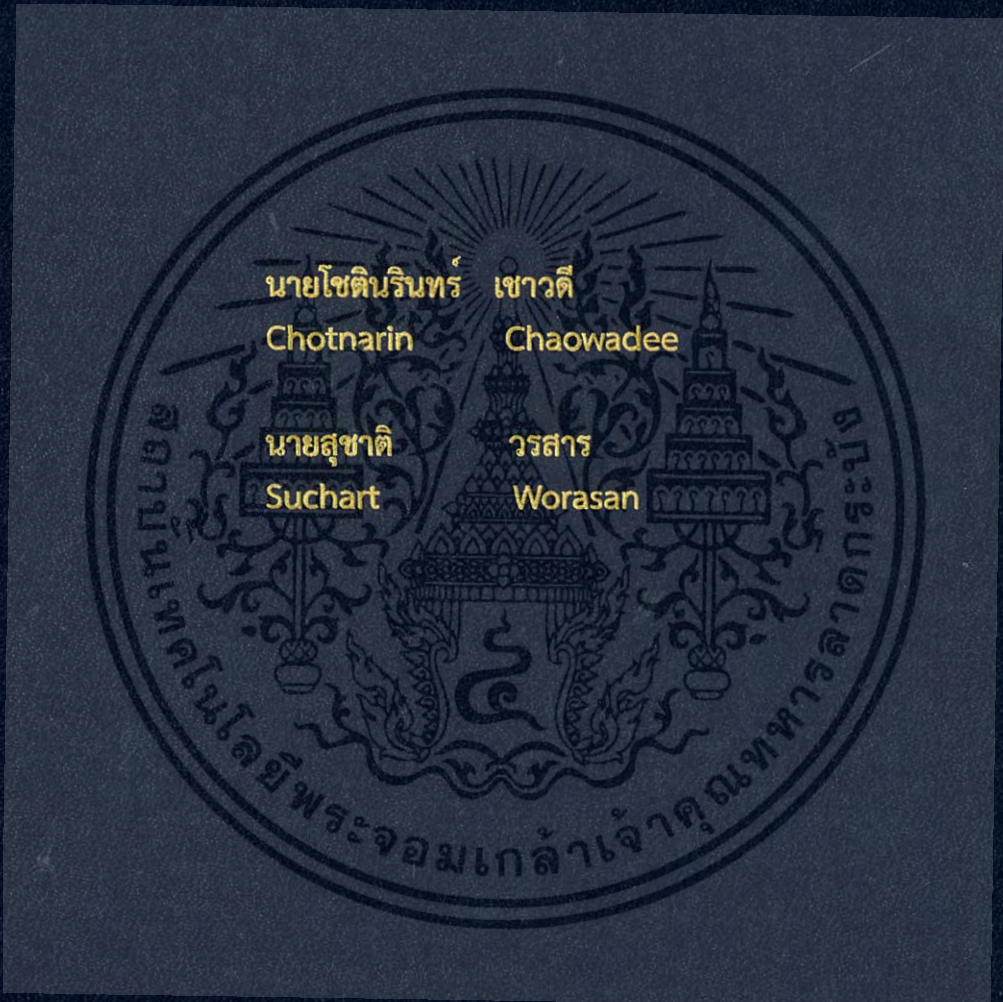


ระบบจำลองการจุดระเบิดหัวเทียนเครื่องยนต์แก๊สโซลีน
Gasoline Engine Ignition Spark Simulation System



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

ระบบจำลองการจุดระเบิดหัวเทียนเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

Gasoline Engine Ignition Spark Simulation System



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2560

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะ วิศวกรรมศาสตร์
เรื่อง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ระบบจำลองการจุดระเบิดหัวเทียนเครื่องยนต์แก๊สโซลีน
Gasoline Engine Ignition Spark Simulation System
ผู้จัดทำ นายโชตินรินทร์ เชาวดี รหัสประจำตัว 57010337
นายสุชาติ วรสาร รหัสประจำตัว 57011385

รายงานนี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



(รศ.จิรวัดน์ ปานกลาง)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบจำลองการจตุระเปิดหัวเทียนเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

หัวข้อโครงการ	ระบบจำลองการจตุระเปิดหัวเทียนเครื่องยนต์แก๊สโซลีน		
นักศึกษา	นายโชตินรินทร์	เขาวดี	รหัสประจำตัว 57010337
	นายสุชาติ	วรสาร	รหัสประจำตัว 57011385
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์		
ปีการศึกษา	2560		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.จิรวัดน์ ปานกลาง		

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์นี้ได้อธิบายถึง การออกแบบระบบจำลองการจตุระเปิดหัวเทียนเครื่องยนต์แก๊สโซลีน โดยใช้วงจรขับ คือ สามารถส่งกำลังขับเคลื่อนของระบบนี้ จากความเร็วรอบต่ำสุดไปจนถึงความเร็วรอบสูงสุดตามที่กำหนดไว้ โดยใช้ Arduino ส่งผ่านสัญญาณไปควบคุมระบบจำลองการจตุระเปิดหัวเทียนเครื่องยนต์แก๊สโซลีน แสดงผลผ่านจอ LCD และสามารถกำหนดความเร็วรอบได้เพื่อดูความแตกต่างได้ต้นกำเนิดกำลังไฟฟ้าทั้งหมดมาจากแหล่งกำเนิดแรงดัน 220V 50Hz แปลงเป็นไฟต่ำที่เหมาะสมโดยใช้หลักการของ Offline Switching Power Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gasoline Engine Ignition Spark Simulation System

Project Title	Gasoline Engine Ignition Spark Simulation System	
Student	Mr. Chotnarin Chaowadee	ID:57010337
	Mr. Suchart Worasan	ID:57011385
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Electronics Engineering	
Year	2017	
Advisor	Assoc.Prof. Jirawat Panklang	

Abstract

The thesis describes the designed the gasoline engine ignition spark simulation system. The driver circuit is capable of delivering the driving power of this system, from the lowest speed to the maximum speed specified by the arduino. Arduino will transmission signal to control the ignition system, spark plugs, gasoline engines and we can set value of rpm, that can be shown on LCD Display and power generators are recieved 220V 50Hz from voltage source and then converted into low voltage. Optimizing voltage by the Offline Switching Power Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการและรายงานเรื่อง "ระบบจำลองการจุดระเบิดหัวเทียนเครื่องยนต์แก๊สโซลีน" โครงการชิ้นนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องขอขอบพระคุณจากความช่วยเหลือและคำปรึกษาจาก รองศาสตราจารย์ จีรวัฒน์ ปานกลาง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่คอยช่วยเหลือในการทดลอง ให้ความรู้ ให้คำแนะนำ รวมถึงการแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น จนสามารถผลิตชิ้นงานขึ้นมา คณะผู้จัดทำโครงการ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณครอบครัวของคณะผู้จัดทำที่เป็นกำลังใจหลักและเป็นผู้สนับสนุนเงินทุนในการทำโครงการ รวมไปถึงเพื่อนๆทุกคนที่คอยช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ รวมทั้งช่วยกันในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ระหว่างการทำโครงการนี้ ทำให้ผลของโครงการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำหวังว่าโครงการนี้เป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจและผู้นำผลงานนี้ไปใช้ได้

นายโชตินรินทร์ เชาวดี

นายสุชาติ วรรณสาร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญ (ต่อ)	V
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญรูปภาพ (ต่อ)	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 สมมติฐาน	2
1.4 องค์ประกอบของโครงการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 แผนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	4
2.1 หลักการและทฤษฎีเครื่องยนต์แก๊สโซลีน	4
2.1.1 ประวัติระบบฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน	4
2.1.2 ความต้องการน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์	4
2.2 หลักการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ	5
2.3 ระบบจุดระเบิด	6
2.3.1 ความแรงของประกายไฟที่กระโดดข้ามที่ขั้วหัวเทียน	6
2.3.2 จังหวะจุดระเบิดที่เหมาะสมการ	6
2.3.3 อายุการใช้งาน	7
2.4 ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา	7
2.5 คอยล์จุดระเบิด	10
2.6 หัวเทียน	11
2.7 มอสเฟตกำลัง	14
2.7.1 ดิมอสเฟตแบบแซนแนล n	14
2.7.2 ดิมอสเฟตแบบแซนแนล p	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7.3 อีโมสเฟดแบบแซนเนล n	18
2.7.4 อีโมสเฟดแบบแซนเนล p	20
2.8 วงจรขับเคลื่อน	21
2.9 แหล่งจ่ายไฟแบบ Off-Line Switching	21
2.9.1 หลักการทำงาน	22
2.9.2 วงจร EMI Filter	22
2.9.3 คอนเวอร์เตอร์	24
2.10 วงจรควบคุม	26
2.11 ไมโครคอนโทรลเลอร์	31
2.11.1 โครงสร้างพื้นฐานของ Arduino Mega 2560	32
บทที่ 3 การคำนวณและออกแบบ	33
3.1 การทำงานของวงจรโดยรวม	34
3.2 ส่วนประกอบหลักของวงจร	35
3.3 ส่วนที่ 1 การออกแบบวงจร Off-line Switching	35
3.3.1 วงจร EMI Filter	35
3.3.2 IC ที่ใช้ในวงจร Off-line Switching	35
3.3.3 การเลือกบริดจ์ไดโอด.....	35
3.3.4 การเลือกใช้ IC จ่ายให้กับ Arduino	36
3.4 ส่วนที่ 2 การออกแบบวงจร Gate Drive	37
3.5 ส่วนที่ 3 การออกแบบวงจร Microcontroller	39
3.6 เครื่องมือและวิธีการวิจัยการทดลอง.....	42
3.7 ขั้นตอนออกแบบและสร้างเครื่องมือ.....	42
บทที่ 4 วิธีการทดลองและผลการทดลอง.....	43
ผลการทดลอง	44
บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	71
เอกสารอ้างอิง.....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ.....	4
รูปที่ 2.2 ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาที่ใช้คอยล์จุดระเบิดแบบมีความต้านทานภายนอก.....	6
รูปที่ 2.3 วงจรจุดระเบิดธรรมดา	7
รูปที่ 2.4 วงจรจุดระเบิดแบบธรรมดาที่ใช้ตัวความต้านทาน	8
รูปที่ 2.5 คอยล์จุดระเบิด	9
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของหัวเทียน	10
รูปที่ 2.7 โครงสร้างแต่ละแบบของหัวเทียน	11
รูปที่ 2.8 โครงสร้างของดีมอสเฟตแบบแซนแนล n.....	13
รูปที่ 2.9 การทำงานของมอสเฟต	14
รูปที่ 2.10 การทำงานในโหมดดีฟลิชั่น	15
รูปที่ 2.11 โครงสร้างของดีมอสเฟตแบบแซนแนล p	16
รูปที่ 2.12 สัญลักษณ์ (Symbols) ของดีมอสเฟต	17
รูปที่ 2.13 โครงสร้างเบื้องต้นของอีมอสเฟต แบบแซนแนล n	17
รูปที่ 2.14 การทำงานของอีมอสเฟต ชนิด n	18
รูปที่ 2.15 โครงสร้างของอีมอสเฟตแบบแซนแนล p	19
รูปที่ 2.16 (a) สัญลักษณ์ของอีมอสเฟตแบบแซนแนล p และ (b) มอสเฟตแบบแซนแนล n	19
รูปที่ 2.17 องค์ประกอบพื้นฐานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย	21
รูปที่ 2.18 คอมมอนโหมดและดิฟเฟอเรนเชียล	22
รูปที่ 2.19 วงจร EMI Filter แบบทั่วไป	23
รูปที่ 2.20 วงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	23
รูปที่ 2.21 กราฟแสดงลักษณะกระแสและแรงดันในวงจรขณะทำงาน	25
รูปที่ 2.22 แสดงวงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดัน	26
รูปที่ 2.23 แสดงลักษณะความกว้างของพัลส์จาก PWM	26
รูปที่ 2.24 วงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส	27
รูปที่ 2.25 วงจรควบคุมเมื่อตัดตัวขยายความแตกต่างออก	28
รูปที่ 2.26 ลักษณะการทำงานที่จุดต่าง ๆ ของวงจร	29
รูปที่ 2.27 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino	31
รูปที่ 2.28 โครงสร้างของบอร์ด Arduino Mega 2560	31
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจร.....	33
รูปที่ 3.2 วงจร EMI Filter	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.3 วงจรทั่วไปของ TOP250Y.....	35
รูปที่ 3.4 วงจรทั่วไปของ LM2576HV-ADJ.....	36
รูปที่ 3.5 วงจร Gate Drive และ วงจร Logic Level Converter	37
รูปที่ 3.6 ลาย PCB วงจร Gate Drive	38
รูปที่ 3.7 ลาย PCB วงจร Logic Level Converter	38
รูปที่ 3.8 Code ในการสร้างสัญญาณ PWM เพื่อใช้ในการปรับค่า Duty Cycle	41
รูปที่ 4.1 ใช้ $f = 8.33 \text{ Hz}$, Speed = 500 RPM , Ton = 1 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	44
รูปที่ 4.2 ใช้ $f = 16.67 \text{ Hz}$, Speed = 1000 RPM , Ton = 1 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	44
รูปที่ 4.3 ใช้ $f = 24.99 \text{ Hz}$, Speed = 1500 RPM , Ton = 1 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	45
รูปที่ 4.4 ใช้ $f = 33.32 \text{ Hz}$, Speed = 2000 RPM , Ton = 1 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	45
รูปที่ 4.5 ใช้ $f = 41.65 \text{ Hz}$, Speed = 2500 RPM , Ton = 1 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	46
รูปที่ 4.6 ใช้ $f = 49.98 \text{ Hz}$, Speed = 3000 RPM , Ton = 1 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	46
รูปที่ 4.7 ใช้ $f = 58.31 \text{ Hz}$, Speed = 3500 RPM , Ton = 1 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	47
รูปที่ 4.8 ใช้ $f = 66.64 \text{ Hz}$, Speed = 4000 RPM , Ton = 1 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	47
รูปที่ 4.9 ใช้ $f = 74.97 \text{ Hz}$, Speed = 4500 RPM , Ton = 1 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	48
รูปที่ 4.10 ใช้ $f = 83.30 \text{ Hz}$, Speed = 5000 RPM , Ton = 1 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	48
รูปที่ 4.11 ใช้ $f = 91.63 \text{ Hz}$, Speed = 5500 RPM , Ton = 1 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	49
รูปที่ 4.12 ใช้ $f = 100.0 \text{ Hz}$, Speed = 6000 RPM , Ton = 1 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	49
รูปที่ 4.13 ใช้ $f = 8.33 \text{ Hz}$, Speed = 500 RPM , Ton = 2 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	50
รูปที่ 4.14 ใช้ $f = 16.67 \text{ Hz}$, Speed = 1000 RPM , Ton = 2 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	50
รูปที่ 4.15 ใช้ $f = 24.99 \text{ Hz}$, Speed = 1500 RPM , Ton = 2 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	51
รูปที่ 4.16 ใช้ $f = 33.32 \text{ Hz}$, Speed = 2000 RPM , Ton = 2 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	51
รูปที่ 4.17 ใช้ $f = 41.65 \text{ Hz}$, Speed = 2500 RPM , Ton = 2 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	52
รูปที่ 4.18 ใช้ $f = 49.98 \text{ Hz}$, Speed = 3000 RPM , Ton = 2 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	52
รูปที่ 4.19 ใช้ $f = 58.31 \text{ Hz}$, Speed = 3500 RPM , Ton = 2 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	53
รูปที่ 4.20 ใช้ $f = 66.64 \text{ Hz}$, Speed = 4000 RPM , Ton = 2 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	53
รูปที่ 4.21 ใช้ $f = 74.97 \text{ Hz}$, Speed = 4500 RPM , Ton = 2 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	54
รูปที่ 4.22 ใช้ $f = 83.30 \text{ Hz}$, Speed = 5000 RPM , Ton = 2 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	54
รูปที่ 4.23 ใช้ $f = 91.63 \text{ Hz}$, Speed = 5500 RPM , Ton = 2 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	55
รูปที่ 4.24 ใช้ $f = 100.0 \text{ Hz}$, Speed = 6000 RPM , Ton = 2 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.25 ใช้ $f = 8.33 \text{ Hz}$, Speed = 500 RPM , Ton = 3 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	56
รูปที่ 4.26 ใช้ $f = 16.67 \text{ Hz}$, Speed = 1000 RPM , Ton = 3 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	56
รูปที่ 4.27 ใช้ $f = 24.99 \text{ Hz}$, Speed = 1500 RPM , Ton = 3 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	57
รูปที่ 4.28 ใช้ $f = 33.32 \text{ Hz}$, Speed = 2000 RPM , Ton = 3 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	57
รูปที่ 4.29 ใช้ $f = 41.65 \text{ Hz}$, Speed = 2500 RPM , Ton = 3 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	58
รูปที่ 4.30 ใช้ $f = 49.98 \text{ Hz}$, Speed = 3000 RPM , Ton = 3 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	58
รูปที่ 4.31 ใช้ $f = 58.31 \text{ Hz}$, Speed = 3500 RPM , Ton = 3 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	59
รูปที่ 4.32 ใช้ $f = 66.64 \text{ Hz}$, Speed = 4000 RPM , Ton = 3 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	59
รูปที่ 4.33 ใช้ $f = 74.97 \text{ Hz}$, Speed = 4500 RPM , Ton = 3 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	60
รูปที่ 4.34 ใช้ $f = 83.30 \text{ Hz}$, Speed = 5000 RPM , Ton = 3 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	60
รูปที่ 4.35 ใช้ $f = 91.63 \text{ Hz}$, Speed = 5500 RPM , Ton = 3 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	61
รูปที่ 4.36 ใช้ $f = 100.0 \text{ Hz}$, Speed = 6000 RPM , Ton = 3 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	61
รูปที่ 4.37 ใช้ $f = 8.33 \text{ Hz}$, Speed = 500 RPM , Ton = 4 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	62
รูปที่ 4.38 ใช้ $f = 16.67 \text{ Hz}$, Speed = 1000 RPM , Ton = 4 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	62
รูปที่ 4.39 ใช้ $f = 24.99 \text{ Hz}$, Speed = 1500 RPM , Ton = 4 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	63
รูปที่ 4.40 ใช้ $f = 33.32 \text{ Hz}$, Speed = 2000 RPM , Ton = 4 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	63
รูปที่ 4.41 ใช้ $f = 41.65 \text{ Hz}$, Speed = 2500 RPM , Ton = 4 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	64
รูปที่ 4.42 ใช้ $f = 49.98 \text{ Hz}$, Speed = 3000 RPM , Ton = 4 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	64
รูปที่ 4.43 ใช้ $f = 58.31 \text{ Hz}$, Speed = 3500 RPM , Ton = 4 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	65
รูปที่ 4.44 ใช้ $f = 66.64 \text{ Hz}$, Speed = 4000 RPM , Ton = 4 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	65
รูปที่ 4.45 ใช้ $f = 74.97 \text{ Hz}$, Speed = 4500 RPM , Ton = 4 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	66
รูปที่ 4.46 ใช้ $f = 83.30 \text{ Hz}$, Speed = 5000 RPM , Ton = 4 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	66
รูปที่ 4.47 ใช้ $f = 91.63 \text{ Hz}$, Speed = 5500 RPM , Ton = 4 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope.....	67
รูปที่ 4.48 จำนวนสัญญาณพัลส์ 500 พัลส์ , Ton = 1 ms , Speed = 6000 RPM	68
รูปที่ 4.49 จำนวนสัญญาณพัลส์ 600 พัลส์ , Ton = 1 ms , Speed = 6000 RPM	68
รูปที่ 4.50 จำนวนสัญญาณพัลส์ 700 พัลส์ , Ton = 1 ms , Speed = 6000 RPM	69
รูปที่ 4.51 จำนวนสัญญาณพัลส์ 800 พัลส์ , Ton = 1 ms , Speed = 6000 RPM	69
รูปที่ 4.52 จำนวนสัญญาณพัลส์ 900 พัลส์ , Ton = 1 ms , Speed = 6000 RPM	70
รูปที่ 4.53 จำนวนสัญญาณพัลส์ 1000 พัลส์ , Ton = 1 ms , Speed = 6000 RPM	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันวงจรอิเล็กทรอนิกส์มีบทบาทในวงการยานยนต์เป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นรถยนต์หรือรถจักรยานยนต์ ระบบจุดระเบิดเป็นระบบที่ทำหน้าที่ส่งแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่สูงไปยังหัวเทียน ซึ่งเป็นระบบที่มีความสำคัญกับเครื่องยนต์มาก ถ้าหากระบบจุดระเบิดที่ประกอบไปด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ไม่มีประสิทธิภาพ อาจทำให้เครื่องยนต์มีปัญหาได้ ดังนั้นการศึกษาและออกแบบระบบจำลองการจุดระเบิดเครื่องยนต์แก๊สโซลีน เพื่อขับเคลื่อนจุดระเบิดหัวเทียนของเครื่องยนต์จึงเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบจุดระเบิดต่อไป

เครื่องยนต์แก๊สโซลีน (Gasoline Engine หรือ Petrol Engine) เป็นเครื่องยนต์สันดาปภายในชนิดหนึ่งที่มีการทำงานตามวัฏจักรออตโต (Otto Cycle) ประดิษฐ์ขึ้นในปี ค.ศ. 1876 ซึ่งเป็นเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ (Spark-Ignition Engine) โดยต้องใช้หัวเทียน มีการสันดาปหรือการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวได้หลายชนิด เช่น น้ำมันเบนซิน แก๊สโซฮอลล์ เอทานอล และยังสามารถใช้เชื้อเพลิงแก๊สได้เช่น LPG และ CNG (NGV) ซึ่งจะเรียกโดยรวมว่าเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีน (Gasoline Engine) หัวไปจะมีอัตราส่วนการอัด (Compression Ratio หรือ CR) ประมาณ 9 - 11.5 : 1 แต่ถ้ามีตัวอัดบรรจุอากาศเทอร์โบ จะต้องลดค่าอัตราส่วนการอัดให้ต่ำลง มีความดันในจังหวะอัด 10 - 15 บาร์ (10.19 - 15.29 kgf/cm²) ทำให้อุณหภูมิอากาศที่อัดตัวเป็น 400 - 600 องศาเซลเซียส แต่เดิมนั้นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนใช้คาร์บูเรเตอร์ (Carburetor) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายอัตราส่วนผสมของอากาศต่อเชื้อเพลิง ซึ่งมีสมรรถนะต่ำ และมีแก๊สพิษสูง ในปัจจุบันจึงไม่ผ่านกฎหมายควบคุมมลพิษ ดังนั้นในปัจจุบันเครื่องยนต์แก๊สโซลีนของรถยนต์จึงใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ และในอนาคตรถจักรยานยนต์ทุกคันจะต้องเลิกใช้ระบบคาร์บูเรเตอร์

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 ศึกษาและทดลองการทำงานของระบบจำลองการจุดระเบิดเครื่องยนต์แก๊สโซลีน
- 1.2.2 สร้างวงจร Gate Drive เพื่อให้สามารถขับเคลื่อนจุดระเบิดหัวเทียนได้
- 1.2.3 สร้างวงจร Power Supply โดยใช้หลักการของ Offline Switching ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมติฐาน

- 1.3.1 สามารถอธิบายการทำงานของของระบบจำลองการจู่ระเบิดเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่สามารถโปรแกรมความเร็วรอบได้
- 1.3.2 สามารถพัฒนาวงจร Gate Drive ขับแรงดันผ่านมอสเฟตเพื่อทำให้คอยล์จู่ระเบิดหัวเทียนได้
- 1.3.3 ทำให้การจู่ระเบิดที่ออกมา มีประสิทธิภาพดีขึ้น

1.4 องค์ประกอบของโครงการ

- 1.4.1 Offline Switching Power Supply ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้แก่วงจร Gate Drive และ Arduino คุณสมบัติของ Offline Switching คือเมื่อรับแรงดันไฟสลับเข้ามาถูกรองโดยไม่ต้องใช้หม้อแปลงแบบแยกชุด และ Power Supply จะสวิตช์เมื่อโหลดสูญเสียกำลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ
- 1.4.2 วงจร Gate Drive ทำหน้าที่เพิ่มระดับแรงดันเฉลี่ยที่ได้ Power Supply แบบ Offline Switching เพื่อให้มีค่าเพียงพอ ที่สามารถทำให้อุปกรณ์มอสเฟตทำงานได้ ซึ่งจะควบคุมแรงดันที่ไหลผ่านชุดคอยล์จู่ระเบิดหัวเทียน
- 1.4.3 วงจร Microcontroller ทำหน้าที่ควบคุมจำนวนพัลส์ และ ความเร็วรอบของการจู่ระเบิดหัวเทียน ซึ่งสามารถควบคุมได้จากการกำหนดค่า Duty Cycle และการเขียนโปรแกรมบนตัว บอร์ด Arduino Mega 2560

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 มีความรู้ความเข้าใจทั้งด้านทฤษฎีและด้านปฏิบัติในการสร้างวงจร Gate Drive วงจร Offline Switching Power Supply และ วงจร Microcontroller
- 1.5.2 สามารถนำความรู้ที่ได้จากโปรเจกต์นี้ ไปประยุกต์ใช้กับวงจรอื่นๆ ได้

1.6 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	พ.ศ.2560																พ.ศ.2561																							
	ส.ค.				ก.ย.				ต.ค.				พ.ย.				ธ.ค.				ม.ค.				ก.พ.				มี.ค.				เม.ย.				พ.ค.			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
1.ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของระบบการ จุดระเบิดหัวเทียนเครื่องยนต์แก๊สโซลีน																																								
2.ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการใช้ Arduino Uno																																								
3.ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับระบบ Driver และ Coil																																								
4.จัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง																																								
5.ทำการสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์ระบบจุด ระเบิดหัวเทียน																																								
6.ทำการสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์ระบบ ออฟไลน์สวิทชิง																																								
7.บันทึกผลวิเคราะห์ผลการทดลองและทำการ ปรับปรุงชิ้นงาน																																								
8.สรุปผลการทดลอง นำเสนอผลงาน และ จัดทำรูปเล่มปฏิญานพนธ์																																								

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 หลักการและทฤษฎีเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

2.1.1 ประวัติระบบฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน

ระบบฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนนี้ มิได้เพิ่งจะมาพิจารณาขึ้นเมื่อเร็ว ๆ นี้ แต่ได้เริ่มค้นคว้าทดลองขึ้นในประเทศเยอรมนี โดยบริษัทบอชมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1912 เพื่อเพิ่มกำลังเครื่องยนต์ แต่ไม่ประสบความสำเร็จจนกระทั่งในปี ค.ศ. 1932 หลังจากมีการค้นคว้า ทดลองและพัฒนามาเรื่อย ๆ ก็ประสบความสำเร็จมีการผลิตระบบฉีดเชื้อเพลิงใช้กับเครื่องยนต์แก๊สโซลีนชนิดลูกสูบของเครื่องบินออกจำหน่าย

ระบบฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนที่ใช้กับรถยนต์ ระบบแรกของบริษัท BOSCH เริ่มผลิตขึ้นในปี ค.ศ. 1952 เพื่อใช้กับรถยนต์แข่ง ต่อมามีการพัฒนาโดยใช้วิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาควบคุม (Electronic Control Techniques) เป็นผลให้ปริมาณที่ฉีด มีปริมาณที่แน่นอนเที่ยงตรงสูงมาก ระบบที่พัฒนาโดยบริษัท BOSCH นี้ เรียกว่าระบบ ECGI (Electronically Controlled Gasoline Injection) และจากการร่วมมือกันกับบริษัทโพล์คสวาเกน ได้มีการผลิตออกจำหน่ายตั้งแต่ปี ค.ศ. 1967 ต่อมา ระบบ ECGI ก็ได้พัฒนาต่อไปอีกจนกระทั่งผ่านการควบคุมมลพิษจากไอเสีย อันเข้มงวดกวดขันทั้งในประเทศเยอรมนีเองและต่างประเทศ

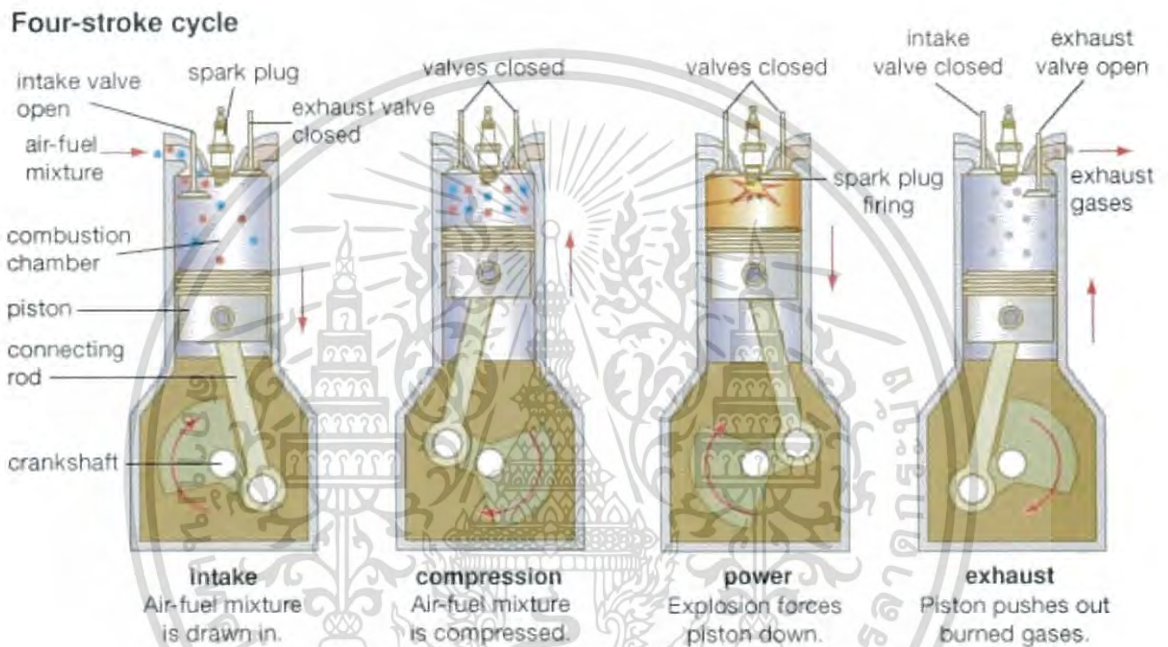
ปัจจุบัน ECGI เป็นที่รู้จัก และใช้กันอย่างแพร่หลาย ในชื่อ “ระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบอิเล็กทรอนิกส์” (Electronic Fuel Injection) หรือชื่อย่อที่รู้จักกันในทั่วไปว่า “EFI”

2.1.2 ความต้องการน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์

ปัจจุบันเครื่องยนต์แก๊สโซลีนได้ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงมากยิ่งขึ้นคือนอกจากจะพยายามทำให้ได้กำลังสูงสุดแล้ว ยังต้องมีความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและเกิดมลภาวะเป็นพิษจากแก๊สไอเสีย น้อยที่สุดอีกด้วย ซึ่งประสิทธิภาพของเครื่องยนต์นี้ จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญหลายประการด้วยกันคือ อัตราส่วนการอัด กระบวนการในการเผาไหม้ อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้ากระบอกสูบ การออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิง นับว่าเป็นสิ่งสำคัญมากอย่างหนึ่งที่จะมีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ หากอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้ากระบอกสูบไม่เหมาะสม จะเป็นสาเหตุให้เครื่องยนต์ มีกำลังงานต่ำสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และเกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มากซึ่งจะเป็นอันตรายต่อร่างกายของมนุษย์

2.2 หลักการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ (เครื่องยนต์เบนซิน)

เครื่องยนต์ 4 จังหวะ จะมีลักษณะในการทำงานดังต่อไปนี้คือใน 1 รอบ หรือ 1 วัฏจักรของการทำงานลูกสูบจะต้องเคลื่อนที่ขึ้น-ลง 4 ครั้งคือเคลื่อนที่ขึ้น 2 ครั้งเคลื่อนที่ลง 2 ครั้งหรือกล่าวได้ว่าเพลาคือเหวี่ยงหมุน 2 รอบจะได้งาน 1 ครั้งจังหวะการทำงานจะหมุนเวียนกันอยู่เช่นนี้ตลอดไปจนกว่าเครื่องยนต์จะหยุดทำงาน เครื่องยนต์โซลีน 4 จังหวะ ดังรูปที่ 2.1 จะมีจังหวะในการทำงานดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ

จังหวะดูด (Intake Stroke) ลิ้นไอดีจะเริ่มเปิดก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ถึงศูนย์ตายบน เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงจากศูนย์ตายบน (TDC หรือ Top Dead Center) ไอดี (ส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิง) จะถูกดูดเข้ากระบอกสูบ เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่เลยจากศูนย์ตายล่าง (BDC หรือ Bottom Dead Center) ไอดีจะยังคงไหลเข้ากระบอกสูบด้วยแรงเฉื่อยจนกว่าลิ้นไอดีจะปิด

จังหวะอัด (Compression Stroke) เมื่อลิ้นไอดีปิด อันเป็นจุดเริ่มต้นของจังหวะอัดซึ่งลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นไปสู่ศูนย์ตายบน จังหวะนี้ไอดีประมาณ 10 ส่วนที่ถูกดูดเข้ากระบอกสูบมาในจังหวะดูดจะถูกอัดตัวให้มีปริมาตรเล็กลงเหลือประมาณ 1 ส่วน ดังนั้นไอดีซึ่งเป็นส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงจึงมีความดันและอุณหภูมิที่สูงขึ้นพร้อมสำหรับการสันดาป

จังหวะกำลัง (Power Stroke) (ซึ่งเริ่มนับจากหัวลูกสูบอยู่ที่ศูนย์ตายบน) หรือบางครั้งเรียกว่า จังหวะระเบิด (Expansion Stroke) (ซึ่งเริ่มนับจากหัวเทียนเกิดประกายไฟ) กำลังจากการระเบิดหรือการสันดาป (Combustion) ภายในห้องเผาไหม้จะผลักดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลงมาเป็นกำลังงานขับเคลื่อนของเครื่องยนต์ ในจังหวะนี้จะไปสิ้นสุดจนกว่าลิ้นไอเสียจะเปิด

จังหวะคาย (Exhaust Stroke) จังหวะนี้เริ่มต้นจากลิ้นไอเสียจะเริ่มเปิดก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ถึงศูนย์ตายล่าง แก๊สไอเสียซึ่งยังมีความดันจากการขยายตัวอยู่จะระบายออกทางลิ้นไอเสีย เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงมาจากศูนย์ตายล่าง (BDC) จะผลักดันให้ไอเสียไหลออกไปจากกระบอกสูบ

สิ่งสำคัญที่จะทำให้เครื่องยนต์สามารถทำงานได้อย่างราบเรียบมีประสิทธิภาพสูงสุด จะต้องมีความสมบูรณ์ 3 ประการที่ต้องสมบูรณ์ดังต่อไปนี้

- ส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงที่ดี เหมาะสมทุกภาระโหลด
- กำลังอัดดี คือต้องได้กำลังอัดตามการออกแบบเครื่องยนต์นั้นๆ และเท่าๆกันทุกสูบ
- ประกายไฟที่หัวเทียนดี และจังหวะที่ถูกต้องเหมาะสม

ถ้าคุณสมบัติทั้ง 3 ประการนี้ถูกต้องสมบูรณ์แล้ว จะทำให้รถยนต์คันนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด

2.3 ระบบจุดระเบิด

ในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนส่วนผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศ (ไอดี) ที่ถูกอัดตัวในกระบอกสูบของเครื่องยนต์จะเกิดการลุกไหม้ได้ต้องอาศัยระบบจุดระเบิดซึ่งทำให้เกิดประกายไฟแรงสูงกระโดดข้ามที่ขั้วหัวเทียนในกระบอกสูบตามจังหวะที่เหมาะสม ประกายไฟแรงสูงที่เกิดขึ้นจะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงประมาณ 20,000 โวลต์ (18,000-25,000 โวลต์)

2.3.1 ความแรงของประกายไฟที่กระโดดข้ามที่ขั้วหัวเทียน

เมื่อไอดีถูกอัดตัวในกระบอกสูบจะทำให้ประกายไฟที่กระโดดข้ามที่ขั้วหัวเทียน กระโดดข้ามได้ยาก ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตจะต้องสูงพอที่จะทำให้เกิดประกายไฟกระโดดข้ามที่ขั้วหัวเทียนได้

2.3.2 จังหวะจุดระเบิดที่เหมาะสมการ

จะทำให้ไอดีเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์ หัวเทียนจะต้องจุดประกายไฟในตำแหน่งหรือจังหวะที่เหมาะสมกับความเร็วรอบและภาระของเครื่องยนต์

2.3.3 อายุการใช้งาน

อายุการใช้งานของอุปกรณ์ที่ยืมนานเครื่องยนต์แก๊สโซลีนจะทำงานได้ ต้องอาศัยการจุดประกายไฟจากหัวเทียนในระบบจุดระเบิด ดังนั้นอุปกรณ์ต่างๆในระบบจุดระเบิดจะต้องมีความทนทาน มีอายุการใช้งานที่ยืมนานจึงจะทำให้เครื่องยนต์พร้อมที่จะทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพตลอดเวลา

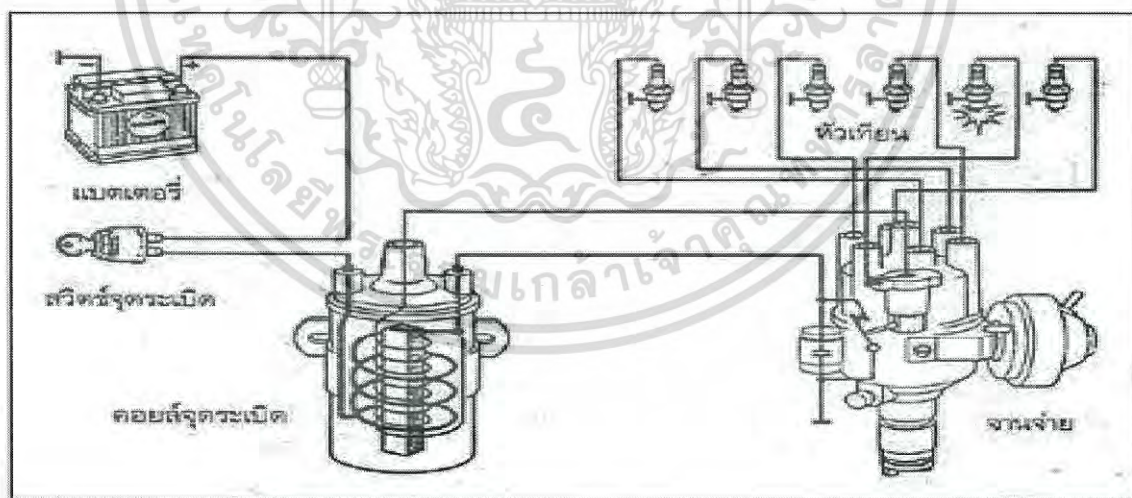
ระบบจุดระเบิดแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา
2. ระบบจุดระเบิดแบบทรานซิสเตอร์

2.4 ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา

ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา เป็นระบบจุดระเบิดที่ใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟที่จะจัดส่งไฟแรงต่ำ 6 หรือ 12 โวลต์ ให้กับวงจรขดลวดปฐมภูมิของระบบเพื่อทำให้เกิดไฟแรงสูงประมาณ 15,000 ถึง 25,000 โวลต์ส่งไปยังหัวเทียนเพื่อจุดเชื้อระเบิดภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ให้เกิดการเผาไหม้ต่อไป ส่วนประกอบชิ้นพื้นฐานของระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาประกอบด้วย

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



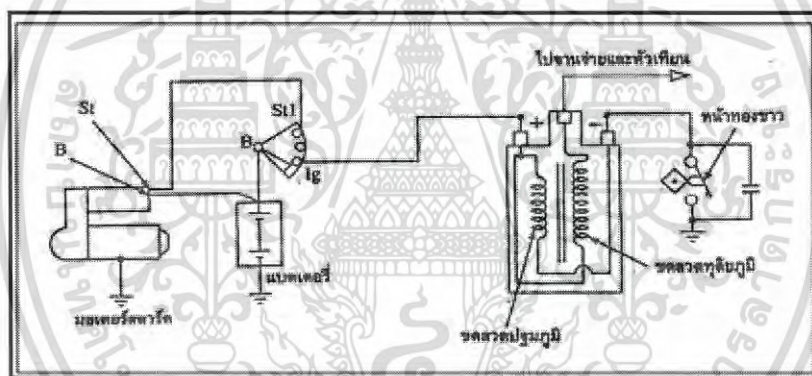
รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญคือ แบตเตอรี่ สวิตช์กุญแจคอยล์ จุดระเบิด หน้าทองขาว คอนเดนเซอร์ จานจ่ายและหัวเทียน ในวงจรของระบบจุดระเบิดสามารถแบ่ง ออกเป็น 2 วงจรย่อยคือ

1. **วงจรไฟแรงต่ำ (Low-tension circuit)** จะเริ่มต้นตั้งแต่ แบตเตอรี่ จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านสวิตช์กุญแจ ผ่านเข้าคอยล์จุดระเบิดด้านขดลวดปฐมภูมิ (Primary winding) ออกไปเข้าจานจ่ายผ่านหน้าทองขาวที่ ต่อกันลงกราวด์ครบวงจร
2. **วงจรไฟแรงสูง (High-tension circuit)** จะเริ่มต้นจากขั้วบวกของคอยล์จุดระเบิด ผ่านขดลวดทุติยภูมิ (Secondary winding) ผ่านไปฝาครอบจานจ่าย ผ่านหัวโรเตอร์ไปยังหัวเทียนลงกราวด์ครบวงจรวงจรจุด ระเบิด

- วงจรจุดระเบิดแบบธรรมดา



รูปที่ 2.3 วงจรจุดระเบิดแบบธรรมดา

การทำงาน

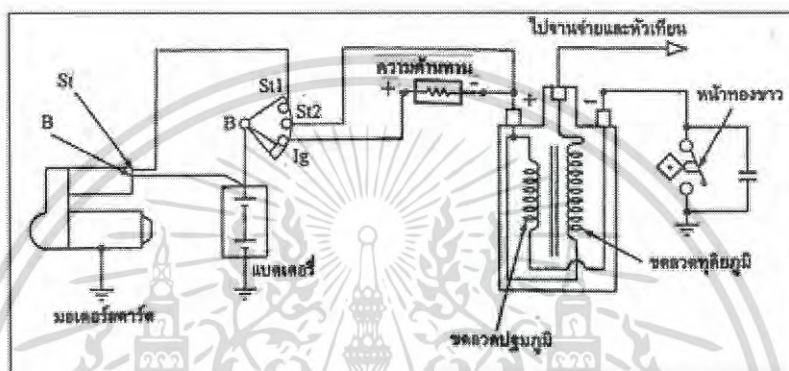
เมื่อเปิดสวิตช์กุญแจในตำแหน่ง On กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จะไหลผ่านขั้ว B ของสวิตช์ กุญแจ ผ่านขั้ว Ig. เข้าขั้วบวกของคอยล์จุดระเบิด ผ่านขดลวดปฐมภูมิออกขั้วลบของคอยล์จุดระเบิดเข้า จานจ่าย ถ้าหน้าทองขาวต่อกันกระแสไฟฟ้าจะผ่านหน้าทองขาวที่ต่อกันลงกราวด์ครบวงจร ทำให้ขดลวด ปฐมภูมิเกิดอำนาจแม่เหล็ก

เมื่อสตาร์ทเครื่องยนต์ ในขณะที่เครื่องยนต์หมุนเพลาลูกเบี้ยวจานจ่ายจะหมุนไปด้วย จนกระทั่ง ลูกเบี้ยวจานจ่ายหมุนเปิดหน้าทองขาว ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดปฐมภูมิของคอยล์จุดระเบิดถูก ตัดวงจร เป็นผลให้เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดรอบขดลวดปฐมภูมิยุบตัวอย่างทันทีทันใด ตัดกับขดลวดปฐมภูมิ และขดลวดทุติยภูมิในคอยล์จุดระเบิดเหนี่ยวนำให้เกิดไฟแรงสูงประมาณ 20,000 โวลต์ที่ขดลวดทุติยภูมิ จ่ายไปยังหัวเทียนตามจังหวะการจุดระเบิดและยังเหนี่ยวนำให้ขดลวดปฐมภูมิเองเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 500 โวลต์ ซึ่งกระแสไฟฟ้านี้พยายามที่จะกระโดดข้ามที่หน้าทองขาวจึงต้องมีคอนเดนเซอร์ ต่อขนานกับหน้าทองขาวไว้ เพื่อทำหน้าที่เก็บประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นไม่ให้กระโดดข้ามหน้าทองขาว และเมื่อหน้าทองขาวต่อกัน คอนเดนเซอร์ซึ่งเก็บประจุไฟฟ้าอยู่เต็มจะคายประจุไฟฟ้ากลับเข้าสู่วงจร จนกระทั่ง คอนเดนเซอร์คายประจุหมด กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จึงเริ่มต้นไหลเข้าขดลวดปฐมภูมิเป็นการเริ่มต้น การทำงานของระบบจุดระเบิดอีกครั้งหนึ่ง

- วงจรจุดระเบิดแบบธรรมดาแบบมีตัวความต้านทาน



รูปที่ 2.4 วงจรจุดระเบิดแบบธรรมดาที่ใช้ตัวความต้านทาน

การทำงาน

เนื่องจากในวงจรจุดระเบิดแบบธรรมดา ในขณะที่สตาร์ทเครื่องยนต์มอเตอร์สตาร์ทจะใช้กระแสไฟฟ้าจำนวนมาก จึงทำให้ในขณะที่ทำการสตาร์ทแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะลดลง ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไปเลี้ยงขดลวดปฐมภูมิไม่เพียงพอ เป็นผลให้ในขณะที่ทำการสตาร์ทเครื่องยนต์ ประกายไฟไม่แรงพอที่จะกระโดดข้ามเขี้ยวหัวเทียน เพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าวจึงใช้คอยล์จุดระเบิดที่ไซซ์ ดลวดที่มีความต้านทานไฟฟ้าน้อยลง จากรูปที่ 5.3 จะเห็นว่าในขณะที่ทำการสตาร์ทจะให้กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไหลผ่านสวิทช์กุญแจทางขั้ว St2 เข้าขั้วบวกของคอยล์จุดระเบิดเพื่อเลี้ยงขดลวดปฐมภูมิและเมื่อทำการสตาร์ทเครื่องยนต์ติดแล้วจะให้กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไหลผ่านสวิทช์กุญแจทางขั้ว Ig ผ่านตัวความต้านทานเพื่อลดแรงเคลื่อนไฟฟ้าก่อนจะเข้าคอยล์จุดระเบิดให้เท่ากับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ขดลวดในคอยล์จุดระเบิดใช้ ทำให้คอยล์จุดระเบิดทำงานไปตามปกติ

2.5 คอยล์จุดระเบิด (ignition coil)

ทำหน้าที่เช่นเดียวกับหม้อแปลง จะเพิ่มแรงเคลื่อนต่ำจาก 12 โวลต์ เป็นเคลื่อนไฟแรงสูงถึง 18,000 - 25,000 โวลต์ เพื่อให้แรงเคลื่อนไฟฟ้ากระโดดข้ามเขี้ยวหัวเทียน ภายในคอยล์จะประกอบด้วย ขดลวดปฐมภูมิพันด้วยลวดทองแดงขนาดใหญ่ที่ขดลวดทุติยภูมิประมาณ 150-300 รอบ ส่วนขดลวดทุติยภูมิพันด้วยลวดทองแดงขนาดเล็ก โดยพันรอบแกนเหล็กอ่อนประมาณ 20,000 รอบ มีกระดาษบางคั่นอยู่ระหว่างขดลวดทั้งสองเพื่อป้องกันการลัดวงจร ปลายด้านหนึ่งของขดลวดปฐมภูมิจะต่ออยู่กับขั้วบวก ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะต่อเข้ากับขั้วลบ สำหรับขดลวดทุติยภูมิจะต่อปลายด้านหนึ่งเข้ากับขดลวดปฐมภูมิทางขั้วบวกอีกด้านหนึ่งจะต่ออยู่กับขั้วไฟแรงสูง น้ำมันทำหน้าที่เป็นฉนวนและช่วยระบายความร้อน



รูปที่ 2.5 คอยล์จุดระเบิด

❖ หลักการที่ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟแรงสูง

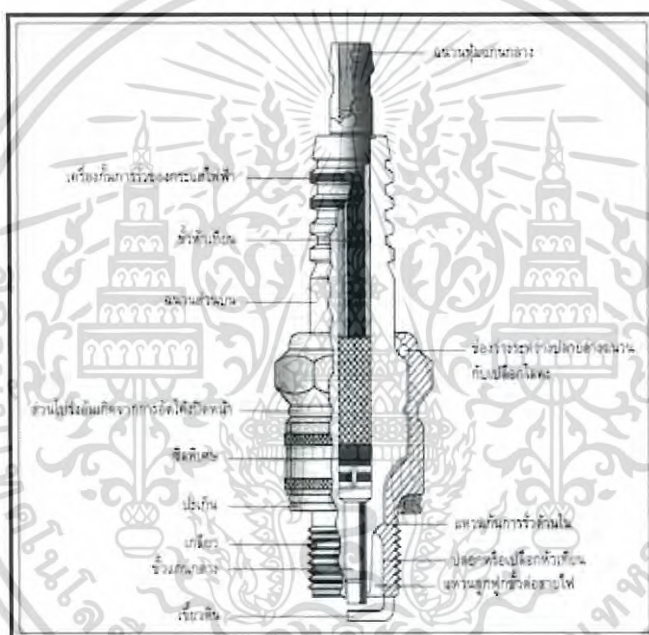
การเหนี่ยวนำตัวเอง (self-induction effect) เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลเข้าไปในขดลวดจนเต็มและถูกตัดวงจรอย่างทันทีทันใด สนามแม่เหล็กจะยุบตัวลงตัดกับขดลวดเกิดการเปลี่ยนแปลงการเหนี่ยวนำของแม่เหล็กของขดลวดทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น การเหนี่ยวนำร่วม (mutual induction effect) เมื่อขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิถูกพันอยู่รอบ ๆ แกนเหล็กอ่อนเดียวกัน เมื่อขดลวดปฐมภูมิถูกตัดวงจรอย่างทันทีทันใดจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กโดยเส้นแรงแม่เหล็กยุบตัวทำให้ขดลวดทุติยภูมิเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนของเส้นแรงแม่เหล็ก เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวดมากแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำก็จะมาก จำนวนรอบของขดลวด จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิมาก ก็จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้สูง ความเร็วในการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็ก เพื่อที่จะได้รับแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงในระหว่างการเหนี่ยวนำร่วม กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรขดลวดปฐมภูมิจะต้องมากและจะต้องถูกตัดวงจรอย่างทันทีทันใด คอยล์จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระเบิดแบบมีความต้านทานภายนอก ตัวต้านทานต่ออนุกรมกับขดลวดปฐมภูมิ จะใช้ขดลวดที่มีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้จำนวนรอบลดลงความต้านทานลดลงกระแสไฟฟ้าไหลเข้าได้มากและเร็ว การนำความต้านทานภายนอกมาต่ออนุกรมกับขดลวดปฐมภูมิก็เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าไหลเข้าขดลวดมากเกินไปเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำจะทำให้คอยล์ร้อนจนอาจเสียหายได้

2.6 หัวเทียน (Spark Plug)

หัวเทียนทำหน้าที่จุดประกายไฟให้ไอดีเกิดการเผาไหม้ หัวเทียนที่อยู่ในสภาพดีและการเลือกใช้หัวเทียนให้ถูกต้องกับสภาพการใช้งานจะเป็นผลทำให้เครื่องยนต์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของหัวเทียน

1. ขั้วหัวเทียน (Terminal stud) เป็นที่เสียบของสายไฟแรงสูง
2. แกนกลาง (Center electrode) ทำจากโลหะพิเศษที่ทนต่อการกัดกร่อนของเชื้อเพลิงที่เผาไหม้และยังสามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ดี
3. กระเบื้องฉนวน (Insulator) ทำหน้าที่ป้องกันแกนกลางไม่ให้ลัดกราวด์
4. เปลือกนอกและเกลียว (Metal shell) เป็นส่วนที่ยึดกับฝาสูบ
5. ปะเก็น (Gasket) เป็นแหวนป้องกันการรั่วของแก๊สในห้องเผาไหม้
6. ขั้วหัวเทียน (Ground electrode) ทำหน้าที่เป็นกราวด์ ให้ไฟแรงสูงกระโดดข้ามช่องว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

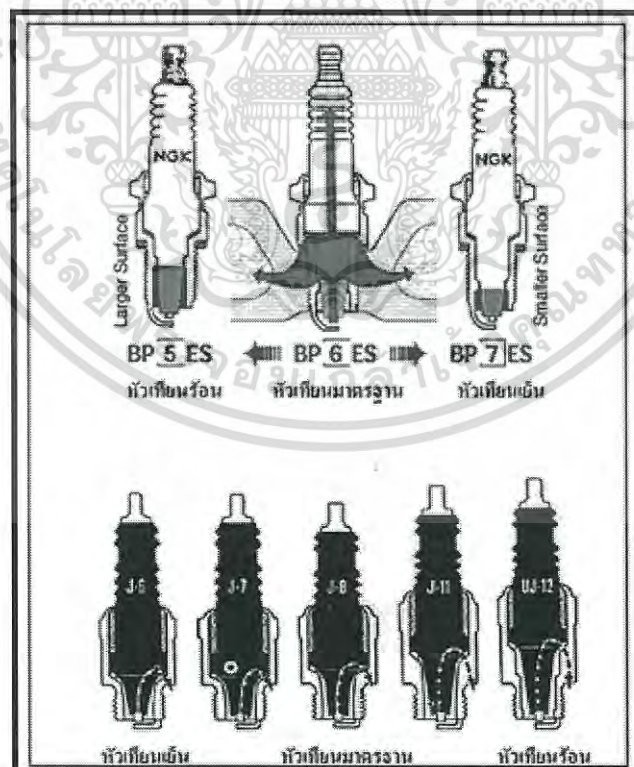
❖ หัวเทียนทองคำขาว (Platinum spark plug)

หัวเทียนปกติโดยทั่วไปแกนกลางของหัวเทียนจะทำจากโลหะผสมนิเกิลกับโครเมียมแมงกานีส ซิลิคอนหรือโลหะอื่นๆสำหรับหัวเทียนทองคำขาวเป็นหัวเทียนที่แกนกลางทำจากโลหะทองคำขาว (Platinum) ที่มีความบริสุทธิ์ถึง 99.99% มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.3 ถึง 1.1 มิลลิเมตร (แกนกลางเล็กกว่าหัวเทียนแบบธรรมดา) มีคุณสมบัติพิเศษทนต่อการกัดกร่อนมีประสิทธิภาพดีกว่าหัวเทียนแบบธรรมดา

- การแบ่งประเภทของหัวเทียน

สามารถแบ่งประเภทของหัวเทียนตามคุณสมบัติการระบายความร้อนของหัวเทียนได้ 3 ประเภทคือ

1. **หัวเทียนร้อน** คือหัวเทียนที่มีกระเบื้องแกนกลางยาว ความร้อนจึงสะสมได้มากใช้กับเครื่องยนต์ที่ทำงานความเร็วต่ำหรือระยะเวลาในการทำงานช่วงสั้นๆ ความร้อนจึงถึงอุณหภูมิทำงานเร็ว
2. **หัวเทียนมาตรฐาน** คือหัวเทียนที่มีกระเบื้องแกนกลางยาวปานกลาง ใช้กับเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยความเร็วปานกลางหรือวิ่งในระยะทางใช้งานทั่วไป
3. **หัวเทียนเย็น** คือหัวเทียนที่มีกระเบื้องแกนกลางสั้นระบายความร้อนได้ดี ใช้กับเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยความเร็วสูงหรือวิ่งในระยะทางไกลๆ



รูปที่ 2.7 โครงสร้างแต่ละแบบของหัวเทียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การสังเกตสีและลักษณะของหัวเทียน

1. สภาพสีดำแข็ง สามารถขีดออกได้ง่าย แสดงว่าส่วนผสมหนา
2. สภาพน้ำมันเครื่องเปียก แสดงว่าลูกสูบ ระบายออกสูบ แหวนลูกสูบสึกหรอ
3. สภาพไหม้กร่อน แสดงว่าเครื่องยนต์ทำงานที่อุณหภูมิสูงเกินไป อาจใช้หัวเทียนผิด
4. เบอร์สภาพสีขาวจับหรือสีเหลืองจับ แสดงว่าไฟอ่อนเปลี่ยนหัวเทียนให้ร้อนขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 มอสเฟตกำลัง (Power Mosfet)

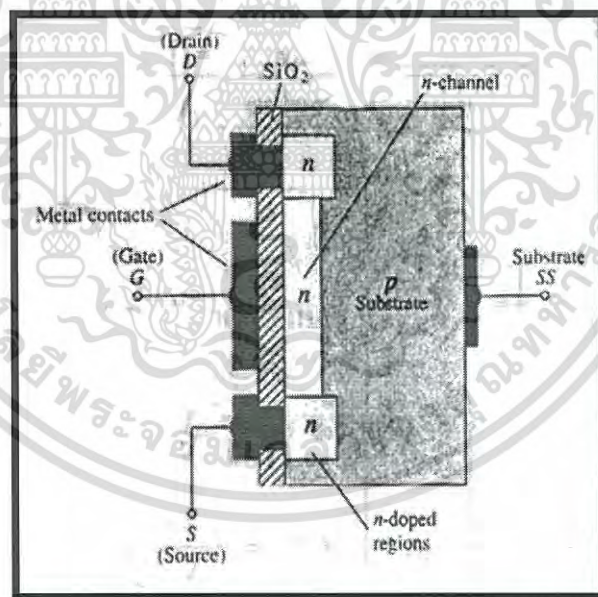
มอสเฟตแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ดีพลีชัน (Depletion) และเอนฮานซ์เมนต์ (Enhancement) แต่ละประเภทยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบแซนแนล n และ แบบแซนแนล p

มอสเฟตประเภท ดีพลีชันหรือดีมอสเฟต (D-MOSFET) ทั้ง 2 แบบจะทำงานได้ 2 โหมด คือ โหมดดีพลีชัน (Depletion Mode) และ โหมดเอนฮานซ์เมนต์ (Enhancement Mode) กล่าวคือ ถ้าจ่ายแรงดันลบให้กับดีมอสเฟตแซนแนล n จะทำงานในโหมดดีพลีชัน แต่ถ้าจ่ายแรงดันบวกจะทำงานในโหมดเอนฮานซ์เมนต์ ส่วนดีมอสเฟตแซนแนล p ก็ทำงานคล้ายกันเมื่อได้รับแรงดันที่มีขั้วตรงข้ามกับแบบแซนแนล n

มอสเฟตประเภทเอนฮานซ์เมนต์หรืออีมอสเฟต (E-MOSFET) มีโครงสร้างบางอย่างคล้ายกับมอสเฟตแบบดีพลีชัน แต่จะทำงานได้เฉพาะโหมดเอนฮานซ์เมนต์เท่านั้น

2.7.1 ดีมอสเฟตแบบแซนแนล n

โครงสร้างของดีมอสเฟตแบบแซนแนล n เป็นดังรูป



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของดีมอสเฟตแบบแซนแนล n

ดีมอสเฟตแบบแซนแนล n ประกอบขึ้นจากแผ่นผลึกฐาน p (p-substrate) ที่เป็นสารกึ่งตัวนำทำจากซิลิกอนขั้ว D และขั้ว S ต่อกับบริเวณที่มีการกระตุ้นหรือโด๊ปให้เป็นบริเวณสารกึ่งตัวนำ n ทั้งสองส่วนนี้จะเชื่อมกับแซนแนล n สำหรับขั้ว G จะต่อกับวัสดุฉนวนนอกที่เป็นโลหะโดยมีซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) กั้นแซนแนล n กับขั้ว G (ซิลิกอนไดออกไซด์เป็นฉนวนประเภทไดอิเล็กทริก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

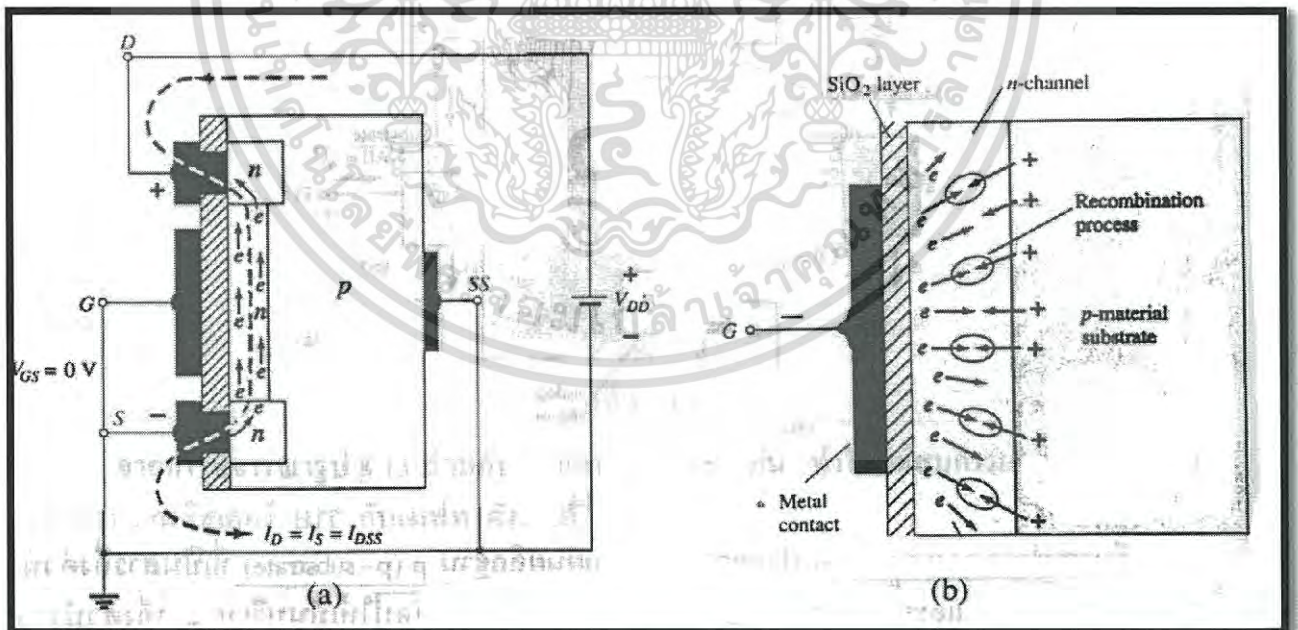
เมื่อมีสนามไฟฟ้าจ่ายเข้ามาที่ชั้นของ SiO_2 ก็จะสร้างสนามไฟฟ้าต้านและสร้างชั้นฉนวนขึ้นภายในตัวเองเพื่อกันขั้วเกตกับแขนแนล แสดงว่าไม่มีการต่อโดยตรงระหว่างขั้ว G กับแขนแนลของมอสเฟต ชั้นที่เป็นฉนวน SiO_2 จะทำให้ Z มีค่าสูงตามความต้องการได้ นอกจากนี้บางครั้งจะต่อแผ่นผลึกจากฐานเข้ากับแหล่งจ่ายจึงมีขั้วเพิ่มขึ้นมาเรียกว่า ขั้วผลึกฐาน SS (Substrate : SS) ทำให้มีขั้วเพิ่มเป็น 4 ขั้ว และจากข้างต้น จึงสรุปความหมายของคำว่า MOS

ในชื่อมอสเฟต (ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าโลหะออกไซด์สารกึ่งตัวนำ) ได้ดังนี้

- โลหะ (Metal, M) หมายถึง บริเวณสำหรับการต่อขั้ว D, S และ G กับวัสดุผิวนอก
- ออกไซด์ (Oxide, O) หมายถึง ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2)
- สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor, S) หมายถึง โครงสร้างพื้นฐานในบริเวณแพร่กระจาย ของสารกึ่ง ตัวนำชนิด p และสารกึ่งตัวนำชนิด n

❖ การทำงานและคุณสมบัติเบื้องต้นของดีมอสเฟต (Basic Operation and Characteristics)

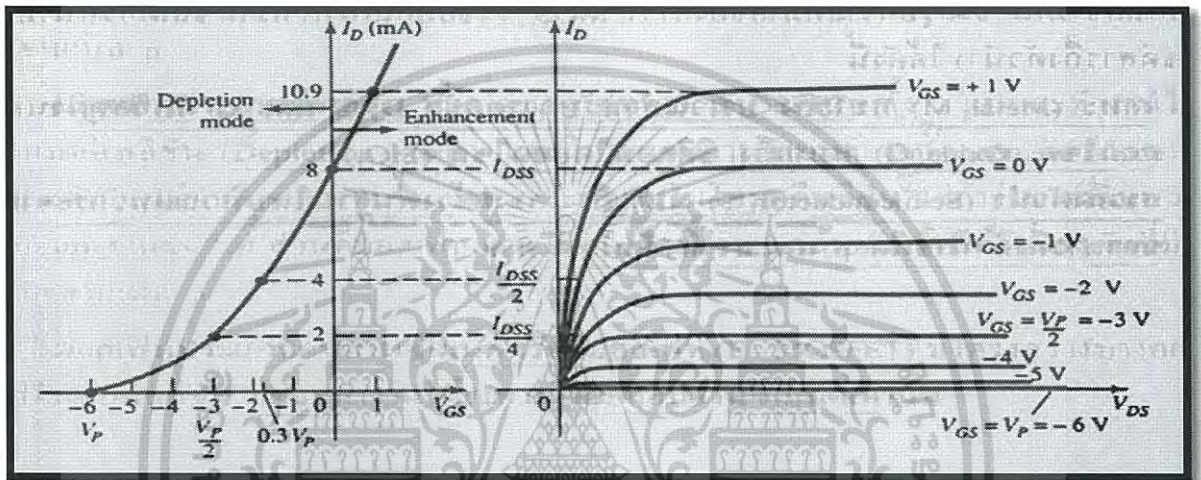
กำหนดให้ V_{GS} ในรูป (a) มีค่าเป็นศูนย์ แล้วจ่าย V_D ที่ขั้ว D และ S ขั้ว D สามารถดึงดูดอิเล็กตรอนอิสระ (e) ผ่านแขนแนล n และทำให้กระแส $I_D = I_S = I_{DSS}$ ไหลผ่านแขนแนล n ได้ (คล้ายกับการไหลของกระแสไฟฟ้าในแขนแนลของเจฟเฟตขณะ $V_{GS} = 0 \text{ V}$)



รูปที่ 2.9 การทำงานของมอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าจ่าย V_{GS} ที่มีค่าเป็นลบให้กับขั้วเกต (รูป b) เช่น -1 V ความต่างศักย์ที่ขั้วเกตจะผลักดันให้อิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนไปยังแผ่นผลึกฐาน p และดึงดูดโฮลจากแผ่นผลึกฐาน p ทำให้อิเล็กตรอนและโฮลรวมตัวกันใหม่ (Recombination Process) จึงเกิดการลดจำนวนอิเล็กตรอนอิสระในแชนแนล n ที่ไว้สำหรับการนำกระแส เมื่อมีค่า V_{GS} เป็นลบมากเท่าใดก็จะเกิดการรวมตัวกันใหม่มากขึ้นเท่านั้นและอิเล็กตรอนอิสระที่แชนแนล n ก็จะมีจำนวนลดลง จึงกล่าวได้ว่าถ้า V_{GS} เป็นลบมากขึ้น I_D จะมีค่าน้อยลง

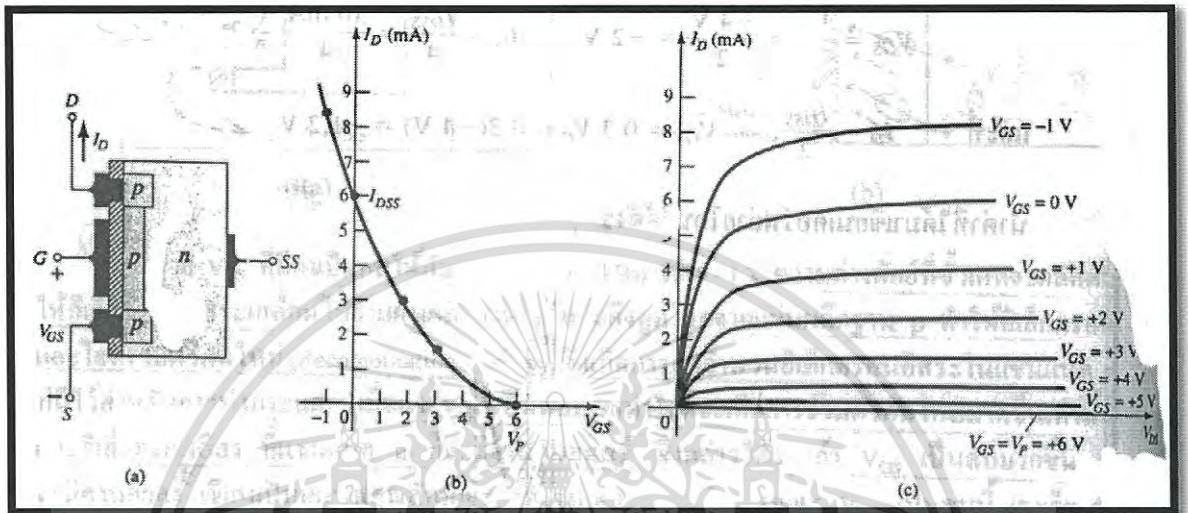


รูปที่ 2.10 การทำงานในโหมดดีพลีชัน

ถ้าจ่าย V_{GS} ที่มีค่าเป็นบวกให้กับขั้วเกตความต่างศักย์ที่ขั้วเกตจะดึงดูดอิเล็กตรอนจากผลึกฐาน p มายังบริเวณชั้น SiO_2 ทำให้พาหะนำกระแสและสภาพนำกระแสของแชนแนลเพิ่มขึ้น ดังนั้นกระแส I_D จึงเพิ่มขึ้นจนมีค่ามากกว่า I_{DSS} การทำงานขณะ V_{GS} เป็นบวกนี้เราเรียกว่า การทำงานในโหมดเอนฮานซ์เมนต์

2.7.2 ติ่มอสเฟตแบบแซนแนล p

โครงสร้างของติ่มอสเฟตแบบแซนแนล p มีลักษณะตรงข้ามกับรูปของติ่มอสเฟตแบบแซนแนล n คือประกอบด้วยแผ่นผลึกฐาน n และแซนแนล p ดังรูป

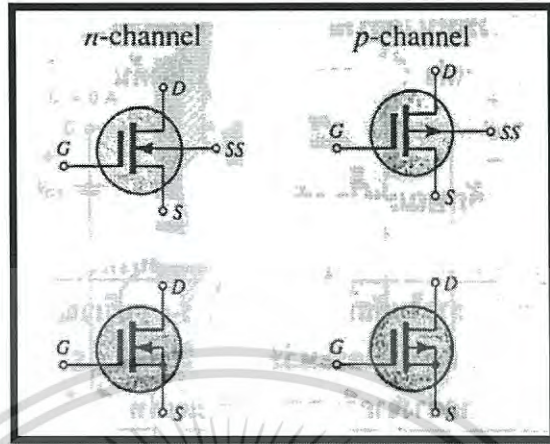


รูปที่ 2.11 โครงสร้างของติ่มอสเฟตแบบแซนแนล p

จากการเปรียบเทียบคุณลักษณะของติ่มอสเฟตแบบแซนแนล กับติ่มอสเฟตแบบแซนแนล p (ตามรูป b และ c) เราพบว่าทิศทางของกระแสขั้วแรงดันต่าง ๆ กลับกันทำให้คุณลักษณะกลับกันด้วย I_D จะเริ่มเพิ่มขึ้นจากจุด Cutoff ที่ $V_{GS} = V_p$ และขณะที่ V_{GS} มีค่าเป็นบวกลดลง I_D จะเพิ่มขึ้นจนถึง I_{DSS} และเพิ่มอย่างต่อเนื่องจนเลยค่า I_{DSS} เมื่อ V_{GS} มีค่าเป็นลบเพิ่มขึ้นยังคงใช้สมการของชอคเลย์ได้ แต่ควรระวังเครื่องหมาย V_{GS} และ V_p ในสมการให้ถูกต้อง (คือจะต้องมีเครื่องหมายเป็นบวก)

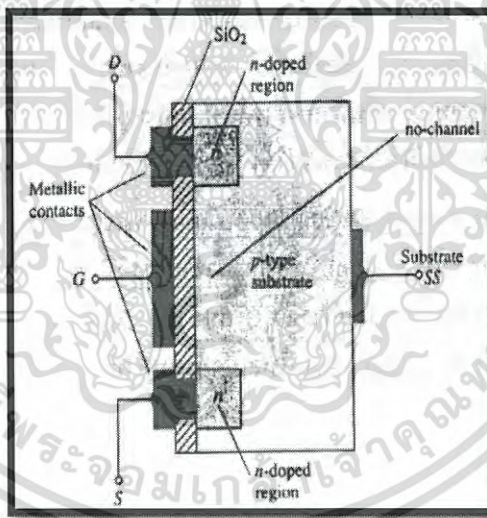
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❖ สัญลักษณ์ (Symbols)



รูปที่ 2.12 สัญลักษณ์ (Symbols) ของดีมอสเฟต

2.7.3 อิมอสเฟตแบบแชนแนล n



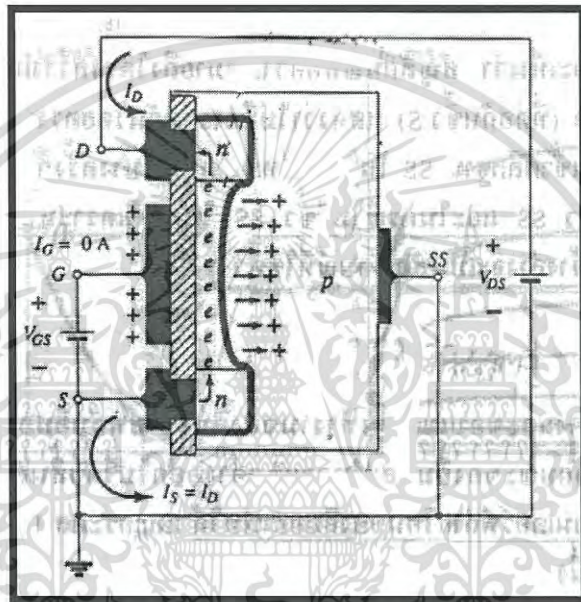
รูปที่ 2.13 โครงสร้างเบื้องต้นของอิมอสเฟต แบบแชนแนล n

อิมอสเฟตแบบแชนแนล n ประกอบขึ้นจากแผ่นผลึกฐาน p ที่เป็นสารกึ่งตัวนำทำจากซิลิคอน ขั้ว D และขั้ว S ต่อกับ บริเวณที่มีการกระตุ้น n โดยผ่านวัสดุฉนวนที่เป็นโลหะ นอกจากนี้บางครั้งจะต่อแผ่นผลึกฐาน p เข้ากับแหล่งจ่ายจึง มีขั้ว SS เพิ่มขึ้นมาคล้ายกับดีมอสเฟต ถ้าสังเกตรูป ให้ดีจะเห็นได้ว่าไม่มีเส้นทางเชื่อมหรือไม่มีแชนแนล (no-channel) ระหว่างบริเวณที่มีการกระตุ้น n ทั้ง 2 แห่ง นี่คือการแตกต่างเบื้องต้นระหว่างโครงสร้างของอิมอสเฟตและดีมอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❖ การทำงานและคุณลักษณะเบื้องต้นของอิมอสเฟต (Basic Operation and Characteristics)

กำหนดให้ $V_{GS} = 0V$ และจ่าย V_{DS} ที่มีค่าเป็นบวกให้กับขั้ว S กับขั้ว D โดยขั้ว SS ต่อรวมกับขั้ว S ดังรูป จะเกิดจากไบอัสกลับที่รอยต่อ p-n (บริเวณที่มีการกระตุ้น n กับผลึกฐาน p) [เนื่องจากไม่มีเส้นทางเชื่อม หรือ แชนแนลระหว่างขั้ว D และขั้ว S ทำให้เกิดการต้านการไหลของอิเล็กตรอน] กระแส $I_D=0$ แตกต่างจาก ดีมอสเฟตและเจเฟตซึ่งมี $I_D=I_{DSS}$



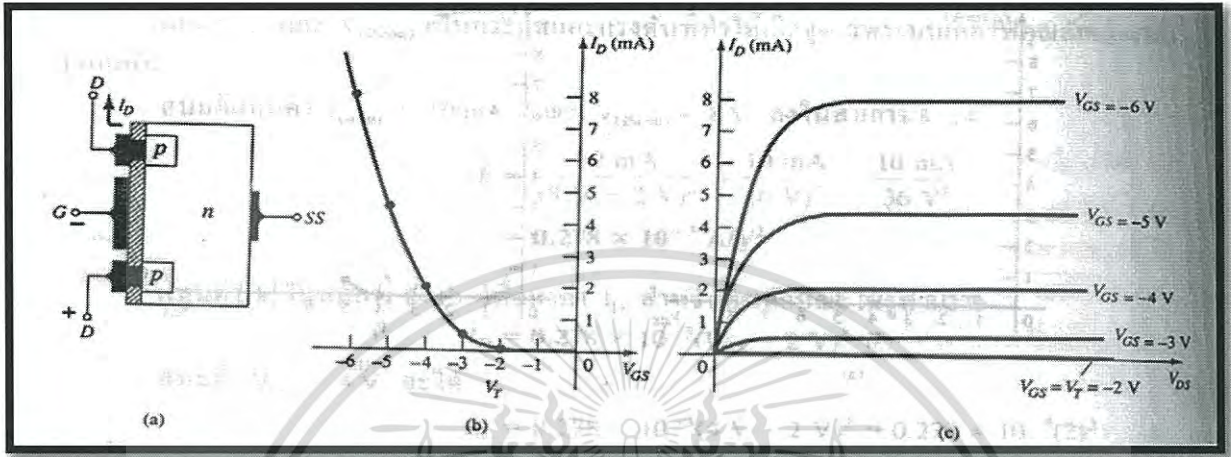
รูปที่ 2.14 การทำงานของอิมอสเฟต ชนิด n

ถ้าจ่าย V_{DS} และ V_{GS} ที่มีค่าเป็นบวกดังรูป ทำให้ขั้ว D และขั้ว G มีความต่างศักย์เป็นบวกการที่ขั้ว G มีความต่างศักย์เป็นบวกนี้จะผลักดันให้โหนดในผลึกฐาน p เข้าไปสู่บริเวณภายในผลึกฐาน p และดึงดูดอิเล็กตรอนในผลึกฐาน p (เป็นพาหะข้างน้อยรวมตัวอยู่ในบริเวณใกล้กับผิวของ SiO_2) ซึ่งมีคุณลักษณะเป็นฉนวนและป้องกันอิเล็กตรอนไม่ให้ดึงดูดไปยังขั้วเกต

ขณะที่ V_{GS} เพิ่มขึ้น การรวมตัวของอิเล็กตรอนใกล้กับชั้นของ SiO_2 ก็เพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ขณะเดียวกันบริเวณที่มีการกระตุ้น n เกิดการเหนี่ยวนำจากแรงดึง V_{GS} ทำให้มีอิเล็กตรอนหรือ I_D (มีทิศทางตรงข้ามกับอิเล็กตรอน) ไหลระหว่าง ขั้ว D กับขั้ว S ระดับ V_{GS} ทำให้ I_D ไหลเราเรียกว่า แรงดันเทรชโฮลด์ (Threshold Voltage; V_T) ในสเปคกำหนดให้ V_T เป็น $V_{GS(Th)}$

2.7.4 อิมอสเฟตแบบแชนแนล p

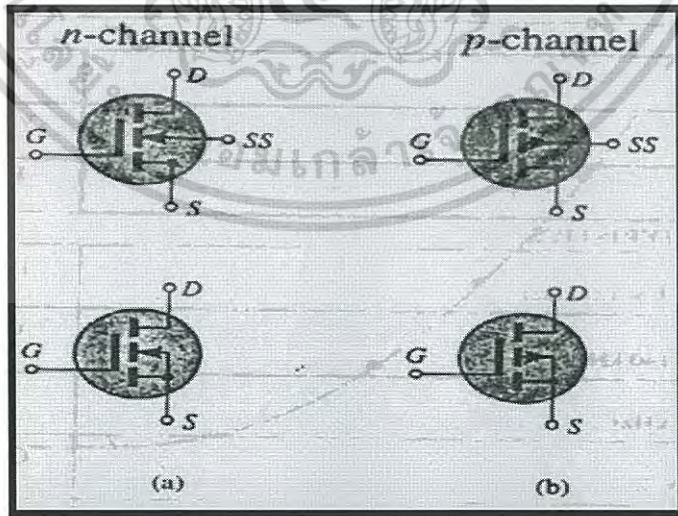
โครงสร้างของอิมอสเฟตแบบแชนแนล p มีลักษณะตรงข้ามกับแบบแชนแนล n



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของอิมอสเฟตแบบแชนแนล p

กล่าวคือ ขั้ว D และขั้ว S ต่อกับผลึกฐาน n และบริเวณที่มีการกระตุ้น p(p-doped regions) แต่ขั้วของแรงดันและทิศทางการกระแสตรงข้ามกับแบบแชนแนล n นอกจากนี้คุณลักษณะของแควอร์ฟลายอิน ก็แสดงค่าที่ด้านตรงข้าม

❖ สัญลักษณ์ (Symbol)



รูปที่ 2.16 (a) สัญลักษณ์ของอิมอสเฟตแบบแชนแนล p และ (b) มอสเฟตแบบแชนแนล n

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 วงจรขับเคลื่อน

การขับเคลื่อนจากที่พิจารณาลักษณะสมบัติในการเป็นสวิตช์อัตราการเปลี่ยนแปลงของ VDS และ ID นั้นเกี่ยวข้องกับกระแสเกตที่เป็นผลเกี่ยวเนื่องกับความเร็วของการเก็บและคายประจุของตัวเก็บประจุระหว่างขาเกตและซอร์สของมอสเฟต ดังนั้นการออกแบบวงจรควบคุมเวลาการสวิตช์มอสเฟต จึงเป็นการควบคุมแหล่งจ่ายกระแสด้วยวงจรขับเคลื่อน ข้อดีของความเร็วการสวิตช์ที่สูงเป็นการลดกำลังการสูญเสียตลอดจนการลดเวลาการเปลี่ยนสถานะสวิตช์ ซึ่งมีผลกับการประยุกต์ใช้งานที่ความถี่สูง แต่ข้อเสียของความเร็วการสวิตช์ที่สูงๆ จะมีผลเสียต่อสัญญาณแทรกทบวงสูงการเพิ่มขึ้นของปัญหากระแสย้อนกลับที่ผ่านพรีวิลลิ่งไดโอด และการเกิดแรงดันเกินที่เกิดจากตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะลดลงที่ความเร็วการสวิตช์ต่ำ มอสเฟตมักถูกเลือกใช้งานความถี่การเป็นสวิตช์สูงที่ต้องการในงานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เพราะเป็นอุปกรณ์ที่มีความสามารถสวิตช์ดีกว่าอุปกรณ์ประเภทอื่น ๆ ในการประยุกต์ใช้งานที่ความถี่สูง มอสเฟตนั้นต้องการกระแสเกตที่มากพอในขนาดประมาณ 1 แอมแปร์ หรือ มากกว่าเพื่อจะให้ความเร็วในการสวิตช์สูงสัญญาณที่ควบคุมมอสเฟตนั้นโดยปกติจะถูกส่งจากรวงจรลอจิกเกตที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ประเภทไอซีหรือไมโครโปรเซสเซอร์ เป็นต้น สัญญาณที่ได้จากรวงจรลอจิกนั้นปกติจะไม่สามารถขับมอสเฟตได้โดยตรง เพราะจะต้องคำนึงถึงค่าของกระแสเกตและขนาดทั้งการไหลออกและเข้าที่ขาเกต

2.9 แหล่งจ่ายไฟแบบ Off-Line Switching

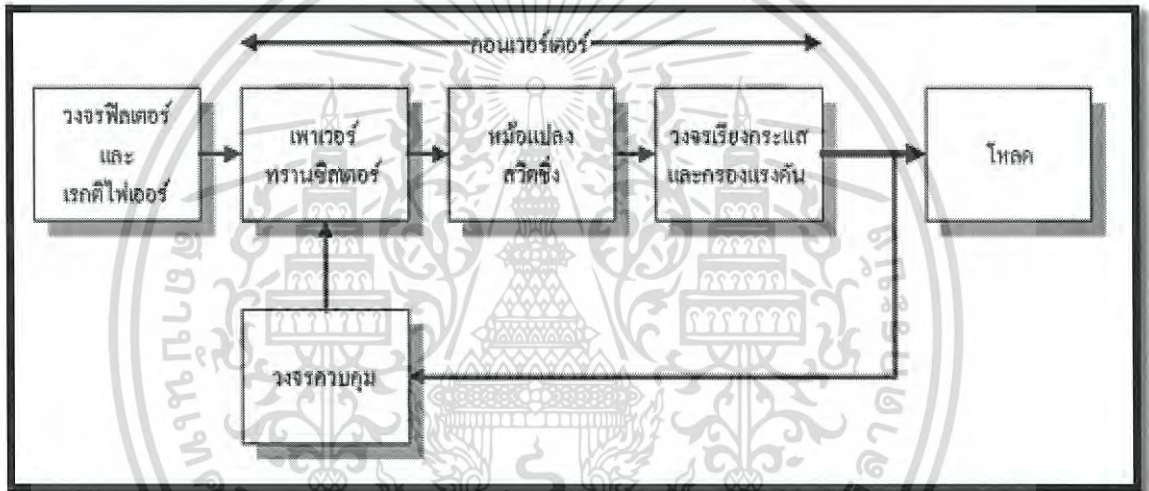
สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply) เป็นแหล่งจ่ายไฟตรงคงค่าแรงดันแบบหนึ่ง และสามารถเปลี่ยนแรงดันไฟจากไปสลับโวลต์สูงให้เป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำ เพื่อใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ได้เช่นเดียวกันแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น (Linear Power Supply) ถึงแม้เพาเวอร์ซัพพลายทั้งสองแบบจะต้องมีการใช้หม้อแปลงในการลดทอนแรงดันสูงให้เป็นแรงดันต่ำเช่นเดียวกัน แต่สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจะต้องการใช้หม้อแปลงที่มีขนาดเล็ก และน้ำหนักน้อย

สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายโดยทั่วไปมีองค์ประกอบพื้นฐานที่คล้ายคลึงกัน และไม่ซับซ้อนมากนัก สิ่งสำคัญของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจะอยู่ที่คอนเวอร์เตอร์

2.9.1 หลักการทำงาน

แรงดันไฟสลับค่าสูงจะผ่านเข้ามาทางวงจร RFI ฟิวเตอร์ เพื่อกรองสัญญาณรบกวนและแปลงเป็นไฟตรงค่าสูงด้วยวงจรเรกติไฟเออร์ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะทำงานเป็นเพาเวอร์คอนเวอร์เตอร์โดยการตัดต่อแรงดันเป็นช่วง ๆ ที่ความถี่ประมาณ 20-200 KHz

จากนั้นจะผ่านไปยังหม้อแปลงสวิตชิงเพื่อลดแรงดันลง เอาต์พุตของหม้อแปลงจะต่อกับวงจรเรียงกระแส และกรองแรงดันให้เรียบ การคงค่าแรงดันจะทำได้โดยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาต์พุตกลับมายังวงจรควบคุม เพื่อควบคุมให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำกระแสมากขึ้นหรือน้อยลงตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาต์พุต ซึ่งจะมีผลทำให้แรงดันเอาต์พุตคงที่ได้



รูป 2.17 องค์ประกอบพื้นฐานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

2.9.2 วงจร EMI Filter

วงจรไฟฟ้าชนิดที่มีการสวิตซ์ซึ่งมักจะใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดสัญญาณรบกวน(EMI) เช่น สวิตซ์โหมดพาวเวอร์ซัพพลาย(Switched-mode Power Supplies) วงจรลดทอนแรงดัน(Buck-convertor), วงจรทบแรงดัน(Boost-convertor), Off-Line Regulator ฯลฯ อุปกรณ์พวกนี้จะสร้างสัญญาณรบกวน(EMI) ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. Conducted EMI
2. Radiated EMI

สัญญาณรบกวนจะถูกส่งกลับเข้ามายังระบบไฟฟ้า ทำให้เกิดปัญหาสัญญาณรบกวนในระบบไฟฟ้าขึ้น สำหรับโครงการนี้ได้ออกแบบEMI ฟิวเตอร์ชนิด Conducted EMI เพื่อลดสัญญาณรบกวนให้แก่วงจร Off-Line Switching Power Supplies

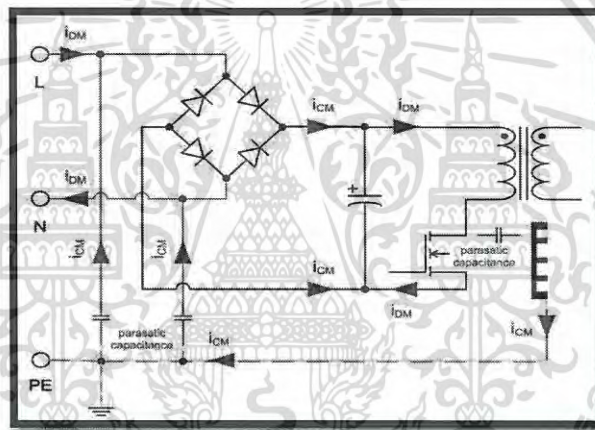
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Conducted EMI สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดดังนี้

1. คอมมอนโหมด (Common Mode)
2. ดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Mode)

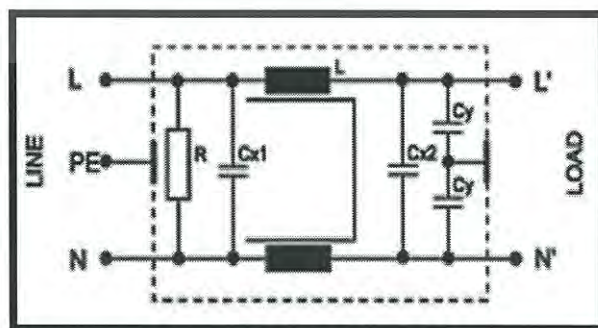
คอมมอนโหมด (Common Mode) เป็นสัญญาณรบกวนที่จะเดินทางจาก Line ไปยัง Ground และ Neutral ไปยัง Ground สัญญาณรบกวนในที่นี้คือกระแสคอมมอน (ICM) ซึ่งเป็นกระแสที่มีความถี่สูงและมีแอมพลิจูดต่ำแต่กระแสเดินทางเป็นลูปใหญ่ จึงส่งผลให้เกิดปัญหา EMC ดังนั้นกระแสคอมมอน จึงส่งผลเสียมากกว่ากระแสแอสติฟเฟอเรนเชียล

ดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Mode) เป็นสัญญาณรบกวนที่จะเดินทางจาก Line ไปยัง Neutral สัญญาณรบกวนในที่นี้คือกระแสดิฟเฟอเรนเชียล (IDM) ซึ่งเป็นกระแสที่มีความถี่สูงและมีแอมพลิจูดต่ำ



รูปที่ 2.18 Common mode and differential mode interference current

รูปแบบทั่วไปของวงจร EMI Filter จะประกอบด้วยอินดักแตนซ์ (L), ดิฟเฟอเรนเชียลโหมดคาปาซิเตอร์ (CX), คอมมอนโหมดคาปาซิเตอร์ (CY) และตัวต้านทาน (R) แสดงได้ดังรูป



รูปที่ 2.19 วงจร EMI Filter แบบทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.3 คอนเวอร์เตอร์ (Converter)

คอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากทำหน้าที่ที่ทั้งลดทอนแรงดันและคงค่าแรงดันเอาต์พุตด้วย องค์ประกอบต่าง ๆ ทำงานตามลำดับดังนี้

2.7.3.1 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback converter)

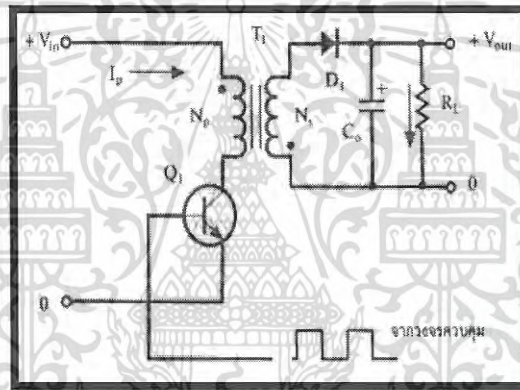
2.7.3.2 ฟอว์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ (Forward converter)

2.7.3.3 พูช-พูลคอนเวอร์เตอร์ (Push-Pull converter)

2.7.3.4 ฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half-Bridge converter)

2.7.3.5 ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full-Bridge converter)

❖ ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์



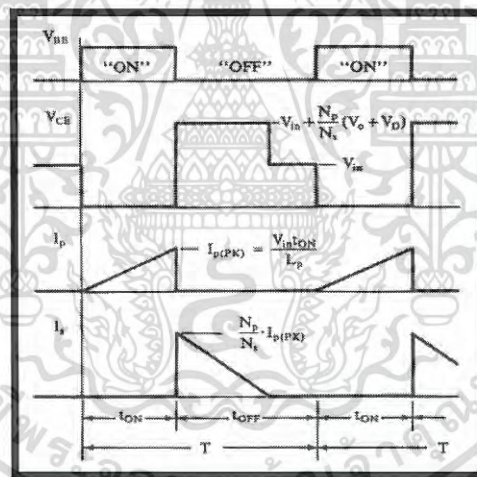
รูป 2.20 วงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

จากรูป เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 ในฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์จะทำงานในลักษณะเป็นสวิตช์ และจะนำกระแสตามคำสั่งของพัลส์สี่เหลี่ยมที่ป้อนให้ทางขาเบส เนื่องจากหม้อแปลง T_1 จะกำหนดขดไพรมารีและขดเซคันดารีให้มีลักษณะกลับเฟสกันอยู่ ดังนั้นเมื่อ Q_1 นำกระแส ไดโอด D_1 จึงอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับและไม่นำกระแส จึงมีการสะสมพลังงานที่ขดไพรมารีของหม้อแปลง T_1 แทน เมื่อ Q_1 หยุดนำกระแส สนามแม่เหล็ก T_1 ยุบตัวทำให้เกิดการกลับขั้วแรงดันที่ขดไพรมารีและเซคันดารี D_1 ก็จะถูกไบแอสตรง พลังงานที่สะสมในขดไพรมารีของหม้อแปลงก็จะถูกถ่ายเทออกไปยังขดเซคันดารี และมีกระแสไหลผ่านไดโอด D_1 ไปยังตัวเก็บประจุเอาต์พุต C_o และโหลดได้ ค่าของแรงดันที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์จะขึ้นอยู่กับค่าความถี่การทำงานของ Q_1 ช่วงเวลานำกระแสของ Q_1 อัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลง และค่าของแรงดันที่อินพุต

เมื่อวงจรทำงานอยู่ในสภาวะคงที่ ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากคอนเวอร์เตอร์จะเป็นไปตามสมการ

$$V_{out} = \frac{t_{ON} \times (N_s / N_p)(V_{in} - V_{CE(sat)})}{(T - t_{ON})} - V_D \quad (2.1)$$

- T คือคาบเวลาการทำงานของ Q1 เป็นวินาที
 t_{ON} คือช่วงเวลา
 N_p คือจำนวนรอบของขดไพรมารี
 N_s คือจำนวนรอบของขดเซคันดารี
 V_{out} คือแรงดันที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ เป็นโวลต์
 V_{in} คือแรงดันที่อินพุตของคอนเวอร์เตอร์ เป็นโวลต์
 $V_{ce(sat)}$ คือแรงดันตกคร่อม Q1 ขณะนำกระแสที่จุดอิ่มตัว เป็นโวลต์
 V_D คือแรงดันตกคร่อมไดโอด D1 ขณะนำกระแส เป็นโวลต์



รูปที่ 2.21 กราฟแสดงลักษณะกระแสและแรงดันในวงจรขณะทำงาน

ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ให้กำลังงานได้ไม่สูงนัก โดยอยู่ในช่วงไม่เกิน 150 วัตต์และให้ค่าสัญญาณรบกวน RFI/EMI ค่อนข้างสูง แต่ใช้อุปกรณ์น้อยและมีราคาถูก

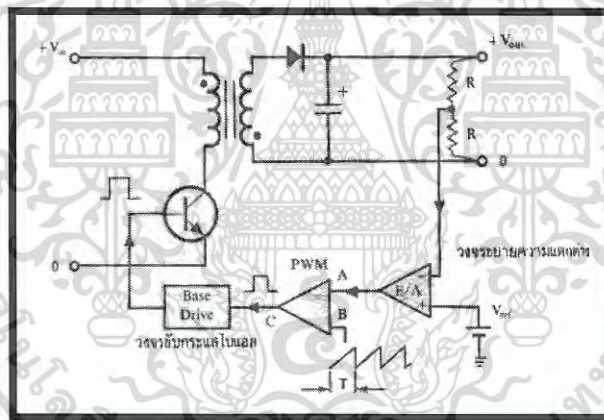
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 วงจรควบคุม

เนื่องจากคอนเวอร์เตอร์เกือบทุกแบบจะคงค่าแรงดันเอาต์พุตได้ด้วยการควบคุมช่วงเวลา นำกระแส (t_{ON}) ของ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ดังนั้นวงจรควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์โดยทั่วไปจึง มักนิยมใช้เทคนิคพัลส์วิดท์มอดูเลชัน (Pulse Width Modulation - PWM) เป็นหลัก การใช้ PWM เพื่อ ควบคุมช่วงเวลา นำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์สามารถทำได้สองลักษณะ คือ ควบคุมจากแรงดัน และ ควบคุมจากกระแส

❖ วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดัน

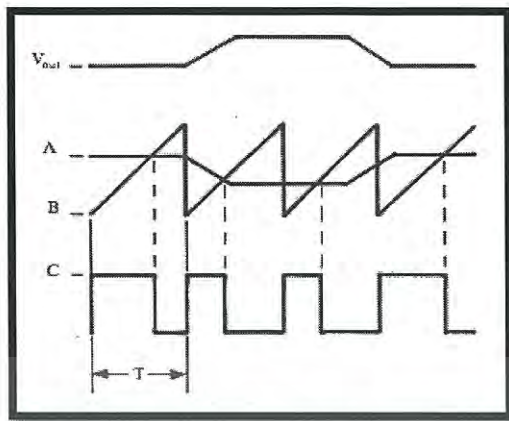
การทำงานของวงจรควบคุมในโหมดแรงดัน (Voltage Mode Control) จะอาศัยการตรวจจับ การเปลี่ยนแปลงค่าของแรงดันที่เอาต์พุตมาควบคุมช่วงเวลา นำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพื่อ การคงค่าแรงดันเอาต์พุตเป็นหลัก วงจรพื้นฐานเป็นดังรูป



รูปที่ 2.22 แสดงวงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดัน

จากรูปวงจรควบคุมจะอาศัยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาต์พุตและเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง V_{ref} ของวงจร เพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาต์พุต ค่าความแตกต่างที่ได้จะถูกขยายโดย วงจรขยายความแตกต่าง E/A ก่อนที่จะส่งต่อไปยังวงจร PWM โดยค่าแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความ แตกต่าง E/A ที่ตำแหน่ง A จะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันรูปฟันเลื่อยที่ตำแหน่ง B ของ PWM อีกครั้งหนึ่ง เอาต์พุตที่ได้จากวงจร PWM จะมีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม ซึ่งมีคาบเวลาคงที่เท่ากับคาบเวลาของ แรงดันรูปฟันเลื่อยและความกว้างของพัลส์ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามผลมอดูเลชันของค่าแรงดันที่ตำแหน่ง A และ B ค่าความกว้างของพัลส์นี้เองที่จะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ใน คอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

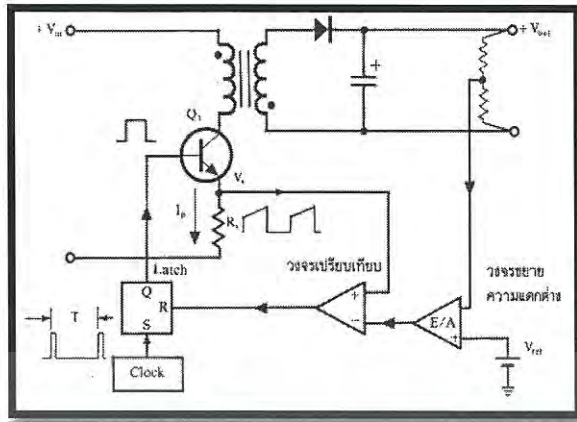


รูปที่ 2.23 แสดงลักษณะความกว้างของพัลส์จาก PWM

เนื่องจากค่าแรงดันป้อนกลับจะถูกส่งมายังวงจรรขยายความแตกต่าง E/A ที่ขาอินเวอร์ตติง ผลต่างของแรงดันเอาต์พุต และแรงดันอ้างอิงที่จุด A จึงมีลักษณะกลับเฟสอยู่ 180 องศา กล่าวคือ เมื่อแรงดันเอาต์พุตมีค่ามากขึ้น แรงดันที่จุด A จะมีค่าลดลง ความกว้างของพัลส์ที่เอาต์พุตของวงจร PWM จึงมีค่าลดลงด้วย และช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ t_{ON} ก็จะมีค่าลดลง ถ้าแรงดันเอาต์พุตมีค่าลดลง แรงดันที่จุด A จะมีค่าเพิ่มขึ้น ความกว้างพัลส์ที่เอาต์พุตของวงจร PWM จึงมีค่าเพิ่มขึ้น t_{ON} ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้คอนเวอร์เตอร์สามารถคงค่าแรงดันเอาต์พุตไว้ได้ ลักษณะรูปคลื่นแรงดันขณะวงจรทำงานจะเป็นดังรูปที่

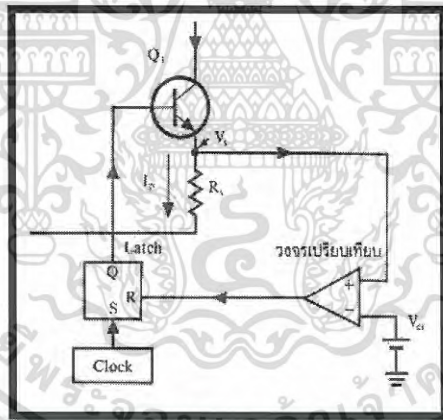
❖ วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส

การคงค่าแรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ ด้วยวงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส (Current Mode Control) มีข้อดีหลายประการที่เหนือกว่าโหมดควบคุมจากแรงดัน จึงเป็นวงจรควบคุมที่นิยมใช้กันมาก วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแสนี้ยังคงใช้เทคนิคพัลส์วิดท์มอดูเลชันเช่นกัน วงจรพื้นฐานแสดงในรูป



รูปที่ 2.24 วงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส

เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณา เราจะแยกคิดการทำงานของวงจรควบคุมด้วยการตัดวงจรขยายความแตกต่าง E/A ออกไปก่อน และกำหนดขาอินเวอร์ตติงของวงจรเปรียบเทียบให้ต่อเข้ากับแรงดันอ้างอิง V_{ref} ดังรูป CNT-4 วงจร latch จะทำงานโดยขา Q ของวงจร latch จะมีสถานะเป็น high เมื่อมีการกระตุ้นที่ขา S และขา Q จะมีสถานะเป็น low เมื่อมีการกระตุ้นที่ขา R



รูปที่ 2.25 วงจรควบคุมเมื่อตัดตัวขยายความแตกต่างออก

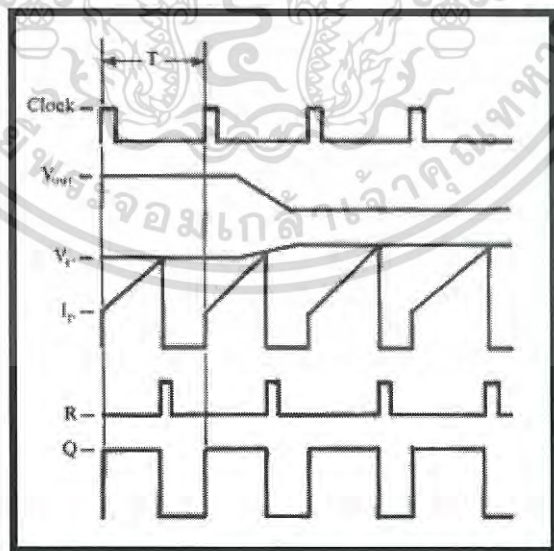
เมื่ วงจรทำงาน วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา จะให้กำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่มีคาบเวลาคงที่ไปกระตุ้นที่ขา S ของ latch ขา Q จึงมีสถานะเป็น high เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 จะเริ่มนำกระแส เมื่อ Q_1 นำกระแสจะมีกระแสไหลผ่านขดโรมารีและตัวต้านทาน R_s ที่ต่ออนุกรมไว้กับ Q_1 ทำให้เกิดแรงดัน V_s ตกคร่อมที่ตัวต้านทาน R_s ด้วย แรงดันตกคร่อม R_s ที่เกิดขึ้นจะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง V_{ref} โดยวงจรเปรียบเทียบ ดังนั้นเมื่อค่าของ V_s เพิ่มขึ้นจนมีค่ามากกว่าค่าของแรงดันอ้างอิง V_{ref} เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบจะมีสถานะเป็น High และไปกระตุ้นที่ขา R ของวงจร latch ทำให้ขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Q มีสถานะเป็น low และเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 หยุดนำกระแส จนกว่าที่ขา S ของวงจรถ่าย latch จะได้รับการกระตุ้นจากสัญญาณนาฬิกาอีกครั้ง

จะเห็นได้ว่าความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ที่ขา Q ของวงจรถ่าย latch จะถูกควบคุมโดยค่าของแรงดัน V_s ที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R_s ถ้าค่าแรงดันอินพุตของคอนเวอร์เตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น แรงดัน V_s จะเพิ่มขึ้น จนมีค่ามากกว่าแรงดันอ้างอิง V_{ref} ได้เร็วขึ้นด้วย ทำให้ความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ลดลง เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะมีช่วงเวลานำกระแสสั้นลง ในทางกลับกัน ถ้าแรงดันอินพุตของคอนเวอร์เตอร์มีค่าลดลง แรงดัน V_s จะเพิ่มขึ้นได้ช้า ความกว้างของเอาต์พุตพัลส์จึง เพิ่มขึ้น เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะมีช่วงเวลานำกระแสยาวขึ้นด้วย จะเห็นได้ว่าเมื่อโพลดคงที่ คอนเวอร์เตอร์จะสามารถคงค่าแรงดันเอาต์พุตเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตได้ โดยไม่ต้องอาศัยการป้อนกลับแรงดันที่เอาต์พุตเลย ทำให้คอนเวอร์เตอร์ตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตได้อย่างรวดเร็ว

พิจารณาวงจรควบคุมอีกครั้งตามวงจรในรูปที่ เมื่อต่อวงจรขยายความแตกต่าง E/A เพิ่มเข้ามา วงจรในลักษณะนี้เมื่อแรงดันเอาต์พุตมีค่าลดลง เอาต์พุตของวงจรขยายความแตกต่าง E/A จะมีค่ามากขึ้น เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะใช้เวลานำกระแสยาวขึ้นด้วย เพื่อให้ค่าแรงดัน V_s มากกว่าแรงดันที่เอาต์พุตของวงจรขยายความแตกต่าง E/A ในทางกลับกัน เมื่อแรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น เอาต์พุตของวงจรขยายความแตกต่าง E/A จะมีค่าลดลง เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จึงใช้เวลานำกระแสลดลงด้วย ดังนั้นคอนเวอร์เตอร์จะสามารถคงค่าแรงดันที่เอาต์พุตเอาไว้ได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงที่โพลด ลักษณะรูปคลื่นและแรงดันขณะทำงานเป็นดังรูป



รูปที่ 2.26 ลักษณะการทำงานที่จุดต่าง ๆ ของวงจรถ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากลักษณะการทำงานดังกล่าว ทำให้วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแสมีข้อดีมากกว่า วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดันดังนี้

- ตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตได้รวดเร็วกว่า ทำให้ลดปัญหาการคงค่าแรงดันที่เอาต์พุตเมื่อเกิดทรานเซียนส์และการกระเพื่อมของแรงดันสูงที่แรงดันอินพุต เพราะไม่ต้องรอสัญญาณป้อนกลับจากเอาต์พุต
- สามารถป้องกันกระแสไหลเกินได้ ด้วยการจำกัดค่ากระแสสูงสุดที่ชดโพรมารีในลักษณะพัลส์ต่อพัลส์อย่างรวดเร็วให้ค่าไลน์เรกูเลชันที่ดีมาก
- โดยการจำกัดกระแสสูงสุดที่ชดโพรมารี ปัญหาการไม่สมมาตรพลักซ์แม่เหล็กของฟุช-พูลคอนเวอร์เตอร์จะไม่เกิดขึ้น
- สามารถต่อขานคอนเวอร์เตอร์หลายชุดเข้าด้วยกันได้ เพื่อให้จ่ายกระแสได้มากขึ้น และกระแสเฉลี่ยที่คอนเวอร์เตอร์แต่ละชุดจะมีค่าเท่ากัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

❖ Arduino คืออะไร

Arduino อ่านว่า (อา-ดู-อิ-โน้ หรือ อาดูยโน้) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัวบอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย

ความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด (ดูตัวอย่างรูปที่ 1) หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ (ดูตัวอย่างรูปที่ 2) เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเสียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย

❖ จุดเด่นที่ทำให้บอร์ด Arduino เป็นที่นิยม

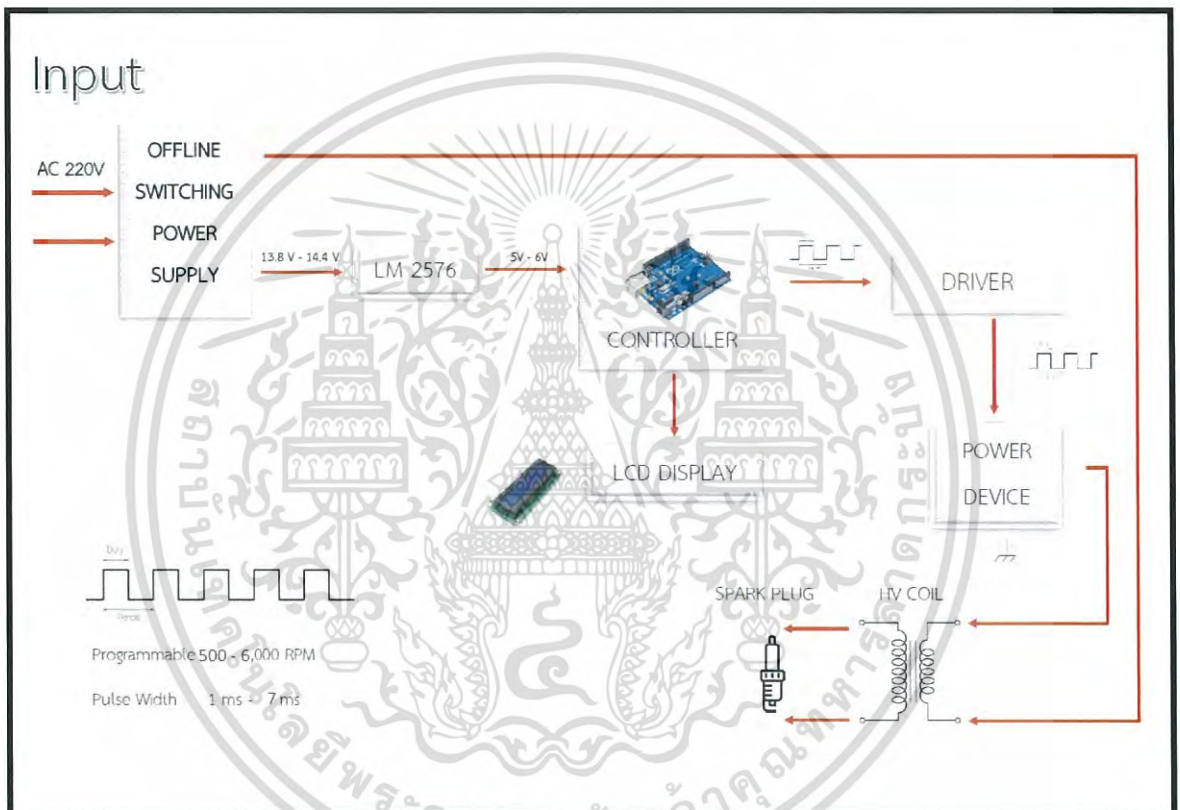
- ง่ายต่อการพัฒนา มีรูปแบบคำสั่งพื้นฐาน ไม่ซับซ้อนเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น
- มี Arduino Community กลุ่มคนที่ร่วมกันพัฒนาที่แข็งแกร่ง
- Open Hardware ทำให้ผู้ใช้สามารถนำบอร์ดไปต่อยอดใช้งานได้หลายด้าน ราคาไม่แพง
- Cross Platform สามารถพัฒนาโปรแกรมบน OS ใดก็ได้

บทที่ 3

การคำนวณและการออกแบบ

3.1 การทำงานของวงจรโดยรวม

การทำงานของวงจรสามารถแบ่งออกเป็นส่วนๆ ได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ส่วนประกอบหลักของวงจร

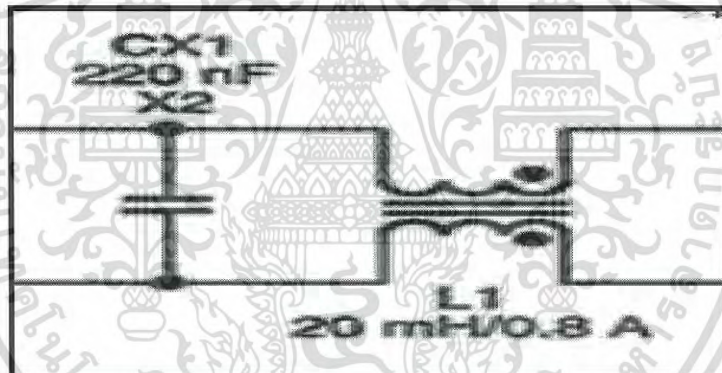
แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

- ส่วนของ Offline Switching Power Supply ทำหน้าที่จ่ายไฟให้กับส่วนต่าง ๆ ทั้งหมดของวงจร ซึ่งมี Output เท่ากับ 13.8-14.4 โวลต์ สำหรับวงจร Gate Drive และ หัวเทียน
- ส่วนของวงจร Gate Drive ทำหน้าที่ควบคุมการ ON-OFF ของมอสเฟตให้มีประสิทธิภาพ
- ส่วนของ Controller ทำหน้าที่ประมวลผลการทำงานของวงจร ควบคุม Duty Cycle ค่าต่างๆ

3.3 ส่วนที่ 1 การออกแบบวงจร Off-line Switching

ในวงจร Off-line Switching จะประกอบด้วย EMI Filter ก่อนเข้าสู่วงจรสวิตชิง ใช้ไอซีเบอร์ TOP250Y แล้วจ่าย 14.4 โวลต์สำหรับวงจร Gate Drive และ มอสเฟต

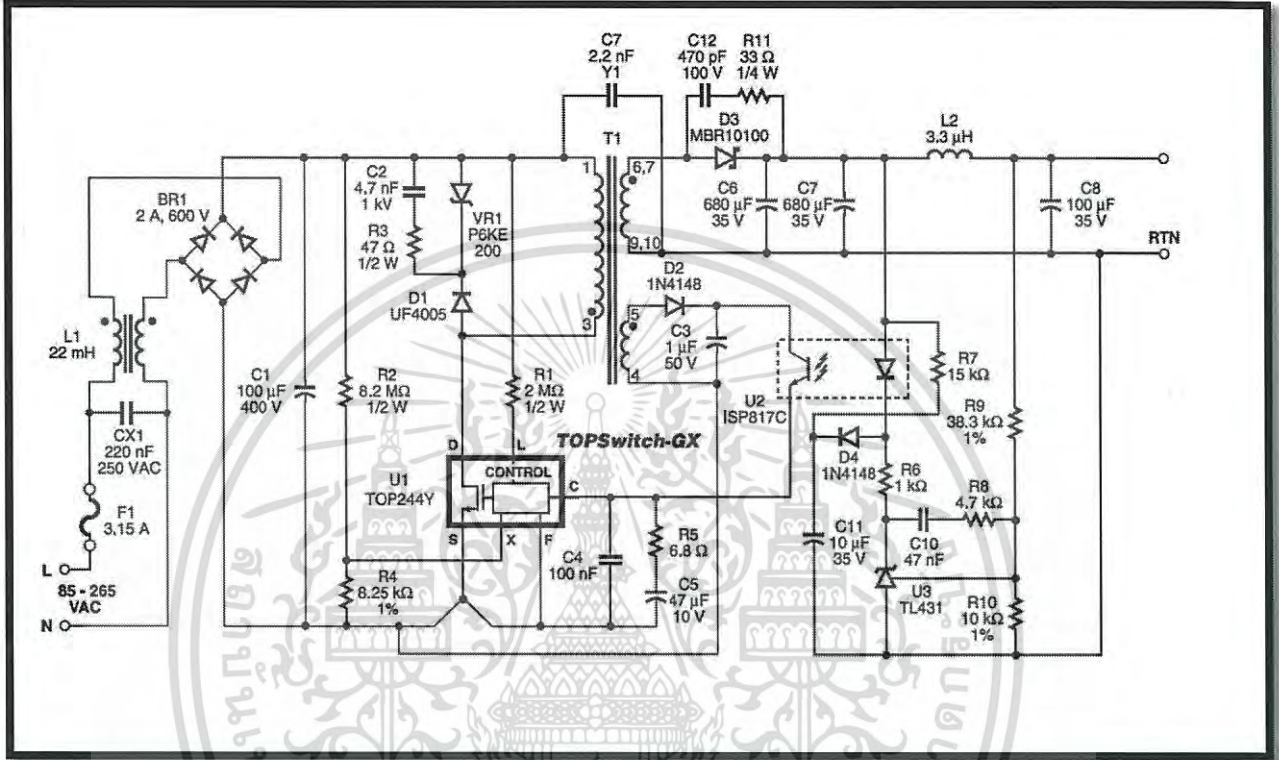
3.3.1 วงจร EMI Filter ที่ใช้



รูปที่ 3.2 วงจร EMI Filter

3.3.2 IC ที่ใช้ในวงจร Off-line Switching

ใช้ IC เบอร์ TOP250Y เพื่อจ่ายให้วงจร Gate drive มีค่าความถี่สวิชชิง 132 kHz



รูปที่ 3.3 วงจรทั่วไปของ TOP250Y

3.3.3 การเลือกบริดจ์ไดโอด

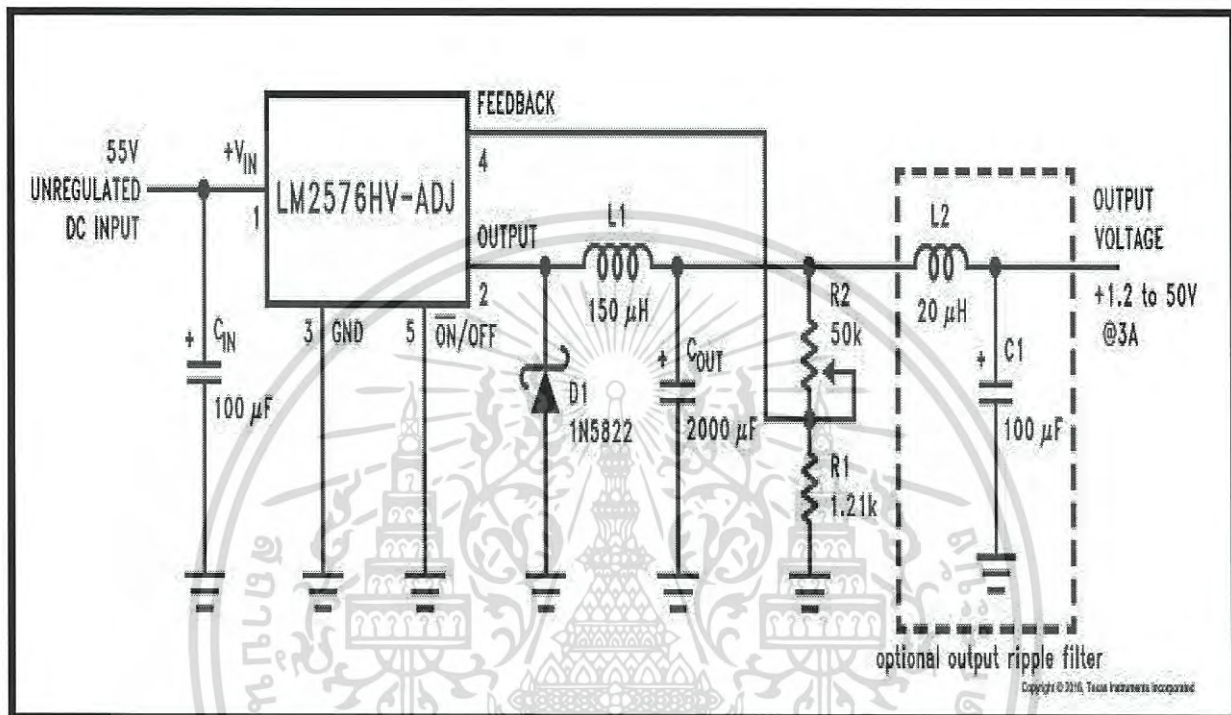
เนื่องจากแรงดันขาเข้าของวงจรเรียงกระแสมีค่าประมาณ 320 โวลต์ เราจึงใช้ไดโอดบริดจ์

KBL407G โดยมีสามารถรับแรงดันได้สูงสุดเท่ากับ 1000 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การเลือกใช้ IC ที่จ่ายให้ Arduino

ใช้ LM2576-ADJ เพื่อลดแรงดันจาก 13.8-14.4 โวลต์ เป็น 10 โวลต์ เพื่อจ่ายให้กับ Arduino



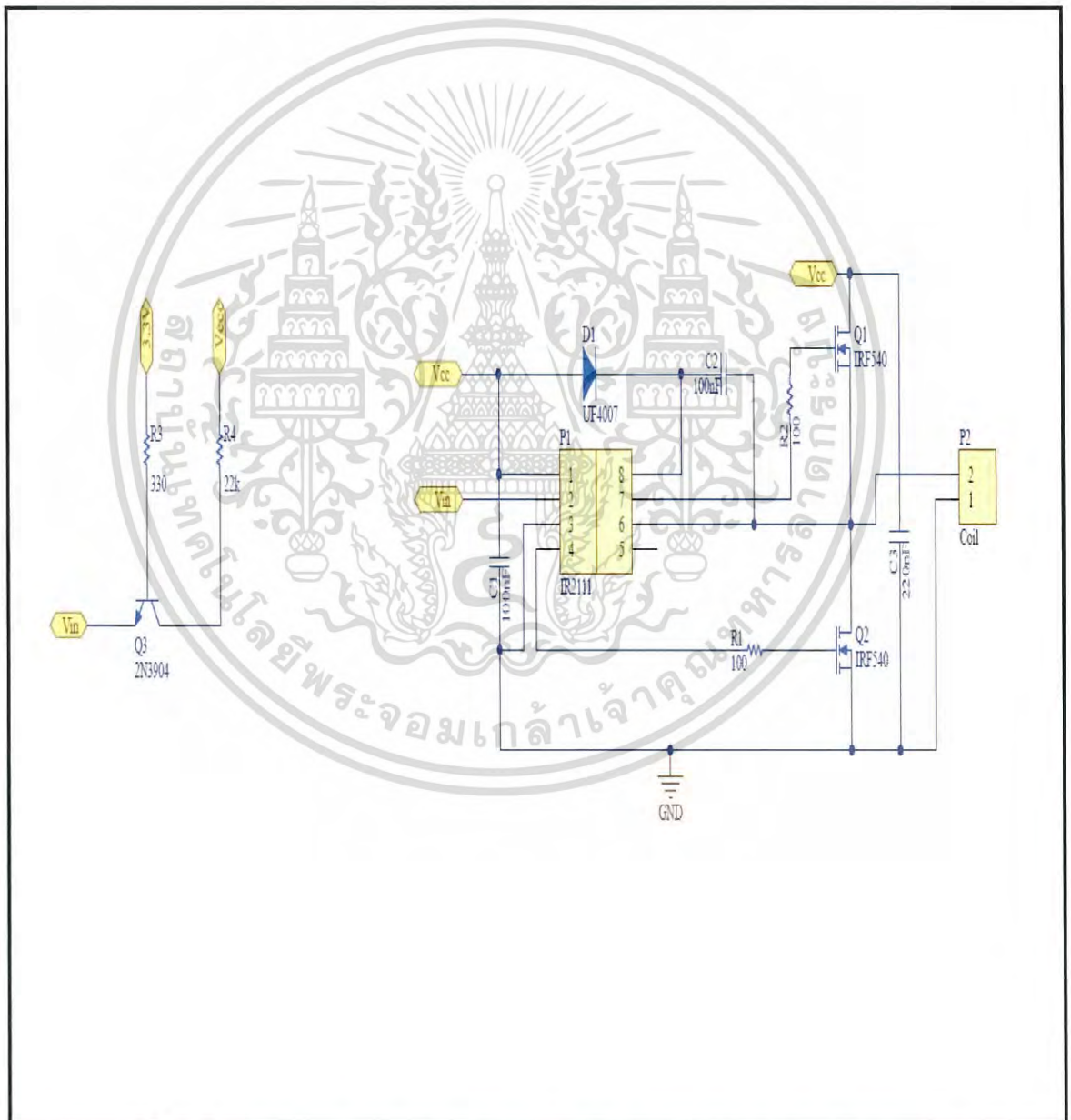
รูปที่ 3.4 วงจรทั่วไปของ LM2576HV-ADJ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ส่วนที่ 2 การออกแบบวงจร Gate Drive

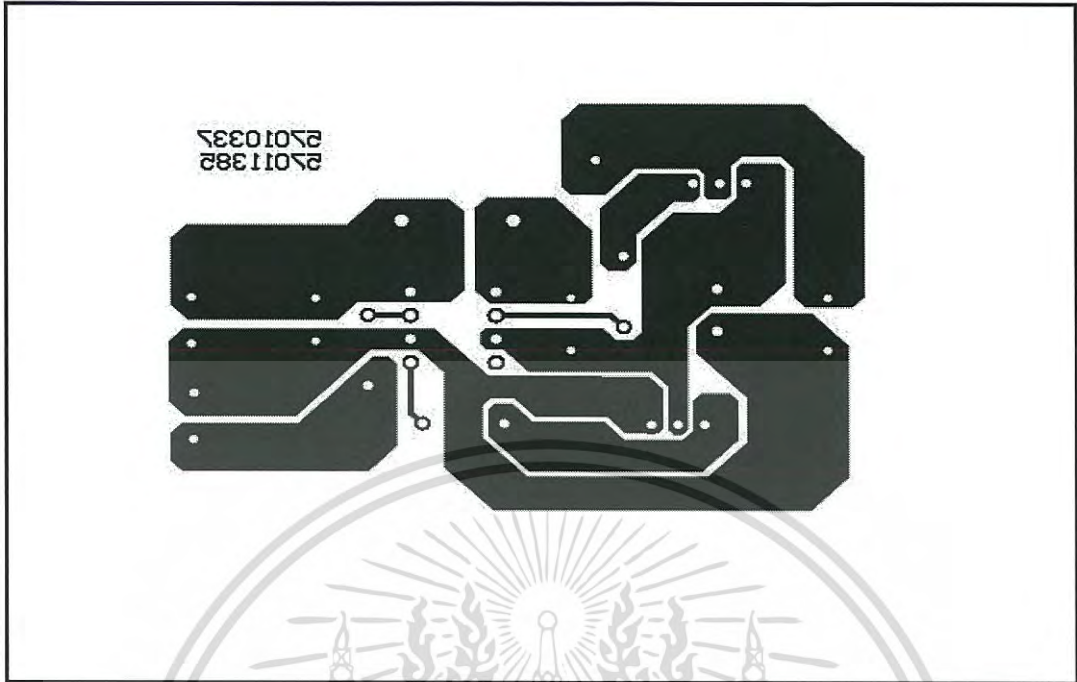
- ในวงจรใช้ Half-Driver เบอร์ IR2111 ทำหน้าที่อัดและคายประจุที่เกตและซอร์สของมอสเฟตได้อย่างรวดเร็ว

- มอสเฟตได้เลือกใช้ เบอร์ IRF540 มี $V_{DS} = 55 \text{ V}$ และ $I_D = 17 \text{ A}$ โดยเริ่มทำงานที่ VG มากกว่าแรงดันขีดเริ่ม เท่ากับ 2 V และได้สูงสุดไม่เกิน 20 V



รูปที่ 3.5 Schematic ของ วงจร Gate Drive และ วงจร Logic Level Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 PCB ของ วงจร Gate Drive



รูปที่ 3.7 PCB ของ วงจร Logic Level Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ส่วนที่ 3 การทำงานของ Microcontroller

ในการเลือกใช้คอนโทรลเลอร์เราได้เลือกใช้ Arduino Mega 2560 เนื่องจากคอนโทรลเลอร์ตัวนี้มีพอร์ตในการส่งรับข้อมูลและมีอินพุตมีเอาต์พุตมาก และสามารถสร้างสัญญาณ PWM ได้ซึ่งสัญญาณ PWM นี้สามารถนำไปใช้ในการปรับ Duty Cycle รวมไปถึงความถี่ที่จะแสดงผลที่ปลายหัวเทียน

หน้าที่หลักของ Microcontroller คือ ใช้สร้างสัญญาณ PWM เพื่อใช้ในการปรับ Duty Cycle สร้างสัญญาณ PWM เพื่อใช้ในการปรับ Duty Cycle สร้างสัญญาณ PWM ให้แก่วงจรขับเคลื่อน โดยการปรับค่า Duty Cycle เพื่อควบคุมค่า Ton โดยสามารถปรับค่าได้ ตั้งแต่ 1 – 7 ms

```

}
if ((key == 'D') && (a_pos > 0) && (b_pos > 0) && (c_pos > 0))
{
  pulsenumber = pulsenumber_string.toInt();
  ton = ton_string.toInt();
  speedRPM = speedRPM_string.toInt();
  Serial.print("pulsenumber:");
  Serial.println(pulsenumber);
  Serial.print("ton:");
  Serial.println(ton);
  Serial.print("speedRPM:");
  Serial.println(speedRPM);
  keystore = 0;
  if ((pulsenumber >= 0) && (pulsenumber <= 1000) && (ton >= 1) && (ton <= 10) && (speedRPM >= 500) && (speedRPM <= 6000))
  {
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(0,2);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(1,3);
    lcd.print("Operating");
    subpulse_count = 0;
    dotposition = 10;
    dotstart = dotposition - 1;
    speedHZ = (double)speedRPM/60;
    period_us = (1/(double)speedHZ)*1000000;
    ton_us = ton * 1000;
    //toff = period - ton;
    //subpulse_number = (2*pulsenumber) - 1;
    //speedRPM = 460;
    //speedHZ = (double)speedRPM/60;
    //period = (1/(double)speedHZ)*1000000;
    //ton = 5000;
    //pulsenumber = 10;
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    //pulsenumber = 10;
    subpulse_number = (2 * pulsenumber) - 1;
    subpulse_us = (double)ton_us/subpulse_number;
    subpulse_state = 1;
    working = 1;
    Serial.print("speedHZ:");
    Serial.println(speedHZ);
    Serial.print("period_us:");
    Serial.println(period_us);
    //Serial.print("toff:");
    //Serial.println(toff);
}
else
{
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(0,2);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(1,3);
    lcd.print("Out of Range");
}
}
}

else if ((working == 1) && (subpulse_count < subpulse_number))
{
    digitalWrite(pulsepin, subpulse_state);
    delayMicroseconds(subpulse_us);
    subpulse_state = !subpulse_state;
    //digitalWrite(pulsepin, LOW);
    //k = (int)((dotposition - dotstart) ^ (pulsenumber / dotnumber));
    //Serial.println(k);
    /*
    if (pulsecount == k)
    {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
}

else if ((working == 1)&&(subpulse_count < subpulse_number))
{
    digitalWrite(pulsepin,subpulse_state);
    delayMicroseconds(subpulse_us);
    subpulse_state = !subpulse_state;
    //digitalWrite(pulsepin,LOW);
    //k = (int)((dotposition - dotstart) * (pulsenumber / dotnumber));
    //Serial.println(k);
    /*
    if (pulsecount == k)
    {
        lcd.setCursor(dotposition,3);
        lcd.print(".");
        dotposition++;
    }
    */
    subpulse_count++;
}
else if (subpulse_count == subpulse_number)
{
    digitalWrite(pulsepin,LOW);
    delayMicroseconds(period_us-ton_us);
    subpulse_count = 0;

    //working = 0;
    //lcd.setCursor(0,3);
    //lcd.print(" ");
}

}
/*
if (key != NO_KEY)

    Serial.println(key);
}
}

```

รูปที่ 3.8 Code ในการสร้างสัญญาณ PWM เพื่อใช้ในการปรับค่า Duty Cycle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 เครื่องมือและวิธีการวิจัยการทดลอง

3.6.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยผลการทดลอง

- Power Supply สำหรับการทดสอบวงจร
- Active Load สำหรับการทดสอบวงจร
- Multimeter สำหรับวัดค่าต่างๆ
- Oscilloscope สำหรับวัดและวิเคราะห์กราฟผลการทดลอง

3.6.2 วิธีการวิจัยการทดลอง

ออกแบบวงจรและคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แล้วนำวงจรมาต่อในบอร์ดทดลอง วัดค่าต่างๆจนได้ค่าที่ถูกต้องแล้ว จึงออกแบบลายวงจร PCB เพื่อนำมากัดปรินท์ทำบอร์ดวงจรจริง

3.7 ขั้นตอนออกแบบและสร้างเครื่องมือ

- 3.7.1 วาดลายวงจร Schematic
- 3.7.2 ออกแบบลายปรินท์วงจร PCB
- 3.7.3 กัดปรินท์ลายวงจร
- 3.7.4 ลงอุปกรณ์ลงในแผ่นวงจร
- 3.7.5 ทดสอบวงจร สังเกตการทำงานต่างๆ และ บันทึกผลการทดลอง

บทที่ 4

วิธีการทดลองและผลการทดลอง

4.1 จุดประสงค์

- 4.1.1 เพื่อทดสอบการแสดงผลการจ่ายสัญญาณ Pulse โดย Arduino
- 4.1.2 เพื่อทดสอบการสปาร์คของหัวเทียนโดยใช้ Motorcycle Ignition Coils แบบ Closed Loop Core

4.2 วิธีการทดลอง

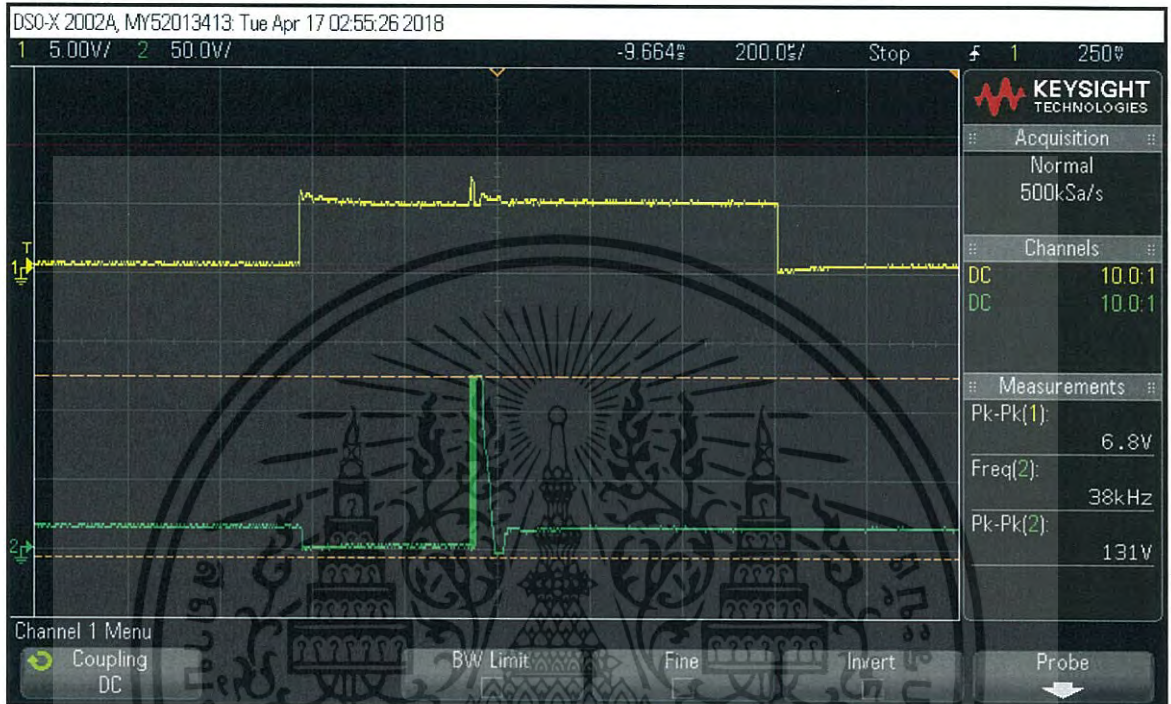
- 4.2.1 ทดสอบการแสดงผลทางส่วนของ Arduino
- 4.2.2 ทดสอบการสปาร์คของหัวเทียนโดยใช้ Motorcycle Ignition Coils
นำ Output ที่ได้จาก Arduino มาต่อเข้ากับ วงจร Gate Drive และให้ Output ต่อออกไปยัง Motorcycle Ignition Coils และสังเกตการณ์จุดระเบิดของหัวเทียน โดยกำหนดค่า Number of Pulse, Ton และ Speed จาก Keypad ในส่วนของ Arduino

4.3 การทดลอง

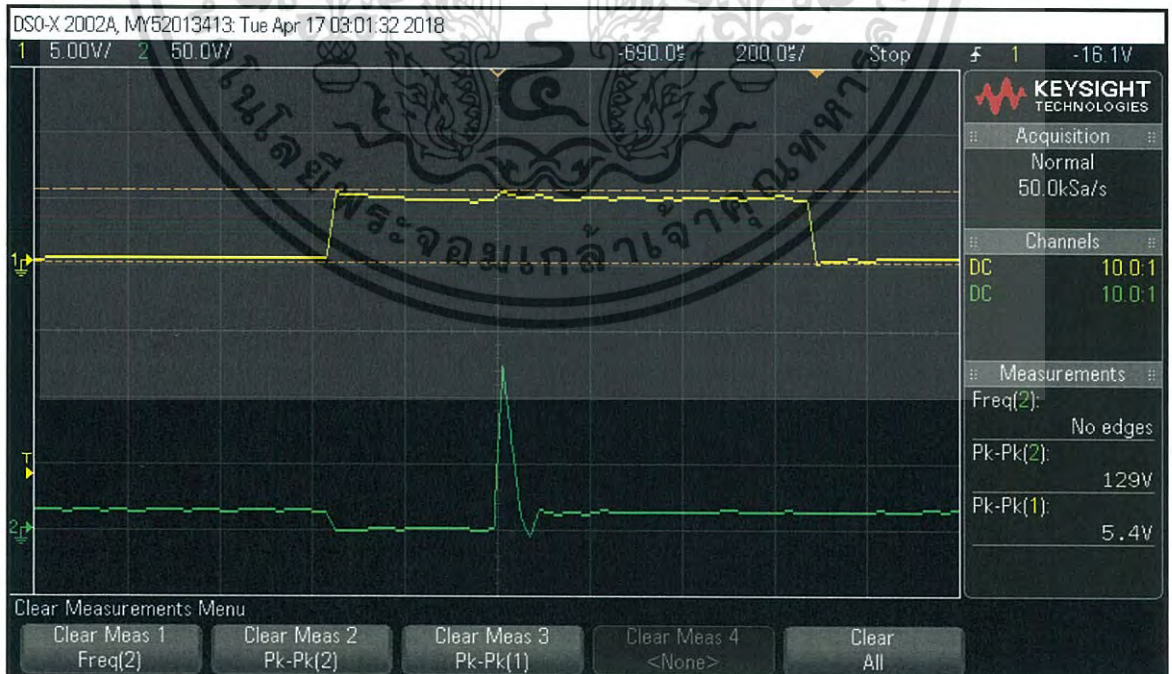
- 4.3.1 ทดลองโดยใช้อุปกรณ์ต่อบน Prototype Board
- 4.3.2 ทดลองโดยใช้อุปกรณ์ต่อบน Printed Circuit Board โดยสังเกตจากการจุดระเบิดของหัวเทียน และแรงดันที่จ่ายให้คอยล์ คือ 13.8 - 14.4 Volt

ผลการทดลอง

จำนวนสัญญาณพัลส์ 1 พัลส์

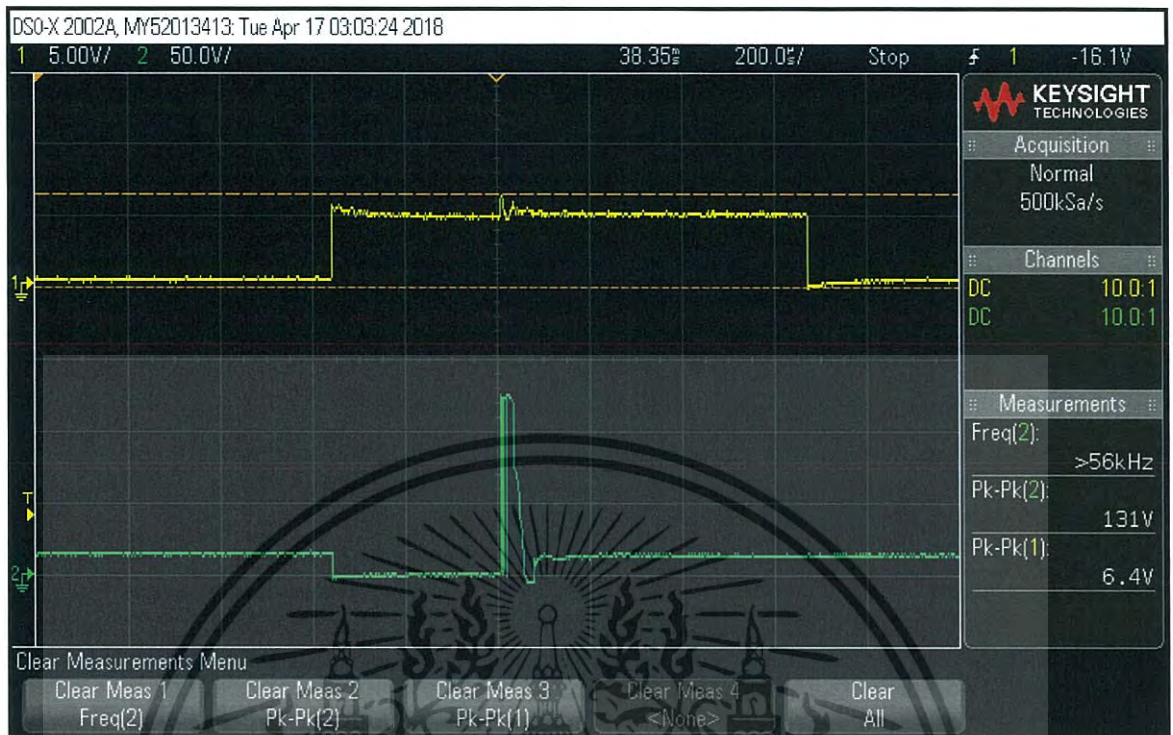


รูปที่ 4.1 ใช้ $f = 8.33 \text{ Hz}$, Speed = 500 RPM. , Ton = 1 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

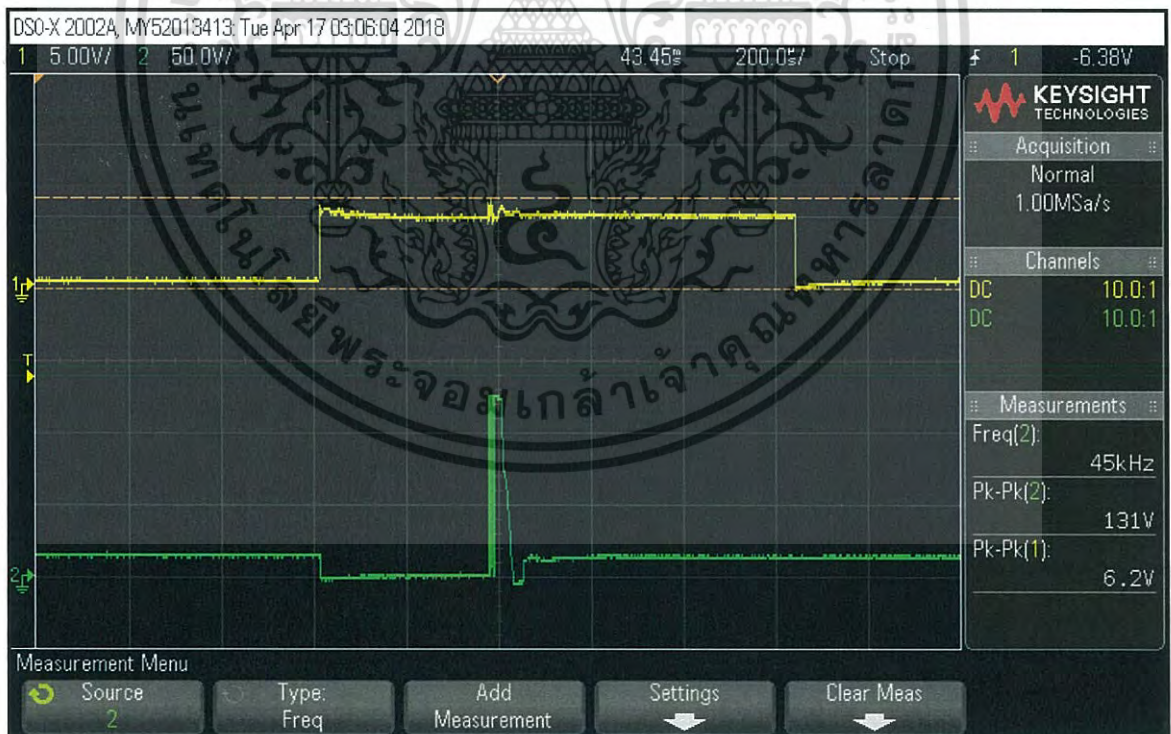


รูปที่ 4.2 ใช้ $f = 16.67 \text{ Hz}$, Speed = 1000 RPM. , Ton = 1 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

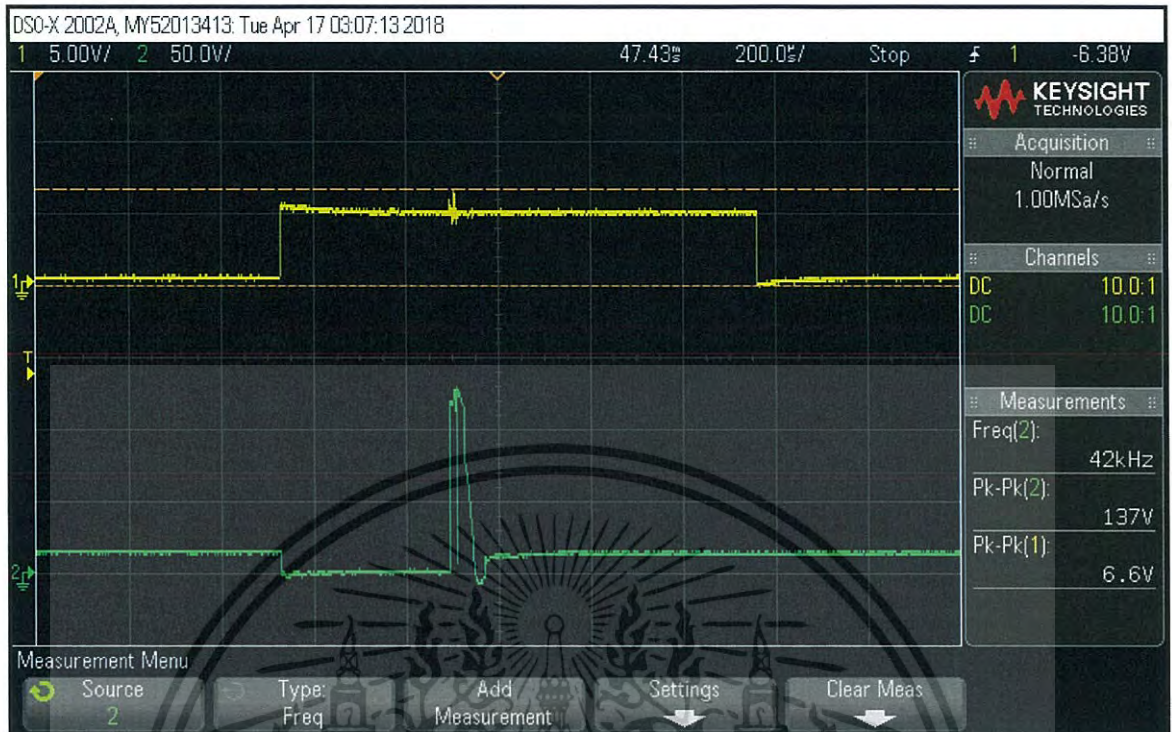


รูปที่ 4.3 ใช้ $f = 24.99 \text{ Hz}$, Speed = 1500 RPM. , Ton = 1 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

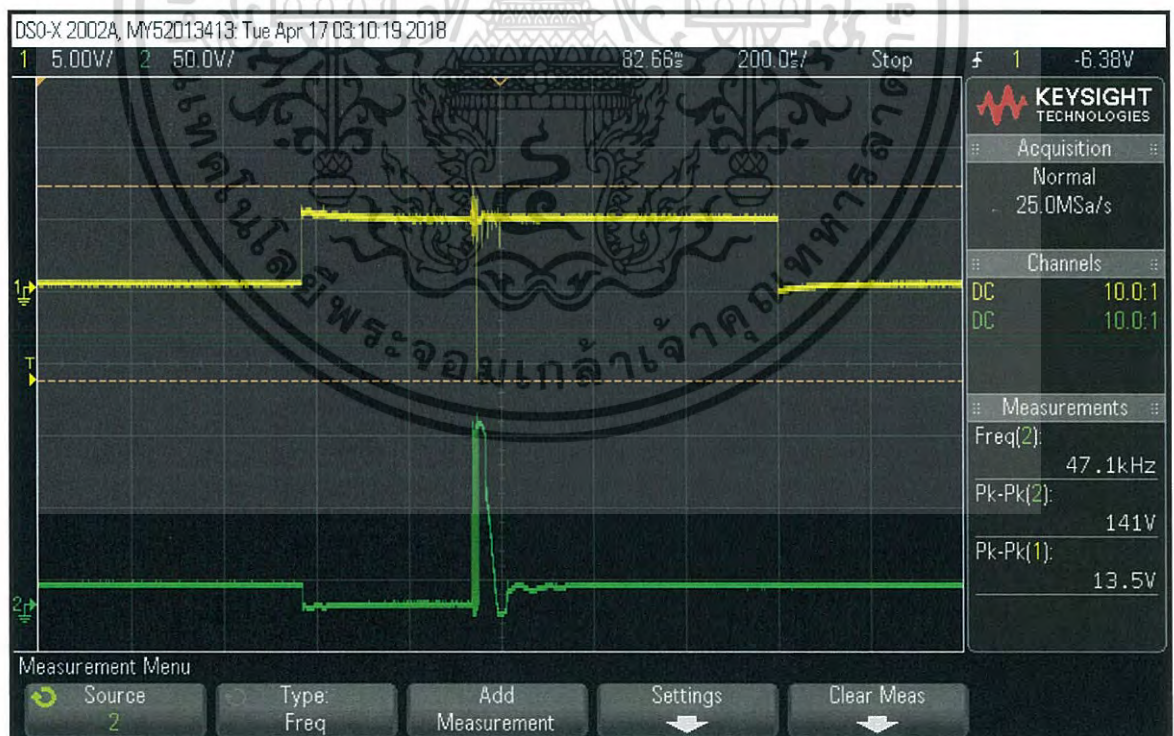


รูปที่ 4.4 ใช้ $f = 33.32 \text{ Hz}$, Speed = 2000 RPM. , Ton = 1 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

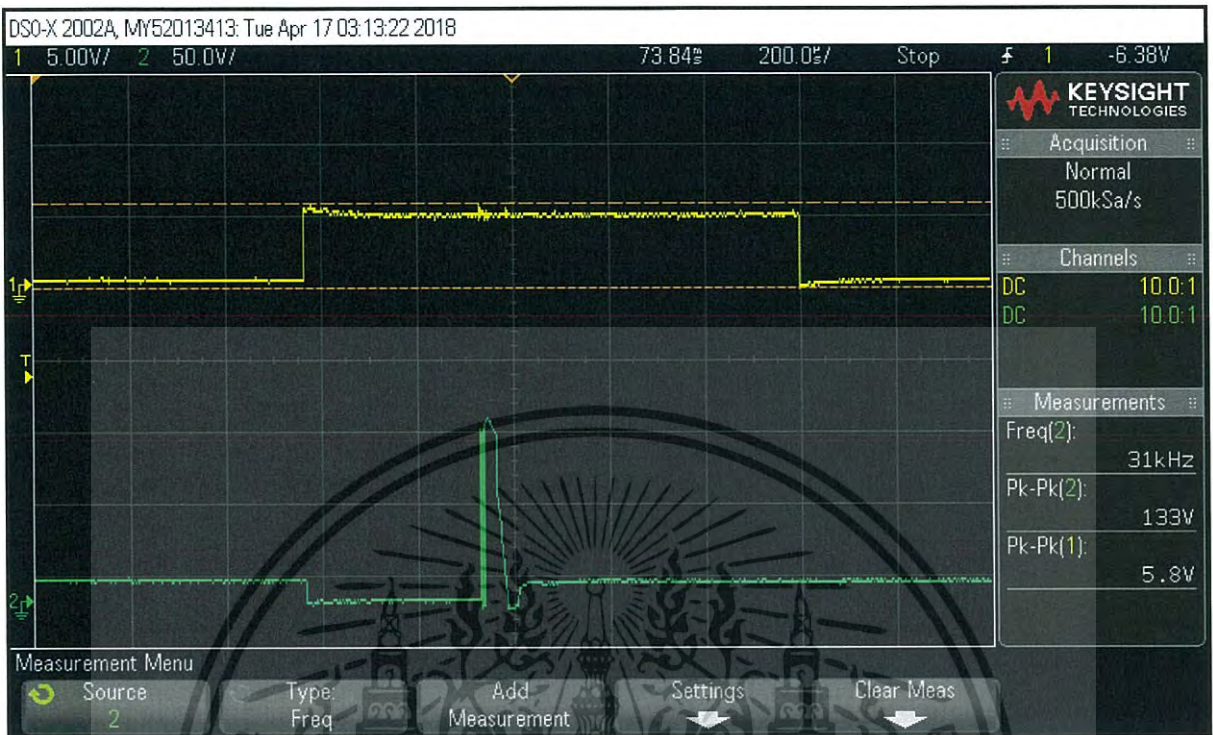


รูปที่ 4.5 ใช้ $f = 41.65 \text{ Hz}$, Speed = 2500 RPM. , Ton = 1 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope



รูปที่ 4.6 ใช้ $f = 49.98 \text{ Hz}$, Speed = 3000 RPM. , Ton = 1 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

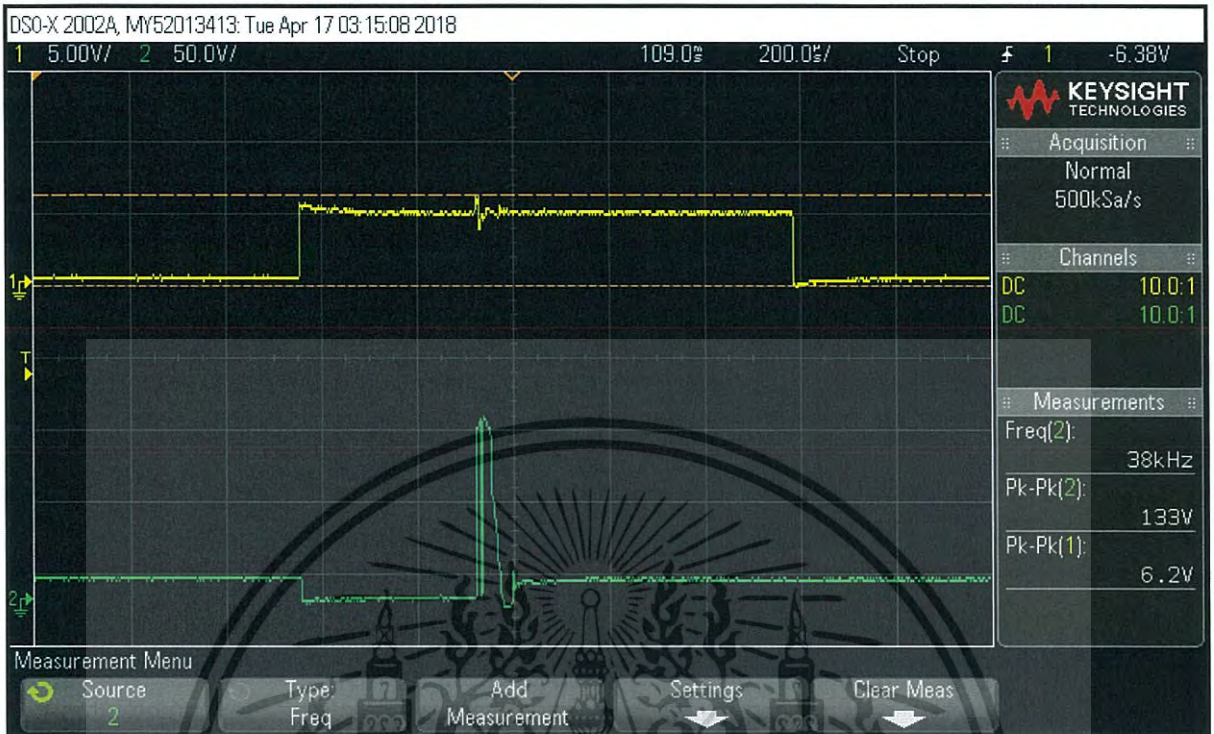


รูปที่ 4.7 ใช้ $f = 58.31 \text{ Hz}$, Speed = 3500 RPM. , Ton = 1 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope



รูปที่ 4.8 ใช้ $f = 66.64 \text{ Hz}$, Speed = 4000 RPM. , Ton = 1 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

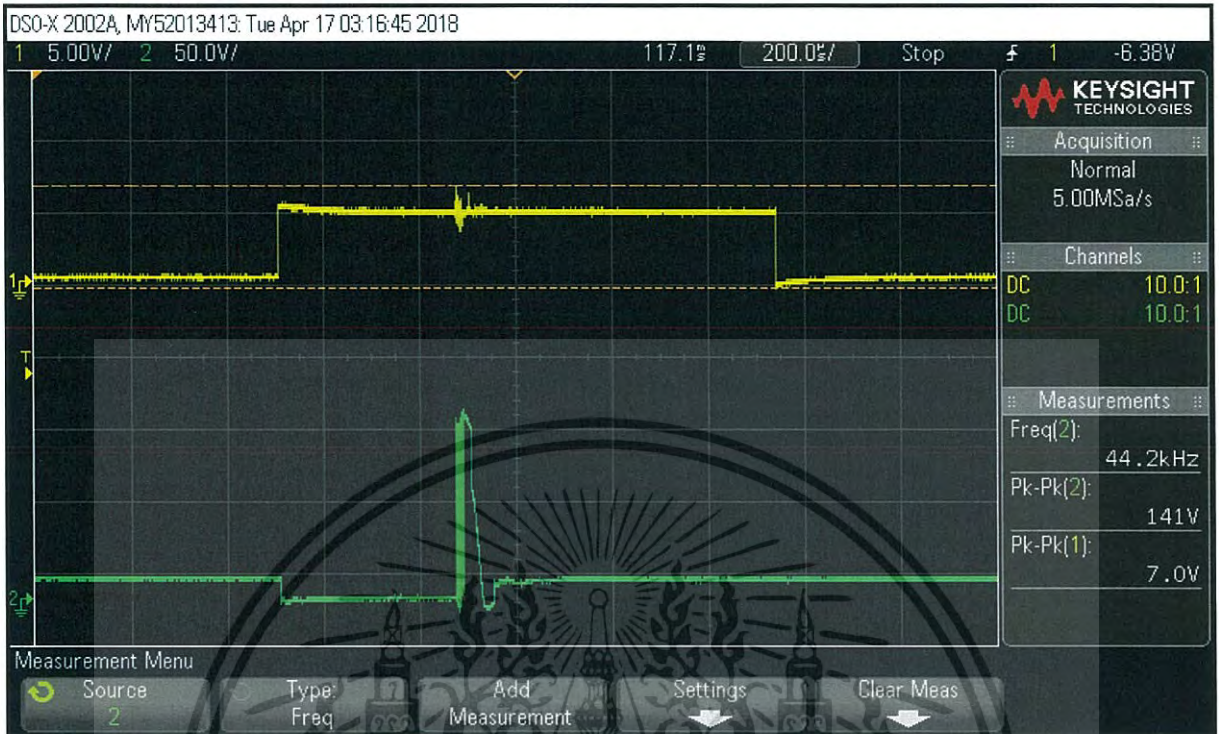


รูปที่ 4.9 ใช้ $f = 74.97 \text{ Hz}$, Speed = 4500 RPM., Ton = 1 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope



รูปที่ 4.10 ใช้ $f = 83.3 \text{ Hz}$, Speed = 5000 RPM., Ton = 1 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

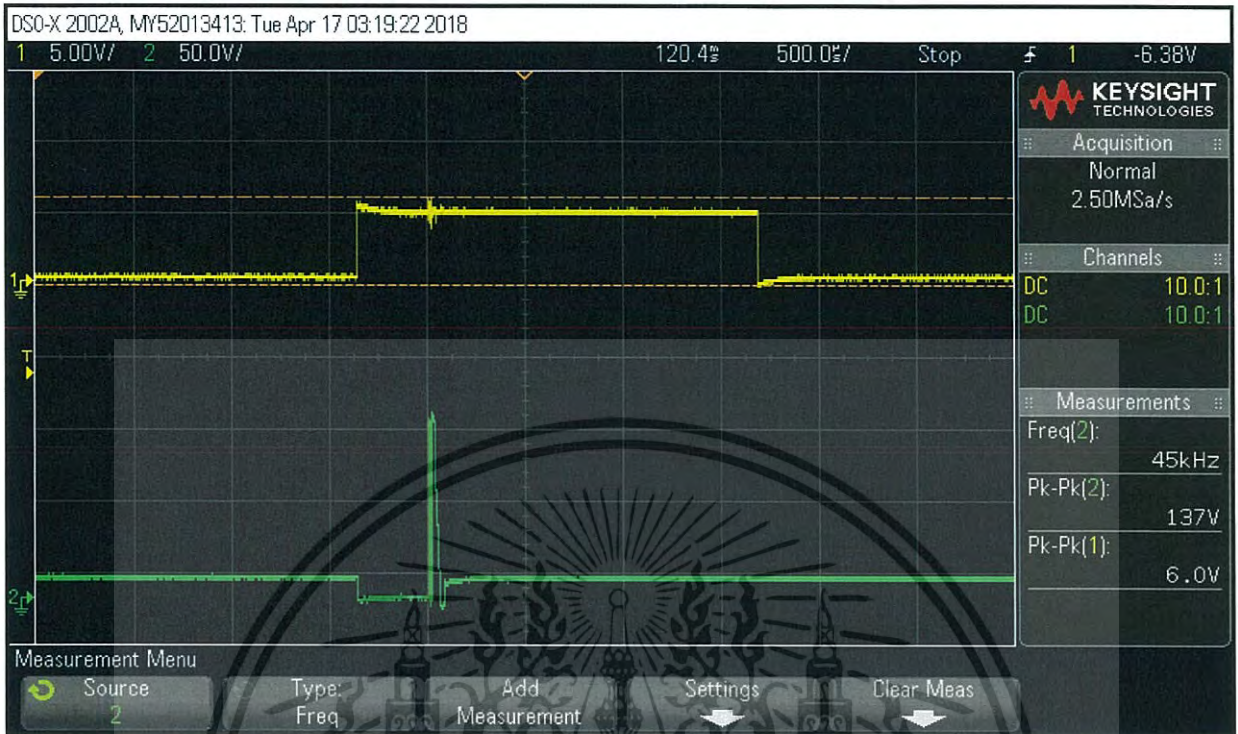


รูปที่ 4.11 ใช้ $f = 91.63 \text{ Hz}$, Speed = 5500 RPM. , Ton = 1 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope



รูปที่ 4.12 ใช้ $f = 100 \text{ Hz}$, Speed = 6000 RPM. , Ton = 1 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



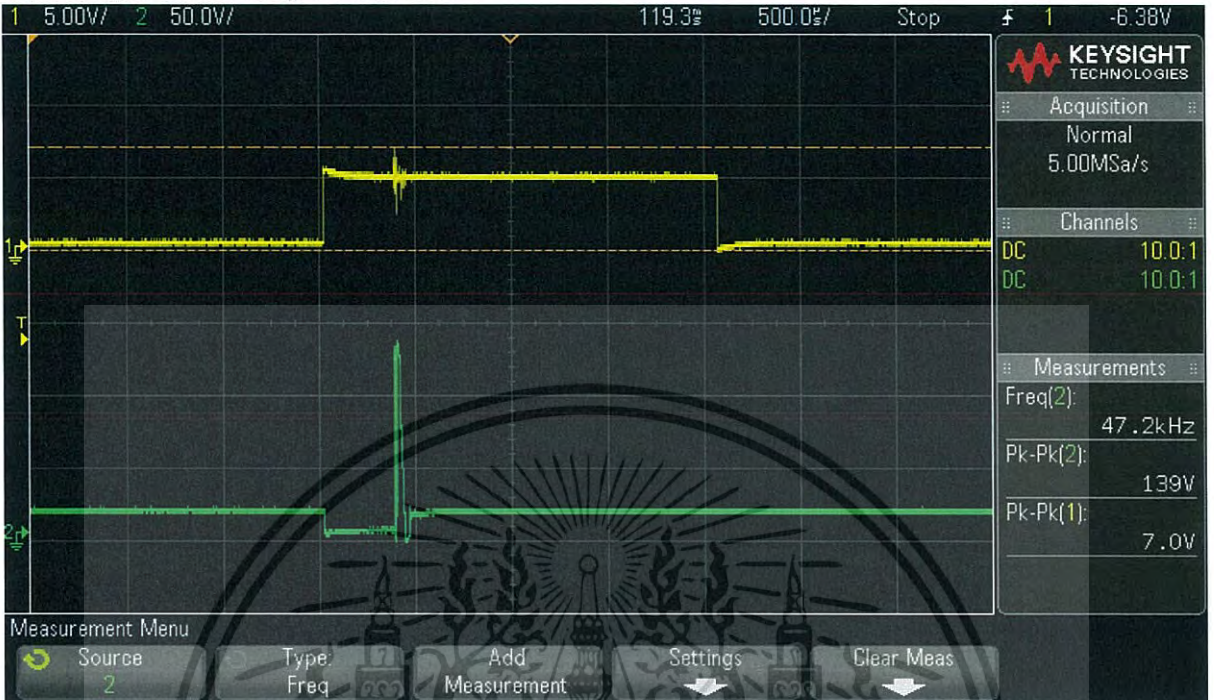
รูปที่ 4.13 ใช้ $f = 8.33 \text{ Hz}$, Speed = 500 RPM. , Ton = 2 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope



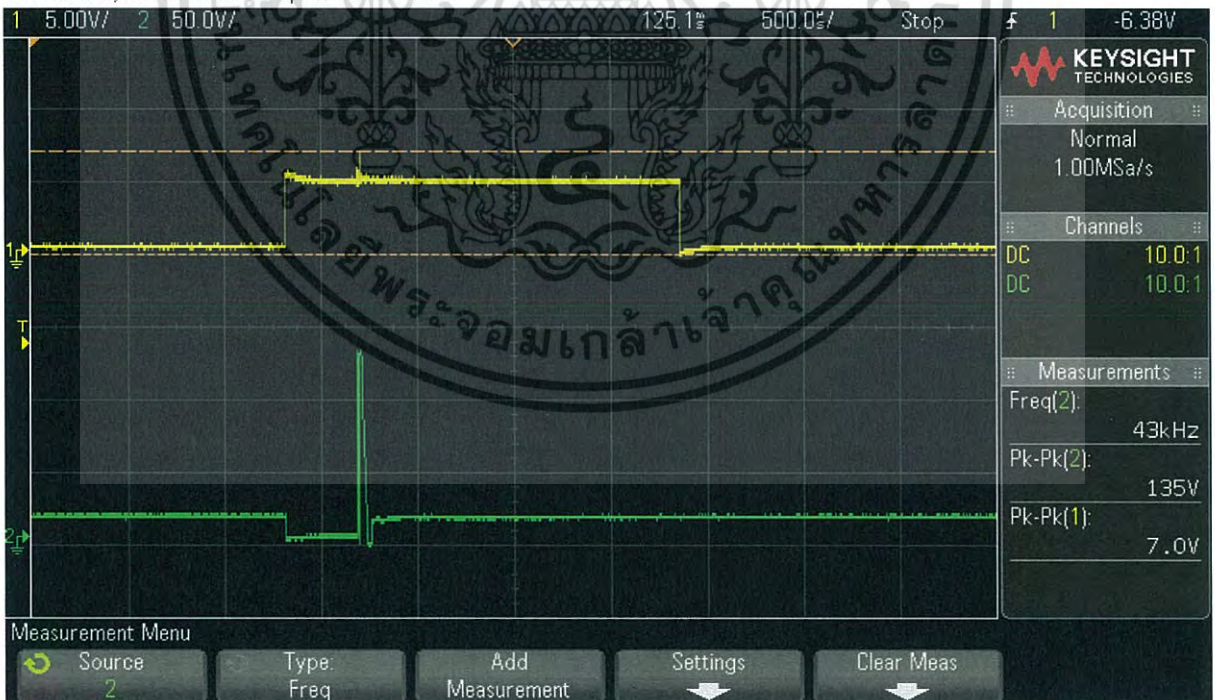
รูปที่ 4.14 ใช้ $f = 16.67 \text{ Hz}$, Speed = 1000 RPM. , Ton = 2 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DSO-X 2002A, MY52013413: Tue Apr 17 03:21:56 2018

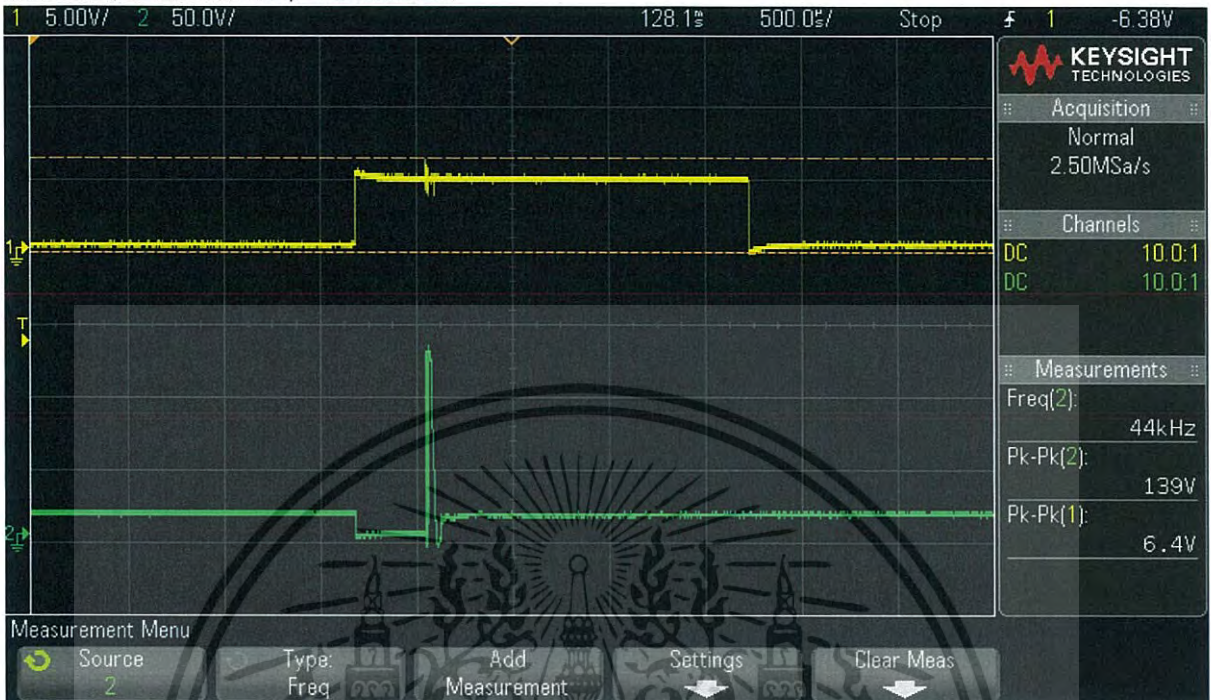
รูปที่ 4.15 ใช้ $f = 24.99 \text{ Hz}$, Speed = 1500 RPM., Ton = 2 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

DSO-X 2002A, MY52013413: Tue Apr 17 03:23:02 2018

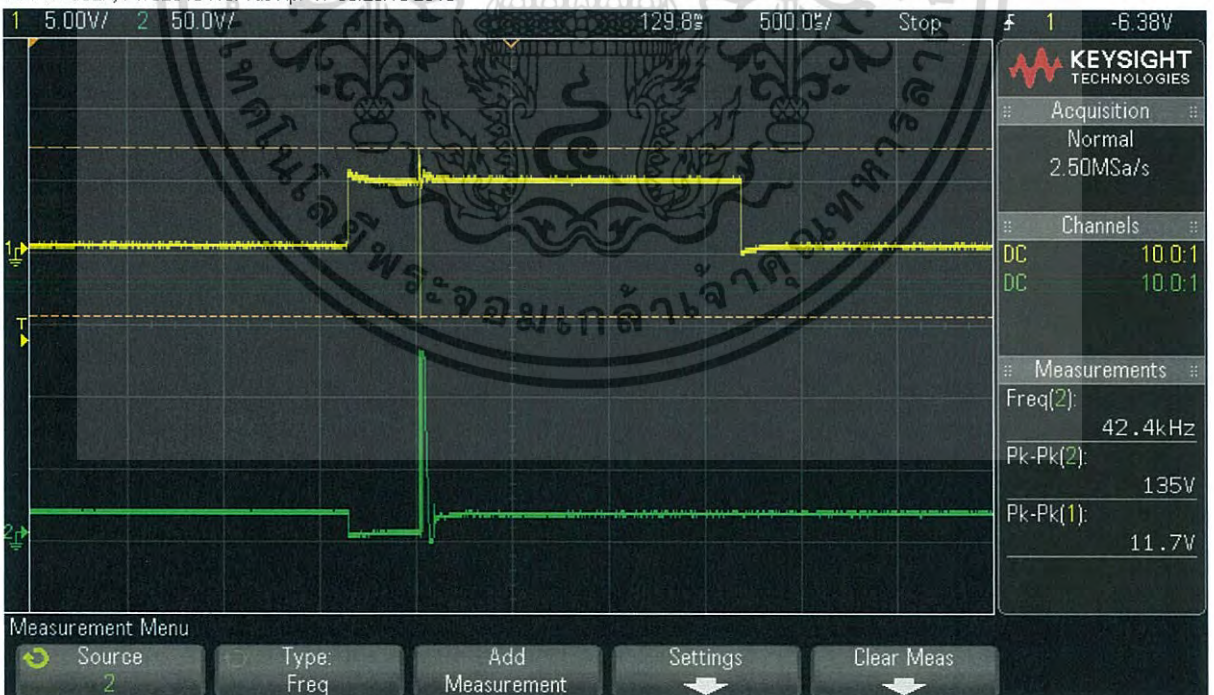
รูปที่ 4.16 ใช้ $f = 33.32 \text{ Hz}$, Speed = 2000 RPM., Ton = 2 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DSO-X 2002A, MY52013413; Tue Apr 17 03:23:59 2018

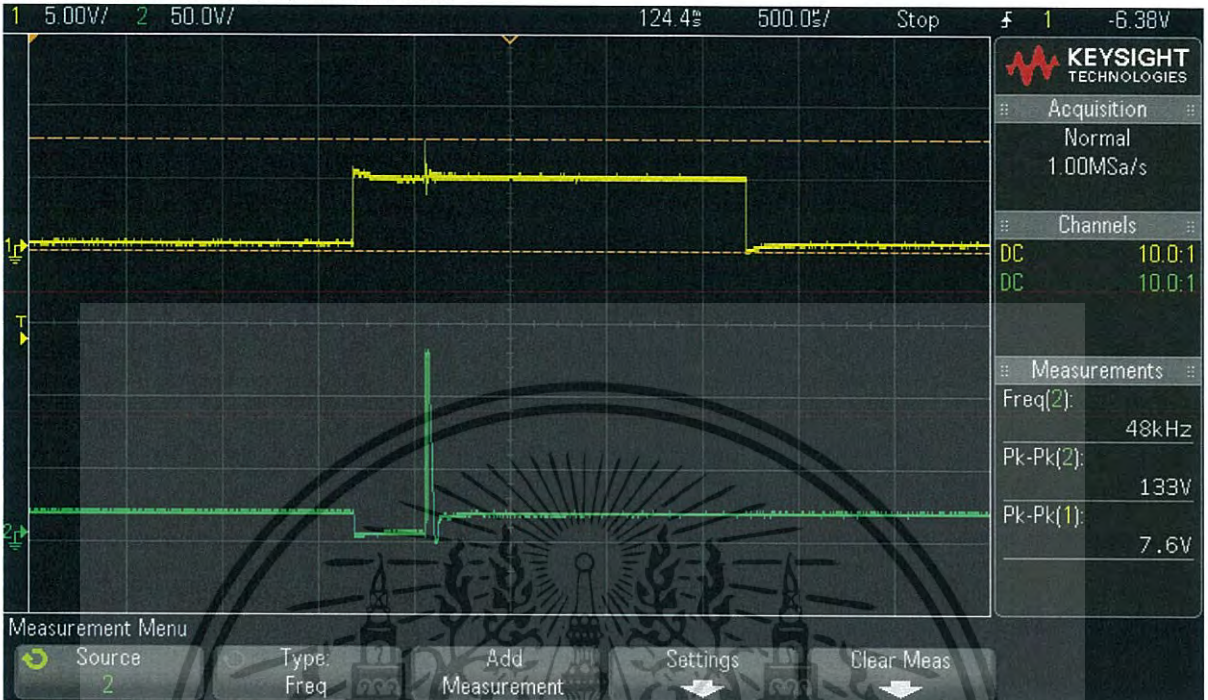
รูปที่ 4.17 ใช้ $f = 41.65 \text{ Hz}$; Speed = 2500 RPM., Ton = 2 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

DSO-X 2002A, MY52013413; Tue Apr 17 03:25:19 2018

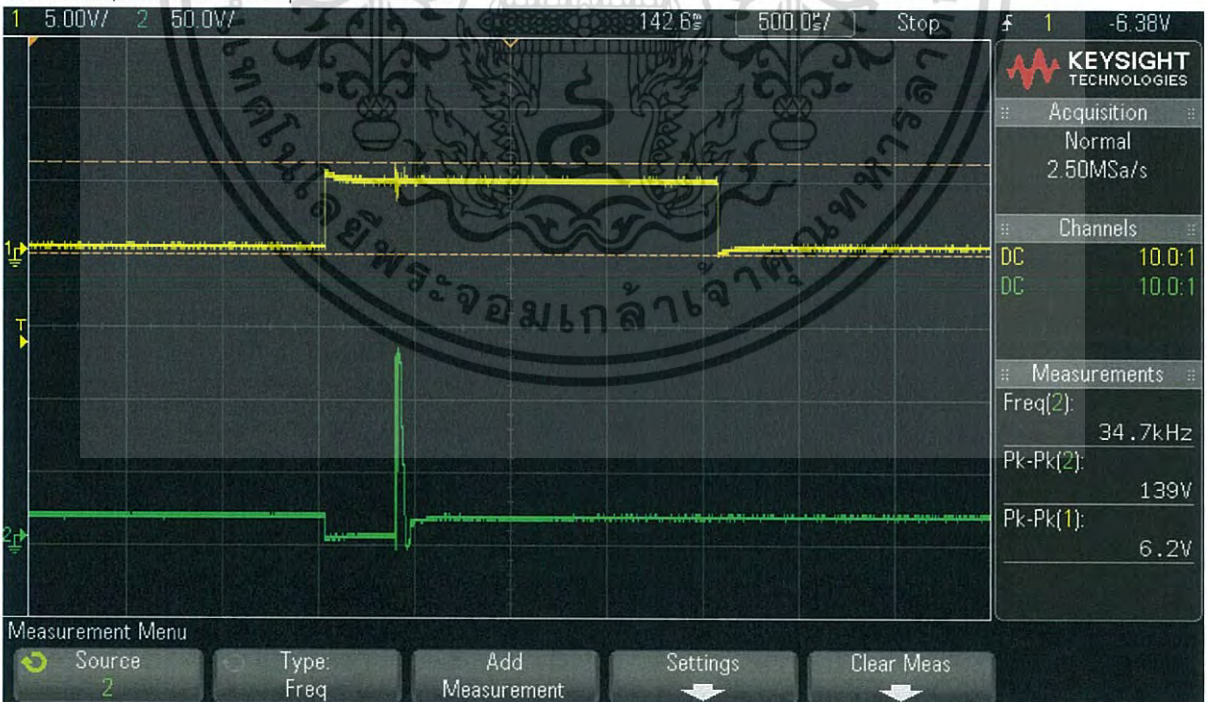
รูปที่ 4.18 ใช้ $f = 49.98 \text{ Hz}$, Speed = 3000 RPM., Ton = 2 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DSO-X 2002A, MY52013413: Tue Apr 17 03:26:07 2018

รูปที่ 4.19 ใช้ $f = 58.31 \text{ Hz}$; Speed = 3500 RPM. , Ton = 2 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

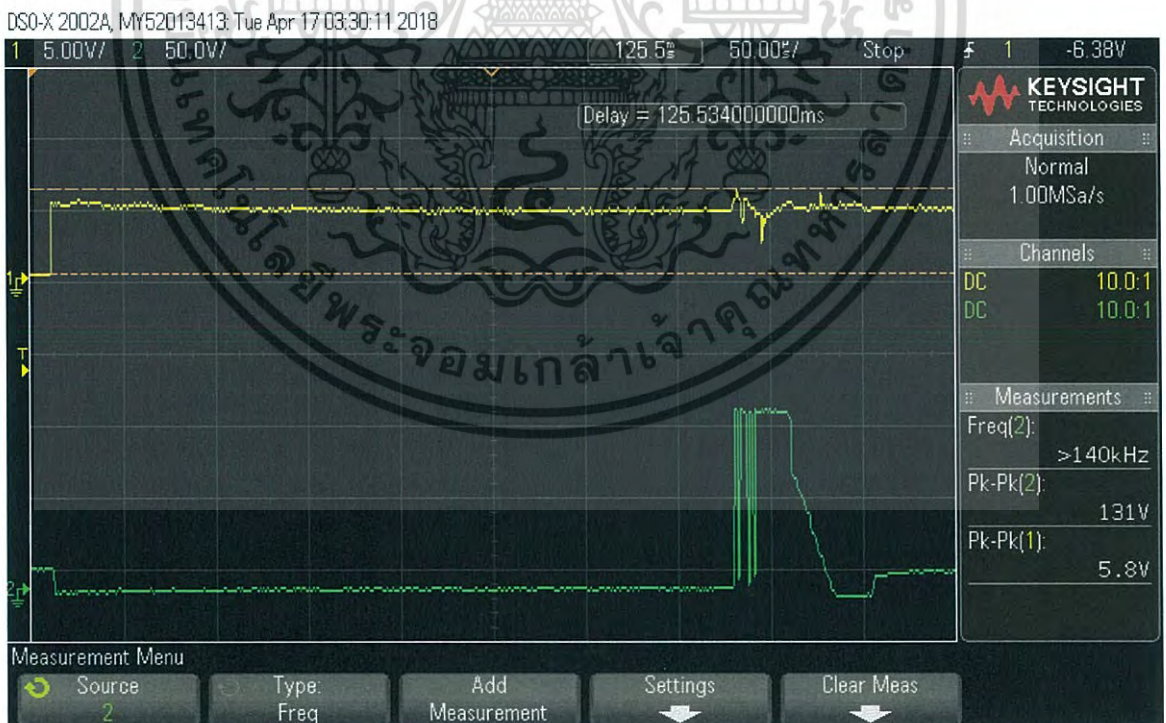
DSO-X 2002A, MY52013413: Tue Apr 17 03:27:04 2018

รูปที่ 4.20 ใช้ $f = 66.64 \text{ Hz}$, Speed = 4000 RPM. , Ton = 2 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



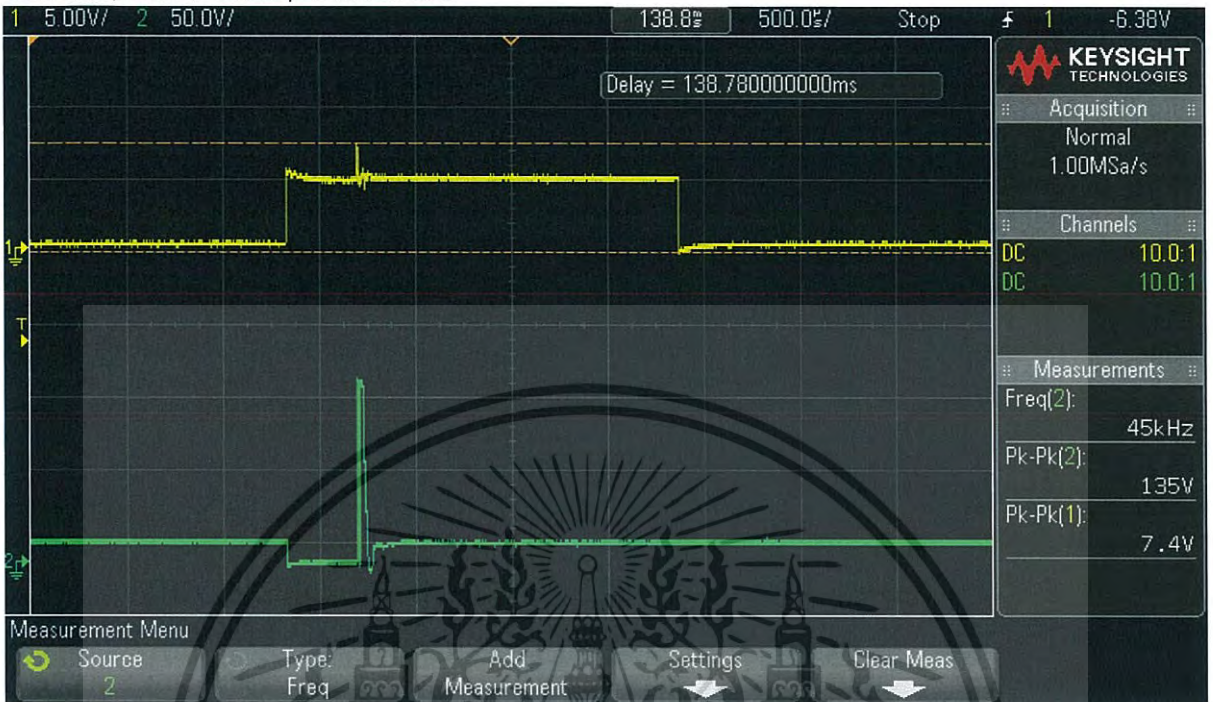
รูปที่ 4.21 ใช้ $f = 74.97 \text{ Hz}$, Speed = 4500 RPM., Ton = 2 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope



รูปที่ 4.22 ใช้ $f = 83.30 \text{ Hz}$, Speed = 5000 RPM., Ton = 2 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

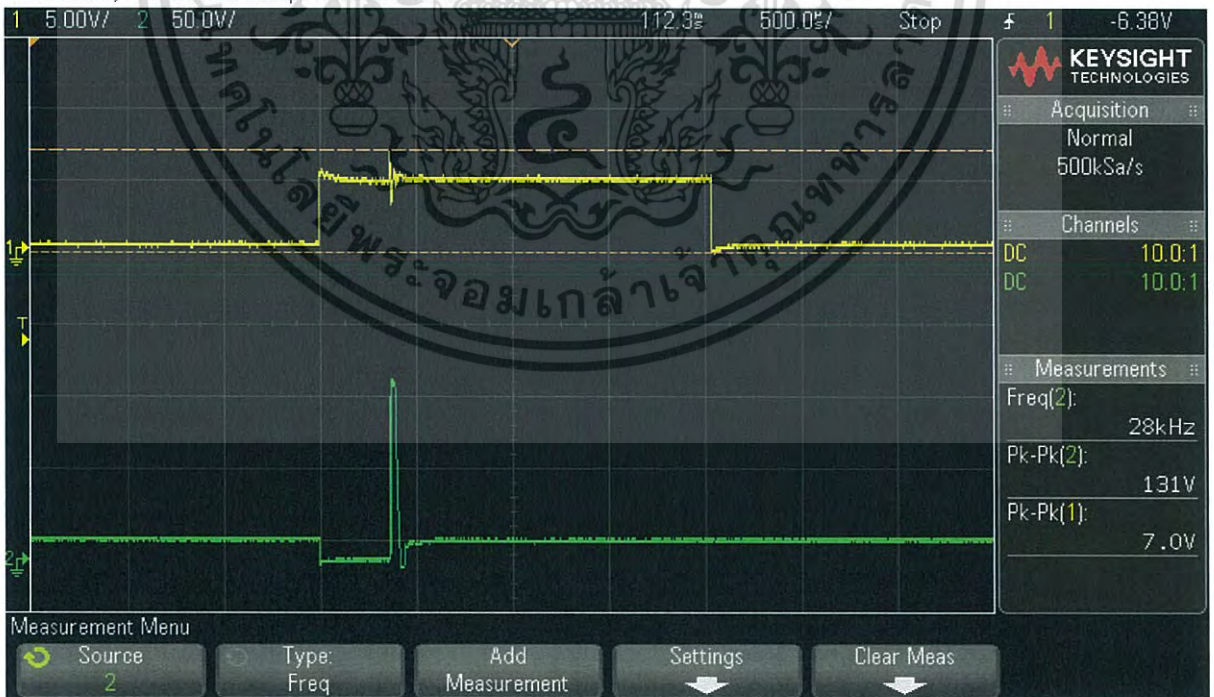
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DSO-X 2002A, MY52013413, Tue Apr 17 03:31:57 2018



รูปที่ 4.23 ใช้ $f = 91.63 \text{ Hz}$, Speed = 5000 RPM., Ton = 2 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

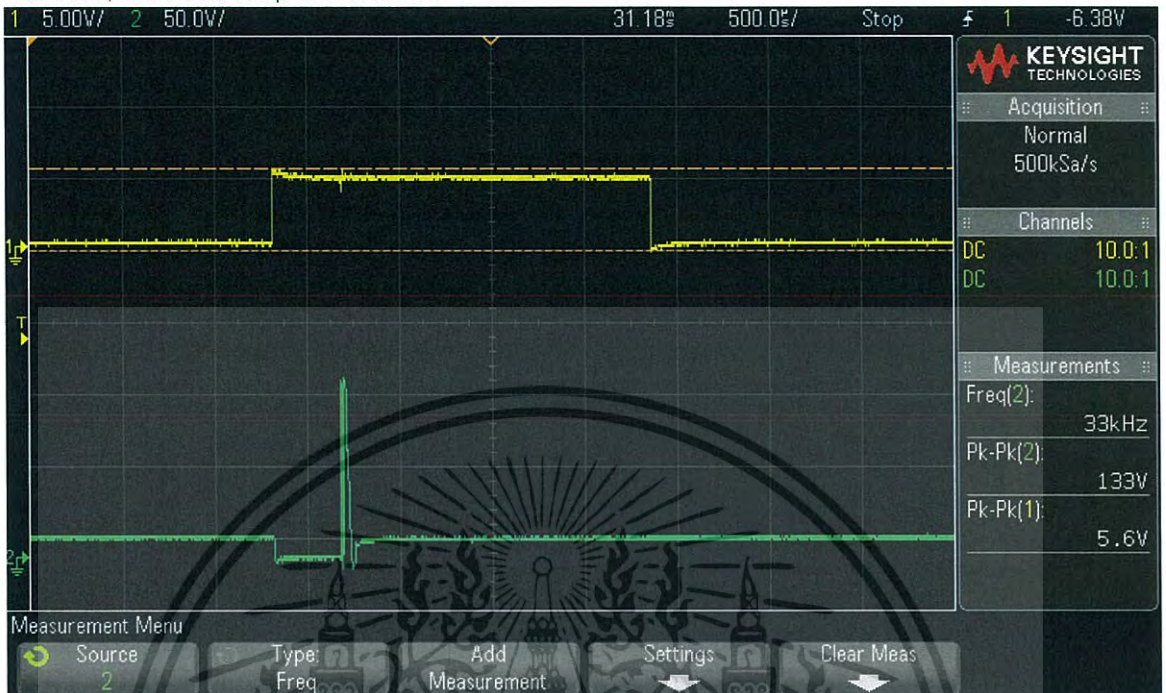
DSO-X 2002A, MY52013413, Tue Apr 17 03:32:43 2018



รูปที่ 4.24 ใช้ $f = 1000 \text{ Hz}$, Speed = 6000 RPM., Ton = 2 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

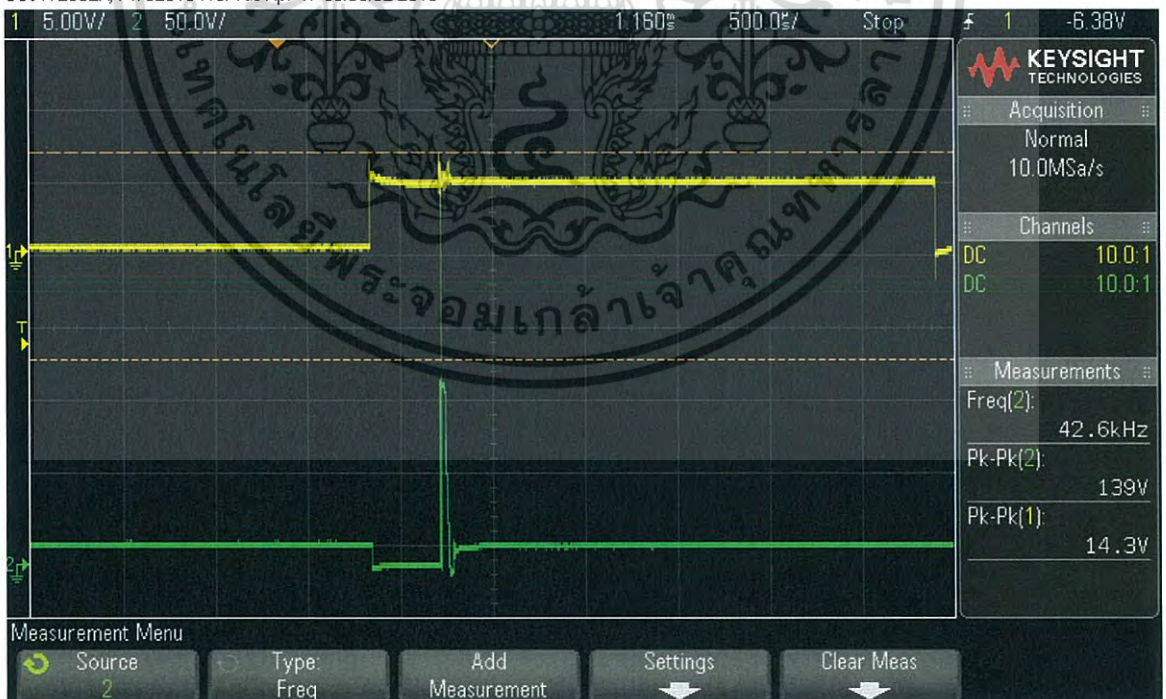
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DSO-X 2002A, MY52013413: Tue Apr 17 03:34:02 2018



รูปที่ 4.25 ใช้ $f = 8.33 \text{ Hz}$, Speed = 500 RPM., Ton = 3 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

DSO-X 2002A, MY52013413: Tue Apr 17 03:35:52 2018



รูปที่ 4.26 ใช้ $f = 16.67 \text{ Hz}$, Speed = 1000 RPM., Ton = 3 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

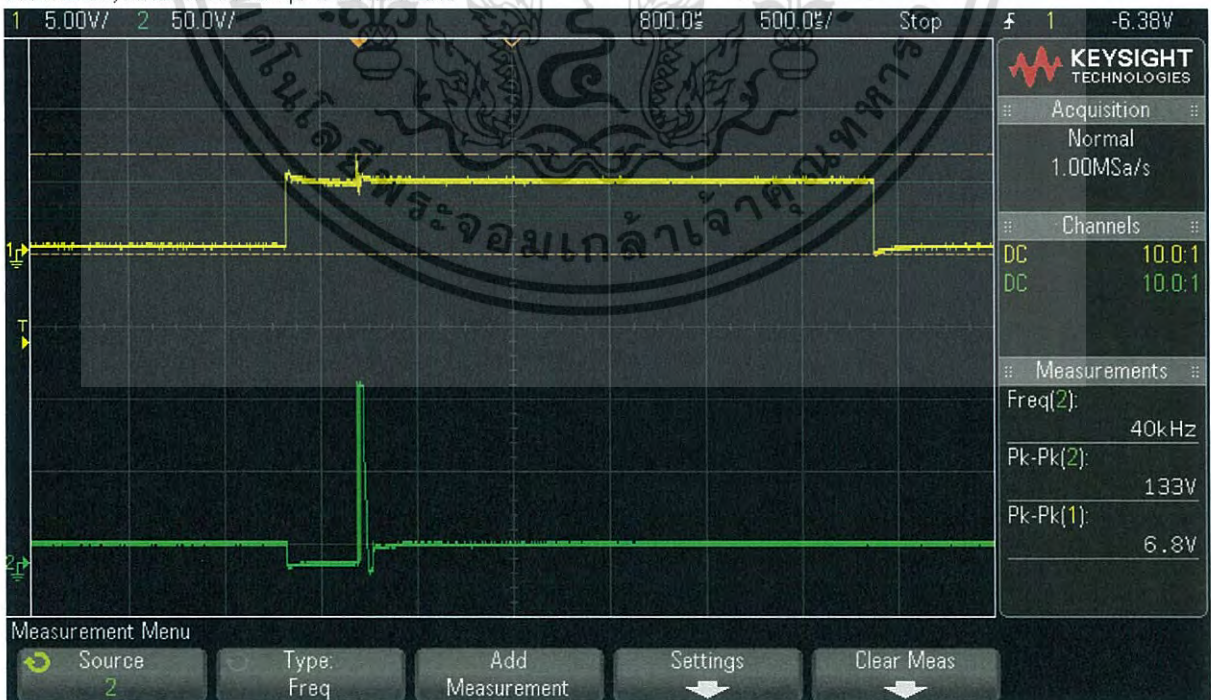
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DSO-X 2002A, MY52013413, Tue Apr 17 03:36:51 2018



รูปที่ 4.27 ใช้ $f = 24.99 \text{ Hz}$, Speed = 1500 RPM., Ton = 3 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

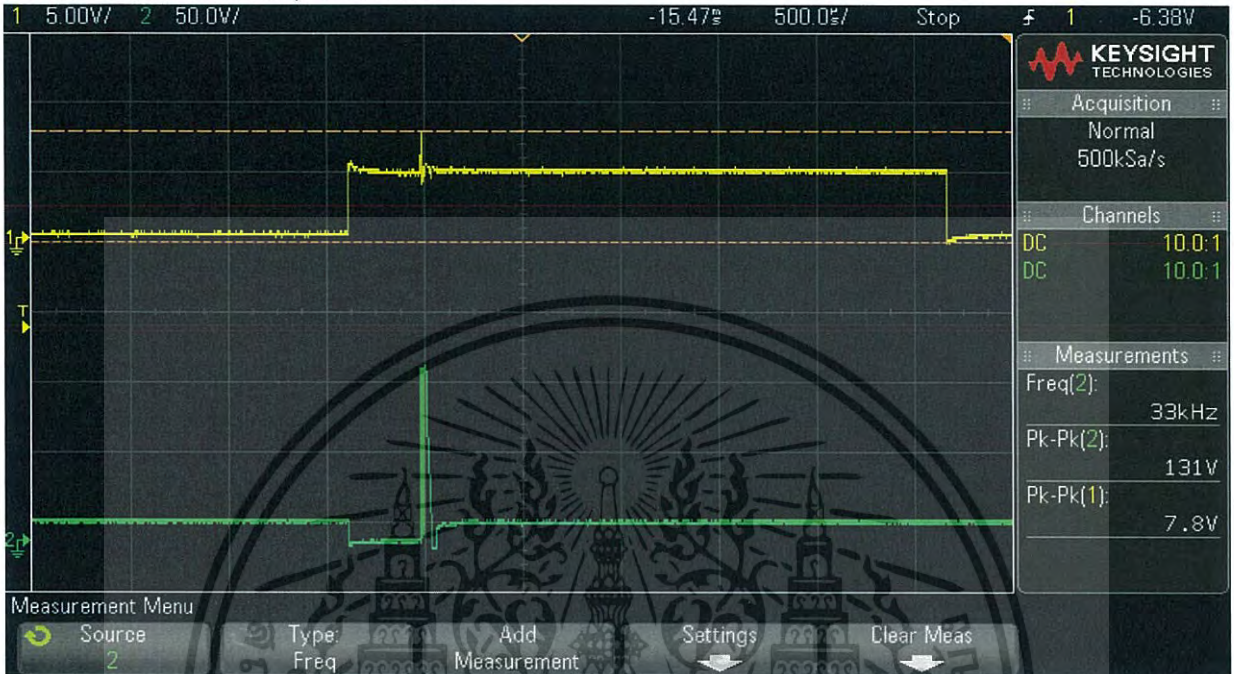
DSO-X 2002A, MY52013413, Tue Apr 17 03:46:39 2018



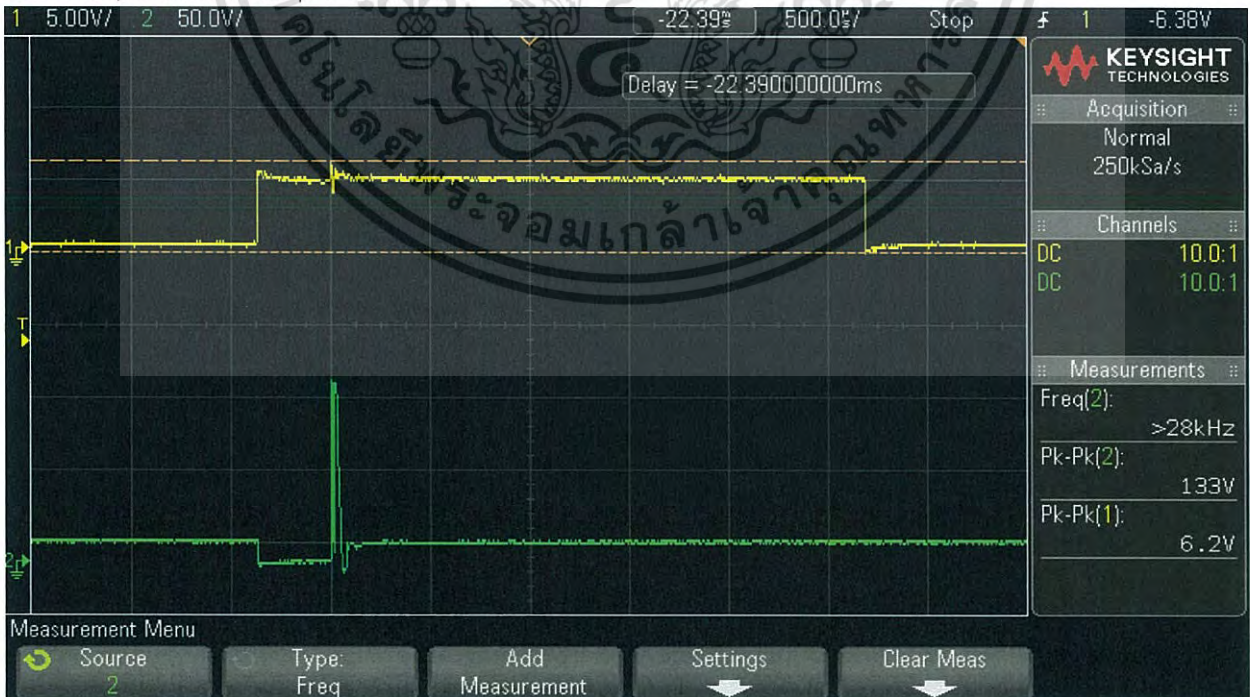
รูปที่ 4.28 ใช้ $f = 33.32 \text{ Hz}$, Speed = 2000 RPM., Ton = 3 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DSO-X 2002A, MY52013413: Tue Apr 17 03:47:45 2018

รูปที่ 4.29 ใช้ $f = 41.65 \text{ Hz}$; Speed = 2500 RPM. , Ton = 3 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

DSO-X 2002A, MY52013413: Tue Apr 17 03:48:41 2018

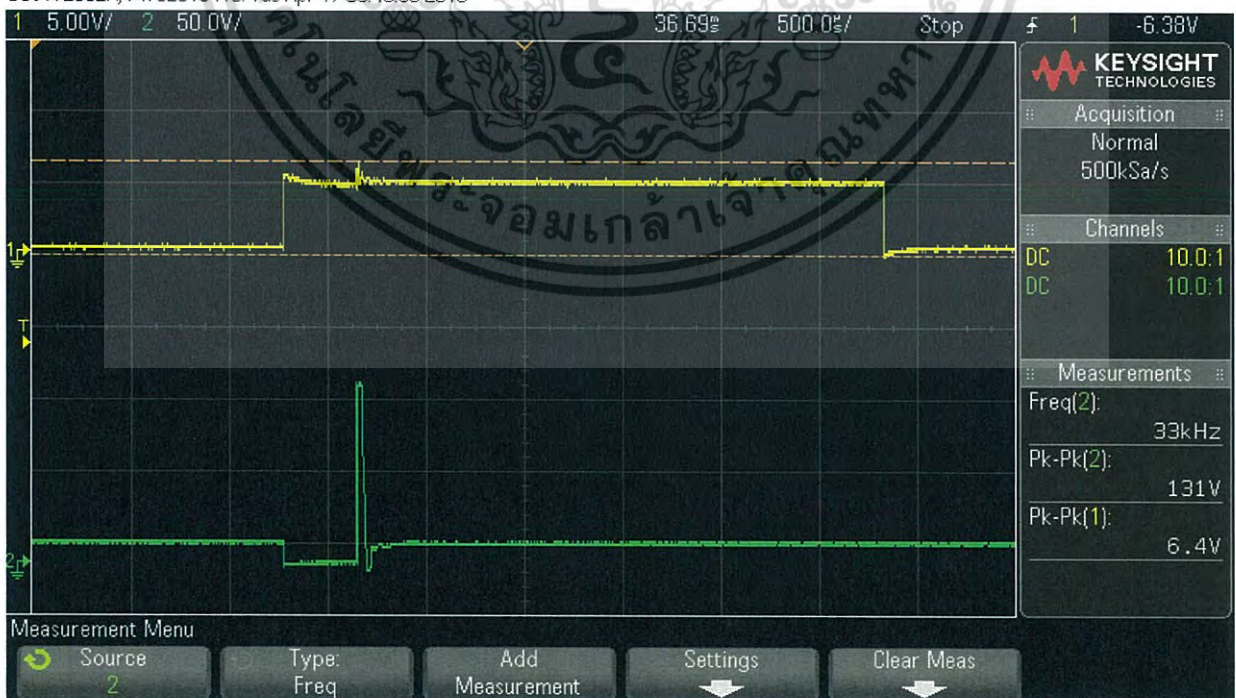
รูปที่ 4.30 ใช้ $f = 49.98 \text{ Hz}$, Speed = 3000 RPM. , Ton = 3 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DSO-X 2002A, MY52013413: Tue Apr 17 03:49:19 2018

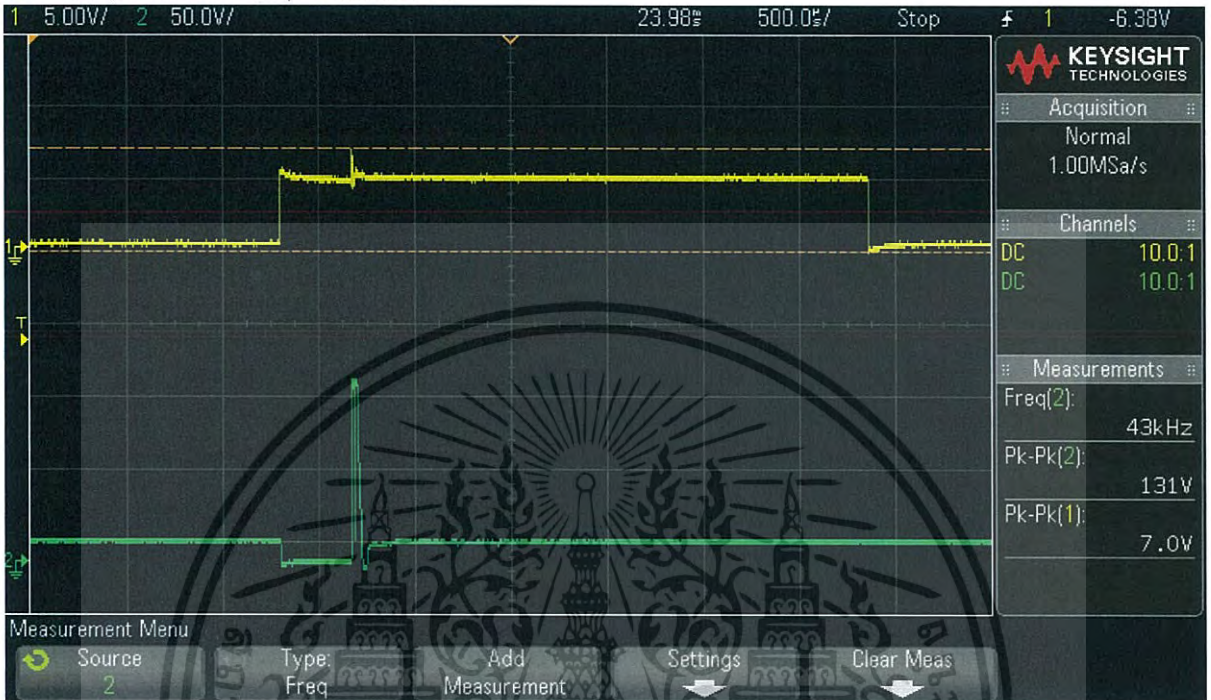
รูปที่ 4.31 ใช้ $f = 58.31 \text{ Hz}$, Speed = 3500 RPM. , Ton = 3 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

DSO-X 2002A, MY52013413: Tue Apr 17 03:49:59 2018

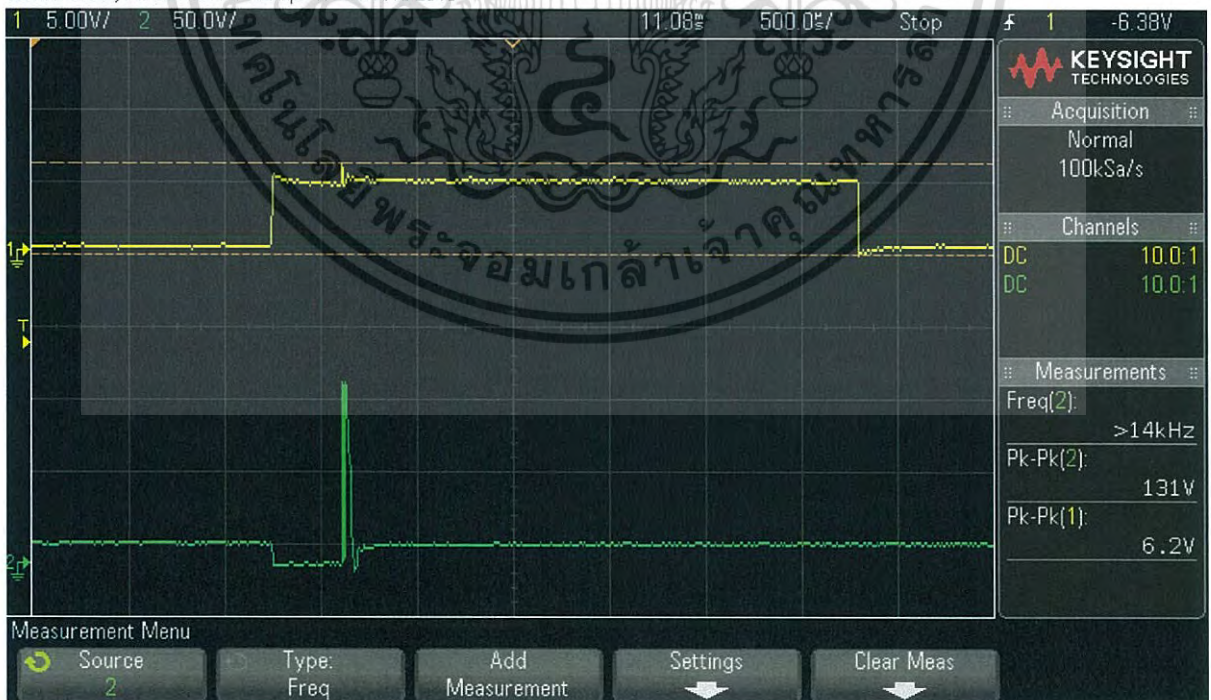
รูปที่ 4.32 ใช้ $f = 66.64 \text{ Hz}$, Speed = 4000 RPM. , Ton = 3 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DSO-X 2002A, MY52013413: Tue Apr 17 03:50:27 2018

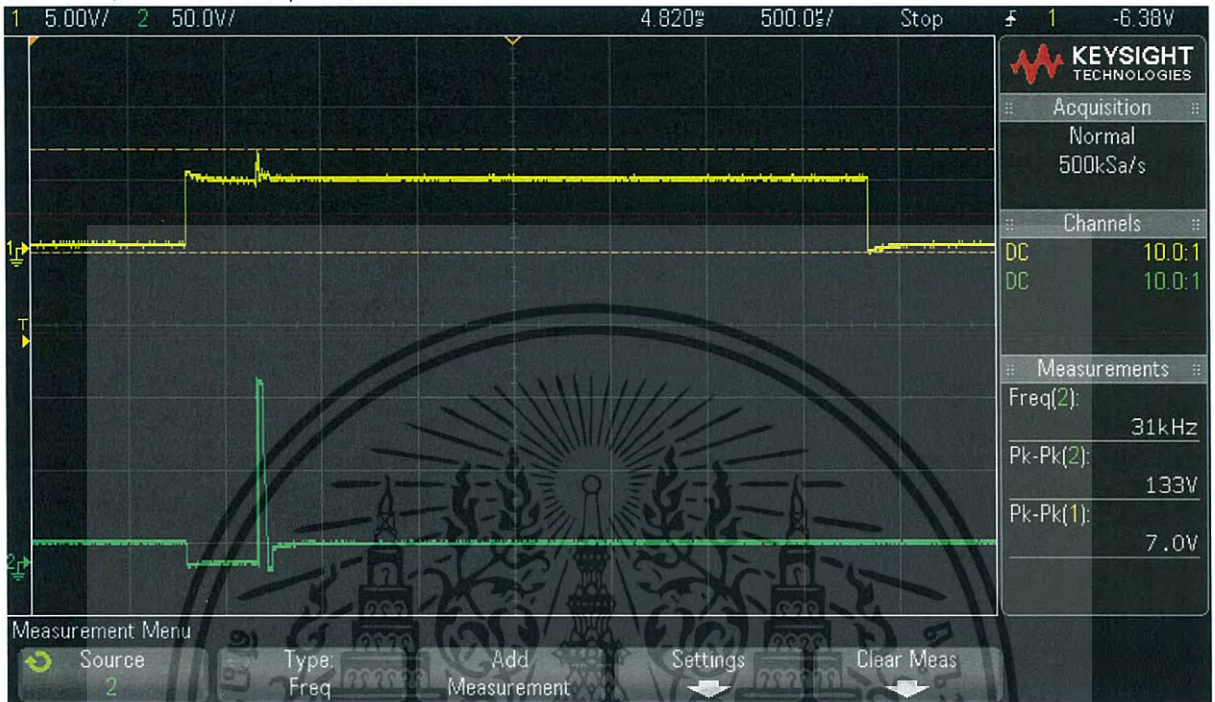
รูปที่ 4.33 ใช้ $f = 74.97 \text{ Hz}$, Speed = 4500 RPM. , Ton = 3 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

DSO-X 2002A, MY52013413: Tue Apr 17 03:51:18 2018

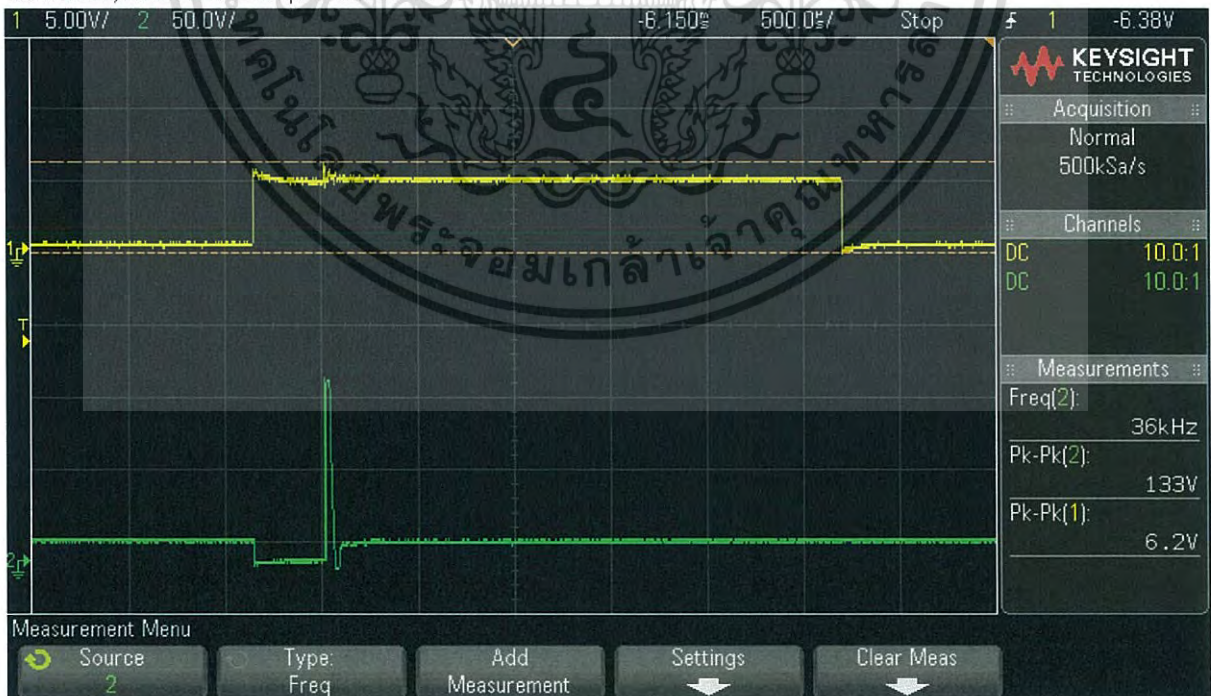
รูปที่ 4.34 ใช้ $f = 83.3 \text{ Hz}$, Speed = 5000 RPM. , Ton = 3 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DSO-X 2002A, MY52013413, Tue Apr 17 03:52:02 2018

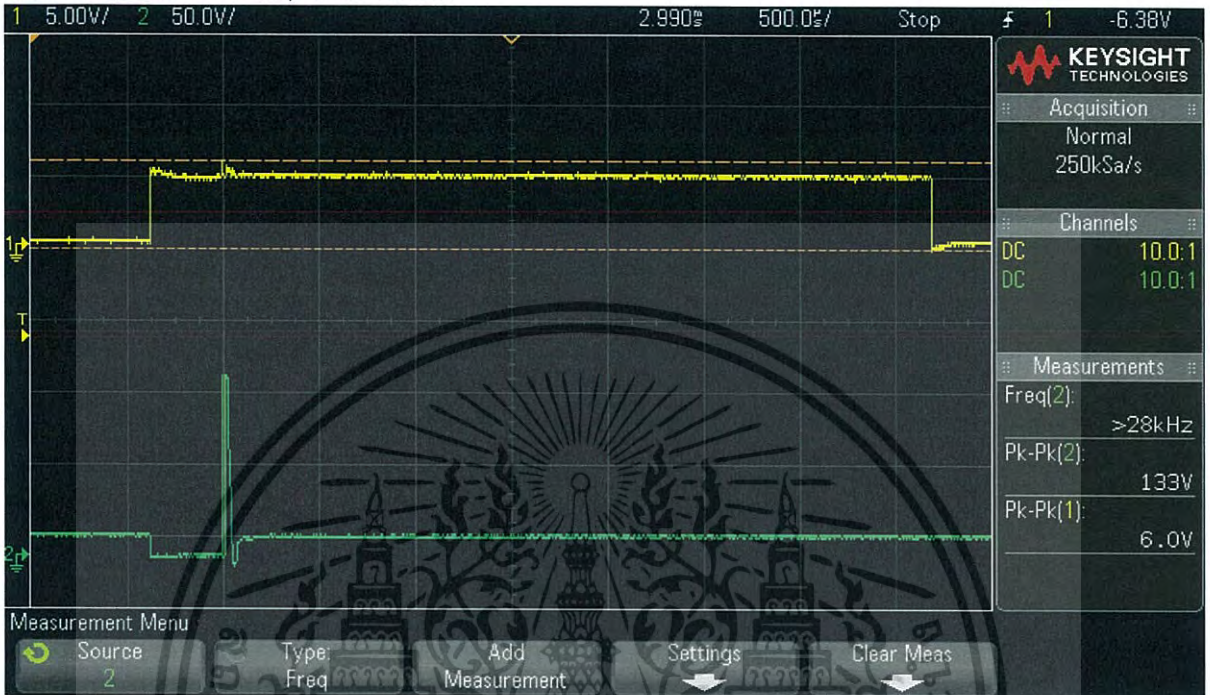
รูปที่ 4.35 ใช้ $f = 91.63 \text{ Hz}$, Speed = 5500 RPM. , Ton = 3 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

DSO-X 2002A, MY52013413, Tue Apr 17 03:52:24 2018

รูปที่ 4.36 ใช้ $f = 100 \text{ Hz}$, Speed = 6000 RPM. , Ton = 3 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

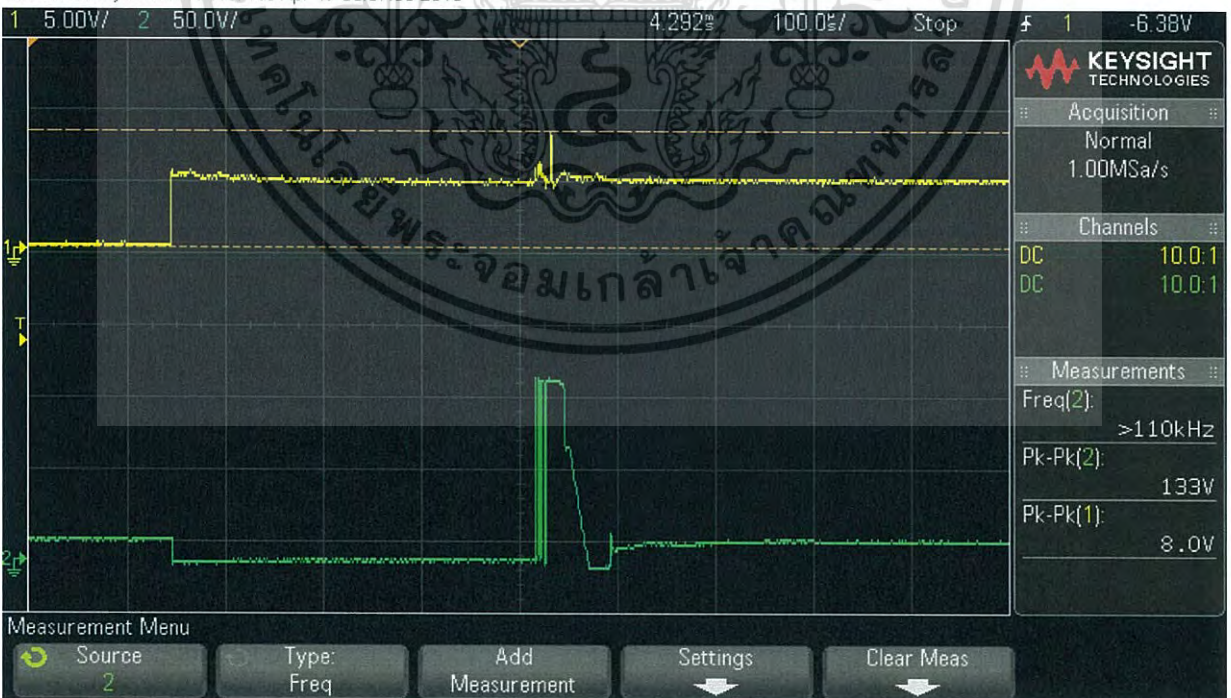
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DSO-X 2002A, MY52013413: Tue Apr 17 03:54:55 2018



รูปที่ 4.37 ใช้ $f = 8.33 \text{ Hz}$, Speed = 500 RPM., Ton = 4 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

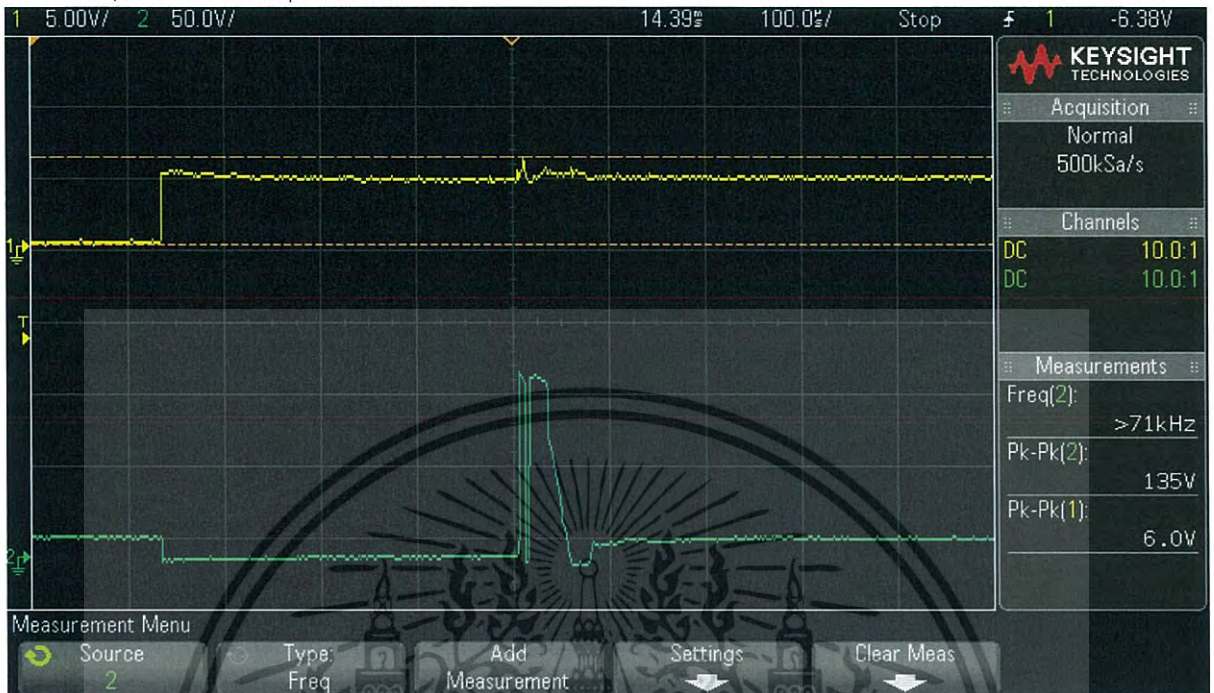
DSO-X 2002A, MY52013413: Tue Apr 17 03:57:00 2018



รูปที่ 4.38 ใช้ $f = 16.67 \text{ Hz}$, Speed = 1000 RPM., Ton = 4 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DSO-X 2002A, MY52013413: Tue Apr 17 03:58:21 2018

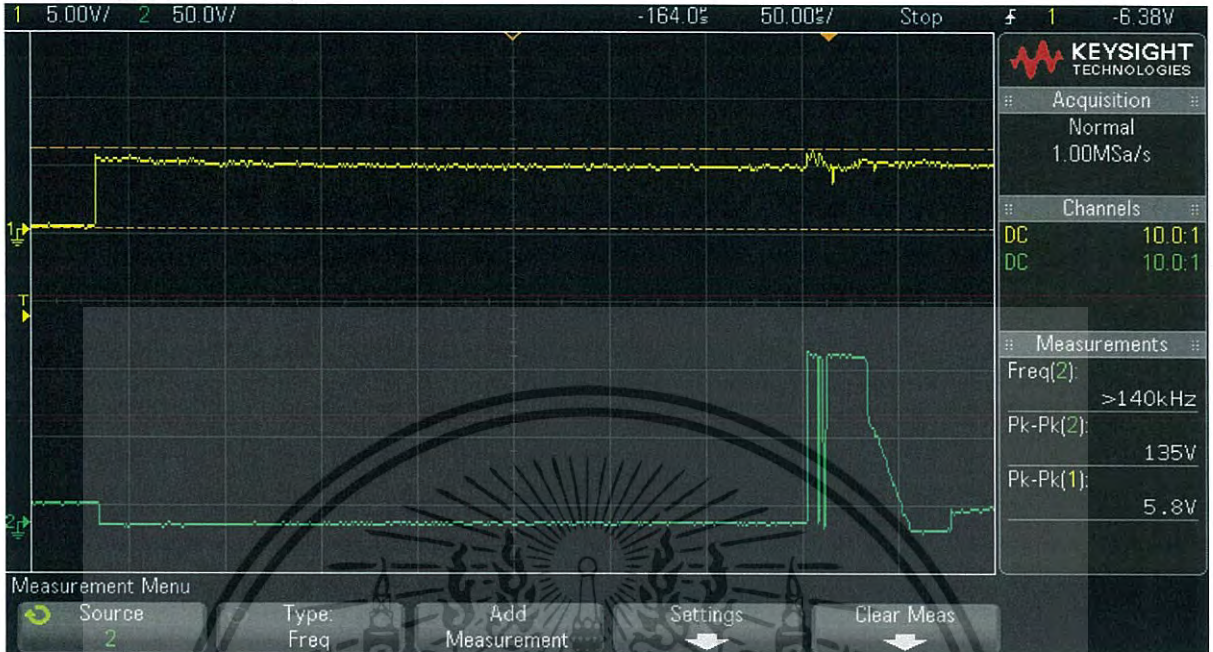
รูปที่ 4.39 ใช้ $f = 24.99 \text{ Hz}$, Speed = 1500 RPM., Ton = 4 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

DSO-X 2002A, MY52013413: Tue Apr 17 03:59:45 2018

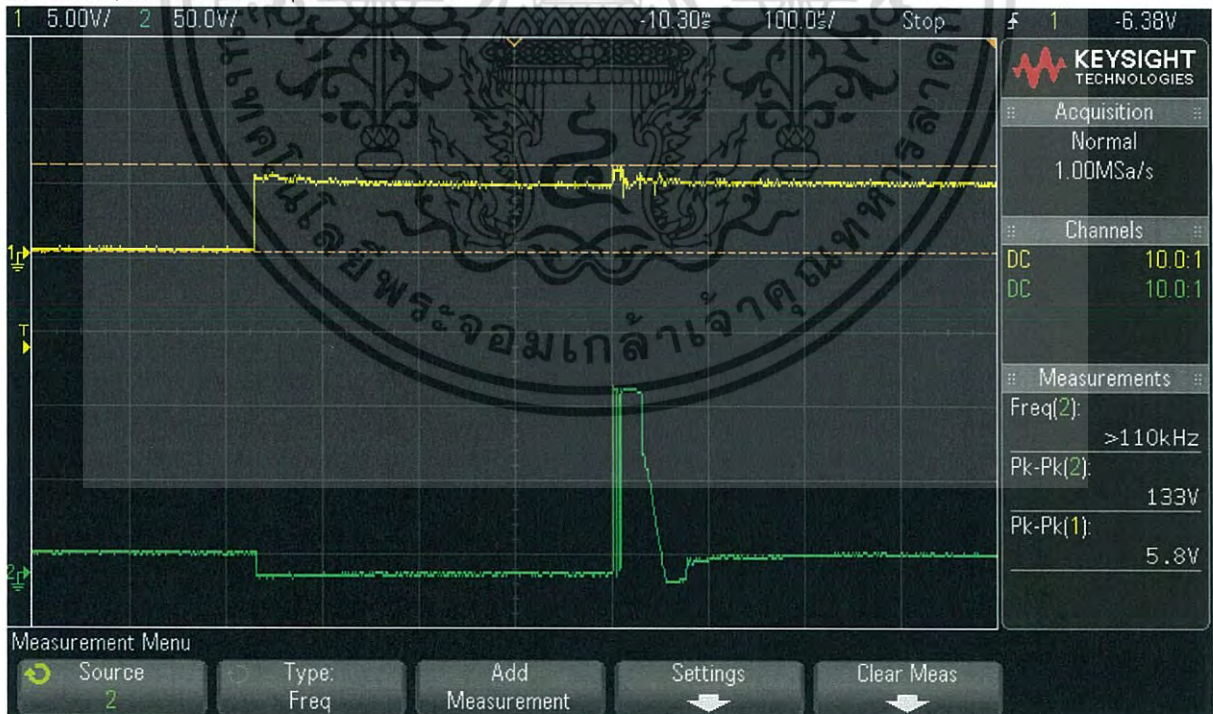
รูปที่ 4.40 ใช้ $f = 33.32 \text{ Hz}$, Speed = 2000 RPM., Ton = 4 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DSO-X 2002A, MY52013413; Tue Apr 17 04:01:53 2018

รูปที่ 4.41 ใช้ $f = 41.65 \text{ Hz}$, Speed = 2500 RPM., Ton = 4 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

DSO-X 2002A, MY52013413; Tue Apr 17 04:02:54 2018

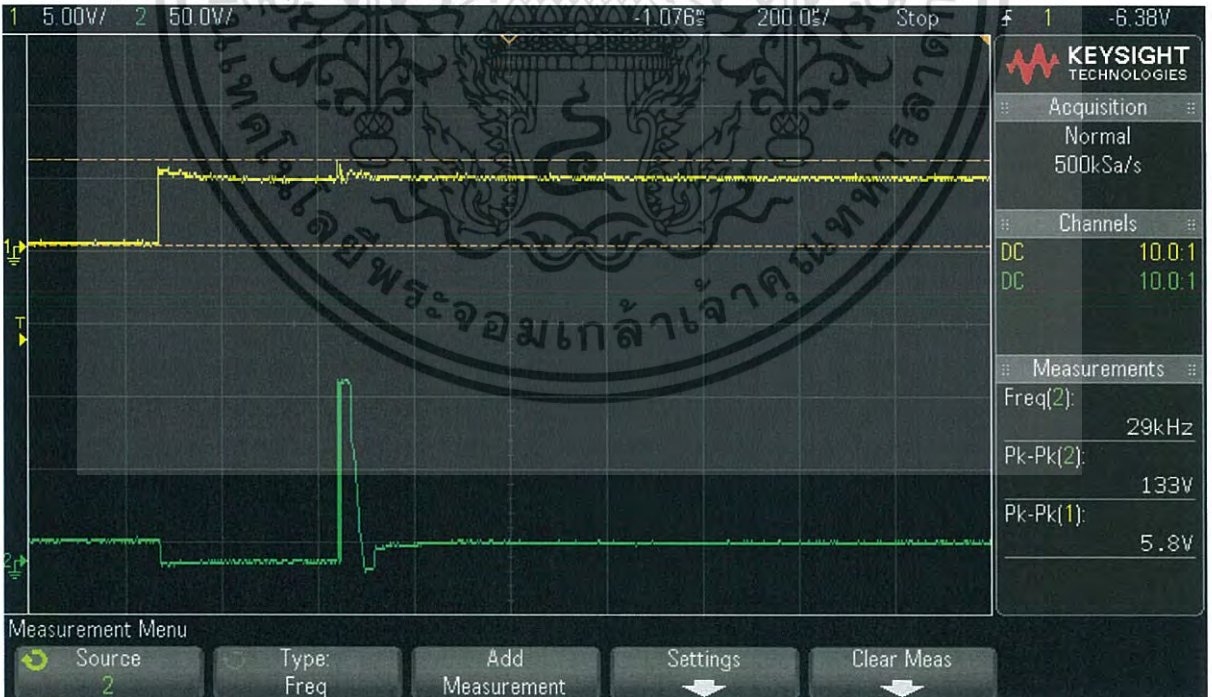
รูปที่ 4.42 ใช้ $f = 49.98 \text{ Hz}$, Speed = 3000 RPM., Ton = 4 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DSO-X 2002A, MY52013413, Tue Apr 17 04:03:18 2018

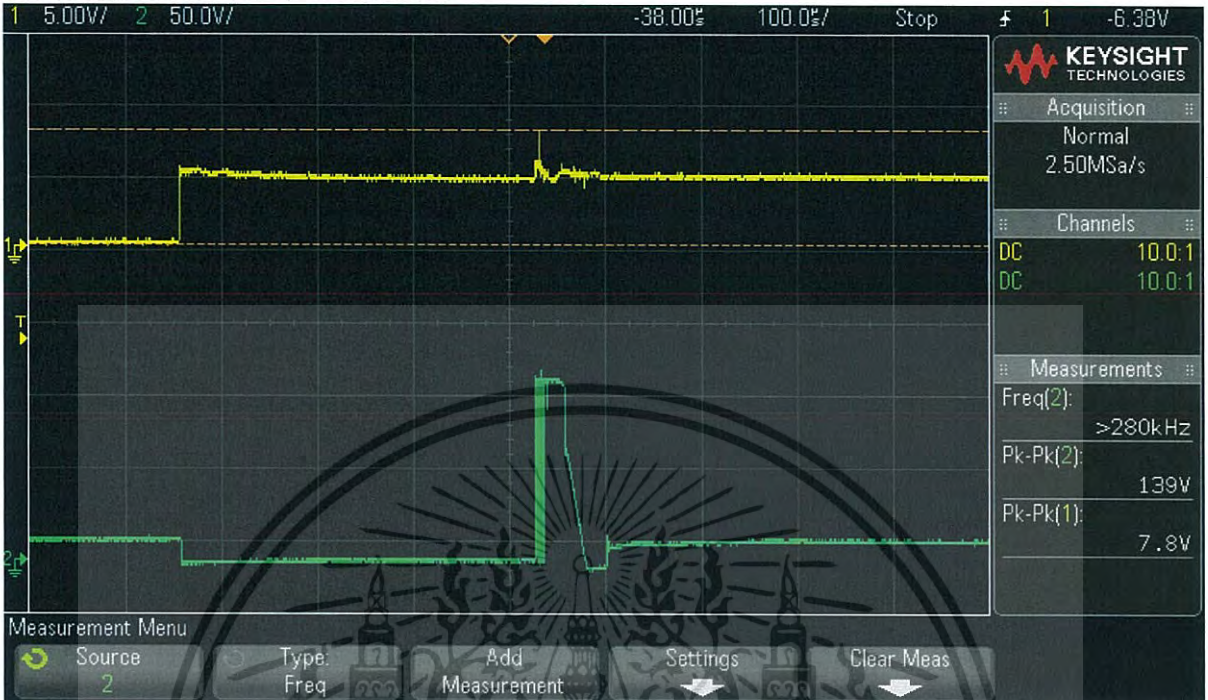
รูปที่ 4.43 ใช้ $f = 58.31 \text{ Hz}$, Speed = 3500 RPM., Ton = 4 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

DSO-X 2002A, MY52013413, Tue Apr 17 04:04:42 2018

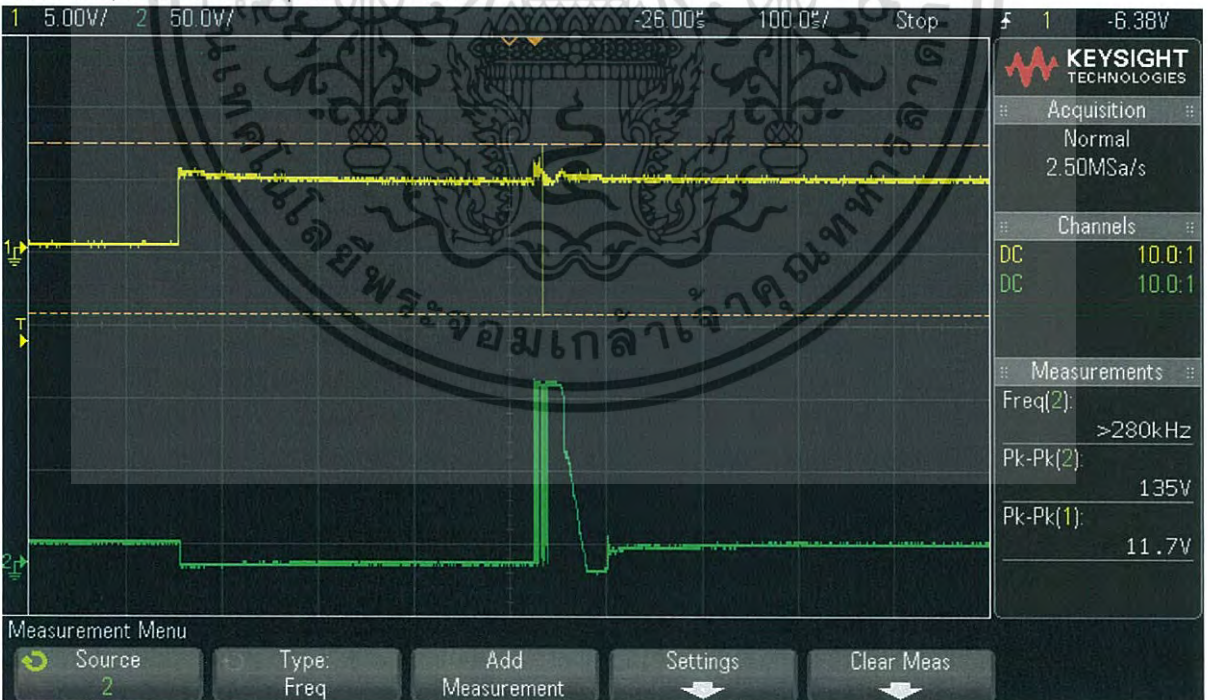
รูปที่ 4.44 ใช้ $f = 66.64 \text{ Hz}$, Speed = 4000 RPM., Ton = 4 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DSO-X 2002A, MY52013413, Tue Apr 17 04:05:56 2018

รูปที่ 4.45 ใช้ $f = 74.97 \text{ Hz}$, Speed = 4500 RPM. , Ton = 4 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

DSO-X 2002A, MY52013413, Tue Apr 17 04:07:27 2018

รูปที่ 4.46 ใช้ $f = 83.30 \text{ Hz}$, Speed = 5000 RPM. , Ton = 4 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

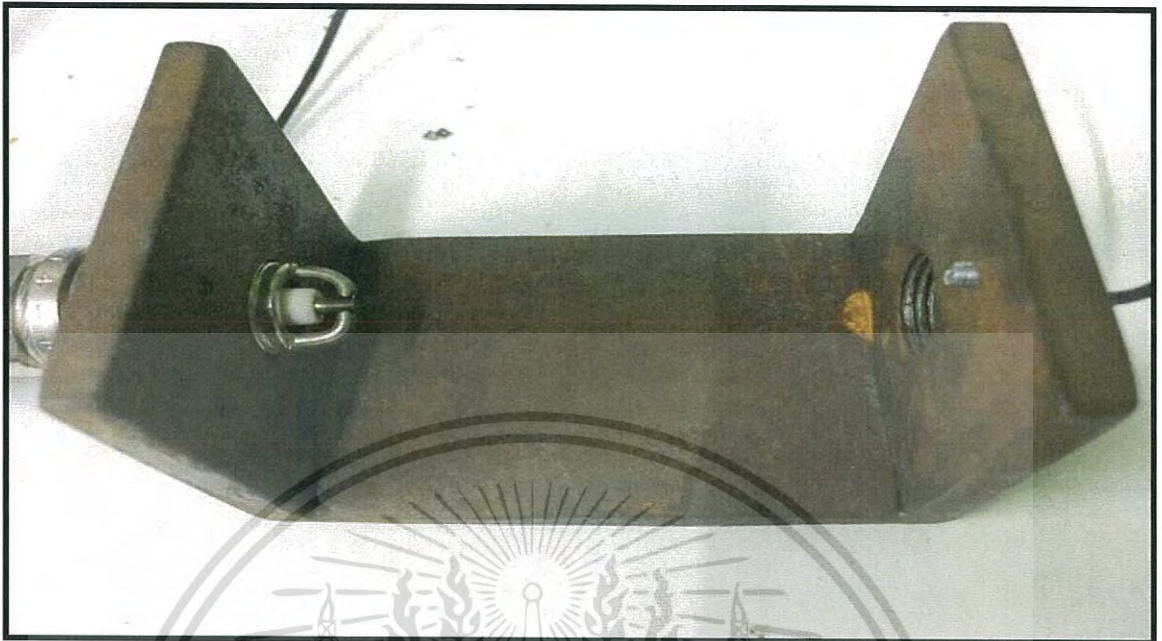
DSO-X 2002A, MY52013413, Tue Apr 17 04:09:46 2018

รูปที่ 4.47 ใช้ $f = 91.63 \text{ Hz}$, Speed = 5500 RPM., Ton = 4 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

DSO-X 2002A, MY52013413, Tue Apr 17 04:11:26 2018

รูปที่ 4.48 ใช้ $f = 100.0 \text{ Hz}$, Speed = 6000 RPM., Ton = 4 ms วัดโดยใช้เครื่อง Oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

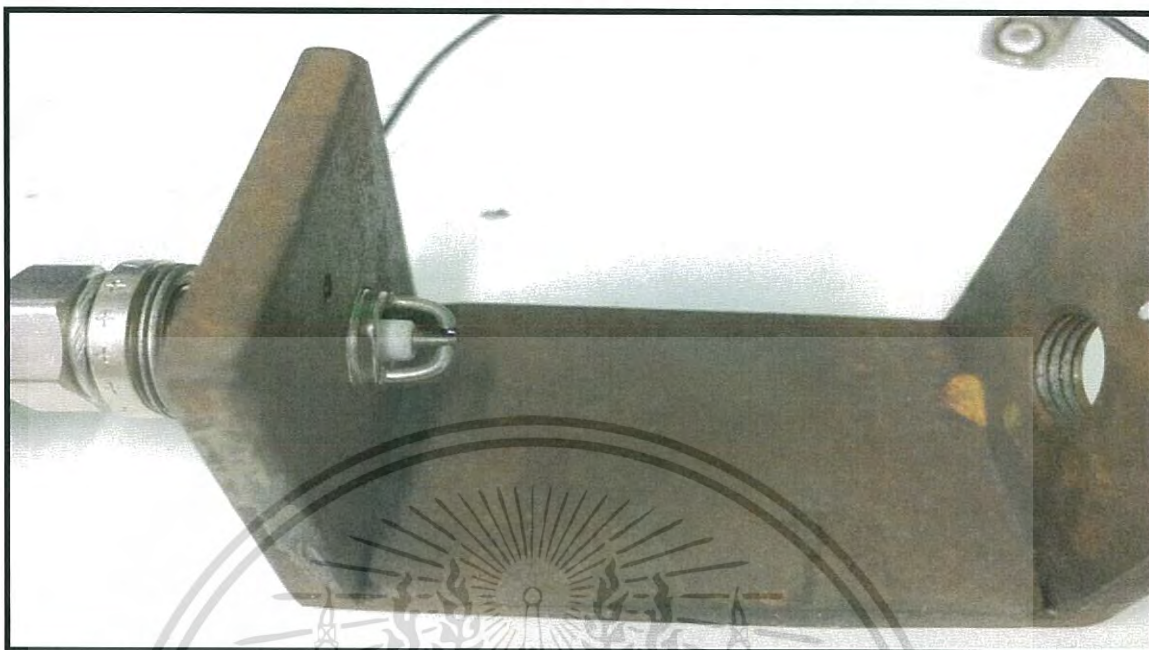


รูปที่ 4.48 จำนวนสัญญาณพัลส์ 500 พัลส์ , Ton = 1 ms , Speed = 6000 RPM



รูปที่ 4.49 จำนวนสัญญาณพัลส์ 600 พัลส์ , Ton = 1 ms , Speed = 6000 RPM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

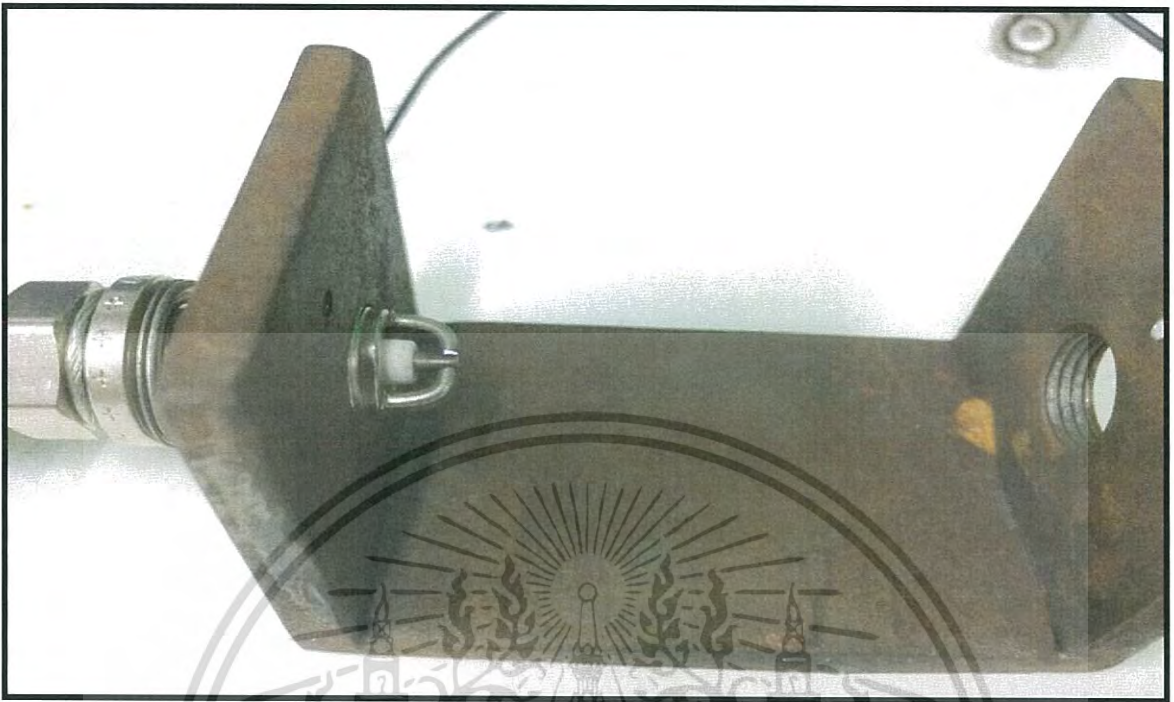


รูปที่ 4.50 จำนวนสัญญาณพัลส์ 700 พัลส์ , Ton = 1 ms , Speed = 6000 RPM



รูปที่ 4.51 จำนวนสัญญาณพัลส์ 800 พัลส์ , Ton = 1 ms , Speed = 6000 RPM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.52 จำนวนสัญญาณพัลส์ 900 พัลส์ , Ton = 1 ms , Speed = 6000 RPM



รูปที่ 4.53 จำนวนสัญญาณพัลส์ 1000 พัลส์ , Ton = 1 ms , Speed = 6000 RPM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการทำโครงงาน ระบบจำลองการจุดระเบิดเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ได้ทำการศึกษาและออกแบบคำนวณค่าอุปกรณ์วงจร ได้ออกแบบให้เหมาะสมกับแหล่งจ่ายไฟตรง คือ 13.8 - 14.4 VDC จากนั้นจะทำการจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่ Arduino MEGA 2560 เพื่อทำการจ่ายสัญญาณพัลส์ให้กับวงจร gate drive เพื่อทำการขับเคลื่อนคอยล์จุดระเบิด ที่จะทำการจุดระเบิดไปยังหัวเทียนต่อไป

ในการทดลองโปรแกรมสร้างสัญญาณพัลส์จากไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino MEGA 2560 เพื่อจ่ายไปยังวงจรขับเคลื่อนคอยล์จุดระเบิด พบว่าการจ่ายสัญญาณพัลส์แบบลูกเดียวจะมีความสว่างน้อยกว่าแบบปกติ และพบว่าเมื่อทำการเพิ่มความถี่สูงขึ้นในช่วงมากกว่า 1 kHz ความสว่างที่ได้น้อยกว่าแบบปกติ โดยในการปรับความสว่างของ LED ให้เหมาะสมนั้นจะถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino โดยความสว่างของหลอด LED จะเปลี่ยนไปตามค่าดีวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) ในการโปรแกรมพัลส์ของไมโครคอนโทรลเลอร์

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

ในการทดลองโปรแกรมสร้างสัญญาณพัลส์จากไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ด้วยความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ตั้งไว้คือ 500-6000 รอบต่อนาที นั้นพอทดลองโปรแกรมสร้างสัญญาณจาก Arduino แล้วพบว่าสัญญาณที่วัดได้ ยังคงมีสัญญาณรบกวนอยู่ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการออกแบบวงจร gate drive ที่ขับเคลื่อนคอยล์จุดระเบิดที่ยังไม่ดีพอ และเลือกใช้อุปกรณ์ที่ไม่เหมาะสม จึงทำให้มีสัญญาณรบกวนอยู่ในวงจร

5.3 ข้อเสนอแนะ

ควรออกแบบลายวงจร gate drive และ ลายวงจรอื่นๆให้มีขนาดเล็ก มีศิลปะการออกแบบที่สวยงาม แต่ทำให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีที่สุด และควรวางชุด ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ไว้ใกล้ๆ กับวงจร gate drive เพื่อเป็นการช่วยลดสัญญาณรบกวนในวงจร

เอกสารอ้างอิง

- [1] วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ , รศ.จิรวัดน์ ปานกลาง , ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [2] รศ.สมศักดิ์ เขียวศิริกุล , “Power Electronics” , ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [3] ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์. พ.ศ. 2554. “ปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ 3”. ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [4] Sakdinon (8 October 2012) สืบค้นจาก <https://dataengine.wikispaces.com>
- [5] Thaeasyelec.com (๑๒ พฤศจิกายน ๒๕๖๐). บทความ Arduino ตอนที่1 แนะนำเพื่อนใหม่ที่ชื่อ Arduino. สืบค้นจาก <http://www.thaeasyelec.com/article-wiki/basic-electronics/บทความ-arduino-คืออะไร-เริ่มต้นใช้งาน-arduino.html>.
- [6] ธรรมธัช หอสุวรรณ (10 October 2017). สืบค้นจาก <http://menglab.blogspot.com/2017/04/h-bridge.html>
- [7] Power Integrations,Inc (6 November 2017). สืบค้นจาก <https://ac-dc.power.com/products/topswitch-family/>
- [8] On Semiconductor (6 November 2017). สืบค้นจาก <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MBR2020CT-D.PDF>
- [9] Power Integrations,Inc (7 November 2017). สืบค้นจาก <https://www.power.com/sites/default/files/PDFFiles/epr34.pdf>
- [10] เครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ (10 November 2017). สืบค้นจาก <https://vallop-automechanics.blogspot.com/2012/05/4.html>
- [11] ระบบจุดระเบิดเครื่องยนต์. Sodsai manknong (11 November 2017). สืบค้นจาก <http://system88.blogspot.com/2012/08/blog-post.html>
- [12] ระบบจุดระเบิดทรานซิสเตอร์. Author (13 November 2017). สืบค้นจาก <http://www.auto2drive.com/ทรานซิสเตอร์>