

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันศาสตร์ทางด้านสนามไฟฟ้าได้มีบทบาทเข้ามาเกี่ยวข้องกับการดำเนินชีวิตในแต่ละวันของมนุษย์เราเป็นอย่างมาก อาทิเช่น ทางด้านการแพทย์ ทางด้านพันธุวิศวกรรมและทางด้านการถนอมอาหารพัลส์สนามไฟฟ้าเป็นส่วนหนึ่งของศาสตร์ทางด้านสนามไฟฟ้าที่เข้ามาบทบาทสำคัญทางการแพทย์และการถนอมอาหาร โดยเฉพาะในประเทศไทย ศาสตร์ทางด้านนี้ถือว่าเป็นวิทยาการแขนงใหม่ ดังนั้น โครงการงานเรื่องนี้จึงได้ทำการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการนำพัลส์สนามไฟฟ้ามาใช้ในกระบวนการถนอมอาหาร โดยไม่ใช้ความร้อน สามารถกระทำได้ในอุณหภูมิห้องและยังทำได้รวดเร็วซึ่งจะทำให้สามารถคงความสดและคุณภาพของอาหารได้ดีกว่ากระบวนการถนอมอาหารที่ใช้ความร้อน โดยในขั้นต้นจะเน้นที่อาหารที่เป็นของเหลว ซึ่งจะเริ่มจากการศึกษาและสร้างวงจรกำเนิดพัลส์แรงดันสูงหลังจากนั้นทำการสร้างแบบจำลองของภาชนะทดสอบที่จะจ่ายพัลส์แรงดันสูงและให้อาหารผ่านเพื่อทำการถนอมอาหาร รวมไปถึงกระบวนการเก็บรักษาในเบื้องต้น ท้ายที่สุดจะมีการเก็บข้อมูลประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์โดยในโครงการที่ได้ศึกษามาก่อนหน้านี้ ได้พบปัญหาดังนี้

1. การใช้พัลส์สนามไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารเหลว โดยใช้ชุด High-Voltage กับ Pulse Width Modulate (PWM) ทดสอบส่วนของการกำจัดจุลินทรีย์ในของเหลว ซึ่งในการทดสอบที่เคยทำมายังไม่สมบูรณ์ จึงนำมาพัฒนาต่อยอดในด้าน โครงสร้าง ซึ่งมีการรั่วไหลขณะดูดอากาศ ต้องทำให้อยู่ในสถานะสุญญากาศและวงจรควบคุมที่ให้อำลังที่ไม่สูงนัก จึงจำเป็นต้องออกแบบหาขนาดของหม้อแปลงที่เหมาะสม ให้มีอัตราการทนกำลังการตอบสนองต่อความถี่ที่สูงได้

2. ในการพิสูจน์อัตราจุลินทรีย์ที่ตายหรือลดลง แต่เดิมจะใช้การเฝ้าสังเกตจากการเน่าเสียโดยทิ้งไว้ในสภาวะบรรยากาศของห้อง ซึ่งในโครงการงานจากนี้ต่อไปสามารถพิสูจน์ได้โดยใช้ 3M Petrifilm-E.coli Count Plate.

3. ภาชนะสุญญากาศที่ใช้ทดสอบ จะประกอบด้วยอิเล็กทรอนิกส์ 2 ขั้ว คือ ขั้วบวก และขั้วลบ โดยจะต้องให้สนามไฟฟ้าที่สม่ำเสมอและไม่เกิดการ Breakdown ที่ระดับแรงดันสูงสุดของชุด

High-Voltage โดยไม่มีการเติมก๊าซ N_2 , Ar ในโครงงานนี้จะทำการเติมหรือเจือก๊าซในโตรเจนหรืออาร์กอน เพื่อให้เกิดสถานะพลาสมาที่สมบูรณ์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. ศึกษาการทำงานของวงจรพัลส์แรงดันสูงเพื่อควบคุมความถี่และค่า duty cycle
2. ศึกษากระบวนการในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าบูดของอาหาร
3. ออกแบบหม้อแปลงแรงดันที่ตอบสนองต่อความถี่สูงและแรงดันสูงที่ตอบสนองต่อการปรับค่าความถี่และความกว้างของพัลส์
4. ศึกษาตรวจสอบการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์โดยใช้แผ่น 3MPetrifilm-E.coli Count Plate.

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. ศึกษาวงจรกำเนิดพัลส์แรงดันสูงที่สามารถปรับความถี่และความกว้างของพัลส์ได้ ซึ่งประกอบด้วยวงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์ (PWM) โดยใช้ไอซี สำเร็จรูปเบอร์ TL 494 เป็นตัวกำเนิดสัญญาณพัลส์และความถี่
2. สร้างภาชนะทดสอบเพื่อใช้ในการถนอมอาหาร โดยอาหารจะผ่านภาชนะทดสอบที่ถูกจ่ายด้วยพัลส์แรงดันสูงระหว่างขั้วไฟฟ้า
3. ศึกษาและเก็บข้อมูลการเน่าเสียน้ำมัน ทั้งก่อนและหลังทดสอบพัลส์แรงดันสูงด้วยแผ่นเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ 3M Petrifilm-E.coli Count Plate.
4. ศึกษาการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์เพื่อการถนอมอาหาร โดยไม่คำนึงถึงจุลินทรีย์ที่ดีต่อร่างกายและไม่ดีต่อระบบทางเดินอาหารของร่างกาย

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เรียนรู้หลักการการทำงานและการคำนวณของวงจรพัลส์สนามไฟฟ้าแรงดันสูง
2. รู้จักการสร้างภาชนะทดสอบเพื่อใช้ในกระบวนการถนอมอาหาร
3. เรียนรู้จักการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์โดยการใช้พัลส์สนามไฟฟ้า
4. นำหลักการการทำงานและผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์ใช้และพัฒนา

ต่อไป

1.5 ผลการวิจัยย้อนหลัง

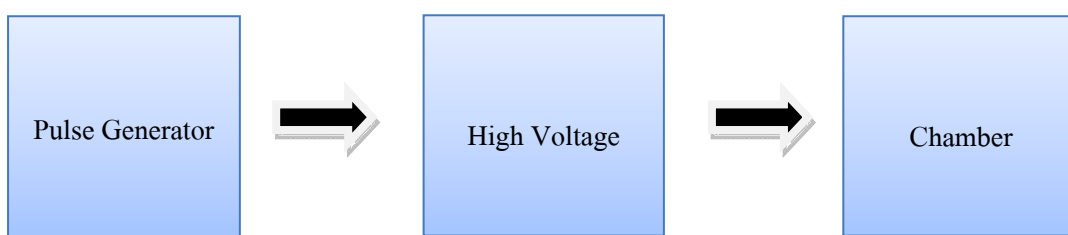
การวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบวงจรที่ควบคุมทั้ง ความถี่ ความกว้างพัลส์และแรงดันโดยปรับแรงดัน Input กระตุ้นให้มีแรงดัน Output ที่ให้กับขั้วอิเล็กโทโรดเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าที่สม่ำเสมอด้วยแรงดันประมาณ 20-30kV/cm ซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ การทดสอบโดยการนำเอาอาหารตัวอย่างคือนมสดใส่ไว้ในถ้วยแก้วเอาไปวางไว้ระหว่างขั้วอิเล็กโทโรด โดยการจ่ายแรงดันกระตุ้นที่ 45-50VDC ความถี่ที่ 15 kHz โดยมี Duty Cycle ที่ 30 % ทิ้งไว้ 5 วัน จากการทดลองการใช้พัลส์สนามไฟฟ้าแรงดันสูงมาทดลองการถนอมอาหารจะเห็นการเปลี่ยนแปลงการเน่าเสียของอาหารช้าลงกว่าปกติ

ตารางที่ 1.1 ขนาดของเซลล์แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ตกคร่อมเยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์

เชื้อจุลินทรีย์	เส้นผ่านศูนย์กลาง (μm)	ความยาว(μm)	แรงดันสูงสุด(V)
E.coli	1.15	6.9	0.26
K.pseudomona	0.83	3.2	1.26
P.aeruginosa	0.73	3.9	1.25
S.aureus	1.03	-	1.00
L.momocytogenesl	0.76	1.7	0.99
C.albicans	4.15	-	2.63

จากการวิเคราะห์สนามไฟฟ้า พบว่า ความความเครียดสนามไฟฟ้าแปรผันโดยตรงกับแรงดัน V_0 ที่จ่ายให้กับอิเล็กโตรดแรงดัน V_0 ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าบริเวณ PEF Zone เพิ่มขึ้นด้วยเมื่อจ่ายแรงดัน V_0 ที่ค่าระหว่าง 10kV จนถึง 100kV ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดมีค่าอยู่ระหว่าง 2.36kV/cm ถึง 23.58kV/cm ทั้งนี้ระดับแรงดัน V_0 ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดเชื้อแบคทีเรียเอสเชอริเชียโคไล (E.Coli), แบคทีเรียสแตปฟีโลคอคคัสออเรียส (S.Aureus), แบคทีเรียชุกโตโมแนสฟลูออเรสเซนต์ (P.Fluorescens) และยีสต์แซคโครโมซิสซีรีวีลื้อ (S.Cerevisiae) มีค่าเท่ากับ 30kV/cm และความเครียดสนามไฟฟ้าบริเวณ PEF Zone มีค่ามากกว่า 1.5kV/cm ซึ่งมากกว่าสนามไฟฟ้าวิกฤติของเยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อแบคทีเรียและยีสต์

1.6 โครงสร้างของโครงการ



ภาพที่ 1.1 แสดงโครงสร้างของโครงการ

1.6.1 Pulse Generator

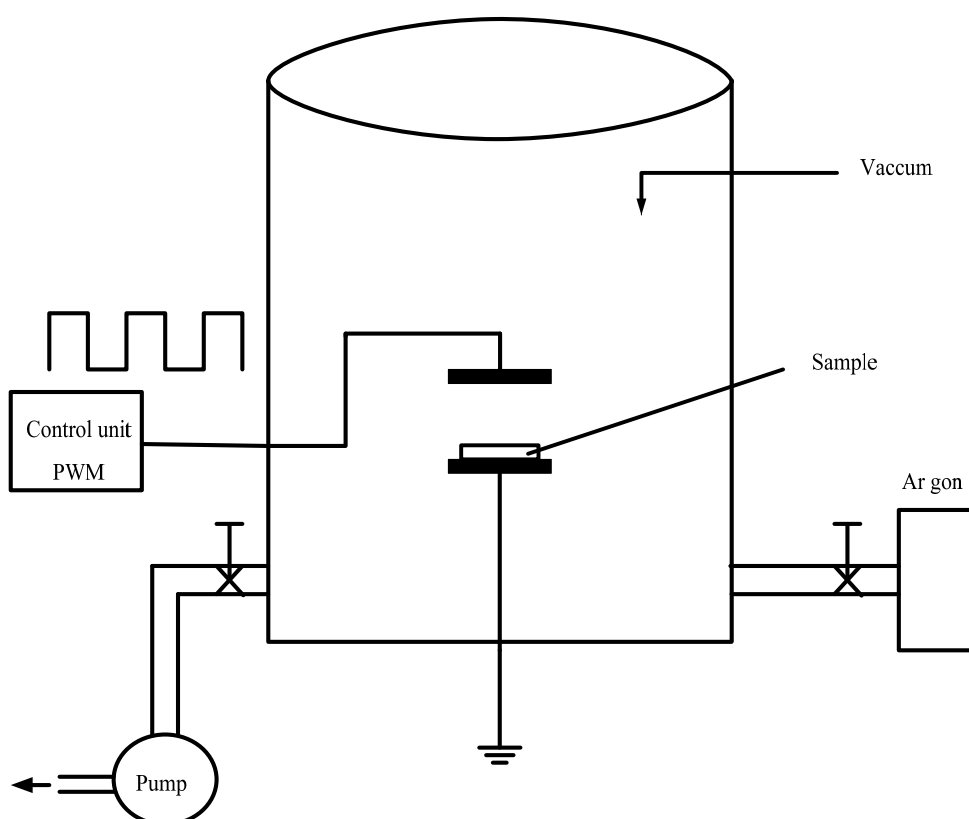
ชุด Pulse Generator เป็นชุดกำเนิดสัญญาณและความถี่โดยได้เลือกใช้งานของไอซีเบอร์ TL 494 เป็นตัวสร้างสัญญาณและความถี่เพื่อจ่ายให้กับชุด High Voltage

1.6.2 High Voltage

ชุด High Voltage เป็นชุดที่เปลี่ยนสัญญาณที่ได้มาจากชุดสร้างสัญญาณมาเปลี่ยนเป็นแรงดันเพื่อจ่ายให้ชุดขั้วอิเล็กโตรดของชุดภาชนะทดลอง โดยแผ่นขั้วอิเล็กโตรดขึ้นอยู่กับขนาดเท่ากับจานแก้วไฟร์เร็กซ์ที่ใส่ตัวอย่างทดลอง ที่ทนความร้อนได้ถึง 490 C°

1.6.3 Chamber

ชุด Chamber เป็นแบบจำลองภาชนะทดสอบ มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกซ้อนกัน
 ร่วมเนื่องจากโครงสร้างง่ายและไม่ซับซ้อนซึ่งข้อดีของรูปทรงแบบทรงกระบอกนี้ก็คือความ
 ผิดเพี้ยนของเส้นสนามไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรดมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับรูปทรงแบบอื่น
 เนื่องจากไม่มีผลกับขอบมุม



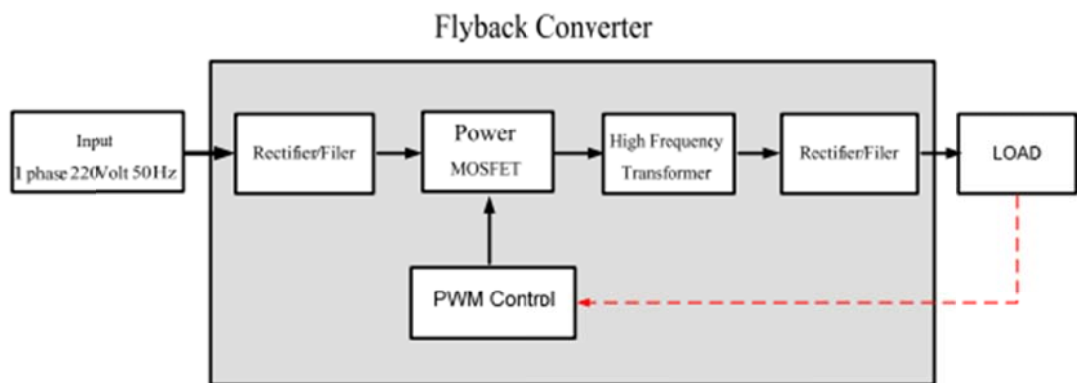
ภาพที่ 1.2 แสดงโครงสร้างของภาชนะสุญญากาศ

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการ

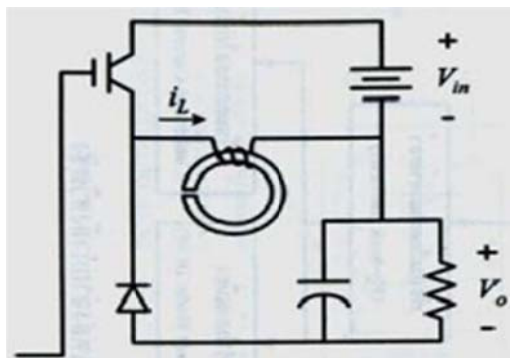
2.1 วงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์

การทำงานของวงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์ชนิด 3 เอาต์พุต สามารถแสดงดังบล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจร ดังภาพที่ 2.1

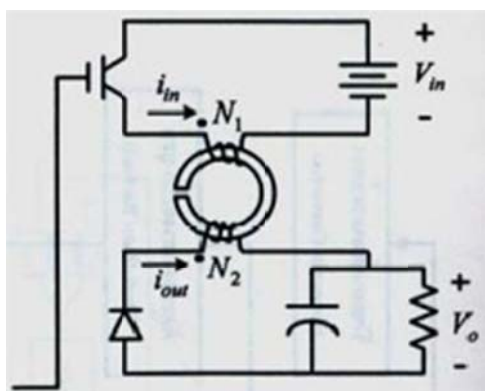


ภาพที่ 2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์

วงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์จัดอยู่ในประเภทการป้อนแรงดันไฟฟ้า (Voltage Fed) โดยภาพโครงสร้างวงจรสมมูลของวงจรบู้ก-บูสต์คอนเวอร์เตอร์แสดงเปรียบเทียบกับวงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์ได้ดังภาพที่ 2.2



(ก) วงจรบัค-บูสคอนเวอร์เตอร์



(ข) วงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์

ภาพที่ 2.2 แสดงโครงสร้างวงจรบัค-บูสคอนเวอร์เตอร์และวงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์

โดยกำหนดเงื่อนไขเพื่อให้สะดวกในการวิเคราะห์การทำงานของวงจรดังนี้

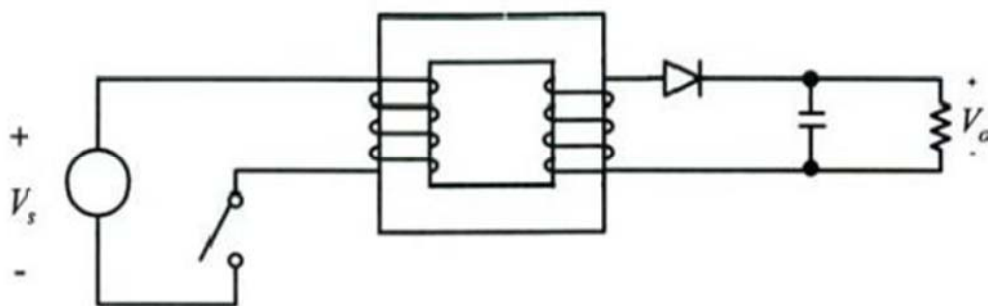
1. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังทั้งหมด เช่น สวิตช์และไดโอดถือว่าเป็นอุดมคติ
2. วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า จะถือว่าเป็นอุดมคติไม่มีตัวเหนี่ยวนำ (Leakage Inductance) แต่จะมีค่าตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กขนานอยู่กับขดลวดด้านปฐมภูมิเท่านั้น
3. ตัวเก็บประจุด้านออกจะมีขนาดใหญ่มากจนถือว่าแรงดันด้านออกของวงจรมีค่าคงที่
4. พิจารณาวงจรขณะทำงานในสภาวะคงตัวเท่านั้น ซึ่งหมายถึง แรงดันและกระแสเป็นสัญญาณรายคาบ
5. ค่าคิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) ของสวิตช์ D จะมีช่วงเวลาขณะนำกระแสเท่ากับ DT และมีช่วงเวลาขณะไม่นำกระแสเท่ากับ $(1-D)T$

หลักการทำงานของวงจรฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์ คือ ตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก (L_m) จะสะสมพลังงานขณะสวิตช์นำกระแส และจะคายพลังงานไปยังโหลดขณะสวิตช์ไม่นำกระแส โดยการทำงานของวงจรสามารถวิเคราะห์ได้จากการทำงานของสวิตช์ซึ่งมี 2 ลักษณะได้แก่

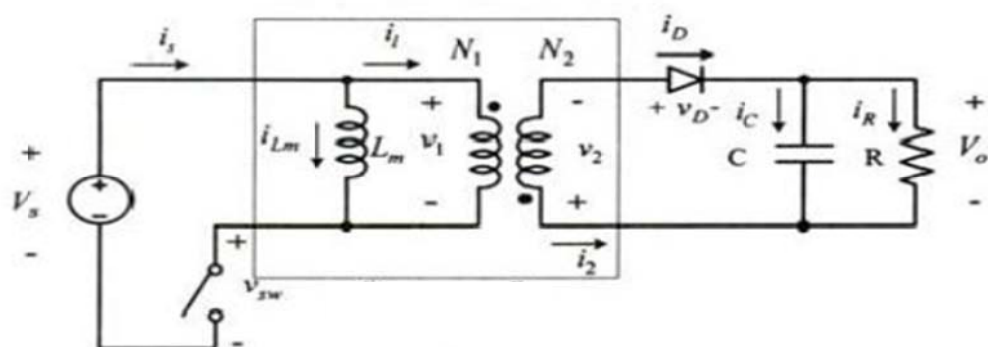
1. กรณี โหมดกระแสต่อเนื่อง

โหมดกระแสต่อเนื่องจะหมายถึง กระแสไฟฟ้าที่ตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กมีความต่อเนื่อง

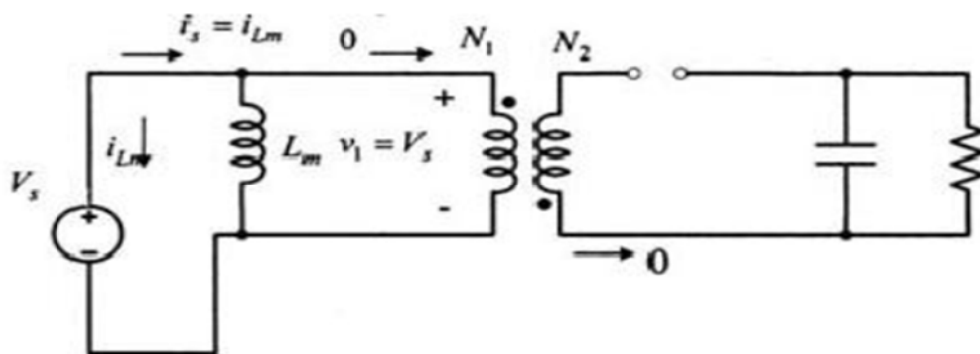
1.1 การวิเคราะห์กรณีสวิตช์นำกระแส ดังแสดงตามภาพที่ 2.3 (ก) ซึ่งเป็นวงจรฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์ซึ่งสามารถเขียนด้วยวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าในวงจรฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์ดังแสดงด้วยภาพที่ 2.3 (ข)



(ก) วงจรฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์



(ข) วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าในวงจรฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์



(ค) วงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์ขณะนำกระแส

ภาพที่ 2.3 แสดงวงจรฟลายแบ็คกรณีสวิตช์นำกระแส

เมื่อสวิตช์เปลี่ยนสถานะจากนำกระแสมาเป็นไม่นำกระแส กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กไม่สามารถเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดได้เป็นผลให้ยังคงมีกระแสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงอยู่โดยกระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าที่จุดไม่มีขั้วด้านปฐมภูมิ และกระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิจะไหลออกจากจุดไม่มีขั้วและแรงดันไฟฟ้าจะเป็นบวก ณ จุดที่ไม่มีขั้วเช่นกันจึงทำให้ไดโอดได้รับไบอัสตรงและนำกระแส แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านออกจะทำให้เกิดแรงดันย้อนกลับที่เกิดจากตัวเหนี่ยวนำด้านขดลวดปฐมภูมิมีก่าเท่ากับ

$$V_1 = V_o \frac{N_1}{N_2} \quad (2.1)$$

การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าจะเท่ากับ

$$\Delta i_{L_M} = \frac{-V_o(1-D)T}{L_m} \cdot \frac{N_1}{N_2} \quad (2.2)$$

เนื่องจากค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะต้องมีค่าเท่ากับศูนย์ จะได้สมการ

$$(\Delta i_{L_M})_{\text{closed}} + (\Delta i_{L_M})_{\text{open}} = 0 \quad (2.3)$$

$$\frac{V_s D T}{L_m} - \frac{V_o(1-D)T}{L_m} \cdot \frac{N_1}{N_2} \quad (2.4)$$

จะได้ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านออกเท่ากับ

$$V_0 = V_s \cdot \frac{D}{1-D} \cdot \frac{N_2}{N_1} \quad (2.5)$$

โดยที่	V_0	=	แรงดันเอาต์พุต
	V_s	=	แรงดันอินพุต
	L_m	=	ค่าความเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก
	N_1	=	จำนวนรอบของขดลวดด้านปฐมภูมิ
	N_2	=	จำนวนรอบขดลวดด้านทุติยภูมิ
	DT	=	ช่วงเวลาขณะนำกระแส

จากสมการที่ (2.5) จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า และด้านออกจะคล้ายกับกรณีวงจรบีก-บูสต์แตกต่างกันเพียงในวงจรฟลายแบ็คมีการเพิ่มอัตราส่วนของวงจรไฟฟ้า (TransformerRatio)

พิจารณาจากสมการที่ (2.5) จะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสวิตช์หรือแรงดัน (Voltage Stress) จะมีค่าสูงกว่าแรงดันจากแหล่งจ่ายเท่ากับ $V_0 (N_1 / N_2)$ สำหรับรูปคลื่นสัญญาณและแรงดันไฟฟ้าแสดงได้ดังภาพในอุณหภูมิกำลังไฟฟ้าที่โหลดตัวต้านทานจะต้องมีค่าเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนจากแหล่งจ่าย

$$P_s = P_0$$

$$V_s I = \frac{V_0^2}{R} \quad (2.6)$$

ค่าความเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก (I_{Lm}) ต่ำสุดที่ทำให้กระแสไฟฟ้ายังคงไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่องจะเท่ากับ

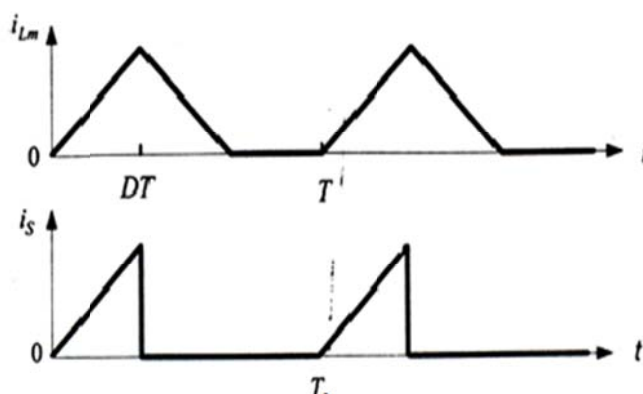
$$I_{Lm} = \frac{(1-D)^2 R}{2f_s} \cdot \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \quad (2.7)$$

เนื่องจากโครงสร้างทางด้านออกของวงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์ จะเหมือนกับวงจรบีก-บูสต์คอนเวอร์เตอร์ ดังนั้นค่าระลอกคลื่นด้านออกของวงจรทั้งสองจะมีค่าเท่ากัน ซึ่งเท่ากับ

$$\frac{\Delta V_0}{V_0} = \frac{D}{R.C.f_s} \quad (2.8)$$

2. กรณีโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง

ความหมายของโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องจะหมายถึง กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กไม่ต่อเนื่อง คือ มีบางช่วงเวลาที่กระแสเป็นศูนย์ สำหรับวงจรฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์โหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านจะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้นเมื่อสวิตช์นำกระแสซึ่งจะเหมือนกับโหมดต่อเนื่อง แต่กระแสที่ไหลผ่านจะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งเป็นศูนย์เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส แสดงได้ดังภาพ



ภาพที่ 2.4 แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้าไม่ต่อเนื่องของวงจรฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์

สมการที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขณะสวิตช์นำกระแสจะมีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งจะเหมือนกับสมการหรือเท่ากับ

$$I_{Lm,Max} = \frac{V_s \cdot D \cdot T}{L_m} \quad (2.9)$$

ค่าแรงดันไฟฟ้าด้านออกสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าในวงจร โดยถ้ากำหนดให้อุปกรณ์ทั้งหมดเป็นอุดมคติจะได้ว่า ค่ากำลังด้านเข้าจะเท่ากับค่ากำลังไฟฟ้าด้านออก ดังนั้นจะได้

$$P_s = P_o$$

$$V_s \cdot I_s = \frac{V_o^2}{R} \quad (2.10)$$

ค่ากระแสไฟฟ้าด้านเข้าเฉลี่ย หมายถึง พื้นที่ของรูปคลื่นสามเหลี่ยมหารด้วยคาบเวลาสวิตช์ซึ่งจะได้

$$I_s = \frac{1}{2} \left(\frac{V_s \cdot D \cdot T}{L_m} \right) DT \left(\frac{1}{T} \right) = \frac{V_s \cdot D^2 T}{2L_m} \quad (2.11)$$

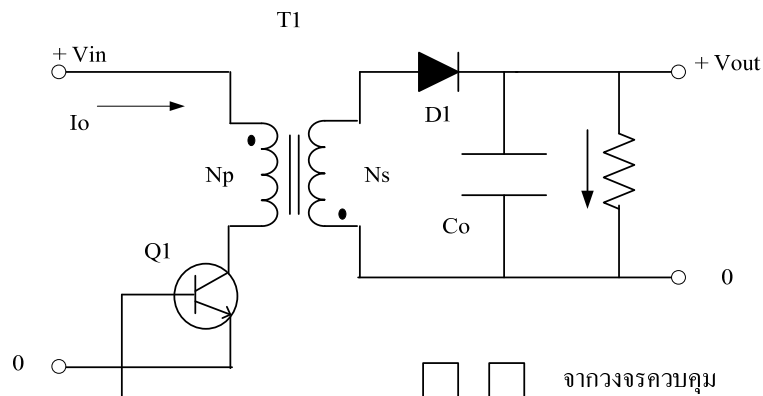
แทนในสมการจะได้

$$\frac{V_s \cdot D^2 T}{2L_m} = \frac{V_o^2}{R} \quad (2.12)$$

จากสมการจะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าด้านออกเท่ากับ

$$V_o = V_s \cdot D \cdot \sqrt{\frac{RT}{2L_m}} = V_s \cdot D \cdot \sqrt{\frac{R}{2L_m f \cdot s}} \quad (2.13)$$

2.2 สรุปการทำงานของวงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์

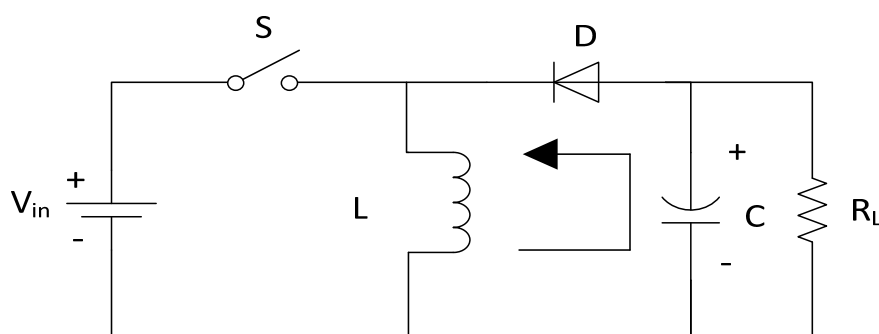


ภาพที่ 2.5 แสดงฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter)

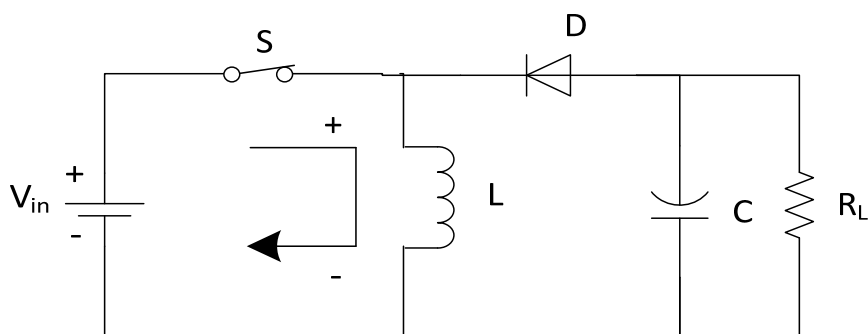
จากภาพที่ 2.5 เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 ในฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์จะทำงานในลักษณะเป็นสวิตช์ และจะนำกระแสตามคำสั่งพัลส์สี่เหลี่ยมที่ป้อนให้กับขาเบส เนื่องจากหม้อแปลง T_1 จะ

กำหนดขดปฐมภูมิและทุติยภูมิให้มีลักษณะกลับเฟสกันอยู่ ดังนั้นเมื่อ Q_1 นำกระแสไดโอด D_1 จึงอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับและไม่นำกระแสจึงมีการสะสมพลังงานที่ขดปฐมภูมิของหม้อแปลง T_1 แทนเมื่อ Q_1 หยุดนำกระแส สนามแม่เหล็ก T_1 ยุบตัวทำให้เกิดการกลับขั้วไฟรมารีและเซคันดารี D_1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรง พลังงานที่ถูกสะสมในขดไฟรมารีของหม้อแปลงจะถูกถ่ายทอดออกไปยังขดทุติยภูมิ และมีกระแสไหลผ่านไดโอด D_1 ไปยังตัวเก็บประจุเอาต์พุต C_0 และโหลดได้ค่าของแรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์จะขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของการทำงาน Q_1 ช่วงเวลานำกระแสของ Q_1 อัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงและค่าแรงดันอินพุต

ฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ให้กำลังได้ไม่สูงนัก โดยอยู่ในช่วงไม่เกิน 150 วัตต์ และให้ค่าสัญญาณรบกวนRFI/EMIค่อนข้างสูงแต่ใช้อุปกรณ์จำนวนน้อยและมีราคาถูก พื้นฐานการทำงานของฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์ดังแสดงภาพที่ 2.6



(ก) เมื่อสวิตช์ปิดวงจร



(ข) เมื่อสวิตช์เปิดวงจร

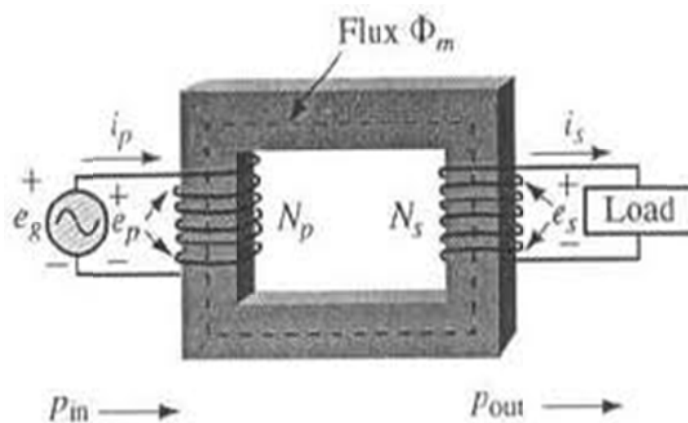
ภาพที่ 2.6 แสดงวงจร Fly-Back Converter หรือ Buck Boost Converter

ภาพที่ 2.6 แสดงวงจร Fryback Converter ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อสวิตช์ S ปิด วงจร (ภาพที่ 2.6 ก) กระแสจะไหลผ่านขดลวด L เพื่อสะสมพลังงานในขณะที่ไดโอด D ได้รับการไบแอสกลับจึงทำให้ไม่มีแรงดันตกคร่อมที่ R_L จนกระทั่งเมื่อสวิตช์ S เปิดวงจร (ภาพที่ 2.6 ข) ที่ขดลวด L เกิดการยุบตัวของสนามแม่เหล็กรอบขดลวดจ่ายพลังงานที่ถูกสะสมไว้ให้กับไดโอด D ซึ่งไดโอด D ได้รับการไบแอสตรงเกิดกระแสไหลมีทิศทางดังภาพและเป็นผลทำให้มีแรงดันตกคร่อมที่ R_L ในลักษณะที่มีขั้วตรงกันข้ามกับขั้วแรงดันอินพุท จากการทำงานของวงจรจะเห็นได้ว่าเกิดกระแสเหนี่ยวนำทั้งที่ด้านอินพุทและด้านเอาต์พุทซึ่งถ้าสวิตช์ S ปิด-เปิดวงจรอย่างต่อเนื่องก็จะทำให้กระแสทั้งสองนี้มีลักษณะเป็นพัลส์ (Pulsating) สังเกตได้ว่าขดลวดจะเก็บสะสมพลังงานในช่วงเวลาที่สวิตช์ S เปิดวงจรนั่นเองฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์เป็นวงจรลักษณะบัสต์คอนเวอร์ชันชนิดหนึ่งทำหน้าที่เพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จากวงจรเรกติไฟเออร์ให้มีระดับแรงดันสูงขึ้น โดยใช้หลักการเก็บสะสมพลังงานในตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้าขณะสวิตช์นำกระแส (DT) และจะคายพลังงานไปยังโหลดขณะสวิตช์ไม่นำกระแส $(1-D)T$ ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้วงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์แบบมีการแยกกันทางไฟฟ้า คือใช้หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงทำหน้าที่เหมือนตัวเหนี่ยวนำและยังแยกการเชื่อมโยงกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุทกับเอาต์พุทของวงจร ย้อนกลับไปพิจารณาภาพที่ 2.6 เป็นวงจร Flyback Converter ซึ่งไม่มีการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุทกับเอาต์พุทจะพบว่ามี การแยกกันทางไฟฟ้ากันระหว่างอินพุทกับเอาต์พุทโดยใช้หม้อแปลงและยังมีการแสดงรูปคลื่นที่สำคัญต่างๆซึ่งมีการทำงานดังนี้คือ เมื่อ Q_1 ปิดวงจรจะเกิดกระแสไหลในขดลวดปฐมภูมิสะสมพลังงานและไดโอด D ถูกไบแอสกลับเนื่องจากการจัดเรียงขั้วระหว่างขดลวดหม้อแปลง/โช้ค (Transformer/Chock) ด้านอินพุทและเอาต์พุทตรงข้ามกัน เมื่อทรานซิสเตอร์ Q_1 เปิดวงจรขั้วของขดลวดทั้งสองจะกลับขั้วเนื่องจากการยุบตัวของสนามแม่เหล็ก ไดโอด D นำกระแสตัวเก็บประจุ C จะเก็บประจุและจ่ายกระแสไปยัง โหลดจากวงจรสังเกตพบว่านอกจากจะใช้หม้อแปลงเป็นตัวแยกระบบทางไฟฟ้าแล้วยังทำหน้าที่เป็น โช้ค (Choke) อีกด้วยดังนั้นภาคเอาต์พุทของ Flyback Converter จึงไม่จำเป็นต้องมีขดลวดอีกในทางปฏิบัติบางครั้งอาจจำเป็นต้องมีตัวเหนี่ยวนำค่าต่ำๆต่อระหว่างชุดเรียงกระแสกับตัวเก็บประจุเอาต์พุทเพื่อลดสัญญาณรบกวนในการสวิตซ์ซึ่งที่ความถี่สูงๆ หม้อแปลงไฟฟ้าทำหน้าที่เหนี่ยวนำสัญญาณพัลส์สร้างไฟแรงดันสูง หลักการของการสร้างไฟฟ้าแรงดันสูงเป็นการนำสัญญาณพัลส์ความถี่สูงส่งเข้าที่อินพุทของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ

เพิ่มแรงดัน จะเหนี่ยวนำแรงดันของสัญญาณพัลส์ให้มีแรงดันสูงขึ้นเป็นหมื่น โวลต์ ส่งผ่านไดโอด ทนต่อแรงดันสูงแปลงแรงดันไฟสลับให้เป็นแรงดันไฟตรงที่มีแรงดันสูง โดยไดโอดทนแรงดันสูง ที่ต่ออยู่ในหม้อแปลงฟลายแบ็คจะหันด้านแอนโอดเข้าหาไฟสลับแรงดันสูงซึ่งเหนี่ยวนำมาโดยยอม ให้แรงดันสูงด้านซีกบวกผ่านไปได้นั้นจะมีแรงดันไฟฟ้าระดับหมื่น โวลต์ซึ่งขึ้นอยู่กับพิกัด ของ หม้อแปลงแต่ละตัว และจากคุณสมบัติของหม้อแปลงฟลายแบ็ค จึงได้แรงดันไฟฟ้าสูงไป ประยุกต์ใช้กับแท่งอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ในการถนอมอาหาร

2.3 ทฤษฎีหม้อแปลงพื้นฐาน

พื้นฐานของหม้อแปลงไฟฟ้าจะประกอบไปด้วย ขดลวดทองแดงสองขดพันรอบแกน แม่เหล็ก โดยขดลวดทองแดงด้านที่รับพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายพลังงานจะเรียกว่า ขดปฐมภูมิ ขณะที่ขดลวดทองแดงที่ต่ออยู่กับด้านโหลดเรียกว่า ขดทุติยภูมิ นอกจากนั้นการถ่ายเทพลังงาน ไฟฟ้าจากด้านแหล่งจ่ายไปยังโหลด จะอาศัยสนามแม่เหล็กเป็นตัวกลางในการถ่ายเทพลังงานไฟฟ้า ดังกล่าว



ภาพที่ 2.7 แสดงวงจรหม้อแปลงไฟฟ้าพื้นฐาน

โดยทั่วไปแล้วหม้อแปลงจะมีแรงดันเอาต์พุตสูงหรือต่ำ เกิดจากสัดส่วนการพัน โดยกำหนดให้

$$\frac{N_P}{N_S} = \frac{V_P}{V_S} = \frac{I_S}{I_P} \quad (2.14)$$

ดังนั้นหม้อแปลงก็จะสามารถทำงานเป็น Step Up หรือ Step Down ได้โดยสามารถทำให้แรงดันที่ขดทุติยภูมิที่สูงกว่าขดปฐมภูมิ และถ้าเพิ่มขดลวดที่ทุติยภูมิอีกหลายๆ ขดเราก็จะได้แรงดันเอาต์พุตอีกหลายระดับ ตามสัดส่วนการพันเช่นกัน ประโยชน์ที่สำคัญอีกข้อหนึ่งโดยใช้ลักษณะสมบัติของหม้อแปลง ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว นั่นคือการแยกกันทางไฟฟ้า (Electronic Isolation) ที่เกิดขึ้นระหว่างขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิจากความสัมพันธ์พื้นฐานของหม้อแปลง 10^{-8}

$$e = N A_e \left(\frac{dB}{dt} \right) 10^{-8} \quad (2.15)$$

เราสามารถคำนวณหาความหนาแน่นฟลักซ์ B ที่แน่นอนได้โดยกำหนดการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าให้อยู่ในส่วนที่เป็นเชิงเส้นของกราฟ ดังสมการ

$$B_{\max} = \frac{(V_p) \times 10^8}{K_f N_p A_e} \quad (2.16)$$

ปกติแล้วผู้ออกแบบหม้อแปลงมักจะกำหนด B_{\max} ด้วยตนเอง ดังนั้นภายในบริเวณเชิงเส้นตรงของกราฟ B-H จุดที่เหมาะสมที่สุดก็คือ B_{\max} จากสมการที่ (2.16) จะได้จำนวนรอบของขดปฐมภูมิ ดังนี้

$$N_p = \frac{(V_p) \times 10^8}{4f B_{\max} A_e} \quad (2.17)$$

ในการเลือกแกนนั้นก็ยังมีตัวพารามิเตอร์ที่สำคัญๆ อีก 2 ตัว ตัวแรกก็คือ พื้นที่การพันของแกน (หรือบอบบิ้น) ซึ่งจะต้องเลือกให้กว้างพอขนาดของเส้นลวด เพื่อให้เกิด Winding Loss น้อยที่สุดและข้อที่สองคือ Core Power Handling Capability

$$P_{out} = (1.16 B_{\max} f \cdot D \cdot A_e \cdot A_c) 10^{-9} \quad (2.18)$$

โดยที่	P_{out}	= Power Handling of core, W
	B_{max}	= ความหนาแน่นฟลักซ์สูงสุด, G
	f	= ความถี่, Hz
	D	= ความหนาแน่นกระแสของเส้นลวด, A/m ²
	A_c	= พื้นที่ของแกน, cm ²
	A_c	= พื้นที่การพันของบอบบิ้น, cm ²
	N_p	= จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ
	K	= 4.44 สำหรับภาพคลื่นไซน์และ 4.0 สำหรับภาพคลื่นสี่เหลี่ยม

ความหนาแน่นกระแสมีหน่วยใน Circular Mills Per Ampere ใช้สัญลักษณ์เป็น D โดยเขียนเป็นความสัมพันธ์กับ D ได้ดังนี้

$$N_p = \frac{1.27 \times 10^6}{D} \quad (2.19)$$

แทนสมการที่ 2.19 ลงในสมการที่ 2.18 จะได้

$$P_{out} = \frac{(0.68 A_e A_c D) 10^3}{f B_{max}} \quad (2.20)$$

2.4 การเลือกลักษณะแกนและวัสดุ

ถึงแม้จะมีวัสดุเหล็กมากมาย ที่จะสามารถนำมาใช้ออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงได้นั้น วัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็นแกนหม้อแปลงมากที่สุดก็คือ วัสดุเฟอร์ไรต์ เนื่องจากวัสดุเฟอร์ไรต์ มีความหนาแน่นฟลักซ์ไม่สูงไปและวัสดุเฟอร์ไรต์ส่วนมากจะมี B_{sat} อยู่ในช่วง 3,500 – 5,000 G แต่มี Core Loss ต่ำที่ความถี่สูงง่ายในการพัน Coupling และง่ายในการประกอบ ลักษณะของแกนเฟอร์ไรต์ที่นิยมใช้กับงานที่ต้องการกำลังสูงๆ ได้แก่ E-E , E-I , E-C และแกนพอท (Pot) ซึ่งแกนพอทนั้น เหมาะกับงานที่ต้องการกำลังงานต่ำไปจนถึงปานกลาง (20 – 200 W) และแกนทั้งหมดที่กล่าวมานั้นมีคุณสมบัติฟลักซ์รั่วไหล (Flux Leakage) ต่ำ

สำหรับงานที่ต้องการกำลังสูงๆ มักจะนิยมใช้แกน E-E , E-I และ E-C ซึ่งแกน E-C เป็น การออกแบบรวมกันระหว่าง แกน E-E และแกนพอท โดยคำนึงถึงประโยชน์ร่วมกัน ผู้ผลิตนั้นๆ จะต้องแจกแจงรายละเอียด ของพารามิเตอร์ที่สำคัญๆ ในการออกแบบวัสดุเฟอร์ไรต์ หม้อแปลงและแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเส้นลวด AWG (American Wire Gauge) และ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า

2.4.1 แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Cores)

กรรมวิธีการผลิตเฟอร์ไรต์จะมีความแตกต่างจากสารแม่เหล็กอื่นๆ เพราะวัตถุดิบที่ใช้ (Rawmaterials) จะมาจากออกไซด์ของโลหะชนิดต่างๆ (Oxides of Various Metals) เช่น เหล็ก (Iron) แมงกานีส (Manganese) สังกะสี (Zinc) ซึ่งโดยทั่วไป ออกไซด์จะทำหน้าที่เป็นฉนวน เป็น ผลทำให้เฟอร์ไรต์มีความต้านทานไฟฟ้าสูง ทำให้เหมาะกับงานที่ใช้กับกำลังย่านเมกะเฮิรตซ์ และด้วยกรรมวิธีการผลิตโดยการเผาส่วนผสมจากออกไซด์ของเหล็ก (Iron oxide) รวมกับออกไซด์ หรือคาร์บอนของแมงกานีสและสังกะสี หรืออาจจะรวมกับออกไซด์หรือคาร์บอนของนิเกิล และสังกะสี เป็นต้น ทำให้แกนเฟอร์ไรต์มีลักษณะเป็นสารเซรามิก (Ceramic Material) โดยที่ MnZn Ferrite จะใช้กับงานที่มีความถี่ใช้งานสูงถึง 1-2 MHz ซึ่งหมายรวมถึง Power Ferrite Materials ที่นิยมใช้ในแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิง ในขณะที่ NiZn Ferrite ซึ่งมีความซาบซึมได้ต่ำและมีความต้านทานไฟฟ้าสูงทำให้มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนต่ำ ซึ่งนิยมใช้ตั้งแต่ความถี่ 1 MHz จนถึงหลายร้อยเมกะเฮิรตซ์โดยทั่วไปค่าความซาบซึมได้สัมพัทธ์ของเฟอร์ไรต์ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1,500-3,000 นอกจากนั้นแกนเฟอร์ไรต์ยังสามารถประยุกต์ใช้งานเป็นได้ทั้งตัวเหนี่ยวนำ และหม้อแปลง ไฟฟ้า เหตุผลที่แกนเฟอร์ไรต์เป็นที่นิยมใช้งานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังก็เพราะว่ามีราคาถูก กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนจะมีค่าต่ำกว่าแกนที่ทำจากสารแม่เหล็กชนิดอื่นๆ

อย่างไรก็ตามข้อเสียหลักของแกนเฟอร์ไรต์คือการเป็นเซรามิก นั่นก็หมายถึงโครงสร้าง ของแกนเฟอร์ไรต์จะเปราะและแตกหักง่าย และความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กอิมตัวมีค่าต่ำกว่า แกนแม่เหล็กชนิดอื่นๆ

MAGNETIC MATERIAL	FREQUENCY RANGE						
	1KHz	10KHz	30KHz	100KHz	200KHz	1MHz	2MHz
TRANSFORMER LAMINATIONS (NICKEL - IRON)	$\mu_r = 5,000 - 60,000$ $B_m = 8,000 - 15,000$						
TAPE WOUND CORES (NICKEL - IRON)	$\mu_r = 5,000 - 100,000$ $B_m = 8,000 - 20,000$						
TAPE WOUND CORES (AMORPHOUS)	$\mu_r = 3,000 - 20,000$ $B_m = 5,000 - 16,000$						
CUT CORES (NICKEL - IRON)	$\mu_r = 1,000 - 25,000$ $B_m = 8,000 - 20,000$						
BOBBIN CORES (NICKEL - IRON)			$\mu_r = 5,000 - 100,000$ $B_m = 8,000 - 15,000$				
FERMALLOY POWDER CORES (80% Ni)			$\mu_r = 14 - 550$ $B_m = 7,000$				
HIGH FLUX POWDER CORES (50 Ni - 50 Fe)			$\mu_r = 14 - 160$ $B_m = 14,000$				
KOOL MU POWDER CORES			$\mu_r = 26-125$ $B_m = 14,000$				
FERRITES (MnZn)					$\mu_r = 750 - 15,000$ $B_m = 3,500 - 5,000$		

ภาพที่ 2.8 แสดงเปรียบเทียบความถี่ใช้งานของแกนแม่เหล็กชนิดต่างๆ

(Courtesy Of Magnetic Inc.)

2.5 ไดอิเล็กตริกและความจุไฟฟ้า

- เมื่อนำไดอิเล็กตริกไปวางในสนามไฟฟ้า จะมีประจุเสรีเคลื่อนที่ตามแนวแรงกระตุ้นเนื่องจากสนามไฟฟ้าจำนวนน้อยมาก
- ถ้าเพิ่มความเข้มสนามไฟฟ้าขึ้นเรื่อยๆจนถึงระดับหนึ่ง จะมีผลทำให้ไดอิเล็กตริกเปลี่ยนสมบัติกลายเป็นตัวนำ
- ความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ไดอิเล็กตริกรับได้ โดยไม่กลายเป็นตัวนำไฟฟ้า เรียกว่า ความแข็งแรงไดอิเล็กตริก(Dielectric Strength)

2.6 การเกิดสนามไฟฟ้า [1]

การเกิดสนามไฟฟ้า โดยรอบประจุไฟฟ้ามีอะไรสิ่งหนึ่งที่เมื่อนำเอาประจุอื่นเข้ามาในบริเวณนั้นแล้ว ทำให้เกิดแรงกระทำต่อประจุที่นำเข้ามา สิ่งนั้นที่เกิดจากประจุเรียกว่าสนามไฟฟ้า จะมีมากหรือน้อยอาจแสดงหรือวัดในรูปของแรงที่เกิดขึ้น ซึ่งกฎของคูลอมบ์(Coulomb's Law) ว่า มีประจุ Q_1 และ Q' มีขนาดเล็กเป็นจุด วางห่างกันเป็นระยะ r จะเกิดแรงกระทำต่อกันในแนวทิศทางต่อเชื่อมโยงระหว่างสองประจุนั้น สมมติว่าแรงที่เกิดจาก Q_1 ซึ่งมีตำแหน่งทางเวกเตอร์เทียบกับ Q' เป็น \vec{r} แรงที่เกิดขึ้นคำนวณได้จากสมการ

$$F_{Q_1 \rightarrow Q'} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q'Q_1\vec{r}}{r^3} = \frac{Q'Q_1\hat{r}}{4\pi\epsilon r^2} \quad (2.20)$$

โดยที่ \vec{r} คือ เวกเตอร์ตำแหน่งสัมพัทธ์ของประจุ Q' เทียบกับ Q_1 ซึ่งมีเวกเตอร์หน่วย $\hat{r} = \vec{r}/r$

ϵ คือ เปรอ์มิติตวิติ้ของตัวกลาง = $\epsilon_r \epsilon_0$

ϵ_0 คือ เปรอ์มิติตวิติ้ของสุญญากาศ หรือที่ว่าง = $8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$

ϵ_r คือ เปรอ์มิติตวิติ้สัมพัทธ์

ถ้ามีประจุ N ประจุ กระจายอยู่หลายจุด ซึ่งมีเวกเตอร์ตำแหน่งต่างกันเป็น \vec{r}_i และเวกเตอร์หน่วยเท่ากับ \hat{r}_i ($i = 1, 2, 3 \dots N$) ตามตำแหน่งของ Q_1 เมื่อเทียบกับ Q' แรงทั้งหมดที่กระทำต่อ Q' จะเท่ากับผลรวมทางเวกเตอร์ของแต่ละแรง นั่นคือ

$$F_{Q'} = \sum_{i=1}^N F_{Q_i \rightarrow Q'} = \sum_{i=1}^N \frac{Q'Q_i\hat{r}_i}{4\pi\epsilon r_i^2} \quad (2.21)$$

สมการ (2.21) แรงที่ประจุต่างๆ กระทำต่อประจุ Q' ถ้าคิดเป็นแรงต่อหนึ่งหน่วยประจุ Q' ล้วนนั้น เรียกว่าความเข้มสนามไฟฟ้า (Electric Field Intensity) หรือความเครียดสนามไฟฟ้า \vec{E} ซึ่งเขียนค่าแรงได้ว่า $\vec{F} = Q'\vec{E}$ ทั้ง \vec{F} และ \vec{E} เป็นเวกเตอร์มีทิศทางเดียวกัน นั่นคือ

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q} = \frac{\vec{F}}{e} = \sum_{i=1}^N \frac{Q'Q_i\hat{r}}{4\pi\epsilon r_i^2} \quad (2.22)$$

เมื่อ e คือ ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนเท่ากับ 1.602×10^{-19} คูโลมบ์ แสดงว่าความเครียดสนามไฟฟ้านั้นขึ้นอยู่กับเปอร์มิตติวิตี หรือค่าคงตัวไดอิเล็กตริก ϵ

2.7 ความเครียดสนามไฟฟ้า E (electric field stress)[1]

ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยกฎของคูโลมบ์จะเขียนได้ว่า

$$F = \frac{Q_1}{4\pi r^2} \frac{1}{\epsilon} Q_2 \hat{r}$$

ถ้าใช้นิยามของความหนาแน่นฟลักซ์ไฟฟ้า จะเขียนได้ว่า

$$F = \frac{D}{\epsilon} Q_2$$

จากสมการนี้ จะเห็นได้ว่า แรงกระทำบนประจุ Q_2 เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแฟกเตอร์ $\frac{D}{\epsilon}$ ซึ่งมีหน่วยเป็นนิวตันต่อคูโลมบ์ (N/C) กล่าวคือ เป็นแรงต่อหนึ่งหน่วยประจุ เป็นแรงในสนามไฟฟ้าหรือเรียกว่าความเครียดสนามไฟฟ้า E (Electric Field Stress) ซึ่งนิยามความสัมพันธ์ว่า

$$E = \frac{D}{\epsilon} \quad (2.23)$$

โดยกฎของคูโลมบ์ จึงเขียนเป็นสมการทั่วไปได้ว่า

$$F = QE$$

จะเห็นได้ว่า แรงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียดสนามไฟฟ้า บางทีก็เรียกว่า ความเข้มสนามไฟฟ้ามีหน่วยเป็น V/mm, kV/cm, kV/m เป็นต้น

2.7.1 โครน่า(Corona)

เป็นการปล่อยประจุไฟฟ้าเกิดจากการแตกตัว (Ionization) ของอากาศหรือของไหลที่ไหลผ่านวัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าซึ่งมีพลังงานไฟฟ้าอยู่ การปล่อยประจุแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อเกิดความแรง

ของสนามไฟฟ้ารอบๆ ตัวนำไฟฟ้าสูงพอที่จะสร้างย่านความนำไฟฟ้าโดยรอบ แต่ไม่แรงพอที่จะทำให้เกิดการพังทลาย (Breakdown) หรือเกิดประกายไฟ (Arcing) กับวัตถุใกล้เคียง ปรากฏการณ์โคโรนามักจะพบเป็นแสงสีน้ำเงินอ่อน (Bluis) เรืองแสงอยู่ในอากาศที่อยู่โดยรอบวัสดุตัวนำไฟฟ้าแรงสูง โดยธรรมชาติการคายประจุแบบโคโรนามิ่เป็นสิ่งที่พึงปรารถนา ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียกำลังในไฟฟ้าแรงสูงหรือได้สารประกอบที่ไม่พึงประสงค์หรือเป็นอันตรายในกิจกรรมทางเคมี เช่นกลายเป็นโอโซน มีการควบคุมการปล่อยประจุแบบโคโรนาทั้งในการกรองสัญญาณการพิมพ์และกระบวนการอื่นๆ

2.7.2 พลาสมา(Plasma)

คือแก๊สที่มีสภาพเป็นไอออน และมักจะถือเป็นสถานะหนึ่งของสสาร การมีสภาพเป็นไอออนดังกล่าวนี้ หมายความว่า จะมีอิเล็กตรอนอย่างน้อย 1 ตัว ถูกดึงออกจากโมเลกุลประจุไฟฟ้าอิสระทำให้พลาสมามีสภาพการนำไฟฟ้าเกิดขึ้น พลาสมามีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างไปจากสถานะอื่นอย่างชัดเจน พลาสมาประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุทั้งประจุบวกและลบ ในสัดส่วนที่ทำให้ประจุสุทธิเป็นศูนย์ การอยู่ร่วมกันของอนุภาคเหล่านี้เป็นแบบประหนึ่งเป็นกลาง (Quasineutral) ซึ่งหมายความว่าอิเล็กตรอนและไอออนในบริเวณนั้น โดยรวมแล้วมีจำนวนเท่า ๆ กัน และแสดงพฤติกรรมร่วม (Collective Behavior) พฤติกรรมร่วมนี้หมายถึง การเคลื่อนที่ของอนุภาคในพลาสมาไม่เพียงแต่จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในบริเวณนั้นๆ เท่านั้น แต่เป็นผลโดยรวมจากพลาสมาส่วนใหญ่มากกว่าจะเป็นผลมาจากการชนกันของอนุภาคที่อยู่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากอนุภาคในพลาสมาที่สถานะสมดุล จะมีการสั่นด้วยความถี่ที่สูงกว่าความถี่ในการชนกันของอนุภาค 2 ตัวที่อยู่ใกล้กัน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าพฤติกรรมร่วมนี้เป็นพฤติกรรมที่กลุ่มพลาสมาแสดงออกมาร่วมกัน พลาสมาสามารถเกิดได้โดย การให้สนามไฟฟ้าปริมาณมากแก่ก๊าซที่เป็นกลาง เมื่อพลังงานส่งผ่านไปยังอิเล็กตรอนอิสระมากพอ จะทำให้อิเล็กตรอนอิสระชนกับอะตอม และทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม กระบวนการนี้เรียกว่ากระบวนการแตกตัวเป็นไอออน (Ionization) ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้จำนวนอิเล็กตรอนที่หลุดออกมานี้เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างมากซึ่งจะทำให้ก๊าซแตกตัวและกลายเป็นพลาสมาในที่สุด พลาสมามีความแตกต่างจากสถานะของแข็ง สถานะของเหลว และสถานะก๊าซ โดยมีเงื่อนไข 3 ประการ ในเรื่องดังต่อไปนี้คือ ความยาวคลื่นเดอบาย จำนวนอนุภาคและความถี่พลาสมา ซึ่งทำให้พลาสมามีความจำเพาะเจาะจงที่แตกต่างจากสถานะอื่นออกไป

การวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับอาหารที่เป็นของเหลวที่มีองค์ประกอบของน้ำ ด้วยการศึกษาและสร้างวงจรกำเนิดพัลส์แรงดันสูงหลังจากนั้นทำการสร้างชุดภาชนะทดสอบระบบ

สูญญากาศด้วยการจ่ายพัลส์แรงดันสูงผ่านเข้าสู่อาหารตัวอย่างเพื่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ด้วยการทำให้ผนังเซลล์นั้นถูกทำลายให้เป็นรูพรุน ดังรูปที่แสดงลักษณะของเซลล์ก่อนใช้พัลส์โดยศักย์แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมเยื่อหุ้มเซลล์สามารถคำนวณได้จากสมการ

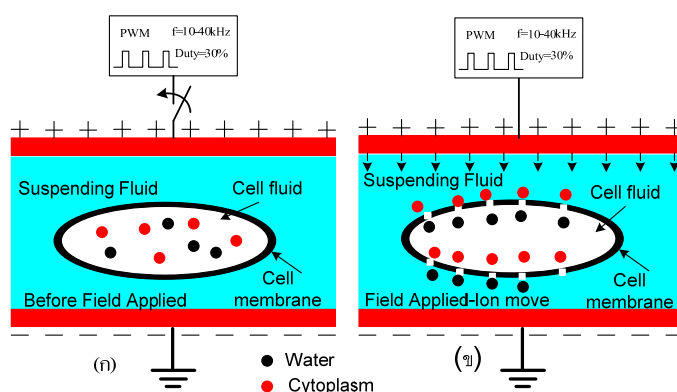
$$V_{\text{cell}} = f \cdot r_{\text{cell}} E_{\text{cell}}$$

โดยที่ V_{cell} คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ตกคร่อมที่เยื่อหุ้มเซลล์

f คือ ค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับรูปร่างของเซลล์

r_{cell} คือ รัศมีวงนอกสุดของเยื่อหุ้มเซลล์และ

E_{cell} คือ ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์



ภาพที่ 2.9 แสดงลักษณะของเซลล์ ก่อนและหลังการให้พัลส์แรงดันสูง

ในขณะที่เยื่อหุ้มเซลล์เกิดรูพรุนเป็นผลให้เกิดการถ่ายเทระหว่างของเหลวภายนอกเซลล์กับไซโทพลาซึม(Cytoplasm) ซึ่งเป็นของเหลวภายในเซลล์ทำให้เซลล์เกิดการขยายตัวเพิ่มขึ้นนำไปสู่การเบรกดาวน์ของเยื่อหุ้มเซลล์อันเนื่องมาจากความเครียดของสนามไฟฟ้าซึ่งรูพรุนที่เกิดขึ้นต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะนำไปสู่การตายของเซลล์ซึ่งในการสร้างพัลส์สนามไฟฟ้าเพื่อฆ่าเชื้อได้จากสมการ

$$E_{\text{cell}} = \frac{V}{r \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

โดยที่ E_{cell}	คือ ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าที่เชื่อมเซลล์
V	คือ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขั้วอิเล็กโทรดที่ฆ่าเชื้อ
r	คือ รัศมีรัศมี
r_1, r_2	คือ รัศมีรัศมีของขั้วอิเล็กโทรดด้านใน(inner) และด้านนอก(outer)

2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อพัลส์สนามไฟฟ้า

เทคนิคพัลส์สนามไฟฟ้าแรงสูง เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพทางพลังงาน เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ โดยเฉพาะในกระบวนการแบบต่อเนื่อง โดยปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการพัลส์สนามไฟฟ้า มีดังนี้

2.8.1 ความเข้มสนามไฟฟ้า

มีผลกับเชื้อจุลินทรีย์ ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของเซลล์ รวมถึงการหมุนของเซลล์เมื่ออยู่ภายใต้สนามไฟฟ้า เมื่อเซลล์มีขนาดลดลงจะต้องการความเข้มสนามไฟฟ้าที่สูงขึ้น ถ้าเซลล์มีรูปร่างที่ต่างกันจำเป็นต้องใช้ความเข้มสนามไฟฟ้าที่สูงมากขึ้น [9] การเพิ่มความเข้มสนามไฟฟ้าเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ ขึ้นอยู่กับค่า Dielectric Strength (ค่าความคงทนไดอิเล็กทริก) ของอาหาร [10] และมีขอบเขตอยู่ในช่วง 60-80 kV/cm นอกจากนี้ความเข้มสนามไฟฟ้าขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน การใช้สนามไฟฟ้าที่สูงมากจะเกิดการทำลายเซลล์ แต่ก็มีข้อเสียคือเกิดประกายไฟฟ้าจากกระแสไฟฟ้าฟองอากาศเกิดขึ้น เกิดสนิมที่ขั้วอิเล็กโทรด และอาจเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีที่ไม่ต้องการได้

2.8.2 เวลาในการผ่านสนามไฟฟ้า

การเพิ่มเวลาในการผ่านสนามไฟฟ้า ทำให้ความกว้างของพัลส์และจำนวนของพัลส์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเข้มสนามไฟฟ้าสูงขึ้น ดังนั้นการเพิ่มเวลาในการผ่านสนามไฟฟ้า จะมีผลต่อการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น [11]

อุณหภูมิมีผลต่อความเสถียรของเชื้อจุลินทรีย์คือที่อุณหภูมิค่าหนึ่งในส่วนประกอบของเซลล์เมมเบรนที่เรียกว่า Phospholipids นั้นจะมีลักษณะคล้ายเจลเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะมีลักษณะเป็นผลึกของของเหลวซึ่งจะมีความเสถียรน้อยกว่า Dunn และ Pearlman [12] พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิจาก 40°C เป็น 50°C สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ S. dublin ในน้ำนมเพิ่มขึ้นและ Jayaram [13]

2.8.3 อุณหภูมิของกระบวนการ

สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ *L.brevis* เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของกระบวนการสูงขึ้น (จาก 24°C เป็น 60°C) และเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ Phospholipids

2.8.4 ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)

ผันกลับกับความต้านทาน มีหน่วยเป็นซีเมนต่อเมตร (S/m) การนำไฟฟ้าเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของอาหารและโซโตพลาสซึม [13] เยื่อหุ้มเซลล์จะอ่อนแอลงเมื่อความเข้มข้นของประจุสูงขึ้นและเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง แต่ Hülshager และคณะ [14] และ Vega-Mercado และคณะ [15] พบว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นที่ค่าความเข้มข้นและค่าการนำไฟฟ้าที่ต่ำ

2.8.5 ผลของฟองอากาศ

ฟองอากาศและอนุภาคฟองอากาศจะเกิดที่ความเข้มข้นสนามไฟฟ้าสูง ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นสนามไฟฟ้า 30-50 kV/cm ไม่ควรมีอากาศในอาหาร เนื่องจากเมื่อมีการไหลของกระแสภายในช่องแคบจะเกิดฟองอากาศ และที่บริเวณผิวของฟองอากาศความเข้มข้นสนามไฟฟ้าจะลดลง ความเข้มข้นสนามไฟฟ้าในบริเวณที่ผ่านสนามไฟฟ้าลดลง ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ก็ลดลงไปด้วย [16]

2.8.6 คุณสมบัติของเชื้อจุลินทรีย์

Sale และ Hamilton [11] พบว่าเซลล์ยีสต์จะไวต่อสนามไฟฟ้ามากกว่าแบคทีเรีย Hülshager และคณะ [7] อธิบายว่าจุลินทรีย์ที่ต่างชนิดกันมีส่วนประกอบของเมมเบรนที่ต่างกัน ดังนั้นความต้านทานจึงต่างกัน จุลินทรีย์แกรมบวกจะมีความไวต่อสนามไฟฟ้าน้อยกว่าแต่ไม่ได้มีการตรวจสอบถึงระยะของการเจริญที่ต่างกัน

บทที่ 3

การออกแบบและการดำเนินงาน

3.1 หลักการออกแบบ

การออกแบบเป็นการออกแบบให้สามารถให้สามารถควบคุมได้ทั้ง ความถี่ ความกว้างพัลส์และแรงดันที่จะกระตุ้นหม้อแปลง โคนในการออกแบบได้ออกแบบให้มีความปลอดภัยและป้องกันการเสียหายของวงจร โดยได้วางระบบป้องกันของระบบไว้ในทุกช่วงของวงจรเช่น การเพิ่มวงจรของ TLP250 เพื่อแยกกราวด์ของวงจรสัญญาณและกราวด์ของแรงดันควบคุมออกจากกันป้องกันการช็อตของวงจร การต่อฟิวส์ในส่วนที่สัญญาณและแรงดันกระตุ้นก่อนที่จะเข้าสู่หม้อแปลงเพื่อป้องกันการช็อตและการตีกลับของกระแสเพื่อป้องกันวงไม่ให้เกิดการเสียหายของวงจรในวงจรนี้ได้ออกแบบให้สามารถปรับได้หลายรูปแบบทั้งความถี่ ความกว้างพัลส์และแรงดันกระตุ้นเพื่อทำการเก็บข้อมูลในสถานะต่างๆ

3.2 ไอจีบีที(Isulated Gate Biopolar Transistors: IGBT)

IGBT คือทรานซิสเตอร์กำลังที่ควบคุมด้วยแหล่งจ่ายแรงดัน เป็นผลทำให้มีความถี่ในการสวิตซ์ซึ่งสูงกว่าทรานซิสเตอร์กำลัง แต่ก็ไม่สูงไปกว่ากรณี MOSFET, อย่างไรก็ตาม IGBT จะมีความถี่สวิตซ์ที่ต่ำกว่า MOSFET และคุณสมบัติการขับและคุณลักษณะด้านออกดีกว่าแบบBJTs (Superior Drive And Output Characteristics) IGBT จะเหมาะกับงานที่ต้องการพิกัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าสูงๆ ที่ความถี่สวิตซ์ซึ่งสูงถึง 20 kHz พิกัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าของ IGBTจะมีค่าประมาณเท่ากับ 1,700 โวลต์ และ 2,400 แอมแปร์ ตามลำดับ ไอจีบีทีเหมาะสำหรับการใช้งานหลากหลายที่คล้ายกับมอสเฟสกำลังแต่มีพิกัดที่ใหญ่กว่า และสามารถออกแบบให้ทนแรงดันไฟฟ้าได้ทั้งด้านบวกและด้านลบสามารถทนกระแสและแรงดันไฟฟ้าได้มากจนอาจไม่จำเป็นต้องมีวงจรสแน็บเบอร์

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบความสามารถของอุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่นิยมใช้งาน

อุปกรณ์	ความสามารถ ส่งผ่านกำลัง	ความเร็วในการ สวิตซ์	ความสามารถทน แรงดันไฟฟ้าด้านลบ	ชนิดการ ควบคุม
จีทีโอ	สูง	ต่ำ	ได้	กระแสไฟฟ้า
บีเจที	กลาง	กลาง	ไม่ได้	กระแสไฟฟ้า
ไอจีบีที	กลาง	กลางและค่อนข้างสูง	ได้	แรงดันไฟฟ้า
มอสเฟสกำลัง	ต่ำ	สูง	ไม่ได้	แรงดันไฟฟ้า

ตารางที่ 3.2 เทียบขนาดลวดสายไฟฟ้า

AWG	Diameter [inches]	Diameter [mm]	Area [mm ²]	Resistance [Ohms / 1000 ft]	Resistance [Ohms / km]	Max Current [Amperes]	Max Frequency for 100% skin depth
0000 (4/0)	0.46	11.684	107	0.049	0.16072	302	125 Hz
000 (3/0)	0.4096	10.40384	85	0.0618	0.202704	239	160 Hz
00 (2/0)	0.3648	9.26592	67.4	0.0779	0.255512	190	200 Hz
0 (1/0)	0.3249	8.25246	53.5	0.0983	0.322424	150	250 Hz
1	0.2893	7.34822	42.4	0.1239	0.406392	119	325 Hz
2	0.2576	6.54304	33.6	0.1563	0.512664	94	410 Hz
3	0.2294	5.82676	26.7	0.197	0.64616	75	500 Hz
4	0.2043	5.18922	21.2	0.2485	0.81508	60	650 Hz
5	0.1819	4.62026	16.8	0.3133	1.027624	47	810 Hz
6	0.162	4.1148	13.3	0.3951	1.295928	37	1100 Hz
7	0.1443	3.66522	10.5	0.4982	1.634096	30	1300 Hz
8	0.1285	3.2639	8.37	0.6282	2.060496	24	1650 Hz
9	0.1144	2.90576	6.63	0.7921	2.598088	19	2050 Hz
10	0.1019	2.58826	5.26	0.9989	3.276392	15	2600 Hz
11	0.0907	2.30378	4.17	1.26	4.1328	12	3200 Hz
12	0.0808	2.05232	3.31	1.588	5.20864	9.3	4150 Hz
13	0.072	1.8288	2.62	2.003	6.56984	7.4	5300 Hz
14	0.0641	1.62814	2.08	2.525	8.282	5.9	6700 Hz
15	0.0571	1.45034	1.65	3.184	10.44352	4.7	8250 Hz
16	0.0508	1.29032	1.31	4.016	13.17248	3.7	11 k Hz
17	0.0453	1.15062	1.04	5.064	16.60992	2.9	13 k Hz
18	0.0403	1.02362	0.823	6.385	20.9428	2.3	17 kHz
19	0.0359	0.91186	0.653	8.051	26.40728	1.8	21 kHz
20	0.032	0.8128	0.518	10.15	33.292	1.5	27 kHz
21	0.0285	0.7239	0.41	12.8	41.984	1.2	33 kHz
22	0.0254	0.64516	0.326	16.14	52.9392	0.92	42 kHz
23	0.0226	0.57404	0.258	20.36	66.7808	0.729	53 kHz
24	0.0201	0.51054	0.205	25.67	84.1976	0.577	68 kHz
25	0.0179	0.45466	0.162	32.37	106.1736	0.457	85 kHz
26	0.0159	0.40386	0.129	40.81	133.8568	0.361	107 kHz
27	0.0142	0.36068	0.102	51.47	168.8216	0.288	130 kHz
28	0.0126	0.32004	0.081	64.9	212.872	0.226	170 kHz
29	0.0113	0.28702	0.0642	81.83	268.4024	0.182	210 kHz
30	0.01	0.254	0.0509	103.2	338.496	0.142	270 kHz
31	0.0089	0.22606	0.0404	130.1	426.728	0.113	340 kHz
32	0.008	0.2032	0.032	164.1	538.248	0.091	430 kHz
33	0.0071	0.18034	0.0254	206.9	678.632	0.072	540 kHz
34	0.0063	0.16002	0.0201	260.9	855.752	0.056	690 kHz
35	0.0056	0.14224	0.016	329	1079.12	0.044	870 kHz
36	0.005	0.127	0.0127	414.8	1360	0.035	1100 kHz
37	0.0045	0.1143	0.01	523.1	1715	0.0289	1350 kHz
38	0.004	0.1016	0.00797	659.6	2163	0.0228	1750 kHz
39	0.0035	0.0889	0.00632	831.8	2728	0.0175	2250 kHz
40	0.0031	0.07874	0.00501	1049	3440	0.0137	2900 kHz

Table 1: American Wire Gauge (AWG) Cable / Conductor Sizes and Properties

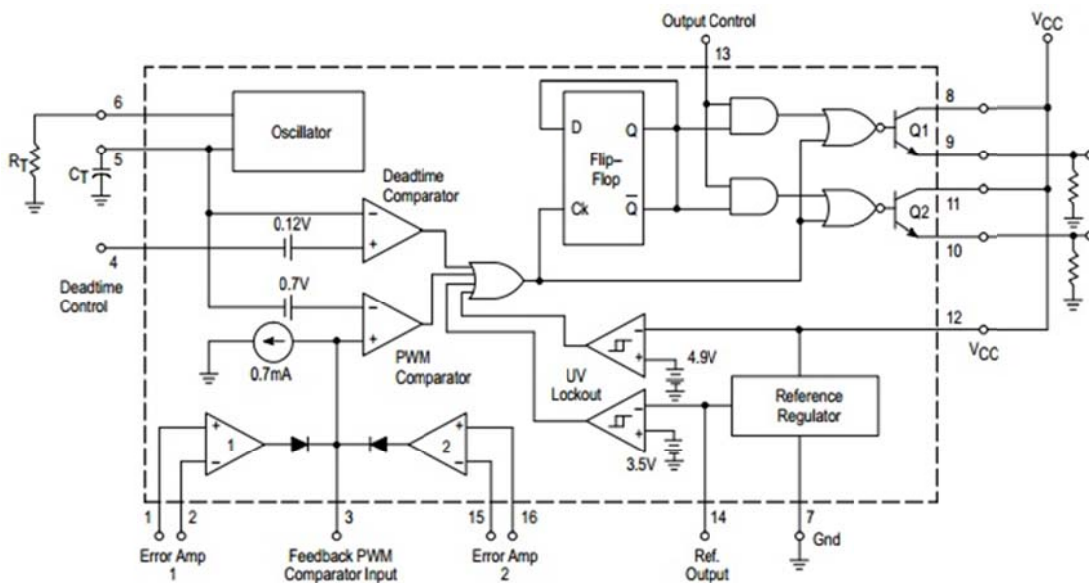
3.3 ไอซีเบอร์ TL 494

ไอซีเบอร์ TL 494 ทำหน้าที่สร้างสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์ควบคุมการทำงานของ วงจรฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งทำงานด้วยโหมคควบคุมจากแรงดันไฟฟ้าตามโคะแกรมแสดง ดังภาพที่ 3.2 โดยการทำงานจะอาศัยการป้อนกลับค่าแรงดันเอาต์พุตเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง ผลของค่าความแตกต่างที่ได้จะขยายด้วยวงจรความต่าง Error Amplifier ก่อนที่จะส่งไปยังวงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์ (PWM) เพื่อกำเนิดสัญญาณที่เป็นลักษณะสี่เหลี่ยมสำหรับใช้งาน ซึ่ง คุณสมบัติของไอซี TL 494 แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของไอซีเบอร์ TL 494

องค์ประกอบ	ขนาดพิกัดใช้งาน
แรงดันไฟฟ้าใช้งาน (V_{cc})	กระแสตรง 7 ถึง 40 V
แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต(V_o)	40V
กระแสไฟฟ้าเอาต์พุต(I_o)	200 mA
ความต้านทาน (R_T)	1.8 ถึง 500 k Ω
ค่าคาปาซิเตอร์(C_T)	0.47 ถึง 10,000 nF
ความถี่สวิตช์ (f_{osc})	1 ถึง 300 kHz

อุปกรณ์สำหรับควบคุมการป้อนกลับสำหรับแหล่งจ่ายกำลังสวิตช์ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบ วงจรรวมของไอซี ได้เลือกใช้โหมคควบคุมจากแรงดันไฟฟ้ามาใช้ในการออกแบบสร้างวงจร กำเนิดสัญญาณพัลส์ ซึ่งมีโครงสร้างภายในและขาใช้งานของไอซี TL 494 ดังแสดงในภาพที่ 3.2 การทำงานของวงจรภายในของไอซีได้นำหลักการโหมคควบคุมจากแรงดันมาใช้งาน จะอาศัยการ ป้อนกลับค่าแรงดันเอาต์พุตและเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงของวงจร ค่าความแตกต่างที่ได้จะถูก ขยายโดยวงจรขยายความต่าง Error Amplifier ก่อนที่จะส่งไปยังวงจร PWM โดยค่าแรงดันที่ได้ จากวงจรขยายความต่างจะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันรูปฟันเลื่อยอีกครั้ง ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตที่ได้ จากวงจร PWM จะมีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม มีคาบเวลาที่เท่ากับคาบเวลาแรงดันฟันเลื่อยและ มีความกว้างตามการเปลี่ยนแปลงผลมอดูเลชันของค่าแรงดันที่ขาเข้าสู่ PWM



ภาพที่ 3.1 แสดง โครงสร้างภายในและขาใช้งานของไอซี TL 494

การคำนวณหาค่าคาบเวลาคงที่ (Time Constant)

วงจรกำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์ (PWM) นี้ได้เลือกใช้ที่ 50 กิโลเฮิรต์ เหตุผลในการเลือกความถี่ในย่านนี้ เพื่อต้องการให้กระแสของมอเตอร์มีริบเปล็น้อย เราสามารถเลือกย่านความถี่ให้มีค่ามากกว่านี้ แต่ผลตามมามีสัญญาณรบกวนมาก จากคู่มือของ TL 494 จะหาค่าของ C_T และ ความต้านทาน R_T

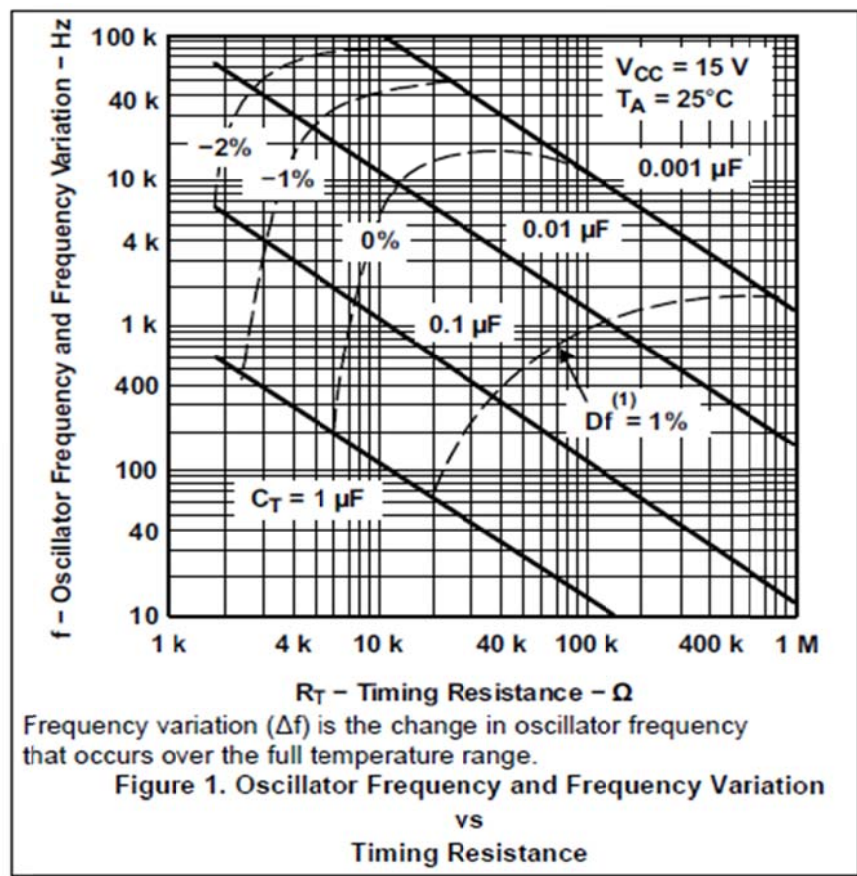
$$R_T = \frac{1.1}{f_{ocs} C_T} \tag{3.1}$$

โดยที่ R_T = ค่าความต้านทานปรับค่าได้

พิจารณา $C_T = 0.01$ ไมโครฟารัด

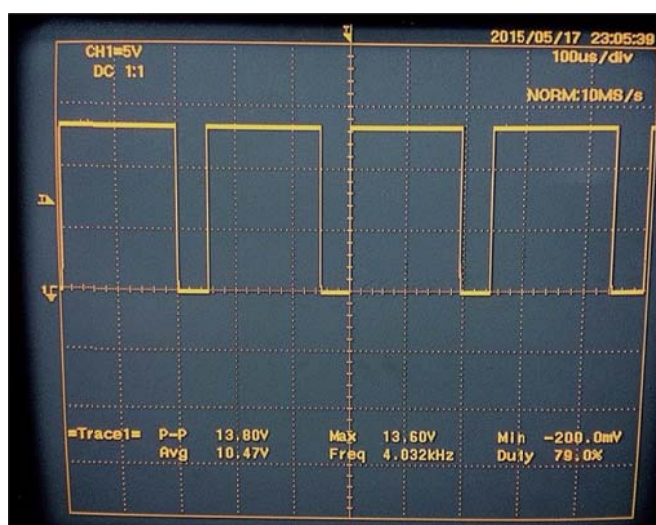
$$R_T = \frac{1.1}{50 \times 10^3 \times 0.01 \times 10^{-6}} = 2.2 \text{ k}\Omega$$

ภาพที่ 3.2 แสดงวงจรกำเนิดพัลส์ของไอซี TL494



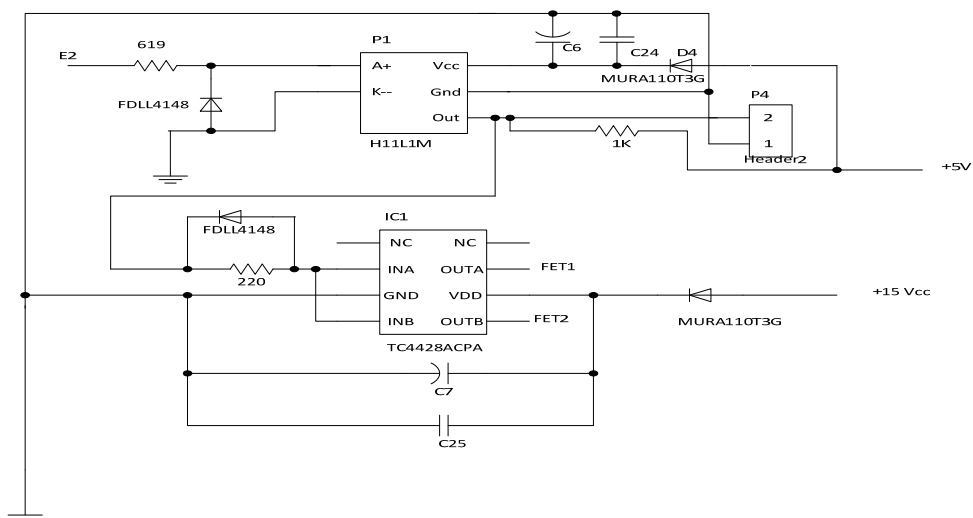
ภาพที่ 3.3 แสดงวงจรแสดงการทำงานคาบเวลาของไอซี TL494

จากภาพที่ 3.2 สามารถจับสัญญาณเอาต์พุตที่ขาไอซี TL 494 ได้จากขา RT และ CT และยังสามารถปรับค่า Duty Cycle และ ความถี่ได้จากความต้านทานปรับค่าได้ VR3 จะได้สัญญาณเอาต์พุตของ TL 494 ดังภาพที่ 3.4 ซึ่งมีค่า Duty Cycle เป็น 79 % ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการปรับค่า Duty Cycle ให้เหมาะสมกับการทำงานของชุดอุปกรณ์กำลัง IGBT ที่ Duty Cycle 10% , 15% และ 25% เพื่อลดการทำงานของอุปกรณ์กำลังดังแสดงตามภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 แสดงสัญญาณที่วัดได้ของวงจรกำเนิดสัญญาณอิมพัลส์

จากสัญญาณ PWM ที่มีค่า Duty Cycle ในลำดับต่างๆที่ 10% , 15% , 25% นี้จะถูกนำไปใช้ในการหาค่าการทำงานที่เหมาะสมกับการขับกำลังของ IGBT ที่ควบคุมกระแสที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง Flyback Converter ทั้งสองส่วนนี้ ทั้งนี้การไหลของกระแสที่มากเกินไปพอจะส่งผลให้สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำกับขดลวดด้านทุติยภูมิมีศักดาแรงดันสูงเพียงพอต่อการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารเหลว



ภาพที่ 3.5 แสดงชุดขับเกต OptoTLP 250

การใช้ TLP 250 ซึ่งเป็น Opto-Isolated เพื่อทำการแยกสัญญาณด้านส่วนตัวควบคุม สัญญาณพัลส์และสัญญาณด้าน Output ที่ส่งไปสู่ชุด Driver ซึ่งมีความพิเศษในการช่วยลดความเสี่ยงภัยกับวงจรชุดควบคุมสัญญาณพัลส์กรณี่ที่เกิดการลัดวงจรด้าน Output ของชุด Driver โดยจะทำการแยกกราวด์ออกจากทั้งสองวงจรโดยที่สัญญาณทางด้าน Output ของ TLP250

3.4 การขับกำลัง Driver Circuit

IGBT เป็นอุปกรณ์ที่ใหม่เป็นการรวมข้อดีของทรานซิสเตอร์กับมอสเฟสเข้าด้วยกัน IGBT เป็นอุปกรณ์ที่ทนแรงดันและกระแสได้สูง ถ้าเปรียบเทียบ IGBT และ เพาเวอร์มอสเฟส IGBT มีพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยทั้งในระหว่างนำกระแสและหยุดนำกระแส โดยมีพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยในขณะที่ไบอัสตรง (Forward Bias Safe Operating Area : FBSOA) ที่กว้างมากเกือบได้ เป็นสี่เหลี่ยมสำหรับเวลาในการสวิตช์ที่สั้นๆ แต่จะแคบลงเมื่อเวลาในการสวิตช์ยาวนานขึ้นซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับเพาเวอร์มอสเฟสแล้ว IGBT จะทำงานได้ในช่วงพื้นที่ที่กว้างกว่าเมื่อเวลาในการสวิตช์เท่ากัน ในโครงการจึงได้เลือกใช้ IGBT ในการทำโครงการนี้ โดยทำการต่อประกอบเข้ากับ ส่วนของ Output ของ TLP250

ภาพที่ 3.6 แสดงชุด IGBT



ภาพที่ 3.7 แสดงวงจร

3.5 การออกแบบหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง

หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงหรือหม้อแปลงฟลายแบ็คทำหน้าที่เป็นตัวเหนี่ยวนำและเพิ่มระดับแรงดัน (Step-Up Transformer) หม้อแปลงฟลายแบ็คได้ออกแบบโดยใช้แกนเฟอร์ไรต์ได้คำนวณหาพื้นที่ของแกนเพื่อหาจำนวนรอบในการพันหม้อแปลงหาพื้นที่จาก $E_1 = E_2 =$ จะได้พื้นที่ $EE =$ ทำการคำนวณพิกัดหม้อแปลง $V_{in} = 50 \text{ Vdc}$, $V_{out} = 40 \text{ kV}$, $f = 50 \text{ kHz}$, $B_{max} = 5000 \text{ G}$

หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงโดยเลือกใช้แกนเฟอร์ไรต์รูปทรงตัว U หรือ C ใช้ในการคำนวณรอบของขดลวดด้านปฐมภูมิ(Primary)และด้านทุติยภูมิ(Secondary)โดยนำแกนทั้ง2มาประกบกัน

$$\text{พื้นที่หน้าตัดแกน} \quad (A_i) = 8.32 \text{ cm}^2$$

$$\text{แรงดันอินพุท} \quad (V_p) = 50\text{V}$$

$$\text{แรงดันเอาต์พุท} \quad (V_s) = 40\text{kV}$$

$$\text{ความถี่} \quad (f) = 50\text{kHz}$$

$$\text{ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก}(B_{max}) = 5000\text{G}$$

$$\text{คำนวณหารอบของขดลวดปฐมภูมิจาก} \quad N_p = \frac{V_p \times 10^8}{4B_{max}fA_i}$$

$$N_p = \frac{50 \times 10^8}{4 \times 5000 \times 50 \times 10^3 \times 8.32}$$

$$N_p \approx 0.6 \text{ รอบ/V}$$

$$N_p = 1 \text{ รอบ/V}$$

เลือกพื้นที่ 1 รอบ ด้านปฐมภูมิต้องการแรงดัน 50V

เพราะฉะนั้นต้องพันทั้งหมด (1 รอบ/V) \times 50 V = 50 รอบ

$$\text{คำนวณหารอบของขดลวดด้านทุติยภูมิจากความสัมพันธ์} \quad \frac{N_s}{N_p} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_p}{I_s}$$

$$\frac{N_S}{N_P} = \frac{V_P}{V_S}$$

$$N_S = \frac{V_S}{V_P} \times N_P$$

$$N_S = \frac{40 \times 10^3}{50} \times 1$$

$$N_S = 800 \text{ รอบ}$$

เพราะฉะนั้นพันขดลวดด้านทุติยภูมิ

$$N_S = 800 \text{ รอบ}$$

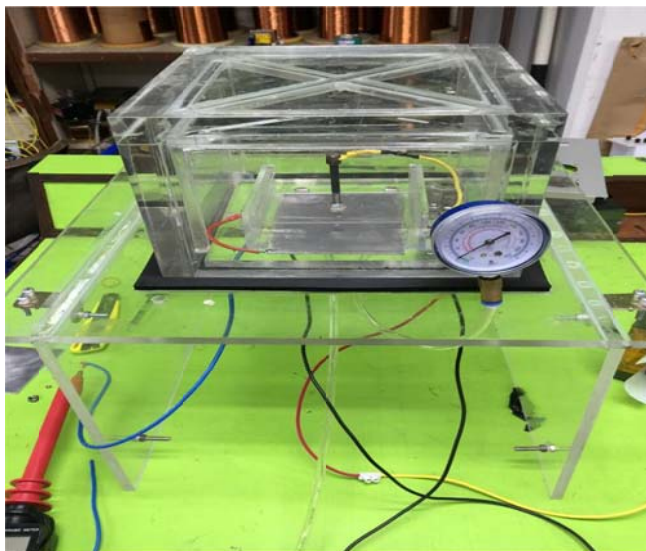
ขนาดของขดลวดที่นำมาใช้กับหม้อแปลงความถี่ 50kHz คือเบอร์ 23 ตามตาราง



ภาพที่ 3.8 แสดงหม้อแปลงที่ใช้ในการทดลอง

3.6 ภาชนะทดลอง

ตัวโครงสร้างภาชนะทำงานแผ่นอะคริลิก



ภาพที่ 3.9 แสดงภาชนะทดลอง

3.7 การนำเสียของน้ำนม [6]

จะมี 2 สาเหตุหลัก คือ

- การนำเสียจากจุลินทรีย์
- การนำเสียจากปฏิกิริยาทางเคมี

การนำเสียจากจุลินทรีย์(Microbial Spoilage)

3.7.1 กลุ่มเมโซไฟล์ (Mesophilic Bacteria)

เจริญเติบโตที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียสเป็นแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เน่าเน่าที่ทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องเกิดการเน่าเสีย ซึ่งทำให้เกิดโรค Pathogen โดยเฉพาะโรคทางเดินอาหาร เป็นจุลินทรีย์ที่พบเป็นส่วนใหญ่จากการตรวจนับจุลินทรีย์ทั้งหมด (Standard Count Plate)

3.7.2 กลุ่มโคลิฟอร์ม (Coliform)

พบได้ในลำไส้ของคนและสัตว์ ในอุจจาระ ในโคนมที่เป็นโรคเต้านมอักเสบ พบปนเปื้อนได้จาก ภาชนะรีดนม บุคตากร หรือในคอกสัตว์ซึ่งล้างทำความสะอาดไม่ทั่วถึง จากภาชนะบรรจุ นมดิบ แบคทีเรียกลุ่มนี้จะเป็นดัชนีบ่งชี้ถึงสุขลักษณะการผลิต หากตรวจพบจุลินทรีย์กลุ่มนี้มากกว่า 100 เซลล์ ต่อน้ำนม 1 มิลลิลิตร แสดงว่ามีสุขลักษณะที่ไม่ดีของฟาร์ม

3.7.3 กลุ่มเทอร์โมดิวริกแบคทีเรีย (Thermophilic Bacteria)

เป็นจุลินทรีย์ทนต่ออุณหภูมิสูงและไม่ถูกฆ่าเชื้อด้วยการพาสเจอร์ไรส์ ดังนั้นถ้าพบแบคทีเรียกลุ่มนี้ในน้ำนมดิบมากทำให้มีเชื้อหลงเหลือในน้ำนมพาสเจอร์ไรส์มากขึ้นด้วย แต่เชื้อจะไม่สามารถเจริญได้

3.7.4 กลุ่มเทอร์โมไฟล์ (Thermophilic Bacteria)

เป็นแบคทีเรียที่สามารถเจริญได้ที่ระดับอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสและที่อุณหภูมิพาสเจอร์ไรส์ด้วย แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกิน 70 องศาเซลเซียส แบคทีเรียกลุ่มนี้จะไม่เจริญ

3.7.5 กลุ่มไซโครโทรป (Psychrotrophic Bacteria)

เป็นแบคทีเรียที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิต่ำซึ่งมีอุณหภูมิที่ลดต่ำ 2-7 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์กลุ่มนี้เพิ่มจำนวนช้า และถูกทำลายได้ง่าย ด้วยความร้อนการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์กลุ่มนี้จะทำให้คุณภาพของน้ำนมลดลง โดยสร้างเอนไซม์ ย่อยโปรตีนและไขมันในน้ำนม เกิดกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ ทำให้น้ำนมเสื่อมคุณภาพและเน่าเสียได้

3.8 การหาอัตราของเชื้อจุลินทรีย์

ในการทดสอบนี้ จะใช้แผ่น 3M Petrifilm-E.coli Count Plate. ในการทดสอบมีลักษณะเป็นแผงแข็งที่เคลือบอยู่บนแผ่นฟิล์มพลาสติกสำหรับใช้วิเคราะห์หาจำนวนของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อยีสต์รา ในส่วนของส่วนประกอบหลักๆ ของ 3M Petrifilm™ จะประกอบด้วยแผ่นพลาสติกสองแผ่นที่ประกบกันอยู่ โดยแผ่นบนเป็นแผ่นฟิล์มพลาสติกใสที่แบ่งย่อยออกเป็นอีกสามชั้นที่เคลือบอยู่



ภาพที่ 3.10 แสดงแผ่น 3M Petrifilm™

3M Petrifilm™ Aerobic Count Plate (PAC) โดยส่วนประกอบของแผ่นตรวจนับตัวสารบ่งชี้ที่ใช้ในแผ่นตรวจชนิดนี้จะเป็นสียไตรเฟนิล เดทตระโซเลียม คลอไรด์ (TriphenylTetrazolium Chloride-TTC) และในส่วนของอาหารเลี้ยงเชื่อนั้นจะเป็น Plate Count Agar ที่แบคทีเรียทั่วไปสามารถเจริญเติบโตได้ดี โดยมีสารที่ทำให้อาหารเลี้ยงเชื้อแข็งตัวคือ เจลที่ละลายในน้ำเย็น มาดูกันต่อในส่วนของวิธีการใช้แผ่น PAC ซึ่งวิธีการวิเคราะห์นี้เป็นวิธีที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานมาตรฐาน AOAC เป็นที่เรียบร้อยแล้ว เริ่มจากทำการหยดตัวอย่างปริมาตร 1 ml ลงบนแผ่นตรวจเชื้อ จากนั้นนำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง โดยการวางแผ่นตรวจในเครื่องบ่มเชื่อนั้นสามารถวางซ้อนกันได้ไม่เกิน 20 แผ่น และนำมาอ่านผลเมื่อครบเวลา ในการอ่านผล Aerobic Bacteria จะทำการนับโคโลนีที่มีสีแดงทั้งหมดที่อยู่ในพื้นที่วงกลม 20 ตารางเซนติเมตร ซึ่งช่วงที่เหมาะสมในการนับโคโลนีจะอยู่ในช่วง 30-300 โคโลนีต่อแผ่น

ตารางที่3.4 ลักษณะของการเน่าเสียของจุลินทรีย์

การเน่าเสีย	จุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุ	ลักษณะการเสื่อมเสีย
เกิดรสเปรี้ยว (Souring)	จุลินทรีย์กลุ่ม ที่สร้างกรดแล็กติก (lactic acid bacteria) ได้แก่ Lactobacillus Streptococcus Lactococcus Leuconostoc โดยการหมักน้ำตาลแล็กโทสให้ได้กรดแล็กติก (lactic acid fermentation) และกรดอินทรีย์อื่น	ค่า pH ของน้ำนมลดลง เกิดรสเปรี้ยว และเกิดลิ่มนม (curd) แขกขึ้น เนื่องจากการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน (protein denaturation)
เกิดลิ่มนม หวาน (Sweet curdling)	Bacillus Proteus Micrococcus	ค่า pH ของน้ำนมเพิ่มขึ้น (น้ำนมเป็นด่าง) ไม่มีรสเปรี้ยว เกิดลิ่มนม (curd) แขกขึ้น เนื่องจากการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน (protein denaturation)
ผลิตแก๊ส (Gas production)	Clostridium และ แบคทีเรียในกลุ่ม coliform	เกิดแก๊ส ปุดเป็นฟอง
เป็นเมือก (Ropiness)	จุลินทรีย์ที่สร้างแคปซูล หรือ สารเมือก (slime former) ในระหว่างการเจริญ เช่น Alcaligenes, Klebsiella, Enterobacter	ทำให้น้ำนมเหนียวข้น เป็นเมือก (slimy) เป็นยาง (stringy)
Red rot	Serratia marcescens ซึ่ง เป็นแบคทีเรียที่สร้างสี (Chromogenic bacterium)	สร้างรงควัตถุสีแดงทำให้น้ำนมเปลี่ยนเป็นสีแดง
Gray rot	Clostridium	น้ำนมเปลี่ยนเป็นสีเทา มีกลิ่นเหม็นเน่า
Dairy mould	จากเชื้อรา (mold) เช่น Penicilium, Geotrichum	เกิดเชื้อราเจริญที่ผิวหน้าของน้ำนม
กลิ่นหืน	จุลินทรีย์ที่สร้างเอนไซม์ไลเปส (lipase)	กลิ่นหืน เนื่องจาก เอนไซม์ลิเพสที่จุลินทรีย์สร้าง ไปเร่งการย่อยสลายไขมันนม ด้วยปฏิกิริยา hydrolysis

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการทดลองของการสร้างกำเนิดสัญญาณพัลส์ไปจับหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อให้เกิดสปาร์คเก็ปที่ขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้ว เพื่อนำศึกษาเปรียบเทียบทฤษฎีการใช้สนามไฟฟ้าแรงดันสูงมาใช้ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารเหลวและน้ำจากคลองบางบัว เพื่อศึกษาการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์และแบคทีเรียในของเหลว โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังต่อไปนี้

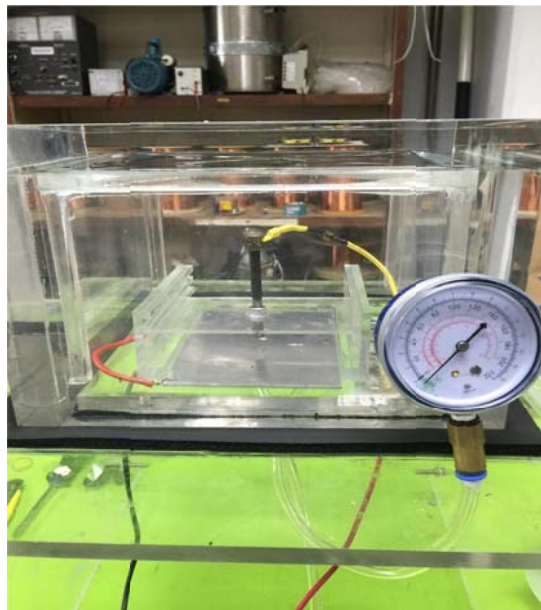
4.1 ขั้นตอนการทดลอง

4.1.1 นำภาชนะทดลองแก้วไฟเร็ก ใส่อาหารที่จะทดลองในแก้วไฟเร็กดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แสดงแก้วไฟเร็กสำหรับใส่ตัวอย่างทดลอง

4.1.2 นำฝาครอบมาปิด เพื่อทำการดูดอากาศออก โดยเครื่องดูดสุญญากาศดังในภาพที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

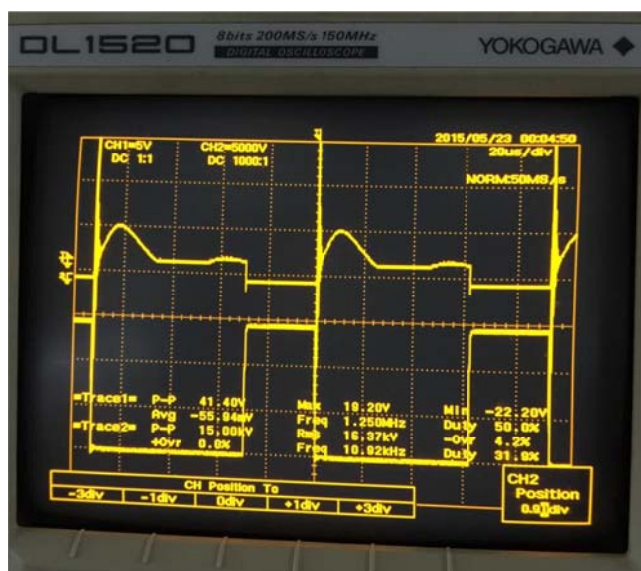


ภาพที่ 4.2 แสดงตู้ภาชนะทดลอง



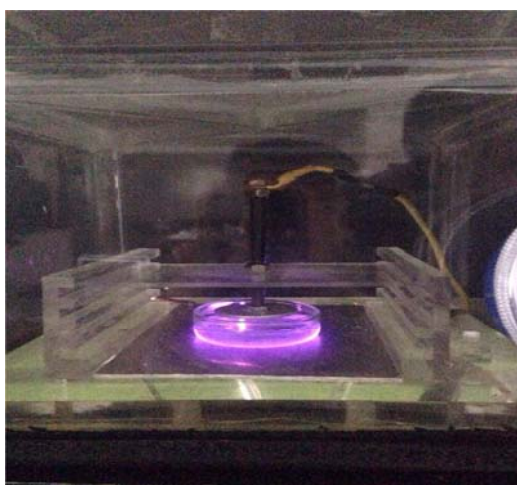
ภาพที่ 4.3 แสดงเครื่องดูดอากาศสุญญากาศ

4.1.3 ทำการจ่ายไฟเพื่อขับวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ แล้ววัดรูปสัญญาณดังในภาพที่ 4.4 ด้วยการปรับความถี่ และ duty cycle ที่ก่อให้เกิด Plasma ซึ่งจากการทดสอบจะพบว่าที่ความถี่ 5 kHz และที่ duty cycle ที่ทำการปรับนั้นจะเลือกใช้ที่ 10%, 15% และ 25%



ภาพที่ 4.4 แสดงสัญญาณ ณ เวลาทดลอง

4.1.4 เปิดการทำงานทิ้งไว้ซักพัก การที่จะฆ่าเชื้อได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มของสนามไฟฟ้าและเวลาในการทดลองดังในภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 แสดงการเกิดพลาสมาระหว่างการฆ่าเชื้อ

4.1.5 หลังจากนั้น นำอาหารที่ทดลอง มาหยดบนแผ่น 3M Petrifilm-E.coli Count Plate. ประมาณ 1 ml. แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิประมาณ 32-35°C เพื่อประมาณค่าจำนวนโคโรนินของเชื้อจุลินทรีย์ ก่อนการฆ่าเชื้อและหลังการฆ่าเชื้อและเปรียบเทียบผลการทดลองโดยนับจำนวนจุดที่เกิดบนแผ่น 3M Petrifilm-E.coli Count Plate.

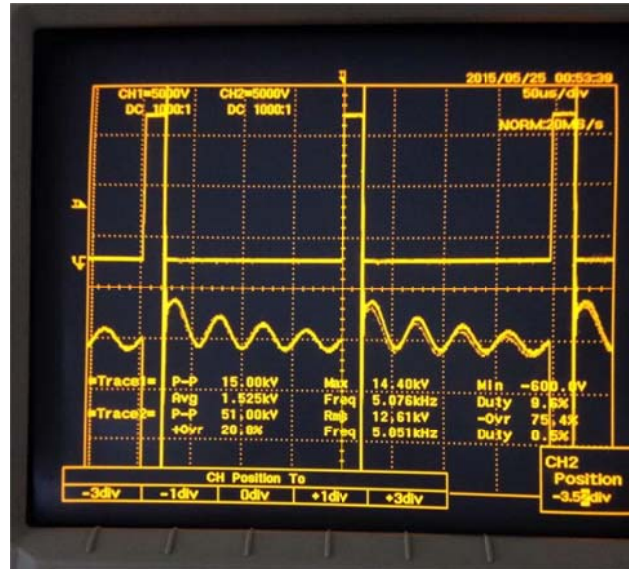
4.1.6 บันทึกผลการทดลอง

4.2 ผลการทดลอง

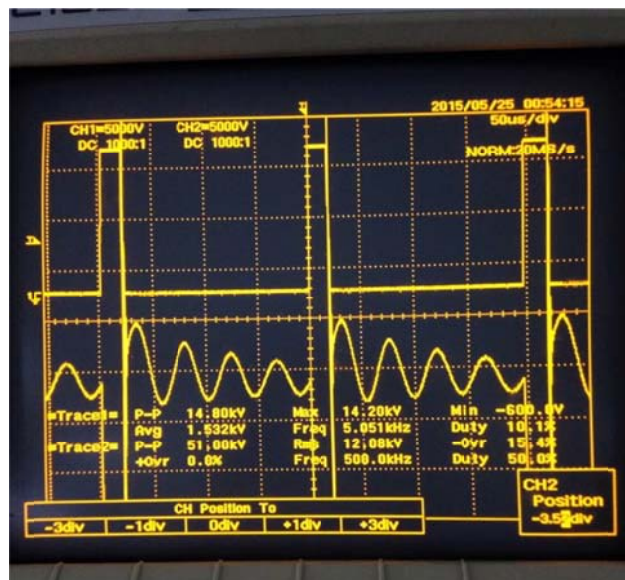
4.2.1 การทดสอบที่ความถี่ 5 kHz Duty Cycle 10% ด้วยของเหลว น้ำ ด้วยการปรับแรงดัน Input จาก 10-50 โวลต์ โดยมีค่าแสดงตามตารางที่ 4.1 และมีสัญญาณเอาต์พุตแสดงดังภาพที่ 4.6 - 4.10

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบกับของเหลว น้ำ ที่ความถี่ 5 kHz และ Duty 10%

Vin (V)	Vout (kV)	I out (mA)
10	1.56	100
20	8.08	200
30	10.67	250
40	11.21	250
50	12.98	250



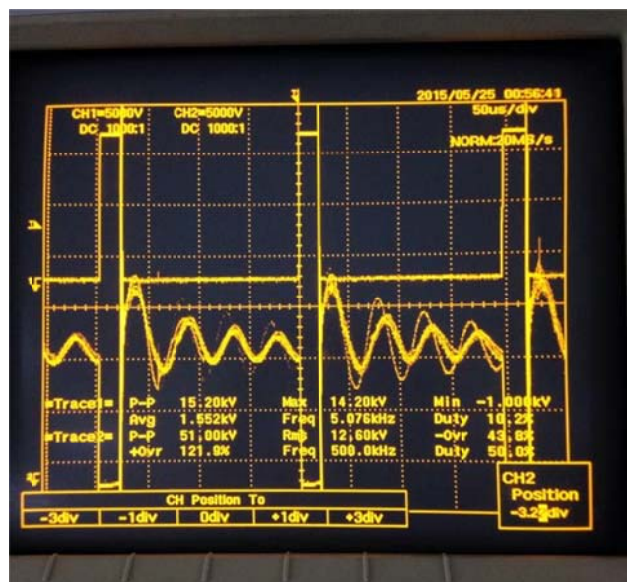
ภาพที่ 4.6 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 10 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 5 kHz, Duty 10%



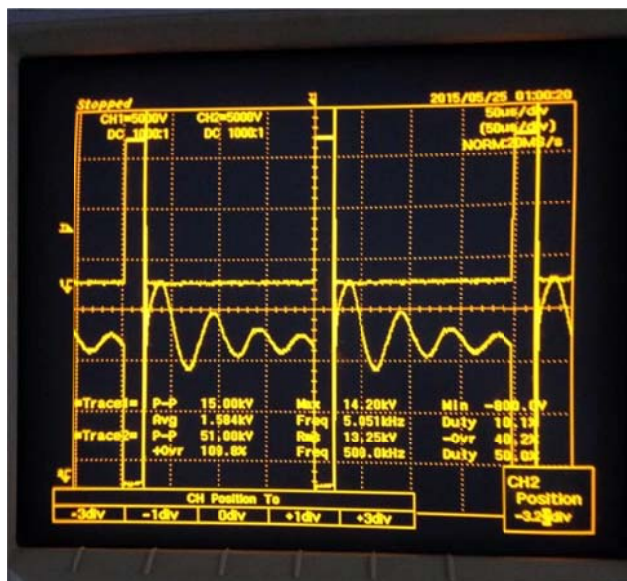
ภาพที่ 4.7 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 20 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 5 kHz, Duty 10%



ภาพที่ 4.8 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 30 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 5 kHz, Duty 10%



ภาพที่ 4.9 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 40 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 5 kHz, Duty 10%

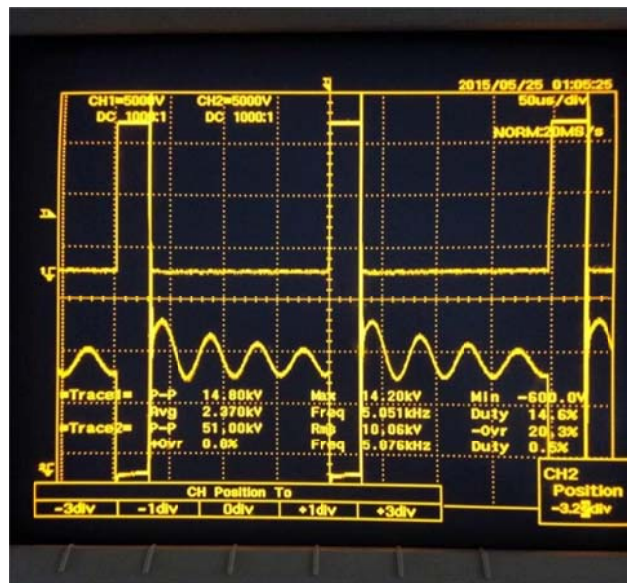


ภาพที่ 4.10 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 50 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 5 kHz, Duty 10%

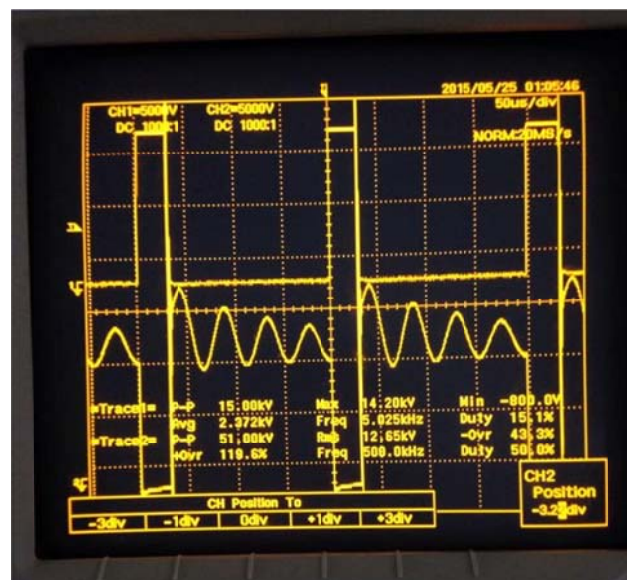
การทดสอบที่ความถี่ 5 kHz Duty Cycle 15% ด้วยการปรับแรงดัน Input จาก 10 - 50 โวลต์ โดยมีค่าแสดงตามตารางที่ 4.2 และมีสัญญาณเอาต์พุตแสดงดังภาพที่ 4.11 - 4.15

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบกับของเหลวที่ความถี่ 5 kHz และ Duty 15%

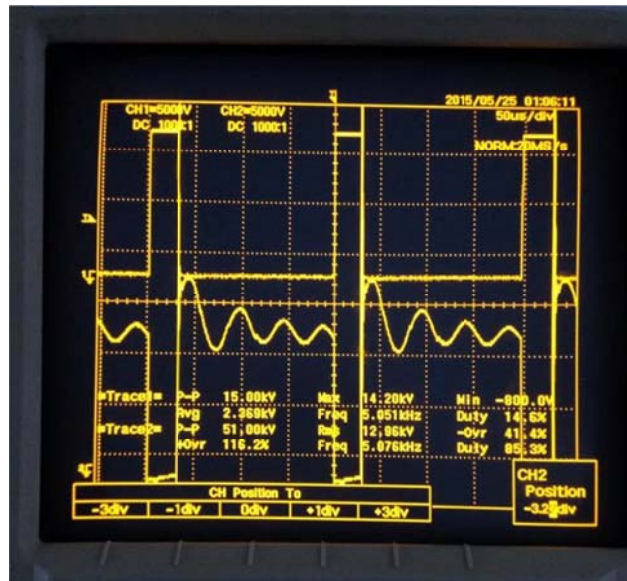
Vin (V)	Vout (kV)	I out (mA)
10	1.67	150
20	7.04	200
30	9.07	250
40	16.21	400
50	18.56	500



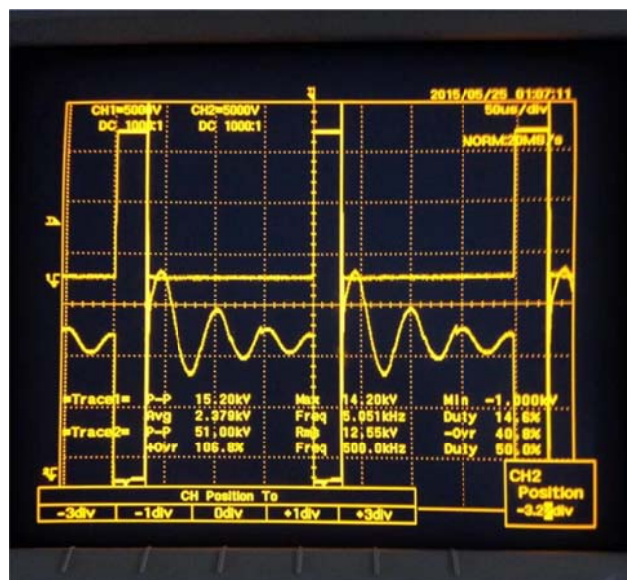
ภาพที่ 4.11 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 10 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 5 kHz, Duty 15%



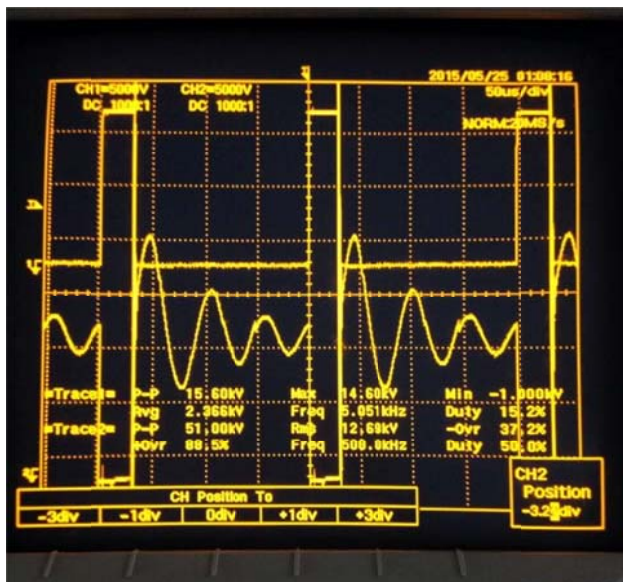
ภาพที่ 4.12 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 20 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 5 kHz, Duty 15%



ภาพที่ 4.13 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 30 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 5 kHz, Duty 15%



ภาพที่ 4.14 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 40 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 5 kHz, Duty 15%

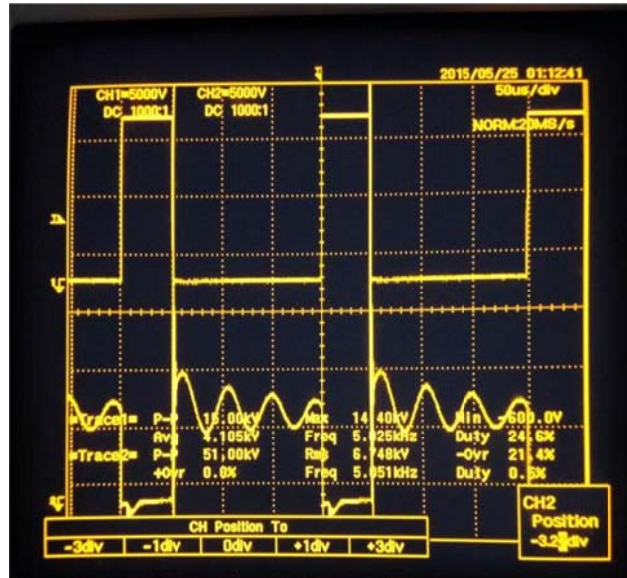


ภาพที่ 4.15 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 50 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 5 kHz, Duty 15%

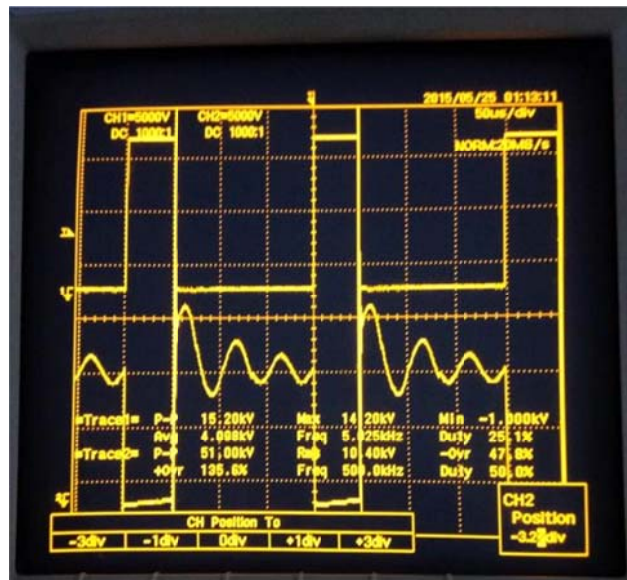
การทดสอบที่ความถี่ 5 kHz Duty Cycle 25% ด้วยการปรับแรงดัน Input จาก 10 - 80 โวลต์ โดยมีค่าแสดงตามตารางที่ 4.3 และมีสัญญาณเอาต์พุตแสดงดังภาพที่ 4.16 - 4.20

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบกับของเหลวน้ำที่ความถี่ 5 kHz และ Duty 25%

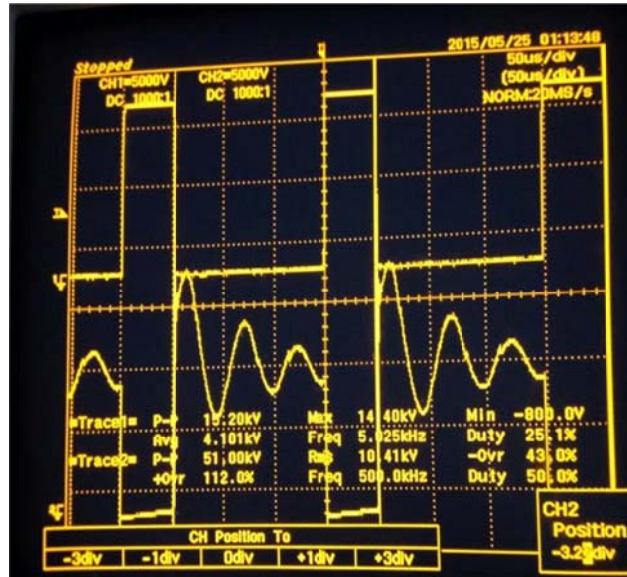
Vin (V)	Vout (kV)	I out (mA)
10	6.47	200
20	17.06	500
30	18.76	500
40	19.45	500
50	20.87	500



ภาพที่ 4.16 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 10 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 5 kHz, Duty 25%



ภาพที่ 4.17 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 20 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 5 kHz, Duty 25%



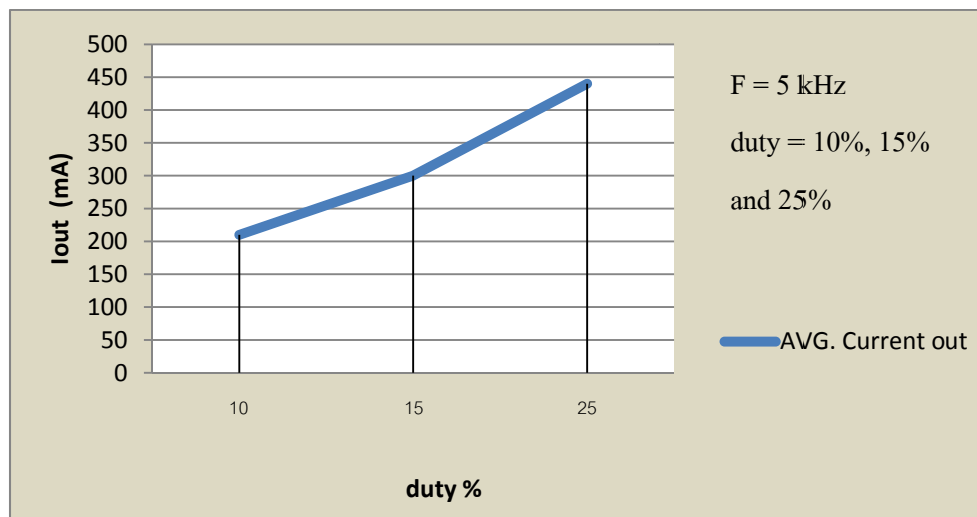
ภาพที่ 4.18 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 30 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 5 kHz, Duty 25%



ภาพที่ 4.19 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 40 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 5 kHz, Duty 25%



ภาพที่ 4.20 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 50 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 5 kHz, Duty 25%

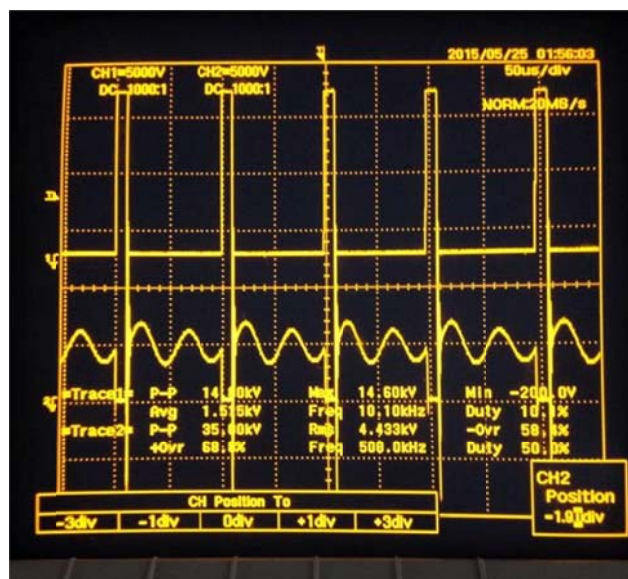


ภาพที่ 4.21 แสดงผลเปรียบเทียบ Duty (%) กับ I_{out} (mA) ที่ความถี่ 5 kHz

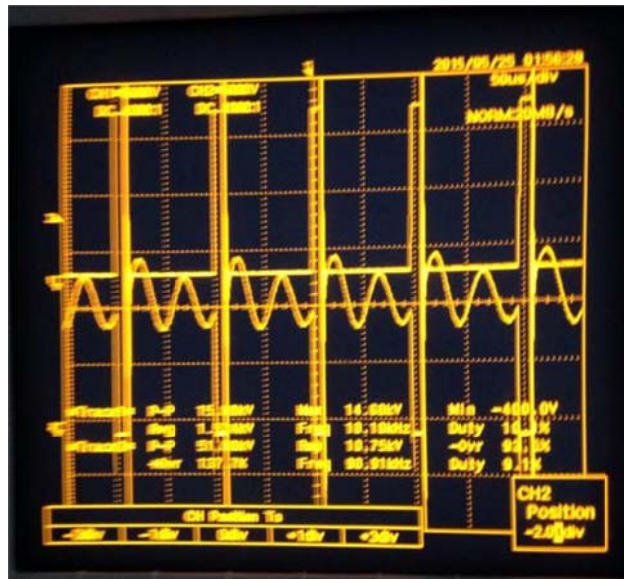
4.2.2 การทดสอบที่ความถี่ 10 kHz Duty Cycle 10% ด้วยของเหลวน้ำ ด้วยการปรับแรงดัน Input จาก 10-50 โวลต์ โดยมีค่าแสดงตามตารางที่ 4.4 และมีสัญญาณเอาต์พุตแสดงดังภาพที่ 4.22 - 4.26

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบกับของเหลวน้ำที่ความถี่ 10 kHz และ Duty 10%

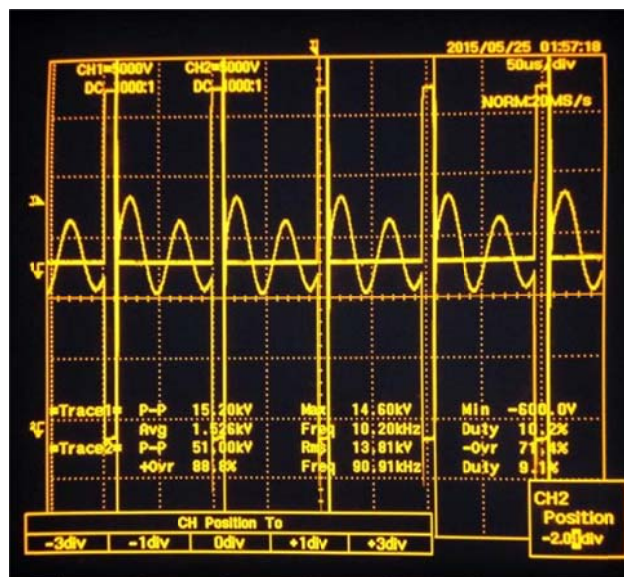
Vin (V)	Vout (kV)	I out (mA)
10	0.06	100
20	7.34	150
30	9.10	200
40	10.11	250
50	12.03	300



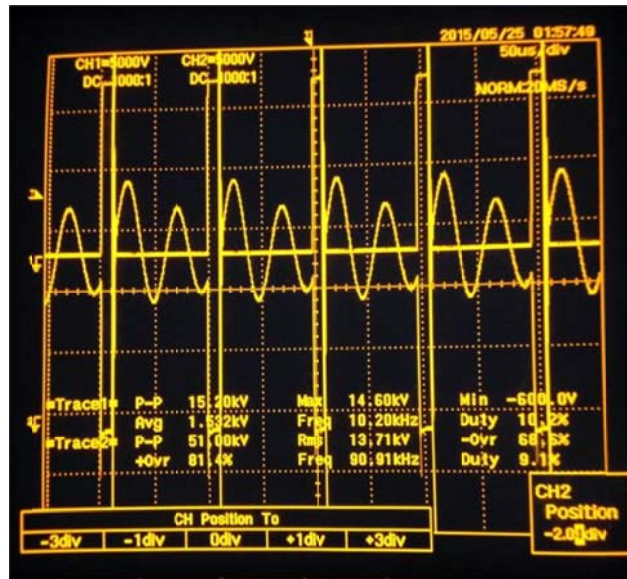
ภาพที่ 4.22 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 10 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 10 kHz, Duty 10%



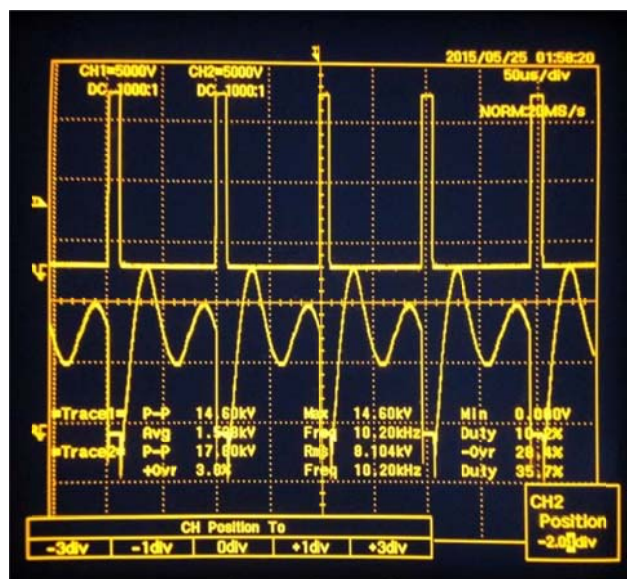
ภาพที่ 4.23 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 20 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 10 kHz, Duty 10%



ภาพที่ 4.24 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 30 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 10 kHz, Duty 10%



ภาพที่ 4.25 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 40 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 10 kHz, Duty 10%

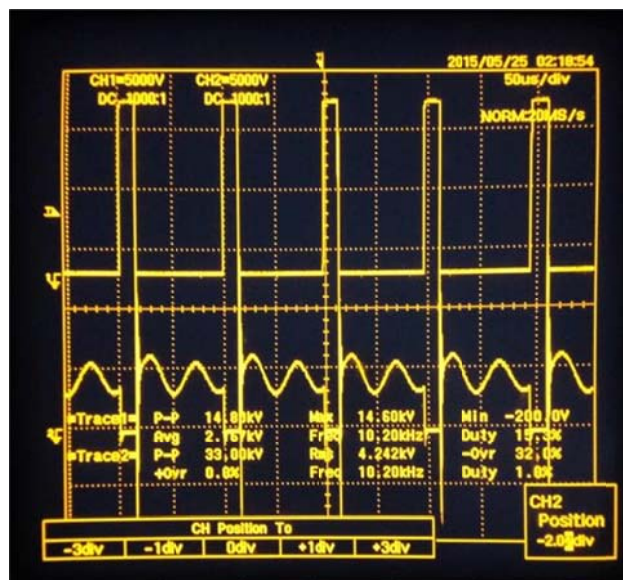


ภาพที่ 4.26 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 50 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 10 kHz, Duty 10%

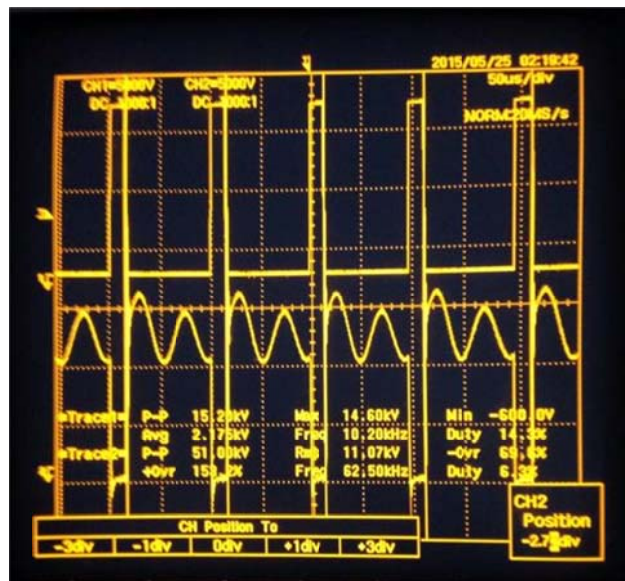
การทดสอบที่ความถี่ 10 kHz Duty Cycle 15% คิวของเหลวนี้ ด้วยการปรับแรงดัน Input จาก 10-50 โวลต์ โดยมีค่าแสดงตามตารางที่ 4.5 และมีสัญญาณเอาท์พุทแสดงดังภาพที่ 4.27 - 4.31

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบกับของเหลวนี้ที่ความถี่ 10 kHz และ Duty 15%

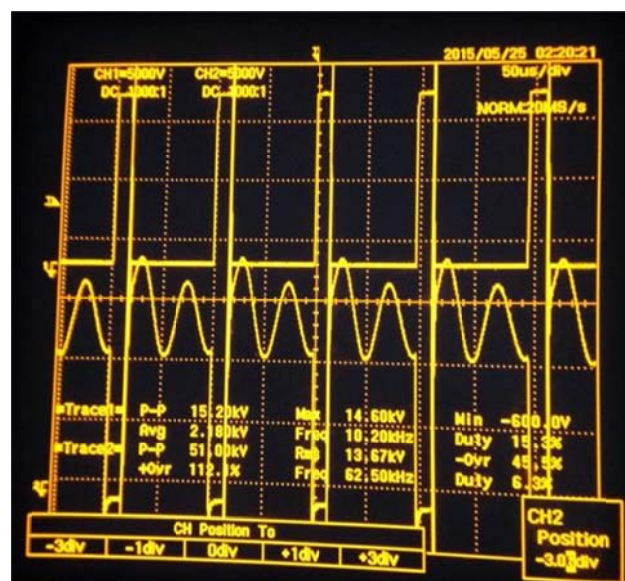
Vin (V)	Vout (kV)	I out (mA)
10	0.37	100
20	7.02	100
30	8.06	200
40	9.98	200
50	14.60	300



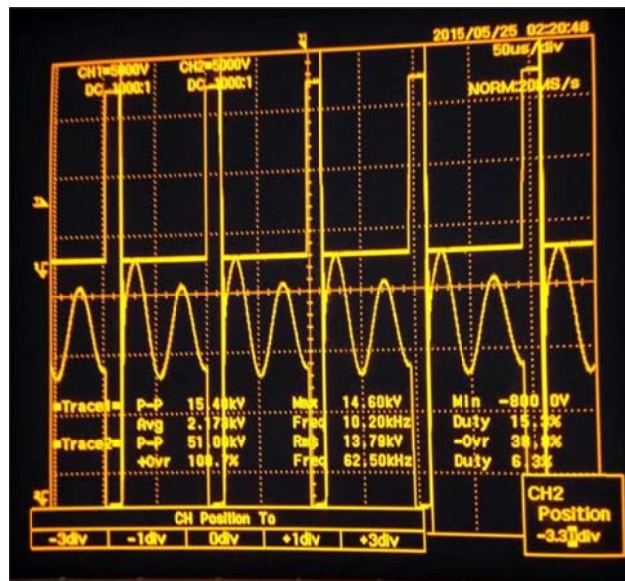
ภาพที่ 4.27 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 10 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 10 kHz, Duty 15%



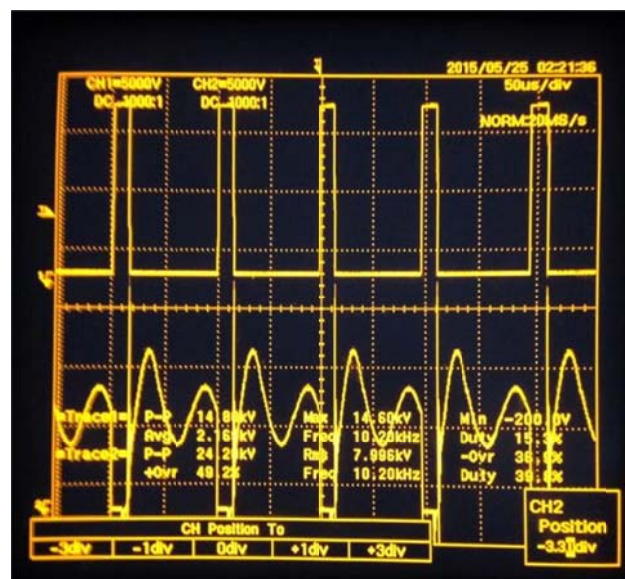
ภาพที่ 4.28 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 20 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 10 kHz, Duty 15%



ภาพที่ 4.29 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 30 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 10 kHz, Duty 15%



ภาพที่ 4.30 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 40 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 10 kHz, Duty 15%

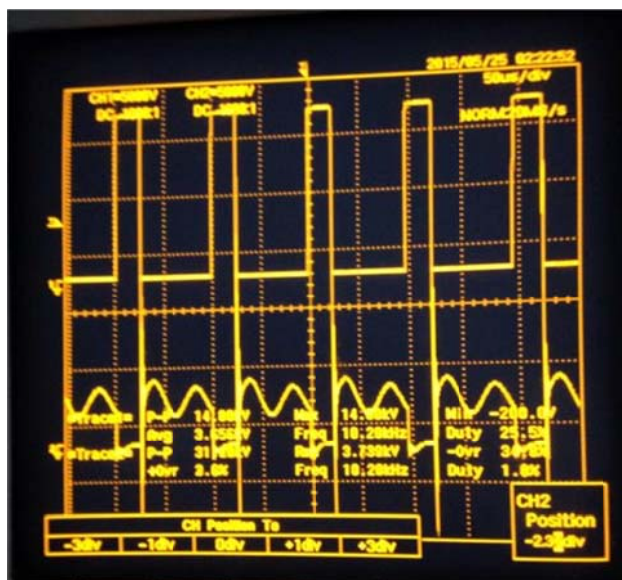


ภาพที่ 4.31 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 50 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 10 kHz, Duty 15%

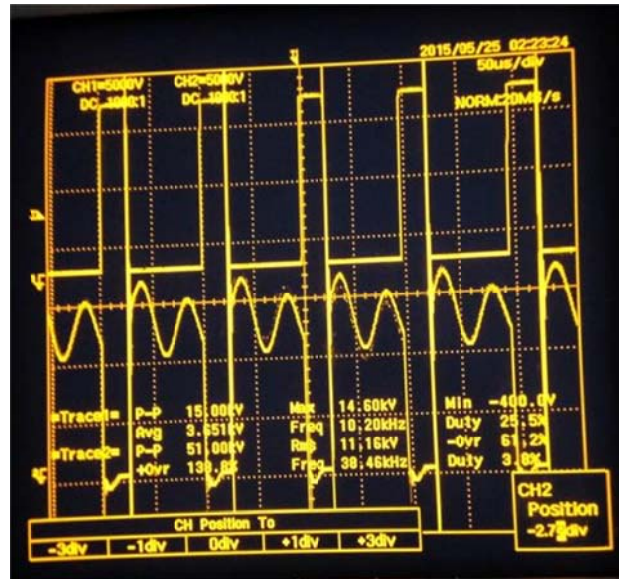
การทดสอบที่ความถี่ 10 kHz Duty Cycle 25% ค่ายของเหลวน้ำ ด้วยการปรับแรงดัน Input จาก 10-50 โวลต์ โดยมีค่าแสดงตามตารางที่ 4.6 และมีสัญญาณเอาท์พุทแสดงดังภาพที่ 4.32 - 4.36

ตารางที่ 4.6 การทดสอบกับของเหลวน้ำที่ความถี่ 10 kHz และ Duty 25%

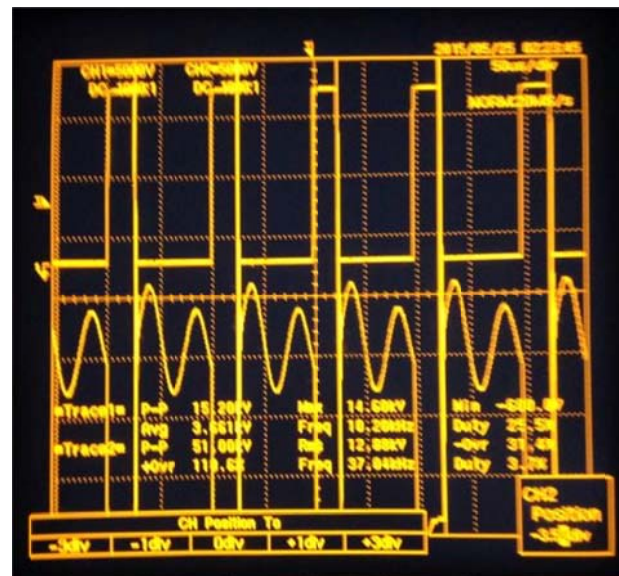
Vin (V)	Vout (V)	I out (A)
10	1.20	100
20	6.60	200
30	8.68	200
40	19.86	600
50	20.42	700



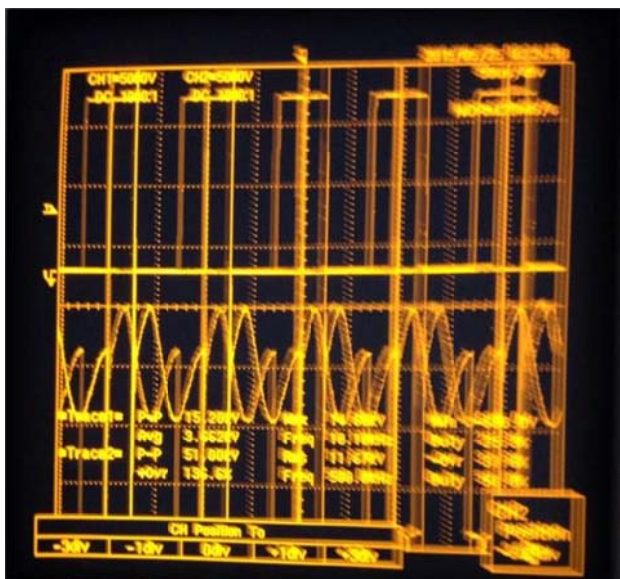
ภาพที่ 4.32 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 10 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 10 kHz, Duty 25%



ภาพที่ 4.33 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 20 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 10 kHz, Duty 25%



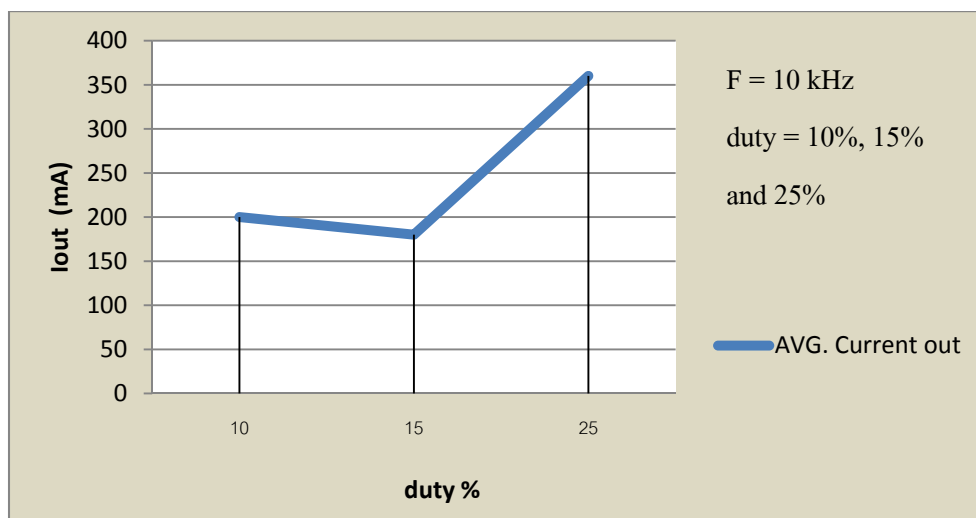
ภาพที่ 4.34 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 30 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 10 kHz, Duty 25%



ภาพที่ 4.35 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 40 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 10 kHz, Duty 25%



ภาพที่ 4.36 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 50 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 10 kHz, Duty 25%



ภาพที่ 4.37 แสดงผลเปรียบเทียบ Duty (%) กับ Iout (mA) ที่ความถี่ 10 kHz

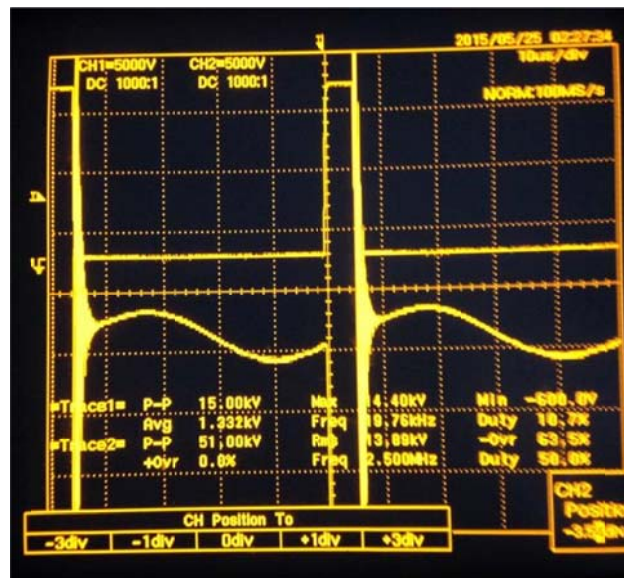
4.2.3 การทดสอบที่ความถี่ 20 kHz Duty Cycle 10% ด้วยของเหลวน้ำ ด้วยการปรับแรงดัน Input จาก 10-50 โวลต์ โดยมีค่าแสดงตามตารางที่ 4.7 และมีสัญญาณเอาต์พุตแสดงดังภาพที่ 4.37 - 4.41

ตารางที่ 4.7 การทดสอบกับของเหลวน้ำที่ความถี่ 20 kHz และ Duty 10%

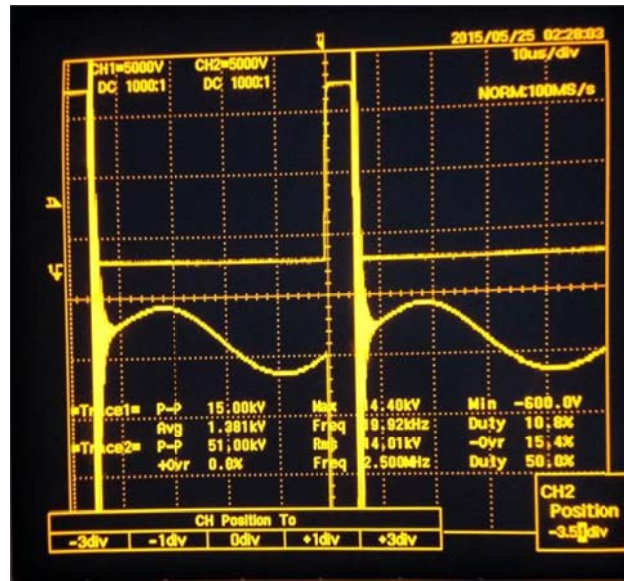
Vin (V)	Vout (kV)	I out (mA)
10	10.13	100
20	22.03	300
30	26.16	500
40	27.22	600
50	28.10	700



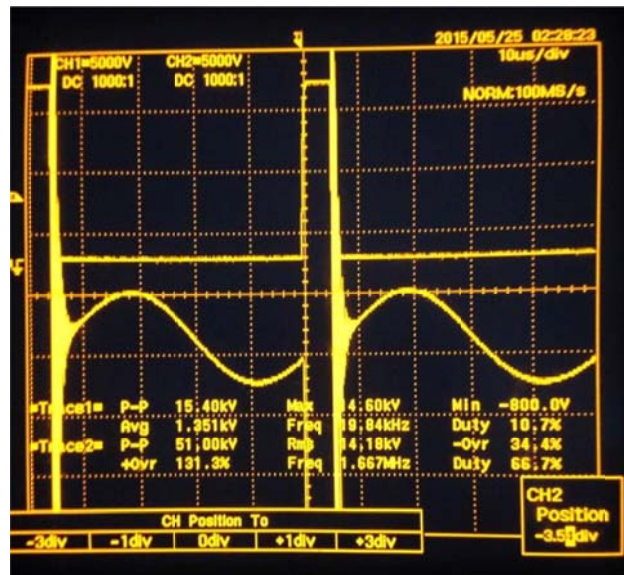
ภาพที่ 4.38 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 10 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 20 kHz, Duty 10%



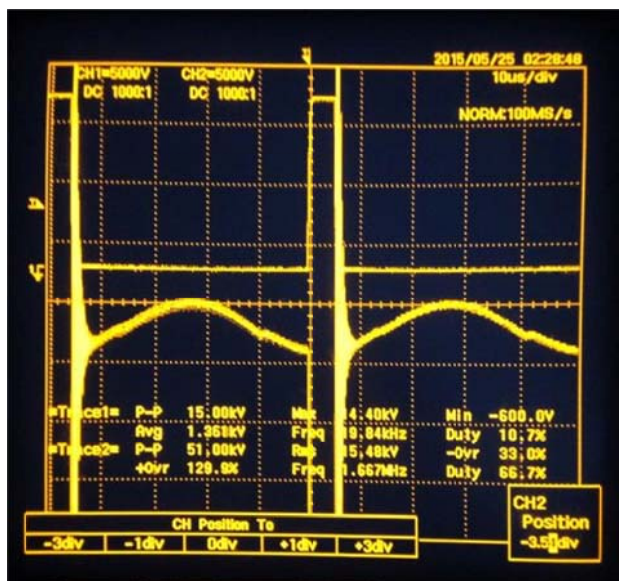
ภาพที่ 4.39 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 20 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 20 kHz, Duty 10%



ภาพที่ 4.40 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 30 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 20 kHz, Duty 10%



ภาพที่ 4.41 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 40 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 20 kHz, Duty 10%



ภาพที่ 4.42 แสดงสัญญาณขาเข้า CH I = 50 V และขาออก CH II ที่ความถี่ 20 kHz, Duty 10%

การทดสอบที่ความถี่ 20 kHz Duty Cycle 15% ด้วยของเหลวน้ำ ด้วยการปรับแรงดัน Input จาก 10-50 โวลต์ โดยมีค่าแสดงตามตารางที่ 4.8

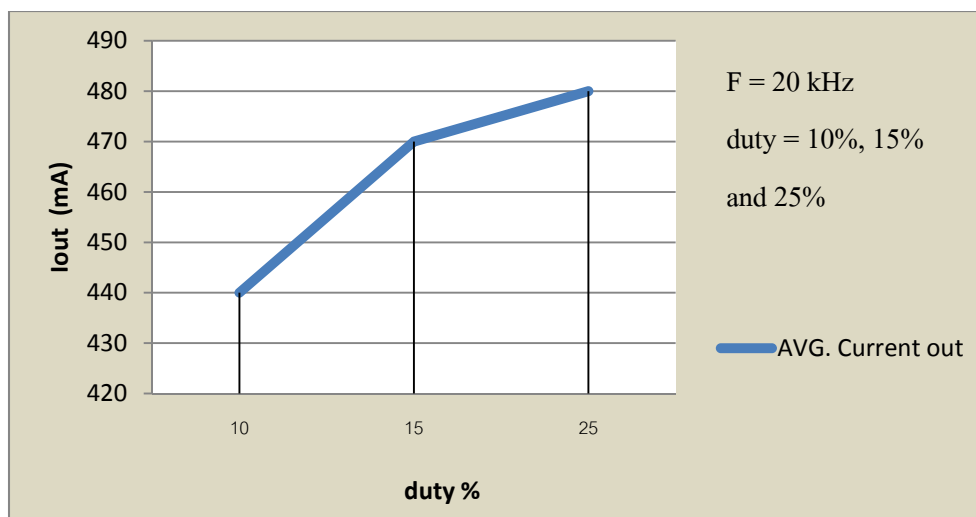
ตารางที่ 4.8 การทดสอบกับของเหลวน้ำที่ความถี่ 20 kHz และ Duty 15%

Vin (V)	Vout (kV)	I out (mA)
10	19.15	100
20	24.17	500
30	28.20	500
40	29.26	600
50	30.12	650

การทดสอบที่ความถี่ 20 kHz Duty Cycle 25% ด้วยของเหลวน้ำ ด้วยการปรับแรงดัน Input จาก 10-50 โวลต์ โดยมีค่าแสดงตามตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การทดสอบกับของเหลวน้ำที่ความถี่ 20 kHz และ Duty 25%

Vin (V)	Vout (kV)	I out (mA)
10	19.86	100
20	23.16	500
30	26.31	500
40	28.39	600
50	29.12	700

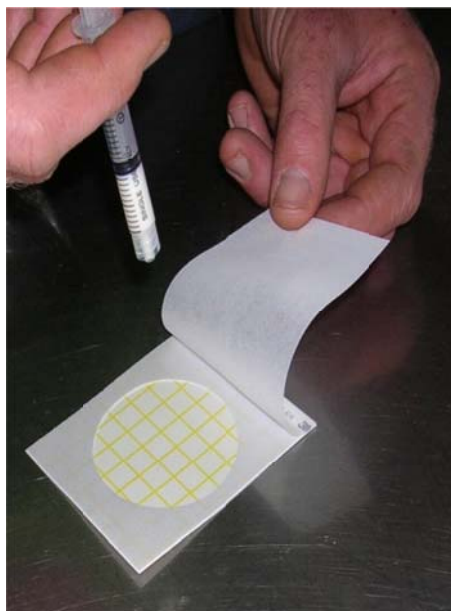


ภาพที่ 4.43 แสดงผลเปรียบเทียบ Duty (%) กับ Iout (mA) ที่ความถี่ 20 kHz

จากผลการทดสอบที่ความถี่ 20 kHz และมี Duty Cycle ที่ 15% กับ 25% ใช้ในการทดสอบ เนื่องจากกระแสเอาต์พุตและแรงดันสูงทางด้านเอาต์พุตนั้นสูงเพียงพอต่อการทดสอบ

4.3 ขั้นตอนการทดสอบ

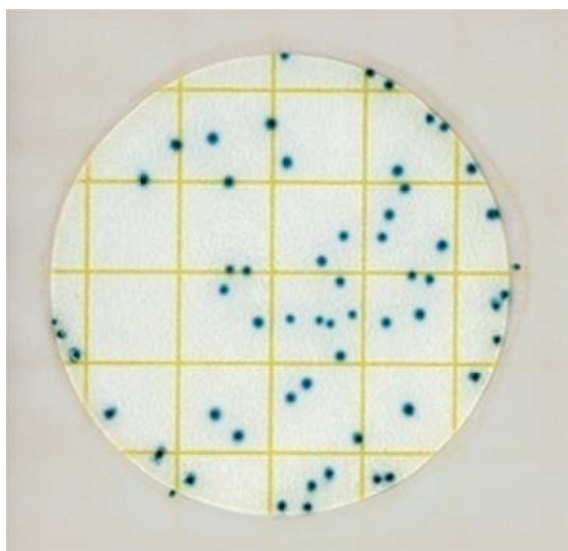
การทดสอบเชื้อกับแผ่น 3M Petrifilm-E.coli Count Plate. นั้นจะทำการออกแบบการทดสอบด้วยการกำหนดจากน้ำคลองบางบัวและนมสดที่ไม่ผ่านกระบวนการอื่นใด โดยมีลำดับการทดสอบดังนี้ คือ 1. การนำตัวอย่างทดสอบปริมาณ 1 ml. หยดลงบนแผ่นทดสอบก่อนการฆ่าเชื้อที่สนามไฟฟ้าความเข้มสูง ดังแสดงตามภาพที่4.43 จากนั้น ทำการนำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิประมาณ 32-35 °C เป็นเวลา 1 วัน แล้วนำมาอ่านผลทดสอบ ซึ่งแสดงตามภาพที่ 4.44 - 4.45



ภาพที่ 4.44 แสดงการหยดของเหลวทดสอบลงบนแผ่น 3M Petrifilm-E.coli Count Plate.



ภาพที่ 4.45 แสดงการบ่มเชื้อจุลินทรีย์ในตู้รักษาอุณหภูมิที่ 32-35 °C



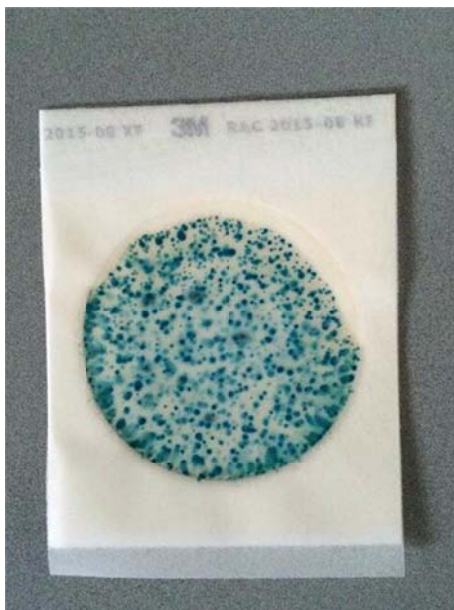
ภาพที่ 4.46 แสดงเชื้อจุลินทรีย์หลังผ่านการบ่มเชื้อแล้ว และทำการนับจำนวน โคโรนีตามช่องตาราง บนแผ่นทดสอบ[17]



ภาพที่ 4.47 แสดงจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำคลองบางบัว ก่อนการทดสอบ

2. นำตัวอย่างน้ำคลองบางบัวแบบเดียวกัน มาเข้าสู่กระบวนการอิเล็กโทรโพลีเซชันหรือการฆ่าเชื้อด้วยพลาสมา โดยกำหนดความถี่ที่ 20 kHz และ Duty 15% และ 25% เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ และทดสอบด้วยแผ่น 3M Petrifilm-E.coli Count Plate ด้วยการหยดน้ำลงบนแผ่นทดสอบปริมาณ 1 ml. จากนั้นบ่มเชื้อทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน และนำแผ่น 3M ที่ผ่านขั้นตอนก่อนและหลังการบำบัดนั้นมาอ่านค่าจำนวนโคโรนีบนแผ่น ตามที่แสดงดังภาพที่ 4.46 - 4.50

4.3.1 ผลการทดสอบที่ความถี่ 20 kHz, Duty Cycle 15% เวลา 5 นาที และ 10 นาที แสดงผลบนแผ่น 3M Petrifilm-E.coli Count Plate ได้ดังภาพที่ 4.47 และ 4.48 ตามลำดับ ซึ่งมีผลการอ่านค่า หลังจากการทดสอบผ่านไป 5 นาที น้ำคลองบางบัว นับเชื้อจุลินทรีย์ได้ประมาณ $21 \times 30 = 630$ Colonies Per Plate และหลังจากการทดสอบผ่านไป 10 นาที น้ำคลองบางบัว นับเชื้อจุลินทรีย์ได้ประมาณ $15 \times 30 = 450$ Colonies Per Plate

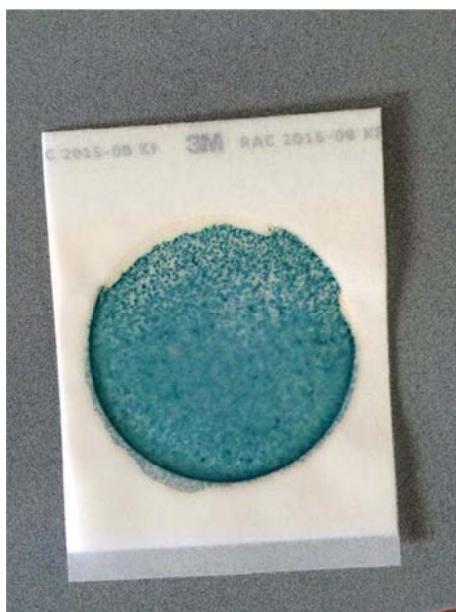


ภาพที่ 4.48 แสดงจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำคลองบางบัว หลังผ่านการทดสอบที่ความถี่ 20 kHz
Duty Cycle 15% เป็นเวลา 5 นาที

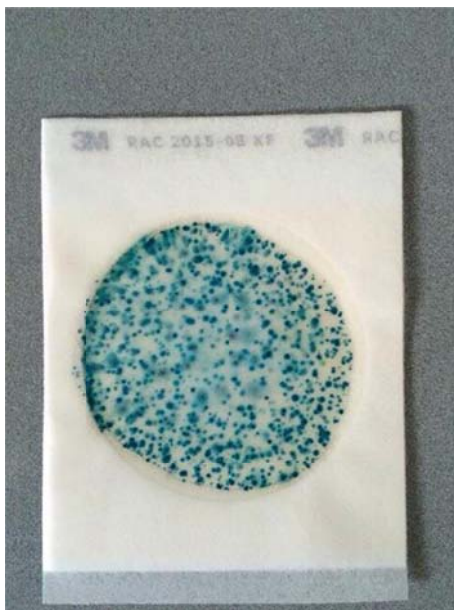


ภาพที่ 4.49 แสดงจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำคลองบางบัว หลังผ่านการทดสอบที่ความถี่ 20 kHz
Duty Cycle 15% เป็นเวลา 10 นาที

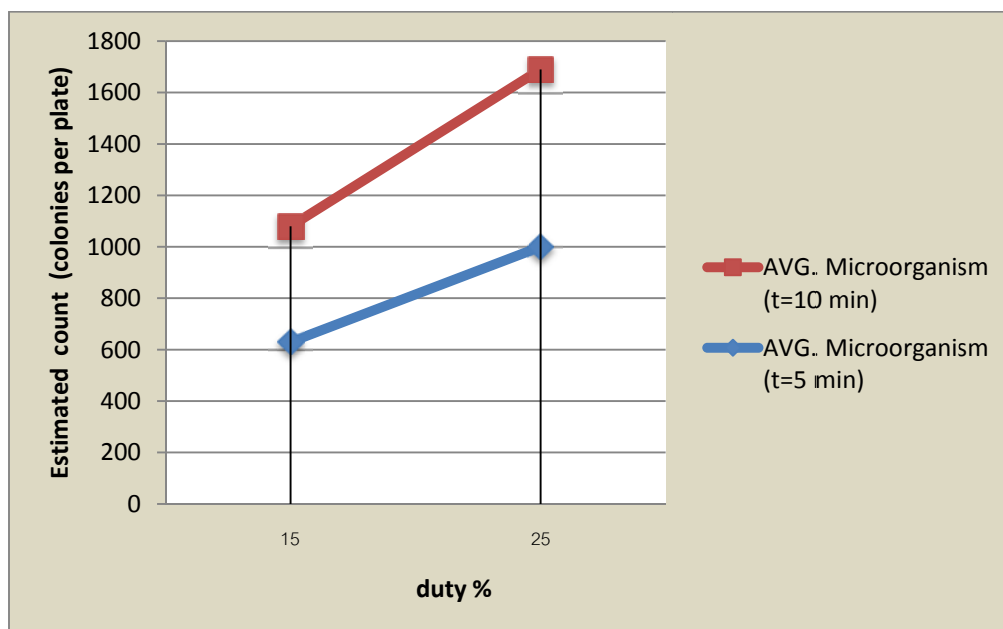
4.3.2 ผลการทดสอบที่ความถี่ 20 kHz, Duty Cycle 25% เวลา 5 นาที และ 10 นาที แสดงผลบนแผ่น 3M Petrifilm-E.coli Count Plate ได้ดังภาพที่ 4.49 และ 4.50 ตามลำดับ ซึ่งมีผลการอ่านค่า หลังจากการทดสอบผ่านไป 5 นาที น้ำคลองบางบัว นับจุลินทรีย์ไม่ได้ เนื่องจากมีปริมาณมากเกินไป และหลังจากการทดสอบผ่านไป 10 นาที น้ำคลองบางบัว นับเชื้อจุลินทรีย์ได้ ประมาณ $23 \times 30 = 690$ Colonies Per Plate



ภาพที่ 4.50 แสดงจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำคลองบางบัว หลังผ่านการทดสอบที่ความถี่ 20 kHz Duty Cycle 25% เป็นเวลา 5 นาที

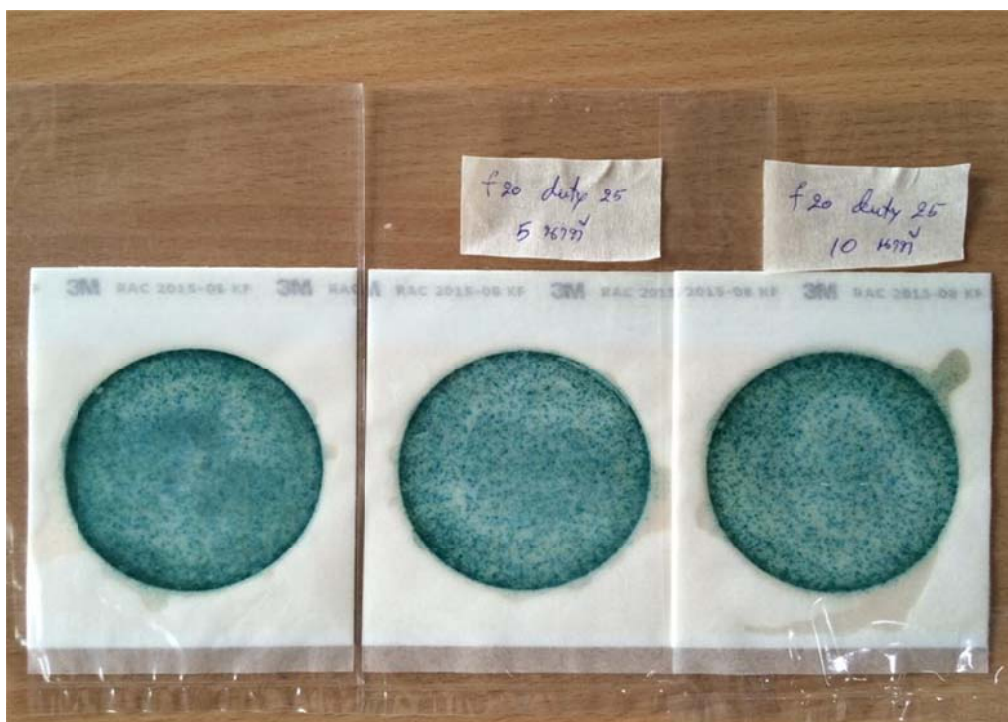


ภาพที่ 4.51 แสดงจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำคลองบางบัว หลังผ่านการทดสอบที่ความถี่ 20 kHz
Duty Cycle 25% เป็นเวลา 10 นาที

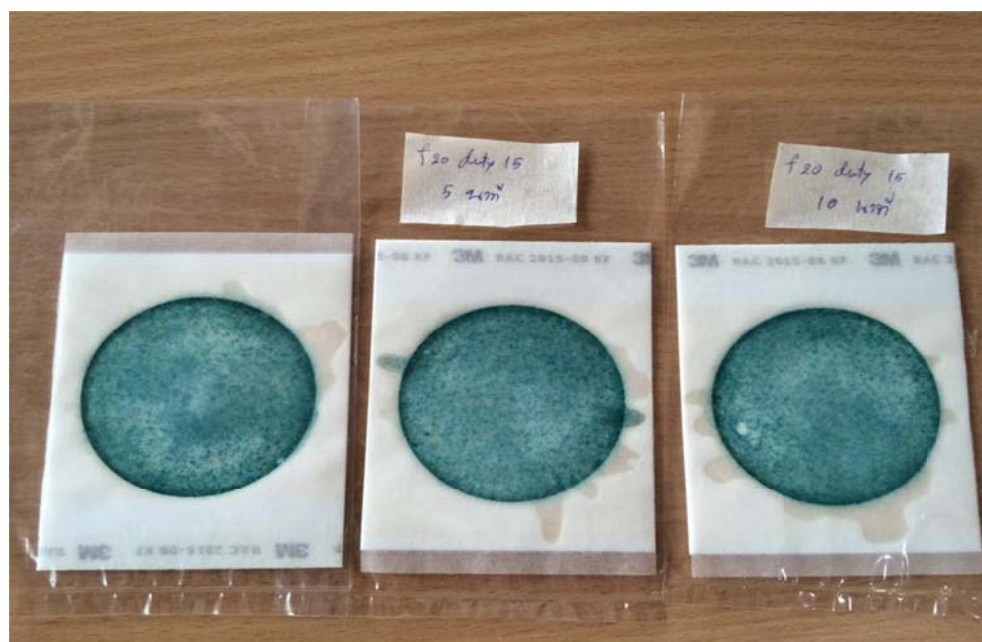


ภาพที่ 4.52 แสดงเปรียบเทียบ Duty (%) กับ จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่ผ่านการทดลอง

อีกตัวอย่างของการทดสอบจะใช้น้ำนมโคมาทำการทดสอบ โดยการกำหนดให้แรงดันอินพุต 30 โวลต์ ความถี่ 20 kHz และ Duty Cycle 15% และ 25% เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ



ภาพที่ 4.53 แสดงผลการทดลองการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ $f = 20$ Hz, Duty 15%



ภาพที่ 4.54 แสดงผลการทดลองการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ $f = 20$ Hz, Duty 25%

เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบด้วยตัวอย่างน้ำนม โคลสดนั้นจะพบว่ามี ความแตกต่างอยู่ กับน้ำโคลงบางบัว

การทดลองโดยใช้น้ำนม โคลสด ที่ $f = 20$ Hz , Duty = 15%,20% ใช้เวลาในการทดลองที่ 5 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ จำนวนเชื้อจุลินทรีย์มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่ผ่านการ ฆ่าเชื้อแต่เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์มีจำนวนมากจึงไม่สามารถนับเชื้อจุลินทรีย์ได้ด้วยตาเปล่าได้

4.4 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการใช้พัลส์สนามไฟฟ้าแรงดันสูงมาทดลองการถนอมอาหารจะเห็นการ เปลี่ยนแปลงการเน่าเสียของอาหารช้าลงกว่าปกติ ค่าที่นำมาทดลองแล้วเห็นผลดีที่สุดจะอยู่ที่ความถี่ ประมาณ 20 kHz, duty Cycle 15% แรงดันกระตุ้นที่ประมาณ 50 VDC เมื่อระยะเวลาผ่านไปจะ เห็นความแตกต่างของอาหารที่ผ่านการทดลองกับที่ไม่ผ่านการทดลองเมื่อเก็บไว้ในที่เดียวกัน การทดสอบเป็นไปตามที่คาดไว้ ด้วยการทดลองกับแผ่น 3M Petri-film E.coli Count Plate ซึ่ง สามารถทดสอบจำนวนจุลินทรีย์ที่ผ่านขั้นตอนของการผ่านพลาสติกที่แรงดันสูงตามระยะเวลาที่ กำหนดไว้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

โครงการนี้เป็นเครื่องทดสอบการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้พัลส์สนามไฟฟ้าความเข้มสูงการทดลองยังไม่เป็นไปตามที่คาดไว้ เนื่องจากการทดลองจะใช้วงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์ในการขับเคลื่อนแต่ยังมีติดขัดในเรื่องวงจรขับเคลื่อนเกิดความเสียหายบางส่วนแต่ยังสามารถทำงานได้ดีในระดับหนึ่งในการต่อหม้อแปลงฟลายแบ็คสำเร็จรูปเข้ากับวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ซึ่งระหว่างการทดสอบหม้อแปลงเกิดความเสียหาย วิธีการแก้ไข เราได้ทำการออกแบบและพันหม้อแปลงฟลายแบ็คขึ้นมาใหม่ ในการพันแต่ละรอบของฟลายแบ็คหม้อแปลงฟลายแบ็คควรมีจำนวนรอบที่รอบที่เพื่อป้องกันการช็อตย้อนกลับทำให้หม้อแปลงเสียหาย แกนของหม้อแปลงฟลายแบ็คควรมีช่องว่างแกนเพื่อไม่ให้หม้อแปลงฟลายแบ็คอึดตัวและไม่สามารถเพิ่มแรงดันให้ตัวมันเองได้และในการทดสอบไฟแรงสูงควรมีการป้องกันอันตรายที่ดี

หม้อแปลงไฟฟ้าควรมีการออกแบบและคำนวณที่ดีกว่านี้เนื่องจากแรงดันเอาต์พุตและกระแสที่ขับออกยังไม่เสถียรภาพเท่าที่ควร

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำรวย สังสะอาด. วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [2] นาย วุฒิไกร วงษาศรี, นาย วุฒิเฉลิม นิละมนต์; การใช้พัลส์สนามไฟฟ้า เพื่อการฆ่าเชื้อในอาหารเหลวและน้ำผลไม้; ปรินูญยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า; มหาวิทยาลัยขอนแก่น , 2553
- [3] พิมพ์พร เสนออิน; แพรพรรณ ปิ่นไชย; อรพรรณ แซ่ไคว้; อาทิตย์ ยาวุทธิ และพานิช อินต๊ะ; การออกแบบห้องฆ่าเชื้อแบบใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์สำหรับกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์อาหารเหลว; วารสารวิจัยและพัฒนา; มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา; 2555
- [4] นิตติพงศ์ ปานกลาง และกฤษณชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์, “การออกแบบอิเล็กทรอนิกส์โทรดแชมเบอร์ขนาดเล็กสำหรับการพาสเจอร์ไรซ์พลังงานต่ำ” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7,3-5 พฤษภาคม 2554,ภูเก็ต, หน้า 1148-1156.
- [5] สัญญา คุณขาว ; ECTI CARD2014 การถนอมอาหารด้วยพัลส์สนามไฟฟ้าแรงดันสูง ; สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ; คณะวิศวกรรมศาสตร์ ; มหาวิทยาลัยศรีปทุม กรุงเทพฯ ; กลุ่มที่ 8: เทคโนโลยีชีวภาพ
- [6] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนานพนธ์ ; การเสื่อมเสียของน้ำมันและการตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ด้วยวิธีที่รวดเร็ว, www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2955/การเสื่อมเสียของนม
- [7] H. Hulsheger, J. Potel, and E.G. Niemann, "Killing of bacteria with electric pulses of high field strength," Radiat. Environ. Biophys, vol.20, pp. 53-65, 1981
- [8] B.E. Getchell, "Electric pasteurization of milk," Agricultural Engineering, vol.16, pp.408-410, 1935
- [9] V. Heinz, S. Toepfl, D. Knorr, “Impact of temperature on lethality and energy efficiency of apple juice pasteurization by pulsed electric fields treatment,” Innovative Food Science and Emerging Technologies, vol. 4, no. 2, pp. 167- 175, 2003.
- [10] S. Ho and G. S. Mittal, “High voltage pulsed electrical field for liquid food pasteurization,” Food Reviews International, vol. 16, no. 4, pp. 395-434, 2000.

- [11] A. J. Sale and W. A. Hamilton, "Effect of high electric fields on micro-organisms. I. Killing of bacteria and yeast. II. Mechanism of action of the lethal effect," *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects*, vol.148, no.3, pp. 781-800, 1967.
- [12] J. E. Dunn and J. S. Pearlman, "Methods and apparatus for extending the shelf life of fluid food products," US Patent 4, vol.695, no.472, 1987
- [13] Jayaram, Shesha H. "Sterilization of Liquid Foods by Pulsed Electric Fields," *Electrical Insulation Magazine*, vol. 6, pp. 17-25, 2000.
- [14] H. Hülshager, J. Potel, and E.G. Niemann, "Killing of bacteria with electric pulses of high field strength," *Radiat. Environ. Biophys*, vol.20, pp. 53–65, 1981.
- [15] H. Vega-Mercado, U.R. Pothakamury, F.J. Chang, G.V. Barbosacanvas, and B.G. Swanson, "Inactivation of *Escherichia coli* by combining pH, ionic strength and pulsed
- [16] Töpfl, Stefan. "Pulsed Electric Fields (PEF) for Permeabilization of Cell Membranes in Food- and Bioprocessing – Applications, Process and Equipment Design and Cost Analysis," Dr.-Ing. -genehmigte Dissertation.von der Fakultät III –Prozesswissenschaftender TechnischenUniversität Berlin zurErlangung des akademischen Grades, Berlin, 2006
- [17] http://solutions.productos3m.es/wps/portal/3M/es_ES/FoodSafetyEU/FoodSafety/ProductApplications/IndicatorsPetrifilm/PetrifilmPlates/