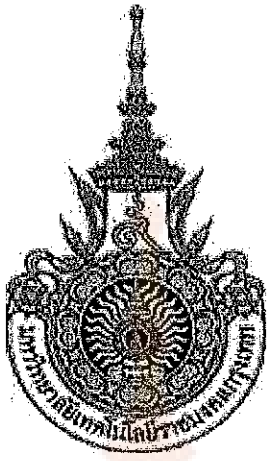


รายงานการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง เครื่องควบคุมการจุดระเบิดสำหรับเครื่องยนต์ดัดแปลง

Ignition Controller for Modify Engine

ศณะผู้วิจัย

1. นายเอกพล อนุสุเรนทร์
2. นายรักชัย ตรังค์ตระกูล

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณเงินรายได้ ปี พ.ศ. 2555

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....1560.....
วัน เดือน ปี.....2 2 เม.ย. 2558.....

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการสร้างเครื่องควบคุมการจุดระเบิดสำหรับเครื่องยนต์ดัดแปลง โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม ซึ่งสามารถที่จะควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าให้ได้องศาตามที่ต้องการ เพื่อที่จะทำให้เครื่องยนต์มีกำลังและทำงานได้เต็มประสิทธิภาพโดยไม่ต้องอาศัยเครื่องควบคุมเครื่องยนต์ (ECU Engine Control Unit) เดิม การควบคุมองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าจะใช้เทคนิคของการหน่วงเวลาการจุดระเบิดในโปรแกรม ทำงานร่วมกับเฟืองที่บอกตำแหน่งของลูกสูบและให้ข้อมูลการหมุนของเครื่องยนต์ โดยเครื่องควบคุมการจุดระเบิดนี้สามารถควบคุมให้เครื่องยนต์ทำงานได้จริง โดยค่าผิดพลาดขององศาการจุดระเบิดที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบ/นาที อยู่ที่ 3.419%

คำสำคัญ : ไมโครคอนโทรลเลอร์, องศาการจุดระเบิด, การจุดระเบิดล่วงหน้า, เครื่องยนต์

Abstract

This research proposes the ignition controller for modify engine controlled by Microcontroller. This controller can be control the advance timing Ignition of the engine for the full power and efficiency without original ECU. The angle of the advance ignition can be control by using delay time technic in the software and working with the teeths wheel for piston position and speed of the engine. This controller can work with the engine. The error of the angle of advance timing ignition at 3,000 RPM is 3.419%

KEYWORD : Microcontroller, Angle of Ignition, Advance Timing Ignition, Engine

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง เครื่องควบคุมการจุดระเบิดสำหรับเครื่องยนต์ดัดแปลงนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทางสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำหรับการเอื้อเฟื้อให้คณะผู้วิจัยใช้เครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัย ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาที่ได้เปิดโอกาสให้คณะผู้วิจัยได้ทำงานวิจัยในเรื่องนี้ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพเป็นอย่างยิ่งที่ให้เงินอุดหนุนสำหรับการทำวิจัย โดยให้เงินอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ปี พ.ศ. 2555

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 เครื่องยนต์แก๊สโซลีน	3
2.3 เครื่องยนต์ดีเซล	5
2.4 องศาการจุดระเบิด	5
2.5 คอยล์จุดระเบิด	7
2.6 หัวเทียน	8
2.7 เฟืองตรวจจับการหมุนของเครื่องยนต์	9
2.8 เซนเซอร์ตรวจจับสัญญาณการหมุนจากเฟือง	9
2.9 ไมโครคอนโทรลเลอร์	10
2.10 ไอจีบีที	13
2.11 เครื่องวัดองศาการจุดระเบิด	13
2.12 ออปแอมป์	14
2.13 การคำนวณหาเวลาที่สัมพันธ์กับการหมุนของเครื่องยนต์	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	16
3.1 แผนการดำเนินงาน	16
3.2 การทำงานของเครื่องควบคุมการจุดระเบิดสำหรับเครื่องยนต์ดัดแปลง	18
3.3 การทำงานของเฟืองตรวจจับการหมุนของเครื่องยนต์	20
3.4 สัญญาณที่ได้จากการหมุนของเฟือง	21
3.5 วงจรขยายความต่าง	22
3.6 สัญญาณที่ผ่านการขยายจากวงจรขยายความต่าง	22
3.7 การหาความเร็วรอบของเครื่องยนต์	23
3.8 การหาจังหวะการจุดระเบิด	24
3.9 การติดตั้งเฟืองและเซนเซอร์ตรวจจับการหมุนของเฟืองเข้ากับเครื่องยนต์	24
3.10 การหาเวลาหน่วงจากโปรแกรม	25
3.11 การหาค่าเวลาหน่วงเก็บไว้ในตาราง	26
3.12 การทำงานของโปรแกรมในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์	28
3.13 วิธีการตรวจจับฟันของเฟืองเพื่อหาลำดับของฟัน	29
3.14 การหาความเร็วรอบจากค่าเวลาที่ได้	30
3.15 วงจรสมบูรณ์ของเครื่องควบคุมการจุดระเบิดสำหรับเครื่องยนต์ดัดแปลง	31
3.16 แสดงสัญญาณต่าง ๆ ของเครื่องควบคุมการจุดระเบิด	33
3.17 เครื่องแสดงความเร็วรอบ	33
บทที่ 4 ผลการวิจัย	35
4.1 การติดตั้งเครื่องควบคุมการจุดระเบิดเข้ากับเครื่องยนต์	35
4.2 เครื่องวัดองศาการจุดระเบิด	37
4.3 การวัดมุมองศาการจุดระเบิด	37
4.4 อัตราการใช้พลังงานของเครื่องควบคุมการจุดระเบิด	41
4.5 ผลการทดสอบการวัดค่ามุมองศาการจุดระเบิด	41
4.6 สรุปผลการทดสอบ	45

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	46
5.1 สรุปผลการวิจัย	46
5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการแก้ไขและปรับปรุง	46
5.3 ข้อเสนอแนะเพื่อการประยุกต์ใช้งาน	47
บรรณานุกรม	48
ภาคผนวก ก	49
รูปวงจรและแผ่นวงจรพิมพ์ของเครื่องควบคุมการจุดระเบิดสำหรับเครื่องยนต์ดัดแปลง	
ภาคผนวก ข	56
โปรแกรมภาษาซีของเครื่องควบคุมการจุดระเบิดสำหรับเครื่องยนต์ดัดแปลง	

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ระยะเวลาที่ทำงานวิจัย	18
4.1	ความเร็วรอบและมุมที่จะทำการทดสอบ	42
4.2	ทดสอบที่ความเร็วรอบ 1,000 รอบ/นาที ที่ค่ามุมเท่ากับ 19 องศา	42
4.3	ทดสอบที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบ/นาที ที่ค่ามุมเท่ากับ 22 องศา	43
4.4	ทดสอบที่ความเร็วรอบ 2,000 รอบ/นาที ที่ค่ามุมเท่ากับ 25 องศา	43
4.5	ทดสอบที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบ/นาที ที่ค่ามุมเท่ากับ 28 องศา	44
4.6	ทดสอบที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบ/นาที ที่ค่ามุมเท่ากับ 31 องศา	44

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	จังหวะการทำงานของเครื่องยนต์	4
2.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับองศาการจุดระเบิด	6
2.3	ตำแหน่งสังเกตองศาการจุดระเบิดของเครื่องยนต์	6
2.4	แสดงมุมองศาการจุดระเบิด	7
2.5	คอยล์จุดระเบิด	8
2.6	หัวเทียน	8
2.7	เฟืองตรวจจับการหมุนของเครื่องยนต์	9
2.8	แสดงตำแหน่งของแคมชาฟท์ที่จะติดเฟือง	9
2.9	เซนเซอร์ตรวจจับสัญญาณการหมุนของเครื่องยนต์	10
2.10	ไมโครคอนโทรลเลอร์	10
2.11	สถาปัตยกรรมภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F14K50	12
2.12	ไอจีบีที	13
2.13	เครื่องวัดองศาการจุดระเบิด	13
2.14	ออปแอมป์	14
3.1	แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน	16
3.2	แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน (ต่อ)	17
3.3	โครงสร้างการทำงานของเครื่องควบคุมการจุดระเบิดสำหรับเครื่องยนต์ดัดแปลง	18
3.4	แผนผังการทำงานของเครื่องควบคุมการจุดระเบิดสำหรับเครื่องยนต์ดัดแปลง	20
3.5	จุดที่ติดตั้งเฟืองตรวจจับการหมุน	21
3.6	สัญญาณที่ได้จากเซนเซอร์ตรวจจับการหมุน	22
3.7	วงจรขยายความต่าง	22
3.8	แสดงสัญญาณที่ถูกขยายเทียบกับสัญญาณที่ได้จากเฟือง	23
3.9	แผนผังการทำงานของโมดูลอินพุทแคปเจอร์	24
3.10	การติดตั้งเฟืองร่วมกับเซนเซอร์ตรวจจับการหมุน	25
3.11	แสดงการหาสมการจากการสร้างเส้นกราฟให้ผ่านจุด	26

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.12	แสดงภาพการคำนวณที่ใช้ซอฟท์แวร์ภายนอก	27
3.13	แผนผังการทำงานของโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์	28
3.14	แสดงเวลาระหว่างฟันของเฟือง	29
3.15	แผนผังการทำงานของโปรแกรมตรวจหาลำดับของฟัน	30
3.16	วงจรสมบูรณ์ของเครื่องควบคุมการจุดระเบิดสำหรับเครื่องยนต์ดัดแปลง	32
3.17	แสดงสัญญาณที่ได้จากเฟืองเทียบกับสัญญาณการจุดระเบิด	33
3.18	วงจรของเครื่องแสดงความเร็วรอบ	34
4.1	แสดงการติดตั้งคอยล์จุดระเบิดจำนวน 4 คอยล์	35
4.2	แสดงการติดตั้งเฟืองตรวจจับการหมุน	36
4.3	แสดงการติดตั้งเครื่องควบคุมการจุดระเบิด	36
4.4	แสดงเครื่องวัดมุมองศาการจุดระเบิดยี่ห้อ TRISCO รุ่น DA-3100	37
4.5	แสดงการวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์	38
4.6	แสดงการวัดมุมองศาการจุดระเบิดของเครื่องยนต์	39
4.7	ภาพขยายของภาพที่ 4.6	39
4.8	แสดงมุมองศาการจุดระเบิดที่วัดได้	40
4.9	ภาพขยายของภาพที่ 4.8	40
4.10	แสดงปริมาณกระแสที่ใช้	41
ก.1	วงจรของเครื่องควบคุมการจุดระเบิด	50
ก.2	ลายวงจรพิมพ์ของเครื่องควบคุมการจุดระเบิด	51
ก.3	วงจรของเครื่องแสดงความเร็วรอบ	52
ก.4	ลายวงจรพิมพ์ของเครื่องแสดงความเร็วรอบ	52
ก.5	แผ่นวงจรของเครื่องควบคุมการจุดระเบิด	53
ก.6	กล่องใส่เครื่องควบคุมการจุดระเบิด	53
ก.7	กล่องใส่เครื่องแสดงความเร็วรอบ	53
ก.8	เครื่องยนต์ 1	54
ก.9	เครื่องยนต์ 2	54
ก.10	เครื่องยนต์ 3	55

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันรัฐบาลได้ส่งเสริมการใช้ก๊าซ NGV ในรถยนต์เพื่อเป็นพลังงานทางเลือก เนื่องจากราคาถูกและก่อมลภาวะน้อยกว่าน้ำมัน ซึ่งในภาคขนส่งที่ใช้รถขนส่งขนาดใหญ่ได้มีการรตอบรับมาตรการนี้ โดยการดัดแปลงรถขนส่งเพื่อให้ใช้ก๊าซ NGV ได้การดัดแปลงทำได้สองวิธีคือ นำเข้าเครื่องยนต์ที่สามารถใช้ก๊าซ NGV จากต่างประเทศซึ่งมีข้อเสียคือต้องใช้ต้นทุนสูง อีกหนึ่งวิธีคือดัดแปลงเครื่องยนต์เดิมให้สามารถใช้ก๊าซ NGV ได้ ซึ่งในกรณีของเครื่องยนต์ดีเซลสามารถทำได้โดยการลดกำลังอัดของเครื่องยนต์ลง นำหัวฉีดน้ำมันดีเซลออกและฝังหัวเทียนเข้าไปแทนที่ จากนั้นจะทำการจ่ายก๊าซร่วมกับอากาศเข้าทางท่อไอดี แต่การดัดแปลงแบบนี้จะไม่สามารถทำให้เครื่องยนต์ทำงานได้ทันที เนื่องจากเครื่องยนต์ต้องการการจุดระเบิดโดยหัวเทียน จึงต้องมีเครื่องควบคุมการจุดระเบิดมาทำการควบคุม เพื่อที่จะสั่งให้มีการจุดระเบิดในจังหวะที่เหมาะสมกับความเร็วของเครื่องยนต์ และต้องสามารถทำการจุดระเบิดล่วงหน้าได้ เพื่อที่เครื่องยนต์จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เครื่องควบคุมการจุดระเบิดดังกล่าวปัจจุบันต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาแพง และถ้าเกิดความเสียหายก็จะซ่อมแซมได้ยากเนื่องจากต้องส่งกลับไปซ่อมยังประเทศผู้ผลิต ดังนั้นถ้าสามารถวิจัยและพัฒนาเครื่องควบคุมการจุดระเบิดได้ภายในประเทศ ก็จะทำให้สามารถสร้างเครื่องได้ในราคาที่ไม่แพง และสามารถนำไปดัดแปลงพัฒนาให้ใช้กับเครื่องยนต์รุ่นเก่าได้ ทั้งในภาคขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม หรือในภาคการเกษตร ที่ต้องการดัดแปลงเครื่องยนต์ให้ใช้ก๊าซ NGV ได้

งานวิจัยนี้นำเสนอการสร้างเครื่องควบคุมการจุดระเบิดสำหรับเครื่องยนต์ดัดแปลง โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการทำงาน ในงานวิจัยจะมีการออกแบบชุดควบคุมซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมการจุดระเบิดของเครื่องยนต์โดยไม่ต้องอาศัยสัญญาณจากตัวควบคุม (ECU Engine Control Unit) เดิมของเครื่องยนต์ สามารถที่จะควบคุมองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าโดยใช้เทคนิคของการหน่วงเวลา เพื่อสร้างองศาการจุดระเบิดให้เหมาะสมกับรอบของเครื่องยนต์

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาการทำงานของเครื่องยนต์ที่ถูกดัดแปลงเพื่อให้ใช้กับก๊าซ NGV

1.2.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการทำงานของเครื่องยนต์และการจุดระเบิด

1.2.3 ศึกษาและพัฒนาวงจรควบคุมการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ดัดแปลง เพื่อให้เครื่องยนต์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 สร้างเครื่องควบคุมการจุดระเบิดสำหรับเครื่องยนต์ดัดแปลงขนาด 4 สูบ

1.3.2 สามารถปรับตั้งองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าให้สัมพันธ์กับความเร็วรอบ

1.3.3 สามารถแสดงผลความเร็วรอบ และมุมของการจุดระเบิดล่วงหน้า

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ต้นแบบเครื่องควบคุมการจุดระเบิดเครื่องยนต์ดัดแปลง

1.4.2 ได้ประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ ไมโครโปรเซสเซอร์ และด้านเครื่องยนต์

1.4.3 สามารถนำไปใช้ได้จริงในภาคขนส่ง อุตสาหกรรม หรือภาคเกษตร

1.4.4 สามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในการเรียนการสอนของนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

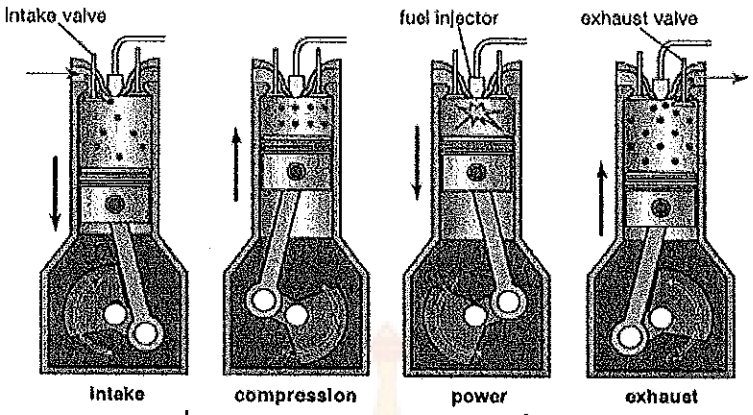
ในงานวิจัยนี้จะมีส่วนที่เกี่ยวข้องทั้งทางด้านการทำงานของเครื่องยนต์ และการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่จะเป็นหัวใจสำคัญที่ในการนำมาสร้างเป็นชุดควบคุมการจุดระเบิดเครื่องยนต์ดัดแปลงนี้ โดยนำหลักการทำงานของเครื่องยนต์นั้นมาเป็นเงื่อนไขในการออกแบบวงจรและเขียนโปรแกรมสั่งงานให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการจุดระเบิด

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ก๊าซธรรมชาติอัด (NGV) และก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทางเลือกในรถยนต์ ทั้งในรถยนต์นั่งส่วนบุคคลหรือรถบรรทุกสำหรับการขนส่ง รักษิต ฐิติพัฒนพงศ์ และคณะ [4] ได้ดัดแปลงรถยนต์เพื่อติดตั้งระบบเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) แบบหัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ชุดสมองกลฝังตัว ECU-NNx ที่พัฒนาโดย NECTEC เป็นระบบควบคุมการจ่ายก๊าซ แต่ระบบดังกล่าวควบคุมได้เฉพาะการจ่ายเชื้อเพลิงเท่านั้นไม่สามารถควบคุมจังหวะการจุดระเบิดได้ และต้องอาศัยสัญญาณการสั่งจ่ายเชื้อเพลิงจาก ECU เดิมของรถยนต์ ซึ่งถ้าจะนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงจะไม่สามารถทำงานได้เพราะไม่สามารถควบคุมการจุดระเบิดได้ เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลรุ่นเก่าที่นำมาดัดแปลงไม่มี ECU ควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์

2.2 เครื่องยนต์แก๊สโซลีน

เครื่องยนต์เป็นอุปกรณ์ที่แปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกล [7] โดยเครื่องยนต์จะดูดไอดี (ซึ่งเกิดจากการผสมน้ำมันกับอากาศ) เข้ากระบอกสูบ จากนั้นจะอัดไอดีโดยการเคลื่อนตัวของลูกสูบ หัวเทียนจะจุดประกายไฟเพื่อเผาไหม้ไอดีในกระบอกสูบ ไอดีที่ถูกเผาไหม้จะเกิดเป็นก๊าซแรงดันสูงดันให้ลูกสูบเคลื่อนตัว การเคลื่อนตัวของลูกสูบจะเปลี่ยนเป็นการหมุนที่เพลาข้อเหวี่ยง จากนั้นก๊าซที่ถูกเผาไหม้ในกระบอกสูบจะถูกคายออกทางลิ้นไอเสีย ซึ่งการทำงานของเครื่องยนต์ แบบแก๊สโซลีนมี 4 จังหวะ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 จังหวะการทำงานของเครื่องยนต์

2.1.1 จังหวะดูด (Intake)

ลิ้นไอดีจะเปิด ลิ้นไอเสียจะปิดสนิท ไอดีจะถูกดูดเข้าโดยการเคลื่อนตัวลงของลูกสูบโดยจะเคลื่อนตัวจากศูนย์ตายบน (TDC – Top Dead Center) จนถึงศูนย์ตายล่าง (BDC – Bottom Dead Center) ไอดีจะไหลผ่านลิ้นไอดีเข้ากระบอกสูบ

2.1.2 จังหวะอัด (Compression)

ในจังหวะนี้ลูกสูบจะเคลื่อนตัวขึ้น เป็นการทำงานต่อเนื่องจากจังหวะดูด ลูกสูบจะเคลื่อนตัวจากจุดศูนย์ตายล่างขึ้นสู่จุดศูนย์ตายบน ลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียจะถูกปิดด้วยกลไกของลิ้น ไอดีจะถูกอัดตัวให้มีปริมาตรที่น้อยลง ทำให้เกิดกำลังดันและอุณหภูมิสูงขึ้น

2.1.3 จังหวะระเบิดหรือจังหวะกำลัง (Ignition Or Power)

ก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนตัวขึ้นสู่จุดศูนย์ตายบน หัวเทียนจะจุดประกายเผาไหม้ไอดี ไอดีจะถูกเผาไหม้ลุกลามอย่างรวดเร็ว เกิดแรงดันให้ลูกสูบเคลื่อนตัวลงสู่จุดศูนย์ตายล่างอย่างรุนแรง เกิดกำลังงานขับเครื่องยนต์ กำลังที่กดดันให้ลูกสูบเคลื่อนลง จะถูกเปลี่ยนด้วยก้านสูบ และทำให้เพลาข้อเหวี่ยงหมุนเพื่อถ่ายทอดกำลังงานไปใช้ต่อไป

2.1.3 จังหวะคาย (Exhaust)

ก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้จะถูกขับไล่ออกไปจากกระบอกสูบ ลิ้นไอเสียจะถูกเปิดด้วยลูกเบี้ยวไอเสีย ลูกสูบจะเคลื่อนตัวลงจากจุดศูนย์ตายล่างขึ้นสู่จุดศูนย์ตายบน ขับไล่ไอเสียออกไปจากกระบอกสูบ เมื่อเครื่องยนต์ทำงานครบทั้ง 4 จังหวะแล้ว เพลาข้อเหวี่ยงจะหมุนสองรอบเพื่อผลิตกำลังงาน และการทำงานของเครื่องยนต์จะหมุนเวียนกันอย่างต่อเนื่องเป็นกลวัตรติดต่อกันต่อไป

เครื่องยนต์ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นเครื่องยนต์ของบริษัทโตโยต้า ตระกูล 4A ระบบคาร์บูเรเตอร์ ความจุกระบอกสูบ 1,300CC ไม่มีกล่องควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ติดมาด้วย ถูกนำมาดัดแปลงเบื้องต้นเพื่อให้ใช้กับเชื้อเพลิงแบบ LPG ได้ โดยมีการติดตั้งชุดลดความดันก๊าซ ติดตั้งตัวผสมก๊าซกับอากาศ ได้มีการถอดจานจ่ายออกและใส่เฟืองตรวจจับการหมุนของเครื่องยนต์เข้าไปแทน พร้อมทั้งติดตั้งคอยล์จุดระเบิดแยกแต่ละสูบเตรียมไว้แล้ว

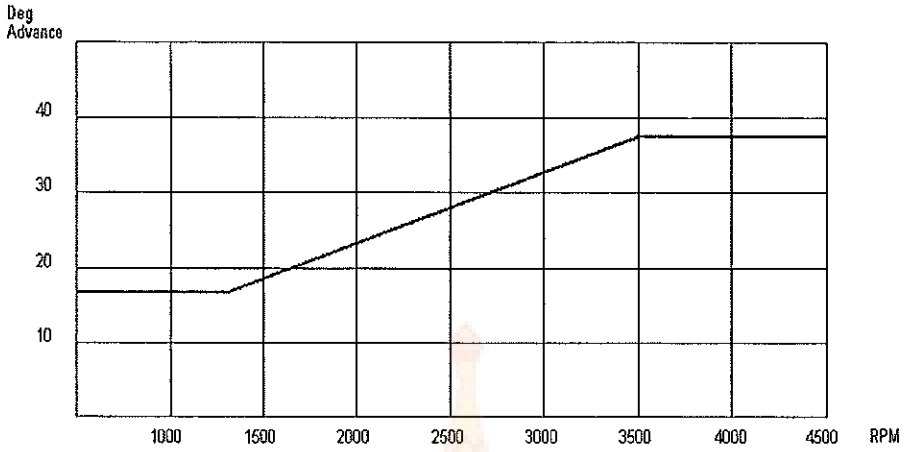
2.3 เครื่องยนต์ดีเซล

การทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล จะคล้ายกับการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนเพียงแต่ว่าเครื่องยนต์ดีเซลจะไม่มีหัวเทียน แต่จะมีหัวฉีดน้ำมันแทน การทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลกล่าวคือในจังหวะดูด เครื่องยนต์จะดูดอากาศเข้ามาทางท่อไอดี จากนั้นจังหวะอัดจะอัดอากาศด้วยอัตราส่วน 21:1 [1] ซึ่งให้ความดันสูงถึง 500 ปอนด์/ตารางนิ้วจนเกิดความร้อนสูง จากนั้นจะฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปในกระบอกสูบหรือห้องเผาไหม้ เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงถูกฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ที่มีความร้อนสูง จะทำให้เกิดการลุกไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งก็คือจังหวะระเบิด ทำให้เกิดแรงดันดันลูกสูบให้เคลื่อนที่ลง จากนั้นเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นก็จะเป็นจังหวะคายไอเสีย และจะเริ่มเข้าสู่จังหวะดูดในรอบถัดไป

2.4 องศาการจุดระเบิด

เมื่อส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศหรือไอดี ถูกจุดระเบิดด้วยประกายไฟที่กระโดดข้ามเขี้ยวหัวเทียน ไอดีจะไม่เป็นเปลวไฟแผ่กระจายทั่วห้องเผาไหม้ในทันทีทันใด แต่จะต้องใช้ระยะเลาหนึ่งที่แน่นอนในการแผ่กระจายออกไป ซึ่งจะทำให้เกิดการล่าช้าในการจุดระเบิด เนื่องจากกำลังงานสูงสุดที่ได้จากเครื่องยนต์จะได้เมื่อยังมีกำลังอัดสูงสุดในห้องเผาไหม้ ฉะนั้นจึงต้องหาจังหวะเวลาในการจุดระเบิดที่แน่นอนและเหมาะสม [2] เพื่อที่จะให้ได้กำลังงานสูงสุดจากเครื่องยนต์เวลาที่ล่าช้าสำหรับเปลวไฟที่จะแผ่กระจายออกไปหลังจุดระเบิด ไอดีจึงต้องถูกจุดระเบิดก่อนจุดศูนย์ตายบน

ดังนั้นเครื่องยนต์จะไม่ได้ทำการจุดระเบิดที่ศูนย์ตายบน แต่จะจุดระเบิดก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ถึงศูนย์ตายบนเล็กน้อย ซึ่งระยะเคลื่อนที่นี้สามารถมองเป็นมุมได้เนื่องจากเครื่องยนต์มีการหมุนเป็นวงกลม ที่ความเร็วต่ำองศาการจุดระเบิดจะน้อย แต่ที่ความเร็วสูงองศาการจุดระเบิดก็จะมากตามไปด้วยดังในรูปที่ 2.2 นั่นหมายถึงองศาการจุดระเบิดจะขึ้นอยู่กับความเร็วของเครื่องยนต์ในขณะนั้น

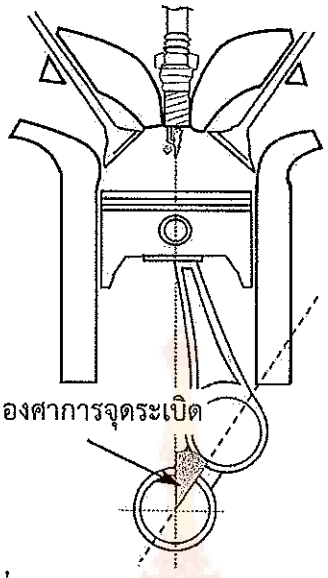


รูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับองศาการจุดระเบิด

มุมองศาการจุดระเบิดนี้สามารถสังเกตได้จากตัวเครื่องยนต์ ซึ่งบนเครื่องยนต์จะมีจุดกำหนดไว้ให้ผู้ใช้ได้สังเกตเห็นดังในรูปที่ 2.3 แต่จะต้องใช้เครื่องวัดองศาการจุดระเบิดร่วมสังเกตด้วย

รูปที่ 2.3 ตำแหน่งสังเกตองศาการจุดระเบิดของเครื่องยนต์

เนื่องจากลูกสูบในเครื่องยนต์เคลื่อนที่ในแนวตั้ง ก้านสูบที่ต่อจากลูกสูบมายังเพลาข้อเหวี่ยงจะทำหน้าที่เปลี่ยนการเคลื่อนที่ในแนวตั้งให้เป็นการหมุนในแนววงกลม ระยะก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่เข้าสู่ศูนย์ตายบน ถ้ามองที่เพลาข้อเหวี่ยงจะสามารถมองเป็นมุมของการหมุนได้ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ยกตัวอย่างเช่นจะจุดระเบิดก่อนลูกสูบเคลื่อนที่ถึงศูนย์ตายบน 10 องศา เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่เข้าสู่ศูนย์ตายบน เมื่อถึงระยะ 10 องศาก่อนถึงศูนย์ตายบนก็จะทำการจุดระเบิด



รูปที่ 2.4 แสดงมุมองศาการจุดระเบิด

การกำหนดองศาการจุดระเบิดให้เหมาะสมกับรอบของเครื่องยนต์ จะมีผลทำให้เครื่องยนต์มีกำลังและทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ [2] เนื่องจากมีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้เหมาะสมกับจังหวะการหมุนเพื่อสร้างกำลังของเครื่องยนต์ องศาการจุดระเบิดนี้ไม่ได้ตายตัวสำหรับทุกเครื่องยนต์ แต่จะเหมาะสมกับเครื่องยนต์แต่ละรุ่นไป องศาการจุดระเบิดที่เหมาะสมได้มาจากการทดสอบกำลังของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบแรงม้าและแรงบิด และองศาการจุดระเบิดนี้ไม่ได้ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมัน [3] ภาระของเครื่องยนต์ และการเปิดของลิ้นอากาศอีกด้วย

2.5 คอยล์จุดระเบิด

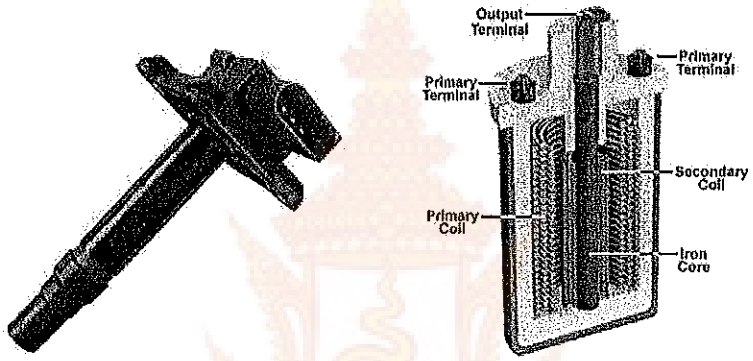
คอยล์จุดระเบิดทำหน้าที่เช่นเดียวกับหม้อแปลง ซึ่งจะเพิ่มแรงดันจากไฟต่ำจาก 12V เป็นแรงเคลื่อนไฟสูงถึง 18,000V ถึง 25,000V [3] เพื่อให้แรงเคลื่อนไฟฟ้ากระโดดข้ามเขี้ยวหัวเทียน ภายในคอยล์จุดระเบิดจะประกอบไปด้วยขดลดปฐมภูมิพันด้วยลวดทองแดงขนาดใหญ่ประมาณ 150 ถึง 300 รอบ ขดลวดทุติยภูมิพันด้วยลวดทองแดงขนาดเล็กพันรอบแกนเหล็กอ่อนประมาณ 20,000 รอบ

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปในขดลวด จะทำให้มีสนามแม่เหล็กและเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นรอบ ๆ ขดลวดปฐมภูมิ เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลเข้าไปในขดลวดจนเต็มและถูกตัดวงจรอย่างทันทีทันใด สนามแม่เหล็กจะยุบตัวตัดกับขดลวดเกิดการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กของขดลวด และเนื่องจากขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิพันอยู่บนแกนเดียวกันจะทำให้ขดลวด

ทุติยภูมิเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น ซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้เกิดจากการเหนี่ยวนำของเส้นแรงแม่เหล็กในขดลวดปฐมภูมิ

คอยล์จุดระเบิดนี้ต้องการแรงดัน 12V จ่ายเข้าขดลวดทางด้านปฐมภูมิ และจะใช้เวลาชาร์จกระแสในคอยล์เป็นเวลาประมาณ 2ms ซึ่งเป็นเวลาที่ทำให้กระแสในคอยล์เริ่มอิ่มตัว จากนั้นเมื่อหยุดจ่ายแรงดันจะทำให้มีแรงดันสูงออกมาทางขดลวดทุติยภูมิ เพื่อจ่ายให้กับหัวเทียนต่อไป

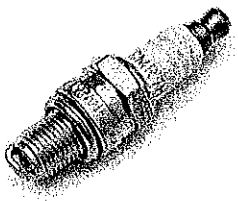
คอยล์จุดระเบิดของรถยนต์ส่วนใหญ่จะมีค่าความต้านทานทางขดลดปฐมภูมิประมาณ 1 โอห์ม ทำให้ขณะที่ทำงานจะกินกระแสสูงถึงประมาณ 12 A แต่ก็เป็นค่ากระแสช่วงสั้น ๆ ขณะที่จ่ายแรงดันไปชาร์จคอยล์



รูปที่ 2.5 คอยล์จุดระเบิด

2.6 หัวเทียน

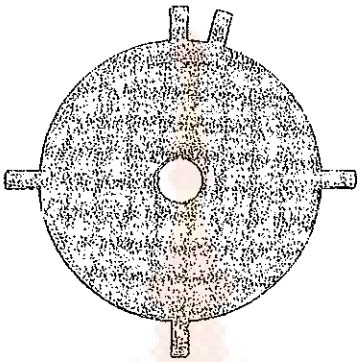
หัวเทียนทำหน้าที่จุดประกายไฟทำให้ไอดีเกิดการเผาไหม้ [3] s โดยแรงดันสูงจากคอยล์จุดระเบิดจะถูกจ่ายให้กับขั้วของหัวเทียน เพื่อให้เกิดการกระโดดของประกายไฟที่เขี้ยวของหัวเทียน หัวเทียนที่ดีจะต้องรับแรงดันภายในกระบอกสูบได้สูง ต้องทนอุณหภูมิได้สูง สามารถทนต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูง ต้องทนต่อการสั่นสะเทือนได้ดี ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี ต้องมีการจุดประกายไฟที่แน่นอนในทุกสภาวะของการทำงานของเครื่องยนต์ และต้องมีอายุการใช้งานยาวนาน



รูปที่ 2.6 หัวเทียน

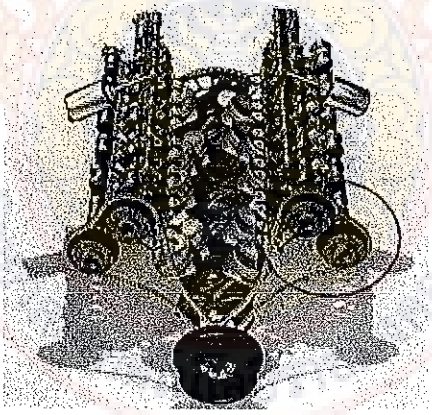
2.7 เฟืองตรวจจับการหมุนของเครื่องยนต์

เป็นเฟืองที่มีฟันจำนวนเท่ากับจำนวนสูบของเครื่องยนต์ และจะมีฟันพิเศษอีก 1 ฟันทำหน้าที่เป็นตัวอ้างอิงว่าเป็นฟันของสูบที่ 1 ทำจากโลหะเพื่อที่จะทำการเหนี่ยวนำตัวตรวจจับการหมุนของเฟืองในการที่จะนำไปแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าต่อไป



รูปที่ 2.7 เฟืองตรวจจับการหมุนของเครื่องยนต์

ในการที่จะรู้ว่าขณะนี้ลูกสูบทำงานอยู่ในจังหวะใด ทำได้โดยติดเฟืองดังกล่าวไว้ที่แกนที่ต่อจากแคมชาฟท์ของเครื่องยนต์ดังรูปที่ 2.8 เนื่องจากการหมุนของแคมชาฟท์จะสัมพันธ์กับจังหะการทำงานของเครื่องยนต์และการเคลื่อนที่ของลูกสูบ

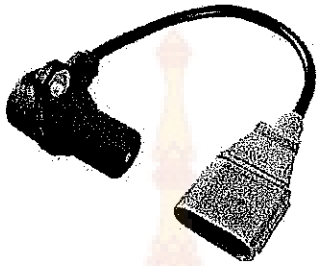


รูปที่ 2.8 แสดงตำแหน่งของแคมชาฟท์ที่จะติดเฟือง (ในวงกลม)

2.8 เซนเซอร์ตรวจจับสัญญาณการหมุนจากเฟือง

ทำหน้าที่ตรวจจับการหมุนของเฟืองที่ต่ออยู่กับแคมชาฟท์ เพื่อแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งไปให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ให้รับรู้การเคลื่อนที่ของลูกสูบภายในเครื่องยนต์ โครงสร้าง

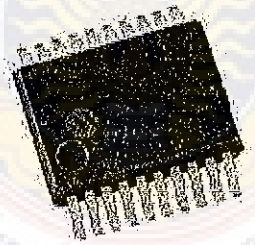
ภายในเซนเซอร์นี้จะประกอบด้วยขดลวดที่พันอยู่บนแกนเหล็ก และมีแม่เหล็กถาวรติดอยู่อีกด้านหนึ่งของแกนเหล็ก เมื่อมีโลหะเคลื่อนที่ผ่านแกนเหล็กจะทำให้สนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลง เกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นในขดลวด ซึ่งสามารถนำลักษณะแรงดันไฟฟ้านี้มาตรวจสอบรูปร่างเพื่อวิเคราะห์การหมุนของเครื่องยนต์ได้



รูปที่ 2.9 เซนเซอร์ตรวจจับสัญญาณการหมุนของเครื่องยนต์

2.9 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือไมโครโปรเซสเซอร์ที่มีหน่วยความจำและมีอินพุท/เอาท์พุทประกอบเข้าด้วยกันเป็นหนึ่งเดียว ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ทางดิจิตอล ตัวมันสามารถที่จะรับสัญญาณดิจิตอลจากภายนอกเข้ามาประมวลผลทางคณิตศาสตร์และลอจิก เมื่อประมวลผลเสร็จแล้วมันสามารถที่จะส่งสัญญาณเอาท์พุทออกไปควบคุมอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ต่ออยู่กับมันได้



รูปที่ 2.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในงานวิจัยนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC18F เบอร์ PIC18F14K50 ของบริษัท Microchip Technology [6] เนื่องจากภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ มีองค์ประกอบที่สำคัญและจำเป็นต่อในการนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ดังนี้

2.8.1 มีวงจรคูณขนาด 8 บิทแบบฮาร์ดแวร์ สามารถทำการคูณค่าทางคณิตศาสตร์ได้อย่างรวดเร็ว

2.8.2 สามารถทำงานได้ที่ความถี่สูงถึง 48 MHz

2.8.3 ใช้แรงดันไฟเลี้ยง 5.5 V

2.8.4 มีโมดูล Timer สำหรับนับเวลา

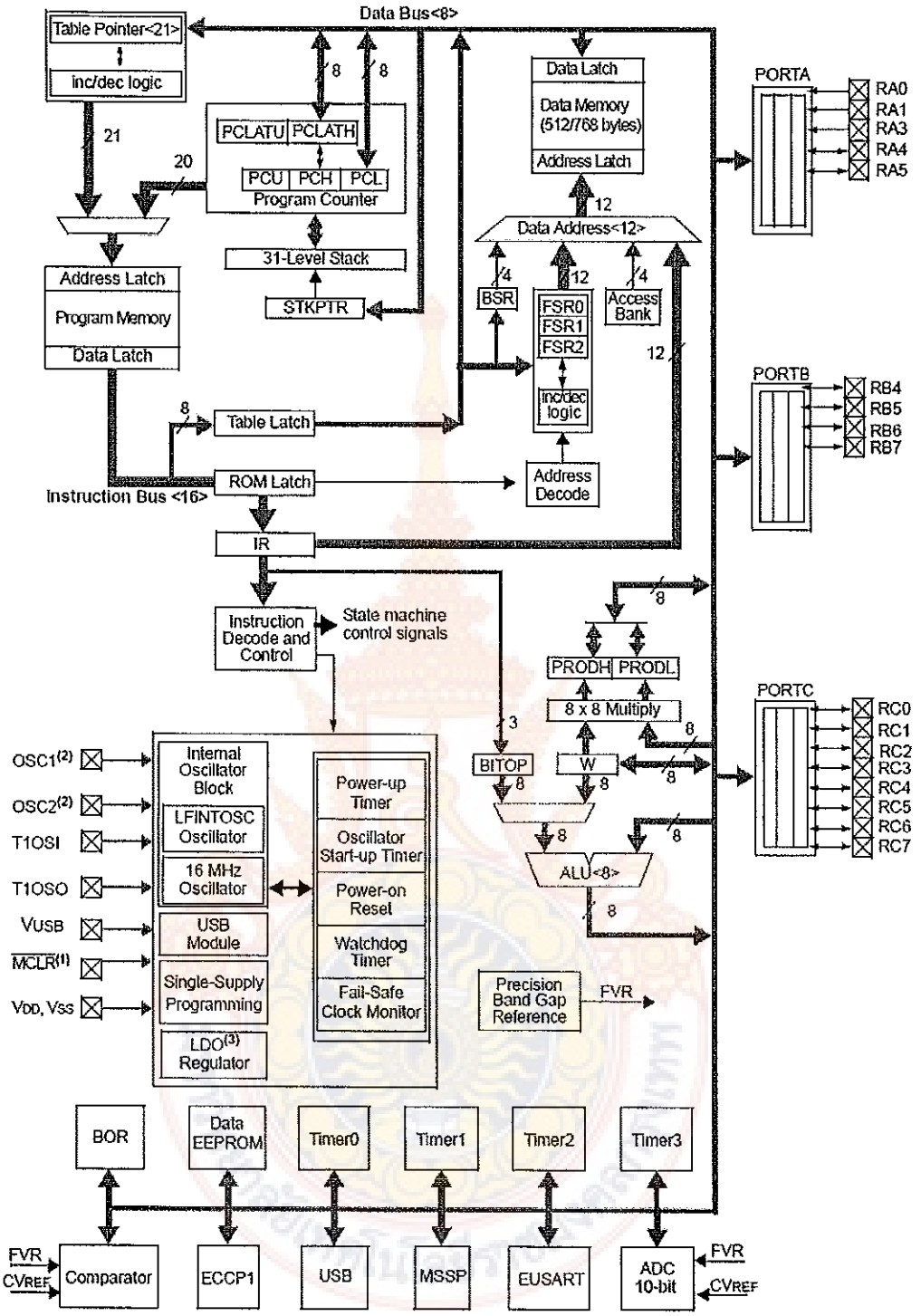
2.8.5 มีโมดูล Capture สำหรับวัดความถี่ของสัญญาณ

2.8.6 ขาแต่ละขาของพอร์ตสามารถจ่ายกระแสได้ถึง 25 mA และมีจำนวน 15 ขา ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งาน

2.8.7 มีหน่วยความจำโปรแกรม 16 kByte และหน่วยความจำข้อมูล 768 Byte

2.8.8 สามารถพัฒนาโปรแกรมโดยใช้ภาษาซีได้

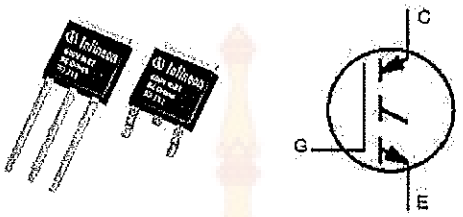
ในงานวิจัยนี้ต้องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถวัดความถี่ได้ เพื่อที่จะนำไปหาความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ต้องสามารถที่จะคำนวณสมการทางคณิตศาสตร์ได้ในเวลาอันรวดเร็วให้ทันต่อรอบการหมุนของเครื่องยนต์ สามารถที่จะส่งเอาท์พุทเพื่อที่จะไปขับ LED หรือ ไอจีบีทีเพื่อให้สั่งคอยล์จุดระเบิดให้ทำงานได้ ซึ่งในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลดังกล่าวสามารถรองรับการทำงานดังที่กล่าวมานี้ได้ทั้งหมดในตัวเดียว แสดงสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC18F14K50 ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 สถาปัตยกรรมภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F14K50

2.10 ไอจีบีที

เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่จะนำหน้าที่แทนสวิทช์ที่สามารถทนกระแสได้สูง และสามารถทำงานได้ที่ความถี่สูง ในงานวิจัยนี้จะใช้ตัวไอจีบีทีทำหน้าที่เป็นสวิทช์เพื่อจ่ายแรงดันให้กับคอยล์จุดระเบิด เพื่อที่จะสร้างแรงดันสูงเพื่อสร้างประกายไฟให้แก่เขี้ยวหัวเทียนต่อไป



รูปที่ 2.12 ไอจีบีที

ไอจีบีทีจะยอมให้กระแสไหลผ่านจากขา C ไปยังขา E ได้ก็ต่อเมื่อเมื่อมีแรงดัน Vge จ่ายให้แก่ขา G ถ้าไม่มีแรงดันที่ขา G กระแสจะไม่สามารถไหลผ่านจากขา C ไปยังขา E ได้

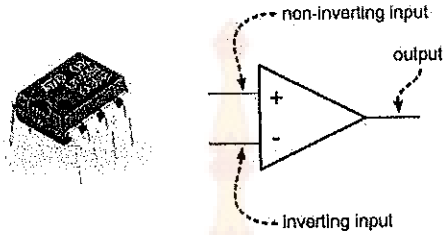
2.11 เครื่องวัดองศาการจุดระเบิด

ในการสังเกตองศาการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ จะต้องอาศัยเครื่องวัดองศาการจุดระเบิดนี้ร่วมด้วย จึงจะสามารถมองเห็นมุมที่ได้ระบุไว้บนเครื่องยนต์ได้ เครื่องวัดองศาการจุดระเบิดนี้จะมีสายไฟให้ไปคล้องกับหัวเทียนในสูบที่ต้องการจะสังเกตมุม เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าแรงสูงจากคอยล์จุดระเบิดจ่ายให้กับหัวเทียน แรงดันไฟฟ้านั้นจะไปกระตุ้นให้เครื่องวัดองศาการจุดระเบิดส่งแสงสว่างจากหลอดไฟแฟลชที่อยู่ภายในออกมา แสงสว่างนี้จะส่องไปยังมุมบนแกนเครื่องยนต์ในจังหวะที่ตรงกับการจุดระเบิดพอดี ทำให้สามารถสังเกตได้ว่าขณะนี้เครื่องยนต์ถูกจุดระเบิดที่มุมเท่าไร

รูปที่ 2.13 เครื่องวัดองศาการจุดระเบิด

2.12 ออปแอมป์

ออปแอมป์ (Operational Amplifier) เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นวงจรต่าง ๆ ได้หลากหลาย โดยในงานวิจัยนี้จะนำออปแอมป์มาใช้เป็นวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กที่ได้มาจากเซนเซอร์ตรวจจับสัญญาณการหมุนจากเฟือง ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำไปวิเคราะห์รูปแบบของสัญญาณการหมุนของเครื่องยนต์ได้



รูปที่ 2.14 ออปแอมป์

ในออปแอมป์ 1 ชุดจะมีขาใช้งานอยู่ 3 ขาคือ ขาอินพุทแบบกลับขั้ว ขาอินพุทแบบไม่กลับขั้ว และขาเอาท์พุท ออปแอมป์สามารถนำมาออกแบบเป็นวงจรขยายได้หลายแบบ เช่น วงจรขยายแบบกลับขั้ว วงจรขยายแบบไม่กลับขั้ว วงจรขยายความต่าง ซึ่งในงานวิจัยนี้จะนำออปแอมป์มาออกแบบเป็นวงจรขยายความต่าง โดยวงจรขยายความต่างนี้มีคุณสมบัติที่สามารถขยายสัญญาณเฉพาะส่วนที่แตกต่างกัน ส่วนที่ไม่แตกต่างกันจะไม่นำไปขยาย และวงจรขยายความต่างนี้สามารถป้องกันสัญญาณรบกวนที่จะเข้ามาทางอินพุทได้ดี เหมาะสำหรับงานที่มีสัญญาณรบกวนมาเกี่ยวข้อง

2.13 การคำนวณหาเวลาที่สัมพันธ์กับการหมุนของเครื่องยนต์

เนื่องจากเครื่องยนต์มีการหมุนเป็นวงกลม ในความเร็วรอบหนึ่ง ๆ จะใช้เวลาในการหมุนครบ 1 รอบในเวลาที่แน่นอน เช่นที่ความเร็วรอบ

$$R = N \text{ รอบ/นาที} \tag{2.1}$$

หมายถึงว่าในเวลา 1 นาทีเครื่องยนต์จะหมุนได้ N รอบ ถ้าคิดรอบการหมุนของเครื่องยนต์ใน 1 วินาทีจะได้ว่า

$$R = \frac{N}{60} \text{ รอบ/วินาที} \tag{2.2}$$

ใน 1 วินาที เครื่องยนต์จะหมุนได้ $\frac{N}{60}$ รอบ ดังนั้นในการหมุน 1 รอบจะใช้เวลาเท่ากับ

$$t = \frac{1}{(N/60)} \text{ วินาที} \tag{2.3}$$

หรือ

$$t = \frac{60}{N} \text{ วินาที} \tag{2.4}$$

ถ้าคิดการหมุนของเครื่องยนต์ใน 1 รอบในเชิงมุมจะได้ว่า เครื่องยนต์หมุนได้มุม 360 องศา ใช้เวลา $\frac{60}{N}$ วินาที ถ้าต้องการหมุนเป็นมุม θ องศา จะใช้เวลา

$$t = \frac{\theta \cdot \frac{60}{N}}{360} \text{ วินาที} \tag{2.5}$$

หรือ

$$t = \frac{\theta}{6 \cdot N} \text{ วินาที} \tag{2.6}$$

โดยที่

θ = มุมการหมุนของเครื่องยนต์ มีหน่วยเป็นองศา

N = ความเร็วรอบการหมุนของเครื่องยนต์ มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที

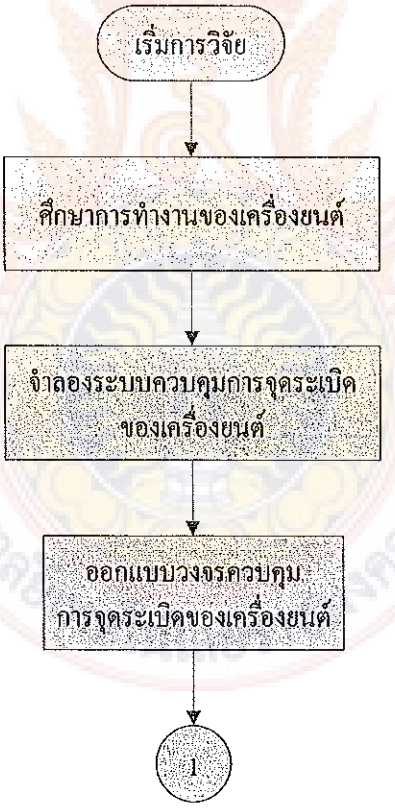
จากสมการที่ 2.6 นี้สามารถนำไปคำนวณหาเวลา ที่ทำให้เกิดมุมที่ต้องการจุดระเบิดล่วงหน้าได้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

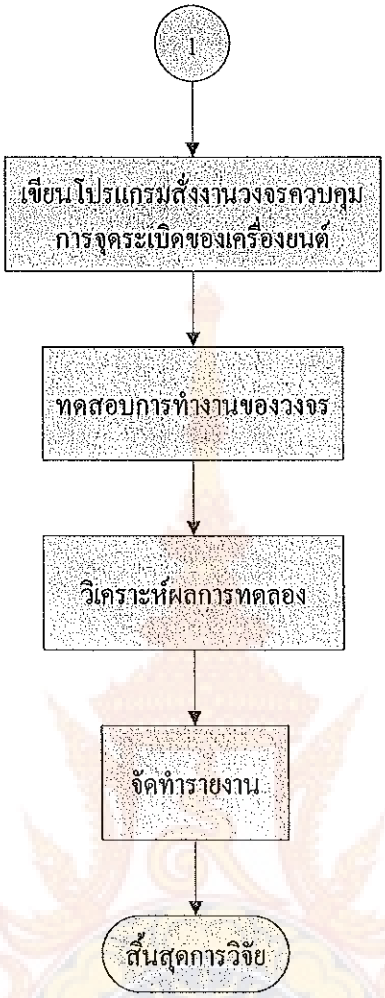
ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของขั้นตอนวิธีในการดำเนินการวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วยรายละเอียดเกี่ยวกับการทำงานของเครื่องยนต์ การจับสัญญาณการหมุนของเครื่องยนต์ และการนำสัญญาณมาวิเคราะห์หาความเร็วรอบเพื่อหาเวลาหน่วงให้ได้องศาการจุดระเบิด และลำดับการจุดระเบิด

3.1 แผนการดำเนินงาน

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงแผนการดำเนินงานในการออกแบบเครื่องควบคุมการจุดระเบิด ซึ่งมีทั้งในส่วนของฮาร์ดแวร์ในส่วนของการควบคุมเครื่องยนต์ และส่วนของซอฟท์แวร์ที่เป็นโปรแกรมควบคุมการทำงาน



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน

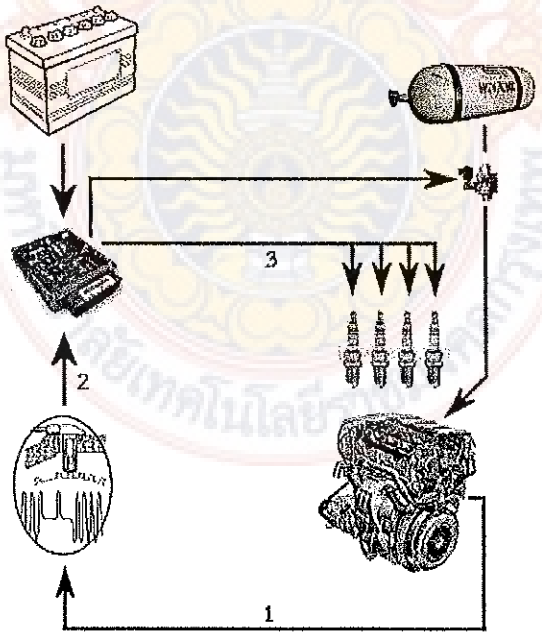


รูปที่ 3.2 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน (ต่อ)

ตารางที่ 3.1 ระยะเวลาที่ทำงานวิจัย (1 ตุลาคม พ.ศ. 2554 – 30 กันยายน พ.ศ. 2555)

ระยะเวลา(เดือน) / ขั้นตอนการวิจัย	เดือนที่ 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ค้นคว้าข้อมูลการทำงานของเครื่องยนต์	←	→										
2. จำลองระบบควบคุมการจุดระเบิดเครื่องยนต์		←	→									
3. ออกแบบวงจรควบคุมการจุดระเบิดเครื่องยนต์			←							→		
4. เขียนโปรแกรมสั่งงานวงจรควบคุมการจุดระเบิดเครื่องยนต์					←					→		
5. ทดสอบการทำงานของวงจร						←				→		
6. วิเคราะห์ผลการทดลอง									←		→	
7. จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์										←		→

3.2 การทำงานของเครื่องควบคุมการจุดระเบิดสำหรับเครื่องยนต์ดัดแปลง

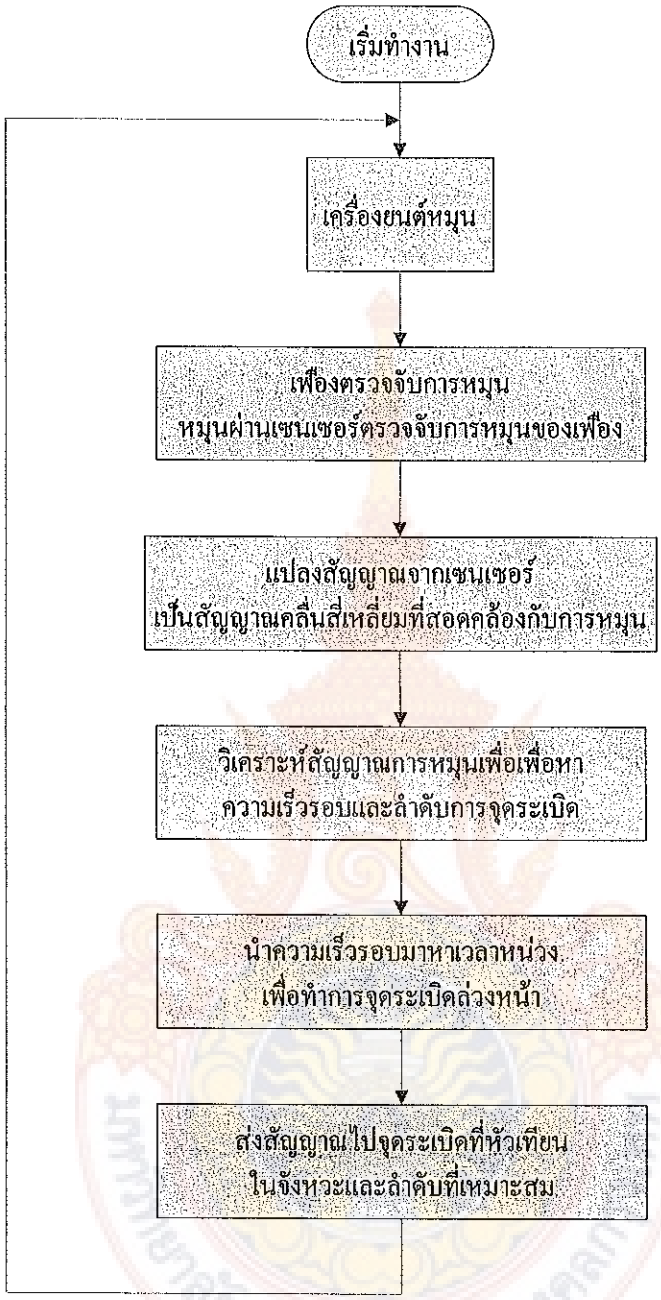


รูปที่ 3.3 โครงสร้างการทำงานของเครื่องควบคุมการจุดระเบิดสำหรับเครื่องยนต์ดัดแปลง

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

จากรูปที่ 3.3 เริ่มจากตัวเครื่องยนต์ ถ้าเป็นเครื่องยนต์ดีเซลจะถูกนำมาถอดหัวฉีดน้ำมันออกและจะฝังหัวเทียนเข้าไปแทน พร้อมทั้งมีการเสริมปะเก็นที่ฝาสูบเพื่อทำการลดกำลังอัด จากนั้นจะนำตัวผสมก๊าซกับอากาศ (Mixer) มาติดตั้งไว้ที่ทางเข้าของท่อดูดอากาศ แต่ถ้าเป็นเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน ก็เพียงแต่นำตัวผสมก๊าซกับอากาศมาติดตั้งไว้ที่ทางเข้าของท่อดูดอากาศเท่านั้น

จากนั้นเครื่องยนต์ที่ถูกดัดแปลงเบื้องต้นคือ นำมาติดตั้งเฟืองตรวจจับการหมุนของเครื่องยนต์และเซนเซอร์ตรวจจับสัญญาณการหมุนของเฟือง เมื่อเครื่องยนต์หมุนจะทำให้เฟืองหมุน เมื่อเฟืองหมุนตัดผ่านเซนเซอร์ตรวจจับสัญญาณการหมุน จะทำให้เกิดพัลส์ของสัญญาณไฟฟ้าเกิดขึ้น พัลส์ดังกล่าวนี้จะถูกนำไปเข้าวงจรขยายความต่างเพื่อให้สัญญาณมีขนาดใหญ่ขึ้น จากนั้นจะนำสัญญาณที่ถูกขยายแล้ว ส่งเข้าไปยังส่วนของโมดูลอินพุทแคปเจอร์ที่อยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โมดูลอินพุทแคปเจอร์จะทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณเมื่อฟันของเฟืองหมุนตัดผ่านเซนเซอร์ และข้อมูลที่ได้จากโมดูลอินพุทแคปเจอร์จะถูกนำไปหาความเร็วรอบของเครื่องยนต์ด้วยพร้อมทั้งหาลำดับของการจุดระเบิด จากนั้นความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะถูกนำไปคำนวณหาค่าเวลาหน่วง เพื่อสร้างสัญญาณจุดระเบิดส่งไปให้กับคอยล์จุดระเบิดในจังหวะที่ถูกต้อง คอยล์จุดระเบิดจะทำการสร้างแรงเคลื่อนไฟฟ้าแรงสูงส่งไปยังหัวเทียน เพื่อสร้างประกายไฟที่เขี้ยวหัวเทียนสำหรับการจุดระเบิดเชื้อเพลิงในกระบอกสูบต่อไป แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องควบคุมการจุดระเบิดดังรูปที่ 3.4



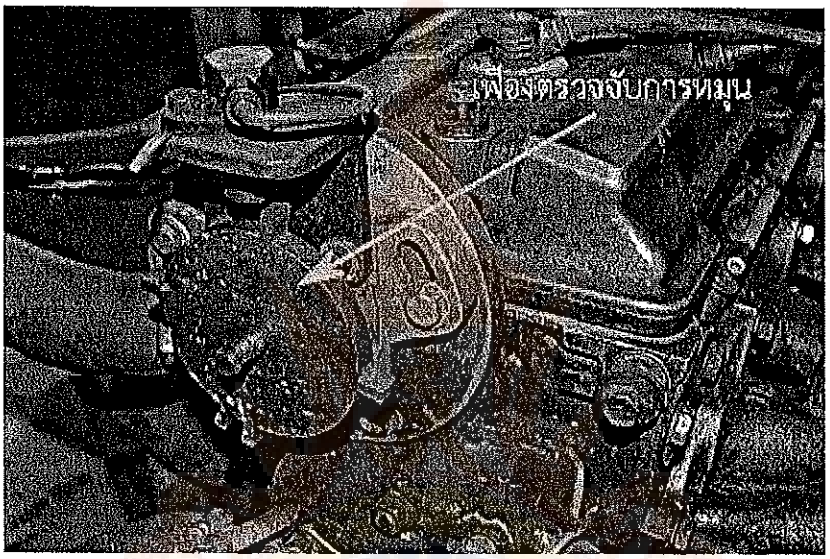
รูปที่ 3.4 แผนผังการทำงานของเครื่องควบคุมการจุดระเบิดสำหรับเครื่องยนต์ดัดแปลง

3.3 การทำงานของเฟืองตรวจจับการหมุนของเครื่องยนต์

เฟืองตรวจจับการหมุนของเครื่องยนต์จะถูกติดตั้งให้อยู่บนแกนเดียวกับแกนของแคมชาฟท์เครื่องยนต์ ดังนั้นเมื่อเครื่องยนต์หมุนจะทำให้เฟืองตัวนี้หมุนไปด้วย เครื่องยนต์ที่นำมาทดสอบเป็นเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ ดังนั้นเฟืองที่นำมาใช้จะมีขนาด 4 ฟัน รวมกับฟันพิเศษเพื่อนำไว้ใช้

อ้างอิงสูบที่ 1 อีก 1 ฟัน ฟันที่อยู่ใกล้ฟันอ้างอิงเป็นฟันสำหรับสูบที่ 1 ฟันลำดับถัดไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาเป็นฟันของสูบที่ 3, 4 และ 2 ตามลำดับ (เนื่องจากลำดับการจุดระเบิดของเครื่องยนต์จะเรียงลำดับตามสูบดังนี้ 1, 3, 4, 2)

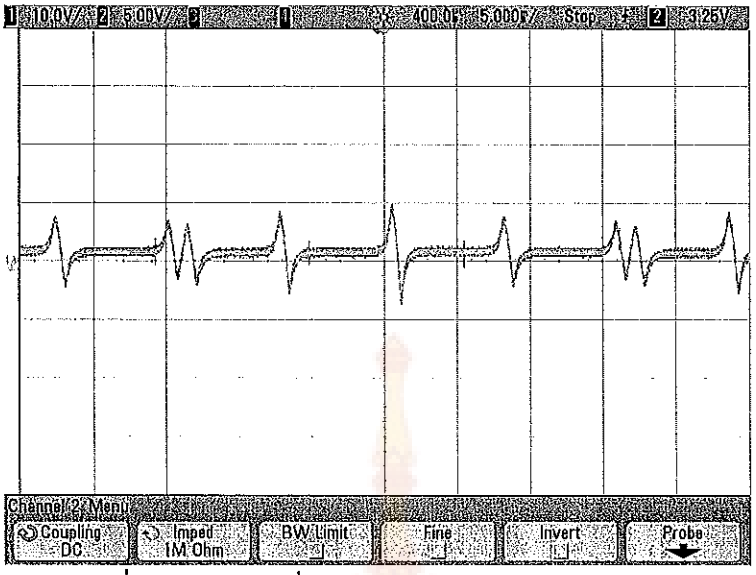
ในการติดตั้งจะต้องหมุนเครื่องยนต์ให้สูบที่ 1 เคลื่อนที่ขึ้นสู่ศูนย์ตายบน จากนั้นติดตั้งเฟืองให้เฟืองของสูบที่ 1 อยู่ตรงกับตำแหน่งของเซนเซอร์ตรวจจับการหมุนของเฟือง ดังนั้นทุกครั้งที่ฟันของเฟืองหมุนตัดผ่านตัวเซนเซอร์ หมายความว่าตำแหน่งของลูกสูบที่สัมพันธ์กับเฟืองฟันนั้นได้เคลื่อนที่เข้าสู่ศูนย์ตายบนในกระบอกสูบ เฟืองในรูปที่ 3.5 จะมีทิศทางการหมุนในทิศทวนเข็มนาฬิกา



รูปที่ 3.5 จุดที่ติดตั้งเฟืองตรวจจับการหมุน

3.4 สัญญาณที่ได้จากเซนเซอร์ตรวจจับการหมุนของเฟือง

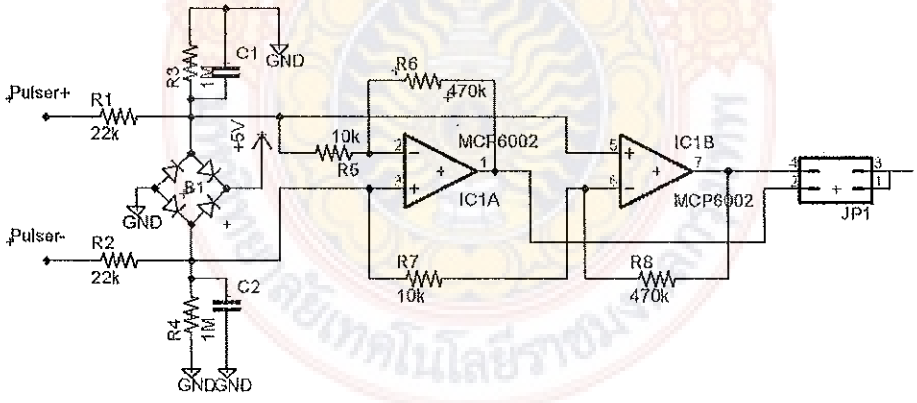
เมื่อฟันของเฟืองหมุนตัดผ่านเซนเซอร์ตรวจจับการหมุนของเฟือง ฟันของเฟืองที่เป็นโลหะจะเหนี่ยวนำเซนเซอร์ให้กำเนิดสัญญาณไฟฟ้าเกิดเป็นยอดแหลม ถ้าสังเกตดูจะพบว่าบริเวณยอดแหลม 2 ยอดที่เกิดขึ้นติดกัน หมายถึงฟันของสูบที่ 1 และฟันพิเศษ ยอดแหลมอีก 3 ยอดถัดไปคือฟันของสูบที่ 3, 4 และ 2 ตามลำดับ จากนั้นจะวนไปเริ่มที่สูบที่ 1 อีกครั้ง สัญญาณที่ได้จากเซนเซอร์แสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 สัญญาณที่ได้จากเซนเซอร์ตรวจจับการหมุน

3.5 วงจรขยายความต่าง

วงจรขยายความต่าง (Differential Amplifier) เป็นวงจรขยายสัญญาณ ที่จะรับสัญญาณอินพุทเข้ามาแบบดับเบิ้ลเอนด์ คือรับอินพุทเข้ามาที่ขาอินพุททั้งสองของออปแอมป์เลย วงจรนี้มีความสามารถที่จะขยายสัญญาณที่แตกต่างกัน แต่สัญญาณที่เหมือนกันจะไม่ขยาย ทำให้วงจรขยายความต่างนี้จะขยายเฉพาะสัญญาณที่ต้องการเท่านั้น สัญญาณรบกวนที่ถูกปนเข้ามาจะไม่ถูกขยาย วงจรนี้มีอัตราขยายประมาณ 47 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 3.7

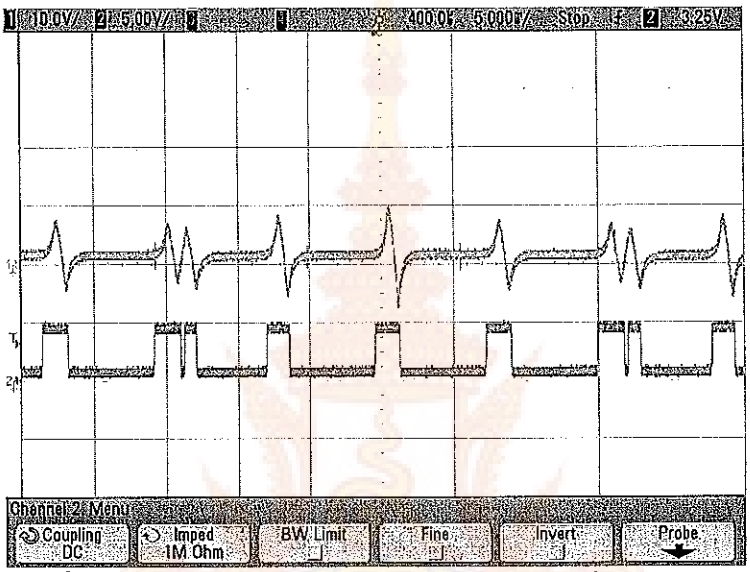


รูปที่ 3.7 วงจรขยายความต่าง

3.6 สัญญาณที่ผ่านการขยายจากวงจรขยายความต่าง

สัญญาณจากเซนเซอร์ตรวจจับสัญญาณการหมุนจากเฟืองจะเข้ามาที่อินพุท Pulser+ และ Pulser- จากนั้นจะผ่านวงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ B1 เพื่อปรับรูปคลื่นและจำกัดแรงดันไม่ให้เกิน

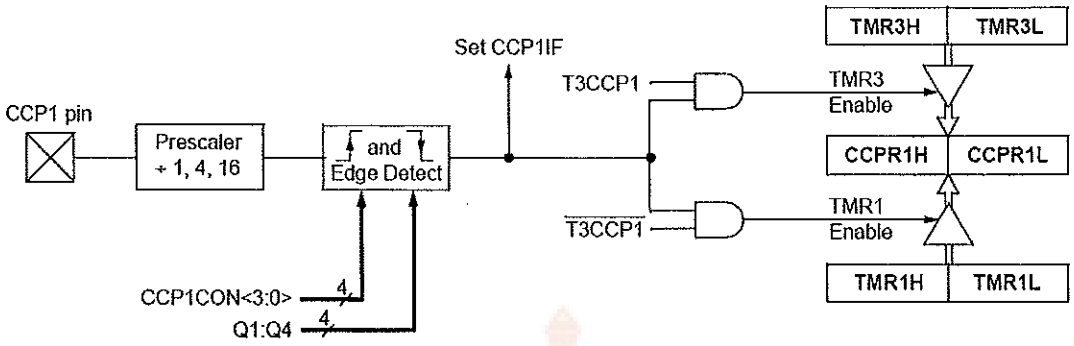
พิกัดโดยมี C1 และ C2 ช่วยกรองสัญญาณรบกวนในเบื้องต้น จากนั้นสัญญาณที่ถูกปรับรูปคลื่นแล้วจะถูกนำมาขยายโดย IC1A และ IC1B ให้เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ที่สัมพันธ์กับสัญญาณอินพุทที่เข้ามา จากนั้นจะผ่านเข้าตัวจั๊มเปอร์เพื่อที่จะเลือกรูปร่างของสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับนำไปให้ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจจับโดยโมดูลอินพุทแคปเจอร์ เพื่อนำเข้าไปวิเคราะห์หาค่าความถี่เพื่อที่จะนำไปแปลงเป็นความเร็วรอบ รวมถึงนำไปวิเคราะห์สัญญาณเพื่อกำหนดจังหวะการจุดระเบิดต่อไป แสดงสัญญาณจากเซนเซอร์เทียบกับเอาท์พุทของวงจรขยายความต่างในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงสัญญาณที่ถูกขยายเทียบกับสัญญาณที่ได้จากเฟือง

3.7 การหาความเร็วรอบของเครื่องยนต์

สัญญาณสี่เหลี่ยมที่ได้จากวงจรขยาย สามารถนำมาหาจังหวะการจุดระเบิดได้โดยนำสัญญาณเข้ามาที่ขา CCP1 ซึ่งเป็นขาของโมดูลอินพุทแคปเจอร์ จากนั้นจะมีการตรวจเช็คว่ามีสัญญาณนาฬิกาขอบขาลงปรากฏที่ขา CCP1 หรือไม่ ถ้ามีแสดงว่ามีฟันของเฟืองตัดผ่านเซนเซอร์ตรวจจับการหมุนของเฟือง ซึ่งจะทำให้เกิดการขัดจังหวะการทำงาน (Interrupt) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ และรีจิสเตอร์ CCPR1 จะทำการเก็บค่าจาก Timer1 ที่นับได้จากการขัดจังหวะ ค่าที่รีจิสเตอร์ CCPR1 เก็บไว้สามารถนำมาคำนวณหาความเร็วรอบของเครื่องยนต์ได้ การทำงานของโมดูลอินพุทแคปเจอร์แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แผนผังการทำงานของโมดูลอินพุทแคปเจอร์

ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สามารถหาได้โดยหาระยะเวลาห่างของแต่ละฟันเฟือง โดยใช้โมดูลอินพุทแคปเจอร์ จากนั้นจึงสามารถที่จะนำมาคำนวณความเร็วรอบได้ สมมติว่าได้ค่าจากโมดูลอินพุทแคปเจอร์เก็บไว้ในตัวแปร T_n ความเร็วรอบจะหาได้จาก

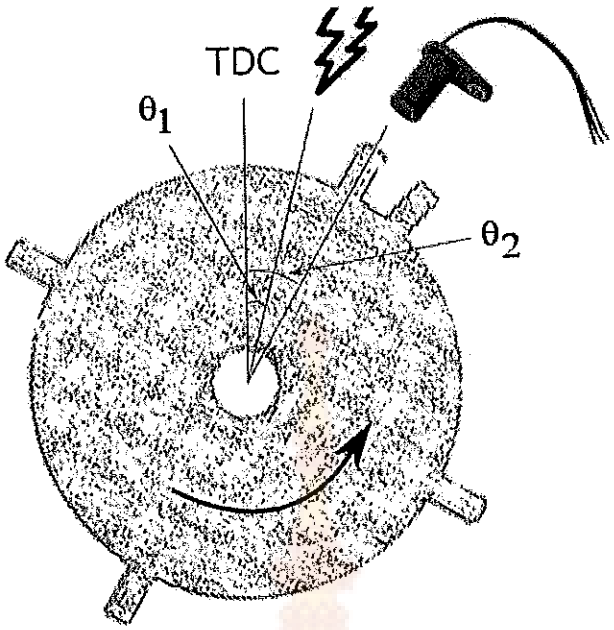
$$R = \frac{60}{4 \cdot T_n} \text{ รอบ/นาที} \tag{3.1}$$

3.8 การหาจังหวะการจุดระเบิด

จากการที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จับสัญญาณนาฬิกาขอบขาลงโดยโมดูลอินพุทแคปเจอร์ได้แสดงว่าฟันของเฟืองได้หมุนผ่านเซนเซอร์ไปแล้ว ที่จุดนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเริ่มนับเวลาตามที่ได้คำนวณค่าเก็บไว้ในตารางก่อนหน้านี้แล้วว่า ที่ความเร็วรอบเท่านี้จะต้องทำการหน่วงเวลาเท่าไรเพื่อที่จะทำให้ได้มุมของการจุดระเบิดตามที่ต้องการ เมื่อหน่วงเวลาครบแล้วจึงส่งสัญญาณการจุดระเบิดออกไปทางเอาท์พุทของไมโครคอนโทรลเลอร์ และในขณะเดียวกันไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องวิเคราะห์สัญญาณจากเฟืองว่า สูบที่เท่าไรกำลังจะขึ้นสู่ศูนย์ตายบนเพื่อที่จะได้สั่งจุดระเบิดในตำแหน่งของลูกสูบที่ถูกต้อง

3.9 การติดตั้งเฟืองและเซนเซอร์ตรวจจับการหมุนของเฟืองเข้ากับเครื่องยนต์

หัวใจสำคัญของการทำงานอีกส่วนหนึ่งของเครื่องควบคุมการจุดระเบิดนี้จะอยู่ที่ การติดตั้งเฟืองร่วมกับเซนเซอร์ตรวจจับการหมุนของเฟืองเข้ากับเครื่องยนต์ ขั้นแรกจะต้องหมุนเครื่องยนต์ให้สูบที่ 1 อยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ตายบนก่อน จากนั้นติดตั้งเฟืองเข้ากับแกนที่ถูกต่อออกมาจากแคมชาฟท์ของเครื่องยนต์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ต่อจากแกนของจานจ่ายเดิม โดยให้ฟันเฟืองที่แทนสูบที่ 1 อยู่ตรงกับจุด TDC ตามรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การติดตั้งเฟืองร่วมกันเซนเซอร์ตรวจจับการหมุนของเฟือง

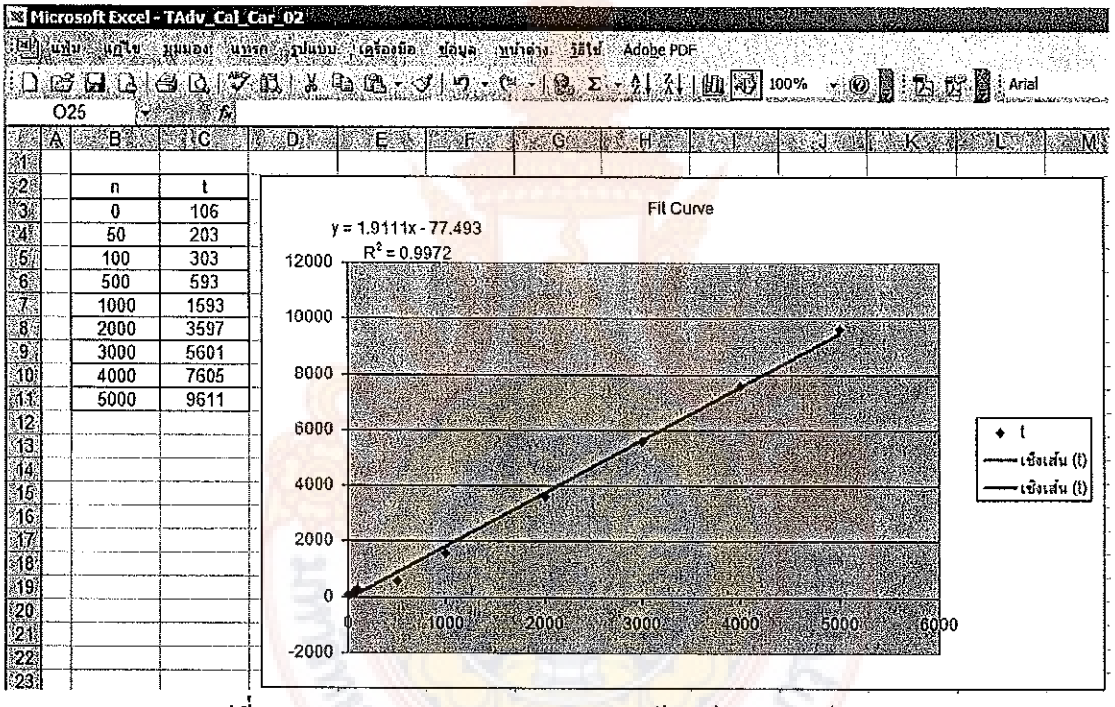
จากนั้นติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับการหมุนของเฟืองให้ทำมุมประมาณ 30 องศา (θ_2) ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาเมื่อเทียบกับตำแหน่ง TDC เพื่อที่ว่าเมื่อเครื่องยนต์หมุนในทิศทวนเข็มนาฬิกา ฟันของเฟืองที่ 1 จะหมุนผ่านตัวเซนเซอร์ก่อน จากนั้นจะทำการหน่วงเวลาให้ได้มุม θ_1 ตามที่ต้องการ

ยกตัวอย่างเช่นให้มุม θ_2 มีค่าเท่ากับ 30 องศา ถ้าต้องการทำการจุดระเบิดล่วงหน้าเป็นมุม 10 องศา จะต้องคำนวณเวลาที่ใช้ในการหมุนโดยใช้สมการที่ (2.5) เพื่อให้ได้มุมที่มีค่าเท่ากับ $\theta_2 - \theta_1$ ได้เวลาเท่าไรต้องลบออกไปอีก 2ms เวลาที่ได้นี้จะถูกนำไปใช้หน่วงเวลาการจุดระเบิดเมื่อฟันของเฟืองหมุนผ่านเซนเซอร์ เมื่อทำการหน่วงได้เวลาตามที่ต้องการจะส่งแรงดันไปยังคอยล์จุดระเบิดเป็นเวลา 2ms จากนั้นเมื่อหยุดจ่ายไฟให้กับคอยล์ จะเกิดแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นที่ขดลวดด้านทุติยภูมิจ่ายไปยังหัวเทียนเพื่อทำการจุดระเบิดต่อไป

3.10 การหาเวลาหน่วงจากโปรแกรม

จากหัวข้อที่ 3.9 พบว่าการที่จะทำการจุดระเบิดล่วงหน้าได้นั้น จะต้องจับสัญญาณที่ฟันของเฟืองตัดผ่านเซนเซอร์ตรวจจับสัญญาณการหมุนเสียก่อน จากนั้นจะต้องทำการหน่วงเวลาโดยโปรแกรมเพื่อให้ได้เวลาหน่วงที่ทำให้ได้ค่ามุมตามที่ต้องการในความเร็วรอบนั้น ๆ เมื่อหน่วงเวลาครบแล้วจึงสั่งให้ส่งเอาท์พุทออกไปยังตัวไอจีบีทีเพื่อจุดระเบิด

และเนื่องจากคำสั่งหน่วงเวลาในภาษาซีของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้นั้น ไม่สามารถหน่วงเวลาได้ครอบคลุมตามที่งานวิจัยนี้ต้องการได้ จึงต้องมีการเขียนโปรแกรมหน่วงเวลาขึ้นมาเองโดยใช้ภาษาแอสเซมบลี้แทรกไปในภาษาซี และจากการที่ในงานวิจัยนี้ใช้ภาษาซีพัฒนาโปรแกรม ทำให้ไม่สามารถที่จะหาเวลาหน่วงที่แน่นอนจากการคำนวณระยะเวลาการทำงานของแต่ละคำสั่งจากโปรแกรมได้ จึงต้องใช้การจำลองการทำงานเพื่อที่จะนำค่าคงที่ใส่ไว้ในตัวแปรแล้วหาค่าเวลาที่โปรแกรมเสียเวลาทำงาน จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปใส่ในซอฟท์แวร์ไมโครซอฟท์เอกเซล เพื่อที่จะสร้างเส้นกราฟให้ผ่านจุดที่ข้อมูล (Curve Fitting) นั้นสัมพันธ์กันอยู่ด้วยวิธี Least Square Regression ดังรูปที่ 3.11 และนำสมการของเส้นกราฟนั้นออกมาใช้ในการคำนวณหน่วงเวลาต่อไป



รูปที่ 3.11 แสดงการหาสมการจากการสร้างเส้นกราฟให้ผ่านจุด

3.11 การหาค่าเวลาหน่วงเก็บไว้ในตาราง

เนื่องจากเครื่องควบคุมการจุดระเบิดสำหรับเครื่องยนต์ดัดแปลงนี้ จะต้องสามารถทำงานได้ในเวลาจริง โปรแกรมที่อยู่ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องออกแบบให้ทำงานได้รวดเร็วที่สุด ดังนั้นจะต้องคำนวณค่าต่าง ๆ ล่วงหน้าในซอฟท์แวร์ตัวอื่นเอาไว้ก่อน แล้วจึงนำผลลัพธ์จากการคำนวณนั้นมาเก็บไว้ในรูปแบบของตารางในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการใช้งานข้อมูล ก็เพียงแต่นำค่าความเร็วรอบที่ตรวจจับได้นำมาคำนวณหาค่าของตัวชี้ตาราง

แล้วนำไปเปิดตาราง เพื่อที่จะนำผลลัพธ์คือค่าเวลาหน่วงที่เก็บอยู่ในตารางมาใช้ ด้วยวิธีนี้จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำงานได้ด้วยความรวดเร็ว เนื่องจากตัดส่วนที่ต้องคำนวณหนัก ๆ ออกไปไว้ภายนอก แล้วแปลงให้อยู่ในรูปแบบของตารางเรียบร้อยแล้ว แสดงภาพการคำนวณที่ต้องทำไว้ล่วงหน้าดังรูปที่ 3.12

Microsoft Excel - TAdv_Col_Cor_02

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
2		XTAL	8	MHz								
3		Tcy	0.0000005	Sec		t = 1.911* n - 77.493						
4		Scale	1			n = (t + 77.493) / 1.911						
5												
6		Dividen	1024		t(ms) = (Angle * 60) / (RPM * 360)							
7					t(ms) = Angle / (RPM * 6)							
8												
9								(Arr Index)			(Time Del)	(Arr Value)
10	NO	RPM	RPS (Hz)	Turn/Sec	T1_Val	T1_Val Scale	T1_Val (Hex)	T1_Val / Div	Angle	t_adv (us)	t-adv - 2ms	n
11	0	599	9.98	0.10016694	200,334	200,334	30E8D	196	35.00	9738.45	7738.45	4090
12	1	600	10.00	0.10000000	200,000	200,000	30D40	195	35.00	9721.31	7721.31	4081
13	2	601	10.02	0.09983361	199,667	199,667	30BF3	195	34.99	9704.22	7704.22	4072
14	3	602	10.03	0.09966777	199,336	199,336	30AA7	195	34.99	9687.18	7687.18	4063
15	4	603	10.05	0.09950249	199,005	199,005	3095C	194	34.99	9670.20	7670.20	4054
16	5	604	10.07	0.09933775	198,675	198,675	30813	194	34.98	9653.28	7653.28	4045
17	6	605	10.08	0.09917355	198,347	198,347	306CB	194	34.98	9636.42	7636.42	4037
18	7	606	10.10	0.09900990	198,020	198,020	30583	193	34.98	9619.61	7619.61	4028
19	8	607	10.12	0.09884679	197,694	197,694	3043D	193	34.97	9602.86	7602.86	4019
20	9	608	10.13	0.09868421	197,368	197,368	302F8	193	34.97	9586.16	7586.16	4010
21	10	609	10.15	0.09852217	197,044	197,044	301B4	192	34.97	9569.51	7569.51	4002
22	11	610	10.17	0.09836066	196,721	196,721	30071	192	34.96	9552.92	7552.92	3993

รูปที่ 3.12 แสดงภาพการคำนวณที่ใช้ซอฟท์แวร์ภายนอก

ข้อมูลที่ต้องใช้ไมโครซอฟท์เอกเซลช่วยคำนวณจะมีข้อมูลหลัก ๆ ดังนี้

3.11.1 ความเร็วรอบ จะเริ่มตั้งแต่ 600 รอบต่อนาทีจนถึง 4,000 รอบต่อนาที

3.11.2 ค่าที่โมดูลอินพุทแคปเจอร์อ่านได้

3.11.3 ค่าตำแหน่งของตารางที่หาได้จากความเร็วรอบ

3.11.4 มุมองศาการจุดระเบิดที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

3.11.5 ค่าของเวลาหน่วงที่ได้จากสมการที่ได้จากขบวนการทำเส้นกราฟให้ผ่านจุด

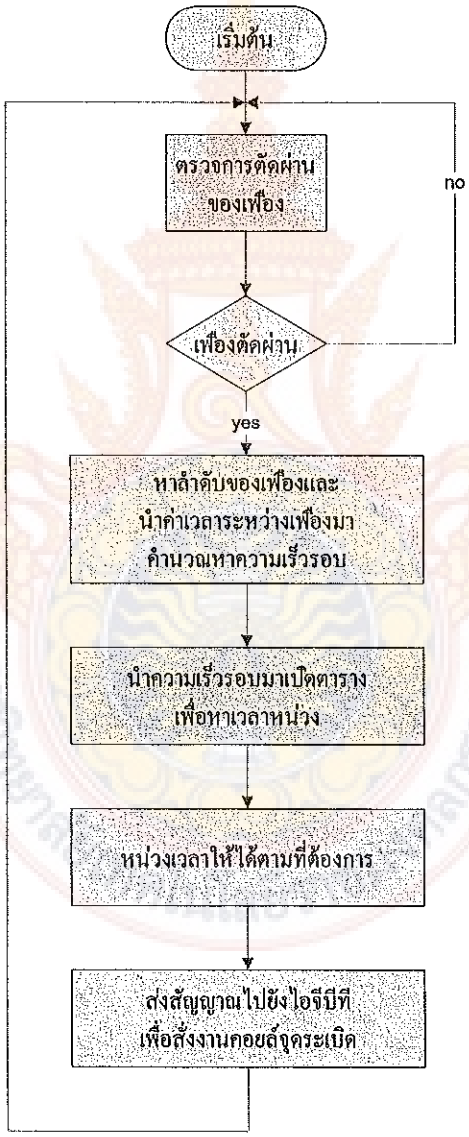
การคำนวณที่สำคัญในตารางนี้คือค่าเวลาหน่วงเพื่อที่จะทำให้ได้มุมจุดระเบิดตามที่ต้องการ ซึ่งจะใช้ค่าความเร็วรอบกำหนดมุมจุดระเบิดที่ต้องการในความเร็วรอบนั้น ทำการแทนค่าในสมการที่ (2.6) เพื่อคำนวณหาค่าเวลาหน่วงออกมา ได้ค่าเวลาหน่วงออกมาเท่าไรจะลบออกด้วย 2ms ค่า 2ms นี้คือค่าเวลาที่จะต้องส่งแรงดันไปชาร์จคอยล์จุดระเบิดให้สะสมพลังงานในรูปของกระแสเอาไว้ก่อน จากนั้นเมื่อหยุดจ่ายแรงดันให้กับคอยล์ คอยล์จะส่งแรงดันสูงออกมาทางขดลวดทุติยภูมิเพื่อส่งไปยังหัวเทียนต่อไป

ข้อมูลที่จะเก็บไว้ในตารางเพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้อ่านในภายหลัง จะมีเพียงค่า

ความเร็วรอบและค่าของเวลาหน่วงเท่านั้น ด้วยวิธีนี้จะเห็นได้ว่างานคำนวณหนัก ๆ ที่มีการคูณและหารจะมีการเตรียมคำนวณเอาไว้ก่อน จากนั้นจะนำผลลัพธ์ที่ต้องการเก็บไว้อยู่ในรูปของตาราง เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการใช้ ก็เพียงแค่ไปเปิดตารางเพื่อนำค่าที่ต้องการมาใช้เท่านั้น

3.12 การทำงานของโปรแกรมในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

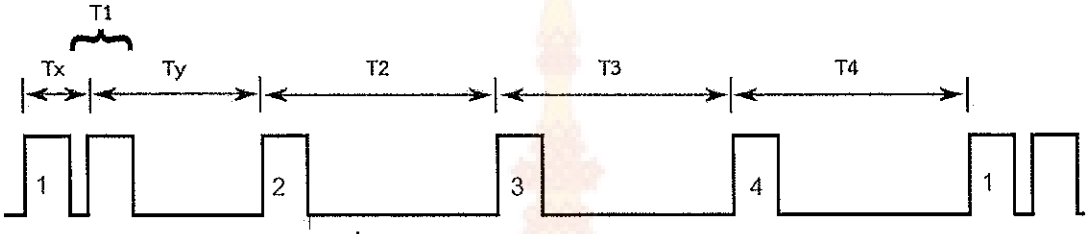
การทำงานของโปรแกรมในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเขียนอธิบายเป็นแผนผังการทำงานได้ดังนี้



รูปที่ 3.13 แผนผังการทำงานของโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

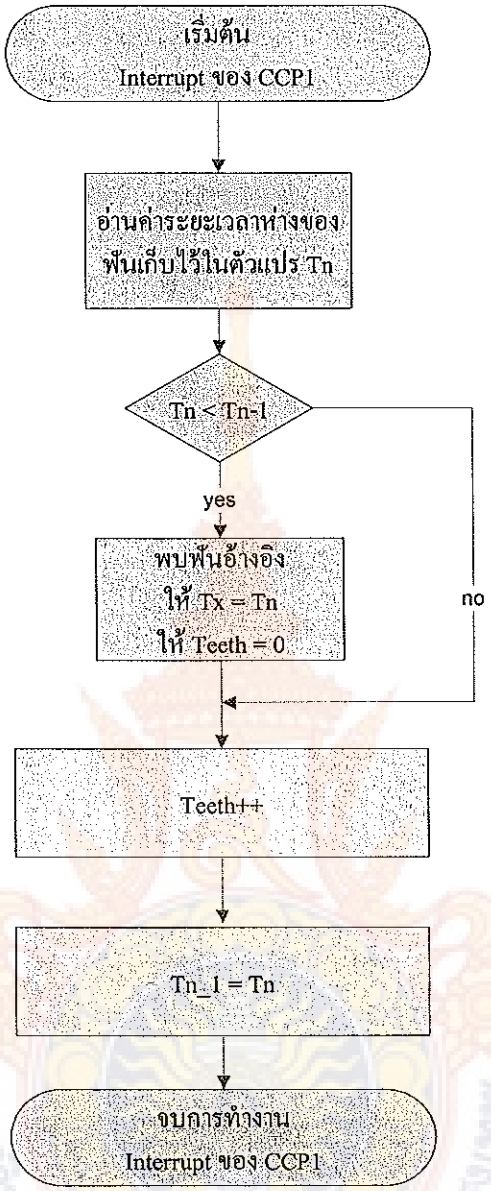
3.13 วิธีการตรวจจับฟันของเฟืองเพื่อหาลำดับของฟัน

เนื่องจากเฟืองที่นำมาใช้จะมีฟันหลักจำนวน 4 ฟัน และมีฟันพิเศษเพื่อใช้ในการอ้างอิงถึงสูบที่ 1 อยู่ในตำแหน่งที่ติดกับฟันที่ 1 ดังนั้นโปรแกรมภายในไมโครคอนโทรเลอร์จะต้องทำการตรวจจับตำแหน่งของฟันให้ได้ว่าฟันไหนเป็นฟันที่ 1 เพื่อที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะได้นำไปใช้อ้างอิงในการจุดระเบิดให้ถูกลำดับ โดยเมื่อเฟืองที่มี 4+1 ฟันหมุนผ่านเซนเซอร์ตรวจจับสัญญาณการหมุน จะมีสัญญาณไฟฟ้าเข้าสู่เซนเซอร์และถูกนำไปขยายเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงเวลาระหว่างฟันของเฟือง

จากรูปที่ 3.14 จะพบว่าระยะเวลาระหว่างฟัน 2, 3 และ 4 จะมีค่าเท่ากับ T2, T3 และ T4 ตามลำดับ ส่วนฟันที่ 1 กับฟันอ้างอิงจะมีระยะน้อยกว่า แต่ระยะเวลาของฟันที่ 1 กับฟันอ้างอิงที่มีระยะเวลา Tx และ Ty นั้น ถ้านำมารวมกันก็จะได้ระยะเวลาของฟันที่ 1 หรือ T1 ดังนั้นสามารถที่จะเขียนโปรแกรมให้ตรวจจับฟันอ้างอิงเพื่ออ้างถึงฟันของสูบที่ 1 ได้ การตรวจจับฟันของเฟืองนี้จะอาศัยการขัดจังหวะของโมดูลอินพุทแคปเจอร์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ ตามแผนผังการทำงานซึ่งแสดงในรูปที่ 3.15 และโปรแกรมหลักสามารถที่จะนำค่าในตัวแปร Tn และ Teeth ไปใช้ในการคำนวณอย่างอื่นต่อไปได้



รูปที่ 3.15 แผนผังการทำงานของโปรแกรมตรวจหาลำดับของฟัน

3.14 การหาความเร็วรอบจากค่าเวลาที่ได้

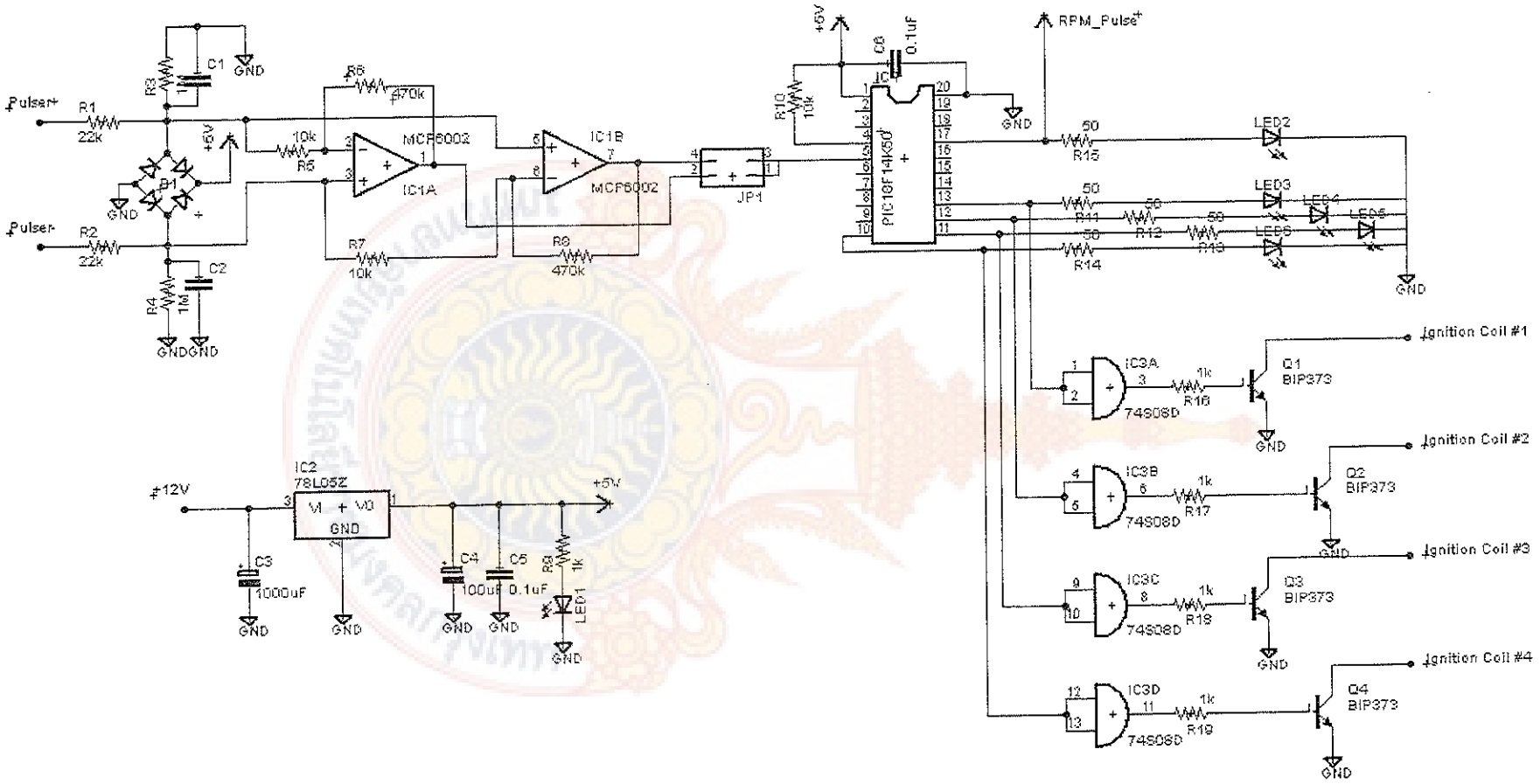
เมื่อได้ระยะเวลาห่างของฟันเฟืองและลำดับของฟัน โปรแกรมหลักสามารถที่จะนำค่าในตัวแปร Tn ที่ได้มาคูณด้วย 4 เนื่องจากการหมุนครบวงรอบจะต้องผ่านฟันจำนวน 4 ฟัน และนำค่าที่คำนวณได้นี้มาคำนวณหาความเร็วรอบในหน่วยรอบต่อนาทีโดยใช้สมการที่ (3.1) เพื่อนำไปใช้ในการสร้างตัวชี้ตารางและนำไปเปิดตารางต่อไปได้

3.15 วงจรสมบูรณ์ของเครื่องควบคุมการจุดระเบิดสำหรับเครื่องยนต์ดัดแปลง

วงจรเครื่องควบคุมการจุดระเบิดสำหรับเครื่องยนต์ดัดแปลงแสดงดังรูปที่ 3.14 เริ่มจากสัญญาณเอาท์พุทจากวงจรขยายความต่าง จะถูกส่งเข้าไปยังขาอินพุทของโมดูลอินพุทแคปเจอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นโมดูลอินพุทแคปเจอร์จะทำงานที่ทุก ๆ สัญญาณนาฬิกาขอบขาลงของสัญญาณอินพุทนี้โดยใช้การขัดจังหวะของไมโครคอนโทรลเลอร์ ค่าเวลาที่ได้จากโมดูลอินพุทแคปเจอร์จะถูกเก็บไว้ที่รีจิสเตอร์ CCPR1 และสามารถนำไปคำนวณหาค่าความเร็วรอบได้ และทุก ๆ ครั้งที่เกิดการขัดจังหวะ ก็จะมีการวิเคราะห์หาลำดับของฟันเฟืองพร้อมกันไปด้วย เพื่อที่จะนำความเร็วรอบไปเปิดตารางเพื่อที่จะทำการหน่วงเวลา พร้อมกับส่งสัญญาณไปจุดระเบิดตามลำดับสูบที่วิเคราะห์ได้จากลำดับของฟันเฟือง สัญญาณเอาท์พุทจากไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำไปขับ LED3 – LED6 เพื่อแสดงให้เห็นว่าเอาท์พุทใดกำลังทำงาน และส่งเอาท์พุทไปขยายสัญญาณด้วยลอจิกเกทชนิดแอนด์ ที่ถูกจัดวงจรให้เป็นบัฟเฟอร์เพื่อที่จะส่งสัญญาณเอาท์พุทนี้ไปยังไอจีบีที Q1-Q4 เพื่อที่ไอจีบีทีจะทำหน้าที่คล้ายกับสวิทช์จ่ายแรงดันให้แก่คอยล์จุดระเบิดเพื่อสร้างแรงดันสูงต่อไป

ที่ขา 17 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ยังมีเอาท์พุทพิเศษอีกหนึ่งเอาท์พุท ชื่อขาเอาท์พุทว่า RPM_Pulse ซึ่งสัญญาณสี่เหลี่ยมจากขาเอาท์พุทนี้จะถูกสร้างทุกครั้งที่โปรแกรมวิเคราะห์สัญญาณจากเซนเซอร์แล้วตรวจเจอฟันอ้างอิง สัญญาณเอาท์พุทนี้สามารถนำไปต่อกับเครื่องวัดความเร็วรอบภายนอกได้

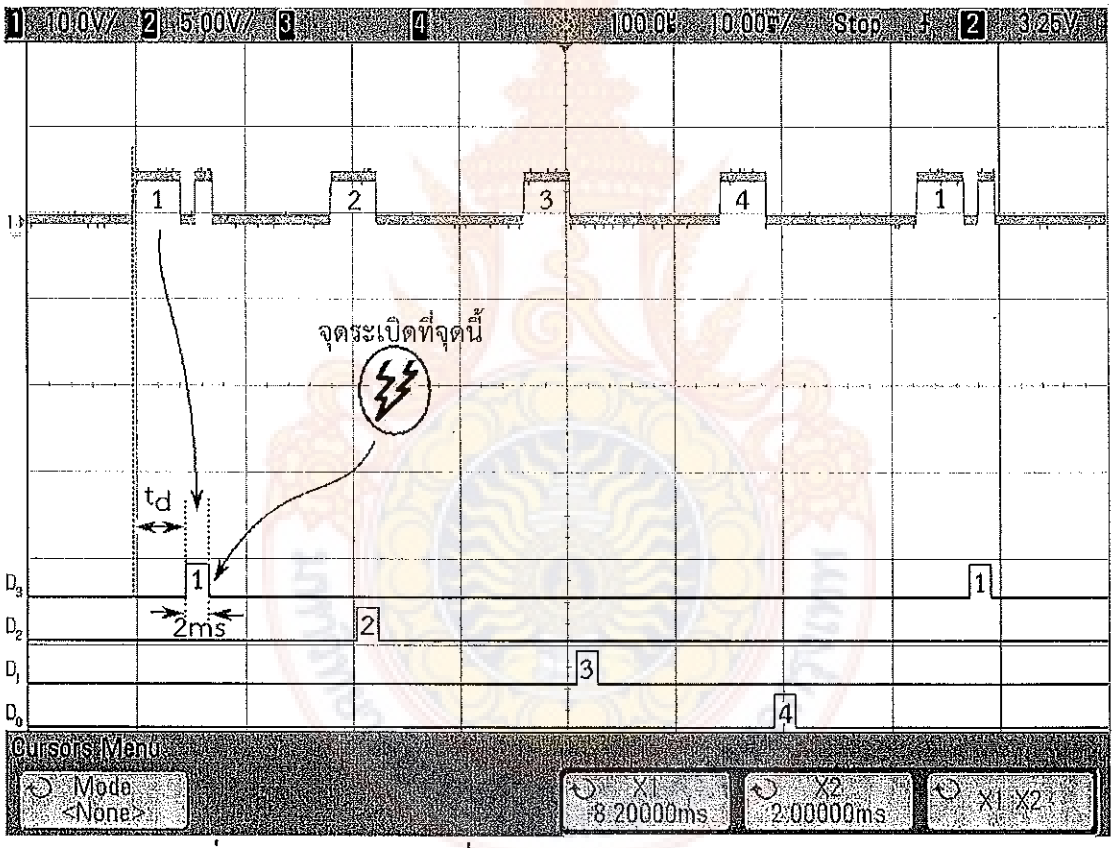
ในความเป็นจริงแล้วเครื่องควบคุมการจุดระเบิดสามารถรู้ความเร็วรอบ แต่จะใช้ความเร็วรอบในการคำนวณหาค่าเวลาหน่วงภายในตัวมันเอง ไม่สามารถส่งเป็นข้อมูลออกมาแสดงบนจอ LCD ได้ เนื่องจากการแสดงผลนี้จะทำให้เสียเวลาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่สามารถที่จะทำงานได้ในเวลาจริง ดังนั้นจึงออกแบบให้เครื่องควบคุมการจุดระเบิดนี้ส่งสัญญาณความเร็บรอบออกมาในลักษณะของสัญญาณไฟฟ้า แล้วจะมีเครื่องแสดงความเร็วรอบมาต่อร่วมเพื่อที่จะแสดงค่าเป็นตัวเลขให้เห็น



รูปที่ 3.16 วงจรสมบูรณ์ของเครื่องควบคุมการจุดระเบิดสำหรับเครื่องยนต์ดัดแปลง

3.16 แสดงสัญญาณต่าง ๆ ของเครื่องควบคุมการจุดระเบิด

อ้างอิงจากรูปที่ 3.8 เมื่อฟันที่ 1 ของเฟืองตัดผ่านเซนเซอร์ตรวจจับการหมุน จะทำให้เกิดการขัดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ และจะนำค่าคาบเวลาที่ได้จากการขัดจังหวะครั้งก่อนเทียบกับการขัดจังหวะครั้งนี้เก็บไว้ในตัวแปร Tn ไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำค่าตัวแปร Tn มาคำนวณหาตัวชี้ช่องของตาราง จากนั้นจะนำค่าจากตารางที่ได้มาทำการหน่วงเวลา ซึ่งจะได้เวลาหน่วงเป็น td เมื่อหน่วงเวลาจนครบแล้วจะส่งสัญญาณที่มีความกว้าง 2ms ออกไปยังไอจีบีทีเพื่อจ่ายแรงดันให้คอยล์จุดระเบิดสะสมพลังงาน เมื่อครบ 2ms แล้วจะหยุดจ่ายแรงดันให้กับไอจีบีทีและทำให้เกิดการจุดระเบิดขึ้น เวลาหน่วง td รวมกับค่าเวลา 2ms นี้เป็นตัวสำคัญที่จะทำให้เกิดการจุดระเบิดล่วงหน้าเป็นองศาตามที่ต้องการ ในลำดับของสูบที่ถูกต้อง

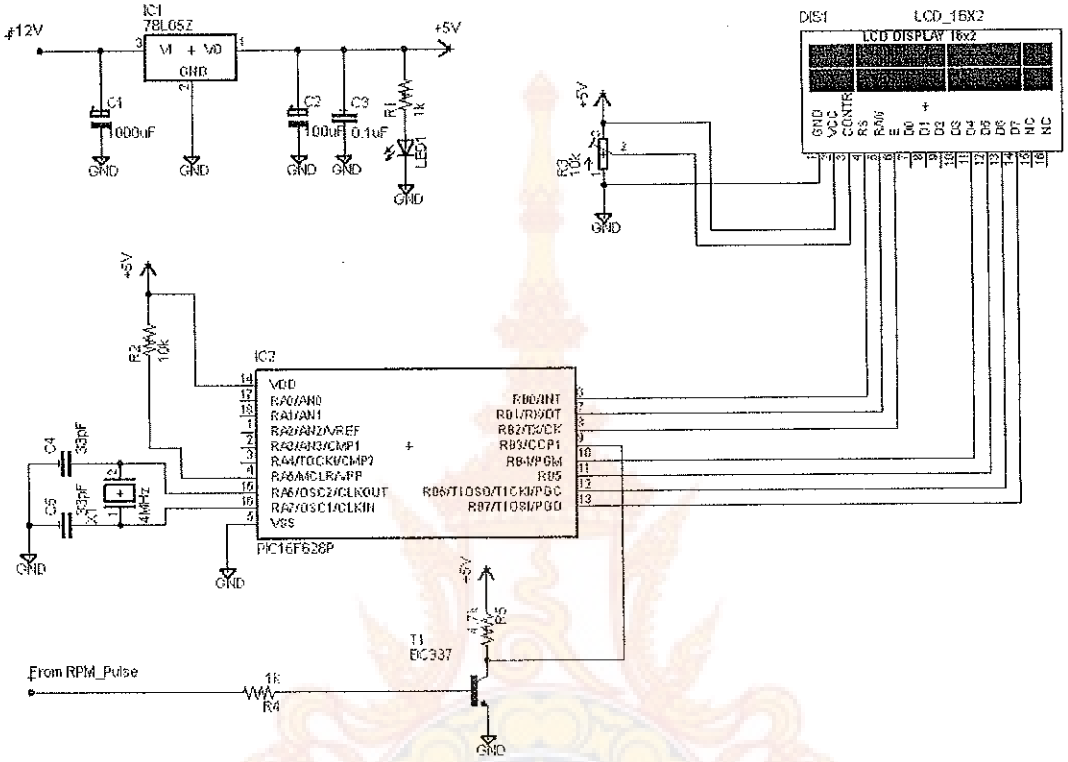


รูปที่ 3.17 แสดงสัญญาณที่ได้จากเฟืองเทียบกับสัญญาณการจุดระเบิด

3.17 เครื่องแสดงความเร็วรอบ

จากเอาท์พุทที่ชื่อ RPM_Pulse ของวงจรเครื่องควบคุมการจุดระเบิด สามารถนำมาวัดความถี่ของสัญญาณดังกล่าวเพื่อแปลงเป็นความเร็วรอบ และสามารถแสดงมุมองศาการจุดระเบิดได้ หลักการของเครื่องแสดงความเร็วรอบนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC16F ขนาด 18 ขา

ใช้โมดูลอินพุทแคปเจอร์จับสัญญาณจากเอาท์พุท RPM_Pulse ไปหาคาบเวลา เพื่อที่จะนำไปแสดงความเร็วรอบต่อไป และถ้านำค่าความเร็วรอบและมุมองศาการจุดระเบิดเก็บเป็นตารางใส่ไว้ในเครื่องวัดความเร็วรอบนี้ ก็จะสามารถที่จะแสดงค่าความเร็วรอบพร้อมทั้งมุมการจุดระเบิดแสดงบนหน้าจอได้พร้อมกัน แสดงวงจรของเครื่องวัดความเร็วรอบดังรูปที่ 3.15



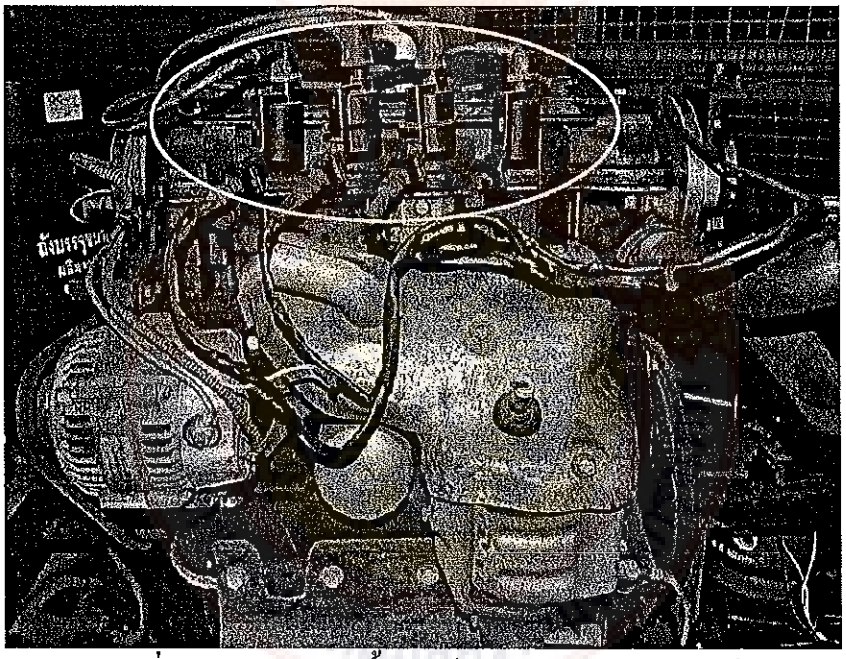
รูปที่ 3.18 วงจรของเครื่องแสดงความเร็วรอบ

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลของการวิจัย จากการที่ได้นำเครื่องควบคุมการจุดระเบิดนี้ไปติดตั้งกับเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน และได้ทดลองติดเครื่องยนต์ให้ทำงานพร้อมทั้งวัดมุมองศาการจุดระเบิดที่รอบเครื่องยนต์ต่าง ๆ ว่าเป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่

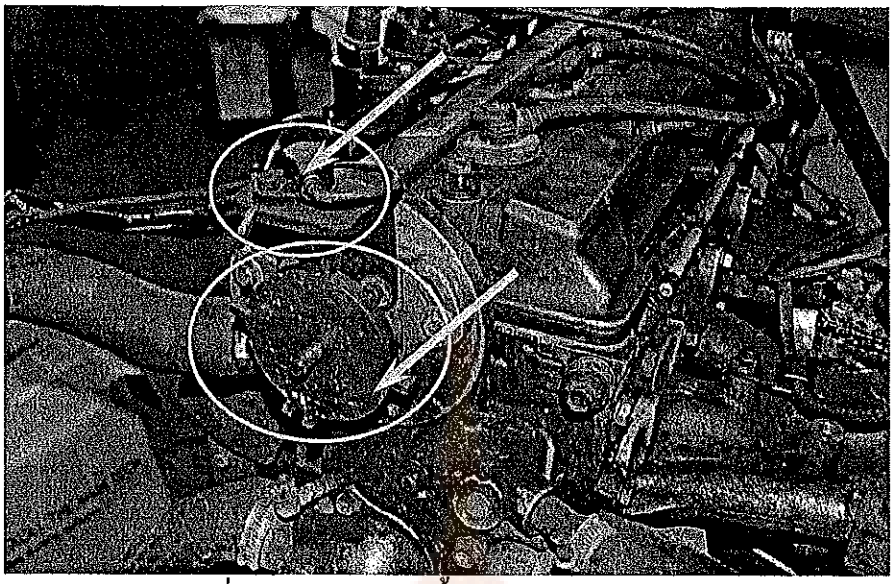
4.1 การติดตั้งเครื่องควบคุมการจุดระเบิดเข้ากับเครื่องยนต์

เครื่องยนต์ที่ได้นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นเครื่องยนต์เก่าที่ได้ถูกดัดแปลงเบื้องต้นมาแล้วคือได้มีการติดตั้งตัวผสมก๊าซเข้ากับอากาศติดตั้งแทนตัวคาร์บูเรเตอร์เดิม และได้ถอดจานจ่ายออกเพื่อเตรียมที่จะนำเฟืองตรวจจับการหมุนใส่แทน และได้นำคอยล์จุดระเบิดที่ทำงานกับจานจ่ายเดิมซึ่งมีเพียง 1 ตัวออก พร้อมทั้งได้นำคอยล์จุดระเบิดของแต่ละสูบติดตั้งเข้าไปแทน แสดงดังรูปที่ 4.1



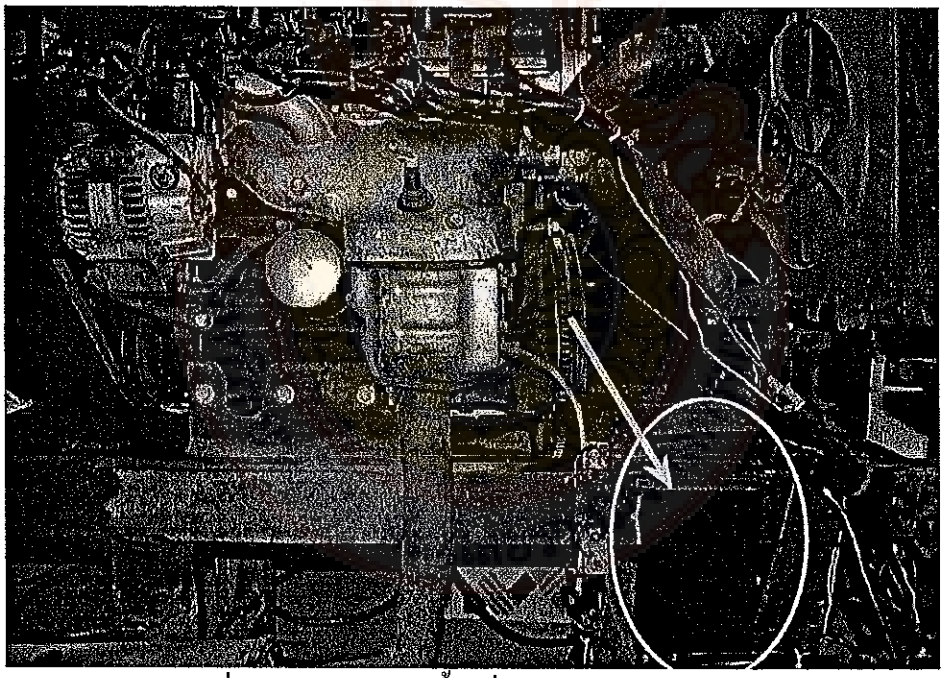
รูปที่ 4.1 แสดงการติดตั้งคอยล์จุดระเบิดจำนวน 4 คอยล์

ที่ตำแหน่งของจานจ่ายเดิม จะทำการติดตั้งเฟืองตรวจจับการหมุนเข้าไปแทนที่พร้อมทั้งติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับการหมุนของเฟืองเข้าไปด้วยดังรูปที่ 4.2 และจะต้องมีการปรับตั้งดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 3.9 เพื่อให้เหมาะสมกับการทำงานของเครื่องควบคุมการจุดระเบิด



รูปที่ 4.2 แสดงการติดตั้งเฟืองตรวจจับการหมุน

จากนั้นนำเครื่องควบคุมการจุดระเบิดมาติดตั้ง พร้อมกับเดินสายไฟไปยังคอยล์จุดระเบิด และเซนเซอร์ตรวจจับการหมุนของเฟืองดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงการติดตั้งเครื่องควบคุมการจุดระเบิด

4.2 เครื่องวัดองศาการจุดระเบิด

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องวัดองศาการจุดระเบิดยี่ห้อ TRISCO รุ่น DA-3100 ซึ่งเครื่องวัดนี้ใช้ไฟเลี้ยง 12V สามารถที่จะวัดองศาการจุดระเบิด และวัดรอบของเครื่องยนต์ได้ในเครื่องเดียว และสามารถแสดงผลได้ทันทีเนื่องจากด้านหลังของเครื่องนี้จะมีจอแสดงผลแบบ 7 ส่วนอยู่ 4 หลัก ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ค่าที่ได้จากเครื่องวัดตัวนี้เป็นตัวอ้างอิง ที่ทางด้านขวาของเครื่องนี้จะมีปุ่มหมุนซึ่งสามารถหมุนเพื่อวัดองศาการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ และแสดงผลบนจอแสดงผลด้านหลังเครื่องได้ เครื่องวัดองศาการจุดระเบิดนี้จะมีสายสัญญาณที่สำคัญอยู่ 3 เส้นคือ

4.2.1 สายไฟเลี้ยง มีลักษณะเป็นปากคีบสีดำและสีแดง โดยปากคีบสีแดงต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ และปากคีบสีดำต่อเข้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่

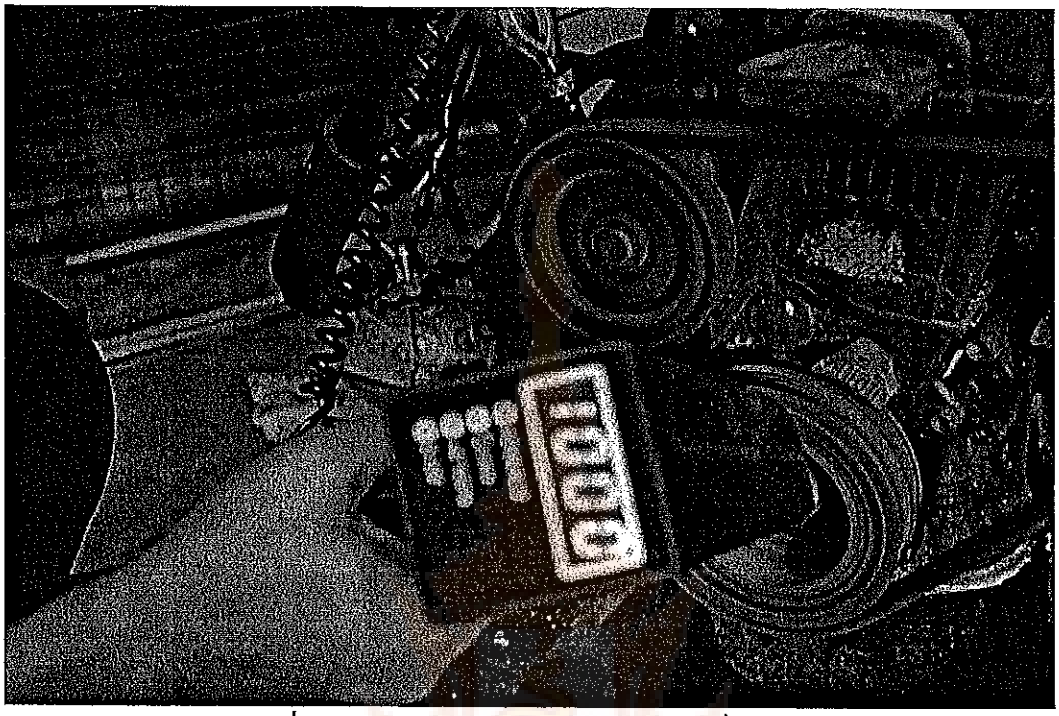
4.2.2 สายจับสัญญาณการจุดระเบิดจากหัวเทียน มีลักษณะเป็นคลิปสีแดง สามารถทำการเลื่อนเปิดปากคลิปเพื่อนำไปคล้องกับสายหัวเทียนได้

รูปที่ 4.4 เครื่องวัดมุมองศาการจุดระเบิดยี่ห้อ TRISCO รุ่น DA-3100

4.3 การวัดมุมองศาการจุดระเบิดบนเครื่องยนต์

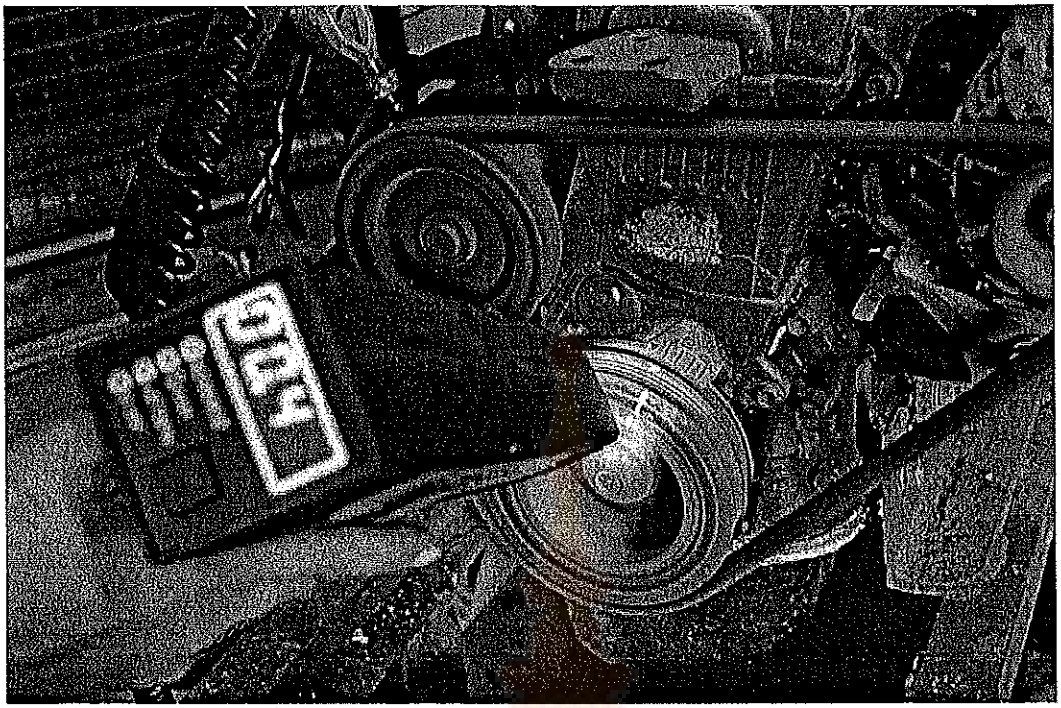
นำสายที่มีคลิปสีแดงไปคล้องกับสายไฟแรงสูงที่ต่อจากคอยล์จุดระเบิดไปยังหัวเทียน ซึ่งจะต้องคล้องกับสายของหัวเทียนสูบที่ 1 จากนั้นนำปากคีบสีแดงและสีดำไปคีบกับแบตเตอรี่ให้ถูกขั้วแล้วทำการสตาร์ทเครื่องยนต์ เมื่อเครื่องยนต์หมุน จะมีไฟแรงสูงส่งไปยังหัวเทียนเพื่อทำการจุดระเบิด ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำสัญญาณสู่คลิปสีแดงเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระตุ้นให้เครื่องวัดองศาการจุดระเบิดทำงาน โดยเครื่องวัดองศาการจุดระเบิดจะนำสัญญาณที่เข้ามานี้ไปทำการคำนวณรอบการหมุนของเครื่องยนต์ และส่งแสงแฟลชออกมาเพื่อส่องไปยังเครื่องยนต์ ทำให้มองเห็นตำแหน่งมุมของการจุดระเบิดที่ได้ถูกบากร่องไว้ที่เครื่องยนต์

ถ้ายังไม่มีการกดปุ่มที่เครื่องวัดองศาการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ เครื่องวัดจะแสดงรอบการหมุนของเครื่องยนต์ดังรูปที่ 4.5

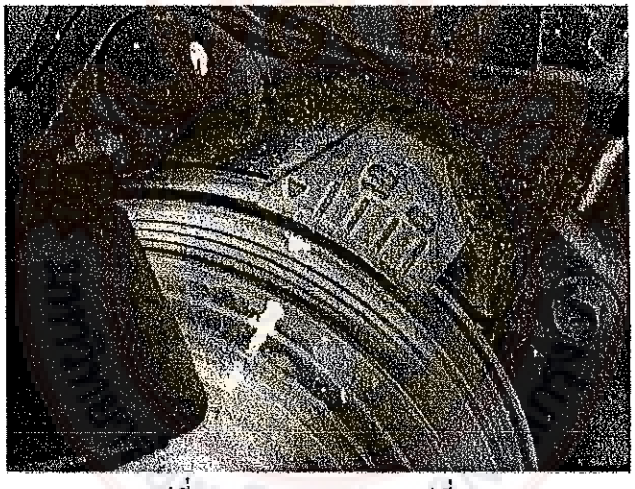


รูปที่ 4.5 แสดงการวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์

ถ้ากดปุ่มที่มีลักษณะคล้ายไกปืนที่ตัวเครื่องวัดองศาการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ เครื่องจะส่งแสงแฟลชออกไปยังเครื่องยนต์ในจังหวะที่ตรงกับจังหวะที่หัวเทียนทำการจุดระเบิด ทำให้มองเห็นรอยบากดังรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 ซึ่งรอยบากนี้ถ้าตรงกับตำแหน่งเลข 0 บนเครื่องยนต์ เมื่อไรจะแสดงว่าลูกสูบได้เคลื่อนที่ถึงศูนย์ตายบนแล้ว แต่ในภาพนี้มีการจุดระเบิดก่อนลูกสูบเคลื่อนที่สู่ศูนย์ตายบน โดยทิศทางการหมุนของเครื่องยนต์ในภาพนี้มีทิศทางการหมุนตามเข็มนาฬิกา



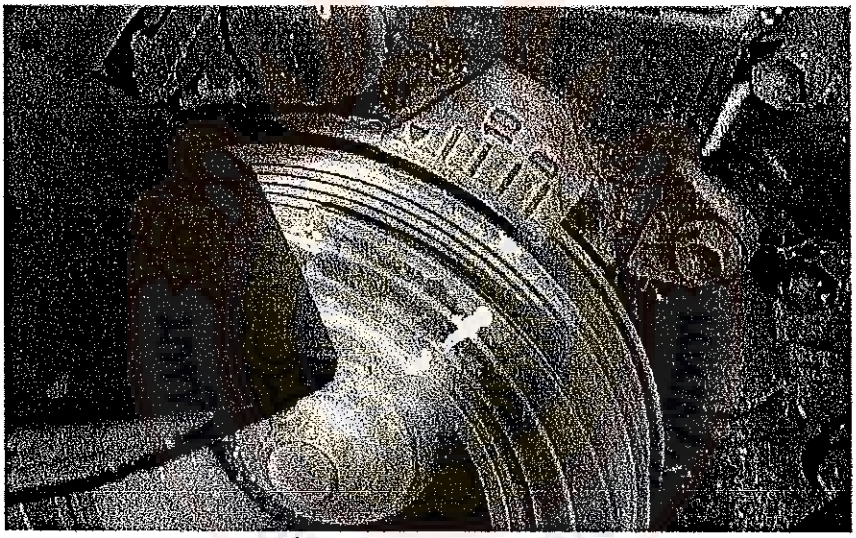
รูปที่ 4.6 แสดงการวัดมุมองศาการจุดระเบิดของเครื่องยนต์



รูปที่ 4.7 ภาพขยายของรูปที่ 4.6

และถ้ามีการหมุนปุ่ม Advance ที่อยู่ทางด้านขวาของตัวเครื่องวัดองศาการจุดระเบิดในทิศทางตามเข็มนาฬิกา จะทำให้รอยบากค่อย ๆ เลื่อนมายังตำแหน่ง 0 และจะปรากฏตัวเลขบนจอหลังเครื่องวัด ซึ่งตัวเลขที่ปรากฏนี้คือค่ามุมที่เครื่องควบคุมการจุดระเบิดสั่งให้มีการจุดระเบิดล่วงหน้า ก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่สู่ศูนย์ตายบนนั่นเอง แสดงดังรูปที่ 4.8 และ รูปที่ 4.9

รูปที่ 4.8 แสดงมุมองศาการจุดระเบิด

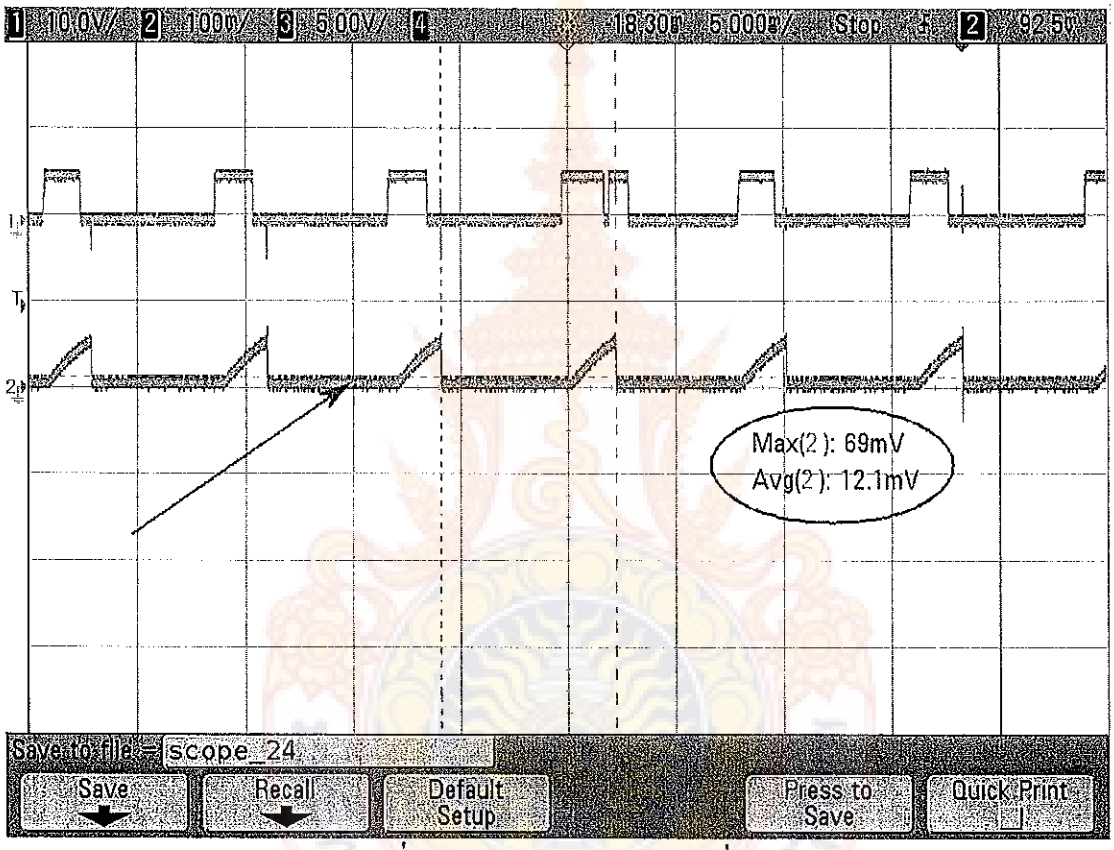


รูปที่ 4.9 ภาพขยายจากรูปที่ 4.8

ในการทดสอบของงานวิจัยนี้จะใช้ขั้นตอนต่าง ๆ ตามที่ได้กล่าวมาในการวัดมุมองศาการจุดระเบิด เพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องควบคุมการจุดระเบิด ว่าทำการจุดระเบิดเป็นมุมตามที่ได้ตั้งไว้ในโปรแกรมหรือไม่

4.4 อัตราการใช้พลังงานของเครื่องควบคุมการจุดระเบิด

เครื่องควบคุมการจุดระเบิดนี้ต้องการแรงดันไฟตรง 12V จากแบตเตอรี่รถยนต์ในการทำงาน ใช้กระแสประมาณ 6.9A ในช่วงที่คอยล์จุดระเบิดทำงาน แต่การจุดระเบิดนี้ไม่ได้ทำงานต่อเนื่องตลอดเวลา แต่จะทำงานเป็นช่วงสั้น ๆ ช่วงละประมาณ 2ms แต่ทำเป็นจังหวะไปเรื่อย ๆ คิดเป็นกระแสเฉลี่ยประมาณ 1.21A ซึ่งได้ทำการวัดโดยใช้โพรบวัดกระแสที่มีอัตราส่วน 10mV/A ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงปริมาณกระแสที่ใช้

4.5 ผลการทดสอบการวัดค่าองศาการจุดระเบิด

ในหัวข้อนี้จะเป็นการทดสอบการวัดองศาจุดระเบิด ที่เครื่องควบคุมการจุดระเบิดได้สั่งให้คอยล์จุดระเบิดที่ติดตั้งบนเครื่องยนต์ทำการจุดระเบิดไปยังหัวเทียน เทียบกับค่ามุมที่ได้กำหนดไว้ในโปรแกรมว่าตรงกันหรือไม่ มุมที่ได้เลือกมาทดสอบนี้สามารถทำให้เครื่องยนต์ทำงานได้ แต่ยังบอกไม่ได้ว่าจะทำให้เครื่องยนต์ทำงานได้ดีที่สุดหรือไม่ เนื่องจากการที่จะจุดระเบิดล่วงหน้าโดยให้เครื่องยนต์ทำงานได้ดีที่สุดนั้นต้องมีการวัดแรงม้าและแรงบิดด้วย ซึ่งเกินขอบเขตของงานวิจัยนี้

และในการทดสอบนี้จะทดสอบองศาการจุดระเบิด ที่รอบการหมุนของเครื่องยนต์ที่แตกต่างกัน ซึ่งได้ตั้งค่ามุมที่แต่ละความเร็วรอบสำหรับทดสอบเป็นดังนี้

ตารางที่ 4.1 ความเร็วรอบและมุมที่จะทำการทดสอบ

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	องศาการจุดระเบิด (องศา)
1,000	19
1,500	22
2,000	25
2,500	28
3,000	31

ในแต่ละความเร็วรอบ จะทำการวัดค่าทั้งหมด 5 ครั้ง แล้วหาค่าผิดพลาดเฉลี่ย โดยจะทำการเร่งความเร็วให้คงที่แล้วใช้เครื่องวัดองศาการจุดระเบิดเป็นตัววัดความเร็วรอบ และมุมองศาการจุดระเบิด

4.5.1 ทดสอบที่ความเร็วรอบ 1,000 รอบ/นาที ตั้งค่ามุมไว้ในโปรแกรมเท่ากับ 19 องศา ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.2 ทดสอบที่ความเร็วรอบ 1,000 รอบ/นาที ที่ค่ามุมเท่ากับ 19 องศา

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ค่ามุมที่กำหนดไว้ในโปรแกรม (องศา)	ทดสอบครั้งที่	ค่าที่วัดได้ (องศา)	% ความผิดพลาด
1,000	19	1	19.0	0.526
		2	19.2	1.053
		3	18.9	0.526
		4	19.2	1.053
		5	19.2	1.053

เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 0.842%

4.5.2 ทดสอบที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบ/นาที ตั้งค่ามุมไว้ในโปรแกรมเท่ากับ 22 องศา ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.3 ทดสอบที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบ/นาที ที่ค่ามุมเท่ากับ 22 องศา

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ค่ามุมที่กำหนดไว้ในโปรแกรม (องศา)	ทดสอบครั้งที่	ค่าที่วัดได้ (องศา)	% ความผิดพลาด
1,500	22	1	21.8	0.909
		2	22.2	0.909
		3	22.1	0.455
		4	22.0	0.000
		5	22.3	1.364

เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 0.727%

4.5.3 ทดสอบที่ความเร็วรอบ 2,000 รอบ/นาที ตั้งค่ามุมไว้ในโปรแกรมเท่ากับ 25 องศา ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.4 ทดสอบที่ความเร็วรอบ 2,000 รอบ/นาที ที่ค่ามุมเท่ากับ 25 องศา

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ค่ามุมที่กำหนดไว้ในโปรแกรม (องศา)	ทดสอบครั้งที่	ค่าที่วัดได้ (องศา)	% ความผิดพลาด
2,000	25	1	24.5	2.000
		2	25.2	0.800
		3	25.0	0.400
		4	25.1	0.400
		5	24.8	0.800

เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 0.880%

4.5.4 ทดสอบที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบ/นาที ตั้งค่ามุมไว้ในโปรแกรมเท่ากับ 28 องศา ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.5 ทดสอบที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบ/นาที ที่ค่ามุมเท่ากับ 28 องศา

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ค่ามุมที่กำหนดไว้ในโปรแกรม (องศา)	ทดสอบครั้งที่	ค่าที่วัดได้ (องศา)	% ความผิดพลาด
2,500	28	1	27.5	1.786
		2	27.3	2.500
		3	27.7	1.071
		4	27.2	2.857
		5	27.5	1.786

เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 2.000%

4.5.5 ทดสอบที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบ/นาที ตั้งค่ามุมไว้ในโปรแกรมเท่ากับ 31 องศา ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.6 ทดสอบที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบ/นาที ที่ค่ามุมเท่ากับ 31 องศา

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ค่ามุมที่กำหนดไว้ในโปรแกรม (องศา)	ทดสอบครั้งที่	ค่าที่วัดได้ (องศา)	ความผิดพลาด (%)
3,000	31	1	30.0	3.226
		2	29.8	3.871
		3	30.2	2.581
		4	30.0	3.226
		5	29.7	4.194

เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 3.419%

4.6 สรุปผลการทดสอบ

จากค่าความผิดพลาดในการทดสอบ จะพบว่าที่ความเร็วรอบที่ต่ำกว่า 2,500 รอบ/นาที ค่าความผิดพลาดขององศาการจุดระเบิดจะมีค่าไม่ถึง 1% แต่เมื่อความเร็วรอบเพิ่มสูงขึ้นค่าความผิดพลาดขององศาการจุดระเบิดจะมีมากขึ้นตามไปด้วย

สาเหตุที่เกิดความผิดพลาดคาดว่าเนื่องมาจากขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน และได้มีการใช้เครื่องวัดองศาการจุดระเบิดสังเกตมุมนั้น ถึงแม้ว่าจะรักษารอบเครื่องยนต์ให้นิ่ง แต่เครื่องยนต์ก็ยังจะเดินไม่เรียบเท่าที่ควร กล่าวคือรอบเครื่องจะเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเล็กน้อย ทำให้เวลาหมุนปุ่ม Advance เพื่อวัดมุมนั้นอาจจะทำให้วัดค่าออกมาผิดพลาดได้ และยิ่งเร่งเครื่องยนต์ให้มีความเร็วรอบสูงขึ้น อาการเดินไม่เรียบของเครื่องค่อนข้างจะเพิ่มขึ้นมากทำให้วัดค่าผิดพลาดขึ้นมาก สาเหตุของความผิดพลาดขององศาของการจุดระเบิดอีกหนึ่งสาเหตุ คาดว่าอาจจะมาจากสมการที่ใช้ในการหาค่าเวลาหน่วง เป็นสมการที่ได้จากการประมาณค่าในการสร้างเส้นกราฟให้ผ่านจุด ถ้าสามารถหาเวลาหน่วงที่แท้จริงได้จากเวลาที่ใช้ในการทำคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ ก็จะทำให้ได้เวลาหน่วงที่แม่นยำขึ้นมาก

และสาเหตุที่เครื่องยนต์เดินไม่เรียบคาดว่าน่าจะมาจากสาเหตุแรกคือ ตัวผสมก๊าซกับอากาศและตัวลดความดันก๊าซถูกใช้งานมาแล้วพอสมควร อาจมีสิ่งสกปรกกีดขวางทางเดินก๊าซ ทำให้ก๊าซเดินไม่สะดวกทำให้เครื่องยนต์เดินไม่เรียบ และอีกสาเหตุหนึ่งคาดว่าน่าจะมาจากสัญญาณรบกวนที่เข้ามารบกวนเครื่องควบคุมการจุดระเบิด เนื่องจากเวลาที่คอยล์จุดระเบิดทำงานจะมีการกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูง ไฟฟ้าแรงดันสูงนี้สามารถสร้างสัญญาณรบกวนผ่านอากาศเข้ามายังเครื่องควบคุมการจุดระเบิดได้ ทำให้บางจังหวะจึงทำให้เครื่องยนต์เดินไม่เรียบ จากสาเหตุต่าง ๆ เหล่านี้ถ้าได้เครื่องยนต์สภาพใหม่มาทดลอง หรือพัฒนาวงจรควบคุมการจุดระเบิดให้สามารถทนต่อสัญญาณรบกวนได้ดีขึ้นคาดว่าผลการทดสอบที่ได้น่าจะมีความผิดพลาดน้อยกว่านี้

และสาเหตุที่ทำการทดสอบที่รอบสูงสุดที่ 3,000 รอบ/นาที เนื่องจากว่าเครื่องยนต์ที่นำมาทดสอบถูกใช้งานมานานพอสมควร ทำให้เกรงว่าที่ความเร็วรอบสูงกว่านี้จะเกิดอันตรายจากชิ้นส่วนของเครื่องยนต์

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการสร้างเครื่องควบคุมการจุดระเบิดสำหรับเครื่องยนต์ดัดแปลง โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการทำงาน เครื่องควบคุมการจุดระเบิดนี้สามารถที่จะควบคุมให้เครื่องยนต์ทำงานได้จริง และสามารถที่จะสั่งให้เครื่องยนต์ทำการจุดระเบิดล่วงหน้าเป็นองศาตามที่ตั้งไว้ในโปรแกรมได้ การที่จะทำให้มีการจุดระเบิดล่วงหน้าได้นั้น จะต้องมีตัวเฟืองตรวจจับการหมุนของเครื่องยนต์ที่เป็นตัวบ่งบอกการเคลื่อนที่ของลูกสูบ ว่าเคลื่อนที่เข้าสู่ศูนย์ตายบนเป็นมุมเท่าไรแล้ว และใช้เทคนิคของการหน่วงเวลาของโปรแกรมในการทำให้เกิดเป็นมุมองศาการจุดระเบิดตามที่ต้องการ ซึ่งจะมีการคำนวณเวลาที่ต้องการหน่วงนี้โดยใช้ซอฟท์แวร์ภายนอก เก็บค่าไว้ในตารางก่อน จากนั้นจะใช้เซนเซอร์ตรวจจับการหมุนของเฟืองซึ่งจะแปลงการหมุนของเฟืองมาเป็นสัญญาณไฟฟ้า สัญญาณไฟฟ้านี้จะถูกนำมาคำนวณความเร็วรอบและคำนวณตัวชี้ช่องของตาราง แล้วนำไปเปิดตารางเพื่อนำค่าเวลาหน่วงนี้มาหน่วงเวลาการจุดระเบิดก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่สู่ศูนย์ตายบน ทำให้เกิดเป็นมุมองศาการจุดระเบิดตามที่ต้องการได้

การใช้เทคนิคการเปิดตารางจะทำให้ลดภาระการคำนวณในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ลงไปได้มาก ทำให้สามารถทำงานได้ในเวลาจริง และเทคนิคการหน่วงเวลาสามารถนำมาใช้ได้ในการสร้างองศาการจุดระเบิดได้ค่อนข้างแม่นยำ

งานวิจัยนี้สามารถนำไปสร้างเครื่องควบคุมการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ได้ โดยที่ต้นทุนของเครื่องมีราคาที่ไม่สูงมาก สามารถสร้างและซ่อมแซมเองได้ภายในประเทศ และยังสามารถนำไปประยุกต์เพื่อใช้กับเครื่องยนต์แบบอื่น ๆ ได้

5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการแก้ไขและปรับปรุง

1. เนื่องจากมีสัญญาณไฟฟ้าแรงสูงจากคอยล์จุดระเบิดมาเกี่ยวข้องด้วยในเวลาทำงาน จึงทำให้มีสัญญาณรบกวนมารบกวนการทำงานของเครื่องควบคุมการจุดระเบิด ทำให้เกิดการจุดระเบิดผิดพลาดไปบ้างในบางจังหวะ ซึ่งถ้าออกแบบวงจรให้มีการป้องกันสัญญาณรบกวนได้ดีกว่านี้จะทำให้วงจรมีเสถียรภาพดีขึ้น ทนทานต่อสัญญาณรบกวนได้มากขึ้น
2. การคำนวณหาค่าเวลาหน่วง มีการใช้สมการจากการสร้างเส้นกราฟให้ผ่านจุด ซึ่งเป็นสมการที่เป็นการประมาณค่า ถ้าสามารถคำนวณเวลาหน่วงที่แน่นอนได้จากแต่ละคำสั่งของโปรแกรม จะทำให้หน่วงเวลาเป็นค่ามุมได้แม่นยำขึ้น

3. ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบกับเครื่องยนต์และอุปกรณ์ที่ผ่านการใช้งานมานานพอสมควร ทำให้ผลที่ได้มีค่าไม่แน่นอน ถ้ามีเครื่องยนต์และอุปกรณ์ที่มีสภาพดีกว่านี้จะทำให้ผลลัพธ์คือมุมที่วัดได้มีแค่แน่นอนกว่านี้
4. พัฒนาวงจรและโปรแกรมให้ทำงานร่วมกับเซนเซอร์เช็คตำแหน่งของลิ้นเร่ง เซนเซอร์เช็คค่าภาระของเครื่องยนต์ เพื่อนำมาประมวลผลร่วมในการหาค่าองศาการจุดระเบิด ซึ่งจะทำให้เครื่องยนต์ทำงานได้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะเพื่อการประยุกต์ใช้งาน

เครื่องควบคุมการจุดระเบิดนี้สามารถนำไปควบคุมเครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลง หรือเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ขนาด 4 สูบได้ และยังสามารถนำดัดแปลงวงจรและโปรแกรมเพื่อนำไปควบคุมเครื่องยนต์ที่มีจำนวนสูบมากหรือน้อยกว่า 4 สูบได้ ยกตัวอย่างเช่นเครื่องยนต์ดีเซลหรือเครื่องยนต์แก๊สโซลีนขนาด 6 หรือ 8 สูบ หรือเครื่องยนต์มอเตอร์ไซค์ขนาด 1 หรือ 2 สูบ

บรรณานุกรม

[1] บุญทัน สมนึก, คำนึง สาขากร, เกษม ประพฤติธรรม และอัมพร ภักดีชาติ. 2539. เครื่องยนต์. กรุงเทพฯ : อมรินทร์พริ้นติ้งกรุ๊ป.

[2] บุญธรรม ภัทรจารุกุล และประสานพงษ์ หาเรือนชีพ. 2521. ทฤษฎีและปฏิบัติไฟฟ้ารถยนต์. กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด.

[3] ประสานพงษ์ หาเรือนชีพ. 2548. งานเครื่องยนต์แก๊สโซลีน. กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด.

[4] รักษิต ฐิติพัฒนพงศ์, จตุรวิทย์ จันไพบูลย์, สุรเดช ดวงภุมเมศ, นพพงษ์ ไกรฤกษ์, ชญานนท์ แสงมณี, กุลเชษฐ์ เพียรทอง. 2550. การดัดแปลงรถยนต์เพื่อใช้พลังงานทางเลือกด้วยระบบสมองกลควบคุมการจ่ายก๊าซ:กรณีศึกษารถยนต์เก่า. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3.

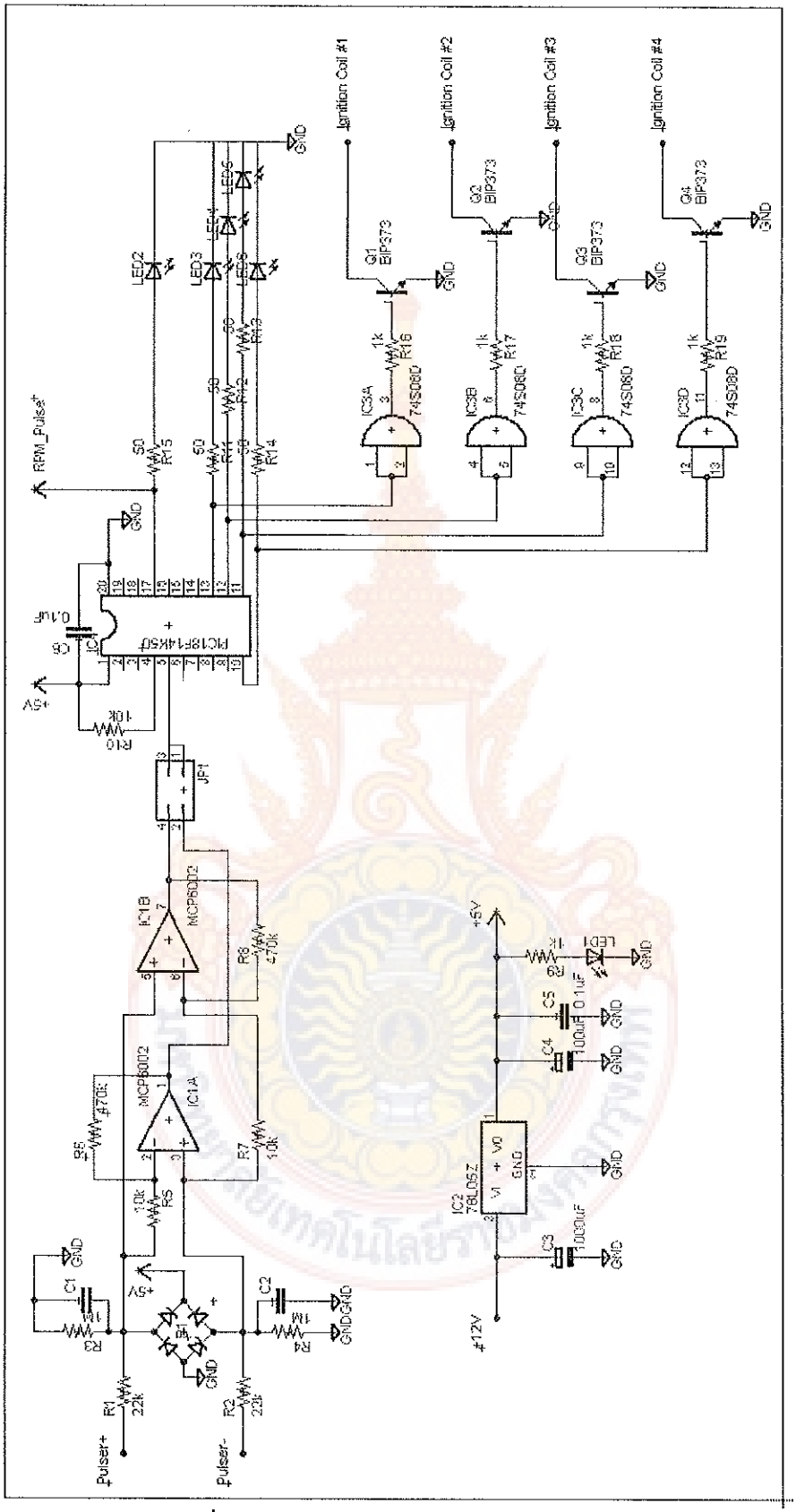
[5] รักษิต ฐิติพัฒนพงศ์, สุรเดช ดวงภุมเมศ, ปณิธิ ศิรอักษร, มนตรี ชาติพจน์, ชญานนท์ แสงมณี, กุลเชษฐ์ เพียรทอง. 2550. การปรับปรุงสมรรถนะของรถยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัดเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกโดยการปรับจังหวะการจุดระเบิด. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3.

[6] Microchip, 2010. PIC18F/LF1XK50 Datasheet. Microchip Technology Inc.

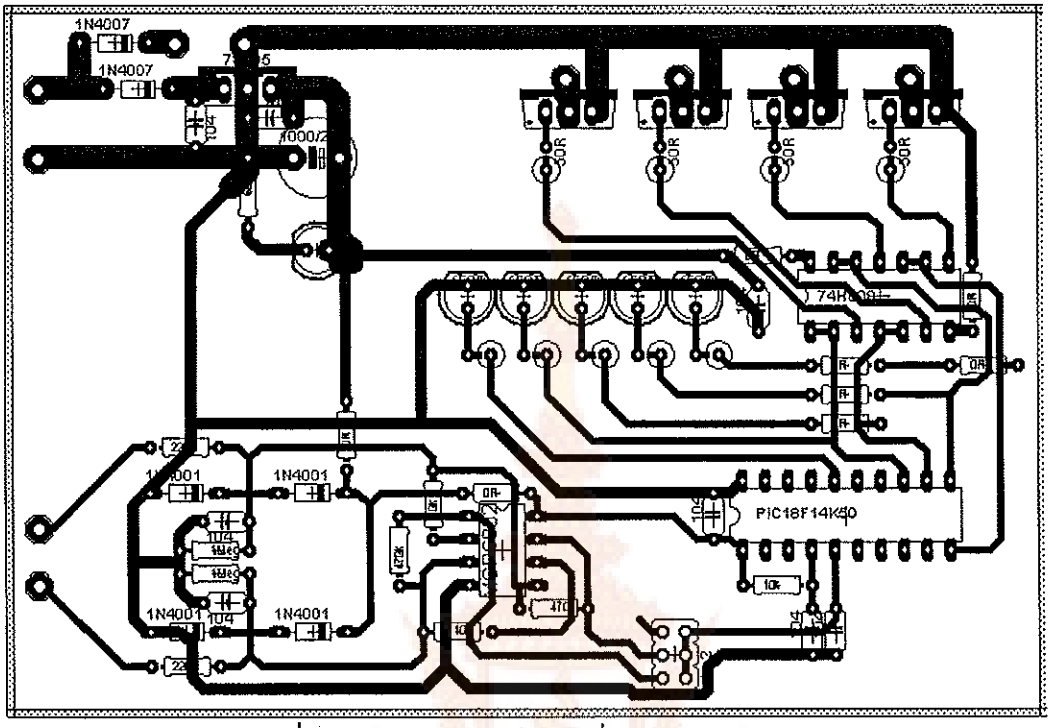
[7] Willard W. Pulkrabek, 1997. Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine. Prentice Hall.

ภาคผนวก ก

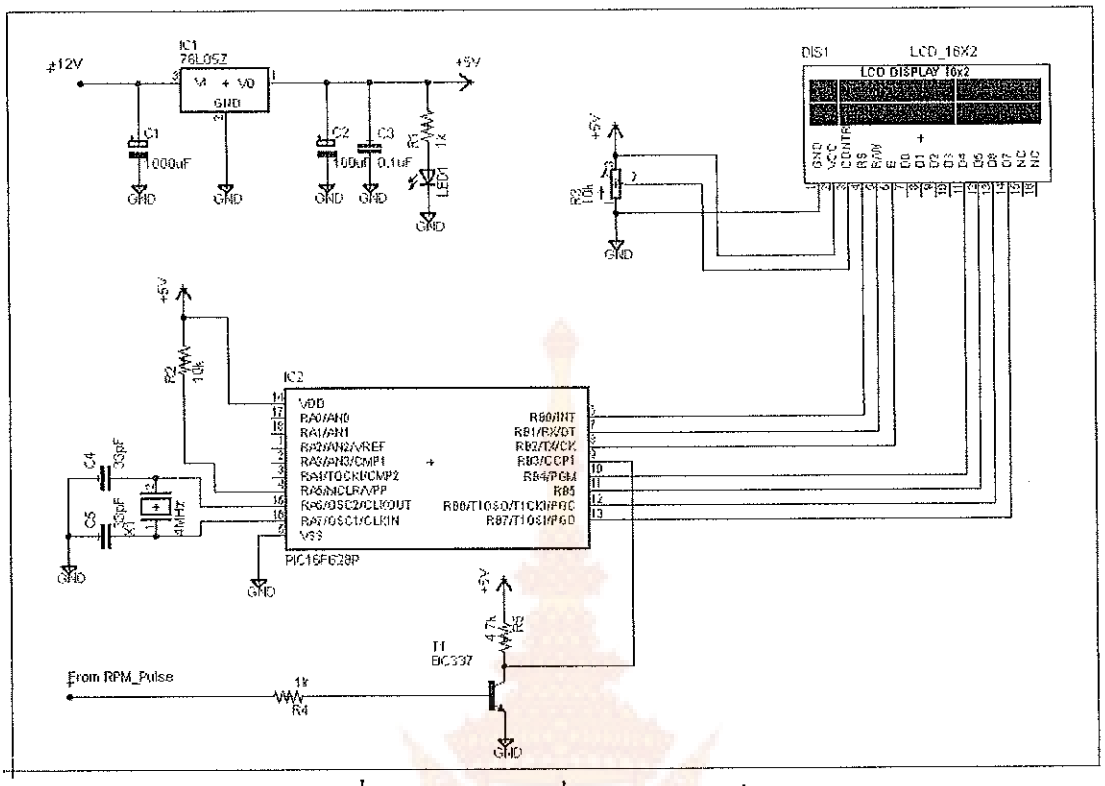
รูปวงจรและแผ่นวงจรพิมพ์ของ
เครื่องควบคุมการจุดระเบิดสำหรับเครื่องยนต์ดัดแปลง



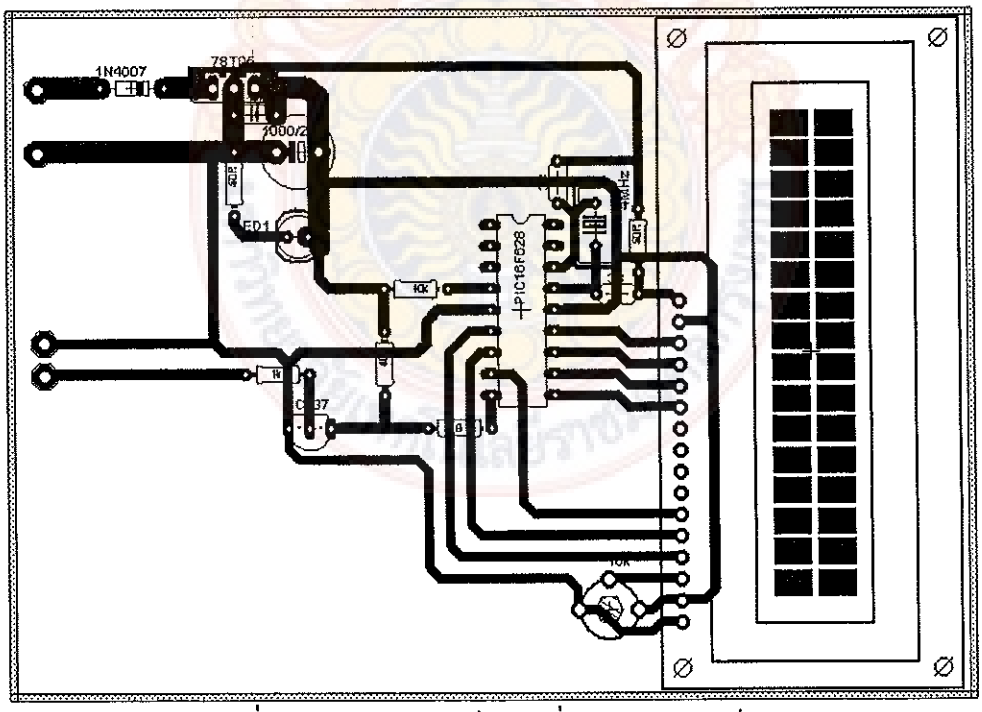
ภาพที่ ก.1 วงจรของเครื่องควบคุมการจุดระเบิด



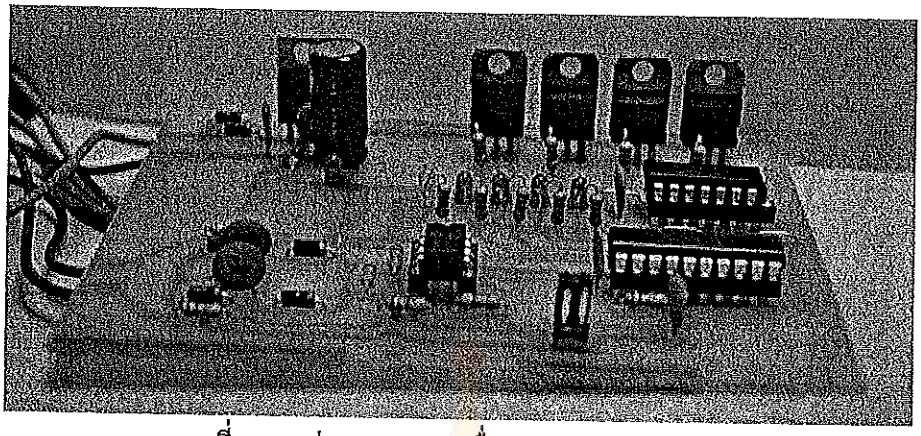
ภาพที่ ก.2 ลายวงจรพิมพ์ของเครื่องควบคุมการจุดระเบิด



ภาพที่ ก.3 วงจรของเครื่องแสดงความเร็วรอบ



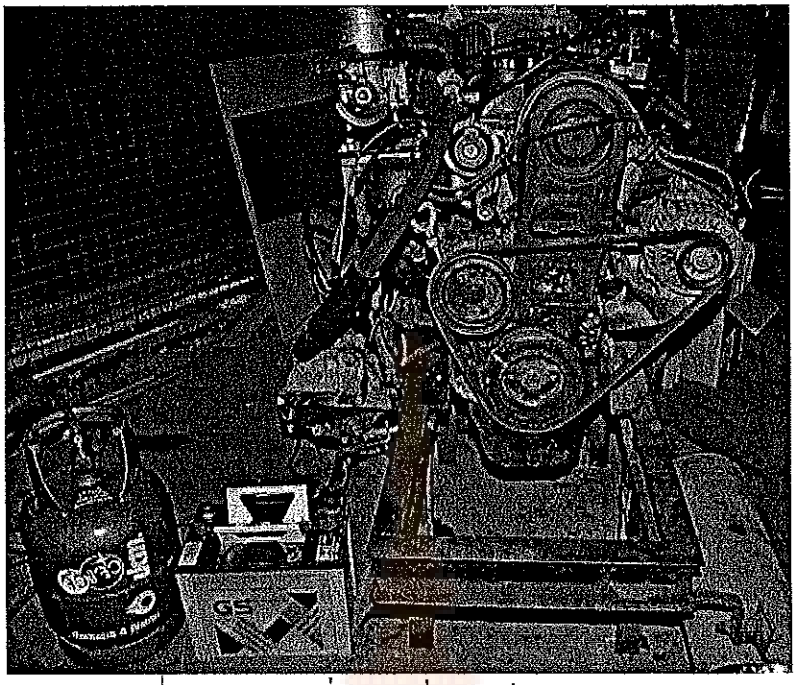
ภาพที่ ก.4 ลายวงจรพิมพ์ของเครื่องแสดงความเร็วรอบ



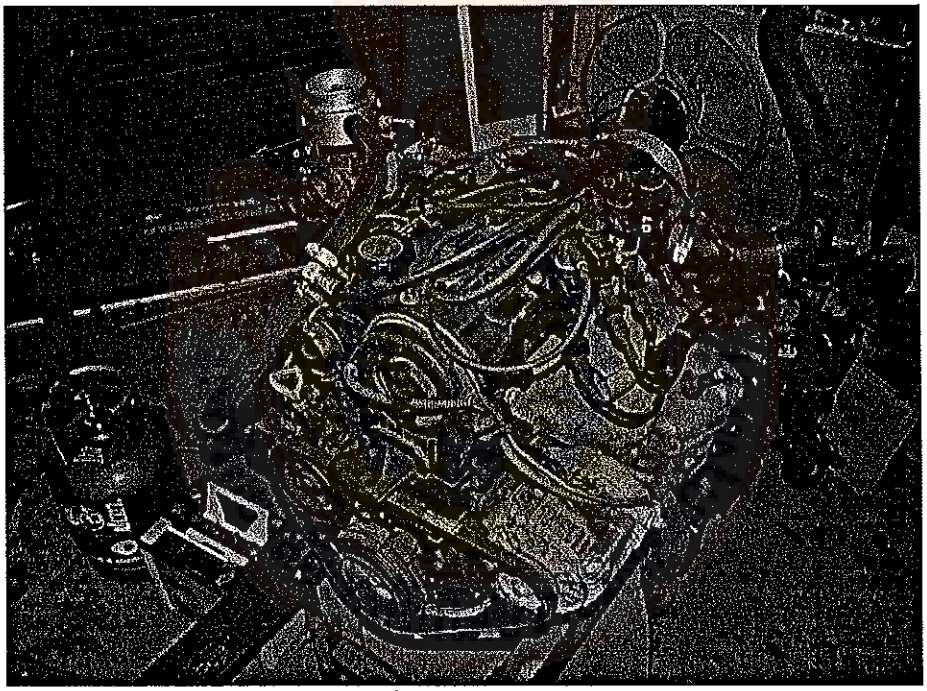
ภาพที่ ก.5 แผ่นวงจรของเครื่องควบคุมการจุดระเบิด

ภาพที่ ก.6 กล่องใส่เครื่องควบคุมการจุดระเบิด

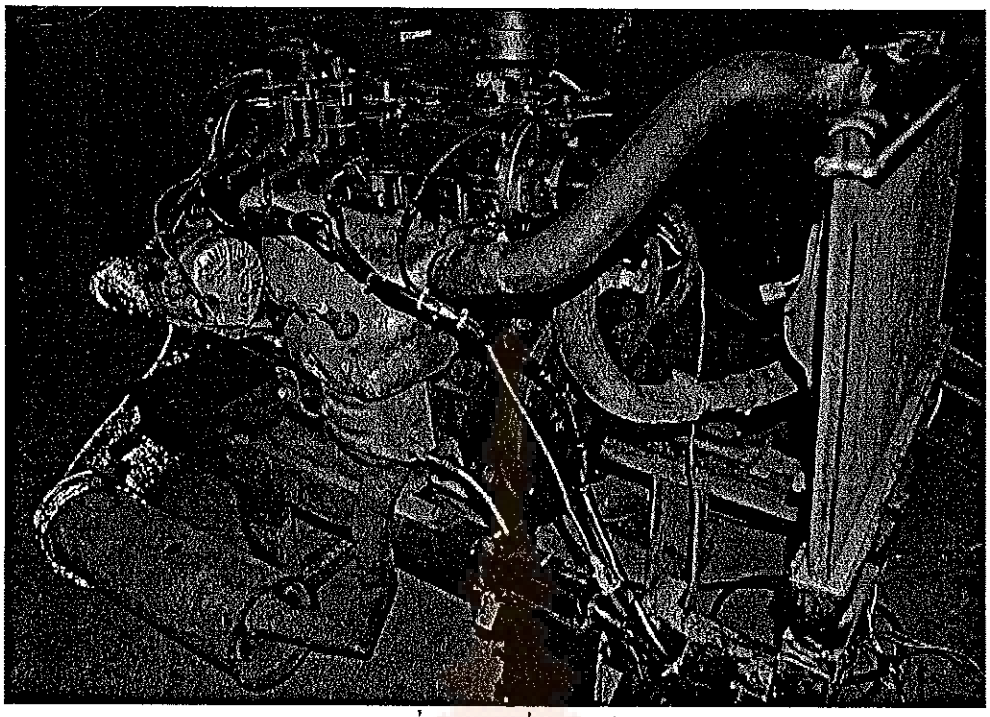
ภาพที่ ก.7 กล่องใส่เครื่องแสดงความเร็วรอบ



ภาพที่ ก.8 เครื่องยนต์ 1



ภาพที่ ก.9 เครื่องยนต์ 2



ภาพที่ ก.10 เครื่องยนต์ 3

ภาคผนวก ข

โปรแกรมภาษาซีของ
เครื่องควบคุมการจุดระเบิดสำหรับเครื่องยนต์ดัดแปลง

ECU.c

```
#include <18F14K50.h>
#fuses CPUDIV1,INTRC_IO,NOPLLEN,PUT,NOWDT,NOLVP,NODEBUG
//////// Fuses: CPUDIV1,CPUDIV2,CPUDIV3,CPUDIV4,USBDIV1,USBDIV2,LP,XT,HS,RC
//////// Fuses: ECH,ECH_IO,RC_IO,INTRC_IO,INTRC,ECM,ECM_IO,ECL,ECL_IO
//////// Fuses: NOPLLEN,PLLEN,NOPCLKEN,PCLKEN,NOFCMEN,FCMEN,NOIESO,IESO,PUT
//////// Fuses: NOPUT,NOBROWNOUT,BROWNOUT_SW,BROWNOUT_NOSL,BROWNOUT,BORV30
//////// Fuses: BORV27,BORV22,BORV19,NOWDT,WDT,WDT1,WDT2,WDT4,WDT8,WDT16
//////// Fuses: WDT32,WDT64,WDT128,WDT256,WDT512,WDT1024,WDT2048,WDT4096
//////// Fuses: WDT8192,WDT16384,WDT32768,NOHFOFST,HFOFST,NOMCLR,MCLR
//////// Fuses: NOSTVREN,STVREN,NOLVP,LVP,BBSIZ1K,BBSIZ2K,NOXINST,XINST
//////// Fuses: DEBUG,NODEBUG,PROTECT_0,NOPROTECT_0,CPB,NOCPB,CPD,WRT1
//////// Fuses: NOWRT1,WRT0,NOWRT0,WRTC,NOWRTC,WRTB,NOWRTB,WRTD,NOWRTD,EBTR
//////// Fuses: NOEBTR,EBTRB,NOEBTRB

#use    delay(clock=8000000, restart_wdt)
#use fast_io(A)
#use fast_io(B)
#use fast_io(C)

#include "DELTABLE.c"

unsigned int1 RPM_start, CCP_flag, dum_teeth;
unsigned int8 Piston, cr_cnt, DEL_Val_H, DEL_Val_L;
signed int16 DEL_Val, index;
unsigned int32      Tx, Tn, Ts, Tn_1, cr;

const unsigned int8 FIRE[] = { 0x00, 0x20, 0x40, 0x80, 0x10 };

void  main(void)
{
     output_a(0);
     output_b(0);
     output_c(0);
     restart_wdt();
     setup_wdt(WDT_OFF);
     //setup_dac(DAC_OFF);
     setup_adc(ADC_OFF);
     setup_comparator(NC_NC_NC);
     setup_oscillator(OSC_8MHZ);

     set_tris_a(0b001111);
     set_tris_b(0x00);
     set_tris_c(0b00100000);
     setup_timer_1(T1_INTERNAL | T1_DIV_BY_1);
     setup_ccp1(CCP_CAPTURE_RE);

     cr = 0;
     cr_cnt = 0;
     dum_teeth = 0;
     Piston = 0;
     RPM_Start = 0;
     CCP_flag = 0;
     Tx = Tn = Tn_1 = 0xFFFFFFFF;

     enable_interrupts(INT_CCP1);
     enable_interrupts(INT_TIMER1);
     enable_interrupts(GLOBAL);

     for ( ; ; ) {
       restart_wdt();
       if (CCP_flag == 1) {
```

```
                if (Tn < (Tn_1 >> 1)) {
                        Piston = 0;
                        if (RPM_Start == 0) {
                                RPM_Start = 1;
                        }
                        Ts = Tn;
                        dum_teeth = 1;
                } else {
                        if (dum_teeth == 1) {
                                Tn = Tn + Ts;
                                dum_teeth = 0;
                        }

/*
                        if (Tn > 0x1D4C0) {
                                output_b(FIRE[4]);
                        } else if (TN <= 0x1D4C0 && Tn > 0xEA60) {
                                output_b(FIRE[1]);
                        } else if (TN <= 0xEA60 && Tn > 0x9C40) {
                                output_b(FIRE[2]);
                        } else if (TN <= 0x9C40 && Tn > 0x7530) {
                                output_b(FIRE[3]);
                        }
*/
                        Tx = Tn << 2;                           // Tx = Tn * 4

                        Piston++;
                        if (Piston >= 5) {
                                Piston = 1;
                        }

                        index = Tx >> 10;                       // index = Tx / 1024
                        if (index > 199) {
                                index = 199;
                        }
                        DEL_Val = DEL_TAB[index];
                        if (DEL_Val <= 0) {
                                DEL_Val = 1;
                        }
                        DEL_Val_H = DEL_Val >> 8;
                        DEL_Val_L = DEL_Val & 0xFF;

////////////////// Inline Assembly for Delay ////////////////////////////////////
                        if (DEL_Val_H == 0) {
#asm
loop0:                          clrwdt
                                decfsz          DEL_Val_L, f
                                goto            loop0
#endasm
                        } else {
#asm
loop1:                          clrwdt
                                decfsz          DEL_Val_L, f
                                goto            loop1
loop2:                          decfsz          DEL_Val_H, f
                                goto            loop1
#endasm
                        }
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
     //

                        output_b(FIRE[Piston]);
                        delay_ms(2);
                        output_b(0);
```

```
//                    output_high(PIN_C0);
//                    delay_ms(1);
//                    output_low(PIN_C0);
                }
                Tn_1 = Tn;

                CCP_flag = 0;
        }
      }
}

#int_ccp1
void  CCP1_ISR(void)
{
      Tn = CCP_1 + cr;

      set_timer1(0);
      restart_wdt();
      CCP_flag = 1;

      cr_cnt = 0;
      cr = 0;
}

#int_timer1
void  TIMER1_ISR(void)
{
      cr += 65536;
      restart_wdt();

      cr_cnt++;
      if (cr_cnt > 5) {
        cr_cnt = 6;
        RPM_Start = 0;
//      output_high(PIN_C0);
      } else {
//      output_low(PIN_C0);
      }
}
```

DELTABLE.C

```
const signed int16  DEL_TAB[] = {
    0,     0,     0,     0,     0,     0,     0,     0,     0,     0,
    0,     0,     0,     0,     0,     0,     0,     0,     0,     0,
    0,     0,     0,     0,  -569,  -550,  -532,  -513,  -494,  -476,
 -457,  -439,  -420,  -401,  -372,  -344,  -317,  -289,  -262,  -234,
 -207,  -179,  -151,  -124,   -96,   -69,   -41,   -14,    13,    41,
   69,    96,   124,   151,   179,   206,   234,   261,   289,   316,
  344,   372,   399,   426,   454,   482,   509,   536,   564,   592,
  619,   647,   675,   702,   729,   758,   784,   813,   839,   868,
  894,   923,   950,   977,  1005,  1033,  1060,  1088,  1115,  1142,
 1170,  1198,  1226,  1253,  1280,  1307,  1334,  1363,  1391,  1418,
 1446,  1472,  1501,  1528,  1555,  1583,  1611,  1638,  1665,  1692,
 1720,  1749,  1775,  1804,  1831,  1859,  1887,  1915,  1941,  1970,
 1997,  2024,  2052,  2079,  2108,  2133,  2163,  2189,  2215,  2246,
 2274,  2301,  2326,  2354,  2383,  2409,  2439,  2465,  2491,  2518,
 2545,  2573,  2601,  2629,  2658,  2688,  2712,  2742,  2768,  2793,
 2825,  2851,  2878,  2905,  2933,  2961,  2989,  3018,  3041,  3070,
 3100,  3124,  3154,  3179,  3210,  3236,  3261,  3294,  3320,  3346,
 3373,  3400,  3428,  3456,  3484,  3512,  3541,  3570,  3592,  3622,
 3652,  3675,  3706,  3729,  3761,  3785,  3817,  3841,  3866,  3899,
 3924,  3950,  3984,  4010,  4037,  4063,     0,     0,     0,     0
};
```