ระบบจุดระเบิดด้วยคอยล์คู่แบบจุดพร้อมกัน
SIMULTANEOUS TWIN SPARK IGNITION SYSTEM

จิรพงษ์ หงษ์เวียงจันทร์

JIRAPONG HONGWIANGJAN

ธงชัย ปาละวงษ์

THONGCHAI PALAWONG

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

ระบบจุดระเบิดด้วยคอยล์คู่หัวเทียนคู่แบบจุดพร้อมกัน

SIMULTANEOUS TWIN SPARK IGNITION SYSTEM

โดย

จิรพงษ์ หงษ์เวียงจันทร์

ธงชัย ปาละวงษ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. จิรวัฒน์ ปานกลาง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2555

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบจุดระเบิดด้วยคอยล์คู่หัวเทียนคู่แบบจุดพร้อมกัน

SIMULTANEOUS TWIN SPARK IGNITION SYSTEM

ผู้จัดทำ นายจิรพงษ์ หงษ์เวียงจันทร์ รหัสประจำตัว 53010213

นายธงชัย ปาละวงษ์ รหัสประจำตัว 53010606

ปริญญานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

(รศ. จิรวัฒน์ ปานกลาง)

อาจารย์ที่ปรึกษา

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ระบบจุดระเบิดด้วยคอยล์คู่หัวเทียนคู่แบบจุดพร้อมกัน
นักศึกษา	นายจิรพงษ์ หงษ์เวียงจันทร์ รหัสประจำตัว 53010213
	นายธงชัย ปาละวงษ์ รหัสประจำตัว 53010606
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	รศ. จิรวัฒน์ ปานกลาง

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาและพัฒนาระบบจุดระเบิดภายในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนให้มีประสิทธิภาพและเสถียรภาพเพิ่มมากขึ้น โดยเพิ่มจำนวนพัลส์หรือจำนวนครั้งของการจุดระเบิดในหนึ่งรอบการทำงาน และใช้คอยล์คู่ร่วมกับหัวเทียนคู่ในการจุดระเบิด เพื่อช่วยให้เครื่องยนต์มีการสันดาปที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ทำให้เกิดการใช้เชื้อเพลิงอย่างเต็มประสิทธิภาพและช่วยลดมลพิษทางอากาศได้ ซึ่งระบบจุดระเบิดจะถูกควบคุมด้วยวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ถูกป้อนโปรแกรมภาษาซีให้ทำงานร่วมกับเมทริกซ์คีย์บอร์ด และแอลซีดีแสดงผล โดยวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับสัญญาณพัลส์ที่ส่งมาจากวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์และใช้คีย์บอร์ดในการป้อนข้อมูลกำหนดค่าของสัญญาณพัลส์ตามที่ต้องการ โดยมีแอลซีดีเป็นตัวแสดงข้อมูลที่ป้อนจากคีย์บอร์ด หลังจากนั้นวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณพัลส์เอาท์พุทที่ถูกโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว ไปยังคอยล์จุดระเบิดทั้งสองตัวให้ทำการจุดระเบิดหัวเทียนแพลทินัมแต่ละหัวตามคำสั่งของโปรแกรมต่อไป

Thesis Title	Simultaneous Twin Spark Ignition System	
Student	Mr.Jirapong Hongwiangjan	Student ID 53010213
	Mr.Thongchai Palawong	Student ID 53010606
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Electronics Engineering	
Year	2013	
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Jirawath Parnklang	

ABSTRACT

The main objective of this thesis is learning and developing the ignition system in gasoline engine to increase the efficiency and stability of the engine by increment of sparking per one round of ignition and using dual coils with dual platinum spark plugs for this system. These will cause a perfect combustion of the engine and reduce a rate of emission and use fuel more efficiently. This prototype of the ignition system using dual coils and dual platinum spark plug is controlled by microcontroller circuit which is programmed by C language for working with matrix keyboard and LCD. Microcontroller receives pulses from astable multivibrator circuit and use keyboard as the equipment for entering input data to specify the quality of signal pulses and use LCD to display input data from keyboard. Afterwards microcontroller will transmits the designed signal pulses as the output to both coils to assign each spark plug for ignition.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่องระบบจุดระเบิดด้วยคอยล์คู่หัวเทียนคู่แบบจุดพร้อมกันนี้ สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของ รศ.จิรวัฒน์ ปานกลาง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้สละเวลาในการอธิบายความรู้ ข้อเสนอแนะ เกี่ยวกับวงจรจุดระเบิดเครื่องยนต์แก๊สโซลีนและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทำโครงงาน รวมทั้งคณะอาจารย์ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เป็นผู้ให้ความรู้และให้คำปรึกษาต่างๆ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ และต้องขอขอบคุณคณะรุ่นพี่นักศึกษาปริญญาโท ซึ่งเป็นผู้ที่ให้ความช่วยเหลือทั้งในเรื่องการอำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

จิรพงษ์ หงษ์เวียงจันทร์
ธงชัย ปาละวงษ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II
กิตติกรรมประกาศ.....III
สารบัญ.....IV
สารบัญรูป.....VI
บทที่ 1 บทนำ
1.1 ที่มาและความสำคัญของการทำโครงงานวิจัย.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานการวิจัย.....1
1.3 องค์ประกอบของโครงงานวิจัย.....1
1.4 ขอบเขตของโครงงานวิจัย.....2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....2

บทที่ 2 หลักการพื้นฐานเครื่องยนต์แก๊สโซลีน
2.1 หลักการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ.....3
2.1.1 ไดอะแกรมจังหวะการทำงานของลิ้น.....4
2.2 ระบบจุดระเบิด.....5
2.3 ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา.....5
2.3.1 แบตเตอรี่.....6
2.3.2 สวิตช์ไฟจุดระเบิด.....6
2.3.3 จานจ่าย.....6
2.3.4 คอยล์จุดระเบิด.....8
2.3.5 สายไฟแรงสูง.....9
2.3.6 หัวเทียน.....10
2.3.7 การทำงานของระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา.....11
2.4 การจุดระเบิดล่วงหน้า.....13
2.5 มุมดเวลล์.....14
2.6 ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์.....15
2.6.1 ระบบจุดระเบิดแบบจานจ่ายไฟกับอุปกรณ์ควบคุม
การจุดระเบิดล่วงหน้าแบบกลไกและแบบสุญญากาศ.....17
2.6.2 ระบบจุดระเบิดแบบจานจ่ายไฟกับอุปกรณ์ควบคุม
การจุดระเบิดล่วงหน้าแบบอิเล็กทรอนิกส์.....18
2.6.3 ระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟกับคอยล์จุดระเบิดหลายตัว.....19
2.6.4 ระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟกับการจุดระเบิดโดยตรง.....23
2.6.5 ระบบจุดระเบิดแบบคอยล์คู่.....28
2.7 ระบบ EGR ของรถยนต์.....29
2.7.1 หลักการของ EGR.....29

สารบัญ (ต่อ)

2.7.2 ข้อดี-ข้อเสีย ของการอุด EGR....30
2.8 ระบบจุดระเบิดแบบคอยล์คู่หัวเทียนคู่ของ Alfa Romeo....31
2.9 หัวเทียนทองคำขาว....32

บทที่ 3 หลักการพื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์
3.1 บทนำ....34
3.2 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์....34
3.3 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877....34
3.3.1 คุณสมบัติของ PIC16F877....35
3.3.2 การจัดการกับหน่วยความจำส่วนโปรแกรม....36
3.3.3 หน้าที่ของพอร์ตที่ใช้งาน....37
3.3.4 การอินเตอร์รัปต์....39
3.3.5 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล....39

บทที่ 4 หลักการออกแบบวงจรจุดระเบิดหัวเทียน
4.1 หลักการเบื้องต้น....41
4.2 หลักการออกแบบวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์....42
4.3 หลักการออกแบบวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์....43
4.3.1 ส่วนของวงจรเรกูเลเตอร์....43
4.3.2 ส่วนของ CPU และพอร์ตต่างๆ....43
4.4 Flow Chart อธิบายการทำงานของโปรแกรม....45

บทที่ 5 ผลการทดลอง
5.1 การทดลองที่ 1 การเปรียบเทียบสัญญาณ Ton....46
5.2 การทดลองที่ 2 การจุดระเบิดที่ความเร็วรอบเครื่องค่าต่างๆ....47
5.2.1 ทดลองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,000 rpm....47
5.2.2 ทดลองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm....48
5.2.3 ทดลองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 4,000 rpm....49
5.2.4 ทดลองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 6,000 rpm....50
5.2.5 ทดลองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 8,000 rpm....51

บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง
6.1 การทดลองที่ 1 การเปรียบเทียบสัญญาณ Ton....52
6.2 การทดลองที่ 2 การจุดระเบิดที่ความเร็วรอบเครื่องค่าต่างๆ....52

เอกสารอ้างอิง....53

ภาคผนวก....54

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ....3

2.2 ไดอะแกรมแสดงจังหวะการทำงานของลิ้นสำหรับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ....4

2.3 ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาที่ใช้คอยล์จุดระเบิดแบบมีความต้านทานภายนอก....5

2.4 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของทองขาว....7

2.5 แสดงโครงสร้างของคอนเดนเซอร์....8

2.6 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของคอยล์จุดระเบิด....8

2.7 เปรียบเทียบสายไฟแรงสูงที่ใช้กันในปัจจุบันกับในอดีต....10

2.8 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของหัวเทียน....11

2.9 แสดงการทำงานของระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาขณะหน้าทองขาวปิด....12

2.10 แสดงการทำงานของระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาขณะหน้าทองขาวเปิด....12

2.11 แสดงผลจากการใช้อุปกรณ์ควบคุมเวลาในการจุดระเบิดล่วงหน้าทั้งสองแบบ....14

2.12 แสดงมุมดเวลล์ของหน้าทองขาว....15

2.13 แสดงความสัมพันธ์ของการจัดตั้งความห่างระหว่างหน้าทองขาวกับมุมดเวลล์....15

2.14 ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์....16

2.15 แสดงจานจ่ายไฟของระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ขดลวดกำเนิดสัญญาณ และอุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบกลไกสำหรับเครื่องยนต์ 4 สูบ....17

2.16 แสดงส่วนประกอบในระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้จานจ่ายไฟ ที่ใช้ขดลวดกำเนิดสัญญาณกับมอดูลควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์....18

2.17 ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้อุปกรณ์การจุดระเบิดล่วงหน้าแบบอิเล็กทรอนิกส์....18

2.18 ระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟ....19

2.19 เครื่องยนต์แบบสูบวี 6 กับระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟ....20

2.20 แผนผังของระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟสำหรับเครื่องยนต์แบบสูบวี 6 สูบ ซึ่งใช้คอยล์จุดระเบิด 3 ตัว จุดประกายที่หัวเทียน 6 หัว....21

2.21 แสดงให้เห็นการทำให้เกิดประกายไฟที่หัวเทียนพร้อมกันถึง 2 หัว ของคอยล์จุดระเบิดเพียงตัวเดียวซึ่งวิธีนี้เรียกว่าวิธีประกายไฟสูญเปล่า....21

2.22 แสดงสัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาราวลิ้นที่สัมพันธ์ กับสัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยง....22

2.23 ระบบจุดระเบิดโดยตรงซึ่งไม่ต้องใช้สายไฟหัวเทียน....23

2.24 มอดูลจุดระเบิดและคอยล์จุดระเบิด 2 ตัวติดตั้งอยู่ภายในตัวเรือน ภายใต้ฝาครอบของเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบจุดระเบิดโดยตรง....23

2.25 คอยล์จุดระเบิดพร้อมกับวงจรขับกระแสที่ติดตั้งภายใน....25

2.26 ส่วนประกอบของระบบจุดระเบิดด้วยตัวเก็บประจุ....26

2.27 ระบบจุดระเบิดด้วยตัวเก็บประจุ....27

2.28 เปรียบเทียบระบบจุดระเบิดแบบหัวเทียนเดียวกับหัวเทียนคู่....28

2.29 การทำงานของคอยล์ในระบบจุดระเบิดแบบคอยล์คู่....29

สารบัญรูป (ต่อ)

2.30 ระบบ Exhaust Gas Recirculation....30
2.31 ระบบจุดระเบิดแบบหัวเทียนคู่ของ Alfa Romeo....31
2.32 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบจุดระเบิดแบบหัวเทียนคู่กับหัวเทียนเดียว....32
2.33 หัวเทียนทองคำขาวแบบ 2 เขี้ยว....33
3.1 แสดงโครงสร้างภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877....35
3.2 แสดงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877....36
3.3 แสดงการจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำ....37
3.4 แสดงบิตของพอร์ต A....38
3.5 แสดงบิตของพอร์ต C....39
3.6 แสดงบิตของการเลือกอินเตอร์รัปต์....39
4.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบจุดระเบิดแบบคอยล์คู่หัวเทียนคู่....41
4.2 วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์แบบปรับค่า Duty Cycle ได้....42
4.3 วงจรเรกกูเลเตอร์แบบสวิชชิ่ง....43
4.4 ส่วนของ CPU และการต่อพอร์ตต่างๆ....44
5.1 การทดลองจุดระเบิดเปรียบเทียบค่า T_{on}....46
5.2 การทดลองจุดระเบิดที่ความเร็วรอบ 1,000 rpm....47
5.3 การทดลองจุดระเบิดที่ความเร็วรอบ 2,000 rpm....48
5.4 การทดลองจุดระเบิดที่ความเร็วรอบ 4,000 rpm....49
5.5 การทดลองจุดระเบิดที่ความเร็วรอบ 6,000 rpm....50
5.6 การทดลองจุดระเบิดที่ความเร็วรอบ 8,000 rpm....51
ก. Schematic ของวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์....55
ข. PCB ของวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์....55
ค. Schematic ของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์....56
ง. PCB ของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์....57

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของการทำโครงงานวิจัย

มลภาวะทางอากาศเป็นปัญหาสำคัญปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นในเขตเมืองทั่วทุกมุมโลก หลายประเทศได้มีการออกกฎหมายหรือนโยบายควบคุมการปล่อยมลพิษทางอากาศ อันเนื่องจากผลกระทบด้านสุขภาพอนามัยไม่ว่าจะเป็นด้านกลิ่น ความรำคาญ ตลอดจนผลกระทบต่อสุขภาพที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจ ระบบหัวใจและปอด กรุงเทพมหานครและเมืองใหญ่ในประเทศไทยก็เป็นเมืองซึ่งมีการปล่อยมลพิษสู่อากาศเป็นปริมาณมาก ดังนั้นการติดตามเฝ้าระวังปริมาณมลพิษในบรรยากาศจึงเป็นภารกิจหนึ่งที่มีความสำคัญ กรมควบคุมมลพิษเป็นหน่วยงานที่ทำการตรวจวัดคุณภาพอากาศมาอย่างต่อเนื่อง โดยทำการตรวจวัดมลพิษทางอากาศที่สำคัญได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก สารตะกั่ว ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ และก๊าซโอโซน

การปล่อยไอเสียจากรถยนต์เป็นหนึ่งในสาเหตุหลักของการเกิดมลพิษทางอากาศ ดังนั้นการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์จึงมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการลดปริมาณมลพิษ ซึ่งการที่เครื่องยนต์จะเกิดการสันดาปได้อย่างสมบูรณ์นั้นประกอบไปด้วยหลายปัจจัย หนึ่งในนั้นก็คือการใช้ระบบจุดระเบิดแบบคอยล์คู่หรือหัวเทียนคู่ในการจุดระเบิดอย่างพร้อมเพรียงกัน และการเพิ่มจำนวนครั้งของการจุดระเบิดของหัวเทียนต่อหนึ่งรอบการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ ซึ่งจะช่วยให้เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงในกระบอกสูบที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น นำไปสู่การลดการปล่อยมลพิษ และลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิง นอกจากนั้นยังช่วยให้เครื่องยนต์มีความทนทาน มีประสิทธิภาพ และเสถียรภาพมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานการวิจัย

วัตถุประสงค์หลัก คือ การสร้างแบบจำลองการจุดระเบิดแบบคอยล์คู่หัวเทียนคู่ และเปรียบเทียบการจุดระเบิดด้วยสัญญาณจุดระเบิดที่แตกต่างกัน เพื่อเป็นต้นแบบในการปรับปรุงระบบจุดระเบิดเครื่องยนต์ให้มีเสถียรภาพและประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น และมีการสันดาปที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ซึ่งจะเป็นการช่วยลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงและลดการปล่อยมลพิษทางอากาศ

1.3 องค์ประกอบของโครงงานวิจัย

โครงงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย 3 ส่วนที่สำคัญ คือ ส่วนสร้างสัญญาณทริกเกอร์ ส่วนรับสัญญาณและประมวลผล และส่วนการจุดระเบิด ซึ่งแต่ละส่วนจะมีหน้าที่สำคัญ ดังนี้

1. ส่วนสร้างสัญญาณทริกเกอร์ ทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์ส่งไปกระตุ้นให้ส่วนประมวลผลหรือวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการสร้างสัญญาณจุดระเบิด โดยส่วนสร้างสัญญาณทริกเกอร์ในที่นี้คือวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ที่ใช้ไอซี 555 เป็นอุปกรณ์ในการสร้างสัญญาณ ซึ่งวงจรนี้จะจำลองสัญญาณทริกเกอร์จากกล่อง ECU ของเครื่องยนต์ และสามารถปรับค่าสัญญาณทริกเกอร์ได้ในช่วงความเร็วรอบเครื่องประมาณ 500 ถึง 10,000 รอบต่อนาที

2. ส่วนรับสัญญาณและประมวลผล ทำหน้าที่รับสัญญาณกระตุ้นจากวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ แล้วทำการสร้างสัญญาณจุดระเบิดเพื่อส่งให้คอยล์ทั้งสองใช้สำหรับการจุดระเบิดหัวเทียนแต่ละหัวตามคำสั่งของโปรแกรม โดยวงจรนี้จะใช้ PIC16F877 ในการประมวลผล ซึ่งจะทำงานร่วมกับคีย์บอร์ดและ LCD เพื่อให้สามารถป้อนข้อมูลสำหรับกำหนดรูปแบบของสัญญาณจุดระเบิดพร้อมกับแสดงข้อมูลที่ป้อนเข้าไปได้ โดยสัญญาณจุดระเบิดที่สร้างจากส่วนประมวลผลจะมี 2 แบบ ซึ่งจะแตกต่างกันตรงที่จำนวนลูกของพัลส์จุดระเบิด สัญญาณแต่ละแบบสามารถโปรแกรมให้มีความกว้างพัลส์จุดระเบิดหรือ T_{on} ได้

3. ส่วนการจุดระเบิด ทำหน้าที่รับสัญญาณพัลส์จุดระเบิดทั้งสองแบบจากส่วนประมวลผลหรือวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วส่งสัญญาณพัลส์จุดระเบิดแต่ละแบบต่อไปให้กับคอยล์แต่ละตัวทำการจุดระเบิดหัวเทียนทั้งสองพร้อมกัน ซึ่งส่วนการจุดระเบิดนี้ประกอบด้วยคอยล์และหัวเทียนอย่างละ 2 ตัว และวงจรขับกระแสของคอยล์แต่ละตัวด้วย

1.4 ขอบเขตของโครงงานวิจัย

โครงงานนี้เป็นการสร้างแบบจำลองการจุดระเบิดของเครื่องยนต์โดยใช้คอยล์คู่และหัวเทียนคู่ รวมทั้งการทดลองป้อนสัญญาณจุดระเบิดที่แตกต่างกันเพื่อหาสัญญาณจุดระเบิดที่ดีที่สุด ทั้งนี้ก็เพื่อเป็นต้นแบบในการศึกษาและพัฒนาระบบจุดระเบิดเครื่องยนต์ให้มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และเป็นการเพิ่มเสถียรภาพและประสิทธิภาพเชิงเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์ ซึ่งแบบจำลองการจุดระเบิดจะมีส่วนที่สำคัญที่ใช้ในการจุดระเบิด 3 ส่วน คือ ส่วนสร้างสัญญาณทริกเกอร์ ส่วนรับสัญญาณและประมวลผล และส่วนการจุดระเบิด

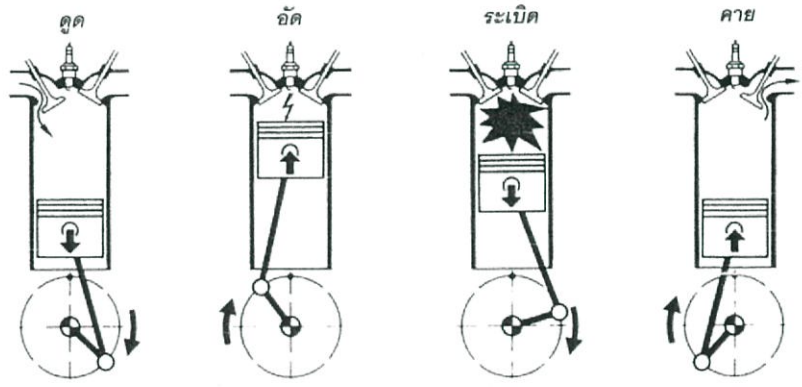
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถสร้างแบบจำลองการจุดระเบิดได้จริง และทดลองหารูปแบบของสัญญาณจุดระเบิดที่ดีที่สุดได้ เพื่อเป็นต้นแบบในการนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบการจุดระเบิดหัวเทียนในเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ทำให้เครื่องยนต์แก๊สโซลีนมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้น ซึ่งเป็นการช่วยลดมลพิษและใช้เชื้อเพลิงได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

บทที่ 2
หลักการพื้นฐานเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

2.1 หลักการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ

เครื่องยนต์ 4 จังหวะจะมีลักษณะในการทำงานดังต่อไปนี้คือ ใน 1 รอบหรือ 1 วัฏจักรของการทำงาน ลูกสูบจะต้องเคลื่อนที่ขึ้น-ลง 4 ครั้ง คือเคลื่อนที่ขึ้น 2 ครั้ง เคลื่อนที่ลง 2 ครั้ง หรือกล่าวได้ว่าเพลาข้อเหวี่ยงหมุน 2 รอบ จะได้งาน 1 ครั้ง จังหวะการทำงานจะหมุนเวียนกันอยู่เช่นนี้ตลอดไปจนกว่าเครื่องยนต์จะหยุดทำงาน เครื่องยนต์โซลีน 4 จังหวะ ดังรูปที่ 3.1 จะมีจังหวะในการทำงานดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ

จังหวะที่ 1 จังหวะดูด (intake stroke) ลูกสูบจะเคลื่อนที่จากศูนย์ตายบน (TDC) ลงสู่ศูนย์ตายล่าง (BDC) ลิ้นไอดีเปิด ส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงจะถูกดูดเข้ามาบรรจุอยู่ภายในกระบอกสูบโดยผ่านทางลิ้นไอดี จังหวะนี้จะมีติดต่อกันไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งลูกสูบเคลื่อนที่ลงถึงศูนย์ตายล่างจึงจะหมดจังหวะดูด ขณะนี้ส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงจะถูกดูดเข้ามาบรรจุอยู่เต็มภายในกระบอกสูบ

จังหวะที่ 2 จังหวะอัด (compression stroke) จังหวะนี้จะต่อเนื่องมาจากจังหวะดูดคือ เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงถึงศูนย์ตายล่างแล้ว จะเริ่มเคลื่อนที่ขึ้นสู่ศูนย์ตายบน ขณะนี้ทั้งลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียจะปิดสนิท ส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงภายในกระบอกสูบจะถูกอัดตัวขึ้นไปเรื่อย ๆ ตามการเคลื่อนตัวของลูกสูบ จังหวะนี้จะสิ้นสุดลงก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นถึงศูนย์ตายบนเพียงเล็กน้อย

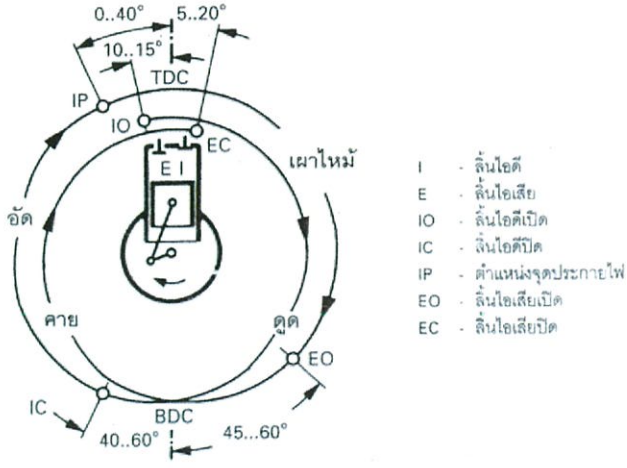
จังหวะที่ 3 จังหวะระเบิด (expansion stroke) จังหวะนี้บางทีเรียกว่าจังหวะกำลัง (power stroke) จังหวะนี้จะเกิดขึ้นในตอนปลายจังหวะอัดโดยส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงจะถูกจุดด้วยประกายไฟจากหัวเทียน จึงทำให้เกิดการเผาไหม้และการระเบิดอย่างรุนแรงผลักดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลง เราจะได้งานกำลังจังหวะนี้

จังหวะที่ 4 จังหวะคาย (exhaust stroke) หลังจากถูกสูบเคลื่อนที่ลงอันเนื่องมาจากแรงระเบิดจนถึงศูนย์ตายล่างแล้ว ลิ้นไอเสียจะเปิดปล่อยให้ไอเสียอันเกิดจากการเผาไหม้ออกไปจากกระบอกสูบ และจะยังคงเปิดอยู่จนกระทั่งลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้น ซึ่งการเคลื่อนที่ขึ้นของลูกสูบในจังหวะนี้จะเป็นการช่วยในการขับไล่ไอเสียออกอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นจึงเวียนเข้าหาจังหวะดูดอีก และจะเป็นเช่นนี้ตลอดเวลาที่เครื่องยนต์ทำงาน

ตามที่กล่าวมาแล้วจะเห็นได้อย่างชัดเจนแล้วว่า เครื่องยนต์จะทำงานด้วยจังหวะดูด-อัด-ระเบิด-คาย หมุนเวียนกันอยู่เช่นนี้ตลอดไป

2.1.1 ไดอะแกรมจังหวะการทำงานของลิ้น

ไดอะแกรมจังหวะการทำงานของลิ้น ไม่ว่าจะเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนหรือเครื่องยนต์ดีเซลก็ตาม จะเป็นเครื่องแสดงถึงตำแหน่งหรือองศาในการเปิด-ปิดของลิ้น ที่สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของลูกสูบของเครื่องยนต์ ซึ่งจะแตกต่างกันออกไปตามการออกแบบเครื่องยนต์ที่ไม่เหมือนกัน แต่อย่างไรก็ตามวัตถุประสงค์หลักที่สำคัญก็คือ ต้องการให้การบรรจุไอดีเข้าสู่กระบอกสูบ การจัดเวลาในการจุดเชื้อระเบิด หรือการฉีดเชื้อเพลิง และการขับไล่ไอเสียให้ออกไปจากกระบอกสูบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้เครื่องยนต์มีสมรรถนะในการทำงานสูงสุดตามต้องการ ไดอะแกรมจังหวะการทำงานของลิ้นสำหรับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ไดอะแกรมแสดงจังหวะการทำงานของลิ้นสำหรับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ

จากการศึกษาไดอะแกรมพบว่า จังหวะการทำงานของลิ้นในทางปฏิบัติจะมีความแตกต่างไปจากทางทฤษฎีมาก เช่น ในเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ จะพบว่าทั้งลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียจะเปิดก่อนและปิดหลังตำแหน่งการเปิด-ปิดของลิ้นในทางทฤษฎี ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากเหตุผลหลายประการ เช่น ความล่าช้าในการเคลื่อนตัวของลิ้น และกลไกประกอบลิ้น รูปร่างของลูกเบี้ยว ความเร็วของเครื่องยนต์และความเฉื่อยของแก๊สไอดีเป็นต้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องจัดจังหวะการทำงานของลิ้นในทางปฏิบัติให้แตกต่างกันออกไป เพื่อช่วยบรรเทาปัญหาดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

2.2 ระบบจุดระเบิด

ระบบจุดระเบิดเครื่องยนต์ เป็นระบบที่ทำให้เกิดประกายไฟที่หัวเทียนเพื่อจุดเชื้อระเบิดภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ทำให้เกิดกำลังงาน ดังนั้น เพื่อที่จะบรรลุหน้าที่ดังกล่าวนี้ได้อย่างสมบูรณ์ ระบบจุดระเบิดจะต้องทำหน้าที่ดังต่อไปนี้ คือ

1. เพิ่มแรงดันไฟจาก 6 หรือ 12 โวลต์ ให้เป็นไฟแรงสูงประมาณ 15,000 ถึง 40,000 โวลต์หรือสูงกว่า

2. จัดเวลาในการจุดระเบิดด้วยการจัดส่งไฟแรงสูงไปให้กับหัวเทียนในเวลาอันถูกต้องระบบจุดระเบิดที่นิยมใช้กับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน โดยทั่วไปจำแนกออกได้เป็น 2 แบบ คือ

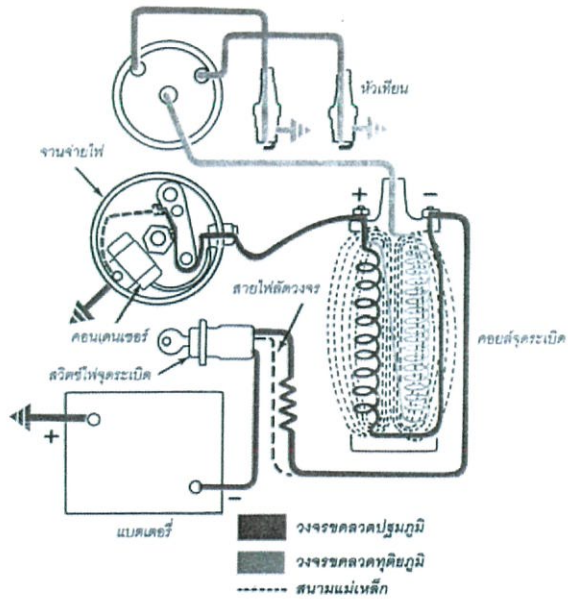
1. ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา
2. ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์

2.3 ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา

ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาดังรูปที่ 2.3 เป็นระบบจุดระเบิดที่ใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟที่จะจัดส่งไฟแรงต่ำ 6 หรือ 12 โวลต์ ให้กับวงจรขดลวดปฐมภูมิของระบบ เพื่อทำให้เกิดไฟแรงสูงประมาณ 15,000 ถึง 25,000 โวลต์ ส่งไปยังหัวเทียน เพื่อจุดเชื้อระเบิดภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ให้เกิดการเผาไหม้ต่อไป

ส่วนประกอบขั้นพื้นฐานของระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา ประกอบด้วย

1. แบตเตอรี่ 2. สวิตช์ไฟจุดระเบิด
3. จานจ่าย 4. คอยล์จุดระเบิต
5. สายไฟแรงสูง 6. หัวเทียน



รูปที่ 2.3 ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาที่ใช้คอยล์จุดระเบิดแบบมีความต้านทานภายนอก

2.3.1 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาเก็บไว้ในรูปของพลังงานเคมี เมื่อเราต่อสายออกใช้งานเมื่อใด พลังงานเคมีก็จะแปรรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้อีก แบตเตอรี่เป็นหัวใจของระบบไฟฟ้า เนื่องจากจะต้องจ่ายกระแสไฟให้กับระบบจุดระเบิดและมอเตอร์สตาร์ต (สำหรับระบบสตาร์ตติดเครื่องด้วยกระแสไฟฟ้า) เมื่อต้องการสตาร์ตติดเครื่อง ดังนั้น แบตเตอรี่จึงเป็นตัวยืนในวงจรไฟฟ้า เพื่อให้มีแรงเคลื่อนไว้ใช้ในวงจรอยู่เสมอ

2.3.2 สวิตช์ไฟจุดระเบิด

สวิตช์ไฟจุดระเบิด หรือที่นิยมเรียกกันโดยทั่วไปว่าสวิตช์สตาร์ต จะทำหน้าที่ตัดต่อระหว่างแบตเตอรี่กับวงจรขดลวดปฐมภูมิของระบบจุดระเบิด ดังนั้น ถ้าปิดสวิตช์จุดระเบิด ก็จะไม่มีกระแสไหลในวงจรปฐมภูมิเลย สวิตช์จุดระเบิดจึงต้องเปิดอยู่ตลอดเวลาในขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน

สวิตช์ไฟจุดระเบิดหรือสวิตช์สตาร์ตในปัจจุบัน นอกจากจะทำหน้าที่ในการตัด-ต่อระหว่างแบตเตอรี่กับวงจรขดลวดปฐมภูมิของระบบจุดระเบิดและสตาร์ติดเครื่องแล้ว สวิตช์ตัวนี้ยังทำหน้าที่ในการล็อกหรือปลดล็อกพวงมาลัยของรถ เชื่อมต่อวงจรสัญญาณเตือนที่เป็นเสียงหรือสัญญาณไฟขณะที่จะสตาร์ตติดเครื่องเมื่อยังไม่ปิดประตูรถหรือเมื่อไม่คาดเข็มขัดนิรภัย ในรถยนต์หลายยี่ห้อปั๊มเชื้อเพลิงแบบไฟฟ้าจะต่อเข้ากับแบตเตอรี่โดยผ่านทางสวิตช์สตาร์ต อุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่าง ๆ อาทิ วิทยุเทป วีซีดี ฯลฯ ล้วนรับกำลังงานจากแบตเตอรี่ผ่านทางสวิตช์ไฟจุดระเบิดหรือสวิตช์สตาร์ตแทบทั้งสิ้น

2.3.3 จานจ่าย

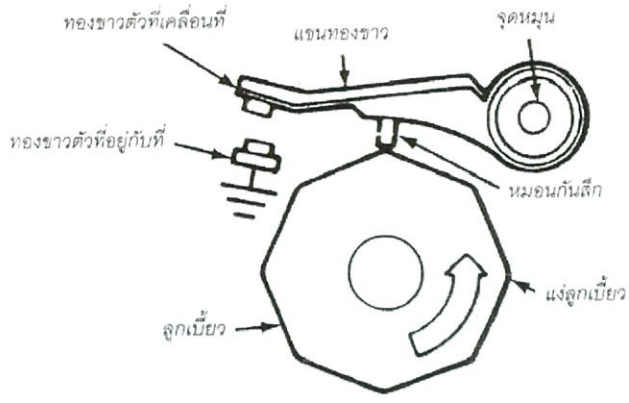
จานจ่ายจะติดตั้งอยู่ที่เครื่องยนต์ ทำหน้าที่ให้หน้าทองขาวเป็นสวิตช์ปิดเปิดของวงจรปฐมภูมิ เมื่อหน้าทองขาวปิดกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านคอยล์จุดระเบิดและเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นภายในคอยล์ เมื่อหน้าทองขาวเปิดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไปยังคอยล์จะถูกตัดวงจร และสนามแม่เหล็กที่แกนเหล็กอ่อนก็จะยุบตัว ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำเกิดแรงเคลื่อนไฟแรงสูง จานจ่ายจะจ่ายแรงเคลื่อนไฟแรงสูงจากคอยล์ไปยังกระบอกสูบตามจังหวะการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ในเวลาที่เหมาะสมเพื่อจุดระเบิดส่วนผสมของไอดีภายในกระบอกสูบ

จานจ่ายจะประกอบด้วยฝาครอบจานจ่าย,โรเตอร์, ชุดหน้าทองขาว, คอนเดนเซอร์, ชุดกลไกจุดระเบิดล่วงหน้าแบบสุญญากาศ และชุดกลไกจุดระเบิดล่วงหน้าแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์

2.3.3.1 ทองขาว

ทองขาว ดังรูปที่ 2.4 จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์ที่ใช้ในการตัด-ต่อวงจรไฟแรงต่ำ เพื่อให้เกิดไฟแรงสูงภายในคอยล์ ในทองขาว 1 ชุดจะประกอบด้วยทองขาว 2 ตัว คือ ตัวที่อยู่กับที่ (stationary point) กับตัวเคลื่อนที่ (moving point) โดยทั่วไปตัวเคลื่อนที่จะติดตั้งอยู่บนจุดหมุนซึ่งอยู่บนตัวที่อยู่กับที่ และที่แขนของทองขาวตัวนี้จะมีหมอนกันสึก ซึ่งทำจากไนลอน หรือเบเคไลท์ ติดอยู่

เพื่อให้ลูกเบี้ยวมาดันให้หน้าทองขาวเปิดได้ตามต้องการ หน้าทองขาวทั้งสองตัวนี้จะต้องอยู่ในแนวเดียวกัน สำหรับวัสดุที่นิยมนำมาใช้ในการทำหน้าทองขาวส่วนใหญ่ได้แก่ ทังสเตน เนื่องจากสามารถทนต่อความร้อนได้สูง

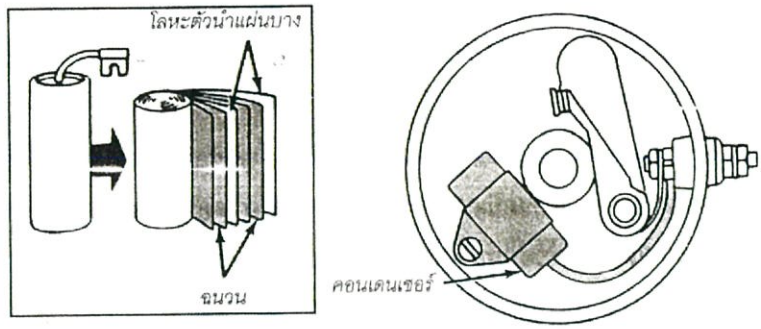


รูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของทองขาว

ช่องว่างระหว่างหน้าทองขาวนี้จะต้องได้รับการปรับตั้งอย่างถูกต้องตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตเครื่องยนต์ เนื่องจากช่องว่างดังกล่าวจะเป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการสร้างสนามแม่เหล็กของคอยล์และปรับจังหวะในการจุดระเบิดด้วย ดังนั้น จึงจำเป็นจะต้องจัดตั้งอย่างถูกต้องและเที่ยวตรง สำหรับการเปิด-ปิดของหน้าทองขาวในขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน โดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 800 ถึง 4,500 ครั้งต่อนาทีหรือมากกว่า ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เป็นสำคัญ

2.3.3.2 คอนเดนเซอร์

คอนเดนเซอร์หรือบางทีเรียกว่า คาปาซิเตอร์ จะทำหน้าที่ป้องกันการอาร์กที่หน้าของทองขาว นอกจากนี้ยังสามารถช่วยทำให้การเกิดไฟแรงสูงของคอยล์ดีขึ้น จากลักษณะการสร้างทำให้คอนเดนเซอร์สามารถใช้เป็นที่สำหรับเก็บกระแสไฟที่พยายามจะไหลผ่านหน้าทองขาวในขณะที่หน้าทองขาวเริ่มเปิดมาเก็บไว้เป็นการชั่วคราว จึงสามารถช่วยลดการอาร์กที่เป็นสาเหตุทำให้หน้าทองขาวไหม้ลงได้ นอกจากนั้นการที่สามารถทำให้กระแสในวงจรขดลวดปฐมภูมิภายในคอยล์หยุดไหลอย่างรวดเร็วนั้น ยังมีผลทำให้การเกิดไฟแรงสูงภายในคอยล์ดีขึ้นอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจากประสิทธิภาพของการเกิดไฟแรงสูงส่วนหนึ่งจะขึ้นอยู่กับความเร็วในการยุบตัวของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวดปฐมภูมตัดกับขดลวดทุติยภูมินั่นเอง

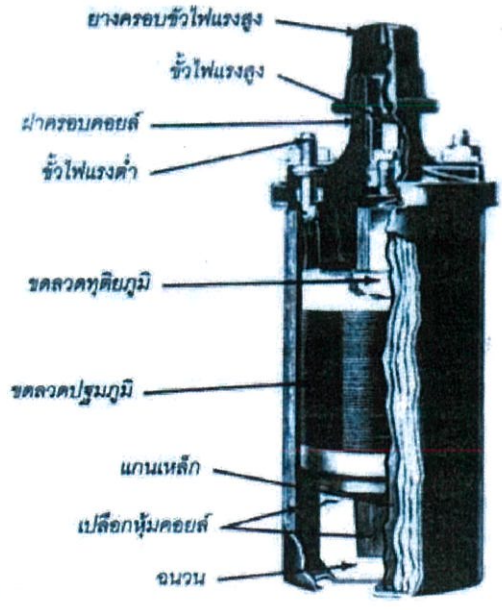


รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของคอนเดนเซอร์

2.3.4 คอยล์จุดระเบิด

คอยล์จุดระเบิดจะทำหน้าที่แปลงไฟแรงต่ำให้เป็นไฟแรงสูงเพื่อจัดส่งให้กับหัวเทียน คอยล์จุดระเบิด ดังรูปที่ 2.6 จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนด้วยกัน คือ ขดลวดปฐมภูมิ, ขดลวดทุติยภูมิ และขั้วไฟแรงสูง

ขดลวดปฐมภูมิ จะประกอบด้วยลวดเส้นใหญ่ (ปกติจะใช้ลวดเกจ 18 พันประมาณ 200 รอบ) พันทับอยู่บนขดลวดทุติยภูมิ ขดลวดนี้จะอยู่ในวงจรไฟแรงต่ำ โดนที่ปลายด้านหนึ่งจะต่ออยู่กับขั้วบวก (+) ขณะที่ปลายอีกด้านหนึ่งจะต่ออยู่กับขั้วด้านลบ (-) สำหรับขดลวดทุติยภูมิจะประกอบด้วยลวดเส้นเล็กพันอยู่บนแกนเหล็กอ่อนของอาร์มาเจอร์หลายพันรอบ ขดลวดชุดนี้จะเป็นขดลวดที่อยู่ในวงจรไฟแรงสูงโดยที่ปลายด้านหนึ่งจะต่อเข้ากับขั้วไฟแรงสูง ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะต่อร่วนกับปลายด้านหนึ่งของขดลวดปฐมภูมิทางขั้วบวก (+)



รูปที่ 2.6 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของคอยล์จุดระเบิด

2.3.4.1 คอยล์จุดระเบิดแบบมีความต้านทานภายนอก

คอยล์จุดระเบิดแบบธรรมดา จะทำงานได้ดีเมื่อเครื่องยนต์เดินด้วยความเร็วเดินเบา หรือความเร็วต่ำ เนื่องจากระยะเวลาที่หน้าทองขาวสัมผัสกันนานพอที่จะทำให้กระแสไฟไหลเข้าสู่ขดลวดปฐมภูมิได้มาก จึงไม่มีปัญหาต่อการเกิดไฟแรงสูงในคอยล์ แต่เมื่อเครื่องยนต์มีความเร็วสูงขึ้น ระยะเวลาที่หน้าทองขาวสัมผัสกันจะสั้นลง จึงเป็นผลทำให้กระแสไฟที่ไหลเข้าสู่ขดลวดปฐมภูมิมีปริมาณลดลง การเกิดไฟแรงสูงในคอยล์จึงลดตามลงไปด้วย จึงทำให้ประสิทธิภาพในการจุดระเบิดและประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องยนต์เดินด้วยความเร็วต่ำ ความเร็วปานกลางและความเร็วสูง จึงได้มีการออกแบบให้ขดลวดปฐมภูมิของคอยล์มีขนาดโตขึ้นและจำนวนรอบลดลง ซึ่งมีผลทำให้ความต้านทานในวงจรของขดลวดปฐมภูมิมีค่าลดลง และกระแสไฟจะไหลเข้าสู่ขดลวดได้มากขึ้นแม้ในขณะที่เครื่องยนต์เดินด้วยความเร็วรอบสูง จึงไม่มีปัญหาในเรื่องการเกิดไฟแรงสูงในขณะที่เครื่องยนต์เดินด้วยความเร็วรอบสูง เพราะกระแสไฟจะไหลเข้าสู่วงจรขดลวดปฐมภูมิได้มาก และขดลวดจะอิ่มตัวได้เร็วในระยะเวลาอันสั้น แต่จะมีปัญหาขณะที่เครื่องยนต์เดินด้วยความเร็วต่ำ เพราะจะทำให้คอยล์ร้อนและหน้าทองขาวไหม้ ดังนั้นจึงมีการใส่ตัวต้านทานเข้าไปในวงจรขดลวดปฐมภูมิ เพื่อควบคุมกระแสที่ไหลเข้าสู่ขดลวดมิให้มากจนเกินไปในขณะเครื่องยนต์เดินด้วยความเร็วต่ำ จึงสามารถป้องกันมิให้คอยล์ร้อนและหน้าทองขาวไหม้ได้ จึงเป็นผลทำให้คอยล์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในทุกๆ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ตัวต้านทานที่ใส่เข้าไปนี้จะอยู่นอกคอยล์ จึงเรียกคอยล์ชนิดนี้ว่า คอยล์จุดระเบิดแบบมีความต้านทานภายนอก คอยล์แบบนี้นิยมใช้กันมากกับเครื่องยนต์รอบสูงที่ใช้ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาในปัจจุบัน

อย่างไรก็ตามปัญหาประการหนึ่งของการใช้คอยล์แบบนี้ก็คือ เครื่องยนต์จะสตาร์ทติดเครื่องได้ยาก เนื่องจากในขณะทำการสตาร์ทติดเครื่องมอเตอร์สตาร์ตจะดึงกระแสไฟไปจำนวนมาก ทำให้แรงดันที่เหลือจะผลักดันกระแสไฟให้ผ่านตัวต้านทานเข้าสู่ขดลวดปฐมภูมิต่ำ (ประมาณ 5-8 โวลต์) ไม่เพียงพอต่อการสร้างไฟแรงสูงในคอยล์ ดังนั้น เพื่อที่จะแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว จึงมีการทำให้เกิดการลัดวงจรเกิดขึ้นในขณะที่ทำการสตาร์ทติดเครื่อง และทำให้กระแสไฟไหลผ่านตัวสตาร์ทของสวิตช์สตาร์ทเข้าสู่ขดลวดปฐมภูมิของคอยล์โดยตรงไม่ผ่านตัวต้านทาน และหลังจากเครื่องยนต์สตาร์ทติดแล้ว เมื่อสวิตช์สตาร์ทคืนสู่ตำแหน่งเดินเครื่อง ตามปกติ ก็จัดให้กระแสที่ไหลเข้าสู่ขดลวดปฐมภูมิ ให้ไหลผ่านตัวต้านทานได้ตามปกติ

2.3.5 สายไฟแรงสูง

สายไฟแรงสูง ดังรูปที่ 2.7 จะทำหน้าที่ลำเลียงกระแสไฟแรงสูงจากคอยล์จุดระเบิดไปให้กับหัวเทียน ทำให้เกิดประกายไฟจุดเชื้อระเบิดภายในห้องเผ้าไหม้ต่อไป สายไฟหัวเทียนจะต้องมีฉนวนหุ้มหนาเพื่อสามารถป้องกันไฟแรงสูงรั่วลงสู่ดิน นอกจากนั้นยังต้องสามารถทนต่อน้ำมันความสั่นสะเทือน ความร้อนหรือวัสดุที่แหลมคมได้เป็นอย่างดี

สายไฟแรงสูงนี้ ได้แก่ สายไฟที่ต่อระหว่างขั้วไฟแรงสูงของคอยล์กับขั้วไฟแรงสูงขั้วกลางที่ฝาจานจ่ายไฟกับสายไฟที่ต่อระหว่างขั้วไฟแรงสูงที่อยู่โดยรอบขั้วกลางของฝาจานจ่ายไฟกับหัวเทียน สายไฟแรงสูงในปัจจุบันได้รับการพัฒนาให้มีคุณสมบัติดีขึ้นกว่าเดิมมาก เนื่องจากระบบจุดระเบิดที่ใช้

ในปัจจุบันเป็นแบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสามารถผลิตไฟแรงสูงได้สูงกว่าระบบจุดระเบดแบบเดิมที่ใช้ทองขาวมาก ดังนั้น สายไฟแรงสูงที่ใช้ในปัจจุบัน จึงต้องหุ้มด้วยฉนวนที่ทำมาจากวัสดุชรนิดต่างๆ หลายชั้นแทนการหุ้มด้วนฉนวนเพียงชั้นเดียวเหมือนกับแบบเดิม นอกจากนั้นตัวนำไฟฟ้าก็ได้รับการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยเปลี่ยนจากการใช้ลวดตัวนำเพียงเส้นเดียวไปใช้เส้นลินินชุบคาร์บอนหลายเส้น ลักษณะโครงสร้างของสายไฟแรงสูงทั้ง 2 แบบดูได้จากรูปที่แสดง และเนื่องจากสายไฟแรงสูงแบบใหม่ต้องหุ้มด้วยฉนวนหลายชั้นจึงมีขนาดโตกว่าแบบเดิม โดยที่แบบนี้จะทีขนาดโตถึง 0.315 นิ้ว (8มม.) ขณะที่แบบเดิมจะมีขนาดโตเพียง 0.276 นิ้ว (7มม.) เท่านั้น

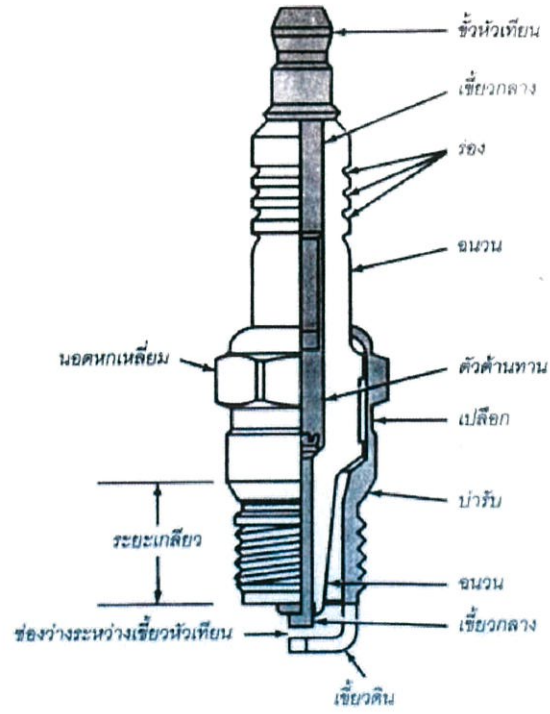
รูปที่ 2.7 เปรียบเทียบสายไฟแรงสูงที่ใช้กันในปัจจุบันกับในอดีต

2.3.6 หัวเทียน

หัวเทียน ดังรูปที่ 2.8 เป็นส่วนประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งของระบบจุดระเบิดใช้ทำหน้าที่จุดส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ การใช้หัวเทียนที่ถูกต้องจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องยนต์ได้อย่างมหาศาล ทำให้เกิดการประหยัดเชื้อเพลิงและยืดอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ได้อีกด้วย

หัวเทียนจะประกอบด้วย ตัวนำไฟฟ้า 2 ตัวที่เรียกว่า เขี้ยวหัวเทียน (electrode) เขี้ยวกลาง (center electrode) ของหัวเทียนมาตรฐานที่ใช้กันโดยทั่วไปในปัจจุบัน ส่วนใหญ่จำทำจากโลหะผสมนิกเกิลกับโครเมียม แมงกานีส และซิลิคอน สำหรับหัวเทียนแบบพิเศษเขี้ยวกลางจำมีทั้งชนิดที่ทำด้วย เงิน(silver) และทองคำขาว(platinum) เขี้ยวกลางที่ทำจากโลหะทั้งสองชนิดนี้จะมีคุณสมบัติในการนำความร้อนและมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนได้มากกว่าแบบแรกมาก เขี้ยวกลางจะหุ้มด้วยฉนวน ซึ่งส่วนใหญ่จะทำจากกระเบื้องชนิดทนความร้อนสูง จากนั้นเปลือกนอก (outer shell)

จะหุ้มห่อด้วยฉนวนอีกชั้นหนึ่ง ระหว่างฉนวนกับเปลือกนอกจะถูกคั่วไว้ด้วยปะเก็น (gasket) เพื่อป้องกันแก๊สรั่ว และเพื่อใช้เป็นแนวทางในการระบายความร้อนจากเขี้ยวของหัวเทียนไปสู่ระบบระบายความร้อน หัวเทียนบางแบบไม่ใช้ปะเก็นดังนั้น ระหว่างเขี้ยวกับฉนวนและระหว่างฉนวนกับเปลืองจากจะถูกทำให้ติดแน่นด้วยกาว เปลือกนอกของหัวเทียนจะทำด้วยโลหะ

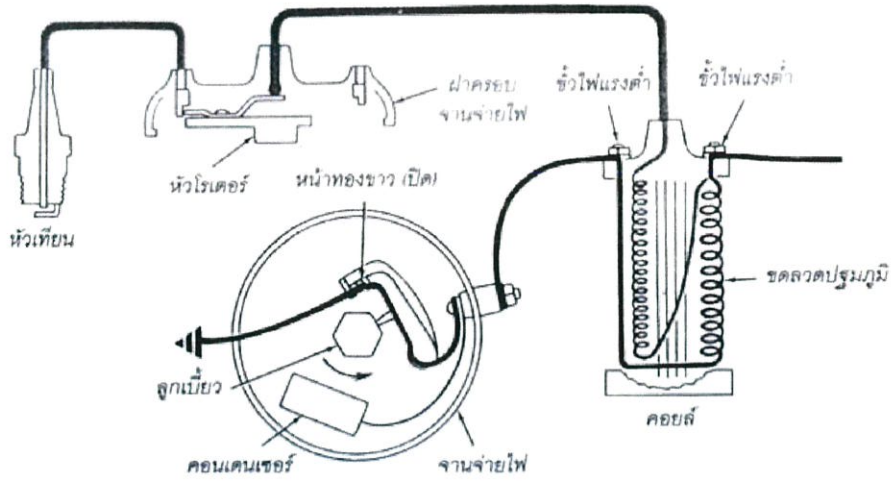


รูปที่ 2.8 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของหัวเทียน

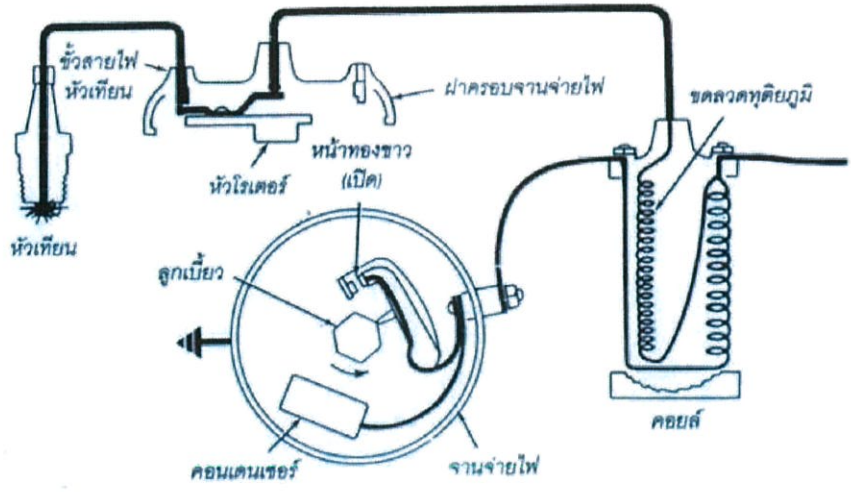
ส่วนบนของหัวเทียนจะทำเป็นนอตหัวหกเหลี่ยมสำหรับใช้กับปกแจขัน ส่วยล่างจำทำเป็นเกลียวสำหรับขันเข้าไปในรูปหัวเทียนที่ฝาสูบของเครื่องยนต์ เขี้ยวดิน (ground electrode) จะต่อยื่นออกจากเปลือกส่วนล่างและโค้งเข้าหาเขี้ยวกลางโดยมีช่องว่างระหว่างกัน เขี้ยวดินส่วนใหญ่จะทำจากโลหะผสมนิกเกิลกับโครเมียม ปลายด้านบนของเขี้ยวกลางจะต่อเข้ากับสกรู ที่ขันเกลียวเข้ากับส่วนบนของฉนวนปลายขั้วด้านนี้จะต่อเข้ากับสายไฟแรงสูงของระบบจุดระเบิด

2.3.7 การทำงานของระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา

ก่อนการสตาร์ทติดเครื่องยนต์ หน้าทองขาวจะอยู่ในตำแหน่งเปิดหรือปิดนั้นจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของลูกเบี้ยวที่กระทำต่อทองขาวในขณะนั้น ถ้าหน้าทองขาวเปิดอยู่ก็จะปิดทันทีเมื่อเครื่องยนต์หมุน เมื่อหน้าทองขาวปิด กระแสไฟจากแบตเตอรี่ก็จะไหลผ่านสวิตช์ไฟจุดระเบิดเข้าไปในขดลวดปฐมภูมิของคอยล์ผ่านหน้าทองขาวลงดินครบวงจร จึงทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบ ๆ ขดลวดปฐมภูมิ ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงการทำงานของระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาขณะหน้าทองขาวปิด



รูปที่ 2.10 แสดงการทำงานของระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาขณะหน้าทองขาวเปิด

เมื่อเครื่องยนต์หมุนต่อไป ลูกเบี้ยวก็จะดันหน้าทองขาวให้แยกออกจากัน วงจรขดลวดปฐมภูมิจะขาดตอนลงทันที ทำให้กระแสไฟในวงจรนี้หยุดไหล ดังนั้น สนามแม่เหล็กที่เกินขึ้นรอบๆ ขดลวด ปฐมภูมิก็จะยุบตัวลงตัดกับขดลวดทุติยภูมิ แต่เนื่องจากขดลวดทุติยภูมิ เป็นลวดเส้นเล็กพันมากรอบดังนั้น แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นภายในขดลวดขุดนี้จึงสูงมาก โดยทั่วไปจะสูงประมาณ 15,000 ถึง 25,000 โวลต์ เป็นผลทำให้หัวเทียนเกิดประกายไฟจุดเชื้อระเบิดภายในกระบอกสูบ ทำให้เกิดการเผาไหม้ดังรูปที่ 2.10

ในจังหวะที่หน้าทองขาวแยกออกจากันนี้ กระแสไฟในวงจรขดลวดปฐมภูมิที่เคยไหลผ่านหน้าทองขาวลงดิน ก็จะไหลเข้าประจุในคอนเดนเซอร์ที่ต่อขนานอยู่ จึงทำให้สามารถป้องกันการอาร์คที่หน้าทองขาว อันเกิดจากการที่กระแสไฟพยายามจะไหลผ่านหน้าทองขาวในจังหวะที่หน้ามองขาวเริ่ม

แยกออกจากกันได้ นอกจากนั้นยังทำให้กระแสไฟในวงจรขดลวดปฐมภูมิหยุดไหลได้เร็วยิ่งขึ้นจะเป็นผลทำให้เกิดไฟแรงสูงในคอยล์ดีขึ้นอีกด้วย

เมื่อเครื่องยนต์หมุนต่อไปจนกระทั่งหน้าทมองขาวปิด คอนเดนเซอร์ก็จะค่ายประจุปล่อยให้กระแสไฟไหลผ่านหน้ามทองขาวลงดินครบวงจรอีกครั้งหนึ่ง

สำหรับระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาที่มีตัวต้านทานภายนอกต่อร่วมอยู่ ดังรูปที่ 2.3 จะมีการลัดวงจรในขณะทำการสตาร์ทติดเครื่องโดยจะลัดวงจรที่ตัวสวิตช์สตาร์ท กล่าวคือ ขณะทำการสตาร์ทติดเครื่อง เนื่องจากกระแสไฟจำนวนมากจะไหลเข้าสู่ตัวมอเตอร์สตาร์ท จึงมีผลทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ตัวแบตเตอรี่ลดลง ดังนั้นถ้าให้กระแสไฟไหลผ่านตัวต้านทานในขณะทำการสตาร์ทติดเครื่อง ก็จะทำให้คอยล์จุดระเบิดผลิตไฟแรงสูงได้น้อยลง จึงมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ลดตามลงไปด้วย ดังนั้น เพื่อให้การผลิตไฟแรงสูงของคอยล์จุดระเบิดเป็นไปตามปกติ จึงทำให้เกิดการลัดวงจรที่ตัวสวิตช์สตาร์ท เพื่อมิให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทานในขณะทำการสตาร์ทติดเครื่อง จึงทำให้เครื่องยนต์สามารถติดเครื่องได้โดยง่าย และเมื่อเครื่องยนต์สตาร์ทติดแล้วสวิตช์สตาร์ทก็จะคืนสู่ตำแหน่งเดิม ตัวต้านทานก็จะถูกใส่กลับคืนเข้าสู่วงจร กระแสไฟที่ไหลเข้าสู่วงจรขดลวดปฐมภูมิ ก็จะไหลผ่านตัวต้านทานตามปกติ

2.4 การจุดระเบิดล่วงหน้า

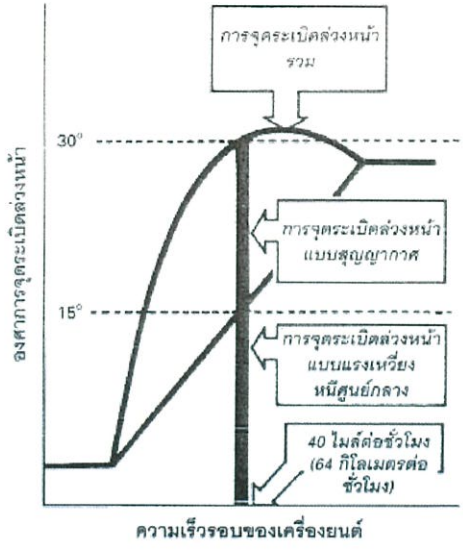
การจุดระเบิดล่วงหน้าที่เวลาอันถูกต้อง จะมีผลทำให้เครื่องมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด เชื้อเพลิงโดยทั่วไปจะมีความล่าช้าในการจุดติดไฟ และต้องการเวลาสำหรับการเผาไหม้ ดังนั้นการเริ่มจุดประกายไฟเพื่อให้เชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์เกิดการเผาไหม้ ของเครื่องยนต์เกิดการเผาไหม้ จึงต้องเริ่มจุดระเบิดล่วงหน้าก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นถึงศูนย์ตายบนเสมอ และจะต้องให้การเผาไหม้สิ้นสุดลงหลังจากลูกสูบคล้อยหลังศูนย์ตายบนไปเล็กน้อย (ประมาณ 10 องศาหลังศูนย์ตายบน) ก็จะทำให้ได้รับผลจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงมีค่าสูงที่สุด การจุดระเบิดล่วงหน้าก่อนหรือหลังเวลาอันควรนั้น นอกจากจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องยนต์ลดลงแล้ว ยังสามารถทำให้ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์เกิดความเสียหายได้ เช่น การจุดระเบิดล่วงหน้ามากเกินไปก็อาจจะทำให้เครื่องยนต์ตีกลับ หรือการจุดระเบิดหลังเวลาอันควรก็จะสามารถทำให้เครื่องยนต์ร้อนจัดและไม่มีกำลังได้ ซึ่งทั้งสองกรณีจะเป็นผลทำให้ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์เกิดความเสียหาย ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น อย่างไรก็ตาม เครื่องยนต์ก็จำเป็นจะต้องทำงานที่ความเร็วและภาระต่างๆกันดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมเวลาในการจุดระเบิดให้ล่วงหน้ามากน้อยต่างกันออกไปตามชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ ความเร็วรอบ และภาระของเครื่องยนต์ที่เปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ เมื่อเครื่องยนต์ มีความเร็วรอบหรือภาระสูงขึ้นก็จะทำให้มีการจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น ทั้งนี้ก็เพื่อให้การเผาไหม้ของเครื่องยนต์สิ้นสุดลง ณ ตำแหน่งเดิม ก็จะทำให้ได้รับประโยชน์จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงมากที่สุด เครื่องยนต์ก็จะมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงที่สุด

อุปกรณ์ควบคุมเวลาในการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบอัตโนมัติ ที่นิยมใช้กับเครื่องยนต์แก๊สโซลีนโดยทั่วไปมี 2 แบบคือ

1.แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

2.แบบสุญญากาศ

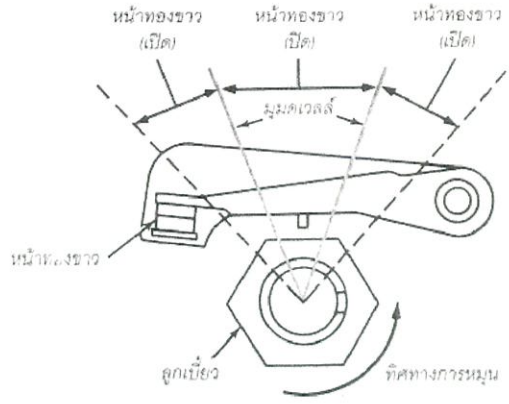
เครื่องยนต์ที่ใช้จุดระเบิดแบบธรรมดาในปัจจุบัน จะมีอุปกรณ์ควบคุมเวลาในการจุดระเบิดล่วงหน้าทั้ง2แบบ โดยที่แบบสุญญากาศจะทำงานได้ดีในขณะที่เครื่องยนต์กำลังเดินเบาและลิ้นเร่งเปิดเล็กน้อย ขณะที่แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจะทำงานได้ดีในขณะที่เครื่องยนต์กำลังเดินด้วยความเร็วรอบสูง ดังนั้น เครื่องยนต์ที่มีอุปกรณ์ควบคุมเวลาในการจุดระเบิดล่วงหน้าทั้ง2แบบ จึงสามารถควบคุมเวลาในการจุดระเบิดล่วงหน้าได้ตามความเร็วและภาระของเครื่องยนต์ที่เปลี่ยนแปลงไป จึงทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุดตามต้องการ ผลจากการใช้อุปกรณ์ควบคุมเวลาในการจุดระเบิดล่วงหน้าร่วมกันทั้ง2แบบถูกแสดงได้ดังรูป 2.11



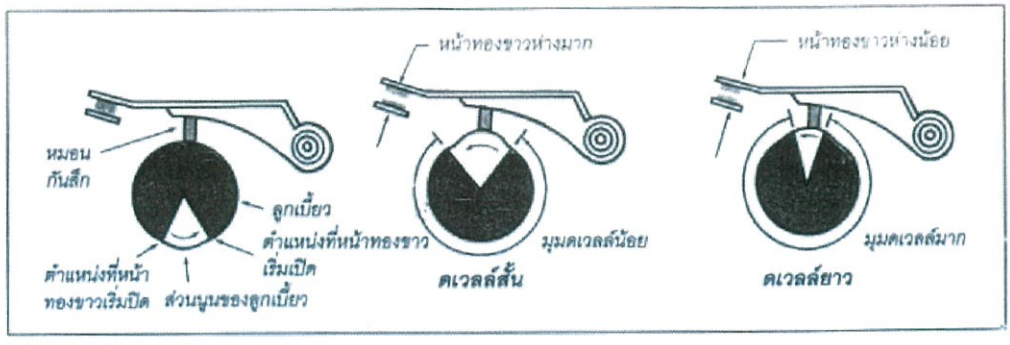
รูปที่ 2.11 แสดงผลจากการใช้อุปกรณ์ควบคุมเวลาในการจุดระเบิดล่วงหน้าทั้งสองแบบ

2.5 มุมดเวลล์

มุมดเวลล์ (dwell angle) ดังรูป 2.12 คือ มุมที่หน้าทองขาวปิด วัดเป็นองศาโดยรอบลูกเบี้ยว จากจุดที่ทองขาวเริ่มปิดไปจนถึงจุดที่หน้าทองขาวเริ่มเปิด มุมนี้จะมีผลต่อการเกิดไฟแรงสูงในคอยล์จุดระเบิด หรือการเกิดประกายไฟระหว่างเขี้ยวหัวเทียนนั่นเอง ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องตั้งตามที่บริษัทกำหนดมาให้ และควรมีการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ ดังรูป 9.19 แสดงความสัมพันธ์ของการจัดตั้งความห่างระหว่างหน้าทองขาวกับมุมดเวลล์ จะพบว่าถ้ามุมของมุมดเวลล์น้อย หน้าทองขาวจะห่างมาก และในทำนองเดียวกันถ้ามุมของมุมดเวลล์มาก หน้าทองขาวจะห่างน้อย



รูปที่ 2.12 แสดงมุมดเวลล์ของหน้าทองขาว



รูปที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ของการจัดตั้งความห่างระหว่างหน้าทองขาวกับมุมดเวลล์

สำหรับในกรณีหน้าทองขาวห่างมากหรือมุมของมุดดเวลล์น้อยนั้น ก็จะทำให้หน้าทองขาวเปิดเร็วขึ้น ซึ่งหมายความว่าหัวเทียนจะจุดประกายไฟเร็วขึ้น ดังนั้นจึงเหมาะกับเครื่องยนต์ที่ใช้งานรอบต่ำๆและเนื่องจากหน้าทองขาวจะถูกแยกออกจากกันด้วยความเร็วสูง จึงสามารถช่วยลดการอาร์คระหว่างหน้าทองขาวได้ดี ทำให้ยืดอายุการใช้งานหน้าทองขาวให้นานขึ้น

ส่วนกรณีที่หน้าทองขาวห่างน้อยหรือมุมของมุดดเวลล์มากนั้น นั้น ก็จะทำให้หน้าทองขาวเปิดช้าลง ซึ่งหมายความว่าหัวเทียนจะจุดประกายไฟช้าลง ดังนั้นจึงไม่เหมาะกับเครื่องยนต์ที่ใช้งานรอบต่ำๆ เพราะถ้าเครื่องยนต์เดินเบาจะเกิดการอาร์คกระหว่างหน้าทองขาว อันเนื่องมาจากความล่าช้าในการเปิดหน้าของทองขาวจึงเหมาะกับเครื่องยนต์ที่ใช้งานรอบสูงๆ

2.6 ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์

ราวต้นปี พ.ศ.2513 เครื่องยนต์ที่ใช้กับรถยนต์ส่วนใหญ่ ที่ใช้ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา (ทองขาว) มาสามารถผ่านมาตรฐานสานมลพิษจากไอเสียได้ กฎข้อบังคับของสหพันธรัฐของประเทศสหรัฐอเมริกา ต้องการให้ระบบจุดระเบิดทำงานได้ถึง 5,000 ไมล์ โดยมีการบำรุงรักษาเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย ซึ่งระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาไม่สามารถที่จะทำได้ เพราะหน้าทองขาวจะไหม้และสึก

หรอระหว่างการทำงานตามปกติ ทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างหน้าทองขาว ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลจังหวะการจุดระเบิดและพลังงานจากการจุดประกายไฟลดลง เป็นผลทำให้เครื่องยนต์เดินไม่ครบสูบ และสารมลพิษจากไอเสียเพิ่มมากขึ้น

เครื่องยนต์ที่ใช้กับรถยนต์ส่วนใหญ่ในปี พ.ศ.2518 และหลังจากนั้นจึงเปลี่ยนไปใช้ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์ดังรูปที่ 2.14 ซึ่งเป็นระบบที่ไม่ใช้ทองขาวและคอนเดนเซอร์แต่จะใช้ทรานซิสเตอร์ และอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำอื่นแทน ทำหน้าที่เป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ในการเปิด ปิดกระแสไฟที่ไหลเข้าสู่วงจรขดลวดปฐมภูมิ เพื่อให้เกิดไฟแรงสูงในขดลวดทุติยภูมิของคอลย์จุดระเบิดจัดส่งให้กับหัวเทียนต่อไป

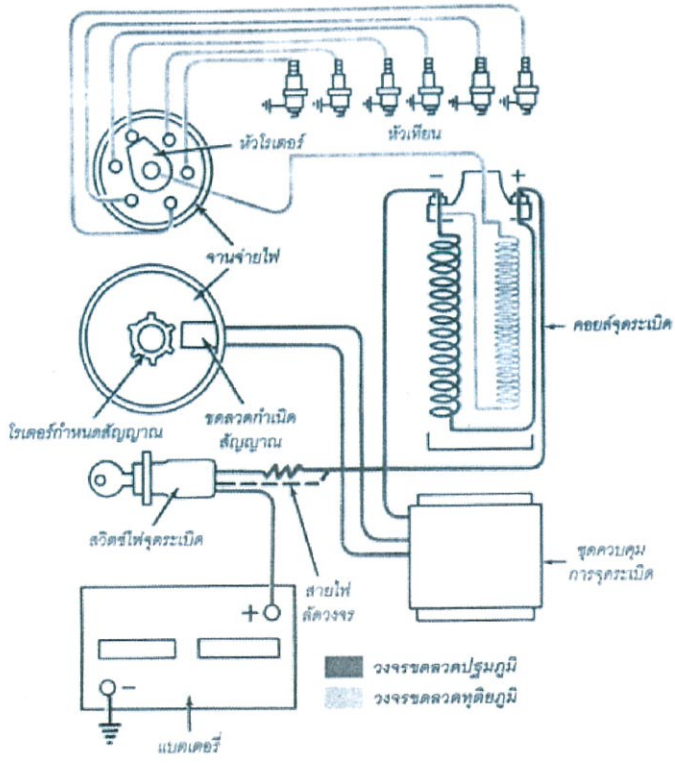
ระบบจุดระเบิดด้วยอิเล็กทรอนิกส์ที่นิยมในปัจจุบันแบ่งได้ 4 แบบ คือ

1.แบบจานจ่ายไฟกับอุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบกลไกและแบบสุญญากาศ (distributor type with mechanical centrifugal and vacuum advance)

2.แบบจานจ่ายไฟกับอุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ (distributor type with electronic spark advance)

3.แบบไร้จานจ่ายไฟกับคอยล์จุดระเบิดหลายตัว (distributor less type with multiple ignition coils)

4.แบบไร้จานจ่ายไฟกับการจุดระเบิดโดยตรงด้วยตัวเก็บประจุ (distributor less type with direct capacitor discharge ignition)



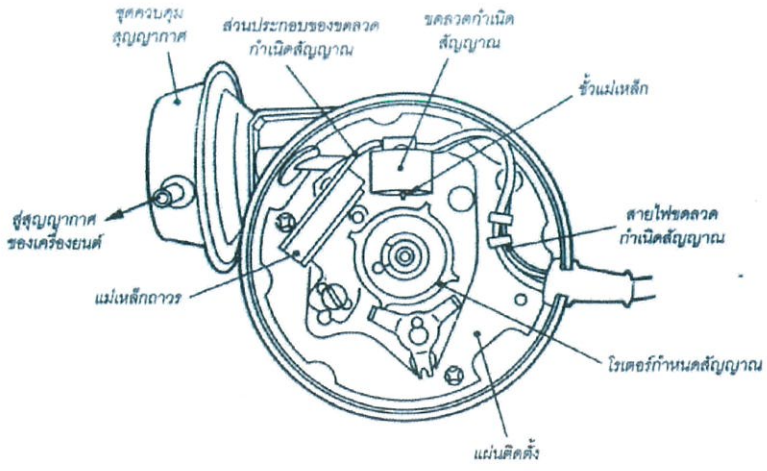
รูปที่ 2.14 ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์

2.6.1 ระบบจุดระเบิดแบบจานจ่ายไฟกับอุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบกลไกและแบบสุญญากาศ

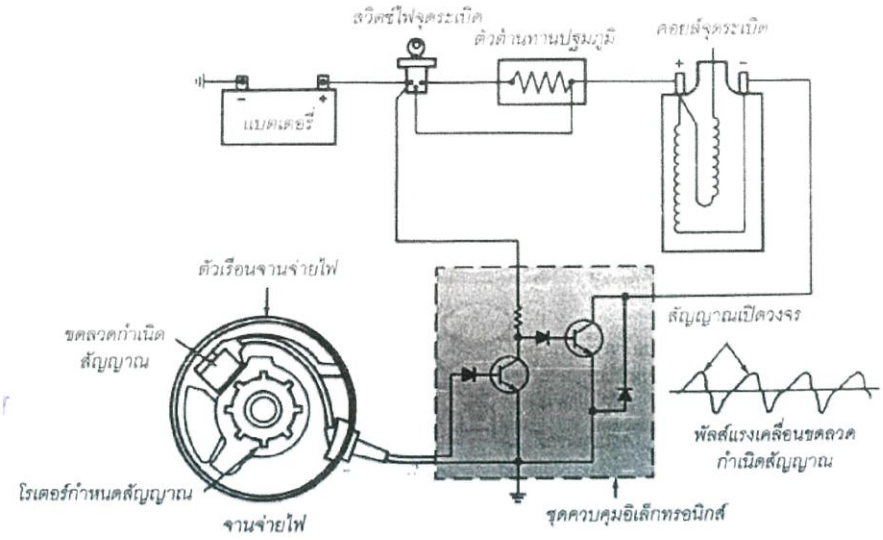
โดยทั่วไปหลักการทำงานและการสร้างระบบจุดระเบิด ไม่ว่าจะเป็นแบบใช้ทองขาวหรือแบบอิเล็กทรอนิกส์ก็จะคล้ายๆกัน จานจ่ายไฟของทั้ง2แบบก็อาจจะมีอุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบกลไกและแบบสุญญากาศเหมือนกันทุกประการ แต่ความแตกต่างที่สำคัญคือแทนที่จะใช้สวิตช์ทางกล (ทองขาว) ที่ใช้ในระบบจุดระเบิดแบบธรรมดามาควบคุมกระแสในวงจรขดลวดปฐมภูมิ ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์จะใช้สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์แทนที่

ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบจุดระเบิดแบบนี้คือสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์หรือชุดกำเนิดสัญญาณ (signal generator unit) ซึ่งประกอบด้วยอาร์มาเจอร์ (armature) หรือโรเตอร์กำหนดสัญญาณ(reluctor) ตัวตรวจจับแม่เหล็ก (magnetic sensor) หรือขดลวดกำเนิดสัญญาณ(pickup coil)และมอดูลจุดระเบิด (ignition module) โดยที่โรเตอร์กำหนดสัญญาณจะมีจำนวนซี่ยื่นออกมาเท่ากับจำนวนสูบของเครื่องยนต์ซึ่งเท่ากับลูกเบี้ยวของจานจ่ายไฟ ดังนั้น เมื่อโรเตอร์กำหนดสัญญาณหมุน ซี่แต่ละซี่ก็จะทำให้เกิดพัลส์แรงเคลื่อนขึ้นในขดลวดกำเนิดสัญญาณ ซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะทำให้มอดูลจุดระเบิดเปิดวงจรขดลวดปฐมภูมิ ทำให้เกิดไฟแรงสูงในวงจรขดลวดทุติยภูมิของคอลย์จุดระเบิด เป็นผลให้หัวเทียนจุดประกายไฟ

มอดูลจุดระเบิดอาจจะเป็นหน่วยที่แยกออกต่างหากหรือติดตั้งอยู่กับหรือภายในจานจ่ายไฟก็ได้ เครื่องยนต์ที่ใช้ระบบควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์อาจจะไม่มีมอดูลจุดระเบิดแบบแยกต่างหาก ชุดควบคุมเครื่องยนต์ (engine controller) หรือมอดูลควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ (electronic control module, ECM) หรือที่เรียกย่อ ๆว่า อีซีเอ็ม ก็จะทำหน้าที่คบคุมการจุดระเบิดได้อย่างสมบูรณ์



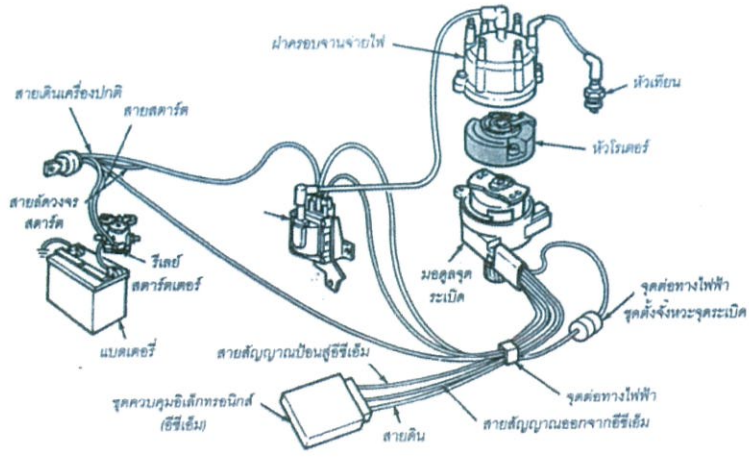
รูปที่ 2.15 แสดงจานจ่ายไฟของระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ขดลวดกำเนิดสัญญาณและอุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบกลไกสำหรับเครื่องยนต์ 4 สูบ



รูปที่ 2.16 แสดงส่วนประกอบในระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้จานจ่ายไฟ
ที่ใช้ขดลวดกำเนิดสัญญาณกับมอดูลควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์

2.6.2 ระบบจุดระเบิดแบบจานจ่ายไฟกับอุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นเป็นระบบจุดระเบิดที่ใช้อุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบกลไกและแบบสุญญากาศ ซึ่งใช้กับรถยนต์ที่ไม่ใช้ระบบควบคุมเครื่องยนต์แบบอิเล็กทรอนิกส์หรืออีซีเอ็ม ตามปกติรถยนต์ที่ใช้ระบบควบคุมเครื่องยนต์แบบอิเล็กทรอนิกส์หรืออีซีเอ็มที่ใช้จานจ่ายไฟจะใช้อุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ การควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าของคอมพิวเตอร์หรืออีซีเอ็มนี้จะขึ้นอยู่กับสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณต่างๆที่อยู่ภายในระบบ



รูปที่ 2.17 ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้อุปกรณ์
การจุดระเบิดล่วงหน้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

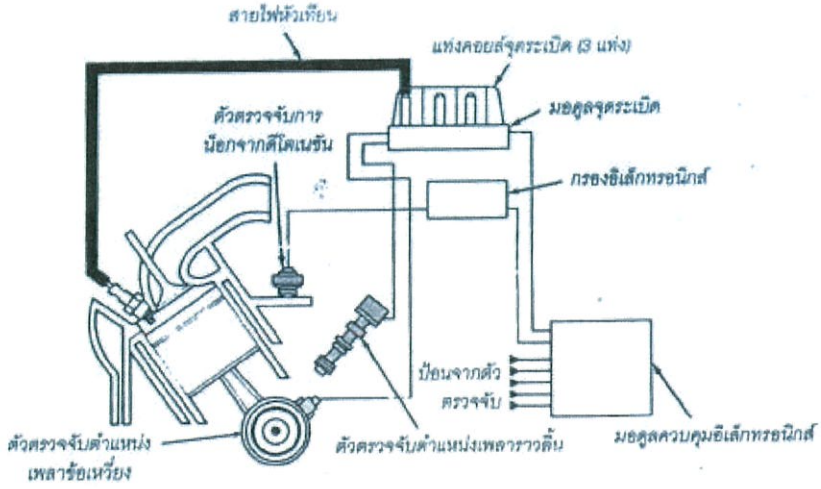
รูปที่ 2.17 แสดงระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้อุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ ระบบนี้มอดูลจุดระเบิดและอีซีเอ็มจะทำงานร่วมกันในจังหวะการจุดระเบิด มอดูลจะระเบิดจะติดตั้งอยู่กับตัวเรือนจานจ่ายไฟ ภายในจานจ่ายไฟตัวตรวจจับภาพการเกิดประกายไฟ (profile ignition pickup or PIP sensor) จะส่งสัญญาณให้กับมอดูลจุดระเบิดเมื่อลูกสูบของแต่ละสูบเลื่อนตัวเข้าใกล้ศูนย์ตายบน มอดูลจุดระเบิดจะใช้ข้อมูลร่วมกับอีซีเอ็ม จากนั้นจึงจะคำนวณค่าการจุดระเบิดล่วงหน้า ส่วนอีซีเอ็มก็จะผลิตสัญญาณตัวใหม่ซึ่งบริษัทฟอร์ดเรียกว่าสัญญาณผลผลิตประกายไฟ (spark output signal, SPOUT) ส่งกลับไปยังมอดูลจุดระเบิด ซึ่งจะเปิดวงจรขดลวดปฐมภูมิที่เวลาอันถูกต้องเพื่อจุดประกายไฟที่หัวเทียน

กรณีที่บางทีอีซีเอ็มหรือส่วนอื่นๆในระบบควบคุมเครื่องยนต์ด้วยอิเล็กทรอนิกส์ทำงานผิดพลาด ก็อาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เครื่องยนต์เข้าสู่โหมดหรือแบบที่เครื่องยนต์เดินผิดปกติ (limp-in) หรือกลวิธีจำกัดการทำงาน (limited-operating strategy,LOS)จากนั้นมอดูลจุดระเบิดจะใช้เพียงสัญญาณจากตัวตรวจจับในจานจ่ายๆไฟเพื่อเปิดปิดวงจรขดลวดปฐมภูมิ

2.6.3 ระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟกับคอยล์จุดระเบิดหลายตัว

เครื่องยนต์หลายแบบจะใช้ระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟ ดูรูปที่ 2.18 ระบบนี้เป็นระบบจุดระเบิดด้วยอิเล็กทรอนิกส์กับอุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบอิเล็กทรอนิกส์แต่ไม่มีจานจ่ายไฟตัวตรวจจับสัญญาณจะทำหน้าที่จัดส่งสัญญาณตำแหน่งของเพลาข้อเหวี่ยงไปยังมอดูลจุดระเบิด จากนั้นจะร่วมกันกับอีซีเอ็มจัดเวลาหรือจังหวะในการจุดระเบิด กระตุ้นและแจกจ่ายไฟแรงสูงไปยังหัวเทียน

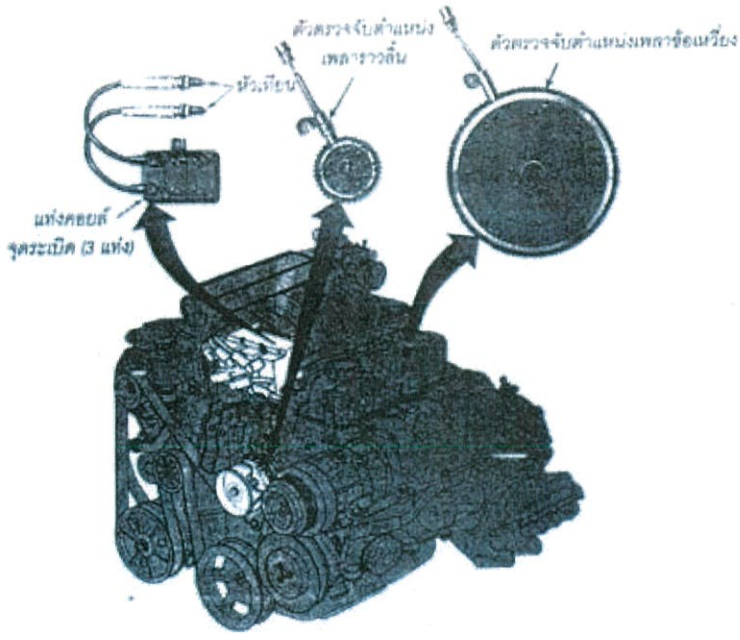
การไม่มีจานจ่ายไฟจะทำให้มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวลดลง รวมถึงสวิตช์หมุนแรงเคลื่อนสูงที่เป็นส่วนหนึ่งของฝาจานจ่ายไฟและหัวโรเตอร์ เป็นผลทำให้การบำรุงรักษาลดลง นอกจากนั้นยังสามารถขจัดการปรับตั้งทางกลของเวลาหรือจังหวะในการจุดระเบิด ระบบจุดระเบิดแบบนี้ยังช่วยลดการรบกวนคลื่นวิทยุภายในรถยนต์ และเพิ่มความเที่ยงตรงของเวลาหรือจังหวะในการจุดระเบิดได้อีกด้วย



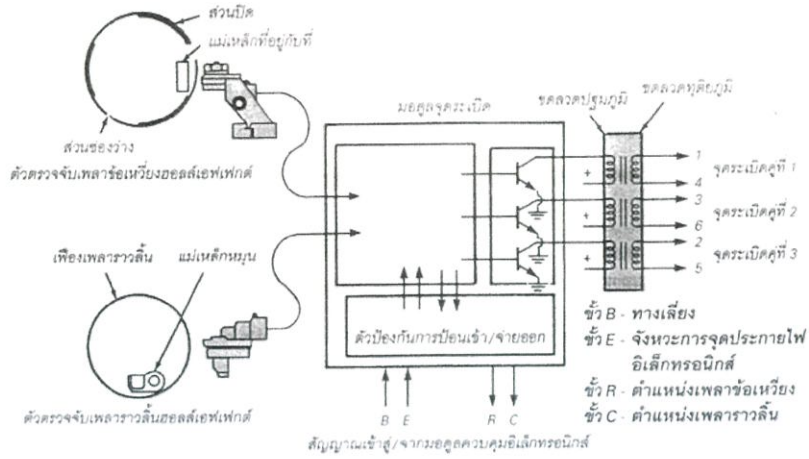
รูปที่ 2.18 ระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟ

รูปที่ 2.19 แสดงให้เห็นถึงเครื่องยนต์สูบวี 6 สูบที่ใช้ระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟ ระบบนี้จะรวมถึงมอดูลจุดระเบิด แท่งของคอยล์จุดระเบิดซึ่งประกอบด้วยคอยล์จุดระเบิดจำนวน 3 ตัว ตัวตรวจจับสัญญาณตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยง และตัวตรวจจับสัญญาณตำแหน่งเพลาราวลิ้น ดูรูปที่ 2.20 คอยล์จุดระเบิดแต่ละตัวจะผลิตไฟแรงสูงให้กับหัวเทียนจำนวน 2 หัว ในเวลาเดียวกัน โดยที่ปลายด้านหนึ่งของขดลวดทุติยภูมิแต่ละขดจะต่อเข้ากับหัวเทียน ดูรูปที่ 2.21 มอดูลจุดระเบิดจะเป็นตัวกำหนดลำดับขึ้นการจุดระเบิดและเลือกคอยล์เพื่อทำให้เกิดประกายไฟที่หัวเทียน จากนั้นอีซีเอ็มจะส่งสัญญาณไปยังมอดูลจุดระเบิดเพื่อเปิดวงจรขดลวดปฐมภูมิ เป็นผลทำให้เกิดไฟแรงสูงในขดลวดทุติยภูมิ ทำให้เกิดประกายไฟกระโดดข้ามที่เขี้ยวหัวเทียน

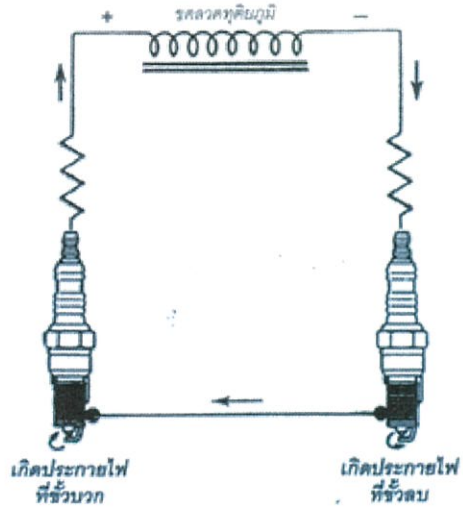
ระบบนี้คอยล์จุดระเบิดเพียง 1 ตัวจะผลิตไฟแรงสูงให้กับหัวเทียนจำนวน 2 หัวในเวลาเดียวกัน ซึ่งเป็นวิธีประกายไฟสูญเปล่า (waste-spark method) ของการแจกจ่ายประกายไฟ ระบบนี้จะจุดประกายไฟครั้งละ 2 สูบ เมื่อสูบหนึ่งสิ้นสุดจังหวะอัด อีกสูบหนึ่งสิ้นสุดจังหวะคาย โดยที่หัวเทียนที่จุดในจังหวะอัดจะใช้กระแสไปข้างหน้า (forward current) ขณะที่หัวเทียนที่จุดในจังหวะคายจะใช้กระแสกลับหลัง (reverse current)



รูปที่ 2.19 เครื่องยนต์แบบสูบวี 6 กับระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟ



รูปที่ 2.20 แผนผังของระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟสำหรับเครื่องยนต์แบบสูบวี 6 สูบ ซึ่งใช้คอยล์จุดระเบิด 3 ตัว จุดประกายที่หัวเทียน 6 หัว



รูปที่ 2.21 แสดงให้เห็นการทำให้เกิดประกายไฟที่หัวเทียนพร้อมกันถึง 2 หัว ของคอยล์จุดระเบิดเพียงตัวเดียวซึ่งวิธีนี้เรียกว่าวิธีประกายไฟสูญเปล่า

รูปที่ 2.21 แสดงให้เห็นถึงเครื่องยนต์สูบวี 6 สูบกับปลาย 2 ปลายของขดลวดทุติยภูมิของคอยล์ที่ต่อเข้ากับหัวเทียนของสูบที่ 1 และ 4 เมื่อสูบที่ 1 จุดประกายไฟที่ปลายจังหวะอัด ทำให้ส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้และเกิดการระเบิดเป็นจุดเริ่มต้นของจังหวะระเบิด สูบที่ 4 ก็จะจุดประกายไฟเช่นกัน แต่จะสูญเปล่าเพราะสูบที่ 4 จะอยู่ในปลายจังหวะคาย สูบที่จะจุดประกายไฟต่อไปคือ สูบที่ 3 และ 6 และตามด้วยสูบที่ 2 และ 5 และจะหมุนเวียนเช่นนี้ตลอดเวลาที่เครื่องยนต์ทำงานอยู่

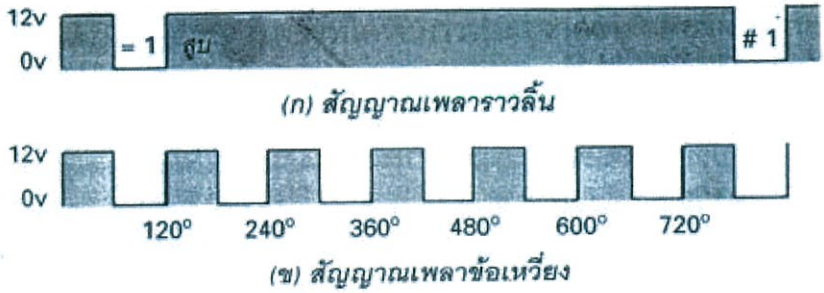
สำหรับการจุดประกายไฟของหัวเทียนสูบที่อยู่ในจังหวะคาย เนื่องจากแก๊สไอเสียส่วนใหญ่ได้ถูกระบายออกไปจากกระบอกสูบแล้วบางส่วน จึงทำให้ความดันภายในกระบอกสูบมีค่าลดลง ดังนั้น ความต้านทานต่อการเกิดประกายไฟที่เขี้ยวหัวเทียนของสูบนี้จึงต่ำลงไปด้วย พลังงานที่ใช้ในการทำให้เกิดประกายไฟจึงต่ำ ดังนั้น จึงทำให้มีพลังงานอย่างเหลือเฟือสำหรับการทำให้เกิดประกายไฟที่เขี้ยวหัวเทียนของสูบที่อยู่ในจังหวะอัด จึงเป็นผลทำให้การเผาไหม้ที่สูบนี้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

รูปที่ 2.18 จะแสดงตำแหน่งของตัวตรวจจับสัญญาณของเพลาข้อเหวี่ยงและเพลาราวลิ้น อีซีเอ็มจะรับสัญญาณจากตัวตรวจจับเหล่านี้และจากตัวตรวจจับสัญญาณอื่นๆ มาควบคุมการทำงานของระบบจุดระเบิด ระบบเชื้อเพลิง และระบบควบคุมสารมลพิษของเครื่องยนต์

ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยง ดังรูปที่ 2.18 จะทำหน้าที่รายงานความเร็วของเพลาข้อเหวี่ยงและตำแหน่งของลูกสูบให้กับมอดูลจุดระเบิด ตัวตรวจจับนี้จะต้องรับรู้เมื่อลูกสูบของสูบที่ 1 กำลังเข้าใกล้ตำแหน่งศูนย์ตายบนในจังหวะอัด และระบบจุดระเบิดก็จะต้องจัดส่งประกายไฟไปยังหัวเทียนของสูบนั้นทันที

ส่วนตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาราวลิ้น บางทีเรียกว่าตัวตรวจจับการพิสูจน์กระบอกสูบหรือซีดีไอ (cylinder identification sensor, CDI) ตัวตรวจจับนี้จะจัดเตรียมสัญญาณพัลส์แรงเคลื่อนที่พิสูจน์ตำแหน่งของลูกสูบ สูบที่ 1 ตัวตรวจจับที่ใช้ปกติจะเป็นสวิตช์ฮอลล์เอฟเฟกต์ มอดูลจุดระเบิดจะยอมรับสัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาราวลิ้นเมื่อเริ่มจังหวะจุดระเบิดแต่ละจังหวะนี้เป็นการจุดระเบิดของหัวเทียนทั้งหมดระหว่างรอบหรือวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์

ระหว่างที่เพลาข้อเหวี่ยงหมุน 2 รอบ (720 องศา) ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยงก็จะจัดเตรียมพัลส์เท่ากับจำนวนสูบของเครื่องยนต์ ดูรูปที่ 2.22 ขณะที่ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาราวลิ้นจะจัดเตรียมเพียง 1 พัลส์ ตัวตรวจจับนี้จะทำหน้าที่ในการพิสูจน์คอยล์ที่จะจุดประกายไฟ และจัดลำดับขั้นของการจุดประกายไฟของคอยล์ในมอดูลจุดระเบิด

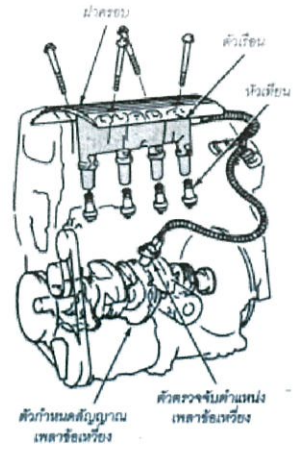


รูปที่ 2.22 แสดงสัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาราวลิ้นที่สัมพันธ์กับสัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยง

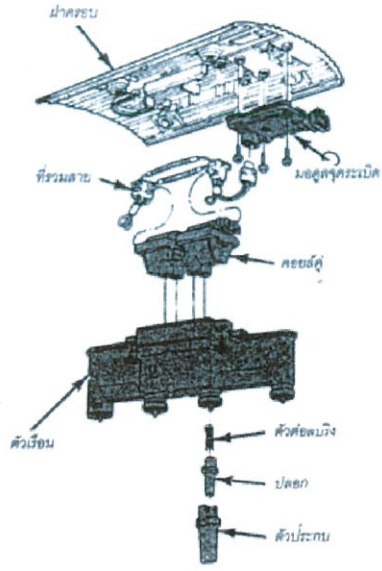
2.6.4 ระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟกับการจุดระเบิดโดยตรง

2.6.4.1 ระบบจุดระเบิดโดยตรงแบบคอยล์หลายตัว

เครื่องยนต์บางแบบจะใช้ระบบจุดระเบิดโดยตรงที่ไม่ต้องใช้สายไฟหัวเทียน ดังรูปที่ 2.23 ในเครื่องยนต์ 4 สูบ มอดูลจุดระเบิดกับคอยล์จำนวน 2 ตัวจะถูกติดตั้งภายใต้ฝาครอบอะลูมิเนียมของเครื่องยนต์ ดูรูปที่ 2.24 การทำงานขั้นพื้นฐานของระบบจะเหมือนกับระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟกับคอยล์จุดระเบิดหลายตัวตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น อย่างก็ตาม ตัวนำทุติยภูมิที่หล่อเป็นชิ้นเดียว (molded one-piece secondary conductor) หลายตัวก็ได้ถูกนำมาใช้แทนสายไฟหัวเทียน



รูปที่ 2.23 ระบบจุดระเบิดโดยตรงซึ่งไม่ต้องใช้สายไฟหัวเทียน



รูปที่ 2.24 มอดูลจุดระเบิดและคอยล์จุดระเบิด 2 ตัวติดตั้งอยู่ภายในตัวเรือน
ภายใต้ฝาครอบของเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบจุดระเบิดโดยตรง

ปัญหาที่มักจะเกิดขึ้นกับระบบจุดระเบิดที่ใช้สายไฟหัวเทียนก็คือ การสูญเสียแรงเคลื่อนบางส่วนในสายไฟหัวเทียน ดังนั้น ถ้าปราศจากสายไฟหัวเทียนแล้วไฟแรงสูงก็จะเข้าสู่หัวเทียนได้อย่างเต็มที่ นอกจากนั้นการกำจัดสายไฟหัวเทียนยังเป็นการลดการบำรุงรักษาลงด้วยเช่นกัน เพราะจะไม่มีสายไฟหัวเทียนให้ตรวจสอบและเปลี่ยน

ระบบจุดระเบิดแบบนี้ คอยล์จุดระเบิดจะถูกติดตั้งเข้ากับหัวเทียนแต่ละหัวโดยตรง การเปิดวงจรขดลวดปฐมภูมิในคอยล์แต่ละตัวก็จะทำให้หัวเทียนจุดประกายไฟเพียง 1 หัว เท่านั้น

ระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟมีข้อดีที่เหนือกว่าระบบจุดระเบิดแบบมีจานจ่ายไฟดังนี้

1. การสึกหรอน้อยกว่าเนื่องจากชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวน้อยกว่า
2. ความยืดหยุ่นในการติดตั้งมีมากกว่า เพราะส่วนประกอบในการติดตั้งน้อยลง ซึ่งปัจจุบันมีความสำคัญมากเพราะห้องเครื่องจะมีขนาดเล็กลง
3. การบำรุงรักษาต่ำเพราะไม่ต้องมีหัวโรเตอร์และฝาครอบจานจ่ายไฟ
4. การแทรกแซงคลื่นความถี่วิทยุลดลง เพราะไม่มีช่องว่างระหว่าหัวโรเตอร์กับขั้วไฟแรงสูงที่ฝาครอบจานจ่ายไฟ
5. ขจัดการจุดระเบิดไม่ครบสูบที่ทำให้เกิดกรดไนทริกขึ้นในฝาครอบจานจ่ายไฟ
6. ขจัดการปรับตั้งจังหวะการจุดระเบิดทางกล
7. ลดภาระทางกลของเครื่องยนต์
8. ยืดระยะเวลาอิ่มตัวของคอยล์ทำให้ผลิตไฟแรงสูงได้สูงขึ้น
9. ยืดระยะเวลาระหว่างการจุดระเบิด ทำให้คอยล์มีเวลาในการระบายความร้อนได้มากขึ้น

2.6.4.1.1 โครงสร้างของคอยล์จุดระเบิดแบบตรง

คอยล์จุดระเบิดแบบตรง (Direct Coil) จะมีคอยล์ 1 ตัว ต่อ 1 กระบอกสูบเครื่องยนต์ 4 กระบอกสูบจึงมีคอยล์ทั้งหมด 4 ตัว Direct คอยล์จะต่างจากคอยล์ในรุ่นก่อนๆ ที่เป็นคอยล์ชุดเดียวแล้วอาศัยจานจ่ายเป็นตัวหมุนให้สัมพันธ์กับเครื่องยนต์ เพื่อให้จุดระเบิด ข้อดีของ Direct Coil ที่เห็นได้ชัดคือ หากมีคอยล์ตัวใดตัวหนึ่งชำชุดรถก็ยังสามารถวิ่งได้ แต่กำลังของเครื่องยนต์จะลดลงจากเดิม ทำให้ผู้ขับขี่สามารถประคองรถเพื่อเข้าศูนย์บริการหรืออู่ภายนอกเพื่อเปลี่ยนคอยล์ตัวใหม่ได้ หากเป็นคอยล์ในรูปแบบเก่าถ้าคอยล์ชำรุดก็ต้องลากเข้าอู่อย่างเดียว อีกทั้ง Direct Coil นี้จะไม่มีสายหัวเทียนเหมือนจานจ่ายทำให้ตัดปัญหาเรื่องสายหัวเทียนรั่วหรือขาดได้

ภายใน Direct Coil ประกอบด้วยชุดขดลวดที่เป็นหม้อแปลงแบบ Step Up ทำหน้าที่ยกระดับแรงดันไฟจาก แบตเตอรี่ 12V-15V ให้มีค่าอยู่ในช่วง 35,000-40,000 โวลต์ (ค่าแรงดันนี้เป็นค่ามาตรฐานของการจุดระเบิดของเครื่องยนต์เบนซิน) นอกจากชุดขดลวดแล้วยังมีอุปกรณ์สำคัญอีกตัวหนึ่งก็ คือ อุปกรณ์ขับกระแส อาจเป็น Power Transistor หรือ Power Mosfet ก็ได้ แล้วแต่รุ่น ทำหน้าที่สวิทช์แรงดันให้กับชุดขดลวด

รูปที่ 2.25 คอยล์จุดระเบิดพร้อมกับวงจรขับกระแสที่ติดตั้งภายใน

2.6.4.1.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของคอยล์จุดระเบิดแบบตรง

หลักการที่ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟแรงสูงการเหนี่ยวนำตัวเอง(self-induction effect) เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลเข้าไปในขดลวดจนเต็มและถูกตัดวงจรอย่างทันทีทันใด สนามแม่เหล็กจะยุบตัวลงตัดกับขดลวดเกิดการเปลี่ยนแปลงการเหนี่ยวนำของแม่แรงเหล็กของขดลวดทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น

การเหนี่ยวนำร่วม(mutual induction effect) เมื่อขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิถูกพันอยู่รอบ ๆ แกนเหล็กอ่อนเดียวกัน เมื่อขดลวดปฐมภูมิถูกตัดวงจรอย่างทันทีทันใดจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กโดยเส้นแรงแม่เหล็กยุบตัวทำให้ขดลวดทุติยภูมิเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น แรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนของเส้นแรงแม่เหล็ก เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวดมากแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำก็จะมาก จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิมาก ก็จะเกิดการเหนี่ยวนำเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้สูง ความเร็วในการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็ก เพื่อที่จะได้รับแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงในระหว่างการเหนี่ยวนำร่วม กระแสไฟที่ไหลในวงจรขดลวดปฐมภูมิจะต้องมากและจะต้องถูกตัดวงจรอย่างทันทีทันใด

คอยล์จุดระเบิดแบบมีความต้านทานภายนอก ตัวต้านทานต่ออนุกรมกับขดลวดปฐมภูมิ จะใช้ขอลวดที่มีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้จำนวนรอบลดลงความต้านทานลดลงกระไฟฟ้าไหลเข้าได้มากและเร็ว การนำความต้านทานภายนอกมาต่ออนุกรมกับขดลวดปฐมภูมิก็เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าไหลเข้าขดลวดมากเกินไปเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำจะทำให้คอยล์ร้อนจนอาจเสียหายได้

2.6.4.1.3 สัญญาณในการจุดระเบิดคอยล์จุดระเบิดแบบตรง

ในการจุดระเบิดคอยล์จะใช้สัญญาณพัลส์ในการจุดระเบิด ซึ่งสัญญาณพัลส์จะมีขนาด 5 โวลต์ สร้างจากวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้ทำการเขียนโปรแกรมในการสร้างสัญญาณ

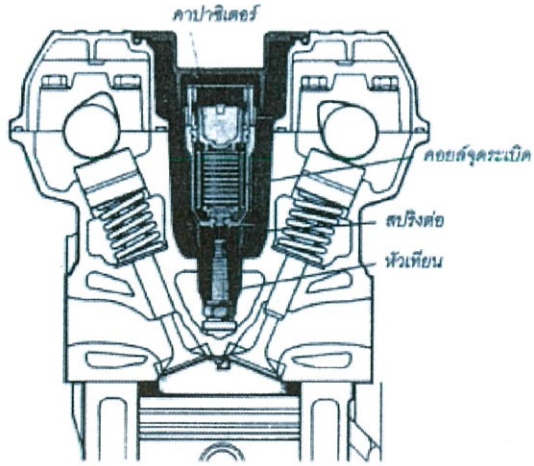
พัลส์ไว้แล้ว ซึ่งในโปรแกรมจะกำหนดค่าต่างๆ ให้เหมาะสมกับการทำงานร่วมกับระบบจุดระเบิดให้มีการทำงานที่สอดคล้องกัน

2.6.4.2 ระบบจุดระเบิดโดยตรงแบบจุดระเบิดด้วยตัวเก็บประจุ

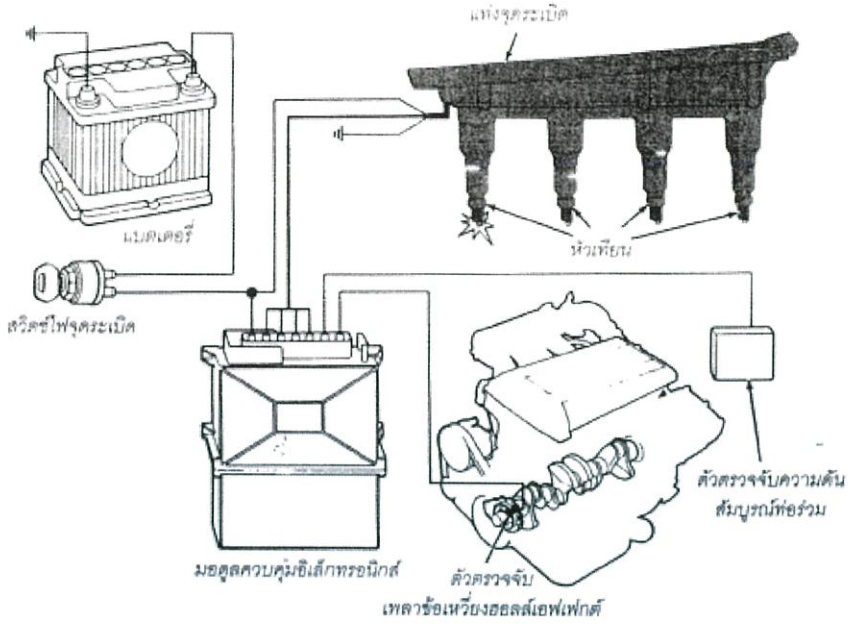
ระบบจุดระเบิดที่กล่าวมาแล้วข้างต้นทั้งหมดเป็นระบบจุดระเบิดแบบเหนี่ยวนำ (induction ignition system) ระบบจุดระเบิดแบบนี้จะเก็บพลังงานปฐมภูมิไว้ในคอยล์หรือตัวนำทางไฟฟ้า แต่ระบบจุดระเบิดโดยตรงแบบจุดระเบิดด้วยตัวเก็บประจุหรือที่นิยมเรียกกันโดยทั่วไปว่าแบบซีดีไอที่จะกล่าวต่อไปนี้ จะเก็บพลังงานปฐมภูมิไว้ในคาปาซิเตอร์หรือคอนเดนเซอร์ ซึ่งอุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนนี้จะสามารถกักเก็บประจุไฟฟ้าเพียงเล็กน้อยไว้เพียงชั่วคราวเท่านั้น

ระบบจุดระเบิดแบบนี้ ประกายไฟที่หัวเทียนจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อสวิตช์หรือทรานซิสเตอร์ปิดวงจรขดลวดปฐมภูมิ จากนั้นคาปาซิเตอร์ที่ได้รับการประจุจากแบตเตอรี่ก็จะคายประจุผ่านคอยล์จุดระเบิด ทำให้เกิดไฟแรงสูงขึ้นภายในคอยล์และทำให้เกิดประกายไฟที่หัวเทียน

รูปที่ 2.26 แสดงให้เห็นถึงระบบจุดระเบิดแบบจุดระเบิดด้วยตัวเก็บประจุหรือแบบซีดีไอของรถซาอับ ที่คล้าย ๆ กับระบบจุดระเบิดโดยตรงแบบคอยล์หลายตัว ระบบนี้หัวเทียนแต่ละหัวจะมีคอยล์จุดระเบิดและคาปาซิเตอร์ของตนเอง ส่วนประกอบทั้งหมดจะถูกผนึกเข้าด้วยกันและติดตั้งเข้ากับหัวเทียนโดยตรง ดังรูปที่ 2.27 ระบบนี้จะสามารถจัดส่งไฟแรงสูงหรือแรงเคลื่อนทุติยภูมิให้กับหัวเทียนได้สูงถึง 40,000 โวลต์ โดยจะทำให้หัวเทียนเกิดประกายไฟเมื่อสวิตช์หรือทรานซิสเตอร์ปิดวงจรขดลวดปฐมภูมิ เพื่อให้ตัวเก็บประจุคายประจุออกมาให้กับคอยล์จุดระเบิด ทำให้เกิดประกายไฟที่หัวเทียน



รูปที่ 2.26 ส่วนประกอบของระบบจุดระเบิดด้วยตัวเก็บประจุ



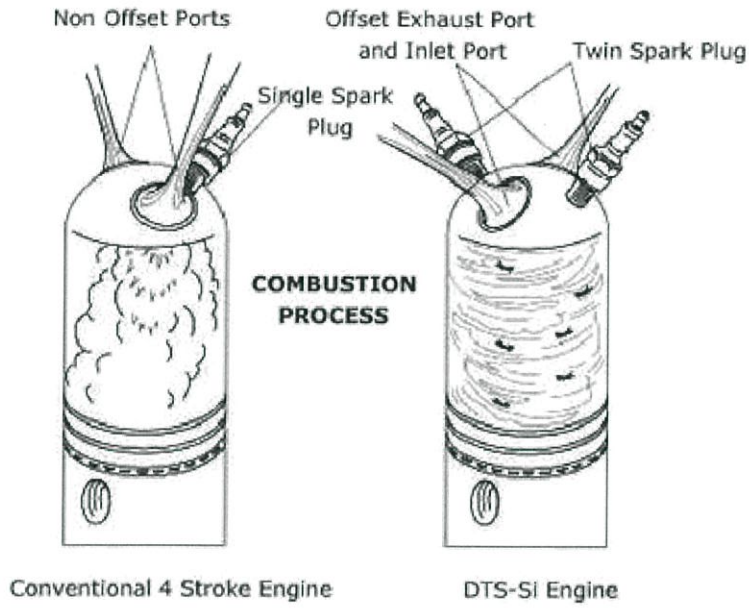
รูปที่ 2.27 ระบบจุดระเบิดด้วยตัวเก็บประจุ

สำหรับการเพิ่มของแรงเคลื่อนภายในระบบสามารถที่จะกระทำได้ใน 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกก็คือการยกระดับแรงเคลื่อนจากแบตเตอรี่ให้สูงขึ้นจาก 12 โวลต์เป็น 400 โวลต์ จากนั้นจึงมีการเพิ่มแรงเคลื่อนให้สูงขึ้นอีกเป็น 40,000 โวลต์ในขั้นตอนที่ 2

แรงเคลื่อนจากแบตเตอรี่จะเป็นสาเหตุที่ทำให้กระแสจำนวนเล็กน้อยไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของคอยล์ที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก ดังนั้น เมื่อวงจรขดลวดปฐมภูมิเปิด เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นก็จะยุบตัวลง ทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำสูงถึง 400 โวลต์ในวงจรขดลวดปฐมภูมิเข้าประจุคาปาซิเตอร์อีซีเอ็มที่ใช้ควบคุมจังหวะการจุดระเบิดจะขึ้นอยู่กับสัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยงแบบฮอลล์เอฟเฟกต์ ตัวตรวจจับความดันสัมบูรณ์ท่อร่วมหรือเอ็มเอพี (manifold absolute pressure sensor, MAP) จะจัดเตรียมข้อมูลทางด้านภาระของเครื่องยนต์ให้กับอีซีเอ็ม ตัวตรวจจับการน็อก (detonation or knock sensor) ก็จะจัดส่งสัญญาณให้กับอีซีเอ็มสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงจังหวะจุดระเบิดให้เป็นไปตามลำดับขั้นการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ได้อย่างถูกต้อง

ระบบจุดระเบิดแบบนี้เกือบจะทันทีหลังบิดกุญแจสวิตช์สตาร์ทแล้วหัวเทียนแต่ละหัวจะจุดประกายไฟไปตามลำดับขั้นการจุดระเบิดประมาณ 50 ครั้ง ปรากฏการณ์นี้จะช่วยให้เขี้ยวหัวเทียนสะอาดและแห้ง จึงช่วยให้การสตาร์ทติดเครื่องสามารถที่จะกระทำได้โดยง่าย แต่ถ้าเครื่องยนต์สตาร์ทไม่ติด หลังจากผู้ใช้รถปล่อยกุญแจสตาร์ทคืนสู่ตำแหน่งเดิมและพยายามที่จะสตาร์ทใหม่อีกครั้งหนึ่งหัวเทียนทั้งหมดก็จะจุดประกายไฟอีกประมาณ 1,000 ครั้ง เมื่อเครื่องยนต์สตาร์ทติดแล้วและเดินด้วยความเร็วประมาณ 600 รอบต่อนาทีหรือสูงกว่า ระบบจุดระเบิดก็จะจัดให้เกิดประกายไฟเพียง 1 ครั้งต่อหัวเทียน 1 หัวเท่านั้น

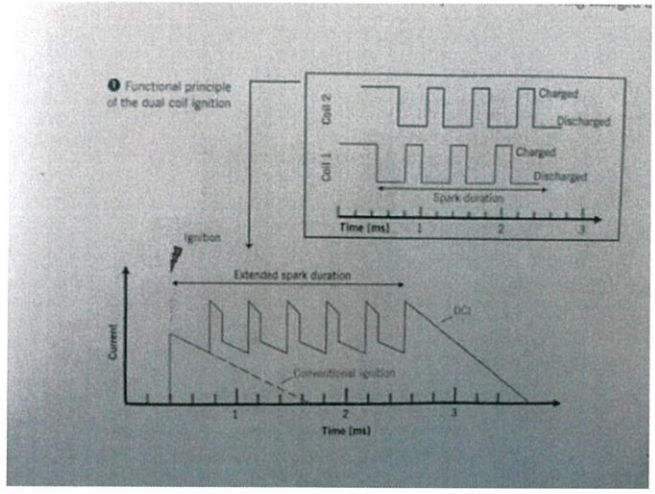
2.6.5 ระบบจุดระเบิดแบบคอยล์คู่หัวเทียนคู่



รูปที่ 2.28 เปรียบเทียบระบบจุดระเบิดแบบหัวเทียนเดียวกับหัวเทียนคู่

ระบบจุดระเบิดแบบคอยล์คู่ (Twin Static Ignition Coil or Dual Coil) เปรียบเสมือนการใช้ระบบจุดระเบิดหลายครั้งแบบธรรมดา 2 ระบบมารวมกัน โดยคอยล์ทั้งสองจะเชื่อมต่อกันในด้าน Primary ส่วนด้าน Secondary จะแยกกันไปเชื่อมต่อกับไดโอดแรงดันสูงเพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนกันระหว่าง 2 วงจรและไดโอดทั้งสองตัวจะไปเชื่อมต่อกับหัวเทียน จากการที่คอยล์ทั้งสองได้เชื่อมต่อกับหัวเทียนร่วมกัน จึงทำให้เกิดกระแสร่วม โดยระบบจุดระเบิดแบบคอยล์คู่จะประกอบด้วยหน่วยประมวลผล แหล่งจ่ายไฟ และหน่วยจุดระเบิด

เครื่องยนต์ที่มีการใช้วงจรจุดระเบิดแบบคอยล์คู่ เป็นการทำงานที่อาศัย ECU ที่ได้รับสัญญาณพัลส์ของระบบ crankshaft position sensor ของแต่ละสูบของเครื่องยนต์ และ ECU จะกำหนดสัญญาณการจุดระเบิดให้กับคอยล์จุดระเบิดชุดที่ 1 และชุดที 2 ทำงานสลับกันทุกๆ 180 องศา โดยสัญญาณที่ ECU จ่ายมายังตัวคอยล์จุดระเบิดจะผ่านโมดูล Power Transistor ทีทำหน้าที่ขยายกระแสไปยังขดลวดชุด primary และต่อ loop ground ให้กับขด primary ให้กับคอยล์จุดระเบิดทั้งสอง ทำให้ตัวคอยล์จุดระเบิดสร้างไฟสูงขึ้นที่ขด secondary จ่ายไปยังหัวเทียน



รูปที่ 2.29 การทำงานของคอยล์ในระบบจุดระเบิดแบบคอยล์คู่

การทำงานของคอยล์ทั้งสองดังในรูปที่ 1 กระแสจากทั้ง 2 ด้านของคอยล์ทั้งสองจะต่อเนื่อง คอยล์ที่ 1 จะเริ่มชาร์จเมื่อได้รับสัญญาณกระตุ้นจาก ECU ของเครื่องยนต์ ในขณะที่คอยล์ที่ 2 จะเริ่มชาร์จเมื่อสิ้นสุดเวลาดีเลย์ที่กำหนดขึ้น คอยล์ทั้งสองจะชาร์จจนกระทั่งถึงค่าสูงสุดของกระแสด้าน Primary ที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นการดิสชาร์จจะเริ่มขึ้นโดยได้รับสัญญาณกระตุ้นจาก ECU เช่นกัน ซึ่งการดิสชาร์จจะต่อเนื่องไปเรื่อยๆจนกระทั่งถึงค่า Threshold ต่ำสุดของกระแสด้าน Secondary คอยล์ทั้งสองจะชาร์จและดิสชาร์จสลับกันไปจนกระทั่งครบช่วงเวลาการจุดระเบิด ซึ่งการใช้ระบบจุดระเบิดแบบคอยล์คู่นี้ สามารถกำหนดระยะเวลาในการจุดระเบิด ช่วงเวลาในการชาร์จของคอยล์ สามารถควบคุมกระแสและพลังงานในการจุดระเบิดให้มีเสถียรภาพ

การใช้ระบบจุดระเบิดแบบคอยล์คู่จะช่วยทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ส่งผลให้ไอเสียที่ออกมามีสารที่ก่อให้เกิดมลพิษน้อยลง และเมื่อวาล์ว EGR ดึงไอเสียกลับไปใช้ก็จะช่วยลดคราบเขม่าและช่วยให้ระบบ EGR มีความทนทานมากขึ้นและเสื่อมสภาพช้ากว่าเดิม นอกจากนั้นยังส่งผลให้เครื่องยนต์เย็นลง และมีการสึกหรอของเครื่องยนต์น้อยกว่าเมื่อเทียบกับระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา

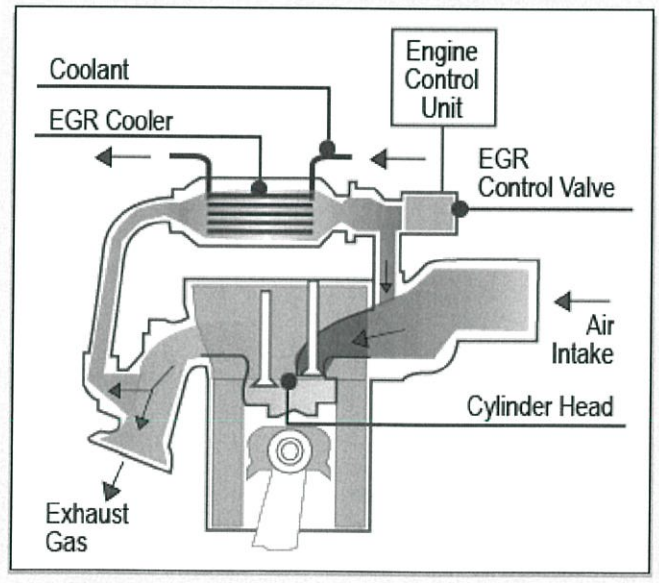
2.7 ระบบ EGR ของรถยนต์

2.7.1 ความหมายและหลักการของ EGR

EGR (Exhaust Gas Recirculation) คือวาล์วตัวหนึ่งที่ทำการดึงไอเสียจำนวนหนึ่งประมาณ 5-15 % จากท่อไอเสียกลับมาหมุนเวียนในการเผาไหม้ร่วมกับอากาศดีอีกรอบ เพื่อให้มีไอเสียที่ดีขึ้น ซึ่งประโยชน์หลักของมันนั้นก็เพื่อตอบสนองเรื่องการรักษาสิ่งแวดล้อม เช่นเดียวกับในเรื่องของการประหยัดน้ำมัน โดยหลักการทำงานก็คือ ECU จะรับข้อมูลมาจากเซนเซอร์ต่างๆ ทั้ง อุณหภูมิแก๊สไอเสีย ส่วนผสมหนาบาง และอื่นๆอีก แล้วมาประมวลผล ซึ่งถ้า ECU ตรวจพบว่าสภาวะการเผาไหม้อาจก่อให้เกิด NOx (Nitrous Oxides : ซึ่งเกิดจากการที่ ไนโตรเจน กับออกซิเจนในอากาศมาคลุกเคล้ารวมตัวกันแล้วเกิดการเผาไหม้ในลูกสูบ โดยช่วงของอุณหภูมิการเผาไหม้สูงกว่า 1,800 C)

ได้ ก็จะส่งสัญญาณไปสั่งให้ EGR วาล์วเปิด เพื่อให้แก๊สไอเสียบางส่วนไหลกลับเข้าไปเผาไหม้ซ้ำอีกครั้งหนึ่ง

การใช้ EGR ก็เพื่อจะนำความร้อนจากไอเสียเวียนกลับเข้ามาในเครื่องยนต์ ช่วยให้อุณหภูมิของไอดีสูงขึ้นในกระบวนการเผาไหม้ จึงเป็นการประหยัดพลังงาน แต่ประโยชน์ที่ได้รับเพิ่มเติมก็คือสามารถลดออกไซด์ของไนโตรเจน (NOx) ได้ด้วยซึ่งก๊าซนี้เป็นอันตรายต่อปอดและระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ ในปี ค.ศ.2002 ที่ผ่านมา หน่วยงานด้านสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (US Environmental Protection Agency or EPA) ได้กำหนดให้ลด NOx ลงอีก 50 % จากมาตรฐานปี ค.ศ 1998 (จาก 4.0 เป็น 2.0g / Break Horse-hr.) และมาตรฐานมลพิษของประเทศอื่นๆ ก็มีแนวโน้มในการลด NOx มากขึ้น จึงทำให้ผู้ผลิตเครื่องยนต์ดีเซลส่วนใหญ่จำเป็นต้องติดตั้งระบบ EGR มากขึ้น แต่ระบบ EGR มีข้อเสียคือความร้อนและสิ่งสกปรกที่เวียนกลับมากับไอเสีย ทำให้เครื่องยนต์มีคราบเขม่าเกาะจับ และน้ำมันเครื่องมีอุณหภูมิสูงขึ้นจึงเสื่อมสภาพเร็ว อีกทั้งมีธาตุกำมะถันและไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่บางส่วน ทำให้แปรสภาพเป็นกรด เกิดสนิมและเครื่องยนต์สึกหรอมากขึ้น ดังนั้นน้ำมันเครื่องที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลที่ติดตั้ง EGR นี้จะต้องมีความคงทน และคุณสมบัติพิเศษในการกำจัดสิ่งสกปรก กรดหรือป้องกันสนิมได้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 2.30 ระบบ Exhaust Gas Recirculation

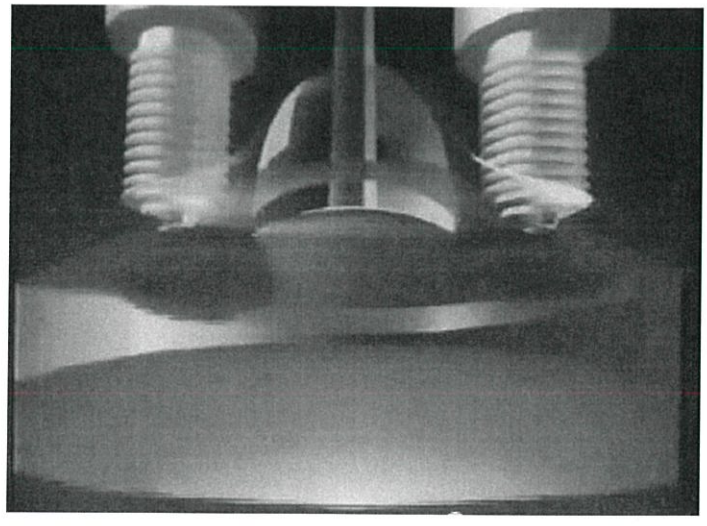
2.7.2 ข้อดี-ข้อเสีย ของการอุด EGR

การอุดวาล์ว EGR ไม่ใช่วิธีที่ถูกต้องในเชิงวิชาการ แต่ข้อดีของการอุดก็คือเป็นการปิดช่องทางในการนำไอเสียมาเผาไหม้ใหม่ ซึ่งจะส่งผลให้อากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์นั้นมีแต่อากาศที่ออกมาจากเทอร์โบ เมื่อผ่านชุดอินเตอร์คูลเลอร์ ก็ทำให้มีความเย็นลงและเป็นอากาศที่มีการควบแน่นสูงทำให้มีการตอบสนองที่ดีจากเครื่องยนต์

ส่วนข้อเสียของการอุดวาล์ว EGR ก็คือจากการวัดค่าอากาศและประมวลผลโดย ECU นั้น ค่าอากาศและส่วนผสมนั้นจะถูกประมวล และในจังหวะที่เครื่องยนต์มีการปล่อยไอเสียมากวาล์ว EGR ที่อยู่ตรงท่อไอดีก็จะเปิดขึ้นเพื่อให้ไอเสียนั้นกลับมาเผาไม้อีกครั้ง เพื่อลดก๊าซไอเสียอย่างคาร์บอนมอนนอกไซด์ หรือที่เรารู้จักในฐานะ "ควันดำ" ซึ่งมีส่วนประกอบโลหะหนักในกลุ่มควันเป็นอันตรายต่อสุขภาพ เมื่อวาล์วเปิดเครื่องยนต์ย่อมจะต้องสั่งลดการสั่งจ่ายน้ำมัน ให้ส่วนผสมบางลงเพื่อลดการเกิดแก๊ส แต่เมื่อทำการอุดวาล์ว EGR ผลคือส่วนผสมที่บางย่อมส่งผลในเรื่องของการจุดระเบิดที่ไม่ปกติ ซึ่งทำให้เครื่องยนต์ร้อนขึ้น เสี่ยงต่อเครื่องยนต์พังมากกว่า และเมื่อระบบไอเสียมีมลพิษมาก ผลคือระบบระบายไอเสียที่ปัจจุบัน มีตัวกรองไอเสีย ซึ่งเราเรียกว่า Caterlytic Converter นั้น จะทำหน้าที่หนักขึ้นและ เมื่อมันทำงานหนักก็เสี่ยงที่จะอุดตันเร็วกว่าปกติ เมื่อเทียบกับรถที่ไม่ได้ทำการอุด EGR และสุดท้ายที่ลืมนึกถึงไม่ได้ คือเทอร์โบ ที่ปัจจุบันเทอร์โบแบบ Variable หรือ Geometry turbo นั้นมีการอ่านค่าไอเสียและรอบเครื่องยนต์ในการปรับความสัมพันธ์ในการทำงานของชุดครีบ ซึ่งทำให้เสียหายต่อแกนเทอร์โบมีความร้อนสะสมมากกว่านั่นเอง

2.8 ระบบจุดระเบิดแบบคอยล์คู่หัวเทียนคู่ของ Alfa Romeo

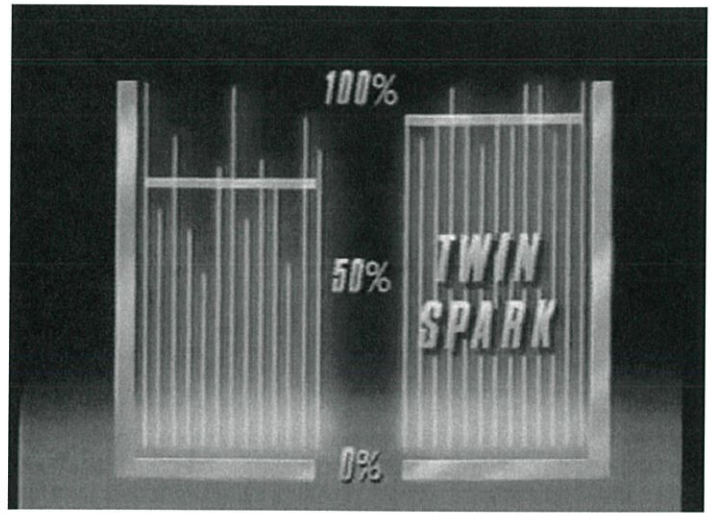
เทคโนโลยีการจุดระเบิดแบบคอยล์คู่หัวเทียนคู่ของ Alfa Romeo เปิดตัวครั้งแรกในงานเวิลด์กรังปรีซ์รถยนต์ในปี ค.ศ.1914 และในช่วงปี ค.ศ.1960 ได้ถูกใช้กับรถแข่ง เช่น GTA, TZ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ จนกระทั่ง ค.ศ.1980 ได้นำเทคโนโลยีนี้มาใช้กับรถยนต์ทั่วไป ซึ่งรถยนต์ทั่วไปจะใช้ระบบการจุดระเบิดแบบหัวเทียนเดียวเพื่อจุดระเบิดเครื่องยนต์ในหนึ่งรอบการทำงาน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมานี้ Alfa Romeo ได้ใส่หัวเทียนเพิ่มเข้าไปในระบบจุดระเบิด ทำให้เกิดเป็นระบบจุดระเบิดเครื่องยนต์แบบหัวเทียนคู่ในหนึ่งรอบการทำงาน โดยออกแบบให้หัวเทียนอยู่ในสองตำแหน่งที่ห่างกัน ซึ่งจากการทดลองพบว่าจะทำให้เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และยังจะเป็นการช่วยลดระดับการปล่อยมลพิษทางอากาศ



รูปที่ 2.31 ระบบจุดระเบิดแบบหัวเทียนคู่ของ Alfa Romeo

หลังจากที่ Alfa Romeo ได้คิดค้นระบบจุดระเบิดเครื่องยนต์แบบหัวเทียนคู่ออกมาได้ประมาณ 10 กว่าปี Mercedes และ Porsche ก็ได้ออกแบบระบบจุดระเบิดแบบหัวเทียนคู่ออกมาเช่นกัน แต่เนื่องจากฝาครอบกระบอกสูบมีพื้นที่จำกัด Mercedes และ Porsche จึงออกแบบให้มีวาล์วบนฝาครอบกระบอกสูบได้แค่ 2 หรือ 3 วาล์ว มีเพียงแค่ Alfa Romeo เท่านั้นที่สามารถออกแบบให้มี 4 วาล์วได้ ซึ่งแต่เดิมนั้น Alfa Romeo ได้ใช้แบบ 2 วาล์วและไม่ได้ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องยนต์แต่ใช้เพื่อแก้ปัญหาเมื่อเกิดการสะดุดของเครื่องยนต์เมื่อความเร็วรอบต่ำ

จากทฤษฎีและการทดลองพบว่าระบบจุดระเบิดแบบหัวเทียนคู่จะเผาไหม้เชื้อเพลิงได้เร็วกว่าแบบหัวเทียนเดียว เนื่องจากตำแหน่งของหัวเทียนที่ครอบคลุมกว่า ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็วและสมบูรณ์กว่า และยังเป็นการเพิ่มสมรรถภาพเครื่องยนต์และการใช้เชื้อเพลิงอย่างเต็มประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.32 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบจุดระเบิดแบบหัวเทียนคู่กับหัวเทียนเดียว

2.9 หัวเทียนทองคำขาว

หัวเทียน (Spark Plug) เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญชิ้นหนึ่งของเครื่องยนต์ ทำหน้าที่จุดประกายไฟทำให้ไอดีเกิดการเผาไหม้ หัวเทียนที่อยู่ในสภาพดี และการเลือกใช้หัวเทียนที่ถูกต้องกับสภาพของการใช้งานก็จะเป็นผลให้เครื่องยนต์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

หัวเทียนทองคำขาว (platinum spark plug) เป็นหัวเทียนที่แกนกลางทำจากโลหะทองคำขาวที่มีความบริสุทธิ์ถึง 99.99 เปอร์เซ็นต์ มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.3 ถึง 1.1 มิลลิเมตร (เล็กกว่าหัวเทียนแบบธรรมดา) มีจุดหลอมละลายสูงถึง 1,769 องศาเซลเซียส และมีคุณสมบัติพิเศษทนทานต่อการผุกร่อนที่มากระทบทั้งทางเคมีและทางไฟฟ้า และทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูง-ต่ำอย่างฉับพลันได้ดีจากการทดสอบรูปลักษณ์ต่าง ๆ ของแกนกลางของหัวเทียนพบว่าแกนกลางของหัวเทียนที่มีลักษณะ กลมมนจะเกิดประกายไฟได้ยาก ขณะที่แกนกลางของหัวเทียนเป็นรูป

ทรงกระบอกหรือปลายแหลมจะเกิดประกายไฟได้ง่ายมีการออกแบบหัวเทียนและโครงสร้างภายในใหม่โดยใช้แกนกลางเป็นโลหะทองคำขาว ซึ่งเป็นโลหะที่เป็นตัวนำทางไฟฟ้าได้ดีกว่าทองแดง (หัวเทียนแบบธรรมดา) และปลายของแกนกลางจะแหลม ประสิทธิภาพของหัวเทียนทองคำขาวที่ดีกว่าหัวเทียนแบบธรรมดา คือ

1. ขยายช่วงความร้อนได้กว้างมากกว่า
2. ทำให้หัวเทียนร้อนถึงอุณหภูมิทำงานได้เร็วกว่า
3. การที่ร้อนเร็วกว่าและร้อนสูงกว่า ทำให้ฉนวนและปลายหัวเทียนไม่มีเขม่าเกาะ
4. เมื่อไม่มีเขม่าเกาะที่ปลายหัวเทียน การจุดระเบิดจะสมบูรณ์ยิ่งขึ้น
5. เมื่อใช้ความเร็วสูงหัวเทียนจะไม่ร้อนเกินไปเพราะมีการออกแบบส่วนต่าง ๆ สัมพันธ์กันอย่างดี
6. มีอายุการใช้งานยาวนานกว่า 100,000 กิโลกมตร (60,000 ไมล์) โดยไม่ต้องถอดหัวเทียนออกมาทำความสะอาดและปรับตั้งระยะห่างเขี้ยวหัวเทียน

รูปที่ 2.33 หัวเทียนทองคำขาวแบบ 2 เขี้ยว

บทที่ 3
หลักการพื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์

3.1 บทนำ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) มาจากคำ 2 คำ คำหนึ่งคือไมโคร (Micro) หมายถึงขนาดเล็ก และคำว่า คอนโทรลเลอร์ (controller) หมายถึงตัวควบคุมหรืออุปกรณ์ควบคุม ดังนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงหมายถึงอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก แต่ในตัวอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กนี้ ได้บรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ ที่คนโดยส่วนใหญ่คุ้นเคย กล่าวคือภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้รวมเอาซีพียู, หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน

3.2 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์

โครงสร้างโดยทั่วไป ของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น สามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

1.หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU : Central Processing Unit)

2.หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) และหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory)

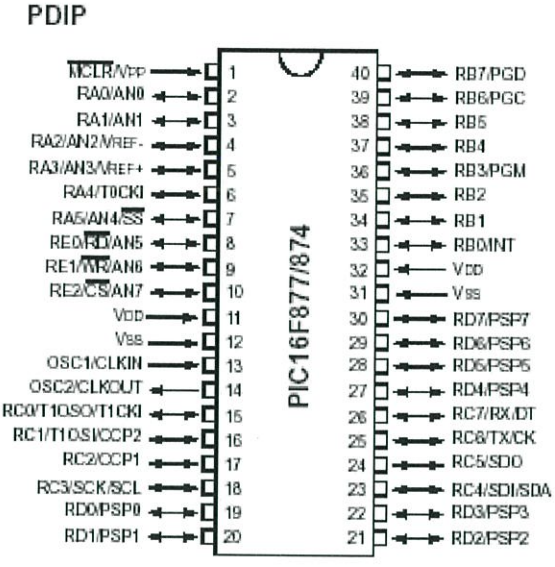
3.ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก

4.ช่องทางเดินของสัญญาณหรือบัส (BUS) คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่างซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต

5.วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับการกำหนดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูงจังหวะการทำงานจะสามารถทำได้ถี่ขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้นมีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย

3.3 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

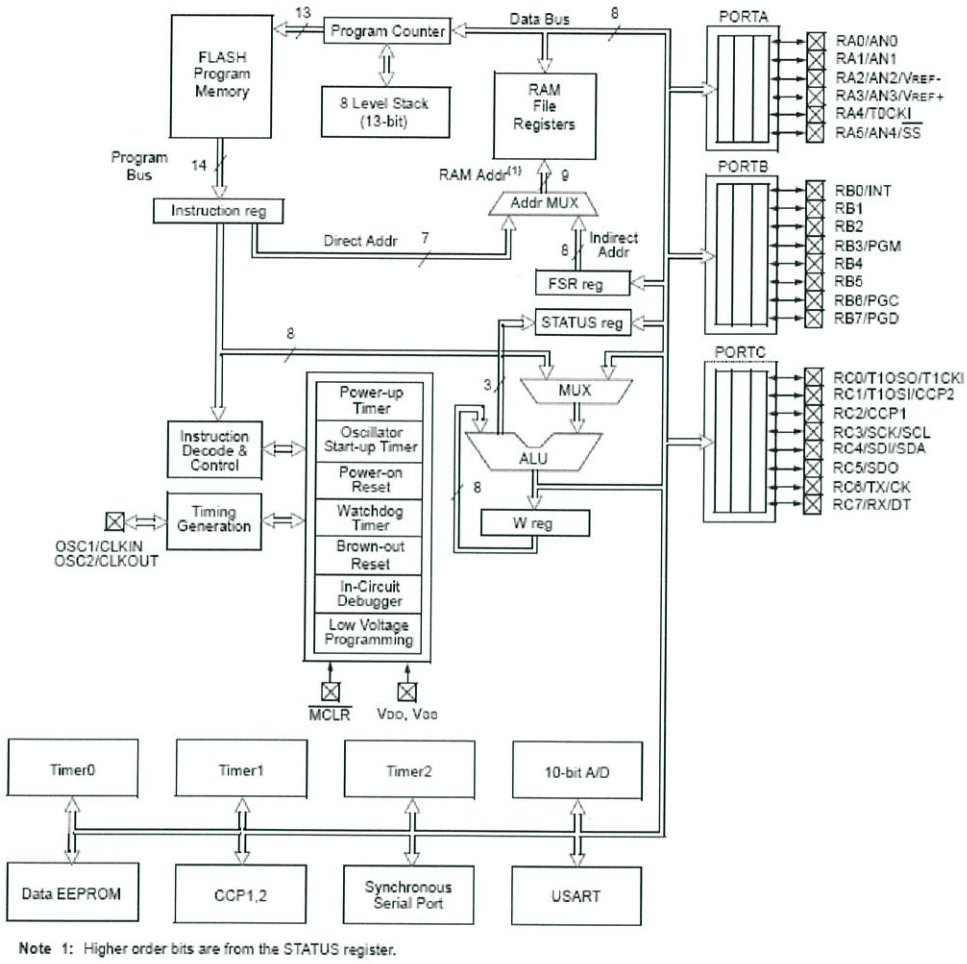
ไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล PIC ของบริษัท MICROSHIP เป็นไมโครคอนโทรเลอร์ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายมาก เพราะเป็นไมโครคอนโทรเลอร์ที่มีฟังก์ชันต่างๆมากมายอยู่ภายในตัว และความเร็วการทำงานนี้ จะมีความเร็วในการทำงานมากกว่า CPUทั่วไปที่ความถี่เดียวกัน เพราะว่า CPUของไมโครคอนโทรเลอร์ตัวนี้ จะใช้เวลาในการกระทำคำสั่งต่าง ๆ เพียง 1หรือ 2 cycle ต่อคำสั่งเท่านั้นโดยการทางานนี้มีลักษณะการทำงานแบบ Pipe line



รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

3.3.1 คุณสมบัติของ PIC16F877

- ในการปฏิบัติงานใช้เพียง cycle เดียว หรือ 2 cycle ในคำสั่งที่เป็นการกระโดด
- ความถี่สูงสุดที่ใช้งานได้คือ 20MHZ
- มีคำสั่งให้ใช้งาน 35 คำสั่ง
- ทำงานแบบ Pipe-lineทำให้ ณ เวลาหนึ่งทำงาน 2 อย่างพร้อมๆกันได้
- หน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบ Flash มีขนาด 8KWord (1 word=14 บิต)
- มี RAM ขนาด 368 ไบต์
- มี EEPROM ขนาด 256 ไบต์
- ตอบสนองกับอินเตอร์รัพได้ทั้งหมด 14 แหล่ง
- มี Stack ให้ใช้ได้สูงสุด 8 ระดับ
- มีระบบ Power On Reset, Power Up Timer, Oscillator Start-up timer
- Watchdog timer
- มีระบบ Code Protection
- โหมดประหยัดพลังงาน
- สัญญาณนาฬิกามีหลายโหมดให้เลือกใช้งาน คือ อาจจะใช้ XTAL หรือ วงจร RC ก็ได้
- สามารถโปรแกรมด้วยไฟ +5VDC
- มี Timer/Counter 3 ตัว
- มีโมดูล Capture/Compare/PWM อีก 2 ชุด
- มี A-TO-D Converter แบบ 10 บิต จำนวน 8 ช่องนำเข้า ในตัวเอง
- มี I/O พอร์ตทั้งหมด 5 พอร์ต
- มีระบบ USART สำหรับต่อกับ การสื่อสารแบบ RS232

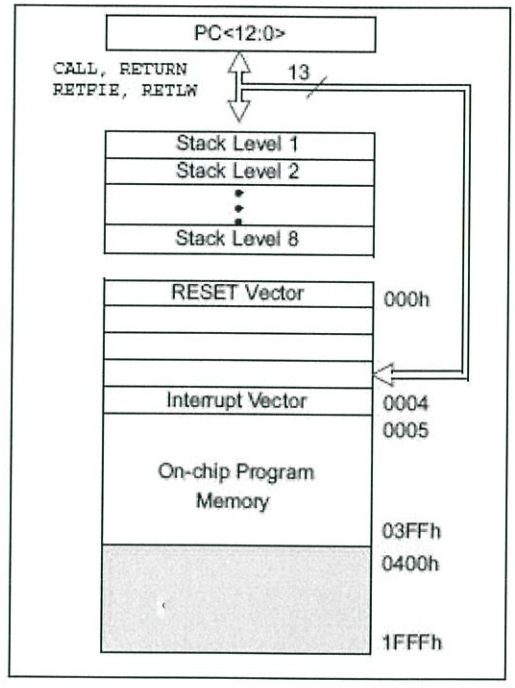


Note 1: Higher order bits are from the STATUS register.

รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

3.3.2 การจัดการกับหน่วยความจำส่วนโปรแกรม

ใน PIC16F877 มีโปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC) ขนาด 13 บิตเพื่อกำหนดการเข้าถึงหน่วยความจำโปรแกรม โดยใน PIC16F877 มีขนาดของหน่วยความจำโปรแกรม 8Kx14 บิต (หรือ 8 กิโลเวิร์ด) เนื่องจากไมโคนคอนโทรเลอร์ในอนุกรมนี้มีความจุของหน่วยความจำโปรแกรมค่อนข้างใหญ่จึงต้องจัดสรรเป็นเพจ (page) โดยในแต่ละเพจมีขนาด 2 กิโลเวิร์ด ทั้งนี้เนื่องจากชุดคำสั่งเกี่ยวกับการกระโดดของไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล PIC สามารถอ้างถึงตำแหน่งของหน่วยความจำสูงสุดได้ 2048 ตำแหน่ง



รูปที่ 3.3 แสดงการจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำ

จากรูป 3.7 แสดงการจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำโปรแกรมของ PIC16F877การจัดสรรดังกล่าวเป็นการจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมซึ่งอยู่ในช่วง 0x0000h-0x1FFFh สำหรับพื้นที่ 4 แอดเดรสแรกจะสงวนไว้เป็นที่เก็บค่าแอดเดรสรีเซตเวคเตอร์ซึ่งจัดสรรไว้ที่ตำแหน่ง 0x0000h และที่ตำแหน่ง 0x0004h เป็นที่เก็บค่าแอดเดรสอินเตอร์รัปต์เวคเตอร์ ดังนั้นในการเขียนโปรแกรมที่ดีควรกระโดดมาเริ่มต้นทำงานที่แอดเดรส 0x0005h จะเหมาะสมมากที่สุด

3.3.3 หน้าที่ของพอร์ตที่ใช้งาน

พอร์ต I/O พอร์ตทั้งหมด 5 พอร์ต ประกอบไปด้วย A, B, C, D, E และแต่ละพอร์ตจะมีจำนวนบิตที่ไม่เท่ากันซึ่งรวมแล้วจะมีพอร์ต I/O พอร์ตทั้งหมด จำนวน 33 บิต

3.3.3.1 PORT A

มีทั้งสิ้น 6 ช่องหรือ 6 บิตกำหนดชื่อขาเป็น RA0-RA5 รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือ PORTA มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x05h เป็นรีจีสเตอร์ขนาด 8 บิต แต่ใช้งานเพียง 6 บิต ที่เหลือ 2 บิต ต้องกำหนดให้เป็น "0" ส่วนการกำหนดทิศทางของพอร์ตนี้กระทำผ่านรีจิสเตอร์ TRISA ซึ่งมีแอดเดรสอยู่ที่ 0x85h มีขนาด 8 บิต และใช้เพียง 6 บิตเช่นกัน 2 บิตบนคือ บิต 6 และบิต 7 ต้องกำหนดให้เป็น "0" บิต 0 ของ TRISA ใช้กำหนดทิศทางของขาพอร์ต RA0 ไล่เรียงลำดับจนถึงบิต 5 ของ TRISA ใช้กำหนดทิศทางของขาพอร์ต RA5 หากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตในบิตใดเป็นอินพุต

ต้องเขียนข้อมูล "1" ไปยังบิตนั้น และในทางตรงข้ามหากต้องการกำหนดให้เป็นขาเอาต์พุตให้เขียนข้อมูล "0" ไปยังบิตนั้นดังแสดงรูปที่ 3.8

U-0	U-0	R/W-x	R/W-x	R/W-x	R/W-x	R/W-x	R/W-x
—	—	RA5	RA4	RA3	RA2	RA1	RA0
bit 7							bit 0

U-0	U-0	R/W-x	R/W-x	R-1	R/W-x	R/W-x	R/W-x
—	—	TRISA5	TRISA4	TRISA3	TRISA2	TRISA1	TRISA0
bit 7							bit 0

รูปที่ 3.4 แสดงบิตของพอร์ต A

โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ประกอบด้วย

พอร์ต A สามารถทำงานเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติ โดยมีหน้าที่อื่นๆ อีกโดยใช้เป็น

ขา RA0,RA1 จะมีการทำงานที่เหมือนกัน ซึ่งสามารถใช้งานเป็นขาอินพุตรับสัญญาณอนาล็อก

ขา RA2 สามารถใช้เป็นขาเอาท์พุตแสดงสัญญาณดิจิตอล, ใช้เป็นอินพุตสำหรับรับสัญญาณนาฬิกาของไทเมอร์ 0,ใช้เป็นอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอก

ขา RA3 สามารถใช้เป็นขารีเซตหลัก

ขา RA4 สามารถใช้เป็นขาต่อคริสตอล , รับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก , เป็นอินพุตเกตของไทเมอร์ 1

ขา RA5 สามารถใช้เป็นขาต่อคริสตอล, รับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก , เป็นอินพุตรับสัญญาณนาฬิกาของไทเมอร์ 1

เมื่อ ขาพอร์ต A ทำงานเป็นขาพอร์ตอินพุตดิจิตอล จะสามารถรับสัญญาณดิจิตอลระดับทีทีแอล (0-5V) ได้โดยตรง หากทำงานเป็นเอาต์พุตจะสามารถขับโหลดที่ต้องการกระแส 20 mA ได้หากนำมาขับ LED ต้องต่อตัวต้านทานจำกัดกระแส หรือถ้าใช้ไฟเลี้ยง 3 V ก็จะขับ LED ได้โดยตรง

3.3.3.2 PORT C

มีทั้งสิ้น 6 บิตกำหนดชื่อขาเป็น RC0-RC5 รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือ PORTC มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x07h เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ส่วนการกำหนดทิศทางของพอร์ตนี้กระทำผ่านรีจิสเตอร์ TRISC มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x87h มีขนาดเช่นเดียวกับพอร์ต A หากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตในบิตใดเป็นอินพุตต้องเขียนข้อมูล "1" ไปยังบิตนั้น และในทางตรงข้ามหากต้องการกำหนดให้เป็นขาเอาต์พุตให้เขียนข้อมูล "0" ไปยังบิตนั้นดังแสดงรูปที่ 3.9

U-0	U-0	R/W-x	R/W-x	R/W-x	R/W-x	R/W-x	R/W-x
—	—	RC5	RC4	RC3	RC2	RC1	RC0
bit 7							bit 0

U-0	U-0	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1
—	—	TRISC5	TRISC4	TRISC3	TRISC2	TRISC1	TRISC0
bit 7							bit 0

รูปที่ 3.5 แสดงบิตของพอร์ต C

โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์

พอร์ต C สามารถทำงานเป็นขาพอร์ตอินพุตและเอาท์พุตปกติได้ โดย ขา RC0-RC5 จะมีการทำงานที่เหมือนกัน

3.3.4 การอินเตอร์รัปต์

การอินเตอร์รัปต์ (interrupt) หรือการขัดจังหวะการทำงานของซีพียู นับเป็นคุณสมบัติที่ต้องมีในไมโครคอนโทรลเลอร์ และเป็นคุณสมบัติที่มีบทบาทสำคัญอย่างมากเมื่อนำไมโครคอนโทรเลอร์มาสร้างระบบควบคุมอัตโนมัติ โดยมีเงื่อนไขของการเกิดอินเตอร์รัปต์เป็นจริง จะมีการเซตแฟลกของอินเตอร์รัปต์นั้นๆขึ้น (ชื่อของแฟลกจะลงท้ายด้วยตัวอักษร F) จากนั้นจะตรวจสอบว่ามีการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์นั้นๆหรือไม่ (ชื่อของการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จะเหมือนกับชื่อแฟลกแต่จะลงท้ายด้วยตัวอักษร E)เช่น หากเกิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์เข้ามาที่ขา RA2 แฟลก INTF จะเซต และถ้าหากมีการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้ ซึ่งตรวจสอบจากบิต INTE และมีการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์รวมไว้ก็จะเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้นในระบบดังแสดงรูปที่ 3.10

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
GIE	PEIE	T0IE	INTE	RAIE	T0IF	INTF	RAIF
bit 7							bit 0

รูปที่ 3.6 แสดงบิตของการเลือกอินเตอร์รัปต์

นั่นคือ การจะกำหนดให้เกิดอินเตอร์รัปต์ขึ้นได้ ต้องมีการเตรียมการ 4 ขั้นตอน คือ

1. เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์รวม โดยการเซตบิต GIE ในรีจิสเตอร์ INTCONมีแอดเดรสอยู่ที่ 0x0Bh/0x8Bh หารบิตนี้ไม่มีการเซต จะไม่มีทางเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้นได้ แม้ว่าเงื่อนไขในการอินเตอร์รัปต์ของแหล่งกำเนิดต่างๆ จะเป็นจริง และมีการเอ็นเอเบิลแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์แล้วก็ตาม
2. เอ็นเอเบิลแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์
3. เขียนโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์ โดยมีแอดเดรสอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์อยู่ที่ 0x0004h
4. รอคอยให้เงื่อนไขของการอินเตอร์รัปต์ในลักษณะต่างๆเกิดขึ้น

3.3.5 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

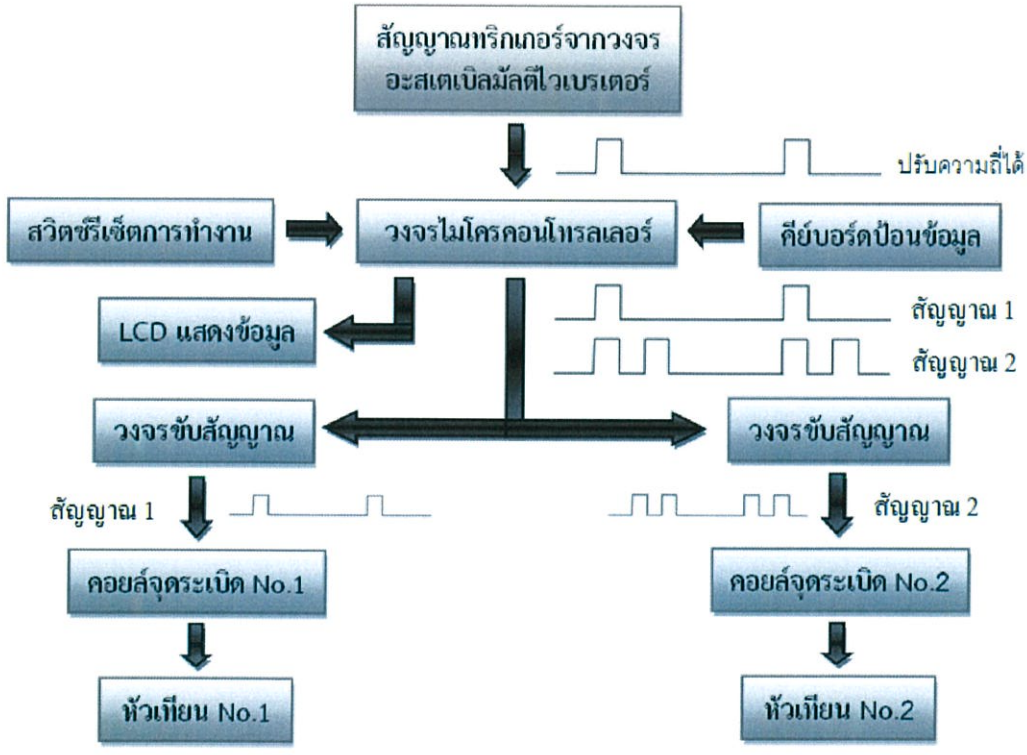
การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลเป็นวงจรสำคัญ ในการนำไปใช้ตรวจจับสัญญาณที่เป็นระดับ เช่นความดัน ความเร็ว เป็นต้น ในการตรวจจับสัญญาณเหล่านี้เราต้องมีวงจรแปลงสัญญาณเหล่านี้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าก่อน จากนั้นจึงได้แปลงมาเป็นสัญญาณดิจิตอล

สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC 16F877 จะมีขา I/Oทีรับสัญญาณ A/Dได้ถึง 8 ช่อง โดยใช้PORT A 5 ขา และPORT E 3ขา สำหรับความละเอียดในการแปลงสามารถเลือกได้ 2 ระดับ คือ ระดับ8บิต และระดับ 10 บิต โดยระดับ8บิตจะแปลงสัญญาณอนาลอก 0-5Vมาเป็นดิจิตอลได้ 256ค่า และระดับ 10 บิตจะแปลงสัญญาณอนาลอก 0-5V มาเป็นดิจิตอลได้ 1024 ค่า

บทที่ 4
หลักการออกแบบระบบจุดระเบิด

4.1 หลักการเบื้องต้น

จากบล็อกไดอะแกรมการทำงานเบื้องต้น เริ่มจากการที่วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์สร้างสัญญาณทริกเกอร์แล้วส่งไปกระตุ้นให้วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เริ่มทำการสร้างสัญญาณพัลส์จุดระเบิดเครื่องยนต์ โดยอาศัยคีย์บอร์ดเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการป้อนข้อมูลกำหนดรูปแบบของสัญญาณและมีสวิตช์สำหรับรีเซ็ตข้อมูล ซึ่งข้อมูลที่ป้อนเข้าไปจะแสดงผ่านทางหน้าจอ LCD และในส่วนของสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากคอนโทรลเลอร์ทั้งสองสัญญาณนั้น จะถูกขับไปยังคอยล์จุดระเบิดทั้งสองตัวและทำการจุดระเบิดหัวเทียนแต่ละตัวต่อไป ทำให้เกิดการจุดระเบิดแบบพร้อมเพรียงกันระหว่างหัวเทียนทั้งคู่

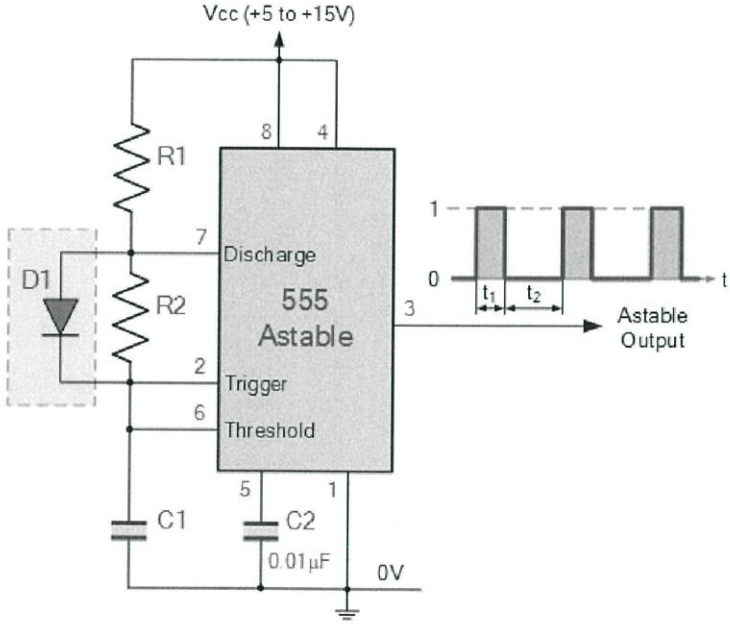


รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบจุดระเบิดแบบคอยล์คู่หัวเทียนคู่

4.2 หลักการออกแบบวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

จากรูปที่ 4.2 เป็นวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ที่ใช้จำลองสัญญาณทริกเกอร์จาก ECU ของเครื่องยนต์ ซึ่งสามารถปรับ T_{on} หรือ Duty Cycle และสามารถปรับค่าความถี่ของสัญญาณได้ โดยการต่อไดโอดเชื่อมระหว่างขา Discharge Input กับขา Trigger Input ซึ่งการชาร์จประจุของตัวเก็บประจุ C_1 จะชาร์จผ่านตัวต้านทาน R_1 เท่านั้นเพราะ R_2 ถูกคร่อมด้วยไดโอดทำให้กระแสไหลผ่านไดโอดแบบ Short Circuit ส่วนการคายประจุก็จะเป็นไปตามปกติคือผ่าน R_2

จากข้อมูลข้างต้น จะได้สูตรในการคำนวณช่วงเวลา t_1 และ t_2 คือ $t_1 = 0.639 \times R_1 \times C_1$ และ $t_2 = 0.639 \times R_2 \times C_1$ สูตรการคำนวณความถี่ คือ $f = 1.45/[(R_1 + 2\ R_2) \times C_1]$ และสูตรการคำนวณ Duty Cycle คือ $D = R_1/(R_1 + R_2)$ ซึ่งการที่จะได้ Duty Cycle ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ต้องกำหนดให้ R_1 มีค่าน้อยกว่า R_2



รูปที่ 4.2 วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์แบบปรับค่า Duty Cycle ได้

การออกแบบวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ในที่นี้จะกำหนดให้สัญญาณทริกเกอร์สามารถปรับค่า Duty Cycle ได้ในช่วงประมาณ 0 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และปรับค่าความถี่ของสัญญาณได้ในช่วงประมาณ 8.33 ถึง 167.67 Hz ซึ่งตรงกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ 500 ถึง 10,000 rpm

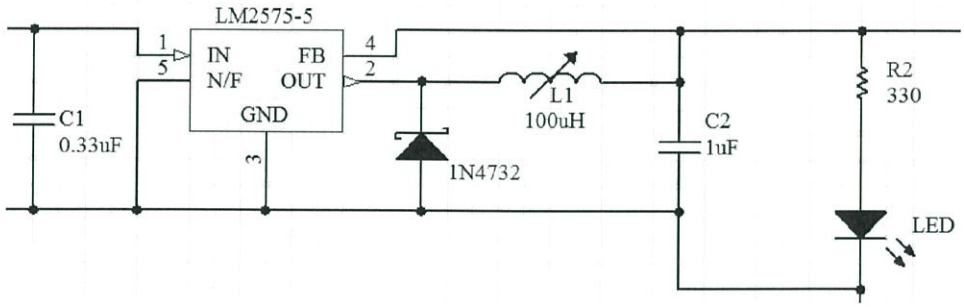
การออกแบบวงจรจะเป็นไปตามวงจรในรูปที่ 4.2 ซึ่งใช้ค่าตัวต้านทาน R_1 เท่ากับ 1K โอห์ม R_2 เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้ 50K โอห์ม และใช้ตัวเก็บประจุ C_1 เท่ากับ 3 ไมโครฟารัด ซึ่งการที่จะได้ค่าความถี่หรือ Duty Cycle ตามต้องการนั้นต้องอาศัยจากการปรับค่าความต้านทานจากตัวต้านทาน R_2 สำหรับการคำนวณเพื่อตรวจสอบช่วงของความถี่และ Duty Cycle โดยการแทนค่า R_1, R_2 และ C_1 สามารถทำได้ ดังนี้

ที่ความเร็วรอบเครื่อง 500 rpm จะได้ความถี่ (f) = 500/60 = 8.33 Hz และได้คาบเวลา (T) = 1/8.33 = 120 ms เมื่อคำนวณจากสูตร f = 1.45/[(R_1 + 2 R_2) x C_1] โดยแทนค่า R_1 = 1K, C_1 = 3 uF, และ f = 8.33 Hz จะได้ค่า R_2 = 28.3K โอห์ม ซึ่งจะสามารถคำนวณค่า Duty Cycle จากสูตร D = R_1/(R_1 + R_2) ได้เป็น 3.41 เปอร์เซ็นต์

ที่ความเร็วรอบเครื่อง 10,000 rpm จะได้ความถี่ (f) = 10,000/60 = 166.67 Hz และได้คาบเวลา (T) = 1/166.67 = 6 ms เมื่อคำนวณจากสูตร f = 1.45/[(R_1 + 2 R_2) x C_1] โดยแทนค่า R_1 = 1K, C_1 = 3 uF, และ f = 166.67 Hz จะได้ค่า R_2 = 940 โอห์ม ซึ่งจะสามารถคำนวณค่า Duty Cycle จากสูตร D = R_1/(R_1 + R_2) ได้เป็น 51.55 เปอร์เซ็นต์

4.3 หลักการออกแบบวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

4.3.1 ส่วนของวงจรเรกูเลเตอร์

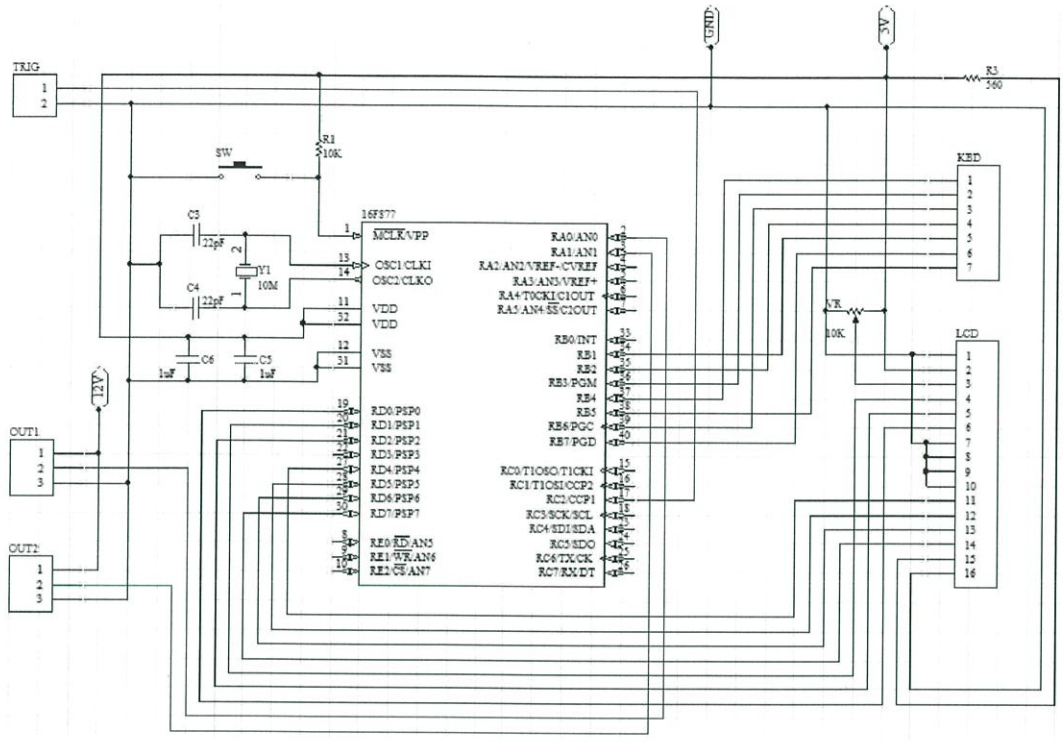


รูปที่ 4.3 วงจรเรกกูเลเตอร์แบบสวิชชิ่ง

การออกแบบวงจรจะเป็นแบบสวิชชิ่ง โดยใช้ LM2575–5 เป็นตัวแปลงแรงดันไฟฟ้าจาก 12 โวลต์เป็น 5 โวลต์เพื่อจ่ายให้กับ CPU หรือ PIC16F877 ซึ่ง LM2575-5 มีทั้งหมด 5 ขา คือ Input, Output, GND, Feedback และ ON/OFF ตามลำดับ ส่วนอุปกรณ์อื่นๆ เป็นไปตามรูปที่ 4.3

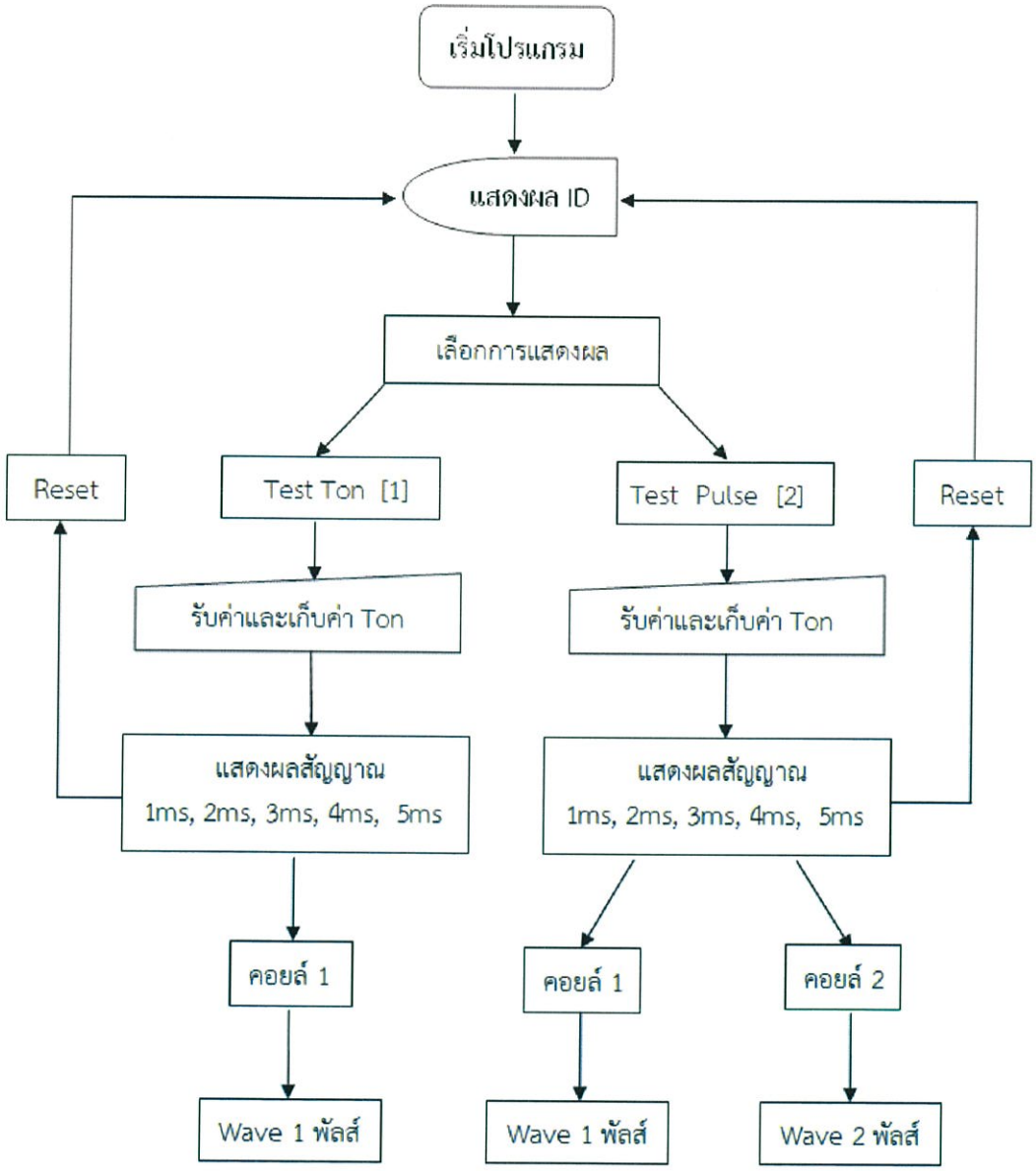
4.3.2 ส่วนของ CPU และพอร์ตต่างๆ

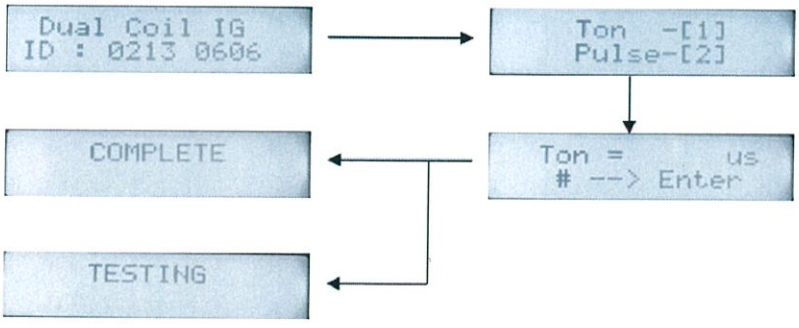
การออกแบบในส่วนของ CPU หรือส่วนประมวลผลจะใช้ PIC16F877 ต่อเข้ากับคีย์บอร์ด LCD แสดงผล สัญญาณอินพุท และสัญญาณเอาท์พุท โดยคีย์บอร์ดจะต่อเข้ากับพอร์ต RB1 ถึง RB7 ส่วน LCD แสดงผลจะต่อเข้ากับพอร์ต RD0 ถึง RD7 รวมทั้งกราวด์กับไฟเลี้ยง ส่วนสัญญาณอินพุทที่ส่งมาจากวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์จะถูกต่อเข้ากับ CCP1 ซึ่งตรงกับขา RC2 ของ PIC16F877 และส่วนของสัญญาณเอาท์พุทที่ส่งสัญญาณไปยังคอยล์จุดระเบิด จะถูกต่อเข้ากับขา RA0 และ RA1 ของ PIC16F877



รูปที่ 4.4 ส่วนของ CPU และการต่อพอร์ตต่างๆ

4.4 Flow Chart อธิบายการทำงานของโปรแกรม

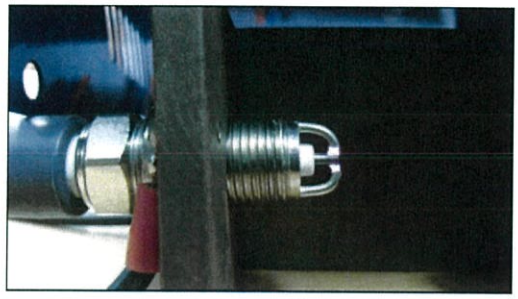




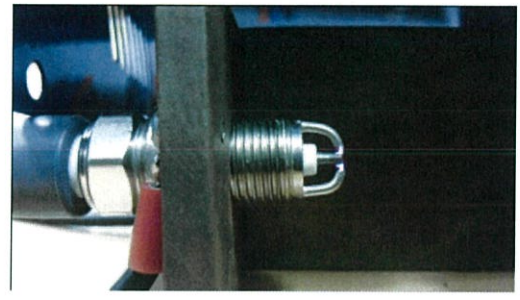
บทที่ 5
ผลการทดลอง

5.1 การทดลองที่ 1 การเปรียบเทียบสัญญาณ T_{on}

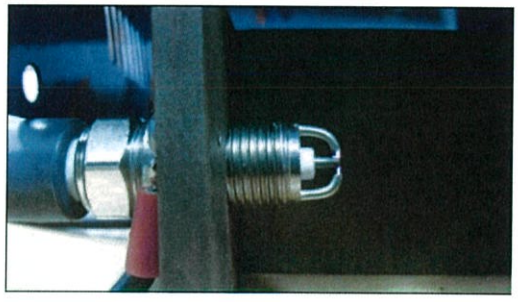
การทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบสัญญาณหรือประกายไฟที่ออกมาจากหัวเทียนโดยใช้ความเร็วรอบเครื่องยนต์เป็นค่ากลางๆ คือ 6,000 rpm และทำการป้อนค่า T_{on} เป็น 1ms, 2ms, 3ms, 4ms และ 5ms ตามลำดับ ซึ่งจะได้ผลดังรูปต่อไปนี้



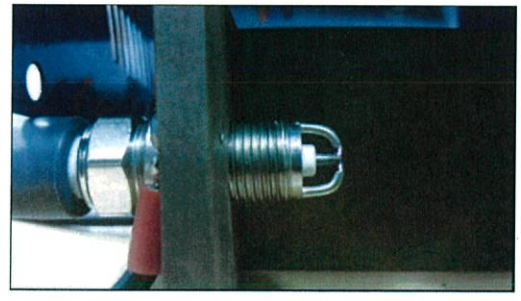
T_{on} = 1ms



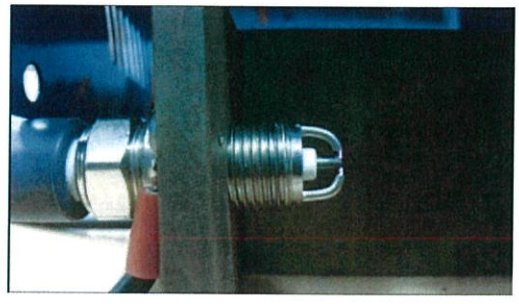
T_{on} = 2ms



T_{on} = 3ms



T_{on} = 4ms



T_{on} = 5ms

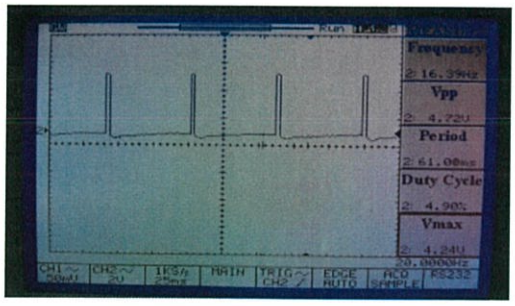
รูปที่ 5.1 การทดลองจุดระเบิดเปรียบเทียบค่า T_{on}

5.2 การทดลองที่ 2 การจุดระเบิดที่ความเร็วรอบเครื่องค่าต่างๆ

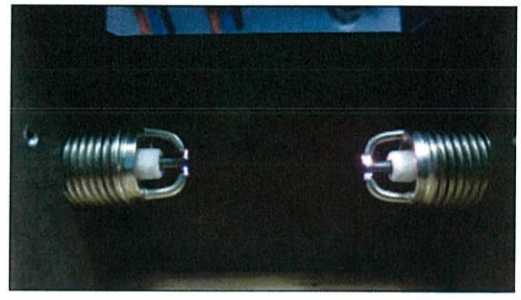
การทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบสัญญาณหรือประกายไฟที่ออกมาจากหัวเทียน โดยใช้ความเร็วรอบเครื่องยนต์เป็นค่า 1,000 rpm, 2,000 rpm, 4,000 rpm, 6,000 rpm และ 8,000 rpm และป้อนค่า T_{on} เป็น 1ms, 2ms, 3ms, 4ms และ 5ms ตามลำดับ ซึ่งจะได้ผลดังรูปต่อไปนี้

5.2.1 ทดลองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,000 rpm

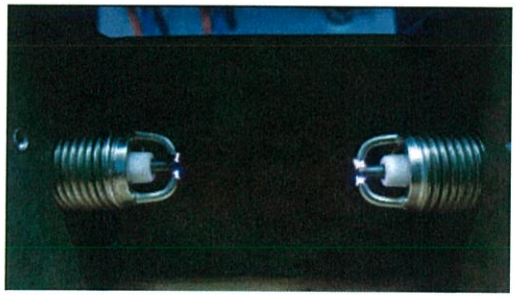
ที่ความเร็วรอบเครื่อง 1,000 rpm จะได้ความถี่ (f) = 1,000/60 = 16.67 Hz และได้คาบเวลา (T) = 1/16.67 = 60 ms เมื่อคำนวณจากสูตร $f = 1.45/[(R_1 + 2\,R_2) \times C_1]$ จะได้ค่าตัวต้านทาน R_2 = 13.9K โอห์ม และคำนวณค่า Duty Cycle จากสูตร $D = R_1/(R_1 + R_2)$ ได้เป็น 6.71%



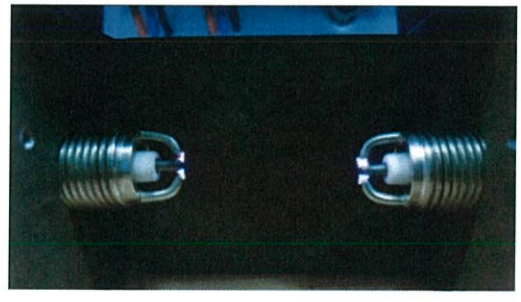
สัญญาณจากวงจร Astable



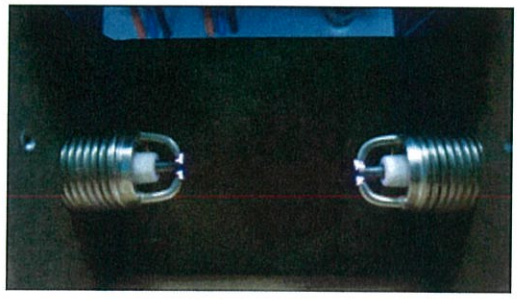
T_{on} = 1ms



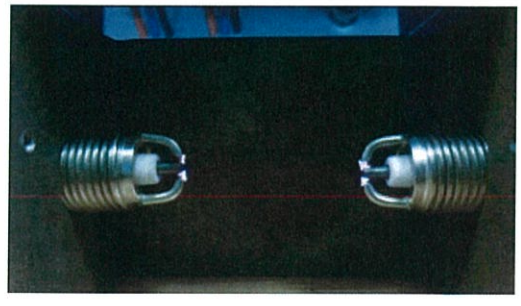
T_{on} = 2ms



T_{on} = 3ms



T_{on} = 4ms

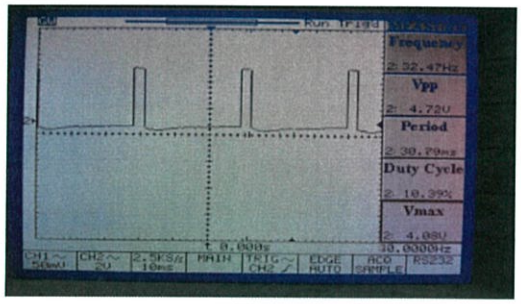


T_{on} = 5ms

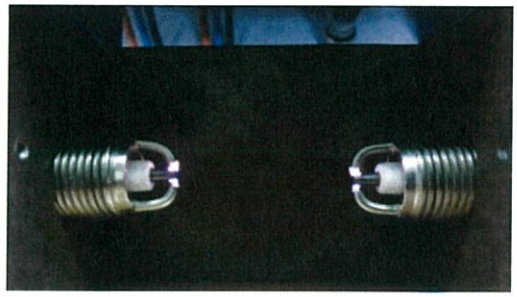
รูปที่ 5.2 การทดลองจุดระเบิดที่ความเร็วรอบ 1,000 rpm

5.2.2 ทดลองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm

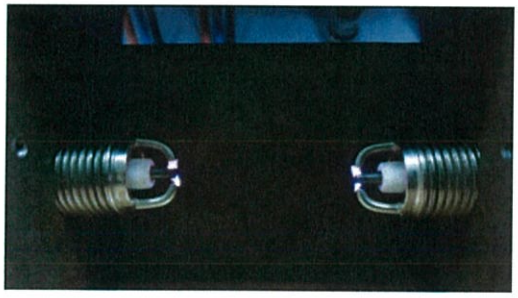
ที่ความเร็วรอบเครื่อง 2,000 rpm จะได้ความถี่ (f) = 2,000/60 = 33.33 Hz และได้คาบเวลา (T) = 1/33.33 = 30 ms เมื่อคำนวณจากสูตร $f = 1.45/[(R_1 + 2\ R_2) \times C_1]$ จะได้ค่าตัวต้านทาน R_2 = 6.7K โอห์ม และคำนวณค่า Duty Cycle จากสูตร $D = R_1/(R_1 + R_2)$ ได้เป็น 12.98%



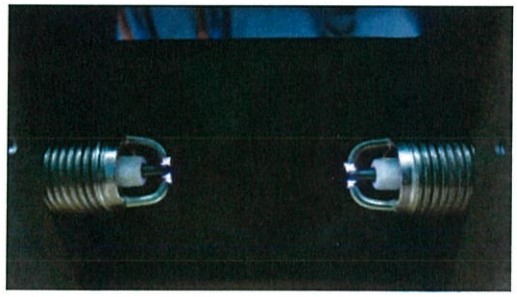
สัญญาณจากวงจร Astable



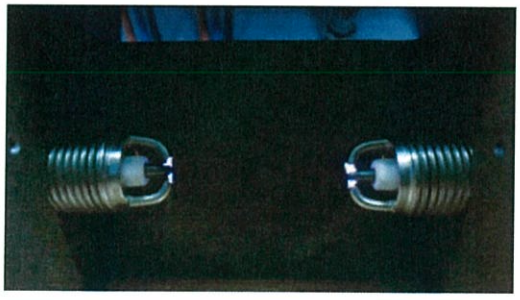
T_{on} = 1ms



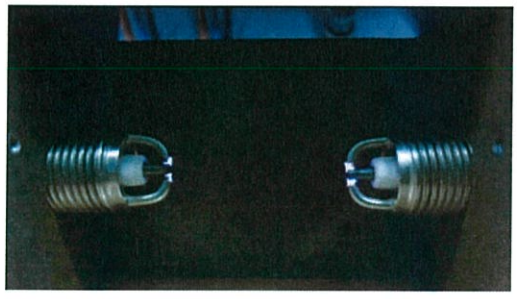
T_{on} = 2ms



T_{on} = 3ms



T_{on} = 4ms

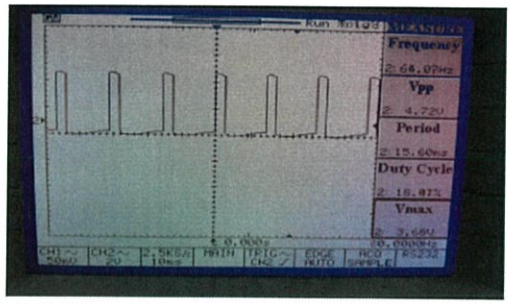


T_{on} = 5ms

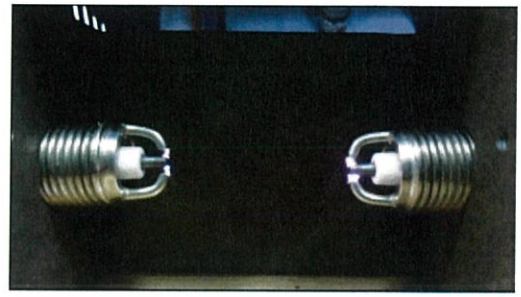
รูปที่ 5.3 การทดลองจุดระเบิดที่ความเร็วรอบ 2,000 rpm

5.2.3 ทดลองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 4,000 rpm

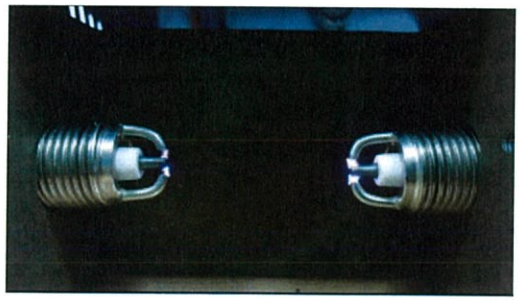
ที่ความเร็วรอบเครื่อง 4,000 rpm จะได้ความถี่ (f) = 4,000/60 = 66.67 Hz และได้คาบเวลา (T) = 1/66.67 = 15 ms เมื่อคำนวณจากสูตร $f = 1.45/[(R_1 + 2\ R_2) \times C_1]$ จะได้ค่าตัวต้านทาน R_2 = 3.1K โอห์ม และคำนวณค่า Duty Cycle จากสูตร $D = R_1/(R_1 + R_2)$ ได้เป็น 24.39%



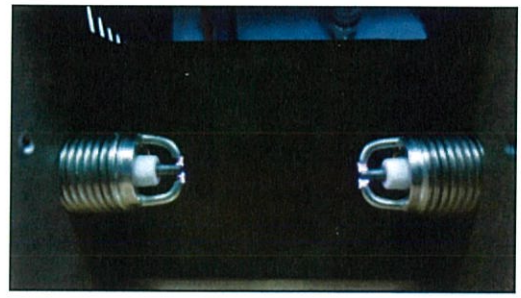
สัญญาณจากวงจร Astable



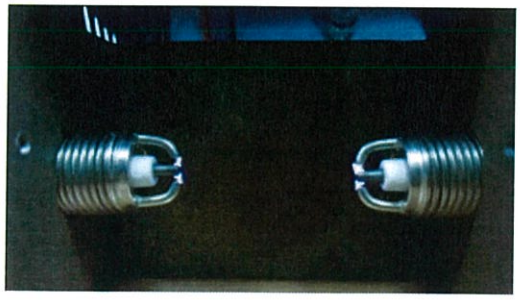
T_{on} = 1ms



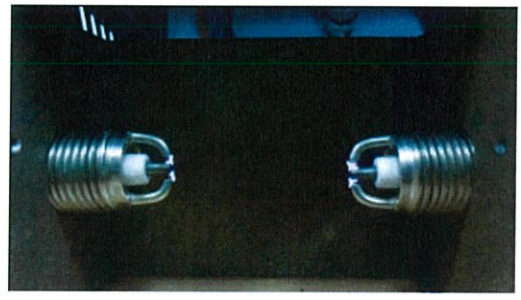
T_{on} = 2ms



T_{on} = 3ms



T_{on} = 4ms

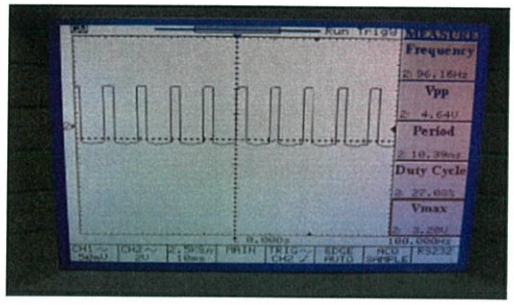


T_{on} = 5ms

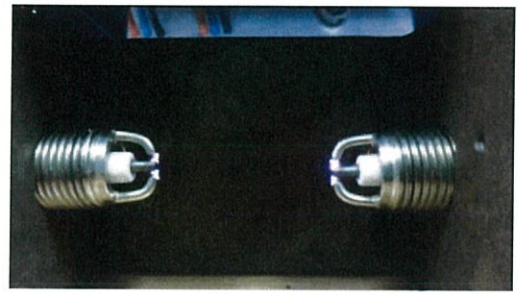
รูปที่ 5.4 การทดลองจุดระเบิดที่ความเร็วรอบ 4,000 rpm

5.2.4 ทดลองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 6,000 rpm

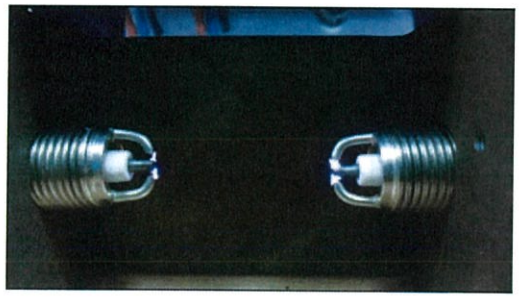
ที่ความเร็วรอบเครื่อง 6,000 rpm จะได้ความถี่ (f) = 6,000/60 = 100 Hz และได้คาบเวลา (T) = 1/100 = 10 ms เมื่อคำนวณจากสูตร $f = 1.45/[(R_1 + 2\ R_2) \times C_1]$ จะได้ค่าของตัวต้านทาน R_2 = 1.9K โอห์ม และคำนวณค่า Duty Cycle จากสูตร $D = R_1/(R_1 + R_2)$ ได้เป็น 34.48%



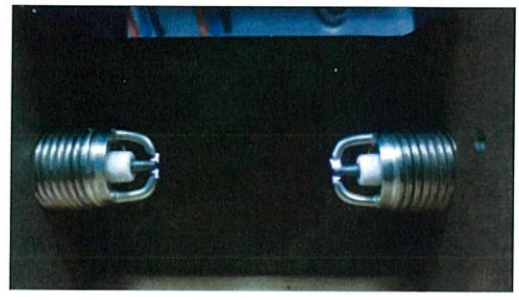
สัญญาณจากวงจร Astable



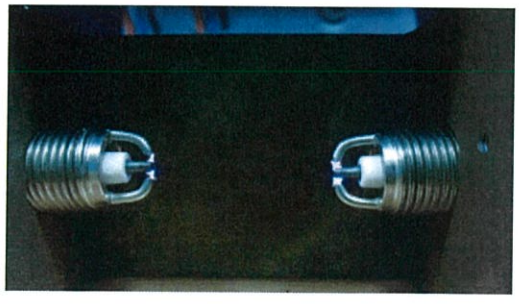
T_{on} = 1ms



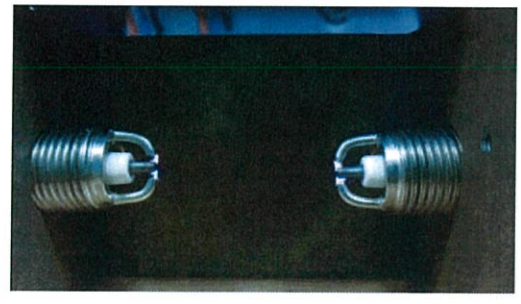
T_{on} = 2ms



T_{on} = 3ms



T_{on} = 4ms

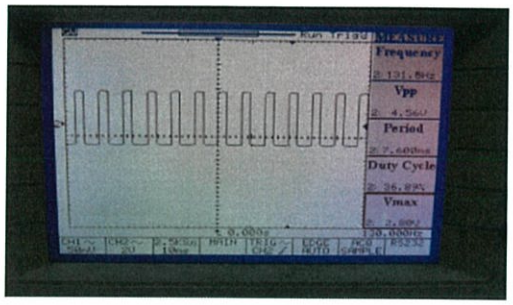


T_{on} = 5ms

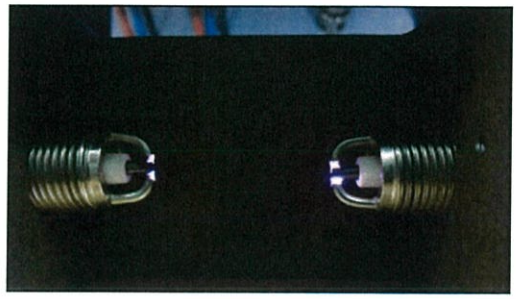
รูปที่ 5.5 การทดลองจุดระเบิดที่ความเร็วรอบ 6,000 rpm

5.2.5 ทดลองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 8,000 rpm

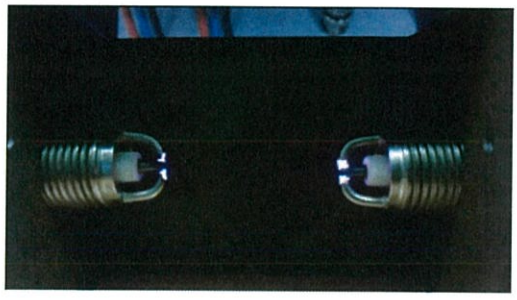
ที่ความเร็วรอบเครื่อง 8,000 rpm จะได้ความถี่ (f) = 8,000/60 = 133.33 Hz และได้คาบเวลา (T) = 1/133.33 = 7.5 ms เมื่อคำนวณจากสูตร $f = 1.45/[(R_1 + 2\ R_2) \times C_1]$ จะได้ค่าตัวต้านทาน R_2 = 1.3K โอห์ม และคำนวณค่า Duty Cycle จากสูตร $D = R_1/(R_1 + R_2)$ ได้เป็น 43.47%



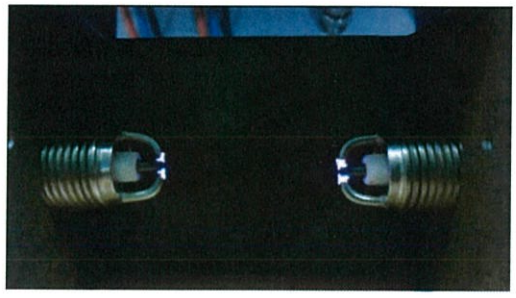
สัญญาณจากวงจร Astable



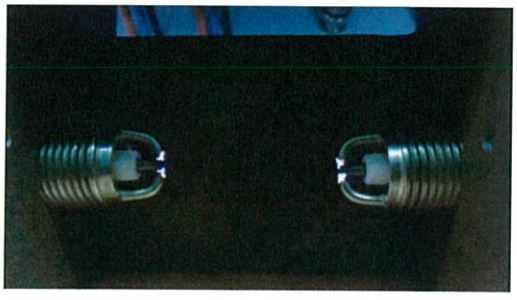
T_{on} = 1ms



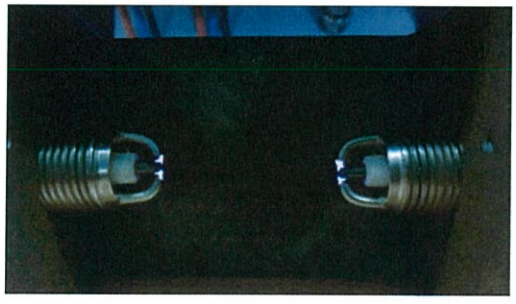
T_{on} = 2ms



T_{on} = 3ms



T_{on} = 4ms



T_{on} = 5ms

รูปที่ 5.6 การทดลองจุดระเบิดที่ความเร็วรอบ 8,000 rpm

บทที่ 6
สรุปผลการทดลอง

6.1 การทดลองที่ 1 การเปรียบเทียบสัญญาณ T_{on}

จากการทดลองป้อนค่า T_{on} ให้กับสัญญาณการจุดระเบิด จะพบว่าสัญญาณในการจุดระเบิดที่ T_{on} ค่า 1ms 2ms 3ms 4ms และ 5ms จะมีความแตกต่างกันโดยเราจะสามารถสังเกตจากประกายไฟในรูปภาพได้ เนื่องจากประกายไฟในการจุดระเบิดที่ออกมาไม่เท่ากัน โดยจากรูปภาพเราจะเห็นได้ว่าที่ T_{on} ค่าเท่ากับ 1ms มีการจุดระเบิดดีที่สุด ทั้งนี้เป็นเพราะว่าคอยล์จะมีเวลาในการชาร์จประจุในคอยล์ได้นานที่สุดจึงทำให้มีการจุดระเบิดที่ดีและมีประกายไฟที่ดีที่สุด

6.2 การทดลองที่ 2 การจุดระเบิดที่ความเร็วรอบเครื่องค่าต่างๆ

จากการทดลองจุดระเบิดในความเร็วรอบของเครื่องยนต์ค่าต่างๆ จากรูปเราจะพบว่าที่ การจุดระเบิดของคอยล์ทั้งสองข้างจะมีความแตกต่างกัน โดยไม่ว่าจะเป็น T_{on} ค่า 1ms 2ms 3ms 4ms และ 5ms ซึ่งคอยล์ทางด้านขวามือหรือคอยล์ที่มีสัญญาณการจุดระเบิด 2 พัลส์ จะมีสีของประกายไฟในการจุดระเบิดจะมีสีอ่อนกว่าอีกคอยล์หนึ่งที่มีสัญญาณในการจุดระเบิด 1 พัลส์ซึ่งก็คือคอยล์ที่อยู่ทางซ้ายมือ ทั้งนี้เป็นเพราะว่าช่วงเวลาในการจุดระเบิดของคอยล์ทางขวามือมีช่วงเวลาไม่พอในการชาร์จประจุน้อยกว่าอีกคอยล์จึงที่ให้มีประกายไฟในการจุดระเบิดสีอ่อนกว่า และไม่ว่าจะเป็น T_{on} ค่า 1ms 2ms 3ms 4ms และ 5ms ก็จะมีการจุดระเบิดที่ดีขึ้นเมื่อมีความถี่ที่เหมาะสม โดยจะสังเกตได้จากรูปภาพของการจุดระเบิดเพราะว่าประกายไฟในรูปจะมีความหนาในช่วงความถี่ที่เหมาะสม

ดังนั้น จากการทดลองจึงทำให้รู้ว่าในการจุดของคอยล์จุดระเบิดจะต้องมีเวลาในการชาร์จประจุที่เพียงพอสำหรับการจุดระเบิดจึงทำให้มีการจุดระเบิดที่ดีและให้ความแรงของไฟมากที่สุด และเมื่อใช้ช่วงความถี่ในการจุดที่เหมาะสมก้อจะทำให้มีการจุดระเบิดที่ดีขึ้นกว่าเดิม ในที่นี้ความถี่ค่าสูงๆ จะทำให้เกิดการจุดระเบิดที่ดีกว่า โดยสังเกตได้จากแถบความหนาของประกายไฟของการจุดระเบิด

เอกสารอ้างอิง

[1]. ประณต กุลประสูตร, "ทฤษฎีเครื่องยนต์เบนซิน", สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 448 หน้า, 2551

[2]. วีระเชษฐ์ ขันเงิน วุฒิพล ธาราธีรเศรษฐ์, "อิเล็กทรอนิกส์กำลัง", วี.เจ. พริ้นติ้ง, 845 หน้า, 2547

[3]. "Advance PIC Microcontroller in C", I-Style, 420 หน้า

[4]. http://www.alldatasheet.com

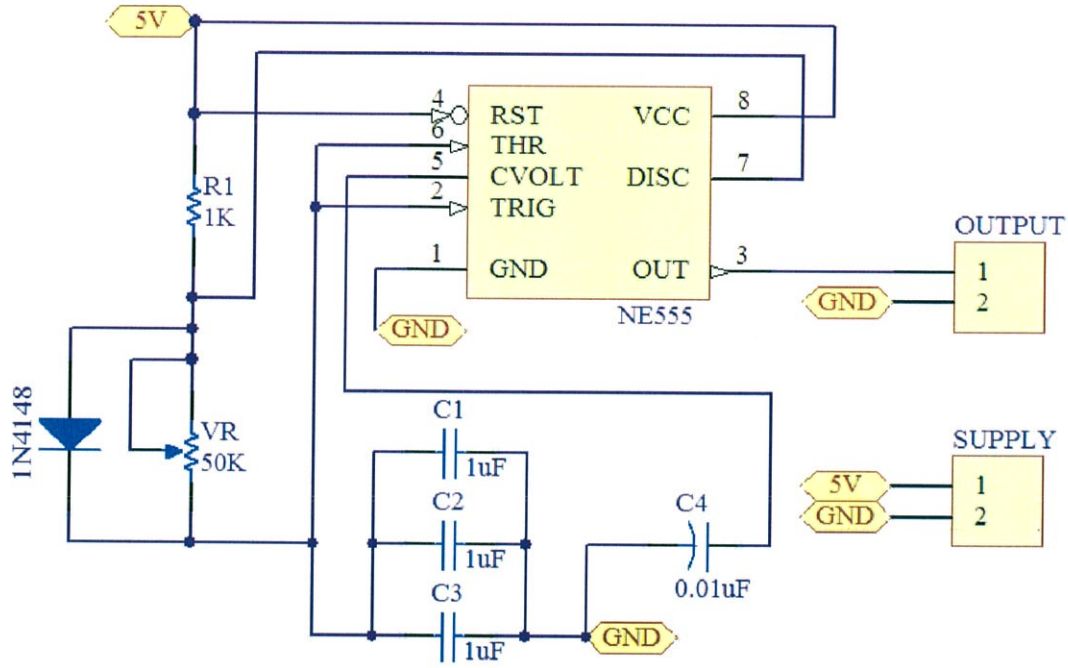
[5]. http://ignitioncoil-vios.blogspot.com

[6]. http://www.electronics-tutorials.ws/waveforms/555_oscillator.html

[7]. http://wintesla2003.com/topic/124747

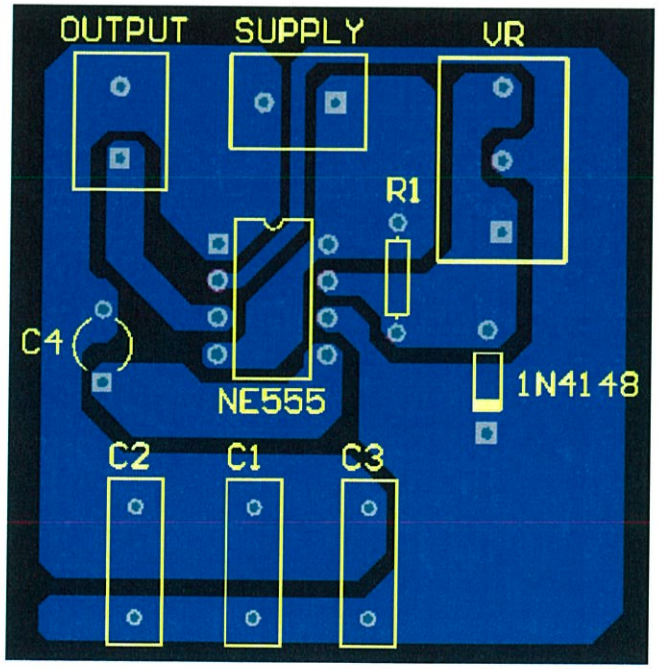
ภาคผนวก

Schematic ของวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์



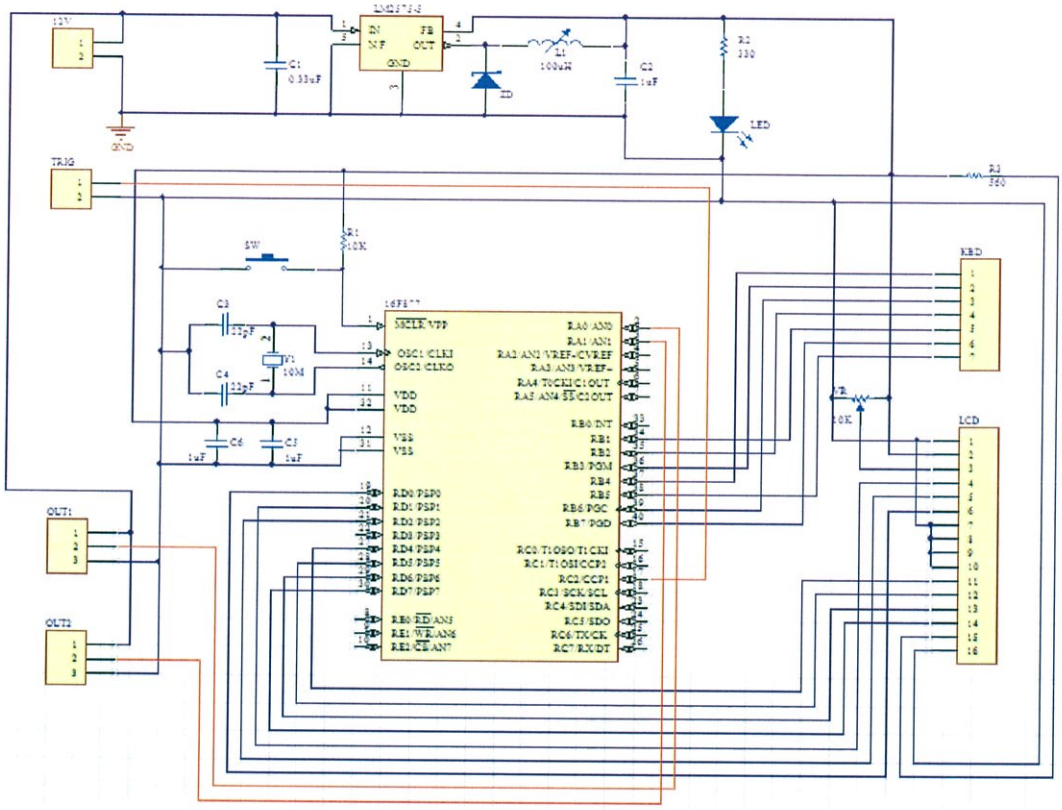
รูปที่ ก. Schematic ของวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

PCB ของวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์



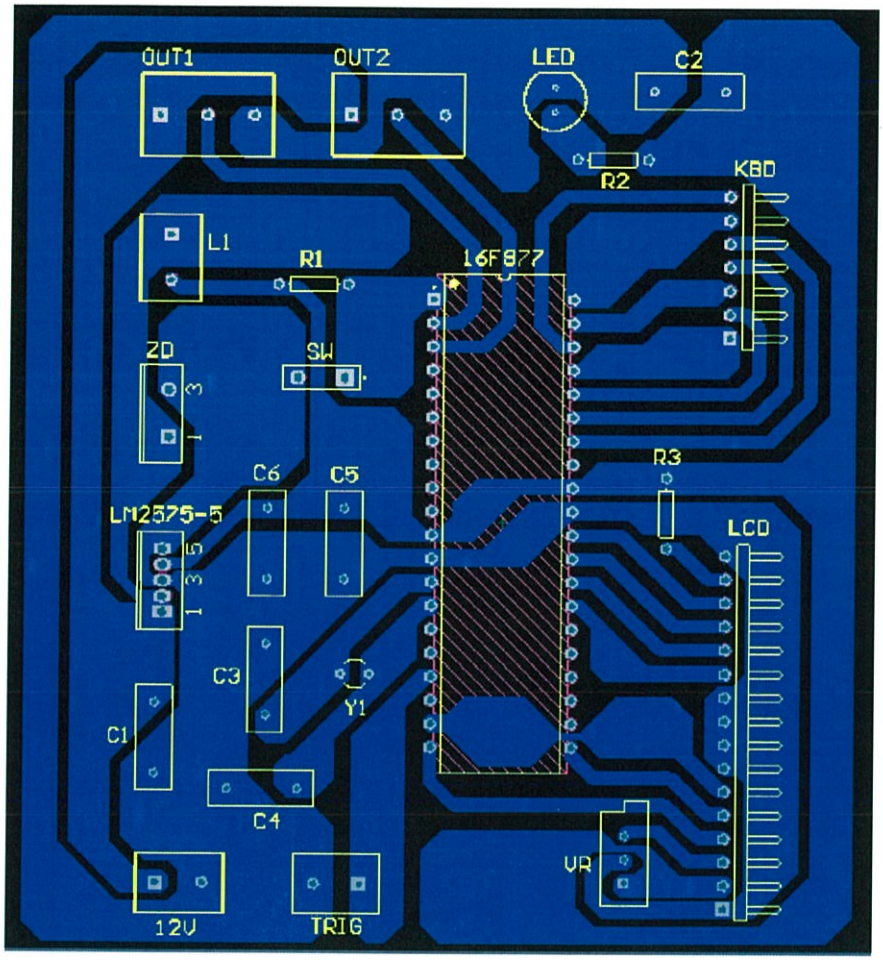
รูปที่ ข. PCB ของวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

Schematic ของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ ค. Schematic ของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

PCB ของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ ง. PCB ของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

Code Program

```
#include <16F877.h>
#fuses HS,NOPROTECT,NOPUT,NOWDT
#use delay(clock=10000000)
//#use rs232(baud=9600,xmit=pin_c6,rcv=pin_c7)
#define use_portb_kbd
#include <lcd.c>
#include <kbd.c>

unsigned long time,Ton;
unsigned int k,kp[5],i,m,one,two;


#int_ccp1
void CCP1_ISR(void)
{
  time=get_timer1();
  if(one==49)
    {
    output_high(pin_a0);
    delay_us(Ton);
    output_low(pin_a0);

    }

  if(two==50)
    {
    output_high(pin_a0);
    output_high(pin_a1);
    delay_us(Ton);
    output_low(pin_a0);
    output_low(pin_a1);
    delay_us(Ton);

    output_high(pin_a1);
```

```
      delay_us(Ton);
      output_low(pin_a1);
      }

   set_timer1(0);

}

void kbd_pullup_init()
{
   port_b_pullups(true);
}

void main()
{
   enable_interrupts(GLOBAL);
   enable_interrupts(INT_CCP1);


   lcd_init();
   kbd_pullup_init();

   lcd_putc(" Dual Coil IG \n");
   lcd_putc("ID : 0213 0606  ");
   delay_ms(1000);
   lcd_putc('\f');
   lcd_putc("    Ton  -[1]  \n");
   lcd_putc("    Pulse-[2]   ");


     while(true)
     {

      m=0;
      Ton=0;
        k=kbd_getc();
```

```
    if(k!=0)
    {
     if(k=='1')
     {
       one=k;
       lcd_putc('\f');
       lcd_putc("  Ton =      us \n");
       lcd_putc("   # --> Enter ");

    for(;;)
    {
    k=kbd_getc();
    if(k!=0)
    {
      if(k=='#')break;

       lcd_gotoxy(9+m,1);
       lcd_putc(k);
       kp[m]=k-48;
       m++;
       k=0;
    }
    }
for(i=0;i<m;i++)
    {
      Ton=Ton*10+kp[i];
    }
    m=0;
    lcd_putc('\f');
     lcd_putc("    TESTING   ");


       setup_ccp1(CCP_CAPTURE_RE);

       setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_4);
       set_timer1(0);
```

```
        set_tris_a(0x10);
        set_tris_b(0xff);
        set_tris_c(0xff);

      while(true)
        {
           ;
        }
    }

  if(k=='2')
    {
    two=k;
              lcd_putc('\f');
              lcd_putc("  Ton =      us \n");
              lcd_putc("   # --> Enter ");

          for(;;)
          {
          k=kbd_getc();
          if(k!=0)
            {
            if(k=='#')break;

            lcd_gotoxy(9+m,1);
            lcd_putc(k);
            kp[m]=k-48;
            m++;
            k=0;
            }
          }
for(i=0;i<m;i++)
   {
     Ton=Ton*10+kp[i];
   }
```

```
        m=0;
         lcd_putc('\f');
         lcd_putc("    COMPLETE    ");


           setup_ccp1(CCP_CAPTURE_RE);

           setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_4);
           set_timer1(0);

           set_tris_a(0x10);
           set_tris_b(0xff);
           set_tris_c(0xff);

        while(true)
          {
             ;
          }

          }

        }
        }

}
```