

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

การควบคุมจุดระเบิดหลายครั้ง โดยใช้หัวเทียนเดียว

เครื่องยนต์แก๊สโซลีน

**MULTISPARK ON SINGLE SPARK PLUG IGNITION CIRCUIT
IN GASOLINE ENGINE**



ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ 2551

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รช

TJ

487

๑๖12๓

๑๖๐1

คทขมู.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่.....
เลขทะเบียน **116109**

ให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง
พ.ค. 2554

12313937
b.....
มี.....

การควบคุมจุดระเบิดหลายครั้ง โดยใช้หัวเทียนเดียว เครื่องยนต์แก๊สโซลีน

รศ.จิรวัดน์ ปานกลาง

ปีงบประมาณ 2551

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยฉบับนี้เป็นการพัฒนาการจุดระเบิดหัวเทียนเครื่องยนต์แก๊สโซลีน โดยสามารถกำหนดครั้งของการจุดระเบิดหัวเทียนต่อ 1 รอบการทำงานของเครื่องยนต์ ซึ่งจากปกติจะจุดระเบิดหัวเทียนเพียง 1 ครั้ง แต่ในที่นี้สามารถกำหนดเป็น 2 ครั้ง 3 ครั้ง หรือ 4 ครั้งได้ ในโครงการวิจัยนี้จะแบ่งการทำงานเป็น 3 ส่วน คือ 1. ส่วนการจำลองสัญญาณ คือส่วนที่ทำการจำลองสัญญาณจากลูกสูบเครื่องยนต์ โดยสัญญาณจะเป็นพัลส์ที่ความกว้างถูกกำหนดจากรอบของเครื่องยนต์ 2. ส่วนการประมวลผล คือส่วนที่รับสัญญาณจากส่วนจำลองสัญญาณและกำหนดครั้งของการจุดระเบิด จากนั้นทำการประมวลผลและสร้างสัญญาณออกเป็นพัลส์ตามจำนวนครั้งที่ต้องการ และ 3. ส่วนการจุดระเบิด คือส่วนที่รับสัญญาณจากส่วนประมวลผลเพื่อไปจับคอยล์จุดระเบิดให้เกิดการจุดประกายที่หัวเทียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MULTISPARK ON SINGLE SPARK PLUG IGNITION CIRCUIT IN GASOLINE ENGINE

Assoc.Prof.Jirawath Parnklang

Abstract

This research project is about developing spark plug ignition circuit in gasoline engine by controlling the sparked times in 1 cycle of gasoline fuel engine from 1 times to 2 or 3 or 4 times. There are 3 parts of project. First, reproduction of engine signal. Second, processor that receive signal from the reproduction of engine and times of sparking signal then calculate and sent the new spark signal output. Third, sparked driver systems which receive signal from the processor's output then drive it to make spark plug work.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ	i
ABSTRACT	ii
สารบัญ	iii
สารบัญรูปและตาราง	vii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 แนวคิดพื้นฐาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 องค์ประกอบของโครงการ	1
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 หลักการพื้นฐานเครื่องยนต์แก๊สโซลีน	3
2.1 หลักการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ	3
2.1.1 ไคอะแกรมจังหวะการทำงานของลิ้น	4
2.2 ระบบจุดระเบิด	5
2.3 ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา	5
2.3.1 แบตเตอรี่	6
2.3.2 สวิตช์ไฟจุดระเบิด	6
2.3.3 จานจ่าย	7
2.3.3.1 ทองขาว	7
2.3.3.2 คอนเดนเซอร์	8
2.3.4 คอยล์จุดระเบิด	8
2.3.4.1 คอยล์จุดระเบิดแบบมีความต้านทานภายนอก	9
2.3.5 สายไฟแรงสูง	10
2.3.6 หัวเทียน	11
2.3.7 การทำงานของระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา	12
2.4 การจุดระเบิดล่วงหน้า	14
2.5 มุมควอเตอร์	16
2.6 ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์	17
2.6.1 ระบบจุดระเบิดแบบจานจ่ายไฟกับอุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้า	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบกลไกและแบบสัญญาณ	18
2.6.2 ระบบจุดระเบิดแบบจ่ายไฟกับอุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิด ล่วงหน้าแบบอิเล็กทรอนิกส์	20
2.6.3 ระบบจุดระเบิดแบบไร้จ่ายไฟกับคอยล์จุดระเบิดหลายตัว	21
2.6.4 ระบบจุดระเบิดแบบไร้จ่ายไฟกับการจุดระเบิดโดยตรง	25
2.6.4.1 ระบบจุดระเบิดโดยตรงแบบคอยล์หลายตัว	25
2.6.4.2 ระบบจุดระเบิดโดยตรงแบบจุดระเบิดด้วยตัวเก็บประจุ	27
บทที่ 3 หลักการพื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์	30
3.1 บทนำ	30
3.2 แนะนำไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051	30
3.3 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์	30
3.4 ไทม์เมอร์และเคาน์เตอร์ ใน MCS-51	31
3.4.1 ฐานเวลาของไทม์เมอร์	31
3.4.2 ลักษณะโหมดการทำงานของ Timer / Counter	32
3.4.3 สรุปขั้นตอนการใช้งานไทม์เมอร์	33
3.5 โครงสร้างการอินเทอร์รัปต์ MCS-51	33
3.5.1 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IE (Interrupt Enable-Register) เข้าถึงข้อมูลในระดับบิต	34
3.5.2 ปฏิบัติคำสั่ง long call ไปยังโปรแกรมบริการอินเทอร์รัปต์	35
3.6 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา	36
3.7 การเขียนโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี MCS-51	36
3.7.1 โครงสร้างของโปรแกรมแอสเซมบลี	37
3.7.2 Statement	37
3.7.3 การกระโดด	38
3.7.3.1 การกระโดดแบบสัมพัทธ์	39
3.7.3.2 การกระโดดแบบสัมบูรณ์	39
3.7.3.3 การกระโดดแบบไกล	39
3.7.4 โปรแกรมย่อย	40
3.8 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877	41
3.8.1 คุณสมบัติของ PIC16F877	41
3.8.2 การจัดการกับหน่วยความจำส่วนโปรแกรม	43
3.8.3 หน้าทีของพอร์ตที่ใช้งาน	44

3.8.3.1 PORT A	44
3.8.3.2 PORT C	45
3.8.4 การอินเตอร์รัปต์	45
3.8.5 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล	46
บทที่ 4 หลักการออกแบบวงจรจุกะเปิดหัวเทียน	47
4.1 หลักการเบื้องต้น	47
4.2 การจำลองสัญญาณจุกะเปิด	47
4.2.1 มุมจุกะเปิดล่วงหน้ากับขนาดความกว้างของพัลส์	49
4.2.2 ช่วงเวลาเริ่มต้นของพัลส์จุกะเปิด	49
4.3 การประมวลผล	53
4.4 การจุกะเปิด	57
บทที่ 5 ผลการทดลอง	59
5.1 การจำลองสัญญาณจุกะเปิด	59
5.1.1 ผลการจำลองแบบสัญญาณพัลส์จุกะเปิดsubplot ที่ 1 ที่ความถี่ค่าต่าง ๆ	59
5.1.2 ผลการจำลองแบบสัญญาณพัลส์จุกะเปิดsubplot ที่ 1, 3, 4 และ 2 ที่ความถี่ค่าต่าง ๆ	62
5.1.3 ผลการวัดสัญญาณพัลส์จุกะเปิดที่ความถี่ค่าต่าง ๆ	65
5.2 การประมวลผล	68
5.2.1 ผลการจำลองแบบสัญญาณพัลส์ย่อย 4, 3, 2, 1 พัลส์ที่ความถี่ค่าต่าง ๆ	68
5.2.2 ผลการวัดสัญญาณพัลส์ย่อย 1, 2, 3 และ 4 พัลส์ที่ความถี่ค่าต่าง ๆ	74
5.3 การจุกะเปิด	77
5.3.1 ผลการทดลองส่วนการจุกะเปิด	77
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง	79
6.1 ส่วนการจำลองสัญญาณจุกะเปิด	79
6.2 ส่วนการประมวลผล	79
6.3 ส่วนการจุกะเปิด	79
ภาคผนวก	80
กิตติกรรมประกาศ	91
หนังสืออ้างอิง	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปและตาราง

บทที่ 2 หลักการพื้นฐานเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

รูปที่ 2.1	แสดงการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ	3
รูปที่ 2.2	ไดอะแกรมแสดงจังหวะการทำงานของลิ้นสำหรับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ	4
รูปที่ 2.3	ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาที่ใช้คอยล์จุดระเบิดแบบมีความต้านทานภายนอก	6
รูปที่ 2.4	แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของทองขาว	7
รูปที่ 2.5	แสดงโครงสร้างของคอนเดนเซอร์	8
รูปที่ 2.6	แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของคอยล์จุดระเบิด	9
รูปที่ 2.7	เปรียบเทียบสายไฟแรงสูงที่ใช้กันในปัจจุบันกับในอดีต	11
รูปที่ 2.8	แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของหัวเทียน	12
รูปที่ 2.9	แสดงการทำงานของระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาขณะหน้าทองขาวปิด	13
รูปที่ 2.10	แสดงการทำงานของระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาขณะหน้าทองขาวเปิด	13
รูปที่ 2.11	แสดงผลจากการใช้อุปกรณ์ควบคุมเวลาในการจุดระเบิดล่วงหน้าทั้งสองแบบ	15
รูปที่ 2.12	แสดงมุมเวลาตั้งของหน้าทองขาว	16
รูปที่ 2.13	แสดงความสัมพันธ์ของการจัดตั้งความห่างระหว่างหน้าทองขาวกับมุมเวลาตั้ง	16
รูปที่ 2.14	ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์	18
รูปที่ 2.15	แสดงงานจ่ายไฟของระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ขดลวดกำเนิดสัญญาณและอุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบกลไกสำหรับเครื่องยนต์ 4 สูบ	19
รูปที่ 2.16	แสดงส่วนประกอบในระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งานจ่ายไฟที่ใช้ขดลวดกำเนิดสัญญาณกับมอดูลควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์	19
รูปที่ 2.17	ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้อุปกรณ์การจุดระเบิดล่วงหน้าแบบอิเล็กทรอนิกส์	20
รูปที่ 2.18	ระบบจุดระเบิดแบบไร้งานจ่ายไฟ	21
รูปที่ 2.19	เครื่องยนต์แบบสูบลูกสูบ 6 กับระบบจุดระเบิดแบบไร้งานจ่ายไฟ	22
รูปที่ 2.20	แผนผังของระบบจุดระเบิดแบบไร้งานจ่ายไฟสำหรับเครื่องยนต์แบบ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 แสดงช่วงเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดของพัลส์จุกะเบิดหลังจากผ่านส่วนประมวลผล	53
รูปที่ 4.8 แสดงหลักการเบื้องต้นของส่วนประมวลผล	54
รูปที่ 4.9 รูปวงจรประมวลผลสัญญาณ โดยมีอินพุทเป็นสัญญาณจำลองการจุกะเบิด	55
รูปที่ 4.10 Flowchart ของส่วนประมวลผล	56
รูปที่ 4.11 วงจรส่วนจุกะเบิด	57

บทที่ 5 ผลการทดลอง

รูปที่ 5.1 ผลการจำลองแบบสัญญาณพัลส์จุกะเบิดสูง 1 ที่ความถี่ 50Hz	59
รูปที่ 5.2 ผลการจำลองแบบสัญญาณพัลส์จุกะเบิดสูง 1 ที่ความถี่ 40.04Hz	60
รูปที่ 5.3 ผลการจำลองแบบสัญญาณพัลส์จุกะเบิดสูง 1 ที่ความถี่ 30.27Hz	60
รูปที่ 5.4 ผลการจำลองแบบสัญญาณพัลส์จุกะเบิดสูง 1 ที่ความถี่ 19.53Hz	61
รูปที่ 5.5 ผลการจำลองแบบสัญญาณพัลส์จุกะเบิดสูง 1 ที่ความถี่ 7.81Hz	61
รูปที่ 5.6 ผลการจำลองแบบสัญญาณพัลส์จุกะเบิดทั้ง 4 สูงที่ความถี่ 50Hz	62
รูปที่ 5.7 ผลการจำลองแบบสัญญาณพัลส์จุกะเบิดทั้ง 4 สูงที่ความถี่ 40.04Hz	63
รูปที่ 5.8 ผลการจำลองแบบสัญญาณพัลส์จุกะเบิดทั้ง 4 สูงที่ความถี่ 30.27Hz	63
รูปที่ 5.9 ผลการจำลองแบบสัญญาณพัลส์จุกะเบิดทั้ง 4 สูงที่ความถี่ 19.53Hz	64
รูปที่ 5.10 ผลการจำลองแบบสัญญาณพัลส์จุกะเบิดทั้ง 4 สูงที่ความถี่ 7.81Hz	64
รูปที่ 5.11 ผลการวัดสัญญาณพัลส์จุกะเบิดที่ความถี่ 50Hz	65
รูปที่ 5.12 ผลการวัดสัญญาณพัลส์จุกะเบิดที่ความถี่ 40.04Hz	66
รูปที่ 5.13 ผลการวัดสัญญาณพัลส์จุกะเบิดที่ความถี่ 30.27Hz	66
รูปที่ 5.14 ผลการวัดสัญญาณพัลส์จุกะเบิดที่ความถี่ 19.53Hz	67
รูปที่ 5.15 ผลการวัดสัญญาณพัลส์จุกะเบิดที่ความถี่ 7.81Hz	67
รูปที่ 5.16 ผลการจำลองแบบสัญญาณพัลส์ 4 พัลส์ย่อยที่ความถี่ 50Hz	68
รูปที่ 5.17 ผลการจำลองแบบสัญญาณพัลส์ 4 พัลส์ย่อยที่ความถี่ 40.04Hz	69
รูปที่ 5.18 ผลการจำลองแบบสัญญาณพัลส์ 4 พัลส์ย่อยที่ความถี่ 30.27Hz	69
รูปที่ 5.19 ผลการจำลองแบบสัญญาณพัลส์ 4 พัลส์ย่อยที่ความถี่ 19.53Hz	70
รูปที่ 5.20 ผลการจำลองแบบสัญญาณพัลส์ 4 พัลส์ย่อยที่ความถี่ 7.81Hz	70
รูปที่ 5.21 ผลการจำลองแบบสัญญาณพัลส์ 3 พัลส์ย่อยที่ความถี่ 50Hz	71
รูปที่ 5.22 ผลการจำลองแบบสัญญาณพัลส์ 3 พัลส์ย่อยที่ความถี่ 7.81Hz	71
รูปที่ 5.23 ผลการจำลองแบบสัญญาณพัลส์ 2 พัลส์ย่อยที่ความถี่ 50Hz	72
รูปที่ 5.24 ผลการจำลองแบบสัญญาณพัลส์ 2 พัลส์ย่อยที่ความถี่ 7.81Hz	72
รูปที่ 5.25 ผลการจำลองแบบสัญญาณพัลส์ 1 พัลส์ย่อยที่ความถี่ 50Hz	73
รูปที่ 5.26 ผลการจำลองแบบสัญญาณพัลส์ 1 พัลส์ย่อยที่ความถี่ 7.81Hz	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.27 ผลการวัดสัญญาณพัลส์ย่อยที่ความถี่ 50Hz	74
รูปที่ 5.28 ผลการวัดสัญญาณพัลส์ย่อยที่ความถี่ 40.04Hz	75
รูปที่ 5.29 ผลการวัดสัญญาณพัลส์ย่อยที่ความถี่ 30.27Hz	75
รูปที่ 5.30 ผลการวัดสัญญาณพัลส์ย่อยที่ความถี่ 19.53Hz	76
รูปที่ 5.31 ผลการวัดสัญญาณพัลส์ย่อยที่ความถี่ 7.81Hz	76
รูปที่ 5.32 ผลการจู่ระเบิดหัวเทียนที่ความถี่ 7.81Hz	77
รูปที่ 5.33 ผลการจู่ระเบิดหัวเทียนที่ความถี่ 19.53Hz	77
รูปที่ 5.34 ผลการจู่ระเบิดหัวเทียนที่ความถี่ 30.27Hz	78
รูปที่ 5.35 ผลการจู่ระเบิดหัวเทียนที่ความถี่ 50Hz	78



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวคิดพื้นฐาน

ภาวะโลกร้อนและเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นปัญหาที่ทุกคนหันมาตระหนักกันมากขึ้นในปัจจุบัน โดยเฉพาะผู้ใช้รถยนต์ยานพาหนะเป็นส่วนหนึ่งที่กำลังสร้างปัญหามลพิษรวมทั้งได้รับผลกระทบจากราคาเชื้อเพลิงที่สูงขึ้น ดังนั้นหากเราสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนซึ่งนิยมใช้กันในรถยนต์ปัจจุบัน ก็จะเป็นการช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ในระดับหนึ่ง

การที่ระบบเครื่องยนต์จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นประกอบไปด้วยปัจจัยหลายอย่าง หนึ่งในปัจจัยที่สำคัญก็คือระบบการจุดระเบิดและการสันดาป ซึ่งหากเราสามารถปรับปรุงระบบการจุดระเบิด โดยเพิ่มจำนวนครั้งของการจุดระเบิดของหัวเทียนต่อหนึ่งรอบการทำงานของเครื่องยนต์แล้ว จะเป็นการช่วยให้เครื่องยนต์มีการสันดาปที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ซึ่งจะเป็นการช่วยลดมลพิษรวมทั้งเป็นการใช้เชื้อเพลิงได้อย่างเต็มประสิทธิภาพอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

ปรับปรุงการจุดระเบิดของหัวเทียนเครื่องยนต์แก๊สโซลีน เพื่อให้เครื่องยนต์สันดาปได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ทำให้การใช้เชื้อเพลิงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 องค์ประกอบของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ประกอบไปด้วย 3 ส่วนที่สำคัญคือ

1. ส่วนการจำลองสัญญาณ คือส่วนที่ทำการจำลองสัญญาณการจุดระเบิดจากลูกสูบเครื่องยนต์ โดยสัญญาณจะเป็นพัลส์ที่ความกว้างถูกกำหนดจากรอบของเครื่องยนต์
2. ส่วนการประมวลผล คือส่วนที่รับสัญญาณจากส่วนจำลองสัญญาณและกำหนดครั้งของการจุดระเบิด จากนั้นทำการประมวลผลและสร้างสัญญาณออกเป็นพัลส์ตามจำนวนครั้งที่ต้องการ
3. ส่วนการจุดระเบิด คือส่วนที่รับสัญญาณจากส่วนประมวลผลเพื่อไปขับคอยล์จุดระเบิดให้เกิดการจุดประกายที่หัวเทียน

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบการจุดระเบิดหัวเทียนเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ทำให้เครื่องยนต์แก๊สโซลีนมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้นได้จริง เป็นการช่วยลดมลพิษและใช้เชื้อเพลิงได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ



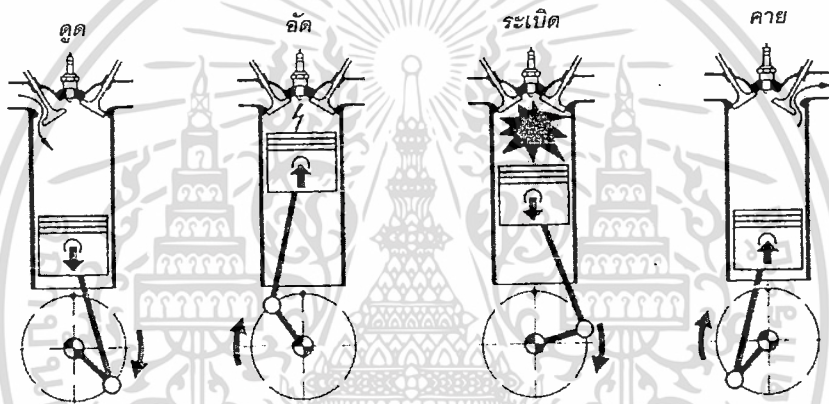
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการพื้นฐานเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

2.1 หลักการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ

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



รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ

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

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

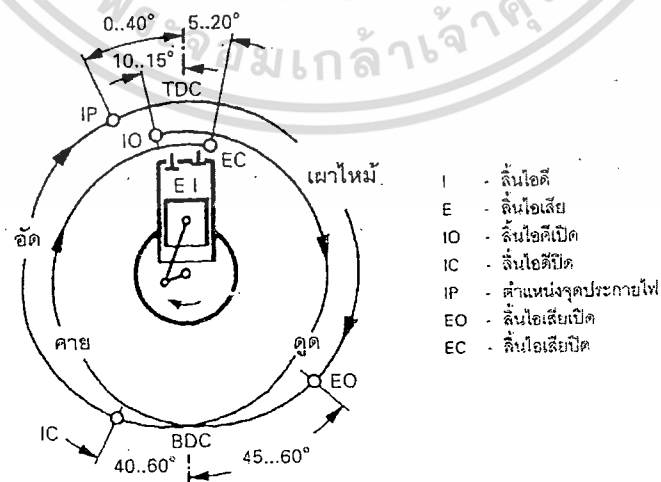
จังหวะที่ 3 จังหวะระเบิด (expansion stroke) จังหวะนี้บางที่เรียกว่าจังหวะกำลัง (power stroke) จังหวะนี้จะเกิดขึ้นในตอนปลายจังหวะอัดโดยส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงจะถูกจุดด้วยประกายไฟจากหัวเทียน จึงทำให้เกิดการเผาไหม้และการระเบิดอย่างรุนแรงผลักดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลง เราจะได้อะไรจากจังหวะนี้

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

ตามที่กล่าวมาแล้วจะเห็นได้อย่างชัดเจนแล้วว่า เครื่องยนต์จะทำงานด้วยจังหวะดูด-อัด-ระเบิด-คาย หมุนเวียนกันอยู่เช่นนี้ตลอดไป

2.1.1 ไคอะแกรมจังหวะการทำงานของลิ้น

ไคอะแกรมจังหวะการทำงานของลิ้น ไม่ว่าจะเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนหรือเครื่องยนต์ดีเซลก็ตาม จะเป็นเครื่องแสดงถึงตำแหน่งหรือองศาในการเปิด-ปิดของลิ้น ที่สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของลูกสูบของเครื่องยนต์ ซึ่งจะแตกต่างกันออกไปตามการออกแบบเครื่องยนต์ที่ไม่เหมือนกัน แต่อย่างไรก็ตามวัตถุประสงค์หลักที่สำคัญก็คือ ต้องการให้การบรรจุไอดีเข้าสู่กระบอกสูบ การจัดเวลาในการจุดเชื้อระเบิด หรือการฉีดเชื้อเพลิง และการขับไล่ไอเสียให้ออกไปจากกระบอกสูบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้เครื่องยนต์มีสมรรถนะในการทำงานสูงสุดตามต้องการ ไคอะแกรมจังหวะการทำงานของลิ้นสำหรับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ ได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ไคอะแกรมแสดงจังหวะการทำงานของลิ้นสำหรับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

2.2 ระบบจุดระเบิด

ระบบจุดระเบิดเครื่องยนต์ เป็นระบบที่ทำให้เกิดประกายไฟที่หัวเทียนเพื่อจุดเชื้อระเบิดภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ทำให้เกิดกำลังงาน ดังนั้น เพื่อที่จะบรรลุหน้าที่ดังกล่าวนี้ได้อย่างสมบูรณ์ ระบบจุดระเบิดจะต้องทำหน้าที่ดังต่อไปนี้ คือ

1. เพิ่มแรงดัน ไฟจาก 6 หรือ 12 โวลต์ ให้เป็นไฟแรงสูงประมาณ 15,000 ถึง 40,000 โวลต์ หรือสูงกว่า
 2. จัดเวลาในการจุดระเบิดด้วยการจัดส่งไฟแรงสูง ไปให้กับหัวเทียนในเวลาอันถูกต้อง
- ระบบจุดระเบิดที่นิยมใช้กับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน โดยทั่วไปจำแนกออกได้เป็น 2 แบบ คือ
1. ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา
 2. ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์

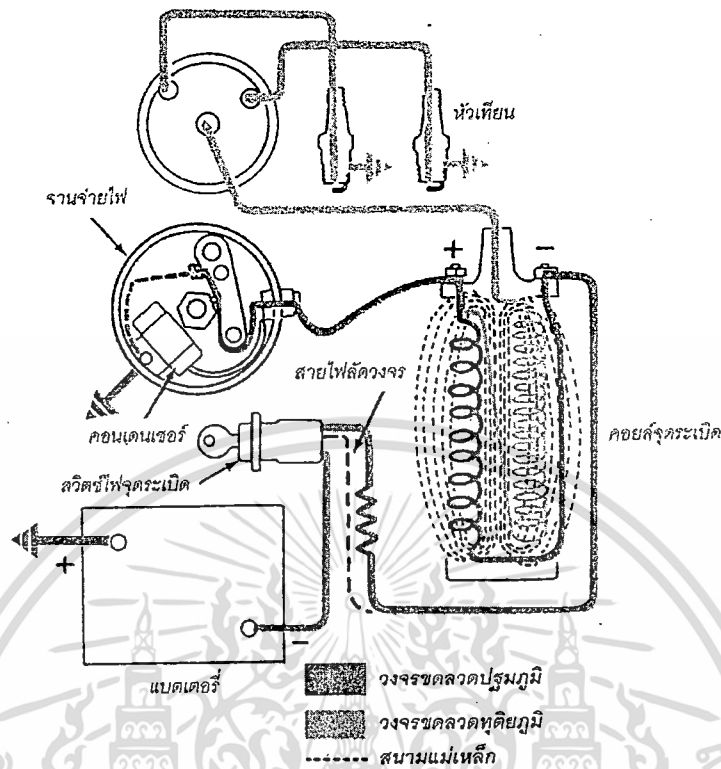
2.3 ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา

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

ส่วนประกอบชิ้นพื้นฐานของระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา ประกอบด้วย

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาที่ใช้คอยล์จุดระเบิดแบบมีความต้านทานภายนอก

2.3.1 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาเก็บไว้ในรูปของพลังงานเคมี เมื่อเราต่อสายออกใช้งานเมื่อใด พลังงานเคมีก็จะแปรรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้อีก แบตเตอรี่เป็นหัวใจของระบบไฟฟ้า เนื่องจากจะต้องจ่ายกระแสไฟให้กับระบบจุดระเบิดและมอเตอร์สตาร์ท (สำหรับระบบสตาร์ทติดเครื่องด้วยกระแสไฟฟ้า) เมื่อต้องการสตาร์ทติดเครื่อง ดังนั้น แบตเตอรี่จึงเป็นตัวขั้วในวงจรไฟฟ้า เพื่อให้มีแรงเคลื่อนไว้ใช้ในวงจรอยู่เสมอ

2.3.2 สวิตช์ไฟจุดระเบิด

สวิตช์ไฟจุดระเบิด หรือที่นิยมเรียกกันโดยทั่วไปว่าสวิตช์สตาร์ท จะทำหน้าที่ตัดต่อระหว่างแบตเตอรี่กับวงจรถลวดปฐมภูมิของระบบจุดระเบิด ดังนั้น ถ้าปิดสวิตช์จุดระเบิด ก็จะไม่มีการไหลในวงจรปฐมภูมิเลย สวิตช์จุดระเบิดจึงต้องเปิดอยู่ตลอดเวลาในขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน

สวิตช์ไฟจุดระเบิดหรือสวิตช์สตาร์ทในปัจจุบัน นอกจากจะทำหน้าที่ในการตัดต่อระหว่างแบตเตอรี่กับวงจรถลวดปฐมภูมิของระบบจุดระเบิดและสตาร์ทติดเครื่องแล้ว สวิตช์ตัวนี้ยังทำหน้าที่ในการล็อกหรือปลดล็อกพวงมาลัยของรถ เชื่อมต่อวงจรสัญญาณเตือนที่เป็นเสียงหรือเอกสารเป็นเอกสารที่สวิตช์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณไฟ ขณะที่จะสตาร์ทติดเครื่องเมื่อยังไม่ปิดประตูลูกหรือเมื่อไม่คาดเข็มขัดนิรภัย ในรถยนต์หลายยี่ห้อปุ่มรีเซ็ตเพลิงแบบไฟฟ้าจะต่อเข้ากับแบตเตอรี่โดยผ่านทางสวิทช์สตาร์ท อุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่าง ๆ อาทิ วิทยุเทป วีซีดี ฯลฯ ล้วนรับกำลังงานจากแบตเตอรี่ผ่านทางสวิทช์ไฟจุดระเบิดหรือสวิทช์สตาร์ทแทบทั้งสิ้น

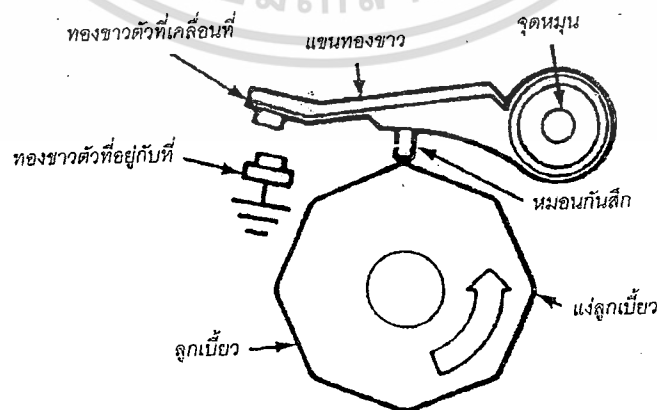
2.3.3 จานจ่าย

จานจ่าย จะติดตั้งอยู่ที่เครื่องยนต์ ทำหน้าที่ให้หน้าทองขาวเป็นสวิทช์ปิด-เปิดของวงจรปฐมภูมิ เมื่อหน้าทองขาวปิดกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านคอยล์จุดระเบิดและเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นภายในคอยล์ เมื่อหน้าทองขาวเปิดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไปยังคอยล์จะถูกตัดวงจร และสนามแม่เหล็กที่แกนเหล็กอ่อนก็จะยุบตัว ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำเกิดแรงเคลื่อนไฟแรงสูง จานจ่ายจะจ่ายแรงเคลื่อนไฟแรงสูงจากคอยล์ไปยังกระบอกสูบตามจังหวะการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ ในเวลาที่เหมาะสมเพื่อจุดระเบิดส่วนผสมของไอเสียภายในกระบอกสูบ.

จานจ่ายจะประกอบด้วยฝาครอบจานจ่าย, โรเตอร์, ชุดหน้าทองขาว, คอนเดนเซอร์, ชุดกลไกจุดระเบิดล่วงหน้าแบบสูญญากาศ และชุดกลไกจุดระเบิดล่วงหน้าแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

2.3.3.1 ทองขาว

ทองขาว ดังรูปที่ 2.4 จะทำหน้าที่เป็นสวิทช์ที่ใช้ในการตัด-ต่อวงจรไฟแรงต่ำเพื่อให้เกิดไฟแรงสูงภายในคอยล์ ในทองขาว 1 ชุดจะประกอบด้วยทองขาว 2 ตัว คือ ตัวที่อยู่กับที่ (stationary point) กับตัวเคลื่อนที่ (moving point) โดยทั่วไปตัวเคลื่อนที่จะติดตั้งอยู่บนจุดหมุนซึ่งอยู่บนตัวที่อยู่กับที่ และที่แขนของทองขาวตัวนี้จะมีหมอนกันสีก ซึ่งทำจากไนลอน หรือเบเคไลต์ ติดอยู่เพื่อให้ลูกเบี้ยวมาดันให้หน้าทองขาวเปิดได้ตามต้องการ หน้าทองขาวทั้งสองตัวนี้จะต้องอยู่ในแนวเดียวกัน สำหรับวัสดุที่นิยมนำมาใช้ในการทำหน้าทองขาวส่วนใหญ่ได้แก่ ทังสเตน เนื่องจากสามารถทนต่อความร้อนได้สูง



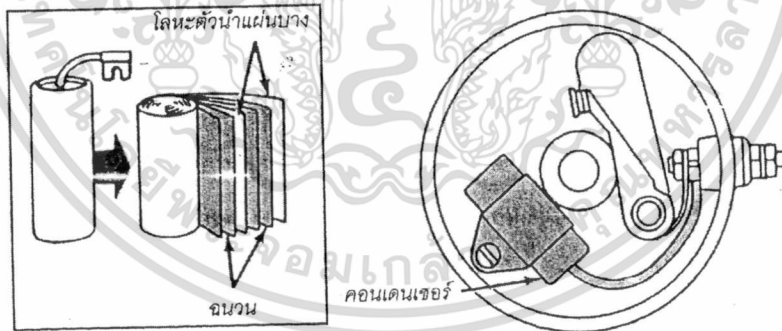
รูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของทองขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

2.3.3.2 คอนเดนเซอร์

คอนเดนเซอร์หรือบางที่เรียกว่า คาปาซิเตอร์ จะทำหน้าที่ป้องกันการอาร์กที่หน้าทองขาว นอกจากนี้ยังสามารถช่วยทำให้การเกิดไฟแรงสูงของคอยล์ดีขึ้น จากลักษณะการสร้างทำให้คอนเดนเซอร์สามารถใช้เป็นที่สำหรับเก็บกระแสไฟที่พยายามจะไหลผ่านหน้าทองขาวในขณะที่หน้าทองขาวเริ่มเปิดมาเก็บไว้เป็นการชั่วคราว จึงสามารถช่วยลดการอาร์กที่เป็นสาเหตุทำให้หน้าทองขาวไหม้ลงได้ นอกจากนี้การที่สามารถทำให้กระแสในวงจรขดลวดปฐมภูมิภายในคอยล์หยุดไหลอย่างรวดเร็ว นั้น ยังมีผลทำให้การเกิดไฟแรงสูงภายในคอยล์ดีขึ้นอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจากประสิทธิภาพของการเกิดไฟแรงสูงส่วนหนึ่งจะขึ้นอยู่กับความเร็วในการยุบตัวของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวดปฐมภูมิตัดกับขดลวดทุติยภูมินั่นเอง



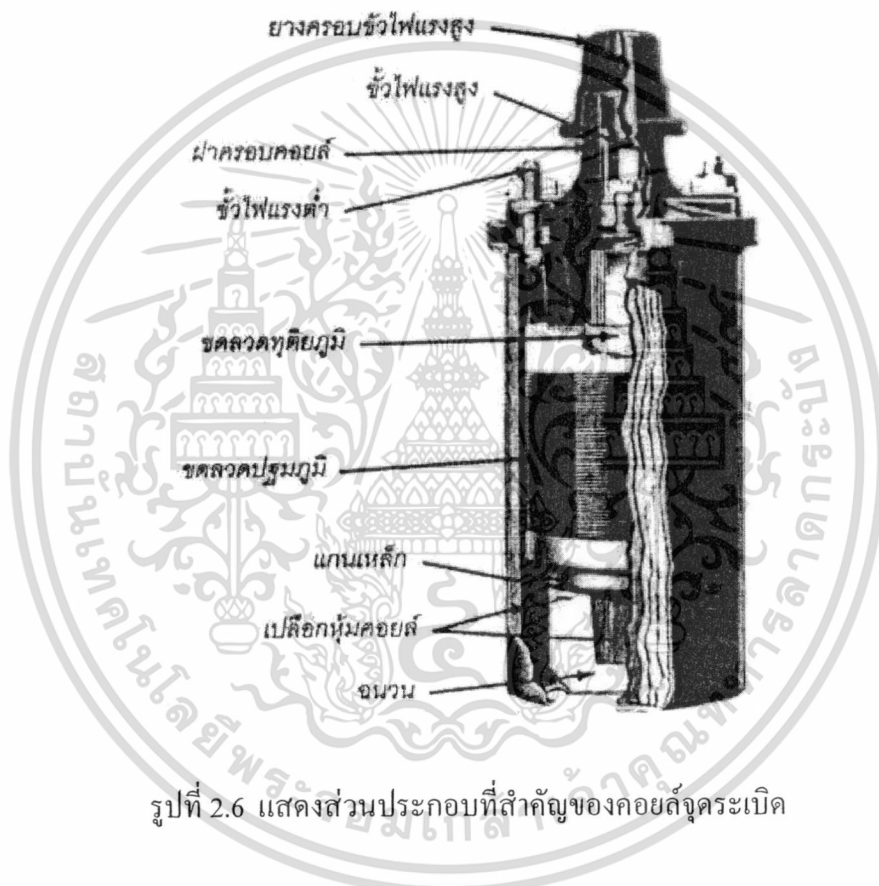
รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของคอนเดนเซอร์

2.3.4 คอยล์จุดระเบิด

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขดลวดปฐมภูมิ จะประกอบด้วยลวดเส้นใหญ่ (ปกติจะใช้ลวดเกจ 18 พันประมาณ 200 รอบ) พันทับอยู่บนขดลวดทุติยภูมิ ขดลวดนี้จะอยู่ในวงจรไฟแรงต่ำ โคนที่ปลายด้านหนึ่งจะต่ออยู่กับขั้วบวก (+) ขณะที่ปลายอีกด้านหนึ่งจะต่ออยู่กับขั้วด้านลบ (-) สำหรับขดลวดทุติยภูมิจะประกอบด้วยลวดเส้นเล็กพันอยู่บนแกนเหล็กอ่อนของอาร์มาเจอร์หลายพันรอบ ขดลวดชุดนี้จะ เป็นขดลวดที่อยู่ในวงจรไฟแรงสูง โดยที่ปลายด้านหนึ่งจะต่อเข้ากับขั้วไฟแรงสูง ส่วนปลายอีกด้าน หนึ่งจะต่อร่วมกับปลายด้านหนึ่งของขดลวดปฐมภูมิทางขั้วบวก (+)



รูปที่ 2.6 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของคอยล์จู้ดระเบิด

2.3.4.1 คอยล์จู้ดระเบิดแบบมีความต้านทานภายนอก

คอยล์จู้ดระเบิดแบบธรรมดา จะทำงานได้ดีเมื่อเครื่องยนต์เดินด้วยความเร็วเดินเบา หรือความเร็วต่ำ เนื่องจากระยะเวลาที่หน้าทองขาวสัมผัสกันนานพอที่จะทำให้กระแสไฟไหลเข้าสู่ ขดลวดปฐมภูมิได้มาก จึงไม่มีปัญหาต่อการเกิดไฟแรงสูงในคอยล์ แต่เมื่อเครื่องยนต์มีความเร็ว สูงขึ้น ระยะเวลาที่หน้าทองขาวสัมผัสกันจะสั้นลง จึงเป็นผลทำให้กระแสไฟที่ไหลเข้าสู่ขดลวด ปฐมภูมิมีปริมาณลดลง การเกิดไฟแรงสูงในคอยล์จึงลดตามลงไปด้วย จึงทำให้ประสิทธิภาพใน การจู้ดระเบิดและประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องยนต์เดินด้วยความเร็วต่ำ ความเร็วปานกลาง และความเร็วสูง จึงได้มีการออกแบบให้ขดลวดปฐมภูมิของคอยล์มีขนาดโตขึ้นและจำนวนรอบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดลง ซึ่งมีผลทำให้ความต้านทานในวงจรของขดลวดปฐมภูมิมีค่าลดลง และกระแสไฟจะไหลเข้าสู่ขดลวดได้มากขึ้นแม้ในขณะที่เครื่องยนต์เดินด้วยความเร็วรอบสูง จึงไม่มีปัญหาในเรื่องการเกิดไฟแรงสูงในขณะที่เครื่องยนต์เดินด้วยความเร็วรอบสูง เพราะกระแสไฟจะไหลเข้าสู่ขดลวดปฐมภูมิได้มาก และขดลวดจะอิมตัวได้เร็วในระยะเวลาอันสั้น แต่จะมีปัญหาขณะที่เครื่องยนต์เดินด้วยความเร็วต่ำ เพราะจะทำให้คอยล์ร้อนและหน้าทองขาวไหม้ ดังนั้นจึงมีการใส่ตัวต้านทานเข้าไปในวงจรขดลวดปฐมภูมิ เพื่อควบคุมกระแสที่ไหลเข้าสู่ขดลวดมิให้มากเกินไปในขณะที่เครื่องยนต์เดินด้วยความเร็วต่ำ จึงสามารถป้องกันมิให้คอยล์ร้อนและหน้าทองขาวไหม้ได้ จึงเป็นผลทำให้คอยล์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในทุกๆ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ตัวต้านทานที่ใส่เข้าไปนี้จะอยู่นอกคอยล์ จึงเรียกคอยล์ชนิดนี้ว่า คอยล์จุดระเบิดแบบมีความต้านทานภายนอก คอยล์แบบนี้นิยมใช้กันมากกับเครื่องยนต์รอบสูงที่ใช้ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาในปัจจุบัน

อย่างไรก็ตามปัญหาประการหนึ่งของการใช้คอยล์แบบนี้ก็คือ เครื่องยนต์จะสตาร์ทติดเครื่องได้ยาก เนื่องจากในขณะที่ทำการสตาร์ทติดเครื่องมอเตอร์สตาร์ทจะดึงกระแสไฟไปจำนวนมาก ทำให้แรงดันที่เหลือจะผลักดันกระแสไฟให้ผ่านตัวต้านทานเข้าสู่ขดลวดปฐมภูมิต่ำ (ประมาณ 5-8 โวลต์) ไม่เพียงพอต่อการสร้างไฟแรงสูงในคอยล์ ดังนั้น เพื่อที่จะแก้ปัญหาก็เกิดขึ้นดังกล่าว จึงมีการทำให้เกิดการลัดวงจรเกิดขึ้นในขณะที่ทำการสตาร์ทติดเครื่อง และทำให้กระแสไฟไหลผ่านตัวสตาร์ทของสวิทช์สตาร์ทเข้าสู่ขดลวดปฐมภูมิของคอยล์โดยตรงไม่ผ่านตัวต้านทาน และหลังจากเครื่องยนต์สตาร์ทติดแล้ว เมื่อสวิทช์สตาร์ทคืนสู่ตำแหน่งเดินเครื่อง ตามปกติก็จัดให้กระแสที่ไหลเข้าสู่ขดลวดปฐมภูมิ ให้ไหลผ่านตัวต้านทานได้ตามปกติ

2.3.5 สายไฟแรงสูง

สายไฟแรงสูง ดังรูปที่ 9.7 จะทำหน้าที่ลำเลียงกระแสไฟแรงสูงจากคอยล์จุดระเบิดไปให้กับหัวเทียน ทำให้เกิดประกายไฟจุดเชื้อระเบิดภายในห้องเผาไหม้ต่อไป สายไฟหัวเทียนจะต้องมีฉนวนหุ้มหนาเพื่อสามารถป้องกันไฟแรงสูงรั่วลงสู่ดิน นอกจากนั้นยังต้องสามารถทนต่อน้ำมัน ความสั่นสะเทือน ความร้อนหรือวัสดุที่แหลมคมได้เป็นอย่างดี

สายไฟแรงสูงนี้ ได้แก่ สายไฟที่ต่อระหว่างขั้วไฟแรงสูงของคอยล์กับขั้วไฟแรงสูงขั้วกลางที่ฝาจานจ่ายไฟกับสายไฟที่ต่อระหว่างขั้วไฟแรงสูงที่อยู่โดยรอบขั้วกลางของฝาจานจ่ายไฟกับหัวเทียน สายไฟแรงสูงในปัจจุบัน ได้รับการพัฒนาให้มีคุณสมบัติดีขึ้นกว่าเดิม เนื่องจากระบบจุดระเบิดที่ใช้ในปัจจุบันเป็นแบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสามารถผลิตไฟแรงสูงได้สูงกว่าระบบจุดระเบิดแบบเดิมที่ใช้ทองขาวมาก ดังนั้น สายไฟแรงสูงที่ใช้ในปัจจุบัน จึงต้องหุ้มด้วยฉนวนที่ทำมาจากวัสดุชนิดต่างๆ หลายชั้นแทนการหุ้มด้วยฉนวนเพียงชั้นเดียวเหมือนกับแบบเดิม นอกจากนั้น

ตัวนำไฟฟ้าก็ได้รับการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยเปลี่ยนจากการใช้ลวดตัวนำเพียงเส้นเดียวไปใช้เส้นลิตินซุบคาร์บอนหลายเส้น ลักษณะโครงสร้างของสายไฟแรงสูงทั้ง 2 แบบดูได้จากรูปที่แสดง และเนื่องจากสายไฟแรงสูงแบบใหม่ต้องหุ้มด้วยฉนวนหลายชั้นจึงมีขนาดโตกว่าแบบเดิม โดยที่แบบนี้จะที่ขนาดโตถึง 0.315 นิ้ว (8 มม.) ขณะที่แบบเดิมจะมีขนาดโตเพียง 0.276 นิ้ว (7 มม.) เท่านั้น



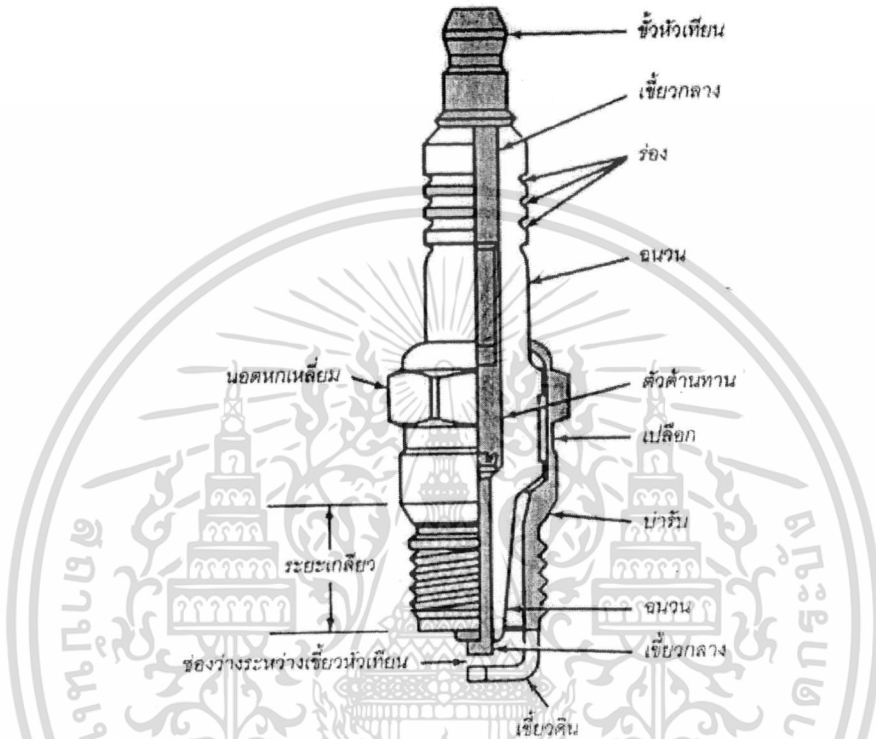
รูปที่ 2.7 เปรียบเทียบสายไฟแรงสูงที่ใช้กันในปัจจุบันกับในอดีต

2.3.6 หัวเทียน

หัวเทียน ดังรูปที่ 2.8 เป็นส่วนประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งของระบบจุดระเบิดใช้ทำหน้าที่จุดส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ การใช้หัวเทียนที่ถูกต้องจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องยนต์ได้อย่างมหาศาล ทำให้เกิดการประหยัดเชื้อเพลิงและยืดอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ได้อีกด้วย

หัวเทียนจะประกอบด้วย ตัวนำไฟฟ้า 2 ตัวที่เรียกว่า เขี้ยวหัวเทียน (electrode) เขี้ยวกลาง (center electrode) ของหัวเทียนมาตรฐานที่ใช้กันโดยทั่วไปในปัจจุบัน ส่วนใหญ่จัดทำจากโลหะผสมนิกเกิลกับโครเมียม แมงกานีส และซิลิกอน สำหรับหัวเทียนแบบพิเศษเขี้ยวกลางจามีทั้งชนิดที่ทำด้วย เงิน (silver) และทองคำขาว (platinum) เขี้ยวกลางที่ทำจากโลหะทั้งสองชนิดนี้จะมีคุณสมบัติในการนำความร้อนและมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนได้มากกว่าแบบแรกมาก เขี้ยวกลางจะหุ้มด้วยฉนวน ซึ่งส่วนใหญ่จะทำจากกระเบื้องชนิดทนความร้อนสูง จากนั้นเปลือกนอก (outer shell) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะหุ้มท่อด้วยฉนวนอีกชั้นหนึ่ง ระหว่างฉนวนกับเปลือกนอกจะถูกคว่ำไว้ด้วยปะเก็น (gasket) เพื่อป้องกันแก๊สรั่ว และเพื่อใช้เป็นแนวทางในการระบายความร้อนจากเจ็วของหัวเทียนไปสู่ระบบระบายความร้อน หัวเทียนบางแบบไม่ใช่ปะเก็นดังนั้น ระหว่างเจ็วกับฉนวนและระหว่างฉนวนกับเปลือกจากจะถูกทำให้ติดแน่นด้วยกาว เปลือกนอกของหัวเทียนจะทำด้วยโลหะ



รูปที่ 2.8 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของหัวเทียน

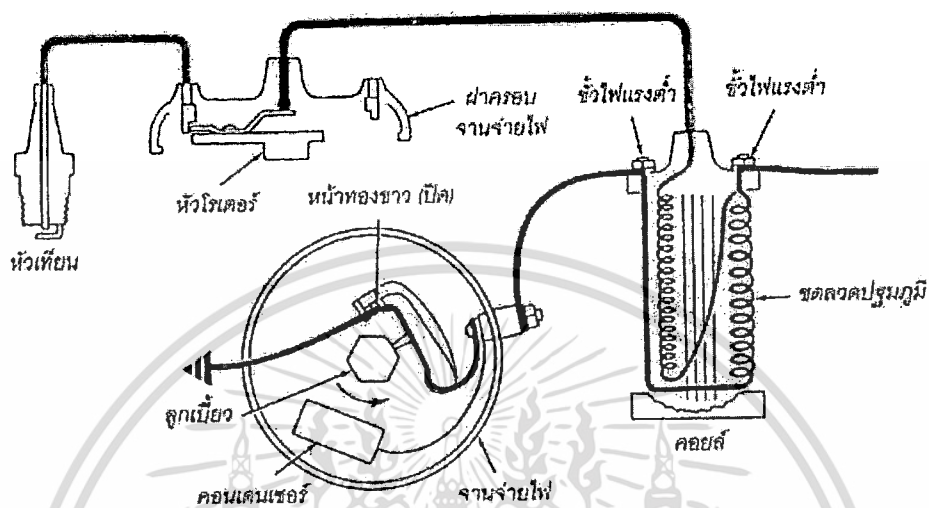
ส่วนบนของหัวเทียนจะทำเป็นนอตหัวหกเหลี่ยมสำหรับใช้กับปุกแจขัน ส่วนล่างจะทำเป็นเกลียวสำหรับขันเข้าไปในรูปหัวเทียนที่ฝาสูบของเครื่องยนต์ เจ็วดิน (ground electrode) จะต่อยื่นออกจากเปลือกส่วนล่างและโค้งเข้าหาเจ็วกลาง โดยมีช่องว่างระหว่างกัน เจ็วดินส่วนใหญ่จะทำจากโลหะผสมนิกเกิลกับโครเมียม ปลายด้านบนของเจ็วกลางจะต่อเข้ากับสกรู ที่ขันเกลียวเข้ากับส่วนบนของฉนวนปลายหัวค้ำทานนี้จะต่อเข้ากับสายไฟแรงสูงของระบบจุดระเบิด

2.3.7 การทำงานของระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา

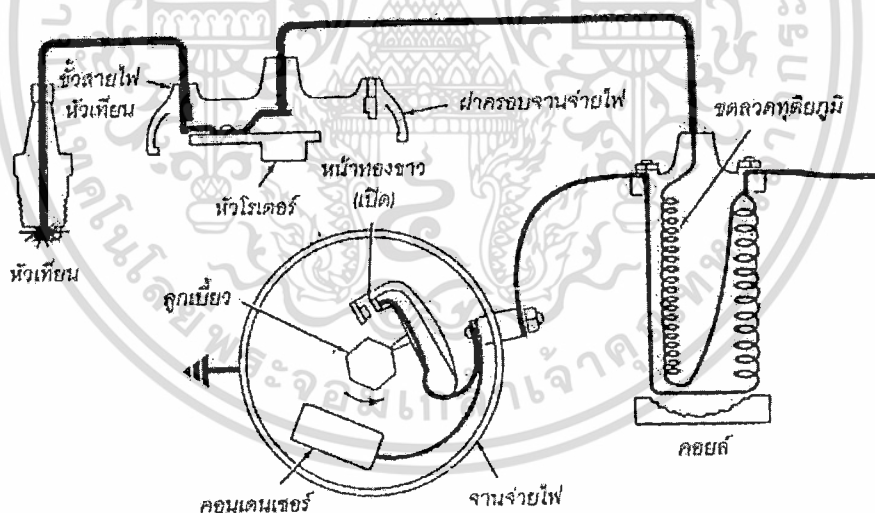
ก่อนการสตาร์ทติดเครื่องยนต์ หน้าทองขาวจะอยู่ในตำแหน่งเปิดหรือปิดนั้นจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของลูกเบี้ยวที่กระทำต่อทองขาวในขณะนั้น ถ้าหน้าทองขาวเปิดอยู่ก็จะปิดทันทีเมื่อเครื่องยนต์หมุน เมื่อหน้าทองขาวปิด กระแสไฟจากแบตเตอรี่ก็จะไหลผ่านสวิตช์ไฟจุดระเบิดเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปในขดลวดปฐมภูมิของคอยล์ผ่านหน้าทองขาวลงดินครบวงจร จึงทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบ ๆ ขดลวดปฐมภูมิ ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงการทำงานของระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาขณะหน้าทองขาวปิด



รูปที่ 2.10 แสดงการทำงานของระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาขณะหน้าทองขาวเปิด

เมื่อเครื่องยนต์หมุนต่อไป ลูกเบี้ยวก็จะดันหน้าทองขาวให้แยกออกจากกัน วงจรขดลวดปฐมภูมิจะขาดตอนลงทันที ทำให้กระแสไฟในวงจรนี้หยุดไหล ดังนั้น สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบ ๆ ขดลวดปฐมภูมิก็จะยุบตัวลงตัดกับขดลวดทุติยภูมิ แต่เนื่องจากขดลวดทุติยภูมิ เป็นลวดเส้นเล็กพันมากรอบดังนั้น แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นภายในขดลวดชุดนี้จึงสูงมาก โดยทั่วไปจะสูง

ประมาณ 15,000 ถึง 25,000 โวลต์ เป็นผลทำให้หัวเทียนเกิดประกายไฟจุดเชื้อระเบิดภายในกระบอกสูบ ทำให้เกิดการเผาไหม้ดังรูปที่ 2.10

ในจังหวะที่หน้าทองขาวแยกออกจากกันนี้ กระแสไฟในวงจรขดลวดปฐมภูมิที่เคยไหลผ่านหน้าทองขาวลงดิน ก็จะไหลเข้าประจุในคอนเดนเซอร์ที่ต่อขนานอยู่ จึงทำให้สามารถป้องกันการอาร์คที่หน้าทองขาว อันเกิดจากการที่กระแสไฟพยายามจะไหลผ่านหน้าทองขาวในจังหวะที่หน้าทองขาวเริ่มแยกออกจากกันได้ นอกจากนี้ยังทำให้กระแสไฟในวงจรขดลวดปฐมภูมิหยุดไหลได้เร็วยิ่งขึ้นจะเป็นผลทำให้เกิดไฟแรงสูงในคอยล์ขึ้นอีกด้วย

เมื่อเครื่องยนต์หมุนต่อไปจนกระทั่งหน้าทองขาวปิด คอนเดนเซอร์ก็จะคายประจุปล่อยให้กระแสไฟไหลผ่านหน้าทองขาวลงดินครบวงจรอีกครั้งหนึ่ง

สำหรับระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาที่มีตัวต้านทานภายนอกต่อร่วมอยู่ ดังรูปที่ 2.3 จะมีการลัดวงจรในขณะที่ทำการสตาร์ทติดเครื่องโดยจะลัดวงจรที่ตัวสวิตช์สตาร์ท กล่าวคือ ขณะทำการสตาร์ทติดเครื่อง เนื่องจากกระแสไฟจำนวนมากจะไหลเข้าสู่ตัวมอเตอร์สตาร์ท จึงมีผลทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ตัวแบตเตอรี่ลดลง ดังนั้นถ้าให้กระแสไฟไหลผ่านตัวต้านทานในขณะที่ทำการสตาร์ทติดเครื่อง ก็จะทำให้คอยล์จุดระเบิดผลิตไฟแรงสูงได้น้อยลง จึงมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ลดตามลงไปด้วย ดังนั้น เพื่อให้การผลิตไฟแรงสูงของคอยล์จุดระเบิดเป็นไปตามปกติ จึงทำให้เกิดการลัดวงจรที่ตัวสวิตช์สตาร์ท เพื่อมิให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทานในขณะที่ทำการสตาร์ทติดเครื่อง จึงทำให้เครื่องยนต์สามารถติดเครื่องได้ง่าย และเมื่อเครื่องยนต์สตาร์ทติดแล้วสวิตช์สตาร์ทก็จะคืนสู่ตำแหน่งเดิม ตัวต้านทานก็จะถูกใส่กลับคืนเข้าสู่วงจร กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่ขดลวดปฐมภูมิ ก็จะไหลผ่านตัวต้านทานตามปกติ

2.4 การจุดระเบิดล่วงหน้า

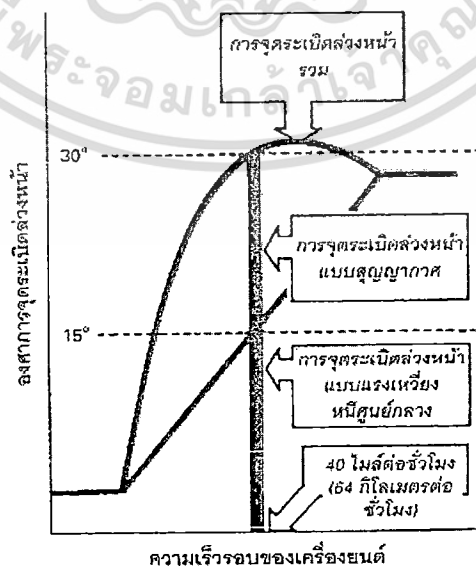
การจุดระเบิดล่วงหน้าในเวลาอันถูกต้อง จะมีผลทำให้เครื่องมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด เชื้อเพลิงโดยทั่วไปจะมีความล่าช้าในการจุดติดไฟ และต้องการเวลาสำหรับการเผาไหม้ ดังนั้น การเริ่มจุดประกายไฟเพื่อให้เชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์เกิดการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เกิดการเผาไหม้ จึงต้องเริ่มจุดระเบิดล่วงหน้าก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นถึงศูนย์ตายบนเสมอ และจะต้องให้การเผาไหม้สิ้นสุดลงหลังจากลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นถึงศูนย์ตายบนไปเล็กน้อย (ประมาณ 10 องศาหลังศูนย์ตายบน) ก็จะทำให้ได้รับผลจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงมีค่าสูงที่สุด การจุดระเบิดล่วงหน้าก่อนหรือหลังเวลาอันควรนั้น นอกจากจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องยนต์ลดลงแล้ว ยังสามารถทำให้ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์เกิดความเสียหายได้ เช่น การจุดระเบิดล่วงหน้ามากเกินไปก็อาจจะทำให้เครื่องยนต์ตึกกลับ หรือการจุดระเบิดหลังเวลาอันควรก็จะ

สามารถทำให้เครื่องยนต์ร้อนจัดและไม่มีกำลังได้ ซึ่งทั้งสองกรณีจะเป็นผลทำให้ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์เกิดความเสียหาย ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น อย่างไรก็ตาม เครื่องยนต์ที่จำเป็นจะต้องทำงานที่ความเร็วและภาระต่างๆกัน ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมเวลาในการจุดระเบิดให้ล่วงหน้ามากขึ้นออกไปตามชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ ความเร็วรอบ และภาระของเครื่องยนต์ที่เปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ เมื่อเครื่องยนต์ มีความเร็วรอบหรือภาระสูงขึ้นก็จะทำให้มีการจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น ทั้งนี้ก็เพื่อให้การเผาไหม้ของเครื่องยนต์สิ้นสุดลง ณ ตำแหน่งเดิม ก็จะทำให้ได้รับประโยชน์จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงมากที่สุด เครื่องยนต์ก็จะมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงที่สุด

อุปกรณ์ควบคุมเวลาในการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบอัตโนมัติ ที่นิยมใช้กับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน โดยทั่วไปมี 2 แบบคือ

- 1.แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง
- 2.แบบสูญญากาศ

เครื่องยนต์ที่ใช้จุดระเบิดแบบธรรมดาในปัจจุบัน จะมีอุปกรณ์ควบคุมเวลาในการจุดระเบิดล่วงหน้าทั้ง 2 แบบ โดยที่แบบสูญญากาศจะทำงานได้ดีในขณะที่เครื่องยนต์กำลังเดินเบาและสิ้นเร่งเปิดเล็กน้อย ขณะที่แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจะทำงานได้ดีในขณะที่เครื่องยนต์กำลังเดินด้วยความเร็วรอบสูง ดังนั้น เครื่องยนต์ที่มีอุปกรณ์ควบคุมเวลาในการจุดระเบิดล่วงหน้าทั้ง 2 แบบ จึงสามารถควบคุมเวลาในการจุดระเบิดล่วงหน้าได้ตามความเร็วและภาระของเครื่องยนต์ที่เปลี่ยนแปลงไป จึงทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุดตามต้องการ ผลจากการใช้อุปกรณ์ควบคุมเวลาในการจุดระเบิดล่วงหน้าร่วมกันทั้ง 2 แบบถูกแสดงได้ดังรูป 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงผลจากการใช้อุปกรณ์ควบคุมเวลาในการจุดระเบิดล่วงหน้าทั้งสองแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 มุมคเวลล์

มุมคเวลล์ (dwell angle) ดังรูป 2.12 คือ มุมที่หน้าทองขาวปิด วัตถุประสงค์เป็นองศาโดยรอบลูกเบี้ยว จากจุดที่ทองขาวเริ่มปิด ไปจนถึงจุดที่หน้าทองขาวเริ่มเปิด มุมนี้จะมีผลต่อการเกิดไฟแรงสูงใน คอยล์จุดระเบิด หรือการเกิดประกายไฟระหว่างเข็มหัวเทียนนั่นเอง ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องตั้ง ตามที่บริษัทกำหนดมาให้ และควรมีการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ ดังรูป 9.19 แสดงความสัมพันธ์ ของการจัดตั้งความห่างระหว่างหน้าทองขาวกับมุมคเวลล์ จะพบว่าถ้ามุมของมุมคเวลล์น้อย หน้า ทองขาวจะห่างมาก และในทำนองเดียวกันถ้ามุมของมุมคเวลล์มาก หน้าทองขาวจะห่างน้อย



รูปที่ 2.12 แสดงมุมคเวลล์ของหน้าทองขาว



รูปที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ของการจัดตั้งความห่างระหว่างหน้าทองขาวกับมุมคเวลล์

สำหรับในกรณีหน้าทองขาวห่างมากหรือมุมของมุมคเวลล์น้อยนั้น ก็จะทำให้หน้าทองขาว เปิดเร็วขึ้น ซึ่งหมายความว่าหัวเทียนจะจุดประกายไฟเร็วขึ้น ดังนั้นจึงเหมาะกับเครื่องยนต์ที่ใช้งาน รอบต่ำๆและเนื่องจากหน้าทองขาวจะถูกแยกออกจากกันด้วยความเร็วสูง จึงสามารถช่วยลดการ อารักระหว่างหน้าทองขาวได้ดี ทำให้ยืดอายุการใช้งานหน้าทองขาวให้นานขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ส่วนกรณีที่หน้าทองขาวห่างน้อยหรือมุมของมุดคเวลล์มากนั้น นั้น ก็จะทำให้หน้าทองขาวเปิดช้าลง ซึ่งหมายความว่าหัวเทียนจะจุดประกายไฟช้าลง ดังนั้นจึงไม่เหมาะกับเครื่องยนต์ที่ใช้งานรอบต่ำๆ เพราะถ้าเครื่องยนต์เดินเบาจะเกิดการอาร์คระหว่างหน้าทองขาว อันเนื่องมาจากความล่าช้าในการเปิดหน้าของทองขาวจึงเหมาะกับเครื่องยนต์ที่ใช้งานรอบสูงๆ

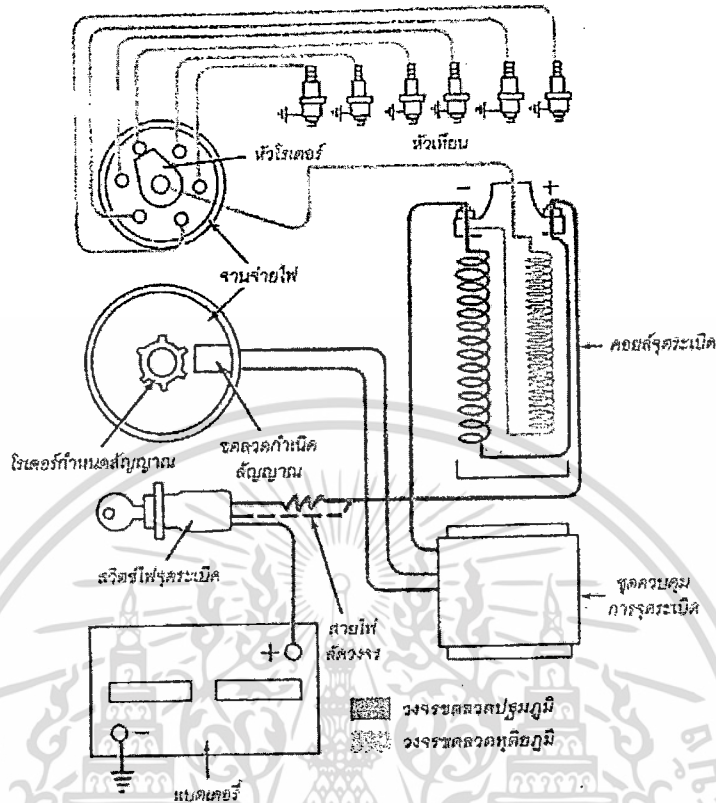
2.6 ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์

ราวต้นปี พ.ศ.2513 เครื่องยนต์ที่ใช้กับรถยนต์ส่วนใหญ่ ที่ใช้ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา (ทองขาว) มาสามารถผ่านมาตรฐานสามมลพิษจากไอเสียได้ กฎข้อบังคับของสหพันธรัฐของประเทศสหรัฐอเมริกา ต้องการให้ระบบจุดระเบิดทำงานได้ถึง 5,000 ไมล์ โดยมีการบำรุงรักษาเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย ซึ่งระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาไม่สามารถที่จะทำได้ เพราะหน้าทองขาวจะไหม้และสึกหรอระหว่างการทำงานตามปกติ ทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างหน้าทองขาว ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจังหวะการจุดระเบิดและพลังงานจากการจุดประกายไฟลดลง เป็นผลทำให้เครื่องยนต์เดินไม่ครบสูบ และสามมลพิษจากไอเสียเพิ่มมากขึ้น

เครื่องยนต์ที่ใช้กับรถยนต์ส่วนใหญ่ในปี พ.ศ.2518 และหลังจากนั้นจึงเปลี่ยนไปใช้ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์ดังรูปที่ 9.20 ซึ่งเป็นระบบที่ไม่ใช้ทองขาวและคอนเดนเซอร์แต่จะใช้ทรานซิสเตอร์ และอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำอื่นแทน ทำหน้าที่เป็นสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ในการเปิดปิดกระแสไฟที่ไหลเข้าสู่หัวจุดประกายเพื่อให้เกิดไฟแรงสูงในขดลวดทุติยภูมิของคอยล์จุดระเบิดจัดส่งให้กับหัวเทียนต่อไป

ระบบจุดระเบิดด้วยอิเล็กทรอนิกส์ที่นิยมในปัจจุบันแบ่งได้ 4 แบบ คือ

- 1.แบบจ่ายไฟกับอุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบกลไกและแบบสุญญากาศ (distributor type with mechanical centrifugal and vacuum advance)
- 2.แบบจ่ายไฟกับอุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ (distributor type with electronic spark advance)
- 3.แบบไร้จ่ายไฟกับคอยล์จุดระเบิดหลายตัว (distributor less type with multiple ignition coils)
- 4.แบบไร้จ่ายไฟกับการจุดระเบิดโดยตรงด้วยตัวเก็บประจุ (distributor less type with direct capacitor discharge ignition)



รูปที่ 2.14 ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์

2.6.1 ระบบจุดระเบิดแบบจ่ายไฟกับอุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบกลไกและแบบสูญญากาศ

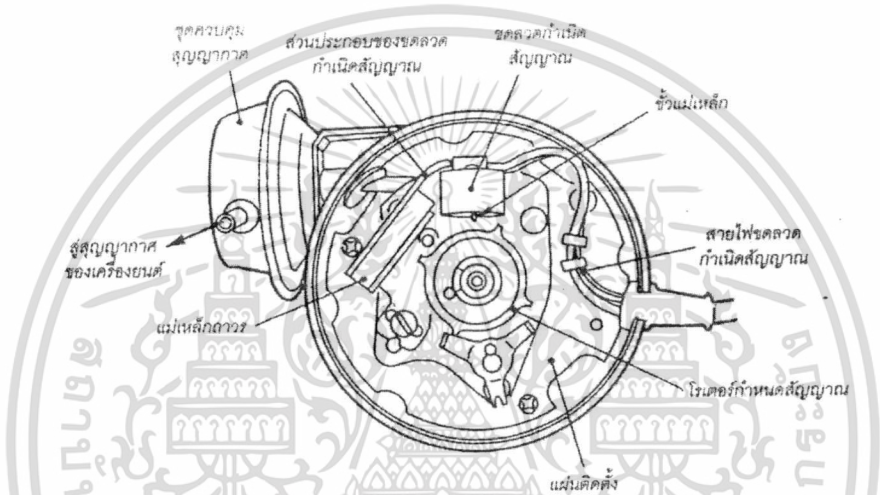
โดยทั่วไปหลักการการทำงานและการสร้างระบบจุดระเบิด ไม่ว่าจะเป็นแบบใช้ทองขาวหรือแบบอิเล็กทรอนิกส์ก็จะคล้ายๆกัน งานจ่ายไฟของทั้ง2แบบก็อาจจะมีอุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบกลไกและแบบสูญญากาศเหมือนกันทุกประการ แต่ความแตกต่างที่สำคัญคือแทนที่จะใช้สวิทช์ทางกล (ทองขาว) ที่ใช้ในระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา มาควบคุมกระแสในวงจรขดลวดปฐมภูมิ ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์จะใช้สวิทช์อิเล็กทรอนิกส์แทนที่

ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบจุดระเบิดแบบนี้คือสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์หรือชุดกำเนิดสัญญาณ (signal generator unit) ซึ่งประกอบด้วยอาร์มาเจอร์ (armature) หรือโรเตอร์กำหนดสัญญาณ (reluctor) ตัวตรวจจับแม่เหล็ก (magnetic sensor) หรือขดลวดกำเนิดสัญญาณ (pickup coil) และมอดูลจุดระเบิด (ignition module) โดยที่โรเตอร์กำหนดสัญญาณจะมีจำนวนซี่ยื่นออกมาเท่ากับจำนวนสูบของเครื่องยนต์ซึ่งเท่ากับลูกเบี้ยวของงานจ่ายไฟ ดังนั้น เมื่อโรเตอร์กำหนดสัญญาณหมุนขึ้นแต่ละซี่ก็จะทำให้เกิดพัลส์แรงเคลื่อนขึ้นในขดลวดกำเนิดสัญญาณ ซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะทำให้

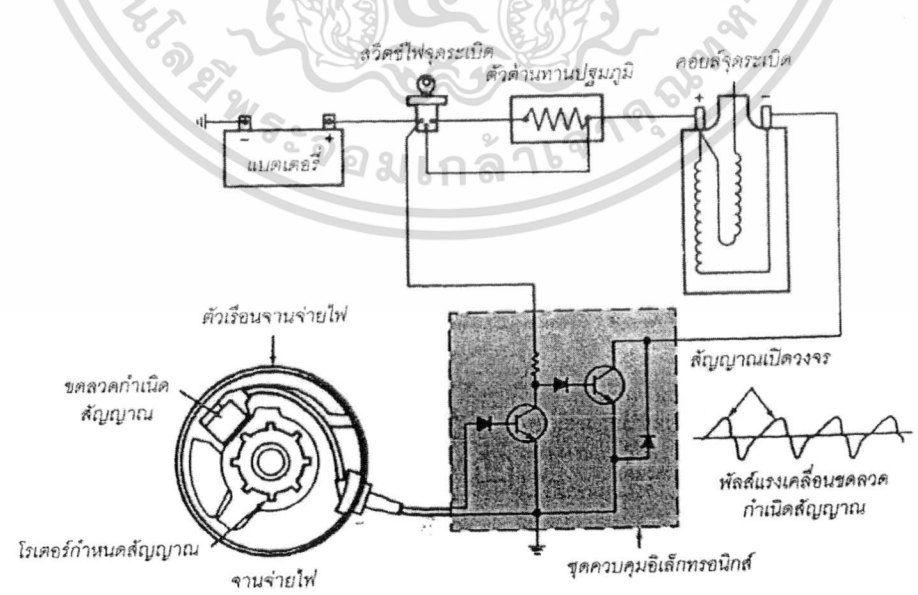
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอดูลจุดระเบิดเปิดเปิดวงจรขดลวดปฐมภูมิ ทำให้เกิดไฟแรงสูงในวงจรขดลวดทุติยภูมิของคอยล์จุดระเบิด เป็นผลให้หัวเทียนจุดประกายไฟ

มอดูลจุดระเบิดอาจจะเป็นหน่วยที่แยกออกต่างหากหรือติดตั้งอยู่กับหรือภายในจานจ่ายไฟก็ได้ เครื่องยนต์ที่ใช้ระบบควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์อาจจะไม่มีมอดูลจุดระเบิดแบบแยกต่างหาก ชุดควบคุมเครื่องยนต์ (engine controller) หรือมอดูลควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ (electronic control module, ECM) หรือที่เรียกย่อ ๆ ว่า อีซีเอ็ม ก็จะทำหน้าที่ควบคุมการจุดระเบิดได้อย่างสมบูรณ์



รูปที่ 2.15 แสดงจานจ่ายไฟของระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ขดลวดกำเนิดสัญญาณ และอุปกรณ์ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบกลไกสำหรับเครื่องยนต์ 4 สูบ

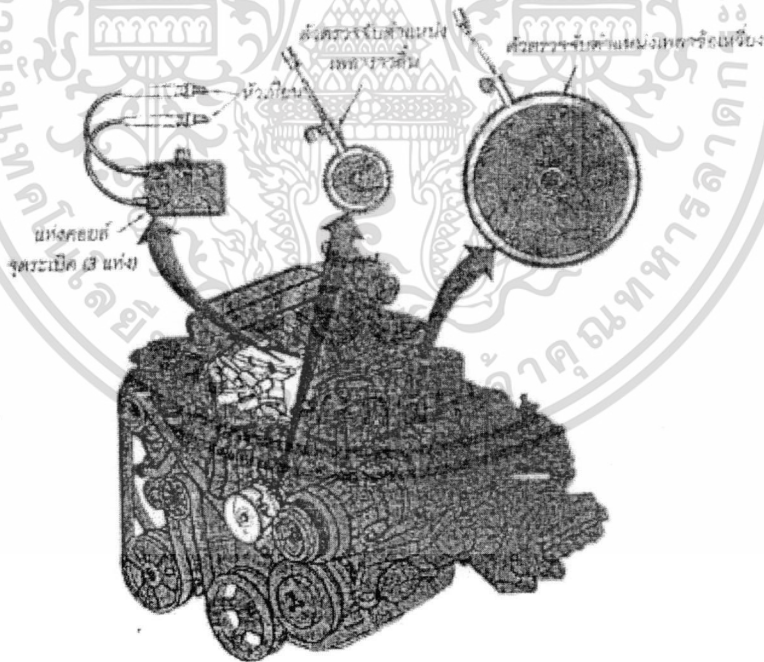


รูปที่ 2.16 แสดงส่วนประกอบในระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้จานจ่ายไฟ

ที่ใช้ขดลวดกำเนิดสัญญาณกับมอดูลควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

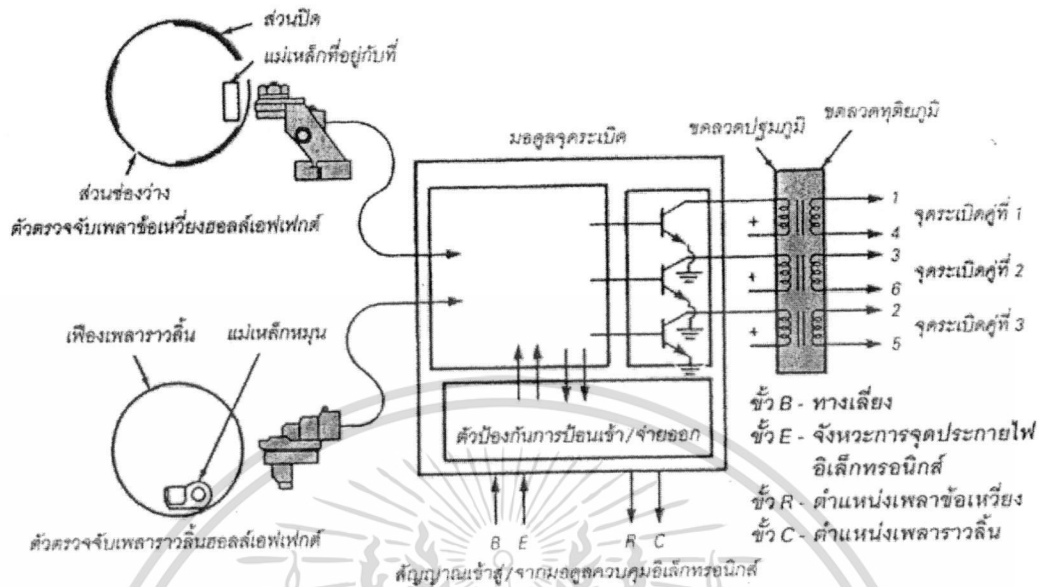
รูปที่ 2.19 แสดงให้เห็นถึงเครื่องยนต์สูบวี 6 สูบที่ใช้ระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟ ระบบนี้จะรวมถึงมอดูลจุดระเบิด แห่งของคอยล์จุดระเบิดซึ่งประกอบด้วยคอยล์จุดระเบิดจำนวน 3 ตัว ตัวตรวจจับสัญญาณตำแหน่งเพลาคือเหวี่ยง และตัวตรวจจับสัญญาณตำแหน่งเพลาราวถิ้น รูปที่ 2.20 คอยล์จุดระเบิดแต่ละตัวจะผลิตไฟแรงสูงให้กับหัวเทียนจำนวน 2 หัว ในเวลาเดียวกัน โดยที่ปลายด้านหนึ่งของขดลวดทุติยภูมิแต่ละขดจะต่อเข้ากับหัวเทียน รูปที่ 2.21 มอดูลจุดระเบิดจะเป็นตัวกำหนดลำดับขึ้นการจุดระเบิดและเลือกคอยล์เพื่อทำให้เกิดประกายไฟที่หัวเทียน จากนั้นอีซีเอ็ม จะส่งสัญญาณไปยังมอดูลจุดระเบิดเพื่อเปิดวงจรขดลวดปฐมภูมิ เป็นผลทำให้เกิดไฟแรงสูงในขดลวดทุติยภูมิ ทำให้เกิดประกายไฟกระโดดข้ามที่เจ็วหัวเทียน

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

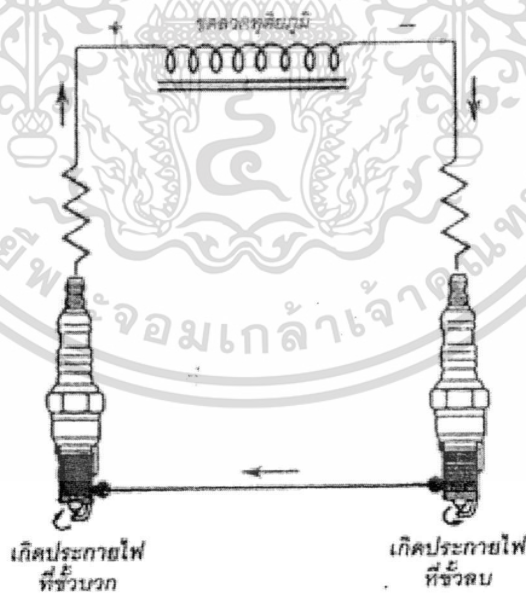


รูปที่ 2.19 เครื่องยนต์แบบสูบวี 6 กับระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 แผนผังของระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟสำหรับเครื่องยนต์แบบสูบวี 6 สูบ ซึ่งใช้คอยล์จุดระเบิด 3 ตัว จุดประกายที่หัวเทียน 6 หัว



รูปที่ 2.21 แสดงให้เห็นการทำให้เกิดประกายไฟที่หัวเทียนพร้อมกันถึง 2 หัวของคอยล์จุดระเบิดเพียงตัวเดียวซึ่งวิธีนี้เรียกว่าวิธีประกายไฟสูญเปล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

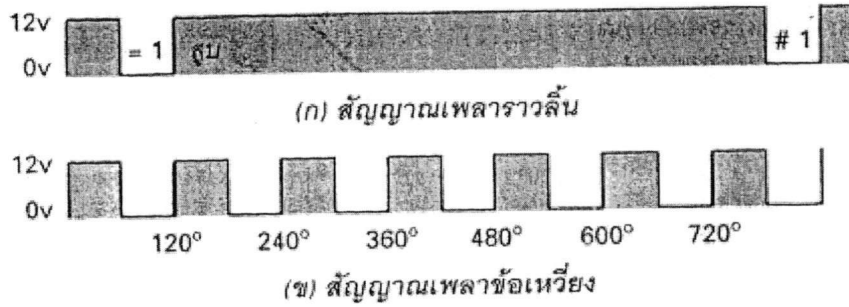
สำหรับการจุดประกายไฟของหัวเทียนสูบที่อยู่ในจังหวะคาย เนื่องจากแก๊สไอเสียส่วนใหญ่ได้ถูกระบายออกไปจากกระบอกสูบแล้วบางส่วน จึงทำให้ความดันภายในกระบอกสูบมีค่าลดลง ดังนั้นความต้านทานต่อการเกิดประกายไฟที่เชื่อมหัวเทียนของสูบนี้จึงต่ำลงไปด้วย พลังงานที่ใช้ในการทำให้เกิดประกายไฟจึงต่ำ ดังนั้น จึงทำให้มีพลังงานอย่างเหลือเฟือสำหรับการทำให้เกิดประกายไฟที่เชื่อมหัวเทียนของสูบที่อยู่ในจังหวะอัด จึงเป็นผลทำให้การเผาไหม้ที่สูบนี้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

รูปที่ 2.18 จะแสดงตำแหน่งของตัวตรวจจับสัญญาณของเพลาค้อเหวี่ยงและเพลาราวลีน อีซีเอ็มจะรับสัญญาณจากตัวตรวจจับเหล่านี้และจากตัวตรวจจับสัญญาณอื่นๆ มาควบคุมการทำงานของระบบจุดระเบิด ระบบเชื้อเพลิง และระบบควบคุมสารมลพิษของเครื่องยนต์

ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาค้อเหวี่ยง ดังรูปที่ 2.18 จะทำหน้าที่รายงานความเร็วของเพลาค้อเหวี่ยงและตำแหน่งของลูกสูบให้กับมอดูลจุดระเบิด ตัวตรวจจับนี้จะต้องรับรู้เมื่อลูกสูบของสูบที่ 1 กำลังเข้าใกล้ตำแหน่งศูนย์ตายบนในจังหวะอัด และระบบจุดระเบิดก็ต้องจัดส่งประกายไฟไปยังหัวเทียนของสูบนั่นทันที

ส่วนตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาราวลีน บางทีเรียกว่าตัวตรวจจับการพิสูจน์กระบอกสูบหรือ ซีดีไอ (cylinder identification sensor, CDI) ตัวตรวจจับนี้จะจัดเตรียมสัญญาณพัลส์แรงเคลื่อนที่พิสูจน์ตำแหน่งของลูกสูบ สูบที่ 1 ตัวตรวจจับที่ใช้ปกติจะเป็นสวิตช์ฮอลล์เอฟเฟกต์ มอดูลจุดระเบิดจะยอมรับสัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาราวลีนเมื่อเริ่มจังหวะจุดระเบิดแต่ละจังหวะ นี่เป็นการจุดระเบิดของหัวเทียนทั้งหมดระหว่างรอบหรือวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์

ระหว่างที่เพลาค้อเหวี่ยงหมุน 2 รอบ (720 องศา) ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาค้อเหวี่ยงก็จะจัดเตรียมพัลส์เท่ากับจำนวนสูบของเครื่องยนต์ รูปที่ 9.22 ขณะที่ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาราวลีนจะจัดเตรียมเพียง 1 พัลส์ ตัวตรวจจับนี้ทำหน้าที่ในการพิสูจน์คอยล์ที่จะจุดประกายไฟ และจัดลำดับขั้นของการจุดประกายไฟของคอยล์ในมอดูลจุดระเบิด

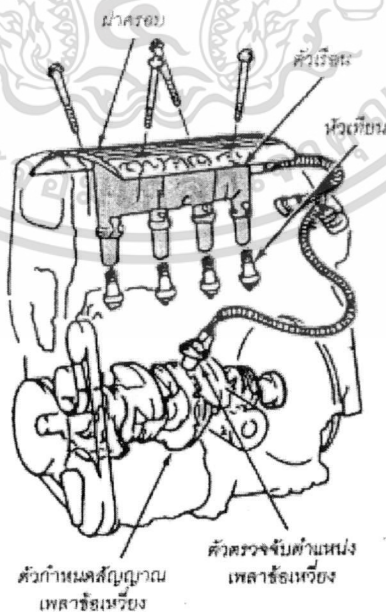


รูปที่ 2.22 แสดงสัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาราวลื่นที่สัมพันธ์กับสัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาช้อเหวี่ยง

2.6.4 ระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่ายไฟกับการจุดระเบิดโดยตรง

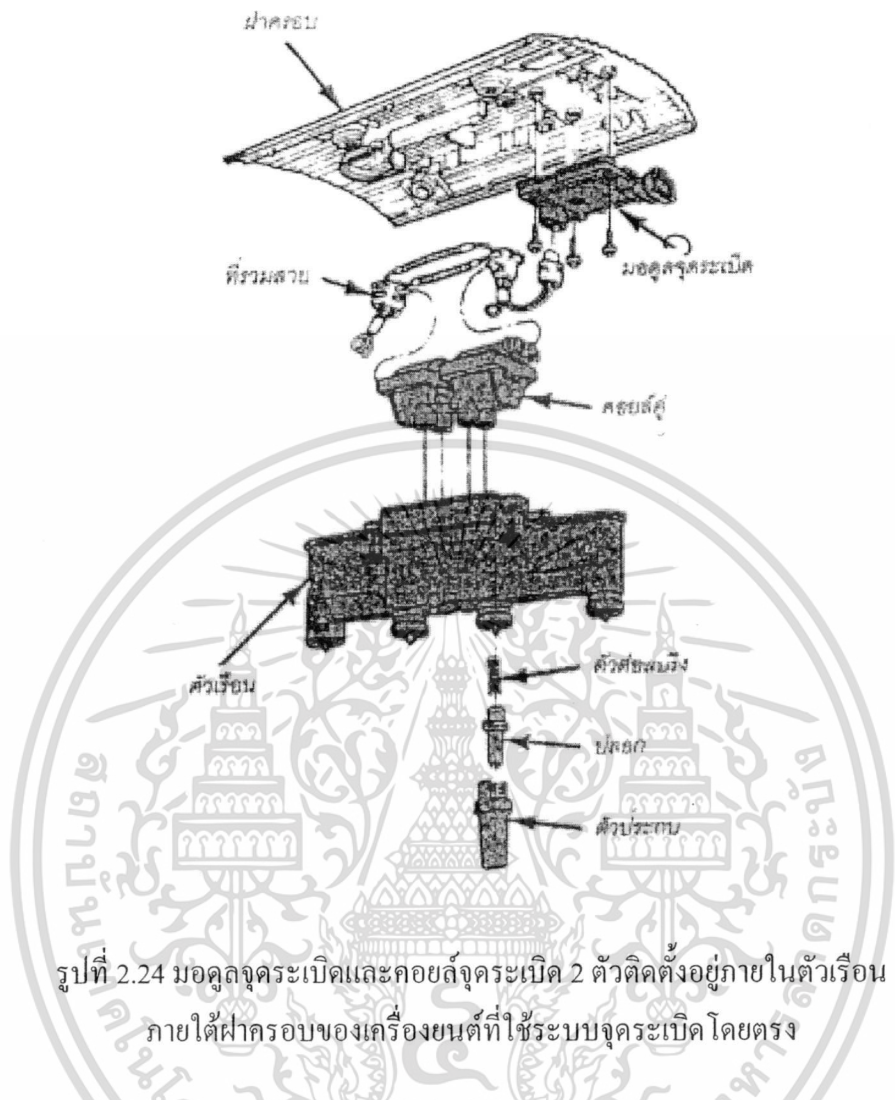
2.6.4.1 ระบบจุดระเบิดโดยตรงแบบคอยล์หลายตัว

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



รูปที่ 2.23 ระบบจุดระเบิด โดยตรงซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้สายไฟหัวเทียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 มือคูล์จู่กระเบิดและคอยล์จู่กระเบิด 2 ตัวติดตั้งอยู่ภายในตัวเรือน ภายใต้ฝาครอบของเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบจู่กระเบิดโดยตรง

ปัญหาที่มีก็จะเกิดขึ้นกับระบบจู่กระเบิดที่ใช้สายไฟหัวเทียนก็คือ การสูญเสียแรงเคลื่อนบางส่วนในสายไฟหัวเทียน ดังนั้น ถ้าปราศจากสายไฟหัวเทียนแล้วไฟแรงสูงก็จะเข้าสู่หัวเทียนได้อย่างเต็มที่ นอกจากนั้นการกำจัดสายไฟหัวเทียนยังเป็นการลดการบำรุงรักษาลงด้วยเช่นกัน เพราะจะไม่มีสายไฟหัวเทียนให้ตรวจสอบและเปลี่ยน

ระบบจู่กระเบิดแบบนี้ คอยล์จู่กระเบิดจะถูกติดตั้งเข้ากับหัวเทียนแต่ละหัวโดยตรง การเปิดวงจรขดลวดปฐมภูมิในคอยล์แต่ละตัวก็จะทำให้หัวเทียนจุกประกายไฟเพียง 1 หัว เท่านั้น

ระบบจู่กระเบิดแบบไร้งานจ่ายไฟมีข้อดีที่เหนือกว่าระบบจู่กระเบิดแบบมีงานจ่ายไฟดังนี้

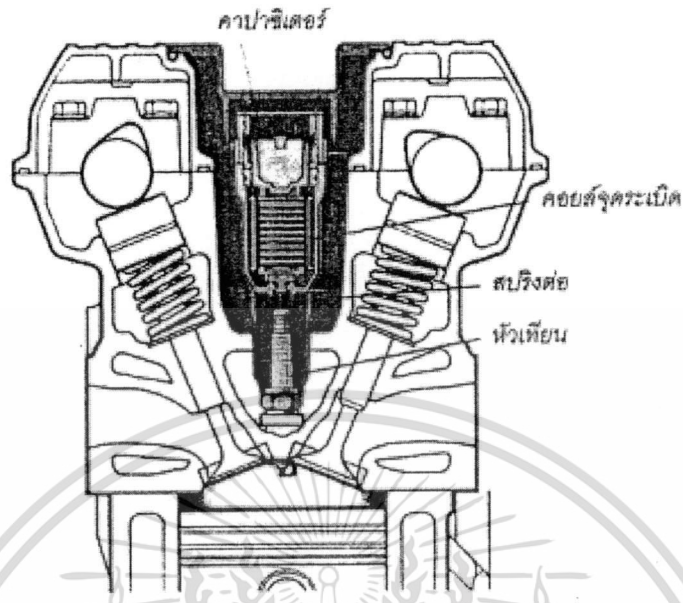
1. การสึกหรอน้อยกว่าเนื่องจากชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวน้อยกว่า
2. ความยืดหยุ่นในการติดตั้งมีมากกว่า เพราะส่วนประกอบในการติดตั้งน้อยลง ซึ่งปัจจุบันมีความสำคัญมากเพราะห้องเครื่องจะมีขนาดเล็กลง
3. การบำรุงรักษาต่ำเพราะไม่ต้องมีหัวโรเตอร์และฝาครอบจานจ่ายไฟ
4. การแทรกแซงคลื่นความถี่วิทยุลดลง เพราะไม่มีช่องว่างระหว่างหัวโรเตอร์กับขั้วไฟแรงสูงที่ฝาครอบจานจ่ายไฟ
5. ขจัดจุดจุดระเบิดไม่ครบสูบที่ทำให้เกิดกรดไนตริกขึ้นในฝาครอบจานจ่ายไฟ
6. ขจัดการปรับตั้งจังหวะการจุดระเบิดทางกล
7. ลดภาระทางกลของเครื่องยนต์
8. ยืดระยะเวลาอ้อมตัวของคอยล์ทำให้ผลิตไฟแรงสูงได้สูงขึ้น
9. ยืดระยะเวลาระหว่างการจุดระเบิด ทำให้คอยล์มีเวลาในการระบายความร้อนได้มากขึ้น

2.6.4.2 ระบบจุดระเบิดโดยตรงแบบจุดระเบิดด้วยตัวเก็บประจุ

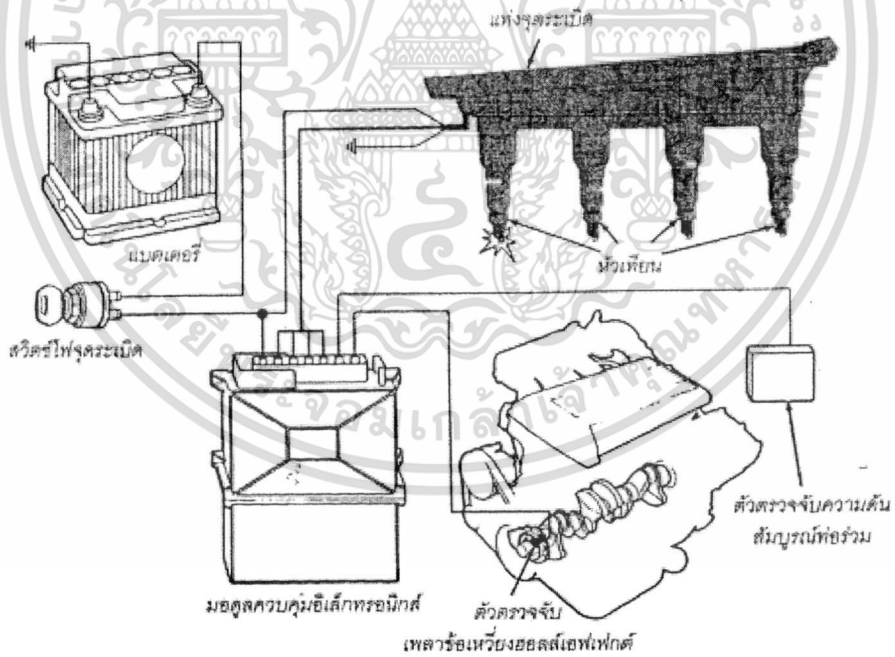
ระบบจุดระเบิดที่กล่าวมาแล้วข้างต้นทั้งหมดเป็นระบบจุดระเบิดแบบเหนี่ยวนำ (induction ignition system) ระบบจุดระเบิดแบบนี้จะเก็บพลังงานปฐมภูมิไว้ในคอยล์หรือตัวนำทางไฟฟ้า แต่ระบบจุดระเบิดโดยตรงแบบจุดระเบิดด้วยตัวเก็บประจุหรือที่นิยมเรียกกันโดยทั่วไปว่าแบบซีดีไอที่จะกล่าวต่อไปนี้จะเก็บพลังงานปฐมภูมิไว้ในคาปาซิเตอร์หรือคอนเดนเซอร์ ซึ่งอุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนนี้จะสามารถกักเก็บประจุไฟฟ้าเพียงเล็กน้อยไว้เพียงชั่วคราวเท่านั้น

ระบบจุดระเบิดแบบนี้ ประกายไฟที่หัวเทียนจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อสวิตช์หรือทรานซิสเตอร์ปิดวงจรขดลวดปฐมภูมิ จากนั้นคาปาซิเตอร์ที่ได้รับการประจุจากแบตเตอรี่ก็จะคายประจุผ่านคอยล์จุดระเบิด ทำให้เกิดไฟแรงสูงขึ้นภายในคอยล์และทำให้เกิดประกายไฟที่หัวเทียน

รูปที่ 2.25 แสดงให้เห็นถึงระบบจุดระเบิดแบบจุดระเบิดด้วยตัวเก็บประจุหรือแบบซีดีไอของรถซาฮับ ที่คล้าย ๆ กับระบบจุดระเบิดโดยตรงแบบคอยล์หลายตัว ระบบนี้หัวเทียนแต่ละหัวจะมีคอยล์จุดระเบิดและคาปาซิเตอร์ของตนเอง ส่วนประกอบทั้งหมดจะถูกผนึกเข้าด้วยกันและติดตั้งเข้ากับหัวเทียนโดยตรง ดังรูปที่ 2.26 ระบบนี้จะสามารถจัดส่งไฟแรงสูงหรือแรงเคลื่อนหุติยภูมิให้กับหัวเทียนได้สูงถึง 40,000 โวลต์ โดยจะทำให้หัวเทียนเกิดประกายไฟเมื่อสวิตช์หรือทรานซิสเตอร์ปิดวงจรขดลวดปฐมภูมิ เพื่อให้ตัวเก็บประจุคายประจุออกมาให้กับคอยล์จุดระเบิด ทำให้เกิดประกายไฟที่หัวเทียน



รูปที่ 2.25 ส่วนประกอบของระบบจุดระเบิดด้วยตัวเก็บประจุ



รูปที่ 2.26 ระบบจุดระเบิดด้วยตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

แรงเคลื่อนจากแบตเตอรี่จะเป็นสาเหตุที่ทำให้กระแสจำนวนเล็กน้อยไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของคอยล์ที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก ดังนั้น เมื่อวงจรถลวดปฐมภูมิเปิด เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นก็จะยุบตัวลง ทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำสูงถึง 400 โวลต์ในวงจรถลวดปฐมภูมิเข้าประจุคาปาซิเตอร์อีซีเอ็มที่ใช้ควบคุมจังหวะการจุดระเบิดจะขึ้นอยู่กับสัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลลาข้อเหวี่ยงแบบฮอลล์เอฟเฟกต์ ตัวตรวจจับความดันสัมบูรณ์ที่พร้อมหรือเอ็มเอพี (manifold absolute pressure sensor, MAP) จะจัดเตรียมข้อมูลทางด้านภาระของเครื่องยนต์ให้กับอีซีเอ็ม ตัวตรวจจับการน็อก (detonation or knock sensor) ก็จะจัดส่งสัญญาณให้กับอีซีเอ็มสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงจังหวะจุดระเบิดให้เป็นไปตามลำดับขั้นการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ได้อย่างถูกต้อง

ระบบจุดระเบิดแบบนี้เกือบจะทันทีหลังบิคกุญแจสตาร์ทแล้วหัวเทียนแต่ละหัวจะจุดประกายไฟไปตามลำดับขั้นการจุดระเบิดประมาณ 50 ครั้ง ปრაกฏการณ์นี้จะช่วยให้เชื้อหัวเทียนสะอาดและแห้ง จึงช่วยให้การสตาร์ทติดเครื่องสามารถที่จะกระทำได้ง่าย แต่ถ้าเครื่องยนต์สตาร์ทไม่ติด หลังจากผู้ใช้รถปล่อยกุญแจสตาร์ทคืนสู่ตำแหน่งเดิมและพยายามที่จะสตาร์ทใหม่อีกครั้งหนึ่งหัวเทียนทั้งหมดก็จะจุดประกายไฟอีกประมาณ 1,000 ครั้ง เมื่อเครื่องยนต์สตาร์ทติดแล้วและเดินด้วยความเร็วประมาณ 600 รอบต่อนาทีหรือสูงกว่า ระบบจุดระเบิดก็จะจัดให้เกิดประกายไฟเพียง 1 ครั้งต่อหัวเทียน 1 หัวเท่านั้น

บทที่ 3

หลักการพื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์

3.1 บทนำ

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

3.2 แนะนำไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051

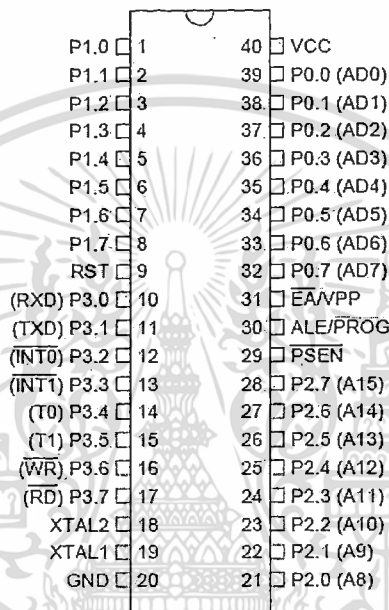
ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 ได้มีการผลิตครั้งแรกโดยบริษัท Intel และใช้ชื่อว่า MCS-51 ซึ่งปรากฏว่านิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 16 บิตต่อมาได้มีหลายบริษัทที่รับลิขสิทธิ์จากบริษัทอินเทล ให้มีการนำ MCS-51 ไปผลิตเพื่อจำหน่ายทำให้เกิด 8051 ไมโครคอนโทรลเลอร์ชิพ หลายซีรีส์จำนวนมากขึ้นมา ซึ่งผู้บริโภคสามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสมกับลักษณะงาน

3.3 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์

โครงสร้างโดยทั่วไป ของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น สามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ ๆ ดังต่อไปนี้

- 1.หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU : Central Processing Unit)
- 2.หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) และหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory)
- 3.ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก
- 4.ช่องทางเดินของสัญญาณหรือบัส (BUS) คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต

5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับกำหนัดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่สูงจังหวะการทำงานจะสามารถทำได้ถี่ขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้นมีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย



รูปที่ 3.1 แสดง IC MCS-51

3.4 ไทม์เมอร์และเคาน์เตอร์ใน MCS-51

ไทม์เมอร์และเคาน์เตอร์ ใน MCS-51 มี 2 ชุดคือ Timer/Counter0 และ Timer/Counter1 ทั้ง 2 นี้ใช้งานโดยเป็นอิสระต่อกันไม่เกี่ยวข้องกัน แต่เมื่อเราได้ใช้งาน Timer1 แล้วเราจะไม่สามารถใช้ Counter1 ได้ในทำนองเดียวกัน ถ้าเราใช้ Timer0 ไปแล้วเราก็ไม่สามารถใช้งาน Counter0 ได้ สัญญาณพัลส์ที่มาจากภายใน MCS-51 เพื่อให้เกิดการนับของไทม์เมอร์นั้นจะได้จาก ออสซิลเลเตอร์ของ CPU ผ่านวงจรถหาร 12 ถ้า CPU นั้นใช้คริสตัลความถี่ 12 MHz ฉะนั้นความถี่ หรือสัญญาณพัลส์ ที่จะป้อนให้ไทม์เมอร์จะมีค่า $12 \text{ MHz} / 12$ เท่ากับ 1 MHz จะได้คาบเวลาเท่ากับ 1 / 1MHz เท่ากับ 1 ไมโครวินาที

3.4.1 ฐานเวลาของไทม์เมอร์

ไทม์เมอร์จะคล้ายกับนาฬิกาปลุก ฐานเวลาของนาฬิกาปลุกก็คือการที่เข็มวินาทีกระดิกไป 1 ช่องซึ่งหมายถึง 1 วินาทีนั่นเอง เพราะฉะนั้นในไทม์เมอร์ก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกัน ฐานเวลาของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไทม์เมอร์ก็คือคาบเวลาของสัญญาณพัลส์ที่ป้อนให้ไทม์เมอร์นั่นเอง เช่น ถ้าเราใช้ Crystal 12 MHz ฐานเวลาของไทม์เมอร์จะเป็น 1 ไมโครวินาที ซึ่งก็คือไทม์เมอร์นับ 1 ครั้งเท่ากับ 1 ไมโครวินาที ถ้าเราต้องการหน่วยเวลา 5 ไมโครวินาที ไทม์เมอร์ก็ต้องนับ 5 ครั้ง โดยไทม์เมอร์จะเป็นตัวตั้งเวลาเงื่อนไขเมื่อถึงเวลาที่กำหนดจะแสดงผลออกมาให้รู้



รูปที่ 3.2 แสดงการเปรียบเทียบไทม์เมอร์และเคาน์เตอร์

เมื่อเปรียบเทียบกับ MCS-51 ในกรณีที่ เป็นเคาน์เตอร์ สัญญาณพัลส์ที่ได้รับมาจากภายนอก จะเข้ามาทางขา TO และ T1 ในกรณีที่ เป็น ไทม์เมอร์ สัญญาณที่ส่งออกมาเพื่อแสดงผลเมื่อไทม์เมอร์นับครบค่าของการนับที่ตั้งไว้ จะถือจากการเปลี่ยนแปลงของแฟล็ก TFO และ TF1 ภายใน Special Function Register (SFR) ที่ตัว TCON

3.4.2 ลักษณะโหมดการทำงานของ Timer / Counter

ลักษณะโหมดการทำงานของ Timer / Counter ใน 8051 เราสามารถกำหนด โหมดการทำงาน ของของมันด้วย Register TMOD โดยไปกำหนดที่บิต M1 และ M0 จะมีทั้งหมด 4 โหมดคือ 0-4 ดังนี้

- โหมด 0 จะเป็นไทม์เมอร์ขนาด 13 บิต สามารถนับได้ 8192 ครั้ง
- โหมด 1 จะเป็นไทม์เมอร์ขนาด 16 บิต สามารถนับได้ 65536 ครั้ง
- โหมด 2 จะเป็นไทม์เมอร์ขนาด 8 บิต (auto reload) สามารถนับได้ 256 ครั้ง
- โหมด 3 นั้นเป็นไทม์เมอร์แบบใช้งานอิสระ

โดยหากเราใช้ไทม์เมอร์โหมด 0, 1 เราจะต้องใช้ทั้ง THX และ TLX (X คือ 0 หรือ 1) เป็นตัวกำหนดค่าเริ่มต้นของการนับ แต่ถ้าเราใช้โหมด 2 ซึ่งเป็นไทม์เมอร์ 8 บิต เราจะใช้แค่ THX เท่านั้นซึ่งเราต้องพิจารณาในจุดนี้ด้วย

3.4.3 สรุปขั้นตอนการใช้งานไทม์เมอร์

การใช้งานโดยทั่วไปมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดโหมดการทำงานของไทม์เมอร์ ที่รีจิสเตอร์ TMOD
2. กำหนดค่าการนับของไทม์เมอร์ที่รีจิสเตอร์ TH1, TL1, TH0, TLO ตามสมการ
3. สั่งให้ไทม์เมอร์เริ่มทำงาน โดยเซตที่บิต TR1, TR0
4. ตรวจสอบการโอเวอร์โฟลว์ที่บิต TF1 หรือ TF0

3.5 โครงสร้างการอินเทอร์รัปต์ MCS-51

อินเทอร์รัปต์ที่เกิดจากภายนอก (External Interrupts) เป็นอินเทอร์รัปต์ที่ภายนอก MCS-51 มี 2 ชนิดด้วยกัน คือ

- อินเทอร์รัปต์ภายนอกชนิด 0 รับได้จาก INT0
- อินเทอร์รัปต์ภายนอกชนิด 1 รับได้จาก INT1

ผู้ใช้สามารถกำหนดให้ MCS-51 ตรวจสอบสัญญาณอินเทอร์รัปต์ทั้งสองชนิดที่เกิดขึ้นที่ขา INT0, INT1 ได้ 2 แบบด้วยกันคือ

- ตรวจสอบจากระดับสัญญาณ (Level-activated)
- ตรวจสอบจากเปลี่ยนสถานะสัญญาณ (Transition-activated)

การตรวจสอบสถานะสัญญาณอินเทอร์รัปต์ภายนอกที่ขาทั้งสองสามารถเลือกได้เพียงอย่างเดียว โดยอย่างหนึ่งขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าบิต IT0, IT1 (Interrupt Type Control bit) ในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ TCON

เมื่อ MCS-51 ตรวจพบสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอก จะมีผลทำให้บิต IE0 (จากขา INT0) หรือ IE1 (จากขา INT1) ของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ TCON ถูกเซต บิตทั้งสองจะเป็นตัวบอกสถานะของสัญญาณอินเทอร์รัปต์ที่เกิดจากภายนอก โดยถูกเซตเมื่อเกิดสัญญาณอินเทอร์รัปต์และถูกเคลียร์โดยฮาร์ดแวร์ภายใน MCS-51 เอง เมื่อ CPU ย้ายไปทำงานที่โปรแกรมบริการอินเทอร์รัปต์ ต่อเมื่อ สัญญาณอินเทอร์รัปต์ภายนอกที่เกิดขึ้นเป็นชนิดที่ตรวจสอบได้จากการเปลี่ยนสถานะสัญญาณแต่ถ้าสัญญาณอินเทอร์รัปต์ภายนอกที่เกิดขึ้นได้มาจากการตรวจสอบระดับสัญญาณ เมื่อ CPU ย้ายไปทำงานที่โปรแกรมบริการอินเทอร์รัปต์จะ ไม่มีการเคลียร์บิต IE0 หรือ IE1 ให้ ในกรณีนี้จะเป็นหน้าที่ของวงจรถูกสัญญาณอินเทอร์รัปต์ภายนอกที่จะต้องทำหน้าที่ควบคุมสถานะของสัญญาณที่ขา INTX (INT0 หรือ INT1) ให้กลับสู่สภาพเดิมเอง มิฉะนั้น โปรแกรมหลักที่ทำงานอยู่ จะถูกอินเทอร์รัปต์ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งสัญญาณอินเทอร์รัปต์กลับเป็น 1 อีกครั้ง

อินเทอร์รัปต์ไทม์เมอร์ 0 และไทม์เมอร์ 1 ถูกทำให้เกิดขึ้นโดยบิต TF0 หรือ TF1 ซึ่งถูกเซตเมื่อไทม์เมอร์ 0 หรือ ไทม์เมอร์ 1 เกิด overflow (มีการเปลี่ยนค่าจาก 1 ทั้งหมดมาเป็น 0 ทั้งหมดในรีจิสเตอร์ที่ใช้งานเป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์ของไทม์เมอร์ 0 หรือ ไทม์เมอร์ 1) ยกเว้นไทม์เมอร์ 0 ในโหมด 3 ซึ่งหยุดการทำงาน เมื่อมีอินเทอร์รัปต์จากไทม์เมอร์เกิดขึ้น บิต TF0 และ TF1 จะถูกเคลียร์โดยฮาร์ดแวร์ของ MCS-51 เอง เมื่อ CPU ย้ายไปทำงานที่โปรแกรมบริการอินเทอร์รัปต์

3.5.1 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IE (Interrupt Enable-Register) เข้าถึงข้อมูลในระดับบิต

บิต	ชื่อบิต	คุณสมบัติ
IE.7	EA	ใช้ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ทั้งหมด ถ้าจะเป็น 0 MCS-51 จะไม่ตอบสนองสัญญาณอินเทอร์รัปต์ใด ๆ ทั้งสิ้น ถ้าเป็น 1 อินเทอร์รัปต์แต่ละชนิดจะถูกควบคุมการตอบสนองอย่างอิสระจากบิตในรีจิสเตอร์นี้
IE.6		ไม่ถูกกำหนดการใช้งาน
IE.5	ET2	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 2 เมื่อเกิด overflow
IE.4	ES	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ของพอร์ตสื่อสารอนุกรม
IE.3	ET1	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 1 เมื่อเกิด overflow
IE.2	EX1	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ภายนอกชนิด 1
IE.1	ET0	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 0 เมื่อเกิด Overflow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IE.0	EX0	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณ อินเทอร์รัปต์ภายนอกชนิด 0
------	-----	--

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของรีจิสเตอร์ที่ใช้งานเฉพาะ IE

การกำหนดให้บิตควบคุมการตอบสนองของสัญญาณต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์แต่ละชนิดมีค่าเป็น 0 หมายถึงไม่ให้ MCS-51 ตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ชนิดนั้น หากกำหนดให้บิตควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ชนิดนั้น (บิต EA ต้องถูกเซตไว้ก่อนด้วย)

บิต EA ในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IE สามารถควบคุมการอินเทอร์รัปต์ใน MCS-51 ได้ทั้งหมดหากบิตนี้มีค่าเป็น 1 สัญญาณอินเทอร์รัปต์แต่ละชนิดจะถูกควบคุมให้อินเทอร์รัปต์ MCS-51 ได้ได้อย่างอิสระ (ควบคุมจากบิต IE.0-IE.5)

บิต IE.5 ไม่ถูกใช้ใน 8051 เพราะถูกสงวนไว้ใช้ใน MCS-51 เบอร์อื่นๆที่สามารถรับอินเทอร์รัปต์ได้เพิ่มขึ้นดังนั้นซอฟต์แวร์ของผู้ใช้ไม่ควรจะมีคำสั่งเขียนค่า 1 ลงไปในบิตเหล่านั้น เพื่อให้โปรแกรมยังคงสามารถใช้งานกับชิพเบอร์ใหม่ๆ ได้

3.5.2 ปฏิบัติคำสั่ง long call ไปยังโปรแกรมบริการอินเทอร์รัปต์

ชนิดของอินเทอร์รัปต์ใน MCS-51	ตำแหน่งเริ่มต้นของโปรแกรมบริการ อินเทอร์รัปต์ (Vector address)
อินเทอร์รัปต์ภายนอกชนิด 0 (IE0)	0003H
อินเทอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 0 (TF0)	000BH
อินเทอร์รัปต์ภายนอกชนิด 1 (IE1)	0013H
อินเทอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 1 (TF1)	001BH

ตารางที่ 3.2 แสดงตำแหน่งเริ่มต้นของโปรแกรมบริการอินเทอร์รัปต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

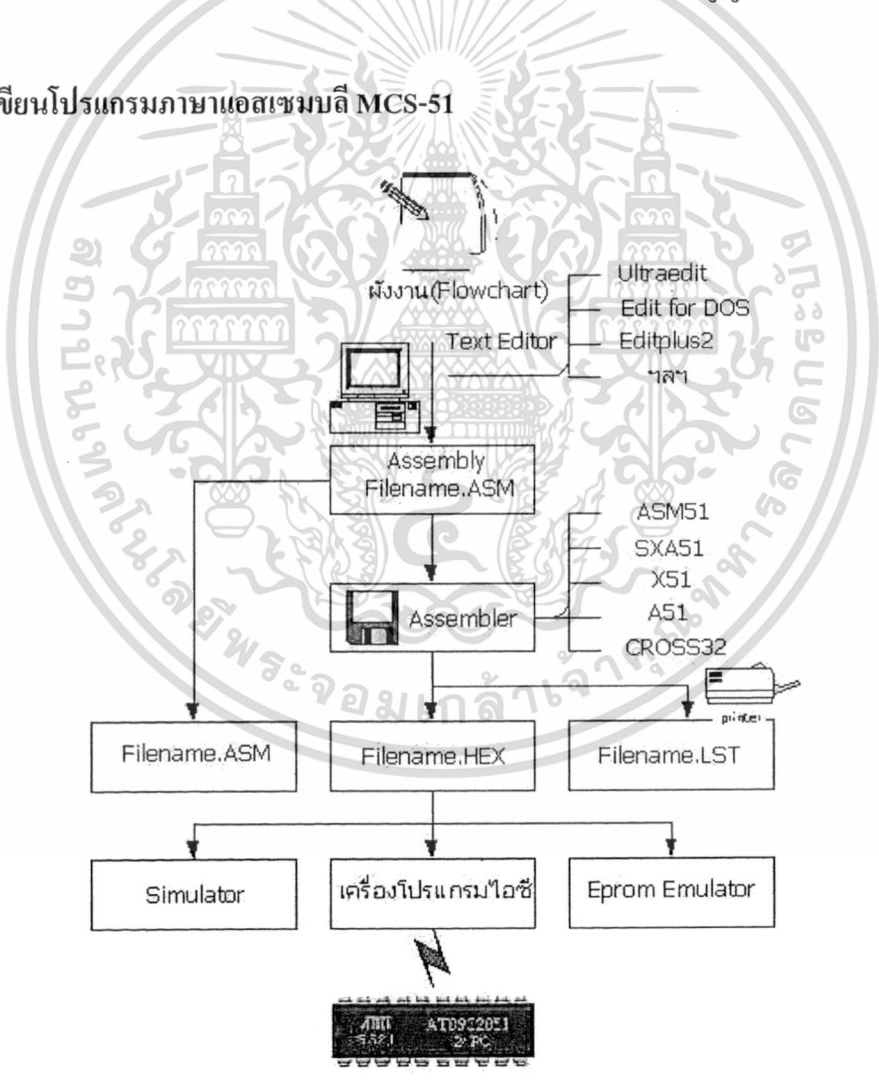
3.6 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

การทำงานในคำสั่งต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะประกอบไปด้วยรอบการทำงาน (Machine Cycle) ในแต่ละรอบการทำงานก็จะประกอบไปด้วยสภาวะเฟตซ์และเอ็กซีคิว โดยนับหน่วยของรอบการทำงานหรือแมชชีนไซเคิล (Machine Cycle) สามารถหาได้จาก

$$T=MC \times 12 / f_{xtal} \tag{3.1}$$

- เมื่อ
- T คือค่าเวลาที่ใช้ในการประมวลผลคำสั่ง
 - MC คือจำนวนแมชชีนไซเคิล
 - f-tal คือค่าความถี่ของคริสตอลที่ใช้
 - 12 คือใน 1 แมชชีนไซเคิล CPU จะใช้ สัญญาณนาฬิกา 12 ลูก

3.7 การเขียนโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี MCS-51



รูปที่ 3.3 แสดงโครงสร้างของชนิดไฟล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.1 โครงสร้างของโปรแกรมแอสเซมบลี

โปรแกรมจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำ ซึ่งอยู่ในรูปแบบของเลขไบนารีที่เรียกว่าภาษา Machine ซึ่งเป็นภาษาที่สามารถติดต่อกับคอมพิวเตอร์เข้าใจได้ ภาษา Machine นี้จะจัดให้อยู่ในรูปแบบที่เป็นเลขฐานสิบหก (HEX) เช่น คำสั่ง 8 บิต 11101011B (B-ไบนารี) เขียนได้เป็น 0EBH (H-ฐานสิบหก) แต่ก็เป็นการที่จะเข้าใจความหมายได้ยากในการใช้งาน การที่จะทำความเข้าใจภาษา Machine จะมีการใช้สัญลักษณ์ที่เรียกว่า Mnemonics เพื่อแทนความหมายของคำสั่ง เช่น MOV A,#67H หมายความว่านำข้อมูลค่าคงที่ 67H ไปเก็บไว้ใน reg. A) โปรแกรมที่เขียนด้วยรหัส Mnemonics เรียกว่าภาษา Assembly และก่อนที่จะให้ CPU ทำงานตามโปรแกรมที่เขียนด้วยภาษา Assembly ได้ แต่ต้องเปลี่ยนให้เป็นภาษา Machine ก่อน โดยใช้โปรแกรมแอสเซมเบลอร์

2.7.2 Statement

รูปแบบโปรแกรมภาษา Assembly ประกอบด้วย ส่วนต่าง ๆ (Field) 4 ส่วน คือ Label, Op-code, Operand และ Comment ในการเขียนในแต่ละคำสั่ง เรียกว่า Statement เช่น

Label	Op-code	Operand	Comment
LOOP1:	MOV	A,#0FFH	; REG A= 1111111B

ตารางที่ 3.3 แสดงตัวอย่างส่วนประกอบของภาษาแอสเซมบลี

Label จะต้องขึ้นต้นด้วยตัวอักษร "A-Z" หรือเครื่องหมาย "_", "." จะเป็นตัวอักษรจาก A ถึง Z หรือตัวเลขจาก 0 ถึง 9 หรือเครื่องหมาย "?" เลเบลจะยาวกี่ตัวอักษรก็ได้ แต่เมื่อรวมทั้งบรรทัดแล้วต้องไม่เกิน 255 ตัวอักษร ในการเขียนเลเบลจะต้องมีเครื่องหมาย ":" (Colon) ตามหลังเลเบลด้วยทุกครั้ง การใช้เลเบลควรจะทำให้สื่อต่อตัว โปรแกรมที่จะเรียกใช้

Op-code เป็นส่วนของนิมิตที่จะแสดงจุดมุ่งหมายของการกระทำแต่ละคำสั่ง เช่น MOV ADD SUB ในช่องห่างระหว่าง Op-Code และ โอเปอร์เรนด์จะต้องมีช่องว่างคั่นอยู่อย่างน้อย 1 ช่อง เช่น MOV A,R1

Operand โอเปอร์เรนด์เป็นส่วนที่แสดงถึงส่วนที่ถูกกระทำ อาจประกอบด้วย 2 ส่วนที่มีการคั่นด้วย "," หรือการแสดงถึงตำแหน่งที่จะกระทำ

Comment เป็นการเขียนคำอธิบายแต่ละบรรทัดหรือหมายเหตุนั้นและที่สำคัญจะต้องใช้เครื่องหมาย ";" (Semi-Colon) นำหน้าด้วยทุกครั้ง

คำสั่ง	การทำงาน	ความหมาย
INC A	$(A) = (A) + 1$	ทำการเพิ่มค่าข้อมูลในแอดคิวมูเลเตอร์ขึ้นหนึ่งค่า
INC Rn	$(Rn) = (Rn) + 1$	ทำการเพิ่มค่าของข้อมูลในรีจิสเตอร์ R0-R7 ขึ้นหนึ่งค่า
INC direct	$(Direct) = (direct) + 1$	ทำการเพิ่มค่าของข้อมูลในหน่วยความจำข้อมูลภายในขึ้นหนึ่งค่า
DEC Rn	$(Rn) = (Rn) - 1$	ทำการลดค่าของข้อมูลในรีจิสเตอร์ R0-R7 ลงหนึ่งค่า
DEC A	$(A) = (A) - 1$	การทำงาน: $(A) = (A) - 1$ ทำการลดค่าข้อมูลในแอดคิวมูเลเตอร์ลงหนึ่งค่า
DEC direct	$(Direct) = (direct) - 1$	ทำการลดค่าของข้อมูลในหน่วยความจำข้อมูลภายในลงหนึ่งค่า

ตารางที่ 3.4 แสดงตัวอย่างคำสั่งของภาษาแอสเซมบลี

3.7.3 การกระโดด

การกระโดด เป็นการควบคุมการทำงานของโปรแกรม โดยสามารถเปลี่ยนตำแหน่งของการทำงานไปยังที่ต่างๆ ตามต้องการและขณะทำงานจะต้องเปลี่ยนค่าของโปรแกรมเคาน์เตอร์ (Program Counter) ไปด้วย การกระโดดแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะด้วยกัน คือการกระโดดแบบไม่มีเงื่อนไข (Unconditional Jumps) เป็นการกระโดดไปทำงานในตำแหน่งแอดเดรสที่ระบุตามคำสั่งทันทีทันใด และการกระโดดแบบมีเงื่อนไข (Conditional Jumps) เป็นการกระโดดไปทำงานในตำแหน่งแอดเดรสที่ระบุไว้โดยตรวจสอบเงื่อนไขว่าเป็นจริง หรือเป็นเท็จจากการกำหนดที่คำสั่งในช่วงของกระโดดเพื่อให้โปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC) ไปทำที่ตำแหน่งแอดเดรสที่กำหนด โดยใช้คำสั่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วง

3.7.3.1 การกระโดดแบบสัมพัทธ์

การกระโดดแบบสัมพัทธ์ (Relative Range) คือการกระโดดไปทำที่ตำแหน่งแอดเดรสที่กำหนด เป็นระยะไม่เกิน $-127d + 128d$ เช่นคำสั่ง

SJMP rel (short Jump) เป็นคำสั่งที่มีขนาด 2 ไบต์ 2 แมชชีนไซเคิล โดยให้ซีพียูกระโดดโดยไม่มีเงื่อนไข ไปทำงานยังแอดเดรสที่กำหนดด้วยค่าสัมพัทธ์ (rel) ต้องมีขอบเขตไม่เกิน $-127d$ ถึง $+128d$ แอดเดรส ระยะที่กระโดดพิจารณา โดยเริ่มจากตำแหน่งถัดไป (ถ้าบวก) หรือนับแอดเดรสถอยหลัง(ถ้าลบ) ของคำสั่งกระโดด แต่จะใช้คำสั่งในการอ้างแอดเดรสขนาด 1 ไบต์ (รวมคำสั่งกระโดดแล้ว เป็น 2 ไบต์) ค่าของ rel สามารถหาได้จาก ระยะห่างจากจุดที่จะกระโดดตำแหน่งของโปรแกรมเคาน์เตอร์ ในขณะนั้น ไปถึงที่ตำแหน่งที่ต้องการแล้วนำมาลบด้วย 2 (2 มาจากเนื้อที่สองไบต์ของคำสั่งSJMP)

3.7.3.2 การกระโดดแบบสัมบูรณ์

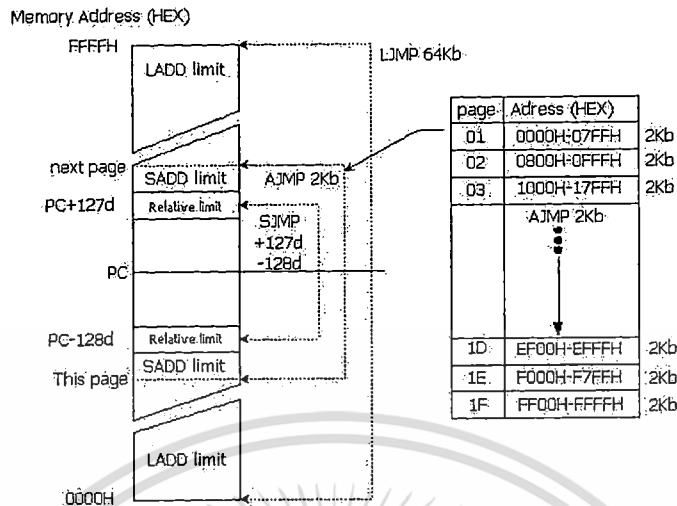
การกระโดดแบบสัมบูรณ์ (Short Absolute Range) คือการกระโดดไปทำที่ตำแหน่งหมายเลขแอดเดรสที่กำหนดใหม่ได้โดยตรง และอยู่ในช่วงสัมบูรณ์ของค่า 11 บิต โดยจะกำหนดขอบเขตเพียง 2 กิโลไบต์จากตำแหน่งแอดเดรสของคำสั่งถัดไป ซึ่งจะใช้หน่วยความจำในการเก็บตำแหน่ง 11 บิต

AJMP addr11 (Short Absolute Range) เป็นคำสั่งที่มีขนาด 2 ไบต์ 2 แมชชีนไซเคิล การทำงานก็จะกำหนดให้ซีพียูกระโดดโดยไม่มีเงื่อนไข ไปทำงานยังแอดเดรสที่กำหนดด้วยค่าขอบเขตสัมบูรณ์แบบใกล้ซึ่งสามารถอ้างแอดเดรสได้สูงสุด 2 กิโลไบต์ (000H-7FFH) ระยะที่กระโดดพิจารณาดำเนินถัดจากคำสั่งนี้ไป

3.7.3.3 การกระโดดแบบไกล

การกระโดดแบบไกล (Long Absolute Range) สามารถระบุตำแหน่งที่จะกระโดดได้ตลอดช่วงความสามารถในการอ้างแอดเดรสของไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้ง 16 บิต (64 Kbytes) แต่จะให้คำสั่งในการอ้างแอดเดรสขนาด 2 ไบต์(รวมคำสั่งกระโดดแล้ว เป็น 3 ไบต์) เช่นคำสั่ง

LJMP addr16 (Long Absolute Range) เป็นคำสั่งที่มีขนาด 3 ไบต์ 2 แมชชีนไซเคิล การทำงานก็จะกำหนดให้กระโดดแบบไม่มีเงื่อนไข โดยไปทำงานยังแอดเดรสที่กำหนดด้วยค่าขอบเขตสัมบูรณ์แบบไกลซึ่งสามารถอ้างแอดเดรสได้ตลอดช่วงความสามารถในการอ้างแอดเดรสของไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้ง 16 บิต



รูปที่ 3.4 แสดงแผนภาพแสดงการกระโดดทั้ง 3 ช่วง

3.7.4 โปรแกรมย่อย

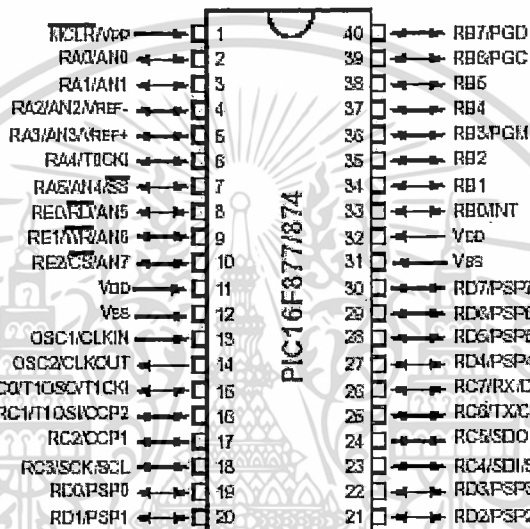
โปรแกรมย่อย คือส่วนของโปรแกรมที่เขียนไว้สำหรับให้ใช้งานในหน้าที่หนึ่งๆ ซึ่งแยกออกไปจากโปรแกรมหลัก แต่อาจจะต้องถูกเรียกใช้งานเป็นประจำ ยกตัวอย่างเช่น โปรแกรมหน่วงเวลา ในการเขียนโปรแกรมหลัก สมมุติว่าต้องการ ใช้โปรแกรมหน่วงเวลาหลายๆครั้ง เราจะต้องเขียนโปรแกรมหน่วงเวลา เท่ากับจำนวนครั้งที่เราเรียกใช้ ถ้าหากเราเขียนเป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่หน่วงเวลาชื่อ DELAY เก็บไว้เป็นโปรแกรมย่อย แล้วต้องการเรียกใช้งานการหน่วงเวลาในตำแหน่งใดๆของโปรแกรม สามารถที่จะเรียกโปรแกรมย่อยโดยใช้คำสั่ง CALL DELAY เพื่อให้โปรแกรมหลักที่ทำอยู่ในขณะนั้นกระโดดไปทำที่โปรแกรมย่อยหน่วงเวลาได้ และทำการเก็บค่าของโปรแกรมเคาน์เตอร์ไว้ในสแตคเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ปฏิบัติตามคำสั่งในโปรแกรมย่อยจนเสร็จสิ้น หลังจากนั้นจะออกจากโปรแกรมย่อยเพื่อกลับไปทำที่โปรแกรมหลัก เราจะใช้ คำสั่ง RET โดยสแตคจะต้องคืนค่าให้กลับโปรแกรมเคาน์เตอร์เพื่อจะกลับไปทำที่โปรแกรมหลัก ซึ่งจะมีคำสั่งดังต่อไปนี้

RET (Return from subroutine) การทำงานคือกำหนดให้ซีพียูออกจากโปรแกรมย่อย โดยให้สแตคคืนค่า แอดเดรสให้กับโปรแกรมเคาน์เตอร์ที่กระโดดมา เพื่อไปยังโปรแกรมหลัก ดังนั้นค่าของ สแตคก็จะถูกลดค่าลง 2 ค่า โดยคำสั่ง RET จะเป็นคำสั่งสุดท้ายของทุกโปรแกรมย่อย

3.8 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ของบริษัท MICROSHIP เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายมาก เพราะเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีฟังก์ชันต่างๆ มากมาย อยู่ในตัว และความเร็วการทำงานนี้ จะมีความเร็วในการทำงานมากกว่า CPU ทั่วไปที่ความถี่เดียวกัน เพราะว่า CPU ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนี้ จะใช้เวลาในการกระทำคำสั่งต่าง ๆ เพียง 1 หรือ 2 cycle ต่อคำสั่งเท่านั้น โดยการทำงานนี้มีลักษณะการทำงานแบบ Pipe line

PDIP



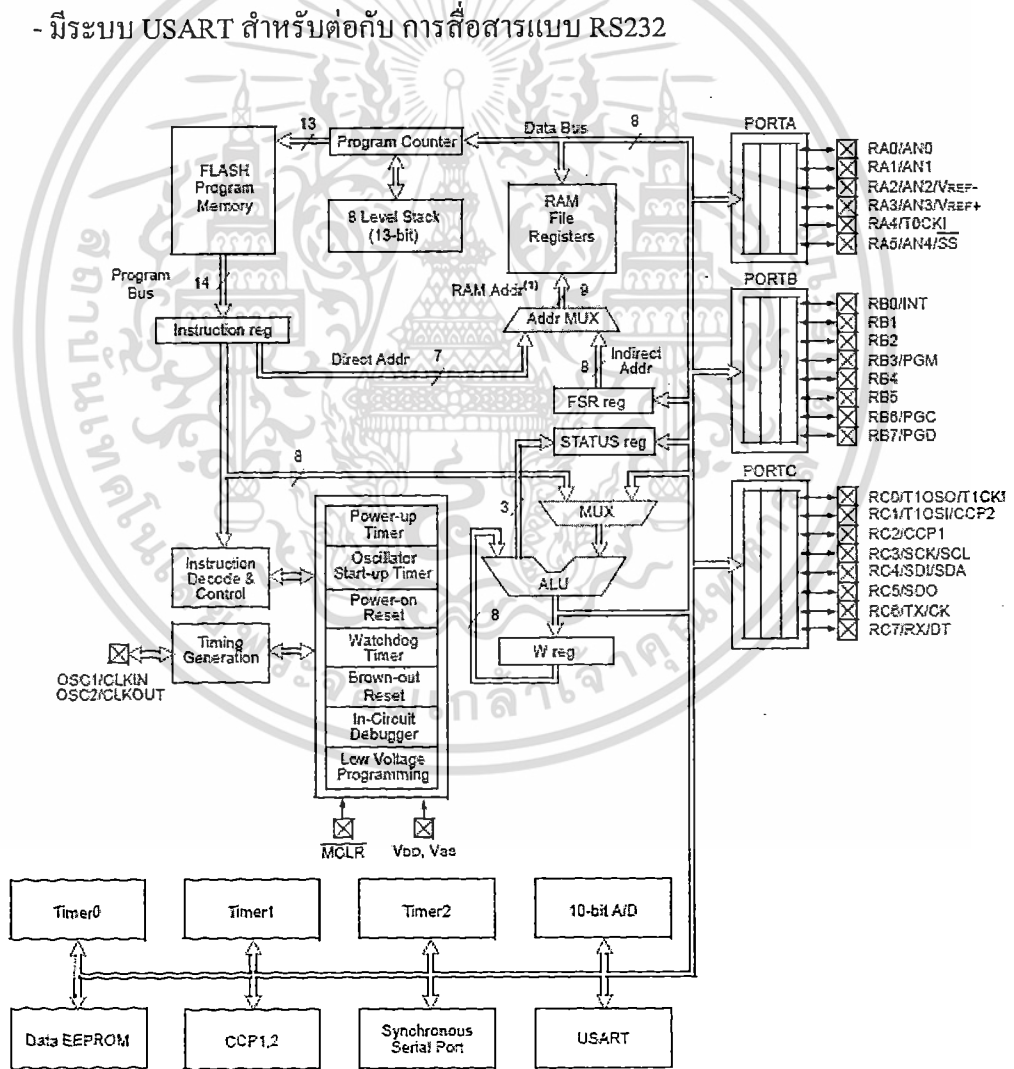
รูปที่ 3.5 แสดงโครงสร้างภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

3.8.1 คุณสมบัติของ PIC16F877

- ในการปฏิบัติงานใช้เพียง cycle เดียว หรือ 2 cycle ในคำสั่งที่เป็นการกระโดด
- ความถี่สูงสุดที่ใช้งานได้คือ 20MHZ
- มีคำสั่งให้ใช้งาน 35 คำสั่ง
- ทำงานแบบ Pipe-line ทำให้ ณ เวลาหนึ่งทำงาน 2 อย่างพร้อมๆกันได้
- หน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบ Flash มีขนาด 8KWord (1 word=14 บิต)
- มี RAM ขนาด 368 ไบต์
- มี EEPROM ขนาด 256 ไบต์
- ตอบสนองกับอินเทอร์รัพได้ทั้งหมด 14 แหล่ง
- มี Stack ให้ใช้ได้สูงสุด 8 ระดับ
- มีระบบ Power On Reset, Power Up Timer, Oscillator Start-up timer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Watchdog timer
- มีระบบ Code Protection
- โหมดประหยัดพลังงาน
- สัญญาณพิกามีหลายโหมดให้เลือกใช้งาน คือ อาจจะใช้ XTAL หรือ วงจร RC ก็ได้
- สามารถโปรแกรมด้วยไฟ +5VDC
- มี Timer/Counter 3 ตัว
- มีโมดูล Capture/Compare/PWM อีก 2 ชุด
- มี A-TO-D Converter แบบ 10 บิต จำนวน 8 ช่องนำเข้า ในตัวเอง
- มี I/O พอร์ตทั้งหมด 5 พอร์ต
- มีระบบ USART สำหรับต่อกับ การสื่อสารแบบ RS232



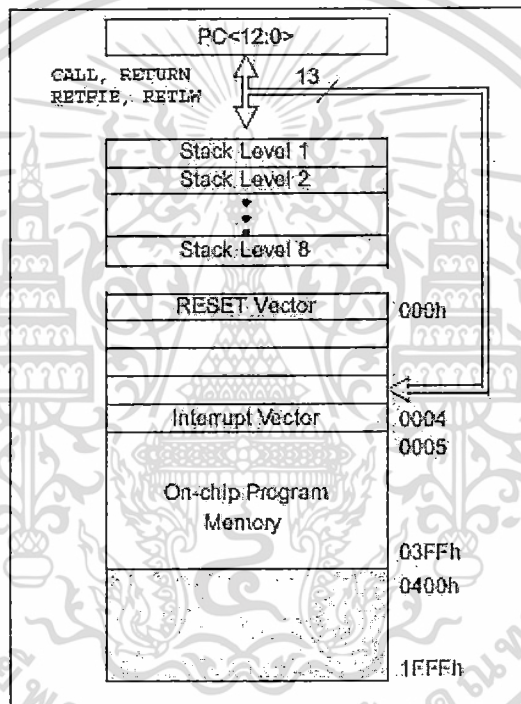
Note 1: Higher order bits are from the STATUS register.

รูปที่ 3.6 แสดงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.2 การจัดการกับหน่วยความจำส่วนโปรแกรม

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



รูปที่ 3.7 แสดงการจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำ

จากรูป 3.7 แสดงการจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำโปรแกรมของ PIC16F877 การจัดสรรดังกล่าวเป็นการจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมซึ่งอยู่ในช่วง 0x0000h-0x1FFFh สำหรับพื้นที่ 4 แอดเดรสแรกจะสงวนไว้เป็นที่เก็บค่าแอดเดรสรีเซตเวคเตอร์ซึ่งจัดสรรไว้ที่ตำแหน่ง 0x0000h และที่ตำแหน่ง 0x0004h เป็นที่เก็บค่าแอดเดรสอินเทอร์รัปต์เวคเตอร์ ดังนั้นในการเขียนโปรแกรมที่ดีควรกระโดดมาเริ่มต้นทำงานที่แอดเดรส 0x0005h จะเหมาะสมมากที่สุด

3.8.3 หน้าที่ของพอร์ตที่ใช้งาน

พอร์ต I/O พอร์ตทั้งหมด 5 พอร์ต ประกอบไปด้วย A, B ,C, D, E และแต่ละพอร์ตจะมีจำนวนบิตที่ไม่เท่ากันซึ่งรวมแล้วจะมีพอร์ต I/O พอร์ตทั้งหมด จำนวน33 บิต

3.8.3.1 PORT A

มีทั้งสิ้น 6 ช่องหรือ 6 บิตกำหนดชื่อขาเป็น RA0-RA5 รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือ PORTA มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x05h เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต แต่ใช้งานเพียง 6 บิต ที่เหลือ 2 บิต ต้องกำหนดให้เป็น "0" ส่วนการกำหนดทิศทางของพอร์ตนี้กระทำผ่านรีจิสเตอร์ TRISA ซึ่งมีแอดเดรสอยู่ที่ 0x85h มีขนาด 8 บิต และใช้เพียง 6 บิตเช่นกัน 2 บิตบนคือ บิต 6 และบิต 7 ต้องกำหนดให้เป็น "0" บิต 0 ของ TRISA ใช้กำหนดทิศทางของขาพอร์ต RA0 ไล่เรียงลำดับจนถึงบิต 5 ของ TRISA ใช้กำหนดทิศทางของขาพอร์ต RA5 หากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตในบิตใดเป็นอินพุตต้องเขียนข้อมูล "1" ไปยังบิตนั้น และในทางตรงข้ามหากต้องการกำหนดให้เป็นขาเอาต์พุตให้เขียนข้อมูล "0" ไปยังบิตนั้นดังแสดงรูปที่ 3.8

U-0	U-0	R/W-x	R/W-x	R/W-x	R/W-x	R/W-x	R/W-x
---	---	RA5	RA4	RA3	RA2	RA1	RA0
bit 7							bit 0
U-0	U-0	R/W-x	R/W-x	R-1	R/W-x	R/W-x	R/W-x
---	---	TRISA5	TRISA4	TRISA3	TRISA2	TRISA1	TRISA0
bit 7							bit 0

รูปที่ 3.8 แสดงบิตของพอร์ต A

โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ประกอบด้วย

พอร์ต A สามารถทำงานเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติ โดยมีหน้าที่อื่นๆอีกโดย
ใช้เป็น

ขา RA0,RA1 จะมีการทำงานที่เหมือนกัน ซึ่งสามารถใช้งานเป็นขาอินพุตรับสัญญาณอนาล็อก

ขา RA2 สามารถใช้เป็นขาเอาต์พุตแสดงสัญญาณดิจิทัล, ใช้เป็นอินพุตสำหรับรับสัญญาณนาฬิกาของไทมเมอร์ 0,ใช้เป็นอินพุตรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอก

ขา RA3 สามารถใช้เป็นขาเรซีเซตหลัก

ขา RA4 สามารถใช้เป็นขาต่อคริสตอล , รับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก , เป็นอินพุตเกตของไทมเมอร์ 1

ขา RA5 สามารถใช้เป็นขาต่อคริสตอล, รับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก, เป็นอินพุตรับสัญญาณนาฬิกาของไทมเมอร์ 1

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

3.8.3.2 PORT C

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

U-0	U-0	R/W-x	R/W-x	R/W-x	R/W-x	R/W-x	R/W-x
---	---	RC5	RC4	RC3	RC2	RC1	RC0
bit 7							bit 0
U-0	U-0	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1
---	---	TRISC5	TRISC4	TRISC3	TRISC2	TRISC1	TRISC0
bit 7							bit 0

รูปที่ 3.9 แสดงบิตของพอร์ต C

โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์

พอร์ต C สามารถทำงานเป็นขาพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตปกติได้ โดย ขา RC0-RC5 จะมีการทำงานที่เหมือนกัน

3.8.4 การอินเตอร์รัปต์

การอินเตอร์รัปต์ (interrupt) หรือการขัดจังหวะการทำงานของซีพียู นับเป็นคุณสมบัติที่ต้องมีในไมโครคอนโทรลเลอร์ และเป็นคุณสมบัติที่มีบทบาทสำคัญอย่างมากเมื่อนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาสร้างระบบควบคุมอัตโนมัติ โดยมีเงื่อนไขของการเกิดอินเตอร์รัปต์เป็นจริงจะมีการเซตแฟลกของอินเตอร์รัปต์นั้นๆขึ้น (ชื่อของแฟลกจะลงท้ายด้วยตัวอักษร F) จากนั้นจะตรวจสอบว่ามีการเอนเอเบิลการอินเตอร์รัปต์นั้นๆหรือไม่(ชื่อของการเอนเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จะเหมือนกับชื่อแฟลกแต่จะลงท้ายด้วยตัวอักษร E)เช่น หากเกิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์เข้ามาที่ขา RA2

แฟล็ก INTF จะเซต และถ้าหากมีการเอนเอเบิลการอินเทอร์รัปต์แบบนี้ ซึ่งตรวจสอบจากบิต INTE และมีการเอนเอเบิลการอินเทอร์รัปต์รวมไว้ก็จะเกิดการอินเทอร์รัปต์ขึ้นในระบบดังแสดงรูปที่ 3.10

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
GIE	PEIE	TOIE	INTE	RAIE	TOIF	INTF	RAIF
bit 7						bit 0	

รูปที่ 3.10 แสดงบิตของการเลือกอินเทอร์รัปต์

นั่นหมายความว่า การจะกำหนดให้เกิดอินเทอร์รัปต์ขึ้นได้ ต้องมีการเตรียมการ 4 ขั้นตอน คือ

1. เอนเอเบิลการอินเทอร์รัปต์รวม โดยการเซตบิต GIE ในรีจิสเตอร์ INTCON มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x0Bh/0x8Bh หากบิตนี้ไม่มีการเซต จะไม่มีทางเกิดการอินเทอร์รัปต์ขึ้นได้ แม้ว่าเงื่อนไขในการอินเทอร์รัปต์ของแหล่งกำเนิดต่างๆ จะเป็นจริง และมีการเอนเอเบิลแหล่งกำเนิดอินเทอร์รัปต์แล้วก็ตาม

2. เอนเอเบิลแหล่งกำเนิดอินเทอร์รัปต์

3. เขียนโปรแกรมบริการอินเทอร์รัปต์ โดยมีแอดเดรสอินเทอร์รัปต์เวกเตอร์อยู่ที่ 0x0004h

4. รอคอยให้เงื่อนไขของการอินเทอร์รัปต์ในลักษณะต่างๆ เกิดขึ้น

3.8.5 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลเป็นวงจรสำคัญ ในการนำไปใช้ตรวจจับสัญญาณที่เป็นระดับ เช่น ความดัน ความเร็ว เป็นต้น ในการตรวจจับสัญญาณเหล่านี้เราต้องมีวงจรแปลงสัญญาณเหล่านี้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าก่อน จากนั้นจึงได้แปลงมาเป็นสัญญาณดิจิตอล

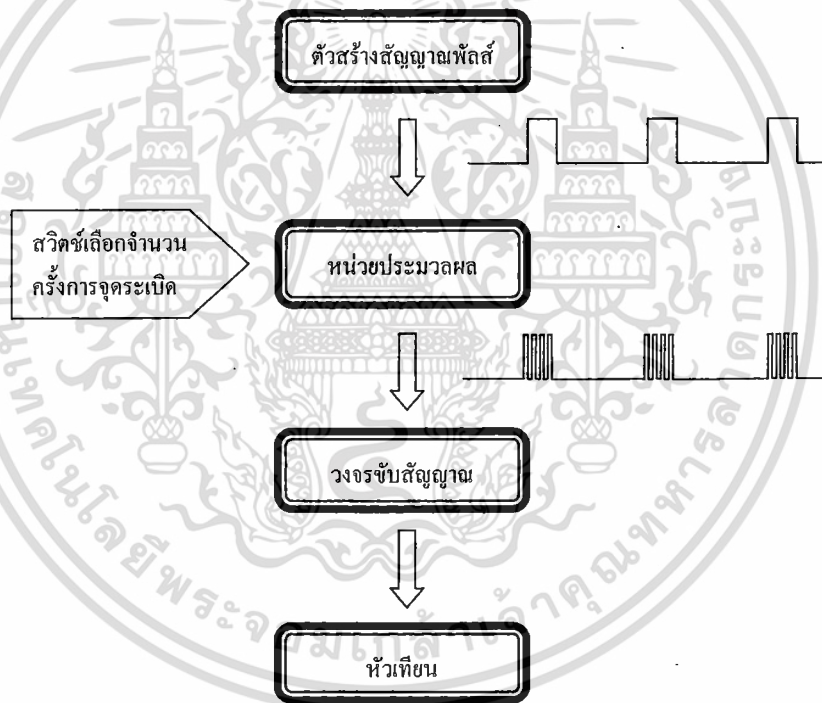
สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC 16F877 จะมีขา I/O ที่รับสัญญาณ A/D ได้ถึง 8 ช่อง โดยใช้ PORT A 5 ขา และ PORT E 3 ขา สำหรับความละเอียดในการแปลงสามารถเลือกได้ 2 ระดับ คือ ระดับ 8 บิต และระดับ 10 บิต โดยระดับ 8 บิตจะแปลงสัญญาณอนาลอก 0-5V มาเป็นดิจิตอลได้ 256 ค่า และระดับ 10 บิตจะแปลงสัญญาณอนาลอก 0-5V มาเป็นดิจิตอลได้ 1024 ค่า

บทที่ 4

หลักการออกแบบวงจรกระตุ้นหัวใจเทียม

4.1 หลักการเบื้องต้น

จากบล็อกไดอะแกรมการทำงานเบื้องต้น เริ่มจากการสร้างสัญญาณพัลส์จุกกระตุ้นจากนั้นเลือกจำนวนครั้งของการจุกกระตุ้นคือ 1, 2, 3, หรือ 4 ครั้ง แล้วผ่านหน่วยประมวลผล โดยหน่วยประมวลผลจะทำการคำนวณช่วงเวลาการจุกกระตุ้นและให้สัญญาณออกมาสัมพันธ์กับจังหวะเวลาการจุกกระตุ้นจริง หลังจากนั้นสัญญาณที่ได้จะผ่านวงจรขับสัญญาณเพื่อจุกกระตุ้นหัวใจเทียมต่อไป



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรกระตุ้นหัวใจเทียม

4.2 การจำลองสัญญาณจุกกระตุ้น

ในการจำลองสัญญาณนั้นจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวสร้างสัญญาณพัลส์เพื่อใช้ในการจุกกระตุ้นซึ่งสัญญาณหนึ่งลูกจะใช้จุกกระตุ้นสำหรับหนึ่งสูบหรือหนึ่งหัวใจเทียม โดยเริ่มจากการป้อนแรงดันอินพุตปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-5 โวลต์ เข้าสู่วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล จากนั้นนำสัญญาณเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสร้างสัญญาณพัลส์ ที่มีขนาดความกว้างเท่ากับผลรวม

ของมุมจุดระเบิดพื้นฐาน β , มุมจุดระเบิดล่วงหน้า θ และมุมหลังจุดศูนย์ตายบน (TDC) 10 องศา ซึ่งมุมจุดระเบิดพื้นฐานนั้นขึ้นอยู่กับรุ่นของเครื่องยนต์ โดยในที่นี้จะกำหนดให้เท่ากับ 7 องศา

ระยะเวลาหนึ่งรอบการทำงานของเครื่องยนต์ขณะเครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบข้อเหวี่ยงใด ๆ (Revolution per Minute, RPM) หาได้จากหลักการที่ว่า 1 รอบเครื่องยนต์ (ดูด-อัด-ระเบิด-คาย) = 2 รอบข้อเหวี่ยง (720 องศา) ดังนั้น

เนื่องจากใน 1 รอบข้อเหวี่ยง ลูกสูบจะเคลื่อนที่จากบนลงล่างและกลับขึ้นมาอีกครั้ง จะได้

$$\text{ความเร็วลูกสูบเฉลี่ย} = \text{ความยาวกระบอกสูบ}_{(\text{mm})} \times 2 \times \text{RPM} \quad \text{mm/min}$$

ดังนั้นระยะ 1 mm ลูกสูบ จะใช้เวลาเคลื่อนที่

$$= 60 / (\text{ความยาวกระบอกสูบ}_{(\text{mm})} \times 2 \times \text{RPM}) \quad \text{s/mm}$$

หากลูกสูบเคลื่อนที่ระยะทางเต็มความยาวกระบอกสูบ จะใช้เวลา

$$t = 60 / (2 \times \text{RPM}) \quad \text{s}$$

ดังนั้น 1/4 ของ 1 รอบเครื่องยนต์จะใช้เวลา

$$t = 30 / \text{RPM} \quad \text{s}$$

ดังนั้นใน 1 รอบเครื่องยนต์ ลูกสูบจะเคลื่อนที่เต็มความยาวกระบอกสูบ 4 ครั้ง (ดูด-อัด-ระเบิด-คาย)

สรุปได้ว่าใน 1 รอบเครื่องยนต์ (ดูด-อัด-ระเบิด-คาย) จะใช้เวลา

$$T = [60 / (2 \times \text{RPM})] \times 4$$

$$T = 120 / \text{RPM} \quad \text{s}$$

ดังนั้นที่ความเร็วรอบสูงสุดของข้อเหวี่ยงคือ 6,000 RPM จะได้คาบของ 1 รอบเครื่องยนต์

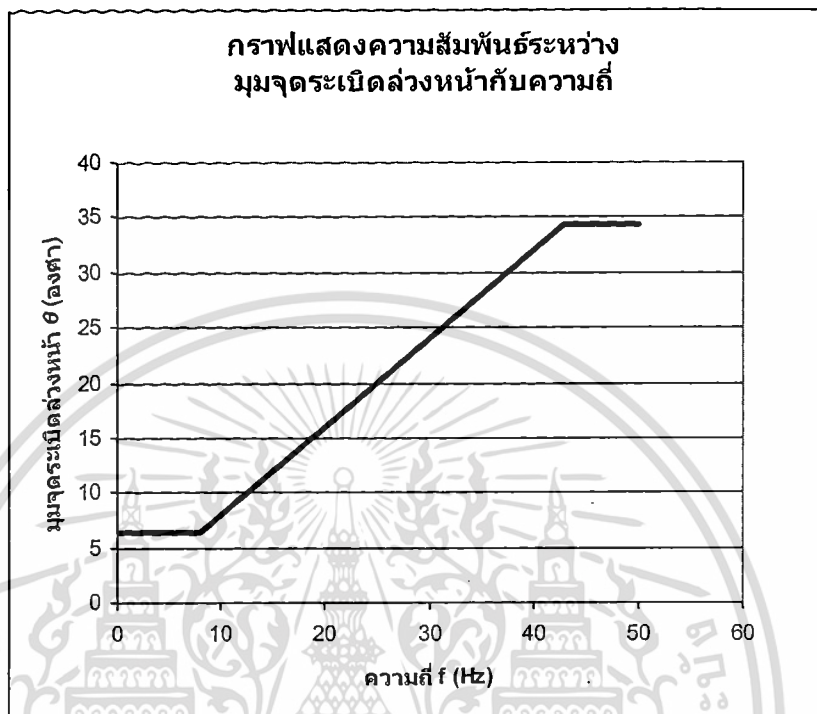
$$T = 120 / 6000 = 0.02 \quad \text{s}$$

จึงได้สัญญาณจุดระเบิด 1 รอบเครื่องยนต์ที่ความถี่ f เป็น

$$f = 1 / 0.02 = 50 \quad \text{Hz}$$

ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่ตั้งแต่ 0-6,000 RPM หรือ 0-50 Hz

4.2.1 มุมจตุระเปิดล่วงหน้ากับขนาดความกว้างของพัลส์



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมจตุระเปิดล่วงหน้ากับความถี่

จากรูปที่ 4.2 เราสามารถประมาณมุมจตุระเปิดล่วงหน้าได้เป็น 3 ช่วงคือ ช่วงที่ 1 (รอบเดินเบา), ช่วงที่ 2 และช่วงที่ 3 ซึ่งมีสมการที่สัมพันธ์กับความถี่ดังนี้

ช่วงที่ 1	$\theta = 6.4;$	$0 < f \leq 8$
ช่วงที่ 2	$\theta = 0.8f;$	$8 < f \leq 43$
ช่วงที่ 3	$\theta = 34.4;$	$43 < f \leq 50$

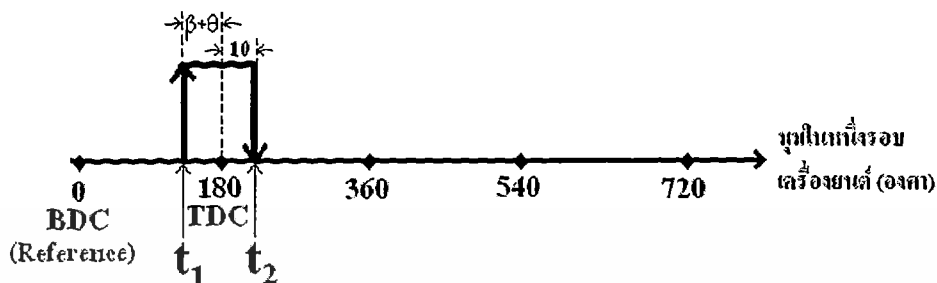
โดยที่ขนาดของพัลส์จตุระเปิดเท่ากับ $\beta + \theta + 10$ เมื่อ $\beta = 7$

ดังนั้นขนาดความกว้างของพัลส์จตุระเปิดจะเท่ากับ $7 + \theta + 10 = 17 + \theta$ องศา

4.2.2 ช่วงเวลาเริ่มต้นของพัลส์จตุระเปิด

กำหนดให้มุมเริ่มต้นหรือช่วงเวลาเริ่มต้นของการจตุระเปิดอยู่ที่จุดศูนย์ตายล่าง (BDC) หรือก็คือช่วงที่เริ่มเข้าสู่จังหวะอัดนั่นเอง ดังนั้นเมื่อลูกสูบเคลื่อนเข้าสู่ BDC ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาราวลิ่งจะส่งสัญญาณพัลส์ 1 พัลส์ เป็นจุดอ้างอิงเพื่อเป็นสัญญาณให้มอดูลจตุระเปิดเริ่มต้นส่งสัญญาณพัลส์จตุระเปิดมาได้

ฉัด ระเบิด คาย ดุด

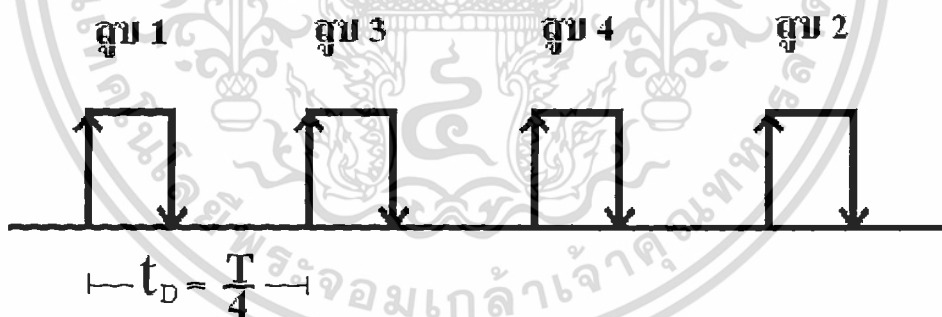


รูปที่ 4.3 แสดงช่วงเวลาที่เริ่มต้นและสิ้นสุดของพัลส์จุดระเบิด

จากรูปที่ 4.3 พบว่าช่วงเวลาที่เริ่มต้นของพัลส์จุดระเบิด t_1 และช่วงเวลาที่สิ้นสุดของพัลส์ t_2 จะมีค่าเท่ากับ

$$t_1 = \frac{1}{f} \left[\frac{180 - (\beta + \theta)}{720} \right] = \frac{1}{f} \left[\frac{180 - (7 + \theta)}{720} \right] = \frac{1}{f} \left[\frac{173 - \theta}{720} \right]$$

$$t_2 = \frac{1}{f} \left[\frac{180 + 10}{720} \right] = \frac{1}{f} \left[\frac{190}{720} \right]$$

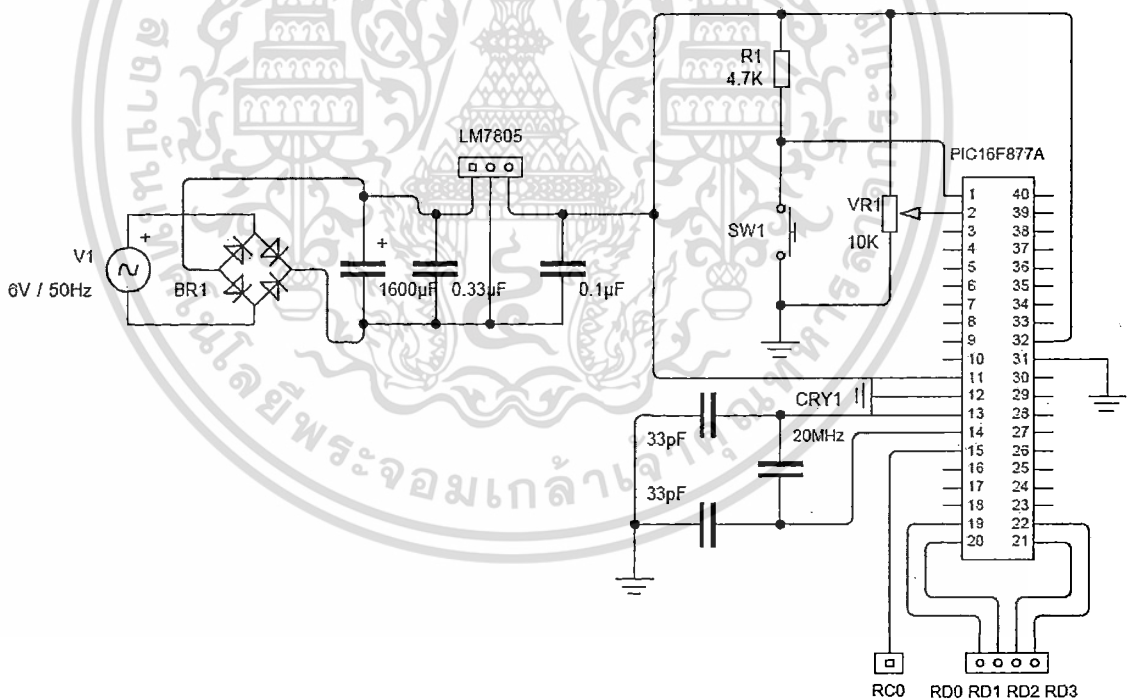


รูปที่ 4.4 ลำดับการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ 4 สูบ

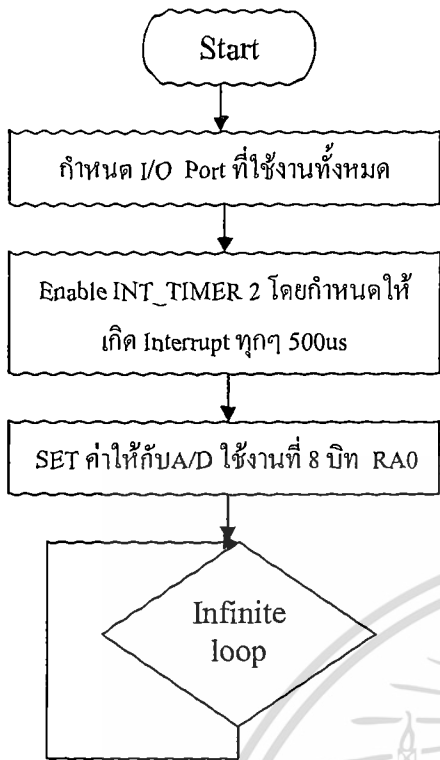
เนื่องจากต้องจัดเตรียมพัลส์จุดระเบิดสำหรับ 4 สูบ ดังนั้นระยะห่างระหว่างพัลส์จุดระเบิดแต่ละลูกนับเวลาตั้งแต่ขอบขาขึ้นของลูกแรก ถึงขอบขาขึ้นของลูกถัดไปจึงเท่ากับ $t_D = \frac{T}{4}$ โดยมีลำดับการจุดระเบิดดังรูปที่ 4.4

โดยวงจรจำลองสัญญาณนี้จะใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ PIC16F877 โดยจะใช้ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (A/D) ที่อยู่ภายใน และนำตัวต้านทานที่ปรับค่าได้มาต่อเข้ากับไมโครคอนโทรเลอร์ โดยหลักการออกแบบนี้จะใช้แรงดันที่เปลี่ยนไปจากการปรับค่าตัวต้านทานมาป้อนให้กับ A/D ของไมโครคอนโทรเลอร์ PIC16F877 และให้ A/D เปลี่ยนค่าแรงดันที่ได้มาเป็นสัญญาณดิจิทัล และจะนำข้อมูลที่ได้นั้นมาเป็นตัวกำหนดสัญญาณพัลส์จตุระเบ็ดที่มีช่วงเวลาเริ่มต้นของการจตุระเบ็ด (t_1) และมีมุมจตุระเบ็ดล่วงหน้า (θ) เปลี่ยนแปลงไปตามค่าแรงดันที่เข้ามานั่นเอง

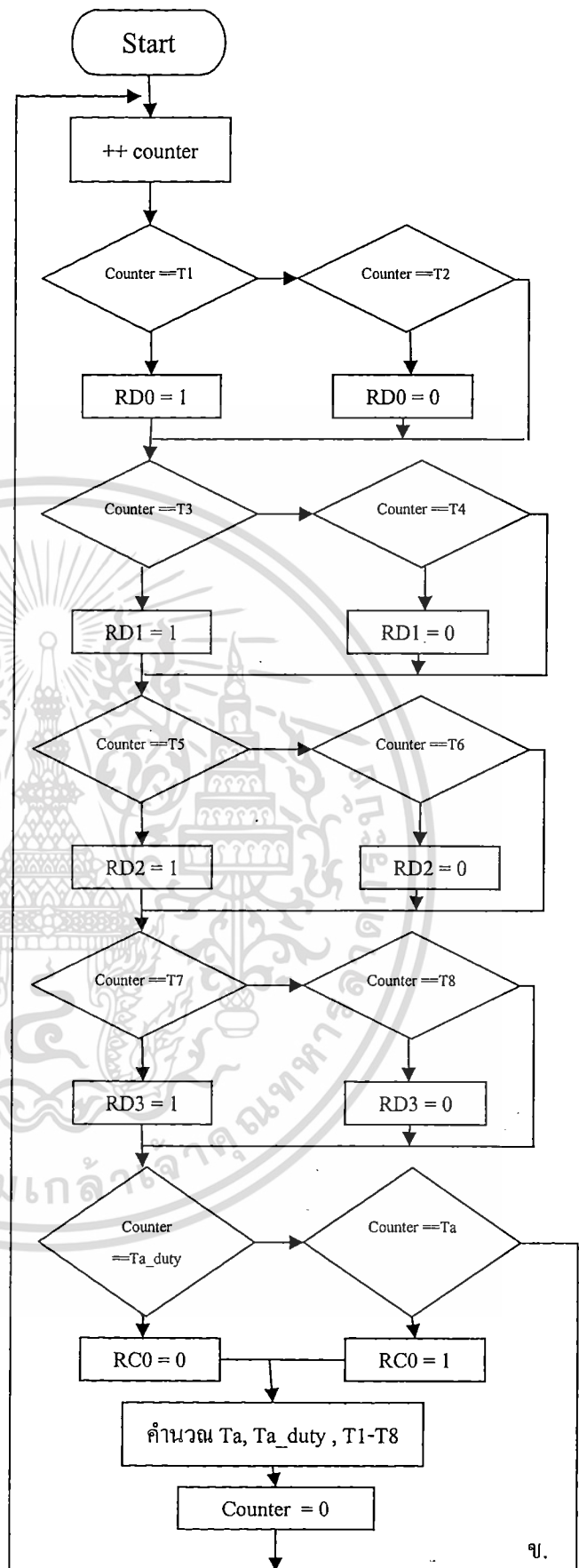
หลักการที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม คือ ในส่วนของ ฟังก์ชัน main ใช้วิธีการ Polling เพื่ออ่านค่าจาก A/D โดยใช้ความละเอียดของ A/D เป็น 8 บิต และจากนั้นในส่วนของการสร้างสัญญาณจตุระเบ็ดและสัญญาณความถี่ 0-50 Hz ที่ใช้เป็นสัญญาณอ้างอิง จะใช้ ไทเมอร์ 2 สร้างฐานเวลาโดยอินเตอร์รัพท์ทุกๆ 500us และนับเวลาด้วยตัวแปร Counter เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้ และนำมาใช้เพื่อสร้างขอบขาต่าง ๆ และออกมาเป็นสัญญาณสุบ 1-4 ตามต้องการ



รูปที่ 4.5 รูปวงจรสร้างสัญญาณจำลองการจตุระเบ็ด



ก.



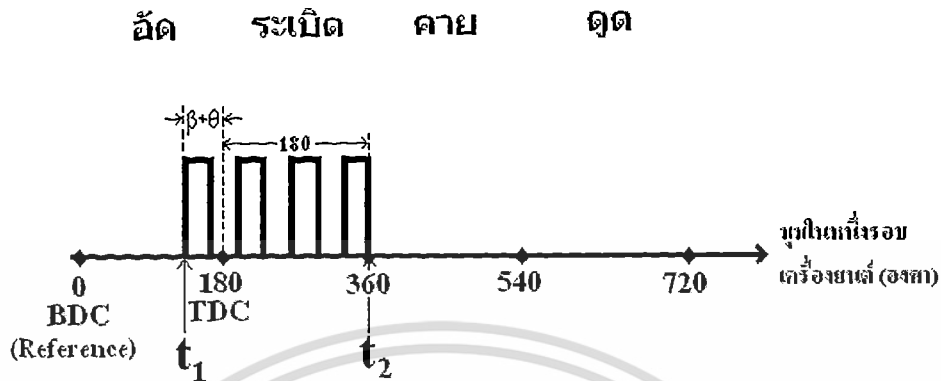
ข.

รูปที่ 4.6 Flowchart ของโปรแกรมสร้างสัญญาณจำลองการจุกระเบิด

ก. ส่วนของ Function Main ข. ส่วนของ Function Interrupt Timer 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การประมวลผล



รูปที่ 4.7 แสดงช่วงเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดของพัลส์จตุระระเบิดหลังผ่านส่วนประมวลผล

ในส่วนของหน่วยประมวลผล เมื่อได้รับสัญญาณพัลส์จตุระระเบิดมาก็จะทำการสร้างพัลส์ย่อย 2, 3, หรือ 4 พัลส์ตามต้องการแต่จุดสิ้นสุด t_2 ของพัลส์จะอยู่ที่มุม 360 องศาแทน ดังรูปที่ 4.7 ดังนั้นขนาดของพัลส์จตุระระเบิดจึงเท่ากับ $\beta + \theta + 180 = 7 + \theta + 180 = 187 + \theta$ องศา และมี

$$t_1 = \frac{1}{f} \left[\frac{180 - (\beta + \theta)}{720} \right] = \frac{1}{f} \left[\frac{180 - (7 + \theta)}{720} \right] = \frac{1}{f} \left[\frac{173 - \theta}{720} \right]$$

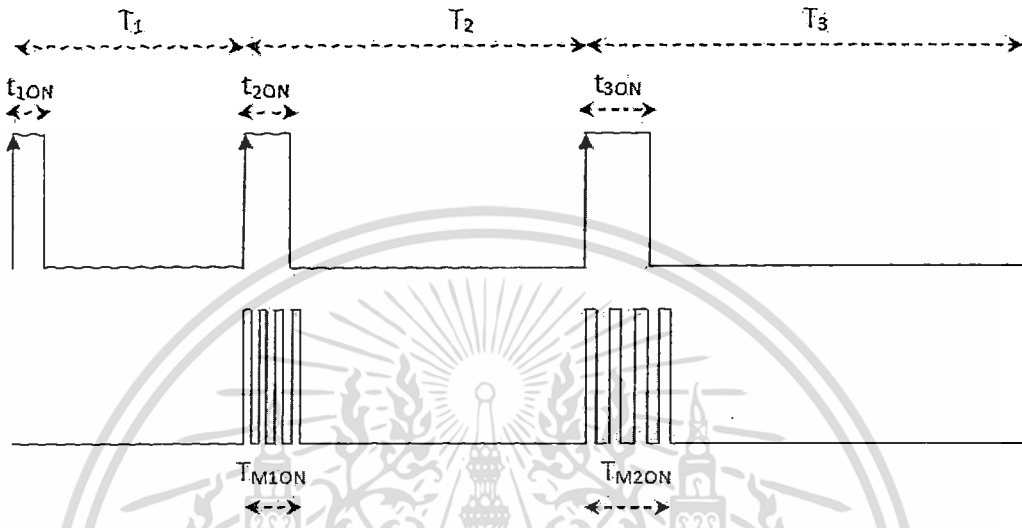
$$t_2 = \frac{1}{f} \left[\frac{360}{720} \right]$$

$$t_D = \frac{T}{4}$$

ส่วนของการประมวลผลจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ประมวลผลสัญญาณที่ได้มาจากส่วนสร้างสัญญาณจตุระระเบิด โดยมีหลักการคือ จากรูปที่ 4.8 ให้สัญญาณจตุระระเบิดลูกที่ 1, 2 และ 3 มีคาบเท่ากับ T_1 , T_2 และ T_3 ตามลำดับ โดยมีช่วงการจตุระระเบิดของแต่ละลูกเท่ากับ t_{1ON} , t_{2ON} และ t_{3ON} ตามลำดับ เริ่มแรกหน่วยประมวลผล (CPU) จะทำการจับคาบ T_1 ของสัญญาณลูกแรกโดยเริ่มจับคาบตั้งแต่ขอบขาขึ้นของพัลส์ลูกที่ 1 ไปจนถึงขอบขาขึ้นของพัลส์ลูกที่ 2 เพื่อนำมาหาช่วงเวลาการจตุระระเบิด (t_{ON}) โดยจะใช้ความสัมพันธ์ที่ว่า $t_{MultiON} = T/4$ เนื่องจากช่วงเวลาการจตุระระเบิดของจังหวะระเบิดนั้น เป็น $1/4$ ของคาบเวลาหนึ่งรอบเครื่องยนต์ และคำนวณเพิ่มค่าเวลาการจตุระระเบิดล่วงหน้าเข้าไปด้วย เมื่อได้ช่วงเวลาการจตุระระเบิดของสัญญาณลูกที่ 1 t_{1ON} แล้ว ก็จะนำพัลส์ลูกที่ 1 ที่มีช่วงเวลา t_{1ON} นั้นมาสร้างพัลส์จตุระระเบิดหาร 2, 3 หรือ 4 ครั้งตามสวิทช์ที่เลือก โดยจากรูปเป็นพัลส์จตุระระเบิด 4 ครั้ง จากนั้นจึงนำมาปล่อย ณ จังหวะเวลาขอบขาขึ้นของพัลส์ลูกที่ 2

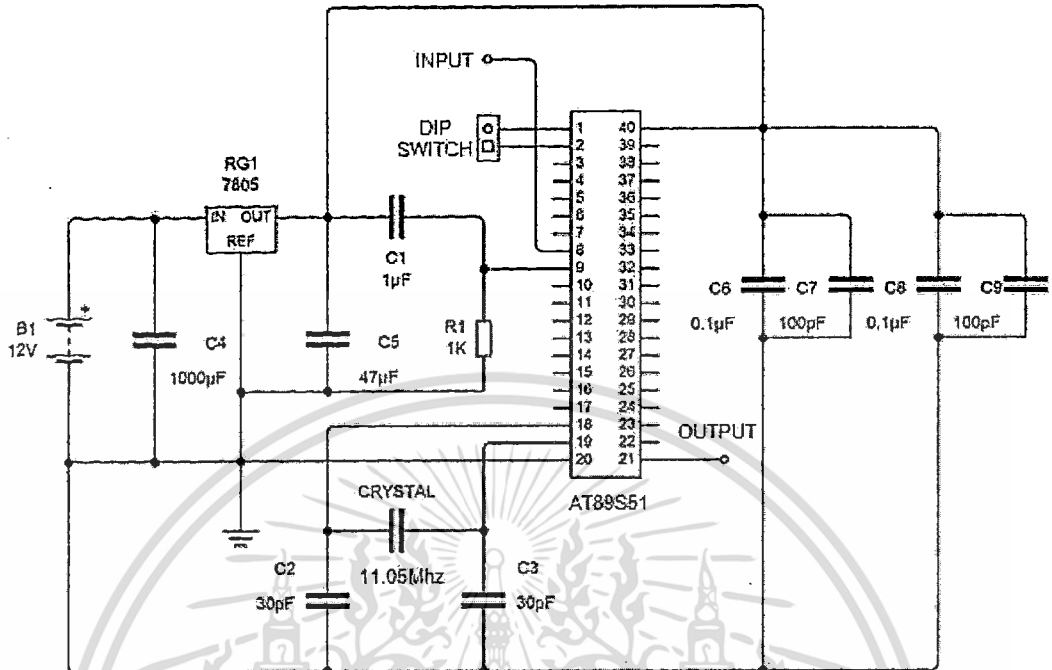
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเป็นจังหวะระเบิดของรอบเครื่องยนต์นั้น ๆ โดยในขณะเดียวกัน CPU ก็จะจับคาบ T_2 เพื่อนำมาคำนวณช่วงเวลา t_{M2ON} จากนั้นนำมาสร้างพัลส์จุดระเบิดหาร 2, 3, หรือ 4 ตามต้องการแล้วจึงนำปล่อย ณ จังหวะเวลาขอบขาขึ้นของพัลส์ลูกที่ 3 ซึ่งจะดำเนินอย่างนี้ต่อไปเรื่อย ๆ



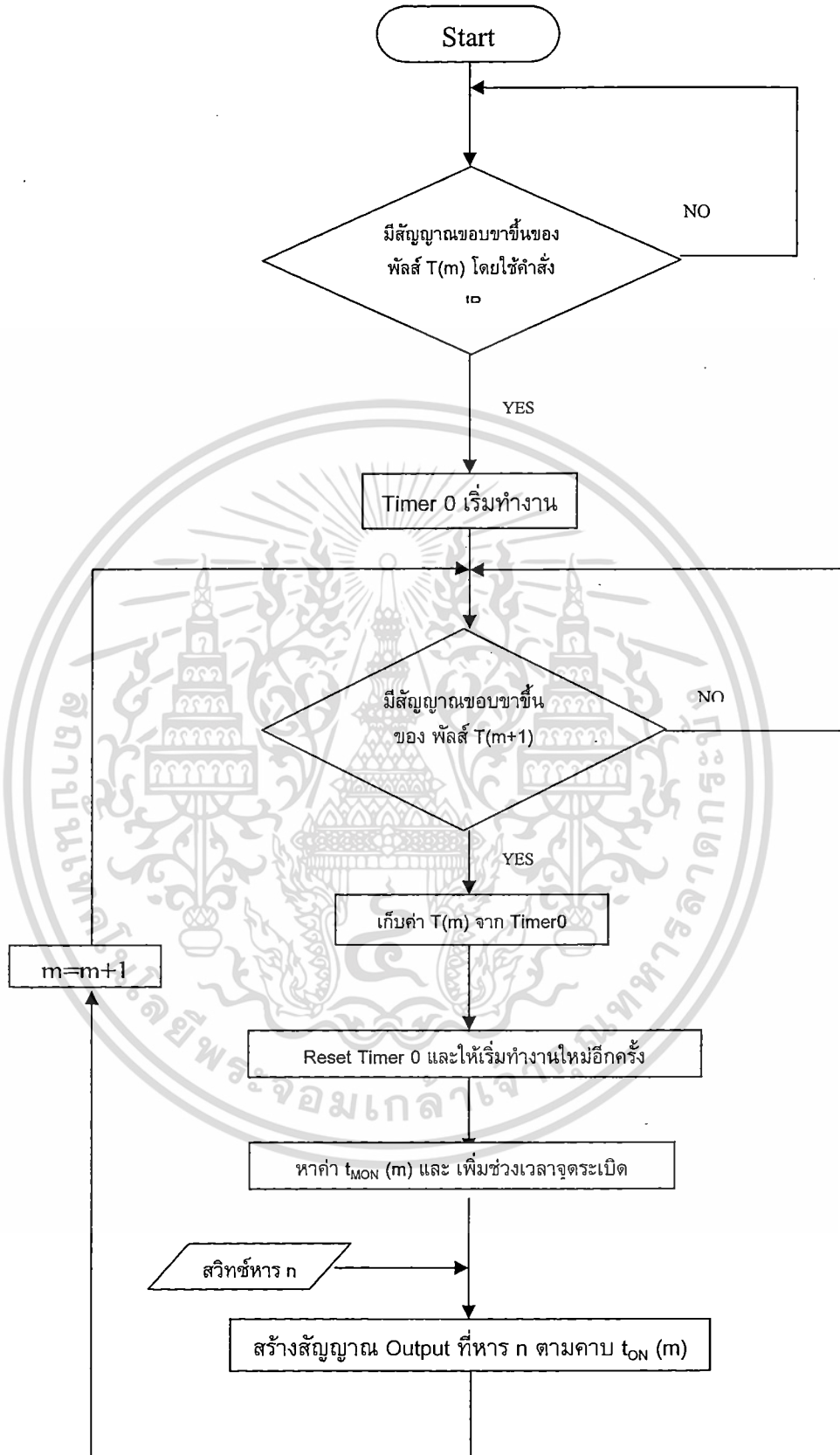
รูปที่ 4.8 แสดงหลักการเบื้องต้นของส่วนประมวลผล

โดยในการตรวจสอบว่ามีขอบขาขึ้นของพัลส์หรือไม่ เราสามารถใช้คำสั่ง Jump Bit หากมีสัญญาณขอบขาขึ้นให้กระโดดเข้าไปทำงานในส่วน โปรแกรมหลักโดยใช้งาน Hardware Timer เพราะส่วนประมวลผลสามารถทำงานทางซอฟต์แวร์ได้ทีละอย่าง แต่ส่วนประมวลผลจำเป็นต้องมีการสร้างสัญญาณเอาต์พุตไปด้วยทำให้ต้องใช้การทำงานระหว่างฮาร์ดแวร์กับซอฟต์แวร์ และ Timer ของ MCS-51 มีเพียง 16 บิต ซึ่งไม่เพียงพอต่อการจับเวลาสัญญาณจึงใช้ Interrupt Timer เมื่อเกิดการ Overflow ของ Timer เพื่อสร้าง timer 24 บิต เมื่อสามารถเก็บคาบ T ได้แล้วจึงนำไปหา t_{nON} และรับข้อมูลจากดิฟเฟอเรนเชียลว่าต้องการหารสัญญาณรูปแบบไหน (ดิฟเฟอเรนเชียล 2 บิตมี 4 รูปแบบคือหาร 1, 2, 3, 4) จากนั้นสร้างเอาต์พุตตามรูปแบบที่ต้องการในคาบเวลา t_{MON} ในขณะที่เก็บคาบเวลาของพัลส์ลูกถัดไป และทำวนซ้ำไปเรื่อย ๆ



รูปที่ 4.9 รูปวงจรประมวลผลสัญญาณ โดยมีอินพุตเป็นสัญญาณจำลองการจุดระเบิด

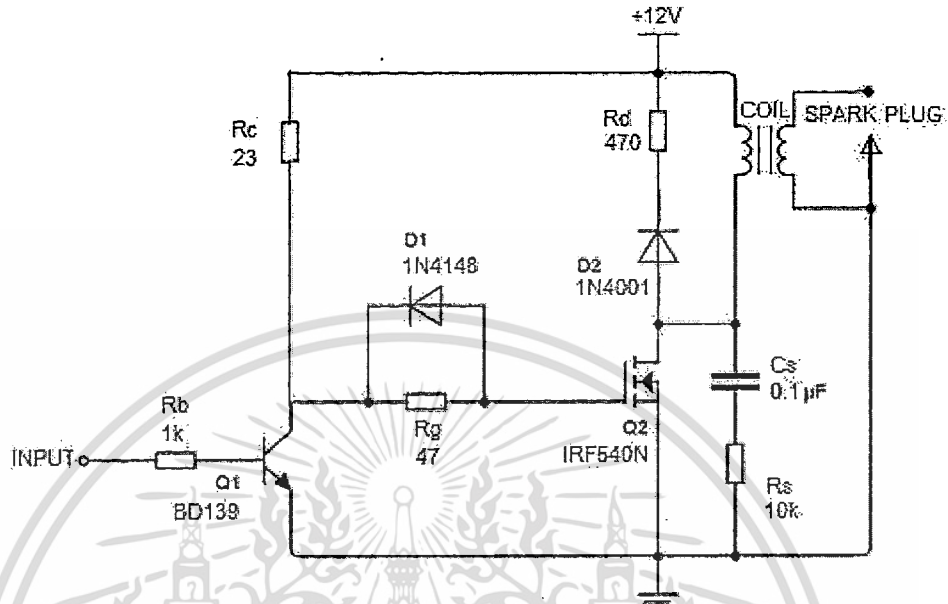
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 Flowchart ของส่วนประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การจุดระเบิด



รูปที่ 4.11 วงจรส่วนจุดระเบิด

จากรูปที่ 4.11 เลือกใช้ทรานซิสเตอร์ BD139 ในการขยายกระแสสัญญาณที่ได้จากส่วนประมวลผลสร้างสัญญาณพัลส์ย่อย แล้วใช้มอสเฟต IRF540N เป็นสวิตช์เปิด/ปิด เพื่อขับให้คอยล์จุดระเบิดสะสมและคายพลังงานเป็นจังหวะตามสัญญาณจากส่วนประมวลผลฯ เพื่อให้เกิดประกายไฟขึ้นที่หัวเทียน โดยมี Rb เป็นตัวจำกัดกระแสเข้าที่ขาเบส, Rc เป็นตัวรับแรงดันที่ขาคอลเลกเตอร์, Rg เป็นตัวจำกัดกระแสเข้าที่ขาเกต, ไดโอด 1N4148 เป็นตัวดึงประจุออกจากมอสเฟตเวลาที่สัญญาณเข้าเป็น 0V (มอสเฟตออฟ), Rs กับ Cs เป็นส่วนสแน็บเบอร์ช่วยดึงประจุออกจากมอสเฟตเวลาที่สัญญาณเข้าเป็น 0V (มอสเฟตออฟ) และ Rd กับ ไดโอด 1N4001 เป็นตัวดึงพลังงานออกจากคอยล์จุดระเบิด

จาก
$$i = \frac{Cdv}{dt}$$

จะได้
$$i_{MOSFET} = \frac{1700\text{pF} \times 12V}{44\text{ns}}; \quad C_{GS} = 1700\text{pF}, t_r = 44\text{ns}$$

$$i_{MOSFET} = i_C = 0.46A \approx 0.5A$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก
$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{i_C}$$

ดังนั้นเลือกใช้
$$R_C = \frac{12V - 0.5V}{0.5A} = 23\Omega$$

จาก
$$i_B = \frac{i_C}{\beta}$$

$$i_B = \frac{0.5A}{100} = 5mA$$

จาก
$$R_B = \frac{V_{in} - V_{BE}}{i_B}$$

ดังนั้นเลือกใช้
$$R_B = \frac{5V - 0.7V}{5mA} = 860\Omega \cong 1k\Omega$$

จาก
$$C_S = \frac{i_O \times t_R}{2V_d}$$

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

ดังนั้นเลือกใช้
$$C_S = 100nF$$

จาก
$$R_S = \frac{t_{ON}}{5C_S}$$

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

ดังนั้นเลือกใช้
$$R_S = 10k\Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 การจำลองสัญญาณจุดระเบิด

เนื่องจากใช้ 8 บิต - PIC ดังนั้น

$$Resolution_{RPM} = \frac{6000}{256} = 23.4375RPM = 0.1953Hz$$

ดังนั้นในผลการทดลองจะจับสัญญาณที่ RPM ค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$23.4375RPM \times 40 = 937.44RPM = 7.81Hz$$

$$23.4375RPM \times 100 = 2343.75RPM = 19.53Hz$$

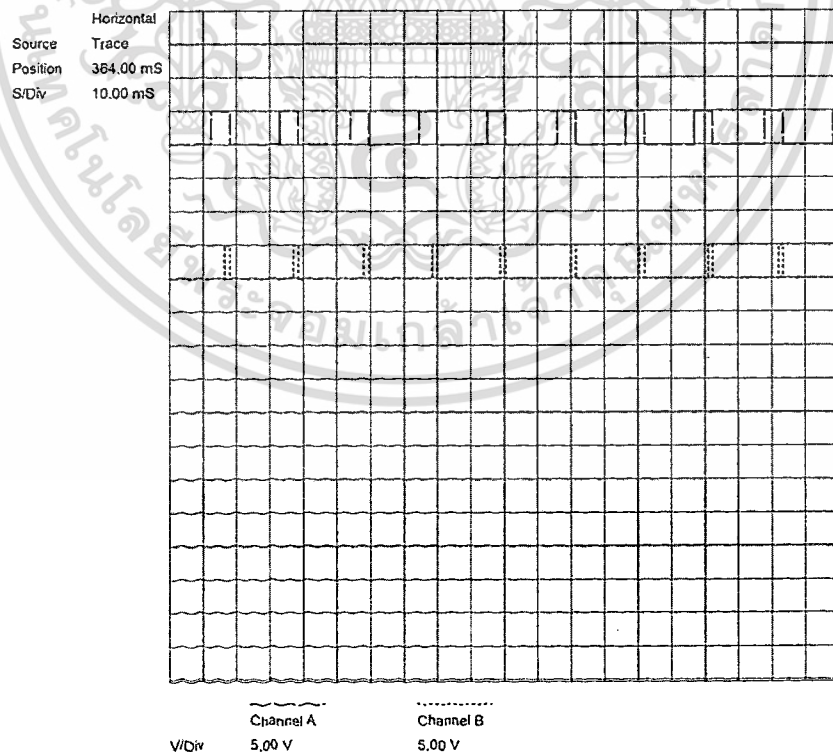
$$23.4375RPM \times 155 = 3632.58RPM = 30.27Hz$$

$$23.4375RPM \times 205 = 4804.69RPM = 40.04Hz$$

$$23.4375RPM \times 256 = 6000.00RPM = 50.00Hz$$

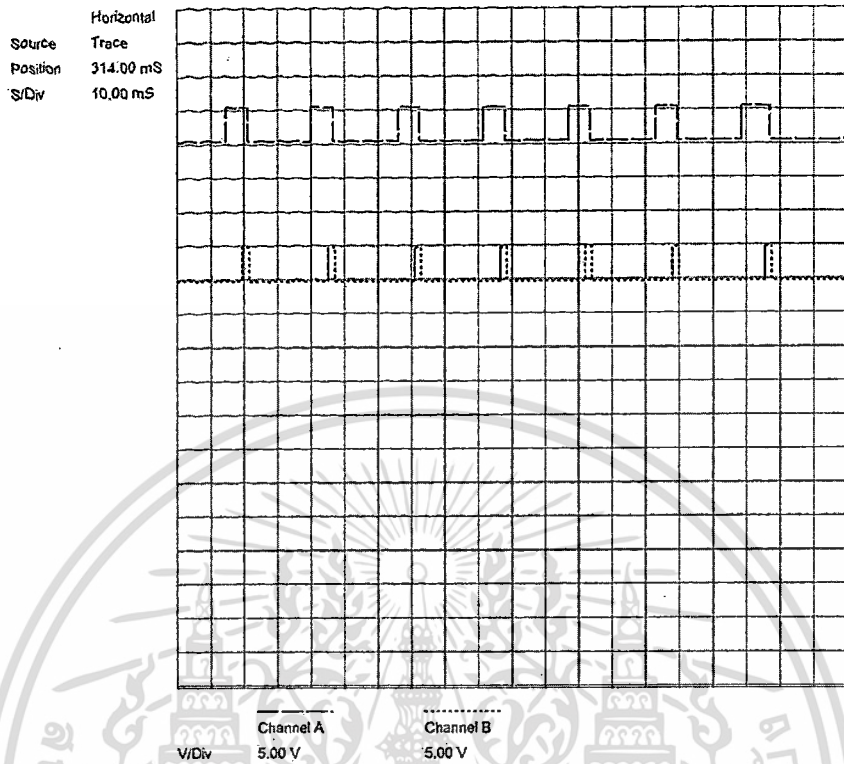
5.1.1 ผลการซิมูเลทสัญญาณพัลส์จุดระเบิดสูบที่ 1 ที่ความถี่ค่าต่าง ๆ

โดย Channel A คือสัญญาณอ้างอิง, Channel B คือ สัญญาณพัลส์จุดระเบิดสูบที่ 1

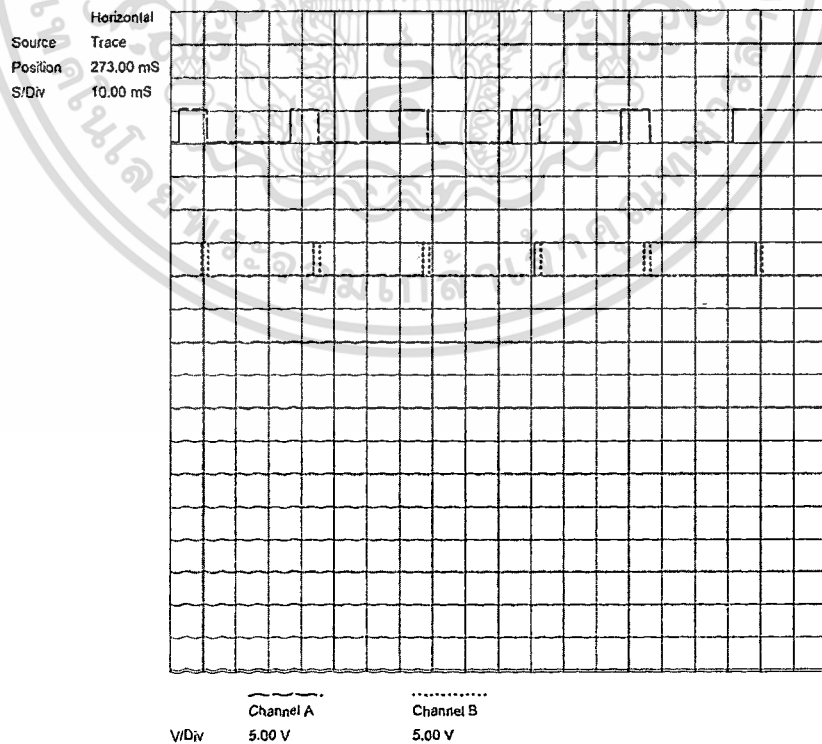


รูปที่ 5.1 ผลการซิมูเลทสัญญาณพัลส์จุดระเบิดสูบ 1 ที่ความถี่ 50Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

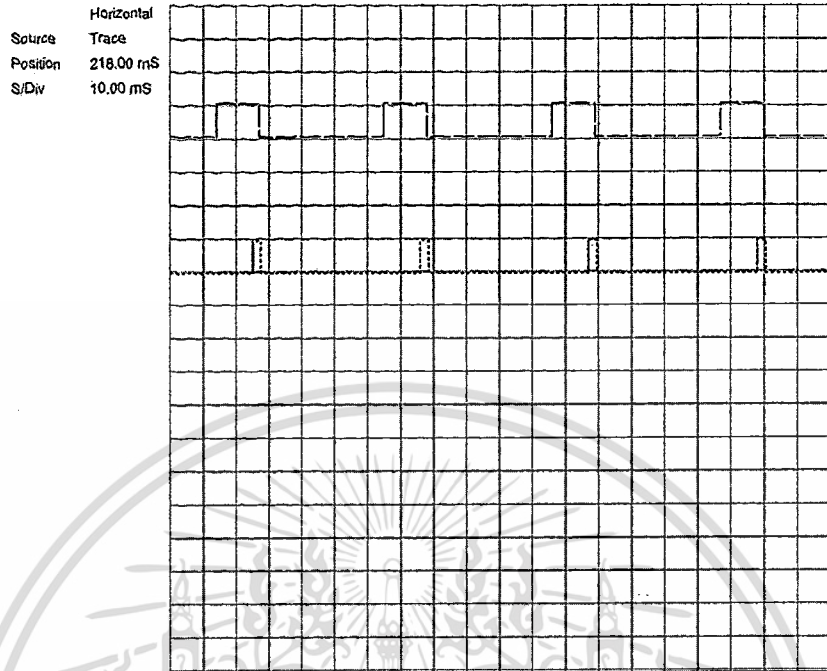


รูปที่ 5.2 ผลการซิมูเลทสัญญาณพัลส์จตุระเบ็ดสูง 1 ที่ความถี่ 40.04Hz



รูปที่ 5.3 ผลการซิมูเลทสัญญาณพัลส์จตุระเบ็ดสูง 1 ที่ความถี่ 30.27Hz

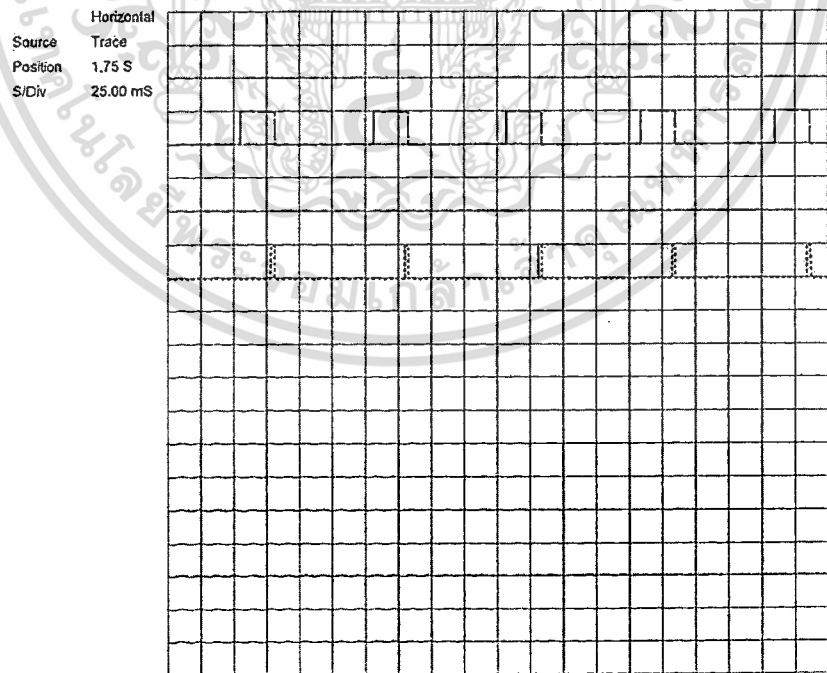
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Horizontal Trace Position 218.00 mS S/Div 10.00 mS

Channel A 5.00 V Channel B 5.00 V

รูปที่ 5.4 ผลการซิมูเลตสัญญาณพัลส์จตุรเบ็ดสูบ 1 ที่ความถี่ 19.53Hz

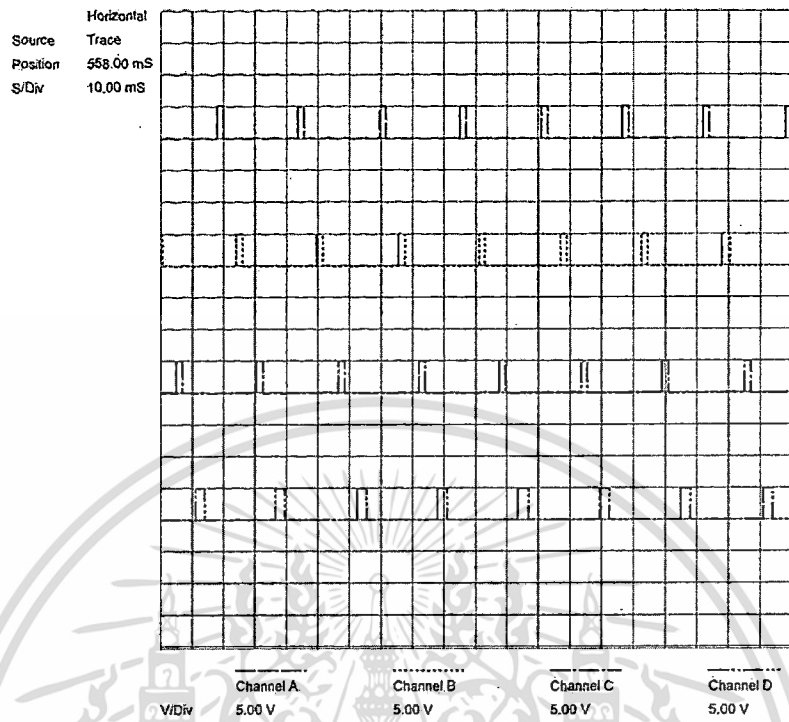


Horizontal Trace Position 1.75 S S/Div 25.00 mS

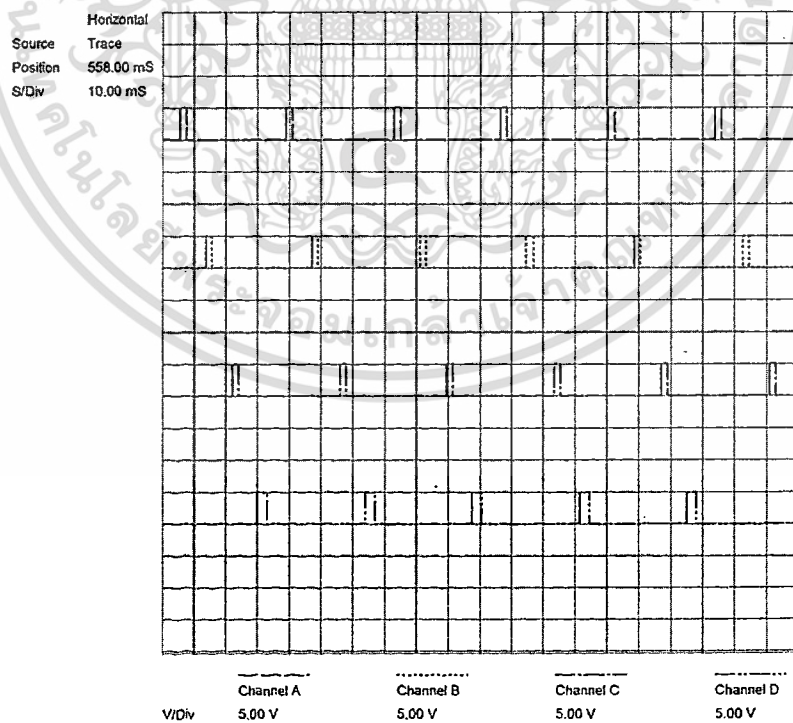
Channel A 5.00 V Channel B 5.00 V Channel C 5.00 V Channel D 5.00 V

รูปที่ 5.5 ผลการซิมูเลตสัญญาณพัลส์จตุรเบ็ดสูบ 1 ที่ความถี่ 7.81Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

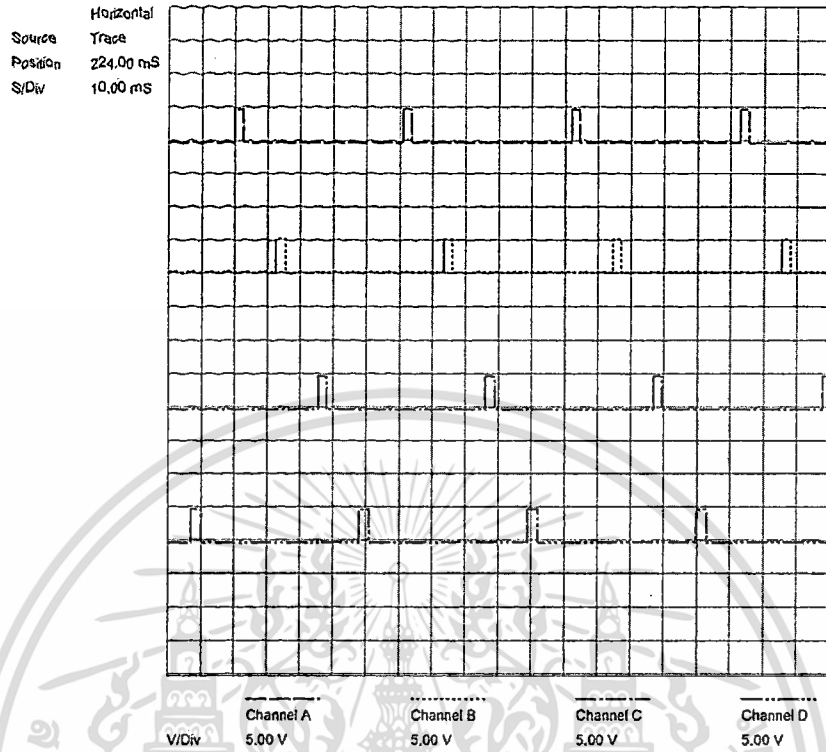


รูปที่ 5.7 ผลการซิมูเลตชันสัญญาณพัลส์จุกะเบิดทั้ง 4 สิบที่ความถี่ 40.04Hz

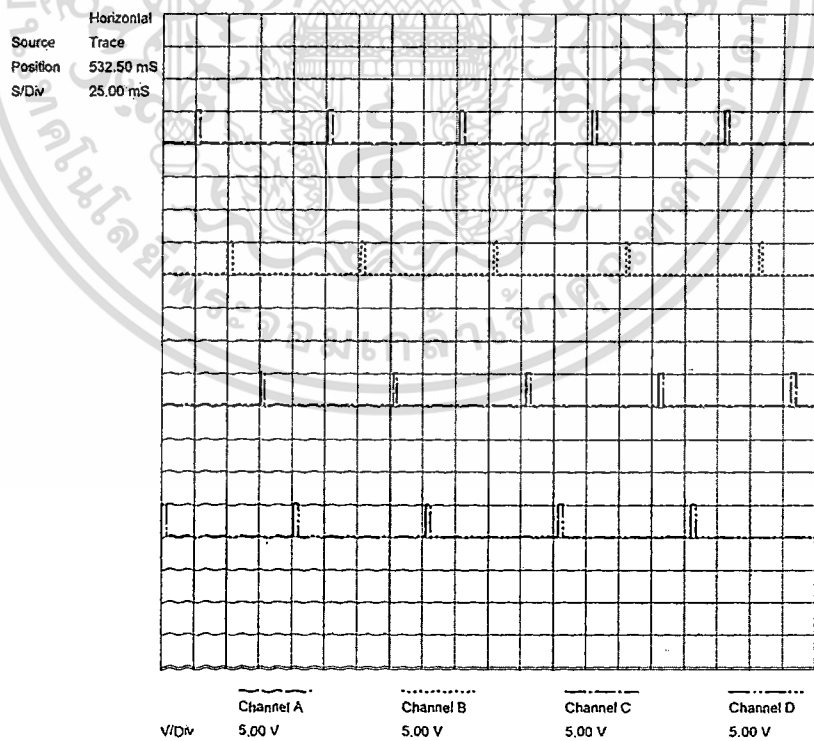


รูปที่ 5.8 ผลการซิมูเลตชันสัญญาณพัลส์จุกะเบิดทั้ง 4 สิบที่ความถี่ 30.27Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 ผลการซิมูเลทสัญญาณพัลส์จุกะเบิดทั้ง 4 ช่องที่ความถี่ 19.53Hz

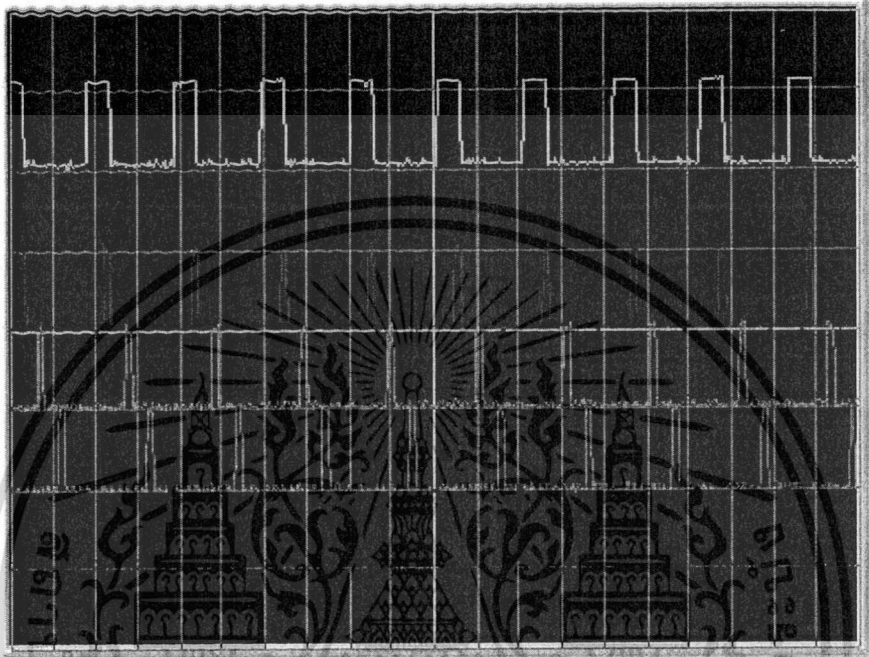


รูปที่ 5.10 ผลการซิมูเลทสัญญาณพัลส์จุกะเบิดทั้ง 4 ช่องที่ความถี่ 7.81Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 ผลการวัดสัญญาณพัลส์จตุระเบ็ดที่ความถี่ค่าต่าง ๆ

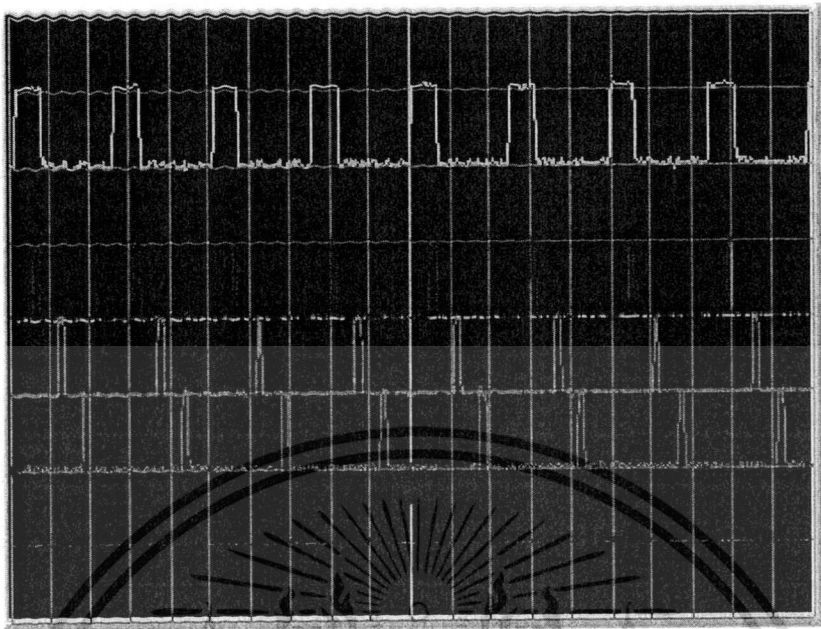
โดย สีเขียว คือสัญญาณอ้างอิง, สีน้ำเงิน คือสัญญาณพัลส์จตุระเบ็ดที่ 1, สีแดง คือสัญญาณพัลส์จตุระเบ็ดที่ 3, สีเขียวเข้ม คือสัญญาณพัลส์จตุระเบ็ดที่ 4, และ สีน้ำเงินเข้ม คือสัญญาณพัลส์จตุระเบ็ดที่ 2



V/Div 5V T/Div 10mS

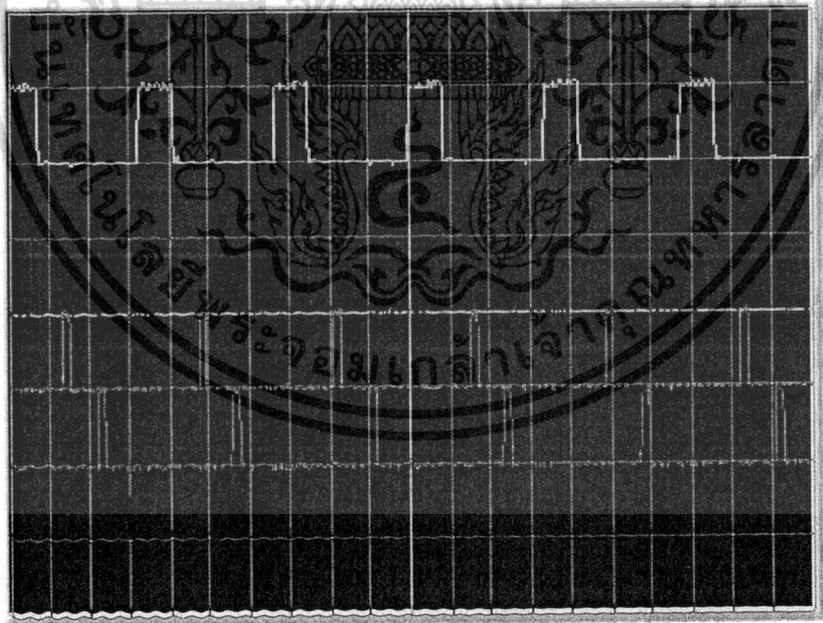
รูปที่ 5.11 ผลการวัดสัญญาณพัลส์จตุระเบ็ดที่ความถี่ 50Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



V/Div 5V T/Div 10mS

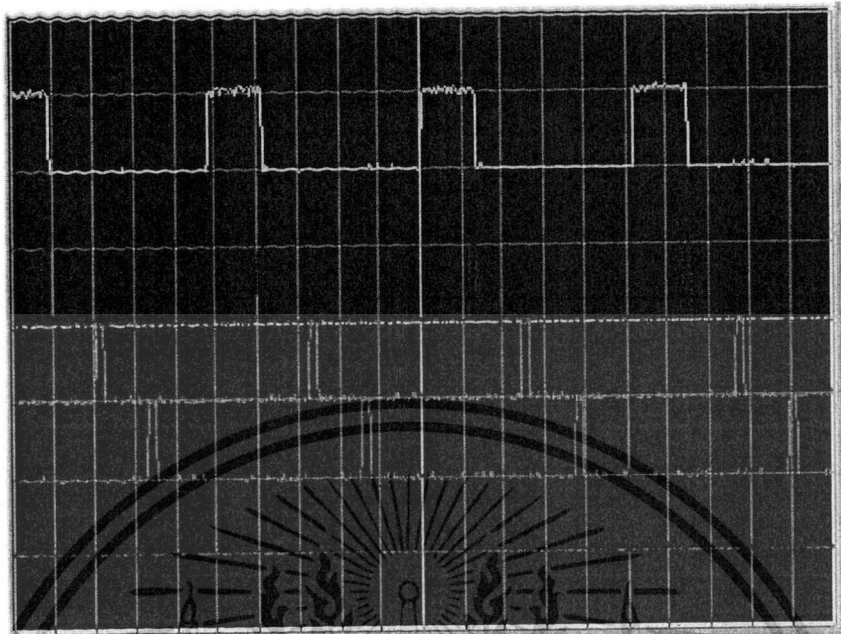
รูปที่ 5.12 ผลการวัดสัญญาณพัลส์จุกะเบิดที่ความถี่ 40.04Hz



V/Div 5V T/Div 10mS

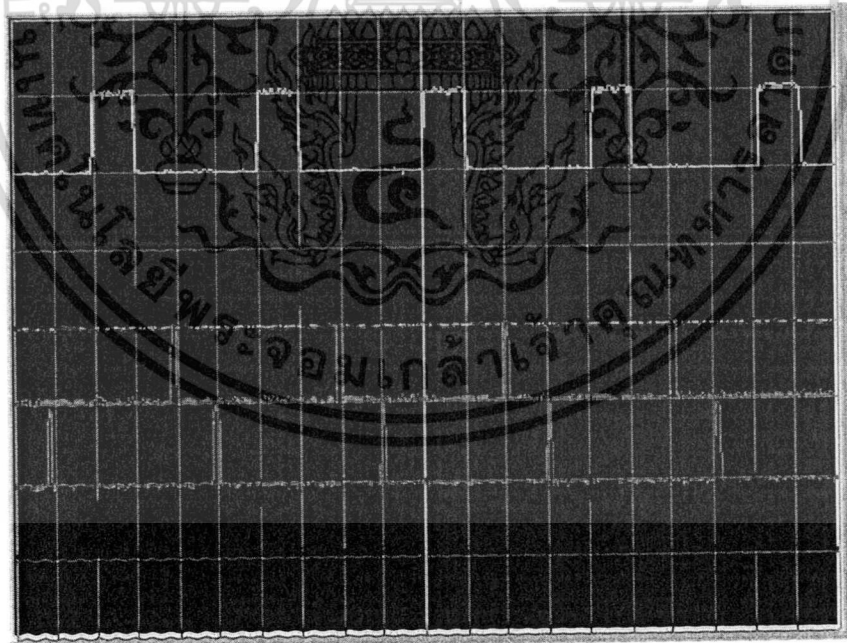
รูปที่ 5.13 ผลการวัดสัญญาณพัลส์จุกะเบิดที่ความถี่ 30.27Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



V/Div 5V T/Div 10mS

รูปที่ 5.14 ผลการวัดสัญญาณพัลส์จุกะเบิดที่ความถี่ 19.53Hz



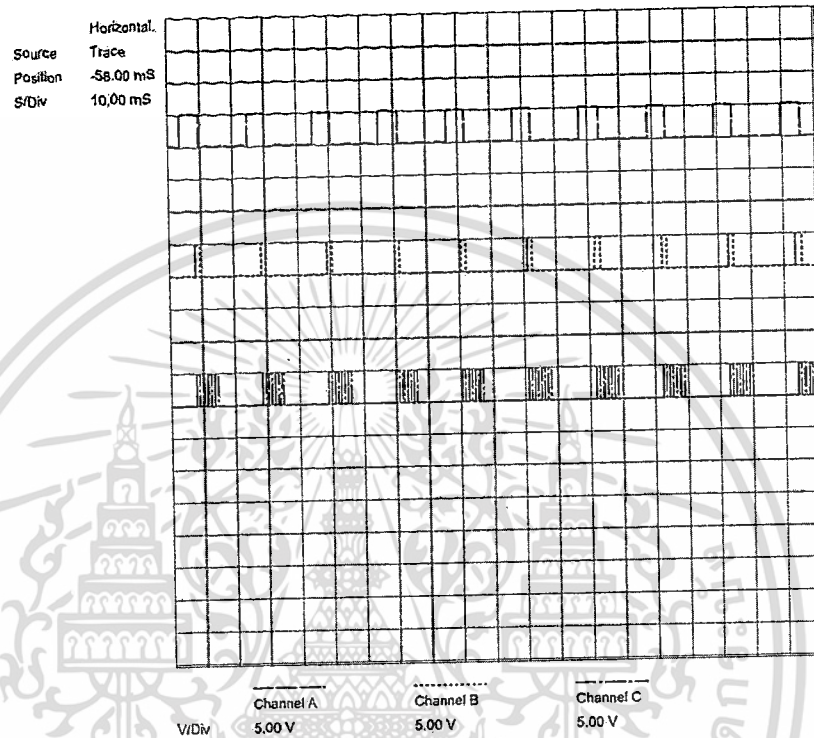
V/Div 5V T/Div 25mS

รูปที่ 5.15 ผลการวัดสัญญาณพัลส์จุกะเบิดที่ความถี่ 7.81Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

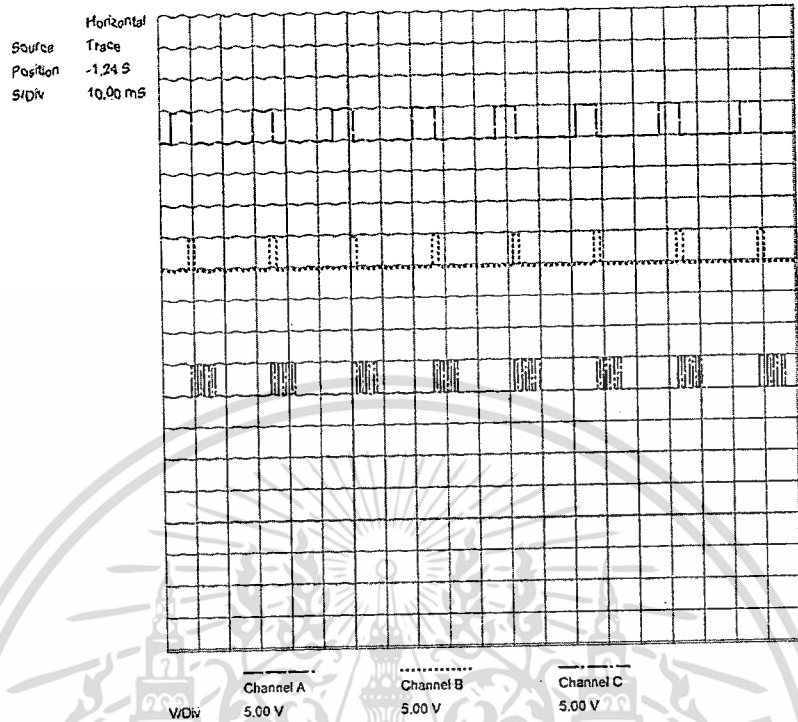
5.2 การประมวลผล

5.2.1 ผลการซิมูเลทสัญญาณพัลส์ย่อย 4, 3, 2, 1 พัลส์ที่ความถี่ค่าต่างๆ

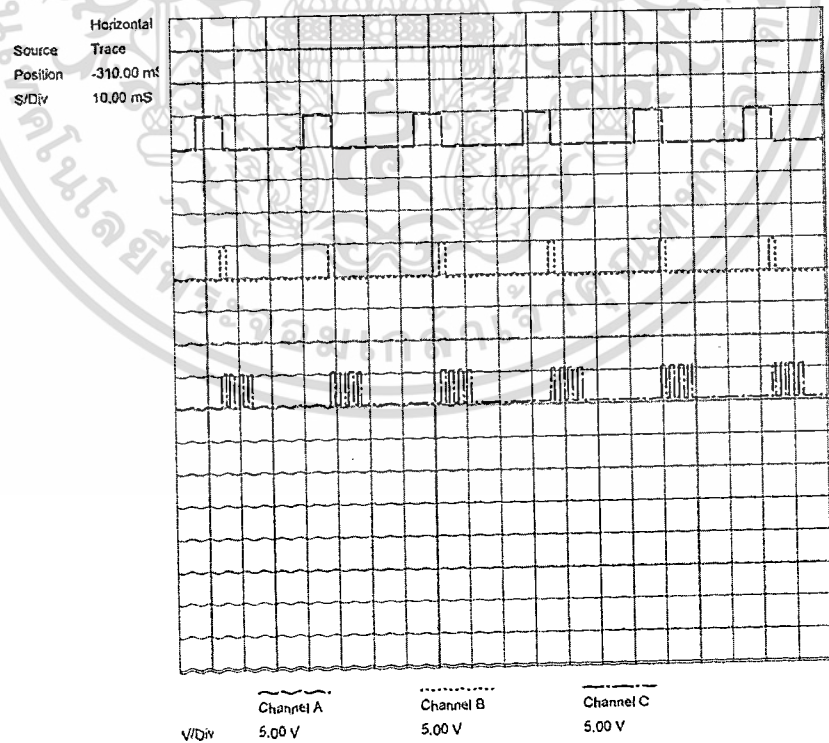


รูปที่ 5.16 ผลการซิมูเลทสัญญาณพัลส์ 4 พัลส์ย่อยที่ความถี่ 50Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

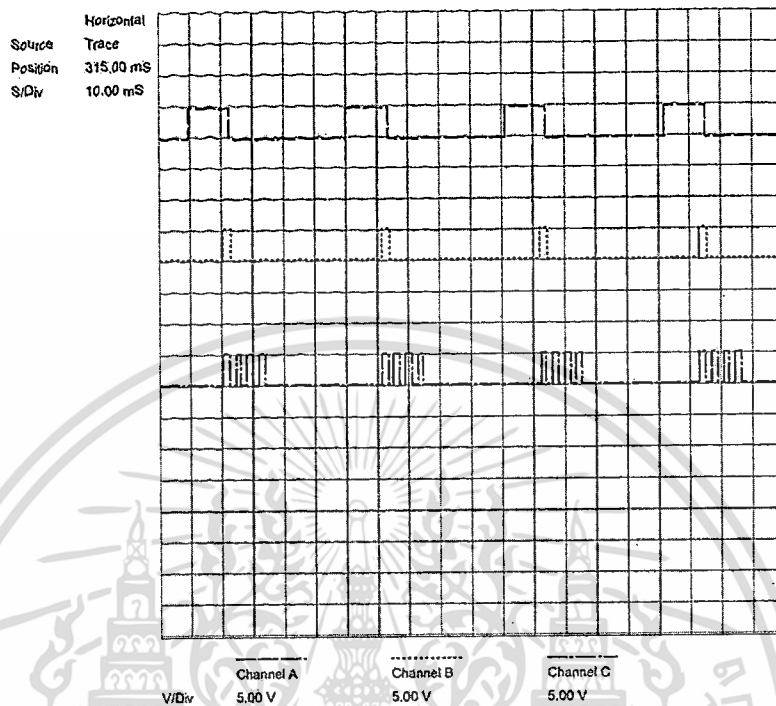


รูปที่ 5.17 ผลการซึ่มุเลขสัญญาณพัลส์ 4 พัลส์ย่อยที่ความถี่ 40.04Hz

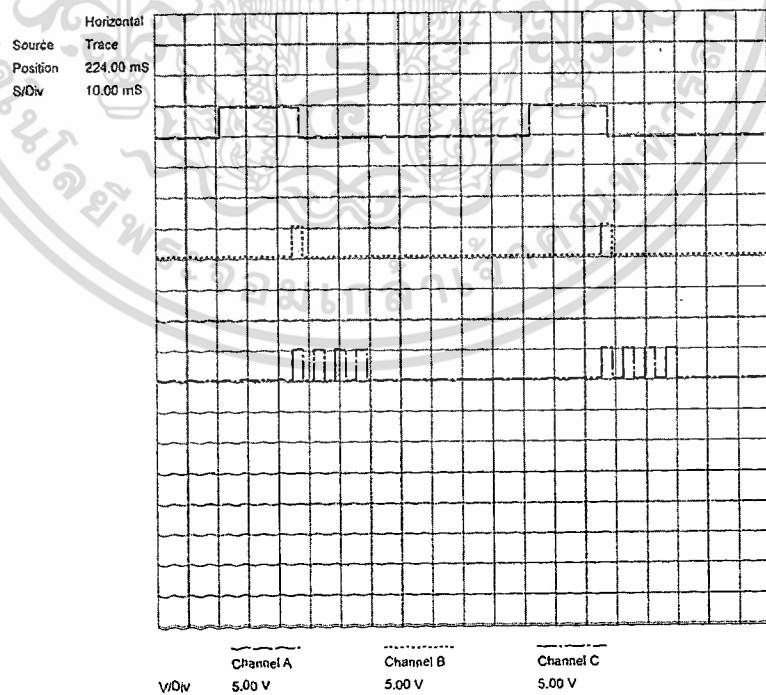


รูปที่ 5.18 ผลการซึ่มุเลขสัญญาณพัลส์ 4 พัลส์ย่อยที่ความถี่ 30.27Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

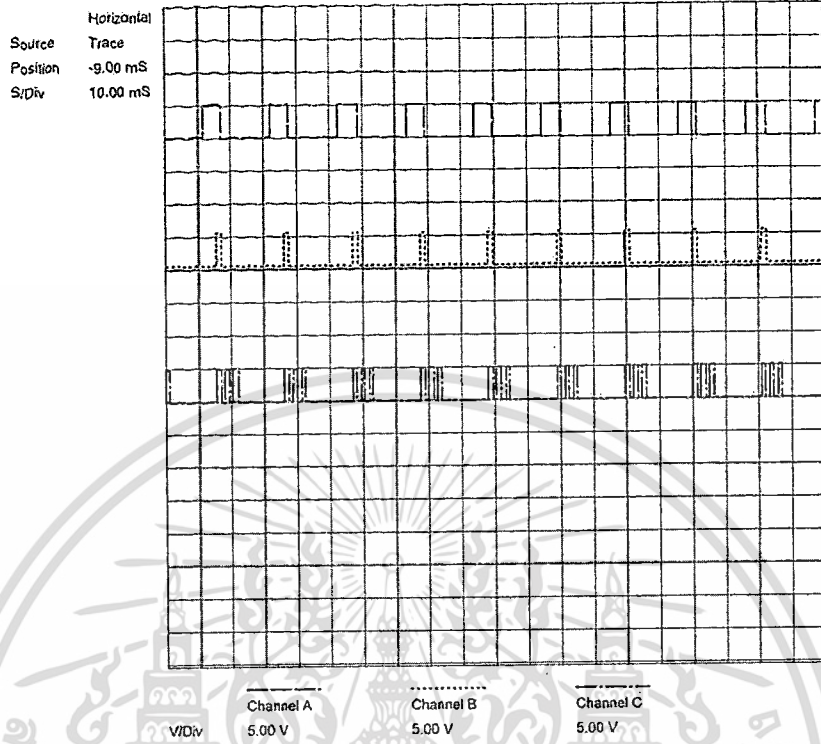


รูปที่ 5.19 ผลการซิมูเลตสัญญาณพัลส์ 4 พัลส์ย่อยที่ความถี่ 19.53Hz

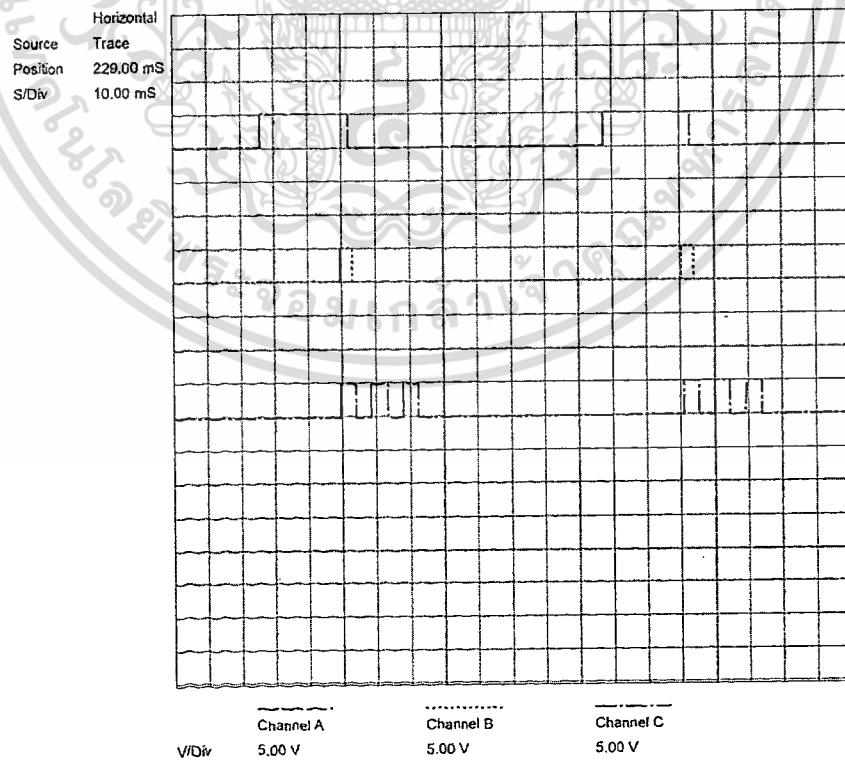


รูปที่ 5.20 ผลการซิมูเลตสัญญาณพัลส์ 4 พัลส์ย่อยที่ความถี่ 7.81Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

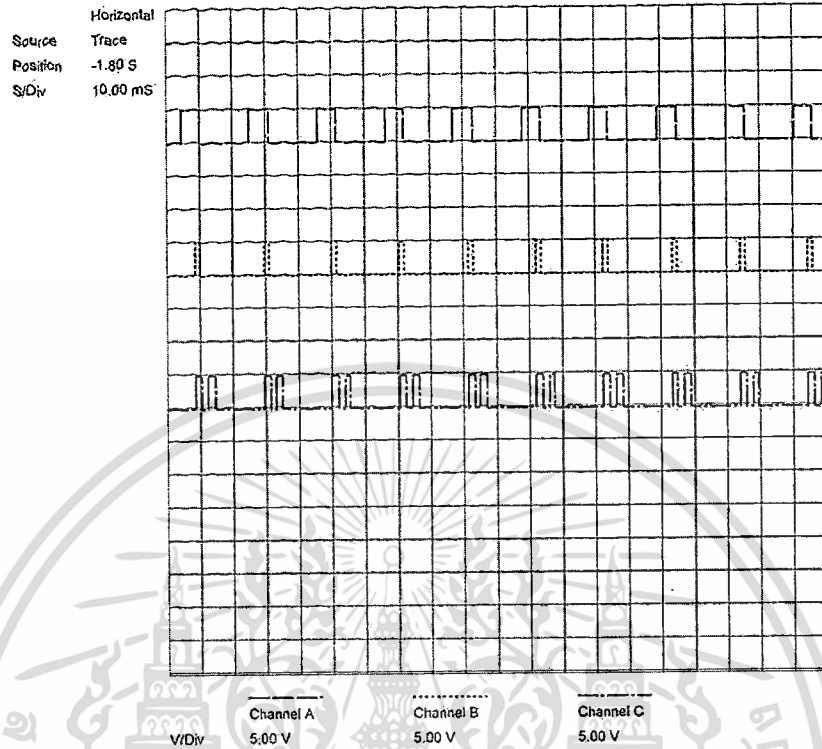


รูปที่ 5.21 ผลการซิมูเลตชันสัญญาณพัลส์ 3 พัลส์ย่อยที่ความถี่ 50Hz

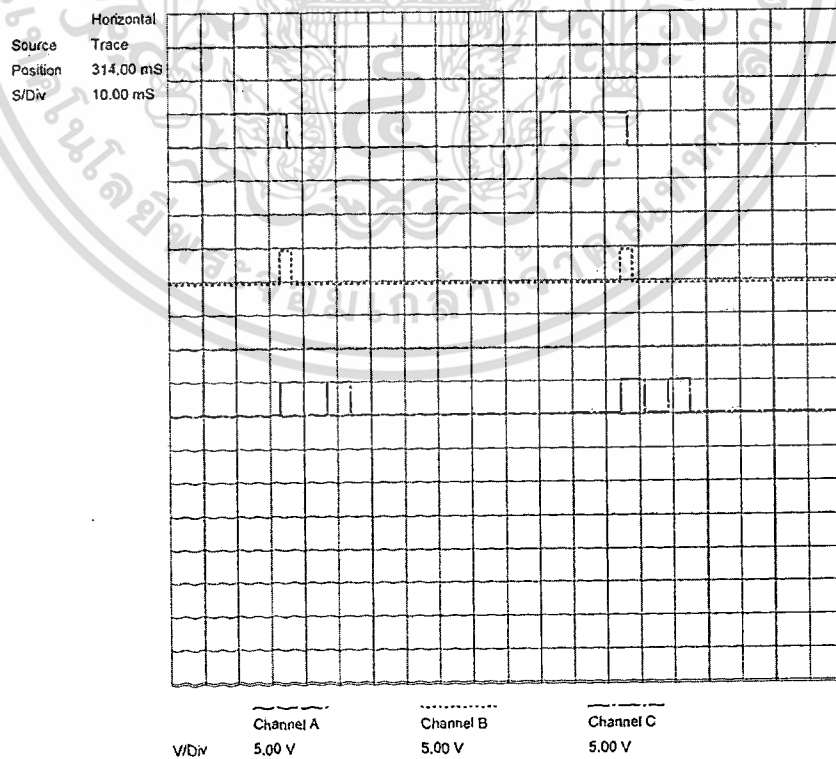


รูปที่ 5.22 ผลการซิมูเลตชันสัญญาณพัลส์ 3 พัลส์ย่อยที่ความถี่ 7.81Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

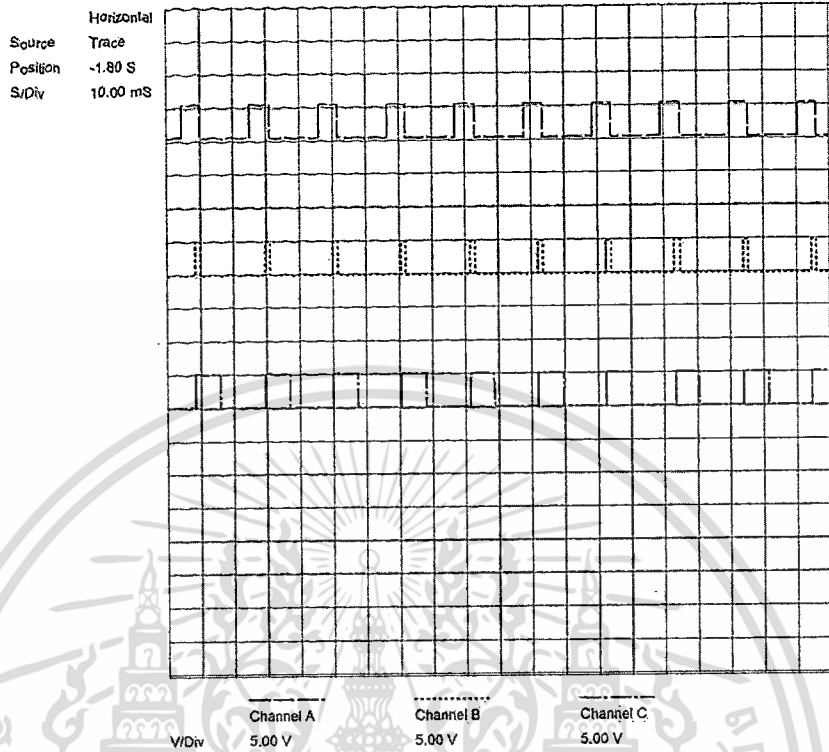


รูปที่ 5.23 ผลการซิมูเลทสัญญาณพัลส์ 2 พัลส์ย่อยที่ความถี่ 50Hz

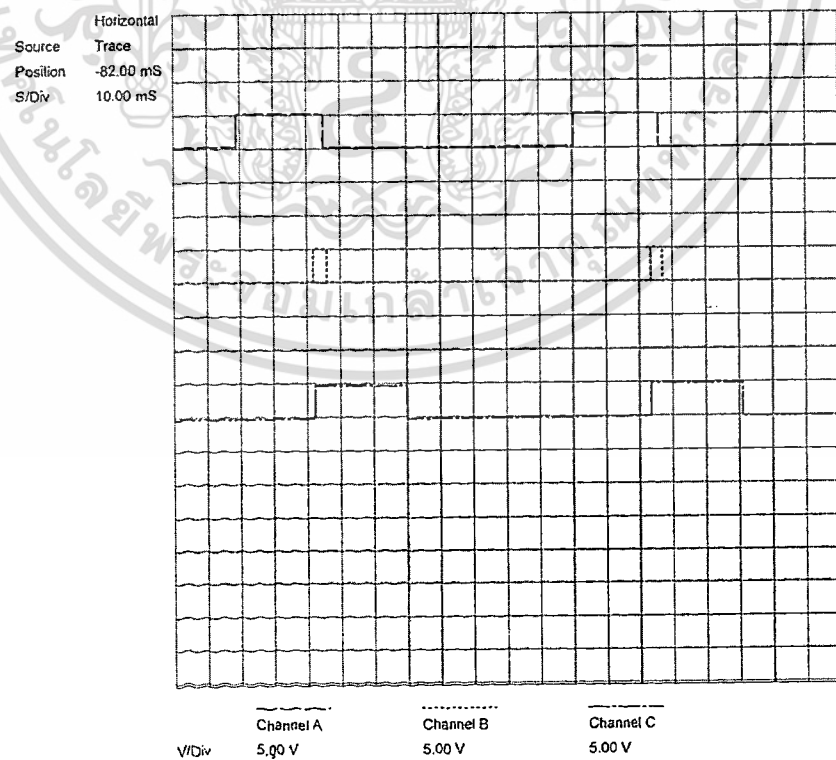


รูปที่ 5.24 ผลการซิมูเลทสัญญาณพัลส์ 2 พัลส์ย่อยที่ความถี่ 7.81Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.25 ผลการซิมูเลชันสัญญาณพัลส์ 1 พัลส์ย่อยที่มีความถี่ 50Hz

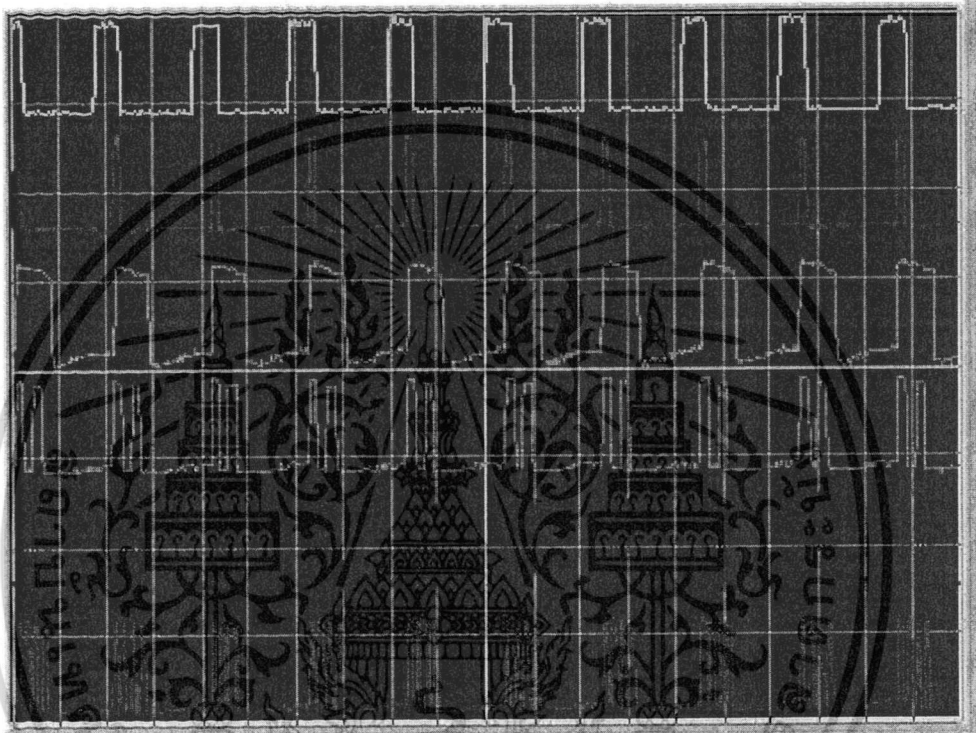


รูปที่ 5.26 ผลการซิมูเลชันสัญญาณพัลส์ 1 พัลส์ย่อยที่มีความถี่ 7.81Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 ผลการวัดสัญญาณพัลส์ย่อย 1, 2, 3 และ 4 พัลส์ที่ความถี่ค่าต่าง ๆ

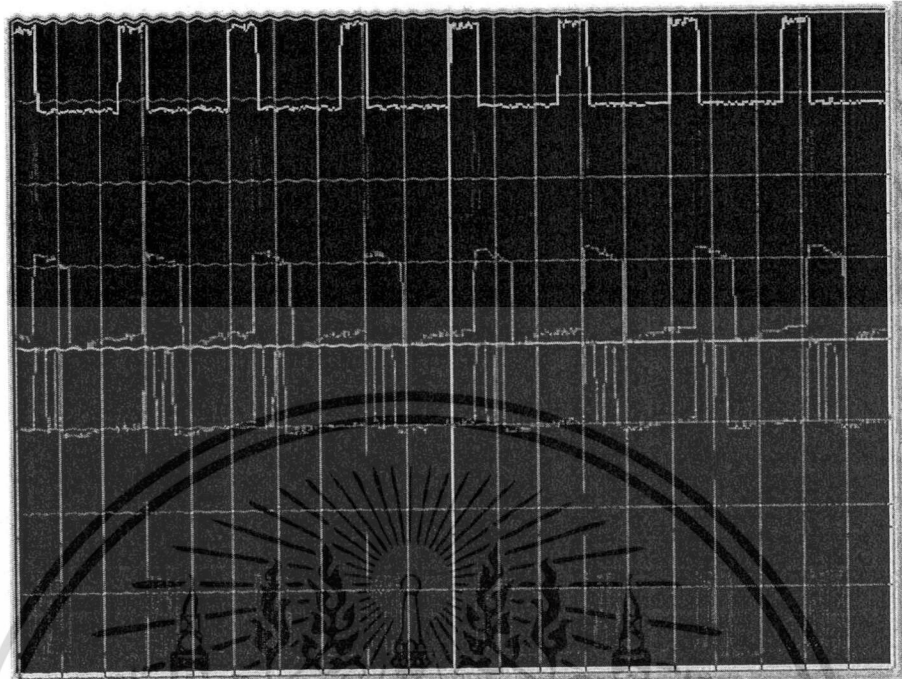
โดย สีเขียว คือสัญญาณอ้างอิง, สีน้ำเงิน คือสัญญาณพัลส์จตุระเบ็ดสูงที่ 1, สีแดง คือสัญญาณจตุระเบ็ด 1 พัลส์, สีเขียวเข้ม คือสัญญาณจตุระเบ็ด 2 พัลส์ย่อย, สีน้ำเงินเข้ม คือสัญญาณจตุระเบ็ด 3 พัลส์ย่อย, สีแดงเข้ม คือสัญญาณจตุระเบ็ด 4 พัลส์ย่อย



V/Div 5V T/Div 10ms

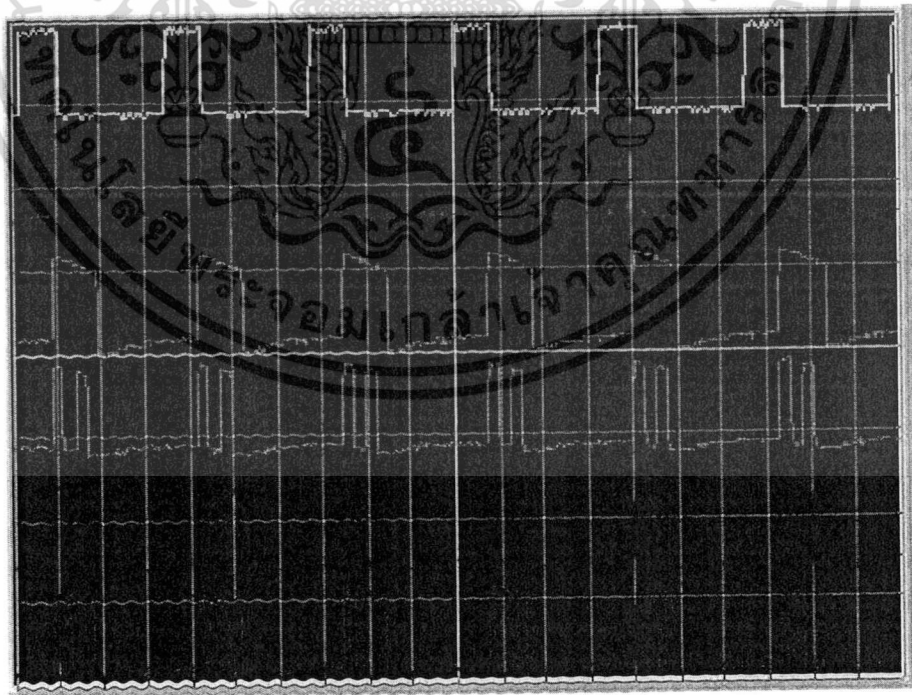
รูปที่ 5.27 ผลการวัดสัญญาณพัลส์ย่อยที่ความถี่ 50Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



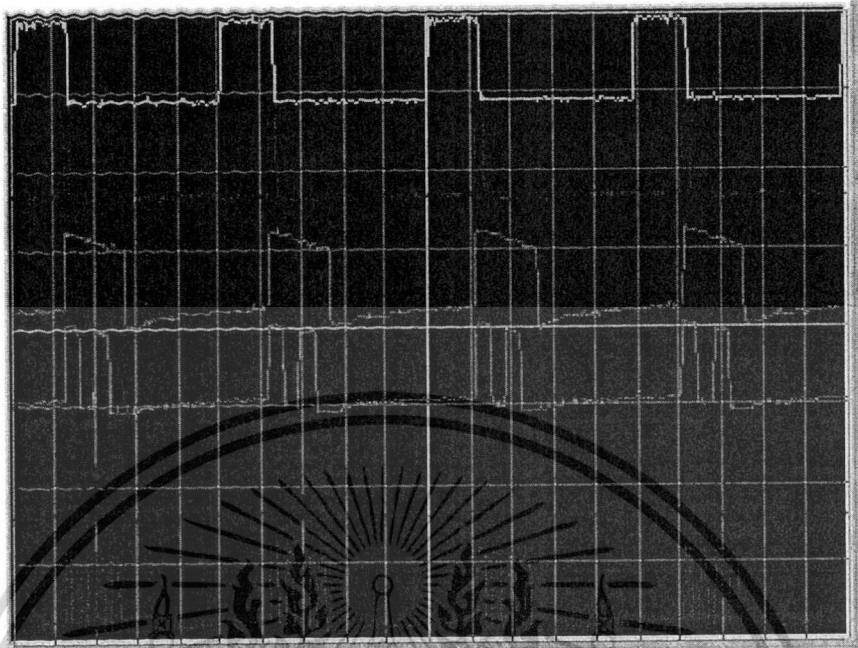
V/Div 5V T/Div 10mS

รูปที่ 5.28 ผลการวัดสัญญาณพัลส์ช้อยที่ความถี่ 40.04Hz



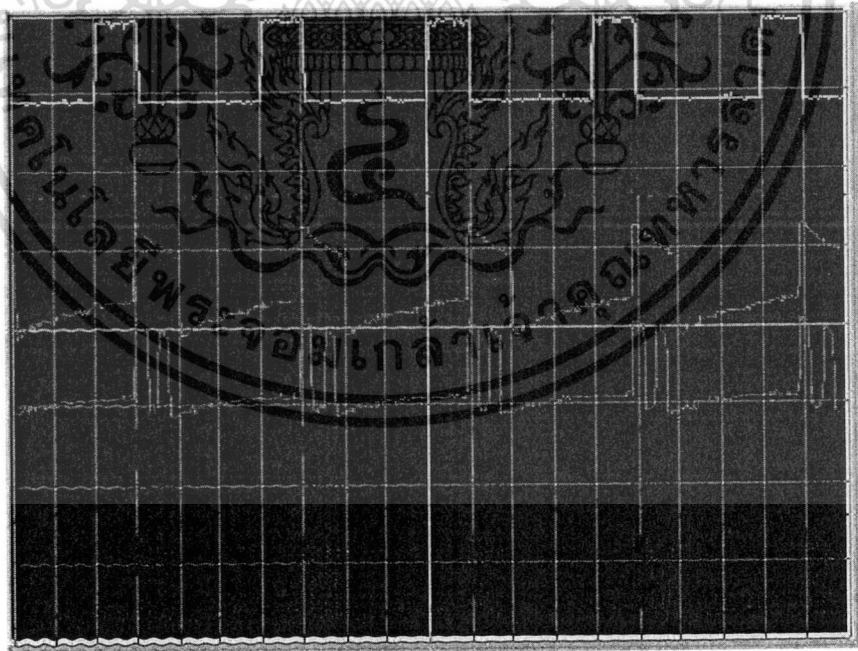
V/Div 5V T/Div 10mS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในหน่วยงานเพื่อการวิจัยเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



V/Div 5V T/Div 10mS

รูปที่ 5.30 ผลการวัดสัญญาณพัลส์ย่อยที่ความถี่ 19.53Hz



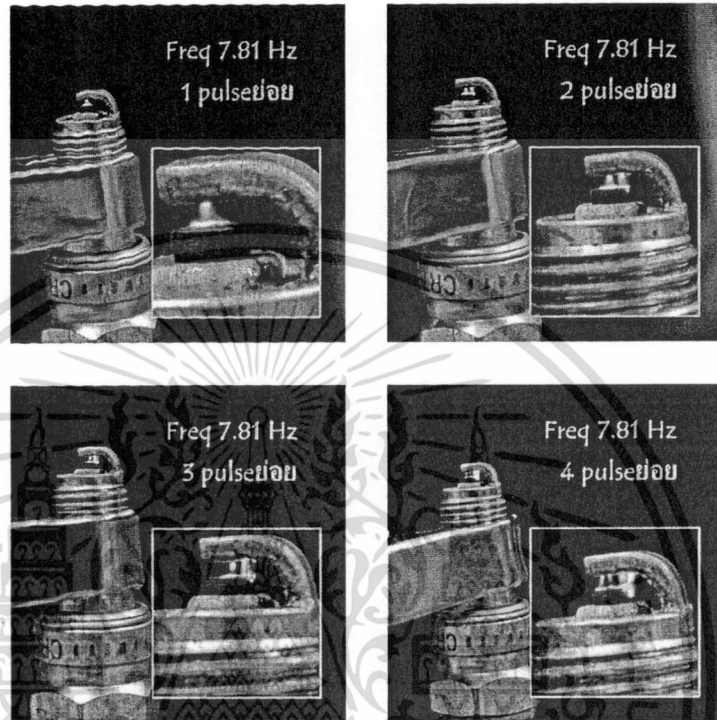
V/Div 5V T/Div 25mS

รูปที่ 5.31 ผลการวัดสัญญาณพัลส์ย่อยที่ความถี่ 7.81Hz

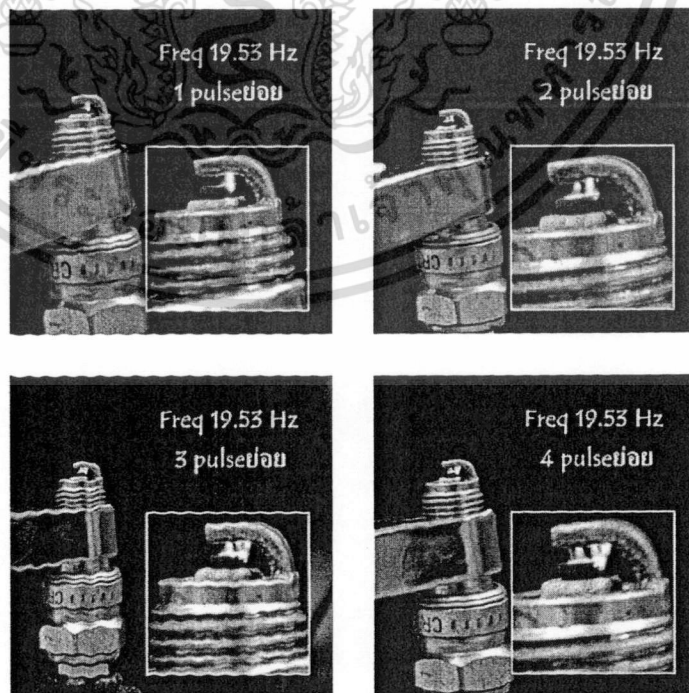
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การจุดระเบิด

5.3.1 ผลการทดลองส่วนการจุดระเบิด



รูปที่ 5.32 ผลการจุดระเบิดหัวเทียนที่ความถี่ 7.81Hz



รูปที่ 5.33 ผลการจุดระเบิดหัวเทียนที่ความถี่ 19.53Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.34 ผลการจุดระเบิดหัวเทียนที่ความถี่ 30.27Hz

รูปที่ 5.35 ผลการจุดระเบิดหัวเทียนที่ความถี่ 50Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

6.1 ส่วนการจำลองสัญญาณจตุระเบ็ด

จากการทดลองและวัดสัญญาณจริงพบว่าสามารถสร้างพัลส์ 5V ที่สามารถปรับค่าความเร็วรอบได้ตั้งแต่ 0 – 6000 RPM สำหรับเครื่องยนต์สี่สูบ และสามารถสร้างการจตุระเบ็ดล่วงหน้าของเครื่องยนต์ตามความเร็วรอบที่เปลี่ยนไป โดยใช้ PIC16F877A เป็นตัวประมวลผล เพื่อนำสัญญาณที่ได้นี้ไปจ่ายให้กับส่วนการประมวลผลต่อไป

6.2 ส่วนการประมวลผล

จากการทดลองและวัดสัญญาณจริงพบว่าสามารถสร้างสัญญาณจตุระเบ็ด 5V ที่เป็นพัลส์ย่อย 1, 2, 3 หรือ 4 พัลส์และเพิ่มช่วงเวลากการจตุระเบ็ดล่วงหน้าจากสัญญาณจำลองการจตุระเบ็ดได้ตามต้องการ และสามารถส่งสัญญาณจตุระเบ็ดให้กับวงจรจตุระเบ็ดได้ โดยใช้ MCS-51 เป็นตัวประมวลผล

6.3 ส่วนการจตุระเบ็ด

จากผลการรับสัญญาณจตุระเบ็ดโดยมีพัลส์ย่อย 1, 2, 3, หรือ 4 พัลส์ย่อยนำมาเข้าสู่วงจรจตุระเบ็ดโดยมีทรานซิสเตอร์ BD139 เป็นชุด Gate Drive และมีมอสเฟต IRF540N ทำหน้าที่เป็นสวิทช์เปิด/ปิด เพื่อขับให้คอยล์จตุระเบ็ดสะสมและคายพลังงานเป็นจังหวะตามสัญญาณจากส่วนประมวลผล เพื่อให้เกิดประกายไฟขึ้นที่หัวเทียน

จากการทดลองพบว่าจำนวนประกายไฟที่หัวเทียนจะแปรตามจำนวนพัลส์ย่อย โดยหากใช้สัญญาณ 4 พัลส์ย่อยจะทำให้เกิดการจตุระเบ็ดโดยมีจำนวนประกายไฟมากกว่าการใช้สัญญาณ 1 พัลส์ หรือก็คือเกิดประกายไฟแรงมากกว่านั่นเอง อีกทั้งจำนวนประกายไฟที่หัวเทียนจะแปรตามรอบ RPM โดยหาก RPM ยิ่งสูงประกายไฟก็จะยิ่งแรงขึ้น ทั้งนี้หาก RPM ยิ่งสูงจังหวะการจตุระเบ็ดหัวเทียนก็จะยิ่งเร็วขึ้น นั่นคือมุมจตุระเบ็ดล่วงหน้ามีค่ามากขึ้น ซึ่งทั้งหมดนี้จะส่งผลให้การเผาไหม้ของเครื่องยนต์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการเพิ่มช่วงเวลากการจตุระเบ็ดจากเดิมที่การจตุระเบ็ดจะสิ้นสุดที่ 10 องศาหลัง TDC ไปเป็น 180 องศาหลัง TDC ก็จะทำให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

- Compatible with MCS[®]-51 Products
- 4K Bytes of In-System Programmable (ISP) Flash Memory
 - ~ Endurance: 1000 Write/Erase Cycles
- 4.0V to 5.5V Operating Range
- Fully Static Operation: 0 Hz to 33 MHz
- Three-level Program Memory Lock
- 128 x 8-bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Two 16-bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources
- Full Duplex UART Serial Channel
- Low-power Idle and Power-down Modes
- Interrupt Recovery from Power-down Mode
- Watchdog Timer
- Dual Data Pointer
- Power-off Flag
- Fast Programming Time
- Flexible ISP Programming (Byte and Page Mode)

Description

The AT89S51 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcontroller with 4K bytes of In-System Programmable Flash memory. The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard 80C51 instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with In-System Programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89S51 is a powerful microcontroller which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

The AT89S51 provides the following standard features: 4K bytes of Flash, 128 bytes of RAM, 32 I/O lines, Watchdog timer, two data pointers, two 16-bit timer/counters, a five-vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator, and clock circuitry. In addition, the AT89S51 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the RAM contents but freezes the oscillator, disabling all other chip functions until the next external interrupt or hardware reset.



**8-bit
Microcontroller
with 4K Bytes
In-System
Programmable
Flash**

AT89S51

2487B-MICRO-12/03



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Pin Description

VCC	Supply voltage (all packages except 42-PDIP).
GND	Ground (all packages except 42-PDIP; for 42-PDIP GND connects only the logic core and the embedded program memory).
VDD	Supply voltage for the 42-PDIP which connects only the logic core and the embedded program memory.
PWRVDD	Supply voltage for the 42-PDIP which connects only the I/O Pad Drivers. The application board MUST connect both VDD and PWRVDD to the board supply voltage.

PWRGND Ground for the 42-PDIP which connects only the I/O Pad Drivers. PWRGND and GND are weakly connected through the common silicon substrate, but not through any metal link. The application board **MUST** connect both GND and PWRGND to the board ground.

Port 0 Port 0 is an 8-bit open drain bi-directional I/O port. As an output port, each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.
Port 0 can also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode, P0 has internal pull-ups.
Port 0 also receives the code bytes during Flash programming and outputs the code bytes during program verification. **External pull-ups are required during program verification.**

Port 1 Port 1 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-ups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins, they are pulled high by the internal pull-ups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pull-ups.
Port 1 also receives the low-order address bytes during Flash programming and verification.

Port Pin	Alternate Functions
P1.5	MOSI (used for In-System Programming)
P1.6	MISO (used for In-System Programming)
P1.7	SCK (used for In-System Programming)

Port 2 Port 2 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-ups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins, they are pulled high by the internal pull-ups and can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pull-ups.
Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application, Port 2 uses strong internal pull-ups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ R1), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.
Port 2 also receives the high-order address bits and some control signals during Flash programming and verification.

AT89S51

Port 3

Port 3 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-ups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins, they are pulled high by the internal pull-ups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current ($I_{I/O}$) because of the pull-ups.

Port 3 receives some control signals for Flash programming and verification.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89S51, as shown in the following table.

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	INT0 (external interrupt 0)
P3.3	INT1 (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	\overline{WR} (external data memory write strobe)
P3.7	\overline{RD} (external data memory read strobe)

RST

Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device. This pin drives High for 98 oscillator periods after the Watchdog times out. The DISRTO bit in SFR AUXR (address 8EH) can be used to disable this feature. In the default state of bit DISRTO, the RESET HIGH out feature is enabled.

ALE/ \overline{PROG}

Address Latch Enable (ALE) is an output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input (\overline{PROG}) during Flash programming.

In normal operation, ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE pulse is skipped during each access to external data memory.

If desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of SFR location 8EH. With the bit set, ALE is active only during a MOVX or MOVC instruction. Otherwise, the pin is weakly pulled high. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.

\overline{PSEN}

Program Store Enable (\overline{PSEN}) is the read strobe to external program memory.

When the AT89S51 is executing code from external program memory, \overline{PSEN} is activated twice each machine cycle, except that two \overline{PSEN} activations are skipped during each access to external data memory.

\overline{EA}/VPP

External Access Enable. \overline{EA} must be strapped to GND in order to enable the device to fetch code from external program memory locations starting at 0000H up to FFFFH. Note, however, that if lock bit 1 is programmed, \overline{EA} will be internally latched on reset.

\overline{EA} should be strapped to V_{CC} for internal program executions.

This pin also receives the 12-volt programming enable voltage (V_{PP}) during Flash programming.

XTAL1

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier



PIC16F87X

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

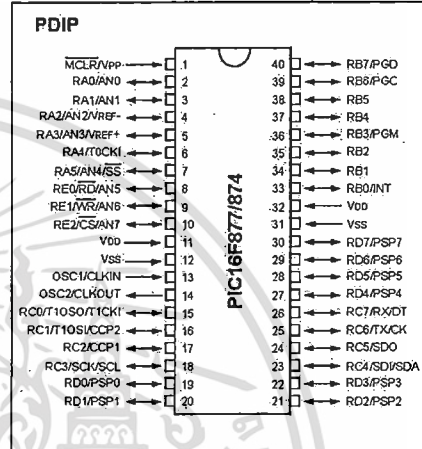
Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F876
- PIC16F874
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC-CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and
Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM
technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two
pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature
ranges
- Low-power consumption:
 - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
 - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
 - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram

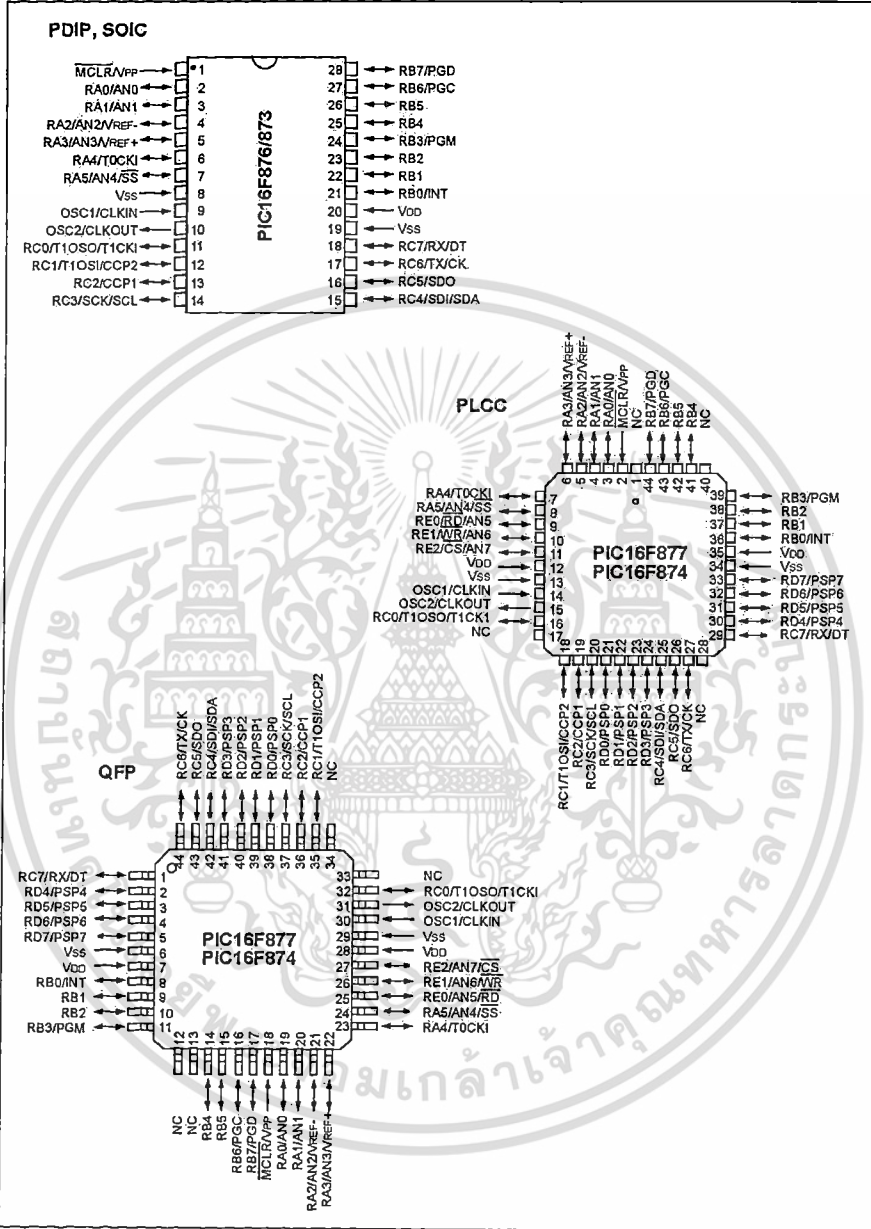


Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,
can be incremented during SLEEP via external
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master
mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address
detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for
Brown-out Reset (BOR)

PIC16F87X

Pin Diagrams



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

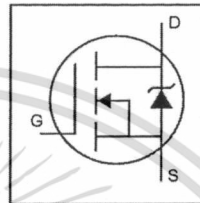
International
IR Rectifier

PD - 91341B

IRF540N

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated

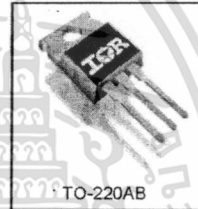


$V_{DSS} = 100V$
 $R_{DS(on)} = 44m\Omega$
 $I_D = 33A$

Description

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.

**Absolute Maximum Ratings**

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	33	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	23	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	110	
$P_C @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	130	W
	Linear Derating Factor	0.87	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
I_{AR}	Avalanche Current ②	16	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ②	13	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	7.0	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to +175	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf-in (1.1N·m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	1.15	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

www.irf.com

1

03/13/01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRF540N

International
IR Rectifier

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

Parameter	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
V _{BR(DSS)}	Drain-to-Source Breakdown Voltage	100	—	—	V	V _{GS} = 0V, I _D = 250μA
ΔV _{BR(DSS)/ΔT_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
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 = 16A
I _{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	V _{DS} = 100V, V _{GS} = 0V
I _{DSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	250	μA	V _{DS} = 80V, V _{GS} = 0V, T _J = 150°C
I _{DSS}	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	100	nA	V _{GS} = 20V
I _{DSS}	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100	nA	V _{GS} = -20V
Q _g	Total Gate Charge	—	—	71	nC	I _D = 16A
Q _{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	14	nC	V _{DS} = 80V
Q _{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	21	nC	V _{GS} = 10V, See Fig. 6 and 13
t _{di(on)}	Turn-On Delay Time	—	11	—	ns	V _{DS} = 50V
t _r	Rise Time	—	35	—	ns	I _D = 16A
t _{d(off)}	Turn-Off Delay Time	—	39	—	ns	R _G = 5.1Ω
t _f	Fall Time	—	35	—	ns	V _{GS} = 10V, See Fig. 10
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	—	nH	
C _{iss}	Input Capacitance	—	1960	—	pF	V _{GS} = 0V
C _{oss}	Output Capacitance	—	250	—	pF	V _{DS} = 25V
C _{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	40	—	pF	f = 1.0MHz, See Fig. 5
E _{AS}	Single Pulse Avalanche Energy	—	700	185	mJ	I _{AS} = 16A, L = 1.5mH

Source-Drain Ratings and Characteristics

Parameter	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)	—	—	110	A	
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:

- ① 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
- ④ Pulse width ≤ 400μs; duty cycle ≤ 2%.
- ⑤ This is a typical value at device destruction and represents operation outside rated limits.
- ⑥ This is a calculated value limited to T_J = 175°C . .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


BD135
BD139

NPN SILICON TRANSISTORS

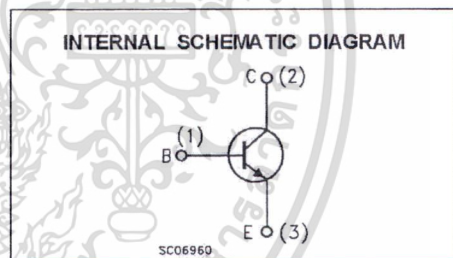
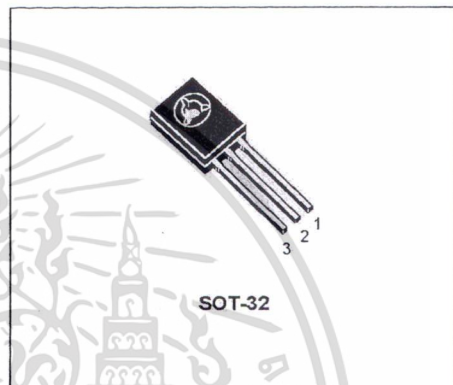
Type	Marking
BD135	BD135
BD135-10	BD135-10
BD135-16	BD135-16
BD139	BD139
BD139-10	BD139-10
BD139-16	BD139-16

- STMicroelectronics PREFERRED SALESTYPES

DESCRIPTION

The BD135 and BD139 are silicon Epitaxial Planar NPN transistors mounted in Jedec SOT-32 plastic package, designed for audio amplifiers and drivers utilizing complementary or quasi-complementary circuits.

The complementary PNP types are BD136 and BD140 respectively.



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value		Unit
		BD135	BD139	
V_{CB0}	Collector-Base Voltage ($I_E = 0$)	45	80	V
V_{CE0}	Collector-Emitter Voltage ($I_B = 0$)	45	80	V
V_{EB0}	Emitter-Base Voltage ($I_C = 0$)	5		V
I_C	Collector Current	1.5		A
I_{CM}	Collector Peak Current	3		A
I_B	Base Current	0.5		A
P_{tot}	Total Dissipation at $T_c \leq 25^\circ\text{C}$	12.5		W
P_{tot}	Total Dissipation at $T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$	1.25		W
T_{stg}	Storage Temperature	-65 to 150		$^\circ\text{C}$
T_J	Max. Operating Junction Temperature	150		$^\circ\text{C}$

September 2001

1/4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BD135/BD139

THERMAL DATA

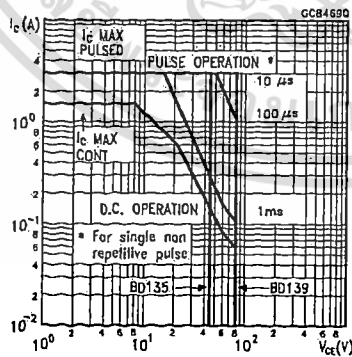
$R_{th(jc)}$	Thermal Resistance Junction-case	Max	10	$^{\circ}\text{C/W}$
--------------	----------------------------------	-----	----	----------------------

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{case} = 25^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{cbo}	Collector Cut-off Current ($I_E = 0$)	$V_{CB} = 30\text{ V}$ $V_{CB} = 30\text{ V}$ $T_C = 125^{\circ}\text{C}$			0.1 10	μA μA
I_{ebo}	Emitter Cut-off Current ($I_C = 0$)	$V_{EB} = 5\text{ V}$			10	μA
$V_{CE0(sus)*}$	Collector-Emitter Sustaining Voltage ($I_B = 0$)	$I_C = 30\text{ mA}$ for BD135 for BD139	45 80			V V
$V_{CE(sat)*}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 0.5\text{ A}$ $I_B = 0.05\text{ A}$			0.5	V
V_{BE*}	Base-Emitter Voltage	$I_C = 0.5\text{ A}$ $V_{CE} = 2\text{ V}$			1	V
h_{FE*}	DC Current Gain	$I_C = 5\text{ mA}$ $V_{CE} = 2\text{ V}$ $I_C = 150\text{ mA}$ $V_{CE} = 2\text{ V}$ $I_C = 0.5\text{ A}$ $V_{CE} = 2\text{ V}$	25 40 25		250	
h_{FE}	h_{FE} Groups	$I_C = 150\text{ mA}$ $V_{CE} = 2\text{ V}$ for BD135/BD139 group-10 for BD135/BD139 group-16	63 100		160 250	

* Pulsed: Pulse duration = 300 μs , duty cycle 1.5 %

Safe Operating Area



2/4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. ประณต กุลประสูตร, “ทฤษฎีเครื่องยนต์เบนซิน”, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 448 หน้า, 2551
2. รศ.ธีวัฒน์ ประกอบผล, “ภาษาแอสเซมบลีสำหรับ MCS-51”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 268 หน้า, 2546
3. วีระเชษฐ ชันเงิน วุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์, “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง”, วิ.เจ. พรินต์ติ้ง, 845 หน้า, 2547



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้