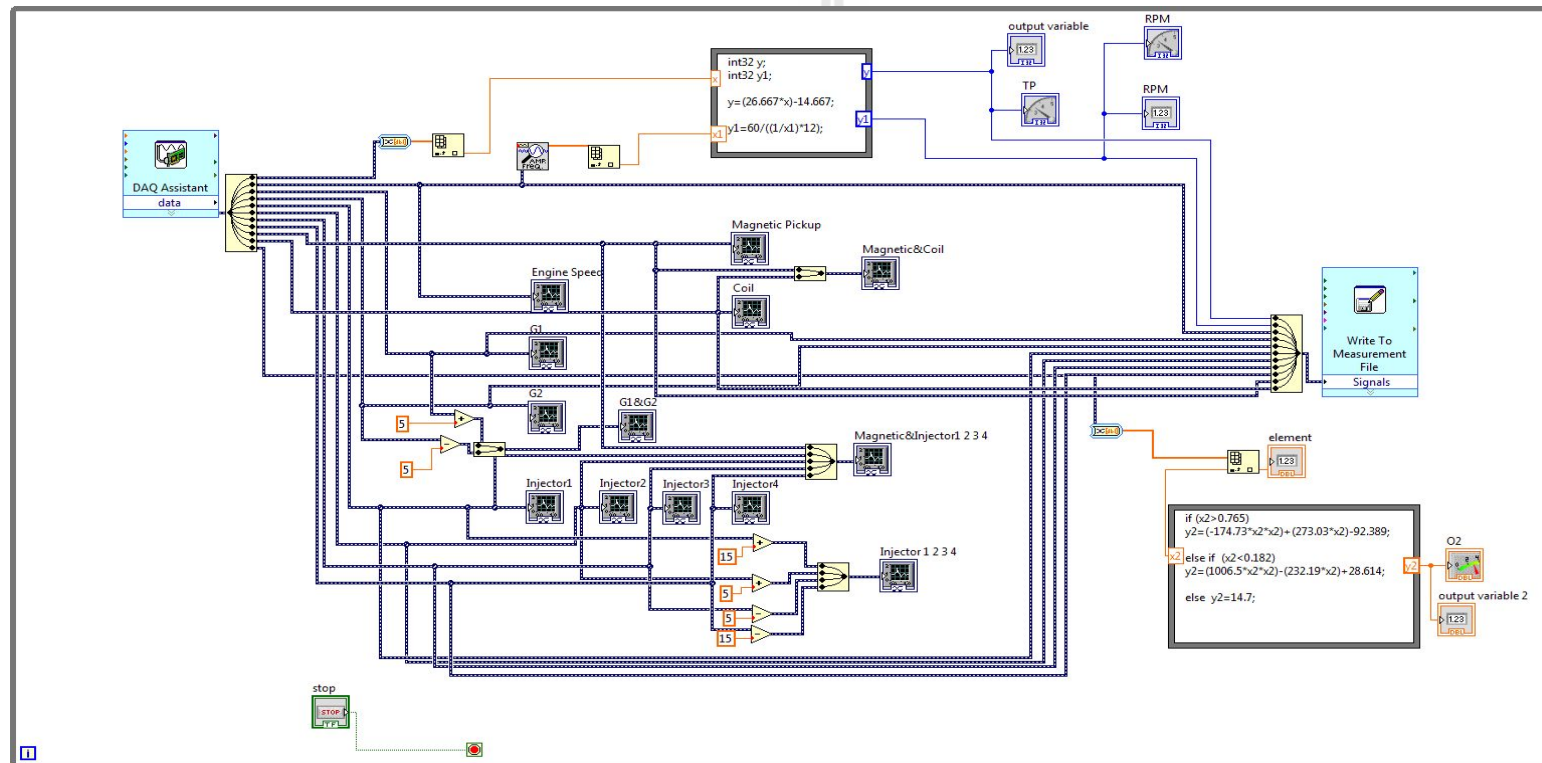


ภาคผนวก ค

โปรแกรมแสดงผลการทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ

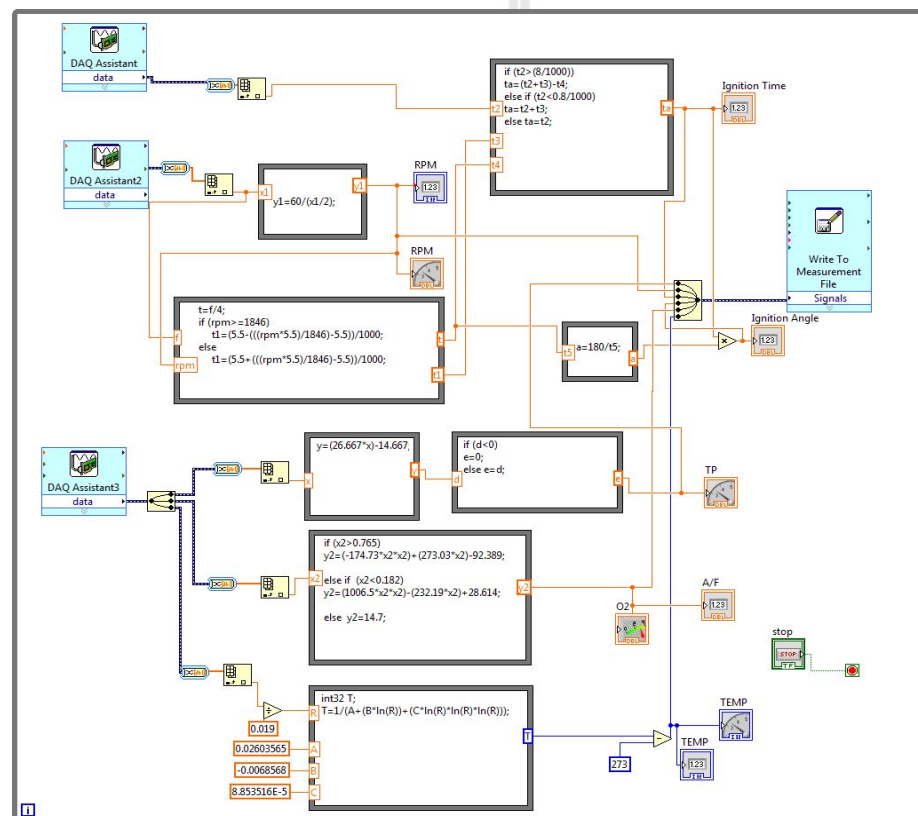
ค. โปรแกรมแสดงผลรูปแบบสัญญาณของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ

โปรแกรมแสดงผลรูปแบบสัญญาณของตัวตรวจจับสัญญาณและสัญญาณอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ ดังแสดงในรูปที่ ค.1



รูปที่ ค.1 โปรแกรมแสดงผลรูปแบบสัญญาณของตัวตรวจจับสัญญาณและสัญญาณอุปกรณ์การทำงานของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ

โปรแกรมแสดงผลการตอบสนองการทำงานของเครื่องยนต์ของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบดังแสดงในรูปที่ ค.2



รูปที่ ค.2 โปรแกรมแสดงผลการตอบสนองการทำงานของเครื่องยนต์ของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด 4 สูบ

ภาคผนวก ง

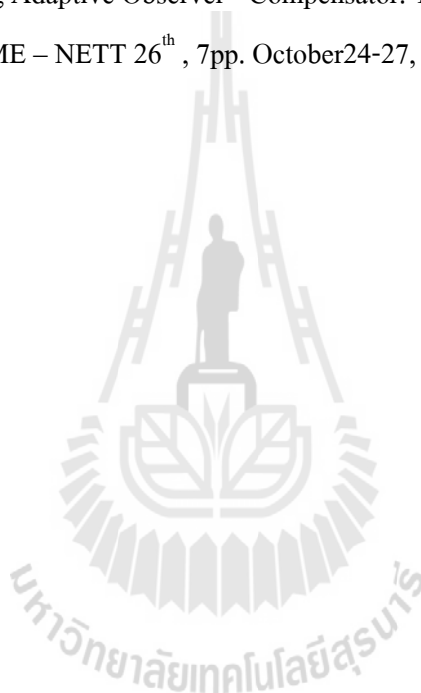
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่



รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

Nanthasukon, J, Srisertpol, J, and Kumchoo, Y. (2012). Simulation Studies of The Estimated SI Engine Torque Using Adaptive Observer-Compensator. **The 6th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC) Symposium**, 4pp. March 6-7, 2012, Bangkok, Thailand.

Kumchoo, Y., Dolwichai, T., Srisertpol, J., and Nantasukon, J. (2012). Load Torque Estimation of SI Engine using Adaptive Observer - Compensator. **The 26th Mechanical Engineering Conference, CDME – NETT 26th**, 7pp. October 24-27, 2012, Chiangrai, Thailand.



SIMULATION STUDIES OF THE ESTIMATED SI ENGINE LOAD TORQUE USING ADAPTIVE OBSERVER-COMPENSATOR

Jakkra Nunthasukon, Jiraphon Srisertpol and Yuthaporn Kumchoo
School of Mechanical Engineering, Suranaree University of Technology
Nakhon Ratchasima 30000, Thailand
jiraphon@sut.ac.th

ABSTRACT Nowadays engine control systems are developed to enhance the efficiency of many engine applications. A dynamometer is an important device used to measure feedback signal for system controller. Also, there are many of sensors used with measured system. However, the dynamometer and the sensor are imported from abroad. Some of them have large size and high cost. In addition, the general dynamometers are not flexible for internal combustion engine research tuning. This article presents the estimation of engine load torque using adaptive observer-compensator that can estimate engine state variables and calculate engine load torque simultaneously. Therefore, the presented method has ability to develop and implement as dynamometer.

1. INTRODUCTION

The measured devices are important parts in engine control system. Especially, the dynamometer that has important utility in various fields of research particularly in the development of internal combustion engine researches for improving engine performance. From the measured data of dynamometer, the capacities of many machines are classify. It can be adapted for many types of fuel. The dynamometer load affected the engine parameter during an operation receives from the principle of energy absorption. The machine load torque and rotational speed are measured at the same time. There are several types of the machine system that can absorb energy such as hydraulic system, hydrostatic system and electric system.

The inceptive idea of this research is minimize the number of sensors and estimate load torque using an adaptive observer compensator. From the system identification method using the Genetic Algorithm (GA), the system parameters are known so that they are lead to simulation process in the next step. When we know the system parameters, the observer can be design based on assumption of constant system parameters and linear system. The state variables of the engine are approximated

by the observer. The values of them have high accuracy during no-load operation. In contrast, if the system receives disturbance torque, the observer will approximate incorrect state variables. For solving the problem, an adaptive compensator is created. The duty of the compensator is adjust the value of load torque and send to the observer. If the difference between model and real system are reduced, the observer will estimate the correctly state variables.

(Munan Hong, et al., 2011) An engine model is simplified from the generally used mean value model. There are three state nonlinear dynamic models for SI engine, air path model, torque production model and rotational dynamic model. (Toshihiro & Takehiko, 2001), Air mass flow past through the manifold is controlled by the throttle plate angle. (Bo-Chiuan Chen, Yuh-Yih Wu & Feng-Chi Hsieh), The viscous damping constant of the crankshaft bearing is added in the engine rotational dynamic model. (C. Khajorntraidet & J. Srisertpol, 2010), The estimated load torque received from adaptive compensator can reduce the error of the observer's estimated state. (I.C. Balk, K. H. Kim & M. J. Youn), The model reference adaptive system (MRAS) based on adaptation mechanisms for the estimation of slowly varying parameters are received from the Lyapunov's stability.

2. MEAN VALUE MODELING THE SI ENGINE

The engine system has complex and non-linear equations. Also, the system parameters change with time. The general engine model includes the basic principle such as fundamental thermodynamics, fluid mechanics, and solid mechanics. There are three principles that adopt to derive mathematical model of the engine as shown in Fig.1.

Air Part Model

The equation of air mass flow rate flew through the throttle ($\dot{m}_{at}$) as follows.

$$\dot{m}_{at} = C_t \frac{\pi}{4} D^2 \frac{P_{amb}}{\sqrt{RT_{amb}}} \sqrt{\frac{2k}{k-1}} (1 - \cos \phi) PRI \quad (1)$$

where C_t is the flow rate coefficient, D is the diameter of the throttle plate, P_{amb} is the ambient pressure, T_{amb} is the ambient temperature, R is the ideal gas constant, k is the specific heat ratio, ϕ is the angle of the throttle plate, and PRI is the function that affects the pressure in the flow of air through the throttle

$$PRI = \begin{cases} \sqrt{1 - \left(\frac{P_r - P_c}{1 - P_c}\right)^2} & P_r > P_c \\ 1 & P_r \leq P_c \end{cases} \quad (2)$$

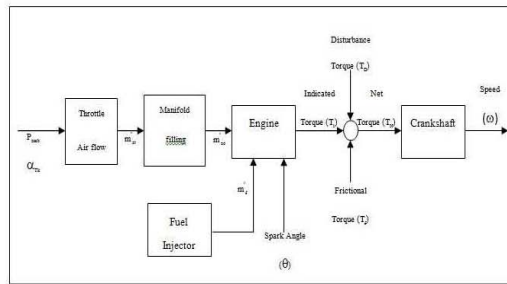


Fig.1 Diagram of Mean Value Modeling The SI Engine

The intake manifold is regarded as a rigid volume (V_m) and the intake manifold (P_{man}) filling dynamic equation is

$$\dot{P}_{man} = \frac{RT_{man}}{V_m} \dot{m}_{at} - \frac{V_d \omega}{4\pi} \eta_v P_{man} \quad (3)$$

The volumetric efficiency in third equation is the most difficult parameter to be identified. An approximate relation between this parameter and intake pressure

$$\eta_v P_{man} = s P_{man} - y \quad (4)$$

where the coefficients $s > 0, y > 0$ are related to many factors such as the compression ratio, the air temperature and the engine speed. It was also found that they depend mainly on the engine speed and can be even dealt with as constants in a large engine operating range. Substituting Eq. (4) to Eq. (3), yields

$$\dot{P}_{man} = \frac{RT_{man}}{V_m} \dot{m}_{at} - \frac{V_d s}{4\pi V_m} \omega P_{man} + \frac{V_d y}{4\pi V_m} \omega \quad (5)$$

$$\dot{P}_{man} = C_1 \dot{m}_{at} - C_2 \omega P_{man} + C_3 \omega \quad (6)$$

where C_1, C_2 and $C_3 > 0$ can be dealt with as constant because R, T_m, V_m and V_d are approximately constants.

Torque Production model

The air mass flow out from intake manifold ($\dot{m}_{ao}$) is given by

$$\dot{m}_{ao} = \frac{V_d \eta_v P_{man} n}{120 RT_{man}} \quad (7)$$

The fuel mass flow into the cylinder is

$$\dot{m}_f = \frac{\dot{m}_{ao}}{\lambda L_{th}} \quad (8)$$

The indicated power (P_i) which forces the crankshaft from fuel given by

$$P_i = H_u \eta_i \dot{m}_f \quad (9)$$

Substitute Eq. (7), Eq. (8) to Eq. (9) and divided the result by $\omega = n\pi/30$, the indicate torque can be derived from

$$T_{ind} = \frac{H_u V_d \eta_i \eta_v}{4\pi R \lambda L_{th} T_{man}} P_{man} \quad (10)$$

And add function of ignition ($SI(\alpha)$) that receives from the experimental results in Eq. (10)

$$T_{ind} = \frac{H_u V_d \eta_i \eta_v}{4\pi R \lambda L_{th} T_{man}} SI(\alpha) P_{man} \quad (11)$$

The friction torque (T_f) is loss in the rotational movement of the crankshaft. The mean effective torque (T_e) can be obtained

$$T_e = \frac{H_u V_d \eta_i \eta_v}{4\pi R \lambda L_{th} T_{man}} SI(\alpha) P_{man} - T_f \quad (12)$$

Rotation Dynamic model

The engine rotation dynamic model can be derived directly from Newton's second law as following

$$I_e \dot{\omega} = T_e - T_L - b\omega \quad (13)$$

2.1 ADAPTIVE OBSERVER-COMPENSATOR DESIGN

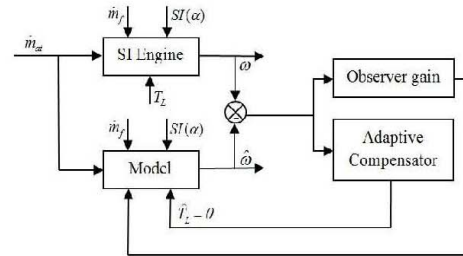


Fig.2 Diagram of MRAS

Observer design

A cost and a complexity of the control system increase if the number of required sensor increases. A state observer can be designed to estimate the state variables of the engine via current measurement. Fortunately, if the system is completely observable, then it is possible to estimate the states that are not measured. The equations of observer are.

$$\frac{d\hat{\omega}}{dt} = -\frac{b}{I_e} \omega + \frac{H_u V_d \eta_i \eta_v}{4\pi R \lambda L_{th} T_{man} I_e} SI(\alpha) P_{man} - \frac{T_f}{I_e} - \frac{T_L}{I_e} + eG_1 \quad (14)$$

$$\frac{d\hat{P}_{man}}{dt} = C_1 \dot{m}_{at} - C_2 \omega P_{man} + C_3 \omega + eG_2 \quad (15)$$

where G_1 and G_2 are the observer gains, $(\wedge)$ is the

estimated state and an error is $e = \omega - \hat{\omega}$

Model Reference Adaptive system (MRAS)

The main objective function of MRAS is to adjust the various parameters in the system to make the difference between the outputs of model and plant out. From Fig. 2, $\hat{\omega}$ is the model output, ω is the system output, e is the difference between the two outputs (error) and θ is the adjusted parameters. The parameter (θ) is adjusted by adaption mechanism until the difference between outputs is driven to zero. The Loss function (J) is

$$J(\theta) = \frac{1}{2} e^2 \quad (16)$$

Adjust the variable θ defined by

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{dJ}{d\theta} = -\gamma e \frac{de}{d\theta} \quad (17)$$

when tracking error is $e = \omega - \hat{\omega}$ and

$$\frac{de}{d\theta} = -\frac{d\hat{\omega}}{d\theta} \quad (19)$$

when $-\gamma$ is adaptive Gain

3. SIMULATION RESULTS

This section demonstrated the simulation results of SI engine when the system and controller parameters are as follow Table1. The condition parameters are set at constant engine speed 586 rad/s. In addition, the variable manifold pressure and the air mass outflow rate are constant.

Table 1 Parameter estimation by Genetic algorithm

Parameter	Parameter estimate
b	0.007852
I_e	298.37982
X (1)	0.107603
Parameter	Parameter estimate
C_1	6.983683
C_2	0.020539
C_3	0.178416
T_f	0.003931

when, X (1) is $\frac{H_u V_d \eta_f \eta_v}{4\pi R \lambda L_{th} T_{man}}$

This section showed the simulation result of engine operation such as speed (ω), manifold pressure (P_{man}), mean effective torque (T_e) and estimated parameters received from observer with model reference adaptive system. In this simulation set applied mass flow rate of air flow through the throttle ($\dot{m}_{at}$) = 58 g/s

Case I: The load torque is the step function that has final value equal to 2 Nm. The system work without an adaptive observer-compensator as showed in Fig.3, 4, 5.

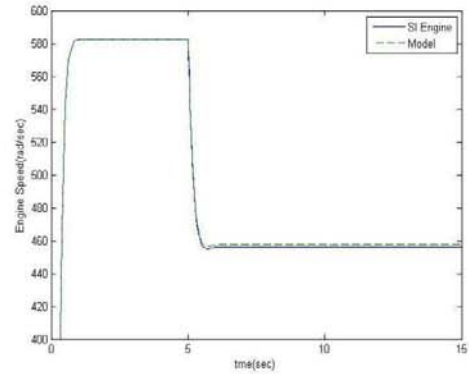


Fig. 3 The engine speed without adaptive observer-compensator

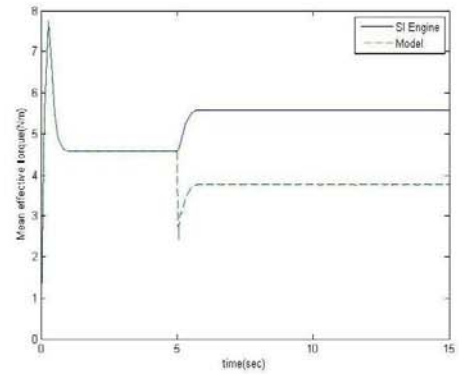


Fig. 4 The mean effective torque without adaptive observer-compensator

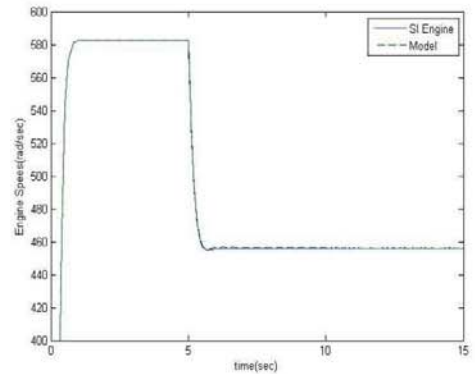


Fig. 5 The manifold pressure manifold without adaptive observer-compensator

Case II: The load torque is the same function as case I. The system has the adaptive observer-compensator as shown in Figure 6, 7 and 8.

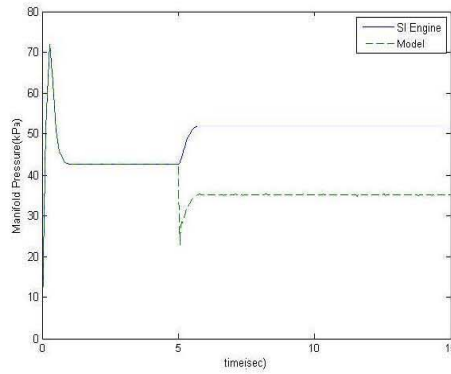


Fig. 6 The engine speed with adaptive observer-compensator

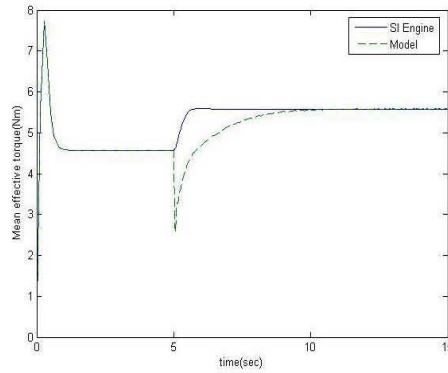


Fig. 7 The mean effective torque with adaptive observer-compensator

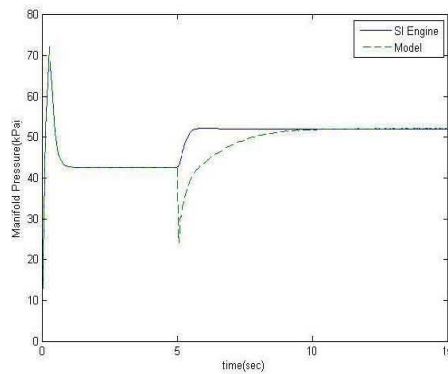


Fig. 8 The manifold pressure manifold with adaptive observer-compensator

CONCLUSION

This article presented the mathematical model of an SI engine and an adaptive observer compensator. The system parameters of the engine received from Genetic Algorithm (GA). The method demonstrated in the paper used to estimate the system variables with minimum number of sensors. The results of system simulation

showed that the method can be used to estimate the engine state variable and engine load torque simultaneously. Additionally, the adaptive observer compensator can be developed to estimate the load torque as the dynamometer.

REFERENCES

- Munan Hong, Tielong Shen, Member, IEEE, Minggao Ouyang, and Junichi Kako, Torque Observers Design for Spark Ignition Engines With Different Intake Air Measurement Sensors, IEEE Transactions on control systems technology, vol.19, No.1, January 2011.
- Toshihiro Aono and Takehiko Kowatari, A Throttle Control Algorithm for Improving Response Based on the Characteristics of Electronic – Throttle - Control Actuator, The 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (2001), pp.546-551
- Bo-Chiuan Chen, Yuh-Yih Wu & Feng-Chi Hsieh, Estimation of Engine Rotational Dynamics Using Kalman Filter Based on a Kinematic Model, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.59, No.8, October 2010.
- Chanyut Khajorntraidet, and Jiraphon Srisertpol, Torque Control for DC Servo Motor using Adaptive Load Torque Compensation, Proceeding of the 9th WSEAS International Conference on System Science and Simulation in Engineering (ICOSSSE'10), Iwate, Japan, pp. 454-458, October (4-6) 2010.
- I.C. Balk, K. H. Kim, and M. J. Youn, Robust nonlinear speed control of PM synchronous motor using adaptive and sliding mode control techniques, Proceeding of IEE-Electric Power Applications, Vol.145, pp. 369 – 376, July 1998.

NOMENCLATURE

- C_t : flow rate coefficient
 D : diameter of the throttle plate [cm]
 P_{amb} : ambient pressure [kPa]
 T_{amb} : ambient temperature [K]
 R : ideal gas constant
 k : specific heat ratio
 ϕ : angle of the throttle plate [rad]
 p_c : critical pressure ratio (0.5283)
 T_{man} : temperature manifold [K]
 V_d : displacement volume [cm³]
 ω : the engine speed [rad/sec]
 η_v : the volumetric efficiency
 n : the engine speed per minute [rpm]
 λ : air fuel equivalence ratio
 L_{th} : the theoretical air fuel ratio for gasoline (about 14.7)
 $\dot{m}_f$: fuel mass flow into the cylinder
 H_u : the fuel low heating value [J/kg]
 η_i : the indicated efficiency
 I_e : the equivalent inertia of crankshaft
 T_L : the load torque [N.m]
 b : viscous damping constant of the crank shaft bearing

DRC2024

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26
ตุลาคม 2555 จังหวัดเชียงราย

การประมาณค่าแรงบิดของเครื่องยนต์จุดระเบิดโดยวิธีการสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้ Load Torque Estimation of SI Engine using Adaptive Observer-Compensator

ยุทธพร คำชู*, ธีรุต ดลวิชัย, จิระพล ศรีเสริมผล และ จักรกานันท์ นันทสุนก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 3000

*ติดต่อ: yuthgykumchoo@hotmail.com, 085-4940819

บทคัดย่อ

ไดนาโมมิเตอร์(Dynamometer) เป็นอุปกรณ์วัดกำลังของเครื่องจักรต้นกำลังที่มีความสำคัญต่อการวิจัยพัฒนาในด้านต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการวิจัยพัฒนาเครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องยนต์ดัดแปลงให้สามารถใช้เชื้อเพลิงทางเลือกประเภทต่างๆได้ การให้การกระกรรมของไดนาโมมิเตอร์กับเครื่องยนต์ระหว่างการปรับแต่งอาศัยหลักการของการดูดกลืนพลังงาน (Energy Absorption) จากเครื่องยนต์ ในขณะที่เดียวกันมีการวัดแรงบิด (Torque) และความเร็วเชิงมุม (Rotational Speed) ของเครื่องยนต์นั้นๆ โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้หลายชนิดตามวิธีการดูดกลืนพลังงาน ได้แก่ การใช้ระบบไฮดรอลิก (Hydraulic), ระบบอุทกสถิต (Hydrostatic) และ ระบบไฟฟ้า (Electric) ซึ่งแต่ละระบบมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไป อย่างไรก็ตามไดนาโมมิเตอร์ที่นำเข้าจากต่างประเทศนั้นเป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่และมีราคาแพง ทำให้ผู้ปรับแต่งเครื่องยนต์ไม่สามารถจัดหาใช้ได้โดยทั่วไป ในบทความนี้ได้นำเสนอวิธีการประมาณแรงบิดการกระกรรม โดยใช้วิธีการสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้(Adaptive observer-compensator) ซึ่งวิธีดังกล่าวสามารถนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้เพื่อแทนไดนาโมมิเตอร์ได้

คำหลัก: แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องยนต์,การประมาณค่าตัวแปร,การสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้

Abstract

Dynamometer is power measure device of engine prime mover which is an important part for engine developing in several directions. Especially, the research of performance modification in the internal combustion engine for be used the several of alternative fuel. The principal of the dynamometer loading applied with the engine is used the energy absorption from the engine. In addition, the torque and rotational speed of the engine are measured. The general of dynamometer are classify by several type as follow the energy absorption method such as, the hydraulic type, hydrostatic type, and electric eddy current type. The merit and demerit of individual dynamometer type are several different. In usually, the large size of import dynamometer is so expensive. In addition, the general dynamometers are not flexible for internal combustion engine research tuning. So that, it effect to the engine modifier cannot fulfill. This paper are presents the estimate the engine load torque using the adaptive observer-compensator that can estimate engine state variables and calculate engine load torque simultaneously. Therefore, the method has ability to apply and implement as dynamometer.

Keywords: Mathematical model of the engine, Parameter estimation, Adaptive observer-compensator

1.เนื้อหา

ในบทความนี้เสนอการประมาณค่าแรงบิดของเครื่องยนต์โดยใช้วิธีการสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้ ในส่วนที่ไม่ทราบค่าตัวแปรของเครื่องยนต์จะใช้วิธีการของจีเนติกอัลกอริทึม(Genetic Algorithm) ซึ่งเมื่อค่า

ของตัวแปรในระบบของเครื่องยนต์ทราบค่าตัวแปรทำให้สามารถนำมาสร้างแบบจำลองระบบเครื่องยนต์ได้ และเมื่อทราบค่าตัวแปรของระบบเครื่องยนต์ จะสามารถสร้างตัวสังเกตได้บนพื้นฐานของค่าตัวแปรของระบบที่คงที่และเป็นระบบเชิงเส้น(linear system)ได้และ



การประมาณค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ หาได้จากตัวสังเกตการ ในการประมาณค่าแรงบิดนั้นระบบจะต้องไม่ถูกรบกวนจากแรงกระทำภายนอกเพราะจะทำให้ตัวสังเกตการประมาณค่าแรงบิดไม่ถูกต้อง ในการแก้ปัญหาผลกระทบจากแรงกระทำภายนอก ทำได้โดยสร้างตัวชดเชยแบบปรับตัวได้ (Adaptive compensator) ทำการปรับค่าแรงกระทำแล้วส่งไปให้ตัวสังเกต หากค่าความแตกต่างของระบบจริงและระบบจำลองมีค่าลดลง ตัวสังเกตการจะสามารถประมาณค่าต่างๆของระบบได้

2. การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องยนต์เบนซิน (SI Engine)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้การสร้างแบบจำลองระบบของเครื่องยนต์ อาศัยหลักการพื้นฐานทางอุณหพลศาสตร์ กลศาสตร์การไหลและกลศาสตร์ของแข็ง โดยทั้ง 3 หลักการนี้จะมีสมการที่ไม่เป็นเชิงเส้น สมการเชิงซ้อนและค่าพารามิเตอร์ของระบบที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา แบบจำลองโดยทั่วไปประกอบด้วย

2.1 แบบจำลองเส้นทางการไหลของอากาศ (Air Path Model)

สมการอัตราการไหลมวลของอากาศไหลผ่านลิ้นปีกผีเสื้อ ($\dot{m}_{at}$) ได้ดังนี้

$$\dot{m}_{at} = C_t \frac{\pi}{4} D^2 \frac{P_{amb}}{\sqrt{RT_{amb}}} \sqrt{\frac{2k}{k-1}} (1 - \cos \phi) PRI \quad (1)$$

PRI = ฟังก์ชันที่ผลต่อความดันในการไหลของอากาศผ่านลิ้นปีกผีเสื้อ

$$PRI = \begin{cases} \sqrt{1 - \left(\frac{P_r - P_c}{1 - P_c}\right)^2} & P_r > P_c \\ 1 & P_r \leq P_c \end{cases} \quad (2)$$

โดย $P_r = \frac{P_{man}}{P_{amb}}$ และ P_c คืออัตราความดันวิกฤต

สามารถสมมุติให้มีค่าเท่ากับ 0.5283

C_t = สัมประสิทธิ์อัตราการไหล

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นลิ้นปีกผีเสื้อ [m]

P_{amb} = ความดันในสถานะนิ่ง [N/m^2]

T_{amb} = อุณหภูมิในสถานะนิ่ง [K]

R = ค่าคงที่ของแก๊สอุดมคติ

k = อัตราส่วนของความร้อนจำเพาะ [$k = \frac{c_p}{c_v}$]

θ = มุมของแผ่นลิ้นปีกผีเสื้อ [rad]

P_{man} = ความดันในท่อร่วม [N/m^2]

T_{man} = อุณหภูมิในท่อร่วม [K]

ที่อากาศที่ท่อร่วมไอดีพิจารณาเป็นปริมาตรแข็งเกร็ง (rigid volume) (V_m) กับอัตราการไหลของมวลอากาศผ่านลิ้นปีกผีเสื้อเข้าไปในท่อร่วมไอดี ($\dot{m}_{at}$) จะได้สมการ

$$\dot{P}_{man} = \frac{RT_{man}}{V_m} \dot{m}_{at} - \frac{V_d \omega}{4\pi V_m} \eta_v P_{man} \quad (3)$$

P_{man} = ความดันในท่อร่วม [N/m^2]

T_{man} = อุณหภูมิในท่อร่วม [K]

R = ค่าคงที่ของแก๊สอุดมคติ

V_d = ปริมาตรของกระบอกสูบ

V_m = ปริมาตรของท่อร่วมไอดี

η_v = ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร

ω_e = ความเร็วรอบของเครื่องยนต์

ซึ่งค่า η_v จากสมการที่ (1) เป็นการยากในการหาค่าตัวแปรดังกล่าว ฉะนั้นจึงต้องย่อสมการเป็นดังสมการที่ (4)

$$\eta_v \cdot P_{man} = s P_{man} - y \quad (4)$$

เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ $s > 0, y > 0$ มีความสัมพันธ์กับหลายปัจจัยเช่น อัตราส่วนกำลังอัด, อุณหภูมิของอากาศในท่อร่วมไอดีและความเร็วรอบของเครื่องยนต์ เมื่อนำสมการที่ (4) ไปแทนในสมการที่ (3) จะได้สมการ Air path Model ดังสมการที่ (5) และ (6)

$$\dot{P}_{man} = \frac{RT_{man}}{V_m} \dot{m}_{at} - \frac{V_d s}{4\pi V_m} \omega P_{man} + \frac{V_d y}{4\pi V_m} \omega \quad (5)$$

$$\dot{P}_{man} = C_1 \dot{m}_{at} - C_2 \omega P_{man} + C_3 \omega \quad (6)$$

เมื่อค่า C_1, C_2 และ $C_3 > 0$ และเป็นค่าคงที่เพราะว่า R, T_{man}, V_d และ V_{man} ประมาณค่าคงที่

DRC2024

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26
ตุลาคม 2555 จังหวัดเชียงราย

2.2 แบบจำลองการสร้างแรงบิด (Torque Production model)

เมื่อใช้สูตรความเร็วหนาแน่นของอัตราการไหลของมวลอากาศออกจากท่อร่วมไอดี ($\dot{m}_{ao}$) จะได้สมการ (7)

$$\dot{m}_{ao} = \frac{V_d \eta_v P_{man} n}{120 R T_{man}} \quad (7)$$

โดย n = ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ต่อวินาที

เมื่อ อัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง ($\dot{m}_f$) มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของมวลอากาศออกจากท่อร่วมไอดี ($\dot{m}_{ao}$) ซึ่งเป็นระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงสามารถเขียนสมการได้ดังสมการที่ (8)

$$\dot{m}_f = \frac{\dot{m}_{ao}}{\lambda L_{th}} \quad (8)$$

$\dot{m}_{ao}$ = อัตราการไหลของมวลอากาศออกจากท่อร่วมไอดี

λ = อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ ($\lambda = 1$)

L_{th} = theoretical air/fuel mass ratio = 14.7

และ ค่ากำลังปั๊ม (Indicated power) (P_i) ซึ่งเป็นกำลังที่ได้จากเพลาคือเหยียง จากการเปลี่ยนรูปพลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง หาค่าได้จากสมการที่ (9)

$$P_i = H_u \eta_i \dot{m}_f \quad (9)$$

H_u = ค่าคงที่ของพลังงานเชื้อเพลิง

η_i = ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

เมื่อแทนสมการ (7) และ (8) ในสมการที่ (9) จะได้แรงบิดจากการเผาไหม้ (T_{ind}) ดังสมการที่ (10)

$$T_{ind} = \frac{H_u V_d \eta_i \eta_v}{4 \pi R \lambda L_{th} T_{man}} P_{man} \quad (10)$$

เมื่อเพิ่มฟังก์ชันการจุดระเบิด ($SI(\theta)$) ซึ่งเป็นข้อมูลจากผลการทดลองเปลี่ยนแปลงเวลาในการจุดระเบิดก่อนมุมองศาจุดระเบิดถึงจุดศูนย์ตาย (TDC) จะได้ฟังก์ชัน $SI(\theta)$ เพิ่มเข้ามาในสมการของแรงบิดจากการเผาไหม้ (T_{ind}) ดังสมการที่ (11)

$$T_{ind} = \frac{H_u V_d \eta_i \eta_v}{4 \pi R \lambda L_{th} T_{man}} SI(\alpha) P_{man} \quad (11)$$

อย่างไรก็ตามหากมีการหมุนของเพลาคือเหยียงจะเกิดแรงเสียดทาน (T_f) ขึ้นในระบบ เมื่อแทนเข้าไปในสมการ (11) จะได้สมการใหม่คือ

$$T_e = \frac{H_u V_d \eta_i \eta_v}{4 \pi R \lambda L_{th} T_{man}} SI(\alpha) P_{man} - T_f \quad (12)$$

T_e = ค่าแรงบิดที่มีประสิทธิภาพ

2.3 แบบจำลองการหมุนของไดนาโมมิเตอร์ (Rotation Dynamic model)

ค่าพลศาสตร์การหมุนของเครื่องยนต์ได้จากกฎข้อที่ 2 ของ Newton

$$I_e \dot{\omega} = T_e - T_L - b\omega \quad (13)$$

I_e = the engine rotational inertia

T_L = Load Torque

b = viscous damping constant of the crankshaft bearing

ω = angular speed of the engine

$\dot{\omega}$ = angular acceleration of the engine

3. การออกแบบตัวสังเกตการณ์

ค่าใช้จ่ายและความซับซ้อนของการควบคุมระบบจะเพิ่มขึ้นหาก จำนวนของเซนเซอร์ที่ใช้มีมาก ซึ่งสามารถแก้ปัญหาได้โดยใช้วิธีการสังเกตโดยตัวสังเกตจะถูกออกแบบเพื่อการประมาณค่าของระบบผ่านการวัดค่าจริง ถ้าการสังเกตประมาณค่าของระบบได้เหมือนระบบจริง จะเป็นวิธีการประมาณค่าระบบโดยไม่ต้องทำการวัดค่าของระบบจริง และสมการของตัวสังเกตแสดงดังสมการที่ (14) และ (15)

$$\frac{d\hat{\omega}}{dt} = -\frac{b}{I_e} \hat{\omega} + \frac{H_u V_d \eta_i \eta_v}{4 \pi R \lambda L_{th} T_{man} I_e} SI(\alpha) P_{man} - \frac{T_f}{I_e} - \frac{T_L}{I_e} + eG_1 \quad (14)$$

$$\frac{d\hat{P}_{man}}{dt} = c_1 \dot{m}_{at} - c_2 \omega P_{man} + c_3 \omega + eG_2 \quad (15)$$

เมื่อ G_1 และ G_2 เป็น observer gain ($\wedge$) คือ

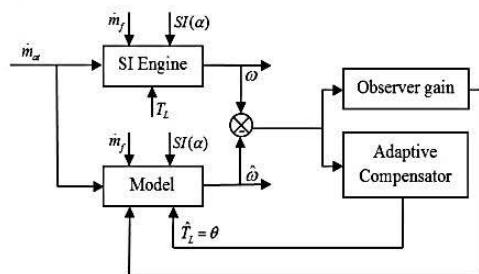
ค่าประมาณระบบ และ e คือค่าความผิดพลาดระหว่างค่าความเร็วที่ได้จากการวัดและค่าความเร็วที่ได้จากการประมาณ ($e = \omega - \hat{\omega}$)

4. การควบคุมที่ปรับตัวได้ชนิดอ้างอิงแบบจำลอง (Model reference adaptive system or MRAS)

การปรับตัวชนิดอ้างอิงแบบจำลอง มีหลักการในการทำงานคือ วิธีปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเพื่อทำให้ความแตกต่างของเอาต์พุตของแบบจำลอง (model) และระบบที่ต้องการ (plant) หดไป ระบบควบคุมประกอบด้วยแบบจำลอง ที่ได้ทำการสรรหาค่าที่



เหมาะสมที่สุดแล้ว เพื่อให้ได้การตอบสนองตามที่ต้องการ และนำมาใช้เป็นแบบจำลอง ในส่วนที่สร้างขึ้นมาก็คือ กลไกที่สามารถปรับได้ ที่ทำหน้าที่ปรับปรุง ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม (Controller) เพื่อใช้ ควบคุมให้ระบบหรือ plant ให้มีการตอบสนองตาม ตาม (Output) ของแบบจำลองตามต้องการจากรูปที่ 1 ให้ เอาท์พุทของแบบจำลองเป็น $\hat{\omega}$ เอาท์พุทของระบบเป็น ω และ e เป็นความแตกต่างระหว่างเอาท์พุททั้งสอง (error) และมีพารามิเตอร์ที่ทำการปรับค่า คือ θ .



รูปที่ 1 Diagram of MRAS

การปรับค่าพารามิเตอร์ (θ) เพื่อให้ความแตกต่างระหว่าง เอาท์พุทของแบบจำลองและระบบที่ต้องการหมดไป โดย กำหนดให้ Loss function (J) มีค่า

$$J(\theta) = \frac{1}{2} e^2 \quad (16)$$

การปรับค่าของของตัวแปร (θ) กำหนดโดย

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{dJ}{d\theta} = -\gamma e \frac{de}{d\theta} \quad (17)$$

เมื่อ

$$e = \omega - \hat{\omega} \quad (18)$$

$$\frac{de}{d\theta} = -\frac{d\hat{\omega}}{d\theta} \quad (19)$$

โดยที่ $-\gamma$ คือ อัตราการปรับตัว (Adaptation Gain)

5. ผลการจำลองระบบ

การจำลองระบบเครื่องยนต์และส่วนควบคุมใน การศึกษาครั้งนี้ ค่าตัวแปรที่ใช้จำลองแสดงดังตารางที่ 1. โดยกำหนดความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ 680 rad/s

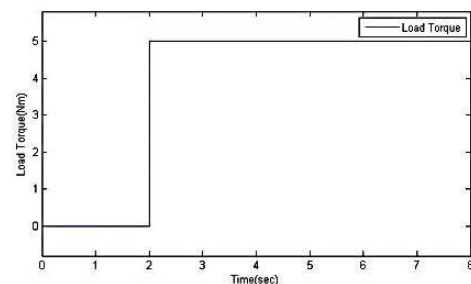
ตารางที่ 1 การประมาณค่าตัวแปรโดยวิธีจิ้นติกอัลกอริทึม

Parameter	Parameter estimate
b	0.007852
I_e	298.379826
X (1)	0.107603
C_1	6.983683
C_2	0.020539
C_3	0.178416
T_f	0.003931

เมื่อ X (1) คือ สมการ $\frac{H_u V_d \eta_i \eta_v}{4\pi R \lambda L_{th} T_{man}}$

การจำลองครั้งนี้ จะแสดงผลของความเร็วรอบเครื่องยนต์ ,ความดันในท่อไอดี,และแรงบิดของเครื่องยนต์และผล การประมาณค่าตัวแปรที่ได้จากวิธีการสังเกตที่ชดเชย แบบปรับตัวได้ โดยกำหนดให้อัตราการไหลของมวล อากาศไหลผ่านลิ้นปีกผีเสื้อ ($\dot{m}_a$) ที่ 58 g/s โดยกำหนด เงื่อนไขการจำลองทั้งสิ้น 4 เงื่อนไขคือ

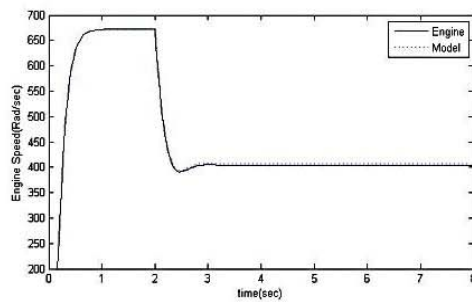
เงื่อนไขที่1: ให้โหลดเป็นแบบ step function มี ค่า เท่ากับ 5Nm, ดังแสดงในรูปที่2 และการจำลองระบบ โดยไม่มีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้แสดงในรูปที่ 3, 4 และ 5.



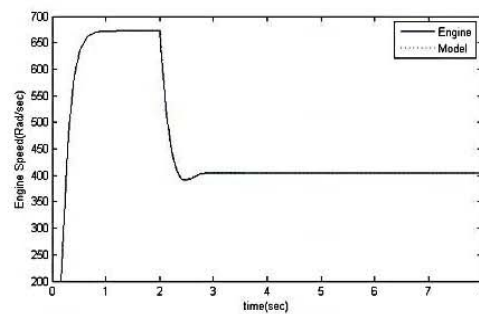
รูปที่ 2 The function of load torque

DRC2024

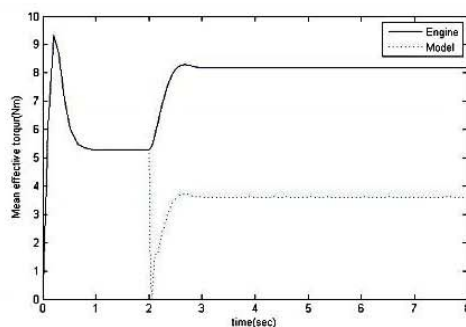
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26
ตุลาคม 2555 จังหวัดเชียงราย



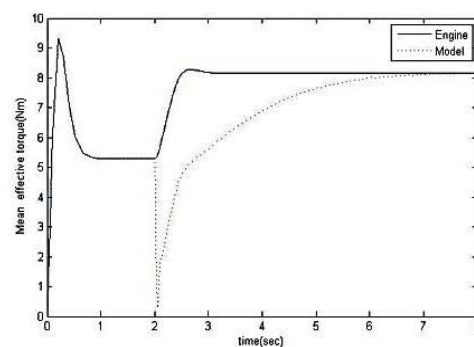
รูปที่ 3 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ไม่มีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้



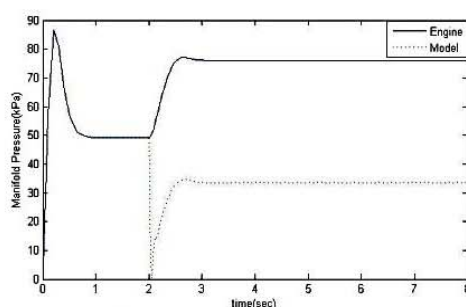
รูปที่ 6 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่มีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้



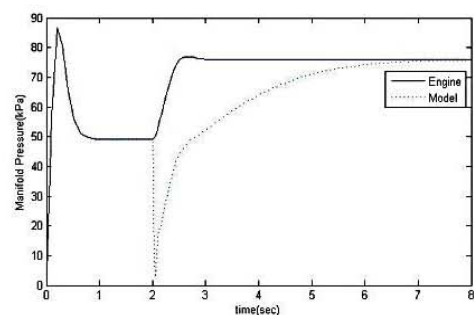
รูปที่ 4 ค่าแรงบิดที่ไม่มีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้



รูปที่ 7 ค่าแรงบิดที่มีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้



รูปที่ 5 ค่าความดันที่ไม่มีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้



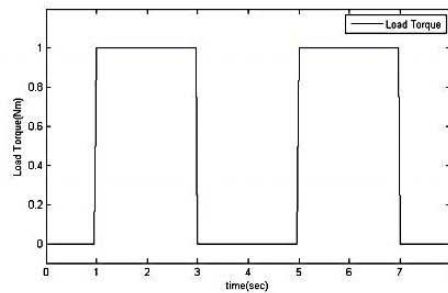
รูปที่ 8 ค่าความดันที่มีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้

เงื่อนไขที่2: ให้โหลดเป็นแบบ step function มีค่าเท่ากับเงื่อนไขที่1และการจำลองระบบโดยไม่มีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้แสดงในรูปที่ 6, 7 และ 8

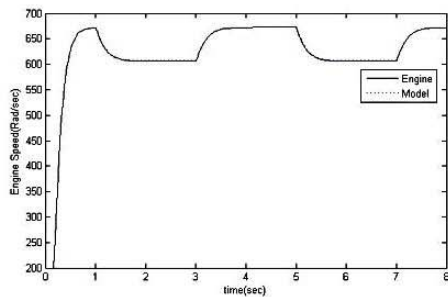
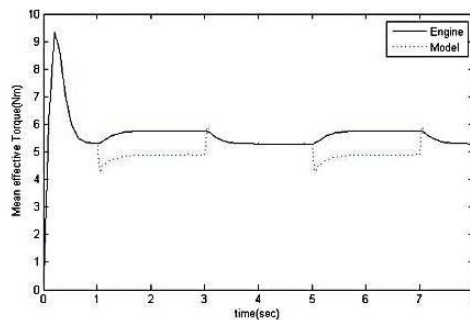
เงื่อนไขที่3: ให้โหลดเป็นแบบ Pulse มีค่า amplitude เท่ากับ 1, Periodเท่ากับ4secs,Pulse Width=50 แสดงในรูปที่9 และการจำลองระบบโดยไม่มีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้แสดงในรูปที่ 10, 11 และ 12.

DRC2024

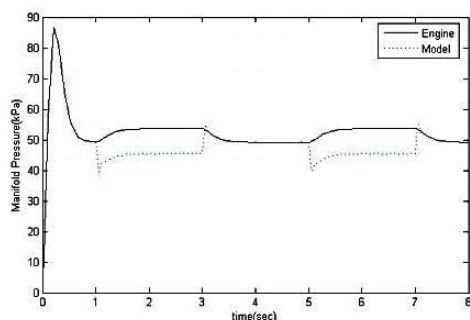
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26
ตุลาคม 2555 จังหวัดเชียงราย



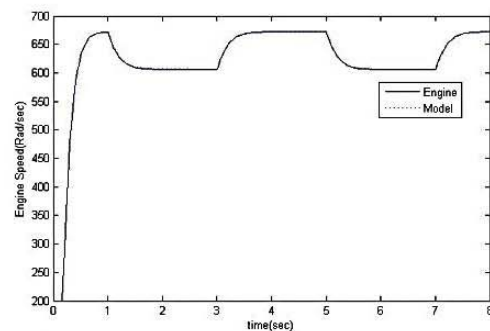
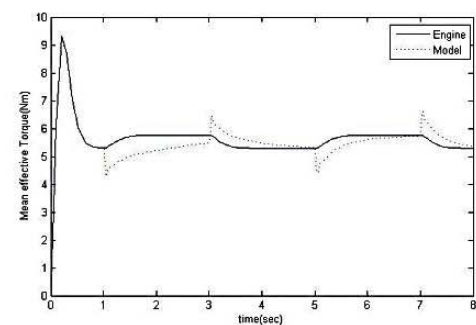
รูปที่ 9 the function of load torque

รูปที่ 10 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ไม่มีตัวสังเกตที่
ชดเชยแบบปรับตัวได้

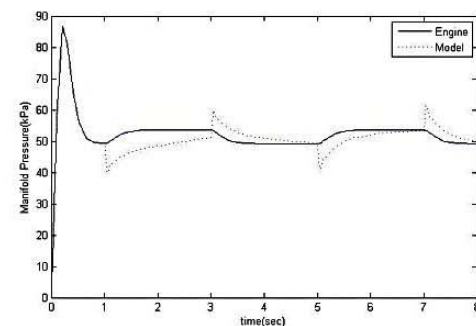
รูปที่ 11 ค่าแรงบิดที่ไม่มีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้

รูปที่ 12 ค่าความดันที่ไม่มีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัว
ได้

เงื่อนไขที่ 4: ให้โหลดเป็นแบบ Pulse เหมือน
เงื่อนไขที่ 3 และการจำลองระบบโดยมีตัวสังเกตที่ชดเชย
แบบปรับตัวได้แสดงในรูปที่ 13, 14 และ 15.

รูปที่ 13 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่มีตัวสังเกตที่
ชดเชยแบบปรับตัวได้

รูปที่ 14 ค่าแรงบิดที่มีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้



รูปที่ 15 ค่าความดันที่มีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้



6.สรุปผล

จากผลการจำลองของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องยนต์จุดระเบิดและตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้ พบว่าค่า output ของแบบจำลองที่มีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้จะมีลักษณะการปรับค่า output ของแบบจำลองเข้าหาค่า output ของระบบจริง ซึ่งในบทความแสดงให้เห็นถึงวิธีการประมาณค่าตัวแปรของระบบที่มีการใช้เซ็นเซอร์จำนวนน้อย และผลการทดลองสามารถประมาณค่าตัวแปรของระบบและค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ได้ นอกจากนี้วิธีการสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้สามารถพัฒนาสามารถนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้เพื่อแทนไดนามิเตอร์ได้

7. เอกสารอ้างอิง

7.1 บทความจากวารสาร (Journal)

- [1] Pavel Deutsch and Ondrej Vysoky, "In-cycle thermodynamic model of linear combustion engine", Proceeding of the 2006 IEEE International Conference on Control Applications Munich, Germany, October 4-6, 2006
- [2] Paolo Lino, Member, IEEE, Bruno Maionee, Member, IEEE, Claudio Amorese and Sisto De Matthaeis, "Modeling and Predictive Control of New Injection System for Compressed Natural Gas Engine" Proceeding of the 2006 IEEE International Conference on Control Applications Munich, Germany, October 4-6
- [3] ZHI-HU, SHANG LIU, RUN PIE, "Robust model predictive control of engine idle speed with disturbance observer", Proceeding of the Seventh International Conference on Mechanic Learning and Cybernetics, Kunming, 12-15 July 2008
- [4] Rui Yan, Haizhou Li Zhao Yang Dong and Huajin Tang, "Nonlinear Control Approaches for SI Engine Model with uncertainties", Joint 48th IEEE conference on Decision and Control and 28th Chinese Control Conference Shanghai, P.R. China, December 16-18, 2009
- [5] Munan Hong, Tielong Shen, Member, IEEE, Minggao Ouyang, and Junichi Kako, "Torque Observers Design for Spark Ignition Engines With Different Intake Air Measurement Sensors", IEEE Transactions on control system technology, vol, 19, No. 1, January 2011
- [6] Toshihiro Aono and Takehiko Kowatari, "A Throttle Control Algorithm for Improving Response Based on the Characteristics of Electronic-Throttle-Control Actuator", The 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (2001), pp. 546-551
- [7] P.V. Manivannan, M. Singaperumal and A. Ramesh, "Development of an Idle Speed Engine Model using In-Cylinder Pressure Data and an Idle Speed Controller for a Small Capacity Port Fuel Injected SI Engine", International Journal of Automotive Technology (2011), Vol 12, No. 1, pp. 11-20
- [8] Chanyut Khajorntridet, and Jiraphon Srisertpol, "Torque Control for DC Servo Motor using Adaptive Load Torque Compensation", The 9th WSEAS International Conference on SYSTEM SCIENCE and SIMULATION in ENGINEERING (ICOSSSE'10), Iwate, Japan, pp. 454-458, October (4-6) 2010.
- [9] Srisertpol, J. and Khajorntridet, C. "Estimation of DC Motor Variable Torque Using Adaptive Compensation" Proceedings of 21st the Chinese Control and Decision Conference (CCDC 2009), Guilin, China, June. 17-19, 2009, pp 712-717.
- [10] Bo-Chiuan Chen, Yuh-Yih Wu, and Feng-Chi Hsieh, "Estimation of Engine Rotational Dynamics Using Kalman Filter Based on a Kinematic Model", IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL. 59, NO. 8, OCTOBER 2010

ประวัติผู้เขียน

นายจักรา นันทสุคนธ์ เกิดเมื่อวันที่ 13 ธันวาคม 2527 ที่อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนมานิตานุเคราะห์ อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัยสุราษฎร์ธานี อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานีและสำเร็จการศึกษาวិชาการศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมยานยนต์) สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2552 และในปี เดียวกันได้ศึกษาต่อระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ขณะศึกษาได้ เป็นผู้สอนปฏิบัติการของสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล จำนวน 3 รายวิชา ได้แก่ (1) ปฏิบัติการ วิศวกรรมยานยนต์ 4 (2) วิชาเขียนแบบวิศวกรรม 1 และ (3) วิชาเขียนแบบวิศวกรรม 2 เป็น ระยะเวลา 4 ปี ระหว่างศึกษาระดับมหาบัณฑิตได้นำเสนอผลงานวิชาการเรื่อง Simulation Studies of The Estimated SI Engine Load Torque Using Adaptive Observer Compensator ในการประชุม วิชาการ South East Asian Technical University Consortium (SEATUC) Symposium ครั้งที่ 6 ในระหว่างวันที่ 6 – 7 มีนาคม 2556 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย มีรายละเอียดดังภาคผนวก ก.