



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2559

เครื่องกำเนิดโอโซนกำจัดศัตรูพืชสำหรับการประยุกต์ใช้ในการเก็บรักษาข้าวเปลือก
An Eliminating Pest Ozone Generator for Keeping Paddy

รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ

นายวทัตญญ มีศรีสุข

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

งานวิจัยเงินรายได้

กันยายน 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2559

เครื่องกำเนิดโอโซนกำจัดศัตรูพืชสำหรับการประยุกต์ใช้ในการเก็บรักษาข้าวเปลือก
An Eliminating Pest Ozone Generator for Keeping Paddy



รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ

นายวาทัญญู มีศรีสุข

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สนับสนุนโดย เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องกำเนิดโอโซนกำจัดศัตรูพืชสำหรับการประยุกต์ใช้ในการเก็บรักษาข้าวเปลือก

แหล่งเงินจากรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์

ประจำปีงบประมาณ 2559

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2558 ถึง กันยายน 2559

รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ หัวหน้าโครงการ

นายวทัณญ มีศรีสุข ผู้ร่วมวิจัย

บทคัดย่อ

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์นี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดโอโซนสำหรับกำจัดศัตรูพืชสำหรับการประยุกต์ใช้ในการเก็บรักษาข้าวเปลือก โดยใช้หลักการสร้างโอโซนด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง โดยใช้วงจร Full bridge Inverter สร้างความถี่สวิตซ์ 20 kHz - 26 kHz และใช้หม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้นที่ 4.4 kV เพื่อนำไปกระตุ้นสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรดเพื่อทำให้เกิดความเครียดสนามไฟฟ้าสูงขึ้น ส่งผลให้อากาศที่อยู่ระหว่างอิเล็กโทรดเกิดการแตกตัวเป็นก๊าซโอโซน ซึ่งมีความเข้มข้นมากพอที่จะนำไปกำจัดศัตรูเมล็ดข้าวจำพวกมอด รวมไปถึงเชื้อราที่เกิดขึ้นเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาเมล็ดข้าวเปลือกหรือข้าวสาร ผลที่ได้จากการทดสอบโอโซนกับผลไม้ในรายงานวิจัยฉบับนี้แสดงให้เห็นว่าโอโซนสามารถกำจัดศัตรูเมล็ดข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพรวมทั้งเครื่องต้นแบบดังกล่าวยังสามารถคัดแยกสิ่งแปลกปลอมออกจากเมล็ดข้าวได้เป็นอย่างดี

Research Title: An Eliminating Pest Ozone Generator for Keeping Paddy

Researcher: Assoc. Prof. Dr. Anuwat jangwanitlert

and Mr. Watanyu Meesrisuk

ABSTRACT

This completed research report presents the design and construction of the ozone for eliminating pests of the paddy and rice by using the principle of power electronic circuits. The full-bridge Inverter is used for generating 20 kHz – 26 kHz of switching frequency and using high frequency transformer to increase the voltage at 4.4 kV for stimulating electric field between electrodes to increase higher electric tension. As a result, the air (Oxygen, O_2), which is between the electrodes, is ionized and recombined to become the ozone (O_3) which is enough to inhibit the pests including fungus and bacteria to prolong age of the paddy and rice. The results of the test show that ozone can defeat pests of the paddy and rice and separate them from the paddy and rice effectively.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการช่วยเหลือสนับสนุนอย่างดีจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ นักศึกษาปริญญาตรีที่ช่วยจัดพิมพ์ และนายวาทัญญู มีศรีสุข นักศึกษาปริญญาเอกที่ได้ช่วยตรวจสอบและแก้ไขในส่วนต่างๆ จนทำให้รายงานฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ลงได้ด้วยดี

นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณทางภาควิชาวิศวกรรมเคมีที่ให้ใช้เครื่องมือในการผสมสารเคมีต่างๆ จนทำให้งานออกมาเสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 ที่ทำให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงต้องขอขอบคุณ ณ ที่นี้ด้วย

รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ
นายวาทัญญู มีศรีสุข



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ III

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการดำเนินงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับไอโซน	5
2.2 หลักการเกิดก๊าซไอโซน	7
2.3 การใช้ไอโซนในการเก็บรักษาผลไม้	8
2.4 กระบวนการแตกตัวของก๊าซไอโซน	10
2.5 การสร้างก๊าซไอโซน	11
2.6 วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit)	12
2.7 วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter Circuit)	13
2.8 เพาเวอร์มอสเฟตในวงจรกำลัง	14
2.9 ลักษณะของรูปแบบสนามไฟฟ้า	15
2.10 แฟกเตอร์ที่มีผลต่อแรงดันเบรคดาวน์	20
2.11 ดิสชาร์จบางส่วน	23
2.12 ดิสชาร์จแบบโคโรนา	24
2.13 ดิสชาร์จตามผิว	24
2.14 ไอออนไนเซชัน	24
2.15 โครงสร้างของอะตอม	24
2.16 การไอออนไนเซชันโดยการชน	25
2.17 เงื่อนไขการชนเกิดไอออนไนเซชัน	26
2.18 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวโลหะ	27
2.19 ทรงกระบอกซ้อนกันร่วม	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ IV

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.20 ทฤษฎีหม้อแปลงพื้นฐาน	29
2.21 โวลเตจดีไวเดอร์วัตแรงดันสูง	33
2.22 โวลเตจดีไวเดอร์แบบความต้านทาน	34
2.23 วงจรควบคุม	34
บทที่ 3 การออกแบบ	38
3.1 การออกแบบเครื่องสร้างไอโซนสำหรับยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้	38
3.2 การออกแบบชุดสร้างโคโรนา	38
3.3 ชุดเรกติไฟล์และฟิลเตอร์	42
3.4 การออกแบบหม้อแปลง	43
3.5 โหมดการทำงานของวงจร Inverter	48
3.6 วงจรสมมูลหม้อแปลง	53
3.7 Simulation	56
3.8 ส่วนลำเลียงเมล็ดข้าวสาร	59
3.9 ส่วนคัดแยกสิ่งเจือปน	60
บทที่ 4 ผลการทดลอง	60
4.1 การทดสอบสัญญาณไฟฟ้าในแต่ละส่วน	60
4.2 การทดลองทางเคมีเพื่อวิเคราะห์ปริมาณไอโซน	73
4.3 การทดสอบการกำจัดศัตรูเมล็ดข้าว	75
4.4 สรุปผลการทดสอบ	79
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	80
เอกสารอ้างอิง	81
ภาคผนวก โปสเตอร์นำเสนองาน Engineering Expo 2016	82

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 การเกิดและการสลายตัวของก๊าซโอโซน	2
รูปที่ 2.1 วงจร Rectifier	12
รูปที่ 2.2 สัญญาณการทำงาน Rectifier	12
รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการทำงาน	13
รูปที่ 2.4 วงจรอินเวอร์เตอร์ที่รับแรงดัน Out put จากวงจรเรียงกระแส	14
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างสัญลักษณ์ของมอสเฟส	14
รูปที่ 2.6 กราฟย้ายการทำงานของมอสเฟส	15
รูปที่ 2.7 อิเล็กทรอนิกส์ที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าแบบต่างๆกัน	16
รูปที่ 2.8 เปรียบเทียบแรงดันที่ทำให้เกิดเบรคดาวน์ในไดโอดอิเล็กทรอนิกส์ตามลักษณะสนามไฟฟ้า	17
รูปที่ 2.9 สนามไฟฟ้าและเส้นศักย์เท่า	17
รูปที่ 2.10 สนามไฟฟ้ากระจายเปรียบเทียบของอิเล็กทรอนิกส์ลักษณะต่างๆ	19
รูปที่ 2.11 แรงดันเบรคดาวน์เฉลี่ยค่ายอดกระแสสลับ 50-60 Hz ในอากาศที่สภาวะมาตรฐาน IEC	20
รูปที่ 2.12 ผลประจุค้างของปลายแหลมข้าวบวกและข้าวลบ	22
รูปที่ 2.13 ผลของความถี่ที่มีผลต่อแรงดันเบรคดาวน์	23
รูปที่ 2.14 โครงสร้างของอะตอม	25
รูปที่ 2.15 อนุภาคชนกัน	25
รูปที่ 2.16 ทรงกระบอกซ้อนกันรวม	28
รูปที่ 2.17 หม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้านขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ	30
รูปที่ 2.18 ลักษณะของแกนเฟอร์ไรต์	32
รูปที่ 2.19 ลักษณะที่สมบูรณ์ของเส้นเคเบิลใยแก้วนำแสง	32
รูปที่ 2.20 บอบบี้ (Bobbin)	33
รูปที่ 2.21 โวลเตจดีไวเดอร์	33
รูปที่ 2.22 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011	34
รูปที่ 2.23 การแสดงการจัดหาสัญญาณ dsPIC30F4011	36
รูปที่ 2.24 รูปการแสดงการใช้งาน ICD2	36
รูปที่ 2.25 ไดอะแกรม IC IPL250	37
รูปที่ 3.1 วงจรเครื่องกำเนิดโอโซน	38
รูปที่ 3.2 ลักษณะของหลอดแก้วโอโซน	38
รูปที่ 3.3 ลักษณะของทรงกระบอกซ้อนกันรวม 2 ชั้น	39
รูปที่ 3.4 ลักษณะรัศมีของหลอดแก้ว	40
รูปที่ 3.5 รูปสัญญาณสวิทช์และกระแส	48
รูปที่ 3.6 การทำงานโหมดที่ 1	48
รูปที่ 3.7 การทำงานโหมดที่ 2	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ VI

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.8 การทำงานโหมดที่ 3	49
รูปที่ 3.9 การทำงานโหมดที่ 4	50
รูปที่ 3.10 การทำงานโหมดที่ 5	50
รูปที่ 3.11 การทำงานโหมดที่ 6	51
รูปที่ 3.12 การทำงานโหมดที่ 7	51
รูปที่ 3.13 การทำงานโหมดที่ 8	52
รูปที่ 3.14 การทำงานโหมดที่ 9	52
รูปที่ 3.15 การทำงานโหมดที่ 10	53
รูปที่ 3.16 วงจรสมมูลหม้อแปลง	53
รูปที่ 3.17 การยุบวงจรสมมูลหม้อแปลง ชั้นที่ 1	54
รูปที่ 3.18 การยุบวงจรสมมูลหม้อแปลง ชั้นที่ 2	54
รูปที่ 3.19 การยุบวงจรสมมูลหม้อแปลง ชั้นที่ 3	55
รูปที่ 3.20 วงจรไหลดหลดแก้วไอโซน	55
รูปที่ 3.21 วงจรสมมูลหม้อแปลงที่ต่อเข้ากับไหลด	55
รูปที่ 3.22 วงจร Simulation	56
รูปที่ 3.23 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของ MOSFET ตัวที่ 1	56
รูปที่ 3.24 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของ MOSFET ตัวที่ 2	57
รูปที่ 3.25 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของ MOSFET ตัวที่ 3	57
รูปที่ 3.26 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของ MOSFET ตัวที่ 4	58
รูปที่ 3.27 รูปคลื่นแรงดันและกระแส เอาท์พุท Inverter	58
รูปที่ 3.28 รูปคลื่นแรงดันและกระแส ที่ Load	59
รูปที่ 3.29 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงลำเลียง1	59
รูปที่ 3.30 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงลำเลียง2	60
รูปที่ 3.31 ป้อนมร้อน	61
รูปที่ 3.32 เครื่องต้นแบบที่ได้ทำการประกอบสมบูรณ์	61
รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรม	60
รูปที่ 4.2 สัญญาณขาเข้าวงจร Rectifier ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 20 kHz	62
รูปที่ 4.3 สัญญาณขาเข้าวงจร Rectifier ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 22 kHz	63
รูปที่ 4.4 สัญญาณขาเข้าวงจร Rectifier ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 24 kHz	64
รูปที่ 4.5 สัญญาณขาเข้าวงจร Rectifier ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 26 kHz	64
รูปที่ 4.6 สัญญาณขาเข้าวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 20 kHz	65
รูปที่ 4.7 สัญญาณขาเข้าวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 22 kHz	65
รูปที่ 4.8 สัญญาณขาเข้าวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 24 kHz	66
รูปที่ 4.9 สัญญาณขาเข้าวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 26 kHz	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ VII

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.10 สัญญาณขาออกจากวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 20 kHz	67
รูปที่ 4.11 สัญญาณขาออกจากวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 22 kHz	67
รูปที่ 4.12 สัญญาณขาออกจากวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 24 kHz	68
รูปที่ 4.13 สัญญาณขาออกจากวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 26 kHz	68
รูปที่ 4.14 สัญญาณขาเข้าหม้อแปลง ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 20 kHz	69
รูปที่ 4.15 สัญญาณขาเข้าหม้อแปลง ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 22 kHz	69
รูปที่ 4.16 สัญญาณขาเข้าหม้อแปลง ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 24 kHz	70
รูปที่ 4.17 สัญญาณขาเข้าหม้อแปลง ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 26 kHz	70
รูปที่ 4.18 สัญญาณขาออกหม้อแปลง ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 20 kHz	71
รูปที่ 4.19 สัญญาณขาออกหม้อแปลง ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 22 kHz	71
รูปที่ 4.20 สัญญาณขาออกหม้อแปลง ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 24 kHz	72
รูปที่ 4.21 สัญญาณขาออกหม้อแปลง ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 26 kHz	72
รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความถี่	73
รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับความถี่	73
รูปที่ 4.24 สารละลายไปแตสเซียมไอโอดีนที่อั้งไอโซนแล้ว	75
รูปที่ 4.25 สารละลายที่เติมกรดซัลฟิวริกและน้ำแบ่งแล้ว	75
รูปที่ 4.26 การไตเตรทสารละลาย	75
รูปที่ 4.27 กราฟเปรียบเทียบปริมาณไอโซน	76
รูปที่ 4.28 เมล็ดข้าวสารที่เลือกมาใช้ในการทดสอบปริมาณ 1 กิโลกรัม	77
รูปที่ 4.29 แผลงศักรูพีฆมอดโนเมล็ดข้าวสารทดสอบ	77
รูปที่ 4.30 ใส่เมล็ดข้าวสารลงในกล่องบ่มไอโซน	78
รูปที่ 4.31 ปิดฝากล่องบ่มไอโซน	78
รูปที่ 4.32 ขณะบ่มไอโซน	78
รูปที่ 4.33 เมล็ดข้าวสารที่ได้จากการคัดแยก1	79
รูปที่ 4.34 เมล็ดข้าวสารที่ได้จากการคัดแยก2	79
รูปที่ 4.35 ถุงผ้ากักเก็บสิ่งแปลกปลอม	80
รูปที่ 4.36 เศษสิ่งแปลกปลอมที่ถูกคัดแยกออก	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไป VIII

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

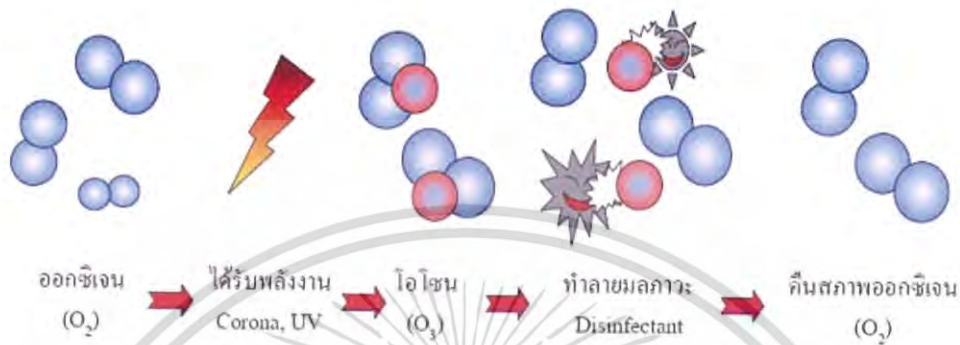
เนื่องจากประเทศไทยนั้นเป็นประเทศที่ประชาชนส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นอาชีพหลัก ที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาด้านเศรษฐกิจ การค้าและการส่งออกซึ่งจะนำมาสู่รายได้ของประเทศ โดยเฉพาะอาชีพการทำนาข้าวซึ่งถือได้ว่าเป็นผลผลิตหลักของประเทศ ซึ่งมักจะเกิดปัญหาที่ตามมาหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตนั้นคือการเก็บรักษาข้าวเปลือกซึ่งส่วนใหญ่จะได้รับความเสียหายเนื่องจากแมลงศัตรูพืช เช่น มอด เป็นต้น หรือแม้กระทั่งเชื้อราซึ่งเกิดจากความชื้นก็เป็นสาเหตุที่จะทำให้ข้าวเปลือกได้รับความเสียหายได้เช่นกัน ทำให้ไม่สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน เกิดความเสียหายก่อนที่จะถึงมือผู้บริโภคทำให้ข้าวเปลือกมีคุณภาพที่ต่ำลงจึงส่งผลต่อราคาให้มีค่าต่ำลงไปด้วย หรือแม้กระทั่งการเก็บรักษาข้าวสารในบ้านเรือนของประชาชน โดยทั่วไปก็มักจะได้รับความเสียหายจากมอด แมลงต่างๆได้เช่นกัน ดังนั้นเพื่อที่จะเป็นการลดปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้จะได้ทำการนำเสนอวิธีการเก็บรักษาข้าวเปลือกโดยใช้ก๊าซโอโซนซึ่งถูกผลิตขึ้นจากการใช้วงจรทางอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power electronics)

ในงานวิจัยต่างๆในอดีตที่ผ่านมาบ่งชี้ได้ว่าโอโซน (Ozone) เป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติพิเศษสามารถนำมาใช้ในการกำจัดแมลงหรือศัตรูพืชต่างๆได้ เนื่องจากโอโซนจะมีคุณสมบัติที่เป็นพิษต่อร่างกายของสิ่งมีชีวิต ทำให้แมลงมอด หรือศัตรูพืชต่างๆที่ได้รับก๊าซโอโซนเข้าไปถูกทำลาย ทำให้ไม่สามารถสร้างความเสียหายต่อเมล็ดข้าวเปลือกได้นอกจากนี้แล้วโอโซนยังสามารถใช้ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ เชื้อราและแบคทีเรียชนิดต่างๆ โดยจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) กับผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ เชื้อราต่างๆ ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ หรือเชื้อราต่างๆ เหล่านั้นถูกทำลาย มากกว่านั้นก๊าซโอโซนยังมีคุณสมบัติที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติโดยไม่เป็นสารพิษตกค้างในเมล็ดข้าวเปลือกทำให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้บริโภคซึ่งถือว่าเป็นข้อได้เปรียบกว่าการใช้สารเคมีอื่นๆซึ่งจะตกค้างเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค อีกทั้งการเกิดโอโซนทำได้โดยง่ายไม่จำเป็นต้องใช้วัตถุดิบหรือสารเคมีประเภทอื่นๆนอกจากอากาศหรือออกซิเจน (Oxygen) เท่านั้น โดยคุณสมบัติทั่วไปของโอโซนสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1 ด้วยเหตุผลเหล่านี้จึงมีความเหมาะสมในการนำก๊าซโอโซนมาใช้ในการเก็บรักษาข้าวเปลือก

ตารางที่ 1.1 คุณสมบัติและลักษณะเฉพาะโอโซน

	รายละเอียด	
1. คุณสมบัติ	ชื่อ	OZONE
	ชื่อพ้อง	Activated Oxygen, Triatomic Oxygen
	คุณสมบัติทางเคมี	เป็นตัว Oxidize
	สูตรโมเลกุล	O ₃
	น้ำหนักโมเลกุล	48
2. องค์ประกอบ	ลักษณะ	สภาพก๊าซ
	ความเข้มข้น	0 - 4% โดยน้ำหนัก

ในงานวิจัยนี้การสร้างโอโซนนี้จะใช้ความรู้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังเข้ามาประยุกต์ใช้งาน โดยใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงในการสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่สูง จากนั้นใช้หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงในการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นโดยเพื่อที่จะใช้ในการทำให้เกิดการเร่งสภาพโมเลกุลออกซิเจน (O_2) จนกลายเป็นโมเลกุลที่มีพลังงานสูงและรวมตัวกันจนกลายเป็นโอโซน (O_3) ซึ่งหลักการนี้เป็นหลักการโดยทั่วไปของทฤษฎีโคโรนาคือ การเกิดโอโซนและการสลายตัวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1.1 การเกิดและการสลายตัวของก๊าซโอโซน

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาผลของโอโซนที่มีต่อการกำจัดแมลง มอด หรือเชื้อรา จุลินทรีย์ ในการเก็บรักษาข้าวเปลือก
- 2) เพื่อสร้างเครื่องกำจัดศัตรูข้าว โดยใช้หลักการเกิดโอโซนเพื่อประยุกต์ใช้งานจริงกับการเก็บรักษาข้าวเปลือกในอุตสาหกรรม
- 3) เพื่อลดการใช้สารเคมีที่เป็นสารตกค้างในการเก็บรักษาข้าวเปลือก ทำให้มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

1.3 ขอบเขตของการดำเนินงาน

ทำการออกแบบ สร้างและทดสอบการทำงานของเครื่องกำจัดศัตรูพืชของข้าวเปลือกปริมาณ 1 กิโลกรัม โดยใช้วงจรทางอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ขนาดไม่เกิน 500 วัตต์ ในการทำให้เกิดโอโซน โดยเครื่องดังกล่าวสามารถใช้งานได้กับระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟสตามบ้านเรือนโดยทั่วไป (220 V 50 Hz) หลังจากนั้นทำการนำเครื่องกำจัดศัตรูพืชของข้าวเปลือกดังกล่าวไปประยุกต์ใช้งานจริงในอุตสาหกรรมเพื่อการเก็บรักษาข้าวเปลือกเช่น โรงสีข้าว โรงเก็บข้าวขนาดเล็ก หรือแม้กระทั่งการเก็บรักษาข้าวสารตามบ้านเรือนต่างๆ

1.4 แผนการดำเนินงานโครงการวิจัย

- 1) ทำการศึกษาทบทวนวรรณกรรมที่เทศเคยผ่านมาเพื่อหาข้อมูลที่จะใช้ในการทำงานวิจัย
- 2) ทำการออกแบบโครงสร้างทางกายภาพของเครื่องต้นแบบโดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์
- 3) ทำจัดสร้างโครงสร้างทางกายภาพของเครื่องต้นแบบ ตามแบบที่ได้ออกแบบไว้
- 4) ทำการออกแบบและจำลองการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงแบบเต็มบริดจ์สำหรับการใช้ในการผลิตโอโซน
- 5) ทำการออกแบบและจัดสร้างหลอดแก้วที่ใช้เป็นหลอดโอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6) ทำการทดสอบการผลิตโอโซนจากเครื่องอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงที่ได้ทำการสร้างขึ้น
- 7) ทำการบันทึกผลการทดลองแล้วใช้ข้อมูลทางสถิติเพื่อวิเคราะห์หากรรมวิธีการบ่มโอโซนที่สามารถกำจัดแมลงศัตรูพืชของข้าวเปลือกได้ดีที่สุด
- 8) ทำการประกอบส่วนประกอบต่างๆของเครื่องต้นแบบที่ได้ทำการสร้างขึ้น
- 9) ทำการทดสอบใช้งานจริง พร้อมรวบรวมข้อมูล เพื่อศึกษาถึงข้อบกพร่องและหาแนวทางแก้ไขที่เหมาะสม
- 10) สรุปผลการศึกษาวิจัยเพื่อจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์ และเขียนบทความเพื่อตีพิมพ์บทความในการประชุมระดับนานาชาติ

ตารางที่ 1.2 ตารางแสดงการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงาน	ระยะเวลา												หมายเหตุ
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	
ดำเนินการตามข้อ 1													
ดำเนินการตามข้อ 2													
ดำเนินการตามข้อ 3													
ดำเนินการตามข้อ 4													
ดำเนินการตามข้อ 5													
ดำเนินการตามข้อ 6													

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดำเนินการตาม ข้อ 7													
ดำเนินการตาม ข้อ 8													
ดำเนินการตาม ข้อ 9													
ดำเนินการตาม ข้อ 10													

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1) สามารถองค์นำความรู้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่เกี่ยวกับวงจรแปลงผันกำลังงานความถี่สูงหรือวงจรอินเวอร์เตอร์มาประยุกต์ใช้ในการผลิตไอโซนได้
- 2) สามารถนำผลการทดสอบที่ได้จากงานวิจัยไปช่วยในการพัฒนาในด้านเกษตรกรรมโดยเฉพาะในขั้นตอนการเก็บรักษาข้าวเปลือกหรือข้าวสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 3) สามารถนำเครื่องต้นแบบที่ได้นำไปเป็นแนวทางในการสร้างหรือพัฒนานวัตกรรมที่เกี่ยวข้องได้ในงานวิจัยในอนาคตต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โอโซนเป็นก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างออกไซด์ของไนโตรเจนไฮโดรคาร์บอน และมีแสงแดดเป็นตัวพลังงานที่ทำให้เกิดก๊าซโอโซน โดยปกติแล้วในบรรยากาศที่ชั้นบนจะมีโอโซนอยู่สำหรับโอโซนในบรรยากาศชั้นบนนั้นพบว่าวันวันโอโซนจะลดลงเรื่อยๆ ทั้งนี้เพราะมีการปล่อยสารคลอโรฟลูออโรคาร์บอน ซึ่งสารพวกนี้จะใช้ขับในกระป๋องฉีดสเปรย์ต่างๆ เมื่อปล่อยอยู่สู่บรรยากาศจะไปทำลายโอโซน ทำให้ชั้นโอโซนลดลง และทำให้ปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตมากขึ้น

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับโอโซน

2.1.1 ก๊าซโอโซน

โอโซน O_3 คือก๊าซธรรมชาติที่เกิดจากการรวมตัวของอะตอมออกซิเจน 3 ตัว ซึ่งผลิตจากอากาศปกติ มีลักษณะเป็นประจุลบ โดยวิธีการเทคนิคไฟฟ้าต้องใช้ไฟต่างศักย์สูง (10-70 kV) ผลิตได้หลายวิธีและวิธีทางชีวภาพ โอโซนสามารถทำ ปฏิกิริยาออกซิไดซ์ได้ดีกว่าคลอรีนถึง 52% ซึ่งสามารถฆ่าเชื้อโรค แบคทีเรีย ไวรัส และสิ่งมีชีวิตที่แขวนลอยอยู่ในน้ำได้ดี โอโซนมีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียเร็วกว่าคลอรีนถึง 3,000 เท่า โอโซนสามารถทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์ฆ่าเชื้อโรคโดยปราศจากสารตกค้าง พวกสารฮาโลเจนที่มีผลต่อการปนเปื้อนน้ำสะอาด ซึ่งคลอรีนที่นำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย จะมีผลทำให้เกิดสารตกค้าง ซึ่งเรียกว่าไตรฮาโลมีเทน (THM) สารนี้เป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งอีกด้วย

2.1.2 คุณสมบัติ

ก๊าซโอโซนบริสุทธิ์จะมีสีน้ำเงินแกมเขียว มีกลิ่นคล้ายคลอรีนจางๆ ถ้าดมเข้าไปมากๆ จะปวดศีรษะ โอโซนละลายน้ำได้มากกว่าก๊าซออกซิเจน มีจุดเดือดที่ -111.5 องศาเซลเซียส และมีจุดหลอมเหลวที่ -251 องศาเซลเซียส เมื่ออยู่ในสถานะที่เป็นก๊าซบริสุทธิ์จะเสถียรภาพดีพอสมควร แต่ถ้ามีอินทรีย์ปนอยู่ในน้ำแล้ว โอโซนจะสลายตัวเป็นออกซิเจนได้ง่าย ถ้าผสมอยู่กับอากาศจะค่อยๆ กลายเป็นออกซิเจน ถ้าอุณหภูมิถึง 300 องศาเซลเซียส จะสลายตัวอย่างรวดเร็ว

2.1.3 การเกิดโอโซน แบ่งตามลักษณะการเกิดได้เป็น 2 วิธี ได้แก่

2.1.3.1 เกิดตามธรรมชาติ เกิดจากการรวมตัวกันของโมเลกุลของก๊าซออกซิเจน โดยมีรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 242 นาโนเมตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดพลังงานที่จะดึงเอาโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนให้แตกตัวเป็นอะตอมของออกซิเจน 2 อะตอม และมีอะตอมของออกซิเจน 1 อะตอม พบกับโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนจะเกิดการรวมตัวดังสมการ



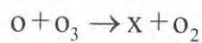
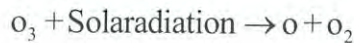
โอโซนที่เกิดขึ้นนี้สามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตแล้วแตกตัวกลายเป็นก๊าซออกซิเจนและรวมตัวกับอะตอมของออกซิเจน กลายเป็นโอโซนได้อีก โดยมีรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะเกิดเช่นนี้ไปได้เรื่อยๆ โดยไม่มีที่สิ้นสุดแบบปฏิกิริยาลูกโซ่ โอโซนยังสามารถเกิดได้เองในอากาศจากพายุฝนฟ้าคะนองหรือจากฟ้าแลบได้อีกด้วย กระบวนการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวนี้นี้เรียกว่ากระบวนการโฟโตเคมีคอล (Photochemical process) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดก๊าซโอโซนและสลายตัวพร้อมกัน และในที่สุดปฏิกิริยาของก๊าซโอโซนก็จะอยู่ในภาวะสมดุลโดยที่อัตราการเกิดและสลายตัวเท่ากัน

2.1.3.2 เกิดจากการกระทำของมนุษย์ โดยใช้หลักการ corona discharge โดยป้อนไฟฟ้าแรงสูงให้กับอิเล็กโทรด จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าวิ่งจากอิเล็กโทรดไปสู่กราวด์ ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าความเครียดสูงที่จะทำให้อากาศระหว่างขั้วอิเล็กโทรดกับกราวด์ เกิดการแตกตัวของออกซิเจน เป็น 2 อะตอม และไปรวมตัวกับโมเลกุลของออกซิเจน กลายเป็นก๊าซโอโซน ซึ่งก๊าซโอโซนเป็นก๊าซไม่เสถียร สลายตัวได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน จะต้องควบคุมแรงดันที่จ่ายให้กับขั้วอิเล็กโทรดไม่ให้มากเกินไปจนเกิดการเบรกดาวน โอโซนถูกผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น การกำจัดน้ำเสียและใช้ฆ่าเชื้อโรค การเตรียมก๊าซโอโซนที่สะดวกที่สุดใช้ไฟฟ้า silent electrical discharge กระทำ กับอากาศหรือกับก๊าซออกซิเจน ซึ่งก๊าซออกซิเจนบางส่วนเท่านั้นที่กลายเป็นโอโซน ถ้าใช้อากาศ เรียกก๊าซผสมนี้ว่า โอโซนไนซ์แอร์ (Ozonised air) แต่ใช้ก๊าซออกซิเจนโอโซนที่เกิดขึ้นจะปนอยู่กับก๊าซออกซิเจนที่เหลือ เรียกว่า Ozonised oxygen เครื่องมือที่ใช้เตรียมก๊าซโอโซนด้วยวิธีนี้เรียกว่า โอโซนเซอร์ (Ozonizer) โอโซนเป็นส่วนประกอบของบรรยากาศส่วนหนึ่งที่ปกคลุมผิวโลก ซึ่งมีลักษณะเป็นชั้นบางๆ บริเวณที่อยู่แปรผันอยู่ระหว่างระดับน้ำทะเลขึ้นไปถึงระยะ 60 กิโลเมตร โอโซนส่วนใหญ่อยู่ที่ชั้นบรรยากาศ สตราโตสเฟียร์ ซึ่งพบประมาณร้อยละ 89-90 ส่วนที่เหลือจะกระจายอยู่ชั้นโทรโพสเฟียร์และเมโซสเฟียร์ ชั้นโอโซนจะทำหน้าที่กรองแสงอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ โดยดูดแสง UV-B ความยาวคลื่นระหว่าง 280 - 320 นาโนเมตร ไปได้ประมาณร้อยละ 70-90 รังสี UV-B นี้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต โอโซนยังมีบทบาทสำคัญในการกำหนดหรือควบคุมอุณหภูมิของโลกและบรรยากาศ โดยสามารถดูดรังสีอินฟราเรดซึ่งสะท้อนจากผิวโลกและจากชั้นสตราโตสเฟียร์ได้ทำให้อุณหภูมิบรรยากาศโลกชั้นนี้สูงขึ้นมีผลต่อสภาพภูมิอากาศของโลก

2.1.4 ปริมาณที่ถูกทำลาย

โอโซนส่วนใหญ่อยู่ในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ โดยมีความเข้มข้นประมาณ 10 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งเป็นปริมาณน้อยมากแต่ก็มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ ปัจจุบันพบว่ามีการปล่อยสารเคมีต่างๆ ขึ้นสู่บรรยากาศมากขึ้น ทำให้ก๊าซโอโซนน้อยลงจากการใช้เครื่องมือต่างๆ วัดพบว่าโอโซนลดลงร้อยละ 2-3 ที่ระดับความสูง 30-40 กิโลเมตร และจากการใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) ตรวจวัดปริมาณโอโซนในบริเวณขั้วโลกได้ลดลงเกือบ 40 เปอร์เซ็นต์ และลดลงมากที่สุดในปี 1970 ผลการตรวจวัดระดับโอโซนในบรรยากาศได้รับการยืนยันในปี 1975 จากการใช้ดาวเทียมสำรวจ ได้แสดงให้เห็นว่าเกิดความเสียหายขึ้นต่อชั้นโอโซนเหนือบริเวณขั้วโลกได้และได้พบความเสียหายได้ขยายตัวมายังบริเวณเส้นศูนย์สูตรประมาณ 45 องศาใต้ ซึ่งองค์การนาซ่าของสหรัฐก็ได้ทำการตรวจสอบสภาพบรรยากาศของโลกได้รายงาน ว่า เกิดมีลักษณะความเข้มข้นของแสงอาทิตย์ที่ผ่านบรรยากาศไม่สม่ำเสมอ จึงได้หาสาเหตุและพบว่าโอโซนที่อยู่รอบโลกในชั้นบรรยากาศโดยเฉพาะบริเวณขั้วโลกได้ และขั้วโลกเหนือได้ลดลงเป็นหย่อมๆ และเกิดมากขึ้นเป็นลำดับบางหย่อมคิดเป็นพื้นที่ได้ประมาณ 9 ล้านตารางกิโลเมตร (เกษม, 2533) การที่โอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์ถูกทำลายไปเนื่องจากสารเคมีที่ปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศและสารที่ส่า คัญคือ CFCs ซึ่งจะมีผลทำให้ UV ส่องมาถึงโลกมากขึ้นมีผลเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้สารเคมี 2 ชนิดที่อยู่ในรูปของก๊าซในชั้นบรรยากาศที่ทำลายโอโซนได้คือคลอรีนออกไซด์ (Chlorine Oxides; ClOx) และไนโตรเจนออกไซด์

(Nitrogen Oxides ; Nox) (ดูเรื่องสาร CFC ประกอบ) ไนโตรเจนออกไซด์มาจากไนตรัสออกไซด์ (Nitrous Oxides; N₂O) ซึ่งมีจุดกำเนิดตามธรรมชาติที่ผิวโลก เช่นกระบวนการ denitrication ของจุลินทรีย์และในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ เกิดจากฟ้าแลบฟ้าร้อง พวกเครื่องบินที่บินเร็วเหนือเสียง (SST) ที่ปล่อยไนตริกออกไซด์จากไอเสียและยังมีสารพวกฮาโลเจน (Halogen) โดยเฉพาะพวกก๊าซโบมีน (Br) ที่สามารถสลายโอโซนได้ในทางทฤษฎี ขบวนการสำคัญที่สุดที่ทำให้ลายโอโซนคือ ขบวนการที่มีอะตอมของคลอรีน ไนตริกออกไซด์ ไฮโดรเจนออกไซด์ โบมีน และไฮโดรเจนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ผลของปฏิกิริยาที่ทำ กับโอโซนหรือออกซิเจนนั้น จะทำให้อะตอมของสารพวกนั้นออกมาและเริ่มต้นใหม่เป็นวงจร ดังนี้



2.2 หลักการเกิดก๊าซโอโซน

ก๊าซโอโซนคือก๊าซที่เกิดจากการจับตัวกันของออกซิเจน 3 อะตอม การที่จะทำให้ออกซิเจนแตกพันธะได้นั้น จะต้องป้อนพลังงานจากภายนอกเข้าไปกระตุ้นให้ก๊าซออกซิเจน (Oxygen gas : O₂(g)) แตกพันธะออกเป็นอะตอมอิสระของออกซิเจน (O) แล้วจึงรวมตัวกับ O₂ กลายเป็น O₃ ซึ่งพลังงานของ O₃ จะน้อยกว่า O₂ มากนั่นคือในกรณีที่มีการเพิ่มพลังงานให้กับระบบที่มี O₃ อยู่ พลังงานเพียงเล็กน้อยก็จะสามารถทำ ให้ O₃ สลายตัวได้ ดังนั้นในระบบจึงไม่ควรเกิดความร้อนขึ้นภายในแก๊สอากาศมากเกินไป เช่นความร้อนที่เกิดเนื่องจากการเบรคดาวน ในการผลิตโอโซนนั้น ยานพลังงานที่ต้องใช้ทางเคมีคือ 493.2 kJ/mol – 682.8 kJ/mol กระบวนการแปลงหน่วยจาก mol เป็นปริมาตร อ้างถึงพฤติกรรมของก๊าซในทางเคมี ก๊าซในทางอุดมคติ (Ideal gas) มีแบบจำลองเป็นจุดและไม่มีแรงกระทำ ต่อกัน 1 โมลของก๊าซในอุดมคติเขียนเป็นความสัมพันธ์ เรียกว่าสมการก๊าซในสมการที่ 2.1 เมื่อ n คือจำนวนโมลค่าเท่ากับจากกฎของก๊าซ (Gas law)

$$pv = nRT \tag{2.3}$$

แต่ก๊าซจริง (Real Gas) พบว่าโมเลกุลก๊าซมีขนาดและแรงกระทำ ระหว่างโมเลกุลเป็นแรง Van der Waals ซึ่งมีขนาดของโมเลกุลและแรงกระทำ นี้เป็นคุณสมบัติของก๊าซแต่ละชนิดสมการโดยประมาณของก๊าซจริงถูกนำ เสนอโดย Van der Waals คือ

สมการแวนเดอวาลส์ (Van der Waals)

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT \tag{2.4}$$

ในสมการที่ (2.2) และ (2.3) V คือปริมาณก๊าซ m^3

P คือ ความดันบรรยากาศ

N คือ จำนวนโมล

R คือ ค่าคงที่ก๊าซ

$P = 101.58 \times 10^3$ Pascal

$$R = 8314.3 \frac{(\text{Pa})(m^3)}{(\text{Kmol})(K)} \quad (2.5)$$

เพราะฉะนั้น ที่

$$P = 101.5 \text{ kPa}, T = 300\text{K} \text{ ได้ } V = 24.55 \text{ m}^3/\text{kmol}$$

นั่นคือ

$$1 \text{ mol} = 0.02455 \text{ m}^3$$

ดังนั้น

$$493.2 \text{ kJ/mol} = 20089.61 \text{ kJ/ m}^3$$

$$682.8 \text{ kJ/mol} = 27812.63 \text{ kJ/ m}^3$$

เมื่อ

$$1 \text{ J} = 2.78 \times 10^{-4} \text{ Wh}$$

ดังนั้น ย่านพลังงานที่จำ เป็นต้องใช้คือ $5.58 \text{ kWh/ m}^3 - 7.73 \text{ kWh/ m}^3$ แต่เนื่องจาก ในอากาศมี ออกซิเจนอยู่ โดยประมาณ 21% ดังนั้นคิดเทียบแล้วพลังงานที่จำ เป็นต้องใช้คือ $1.172 \text{ kWh/ m}^3 - 1.62 \text{ kWh/ m}^3$ จึงจะเพียงพอต่อการเกิดโอโซนในแก๊ส

2.2.1 ความเป็นพิษ

โอโซนเป็นสารเคมีที่ไม่เคยตรวจพบในการใช้งานเลยว่าเป็นอันตรายต่อผู้ใช้ในช่วง 100 ปีที่ผ่านมา ในขณะที่สารผลิตภัณฑ์ของคลอรีนหลายชนิดเป็นพิษอย่างรุนแรง นอกจากนี้โอโซนยังจัดว่าเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อ และปลดเชื้อที่สมบูรณ์แบบ แต่โดยคุณสมบัติตัวมันแล้ว โอโซนเป็นก๊าซพิษ ค่าศักย์ออกซิเดชันสูงถึง 2.07 ดังนั้นถ้าปราศจากความรู้ความเข้าใจ การใช้งานจะเป็นอันตรายมาก จึงระบุระดับความเป็นพิษของโอโซนและผลที่เกิดขึ้นไว้ดังนี้

2.3 การใช้โอโซนในการเก็บรักษาผลไม้

โอโซนที่ความเข้มข้นต่ำๆสามารถใช้ในการเก็บรักษาผักและผลไม้ที่เก็บรักษาในห้องเย็นได้โดยสามารถป้องกันการเจริญของเชื้อราและแบคทีเรียในอากาศที่สัมผัสกับผิวของผลิตภัณฑ์และยังสามารถทำลายจุลินทรีย์ที่ผิวของผลิตภัณฑ์ได้มีการศึกษาการใช้โอโซนในการเก็บรักษาผักและในการเก็บรักษาผักและผลไม้หลายชนิด เช่น แอปเปิ้ล มันฝรั่ง มะเขือเทศ สตรอเบอรี่ บรอกโคลี แพร์ ส้ม พืช องุ่น ข้าวโพด และถั่วเหลือง แต่สิ่งที่สำคัญคือโอโซนสามารถใช้ในห้องเย็นที่ใช้เก็บรักษาผักและผลไม้เพื่อป้องกันการสุกโดยโอโซนจะไปลดการผลิตแก๊สเอทิลีนที่ผักและผลไม้ผลิตขึ้นและมีผลทำให้ผักและผลไม้สุกหรือเน่าเสียช้าลง

ตารางที่ 2.1 ระดับโอโซนและผลที่เกิดขึ้น (ข้อมูลจาก IOA : International Ozone Association)

Ozone Level (ppm. : part per million)	Effect
0.001-0.125	ระดับที่พบในชั้นบรรยากาศค่านี้นแปรผันตามตำแหน่งและสภาพบรรยากาศแวดล้อม
0.05	ระดับสูงสุดที่ผลิตจาก Electronic air cleaner และอุปกรณ์ในบ้าน
0.1	ระดับสูงสุดที่ยอมรับได้ในบรรยากาศบริเวณอุตสาหกรรมและที่สาธารณะ
0.3	เริ่มปรากฏต่อสิ่งมีชีวิตที่สัมผัสโดยตรง ในพืชเกิดจุดดำสีซีด มีใบตาย ในสัตว์เกิดการระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ
0.5	ปวดศีรษะ ปอดถูกทำลาย ติดเชื้อทางเดินหายใจ

2.3.1 ตัวออกซิไดซ์ (Oxidizer)

หน้าที่หลักที่สำคัญ และเป็นลักษณะเด่นของโอโซนคือทำ ปฏิกิริยาออกซิเดชันตัวอย่างเช่น

1. เหล็กแมงกานีส

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือการทำให้ไอออนของเหล็ก และแมงกานีสกลายเป็นของแข็งและตกตะกอน ปริมาณโอโซนที่ใช้คือ 0.43 mgO₃/mgMn แต่ถ้าเป็นสารเคมีชนิดอื่นๆ เช่น คลอรีน (ClO₂) ต้องใช้ 1.20 mg/mgFe และ 2.45 mg/mgFe เป็นต้น

2. สารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นและรส (Taste and odor control)

กลิ่นและรสในน้ำเกิดขึ้นเนื่องจากสารประกอบอินทรีย์ และการเผาผลาญของอาหารของสารอินทรีย์ เป็นต้น ถ้าสารประกอบเหล่านี้ไม่เป็นสารประกอบอิมตัว โอโซนจะสามารถทำ ปฏิกิริยากับสารเหล่านี้ได้ดี

3. กำจัดสี (Color abatement)

สีที่พบในน้ำแบ่งออกเป็นสีจริง (True color) กับสีปรากฏ (Apparent color) ซึ่งแล้วแต่สารประกอบที่ทำให้เกิดการกระเจิงของแสงออกมาสู่สายตามนุษย์ โอโซนสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบเหล่านี้และกำจัดให้หมดไป

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลปริมาณใช้โอโซนในลักษณะต่างๆ

ลักษณะและพื้นที่ของการใช้งาน	ปริมาณที่ใช้ (มิลลิกรัมต่อชั่วโมง)
1. ในรถยนต์	10-15
2. ในห้อง 10 ตารางเมตร	40
20 ตารางเมตร	70
33 ตารางเมตร	100
55 ตารางเมตร	100
3. ทำน้ำดื่ม 10-30 ลิตร	100-125
4. - สลายสารพิษในผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์ - ทำ ความสะอาดภาชนะ - ซักล้างสารที่ตกค้างบนเสื้อผ้า - เสริมความงาม	100
5. ในอ่างอาบน้ำ	200
6. สลายสารเคมีทำลายและยับยั้งกาเจริญเติบโตของเชื้อโรคและกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ต่างๆ	250

2.4 กระบวนการแตกตัวของก๊าซโอโซน

อากาศมีองค์ประกอบหลักคือ ก๊าซไนโตรเจน(N_2) 79% และก๊าซออกซิเจน(O_2) 21% โดยประมาณนอกนั้นเป็นก๊าซเฉื่อยและไอน้ำ โอโซนเป็นก๊าซที่ประกอบไปด้วยออกซิเจน 3 อะตอม จับตัวกันอยู่ในสถานะไม่เสถียร สลายตัวได้ง่ายขึ้นอยู่กับเงื่อนไขสิ่งแวดล้อมและความหนาแน่นของปริมาณที่ผลิต ขั้นตอนการผลิตประกอบด้วยกระบวนการสร้างอะตอมอิสระของออกซิเจน(Free radical) จากโมเลกุลก๊าซออกซิเจนในอากาศหลังจากนั้นอะตอมอิสระเหล่านี้จะรวมตัวเข้ากับโมเลกุลก๊าซออกซิเจนเกิดเป็นโอโซน O_3 ซึ่งจะนำไปใช้ในระบบบำบัดทางอุตสาหกรรมต่อไป กระบวนการเกิดโอโซนเกิดได้จากกระบวนการ 2 ชนิดคือ กระบวนการไอออไนเซชัน (Ionization) หรือกระบวนการแยกตัว(Dissociation) ในการแตกตัวของก๊าซนั้น ไอออไนเซชันคือการเพิ่มของประจุแบบทวีคูณ (Electron avalanche) นำไปสู่การเบรกดาวนในฉนวนที่พิจารณาทำให้กระแสไฟฟ้าวิ่งทะลุผ่านฉนวน สิ่งที่เกิดตามมาคือ ความร้อนเนื่องจากกระแสที่ไหลจากการเบรกดาวนที่เกิดขึ้น ทำให้โอโซนที่มีพลังงานพันธะต่ำเกิดการสลายตัวดังนั้นในการผลิตโอโซนจึงไม่ควรเกิดการเบรกดาวนขึ้น นั่นคือพลังงานที่อิเล็กตรอนรับจากสนามไฟฟ้าควรมีค่าน้อยกว่าพลังงานไอออไนเซชัน (W) แต่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการแยกตัวของอะตอมออกซิเจนออกจากกัน

ในอากาศที่ผ่านกระบวนการเพื่อผลิตโอโซนจะได้สารผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นผลของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในก๊าซหลังการแตกตัวที่ความดัน 1 bar อุณหภูมิ 300K ($79\%N_2 + 21\%O_2$) นอกจากโอโซนแล้วยังพบออกไซด์ประเภท N_2O และ N_2O_5 ด้วยซึ่งระดับความหนาแน่นต่ำกว่าโอโซนแต่ปริมาณที่ตรวจพบจะเพิ่มมากขึ้นในกรณีที่คุณภาพก๊าซที่ใช้ไม่เหมาะสมคือมีความชื้นสูงออกไซด์เหล่านี้ส่งผลเสียต่อชุดอิเล็กทรอนิกส์ปริมาณโอโซนที่ผลิตได้

ดังนั้นระบบเตรียมก๊าซก่อนกระบวนการ (Feed gas preparation system) จึงเป็นส่วนสำคัญของระบบส่วนหนึ่งด้วย เมื่อพิจารณาแหล่งพลังงานที่กระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยา แล้วพบว่าพลังงานเป็นองค์ประกอบสำคัญในการสร้างอะตอมมูลฐานของการผลิตโอโซน O_3 การเลือกย่านพลังงานที่เลือกใช้อย่างเหมาะสมจะช่วยให้ประสิทธิภาพการผลิตดีขึ้น นั่นคือการออกแบบส่วนผลิตของก๊าซ จึงต้องใช้ความรู้เบื้องต้นเรื่องทฤษฎีจลน์ของก๊าซ และสนามไฟฟ้าแรงสูง ในก๊าซประกอบด้วยอนุภาคต่างๆ หลายชนิดทั้งที่มีประจุบวกและประจุลบ และอนุภาคที่เป็นกลาง การเคลื่อนที่ของอนุภาคเหล่านี้เป็นแบบสุ่ม สนามไฟฟ้าจากภายนอกทำให้อนุภาคประจุที่มีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับประจุไฟฟ้าบวกทั่วไป จึงทำให้ตัวมันมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เกิดขึ้นในการแตกตัวของก๊าซ เช่นเดียวกันในการผลิตโอโซนพลังงานหลักที่ทำให้ออกซิเจนเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างขึ้นส่งถ่ายมาจากการชนอิเล็กตรอนกับโมเลกุล การชนมี 2 ชนิดคือการชนแบบยืดหยุ่น (Elastic collision) พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนก่อนชน และการชนแบบไม่ยืดหยุ่น (Inelastic collision) คือ อิเล็กตรอนสูญเสียพลังงานไปบางส่วนระหว่างการชนให้กับอนุภาคที่ถูกชนพลังงานที่ถ่ายทอดไปนี้แบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ พลังงานแตกตัว (Dissociation energy : W_D) พลังงานกระตุ้น (Excited energy : W_E) และพลังงานไอออไนเซชัน (Ionization : W_I)

2.5 การสร้างก๊าซโอโซน

การสร้างก๊าซโอโซนมี 2 วิธี ดังนี้

2.5.1 การสร้างก๊าซโอโซนจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต เมื่ออากาศผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ต โมเลกุลของออกซิเจนในอากาศจะแตกตัว แสงสว่างจะวัดบนสเกล เรียกว่า “Electromagnetic spectrum” และเพิ่มขึ้นเป็นนาโนเมตร ซึ่งการสร้างก๊าซโอโซนจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยทั่วไปจะใช้ถึง 185 นาโนเมตร เพราะเป็นความยาวคลื่นที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับการสร้างโอโซน อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่ได้ต่ำมากอยู่ในช่วง 0.01-0.1% โดยน้ำหนัก

2.5.2 การสร้างก๊าซโอโซนจากไฟฟ้าแรงสูง การสร้างก๊าซโอโซนจากไฟฟ้าแรงสูงวิธีนี้ถูกเรียกว่า “โคโลนาติสซาร์จ” จะอาศัยการสร้างไฟฟ้าแรงสูงและป้อนไฟฟ้าแรงสูงเข้า สู่ขั้ว Electrode ที่มีความหนาแน่นของสนามไฟฟ้าที่รุนแรงเมื่อความเข้มข้นของสนามไฟฟ้ามีค่ามากกว่าสนามวิกฤต จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ Corona discharge ซึ่งถ้าอยู่ในที่มืดก็จะสามารถมองเห็นเป็นแสงสีม่วงโดยการนำก๊าซที่มีองค์ประกอบของออกซิเจนและโมเลกุลไนโตรเจน ซึ่งจะรวมตัวกันเป็นออกไซด์ แต่ถ้ารวมกับความชื้นจะทำให้เกิดกรดไนตริก สำหรับอากาศแห้งความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่ได้ คือ 0.5 - 1.7% โดยน้ำหนัก และเมื่อใช้ก๊าซที่มีปริมาณโอโซนมากความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่ได้ คือ 1.0 - 6.0%

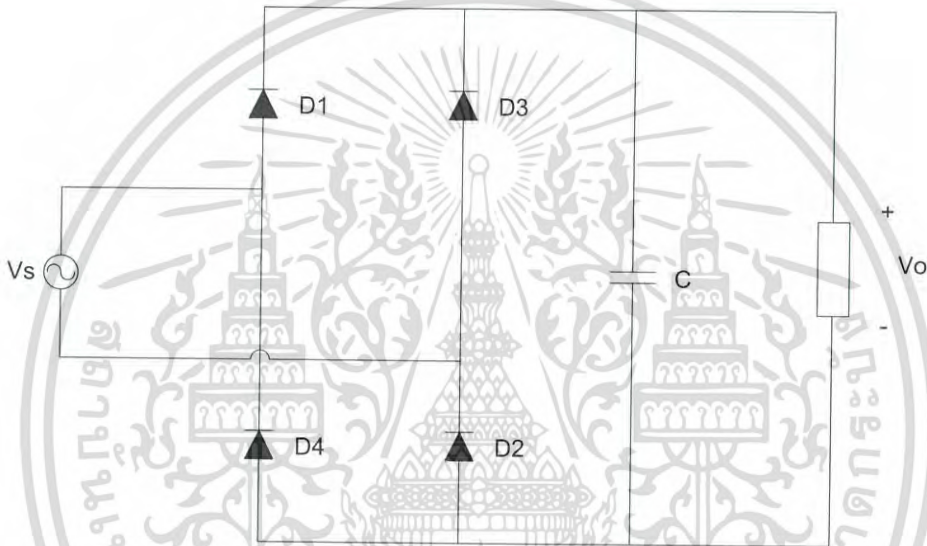
ดังนั้นโครงการนวัตกรรมนี้จึงมีแนวคิดที่จะสร้าง เครื่องสร้างโอโซนสำหรับยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ โดยใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงแบบเต็มบริดจ์ มีสวิตช์ MOSFET และหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงในการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าให้เพียงพอต่อการเกิดโอโซน นอกจากนั้นเครื่องกำเนิดโอโซนยังถูกควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ dsPic30F4011 เพื่อควบคุมปริมาณโอโซน

2.6 วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit)

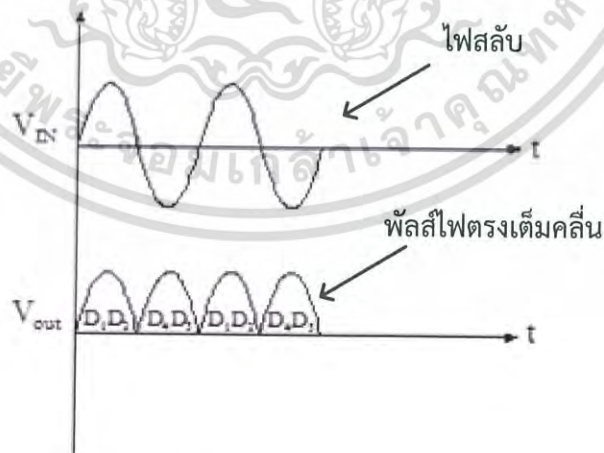
คือ วงจรไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติในการแปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับให้กลายเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง หรือมีคุณสมบัติยอมให้ไฟฟ้าไหลผ่านไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง อุปกรณ์ที่นิยมใช้ในการแปลงสัญญาณ ได้แก่ ไดโอด

2.6.1 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

กระแสแบบเต็มคลื่นมีข้อดีกว่าวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นคือ จะมีกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยต้านเข้าหรือต้านแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งเป็นผลดีต่อหม้อแปลงไฟฟ้า และมีค่าตัวประกอบระลอกคลื่น (ripple factor) ต่ำกว่าแบบครึ่งคลื่น ทำให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้านำออกได้สูงกว่าแบบครึ่งคลื่น



รูปที่ 2.1 วงจร Rectifier



รูปที่ 2.2 สัญญาณการทำงานวงจร Rectifier

2.6.2 หลักการทำงานของวงจร Rectifier

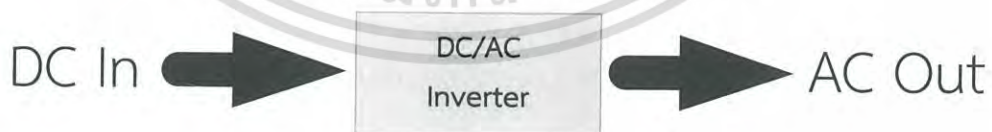
1. การทำงานของไดโอดจะนำกระแสเป็นคู่โดยไดโอด D_1 และ D_2 ทำงานคู่กัน D_3 และ D_4 จะทำงานคู่กัน เป็นผลทำให้กระแสไฟฟ้าไหลจะเป็นบวกหรือเป็นศูนย์ ไม่มีโอกาสเป็นลบ
2. เมื่อไดโอด D_1 และ D_2 นำกระแสไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดจะเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย เมื่อไดโอด D_3 และ D_4 นำกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมโหลดจะตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย คือเท่ากับ $-V_s$
3. ค่าแรงดันไฟฟ้าไบอัสย้อนกลับสูงสุดที่ตกคร่อมโหลด จะเท่ากับค่ายอดของแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย กล่าวคือเมื่อไดโอด D_1 นำกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมไดโอด D_3 จะตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย
4. กระแสไฟฟ้าที่ไหลจากแหล่งจ่ายเข้าไปในวงจรบริดจ์ไดโอด คือ $i_{D1} - i_{D4}$ ทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าแหล่งจ่ายเฉลี่ยเป็นศูนย์
5. ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายจะเท่ากับค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสโหลด
6. ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าด้านออกเป็น 2 เท่ากับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย โดยที่แรงดันไฟฟ้าฮาร์มอนิกจะประกอบไปด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและฮาร์มอนิกอันดับคู่

2.6.3 ตัวเก็บประจุกรองแรงดัน

การต่อตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุสูงๆ ขนานกับโหลดของวงจรเรียงกระแสจะสามารถทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าใกล้เคียงกับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

2.7 วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter Circuit)

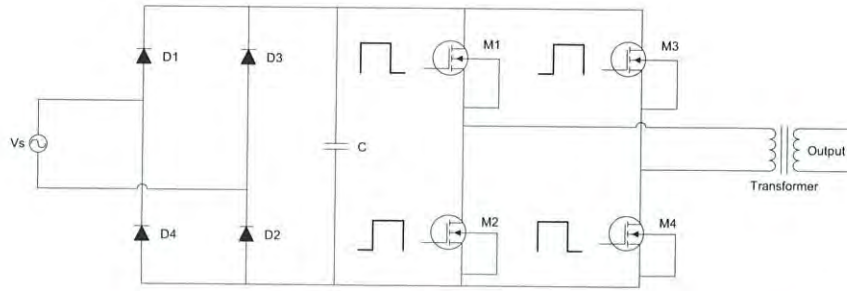
การทำงานของอินเวอร์เตอร์ (Inverter) จะแปลงไฟกระแสตรง (DC) เป็นไฟกระแสสลับ (AC) ที่สามารถปรับขนาดแรงดันและความถี่ได้โดยวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter Circuit) วงจรนี้จะเป็นวงจรหลักที่ทำหน้าที่แปลงรูปคลื่นโดยทั่วไปแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับมีรูปคลื่นไซน์ แต่เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์จะมีรูปคลื่นแตกต่างจากรูปไซน์ นอกจากนั้นยังมีชุดวงจรควบคุม (Control Circuit) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของ 3-phase Induction motor



รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการทำงาน

วงจรอินเวอร์เตอร์จะแปลงผันกำลังไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) และจะสร้างแรงดันไฟฟ้าด้านออกเป็นรูปไซน์ที่สามารถปรับขนาดและความถี่ได้ตามต้องการ

ในโรงงานใช้อินเวอร์เตอร์ในการแปลงแรงดันกระแสตรงให้เป็นกระแสสลับความถี่สูง โดยอาศัยการสวิตชิงของเพาเวอร์มอสเฟตดังใน รูปที่ 2.4



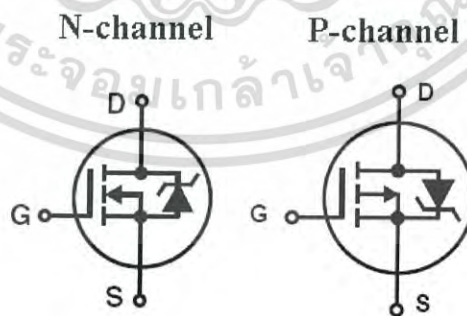
รูปที่ 2.4 วงจรอินเวอร์เตอร์ที่รับแรงดัน Output DC จากวงจรเรียงกระแส

2.7.1 หลักการทำงานของวงจร Inverter

วงจรอินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และมีหลักการทำงานดังนี้ เพาเวอร์มอสเฟต 4 ตัว จะทำงานโดยการนำกระแสและหยุดนำกระแสเป็นคู่ๆ ในแต่ละครึ่งคาบเวลา M_1 และ M_4 จะนำกระแสพร้อมกันในครึ่งคาบเวลา และเมื่อหยุดนำกระแสจะได้ M_2 และ M_3 นำกระแสพร้อมกันในครึ่งเวลาที่เหลือ ซึ่งทำงานสลับกันแบบนี้เรื่อยๆ M_1 กับ M_2 ต้องไม่ทำงานพร้อมกันทุกช่วงเวลา รวมถึง M_3 กับ M_4 ก็ต้องไม่ทำงานพร้อมกันเช่นกันในทุกช่วงเวลา แต่ในทางปฏิบัติจะต้องการช่วงเวลาเวลาที่สวิตช์ทั้งคู่ไม่นำกระแส ซึ่งเรียกว่า เดด ไทม์ (dead time) จะอยู่ในช่วงเวลาที่เปลี่ยนสถานะการสวิตช์ ส่วนไดโอดทำหน้าที่คอมมิวเตตติ้งไดโอด (Commutating Diode) ให้กับวงจร

2.8 เพาเวอร์มอสเฟตในวงจรกำลัง

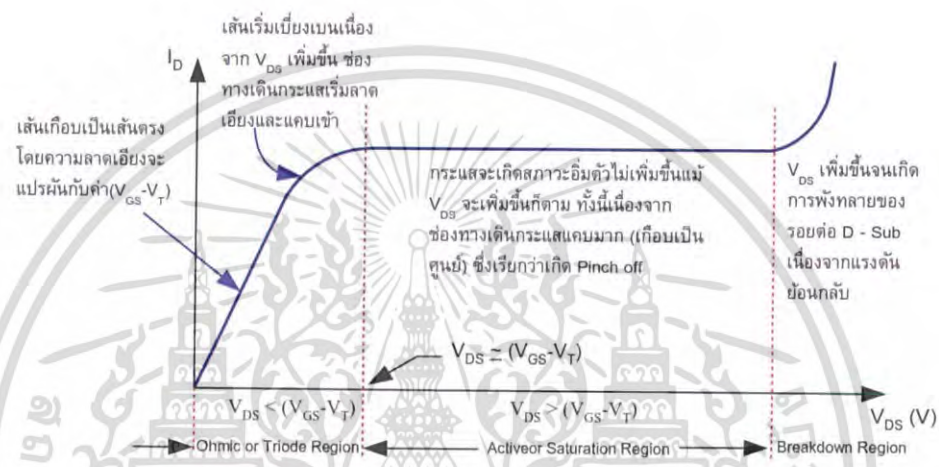
เพาเวอร์มอสเฟตเป็นอุปกรณ์ควบคุมแรงดัน และเมื่อต้องการให้มอสเฟตกำลังนำกระแสอย่างต่อเนื่อง จะต้องมีกร่อนแรงดันระหว่างขาเกตกับขาซอส (V_{GS}) อย่างต่อเนื่อง ช่วงเวลาสวิตช์ของมอสเฟตกำลังอยู่ระหว่างหลักสิบนาโนวินาทีถึงหลักร้อยนาโนวินาที ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดพิกัดของมอสเฟตกำลังในปัจจุบัน มอสเฟตกำลังมีค่าพิกัดการทำงานของแรงดันไฟฟ้ามากกว่า 1,000 โวลต์ แต่มีพิกัดกระแสได้ไม่เกิน 100 แอมแปร์ แต่จุดเด่นที่สุดของมอสเฟตกำลังคือการมีความถี่ของการสวิตช์มีค่ามากถึงหลักร้อยกิโลเฮิรตซ์



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างสัญลักษณ์ของมอสเฟต

มอสเฟตเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมการนำกระแสด้วยแรงดัน จากคุณลักษณะแรงดันและกระแสเอาต์พุตแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ย่านคือ

1. ย่านคัตออฟ (Cutoff region) เป็นย่านที่มอสเฟตไม่นำกระแส โดยที่ $V_{GS} \leq V_{GS,th}$ และ $V_{GS,th}$ หรือแรงดันขีดเริ่มเป็นแรงดันเริ่มต้นที่ทำให้มอสเฟตนำกระแส
2. ย่านพินชออฟหรืออิ่มตัว (Pinch-off or Saturation region) เป็นย่านที่ $V_{DS} \geq (V_{GS}-V_{GS,th})$ และ I_D ค่อนข้างมีค่าคงที่ทำให้มอสเฟตทำการขยายแรงดัน
3. ย่านเชิงเส้นหรือโอห์มมิก (Linear or Ohmic region) เป็นย่านที่ $V_{DS} < (V_{GS}-V_{GS,th})$ และ I_D นั้นแปรกับ V_{DS} โดยที่ในช่วงที่ I_D มาก V_{DS} มีค่าลดลง ทำให้มอสเฟตเป็นสวิตช์

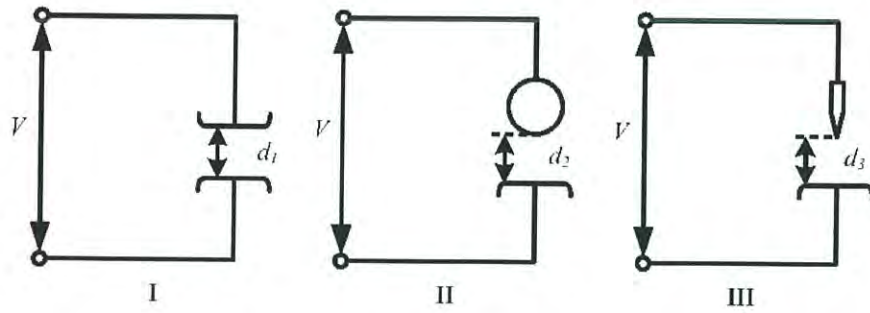


รูปที่ 2.6 กราฟย่านการทำงานของมอสเฟต

2.9 ลักษณะรูปแบบสนามไฟฟ้า

ปริมาณก๊าซไอโซนที่ผลิตมีความเข้มข้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะรูปแบบสนามไฟฟ้าที่จะทำให้เกิดความเครียดสนามไฟฟ้าสูง ว่าเป็นลักษณะรูปแบบสนามไฟฟ้าแบบใด โดยทั่วไปลักษณะรูปแบบสนามไฟฟ้าอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ และสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ ชนิดไม่สม่ำเสมอนี้แบ่งได้ 2 แบบคือ แบบไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย และไม่สม่ำเสมอสูง สนามไฟฟ้าจะเป็นแบบไหนขึ้นอยู่กับรูปลักษณะของอิเล็กโทรดดังรูปที่ 2.7

- I คือ สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ (Uniform field)
- II คือ สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย (Slightly non uniform field)
- III คือ สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง (Highly non uniform field)



รูปที่ 2.7 อิเล็กโทรดที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าแบบต่างๆ กัน

ถ้ามีการป้อนแรงดันให้กับชั้นอิเล็กโทรดต่างๆ ที่วางอยู่ในอากาศ ดังรูปที่ 2.7 จะพบว่าแรงดันที่ทำให้เกิดเบรกดาวนจ์จะไม่เท่ากัน ถึงแม้ว่าจะจัดระยะ d_1 , d_2 และ d_3 ให้เท่ากันก็ตาม

ค่าแรงดันที่ทำให้เกิดเบรกดาวนจ์สามารถวัดหาได้ง่าย ฉนวนแต่ละชนิดมีค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ามิใช่ตัวตายค่าใดค่าหนึ่ง ส่วนใหญ่จะเป็นค่าสถิติ หรือค่าโดยประมาณ มักกำหนดหรือระบุด้วยความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด E_{max} ที่เกิดขึ้น ณ จุดใดจุดหนึ่งระหว่างอิเล็กโทรด ในขณะที่เบรกดาวนจ์เริ่มเกิดขึ้น ซึ่งจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแฟกเตอร์ต่างๆ หลายประการ

2.9.1 สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ (I)

สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ หมายถึง สนามไฟฟ้าเท่ากันทุกจุด ดังเช่นในช่องระหว่าง อิเล็กโทรด ระนาบ-ระนาบ ซึ่งคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$E_{max} = E = \frac{U}{d} \quad (2.6)$$

โดยที่

- E_{max} คือ ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด
- U คือ แรงดันที่ป้อนเข้าระหว่างอิเล็กโทรด
- d คือ ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด
- E คือ ความเครียดสนามไฟฟ้า ณ จุดใดๆ ระหว่างอิเล็กโทรด

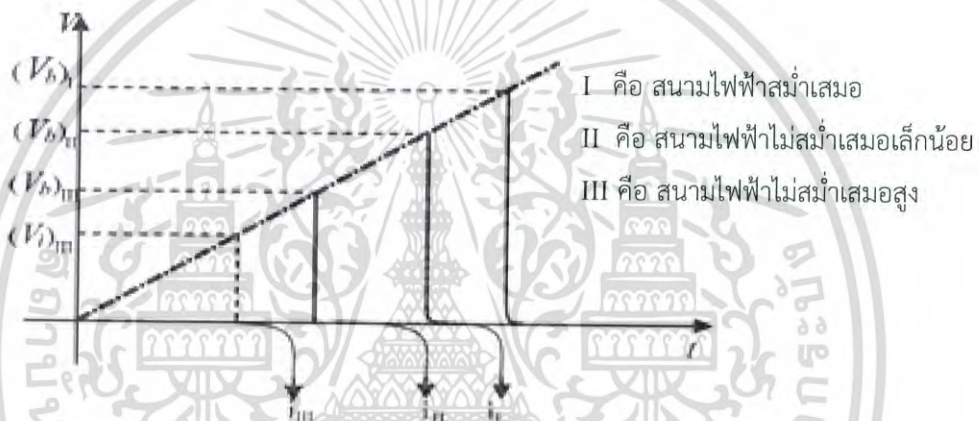
เมื่อมีการป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับอิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอจะเกิดเบรกดาวนจ์หรือ สปาร์กทันทีที่ความเครียดสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรด (ซึ่งเท่ากันทุกจุด) ถึงค่าที่กำหนดค่าหนึ่งโดยประมาณ และกระแสเพิ่มขึ้นอย่างมากในทันทีทันใด ค่ากระแสเบรกดาวนจ์จะถูกจำกัดด้วยค่าอิมพีแดนซ์ของตัวจ่าย และวงจรภายนอกเท่านั้น ซึ่งก่อนจะเกิดเบรกดาวนจ์นั้นค่ากระแสนี้จะวัดไม่ได้ แสดงดังรูปที่ 2.8 (แบบ I) และค่าความเครียดสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแรงดันขณะจะเกิดเบรกดาวนจ์นี้ก็คือ ค่าความคงทนทางไฟฟ้า (Dielectric strength) หรือความคงทนต่อความเครียดสนามไฟฟ้าของการฉนวนนั่นเอง ซึ่งคำนวณได้จาก

$$E_b = \frac{U_b}{d} \quad (2.7)$$

โดยที่ E_b คือ ความเครียดสนามไฟฟ้าที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์ ซึ่งเรียกว่าความคงทนทางไฟฟ้าของฉนวน

U_b คือ แรงดันที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์ด้วยสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

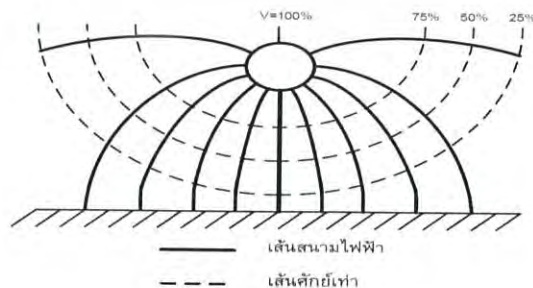
อย่างไรก็ตามค่า E_b นี้ของไดอิเล็กตริกชนิดหนึ่งก็มีค่าไม่คงตัวเสมอไป เพราะขึ้นอยู่กับแฟกเตอร์ต่างๆ เช่น ความหนา ระยะห่าง d ที่ไม่เท่ากัน ค่า E_b ก็ไม่เท่ากัน ฉะนั้นในมาตรฐานที่กำหนดค่าความคงทนทางไฟฟ้าของฉนวน มักจะกำหนดความหนาของไดอิเล็กตริกไว้ด้วยเสมอ



รูปที่ 2.8 เปรียบเทียบแรงดันที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์ในไดอิเล็กตริกตามลักษณะสนามไฟฟ้า

2.9.2 สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ (II, III)

สนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอ คือ ความเครียดสนามไฟฟ้าแต่ละจุดมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดนั้น ความแตกต่างกัน ณ จุดต่างๆ จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะทางเรขาคณิตของอิเล็กโตรด ที่มีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอมากหรือน้อย ดังเช่น อิเล็กโตรดในรูปที่ 2.8 II ถ้าเขียนเส้นสนามไฟฟ้าและเส้นศักย์ไฟฟ้าเท่า จะได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 สนามไฟฟ้าและเส้นศักย์เท่า

จากรูปที่ 2.9 จะเห็นได้ว่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด E_{\max} จะเกิดขึ้นที่ผิวของอิเล็กโทรดทรงกลม ซึ่งอาจคำนวณได้จากสมการ

$$E_{\max} = \frac{U}{d \times \eta^*} \quad (2.8)$$

โดยที่ η^* คือ แฟกเตอร์สนามไฟฟ้า (Field utilization factor) มีค่านิยามว่า

$$\eta^* = \frac{E_{av}}{E_{\max}} \quad 0 < \eta^* \leq 1 \quad (2.9)$$

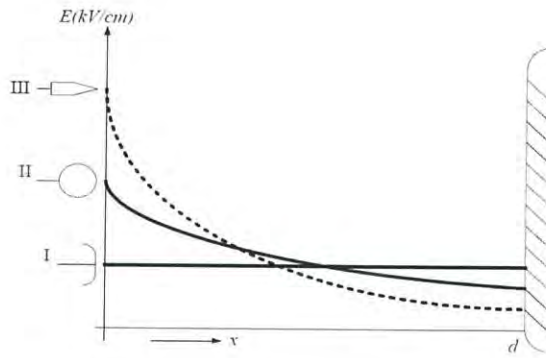
โดยที่ E_{av} คือ ค่าเฉลี่ยของสนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ $\left(\frac{U}{d}\right)$

จึงพอสังเกตได้ว่า η^* ก็คือ ดรรชนีบ่งบอกว่าอิเล็กโทรดนั้น มีลักษณะสนามไฟฟ้า สม่าเสมอมากน้อยเพียงใด และโดยอาศัยแฟกเตอร์สนามไฟฟ้านี้เอง จึงคำนวณหาความเครียดสนามไฟฟ้าเบรกดาวน์ของฉนวนในสนามไฟฟ้าไม่สม่าเสมอเล็กน้อย (แบบ II) ได้คือ

$$E_b = \frac{U_b}{d \times \eta^*} \quad (2.10)$$

เมื่ออิเล็กโทรดที่มีค่าแฟกเตอร์สนามไฟฟ้าลดลง ค่าแรงดันเบรกดาวน์ก็จะลดลง สมการนี้ใช้ได้เฉพาะกรณีอิเล็กโทรดสนามมีไฟฟ้าไม่สม่าเสมอเล็กน้อย หรือใช้ในกรณีที่ไม่เกิดโคโรนา คือ ไม่มีดีสชาร์จนำหน้า (Predischarge) เกิดก่อนเบรกดาวน์ ดังรูปที่ 2.8 (II) กล่าวคือก่อนเกิดเบรกดาวน์จะไม่ปรากฏว่ามีกระแสไหลระหว่างอิเล็กโทรดเลย และลักษณะสนามไฟฟ้าจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง จะเกิดเบรกดาวน์ทันทีที่ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงถึงค่าความคงทนคือค่า $E_{\max} = E_b$

ในกรณีสนามไฟฟ้าไม่สม่าเสมอสูง (Highly nonuniform field) ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงจะอยู่บริเวณใกล้กับผิวของอิเล็กโทรด ที่มีพื้นที่น้อยที่สุด เช่น ปลายแหลมดังรูปที่ 2.8 (III) เมื่อระยะห่างออกไปจากผิวอิเล็กโทรด ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าจะลดลงอย่างรวดเร็ว ดังเส้นกราฟความเครียดสนามไฟฟ้ากระจายเปรียบเทียบดังรูปที่ 2.10 อิเล็กโทรดแบบ (III) นี้ ถึงแม้ว่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดจะมีค่าถึงค่าวิกฤตก็ตาม เบรกดาวน์จะยังไม่เกิด แต่จะเกิดโคโคนา



รูปที่ 2.10 สนามไฟฟ้ากระจายเปรียบเทียบของอิเล็กโตรดลักษณะต่างๆ

บริเวณที่ผิวอิเล็กโตรดเป็นบริเวณที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด ส่วนบริเวณอื่นๆ ที่ห่างออกไปจะมีความเครียดสนามไฟฟาลดลงและโคโรนาไม่เกิด ฉะนั้นใน gap ระหว่างอิเล็กโตรดจะเกิดดีสชาร์จที่ไม่สมบูรณ์ เรียกว่า ดีสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge=PD) ปรากฏการณ์อาจเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องหรือเป็นช่วงๆ จึงทำให้มีกระแสไหลในวงจรที่ป้อนแรงดันให้กับอิเล็กโตรด กระแสนี้จะเกิดขึ้นและวัดได้ก่อนเกิดเบรกดาวน์ เรียกว่า กระแสโคโรนา หรือ กระแสพรีดีสชาร์จ ดังรูปที่ 2.8 III การเกิดโคโรนาจะทำให้สนามไฟฟ้าแห่งเราคาชนิดเปลี่ยนไป เพราะมีประจุค้าง (Space Charge) ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดจะคำนวณจากสมการ 2.8 ไม่ได้ อย่างไรก็ตามสมการ 2.8 นี้อาจใช้คำนวณหาความเครียดสนามไฟฟ้าที่แรงดันโคโรนาเริ่มเกิดได้ เพราะสนามไฟฟ้าแห่งเราคาชนิดยังไม่เปลี่ยนแปลง นั่นคือ

$$E_i = \frac{U_i}{d \times \eta^*} \quad (2.11)$$

โดยที่ E_i คือ ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดที่โคโรนาเริ่มเกิด

U_i คือ แรงดันป้อนที่โคโรนาเริ่มเกิด (corona inception voltage)

จากสมการ 2.11 ใช้ได้เฉพาะกรณีที่ไม่มีประจุค้างระหว่างอิเล็กโตรด (Free of space charge) คือใช้สำหรับคำนวณหาความเครียดสนามไฟฟ้า หรือแรงดันเริ่มต้น (Inception voltage, starting voltage, threshold voltage) ซึ่งหมายถึงแรงดันที่ทำให้เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นในแก๊ส

2.9.3 ผลของลักษณะสนามไฟฟ้าที่มีผลต่อการเกิดเบรกดาวน

ในกรณีอิเล็กโทรดเป็นแบบสม่ำเสมอ หรือไม่สม่ำเสมอเพียงเล็กน้อย (แฟกเตอร์สนามไฟฟ้า η^* มีค่าสูง) แรงดันเริ่มต้นที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในช่องแคบระหว่างอิเล็กโทรด จะเป็นแบบเบรกดาวนโดยตรง (direct breakdown) เป็นเบรกดาวนที่เกิดขึ้นทันทีเมื่อได้เงื่อนไข โดยไม่มีโคโรนาเกิดขึ้นก่อนเบรกดาวน แต่ในกรณีที่อิเล็กโทรดเป็นแบบสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง (แฟกเตอร์สนามไฟฟ้า η^* มีค่าต่ำ) ค่าแรงดันเบรกดาวน U_b มีค่าสูงกว่าค่าแรงดันเริ่มต้น U_i นั่นคือ เมื่อได้เงื่อนไขของแรงดันเริ่มต้นเปลี่ยนแปลง จะไม่เกิดเบรกดาวน หากแต่จะเริ่มเกิดโคโรนา ถ้าจะให้เบรกดาวนจะต้องเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้นอีก

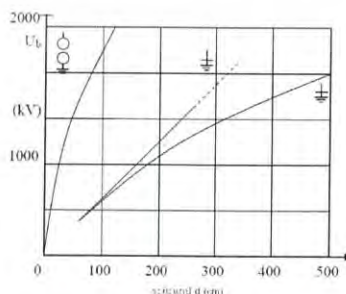
2.10 แฟกเตอร์ที่มีผลต่อแรงดันเบรกดาวน

จากที่ได้ศึกษาจะทราบว่าลักษณะของอิเล็กโทรดที่ทำด้วยเทคนิคการกระตุ้นให้เกิด ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงเป็นแบบสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง ซึ่งทำให้เกิดกระบวนการไอออนในเขชันได้ง่าย อีกทั้งยังต้องทราบถึงแฟกเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อแรงดันเบรกดาวนในสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอสูง เพื่อไม่ให้อิเล็กโทรดเกิดการเบรกดาวนอันจะเกิดความเสียหายต่อแหล่งจ่ายและอุปกรณ์ต่างๆ ในที่นี้จะอธิบายถึงผลของแฟกเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อแรงดันเบรกดาวนในก๊าซ ดังนี้คือ

2.10.1 ผลของรูปลักษณะอิเล็กโทรด (Electrode Configurations)

รูปลักษณะอิเล็กโทรดจะมีผลต่อแรงดันเบรกดาวนมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับลักษณะ สนามไฟฟ้าเป็นแบบสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ ไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย ไม่สม่ำเสมอสูง ซึ่งในกรณี สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดกับค่าเฉลี่ยจะแตกต่างกันไม่มาก ค่าแรงดันเริ่มต้นเท่ากับค่าแรงดันเบรกดาวนนั่นเอง คือ เมื่ออะวาลานซ์วิกฤตได้ตามเงื่อนไขก็จะเกิดเบรกดาวนทันที จะไม่มีโคโรนาเกิดขึ้นก่อนเบรกดาวน จึงเรียกลักษณะเบรกดาวนนี้ว่า เบรกดาวนโดยตรง (Direct Breakdown)

ในกรณีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงระยะแคบทางเมื่อเทียบกับรัศมีของอิเล็กโทรด ค่าแรงดันเริ่มต้นจะต่ำกว่าแรงดันเบรกดาวน และกรณีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสมมาตร เช่น ทรงกลม-ทรงกลม ที่ลักษณะเหมือนกัน รูปลักษณะอิเล็กโทรดไม่มีผลต่อแรงดันเบรกดาวน มีผลในกรณีที่อิเล็กโทรดเป็นลักษณะไม่สมมาตรมากๆ เช่น ทรงกลมกับแผ่นระนาบ ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แรงดันเบรกดาวนเฉลี่ยค่ายอดกระแสสลับ 50 – 60 Hz ในอากาศที่สภาวะมาตรฐาน IEC ในเทอมระยะ

ช่องแคบ (d) ของอิเล็กโทรดรูปแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.2 ผลของความหนาแน่นของก๊าซ

ในทางปฏิบัติความหนาแน่นของอากาศมีความสำคัญต่อการฉนวนกลางแจ้ง แต่ในกรณีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง ลักษณะของแรงดันเบรกดาวนในเทอมความดันก๊าซจะมีลักษณะสูงสุด-ต่ำสุด กล่าวคือที่ความดันต่างๆ จะมีโคโรนาเกิดขึ้นก่อนเกิดเบรกดาวน ถ้าเป็นแบบโคโรนาคงสถานะ จะทำให้แรงดันเบรกดาวนสูงกว่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิดมาก แต่เมื่อเพิ่มความดันให้สูงขึ้น โคโรนาคงสถานะจะลดน้อยลงทำให้ค่าแรงดันเบรกดาวนลดต่ำลงด้วย จนกระทั่งค่าแรงดันเบรกดาวนและค่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิดมีค่าเท่ากัน เป็นความดันที่แรงดันมีค่าต่ำ จากจุดนี้หากเพิ่มความดันก๊าซต่อไปอีกค่าแรงดันเบรกดาวนจะเพิ่มเป็นสัดส่วนโดยตรงกับก๊าซอีก เห็นชัดในกรณีของก๊าซประจุไฟฟ้าลบ

2.10.3 ผลของความชื้นในอากาศ

โมเลกุล H_2O ในอากาศมีลักษณะเป็นก๊าซไฟฟ้าลบบ่อยๆ เพราะมีอะตอมของ ออกซิเจนประกอบอยู่ ทำให้อากาศมีความชื้นมีความคงทนต่อแรงดันสูงขึ้น トラบเท่าที่ความชื้นนี้ยังไม่ถึงตัวเป็นหยดน้ำ หรือยังไม่ถึงจุดน้ำค้างในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอที่ไม่มีดิสชาร์จก่อน หรือในแก๊สทรงกลม ($d < \frac{D}{2}$) ผลของความชื้นที่มีต่อแรงดันเบรกดาวนน้อยมากเลยได้แต่ในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอที่เกิดดิสชาร์จก่อน ความชื้นนี้มีผลต่อค่าแรงดันเบรกดาวน และมีผลมากที่สุดสำหรับแรงดันกระแสตรง ถ้าแรงดันมีช่วงเวลาน้อย เช่น แรงดันอิมพัลส์ความชื้นมีผลต่อแรงดันเบรกดาวนน้อย

2.10.4 ผลของรูปแบบแรงดัน

แรงดันเบรกดาวนขึ้นอยู่กับรูปคลื่นของแรงดันแบบอิมพัลส์สวิตชิ่งซัฟววก มีค่าเบรกดาวนต่ำสุด แรงดันที่ซัฟววกกระแสตรงมีค่าเบรกดาวนสูงสุด แต่สูงกว่าแรงดันเบรกดาวนอิมพัลส์ (แบบฟ้าผ่า และแบบสวิตชิ่ง) ซัฟววกเล็กน้อย แรงดันซัฟววกอิมพัลส์และกระแสตรงจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนเชิงเส้นโดยตรงกับระยะแกบ ส่วนแรงดันกระแสสลับความถี่พลังงาน (50 – 60 Hz) จะมีค่าเบรกดาวนเท่าๆ กับแรงดันเบรกดาวนกระแสตรงในแกบที่ระยะห่างไม่เกิน 150 cm แต่โดยทั่วไปแสดงให้เห็นว่าความถี่สูงจากหม้อแปลงเตสลาทำให้ค่าแรงดันเบรกดาวนต่ำลงและยังขึ้นอยู่กับซัฟววกของแรงดันอีกด้วย

2.10.5 ผลของอุณหภูมิ

เมื่อค่าอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ค่าแรงดันเบรกดาวนลดลง เนื่องจากอุณหภูมิ โดยจะทำให้ไอเล็กตรอนแตกตัวได้เร็วทำให้เกิดไอออนในเซชันนำไปสู่การเกิดเบรกดาวน

2.10.6 ผลของประจุค้างต่อแรงดันไฟฟ้าต่างขั้ว (บวก-ลบ)

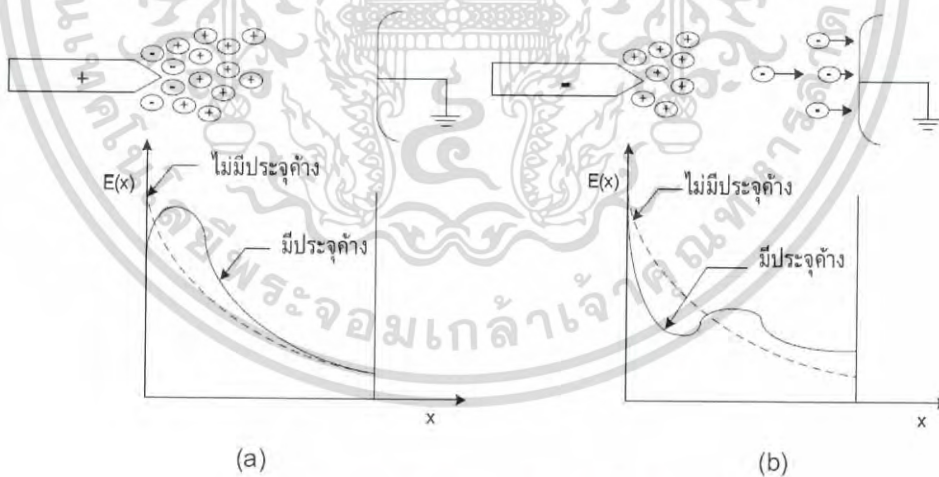
ประจุค้างเกิดในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ ผลคือค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ (U_b) สูงกว่าค่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิด (U_i) มาก ทำให้แรงดันเบรกดาวน์ของขั้วบวกและขั้วลบต่างกัน ปรากฏการณ์นี้เกิดกับแรงดันทุกรูปแบบ และในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอแบบไม่สมมาตร เช่น ปลายแหลมกับแผ่นระนาบ การอ้างอิงแรงดันขั้วบวกหรือขั้วลบหมายถึงขั้วแรงดันอิเล็กโตรดที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด

ก.) ปลายแหลมขั้วบวก

ที่ปลายแหลมเป็นขั้วบวกเทียบกับแผ่นระนาบดังรูปที่ 2.12 a เมื่อแรงดันสูงถึงค่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิดก๊าซในปริมาตรของแก๊ปจะเกิดไอออนในเซชันรอบๆ ปลายแหลม อิเล็กตรอนซึ่งเคลื่อนที่ได้ไวจะวิ่งเข้าหาปลายแหลมทำให้สนามไฟฟ้าที่ปลายแหลมมีความเครียดน้อยลง แต่ความเครียดสนามไฟฟ้าที่ระนาบมีค่าสูงขึ้น ประจุไอออนบวกหน้าปลายแหลมเสมือนว่าทำให้อิเล็กโตรดยาวขึ้น ทำให้ช่องแก๊ปอากาศสั้นลงและในเวลาเดียวกันความเครียดสนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้เกิดการเบรกดาวน์ง่ายขึ้น

ข.) ปลายแหลมขั้วลบ

ปลายแหลมเป็นขั้วลบดังรูปที่ 2.12 b อิเล็กตรอนที่เกิดจากไอออนในเซชันจะเคลื่อนที่ไปหาระนาบซึ่งเป็นบริเวณที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าต่ำ อิเล็กตรอนอาจจะเกาะตัวบนโมเลกุลได้และรวมตัวเป็นกลางที่ระนาบ ส่วนประจุไอออนบวกเคลื่อนที่ได้ช้าเข้าหาปลายแหลมจะค้างอยู่บริเวณหน้าปลายแหลม ทำให้สนามไฟฟ้าหน้าปลายแหลมมีความเครียดสูงขึ้น แต่สนามไฟฟ้าระหว่างประจุค้างกับระนาบ จะสม่ำเสมอขึ้นเนื่องจากประจุค้าง จึงทำให้เบรกดาวน์ได้ยากขึ้น ฉะนั้นผลของประจุค้างจะทำให้แรงดันเบรกดาวน์ขั้วลบมีค่าสูงขึ้น

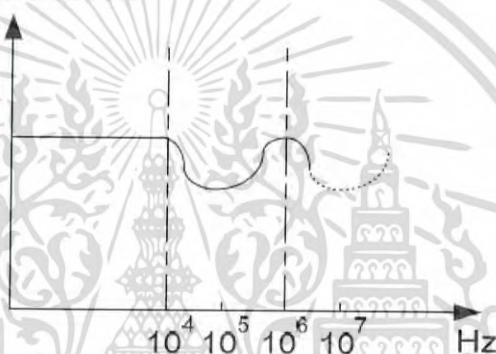


รูปที่ 2.12 ผลประจุค้างของปลายแหลมขั้วบวกและขั้วลบ

2.10.7 ผลของความถี่

ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอไม่ว่า DC หรือ AC (50 – 60 Hz) ก็ตามจะมีแรงดันเบรกดาวนไม่ต่างกัน แต่เมื่อเพิ่มความถี่สูงขึ้นแรงดันเบรกดาวนจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.13 ที่ความถี่ 10^4 - 10^5 Hz แรงดันเบรกดาวนจะเริ่มตกลงเนื่องจากไอออนบวกยังเคลื่อนที่ไม่ถึงขั้วลบแต่สนามไฟฟ้าเกิดเปลี่ยนทิศ ทำให้ไอออนบวกถูกกักไว้ในช่องว่างระหว่างแกป สนามไฟฟ้าอันเนื่องมาจากไอออนบวกนี้จะทำให้สนามไฟฟ้าระหว่างแกปเปลี่ยนไปเป็นสนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้แรงดันเบรกดาวนลดลง เมื่อไอออนบวกถูกกักไว้มากขึ้นจนเกือบไม่มีไอออนบวกตัวใดเดินทางมาถึงขั้วลบ กลไก γ ของ Townsend ก็ลดลงทำให้แรงดันเบรกดาวนสูงขึ้นและเมื่อความถี่สูงขึ้นอีก 10^7 Hz อิเล็กตรอนถูกกักไว้ให้อยู่ระหว่างแกป อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ไปมาทำให้เกิดกลไก α ได้มาก แรงดันเบรกดาวนก็จะลดลง ซึ่งจะสามารถคาดหมายได้ว่าเมื่อความถี่สูงขึ้นระยะทางที่อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปมาได้ยิ่งยาวขึ้น จะมีระยะทางโดยประมาณเท่ากับระยะทางอิสระเฉลี่ย ดังนั้นที่จะเกิดกลไก α ได้น้อยลงจึงทำให้แรงดันเบรกดาวนสูงขึ้น

แรงดันเบรกดาวน



รูปที่ 2.13 ผลของความถี่ต่อแรงดันเบรกดาวน

2.11 ดิสชาร์จบางส่วน

ดิสชาร์จบางส่วน หมายถึง การดิสชาร์จเป็นเพียงบางส่วนในแกปที่เป็นก๊าซ เบรกดาวนระหว่างอิเล็กโตรดยังเชื่อมโยงไม่ถึงกัน อาจแบ่งเป็น 3 แบบคือ

1. โคโรนาดิสชาร์จ (corona discharge)
2. ดิสชาร์จตามผิว (surface discharge)
3. ดิสชาร์จภายใน (internal discharge)

ในที่นี้จะกล่าวถึง โคโรนาดิสชาร์จ ดิสชาร์จตามผิว ซึ่งเป็นดิสชาร์จในอากาศที่เป็นฉนวนภายนอก ส่วนดิสชาร์จภายใน มักจะเริ่มต้นส่วนที่เป็นฟองก๊าซ ที่อยู่ในฉนวนแข็ง หรือฉนวนเหลว

2.12 ดิสชาร์จแบบโคโรนา

ดิสชาร์จในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงรอบปลายอิเล็กโทรดแหลม หรือขอบคมที่อยู่ในอากาศ หรือก๊าซ ความดันปกติ เรียกว่า โคโรนา โคโรนาดิสชาร์จ จะเริ่มเกิดขึ้นเมื่อความเครียดสนามไฟฟ้าเกินค่าสนามไฟฟ้าวิกฤต (E_c) ในอากาศ

ก.) โคโรนาบนสายส่งซึ่งอากาศ

ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดที่โคโรนาเริ่มเกิดบนสายส่ง อาจคำนวณได้จากความสัมพันธ์สนามไฟฟ้าของทรงกระบอกแกนร่วม

ข.) ผลจากโคโรนาผลเนื่องจากโคโรนาคือ

1. เมื่อเกิดโคโรนาในอากาศอาจสังเกตหรือรับรู้ได้ด้วยร่างกายคน คือจะได้ยินเสียงฮิสซิ่ง (เสียงแมลงบิน) มีกลิ่นโอโซน (O_3 : มีกลิ่นคาว) ในยามมืดสนิทจะเห็นแสงเรือง

2. โคโรนาดิสชาร์จเกิดขึ้นในรูปพัลส์สั้นๆ ซึ่งมีสเปกตรัมความถี่สูงถึง MHz คลื่นความถี่สูงนี้จะรบกวนระบบสื่อสาร เรียกว่าคลื่นรบกวนวิทยุ

3. การเกิดโคโรน่าย่อมหมายถึง มีพลังงานสูญเสียเกิดขึ้นตลอดเวลา

2.13 ดิสชาร์จตามผิว

ในสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ หรือไม่สม่ำเสมอก็ตาม ฉนวนแข็งมีส่วนทำให้สนามไฟฟ้าที่มีเปอร์มิวดิวตีตี้ต่ำ เช่น ก๊าซหรืออากาศมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงขึ้น จนเป็นผลให้เกิดดิสชาร์จขึ้นในส่วนที่เป็นอากาศ ดิสชาร์จตามผิวเกิดขึ้นเมื่อความเครียดสนามไฟฟ้าตามผิวฉนวน (tangential field E_t) มีค่าสูงกว่าค่าวิกฤต (E_c)

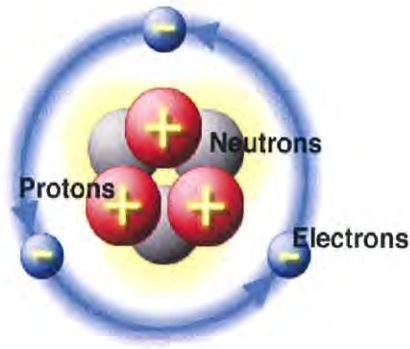
2.14 ไอออนไนเซชัน

อะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซเมื่อได้รับพลังงานเพียงพอ จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกไปหนึ่งอิเล็กตรอน อะตอมหรือโมเลกุลนั้นจะมีประจุบวก เรียกว่า เกิดไอออนซ์ กระบวนการที่แยกอิเล็กตรอนออกจากอนุภาคของก๊าซ และมีไอออนบวกเพิ่มขึ้น เรียกว่า ไอออนไนเซชัน หรือการแตกตัวของอิเล็กตรอนจากโมเลกุล

2.15 โครงสร้างของอะตอม

สสารประกอบด้วยส่วนที่เล็กที่สุดเรียกว่า “โมเลกุล” แต่ละโมเลกุลของสสารเป็นส่วนที่เล็กที่สุดของวัตถุที่ยังคงไว้ซึ่งสมบัติของสสารนั้น ในแต่ละโมเลกุลยังประกอบด้วยส่วนที่เล็กลงมาอีกเรียกว่า “อะตอม” อะตอมแตกต่างจากโมเลกุลตรงที่ไม่เสถียร (Unstable) เสมอไป อะตอมมักจะมีแนวโน้มเอียงที่จะจับตัวกับสารอื่นเพื่อสร้างเป็นโมเลกุล และวัตถุใหม่ที่ต่างออกไป

อะตอมจะประกอบด้วยส่วนที่เล็กลงอีก โดยมีนิวตรอนเป็นกลางทางไฟฟ้า โปรตอนมีประจุบวก ซึ่งอยู่ตรงกลางโดยมีอิเล็กตรอนที่มีประจุลบโคจรอยู่โดยรอบ ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 โครงสร้างของอะตอม

โดยที่ ประจุลบ คือ อิเล็กตรอน
 ประจุบวก คือ โปรตอน
 ประจุเป็นกลาง คือ นิวตรอน

2.16 การไอออไนเซชันโดยการชน (Collision Ionization)

เมื่ออนุภาคมีมวล m (อิเล็กตรอน, ไอออน หรืออะตอมเป็นกลาง) เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v และชนกับอะตอมมีมวล M จะมีการถ่ายเทพลังงานจลน์ ถ้าไม่มีผลให้เกิดการตื่นกระตุ้น (Excitation) หรือไอออไนเซชัน เรียกการชนนี้ว่า “ชนแบบยืดหยุ่น” แต่ถ้าชนแล้วอะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซที่ถูกชนจะได้รับพลังงานจากอนุภาคที่มาชน เกิดตื่นกระตุ้นหรือไอออไนเซชันขึ้น เรียกการชนนี้ว่า “ชนแบบไม่ยืดหยุ่น” นั้นหมายความว่าพลังงานจลน์ได้เปลี่ยนเป็นพลังงานศักย์

อาศัยกฎของโมเมนตัมและกฎอนุรักษ์พลังงาน สามารถคำนวณพลังงานและความเร็วของอนุภาคหลังการชนได้ ถ้าทราบเงื่อนไขก่อนการชนเกิดขึ้น ดังรูปที่ 2.15 แสดงถึงสองอนุภาคมีมวล m และ M ชนกันในแนวมุมใดๆ และเวกเตอร์ความเร็วของอนุภาคก่อนการชนเป็น v และ V ตามลำดับ เวกเตอร์ความเร็วแตกออกในแนวแกน x (แนวเชื่อมโยงผ่านศูนย์กลาง) และแกน y (ตั้งฉากกับแกน x) ในแนวแกน y คือ v_y และ V_y จะไม่เปลี่ยนแรงเมื่อมีการชน ฉะนั้นจึงให้ v_x เป็นความเร็วขั้นสุดท้ายของมวล m (ในแนวแกน x) เมื่อชนมวล M อยู่นิ่ง ($V=0$)

$$V_1 = \frac{m}{m+M} \times v \quad (2.12)$$



รูปที่ 2.15 อนุภาคชนกัน

2.17 เงื่อนไขการชนเกิดไอออนในเซชัน

ไอออนในเซชันเกิดจากอิเล็กตรอนวิ่งชนโมเลกุล หรืออะตอมของก๊าซ โดยที่อิเล็กตรอนได้รับพลังงานสนามไฟฟ้า E ในขณะที่วิ่งเข้าหาแอนโนด พลังงานอิเล็กตรอนที่ได้รับจะเป็นพลังงานจลน์ ถ้าพลังงานที่อิเล็กตรอนได้รับจากสนามไฟฟ้านี้มากกว่าพลังงานไอออนในเซชันของโมเลกุล ของโมเลกุลก๊าซ เป็น W_i ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของก๊าซ ดังแสดงในตารางที่ 2.5 ก็จะทำให้เกิดไอออนในเซชันขึ้น

สมมติว่าอิเล็กตรอนเริ่มต้นเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับศูนย์ ในทิศทางสนามไฟฟ้า $\vec{E}(x)$ เป็นระยะเท่ากับระยะอิสระ λ จะได้รับพลังงานสนามไฟฟ้า

$$W = e \int_0^\lambda \vec{E}(x) dx = eU \quad (2.13)$$

จะเกิดไอออนในเซชันเมื่อ $W \geq W_i$ (E คงที่)
 นั่นคือ $\lambda \geq \lambda_i$
 ถ้าความเครียดสนามไฟฟ้า E คงที่

$$e \times E \times \lambda_i = W_i = eU \quad (2.14)$$

โดยที่ U คือ แรงดันไอออนในเซชัน (V)
 eU_i คือ พลังงานที่ทำให้เกิดไอออนในเซชัน (eV)

ถ้าพลังงานที่ได้จากสนามไฟฟ้าไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดไอออนในเซชันได้ ก็อาจจะทำให้โมเลกุลที่ถูกชน (แบบไม่ยึดหยุ่น) นั้นอยู่ในสภาพตีกระตุ่นได้ พลังงานที่ทำให้โมเลกุลตีกระตุ่นได้พอดีเรียกว่า พลังงานตีกระตุ่น W_e

ตารางที่ 2.3 พลังงานไอออไนเซชัน และพลังงานตีกระตุ่นของโมเลกุล

ก๊าซ	พลังงานตีกระตุ่น W_e (eV)	พลังงานไอออไนเซชัน W_i (eV)
H_2	7	15.40
H	10.16	13.59
N_2	6.3	15.60
N	10.33	14.54
O_2	7.9	12.50
O	9.15	13.61
Hg	4.9	10.40
He	19.8	24.50
N_2O	-	11.00
NO	5.4	9.50
H_2O	7.6	12.59
CO_2	10	14.40
SF_6	-	19.30
ก๊าซเฉื่อย	-	10.24

2.18 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวโลหะ

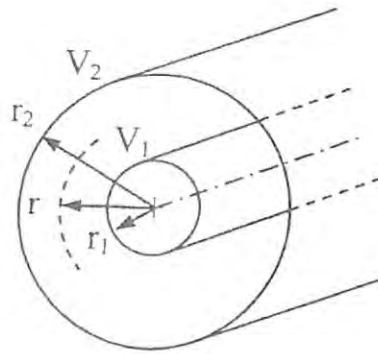
การเกิดไอออไนเซชันโดยที่อิเล็กตรอนวงชั้นโมเลกุล หรืออะตอมของก๊าซ ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากโมเลกุล ซึ่งจัดเป็นกระบวนการเบี่ยงตัน หรือกระบวนการ α นับเป็นกระบวนการที่สำคัญในการสร้างจำนวนอิเล็กตรอนอิสระเพิ่มทวีคูณ แต่ตามลำพังกระบวนการเบี่ยงตันนั้นไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเบรกดาวนได้ หากแต่ต้องมีกระบวนการอย่างอื่นเสริมจำนวนอิเล็กตรอนรวมอยู่ด้วย การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวโลหะถือได้ว่าเป็นกระบวนการที่สำคัญที่ช่วยเพิ่มทวีคูณจำนวนอิเล็กตรอนอิสระนำไปสู่การเกิดเบรกดาวน

กลไกการปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวโลหะนั้นมีด้วยกันมากหลายวิธี การจะทำให้ให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาได้นั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และสนามไฟฟ้าที่ผิวของโลหะ

2.19 ทรงกระบอกซ้อนกันแนวม

เมื่ออิเล็กโตรดมีลักษณะเป็นทรงกระบอกซ้อนกันแนวม เส้นปลั๊กซ์ไฟฟ้าจะอยู่ในแนวรัศมีแลกพื้นผิวของทรงกระบอกก็คือ พื้นผิวศักย์ไฟฟ้าเท่า ดังนั้นโดยอาศัยอินทิกรัลสมการที่สี่ของแมกซ์เวลล์ $Q = \int_S \vec{D} \cdot d\vec{A}$

สำหรับทรงกระบอกซ้อนกันแนวมมีความยาว l รัศมี $r(r_1 \leq r \leq r_2)$ ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ทรงแทงกระบอกซ้อนแกนร่วม

และ $E = D/\epsilon$ จะหาค่าไฟฟ้าที่รัศมี r ได้คือ

$$E_r = \frac{Q}{2\pi\epsilon l} \times \frac{1}{r} \quad (2.15)$$

และแรงดันที่ป้อนระหว่างทรงแทงกระบอกทั้งสอง คือ

$$U = \int_{r_2}^{r_1} E_r dr = \frac{Q}{2\pi\epsilon l} \int_{r_2}^{r_1} \frac{dr}{r} \quad (2.16)$$

$$U = \frac{Q}{2\pi\epsilon l} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (2.17)$$

$$E_r = \frac{U}{r \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (2.18)$$

ฉะนั้นความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด E_{\max} จะเกิดขึ้นที่ผิวของทรงแทงกระบอกอันใน นั่นคือ

$$E_{\max} = E_{r_1} = \frac{U}{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (2.19)$$

จากนิยามแฟกเตอร์สนามไฟฟ้า $\eta^* = E_{cr} / E_{\max}$

โดยที่

ฉะนั้น

$$E_{av} = \frac{U}{r_2 - r_1} \quad (2.20)$$

$$\eta^* = \frac{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}}{r_2 - r_1} \quad (2.21)$$

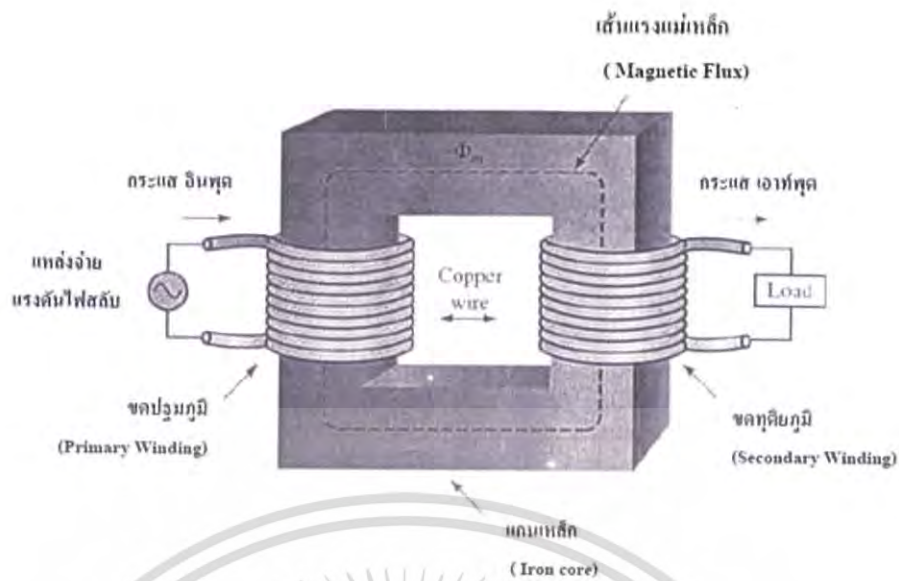
ความจุไฟฟ้าของทรงกระบอกซ้อนแกรนร่วมคำนวณจาก $Q = CU$

$$C = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (2.22)$$

2.20 ทฤษฎีหม้อแปลงพื้นฐาน

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าจากวงจรหนึ่งไปยังอีกวงจรหนึ่ง โดยวิธีการเปลี่ยนทั้งค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ซึ่งใช้หลักการของวงจรแม่เหล็กที่กระตุ้นด้วยไฟฟ้า กระแสสลับที่ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ หม้อแปลงจะประกอบด้วยขดลวดหลัก 2 ชุด ได้แก่ ขดลวดแรงดันสูง (High voltage winding ; H.V.) และขดลวดแรงดันต่ำ (Low voltage winding ; L.V.) ในขณะที่ใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าจะเรียกขดลวดด้านรับแรงดันไฟฟ้าเข้าว่า ด้านปฐมภูมิ (Primary winding ; N_p, N_1) และเรียกขดลวดด้านที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าออกว่า ด้านทุติยภูมิ (Secondary winding ; N_s, N_2)

สำหรับการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้ 2 แบบ ได้แก่หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแปลงแรงดันขึ้น (Step-up transformers) เป็นหม้อแปลงที่ให้แรงดันไฟฟ้าในขดลวดทุติยภูมิสูงกว่าขดลวดปฐมภูมิ และหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแปลงแรงดันลง (Step-down transformers) เป็นหม้อแปลงที่ให้แรงดันไฟฟ้าในขดลวดทุติยภูมิต่ำกว่าขดลวดปฐมภูมิ



รูปที่ 2.17 หม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้วยขดลวดปฐมภูมิ และทุติยภูมิ

โดยทั่วไปแล้วหม้อแปลงจะมีแรงดันเอาต์พุตสูงหรือต่ำ เกิดจากสัดส่วนการพันโดยกำหนดให้

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} \quad (2.23)$$

2.20.1 หม้อแปลงความถี่สูง

การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าไปสู่เล็กทรอนิกส์เพื่อสร้างสนามไฟฟ้า อาศัยหม้อแปลงความถี่สูงแบบเพิ่มแรงดัน หม้อแปลงที่ป้อนให้กับอิเล็กทรอนิกส์มีขนาดสูงมาก ในขณะที่แรงดันอินพุตที่ได้จากแหล่งจ่ายมีขนาดเท่ากับ 310 V และมีความถี่สวิตซ์ใช้งานสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้งานหม้อแปลงความถี่สูงเพิ่มแรงดันขึ้นไป แกนของหม้อแปลงที่ใช้งานความถี่สูงโดยส่วนมากมักจะใช้วัสดุที่ทำมาจากสารจำพวกเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic Material) ซึ่งมีคุณสมบัติทางด้านค่าต้านทานไฟฟ้าสูง แต่มีค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กต่ำ กำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (Eddy Current) น้อยมาก

หม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้วย 3 ส่วนสำคัญดังนี้ ขดลวดปฐมภูมิ ขดลวดทุติยภูมิ และแกนเฟอร์ไรต์ (เฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic Material)) ในการออกแบบหม้อแปลงอันดับแรก ต้องกำหนดพิกัดกระแสและแรงดันด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิเสียก่อน จากนั้นจึงเลือกขนาดแกนเฟอร์ไรต์ที่เหมาะสม เพื่อที่สามารถคำนวณเบอร์ลวดและจำนวนรอบของขดลวดได้ ในการออกแบบจำนวนรอบขดลวดปฐมภูมิจะใช้สมการ (2.24) ในการคำนวณ

$$N_p = \frac{V}{4 \times f \times B_m \times A_c} \quad (2.24)$$

โดยที่ N_p คือ จำนวนรอบขดลวด

V คือ แรงดันไฟฟ้าที่ป้อน (V)

f คือ ความถี่ไฟฟ้าที่ใช้งาน (Hz)

B_m คือ ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กของแกนเฟอร์ไรต์ (T)

A_c คือ พื้นที่หน้าตัดของแกนเฟอร์ไรต์ (m²)

ในกรณีที่กำหนดพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิไว้แล้ว สามารถใช้สมการ (2.25) เพื่อคำนวณจะคำนวณรอบทางด้านทุติยภูมิได้

$$N_s = N_p \times \frac{V_s}{V_p} \quad (2.25)$$

โดยที่ N_s คือ จำนวนรอบขดลวดทางด้านทุติยภูมิ

N_p คือ จำนวนรอบขดลวดทางด้านปฐมภูมิ

V_s คือ แรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ (V)

V_p คือ แรงดันไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ (V)

เมื่อเราได้จำนวนรอบขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิเรียบร้อยแล้ว ก็มาถึงในส่วนการคำนวณเบอร์ลวดที่ใช้ พัน โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดพิกัดกระแสที่ยอมให้ไหลผ่านขดลวด (A/mm²) โดยส่วนใหญ่กำหนดอยู่ที่ระหว่าง 3 - 5 A/mm² ในกรณีที่ความถี่ใช้งานสูงการเลือกค่า A/mm² ต่ำจึงเป็นการเลือกที่ดี เพราะผลจากปรากฏการณ์ผิว (skin Effect) จะทำให้พื้นที่การไหลของกระแสลดลงเนื่องจากกระแสจะมาไหลที่ผิวของตัวนำแทน หรือใช้การแบ่งลวดเป็นเส้นเล็กๆ หลายเส้น โดยให้ผลรวมจำนวนพื้นที่หน้าตัดของขดลวดเส้นเล็กๆ เท่ากับพื้นที่หน้าตัดของขดลวดที่คำนวณได้

ขั้นตอนที่ 2 นำพิกัดกระแสที่กำหนดคูณกับค่า A/mm² ในขั้นตอนที่ 1 เพื่อหาพื้นที่หน้าตัดของขดลวด

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อได้พื้นที่หน้าตัดของขดลวดมาแล้ว จึงนำไปเทียบกับตารางขนาดเส้นลวดเพื่อแปลงเป็นเบอร์ของลวด ซึ่งในประเทศไทยนิยมใช้มาตรฐานเบอร์ลวดอยู่ 2 แบบ คือ AWG และ SWG

2.20.2 แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core)

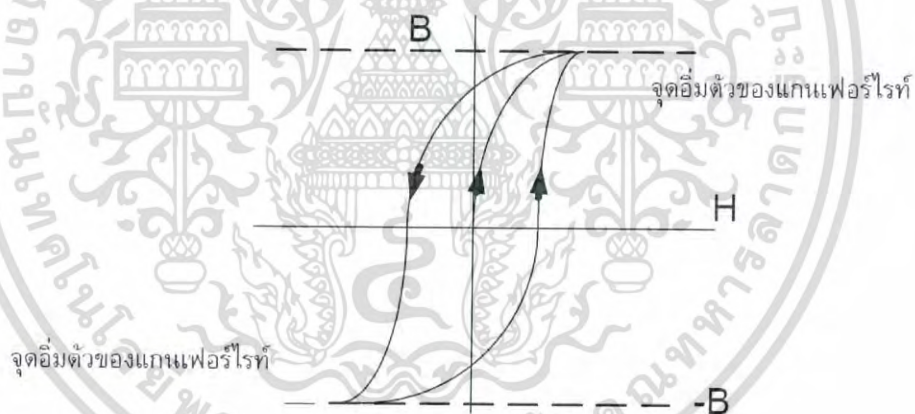
เฟอร์ไรต์จะมีความแตกต่างจากสารแม่เหล็กชนิดอื่นๆ วัสดุที่ใช้จะมาจากออกไซด์ของโลหะชนิดต่างๆ เช่น เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ซึ่งโดยทั่วไปออกไซด์จะทำหน้าที่เป็นฉนวน เป็นผลให้เฟอร์ไรต์มีความต้านทานไฟฟ้าสูงกว่ากรณีใช้กับอัลลอยด์ ทำให้เหมาะกับการใช้งานที่ความถี่สูงๆ จะใช้งานที่มีความถี่สูงถึง 1 - 2 MHz เฟอร์ไรต์มีความซาบซึมได้ต่ำและมีความต้านทานไฟฟ้าสูง ทำให้มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนต่ำ โดยทั่วไปค่าความซาบซึมสัมพัทธ์ของเฟอร์ไรต์จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1,500 - 3,000

สำหรับแกนเฟอร์ไรต์ที่มีขายทั่วไปมักมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันหลายรูปแบบ ในรูปที่ 2.18 โดยแต่ละแกนจะมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และขนาดแตกต่างกันไปให้เลือกใช้ให้เหมาะสมกับงาน



รูปที่ 2.18 ลักษณะของแกนเฟอร์ไรต์

เส้นโค้งฮิสเทอรีซิส (Hysteresis Curve) เส้นโค้งฮิสเทอรีซิสจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (B) ที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์กับความเข้มของสนามแม่เหล็ก (H) ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของขดลวดที่พันบนแกนจากรูปที่ 2.19 จะเห็นว่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กจะมีค่าเพิ่มขึ้นน้อยมากแม้ว่าจะมีการเพิ่มขึ้นของสนามแม่เหล็กก็ตามจากจุดดังกล่าวจะเรียกว่าแกนเริ่มมีการอิ่มตัวของฟลักซ์แม่เหล็ก (Saturation)



รูปที่ 2.19 ลักษณะที่สมบูรณ์ของเส้นโค้งฮิสเทอรีซิสซึ่งจะมีลักษณะสมมาตรของกราฟสี่กบนและสี่กลาง

2.20.3 บอบบี้ (Bobbin)

บอบบี้หรือแบบรองพันปกติจะทำจากพลาสติกชนิดทนความร้อนได้สูงและไม่ติดไฟบอบบี้จะช่วยให้การพันขดลวดแบบแกนเฟอร์ไรต์สะดวกขึ้นและป้องกันปัญหาการลัดวงจรระหว่างขดลวดและแกนเฟอร์ไรต์ได้



รูปที่ 2.20 บอบบิ้น(Bobbin)

2.20.4 ลวดทองแดงอาบน้ำยา (Enameled Copper Wire)

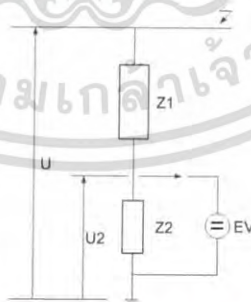
การพันขดลวดทั้งขดปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลงที่กำลังไม่สูงนักปกติจะเอาลวดอาบน้ำยาพันบนแกนบอบบิ้นเพื่อให้ได้จำนวนรอบตามต้องการ ขนาดของขดลวดทองแดงที่ใช้พันนั้นขึ้นอยู่กับกระแสสูงสุดที่พันขดลวดความถี่และผลข้างเคียงอื่น

2.20.5 เทปฉนวน (Insulation Tape)

เทปฉนวนใช้พันสำหรับเป็นตัวรองระหว่างชั้นขดลวดในหม้อแปลงและมีหน้าที่สำคัญในการแยกส่วนทางไฟฟ้าระหว่างขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิ ส่วนวัสดุที่จะนำมาใช้ทำเทปฉนวนอาจเป็นพวค (Mylar) หรือโพลีเอสเตอร์ (Polyester) เทปฉนวนมีความหนาอยู่ในช่วง 0.05 – 0.1 มิลลิเมตร

2.21 โวลเตจดีไวเดอร์วัดแรงดันสูง

การวัดแรงดันสูงซึ่งเราไม่สามารถวัดได้โดยตรงโดยใช้โวลต์มิเตอร์หรือเครื่องวัดแรงดันต่ำๆ ได้ เราจึงใช้โวลเตจดีไวเดอร์ในการวัดแรงดันสูง ซึ่งโวลเตจดีไวเดอร์ในการวัดแรงดัน ทำหน้าที่แบ่งทอนแรงดันสูงๆ ออกเป็นส่วนแรงดันต่ำพอที่จะใช้โวลต์มิเตอร์ หรือเครื่องมือวัดแรงดันต่ำๆ วัดได้ โดยใช้อิมพีแดนซ์แรงสูง Z_1 ต่อเข้ากับแรงดันที่จะวัด แล้วแบ่งแรงดันที่ตกคร่อมอิมพีแดนซ์แต่เพียงส่วนน้อยออกมาวัด ฉะนั้น โวลเตจดีไวเดอร์จึงแบ่งออกเป็นภาคแรงสูง Z_1 และภาคแรงต่ำ Z_2 ปลายข้างหนึ่งของภาคแรงสูงจะต่ออยู่กับสายแรงสูงที่จะวัด ส่วนอีกข้างหนึ่งจะต่ออยู่กับปลายของภาคแรงต่ำ ซึ่งปลายอีกข้างหนึ่งของภาคแรงต่ำจะต่อกับดิน ตรงรอยต่อระหว่างภาคแรงสูงกับภาคแรงต่ำ จะเป็นจุดที่ต่อออกมาเข้าเครื่องมือวัดแรงต่ำ



รูปที่ 2.21 โวลเตจดีไวเดอร์

เมื่อวัด U_2 ด้วยเครื่องมือวัดแรงต่ำแล้ว จึงคำนวณค่าแรงดันสูงที่ต้องการวัดได้คือ

$$U = \left(\frac{Z_1 + Z_2}{Z_2} \right) \times U_2 \quad (2.26)$$

โดยที่ U คือ แรงดันสูงที่ต้องการวัด
 U_2 คือ แรงดันคร่อมอิมพีแดนซ์ด้านแรงต่ำ

โวลเตจดิไวเดอร์อาจแบ่งเป็นความต้านทาน หรือตัวเก็บประจุก็ได้ ในโครงการวิศวกรรมเล่มนี้ขอเสนอเพียงแค่วอลเตจดิไวเดอร์แบบความต้านทาน

2.22 โวลเตจดิไวเดอร์แบบความต้านทาน

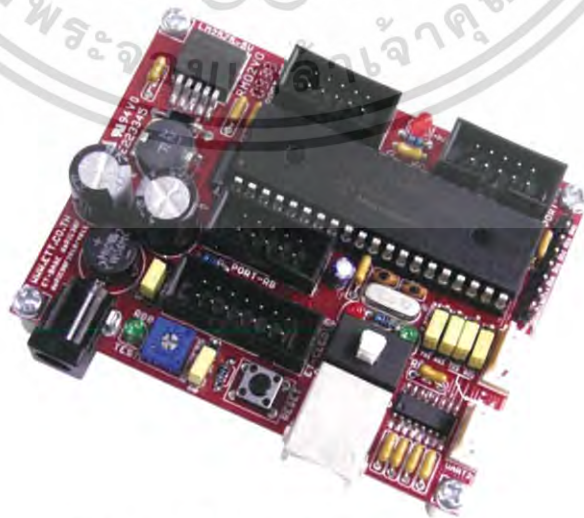
โวลเตจดิไวเดอร์แบบความต้านทานประกอบด้วยความต้านทานภาคแรงสูง R_1 และความต้านทานด้านแรงต่ำ R_2 ความต้านทานที่ใช้จะเป็นทำนองเดียวกับความต้านทานที่ใช้ต่ออันดับกับแอมมิเตอร์วัดแรงดันสูง คือ จะต้องคำนึงถึงขีดจำกัดของกระแสที่ไหลผ่าน R_1, R_2 ($I \leq 1$ mA) สารที่ใช้เป็นความต้านทาน R_1 และ R_2 ควรเป็นสารชนิดเดียวกัน เพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าของความต้านทานเนื่องจากอุณหภูมิ นั่นคือแรงดันที่จะวัดได้จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของความต้านทานทั้งสอง คือ

$$U = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_2} \right) \times U_2 \quad (2.27)$$

2.23 วงจรควบคุม

ในปัจจุบันแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงส่วนใหญ่เป็นชนิด PWM (Pulse Width Modulation) เทคนิคนี้ใช้การเปลี่ยนแปลงเวลาการนำกระแสของทรานซิสเตอร์ในช่วงเวลานำกระแสเพื่อควบคุมแรงดัน (Regulate) และมีความเสถียรภาพคงที่ขณะอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ในช่วงที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาวงจรรวมซึ่งประกอบด้วยฟังก์ชันที่จำเป็นในการออกแบบแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิง ด้วยการบวกอุปกรณ์ประกอบภายนอกเล็กน้อยโดยใช้ไอซี ซึ่งโครงการนี้ใช้ไอซี dsPIC30F401

2.23.1 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F401



รูปที่ 2.22 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

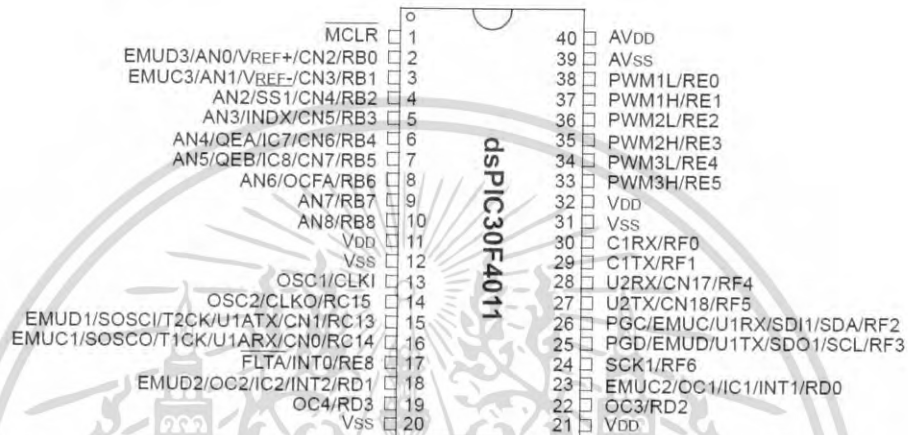
ET-BASE dsPIC30F2010/4011 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล dsPIC30F ซึ่งเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น 28 Pin เบอร์ dsPIC30F2010 หรือ รุ่น 40 Pin เบอร์ dsPIC30F4011 ของ Microchips เป็น MCU ประจำบอร์ด โดย dsPIC30F4011 เป็น MCU ซึ่งใช้การประมวลผลข้อมูลแบบ 16 บิต จากค่าย Microchips ซึ่งมีจุดเด่นในด้านของความสามารถในการประมวลผลข้อมูลสัญญาณแบบดิจิทัลเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในงานควบคุมต่างๆ โดยโครงสร้างภายในจะเป็นการผสมผสานระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) และวงจร DSP (Digital Signal Processing) รวมเข้าไว้ด้วยกันหรืออาจเรียก MCU ตระกูล dsPIC30F ว่าเป็น DSC หรือ Digital Signal Controller ก็ได้โดยโครงสร้างของบอร์ด ET-BASE dsPIC30F4011 ได้รับการออกแบบให้บอร์ดมีขนาดเล็กเหมาะต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นหลักโดยภายในบอร์ดได้บรรจุเอาวงจรที่จำเป็นต่อการใช้งานและสะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรมมีความยืดหยุ่นสามารถปรับเปลี่ยนสัญญาณ I/O เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในลักษณะต่างๆให้สอดคล้องและเหมาะสมกับความต้องการใช้งานได้ในหลายๆลักษณะตามต้องการ

คุณสมบัติ ของบอร์ด

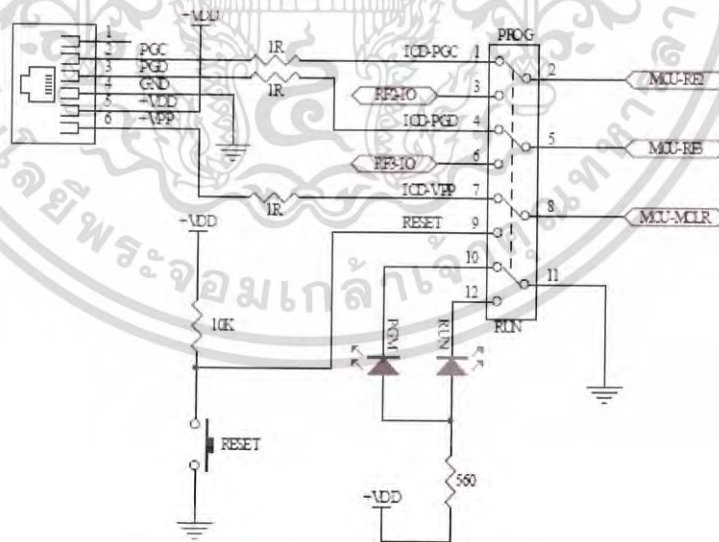
เลือกใช้ MCU ตระกูล dsPIC30F2010 หรือ dsPIC30F4011 ของ Microchips เป็น MCU ประจำบอร์ด โดยคุณสมบัติเด่นๆของ MCU ได้แก่

- มีหน่วยความจำ Flash 48Kbyte (dsPIC30F4011)
 - มีหน่วยความจำ RAM 2Kbyte (dsPIC30F4011)
 - มีหน่วยความจำ EEPROM ขนาด 1KByte สำหรับเก็บข้อมูลใช้งาน
 - มีพอร์ต I/O ขนาด 29 Bit (dsPIC30F4011)
 - มี 16Bit Timer/Counter จำนวน 5 ชุด (dsPIC30F4011)
 - มี Input Capture จำนวน 4 ช่อง
 - มี Output Compare จำนวน 4 ช่อง (dsPIC30F4011)
 - มี ADC 10Bit/500Ksps จำนวน 9 ช่อง (dsPIC30F4011)
 - มี PWM Motor Control จำนวน 6 ช่อง พร้อม Quadrature Encode Interface (QEI)
 - มี UART จำนวน 2 ช่อง (dsPIC30F4011)
 - มี SPI จำนวน 1 ช่อง และ มี I2C จำนวน 1 ช่อง
 - มีวงจร Watchdog, Power-ON Reset, PWM
 - ใช้ Crystal ความถี่ 7.3728MHz สามารถใช้ PLL คูณความถี่ เพื่อ Run ความถี่ 29.4912MHz ได้
 - มี พอร์ตสื่อสารอนุกรม UART แบบ RS232 จำนวน 2 ช่องสำหรับ dsPIC30F4011 พร้อม Jumper สำหรับเลือกใช้งาน UART หรือ GPIO ได้ตามต้องการ
- โดยใช้ขั้วต่อ UART แบบ CPA-4 Pin มาตรฐาน อีทีที
- มีขั้ว ICSP มาตรฐาน ICD2 แบบ RJ11 สำหรับใช้ร่วมกับชุด พัฒนาโปรแกรมและ Debugger ที่รองรับการทำงานตามมาตรฐาน ICD2 ของ Microchips เช่น ICD2 หรือ Pickit2 ได้
 - มี Switch สำหรับสลับสัญญาณระหว่าง Program/Debug (PGM) และ ใช้งานปรกติ (RUN) พร้อม LED แสดงโหมดการทำงานของบอร์ด
 - มีขั้วต่อสัญญาณ I/O แบบ Header ขนาด 2x5 จำนวน 3 ชุด และ Header 1x8 Pin อีก 1 ชุด

- Header 14Pin สำหรับ Character LCD พร้อม VR ปรับความสว่าง
- มี Switch Reset สำหรับสั่ง Reset การทำงานของ MCU ภายในบอร์ด
- มี LED สำหรับทดสอบการทำงาน โดยใช้ RB0 ในการควบคุม พร้อม Jumper ตัดต่อสัญญาณ
- Power AC/DC Input พร้อม Regulate แบบ Switching เบอร์ LM2575 ขนาด 5V/1A ลดปัญหาความรอนจากวงจร Regulate และ LED แสดงสถานะแหล่งจ่าย Power
- ขนาด PCB Size เล็กเพียง 8 x 6 cm.



รูปที่ 2.23 รูปแสดงการจัดขาสัญญาณของ dsPIC30F4011



รูปที่ 2.24 รูปแสดงการใช้งาน ICD2

ICD2 จะเป็น Connector แบบ RJ11 สำหรับ Interface กับเครื่องมือพัฒนาโปรแกรมตระกูล PIC ที่มีการจัดขาตามมาตรฐาน ICD2 ของ Microchips เช่น ICD2, ICD3, Pickit2 หรือ Pickit3 ซึ่งสามารถใช้งานร่วมกับเครื่องมือพัฒนาของ Microchips หรือ เทียบเท่า เช่น ET-PGMPIC USB (เทียบเท่า Pickit2) หรือ ET-ICDX (เทียบเท่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

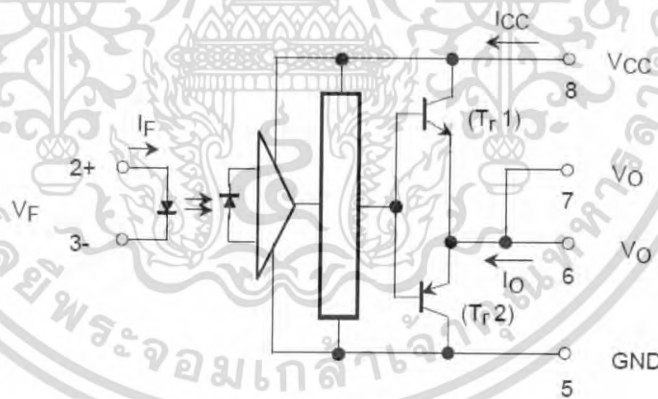
า ICD2) โดยจะมีสวิตซ์สำหรับเลือกตัดต่อสัญญาณของ RF2, RF3 และ MCLR สำหรับใช้ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับ Programmer/Debugger หรือใช้งานตามปรกติไดโพรอม LED แสดงสถานะ วาการทำงานของสวิตซ์อยู่ในตำแหน่งใด โดยถาเลือกสวิตซ์ไวทางตามProgrammer/Debugger จะเห็น LED สีแดงของ PGM ติดสว่างให้เห็นแต่ถาตำแหน่งของสวิตซ์ขอยูดาน Run จะเห็น LED สีเขียว(RUN) ติดสว่างให้เห็น โดยมีการจัดวงจรและสัญญาณตามมาตรฐานของ ICD2 ดังนี้สำหรับวงจรภาคจ่ายไฟของบอร์ด จะใช้วงจร Bridge Rectifier รวมกับ Switching Regulateขนาด 5V/1A สามารถใช้งานได้ทั้งกับไฟ AC และ DC ขนาดตั้งแต่ 7V-20V ได้

2.23.2 วงจรขับ Power MOSFET ด้วย TLP 250

คอนเวอร์เตอร์โดยทั่วไปจะถูกออกแบบให้มีการแยกส่วนทางไฟฟ้าระยะห่างส่วนไพรมารีแลกเซคันดารีของหม้อแปลงสวิตซ์ซึ่งเพื่อความปลอดภัย การป้องกันสัญญาณเพื่อควบคุมแรงดันจึงต้องมีการแยกส่วนทางไฟฟ้าด้วยเช่นกัน ออปโตคัปเปอร์นับได้ว่าเป็นอุปกรณ์สำคัญตัวหนึ่งที่นิยมใช้ในคอนเวอร์เตอร์เพื่อแยกส่วนทางไฟฟ้าออกกัน

ภาคขับ POWER MOSFET ใช้ IC Opto Coupler เบอร์TLP250 ซึ่งมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- กระแสอินพุตเพื่อขับวงจร 15mA
- กินกระแส 11mA
- แรงดันใช้งาน 13 15 – VDC
- กระแสต้านขาออกเพื่อขับเกต 1.5 A
- ความถี่สวิตซ์สูงสุด 600 kHz



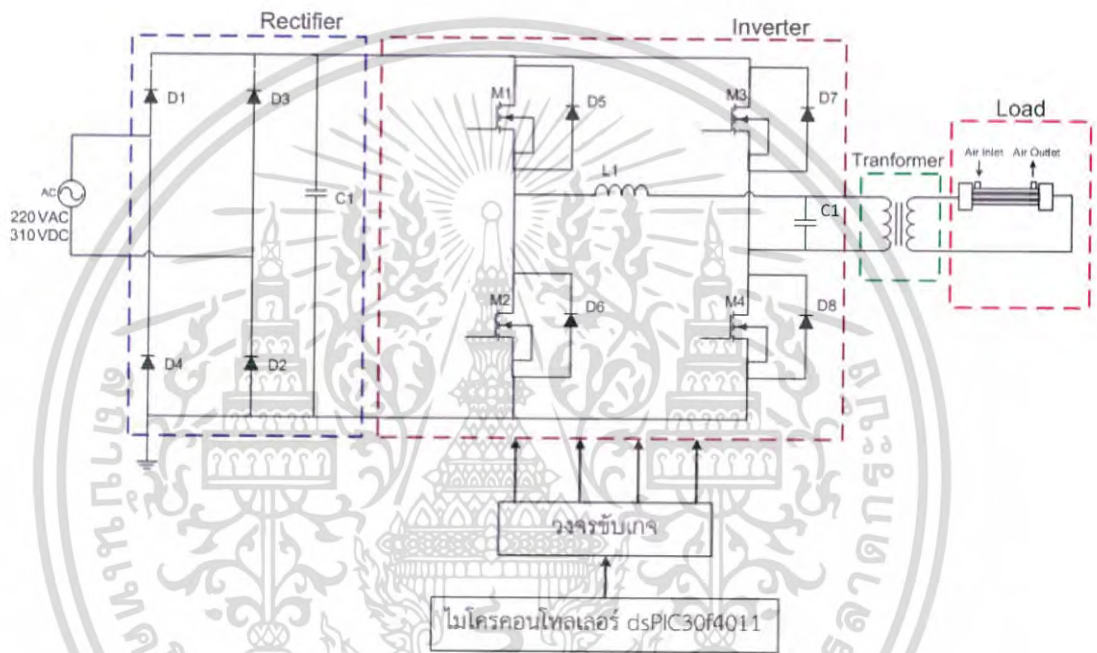
รูปที่ 2.25 ไดอะแกรมภายในของ IC TLP250 เพื่อใช้เป็นภาคขับ MOSFET

บทที่ 3

การออกแบบ

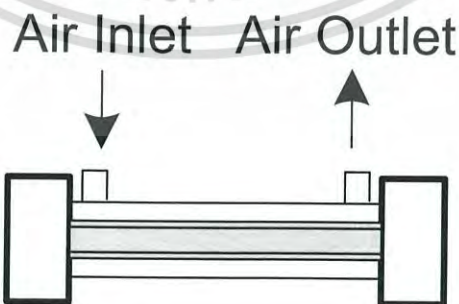
3.1 การออกแบบเครื่องกำเนิดไอโซนสำหรับยืดอายุการเก็บรักษาเมล็ดข้าว

ระบบการทำงานของเครื่องสร้างไอโซนสำหรับยืดอายุการเก็บรักษาเมล็ดข้าว โครงสร้างและการออกแบบแหล่งจ่าย Full Bridge Inverter และการควบคุมนั้น ประกอบไปด้วย วงจร Full Bridge Inverter จำเป็นต้องกำหนดหรือทราบข้อกำหนดของแหล่งจ่ายแรงดันสูงที่สร้างเสียก่อน เพื่อเป็นการพิจารณาเลือกวงจรและส่วนประกอบต่างๆ ที่ใช้อย่างเหมาะสม จากรูปวงจร 3.1 และ รูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 วงจรเครื่องกำเนิดไอโซน

3.2 การออกแบบชุดสร้างโคโรนา



รูปที่ 3.2 ลักษณะของหลอดแก้วไอโซน

ในการออกแบบแบบชุดสร้างโคโรนาจะเลือกใช้แก้วเป็นวัสดุฉนวนชั้นที่ 1 เพราะแก้วมีคุณสมบัติในการทนความเครียดสนามไฟฟ้าได้สูง แก้วที่คุณภาพการผลิตที่ดีจะมีผิวเรียบและไม่มีฟองอากาศหรือสิ่งแปลกปลอมเจือปนอยู่ซึ่งสิ่งเหล่านี้อาจส่งผลให้เกิดการเบรกดาวน์ในแก้วได้ สามารถทนการชุดขีดและไม่เกิดริ้วรอยได้ง่าย ในกระบวนการผลิตแก้วต้องทนความร้อนสูงกว่า 1,200 องศาเซลเซียส เพื่อหลอมซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ทำแก้ว ดังนั้นแก้วจึงทนความร้อนได้สูงมากก่อนที่จะหลอมละลายเสียหาย แก้วเป็นวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารใดๆ ดังนั้นจึงไม่ทำปฏิกิริยากับก๊าซโอโซนเช่นกัน



รูปที่ 3.3 ลักษณะของทรงกระบอกซ้อนกันรวม 2 ชั้น

3.2.1 การออกแบบหลอดแก้วคำนวณหาค่าพลังงาน

หลักการในการออกแบบชุดอิเล็กโทรดทรงกระบอกซ้อนกันรวม 2 ชั้น ปริมาณโอโซนจะเกิดได้ดีในความเครียดสนามไฟฟ้า ไม่สม่ำเสมอมาก เนื่องจากโอโซนเกิดที่สนามความเครียดสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ จึงเลือกใช้ฉนวนแบบ 2 ชั้น เพราะการเลือกใช้ฉนวนที่มีค่า ϵ ต่างกันนั้น เหมาะกับสนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอ จะทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้า แต่ละชั้น มีค่า ϵ ต่างกัน มีค่าใกล้เคียงกัน จึงออกแบบชุดอิเล็กโทรดเป็นแบบทรงกระบอกซ้อนกันรวม 2 ชั้น ภายในทรงกระบอกซ้อนกันรวม 2 ชั้น ประกอบด้วย

- ฉนวนที่ 1 เลือกแก้วเป็นฉนวน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ $\epsilon_1 = 8$ เนื่องจากแก้วมีผลกระทบต่อโอโซน
- ฉนวนที่ 2 ใช้อากาศเป็นฉนวน มีค่าสัมประสิทธิ์ $\epsilon_2 = 1$
- ขั้วคาโทด ใช้ลวดตัวนำ
- ขั้วแอโนด จะใช้ลวดตาข่าย

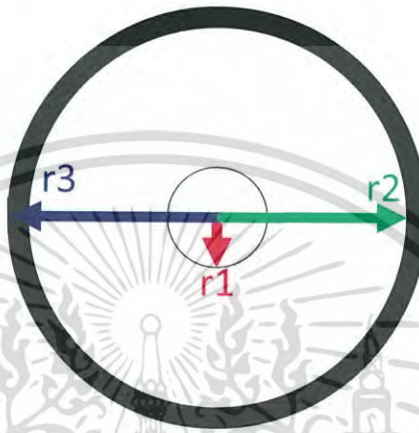
- ขนาดจริงของรัศมีทรงกระบอก

$$r_1 = 0.05 \text{ cm}$$

$$r_2 = 0.7 \text{ cm}$$

$$r_3 = 0.8 \text{ cm}$$

$$l = 12 \text{ cm}$$



รูปที่ 3.4 ลักษณะรัศมีของหลอดแก้ว

- หาปริมาตรอากาศภายใน gap ได้จากสมการ

$$\begin{aligned} V &= \pi(r_2 - r_1) \times l \\ &= \pi(0.7 - 0.05) \times 12 \\ &= 24.50 \text{ cm}^3 \end{aligned} \tag{3.1}$$

ที่ย่านพลังงาน 5.58 KWh / m³ ถึง 7.73 KWh / m³ ในอากาศออกซิเจน O₂ มีค่าอยู่ที่ 21 % จึงใช้ที่ย่านพลังงาน 1.172 – 1.620 KWh / m³

ที่ย่านพลังงาน 1.172 KWh / m³

$$\begin{aligned} w &= 1.172 \times 10^3 \times 24.50 \times 10^{-6} \\ &= 0.02 \text{ Wh} \end{aligned}$$

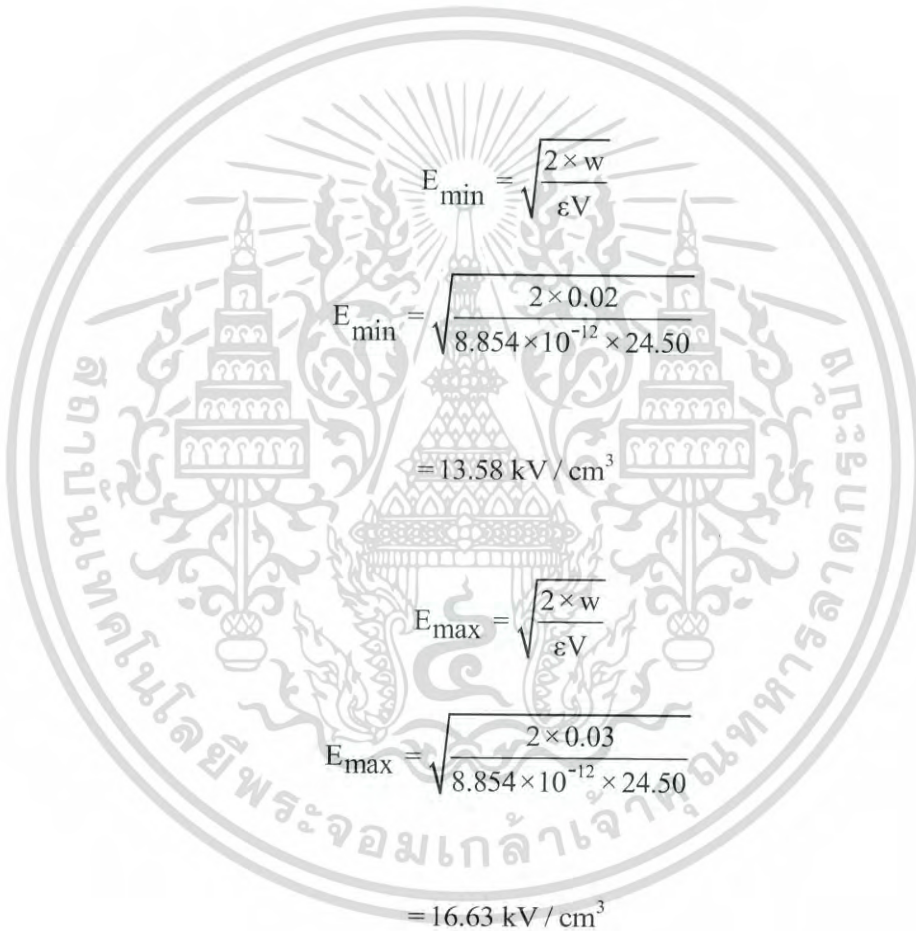
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 40

ที่ย่านพลังงาน $1.620 \text{ KWh} / \text{m}^3$

$$\begin{aligned}w &= 1.620 \times 10^3 \times 24.50 \times 10^{-6} \\ &= 0.03 \text{ Wh}\end{aligned}$$

จากสมการ

$$w = \frac{1}{2} \int_{\text{vol}} \epsilon E^2 dv \quad (3.2)$$


$$\begin{aligned}E_{\min} &= \sqrt{\frac{2 \times w}{\epsilon V}} \\ E_{\min} &= \sqrt{\frac{2 \times 0.02}{8.854 \times 10^{-12} \times 24.50}} \\ &= 13.58 \text{ kV} / \text{cm}^3 \\ E_{\max} &= \sqrt{\frac{2 \times w}{\epsilon V}} \\ E_{\max} &= \sqrt{\frac{2 \times 0.03}{8.854 \times 10^{-12} \times 24.50}} \\ &= 16.63 \text{ kV} / \text{cm}^3\end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 41

ที่แก้วมีค่า $\epsilon_1 = 8$ ในอากาศมีค่า $\epsilon_2 = 1$

$$v = \frac{E \times r_2 \times \epsilon_2 \left(\epsilon_1 \ln \left(\frac{r_3}{r_2} \right) + \epsilon_2 \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right) \right)}{\epsilon_1 \epsilon_2} \quad (3.3)$$

$$v_{\min} = \frac{13.58 \times 0.7 \times 1 \left(8 \ln \left(\frac{0.8}{0.7} \right) + 1 \ln \left(\frac{0.7}{0.05} \right) \right)}{8 \times 1}$$

$$= 4.40 \text{ kV}$$

$$v_{\max} = \frac{16.63 \times 0.7 \times 1 \left(8 \ln \left(\frac{0.8}{0.7} \right) + 1 \ln \left(\frac{0.7}{0.05} \right) \right)}{8 \times 1}$$

$$= 5.39 \text{ kV}$$

3.3 ชุดเรกติไฟส์และฟิลเตอร์

การหาค่าตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ เพื่อกรองกระแส โดยปกติจะยอมรับแรงดันกระเพื่อมไม่เกิน 1 %

- หาค่าตัวเก็บประจุ C โดยใช้สมการ

$$C = \frac{I_p \times \Delta T}{\Delta V} \quad (3.4)$$

$$\Delta V = 0.01 \times 310 = 3.1 \text{ V}$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} \quad (3.5)$$

$$= 20 \times 10^{-3} \text{ sec}$$

$$I_p = \frac{S}{V_p} \quad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 42

$$I_p = \frac{500}{310} = 1.61A$$

ΔT ครึ่งไซเคิลเท่ากับ 0.01 sec หาค่า C จากสมการที่ 3.4

$$C = \frac{1.61 \times 0.01}{3.1}$$

$$= 5193 \mu f$$

3.4 การออกแบบหม้อแปลง

ขั้นตอนในการออกแบบ โดยวิธี Ap Approach กำหนดให้แรงดัน $S = 500 VA$ $V_i = 310 V$ V_p และแรงดัน $V_{out} = 3.9 kV$

1. จากข้อกำหนดและขีดจำกัดคำนวณค่า Ap

- หากระแส $I_{1,rms}$ $I_{2,rms}$

$$I_{1,rms} = \frac{S}{V_1} = \frac{500}{310} = \frac{1.612}{\sqrt{2}} = 1.140$$

$$I_{2,rms} = \frac{S}{V_2} = \frac{500}{4400} = \frac{0.114}{\sqrt{2}} = 0.081$$

$$Ap = w \times s = \frac{V_1 \times I_{1,rms} + V_2 \times I_{2,rms}}{4k \times B_{max} \times f \times j} \quad (3.7)$$

$$= \frac{(310)(1.140) + (4400)(0.081)}{4 \times 0.5 \times 0.3 \times 30 \times 10^3 \times 4}$$

$$= 0.0098$$

2.เลือกขนาดของ Ap มากกว่าที่คำนวณได้จากข้อ 1 เลือกแกนเฟอร์ไรท์เบอร์ EE80 จาก Data sheet

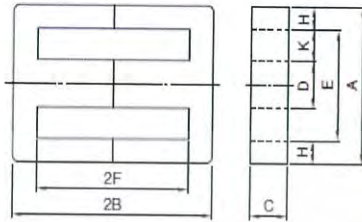
ตารางที่ 3.1 ตารางแกนเฟอร์ไรท์

EE Series

EE CORE

CORE SHAPES AND DIMENSIONS/CHARACTERISTICS

PRODUCT IDENTIFICATION



PE22 EE 320 × 250 × 20
(1) (2) (3) (4) (5)

- (1) Material name
- (2) Shape
- (3) Dimension A
- (4) Dimension 2B
- (5) Dimension C

Part No.	Al*(nH/N²) ±25%	Dimensions (mm)																		
		A	2B	C	D	E	2F	H	R	K	K×2F(mm²)									
PE22 EE70×91×19	3930																			
PC40 EE70×91×19	4910	70.0±1.5	91.0±1.0	19.5±0.5	19.5±0.5	48.5min.	71.0±1.0	10.0±0.5	0	15.3	1086									
PE90 EE70×91×19	4697																			
PE22 EE80×76×20	4590																			
PC40 EE80×76×20	5720	80.0±1.5	76.0±1.0	20.0±0.5	20.0±0.5	58.5min.	55.0±0.8	10.0±0.5	0.5max.	20.0	1100									
PE90 EE80×76×20	5471																			
PE22 EE90×56×16	5960																			
PC40 EE90×56×16	7380	90.0±2.0	56.4±1.0	16.5±0.5	25.0±1.0	63.0min.	30.4±1.0	12.5±0.5	0.5max.	20.0	608									
PE90 EE90×56×16	7059																			
PE22 EE70×108×31N	6360																			
PC40 EE70×108×31N	7970	70.0±1.5	108.0±1.0	31.6±0.5	22.2±0.5	46.3min.	85.6±1.0	11.1±0.5	2.0max.	12.8	1096									
PE90 EE70×108×31N	7623																			

* Measuring condition: T=23°C, f=1kHz, Hm=0.4A/m

Part No.	Core factor					Weight (g)
	C1(mm⁻¹)	C2×10⁻²(mm⁻³)	Ae(mm²)	lσ(mm)	Va(mm³)	
PE22 EE70×91×19						394
PC40 EE70×91×19	0.52779	0.13689	386	204	78690	394
PE90 EE70×91×19						402
PE22 EE80×76×20						372
PC40 EE80×76×20	0.44878	0.11058	406	182	73910	372
PE90 EE80×76×20						380

3.คำนวณหาจำนวนรอบของขดลวดตัวนำ (N₁ , N₂)

โดยที่

V = แรงดันด้านแรงต่ำ และ แรงสูง

B_{max} = 0.3

S = 0.0004 (D×C จาก Data sheet)

F = 30 KHz

$$N = \frac{V}{4 \times B_{max} \times S \times f} \quad (3.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 44

$$N_1 = \frac{V_1}{4 \times B_{\max} \times S \times f}$$

$$= \frac{310}{4 \times 0.3 \times 0.0004 \times 30 \times 10^3}$$

$$= 21.57$$

ดังนั้น $N_1 = 22$ รอบ

$$N_2 = \frac{V_2}{4 \times B_{\max} \times S \times f}$$

$$= \frac{4400}{4 \times 0.3 \times 0.0004 \times 30 \times 10^3}$$

$$= 305.5$$

ดังนั้น $N_2 = 306$ รอบ

4.คำนวณหาขนาดของลวดตัวนำ Aw เมื่อ $N_1 Aw_1 = N_2 Aw_2$

$$K \times W = N_1 Aw_1 + N_2 Aw_2 \tag{3.9}$$

$$= N_1 \frac{I_{1,rms}}{j} + N_2 \frac{I_{2,rms}}{j}$$

$$= 22 \frac{1.140}{4} + 306 \frac{0.081}{4}$$

$$= 12.47 \text{ mm}^2$$

5. เลือกเบอร์ขดลวดทองแดงให้มี AW ใหญ่กว่า AW ที่ได้จากการคำนวณในข้อ 4 โดยเลือกรัศมีของลวดทองแดงที่เล็กกว่า ความลึกของผิวทองแดง (skin depth) ที่ความถี่สูงสุดใช้งาน

$$\delta(m) = \sqrt{\frac{2\rho}{\mu\omega}} \quad (3.10)$$

$$= \sqrt{\frac{(2 \times 1.782 \times 10^{-8})}{(4\pi \times 10^{-7})(2\pi \times 30 \times 10^3)}}$$

$$= 0.000382 \text{ m}$$

$$= 0.382 \text{ mm}$$

เมื่อนำค่า δ ที่คำนวณได้จาก สมการที่ (3.9) มาเทียบในตาราง AWG จะได้ลวดเบอร์ AWG 22 ได้เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6438 mm

หาพื้นที่หน้าตัดได้จากสมการ

$$\frac{\pi D^2}{4}$$

แทนค่าลงในสมการที่ (3.11) จะได้พื้นที่หน้าตัดเท่ากับ

$$= \frac{\pi(0.6438^2)}{4}$$

$$= 0.330 \text{ mm}^2$$

จำนวนรอบตีเกลียวด้านปฐมภูมิ

$$= \frac{AW_1}{0.330}$$

$$= \frac{0.285}{0.330}$$

$$= 1 \text{ รอบ}$$

จำนวนรอบตีเกลียวด้านทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 46

$$= \frac{AW_2}{0.330}$$

$$= \frac{0.020}{0.330}$$

= 0 รอบ

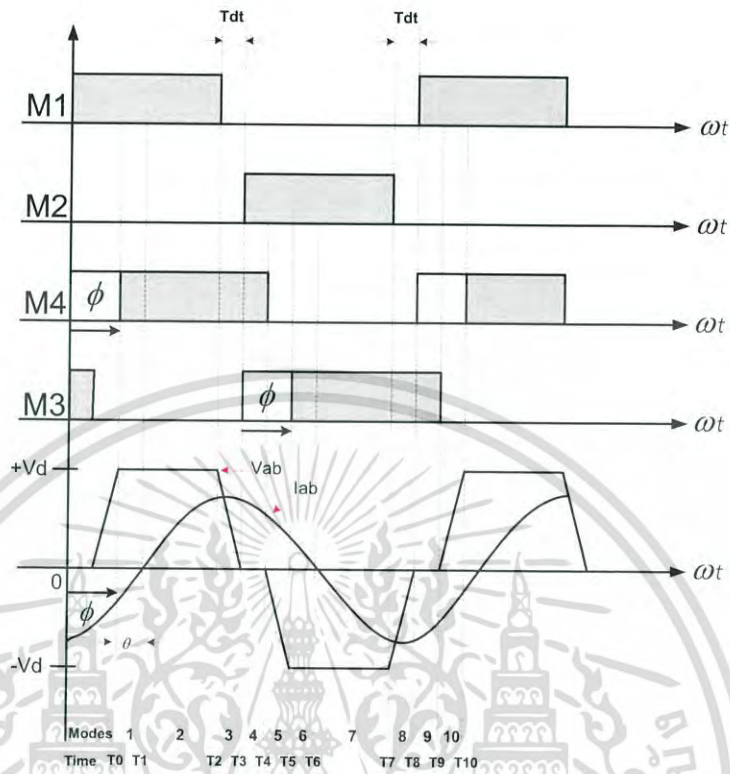
การเลือกใช้ขดลวดในการพันหม้อแปลงเราจะเลือกได้จากพื้นที่หน้าตัดแล้วจึงไปเลือกขนาดของขดลวดได้จากตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 American Wire Gauge

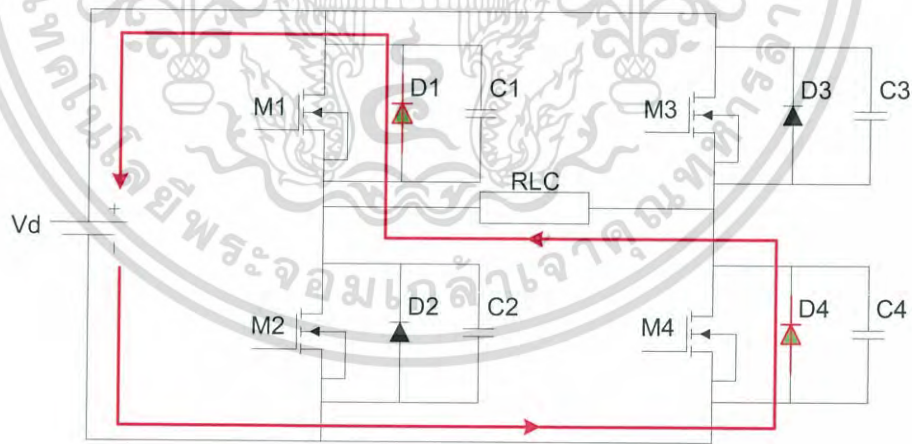
AWG	Dia-mils	TPI	Dia-mm	Circ-mils	Ohms/Kft	Ft/Ohm	Ft/Lb	Ohms/Lb	Lb/Kft	*Amps	MaxAmps
0	324.85	3.0783	8.2513	105531	0.0983	10175	3.1305	0.0003	319.44	140.71	211.06
1	289.29	3.4567	7.348	83690	0.1239	8069.5	3.9475	0.0005	253.33	111.59	167.38
2	257.62	3.8617	6.5436	66369	0.1563	6399.4	4.9777	0.0008	200.9	88.492	132.74
3	229.42	4.3588	5.8272	52633	0.197	5075	6.2767	0.0012	159.32	70.177	105.27
4	204.3	4.8947	5.1893	41740	0.2485	4024.7	7.9148	0.002	126.35	55.653	83.48
5	181.94	5.4964	4.6212	33101	0.3133	3191.7	9.9804	0.0031	100.2	44.135	66.203
6	162.02	6.1721	4.1153	26251	0.3951	2531.1	12.585	0.005	79.46	35.001	52.501
7	144.28	6.9308	3.6648	20818	0.4982	2007.3	15.869	0.0079	63.014	27.757	41.635
8	128.49	7.7828	3.2636	16509	0.6282	1591.8	20.011	0.0126	49.973	22.012	33.018
9	114.42	8.7396	2.9063	13092	0.7921	1262.4	25.233	0.02	39.63	17.456	26.185
10	101.9	9.814	2.5881	10383	0.9989	1001.1	31.819	0.0318	31.428	13.844	20.765
11	90.741	11.02	2.3048	8233.9	1.2596	793.93	40.122	0.0505	24.924	10.978	16.468
12	80.807	12.375	2.0525	6529.8	1.5883	629.61	50.593	0.0804	19.765	8.7064	13.06
13	71.961	13.896	1.8278	5178.3	2.0028	499.31	63.797	0.1278	15.675	6.9045	10.357
14	64.083	15.605	1.6277	4106.6	2.5255	395.97	80.447	0.2031	12.431	5.4755	8.2132
15	57.067	17.523	1.4495	3256.7	3.1845	314.02	101.44	0.323	9.8579	4.3423	6.5134
16	50.82	19.677	1.2908	2582.7	4.0156	249.03	127.91	0.5136	7.8177	3.4436	5.1654
17	45.257	22.096	1.1495	2048.2	5.0636	197.49	161.3	0.8167	6.1997	2.7309	4.0963
18	40.302	24.813	1.0237	1624.3	6.3851	156.62	203.39	1.2986	4.9166	2.1657	3.2485
19	35.890	27.863	0.9116	1288.1	8.0514	124.2	256.47	2.0648	3.8991	1.7175	2.5762
20	31.961	31.288	0.8118	1021.5	10.153	98.496	323.41	3.2832	3.0921	1.362	2.043
21	28.462	35.134	0.7229	810.1	12.802	78.111	407.81	5.2205	2.4521	1.0801	1.6202
22	25.346	39.453	0.6438	642.44	16.143	61.945	514.23	8.3009	1.9446	0.8566	1.2849
23	22.572	44.304	0.5733	509.48	20.356	49.125	648.44	13.199	1.5422	0.6793	1.019
24	20.101	49.75	0.5106	404.03	25.669	38.958	817.66	20.987	1.223	0.5387	0.8081
25	17.900	55.866	0.4547	320.41	32.368	30.895	1031.1	33.371	0.9699	0.4272	0.6408

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 47

3.5 โหมดการทำงานของวงจร Inverter

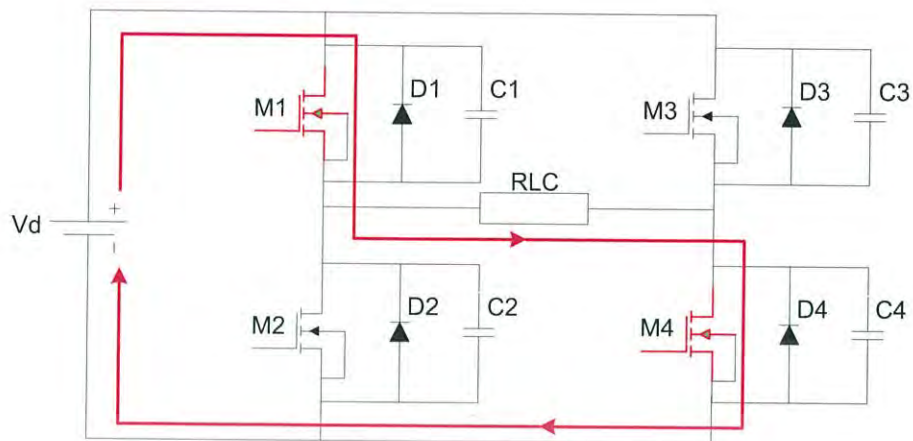


รูปที่ 3.5 รูปสัญญาณสวิตช์และกระแส



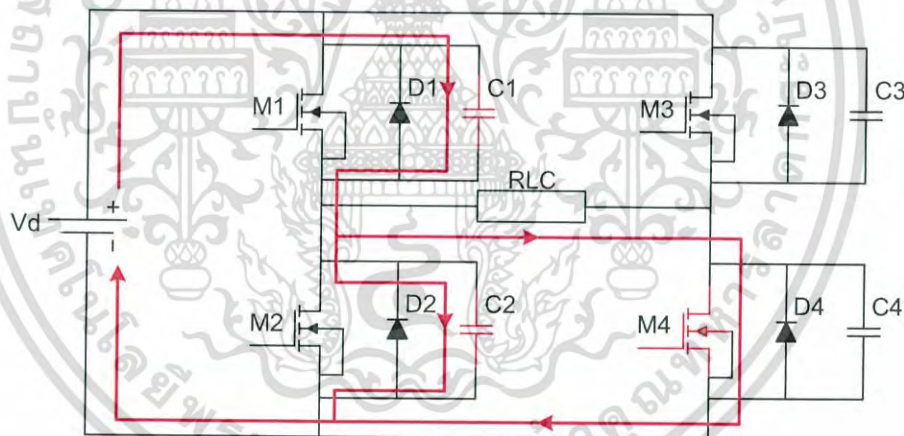
รูปที่ 3.6 การทำงานโหมดที่ 1

โหมดที่ 1 ช่วงเวลาที่ $t_0 - t_1$ โหมดนี้จะได้รับพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงมาแหล่งจ่ายไฟตรงไหลผ่านโหลด RLC เพื่อควบคุมหม้อแปลงความถี่สูง และ หลอดไอโซน ในช่วงเวลานี้ M1 และ M4 อยู่ในช่วง turn on โดยที่ กระแสด้านลบไหลผ่าน D1 และ D4 จะเรียกโหมดการทำงานโหมดนี้ว่า โหมดย้อนกลับ



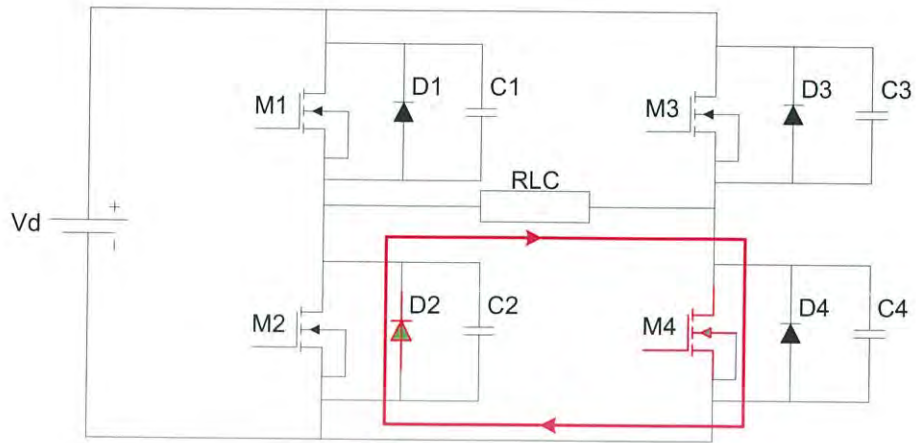
รูปที่ 3.7 การทำงานโหมดที่ 2

โหมดที่ 2 ช่วงเวลาที่ $t_1 - t_2$ โหมดนี้เป็นโหมดที่ได้รับไฟฟ้ากระแสตรงมาและจ่ายให้กับ M1 และ M4 และยังคง On อยู่แต่มีทิศทางการไหลของกระแสตรงข้ามกับ โหมด1 การไหลของกระแสจากแหล่งจ่ายไฟตรง ผ่าน M1 และ M4 ทางขาออก โดยข้าม M2, C2, D2, M3, C3 และ D3 มีแรงดันไฟฟ้าที่ M1, C1, D1, M4, C4 และ D4 เป็น ศูนย์



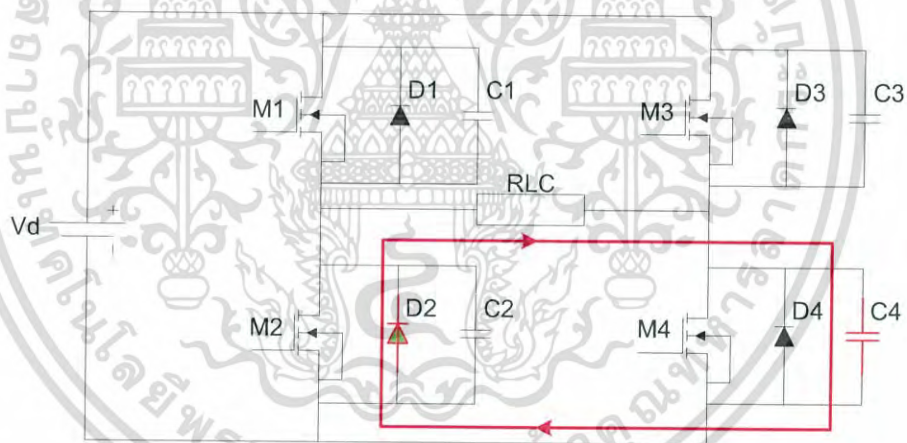
รูปที่ 3.8 การทำงานโหมดที่ 3

โหมดที่ 3 ช่วงเวลาที่ $t_2 - t_3$ ในระหว่างช่วงเวลานี้ M1 และ M4 จะปิด ช่วงก่อนที่ M1 จะปิดจาก กระแสที่ไหลผ่าน C1 จะมีค่าหนึ่งผ่าน C2 ทางด้ายบวก ไปร่วมกับกระแสที่ไหลผ่าน M4 แบบขนาน



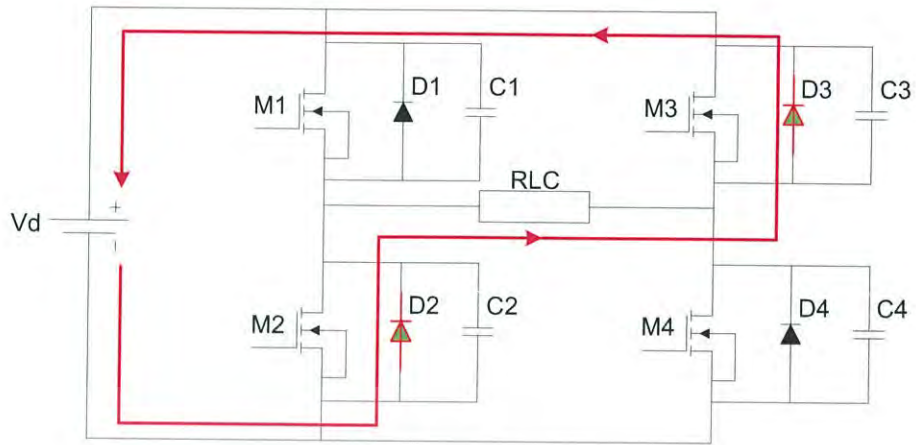
รูปที่ 3.9 การทำงานโหมดที่ 4

โหมดที่ 4 ช่วงเวลาที่ $t_3 - t_4$ โหมดนี้อยู่ในช่วงเวลาที่เปลี่ยน อิศระ ที่ M1 และ M3 turn on มีแรงดัน out put เป็นศูนย์ และมีการไหลของกระแสไหลผ่าน D2 และ M4 ผ่านโหลด RLC ทางด้านบวก



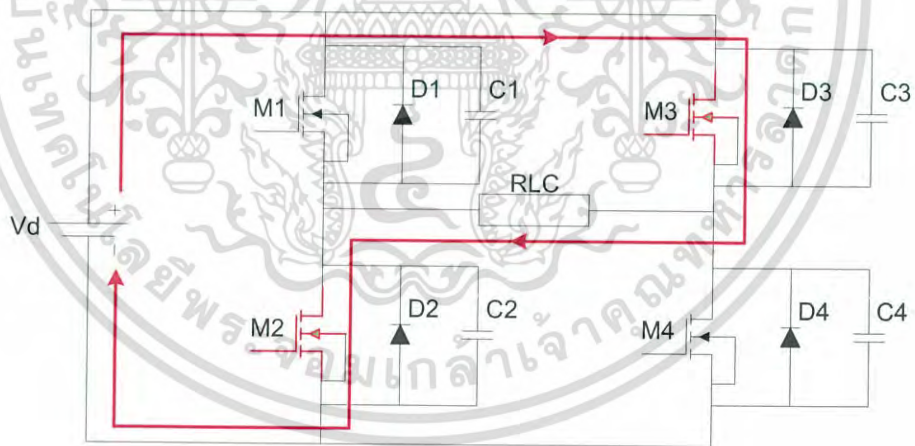
รูปที่ 3.10 การทำงานโหมดที่ 5

โหมดที่ 5 ช่วงเวลาที่ $t_4 - t_5$ ในระหว่างนี้ M1, M3, M4 จะปิด ขณะที่ M2 ยังคงมีกระแสไหลผ่าน โดย M4 จะถูกปิดโดยการไหลของกระแสที่ D2, C4 โดย C4 เป็นตัวคายพลังงานจนถึงค่าหนึ่ง



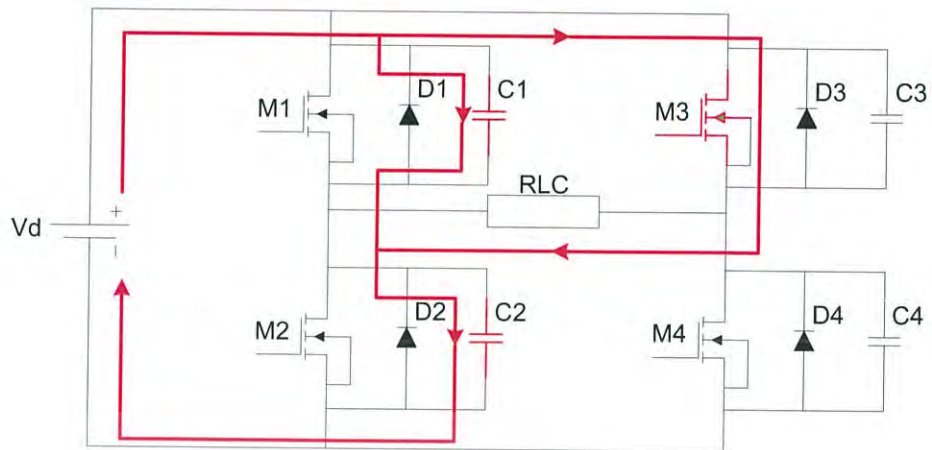
รูปที่ 3.11 การทำงานโหมดที่ 6

โหมดที่ 6 ช่วงเวลาที่ $t_5 - t_6$ โหมดนี้ยังเป็นโหมดย้อนกลับอยู่ซึ่งคล้ายกับ โหมด 1 โดย M2 และ M3 เปิดอยู่ โดยได้กระแสด้านลบมาจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงผ่าน D2, D3 และโหลด RLC



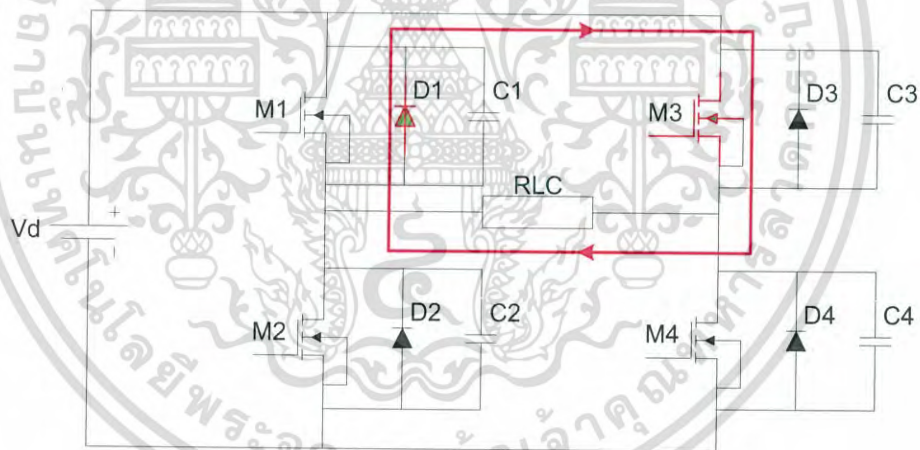
รูปที่ 3.12 การทำงานโหมดที่ 7

โหมดที่ 7 ช่วงเวลาที่ $t_6 - t_7$ โหมดนี้ M2 และ M3 ยังคงเปิดอยู่ การไหลของกระแสจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงผ่าน M3 และ M2 ผ่านโหลดทางด้านบวก



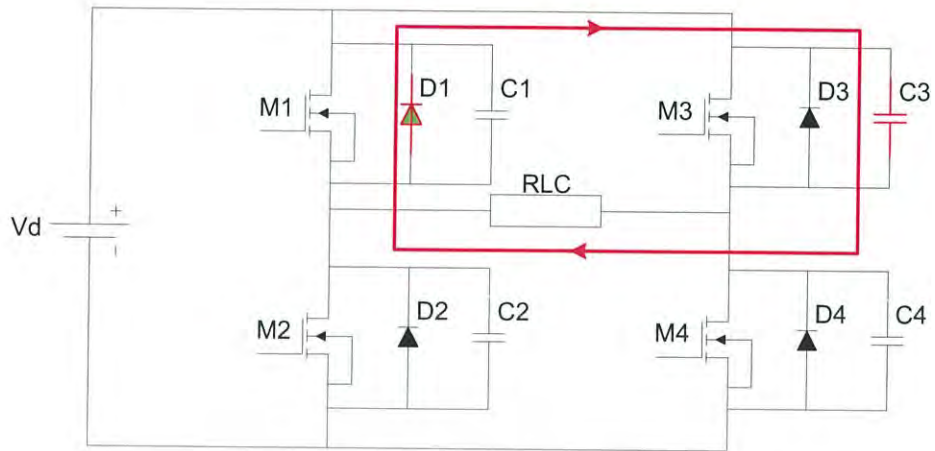
รูปที่ 3.13 การทำงานโหมดที่ 8

โหมดที่ 8 ช่วงเวลาที่ $t_7 - t_8$ M2 จะปิดโดย M3 ยังมีกระแสไหลอยู่การไหลของกระแสผ่านโหลด RLC และตัวเก็บประจุ ที่ M3, C1, C2 โดย C2 จะรับกระแสไหลจาก C1 ปลอยออกมาจนมีค่าๆ หนึ่ง



รูปที่ 3.14 การทำงานโหมดที่ 9

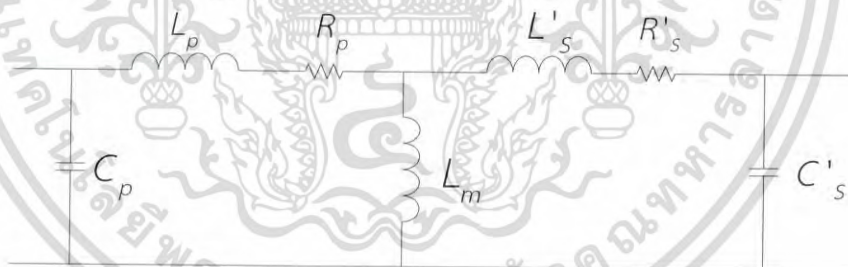
โหมดที่ 9 ช่วงเวลาที่ $t_8 - t_9$ โหมดนี้เป็นโหมดที่ M2 ปิดและ M3 จะเปิดโดยมีกระแสไหลผ่าน D1 ที่ M1 และ M3 ทางด้านบวก



รูปที่ 3.15 การทำงานโหมดที่ 10

โหมดที่ 10 ช่วงเวลาที่ $t_9 - t_{10}$ ในโหมดนี้ที่ M1 ยังคงเปิดอยู่และ M3 ปิดและกระแสไหลผ่าน D1 ทางด้านบวกไปยังโหลด RLC และ C3 เพื่อเก็บประจุจนมีค่าๆหนึ่งหลังจากนั้น โหมด 10 เป็นอันสมบูรณ์ ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของระยะเวลาการดำเนินงานครบรอบ และทำการดำเนินงานซ้ำแล้วซ้ำอีก

3.6 วงจรสมมูลหม้อแปลง



รูปที่ 3.16 วงจรสมมูลหม้อแปลง

จาก

$$N_2 I_2 = N_1 I_1 \quad (3.12)$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad (3.13)$$

$$V'_s = a V_s$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 53

(3.14)

$$R'_s = a^2 R_s$$

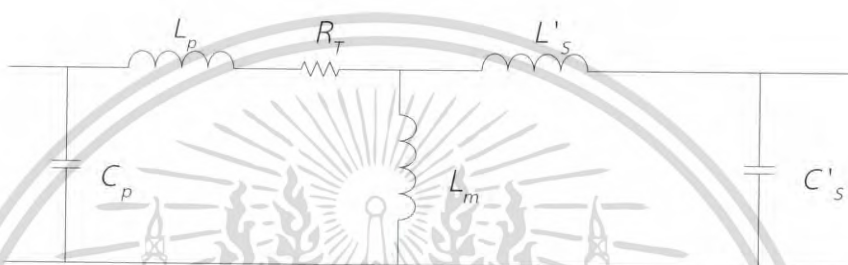
(3.15)

$$L'_s = a^2 L_s$$

(3.16)

$$C'_s = C_s / a^2$$

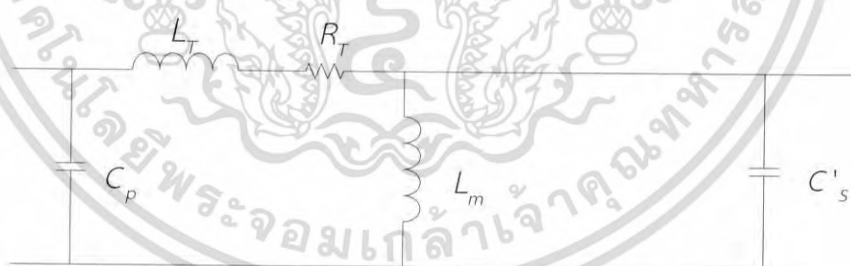
(3.17)



รูปที่ 3.17 การยุบวงจรสมมูลห่อแปลง ชั้นที่ 1

$$R_T = R_p + R'_s$$

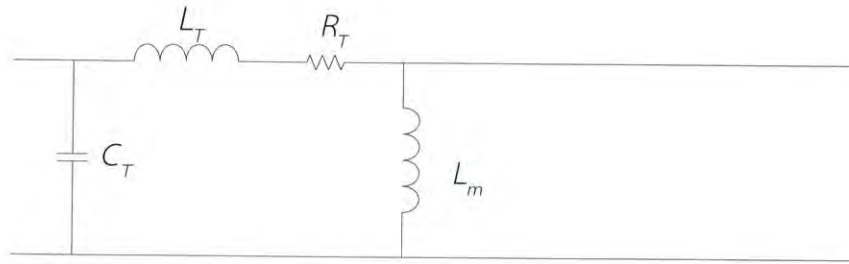
(3.18)



รูปที่ 3.18 การยุบวงจรสมมูลห่อแปลง ชั้นที่ 2

$$L_T = L_p + L'_s$$

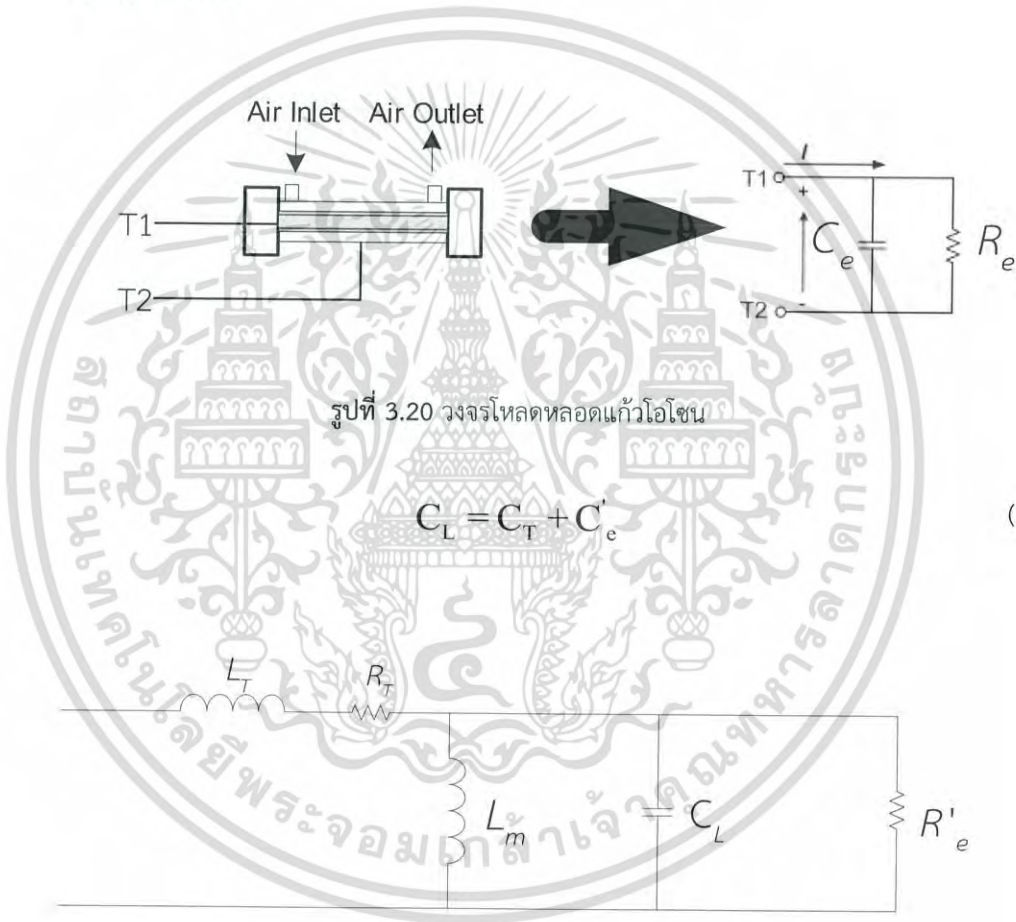
(3.19)



รูปที่ 3.19 การยุบวงจรสมมูลหม้อแปลง ชั้นที่ 3

$$C_T = C_p + C'_s \quad (3.20)$$

- หลอดแก้วไอโซน

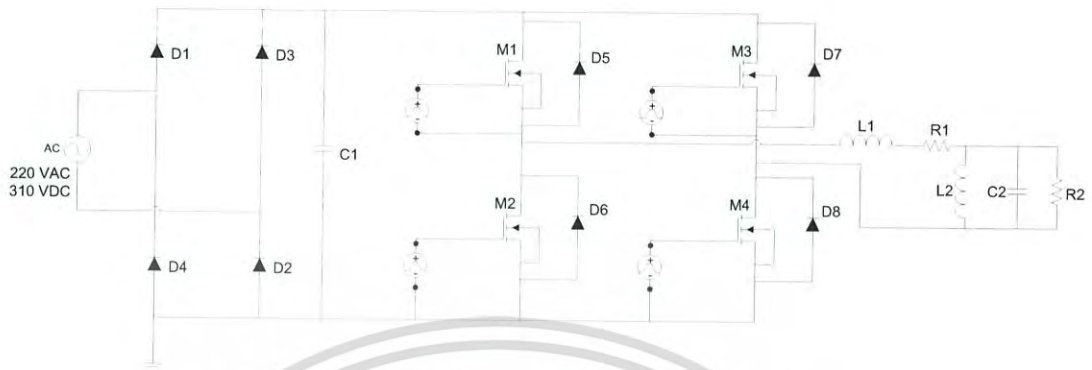


รูปที่ 3.20 วงจรหลอดหลอดแก้วไอโซน

$$C_L = C_T + C'_e \quad (3.21)$$

รูปที่ 3.21 วงจรสมมูลหม้อแปลงที่ต่อเข้ากับหลอด

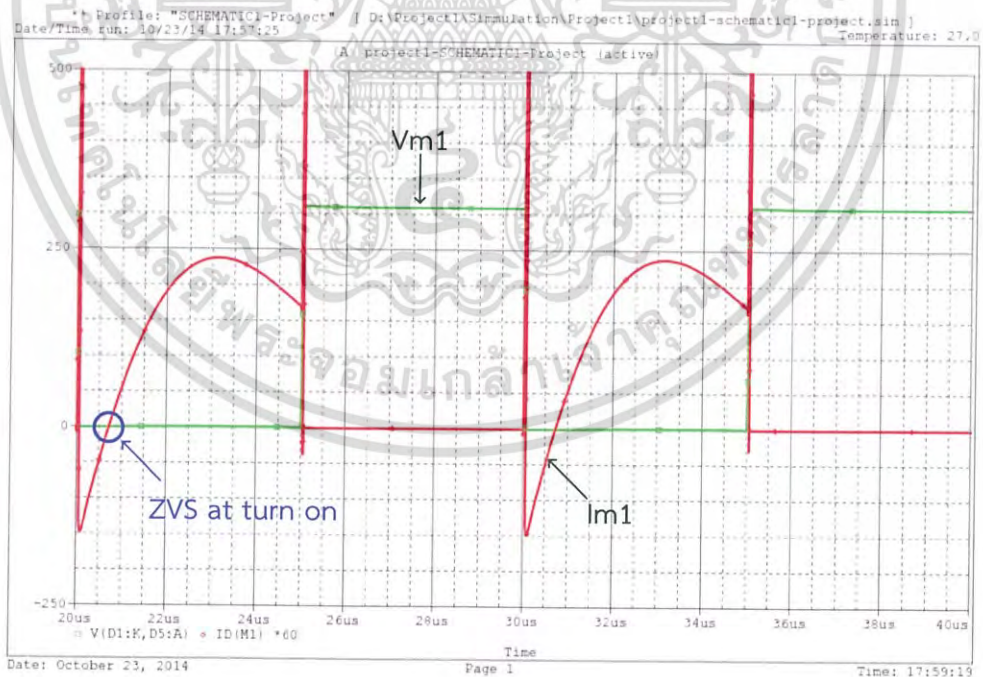
3.7 Simulation



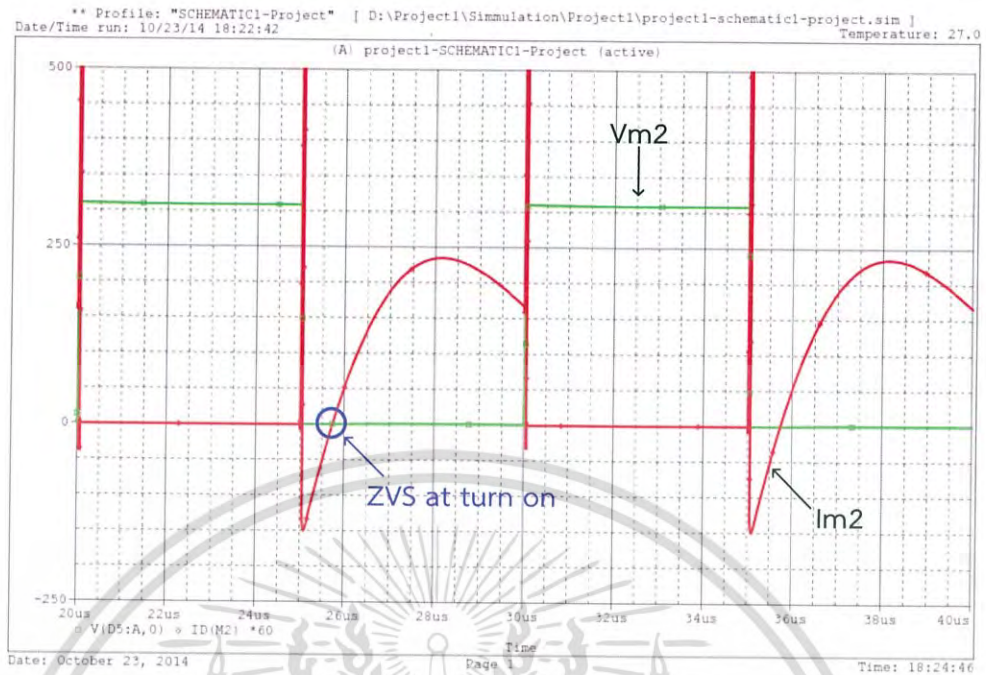
รูปที่ 3.22 วงจรSimulation

วงจรในรูปที่ 3.22 เป็นวงจรที่ใช้เขียนออกแบบในโปรแกรม Orcad Pspice ในการ Simulation เพื่อทดสอบรูปคลื่นแรงดันและกระแส ที่จุดต่างๆของวงจร

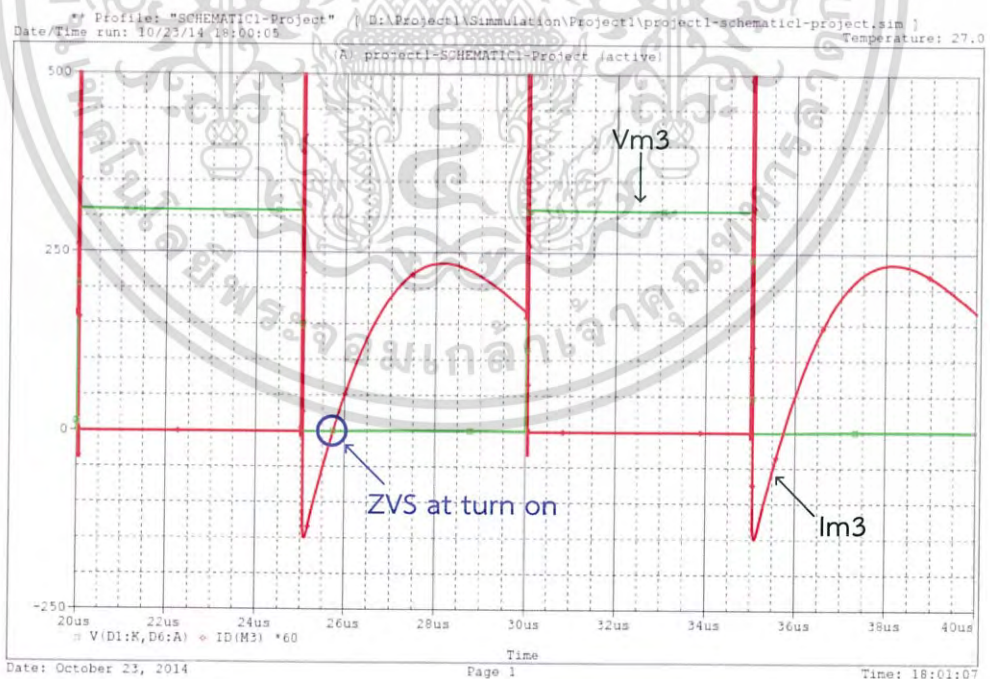
3.6.1 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ Simulation ออกมาได้ดังนี้



รูปที่ 3.23 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของ MOSFET ตัวที่ 1 (50 V/div, 0.5A/div ,Time 5.5us)

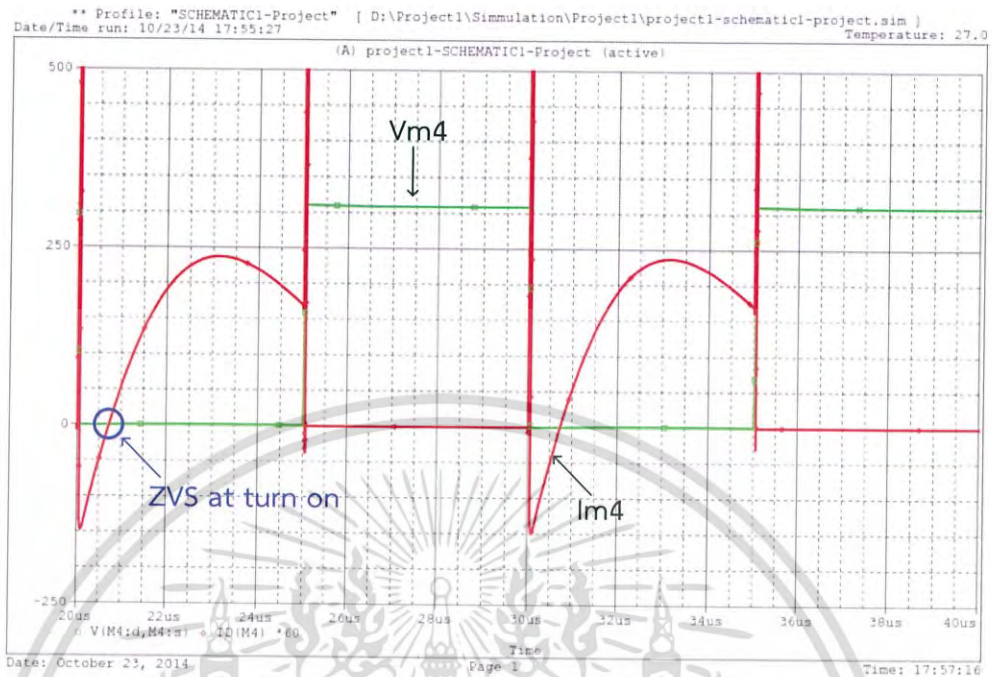


รูปที่ 3.24 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของ MOSFET ตัวที่ 2 (50 V/div, 0.5A/div ,Time 5.5us)

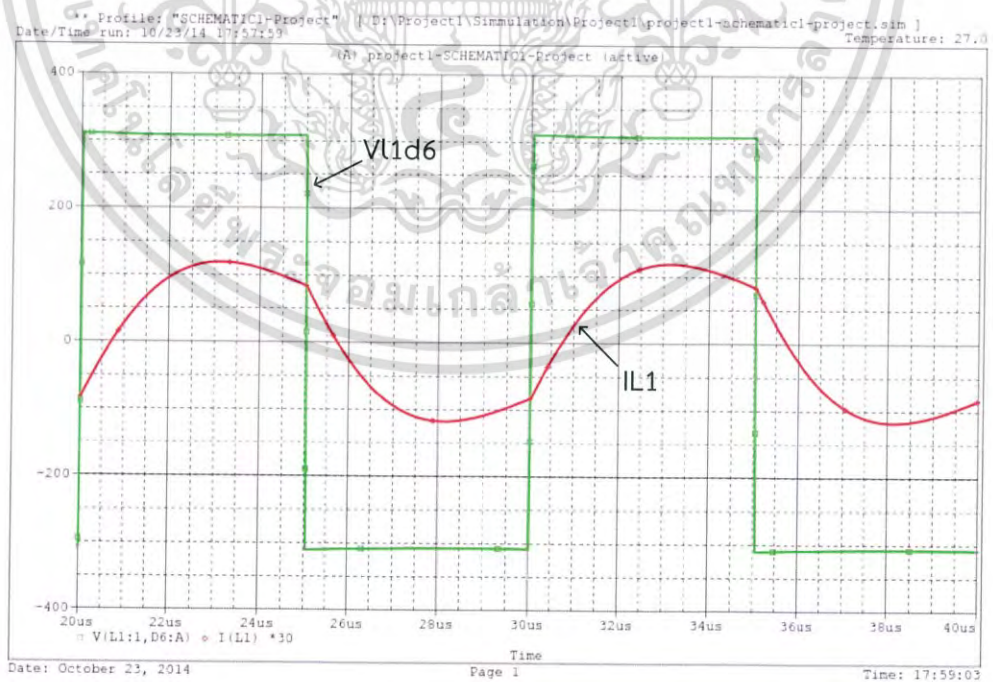


รูปที่ 3.25 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของ MOSFET ตัวที่ 3 (50 V/div, 0.5A/div ,Time 5.5us)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 57

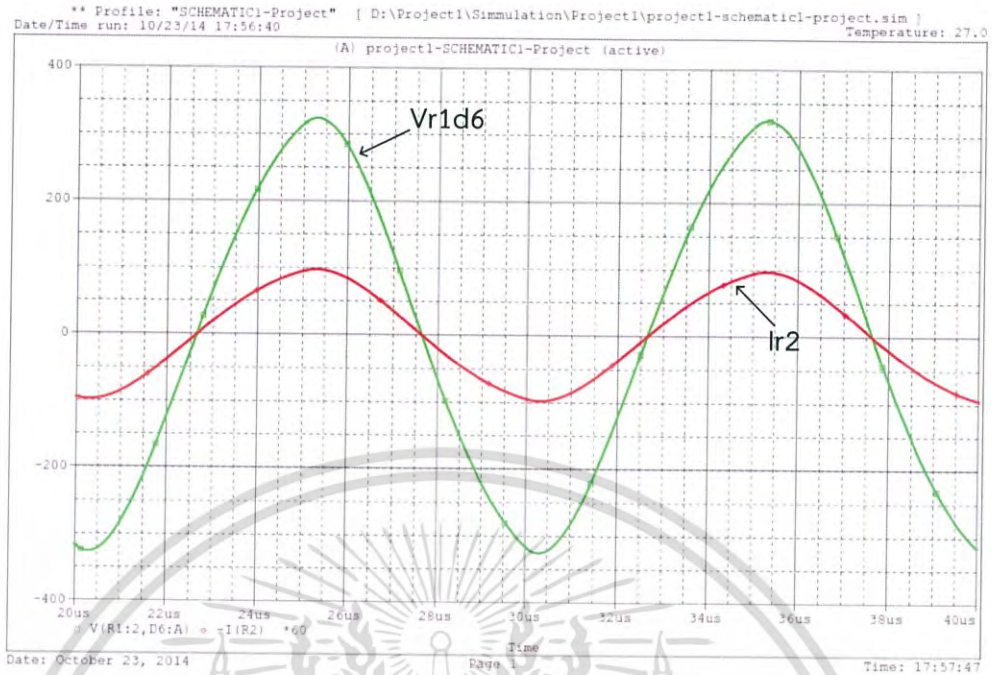


รูปที่ 3.26 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของ MOSFET ตัวที่ 4 (50 V/div, 0.5A/div ,Time 5.5us)



รูปที่ 3.27 รูปคลื่นแรงดันและกระแส เอาท์พุท Inverter (50 V/div, 0.5A/div ,Time 5.5us)

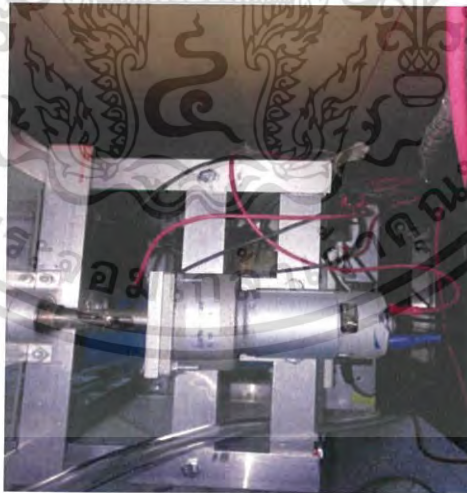
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 58



รูปที่ 3.28 รูปคลื่นแรงดันและกระแส ที่ Load (50 V/div, 0.5A/div, Time 5.5us)

3.8 ส่วนลำเลียงเมล็ดข้าวสาร

ในส่วนของการลำเลียงเมล็ดข้าวสารไปยังส่วนคัดแยกนั้น เครื่องต้นแบบนี้จะใช้ เกลียวลำเลียงซึ่งจะถูกขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงดังรูป



รูปที่ 3.29 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงลำเลียง 1

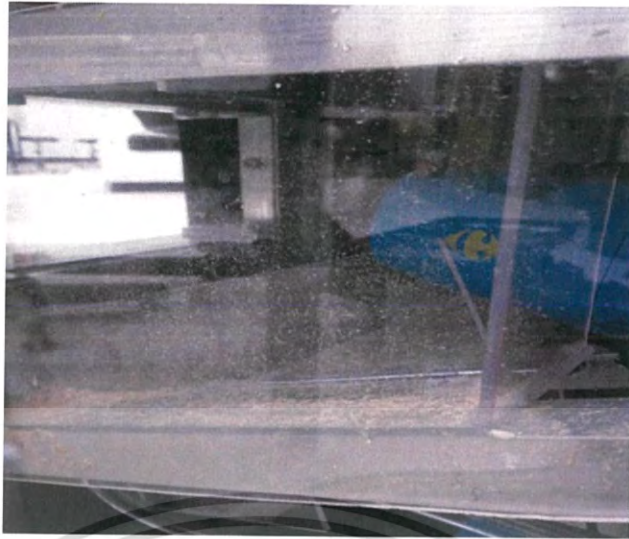


รูปที่ 3.30 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงลำเลียง 2

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้เลือกนำมาใช้ในการลำเลียงนี้ นั้น ทางคณะผู้วิจัยจะได้เลือกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 V ความเร็วรอบเท่ากับ 150 rpm โดยการควบคุมการทำงานนั้นจะใช้การเปิดปิดโดยอาศัยรีเลย์ซึ่งจะได้รับสัญญาณการควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์อีกครั้ง

3.9 ส่วนคัดแยกสิ่งเจือปน

หลังจากเมล็ดข้าวสารได้รับการบ่มด้วยก๊าซไอโซนจากเครื่องอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงแล้วนั้น ศัตรูพืชจะถูกกำจัดแต่ก็ยังคงปะปนกับเมล็ดข้าวพร้อมกับสิ่งแปลกปลอมที่เจือปนเข้ามาพร้อมกับเมล็ดข้าวสารดังนั้นเพื่อที่จะแยกสิ่งเจือปนเหล่านี้ จึงได้ทำการเลือกวิธีคัดแยกโดยใช้ลมร้อนโดยใช้ปั๊มลมร้อน เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วนั้นสิ่งแปลกปลอมจะมีน้ำหนักน้อยกว่าเมล็ดข้าวดังนั้น เมื่อมีการลำเลียงเมล็ดข้าวให้ตกลงในแนวตั้งแล้วใช้ลมร้อนเป่าผ่านก็จะสามารถแยกสิ่งเจือปนเหล่านั้นออกจากเมล็ดข้าวสารได้ นอกจากนี้ความร้อนที่นำมาใช้จะถูกใช้ในการไล่ความชื้นออกจากเมล็ดข้าวได้เป็นอย่างดีอีกด้วย



รูปที่ 3.31 ป้อมลมร้อน



รูปที่ 3.32 เครื่องต้นแบบที่ได้ทำการประกอบสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 61

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองการทำงานของเครื่องสร้างโอโซน โดยการทดสอบสัญญาณไฟฟ้าในจุดต่างๆ เก็บผลทางเคมีในแต่ละความถี่ และทำการทดลองโอโซนกับการกำจัดแมลงศัตรูพืชในเมล็ดข้าว ซึ่งได้ทำการทดลอง 3 ส่วนด้วยกัน

1. การทดสอบสัญญาณไฟฟ้าในแต่ละส่วน
2. การทดลองทางเคมีเพื่อวิเคราะห์ปริมาณโอโซน
3. การทดสอบการยืดอายุการกำจัดแมลงศัตรูพืชในเมล็ดข้าว

ซึ่งจะได้ทำการทดลองและผลการทดลองของแต่ละส่วนดังนี้

4.1 การทดสอบสัญญาณไฟฟ้าในแต่ละส่วน

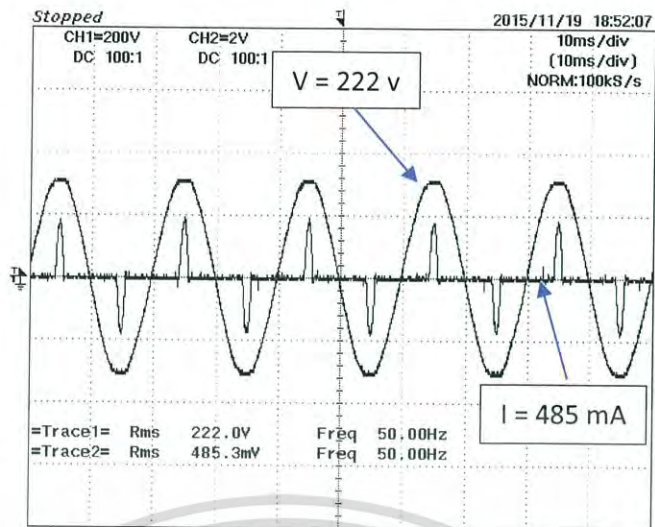
ในส่วนนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบทางไฟฟ้าในส่วนต่างๆที่สามารถจับรูปสัญญาณได้โดยเริ่มตั้งแต่สัญญาณการจ่ายไฟออกจากควอร์เรกซ์เข้าวงจร Rectifier ออกจาก Rectifier เข้าวงจร Inverter ออกจาก Inverter เข้าหม้อแปลงไฟฟ้าและออกจากหม้อแปลงไปที่โหลด ดังรูปที่ 4.1 และจับสัญญาณความเปลี่ยนแปลงในความถี่ สวิตซ์ซึ่งที่จะใช้ทดสอบ ในที่นี้เราจะใช้ทั้งหมด 4 ความถี่ คือ 20 kHz , 22 kHz , 24 kHz , 26 kHz



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรม

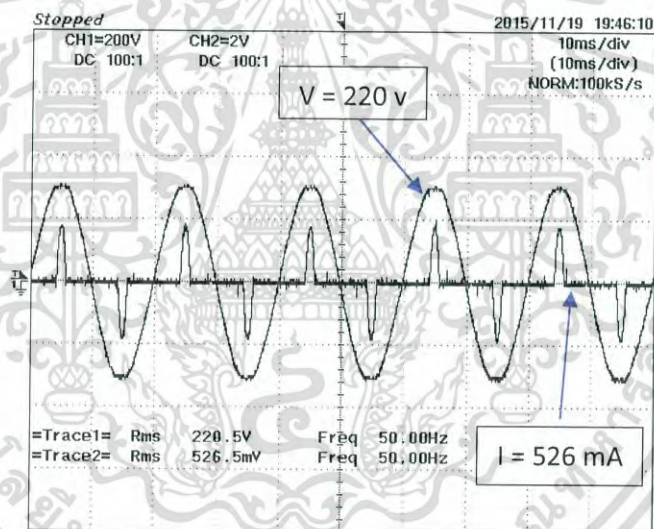
4.1.1 สัญญาณไฟฟ้าในส่วนขาเข้าของวงจร Rectifier ในแต่ละความถี่สวิตซ์ซึ่ง

- สัญญาณไฟฟ้าจากควอร์เรกซ์ที่จ่ายเข้าให้กับวงจร Rectifier วัดรูปสัญญาณโดยการใช้สาย Probe จับรูปสัญญาณที่ออกจากควอร์เรกซ์หรือทางด้านขาเข้าวงจร Rectifier ในส่วนนี้รูปสัญญาณแรงดันจะเป็นรูปคลื่นไซน์เนื่องจากเป็นไฟ AC โดยในแต่ละความถี่มีรูปสัญญาณดังรูปที่ 4.2 ถึง รูปที่ 4.5 ซึ่งในแต่ละความถี่จะมีแรงดันใกล้เคียงกันแต่กระแสไม่เท่ากัน



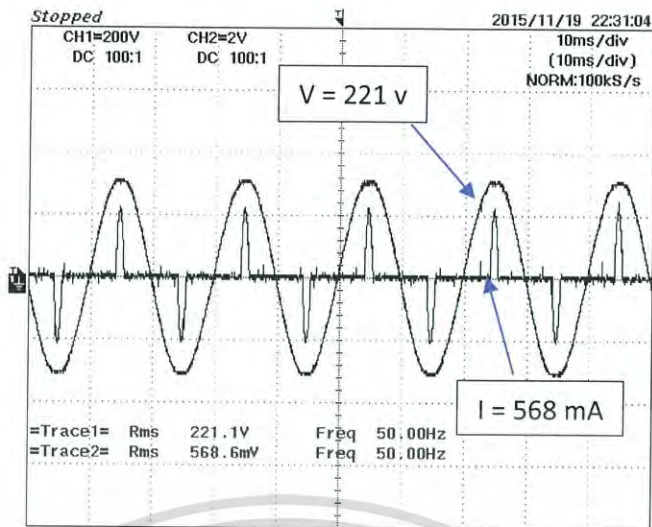
=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
Smoothing : OFF CH1 : 0V Main : 10K Mode : AUTO
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 10K Type : EDGE CH1 Ψ
Delay : 0.0ns
Hold OFF : MINIMUM

รูปที่ 4.2 สัญญาณขาเข้าวงจร Rectifier ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 20 kHz



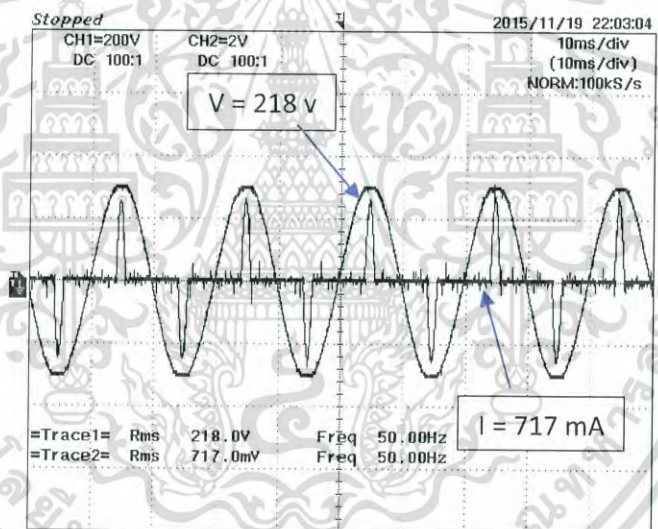
=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
Smoothing : OFF CH1 : 0V Main : 10K Mode : AUTO
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 10K Type : EDGE CH1 Ψ
Delay : 0.0ns
Hold OFF : MINIMUM

รูปที่ 4.3 สัญญาณขาเข้าวงจร Rectifier ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 22 kHz



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
 Smoothing : OFF CH1 : 0V Main : 10K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 10K Type : EDGE CH1 \checkmark
 Delay : 0.0ns
 Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 4.4 สัญญาณขาเข้าวงจร Rectifier ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 24 kHz

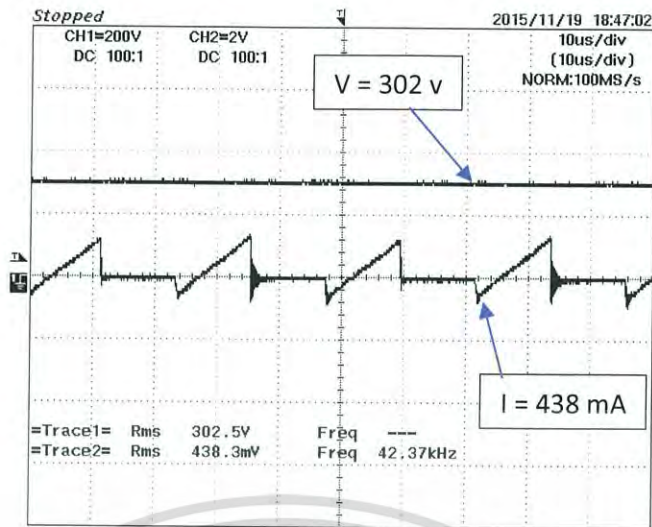


=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
 Smoothing : OFF CH1 : 0V Main : 10K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 10K Type : EDGE CH1 \checkmark
 Delay : 0.0ns
 Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 4.5 สัญญาณขาเข้าวงจร Rectifier ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 26 kHz

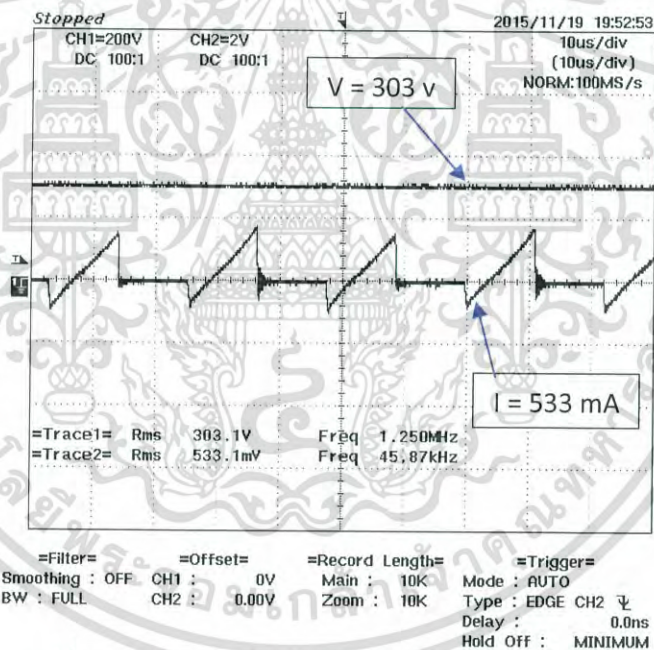
4.1.2 สัญญาณไฟฟ้าในส่วนของขาเข้าวงจร Inverter ในแต่ละความถี่สวิตซ์ซิ่ง

- สัญญาณไฟฟ้าที่ออกจากวงจร Rectifier และเข้าที่วงจร Inverter วัตถุประสงค์สัญญาณโดยการใช้สาย Probe จับที่หลัง C ของวงจร Rectifier หรือ ก่อนเข้าวงจร Inverter ซึ่งในส่วนนี้สัญญาณแรงดันจะเป็นเส้นตรงเนื่องจากวงจร Rectifier เป็นวงจรที่เปลี่ยนจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง และในส่วนรูปสัญญาณของกระแสจะเป็นสามเหลี่ยม ดังรูปที่ 4.6 ถึง รูปที่ 4.9

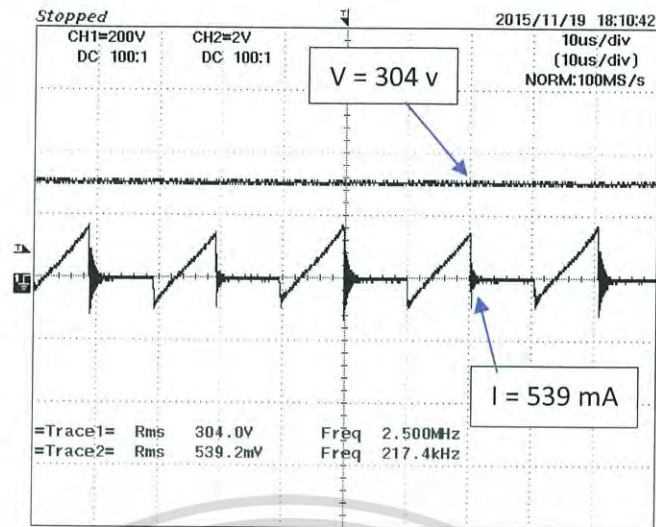


=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL
 =Offset= CH1 : 0V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH2 Delay : 0.0ns Hold OFF : MINIMUM

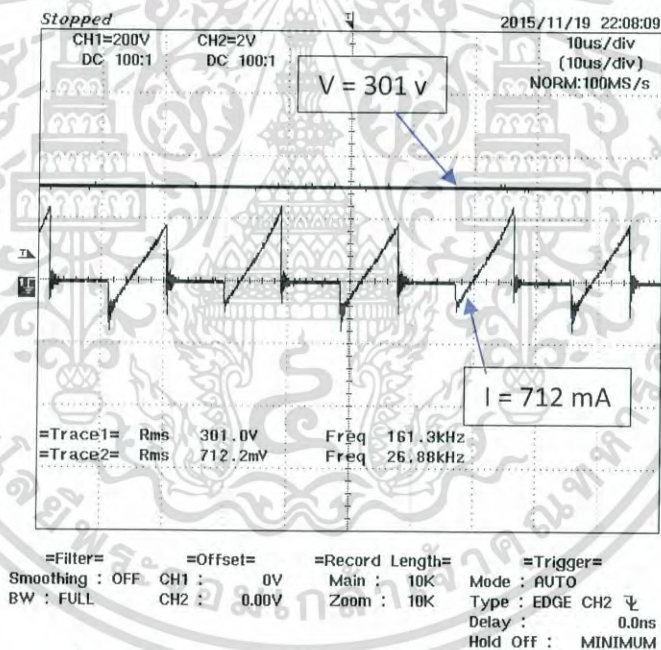
รูปที่ 4.6 สัญญาณขาเข้าวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 20 kHz



รูปที่ 4.7 สัญญาณขาเข้าวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 22 kHz



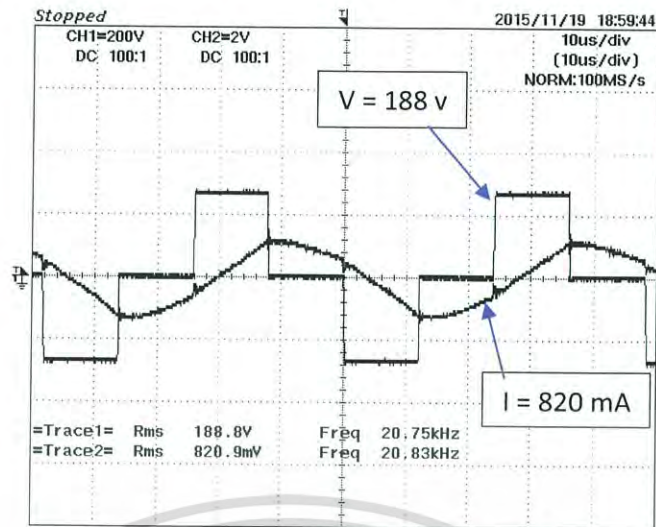
รูปที่ 4.8 สัญญาณขาเข้าวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 24 kHz



รูปที่ 4.9 สัญญาณขาเข้าวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 26 kHz

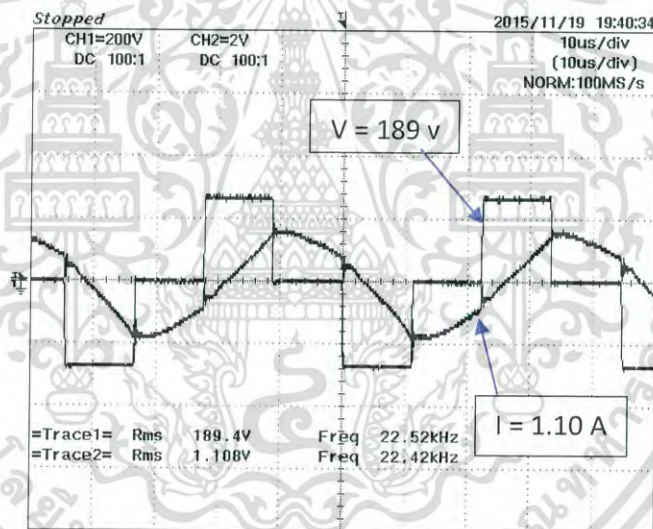
4.1.3 สัญญาณไฟฟ้าในส่วนของขาออกจากวงจร Inverter ในแต่ละความถี่สวิตซ์ซิ่ง

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



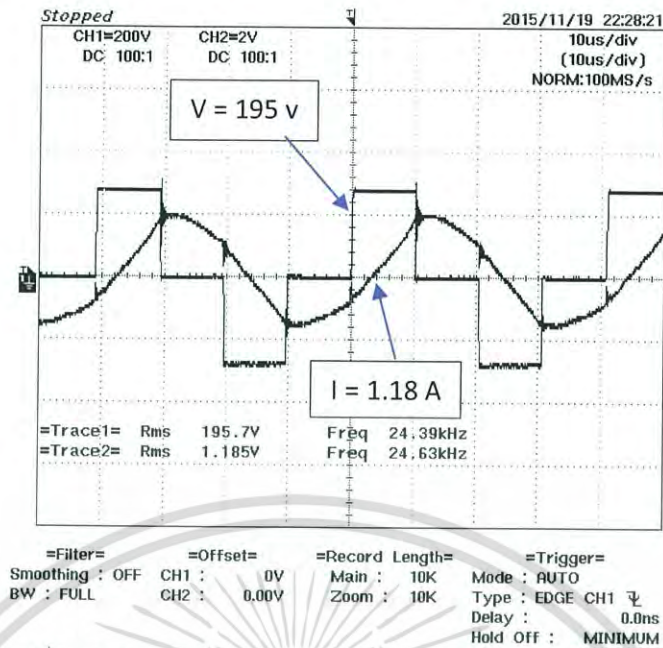
=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL
 =Offset= CH1 : 0V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 4.10 สัญญาณขาออกจากวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 20 kHz

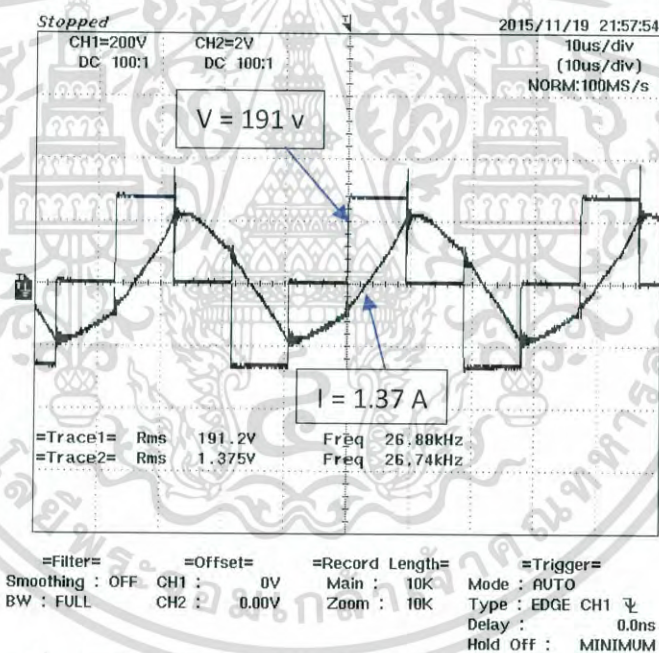


=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL
 =Offset= CH1 : 0V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 4.11 สัญญาณขาออกจากวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 22 kHz



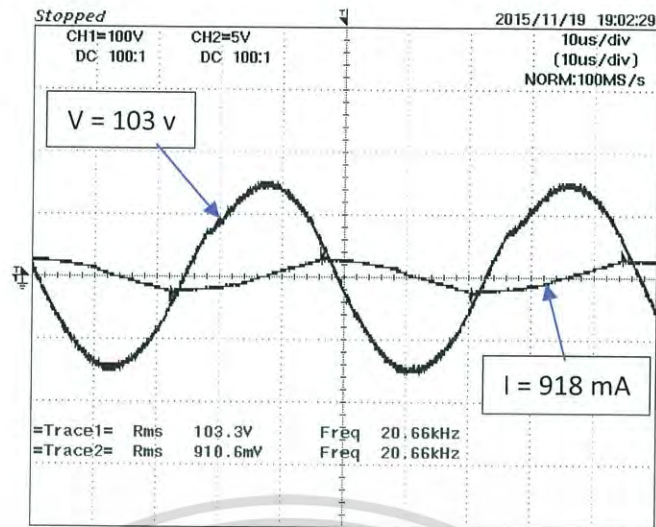
รูปที่ 4.12 สัญญาณขาออกจากวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 24 kHz



รูปที่ 4.13 สัญญาณขาออกจากวงจร Inverter ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 26 kHz

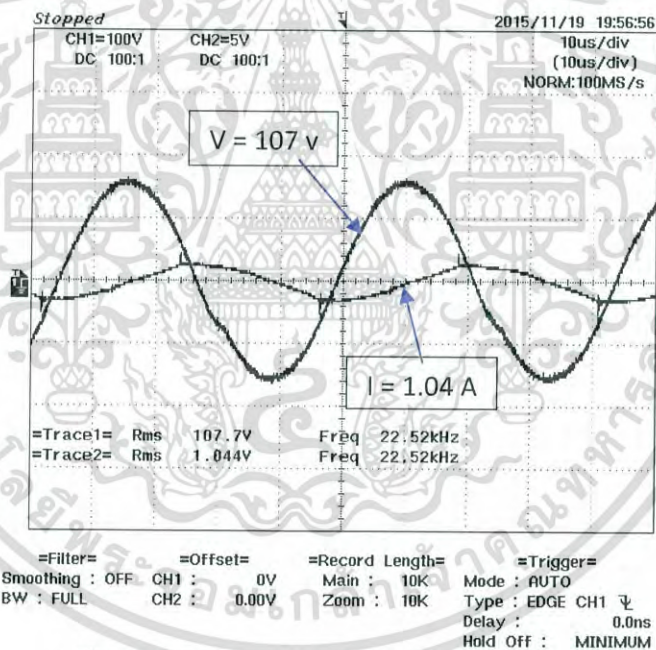
4.1.4 สัญญาณไฟฟ้าในส่วนของขาเข้าหม้อแปลงในแต่ละความถี่สวิตซ์ซิ่ง

- สัญญาณไฟฟ้าที่ด้านขาเข้าหม้อแปลง วัดรูปสัญญาณโดยใช้สาย Probe จับที่หม้อแปลงทางด้านขาเข้า เราจะได้สัญญาณแรงดันเป็นรูปไซน์เหมือนกันแตกต่างกันที่แรงดันของแต่ละความถี่ในส่วนรูปสัญญาณของกระแสจะเป็นรูปไซน์ซึ่งในแต่ละความถี่จะมีค่าที่วัดได้ไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 4.14 ถึง รูปที่ 4.17

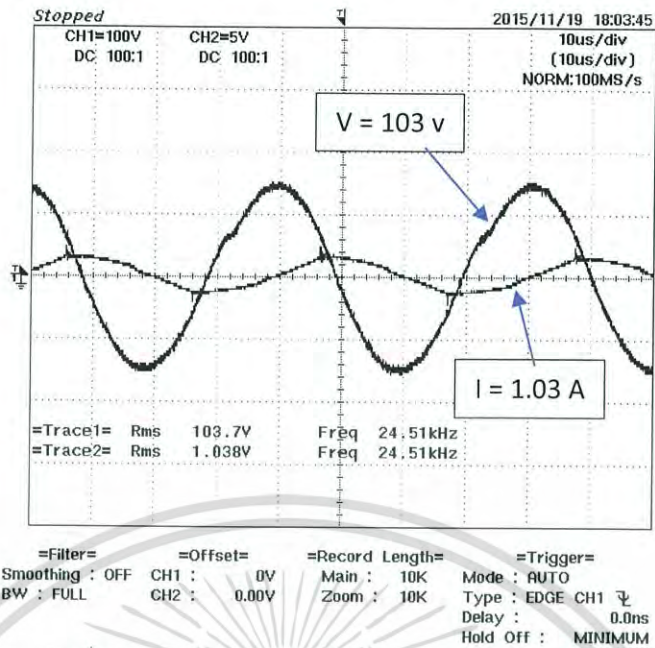


=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL
 =Offset= CH1 : 0V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

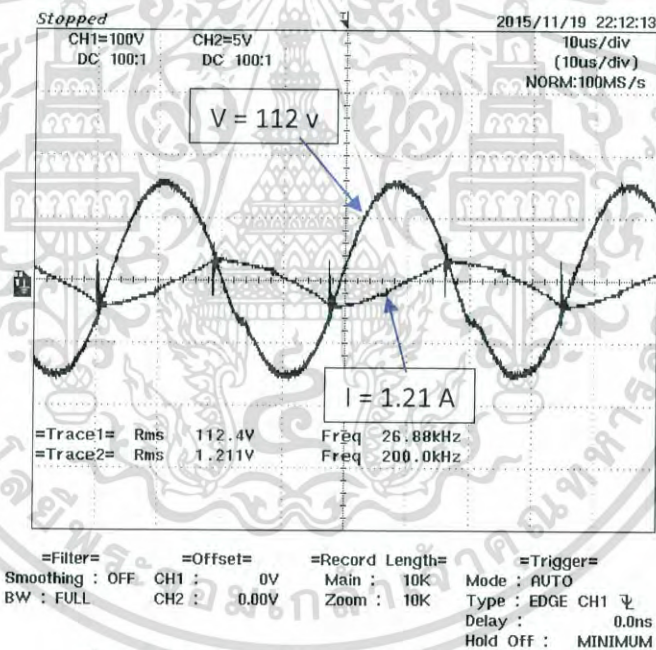
รูปที่ 4.14 สัญญาณขาเข้าหม้อแปลงความถี่สวิทซ์ซึ่ง 20 kHz



รูปที่ 4.15 สัญญาณขาเข้าหม้อแปลงความถี่สวิทซ์ซึ่ง 22 kHz



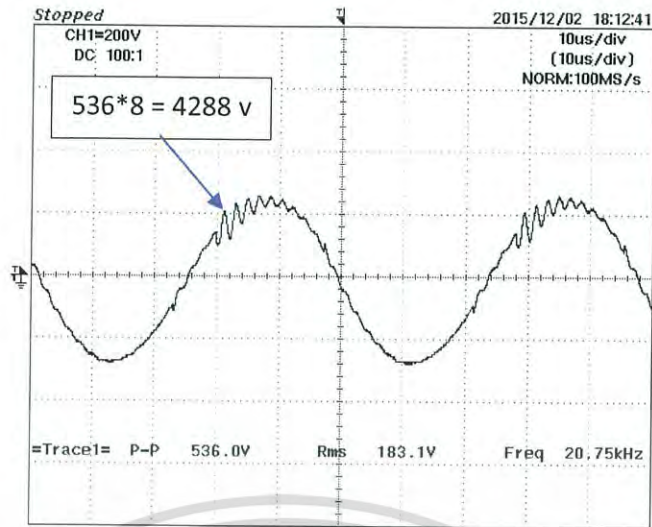
รูปที่ 4.16 สัญญาณขาเข้าหม้อแปลงความถี่สวิทซ์ซิ่ง 24 kHz



รูปที่ 4.17 สัญญาณขาเข้าหม้อแปลงความถี่สวิทซ์ซิ่ง 26 kHz

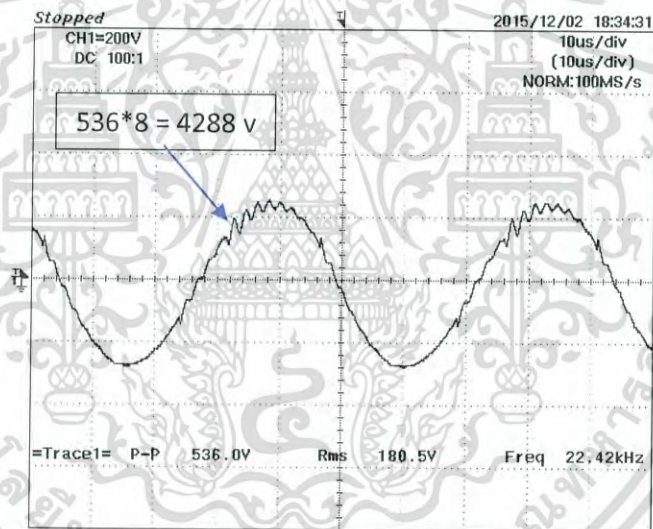
4.1.5 สัญญาณไฟฟ้าในส่วนขาออกหม้อแปลงในแต่ละความถี่สวิทซ์ซิ่ง

- สัญญาณไฟฟ้าที่ด้านขาออกหม้อแปลง วัดรูปสัญญาณโดยการใช้สาย Probe จับที่หม้อแปลงทางด้านขาออก เราจะได้สัญญาณแรงดันเป็นรูปไซน์ที่แรงดันของแต่ละความถี่เหมือนกันเนื่องจากเป็นโพลต์เดียวกันทำให้ค่าแรงดันที่ corona discharge เหมือน ดังรูปที่ 4.18 ถึง รูปที่ 4.21



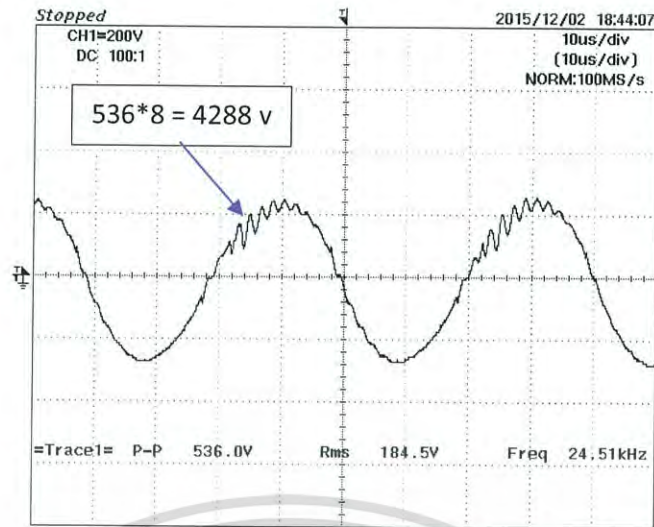
=Filter= Smoothing : ON BW : 20MHz
 =Offset= CH1 : 0V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 4.18 สัญญาณขาออกหม้อแปลงความถี่สวิตซิ่ง 20 kHz



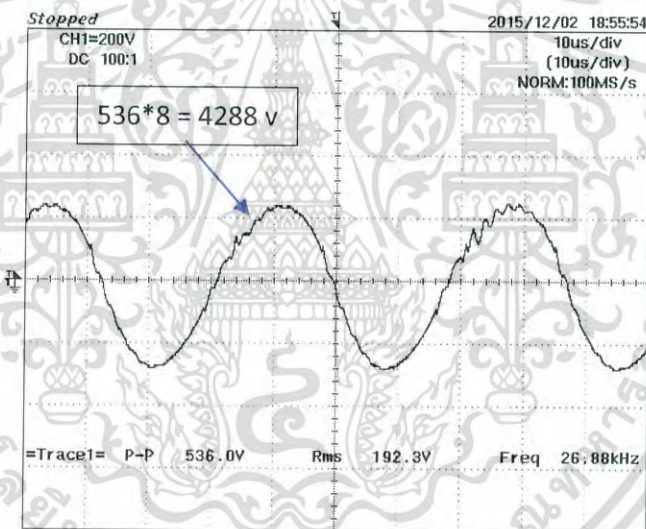
=Filter= Smoothing : ON BW : 20MHz
 =Offset= CH1 : 0V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 4.19 สัญญาณขาออกหม้อแปลงความถี่สวิตซิ่ง 22 kHz



=Filter= Smoothing : ON BW : 20MHz
=Offset= CH1 : 0V CH2 : 0.00V
=Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
=Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 4.20 สัญญาณขาออกหม้อแปลงความถี่สวิตซ์ซิ่ง 24 kHz



=Filter= Smoothing : ON BW : 20MHz
=Offset= CH1 : 0V CH2 : 0.00V
=Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
=Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 4.21 สัญญาณขาออกหม้อแปลงความถี่สวิตซ์ซิ่ง 26 kHz

4.1.5 สรุปผลการทดสอบทางไฟฟ้า

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าความถี่มีผลต่อกระแสและกำลังไฟฟ้า ในแต่ละความถี่เราจะเห็นว่าแรงดันในการเกิด corona discharge นั้นมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากเป็นโพลตเดียวกัน ส่วนในค่าของกระแสเมื่อเราเพิ่มความถี่กระแสก็เพิ่มขึ้นเรื่อยๆด้วย เช่นเดียวกับกำลังไฟฟ้าที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้น ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพมีค่าสูงมากขึ้นตามความถี่ด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า

ความถี่ (f)	$I_{in,rms}$	$V_{in,rms}$	P_{in}	$I_{out,rms}$	$V_{out,rms}$	P_{out}	Eff%
20 kHz	0.48	222	49.4	0.81	189	36.08	73.04
22 kHz	0.53	220.5	56.35	1.11	189.4	47.66	84.58
24 kHz	0.57	221.1	57.70	1.18	195.7	52.32	90.67
26 kHz	0.72	218	75.62	1.38	191.2	68.69	90.83



รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความถี่



รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับความถี่

4.2 การทดลองทางเคมีเพื่อวิเคราะห์ปริมาณไอโชน

เนื่องจากก๊าซไอโชนเป็นก๊าซที่เราไม่สามารถมองเห็นได้แต่จะมีกลิ่นคาวเราจึงไม่สามารถรู้ได้ว่าเราสามารถผลิตก๊าซไอโชนออกมาได้มากน้อยเพียงใดเราจึงต้องนำวิธีทางเคมีเข้ามาช่วยในการหาปริมาณไอโชนที่เราสามารถผลิตได้โดยวิธีการไตเตรท

4.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไอโชน

1. บิวเรตและขวด 1 ชุด
2. ปีเปตขนาด 100 ml 1 อัน
3. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml 4 อัน
4. ปีกเกอร์ขนาด 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)

4.2.2 ขั้นตอนการเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- สารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ (20% KI)

นำสารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ความเข้มข้น (20% KI) ผสมในน้ำกลั่นในปริมาณที่เราต้องการ เช่น ถ้าต้องการใช้สาร 100 ml ต้องใช้สารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ 20 กรัม ผสมในน้ำกลั่น 100 ml เป็นต้น

- สารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)

ผสมสารละลายกรดซัลฟิวริกให้มีความเข้มข้น 1 N H_2SO_4

- 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

- น้ำแป้ง (1% Starch)

ละลายน้ำแป้ง 1 กรัม ทำให้มีปริมาตร 100 ml

4.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณไอโชนโดยวิธีทางเคมี

- นำสารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ (20% KI) ที่เตรียมไว้มาตวงด้วยกระจกตวงที่ปริมาตร 100 ml จากนั้นเทใส่ขวดรูปชมพู่จำนวน 4 ขวด ขวดละ 100 ml จากนั้นนำสารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ที่ตวงไว้ไปอังไอโชนโดยการนำสายยางจากเครื่องสร้างไอโชนไปจุ่มลงในสารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ที่ได้เตรียมไว้เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นสารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ที่ไม่มีสีจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง



รูปที่ 4.24 สารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ที่อ็อกซิไดซ์แล้ว

- นำสารที่ได้มาปรับค่า pH โดยการนำสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น $1\text{ N H}_2\text{SO}_4$ ปริมาณ 3 ml และน้ำแบ่ง 1 ml เติมลงไปนในสารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ที่อ็อกซิไดซ์แล้ว จากนั้นสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำเงินหรือดำ



รูปที่ 4.25 สารละลายที่เติมกรดซัลฟิวริกและน้ำแบ่งแล้ว

- นำสารละลายที่ได้เติมกรดซัลฟิวริกและน้ำแบ่งแล้ว มาทำการไตเตรทโดยใช้สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) ความเข้มข้น $0.1\text{ N Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ เป็นตัวไตเตรท ทำการไตเตรทจนสารละลายที่เป็นสีดำจางหายไปจนกลายเป็นไม่มีสีเหมือนเดิม จากนั้นทำการบันทึกค่าของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) เพื่อใช้ในการคำนวณต่อไป



รูปที่ 4.26 การไตเตรทสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 75

4.2.4 การคำนวณหาปริมาณโอโซน

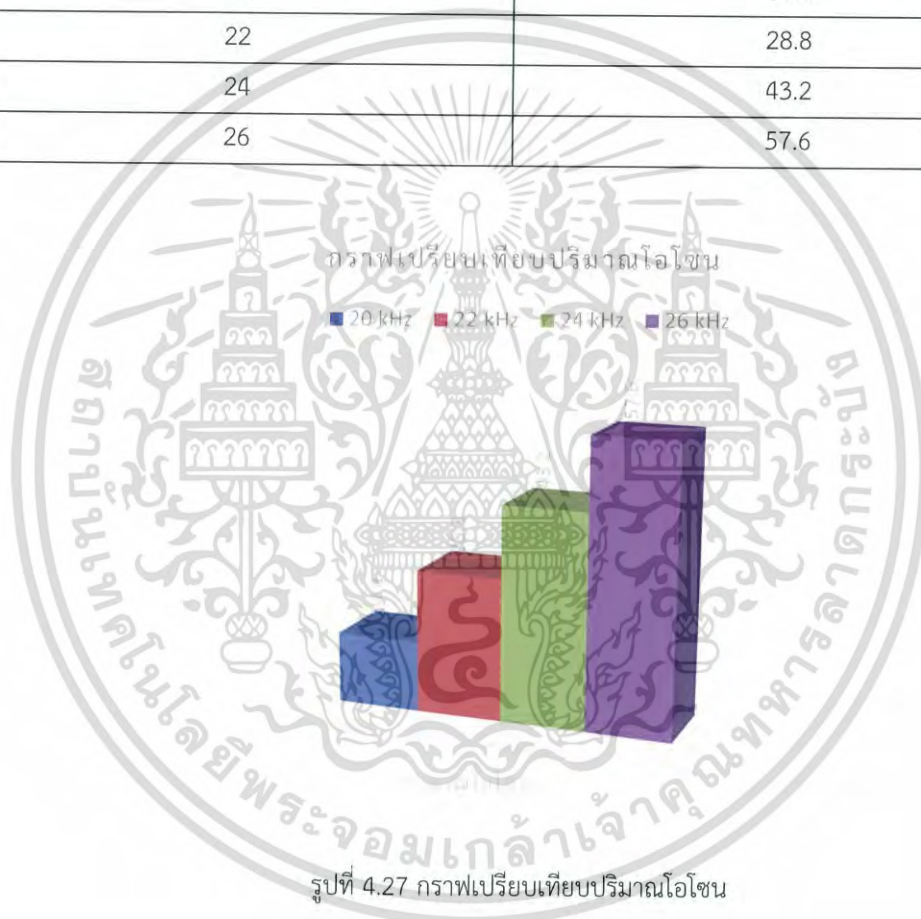
จากความสัมพันธ์ $0.1\text{ N Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ $1\text{ ml} = 2.4\text{ mgO}_3/\text{h}$

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

4.2.5 ผลการทดลองทางเคมีเพื่อหาปริมาณโอโซนในแต่ละความถี่

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลปริมาณโอโซนในแต่ละความถี่

ความถี่ (kHz)	ปริมาณโอโซน (mgO ₃ /h)
20	14.4
22	28.8
24	43.2
26	57.6



4.3 การทดสอบการกำจัดศัตรูเมล็ดข้าว

ในการทดสอบการกำจัดศัตรูเมล็ดข้าวทำด้วยวิธีการนำเมล็ดข้าวสารที่ต้องการเก็บรักษานำมาใส่ในกล่องบ่มโอโซนจากนั้นทำการเปิดเครื่องเพื่อผลิตโอโซนเพื่อนำโอโซนที่ผลิตได้จากเครื่องไปปล่อยลงในกล่องบ่มเพื่อให้โอโซนทำการฆ่าศัตรูพืช จำพวกมอด เชื้อราต่างๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นเมล็ดข้าวสารที่ได้รับการบ่มด้วยโอโซนแล้วจะถูกส่งไปยังส่วนคัดแยกสิ่งเจือปน และสังเกตผลการทดสอบการทำงาน ผลการกำจัดศัตรูเมล็ดข้าวเปลือกของโอโซน อัตราการตายของมอด และอัตราการคัดแยกสิ่งเจือปนออกจากเมล็ดข้าวสาร

4.3.1 การทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ

- ในการทดสอบนี้เราจะทำเลือกใช้เมล็ดข้าวสารในการทดสอบการทำงานเนื่องจากเมล็ดข้าวสารหรือข้าวเปลือกมักจะถูกรบกวนด้วยศัตรูด้วยแมลงศัตรูจำพวก มอดข้าวสาร หรือถ้าหากมีการเก็บในสถานที่ที่มีความชื้นมากเกินไปก็จะทำให้เกิดเชื้อราทำให้ข้าวเปลือกหรือเมล็ดข้าวสารเกิดความเสียหายได้



รูปที่ 4.28 เมล็ดข้าวสารที่เลือกมาใช้ในการทดสอบปริมาณ 1 กิโลกรัม



รูปที่ 4.29 แมลงศัตรูพืชมอดในเมล็ดข้าวสารทดสอบ

- จากนั้นนำเมล็ดข้าวสารทดสอบที่เตรียมไว้เทลงใส่เครื่องต้นแบบในช่องใส่เมล็ดข้าวสารของกล่องบ่มโอโซนจากนั้นทำการปิดฝากล่องบ่มโอโซนเพื่อไม่ให้เกิดการรั่วไหลของก๊าซโอโซน



รูปที่ 4.30 ใส่เมล็ดข้าวสารลงในกล่องบมไอโซน



รูปที่ 4.31 ปิดฝากล่องบมไอโซน

- ทำการเปิดเครื่องต้นแบบจากนั้นทำการบมไอโซนเป็นเวลา 1 กิโลกรัม



รูปที่ 4.32 ขณะบมไอโซน

- หลังจากผ่านเวลา 1 ชั่วโมง เมล็ดข้าวสารที่ได้รับการบ่มโอโซนจะถูกลำเลียงผ่านไปยังส่วนคัดแยกเพื่อแยกเมล็ดข้าวสารกับสิ่งแปลกปลอมศัตรูพืชออกจากกัน



รูปที่ 4.33 เมล็ดข้าวสารที่ได้จากการคัดแยก1



รูปที่ 4.34 เมล็ดข้าวสารที่ได้จากการคัดแยก2

- โดยเฉพาะสิ่งแปลกปลอมหรือแมลงศัตรูข้าวที่ถูกคัดแยกออกจากเมล็ดข้าวสารดีนั้นจะถูกส่งต่อไปยังถูกเก็บซึ่งเราจะสามารถนำเศษสิ่งแปลกปลอมดังกล่าวนำไปทิ้งหรือทำการกำจัดได้อย่างสะดวกสบายมากขึ้น



รูปที่ 4.35 ถุงผ้ากักเก็บสิ่งแปลกปลอม

- ซึ่งจากการสังเกตพบว่าเครื่องต้นแบบดังกล่าวสามารถทำการฆ่าและตัดแยกแมลงศัตรูพืชออกจากเมล็ดข้าวสารเป็นอย่างดี



รูปที่ 4.36 เศษสิ่งแปลกปลอมที่ถูกตัดแยกออก

4.4 สรุปผลการทดสอบ

ในส่วนของการทดสอบสัญญาณไฟฟ้าในส่วนต่างๆ สรุปผลได้ว่าเมื่อทำการเปลี่ยนความถี่กระแสและกำลังไฟฟ้าก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วยยิ่งความถี่สูงขึ้นกระแสและกำลังไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่วนของการทดลองทางเคมีเพื่อวิเคราะห์ปริมาณโอโซนจากการทดลองทางเคมีจะเห็นได้ว่าเมื่อความถี่สูงขึ้นปริมาณโอโซนที่ได้ก็จะมากขึ้น และในส่วนของการทำงานของเครื่องจะเห็นได้ว่า โอโซนสามารถใช้งานในการบ่มเพื่อกำจัดแมลงศัตรูข้าวสารได้จริง รวมทั้งในส่วนของการตัดแยกสิ่งแปลกปลอมเครื่องต้นแบบสามารถทำงานการตัดแยกสิ่งแปลกปลอมออกจากเมล็ดข้าวได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 80

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัย เรื่อง เครื่องกำเนิดโอโซนกำจัดศัตรูพืชสำหรับประยุกต์ใช้ในการเก็บรักษาข้าวเปลือก ได้ใช้หลักการ corona discharge ในการป้อนไฟฟ้าแรงดันสูงให้กับขั้วอิเล็กโทรดทำให้เกิดสนามไฟฟ้าความเครียดสูงจึงทำให้เกิดการโคโลนาติสซาร์จขึ้น การเกิดโคโลนาติสซาร์จจะทำให้ก๊าซออกซิเจนเกิดการแตกตัวเป็น 2 อะตอม และไปรวมตัวกับโมเลกุลของออกซิเจนเกิดเป็นก๊าซโอโซนขึ้นมา โดยในงานวิจัยจะได้ทำการนำหลักการของวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงมาใช้ในการกระตุ้นให้เกิดการสร้างก๊าซโอโซนขึ้นมาซึ่งพบว่าวงจรดังกล่าวใช้กำลังงานค่อนข้างต่ำอีกทั้งยังสามารถปรับความเข้มข้นของปริมาณก๊าซโอโซนได้ง่ายโดยการปรับความถี่ของวงจรอินเวอร์เตอร์

เครื่องกำเนิดโอโซนนี้สร้างขึ้นมาเพื่อการผลิตก๊าซโอโซนและนำไปใช้ในการเก็บรักษาเมล็ดข้าวเปลือกหรือข้าวสาร เนื่องจากโอโซนจะมีคุณสมบัติในการป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อราและแบคทีเรียรวมถึงการกำจัดแมลงศัตรูข้าวจำพวกมอด ดังนั้นเครื่องดังกล่าวจะสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของเมล็ดข้าวได้เป็นอย่างดี

จากผลการทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบนี้พบว่าสามารถทำงานได้เป็นไปตามเป้าหมายคือก๊าซโอโซนสามารถฆ่าแมลงศัตรูข้าวรวมถึงเชื้อราซึ่งส่งผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาเมล็ดข้าวได้ โดยใช้เวลาในการทดสอบบ่มเมล็ดข้าวประมาณ 1 ชั่วโมง พบว่าแมลงศัตรูข้าวถูกจำกัด จากนั้นเมื่อผ่านพ้นการบ่มโอโซนเรียบร้อยแล้วเมล็ดข้าวจะถูกลำเลียงไปยังระบบคัดแยกสิ่งแปลกปลอมซึ่งจะเป็นการใช้ลมร้อนในการเป่าเพื่อเป็นการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมออกและยังช่วยในเรื่องของการลดความชื้นที่เกิดขึ้นกับเมล็ดข้าวเปลือกหรือข้าวสารอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชีระเดช เจียรวรรณ, “การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดโอโซนศึกษาเปรียบเทียบวงจรควบคุมแบบ PWM, PDM และ PSPWM ในวงจรคอนเวอร์เตอร์ฟูลบริดจ์ แรงดันสูงความถี่สูงแบบ LCC เรโซแนนต์สำหรับเครื่องกำเนิดโอโซน” วิทยานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2556
- [2] รศ.ดร.วีระเชษฐ์ ชันเงิน วุฒิพล ธาราธิระเชษฐ์, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง, พิมพ์ครั้งที่ 12 กรุงเทพฯ, ห้างหุ้นส่วนจำกัด วิ.เจ.พรินติ้ง, 2555.
- [3] นรเศรษฐ พัฒนเดช, วัสดุวิศวกรรมไฟฟ้า เล่ม1, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550
- [4] Anuwat Jangwanitlert, “Evaluation of an Improved zero-voltage and zero-current Switching PWM full-Bridge cd-dc Converter”, University of Arkansas, December 2004
- [5] พรพิมล รัตนวิเชียร, “ เครื่องผลิตก๊าซโอโซนด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ ”, วิทยานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543
- [6] อนูรักษ์ มั่นสุข, “เครื่องผลิตก๊าซโอโซนแบบแรงดันและความถี่สูงโดยใช้แหล่งจ่ายเฟสซิงค์-ดับเบิลเอ็มฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์”, วิทยานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550
- [7] ยงยุทธ นาราชกูร์, “การวิเคราะห์การทำงานของวงจรภายใต้สภาวะ ZVS และ NON ZVS ในเรโซแนนต์อินเวอร์เตอร์ควบคุมด้วยดิวิตซ์เซลล์ที่คำนึงถึงผลของตัวเก็บประจุเดรนซอร์สของมอสเฟต สำหรับงานให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำ”, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 89



A ZVZCS H-Bridge Ozone Generator for Fungi Elimination in Rice Grain or Paddy

หัวหน้าโครงการ รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ หน่วยงานต้นสังกัด คณะวิศวกรรมศาสตร์ แหล่งทุน งบประมาณเงินรายได้
 ระยะเวลาโครงการ 1 ปี เริ่ม 1 ตุลาคม 2558 – 30 กันยายน 2559 งบประมาณตลอดโครงการ 200,000.00 บาท
 สถานะโครงการ ดำเนินการใกล้เสร็จสิ้นแล้ว

วัตถุประสงค์และขอบเขต

วัตถุประสงค์

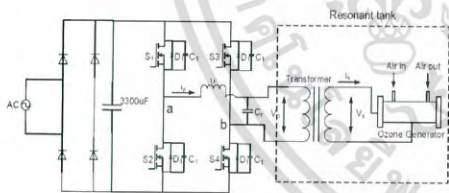
1. เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตร
2. เพื่อนำวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงและหลอดแก้วมาประยุกต์ใช้ผลิตก๊าซโอโซน
3. เพื่อศึกษาการใช้ก๊าซโอโซนในการกำจัด ศัตรูพืช ในข้าวสาร เช่น เชื้อรา มอด ฯลฯ
4. เพื่อลดต้นทุนปัญหาการกำจัดศัตรูพืชในข้าว

ขอบเขตการวิจัย

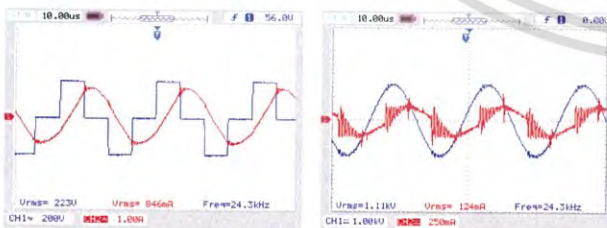
ทำการออกแบบ สร้างและทดสอบการทำงานของเครื่องกำจัดศัตรูพืชของเมล็ดข้าวปริมาณ 1 กิโลกรัม โดยใช้วงจรทางอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ขนาดไม่เกิน 100 วัตต์ ในการทำให้เกิดโอโซน [1]-[2] โดยเครื่องดังกล่าวสามารถใช้งานได้กับระบบไฟฟ้าหนึ่งฟาสตมันหรือโดยทั่วไป (220 V 50 Hz) หลังจากนั้นทำการนำเครื่องกำจัดศัตรูพืชของเมล็ดข้าวดังกล่าวไปประยุกต์ใช้งานจริงในอุตสาหกรรมเพื่อการเก็บรักษาข้าวเปลือกหรือข้าวสารเช่น โรงสีข้าว โรงเก็บข้าวขนาดเล็ก หรือแม้กระทั่งการเก็บรักษาข้าวสารตามบ้านเรือนต่างๆ

หลักการทํางาน

วงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงแบบเต็มบริดจ์ ในส่วนของการสร้างโอโซนนั้น งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้งานวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงพร้อมด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงในการสร้างแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูงและความถี่สูง เพื่อใช้ในการเกิดโอโซนในภาชนะที่บริเวณหลอดแก้วโอโซนทำให้เกิดการแตกตัวของอากาศ (O_2) จากนั้นจะเกิดการรวมตัวกันเกิดก๊าซโอโซน (O_3) ขึ้นสำหรับนำมาใช้ในการกำจัดศัตรูพืชของเมล็ดข้าวต่อไป โดยวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้งานแสดงได้ดังรูปที่ 1 และมีผลการทดสอบการทำงานดังรูปที่ 2 และ 3



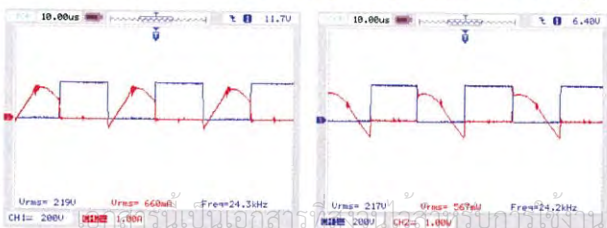
รูปที่ 1 วงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงแบบเต็มบริดจ์สำหรับกรกําเนิดโอโซน



รูปที่ 2 a) ด้านปฐมภูมิ

b) ด้านทุติยภูมิ

รูปที่ 2 รูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง



a) ZVS

b) ZCS

รูปที่ 3 รูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้าของตัว

ผลการดำเนินงานวิจัย(ต่อ)

เครื่องกำจัดศัตรูพืชของเมล็ดข้าว

รูปที่ 4 แสดงเครื่องต้นแบบของเครื่องกำจัดศัตรูพืชของเมล็ดข้าว ซึ่งมีหลักการทํางานดังนี้ เมล็ดข้าวสารหรือข้าวเปลือกที่ต้องการกำจัดและกักแยกศัตรูพืช เช่น เชื้อรา แมลง มอด ฯลฯ จะถูกบรรจุใส่ในเครื่อง จากนั้นระบบจะทํางานโดยอัตโนมัติในการผลิตสร้างก๊าซโอโซนขึ้นและถูกส่งไปยังท่อลำเลียงก๊าซสู่บริเวณกล่องใส่ข้าวและใช้เวลาในการบ่มเมล็ดข้าว ประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อทำการกำจัด เชื้อรา แมลง มอด ที่เป็นศัตรูของเมล็ดข้าวหรือข้าวเปลือก จากนั้นเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการบ่มโอโซนแล้ว เมล็ดข้าวจะถูกลำเลียงผ่านสกรูลำเลียงที่ถูกควบคุมด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงในการลำเลียงเมล็ดข้าวจากกล่องบ่มเพื่อนำมาผ่านการคัดแยกสิ่งเจือปนออกจากเมล็ดข้าวโดยใช้ลมร้อนเพื่อเป่าคัดแยก นอกจากนี้ลมร้อนดังกล่าวจะช่วยในการไล่ความชื้นในเมล็ดข้าวออกไปซึ่งจะไม่ทำให้เมล็ดข้าวดังกล่าวมีสภาพชื้นที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของเชื้อรา และแมลง โดยรูปที่ 5 แสดงรูปเมล็ดข้าวก่อนผ่านเครื่องกำจัดศัตรูพืชเปรียบเทียบกับเมล็ดข้าวหลังผ่านเครื่องดังกล่าว



รูปที่ 4 เครื่องกำจัดศัตรูพืชของเมล็ดข้าว



รูปที่ 5 เมล็ดข้าวสารที่ใช้ในการทดสอบ

แนวทางการนำผลการดำเนินงานโครงการไปใช้ประโยชน์ และ แนวทางการพัฒนาต่อยอดโครงการวิจัย

ผลที่ได้จากการวิจัยนั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยเครื่องต้นแบบให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและสามารถนำไปใช้ได้จริงในจริงในอุตสาหกรรมเพื่อการเก็บรักษาข้าวเปลือกหรือข้าวสารเช่น โรงสีข้าว โรงเก็บข้าวขนาดเล็ก หรือแม้กระทั่งการเก็บรักษาข้าวสารตามบ้านเรือนต่างๆ ได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ยังจำเป็นต้องวิเคราะห์ผลารทดสอบทางเคมีเพิ่มเติมในเรื่องของอัตราการคายของเชื้อรา ความชื้นและผลข้างเคียงที่จะเกิดขึ้นกับเมล็ดข้าวเพื่อความสมบูรณ์ของงานวิจัยมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] อรุโณทัย ขาววา และ ธนะชัย พันธุ์กนกมสุข. "ผลของโอโซนต่ออายุการเก็บรักษาลิ้นจี่." บทความวารสารเกษตร. เดือน 19.ฉบับที่ 1, 2548.
 [2] E. Laurence. "The Application of Ozone Technology for Public Health and Industry." Food Safety & Security at Kansas State University, pp.1-16.