

การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของหัวเทียนอิริเดียมและหัวเทียนนิกเกิล
ในระบบจุดระเบิดเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

THE ELECTRICAL CHARACTERISTIC COMPARISON OF IRIDIUM AND NICKLE
SPARK PLUG IN SPARK IGNITION GASOLINE ENGINE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-EN-M-040-126

การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของหัวเทียนอิริเดียมและหัวเทียนนิกเกิล
ในระบบจุดระเบิดเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

THE ELECTRICAL CHARACTERISTIC COMPARISON OF IRIDIUM AND NICKLE
SPARK PLUG IN SPARK IGNITION GASOLINE ENGINE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2019-EN-M-040-126

THE ELECTRICAL CHARACTERISTIC COMPARISON OF IRIDIUM AND NICKLE
SPARK PLUG IN SPARK IGNITION GASOLINE ENGINE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRONICS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2019
KMITL-2019-EN-M-040-126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2019

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของหัวเทียนอิริเดียมและหัวเทียนนิกเกิลในระบบจุดระเบิดเครื่องยนต์แก๊สโซลีน
นักศึกษา	นายณัฐพล ฉิมผาย
รหัสประจำตัว	59601247
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ. จิรวัดน์ ปานกลาง

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางไฟฟ้าของหัวเทียนอิริเดียมและหัวเทียนนิกเกิลเมื่อหัวเทียนทั้งสองทำหน้าที่เป็นโพลด์ให้กับระบบจุดระเบิดเครื่องยนต์แก๊สโซลีน และนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบไปใช้เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการทำงานที่เหมาะสมให้กับระบบจุดระเบิดที่มีหัวเทียนทั้งสองชนิดเป็นโพลด์ของระบบ การทดสอบจะถูกดำเนินการผ่านแบบจำลองระบบจุดระเบิดซึ่งเป็นเครื่องมือที่ถูกออกแบบให้มีการทำงานเสมือนกับการทำงานของระบบจุดระเบิดจริงและใช้ออสซิลโลสโคปวัดองค์ประกอบของสัญญาณจุดระเบิด ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าแรงดันจุดระเบิด, ระยะเวลาการเกิดประกายไฟ และความล่าช้าในการจุดระเบิด ภายในข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างหัวเทียนอิริเดียมและหัวเทียนนิกเกิล จากผลการวิจัยพบว่า หัวเทียนอิริเดียมต้องการแรงดันเพื่อเริ่มจุดระเบิดน้อยกว่าหัวเทียนนิกเกิล 12.63% เป็นผลให้หัวเทียนอิริเดียมมีความหน่วงการจุดระเบิดต่ำกว่าหัวเทียนนิกเกิล 8.825% จากแนวโน้มดังกล่าวการใช้หัวเทียนอิริเดียมในระบบจุดระเบิดที่ถูกออกแบบมาเพื่อหัวเทียนนิกเกิลจะส่งผลให้เกิดความเสี่ยงที่เครื่องยนต์จะเดินสะดุด เนื่องจากค่าแรงดันสูงสุดจากพลังงานความร้อนภายในกระบอกสูบจะเกิดเร็วขึ้นหรือใกล้ศูนย์ตายบน การเดินสะดุดของเครื่องยนต์จะเกิดในอัตราส่วนอัดที่ต่ำ ๆ ดังนั้นการปรับลด dwell time ลง 2.75% เมื่อใช้หัวเทียนอิริเดียมเป็นโพลด์ในระบบจุดระเบิด จะให้ผลการตอบสนองแบบเดียวกับหัวเทียนนิกเกิล และทำให้เครื่องยนต์สามารถวิ่งได้ด้วยรอบเครื่องยนต์ที่สูงขึ้นเท่ากับ 6,396 rpm จากจากรอบเครื่องยนต์เดิม เท่ากับ 6,250 rpm ซึ่งเป็นค่าจากการควบคุม dwell tme ค่าสูงสุดก่อนที่กระแสมากในคอยล์จะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	The Electrical Characteristic Comparison of Iridium and Nickel Spark Plug in Spark Ignition Gasoline Engine
Student	Mr.Natthapol Chimpai
Student ID.	59601247
Degree	Master of Engineering
Program	Electronics Engineering
Year	2019
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Jirawat Parnklang

ABSTRACT

This research aims to study the electrical behavior of iridium spark plug and nickel spark plugs when the both of spark plugs perform as a load of gasoline ignition system and use the information from the test as a guideline to develop the suitable operation of the ignition system by both types of spark plugs as loads of system. The testing was conducted through the ignition system model, which was a tool designed to work like a real ignition system and used an oscilloscope to measure the components of the ignition signal. That consists of ignition voltage, spark duration time, spark delay time. These data have been used to analyze and compare data between iridium spark plugs and nickel spark plugs. From the research, it has been found that the Iridium spark plugs require less voltage to start the ignition than Nickel spark plugs 12.63%. As a result, the Iridium spark plugs have a shorter ignition delay than the nickel spark plugs 8.825%. From this trend, the using of iridium spark plugs in ignition systems designed for nickel spark plugs results in a risk of engine knock. Due to the maximum pressure within the cylinder occurs faster or near the top dead center (TDC). The Engine knocking results in a low compression ratio. Therefore, the reducing dwell time about 2.75% when use the iridium spark plugs as a load in the ignition system, gives the same response as the nickel spark plug and allows the engine to run with a higher rpm equal 6,396 rpm from the original rpm of engine equal 6,250 rpm which is the maximum dwell tme controlling before current the internal coil will decreases.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อจ้ อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.จิราวัฒน์ ปานกลาง และคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ที่ให้ความรู้ ให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือ จนกระทั่งผลงานสำเร็จลุล่วง ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาในการแก้ไข ข้อบกพร่องต่าง ๆ ของวิทยานิพนธ์ รวมถึงผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีได้เอื้อนมาไว้ ณ ที่นี้

และขอกราบขอบพระคุณผู้ปกครองที่อำนวยความสะดวกในการอุปการะทุนค่าใช้จ่ายในการ เล่าเรียนจนกระทั่งผลงานสำเร็จลุล่วง

นายณัฐพล นิมผาย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตัด iii อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ส่วนประกอบของงานวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	4
2.1 เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ.....	4
2.1.1 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ.....	5
2.2 ระบบจุดระเบิดและวิวัฒนาการของระบบจุดระเบิดเครื่องยนต์แก๊สโซลีน.....	6
2.2.1 ระบบการจุดระเบิดแบบสวิททกลไก.....	9
2.2.2 ระบบการจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์.....	10
2.3 หัวเทียน แบบต่างๆ และ วิวัฒนาการของหัวเทียน.....	16
2.3.1 หัวเทียนจุดระเบิดแบบนิเกิล.....	17
2.3.2 หัวเทียนจุดระเบิดแบบแพลตินัม.....	18
2.3.3 หัวเทียนจุดระเบิดแบบอิริเดียม.....	18
2.3.4 บทสรุปวิวัฒนาการของหัวเทียน.....	19
2.4 วงจรเสมือนของระบบจุดระเบิดและหัวเทียน.....	22
2.4.1 วงจรเสมือนแบบจำลองระบบจุดระเบิดเครื่องยนต์แก๊สโซลีน.....	22
2.4.2 วงจรเสมือนแบบจำลองหัวเทียนจุดระเบิด.....	24
2.4.3 สัญญาณทางไฟฟ้าที่สำคัญของระบบจุดระเบิด.....	25
2.4.3.1 สัญญาณการจุดระเบิดที่ได้จากระบบจุดระเบิด.....	25
2.4.3.2 สัญญาณแรงดันคร่อมคอล์ยจุดระเบิดด้านปฐมภูมิ และทุติยภูมิ.....	28
บทที่ 3 การทดลองและผลการทดลอง.....	31
3.1 การออกแบบระบบจำลองการจุดระเบิดของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน.....	31
3.1.1 การออกแบบวงจรสร้างสัญญาณจุดระเบิด.....	32
3.1.2 การออกแบบวงจรขับเคลื่อนคอล์ยจุดระเบิด.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และดัด iv ว่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.1.3 การเลือกคอลย์จตุระเปิด.....	33
3.1.4 การคัดเลือกหัวเทียนที่ใช้เป็นต้นแบบ.....	34
3.2 การทดลองและผลการทดลองค่าเวลาในการสะสมพลังงานของคอลย์จตุระเปิด.....	35
3.2.1 ผลการทดลองค่าเวลาที่น้อยที่สุดในการสะสมพลังงานของคอลย์จตุระเปิดต่อหัวเทียนชนิดต่างๆ(Minimum Dwell Time).....	35
3.2.2 การพิจารณาค่าความกว้างที่เหมาะสมของสัญญาณจตุระเปิดเมื่อโหลดภาระเป็นหัวเทียนแบบต่างๆ(Dwell Time).....	43
3.3 การทดลองและผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณแรงดันคอลย์จตุระเปิดด้านทุติยภูมิ.....	46
3.3.1 ผลการวัดสัญญาณแรงดันคอลย์จตุระเปิดด้านปฐมภูมิเมื่อโหลดภาระคือหัวเทียนนิกเกิ้ล.....	48
3.3.2 ผลการวัดสัญญาณแรงดันคอลย์จตุระเปิดด้านปฐมภูมิเมื่อโหลดภาระคือหัวเทียนอิริเดียม.....	49
3.4 เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างหัวเทียนอิริเดียมและหัวเทียนนิกเกิ้ล.....	51
บทที่ 4 บทสรุป.....	53
เอกสารอ้างอิง.....	56
ภาคผนวก.....	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลของหัวเทียนอิริเดียมและหัวเทียนนิกเกิล.....	34
3.2 แสดงผลการทดสอบ Minimum Dwell Time ของหัวเทียนอิริเดียม.....	35
3.3 แสดงผลการทดสอบ Minimum Dwell Time ของหัวเทียนนิกเกิล.....	39
3.4 ผลการทดลองค่าแรงดันฟุ้งทลาย (Firing Voltage) และช่วงเวลาการจุดระเบิด (Spark duration Time Period) ของหัวเทียนนิกเกิล ที่ air gap = 1.1 mm.....	48
3.5 ผลการทดลองค่าแรงดันฟุ้งทลาย (Firing Voltage) และช่วงเวลาการจุดระเบิด (Spark duration Time Period) ของหัวเทียนนิกเกิล ที่ air gap = 0.9 mm.....	48
3.6 ผลการทดลองค่าแรงดันฟุ้งทลาย (Firing Voltage) และช่วงเวลาการจุดระเบิด (Spark duration Time Period) ของหัวเทียนนิกเกิล ที่ air gap = 0.7 mm.....	49
3.7 ผลการทดลองค่าแรงดันฟุ้งทลาย (Firing Voltage) และช่วงเวลาการจุดระเบิด (Spark duration Time) ของหัวเทียนอิริเดียม ที่ air gap = 1.1 mm.....	49
3.8 ผลการทดลองค่าแรงดันฟุ้งทลาย (Firing Voltage) และช่วงเวลาการจุดระเบิด (Spark duration Time) ของหัวเทียนอิริเดียม ที่ air gap = 0.9 mm.....	50
3.9 ผลการทดลองค่าแรงดันฟุ้งทลาย (Firing Voltage) และช่วงเวลาการจุดระเบิด (Spark duration Time) ของหัวเทียนอิริเดียม ที่ air gap = 0.7 mm.....	50
4.1 การเปรียบเทียบข้อมูลทางไฟฟ้าของหัวเทียนอิริเดียมและหัวเทียนมาตรฐานที่ค่าเวลาสูงสุดในการสะสมพลังงานของคอยล์จุดระเบิด.....	55
4.2 dwell time สำหรับหัวเทียนอิริเดียม.....	55

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ.....	4
2.2 วัฏจักรการทำงาน 4 จังหวะ ของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน (4 Cycle Gasoline Engine).....	5
2.3 แสดงแบบเตอริร์รถยนต์.....	6
2.4 แสดงรูปสวิตช์กุญแจ.....	6
2.5 องค์ประกอบคอยล์จุดระเบิด.....	7
2.6 แสดงชุดหน้าท่อยางขาว(Breaker section).....	8
2.7 หัวเทียน (Spark plug).....	8
2.8 อุปกรณ์ต่างๆ ของระบบจุดระเบิดแบบสวิตทกลไก.....	9
2.9 อุปกรณ์ต่างๆ ของระบบจุดระเบิดแบบกึ่งทรานซิสเตอร์.....	11
2.10 อุปกรณ์ต่างๆ ของระบบจุดระเบิดแบบทรานซิสเตอร์.....	12
2.11 Magnetic changes.....	13
2.12 แสดงการเกิดสัญญาณไฟฟ้าในขดลวด.....	13
2.13 แสดงการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ผ่าน ECU.....	14
2.14 แสดงระบบจุดระเบิดระบบจุดระเบิดแบบ CDI.....	16
2.15 แสดงองค์ประกอบของหัวเทียน.....	16
2.16 หัวเทียนแบบทองแดง/นิกเกิล.....	18
2.17 หัวเทียนแบบอแพลทินัม.....	18
2.18 หัวเทียนแบบอิริเดียม.....	19
2.19 แสดงการเปรียบเทียบสนามไฟฟ้า(Electric field) ที่ขั้วไฟฟ้าของหัวเทียนแบบดั้งเดิม (Conventional Spark Plug) และหัวเทียนที่ได้รับการพัฒนา(Modern Spark Plug).....	21
2.20 แสดงวงจรเสมือนของระบบจุดระเบิด.....	22
2.21 แสดงวงจรเสมือนหัวเทียน.....	24
2.22 แสดงสัญญาณที่ใช้ควบคุมการจุดระเบิด.....	25
2.23 แสดงสัญญาณควบคุมการจุดระเบิดเมื่อรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น.....	25
2.24 แสดงเส้นโค้งความดันสัมพันธ์กับตำแหน่งเพลลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ในขบวนการเผาไหม้.....	26
2.25 เส้นโค้งความดันจากการตั้งจากการจุดระเบิดก่อนและหลังกำหนด.....	27
2.26 เส้นโค้งการเผาไหม้เมื่ออัตราเร็วของเครื่องยนต์เปลี่ยนแปลง.....	27
2.27 แสดงสัญญาณไฟฟ้าในคอยล์จุดระเบิด.....	28
2.28 แสดงกระแสไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิของคอยล์จุดระเบิด.....	28
2.29 แสดงแรงดันที่ถูกเหนี่ยวนำทางขดลวดทุติยภูมิของของคอยล์จุดระเบิด.....	29
2.30 แสดงแรงดันที่ถูกเหนี่ยวนำทางขดลวดทุติยภูมิของของคอยล์จุดระเบิด.....	29
2.31 แสดงสัญญาณทางขดลวดปฐมภูมิเมื่อมีการจุดประกายหัวเทียน.....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตัด vii อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1 แสดงแบบจำลองการจุดระเบิดของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน.....	31
3.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบจำลองการจุดระเบิดของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน.....	31
3.3 แสดงการออกแบบวงจรจอร์สเทเบิล (Astable Multivibrator).....	32
3.4 แสดงการออกแบบวงจรสร้างสัญญาณจุดระเบิด.....	32
3.5 แสดงการออกแบบวงจรขับเคลื่อนจุดระเบิด.....	33
3.6 Single-spark ignition coil.....	33
3.7 การคัดเลือกหัวเทียนที่ใช้เป็นต้นแบบ.....	34
3.8 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านคอยล์มีผลต่อช่วงประกายไฟและประกายที่ปรากฏ.....	43
3.9 แสดงระดับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านคอยล์ที่ขึ้นกับ dwell time.....	44
3.10 แสดงการทดสอบหาค่า maximum dwell time.....	44
3.11 แสดงการทดสอบหาค่า dwell time ที่ 3 ms โดยมีโพลต์เป็นหัวเทียนอิริเดียม.....	45
3.12 แสดงการทดสอบหาค่า dwell time ที่ 3 ms โดยมีโพลต์เป็นหัวเทียนนิเกิล.....	45
3.13 แสดงการทดสอบหาค่า dwell time ที่ 2.7 ms โดยมีโพลต์เป็นหัวเทียนอิริเดียม.....	45
3.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของแรงดันจุดระเบิดและช่วงประกายไฟที่สามารถถูกแสดงได้ด้วยภาพจำลองโดยการใช้เชือก เหตุที่ว่าพลังงานไม่สามารถถูกทำลายได้.....	46
3.15 แสดงสัญญาณแรงดันจุดระเบิดด้านทุติยภูมิ (Firing voltage), ความล่าช้าในการเกิดประกาย (Spark delay time) และช่วงประกายไฟ (Spark duration time) ที่ 1.1 mm air gap ใน 500 us charging time ตามลำดับ.....	47
3.16 แสดงสัญญาณแรงดันจุดระเบิดด้านทุติยภูมิ (Firing voltage), ความล่าช้าในการเกิดประกาย (Spark delay time) และช่วงประกายไฟ (Spark duration time) ที่ 1.1 mm air gap ใน 2500 us charging time ตามลำดับ.....	47
3.17 แสดงกราฟค่าแรงดันพังทลาย (Firing Voltage) และช่วงเวลาการจุดระเบิด (Spark duration Time) ในช่วงเวลาในการสะสมพลังงาน (charging time) ต่างๆ ที่ spark gap 1.1 mm.....	51
3.18 แสดงกราฟค่าแรงดันพังทลาย (Firing Voltage) และช่วงเวลาการจุดระเบิด (Spark duration Time) ในช่วงเวลาในการสะสมพลังงาน (charging time) ต่างๆ ที่ spark gap 0.9 mm.....	51
3.19 แสดงกราฟค่าแรงดันพังทลาย (Firing Voltage) และช่วงเวลาการจุดระเบิด (Spark duration Time) ในช่วงเวลาในการสะสมพลังงาน (charging time) ต่างๆ ที่ spark gap 0.7 mm.....	52
3.20 แสดงกราฟความล่าช้าการเกิดประกาย (Spark delay time) ในช่วงเวลาในการสะสมพลังงาน (charging time) ต่างๆ ที่ spark gap 0.7 mm.....	52
4.1 ภาพจำลองตำแหน่งการจุดระเบิดของเครื่องยนต์.....	54

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เครื่องยนต์แก๊สโซลีนหรือเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟเป็นอุปกรณ์ต้นกำเนิดพลังงานในการขับเคลื่อนของรถยนต์ซึ่งมีวิธีการทำงานที่เก่าแก่มากที่สุดแบบหนึ่ง สามารถเผาไหม้ได้ทั้งเชื้อเพลิงเหลว ได้แก่ น้ำมันเบนซิน, แก๊สโซฮอลล์, เอทานอล และเชื้อเพลิงแก๊ส ได้แก่ LPG และ CNG (NGV) กระบวนการผลิตพลังงานของเครื่องยนต์ชนิดนี้จะเริ่มจากดูดเอาก๊าซออกซิเจนจากบรรยากาศเข้าไปผสมกับโมเลกุลของเชื้อเพลิงในอัตราส่วนที่เหมาะสมและบีบอัดจนเกิดความร้อน ก่อนจะถูกจุดระเบิดให้เกิดการเผาไหม้ด้วยประกายไฟจากหัวเทียน พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานกลและส่งไปยังระบบขับเคลื่อนของรถยนต์ ด้วยยุคสมัยที่เปลี่ยนไปทำให้เครื่องยนต์แก๊สโซลีนมีความสามารถในการตอบสนองมากขึ้น แต่ก็มีบางชิ้นส่วนสำคัญในเครื่องยนต์นั้น ที่ยังถูกใช้อยู่เหมือนเดิมไม่เปลี่ยนแปลง “หัวเทียน” ถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์ชิ้นสำคัญชิ้นหนึ่งในการก่อการจุดระเบิดภายในห้องเผาไหม้ ทำให้เครื่องยนต์มีกำลังมากขึ้น การทำงานของหัวเทียนจึงส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ประการสำคัญในกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์แก๊สโซลีน นั่นก็คือประกายไฟจากหัวเทียน ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสองมากเพียงพอจนกระทั่งถึงจุดที่ความต่างศักย์เสียสภาพฉับพลัน ทำให้ความต้านทานของช่องว่างลดลงอย่างมาก จึงส่งผลทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านช่องว่างเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ประกายไฟที่เกิดขึ้นจะส่งผลต่อความสมบูรณ์ของการเผาไหม้เชื้อเพลิงซึ่งจะส่งผลต่อพฤติกรรมทำงานของเครื่องยนต์ เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์และขนาดของประกายไฟที่ใหญ่ขึ้น วิธีหนึ่งที่เป็นไปได้ก็คือ การทำให้เขี้ยวที่ปลายหัวเทียนมีความเข้มทางสนามไฟฟ้าที่สูงขึ้นซึ่งทำได้โดยการการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าระหว่างเขี้ยวและแกนกลางของหัวเทียน จะทำให้ประกายไฟสามารถกระโดดข้ามเขี้ยวหัวเทียนได้ง่าย และจะเกิดประกายไฟได้ยาวนานกว่า เมื่อประกายไฟติดที่ขั้วหัวเทียนเป็นระยะเวลานานขึ้น ก็จะทำให้ส่วนผสมเชื้อเพลิงและอากาศสามารถเผาไหม้ได้อย่างหมดจด แต่วิธีนี้จะเป็นการเพิ่มภาระให้กับคอยล์จุดระเบิดซึ่งทำหน้าที่ในการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าแรงดันสูง เนื่องจากการเพิ่มพลังงานในการเกิดประกายไฟถึงแม้ว่าสิ่งนี้จะเป็นตัวกำหนดประกายไฟและช่วงระยะเวลาในการเกิดประกายไฟก็ตาม อีกทางเลือกหนึ่งที่เป็นไปได้ คือการออกแบบแกนกลางของหัวเทียนให้มีขนาดเล็กเพื่อลดพื้นที่อันจะส่งผลให้ความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงขึ้น ช่วยให้ประสิทธิภาพการจุดประกายดีขึ้นได้เช่นกัน เพราะฉะนั้น วัสดุที่เลือกใช้ในการสร้างปลายหัวเทียนที่มีขนาดเล็กจะต้องสามารถทนความร้อนสูงและนำไฟฟ้าได้ดีเยี่ยม

หัวเทียนอิริเดียมเป็นหัวเทียนชนิดหนึ่งที่ถูกพัฒนามาจากหัวเทียนมาตรฐานโดยการลดขนาดขั้วที่ปลายหัวเทียนให้เล็กลงจาก 2.5 mm เหลือเพียง 0.4 mm ด้วยลักษณะปลายหัวเทียนที่เล็กกว่าปกติจึงต้องเคลือบด้วยอิริเดียมที่มีความทนทานต่อการกัดกร่อนจากอุณหภูมิสูงในห้องเผาไหม้ เมื่อได้รับแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงจากวงจรไฟแรงสูง ที่ปลายของหัวเทียนอิริเดียมจะมีความเข้มทางสนามไฟฟ้าระหว่างขั้วหัวเทียนสูงกว่าหัวเทียนมาตรฐาน ส่งผลให้มีความต้องการแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้มีการนำกระแสระหว่างขั้วหัวเทียนทั้งสอง ช่วงประกายไฟของหัวเทียนอิริเดียมจึงมีขนาดใหญ่และยาวนานกว่าภายใต้ช่วงระยะเวลาการสะสมพลังงานเท่าเดิม จากผลการทดสอบของทางบริษัทที่ผลิตหัวเทียนอิริเดียม เชื่อว่า หัวเทียนอิริเดียมให้กำลังในการจุดระเบิดที่รุนแรงและแม่นยำกว่าหัวเทียนมาตรฐาน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ได้อย่างสมบูรณ์ อีกทั้งลดการปล่อยมลภาวะทางอากาศ อย่างไรก็ตาม ในระบบจุดระเบิดของรถยนต์จะต้องทำงานประสานกับส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ได้อย่างถูกต้อง ไม่เพียงแต่สร้างประกายไฟที่เหมาะสมกับการเผาไหม้ส่วนผสมเชื้อเพลิงกับอากาศ แต่จะต้องสัมพันธ์กับจังหวะการจุดประกายไฟของหัวเทียนในตำแหน่งเหมาะสมกับเครื่องยนต์ด้วย เพื่อให้ก๊าซที่กำลังขยายตัวสามารถทำงานได้สูงสุด จะช่วยเพิ่มอัตราเร่งและแรงบิดสูงสุดให้กับเครื่องยนต์ หากระบบจุดระเบิดเริ่มทำงานในเวลาที่ไม่ว่างกำลังของเครื่องยนต์จะลดลงทันที ดังนั้นการเลือกใช้หัวเทียนจะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมกับระบบจุดระเบิดเพื่อสมรรถนะอันสูงสุดของรถยนต์

1.2 วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบลักษณะการแสดงออกทางไฟฟ้าของหัวเทียนอิริเดียมกับหัวเทียนมาตรฐาน เพื่อวิเคราะห์การตอบสนองทางไฟฟ้าที่สอดคล้องกับสภาวะการดำเนินการสัญญาณควบคุมโดยปกติของระบบจุดระเบิดที่ใช้หัวเทียนมาตรฐาน

1.3 ส่วนประกอบของงานวิจัย

ส่วนประกอบของงานวิจัยจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนสำคัญ ได้แก่ ส่วนกำเนิดสัญญาณ, ส่วนควบคุมสัญญาณ และส่วนจุดระเบิด

1.3.1 ส่วนกำเนิดสัญญาณ ทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์ส่งไปกระตุ้นให้ส่วนประมวลผลหรือวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการสร้างสัญญาณจุดระเบิด โดยส่วนการสร้างสัญญาณทริกเกอร์ในที่นี้ คือ วงจรอะอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ที่ไอซี 555 เป็นอุปกรณ์ในการสร้างสัญญาณ ซึ่งวงจรนี้จะจำลองสัญญาณทริกเกอร์จากกล่อง ECU ของเครื่องยนต์ และสามารถปรับค่าสัญญาณทริกเกอร์ได้ในช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์ประมาณ 500 ถึง 10,000 รอบต่อนาที

1.3.2 ส่วนควบคุมสัญญาณ ทำหน้าที่รับสัญญาณกระตุ้นจากวงจระอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ แล้วทำการสร้างสัญญาณจุดระเบิดส่งไปยังคอยล์จุดระเบิดเพื่อใช้สำหรับการจุดระเบิดหัวเทียนตามคำสั่งของโปรแกรม โดยวงจรนี้จะใช้ Arduino board ในการประมวลผล ซึ่งจะทำงานร่วมกับคีย์บอร์ดและ LCD เพื่อให้สามารถป้อนข้อมูลสำหรับกำหนดรูปแบบของสัญญาณจุดระเบิดพร้อมทั้งแสดงข้อมูลที่ป้อนเข้าไปได้ โดยสัญญาณจุดระเบิดที่สร้างจากส่วนประมวลผลจะสามารถกำหนดจำนวนพัลส์ในการจุดระเบิดแต่ละครั้งได้ และยังสามารถโปรแกรมให้มีความกว้างของพัลส์จุดระเบิดหรือ T_{on} ได้ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.3 ส่วนการจุดระเบิด ทำหน้าที่รับสัญญาณพัลส์จุดระเบิดจากส่วนประมวลผลหรือวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วส่งสัญญาณพัลส์จุดระเบิดให้กับคอยล์จุดระเบิดทำการจุดระเบิดหัวเทียน โดยส่วนการจุดระเบิดนี้จะประกอบด้วยวงจรขับเคลื่อนและคอยล์จุดระเบิดที่เชื่อมต่ออยู่กับหัวเทียน

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

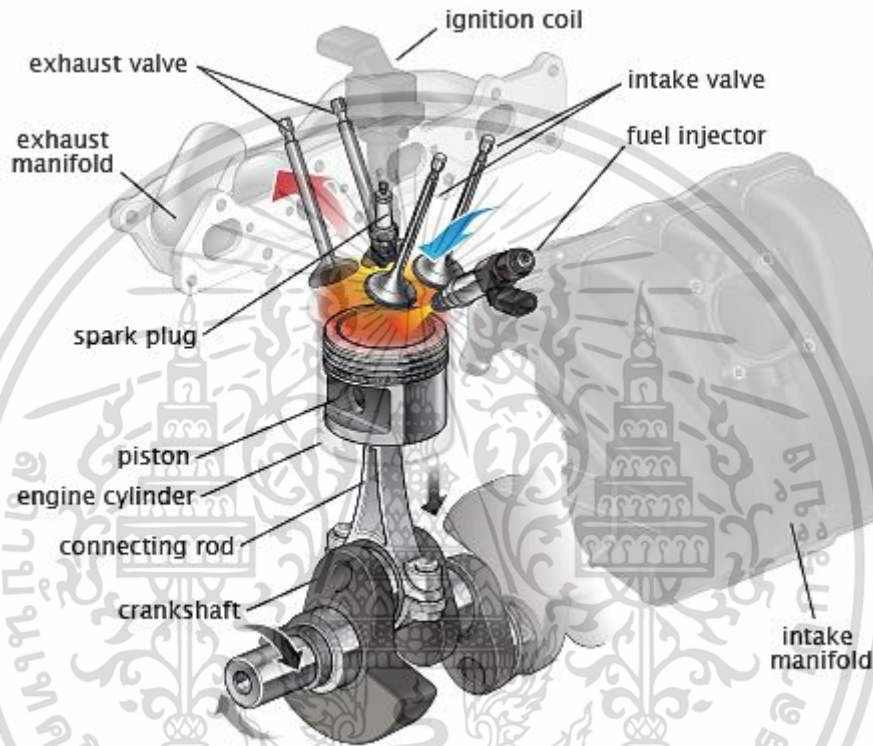
โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการแสดงออกทางไฟฟ้าของหัวเทียนที่นำมาทดสอบในแต่ละชนิด โดยจะนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับช่วงระยะเวลาในการเกิดประกายไฟ (spark duration time), ค่าแรงดันที่ใช้ในการเริ่มจุดระเบิด (ignition voltage) และความแม่นยำในการจุดระเบิด (spark delay time) ค่าต่างๆ เหล่านี้จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมกับการทำงานของระบบจุดระเบิด

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สร้างแบบจำลองการทำงานของหัวเทียนพร้อมพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง
2. สรุปพฤติกรรมทางไฟฟ้าของหัวเทียนแต่ละชนิดและปรับให้เหมาะสมกับระบบจุดระเบิด
3. ให้งานวิจัยนี้เป็นหนึ่งในแนวทางการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ



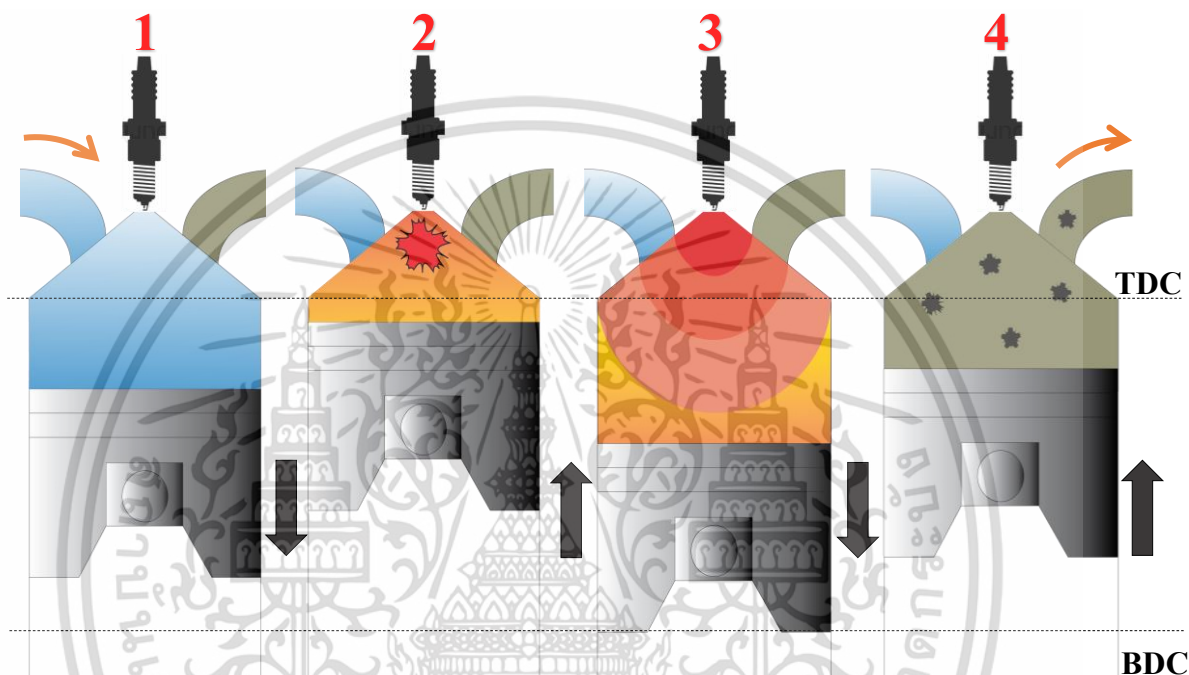
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ

เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายในชนิดหนึ่งซึ่งถูกเรียกกันโดยชื่อ “เครื่องยนต์แก๊สโซลีน” เป็นที่นิยมใช้กันมากในรถยนต์ทั่วไป หลักการทำงานของเครื่องยนต์ดังกล่าว เชื้อเพลิงและอากาศจะถูกผสมเข้าด้วยกันตามค่าอัตราส่วนผสมทางทฤษฎีภายในช่องว่างที่จำกัดที่เรียกว่า “ห้องเผาไหม้” เกิดขึ้นในจังหวะดูด การเผาไหม้จะเริ่มต้นขึ้นในปลายจังหวะอัด โดยระบบจุดระเบิดของรถยนต์จะควบคุมให้ปล่อยประกายไฟจากหัวเทียนทำให้ส่วนผสมเกิดการเผาไหม้ (เกิดปฏิกิริยาทางเคมี “ออกซิเดชั่น”) ผลลัพธ์ที่ได้จะส่งผลให้เกิดความดันสูงกระทำกับลูกสูบและผลักดันระบบขับเคลื่อนของรถยนต์ สิ่งสำคัญที่จะทำให้เครื่องยนต์ชนิดนี้สามารถทำงานได้อย่างราบเรียบมีประสิทธิภาพสูงสุด จะต้องมีคุณสมบัติ 3 ประการ ที่ต้องสมบูรณ์ ได้แก่ 1. ส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงที่เหมาะสมทุกภาระโหลด, 2. กำลังอัดต้องได้ตามการออกแบบเครื่องยนต์นั้นๆ และเท่ากันทุกสูบ, 3. ประกายไฟจากหัวเทียนที่ตีรวมไปถึงจังหวะในการจุดประกายไฟที่เหมาะสม ถ้าคุณสมบัติทั้ง 3 ประการนี้ถูกต้องสมบูรณ์จะทำให้รถยนต์มีประสิทธิภาพในการ

ขับเคลื่อนสูงสุด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ

เครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้งานกันในปัจจุบันเป็นเครื่องยนต์แบบ 4 จังหวะ มีรูปแบบการทำงานซ้ำๆกันอย่างต่อเนื่องตามลำดับซึ่งภายในการทำงาน 4 จังหวะ แบ่งออกเป็น 1.จังหวะดูด, 2. จังหวะอัด, 3.จังหวะระเบิด และ 4.จังหวะคาย ตลอดวัฏจักรการทำงาน 4 จังหวะ จะเท่ากับการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง 2 รอบ ดำเนินไปกับการเคลื่อนที่ของลูกสูบทั้ง 4 ช่วงชัก ที่สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.2 วัฏจักรการทำงาน 4 จังหวะ ของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน (4 Cycle Gasoline Engine)

1. **จังหวะดูด (Intake stroke)** เมื่อลูกสูบเริ่มเคลื่อนที่ลง ส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศ จะถูกดูดเข้ามาในกระบอกสูบโดยผ่านลิ้นไอดี(intake valve) ซึ่งเปิดอยู่ ลิ้นไอดีจะปิดที่ประมาณปลายจังหวะดูดหรือใกล้ถึงศูนย์ตายล่าง(Bottom dead center: BDC)
2. **จังหวะอัด (Compression stroke)** เมื่อลูกสูบเริ่มเคลื่อนที่ขึ้นลิ้นไอดีจะปิด ส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศจะถูกอัดจนกระทั่งใกล้ศูนย์ตายบน(Top dead center: TDC) ประกายไฟจากหัวเทียนจะปรากฏขึ้นในเวลานี้ทำให้การเผาไหม้ส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศเริ่มต้นขึ้น
3. **จังหวะกำลัง หรือ จังหวะระเบิด (Power stroke)** เมื่อลูกสูบเริ่มเคลื่อนที่ลง แรงดันของแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ จะกระแทกลงบนหัวลูกสูบและผลักดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลงจนกระทั่งใกล้ศูนย์ตายล่าง ลิ้นไอเสีย (Exhaust valve) จะเปิด
4. **จังหวะคายไอเสีย (Exhaust stroke)** เมื่อลูกสูบเริ่มเคลื่อนที่ขึ้น จะผลักดันให้ไอเสียที่ค้างในกระบอกสูบออกไปภายนอกโดยผ่านลิ้นไอเสียที่เปิดอยู่ ลิ้นไอเสียยังคงเปิดอยู่จนกระทั่งลูกสูบถึงศูนย์ตายบนจากนั้นจะเป็นการเริ่มต้นจังหวะดูดในรอบการทำงานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ระบบจุดระเบิดและวิวัฒนาการของระบบจุดระเบิดในเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

ในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนส่วนผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศ (ไอติ) ที่ถูกอัดตัวในกระบอกสูบของเครื่องยนต์จะเกิดการลุกไหม้ได้ต้องอาศัยระบบจุดระเบิดซึ่งทำหน้าที่ในการผลิตไฟฟ้าแรงดันสูงประมาณ 40,000 โวลต์ (20,000 - 40,000 โวลต์) จากแบตเตอรี่รถยนต์ 12 โวลต์ กระแสไฟฟ้าแรงดันสูงที่ผลิตได้จะถูกส่งไปยังหัวเทียนเพื่อให้เกิดประกายไฟตามจังหวะที่เหมาะสม และจุดส่วนผสมในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ระบบจุดระเบิดที่ถูกใช้ในรถยนต์ประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักที่สำคัญ ดังนี้



รูปที่ 2.3 แสดงแบตเตอรี่รถยนต์

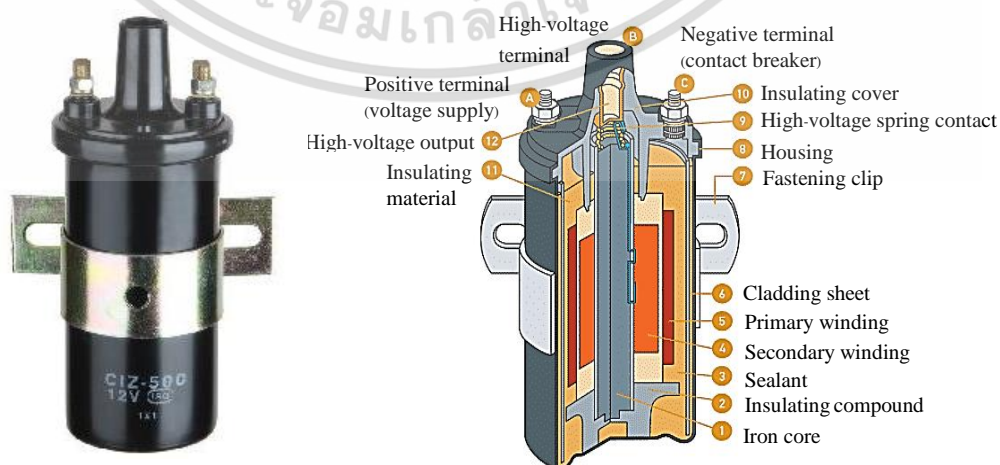
- **แบตเตอรี่ (Battery)** เป็นอุปกรณ์ในรถยนต์ที่นับได้ว่าเป็นหัวใจของระบบไฟฟ้า ทำหน้าที่ป้อนกระแสไฟฟ้าให้อุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องยนต์เพื่อให้ทำงานได้ เช่น มอเตอร์สตาร์ท, ระบบจุดระเบิด ในขณะที่สตาร์ทเครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ป้อนพลังงานให้กับอุปกรณ์อำนวยความสะดวกหลายอย่าง เช่น ระบบไฟส่องสว่าง, ระบบปรับอากาศ, วิทยุ เป็นต้น แบตเตอรี่นั้นไม่ใช่แหล่งผลิตกระแสไฟฟ้า แต่เป็นที่เก็บไฟฟ้าสำรอง ซึ่งแบตเตอรี่จะจ่ายกระแสไฟออกเฉพาะในตอนสตาร์ทเครื่องยนต์เท่านั้น โดยจะส่งกระแสไฟฟ้าเข้าสู่มอเตอร์สตาร์ท และระบบต่างๆ ของเครื่องยนต์ หลังจากนั้นจะมีไดชาร์จเป็นตัวผลิตกระแสไฟฟ้าต่อ เมื่อเครื่องยนต์ทำงานแล้ว ไดชาร์จก็จะทำหน้าที่ประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่อย่างต่อเนื่อง โดยกระแสไฟฟ้าจะถูกหมุนเวียนเข้าออกแบตเตอรี่อยู่เสมอ ถ้าไดชาร์จมีการทำงานที่สมบูรณ์แบบ กระแสไฟฟ้าที่เหลือจากการใช้งานจะถูกนำเข้าไปเก็บที่แบตเตอรี่ ในขณะที่เดียวกันถ้าไดชาร์จไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ทันตามต้องการหรือทำงานผิดปกติ ก็จะดึงกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่มาใช้



รูปที่ 2.4 แสดงรูปสวิตช์กุญแจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **สวิตช์จุดระเบิดหรือสวิตช์กุญแจ (Ignition switch)** ทำหน้าที่ตัด-ต่อ กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปยังระบบจุดระเบิด และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ของรถยนต์ ในระบบจุดระเบิดกระแสไฟฟ้าจะถูกจ่ายไปยังคอยล์จุดระเบิด(Ignition Coil) เพื่อให้เกิดการสะสมพลังงานในขดลวด จากนั้นจึงดำเนินการแปลง แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำให้เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงและส่งไปยังหัวเทียน
- **คอยล์จุดระเบิด(Ignition Coil)** เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงไฟฟ้าแรงดันต่ำให้เป็นไฟฟ้าแรงดันสูงโดยใช้หลักการเดียวกันกับหม้อแปลงไฟฟ้า ภายในจะประกอบด้วย ขดลวดปฐมภูมิ (Primary winding) และขดลวดทุติยภูมิ(Secondary winding) พันอยู่บนแกนเหล็กอ่อนเดียวกัน โดยขดลวดปฐมภูมิจะเป็นลวดทองแดงขนาดใหญ่พันอยู่รอบนอกประมาณ 150 - 300 รอบ รับไฟฟ้าแรงดันต่ำที่จ่ายมาจากแบตเตอรี่ ขณะที่ส่วนขดลวดทุติยภูมิจะเป็นขดลวดไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อที่จะจ่ายให้กับหัวเทียน พันอยู่รอบในของขดลวดปฐมภูมิด้วยลวดทองแดงขนาดเล็กประมาณ 15,000 - 30,000 รอบ ระหว่างชั้นของขดลวดจะมีกระดาษฉนวนคั่นอยู่เพื่อป้องกันการลัดวงจร การสร้างไฟฟ้าแรงดันสูงของคอยล์จุดระเบิดจะอาศัยการเหนี่ยวนำตัวเอง(Self-induction) และการเหนี่ยวนำร่วม(Mutual induction) ของขดลวด กล่าวคือ เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดปฐมภูมิ จะค่อยๆ เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆ ขดลวดไปเหนี่ยวนำให้แผ่นแกนเหล็กกลายเป็นแม่เหล็กอย่างช้าๆ เช่นกัน และสนามแม่เหล็กนี้จะไปเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นที่ขดลวดทุติยภูมิอย่างช้าๆ จึงเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นต่ำๆ ในขณะที่กระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดปฐมภูมิจะส่งผลให้เกิดแรงเคลื่อนต้าน(Counter EMF) ในทิศทางตรงข้ามกับแรงเคลื่อนของแหล่งกำเนิดอันเป็นผลมาจากการเหนี่ยวนำตัวเองของขดลวด และจะค่อยๆ ลดลงจนเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลถึงค่าสูงสุดก็คือจะไม่ไหลเพิ่มอีก สนามแม่เหล็กจึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้แรงเคลื่อนต้านเป็น 0 โวลต์ แต่พื้นที่ที่ตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ขดลวดปฐมภูมิ จะส่งผลให้สนามแม่เหล็กที่ขดลวดและแผ่นแกนเหล็กยุบตัวอย่างฉับพลันจึงเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิ และขดลวดทุติยภูมิ เนื่องจากการยุบตัวอย่างรวดเร็วของสนามแม่เหล็กทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากการเหนี่ยวนำด้วยตัวเองอีกครั้งในขดลวดปฐมภูมิ โดยแรงดันไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำจะมีค่าอยู่ในช่วง 300 - 500 โวลต์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในขดลวดปฐมภูมิ จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าในขดลวดทุติยภูมิซึ่งเป็นผลจากการเหนี่ยวนำระหว่างขดลวดทั้งสอง ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ปรากฏขึ้นที่ขดลวดทุติยภูมิจะมีค่าประมาณ 20,000 - 40,000 โวลต์ ตามอัตราส่วนจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิต่อขดลวดปฐมภูมิ



รูปที่ 2.5 องค์ประกอบคอยล์จุดระเบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดหน้าทองขาว(Breaker section) เป็นอุปกรณ์ที่อยู่ภายใน**จานจ่าย (Distributor)** ทำหน้า เป็นสวิตช์อัตโนมัติ ตัด - ต่อ วงจรไฟของขดลวดปฐมภูมิในคอยล์จุดระเบิดกับกราวด์ การดำเนินการ นี้เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการสร้างแรงดันไฟสูง เมื่อหน้าทองขาวปิดกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านคอยล์จุด ระเบิดและเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นภายในคอยล์ เมื่อหน้าทองขาวเปิดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไปยังคอยล์ จะถูกตัดวงจรและสนามแม่เหล็กที่แกนเหล็กอ่อนก็จะยุบตัว ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้า สูง ในปัจจุบันผู้พัฒนาได้นำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาทำหน้าที่เป็นสวิตช์อัตโนมัติแทนที่ชุดหน้า ทองขาวในระบบจุดระเบิด เนื่องจากให้ผลลัพธ์ในการทำงานที่ดีกว่าชุดหน้าทองขาวที่มีลักษณะการ ทำงานเป็นแบบกลไก จะอธิบายในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 2.6 แสดงชุดหน้าทองขาว(Breaker section)



รูปที่ 2.7 หัวเทียน (Spark plug)

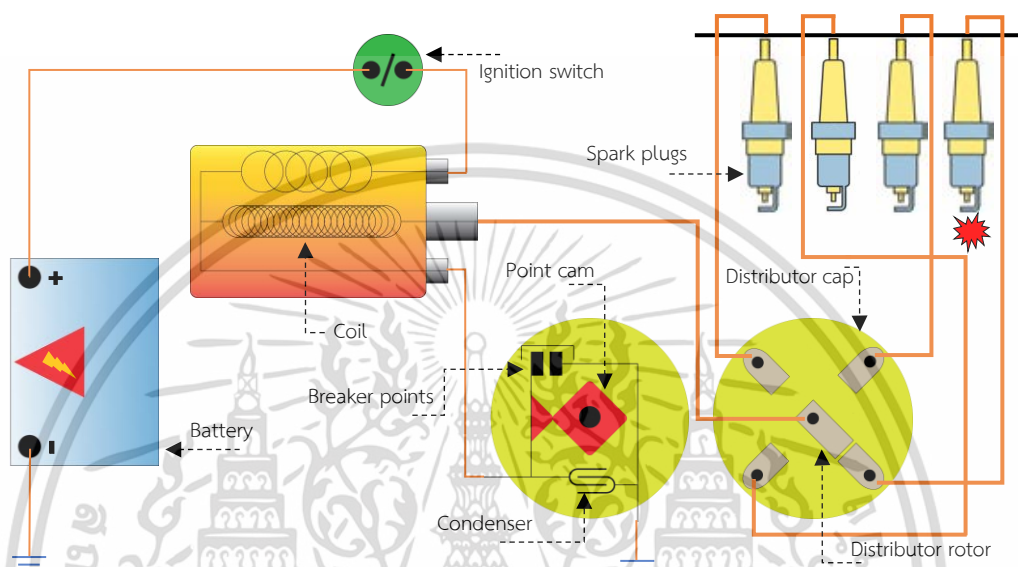
- **หัวเทียน (Spark plug)** เป็นอุปกรณ์สำคัญในระบบจุดระเบิด(Ignition system) ของ เครื่องยนต์ ไฟฟ้าแรงดันสูงที่ได้จากคอยล์จุดระเบิดจะถูกส่งมายังหัวเทียน ส่งผลให้เกิดสภาวะการ นำกระแสที่บริเวณปลายของหัวเทียนในเวลาเศษเสี้ยววินาที กระแสที่ไหลผ่านในตอนนี้จะเรียกว่า ประกายไฟ(Spark) ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะถูกทำให้เกิดขึ้นในเวลาที่ถูกกำหนดไว้ตามการ ออกแบบระบบจุดระเบิดของเครื่องยนต์

เป็นที่รู้กันดีว่าเครื่องยนต์แก๊สโซลีนจำเป็นต้องมีระบบจุดระเบิดเพื่อเผาไหม้ส่วนผสมเชื้อเพลิงและอากาศ พลังงานที่ส่งผลทำให้เครื่องยนต์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับเงื่อนไข หลายประการ ดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้น เพราะฉะนั้น การพัฒนาระบบจุดระเบิดให้ทำงานได้อย่าง ถูกต้องจึงเปลี่ยนแปลงไปตามความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ทำให้สามารถจำแนกประเภทของระบบจุด ระเบิดได้ 2 ชนิด ดังนี้ (ในที่นี้จะขอกกล่าวถึงระบบจุดระเบิดที่ใช้แบตเตอรี่เท่านั้น : Battery ignition system)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ระบบการจุดระเบิดแบบสวิตทกลไก(Conventional Ignition System)

ระบบจุดระเบิดแบบนี้ใช้กันมายาวนานตั้งแต่ดั้งเดิมและปัจจุบันยังคงมีใช้อยู่กับเครื่องยนต์ที่มีเทคโนโลยีไม่สูงนัก โดยจะใช้งานจ่ายทำหน้าที่เป็นสวิตทกลไกในการ ตัด-ต่อ วงจรไฟของขดลวดปฐมภูมิเพื่อให้เกิดไฟแรงสูง ในระบบจะประกอบไปด้วย ประกอบด้วย แบตเตอรี่ สวิตช์จุดระเบิด คอยล์จุดระเบิด ทองขาว คอนเดนเซอร์ งานจ่าย และหัวเทียน สามารถแบ่งออกเป็น 2 วงจรย่อย ได้แก่



รูปที่ 2.8 อุปกรณ์ต่างๆ ของระบบจุดระเบิดแบบสวิตทกลไก

1. **วงจรไฟแรงต่ำ (Low-tension circuit)** จะเริ่มต้นตั้งแต่ แบตเตอรี่ จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านสวิตช์กุญแจ ผ่านเข้าคอยล์จุดระเบิดด้านขดลวดปฐมภูมิ ออกไปเข้างานจ่ายผ่านหน้าทองขาวที่ต่อกันลงกราวด์ครบวงจร
2. **วงจรไฟแรงสูง (High-tension circuit)** จะเริ่มต้นจากขั้วบวกของคอยล์จุดระเบิดผ่านขดลวดทุติยภูมิผ่านไปฝาครอบงานจ่าย ผ่านหัวโรเตอร์ไปยังหัวเทียนลงกราวด์ครบวงจรจุดระเบิด[1]

การทำงานของระบบจุดระเบิดแบบสวิตทกลไก เมื่อเปิดสวิตช์จุดระเบิด กระแสไฟฟ้าจะไหลจากแบตเตอรี่ไปยังคอยล์จุดระเบิด (Ignition coil) ผ่านขดลวดปฐมภูมิ(Primary winding) ทางขั้วบวกและออกทางขั้วลบของคอยล์จุดระเบิด ในระหว่างกระบวนการนี้ ถ้าหน้าทองขาว(Points) ที่อยู่ภายในงานจ่าย (Distributor) ต่อกันกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านหน้าทองขาวลงกราวด์ของระบบ การทำงานจึงครบวงจรทำให้เกิดการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิ จนกระทั่งลูกเบี้ยวงานจ่าย(Point cam) หมุนเปิดหน้าทองขาวกระแสไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิจึงถูกตัดวงจรเป็นผลให้สนามแม่เหล็กในขดลวดปฐมภูมิยุบตัวอย่างฉับพลัน การยุบตัวดังกล่าวจะเหนี่ยวนำให้เกิดไฟฟ้าแรงดันสูงที่ขดลวดทุติยภูมิ(Secondary winding) ประมาณ 30,000 โวลต์ ตามสัดส่วนจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิต่อขดลวดปฐมภูมิ และถูกจ่ายไปยังหัวเทียน(Spark plugs) เพื่อสร้างประกายไฟที่ใช้

การสันดาปเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ตามจังหวะที่เหมาะสม ในขณะเดียวกันนั้น การเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้ายังเกิดขึ้นในขดลวดปฐมภูมิ ประมาณ 500 โวลต์ เพราะฉะนั้น จำเป็นต้องมีคอนเดนเซอร์(Condenser) ต่อขนานอยู่กับหน้าทองขาวเพื่อทำหน้าที่ดูดซับประจุไฟฟ้าไม่ให้กระโดด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้ามหน้าทองขาวเป็นการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น ในระบบจุดระเบิดชนิดนี้จะใช้หน้าทองขาวเป็นอุปกรณ์กลไกในการตัดต่อวงจรของขดลวดปฐมภูมิในคอยล์จุดระเบิดเพื่อสร้างแรงเคลื่อนไฟแรงสูง ด้วยการทำงานที่ต้องใช้กลไกในการปิด-เปิดหน้าทองขาว ช่วงเวลาที่เปลี่ยนสถานะจากเปิด - ปิด ไม่เร็วพอ ทำให้ระบบไม่สามารถผลิตแรงเคลื่อนไฟแรงสูงได้มากนัก จึงต้องเพิ่มอัตราส่วนของขดลวดทั้งสองชนิดให้มากขึ้น ทำให้คอยล์มีขนาดใหญ่และสิ้นเปลืองวัสดุอุปกรณ์ การบำรุงรักษาหน้าทองขาวก็เป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากหน้าทองขาวสกปรกได้ง่ายจึงต้องทำความสะอาดบ่อยๆ ครั้ง ซึ่งทำให้ต้องตั้งไฟใหม่ทุกๆ ครั้ง อีกทั้งมีอายุการใช้งานน้อย เนื่องจากต้องทนกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านในจังหวะจุดระเบิดทำให้เกิดความร้อนอันเป็นผลมาจากประกายไฟที่เกิดขึ้นในขณะที่ทองขาวแยก และเมื่อถูกใช้ไปเป็นเวลานาน ผิวหน้าของทองขาวจะเกิดออกไซด์ทำให้ในวงจรไฟแรงต่ำมีความต้านทานเพิ่มขึ้น กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิก็จะลดลงทำให้ผลิตไฟฟ้าแรงดันสูงลดลงไปด้วย เพราะฉะนั้น หน้าทองขาวจึงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากในระบบจุดระเบิดแบบสวิตช์กลไก หากทำงานผิดพลาดก็จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์โดยตรง

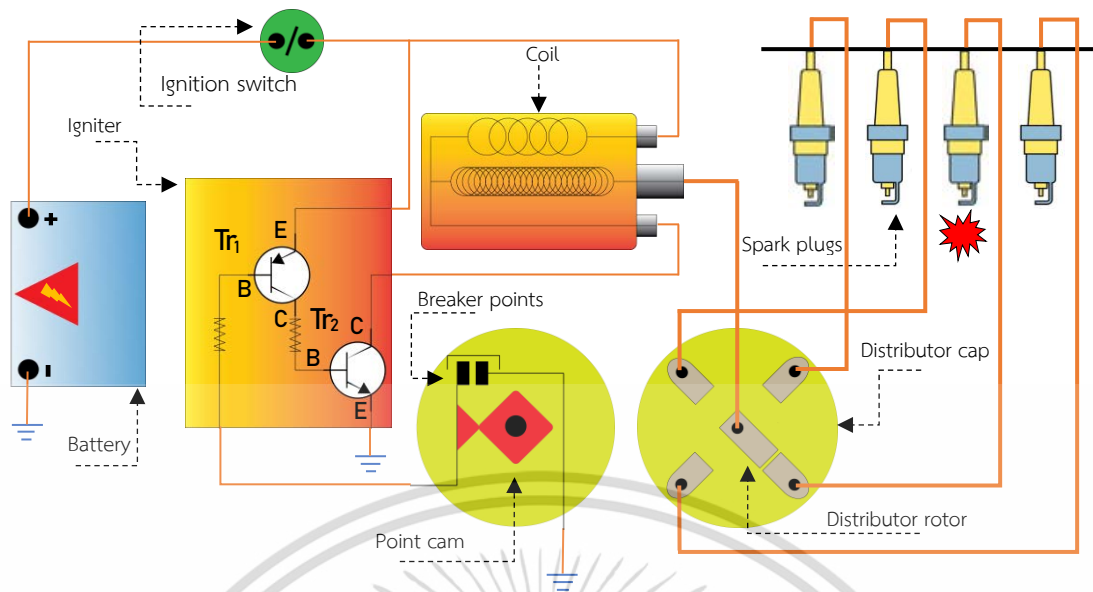
2.2.2 ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์(Electronic ignition system หรือ EIS)

ในปัจจุบันเครื่องยนต์ส่วนใหญ่ใช้ระบบจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์ ภายในระบบชนิดนี้จะใช้ทรานซิสเตอร์และเซมิคอนดักเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แทนหน้าทองขาวซึ่งสามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าได้สูงกว่าระบบจุดระเบิดที่ใช้ทองขาว สิ่งนี้เป็นสิ่งที่สำคัญมากเพราะว่าแรงดันไฟฟ้าสูงจะทำให้เครื่องยนต์เผาไหม้ได้ดีในห้องเผาไหม้ได้หมด และทำงานได้ดีขึ้นเมื่อส่วนผสมไอเสียบาง ผลที่ได้จะเพิ่มกำลังงานของเครื่องยนต์และปล่อยก๊าซพิษออกมาน้อยลงจึงทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สูงขึ้น ระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ

2.2.2.1 ระบบจุดระเบิดแบบกึ่งทรานซิสเตอร์(semi-transistor ignition system)

ระบบจุดระเบิดแบบกึ่งทรานซิสเตอร์ในรูปที่ 2.9 เป็นระบบที่ยังคงใช้งานง่าย และหน้าทองขาวอยู่ร่วมในการทำงาน แต่ได้มีการเพิ่มชุดช่วยจุดระเบิด (Igniter) ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์เข้าไปในวงจรจุดระเบิด จากปัญหาในระบบจุดระเบิดแบบสวิตช์กลไกที่ได้กล่าวไว้ ไฟฟ้าแรงดันสูงที่ผลิตได้ไม่เพียงพอในการสร้างประกายที่เชี่ยวชาญเทียบเมื่ออัตราเร็วของเครื่องยนต์สูงขึ้น ตามหลักการที่ว่าพลังงานที่สะสมอยู่ในขดลวดปฐมภูมิในขณะที่ทองขาวต่อวงจร จะมีค่าพลังงานเท่ากับ $Energy = \frac{1}{2} [L^2]$ และจะถ่ายทอดพลังงานให้กับขดลวดทุติยภูมิ เพราะฉะนั้นการเพิ่ม I(กระแส) หรือ L(ค่าอินดักแตนซ์) จะทำให้พลังงานของระบบสูงขึ้น แต่ในขณะเดียวกัน ถ้าเพิ่มกระแสในวงจรไฟแรงต่ำให้สูงกว่าระบบที่ออกแบบไว้ จะส่งผลทำให้ทองขาวเสียหายได้เนื่องจากทองขาวมีขีดจำกัดในการทนกระแส หรือ ถ้าเพิ่มค่าอินดักแตนซ์ของขดลวดซึ่งสามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนรอบของขดลวดให้มากขึ้น การทำเช่นนี้จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนต้านเพิ่มขึ้นไปด้วย ทำให้การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กในขดลวดต้องใช้เวลานานขึ้น กระแสที่ไหลผ่านขดลวดจึงลดลงเมื่ออัตราเร็วสูง ฉะนั้นทั้งสองวิธีที่ได้กล่าวมาจึงไม่สามารถนำมาใช้ได้ ต่อมาผู้พัฒนาได้คิดค้นวิธีที่จะแก้ไขปัญหาดังกล่าวซึ่งสามารถทำได้โดยการเพิ่มอัตราส่วนจำนวนรอบของขดลวดจุดระเบิดให้สูงมากยิ่งขึ้น การออกแบบขดลวดจุดระเบิดที่มีอัตราส่วนจำนวนรอบสูงๆ จะลดขดลวดปฐมภูมิให้มีรอบน้อยๆ และเพิ่มจำนวนรอบขดลวดทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



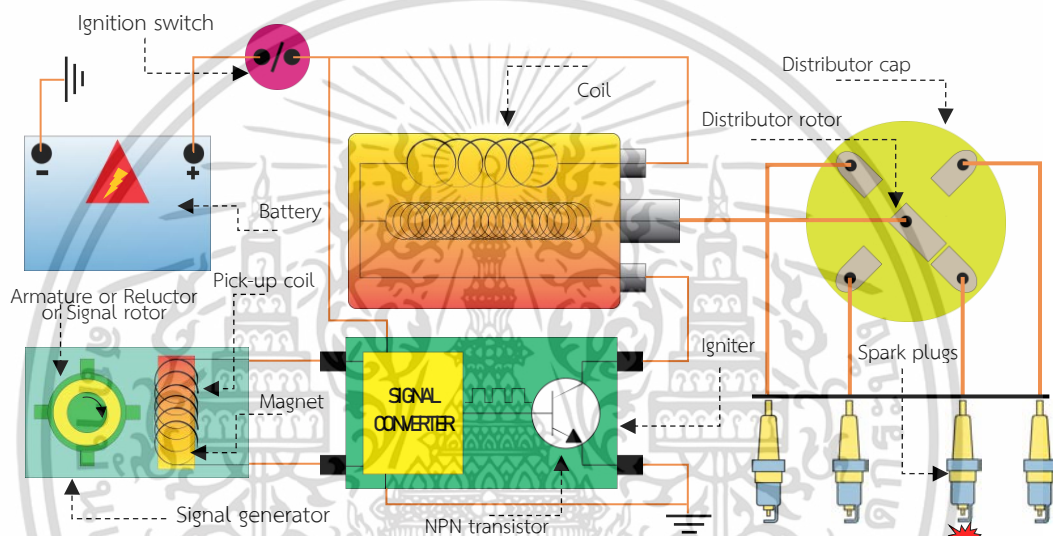
รูปที่ 2.9 อุปกรณ์ต่างๆ ของระบบจุดระเบิดแบบกึ่งทรานซิสเตอร์

จะมีสัดส่วนโดยประมาณอยู่ที่ 1:100 ถึง 1:400 วิธีนี้จะถูกนำไปใช้กับระบบจุดระเบิดที่ใช้ทรานซิสเตอร์ทำให้แสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิได้มากแต่จะไหลผ่านหน้าทองขาวได้เพียงเล็กน้อย การทำงาน เมื่อเปิดสวิตช์จุดระเบิด กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ส่วนหนึ่งจะไหลไปยังขั้วบวกของคอยล์จุดระเบิดผ่านขดลวดปฐมภูมิไปรออยู่ที่ขั้ว C (collector) ของ Tr_2 (NPN transistor) และกระแสไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่งจะไหลเข้าขั้ว E (Emitter) และไหลต่อไปทางขั้ว B (Base) ของ Tr_1 (PNP transistor) ผ่านหน้าทองขาวลงกราวด์ในจังหวะหน้าทองขาวติดกัน จากนั้น Tr_1 ก็จะมีเริ่มทำงานทำให้กระแสไฟฟ้าไหลจากขั้ว E ของ Tr_1 ไปทางขั้ว C เข้าขั้ว B ของ Tr_2 ลงกราวด์ทางขั้ว E ทำให้ Tr_2 ทำงาน กระแสไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิที่รออยู่ที่ขั้ว C ของ Tr_2 จึงสามารถไหลลงกราวด์ทางขั้ว E ของ Tr_2 ได้ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบๆ ขดลวดปฐมภูมิ เมื่อถึงจังหวะที่หน้าทองขาวแยกออกจากกัน Tr_1 ก็จะถูกตัดวงจรส่งผลให้ Tr_2 ถูกตัดวงจรไปด้วย สนามแม่เหล็กในขดลวดปฐมภูมิจึงสลายตัวอย่างทันทีทันใดทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นในขดลวดทั้งสอง ด้วยความเร็วในการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงในขดลวดทุติยภูมิในระหว่างการเหนี่ยวนำรวม มากกว่า 30,000 โวลต์ ซึ่งมากกว่าระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา ประสิทธิภาพในการจุดระเบิดจึงสูงมาก แม้ว่าอัตราเร็วของเครื่องยนต์จะสูงขึ้น ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงก็จะมีผลลดลง เนื่องจากการออกแบบคอยล์จุดระเบิดให้ขดลวดปฐมภูมิมีจำนวนรอบน้อยๆ นอกจากจะให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่สูงขึ้นแล้ว เวลาที่ใช้ในสร้างสนามแม่เหล็กก็สั้นมาก กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าขดลวดจึงถึงค่าอิ่มตัวได้เร็วทำให้กระแสไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิไหลคงที่ตลอดเวลาตั้งแต่ความเร็วรอบต่ำถึงความเร็วรอบสูง และในขณะเดียวกันการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กดังกล่าวยังได้ก่อให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิมากถึง 500 โวลต์ ซึ่งเป็นผลจากการเหนี่ยวนำตัวเอง แรงเคลื่อนไฟฟ้านี้จะไม่สามารถไหลผ่าน Tr_1 , Tr_2 และหน้าทองขาวได้ เนื่องจากหน้าทองขาวได้ต่ออยู่กับขั้ว B ของ Tr_1 กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงไม่มีผลใดๆ กับหน้าทองขาวทำให้มีอายุการใช้งานยาวนาน และเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านหน้าทองขาวมีจำนวนน้อยในขณะตัด-ต่อวงจรจึงไม่มีความจำเป็นต้องมีคอนเดนเซอร์ใช้ในระบบจุดระเบิดแบบกึ่งทรานซิสเตอร์อีกต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.2 ระบบจุดระเบิดแบบทรานซิสเตอร์ล้วน(transistor ignition system)

ในระบบจุดระเบิดชนิดนี้จะใช้ทรานซิสเตอร์ทำงานโดยการควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าไปยังขดลวดปฐมภูมิเช่นเดียวกับระบบจุดระเบิดก่อนหน้านี้ เพียงแต่จะใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้า (signal generator) ผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าออกมากำหนดจังหวะการจุดระเบิดแทนที่ทองขาวที่อยู่ภายในจานจ่าย แต่ในส่วนของกลไกควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบสัญญาณภาค และกลไกอื่นๆ ยังคงใช้เหมือนกับระบบจุดระเบิดแบบดั้งเดิม การใช้วงจรรีเลย์ทรอนิกส์ที่ออกแบบมาดี จะช่วยให้การจุดระเบิดได้สมบูรณ์การเผาไหม้หมดจด ได้กำลังเครื่องที่ดี และลดปัญหาการน็อคของเครื่องอันเนื่องมาจากคราบเขม่าที่จับในห้องเผาไหม้ได้ เนื่องจากระยะเวลาในการเกิดประกายไฟที่เชี่ยวชาญเทียบจะยาวนานกว่าระบบที่ไม่ได้ใช้วงจรรีเลย์ทรอนิกส์ ในการจุดระเบิด

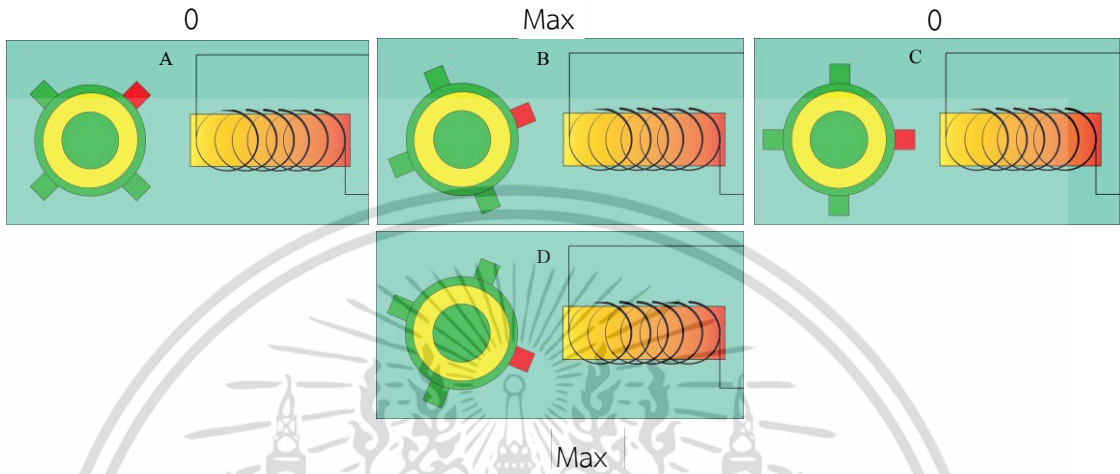


รูปที่ 2.10 อุปกรณ์ต่างๆ ของระบบจุดระเบิดแบบทรานซิสเตอร์

เครื่องกำเนิดสัญญาณ (signal generator) ในรูปที่ 2.10 เป็นอุปกรณ์กระตุ้นการทำงานให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic triggering devices) โดยใช้หลักการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก ภายในจะประกอบไปด้วยโรเตอร์สัญญาณ (signal rotor), ขดลวดให้ศักย์ (pick-up coil) ที่พันอยู่รอบแม่เหล็กถาวร (Permanent magnet) โรเตอร์กำหนดสัญญาณทำด้วยเหล็กที่มีจำนวนฟันเท่ากับกระบอกสูบของเครื่องยนต์สวมอยู่บนเพลลาจานจ่ายและตอบสนองต่ออัตราเร็วจานจ่ายซึ่งเป็นครึ่งของอัตราเร็วเพลลาข้อเหวี่ยง (crankshaft) เมื่อเพลลาจานจ่าย (distributor shaft) หมุน โรเตอร์สัญญาณจะหมุนด้วย เส้นแรงแม่เหล็กจะถูกสร้างขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงระยะห่าง (air gap) ระหว่างขดลวดกับโรเตอร์กำหนดสัญญาณ ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงจะเป็นผลให้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ถูกเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวด และส่งสัญญาณไปยังวงจรรีเลย์ทรอนิกส์เพื่อควบคุมเวลาการไหลของกระแสผ่านขดลวดปฐมภูมิและตัดการไหลของกระแสเพื่อสร้างไฟฟ้าแรงดันสูง การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กจะไม่มีแรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้นถ้าโรเตอร์กำหนดสัญญาณไม่หมุน การเข้าใกล้และออกห่างขดลวดของฟันโรเตอร์กำหนดสัญญาณในขณะที่หมุนจะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าบวกและลบสลับกัน ในขดลวด แรงดันไฟฟ้านี้มีค่าน้อยแต่ก็สามารถที่จะกระตุ้นการทำงานของโมดูลจุดระเบิด (ignition module) ได้อย่างง่ายดาย หลักการผลิต

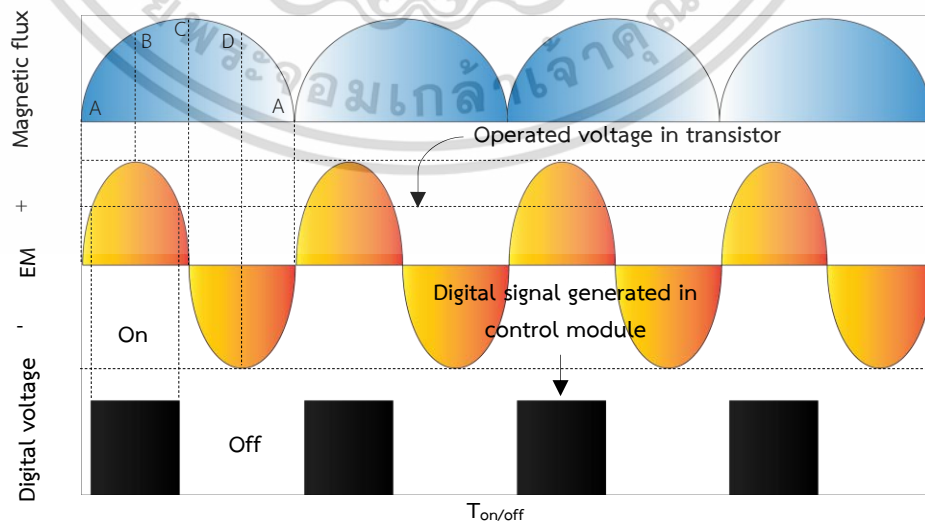
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานในเชิงวิชาการเท่านั้น เมื่อคุณผู้เห็นได้ไปใช้ประโยชน์อื่นใดที่ไม่ใช่การวิจัยใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดสัญญาณสามารถอธิบายด้วยรูปภาพที่ 2.11 และ 2.12 ดังต่อไปนี้ เมื่อฟันของโรเตอร์กำหนดสัญญาณเคลื่อนที่ไปอยู่ในตำแหน่ง A ระยะห่างระหว่างฟันของโรเตอร์กำหนดสัญญาณกับขดลวดจะมาก ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กจะเกิดขึ้นน้อย แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ขดลวดจึงเป็น 0 โรเตอร์กำหนดสัญญาณจะหมุนต่อไปเรื่อยๆ ทำให้ระยะห่างระหว่างฟันของโรเตอร์กำหนดสัญญาณกับขดลวดลดลงส่งผลให้ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กเพิ่มขึ้น



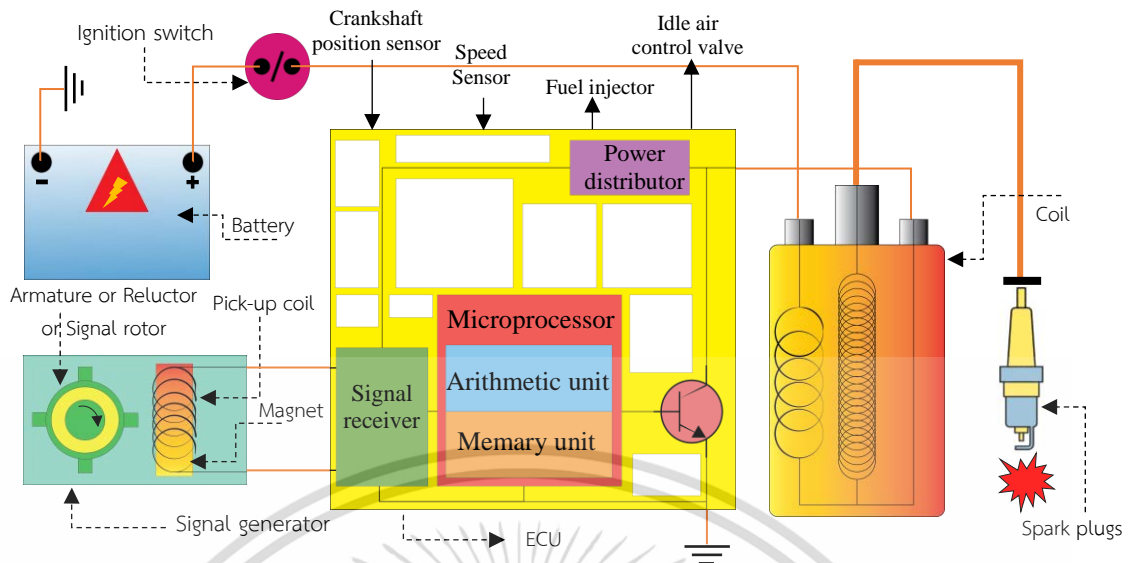
รูปที่ 2.11 Magnetic changes

จนกระทั่งโรเตอร์กำหนดสัญญาณเคลื่อนที่มาอยู่ที่ตำแหน่ง b การเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กที่จุดนี้ จะมากที่สุด แรงเคลื่อนไฟฟ้าจึงเกิดขึ้นมากที่สุด จากตำแหน่ง B ไปตำแหน่ง C การเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กจะลดลงส่งผลให้การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าลดลงไปด้วยจนกระทั่งไม่เปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าจึงเป็น 0 (เมื่อระยะห่างลดลงเส้นแรงแม่เหล็กจะเพิ่มขึ้น) และเมื่อฟันของโรเตอร์กำหนดสัญญาณหมุนผ่านไปจากขดลวด จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็ก แรงเคลื่อนไฟฟ้าจึงเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงค่าสูงสุดที่ตำแหน่ง D (เมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้นเส้นแรงแม่เหล็กจะลดลง) แต่จะเกิดขึ้นในทิศทางกลับกัน



รูปที่ 2.12 แสดงการเกิดสัญญาณไฟฟ้าใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



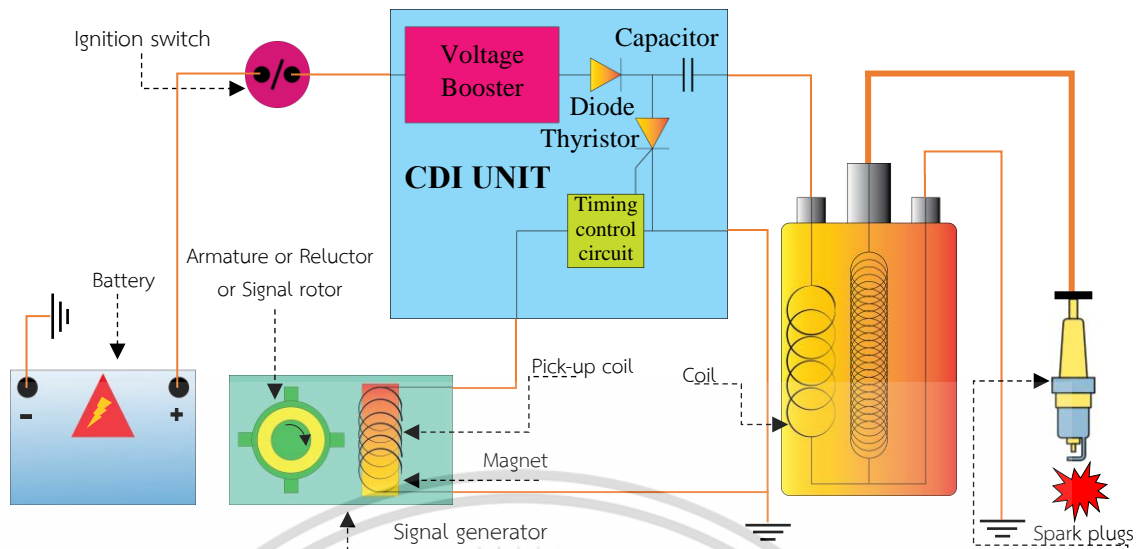
รูปที่ 2.13 แสดงการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ผ่าน ECU

การทำงาน เมื่อเครื่องยนต์หมุนโรเตอร์กำหนดสัญญาณในจานจ่ายก็จะหมุนไปด้วย แรงเคลื่อนไฟกระแสสลับจึงถูกเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวดกำเนิดสัญญาณ สัญญาณที่ได้จะถูกส่งไปยังโมดูลจุดระเบิด (Igniter) ซึ่งภายในจะมีทรานซิสเตอร์กำลังที่รับสัญญาณดิจิทัลที่แปลงแล้วจากตัวแปลงสัญญาณ (Signal Converter) หรือจากชุดกำเนิดสัญญาณ เมื่อมีการส่งสัญญาณ on/off ทรานซิสเตอร์กำลังจะถูกทำให้เปิดหรือปิดจึงยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิและตัดการไหลของกระแสซึ่งจะนำไปสู่การเหนี่ยวนำไฟฟ้าแรงดันสูงในขดลวดทุติยภูมิ ความแตกต่างหลักๆ ในโครงสร้างของระบบจุดระเบิดระหว่างอิเล็กทรอนิกส์และทางกลไก คือโมดูลการจุดระเบิดหรือเรียกว่า "Igniter" ในรูปที่ 2.10 แสดงระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์รุ่นแรกๆ ซึ่งจะแทนที่กลไกการจุดระเบิด (Breaker points mechanism) ด้วยชุดจุดระเบิดเท่านั้น และจะรับสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal) จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ (Pickups Coil, Hall-effect, Photo sensitive etc...) แต่ส่วนที่เหลือของระบบ 100% ยังคงคล้ายกับระบบจุดระเบิดแบบดั้งเดิม (Conventional Ignition System) ต่อมาเมื่อเทคโนโลยีความก้าวหน้ามากขึ้น ไมโครโปรเซสเซอร์ (Micro-processor) ได้ถือกำเนิดขึ้น การทำงานของระบบต่างๆ ในรถยนต์รวมถึงระบบจุดระเบิดก็สามารถจัดการได้ภายในกล่องเดียวที่เราเรียกกันว่า ECU (Electronic Control Unit) ซึ่งเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีพื้นฐานมาจากคอมพิวเตอร์ภายในจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ไอซี (IC : Integrate circuit) หลายชุด, ตัวต้านทาน, ไดโอด, ทรานซิสเตอร์ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างอื่น ทำหน้าที่รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ตามจุดต่างๆ ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าและปรับสัญญาณเหล่านั้นเพื่อนำมาประมวลผลและตัดสินใจจากข้อมูลที่ได้รับ และยังใช้ในการควบคุมการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ และระบบต่างๆ อาทิเช่น ควบคุมการส่งจ่ายเชื้อเพลิง, ระบบปรับความยาวท่อร่วมไอดีแปรผัน, ระบบวาล์วแปรผัน, การทำงานของคอมเพรสเซอร์แอร์พัดลมระบายความร้อน, ระบบควบคุมไอน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น ความสามารถเหล่านี้ไม่เพียงแต่ลดความซับซ้อนของอุปกรณ์ต่างๆ แต่ยังสามารถรับส่งข้อมูลได้แม่นยำและรวดเร็ว สามารถจัดการให้อุปกรณ์ต่างๆ ทำงานสัมพันธ์กันได้อย่างสมบูรณ์ช่วยพัฒนาศักยภาพของรถยนต์ ทำให้ประสิทธิภาพเครื่องยนต์สูงสุด ลดมลภาวะ และประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง ในรูปที่ 2.13 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอมพิวเตอร์หรือไมโครโพรเซสเซอร์จะคำนวณเวลาในการจุดระเบิดที่เหมาะสมในทุกๆ ความเร็วเครื่องยนต์ ความเร็วเครื่องยนต์และตำแหน่งเพลาค้อเหวี่ยงของกระบอกสูบจะถูกตรวจจับ ตำแหน่งด้วยเซนเซอร์และส่งสัญญาณไปให้กับ(Electronic Control Unit: ECU) ซึ่งจะต่างจากระบบจุดระเบิดก่อนหน้านี้ที่ควบคุมด้วยกลไกการจุดระเบิดล่วงหน้าแบบสัญญาณอากาศ เมื่อสวิทช์จุดระเบิดเปิด อุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้า (Power distributor) จะกระจายแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ไปเลี้ยงอุปกรณ์ต่างๆ ภายในหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ตัวรับสัญญาณ(signal receiver) จะใช้สัญญาณพัลส์ที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดสัญญาณและแปลงสัญญาณพัลส์ไปเป็นสัญญาณดิจิทัล จากนั้นสัญญาณดิจิทัลจะถูกส่งไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ซึ่งมีหน่วยความจำ(Memory)และหน่วยสำหรับการคำนวณ(Arithmetic unit: ALU) ภายในหน่วยความจำจะเก็บลักษณะของเวลาที่จุดระเบิดล่วงหน้าสำหรับความเร็วเครื่องยนต์และเพลาค้อเหวี่ยงที่แตกต่างกัน ในส่วนของหน่วยสำหรับการคำนวณ จะทำการบวก ลบ AND OR เปรียบเทียบเพิ่มค่า หรือ ลดค่าข้อมูลในการประมวลผล เมื่อไมโครคอมพิวเตอร์ได้รับสัญญาณก็จะกำหนดช่วงเวลาในการเปิดและปิดทรานซิสเตอร์เพื่อให้ได้เวลาจุดประกายหัวเทียนที่ถูกต้อง เมื่อทรานซิสเตอร์เปิด ขดลวดปฐมภูมิจะได้รับพลังอย่างเต็มที่ ไมโครคอมพิวเตอร์จะปิดทรานซิสเตอร์เมื่อถึงเวลาที่จะเริ่มจุดประกายหัวเทียน ทำให้สนามแม่เหล็กยุบตัวและก่อให้เกิดไฟฟ้าแรงดันสูงที่ขดลวดทุติยภูมิเพื่อจุดประกายหัวเทียน ในระบบจุดระเบิดที่พัฒนาด้วยเทคโนโลยีสูงนี้จะถูกออกแบบให้ไร้งานจ่ายเพื่อแยกการทำงานออกจากกัน ไฟฟ้าแรงดันสูงที่คอยล์จุดระเบิดจะถูกส่งไปยังหัวเทียนได้โดยตรง(Coil-on-plug: COP) จึงไม่เกิดการสูญเสียพลังงาน ดังนั้นคอยล์จุดระเบิดจึงมีขนาดกะทัดรัดและอยู่ประจำแต่ละกระบอกสูบ การออกแบบระบบเช่นนี้จะให้ประสิทธิภาพการจุดระเบิดดีที่สุด

2.2.2.3 ระบบจุดระเบิดแบบ CDI(Capacitor Discharge Ignition Systems: CDI)

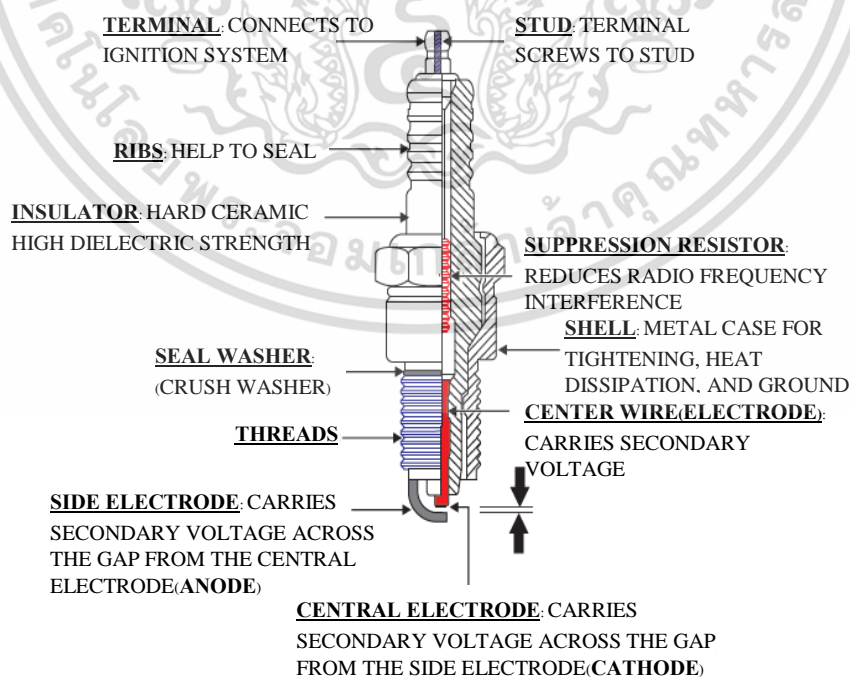
ระบบจุดระเบิดแบบ CDI ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้กับเครื่องยนต์ขนาดเล็กเนื่องจากใช้กระแสที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับระบบจุดระเบิดที่กล่าวมาทั้งหมด แต่ระยะเวลาการจุดประกายไฟจะสั้นกว่าแบบอื่นๆ อย่างไรก็ตามระบบชนิดนี้จะถูกใช้กันไม่มากก็ปรถยนต์ทั่วไป ส่วนประกอบพื้นฐานระบบจุดระเบิดแบบ CDI จะประกอบด้วยชุดกำเนิดสัญญาณ(Signal generator), ชุดควบคุมสัญญาณ(Timing control circuit), ชุดแปลงไฟกระแสไฟตรงจากแรงเคลื่อนไฟต่ำเป็นแรงเคลื่อนไฟสูง (Voltage booster / DC-DC converter), ตัวเก็บประจุ(Capacitor) และตัวไทรสเตอร์ (Thyristor: SCR) การทำงาน เมื่อเปิดสวิทช์จุดระเบิดชุด Voltage booster จะเพิ่มแรงเคลื่อนไฟ DC 12 โวลต์จากแบตเตอรี่เป็นแรงเคลื่อนไฟ DC มากถึง 400 โวลต์ และส่งเข้าไปเก็บในตัวเก็บประจุ(Capacitor) เมื่อเครื่องยนต์หมุนโรเตอร์กำหนดสัญญาณจะหมุนตัดกับขดลวดกำเนิดสัญญาณ จะได้สัญญาณแรงดันไฟฟ้าต่ำซึ่งจะถูกนำไปกระตุ้นตัวไทรสเตอร์(Thyristor) ให้ทำงาน ทำให้ตัวไทรสเตอร์เปิดวงจรประจุไฟฟ้าแรงดัน 400 โวลต์ ที่เก็บไว้ในตัวเก็บประจุก็จะคายประจุผ่านขดลวดปฐมภูมิของคอยล์จุดระเบิดผ่านตัวไทรสเตอร์ลงกราวด์จนกระทั่งหมด แรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็น 0 เป็นการตัดวงจรปฐมภูมิของคอยล์จุดระเบิด ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟแรงดันสูงถูกเหนี่ยวนำในขดลวดทุติยภูมิได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงระบบจุดระเบิดระบบจุดระเบิดแบบ CDI

2.3 หัวเทียน แบบต่างๆ และ วิวัฒนาการของหัวเทียน

หัวเทียนเป็นส่วนสำคัญในระบบจุดระเบิดของรถยนต์ มีหน้าที่เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงจากขดลวดจุดระเบิดเป็นประกายไฟที่รุนแรงภายในเครื่องยนต์ ความร้อนของประกายไฟจะช่วยให้ส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิงที่อยู่ภายในห้องเผาไหม้ในเครื่องยนต์เกิดการระเบิดและเผาไหม้ได้ จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ที่จะสร้างพลังงานของเครื่องยนต์ โครงสร้างของหัวเทียนโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วย ดังที่รูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงองค์ประกอบของหัวเทียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้สอนให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบหัวเทียนจะมีพื้นฐานเป็นรูปแบบเดียวกันทั้งหมด ความแตกต่างหลักๆ ที่พบได้ คือ ในส่วนของการออกแบบขั้วหัวเทียนและวัสดุที่ใช้ ผู้ผลิตจะใช้วัสดุตระกูลโลหะเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและระยะเวลาในการใช้งานที่ยาวนานขึ้น การใช้โลหะเหล่านี้จะให้ความทนทานสูงทนต่อการกัดกร่อนจากประกายและอุณหภูมิของห้องเผาไหม้ ในปัจจุบันมีตระกูลโลหะที่ถูกนำมาใช้บนปลายหัวเทียน (electrode tips) ได้แก่ Yttrium, Iridium, Tungsten, Palladium, Platinum, Silver, Gold การใช้โลหะตระกูลเหล่านี้ช่วยให้สามารถใช้สวิตช์กลาง(center wire) ที่มีขนาดเล็กซึ่งจะมีขอบที่คมชัด แต่จะไม่หลอมละลายหรือถูกกัดกร่อนออกไป การเปลี่ยนแปลงนี้จะส่งผลให้เกิดข้อดีบางประการ คือ ความตึงแรงดันไฟฟ้าเพื่อจุดประกายน้อยลง, จุดประกายสม่ำเสมอมากขึ้น, ผลจากการดับน้อยลง และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ขั้วไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กจะดูดซับความร้อนจากประกายไฟและพลังงานเปลวไฟได้น้อยกว่า ข้อเสียเพียงอย่างเดียวของหัวเทียนตระกูลโลหะเหล่านี้ คือ มีราคาแพงเนื่องจากโลหะที่ใช้ และอาจไม่สามารถใช้งานได้กับแอปพลิเคชันรถยนต์รุ่นเก่า ในปัจจุบันหัวเทียนมีหลากหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตที่จะคิดค้นความสามารถในการจุดประกายไฟหรือจุดระเบิดว่าแบบไหนเหมาะสมกับเครื่องยนต์ลักษณะใด ซึ่งในปัจจุบันจะมีรูปแบบหัวเทียนที่นิยมใช้กันดังนี้

2.3.1 หัวเทียนแบบนิเกิล (Copper/Nickel Spark Plugs)

ในบางครั้งจะเรียกว่า "มาตรฐาน" หรือ "ปกติ" หัวเทียนประเภทนี้จะเคลือบปลายหัวเทียน (Center Electrode) ด้วยโลหะผสมนิเกิล (Nickel alloy) ขนาด 2.5 มม ซึ่งเป็นขั้วไฟฟ้าที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ที่สุดในหัวเทียนทุกประเภท (เส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาดเล็กแรงดันไฟฟ้าที่ต้องใช้เพื่อเริ่มต้นการจุดประกายน้อยกว่า) จะมีเฉพะแกน (Center wire) ภายในเท่านั้นที่เป็นทองแดงเนื่องจากทองแดงเป็นโลหะอ่อนที่ละลายได้เกือบจะทันทีหากอยู่ภายใต้ความร้อนสูง เช่นเดียวกับบริเวณด้านนอกของหัวเทียนที่ต้องทน และสาเหตุที่หัวเทียนส่วนใหญ่ใช้แกนที่ทำจากทองแดงเนื่องจากมีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี โลหะผสมนิเกิลมีความแข็งแรงน้อยกว่าทองคำขาว (Platinum) หรือ อิริเดียม (Iridium) ดังนั้นที่ปลายขั้วไฟฟ้ามักมีแนวโน้มที่จะสึกหรอได้เร็วกว่าอีกสองแบบ อย่างไรก็ตาม หัวเทียนนิเกิลยังคงเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการใช้งานบางอย่าง หัวเทียนประเภทนี้เหมาะที่จะใช้กับเครื่องยนต์เก่าๆ ที่สร้างแรงดันไฟฟ้าต่ำ(ก่อนยุค 80) ด้วยระบบจุดระเบิดที่มีงานง่าย แต่ถ้านำไปใช้กับเครื่องยนต์ใหม่ๆที่ใช้ระบบจุดระเบิดแบบไร้งานง่าย (Distributor-less ignition systems: DIS) หรือระบบจุดระเบิดแบบคอยด์ตรง (Coil-on-plug: COP) ที่จ่ายไฟแรงสูง หัวเทียนประเภทนี้จะสึกหรอเร็วมาก ยกเว้น เครื่องยนต์ (late-model engine) สมรรถนะสูงบางรุ่นที่ได้รับการออกแบบมาเฉพาะสำหรับหัวเทียนนิเกิล เนื่องจากทองแดงให้แรงประกายที่ดีที่สุดในสภาวะตรงกันข้ามที่เกิดจากเทอร์โบชาร์จเจอร์ (turbochargers) หรือ อัตราส่วนอัดสูงกว่า ผู้ผลิตบางรายของรถยนต์ประสิทธิภาพสูง (high-performing late-model vehicles) ออกแบบเครื่องยนต์ให้ใช้หัวเทียนทองแดง/นิเกิลเป็นอุปกรณ์เดิม ในกรณีนี้หัวเทียนนิเกิลถือเป็นหัวเทียนประสิทธิภาพสูง หากคู่มือของเครื่องยนต์นั้นระบุให้ใช้หัวเทียนนิเกิล ห้ามเปลี่ยนเป็นหัวเทียนแพลทินัมหรือหัวเทียนอิริเดียม

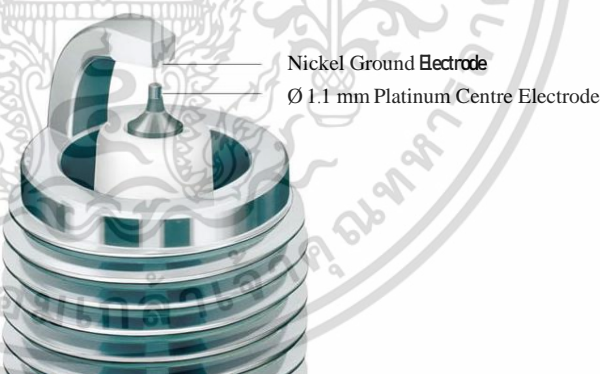
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 หัวเทียนแบบทองแดง/นิกเกิล

2.3.2 หัวเทียนแบบแพลตินัม (Platinum Spark Plugs)

หัวเทียนแพลตินัมจะมีรูปลักษณ์โดยทั่วไปไม่ต่างจากหัวเทียนนิกเกิลแต่ที่ปลายหัวเทียน (Center Electrode) จะเชื่อมหรือเคลือบด้วยโลหะผสมแพลตินัม (Platinum Alloy) และมีขนาดปลายหัวเทียนที่เล็กกว่าหัวเทียนนิกเกิลประมาณ 1.1 mm แพลตินัมเป็นโลหะที่มีจุดหลอมเหลวสูงถึง 1770 c สูงกว่า Nickel Alloy ที่สูงเพียง 1400 c แต่จะต่ำกว่า Iridium Alloy ที่มีจุดหลอมเหลวสูงถึง 2440 c เพราะฉะนั้น หัวเทียนแพลตินัมจึงมีความแข็งแรงมากกว่าหัวเทียนนิกเกิล ทำให้สึกหรอช้าและมีอายุการใช้งานที่นานกว่า หัวเทียนประเภทนี้เป็นหัวเทียนที่ดีที่สุดสำหรับรถยนต์รุ่นใหม่ ๆ ที่มีระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่าย (distributor-based ignition systems: DIS) หากคู่มือการใช้งานระบุหัวเทียนแพลตินัม อย่าปรับลดรุ่นเป็นหัวเทียนทองแดงเพื่อประหยัดเงิน อย่างไรก็ตามคุณสามารถอัปเกรดหัวอิริเดียมได้

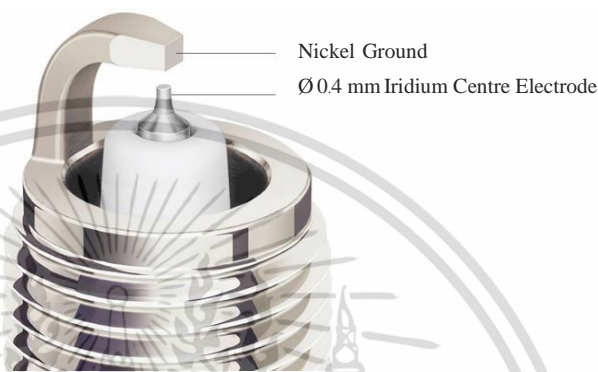


รูปที่ 2.17 หัวเทียนแบบแพลตินัม

2.3.3 หัวเทียนแบบอิริเดียม (Iridium Spark Plugs)

อิริเดียมเป็นโลหะหนักสีเงินขาวมีความแข็งแรงและความทนทานมากแต่เปราะง่าย จึงใช้ทำเป็นโลหะผสมซึ่งเหมาะสำหรับทำอุปกรณ์ที่ต้องการความแข็งแรงและทนต่อการกัดกร่อนในอุณหภูมิสูงๆ อิริเดียมมีความทนทานมากกว่าทองคำขาวจากคุณสมบัติพิเศษของโลหะชนิดนี้ ผู้ผลิตหัวเทียนได้นำอิริเดียมมาใช้เพื่อเพิ่มความทนทานให้กับปลายหัวเทียน (center electrode) และสามารถลดขนาดปลายหัวเทียนให้เหลือเพียง 0.4 mm เพราะฉะนั้นหัวเทียนอิริเดียมจึงมีอายุการใช้งานที่นานกว่าหัวเทียนนิกเกิลถึง 5 เท่า อย่างไรก็ตามหัวเทียนอิริเดียมมีราคาแพงกว่าหัวเทียนนิกเกิลถึง 3 เท่า อย่างไรก็ตามหัวเทียนอิริเดียมมีอายุการใช้งานที่นานกว่าหัวเทียนนิกเกิลถึง 5 เท่า อย่างไรก็ตามหัวเทียนอิริเดียมมีราคาแพงกว่าหัวเทียนนิกเกิลถึง 3 เท่า

งานยาวนานกว่าหัวเทียนแพลตินัม ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ และด้วยขนาดปลายหัวเทียนที่เล็กเพียง 0.4 mm จะช่วยจุดประกายไฟได้ง่ายโดยอาศัยแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำ และยังสามารถแก้ปัญหาปรากฏการณ์ที่เรียกว่า "เขี้ยวดับ (Quenching Effect)" ของหัวเทียนได้เป็นอย่างดี ผู้ผลิตรถยนต์หลายรายต้องใช้หัวเทียนอิริเดียมหรือหัวเทียนชนิด iridium / platinum สำหรับระบบจุดระเบิดคอยล์ตรง (COP) หากคู่มือการใช้งานระบุหัวเทียนอิริเดียมอย่าปรับลดรุ่นเป็นหัวเทียนทองคำขาวหรือแม้แต่หัวเทียนทองแดง เพราะว่าจะไม่ได้ผลลัพธ์การทำงานเช่นเดียวกับหัวเทียนอิริเดียม



รูปที่ 2.18 หัวเทียนแบบอิริเดียม

2.3.4 บทสรุปวิวัฒนาการของหัวเทียน

"หัวเทียน" เป็นอุปกรณ์ชิ้นเล็กๆ ในระบบจุดระเบิดซึ่งทำงานควบคู่กับเครื่องยนต์เบนซินมานานกว่าศตวรรษ และก็จะคงบทบาทในฐานะที่เป็นอุปกรณ์สำคัญที่สุดชิ้นหนึ่งของเครื่องยนต์เบนซินไปอีกนาน ตราบเท่าที่เครื่องยนต์ยังคงต้องการการจุดระเบิดในห้องเผาไหม้ตามกลวัตรการทำงานของเครื่องยนต์ วิวัฒนาการของ "หัวเทียน" ถึงแม้ว่ารูปร่างทางกายภาพภายนอกจะดูไม่ค่อยแตกต่างจากยุคแรกๆ แต่ความเปลี่ยนแปลงของหัวเทียนที่เป็นส่วนประกอบภายในนั้น ได้มีการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาไปตามความก้าวหน้าของเทคโนโลยียานยนต์ที่ต้องการคุณสมบัติที่เฉพาะเจาะจงตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ช่วยให้เครื่องยนต์ทำงานได้ประสิทธิภาพที่สูงขึ้น ใช้เชื้อเพลิงอย่างประหยัดมากยิ่งขึ้น รวมทั้งอายุการใช้งานของหัวเทียนที่ยาวนานและลดภาระในการดูแลรักษาของผู้ใช้รถได้อีกทางหนึ่ง ผู้ผลิตได้พัฒนารูปแบบของหัวเทียนและวัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตตลอดจนการคิดค้นหาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการจุดระเบิดของหัวเทียนโดยมีแนวทางในพัฒนา คือ การออกแบบแกนกลาง (center electrode) ของหัวเทียนให้มีขนาดเล็กลงเพื่อลดพื้นที่อันจะส่งผลให้ความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงขึ้น เนื่องจากกระแสไฟจะไปบีบตัวรวมกันอยู่ที่ส่วนปลายแกนของหัวเทียนที่มีลักษณะเล็กและแหลมกว่าปกติ ดังที่แสดงในรูปที่ 2.19 ช่วยให้ประสิทธิภาพการจุดประกายดีขึ้น แต่ข้อเสียก็คือว่ารูปร่างที่เล็กและแหลมไม่สามารถที่จะทนต่อการกัดกร่อนของกระแสไฟฟ้าและอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ได้เท่าที่ควรอันทำให้แกนของหัวเทียนสึกกร่อนได้ไวกว่าแบบปกติมาก จึงต้องคิดค้นหาโลหะชนิดใหม่ขึ้นมาใช้ทดแทนโลหะที่ใช้ทำแกนแบบธรรมดา ในที่สุดจากการทดลองก็ค้นพบว่า อิริเดียม มีคุณสมบัติที่ทนทานต่อการกัดกร่อนของกระแสไฟได้ดีมากๆ หรือแทบจะไม่มี การสึกหรออันเกิดจากการประกายไฟหรืออุณหภูมิได้เลย เป็นผลให้อายุการใช้งานของหัวเทียนอยู่ที่ 60,000 กิโลเมตร และหัวเทียนชนิดพิเศษบางรุ่นจะมีอายุการใช้งานถึง 100,000 กิโลเมตร เมื่อเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับยุคแรกเริ่มที่อายุการใช้งานของหัวเทียนอยู่ที่ประมาณ 1,000 กิโลเมตรเท่านั้น จาก Gauss's law ถูกใช้อธิบายหัวเทียนที่มีขนาดใหญ่จะเกิดประกายไฟได้ยากกว่าเมื่อเทียบกับหัวเทียนที่มีขนาดเล็กและแหลมกว่า

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \frac{1}{\epsilon_0} Q_{\text{enc}} \quad (2.1)$$

โดยที่ E คือ ค่าสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่าง 2 หัวเทียน
จัดรูปสมการใหม่

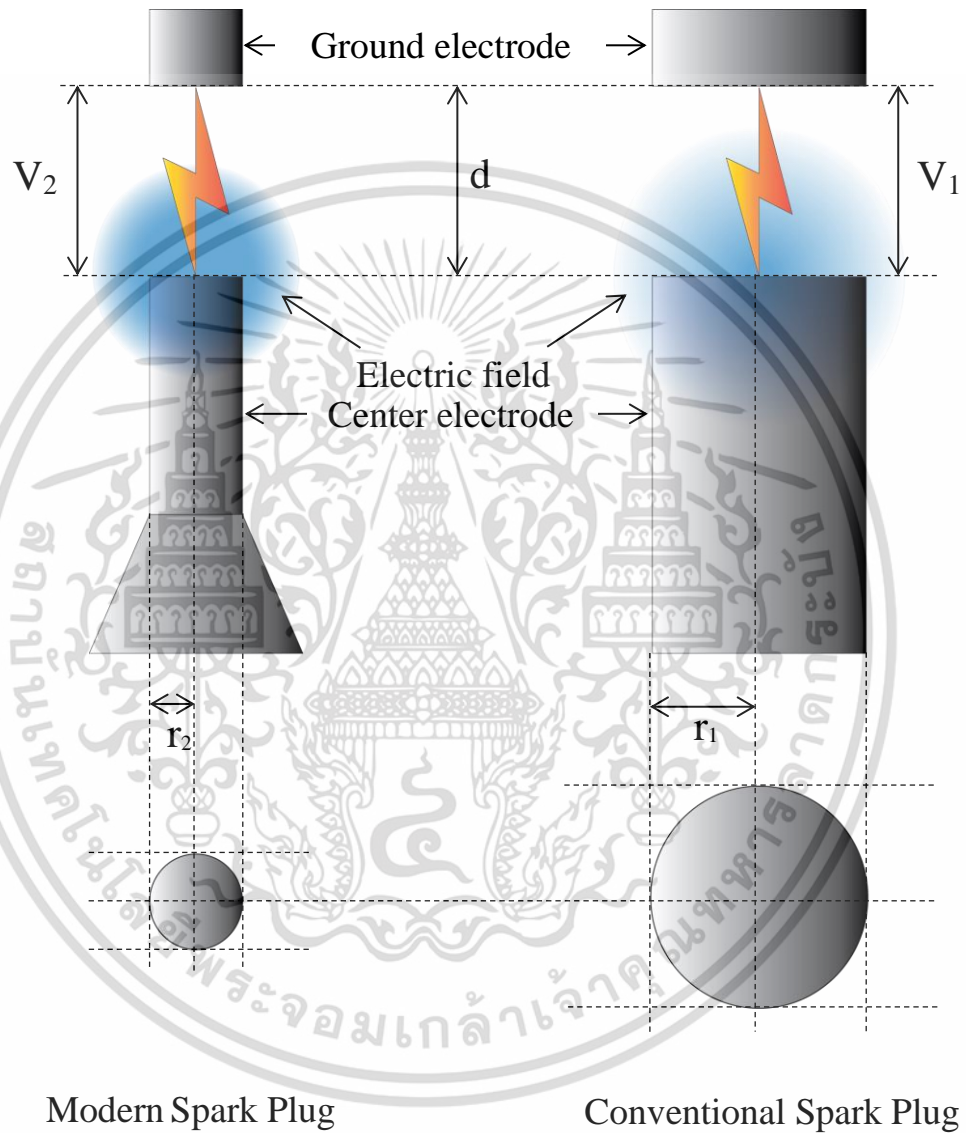
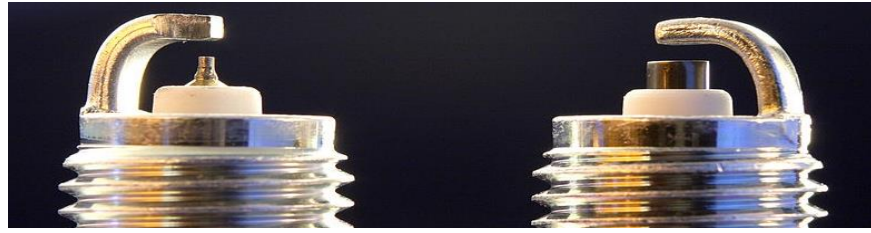
$$E = \frac{i(t)\Delta t}{\epsilon_0 A} \quad (2.2)$$

โดยที่ A คือ พื้นที่หน้าตัดของหัวเทียน, ผลของสนามไฟฟ้าระหว่างหัวเทียนจะส่งผลทำให้ความต้องการแรงดันเพื่อให้หัวเทียนเกิดการนำกระแสเปลี่ยนแปลงไป ตาม Faraday's law ที่อธิบายว่า

$$\oint_C \mathbf{E}_c \times d\mathbf{l} = E_c d = -V \quad (2.3)$$

โดยที่ E_c คือ ค่าสนามไฟฟ้าวิกฤติ, d คือ ระยะช่องว่างของหัวเทียน
เมื่อ A มีขนาดเล็กส่งผลให้ E สูงขึ้น จะสามารถอธิบายรูปที่ 2.19 ได้ว่าค่าแรงดันเบรกทาวน์เป็นดังสมการที่ 2.4 [2]

$$V_2 < V_1 \quad (2.4)$$

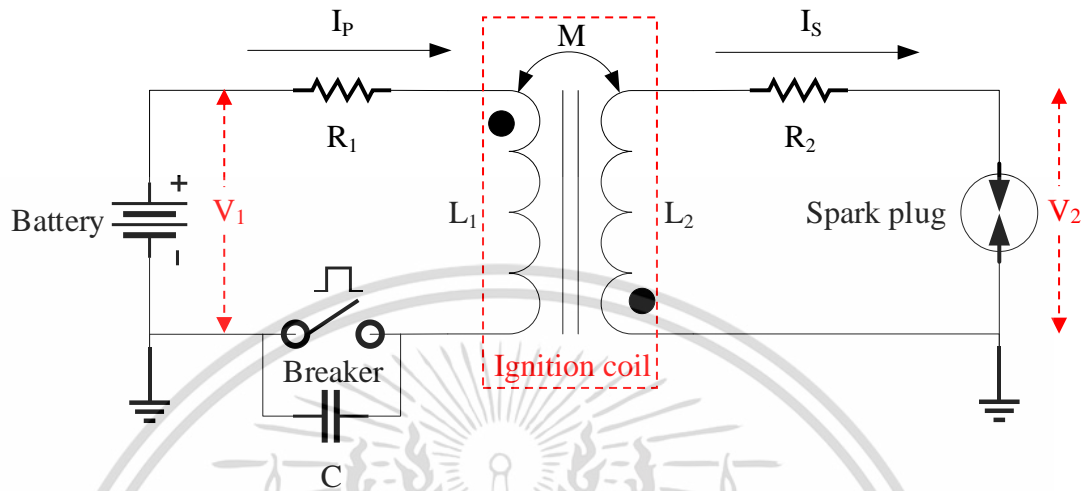


รูปที่ 2.19 แสดงสนามไฟฟ้า(Electric field) ที่หัวไฟฟ้าของ Conventional Spark Plug และ Modern Spark Plug

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 วงจรเสมือนของระบบจุดระเบิดและหัวเทียน

2.4.1 วงจรเสมือนแบบจำลองระบบจุดระเบิดเครื่องยนต์แก๊สโซลีน



รูปที่ 2.20 แสดงวงจรเสมือนของระบบจุดระเบิด

ในวงจรเสมือนของระบบจุดระเบิดเครื่องยนต์แก๊สโซลีนถูกจำลองโดยวงจร[8] ดังที่แสดงในรูปที่ 2.20 แหล่งกำเนิดแรงดัน (Voltage source: V_0) จะถูกแทนด้วยแบตเตอรี่ (Battery), คอยล์จุดระเบิด (Ignition coil) จะถูกกำหนดด้วยตัวเหนี่ยวนำ (L_1, L_2) และมีตัวต้านทาน (R_1, R_2) ที่เปรียบเสมือนกับความต้านทานของขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ (L_1, L_2) ในคอยล์จุดระเบิด, ตัวเก็บประจุ (Capacitor: C) หรือที่เรียกว่าคอนเดนเซอร์ (Condenser) จะต่อขนานอยู่กับอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์ และมีหัวเทียน (Spark plug) ทำหน้าที่เป็นโหลดของระบบ จากการวิเคราะห์ KVL วงจรสมมูลของระบบจุดระเบิดที่นำเสนอ ในรูปที่ดังกล่าว สามารถอธิบายได้โดยสมการ (2.5)

$$\begin{aligned} V_1 &= L_1 \frac{di_1}{dt} + R_1 i_1 - M \frac{di_2}{dt} + V_C \\ V_2 &= -M \frac{di_1}{dt} + R_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} \end{aligned} \quad (2.5)$$

เมื่อสวิตช์ปิด ($t=0$) ตัวเก็บประจุจะประพจน์ตัวเป็นวงจรเปิด กระแสจึงไหลผ่านขดลวด primary ลงกราวด์ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกระแสในขดลวดปฐมภูมิ(primary winding) ตามสมการ (2.6)

$$I_p(t) = \frac{V_b - V_{sw}}{R_1} \left(1 - \exp\left\{ \frac{-R_1}{L_1} \cdot t \right\} \right) \quad (2.6)$$

ในระหว่างที่กระแสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิ(primary winding) เราจะสมมุติว่าขดลวดทุติยภูมิ (secondary winding) เปรียบเสมือนวงจรเปิด ($i_2 = 0$) การเปลี่ยนแปลงกระแสในขดลวด primary สร้างแรงดันขึ้นในขดลวดทุติยภูมิ ที่อธิบายด้วยสมการที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_2 = -kV_1 \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \left(\exp \left\{ \frac{-R_1}{L_1} \cdot t \right\} \right) ; (0 \leq k \leq 1) \quad (2.7)$$

เมื่อสวิตช์เปิด จะส่งผลให้การยุบตัวของสนามแม่เหล็กตัดกับขดลวดจุดระเบิด ทำให้เกิดกระแสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิไปยังตัวเก็บประจุซึ่งทำตัวเสมือน short circuit สามารถอธิบายสมการกระแสและแรงดันได้ตามสมการที่ 2.8

$$I_p(t) = I_{\max} e^{-\xi \omega_0 t} \left(\cos \omega_0 t + \frac{\xi \omega_0}{\omega_d} \sin \omega_d t \right) \quad (2.8)$$

$$V_1(t) = L_1 \frac{di_p(t)}{dt} = -L_1 I_{p(\max)} e^{-\xi \omega_0 t} \frac{\omega_0^2}{\omega_d} \sin \omega_d t$$

ที่ $\omega_d = \omega_0 \sqrt{1 - \xi^2}$, $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$, $\xi \omega_0 = R / 2L$

ผลจากการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันจะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันที่ขดลวดปฐมภูมิ หลายร้อยโวลต์ และส่งผลให้เกิดการเกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันในระดับหลายหมื่นโวลต์บนขดลวด secondary ตามอัตราส่วนจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิกับปฐมภูมิ แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงที่ขดลวด secondary มีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดการการนำกระแสผ่านช่องว่างของหัวเทียนจึงเกิดเป็นประกายไฟที่เราเห็นประกายไฟที่เราเห็นจะมีระยะเวลาช่วงหนึ่ง ซึ่งภายในระยะเวลาช่วงนี้จะเกิดกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อสร้างกำลังส่งไปยังระบบขับเคลื่อน กระแสสปาร์ค (spark current) ในขณะที่เกิด spark discharge สามารถอธิบายด้วย

$$I_s(t) = I_{S(\max)} - \left(I_{S(\max)} + \frac{V_{\text{burn}}}{R_2} \right) \times \left(1 - \exp \left\{ \frac{-R_1}{L_1} \times t \right\} \right) \quad (2.9)$$

โดยที่ $I_{S(\max)} = k [N_1 / N_2] I_p = k [1/a] I_p = k \left[\sqrt{L_1 / L_2} \right] I_p$

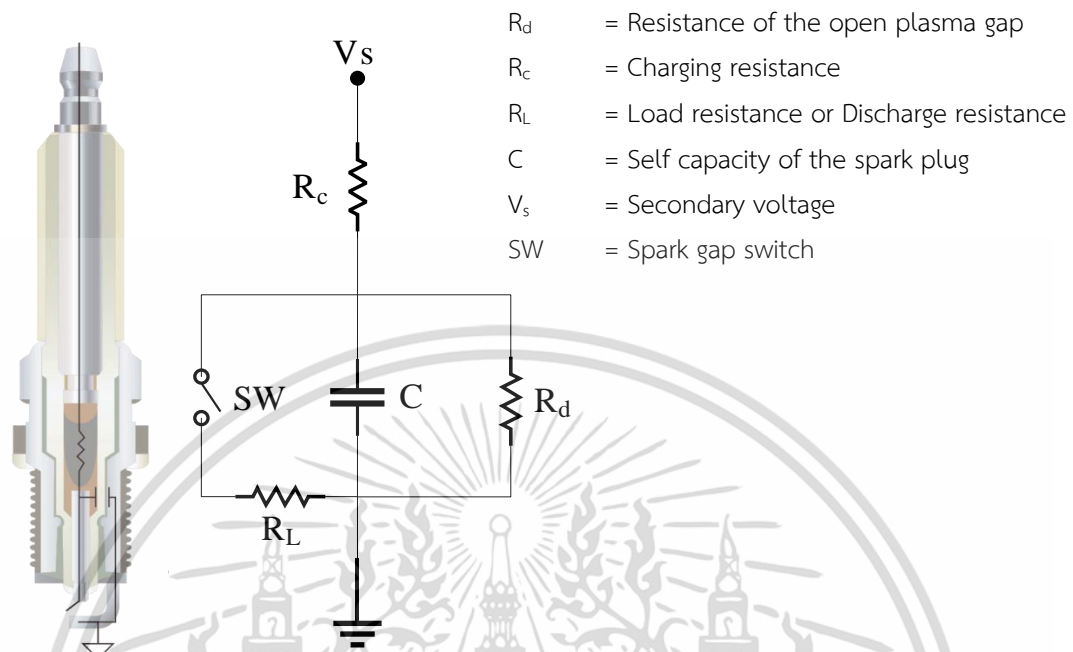
การกำหนด spark current และ spark duration time จะขึ้นกับขดลวดจุดระเบิด (ignition coil) ตัวกำหนดประสิทธิภาพของมันก็คือพลังงานในการสปาร์ค (spark energy) เมื่อกระแสที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิ ถูกตัดและสนามแม่เหล็กยุบตัวทันทีที่ทันใดพลังงานจากด้านขดลวด primary จะถูกถ่ายโอนไปยังด้านขดลวด secondary หากประสิทธิภาพในการส่งผ่านสมบูรณ์ 100% จะได้ว่า

$$E_s = E_p \quad (2.10)$$

$$E_s = \frac{k^2 L_1 I_1^2}{2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 วงจรเสมือนแบบจำลองหัวเทียน



รูปที่ 2.21 แสดงวงจรเสมือนหัวเทียน

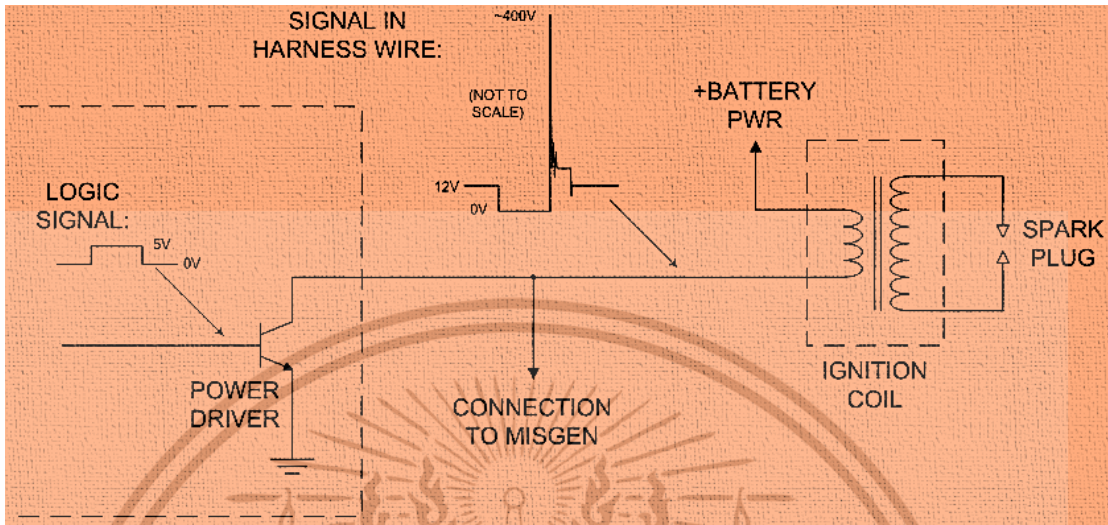
แนวคิดในการจำลองวงจรเสมือนของหัวเทียนในรูปที่ 2.21 จากค่าแรงดันสูงที่ปรากฏทางขดลวดทุติยภูมิ (Secondary voltage: V_s) จะถูกนำไปใช้ในการปิดสวิตช์ผ่านตัวต้านทาน (Charging resistance: R_c) ที่เชื่อมต่อกันแบบอนุกรม ในขณะที่สวิตช์ยังคงเปิด V_s จะชาร์จตัวเก็บประจุ (Self-capacity of the spark plug: C) จนกระทั่งแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุเกินกว่าค่าแรงดันเบรคดาวนซ์ขีดเริ่ม (Threshold breakdown voltage) ตามสมการที่ 2.10 สวิตช์จะปิดลงและคายประจุไฟฟ้าผ่านโหลดที่แสดงเป็นตัวต้านทาน (Load resistance or Discharge resistance: R_L) สำหรับสวิตช์ของประกายไฟที่เกิดขึ้นจริงกระแสที่ดิสชาร์จ (Discharge current) ผ่านช่องว่างหัวเทียนจะน้อยกว่ากระแสในตอนที่ชาร์จ (Charging current) เนื่องจากมีกระแสไฟลัดวงจรหรือกระแสไฟฟารั่วไหล (leakage current) ผ่านช่องว่างของหัวเทียนก่อนที่จะเกิดการนำกระแสอีกครั้ง ดังนั้นจึงควรรวมความต้านทานของช่องว่างของหัวเทียนหรือช่องว่างพลาสมา (Resistance of the open plasma gap: R_d) เนื่องจากมีการไหลผ่านของกระแสรั่วไหล [2]

$$V_{\text{gap}} = V_C = \frac{1}{C} \int i_{\text{secondary}} dt \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

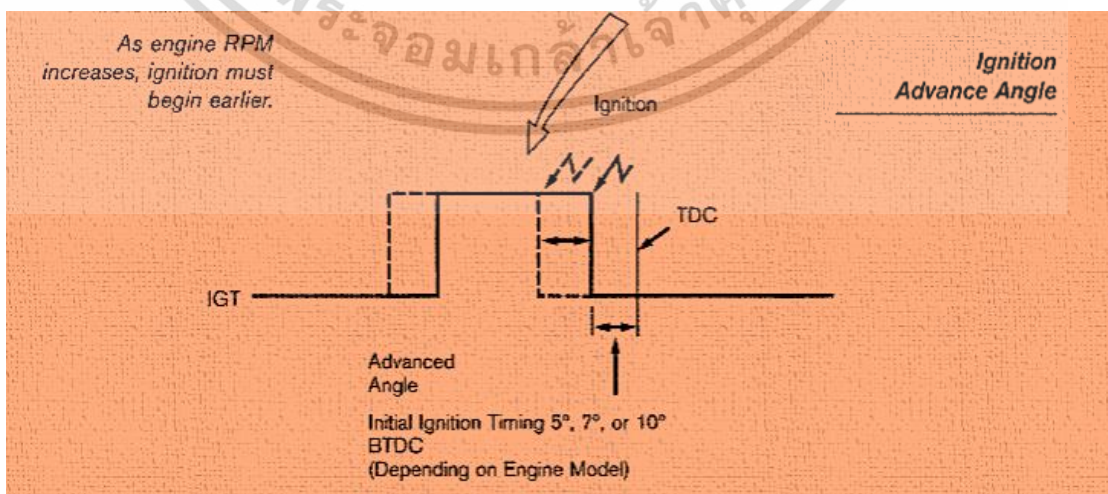
2.4.3 สัญญาณทางไฟฟ้าที่สำคัญของระบบจุดระเบิด

2.4.3.1 สัญญาณการจุดระเบิดที่ได้จากระบบจุดระเบิด



รูปที่ 2.22 แสดงสัญญาณที่ใช้ควบคุมการจุดระเบิด

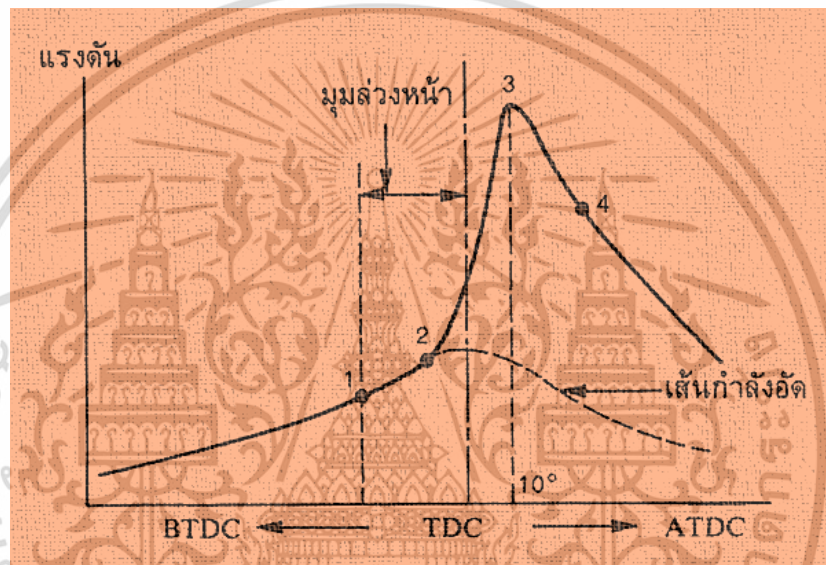
ในรูปที่ 2.22 สัญญาณจุดระเบิดจากแหล่งกำเนิดสัญญาณจะควบคุมการ ปิด/เปิด ของ Power Driver เพื่อให้คอล์ยทำหน้าที่ยกระดับแรงดันจาก 12 โวลต์ ให้มีค่า 30000 – 40000 โวลต์ เพื่อจุดประกายหัวเทียนให้เกิดขบวนการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ โดยปกติเครื่องยนต์ทุกเครื่องจะมีการจุดระเบิดก่อนศูนย์ตายบน (TDC) เพราะฉะนั้นมันเชื่อเพลิงต้องการเวลาในการเผาไหม้ ดังนั้นหากให้จุดระเบิดที่ตำแหน่งศูนย์ตายบน กว่าเครื่องยนต์จะเผาไหม้เสร็จสมบูรณ์ ลูกสูบจะเคลื่อนที่ลงมาทำให้แรงระเบิดน้อยลง จึงต้องปรับการจุดระเบิดเป็นก่อนศูนย์ตายบน และเมื่อเครื่องยนต์มีความเร็วรอบมากขึ้น จำเป็นต้องมีการจุดระเบิดก่อนศูนย์ตายบนมากขึ้น ดังรูปที่ 2.23 ดังนั้นการออกแบบเครื่องยนต์จะต้องให้ตำแหน่งการจุดระเบิด เปลี่ยนแปลงไปตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ตำแหน่งการจุดระเบิดเราจะวัดออกมาเป็นองศาของมุมของเพลาข้อเหวี่ยง



รูปที่ 2.23 แสดงสัญญาณควบคุมการจุดระเบิดเมื่อรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานความร้อนที่เกิดจากกระบวนการเผาเชื้อเพลิงในกระบอกสูบจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานกลโดยความดันที่เกิดจากการเผาไหม้ ประสิทธิภาพทางความร้อนของเชื้อเพลิงจะสูงสุดเมื่อความดันสูงสุดผลักดันลูกสูบในตำแหน่งที่เหมาะสม เนื่องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะต้องใช้เวลาในการเผาไหม้ ตามรูปที่ 2.24 ในจังหวะอัด(Compression stroke) ของลูกสูบจะเคลื่อนที่จากศูนย์ตายล่าง(BDC) ไปยังศูนย์ตายบน(TDC) ขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นจะอัดไอดีให้มีความดันเพิ่มขึ้น เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นก่อนถึงศูนย์ตายบน(TDC) ณ จุดหนึ่ง หัวเทียนจะจุดประกายไฟเริ่มต้นการเผาไหม้เชื้อเพลิง จุดนี้คือจุดที่ 1 บนเส้นโค้ง เมื่อถึงจุดที่ 2 เปลวไฟเริ่มแผ่กระจายออกไป ทำให้เส้นโค้งความดันสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและจะขึ้นสูงสุดในจุดที่ 3 จากนั้นเส้นโค้งจะลดลงตัวอย่างรวดเร็ว เพราะการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลือน้อยและสิ้นสุดลง ณ จุดที่ 4

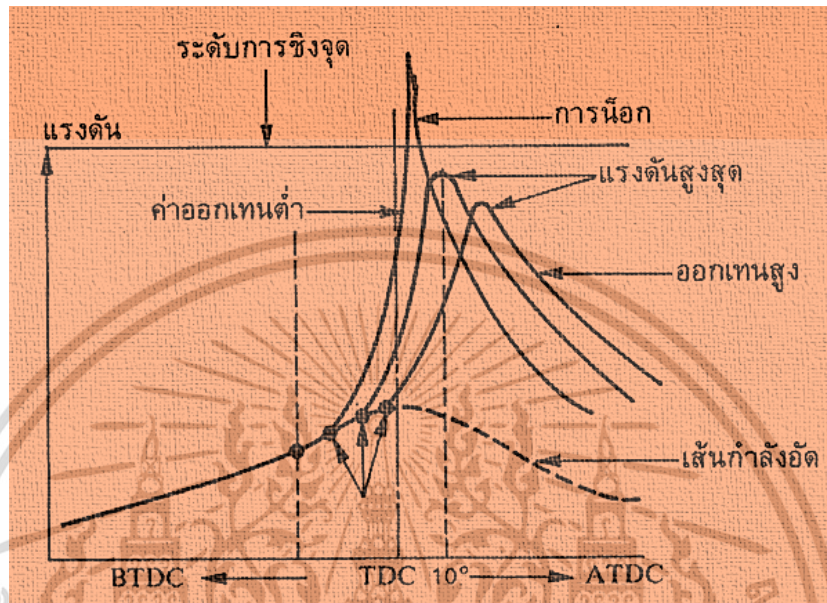


รูปที่ 2.24 แสดงเส้นโค้งความดันสัมพันธ์กับตำแหน่งเพลาคือข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนในกระบวนการเผาไหม้

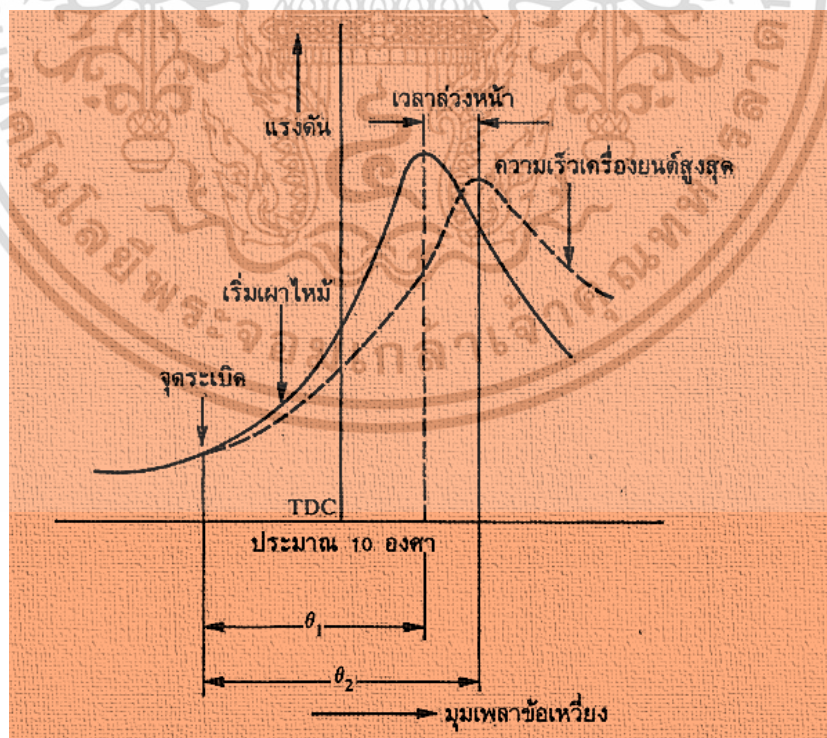
จากการศึกษากระบวนการดังกล่าวพบว่าจุดที่ให้พลังงานที่ดีที่สุดคือ ตำแหน่งที่ความดันภายในกระบอกสูบขึ้นสูงสุดเมื่อลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งหลังศูนย์ตายบนไป(ATDC) 10 องศา ดังนั้นต้องกำหนดเวลาให้เกิดประกายไฟที่หัวเทียน(Ignition timing) ที่ตำแหน่งของลูกสูบก่อนถึงศูนย์ตายบน การกำหนดเวลาในการจุดระเบิดจะมีผลโดยตรงต่อกำลังและประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ ถ้าจุดเกิดประกายไฟเกิดก่อนค่าที่กำหนด จะทำให้ความดันสูงสุดเกิดก่อน 10 องศา หลังศูนย์ตายบน ในการจุดระเบิดโดยปรกติ นั้น จะมีหน้าคลื่นการเผาไหม้ที่เกิดจากหัวเทียนเท่านั้นที่แผ่ไปจนทั่วปริมาตรกระบอกสูบ แต่ในขณะที่เกิดการเผาไหม้นั้น ความดันและอุณหภูมิในกระบอกสูบจะสูงขึ้นในช่วงเวลานี้ถ้าหากน้ำมันนั้นไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิและความดันที่เพิ่มสูงขึ้นได้ ไอน้ำมันนั้นก็จะเกิดการจุดระเบิดขึ้นเองก่อนที่เปลวไฟที่แผ่ออกมาจากหัวเทียนจะเดินทางมาถึง (อาจเกิดขึ้นได้หลายตำแหน่ง) ทำให้เกิดหน้าคลื่นการเผาไหม้หลายหน้าคลื่นวิ่งเข้าปะทะกัน เกิดอาการที่เรียกว่า "น็อค" ซึ่งสิ่งนี้จะสร้างความเสียหายต่อลูกสูบและหัวเทียน แต่ถ้าจุดประกายไฟช้าเกินไปความดันสูงสุดจะเกิดหลัง 10 องศา หลังศูนย์ตายบน ซึ่งลูกสูบจะเคลื่อนที่ลงต่ำ ความดันในกระบอกสูบจะต่ำลงทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังของเครื่องยนต์ลดลง และสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ดังที่แสดงในรูปที่ 2.25 ในการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วของเครื่องยนต์เพลลาของเหวี่ยงจะหมุนเป็นมุมเพิ่มขึ้นสมมติว่าเวลาที่ใช้เผาไหม้คงที่ ดังที่แสดงในรูปที่ 2.26 ฉะนั้นจะต้องบังคับให้เกิดประกายไฟก่อนจุดเริ่มแรก เพื่อให้ความดันสูงสุดเกิดหลังศูนย์ตายบน 10 องศา



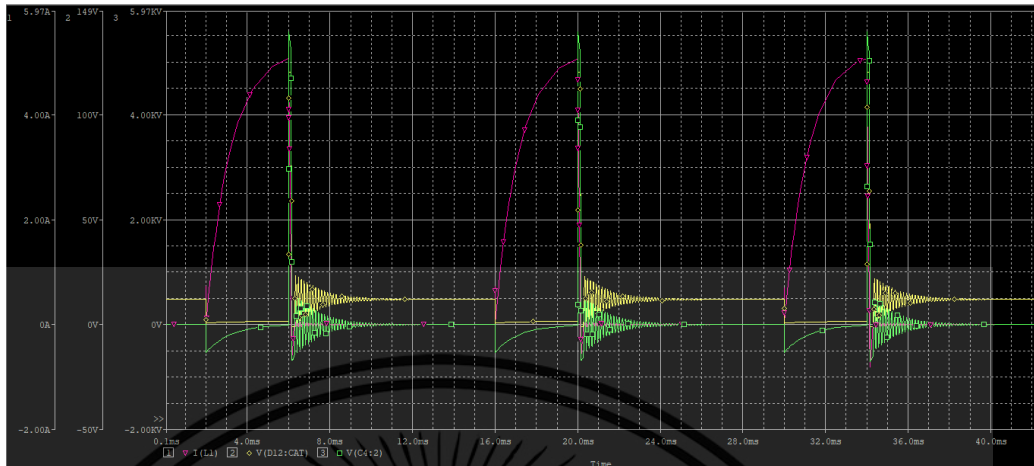
รูปที่ 2.25 เส้นโค้งความดันจากการตั้งการจุดระเบิดก่อนและหลังกำหนด



รูปที่ 2.26 เส้นโค้งการเผาไหม้เมื่ออัตราเร็วของเครื่องยนต์เปลี่ยนแปลง

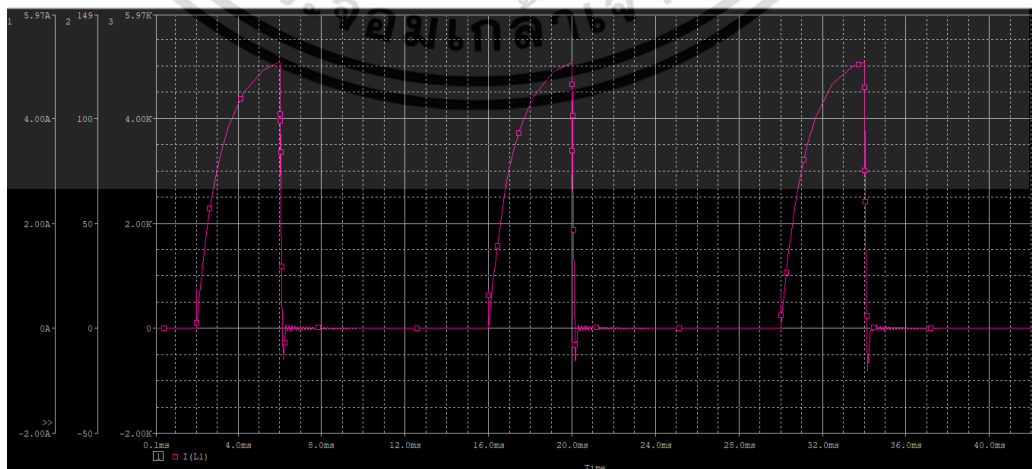
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.2 สัญญาณไฟฟ้าของคอยล์จลระเบิดด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ



รูปที่ 2.27 แสดงสัญญาณไฟฟ้าในคอยล์จลระเบิด

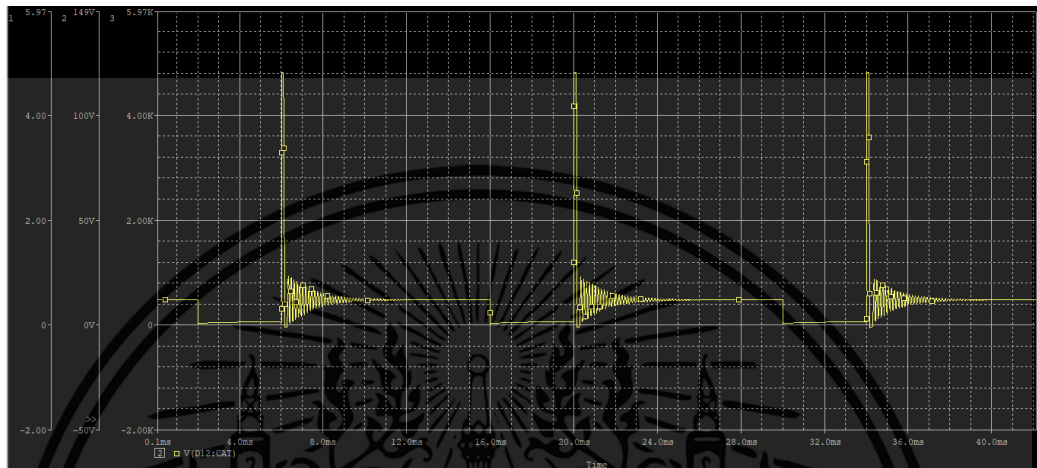
ในรูปที่ 2.27 เป็นการแสดงผลการวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้าที่ปรากฏในคอยล์จลในระหว่างการเหนี่ยวนำไฟฟ้าแรงดันสูงโดยการใช้โปรแกรม Pspice ออกแบบการทำงาน การสร้างประกายไฟที่หัวเทียน ระบบจลระเบิดจะควบคุมการปิดของสวิตช์เพื่อเชื่อมต่อขดลวดปฐมภูมิของคอยล์จลระเบิดกับกราวด์เป็นระยะเวลาช่วงหนึ่ง แรงดันตกคร่อมสวิตช์ถูกทำให้เป็น 0 โวลต์ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิและจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงจุดอิ่มตัวซึ่งถูกจำกัดด้วยความต้านทานของขดลวดปฐมภูมิ ในตอนนี้พลังงานจะถูกสะสมภายในขดลวดปฐมภูมิอย่างเต็มที่ ดังที่แสดงในรูปที่ 2.28 ต่อมาเมื่อระบบจลระเบิดเปิดสวิตช์และบังคับให้กระแสที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิเป็นศูนย์เกือบจะทันที การเปลี่ยนแปลงกระแสอย่างรวดเร็วนี้ทำให้มีแรงดันตกคร่อมสวิตช์สูงถึงหลายร้อยโวลต์ อันเป็นผลมาจากการเหนี่ยวนำตัวเอง (Self-induction) ของขดลวดปฐมภูมิ ตามที่แสดงในรูปที่ 2.29 ในขณะที่เดียวกันแรงดันไฟฟ้างี้จะถูกสะท้อนไปยังขดลวดทุติยภูมิของคอยล์จลระเบิดโดยมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขึ้นกับสัดส่วนจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิต่อขดลวดปฐมภูมิตามรูปที่ 2.30



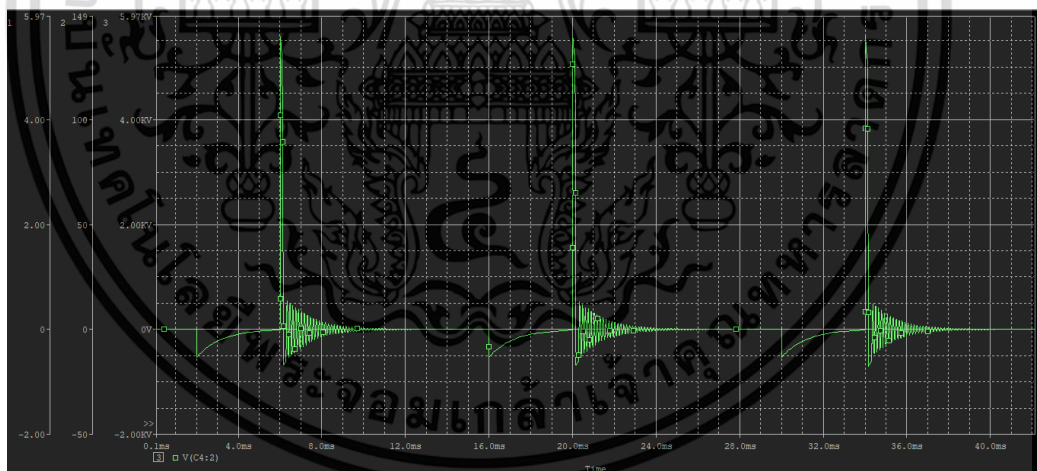
รูปที่ 2.28 แสดงกระแสไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิของคอยล์จลระเบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้น เมื่อมีการต่อหัวเทียนเข้าไปเป็นโหลดของระบบจุดระเบิด ไฟฟ้าแรงดันสูงที่ปรากฏทางขดลวดทุติยภูมิ[10] จะทำให้พลังงานที่สะสมถูกดิสชาร์จผ่านช่องว่างของเทียนเมื่อถึงค่าแรงดันจุดระเบิด ดังรูปที่ 2.31 พลังงานจุดระเบิดจะเป็นสัดส่วนกับกระแสไฟฟ้าทางขดลวดปฐมภูมิ(Primary current) และคุณภาพของความเหนี่ยวนำของขดลวดจุดระเบิด ซึ่งสิ่งนี้จะเป็นตัวกำหนดประกายไฟ (Spark current) และช่วงจุดประกายการเผาไหม้(Spark combustion duration) ของเครื่องยนต์

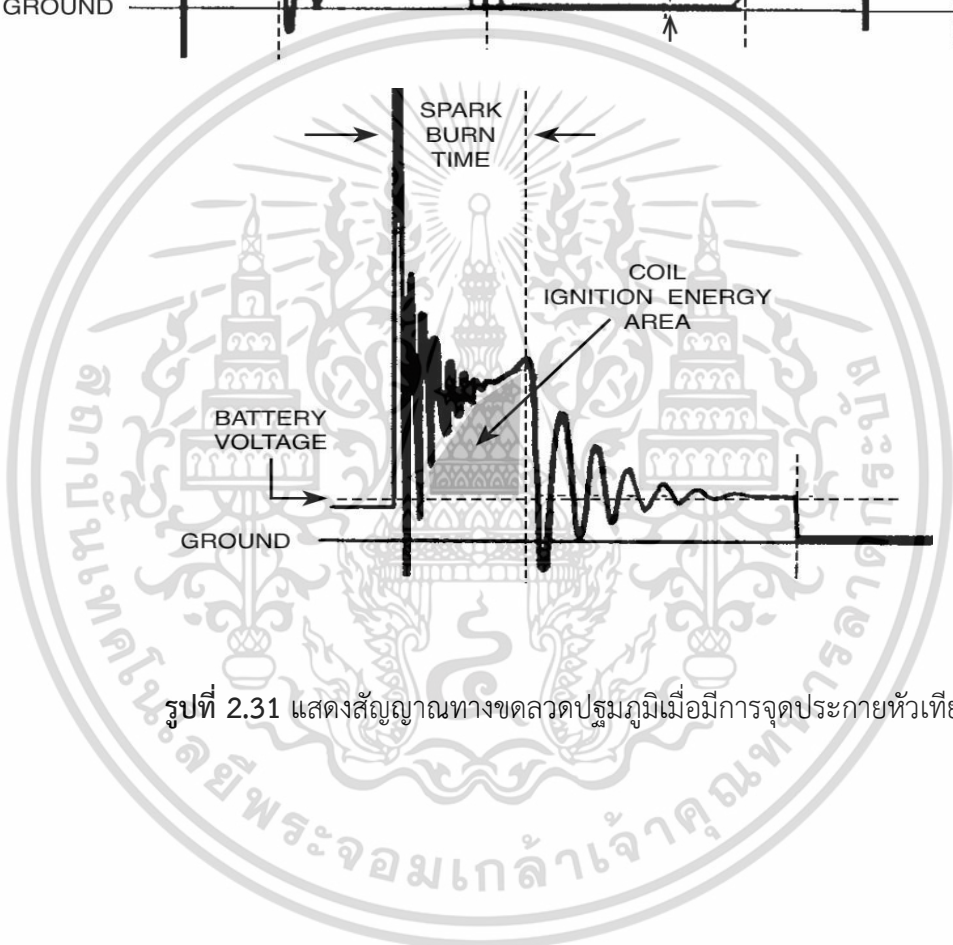
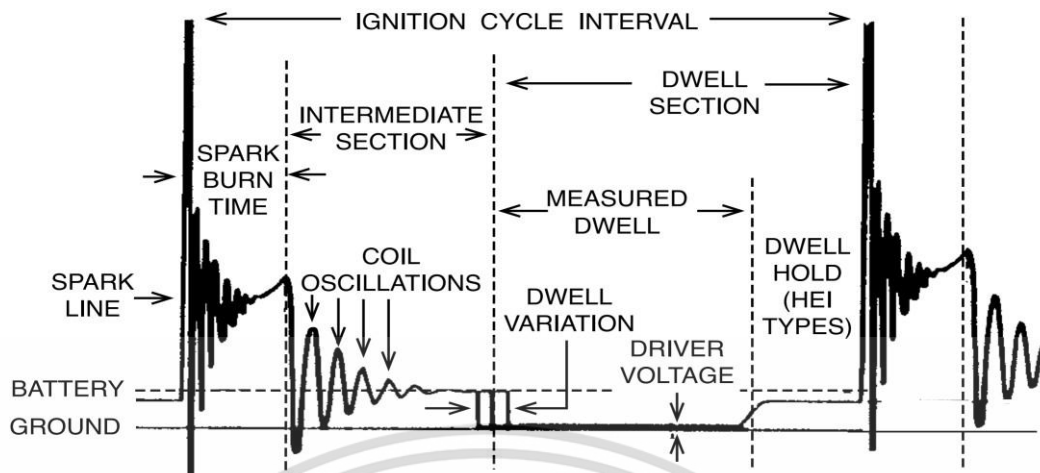


รูปที่ 2.29 แสดงแรงดันที่ถูกเหนี่ยวนำทางขดลวดปฐมภูมิของของคอยล์จุดระเบิด



รูปที่ 2.30 แสดงแรงดันที่ถูกเหนี่ยวนำทางขดลวดทุติยภูมิของของคอยล์จุดระเบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 แสดงสัญญาณทางขดลวดปฐมภูมิเมื่อมีการจุดประกายหัวเทียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

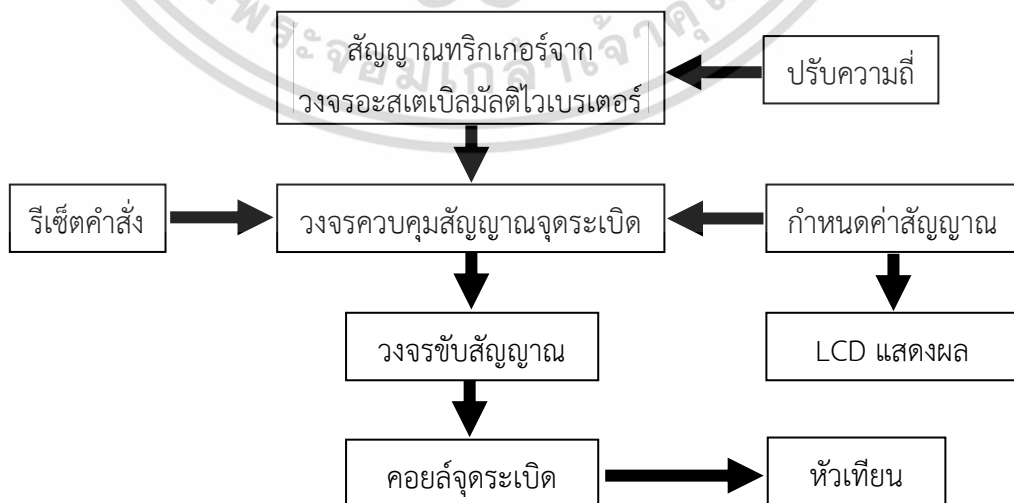
การทดลองและผลการทดลอง

3.1 การออกแบบระบบจำลองการจุดระเบิดของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน



รูปที่ 3.1 แสดงแบบจำลองการจุดระเบิดของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

ภายในแบบจำลองการจุดระเบิดของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนสามารถอธิบายได้ตามบล็อกไดอะแกรมการทำงานในรูปที่ 3.2 เริ่มจากการที่วงจรถะสเตเบิลมีลดีไวเบรเตอร์สร้างสัญญาณทริกเกอร์เพื่อส่งไปกระตุ้นให้กับวงจรถควบคุมสัญญาณจุดระเบิดเริ่มทำการสร้างสัญญาณพัลส์ โดยมีคีย์บอร์ดเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการป้อนข้อมูลและกำหนดรูปแบบของสัญญาณ ทุก ๆ ครั้งที่มีการตั้งค่าหรือกำหนดรูปแบบของสัญญาณใหม่จะมีสวิตซ์ที่ใช้สำหรับรีเซ็ตข้อมูล ซึ่งข้อมูลที่ป้อนเข้าไปจะแสดงผลผ่านทางหน้าจอ LCD จากนั้นในส่วนของสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากวงจรถควบคุมสัญญาณจุดระเบิดจะถูกขับไปยังคอยล์จุดระเบิด

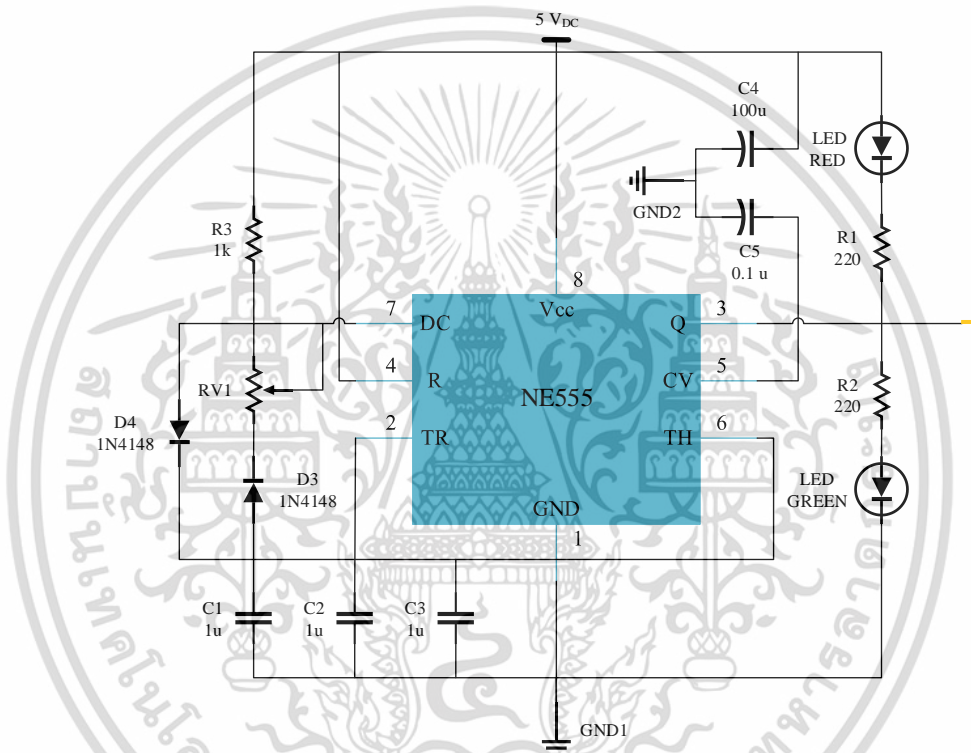


รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบจำลองการจุดระเบิดของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

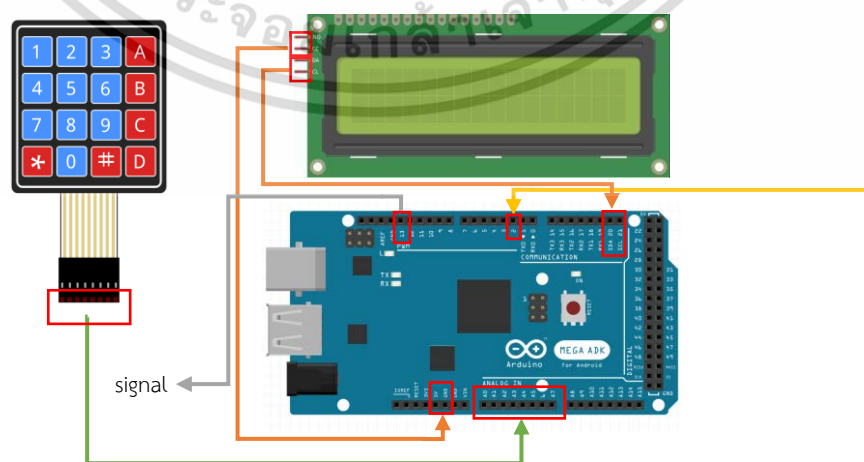
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปยังเว็บไซต์อื่นนอกเหนือจากการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 การออกแบบวงจรสร้างสัญญาณจตุระเบ็ด

การสร้างสัญญาณจตุระเบ็ด Arduino Mega 2560 จะถูกนำมาใช้ทำหน้าที่เป็นวงจรควบคุมสัญญาณจตุระเบ็ด โดยมีวงจรจตุระเบ็ด Astable Multivibrator เป็น วงจรสร้างสัญญาณ Square wave ที่สามารถกำหนดความถี่ได้ตามความต้องการ ด้วยค่าตัวเก็บประจุ C และค่าความต้านทาน R วงจรนี้จะถูกใช้เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณเพื่อป้อนสัญญาณให้กับ Arduino Mega ตามรูปที่ 3.3 เมื่อ Arduino Mega ได้รับสัญญาณ Square wave จะทำการทริกขอบขาขึ้นของสัญญาณจนกระทั่งได้ Pulse width ตามที่ได้ตั้งค่าด้วย key pad พร้อมแสดงผลการตั้งค่าผ่าน LCD ตามรูปที่ 3.4 จากนั้นสัญญาณจตุระเบ็ดจะถูกส่งต่อไปยังวงจร Gate drive เพื่อขับคอล์ยล์จตุระเบ็ด



รูปที่ 3.3 แสดงการออกแบบวงจรจตุระเบ็ด (Astable Multivibrator)

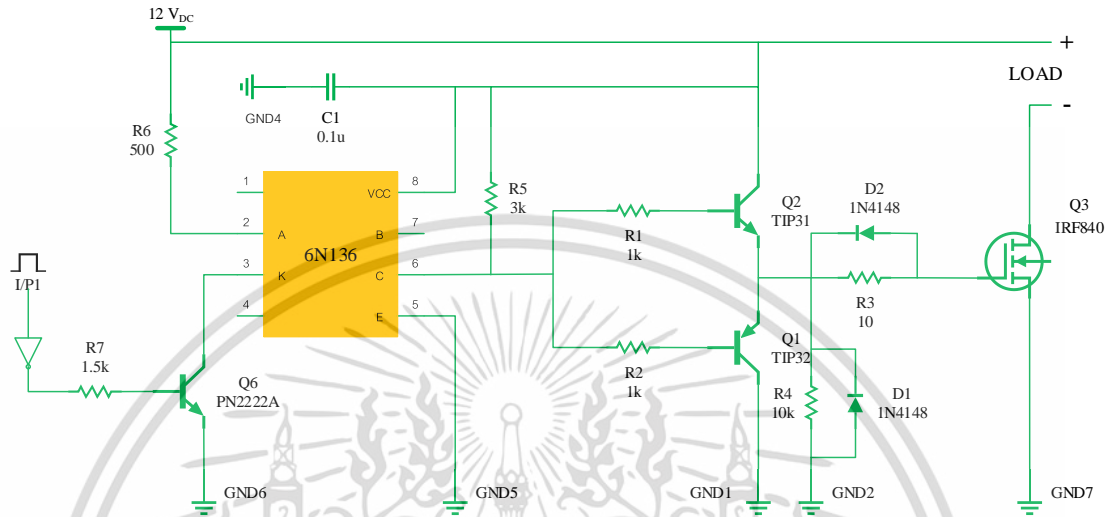


รูปที่ 3.4 แสดงการออกแบบวงจรสร้างสัญญาณจตุระเบ็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การออกแบบวงจรขับคอล์ยจุดระเบิด

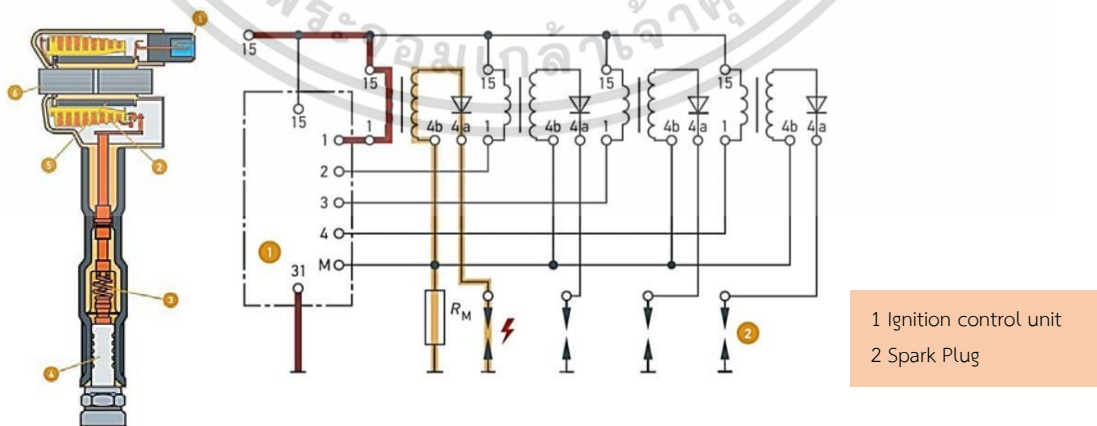
การสร้างวงจรชุดขับคอล์ยจุดระเบิดจะประกอบด้วย IC 6N136 และ Power MOSFET ในการสร้างสัญญาณจะมี 6N136 ทำหน้าที่เป็นวงจร Gate Drive ใช้สำหรับขับเกตของ Power MOSFET ที่ทำหน้าที่เป็นตัว switching จะได้วงจรตามรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงการออกแบบวงจรขับคอล์ยจุดระเบิด

3.1.3 การเลือกคอล์ยจุดระเบิด

คอล์ยจุดระเบิดที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นคอล์ยจุดระเบิดแบบตรง (Single-spark ignition coils) ซึ่งการใช้งานของคอล์ยชนิดนี้จะถูกติดตั้งโดยตรงที่หัวเทียนในแต่ละกระบอกสูบ ขดลวดเหล่านี้เชื่อมต่อกับขดลวดปฐมภูมิที่ขั้ว 15 (แหล่งจ่ายไฟแรงดันบวก) และขดลวดทุติยภูมิที่ขั้ว 4b หรือขั้ว 4a ขดลวดทุติยภูมิเชื่อมต่อกับหัวเทียนที่เต้าเสียบของขาออกที่ขั้ว 4 ถ้ามีขั้ว 4b การเชื่อมต่อนี้จะใช้เพื่อตรวจสอบการรั่วไหล การทรานซิสเตอร์จะเกิดขึ้นตามลำดับที่กำหนดโดยขดลวดทุติยภูมิ



รูปที่ 3.6 Single-spark ignition coils (1. Low-voltage connection, 2. Secondary winding, 3. High-voltage connection, 4. Spark plug, 5. Primary winding, 6. Iron core)

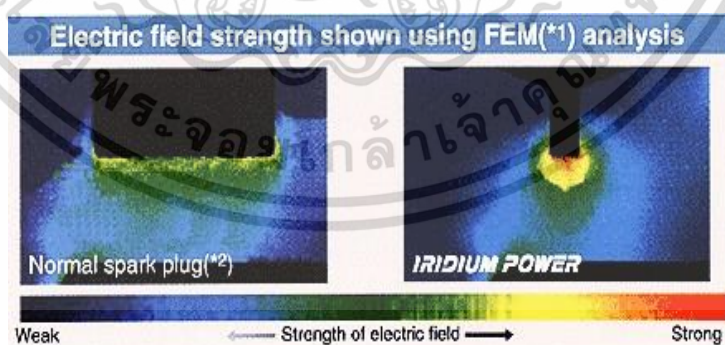
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 การคัดเลือกหัวเทียนที่ใช้เป็นต้นแบบ

ตารางที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลของหัวเทียนอิริเดียมและหัวเทียนนิเกิ้ล

Spark plug	Center electrode diameter	Center electrode	Melting point (F)	Strength (Kpsi)
Iridium	0.4 mm	Iridium alloy	4449.2	159
Nickle	2.5 mm	Nickle alloy	2647.4	96.5

หัวใจสำคัญของหัวเทียน คือ การสร้างการจุดระเบิด โดยหัวเทียนที่ดีขึ้นจะทำให้การจุดระเบิดดีมากขึ้นกว่าเดิม แม้จะอาศัยพลังไฟจากชุดคอยล์ที่มีการจ่ายไฟฟ้ามายังหัวเทียนสม่ำเสมอเท่ากันทุกๆ จังหวะการจุดระเบิด แต่สิ่งที่ทำให้หัวเทียนสามารถจุดระเบิดด้วยกำลังไฟที่รุนแรงมากกว่าเดิมก็มาจากการนำไฟฟ้าที่ได้จากคอยล์อย่างรวดเร็ว ซึ่งได้แก่ ปลายขั้วหัวเทียน (Center Electrode) ลักษณะสำคัญที่ทำให้หัวเทียนจุดระเบิดดีและทนทาน ส่วนสำคัญที่สุดในแง่หนึ่ง คงไม่พ้นปลายขั้วหัวเทียน หัวเทียนทั่วไปคือหัวเทียนทองแดง หลายคนเรียกว่า หัวเทียนธรรมดา ความจริงแล้ว หัวเทียนทุกรุ่นส่วนใหญ่ใช้ทองแดงเป็นตัวนำไฟฟ้าในการจุดระเบิดแต่ปัจจุบันด้วยการคิดค้นของผู้ผลิตหัวเทียน พวกเขาใช้วิธีการเคลือบหรือทำขั้วหัวเทียนใหม่ ด้วยธาตุโลหะที่มีความสามารถในการทนทานที่ดีกว่า เช่น Iridium หรือ Platinum ซึ่งธาตุเหล่านี้ผลต่ออายุการใช้งานให้ความทนทานมากกว่า ทำให้ใช้งานได้ยาวนานมากกว่า ดังนั้นหัวเทียนที่ได้รับการออกแบบและพัฒนาขึ้นมาใหม่จึงมี ปลายขั้วหัวเทียนขนาดเล็กมาก แต่ประเด็นที่น่าสนใจเมื่อปลายขั้วหัวเทียนมีขนาดเล็กลง จะทำให้มีความเข้มข้นไฟฟ้าที่ปลายขั้วหัวเทียนสูงขึ้นและเมื่อเทียบกับหัวเทียนแบบธรรมดาจะได้ผลลัพธ์ดังที่แสดงในรูปที่ 3.7 ซึ่งจากผลลัพธ์ดังกล่าวจะส่งผลต่อการแสดงออกทางไฟฟ้าอย่างไร ดังนั้น ในการทดสอบจึงเลือกใช้ หัวเทียนอิริเดียม(Iridium) และนิเกิ้ล (Nickle) เป็นหัวเทียนต้นแบบในการทดสอบ ตามตารางเปรียบเทียบด้านล่าง



รูปที่ 3.7 แสดงการคัดเลือกหัวเทียนที่ใช้เป็นต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

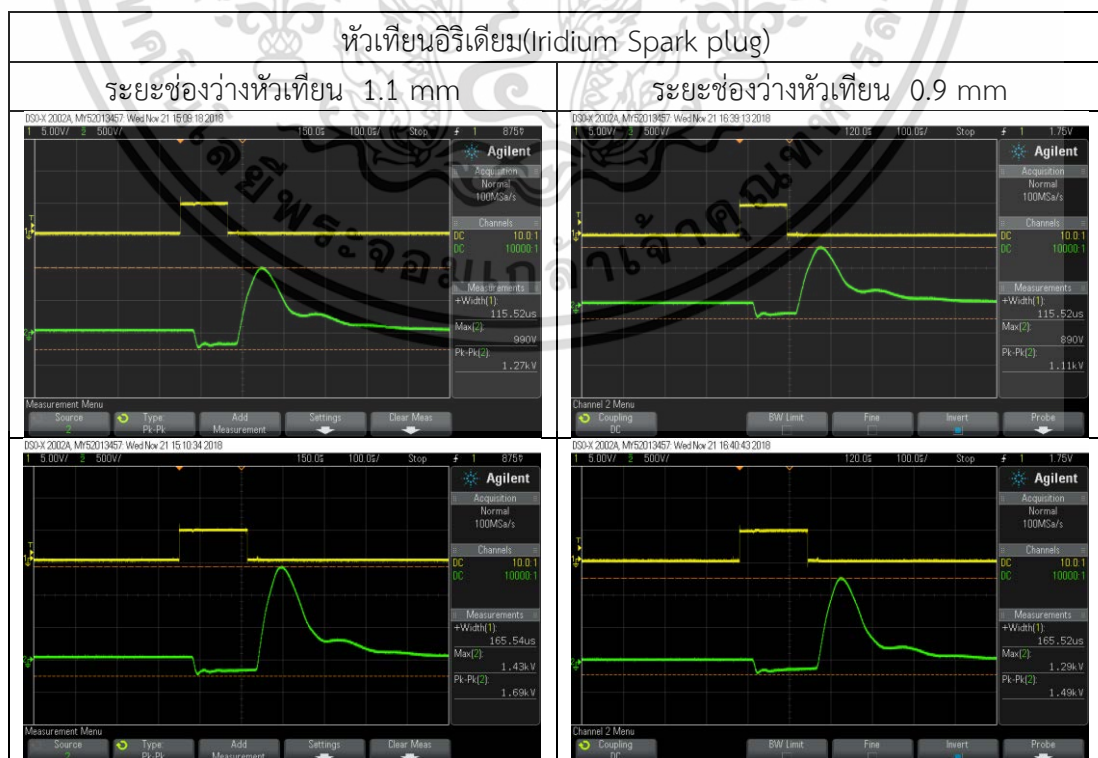
3.2 การทดลองและผลการทดลองค่าเวลาในการสะสมพลังงานของคอยล์จตุระเปิด

dwelt time ในระบบจตุระเปิด หมายถึง ระยะเวลาที่มีกระแสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิและเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กขึ้นในขดลวด โดยการควบคุมการปิดเปิด switching device การทดสอบ Minimum Dwell Time และ Dwell Time ที่เหมาะสม จะถูกทำการวัดสัญญาณไฟฟ้าโดยใช้ ออสซิลโลสโคป (oscilloscope) สัญญาณที่วัดได้จะต้องผ่านการลดทอนก่อนที่จะเข้าเครื่องวัดซึ่งสามารถทำได้โดยการต่อวงจรแบ่งแรงดัน จุดประสงค์ของการทดลองนี้ คือ การหาจุดเริ่มต้นการทำงานของหัวเทียนอิริเดียมและหัวเทียนนิกเกิลภายในระบบจตุระเปิดเดียวกัน พร้อมทั้งหาค่า dwell time ที่เป็นจุดการทำงานที่เหมาะสมกับหัวเทียนทั้งสองชนิด โดยจะแบ่งการทดลองออกเป็น 3.2.1 และ 3.2.2 ตามลำดับดังต่อไปนี้

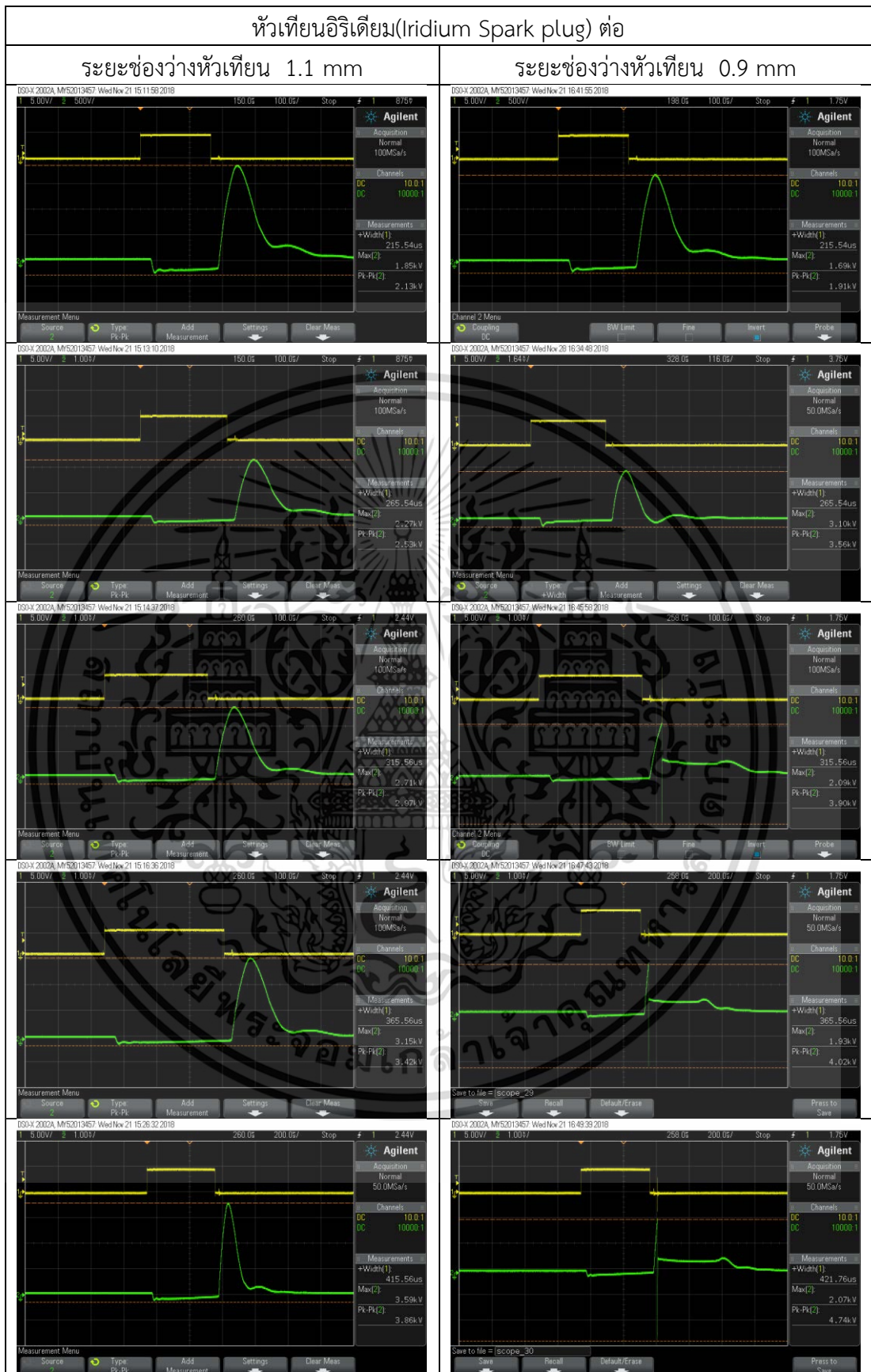
3.2.1 ผลการทดลองค่าเวลาที่น้อยที่สุดในการสะสมพลังงานของคอยล์จตุระเปิดต่อหัวเทียนชนิดต่าง ๆ (Minimum Dwell Time)

ในการทดสอบจะกำหนด Dwell time ตั้งแต่ 100 us, 150 us, 200 us,.....,1000 us เพื่อหาค่าเริ่มต้นที่ทำให้เกิดประกายไฟได้อย่างต่อเนื่อง ที่ระยะห่างระหว่างช่องว่างหัวเทียน(air gap) 0.9 mm และ 1.1 mm และทำการบันทึกสัญญาณด้วยออสซิลโลสโคปโดยที่เส้นสีเขียวแสดงสัญญาณจากคอยล์จตุระเปิดด้านทุติยภูมิ และเส้นสีเหลืองแสดงสัญญาณ Dwell time ค่าต่างๆ จุดที่หัวเทียนเริ่มเกิดประกายไฟจะถือว่าถูกควบคุมด้วย Minimum Dwell Time จะสามารถสังเกตได้จากการปรากฏ Spark duration time ดังที่แสดงในตารางรูปภาพ ซึ่งจะชี้ให้เห็นว่าหัวเทียนทั้งสองชนิดมีจุดเริ่มต้นการทำงานไม่เท่ากัน

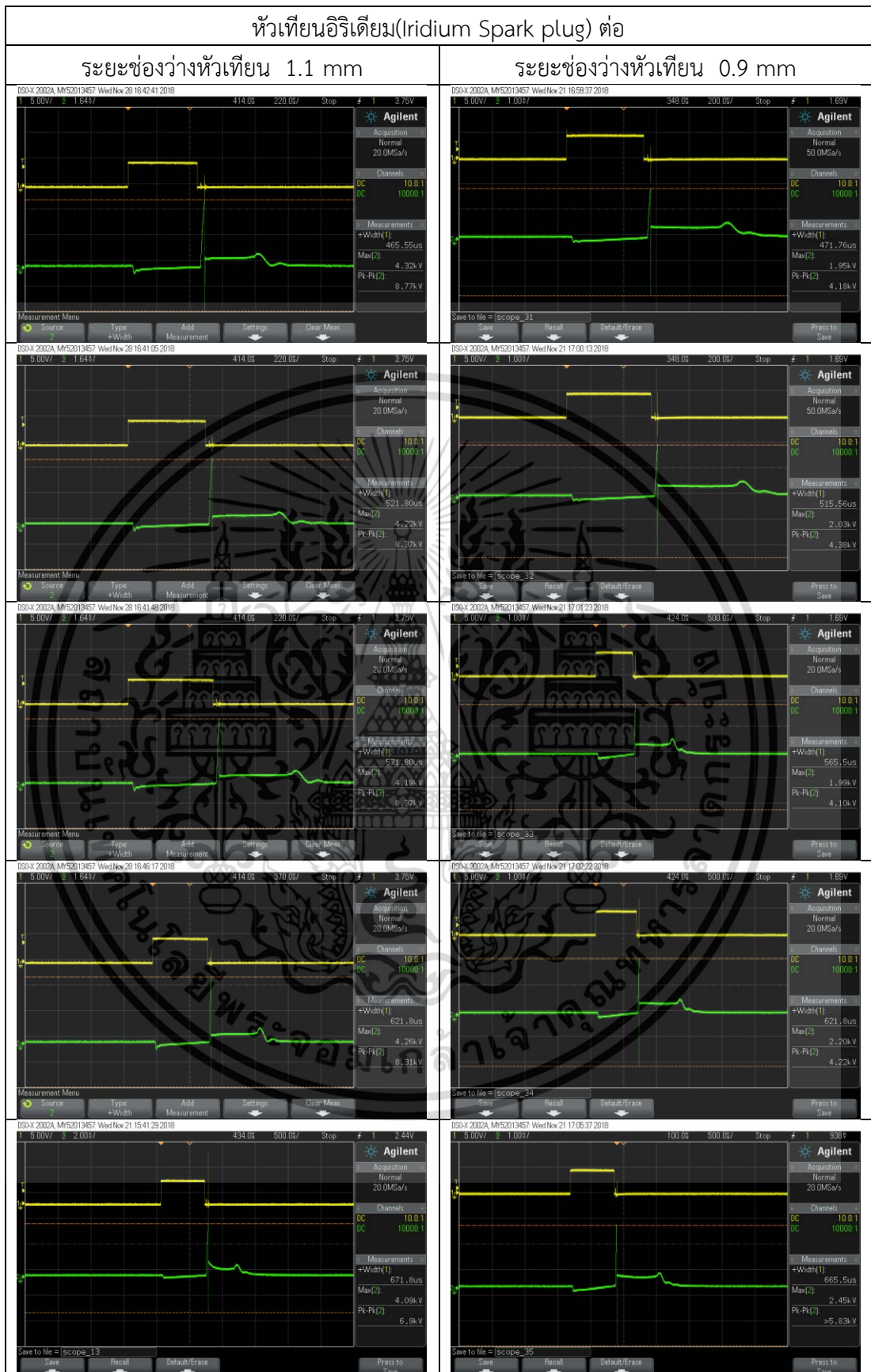
ตารางที่ 3.2 แสดงผลการทดสอบ Minimum Dwell Time ของหัวเทียนอิริเดียม



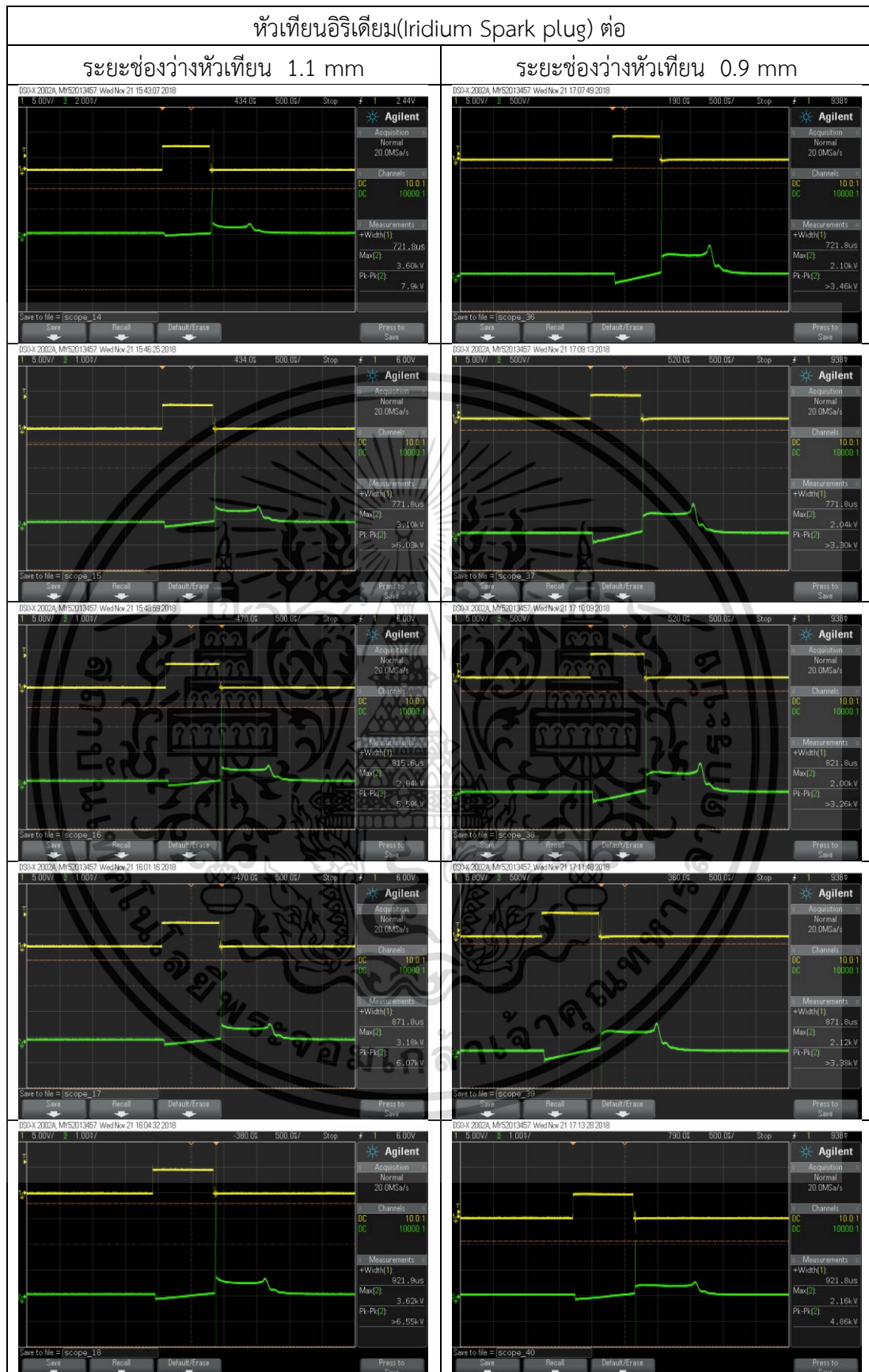
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



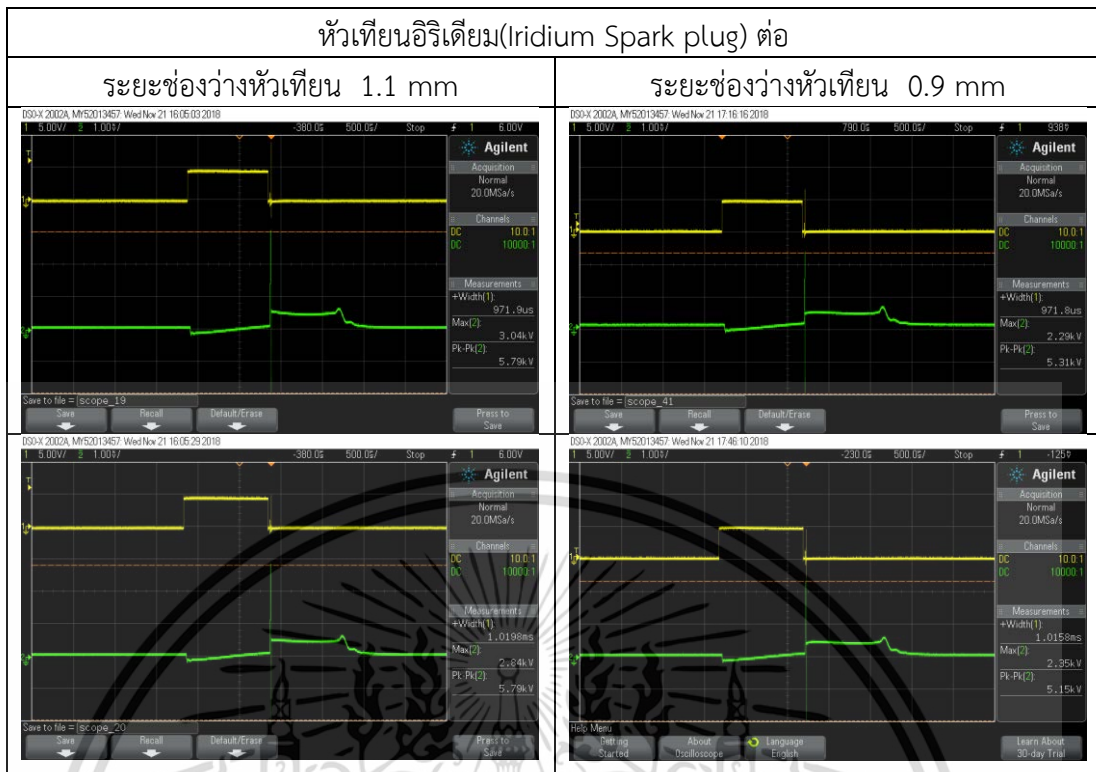
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



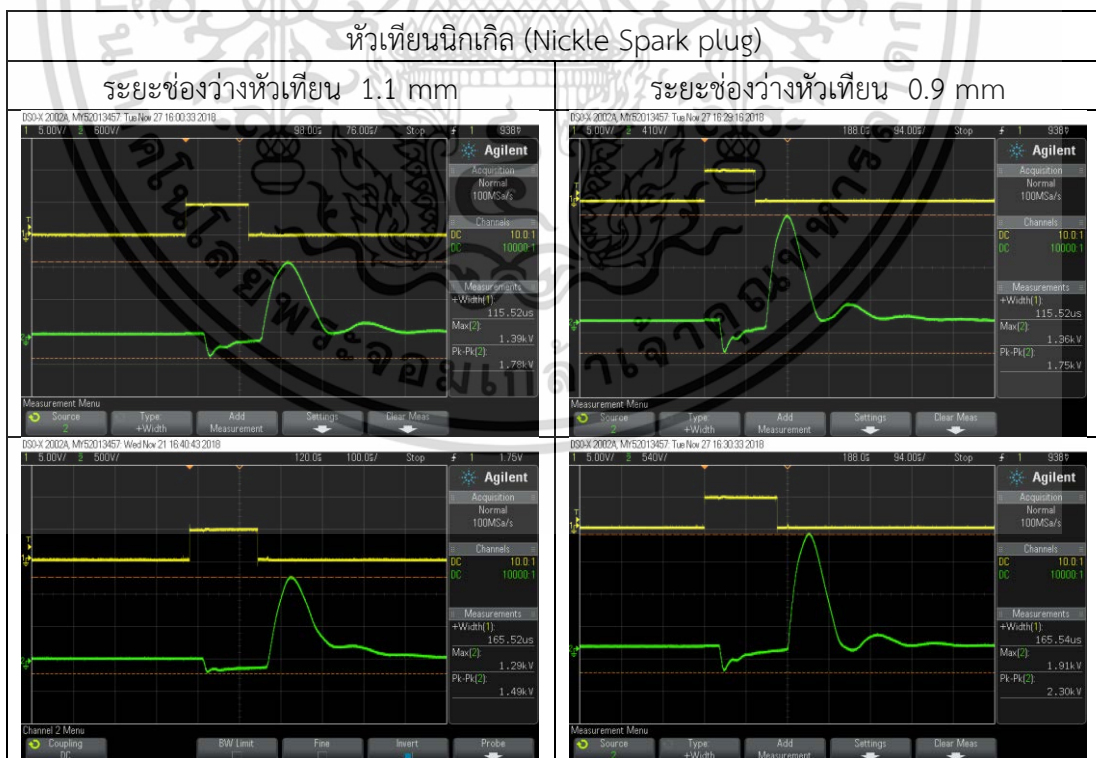
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตารางที่ 3.3 แสดงผลการทดสอบ Minimum Dwell Time ของหัวเทียนนิกเกิล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวเทียนนิเกิล (Nickle Spark plug) ต่อ

ระยะช่องว่างหัวเทียน 1.1 mm

ระยะช่องว่างหัวเทียน 0.9 mm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวเทียนนิเกิล (Nickle Spark plug) ต่อ

ระยะช่องว่างหัวเทียน 1.1 mm

ระยะช่องว่างหัวเทียน 0.9 mm

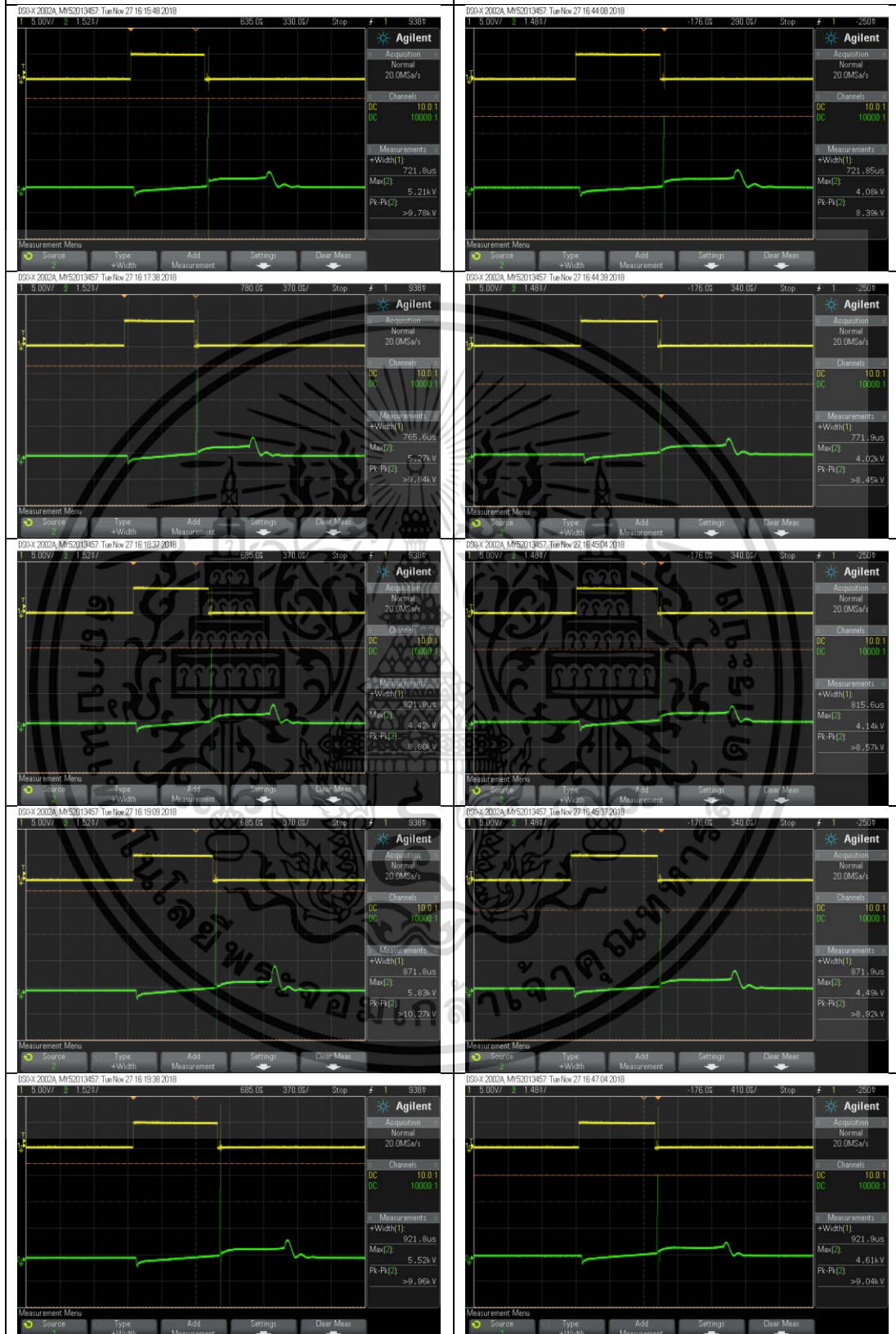


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

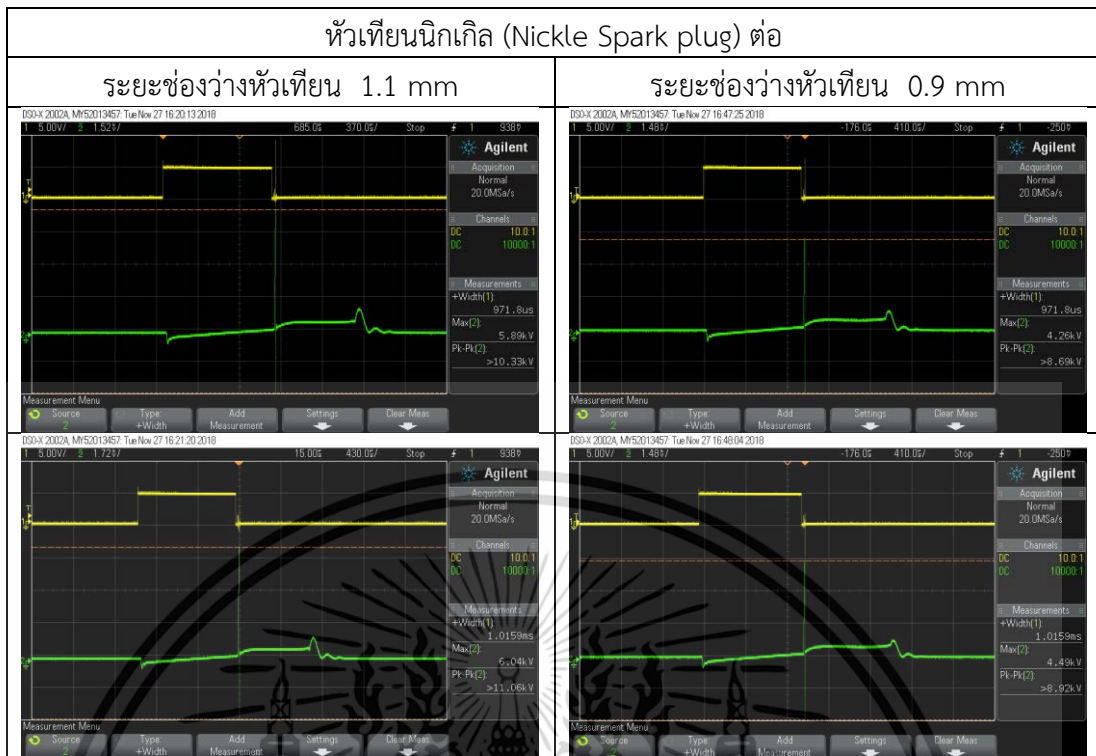
หัวเทียนนิเกิล (Nickle Spark plug) ต่อ

ระยะช่องว่างหัวเทียน 1.1 mm

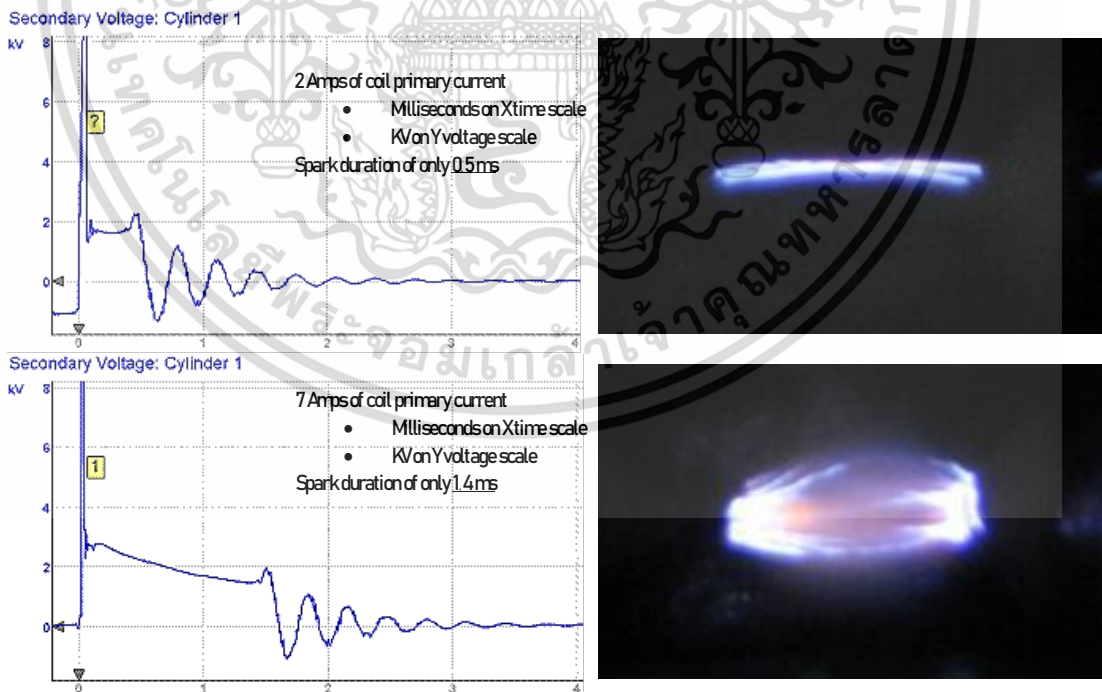
ระยะช่องว่างหัวเทียน 0.9 mm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

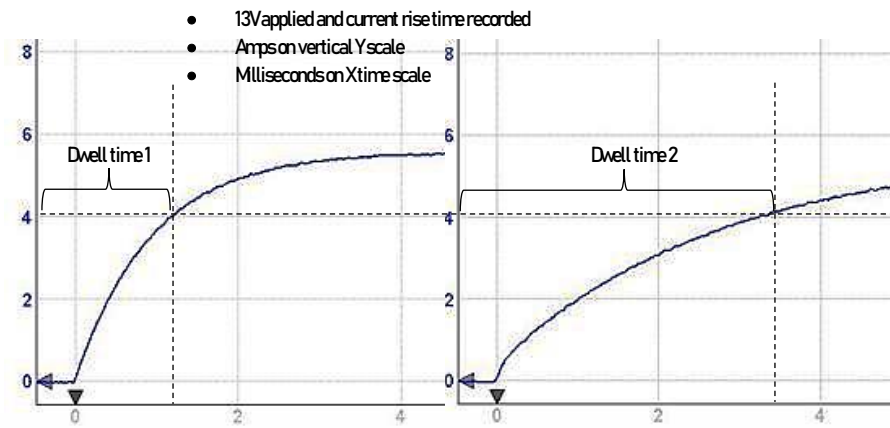


3.2.2 การพิจารณาค่าความกว้างที่เหมาะสมของสัญญาณจุดระเบิดเมื่อโหลดภาระเป็นหัวเทียนแบบต่างๆ(Dwell Time)



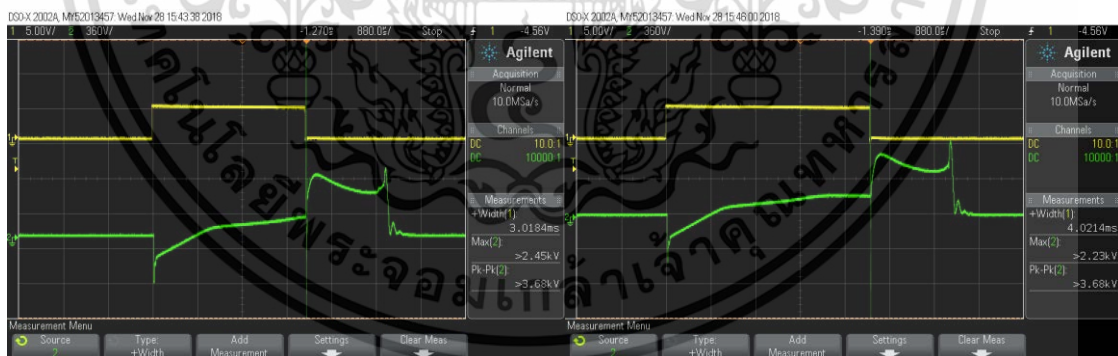
รูปที่ 3.8 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านคอยล์มีผลต่อช่วงประกายไฟและประกายที่ปรากฏ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงระดับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านคอยล์ที่ขึ้นกับ dwell time

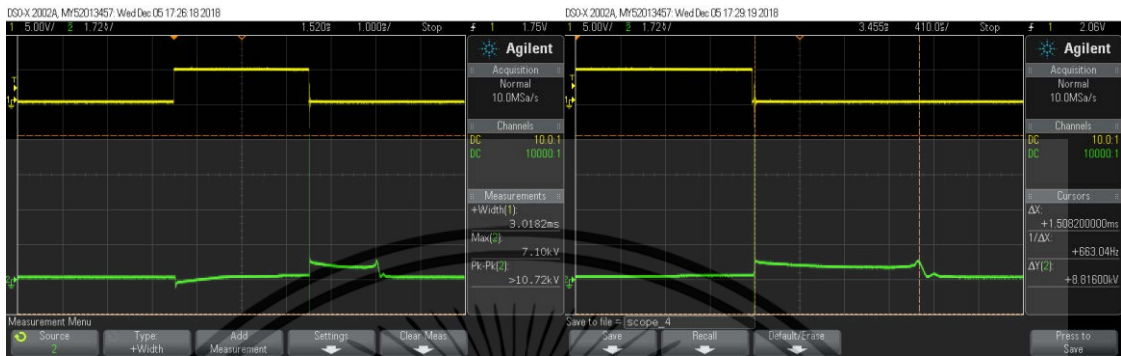
การพิจารณา Dwell time จะมีความสัมพันธ์กับโดยตรงต่อประกายไฟที่จะเกิดที่ปลายหัวเทียน ดังตัวอย่าง ในรูปที่ 3.10 เป็นการแสดงช่วงที่เกิดประกายไฟของเทียนในช่วงเวลาที่ 0.5 ms และ 1.4 ms ที่ระดับกระแสทางขดลวดปฐมภูมิ 2 Amps และ 7 Amps ตามลำดับ ประกายไฟที่ปรากฏจะแตกต่างกัน สาเหตุที่เป็นเช่นนั้น ก็เพราะว่าการกำหนด dwell time จะควบคุมระดับกระแสที่ไหลผ่านขดปฐมภูมิเพื่อที่จะสะสมพลังงานก่อนเกิดการจุดประกาย ตามคุณสมบัติของคอยล์กระแสที่ไหลผ่านจะไม่ขึ้นถึงจุดสูงสุดในทันที (maximum current level) เนื่องจากแรงต้านที่อยู่ภายในตัวเอง (Counter EMF) เพราะฉะนั้นนี่คือรูปแบบจึงพัฒนาคอยล์ให้ถึงจุดอิ่มตัวได้เร็วเพื่อให้ได้ระดับกระแสสูงสุด ดังรูปที่ 3.11 และจากคอยล์จุดระเบิดที่นำมาใช้ในทดลองพบว่าจะได้ระดับกระแสสูงสุดเมื่อ กำหนด Dwell time เท่ากับ 4 ms ดังรูปที่ 3.12 ซึ่งหมายความว่าระดับกระแสจะไม่สูงขึ้นหลังจาก 4 ms แต่ด้วยการทดสอบที่ใช้คอยล์เป็นตัวเดียวกันทั้งหมด คอยล์จึงเป็นตัวแปรที่สามารถละทิ้งได้



รูปที่ 3.10 แสดงการทดสอบหาค่า maximum dwell time

ในการทดสอบค่า dwell time ที่เหมาะสม หมายถึง เวลาจุดระเบิดและกระบวนการเกิดประกายไฟ ในห้องเผาไหม้รถยนต์ที่ถูกต้องเพื่อให้รถยนต์ทำงานได้ที่ระดับสูงสุด ซึ่งค่าเหล่านี้จะถูกตั้งค่าจากผู้ผลิตมาก่อนหน้านั้นแล้ว แต่โดยทั่วไปการปรับแต่งค่าเวลาในรถยนต์สามารถทำได้ และจะเกิดขึ้นเมื่อมีการปรับแต่งเครื่องยนต์หรือมีการเปลี่ยนเชื้อเพลิงซึ่งเชื้อเพลิงแต่ละชนิดก็จะ flam speed ไม่เท่ากัน สำหรับการทดลองในครั้งนี้ จุดประสงค์ คือต้องการจะศึกษาเมื่อชนิดของหัวเทียนเปลี่ยนไป จะส่งผลต่อ dwell time หรือ ประกายไฟ อย่างไร โดยตามหลักแนวคิด ถ้าสมมติว่าเครื่องยนต์ถูกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

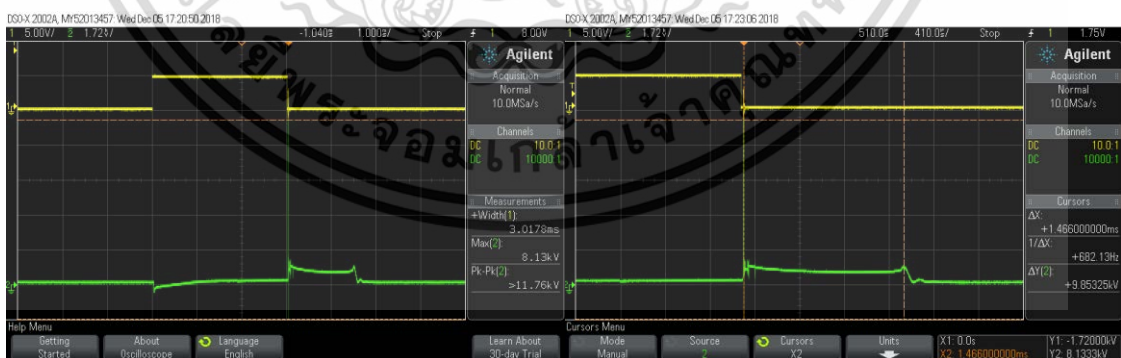
กำหนดให้เริ่มจุดระเบิด ที่ 10° BTDC และเสร็จสิ้นกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ 12° ATDC (จะเป็นตำแหน่งเดียวกันทั้งรอบต่ำ/รอบสูง) เท่ากับใช้ Angle during burn 22° หรือใช้เวลาเท่ากับ 4 ms ที่ความเร็วเครื่องยนต์ = 1000 rpm ข้อมูลเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนด ระยะในเกิดประกายไฟ (spark duration time) A ms และสิ่งนี้ก็จะเป็นกำหนด dwell time เท่ากับ B ms ที่เหมาะสมอีกที



รูปที่ 3.11 แสดงการทดสอบหาค่า dwell time ที่ 3 ms โดยมีโหลดเป็นหัวเทียนอริเดียม



รูปที่ 3.12 แสดงการทดสอบหาค่า dwell time ที่ 3 ms โดยมีโหลดเป็นหัวเทียนนิเกิล



รูปที่ 3.13 แสดงการทดสอบหาค่า dwell time ที่ 2.7 ms โดยมีโหลดเป็นหัวเทียนอริเดียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบในรูปที่ 3.11, 3.12 และ 3.13 สามารถสรุปข้อมูลได้ดังต่อไปนี้

dwelt time = 3 ms

- Iridium spark plug -----> 1.5082 ms spark duration
- normal spark plug -----> 1.4660 ms spark duration

จะพบว่าหัวเทียนทั้งสองชนิดจะให้ระยะเวลาการเกิดประกายไม่เท่ากัน เช่นนั้นแล้วจึงมีการปรับข้อมูลดังกล่าวของหัวเทียนอิริเดียมเพื่อให้มีค่าใกล้เคียงกับหัวเทียนนิกเกิล จะพบว่าที่

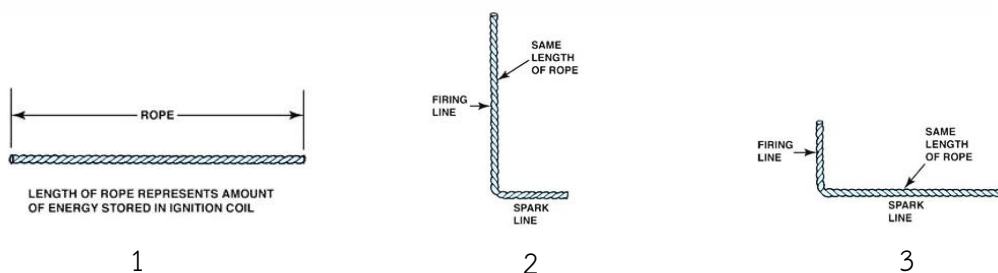
dwelt time = 2.7 ms

- Iridium spark plug -----> 1.4607 ms spark duration

*****สำหรับผลการทดสอบใดๆ จะใช้หัวเทียนนิกเกิลเป็นตัวยึดมาตรฐานเสมอ

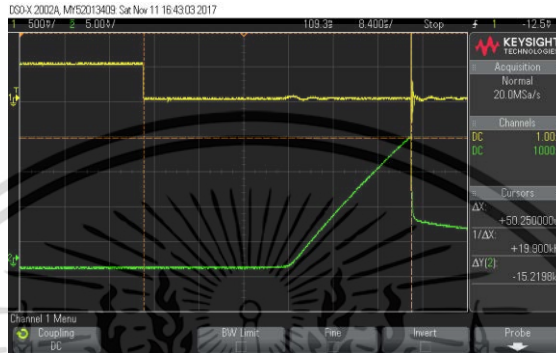
3.3 การทดลองและผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณแรงดันคอยล์จุดระเบิด

การทดลองที่ 3.3 มีจุดประสงค์เพื่อหาโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงดันจุดระเบิดด้านทุติยภูมิ (Firing voltage), ความล่าช้าในการเกิดประกาย (Spark delay time) และช่วงประกายไฟ (Spark duration time) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาในการสะสมพลังงานในคอยล์(charging time หรือ dwell time) จะถูกกำหนดตั้งแต่ 500, 1000, 1500,.....6000 us ที่ 0.7, 0.9, 1.1 air gap ของหัวเทียนนิกเกิลและหัวเทียนอิริเดียม ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 3.18 และ 3.19 โดยมีแนวคิดซึ่งสามารถใช้อธิบายผลการทดลองที่ 3.2 ได้เช่นเดียวกัน แนวคิดที่ว่านี้จะใช้กฎการอนุรักษ์พลังงาน(law of conservation of energy) ซึ่งเป็นกฎในทางฟิสิกส์ที่กล่าวว่า พลังงานโดยรวมในระบบแยกส่วนหนึ่ง ๆ จะมีค่าเท่าเดิม หรือพูดได้ว่าพลังงานจะถูกอนุรักษ์ตลอดช่วงเวลา พลังงานที่ป้อนเข้าไปในระบบใดระบบหนึ่ง จะเท่ากับพลังงานที่ส่งออกมา พลังงานไม่สามารถถูกสร้างขึ้นใหม่หรือถูกทำลาย ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวของเชือกเส้นที่หนึ่ง คือ พลังงานที่สะสมอยู่ใน Ignition coil เชือกเส้นที่ 2 มีความยาวเท่ากัน ถ้าให้พลังงานส่วนหนึ่งของเชือกเส้นนี้คือ แรงดันที่ต้องจุดประกายหัวเทียน และให้พลังงานส่วนเหลือ คือ ช่วงประกายที่ปรากฏ เชือกเส้นที่ 3 เปรียบในลักษณะเช่นเดียวกันกับเชือกเส้นที่ 2 แต่มีแรงดันที่ต้องจุดประกายหัวเทียนต่ำกว่า จะเห็นว่าให้ช่วงประกายที่นานกว่า ซึ่งแสดงตามรูป ที่ 3.16

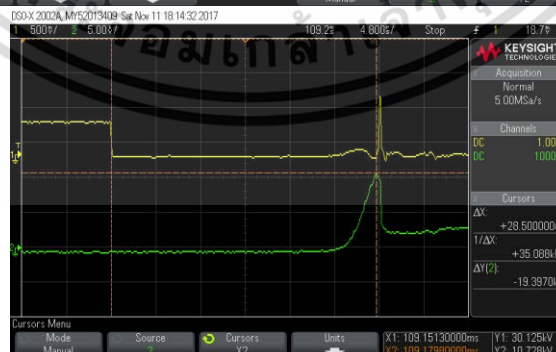
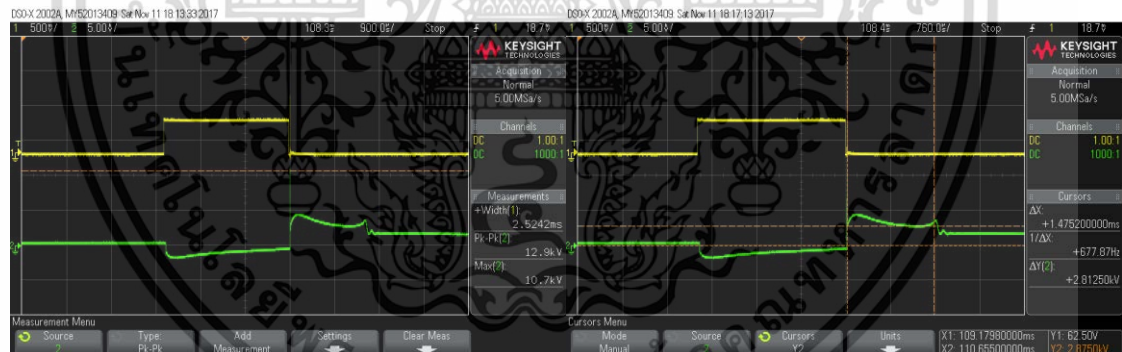


รูปที่ 3.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของแรงดันจุดระเบิดและช่วงประกายไฟที่สามารถถูก

แสดงได้ด้วยภาพจำลองโดยการใช้เชือก เหตุที่ว่าพลังงานไม่สามารถถูกทำลายได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ในชื่อของสถาบันฯ หากมีผู้ใดนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต หรือมีการดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 แสดงสัญญาณแรงดันจุดระเบิดด้านทุติยภูมิ(Firing voltage) , ความล่าช้าในการเกิดประกาย(Spark delay time) และช่วงประกายไฟ(Spark duration time) ที่ 1.1 mm air gab ใน 500 us charging time ตามลำดับ



รูปที่ 3.16 แสดงสัญญาณแรงดันจุดระเบิดด้านทุติยภูมิ(Firing voltage) , ความล่าช้าในการเกิดประกาย(Spark delay time) และช่วงประกายไฟ(Spark duration time) ที่ 1.1 mm air gap ใน 2500 us charging time ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 ผลการวัดสัญญาณแรงดันคอลล์จตุระเปิดด้านปฐมภูมิเมื่อโหดภาวะคือหัวเทียนนิกเกิ้ล

ตารางที่ 3.4 ผลการทดลองค่าแรงดันพังทลาย (Firing Voltage) และช่วงเวลาการจตุระเปิด (Spark Burn Time Period) ของหัวเทียนนิกเกิ้ล ที่ air gap = 1.1 mm

	T _{on} (ms)	T _{delay} (sec)	V _{break} (v)	T _{spark} (sec)
1.1 mm	0.5	5.03E-05	1.70E+04	3.40E-04
	1.0	3.90E-05	1.44E+04	8.18E-04
	1.5	3.33E-05	1.35E+04	1.11E-03
	2.0	3.10E-05	1.25E+04	1.26E-03
	2.5	2.92E-05	1.23E+04	1.40E-03
	3.0	2.66E-05	1.21E+04	1.43E-03
	3.5	2.30E-05	1.15E+04	1.50E-03
	4.0	2.15E-05	1.03E+04	1.51E-03
	4.5	2.13E-05	1.07E+04	1.50E-03
	5.0	2.11E-05	1.01E+04	1.49E-03
	5.5	2.13E-05	1.03E+04	1.48E-03
	6.0	2.12E-05	1.09E+04	1.49E-03

ตารางที่ 3.5 ผลการทดลองค่าแรงดันพังทลาย (Firing Voltage) และช่วงเวลาการจตุระเปิด (Spark Burn Time Period) ของหัวเทียนนิกเกิ้ล ที่ air gap = 0.9 mm

	T _{on} (ms)	T _{delay} (sec)	V _{break} (v)	T _{spark} (sec)
0.9 mm	0.5	4.30E-05	1.21E+04	5.02E-04
	1.0	3.45E-05	1.08E+04	9.27E-04
	1.5	3.14E-05	1.06E+04	1.19E-03
	2.0	2.98E-05	8.70E+03	1.35E-03
	2.5	2.83E-05	8.50E+03	1.51E-03
	3.0	2.60E-05	8.10E+03	1.54E-03
	3.5	2.26E-05	7.70E+03	1.58E-03
	4.0	2.09E-05	7.20E+03	1.58E-03
	4.5	2.10E-05	7.40E+03	1.59E-03
	5.0	2.11E-05	7.40E+03	1.58E-03
	5.5	2.08E-05	7.60E+03	1.59E-03
	6.0	2.10E-05	7.50E+03	1.57E-03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในห้องปฏิบัติการเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเอกสารไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 ผลการทดลองค่าแรงดันพังทลาย (Firing Voltage) และช่วงเวลาการจุดระเบิด (Spark Burn Time Period) ของหัวเทียนนิกเกิล ที่ air gap = 0.7 mm

0.7 mm	T_{on} (ms)	T_{delay} (sec)	V_{break} (v)	T_{spark} (sec)
	0.5	4.04E-05	9.00E+03	5.49E-04
1.0	3.39E-05	8.60E+03	9.63E-04	
1.5	3.12E-05	8.00E+03	1.22E-03	
2.0	2.92E-05	7.60E+03	1.41E-03	
2.5	2.79E-05	7.10E+03	1.55E-03	
3.0	2.61E-05	6.90E+03	1.62E-03	
3.5	2.15E-05	6.30E+03	1.64E-03	
4.0	2.05E-05	6.10E+03	1.65E-03	
4.5	2.07E-05	6.50E+03	1.66E-03	
5.0	2.06E-05	6.30E+03	1.61E-03	
5.5	2.05E-05	6.30E+03	1.66E-03	
6.0	2.07E-05	6.10E+03	1.59E-03	

3.3.2 ผลการวัดสัญญาณแรงดันคอยล์จุดระเบิดด้านทุติยภูมิเมื่อโหลดภาระคือหัวเทียนอิริเดียม

ตารางที่ 3.7 ผลการทดลองค่าแรงดันพังทลาย (Firing Voltage) และช่วงเวลาการจุดระเบิด (Spark duration Time) ของหัวเทียนอิริเดียม ที่ air gap = 1.1 mm

1.1 mm	T_{on} (ms)	T_{delay} (sec)	V_{break} (v)	T_{spark} (sec)
	0.5	4.82E-05	1.37E+04	4.79E-04
1.0	3.71E-05	1.27E+04	9.05E-04	
1.5	3.27E-05	1.13E+04	1.16E-03	
2.0	3.04E-05	1.11E+04	1.35E-03	
2.5	2.85E-05	1.07E+04	1.48E-03	
3.0	2.65E-05	1.03E+04	1.53E-03	
3.5	2.25E-05	1.01E+04	1.52E-03	
4.0	2.09E-05	9.30E+03	1.54E-03	
4.5	2.09E-05	9.70E+03	1.54E-03	
5.0	2.02E-05	9.10E+03	1.53E-03	
5.5	2.10E-05	9.50E+03	1.55E-03	
6.0	2.05E-05	9.90E+03	1.53E-03	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ท่านไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.8 ผลการทดลองค่าแรงดันพังทลาย (Firing Voltage) และช่วงเวลาการจุดระเบิด (Spark duration Time) ของหัวเทียนอิริเดียม ที่ air gap = 0.9 mm

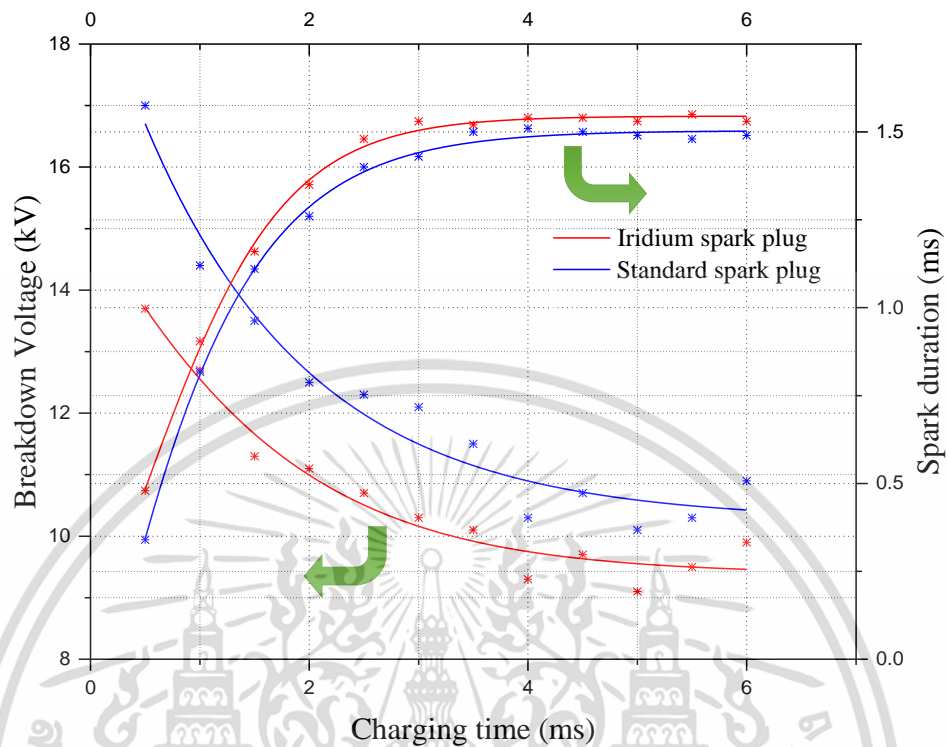
	T_{on} (ms)	T_{delay} (sec)	V_{break} (v)	T_{spark} (sec)
0.9 mm	0.5	4.17E-05	1.09E+04	5.27E-04
	1.0	3.39E-05	1.00E+04	9.41E-04
	1.5	3.20E-05	8.70E+03	1.20E-03
	2.0	2.92E-05	8.10E+03	1.38E-03
	2.5	2.80E-05	7.70E+03	1.52E-03
	3.0	2.54E-05	7.40E+03	1.58E-03
	3.5	2.20E-05	7.00E+03	1.61E-03
	4.0	2.04E-05	6.80E+03	1.61E-03
	4.5	2.04E-05	6.80E+03	1.65E-03
	5.0	2.04E-05	6.80E+03	1.63E-03
	5.5	2.05E-05	6.70E+03	1.62E-03
	6.0	2.00E-05	6.80E+03	1.67E-03

ตารางที่ 3.9 ผลการทดลองค่าแรงดันพังทลาย (Firing Voltage) และช่วงเวลาการจุดระเบิด (Spark duration Time) ของหัวเทียนอิริเดียม ที่ air gap = 0.7 mm

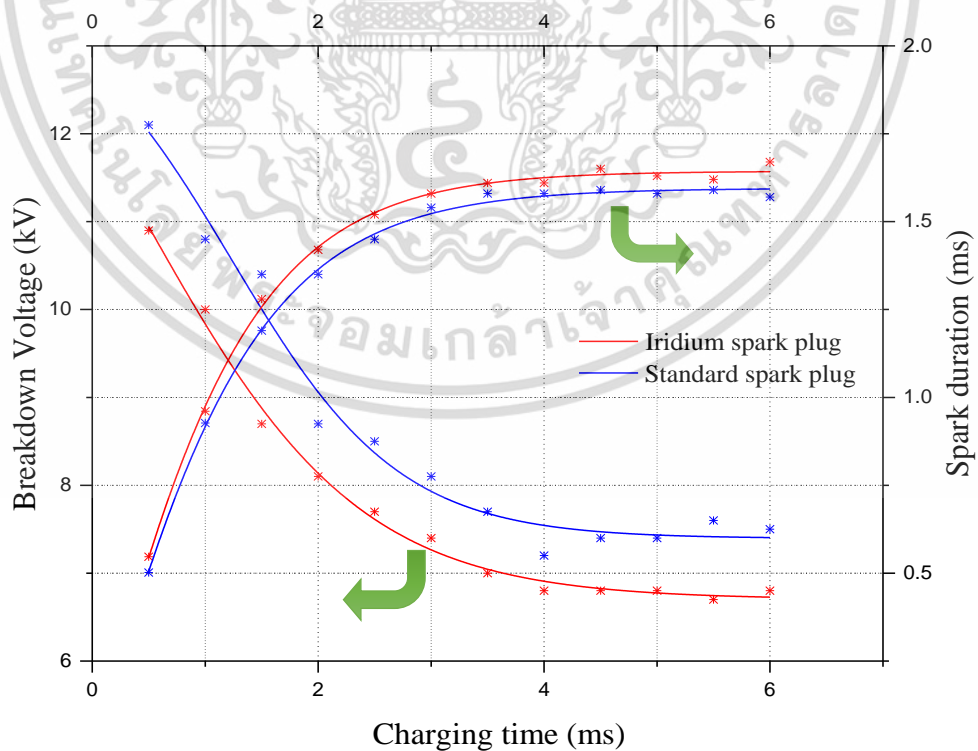
	T_{on} (ms)	T_{delay} (sec)	V_{break} (v)	T_{spark} (sec)
0.7 mm	0.5	4.00E-05	8.40E+03	5.61E-04
	1.0	3.33E-05	7.80E+03	9.74E-04
	1.5	3.10E-05	7.40E+03	1.27E-03
	2.0	2.90E-05	6.70E+03	1.45E-03
	2.5	2.76E-05	6.10E+03	1.56E-03
	3.0	2.58E-05	5.90E+03	1.64E-03
	3.5	2.15E-05	5.30E+03	1.65E-03
	4.0	2.01E-05	5.30E+03	1.71E-03
	4.5	2.00E-05	5.70E+03	1.69E-03
	5.0	2.02E-05	5.10E+03	1.67E-03
	5.5	2.03E-05	5.50E+03	1.63E-03
	6.0	2.01E-05	5.50E+03	1.70E-03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างหัวเทียนอิริเดียมและหัวเทียนนิเกิล

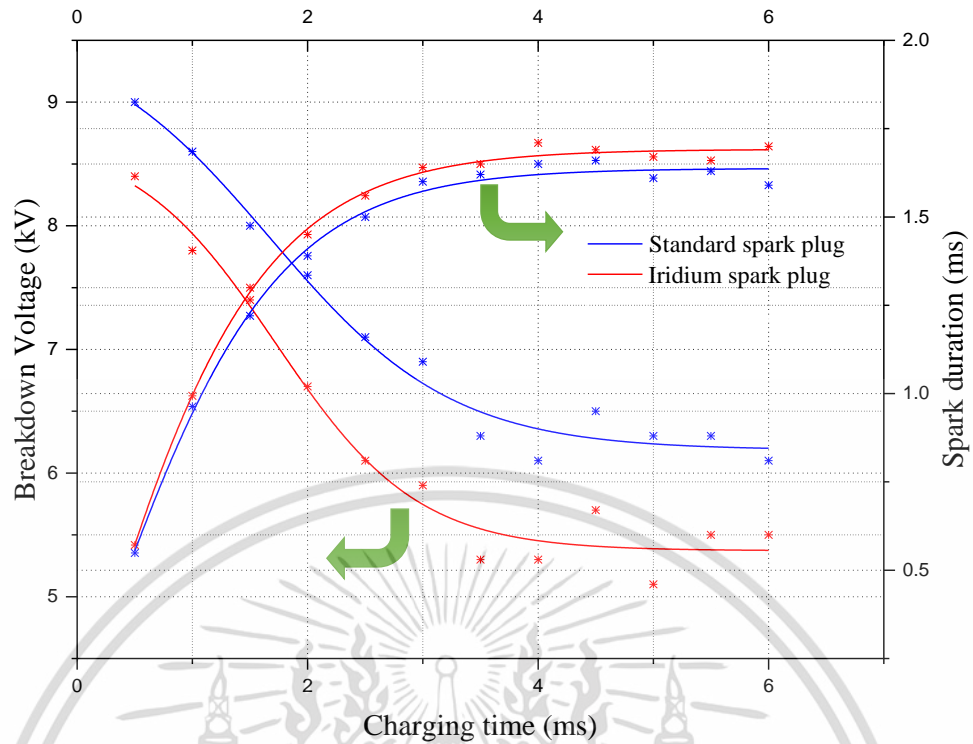


รูปที่ 3.17 แสดงกราฟค่าแรงดันพังทลาย (Firing Voltage) และช่วงเวลาการจุดระเบิด (Spark duration Time) ในช่วงเวลาในการสะสมพลังงาน (charging time) ต่างๆ ที่ spark gap 1.1 mm.

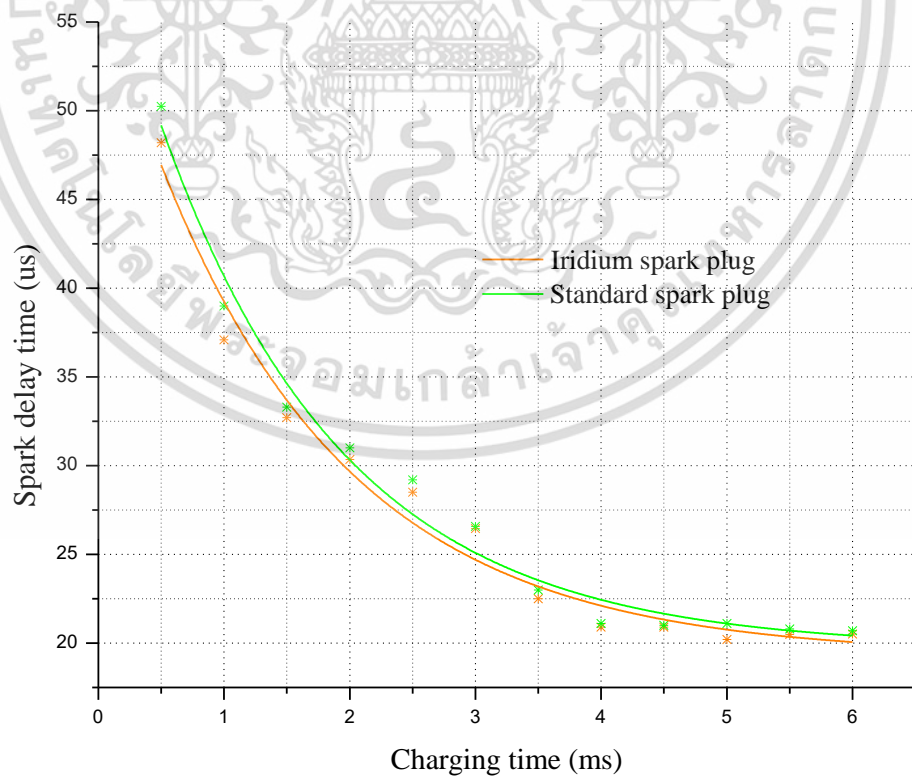


รูปที่ 3.18 แสดงกราฟค่าแรงดันพังทลาย (Firing Voltage) และช่วงเวลาการจุดระเบิด (Spark duration Time) ในช่วงเวลาในการสะสมพลังงาน (charging time) ต่างๆ ที่ spark gap 0.9 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นเข้าเป็นประโยชน์ในการนำค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 แสดงกราฟค่าแรงดันพังทลาย (Firing Voltage) และช่วงเวลาการจุดระเบิด (Spark duration Time) ในช่วงเวลาในการสะสมพลังงาน (charging time) ต่างๆ ที่ spark gap 0.7 mm.



รูปที่ 3.20 แสดงกราฟความล่าช้าการเกิดประกาย (Spark delay time) ในช่วงเวลาในการสะสมพลังงาน (charging time) ต่างๆ ที่ spark gap 1.1 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะทางวิชาการเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

บทสรุป

บทนี้เป็นการสรุปผลการทดสอบทางไฟฟ้าของหัวเทียนอิริเดียมและหัวนิกเกิลที่ผลต่อระบบจุดระเบิด รวมทั้งแนวทางการแก้ไขที่ความเหมาะสมกับการทำงานของระบบ

การทดลองที่ 3.2.1 ค่า Minimum Dwell Time ในการสะสมพลังงานของคอยล์จุดระเบิด เพื่อเริ่มจุดประกายของหัวเทียนทั้งสองชนิดพบว่า หัวเทียนอิริเดียมจะเริ่มเกิดประกายไฟในช่วง dwell time เท่ากับ 0.3 ms และ 0.45 ms ที่ระยะ gap 0.9 mm, 1.1 mm ตามลำดับ สำหรับหัวนิกเกิลจะเริ่มเกิดประกายไฟในช่วง dwell time เท่ากับ 0.4 ms และ 0.5 ms ที่ระยะ gap 0.9 mm, 1.1 mm ตามลำดับ จากผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าหัวนิกเกิลต้องใช้เวลาเพื่อสะสมพลังงานมากกว่าหัวเทียนอิริเดียมในการเริ่มจุดประกายไฟ

การทดลองที่ 3.2.2 จากการพิจารณาค่า Dwell Time ของสัญญาณจุดระเบิด พบว่าเมื่อโหลดของระบบเป็นหัวเทียนอิริเดียมจะให้ประกายไฟยาวนานกว่าเมื่อเทียบกับหัวเทียนนิกเกิล แต่จากการคำนวณเมื่อลด dwell time ลงประมาณ 0.1 ms จะทำให้การตอบสนองของหัวเทียนอิริเดียมมีช่วงประกายไฟเท่ากับหัวนิกเกิล ดังนั้นจึงต้องปรับลด dwell time ลงประมาณ 2.8 % ของสัญญาณเดิม ถ้าในระบบมีการแทนที่หัวเทียนนิกเกิลด้วยหัวเทียนอิริเดียม

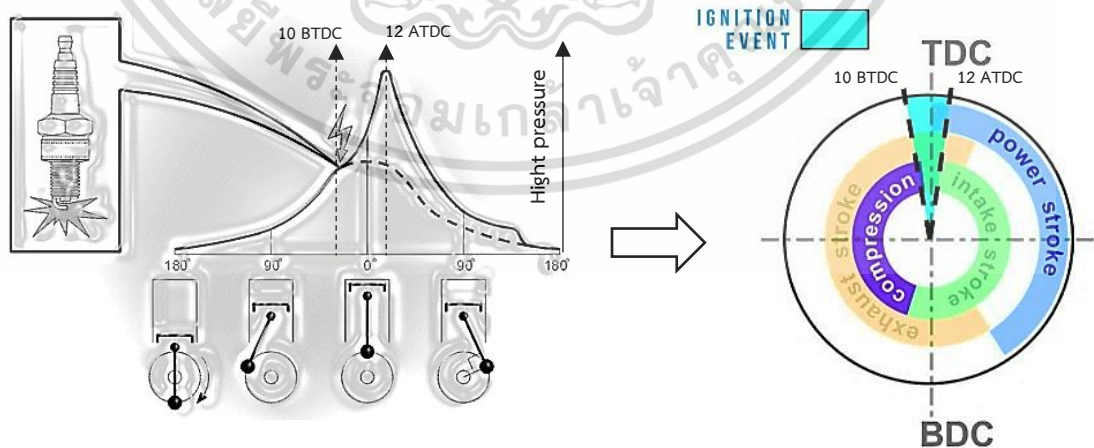
การทดลองที่ 3.3 และ 3.4 จากการทดลองใน 2 หัวข้อ ก่อนหน้านี้บ่งชี้ว่า หัวเทียนอิริเดียมมีความสามารถในการจุดประกายไฟได้ง่ายกว่าหัวเทียนนิกเกิลพร้อมทั้งให้ช่วงประกายไฟที่ยาวนานกว่า จึงเป็นเหตุให้ในการทดลองนี้ศึกษาแนวโน้มค่าต่างๆ ของหัวเทียน ที่ประกอบไปด้วย แรงดันจุดระเบิด(Firing voltage), ช่วงประกายไฟ(Spark duration time), การจุดเปิดช้า(Spark delay time) จากผลการทดสอบที่ dwell time ค่าต่างๆ พบว่าค่าแรงดันจุดระเบิดและการจุดระเบิดช้าของหัวเทียนมีแนวโน้มลดลง ในทางกลับกันช่วงระยะเวลาการเกิดประกายจะเพิ่มขึ้น เมื่อ dwell time มีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ จากข้อมูลที่กล่าวมาทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นว่า dwell time เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลโดยตรง ถึงอย่างไรก็ตามข้อมูลเหล่านี้จะเริ่มคงที่เมื่อ dwell time ถูกกำหนดไว้ เท่ากับ 4 ms ซึ่งเป็นผลมาจากค่า Time Constant(5τ) ในคอยล์จุดระเบิด

สำหรับอีกหนึ่งปัจจัยที่เป็นตัวแปรสำคัญสำหรับการทดลองนี้ นั่นก็คือหัวเทียน เมื่อนำผลลัพธ์ดังกล่าวจากการใช้หัวเทียนอิริเดียมและหัวเทียนนิกเกิลเป็นโหลดของระบบมาเปรียบเทียบกัน พบว่า ค่าแรงดันจุดระเบิดและการจุดระเบิดช้าของหัวเทียนอิริเดียมมีแนวโน้มน้อยกว่าหัวเทียนนิกเกิล อีกทั้งยังมีระยะเวลาประกายไฟที่ยาวนานกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองใน 2 หัวข้อก่อนหน้านี้ จากแนวคิดในการทดลองที่ 3.2 law of conservation of energy พลังงานที่ป้อนเข้าไปในระบบใดระบบหนึ่ง จะเท่ากับพลังงานที่ส่งออกมา ดังนั้น โหมดเดลของระบบจุดระเบิด $P_{\text{primary side}} = P_{\text{secondary side}}$ หากมองว่าหัวเทียนเป็นความต้านทานเชิงซ้อนของโหลดหรือทาง secondary side (Z_L) จะได้ว่า $I_s = V_s / Z_L$ ถ้าการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นทาง Z_L ในระบบ จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลง I_s และ V_s จึงอาจกล่าวได้ Z_L ของระบบจุดระเบิดที่ใช้หัวเทียนอิริเดียมเป็นโหลดมีค่าน้อยกว่าหัวเทียนนิกเกิล ซึ่งสาเหตุมาจากในปัจจุบันหัวเทียนถูกพัฒนาให้ปลายหัวเทียนมีขนาดเล็กลงทำให้ค่าสนามไฟฟ้าที่ปลายหัวเทียนมีค่าสูงขึ้นดังสมการที่ 2.2 หากกำหนดให้ $A_2 < A_1$ จะได้ $E_2 > E_1$ เป็นผลให้

$V_2 < V_1$ เพราะค่าแรงดันเบรกดาว์นจะขึ้นกับค่าสนามไฟฟ้าสูงสุด ถ้ากำหนดให้ E_1, A_1 แทนหัวเทียนนิเกิล และ E_2, A_2 แทนหัวเทียนอิริเดียม พบว่าถ้า $E_1 = E_2$ จะแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ

$$E_1 = \frac{i(t)\Delta t_1}{\epsilon_0 A_1} = \frac{i(t)\Delta t_2}{\epsilon_0 A_2}, \quad A_1 > A_2$$

ตามสมการจะได้ $\Delta t_2 < \Delta t_1$ แสดงให้เห็นว่าค่าสนามไฟฟ้า(E_2) ของหัวเทียนอิริเดียม ถูกสร้างขึ้นได้เร็วกว่า (E_1) ของหัวเทียนนิเกิล ดังนั้นจึงต้องมีการปรับจูนระบบจุดระเบิดเมื่อใช้โพลดเป็นหัวเทียนอิริเดียมเพื่อให้เครื่องยนต์ทำงานตามปกติ ตามหลังการของเครื่องยนต์จะต้องจุดระเบิดในตำแหน่ง BTDC และต้องเผาไหม้ส่วนผสมเชื้อเพลิง/อากาศ จนเกิดแรงดันสูงสุดภายในกระบอกสูบที่ตำแหน่ง ATDC ดังนั้นแนวทางการแก้ปัญหาสามารถทำได้โดยการปรับ dwell time ลง จะส่งผลให้ delay time สูงขึ้นและ spark duration time ถูกทำให้ลดลงตามสัดส่วน ดังนั้นองศาการจุดระเบิดล่วงหน้า (spark advance angle) จะเร็ว สำหรับวิทยานิพนธ์จะใช้ตำแหน่งการจุดประกายของหัวเทียนที่ 10° BTDC และ 12° ATDC เป็นค่ามาตรฐานในระบบจุดระเบิดมาตรฐาน การสรุปผลการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของหัวเทียนนิเกิลกับหัวเทียนอิริเดียมจะพิจารณาจาก dwell time ที่ให้พลังงานในการจุดระเบิดมากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 4 ms ในคอยล์จุดระเบิด TOYOTA 90919-02240 ตามตารางที่ 4.1 ภายในตารางที่ 4.1 จะใช้ค่า spark delay time ในการเทียบสัดส่วน dwell time ที่เหมาะสมกับหัวเทียนอิริเดียมโดยกำหนดให้ข้อมูลของหัวอิริเดียมเป็นข้อมูลมาตรฐานถูกแสดงในตารางที่ 4.2 และทำการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูล จะได้ dwell time ประมาณ 3.89 ms ดังนั้นเมื่อมีใช้หัวเทียนอิริเดียมแทนหัวเทียนมาตรฐานหรือหัวเทียนนิเกิลในระบบจุดระเบิดเดิมจะมีการต้องปรับ dwell time ลดลงประมาณ 0.11 ms หรือ 2.75% ของสัญญาณควบคุมเดิม จึงทำให้มีการจุดประกายของหัวเทียนเร็วขึ้นที่ 12.2° BTDC จากการวิเคราะห์นี้จะทำให้ค่าแรงดันสูงสุดภายในเครื่องยนต์เกิดขึ้นที่ตำแหน่ง ATDC เดียวกันกับการใช้หัวเทียนนิเกิลเป็นโพลดของระบบจุดระเบิด



4.1 ภาพจำลองตำแหน่งการจุดระเบิดของเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบข้อมูลทางไฟฟ้าของหัวเทียนอิริเดียมและหัวเทียนมาตรฐานที่ค่าเวลาสูงสุดในการสะสมพลังงานของคอยล์จุดระเบิด (Dwell time = 4 ms)

Nickle Spark Plug (fully charging time)			
Gap	T _{delay} (us)	V _{break} (kV)	T _{spark} (ms)
0.7	20.60	6.26	1.634
0.9	20.96	7.42	1.582
1.1	21.28	10.46	1.494
Iridium Spark Plug (fully charging time)			
Gap	T _{delay} (us)	V _{break} (kV)	T _{spark} (ms)
0.7	20.14	5.42	1.680
0.9	20.34	6.78	1.636
1.1	20.70	9.50	1.538

ตารางที่ 4.2 ค่า dwell time สำหรับหัวเทียนอิริเดียม

Gap	Dwell time(ms)
0.7	3.90
0.9	3.88
1.1	3.89
average	3.89

ในทางผลลัพธ์การลดลงของ dwell time จะส่งผลให้มีการจ่ายกระแสไปยังคอยล์ลดลงตามไปด้วยซึ่งจะส่งผลดีทำให้คอยล์จุดระเบิดมีค่า resistive losses หรือ Ohmic heating ลดลง ตามฟังก์ชันกำลังสอง (I^2R) เพราะค่าการสูญเสีย resistive losses จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสมากกว่าความต้านทาน ถ้าหากมีค่าการกระจายความร้อน อุณหภูมิจะส่งผลให้คอยล์มีความต้านทานสูงขึ้น 0.393 % ต่อ °C เพราะฉะนั้นจึงกล่าวได้ว่าคอยล์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อหัวเทียนอิริเดียมจะมีขนาดที่เล็กลงโดยการลดจํารอบของขดลวด จะทำให้กระแสที่ไหลผ่านถึงค่าสูงสุดได้เร็วซึ่งเป็นผลมาจากการอิมพัลส์ทางสนามแม่เหล็กเร็วขึ้น จึงทำให้รถยนต์สามารถวิ่งด้วยรอบเครื่องยนต์ที่สูงขึ้น และที่ dwell time = 3.89 ms รอบสูงสุดของเครื่องยนต์จะเท่ากับ 6,396 rpm จากเดิมเท่ากับ 6,250 rpm (dwell time = 4 ms) เป็นผลจากการที่ใช้กระแสภายในคอยล์ลดลงจากค่ากระแสสูงสุดที่ dwell time = 4 ms

*****ข้อเสนอแนะ จากแนวทางการแก้ปัญหาที่ได้กล่าวไว้จะได้ผลลัพธ์ที่ดีเมื่อคอยล์จุดระเบิด

สามารถเข้าสู่จุดอิมพัลส์ได้เร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Heywood, J. (n.d.). Internal combustion engine fundamentals.
- [2] Rahaman, H. 2007. Investigation of a High-Power, High-Pressure spark gap switch with high repetition rate.
- [3] Chih-Lung Shen, Jye-chau Su, Tsair-Chun Liang. 2013. A Novel Dual-Electrode Plug to Achieve Intensive Electric Field for High Performance Ignition. Mathematical Problems in Engineering, 2013, pp.1-7.
- [4] Quandi WANG, Yali ZHENG, Jihui YU, Jin JIA. 2012. Circuit model and parasitic parameter extraction of the spark plug in the ignition system. Turk J Elec Eng & Comp Sci. Vol.20, No.5, 2012
- [5] Rozowicz, S. 2018. Use of the mathematical model of the ignition system to analyze the spark discharge, including the destruction of spark plug electrodes. Open Physics, 16(1), pp.57-62.
- [6] ROZOWICZ, S. 2018. The effect of different ignition cables on spark plug durability. PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY, 1(4), pp.193-197.
- [7] Sforza, L., Lucchini, T., Onorati, A., Zhu, X. and Lee, S. 2017. Modeling Ignition and Premixed Combustion Including Flame Stretch Effects. SAE Technical Paper Series.
- [8] Xie, W. 2014. Differential equations for engineers. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- [9] DULAU MIRCEA, SOAITA DUMITRU. 2007. The study of the ignition to the automotive spice simulation. Inter-Eng 2007, pp.1-3
- [10] Jia Jin, Wang Quan-di, Yu Ji-hui, Zheng Ya-li. 2010. Wideband Equivalent Circuit Model and Parameter Computation of Automotive Ignition Coil Based on Finite Element Analysis. ACES JOURNAL, VOL. 25, NO. 7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมสัญญาณควบคุมการจุดระเบิด

```
/*  
LiquidCrystal Library  
The circuit:  
* LCD RS pin to digital pin 12  
* LCD Enable pin to digital pin 11  
* LCD D4 pin to digital pin 10  
* LCD D5 pin to digital pin 9  
* LCD D6 pin to digital pin 8  
* LCD D7 pin to digital pin 7  
* LCD R/W pin to ground  
* LCD VSS pin to ground  
* LCD VCC pin to 5V  
* 10K resistor:  
* ends to +5V and ground  
* wiper to LCD VO pin (pin 3)  
http://www.arduino.cc/en/Tutorial/LiquidCrystal  
*/  
  
// include the library code:  
#include <LiquidCrystal.h>  
// initialize the library with the numbers of the interface pins  
LiquidCrystal lcd(12, 11, 10, 9, 8, 7);  
  
#include <Keypad.h>  
char customKey;  
const byte ROWS = 4; //four rows  
const byte COLS = 4; //four columns  
//define the cymbols on the buttons of the keypads  
char hexaKeys[ROWS][COLS] = {  
  {'1','2','3','0'},  
  {'4','5','6','0'},  
  {'7','8','9','0'},  
  {'0','0','0','#'}  
};  
byte rowPins[ROWS] = {A0, A1, A2, A3}; //connect to the row pinouts of the keypad  
byte colPins[COLS] = {6, 5, 4, 3}; //connect to the column pinouts of the keypad
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//initialize an instance of class NewKeypad
Keypad customKeypad = Keypad( makeKeymap(hexaKeys), rowPins, colPins, ROWS,
COLS);
```

```
const byte interruptPin = 2;
const int pulse = 13;
const int pulse2 = A4;
unsigned int sensorValue;
unsigned int count;
unsigned long pulseDelay;
unsigned long msPulseDelay;
unsigned long usPulseDelay;
volatile byte state = LOW;

unsigned long pulseTon, pulseNumber;
```

```
void lcdClear()
{
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("      ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("      ");
}

unsigned long keyCheck()
{
  char enterKey = LOW;
  unsigned long keyBuff = 0;
  unsigned int count = 0;
  while(enterKey == LOW)
  {
    customKey = customKeypad.getKey();
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(String(keyBuff));

    if(customKey == '#')
    {
      enterKey = HIGH;
    }
  }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else if(customKey != '#' and customKey != '*' and customKey != 0 and count < 7)
{
    keyBuff *= 10;
    keyBuff += (((unsigned int)customKey)-48);
    count++;
}
}
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("      ");
return keyBuff;
}

```

```

void setup() {
    Serial.begin(250000);
    pinMode(pulse, OUTPUT);
    pinMode(pulse2, OUTPUT);
    pinMode(interruptPin, INPUT_PULLUP);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(interruptPin), exlrg, FALLING);

    // set up the LCD's number of columns and rows:
    lcd.begin(16, 2);

    lcd.print("Number of Pulse");
    pulseNumber = keyCheck();

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Pulse Ton");
    lcd.setCursor(14, 1);
    lcd.print("us");
    pulseTon = keyCheck();

    lcdClear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(String(pulseNumber) + " Pulse");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Ton " + String(pulseTon) + " us");

```

```
//Serial.println(pulseNumber);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//Serial.println(pulseTon);

msPulseDelay = pulseTon/1000;
usPulseDelay = pulseTon%1000;

Serial.print(String(pulseNumber));
Serial.println(" Pulse");
Serial.print("Ton ");
Serial.print(String(pulseTon));
Serial.println(" us");
}

void exlrq()
{
state = HIGH;
}

void loop() {
if(state == HIGH)
for(int i=0; i<pulseNumber; i++)
{
digitalWrite(pulse, 1);
digitalWrite(pulse2, 1);
delay(msPulseDelay);
delayMicroseconds(usPulseDelay);
digitalWrite(pulse, 0);
digitalWrite(pulse2, 0);
delay(msPulseDelay);
delayMicroseconds(usPulseDelay);
state = LOW;
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



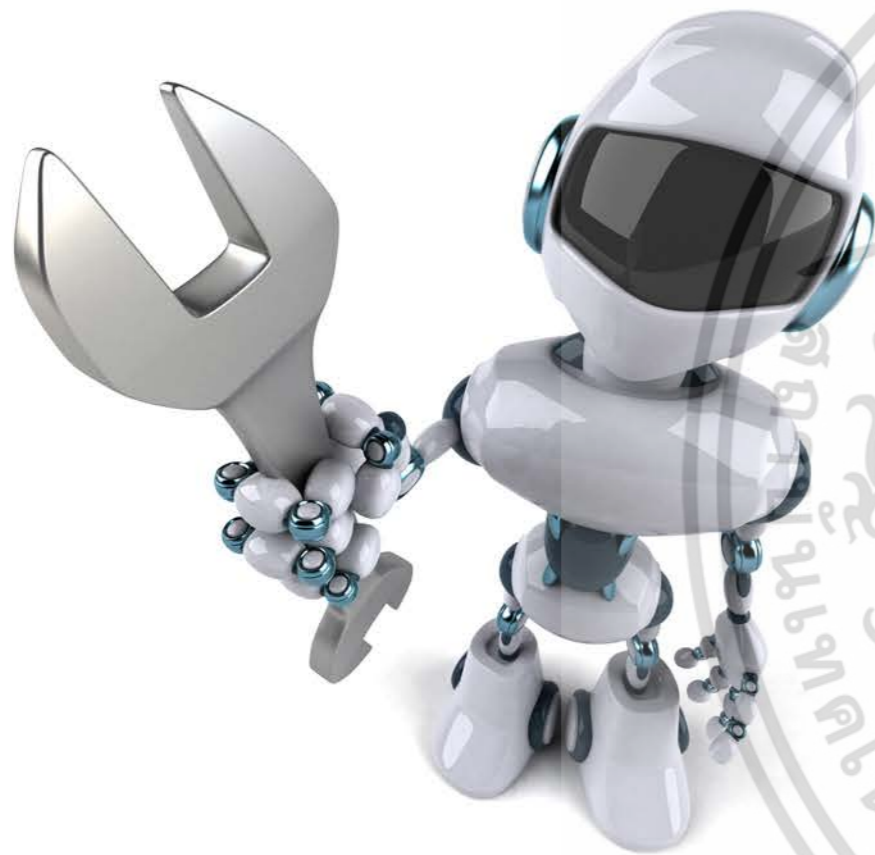
ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICCRE 2018

2018 3rd
International Conference
on Control
and Robotics Engineering

Nagoya, Japan
April 20-23, 2018



2018 3rd International Conference on Control and Robotics Engineering

ISBN: 978-1-5386-6663-0
IEEE Catalog Number: CFP18JAA-ART



ISBN: 978-1-5386-6663-0
IEEE Catalog Number: CFP18JAA-ART



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา หรือต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2018 3rd International Conference on Control and Robotics Engineering (ICCRE 2018)

Table of Contents

<i>Preface</i>	vii
<i>Committees</i>	viii
 Robot Design and Development	
Playing Chess with the Assistance of an Industrial Robot	1
<i>Duško Lukač</i>	
Development of Mobile Robot with Vision Inspection System and Three-axis Robot	6
<i>Jeng-Dao Lee, Yu-Hsiang Wu, Ying-Jie Zhao, Li-Yin Chen, Han-I Chen</i>	
Expressive States with a Robot Arm using Adaptive Fuzzy and Robust Predictive Controllers	11
<i>Liz Rincon, Enrique Coronado, Hansen Hendra, Julyando Phan, Zur Zainalkefli, Gentiane Venture</i>	
Multiple Moving Object Capturing in Autonomous Robot-Camera	16
<i>Davood Pour Yousefian Barfeh, Hooman Esmailian, Mohammad Reza Mirzaee, Vladimir Mariano</i>	
Machine Learning Comparison for Step Decision Making of a Bipedal Robot	21
<i>Christos Kouppas, Qinggang Meng, Mark King, Dennis Majoe</i>	
A Self-reliance Assistive Tool for Disable People	26
<i>Ya-Ting Lee, Chian-Song Chiu, Li-Hu Jhang, Carlo Santiago</i>	
Inverse Dynamics of Different Upright Postures for the developed Bio-Inspired Reconfigurable Robot	31
<i>Aaditya Chandramouli, P.V. Manivannan</i>	
Model-based Process Planning for Milling Operations Using Industrial Robots	37
<i>Lars Lienenlücke, Lukas Gründel, Simon Storms, Christian Brecher</i>	
Obstacle Avoidance Method Based on the Movement Trend of Dynamic Obstacles	45
<i>Yutian Liu, Danjiang Chen, Shaozhong Zhang</i>	
Design and Prototype of Monolithic Compliant Grippers for Adaptive Grasping	51
<i>Chih-Hsing Liu, and Chen-Hua Chiu</i>	
 Control Theory and Control Engineering	
Statistical Performance Analysis of Hypersonic Vehicle Attitude Control System	56
<i>Jiang Ruimin, Guo Jianguo</i>	
Finite-time Sliding Mode Based Terminal Area Guidance with Multiple Constraints	60
<i>Min Zhou, Jun Zhou, Zongyi Guo</i>	
Trajectory Multiobjective Optimization of Hypersonic Morphing Aircraft Based on Variable Sweep Wing	65
<i>Wuyu Peng, Zhiwei Feng, Tao Yang, Bin Zhang</i>	
The Electrical Effects of Iridium and Standard Spark Plug for Simple Spark Ignition Engine	70
<i>Natthapol Chimpai, Jirawath Parnklang</i>	

Trajectory Tracking Control Strategy using Co-Reference for Rear-Steered Vehicle	74
<i>Anugrah K. Pamosoaji</i>	
NURBS Path Tracking Control of a Scanning Mirror System Based on EtherCAT Fieldbus.....	79
<i>Ruei-Yu Huang, Chung-Wei Cheng, An-Chen Lee</i>	
Research and Comparison of Automatic Control Algorithm for Unmanned Ship.....	85
<i>Bao Yao, Jie Yang, Qingnian Zhang, Zhiqiang Guo, Rong Hu</i>	
Applying Radar Chart for Process Control Behavior	90
<i>Sawai Pongswatd, Krit Smerpitak</i>	
Modeling and Co-Simulation of Actuator Control for Lower Limb Exoskeleton	94
<i>Norazam Aliman, Rizauddin Ramli, Sallehuddin Mohamed Haris</i>	
On a New Adaptive Multivariable Twisting Sliding Mode Control Approach and Its Application	99
<i>Zongyi Guo, Jinlong Zhao, Min Zhou, and Jun Zhou</i>	
Feedforward Hybrid Control Using Foundation Fieldbus: A Case Study of Temperature Control with Delta V System	104
<i>Pittaya Pannil, Sutee Jaroenla, Amphawan Julsereewong, Sart Kummool</i>	
Consensus of Second-order Multi-agent Systems with Time Delays.....	109
<i>Chunyang Chen, Zhiguo Wang, Liqiang Jin, Yanyan Yinb, Fei Liu</i>	
Switching Sliding Mode Control for Systems with Unknown Time-Varying Control Direction	114
<i>Jinlong Zhao, Zongyi Guo, and Jun Zhou</i>	
Discrete-Time PIDA Controller Designed by Tustin's Method with and without Frequency Pre-warping	119
<i>Prapart Ukakimarn, Mathee Khwunthong, Thanit Trisuwannawat, Pittaya Pannil</i>	
Min-Max Merged with Quadratic Cost for Repetitive Control of Minimum Phase Systems	125
<i>Pitcha Prasitmeeboon</i>	
Modern Electronic Information Technology and Application	
Research on Image Detection and Matching Based on SIFT Features.....	130
<i>Feng Guo, Jie Yang, Yilei Chen, Bao Yao</i>	
Modeling and Implementation of High-Gain Coupled-Inductor Switched-Capacitor Step-Up DC-DC Converter	135
<i>Yuen-Haw Chang, Jia-Syun Lin</i>	
Two-Input Two-Output Current-Mode Universal Biquad Using Only VDTAs and Grounded Capacitors.....	139
<i>Pitchayanin Moonmuang, Praty Mongkolwai, Worapong Tangsrirat</i>	
Linearly Tunable CMOS VDBA Design.....	143
<i>Natchanai Roongmuanpha, Tattaya Pukkalanun, Worapong Tangsrirat</i>	
Concept Development Stage of Hyper Sensitivity Dynamic Airflow Sensor in Low Velocity Region	147
<i>Mohamad Dzulhelmy bin Amari, Sukarnur Che Abdullah, Muhammad Azmi Ayub</i>	
Performance Comparison of Bit-Level Median Filtering Circuits Based on Binary Search Algorithm	151
<i>Anan Wongjan, Amphawan Julsereewong, Kei Eguchi</i>	
Analog Median Filtering Circuit Using CMOS Three-Input Max/Min Cell.....	155
<i>Anan Wongjan, Amphawan Julsereewong, Tipparat Junsing</i>	
Hydropower Plant Generator System.....	160
<i>Sirichai Tammaruckwattana, Saravut Reangkittakarn, and Apinai Rerkratn</i>	
Reliability Modeling for Integrated BPCS and ESD System Case Study: A twophase gas-liquid separator process	165
<i>Teerawat Thepmanee</i>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research and Application of High Robust Automatic Mesh Deformation Technique	169
<i>Bin Zhang, Zhiwei Feng, Tao Yang, Jianquan Ge, Wuyu Peng</i>	
Multi-person Speech Interaction for Tele-science Experiments.....	173
<i>Taotao Fu, Ge Yu, Lili Guo, Ji Liang</i>	
Effect of Vertical Vibrations on Human Postural Balance.....	178
<i>Mahboubeh Keyvanara, Mohammad Jafar Sadigh</i>	
A Machine Vision Assisted Mechatronic Seed Meter for Precision Planting of Corn.....	183
<i>Adrian A. Borja, Rossana Marie C. Amongo, Delfin C. Suministrado and Jaderick P. Pabico</i>	
Resistorless Current-mode Universal Filter using Current Differencing Cascaded Transconductance Amplifiers	188
<i>Danupat Duangmalai, Winai Jaikla</i>	
Electronically Controllable First-order Multifuntion Filter with Using Single Active Building Block.....	192
<i>Kobkiat Chinpark, Winai Jaikla, Surapong Siripongdee, Peerawut Suwanjan</i>	
Research on Fault Current Limiter Based on Fast Switching Technology.....	196
<i>Huating Jiang, Lijun Qin</i>	
New Realization of Single CFCTA-Based Voltage-Mode Multifunction Filter.....	201
<i>Chaiyan Chanapromma, Winai Jaikla, Amornchai Chaichana</i>	
Wireless Communication and Data Transmission	
Design and Improvement of Wireless Crayfish Breeding System by Controlling Water Temperature and Monitoring pH via Cloud System Services	205
<i>Thongchai Photsathian, Thitiporn Suttikul, Worapong Tangsrirat</i>	
Integration of WirelessHART Devices Into Mitsubishi PLC For Plant Monitoring.....	209
<i>Apinai Rerkratn, Issara Laosuwan, Sirichai Tammaruckwattana, Jirawath Parnklang</i>	
LDPC-Coded OFDM-System with BPSK Modulation-Performance Comparison with Uncoded OFDM System	213
<i>Aneeqa Ramzan, Muhammad Omer Bin Saeed</i>	
LVDT Demodulator based on Amplitude Detector.....	218
<i>Wandee Petchmaneelumka, Pitsini Mano and Vanchai Riewruja</i>	
Retrieving a Driving Model Based on Clustered Intersection Data	222
<i>Kyle Sama, Yoichi Morales, Naoki Akai, Eijiro Takeuchi, Kazuya Takeda</i>	
Stochastic Stability and Performance Analysis for Markovian Jump Systems Interconnected Over an Undirected Graph.....	227
<i>Xiaojuan Xue, Huiling Xu, Li Xu</i>	
Image Processing	
Tuberculin Skin Test Checker Using Digital Image Processing	233
<i>John Marnel M. San Pedro, Davood Pour Yousefian Barfeh</i>	
Grey Wolf Algorithm with Borda Count for Feature Selection in Classification	238
<i>Duangjai Jitkongchuen and Pongsak Phaidang</i>	
Spatial Alignment Method Based on Cooperative Multi-sensors Target Detection	243
<i>Lu Xiaodong, Xie Yuting, Zhou Jun</i>	
Optimization of Object - Based Image Segmentation in Classifying Water Region	249
<i>Sarah Alma P. Bentir, Ariel Kelly D. Balan, Alejandro H. Ballado, Jose B. Lazaro</i>	

Leukocyte Segmentation and Counting Based on Microscopic Blood Images Using HSV Saturation Component with Blob Analysis	254
<i>Vonn Vincent Quiñones, Merl James Macawile, Alejandro Ballado, Jennifer Dela Cruz, Meo Vincent Caya</i>	
White Blood Cell Classification and Counting Using Convolutional Neural Network	259
<i>Merl James Macawile, Vonn Vincent Quiñones, Alejandro Ballado, Jennifer Dela Cruz, Meo Vincent Caya</i>	
Adaptive Nonsingular Guidance Law Against Maneuvering Targets	264
<i>Zhao Bin, Zhou Jun</i>	
Mechanical Design Manufacturing and Automation	
Novel Intelligent Module and Business Model for Smart Machinery	270
<i>Jeng-Dao Lee, Chia-Ying Hsieh, Han-I Chen, Shu-Lin Hsieh, Ying-Jie Zhao, I-Kai Liao</i>	
Modeling of Cantilever Type Piezoelectric Polymer Actuator	274
<i>Aparna, P. Navin Karanth, S. M. Kulkarni</i>	
Process Monitoring of Nonlinear Industrial Process on Quality Variables Based on Kernel MPLS	280
<i>Zelin Ren, Baoran Any, Shen Yin</i>	
Optimal Spring Layout and Specifications for Rotary Active Ankle Orthoses	285
<i>Ahmad Bagheri, Mohammad J. Sadigh</i>	
Temperature Automation and Optimization of the UPLB Bean Roaster for Soybean (Glycine Max L. Merr)	290
<i>Romeo G. Ancheta, Fernando O. Paras, Delfin C. Suministrado, Arthur L. Fajardo, Kevin F. Yaptenco</i>	
Single CFTA-Based Dual-Mode Biquadratic Filter	295
<i>Orapin Channumsin, Thongchai Photsathian, Worapong Tangsrirat</i>	
Author Index	299

The Electrical Effects of Iridium and Standard Spark Plug for Simple Spark Ignition Engine

Natthapol Chimpai^{1*},

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand

e-mail: natthapol.1993@gmail.com

Jirawath Parnklang²

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand

e-mail: kpjirawa@kmitl.ac.th

Abstract— The purpose of this work was to compare the electrical characteristic of iridium spark plug with the standard spark plug in order to accord with the conditions of general control signal operation of the standard spark plug ignition system. The required voltage and spark duration time are used for analysis. The data of this study were defining by charging time of ignition coil since 0.5 – 6.0 ms and spark gap at the 0.7, 0.9 and 1.1 mm respectively. That operated under the normal atmosphere. The experimental results indicated that the required voltage of iridium spark plug is lower than the standard spark plug from fully saturated charging time. When it is applied in the general system, the advance angle should be adjusted more advance about 4% and the lower voltage requirement of one lengthens the spark duration, that is not suitable for engine speed more than 24000 rpm.

Keywords— spark control signal, required voltage, spark duration.

I. INTRODUCTION

The spark ignition engine is known as a "gasoline engine". The one is capable of combustion both liquid fuels (gasoline, gasohol, ethanol) and gas fuels (LPG, CNG (NGV)), which requires the electric spark is produced by spark plug to ignite fuel/air mixture and transmit power to all drivelines. Therefore, the spark plug is an important device in SI engine. The operation of spark plugs directly affect to performance and fuel consumption rate of engine. Although, the electric vehicle is the next generation of the local transport of the world. In Thailand, there are a lot of agriculture plant for ethanol product that use as the fuel for SI Engine. Today, the E10 (Ethanol: Gasoline is 1:10) is the most popular fuel. And the next plan of Thailand is to increase the ratio of the ethanol in the fuel (now E85). This planning of ethanol fuel is to support Thai famer for their cost of living. That is, the near future fuel of Thailand is the E100 both hydrous and anhydrous ethanol.

The electric spark (spark discharge) caused by one electrode to another of the spark plug. that occurs when a sufficiently high electric potential difference until it reaches the breakdown voltage of spark gap. The resistance of gap is greatly reduced and the current flowing through the gap increase rapidly. The formed spark affects the completeness of fuel combustion, which results in performance and behavior of the engine as mentioned above. To achieve a complete combustion and larger spark, one needs to increase

the spark energy. This determines the spark current and the spark duration time at the spark plug electrodes. That can be achieved by making the electrode tip of the spark plug has a higher electric field intensity. For this reason, it requires increasing more voltage between the electrode tip (center electrode) and the core of the spark plug. The higher the voltage, the stronger the electric field. The spark jumps the gap easily; Moreover, there is also a longer spark duration time. When the spark at the electrode tip has formed for a longer period, it results the fuel/air mixture is burnt purely; on the other hand, this method increases the load on the ignition coil that performed to produce high electromotive force and spark plug wires. Alternatively, to design the electrode tip of the spark plug to be smaller in order to reduce the cross-section area, that affects the stronger the electric field at the tip of the electrode. Improves the efficiency of the electric spark as well. From all of these, it has become the evolution of the spark plug at the present.

The iridium spark plug is developed from standard spark plug. By reducing the tip of the electrode from 2.5 mm to 0.4 mm diameter that is coated with the iridium. It is capable of durable an erosion of high temperature from the atmosphere in the combustion chamber. With the electrode tip of the iridium spark plug that is smaller than the standard spark plug in Fig 1. When the high voltage is applied from the high-voltage circuit, the smaller the electrode causes the more electrical field strength is getting high. That lowers the required voltage to conduct the electric current between spark plug electrodes. The spark duration will be longer, due to the reduced amount of voltage requirement. As a result, combustion is good for all types of driving, the engine starts easily, and acceleration improves [1]. This is why the iridium spark plug provides more intense ignition power than the standard spark plug at the same charging time which defines the spark energy in the ignition coil, including a longer life as well.



Figure 1. Comparison of iridium spark plug and standard spark plug.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

However, the ignition system on the automobile has to work to combine with the parts of the engine in perfectly. The goal is not only the suitable spark duration time, but also need to ignite the fuel/air mixer at exactly the right time so that the expanding gases can do the maximum amount of work. If the ignition system fires at the wrong time, the power is reduced and fuel consumption. Hence, the types of spark plug must be right for the ignition system. Its performance influences the overall performance of engine.

II. THE PRINCIPLE OF HIGH-VOLTAGE GENERATION WITH THE IGNITION COIL

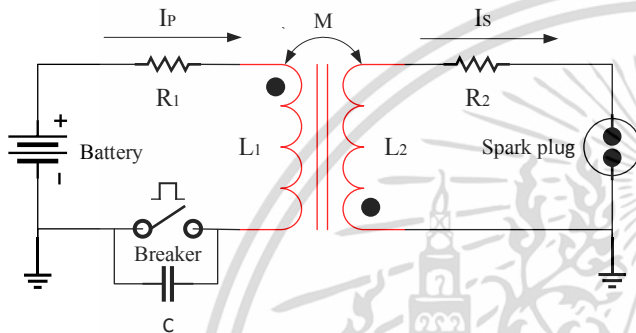


Figure 2. Circuit model of ignition system.

The ignition system is modeled by the circuit shown in figure 2. That consists of the voltage source (V_0) represents the battery, the ignition coil is modeled by the inductor (L_1 , L_2) and resistance of the inductors (R_1 , R_2) and the switch (electronic switch) is in parallel with the condenser which performs to absorb energy when the switch is opened.

The ignition coil work in accordance with the principle of a transformer. That uses the electromagnetic induction to produce the necessary spark energy which is available to the spark plug. When the switch is closed, the capacitor behaves as an open circuit. The current flows from the battery into the primary winding (L_1) of the ignition coil. The magnetic field is induced around the winding by the current flowing in the primary winding. The equation that describes the rate of current change while the circuit remains closed:

$$I_p = \frac{V_0 - V_{ce}}{R_1} (1 - e^{-(R_1/L_1)t}) \quad (1)$$

where I_p is primary current, V_0 is voltage source, V_{ce} is transistor saturation voltage, L_1 is primary winding, R_1 is resistance of primary winding and t is charging time.

During current supply to the primary winding, the energy is stored in its magnetic field, which depends upon the current flowing through the primary winding (primary circuit is closed, secondary circuit is open). The total magnetic energy is being stored in the inductor is given by

$$E_p = \frac{1}{2} L_p I_p^2 \quad (2)$$

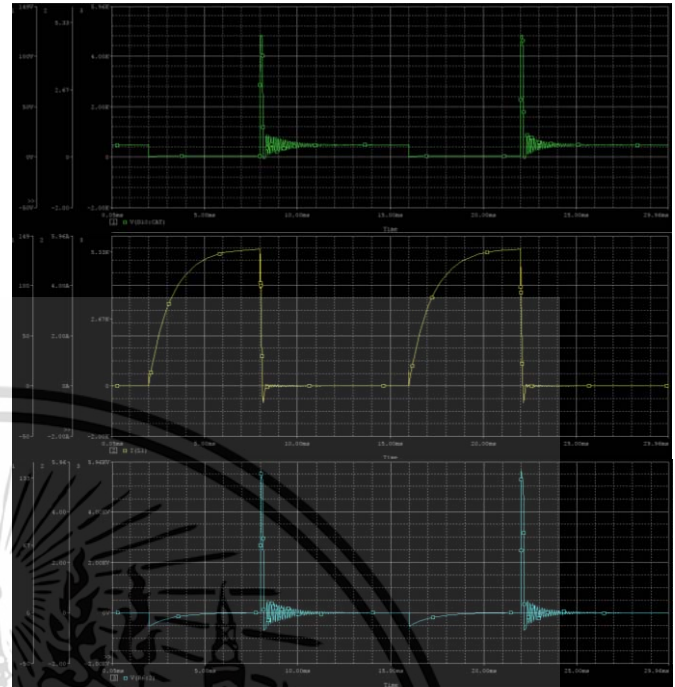


Figure 3. The current and voltages waveform of ignition coil simulation, that describes the relationship between primary voltage, primary current and secondary voltage respectively.

where E_p is energy stored in joules

When the switch is opened suddenly, the current flowing through the primary winding dropped to zero amperes and the magnetic field will collapse instantaneously. The energy in the magnetic field dies down and charges the condenser for a short time which is equal to (2). This absorbed energy is sent back from the condenser as a reversed current into the primary coil causing magnetic lines to appear in the opposite direction, thus setting up an electrical oscillation.

More clearly, the rapid collapse of the magnetic field causes a current in the primary winding to dissipate through the condenser and charges it when it is connected across the switch of the primary circuit. This current raises the voltage at the condenser momentarily to about 120 volts or more as a result of the rapid movement of the magnetic field, produces this high voltage within the primary windings and the current, being pushed by a high voltage. At which time, this high voltage stops the primary current. The condenser discharges through the primary winding, being driven backward by the high voltage at the condenser. After the charge in the condenser is depleted, the current in the ignition coil continues to drive the current in that direction to charge the condenser in opposite polarity. The cycle then reverses. The result is an electrical ringing which reduces rapidly with time and returns to a state of equilibrium. The initial 120 volts spike in the primary winding will drive an output in the secondary winding (L_2) up to several thousand of voltage that is proportional to the ratio of the primary to secondary turns and the speed with which the magnetic field falls across the secondary winding. The peak value of this available voltage (V_a) is the maximum voltage that can be generated by the

system. The maximum energy transferred to the secondary circuit is given by

$$E_{s, \max} = \frac{1}{2} C_s V_a^2 \quad (3)$$

where C_s is the total capacitance of the secondary circuit, V_a is available voltage. If all the energy stored in the primary winding is transferred to secondary winding ($E_s = E_p$). Hence, the available voltage of the system is given by [2]:

$$V_a = I_p \left(\frac{L_p}{C_s} \right)^{1/2} \quad (4)$$

As described earlier, the generating high voltage with the ignition coil is then the result of the stoppage of the primary current and its immediate reversal in direction, which induces a voltage in both the primary and secondary winding are shown in Fig 3. When the ignition coil is connected to a spark plug, the secondary current is pushed to the spark plug by a high voltage of up to one, likewise the current in the primary winding. The spark will occur if the output voltage is high enough for current to jump across the spark gap. The appeared spark duration will change according to the required voltage of spark plug. During this interval initiates fuel combustion under the SI engine operating conditions. The replacement of the iridium spark plug into the vehicle that the spark ignition system designed for the standard spark plug. It causes the more advance spark in the combustion chamber. The engine is knocking. So, the higher octane (E100(106RON)) is the suitable fuel to fill in the fuel tank.

III. EXPERIMENTAL AND RESULTS

This experiment was carried out by replica set of the ignition system in the automotive gasoline engine is shown in Fig 4. The ignition coil performed to generate a high voltage to spark plug with a 12-V_{DC} power supply that is a primary energy source. which was controlled by a pulse generator box under the charging time (T_{on}) of the ignition coil since 0.5 – 6.0 ms. The iridium spark plug and standard spark plug were used in the experiment to study electrical characteristic by measuring the firing voltage and spark duration of both via an oscilloscope. With using the high voltage probe to reduce the signal voltages before entering the test equipment. In the experimental, the spark gap of both spark plug was defined distance at the 0.7 mm, 0.9 mm and 1.1 mm respectively. The ignition waveform was measured as shown in Fig 5a. The results of these analyses showed that the spark duration time was increased when the charging time was more: on the contrary, the breakdown voltage was decreased. That showed the relationships of the graph in Fig 7, 8 and 9 respectively. Furthermore, this result revealed that each firing of both spark plug appeared the spark delay time as shown in Fig 5b. That changed according to the charging time in Fig. 10.

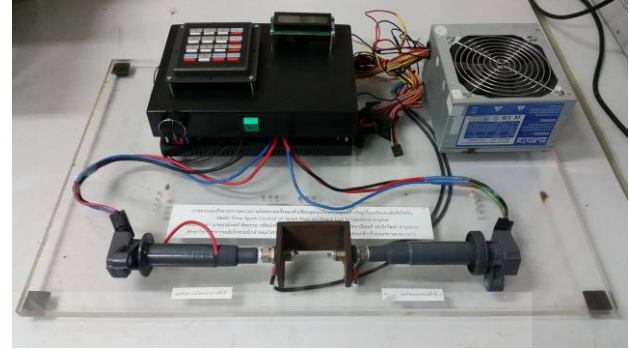


Figure 4. Replica set of ignition system

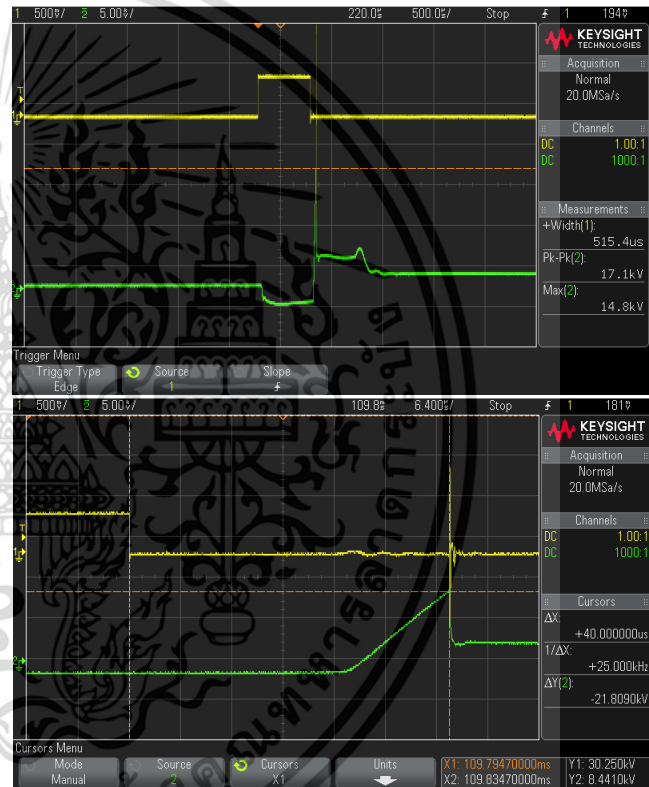


Figure 5. (a) the ignition waveforms and (b) the spark delay time under the charging time of 0.5 ms respectively.

From these results, the optimum spark requirements depend on the engine conditions. Since conditions in the combustion chamber are always changing based on rpm, air density, mixture etc. The spark should normally end at 10 to 20 degrees ATDC, which can calculate the optimum spark timing from the overall burning angle. At the cruise conditions, the engines lose performance if the spark is too long. Similarly, the effect of spark delay time causes the incorrect spark advance angle with the engine conditions. As the result, the engine is not driven by peak cylinder pressure. Hence, the control signal should be set up for the corresponding with the location of spark.

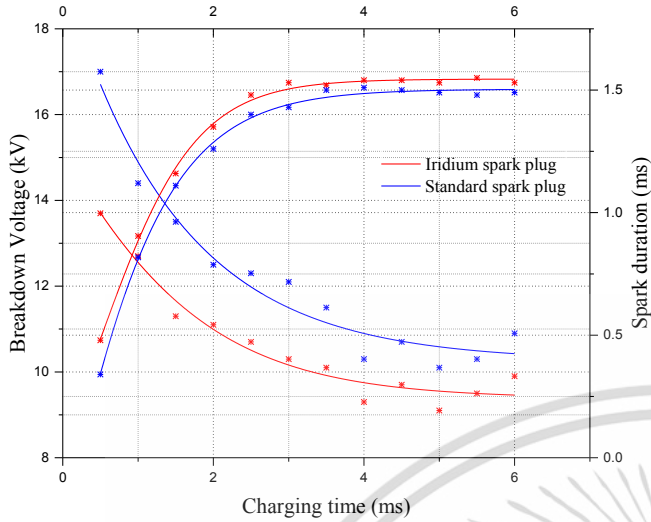


Figure 6. The breakdown voltage and spark duration time vs charging time (spark gap 1.1 mm).

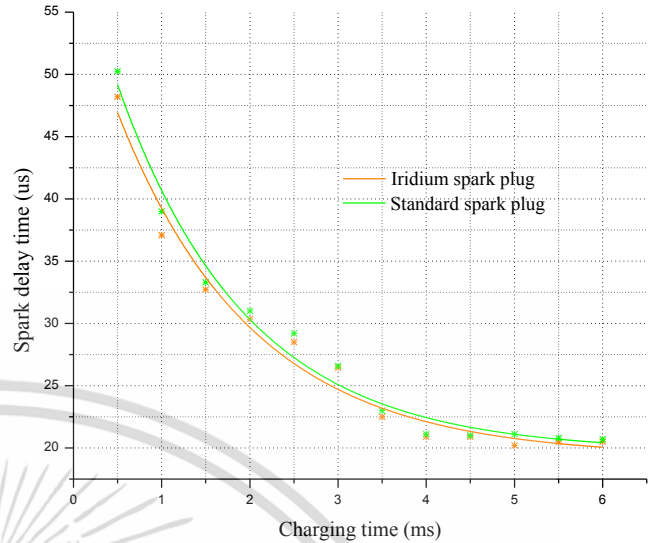


Figure 9. The spark delay time vs charging time.

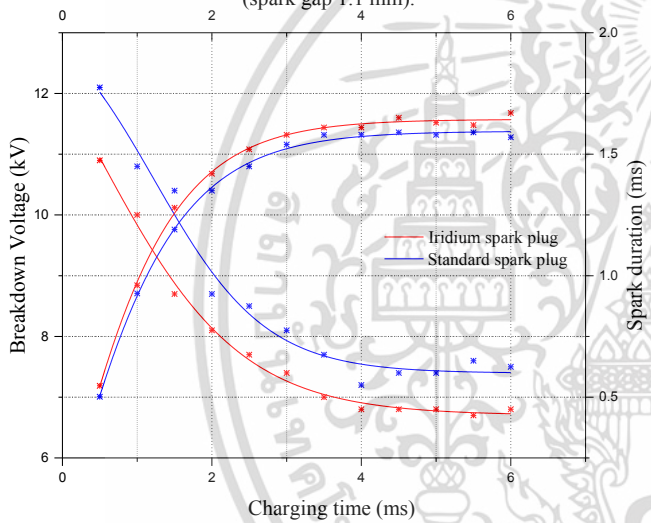


Figure 7. The breakdown voltage and spark duration time vs charging time (spark gap 0.9 mm).

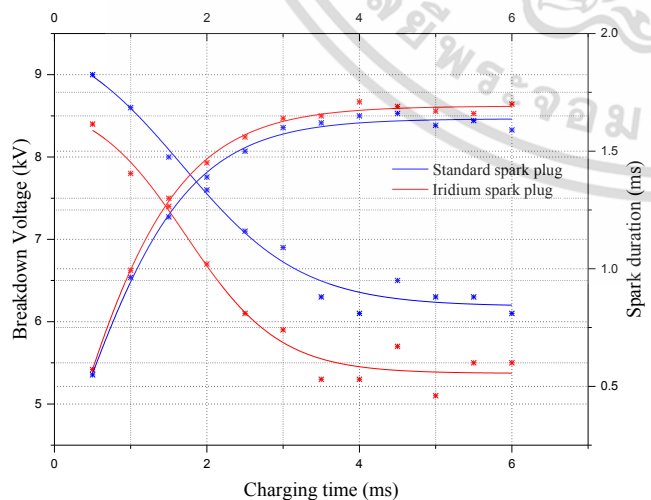


Figure 8. The breakdown voltage and spark duration time vs charging time (spark gap 0.7 mm).

IV. CONCLUSION

The according to overall graph changes were reported in Fig. 6,7,8,9. The results of these analyses showed that the iridium spark plug needs the lower required voltage from the comparison of both spark plug and the average spark delay time of the iridium is 4% lower than the standard spark plug. Thus, the spark angle of the engine is increased when the iridium spark plug is replaced standard spark plug on the normal ignition system which is designed for the standard spark plug. In low engine rpm, this appears nothing to the engine but in the high engine rpm, the more spark advance cause knock engine. The knock sensor sent the knock signal to the engine control unit to retard the spark angle, then the torque of the engine decrease. In normal condition, the driver of the engine with low acceleration in low engine rpm feels that the gasoline engine with iridium spark plug increasing the engine power with a faster acceleration than the standard spark plug. And in the high engine rpm, the engine control unit retards the torque of the engine by decreasing the angle of the spark advance. This condition does not affect the engine driver. The iridium spark plug substitute onto the standard ignition system is the comfort to the driver with low engine rpm but when the hydrous ethanol or anhydrous (both 106 RON) is filled into the gasoline fuel tank, the iridium is the best spark plug in the system.

REFERENCES

- [1] Chih-Lung Shen, Jye-Chau Su, and Tsair-Chun Liang "A Novel Dual-Electrode Plug to Achieve Intensive Electric Field for High Performance Ignition," Mathematical Problems in Engineering, Volume 2013, Article ID 351594, 7 pages, October 2013.
- [2] Edward F. Obert, Internal Combustion Engines and Air Pollution, 3rd ed., vol. 2. Wisconsin: Harper International Edition, 1960.
- [3] <https://www.gettyimages.com/detail/photo/comparison-of-iridium-spark-plug-and-standard-spark-royalty-free-image/130890007>

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายณัฐพล ฉิมผาย
วัน เดือน ปีเกิด 15 กันยายน 2536 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ 59 หมู่ 7 ต.เจริญธรรม อ.วิหารแดง จ.สระบุรี 18150
โทร 09-9285-1264
ประวัติการศึกษา 2554 มัธยมศึกษาตอนปลาย สาขาวิทย์-คณิต โรงเรียน
ประเทียบวิทยาทาน
2558 วิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้