

แหล่งกำเนิดโอโซนแบบฟูลบริดจ์เพื่อกำจัดมอดข้าว
A FULL-BRIDGE OZONE GENERATOR FOR GRAIN WEEVIL'S ELIMINATION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

แหล่งกำเนิดโอโซนแบบฟูลบริดจ์เพื่อกำจัดมอดข้าว
A FULL-BRIDGE OZONE GENERATOR FOR GRAIN WEEVIL'S ELIMINATION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A FULL-BRIDGE OZONE GENERATOR FOR GRAIN WEEVIL'S ELIMINATION



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2559

แหล่งกำเนิดโอโซนแบบฟูลบริดจ์เพื่อกำจัดมอดข้าว

A FULL-BRIDGE OZONE GENERATOR FOR GRAIN WEEVIL'S ELIMINATION



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2559

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง แหล่งกำเนิดไอโซนแบบฟูลบริดจ์เพื่อกำจัดมอดช้าว

ผู้จัดทำ

1. นายกุลภัทร รักสกุล
2. นายกิตตินันท์ เทียงทัศน์
3. นางสาวพรสุดา โตชมภู



[Handwritten Signature]

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งกำเนิดไอโซนแบบฟูลบริดจ์เพื่อกำจัดมอดข้าว

นายกุลภัทร รักสกุล

นายกิตตินันท์ เทียงทัศน์

นางสาวพรสุดา โตชมภู

รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอเครื่องผลิตไอโซนโดยใช้อินเวอร์เตอร์ฟูลบริดจ์ที่ความถี่สูงสำหรับนำมาใช้กำจัดมอดข้าว โดยมีการใช้สัญญาณแบบพีดับเบิลยูเอ็มแบบเลื่อนเฟสในการควบคุมวงจรและสามารถปรับกำลังไฟฟ้าขาออกของอินเวอร์เตอร์ได้ ความเข้มข้นของไอโซนนั้นจะถูกควบคุมโดยการปรับค่าความถี่ของเครื่องอินเวอร์เตอร์ เพื่อพิสูจน์สมมติฐานที่ว่าไอโซนสามารถกำจัดมอดข้าวได้ โดยใช้กำลังไฟฟ้า 70 วัตต์ ผลิตความเข้มข้นของไอโซนที่ 58.2 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง ร่มเมล็ดข้าว 1 กิโลกรัม ในพื้นที่ปิด โดยการทดลองนี้เริ่มไอโซนเป็นเวลา 60 นาที จะทำให้สามารถกำจัดมอดข้าวได้ดี และมีประสิทธิภาพมากกว่าในกรณีเวลาอื่นๆ

A FULL-BRIDGE OZONE GENERATOR FOR GRAIN WEEVIL'S ELIMINATION

Kunlaphat

Raksakul

Kittinan

Thiangthat

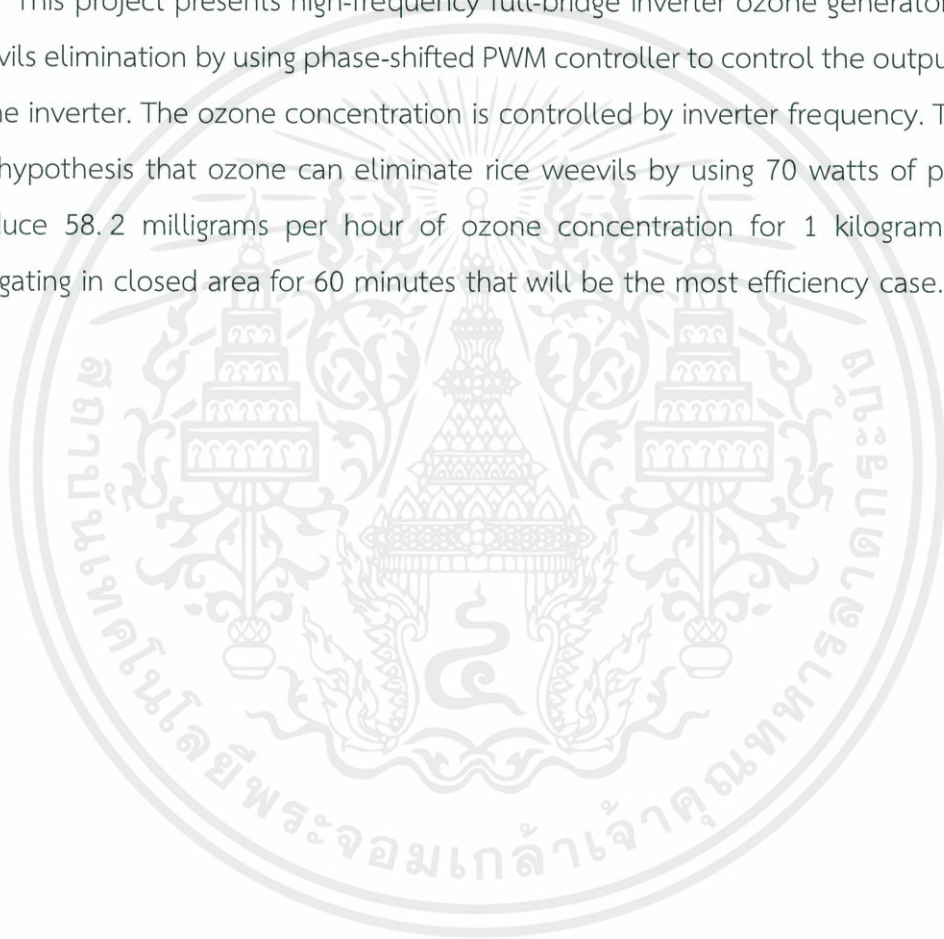
Pornsuda

Tochomphoo

Assoc.Prof.Dr.Anuwat Jangwanitlert (Advisor)

ABSTRACT

This project presents high-frequency full-bridge inverter ozone generator for rice weevils elimination by using phase-shifted PWM controller to control the output power of the inverter. The ozone concentration is controlled by inverter frequency. To prove the hypothesis that ozone can eliminate rice weevils by using 70 watts of power to produce 58.2 milligrams per hour of ozone concentration for 1 kilogram of rice fumigating in closed area for 60 minutes that will be the most efficiency case.



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจากรศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ ที่ให้คำปรึกษา ความรู้ รวมทั้งให้ความช่วยเหลือพร้อมทั้งแก้ไขข้อบกพร่องในด้านต่าง ๆ ตั้งแต่การอธิบายทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง แนวทางการปฏิบัติงาน ให้คำปรึกษารวมถึงการลงมือปฏิบัติงานจริงด้วยตัวเองในบางครั้งเพื่อช่วยแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น และยังคงตรวจสอบความถูกต้องของปริญญาานิพนธ์ ทำให้ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงและมีความสมบูรณ์ ซึ่งคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำหรับการช่วยเหลือในด้านสถานที่และอุปกรณ์ และขอขอบคุณพี่โหม และผู้ที่ให้การช่วยเหลือทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำจนปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงสมาชิกท่านอื่นๆในครอบครัว ตลอดจนผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ได้ให้กำลังใจและมีส่วนช่วยเหลือให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

หน้า	
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 การดำเนินงานวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	3
1.5 โครงสร้างของปริญญานิพนธ์	3
1.6 ประโยชน์ที่จะได้จากปริญญานิพนธ์	4
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับเครื่องการกำเนิดโอโซน	5
2.1 บทนำ	5
2.2 กระบวนการสร้างก๊าซโอโซนโดยใช้อิเล็กโทรดทรงกระบอกซ้อนกัน	5
2.2.1 วิธีการสร้างก๊าซโอโซน	7
2.2.2 ผลของความถี่สนามไฟฟ้าต่อแรงที่กระทำกับอิเล็กตรอนของโมเลกุลก๊าซ	8
2.2.3 อิเล็กโทรดทรงกระบอกซ้อนกัน	9
2.2.4 การใช้โอโซนเพื่อการกำจัดมอดในเมล็ดข้าว	13
2.2.5 คุณสมบัติของโอโซน	15
2.3 หม้อแปลงความถี่สูงเพื่แรงดัน	15
2.3.1 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า	18
2.4 อินเวอร์เตอร์เรโซแนนต์แบบขนาน	19
2.5 ทฤษฎีพื้นฐานทางด้านกำลังไฟฟ้า	23
2.5.1 กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ	23
2.6 พีดีบีลิวเอ็มฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (PWM Full – Bridge Converter)	24
2.7 สรุป	26
บทที่ 3 การออกแบบเครื่องผลิตก๊าซโอโซน	27
3.1 บทนำ	27
3.2 อิเล็กโทรดทรงกระบอกซ้อนกันฉนวนแบบ 2 ชั้น	27

3.3 การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงแบบยกระดับแรงดัน	31
3.4 อินเวอร์เตอร์เรโซแนนต์แบบขนาน	32
3.5 การสร้างสัญญาณ PWM	34
3.6 วงจรขับนำเกตด้วยไอซี TLP250	36
3.7 วงจร Snubber	37
3.8 สรุป	38
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลองของเครื่องต้นแบบ	39
4.1 การทดสอบสัญญาณไฟฟ้าในแต่ละส่วน	39
4.1.1 สัญญาณไฟฟ้าในส่วนขาเข้าของวงจร Rectifier	39
4.1.2 สัญญาณไฟฟ้าในส่วนขาเข้าวงจร Inverter	41
4.1.3 สัญญาณไฟฟ้าในส่วนขาออกจากวงจร Inverter	43
4.1.4 สัญญาณไฟฟ้าในส่วนขาเข้าหม้อแปลงในแต่ละความถี่สวิตซ์ซิ่ง	44
4.1.5 สัญญาณไฟฟ้าในส่วนขาออกหม้อแปลงในแต่ละความถี่สวิตซ์ซิ่ง	46
4.2 วิเคราะห์ผลการทดลองทางไฟฟ้า	48
4.2.1 สรุปผลการทดสอบทางไฟฟ้า	48
4.3 การทดลองทางเคมีเพื่อวิเคราะห์ปริมาณโอโซน	49
4.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณโอโซน	49
4.3.2 ขั้นตอนการเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	49
4.3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณโอโซนโดยวิธีทางเคมี	49
4.3.4 การคำนวณหาปริมาณโอโซน	51
4.3.5 ผลการทดลองทางเคมีเพื่อหาปริมาณโอโซนในแต่ละความถี่	51
4.4 การทดลองการกำจัดมอดในเมลต์ข้าว	52
4.5 สรุปผลการทดสอบ	53
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	54
เอกสารอ้างอิง	55
ภาคผนวก	56
ภาคผนวก ก ข้อมูลอุปกรณ์วัดค่า	57
ภาคผนวก ข. ภาพโครงงานโดยรวมของงานวิจัย	59
ภาคผนวก ค Datasheet	64
ภาคผนวก ง บทความทางวิชาการ	85
ประวัติผู้เขียน	90

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 การดำเนินงานวิจัย	2
ตารางที่ 2.1 ระดับปริมาณก๊าซโอโซนและผลที่เกิดขึ้น	6
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ของระบบ	33
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลปริมาณโอโซนในแต่ละความถี่	51
ตารางที่ 4.2 การเก็บผลการทดลอง	52



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเครื่องผลิตก๊าซไอออน	5
รูปที่ 2.2 กระบวนการเกิดก๊าซไอออน	7
รูปที่ 2.3 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในช่องว่างอากาศ	9
รูปที่ 2.4 รูปทรงของอิเล็กโทรด	10
รูปที่ 2.5 อิเล็กโทรดทรงกระบอกซ้อนกัน	11
รูปที่ 2.6 วงจรสมมูลของตัวเก็บประจุเสมือนในชุดอิเล็กโทรดทรงกระบอกซ้อนกัน	11
รูปที่ 2.7 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของชุดอิเล็กโทรดเมื่อมองเป็นฉนวนในสนามไฟฟ้า	12
รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างแรงดันกับกระแสที่ป้อนให้ฉนวน	12
รูปที่ 2.9 รูปหม้อแปลงไฟฟ้าแกน EE	16
รูปที่ 2.10 วงจรสมมูลหม้อแปลงไฟฟ้า	18
รูปที่ 2.11 วงจรกำลังของเครื่องกำเนิดก๊าซไอออน	19
รูปที่ 2.12 วงจรสมมูลของระบบ	19
รูปที่ 2.13 วงจรสมมูลของระบบทางด้านปฐมภูมิ	20
รูปที่ 2.14 วงจรสมมูลเรโซแนนซ์	20
รูปที่ 2.15 รูปแบบการจำลองค่าบรรทัดฐานของผลตอบสนองเชิงความถี่ระหว่าง V	22
รูปที่ 2.16 การไหลของกำลังไฟฟ้าจากอินพุตไปเอาต์พุต	23
รูปที่ 2.17 กำลังไฟฟ้า	23
รูปที่ 2.18 การทำงานของสัญญาณ PWM	25
รูปที่ 2.19 การทำงานของ PWM ที่สภาวะ 1 ถึง 8	25
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่องผลิตก๊าซไอออน	27
รูปที่ 3.2 ลักษณะของรูปทรงของอิเล็กโทรดทรงกระบอกซ้อนกันฉนวน 2 ชั้น	28
รูปที่ 3.3 รูปหม้อแปลงไฟฟ้าแกน EE	31
รูปที่ 3.4 วงจรเรโซแนนซ์	32
รูปที่ 3.5 คาบเวลาที่ใช้เขียนโปรแกรมรูปสัญญาณแบบ PWM	34
รูปที่ 3.6 Flowchart การสร้างรูปแบบสัญญาณแบบ PWM	35
รูปที่ 3.7 วงจรขับนำเกตโดยใช้ไอซีเบอร์ TLP250	36
รูปที่ 3.8 วงจรภาคกำลัง	37
รูปที่ 3.9 วงจร RCD Snubber	38
รูปที่ 4.1 วงจรกำลังของเครื่องกำเนิดก๊าซไอออน	39
รูปที่ 4.2 สัญญาณขาเข้าวงจร Rectifier ความถี่สวิตซ์ซึ่ง 20 kHz	40

รูปที่ 4.3 สัญญาณขาเข้าวงจร Rectifier ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 22 kHz	40
รูปที่ 4.4 สัญญาณขาเข้าวงจร Rectifier ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 24 kHz	41
รูปที่ 4.5 สัญญาณขาเข้าวงจร Rectifier ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 26 kHz	41
รูปที่ 4.6 สัญญาณขาเข้าวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 20 kHz	41
รูปที่ 4.7 สัญญาณขาเข้าวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 22 kHz	42
รูปที่ 4.8 สัญญาณขาเข้าวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 24 kHz	42
รูปที่ 4.9 สัญญาณขาเข้าวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 26 kHz	42
รูปที่ 4.10 สัญญาณขาออกจากวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 20 kHz	43
รูปที่ 4.11 สัญญาณขาออกจากวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 22 kHz	43
รูปที่ 4.12 สัญญาณขาออกจากวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 24 kHz	44
รูปที่ 4.13 สัญญาณขาออกจากวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 26 kHz	44
รูปที่ 4.14 สัญญาณขาเข้าหม้อแปลงความถี่สวิตซ์ซิ่ง 20 kHz	45
รูปที่ 4.15 สัญญาณขาเข้าหม้อแปลงความถี่สวิตซ์ซิ่ง 22 kHz	45
รูปที่ 4.16 สัญญาณขาเข้าหม้อแปลงความถี่สวิตซ์ซิ่ง 24 kHz	45
รูปที่ 4.17 สัญญาณขาเข้าหม้อแปลงความถี่สวิตซ์ซิ่ง 26 kHz	46
รูปที่ 4.18 สัญญาณขาออกหม้อแปลงความถี่สวิตซ์ซิ่ง 20 kHz	46
รูปที่ 4.19 สัญญาณขาออกหม้อแปลงความถี่สวิตซ์ซิ่ง 22 kHz	47
รูปที่ 4.20 สัญญาณขาออกหม้อแปลงความถี่สวิตซ์ซิ่ง 24 kHz	47
รูปที่ 4.21 สัญญาณขาออกหม้อแปลงความถี่สวิตซ์ซิ่ง 26 kHz	47
รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความถี่	48
รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับความถี่	48
รูปที่ 4.24 สารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ที่อั้งไอโซนแล้ว	50
รูปที่ 4.25 สารละลายที่เติมกรดซัลฟิวริกและน้ำเบ้งแล้ว	50
รูปที่ 4.26 การไตเตรทสารละลาย	51
รูปที่ 4.27 กราฟเปรียบเทียบปริมาณไอโซน	52

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันปัญหาการใช้สารเคมีในการเก็บรักษาข้าวในโกดังเพื่อแก้ปัญหาหมอดและแมลง จึงทำให้เกิดปัญหาสารพิษตกค้างในเมล็ดข้าว หากเรารับประทานข้าวที่มีสารพิษตกค้างเข้าไปเป็นระยะเวลานาน สารพิษก็จะสะสมอยู่ในร่างกายเป็นสาเหตุให้เกิดโรคมะเร็งตับ ระบบประสาท ผิดปกติ ระบบทางเดินหายใจผิดปกติ เป็นต้น ซึ่งในโครงการนี้คณะผู้จัดทำจึงได้นำก๊าซโอโซนมาประยุกต์ใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาข้าวก๊าซโอโซนความเข้มข้นต่ำสามารถกำจัดเชื้อรา แบคทีเรีย มอด ที่อยู่ในเมล็ดข้าว มีการศึกษาการใช้ก๊าซโอโซนในการกำจัดมอดในเมล็ดข้าว ข้อดีของก๊าซโอโซนคือไม่ก่อให้เกิดสารพิษตกค้างในเมล็ดข้าว เนื่องจากก๊าซโอโซนเป็นก๊าซไม่เสถียร สามารถสลายตัวได้ตามธรรมชาติ แต่ในขณะเดียวกันก๊าซโอโซนก็เป็นอันตรายหากได้รับในปริมาณมากเกินไป จะทำให้เกิดการระคายเคืองกับเยื่อผิวหนังหรือหากสูดดมในปริมาณมากอาจเป็นอันตรายถึงชีวิต

การผลิตก๊าซโอโซนอาศัยพลังงานจากสนามไฟฟ้า (Electric Field) กระทำต่อก๊าซออกซิเจน เพื่อให้เกิดก๊าซโอโซนขึ้น งานวิจัยทางด้านไฟฟ้าที่เกี่ยวกับการผลิตก๊าซโอโซนจะใช้หลักการสร้างสนามไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้อิเล็กโทรด โดยความแตกต่างจะขึ้นอยู่กับลักษณะของชุดอิเล็กโทรดหรือชนิดของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

เครื่องผลิตก๊าซโอโซน (Ozone Generator) ในการทำโครงการครั้งนี้ ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบพีดับเบิลยูเอ็มแบบเลื่อนเฟส พูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (PWM Full Bridge Converter) สร้างกระแสไฟฟ้าสลับ (AC) ป้อนให้กับชุดอิเล็กโทรด (Electrode) ที่มีตัวนำ 2 ตัว โดยมีช่องว่างของอากาศคั่นอยู่ระหว่างกลางซึ่งสนามไฟฟ้าเอซีที่สร้างขึ้นระหว่างตัวนำนั้นสามารถทำให้เกิดก๊าซโอโซนได้

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ทดลองโดยใช้รูปสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มแบบเลื่อนเฟส พูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ในการสร้างสนามไฟฟ้าที่ทำให้เกิดก๊าซโอโซนเพื่อเปรียบเทียบทางด้านเคมี คือปริมาณของโอโซนและทางไฟฟ้าของสัญญาณ พีดับเบิลยูเอ็มแบบเลื่อนเฟส พูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์เพื่อนำไปใช้ในการกำจัดเชื้อรา แบคทีเรีย มอด ที่อยู่ในเมล็ดข้าว ในขณะเดียวกันสามารถนำข้อดีของวงจรเรโซแนนต์คอนเวอร์เตอร์มาประยุกต์ใช้เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความถี่เรโซแนนต์

1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษาหลักการทำงาน วิเคราะห์และออกแบบเครื่องผลิตก๊าซโอโซนและแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบพีดับเบิลยูเอ็มพูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ เพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับเครื่องผลิตก๊าซโอโซนสำหรับกำจัดเชื้อรา แบคทีเรีย มอด ที่อยู่ในเมล็ดข้าว โดยใช้พูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งคอนเวอร์เตอร์ที่นำเสนอนี้มีการทำงานที่ดีกว่าฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

เตอร์ ที่แรงดันอินพุตกระแสตรงจะเท่ากัน ซึ่งจะให้กำลังไฟฟ้าสูงกว่า โดยที่ผ่านมามีการศึกษาทดลองรูปแบบสัญญาณแบบพีดับเบิลยูเอ็ม (PWM) โดยการปรับความถี่ เพื่อดูปริมาณโอโซน และใช้ความถี่สวิตซ์ในช่วงที่ใกล้กับความถี่เรโซแนนต์ เพื่อลดการสูญเสียของสวิตซ์และให้ได้กำลังไฟฟ้าขาออกจากคอนเวอร์เตอร์สูงกว่าคอนเวอร์เตอร์ทั่วไป

1.3 การดำเนินงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาข้อมูลจากตำรา บทความและวารสารเกี่ยวกับวิธีการสร้างก๊าซโอโซน ศึกษาการออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์และวิธีการสร้างสัญญาณควบคุมแบบพีดับเบิลยูเอ็ม (PWM)

1.3.2 ออกแบบและสร้างเครื่องผลิตก๊าซโอโซน

1.3.3 ออกแบบและสร้างวงจรไฟฟ้า

1.3.4 ทดสอบเครื่องผลิตก๊าซโอโซน และวงจรในแต่ละภาคส่วน

1.3.5 เก็บผลการทดลองรูปสัญญาณทางไฟฟ้า

1.3.6 เก็บผลการทดสอบปริมาณก๊าซโอโซนทางเคมี

1.3.7 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

1.3.8 เขียนปริญญานิพนธ์

ตารางที่ 1.1 การดำเนินงานวิจัย

หัวข้อ	ภาคเรียนที่ 1					ภาคเรียนที่ 2				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษาข้อมูลจากตำรา บทความและวารสาร	←→									
2. ออกแบบและสร้างเครื่องผลิตก๊าซโอโซน		←→								
3. ออกแบบและสร้างวงจรไฟฟ้า		←→								
4. ทดสอบเครื่องผลิตก๊าซโอโซน และวงจรในแต่ละภาคส่วน				←→						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การทดสอบการทำงานของระบบและผลการทดลอง เก็บผลทางไฟฟ้าและทางเคมี
ควบคู่กันไปโดยการปรับความถี่และวิเคราะห์ผลการทดลอง

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะต่างๆ

1.6 ประโยชน์ที่จะได้จากปริญญานิพนธ์

1.6.1 สามารถศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบสัญญาณวงจร PWM ที่ความถี่ต่างๆของฟูลบริดจ์คอน
เวอร์เตอร์ ทั้งทางเคมีและทางไฟฟ้าของเครื่องผลิตก๊าซไอโซนได้

1.6.2 สามารถใช้ Arduino uno R3 สร้างสัญญาณควบคุมแบบพีดับเบิลยูเอ็มฟูลบริดจ์คอน
เวอร์เตอร์

1.6.3 ลดกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์สวิตซ์ได้จากผลของเรโซแนนซ์

1.6.4 ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้ไอโซนในการกำจัดมอดในเมล็ดข้าว



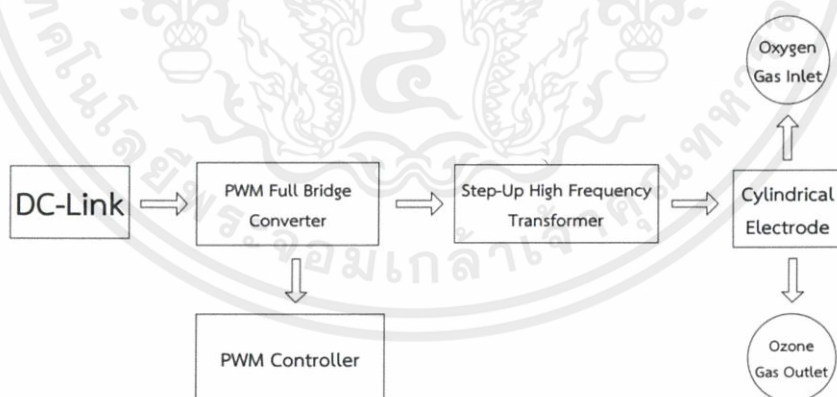
บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับเครื่องการกำเนิดโอโซน

2.1 บทนำ

เครื่องผลิตก๊าซโอโซนแบ่งการใช้งานออกเป็น 2 แบบ คือการใช้งานในแหล่งที่มีสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่ การใช้งานแบบนี้จำเป็นต้องควบคุมปริมาณการเกิดก๊าซไม่ให้มากเกินไปจนเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต และแบบที่สองคือการใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำสิ่งแวดล้อมหรืองานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ลักษณะงานแบบนี้ต้องการ ปริมาณก๊าซโอโซนเป็นปริมาณมากดังนั้นในบริเวณพื้นที่ทำงานต้องไม่มีสิ่งมีชีวิตอยู่หรือสร้างให้เป็นพื้นที่ปิดล้อม

ในงานวิจัยนี้เน้นผลิตโอโซนในปริมาณที่น้อย และเหมาะสมเพื่อให้สามารถกำจัดเชื้อราแบบที่เรีย มอด ที่อยู่ในเมล็ด โดยโครงสร้างประกอบด้วยชุดอิเล็กทรอนิกส์ทรานซฟอร์เมอร์แบบวงกลม (Cylindrical Electrode) หม้อแปลงความถี่สูงแบบเพิ่มแรงดัน (Step-Up High Frequency Transformer) และวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าตรง - สลับ (DC - AC Converter) พูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ โดยใช้ วิธีการควบคุมสัญญาณแบบพีดับเบิลยูเอ็มพูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ในรูปที่ 2.1 เพื่อให้เข้าใจกระบวนการเกิดก๊าซโอโซนและชุดอิเล็กทรอนิกส์สร้างก๊าซโอโซนได้อย่างไร จะขอกล่าวถึงกระบวนการสร้างก๊าซโอโซนโดยใช้อิเล็กทรอนิกส์เป็นอันดับแรก ต่อมาจะอธิบายถึงหม้อแปลงความถี่สูงแบบเพิ่มแรงดัน วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบดีซี - เอซี และอธิบายรูปสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม (PWM) และอธิบายวงจรเรโซแนนต์คอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเครื่องผลิตก๊าซโอโซน

2.2 กระบวนการสร้างก๊าซโอโซนโดยใช้อิเล็กทรอนิกส์ทรานซฟอร์เมอร์แบบวงกลม

ก๊าซโอโซนคืออะตอมของออกซิเจน 3 อะตอมรวมกันเป็น 1 โมเลกุลของโอโซน (O_3) ตามปกติออกซิเจนจะประกอบกันในลักษณะ 2 อะตอม เป็น 1 โมเลกุลออกซิเจน (O_2) ซึ่งมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติต่างกันมากคือออกซิเจน จะคงสถานะอยู่ได้หลายสถานะหรือกล่าวได้ว่ามีเสถียรนั่นเอง แต่โอโซนจะไม่คงตัวหรือไม่เสถียรเนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความร้อน ความดัน และการสัมผัสกับสารที่มีพลังงานต่ำ กว่าที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) อย่างรวดเร็ว ซึ่งโอโซนมีปฏิกิริยาสูงถึง 2.07 V (Oxidation Potential) ถ้าปราศจากความเข้าใจการนำไปใช้ งานจะเป็นอันตรายมาก ดังนั้น IOA (International Ozone Association) จึงระบุระดับความเป็นพิษของโอโซนและผลที่เกิดขึ้นไว้ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ระดับปริมาณก๊าซโอโซนและผลที่เกิดขึ้น(ข้อมูลจาก International Ozone Association)

ระดับปริมาณโอโซน (part per million)	ผลกระทบ
0.001-0.125	ระดับที่พบในชั้นบรรยากาศ คำนีแปรผันตามตำแหน่งและสภาพบรรยากาศแวดล้อม
0.05	ระดับสูงสุดที่ผลิตจาก Electronic Air Cleaner และอุปกรณ์ภายในบ้าน
0.1	ระดับสูงสุดที่ยอมให้มีในบรรยากาศ บริเวณอุตสาหกรรมและที่สาธารณะ
0.25	เริ่มปรากฏต่อสิ่งมีชีวิตที่สัมผัสโดยตรง ในพืชเกิดจุดดำ สีซีด มีใบตาย ในสัตว์เกิดการระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ
0.5	เริ่มมีอาการปวดศีรษะ ปวดถูกทำลาย ติดเชื้อทางเดินหายใจ
1.00-2.00	ในการทดสอบ การสูดดมเป็นเวลา 2 ชั่วโมงเกิดอาการป่วยคือปวดศีรษะ ปวดหน้าอกรุนแรงและทางเดินหายใจแห้งผาก
1.4-5.6	การทดสอบกับต้นถั่วพบว่าใน 70 วินาที ใบถั่วเกิดอาการป่วยรุนแรง
25 up	เป็นอันตรายเฉียบพลันต่อสิ่งมีชีวิต ในการทดลองกับสัตว์พบอาการป่วยซึ่งน่าจะเป็นขั้นสุดท้าย

โอโซนเป็นก๊าซที่ไม่เสถียรที่อุณหภูมิห้องและความดันในชั้นบรรยากาศ มีกลิ่นฉุนเฉพาะตัว มีสีฟ้า มวลโมเลกุลเท่ากับ 47.998 g/mol จุดหลอมเหลวที่ -192.5 องศาเซลเซียส จุดเดือดที่ 111.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

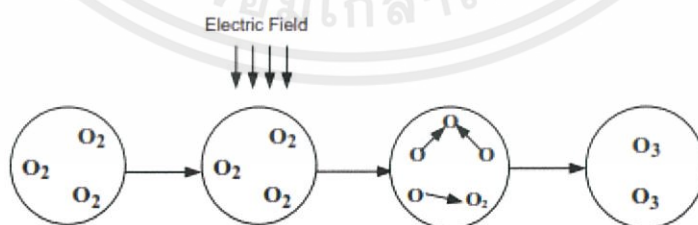
องศาเซลเซียสโดยอยู่ในรูปของของเหลวสีน้ำเงินเข้มความเร็วในการทาปฏิกิริยาเคมีทั้งในสารละลายและอากาศ แต่ก๊าซโอโซนจะสลายตัวได้อย่างรวดเร็ว โดยเปลี่ยนเป็นก๊าซ ออกซิเจนเมื่อสัมผัสกับรีดิวซ์ (Reduce) หรือได้รับความร้อน

ลักษณะการเกิดโอโซนแบ่งเป็น 2 แบบคือ เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติทั้งจากการรับพลังงานของรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) ที่ความยาวคลื่นประมาณ 200 นาโนเมตร หรือพลังงานจากฟ้าผ่าและมนุษย์สร้างขึ้นโดยอาศัยพลังงานซึ่งเลียนแบบธรรมชาติ ส่วนใหญ่จะนำพลังงานจากสนามไฟฟ้ามาใช้กระทำต่อก๊าซออกซิเจนเพราะในปัจจุบันสามารถจัดหาและสร้างแหล่งจ่ายได้ง่ายโดยใช้อิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้โมเลกุลของก๊าซได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้า

2.2.1 วิธีการสร้างก๊าซโอโซน [1]

ก๊าซโอโซนคือก๊าซที่รวมตัวกันของออกซิเจน 3 อะตอม O_3 การที่จะทำให้ ออกซิเจนสลายพันธะได้นั้นจำเป็นต้องนำพลังงานจากภายนอกเข้าไปกระตุ้นให้ออกซิเจน (O_2) แตกพันธะออกเป็นอะตอมอิสระของออกซิเจน (O) แล้วจึงรวมตัวกับ O_2 เกิดเป็น O_3 ดังรูปที่ 2.2 โดยอาศัยพลังงานจากสนามไฟฟ้าเพื่อให้เกิดกระบวนการไอออไนเซชัน (Ionization) หรือกระบวนการที่โมเลกุลของก๊าซได้รับพลังงานเพียงพอ จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกไป 1 อิเล็กตรอนโมเลกุลของก๊าซนั้นเป็นประจุบวกและอิเล็กตรอนวิ่งชนโมเลกุลของก๊าซโดยรับพลังงานจากสนามไฟฟ้าในขณะที่วิ่งเข้าหาศักย์ไฟฟ้าด้านบวก พลังงานที่อิเล็กตรอนได้รับเป็น พลังงานจลน์ และต้องมีค่ามากกว่าพลังงานไอออไนเซชัน

ในก๊าซประกอบด้วยอนุภาคต่างๆ หลายชนิดทั้งที่มีประจุบวก ประจุลบ และอนุภาคที่เป็นกลาง การเคลื่อนที่ของอนุภาคเหล่านี้เป็นแบบสุ่ม สนามไฟฟ้าจากภายนอกทำให้อนุภาคประจุลบที่มีน้ำหนักเบา(เมื่อเทียบกับประจุบวก)เคลื่อนที่อย่างมีทิศทาง จึงทำให้มันมีบทบาทที่สำคัญในการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เกิดขึ้นในการแตกตัวของก๊าซ เช่นเดียวกันในการผลิต ก๊าซโอโซนพลังงานหลักที่ทำให้ออกซิเจนเกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับโครงสร้างส่งถ่ายมาจากการชนของอิเล็กตรอนกับโมเลกุลของออกซิเจน



รูปที่ 2.2 กระบวนการเกิดก๊าซโอโซน

กระบวนการไอออไนเซชันโดยการชน (Collision Ionization) คือกระบวนการชนถ่ายทอดพลังงานจลน์ ของอนุภาคที่มีมวลซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วค่าหนึ่งไปชนกับอนุภาคที่มีมวลอีกตัวหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าพลังงานที่ถ่ายเทไม่มากพอถึงพลังงานที่ทำให้เกิดการกระตุ้น (Excitation) หรือ ไอออไนเซชัน เรียกว่า การชนแบบยืดหยุ่น (Elastic collision) แต่การชนของอนุภาคถ้าทำให้โมเลกุลของก๊าซที่ถูกชน ได้รับพลังงานจากอนุภาคที่มาชนมากพอถึงพลังงานที่ทำให้เกิดการกระตุ้น เรียกว่า การชนแบบไม่ยืดหยุ่น (Inelastic- collision) แสดงว่าพลังงานจลน์ที่มีการเคลื่อนของอนุภาคที่มีมวลได้ถูกเปลี่ยนให้เป็นพลังงานศักย์โมเลกุลของก๊าซที่ถูกชนนั่นเอง กระบวนการเริ่มขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนซึ่งได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้าวิ่งชนโมเลกุลของก๊าซในระหว่างที่ถูกเร่งให้วิ่งเข้าหาแอนดออิเล็กตรอนที่วิ่งนี้ได้รับพลังงานจลน์จากสนามไฟฟ้า ถ้าพลังงานนี้มากกว่าพลังงานไอออไนเซชันของก๊าซ ก็จะเกิดกระบวนการไอออไนเซชันขึ้น

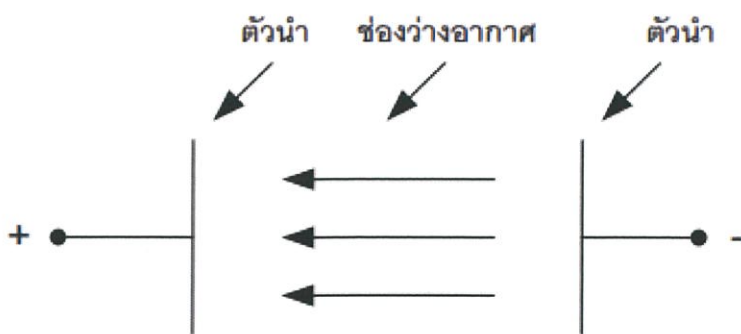
ขั้นตอนการสร้างก๊าซโอโซนประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ

1. การแตกตัวโครงสร้างโมเลกุลก๊าซออกซิเจนเป็นอะตอมอิสระ (Dissociation Reaction) ขั้นตอนนี้คือปฏิกิริยาดูดพลังงาน แหล่งพลังงานที่พิจารณาคือการชนถ่ายเทพลังงานของอิเล็กตรอนในสนามไฟฟ้า

2. การจับตัวของอะตอมอิสระในข้อที่ 1 กับโมเลกุลก๊าซออกซิเจน (O_2) เป็นโอโซน(Ozone Generation) ยานพลังงานที่ต้องใช้ผลิตโอโซนคือ $5.58 \text{ kW.h/m}^3 - 7.073 \text{ kW.h/m}^3$ แต่เนื่องจากในอากาศมีออกซิเจนอยู่ประมาณ 21% ดังนั้นคิดเทียบแล้วพลังงานที่จำเป็นต้องใช้คือ $1.172 \text{ kW.h/m}^3 - 1.620 \text{ kW.h/m}^3$ จึงเพียงพอต่อการสร้างโอโซน

2.2.2 ผลของความถี่สนามไฟฟ้าต่อแรงที่กระทำกับอิเล็กตรอนของโมเลกุลก๊าซ

เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าจากภายนอกให้กับช่องว่าง อิเล็กตรอนของโมเลกุลก๊าซบรรจุอยู่ เกิดสนามไฟฟ้าภายในช่องว่างอิเล็กตรอนของโมเลกุลก๊าซได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้ามากเพียงพอที่จะหลุดออกมาจากโมเลกุลก๊าซและเคลื่อนที่เข้าหาศักย์ไฟฟ้าขั้วบวกของสนามไฟฟ้าเป็นระยะทางระหว่างอิเล็กตรอนกับขั้วบวกของช่องว่างอากาศด้วยความเร็วค่าๆหนึ่ง ในระหว่างทางที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปนั้นอาจเกิดการชนกันระหว่างอิเล็กตรอนกับโมเลกุลอื่นได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ถ้ามีระยะห่างมากขึ้น โดยอิเล็กตรอนยังมีพลังงานในการชนมากพอให้กับอิเล็กตรอนของโมเลกุลก๊าซที่ถูกชนหลุดออกมานั้นจึงหมายความว่า แรงภายนอกที่ กระทำต่ออิเล็กตรอนของโมเลกุลก๊าซมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทำการกลับขั้วศักย์ไฟฟ้าอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่เข้าหาขั้วบวกเดิมก่อนหน้านี้จะถูกวางตัวใหม่ในทิศทางตรงข้าม และเคลื่อนที่เข้าหาขั้วบวกใหม่อีกด้านหนึ่ง เมื่อเพิ่มความเร็วในการกลับขั้วในช่วงเวลาหนึ่งจึงเหมือนเป็นการเพิ่มระยะทางที่อิเล็กตรอนต้องเคลื่อนที่ออกไป โดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มแรงดันไฟฟ้า ดังนั้นก็จะได้แรงภายนอกที่กระทำต่ออิเล็กตรอนของโมเลกุลก๊าซที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังนั้นการเพิ่มความถี่จึงเป็นการเพิ่มแรงภายนอกที่กระทำต่ออิเล็กตรอนของโมเลกุลก๊าซก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 2.3 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในช่องว่างอากาศ

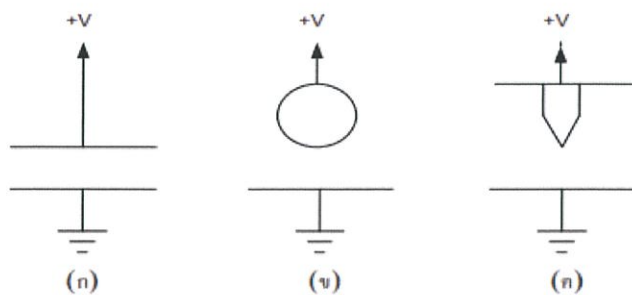
2.2.3 อิเล็กโทรดทรงกระบอกซ้อนกัน

ในกระบวนการสร้างไอออนสิ่งที่สำคัญที่สุดคือพลังงานที่กระทำต่อโมเลกุลของก๊าซออกซิเจน เพื่อให้เสถียรภาพในการจับตัวกันระหว่างโมเลกุลลดลง พลังงานจากสนามไฟฟ้าเป็นตัวแปรสำคัญในการส่งผ่านพลังงานจากภายนอกสู่ โมเลกุลของก๊าซวิธีที่จะทำให้โมเลกุลไม่เสถียรจำเป็นต้องใช้กระบวนการแยกอิเล็กตรอนของก๊าซออกมาชั้นตอนดังกล่าวอาศัยชุดอิเล็กโทรดทรงกระบอกซ้อนกันร่วม เป็นตัวสร้างสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงและสามารถที่จะให้อากาศไหลผ่านอิเล็กโทรดได้อย่างเหมาะสม

1. สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง

สนามไฟฟ้านั้นแบ่งได้ เป็น 3 แบบคือ สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ ไม่สม่ำเสมอเล็กน้อยและไม่สม่ำเสมอสูงดังรูปที่ 2.4 ในที่นี้จะกล่าวถึงสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเพียงอย่างเดียว เพราะการนำมาใช้งานมีประโยชน์อย่างมากและได้นำมาใช้ในงานวิจัยนี้

สนามไฟฟ้าแบบนี้ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าแต่ละจุดไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับตำแหน่งและรูปทรงเรขาคณิต ของตัวนำไฟฟ้า โดยทั่วไปตัวนำไฟฟ้าที่แผ่กระจายแหลมจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงที่สุด ดังรูปที่ 2.4 (ค) กรณีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงก่อนเกิดการเบรกดาวนจ์จะมีกระแสไหลผ่านช่องว่างอากาศเรียกว่า กระแสโคโรนา (Corona Current) ที่บริเวณผิวปลายแหลมของตัวนำจะมีค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด แต่จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อวัดที่ระยะห่างออกมา



รูปที่ 2.4 รูปทรงของอิลีกโทรด

(ก) สนามไฟฟ้าสมำเสมอ (ข) สนามไฟฟ้าไม่สมำเสมอเล็กน้อย (ค) สนามไฟฟ้าไม่สมำเสมอสูง

ดังนั้นจึงไม่เกิดการเบรกดาวน์ขึ้นถึงแม้ว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงถึงค่าวิกฤตก็ตามในขณะเดียวกันจะเกิดการดิสชาร์จที่ไม่สมบูรณ์ขึ้นในช่องว่างอากาศ เรียกว่า การดิสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge) การดิสชาร์จนี้จะไม่เกิดขึ้นตลอดทั้งแนวของสนามไฟฟ้าและอาจเกิดขึ้นเป็นช่วงหรือต่อเนื่อง ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดกระแสไหลได้

2. อิลีกโทรดทรงกระบอกแกนร่วมฉนวน 2 ชั้น [5]

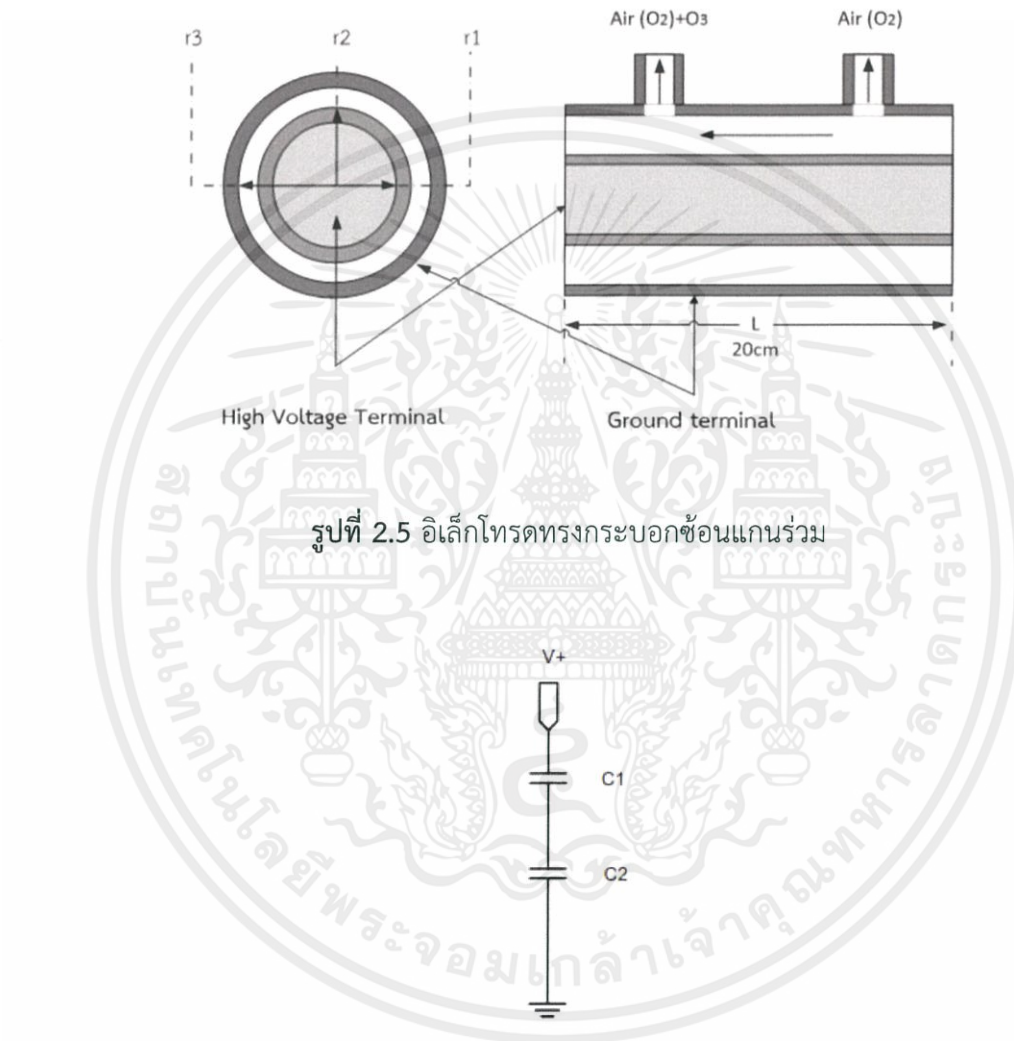
รูปทรงของอิลีกโทรดจะมีลักษณะเป็นทรงกระบอกซ้อนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เท่ากัน โดยนำกระบอกฉนวนที่มีขนาดเล็กกว่าซ้อนเข้าไปข้างใน โดยใช้แกนกลางร่วมกันดัง แสดงในรูปที่ 2.5 สนามไฟฟ้าของอิลีกโทรดชนิดนี้อยู่ในแนวรัศมีของพื้นผิวทรงกระบอก ดังนั้นจึงมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากันตลอดทั้งพื้นผิวในกรณีที่นำวัสดุฉนวนต่างชนิดและค่าเปอร์มิตติวิตี (ϵ) ไม่เท่ากันซ้อนกันจึงกลายเป็นการนำสารไดอิเล็กตริก 2 ชนิดวางเรียงกันในสนามไฟฟ้า ดังนั้นเสมือนมีตัวเก็บประจุต่ออนุกรมกันอยู่คือ C_1 และ C_2 โดยแสดงในรูปที่ 2.6 หาได้จากสมการ

$$C_1 = \frac{2 \times \pi \times \epsilon_{r1} \times \epsilon_0 \times l}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (2.1)$$

$$C_2 = \frac{2 \times \pi \times \epsilon_{r2} \times \epsilon_0 \times l}{\ln \frac{r_3}{r_2}} \quad (2.2)$$

เมื่อ C_1 = ค่าคาปาซิแตนซ์ของฉนวนชั้นที่ 1 หน่วยเป็น (F)
 C_2 = ค่าคาปาซิแตนซ์ของฉนวนชั้นที่ 2 หน่วยเป็น (F)
 ϵ_{r1} = ค่าเปอร์มิตติวิตีของฉนวนชั้นที่ 1 หน่วยเป็น (F/m)

- ϵ_{r2} = ค่าเปอร์มิตติวิตี้ของฉนวนชั้นที่ 2 หน่วยเป็น (F/m)
 ϵ_0 = ค่าเปอร์มิตติวิตี้ของฟรีสเปซ
 l = ความยาวของชุดอิเล็กโทรดหน่วยเป็น (m)
 r_1 = รัศมีด้านในของฉนวนชั้นที่ 1 หน่วยเป็น (m)
 r_2 = รัศมีด้านนอกของฉนวนชั้นที่ 1 หน่วยเป็น (m)
 r_3 = รัศมีด้านนอกของฉนวนชั้นที่ 2 หน่วยเป็น (m)

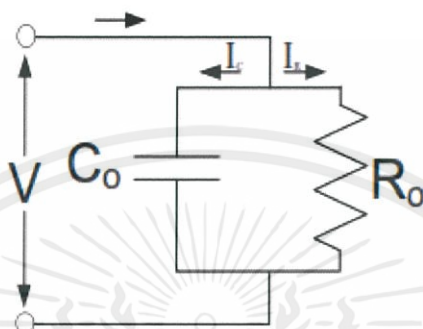


รูปที่ 2.5 อิเล็กโทรดทรงกระบอกซ้อนกันร่วม

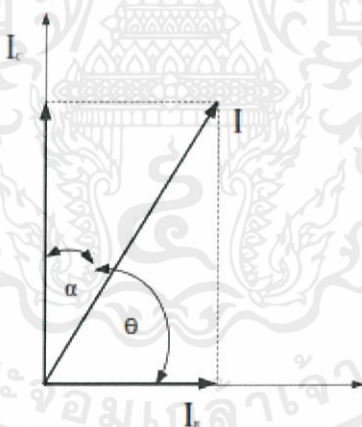
รูปที่ 2.6 วงจรสมมูลของตัวเก็บประจุเสมือนในชุดอิเล็กโทรดทรงกระบอกซ้อนกันร่วม

เนื่องจากอากาศมีสภาพความเป็นฉนวน เมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าจะเกิดการนำไฟฟ้าขึ้นเกิดมีกระแสไหลผ่านสนามไฟฟ้าแบบมีขั้วนั้นอิเล็กตรอนจะถูกแรงจากสนามไฟฟ้ากระทำให้เกิดทิศทางและวางตัวอยู่ในแนวของสนามไฟฟ้าเมื่อขั้วของสนามไฟฟ้าสลับไปมาเป็นผลให้การวางตัวของอิเล็กตรอนก็สลับไปมาเช่นกันทำให้เกิดกำลังสูญเสียขึ้น ดังนั้นพารามิเตอร์ของอิเล็กโทรดจึงมองว่ามี

ค่าความต้านทานซึ่งเป็นตัววัดกำลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริกของฉนวนถูกต่อขนานอยู่กับค่าตัวเก็บประจุดังแสดงในรูปที่ 2.7 โดยในทางปฏิบัติเมื่อต้องการหาค่ากำลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริกสามารถใช้เครื่องมือวัดที่เรียกว่า เซอริงบริดจ์ (Schering Bridge) โดยการวัดค่ามุมต่างเฟสระหว่างกระแสและแรงดันแล้วนำไปลบกับ 90° ให้อยู่ในรูปของ $\tan(\alpha)$ เรียกว่า แพคเตอร์กำลังสูญเสียไดอิเล็กตริกโดยมุม α เรียกว่า มุมกำลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริก ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของชุดอิเล็กโตรดเมื่อมองเป็นฉนวนในสนามไฟฟ้า [6]



รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างแรงดันกับกระแสที่ป้อนให้ฉนวน [6]

จากวงจรสมมูลรูปที่ 2.7 เป็นวงจร RC ขนาน เมื่อป้อนแรงดันรูปไซน์ (Sin Wave) ให้กับวงจร กระแสที่ไหลในวงจรเป็นรูปคลื่นไซน์ที่มีมุมต่างเฟสกับแรงดันเป็นมุม θ โดย

$$\text{แรงดันอินพุตที่ป้อนกระแส} \quad v(t) = V_m \sin(\omega t)$$

$$\text{จะได้สัญญาณกระแส} \quad i(t) = i_m \sin(\omega t + \theta)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 2.8 หาค่า R_0 และ C_0 ได้จากสมการ (2.3) และ (2.4)

โดย

$$R_0 = \frac{V_m}{I_m \cos(\theta)} \quad (2.3)$$

และ

$$C_0 = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times X_c} \quad (2.4)$$

เมื่อ

$$X_{c0} = \frac{V_m}{I_m \sin(\theta)} \quad (2.5)$$

หาค่ามุม α ได้โดย $\alpha = 90^\circ - \theta a$

ดังนั้น

$$\tan(\alpha) = \frac{R_0}{X_{c0}} \quad (2.6)$$

ความเครียดสนามไฟฟ้าที่จุดใดๆ ในฉนวนแต่ละชั้นสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$E_{rs} = \frac{\epsilon_{r1} \times \epsilon_{r2} \times V}{\epsilon_x \times r_x \times (\epsilon_{r1} \times \ln \frac{r_3}{r_2} + \epsilon_{r2} \times \ln \frac{r_2}{r_1})} \quad (2.7)$$

เมื่อ E_{rs} = ความเครียดสนามไฟฟ้าที่จุดใดๆ (kV/cm)

V = แรงดันภายนอกที่ป้อนให้กับชุดฉนวน (kV/cm)

r_x = รัศมีที่จุดใดๆ (cm)

ϵ_x = ค่าเปอร์มิตติวิตที่ฉนวนชั้นใดๆ (F/m)

2.2.4 การใช้ไอซอนเพื่อการกำจัดมอดในเมล็ดข้าว [3]

มอด เป็นศัตรูของข้าวตามธรรมชาติ ซึ่งอาจเกิดขึ้นและเติบโตได้จากการเก็บข้าวสารไว้เป็นระยะเวลาหนึ่ง หากไซของมอดที่ตกค้างในเมล็ดข้าวได้รับออกซิเจนและอยู่ในภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสม จะเร่งให้มอดสามารถเจริญเติบโตและแพร่พันธุ์ได้เป็นอย่างดี มอดที่พบในข้าวสารมีอยู่หลายชนิด รูปร่างและลักษณะแตกต่างกันออกไป แต่มอดที่เราพบได้บ่อยๆ คือ มอดข้าวเปลือก มอดข้าวสาร มอดพันเลื้อย และมอดแป้ง มอดหนึ่งตัวมีไข่ประมาณ 100 ฟองและออกไข่ทุกวัน มอดจะกัด

เมล็ดข้าวและวางไข่ไว้ข้างใน ระหว่างเป็นตัวอ่อนจะฝังอยู่ภายในเมล็ดข้าว และออกมาอกเมล็ดเมื่อตัวเต็มวัยแล้ว หากมีมอดจำนวนมากมอดจะกัดกินข้าวจะกระทั่งกลายเป็นผงเกิดความขึ้น และมีกลิ่นหืน

การกำจัดมอดที่ใช้อยู่ในปัจจุบันคือ

1. การใช้สารเมทิลโบรไมด์ (Methyl bromide) เป็นสารที่ใช้ในภาคเกษตร ใช้สำหรับป้องกันและกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ สามารถฆ่าแมลงได้ทุกระยะการเจริญเติบโต มีความสามารถในการฟุ้งกระจาย และแทรกซึมเข้าไปในสินค้าได้ดี โดยใช้รมควั่นในดิน ธัญพืช โกดัง และเรือ นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารกำจัดไรและกำจัดวัชพืชด้วย ในอดีตเคยมีการใช้เป็นสารทำความเย็นในตู้เย็น แต่เดี๋ยวนี้ไม่นิยมแล้ว เพราะอันตรายจากพิษของมัน ในภาคอุตสาหกรรม ใช้เป็นสารในการสังเคราะห์สารเคมีอื่นๆ สารตัวนี้ระเหยเข้าสู่บรรยากาศได้รวดเร็ว และแพร่กระจายสู่ชั้นบรรยากาศ แต่ในที่สุดก็จะกลับสู่พื้นโลกโดยมากับฝนหรือน้ำค้าง อัตราการใช้สารรมเมทิลโบรไมด์ คือ 32 กรัม/ลูกบาศก์เมตร หรือ 2 ปอนด์/เนื้อที่ 1,000 ลูกบาศก์ฟุต ในระยะเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง ส่วนใหญ่อันตรายต่อคนจะเกิดจากการหายใจเข้าไป ทำความระคายเคืองต่อปอด และเป็นพิษต่อระบบประสาท ทำให้เกิดการเสพติดได้ด้วย ในระยะสั้นจะมีอาการได้แก่ อาการปวดหัว คลื่นไส้ อาเจียน มองไม่ชัด วิงเวียนสับสน สูญเสียการควบคุมการทรงตัว พูดอ้อแอ้ ผิวหนัง ตา และระบบทางเดินหายใจเกิดการระคายเคือง ในการเป็นพิษอย่างรุนแรงทำให้เป็นอัมพาต ชัก อาการโคม่าและอาจถึงแก่ชีวิต ซึ่งประเทศไทยต้องเลิกใช้สารเมทิลโบรไมด์ตามพันธกรณีของประเทศไทยภายใต้พิธีสารมอนทรีออล เพราะเป็นหนึ่งในสารที่ทำลายชั้นโอโซน ก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก หมายถึงสารตัวนี้เวลาที่ระเหยขึ้นไปในชั้นบรรยากาศมันจะกักเก็บความร้อนไว้ ทำให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น หากทั่วโลกใช้ปริมาณมหาศาลจะส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อนอย่างรวดเร็ว

2. การใช้สารฟอสฟีน (Phosphine) ที่ผลิตเป็นเม็ดจะใช้กับการรมผลิตผลเกษตรที่บรรจุกระสอบหรือถุง แล้วใช้ผ้าพลาสติกคลุม หรือรมทั้งโรงเก็บ มักใช้กำจัดแมลงและหนูในโรงเก็บผลผลิตทางการเกษตรหลายประเภท เช่น ข้าว ข้าวโพด กระจงเทียม มันสำปะหลัง ใบยาสูบ เป็นต้น ใช้ระยะเวลาไม่น้อยกว่า 7 วัน ซึ่งฟอสฟีนเป็นสารที่มีพิษสูง ดังนั้นการหายใจเข้าสู่ร่างกายจะเป็นอันตรายถึงชีวิต ความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟีน 2.8 มล./ลิตร หรือ 28 กรัม/ลบ.ม. (ประมาณ 2000 ppm) ทำให้เสียชีวิตได้ การหายใจเอาก๊าซฟอสฟีนเข้าสู่ร่างกายทำให้เกิดการคลื่นไส้อาเจียน ท้องร่วง ปวดศีรษะ และแน่นหน้าอก

สารเคมีดังกล่าวมาข้างต้นกำจัดมอดในเมล็ดข้าวได้ แต่ตกค้างที่ผิวของเมล็ดข้าว ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อสุขภาพผู้บริโภค และมีความเป็นพิษต่อสภาพแวดล้อมด้วย ดังนั้นหลายประเทศจึงให้ความสนใจกับสารทำความสะอาด และสารฆ่าเชื้อ และสารเคมีอื่นๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหาร

จากการวิจัยแสดงให้เห็นว่าโอโซน สามารถใช้แทนสารเคมีในการกำจัดมอดได้ และในปี 1997 โอโซนได้รับการยอมรับจาก GRAS ว่ามีความปลอดภัยในการใช้ และไม่มีสารเคมีตกค้างโดย EPRI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยอมให้มีการใช้โอโซนในอุตสาหกรรมได้ โดยภาคอุตสาหกรรมได้ให้ความสนใจถึงวิธี การและ รายละเอียดของการใช้ โอโซนในการเป็นสารทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ

โอโซนมีระดับความเป็นพิษอยู่ที่ 1 กรัม/ลิตร (ระบุโดย EPA สหรัฐอเมริกา) มีกลิ่นฉุน เริ่มสังเกตได้ที่ระดับ 0.01 กรัม/ลิตร ต้องทำการผลิต ณ ตำแหน่งที่ใช้งาน ไม่สามารถเก็บได้เพราะก๊าซ โอโซนไม่เสถียร มีวงชีวิตสั้นหลังทำปฏิกิริยาสลายตัวเป็นออกซิเจน

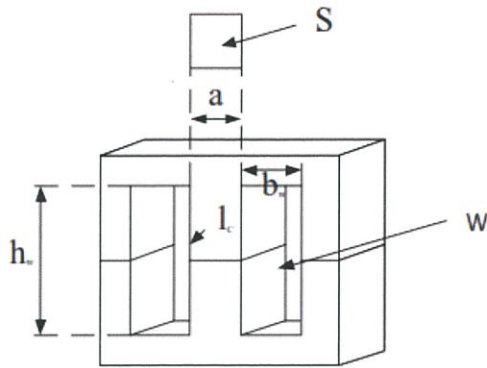
จากการศึกษาพบว่าโอโซนมีประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารซึ่งมีการนำมาใช้เป็นสารทำความสะอาดและฆ่าเชื้อโรค ที่มีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมจุลินทรีย์และแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคในอาหาร การศึกษาในปี 2010 โอโซนสามารถใช้ในการกำจัดมอดในเมล็ดข้าวได้ที่มีความเข้มข้น 50 ppm เป็นเวลานาน 3 วัน สามารถกำจัดตัวมอดแต่ไม่มอดได้ โดยโอโซนจะสลายตัวไปเป็นออกซิเจน เนื่องจากเป็นธาตุที่ไม่เสถียร ทำให้ไม่มีสารตกค้างในเมล็ดข้าว

2.2.5 คุณสมบัติของโอโซน

1. มีความสามารถละลายน้ำได้ดีกว่าแก๊ส โดยการละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง
2. โอโซนมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ โดยจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับผนังเซลล์ของจุลินทรีย์
3. โอโซนสามารถสลายตัวได้เองและไม่มีสารพิษตกค้าง
4. โอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงกว่าคลอรีนและมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์และเชื้อโรคอื่นๆ ที่ดีกว่าคลอรีนและสารทำความสะอาดอื่นๆ
5. โอโซนเกิดจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต จากแสงแดด และถูกผลิตขึ้นเพื่อใช้ในทางการค้าจากแสง UV ที่ความถี่ 185 nm หรือ Corona discharge โดยทั่วไปจะพบ Corona discharge ที่ความเข้มข้นของอากาศ 1-3% w / w และที่ ความเข้มข้นของออกซิเจน 2-12% w / w

2.3 หม้อแปลงความถี่สูงเพิ่มแรงดัน

การส่งผ่านกำลัง ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าไปสู่เล็กโทรดเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าอาศัยหม้อแปลงความถี่สูงแบบเพิ่มแรงดัน จากข้อ 2.2 แรงดันเอาต์พุตที่ป้อนให้กับอิเล็กโทรดมีขนาดสูงมาก ในขณะที่แรงดันอินพุตที่ได้จากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามีขนาดเท่ากับ 310 และมีความถี่สวิตซ์ใช้งานสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องให้หม้อแปลงความถี่สูงเพิ่มแรงดันขึ้นไป แกนของหม้อแปลงที่ใช้งานความถี่สูง โดยส่วนมากมักใช้วัสดุที่ทำจากสารจำพวกเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic Material) ซึ่งมีคุณสมบัติทางด้านค่าความต้านทานไฟฟ้าสูง แต่มีค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กต่ำ [4]



รูปที่ 2.9 รูปหม้อแปลงไฟฟ้าแกน EE

กำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (Eddy Current) น้อยมาก ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องทำเป็นแผ่น บางเรียงซ้อนกันเหมือนหม้อแปลงแกนเหล็กทั่วไป ลดความยุ่งยากในการประกอบและติดตั้ง หม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้วย 3 ส่วนสำคัญดังนี้ ขดลวดปฐมภูมิ, ขดลวดทุติยภูมิ, และแกนเฟอร์ไรท์ ในการออกแบบหม้อแปลงนั้นเราจะมีขั้นตอนทั้งหมด 5 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. คำนวณค่า A

$$A_p = \frac{V_1 \times I_{1,rms} + V_2 \times I_{2,rms}}{4 \times k \times B_{max} \times J \times f} \quad (2.8)$$

เมื่อ	A_p	= Area Product (m^2)
	V_1	= แรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ (V)
	V_2	= แรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ (V)
	$I_{1,rms}$	= กระแสเฉลี่ยรากที่สองด้านปฐมภูมิ (A)
	$I_{2,rms}$	= กระแสเฉลี่ยรากที่สองด้านทุติยภูมิ (A)
	k	= ค่าชดเชยของหน้าต่าง มีค่า 0.3-0.9
	B_{max}	= ค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก (Wb/m^2)
	J	= ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (A/m^2)
	f	= ความถี่สวิตชิง (Hz)

2. เมื่อหาค่า A_p จากสมการเรียบร้อยแล้วให้ไปเลือกขนาดของแกนโดย

$$A_p = S \times W \quad (2.9)$$

เมื่อ	S	= พื้นที่หน้าตัดของแกนเฟอร์ไรท์ (m^2)
	W	= พื้นที่หน้าต่าง (Window Area) (m^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งการที่จะใช้แกนได้นั้นเราจะต้องเลือกแกนที่ทำให้ค่า A_p ในสมการที่ 2.9 มีค่ามากกว่า 2.8 ให้ได้จึงจะสามารถใช้แกนนั้นได้

3. หาจำนวนรอบของขดลวดตัวนำ (N_1, N_2)

$$N_1 = \frac{V}{4 \times f \times B_{\max} \times S} \quad (2.10)$$

เมื่อ N_1 = จำนวนรอบขดลวดด้านปฐมภูมิ
 V = แรงดันไฟฟ้าที่ป้อน (V)
 f = ความถี่ไฟฟ้าใช้งาน (Hz)
 B_{\max} = ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กแกนเฟอร์ไรท์ (T)
 S = พื้นที่หน้าตัดของแกนเฟอร์ไรท์ (m^2)

ในกรณีที่กำหนดพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิไว้แล้ว สามารถใช้สมการ (2.10) เพื่อคำนวณรอบทางด้านทุติยภูมิได้

$$N_2 = N_1 \times \frac{V_2}{V_1} \quad (2.11)$$

เมื่อ N_2 = จำนวนรอบขดลวดทางด้านทุติยภูมิ
 N_1 = จำนวนรอบขดลวดทางด้านปฐมภูมิ
 V_2 = แรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ (V)
 V_1 = แรงดันไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ (V)

4. คำนวณหาขนาดของขดลวดตัวนำ (A_{w1}, A_{w2})

จากสมการ

$$A_{w1} = \frac{I_1}{J} \quad (2.12)$$

และ

$$A_{w2} = \frac{I_2}{J} \quad (2.13)$$

เมื่อ A_{w1} = ขนาดพื้นที่หน้าตัดของขดลวดด้านปฐมภูมิ
 A_{w2} = ขนาดพื้นที่หน้าตัดของขดลวดด้านทุติยภูมิ

5.ทำการหาค่า Skin depth (δ)

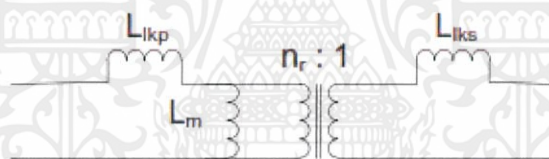
$$\delta = \sqrt{\frac{2 \times \rho}{\mu \times \omega}} \quad (2.14)$$

เมื่อ	δ	= Skin depth (m)
	ρ	= สภาพนำไฟฟ้า (Conductivity) (Simen/m)
	μ	= Permeability (T.m/A)
	ω	= ความถี่เชิงมุมไฟฟ้า (รอบ/วินาที)

ค่า Skin depth ซึ่งถ้าเราเลือกเบอร์ที่มีขนาดเล็กกว่าค่า Skin depth มาใช้เลยอาจจะทำให้สายนั้นไม่สามารถทนกระแสได้ ดังนั้นเราต้องนำสายเบอร์ที่เราเลือกนั้นมาผ่านการตีเกลียวเพื่อให้อาจทนกระแสได้

ซึ่งเมื่อเราพันหม้อแปลงเสร็จแล้วเราจะต้องนำหม้อแปลงไปทดสอบเพื่อหาตัวแปรค่าต่างๆที่อยู่ในหม้อแปลงที่เราพันขึ้นดังหัวข้อที่ 2.3.1

2.3.1 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า [2]



รูปที่ 2.10 วงจรสมมูลหม้อแปลงไฟฟ้า

$$L_{11} = L_{lkp} + L_m \quad (2.15)$$

$$L_{22} = L_{lks} + \frac{L_m}{n_{r1}^2} \quad (2.16)$$

ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์

$$L_{11,s} = L_{lkp} + \frac{L_m \times n_{r1}^2 \times L_{lkp}}{L_m + n_{r1}^2 L_{lkp}} \quad (2.17)$$

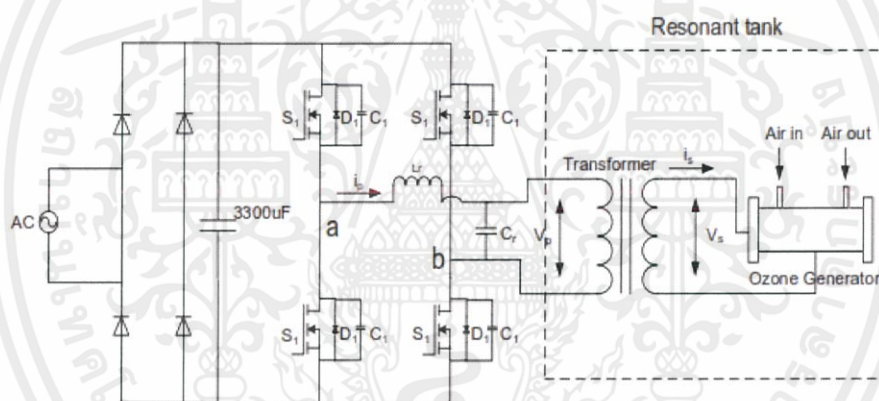
$$L_{22,s} = L_{lks} + \left(\frac{L_m \times L_{lks}}{L_m + L_{lks}} \right) \frac{1}{n_{r1}^2} \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

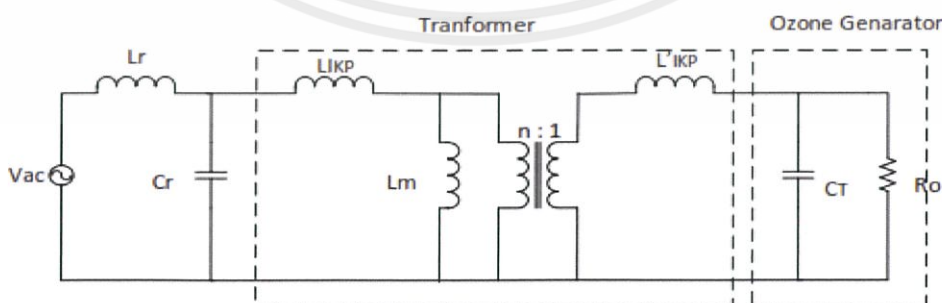
$$n_{r1} = \sqrt{\frac{L_{11}}{L_{22}}} \quad (2.19)$$

- เมื่อ L_{11} = ค่าความเหนี่ยวนำหม้อแปลง วัตต์ด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดด้านทุติยภูมิ (H)
 $L_{11,s}$ = ค่าความเหนี่ยวนำหม้อแปลง วัตต์ด้านปฐมภูมิเมื่อปิดด้านทุติยภูมิ (H)
 L_{22} = ค่าความเหนี่ยวนำหม้อแปลง วัตต์ด้านทุติยภูมิเมื่อเปิดด้านปฐมภูมิ (H)
 $L_{22,s}$ = ค่าความเหนี่ยวนำหม้อแปลง วัตต์ด้านทุติยภูมิเมื่อปิดด้านปฐมภูมิ (H)
 L_{lkp} = ค่าความเหนี่ยวนำเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลทางด้านปฐมภูมิ (H)
 L_s = ค่าความเหนี่ยวนำเส้นแรงแม่เหล็กในแกน
 L_{lks} = ค่าความเหนี่ยวนำเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลทางด้านทุติยภูมิ (H)

2.4 อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบขนาน



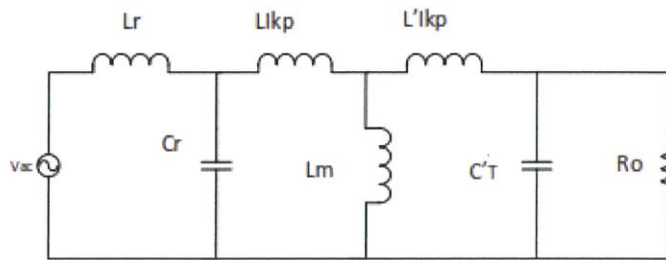
รูปที่ 2.11 วงจรกำลังของเครื่องกำเนิดก๊าซโอโซน



รูปที่ 2.12 วงจรสมมูลของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรสมมูลโดยประมาณเมื่อย้ายค่าต่างๆทางด้านทุติยภูมิไปไว้ทางด้านปฐมภูมิ



รูปที่ 2.13 วงจรสมมูลของระบบทางด้านปฐมภูมิ

ในการถ่ายโอนค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงทางด้านทุติยภูมิไปสู่ปฐมภูมิขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของจำนวนขดลวดทางด้านปฐมภูมิ (N_p) ต่อจำนวนขดลวดทางด้านทุติยภูมิ (N_s) ยกกำลังสองแสดงในสมการ (2.20) (2.21) และ (2.22)

$$L'_{lks} = \left(\frac{N_p}{N_s} \right)^2 \times L_{lks} \quad (2.20)$$

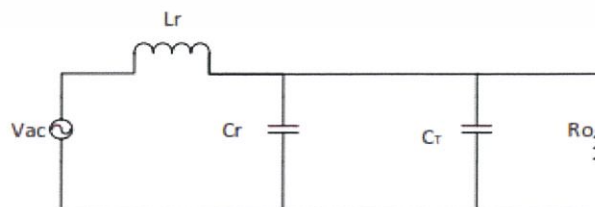
$$R'_0 = \left(\frac{N_p}{N_s} \right)^2 \times R_0 \quad (2.21)$$

$$C'_r = \left(\frac{N_s}{N_p} \right)^2 \times C_r \quad (2.22)$$

เมื่อ L'_{lks} = ค่าเหนี่ยวนำเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลทางด้านทุติยภูมิเมื่อถ่ายโอนค่าแล้ว (H)

R'_0 = ค่าความต้านทานของเครื่องผลิตถ่ายโอนเมื่ออ่านโอนค่าแล้ว (Ω)

C'_r = ค่าเก็บประจุของเครื่องผลิตก๊าซไอโซนเมื่อถ่ายโอนค่าแล้ว (F)



รูปที่ 2.14 วงจรสมมูลเรโซแนนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_r = L_r + L_{lkp} + L_{lks} \quad (2.23)$$

$$C_{eq} = C_T // C_r \quad (2.24)$$

$$R_{eq} = R_0 \quad (2.25)$$

เมื่อ L_r = ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าเรโซแนนซ์
 C_{eq} = ค่าความจุไฟฟ้าสมมูล
 R_{eq} = ค่าความต้านไฟฟ้าสมมูล
 C_r = ค่าความจุไฟฟ้าเรโซแนนซ์

จากรูปที่ 2.14 ผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจรเรโซแนนซ์

$$\frac{V_{ab}}{V_0} = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{X_{Lr}}{X_{Ceq}}\right)^2 + j\left(\frac{X_{Lr}}{R_{eq}}\right)^2}} \quad (2.26)$$

เมื่อ R_{Ceq} = ค่ารีแอกแตนซ์ของ C_{eq}
 X_{Lr} = ค่ารีแอกแตนซ์ของ L_r
 R_{eq} = ค่าความต้านทานไฟฟ้าสมมูล

จากรูปสมการให้อยู่ในรูป ω_s จะได้

$$\frac{V_{AB}}{V_0} = \frac{1}{\sqrt{(1 - \omega_s^2 L_r C_{eq})^2 + \left(\frac{\omega_s L_r}{R_{eq}}\right)^2}} \quad (2.27)$$

เมื่อ ω_0 = ความถี่เชิงมุมสวิตชิง

จากรูปที่ 2.14 ความถี่เรโซแนนซ์เท่ากับ

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_r C_{eq}}} \quad (2.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r C_{eq}}} \quad (2.29)$$

- เมื่อ ω_0 = ความถี่เชิงมุมเรโซแนนซ์
 f_0 = ความถี่เรโซแนนซ์
 L_r = ความเหนี่ยวนำไฟฟ้าเรโซแนนซ์
 C_{eq} = ค่าความจุไฟฟ้าสมมูล

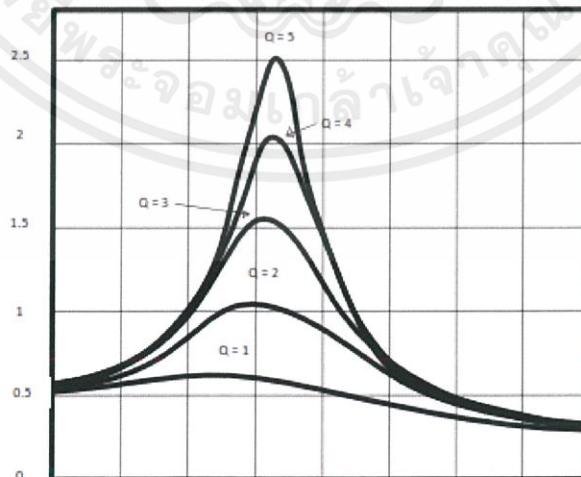
ตัวประกอบคุณภาพ (Quality Factor: Q) ค่าตัวประกอบคุณภาพเป็นค่าที่นิยามเพื่อแสดงคุณสมบัติของวงจรเรโซแนนซ์ในการเลือกความถี่และการสูญเสียภายในวงจร จากรูปที่ 2.14 สามารถหาตัวประกอบคุณภาพได้จาก สมการที่ (2.30)

$$Q = \frac{R}{\omega_0 L_r} \quad (2.30)$$

- เมื่อ Q = ค่าตัวประกอบคุณภาพ

จะได้อัตราขยายกับค่าบรรทัดฐาน (f_s, f_0) ที่ค่า Q ต่างๆ ดังรูปที่ 2.15 โดยที่ (f_s = ความถี่สวิตชิง และ f_0 = ความถี่เรโซแนนซ์)

$$\frac{V_{ab}}{V_o} = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{\omega_s}{\omega_0}\right)^2\right)^2 + \left(\frac{\omega_s}{Q\omega_0}\right)^2}} \quad (2.31)$$



รูปที่ 2.15 รูปแบบการจำลองค่าบรรทัดฐานของผลตอบสนองเชิงความถี่ระหว่าง V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

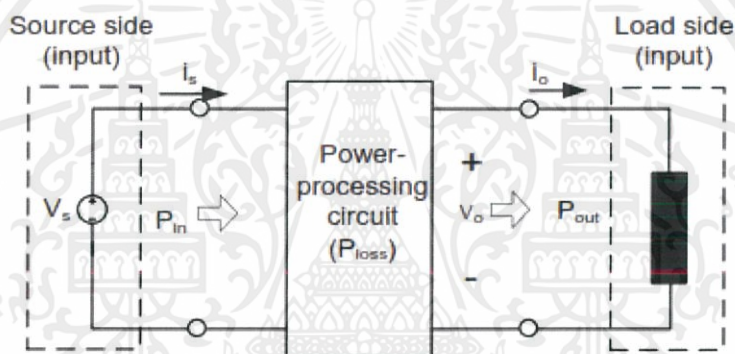
2.5 ทฤษฎีพื้นฐานทางด้านกำลังไฟฟ้า

พิจารณาจากรูปที่ 2.16 แสดงถึงการไหลของกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าไปยังโหลด ประสิทธิภาพของวงจรในรูปที่ 2.17 คำนวณได้จากสมการที่ (2.32) หรือ (2.33)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.32)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}} \times 100\% \quad (2.33)$$

ถ้าวงจรกำลังประกอบด้วยอุปกรณ์สวิตชิงอุดมคติไม่ว่าจะทำงานในสถานะ “on” หรือ “off” ก็จะไม่มีความสูญเสียเกิดขึ้นในส่วนของตัวอุปกรณ์ต่างๆ ในวงจรเช่นตัวคาปาซิเตอร์ตัวเหนี่ยวนำและตัวหม้อแปลง ดังนั้นประสิทธิภาพทั้งหมดของวงจรที่ทำงานส่งผ่านกำลังก็จะมี ค่าเต็ม 100%



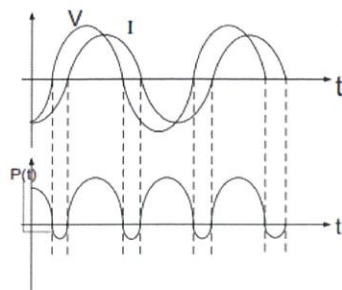
รูปที่ 2.16 การไหลของกำลังไฟฟ้าจากอินพุตไปเอาต์พุต

2.5.1 กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ

กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ $p(t)$ ที่ส่งไปให้โหลดนั้นคำนวณได้จากผลคูณของแรงดันชั่วขณะกับกระแสชั่วขณะที่ไหลผ่านโหลด ดังสมการที่ (2.34)

$$p(t) = v(t) \times i(t) \quad (2.34)$$

รูปคลื่นแรงดันและกระแสในรูปที่ 2.17 ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าขึ้นมาเป็นค่าบวก ค่าศูนย์ และค่าลบ ที่เวลาที่เวลาต่างๆ



รูปที่ 2.17 กำลังไฟฟ้า

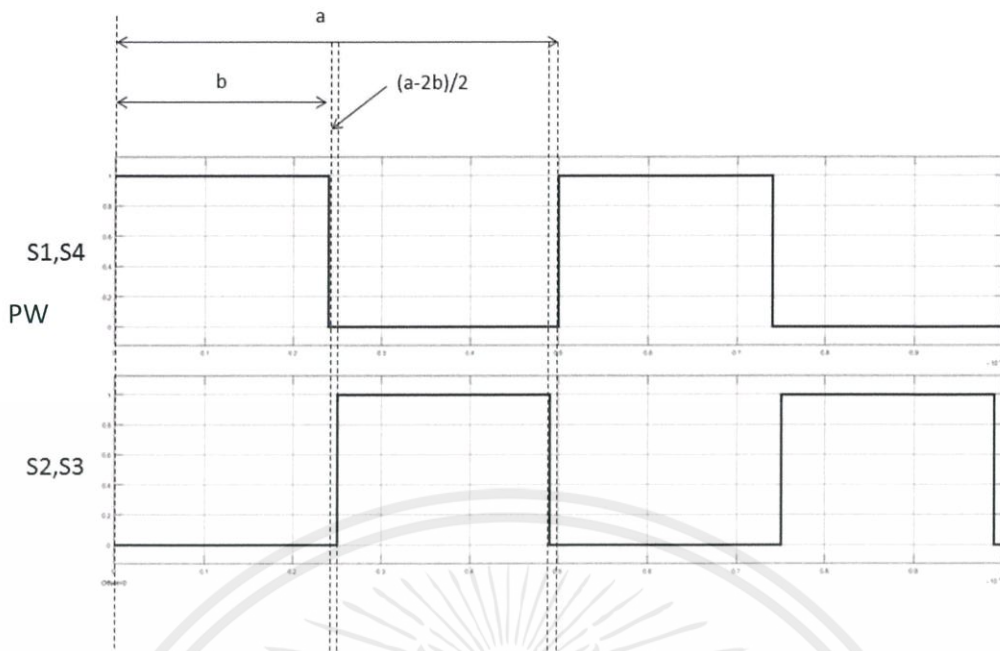
ถ้ารูปคลื่นแรงดันและกระแสมีคาบเวลาซ้ำๆกัน ดังนั้นกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในตัวอุปกรณ์ในวงจรไฟฟ้า จะหาได้จากสมการที่ (2.35) หรือ (2.36)

$$P_{avg} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt \quad (2.35)$$

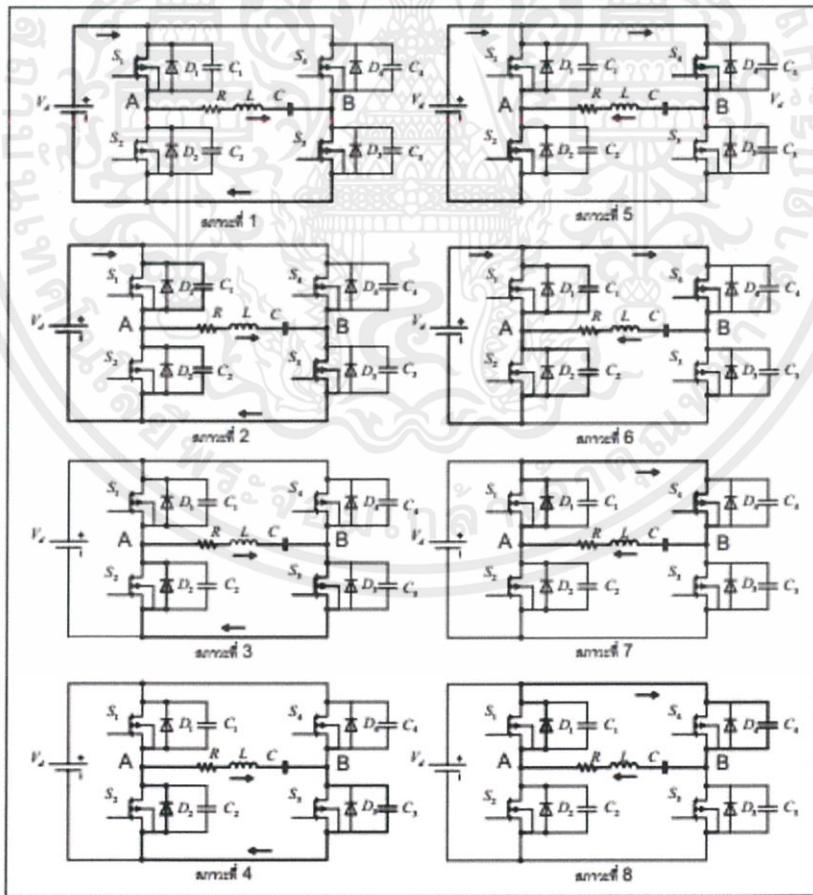
$$P_{avg} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t)i(t) dt \quad (2.36)$$

2.6 พีดีบีบลิวเอ็มฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (PWM Full – Bridge Converter)

พีดีบีบลิวเอ็มแบบเลื่อนเฟสฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Phase-Shifted PWM Full-Bridge Converter) ดังรูปที่ 2.18 โดยปกติสัญญาณ PWM จะทำงานเป็นคู่ๆให้ S_1 และ S_4 นำกระแสโดยที่ S_2 และ S_3 ยังคงหยุดนำกระแสอยู่ สลับกับการให้ S_1 และ S_4 หยุดนำกระแส แล้วค่อยให้ S_2 และ S_3 นำกระแส ทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ



รูปที่ 2.18 การทำงานของสัญญาณ PWM



รูปที่ 2.19 การทำงานของ PWM ที่สภาวะ 1 ถึง 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของ PWM ได้เป็น 8 สภาวะโดยการกำหนดการทำงานจาก สัญญาณขั้วเกตของ อุปกรณ์สวิตช์ตั้งนั้นในรูปแบบที่ 2.18 รูปสัญญาณแรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ที่จุด ab มีลักษณะ คล้ายสัญญาณสี่เหลี่ยม โดยที่จุดที่แรงดัน เป็นศูนย์ เกิดจากการเลื่อนเฟสขั้วเกต ของคู่สัญญาณ อุปกรณ์สวิตช์ช่วงจรของแหล่งจ่ายกำลัง ไม่ครบรอบทำให้แรงดันไม่สามารถปรากฏที่เอาต์พุต สัญญาณ แรงดันที่ได้จึงเป็นศูนย์ วงจรแบบเลื่อนเฟสที่สภาวะการทำงานทั้ง 8 ดังรูปที่ 2.19

สภาวะที่ 1 S_1 และ S_3 turn on แรงดันตกคร่อมโหลด V_{AB} เท่ากับ V_d กระแสไหลผ่าน S_1 ไปสู่ Load (RLC) ไปสู่ S_3

สภาวะที่ 2 S_1 turn off, C_1 เริ่มต้นการเก็บประจุ และ C_2 คายประจุ แรงดัน V_{s2} ค่อยๆ ลดลงจาก V_d เป็น $V_{d/2}$ ขณะเดียวกันแรงดันที่ V_{s1} ค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึง $V_{d/2}$ สวิตช์ S_1 เกิด soft switch ขณะ turn off แรงดันตกคร่อมโหลด V_{AB} เท่ากับ V_{s2}

สภาวะที่ 3 ช่วงเวลาฟรีวีล D_2 เริ่มนำกระแสเนื่องจากศักย์ไฟฟ้าที่ขาซอร์สเริ่มสูงกว่าขาเดรน กระแสไหลต่อเนื่อง ผลมาจากการถ่ายพลังงานที่สะสมอยู่ใน L แรงดันตกคร่อมโหลด V_{AB} เท่ากับ 0

สภาวะที่ 4 S_2 turn on , S_3 turn off C_3 เริ่มต้นเก็บประจุ แรงดัน V_{s3} ค่อยๆ เพิ่มขึ้น แรงดัน ตกคร่อมโหลด V_{AB} เท่ากับ V_{s3}

สภาวะที่ 5 S_4 turn on แรงดันตกคร่อมโหลด V_{AB} เท่ากับ $-V_d$ กระแสไหล กลับทิศทาง ผ่าน S_4 ไปสู่ Load(RLC) ไปสู่ S_2

สภาวะที่ 6 S_2 turn off, C_2 เริ่มต้นการเก็บประจุ C_1 คายประจุแรงดัน V_{s2} ค่อยๆ เพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง $V_{d/2}$ ขณะเดียวกันแรงดันที่ V_{s1} ค่อยๆ ลดลงจาก V_d จนถึง $V_{d/2}$ สวิตช์ S_2 เกิด soft switch ขณะ turn off แรงดันตกคร่อมโหลด V_{AB} เท่ากับ V_{s1}

สภาวะที่ 7 ช่วงเวลาฟรีวีล D_1 เริ่มนำกระแสเนื่องจากศักย์ไฟฟ้าที่ขาซอร์สเริ่มสูงกว่าขาเดรน กระแสไหลต่อเนื่อง ผลมาจากการถ่ายพลังงานที่สะสมอยู่ใน L แรงดันตกคร่อมโหลด V_{AB} เท่ากับ 0

สภาวะที่ 8 S_1 turn on , S_4 turn off C_4 เริ่มต้นเก็บประจุ แรงดัน V_{s4} ค่อยๆ เพิ่มขึ้น แรงดัน ตกคร่อมโหลด V_{AB} เท่ากับ V_{s4} จบรอบการทำงาน

2.7 สรุป

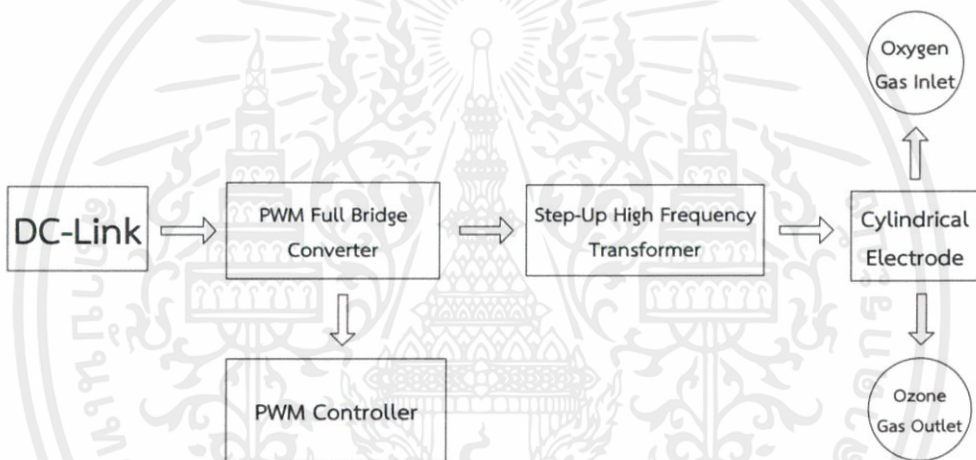
บทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวกับการสร้างเครื่องกำเนิดโอโซนเริ่มจากการคำนวณ อิเล็กโทรดทรงกระบอกแกนร่วม 2 ชั้น กระบวนการที่ทำให้เกิดก๊าซโอโซน ผลของความถี่สนามไฟฟ้า ต่อแรงที่กระทำกับอิเล็กตรอนของโมเลกุลก๊าซ การใช้โอโซนเพื่อการกำจัดมอดข้าวสมการที่ใช้ในการ คำนวณค่าความจุไฟฟ้าและความเครียดของสนามไฟฟ้าของอิเล็กโทรด ทรงกระบอกซ้อนแกนร่วม 2 ชั้น ทฤษฎีพื้นฐานของหม้อแปลงความถี่สูงแบบเพิ่มแรงดัน อธิบายเกี่ยวกับคอนเวอร์เตอร์เรโซแนนต์ แบบขนาน และการวัดกำลังไฟฟ้า อธิบายการทำงานของวงแบบ PWM พูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

บทที่ 3

การออกแบบเครื่องผลิตก๊าซโอโซน

3.1 บทนำ

เครื่องผลิตก๊าซโอโซนมีโครงสร้างไม่ซับซ้อนมากนัก โดยหลักๆ แล้วประกอบด้วยแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ ชุดสร้างสัญญาณควบคุมเพื่อนำไปใช้เป็นสัญญาณขับเคลื่อนของอุปกรณ์สวิตซ์ในแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ หม้อแปลงความถี่สูงแบบเพิ่มแรงดันและชุดอิเล็กทรอนิกส์ทรานซอร์มเมอร์แบบซ้อนกัน ในการวิเคราะห์และออกแบบต้องทราบถึงพารามิเตอร์ต่างๆของโหลดเสียก่อนจึงจะสามารถออกแบบในส่วนอื่นๆที่เหลือของระบบได้ ดังนั้นจะขอกล่าวถึงการวิเคราะห์และออกแบบชุดอิเล็กทรอนิกส์ทรานซอร์มเมอร์แบบซ้อนกันจำนวน 2 ชั้นเป็นอันดับแรก หลังจากนั้นถึงออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงและแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่องผลิตก๊าซโอโซน

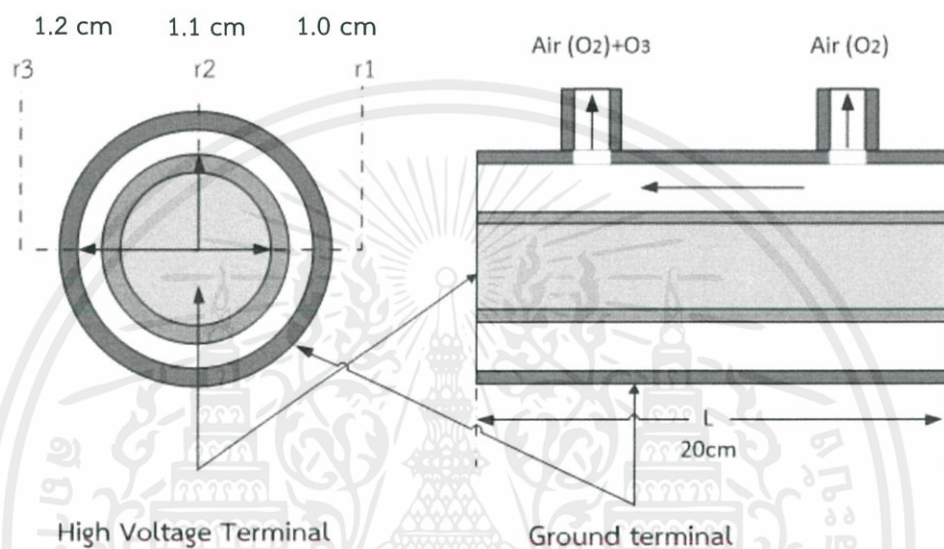
3.2 อิเล็กทรอนิกส์ทรานซอร์มเมอร์แบบ 2 ชั้น

ในบทความนี้ได้เลือกใช้แก้วเป็นวัสดุฉนวนชั้นที่ 1 ด้วยเหตุผล 5 ข้อดังนี้คือ

1. แก้วมีคุณสมบัติในการทนความเครียดสนามไฟฟ้าได้สูง
2. แก้วที่คุณภาพการผลิตดีจะมีผิวเรียบและไม่มีฟองอากาศหรือสิ่งแปลกปลอมเจือปนอยู่ซึ่งสิ่งเหล่านี้อาจส่งผลให้เกิดการเบรกดาวนในแก้วได้
3. สามารถทนการขูดขีดและไม่เกิดริ้วรอยได้ง่าย
4. ในกระบวนการผลิตแก้วต้องให้ความร้อนสูงกว่า 1,200 องศาเซลเซียส เพื่อหลอมซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ทำแก้ว ดังนั้นแก้วจึงทนความร้อนได้สูงมากก่อนที่จะหลอมละลายเสียหาย
5. แก้วเป็นวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารใดๆ ดังนั้นจึงไม่ทำปฏิกิริยากับก๊าซโอโซนด้วยเช่นกัน

ในส่วนของฉนวนชั้นที่ 2 เป็นช่องว่างอากาศเพื่อที่จะสามารถทำให้อากาศไหลผ่านชุดอิเล็กโทรดได้ ตัวนำด้านในใช้ลวดสแตนเลสและตัวนำด้านนอกแผ่นสแตนเลสที่นำมาติดกับหลอดแก้ว ด้านนอกรูปทรงของอิเล็กโทรดทรงกระบอกซ้อนกันรวมฉนวน 2 ชั้น แสดงในรูปที่ 3.2

สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการเลือกขนาดรัศมีของชุดอิเล็กโทรดนั้นก็คือระยะห่างและปริมาตรช่องว่างอากาศระหว่างขั้วอิเล็กโทรดด้านในเลือกจากและด้านนอกเพราะจะส่งผลต่อการออกแบบชุดกำลังไฟฟ้า การกำหนดขนาดรัศมีของชุดอิเล็กโทรดจะขนาดของหลอดแก้วด้านในและด้านนอกเป็นหลัก เพราะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของหลอดแก้วมีค่าให้เลือกไม่มากนัก



รูปที่ 3.2 ลักษณะของรูปทรงของอิเล็กโทรดทรงกระบอกซ้อนกันรวมฉนวน 2 ชั้น

ในงานวิจัยนี้เลือกหลอดแก้วด้านในขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.2 เซนติเมตร หนา 0.1 เซนติเมตร และยาว 16 เซนติเมตรในส่วนของหลอดแก้วด้านนอก เลือกใช้สแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 เซนติเมตร หนา 0.1 เซนติเมตร และยาว 16 เซนติเมตร เมื่อนำหลอดแก้วซ้อนกันดังนั้นจะได้ค่า $r_1 = 1.0$ เซนติเมตร, $r_2 = 1.1$ เซนติเมตร, และ $r_3 = 1.2$ เซนติเมตร ค่าเปอร์มิตติวิตีของแก้ว (ϵ_{r1}) อยู่ระหว่าง 5-10 และของอากาศ (ϵ_{r2}) ประมาณเท่ากับ 1

คำนวณหาปริมาตรของช่องว่างอากาศ (Vol.) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (m) จาก สมการ (3.1)

$$Vol = \pi(r_3^2 - r_2^2) \times l \quad (3.1)$$

แทนค่าในสมการ

$$Vol = \pi(0.012^2 - 0.011^2) \times 0.16$$

เพราะฉะนั้น

$$Vol = 71.77 \times 10^{-6} m^3$$

ย่านพลังงานที่ต้องใช้ผลิตโอโซนอยู่ในช่วง 1.169 kW.h/m³ เพราะฉะนั้นสามารถคำนวณหา
ย่านพลังงาน (W) ที่ใช้ในอิเล็กโทรดดังนี้

$$W = 1.169 \times 10^3 \times 71.77 \times 10^{-6} = 83.90 mWh$$

คำนวณหาค่าความเครียดสนามไฟฟ้า (E) ได้จากสมการที่ (3.2) พลังงานในสนามไฟฟ้าของ
ช่องว่างอากาศ ในกรณีที่สนามไฟฟ้าแปรตามเวลานั้น สามารถวิเคราะห์ในสภาพสนามไฟฟ้าสถิตย์ได้
เนื่องจากในขณะที่ขนาดของแรงดันภายนอกที่ป้อนให้กับอิเล็กโทรดเพิ่มขึ้นจากศูนย์จนถึงค่าๆ หนึ่ง
ก่อนถึงค่าสูงสุด สนามไฟฟ้าจะไม่มีพลังงานมากพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากโมเลกุลก๊าซ
ได้ และไม่สามารถเร่งความเร็วของอิเล็กตรอนอิสระให้เคลื่อนที่และชนกับโมเลกุลก๊าซในช่องว่าง
อากาศให้แตกตัวได้ ดังนั้นพลังงานที่จะทำให้เกิดกระบวนการไอออไนเซชัน (W_i) ได้จึงเกิดขึ้นที่ค่า
แรงดันไฟฟ้าสูงที่สุดนั่นเอง เพราะฉะนั้นสามารถอินทิเกรตสมการ (3.2) ได้ดังนี้

$$W_i = \frac{1}{2} \times \int \epsilon_0 \times \epsilon_r \times E^2 \times dVol \quad (3.2)$$

$$W_i = \frac{1}{2} \times \epsilon_0 \times \epsilon_r \times E^2 \times \int dVol$$

$$\frac{2 \times W_i}{\epsilon_0 \times \epsilon_r} = E^2 \times Vol$$

ดังนั้นค่าความเครียดสนามไฟฟ้า (E) หาได้จากสมการ (3.3)

$$E = \sqrt{\frac{2 \times W_i}{\epsilon_0 \times \epsilon_r \times Vol}} \quad (3.3)$$

$$E = \sqrt{\frac{2 \times 83.90 \times 10^{-3}}{8.854 \times 10^{-12} \times 1 \times 71.77}}$$

เพราะฉะนั้น

$$E = 16.250 kV / cm$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ความเครียดสนามไฟฟ้าที่ทำให้เกิดโอโซนแล้วจึงคำนวณหาแรงดันภายนอกที่ป้อนให้ชุดอิเล็กทรอนิกส์ได้จากสมการ (3.4) เราสามารถหาค่าแรงดันที่จะทำให้เกิดก๊าซโอโซนโดยการแทนค่าดังนี้

$$V = \frac{E \times r_2 \times \left(\varepsilon_{r1} \times \ln \left(\frac{r_3}{r_2} \right) + \varepsilon_{r2} \times \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right) \right)}{\varepsilon_{r1}} \quad (3.4)$$

$$V = \frac{16250 \times 1.1 \left(8 \times \ln \left(\frac{1.2}{1.1} \right) + 1 \times \ln \left(\frac{1.1}{1.0} \right) \right)}{8}$$

เพราะฉะนั้น

$$V = 1.768kV$$

ทำการหาค่าตัวเก็บประจุเสมือนที่ต่ออนุกรมกันในแท่งอิเล็กทรอนิกส์จากสมการ (2.1) และ (2.2) โดยแทนค่าจะได้ค่าทางทฤษฎีดังนี้

$$C_1 = \frac{2 \times \pi \times \varepsilon_{r1} \times \varepsilon_0 \times l}{\ln \frac{r_2}{r_1}} = \frac{2 \times \pi \times 8 \times 8.854 \times 10^{-12} \times 0.16}{\ln \frac{1.1}{1.0}} = 7.471 \times 10^{-10} F$$

$$C_2 = \frac{2 \times \pi \times \varepsilon_{r2} \times \varepsilon_0 \times l}{\ln \frac{r_3}{r_2}} = \frac{2 \times \pi \times 8 \times 8.854 \times 10^{-12} \times 0.16}{\ln \frac{1.2}{1.1}} = 8.813 \times 10^{-10} F$$

เพราะฉะนั้น

$$C_{total} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}} = 404.335 pF$$

และจากการวัดค่าจริงด้วยเครื่อง Impedance Analyzer ได้ว่าที่ ความถี่ 25 kHz จะได้ค่าความต้านทานและตัวเก็บประจุดังนี้

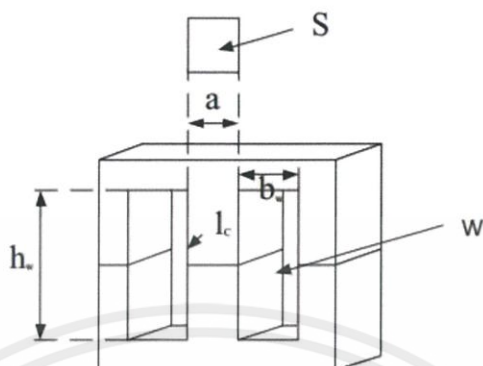
ค่าความต้านทานของหลอดโอโซน คือ $R_0 = 79.983k\Omega$

และ ค่าของตัวเก็บประจุของหลอดโอโซน คือ $C_T = 405 pF$

ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการใช้ทฤษฎีหาค่าตอบกับค่าที่ได้จากการใช้เครื่อง Impedance Analyzer คิดจริงๆ มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงแบบยกระดับแรงดัน



รูปที่ 3.3 รูปหม้อแปลงไฟฟ้าแกน EE

ในงานวิจัยชิ้นนี้ออกแบบกำลังหม้อแปลงไว้ที่ 2.0 kW เลือกแกนเฟอร์ไรท์เบอร์ EE-80 ซึ่งเป็นแกนแบบ EE ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในตลาดโดยทั่วไปและจ่ายกำลังได้สูงสุด 2 kW โดยโครงสร้างคือ การนำแกนเฟอร์ไรท์รูปร่างเหมือนตัว E สองอันมาประกบกัน ลักษณะของแกนแสดงในรูปที่ 3.3 มีค่าพารามิเตอร์ดังนี้ พื้นที่หน้าตัดแกน $A_c=4 \times 10^{-4}$, $B_{max}=0.3$ T ความยาวทางเดินของแกนแม่เหล็ก (l_c)=0.192 m ปริมาตรแกน $V_e=69.8 \times 10^3$ mm³ ความยาวด้านตั้งสี่ของแกน (l_w)=0.08 m พื้นที่ช่องว่างของบ๊อบบิ้น 800 mm² แต่เนื่องจากโหลดของหม้อแปลงเป็นอุปกรณ์แบบสะสมพลังงาน ดังนั้นสิ่งที่พิจารณาคือกระแสโหลดและพื้นที่หน้าตัดการนำกระแสของขดลวดตัวนำ

กำหนดพิกัดของหม้อแปลงดังนี้ แรงดันด้านปฐมภูมิ $V_p=310$ V แรงดันด้านทุติยภูมิ $V_s=1.9$ kV ความถี่ใช้งาน 25 kHz และกระแสทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง 5 A

คำนวณหารอบปฐมภูมิจากสมการ โดยแทนค่า

$$N_p = \frac{310}{4 \times 0.3 \times 4 \times 10^{-4} \times 26 \times 10^3}$$

ได้ว่า

$$N_p = 25 \text{ รอบ}$$

จำนวนรอบทุติยภูมิคำนวณได้จากสมการ โดยแทนค่า

$$N_s = 25 \times \frac{1800}{310}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ว่า

$$N_s = 146 \text{ รอบ}$$

เนื่องจากความถี่ใช้งานมีค่าสูง ดังนั้นจึงเลือกค่ากระแสต่อพื้นที่หน้าตัดลวดไว้ที่ 4 A/mm^2
กระแสทางด้านปฐมภูมิเท่ากับ 5 A

$$\text{ดังนั้นพื้นที่หน้าตัดของขดลวดคือ} \quad \frac{5A}{4A/\text{mm}^2} = 1.25\text{mm}^2$$

เปิดตารางเทียบลวดได้ #AWG 17 (1.617 mm^2)

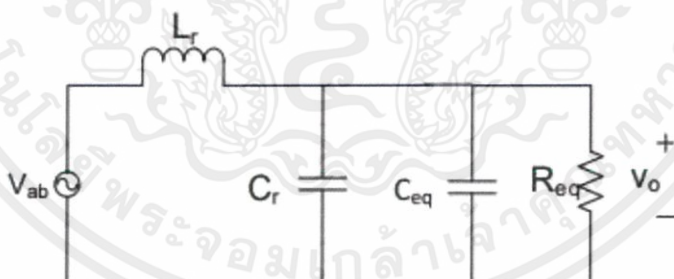
คำนวณเบอร์ลวดทางด้านทุติยภูมิได้ดังนี้

$$\text{จาก} \quad I_s = I_p \times \frac{V_p}{V_s} = 5 \times \frac{310}{1800} = 0.8611A$$

$$\text{ดังนั้นพื้นที่หน้าตัดของขดลวดคือ} \quad \frac{0.8611}{4A/\text{mm}^2} = 0.21\text{mm}^2$$

เปิดตารางเทียบลวดได้ #AWG 25 (0.21 mm^2)

3.4 อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบขนาน



รูปที่ 3.4 วงจรเรโซแนนซ์

จากรูปที่ 3.4 สามารถหาค่า L_r โดยนำค่าที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงไปแทนค่าในสมการที่ (2.18)

$$L_r = \frac{2.2 \times 10^{-3} \times (9.84 \times 10^{-6} + 57.70 \times 10^{-6})}{(2.2 \times 10^{-3}) + (9.84 \times 10^{-6}) + (57.70 \times 10^{-6})}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้น

$$L_r = 65.52 \mu H$$

สามารถคำนวณหาค่า C_r ได้จากสมการที่ 2.23 โดยกำหนดให้ความถี่เรโซแนนท์เท่ากับ $f_0 = 26$ kHz และ $L_r = 65.52 \mu H$

$$C_{eq} = \frac{1}{2 \times \pi \times (26000)^2 \times (65.52 \times 10^{-6})}$$

เพราะฉะนั้น

$$C_{eq} = 3.59 \mu F$$

สามารถคำนวณหาค่า C_r ได้จากสมการที่ 2.24 โดยกำหนดให้ $C_T = 12 \times 10^{-3}$

$$C_r = (3.59 \times 10^{-6}) - (12.25 \times 10^{-12})$$

เพราะฉะนั้น

$$C_r = 3.59 \mu F$$

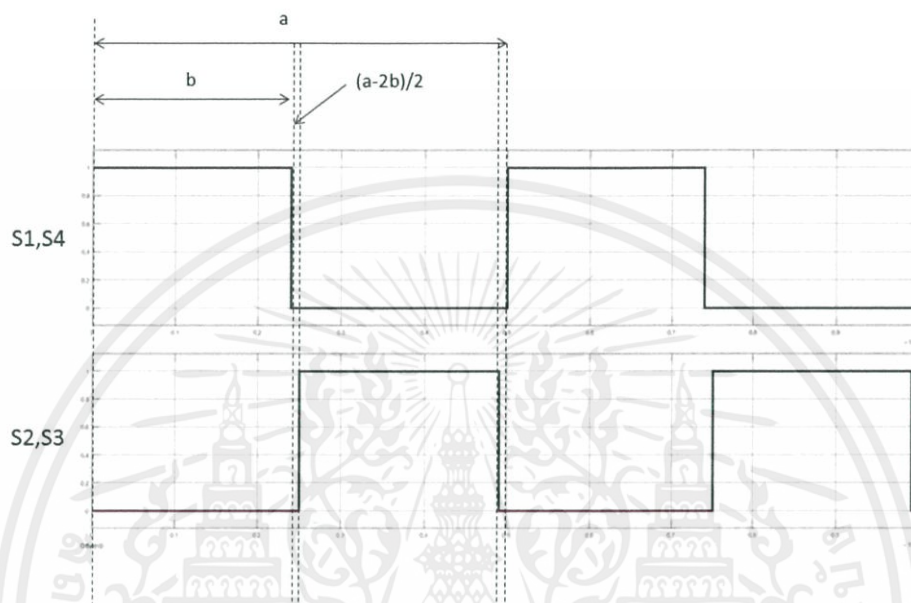
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ของระบบ

ค่าความเหนี่ยวนำเส้นแรงแม่เหล็กไว้ไหลทางด้านปฐมภูมิ (L_{kp})	9.84 μH
ค่าความเหนี่ยวนำเส้นแรงแม่เหล็กในแกน (L_m)	1.54 mH
ค่าความเหนี่ยวนำเส้นแรงแม่เหล็กไว้ไหลทางด้านทุติยภูมิ (L_{ks})	0.34 mH
ค่าความเหนี่ยวนำเรโซแนนท์ (L_r)	65.52 μH
อัตราส่วนรอบหม้อแปลง (n)	1/6
ความต้านทานสมมูล (R_{eq})	2221 Ω
ค่าความจุไฟฟ้าเรโซแนนท์ (C_{eq})	3.59 μF
ความถี่สวิตซ์ (f_s)	26 kHz

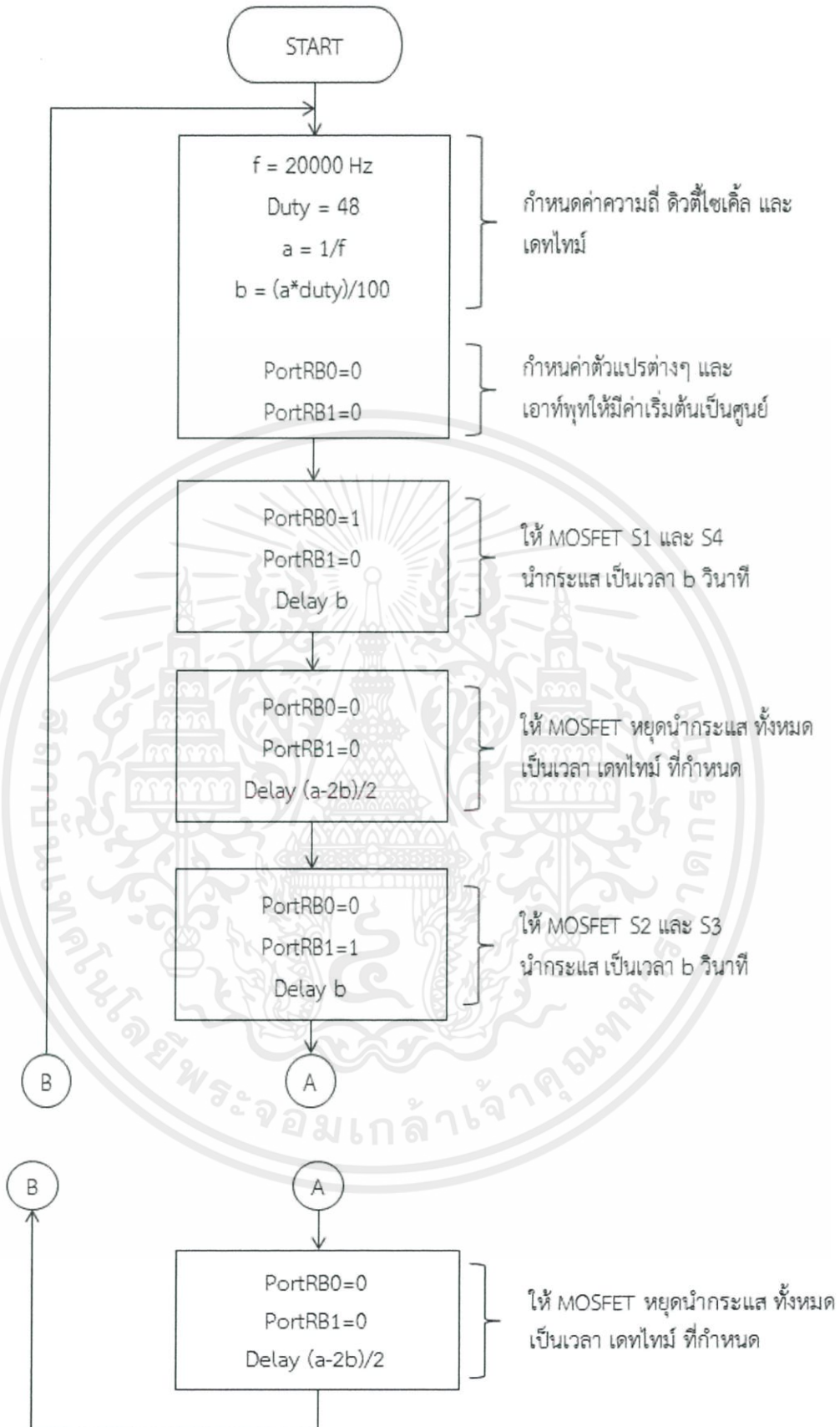
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การสร้างสัญญาณ PWM

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการสร้างสัญญาณ PWM โดยได้กล่าวถึงรูปแบบสัญญาณ และสภาวะการทำงานไวน์บที่ 2 โดยหัวข้อนี้จะกล่าวถึง Flowchart และตัวโปรแกรม ดังรูป



รูปที่ 3.5 คาบเวลาที่ใช้เขียนโปรแกรมรูปสัญญาณแบบ PWM



รูปที่ 3.6 Flowchart การสร้างรูปแบบสัญญาณแบบ PWM

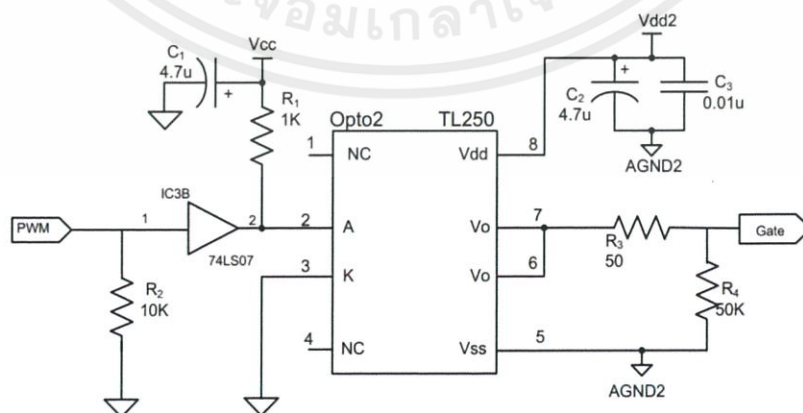
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 โปรแกรมในการสร้างรูปสัญญาณ PWM เริ่มต้นจากการกำหนดค่าความถี่ที่ต้องการ ในที่นี้ที่ทดลองคำนวณที่ 25 kHz และกำหนดค่าดิวตี้ไซเคิลไว้ที่ 48% แล้วจึงคำนวณค่าออกมาเป็นค่า คาบเวลาที่จะต้องทำงานและหยุดของรูปสัญญาณของมอสเฟตแต่ละตัวดังรูปที่ 3.5

คำนวณได้ค่า $a=40 \text{ us}$, $b=19.2 \text{ us}$, $(a-2b)/2(\text{เดทโทม})=1\text{us}$ แล้วกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆให้เป็นศูนย์ และมอสเฟตทั้งหมดค่าเริ่มต้น หยุดนำกระแส จากนั้นให้ S_1 และ S_4 นำกระแสเป็นเวลา 19.2 us ช่วงเดทโทม หยุดนำกระแสของมอสเฟตทั้งหมดเป็นเวลา 1us แล้ว S_2 และ S_3 ก็นำกระแสเป็นเวลา 19.2 us ช่วงเดทโทม หยุดนำกระแสของมอสเฟตทั้งหมดเป็นเวลา 1us ทำอย่างนี้เรื่อยๆ

3.6 วงจรขับนำเกตด้วยไอซี TLP250

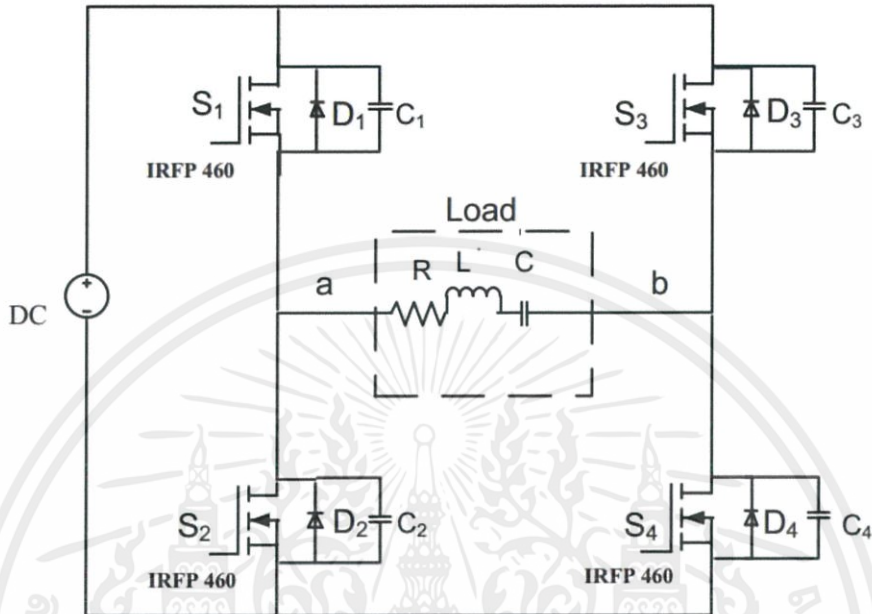
สัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์มีลักษณะเป็นสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยม สัญญาณนี้ถูกส่งไปยังวงจรสร้างสัญญาณขับนำเกต ด้วยไอซีสร้างสัญญาณขับนำเกต เบอร์ TLP250 เพื่อควบคุมการทำงานของมอสเฟต วงจรสร้างสัญญาณขับนำเกตแสดงดังรูปที่ 3.8 จากวงจรสัญญาณ ด้านเข้าเป็นสัญญาณที่ถูกส่งมาจากวงจรมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์มีขนาดแรงดัน 0 V ถึง 5 V สัญญาณนี้ถูกส่งเข้าไปไอส์ให้ LED ใน TLP250 นำกระแส โดยมี ความต้านทาน R_1 ทำหน้าที่จำกัดกระแสในการไปไอส์และใช้ไอซีบัฟเฟอร์ 74LS07 เป็นตัวป้องกันไฟ 5 V ที่จะเกิดการไหลย้อนกลับของแรงดันเข้าไปในวงจรมอดูเลตตามความกว้างของสัญญาณพัลส์ (PS-PWM) เมื่อ LED นำกระแส ทำให้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ทางด้านเอาต์พุตของ TLP250 นำกระแส แรงดันที่ขา 7 ของ TLP250 เทียบกับกราวด์เท่ากับ 15 V และแรงดันที่ V_{GS} ของมอสเฟตเท่ากับ 15 V กับ -5 V เมื่อแรงดัน V_{GS} มีค่าเป็นบวกสามารถทำให้ มอสเฟตนำกระแสได้ ส่วนในกรณีที่แรงดันอินพุตน้อยกว่า 0.7 V LED ภายใน TLP250 หยุดนำกระแสส่งผลให้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ทางด้านเอาต์พุตของ TLP250 หยุดนำกระแสเช่นเดียวกัน แต่ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP จะนำกระแสแทนส่งผลให้ที่สภาวะนี้แรงดันที่ขา 7 ของ TLP250 เทียบกับกราวด์มีค่าประมาณ -5 V เมื่อแรงดันที่ V_{GS} มีค่าเป็น -5 V ก็จะทำให้มอสเฟตหยุดนำกระแสได้



รูปที่ 3.7 วงจรขับนำเกตโดยใช้ไอซีเบอร์ TLP250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรภาคกำลังนี้เป็นวงจรที่ใช้อินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ ซึ่งใช้มอสเฟตทั้งหมด 4 ตัว ดังรูปที่ 3.11 โดยจะนำกระแส และหยุดนำกระแส ตามจังหวะสัญญาณที่ถูกส่งมาจากวงจรขับเคลื่อน โดยวงจรขับเคลื่อนต้องสร้าง 4 ชุด สำหรับมอสเฟตทั้งหมด 4 ตัว



รูปที่ 3.8 วงจรภาคกำลัง

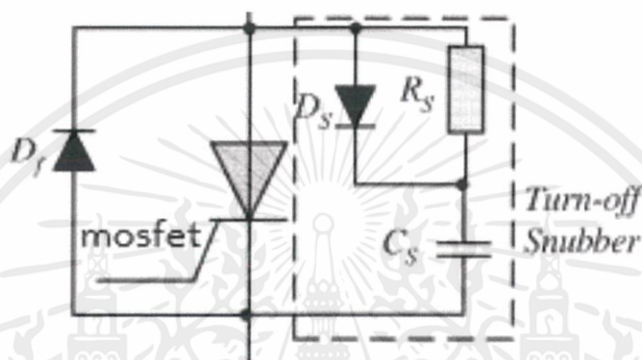
มอสเฟสทั้ง 4 ตัว จะทำงานแยกอิสระจากกัน โดยรับสัญญาณ PWM จากวงจรขับเคลื่อนด้วยความถี่ 25 kHz การทำงานของสัญญาณที่ออกมาจากวงจรขับเคลื่อน โดยปกติการทำงานของสัญญาณ PWM ช่วงเวลา S_1 และ S_4 นำกระแส S_1 จะนำกระแส ก่อน S_4 เป็นเวลา Φ และช่วงเวลาหยุดนำกระแสก็ช้ากว่า S_1 เพราะช่วงนำกระแส ช้ากว่านั่นเอง ส่วน S_2 และ S_3 ก็เหมือนกัน ช่วงนำกระแส S_3 จะช้ากว่า S_2 เป็นเวลา Φ

3.7 วงจร Snubber

วงจรสแนบเบอร์ ทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันมอสเฟสไม่ให้เกิดความเสียหายอันอาจเกิดจากกระแสไฟฟ้ากระชาก หรือ เสิร์จ (Surge) หรือ สัญญาณยอดแหลม (Spike) ที่อาจเกิดขึ้นในระบบการจ่ายกระแสไฟฟ้า นอกจากนี้ ตัวต้านทาน R และ ตัวเก็บประจุ C ยังช่วยลดทอนสัญญาณรบกวน (Noise Reduction) ที่เกิดขึ้นจากการสวิตช์ของมอสเฟสให้มีขนาดลดลงได้ ทั้งนี้เนื่องจากการสวิตช์ปิด/เปิด ของตัวมอสเฟส อาจก่อให้เกิด ฮาร์โมนิก (Harmonic) ของสัญญาณ ย้อนกลับเข้าไปใน

ระบบจ่ายไฟฟ้าได้ ซึ่งอาจก่อให้เกิดการรบกวนต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ที่ต่อพ่วงอยู่ในระบบไฟฟ้าเดียวกัน

ทั้งนี้วงจร Snubber ประกอบด้วย ตัวต้านทาน R ตัวเก็บประจุ C และไดโอด ดังแสดงในรูปที่ 3.9 ซึ่งเป็นวงจรที่ช่วยทำหน้าที่ต่างๆ ได้แก่ ลบหรือลดทอนสัญญาณยอดแหลม (Spike) ลดอัตราการเปลี่ยนแปลงกระแสหรือแรงดัน (di/dt or dv/dt) รักษาขอบเขตการทำงานของวงจรไม่ให้เกินขีดจำกัด ถ่ายโอนความสูญเสียที่จะเกิดที่หน้าสัมผัสของการสวิตช์ไปยังตัวต้านทาน ลดความสูญเสียที่เกิดจากการสวิตช์ และลด การสอดแทรกทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI: Electromagnetic Interference)



รูปที่ 3.9 วงจร RCD Snubber

3.8 สรุป

บทนี้ได้กล่าวถึงการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตก๊าซไอโซน โดยที่อิเล็กทรอนิกส์แกนร่วม 2 ชั้น นั้น เลือกใช้แก้วเป็นฉนวนชั้นที่ 1 คำนวณหาค่าความจุไฟฟ้าและความต้านทานไฟฟ้าของอิเล็กทรอนิกส์แกนร่วม 2 ชั้นที่สร้างขึ้น คำนวณ แรงดันไฟฟ้าที่ทำให้เกิดไอโซนเท่ากับ 2 kV เราสามารถใช้แกนเฟอร์ไรต์ EE- 80 โดยใช้ในด้านปฐมภูมิจึงต้องนำลวดเบอร์ SWG#17 มาตีเกลียวทั้งหมด 2 รอบ และนำลวดตีเกลียวที่ได้มาพันรอบแกน 13 รอบ ในส่วนของด้านทุติยภูมิต้องนำลวดเบอร์ SWG#25 มาตีเกลียวทั้งหมด 2 รอบและนำลวดตีเกลียวที่ได้มาพันรอบแกนทั้งหมด 76 รอบ จะทำให้เราได้หม้อแปลงความถี่สูงที่มีอัตราแรงดัน 310/ 1800 Volt และแสดงการคำนวณความวงจรเรโซแนนต์แบบขนาน สร้างวงจรสัญญาณควบคุม ในที่นี้เลือกใช้ Arduino Uno R3 ในการเขียนโปรแกรมควบคุมแบบ PWM และ เลือกใช้ไอซี TLP250 เป็นวงจรขับนำเกตทั้งหมด 4 ชุดกับมอสเฟต 4 ตัว มีการแสดงโหมดการทำงานของแต่ละรูปแบบสัญญาณ พร้อมทั้งแสดง Flowchart การเขียนโปรแกรมของสัญญาณ

บทที่ 4

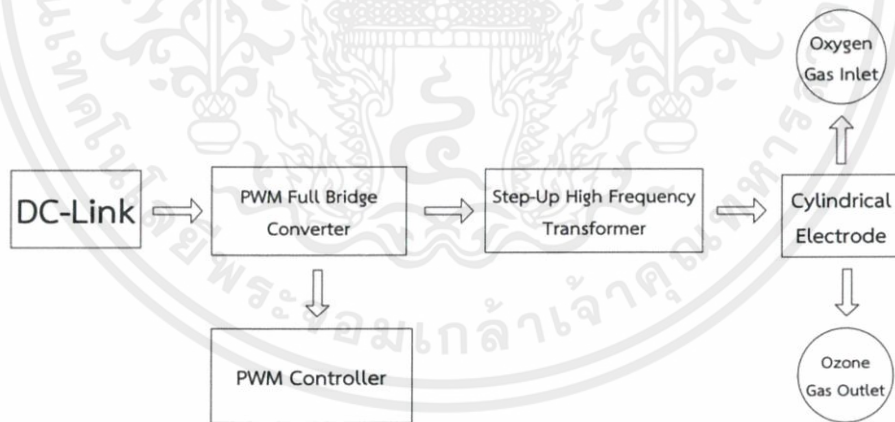
การทดลองและผลการทดลองของเครื่องต้นแบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองการทำงานของเครื่องสร้างโอโซน โดยการทดสอบสัญญาณไฟฟ้า ในจุดต่างๆ เก็บผลทางเคมีในแต่ละความถี่ และทำการทดลองโอโซนกับการกำจัดแมลงศัตรูพืชใน เมล็ดข้าว ซึ่งได้ทำการทดลอง 3 ส่วนด้วยกัน

1. การทดสอบสัญญาณไฟฟ้าในแต่ละส่วน
 2. การทดลองทางเคมีเพื่อวิเคราะห์ปริมาณโอโซน
 3. การทดสอบการยืดอายุการกำจัดแมลงศัตรูพืชในเมล็ดข้าว
- ซึ่งจะได้ทำการทดลองและผลการทดลองของแต่ละส่วนดังนี้

4.1 การทดสอบสัญญาณไฟฟ้าในแต่ละส่วน

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบทางไฟฟ้าในส่วนต่างๆที่สามารถจับรูปสัญญาณได้โดยเริ่ม ตั้งแต่สัญญาณการจ่ายไฟออกจากวอร์เรกเตอร์เข้าวงจร Rectifier ออกจาก Rectifier เข้าวงจร Inverter ออกจาก Inverter เข้าหม้อแปลงไฟฟ้าและออกจากหม้อแปลงไปที่โหลด ดังรูปที่ 4.1 และจับ สัญญาณความเปลี่ยนแปลงในความถี่สวิตซ์ซึ่งที่จะใช้ทดสอบ ในที่นี้เราจะใช้ทั้งหมด 4 ความถี่ คือ 20 kHz , 22 kHz , 24 kHz , 26 kHz

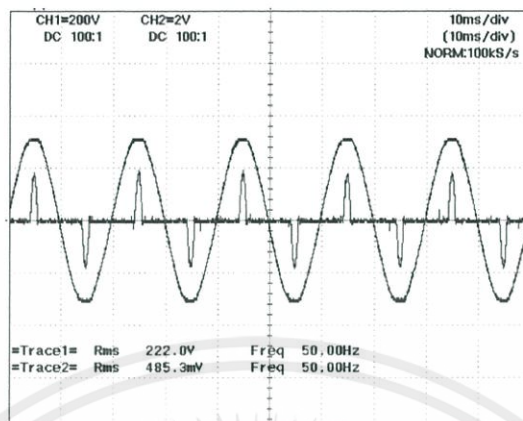


รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรม

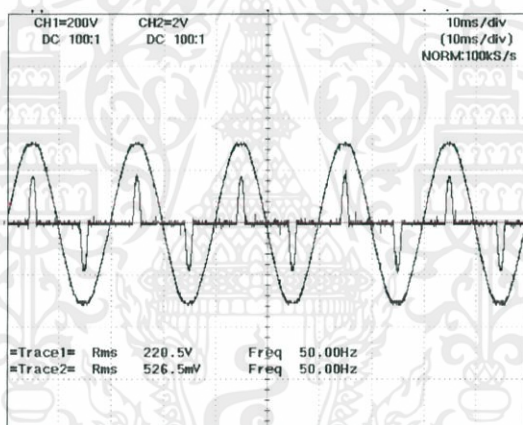
4.1.1 สัญญาณไฟฟ้าในส่วนขาเข้าของวงจร Rectifier ในแต่ละความถี่สวิตซ์ซึ่ง

สัญญาณไฟฟ้าจากวอร์เรกเตอร์ที่จ่ายเข้าให้กับวงจร Rectifier วัดรูปสัญญาณโดยใช้สาย Probe จับรูปสัญญาณที่ออกจากวอร์เรกเตอร์หรือทางด้านขาเข้าวงจร Rectifier ในส่วนนี้รูปสัญญาณ

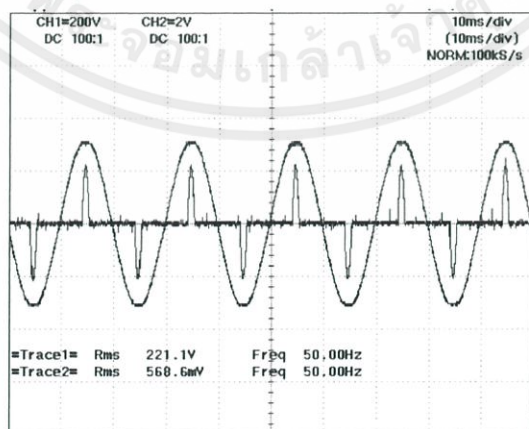
แรงดันจะเป็นรูปคลื่นไซน์เนื่องจากเป็นไฟ AC โดยในแต่ละความถี่มีรูปสัญญาณดังรูปที่ 4.2 ถึง รูปที่ 4.5 ซึ่งในแต่ละความถี่จะมีแรงดันใกล้เคียงกันแต่กระแสไม่เท่ากัน



รูปที่ 4.2 สัญญาณขาเข้าวงจร Rectifier ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 20 kHz

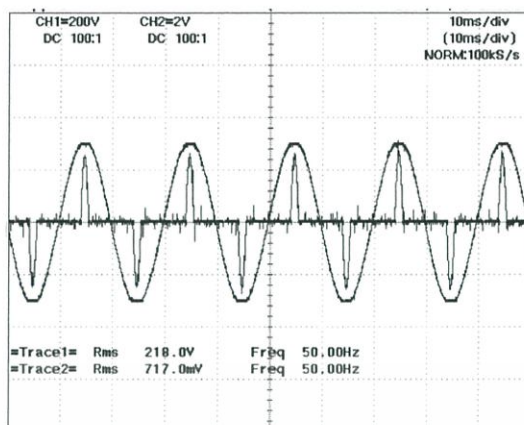


รูปที่ 4.3 สัญญาณขาเข้าวงจร Rectifier ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 22 kHz



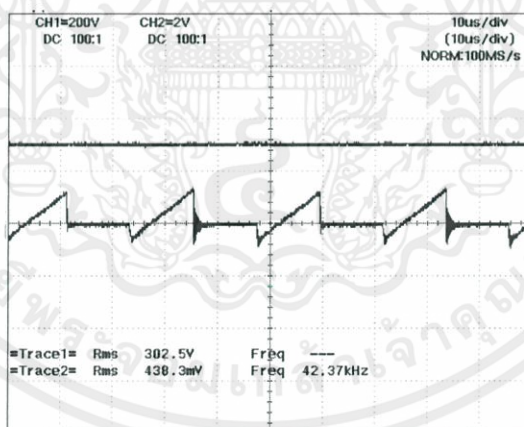
รูปที่ 4.4 สัญญาณขาเข้าวงจร Rectifier ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 24 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

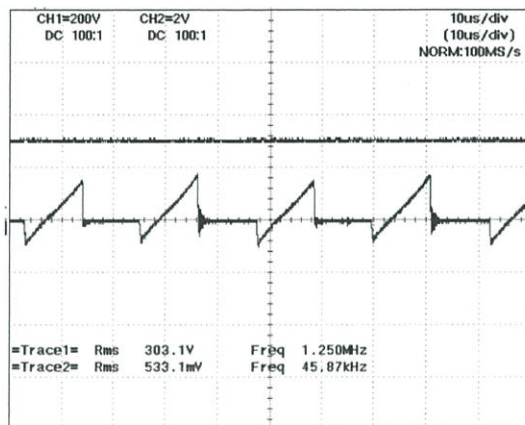


รูปที่ 4.5 สัญญาณขาเข้าวงจร Rectifier ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 26 kHz

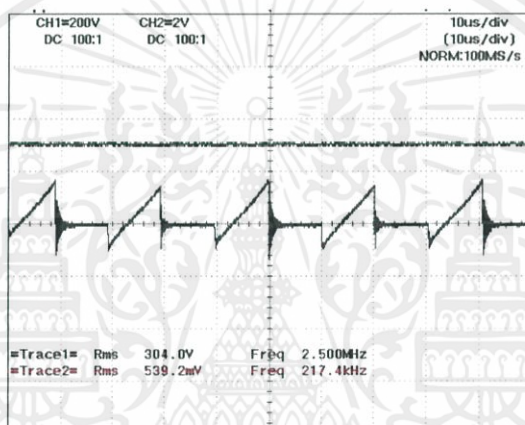
4.1.2 สัญญาณไฟฟ้าในส่วนของขาเข้าวงจร Inverter ในแต่ละความถี่สวิตซ์ซิ่ง สัญญาณไฟฟ้าที่ออกจากวงจร Rectifier และเข้าที่วงจร Inverter วัตถุประสงค์สัญญาณโดยใช้สาย Probe จับที่หลัง C ของวงจร Rectifier หรือ ก่อนเข้าวงจร Inverter ซึ่งในส่วนนี้สัญญาณแรงดันจะเป็นเส้นตรงเนื่องจากวงจร Rectifier เป็นวงจรที่เปลี่ยนจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง และในส่วนรูปสัญญาณของกระแสจะเป็นสามเหลี่ยม ดังรูปที่ 4.6 ถึง รูปที่ 4.9



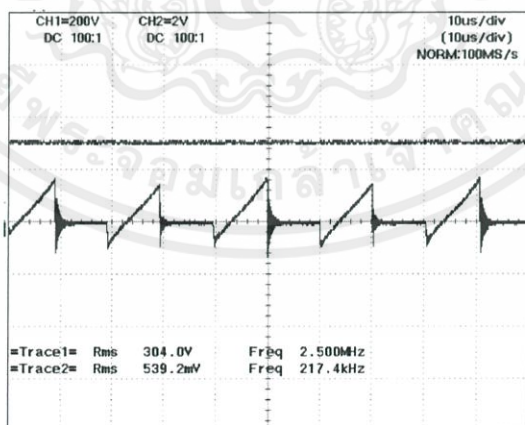
รูปที่ 4.6 สัญญาณขาเข้าวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 20 kHz



รูปที่ 4.7 สัญญาณขาเข้าวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซึ่ง 22 kHz



รูปที่ 4.8 สัญญาณขาเข้าวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซึ่ง 24 kHz

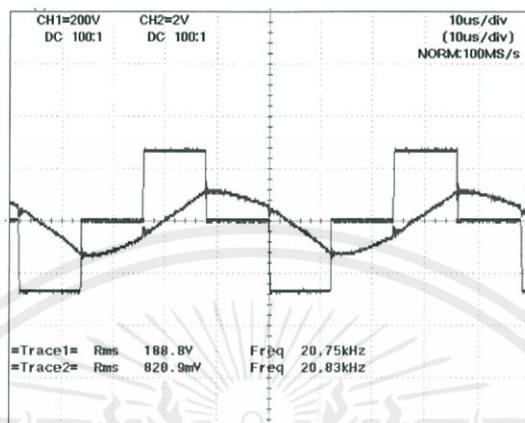


รูปที่ 4.9 สัญญาณขาเข้าวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซึ่ง 26 kHz

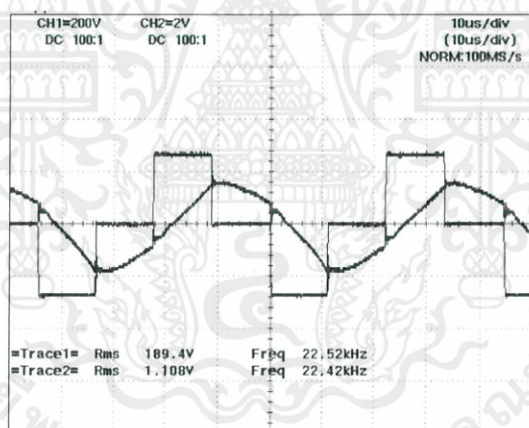
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 สัญญาณไฟฟ้าในส่วนขาออกจากวงจร Inverter ในแต่ละความถี่สวิตซ์ซิ่ง

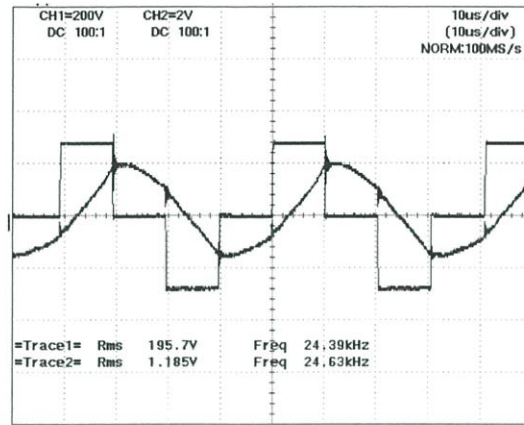
สัญญาณไฟฟ้าที่ออกจากวงจร Inverter ก่อนที่จะเข้าหม้อแปลง วัตถุประสงค์สัญญาณโดยการใช้สาย Probe จับสัญญาณที่ด้านออกของวงจร Inverter จะได้สัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณ Pulse ส่วนสัญญาณกระแสจะเป็นรูปไซน์ ดังรูปที่ 4.10 ถึง รูปที่ 4.13



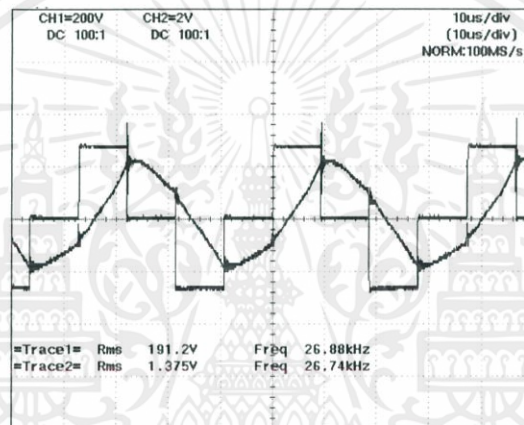
รูปที่ 4.10 สัญญาณขาออกจากวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 20 kHz



รูปที่ 4.11 สัญญาณขาออกจากวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 22 kHz



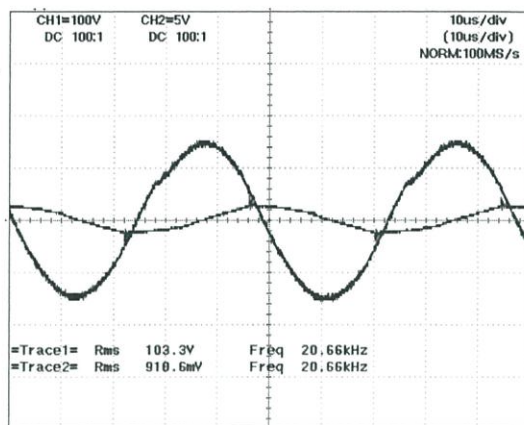
รูปที่ 4.12 สัญญาณขาออกจากวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 24 kHz



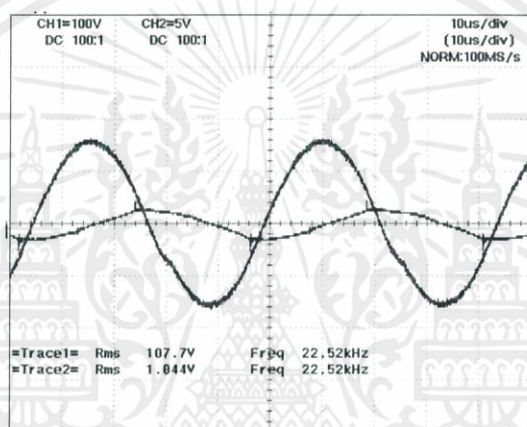
รูปที่ 4.13 สัญญาณขาออกจากวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 26 kHz

4.1.4 สัญญาณไฟฟ้าในส่วนของขาเข้าหม้อแปลงในแต่ละความถี่สวิตซ์ซิ่ง

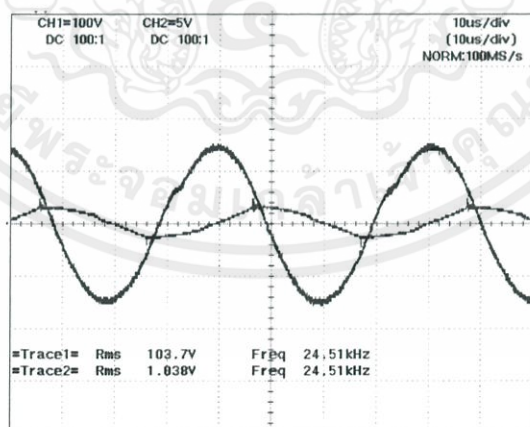
สัญญาณไฟฟ้าที่ด้านขาเข้าหม้อแปลง วัดรูปสัญญาณโดยใช้สาย Probe จับที่หม้อแปลงทางด้านขาเข้า เราจะได้สัญญาณแรงดันเป็นรูปไซน์เหมือนกันแตกต่างกันที่แรงดันของแต่ละความถี่ ในส่วนรูปสัญญาณของกระแสจะเป็นรูปไซน์ซิ่งในแต่ละความถี่จะมีค่าที่วัดได้ไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 4.14 ถึง รูปที่ 4.17



รูปที่ 4.14 สัญญาณขาเข้าหม้อแปลงความถี่สวิตซ์ซิ่ง 20 kHz

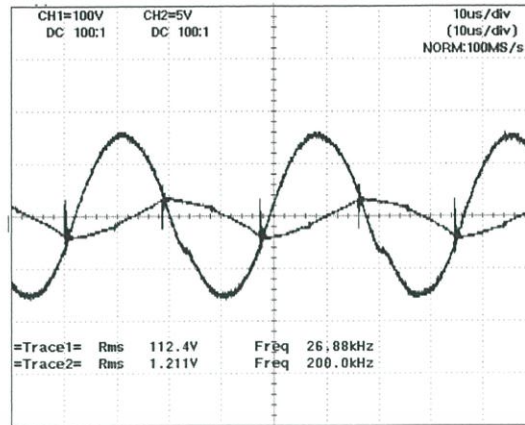


รูปที่ 4.15 สัญญาณขาเข้าหม้อแปลงความถี่สวิตซ์ซิ่ง 22 kHz



รูปที่ 4.16 สัญญาณขาเข้าหม้อแปลงความถี่สวิตซ์ซิ่ง 24 kHz

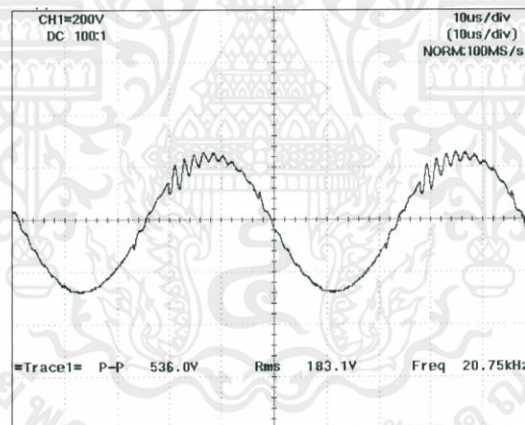
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



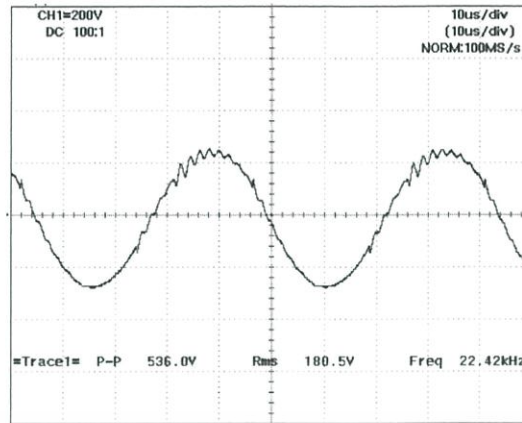
รูปที่ 4.17 สัญญาณขาเข้าหม้อแปลงความถี่สวิตซ์ซึ่ง 26 kHz

4.1.5 สัญญาณไฟฟ้าในส่วนของขาออกหม้อแปลงในแต่ละความถี่สวิตซ์ซึ่ง

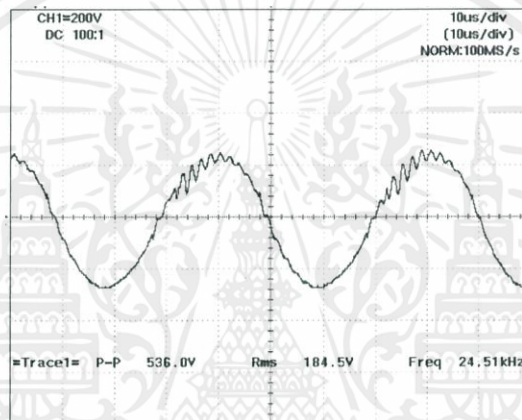
สัญญาณไฟฟ้าที่ด้านขาออกหม้อแปลง วัดรูปสัญญาณโดยใช้สาย Probe จับที่หม้อแปลงทางด้านขาออก เราจะได้สัญญาณแรงดันเป็นรูปไซน์ที่แรงดันของแต่ละความถี่เหมือนกันเนื่องจากเป็นโหลดเดียวกันทำให้ค่าแรงดันที่ corona discharge เหมือน ดังรูปที่ 4.18 ถึง รูปที่ 4.21



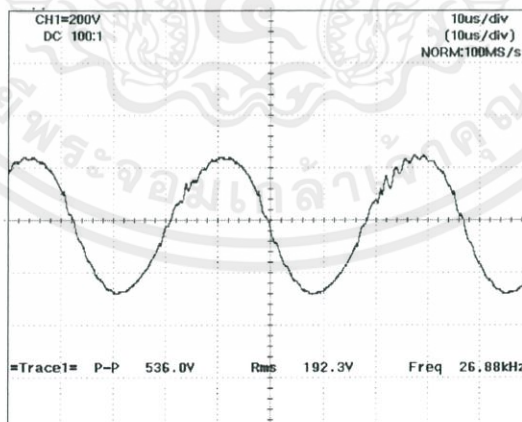
รูปที่ 4.18 สัญญาณขาออกหม้อแปลงความถี่สวิตซ์ซึ่ง 20 kHz



รูปที่ 4.19 สัญญาณขาออกหม้อแปลงความถี่สวิตซ์ซิ่ง 22 kHz



รูปที่ 4.20 สัญญาณขาออกหม้อแปลงความถี่สวิตซ์ซิ่ง 24 kHz

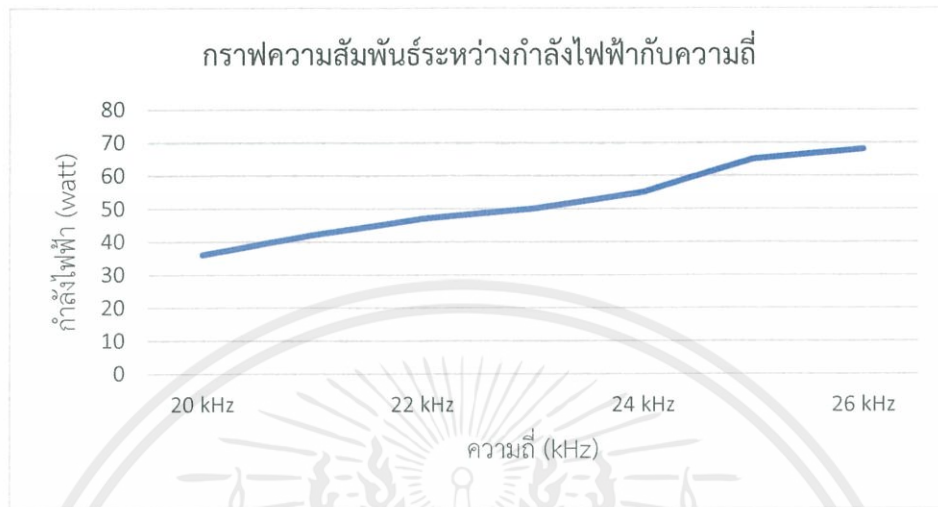


รูปที่ 4.21 สัญญาณขาออกหม้อแปลงความถี่สวิตซ์ซิ่ง 26 kHz

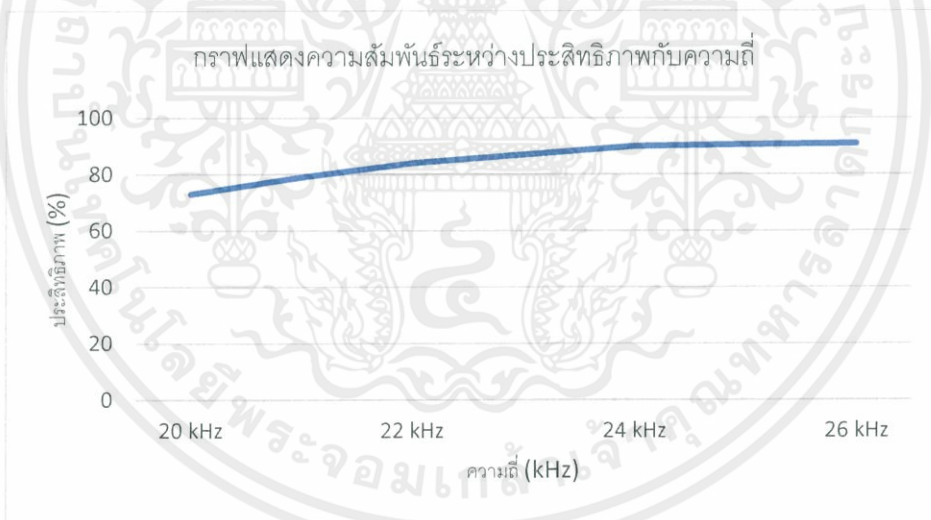
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลองทางไฟฟ้า

นำผลการทดลอง มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เอาต์พุตคอนเวอร์เตอร์กับความถี่ ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดโอโซนกับความถี่ ตามลำดับ



รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความถี่



รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับความถี่

4.2.1 สรุปผลการทดสอบทางไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.22 จะเห็นได้ว่าความถี่มีผลต่อกระแสและกำลังไฟฟ้า ในแต่ละความถี่เราจะเห็นว่าแรงดันในการเกิด corona discharge นั้นมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากเป็นโพลตเดียวกัน ส่วนในค่า

ของกระแสเมื่อเราเพิ่มความถี่กระแสก็เพิ่มขึ้นเรื่อยๆด้วย เช่นเดียวกับกำลังไฟฟ้าที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้น ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพมีค่าสูงมากขึ้นตามความถี่ด้วยเช่นกัน

4.3 การทดลองทางเคมีเพื่อวิเคราะห์ปริมาณไอโชน

เนื่องจากก๊าซไอโชนเป็นก๊าซที่เราไม่สามารถมองเห็นได้แต่จะมีกลิ่นคาวเราจึงไม่สามารถรู้ได้ว่าเราสามารถผลิตก๊าซไอโชนออกมาได้มากน้อยเพียงใดเราจึงต้องนำวิธีทางเคมีเข้ามาช่วยในการหาปริมาณไอโชนที่เราสามารถผลิตได้โดยวิธีการไตเตรท

4.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไอโชน

1. บิวเรตและขวดตั้ง 1 ชุด
2. บีเปตขนาด 100 ml 1 อัน
3. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml 4 อัน
4. บีกเกอร์ขนาด 100 ml 2 อัน
5. กระจกตวงขนาด 10 ml 1 อัน
6. กระจกตวงขนาด 100 ml 1 อัน
7. ลูกยาง 1 อัน
8. สารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ (20% KI)
9. สารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ความเข้มข้น 1 N H_2SO_4
10. สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) ความเข้มข้น 0.1 N $Na_2S_2O_3$
11. น้ำแป้ง (1% Starch)

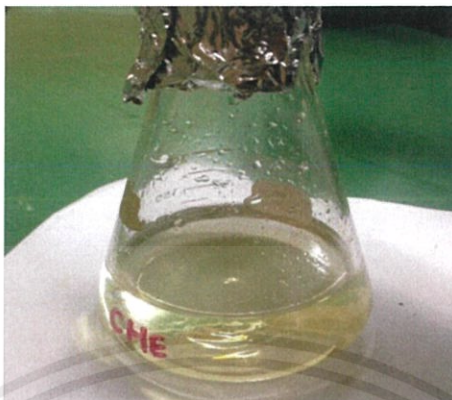
4.3.2 ขั้นตอนการเตรียมสารเคมีที่ต้องใช้ในการทดลอง

1. สารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ (20% KI) นำสารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ความเข้มข้น (220% KI) ผสมในน้ำกลั่นในปริมาณที่เราต้องการ เช่น ถ้าต้องการใช้สาร 100 ml ต้องใช้สารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ 20 กรัม ผสมในน้ำกลั่น 100 ml เป็นต้น
2. สารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ผสมสารละลายกรดซัลฟิวริกให้มีความเข้มข้น 1 N H_2SO_4
3. สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) ความเข้มข้น 0.1 N $Na_2S_2O_3$ ผสมสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) จำนวน 25 กรัม ในน้ำ 1 ลิตร ให้มีความเข้มข้น 0.1 N
4. น้ำแป้ง (1% Starch) ละลายน้ำแป้ง 1 กรัม ทำให้มีปริมาตร 100 ml

4.3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณไอโชนโดยวิธีทางเคมี

1. นำสารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ (20% KI) ที่เตรียมไว้มาตวงด้วยกระจกตวงที่ปริมาตร 100 ml จากนั้นเทใส่ขวดรูปชมพู่จำนวน 4 ขวด ขวดละ 100 ml จากนั้นนำสารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ที่ตวงไว้ไปอั่งไอโชนโดยการนำสายยางจากเครื่องสร้างไอโชนไปจุ่มลงใน

สารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ที่ได้เตรียมไว้เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นสารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ที่ไม่มีสีจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง



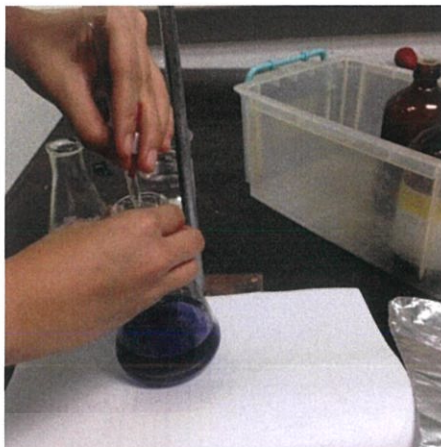
รูปที่ 4.24 สารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ที่อ็อกซิไดซ์แล้ว

2. นำสารที่ได้มาปรับค่า pH โดยการนำสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น $1\text{ N H}_2\text{SO}_4$ ปริมาณ 3 ml และน้ำแฉ่ง 1 ml เติมลงไปนสารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ที่อ็อกซิไดซ์แล้ว จากนั้นสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำเงินหรือดำ



รูปที่ 4.25 สารละลายที่เติมกรดซัลฟิวริกและน้ำแฉ่งแล้ว

3. นำสารละลายที่ได้เติมกรดซัลฟิวริกและน้ำแฉ่งแล้ว มาทำการไตเตรตโดยใช้สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) ความเข้มข้น $0.1\text{ N Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ เป็นตัวไตเตรต ทำการไตเตรตจนสารละลายที่เป็นสีดำจางหายไปจนกลายเป็นไม่มีสีเหมือนเดิม จากนั้นทำการบันทึกค่าของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) เพื่อใช้ในการคำนวณต่อไป



รูปที่ 4.26 การไตเตรทสารละลาย

4.3.4 การคำนวณหาปริมาณไอโชน

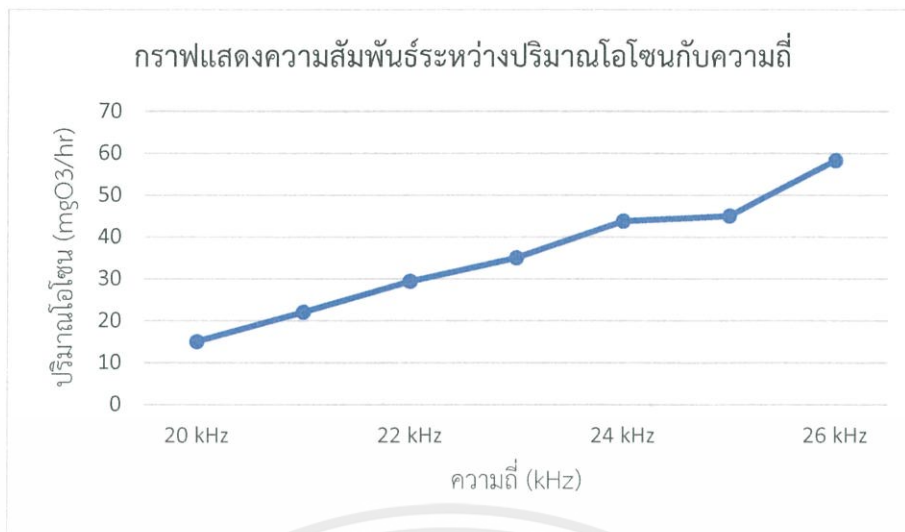
จากความสัมพันธ์ $0.1 \text{ N Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ $1 \text{ ml} = 2.4 \text{ mgO}_3/\text{h}$

ตัวอย่างการคำนวณ เช่น $0.1 \text{ N Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ในการไตเตรทได้ปริมาณ 0.4 ml และดูดซึ่มไอโชน 1 นาที คือ ปริมาณก๊าซไอโชนที่ผลิตได้ประมาณ $0.4 \times 2.4 \times 60 = 57.6 \text{ mgO}_3/\text{h}$

4.3.5 ผลการทดลองทางเคมีเพื่อหาปริมาณไอโชนในแต่ละความถี่

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลปริมาณไอโชนในแต่ละความถี่

ความถี่ (kHz)	ปริมาณไอโชน (mgO_3/h)
20	15.0
22	29.4
24	43.8
26	58.2



รูปที่ 4.27 กราฟเปรียบเทียบปริมาณโอโซน

4.4 การทดลองการกำจัดมอดในเมล็ดข้าว

โดยในการทดลองการกำจัดมอดในเมล็ดข้าวนี้เราได้ทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง แล้วนำผลการทดลองมาค่าเฉลี่ย โดยเราใช้ความเข้มข้นโอโซนที่ 58.2 mgO₃/hr ที่ความถี่อินเวอร์เตอร์ 26 kHz เนื่องจากที่ความเข้มข้นค่านี้สามารถกำจัดมอดได้ โดยได้ออกแบบการทดลองเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มแรก รมโอโซนที่ความเข้มข้น 58.2 mgO₃/hr เป็นเวลา 15 นาที กลุ่มสองรมโอโซนที่ความเข้มข้น 58.2 mgO₃/hr เป็นเวลา 30 นาที กลุ่มสามรมโอโซนที่ความเข้มข้น 58.2 mgO₃/hr เป็นเวลา 45 นาที และกลุ่มสี่รมโอโซนที่ความเข้มข้น 58.2 mgO₃/hr เป็นเวลา 60 นาที

ในการทดสอบการกำจัดมอดในเมล็ดข้าวสาร (ซึ่งแต่ละกลุ่มจะมีมอดอยู่ในเมล็ดข้าวอยู่ 50 ตัว) นำมาใส่ในกล่องบ่มโอโซนจากนั้นทำการเปิดเครื่องเพื่อผลิตโอโซนเพื่อนำไอออนที่ผลิตได้จากเครื่องปล่อยลงไปในกล่องบ่มเพื่อให้โอโซนทำการกำจัดมอด หลังจากนั้นสังเกตอัตราการตายของมอด โดยผลการทดลองทั้ง 3 ครั้งเป็นไปตามตารางที่ 4.2 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2 การเก็บผลการทดลอง

การทดลอง	จำนวนมอดที่ตาย (ตัว)			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
รมโอโซน 15 นาที	0	0	0	0
รมโอโซน 30 นาที	0	0	1	0.33
รมโอโซน 45 นาที	4	15	12	10.33
รมโอโซน 60 นาที	43	46	50	46.33

ซึ่งจากผลทดลองทั้ง 3 ครั้ง จากตาราง 4.2 ทำให้เราสามารถที่จะหาค่าเฉลี่ยของการกำจัดมอดได้ดังนี้ กรณีที่ 1 รมโอโซนในเมล็ดข้าวเป็นเวลา 15 นาที อัตราการตายของมอดคือ 0 กรณีที่ 2 รมโอโซนในเมล็ดข้าวเป็นเวลา 30 นาที อัตราการตายของมอดคือ 0.33 กรณีที่ 3 รมโอโซนในเมล็ดข้าวเป็นเวลา 45 นาที อัตราการตายของมอดคือ 10.33 และกรณีสุดท้าย รมโอโซนในเมล็ดข้าวเป็นเวลา 60 นาที อัตราการตายของมอดคือ 46.33

โดยสรุปจะเห็นได้ว่าในกรณี 1 กรณี 2 และกรณี 3 นั้นอัตราการตายของมอดนั้นแตกต่างกันไม่มาก ซึ่งอัตราการตายของมอดน้อยมาก ในขณะที่กรณีสุดท้าย รมโอโซนนาน 60 นาที ซึ่งทำให้อัตราการตายของมอดสูงถึง 46.33

4.5 สรุปผลการทดสอบ

ในส่วนของการทดสอบสัญญาณไฟฟ้าในส่วนต่างๆ สรุปผลได้ว่าเมื่อทำการเปลี่ยนความถี่กระแสและกำลังไฟฟ้าก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วยยิ่งความถี่สูงขึ้นกระแสและกำลังไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งทำให้ประสิทธิภาพมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่วนของการทดลองทางเคมีเพื่อวิเคราะห์ปริมาณโอโซนจากการทดลองทางเคมีจะเห็นได้ว่าเมื่อความถี่สูงขึ้นปริมาณโอโซนที่ได้ก็จะมากขึ้น และในส่วนของการทำงานของเครื่องจะเห็นได้ว่า โอโซนสามารถใช้งานในการรมเพื่อกำจัดมอดข้าวสารได้จริง

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุป

ในปัจจุบันไอโซนได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ ดังเช่น การฆ่าเชื้อ การเก็บรักษาอาหาร การกำจัดกลิ่น การบำบัดน้ำเสีย และการทำน้ำดื่ม ซึ่งการใช้ประโยชน์ของไอโซนนั้นได้แพร่หลายอย่างรวดเร็ว การพัฒนาระบบผลิตไอโซนจึงมีความสำคัญ

ปัจจุบันการผลิตไอโซนในภาคอุตสาหกรรมใช้หลักการดิสชาร์จทางไฟฟ้า โดยใช้กระบอกช้อนแกนร่วมโดยการให้ก๊าซ อากาศแห้ง หรือออกซิเจนไหลผ่านช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้า ด้านหนึ่งของช่องว่างทำหน้าที่เป็นกรวด และอีกด้านหนึ่งต่อกับขั้วไฟฟ้าแรงดันสูง แรงดันกระแสไฟฟ้าสลับระหว่างสองขั้ว ทำให้เกิดสนามไฟฟ้ากระแสสลับ สูงพอที่จะทำให้ออกซิเจนแตกตัว โดยใช้แหล่งจ่ายความถี่สูง เพื่อเพิ่มความหนาแน่นสนามไฟฟ้าที่ขั้วไฟฟ้า ส่งผลให้สามารถเพิ่มปริมาณไอโซนสำหรับพื้นที่ผิวจำกัด และวงจรแปรผันกำลังสวิตชิง เช่น หม้อแปลงความถี่สูง MOSFET สามารถเปลี่ยนรูปแบบสัญญาณขาออกและเพิ่มความถี่ระดับได้หลายระดับ

ในโครงการนี้จึงนำเสนอผลการศึกษาและประดิษฐ์เครื่องกำเนิดไอโซนแบบพูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ โดยป้อนสัญญาณ PWM เพื่อกำจัดมอดซ้ำ จากการทดลองเครื่องกำเนิดไอโซนที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นสามารถใช้งานได้จริง โดยใช้แรงดันขาออก 1.8kV ที่ความถี่อินเวอร์เตอร์ 26 kHz โดยใช้เวลาในการรวมไอโซนกับตัวมอด 60 นาที ผลปรากฏว่าสามารถกำจัดมอดได้ถึง 92% ของจำนวนมอดที่ปะปนอยู่ในซ้ำ โดยความคุมความถี่และแรงดันขาออกให้เป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้

ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองพบว่าควรมีระบบระบายความร้อนที่อิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากขั้วอิเล็กทรอนิกส์เกิดความร้อนสูง เมื่อหลอดร้อนเกินไปอาจทำให้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆเปลี่ยนไป และควรพัฒนาระบบคัดแยกมอดที่กำจัดได้ออกจากเมล็ดซ้ำ

เอกสารอ้างอิง

- [1] F. Laurence, "The Application of Ozone Technology for Public Health and Industry," *Food Safety & Security at Kansas State University*, pp.1-16.
- [2] B.K. Tiwari, C.S. Brennan, T. Curran, E. Gallagher, P.J Cullen, C.P. O' Donnell, "Application of ozone in grain processing", *Journal of Cereal Science*, 2010
- [3] อรุโณทัย ซาววา และ ชนะชัย พันธุ์เกษมสุข, "ผลของโอโซนต่ออายุการเก็บรักษาลินจี," *บทความวารสารเกษตร*, เล่มที่ 19, ฉบับที่ 1.2546.
- [4] อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ, *เอกสารประกอบการสอนวิชาการออกแบบตัวเหนียวนำและหม้อแปลง*, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2538
- [5] พรพิมล รัตนวิเชียร, "เครื่องผลิตก๊าซโอโซนพลังงานแสงอาทิตย์", *ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*, 2543.



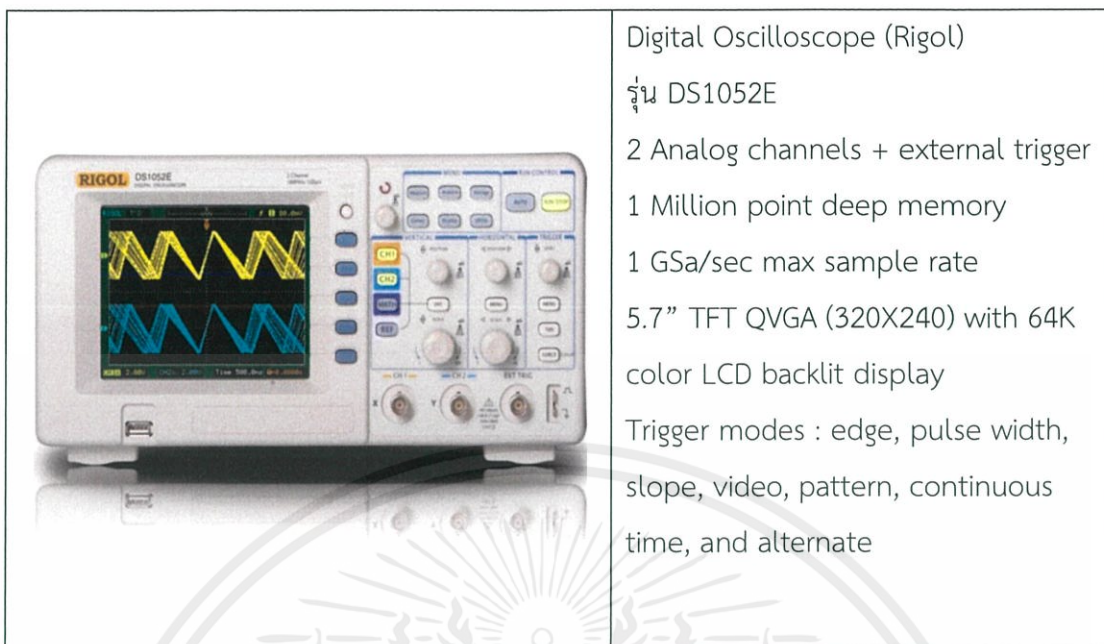


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลอุปกรณ์วัดค่า

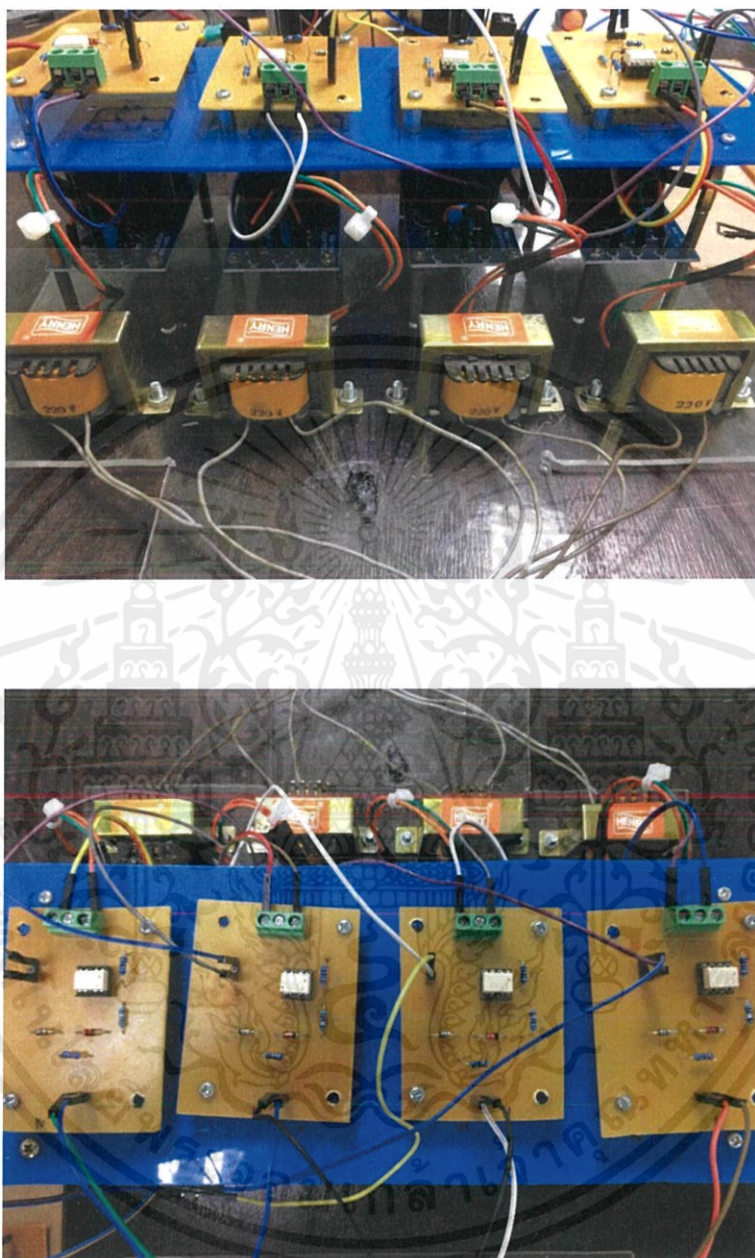


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

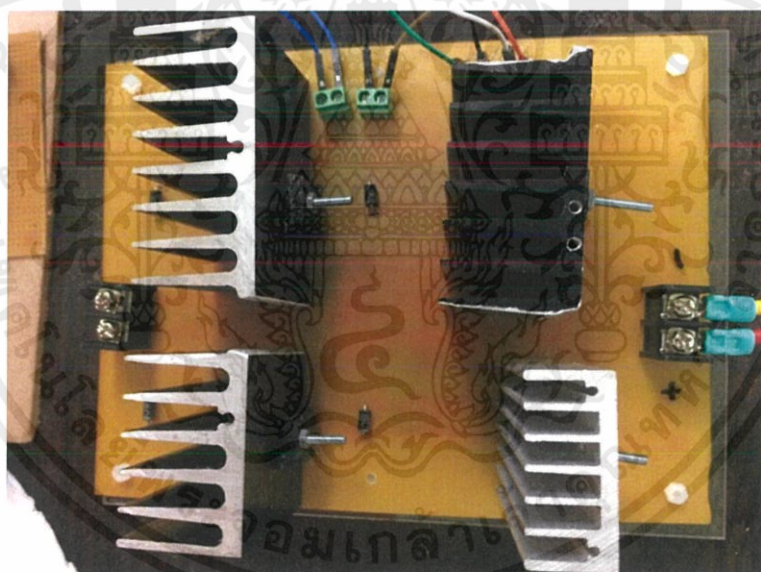
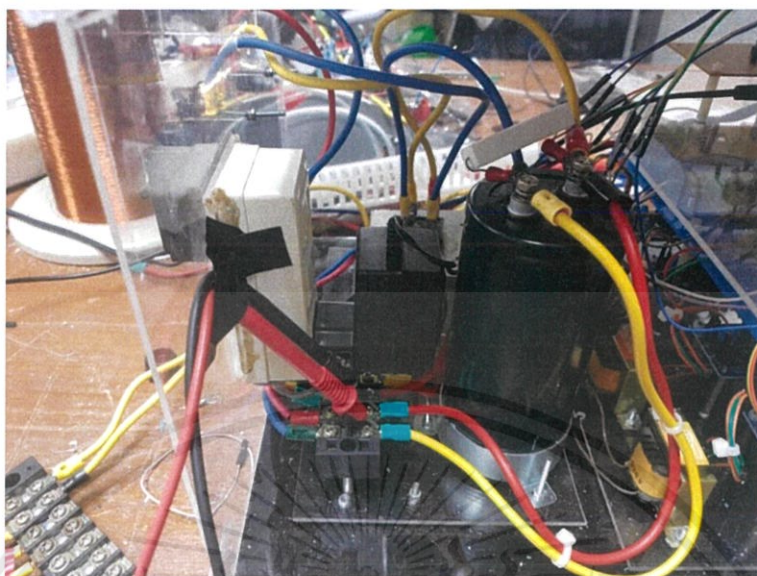


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

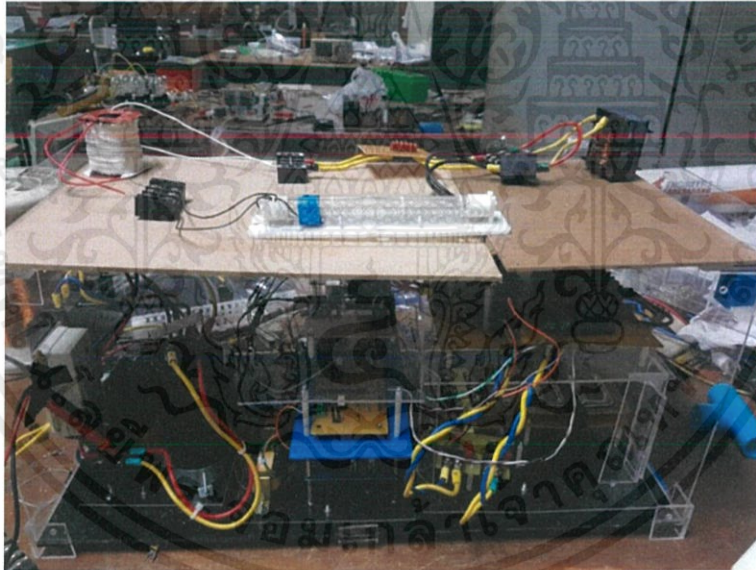
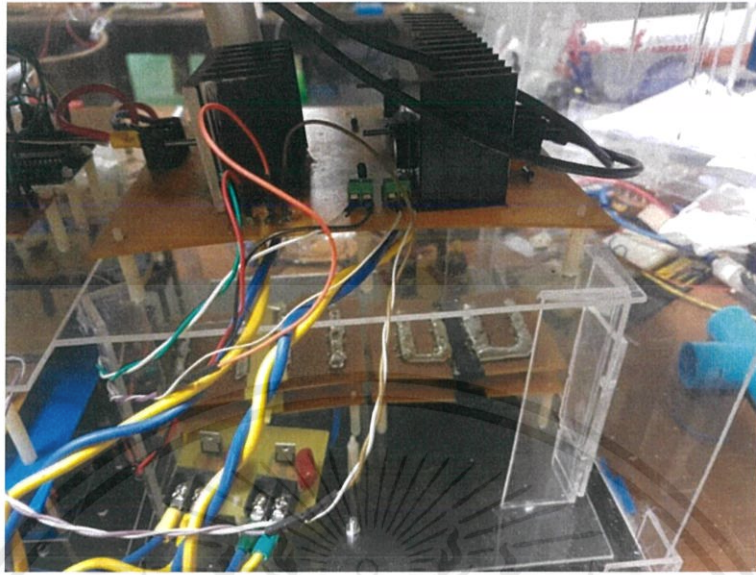
ภาพโครงการโดยรวมของงานวิจัย



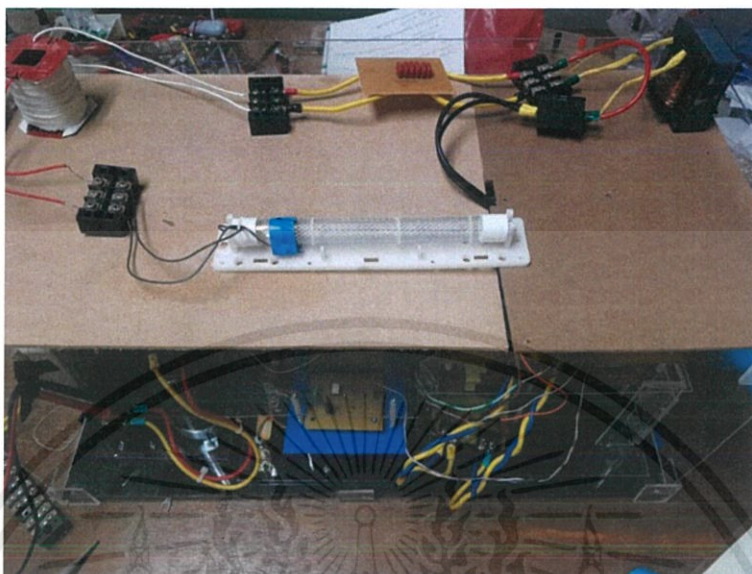
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

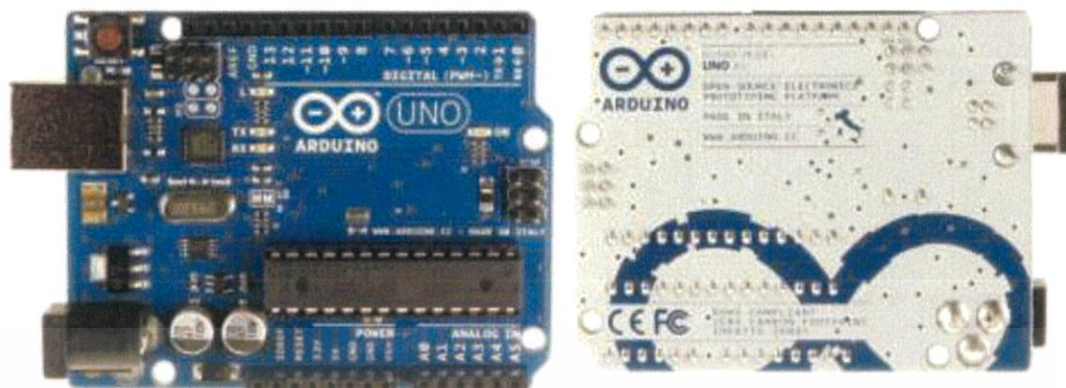


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



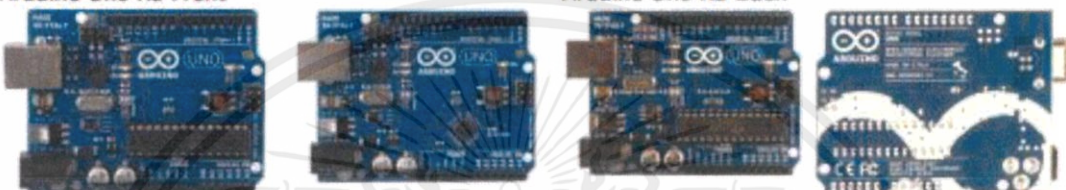
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Arduino Uno



Arduino Uno R3 Front

Arduino Uno R3 Back



Arduino Uno R2 Front

Arduino Uno SMD

Arduino Uno Front

Arduino Uno Back

Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 ([datasheet](#)). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz ceramic resonator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started.

The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega16U2 (Atmega8U2 up to version R2) programmed as a USB-to-serial converter.

[Revision 2](#) of the Uno board has a resistor pulling the 8U2 HWB line to ground, making it easier to put into [DFU mode](#).

[Revision 3](#) of the board has the following new features:

- 1.0 pinout: added SDA and SCL pins that are near to the AREF pin and two other new pins placed near to the RESET pin, the IOREF that allow the shields to adapt to the voltage provided from the board. In future, shields will be compatible both with the board that use the AVR, which operate with 5V and with the Arduino Due that operate with 3.3V. The second one is a not connected pin, that is reserved for future purposes.
- Stronger RESET circuit.
- Atmega 16U2 replace the 8U2.

"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the [index of Arduino boards](#).

Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

Schematic & Reference Design

EAGLE files: [arduino-uno-Rev3-reference-design.zip](#) (NOTE: works with Eagle 6.0 and newer)

Schematic: [arduino-uno-Rev3-schematic.pdf](#)

Note: The Arduino reference design can use an Atmega8, 168, or 328, Current models use an ATmega328, but an Atmega8 is shown in the schematic for reference. The pin configuration is identical on all three processors.

Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** This pin outputs a regulated 5V from the regulator on the board. The board can be supplied with power either from the DC power jack (7 - 12V), the USB connector (5V), or the VIN pin of the board (7-12V). Supplying voltage via the 5V or 3.3V pins bypasses the regulator, and can damage your board. We don't advise it.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The ATmega328 has 32 KB (with 0.5 KB used for the bootloader). It also has 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.

- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication using the [SPI library](#).
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

The Uno has 6 analog inputs, labeled A0 through A5, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **TWI: A4 or SDA pin and A5 or SCL pin.** Support TWI communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the [mapping between Arduino pins and ATmega328 ports](#). The mapping for the ATmega8, 168, and 328 is identical.

Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega16U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '16U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, [on Windows, a .inf file is required](#). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Uno's digital pins.

The ATmega328 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a [Wire library](#) to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. For SPI communication, use the [SPI library](#).

Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Uno" from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega328 on the Arduino Uno comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

The ATmega16U2 (or 8U2 in the rev1 and rev2 boards) firmware source code is available. The ATmega16U2/8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by:

- On Rev1 boards: connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2.
- On Rev2 or later boards: there is a resistor that pulling the 8U2/16U2 HWB line to ground, making it easier to put into DFU mode.

You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader). See [this user-contributed tutorial](#) for more information.

Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Uno is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2/16U2 is connected to the reset line of the ATmega328 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload. This setup has other implications. When the Uno is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Uno. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data. The Uno contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

USB Overcurrent Protection

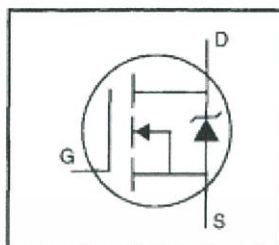
The Arduino Uno has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics

The maximum length and width of the Uno PCB are 2.7 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Four screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

HEXFET® Power MOSFET

- Dynamic dv/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Isolated Central Mounting Hole
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements



$$V_{DSS} = 500V$$

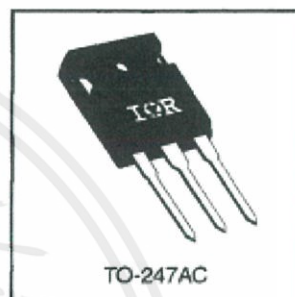
$$R_{DS(on)} = 0.27\Omega$$

$$I_D = 20A$$

Description

Third Generation HEXFETs from International Rectifier provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-247 package is preferred for commercial-industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220 devices. The TO-247 is similar but superior to the earlier TO-218 package because of its isolated mounting hole. It also provides greater creepage distance between pins to meet the requirements of most safety specifications.



TO-247AC

Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10 V$	20	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10 V$	13	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	80	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	280	W
	Linear Derating Factor	2.2	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ②	960	mJ
I_{AR}	Avalanche Current ①	20	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	28	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	3.5	V/ns
T_J T_{STG}	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to +150	°C
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting Torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf·in (1.1 N·m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	—	0.45	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	—	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	—	40	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP460

Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	500	—	—	V	$V_{GS}=0V, I_D=250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.63	—	V/ $^\circ\text{C}$	Reference to 25°C , $I_D=1mA$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.27	Ω	$V_{GS}=10V, I_D=12A$ ③
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS}=V_{GS}, I_D=250\mu A$
g_{fs}	Forward Transconductance	13	—	—	S	$V_{DS}=50V, I_D=12A$ ④
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS}=500V, V_{GS}=0V$
		—	—	250		$V_{DS}=400V, V_{GS}=0V, T_J=125^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS}=20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS}=-20V$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	210	nC	$I_D=20A$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	29		$V_{DS}=400V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	110		$V_{GS}=10V$ See Fig. 6 and 13 ④
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	18	—	ns	$V_{DD}=250V$
t_r	Rise Time	—	59	—		$I_D=20A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	110	—		$R_G=4.3\Omega$
t_f	Fall Time	—	58	—		$R_D=13\Omega$ See Figure 10 ④
L_D	Internal Drain Inductance	—	5.0	—	nH	Between lead, 6 mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	13	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	4200	—	pF	$V_{GS}=0V$
C_{oss}	Output Capacitance	—	870	—		$V_{DS}=25V$
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	350	—		$f=1.0MHz$ See Figure 5

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	20	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	80		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.8	V	$T_J=25^\circ\text{C}, I_S=20A, V_{GS}=0V$ ④
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	570	860	ns	$T_J=25^\circ\text{C}, I_F=20A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	5.7	8.6	μC	$di/dt=100A/\mu s$ ④
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S+L_D)				

Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature (See Figure 11)
- ② $V_{DD}=50V$, starting $T_J=25^\circ\text{C}$, $L=4.3mH$, $R_G=25\Omega$, $I_{AS}=20A$ (See Figure 12)
- ③ $I_{SD}\leq 20A$, $di/dt\leq 160A/\mu s$, $V_{DS}\leq V_{(BR)DSS}$, $T_J\leq 150^\circ\text{C}$
- ④ Pulse width $\leq 300\mu s$; duty cycle $\leq 2\%$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

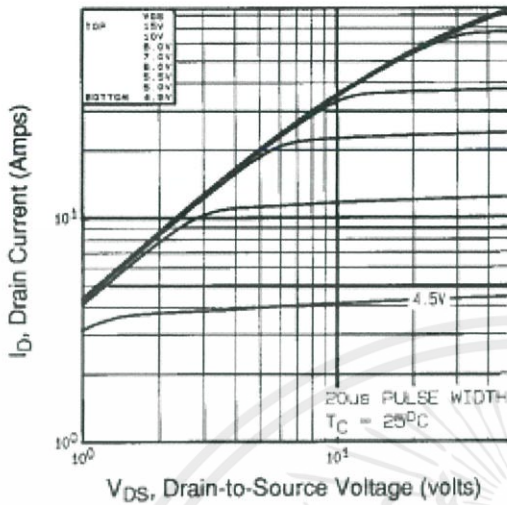


Fig 1. Typical Output Characteristics,
 $T_C=25^\circ\text{C}$

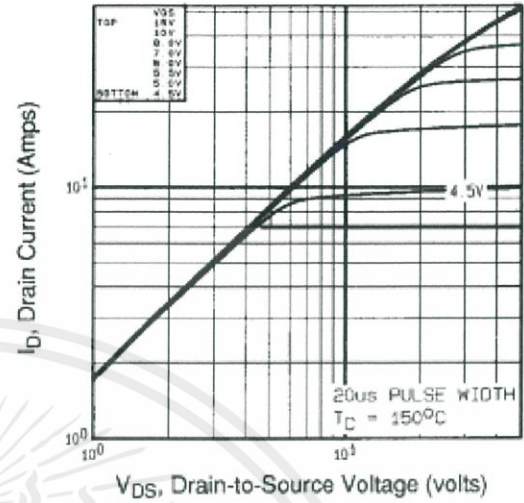


Fig 2. Typical Output Characteristics,
 $T_C=150^\circ\text{C}$

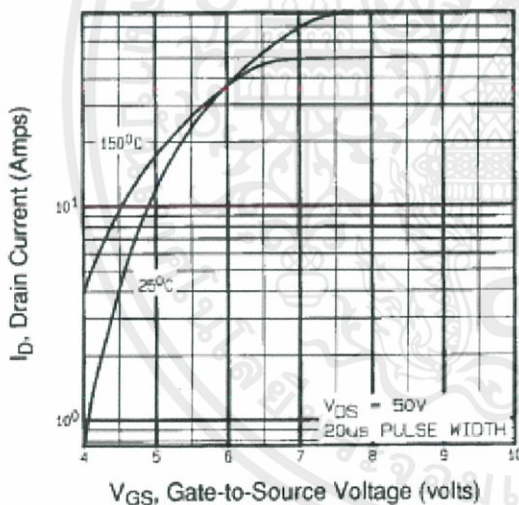


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

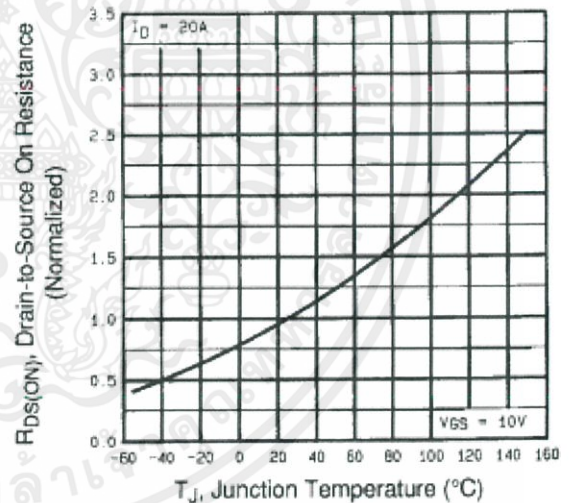


Fig 4. Normalized On-Resistance
Vs. Temperature

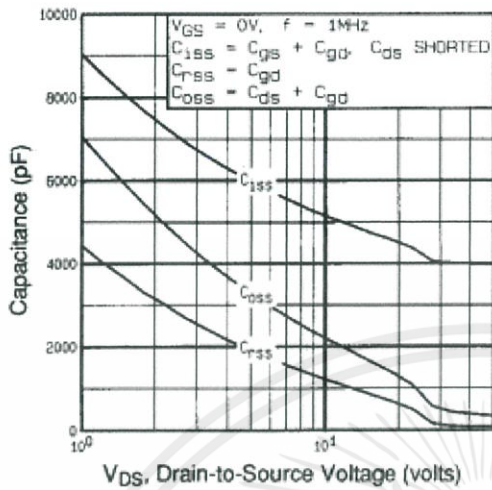


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

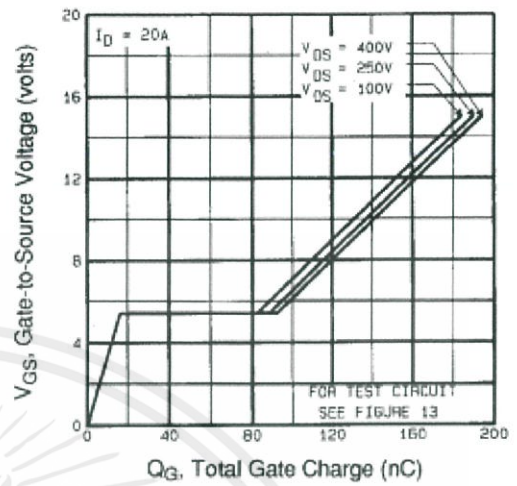


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

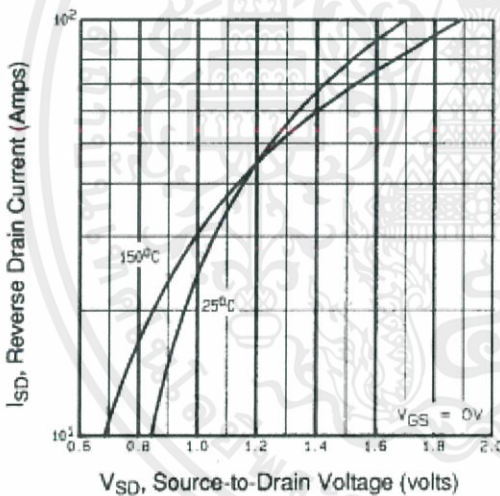


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

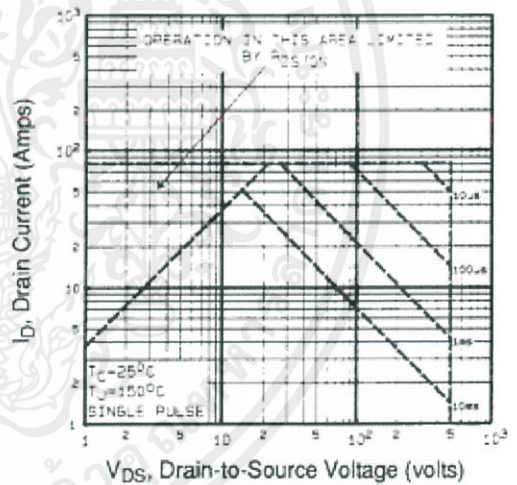


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

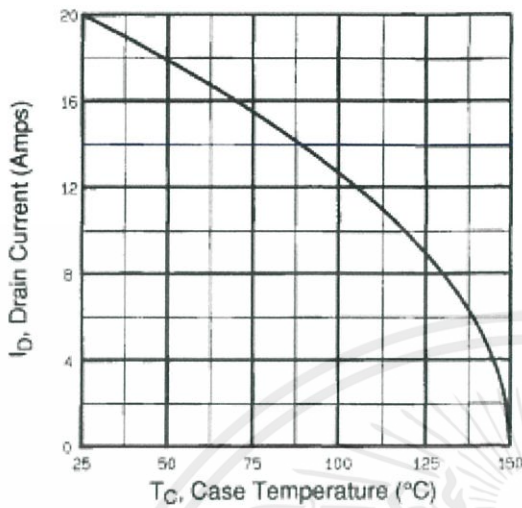


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

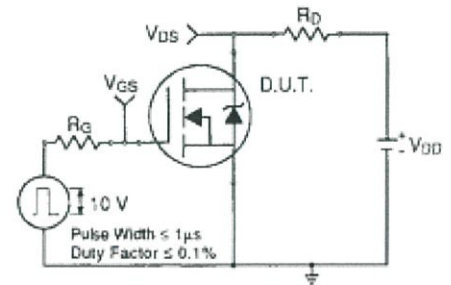


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

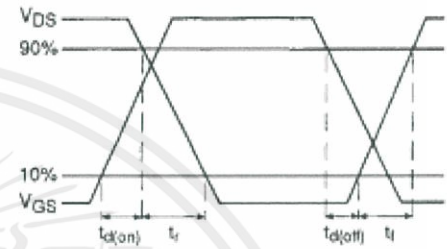


Fig 10b. Switching Time Waveforms

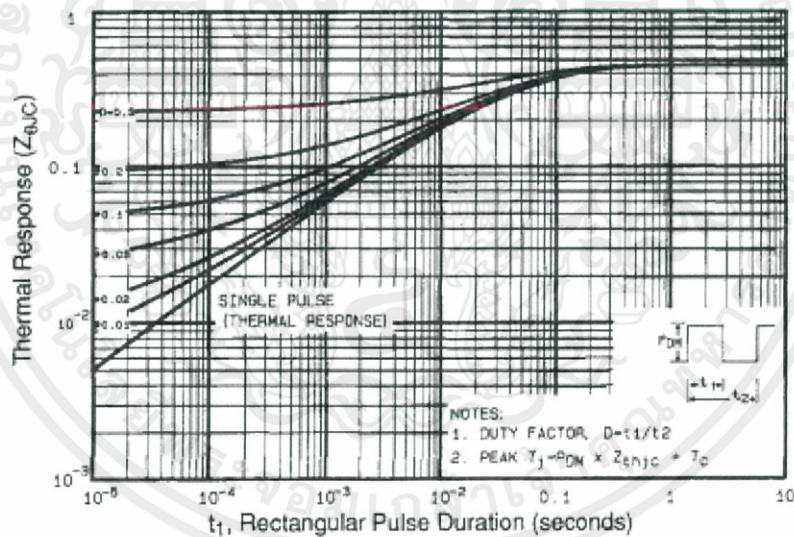


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

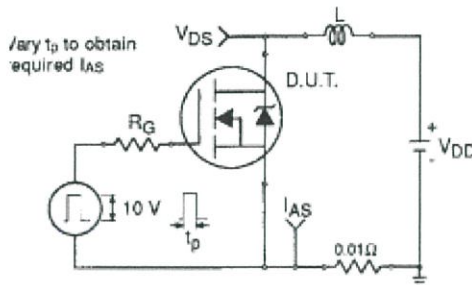


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

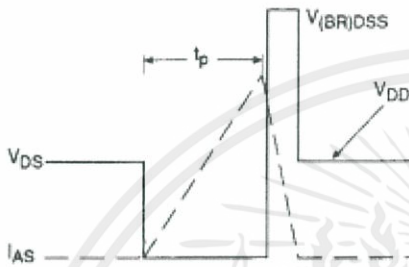


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

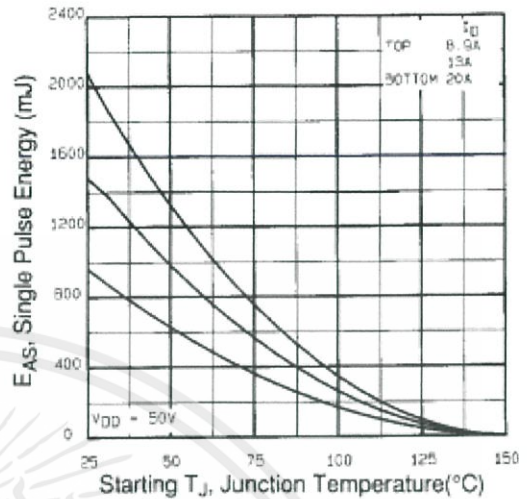


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

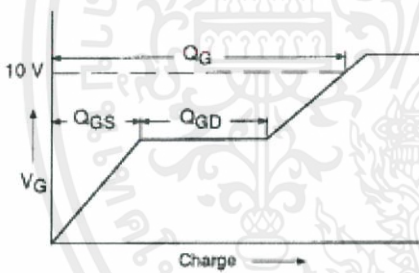


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

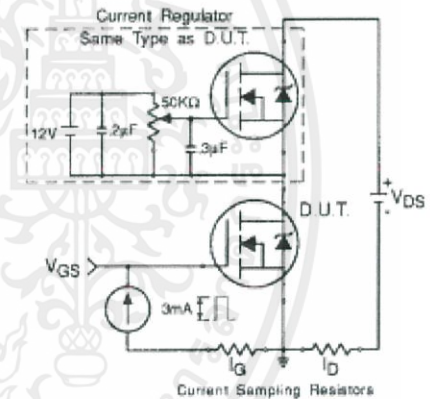


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

Appendix A: Figure 14, Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit – See page 1505

Appendix B: Package Outline Mechanical Drawing – See page 1511

Appendix C: Part Marking Information – See page 1517

TLP250

Transistor Inverter

Inverter For Air Conditioner

IGBT Gate Drive

Power MOS FET Gate Drive

The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.

This unit is 8-lead DIP package.

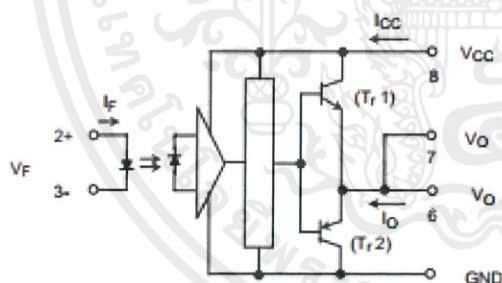
TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- Input threshold current: $I_F=5\text{mA}(\text{max.})$
- Supply current (I_{CC}): $11\text{mA}(\text{max.})$
- Supply voltage (V_{CC}): $10\text{--}35\text{V}$
- Output current (I_O): $\pm 1.5\text{A}(\text{max.})$
- Switching time (t_{pLH}/t_{pHL}): $1.5\mu\text{s}(\text{max.})$
- Isolation voltage: $2500\text{V}_{\text{rms}}(\text{min.})$
- UL recognized: UL1577, file No.E67349
- Option (D4) type
 - VDE approved: DIN VDE0884/06.92, certificate No.76823
 - Maximum operating insulation voltage: 630V_{PK}
 - Highest permissible over voltage: 4000V_{PK}

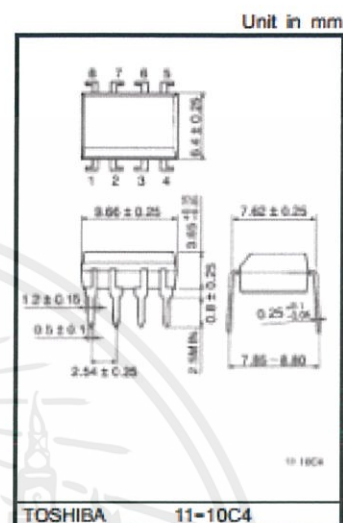
(Note) When a VDE0884 approved type is needed, please designate the "option (D4)"

- Creepage distance: $6.4\text{mm}(\text{min.})$
- Clearance: $6.4\text{mm}(\text{min.})$

Schematic

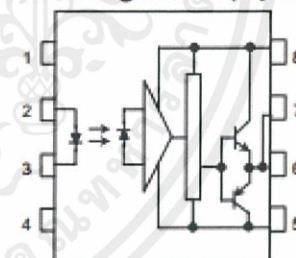


A $0.1\mu\text{F}$ bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5 (See Note 5).



Weight: 0.54 g

Pin Configuration (top view)



- 1 : N.C.
- 2 : Anode
- 3 : Cathode
- 4 : N.C.
- 5 : GND
- 6 : V_O (Output)
- 7 : V_O
- 8 : V_{CC}

Truth Table

	Tr1	Tr2
Input LED On	On	Off
Input LED Off	Off	On

Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Characteristic		Symbol	Rating	Unit	
LED	Forward current	I_F	20	mA	
	Forward current derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta I_F / \Delta T_a$	-0.36	mA / °C	
	Peak transient forward current (Note 1)	I_{FPT}	1	A	
	Reverse voltage	V_R	5	V	
	Junction temperature	T_J	125	°C	
Detector	"H" peak output current ($P_W \leq 2.5\mu s, f \leq 15kHz$) (Note 2)	I_{OPH}	-1.5	A	
	"L" peak output current ($P_W \leq 2.5\mu s, f \leq 15kHz$) (Note 2)	I_{OPL}	+1.5	A	
	Output voltage	(Ta ≤ 70°C)	V_O	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Supply voltage	(Ta ≤ 70°C)	V_{CC}	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)		$\Delta V_O / \Delta T_a$	-0.73	V / °C
	Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)		$\Delta V_{CC} / \Delta T_a$	-0.73	V / °C
	Junction temperature		T_J	125	°C
	Operating frequency (Note 3)		f	25	kHz
Operating temperature range		T_{opr}	-20-85	°C	
Storage temperature range		T_{stg}	-55-125	°C	
Lead soldering temperature (10 s) (Note 4)		T_{sol}	260	°C	
Isolation voltage (AC, 1 min., R.H. ≤ 60%) (Note 5)		BV_S	2500	Vrms	

Note 1: Pulse width $P_W \leq 1\mu s$, 300pps

Note 2: Exponential waveform

Note 3: Exponential waveform, $I_{OPH} \leq -1.0A$ ($\leq 2.5\mu s$), $I_{OPL} \leq +1.0A$ ($\leq 2.5\mu s$)

Note 4: It is 2 mm or more from a lead root.

Note 5: Device considered a two terminal device: Pins 1, 2, 3 and 4 shorted together, and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.

Note 6: A ceramic capacitor(0.1μF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching property. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

Recommended Operating Conditions

Characteristic	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Input current, on (Note 7)	$I_{F(ON)}$	7	8	10	mA	
Input voltage, off	$V_{F(OFF)}$	0	—	0.8	V	
Supply voltage	V_{CC}	15	—	30	20	V
Peak output current	I_{OPH}/I_{OPL}	—	—	±0.5	A	
Operating temperature	T_{opr}	-20	25	70	85	°C

Note 7: Input signal rise time (fall time) < 0.5 μs.

Electrical Characteristics (Ta = -20~70°C, unless otherwise specified)

Characteristic		Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Input forward voltage		V _F	—	I _F = 10 mA, Ta = 25°C		1.6	1.8	V
Temperature coefficient of forward voltage		ΔV _F / ΔTa	—	I _F = 10 mA	—	-2.0	—	mV / °C
Input reverse current		I _R	—	V _R = 5V, Ta = 25°C		—	10	μA
Input capacitance		C _T	—	V = 0, f = 1MHz, Ta = 25°C	—	45	250	pF
Output current	*H* level	I _{OPH}	3	V _{CC} = 30V (*1) I _F = 10 mA V _{B-S} = 4V	-0.5	-1.5	—	A
	L level	I _{OPL}	2		I _F = 0 V _{B-S} = 2.5V	0.5	2	
Output voltage	*H* level	V _{OH}	4	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, I _F = 5mA	11	12.8	—	V
	L level	V _{OL}	5	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, V _F = 0.8V	—	-14.2	-12.5	
Supply current	*H* level	I _{OCH}	—	V _{CC} = 30V, I _F = 10mA Ta = 25°C	—	7	—	mA
				V _{CC} = 30V, I _F = 10mA	—	—	11	
	L level	I _{OCL}	—	V _{CC} = 30V, I _F = 0mA Ta = 25°C	—	7.5	—	
				V _{CC} = 30V, I _F = 0mA	—	—	11	
Threshold input current	*Output L→H*	I _{FLH}	—	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, V _O > 0V	—	1.2	5	mA
Threshold input voltage	*Output H→L*	I _{FHL}	—	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, V _O < 0V	0.8	—	—	V
Supply voltage		V _{CC}	—		10	—	35	V
Capacitance (input-output)		C _S	—	V _S = 0, f = 1MHz Ta = 25°C	—	1.0	2.0	pF
Resistance(input-output)		R _S	—	V _S = 500V, Ta = 25°C R.H.S 60%	1×10 ¹²	10 ¹⁴	—	Ω

* All typical values are at Ta = 25°C (*1): Duration of I_O time ≤ 50μs

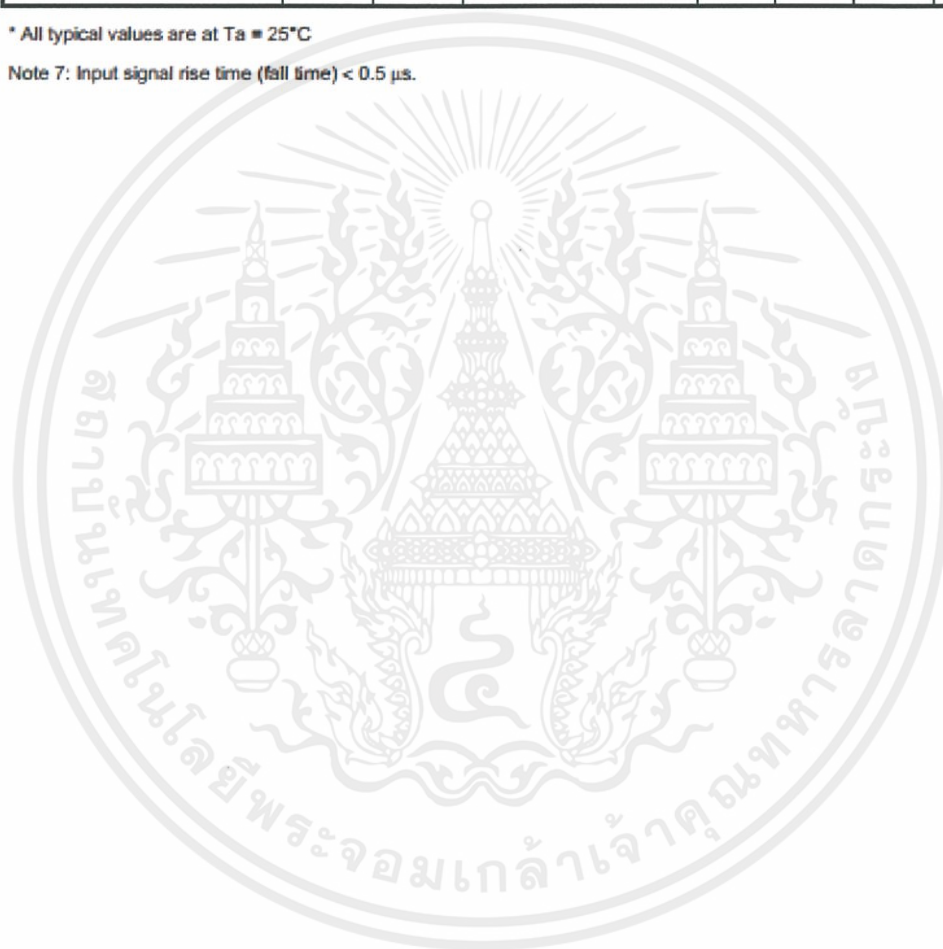
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Switching Characteristics ($T_a = -20\sim 70^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)

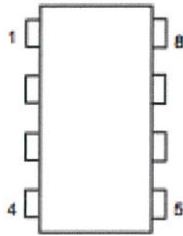
Characteristic	Symbol	Test Cir- out	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Propagation delay time	L→H	t_{PLH}	$I_F = 8\text{mA}$ (Note 7) $V_{CC1} = +15\text{V}$, $V_{EE1} = -15\text{V}$ $R_L = 200\Omega$	—	0.15	0.5	μs
	H→L	t_{PHL}		—	0.15	0.5	
Output rise time	t_r			—	—	—	
Output fall time	t_f			—	—	—	
Common mode transient immunity at high level output	C_{MH}	7	$V_{CM} = 600\text{V}$, $I_F = 8\text{mA}$ $V_{CC} = 30\text{V}$, $T_a = 25^\circ\text{C}$	-5000	—	—	V / μs
Common mode transient immunity at low level output	C_{ML}	7	$V_{CM} = 600\text{V}$, $I_F = 0\text{mA}$ $V_{CC} = 30\text{V}$, $T_a = 25^\circ\text{C}$	5000	—	—	V / μs

* All typical values are at $T_a = 25^\circ\text{C}$

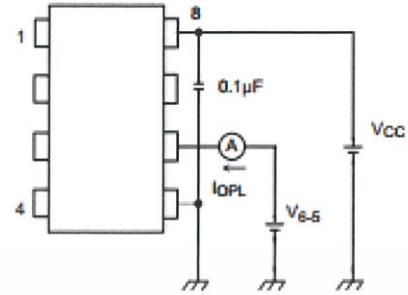
Note 7: Input signal rise time (fall time) < 0.5 μs .



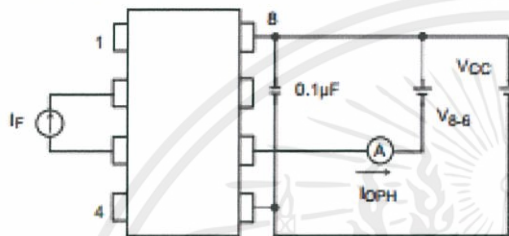
Test Circuit 1 :



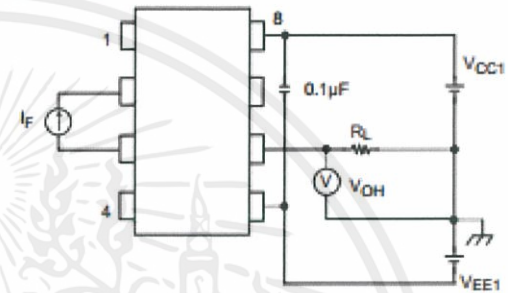
Test Circuit 2 : IOPL



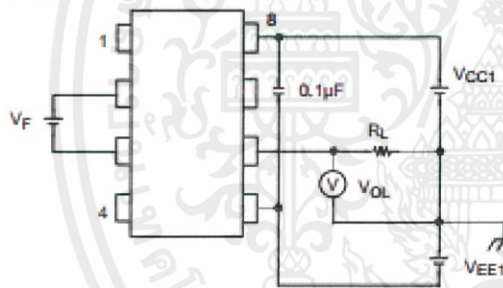
Test Circuit 3 : IOPH



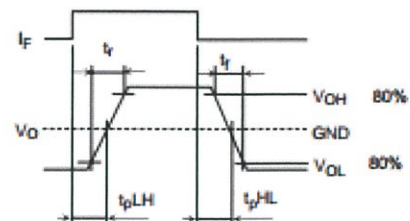
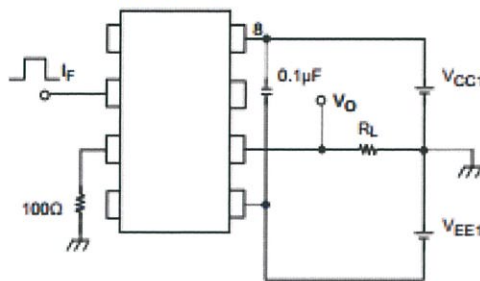
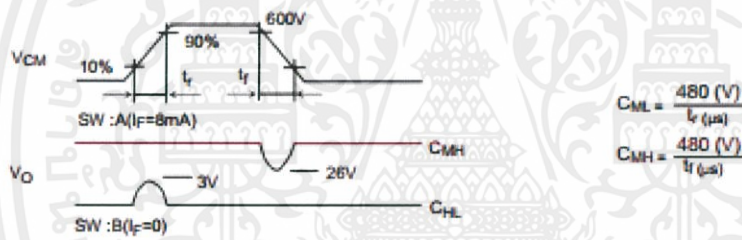
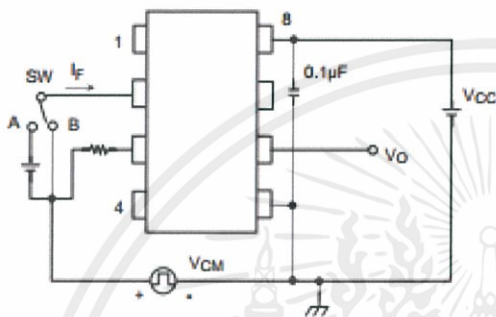
Test Circuit 4 : VOH



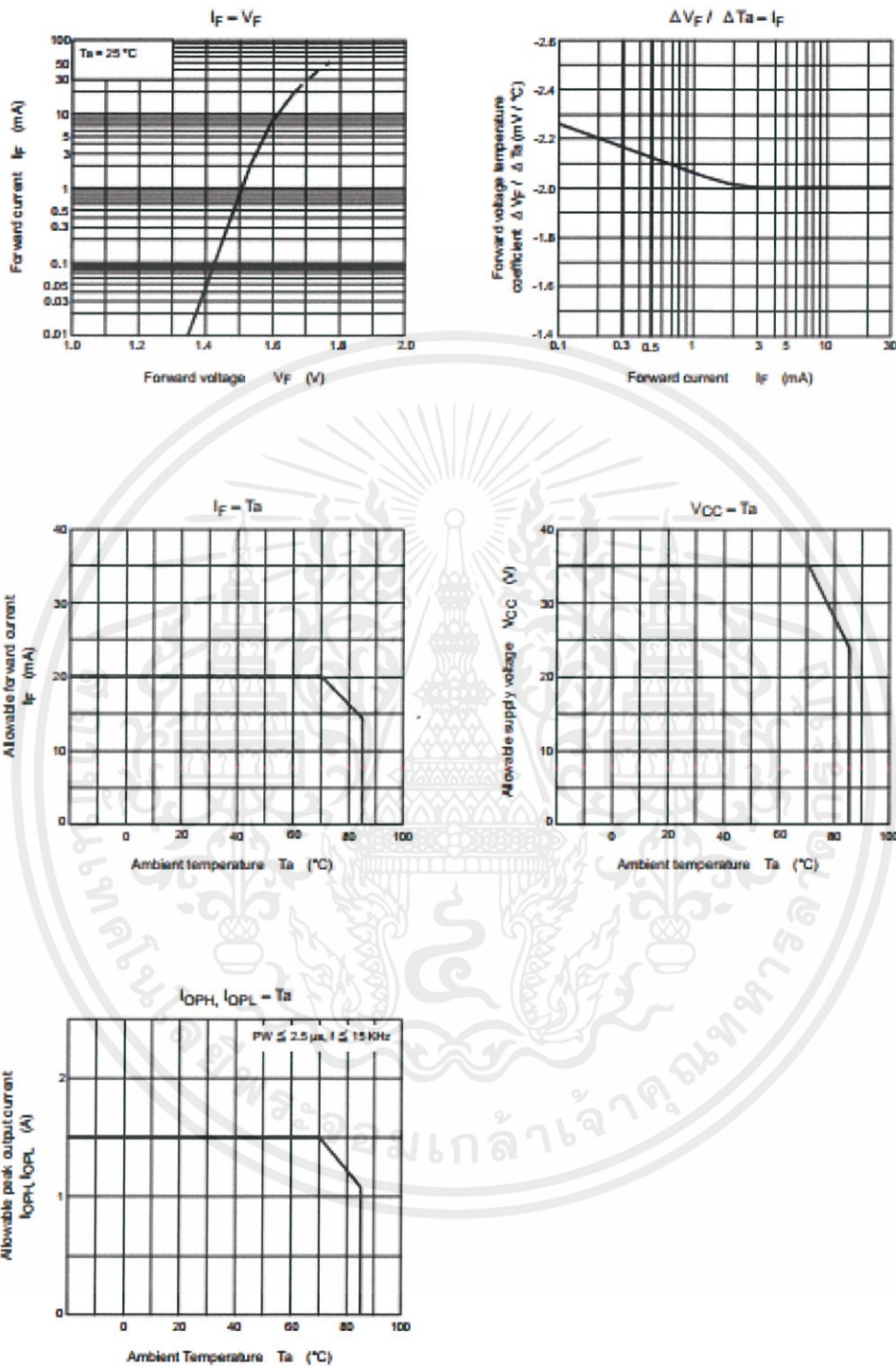
Test Circuit 5 : VOL



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test Circuit 6: t_{pLH} , t_{pHL} , t_r Test Circuit 7: C_{MH} , C_{ML} 

$C_{ML}(C_{MH})$ is the maximum rate of rise (fall) of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the low (high) state.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RESTRICTIONS ON PRODUCT USE

- The information contained herein is subject to change without notice.
- The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA for any infringements of patents or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of TOSHIBA or others.
- TOSHIBA is continually working to improve the quality and reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to comply with the standards of safety in making a safe design for the entire system, and to avoid situations in which a malfunction or failure of such TOSHIBA products could cause loss of human life, bodily injury or damage to property.
In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent TOSHIBA products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the "Handling Guide for Semiconductor Devices," or "TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook" etc..
- The TOSHIBA products listed in this document are intended for usage in general electronics applications (computer, personal equipment, office equipment, measuring equipment, industrial robotics, domestic appliances, etc.). These TOSHIBA products are neither intended nor warranted for usage in equipment that requires extraordinarily high quality and/or reliability or a malfunction or failure of which may cause loss of human life or bodily injury ("Unintended Usage"). Unintended Usage include atomic energy control instruments, airplane or spaceship instruments, transportation instruments, traffic signal instruments, combustion control instruments, medical instruments, all types of safety devices, etc.. Unintended Usage of TOSHIBA products listed in this document shall be made at the customer's own risk.
- The products described in this document are subject to the foreign exchange and foreign trade laws.
- TOSHIBA products should not be embedded to the downstream products which are prohibited to be produced and sold, under any law and regulations.
- GaAs(Gallium Arsenide) is used in this product. The dust or vapor is harmful to the human body. Do not break, cut, crush or dissolve chemically.

1W 5% DO-41 ZENER DIODE

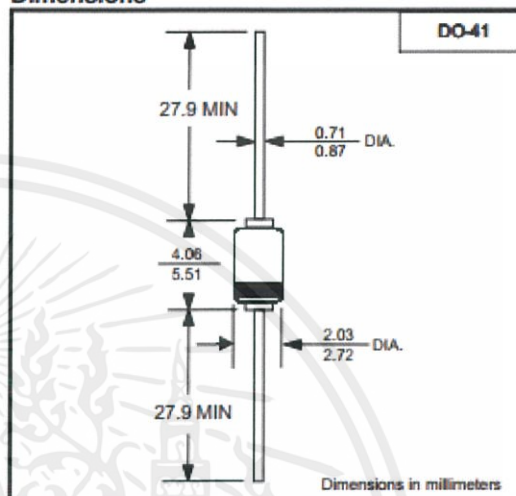
Absolute Maximum Ratings (Ta=25°C)

Items	Symbol	Ratings	Unit
Power Dissipation	P_{TOT}	1.0	W
Power Derating (above 50 °C)		6.67	mW/°C
Forward Voltage @ $I_f = 200$ mA	V_f	1.5	V
Vz Tolerance		5	%
Junction Temp.	T_j	-65 to 175	°C
Storage Temp.	T_{STG}	-65 to 175	°C

Mechanical Data

Items	Materials
Package	DO-41
Case	Hermetically sealed glass
Lead/Finish	Double stud/Solder Plating
Chip	Glass Passivated

Dimensions



Electrical Characteristics (Ta=25°C)

TYPE	ZENER VOLTAGE		MAX ZENER IMPEDANCE		MAX ZENER IMPEDANCE		MAXIMUM REVERSE CURRENT		TEMP. COEFF.
	V_z (V)	@ I_z (mA)	R_z (ohms)	@ I_z (mA)	R_z (ohms)	@ I_z (mA)	@ V_R (V)	I_R (μA)	dv_z (%/°C)
1N4728A	3.3	76	10.0	76	400	1.0	1.0	100	-0.06
1N4729A	3.6	69	10.0	69	400	1.0	1.0	100	-0.06
1N4730A	3.9	64	9.0	64	400	1.0	1.0	50	-0.05
1N4731A	4.3	58	9.0	58	400	1.0	1.0	10	-0.03
1N4732A	4.7	53	8.0	53	500	1.0	1.0	10	-0.01
1N4733A	5.1	49	7.0	49	550	1.0	1.0	10	0.01
1N4734A	5.6	45	5.0	45	600	1.0	2.0	10	0.03
1N4735A	6.2	41	2.0	41	700	1.0	3.0	10	0.04
1N4736A	6.8	37	3.5	37	700	1.0	4.0	10	0.05
1N4737A	7.5	34	4.0	34	700	0.5	5.0	10	0.05
1N4738A	8.2	31	4.5	31	700	0.5	6.0	10	0.06
1N4739A	9.1	28	5.0	28	700	0.5	7.0	10	0.06
1N4740A	10.0	25	7.0	25	700	0.25	7.6	10	0.07

Electrical Characteristics (Ta=25°C)

TYPE	ZENER VOLTAGE		MAX ZENER IMPEDANCE		MAX ZENER IMPEDANCE Iz = 0.25mA	MAXIMUM REVERSE CURRENT		TEMP. COEFF.
	Vz(V)	@Iz(mA)	Rz (ohms)	@Iz(mA)	Rz (ohms)	@VR (V)	IR (µA)	dvz (%/°C)
1N4741A	11	23	8	23	700	8.4	5.0	0.07
1N4742A	12	21	9	21	700	9.1	5.0	0.07
1N4743A	13	19	10	19	700	9.9	5.0	0.07
1N4744A	15	17	14	17	700	11.4	5.0	0.08
1N4745A	16	15.5	16	15.5	700	12.2	5.0	0.08
1N4746A	18	14	20	14	750	13.7	5.0	0.08
1N4747A	20	12.5	22	12.5	750	15.2	5.0	0.08
1N4748A	22	11.5	23	11.5	750	16.7	5.0	0.08
1N4749A	24	10.5	25	10.5	750	18.2	5.0	0.08
1N4750A	27	9.5	35	9.5	750	20.6	5.0	0.09
1N4751A	30	8.5	40	8.5	1000	22.6	5.0	0.09
1N4752A	33	7.5	45	7.5	1000	25.1	5.0	0.09
1N4753A	36	7.0	50	7.0	1000	27.4	5.0	0.09
1N4754A	39	6.5	60	6.5	1000	29.7	5.0	0.09
1N4755A	43	6.0	70	6.0	1500	32.7	5.0	0.09
1N4756A	47	5.5	80	5.5	1500	35.8	5.0	0.09
1N4757A	51	5.0	95	5.0	1500	38.8	5.0	0.09

Notes:

1. Rectangular waveform (tr= 10 ms)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งกำเนิดโอโซนแบบฟูลบริดจ์เพื่อกำจัดมอดข้าว

A FULL-BRIDGE OZONE GENERATOR FOR GRAIN WEEVIL'S ELIMINATION

นายกุลภัทร รักษกุล นายกิตตินันท์ เทียงทัศน์ และ นางสาวพรสุดา โคชมภู

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย จลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-mail:pomsuda0814@gmail.com

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอเครื่องผลิตโอโซนโดยการใช้อินเวอร์เตอร์ฟูลบริดจ์ที่ความถี่สูงสำหรับนำมาใช้กำจัดมอดข้าว โดยมีการใช้สัญญาณแบบพีดีเอ็มแบบเลื่อนเฟสในการควบคุมวงจรและสามารถปรับกำลังไฟฟ้าขาออกของอินเวอร์เตอร์ได้ ความเข้มข้นของโอโซนนั้นจะถูกควบคุมโดยการปรับค่าความถี่ของเครื่องอินเวอร์เตอร์ เพื่อพิสูจน์สมมติฐานที่ว่าโอโซนสามารถกำจัดมอดข้าวได้ โดยใช้ความเข้มข้นของโอโซนที่ 8.5 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร รมเมล็ดข้าวในพื้นที่ปิด โดยการทดลองนี้รมโอโซนเป็นเวลา 3 วัน จะทำให้สามารถกำจัดมอดข้าวได้ดีและมีประสิทธิภาพมากกว่าในกรณีเวลาอื่นๆ

คำสำคัญ: อินเวอร์เตอร์ฟูลบริดจ์, โอโซน, หม้อแปลงความถี่สูง

Abstract

This project presents high-frequency full-bridge inverter ozone generator for rice weevils elimination by using phase-shifted PWM controller to control the output power of inverter. The ozone concentration is controlled by inverter frequency. To prove the hypothesis that ozone can eliminate rice weevils by the ozone fumigation of the rice at 8.5 grams per cubic meter in closed area for 3 days that will be the most efficiency case

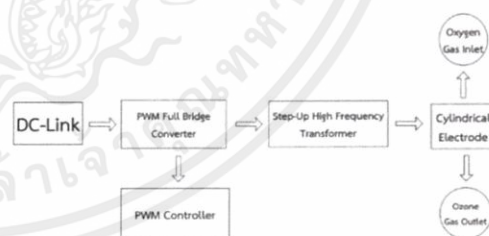
1. บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันปัญหาการใช้สารเคมีในการเก็บรักษาข้าวในโกดังเพื่อแก้ปัญหาหมอดและแมลง จึงทำให้เกิดปัญหาสารพิษตกค้างในเมล็ดข้าว หากเราได้รับประทานข้าวที่มีสารพิษตกค้างเข้าไปเป็นระยะเวลานาน สารพิษก็จะสะสมอยู่ในร่างกายเป็นสาเหตุให้เกิดโรคมะเร็งได้ ระบบประสาทผิดปกติ ระบบทางเดินหายใจผิดปกติ เป็นต้น ซึ่งในโครงการนี้คณะผู้จัดทำจึงได้นำก๊าซโอโซนมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาการเก็บรักษาข้าวด้วยโอโซนความเข้มข้นต่ำสามารถกำจัดเชื้อ

รา แบคทีเรีย มอด ที่อยู่เมล็ดข้าว มีการศึกษาการใช้ก๊าซโอโซนในการกำจัดมอดในเมล็ดข้าว ข้อดีของก๊าซโอโซนคือไม่ก่อให้เกิดสารพิษตกค้างในเมล็ดข้าว เนื่องจากก๊าซโอโซนเป็นก๊าซไม่เสถียร สามารถสลายตัวได้ตามธรรมชาติ

การผลิตก๊าซโอโซนอาศัยพลังงานจากสนามไฟฟ้า (Electric Field) กระทำต่อก๊าซออกซิเจนเพื่อให้เกิดก๊าซโอโซนขึ้น งานวิจัยทางด้านไฟฟ้าที่เกี่ยวกับการผลิตก๊าซโอโซนจะใช้หลักการสร้างสนามไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้อิเล็กโทรด โดยความแตกต่างจะขึ้นอยู่กับลักษณะของชุดอิเล็กโทรดหรือชนิดของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

เครื่องผลิตก๊าซโอโซน (Ozone Generator) ในการทำโครงการครั้งนี้ ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบพีดีเอ็มแบบเลื่อนเฟส ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (PWM Full Bridge Converter) สร้างกระแสไฟฟ้าสลับ (AC) ป้อนให้กับชุดอิเล็กโทรด (Electrode) ที่มีตัวนำ 2 ตัว โดยมีช่องว่างของอากาศคั่นอยู่ระหว่างกลางซึ่งสนามไฟฟ้าออกที่สร้างขึ้นระหว่างตัวนำนั้นสามารถทำให้เกิดก๊าซโอโซนได้



รูปที่ 1 โครงสร้างของเครื่องผลิตก๊าซโอโซน

2 ทฤษฎีและผลการทดลอง

2.1 ทฤษฎี

การส่งผ่านกำลัง ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าไปสู่อิเล็กโทรดเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าอาศัยหม้อแปลงความถี่สูงแบบเพิ่มแรงดัน แรงดันเอาท์พุทที่ป้อนให้กับชุดอิเล็กโทรดมีขนาดสูงมาก ในขณะที่แรงดันอินพุทที่ได้จากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามีขนาดเท่ากับ 310 และมีความถี่สวิทช์ใช้งานสูง ดังนั้นจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำเป็นต้องให้งานหม้อแปลงความถี่สูงเพิ่มแรงดันขึ้นไป แกนของหม้อแปลงที่ใช้งานความถี่สูงโดยส่วนมากมักใช้วัสดุที่ทำจากสารจำพวกเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic Material) ซึ่งมีคุณสมบัติทางด้านค่าความต้านทานไฟฟ้าสูง แต่มีค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กต่ำ

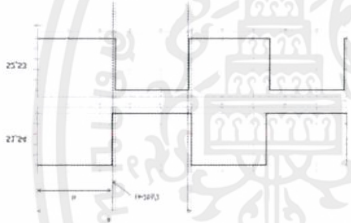
คำนวณค่าขดลวดปฐมภูมิ

$$N_1 = \frac{V}{4 \times f \times B_{\max} \times S} \quad (1)$$

คำนวณค่าขดลวดทุติยภูมิ

$$N_2 = \frac{V_2}{V_1} \quad (2)$$

ที่ดับเบิลยูเอ็มแบบเลื่อนเฟสฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Phase-Shifted PWM Full-Bridge Converter) ดังรูปที่ 2 โดยปกติสัญญาณ PWM จะทำงานเป็นคู่ๆ ให้ S1 และ S4 นำกระแส โดยที่ S2 และ S3 ยังคงหยุดนำกระแสอยู่ สลับกับการให้ S1 และ S4 หยุดนำกระแส แล้วค่อยให้ S2 และ S3 นำกระแส ทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ



รูปที่ 2 การทำงานของสัญญาณ PWM

การทำงานของ PWM ได้เป็น 8 สถานะโดยการกำหนดการทำงานจาก สัญญาณขั้วเกิดของอุปกรณ์สวิตช์ดังนั้น ในรูปที่ 2 รูปสัญญาณแรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ที่จุด ab มีลักษณะคล้ายสัญญาณสี่เหลี่ยม โดยที่จุดที่แรงดัน เป็นศูนย์ เกิดจากการเลื่อนเฟสขั้วเกิด ของคู่สัญญาณอุปกรณ์สวิตช์วงจรของแหล่งจ่ายกำลัง ไม่ครบรอบทำให้แรงดันไม่สามารถปรากฏที่เอาต์พุต สัญญาณแรงดันที่ได้จึงเป็นศูนย์ วงจรแบบเลื่อนเฟสที่สถานะการทำงานทั้ง 8 ดังรูปที่ 3

สถานะที่ S₁ และ S₃ turn on แรงดันตกคร่อมโหลด V_{AB} เท่ากับ V_d กระแสไหลผ่าน S₁ ไปสู่ Load (RLC) ไปสู่ S₃

สถานะที่ 2 S₁ turn off, C₁ เริ่มต้นการเก็บประจุ และ C₂ คายประจุ แรงดัน V_{s2} ค่อยๆ ลดลงจาก V_d เป็น V_{d/2} ขณะเดียวกันแรงดันที่ V_{s1} ค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึง V_{d/2} สวิตช์ S₁ เกิด soft switch ขณะ turn off แรงดันตกคร่อมโหลด V_{AB} เท่ากับ V_{s2}

สถานะที่ 3 ช่วงเวลาฟรีวีลดี D₂ เริ่มนำกระแสเนื่องจาก สักยไฟฟ้าที่ขาซอร์สเริ่มสูงกว่าขาเดรน กระแสไหลต่อเนื่อง ผลมาจากการถ่ายพลังงานที่สะสมอยู่ใน L แรงดันตกคร่อม โหลด V_{AB} เท่ากับ 0

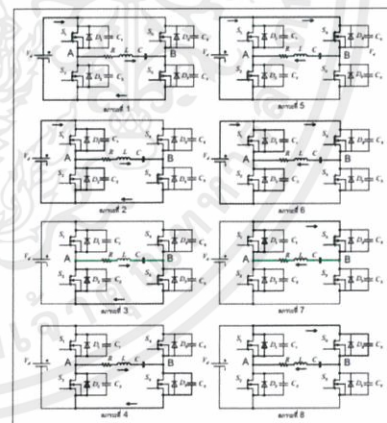
สถานะที่ 4 S₂ turn on , S₃ turn off C₃ เริ่มต้นเก็บประจุ แรงดัน V_{s3} ค่อยๆ เพิ่มขึ้น แรงดันตกคร่อมโหลด V_{AB} เท่ากับ V_{s3}

สถานะที่ 5 S₄ turn on แรงดันตกคร่อมโหลด V_{AB} เท่ากับ -V_d กระแสไหลกลับทิศทาง ผ่าน S₄ ไปสู่ Load (RLC) ไปสู่ S₂

สถานะที่ 6 S₂ turn off, C₂ เริ่มต้นการเก็บประจุ C₁ คายประจุแรงดัน V_{s2} ค่อยๆ เพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง V_{d/2} ขณะเดียวกันแรงดันที่ V_{s1} ค่อยๆ ลดลงจาก V_d จนถึง V_{d/2} สวิตช์ S₂ เกิด soft switch ขณะ turn off แรงดันตกคร่อมโหลด V_{AB} เท่ากับ V_{s1}

สถานะที่ 7 ช่วงเวลาฟรีวีลดี D₁ เริ่มนำกระแสเนื่องจาก สักยไฟฟ้าที่ขาซอร์สเริ่มสูงกว่าขาเดรน กระแสไหลต่อเนื่อง ผลมาจากการถ่ายพลังงานที่สะสมอยู่ใน L แรงดันตกคร่อม โหลด V_{AB} เท่ากับ 0

สถานะที่ 8 S₃ turn on , S₄ turn off C₄ เริ่มต้นเก็บประจุ แรงดัน V_{s4} ค่อยๆ เพิ่มขึ้น แรงดันตกคร่อมโหลด V_{AB} เท่ากับ V_{s4} จบรอบการทำงาน

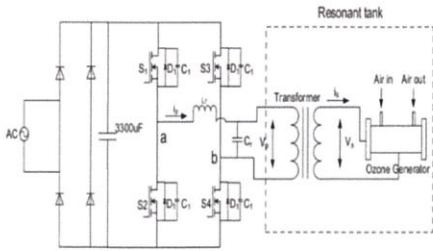


รูปที่ 3 การทำงานของ PWM ที่สถานะ 1 ถึง 8

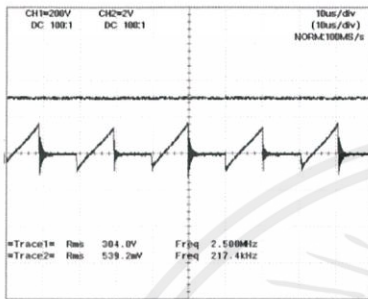
2.2 ผลการทดลอง

เก็บผลการทดลองทางไฟฟ้าของเครื่องผลิตก๊าซไอโซนเครื่องต้นแบบซึ่งวงจรแสดงในรูปที่ 4.1 โดยจะจ่ายแรงดันอินพุตเท่ากับ 310V และทำการปรับความถี่ 26 kHz ในรูปแบบสัญญาณ PWM โดยทำการเก็บผลของสัญญาณขั้วเกิดกำลังไฟฟ้า กระแส และแรงดันทางด้านอินพุต และเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์

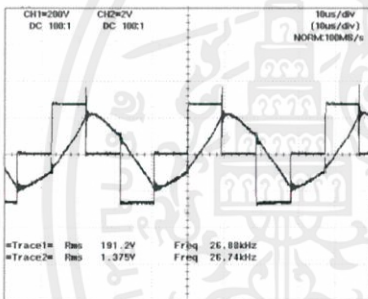
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



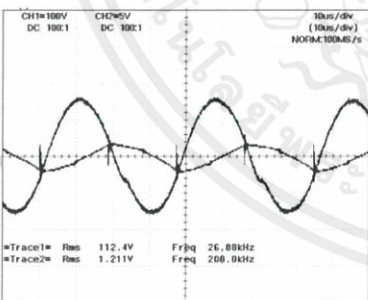
รูปที่ 4 วงจรกำลังของเครื่องกำเนิดก๊าซ โอโซน



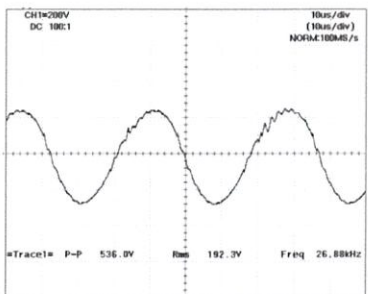
รูปที่ 5 สัญญาณขาเข้าวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 26 kHz



รูปที่ 6 สัญญาณขาออกวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 26 kHz



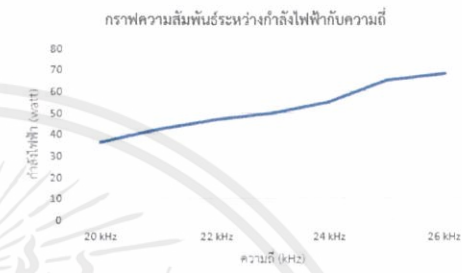
รูปที่ 7 สัญญาณขาเข้าหม้อแปลงความถี่สวิตซ์ซิ่ง 26 kHz



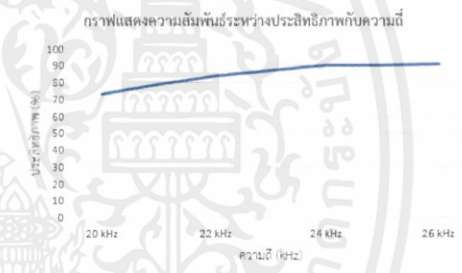
รูปที่ 8 สัญญาณขาออกหม้อแปลงความถี่สวิตซ์ซิ่ง 26 kHz

สรุปผลการทดสอบทางไฟฟ้า

จากรูปที่ 9 จะเห็นว่าความถี่มีผลต่อกระแสและกำลังไฟฟ้า ในแต่ละความถี่เราจะเห็นได้ว่าแรงดันในการเกิด corona discharge นั้นมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากเป็น โหลดเดียวกัน ส่วนในค่าของกระแสเมื่อเราเพิ่มความถี่กระแสก็เพิ่มขึ้นเรื่อยๆด้วย เช่นเดียวกับกำลังไฟฟ้าที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้น ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพมีค่าสูงมากขึ้นตามความถี่ด้วยเช่นกัน



รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความถี่



รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับความถี่

สรุปผลการทดสอบทางเคมีและการกำจัดมอดในเมลต์ข้าว

โดยผลจากการทดสอบนั้นพบว่ายิ่งเราเพิ่มความถี่ยิ่งทำให้ปริมาณของ โอโซนมากยิ่งขึ้นดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ โอโซนกับความถี่

และผลในเรื่องของการกำจัดมอดในเมลต์ข้าว ซึ่งจากการทดลองนั้นพบว่าในกรณีที่มีมอดที่ความเข้มข้น 58.2

mgO₃/hr เป็นเวลา 60 นาที อัตราการตายของมอดสูงถึง 46.33 คิดเป็น 92.66%

3 สรุป

ในส่วนของ การทดสอบสัญญาณไฟฟ้าในส่วนต่างๆ สรุปผลได้ว่าเมื่อทำการเปลี่ยนความถี่กระแสและกำลังไฟฟ้าก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วยยิ่งความถี่สูงขึ้นกระแสและกำลังไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่วนของการทดลองทางเคมีเพื่อวิเคราะห์ปริมาณโอโซนจากการทดลองทางเคมีจะเห็นได้ว่าเมื่อความถี่สูงขึ้นปริมาณโอโซนที่ได้ก็จะมากขึ้น และสุดท้ายในด้านของผลการทดลองการกำจัดมอดในเมล็ดข้าวจะเห็นได้ว่า การรมโอโซนในเมล็ดข้าวเป็นเวลา 60 นาที สามารถกำจัดมอดได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] F. Laurence, "The Application of Ozone Technology for Public Health and Industry," **Food Safety & Security at Kansas State University**, pp.1-16.
- [2] อรุโณทัย ชาววา และ ธนะชัย พันธุ์เกษมสุข, "ผลของโอโซนต่ออายุการเก็บรักษาลินจี้," **บทความวารสารเกษตร**, เล่มที่ 19, ฉบับที่ 1, 2546.
- [3] B.K. Tiwari, C.S. Brennan, T. Curran, E. Gallagher, P.J Cullen, C. P. O' Donnell, "Application of ozone in grain processing", **Journal of Cereal Science**, 2010
- [4] อนุวัฒน์ งามวานิชเลิศ, **เอกสารประกอบการสอนวิชาการ ออกแบบตัวเหนียวน้ำและหม้อแปลง**, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2538
- [5] พรพิมล รัตนวิเชียร, "เครื่องผลิตก๊าซโอโซนพลังงานแสงอาทิตย์", **ปริญญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**, 2543.

ประวัติผู้เขียน

	<p>นายกุลภัทร รักสกุล วัน/เดือน/ปีเกิด 1 มิถุนายน 2537 ที่อยู่ 44/3 หมู่ 2 ต.ท่าเรือ อ. เมือง จ.นครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเบญจมราชูทิศ email : poom.kunlaphat@gmail.com</p>
	<p>นายกิตตินันท์ เที้ยทศน์ วัน/เดือน/ปีเกิด 6 มกราคม 2538 ที่อยู่ 154/49 หมู่ 13 หมู่บ้านรัต นมณี ต. ช้างซ้าย อ. พระพรหม จ. นครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเบญจมราชูทิศ Email oatkung_02@hotmail.com</p>
	<p>นางสาวพรสุดา โทษมณู วัน/เดือน/ปี 16 พฤษภาคม 2537 ที่อยู่ 34 หมู่ ต.เวียงสะอาด อ.พัตถภูมิพิสัย จ.มหาสารคาม สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนพัตถภูมิวิททยาการ Email : pornsuda0814@gmail.com</p>

ประวัติผู้เขียน

	<p>นายกุลภัทร รักสกุล วัน/เดือน/ปีเกิด 1 มิถุนายน 2537 ที่อยู่ 44/3 หมู่ 2 ตำบลท่าเรือ อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายโรงเรียนเบญจมราชูทิศ email : poom.kunlaphat@gmail.com</p>
	<p>นายกิตตินันท์ เทียงทัศน์ วัน/เดือน/ปีเกิด 6 มกราคม 2538 ที่อยู่ 154/49 หมู่ 13 หมู่บ้านรัตนมณี ตำบลช้างซ้าย อำเภอพระพรหม จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายโรงเรียนเบญจมราชูทิศ Email patkung_02@hotmail.com</p>
	<p>นางสาวพรสุดา ไตชมภู วัน/เดือน/ปี 16 พฤษภาคม 2537 ที่อยู่ 34 หมู่ 5 ตำบลเวียงสะอาด อำเภอพยัคฆภูมิพิสัย จังหวัด มหาสารคาม สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายโรงเรียนพยัคฆภูมิวิทยาคาร Email : pornsuda0814@gmail.com</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้