

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันศาสตร์ทางด้านสนามไฟฟ้าได้มีบทบาทเข้ามาเกี่ยวข้องกับการดำเนินชีวิตในแต่ละวันของมนุษย์เราเป็นอย่างมาก อาทิเช่น ทางด้านการแพทย์ ทางด้านพันธุวิศวกรรมและทางด้านการถนอมอาหาร พัลส์สนามไฟฟ้าเป็นส่วนหนึ่งของศาสตร์ทางด้านสนามไฟฟ้าที่เข้ามาบทบาทสำคัญทางด้านการแพทย์และการถนอมอาหาร โดยเฉพาะในประเทศไทย ศาสตร์ทางด้านนี้ถือว่าเป็นวิทยาการแขนงใหม่ ดังนั้นโครงการเรื่องนี้จึงได้ทำการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการนำพัลส์สนามไฟฟ้ามาใช้ในกระบวนการถนอมอาหาร โดยไม่ใช้ความร้อน สามารถกระทำได้ในอุณหภูมิห้องและยังทำได้รวดเร็วซึ่งจะทำให้สามารถคงความสดและคุณภาพของอาหารได้ดีกว่ากระบวนการถนอมอาหารที่ใช้ความร้อน โดยในขั้นต้นจะเน้นที่อาหารที่เป็นของเหลว ซึ่งจะเริ่มจากการศึกษาและสร้างวงจรกำเนิดพัลส์แรงดันสูงหลังจากนั้นทำการสร้างแบบจำลองของภาชนะทดสอบ ที่จะจ่ายพัลส์แรงดันสูงและให้อาหารผ่านเพื่อทำการถนอมอาหาร รวมไปถึงกระบวนการเก็บรักษาในเบื้องต้น ท้ายที่สุดจะมีการเก็บข้อมูลประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ศึกษาลักษณะและการทำงานของวงจรพัลส์แรงดันสูง

1.2.2 ศึกษากระบวนการในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าบูดของอาหาร

1.2.3 ออกแบบวงจรสร้างพัลส์แรงดันสูงที่สามารถปรับค่าความถี่และความกว้างของพัลส์ในเบื้องต้นได้

1.2.4 ศึกษาและออกแบบภาชนะทดสอบ เพื่อใช้ในกระบวนการถนอมอาหาร

1.2.5 วัดประสิทธิภาพของวงจร

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 สร้างวงจรกำเนิดพัลส์แรงดันสูงที่สามารถปรับความถี่และความกว้างของพัลส์ได้ภายในเครื่องประกอบด้วยวงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์ (PWM) โดยใช้ไอซีสำเร็จรูปเบอร์ KA 3525 เป็นตัวกำเนิดสัญญาณพัลส์

1.3.2 สร้างภาชนะทดสอบเพื่อใช้ในการถนอมอาหาร โดยอาหารจะผ่านภาชนะทดสอบที่ถูกจ่ายด้วยพัลส์แรงดันสูง

1.3.3 ศึกษาและเก็บข้อมูลประสิทธิภาพของวงจรภายใต้ภาชนะทดสอบ

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้เรียนรู้หลักการงานและการคำนวณของสนามไฟฟ้า

1.4.2 ได้เรียนรู้หลักการของวงจรสร้างพัลส์แรงดันสูง

1.4.3 รู้จักการสร้างวงจรพัลส์แรงดันสูงเพื่อทำการสร้างสนามไฟฟ้า

1.4.4 ได้เรียนรู้หลักการงานของภาชนะทดสอบตัวอย่าง

1.4.5 รู้จักการสร้างภาชนะทดสอบเพื่อใช้ในกระบวนการถนอมอาหาร

1.4.6 เรียนรู้จักการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้พัลส์สนามไฟฟ้า

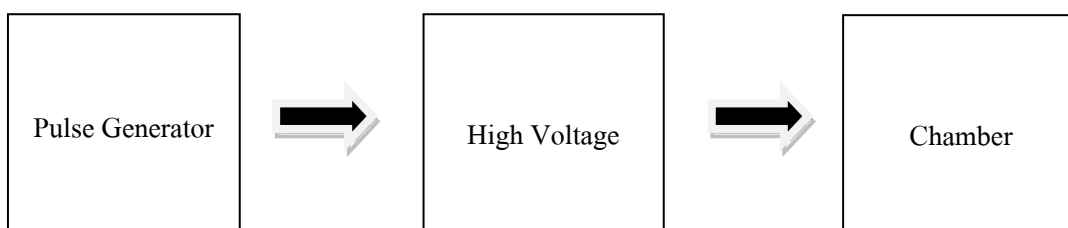
1.4.7 นำหลักการงานและผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์ใช้และพัฒนาต่อไป

1.5 ผลการวิจัยย้อนหลัง

จากการทดลองจะเห็นว่ากระบวนการพัลส์สนามไฟฟ้าสามารถฆ่าเชื้อเชื้อ E.coli ATCC 25922 ได้โดยการเปรียบเทียบในเรื่องของเวลาการฆ่าเชื้อ พบว่าทำความเข้มข้นไฟฟ้า 50 kV/cm และความถี่ 15 kHz ใช้เวลาในการฆ่า 5 นาที จะสามารถฆ่าเชื้อได้ประมาณ 98% และเมื่อเพิ่มเวลาในการฆ่าเชื้อเป็น 10 นาที จะสามารถฆ่าเชื้อได้ถึง 99% เราจึงสามารถสรุปได้ว่ากระบวนการสร้างพัลส์สนามไฟฟ้าสามารถฆ่าเชื้อได้จริงโดยปัจจัยของเวลาที่มีผลต่อการอยู่รอดของเชื้อ ถ้าเวลายังมากการฆ่าเชื้อจะมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งเราสามารถนำเอากระบวนการพัลส์สนามไฟฟ้านี้ไปพัฒนาให้ใช้ได้ในด้านอุตสาหกรรมอาหารได้

ที่มา โครงการงานวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

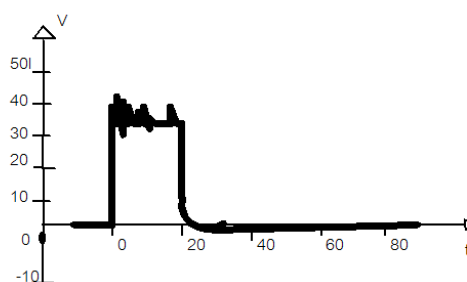
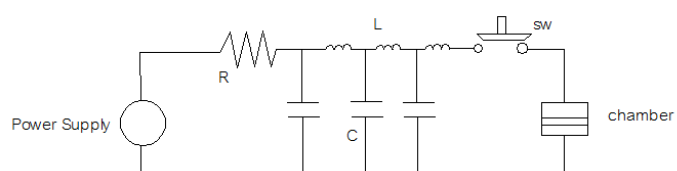
1.6 โครงสร้างของโครงการ



ภาพที่ 1.1 โครงสร้างของโครงการ

ชุด Pulse Generator

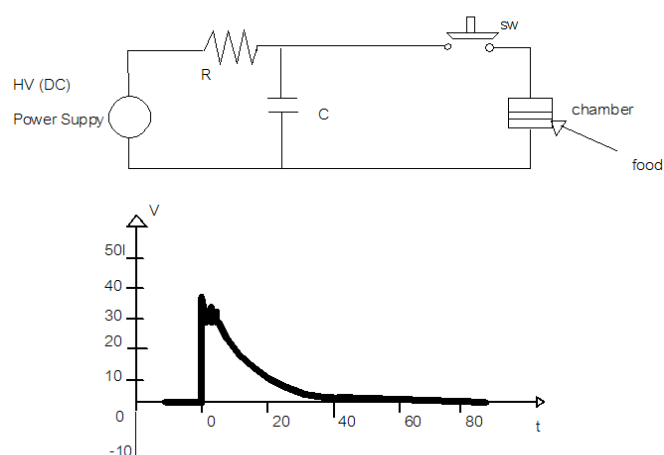
ชุด Pulse Generator เป็นชุดกำเนิดสัญญาณและความถี่โดยได้เลือกใช้อุปกรณ์ของไอซีเบอร์ KA 3525 เป็นตัวสร้างสัญญาณและความถี่เพื่อจ่ายให้กับชุด High Voltage



ภาพที่ 1.2 การกำเนิดคลื่นโดยตัวเก็บประจุ 3 ตัว เหนี่ยวนำและกำหนดแรงดันของรูปคลื่น

ชุด High Voltage

ชุด High Voltage เป็นชุดที่เปลี่ยนสัญญาณที่ได้มาจากชุดสร้างสัญญาณมาเปลี่ยนเป็นแรงดันเพื่อจ่ายให้ชุดขั้วอิเล็กโตรดของชุดภาชนะทดลอง



ภาพที่ 1.3 วงจรไฟฟ้าสำหรับการผลิตของคลื่น

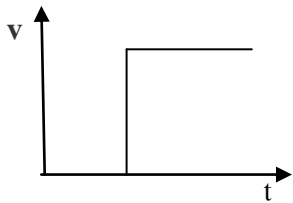
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

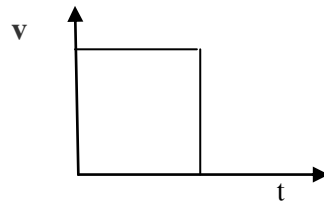
2.1 วงจรพัลส์และสวิตชิง [2]

ฟังก์ชันและรูปคลื่น หมายถึง ความสัมพันธ์ของ 2 ปริมาณที่เกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น ปริมาณของกระแสหรือแรงดันที่เปรียบเทียบกับเวลา

ฟังก์ชันขั้นบันได (Step Function)



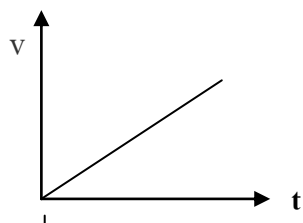
(ก) ฟังก์ชันขั้นบันไดขึ้น



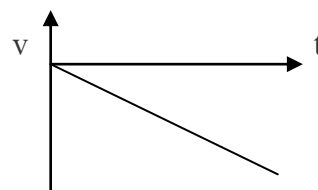
(ข) ฟังก์ชันขั้นบันไดลง

ภาพที่ 2.1 ฟังก์ชันขั้นบันได

ฟังก์ชันลาดเอียง (Ramp Function) เป็นฟังก์ชันเพิ่มหรือลด แบบเชิงเส้นเมื่อเทียบกับเวลา



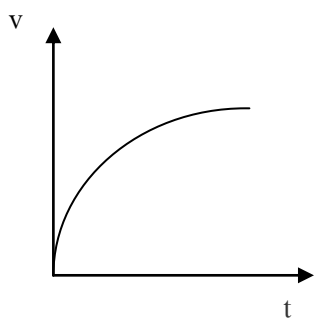
(ก) ฟังก์ชันลาดเอียงแบบบวก



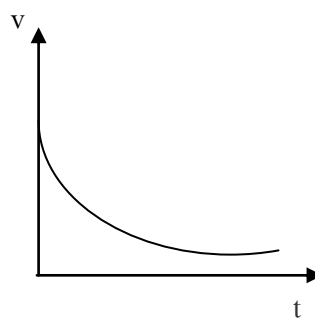
(ข) ฟังก์ชันลาดเอียงแบบลบ

ภาพที่ 2.2 ฟังก์ชันลาดเอียง

ฟังก์ชันเอ็กโปเนนเชียล (Exponential Function) เป็นฟังก์ชันเพิ่มหรือลดในฟังก์ชันของรูปเอ็กโปเนนเชียล



(ก) ฟังก์ชันเอ็กโปเนนเชียลแบบบวก

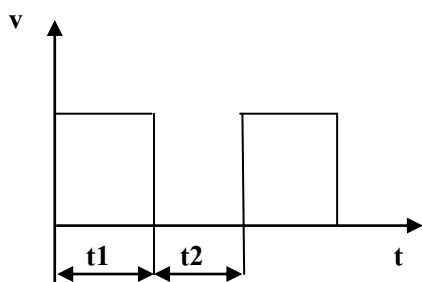


(ข) ฟังก์ชันเอ็กโปเนนเชียลแบบลบ

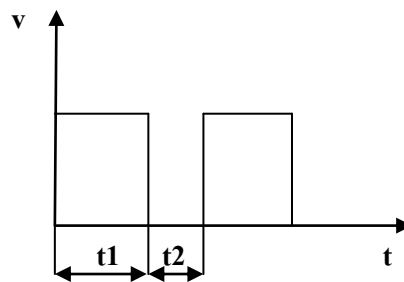
ภาพที่ 2.3 ฟังก์ชันเอ็กโปเนนเชียล

รูปฟังก์ชันต่างๆหากนำมารวมหรือต่อเนื่องกันจะได้รูปคลื่นทางไฟฟ้าดังนี้

1. รูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Rectangula Waveform) เกิดจากการรวมตัวของฟังก์ชันขั้นบันไดขึ้นและขั้นบันไดลง ถ้าช่วงเวลา t_1 และ t_2 เท่ากัน จะเรียกว่ารูปคลื่นสี่เหลี่ยมจตุรัส (Square Wave) แต่หาก t_1 ไม่เท่ากับ t_2 เรียกว่า (Pulse Wave)



(ก) รูปคลื่นสี่เหลี่ยมจตุรัส



(ข) รูปคลื่นพัลส์

ภาพที่ 2.4 รูปคลื่นสี่เหลี่ยม

ค่าเฉลี่ยของคลื่นสี่เหลี่ยม Square Wave $V_{av} = (V_p \cdot t_1)/T$

$$\text{ค่าประสิทธิผล } V_{rms} = \sqrt{\frac{t_1}{T}} \cdot V_p$$

V_{av} = แรงดันเฉลี่ยรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

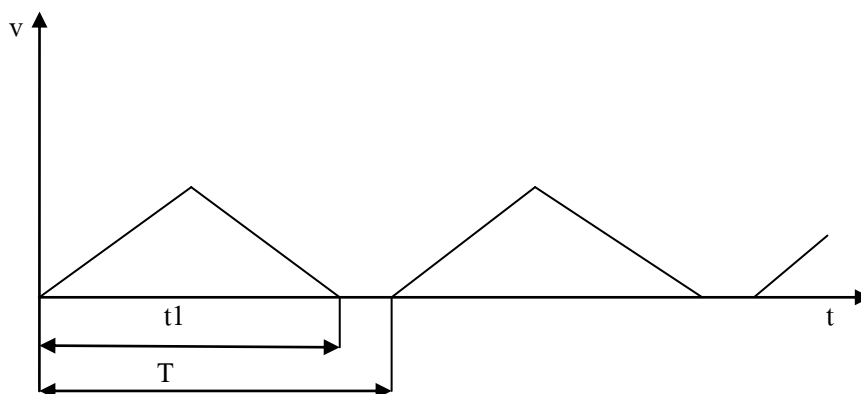
V_{rms} = แรงดันประสิทธิผล ($0.707 V_p$)

V_p = แรงดันไฟฟ้า (คิดเพียงยอดคลื่นเดียว)

t_1 = คาบเวลาที่ปรากฏรูปคลื่น

T = คาบเวลาของรูปคลื่น

2. รูปคลื่นสามเหลี่ยม (Triangula Waveform) เป็นรูปคลื่นที่เกิดจากการรวมตัวของฟังก์ชันลาดเอียงแบบบวกกับแบบลบ



ภาพที่ 2.5 รูปคลื่นสามเหลี่ยม

ค่าเฉลี่ยของคลื่นสามเหลี่ยม $V_{av} = (V_p \cdot t_1)/T$

$$\text{ค่าประสิทธิผล } V_{rms} = \sqrt{\frac{4t_1}{3T}} \cdot V_p$$

V_{av} = แรงดันเฉลี่ยรูปคลื่นสามเหลี่ยม

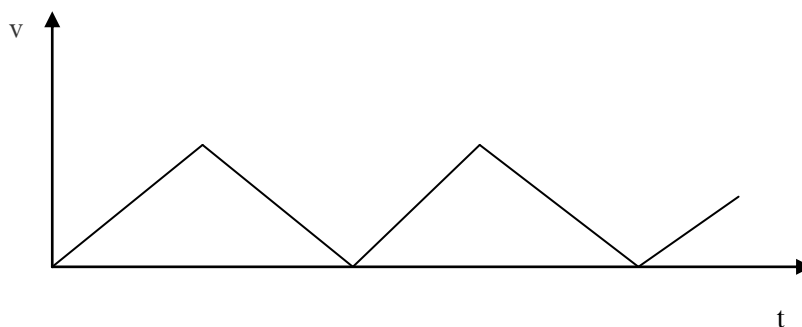
V_{rms} = แรงดันประสิทธิผล ($0.707 V_p$)

V_p = แรงดันไฟฟ้า (คิดเพียงยอดคลื่นเดียว)

t_1 = คาบเวลาที่ปรากฏรูปคลื่น

T = คาบเวลาของรูปคลื่น

3. รูปคลื่นฟันเลื่อย (Sawtooth Waveform) เป็นรูปคลื่นที่เกิดจากการรวมตัวของฟังก์ชันลาดเอียงกับฟังก์ชันขั้นบันได



ภาพที่ 2.6 รูปคลื่นฟันเลื่อย

ค่าเฉลี่ยของคลื่นฟันเลื่อย $V_{av} = V_p/2$

ค่าประสิทธิผล $V_{rms} = \sqrt{3} \cdot V_p$

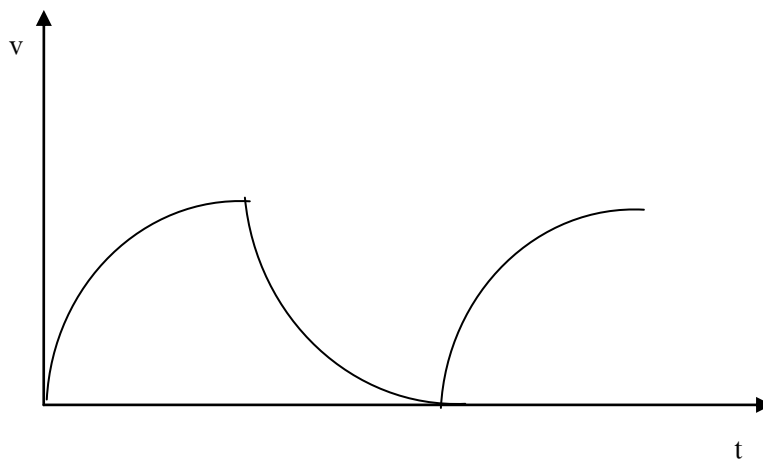
V_{av} = แรงดันเฉลี่ยรูปคลื่นฟันเลื่อย

V_{rms} = แรงดันประสิทธิผล ($0.707 V_p$)

V_p = แรงดันไฟฟ้า (คิดเพียงยอดคลื่นเดียว)

T = คาบเวลาของรูปคลื่น

4. รูปคลื่นเอ็กโปเนนเชียล (Exponential Waveform) เป็นรูปคลื่นที่เกิดจากการรวมตัวของฟังก์ชัน เอ็กโปเนนเชียลแบบบวกกับแบบลบ



ภาพที่ 2.7 รูปคลื่นเอ็กโปเนนเชียล

$$V_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T V_p * \delta^{t/T} \quad (2.1)$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (V_p \delta t)^2 dt} \quad (2.2)$$

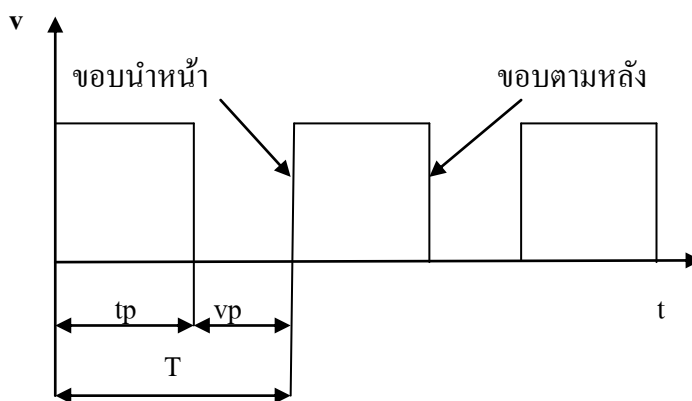
V_{av} = แรงดันเฉลี่ยรูปคลื่น โฟเนนเซียล

V_{rms} = แรงดันประสิทธิผล ($0.707 V_p$)

V_p = แรงดันไฟฟ้า (คิดเพียงยอดคลื่นเดียว)

T = คาบเวลาของรูปคลื่น

ลักษณะและคุณสมบัติของรูปคลื่นพัลส์



ภาพที่ 2.8 รูปคลื่นพัลส์ทางอุดมคติ

1. แอมพลิจูดของพัลส์ (Pulse Amplitude) หมายถึง ขนาดความสูงของรูปคลื่นเมื่อวัดเทียบกับกราวด์
2. ขอบนำหน้าพัลส์ (Leading Edge) หมายถึง ขอบแรกที่ปรากฏ
3. ขอบตามหลังพัลส์ (Trailing Edge) หมายถึง ขอบที่สองที่ปรากฏ
4. ความกว้างของพัลส์ (Pulse Width) หมายถึง ระยะเวลาตั้งแต่ขอบนำหน้าถึงขอบตามหลังของพัลส์ถูกเดียวกัน t_p หรือ p_w หน่วยเป็นวินาที
5. ช่วงไม่ปรากฏพัลส์ (Space Width) หมายถึง ช่วงเวลาที่ค่าของพัลส์เป็น ศูนย์ t_{sp} หรือ sw
6. ความถี่การซ้ำของพัลส์ (Pulse Repetition Frequency) หมายถึง จำนวนของพัลส์ที่ปรากฏในเวลาวินาที PRF หน่วยเป็นพัลส์/วินาที $PRF = 1/T$

7. คาบเวลาของพัลส์ (Time Period) หมายถึง ช่วงเวลาตั้งแต่ขอบหน้าของพัลส์ลูกหนึ่งถึงขอบหน้าพัลส์อีกลูกหนึ่ง T ของ

$$PRT = t_p + t_{tp} = T \quad (2.3)$$

8. ค่าเฉลี่ยของพัลส์ หมายถึง อัตราส่วนผลรวมของพื้นที่ของพัลส์/คาบเวลาของพัลส์

$$V_{av} = [(V_1 t_1) + (V_2 t_2)] / T \quad (2.4)$$

9. ดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างความกว้างของช่วงที่มีพัลส์/คาบเวลาของพัลส์

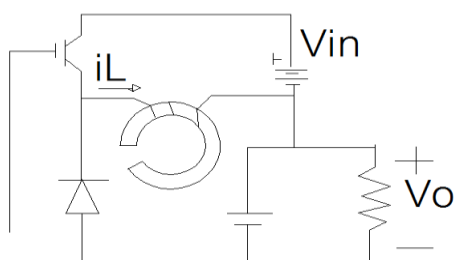
$$\text{Duty Cycle} = (t_p / T) * 100\% \quad (2.5)$$

2.2 แหล่งจ่ายกำลังสวิตชิง [2]

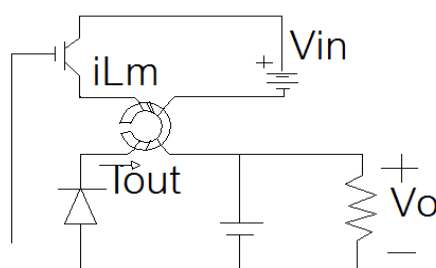
แหล่งจ่ายกำลังสวิตชิง หมายถึง แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่มีความถี่สวิตชิงสูงและมีการแยกจากกันทางไฟฟ้าโดยอาศัยหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง (High Frequency Transformer) ทั้งนี้สาเหตุที่มีการแยกจากกันทางไฟฟ้าเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งานโดยการแยกสายนิวทรัลของการไฟฟ้าออกจากขั้วอ้างอิงของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงด้านออก โดยพื้นฐานของแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงเกิดจากการดัดแปลงวงจรแปลงผันกระแสไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงพื้นฐาน ได้แก่ วงจรบู้ก วงจรบูสต์ และวงจรบู้กบูสต์ โดยมีการเพิ่มเติมหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง ซึ่งทำหน้าที่ในการแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างวงจรด้านเข้าและด้านออก สำหรับวงจรที่ทำการศึกษาเพื่อนำมาใช้งานได้แก่วงจรที่ดัดแปลงมาจากวงจรบู้ก-บูสต์ ได้แก่วงจรฟลายแบ็คซึ่งแบ่งออกเป็น โหมดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า (ตัวเหนี่ยวนำ) ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องตามลำดับ

2.3 วงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์ [3]

วงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์จัดอยู่ในประเภทการป้อนแรงดันไฟฟ้า (Voltage Fed) โดยภาพโครงสร้างวงจรสมมูลของวงจรบู้ก-บู้สท์คอนเวอร์เตอร์แสดงเปรียบเทียบกับวงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์ได้ดังภาพ



(ก) วงจรบู้ก-บู้สท์คอนเวอร์เตอร์



(ข) วงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์

ภาพที่ 2.9 โครงสร้างวงจรบู้ก-บู้สท์คอนเวอร์เตอร์และวงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์

โดยกำหนดเงื่อนไขเพื่อให้สะดวกในการวิเคราะห์การทำงานของวงจรดังนี้

1. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังทั้งหมด เช่น สวิตช์และไดโอดถือว่าเป็นอุดมคติ
2. วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าจะถือว่าเป็นอุดมคติไม่มีตัวเหนี่ยวนำ (Leakage Inductance) แต่จะมีค่าตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กขนานอยู่กับขดลวดด้านปฐมภูมิเท่านั้น

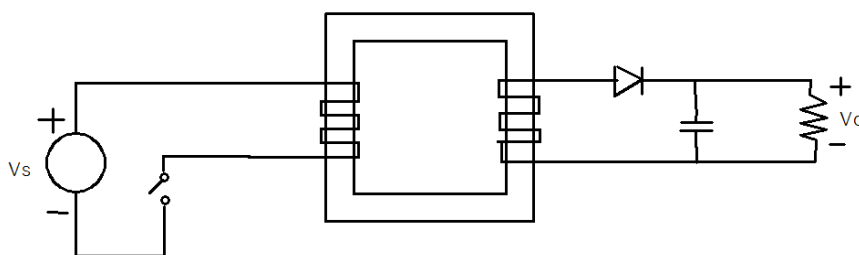
3. ตัวเก็บประจุด้านออกจะมีขนาดใหญ่มากจนถือว่าแรงดันด้านออกของวงจรมีค่าคงที่
4. พิจารณาวงจรขณะทำงานในสภาวะคงตัวเท่านั้น ซึ่งหมายถึง แรงดันและกระแสเป็นสัญญาณรายคาบ
5. ค่าดีวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) ของสวิตช์ D จะมีช่วงเวลาขณะนำกระแสเท่ากับ DT และมีช่วงเวลาขณะไม่นำกระแสเท่ากับ $(1-D)T$

หลักการทำงานของวงจรฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์ คือ ตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก (L_m) จะสะสมพลังงานขณะสวิตช์นำกระแส และจะคายพลังงานไปยังโหลดขณะสวิตช์ไม่กระแส โดยการทำงานของวงจรสามารถวิเคราะห์ได้จากการทำงานของสวิตช์ซึ่งมี 2 ลักษณะได้แก่

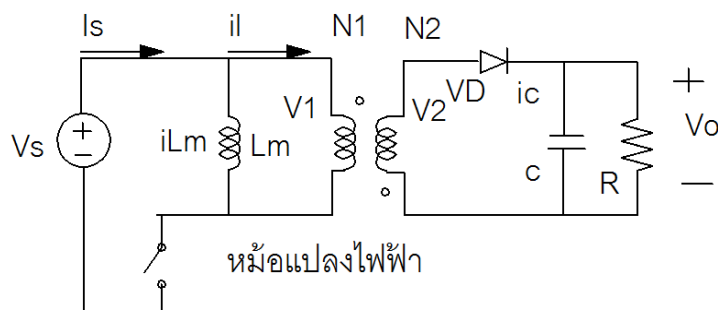
1. กรณีโหมกระแสต่อเนื่อง

โหมกระแสต่อเนื่องจะหมายถึง กระแสไฟฟ้าที่ตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กมีความต่อเนื่อง

1.1 การวิเคราะห์ที่กรณีสวิตช์นำกระแส

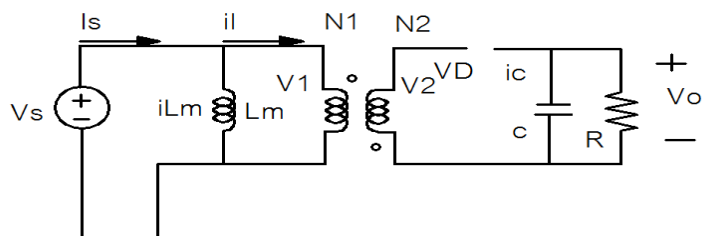


(ก) วงจรฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์



(ข) วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าในวงจรฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์

พิจารณาด้านเข้าของหม้อแปลงไฟฟ้า ดังแสดงในภาพ (ค)

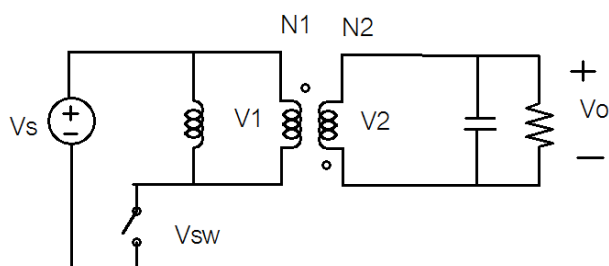


(ค) วงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์ขณะนำกระแส

ภาพที่ 2.10 วงจรฟลายแบ็คกรณีสวิตช์นำกระแส

พิจารณาด้านพฤติกรรมของหม้อแปลงไฟฟ้า เนื่องจากไดโอดไม่นำกระแสเป็นผลทำให้กระแสไฟฟ้านด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้ามักมีค่าเป็นศูนย์ ในขณะที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง สวิตช์กำลังนำกระแสเป็นผลให้เกิดกระแสทำแม่เหล็กสะสมพลังงานมีตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กเท่านั้น ซึ่งในทางอุดมคติคือ ว่ากระแสทำแม่เหล็กมีค่าน้อยมากจนถือได้ว่าซึ่งหมายถึงกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงก็จะมีค่าเป็นศูนย์เช่นกัน อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงจะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่กระแสไฟฟ้านด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้ามักมีค่าเท่ากับศูนย์

1.2 การวิเคราะห์กรณีสวิตช์ไม่นำกระแส



ภาพที่ 2.11 วงจรฟลายแบ็คกรณีสวิตช์ไม่นำกระแส

เมื่อสวิตช์เปลี่ยนสถานะจากนำกระแสมาเป็นไม่นำกระแส กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กไม่สามารถเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดได้เป็นผลให้ยังคงมีกระแสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงอยู่โดยกระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าที่จุดไม่มีขั้วด้านปฐมภูมิ และกระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิจะไหลออกจากจุดไม่มีขั้วและแรงดันไฟฟ้าจะเป็นบวก ณ จุดที่ไม่มีขั้วเช่นกันจึงทำให้ไดโอดได้รับไบอัสตรงและนำกระแส แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านออกจะทำให้เกิดแรงดันย้อนกลับที่เกิดจากตัวเหนี่ยวนำด้านขดลวดปฐมภูมิมียค่าเท่ากับ

$$V_1 = V_o \frac{N_1}{N_2} \quad (2.6)$$

การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าจะเท่ากับ

$$\Delta i_{Lm} = \frac{-V_o(1-D)T}{L_m} \cdot \frac{N_1}{N_2} \quad (2.7)$$

เนื่องจากค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะต้องมีค่าเท่ากับศูนย์ จะได้สมการ

$$(\Delta i_{Lm})_{\text{closed}} + (\Delta i_{Lm})_{\text{opened}} = 0 \quad (2.8)$$

$$\frac{V_s D T}{L_m} - \frac{V_o(1-D)T}{L_m} \cdot \frac{N_1}{N_2} \quad (2.9)$$

จะได้ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านออกเท่ากับ

$$V_o = V_s \cdot \frac{D}{1-D} \cdot \frac{N_2}{N_1} \quad (2.10)$$

จากสมการจะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า และด้านออกจะคล้ายกับกรณีสวิตช์-บูสต์ แตกต่างกันเพียงในวงจรฟลายแบ็กมีการเพิ่มอัตราส่วนของวงจรไฟฟ้า (Transformer Ratio)

พิจารณาจากสมการจะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสวิตช์หรือแรงดัน (Voltage Stress) จะมีค่าสูงกว่าแรงดันจากแหล่งจ่ายเท่ากับ $V_o (N_1 / N_2)$ สำหรับรูปคลื่นสัญญาณและแรงดันไฟฟ้าแสดงได้ดังภาพ ในอุดมคติกำลังไฟฟ้าที่ไหลในตัวต้านทานจะต้องมีค่าเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนจากแหล่งจ่าย

$$P_s = P_0 \quad (2.11)$$

$$V_s I = \frac{V_0^2}{R}$$

ค่าความเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก (I_{Lm}) ค่าสุดที่ทำให้กระแสไฟฟ้ายังคงไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่องจะเท่ากับ

$$I_{Lm} = \frac{(1-D)^2 R}{2f_s} \cdot \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \quad (2.12)$$

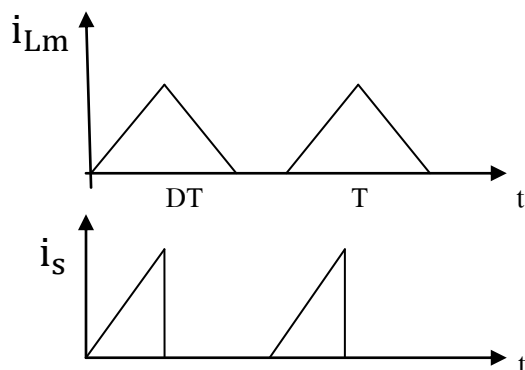
เนื่องจากโครงสร้างทางด้านออกของฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์ จะเหมือนกับวงจรบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์ ดังนั้นค่าระลอกคลื่นด้านออกของวงจรทั้งสองจะมีค่าเท่ากัน ซึ่งเท่ากับ

$$\frac{\Delta V_0}{V_0} = \frac{D}{R \cdot C \cdot f_s} \quad (2.13)$$

1. กรณีโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง

ความหมายของโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องจะหมายถึง กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กไม่ต่อเนื่อง คือ มีบางช่วงเวลาที่กระแสเป็นศูนย์

สำหรับวงจรฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์โหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านจะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้นเมื่อสวิตช์นำกระแสซึ่งจะเหมือนกับโหมดต่อเนื่อง แต่กระแสที่ไหลผ่านจะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งเป็นศูนย์เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส แสดงได้ดังภาพ



ภาพที่ 2.12 ลักษณะกระแสไฟฟ้าไม่ต่อเนื่องของวงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์

สมการที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขณะสวิตช์นำกระแสจะมีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งจะเหมือนกับสมการหรือเท่ากับ

$$I_{Lm,Max} = \frac{V_s \cdot D \cdot T}{L_m} \quad (2.14)$$

ค่าแรงดันไฟฟ้าด้านออกสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าในวงจร โดยถ้ากำหนดให้อุปกรณ์ทั้งหมดเป็นอุดมคติจะได้ว่า ค่ากำลังด้านเข้าจะเท่ากับค่ากำลังไฟฟ้าด้านออกดังนั้นจะได้

$$P_s = P_o \quad (2.15)$$

$$V_s \cdot I_s = \frac{V_o^2}{R} \quad (2.16)$$

ค่ากระแสไฟฟ้าด้านเข้าเฉลี่ย หมายถึง พื้นที่ของรูปคลื่นสามเหลี่ยมหารด้วยคาบเวลาสวิตช์ซึ่งจะได้

$$I_s = \frac{1}{2} \left(\frac{V_s D T}{L_m} \right) D T \left(\frac{1}{T} \right) = \frac{V_s D^2 T}{2 L_m} \quad (2.17)$$

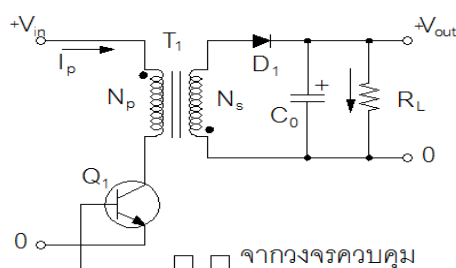
แทนในสมการจะได้

$$\frac{V_s \cdot D^2 T}{2 L_m} = \frac{V_o^2}{R} \quad (2.18)$$

เมื่อแก้สมการจะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าด้านออกเท่ากับ

$$V_0 = V_s \cdot D \cdot \sqrt{\frac{RT}{2L_m}} = V_s \cdot D \cdot \sqrt{\frac{R}{2L_m f_s}} \quad (2.19)$$

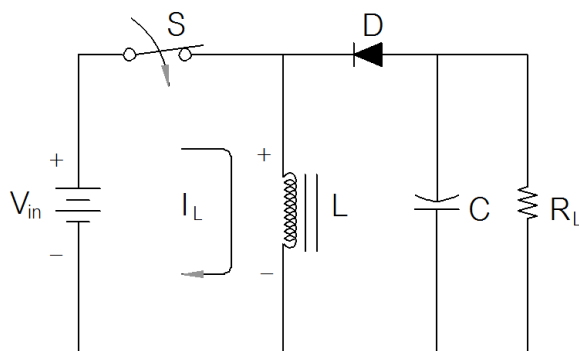
2.4 สรุปการทำงานของวงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์ [3]



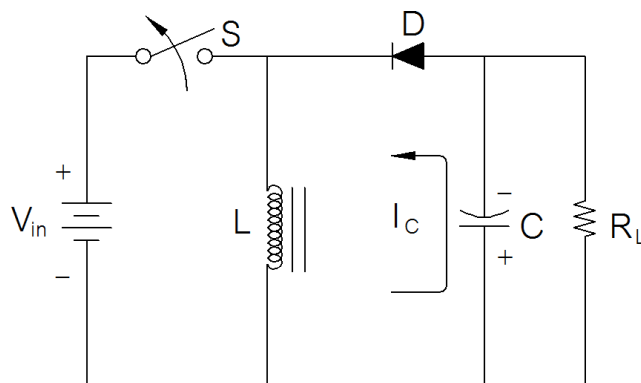
ภาพที่ 2.13 ฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter)

จากภาพที่ 2.13 เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 ในฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์จะทำงานในลักษณะเป็นสวิตช์ และจะนำกระแสตามคำสั่งพัลส์สี่เหลี่ยมที่ป้อนให้กับขาเบส เนื่องจากหม้อแปลง T_1 จะกำหนดขดไฟโพรมารีและเซคันดารีให้มีลักษณะกลับเฟสกันอยู่ ดังนั้นเมื่อ Q_1 นำกระแสไดโอด D_1 จึงอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับและไม่นำกระแสจึงมีการสะสมพลังงานที่ขดไฟโพรมารีของหม้อแปลง T_1 แทนเมื่อ Q_1 หยุดนำกระแส สนามแม่เหล็ก T_1 ยุบตัวทำให้เกิดการกลับขั้ว ไฟโพรมารีและเซคันดารี D_1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรง พลังงานที่ถูกสะสมในขดไฟโพรมารีของหม้อแปลงจะถูกถ่ายทอดออกไปยังขดเซคันดารี และมีกระแสไหลผ่านไดโอด D_1 ไปยังตัวเก็บประจุเอาต์พุต C_0 และโหลดได้ค่าของแรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์จะขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของการทำงาน Q_1 ช่วงเวลานำกระแสของ Q_1 อัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงและค่าแรงดันอินพุต

ฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ให้กำลังได้ไม่สูงนัก โดยอยู่ในช่วงไม่เกิน 150 วัตต์ และให้ค่าสัญญาณรบกวน RFI/EMI ข้อนข้างสูงแต่ใช้อุปกรณ์จำนวนน้อยและมีราคาถูก พื้นฐานการทำงานของฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์



(ก) เมื่อสวิตช์ปิดวงจร



(ข) เมื่อสวิตช์เปิดวงจร

ภาพที่ 2.14 แสดงวงจร Fryback Converter หรือ Buck Boost Converter

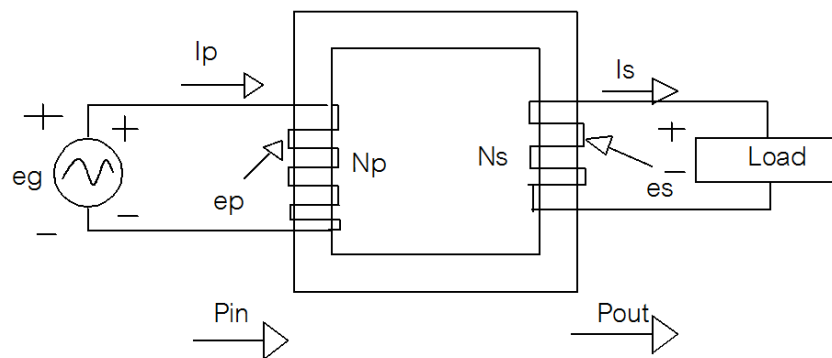
ภาพที่ 2.14 แสดงวงจร Fryback Converter ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อสวิตช์ S ปิดวงจร (ภาพที่ 2.14 ก) กระแสจะไหลผ่านขดลวด L เพื่อสะสมพลังงานในขณะที่ไดโอด D ได้รับการไบแอสกลับจึงทำให้ไม่มีแรงดันตกคร่อมที่ R_L จนกระทั่งเมื่อสวิตช์ S เปิดวงจร (ภาพที่ 2.14 ข) ที่ขดลวด L เกิดการยุบตัวของสนามแม่เหล็กรอบขดลวดจ่ายพลังงานที่ถูกสะสมไว้ให้กับไดโอด D ซึ่งไดโอด D ได้รับการไบแอสตรงเกิดกระแสไหลมีทิศทางดังภาพและเป็นผลทำให้มีแรงดันตกคร่อมที่ R_L ในลักษณะที่มีขั้วตรงกันข้ามกับขั้วแรงดันอินพุท จากการทำงานของวงจร จะเห็นได้ว่าเกิดกระแสเหนี่ยวนำทั้งที่ด้านอินพุทและด้านเอาต์พุทซึ่งถ้าสวิตช์ S ปิด-เปิดวงจรอย่างต่อเนื่องก็จะทำให้กระแสทั้งสองนี้มีลักษณะเป็นพัลส์ (Pulsating) สังเกตได้ว่าขดลวดจะเก็บสะสมพลังงานใน

ช่วงเวลาที่สวิตช์ S เปิดวงจรนั่นเอง ฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์เป็นวงจรลักษณะบัสต์คอนเวอร์ชันชนิดหนึ่งทำหน้าที่เพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จากวงจรเรกติไฟเออร์ให้มีระดับแรงดันสูงขึ้น โดยใช้หลักการเก็บสะสมพลังงานในตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้าขณะสวิตช์นำกระแส (DT) และจะคายพลังงานไปยังโหลดขณะสวิตช์ไม่นำกระแส (1-D)T ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้วงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์แบบมีการแยกกันทางไฟฟ้า คือใช้หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงทำหน้าที่เหมือนตัวเหนี่ยวนำและยังแยกการเชื่อมโยงกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของวงจร ย้อนกลับไปพิจารณาภาพที่ 2.14 เป็นวงจร Fryback Converter ซึ่งไม่มีการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต จะพบว่ามีการแยกกันทางไฟฟ้ากันระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตโดยใช้หม้อแปลงและยังมีการแสดงรูปคลื่นที่สำคัญต่างๆซึ่งมีการทำงานดังนี้คือ เมื่อ Q_1 ปิดวงจร จะเกิดกระแสไหลในขดลวดปฐมภูมิสะสมพลังงานและไดโอด D ถูกไบแอสกลับ เนื่องจากการจัดเรียงขั้วระหว่างขดลวดหม้อแปลง/โช้ค (Transformer/Chock) ด้านอินพุตและเอาต์พุตตรงข้ามกัน เมื่อทรานซิสเตอร์ Q_1 เปิดวงจร ขั้วของขดลวดทั้งสองจะกลับขั้วเนื่องจากการยุบตัวของสนามแม่เหล็ก ไดโอด D นำกระแสตัวเก็บประจุ C จะเก็บประจุและจ่ายกระแสไปยังโหลด จากวงจรสังเกตพบว่า นอกจากจะใช้หม้อแปลงเป็นตัวแยกระบบทางไฟฟ้าแล้วยังทำหน้าที่ เป็นโช้ค (Choke) อีกด้วย ดังนั้นภาคเอาต์พุตของ Fryback Converter จึงไม่จำเป็นต้องมีขดลวดอีก ในทางปฏิบัติบางครั้งอาจจำเป็นต้องมีตัวเหนี่ยวนำค่าต่ำๆต่อระหว่างชุดเรียงกระแสกับตัวเก็บประจุเอาต์พุตเพื่อลดสัญญาณรบกวนในการสวิตช์ซึ่งที่ความถี่สูงๆ

หม้อแปลงไฟฟ้าทำหน้าที่เหนี่ยวนำสัญญาณพัลส์สร้างไฟแรงดันสูง หลักการของการสร้างไฟฟ้าแรงดันสูงเป็นการนำสัญญาณพัลส์ความถี่สูงส่งเข้าที่อินพุตของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเพิ่มแรงดัน จะเหนี่ยวนำแรงดันของสัญญาณพัลส์ให้มีแรงดันสูงขึ้นเป็นหมื่นโวลต์ ส่งผ่านไดโอดทนต่อแรงดันสูงแปลงแรงดันไฟสลับให้เป็นแรงดันไฟตรงที่มีแรงดันสูง โดยไดโอดทนแรงดันสูงที่ต่ออยู่ในหม้อแปลงฟลายแบ็คจะหันด้านแอนโอดเข้าหาไฟสลับแรงดันสูงซึ่งเหนี่ยวนำมาโดยยอมให้แรงดันสูงด้านซีกบวกรวนไปได้ ดังนั้นจะมีแรงดันไฟฟ้าระดับหมื่นโวลต์ซึ่งขึ้นอยู่กับพิกัดของหม้อแปลงแต่ละตัว และจากคุณสมบัติของหม้อแปลงฟลายแบ็ค จึงได้แรงดันไฟฟ้าสูงไปประยุกต์ใช้กับแท่งอิเล็กทรอนิกส์ทรูดเพื่อใช้ในการถนอมอาหาร

2.5 ทฤษฎีหม้อแปลงพื้นฐาน [1]

พื้นฐานของหม้อแปลงไฟฟ้าจะประกอบไปด้วย ขดลวดทองแดงสองขดพันรอบแกนแม่เหล็ก โดยขดลวดทองแดงด้านที่รับพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายพลังงานจะเรียกว่า ขดปฐมภูมิ ขณะที่ขดลวดทองแดงที่ต่ออยู่กับด้านโหลดเรียกว่า ขดทุติยภูมิ นอกจากนั้นการถ่ายเทพลังงานไฟฟ้าจากด้านแหล่งจ่ายไปยังโหลด จะอาศัยสนามแม่เหล็กเป็นตัวกลางในการถ่ายเทพลังงานไฟฟ้าดังกล่าว



ภาพที่ 2.15 หม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้วยขดปฐมภูมิและทุติยภูมิ

โดยทั่วไปแล้วหม้อแปลงจะมีแรงดันเอาต์พุตสูงหรือต่ำ เกิดจากสัดส่วนการพันโดยกำหนดให้

$$\frac{N_P}{N_S} = \frac{V_P}{V_S} = \frac{I_S}{I_P} \quad (2.20)$$

ดังนั้นหม้อแปลงก็จะสามารถทำงานเป็น Step Up หรือ Step Down ได้โดยสามารถทำให้แรงดันที่ขดทุติยภูมินั้นสูงกว่าขดปฐมภูมิ และถ้าเพิ่มขดลวดที่ทุติยภูมิอีกหลายๆ ขดเราก็จะได้แรงดันเอาต์พุตอีกหลายระดับ ตามสัดส่วนการพันเช่นกัน ประโยชน์ที่สำคัญอีกข้อหนึ่งโดยใช้ลักษณะสมบัติของหม้อแปลง ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว นั่นคือการแยกกันทางไฟฟ้า (Electronic Isolation) ที่เกิดขึ้นระหว่างขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิจากความสัมพันธ์พื้นฐานของหม้อแปลง

$$e = NA_e \left(\frac{dB}{dt} \right) 10^{-8} \quad (2.21)$$

เราสามารถคำนวณหาความหนาแน่นฟลักซ์ B ที่แน่นอนได้โดยกำหนดการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าให้อยู่ในส่วนที่เป็นเชิงเส้นของกราฟ ดังสมการ

$$B_{\max} = \frac{(V_p) \times 10^8}{KfN_pA_e} \quad (2.22)$$

เมื่อ V_p = แรงดันที่ขดลวดปฐมภูมิ, V
 N_p = จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ
 f = ความถี่, Hz
 A_e = พื้นที่ของแกน, cm^2
 K = 4.44 สำหรับภาคคลื่นไซน์และ 4.0 สำหรับภาคคลื่นสี่เหลี่ยม
 B_{\max} = ความหนาแน่นฟลักซ์สูงสุด, G

ปกติแล้วผู้ออกแบบหม้อแปลงมักจะกำหนด B_{\max} ด้วยตนเอง ดังนั้นภายในบริเวณเชิงเส้นตรงของกราฟ $B-H$ จุดที่เหมาะสมที่สุดก็คือ B_{\max} จากสมการที่ (2.23) จะได้จำนวนรอบของขดปฐมภูมิ ดังนี้

$$N_p = \frac{(V_p) \times 10^8}{4fB_{\max}A_e} \quad (2.23)$$

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

$$P_{\text{out}} = (1.16B_{\max}fdA_eA_c)10^{-9} \quad (2.24)$$

เมื่อ P_{out} = Power Handling of core, W
 B_{\max} = ความหนาแน่นฟลักซ์สูงสุด, G
 f = ความถี่, Hz

$$d = \text{ความหนาแน่นกระแสของเส้นลวด , A/m}^2$$

$$A_e = \text{พื้นที่ของแกน , cm}^2$$

$$A_c = \text{พื้นที่การพันของบอบบิ้น , cm}^2$$

ผู้ผลิตบางรายใช้สัญลักษณ์ W_a สำหรับพื้นที่หน้าตัดของบอบบิ้น แทนสัญลักษณ์ A_c โดยปกติแล้ว ความหนาแน่นกระแสมีหน่วยใน Circular Mils Per Ampere ใช้สัญลักษณ์เป็น D โดยเขียนเป็นความสัมพันธ์กับ D ได้ดังนี้

$$N_p = \frac{1.27 \times 10^6}{D} \quad (2.25)$$

แทนสมการที่ 2.25 ลงในสมการที่ 2.24 จะได้

$$P_{out} = \frac{(0.68A_e A_c D) 10^3}{fB_{max}} \quad (2.26)$$

สมการที่ 2.26 เป็นสมการที่ใช้กันมากในการคำนวณ และเลือกขนาดของแกนหม้อแปลง

$$A_e A_c = \frac{(0.68P_{out} D) 10^3}{fB_{max}} \quad (2.27)$$

หากระแสด้านปฐมภูมิ I_{pp}

$$I_{pp} = \frac{2P_{out}}{\eta V_{in} \delta_{max}} \quad (2.28)$$

หาขนาดของเส้นลวด

$$\begin{aligned} \text{ขนาดเส้นลวด} &= \text{ความหนาแน่นกระแส} \times \text{กระแส} \\ &= D \times I \text{ (cm/A)} \end{aligned} \quad (2.29)$$

ความหนาแน่นกระแส D จะถูกกำหนด โดยผู้ผลิตเส้นลวดที่ความหนาแน่นกระแส 1,000 Circular Mil Per Ampere (cm/A) ในทางปฏิบัติจะใช้ความหนาแน่นกระแสต่ำ ค่าที่ได้คือ 200 cm/A เพื่อความปลอดภัย

2.6 การเลือกลักษณะแกนและวัสดุ

ถึงแม้จะมีวัสดุเหล็กมากมาย ที่จะสามารถนำมาใช้ออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงได้นั้น วัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็นแกนหม้อแปลงมากที่สุดก็คือ วัสดุเฟอร์ไรต์ เนื่องจากวัสดุเฟอร์ไรต์ มีความหนาแน่นฟลักซ์ไม่สูงไปและวัสดุเฟอร์ไรต์ส่วนมากจะมี B_{sat} อยู่ในย่าน 3,000 – 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 เป็นการออกแบบรวมกันระหว่าง แกน E-E และแกนพอท โดยคำนึงถึงประโยชน์ร่วมกัน

ผู้ผลิตนั้นๆ จะต้องแจกแจงรายละเอียด ของพารามิเตอร์ที่สำคัญๆ ในการออกแบบวัสดุเฟอร์ไรต์หม้อแปลงและแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเส้นลวด AWG (American Wire Gauge) และความหนาแน่นกระแส

แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Cores)

กรรมวิธีการผลิตเฟอร์ไรต์จะมีความแตกต่างจากสารแม่เหล็กอื่นๆ เพราะวัตถุดิบที่ใช้ (Rawmaterials) จะมาจากออกไซด์ของโลหะชนิดต่างๆ (Oxides of Various Metals) เช่น เหล็ก (Iron) แมงกานีส (Manganese) สังกะสี (Zinc) ซึ่งโดยทั่วไป ออกไซด์จะทำหน้าที่เป็นฉนวน เป็นผลทำให้เฟอร์ไรต์มีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูง ทำให้เหมาะกับงานที่ใช้กับกำลังย่านเมกะเฮิรตซ์ และด้วยกรรมวิธีการผลิตโดยการเผาส่วนผสมจากออกไซด์ของเหล็ก (Iron oxide) รวมกับออกไซด์หรือคาร์บอนของแมงกานีสและสังกะสี หรืออาจจะรวมกับออกไซด์หรือคาร์บอนของนิเกิลและสังกะสี เป็นต้น ทำให้แกนเฟอร์ไรต์มีลักษณะเป็นสารเซรามิค (Ceramic Material) โดยที่ MnZn Ferrite จะใช้กับงานที่มีความถี่ใช้งานสูงถึง 1-2 MHz ซึ่งหมายรวมถึง Power Ferrite Materials ที่นิยมใช้ในแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิง ในขณะที่ NiZn Ferrite ซึ่งมีความซาบซึมได้ต่ำและมีความต้านทานไฟฟ้าสูงทำให้มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนต่ำ ซึ่งนิยมใช้ตั้งแต่ความถี่ 1 MHz

จนกระทั่งถึงหลายร้อยเมกะเฮิรตซ์โดยทั่วไปค่าความซาบซึมได้สัมพัทธ์ของเฟอร์ไรต์ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1,500 - 3,000 นอกจากนั้นแกนเฟอร์ไรต์ยังสามารถประยุกต์ใช้งานเป็นได้ทั้งตัวเหนี่ยวนำและหม้อแปลงไฟฟ้า เหตุผลที่แกนเฟอร์ไรต์เป็นที่นิยมใช้งานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังก็เพราะว่ามีราคาถูกกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนจะมีค่าต่ำกว่าแกนที่ทำจากสารเหล็กชนิดอื่นๆ

อย่างไรก็ตามข้อเสียหลักของแกนเฟอร์ไรต์คือการเป็นเซรามิก นั่นก็หมายถึงโครงสร้างของแกนเฟอร์ไรต์จะเปราะและแตกหักง่าย และความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กอ้อมตัวมีค่าต่ำกว่าแกนแม่เหล็กชนิดอื่นๆ



ภาพที่ 2.16 แกนแม่เหล็กแบบเฟอร์ไรต์

2.7 การเกิดสนามไฟฟ้า

2.7.1 โคร로나 (Corona) เป็นการปล่อยประจุไฟฟ้าเกิดจากการแตกตัว (Ionization) ของอากาศหรือของไหลที่ไหลผ่านวัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าซึ่งมีพลังงานไฟฟ้าอยู่ การปล่อยประจุแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อเกิดความแรงของสนามไฟฟ้ารอบๆ ตัวนำไฟฟ้าสูงพอที่จะสร้างย่านความนำไฟฟ้าโดยรอบ แต่ไม่แรงพอที่จะทำให้เกิดการพังทลาย (Break Down) หรือเกิดประกายไฟ (Arcing) กับวัตถุใกล้เคียง ปรากฏการณ์โครอนามักจะพบเป็นแสงสีน้ำเงินอ่อน (Bluish) เรืองแสงอยู่ในอากาศที่อยู่โดยรอบวัสดุตัวนำไฟฟ้าแรงสูง โดยธรรมชาติการคายประจุแบบโครอนาไม่เป็นที่พึงปรารถนา ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียกำลังในไฟฟ้าแรงสูงหรือได้สารประกอบที่ไม่พึงประสงค์

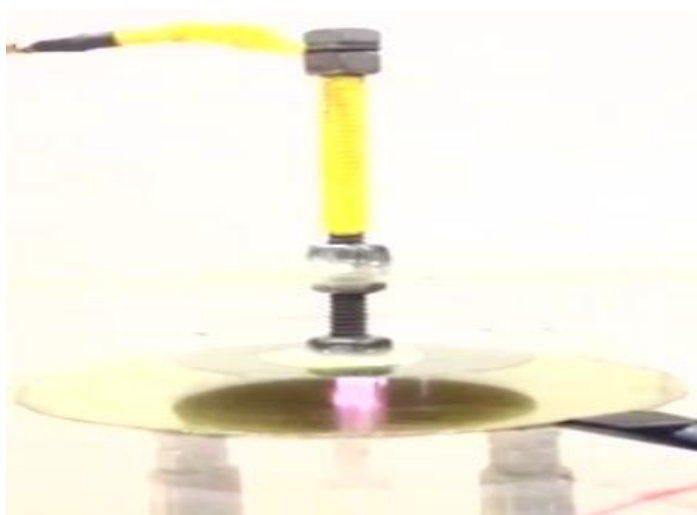
หรือเป็นอันตรายในกิจกรรมทางเคมี เช่นกลายเป็น โอโซน มีการควบคุมการปล่อยประจุแบบ โคโรน่าทั้งในการกรองสัญญาณการพิมพ์และกระบวนการอื่นๆ



ภาพที่ 2.17 ภาพการเกิดโคโรน่า (Corona)

2.7.2 พลาสมา (Plasma) คือ แก๊สที่มีสภาพเป็นไอออน และมักจะถือเป็นสถานะหนึ่งของ สสาร การมีสภาพเป็นไอออนดังกล่าวนี้ หมายความว่า จะมีอิเล็กตรอนอย่างน้อย 1 ตัว ถูกดึงออก จากโมเลกุล ประจุไฟฟ้าอิสระทำให้พลาสมามีสภาพการนำไฟฟ้าเกิดขึ้น พลาสมามีลักษณะ เฉพาะที่แตกต่างไปจากสถานะอื่นอย่างชัดเจน พลาสมาประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุทั้งประจุบวก และลบ ในสัดส่วนที่ทำให้ประจุสุทธิเป็นศูนย์ การอยู่ร่วมกันของอนุภาคเหล่านี้เป็นแบบประหนึ่ง เป็นกลาง (Quasineutral) ซึ่งหมายความว่าอิเล็กตรอนและไอออนในบริเวณนั้น โดยรวมแล้วมี จำนวนเท่า ๆ กัน และแสดงพฤติกรรมร่วม (Collective Behavior) พฤติกรรมร่วมนี้หมายถึง การ เคลื่อนที่ของอนุภาคในพลาสมา ไม่เพียงแต่จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในบริเวณนั้นๆ เท่านั้น แต่เป็นผล โดยรวมจากพลาสมาส่วนใหญ่ มากกว่าจะเป็นผลมาจากการชนกันของอนุภาคที่อยู่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากอนุภาคในพลาสมาที่สถานะสมดุล จะมีการสั่นด้วยความถี่ที่สูงกว่าความถี่ในการชนกัน ของอนุภาค 2 ตัวที่อยู่ใกล้กัน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าพฤติกรรมร่วมนี้เป็นพฤติกรรมที่กลุ่มพลาสมา แสดงออกมารวมกัน พลาสมาสามารถเกิดได้โดย การให้สนามไฟฟ้าปริมาณมากแก่ก๊าซที่เป็น กลาง เมื่อพลังงานส่งผ่านไปยังอิเล็กตรอนอิสระมากพอ จะทำให้อิเล็กตรอนอิสระชนกับอะตอม

และทำให้ไอเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม กระบวนการนี้เรียกว่ากระบวนการแตกตัวเป็นไอออน (Ionization) ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้จำนวนไอเล็กตรอนที่หลุดออกมาเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างมากซึ่งจะทำให้ก๊าซแตกตัวและกลายเป็นพลาสมาในที่สุด พลาสมามีความแตกต่างจากสถานะของแข็ง สถานะของเหลว และสถานะก๊าซ โดยมีเงื่อนไข 3 ประการ ในเรื่องดังต่อไปนี้คือ ความยาวคลื่นเดอบาย จำนวนอนุภาค และความถี่พลาสมา ซึ่งทำให้พลาสมามีความจำเพาะเจาะจงที่แตกต่างจากสถานะอื่นออกไป



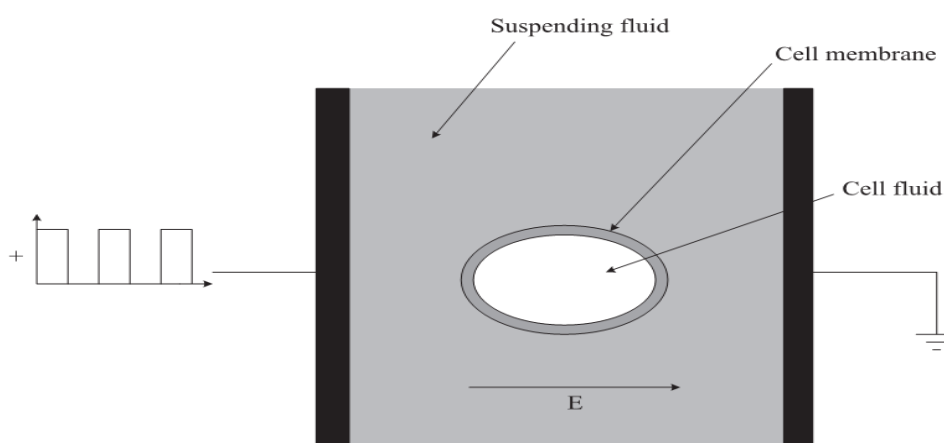
ภาพที่ 2.18 ภาพการเกิดพลาสมา(Plasma)

2.8 หลักการฆ่าเชื้อในอาหารเหลวด้วยสนามไฟฟ้า [2] , [3]

แบบพัลส์ ภาพที่ 2.18 แสดงหลักการฆ่าเชื้อในอาหารเหลวด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ที่ประกอบด้วยขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้ววางซ้อนกันโดยจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบพัลส์ให้กับขั้วหนึ่งและให้อีกขั้วหนึ่งมีศักย์ไฟฟ้าเป็นกราวด์ (Ground) โดยการฆ่าเชื้อในอาหารเหลวด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ (Pulsed Electric Field Treatment) คือการกำจัดเชื้อจุลชีพที่มีอยู่ในอาหารเหลวด้วยกระบวนการอิเล็กโทรโพลชัน (Electroporation) ซึ่งเป็นกระบวนการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell Membrane) โดยการเพิ่มความนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) และค่าสภาพยอมไฟฟ้า

(Permeability) ของเยื่อหุ้มเซลล์โดยการเพิ่มค่าความนำไฟฟ้าและสภาพยอมไฟฟ้าของเยื่อหุ้มเซลล์สามารถทำได้โดยการใช้สนามไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นพัลส์หรือเป็นช่วงเวลาเกิดจากการจ่ายพัลส์แรงดันไฟฟ้าให้กับอิเล็กโทรดที่มีความเข้มสนามไฟฟ้า (Electric Field Strength) สูงประมาณ 4×10^6 V/m และมีลักษณะเป็นพัลส์ในช่วงประมาณ 10 ns ถึง 20 μ s ซึ่งสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ที่มีความเข้มสูงนี้จะส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมเยื่อหุ้มเซลล์มีค่าสูงเกินกว่าค่าความคงทนของไดอิเล็กตริก (Dielectric Strength) ของเยื่อหุ้มเซลล์และทำให้เกิดรูพรุน (Pores) เล็กๆ จำนวนมากขึ้นที่เยื่อหุ้มเซลล์รูพรุน ดังกล่าวจะนำไปสู่กระบวนการตายของเซลล์ (Programmed Cell Death) ในที่สุด โดยแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมเยื่อหุ้มเซลล์สามารถคำนวณได้จาก

$$V_{cell} = f r_{cell} E_{cell} \quad (2.30)$$



ภาพที่ 2.19 หลักการฆ่าเชื้อในอาหารเหลวด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์

เมื่อ V_{cell} คือแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ตกคร่อมที่เยื่อหุ้มเซลล์ f คือค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กักรูปร่างของเซลล์ r_{cell} คือรัศมีวงนอกสุดของเยื่อหุ้มเซลล์และ E_{cell} คือค่าความเครียดสนามไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ สำหรับห้องฆ่าเชื้อที่มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกซ้อนกันแล้วรวมค่าความเครียดสนามไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์สามารถหาได้จาก

$$E_{cell} = \frac{V}{r \ln(r_2/r_1)} \quad (2.31)$$

เมื่อ V คือแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขั้วอิเล็กโทรดของห้องฆ่าเชื้อ r คือระยะรัศมี และ r_1 และ r_2 คือระยะรัศมีของขั้วอิเล็กโทรดด้านใน (Inner) และด้านนอก (Outer)

บทที่ 3

การออกแบบและการดำเนินงาน

3.1 หลักการออกแบบ

การออกแบบเป็นการออกแบบให้สามารถให้สามารถควบคุมได้ทั้ง ความถี่ ความกว้างพัลส์ และแรงดันที่จะกระตุ้นหม้อแปลง โคนในการออกแบบได้ออกแบบให้มีความปลอดภัยและป้องกันการเสียหายของวงจร โดยได้วางระบบป้องกันของระบบไว้ในทุกช่วงของวงจร เช่น การเพิ่มวงจรของ TLP 250 เพื่อแยกกราวด์ของวงจรสัญญาณและกราวด์ของแรงดันควบคุมออกจากกันป้องกันการช็อตของวงจร การต่อฟิวส์ในส่วนที่สัญญาณและแรงดันกระตุ้นก่อนที่จะเข้าสู่หม้อแปลงเพื่อป้องกันการช็อตและการติ๊กกลับของกระแสเพื่อป้องกันวงไม่ให้เกิดการเสียหายของวงจร ในวงจรนี้ได้ออกแบบให้สามารถปรับได้หลายรูปแบบทั้งความถี่ ความกว้างพัลส์และแรงดันกระตุ้นเพื่อทำการเก็บข้อมูลในสภาวะต่างๆ

3.2 ไอจีบีที (Isulated Gate Biopolar Transistors: IGBT)

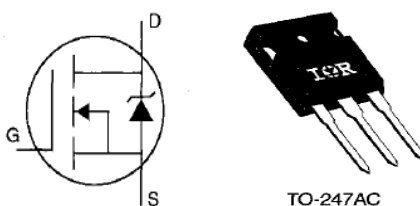
IGBT คือทรานซิสเตอร์กำลังที่ควบคุมด้วยแหล่งจ่ายแรงดัน เป็นผลทำให้มีความถี่ในการสวิตช์ซึ่งสูงกว่าทรานซิสเตอร์กำลัง แต่ก็ไม่สูงไปกว่ากรณี MOSFETs อย่างไรก็ตาม IGBT จะมีคุณลักษณะของการขับและคุณลักษณะด้านออกดีกว่าแบบ BJTs (Superior Drive And Output Characteristics) IGBT จะเหมาะกับงานที่ต้องการพิกัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าสูงๆ ที่ความถี่สวิตช์ซึ่งสูงถึง 20 kHz พิกัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าของ IGBT จะมีค่าประมาณเท่ากับ 1,700 โวลต์ และ 2,400 แอมแปร์ ตามลำดับ ไอจีบีทีเหมาะสำหรับการใช้งานหลากหลายที่คล้ายกับมอสเฟสกำลังแต่มีพิกัดที่ใหญ่กว่า และสามารถออกแบบให้ทนแรงดันไฟฟ้าได้ทั้งด้านบวกและด้านลบสามารถทนกระแสและแรงดันไฟฟ้าได้มากจนอาจไม่จำเป็นต้องมีวงจรสแน็บเบอร์

ตารางที่ 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

3.3 เพาเวอร์มอสเฟต

เพาเวอร์มอสเฟตเป็นอุปกรณ์ในการสวิตซ์ซึ่งที่ควบคุมด้วยแรงดันและต้องการกระแสอินพุตต่ำมาก ๆ ความเร็วในการสวิตซ์สูง เวลาในการสวิตซ์ต่ำมากเป็นนาโนวินาที เพาเวอร์มอสเฟตได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานด้าน คอนเวอร์เตอร์ที่กำลังต่ำแต่ความถี่สูง ในงานวิจัยนี้ใช้เพาเวอร์มอสเฟต ทำหน้าที่สวิตซ์ในวงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์ โดยเลือกเพาเวอร์มอสเฟต แบบ N – Channel

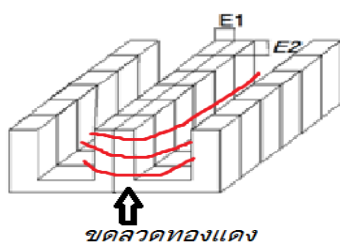


ภาพที่ 3.1 ตัวอย่างมอสเฟตและสัญลักษณ์ชนิด N-Channel Enhancement Mode

3.4 การออกแบบหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง

หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงหรือหม้อแปลงฟลายแบ็คทำหน้าที่เป็นตัวเหนี่ยวนำและเพิ่มระดับแรงดัน (Step-Up Transformer) หม้อแปลงฟลายแบ็คได้ออกแบบโดยใช้แกนเฟอร์ไรต์

เบอร์ UR46DB มาต่อดัดกัน โดยได้คำนวณการหาพื้นที่ของแกนเพื่อหาจำนวนรอบในการพันหม้อแปลง หาจากพื้นที่ด้าน $E1 = 13\text{mm}^2$ ซึ่งต่อดัดกัน 2 ด้าน และนำมาต่อด้าน $E2$ อีกจำนวน 6 ชั้น จะได้พื้นที่ $EE = 13\text{mm}^2 \times 2 \times 6 = 156\text{mm}^2$ หรือ 15.6cm^2 ดังภาพที่ 3.2 จากนั้นทำการคำนวณ พิกัดหม้อแปลง $V_{in} = 50\text{V}$, $V_{out} = 25\text{kV}$, $f = 15\text{kHz}$ แกน UR46DB, $P_{out} = 150\text{w}$, $B_{max} = 1950\text{G}$, $\delta_{max} = 0.5$, $\eta = 0.8$, ความหนาแน่นกระแส 400cm/A



ภาพที่ 3.2 รูปแกนเฟอร์ไรต์เบอร์ UR46DB

คำนวณขดลวดด้านปฐมภูมิ N_p

$$\begin{aligned} N_p &= \frac{V_p \times 10^8}{4fB_{max}EE} & (3.1) \\ &= \frac{50 \times 10^8}{4(15\text{k})(1950\text{G})(15.6^2)} \\ &= 2.739 \text{ รอบ} \end{aligned}$$

จากสูตรจะต้องพัน 3 รอบ แต่โครงงานนี้ได้พันเป็นแทบที่สามารถเลือกใช้ตามความถี่และแรงดันที่ต้องการ โดยพันไว้ที่ 10, 20 และ 30 รอบ

คำนวณขดลวดด้านทุติยภูมิ N_s

$$\begin{aligned} \frac{N_p}{N_s} &= \frac{V_p}{V_s} & (3.2) \\ N_s &= N_p \times \frac{V_s}{V_p} \\ &= 3 \times \frac{25\text{k}}{50} \\ &= 1500 \text{ รอบ} \end{aligned}$$

หากระแสด้านปฐมภูมิ I_{pp}

$$\begin{aligned} I_{pp} &= \frac{2P_{out}}{\eta V_{in} \delta_{max}} \\ I_{pp} &= \frac{2(150)}{0.8(50)(0.5)} \\ &= 15 \text{ A} \end{aligned} \quad (3.3)$$

หากระแสด้านทุติยภูมิ I_s

$$\begin{aligned} \frac{I_s}{I_p} &= \frac{E_p}{E_s} \\ I_s &= \frac{E_p}{E_s} \times I_p \\ &= \frac{50}{25 \text{ k}} \times 15 = 0.03 \text{ A} \end{aligned} \quad (3.4)$$

หาขนาดลวดด้านปฐมภูมิ

$$\begin{aligned} \text{ขนาดเส้นลวด} &= \text{ความหนาแน่นกระแส} \times \text{กระแส} \\ &= 400 \times 15 \\ &= 6000 \text{ Circular mils.} \end{aligned} \quad (3.5)$$

เลือกค่าที่ใกล้เคียง ดังนั้นใช้ลวด AWG เบอร์ 12 # ตามตารางที่ 2

หาขนาดลวดด้านทุติยภูมิ

$$\begin{aligned} \text{ขนาดเส้นลวด} &= \text{ความหนาแน่นกระแส} \times \text{กระแส} \\ &= 400 \times 0.03 \\ &= 12 \text{ Circular mils.} \end{aligned} \quad (3.6)$$

เลือกค่าที่ใกล้เคียง ดังนั้นใช้ลวด SWG เบอร์ 43 # ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เทียบขนาดลวดสายไฟฟ้า

เบอร์ S.W.G	เส้นผ่านศูนย์กลาง		เนื้อที่หน้าตัด		ทนกระแสได้		ใช้เป็น ฟิวส์ ทน กระแสได้ (A)	น้ำหนักต่อ ความยาว 100 ม. (กก.)	ค.ต.ท. ต่อ ความยาว 100ม. (Ω)	เบอร์ A W G
	นิ้ว	มิลลิเมตร	เซอร์กิวลา มิล	ตาราง มิลลิเมตร	หุ้มยาง	ลวดเปล่า				
0000	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
000	0.372	-	-	-	-	-	-	-	-	-
00	0.344	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19/12										
0	0.324	8.23	106,500	54.186	125	200	-	47.925	0.033	0
1	0.3	7.62	90,000	46.451	-	-	-	-	-	-
19/13										
-	-	-	83,690	-	100	150	-	37.994	0.042	1
2	0.276	7.06	77,176	39.847	-	-	-	-	-	-
19/14	3	0.252	66,370	32.768	90	125	-	30.185	0.052	2
19/16	4	0.232	52,630	27.735	-	-	-	23.895	0.066	3
5	0.212	5.38	41,740	23.155	70	90	-	18.960	0.038	4
										5
19/18	6	0.192	33,100	18.215	-	-	-	15.030	0.015	7/14
7	0.176	4.46	30,976	15.913	-	-	-	-	-	-
8	0.16	4.06	26,250	13.026	50	70	-	11.925	0.133	6
9	0.144	3.66	20,766	10.716	-	-	-	9.45	0.167	7
7/16	10	0.128	16,510	8.398	35	50	-	7.5	0.211	8
11	0.166	2.94	13,090	6.914	-	-	-	5.945	0.266	9
7/18	12	0.104	10,816	5.584	25	30	-	4.175	0.335	10
13	0.092	2.336	8,234	5.584	-	-	-	3.738	0.424	11
7/20	14	0.08	6,530	3.296	20	25	232	2.965	0.534	12
15	0.072	1.828	5,178	2.673	-	-	-	2.352	0.673	13
										14
7/22	16	0.064	4,107	2.112	15	20	165	1.864	0.850	3/18
										15
17	0.056	1.422	3,257	1.617	-	-	-	1.479	1.070	3/20
										16
-	-	-	2,583	-	6	10	-	1.173	1.350	3/22
18	0.048	1.219	2,048	1.188	-	-	107	0.93	1.703	17
19	0.04	1.061	1,624	0.825	3	5	-	0.738	2.148	18
20	0.036	0.914	1,288	0.668	-	-	70	0.585	2.706	19
21	0.032	0.812	1,022	0.527	-	-	-	0.464	3.412	20
22	0.028	0.711	810.1	0.404	-	-	48	0.368	4.303	21
23	0.024	0.61	624.4	0.297	-	-	-	0.292	5.425	22
24	0.022	0.553	509.5	0.249	-	-	33.4	0.231	6.847	23
25	0.02	0.506	404.0	0.206	-	-	-	0.183	8.630	24
26	0.018	0.457	320.4	0.167	-	-	24.7	0.145	10.89	25

ตารางเทียบขนาดลวดสายไฟฟ้า (ต่อ)

เบอร์	เส้นผ่านศูนย์กลาง		เนื้อที่หน้าตัด		ทนกระแสได้		ใช้เป็น ฟิวส์ ทน กระแสได้ (A)	น้ำหนักต่อ ความยาว 100 ม. (กก.)	ค.ต.ท. ต่อ ความยาว 100ม. (Ω)	เบอร์ A W G
	นิ้ว	มิลลิเมตร	เซอร์กิวลา มิล	ตาราง มิลลิเมตร	หุ้มยาง	ลวดเปล่า				
27	0.016	0.406	254.1	0.131	-	-	-	0.115	13.728	26
29	0.0136	0.345	184.9	0.095	-	-	-	-	-	-
30	0.012	0.304	159.8	0.073	-	-	14.1	0.073	21.783	28
31	0.011	0.29	126.7	0.067	-	-	-	0.057	27.522	29
32	0.0102	0.274	116.6	0.06	-	-	11.5	-	-	-
37	0.0068	0.172	39.75	0.023	-	-	-	0.018	87.714	34
38	0.0061	0.155	31.52	0.018	-	-	4.7	0.014	110.714	35
39	0.0052	0.132	25.0	0.013	-	-	-	0.011	139.59	36
40	0.0048	0.121	-	0.011	-	-	3.4	-	-	-
41	0.0044	0.111	19.8	0.0098	-	-	-	0.009	175.89	37
42	0.004	0.1	15.72	0.008	-	-	0.6	0.007	222.09	38
43	0.0036	0.0914	12.72	0.0066	-	-	-	0.005	279.51	39
44	0.0032	0.0812	9.89	0.0052	-	-	1.85	0.004	352.44	40
45	0.0028									
46	0.0024	มาตรฐาน	มาตรฐาน	มาตรฐาน	มาตรฐาน	มาตรฐาน	มาตรฐาน	มาตรฐาน	มาตรฐาน	มาตรฐาน
47	0.002									
48	0.00166	S.W.G	A.W.G	S.W.G	A.W.G	A.W.G	S.W.G	A.W.G	A.W.G	A.W.G

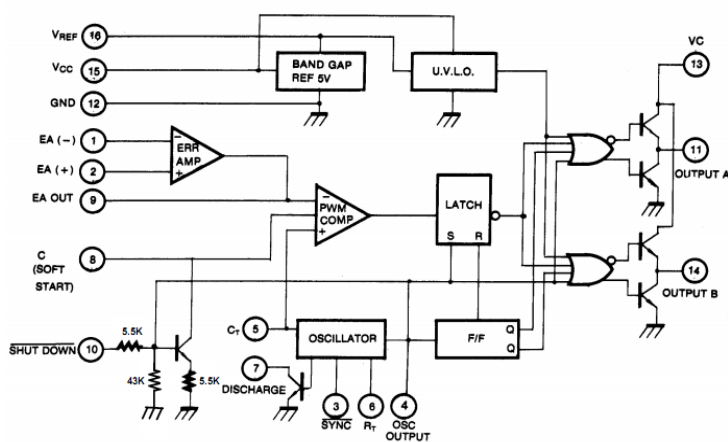
หม้อแปลงฟลายแบ็คที่ได้ออกแบบนี้สามารถใช้งานได้ในช่วงที่ความถี่สูงและกินกระแสต่ำและยังสามารถปรับค่าแรงดัน Output ได้ด้วยการปรับแรงดัน Input และการปรับความถี่และความกว้างของพัลส์ก็ยังมีผลต่อแรงดัน Output หม้อแปลงฟลายแบ็คตามที่ได้ออกแบบมานี้จะให้ค่าแรงดัน Output ที่ประมาณ 1 KV-25 KV ในช่วงความถี่ 13 KHz – 30 KHz ความกว้างพัลส์ประมาณ 30%-50% และแรงดัน Input 0-50 VDC



ภาพที่ 3.3 หม้อแปลงฟลายแบ็ค

3.5 ไอซีเบอร์ KA 3525

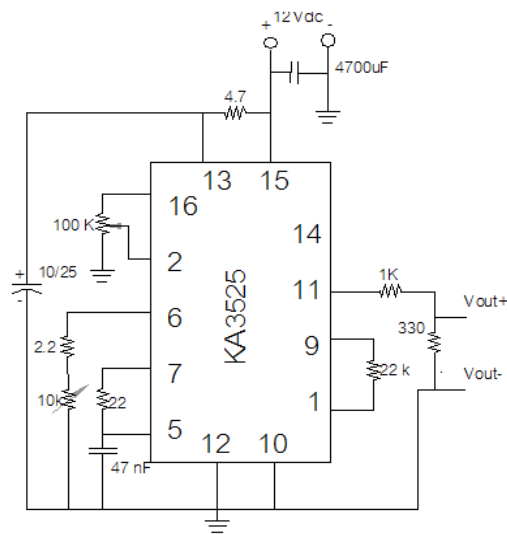
ไอซีเบอร์ KA 3525 ใช้ควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์โดยทำงานในโหมดควบคุมจากกระแส เอาต์พุตของไอซีสามารถจ่ายและรับกระแสได้สูงจึงสามารถใช้ขับเพาเวอร์มอสเฟตได้โดยตรง โครงสร้างภายในและการจัดการขาของ KA 3525 แสดงดังภาพที่ 3.4 การทำงานของไอซีจะเป็นดังนี้



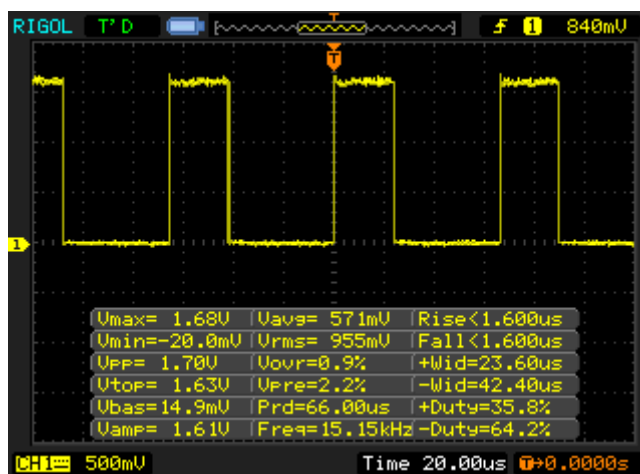
ภาพที่ 3.4 แสดงการจัดโครงสร้างภายในและการจัดการขาของไอซี KA 3525

3.6 วงจรกำเนิดพัลส์

วงจรถ่ายสัญญาณควบคุมในส่วนที่ทำหน้าที่สร้างสัญญาณไปขับนำเกตของ มอสเฟตกำลังในวงจรคอนเวอร์เตอร์ซึ่งจะต้องควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงช่วง จังหวะเวลาการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟต เพื่อให้ได้รูปคลื่นของแรงดันทางด้านเอาต์พุตที่ ต้องการ และไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้นกับอุปกรณ์ภายในวงจร ซึ่งวงจรถ่ายสัญญาณนี้จะประกอบด้วย อุปกรณ์ต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 3.5 โดยจะรับแรงดัน 15 V เข้าที่ขา 13 และขา 15 และวงจรถ่าย จะสร้างสัญญาณออกมาเพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปมอดูเลตกับสัญญาณป้อนกลับที่ได้จากวงจรถ่าย ภาควิทยาศาสตร์ และจะได้สัญญาณพัลส์ออกมาที่ขา 11 และขา 14 โดยรูปคลื่นที่ได้ออกมาจะมีความต่างเฟสกัน ซึ่งสามารถปรับความกว้างของพัลส์ได้ที่ตัวต้านทานปรับค่าได้ดังแสดงตามภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.5 วงจรกำเนิดพัลส์ ของไอซี KA 3525



ภาพที่ 3.6 รูปสัญญาณที่วัดได้ของวงจรกำเนิดสัญญาณอิมพัลส์

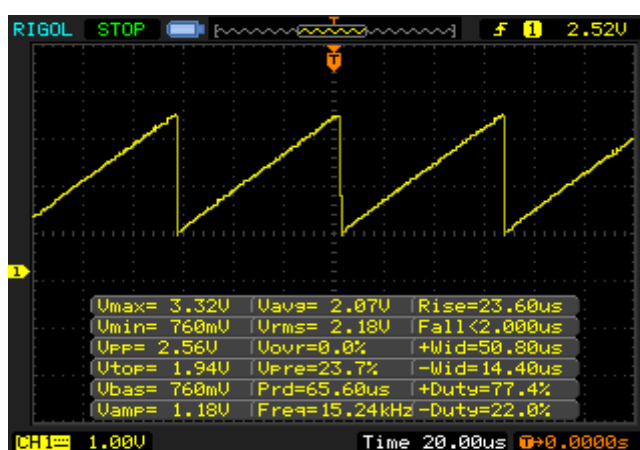
ค่าความถี่ของวงจรสามารถปรับได้จากตัวความต้านทานปรับค่าได้และสามารถเปลี่ยนความถี่ที่ต้องการโดยการเปลี่ยนค่าของตัว CT ที่ออกจากขา 5 ของไอซีเบอร์ KA 3525 โดยค่าที่ได้มีดังนี้

10 nF ได้ความถี่ประมาณ 800 Hz – 7 kHz

47 nF ได้ความถี่ประมาณ 16 kHz – 140 kHz

100 nF ได้ความถี่ประมาณ 800 Hz – 7 kHz

ซึ่งมีการวัดสัญญาณของ Lamp จาก CT ดังแสดงตามภาพที่ 3.7



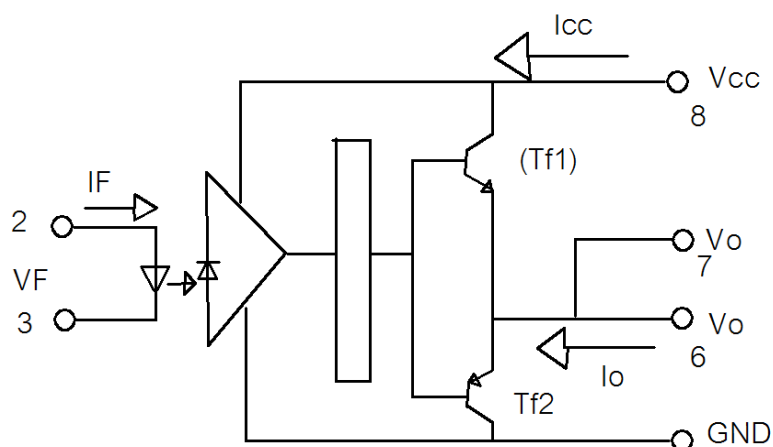
ภาพที่ 3.7 รูปสัญญาณที่วัดได้จากขา CT ของวงจร

3.7 วงจรกำเนิดสัญญาณ

วงจรสร้างสัญญาณอิมพัลส์ในโครงการนี้เลือกใช้ไอซีเบอร์ TLP 250 ทำหน้าที่ในการสร้างสัญญาณอิมพัลส์ ดังภาพที่ 3.8 เป็นวงจรที่ใช้ขับ Power Mosfet ให้ On – Off ตามสัญญาณ Output ดังภาพที่ 3.8 ของวงจร Driver โดยความถี่ (f) ของสัญญาณสามารถกำหนดได้จากค่าความต้านทาน R_T และค่าคาปาซิเตอร์ C_T ดังสมการนี้

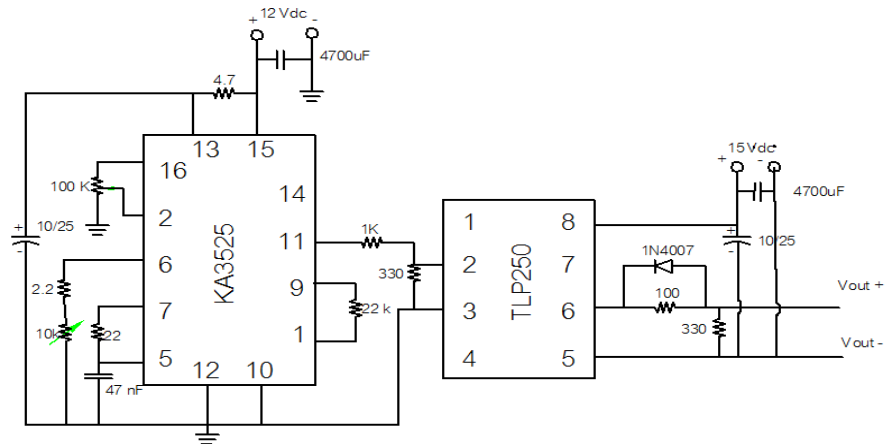
$$T = R_T * C_T \quad (3.7)$$

เมื่อ T คือคาบของสัญญาณดังนั้น $f = \frac{1}{T}$ (3.8)

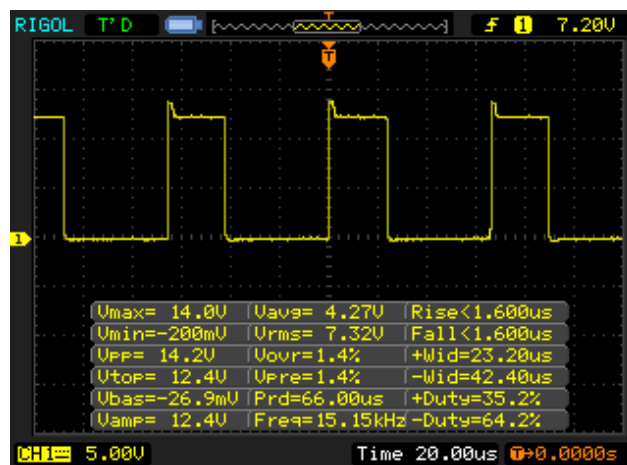


ภาพที่ 3.8 วงจรภายใน IC TLP 250

การใช้ TLP 250 ซึ่งเป็น Opto ISO Lated เพื่อทำการแยกสัญญาณด้านส่วนตัวควบคุมสัญญาณพัลส์และสัญญาณด้าน Output ที่ส่งไปสู่ชุด Driver ซึ่งมีความพิเศษในการช่วยลดความเสี่ยงภัยกับวงจรชุดควบคุมสัญญาณพัลส์กรณีที่เกิดการลัดวงจรด้าน Output ของชุด Driver โดยจะทำการแยกกราวด์ออกจากทั้งสองวงจรโดยที่สัญญาณทางด้าน Output ของ TLP 250 นี้แสดงดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.9 รูปวงจรกำเนิดสัญญาณเมื่อต่อเข้ากับชุดป้องกัน TLP 250

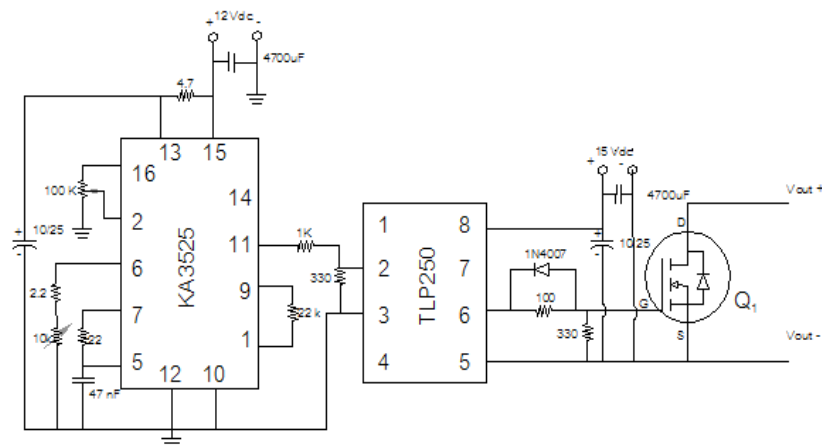


ภาพที่ 3.10 สัญญาณที่ได้จากวงจรกำเนิดสัญญาณเมื่อผ่านชุดป้องกัน TLP 250

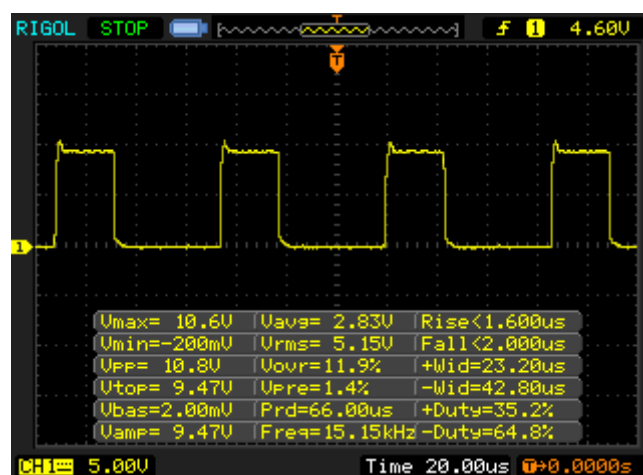
3.8 การขับกำลัง (Driver Circuit)

IGBT เป็นอุปกรณ์ที่ใหม่เป็นการรวมข้อดีของทรานซิสเตอร์กับมอสเฟสเข้าด้วยกัน IGBT เป็นอุปกรณ์ที่ทนแรงดันและกระแสได้สูง ถ้าเปรียบเทียบ IGBT และ เพาเวอร์มอสเฟส IGBT มีพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยทั้งในระหว่างนำกระแสและหยุดนำกระแส โดยมีพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยในขณะที่ไบอัสตรง (Forward Bias Safe Operating Area : FBSOA) ที่กว้างมากเกือบได้ เป็นสี่เหลี่ยมสำหรับเวลาในการสวิตช์ที่สั้นๆ แต่จะแคบลงเมื่อเวลาในการสวิตช์ยาวนานขึ้นซึ่งถ้า

เปรียบเทียบกับเพาเวอร์มอสเฟตแล้ว IGBT จะทำงานได้ในช่วงพื้นที่ที่กว้างกว่าเมื่อเวลาในการสวิตช์เท่ากัน ในโครงการจึงได้เลือกใช้ IGBT ในการทำโครงการนี้ โดยทำการต่อประกอบเข้ากับ ส่วนของ Output ของ TLP250 ดังแสดงดังภาพที่ 3.11 โดยมีสัญญาณที่วัดได้จาก IGBT ที่ไม่ได้ต่อ โหลดดังแสดงดังภาพที่ 3.12

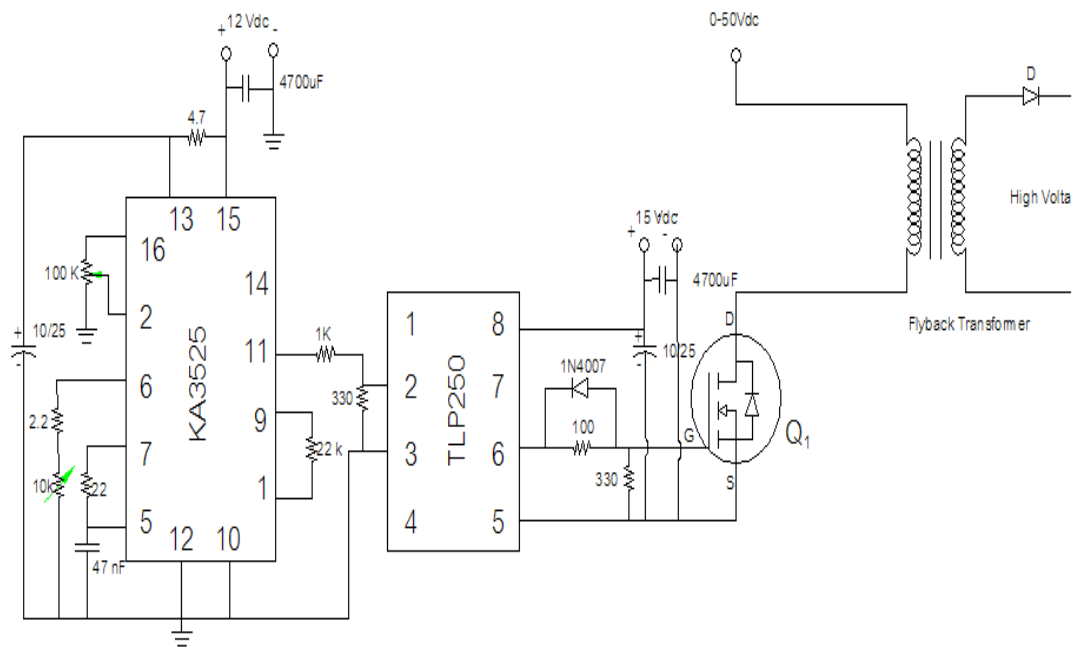


ภาพที่ 3.11 ชุดกำเนิดสัญญาณ

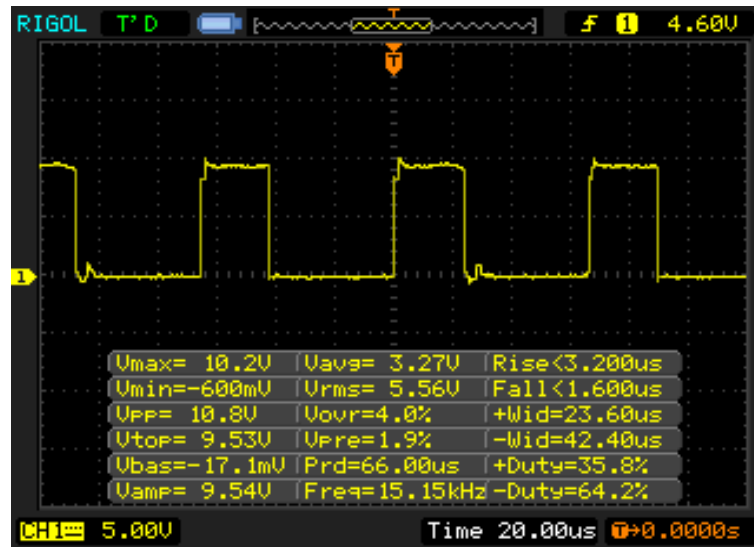


ภาพที่ 3.12 รูปสัญญาณที่วัดจากขา IGBT ขณะไม่ต่อโหลด

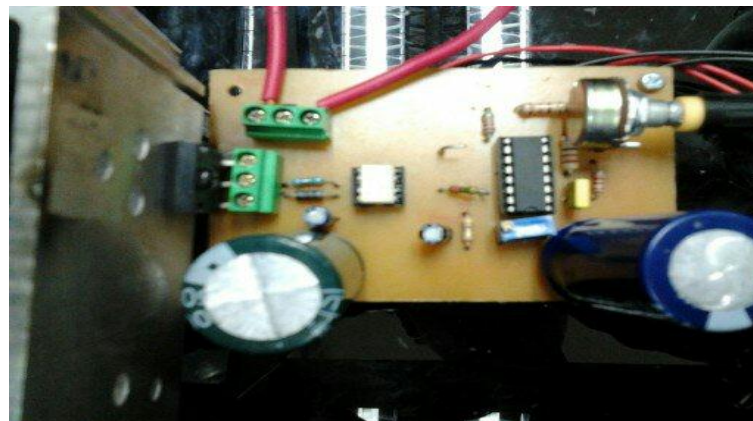
ภายหลังที่ได้ออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงแล้วนำมาประกอบตามภาพที่ 3.13 ที่เป็นวงจรสมบูรณ์ของโครงการงานโดยขดลวดด้าันปฐมภูมิต่อเข้าแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงและเข้าสู่ขา Drain ของ IGBT ซึ่งทำการต่อประกอบหม้อแปลงฟลายแบ็คนี้จะเปรียบเหมือนการต่อโหลดให้กับ Power Electronic ของชุดจ่ายกำลังนั้นคือ IGBT โดยจะทำการวัดสัญญาณเมื่อมีการจ่ายแรงดัน DC กระตุ้นการทำงานซึ่งจะสามารถวัดสัญญาณได้ดังภาพที่ 3.14



ภาพที่ 3.13 รูปวงจรแบบสมบูรณ์ของโครงการงานนี้



ภาพที่ 3.14 สัญญาณเมื่อวัดจากขา IGBT ขณะที่มีการจ่ายแรงดันกระตุ้น

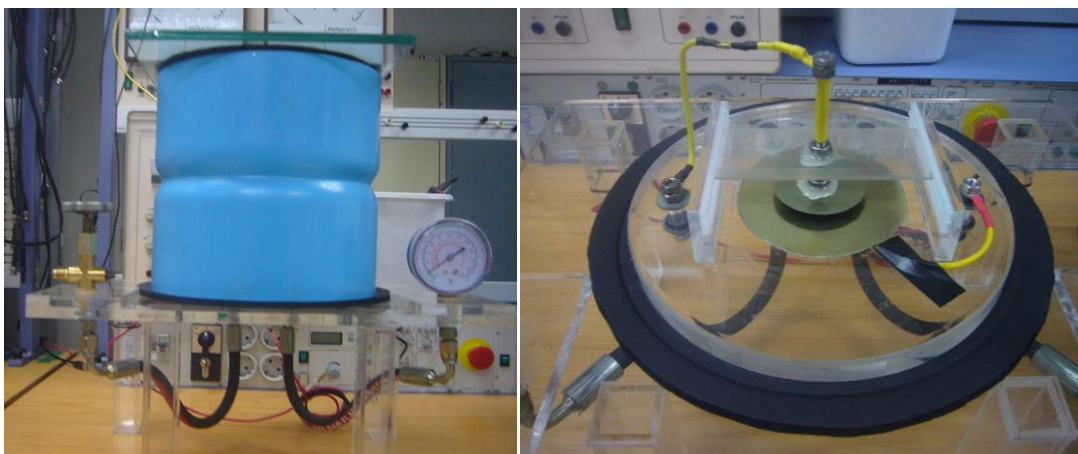


ภาพที่ 3.15 รูปการประกอบวงจรกำเนิดสัญญาณ

ลักษณะการออกแบบของวงจรสมบูรณของโครงการนี้ ได้ทำการสร้างชุดวงจรลงบนแผ่นปริ้นท์ PCB ดังแสดงดังภาพที่ 3.15

3.8 ภาชนะทดลอง

ชุดภาชนะทดลอง ประกอบด้วยอิเล็กโทรด 2 ขั้ว คือ ขั้วบวกและขั้วลบ โดยจะต้องให้สนามไฟฟ้าที่สม่ำเสมอและไม่เกิดการ Breakdown ที่ระดับแรงดันสูงสุดของชุด High Voltage โดยต้องทำการสร้างสนามไฟฟ้าประมาณ 20-30 kV/cm ซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดังแสดงตามภาพที่ 3.16



(ก) รูปภายนอกภาชนะทดลอง

(ข) รูปภายในภาชนะทดลอง

ภาพที่ 3.16 ภาชนะทดลอง

ภาชนะทดลองทำด้วยอะคริลิกต่อกับขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้ว คือขั้วบวกและขั้วลบ มีช่องห่างกัน 1.5 cm ตามขนาดของถ้วยใส่ภาชนะทดลองและสามารถปรับระดับความห่างได้อีก 4 ชั้น ชั้นละ 0.3 cm ภายนอกถูกปิดด้วยท่อส่งน้ำด้านบนปิดด้วยกระจกพื้นที่ภายในสามารถอยู่ในสถานะสุญญากาศได้ และมีสายต่อออกมาเพื่อไปต่อกับเครื่องดูดอากาศและต่อกับเกจวัดแรงดันอากาศภายใน ในการสร้างสถานะสุญญากาศนี้จะช่วยให้สถานะในขณะที่จ่ายแรงดันสูงเกิดสถานะ Plasma ได้โดยไม่เกิดการ Breakdown ของอากาศซึ่งลักษณะของบรรยากาศนี้มีลักษณะเป็นสีม่วง เมื่อสัปดาห์ทางแรงดันไฟฟ้าสูงจ่ายให้กับขั้วแคโทดและแอโนด ที่เป็นแผ่นอิเล็กโทรดที่วางไว้อยู่แบบขนาน โดยมีวัสดุตัวอย่างทดสอบที่ควรจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งจะมีค่า Dielectric ที่แตกต่างจากอากาศโดยจะใช้เป็นตัวอย่างในการทดสอบต่อไป

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

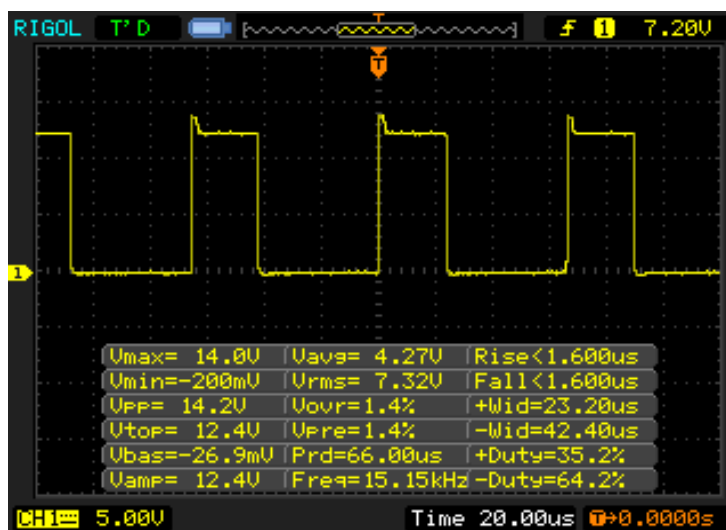
การทดลองนี้เป็นการทดลองของการสร้างชุดกำเนิดสัญญาณไปจับชุดหม้อแปลงฟลายแบ็ค เพื่อให้เกิดการสปาร์กแก่ปของขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้ว เพื่อนำไปศึกษาเปรียบเทียบทฤษฎีการใช้สนามไฟฟ้าแรงสูงมาใช้ในการฆ่าเชื้อในอาหาร และนำมาเปรียบเทียบกับชุดสนามไฟฟ้าแรงสูงที่สร้างขึ้นเพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ดังนี้

4.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. เพื่อทดสอบทฤษฎีทางด้านสนามไฟฟ้าแรงดันสูง
2. เพื่อทดสอบการออกแบบวงจรแรงดันสูง
3. เพื่อทดสอบทฤษฎีการใช้สนามไฟฟ้าแรงดันสูงในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารประเภทของเหลวว่าได้หรือไม่
4. ศึกษาการทำงานของชุดสนามไฟฟ้าแรงดันสูงในการถนอมอาหาร

4.2 สัญญาณพัลส์ของ KA 3525 และ สัญญาณพัลส์ของ TLP 250

จากการทดลองวัดสัญญาณพัลส์ที่เหลี่ยมเอาท์พุท ซึ่งสามารถควบคุมสัญญาณพัลส์ได้โดยการปรับค่า Rt และ Ct เมื่อสร้างสัญญาณพัลส์ออกมาแล้วจะทำการแยกสัญญาณทางไฟฟ้าระหว่างชุดควบคุมกับชุดเพาเวอร์ โดยใช้อปโต Isolated แยกสถานะการทำงานของชุดควบคุมและชุดวงจรขับเคลื่อน แสดงตามภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 รูปสัญญาณที่วัดจากขา 6 ของ IC Opto Isolate TLP 250

4.3 การเกิดสนามไฟฟ้าแรงสูง

จากการทดลองจากวงจรกำเนิดสัญญาณจ่ายเข้ากับหม้อแปลงฟลายแบ็คซึ่งสามารถปรับความถี่ตามที่ต้องการซึ่งผลการทดลองได้ค่าการทดลอง ดังตารางต่อไปนี้

4.3.1 สภาวะอากาศ ชั่วโมงเล็กโตรดห่างกันประมาณ 0.8 cm ขณะที่ไม่มีวัตถุตัวอย่าง

ในการทดสอบเงื่อนไขดังกล่าว จะเป็นการทดสอบความสามารถของการจ่ายแรงดันและการปรับความกว้างของพัลส์ (Duty Cycle) ที่ความถี่ต่างๆของการตอบสนองหม้อแปลง Fly Black Transformer โดยพิจารณาค่าของ V_i , V_o และ I_o รวมทั้งค่าของ Duty Cycle

ตารางที่ 3 ผลการทดลองที่ได้จากสภาวะอากาศ ชั่วโมงเล็กโตรดห่างกันประมาณ 0.8 cm ขณะที่ไม่มีวัตถุตัวอย่าง Duty Cycle 30 % ความถี่ 15 KHz

Vin (V)	Vout (KV)	I out (A)
20	3.94	0.463
30	4.01	0.713
40	11.88	0.876
50	19.20	1.135

ตารางที่ 4 ผลการทดลองที่ได้จากสภาวะอากาศ ชั่วโมงเล็กโตรดห่างกันประมาณ 0.8 cm ขณะที่ไม่มี
วัตถุตัวอย่าง Duty Cycle 40 % ความถี่ 15 KHz

Vin (V)	Vout (KV)	I out (A)
20	0.88	0.986
30	18.63	1.590
40	24.78	2.138
50	25.92	3.213

ตารางที่ 5 ผลการทดลองที่ได้จากสภาวะอากาศ ชั่วโมงเล็กโตรดห่างกันประมาณ 0.8 cm ขณะที่ไม่มี
วัตถุตัวอย่าง Duty Cycle 50 % ความถี่ 15 KHz

Vin (V)	Vout (KV)	I out (A)
20	2.422	12.91
30	3.492	14.08
40	3.012	OL
50	3.511	OL

ตารางที่ 6 ผลการทดลองที่ได้จากสภาวะอากาศ ชั่วโมงเล็กโตรดห่างกันประมาณ 0.8 cm ขณะที่ไม่มี
วัตถุตัวอย่าง Duty Cycle 30 % ความถี่ 20 KHz

Vin (V)	Vout (KV)	I out (A)
20	5.56	0.311
30	2.42	0.557
40	1.24	0.780
50	6.64	0.879

ตารางที่ 7 ผลการทดลองที่ได้จากสภาวะอากาศ ชั่วโมงเล็กโตรดห่างกันประมาณ 0.8 cm ขณะที่ไม่มี
วัตถุตัวอย่าง Duty Cycle 40 % ความถี่ 20 KHz

Vin (V)	Vout (KV)	I out (A)
20	4.56	0.743
30	3.31	1.145
40	14.63	1.564
50	23.42	1.931

ตารางที่ 8 ผลการทดลองที่ได้จากสภาวะอากาศ ชั่วโมงเล็กโตรดห่างกันประมาณ 0.8 cm ขณะที่ไม่มี
วัตถุตัวอย่าง Duty Cycle 50 % ความถี่ 20 KHz

Vin (V)	Vout (KV)	I out (A)
20	1.478	1.34
30	1.144	13.75
40	2.789	14.47
50	3.466	15.32

ตารางที่ 9 ผลการทดลองที่ได้จากสภาวะอากาศ ชั่วโมงเล็กโตรดห่างกันประมาณ 0.8 cm ขณะที่ไม่มี
วัตถุตัวอย่าง Duty Cycle 30 % ความถี่ 30 KHz

Vin (V)	Vout (KV)	I out (A)
20	2.28	0.281
30	6.65	0.290
40	7.90	0.434
50	4.96	0.486

ตารางที่ 10 ผลการทดลองที่ได้จากสถานะอากาศ ขั้วอิเล็กโตรดห่างกันประมาณ 0.8 cm ขณะที่ไม่มีความถี่ 30 KHz ความถี่ 30 KHz

Vin (V)	Vout (KV)	I out (A)
20	8.09	0.436
30	8.01	0.674
40	5.14	0.943
50	0.46	1.198

ตารางที่ 11 ผลการทดลองที่ได้จากสถานะอากาศ ขั้วอิเล็กโตรดห่างกันประมาณ 0.8 cm ขณะที่ไม่มีความถี่ 50 KHz ความถี่ 50 KHz

Vin (V)	Vout (KV)	I out (A)
20	0.793	8.02
30	1.265	4.91
40	1.716	2.64
50	2.166	2.12

สรุป จากผลการศึกษาออกแบบจะพบว่า การปรับค่าความกว้างพัลส์หรือ Duty Cycle นั้นจะส่งผลกระทบต่อระดับของกระแสเอาต์พุตและผลการตอบสนองความถี่ 15 KHz -20 KHz นั้นจะทำให้ประสิทธิภาพได้ดีอีกทั้งการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าสูงจะขึ้นอยู่กับแรงดัน Input

4.3.2 สถานะอากาศ ขั้วอิเล็กโตรดห่างโดยมีถ้วยแก้ววางขึ้นไว้

ในการทดสอบสถานะของการมีถ้วยแก้วอยู่ตรงกลางระหว่างแผ่นอิเล็กโตรดนั้นจะเป็นการเปลี่ยนแปลงของค่า Dielectric ซึ่ง Dielectric มีคุณสมบัติเป็นฉนวน และมีผลต่อเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นเพลต ดังนั้น ชนิดของวัสดุที่นำมาใช้เป็น Dielectric จึงมีผลต่อค่าการเก็บประจุค่าคงที่ Dielectric เป็นค่าที่ใช้แสดงถึงความสามารถในการที่จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นเมื่อนำวัสดุต่างชนิดกันมาทำเป็นฉนวนคั่นระหว่างแผ่นเพลต ตัวอย่างค่า Dielectric ของวัสดุต่างๆคือ

สภาวะสูญญากาศ	ค่าคงที่ Dielestric เท่ากับ 1 K
อากาศ	ค่าคงที่ Dielestric เท่ากับ 1.0006 K
แก้ว	ค่าคงที่ Dielestric เท่ากับ 7.5 K
น้ำหรือไขมัน	ค่าคงที่ Dielestric เท่ากับ 7.8 K

ตารางที่ 12 ผลการทดลองที่ได้จากสภาวะอากาศ ขั้วอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์โดยมีถ้วยแก้วขึ้นไว้
Duty Cycle 30 % ความถี่ 15 KHz

Vin (V)	Vout (KV)	I out (A)
20	2.87	0.349
30	3.68	0.516
40	9.38	0.663
50	15.80	0.758

ตารางที่ 13 ผลการทดลองที่ได้จากสภาวะอากาศ ขั้วอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์โดยมีถ้วยแก้วขึ้นไว้
Duty Cycle 40 % ความถี่ 15 KHz

Vin (V)	Vout (KV)	I out (A)
20	7.10	1.092
30	20.58	1.687
40	21.96	2.236
50	22.11	2.711

ตารางที่ 14 ผลการทดลองที่ได้จากสภาวะอากาศ ชั่วโมงเล็กโตรคห่าง โดยมีด้วยแก้วขึ้นไว้
Duty Cycle 50 % ความถี่ 15 KHz

Vin (V)	Vout (KV)	I out (A)
20	3.55	2.675
30	3.32	3.879
40	3.18	5.948
50	2.28	5.947

ตารางที่ 15 ผลการทดลองที่ได้จากสภาวะอากาศ ชั่วโมงเล็กโตรคห่าง โดยมีด้วยแก้วขึ้นไว้
Duty Cycle 30 % ความถี่ 20 KHz

Vin (V)	Vout (KV)	I out (A)
20	5.45	0.215
30	5.42	0.339
40	1.40	0.388
50	0.87	0.540

ตารางที่ 16 ผลการทดลองที่ได้จากสภาวะอากาศ ชั่วโมงเล็กโตรคห่าง โดยมีด้วยแก้วขึ้นไว้
Duty Cycle 40 % ความถี่ 20 KHz

Vin (V)	Vout (KV)	I out (A)
20	4.56	0.649
30	8.52	1.022
40	14.57	1.419
50	16.38	1.784

ตารางที่ 17 ผลการทดลองที่ได้จากสภาวะอากาศ ชั่วโมงเล็กโตรคห่าง โดยมีด้วยแก้วขึ้นไว้
Duty Cycle 50 % ความถี่ 20 KHz

Vin (V)	Vout (KV)	I out (A)
20	8.03	1.063
30	9.28	1.547
40	10.35	2.046
50	11.82	2.460

ตารางที่ 18 ผลการทดลองที่ได้จากสภาวะอากาศ ชั่วโมงเล็กโตรคห่าง โดยมีด้วยแก้วขึ้นไว้
Duty Cycle 30 % ความถี่ 30 KHz

Vin (V)	Vout (KV)	I out (A)
20	6.91	0.145
30	4.98	0.165
40	8.32	0.298
50	6.47	0.318

ตารางที่ 19 ผลการทดลองที่ได้จากสภาวะอากาศ ชั่วโมงเล็กโตรคห่าง โดยมีด้วยแก้วขึ้นไว้
Duty Cycle 40 % ความถี่ 30 KHz

Vin (V)	Vout (KV)	I out (A)
20	7.96	0.403
30	7.35	0.642
40	3.50	0.869
50	1.28	1.073

ตารางที่ 20 ผลการทดลองที่ได้จากสถานะอากาศ ขั้วอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์โดยมีตัวเก็บประจุ
Duty Cycle 50 % ความถี่ 30 KHz

Vin (V)	Vout (KV)	I out (A)
20	10.24	0.558
30	11.38	0.852
40	12.90	1.187
50	13.67	1.491

สรุป ในสถานะที่มีตัวเก็บประจุอยู่ระหว่างแผ่นขั้วอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์นั้นจะส่งผลต่อค่าสนามไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้ระดับปริมาณทางกระแสที่ใช้นั้นลดต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่มี Dielectric เป็นอากาศแต่สถานะตอนที่ระดับแรงดันที่ทำให้สนามไฟฟ้าสูงนั้นจะยังคงขึ้นอยู่กับค่าของความกว้างพัลส์แรงดันอินพุต

4.3.3 สถานะอากาศ ขั้วอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์โดยมีตัวเก็บประจุและมิวอนอยู่ในตัว

ในกรณีที่ใช้ตัวเก็บประจุและมิวอนตัวอย่างอยู่ในตัวนั้นหมายความว่าค่า Dielectric ให้เกินสองส่วนคือแก้วและน้ำวุ้นซึ่งจากการทดสอบจะพบว่าในกรณีผลของการให้แรงดันอินพุตที่เพิ่มขึ้นและระดับของความกว้างพัลส์จะช่วยให้การจ่ายกระแสของ IGBT นั้นลดต่ำลง แต่กระนั้นก็ตามการเกิดขึ้นของสนามไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้าสูงกระแสตรงและที่ระดับความถี่ที่เหมาะสมจะทำให้การเกิดพลาสมาได้ในระดับที่ดี

ตารางที่ 21 ผลการทดลองที่ได้จากสถานะอากาศ ขั้วอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์โดยมีตัวเก็บประจุและมิวอน
อยู่ในตัว Duty Cycle 30 % ความถี่ 15 KHz

Vin (V)	Vout (KV)	I out (A)
20	5.87	0.337
30	7.18	0.600
40	6.87	0.762
50	8.57	0.819

ตารางที่ 22 ผลการทดลองที่ได้จากสภาวะอากาศ ชั่วโมงเล็กโตรคห่าง โดยมีด้วยแก้วขึ้นไว้และมีวุ้น
อยู่ในด้วยแก้ว Duty Cycle 40 % ความถี่ 15 KHz

Vin (V)	Vout (KV)	I out (A)
20	7.01	0.914
30	8.40	1.413
40	9.45	1.877
50	10.02	2.350

ตารางที่ 23 ผลการทดลองที่ได้จากสภาวะอากาศ ชั่วโมงเล็กโตรคห่าง โดยมีด้วยแก้วขึ้นไว้และมีวุ้น
อยู่ในด้วยแก้ว Duty Cycle 50 % ความถี่ 15 KHz

Vin (V)	Vout (KV)	I out (A)
20	7.73	2.294
30	8.50	3.349
40	OL	3.547
50	OL	3.816

ตารางที่ 24 ผลการทดลองที่ได้จากสภาวะอากาศ ชั่วโมงเล็กโตรคห่าง โดยมีด้วยแก้วขึ้นไว้และมีวุ้น
อยู่ในด้วยแก้ว Duty Cycle 30 % ความถี่ 20 KHz

Vin (V)	Vout (KV)	I out (A)
20	6.54	0.177
30	7.02	0.277
40	9.33	0.405
50	8.33	0.515

ตารางที่ 25 ผลการทดลองที่ได้จากสภาวะอากาศ ชั่วโมงเล็กโตรคห่าง โดยมี duty cycle 40% ความถี่ 20 KHz

Vin (V)	Vout (KV)	I out (A)
20	7.87	0.587
30	9.11	0.900
40	10.43	1.248
50	11.13	1.552

ตารางที่ 26 ผลการทดลองที่ได้จากสภาวะอากาศ ชั่วโมงเล็กโตรคห่าง โดยมี duty cycle 30% ความถี่ 30 KHz

Vin (V)	Vout (KV)	I out (A)
20	7.65	0.115
30	7.98	0.133
40	9.90	0.224
50	11.95	0.329

ตารางที่ 27 ผลการทดลองที่ได้จากสภาวะอากาศ ชั่วโมงเล็กโตรคห่าง โดยมี duty cycle 40% ความถี่ 30 KHz

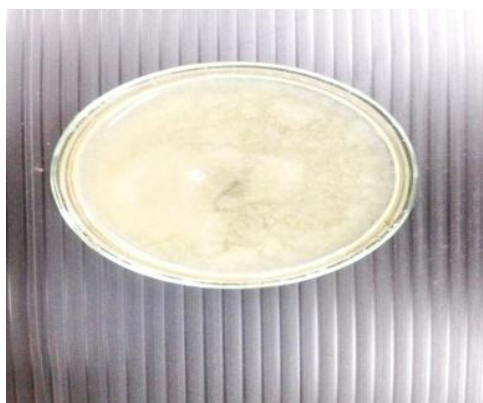
Vin (V)	Vout (KV)	I out (A)
20	10.45	0.348
30	11.26	0.537
40	12.40	0.741
50	13.95	0.969

สรุป จากการทดลองการเก็บข้อมูลแรงดัน Output ที่ได้มาจากการทดลองในสภาวะต่างๆ นั้นเมื่อเปรียบเทียบดูแล้วปริมาณค่าของแรงดัน output ที่ได้มานั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างประกอบกัน เช่น แรงดัน Input ความถี่ Duty Cycle และค่า Dielectric

4.4 การทดลองกับอาหาร

4.4.1 การทดลองกับวุ้นมันฝรั่ง

การทดสอบกับวุ้นมันฝรั่งโดยการนำเอาอาหารตัวอย่างคือวุ้นมันฝรั่งใส่ไว้ในถ้วยแก้วเอาไปวางไว้ระหว่างขั้วอิเล็กโตรดของชุดภาชนะทดลองแล้วได้ทำการทดลองโดยการจ่ายแรงดันกระตุ้น (V_{in}) ที่ 45-50 VDC , ความถี่ที่ 15 KHz , Duty Cycle 30 % ในสภาวะบรรยากาศซึ่งระยะห่างของขั้วอิเล็กโตรดห่างกันไม่มากจึงทำให้อิเล็กโตรดวิ่งเข้าหากันได้ทั่วด้วยภาชนะทดสอบจึงไม่ต้องทำการดูดอากาศซึ่งในสภาวะสูญญากาศอิเล็กโตรดวิ่งเข้าหากันได้ดีกว่า จากการทดลองได้ใช้เวลาประมาณ 5 นาที ซึ่งแรงดันที่ผ่านขั้วอิเล็กโตรด (V_{out}) ประมาณ 8-10 KV เมื่อนำอาหารที่ได้ทดลองกับที่ไม่ผ่านการทดลองนี้เก็บไว้ในสภาวะอุณหภูมิห้องปกติเป็นเวลา 5 วัน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอาหารที่ไม่ได้ผ่านการทดลองมีอาการแห้ง เน่าเสีย และมีกลิ่นเหม็นมากกว่าที่ได้ผ่านการทดลองสามารถมองเห็นความแตกต่างได้ดังภาพที่ 4.2 ข. และ ค.



(ก) ก่อนการทดลอง



(จ) ไม่ผ่านการทดลองเมื่อผ่านไป 5 วัน



(ค) ผ่านการทดลองเมื่อผ่านไป 5 วัน

ภาพที่ 4.2 แสดงการทดลองกับวุ้นมันฝรั่ง

4.4.2 การทดลองกับนมสด

การทดสอบกับนมสดโดยการนำเอาอาหารตัวอย่างคือนมสดใส่ไว้ในถ้วยแก้วเอาไปวางไว้ระหว่างขั้วอิเล็กโตรดของชุดภาชนะทดลองแล้วได้ทำการทดลองโดยการจ่ายแรงดันกระตุ้น (Vin) ที่ 45-50 VDC , ความถี่ที่ 15 KHz , Duty Cycle 30 % ในสภาวะบรรยากาศซึ่งระยะห่างของขั้วอิเล็กโตรดห่างกันไม่มากจึงทำให้อิเล็กโตรดวิ่งเข้าหากันได้ทั่วด้วยภาชนะทดสอบจึงไม่ต้องทำการดูดอากาศซึ่งในสภาวะสูญญากาศอิเล็กโตรดวิ่งเข้าหากันได้ดีกว่า จากการทดลองได้ใช้เวลาประมาณ 5 นาที ซึ่งแรงดันที่ผ่านขั้วอิเล็กโตรด (Vout) ประมาณ 8-10 KV เมื่อนำอาหารที่ได้ทดลองกับที่ไม่ผ่านการทดลองนี้เก็บไว้ในสภาวะอุณหภูมิห้องปกติเป็นเวลา 5 วัน เมื่อนำมา

เปรียบเทียบกันอาหารที่ไม่ได้ผ่านการทดลองมีอาการแห้ง เน่าเสีย และมีกลิ่นเหม็นมากกว่าที่ได้ผ่านการทดลองสามารถมองเห็นความแตกต่างได้ดังภาพที่ 4.3 ข. และ ค.



(ก) ก่อนการทดลอง



(ข) ไม่ผ่านการทดลองเมื่อผ่านไป 5 วัน



(ค) ผ่านการทดลองเมื่อผ่านไป 5 วัน

ภาพที่ 4.3 แสดงการทดลองกับนมสด

4.4.3 การทดลองกับวุ้นนมสด

การทดสอบกับวุ้นนมสดโดยการนำเอาอาหารตัวอย่างคือวุ้นนมสดใส่ไว้ในถ้วยแก้วเอาไปวางไว้ระหว่างขั้วอิเล็กโตรดของชุดภาชนะทดลองแล้วได้ทำการทดลองโดยการจ่ายแรงดันกระตุ้น (Vin) ที่ 45-50 VDC , ความถี่ที่ 15 KHz , Duty Cycle 30 % ในสภาวะบรรยากาศซึ่งระยะห่างของขั้วอิเล็กโตรดห่างกันไม่มากจึงทำให้อิเล็กโตรดวิ่งเข้าหากันได้ทั่วด้วยภาชนะทดสอบจึงไม่ต้องทำการดูดอากาศซึ่งในสภาวะสูญญากาศอิเล็กโตรดวิ่งเข้าหากันได้ดีกว่า จากการทดลองได้ใช้เวลาประมาณ 5 นาที ซึ่งแรงดันที่ผ่านขั้วอิเล็กโตรด (Vout) ประมาณ 8-10 KV เมื่อนำอาหารที่ได้ทดลองกับที่ไม่ผ่านการทดลองนี้เก็บไว้ในสภาวะอุณหภูมิห้องปกติเป็นเวลา 5 วัน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันอาหารที่ไม่ได้ผ่านการทดลองมีอาการแห้ง เน่าเสีย และมีกลิ่นเหม็นมากกว่าที่ได้ผ่านการทดลองสามารถมองเห็นความแตกต่างได้ดังภาพที่ 4.4 ข. และ ค.



(ก) ก่อนการทดลอง



(ข) ไม่ผ่านการทดลองเมื่อผ่านไป 5 วัน



(ค) ผ่านการทดลองเมื่อผ่านไป 5 วัน

ภาพที่ 4.4 แสดงการทดลองกับวุ้นนมสด

4.5 สรุปการทดลอง

จากการทดลองการใช้พัลส์สนามไฟฟ้าแรงดันสูงมาทดลองการถนอมอาหารจะเห็นการเปลี่ยนแปลงการเน่าเสียของอาหารช้าลงกว่าปกติ จึงสรุปได้ว่าการใช้สนามไฟฟ้าแรงดันสูงมาใช้ในการถนอมอาหารนั้นสามารถทำได้จริงโดยสนามไฟฟ้าจะทำการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์และยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ค่าที่สามารถนำมาทดลองแล้วเห็นผลดีที่สุดจะอยู่ที่ความถี่ประมาณ 15 KHz Duty Cycle 30 % แรงดันกระตุ้นที่ประมาณ 45 – 50 VDC เมื่อระยะเวลาผ่านไปจะเห็นความแตกต่างของอาหารที่ผ่านการทดลองกับที่ไม่ผ่านการทดลองเมื่อเก็บไว้ในที่ที่เดียวกัน

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

ในการทดลองชุดสาธิตการกำเนิดแรงดันสูงจะมีชุดวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ซึ่งป้อนสัญญาณ จะสามารถปรับค่าแรงดันตั้งแต่ 0 จนถึง 25 kV โดยจะปรับที่แรงดัน Input ที่จ่ายเป็นแรงดันไฟฟ้า AC ผ่านวงจรบริดจ์ ในส่วนวงจรสร้างสัญญาณพัลส์โดยใช้ความถี่ 30 kHz และความกว้างพัลส์ที่ 35% สำหรับการวัดแรงดันไฟฟ้า DC แรงสูงที่ออกจากฟลายแบ็คผ่านวงจรทวิแรงดัน จะทำการวัดโดยใช้ ไฮโวลท์เมตรจโพรบ ในการต่อหม้อแปลงฟลายแบ็คสำเร็จรูปเข้ากับวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ไม่สามารถสร้างแรงดันได้ถึง วิธีการแก้ไข เราได้ทำการออกแบบและพันหม้อแปลงฟลายแบ็คขึ้นมาใหม่เพื่อให้ได้แรงดันที่เพียงพอในการทดสอบ การออกแบบหม้อแปลงฟลายแบ็คให้ได้แรงดันสูง สามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนการสร้างแกนขดลวดให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและต้องใช้ลวดทองแดงที่มีขนาดเล็กที่เพื่อไม่ให้หม้อแปลงกินกระแสมากเกินไปจนทำให้แหล่งจ่ายไฟเกิดความเสียหาย ในการพันแต่ละรอบของฟลายแบ็คของหม้อแปลงฟลายแบ็คควรมีฉนวนรอบๆที่เพื่อป้องกันการช็อตย้อนกลับทำให้หม้อแปลงเสียหาย แกนของหม้อแปลงฟลายแบ็คควรมีช่องระหว่างแกนเพื่อไม่ให้หม้อแปลงฟลายแบ็คเกิดการอิ่มตัวและไม่สามารถเพิ่มแรงดันให้ตัวมันเองได้ และในการทดสอบไฟแรงสูงควรมีการป้องกันอันตรายที่ดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] ตำรวย สัจสะอาด. วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [2] นาย วุฒิไกร วงษาศรี , นาย วุฒิเฉลิม นิละมนต์; การใช้พัลส์สนามไฟฟ้า เพื่อการฆ่าเชื้อในอาหารเหลวและน้ำผลไม้ ; ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ; มหาวิทยาลัยขอนแก่น , 2553
- [3] พิมพ์พร เสนอิน ; แพรพรรณ ปินไชย ; อรพรรณ แซ่โถ้ว ; อาทิตย์ ยาวุทธิ และ พานิช อินต๊ะ ; การออกแบบห้องฆ่าเชื้อแบบใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์สำหรับกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์อาหารเหลว ; วารสารวิจัยและพัฒนา ;มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ; 2555

ภาคผนวก

(Data Sheet) IC KA3525 , IC TLP 250 , Ferrite Cores , Mosfet IRF 840 , IGBT 20N60

