สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบจุดระเบิดหลายครั้งบนหัวเทียนไร้เขี้ยวในเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

Gasoline Engine Multi Spark Plug On Plain Spark Plug

โดย

นายกฤศ ศรีวิลาศ

นางสาวกฤษณา เจริญเจียงชัย

นายอชิระ วิไลลักษณ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.จิรวัฒน์ ป่านกลาง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 119349
วัน,เดือน,ปี 7 S.A. 2554

T119349

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบจุดระเบิดหลายครั้งบนหัวเทียนไร้เขี้ยวในเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

GASOLINE ENGINE MULTI SPARK PLUG ON PLAIN SPARK PLUG

ผู้จัดทำ

1.	นายกฤศ	ศรีวิลาศ	รหัสนักศึกษา	50010042
2.	นางสาวกฤษณา	เจริญเจียงชัย	รหัสนักศึกษา	50010048
3.	นายอชิระ	วิไลลักษณ์	รหัสนักศึกษา	50011815

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์จิรวัฒน์ ปานกลาง)

ระบบจุดระเบิดหลายครั้งบนหัวเทียนไร้เขี้ยวในเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

นาย กฤศ ศรีวิลาศ รหัส 50010042
นางสาว กฤษณา เจริญเจียงชัย รหัส 50010048
นาย อชิระ วิไลลักษณ์ รหัส 50011815
รศ. จิรวัฒน์ ปานกลาง อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

โครงงานฉบับนี้เป็นการพัฒนาการจุดระเบิดหัวเทียนเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ซึ่งปกติการจุดระเบิดหัวเทียน ใน 1 รอบ การทำงานของเครื่องยนต์ จะจุดระเบิดหัวเทียน 1 ครั้งต่อ 1 หัว แต่ในโครงงานนี้สามารถจุดได้มากกว่า 1 ครั้งต่อ 1 หัวได้ โดยโครงงานนี้ จะแบ่งการทำงานหลัก 3 ส่วน คือ 1. ส่วนการประมวลผล คือ ส่วนของการสร้างสัญญาณพัลส์และกำหนดจำนวนครั้งของการจุดระเบิด จากนั้นเข้าสู่การประมวลผลและส่งสัญญาณเข้าสู่ 2. ส่วนขับสัญญาณ คือ ส่วนที่รับสัญญาณจากส่วนประมวลผลและขยายสัญญาณไปยังขดลวดเหนี่ยวนำ 3. ส่วนการจุดระเบิดที่ใช้คอยล์จุดระเบิด และ ส่วนของหัวเทียนที่จะทำการจุดระเบิดภายในกระบอกสูบหรือห้องสันดาป

Gasoline Engine Multi Spark Plug On Plain Spark Plug

Mr.Krit Srivilas ID. 50010042

Miss.Kritsana Charoenchiengchai ID. 50010048

Mr.Achira Wilailux ID.50011815

Assoc.Prof.Jirawath Parnklang Advisor

Education Year 2010

Abstract

This project is developing spark plug ignition circuit in gasoline engine by controlling the sparked time in 1 cycle of engine from 1 time per spark plug to several times. There are 3 parts of project. First, processing that generate pulse signal and control time of spark plug then reach to process and send to next part. Second, signal driver is receive signal from processing part and amplify into coil. Third, signal from driving part send to step up voltage part by ignition coil and spark plug is igniting in combustion chamber.

สารบัญ

บทคัดย่อ		i
ABSTRACT		ii
สารบัญ		iii
สารบัญรูปและตาราง		vi
บทที่ 1 บทนำ		1
1.1	ความเป็นมาของโครงงาน	1
1.2	วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3	องค์ประกอบของโครงงาน	1
1.4	โครงสร้างของรายงาน	2
1.5	ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 หลักการของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน		3
2.1	หลักการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ	3
2.2	ไดอะแกรมแสดงจังหวะการเปิดและปิดลิ้น	4
2.3	ระบบจุดระเบิด	5
2.4	ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา	6
2.4.1	แบตเตอรี่ (Battery)	7
2.4.2	สวิตช์ไฟจุดระเบิด	7
2.4.3	ทองขาว	8
2.4.4	คอนเดนเซอร์	8
2.4.5	คอยล์จุดระเบิด	9
2.4.5.1	คอยล์จุดระเบิดแบบมีความต้านทานภายนอก	10
2.4.6	สายไฟแรงสูง	11
2.4.7	หัวเทียน	11
2.4.8	การทำงานของระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา	12
2.5	การจุดระเบิดล่วงหน้า	14
2.5.1	แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	15
2.5.2	แบบสุญญากาศ	15
2.6	มุมดเวลล์	17

2.7 ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์ 18

2.7.1 ระบบจุดระเบิดแบบจานจ่ายไฟกับอุปกรณ์ควบคุม การจุดระเบิดล่วงหน้าแบบกลไกและแบบสุญญากาศ 19

2.7.2 ระบบจุดระเบิดแบบจานจ่ายไฟกับอุปกรณ์ควบคุม การจุดระเบิดล่วงหน้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ 23

2.7.3 ระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟกับคอยล์จุดระเบิดหลายตัว 29

2.7.4 ระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟกับการจุดระเบิดโดยตรง 35

บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการทำงานของ PIC16F877A 40

3.1 Microcontroller PIC 40

3.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของ PIC 16F877A 41

3.2.1 คุณสมบัติหลัก 41

3.2.2 คุณสมบัติพิเศษเพิ่มเติม 43

3.3 การอินเตอร์รัปต์ 49

3.4 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล 50

3.5 โครงสร้างของภาษา CCS 51

บทที่ 4 หลักการออกแบบวงจรจุดระเบิดหัวเทียน 68

4.1 หลักการเบื้องต้น 68

4.1.1 การจำลองสัญญาณรอบเครื่องยนต์ 69

4.1.2 หลักการออกแบบสัญญาณจุดระเบิด 70

4.1.3 รูปแบบของสัญญาณจุดระเบิดที่แปรผันตามประเภทของคอยล์ 77

4.2 หลักการออกแบบวงจรจุดระเบิด 78

บทที่ 5 ผลการทดลอง 80

5.1 ผลการวัดสัญญาณพัลส์ที่ได้จากการจำลองสัญญาณ 80

5.2 ผลการสร้างสัญญาณพัลส์ 1-5 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบต่างๆ 84

5.3 ผลการทดลองสัญญาณพัลส์ 1-5 พัลส์ที่ความถี่ค่าต่างๆ 94

5.4 ผลการทดลองส่วนจุดระเบิด 104

บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง 106

6.1 ส่วนการสร้างสัญญาณจำลอง 106

6.2 ส่วนการจำลองสัญญาณการจุดระเบิด 106

6.3 ส่วนวงจรจุดระเบิด 107

ภาคผนวก 108
กิตติกรรมประกาศ 114
หนังสืออ้างอิง 115

สารบัญรูปภาพและตาราง

บทที่ 2 หลักการของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ 3

รูปที่ 2.2 ไดอะแกรมแสดงจังหวะการทำงานของลิ้นสำหรับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ 5

รูปที่ 2.3 ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา 6

รูปที่ 2.4 แสดงองค์ประกอบของแบตเตอรี่ 7

รูปที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบสำคัญของทองขาว 8

รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของคอนเดนเซอร์ 9

รูปที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของคอยล์จุดระเบิด 10

รูปที่ 2.8 เปรียบเทียบโครงสร้างของสายไฟแรงสูงที่ใช้กันในปัจจุบันกับสายไฟแรงสูงที่ใช้กันในอดีต 11

ที่ 2.9 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของหัวเทียน 11

รูปที่ 2.10 แสดงการทำงานของระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาขณะหน้าทองขาวปิด 13

รูปที่ 2.11แสดงการทำงานของระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาขณะหน้าทองขาวเปิด 13

รูปที่ 2.12 แสดงการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมเวลาในการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบแรงเหวี่ยง 15

รูปที่ 2.13 แสดงการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมเวลาในการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบสุญญากาศ 16

รูปที่ 2.14 แสดงผลจากการใช้อุปกรณ์ควบคุมเวลาในการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางร่วมกับแบบสุญญากาศ 17

รูปที่ 2.15 แสดงมุมดเวลล์ของทองขาว 18

รูปที่ 2.16 แสดงความสัมพันธ์ของการจัดตั้งความห่างระหว่างหน้าทองขาวกับมุมดเวลล์ 18

รูปที่ 2.17 ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์ 19

รูปที่ 2.18 แสดงจานจ่ายไฟของระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ขดลวดกำเนิดสัญญาณแล้วอุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบกลไกสำหรับเครื่องยนต์ 4 สูบ 21

รูปที่ 2.19 แสดงส่วนประกอบที่ใช้ในระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้จาน

จ่ายไฟที่ใช้ขดลวดกำเนิดสัญญาณกับมอดูลควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์-สัญญาณแรงเคลื่อนจากขดลวดกำเนิดสัญญาณได้ถูกแสดงไว้มุมขวาล่าง 21
รูปที่ 2.20 แสดงจานจ่ายไฟสำหรับจุดระเบิดพลังงานสูง 22
รูปที่ 2.21 แสดงฝาจานจ่ายไฟสำหรับระบบจุดระเบิดพลังงานสูงที่ติดตั้งคอยล์จุดระเบิดภายในฝาจานจ่ายไฟ 23
รูปที่ 2.22 ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้การจุดระเบิดล่วงหน้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ 24
รูปที่ 2.23 แสดงจานจ่ายไฟที่ใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์ 25
รูปที่ 2.24 จานจ่ายไฟจุดระเบิดพลังงานสูงที่ใช้อุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ 26
รูปที่ 2.25 แสดงมอดูลจุดระเบิดแบบ 7 ขั้วสาย หรือ มอดูลจุดระเบิดพลังงานสูงที่ใช้ในจานจ่ายไฟจุดระเบิดพลังงานสูงของเครื่องยนต์กับอุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ 26
รูปที่ 2.26 แสดงจานจ่ายไฟแบบโฟโตไดโอดเชิงแสงที่ใช้การเปิด-ปิดของลำแสงในการควบคุมวงจรขดลวดปฐมภูมิ 27
รูปที่ 2.27 แสดงรูปด้านบนของจานจ่ายไฟแบบโฟโตไดโอดเชิงแสง จะเห็นแผ่นที่เจาะเป็นร่องและชุดตรวจจับโฟโตออปติกติดตั้งอยู่ภายใน 28
รูปที่ 2.28 ระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟ 29
รูปที่ 2.29เครื่องยนต์แบบสูบวี 6 สูบ กับระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟ สังเกตตำแหน่งที่ติดตั้งตัวตรวจจับสัญญาณตำแหน่งของเพลาราวลิ้นและตำแหน่งของเพลาข้อเหวี่ยง 30
รูปที่ 2.30 แผนผังของระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟสำหรับเครื่องยนต์แบบสูบวี 6 สูบ ซึ่งใช้คอยล์จุดระเบิด 3 ตัว จุดประกายไฟที่หัวเทียน 6 หัว 30
รูปที่ 2.31 แสดงให้เห็นการทำให้เกิดประกายไฟที่หัวเทียนพร้อมกันถึง 2 หัวของคอยล์จุดระเบิดเพียงตัวเดียว ซึ่งวิธีนี้เรียกว่าวิธีประกายไฟสูญเปล่า 31
รูปที่ 2.32 แสดงตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยงแบบแม่เหล็ก ที่เมื่อร่องของแผ่นจัดจังหวะการจุดระเบิดหมุนไปตรงกับตัวตรวจจับก็จะทำให้เกิดพัลส์แรงเคลื่อนหรือสัญญาณซึ่งใช้บอกความเร็วและตำแหน่งของเพลาข้อเหวี่ยง 32

รูปที่ 2.33 แสดงโครงสร้างของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยงแบบขดลวดกำเนิดสัญญาณ 32
รูปที่ 2.34 แสดงให้เห็นว่าสวิตช์ฮอลล์เอฟเฟกต์เปิด-ปิดทรานซิสเตอร์ซึ่งเปลี่ยนแปลงสัญญาณแรงเคลื่อนอ้างอิงอย่างไร 34
รูปที่ 2.35 แสดงสัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาราวลิ้นที่สัมพันธ์กับสัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยง ระหว่างการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง 2 รอบ ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยง 35
รูปที่ 2.36 ระบบจุดระเบิดโดยตรงซึ่งไม่ต้องใช้สายไฟหัวเทียน 36
รูปที่ 2.37 มอดูลจุดระเบิดและคอยล์จุดระเบิด 2 ตัว ติดตั้งอยู่ภายในตัวเรือนภายใต้ฝาครอบของเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบจุดระเบิดโดยตรง 36
รูปที่ 2.38 ระบบจุดระเบิดด้วยตัวเก็บประจุ หรือแบบซีดีไอ ที่หัวเทียนแต่ละหัวจะมีคอยล์จุดระเบิดและตัวเก็บประจุของตนเองติดตั้งเข้าไปในแท่งจุดระเบิดที่ติดตั้งอยู่เหนือหัวเทียน 38
รูปที่ 2.39 ระบบจุดระเบิดด้วยตัวเก็บประจุหรือแบบซีดีไอ ที่แสดงให้เห็นแท่งจุดระเบิดระบบนี้จะทำให้หัวเทียนเกิดประกายไฟเมื่อสวิตช์หรือทรานซิสเตอร์ปิดวงจรขดลวดปฐมภูมิ 38

บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการทำงานของ PIC16F877A

รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะตัว PIC 16F877A 40
รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 43
รูปที่ 3.3 แสดงการจัดขาของ PIC 16F877A 44
รูปที่ 3.4 แสดงการจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำ 49
รูปที่ 3.5 แสดงบิตของการเลือกอินเตอร์รัปต์ 50
รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะ โครงสร้างภาษาซี 51
รูปที่ 3.7 โมดูล LCD Character 16x2 66
ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดการทำงานในแต่ละขาสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ 44
ตารางที่ 3.2 แสดงชนิดข้อมูล 53
ตารางที่ 3.3 แสดงรายละเอียดของชนิดข้อมูลแบบทศนิยม 54
ตารางที่ 3.4 โหมด CCP กับการใช้งานไทเมอร์ 64
ตารางที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ของ CCP1 และ CCP2 กับไทเมอร์ 64

ตารางที่ 3.6 แสดงชุดคำสั่งควบคุมการทำงานของโมดูล LCD 67

บทที่ 4 หลักการออกแบบวงจรจุดระเบิดหัวเทียน

รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรจุดระเบิดหัวเทียน 68

รูปที่ 4.2 แบบจำลองการตรวจวัดค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 70

รูปที่ 4.3 โฟลชาร์ตแสดงการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ มาสเตอร์ 71

รูปที่ 4.4 โฟลชาร์ตแสดงการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ สเลฟ 72

รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะของสัญญาณที่จะทำการสร้างโดยมีจำนวนพัลส์ 1, 2, 3, 4, 5 ลูกตามลำดับ 73

รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะของช่วงของเวลา Ti และ Ts 75

รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะของช่วงของเวลา Sub period และ Sub duty 75

รูปที่ 4.8 แสดงรูปแบบของสัญญาณที่ใช้กับคอยล์ประเภทมีสวิตช์ภายใน 77

รูปที่ 4.9 แสดงรูปแบบของสัญญาณที่ใช้กับคอยล์ประเภทธรรมดา 77

รูปที่ 4.10 แสดงรูปวงจรจุดระเบิดหัวเทียน 78

บทที่ 5 ผลการทดลอง

รูปที่ 5.1 แสดงผลสัญญาณพัลส์ที่ความเร็วรอบ 500 RPM ความถี่ 4.167 Hz 80

รูปที่ 5.2 แสดงผลสัญญาณพัลส์ที่ความเร็วรอบ 1500 RPM ความถี่ 12.5 Hz 81

รูปที่ 5.3 แสดงผลสัญญาณพัลส์ที่ความเร็วรอบ 2000 RPM ความถี่ 16.67 Hz 81

รูปที่ 5.4 แสดงผลสัญญาณพัลส์ที่ความเร็วรอบ 3000 RPM ความถี่ 25 Hz 82

รูปที่ 5.5 แสดงผลสัญญาณพัลส์ที่ความเร็วรอบ 4000 RPM ความถี่ 33.33 Hz 82

รูปที่ 5.6 แสดงผลสัญญาณพัลส์ที่ความเร็วรอบ 5000 RPM ความถี่ 41.67 Hz 83

รูปที่ 5.7 แสดงผลสัญญาณพัลส์ที่ความเร็วรอบ 6000 RPM ความถี่ 50 Hz 83

รูปที่ 5.8 แสดงสัญญาณพัลส์ 1 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที 84

รูปที่ 5.9 แสดงสัญญาณพัลส์ 2 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที 84

รูปที่ 5.10แสดงสัญญาณพัลส์ 3 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที 85

รูปที่ 5.11แสดงสัญญาณพัลส์ 4 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที 85

รูปที่ 5.12 แสดงสัญญาณพัลส์ 5 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที 86

รูปที่ 5.13 แสดงสัญญาณพัลส์ 1 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที 86

รูปที่ 5.14 แสดงสัญญาณพัลส์ 2 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที 87

รูปที่ 5.15 แสดงสัญญาณพัลส์ 3 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที 87

รูปที่ 5.16 แสดงสัญญาณพัลส์ 4 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที 88

รูปที่ 5.17 แสดงสัญญาณพัลส์ 5 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที 88
รูปที่ 5.18 แสดงสัญญาณพัลส์ 1 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที 89
รูปที่ 5.19 แสดงสัญญาณพัลส์ 2 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที 89
รูปที่ 5.20 แสดงสัญญาณพัลส์ 3 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที 90
รูปที่ 5.21 แสดงสัญญาณพัลส์ 4 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที 90
รูปที่ 5.22 แสดงสัญญาณพัลส์ 5 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที 91
รูปที่ 5.23 แสดงสัญญาณพัลส์ 1 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 6000 รอบต่อนาที 91
รูปที่ 5.24 แสดงสัญญาณพัลส์ 2 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 6000 รอบต่อนาที 92
รูปที่ 5.25 แสดงสัญญาณพัลส์ 3 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 6000 รอบต่อนาที 92
รูปที่ 5.26 แสดงสัญญาณพัลส์ 4 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 6000 รอบต่อนาที 93
รูปที่ 5.27 แสดงสัญญาณพัลส์ 5 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 6000 รอบต่อนาที 93
รูปที่ 5.28 แสดงสัญญาณพัลส์ 1 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 16.67 Hz 94
รูปที่ 5.29 แสดงสัญญาณพัลส์ 1 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 25 Hz 94
รูปที่ 5.30 แสดงสัญญาณพัลส์ 1 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 33.33 Hz 95
รูปที่ 5.31 แสดงสัญญาณพัลส์ 1 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 50 Hz 95
รูปที่ 5.32 แสดงสัญญาณพัลส์ 2 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 16.67 Hz 96
รูปที่ 5.33 แสดงสัญญาณพัลส์ 1 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 25 Hz 96
รูปที่ 5.34 แสดงสัญญาณพัลส์ 2 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 41.67 Hz 97
รูปที่ 5.35 แสดงสัญญาณพัลส์ 2 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 50 Hz 97
รูปที่ 5.36 แสดงสัญญาณพัลส์ 3 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 16.67 Hz 98
รูปที่ 5.37 แสดงสัญญาณพัลส์ 3 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 25 Hz 98
รูปที่ 5.38 แสดงสัญญาณพัลส์ 3 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 41.67 Hz 99
รูปที่ 5.39 แสดงสัญญาณพัลส์ 3 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 50 Hz 99
รูปที่ 5.40 แสดงสัญญาณพัลส์ 4 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 16.67 Hz 100
รูปที่ 5.41 แสดงสัญญาณพัลส์ 4 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 25 Hz 100
รูปที่ 5.42 แสดงสัญญาณพัลส์ 4 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 41.67 Hz 101
รูปที่ 5.43 แสดงสัญญาณพัลส์ 4 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 50 Hz 101
รูปที่ 5.44 แสดงสัญญาณพัลส์ 5 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 16.67 Hz 102
รูปที่ 5.45 แสดงสัญญาณพัลส์ 5 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 25 Hz 102
รูปที่ 5.46 แสดงสัญญาณพัลส์ 5 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 33.33 Hz 103

รูปที่ 5.47 แสดงสัญญาณพัลส์ 5 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 50 Hz 103
รูปที่ 5.48 ผลการจุดระเบิดหัวเทียนที่ความถี่ 16.67 Hz 104
รูปที่ 5.49 ผลการจุดระเบิดหัวเทียนที่ความถี่ 25 Hz 104
รูปที่ 5.50 ผลการจุดระเบิดหัวเทียนที่ความถี่ 41.67 Hz 105
รูปที่ 5.51 ผลการจุดระเบิดหัวเทียนที่ความถี่ 50 Hz 105

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงาน

จากผลกระทบภาวะโลกร้อนเป็นปัญหาที่มนุษย์ทุกคนต้องคำนึงถึงในปัจจุบัน และในการใช้ยวดยานพาหนะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศอย่างมาก ดังนั้นหากเราสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนในรถยนต์ ก็จะเป็นการลดปัญหาดังกล่าวได้ในระดับหนึ่ง และทั้งนี้ยังเป็นการใช้พลังงานเชื้อเพลิงให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

การที่เครื่องยนต์จะทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพนั้นประกอบด้วยหลายปัจจัยหลัก หนึ่งในปัจจัยนี้คือการจุดระเบิดและการสันดาป ซึ่งเราจะทำการพัฒนาระบบจุดระเบิดให้มีการจุดระเบิดที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยเพิ่มจำนวนครั้งของการจุดระเบิดในหนึ่งรอบการทำงาน ซึ่งปกติหนึ่งรอบการทำงานของเครื่องยนต์ จะมีการจุดระเบิดเพียงครั้งเดียวเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อช่วยให้การสันดาปของเครื่องยนต์สมบูรณ์ยิ่งขึ้น เกิดมลพิษน้อยลง และการจุดระเบิดหลายครั้งนี้เป็นการเพิ่มความแรงของการระเบิด ทำให้อัตราส่วนของเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปรวมกับไอดีนั้นลดลง เป็นการประหยัดเชื้อเพลิงได้ในระดับหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

พัฒนาการจุดระเบิดของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน เพื่อให้เกิดการสันดาปสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และใช้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.3 องค์ประกอบของโครงงาน

โครงงานนี้ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักที่สำคัญคือ

1.ส่วนจ่ายไฟกระแสสูง คือส่วนแหล่งจ่ายที่ทำขึ้นแทนแบตเตอรี่เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจร

2.ส่วนการสร้างสัญญาณ คือส่วนการสร้างสัญญาณเพื่อกำหนดจำนวนครั้งในการจุดระเบิด

3.ส่วนการจุดระเบิด คือส่วนที่รับสัญญาณจากสัญญาณที่สร้างขึ้นไปขับคอยล์จุดระเบิดให้เกิดประกายไฟที่หัวเทียน

1.4 โครงสร้างของโครงงาน

ผลที่ได้จากการค้นคว้าทฤษฎี ที่เกี่ยวข้อง การสร้างและทดสอบโครงงาน ได้นำมารายงานในรายงานฉบับนี้ซึ่งมีเนื้อหาแบ่งออกเป็น 5 บท ซึ่งแต่ละบทจะมีเนื้อหา ดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึง บทนำ

บทที่ 2 กล่าวถึง หลักการของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

บทที่ 3 กล่าวถึง ทฤษฎีและหลักการทำงานของ PIC16F877A

บทที่ 4 กล่าวถึง หลักการออกแบบวงจรจุดระเบิดหัวเทียน

บทที่ 5 กล่าวถึง ผลการทดลอง

บทที่ 6 กล่าวถึง สรุปผลการทดลอง

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

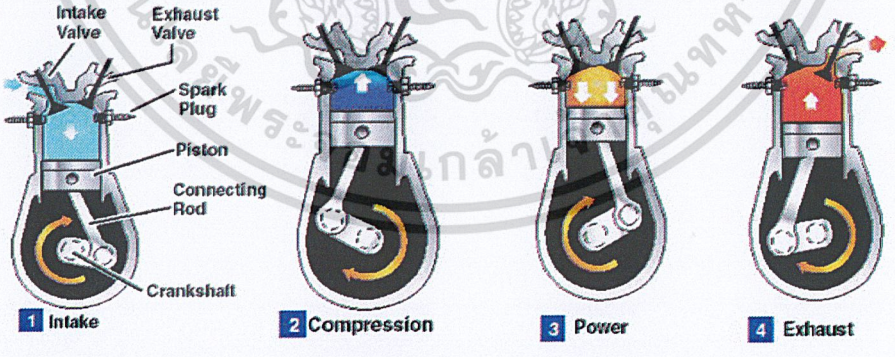
สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบการจุดระเบิดหัวเทียนของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนได้ และเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องยนต์แก๊สโซลีนได้จริง เป็นการลดมลพิษและใช้เชื้อเพลิงให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

บทที่ 2
หลักการของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

ในเครื่องยนต์แก๊สโซลีน พลังงานกลที่ได้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เครื่องยนต์จะดูดเอาไอดีเข้ากระบอกสูบและจะอัดไอดีด้วยการเคลื่อนตัวของลูกสูบ หัวเทียนจะจุดประกายเผาไหม้ไอดีในกระบอกสูบ เกิดแก๊สที่มีแรงดันสูงดันให้ลูกสูบเคลื่อนตัว การเคลื่อนที่ขึ้นลงของลูกสูบภายในกระบอกสูบจะเปลี่ยนเป็นการหมุนที่เพลาข้อเหวี่ยงโดยส่งแรงผ่านก้านสูบ แก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้จะทำให้เกิดกำลังงานและจะถูกระบายออกไปจากกระบอกสูบทางลิ้นไอเสีย ส่วนไอดีที่ถูกดูดเข้าภายในกระบอกสูบสามารถผ่านเข้ามาทางลิ้นไอดี จากกระบวนการทำงานของเครื่องยนต์ดังกล่าวข้างต้นเรียกว่า กลวัตรหรือไซเคิล (Cycle)

2.1 หลักการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ

ในเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ จังหวะในการทำงาน 1 ไซเคิล ประกอบด้วยจังหวะดูด จังหวะอัด จังหวะระเบิดหรือจังหวะกำลัง และจังหวะคาย การประจุไอดีและการคายไปไอเสียจะมีกลไกการเปิด-ปิดลิ้นไอดีและลิ้นไอเสีย เครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะจะทำงานครบรอบการทำงานเมื่อเพลาข้อเหวี่ยงหมุน 2 รอบ การจุดระเบิดจะเกิดขึ้น 1 ครั้ง ซึ่งการทำงานของเครื่องยนต์จะหมุนเวียนกันอย่างต่อเนื่องเป็นวัฏจักรติดต่อกันไป ดังรูปที่ 2.1 แสดงการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ



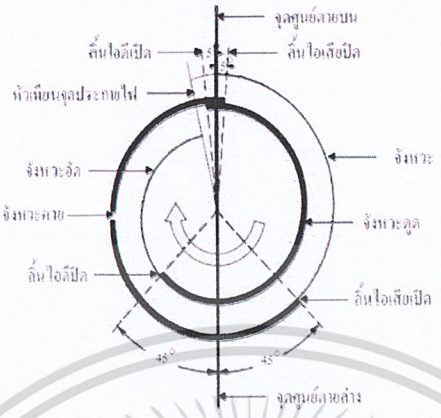
รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ

การทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ มีดังนี้

1. จังหวะดูด (Intake Stroke) ลิ้นไอดีจะเปิด ลิ้นไอเสียจะปิดสนิท ไอดีจะถูกดูดเข้าโดยการเคลื่อนตัวลง ของลูกสูบ โดยจะเคลื่อนจากจุดศูนย์ตายบน (TDC) ลงสู่จุดศูนย์ตายล่าง (BDC) ไอดีจะไหลผ่านลิ้นไอดีเข้ากระบอกสูบ
2. จังหวะอัด (Compression Stroke) ในจังหวะนี้ลูกสูบจะเคลื่อนตัวขึ้น เป็นการทำงานต่อเนื่องจากจังหวะดูด ลูกสูบจะเคลื่อนตัวจากจุดศูนย์ตายล่าง (BDC) ขึ้นสู่จุดศูนย์ตายบน (TDC) ลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียจะถูกปิดด้วยกลไกของลิ้น ไอดีถูกอัดตัวให้มีปริมาตรที่น้อยลง ทำให้เกิดกำลังดันและอุณหภูมิสูงขึ้น
3. จังหวะระเบิดหรือจังหวะกำลัง (Power Stroke) ก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนตัวขึ้นสู่จุดศูนย์ตายบน (TDC) หัวเทียนจะจุดประกายไฟเผาไหม้ไอดี ไอดีถูกเผาไหม้ลุกลามอย่างรวดเร็ว เกิดแรงดันดันให้ลูกสูบเคลื่อนตัวลงสู่จุดศูนย์ตายล่าง (BDC) อย่างรุนแรง เกิดกำลังงานขับเคลื่อนเครื่องยนต์
4. จังหวะคายไอเสีย (Exhaust Stroke) แก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้จะถูกขับไล่ออกไปจากกระบอกสูบ ลิ้นไอเสียจะถูกเปิดด้วยลูกเบี้ยวไอเสีย ลูกสูบจะเคลื่อนตัวลงจากจุดศูนย์ตายล่าง (BDC) ขึ้นสู่จุดศูนย์ตายบน (TDC) ขับไล่ไอเสียออกไปจากกระบอกสูบ

2.2 ไดอะแกรมแสดงจังหวะการเปิดและปิดลิ้น

ในเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ ลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียจะต้องออกแบบให้ทำงานถูกต้องตามไซเคิลการทำงานของเครื่องยนต์ โดยลิ้นไอดีจะถูกเปิดก่อนที่ลูกสูบจะเริ่มทำงานในจังหวะดูดก่อนจุดศูนย์ตายบน (BTDC) และจะปิดลงตายล่าง (BBDC) ในจังหวะคายไอเสีย และจะถูกปิดลงหลังจุดศูนย์ตายบน (ATDC) ลิ้นไอดีจะมีช่วงระยะเวลาในการเปิดและปิดของลิ้นที่มากกว่าลิ้นไอเสีย ก็เนื่องมาจากความต้องการให้เครื่องยนต์มีสมรรถนะในการทำงานสูง จึงจำเป็นต้องดูดไอดีเข้าภายในกระบอกสูบให้มีปริมาตรที่มาก ไดอะแกรมแสดงจังหวะการทำงานของลิ้นสำหรับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ ได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ไดอะแกรมแสดงจังหวะการทำงานของลิ้นสำหรับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ

ในขณะที่ลิ้นไอเสียเปิดให้แก๊สไอเสียออกใกล้จะสิ้นสุดในจังหวะคายไอเสีย ลิ้นไอดีจะถูกเปิดในจังหวะดูดเพื่อให้ไอดีเข้าบรรจุในกระบอกสูบและขับไล่ไอเสีย ทำให้ลิ้นทั้งสองเปิดพร้อมกัน ช่วงจังหวะการเปิดของลิ้นทั้งสองนี้เรียกว่า จังหวะโอเวอร์แลป(Overlap)โดยปกติเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะจะต้องการจังหวะโอเวอร์แลปของลิ้นมาก เพื่อเพิ่มสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ความเร็วสูง แต่จะทำให้เครื่องยนต์เดินไม่เรียบ

2.3 ระบบจุดระเบิด

เป็นระบบที่ทำให้เกิดประกายไฟที่หัวเทียนเพื่อจุดเชื้อระเบิดภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ทำให้เกิดกำลังงาน ดังนั้น ระบบจุดระเบิดจะต้องทำหน้าที่ดังต่อไปนี้

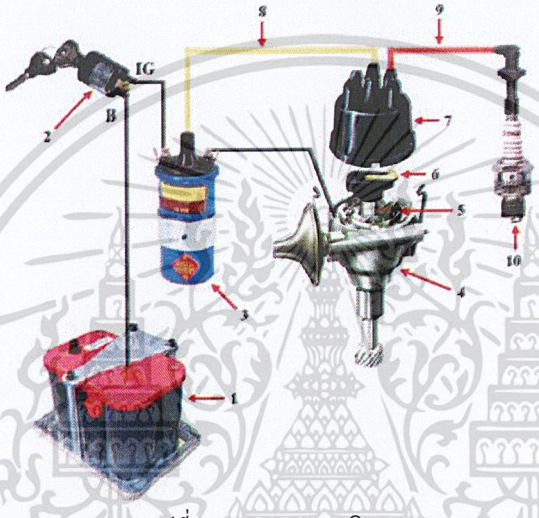
1. เพิ่มไฟแรงดันต่ำจาก 6 หรือ 12 โวลต์ ให้เป็นไฟแรงสูงประมาณ 25,000 ถึง 47,000 โวลต์
2. จัดเวลาในการจุดระเบิดด้วยการจัดส่งไฟแรงสูงไปให้กับหัวเทียนในเวลาที่เหมาะสม

ระบบจุดหัวเทียนแบ่งได้ 2 แบบ คือ

1. ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา (Conventional ignition system)
2. ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์(Electronic ignition system)

2.4 ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา

ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา ดังรูปที่ 2.3 เป็นระบบจุดระเบิดที่ใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟที่จัดส่งไฟแรงต่ำ 6 หรือ 12 โวลต์ให้กับวงจรขดลวดปฐมภูมิของระบบ เพื่อทำให้เกิดไฟแรงสูงประมาณ 15,000 ถึง 25,000 โวลต์ ส่งไปยังหัวเทียน เพื่อจุดเชื้อระเบิดภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ให้เผาไหม้ต่อไป

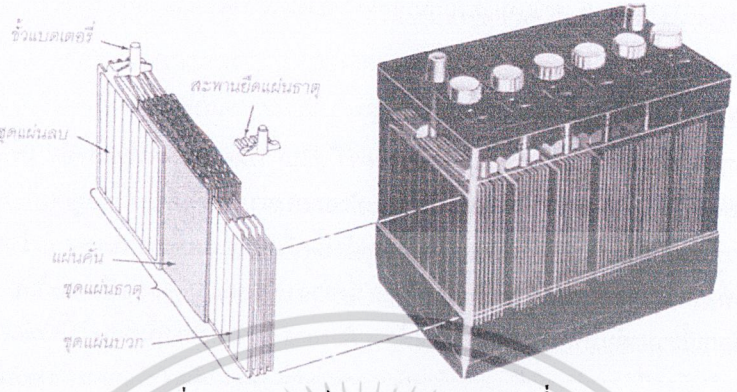


รูปที่ 2.3 ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา

ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบจุดระเบิดแบบธรรมดามีอุปกรณ์ดังนี้

หมายเลข 1 คือ แบตเตอรี่
หมายเลข 2 คือ สวิตช์จุดระเบิด
หมายเลข 3 คือ คอยล์จุดระเบิด
หมายเลข 4 คือ จานจ่ายไฟ
หมายเลข 5 คือ หน้าทองขาว
หมายเลข 6 คือ โรเตอร์
หมายเลข 7 คือ ฝาครอบจานจ่าย
หมายเลข 8 คือ สายคอยล์
หมายเลข 9 คือ สายหัวเทียน
หมายเลข 10 คือ หัวเทียน

2.4.1 แบตเตอรี่ (Battery)



รูปที่ 2.4 แสดงองค์ประกอบของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ แสดงดังรูปที่ 2.4 เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาเก็บไว้ในรูปของพลังงานเคมี เมื่อต่อสายใช้งาน พลังงานเคมีก็จะแปรรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้อีก แบตเตอรี่เป็นหัวใจของระบบไฟฟ้า เนื่องจากจะต้องจ่ายกระแสไฟให้กับระบบจุดระเบิดและมอเตอร์สตาร์ท เมื่อต้องการสตาร์ทติดเครื่อง ดังนั้น แบตเตอรี่จึงเป็นตัวยืนในวงจรไฟฟ้า เพื่อให้มีแรงเคลื่อนไว้ใช้ในวงจรอยู่เสมอ

ในการทำงาน กระแสไฟที่แบตเตอรี่ผลิตออกมาจะเป็นกระแสไฟตรงที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างแผ่นธาตุต่างชนิดกันกับกรดซัลฟิวริกในน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ภายในหม้อแบตเตอรี่ เมื่อแผ่นธาตุทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริกในน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ภายในหม้อแบตเตอรี่จนหมดแล้ว แบตเตอรี่ก็จะหมดไฟ ถ้าจะใช้ต่อจะต้องนำไปประจุเสียก่อน โดยใช้กระแสไฟตรงจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในแบตเตอรี่สวนกับทิศทางเดิม ก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีขึ้นภายในเปลี่ยนแปลงภาวะต่างๆให้คงคืนสภาพเดิม

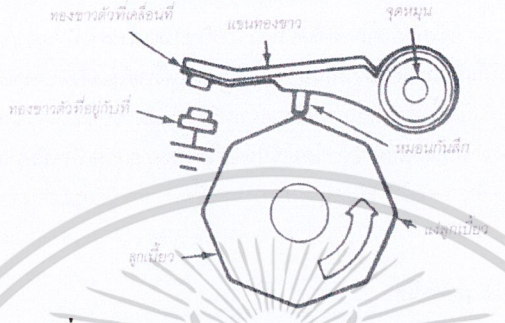
2.4.2 สวิตช์ไฟจุดระเบิด

นิยมเรียกกันทั่วไปว่า สวิตช์สตาร์ท จะทำหน้าที่ตัดต่อระหว่างแบตเตอรี่กับขดลวดปฐมภูมิของระบบจุดระเบิด ดังนั้น ถ้าปิดสวิตช์ไฟจุดระเบิด ก็จะไม่มีกระแสไหลในวงจรขดลวดปฐมภูมิเลย สวิตช์ไฟจุดระเบิดจึงต้องเปิดอยู่ตลอดเวลาในขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน

สวิตช์ไฟจุดระเบิด นอกจากจะทำหน้าที่ในการตัด-ต่อระหว่างแบตเตอรี่กับวงจรขดลวดปฐมภูมิของระบบจุดระเบิดและสตาร์ทติดเครื่องแล้ว สวิตช์นี้ยังทำหน้าที่ในการล็อกหรือปลดล็อกพวงมาลัยของรถ เชื่อมต่อวงจรสัญญาณเตือนที่เป็นเสียงหรือสัญญาณไฟ ขณะที่จะสตาร์ทติดเครื่องเมื่อยังไม่ปิดประตูรถหรือเมื่อไม่คาดเข็มขัดนิรภัย สวิตช์ไฟจุดระเบิดจะติดตั้งอยู่ที่คอพวงมาลัยของ

รถ สวิตช์ตัวนี้จะมีตำแหน่งในการทำงานอยู่ 5 ตำแหน่งด้วยกันได้แก่ ตำแหน่ง Accessory Lock Off Run และ Start

2.4.3 ทองขาว



รูปที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบสำคัญของทองขาว

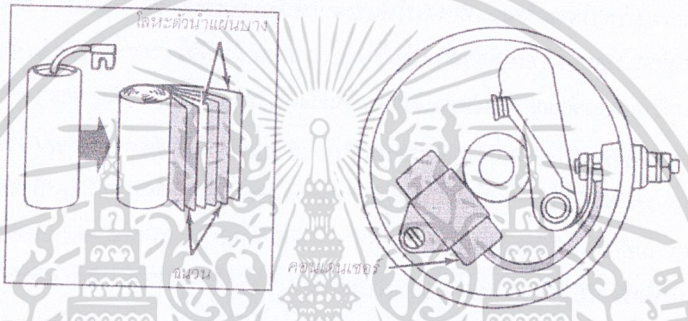
แสดงดังรูปที่ 2.5 จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์ที่ใช้ในการตัด-ต่อวงจรไฟแรงต่ำ เพื่อให้เกิดไฟแรงสูงขึ้นภายในคอยล์ ในทองขาว 1 ชุด จะประกอบด้วยทองขาว 2 ตัว คือ ตัวที่อยู่กับที่ (stationary point) กับตัวเคลื่อนที่ (moving point) โดยทั่วไปตัวที่เคลื่อนที่จะติดตั้งอยู่บนจุดหมุนซึ่งอยู่บนตัวที่อยู่กับที่ และที่แขนของทองขาวตัวนี้จะมีหมอนสึก ซึ่งทำจากไนลอนหรือเบเคไลท์ ติดอยู่เพื่อให้ลูกเบี้ยวมาดันให้หน้าทองขาวเปิดได้ตามต้องการ หน้าทองขาวทั้งสองตัวนี้จะต้องอยู่ในแนวเดียวกัน สำหรับวัสดุที่นิยมนำมาใช้ในการทำหน้าทองขาวส่วนใหญ่ ได้แก่ ทังสเตน (tungsten) เนื่องจากสามารถทนต่อความร้อนได้สูง

2.4.4 คอนเดนเซอร์

เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า คาปาซิเตอร์(Capacitor) จะทำหน้าที่ป้องกันการอาร์คที่หน้าของทองขาว นอกจากนี้ยังสามารถช่วยทำให้การเกิดไฟแรงสูงของคอยล์ดีขึ้น จากลักษณะการสร้างทำให้คอนเดนเซอร์สามารถใช้เป็นที่สำหรับเก็บกระแสไฟฟ้าที่พยายามจะไหลผ่านหน้าทองขาวในขณะที่หน้าทองขาวเริ่มเปิดมาเก็บไว้เป็นการชั่วคราว จึงสามารถช่วยลดการอาร์คที่เป็นสาเหตุทำให้หน้าทองขาวไหม้ลงได้ นอกจากนั้นการที่สามารถทำให้กระแสไฟในวงจรขดลวดปฐมภูมิภายในคอยล์หยุดไหลอย่างรวดเร็วนั้น ยังมีผลทำให้การเกิดไฟแรงสูงภายในคอยล์ได้ดีขึ้นอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจากประสิทธิภาพของการเกิด ไฟแรงสูงส่วนหนึ่งจะขึ้นอยู่กับความเร็วในการยุบตัวของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวดปฐมภูมิตัดกับขดลวดทุติยภูมินั่นเอง

คอนเดนเซอร์ แสดงดังรูปที่ 2.6 จะทำจากโลหะตัวนำแผ่นบาง ซึ่งอาจจะเป็นดีบุกหรืออะลูมิเนียมก็ได้ จำนวน 2 แผ่น คั่นด้วยฉนวนซึ่งเป็นกระดาษชุบไข ทั้งหมดจะถูกม้วนเข้าด้วยกัน

เป็นรูปทรงกระบอก โดยให้แผ่นหนึ่งต่อลงดินที่ตัวมันเอง อีกแผ่นหนึ่งต่อเข้ากับสายไฟที่จะต่อเข้ากับชุดทองขาว ตัวเปลือกของคอนเดนเซอร์จะมีทั้งชนิดโลหะ หรือชนิดที่ทำจากอีพอกซี ความจุจะขึ้นอยู่กับขนาดเนื้อที่ของแผ่นโลหะ ที่ใช้ทำ ค่าของความจุจะวัดเป็นฟารัด หรือไมโครฟารัด ค่าความจุของคอนเดนเซอร์ที่ใช้จะต้องพอดี เนื่องจากถ้าไม่พอดีแล้วนอกจากจะทำให้เกิดความผิดปกติขึ้นที่หน้าทองขาวแล้ว ก็ยังจะทำให้ประสิทธิภาพของการเกิดประกายไฟที่หัวเทียนเมื่อเครื่องยนต์มีความเร็วสูงลดลงด้วย คอนเดนเซอร์จะต่อขนานกับขดลวดปฐมภูมิของคอยล์ โดยจะต่ออยู่ระหว่างทองขาวด้านที่ไม่ต่อลงดิน หรือทองขาวตัวที่เคลื่อนที่กับทองขาวตัวที่ต่อลงดิน

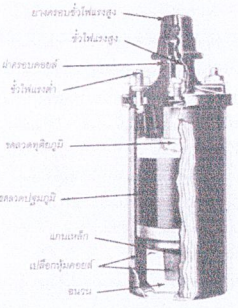


รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของคอนเดนเซอร์

2.4.5 คอยล์จุดระเบิด

ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้าแรงต่ำให้เป็นไฟแรงสูงเพื่อจัดส่งให้กับหัวเทียน คอยล์จุดระเบิดแสดงดังรูปที่ 2.7 จะประกอบด้วย 3 ส่วนด้วยกัน คือ ขดลวดปฐมภูมิ (Primary winding) ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary winding) และขั้วไฟแรงสูง (high tension terminal)

ขดลวดปฐมภูมิ จะประกอบด้วยลวดเส้นใหญ่พันทับอยู่บนขดลวดทุติยภูมิ ขดลวดนี้จะอยู่ในวงจรไฟแรงต่ำ โดยที่ปลายด้านหนึ่งจะต่ออยู่กับขั้วบวก ขณะที่ปลายอีกข้างหนึ่งจะต่ออยู่กับขั้วลบ สำหรับขดลวดทุติยภูมิจะประกอบด้วยลวดเส้นเล็กพันอยู่บนแกนเหล็กอ่อนของอาร์เมเจอร์หลายพันรอบ ขดลวดชุดนี้เป็นขดลวดอยู่ในวงจรไฟแรงสูง โดยที่ปลายด้านหนึ่งจะต่อเข้ากับขั้วไฟแรงสูง ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะต่อร่วมกับปลายด้านหนึ่งของขดลวดปฐมภูมิทางขั้วบวก

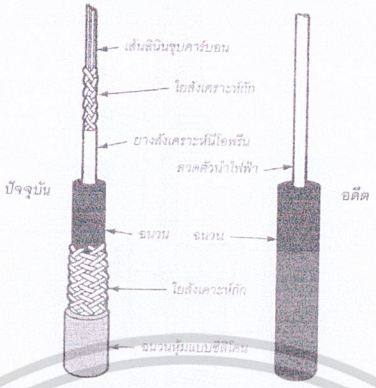


รูปที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของคอยล์จุดระเบิด

2.4.5.1 คอยล์จุดระเบิดแบบมีความต้านทานภายนอก

คอยล์จุดระเบิดแบบธรรมดา จะทำงานได้ดีเมื่อเครื่องยนต์เดินด้วยความเร็วเดินเบาหรือความเร็วต่ำ เนื่องจากระยะเวลาที่หน้าทองขาวสัมผัสกันนานพอที่จะทำให้กระแสไฟไหลเข้าสู่ขดลวดปฐมภูมิได้มาก จึงไม่มีปัญหาต่อการเกิดไฟแรงสูงในคอยล์ แต่เมื่อเครื่องยนต์มีความเร็วสูงขึ้น ระยะเวลาที่หน้าทองขาวสัมผัสกันจะสั้นลง จึงเป็นผลทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่ขดลวดปฐมภูมิมีปริมาณลดลง การเกิดไฟแรงสูงในคอยล์จึงลดตามลงไปด้วย ทำให้ประสิทธิภาพในการจุดระเบิดและประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องยนต์ลดตามลงไปด้วย ดังนั้นเพื่อปรับปรุงให้คอยล์มีประสิทธิภาพในการทำงานดีขึ้นได้มีการออกแบบให้ขดลวดปฐมภูมิของคอยล์มีขนาดโตขึ้นและจำนวนรอบลดลง ซึ่งประสิทธิภาพการทำงานดีขึ้นแต่มีปัญหาเมื่อเครื่องยนต์เดินด้วยความเร็วรอบต่ำ เพราะจะทำให้คอยล์ร้อนและหน้าทองขาวไหม้ได้ ดังนั้นจึงมีการใส่ตัวต้านทานเข้าไปในวงจรขดลวดปฐมภูมิ เพื่อควบคุมกระแสที่ไหลเข้าสู่ขดลวดมิให้มากเกินไปในขณะเครื่องยนต์เดินด้วยความเร็วรอบต่ำ จึงสามารถป้องกันมิให้คอยล์ร้อนและหน้าทองขาวไหม้ได้จึงเป็นผลทำให้คอยล์สามารถทำงาน ได้อย่างมีประสิทธิภาพในทุกๆความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ตัวต้านทาน ที่ใส่เข้าไปนี้จะอยู่ภายนอกคอยล์ จึงเรียกคอยล์ชนิดนี้ว่า คอยล์จุดระเบิดแบบมีความต้านทานภายนอก คอยล์แบบนี้นิยมใช้กันมากกับเครื่องยนต์รอบสูงที่ใช้ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาในปัจจุบัน

2.4.6 สายไฟแรงสูง

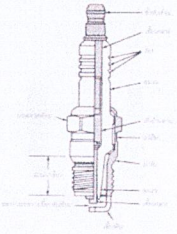


รูปที่ 2.8 เปรียบเทียบโครงสร้างของสายไฟแรงสูงที่ใช้กันในปัจจุบันกับสายไฟแรงสูงที่ใช้กันในอดีต

แสดงดังรูปที่ 2.8 ทำหน้าที่ลำเลียงกระแสไฟแรงสูงจากคอยล์จุดระเบิดไปให้กับหัวเทียน ทำให้เกิดประกายไฟจุดเชื้อระเบิดภายในห้องเผาไหม้ต่อไป สายไฟหัวเทียนจะต้องมีฉนวนหุ้มหนา เพื่อสามารถป้องกันไฟแรงสูงรั่วลงสู่ดิน นอกจากนั้นยังต้องสามารถทนต่อน้ำ น้ำมัน ความสั่นสะเทือน ความร้อนหรือวัสดุที่แหลมคมได้เป็นอย่างดี

สายไฟแรงสูงนี้ ได้แก่ สายไฟที่ต่อระหว่างขั้วไฟแรงสูงของคอยล์กับขั้วไฟแรงสูงขั้วกลางที่ฝาจานจ่ายไฟกับสายไฟที่ต่อระหว่างขั้วไฟแรงสูงที่อยู่โดยรอบขั้วกลางของฝาจานจ่ายกับหัวเทียน สายไฟแรงสูงในปัจจุบันได้รับการพัฒนาให้มีคุณสมบัติดีขึ้นกว่าเดิมมาก เนื่องจากระบบจุดระเบิดที่ใช้ในปัจจุบันเป็นแบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสามารถผลิตไฟแรงสูงได้สูงกว่าระบบจุดระเบิดแบบเดิมที่ใช้ทองขาวมาก ดังนั้น สายไฟแรงสูงที่ใช้ในปัจจุบัน จึงต้องหุ้มด้วยฉนวนที่ทำจากวัสดุชนิดต่างๆ หลายชั้นแทนการหุ้มด้วยฉนวนเพียงชั้นเดียวเหมือนกับแบบเดิม นอกจากนั้นตัวนำไฟฟ้าก็ได้รับการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยเปลี่ยนจากการใช้ลวดตัวนำเพียงเส้นเดียวไปใช้เส้นลินินชุบคาร์บอน (carbon-impregnated linen strand) หลายเส้น

2.4.7 หัวเทียน



รูปที่ 2.9 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของหัวเทียน

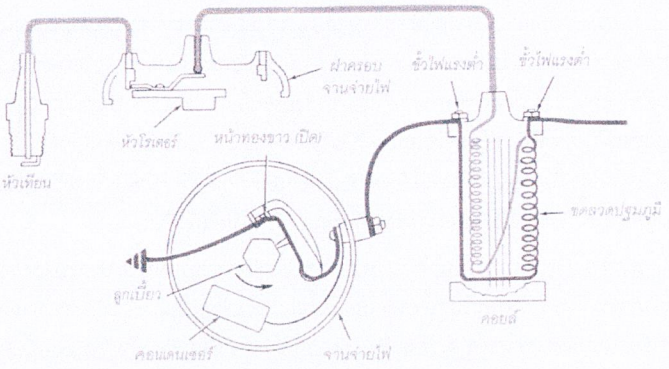
แสดงดังรูปที่ 2.9 เป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งของระบบจุดระเบิด ใช้ทำหน้าที่จุดส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ การใช้หัวเทียนที่ถูกต้องจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องยนต์ได้อย่างมหาศาล ทำให้เกิดการประหยัดเชื้อเพลิงและยืดอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ได้อีกด้วย

หัวเทียนจะประกอบด้วย ตัวนำไฟฟ้า 2 ตัวที่เรียกว่า เขี้ยวหัวเทียน (electrode) เขี้ยวกลางของหัวเทียนมาตรฐานที่ใช้กันโดยทั่วไปในปัจจุบัน ส่วนใหญ่จะทำจากโลหะผสมนิกเกิลกับโครเมียม แมงกานีสและซิลิคอน สำหรับหัวเทียนแบบพิเศษ เขี้ยวกลางจะมีทั้งชนิดที่ทำด้วยความร้อนและมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดีกว่าแบบแรกมาก เขี้ยวกลางจะหุ้มด้วยฉนวน ซึ่งส่วนใหญ่จะทำจากกระเบื้องชนิดทนความร้อนสูง จากนั้นเปลือกนอก (outer shell) จะหุ้มด้วยฉนวนอีกชั้นหนึ่ง ระหว่างฉนวนกับเปลือกนอกจะถูกคั่นด้วยปะเก็น (gasket) เพื่อป้องกันแก๊สรั่ว และเพื่อใช้เป็นแนวทางในการระบายความร้อนจากเขี้ยวของหัวเทียนไปสู่ระบบระบายความร้อน หัวเทียนบางแบบไม่ใช้ปะเก็น ดังนั้น ระหว่างเขี้ยวกับฉนวนและระหว่างฉนวนกับเปลือกนอกจะถูกทำให้ติดแน่นด้วยกาว เปลือกนอกของหัวเทียนจะทำด้วยโลหะ

ส่วนบนของหัวเทียนจะทำเป็นนอตหัวหกเหลี่ยมสำหรับใช้ประแจขัน ส่วนล่างจะทำเป็นเกลียวสำหรับขันเข้าไปในรูหัวเทียนที่ฝาสูบของเครื่องยนต์ เขี้ยวดิน(Ground electrode) จะต่อยื่นออกจากเปลือกส่วนล่างและโค้งเข้าหาเขี้ยวกลาง โดยมีช่องว่างระหว่างกัน เขี้ยวดินส่วนใหญ่จะทำจากโลหะผสมนิกเกิลกับโครเมียม ปลายด้านบนของเขี้ยวกลางจะต่อเข้ากับสกรู ที่ขันเกลียวเข้ากับส่วนบนของฉนวนปลายขั้วด้านนี้จะต่อเข้ากับสายไฟแรงสูงของระบบจุดระเบิด

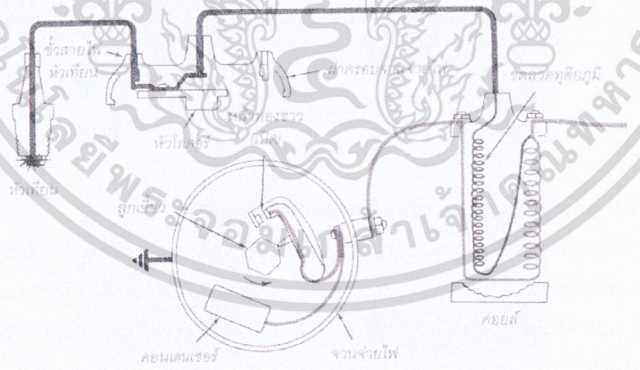
2.4.8 การทำงานของระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา

ก่อนการสตาร์ทติดเครื่องยนต์ หน้าทองขาวจะอยู่ในตำแหน่งเปิดหรือปิดนั้นจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของลูกเบี้ยวที่กระทำต่อทองขาวในขณะนั้น ถ้าหน้าทองขาวเปิดอยู่ก็จะปิดทันทีที่เครื่องยนต์หมุน เมื่อหน้าทองขาวปิด กระแสไฟจากแบตเตอรี่ก็จะไหลผ่านสวิตช์ไฟจุดระเบิดเข้าไปในขดลวดปฐมภูมิของคอยล์ผ่านหน้าทองขาวลงดินครบวงจร จึงทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆขดลวดปฐมภูมิ แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงการทำงานของระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาขณะหน้าทองขาวปิด

เมื่อเครื่องยนต์หมุนต่อไป ลูกเบี้ยวก็จะดันหน้าทองขาวให้แยกออกจากกัน วงจรขดลวดปฐมภูมิก็จะขาดตอนลงทันที ทำให้กระแสไฟในวงจรนี้หยุดไหล ดังนั้นสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบๆขดลวดปฐมภูมิก็จะยุบตัวลงตัดกับขดลวดทุติยภูมิ แต่เนื่องจากขดลวดทุติยภูมิเป็นลวดเส้นเล็กพันมากรอบ ดังนั้นแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นภายในขดลวดชุดนี้จึงสูงมาก โดยทั่วไปจะสูงประมาณ 15,000 ถึง 25,000 โวลต์ เป็นผลทำให้หัวเทียนเกิดประกายไฟจุดเชื้อระเบิดภายในกระบอกสูบ ทำให้เกิดการเผาไหม้ ดูรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงการทำงานของระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาขณะหน้าทองขาวเปิด

ในจังหวะที่หน้าทองขาวแยกออกจากกันนี้ กระแสไฟในวงจรขดลวดปฐมภูมิที่เคยไหลผ่านหน้าทองขาวลงดิน ก็จะไหลเข้าประจุในคอนเดนเซอร์ที่ต่อขนานอยู่ จึงทำให้สามารถป้องกันอาร์คที่หน้าทองขาว อันเกิดจากการที่กระแสไฟพยายามจะไหลผ่านหน้าทองขาวในจังหวะที่หน้าทองขาวเริ่มแยกออกจากกันได้ นอกจากนั้นยังทำให้กระแสไฟในวงจรขดลวดปฐมภูมิหยุดไหลได้เร็วยิ่งขึ้น อันจะเป็นผลทำให้เกิดไฟแรงสูงในคอยล์ดีขึ้นอีกด้วย เมื่อเครื่องยนต์หมุนต่อไป

จนกระทั่งหน้าทองขาวปิด คอนเดนเซอร์ก็จะคายประจุปล่อยให้กระแสไฟไหลผ่านหน้าทองขาวลงดินครบวงจรอีกครั้งหนึ่ง

สำหรับระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาที่มีตัวต้านทานภายนอกต่อร่วมอยู่ จะมีการลัดวงจรในขณะทำการสตาร์ทติดเครื่อง โดยจะลัดวงจรที่ตัวสวิตช์สตาร์ท จึงมีผลทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ตัวแบตเตอรี่ลดลง ดังนั้นถ้าให้กระแสไฟไหลผ่านตัวต้านทานในขณะทำการสตาร์ทติดเครื่อง ก็จะทำให้คอยล์จุดระเบิดผลิตไฟแรงสูงได้น้อยลง จึงมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ลดตามลงไปด้วย ดังนั้นเพื่อให้การผลิตไฟแรงสูงของคอยล์จุดระเบิดเป็นไปตามปกติ จึงทำให้เกิดการลัดวงจรที่ตัวสวิตช์สตาร์ท เพื่อมิให้เกิดกระแสไฟไหลผ่านตัวต้านทานในขณะทำการสตาร์ทติดเครื่อง จึงทำให้เครื่องยนต์สามารถสตาร์ทติดเครื่องได้โดยง่าย และเมื่อเครื่องยนต์สตาร์ทติดแล้วสวิตช์สตาร์ทก็จะคืนสู่ตำแหน่งเดิม ตัวต้านทานก็จะถูกใส่กลับคืนเข้าสู่วงจร กระแสไฟที่ไหลเข้าสู่วงจรขดลวดปฐมภูมิก็จะไหลผ่านตัวต้านทานตามปกติ

2.5 การจุดระเบิดล่วงหน้า

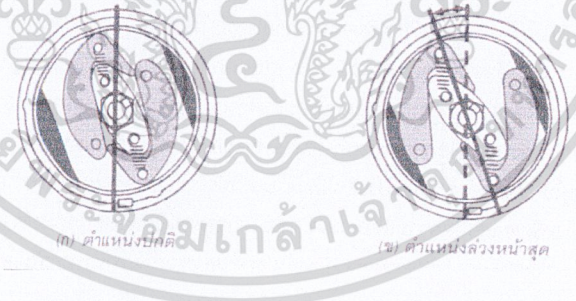
การจุดระเบิดล่วงหน้า (spark advance) ที่เวลาอันถูกต้องจะมีผลทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด เชื้อเพลิงโดยทั่วไปจะมีความล่าช้าในการจุดติดไฟและต้องการเวลาสำหรับการเผาไหม้ ดังนั้นการเริ่มจุดประกายไฟเพื่อให้เชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์เกิดการเผาไหม้ จึงต้องเริ่มจุดล่วงหน้าก่อนลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นถึงศูนย์ตายบนเสมอ และจะต้องให้การเผาไหม้สิ้นสุดลงหลังจากลูกสูบคล้อยหลังศูนย์ตายบนไปเล็กน้อย (ประมาณ 10 องศาหลังศูนย์ตายบน) ก็จะทำให้ได้รับผลจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงมีค่าสูงที่สุด การจุดระเบิดล่วงหน้าก่อนหรือหลังเวลาอันควรนั้น นอกจากจะทำให้ประสิทธิภาพการในการทำงานของเครื่องยนต์ลดลงแล้ว ยังสามารถทำให้ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์เกิดความเสียหายได้ เช่น การจุดระเบิดล่วงหน้ามากเกินไปก็อาจจะทำให้เครื่องยนต์ตีกลับได้ ซึ่งส่งผลทำให้ชิ้นส่วนเครื่องยนต์เสียหายได้ อย่างไรก็ตาม เครื่องยนต์ก็จำเป็นจะต้องทำงานที่ความเร็วและภาระต่างๆกัน ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมเวลาในการจุดระเบิดให้ล่วงหน้ามากน้อยต่างกันออกไปตามชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ ความเร็วรอบ และภาระของเครื่องยนต์ที่เปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ เมื่อเครื่องยนต์มีความเร็วรอบหรือภาระสูงขึ้นก็จะทำให้มีการจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น ทั้งนี้ก็เพื่อให้การเผาไหม้ของเครื่องยนต์สิ้นสุดลง ณ ตำแหน่ง ก็จะทำให้ได้รับประโยชน์จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงมากที่สุด เครื่องยนต์ก็จะมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงที่สุด

อุปกรณ์ควบคุมเวลาในการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบอัตโนมัติ (Automatic spark advance) ที่นิยมใช้กับเครื่องยนต์เบนซินโดยทั่วไปมี 2 แบบ คือ

1. แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (centrifugal advance mechanism)
2. แบบสุญญากาศ (vacuum advance mechanism)

2.5.1 แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

อุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดแบบนี้ แสดงดังรูปที่ 2.12 จะทำให้เกิดการจุดระเบิดล่วงหน้าด้วยการทำให้ลูกเบี้ยวของจานจ่ายไฟทำงานล่วงหน้ามากขึ้นเมื่อเครื่องยนต์มีความเร็วสูงขึ้น ส่วนประกอบที่สำคัญประกอบด้วยลูกตุ้มน้ำหนักพร้อมสปริงตุ้มน้ำหนักจำนวนสองชุด ติดตั้งอยู่บนแผ่นซึ่งเป็นที่ติดตั้งลูกเบี้ยวของจานจ่ายไฟ ทั้งหมดจะติดตั้งเข้ากับเพลาของจานจ่ายไฟ ดังนั้นเมื่อเพลาจานจ่ายไฟหมุนขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน ส่วนประกอบทั้งหมดก็จะหมุนตามไปด้วย การกางตัวออกของตุ้มน้ำหนักด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่ชนะแรงต้านของสปริง จะทำให้ลูกเบี้ยวหมุนไปอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้หน้าทองขาวเปิดล่วงหน้ามากยิ่งขึ้น สอดคล้องกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เป็นผลทำให้เกิดการจุดระเบิดล่วงหน้าตามไปด้วย ดังรูปที่ 2.12(ข) ปริมาณการล่วงหน้าจะมากหรือน้อยเท่าใด จะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของเพลาจานจ่ายไฟหรือความเร็วรอบของเครื่องยนต์นั่นเอง ส่วนสปริงตุ้มน้ำหนักจะทำหน้าที่ในการรั้งการกางตัวออกของตุ้มน้ำหนักให้อยู่ในค่าที่กำหนด ตามปกติจะรั้งตุ้มน้ำหนักไม่ให้กางตัวออกในขณะที่เครื่องยนต์เดินด้วยความเร็วรอบต่ำ เนื่องจากที่ความเร็วรอบดังกล่าวได้รับการจัดตั้งให้มีการจุดระเบิดล่วงหน้าไว้เรียบร้อยแล้ว

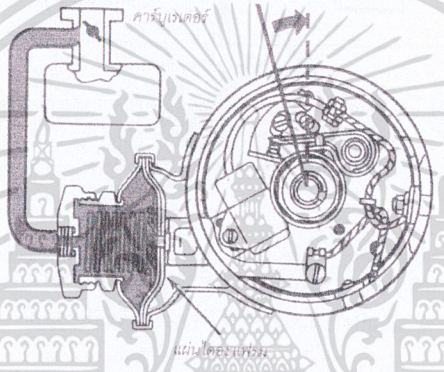


รูปที่ 2.12 แสดงการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมเวลาในการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบแรงเหวี่ยง

2.5.2 แบบสุญญากาศ

อุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดแบบนี้ ดังรูปที่ 2.13 จะขึ้นอยู่กับภาระที่เกิดขึ้นกับเครื่องยนต์ ขณะทำงานจะอาศัยสุญญากาศที่เกิดขึ้นภายในท่อร่วมไอดี ซึ่งจะแปรผันไปตามภาระที่เกิดขึ้นกับเครื่องยนต์ ส่วนประกอบที่สำคัญประกอบด้วย ชุดของแผ่นไดอะแกรมและสปริงซึ่งประกอบติดอยู่กับจานจ่ายไฟ โดยที่ก้านของแผ่นไดอะแฟรมจะต่อเข้ากับแผ่นที่ใช้สำหรับติดตั้งชุดทองขาว ท่อสุญญากาศจะต่ออยู่ระหว่างชุดไดอะแฟรมกับช่องสุญญากาศที่ท่อคาร์บูเรเตอร์เหนือตำแหน่ง

ปิดของลิ้นเร่ง ดังนั้นสุญญากาศที่เกิดขึ้นภายในท่อร่วมไอดีก็จะทำให้แผ่นไดอะแฟรมเกิดการยุบตัวลงโดยชนะแรงต้านของสปริง ทำให้ก้านของแผ่นไดอะแฟรมดึงแผ่นติดตั้งทองขาวให้หมุนสวนทิศทางกับการหมุนของลูกเบี้ยว ทำให้เกิดการจุดระเบิด ล่วงหน้ามากขึ้น (แสดงดังรูปที่ 2.13) ปริมาณการล่วงหน้าจะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับปริมาณของสุญญากาศที่เกิดขึ้นภายในท่อร่วมไอดี หรือตำแหน่งของลิ้นเร่งหรือภาระของเครื่องยนต์นั่นเอง ตามปกติสุญญากาศจะเกิดมากที่สุดเมื่อเครื่องยนต์เดินเบา (ลิ้นเร่งเปิดเล็กน้อย) และจะมีค่าลดลงเมื่อลิ้นเร่งเปิดมากขึ้น (เครื่องยนต์มีภาระมากขึ้น) เป็นผลทำให้การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดแบบนี้มีค่าลดลงด้วย

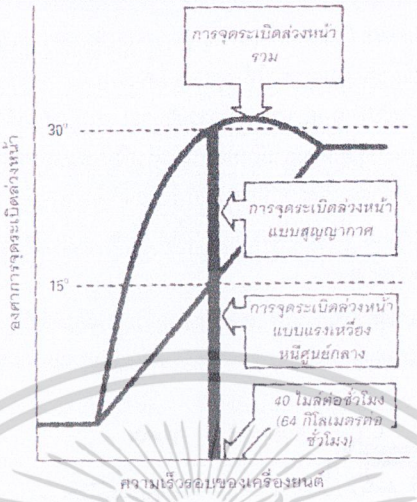


รูปที่ 2.13 แสดงการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมเวลาในการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบสุญญากาศ

เครื่องยนต์ที่ใช้ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาในปัจจุบัน จะมีอุปกรณ์ควบคุมเวลาในการจุดระเบิดล่วงหน้าทั้ง 2 แบบ โดยที่แบบสุญญากาศจะทำงานได้ดีในขณะที่เครื่องยนต์กำลังเดินเบาและลิ้นเร่งเปิดเล็กน้อย ขณะที่แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจะทำงานได้ดีในขณะที่เครื่องยนต์เดินด้วยความเร็วรอบสูง ดังนั้นเครื่องยนต์ที่มีอุปกรณ์ควบคุมเวลาในการจุดระเบิดล่วงหน้าทั้ง 2 แบบ จึงสามารถควบคุมเวลาในการจุดระเบิดล่วงหน้าได้ตามความเร็วและภาระของเครื่องยนต์ที่เปลี่ยนแปลงไป จึงทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุดตามต้องการ ผลจากการใช้อุปกรณ์ควบคุมเวลาในการจุดระเบิดล่วงหน้าร่วมกันทั้งสองแบบได้ถูกแสดงดังรูปที่ 2.14

สำหรับวิธีการตั้งเวลาในการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบธรรมดา (Manual spark advance) สามารถที่จะกระทำได้ก็โดยการคลายสกรูแผ่นยึดทองขาว แล้วหมุนไปในตำแหน่งที่ทำให้หน้าทองขาวเปิดล่วงหน้ามากขึ้นตามต้องการ จากนั้นจึงยึดสกรูให้แน่นตามเดิม

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.14 แสดงผลจากการใช้อุปกรณ์ควบคุมเวลาในการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางร่วมกับแบบสุญญากาศ

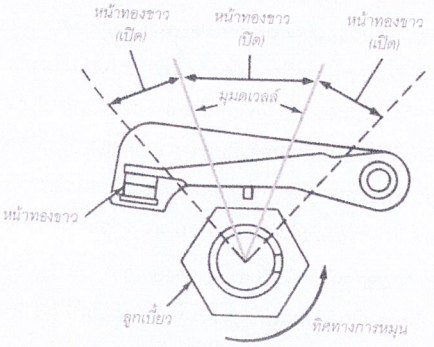
2.6 มุมดเวลล์

มุมดเวลล์ (dwell angle) แสดงดังรูปที่ 2.15 คือ มุมที่หน้าทองขาวปิด วัดเป็นองศาโดยรอบลูกเบี้ยว จากจุดที่หน้าทองขาวเริ่มปิดไปจนถึงจุดที่หน้าทองขาวเริ่มเปิด มุมนี้จะมีผลต่อการเกิดไฟแรงสูงในคอยล์จุดระเบิด หรือการเกิดประกายไฟระหว่างเขี้ยวหัวเทียนนั่นเอง ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องตั้งตามที่บริษัทกำหนดมาให้ และควรมีการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ รูปที่ 2.16 แสดงความสัมพันธ์ของการจัดตั้งความห่างระหว่างหน้าทองขาวกับมุมดเวลล์ จะพบว่าถ้ามุมดเวลล์น้อยหน้าทองขาวจะห่างมากและในทำนองเดียวกันถ้ามุมของดเวลล์มาก หน้าทองขาวจะห่างน้อย

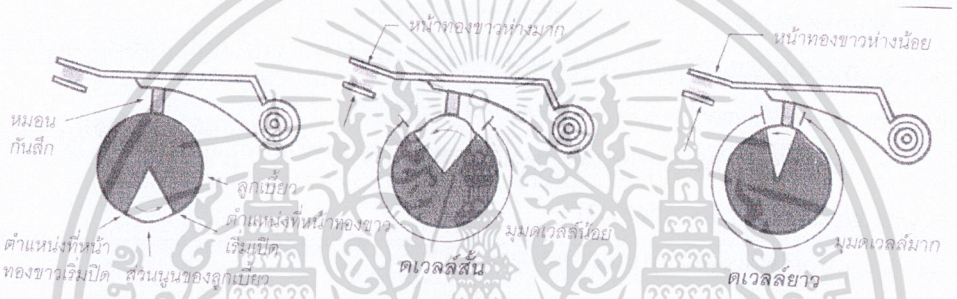
สำหรับกรณีหน้าทองขาวห่างมากหรือมุมดเวลล์น้อยนั้น ก็จะทำให้หน้าทองขาวเปิดเร็วขึ้น ซึ่งหมายความว่าหัวเทียนจะจุดประกายไฟเร็วขึ้น ดังนั้น จึงเหมาะกับเครื่องยนต์ที่ใช้งานรอบต่ำๆ และเนื่องจากหน้าทองขาวจะถูกแยกออกจากกันด้วยความเร็วสูง จึงสามารถช่วยลดการอาร์คระหว่างหน้าทองขาวได้ดี ทำให้ยืดอายุการใช้งานหน้าทองขาวให้นานขึ้น

ส่วนกรณีที่หน้าทองขาวห่างน้อยหรือมุมดเวลล์มากนั้น ก็จะทำให้หน้าทองขาวเปิดช้าลง ซึ่งหมายถึงหัวเทียนจะจุดประกายไฟช้าลง จึงไม่เหมาะที่จะใช้กับเครื่องยนต์รอบต่ำๆ เพราะถ้าเครื่องยนต์เดินเบาจะเกิดการอาร์คระหว่างหน้าทองขาว อันเนื่องมาจากความล่าช้าในการเปิดของหน้าทองขาวจึงเหมาะกับเครื่องยนต์ใช้งานรอบสูงๆ

119349



รูปที่ 2.15 แสดงมุมดเวลล์ของทองขาว



รูปที่ 2.16 แสดงความสัมพันธ์ของการจัดตั้งความห่างระหว่างหน้าทองขาวกับมุมดเวลล์

2.7 ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์

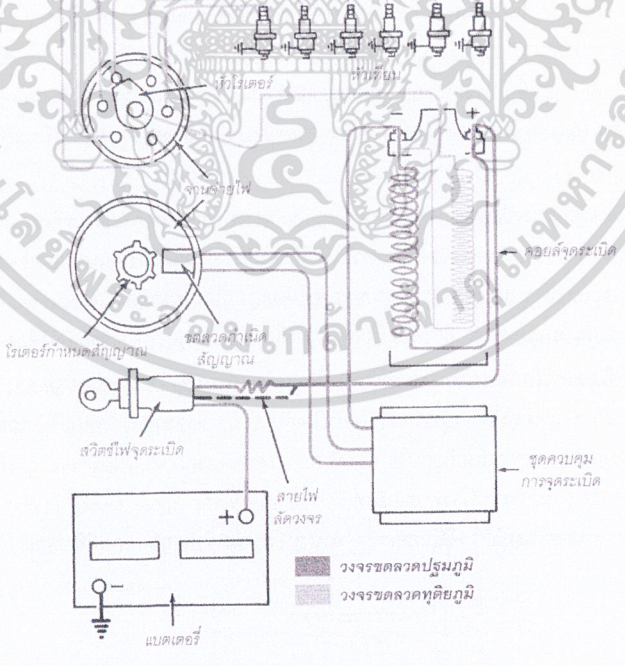
ราวต้นปี พ.ศ. 2513 เครื่องยนต์ที่ใช้กับรถยนต์ส่วนใหญ่ ที่ใช้ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา (ทองขาว) ไม่สามารถผ่านมาตรฐานสารมลพิษจากไอเสียได้ กฎข้อบังคับของสหพันธรัฐ (federal regulation) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ต้องการให้ระบบจุดระเบิดทำงานได้ถึง 5,000 ไมล์ (80,465 กม.) โดยมีการบำรุงรักษาเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย ซึ่งระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาไม่สามารถที่จะทำได้ เพราหน้าทองขาวจะไหม้และสึกหรอระหว่างการทำงานตามปกติ ทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างหน้าทองขาว ซึ่งจะทำให้เครื่องยนต์เดินไม่ครบสูบ และสารมลพิษจากไอเสียเพิ่มมากขึ้น

ดังนั้นในปี พ.ศ. 2518 เครื่องยนต์ที่ใช้กับรถยนต์ส่วนใหญ่และหลังจากนั้นจึงเปลี่ยนไปใช้ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์ ดังรูปที่ 2.17 ซึ่งเป็นระบบที่ไม่ใช้ทองขาวและคอนเดนเซอร์ แต่จะใช้ทรานซิสเตอร์และอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำอื่นแทน ทำหน้าที่เป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ในการเปิด – ปิดกระแสไฟที่ไหลเข้าสู่วงจรขดลวดปฐมภูมิ เพื่อให้เกิดไฟแรงสูงในขดลวดทุติยภูมิของคอยล์จุดระเบิดจัดส่งให้หัวเทียนต่อไป

ระบบจุดระเบิดด้วยอิเล็กทรอนิกส์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน จำแนกออกได้เป็น 4 แบบด้วยกัน 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. แบบไร้จานจ่ายไฟกับการจุดระเบิดโดยตรง (distributor less type with direct capacitor discharge ignition)

2.7.1 ระบบจุดระเบิดแบบจานจ่ายไฟกับอุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบกลไกและแบบสุญญากาศ



รูปที่ 2.17 ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์

- หลักการขั้นพื้นฐานของการจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์

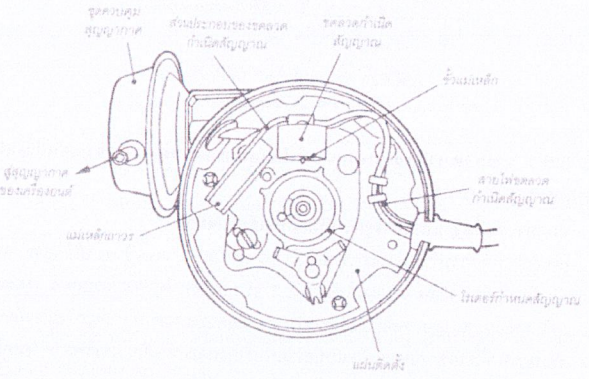
โดยทั่วไปหลักการทำงานและการสร้างระบบจุดระเบิด ไม่ว่าจะเป็นแบบใช้ทองขาวหรือแบบอิเล็กทรอนิกส์ก็จะคล้ายๆกัน จานจ่ายไฟของทั้ง 2 แบบก็อาจจะมีอุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิด ไม่ว่าจะเป็นแบบใช้ทองขาวหรือแบบอิเล็กทรอนิกส์ก็จะคล้ายๆกัน จานจ่ายไฟของทั้ง 2 แบบก็อาจจะมีอุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบกลไกและแบบสุญญากาศเหมือนกันทุกประการ แต่ความแตกต่างที่สำคัญก็คือแทนที่จะใช้สวิตช์ทางกล (ทองขาว) ที่ใช้ในระบบจุดระเบิดแบบธรรมดามาควบคุมกระแสในวงจรขดลวดปฐมภูมิ ระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์จะใช้สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์มาแทนที่

ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบจุดระเบิดแบบนี้ก็คือสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์หรือชุดกำเนิดสัญญาณ (signal generator unit) ซึ่งประกอบด้วยอาราเจอร์ (armature) หรือโรเตอร์กำเนิดสัญญาณ (reluctor) ตัวตรวจจับแม่เหล็ก(magnetic sensor) หรือขดลวดกำเนิดสัญญาณ(pickup coil) และมอดูลจุดระเบิด(ignition module) โดยที่โรเตอร์กำหนดสัญญาณจะมีจำนวนซี่ยื่นออกมาเท่ากับจำนวนสูบของเครื่องยนต์ซึ่งเท่ากับจำนวนลูกเบี้ยวของจานจ่ายไฟ ดังนั้นเมื่อโรเตอร์กำหนดสัญญาณหมุน ซี่แต่ละซี่ก็จะทำให้เกิดพัลส์แรงเคลื่อนขึ้นในขดลวดกำเนิดสัญญาณ ซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะทำให้มอดูลจุดระเบิดเปิดวงจรขดลวดปฐมภูมิ ทำให้เกิดไฟแรงสูงในวงจรขดลวดทุติยภูมิของคอยล์จุดระเบิด เป็นผลทำให้หัวเทียนจุดประกายไฟ

มอดูลจุดระเบิดอาจจะเป็นหน่วยที่แยกออกต่างหากหรือติดตั้งอยู่กับหรือภายในจานจ่ายไฟก็ได้ เครื่องยนต์ที่ใช้ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์อาจไม่มีมอดูลจุดระเบิดแบบแยกต่างหาก ชุดควบคุมเครื่องยนต์ (Engine controller) หรือมอดูลควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ (electronic control module, ECM) หรือที่เรียกย่อๆว่า อีซีเอ็ม ก็จะทำหน้าที่ในการควบคุมระบบจุดระเบิดได้อย่างสมบูรณ์

- พัลส์แรงเคลื่อนจากขดลวดกำเนิดสัญญาณ (pickup coil voltage pulse)

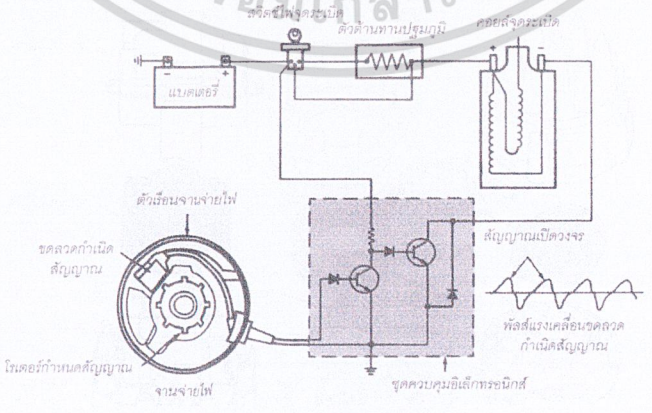
ส่วนประกอบที่สำคัญของขดลวดกำเนิดสัญญาณ จะประกอบด้วยแม่เหล็กถาวร (Permanent magnet) และขดลวดกำเนิดสัญญาณ แสดงในรูปที่ 2.18 โดยขดลวดกำเนิดสัญญาณจะถูกพันไว้โดยรอบส่วนที่ยื่นออกมาของเหล็กแผ่นบางที่อัดแน่นเรียกว่า ขาแม่เหล็ก (pole piece) โรเตอร์กำหนดสัญญาณจะทำจากเหล็กโดยจะทำซี่ยื่นออกมา จำนวนซี่เท่ากับจำนวนสูบของเครื่องยนต์ ติดตั้งอยู่กับแกนเพลาของจานจ่ายไฟโดยให้มีระยะห่างระหว่างซี่กับขาแม่เหล็กที่เหมาะสม ดังนั้น เมื่อแกนเพลาของจานจ่ายไฟหมุน โรเตอร์กำหนดสัญญาณก็จะหมุนตามไปด้วย



รูปที่ 2.18 แสดงจานจ่ายไฟของระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ขดลวดกำเนิดสัญญาณแล้ว อุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบกลไกสำหรับเครื่องยนต์ 4 สูบ

ขาแม่เหล็กจะช่วยสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นโดยรอบขดลวดกำเนิดสัญญาณ การหมุนผ่านแต่ละครั้งของซี่โรเตอร์กำหนดสัญญาณจะเป็นสาเหตุที่ทำให้สนามแม่เหล็กเคลื่อนตัวผ่านขดลวดกำเนิดสัญญาณทำให้เกิดพัลส์ของแรงเคลื่อนขนาดเล็กๆ ดูรูปที่ 2.19 พัลส์แรงเคลื่อนนี้จะส่งสัญญาณไปยังมอดูลจุดระเบิดเพื่อเปิดวงจรขดลวดปฐมภูมิเหมือนกับการเปิดของหน้าทองขาว ทำให้สนามแม่เหล็กในคอยล์จุดระเบิดยุบตัวลง ทำให้เกิดไฟแรงสูงจัดส่งไปยังฝาจานจ่ายไฟ หัวโรเตอร์ ขั้วไฟแรงสูง สายไฟหัวเทียนและหัวเทียน ตามลำดับ

หลังจากซี่ฟันของโรเตอร์กำหนดสัญญาณหมุนผ่านออกไปจากขาแม่เหล็กแล้ว มอดูลจุดระเบิดก็จะปิดวงจรขดลวดปฐมภูมิอีกครั้งหนึ่ง เหมือนกับการปิดของหน้าทองขาว กระแสที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของคอยล์จุดระเบิดก็จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นภายใน ขณะนี้ระบบจุดระเบิดพร้อมที่จะจัดส่งไฟแรงสูงให้กับหัวเทียนในจังหวะต่อไป



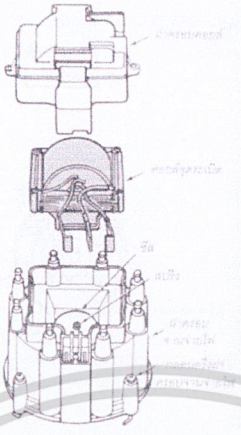
รูปที่ 2.19 แสดงส่วนประกอบที่ใช้ในระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้จานจ่ายไฟที่ใช้ขดลวดกำเนิดสัญญาณกับมอดูลควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์-สัญญาณแรงเคลื่อนจากขดลวดกำเนิดสัญญาณได้ถูกแสดงไว้มุมขวาล่าง

- ระบบจุดระเบิดพลังงานสูง (high-energy ignition system)

ระบบจุดพลังงานสูง หรือที่เรียกสั้นๆว่า ระบบเอชอีไอ (HEI) เป็นระบบจุดระเบิดที่สามารถผลิตไฟแรงสูงได้สูงกว่าระบบจุดระเบิดแบบธรรมดามาก กล่าวคือ สามารถผลิตไฟแรงสูงได้สูงถึง 47,000 โวลต์หรือสูงกว่า จึงทำให้สามารถใช้หัวเทียนที่มีระยะระหว่างเขี้ยวห่างกว่าแบบธรรมดาได้ เป็นผลทำให้ประหยัดเชื้อเพลิงและสารมลพิษจากไอเสียมีปริมาณลดลง เนื่องจากหัวเทียนชนิดนี้จะทำให้ได้ประกายไฟที่ยาวกว่า จึงจุดส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงหรือไอดีที่บางกว่าได้ดี ทำให้การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นมีความสมบูรณ์ดี จึงทำให้เกิดการประหยัดเชื้อเพลิง และสารมลพิษจากไอเสียลดลง

สำหรับวงจรขดลวดทุติยภูมิ โดยพื้นฐานแล้วจะเหมือนกับที่ใช้ในระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา อย่างไรก็ตาม จานจ่ายไฟ คอยล์จุดระเบิดและขดลวดทุติยภูมิจะได้รับการออกแบบใหม่ทั้งหมด ให้สามารถรองรับแรงเคลื่อนที่สูงขึ้นได้ ฝาจานจ่ายไฟจะมีขนาดใหญ่ขึ้น ขั้วสายไฟหัวเทียนจะสูงขึ้นและห่างกันมากขึ้นกว่าเดิม ดูรูปที่ 2.20 ทั้งนี้ก็เพื่อลดการอาร์คที่อาจเกิดขึ้นระหว่างขั้วสาย อันจะเป็นสาเหตุที่จะทำให้เครื่องยนต์เดินไม่ครบสูบและฝาจานจ่ายไฟเสียหายได้ คาปาซิเตอร์หรือคอนเดนเซอร์ที่ติดตั้งอยู่ในจานจ่ายไฟของระบบจุดระเบิดแบบนี้ ระบบจุดระเบิดแบบนี้สายไฟหัวเทียนและสายคอยล์จุดระเบิดจะทำจากซิลิกอนขนาดโตกว่า 8 มิลลิเมตร

รูปที่ 2.20 แสดงจานจ่ายไฟสำหรับจุดระเบิดพลังงานสูง



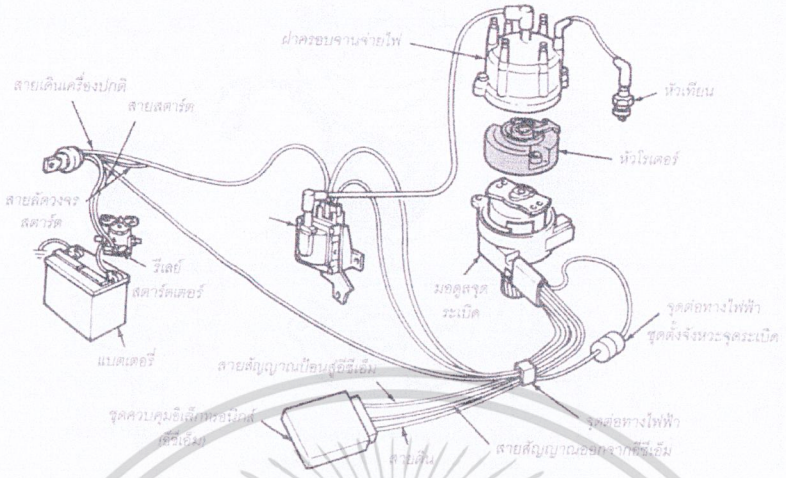
รูปที่ 2.21 แสดงฝาจานจ่ายไฟสำหรับระบบจุดระเบิดพลังงานสูงที่ติดตั้งคอยล์จุดระเบิดภายในฝาจานจ่ายไฟ

รูปที่ 2.21แสดงให้เห็นส่วนประกอบที่สำคัญของส่วนที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กภายในจานจ่ายไฟ ขาแม่เหล็กจะทำเป็นซี่ๆ เท่ากับจำนวนสูบของเครื่องยนต์ชี้เข้าทางด้านใน สร้างติดกับแหวนทรงกลมแบน โรเตอร์กำหนดสัญญาณจะทำเป็นซี่ยื่นออกทางด้านนอกเท่ากับซี่ของขาแม่เหล็กหรือจำนวนสูบของเครื่องยนต์ ซึ่งซี่ที่ว่านี้ของโรเตอร์กำหนดสัญญาณจะถูกเรียกว่า แกนจัดเวลา (timer core) และประกอบติดอยู่กับเพลาจานจ่ายไฟ ดังนั้น เมื่อเพลาจานจ่ายไฟหมุนโรเตอร์กำหนดสัญญาณก็จะหมุนตามไปด้วย และเมื่อซี่หรือแกนจัดเวลาของโรเตอร์กำหนดสัญญาณเคลื่อนที่ผ่านซี่ของขาแม่เหล็กของขดลวดกำเนิดสัญญาณ ก็จะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดพัลส์แรงเคลื่อนที่ขึ้นในขดลวดกำเนิดสัญญาณ

2.7.2 ระบบจุดระเบิดแบบจานจ่ายไฟกับอุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

- อุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ (electronic spark advance)

ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เป็นระบบจุดระเบิดที่ใช้อุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบกลไกและแบบสุญญากาศ ซึ่งใช้กับรถยนต์ที่ไม่ใช้ระบบควบคุมเครื่องยนต์แบบอิเล็กทรอนิกส์ หรืออีซีเอ็ม (ECM) ตามปกติรถยนต์ที่ใช้ระบบควบคุมเครื่องยนต์แบบอิเล็กทรอนิกส์หรืออีซีเอ็มที่ใช้จานจ่ายไฟจะใช้อุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ การควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าของคอมพิวเตอร์หรืออีซีเอ็มนี้จะขึ้นอยู่กับสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณต่างๆที่อยู่ภายในระบบ



รูปที่ 2.22 ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้การจุดระเบิดล่วงหน้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

รูปที่ 2.22 แสดงระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้อุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ ระบบนี้มอดูลจุดระเบิดและอีซีเอ็มจะร่วมกันทำงานในการควบคุมจังหวะการจุดระเบิด มอดูลจุดระเบิดจะติดตั้งอยู่กับตัวเรือนจานจ่ายไฟ ภายในจานจ่ายไฟตัวตรวจจับภาพการเกิดประกายไฟจะส่งสัญญาณให้กับมอดูลจุดระเบิดเมื่อลูกสูบของแต่ละลูกสูบเคลื่อนตัวเข้าใกล้ศูนย์ตายบน มอดูลจุดระเบิดจะใช้ข้อมูลนี้ร่วมกับอีซีเอ็ม จากนั้นจึงจะคำนวณค่าการจุดระเบิดล่วงหน้า ส่วนอีซีเอ็มก็จะผลิตสัญญาณตัวใหม่ส่งกลับไปยังมอดูลจุดระเบิด ซึ่งจะเปิดวงจรขดลวดปฐมภูมิที่เวลาอันถูกต้องเพื่อจุดประกายไฟที่หัวเทียน

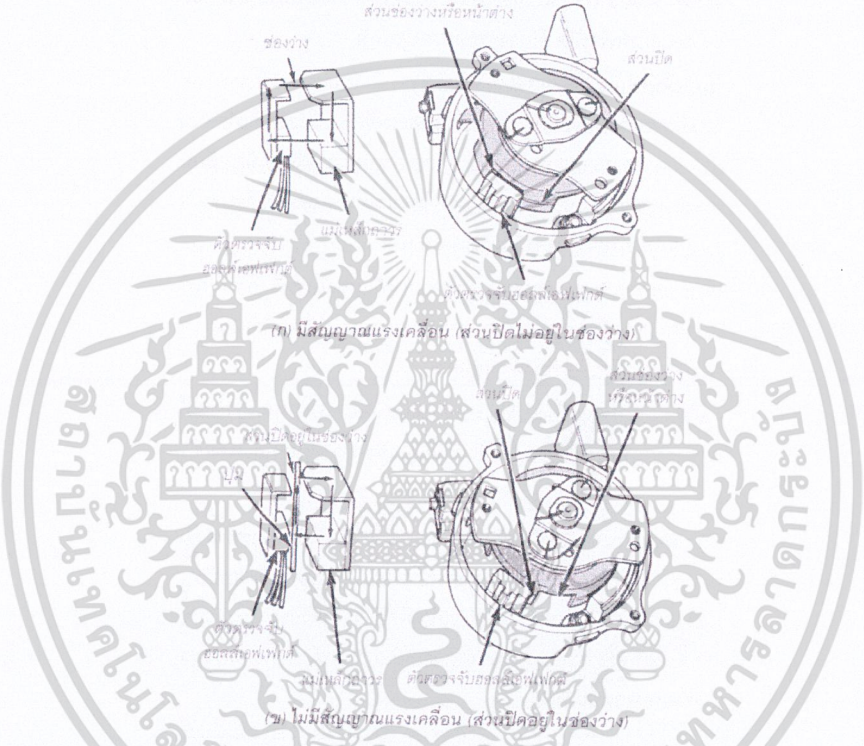
- สวิตช์ฮอลล์เอฟเฟกต์ (Hall-Effect Switch)

ระบบจุดระเบิดบางระบบจะใช้สวิตช์ฮอลล์เอฟเฟกต์ ซึ่งเป็นสวิตช์แม่เหล็กแทนขดลวดกำเนิดสัญญาณ ความแตกต่างก็คือ ขดลวดกำเนิดสัญญาณจะกำเนิดแรงเคลื่อนเพียงเล็กน้อยขึ้นภายใน เมื่อซี่ของ โรเตอร์กำหนดสัญญาณเคลื่อนตัวผ่าน แต่สวิตช์ฮอลล์เอฟเฟกต์จะเปลี่ยนแรงเคลื่อนที่จัดส่ง เปิดและปิดกับการปรากฏและไม่ปรากฏของเส้นแรงแม่เหล็ก

ตัวตรวจจับภาพการเกิดประกายไฟในจานจ่ายไฟที่แสดงในรูป 2.23 ก็คือสวิตช์ฮอลล์เอฟเฟกต์ซึ่งจะเปิด – ปิดพัลส์แรงเคลื่อน จะบอกตำแหน่งของเพลาข้อเหวี่ยงให้กับมอดูลจุดระเบิด สัญญาณนี้จะเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการฉีดเชื้อเพลิงด้วยเช่นกัน

ฮอลล์เอฟเฟกต์จะเกิดขึ้นเมื่อสนามแม่เหล็กตัดผ่านแผ่นบางๆของวัสดุกึ่งตัวนำที่เป็นตัวนำกระแส แรงเคลื่อนที่ปรากฏที่ขอบของวัสดุกึ่งตัวนำนั้นถูกเรียกว่า แรงเคลื่อนฮอลล์ (Hall voltage) ตามชื่อผู้ค้นพบ

รูปที่ 2.23 แสดงจานจ่ายไฟที่ใช้สวิตช์ฮอลล์เอฟเฟกต์ ซึ่งมีโรเตอร์ทำด้วยเหล็กหรือที่เรียกว่า ถ้วยหมุน (rotary cup) กับส่วนที่เป็นช่องว่างหรือหน้าต่าง (window) และส่วนปิด (shutter) มีจำนวนเท่ากับจำนวนสูบของเครื่องยนต์ ดูรูปที่ 2.23 (ก) ส่วนปิดก็คือ ส่วนโค้งที่ขอบของโรเตอร์ที่จะหมุนผ่านเข้าไปในช่องว่างระหว่างแม่เหล็กถาวรและตัวตรวจจับฮอลล์เอฟเฟกต์ ซึ่งทั้งแม่เหล็กและตัวตรวจจับรวมกันก็คือ สวิตช์ฮอลล์เอฟเฟกต์นั่นเอง

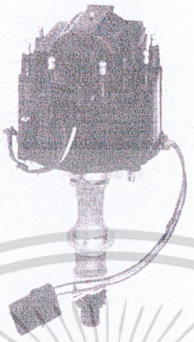


รูปที่ 2.23 แสดงจานจ่ายไฟที่ใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์

เมื่อส่วนปิดของโรเตอร์ไม่อยู่ในช่องว่างระหว่างแม่เหล็กถาวรกับตัวตรวจจับ ดูรูปที่2.23 (ก) สนามแม่เหล็กที่กระทำกับตัวตรวจจับที่เป็นวัสดุสารกึ่งตัวนำ ก็จะทำให้เกิดการจัดส่งสัญญาณแรงเคลื่อนจำนวนเล็กน้อยไปยังมอดูลจุดระเบิด เมื่อส่วนปิดของโรเตอร์หมุนผ่านเข้าไปในช่องว่าง ดูรูปที่ 2.23 (ข)สนามแม่เหล็กก็จะหมดไป ทำให้แรงเคลื่อนฮอลล์ตัดการทำงานซึ่งเป็นสัญญาณให้มอดูลจุดระเบิด-ปิดวงจรขดลวดปฐมภูมิ สำหรับความกว้างของส่วนปิดของตัวโรเตอร์นั้นจะมีผลต่อการกำหนดค่าของมุมดเวลล์หรือระยะเวลาที่กระแสไหลในวงจรขดลวดปฐมภูมินั่นเอง

ทันทีที่ส่วนปิดของโรเตอร์เคลื่อนตัวออกจากช่องว่าง ดูรูปที่ 2.23(ก) แรงเคลื่อนฮอลล์ก็จะกลับมาปรากฏอีกครั้งหนึ่ง อีซีเอ็มก็จะใช้สัญญาณนี้คำนวณการจุดระเบิดล่วงหน้าที่ถูกต้อง และ

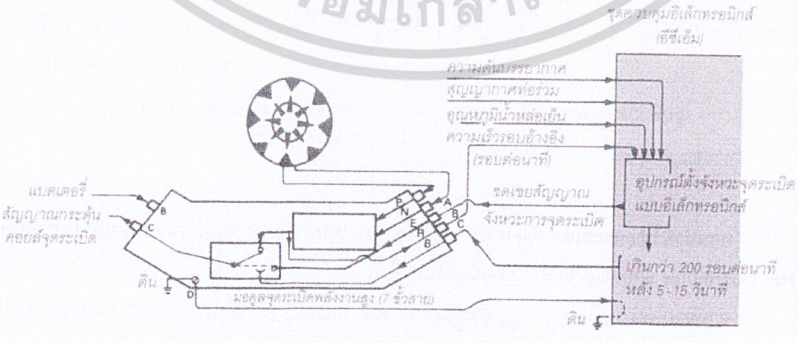
จากนั้นจะส่งสัญญาณทำให้มอดูลจุดระเบิดเปิดวงจรขดลวดปฐมภูมิ เป็นผลทำให้เกิดไฟแรงสูงในวงจรขดลวดทุติยภูมิจัดส่งไปให้กับหัวเทียน



รูปที่ 2.24 จานจ่ายไฟจุดระเบิดพลังงานสูงที่ใช้อุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

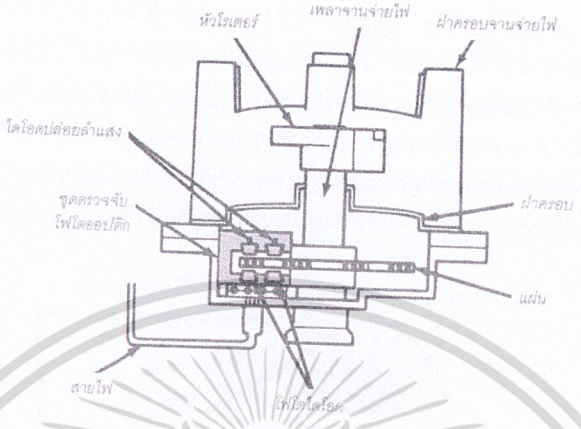
- จานจ่ายไฟจุดระเบิดพลังงานสูงกับอุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ (HEI Distributor with Electronic Spark Advance)

จานจ่ายไฟแบบนี้จะคล้ายๆกับจานจ่ายไฟแบบแรกๆที่ใช้กับอุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบกลไกและแบบสุญญากาศ ดูรูปที่ 2.24 ในการทำงานอุปกรณ์ตั้งจังหวะการจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์หรืออีเอสที (Electronic spark timing, EST) จะถูกควบคุมด้วยอีซีเอ็ม โดยอีเอสทีจะทำหน้าที่ในการตรวจสอบข้อมูลข่าวสารจากตัวตรวจจับสัญญาณต่างๆและคำนวณเวลาในการจุดระเบิดล่วงหน้าเพื่อให้เกิดการประหยัดเชื้อเพลิงมากที่สุด สภาพการขับเคลื่อนที่ดีที่สุดและสารมลพิษจากไอเสียน้อยที่สุด จากนั้นอีซีเอ็มจะส่งสัญญาณไปให้มอดูลจุดระเบิดพลังงานสูงที่อยู่ภายในจานจ่ายไฟ ดูรูปที่ 2.25 ทำให้ หัวเทียนจุดประกายไฟ



รูปที่ 2.25 แสดงมอดูลจุดระเบิดแบบ 7 ขั้วสาย หรือ มอดูลจุดระเบิดพลังงานสูงที่ใช้ในจานจ่ายไฟจุดระเบิดพลังงานสูงของเครื่องยนต์กับอุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

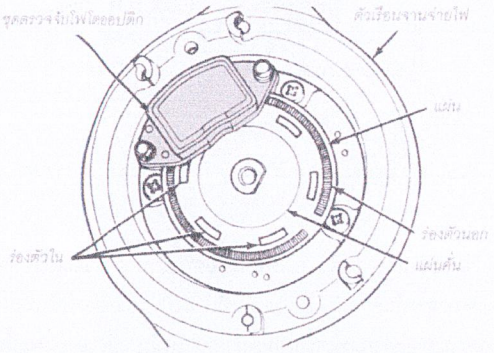
- จานจ่ายไฟแบบโฟโตไดโอดเชิงแสง (optical photodiode distributor)



รูปที่ 2.26 แสดงจานจ่ายไฟแบบโฟโตไดโอดเชิงแสงที่ใช้การเปิด-ปิดของลำแสงในการควบคุมวงจรขดลวดปฐมภูมิ

จานจ่ายไฟแบบโฟโตไดโอด หรือจานจ่ายไฟเชิงแสง ดูรูปที่ 2.26 จะใช้ลำแสงในการควบคุมวงจรขดลวดปฐมภูมิ โฟโตไดโอดคือ ไดโอดที่ใช้การปรากฏขึ้นและการหายไปของแสงเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนจัดส่งที่ใช้ในการเปิด-ปิดวงจรขดลวดปฐมภูมิ ในจานจ่ายไฟไดโอดปล่อยลำแสง (light-emitting diode, LED) จะทำหน้าที่ในการจัดเตรียมลำแสงให้กับระบบ

ไดโอดปล่อยลำแสงจำนวน 2 ตัวและโฟโตไดโอดจำนวน 2 ตัวจะได้รับการติดตั้งอยู่ภายในตัวเรือนจานจ่ายไฟในตำแหน่งตรงกันข้ามกัน โดยมีแผ่นที่เจาะเป็นร่องอยู่ระหว่างกลาง ดูรูปที่ 2.27 แผ่นนี้จะหมุนไปกับเพลาของจานจ่ายไฟขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน ดังนั้นเมื่อร่องที่แผ่นนี้หมุนมาตรงกับไดโอดปล่อยลำแสง ลำแสงจากไดโอดปล่อยลำแสงก็จะพุ่งไปกระทบกับโฟโตไดโอดทันที ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนจัดส่งที่ใช้ในการเปิด-ปิดวงจรขดลวดปฐมภูมิ เมื่อแผ่นนี้หมุนต่อไปจนกระทั่งส่วนเต็มของแผ่นปิดลำแสงจากไดโอดปล่อยลำแสง สวิตช์โฟโตไดโอดก็จะปิดทันที ทำให้เกิดแรงเคลื่อนกระแสสลับขึ้นในโฟโตไดโอด วงจรรวม(integrated circuit) ในชุดตรวจจับโฟโตออปติก (photo optic sensing unit) ในจานจ่ายไฟก็จะเปลี่ยนจากสัญญาณแรงเคลื่อนมาเป็นสัญญาณพัลส์ สัญญาณเหล่านี้จะทำให้สัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์และสัญญาณตำแหน่งของเพลาข้อเหวี่ยง ส่งตรงเข้าสู่มอดูลควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ มอดูลจุดระเบิดแบบที่แยกออกมาต่างหากจะไม่ถูกนำมาใช้ จากนั้นมอดูลควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์หรืออีซีเอ็มก็จะใช้สัญญาณนี้ในการควบคุม การฉีดเชื้อเพลิง จังหวะการจุดระเบิด และความเร็วเดินเบา

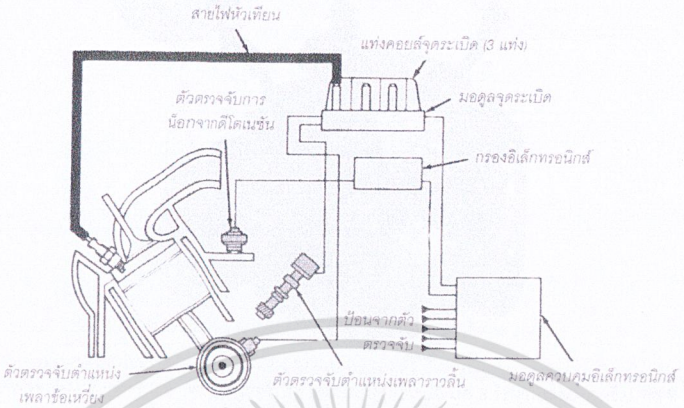


รูปที่ 2.27 แสดงรูปด้านบนของจานจ่ายไฟแบบโฟโตไดโอดเชิงแสง จะเห็นแผ่นที่เจาะเป็นร่องและชุดตรวจจับโฟโตออปติกติดตั้งอยู่ภายใน

อุปกรณ์จัดจังหวะในการจุดระเบิดที่ใช้กับจานจ่ายไฟชนิดนี้ก็คือ แผ่นที่เจาะเป็นร่องที่ติดตั้งอยู่ภายใน ดูรูปที่ 2.27 ร่องที่แผ่นนี้จะมีอยู่ 2 ชุด คือ ร่องตัวนอก (outer slot) ที่ใช้ผลิตสัญญาณแรงเคลื่อนให้กับโฟโตไดโอดตัวนอก และร่องตัวใน (inner slot) ที่ใช้ผลิตสัญญาณแรงเคลื่อนให้กับโฟโตไดโอดตัวใน สำหรับร่องตัวนอกหรือที่เรียกว่า ร่องอัตราข้อมูลด้านสูง (high data rate slot) หรือร่องสัญญาณความละเอียดสูง (high resolution signal slot) จะทำให้เกิดการผลิตสัญญาณทุกๆ 2 องศาของการหมุนของเพลา ข้อเหวี่ยง สัญญาณจากร่องเหล่านี้จะถูกใช้เพื่อการตรวจจับทั้งตำแหน่งของเพลาข้อเหวี่ยง และจังหวะการจุดระเบิดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงถึง 1,200 รอบต่อนาที ส่วนร่องตัวในหรือร่องอัตราข้อมูลด้านต่ำ (low data rate slot) หรือร่องสัญญาณความละเอียดด้านต่ำ (low resolution signal slot) ซึ่งจะมีจำนวนร่องเท่ากับจำนวนสูบของเครื่องยนต์ สัญญาณที่เกิดจากร่องนี้จะแสดงถึงตำแหน่งศูนย์ตายบนของลูกสูบแต่ละสูบและกระตุ้นให้เกิดการเริ่มฉีดเชื้อเพลิง ร่องนี้ยังถูกใช้สำหรับจัดเวลาในการจุดระเบิดที่ความเร็วของเครื่องยนต์ที่สูงเกินกว่า 1,200 รอบต่อนาทีด้วยเช่นกัน

เช่นเดียวกับจานจ่ายไฟแบบอื่นๆ ที่หัวโรเตอร์และฝาครอบจานจ่ายไฟจะทำหน้าที่จัดส่งไฟแรงสูงไปยังหัวเทียน ดังนั้นเพื่อป้องกันมิให้ชุดตรวจจับที่อยู่ภายในเกิดความเสียหาย และระบบกำเนิดแสงเกิดความสกปรก จึงต้องมีการติดตั้งฝาครอบขึ้นอีกชั้นหนึ่งในตัวเรือนจานจ่ายไฟภายใต้หัวโรเตอร์ ดูรูปที่ 2.26ในเครื่องยนต์สูบวีที่ติดตั้งลิ้นเหนือฝาสูบบางแบบ จานจ่ายไฟแบบเชิงแสงจะถูกติดตั้งเข้ากับเพลาราวลิ้นทางด้านหน้าของเครื่องยนต์โดยตรง

2.7.3 ระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟกับคอยล์จุดระเบิดหลายตัว



รูปที่ 2.28 ระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟ

- หลักการพื้นฐานของการจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟ

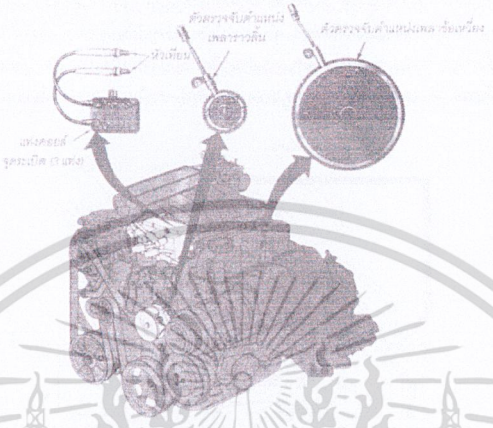
เครื่องยนต์หลายแบบจะใช้ระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟ ดูรูปที่ 2.28 ระบบนี้เป็นระบบจุดระเบิดด้วยอิเล็กทรอนิกส์กับอุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบอิเล็กทรอนิกส์แต่ไม่มีจานจ่ายไฟ ตัวตรวจจับสัญญาณจะทำหน้าที่จัดส่งสัญญาณตำแหน่งของเพลาข้อเหวี่ยงไปยังมอดูลจุดระเบิด จากนั้นจะร่วมกันกับอีซีเอ็มจัดเวลาหรือจังหวะในการจุดระเบิด กระตุ้นและแจกจ่ายไฟแรงสูงไปยังหัวเทียน

การไม่มีจานจ่ายไฟจะทำให้มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวลดลง รวมถึงสวิตช์หมุนแรงเคลื่อนสูงที่เป็นส่วนหนึ่งของฝาจานจ่ายไฟและหัวโรเตอร์ เป็นผลทำให้การบำรุงรักษาลดลง นอกจากนั้นยังสามารถขจัดการปรับตั้งทางกลของเวลาหรือจังหวะในการจุดระเบิด ระบบจุดระเบิดแบบนี้ยังช่วยลดการรบกวนคลื่นวิทยุภายในรถยนต์ และเพิ่มความเที่ยงตรงของเวลาหรือจังหวะในการจุดระเบิดได้อีกด้วย

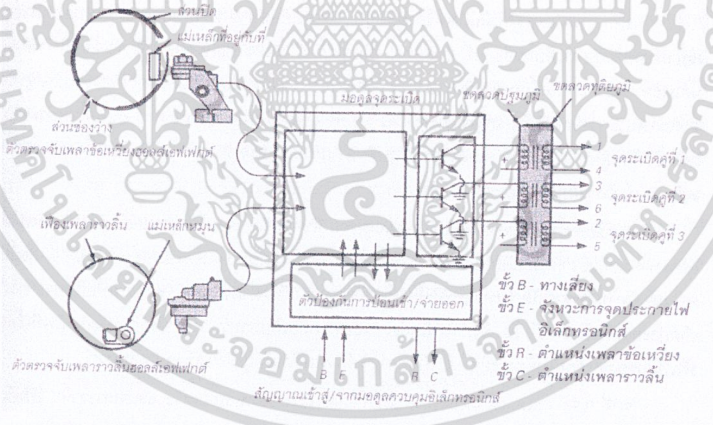
- ระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟกับคอยล์จุดระเบิดหลายตัว

รูปที่ 2.29 แสดงให้เห็นถึงเครื่องยนต์สูบวี 6 สูบที่ใช้ระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟระบบนี้จะรวมถึงมอดูลจุดระเบิด แท่งของคอยล์จุดระเบิดซึ่งประกอบด้วยคอยล์จุดระเบิดจำนวน 3 ตัว ตัวตรวจจับสัญญาณตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยง และตัวตรวจจับสัญญาณตำแหน่งเพลาราวลิ้น ดูรูปที่ 2.31 คอยล์จุดระเบิดแต่ละตัวจะผลิตไฟแรงสูงให้กับหัวเทียนจำนวน 2 หัวในเวลาเดียวกัน โดยที่ปลายด้านหนึ่งของขดลวด ทุติยภูมิแต่ละขดจะต่อเข้ากับหัวเทียน ดูรูปที่ 2.31 มอดูลจุดระเบิดจะเป็นตัวกำหนดลำดับขั้นการจุดระเบิดและเลือกคอยล์เพื่อทำให้เกดประกายไฟที่หัวเทียน จากนั้น

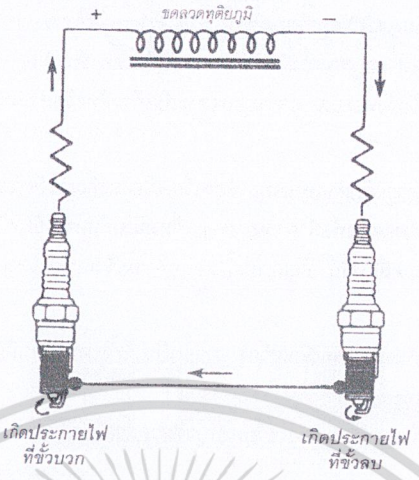
อีซีเอ็มจะส่งสัญญาณไปยังมอดูลจุดระเบิดเพื่อเปิดวงจรขดลวดปฐมภูมิ เป็นผลทำให้เกิดไฟแรงสูงในขดลวดทุติยภูมิ ทำให้เกิดประกายไฟกระโดดข้ามที่เขี้ยวหัวเทียน



รูปที่ 2.29 เครื่องยนต์แบบสูบวี 6 สูบ กับระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟ สังเกตตำแหน่งที่ติดตั้งตัวตรวจจับสัญญาณตำแหน่งของเพลาราวลิ้นและตำแหน่งของเพลาข้อเหวี่ยง



รูปที่ 2.30 แผนผังของระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟสำหรับเครื่องยนต์แบบสูบวี 6 สูบ ซึ่งใช้คอยล์จุดระเบิด 3 ตัว จุดประกายไฟที่หัวเทียน 6 หัว

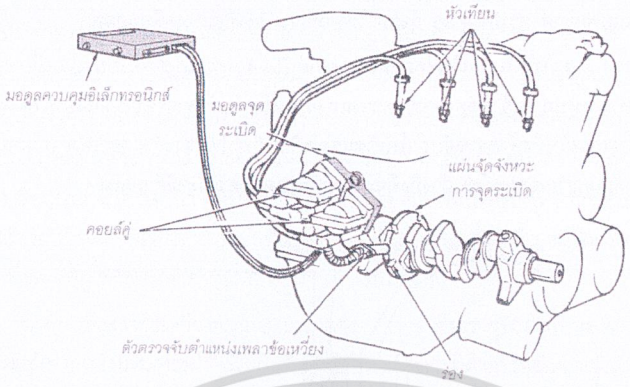


รูปที่ 2.31 แสดงให้เห็นการทำให้เกิดประกายไฟที่หัวเทียนพร้อมกันถึง 2 หัวของคอยล์จุดระเบิดเพียงตัวเดียว ซึ่งวิธีนี้เรียกว่าวิธีประกายไฟสูญเปล่า

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

รูปที่ 2.30 แสดงให้เห็นถึงเครื่องยนต์สูบวี 6 สูบกับปลาย 2 ปลายของขดลวดทุติยภูมิของคอยล์ที่ต่อเข้ากับหัวเทียนของสูบที่ 1 และ 4 เมื่อสูบที่ 1 จุดประกายไฟที่ปลายจังหวะอัด ทำให้ส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงเกดการเผาไหม้และเกดการระเบิดเป็นจุดเริ่มต้นของจังหวะระเบิด สูบที่ 4 ก็จะจุดประกายไฟเช่นกัน แต่จะสูญเปล่าเพราะสูบที่ 4 จะอยู่ในปลายจังหวะคาย สูบที่จะจุดประกายไฟต่อไปคือ สูบที่ 3 และ 6 และตามด้วยสูบที่ 2 และ 5 และจะหมุนเวียนกันอยู่เช่นนี้ตลอดเวลาที่เครื่องยนต์ทำงานอยู่

สำหรับการจุดประกายไฟของหัวเทียนที่อยู่ในจังหวะคาย เนื่องจากแก๊สไอเสียส่วนใหญ่ได้ถูกระบายออกไปจากกระบอกสูบแล้วบางส่วน จึงทำให้ความดันภายในกระบอกสูบมีค่าลดลง ดังนั้นความต้านทานต่อการเกดประกายไฟที่เขี้ยวหัวเทียนของสูบนี้จึงต่ำลงไปด้วย พลังงานที่ใช้ในการทำให้เกิดประกายไฟจึงต่ำ ดังนั้น จึงทำให้มีพลังงานอย่างเหลือเฟือสำหรับการทำให้เกิดประกายไฟที่เขี้ยวหัวเทียนของสูบที่อยู่ในจังหวะอัด จึงเป็นผลทำให้การเผาไหม้ที่สูบนี้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

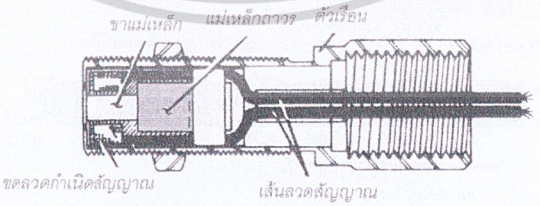


รูปที่ 2.32 แสดงตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยงแบบแม่เหล็ก ที่เมื่อร่องของแผ่นจัดจังหวะการจุดระเบิดหมุนไปตรงกับตัวตรวจจับก็จะทำให้เกิดพัลส์แรงเคลื่อนหรือสัญญาณซึ่งใช้บอกความเร็วและตำแหน่งของเพลาข้อเหวี่ยง

- ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยง (crankshaft-position sensor)

ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยง ดังรูปที่ 2.32 จะทำหน้าที่รายงานความเร็วของเพลาข้อเหวี่ยงและตำแหน่งของลูกสูบให้กับมอดูลจุดระเบิด ตัวตรวจจับนี้จะต้องรับรู้เมื่อลูกสูบที่ 1 กำลังเข้าใกล้ตำแหน่งศูนย์ตายบนในจังหวะอัด และระบบจุดระเบิดก็จะต้องจัดส่งประกายไฟไปยังหัวเทียนของสูบนั้นทันที

สัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยงเมื่อร่องที่แผ่นจัดจังหวะการจุดระเบิด (Timing disc) ดูรูปที่ 2.32 หรือที่วงแหวนพัลส์ (pulse ring) ที่หมุนไปกับเพลาข้อเหวี่ยงหมุนไปตรงกับตัวตรวจจับก็จะทำให้ผลิตพัลส์แรงเคลื่อนขึ้น สัญญาณนี้จะบอกความเร็วและตำแหน่งของเพลาข้อเหวี่ยงให้กับมอดูลจุดระเบิด



รูปที่ 2.33 แสดงโครงสร้างของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยงแบบขดลวดกำเนิดสัญญาณ

ตัวตรวจจับตำแหน่งของเพลาข้อเหวี่ยง อาจจะเป็นได้ทั้งขดลวดกำเนิดสัญญาณหรือสวิตช์ฮอลล์เอฟเฟกต์ดังต่อไปนี้

1. ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยงแบบขดลวดกำเนิดสัญญาณ

(pick up-coil crankshaft sensor)

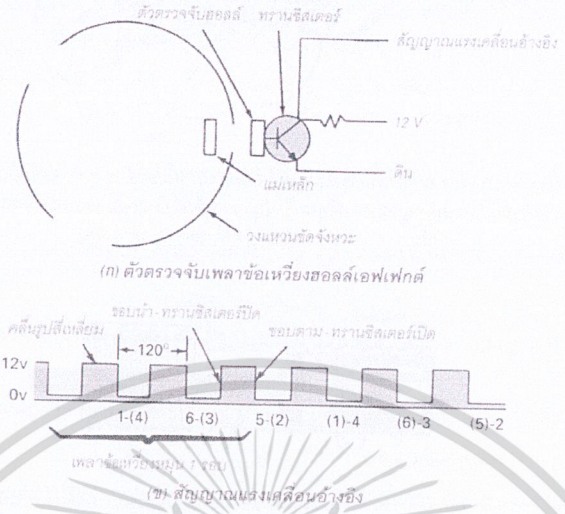
รูปที่ 2.33 แสดงส่วนสำคัญของตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยงแบบขดลวดกำเนิดสัญญาณจะเห็นได้ว่าขดลวดกำเนิดสัญญาณจะถูกพันโดยรอบขาแม่เหล็กที่ยื่นออกมาจากแท่งแม่เหล็กถาวร สำหรับการทำงานจะคล้ายๆกับขดลวดกำเนิดสัญญาณที่ใช้ในจานจ่ายไฟแบบอิเล็กทรอนิกส์ ร่องของแผ่นจัดจังหวะการจุดระเบิดหรือโรเตอร์กำหนดสัญญาณจะหมุนไปกับเพลงข้อเหวี่ยง ดูรูปที่ 2.33 เมื่อแต่ละร่องหมุนผ่านเข้าไปในสนามแม่เหล็กที่ปลายของขดลวดกำเนิดสัญญาณ ก็จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำขึ้นภายใน ขนาดของแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ กล่าวคือ ถ้าความเร็วรอบของเครื่องยนต์ยิ่งสูง แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นก็จะยิ่งสูงตามไปด้วย

ร่องคู่หรือร่องดัชนี (index notch) ในโรเตอร์กำหนดสัญญาณจะผลิตสัญญาณพร้อมกัน (sync pulse) สัญญาณนี้จะเป็นตัวระบุตำแหน่งจองเพลาข้อเหวี่ยง มอดูลจุดระเบิดจะใช้สัญญาณนี้เพื่อทำให้ลำดับขั้นการจุดระเบิดกับตำแหน่งของเพลาข้อเหวี่ยงเกิดขึ้นพร้อมกัน หลังการเกิดสัญญาณนี้แล้ว มอดูลจุดระเบิดก็จะนับจำนวนร่องของแผ่นจัดจังหวะการจุดระเบิดที่หมุนผ่านไป จากนั้นจึงใช้จำนวนร่องที่นับกระตุ้นให้คอยล์แต่ละตัวทำงานที่เวลาอันถูกต้อง อีซีเอ็มก็จะจัดเตรียมสัญญาณการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ให้กับมอดูลจุดระเบิดตามที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อเรื่องจานจ่ายไฟระบบจุดระเบิดพลังงานสูงกับอุปกรณ์ การจุดระเบิดล่วงหน้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

2. ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยงแบบสวิตช์ฮอลล์เอฟเฟกต์

(hall-effect crankshaft sensor)

ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยงแบบนี้จะใช้สวิตช์ฮอลล์เอฟเฟกต์เป็นตัวเปิด – ปิดแรงเคลื่อนอ้างอิง (reference voltage) ที่จะจัดส่งโดยมอดูลจุดระเบิด ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนอ้างอิงที่จัดเตรียมชุดของพัลส์ที่เท่าเทียมกัน วงแหวนขัดจังหวะ (interrupt ring) ที่ติดตั้งอยู่ทางด้านหลังของอุปกรณ์ต้านการสั่นของเพลาข้อเหวี่ยงจะเป็นตัวทำให้เกิดพัลส์ การหมุนของวงแหวนส่วนที่เป็นช่องว่างและส่วนปิดที่มีจำนวนเท่ากัน เมื่อผ่านเข้าไปในช่องว่างระหว่างแท่งแม่เหล็กถาวรกับตัวตรวจจับฮอลล์เอฟเฟกต์ ดูรูปที่ 2.34 ก็จะทำให้เกดการเปิด-ปิดแรงเคลื่อนฮอลล์



รูปที่ 2.34 แสดงให้เห็นว่าสวิตช์ฮอลล์เอฟเฟกต์เปิด-ปิดทรานซิสเตอร์ซึ่งเปลี่ยนแปลงสัญญาณแรงเคลื่อนอ้างอิงอย่างไร

รูปที่ 2.34 แสดงให้เห็นว่าสวิตช์ฮอลล์เอฟเฟกต์เปิด-ปิดทรานซิสเตอร์อย่างไร เมื่อส่วนที่เป็นช่องว่างของวงแหวนหมุนผ่านเข้าสู่ช่องว่างระหว่างแท่งแม่เหล็กกับตัวตรวจจับฮอลล์เอฟเฟกต์ สนามแม่เหล็กก็จะสามารถแผ่ไปถึงตัวตรวจจับทำให้เกิดแรงเคลื่อนที่ทำให้ทรานซิสเตอร์เปิด (ทำงาน) ซึ่งจะเป็นสาเหตุที่ทำให้สัญญาณแรงเคลื่อนอ้างอิงที่จะส่งไปยังมอดูลจุดระเบิดมีค่าลดลง

เมื่อส่วนที่ปิดที่อยู่ถัดไปเคลื่อนที่เข้าสู่ช่องว่าง ก็จะทำให้เกดการปิดกั้นสนามแม่เหล็กไม่ให้แผ่ไปถึงตัวตรวจจับฮอลล์เอฟเฟกต์ได้ จึงทำให้แรงเคลื่อนฮอลล์หมดไป ทรานซิสเตอร์ก็จะกลับมาอยู่ในตำแหน่งปิด (ไม่ทำงาน) และคืนสัญญาณแรงเคลื่อนอ้างอิงสูงให้กับมอดูลจุดระเบิด

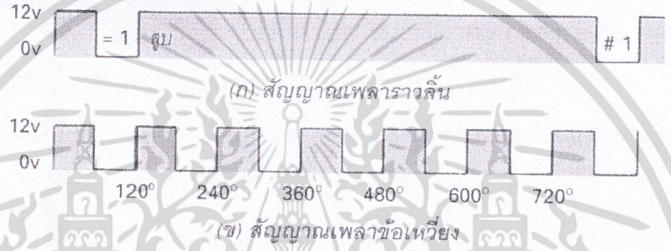
- ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาราวลิ้น (camshaft-position sensor)

ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาราวลิ้น บางทีเรียกว่าตัวตรวจจับการพิสูจน์กระบอกสูบหรือซีดีไอ (Cylinder identification sensor, CDI) ตัวตรวจจับนี้จะจัดเตรียมสัญญาณพัลส์แรงเคลื่อนที่พิสูจน์ตำแหน่งของลูกสูบ สูบที่ 1 ตัวตรวจจับที่ใช้ปกติจะเป็นสวิตช์ฮอลล์เอฟเฟกต์ มอดูลจุดระเบิดจะยอมรับสัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาราวลิ้นเมื่อเริ่มจังหวะจุดระเบิดแต่ละจังหวะ นี้เป็นการจุดระเบิดของหัวเทียนทั้งหมดระหว่างรอบหรือวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์

ระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟกับตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาราวลิ้นติดตั้งในเบ้าที่เมื่อก่อนใช้เป็นที่ติดตั้งจานจ่ายไฟ ตัวตรวจจับชนิดนี้จะถูกขับโดยเพลาราวลิ้นผ่านทางเฟืองฟันโค้ง (Spiral gear) นอกจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาราวลิ้นที่กล่าวข้างต้นแล้ว ยังมีตัวตรวจจับตำแหน่ง

เพลาราวลิ้นแบบอื่นๆอีก อาทิ แบบร่องในแผ่นที่ติดอยู่กับเฟืองโซ่ของเพลาราวลิ้น ทำหน้าที่ในการเปิด-ปิดสวิตช์ฮอลล์เอฟเฟกต์ หรือแบบที่ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาราวลิ้น จะเปิด-ปิดเมื่อแท่งแม่เหล็กเล็กๆที่ติดตั้งอยู่กับเฟืองเพลาราวลิ้นหมุนผ่าน

ระหว่างที่เพลาข้อเหวี่ยงหมุน 2 รอบ (720 องศา) ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยงก็จะจัดเตรียมพัลส์เท่ากับจำนวนสูบของเครื่องยนต์ ดูรูปที่ 2.36 ขณะที่ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาราวลิ้นจะจัดเตรียมเพียง 1 พัลส์ ตัวตรวจจับนี้จะทำหน้าที่ในการพิสูจน์คอยล์ที่จะจุดประกายไฟ และจัดลำดับขั้นของการจุดประกายไฟของคอยล์ในมอดูลจุดระเบิด

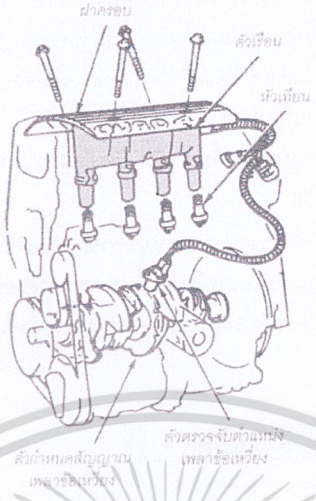


รูปที่ 2.35 แสดงสัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาราวลิ้นที่สัมพันธ์กับสัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยง ระหว่างการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง 2 รอบ ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยง

2.7.4 ระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟกับการจุดระเบิดโดยตรง

- ระบบจุดระเบิดโดยตรงแบบคอยล์หลายตัว

เครื่องยนต์บางแบบจะใช้ระบบจุดระเบิดโดยตรงที่ไม่ต้องใช้สายไฟหัวเทียน ดังรูปที่ 2.36 ในเครื่องยนต์ 4 สูบ มอดุลจุดระเบิดกับคอยล์จำนวน 2 ตัวจะถูกติดตั้งภายใต้ฝาครอบอะลูมิเนียมของเครื่องยนต์ ดูรูปที่ 2.37 การทำงานขั้นพื้นฐานของระบบจะเหมือนกับระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟกับคอยล์จุดระเบิดหลายตัวตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น อย่างไรก็ตาม ตัวนำทุติยภูมิที่หล่อเป็นชิ้นเดียว (molded one-piece secondary conductor) หลายตัวก็ได้ถูกนำมาใช้แทนสายไฟหัวเทียน



รูปที่ 2.36 ระบบจุดระเบิดโดยตรงซึ่งไม่ต้องใช้สายไฟหัวเทียน

รูปที่ 2.37 มอดูลจุดระเบิดและคอยล์จุดระเบิด 2 ตัว ติดตั้งอยู่ภายในตัวเรือนภายใต้ฝาครอบของเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบจุดระเบิดโดยตรง

ปัญหาที่มักจะเกิดขึ้นกับระบบจุดระเบิดที่ใช้สายไฟหัวเทียน คือ การสูญเสียแรงเคลื่อนบางส่วนในสายไฟหัวเทียน ดังนั้นถ้าปราศจากสายไฟหัวเทียนแล้วไฟแรงสูงก็จะเข้าสู่หัวเทียนได้อย่างเต็มที่ นอกจากนั้นการกำจัดสายไฟหัวเทียนยังเป็นการลดการบำรุงรักษาลงด้วยเช่นกัน เพราะจะไม่มีสายไฟหัวเทียนให้ตรวจสอบและเปลี่ยนระบบจุดระเบิดแบบนี้ คอยล์จุดระเบิดจะถูกติดตั้งเข้ากับหัวเทียนแต่ละหัวโดยตรง การเปิดวงจรขดลวดปฐมภูมิในคอยล์แต่ละตัวก็จะทำให้หัวเทียนจุดประกายไฟเพียง 1 หัวเท่านั้น

ข้อดีของระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟ

ระบบจุดระเบิดแบบจานจ่ายไฟมีข้อดีที่เหนือกว่าระบบจุดระเบิดแบบมีจานจ่ายไฟดังนี้

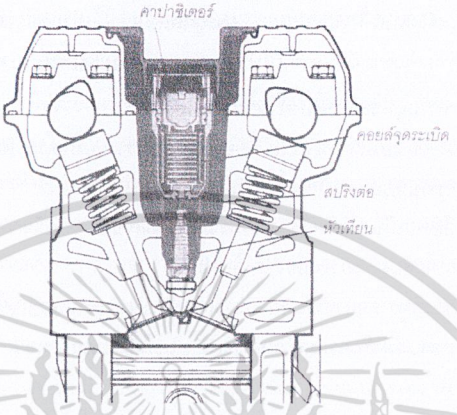
1. การสึกหรอน้อยกว่าเนื่องจากชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวน้อยกว่า
2. ความยืดหยุ่นในการติดตั้งมีมากกว่า เพราะส่วนประกอบในการติดตั้งน้อยลง ซึ่งปัจจุบันมีความสำคัญมากเพราะห้องเครื่องจะมีขนาดเล็กลง
3. การบำรุงรักษาต่ำเพราะไม่ต้องมีหัวโรเตอร์และฝาครอบจานจ่ายไฟ
4. การแทรกแซงคลื่นความถี่วิทยุลดลงเพราะไม่มีช่องว่างระหว่างหัวโรเตอร์กับขั้วไฟแรงสูงที่ฝาครอบจานจ่ายไฟ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

- ระบบจุดระเบิดโดยตรงแบบจุดระเบิดด้วยตัวเก็บประจุ

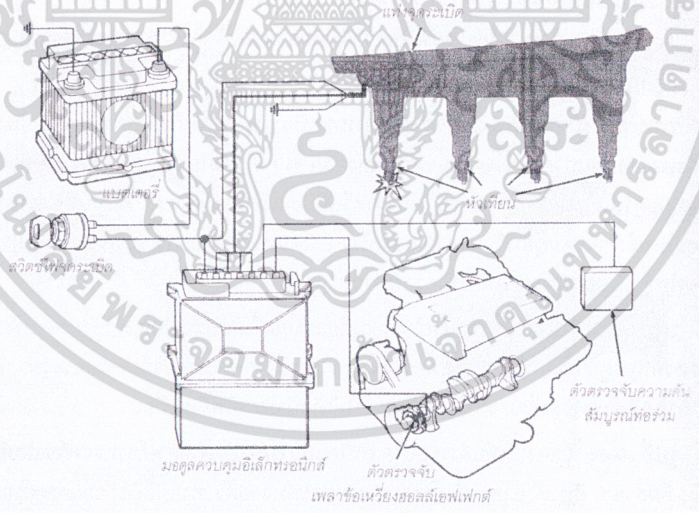
ระบบจุดระเบิดที่กล่าวมาแล้วข้างต้นทั้งหมดเป็นระบบจุดระเบิดแบบเหนี่ยวนำ (Induction ignition system) ระบบจุดระเบิดแบบนี้จะเก็บพลังงานปฐมภูมิไว้ในคอยล์หรือตัวนำทางไฟฟ้า แต่ระบบจุดระเบิดโดยตรงแบบจุดระเบิดด้วยตัวเก็บประจุหรือที่นิยมเรียกกันทั่วไปว่าแบบซีดีไอที่จะกล่าวต่อไปนี้ จะเก็บพลังงานปฐมภูมิไว้ในคาปาซิเตอร์หรือคอนเดนเซอร์ ซึ่งอุปกรณ์ทางไฟฟ้าส่วนนี้จะสามารถกักเก็บประจุไฟฟ้าเพียงเล็กน้อยไว้เพียงชั่วครามเท่านั้น ระบบจุดระเบิดแบบนี้ประกายไฟที่หัวเทียนจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อสวิตช์หรือทรานซิสเตอร์ปิดวงจรขดลวดปฐมภูมิ จากนั้นคาปาซิเตอร์ที่ได้รับการประจุจากแบตเตอรี่ก็จะคายประจุผ่านคอยล์จุดระเบิด ทำให้เกดไฟแรงสูงขึ้นภายในคอยล์และทำให้เกิดประกายไฟที่หัวเทียน

รูปที่ 2.38 แสดงให้เห็นถึงระบบจุดระเบิดแบบจุดระเบิดด้วยตัวเก็บประจุหรือแบบซีดีไอของรถซาอับ ที่คล้ายๆกับระบบจุดระเบิดโดยตรงแบบคอยล์หลายตัว ระบบนี้หัวเทียนแต่ละหัวจะมีคอยล์จุดระเบิดและคาปาซิเตอร์ของตนเอง ส่วนประกอบทั้งหมดจะถูกผนึกเข้าด้วยกันและติดตั้งเข้ากับหัวเทียนโดยตรง ดังรูปที่ 2.39 ระบบนี้จะสามารถจัดส่งไฟแรงสูงหรือแรงเคลื่อนทุติยภูมิให้กับหัวเทียนได้สูงถึง 40,000 โวลต์

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



รูปที่ 2.38 ระบบจุดระเบิดด้วยตัวเก็บประจุ หรือแบบซีดีไอ ที่หัวเทียนแต่ละหัวจะมีคอยล์จุดระเบิดและตัวเก็บประจุของตนเองติดตั้งเข้าไปในแท่งจุดระเบิดที่ติดตั้งอยู่เหนือหัวเทียน



รูปที่ 2.39 ระบบจุดระเบิดด้วยตัวเก็บประจุหรือแบบซีดีไอ ที่แสดงให้เห็นแท่งจุดระเบิด ระบบนี้จะทำให้หัวเทียนเกิดประกายไฟเมื่อสวิตช์หรือทรานซิสเตอร์ปิดวงจรขดลวดปฐมภูมิ เพื่อให้ตัวเก็บประจุคายประจุออกมาให้กับคอยล์จุดระเบิด ทำให้เกิดประกายไฟที่หัวเทียน

แรงเคลื่อนจากแบตเตอรี่จะเป็นสาเหตุที่ทำให้กระแสจำนวนเล็กน้อยไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของคอยล์ที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก ดังนั้น เมื่อวงจรขดลวดปฐมภูมิเปิด เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นก็จะยุบตัวลง ทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำสูงถึง 400 โวลต์ในวงจรขดลวดปฐมภูมิเข้า

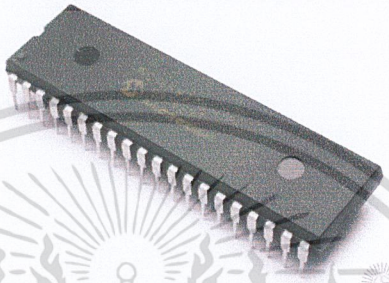
ประจุคาปาซิเตอร์อีซีเอ็มที่ใช้ควบคุมจังหวะการจุดระเบิดจะขึ้นอยู่กับสัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยงแบบฮอลล์เอฟเฟกต์ ตัวตรวจจับความดันสัมบูรณ์ท่อร่วมหรือเอ็มเอพี (manifold absolute pressure sensor, MAP) จะจัดเตรียมข้อมูลทางด้านภาระของเครื่องยนต์ให้กับอีซีเอ็ม ตัวตรวจจับการน็อก (detonation or knock sensor) ก็จะจัดส่งสัญญาณให้กับอีซีเอ็มด้วยเช่นกันเมื่อมีการน็อกเกิดขึ้น ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมานี้จะแสดงถึงการลดความต้องการในการจุดประกายไฟล่วงหน้าของระบบ

อีซีเอ็มจะทำหน้าที่ในการกระตุ้นให้คอยล์แต่ละตัวจุดประกายไฟที่เวลาอันถูกต้อง การควบคุมคอยล์จุดระเบิดแต่ละตัว จะทำให้อีซีเอ็มสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงจังหวะจุดระเบิดให้เป็นไปตามลำดับขั้นการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ได้อย่างถูกต้อง

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

บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการทำงานของ PIC16F877A



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะตัว PIC 16F877A

3.1 Microcontroller PIC

PIC คือ Microcontroller ตระกูลหนึ่งย่อมาจากคำว่า Peripheral Interface Controller ซึ่ง Microcontroller ตระกูลนี้จะรวมเอาทุกอย่างไว้ภายในเช่น PROGRAM MEMROY, RAM, EEPROM, SERIAL, I^2C, PWM, A/D ฯลฯ โดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์เสริมจากภายนอก ในตัวของ PIC จะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผล รวมทั้งหน่วยความจำ ซึ่งทำให้ PIC เปรียบเสมือน CPU ตัวหนึ่งเลยทีเดียว

โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC มีสถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด กล่าวคือ มีการแยกหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลออกจากกัน โดยมีบัสสำหรับติดต่อแยกกันด้วย ดังแสดงในรูปที่ 1-1 จะเห็นว่าซีพียูภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมด้วยบัสแอดเดรส 13 บิต และบัสข้อมูลหน่วยความจำโปรแกรม 14 บิต ในขณะที่บัสสำหรับติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลรีจิสเตอร์ภายในเป็นแบบ 8 บิตทั้งบัสแอดเดรสและบัสข้อมูล

นอกจากการจัดสถาปัตยกรรมแบบนี้แล้ว การกระทำคำสั่งทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ยังใช้กระบวนการที่เรียกว่า ความสามารถในการกระทำคำสั่ง 1 คำสั่งภายในสัญญาณนาฬิกา 1 ลูก (กระบวนการเฟตช์ (fetch) เป็นกระบวนการเรียกคำสั่งออกจากหน่วยความจำโปรแกรมแล้วทำการแปลคำสั่งนั้นให้เป็นรหัสเลขฐานสิบหกเพื่อให้ซีพียูเข้าใจ ส่วนกระบวนการเอ็กซิคิวต์ (execute) เป็นการกระทำคำสั่งให้เกิดผลลัพธ์ตามที่คำสั่งนั้นๆกำหนด) สำหรับกระบวนการไปป์ไลน์แสดงดังรูปที่ 1-2

เมื่อเริ่มต้นกระทำคำสั่งที่ 1 ซีพียูจะเป็นเฟตช์คำสั่งจากหน่วยความจำโปรแกรมที่แอดเดรส n จากนั้นทำการเอ็กซิคิวต์ในไซเกิลต่อมา และที่ไซเกิลของการเอ็กซิคิวซ์คำสั่งที่แอดเดรส n นั้น ซีพียูก็จะเริ่มต้นเฟตช์คำสั่งจากแอดเดรส n+1 ทันที เมื่อเอ็กซิคิวต์คำสั่งที่แอดเดรส n เรียบร้อย ซีพียูก็จะสามารถเอ็กซิคิวต์คำสั่งที่แอดเดรส n+1 ต่อเนื่องกันไปได้ในทันที และในทำนองเดียวกันขณะที่กำลังเอ็กซิคิวต์คำสั่งแอดเดรส n+1 ซีพียูก็จะดำเนินการเฟตช์คำสั่งที่แอดเดรส n+2 ต่อไป

ไปป์ไลน์ (pipeline)ทำให้สามารถเฟตช์คำสั่งถัดไป ในขณะที่กำลังเอ็กซิคิวต์คำสั่งในปัจจุบัน ส่งผลให้ความเร็วในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เพิ่มมากขึ้น

3.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของ PIC 16F877A

3.2.1 คุณสมบัติหลัก

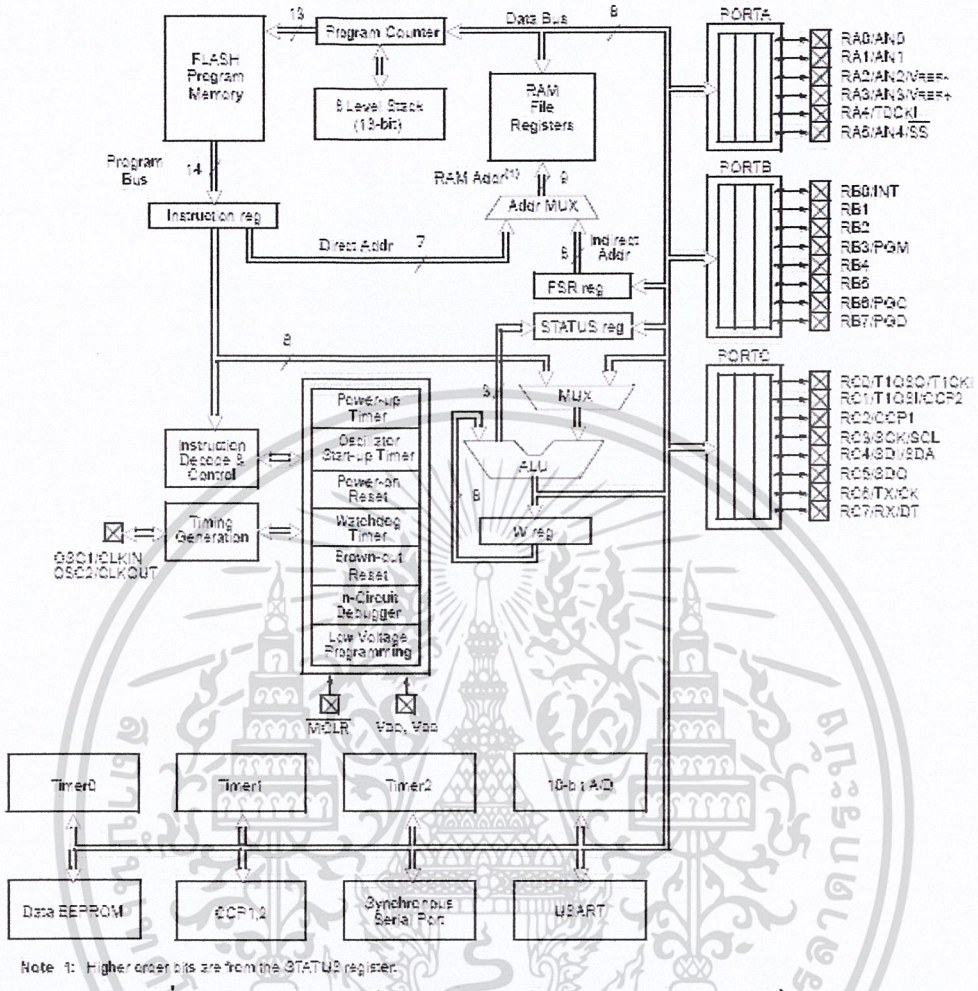
- ซีพียูเป็นแบบ RISC (Reduced Instruction – Set Computer) มีคำสั่งใช้งานเพียง 35 คำสั่ง
- สามารกระทำคำสั่งโดยใช้สัญญาณเพียงหนึ่งลูก ยกเว้นคำสั่งการกระโดด
- ความถี่สัญญาณนาฬิกา ตั้งแต่ไฟตรงถึง 20MHz
- หน่วยความจำโปรแกรม 8 กิโลเวิร์ด
- หน่วยความจำข้อมูลแรมหรือรีจิสเตอร์ 368 ไบต์
- ขนาดหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม 256 ไบต์
- ตอบสนองแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปสูงสุดถึง 15 แหล่งขึ้นกับเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์
- มีสแต็ก 8 ระดับ

- มีวงจรเพาเวอร์ออนรีเซต (POR)
- มีเพาเวอร์อัปไทเมอร์ (PWRT)และออสซิเลเตอร์สตาร์ตอัปไทเมอร์ (OST)
- มีวงจรวอตช์ด็อกไทเมอร์ (WDT) ที่มีวงจรออสซิลเลเตอร์ในตัว ทำให้มีความน่าเชื่อถือในการทำงานสูง
- เลือกป้องกันข้อมูลทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลสามารถเลือกระดับการป้องกันได้
- มีโหมดประหยัดพลังงาน
- สามารถโปรแกรมโดยใช้แรงดัน +5V
- แก้ไขข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมด้วยกระบวนการ ICD (In-circuit Debugger) ผ่านพอร์ตเพียง 2 ขา
- ซีพียูสามารถอ่านและเขียนหน่วยความจำโปรแกรมได้
- ไฟเลี้ยง +2 V ถึง +5.5 V
- กระแสซิงก์และซอร์สของพอร์ต 25mA
- การใช้พลังงานไฟฟ้าในกรณีไม่ขับโหลด

  น้อยกว่า 2mA ที่ไฟเลี้ยง +5V และสัญญาณนาฬิกา 4MHz

  20 μA ที่ไฟเลี้ยง +3V และสัญญาณนาฬิกา 32 kHz

  น้อยกว่า 1μA ในโหมดประหยัดหรือสแตนด์บาย



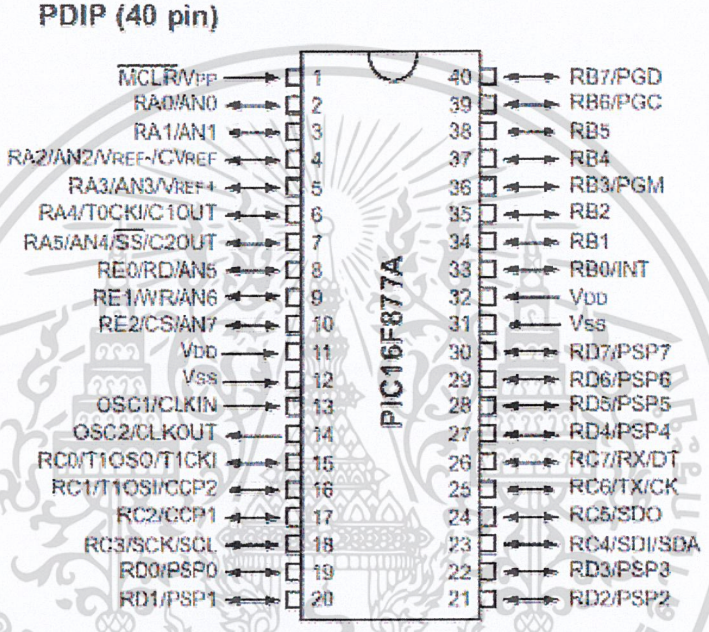
รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

3.2.2 คุณสมบัติพิเศษเพิ่มเติม

- ไทเมอร์ 3 ตัว คือ ไทเมอร์ 0 ขนาด หรือ 8 บิต มีปรีสเกลขนาด 8 บิตในตัว, ไทเมอร์ 1 ขนาด 16 บิต พร้อมปรีสเกลเลอร์ และไทเมอร์ 2 ขนาด 8 บิต มีปรีสเกลเลอร์, โพสต์สเกลเลอร์ และรีจิสเตอร์คาบเวลา (period register) ขนาด 8 บิตในตัว
- มีโมดูล CCP 2 ชุด โดย

  ส่วนตรวจจับสัญญาณหรือแคปเจอร์ (Capture) มีขนาด 16 บิต ความละเอียดสูงสุด 12.5 นาโนวินาที วงจร PWM มีความละเอียดสูงสุด 10 บิต
- มีวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล 10 บิต (5 ช่องสำหรับรุ่น 28 ขาและ 8 ช่องสำหรับรุ่น 40 ขา)

- วงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้ง SPI และบัส I^2C
- วงจรสื่อสารข้อมูลอนุกรม (USART) พบพร้อมการตรวจจับแอดเดรส 9 บิต
- มีวงจรตรวจจับระดับแรงดันไฟเลี้ยง (บราวเอาต์ดีเท็กชั่น : Brown-out detection) เพื่อการรีเซตซีพียูหรือ เรียกว่า บราวเอาต์รีเซต (Brown-out reset : BOR)



รูปที่ 3.3 แสดงการจัดขาของ PIC 16F877A

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดการทำงานในแต่ละขาสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์

ชื่อขา	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	ชนิดของวงจรบัฟเฟอร์	รายละเอียดการทำงาน
OSC1/CLKIN	13	อินพุต	ชมิตต์ทริกเกอร์/ซีมอส	ขาต่อคริสตัล/รับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก
OSC2/CLKOUT	14	เอาต์พุต	-	ขาต่อคริสตัล/ในโหมดขาเอาต์พุต สัญญาณนาฬิกาความถี่ ¼ ของสัญญาณที่ขา OSC1
$\overline{MCLR}/V_{PP}$	1	อินพุต	ชมิตต์ทริกเกอร์	- ขาสัญญาณรีเซตหลัก (Master Clear Input) ทำงานที่ลอจิก “0” - ขารับแรงดันโปรแกรม (programming voltage)

ชื่อขา	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	ชนิดของวงจรบัพเฟอร์	รายละเอียดการทำงาน
ขาพอร์ต A เป็นขาพอร์ต 2 ทิศทาง				
RA0/AN0	2	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล/อะนาลอก	- ขาพอร์ต RA0 - อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล ช่อง 0
RA1/AN1	3	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล/อะนาลอก	- ขาพอร์ต RA1 - อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล ช่อง 1
RA2/AN2/ V_{REF-}/ CV_{REF} *	4	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล/อะนาลอก	- ขาพอร์ต RA2 - อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล ช่อง2 - อินพุตแรงดันอ้างอิงลบของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล - เอาต์พุตแรงดันอ้างอิงของโมดูลแรงดันอ้างอิง
RA3/AN3/ $V_{REF}+$	5	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล/อะนาลอก	- ขาพอร์ต RA3 - อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลช่อง 3 - อินพุตแรงดันอ้างอิงบวกของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล
RA4/TOCK1/C1OUT*	6	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์	- ขาพอร์ต RA4 กรณีใช้พอร์ตเอาต์พุตมีโครงสร้างแบบเดรนเปิด - อินพุตสัญญาณนาฬิกาของไทเมอร์ 0 - เอาต์พุตวงจรเปรียบเทียบแรงดันอะนาลอกช่อง 1
RA5/AN4/$\overline{SS}$/C2OUT*	7	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล/อะนาลอก	- ขาพอร์ต RA5 - อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลช่อง4 - ขาสัญญาณ Slave Select ใช้ในการสื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบซิงโครนัส - เอาต์พุตวงจรเปรียบเทียบแรงดันอะนาลอกช่อง 2
ขาพอร์ต B เป็นขาพอร์ต 2 ทิศทาง สามารถกำหนดให้ต่อตัวต้านทานพูลอัปภายในเมื่อทำงานเป็นอินพุตได้ทางซอฟต์แวร์				
RB0/INT	33	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล/ชมิตต์ทริกเกอร์	- ขาพอร์ต RB0 - อินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปจากภายนอก
RB1	34	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล	- ขาพอร์ต RB1
RB2	35	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล	- ขาพอร์ต RB2

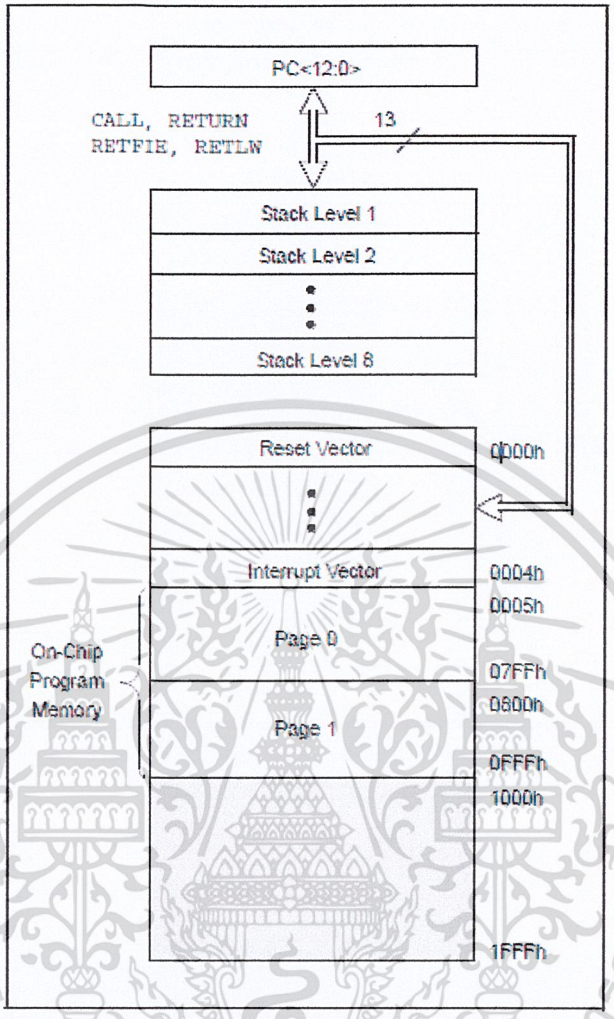
ชื่อขา	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	ชนิดของวงจรบัฟเฟอร์	รายละเอียดการทำงาน
RB3/LVP	36	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล	- ขาพอร์ต RB3 - อินพุตรับแรงดันโปรแกรมต่ำ (+5V) ถ้าเอ็นเอเบิลไว้
RB4	37	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล	- ขาพอร์ต RB4 และสามารถเกิดอินเตอร์รัปต์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลอจิกขึ้นที่ขานี้ หากเอ็นเอเบิลไว้
RB5	38	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล	- ขาพอร์ต RB5 และสามารถเกิดอินเตอร์รัปต์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลอจิกขึ้นที่ขานี้ หากเอ็นเอเบิลไว้
RB6/PGC	39	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล/ชมิตต์ทริกเกอร์	- ขาพอร์ต RB6 - เป็นขาสัญญาณนาฬิกาของการดีบักในวงจร (ICD) - สามารถเกิดอินเตอร์รัปต์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลอจิกขึ้นที่ขานี้ หากเอ็นเอเบิลไว้
RB7/PGD	40	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล/ชมิตต์ทริกเกอร์	- ขาพอร์ต RB7 - เป็นขาสัญญาณข้อมูลของการดีบักในวงจร (ICD) - สามารถเกิดอินเตอร์รัปต์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลอจิกขึ้นที่ขานี้ หากเอ็นเอเบิลไว้
ขาพอร์ต C เป็นขาพอร์ต 2 ทิศทาง				
RC0/T1OSO/T1CKI	15	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์	- ขาพอร์ต RC0 - เอาต์พุตวงจรออสซิลเลเตอร์ของไทเมอร์ 1 - อินพุตสัญญาณนาฬิกาของไทเมอร์ 1
RC1/T1OSI/CCP2	16	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์	- ขาพอร์ต RC1 - อินพุตวงจรออสซิลเลเตอร์ของไทเมอร์ 1 - อินพุตวงจรแคปเจอร์/เอาต์พุตวงจรเปรียบเทียบ/เอาต์พุต PWM สำหรับโมดูล CCP2
RC2/CCP1	17	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์	- ขาพอร์ต RC2 - อินพุตวงจรแคปเจอร์/เอาต์พุตวงจรเปรียบเทียบ/เอาต์พุต PWM สำหรับโมดูล CCP1

ชื่อขา	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	ชนิดของวงจรบัฟเฟอร์	รายละเอียดการทำงาน
RC3/SCK/SCL	18	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์	- ขาพอร์ต RC3 - ขาสัญญาณนาฬิกาของวงจร SPI และระบบบัส I^2C
RC5/SDO	24	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์	- ขาพอร์ต RC5 - ขาข้อมูลเอาต์พุตของวงจร SPI
RC6/TxD	25	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์	- ขาพอร์ต RC6 - ขาเอาต์พุตวงจร USART สำหรับเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม
RC7/RxD	26	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์	- ขาพอร์ต RC7 - ขาอินพุตวงจร USART สำหรับเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม
ขาพอร์ต D เป็นขาพอร์ต 2 ทิศทาง สามารถใช้เป็นส่วนขยายพอร์ตแบบขนานเพื่อติดต่อกับระบบบัสอื่น				
RD0/PSP0	19	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์/ทีทีแอล	- ขาพอร์ต RD0 - ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 0
RD1/PSP1	20	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์/ทีทีแอล	- ขาพอร์ต RD1 - ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 1
RD2/PSP2	21	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์/ทีทีแอล	- ขาพอร์ต RD2 - ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 2
RD3/PSP3	22	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์/ทีทีแอล	- ขาพอร์ต RD3 - ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 3
RD4/PSP4	27	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์/ทีทีแอล	- ขาพอร์ต RD4 - ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 4
RD5/PSP5	28	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์/ทีทีแอล	- ขาพอร์ต RD5 - ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 5
RD6/PSP6	29	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์/ทีทีแอล	- ขาพอร์ต RD6 - ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 6
RD7/PSP7	30	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์/ทีทีแอล	- ขาพอร์ต RD7 - ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 7
ขาพอร์ต E เป็นขาพอร์ต 2 ทิศทาง				
RE0/AN5/$\overline{RD}$	8	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์/ทีทีแอล	- ขาพอร์ต RE0 - อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล ช่อง 5 - ขาสัญญาณ $\overline{RD}$ สำหรับส่วนขยายพอร์ตแบบขนาน

ชื่อขา	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	ชนิดของวงจรบัฟเฟอร์	รายละเอียดการทำงาน
RE1/AN6/$\overline{WR}$	9	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์/ทีทีแอล	- ขาพอร์ต RE1 - อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล ช่อง 6 - ขาสัญญาณ $\overline{WR}$ สำหรับส่วนขยายพอร์ตขนาน
RE2/AN7/$\overline{CS}$	10	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์/ทีทีแอล	- - ขาพอร์ต RE2 - อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล ช่อง 7 - ขาสัญญาณ $\overline{CS}$ สำหรับส่วนขยายพอร์ตขนาน
ขาต่อไฟเลี้ยง				
V_{DD}	11,32	อินพุต	-	- ขาต่อไฟเลี้ยง ใช้ได้ตั้งแต่ +2 ถึง +5.5V
V_{SS}	12,31	อินพุต	-	- ขาต่อกราวด์
หมายเหตุ - อินพุตของวงจรบัฟเฟอร์จะเป็นแบบชมิตต์ทริกเกอร์ เมื่อใช้งานเป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอก - อินพุตของวงจรบัฟเฟอร์จะเป็นแบบชมิตต์ทริกเกอร์ เมื่อทำงานในโหมดโปรแกรมข้อมูลอนุกรม (Serial programming mode) - อินพุตของวงจรบัฟเฟอร์จะเป็นแบบชมิตต์ทริกเกอร์ เมื่อกำหนดให้ทำงานเป็นขาพอร์ตปกติ และเป็นแบบทีทีแอล เมื่อ กำหนดให้ทำงานเป็นส่วนขยายแบบพอร์ตขนาน สำหรับเชื่อมต่อกับระบบไมโครโปรเซสเซอร์อื่น				

การจัดการกับหน่วยความจำส่วนโปรแกรม

ใน PIC16F877 มีโปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC) ขนาด 13 บิต เพื่อกำหนดการเข้าถึงหน่วยความจำโปรแกรม โดยใน PIC16F877 มีขนาดของหน่วยความจำโปรแกรม 8Kx14 บิต หรือ 8 กิโลเวิร์ด เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ในอนุกรมนี้มีความจุของหน่วยความจำโปรแกรมค่อนข้างใหญ่จึงต้องจัดสรรเป็นเพจ โดยในแต่ละเพจมีขนาด 2 กิโลเวิร์ด ทั้งนี้เนื่องจากชุดคำสั่งเกี่ยวกับการกระโดดของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC สามารถอ้างถึงตำแหน่งของหน่วยความจำสูงสุดได้ 2048 ตำแหน่ง



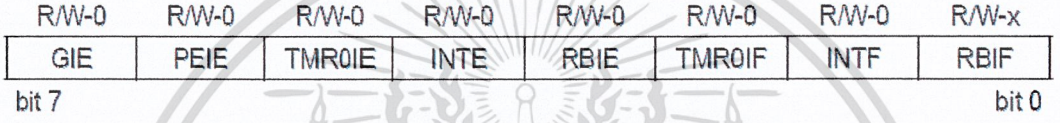
รูปที่ 3.4 แสดงการจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำ

จากรูป แสดงการจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำโปรแกรมของ PIC16F877 การจัดสรรดังกล่าวเป็นการจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมซึ่งอยู่ในช่วง 0x0000h-0x1FFFh สำหรับพื้นที่ 4 แอดเดรสแรกจะสงวนไว้เป็นที่เก็บค่าแอดเดรสรีเซตเวคเตอร์ซึ่งจัดสรรไว้ที่ตำแหน่ง 0x0000h และที่ตำแหน่ง 0x0004h เป็นที่เก็บค่าแอดเดรสอินเตอร์รัปต์เวคเตอร์ ดังนั้นในการเขียนโปรแกรมที่ดีควรกระโดดมาเริ่มต้นทำงานที่แอดเดรส 0x0005h จะเหมาะสมมากที่สุด

3.3 การอินเตอร์รัปต์

การอินเตอร์รัปต์ (interrupt) หรือการขัดจังหวะการทำงานของซีพียู นับเป็นคุณสมบัติที่ต้องมีในไมโครคอนโทรลเลอร์ และเป็นคุณสมบัติที่มีบทบาทสำคัญอย่างมากเมื่อนำ

ไมโครคอนโทรลเลอร์มาสร้างระบบควบคุมอัตโนมัติ โดยมีเงื่อนไขของการเกิดอินเตอร์รัปต์เป็นจริงจะมีการเซตแฟลกของอินเตอร์รัปต์นั้นๆขึ้น (ชื่อของแฟลกจะลงท้ายด้วยตัวอักษร F) จากนั้นจะตรวจสอบว่ามีการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์นั้นๆหรือไม่ (ชื่อของการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จะเหมือนกับชื่อของแฟลกแต่จะลงท้ายด้วยตัวอักษร E) เช่น หากเกิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์เข้ามาที่ขา RA2 แฟลก INTF จะเซตและถ้าหากมีการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้ ซึ่งตรวจสอบจากบิต INTE และมีการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์รวมไว้ก็จะเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้นในระบบดังแสดงรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงบิตของการเลือกอินเตอร์รัปต์

นั่นหมายความว่า การจะกำหนดให้เกิดอินเตอร์รัปต์ขึ้นได้ ต้องมีการเตรียมการ 4 ขั้นตอน คือ

1. เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์รวม โดยการเซตบิต GIE ในรีจิสเตอร์ INTCON มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x0Bh/0x8Bh หารบิตนี้ไม่มีการเซต จะไม่มีทางเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้นได้ แม้ว่าเงื่อนไขในการอินเตอร์รัปต์ของแหล่งกำเนิดต่างๆ จะเป็นจริง และมรการเอ็นเอเบิลแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์แล้วก็ตาม

2. เอ็นเอเบิลแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์

3. เขียนโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์ โดยมีแอดเดรสอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์อยู่ที่ 0x0004h

4. รอคอยให้เงื่อนไขของการอินเตอร์รัปต์ในลักษณะต่างๆเกิดขึ้น

3.4 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

การแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลเป็นวงจรสำคัญ ในการนำไปใช้ตรวจจับสัญญาณที่เป็นระดับ เช่น ความดัน ความเร็ว เป็นต้น ในการตรวจจับสัญญาณเหล่านี้เราต้องมีวงจรแปลงสัญญาณเหล่านี้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าก่อน จากนั้นจึงได้แปลงมาเป็นสัญญาณดิจิตอล

สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC 16F877 จะมีขา I/O ที่รับสัญญาณ A/D ได้ถึง 8 ช่อง โดยใช้ PORT A 5 ขา และ PORT E 3 ขา สำหรับความละเอียดในการแปลงสามารถเลือกได้ 2 ระดับ คือ

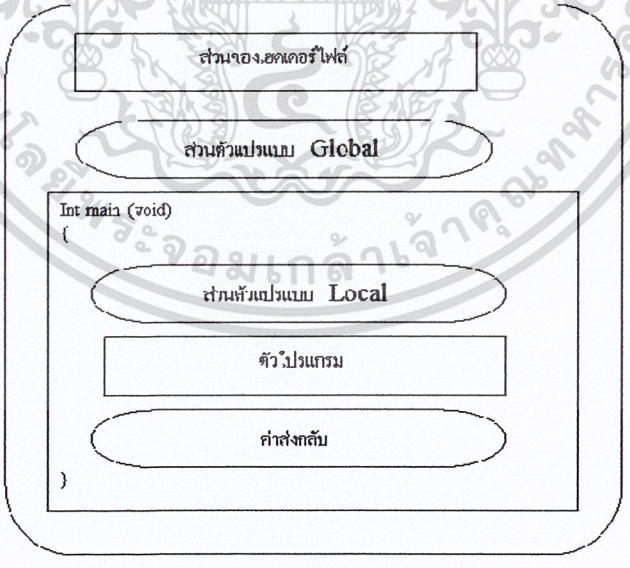
ระดับ 8 บิต และระดับ 10 บิต โดยระดับ 8 บิตจะแปลงสัญญาณอนาลอก 0-5V มาเป็นดิจิตอลได้ 256 ค่า และระดับ 10 บิตจะแปลงสัญญาณอนาลอก 0-5V มาเป็นดิจิตอลได้ 1024 ค่า

3.5โครงสร้างของภาษาCCS

ภาษา C เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ถูกค้นคิดขึ้นโดย Denis Ritchie ในปี ค.ศ. 1970 โดยใช้ระบบปฏิบัติการของยูนิกซ์ (UNIX) นับจากนั้นมาก็ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นจนถึงปัจจุบัน ภาษา C สามารถติดต่อในระดับฮาร์ดแวร์ได้ดีกว่าภาษาระดับสูงอื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็นภาษาเบสิกฟอร์แทน ขณะเดียวกันก็มีคุณสมบัติของภาษาระดับสูงอยู่ด้วย ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงจัดได้ว่าภาษา C เป็นภาษาระดับกลาง (Middle –lever language) ภาษา C เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ชนิดคอมไพล์ (compiled Language) ซึ่งมีคอมไพลเลอร์ (Compiler) ทำหน้าที่ในการคอมไพล์ (Compile) หรือแปลงคำสั่งทั้งหมดในโปรแกรมให้เป็นภาษาเครื่อง (Machine Language) เพื่อให้เครื่องคอมพิวเตอร์นำคำสั่งเหล่านั้นไปทำงานต่อไป

โครงสร้างของภาษา C

ทุกโปรแกรมของภาษา C มีโครงสร้างเป็นลักษณะดังรูป



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะโครงสร้างภาษาซี

เฮดเดอร์ไฟล์ (Header Files)

เป็นส่วนที่เก็บไลบรารี่มาตรฐานของภาษา C ซึ่งจะถูกดึงเข้ามารวมกับโปรแกรมในขณะที่กำลังทำการคอมไพล์ โดยใช้คำสั่ง

#include<ชื่อเฮดเดอร์ไฟล์> หรือ

#include "ชื่อเฮดเดอร์ไฟล์"

ตัวอย่าง

#include<stdio.h>

เฮดเดอร์ไฟล์นี้จะมีส่วนขยายเป็น .h เสมอ และเฮดเดอร์ไฟล์เป็นส่วนที่จำเป็นต้องมีอย่างน้อย 1 เฮดเดอร์ไฟล์ ก็คือ เฮดเดอร์ไฟล์ stdio.h ซึ่งจะเป็นที่เก็บไลบรารี่มาตรฐานที่จัดการเกี่ยวกับอินพุตและเอาท์พุต

ส่วนตัวแปรแบบ Global (Global Variables)

เป็นส่วนที่ใช้ประกาศตัวแปรหรือค่าต่าง ๆ ที่ให้ใช้ได้ทั้งโปรแกรม ซึ่งใช้ได้ทั้งโปรแกรม ซึ่งในส่วนไม่จำเป็นต้องมีก็ได้

ฟังก์ชัน (Functions)

เป็นส่วนที่เก็บคำสั่งต่าง ๆ ไว้ ซึ่งในภาษา C จะบังคับให้มีฟังก์ชันอย่างน้อย 1 ฟังก์ชั่นนั่นคือ ฟังก์ชั่น Main() และในโปรแกรม 1 โปรแกรมสามารถมีฟังก์ชันได้มากกว่า 1 ฟังก์ชั่น

ส่วนตัวแปรแบบ Local (Local Variables)

เป็นส่วนที่ใช้สำหรับประกาศตัวแปรที่จะใช้ในเฉพาะฟังก์ชันของตนเอง ฟังก์ชั่นอื่นไม่สามารถเข้าถึงหรือใช้ได้ ซึ่งจะต้องทำการประกาศตัวแปรก่อนการใช้งานเสมอ และจะต้องประกาศไว้ในส่วนนี้เท่านั้น

ตัวแปรโปรแกรม (Statements)

เป็นส่วนที่อยู่ถัดลงมาจากส่วนตัวแปรภายใน ซึ่งประกอบไปด้วยคำสั่งต่าง ๆ ของภาษา C และคำสั่งต่าง ๆ จะใช้เครื่องหมาย ; เพื่อเป็นการบอกให้รู้ว่าจบคำสั่งหนึ่ง ๆ แล้ว ส่วนใหญ่ คำสั่งต่าง ๆ ของภาษา C เขียนด้วยตัวพิมพ์เล็ก เนื่องจากภาษา C จะแยกความแตกต่างชองตัวพิมพ์เล็กและพิมพ์ใหญ่หรือ Case Sensitive นั่นเอง ยกตัวอย่างใช้ Test, test หรือจะถือว่าเป็นตัวแปรคนละตัวกัน

นอกจากนี้ภาษา C ยังไม่สนใจกับการขึ้นบรรทัดใหม่ เพราะฉะนั้นผู้ใช้สามารถพิมพ์คำสั่งหลายคำสั่งในบรรทัดเดียวกันได้ โดยไม่เครื่องหมาย ; เป็นตัวจบคำสั่ง

ค่าส่งกลับ (Return Value)

เป็นส่วนที่บอกให้รู้ว่า ฟังก์ชันนี้จะส่งค่าอะไรกลับไปให้กับฟังก์ชั่นที่เรียกฟังก์ชั่นซึ่งเรื่องนี้ผู้เขียนจะยกไปกล่าวในเรื่องฟังก์ชั่นอย่างละเอียดอีกทีหนึ่ง ของข้อความที่ต้องการ

ในการเขียนโปรแกรมภาษา C นั้น ผู้ใช้จะต้องกำหนดชนิดให้กับตัวแปรนั้นก่อนที่จะนำไปใช้งาน โดยผู้ใช้จะต้องรู้ว่าในภาษา C นั้นมีชนิดข้อมูลอะไรบ้าง เพื่อจะเลือกใช้ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม ในภาษา C จะมี 4 ชนิดข้อมูลมาตรฐาน ดังนี้

ชนิดข้อมูลแบบไม่มีค่า หรือ Void Type (Void)

ข้อมูลชนิดนี้ จะไม่มีค่าและจะไม่ใช้ในการกำหนดชนิดตัวแปร แต่ส่วนใหญ่จะใช้เกี่ยวกับฟังก์ชั่นซึ่งจะขอยกไปอธิบายในเรื่องฟังก์ชั่น

ชนิดข้อมูลมูลแบบจำนวนเต็ม หรือ Integer Type (int)

เป็นชนิดข้อมูลที่เป็นตัวเลขจำนวนเต็ม ไม่มีทศนิยม ซึ่งภาษา C จะแบ่งข้อมูลชนิดนี้ออกได้เป็น 3 ระดับ คือ short int, int และ long int ซึ่งแต่ละระดับนั้นจะมีขอบเขตการใช้งานที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงขอบเขตของการใช้งานของชนิดข้อมูลแบบจำนวนเต็ม

ชนิดข้อมูล	คิดเครื่องหมาย	ขนาด (ไบต์)	จำนวนบิต	ค่าน้อยที่สุด	ค่ามากที่สุด
Short int	คิด	2	16	-32,768	32,768
	ไม่คิด			0	65,535
Int	คิด	2	16	-32,768	32,768
(16 บิต)	ไม่คิด			0	65,535
Int	คิด	4	32	-2,147,486,643	2,147,486,643
(32 บิต)	ไม่คิด			0	4,294,967,295
Long int	คิด	4	32	-2,147,486,643	2,147,486,643
	ไม่คิด			0	4,294,967,295

ชนิดข้อมูลแบบอักษร หรือ Character Type (char)

ข้อมูลชนิดนี้ก็คือ ตัวอักษรตั้งแต่ A-Z เลข 0-9 และสัญลักษณ์ต่าง ๆ ตามมาตรฐาน ACSII (American Standard Code Information Interchange) ซึ่งเมื่อกำหนดให้กับตัวแปรแล้วตัวแปรนั้นจะรับค่าได้เพียง 1 ตัวอักษรเท่านั้น และสามารถรับข้อมูลจำนวนเต็มตั้งแต่ถึง 127 จะใช้ขนาดหน่วยความจำ 1 ไบต์หรือ 8 บิต

ชนิดข้อมูลแบบทศนิยม หรือ Floating Point Type (flat)

เป็นข้อมูลชนิดตัวเลขที่มีจุดทศนิยม ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ float, double และ long double แต่ละระดับนั้นจะมีขอบเขตที่แตกต่างกันในการใช้งาน ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงรายละเอียดของชนิดข้อมูลแบบทศนิยม

ชนิดข้อมูล	ขนาด(ไบต์)	จำนวนบิต	ค่าที่น้อยที่สุด
float	4	32	-38 38 3.4-10 ถึง 3.4-10
double	8	64	-308 308 1.7*10 ถึง 1.7*10
long double	10	80	-4932 4932 3.4*10 ถึง 1.1*10

Statements

statements ในภาษา c คือ คำสั่งต่าง ๆ ที่ประกอบขึ้นจนเป็นตัวโปรแกรม ซึ่งในภาษา c นั้นได้แบ่งออกเป็น 6 แบบ คือ Expression Statement และ Compound Statement ณ.ที่นี้จะมีด้วยกัน 2 แบบ

1. Expression Statement หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Single Statement ซึ่ง Statement แบบนั้นจะต้องมีเครื่องหมาย; หลังจาก statement เมื่อภาษา C พบเครื่องหมาย ; จะทำให้มันรู้ว่าจบชุดคำสั่งแล้ว แล้วจึงข้ามไปทำ Statement ชุดต่อไป

```
a = 2;
```

หรือ

```
printf("x contains %d, y contains %d\n",x,y);
```

Compound Statement คือ ชุดคำสั่งที่มีคำสั่งต่าง ๆ รวมอยู่ด้านใน Block ซึ่งจะใช้เครื่องหมาย {เป็นการเปิดชุดคำสั่ง และใช้} เป็นตัวปิดชุดคำสั่ง ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนสำหรับ Statement แบบนี้ คือ ตัวฟังก์ชั่น Main โดยทั่ว ๆ ไปในภาษา C Compound Statement จะเป็นตัวฟังชั่น

การอินพุตเอาต์พุตพอร์ต

รีจีสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับอินพุตเอาต์พุต

การควบคุมขาพอร์ตของไมโครคอนโทร PIC เพื่อให้ทำหน้าที่เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล จะเกี่ยวข้องกับรีจีสเตอร์ 3 ตัวด้วยกัน คือ

1. รีจีสเตอร์ PORTx

   เป็นรีจีสเตอร์ควบคุมการทำงานของขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต

2. รีจีสเตอร์ TRISx

   ใช้กำหนดทิศทางหรือหน้าที่ของขาพอร์ตให้เป็นอินพุตหรือเอาต์พุต

3. รีจิสเตอร์ ADCON1

   ทำหน้าที่การใช้งานโมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล เมื่อต้องการใช้งานเป็น

   ขาอินพุตดิจิตอล กรณีที่ขาพอร์ตนั้นสามารถทำหน้าที่เป็นอินพุตอะนาลอกได้ด้วย

   (ขา RA0, RA1,RA2,RA3,RA4,RA5และRE0,RE1,RE2)

ฟังก์ชันพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล

CCS C compiler ได้เตรียมฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอลไว้แล้ว โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

ฟังก์ชันกำหนดหน้าที่ของพอร์ตใช้งาน

ฟังก์ชันการใช้งานเอาต์พุตพอร์ต

ฟังก์ชันใช้งานอินพุตพอร์ต

ฟังก์ชันกำหนดหน้าที่ของพอร์ตใช้งาน

พอร์ตในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ก่อนที่จะใช้งานได้นั้นจะต้องกำหนดหน้าที่การใช้งานก่อนว่าจะให้เป็นพอร์ตอินพุตหรือเอาต์พุต เมื่อกำหนดหน้าที่แล้วต้องใช้งานให้ตรงกับที่ได้กำหนดไว้ CCS C ได้เตรียมฟังก์ชัน SET_TRIS_x() ให้ใช้ในการกำหนดหน้าที่ของพอร์ตและ PORT_x_PULUPS() ไว้กำหนดพอร์ต x พูลอัพ ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงรายละเอียดการใช้งาน SET_TRIS_x()

ฟังก์ชัน SET_TRIS_x()

ฟังก์ชันนี้ใช้กำหนดทิศทางพอร์ตว่าอินพุตหรือเอาต์พุตพอร์ตกำหนดในรีจีสเตอร์ TRI-State (ติดตั้งการใช้งานพอร์ต A-E เป็นอินพุตพอร์ตก่อนการใช้งานพอร์ต)

-ใช้ไดเรกทีฟ FAST_IO เมื่อต้องการให้เข้าถึงการใช้งานพอร์ตในหน่วยความจำรีจีสเตอร์เมื่อมีการใช้งานไดเรกทีฟ #BYTE (เมื่อต้องการเข้าถึงรีจีสเตอร์อินพุตเอาต์พุตพอร์ตโดยตรง)

-ใช้ไดเรกทีฟ #USE STANDARD_IO(standard I/O) เมื่อต้องการใช้งานฟังก์ชันใน CCS C เพื่อเข้าถึงพอร์ตโดยอัตโนมัติ ซึ่งเป็นค่าปกติ (default)

แต่ละบิตในรีจีสเตอร์ TRIS-State จะแทนแต่ละขาของพอร์ต เมื่อกำหนดบิตใดเป็น 1 ขาพอร์ตของบิตนั้นจะเป็นอินพุต และเมื่อกำหนดเป็น 0 ขาพอร์ตนั้นจะเป็นเอาต์พุต

รูปแบบการใช้งาน :

```
set_tris_a(value);  //สำหรับพอร์ต A
set_tris_b(value);  //สำหรับพอร์ต B
set_tris_c(value);  //สำหรับพอร์ต C
set_tris_d(value);  //สำหรับพอร์ต D
set_tris_e(value);  //สำหรับพอร์ต E
```

พารามิเตอร์:

value : จำนวนเต็มขนาด 8บิต (8 bit int) โดยแต่ละบิตเกี่ยวข้องกับบิตของพอร์ตที่ใช้งาน

ค่าที่ส่งกลับ : ไม่มีค่าส่งกลับมาจากฟังก์ชัน

การใช้งาน : ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ได้ทุกเบอร์ โดยขึ้นอยู่กับจำนวนพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์

สิ่งที่ต้องการ : ค่าคงที่ ที่ประกาศอยู่ในเฮดเดอร์ไฟล์เบอร์ที่เลือกใช้งาน นามสกุล .h (เช่น ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์PIC16F877Aจะใช้เฮดเดอร์ไฟล์ PIC16F877A.h)

ฟังก์ชันการใช้งานเอาต์พุตพอร์ต

ฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุตพอร์ต ประกอบไปด้วยฟังก์ชัน OUTPUT_LOW(), OUPUT_HIGH(), OUTPUT_FLOAT(), OUTPUT_BIT() และ OUTPUT_x() ซึ่งในที่นี้จะแสดงรายละเอียดเฉพาะ output_high() และ output_low()

ฟังก์ชัน OUTPUT_HIGH() , OUTPUT_LOW()

ฟังก์ชันนี้ควบคุมขาพอร์ตแบบบิต ใช้กำหนดให้ขาพอร์ตมีสถานะเป็นลอจิก “1”และลอจิก “0” (ground state) การใช้จะขึ้นอยู่กับไดเรกทีฟ #USE * _IO

รูปแบบการใช้งาน : OUTPUT_LOW(pin);

OUTPUT_HIGH(pin);

พารามิเตอร์ :

pin: ค่าคงที่ กำหนดในเฮดเดอร์ไฟล์ (h.file เช่น PIC16F877A.h) ค่าที่กำหนดจะเป็นค่าแอดเดรสของบิต เช่น พอร์ต A มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x05 หากต้องการกำหนดค่าในบิตที่ 3 ของพอร์ต A ค่าที่ใช้งานคือ 5*8+3 หรือเท่ากับ 43 ค่าที่ประกาศในเฮดเดอร์ไฟล์คือ #define PIN_A3 43

ค่าที่ส่งกลับ : ไม่มีค่าส่งกลับมาจากฟังก์ชัน

การใช้งาน : ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ได้ทุกเบอร์

สิ่งที่ต้องกำหนด : ค่าคงที่ ที่ประกาศอยู่ในเฮดเดอร์ไฟล์เบอร์ที่เลือกใช้งาน นามสกุล.h

ตัวอย่าง

```
OUTPUT_LOW (PIN_A0);
OUTPUT_HIGH(PIN_A1);
```

ไดเรกทีฟกำหนดคุณสมบัติพอร์ตใช้งาน

นอกจาก CCS C ได้เตรียมฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานพอร์ตในรูปแบบทั่วไป คืออินพุตเอาต์พุตพอร์ตแล้ว ยังได้เพิ่มเติมไดเรกทีฟเพื่อใช้ในการกำหนดคุณสมบัติการใช้งานไว้ด้วยดังนี้

ไดเรกทีฟ #USE FAST_IO

ไดเรกทีฟที่ใช้กำหนดพอร์ตอินพุตเอาต์พุต เพื่อเข้าถึงการใช้พอร์ตโดยตรง ที่มีผลโดยตรงกับรีจีสเตอร์ของพอร์ต ทำให้เข้าถึงได้อย่างรวดเร็ว ก่อนการใช้งานพอร์ตอินพุตหรือเอาต์พุต ต้องกำหนดการใช้งานพอร์ตด้วยฟังก์ชัน set_tris_x()

ไดเรกทีฟ #USE FIXED_IO

ไดเรกทีฟที่ทำให้คอมไพเลอร์สร้างโค้ด สำหรับใช้งานพอร์ตที่กำหนดเป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตที่คงที่ตลอดการใช้งาน ไม่มีการเปลี่ยนแปลง จนกว่าจะกำหนดใหม่ วิธีการนี้จะประหยัดจำนวนไบต์ของหน่วยความจำที่ใช้ใน standard I/O

ไดเรกทีฟ #USE STANDARD_IO

ไดเรกทีฟที่ทำให้คอมไพเลอร์สร้างโค้ด สำหรับใช้งานพอร์ตอินพุตเอาต์พุตในรูปแบบมาตรฐานการใช้งานพอร์ตในรูปแบบมาตรฐานนี้ จะถูกกำหนดเป็นค่าเริ่มต้น (default I/O) สำหรับ CCS C compiler

ฟังก์ชัน

ฟังก์ชันเป็นหัวใจของการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C ทุกๆคำสั่งของการทำงานจะต้องอยู่ภายในฟังก์ชัน โดยมีฟังก์ชันหลักที่ชื่อ main() เป็นฟังก์ชันเริ่มต้นในการทำงาน

ฟังก์ชันเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมภาษา C ที่ใช้ในการรวบรวมชุดคำสั่งต่างๆ ของภาษา C เพื่อทำงานเฉพาะในส่วนที่ฟังก์ชันนั้นได้ถูกกำหนดไว้ ฟังก์ชันในภาษา C มีการใช้งานอยู่ 2 รูปแบบหลักๆ คือ

1. ฟังก์ชันที่ผ่านค่าข้อมูลไปให้กับฟังก์ชัน

   ฟังก์ชันในลักษณะนี้เรียกว่า pass by value คือเป็นการผ่านค่าเฉพาะข้อมูลไปให้กับฟังก์ชันเท่านั้น เมื่อฟังก์ชันทำงานเสร็จสิ้นแล้วจะไม่มีผลใดๆ กับตัวแปรที่ผ่านค่าไปให้กับฟังก์ชัน

2. ฟังก์ชันที่ผ่านค่าอ้างอิงหรือค่าแอดเดรสไปให้กับฟังก์ชัน

   ฟังก์ชันในลักษณะนี้เรียกว่า pass by different คือเป็นการผ่านค่าอ้างอิงหรือแอดเดรสไปให้กับฟังก์ชัน เมื่อฟังก์ชันทำงานเสร็จสิ้นแล้วจะมีผลกับตัวแปรที่ผ่านค่าไปให้กับฟังก์ชัน ซึ่งการเรียกใช้งานฟังก์ชันนี้ จะมีการเพิ่มเติมเครื่องหมาย & เข้ามาเกี่ยวข้องในขณะเรียกใช้งานฟังก์ชันและการประกาศตัวแปรของฟังก์ชันที่ใช้งานในการผ่านค่าจะเป็นตัวแปรชนิด pointer การเรียกใช้งานจะเหมือนกับการเรียกใช้งานฟังก์ชันทั่วไป

โครงสร้างของฟังก์ชันมีรูปแบบดังนี้

```
[return_type] function_name ([args]) {
        Statements1;
        Statements2;
        …
        Statements;
        Return;
}
```

โดย	return_type	คือ ชนิดข้อมูลหรือค่าที่ส่งกลับ (return) มาจากฟังก์ชัน
	function_name	คือ ชื่อของฟังก์ชัน
	args	คือ อาร์กิวเมนต์ของฟังก์ชัน (ค่าที่ส่งให้กับฟังก์ชัน)
	statements	คือ คำสั่งทำงานในฟังก์ชัน
	return	คือ ค่าที่ส่งกลับมาจากฟังก์ชัน

ไทเมอร์/เคาวน์เตอร์และวอตซ์ด็อกไทเมอร์

ไทเมอร์(Timer) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC สามารถกำหนดโหมดการทำงานได้สองรูปแบบ คือ การทำงานในโหมดไทเมอร์หรือตัวจับเวลาเป็นการนับสัญญาณนาฬิกาภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยสัญญาณที่ใช้นับเกิดจากความถี่ของออสซิเลเตอร์ ที่ถูกหารด้วย 4 (Fosc/4) หรือการนับ 1 ครั้งจะใช้เวลาเท่ากับ 4/Fosc (จาก T=1/f)

การทำงานในโหมดเคาน์เตอร์
จะเป็นการนับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก ที่ผ่านเข้ามาทางขาพอร์ตที่ได้กำหนดไว้ เช่น ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 ขาพอร์ตของไทเมอร์ 0 เมื่อใช้นับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกจะถูกกำหนดไว้ที่ขา RA4/T0CK1 และไทเมอร์ 1 ที่ขา RC0/TICK1 เป็นต้น

1.ไทเมอร์ใน PIC16F877
ไมโครคอนโทรเลอร์ PIC16F877 มีไทเมอร์ให้ใช้งาน 3 ตัว คือ ไทเมอร์ 0 (Timer 0) , ไทเมอร์1 (Timer 1) และไทเมอร์ 2 (Timer 2) โดยมีรายละเอียดดังนี้
-ไทเมอร์ 0 ขนาด 8 บิต เป็นได้ทั้งไทเมอร์และเคาน์เตอร์

อินพุตรับสัญญาณนาฬิกาได้ทั้งจากภายใน(Instruction Clock) โดยสัญญาณนาฬิกาได้มาจาก Fosc/4 และสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก (External Clock) ผ่านขา RA4/T0CK1

-ช่วงการนับ 0-255 นับค่าได้สูงสุด 256
-มีปรีสเกลเลอร์ (การหารสัญญาณนาฬิกา) 1,2,4,5,6,8,16,32,64,128,256
-สร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้เมื่อเกิดโอเวอร์โฟลว์ เนื่องจากการนับ
-ไทเมอร์ 1 ขนาด 16 บิต เป็นได้ทั้งไทเมอร์และเคาน์เตอร์

อินพุทรับสัญญาณนาฬิกาได้ทั้งจากภายใน (Instruction Clock) โดยสัญญาณนาฬิกาได้มาจาก F0sc/4 และภายนอก (external Clock) ผ่านขา RC0/T1OSO/T1CKI

ช่วงการนับ 0-65535 นับค่าได้สูงสุด 65536 มีปรีสเกลเลอร์(การหารสัญญาณนาฬิกา) 1,2,4,8 สร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้เมื่อเกิดโอเวอร์โฟลว์เนื่องจากการนับไทเมอร์ 2 ขนาด 8 บิต เป็นไทเมอร์เท่านั้น อินพุตรับสัญญาณนาฬิกาได้จากภายใน (Instruction Clock) โดยสัญญาณนาฬิกาได้มาจาก F0sc/4 เท่านั้น กำหนดขอบเขตการนับได้ โดยกำหนดค่าในรีจิสเตอร์คาบเวลา (PR2) ช่วงการนับ 0-1 ถึง 0-255มีปรีสเกลเลอร์(การหารสัญญาณนาฬิกา) 1,4,16 สร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้เมื่อเกิดโอเวอร์โฟลว์ได้ 1-16 ช่วง

2.ความรู้พื้นฐานกับไทเมอร์

เนื่องจากการทำงานของไทเมอร์เมื่อเป็นการนับสัญญาณนาฬิกาภายในหรือทำงานในโหมดไทเมอร์ ค่าเวลาในการนับแต่ละครั้งจะถูกหารด้วย 4 หรือเท่ากับ 4/Fosc (Fosc คือความถี่ของออสซิเลเตอร์ที่ใช้งาน) พื้นฐานที่สำคัญที่ต้องทำความเข้าใจก่อนคือเรื่องของเวลาในการนับแต่ละครั้ง เพื่อที่จะได้สามารถนำไทเมอร์ไปประยุกต์ใช้งานได้ต่อไป

2.1 การหาค่าเวลาในการนับแต่ละครั้ง (Time in Tick)

เมื่อใช้ความถี่ออสซิเลเตอร์เท่ากับ 4 MHz เราสามารถหาค่าเวลาในการนับแต่ละครั้งหรือการเพิ่มค่าแต่ละครั้งในรีจิสเตอร์ TMRx (x คือหมายเลขกำหนดของไทเมอร์ที่ใช้งาน) ได้ดังนี้

จากสูตร $T = 1/f$

เพราะฉะนั้นเวลา $T = 1/[Fosc/4]$

$= 4/Fosc$

$=4/(4\ MHz)$

$=1$ ไมโครวินาที

หมายความว่าในการนับของไทเมอร์แต่ละครั้งใช้เวลาเท่ากับ 1 ไมโครวินาที ที่ความถี่ออสซิเลเตอร์ 4 MHz เมื่อใช้ความถี่ออสซิเลเตอร์เท่ากับ 20 MHz เราสามารถหาค่าเวลาในการนับแต่ละครั้งได้ดังนี้

$T = 1/[Fosc/4]$

$= 4/Fosc$

$=4/(20\ MHz)$

$=0.2$ ไมโครวินาที

หมายความว่าเมื่อใช้ความถี่ออสซิเลเตอร์ 20 MHz ในการหนึ่งครั้งไทเมอร์ จะใช้เวลาเท่ากับ 0.2 ไมโครวินาที หรือเมื่อเวลาผ่านไป 0.2 ไมโครวินาที ค่าในรีจิสเตอร์ TMRx จะเพิ่มขึ้น 1 ค่า เช่น ไทเมอร์ 0 ของ PIC16F877 มีขนาด 8 บิต หรือนับค่าได้สูงสุดเท่ากับ 255 (เกิดจาก 2^8) เมื่อนับค่าถึง 255 แล้วจะกลับไปเมื่อเริ่มต้นนับค่า 0 ใหม่อีกครั้งเรียกเหตุการณ์นี้ว่าการเกิดโอเวอร์โฟลว์ เมื่อรวมการนับจาก 255 และวนกลับไปนับที่ 0 จะนับได้เท่ากับ 256 ครั้ง แล้วเมื่อเริ่มนับค่า 0 ใหม่วนการนับแบบนี้ไปตลอดการทำงานของไทเมอร์ และถ้ามีการกำหนดการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากไทเมอร์เมื่อเกิดโอเวอร์โฟลว์ก็จะเกิดอินเตอร์รัปต์ตามมา จึงสามารถหาค่าเวลาในการนับทั้งหมดเมื่อเกิดโอเวอร์โฟลว์ได้เท่ากับ (เวลาที่ใช้ในการนับทั้งหมดจนเกิดโอเวอร์โฟลว์)

T overflow = 256x0.2 ไมโครวินาที

= 51.2 ไมโครวินาที

เพราะฉะนั้นหากต้องการใช้ไทเมอร์นับเวลา 1 วินาที จะต้องเกิดโอเวอร์โฟลว์กี่ครั้ง หาได้ดังนี้

เวลา 51.2 ไมโครวินาที เกิดโอเวอร์โฟลว์ 1 ครั้ง

เวลา 1 วินาที เกิดโอเวอร์โฟลว์ (1x1)/51.2 us

0.01953125 us

19531.25 ครั้ง

จะเห็นว่าเวลาในการนับเวลา 1 วินาที จะเกิดโอเวอร์โฟลว์ทั้งสิ้น 19531.25 ครั้ง

2.2 การหาค่าเวลาในการนับแต่ละครั้งกับปรีสเกลเลอร์

เนื่องจากไทเมอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC มีคุณสมบัติการหารความถี่ด้วยค่าปรีสเกลเลอร์เพื่อลดทานความถี่ลง เราจึงสามารถนำค่าปรีสเกลเลอร์มาใช้ลดทอนความถี่ทำให้การนับแต่ละครั้งใช้เวลามากขึ้น แต่ค่าความละเอียดของเวลาจะลดลง เช่น ที่ความถี่ออสซิเลเตอร์ 20 MHz การนับ 1 ครั้งใช้เวลาเท่ากับ 0.2 ไมโครวินาที เกิดโอเวอร์โฟลว์ใช้เวลาเท่ากับ 51.2 ไมโครวินาที เมื่อใช้ปรีสเกลเลอร์ (ที่ไทเมอร์ 0 กำหนดค่าปรีสเกลเลอร์ได้ 1,2, 4,5,6,8,16,32,64,128,256) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของเวลาดังนี้

การนับ 1 ครั้งใช้เวลาเท่ากับ

T = 1/[Fosc/4x256]

= (4x256) / (20 MHz)

= 51.2 us

T overflow = 51.2 x 256

= 13107.2 ไมโครวินาที

นั่นหมายความว่า การเกิดโอเวอร์โฟลว์หนึ่งครั้งใช้เวลาเท่ากับ 13.1072 มิลลิวินาที หากต้องการเวลา 1 วินาที ทำให้เขียนโปรแกรมหาเวลา 1 วินาทีได้ด้วยการนับการเกิดโอเวอร์โฟลว์ของไทเมอร์ 0 ให้ได้ 76 ครั้ง

จะเห็นได้ว่าการใช้งานปรีสเกลเลอร์เข้ามาช่วยหารความถี่จะทำให้เราสามารถนับเวลาได้นานขึ้นแต่ความละเอียดของเวลาในการนับแต่ละครั้งจะลดลง ตัวแปรที่นำมาใช้ในการเก็บค่าการนับก็จะใช้ขนาดลดลงได้ ทำให้ประหยัดหน่วยความจำข้อมูล (RAM Memory) ได้มากขึ้น การเลือกใช้งานตัวหารความถี่จึงต้องเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งาน

3. ฟังก์ชันใช้งานไทเมอร์ใน ccs

ไทเมอร์ 0

setup_timer_0(mode),get_timer0(), set_timer0()

ไทเมอร์ 1

setup_timer_1(mode),get_timer1(), set_timer1()

ไทมอร์2

setup_timer_2(mode, period, postscale),get_timer2(), set_timer2()

mode	กำหนดโหมดการทำงาน
period	เป็นคาบเวลาถูกกำหนดในรีจิสเตอร์ PR2 ควบคุมการรีเซตไทเมอร์ 2
postscale	เป็นค่าที่กำหนดจำนวนการรีเซตของไทเมอร์ 2 ก่อนที่จะเกิดอินเตอร์รัปต์

4. การทำงานในโหมดเคาน์เตอร์ของไทเมอร์ 1

การนับสัญญาณนาฬิกาภายนอกของไทเมอร์ 1 จะแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ

1.เคาน์เตอร์โหมดแบบซิงโครนัส (สัญญาณนาฬิกาภายนอกสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกาภายใน) เมื่อเข้าสู่โหมดสลีป การทำงานของไทเมอร์จะหยุดลงด้วย

2.เคาน์เตอร์โหมดแบบอะซิงโครนัส (สัญญาณนาฬิกาภายนอกไม่สัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกาภายใน) เป็นตัวนับอิสระ ไทเมอร์ 1 จะทำงานต่อเนื่องแม้ว่าจะเข้าสู่โหมดสลีปหรือโหมดประหยัดพลังงาน หากมีการเซตอินเตอร์รัปต์ไว้จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ wake-up ออกจากโหมดสลีป

โมดูล Capture/Compare/PWM

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 จะมีโมลดูล Capture/Compare/PWM หรือ CCP ให้ใช้งานได้ 2 ตัว คือ CCP1 (ขา RC2) และ CCP2 (ขา RC1) โดยโมดูล CCP แบ่งโหมดการทำงาน 3 โหมด คือ ตรวจจับสัญญาณ (Input Capture) เปรียบเทียบข้อมูล (Output Compare) และสร้างสัญญาณพัลส์ PWM (Output PWM) มีรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องได้แก่

โมดูล CCP1 Capture/Compare/PWM Register1 (CCPR1) ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต 2 ตัว 8nv CCPR1L (Low byte) และ CCPR1H (high byte)

โมดูล CCP/ Capture/Compare/PWM Register2 (CCPR2) ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต 2 ตัว 8nv CCPR2L (Low byte) และ CCPR2H (high byte)

รีจิสเตอร์ไทเมอร์ 1 และ 2 เนื่องจากโมดูล CCP ต้องอาศัยฐานเวลาในการเปลี่ยนแปลงค่า รายละเอียดแสดงตามตารางที่ 10-1 และ 10-2

ตารางที่ 3.4 โหมด CCP กับการใช้งานไทเมอร์

โหมดการทำงานของโมดูล CCP	ไทเมอร์ที่ใช้งาน
โหมดตรวจจับสัญญาณ (Capture mode)	ไทเมอร์ 1
โหมดเปรียบเทียบสัญญาณ (Compare mode)	ไทเมอร์ 1
โหมดสร้างสัญญาณทางความกว้างของพัลส์ (PWM mode)	ไทเมอร์ 2

ตารางที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ของ CCP1 และ CCP2 กับไทเมอร์

โหมด CCP1	โหมด CCP2	ผลที่เกิดขึ้นกับโมดูล CCP1 และ CCP2
Capture	Capture	ใช้ฐานเวลาไทเมอร์ 1 ร่วมกัน (TMR1 tiem-base)
Capture	Compare	ถ้ามีการกำหนดคุณสมบัติกระตุ้นสัญญาณพิเศษ (special event trigger) ในโหมดเปรียบเทียบข้อมูล ไทเมอร์ 1 จะถูกเคลียร์
Compare	Compare	ถ้ามีการกำหนดคุณสมบัติกระตุ้นสัญญาณพิเศษ ในโหมดเปรียบเทียบข้อมูลตัวใดตัวหนึ่งหรือทั้งสอง ไทเมอร์ 1 จะถูกเคลียร์
PWM	PWM	สัญญาณทั้งสองจะมีความถี่และความเร็วเดียวกัน
PWM	Capture	ไม่มีผลกระทบต่อกัน
PWM	Compare	ไม่มีผลกระทบต่อกัน

1.ฟังก์ชันใช้งานโมดูล CCP

ติดตั้งการใช้งานโมดูล CCP

setup_ccp1 (mode), setup_ccp2(mode)

คอนโทรลไดเรกทีฟสำหรับโมดูล CCP

#int_ccp1, #int_ccp2

2.โหมดตรวจจับสัญญาณอินพุต

โหมดตรวจจับสัญญาณอินพุต ใช้ในการจับสัญญาณจากภายนอกที่ขา CCPx เมื่อตรงตามเงื่อนไข การตรวจจับสัญญาณที่กำหนดขึ้นจะนำค่าในรีจิสเตอร์ TMR1H และ TMR1L กำหนดให้กับรีจิสเตอร์ CCPR1H และ CCPR1L หากมีการเซตบิตอินเตอร์รัปต์จะเกิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์ขึ้น รายละเอียดการทำงานแสดงดังรูปที่ โหมดนี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในเรื่องการจับสัญญาณความถี่ หรือการคำนวณหาความกว้างของสัญญาณพัลส์ เป็นต้น

โมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล

โมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog-to-Digital) หรือ ADC สำหรับ PIC16F877A นั้น โมดูล ADC จะมีขนาด 10 บิต 8 ช่อง ที่ขาพอร์ต RA0/AN0, RA1/AN1, RA2/AN2, RA3/AN3, RA5/AN4, RE0/AN5, RE1/AN6, RE2/AN7 โดยการแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลและเป็นแบบประมาณค่า (Successive Approximate) โดยมีวงจรสุ่มและเก็บสัญญาณ (sample and hold)

1.การกำหนดช่องสัญญาณอะนาลอกและดิจิตอล

เนื่องจากโมดูล ADC ใน PIC16F877A สามารถกำหนดช่องอินพุตอะนาลอกได้มากถึง 8 ช่อง และยังสามารถกำหนดใช้งานเพียงบางช่อง เพื่อให้ช่องที่ไม่ได้ใช้งานสามารถนำไปใช้งานเป็นอินพุตเอาท์พุตดิจิตอลได้ โดยกำหนดการใช้งานผ่านฟังก์ชัน setup_adc_ports()

2.การเลือกความถี่สัญญาณนาฬิกา

สามารถกำหนดค่าเวลาในการแปลงสัญญาณได้โดยกำหนดความถี่ ซึ่งจะต้องคำนึงถึงสัญญาณนาฬิกานี้ด้วย เพื่อให้การแปลงค่าสัญญาณถูกต้องที่สุด โดยที่ค่าเวลาที่น้อยที่สุดและยังคงความถูกต้องของการแปลงสัญญาณจะอยู่ที่ 1.6 us

3.ฟังก์ชันใช้งานโมดูล ADC ใน CCS

setup_adc_ports()	กำหนดพอร์ตอะนาลอกที่ใช้งาน
setup_adc()	กำหนดสัญญาณนาฬิกา
set_adc_chanel()	กำหนดช่องที่จะอ่านสัญญาณอะนาลอก
real_adc()	อ่านสัญญาณอะนาลอก

โมดูล LCD (Liquid Crystal Display module)

หน่วยแสดงผลโมดูล LCD (Liquid Crystal Display module) หรือหน่วยแสดงผลแบบผลึกเหลวโดยโมดูล LCD จะมีอยู่สองชนิดด้วยกันคือ แบบตัวอักษร และแบบกราฟิก โครงสร้างพื้นฐานของโมดูล LCD แบบตัวอักษรแสดงดังรูปที่ 1 โดยมีชุดคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมการแสดงผลของโมดูล LCD แสดงดังตารางที่ 3-6

รูปที่ 3.7 โมดูล LCD Character 16x2

รายละเอียดขาสัญญาณของโมดูล LCD มีดังนี้

ขาที่ 1 : GND สำหรับต่อขากราวด์ของวงจร

ขาที่ 2 : +Vcc ต่อกับไฟเลี้ยง +5V

ขาที่ 3 : Vo สำหรับปรับความสว่างของหน้าจอโมดูล LCD

ขาที่ 4 : RS (Register Select) ขาเลือกการติดต่อกับรีจิสเตอร์คำสั่งหรือข้อมูล โดย “0” จะติดต่อคำสั่ง และ “1” จะติดต่อข้อมูล

ขาที่ 5 : R/W (Read/Write control) ขาอ่านหรือเขียนข้อมูลกับโมดูล LCD

ขาที่ 6 : E (Enable) ป้อนสัญญาณพัลส์ Enable ให้โมดูล LCD เริ่มทำงาน

ขาที่ 7 ถึง 14 : D0-D7 (DATA) เป็นขาข้อมูล

ตารางที่ 3.6 แสดงชุดคำสั่งควบคุมการทำงานของโมดูล LCD

คำสั่งการทำงาน (LCD Command)	ค่าที่ส่งให้กับโมดูล LCD (Hex)
LCD Clear	0x01
Cursor to home	0x02
Display move cursor to left	0x04
Move to right	0x05
Display move cursor to right	0x06
Move to left	0x07
LCD Off & cursor off	0x08
LCD Off & cursor off	0x0A
LCD On & cursor off	0x0C
LCD On & cursor on	0x0E
LCD On & cursor blink	0x0F
move cursor to left	0x10
move cursor to right	0x14
move new character to left	0x18
move new character to right	0x1C
LCD start 1st line	0x80
LCD start 2nd line	0xC0
LCD 2nd line (4-bit Mode, 5x7)	0x28
LCD 2nd line (4-bit Mode, 5x10)	0x2C

บทที่ 4
หลักการออกแบบวงจรจุดระเบิดหัวเทียน

4.1 หลักการเบื้องต้น

จากรูปแบบหลักการทำงานเบื้องต้น เริ่มจากการสร้างสัญญาณพัลส์จุดระเบิดจาก PIC16F877A แล้วประมวลผลออกมา โดยจะทำการคำนวณช่วงเวลาการจุดระเบิดและให้สัญญาณออกมาสัมพันธ์กับจังหวะเวลาการจุดระเบิดจริง หลังจากนั้นสัญญาณที่ได้จะผ่านวงจรขับสัญญาณเพื่อจุดระเบิดหัวเทียนต่อไป ทั้งนี้ทั้งนั้นค่าที่จะนำมาหาค่าเพื่อกำหนดเป็นตัวควบคุมการสร้างสัญญาณโดยใช้ค่าที่อ่านได้จากสัญญาณความเร็วรอบที่ได้จำลองขึ้นมาจากภาคการจำลองสัญญาณเครื่องยนต์

รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรจุดระเบิดหัวเทียน

4.1.1 การจำลองสัญญาณรอบเครื่องยนต์

การจำลองสัญญาณรอบเครื่องยนต์นั้นจะใช้การควบคุมโดย PIC16F877A สร้างสัญญาณพัลส์ที่ความเร็วในรอบต่างๆ ตั้งแต่ 0-6000 rpm โดยมีความละเอียด 100 rpm เพื่อใช้ในการจุดระเบิด ซึ่งสัญญาณนี้จะถูกส่งต่อไปยังชุดจำลองสัญญาณจุดระเบิด โดยการเริ่มจากการรับแรงดันจากแบตเตอรี่ผ่านพาวเวอร์ซัพพลายแปลงไฟให้เหลือ 5โวลต์ จากนั้นทำการปรับค่า 0-5โวลต์ เข้าสู่วงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอล PIC จะทำการเลือกสัญญาณพัลส์ที่ความเร็วรอบใดๆ ที่เขียนลงไว้ในโปรแกรมแล้ว

ระยะเวลาของความเร็วรอบเครื่องยนต์ วัดจากการหมุนเพลาข้อเหวี่ยง โดนเพลาข้อเหวี่ยงหมุนหนึ่งรอบ จะเท่ากับ 1 rpm และสัญญาณการจุดระเบิดนั่นจะส่งสัญญาณพัลส์ให้จุดระเบิด เมื่อเพลาข้อเหวี่ยงหมุนสองรอบ

วิธีการคำนวณ

ที่ความเร็วรอบ 6000 rpm คำนวณความถี่ได้จากสมการ

ความถี่ = rpm/(60*2)

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าความถี่ที่ความเร็วรอบ 100, 2500, 6000 rpm

ที่ความเร็วรอบ 100 rpm

ความถี่ = 1000/ (60*2)

ความถี่ = 0.83 Hz

ที่ความเร็วรอบ 2500 rpm

ความถี่ = 2500/ (60*2)

ความถี่ = 20.83 Hz

ที่ความเร็วรอบ 6000 rpm

ความถี่ = 6000/ (60*2)

ความถี่ = 50 Hz

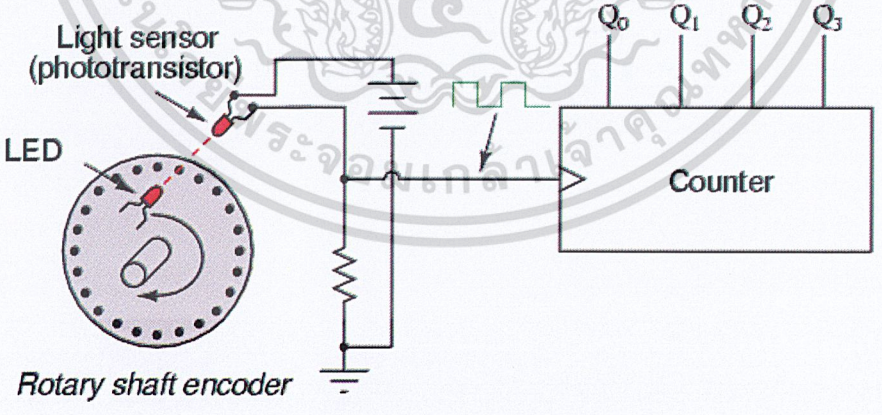
4.1.2 หลักการคำนวณหาค่าการจุดระเบิด

เริ่มจากการรับค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่เป็นสัญญาณพัลส์ตามความเร็วของรอบเครื่องยนต์ที่เกิดขึ้นจากการตรวจจับตำแหน่งของเพลาข้อเหวี่ยง ในที่นี้ได้ทำการจำลองการเกิดขึ้นของสัญญาณจริงๆ โดยจำลองสัญญาณนี้จากโปรแกรมที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นโมดูลจำลองจากของจริงที่ต้องได้จากเครื่องยนต์ โดยโปรแกรมที่ว่านี้เป็นตัวควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877a

การจะกำหนดการสร้างรูปแบบการจุดระเบิด หรือ สัญญาณในการจุดระเบิด ได้นั้นเราจำเป็นจะต้องทราบถึงข้อมูลเบื้องต้นในการสร้างสัญญาณ โดย ในการออกแบบครั้งนี้ เราได้ใช้ข้อมูลความเร็วรอบเครื่องยนต์

ดังนั้นการจะสร้างสัญญาณในการจุดระเบิดนั้น ผู้ออกแบบ ได้ใช้รูปแบบของสัญญาณ PWM ในการควบคุมการจ่ายไฟสูงให้แก่หัวเทียน โดยคอยล์ไฟสูง ผ่านทางวงจร Gate Drive Mosfet ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่เราได้กล่าวถึงนั้นมีความหมายว่า 2 รอบเพลาข้อเหวี่ยงนั้นคือการที่เครื่องได้เกิดระยะการทำงาน 4 ระยะ (ดูด-อัด-ระเบิด-คาย) ซึ่งจะเห็นได้ในหน่วย rpm (Revolution per Minute) โดยมีลักษณะการเครื่องที่ของเพลาข้อเหวี่ยงคือ การเดินทางจากศูนย์ตายบน (TDC) ลงสู่ศูนย์ตายล่าง (BCD) และเดินทางกลับไปยังศูนย์ตายบนอีกครั้งหนึ่ง จำนวน 1 ครั้งก็จะเท่ากับ 1 รอบเครื่องยนต์

1 รอบเพลาข้อเหวี่ยง = 2 ระยะ การทำงานของเครื่องยนต์



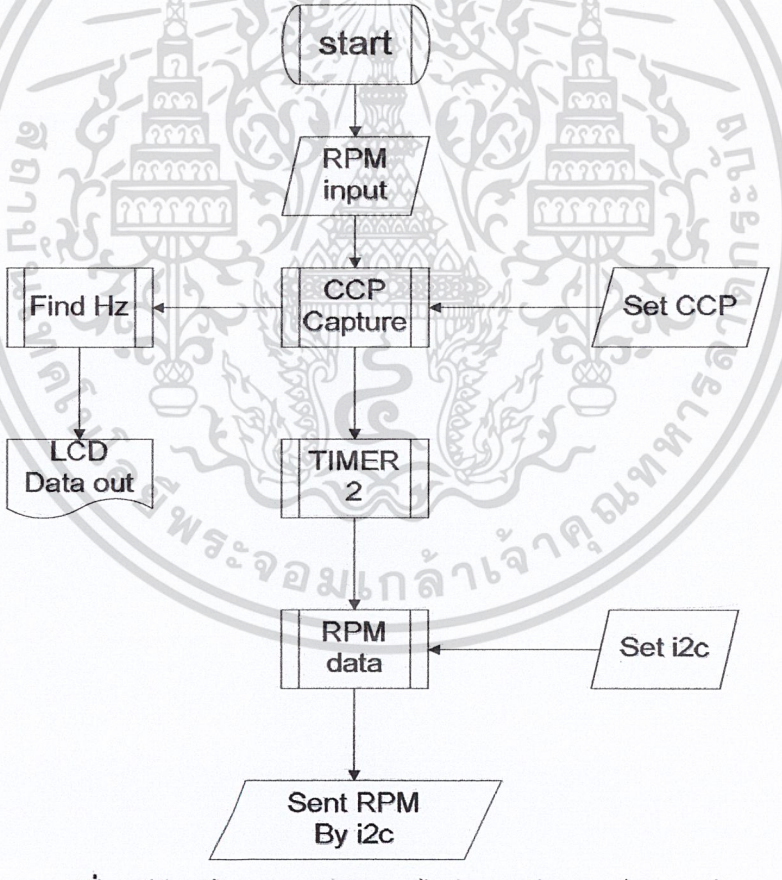
รูปที่ 4.2 แบบจำลองการตรวจวัดค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์

และจากสัญญาณรอบเครื่องยนต์ที่ได้จำลองขึ้นมาแล้วนั้น จะเสมือนเป็นเซนเซอร์ที่ตำแหน่งของข้อเพลาข้อเหวี่ยงได้ถูกนำมาเป็นสัญญาณรอบความเร็วเครื่องยนต์ในอีกโมดูลหนึ่ง คือภาคของการสร้างสัญญาณขับควบคุมการจุดระเบิดของวงจรจุดระเบิดโดยชุดสร้างสัญญาณการจุดระเบิดนั้นได้ใช่

การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC16F877a) 2 ตัวทำงานผสานกันคือแบ่งหน้าที่หลักการทำงานเป็น MASTER และ SLAVE ซึ่งทำหน้าที่แตกต่างกันดังนี้

PIC16F877a -MASTER

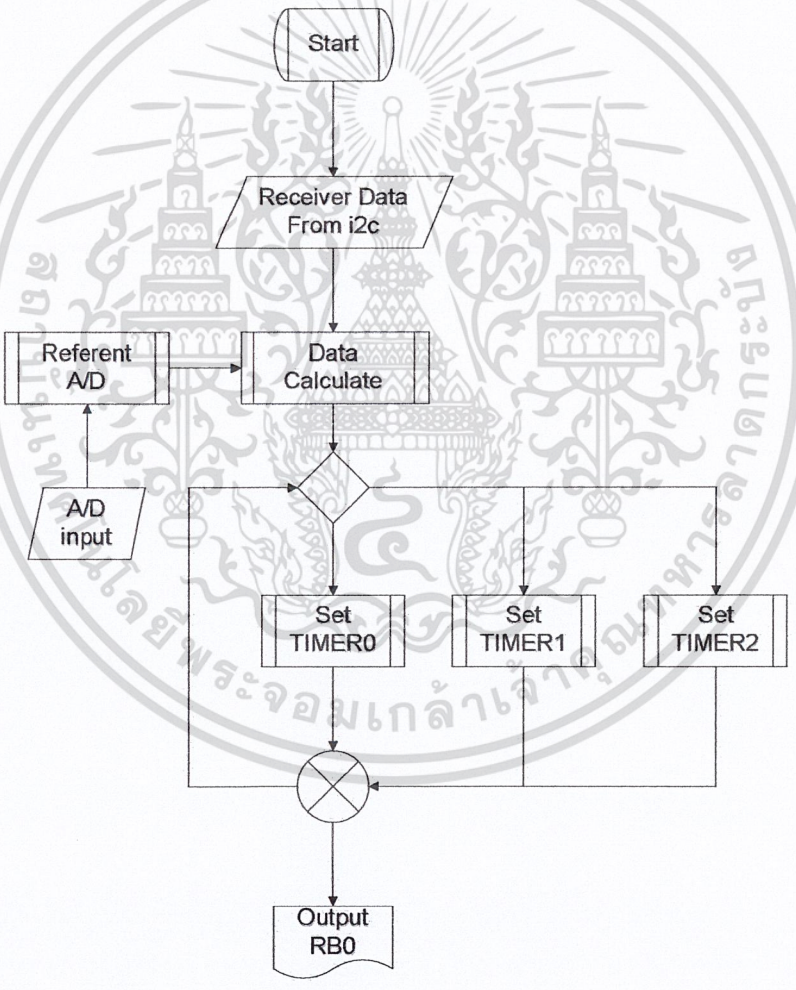
หน้าที่ของ MASTER คือมีหน้าที่ในการรับค่าสัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์มาจากตัวโมดูลของชุดจำลองสัญญาณ จากนั้นก็ทำการคำนวณค่าคาบสัญญาณที่เข้ามาผ่านโมดูลของ PIC คือโมดูล CCP: Capture การใช้ Capture mode นี้คือการจับสัญญาณที่เข้า จากนั้นก็นำค่าที่อ่านได้มาแสดงผลออกทาง LCD ทั้งค่าของความถี่ของสัญญาณ และค่า rpm (rounds per minute) ที่ได้รับมานั้น และอีกหน้าที่คือการส่งค่า rpm ที่อ่านได้นั้นไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์อีกตัวเพื่อทำการสร้างสัญญาณที่จะนำไปจุดระเบิดต่อไป โดยเป็นการส่งข้อมูลผ่านระบบ I2C ซึ่งเป็นการข้อมูลซึ่งกันและกันของการติดต่อสื่อสารอีกแบบหนึ่ง



รูปที่ 4.3 โฟลชาร์ตแสดงการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ มาสเตอร์

PIC16F877a –SLAVE

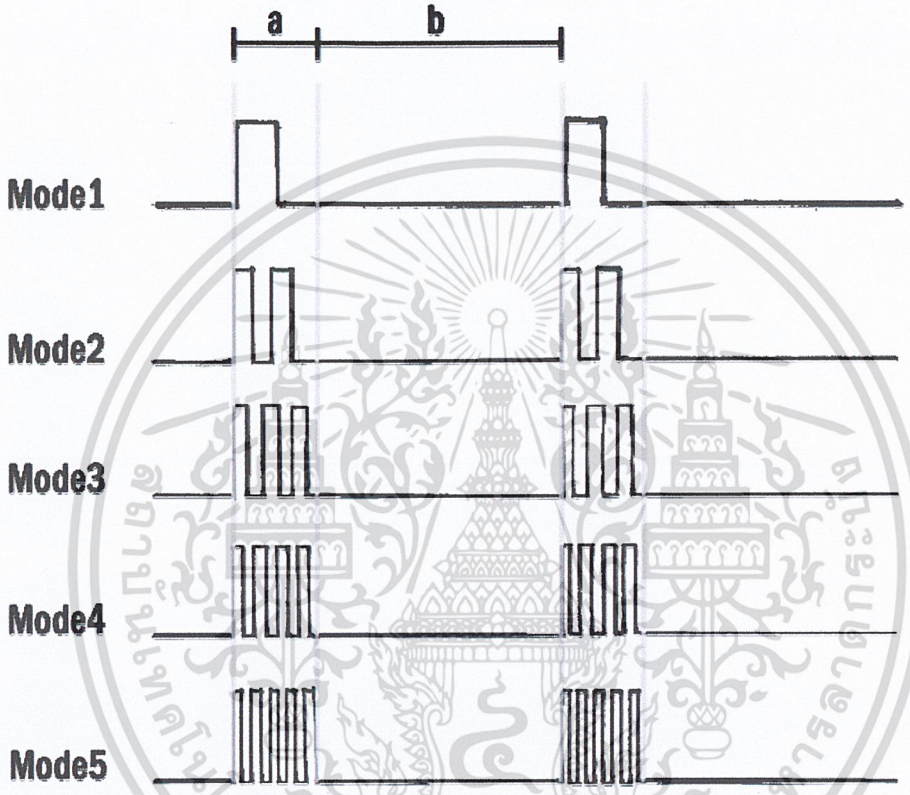
หน้าที่ของ SLAVE เป็นตัวที่ทำการรับค่าความเร็วรอบเครื่องยนต์ (Engine round per minute) จากตัวของ MASTER โดยผ่านทางการเชื่อมต่อแบบ I²C เพื่อทำการส่งค่าข้อมูลที่จะมาทำการคำนวณเพื่อทำการสร้างสัญญาณจุดระเบิดที่เราต้องการ โดยในที่นี้การควบคุมออกแบบรูปสัญญาณที่ต้องการนั้นถูกควบคุมด้วย TIMER0, TIMER1, TIMER2 ในการสร้างสัญญาณในครั้งนี้ และยังมีการนำค่าจำนวนพัลส์ที่จะทำการจุดให้ผู้ทดลองใช้โดย โปรแกรมค่าผ่านทาง ADC (Analog-to-Digital) ในการเลือกจำนวนพัลส์สัญญาณ ว่าต้องการเท่าใดโดยมีค่าให้ทำการเลือกดังนี้ 1, 2, 3, 4, 5 ลูก



รูปที่ 4.4

ลักษณะของสัญญาณที่จะทำการสร้าง

จากการกำหนดรูปแบบการสร้างลักษณะของพัลส์ที่จะใช้ในการควบคุมวงจรขับสัญญาณจุดระเบิดเพื่อทดสอบจำลองการจุดระเบิด ซึ่งในที่นี้ต้องการสร้างสัญญาณพัลส์ จำนวน 1, 2, 3, 4, 5 ลูก



รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะของสัญญาณที่จะทำการสร้างโดยมีจำนวนพัลส์ 1, 2, 3, 4, 5 ลูก ตามลำดับ

a = ระยะการทำงาน ที่จะอยู่ในช่วงการจุดระเบิดทั้งหมด

b = ระยะเวลาที่จะจุดระเบิดต่อไปเมื่อจุดไปแล้ว

โดยการสร้างสัญญาณที่ว่านี้ได้กำหนดให้ใช้ โมดูลของ PIC คือ TIMER เป็นตัวควบคุมค่าการสร้างสัญญาณที่ต้องการออกมาโดยในที่นี้ได้กำหนดหน้าที่การทำงานของโมดูล TIMER อย่างชัดเจน คือ

TIMER0 = การกำหนดควบคุมระยะเวลาการทำงานของ b (Period)

TIMER1 = การกำหนดควบคุมระยะเวลาการทำงานของ a (Duty)

TIMER2 = การกำหนดควบคุมระยะเวลาการทำงานของ ค่าระยะเวลาในสร้างสัญญาณภายใน

การคำนวณหาค่าต่างๆ เพื่อทำการสร้างสัญญาณจุดระเบิด

การคำนวณนี้คือการนำค่าความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ได้รับมานั้นนำมาคำนวณหาค่าในการสร้างรูปแบบสัญญาณจุดระเบิดที่ต้องการเช่นในตัวอย่างนี้นี้ใช้ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ 6000 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบเครื่องยนต์ = RPM รอบต่อนาที

(Engine round per minute = rpm)

จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้มานั้นเป็นค่ารอบต่อนาที จึงจะต้องแปลงค่าความเร็วรอบนี้เป็นค่าของ รอบต่อวินาที

ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (หน่วยวินาที) $= \frac{RPM}{60}$ รอบต่อวินาที

($RPM_engine(R/s)$ = ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (หน่วยวินาที))

รอบที่ได้นี้หมายถึงรอบการหมุนหนึ่งรอบของเพลาข้อเหวี่ยง ซึ่งก็คือการทำงานของเครื่องยนต์ใน 2 จังหวะ จากทั้งหมด 4 จังหวะ ในการทำงานของ 1 รอบเครื่องยนต์ (ดูด, อัด, ระเบิด, คาย)
ทั้งนี้เราจะต้องการหาค่าเวลาในการทำงานของ 1 จังหวะนั้นก็คือจังหวะการระเบิด จึงจะต้องนำค่าความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ได้นี้มาคำนวณหาความเร็วรอบของการทำงาน 1 จังหวะ ซึ่งจะได้ว่า

ความเร็วรอบใน 1 จังหวะการระเบิด = $\frac{RPM_engine(R/s)}{2}$ รอบต่อวินาที

(Spark rate = ความเร็วรอบใน 1 จังหวะการระเบิด)

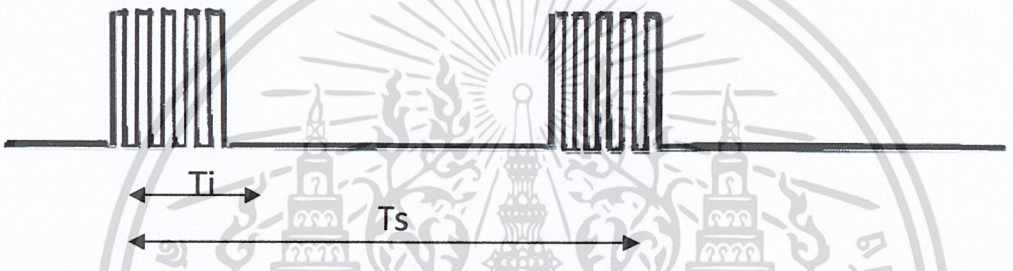
เพราะฉะนั้นระยะเวลาที่ใช้ $= \frac{1}{\text{Spark rate}}$ วินาที

เพราะฉะนั้นเราจะทราบว่า

ระยะเวลา ที่จะอยู่ในช่วงการจุดระเบิดทั้งหมด คือ 0.02s (Ti)

และเมื่อมีการทำงานในช่วงจังหวะของการระเบิดไปแล้วจะต้องรออีก 3 จังหวะเพื่อที่จะเกิดจังหวะการระเบิดอีกครั้งหนึ่งก็แต่ก็ต้องรวมการระยะการจุดระเบิด ณ ปัจจุบันไปด้วยจึงจำเป็นต้องทำการคูณ 4 เข้าไป

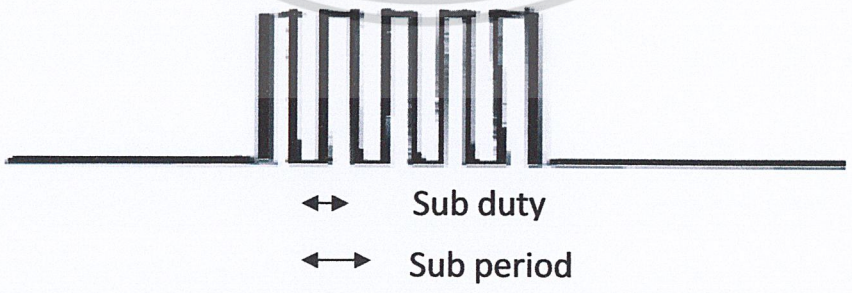
ระยะเวลาที่จะจุดระเบิดต่อไปเมื่อจุดไปแล้ว คือ 0.08s (Ts)



รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะของช่วงของเวลา Ti และ Ts

และถ้าสมมติเราต้องการสร้างพัลส์จำนวน 5 พัลส์ เราจะคำนวณหาค่าเวลาที่จะใช้จุดได้คือ เพื่อเป็นสัญญาณทดสอบนั้นเราจำเป็นต้องมีหลักการคิดเพิ่มเติมในการคำนวณ โดยในการคำนวณกำหนดให้

จำนวนลูกที่ต้องการภายในสัญญาณ = $number - of - sub$



รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะของช่วงของเวลา Sub period และ Sub duty

ซึ่งเราจะสามารถหาค่า สัญญาณที่ใช้ในการจุดระเบิดภายในโดยไม่คิดกับระยะเวลาของจังหวะทั้งหมด จะได้ว่าต้องการหาค่าทั้งสองเพื่อนำค่าไปกำหนดการทำงานของ TIMER2 ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมสัญญาณภายในจะหาค่า Sub period ได้จาก

$$Sub_period = \frac{0.02}{number - of - sub}$$

และจะทำการหาค่าของ Sub duty เพื่อจะนำไปเป็นค่าควบคุมโดย TIMER2 หาได้จากสูตร

$$Sub_duty = \frac{Sub_period}{2}$$

รูปแบบของสมการในการคำนวณภายในตัวโปรแกรมที่เขียนขึ้น คือ

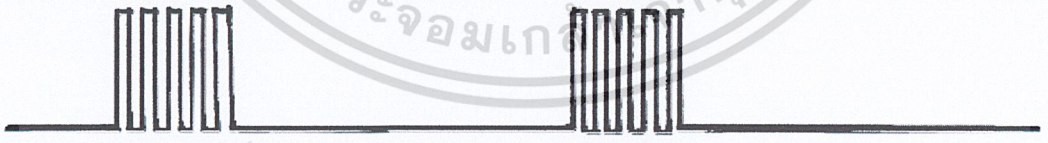
```
//Calculate data for setting in the TIMER register
F_period=(rpm/120);
T_period=1/F_period;
T_duty=T_period/4;
sub_period=T_duty/mode;
sub_on=sub_period/2;
    Pr0=256;
    Pr1=1;
    Pr2=16;
    t0s=  (unsigned int16)(256-((T_period*4000000)/(4*Pr0)));      // TIMER0 DATA
    t1s=  (unsigned int16)(65535-((T_duty*4000000)/(4*Pr1)));      //TIMER1 DATA
    t2s=  (unsigned int16)(((sub_on*4000000)/(4*Pr2))-2);          //TIMER2 DATA
```

ในการเลือก mode กำหนดค่าของ ADC ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC นั้นมีรูปแบบการกำหนดค่าดังนี้

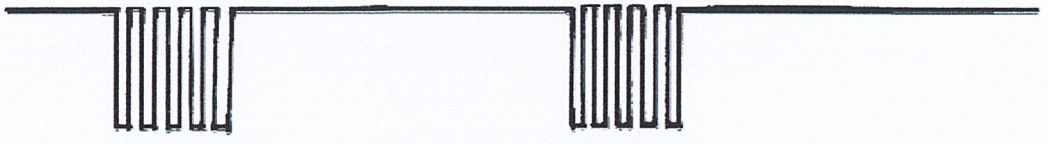
```
int adcset(float readcal){
if((readcal>=0)&&(readcal<=1.8)){
        adc_read=1;}
else if((readcal>1.8)&&(readcal<=2.8)){
        adc_read=2;}
else if((readcal>2.8)&&(readcal<=3.8)){
        adc_read=3;}
else if((readcal>3.8)&&(readcal<=4.8)){
        adc_read=4;}
else if((readcal>4.8)&&(readcal<=5)){
        adc_read=5; }
 return(adc_read);}
```

4.1.3 รูปแบบของสัญญาณจุดระเบิดที่แปรผันตามประเภทของคอยล์

ลักษณะรูปแบบของสัญญาณที่ออกแบบว่าใช้เพื่อทำงานร่วมกับลักษณะคอยล์ของแต่ละประเภทว่าคอยล์นั้นเป็นประเภทแบบไหนเพราะจะทำให้ลักษณะของสัญญาณที่จะต้องสร้างนั้นแตกต่างกัน ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

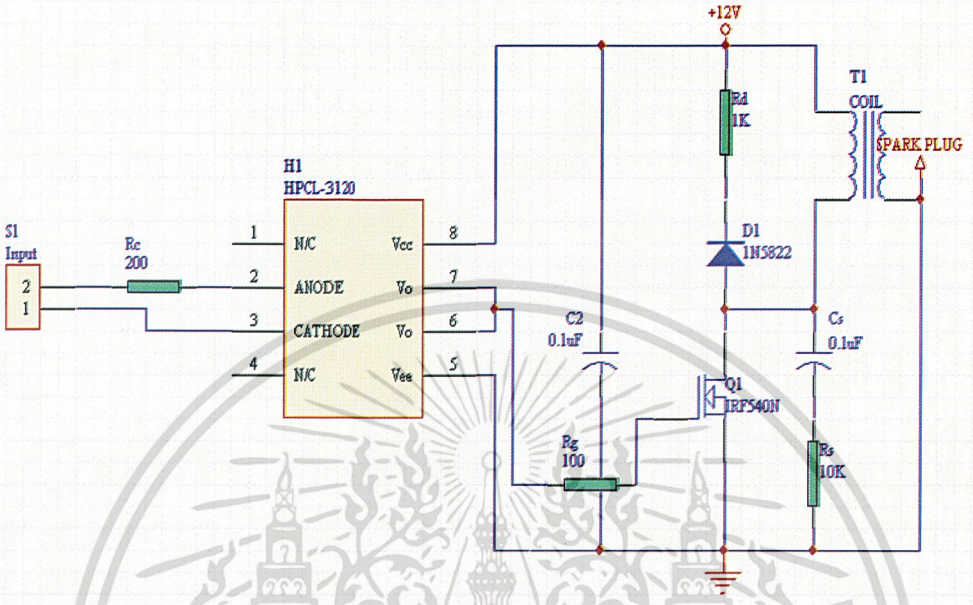


รูปที่ 4.8 แสดงรูปแบบของสัญญาณที่ใช้กับคอยล์ประเภทมีสวิตช์ภายใน



รูปที่ 4.9 แสดงรูปแบบของสัญญาณที่ใช้กับคอยล์ประเภทธรรมดา

4.2 หลักการออกแบบวงจรจุดระเบิดหัวเทียน



รูปที่ 4.10 แสดงรูปวงจรจุดระเบิดหัวเทียน

จากรูปที่ เลือกใช้ Gate Drive Optocoupler เบอร์ HPCL-3120 ในการขยายแรงดันสัญญาณที่ได้จากส่วนประมวลผลสร้างสัญญาณพัลส์ แล้วใช้มอสเฟท IRF540N เป็นสวิทช์เปิด/ปิด เพื่อขับให้คอยล์จุดระเบิดสะสมและคายพลังงานเป็นไปตามจังหวะของสัญญาณจากส่วนประมวลผล เพื่อให้เกิดประกายไฟขึ้นที่หัวเทียน โดยมี Rc เป็นตัวจำกัดกระแสเข้าที่ขา Anode, Rg เป็นตัวจำกัดกระแสเข้าที่ขาเกท, Rs กับ Cs เป็นส่วนสนับเบอร์ช่วยดึงประจุออกจากมอสเฟทขณะที่สัญญาณเข้าเป็น 0 V (มอสเฟทออฟ) และ Rd กับ ไดโอด 1N5822 เป็นตัวดึงพลังงานออกจากคอยล์จุดระเบิด

หลักการคำนวณ

จาก $$C_s = \frac{i_o \times t_R}{2V_d}$$

$$C_s = \frac{10A \times 44ns}{2 \times 0.9V} = 100 \text{ nF}$$

ดังนั้นเลือกใช้ $$C_s = 100nF$$

จาก $$R_S = \frac{t_{ON}}{5C_S}$$

$$R_S = \frac{0.625s}{5 \times 100nF} = 1.25M$$

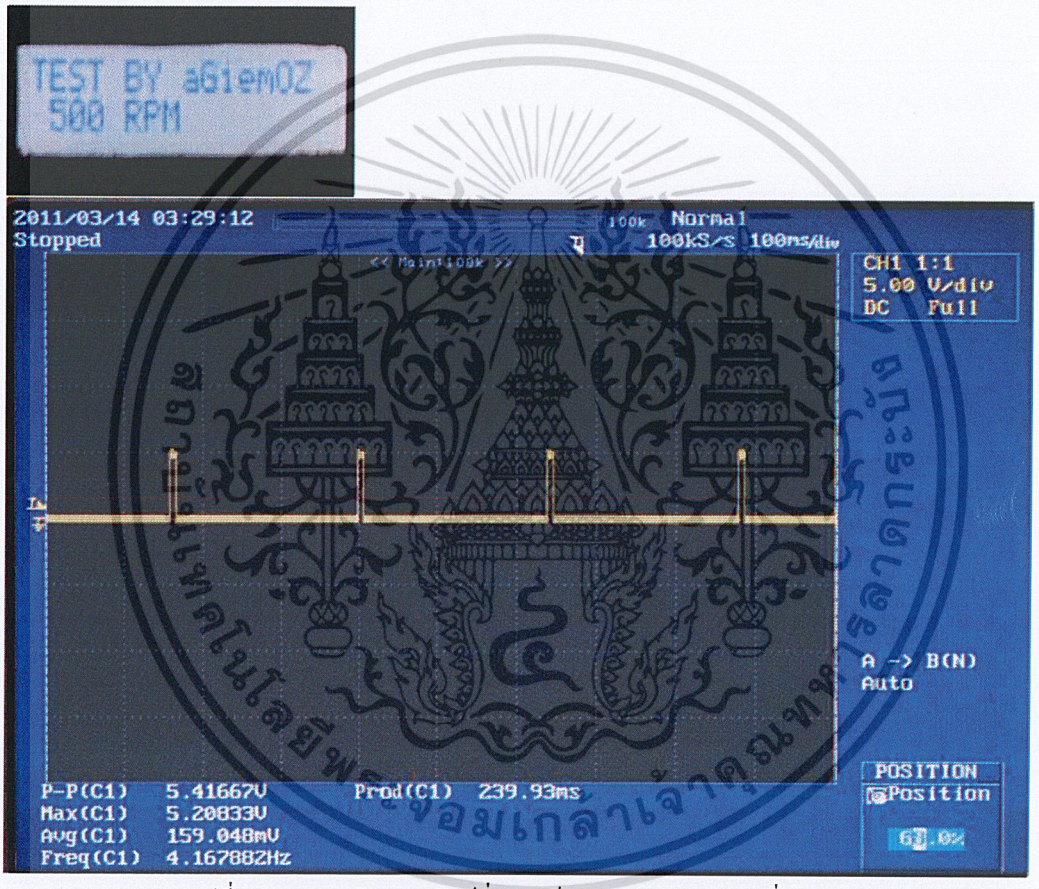
ดังนั้นเลือกใช้ $$R_S = 10k$$

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

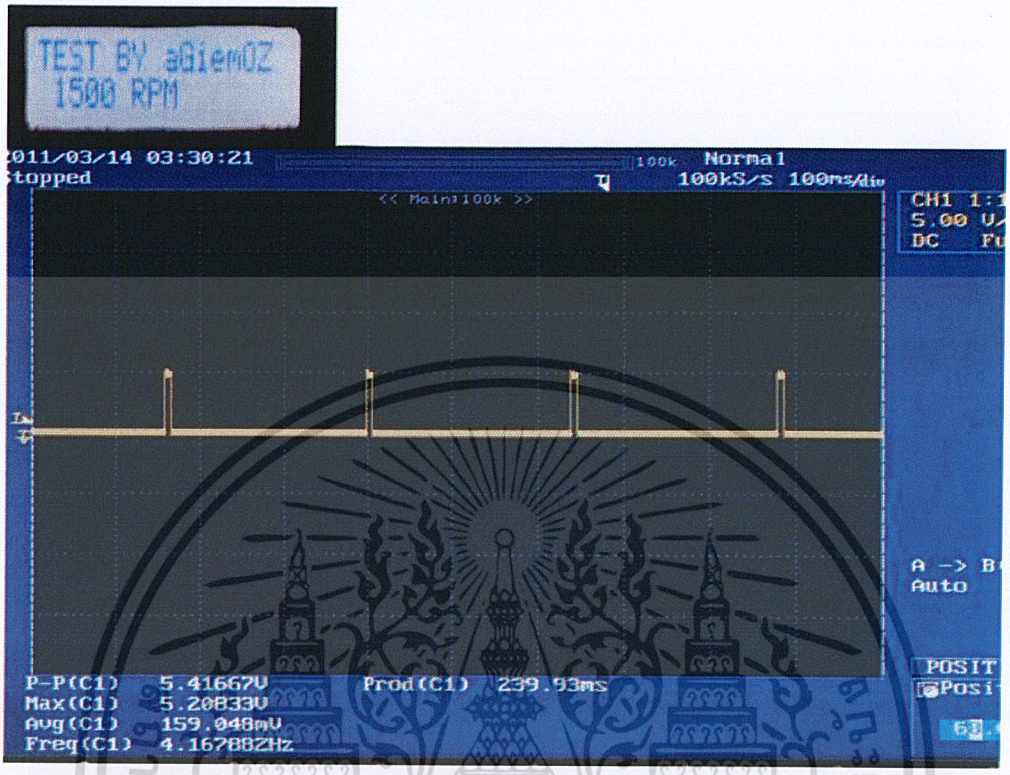
บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 ผลการวัดสัญญาณพัลส์ที่ได้จากการจำลองสัญญาณ

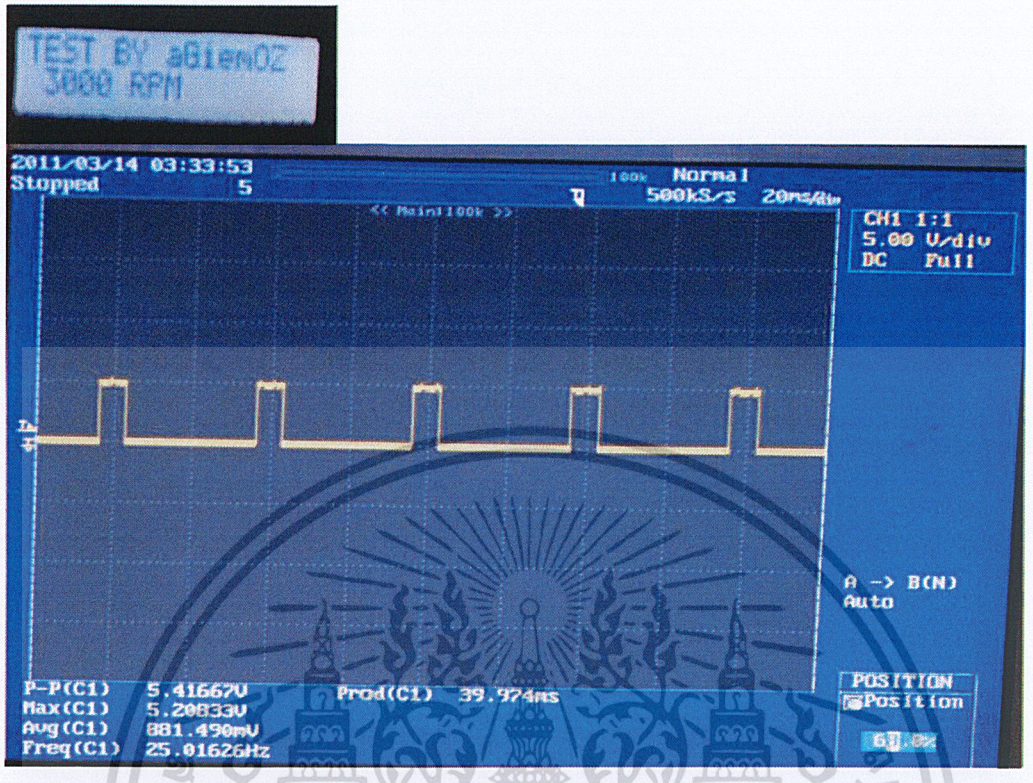


รูปที่5.1 แสดงผลสัญญาณพัลส์ที่ความเร็วรอบ 500 rpm ความถี่ 4.167 Hz

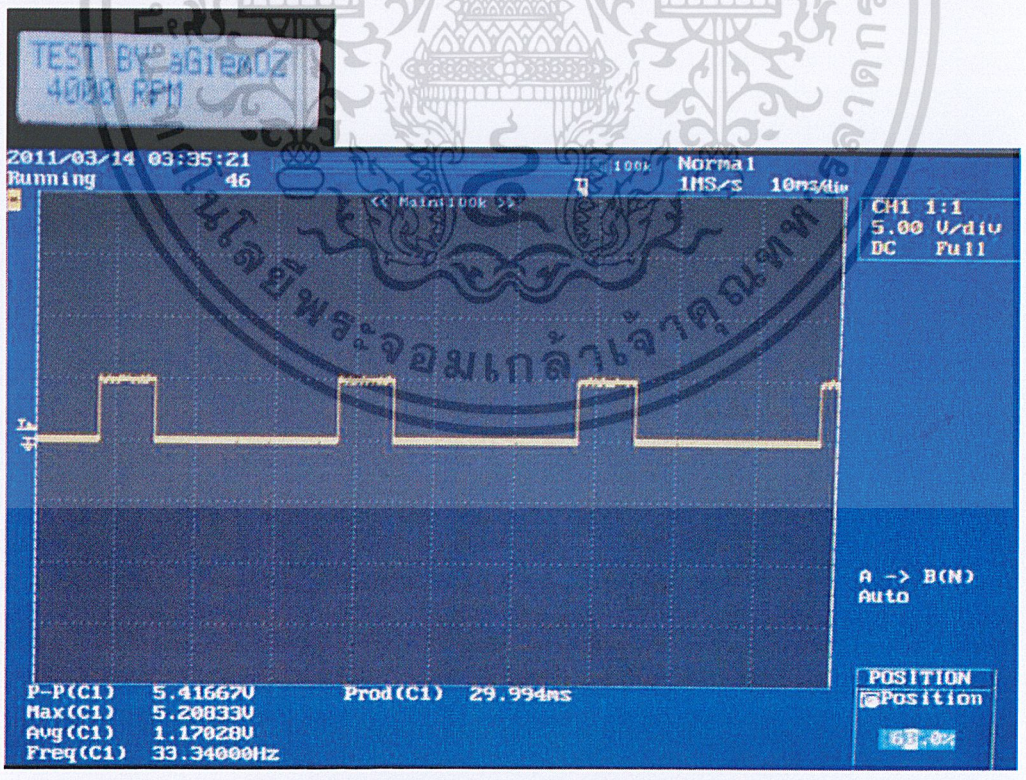


รูปที่ 5.2 แสดงผลสัญญาณพัลส์ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm ความถี่ 12.5 Hz

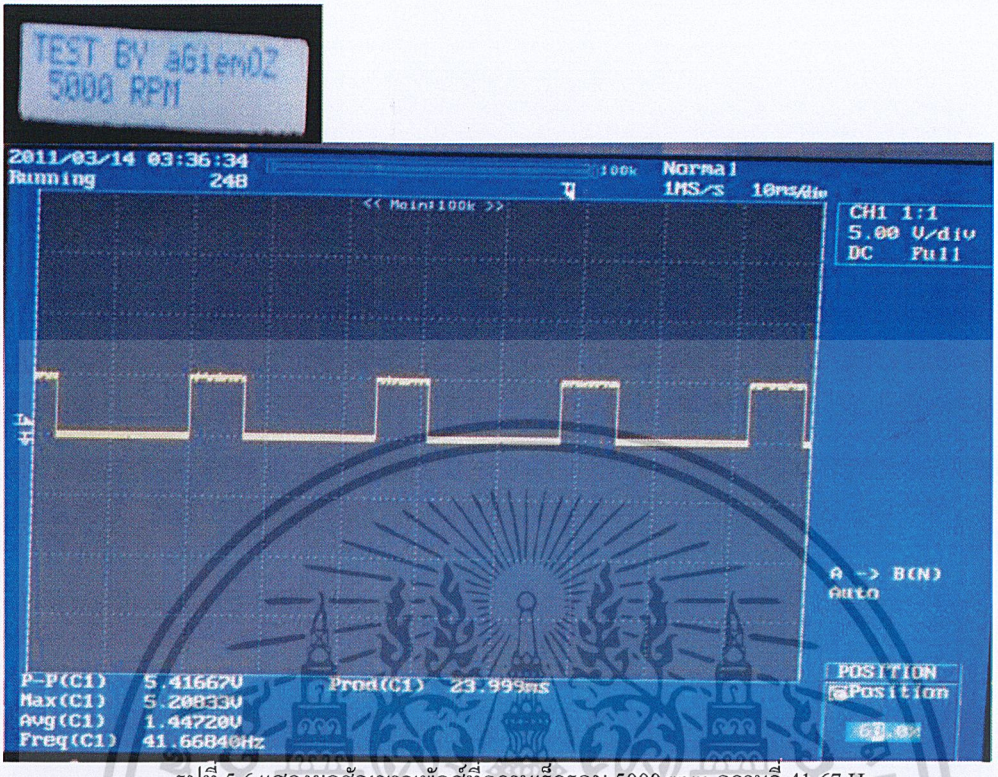
รูปที่ 5.3 แสดงผลสัญญาณพัลส์ที่ความเร็วรอบ 2000 rpm ความถี่ 16.67 Hz



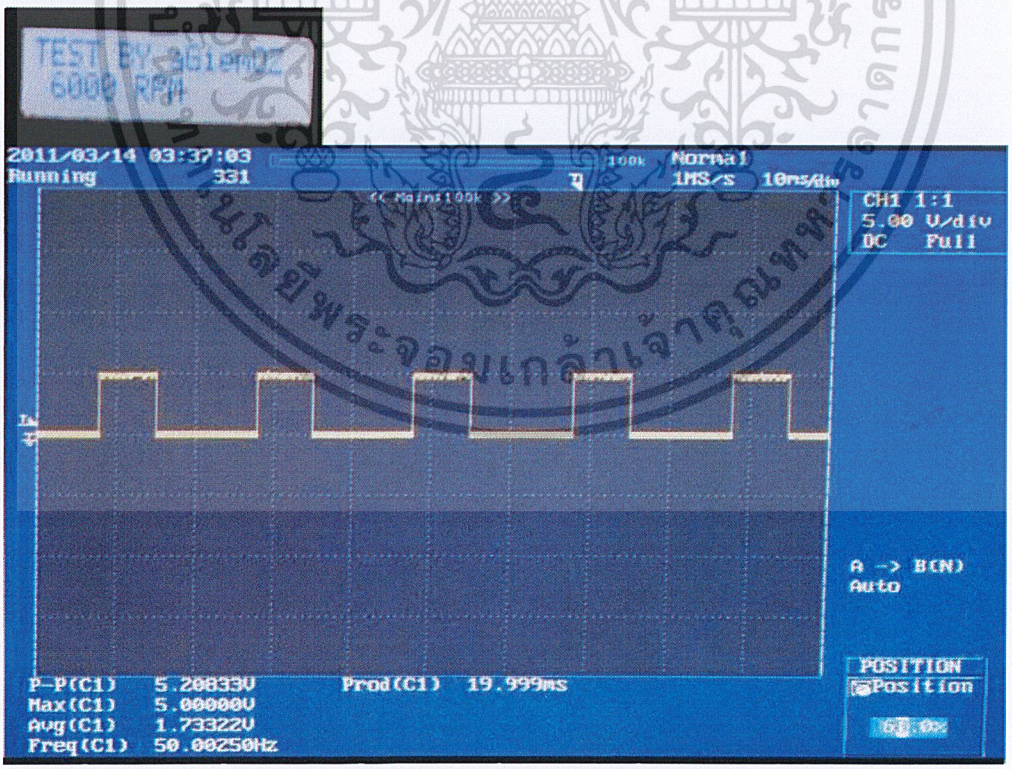
รูปที่ 5.4 แสดงผลสัญญาณพัลส์ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm ความถี่ 25 Hz



รูปที่ 5.5 แสดงผลสัญญาณพัลส์ที่ความเร็วรอบ 4000 rpm ความถี่ 33.33 Hz



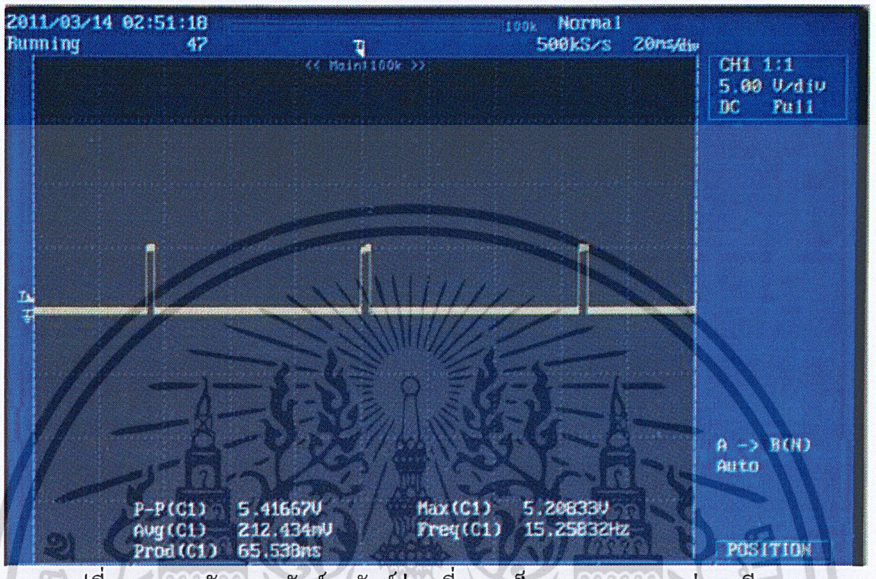
รูปที่ 5.6 แสดงผลสัญญาณพัลส์ที่ความเร็วรอบ 5000 rpm ความถี่ 41.67 Hz



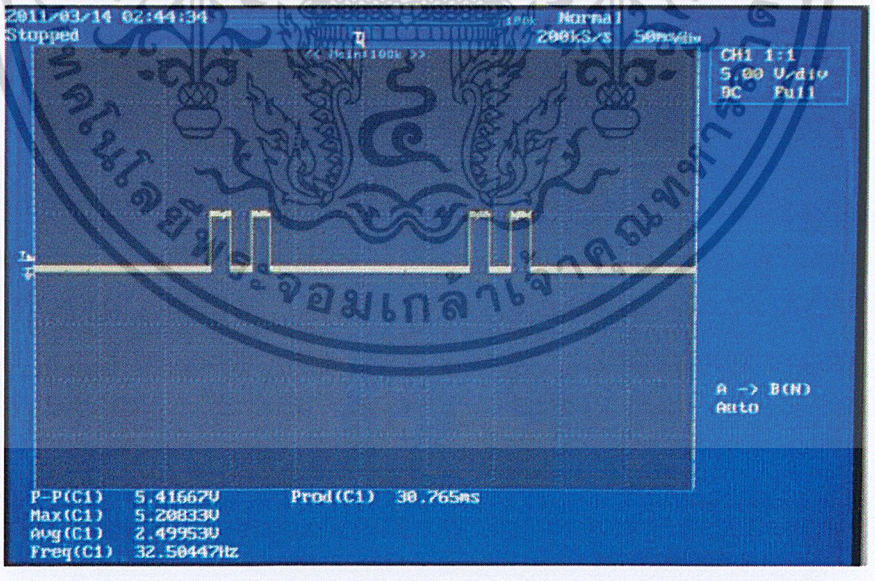
รูปที่ 5.7 แสดงผลสัญญาณพัลส์ที่ความเร็วรอบ 6000 rpm ความถี่ 50 Hz

5.2 ผลการสร้างสัญญาณพัลส์ 1-5 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบต่างๆ

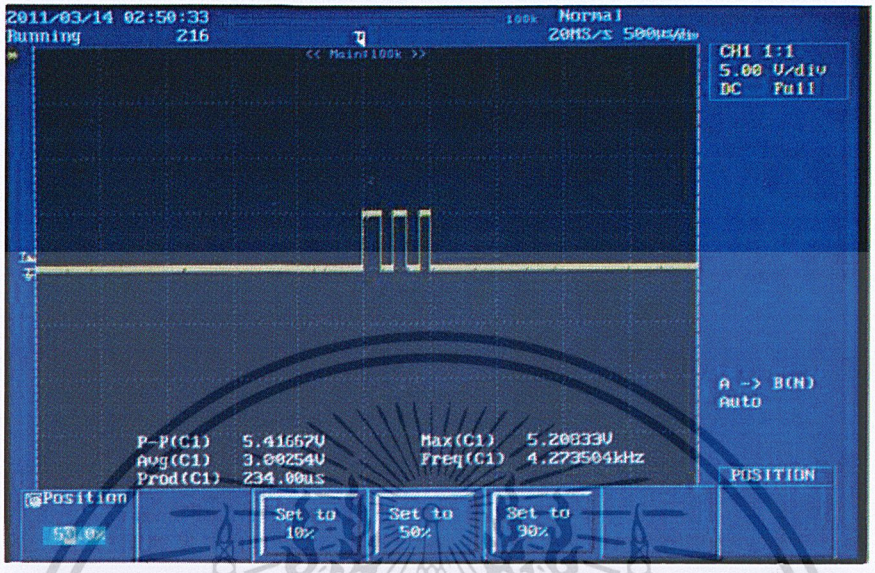
ความเร็วรอบ 1500 rpm



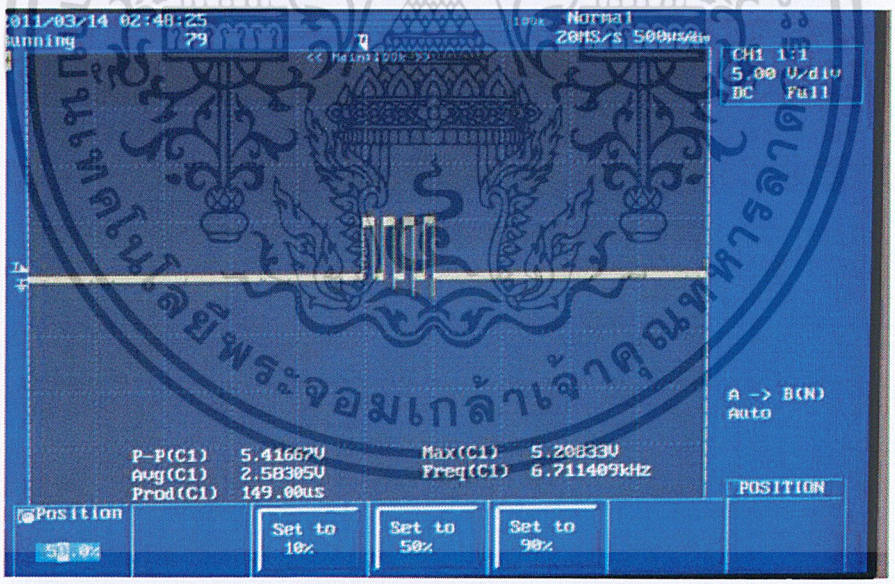
รูปที่ 5.8 แสดงสัญญาณพัลส์ 1 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที



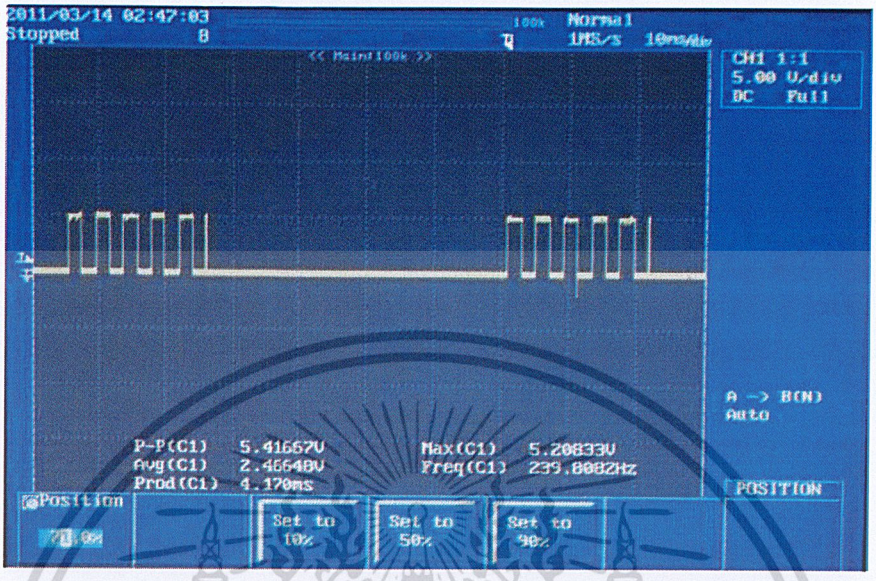
รูปที่ 5.9 แสดงสัญญาณพัลส์ 2 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที



รูปที่ 5.10 แสดงสัญญาณพัลส์ 3 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที

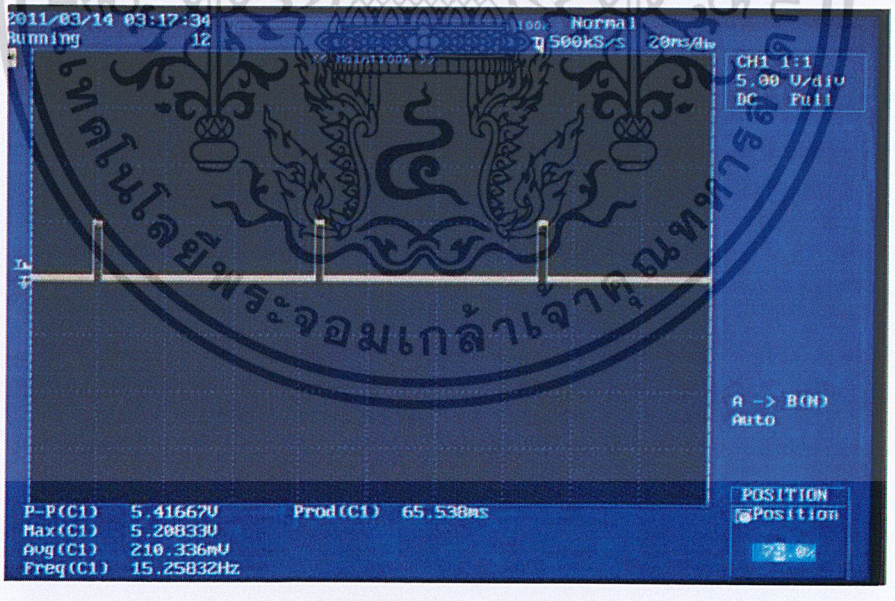


รูปที่ 5.11 แสดงสัญญาณพัลส์ 4 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที

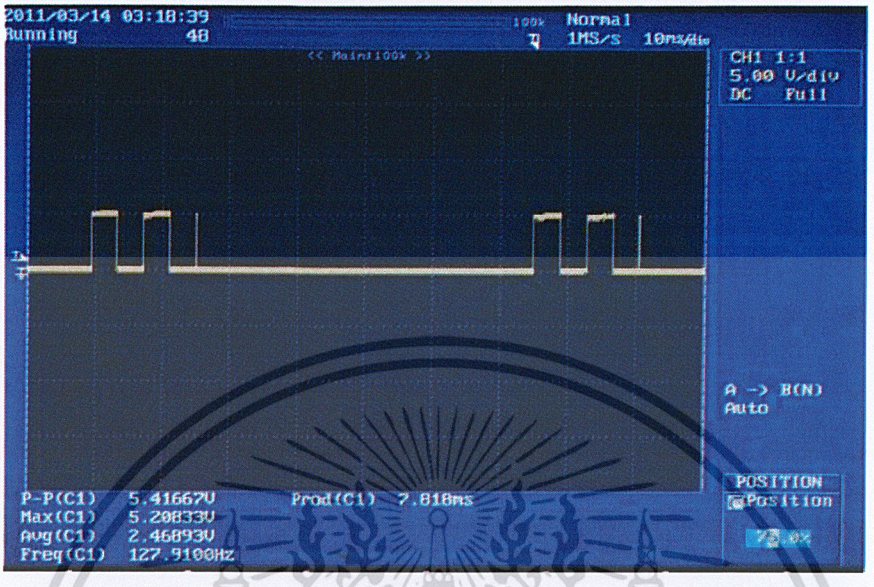


รูปที่ 5.12 แสดงสัญญาณพัลส์ 5 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบ 2000 rpm

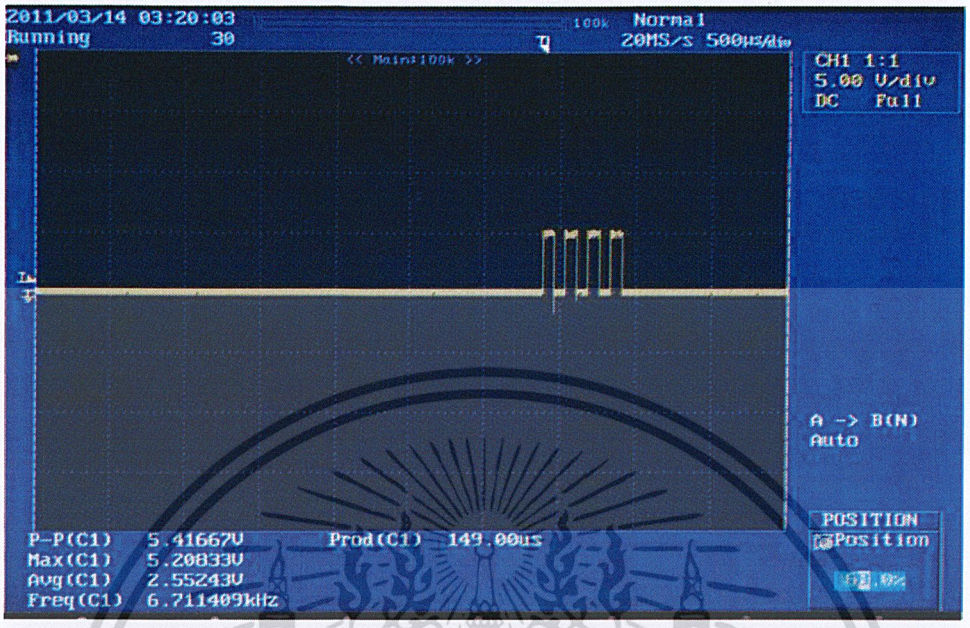


รูปที่ 5.13 แสดงสัญญาณพัลส์ 1 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที

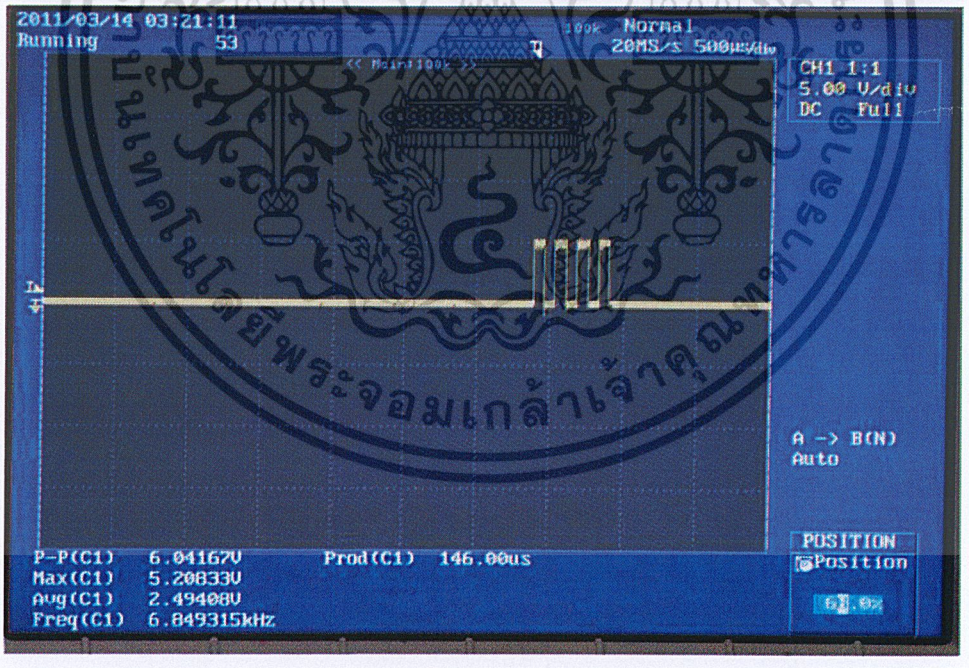


รูปที่ 5.14 แสดงสัญญาณพัลส์ 2 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที

รูปที่ 5.15 แสดงสัญญาณพัลส์ 3 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที

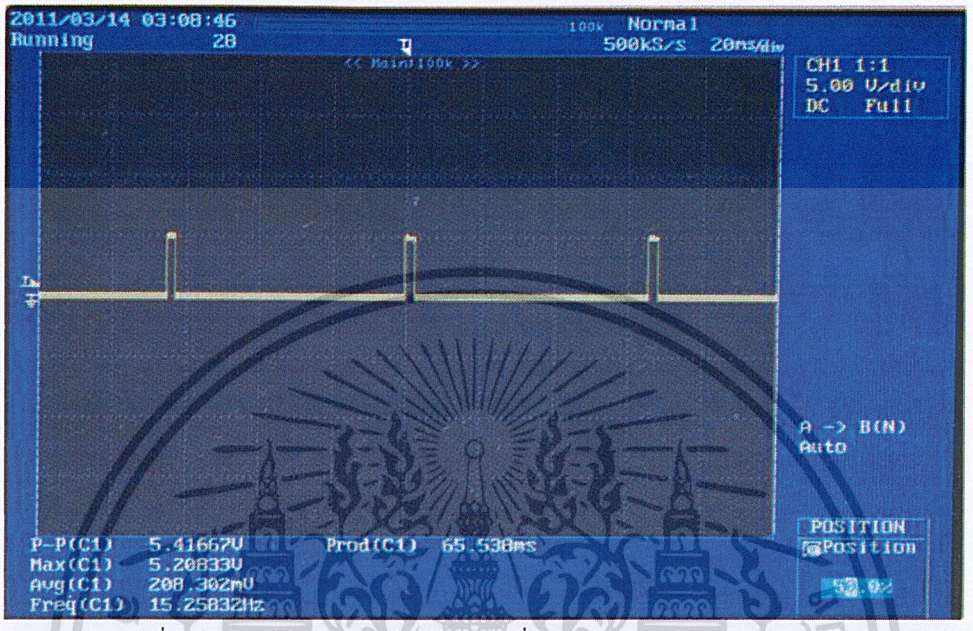


รูปที่ 5.16 แสดงสัญญาณพัลส์ 4 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที

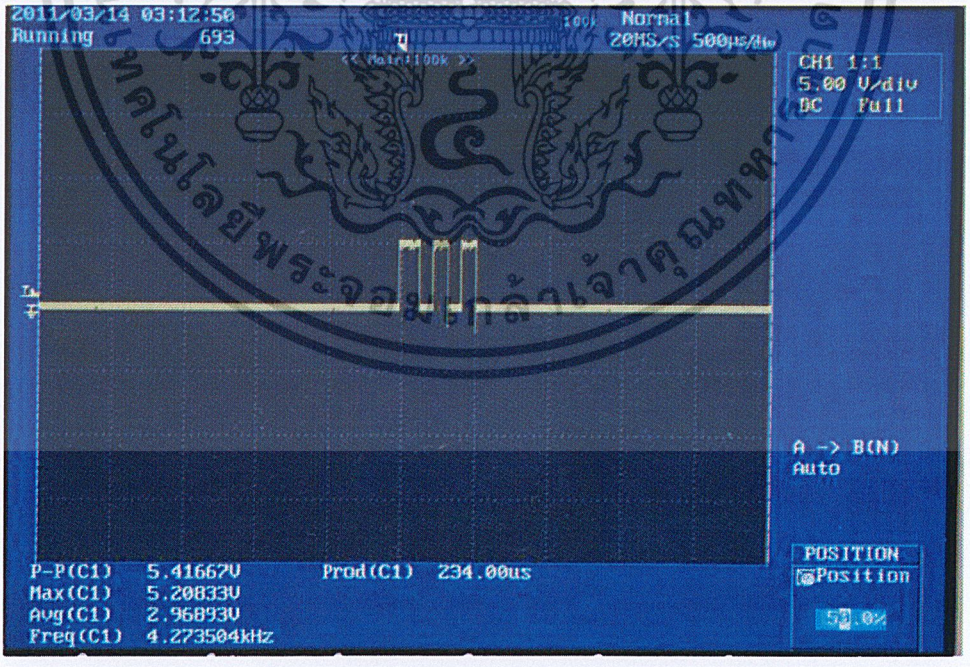


รูปที่ 5.17 แสดงสัญญาณพัลส์ 5 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที

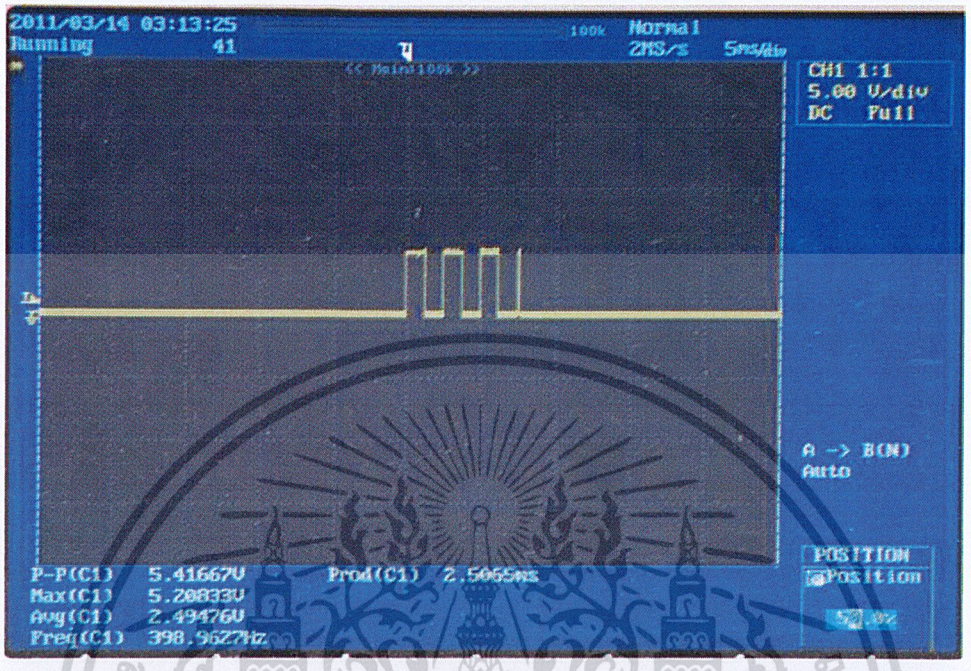
ความเร็วรอบ 4000 rpm



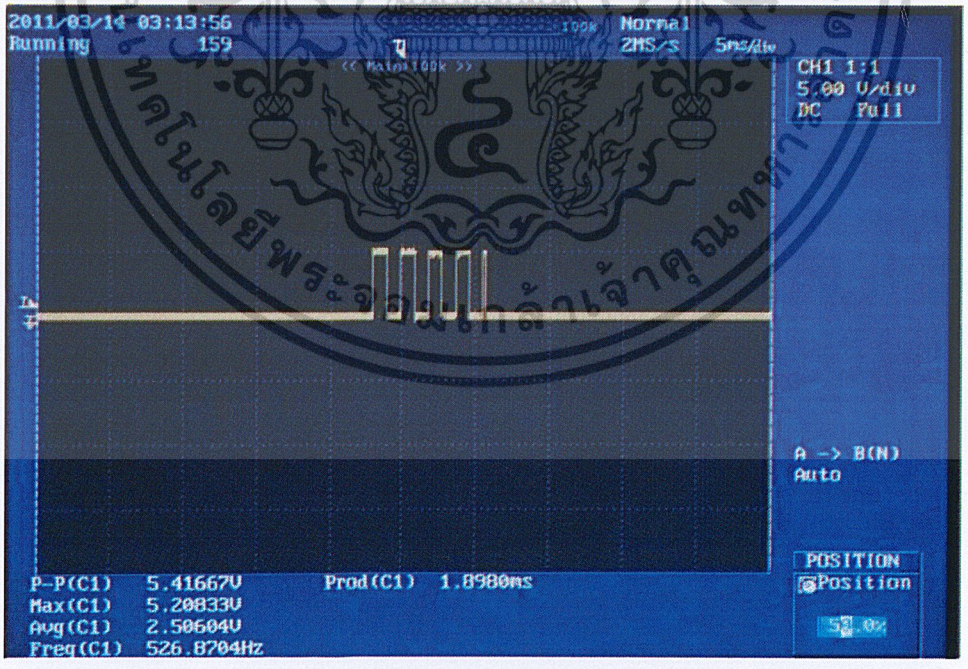
รูปที่ 5.18 แสดงสัญญาณพัลส์ 1 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที



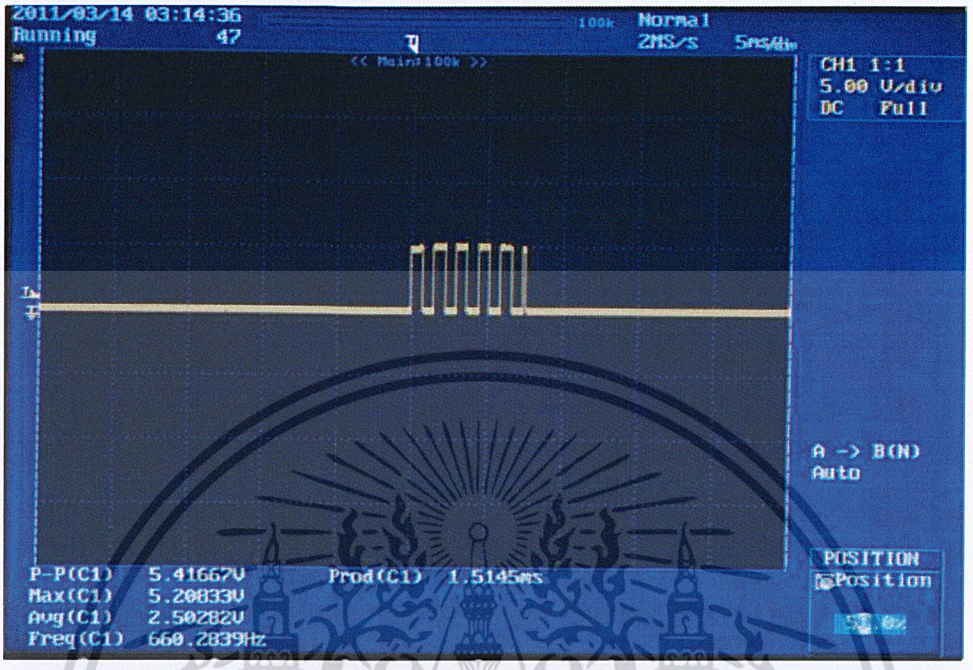
รูปที่ 5.19 แสดงสัญญาณพัลส์ 2 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที



รูปที่ 5.20 แสดงสัญญาณพัลส์ 3 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที

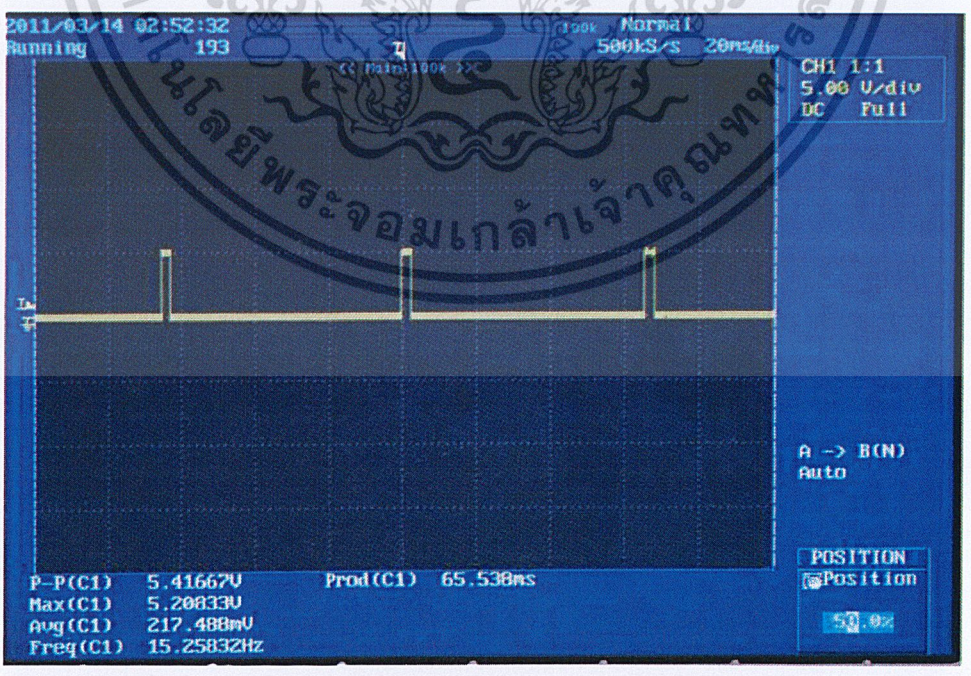


รูปที่ 5.21 แสดงสัญญาณพัลส์ 4 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที

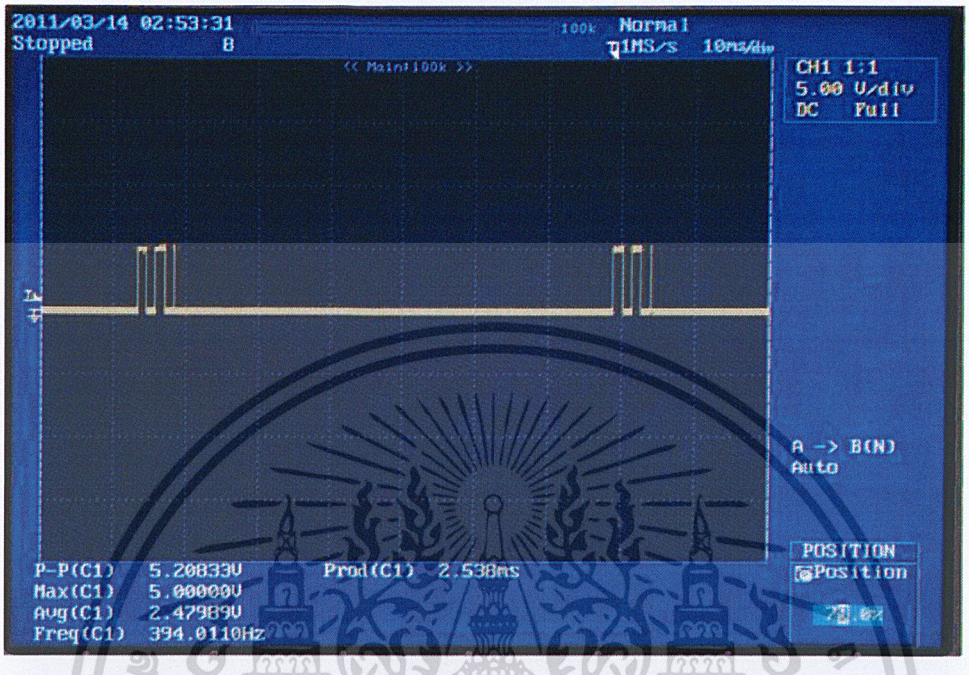


รูปที่ 5.22 แสดงสัญญาณพัลส์ 5 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที

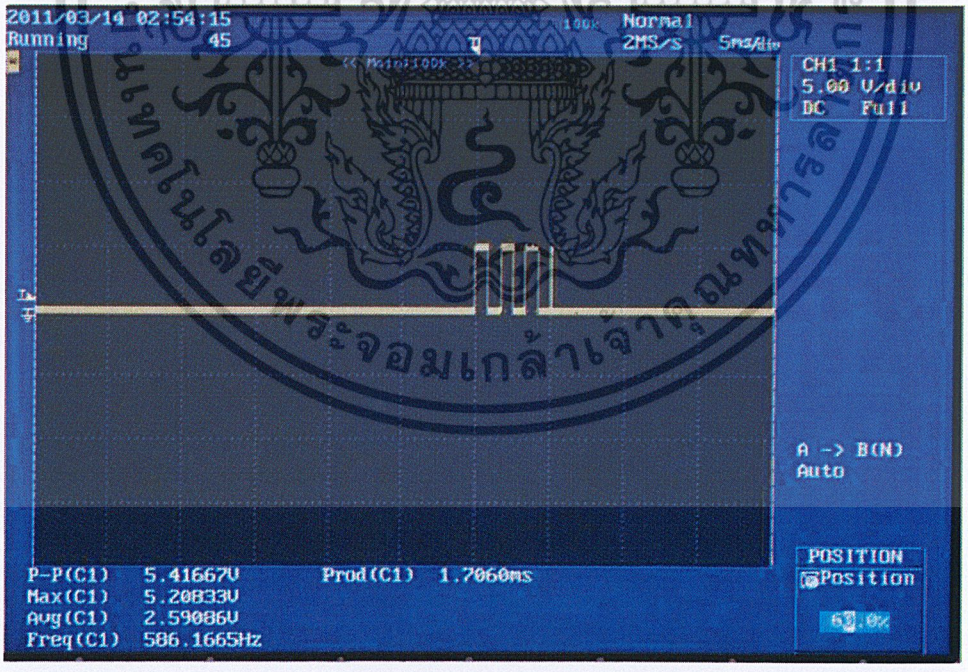
ความเร็วรอบ 6000 rpm



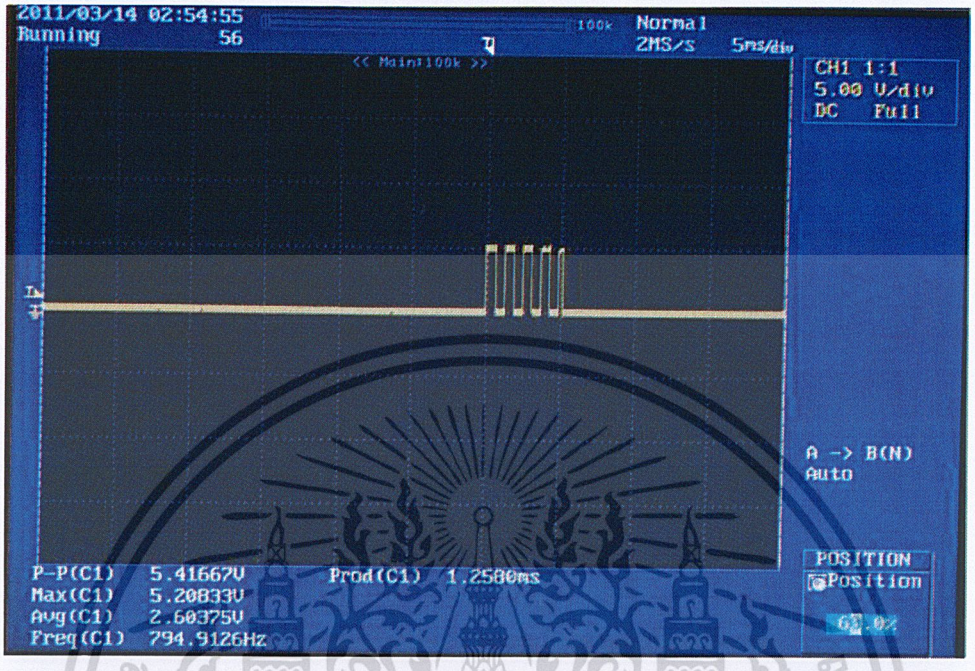
รูปที่ 5.23 แสดงสัญญาณพัลส์ 1 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 6000 รอบต่อนาที



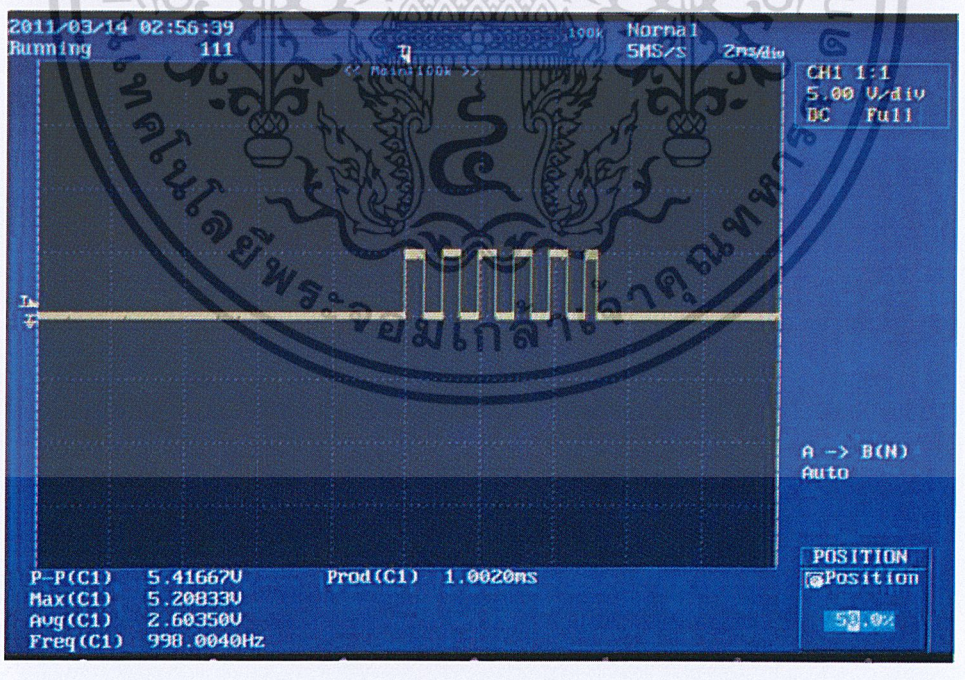
รูปที่ 5.24 แสดงสัญญาณพัลส์ 2 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 6000 รอบต่อนาที



รูปที่ 5.25 แสดงสัญญาณพัลส์ 3 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 6000 รอบต่อนาที



รูปที่ 5.26 แสดงสัญญาณพัลส์ 4 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 6000 รอบต่อนาที



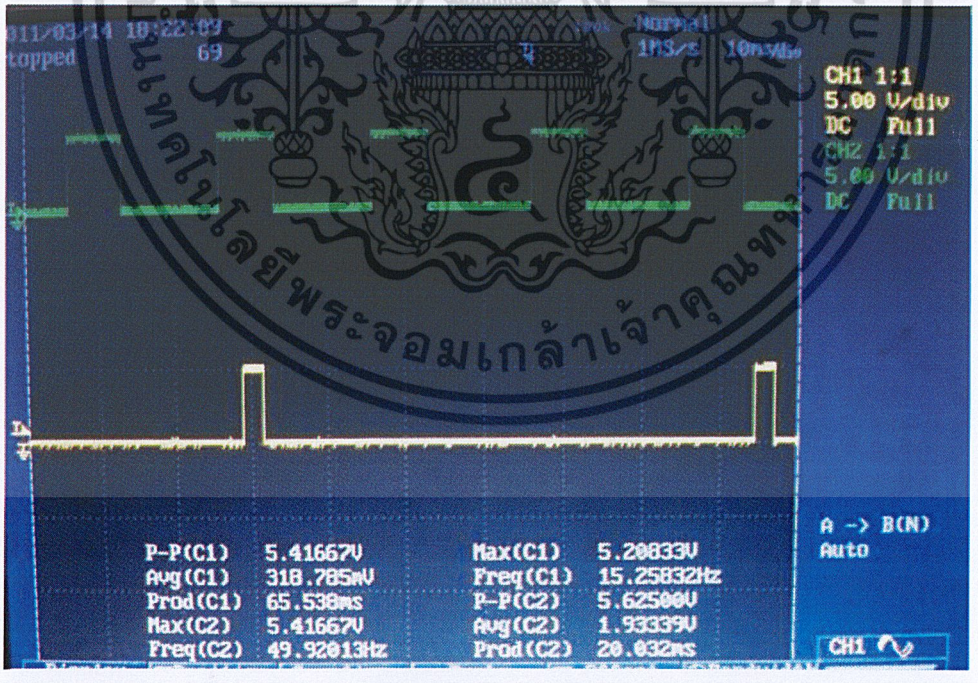
รูปที่ 5.27 แสดงสัญญาณพัลส์ 5 พัลส์ย่อย ที่ความเร็วรอบ 6000 รอบต่อนาที

5.3 ผลการทดลองสัญญาณพัลส์ 1-5 พัลส์ที่ความถี่ค่าต่างๆ

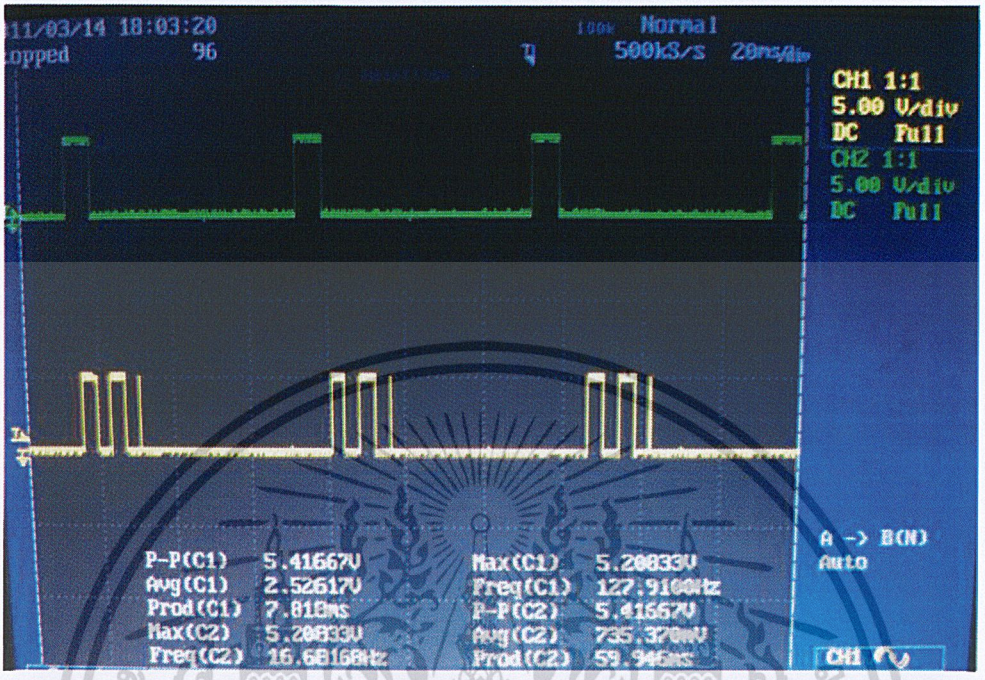
รูปที่ 5.28 แสดงสัญญาณพัลส์ 1 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 16.67 Hz

รูปที่ 5.29 แสดงสัญญาณพัลส์ 1 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 25 Hz

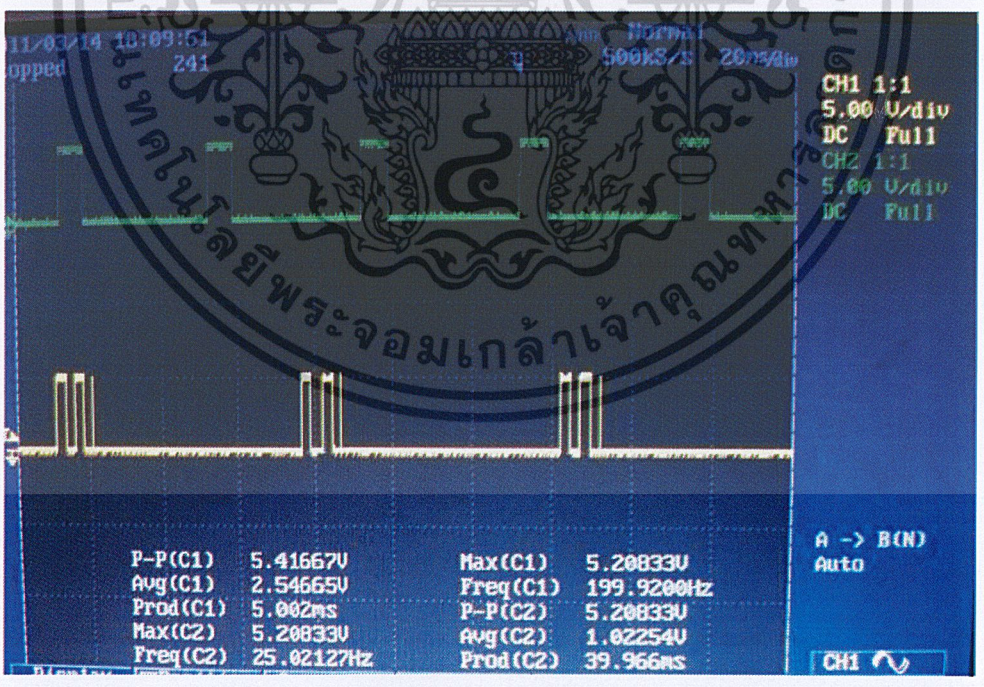
รูปที่5.30 แสดงสัญญาณพัลส์ 1 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 33.33 Hz



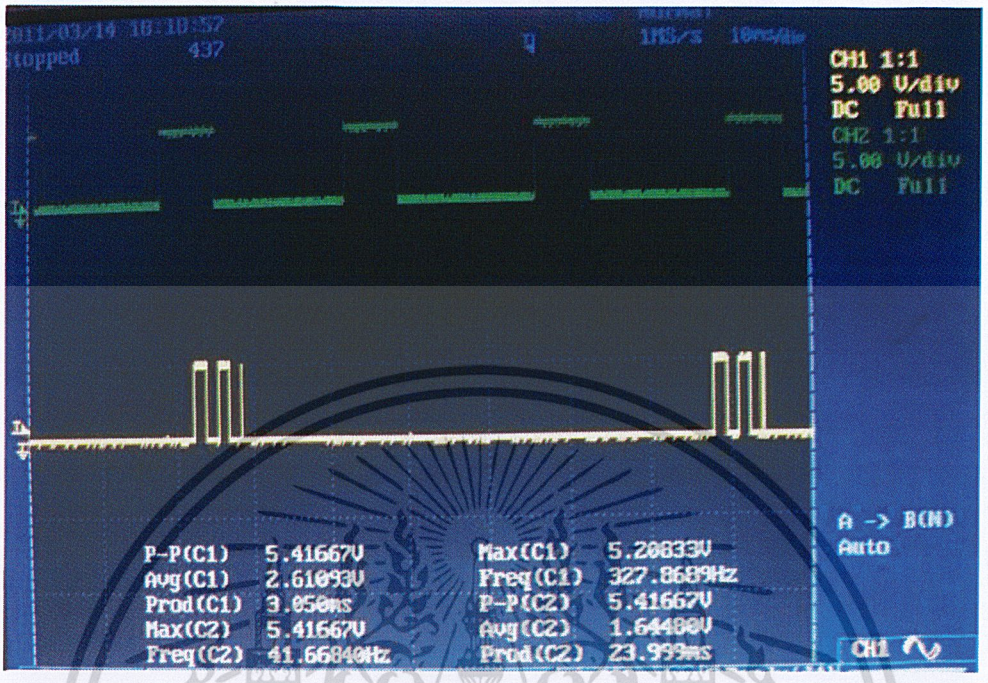
รูปที่ 5.31 แสดงสัญญาณพัลส์ 1 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 50 Hz



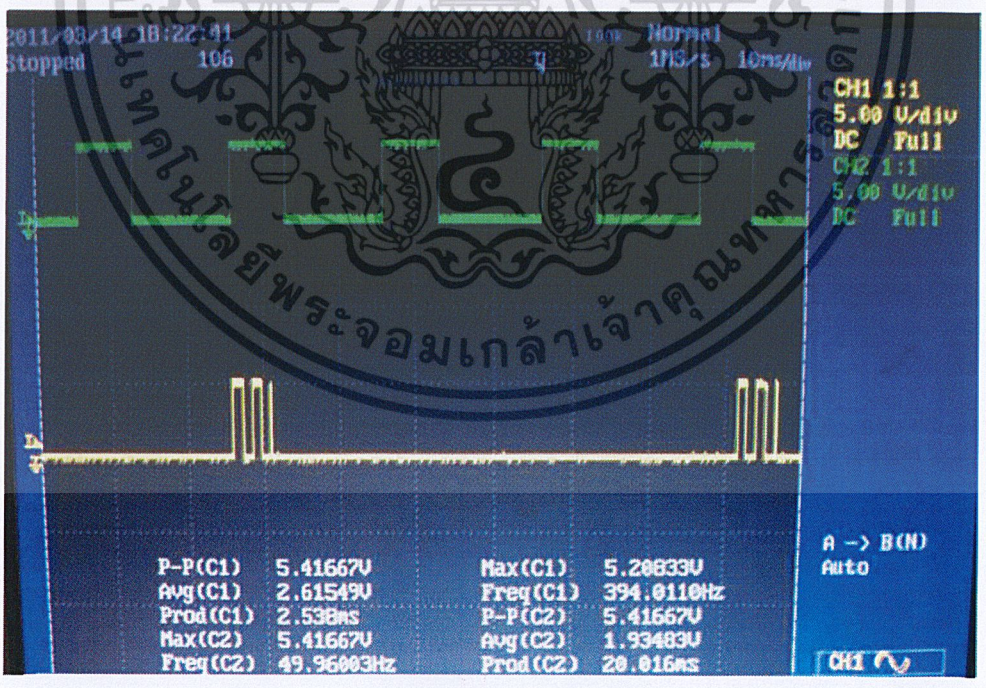
รูปที่ 5.32 แสดงสัญญาณพัลส์ 2 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 16.67 Hz



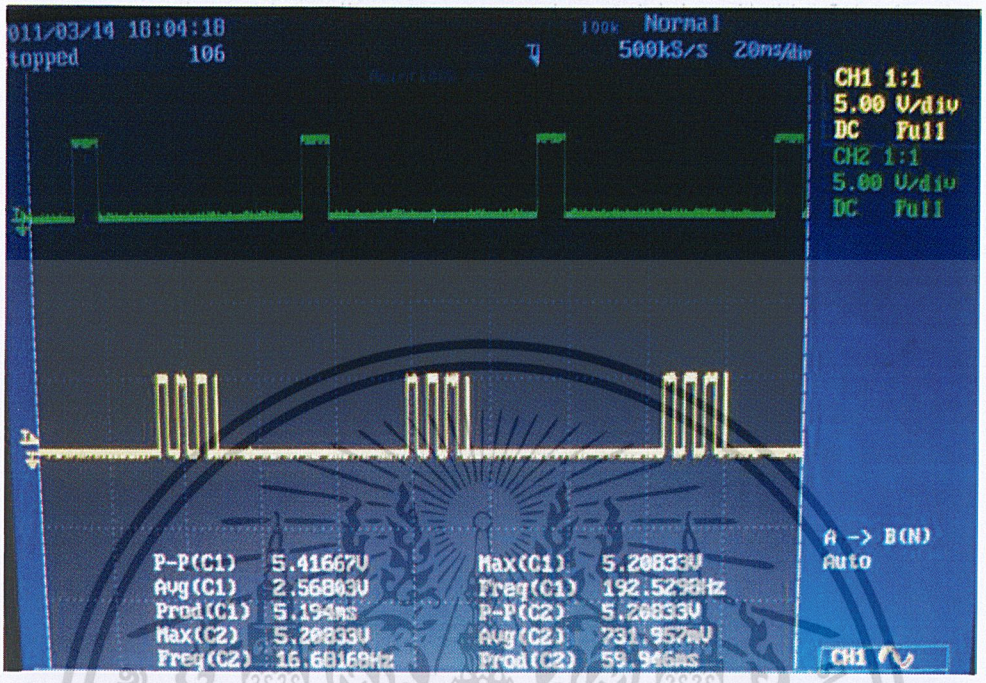
รูปที่ 5.33 แสดงสัญญาณพัลส์ 1 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 25 Hz



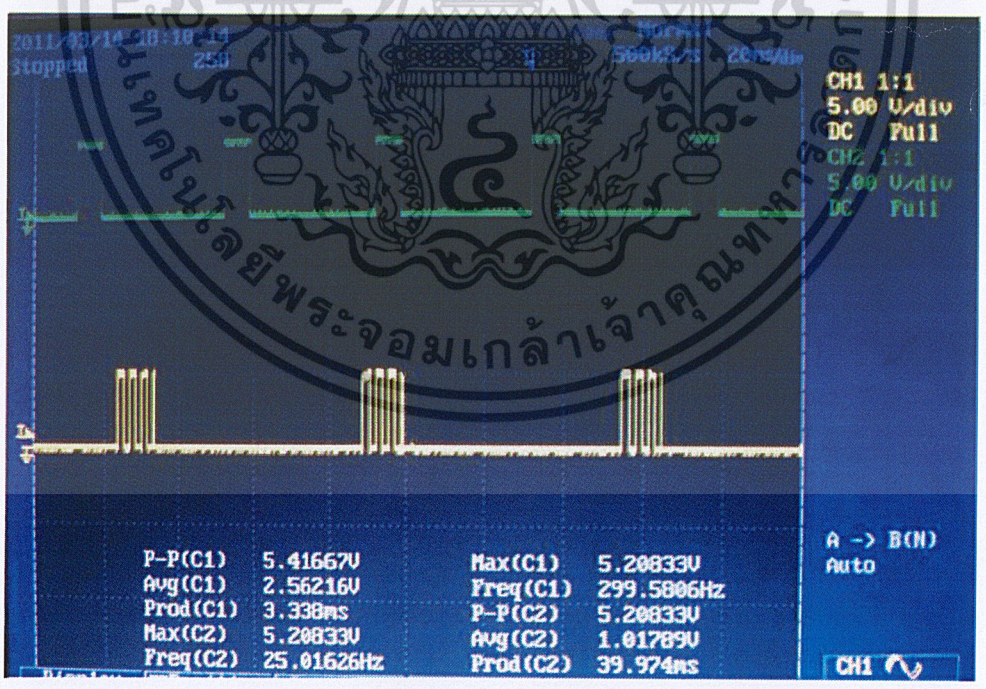
รูปที่ 5.34 แสดงสัญญาณพัลส์ 2 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 41.67 Hz



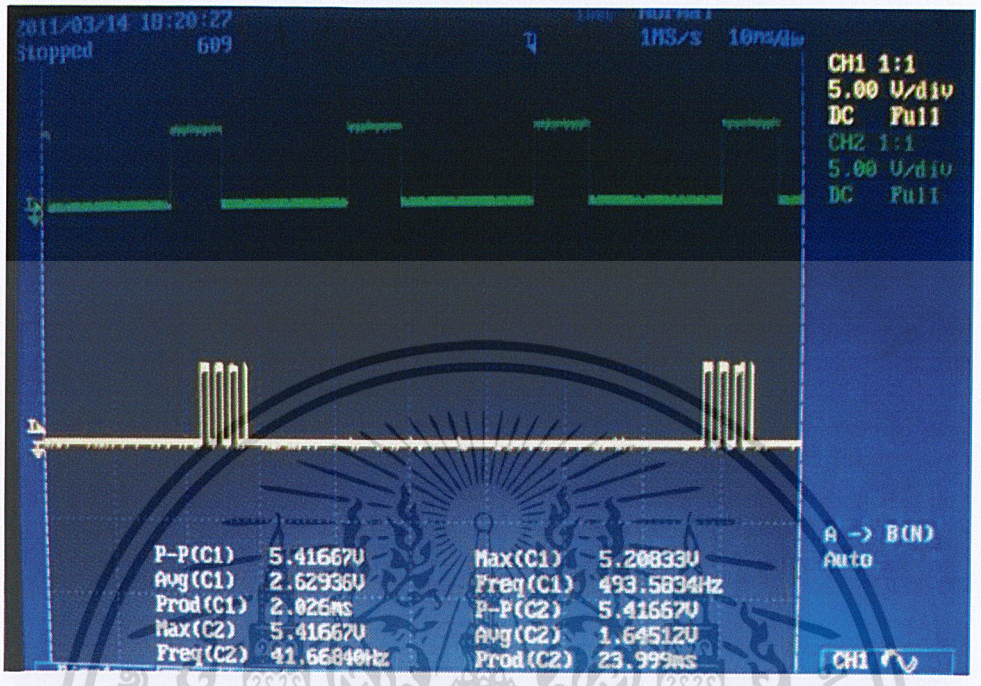
รูปที่ 5.35 แสดงสัญญาณพัลส์ 2 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 50 Hz



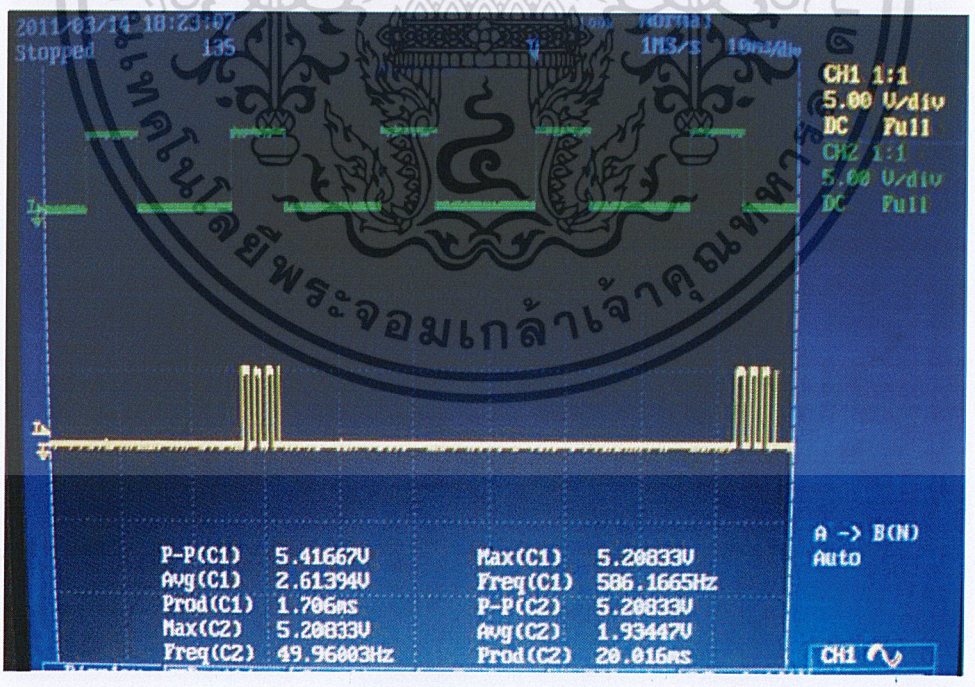
รูปที่ 5.36 แสดงสัญญาณพัลส์ 3 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 16.67 Hz



รูปที่ 5.37 แสดงสัญญาณพัลส์ 3 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 25 Hz

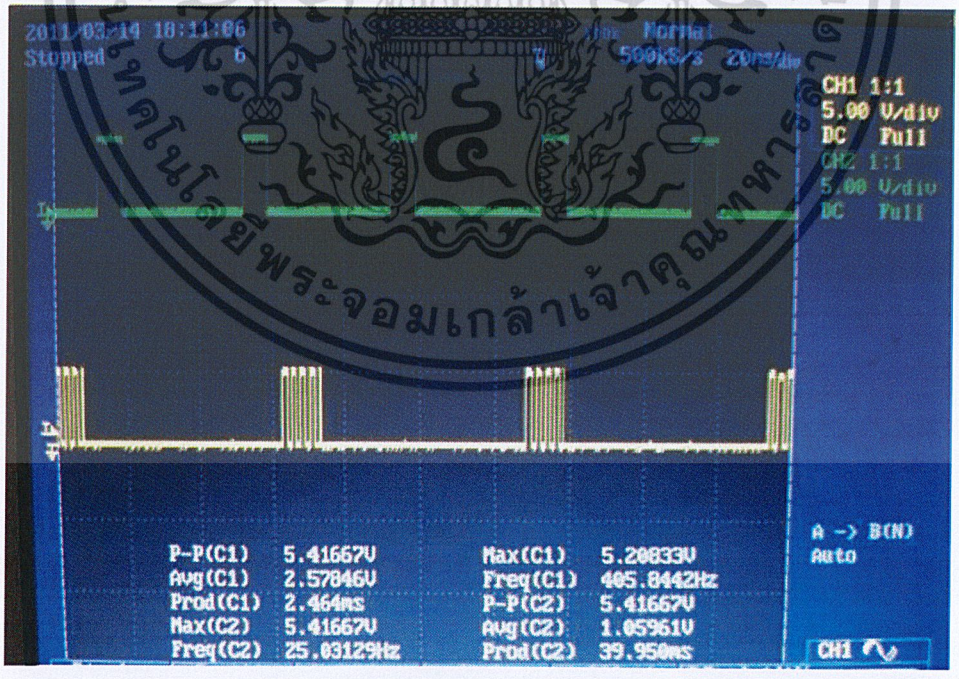


รูปที่ 5.38 แสดงสัญญาณพัลส์ 3 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 41.67 Hz

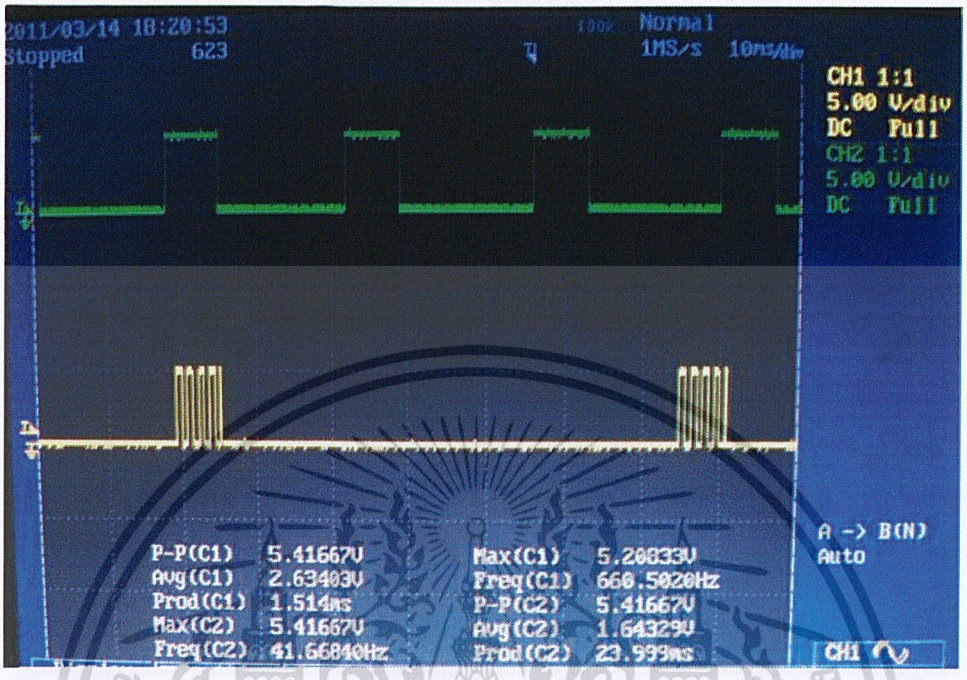


รูปที่ 5.39 แสดงสัญญาณพัลส์ 3 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 50 Hz

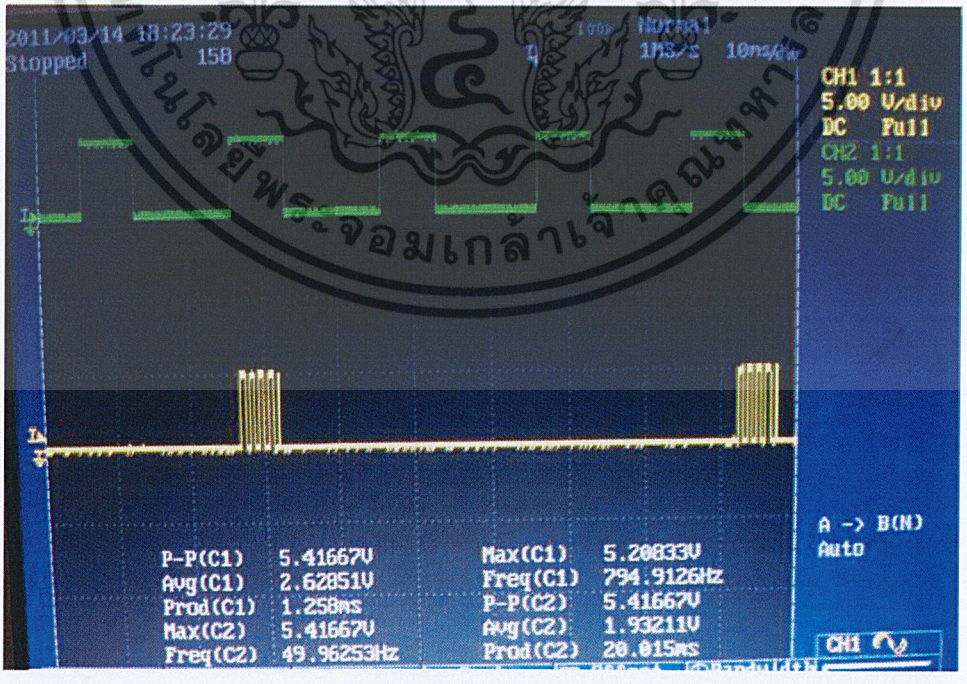
รูปที่ 5.40 แสดงสัญญาณพัลส์ 4 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 16.67 Hz



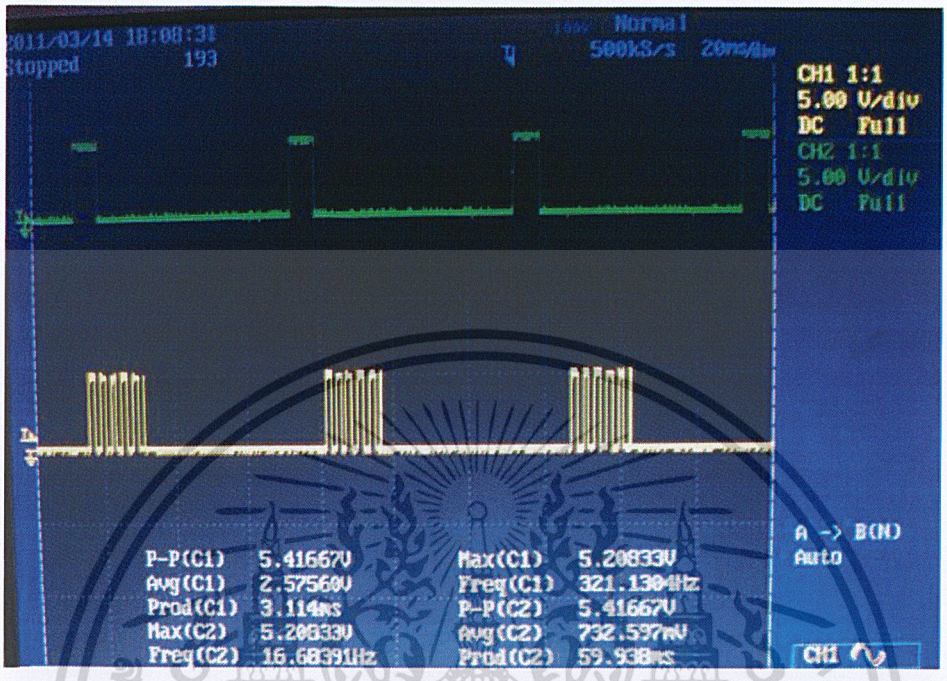
รูปที่ 5.41 แสดงสัญญาณพัลส์ 4 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 25 Hz



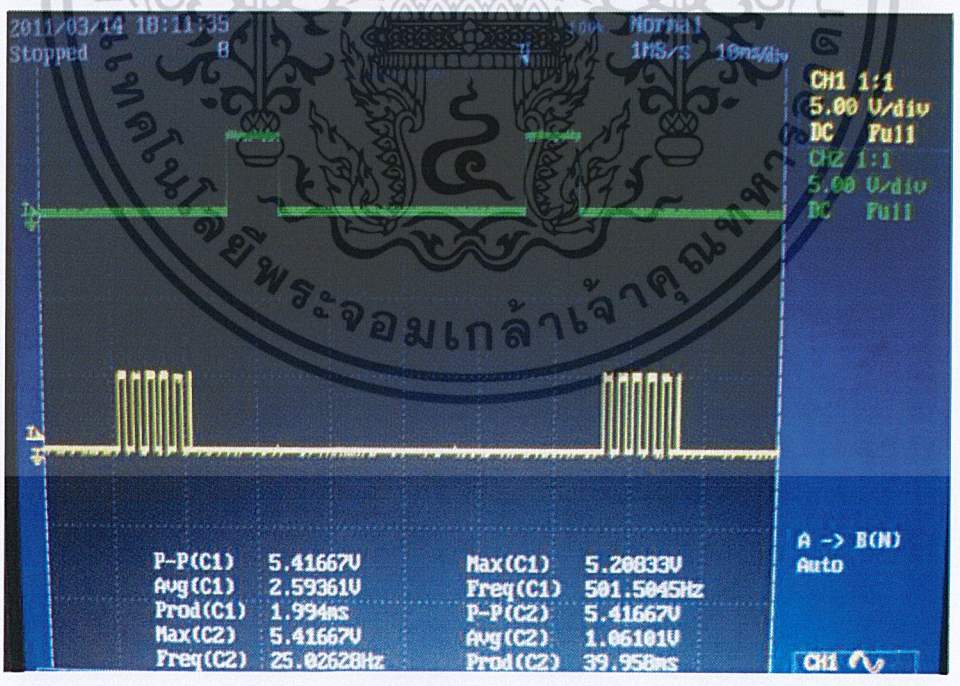
รูปที่ 5.42 แสดงสัญญาณพัลส์ 4 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 41.67 Hz



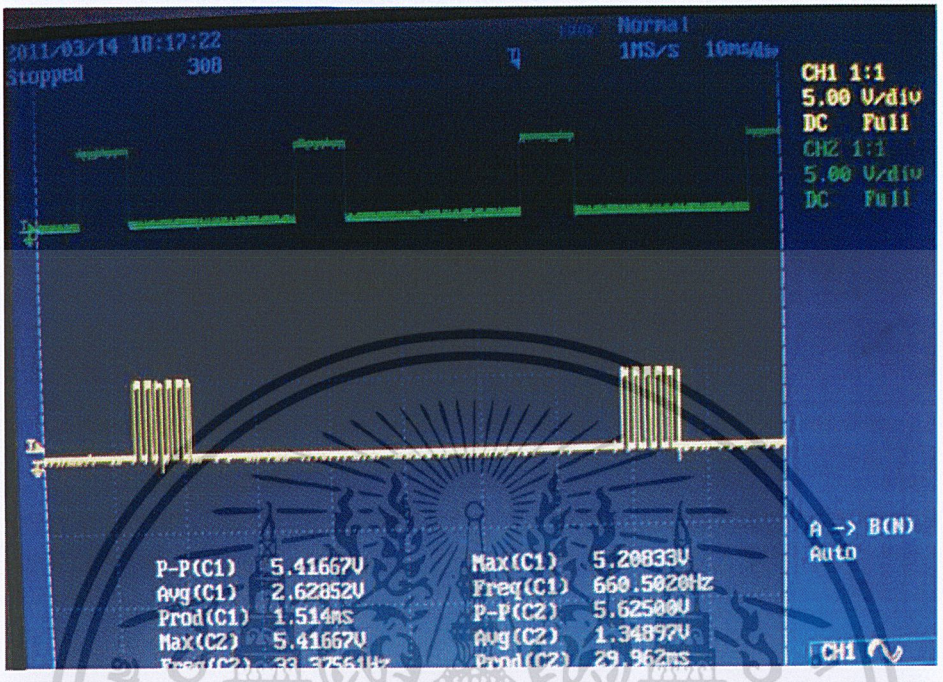
รูปที่ 5.43 แสดงสัญญาณพัลส์ 4 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 50 Hz



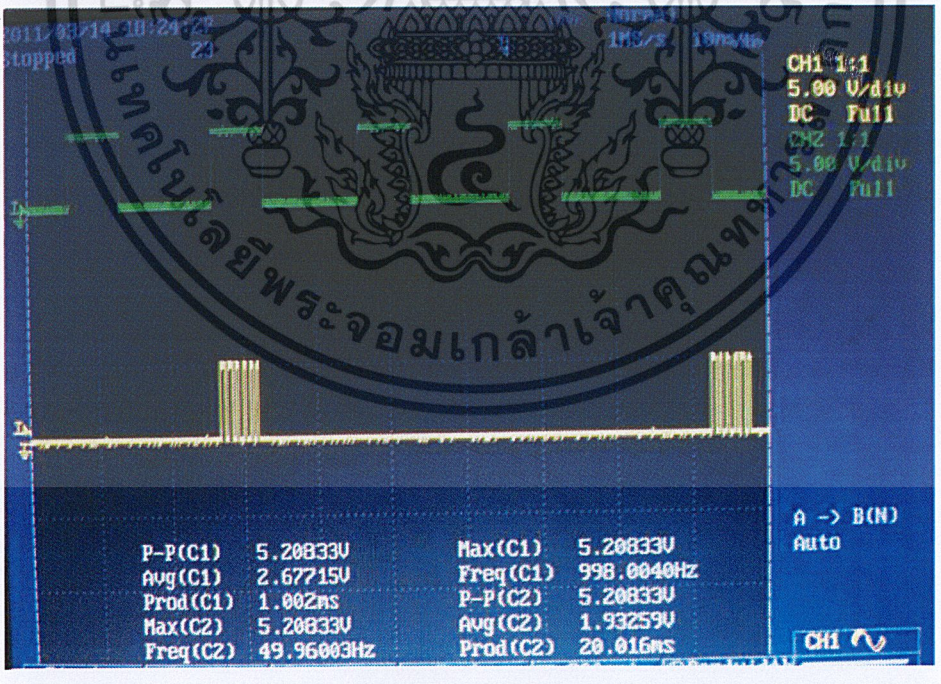
รูปที่ 5.44 แสดงสัญญาณพัลส์ 5 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 16.67 Hz



รูปที่ 5.45 แสดงสัญญาณพัลส์ 5 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 25 Hz

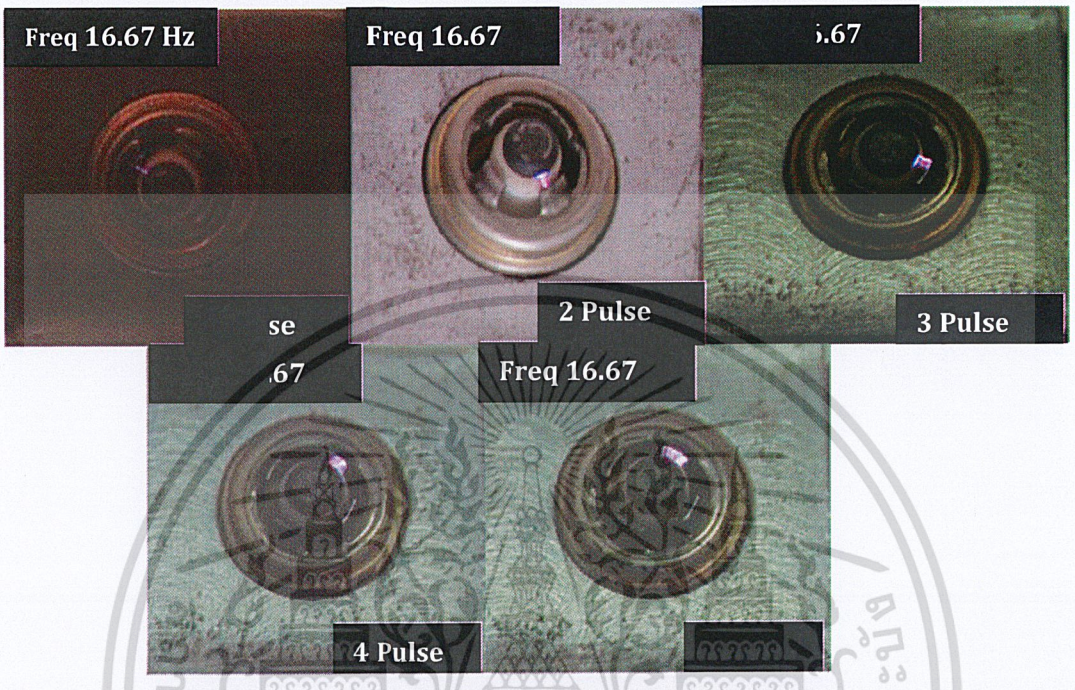


รูปที่ 5.46 แสดงสัญญาณพัลส์ 5 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 33.33 Hz

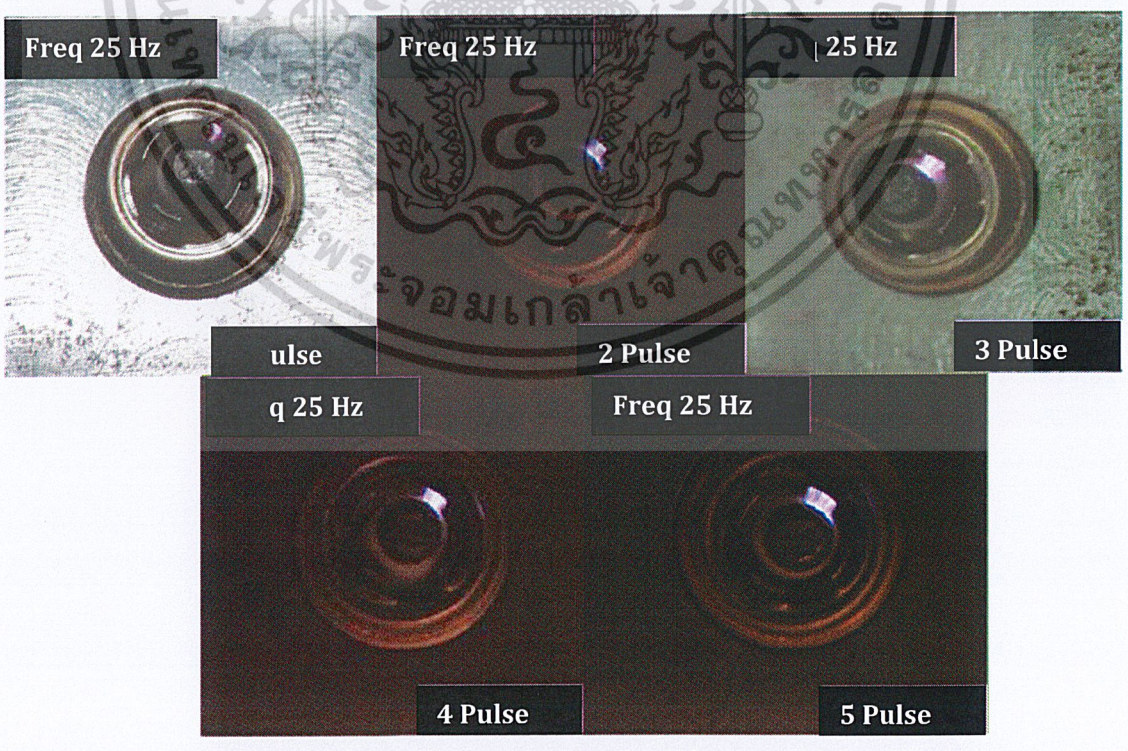


รูปที่ 5.47 แสดงสัญญาณพัลส์ 5 พัลส์ย่อย ที่ความถี่ 50 Hz

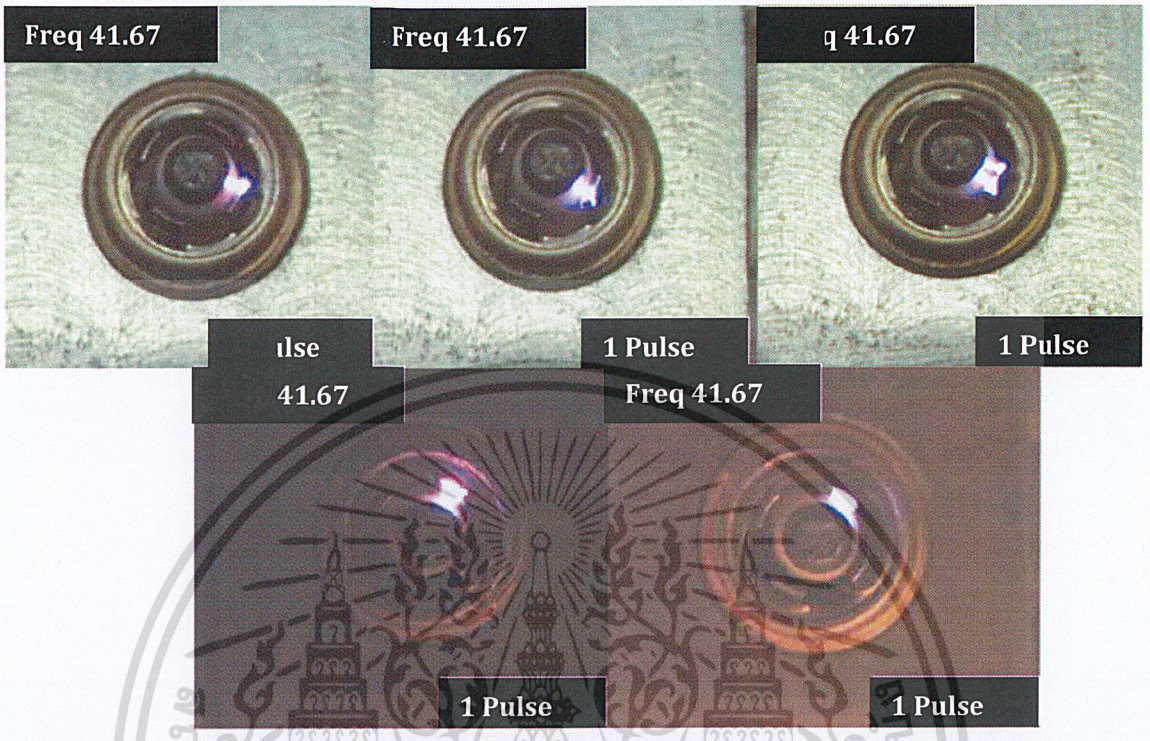
5.4 ผลการทดลองส่วนจุดระเบิด



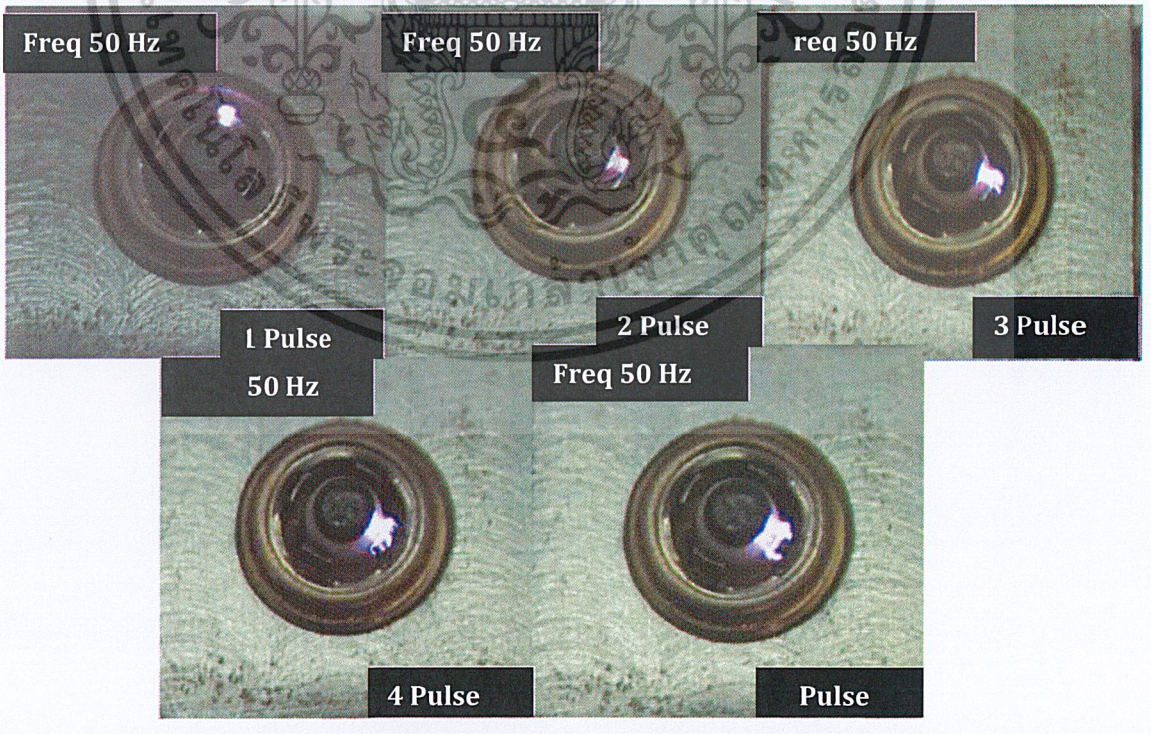
รูปที่ 5.48 ผลการจุดระเบิดหัวเทียนที่ความถี่ 16.67 Hz



รูปที่ 5.49 ผลการจุดระเบิดหัวเทียนที่ความถี่ 25 Hz



รูปที่ 5.50 ผลการจุดระเบิดหัวเทียนที่ความถี่ 41.67 Hz



รูปที่ 5.51 ผลการจุดระเบิดหัวเทียนที่ความถี่ 50 Hz

บทที่ 6
สรุปผลการทดลอง

6.1 ส่วนการสร้างสัญญาณจำลอง

จากผลการทดลองการจำลองสัญญาณความเร็วของเครื่องยนต์ (rpm) เป็นไปตามจุดประสงค์ และได้ค่าความถี่ทุกๆค่าความเร็ว เป็นไปตามที่คำนวณไว้ สามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-6000 rpm และสามารถส่งสัญญาณที่จำลองนี้ไปป้อนให้กับชุดจำลองสัญญาณอ่านค่าและประมวลผลต่อได้

6.2 ส่วนการจำลองสัญญาณการจุดระเบิด

จากการออกแบบและการทดลอง ภาคการรับอ่านค่าสัญญาณรอบเครื่องยนต์ สามารถที่จะทำการรับค่าจากส่วนของภาคจำลองสัญญาณรอบเครื่องยนต์มาได้ว่ามีค่า rpm ที่รับมาได้นั้นมีค่าเท่าใดและสามารถส่งค่าที่ได้รับมานั้นมาให้ภาคส่วนของการสร้างสัญญาณจุดระเบิดให้มีหน้าที่คำนวณค่าต่างๆที่ได้เพื่อทำการสร้างสัญญาณและสามารถที่จะรับค่าการกำหนดรูปลักษณะของพัลส์สัญญาณว่าจะให้มีจำนวนเท่าใดได้โดยผ่านทาง ADC เพื่อควบคุมการทำงานในการจุดระเบิด โดยสร้างสัญญาณจากโมดูล TIMER ของ PIC16F877a ซึ่งได้ระบบแรงดันของสัญญาณพัลส์ขนาด 5V ตามระดับแรงดันที่ PIC จะสามารถจ่ายได้ และได้ค่าของคาบเวลาที่จะใช้เป็นสัญญาณจุดระเบิดได้ตามที่ได้กำหนด คือตั้งแต่ 0-6000 รอบ/นาที ได้ลักษณะตามที่ต้องการ

ทั้งนี้ก็ได้พบปัญหาที่เกิดขึ้นอีกด้วย โดย ภาคการรับอ่านค่าสัญญาณรอบเครื่องยนต์ ที่จะทำการรับค่าจากส่วนของภาคจำลองสัญญาณรอบเครื่องยนต์มาได้ว่ามีค่า RPM ที่รับมาได้นั้นมีค่าเท่าใดนั้นเกิด Error ขึ้นจากผลของ Delay ของโปรแกรมที่สร้างขึ้น แต่ก็มีความผิดพลาดเล็กน้อยพอจะยอมรับได้ แต่ในส่วนของภาคของการสร้างสัญญาณจุดระเบิด นั้นตัวของโปรแกรมมีความซับซ้อนมากคือมีการใช้งาน TIMER ถึง 3 ตัวให้นับทำงานในเวลาเดียวกัน และ ยังมีการทำงานแยกฟังก์ชันย่อยๆ อีกหลายอย่าง พร้อมกัน ซึ่งรูปแบบการทำงานของภาษาที่ใช้เขียนคือ C นั้นแหละตัวกลางที่ใช้เขียน คือ CCS มีหลักการทำงานโดยประมวลคำสั่งทีละบรรทัดไล่ลงไปเรื่อยๆ จึงทำให้เกิด Error ขึ้นได้ง่ายโดยเฉพาะอย่างยิ่งรูปแบบการทำงานที่เกี่ยวข้องกับเวลา การทำงานของโปรแกรมที่สร้างขึ้นอยู่ภายใต้พื้นฐานการสร้างแบบ low speed ทำให้บางทีเกิดความผิดพลาดในการทำงานเพราะช่วงระยะความถี่ที่ใช้งานอยู่ที่ประมาณ 0-2k Hz ซึ่งต่ำมากซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้มานั้นก็มีรูปแบบที่ถูกต้องบางส่วนแต่ก็อาจจะถือได้ว่าผิดพลาด

6.3 ส่วนวงจรจุดระเบิด

มีการรับค่าสัญญาณในการจุดระเบิดเข้ามาโดยผ่านการลดสัญญาณรบกวนผ่านทาง optocoupler และสัญญาณที่เข้ามานั้นก็ทำการขับ Mosfet โดยสัญญาณควบคุมทางขา Gate ทำให้ Mosfet ทำหน้าที่เสมือนเป็นสวิตซ์ เปิดปิดเปลี่ยนแปลงแรงดันภายในคอยล์ไฟสูงเพื่อให้เกิดปริมาณแรงดันที่จะเกิดประกายไฟที่หัวเทียนแบบไร้เขี้ยว โดยมีแรงดันของพัลส์ที่จะทำให้ Mosfet เกิดการ on-off ที่ระดับแรงดัน 12 V เช่นเดียวกับในรถยนต์จริง ซึ่งในการจุดระเบิดนั้นจะแปรตามสัญญาณพัลส์ที่ได้รับเข้ามา ซึ่งจำนวนประกายไฟของสัญญาณพัลส์ที่มากกว่าจะทำให้เกิดจำนวนประกายไฟมากกว่า นอกจากนี้จำนวนประกายไฟยังขึ้นกับรอบของ RPM ด้วย โดยยิ่งรอบ RPM สูง ประกายไฟจะยิ่งแรงขึ้น

ทั้งนี้จากวงจรที่ได้ออกแบบก็ได้พบปัญหาขึ้นด้วย โดยเมื่อทำการทดลองพบว่า เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นและเกิดการออสซิเลท ทำให้ส่งผลรบกวนกับอินพุทที่ได้รับมารวมถึงส่วนของสัญญาณจำลองด้วย ซึ่งก็ได้แก้ไขในบางส่วนโดยการต่อคาปาซิเตอร์คร่อมระหว่างไฟเลี้ยงและกราวน์เพื่อเป็นการลดสัญญาณรบกวนในบางส่วนออกไปได้

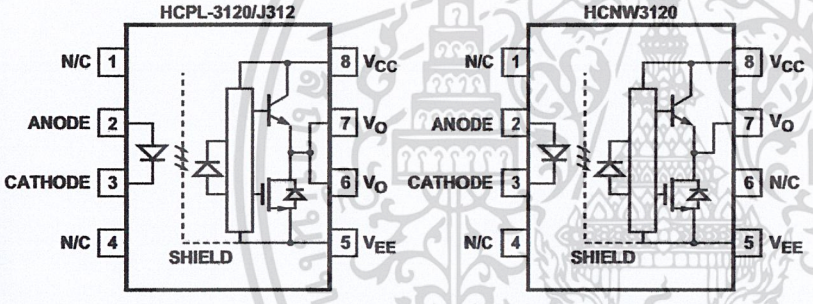
ภาคผนวก

Agilent 2.5 Amp Output Current IGBT Gate Drive Optocoupler

Data Sheet

HCPL-3120
HCPL-J312
HCNW3120

Functional Diagram



TRUTH TABLE

LED	V_{CC} - V_{EE} "POSITIVE GOING" (i.e., TURN-ON)	V_{CC} - V_{EE} "NEGATIVE GOING" (i.e., TURN-OFF)	V_O
OFF	0 - 30 V	0 - 30 V	LOW
ON	0 - 11 V	0 - 9.5 V	LOW
ON	11 - 13.5 V	9.5 - 12 V	TRANSITION
ON	13.5 - 30 V	12 - 30 V	HIGH

A 0.1 µF bypass capacitor must be connected between pins 5 and 8.

Features

- **2.5 A maximum peak output current**
- **2.0 A minimum peak output current**
- **15 kV/µs minimum Common Mode Rejection (CMR) at V_{CM} = 1500 V**
- **0.5 V maximum low level output voltage (V_{OL})**
  Eliminates need for negative gate drive
- **I_{CC} = 5 mA maximum supply current**
- **Under Voltage Lock-Out protection (UVLO) with hysteresis**
- **Wide operating V_{CC} range: 15 to 30 Volts**
- **500 ns maximum switching speeds**
- **Industrial temperature range:**
  -40 C to 100 C
- **Safety Approval**
  UL Recognized
  3750 Vrms for 1 min. for HCPL-3120/J312
  5000 Vrms for 1 min. for HCNW3120
  CSA Approval
  IEC/EN/DIN EN 60747-5-2 Approved
  V_{IORM} = 630 V_{peak} for HCPL-3120 (Option 060)
  V_{IORM} = 891 V_{peak} for HCPL-J312
  V_{IORM} = 1414 V_{peak} for HCNW3120

Applications

- **IGBT/MOSFET gate drive**
- **AC/Brushless DC motor drives**
- **Industrial inverters**
- **Switch mode power supplies**

CAUTION: It is advised that normal static precautions be taken in handling and assembly of this component to prevent damage and/or degradation which may be induced by ESD.

Agilent Technologies

All Agilent data sheets report the creepage and clearance inherent to the optocoupler component itself. These dimensions are needed as a starting point for the equipment designer when determining the circuit insulation requirements. However, once mounted on a printed circuit board, minimum creepage and clearance requirements must be met as specified for individual equipment standards. For creepage, the shortest distance path along the surface of a printed circuit board between the solder fillets of the input and output leads must be considered. There are recommended techniques such as grooves and ribs which may be used on a printed circuit board to achieve desired creepage and clearances. Creepage and clearance distances will also change depending on factors such as pollution degree and

IEC/EN/DIN EN 60747-5-2 Insulation Related Characteristics

Description	Symbol	HCPL-3120 Option 060	HCPL-J312	HCNW3120	Unit
Installation classification per DIN VDE 0110/1.89, Table 1					
for rated mains voltage 150 V rms		I-IV	I-IV	I-IV	
for rated mains voltage 300 V rms		I-IV	I-IV	I-IV	
for rated mains voltage 450 V rms		I-III	I-III	I-IV	
for rated mains voltage 600 V rms			I-III	I-IV	
for rated mains voltage 1000 V rms				I-III	
Climatic Classification		55/100/21	55/100/21	55/100/21	
Pollution Degree (DIN VDE 0110/1.89)		2	2	2	
Maximum Working Insulation Voltage	V_{IORM}	630	891	1414	V_{peak}
Input to Output Test Voltage, Method b* V_{IORM} x 1.875 = V_{PR}, 100% Production Test, t_m = 1 sec, Partial Discharge < 5pC	V_{PR}	1181	1670	2652	V_{peak}
Input to Output Test Voltage, Method a* V_{IORM} x 1.5 = V_{PR}, Type and Sample Test, t_m = 60 sec, Partial Discharge < 5pC	V_{PR}	945	1336	2121	V_{peak}
Highest Allowable Overvoltage* (Transient Overvoltage, t_{ini} = 10 sec)	V_{IOTM}	6000	6000	8000	V_{peak}
Safety Limiting Values – maximum values allowed in the event of a failure, also see Figure 37.					
Case Temperature	T_S	175	175	150	°C
Input Current	$I_{S\ INPUT}$	230	400	400	mA
Output Power	$P_{S\ OUTPUT}$	600	600	700	mW
Insulation Resistance at T_S, V_{IO} = 500 V	R_S	10^9	$>10^9$	$>10^9$	Ω

*Refer to the IEC/EN/DIN EN 60747-5-2 section (page 1-6/8) of the Isolation Control Component Designer's Catalog for a detailed description of Method a/b partial discharge test profiles.

Note: These optocouplers are suitable for "safe electrical isolation" only within the safety limit data. Maintenance of the safety data shall be ensured by means of protective circuits. Surface mount classification is Class A in accordance with CECC 00802.

Absolute Maximum Ratings

Parameter		Symbol	Min.	Max.	Units	Note
Storage Temperature		T_S	-55	125	C	
Operating Temperature		T_A	-40	100	°C	
Average Input Current		$I_{F(AVG)}$		25	mA	1
Peak Transient Input Current (<1 μs pulse width, 300 pps)		$I_{F(TRAN)}$		1.0	A	
Reverse Input Voltage	HCPL-3120	V_R		5	Volts	
	HCPL-J312 HCNW3120			3		
"High" Peak Output Current		$I_{OH(PEAK)}$		2.5	A	2
"Low" Peak Output Current		$I_{OL(PEAK)}$		2.5	A	2
Supply Voltage		$(V_{CC} - V_{EE})$	0	35	Volts	
Input Current (Rise/Fall Time)		$t_{r(IN)} / t_{f(IN)}$		500	ns	
Output Voltage		$V_{O(PEAK)}$	0	V_{CC}	Volts	
Output Power Dissipation		P_O		250	mW	3
Total Power Dissipation		P_T		295	mW	4
Lead Solder Temperature	HCPL-3120 HCPL-J312	260°C for 10 sec., 1.6 mm below seating plane				
	HCNW3120	260 C for 10 sec., up to seating plane				
Solder Reflow Temperature Profile		See Package Outline Drawings section				

Recommended Operating Conditions

Parameter		Symbol	Min.	Max.	Units
Power Supply Voltage		$(V_{CC} - V_{EE})$	15	30	Volts
Input Current (ON)	HCPL-3120 HCPL-J312	$I_{F(ON)}$	7	16	mA
	HCNW3120		10		
Input Voltage (OFF)		$V_{F(OFF)}$	-3.0	0.8	V
Operating Temperature T_A		-40	100	C	

Electrical Specifications (DC)

Over recommended operating conditions (T_A = -40 to 100°C, $I_{F(ON)}$ = 7 to 16 mA, $V_{F(OFF)}$ = -3.0 to 0.8 V, V_{CC} = 15 to 30 V, V_{EE} = Ground) unless otherwise specified.

Parameter	Symbol	Device	Min.	Typ.*	Max.	Units	Test Conditions	Fig.	Note
High Level Output Current	I_{OH}		0.5	1.5		A	V_O = (V_{CC} - 4 V)	2, 3, 17	5
			2.0			A	V_O = (V_{CC} - 15 V)		2
Low Level Output Current	I_{OL}		0.5	2.0		A	V_O = (V_{EE} + 2.5 V)	5, 6, 18	5
			2.0			A	V_O = (V_{EE} + 15 V)		2
High Level Output Voltage	V_{OH}		(V_{CC} - 4)	(V_{CC} - 3)		V	I_O = -100 mA	1, 3, 19	6, 7
Low Level Output Voltage	V_{OL}			0.1	0.5	V	I_O = 100 mA	4, 6, 20	
High Level Supply Current	I_{CCH}			2.5	5.0	mA	Output Open, I_F = 7 to 16 mA	7, 8	
Low Level Supply Current	I_{CCL}			2.5	5.0	mA	Output Open, V_F = -3.0 to +0.8 V		
Threshold Input Current Low to High	I_{FLH}	HCPL-3120		2.3	5.0	mA	I_O = 0 mA, V_O > 5 V	9, 15, 21	
		HCPL-J312		1.0					
		HCNW3120		2.3	8.0				
Threshold Input Voltage High to Low	V_{FHL}		0.8			V			
Input Forward Voltage	V_F	HCPL-3120	1.2	1.5	1.8	V	I_F = 10 mA	16	
		HCPL-J312 HCNW3120		1.6	1.95				
Temperature Coefficient of Forward Voltage	$V_F/\ T_A$	HCPL-3120		-1.6		mV/°C	I_F = 10 mA		
		HCPL-J312 HCNW3120		-1.3					
Input Reverse Breakdown Voltage	BV_R	HCPL-3120	5			V	I_R = 10 A		
		HCPL-J312 HCNW3120	3				I_R = 100 A		
Input Capacitance	C_{IN}	HCPL-3120		60		pF	f = 1 MHz, V_F = 0 V		
		HCPL-J312 HCNW3120		70					
UVLO Threshold	V_{UVLO+}		11.0	12.3	13.5	V	V_O > 5 V, I_F = 10 mA	22, 34	
	V_{UVLO-}		9.5	10.7	12.0				
UVLO Hysteresis	$UVLO_{HYS}$			1.6					

*All typical values at T_A = 25 C and V_{CC} - V_{EE} = 30 V, unless otherwise noted.

IRF540N

International
IOR Rectifier

Electrical Characteristics @ T_J = 25°C (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	100	—	—	V	V_{GS} = 0V, I_D = 250µA
$V_{(BR)DSS}/T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.12	—	V/°C	Reference to 25°C, I_D = 1mA
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	44	mΩ	V_{GS} = 10V, I_D = 16A ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250µA
g_{fs}	Forward Transconductance	21	—	—	S	V_{DS} = 50V, I_D = 16A④
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	µA	V_{DS} = 100V, V_{GS} = 0V
		—	—	250		V_{DS} = 80V, V_{GS} = 0V, T_J = 150°C
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	V_{GS} = 20V
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		V_{GS} = -20V
Q_g	Total Gate Charge	—	—	71	nC	I_D = 16A
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	14		V_{DS} = 80V
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	21		V_{GS} = 10V, See Fig. 6 and 13
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	11	—	ns	V_{DD} = 50V
t_r	Rise Time	—	35	—		I_D = 16A
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	39	—		R_G = 5.1Ω
t_f	Fall Time	—	35	—		V_{GS} = 10V, See Fig. 10 ④
L_D	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	1960	—	pF	V_{GS} = 0V
C_{oss}	Output Capacitance	—	250	—		V_{DS} = 25V
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	40	—		f = 1.0MHz, See Fig. 5
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy②	—	700	185	mJ	I_{AS} = 16A, L = 1.5mH

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	33	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode)①	—	—	110		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.2	V	T_J = 25°C, I_S = 16A, V_{GS} = 0V
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	115	170	ns	T_J = 25°C, I_F = 16A
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	505	760	nC	di/dt = 100A/µs
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S+L_D)				

Notes:

Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)

② Starting T_J = 25°C, L =1.5mH R_G = 25Ω, I_{AS} = 16A. (See Figure 12)

③ I_{SD} ≤ 16A, di/dt 340A/µs, V_{DD} $V_{(BR)DSS}$, T_J ≤ 175°C

Pulse width 400µs; duty cycle 2%.

This is a typical value at device destruction and represents operation outside rated limits.

This is a calculated value limited to T_J = 175°C .

กิตติกรรมประกาศ

โครงงาน ชุดควบคุมการจุดระเบิดในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ได้สำเร็จมาจนเป็นไปตามความวัตถุประสงค์ที่ได้วางแผนไว้นั้นเพราะได้รับคำปรึกษาแนะนำ และทั้งความรู้ที่ได้รับมาตลอดในระหว่างการดำเนินงานนั้นจาก อาจารย์จิรวัฒน์ ปานกลาง เป็นอย่างดียิ่งมาโดยตลอด และโครงงานจะสำเร็จไปมิได้เลยถ้าไม่ได้รับการอนุเคราะห์ทั้งเครื่องมือ อุปกรณ์ และ ความช่วยแนะนำจากเพื่อนๆ พี่ๆ ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นทำให้โครงงานนี้สำเร็จได้โดยดี จึงขอขอบคุณเป็นเป็นอย่างสูง

นาย กฤศ ศรีวิลาศ รหัส 50010042

นางสาว กฤษณา เจริญเจียงชัย รหัส 50010048

นาย อชิระ วิไลลักษณ์ รหัส 500118115

ผู้จัดทำ

หนังสืออ้างอิง

1. ประณต กุลประสูตร, “ทฤษฎีเครื่องยนต์เบนซิน”, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 488 หน้า, 2551

2. ประสานพงษ์ หาเรือนชีพ,”งานเครื่องยนต์แก๊สโซลีน”,สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น,498 หน้า, 2548

3. ณัฏฐพล วงศ์สุนทรชัย,”เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์PIC16F877”,สำนักพิมพ์อินโนเวตีฟเอ็กเพอริเมนต์,421 หน้า, 2521

4. อรพิน ประวัติบริสุทธิ์,”ภาษาซี”สำนักพิมโปรวิชั่น, 384 หน้า, 2552

5. ประสานพงษ์ หาเรือนชีพ,”ทฤษฎีและปฏิบัติเครื่องยนต์แก๊สโซลีน”,สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น,752 หน้า, 2539

6. PIC 16F877a Datasheet, Microchip Technology Inc., 218 หน้า, 2001