

เครื่องจ่ายไฟค้ำยสูงแบบพัลส์อย่างง่ายที่ใช้คอยล์จุดระเบิด

Simple High Voltage Pulse Power Supply Based on Ignition Coil

นัฐชยพงษ์ ธีรัชตระกูล^{1*}
Natchayapong Teerachtraگون^{1*}

บทคัดย่อ

เครื่องจ่ายไฟค้ำยสูงแบบพัลส์มีการใช้งานอย่างกว้างขวางทั้งทางด้านวิทยาศาสตร์ วิศวกรรม และด้านการแพทย์ สำหรับรายงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องจ่ายไฟค้ำยสูงแบบพัลส์โดยใช้คอยล์จุดระเบิด เครื่องจ่ายไฟนี้เป็นแบบตั้งโต๊ะและควบคุมการทำงานด้วยบอร์ด Arduino รุ่น UNO R3 เครื่องมือนี้มีข้อดี คือ ใช้งานง่าย มีต้นทุนต่ำ ควบคุมแรงดันไฟฟ้าและความถี่ได้สะดวก สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าพัลส์สูงถึง 49.2 kV ในขณะที่ไม่มีโหลดในช่วงความถี่ 100 Hz ถึง 3 kHz และได้ทดลองใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้นนี้ไปใช้ในการกำเนิดพลาสมาด้วยวิธีไดอิเล็กตริก แบรีเออร์ ดิสชาร์จ ที่ความดันบรรยากาศ นำพลาสมาที่ได้ไปปรับปรุงผิวของแผ่นกระจกสไลด์ พบว่าสามารถทำให้พื้นผิวของแผ่นกระจกสไลด์มีคุณสมบัติในการชอบน้ำ

คำสำคัญ: แหล่งจ่ายไฟค้ำยสูงแบบพัลส์ ไดอิเล็กตริกแบรีเออร์ดิสชาร์จ ชอบน้ำ

Abstract

High voltage pulse power supplies have been used a wide range in science, engineering, and medical field. This research aims to design and construct of a high-voltage pulse power supply with an ignition coil. This power supply is a tabletop and controlled by an Arduino UNO R3 board. It is easy to use, inexpensive, convenient to control the voltage and frequency. The power supply is capable of producing high voltage pulses up to 49.2kV across an open load at frequencies ranging from 100Hz to 3kHz. The instrument was used to generate plasma via the dielectric barrier discharge technique and to enhance the surface of the glass slide with the plasma generated. The hydrophilic qualities of the glass slide's surface were discovered.

Keywords: high voltage pulse power supply, dielectric barrier discharge, hydrophilic

บทนำ

เครื่องจ่ายไฟค้ำยสูง (High voltage power supply) มีการนำไปใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าในชีวิตประจำวันหลายอย่าง เช่น เครื่องฟอกอากาศ เครื่องถ่ายเอกสาร โคมดักแมลง ไม้ตียุง การฆ่าเชื้อในผลิตภัณฑ์เครื่องปรับอากาศ และเตาไมโครเวฟ เป็นต้น นอกจากนี้ยังได้ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมและงานวิจัยหลายอย่าง เช่น ในเครื่องผลิตไอโซน ระบบการฆ่าเชื้อโรคในอุตสาหกรรมอาหาร การบำบัดน้ำเสีย การล้างผักด้วยไอโซนแทนการใช้สารต่างทาบทิม การใช้ไอโซนผลิตน้ำประปาแทนการใช้คลอรีน และการสร้างพลาสมาเย็น (Non-thermal plasma) เป็นต้น ในทางการแพทย์สามารถนำพลาสมาไปประยุกต์ใช้หลายด้าน เช่น เทคนิคการแยกเนื้อเยื่อ กระบวนการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ เป็นต้น ในทางวัสดุศาสตร์ สามารถใช้พลาสมาในการผลิตเส้นใยของพอลิเมอร์ หรือปรับปรุงผิวของวัสดุ เป็นต้น ในอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ มีการนำไปใช้ในการทำความสะอาดชิ้นงาน, เคลือบผิวด้วยฟิล์มบาง การปรับปรุงและทำความสะอาดพื้นผิวชิ้นงาน (Nayan *et al.*, 2012; Kasari *et al.*, 2020) ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ก็มีการประยุกต์ใช้ในการทำเส้นใยที่สามารถทำความสะอาดได้ง่าย การป้องกันการซึมของน้ำ หรือเพื่อเพิ่มการซึมและการยึดเกาะของหมึกสี นอกจากนี้ยัง

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์ลำปาง ลำปาง 52190

¹ Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Lampang Center, Lampang, 52190

*Corresponding author: e-mail: natchayapong@hotmail.com

Received: January 10, 2022, Accepted: February 26, 2022, Published: September 4, 2022



สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในทางเกษตรกรรมได้อีกด้วย เช่น การเสริมสมรรถนะผลผลิตในวัฏจักรชีวิตพืช สลายนสารเคมีตกค้างผักผลไม้ และการถนอมอาหาร เป็นต้น (Campbell *et al.*, 2008; Al-Jobouri and Ismaeel, 2014; Valdivia-Barrientos *et al.*, 2009; Tudoran, 2011; Moshkunov *et al.*, 2018)

เทคนิคการสร้างไฟคัลย์สูงนั้นมีหลายแบบ เช่น ใช้หม้อแปลงแบบแปลงแรงดันขึ้น (Step up transformer) ที่มีความถี่ต่ำ เพื่อแปลงไฟที่คัลย์ต่ำให้เป็นไฟคัลย์สูง แต่ต้องใช้หม้อแปลงที่มีขนาดใหญ่ และหากต้องการคัลย์ไฟฟ้าที่สูงมาก ๆ จะมีราคาแพง จึงเหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูง ส่วนอีกวิธีหนึ่ง คือ การใช้หม้อแปลงแบบแปลงแรงดันขึ้นชนิดความถี่สูง เช่น หม้อแปลงฟลายแบค (Fly back transformer) ซึ่งเหมาะกับอุปกรณ์ที่ไม่ต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูง แต่ต้องการคัลย์ไฟฟ้าสูงเป็นหลัก โดยจะมีวงจรปรับความถี่เพื่อใช้ปรับค่าคัลย์ไฟฟ้า จึงเป็นเครื่องจ่ายไฟคัลย์สูงที่มีขนาดเล็ก เหมาะกับการประยุกต์ใช้งานบำบัดน้ำเสีย และการกำเนิดพลาสมาด้วยวิธีไดอิเล็กตริก แบรีเออร์ ดิสชาร์จ (Dielectric Barrier Discharge หรือ DBD) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีวงจรจ่ายไฟคัลย์สูงแบบอื่น ๆ ที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษ เพื่อให้สามารถจ่ายคัลย์ไฟฟ้าได้สูงในระดับ 100kV หรือสูงกว่า (Chaney and Sundarajan, 2004; Gupta and John, 2001; Tarigan *et al.*, 2019; Kasri *et al.*, 2020)

หลักการของเครื่องจ่ายไฟคัลย์สูงแบบพัลส์ที่ออกแบบและสร้างในงานวิจัยนี้ จะอาศัยการเปลี่ยนจากไฟฟ้ากระแสตรงด้วยวงจรสวิตชิงกำลังสูง โดยวงจรสวิตชิงจะใช้ MOSFET ชนิด N เบอร์ IRF540 เพื่อให้ไฟฟ้าเกิดกระแสแบบพัลส์ จากนั้นกระแสไฟฟ้าแบบพัลส์จะส่งผ่านเข้าไปยังขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงคัลย์สูง โดยหม้อแปลงคัลย์สูงที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะเป็นคอยล์จตุระเปิด (Ignition Coil) และเกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิ ทำให้ได้ไฟคัลย์สูงแบบพัลส์ตามหลักการของหม้อแปลง

$$\frac{V_P}{N_P} = \frac{V_S}{N_S} \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ V_P คือ โวลเตจที่ตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิ
 N_P คือ จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ
 V_S คือ โวลเตจที่ตกคร่อมขดลวดทุติยภูมิ
 N_S คือ จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ

สำหรับคอยล์จตุระเปิดจะมีจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิต่อจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ มีอัตราส่วนเป็น 100:1 หากพิจารณาขดลวดทุติยภูมิในรูปของวงจรไฟฟ้า จะเป็นวงจรอนุกรมของตัวเหนี่ยวนำ (L) กับตัวเก็บประจุ (C) ของขดลวด ดังนั้น ที่ขดลวดทุติยภูมิจึงเป็นเสมือนวงจรแกว่งกวัดแบบ LC (LC Oscillator) โดยที่ความถี่กำทอน (Resonance frequency) กำหนดโดย

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} \dots\dots\dots(2)$$

ดังนั้น คัลย์ไฟฟ้าด้านเอาต์พุตนอกจากจะขึ้นกับอัตราส่วนของจำนวนรอบของขดลวดแล้ว ยังขึ้นกับความถี่ในการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าตามหลักการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ (Serway and Jewett, 2008)

พันธกิจหลักที่สำคัญของมหาวิทยาลัย คือ การเรียนการสอน การวิจัย บริการวิชาการ และทะนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม สำหรับผู้วิจัยซึ่งรับผิดชอบในการจัดเตรียมเครื่องมือเพื่อใช้ในการเรียนการสอนปฏิบัติการฟิสิกส์พื้นฐานที่เกี่ยวกับสนามไฟฟ้า ตลอดจนการสาธิตและงานวิจัยที่เกี่ยวกับปรากฏการณ์พลาสมา การกำเนิดพลาสมาและการนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ จำเป็นต้องมีเครื่องจ่ายไฟคัลย์สูงที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา มาใช้งาน แต่เครื่องจ่ายไฟลักษณะนี้ยังไม่มีในห้องปฏิบัติการ และมีราคาสูงมาก เช่น High Voltage AC Test Set รุ่น PFT-302CE เมื่อคิดเป็นเงินบาทจะมีราคาเกือบ 3 แสนบาท จึงเป็นที่มาของการทำวิจัยในเรื่องนี้

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องจ่ายไฟคัลย์สูงแบบพัลส์ที่สามารถจ่ายแรงดันได้ไม่ต่ำกว่า 40 kV
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องจ่ายไฟคัลย์สูงแบบพัลส์ที่ออกแบบและสร้างขึ้น



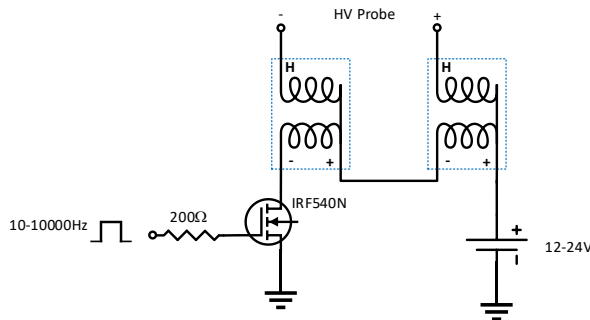
ระเบียบวิธีวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ ที่ใช้สำหรับในงานวิจัยนี้ ได้แก่

1. ดิจิทัล ออสซิลโลสโคป ยี่ห้อ GWINTEK รุ่น GDS-1072-U สำหรับการวัดรูปสัญญาณไฟฟ้า
2. ดิจิทัล มัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ SANWA รุ่น PC700 สำหรับการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า
3. เครื่องกำเนิดสัญญาณ ยี่ห้อ vantek รุ่น CA1645 สำหรับการทดสอบวงจรต้นแบบ
4. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 0-30V10A ยี่ห้อ QW รุ่น QW-MS3010D สำหรับการทดสอบวงจรต้นแบบ
5. High Voltage Probe รุ่น HVP-40 สำหรับอ่านค่าแรงดันไฟศักย์สูงด้วยดิจิตอล มัลติมิเตอร์

การทดสอบวงจรเบื้องต้น

เนื่องจากคอยล์จุดระเบิด (Ignition Coil) ที่ผู้วิจัยเลือกใช้มีรุ่นและยี่ห้อที่ต่างกัน ซึ่งคอยล์แต่ละลูกจะมีคุณสมบัติเฉพาะทางไฟฟ้าที่ต่างกัน จึงได้นำมาต่ออนุกรมด้วยการสลับขั้วในหลาย ๆ แบบ เพื่อทดสอบหาว่าการต่ออนุกรมแบบใดจะได้อ่านค่าแรงดันสูงสุด โดยใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณ จ่ายสัญญาณคลื่นพัลส์ความถี่ 10 - 10000Hz และใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ทำหน้าที่จ่ายแรงดัน 12-24V โดยมี High Voltage Probe และดิจิตอล มัลติมิเตอร์ ทำหน้าที่วัดแรงดันขาออก พบว่า วงจรอนุกรมที่เลือกใช้มีค่าแรงดันขาออกมากที่สุด



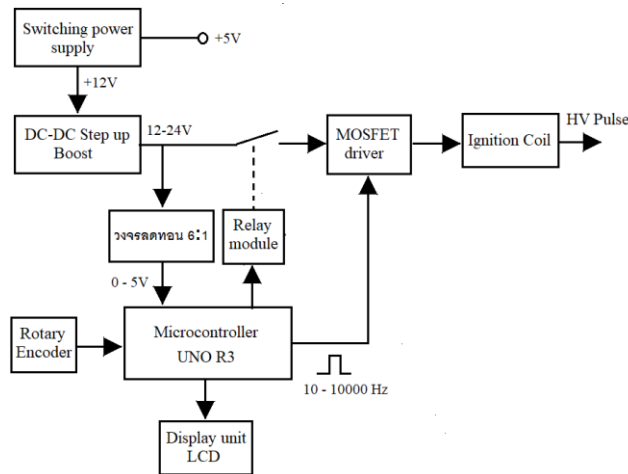
ภาพที่ 1 วงจรอนุกรมที่เลือกใช้

การออกแบบและสร้างเครื่องจ่ายไฟศักย์สูงแบบพัลส์ มีองค์ประกอบหลักดังนี้

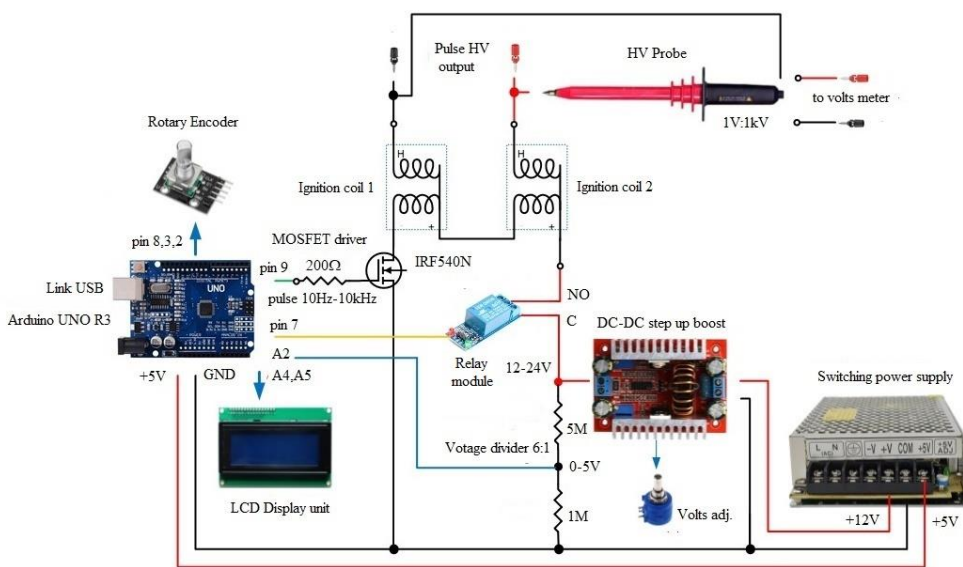
1. เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตชิง (Switching power supply) ที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบคงที่ 2 ค่า คือ +5V 3A และ +12V 5A เพื่อจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรทั้งหมด
2. วงจร DC-DC step up boost ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงขาเข้า +12V ไปเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +12V ถึง +24V โดยส่งต่อไปยังวงจรขับ MOSFET และวงจรลดทอนแรงดัน 6:1
3. วงจรขับ MOSFET ทำหน้าที่เปิด-ปิด แรงดันไฟเลี้ยงที่เข้าคอยล์จุดระเบิด (Ignition Coil) ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้ Power MOSFET เบอร์ IRF540
4. วงจรลดทอนแรงดัน 6:1 เป็นวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage divider) ทำหน้าที่ลดทอนแรงดันขาเข้าจาก 0 ถึง +30V ไปเป็น 0 ถึง +5V เพื่อต่อไปยังช่อง A2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ (ซึ่งสามารถเลือกใช้ A0-A3 ช่องใดช่องหนึ่งได้) เพื่ออ่านค่าแรงดันของ วงจร DC-DC step up boost ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
5. โมดูลรีเลย์ (Relay module) ทำหน้าที่ตัดต่อกระแสไฟที่เข้าวงจรขับ MOSFET โดยควบคุมการเปิด-ปิด ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
6. หน่วยแสดงผล (Display unit) ทำหน้าที่แสดงผลข้อมูลต่าง ๆ โดยใช้จอแสดงผลแบบผลึกเหลว (Liquid Crystal Display หรือ LCD) ชนิด 20 ตัวอักษร 4 บรรทัดเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ในรูปแบบการสื่อสาร I²C (ขา SDA : A4; ขา SCL : A5)
7. โมดูลสวิตช์โรตารี (Rotary Encoder) ทำหน้าที่เลือกการทำงานเริ่มหรือหยุดการทำงาน และกำหนดค่าความถี่ที่ต้องการ โดยผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์
8. ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ในงานวิจัยนี้เลือกใช้บอร์ด Arduino รุ่น UNO R3 มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของตัวเครื่อง เช่น การกำเนิดสัญญาณความถี่ 10Hz - 10000Hz การอ่านค่าแรงดันขาเข้า โดยรับข้อมูลจากวงจรลดทอนสัญญาณ 6:1 และสวิตช์โรตารี โดยส่งข้อมูลไปที่หน่วยแสดงผล

9. ชุดคอยล์จุดระเบิดทำหน้าที่แปลงไฟแรงดันต่ำไปเป็นไฟฟ้าแรงดันสูงแบบพัลส์ ในงานวิจัยนี้จะใช้คอยล์จุดระเบิดจำนวน 2 ตัวมาต่ออนุกรมกัน สามารถรองรับแรงดันไฟฟ้าได้ถึง +24V และได้ไฟศักย์สูงมากกว่า 45kV

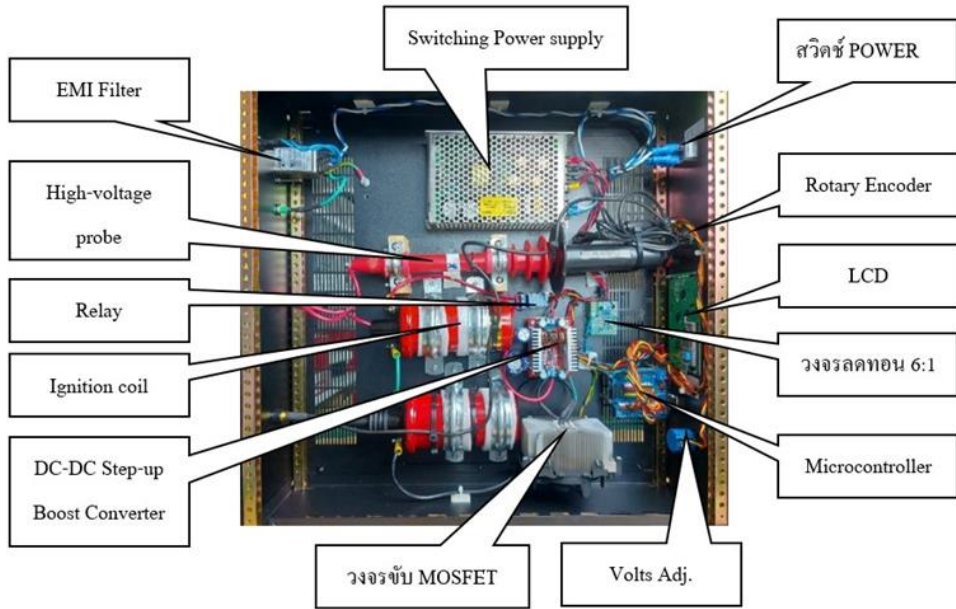
เมื่อนำองค์ประกอบหลักทั้ง 9 ส่วนมาประกอบเป็นเครื่องจ่ายไฟศักย์สูงแบบพัลส์ ซึ่งแสดงได้ตามแผนภาพตามภาพที่ 2 จากแผนภาพเมื่อนำมาประกอบเป็นวงสมบูรณ์จะแสดงได้ตามภาพที่ 3 ส่วนภาพที่ 4 เป็นการจัดวางอุปกรณ์ต่าง ๆ ทั้งนี้ได้ใส่ EMI filter (Electromagnetic interference filter) เพื่อเป็นตัวกรองสัญญาณรบกวน (noise) ต่าง ๆ ที่จะเข้ามาในระบบไฟฟ้า 220VAC ก่อนที่เข้าสู่เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตซิง ได้ทำการปรับปรุงวงจร DC-DC Step up boost โดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ขนาด 10 kOhm ชนิด 10 รอบ แทนตัวต้านทานเดิมเพื่อให้การปรับค่าแรงดัน (Voltes. Adj.) ได้สะดวกและเที่ยงตรงขึ้น เพื่อสะดวกในการอ่านค่าแรงดันไฟศักย์สูงด้วยดิจิทัลดัลติมิเตอร์ จึงได้ติดตั้ง High Voltage Probe รุ่น HVP-40 ไว้ภายในเครื่องจ่ายไฟศักย์สูงแบบพัลส์โดยตรง โดยได้ต่อปลาย High Voltage Probe ขั้วบวกเข้ากับขาออกของคอยล์จุดระเบิดตัวที่สอง (Ignition coil 2) และ High Voltage Probe ขั้วลบเข้ากับขาออกของคอยล์จุดระเบิดตัวที่หนึ่ง (Ignition coil 1) ตามภาพที่ 3



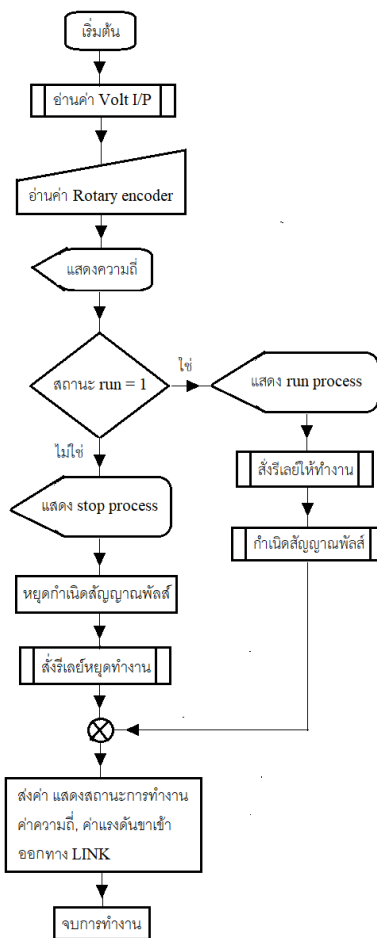
ภาพที่ 2 แผนภาพของเครื่องจ่ายไฟศักย์สูงแบบพัลส์ที่จะสร้าง



ภาพที่ 3 วงจรสมบูรณ์ของเครื่องมือที่ออกแบบและสร้าง



ภาพที่ 4 การจัดวางอุปกรณ์ต่าง ๆ



ภาพที่ 5 ผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมของไมโครคอนโทรลเลอร์

จากภาพที่ 5 แสดงผังการทำงานโปรแกรมควบคุมของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเมื่อเปิดเครื่องใช้งาน หน้าจอของเครื่องจะแสดงข้อความชื่อของเครื่องมือ มีการค้างหน้าจอแสดงผลเป็นเวลา 3 วินาที จากนั้นจึงเข้าสู่การแสดงผลโหมดพร้อมทำงาน หน้าจอจะแสดงข้อความข้อมูล แรงดันขาเข้า ความถี่ที่กำหนด และสถานะการทำงานของเครื่อง โดยจะมีการทำงานแบบวนลูปตามลำดับดังนี้ คือ การอ่านค่าแรงดันขาเข้าที่มาจากวงจร DC-DC step up boost โดยผ่านวงจรลดทอนแรงดัน 6:1 เข้าช่อง A2, อ่านค่า Rotary Encoder และแสดงค่าความถี่และค่าแรงดันขาเข้า โดยเมื่อมีการกด Rotary Encoder โปรแกรมจะประมวลผลสถานะการทำงานของหากมีการสั่งให้ทำงานโปรแกรมจะส่งให้ไมโครรีเลย์ต่อวงจรแรงดันขาออกจาก DC-DC step up boost ไปที่วงจรขับ MOFET เพื่อทำการขับคอยล์จตุระเปิดและกำเนิดความถี่ตามที่กำหนด ทำให้มีแรงดันไฟศักย์สูงออกมา และหากมีการสั่งให้หยุดทำงาน โปรแกรมจะสั่งให้ไมโครรีเลย์ตัดวงจรแรงดันขาจาก DC-DC step up boost ที่ไปที่วงจรขับ MOFET และหยุดกำเนิดความถี่ ซึ่งจะทำให้ไม่มีแรงดันไฟศักย์สูงออกมา

การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องจ่ายไฟศักย์สูงแบบพัลส์

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องจ่ายไฟศักย์สูงแบบพัลส์ที่สร้างขึ้น ได้แก่ (1) การทดสอบศักย์ไฟฟ้าเอาต์พุตกับความถี่ และแรงดันที่จ่ายให้กับชุดคอยล์ (2) การผลิตพลาสมาของอากาศด้วยวิธีไดอิเล็กตริกแบริเออร์ ดิสชาร์จ และ (3) การปรับปรุงพื้นผิวของกระจกสไลด์ด้วยพลาสมา

1. นำดิจิตอล มัลติมิเตอร์ ปรังไปที่โหมดการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ต่อกับขั้วเอาต์พุตของเครื่องจ่ายไฟศักย์สูงที่สร้างขึ้น ตามภาพที่ 6
2. ปรับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ชุดคอยล์เป็น +12V โดยปรับที่ Voltes. Adj. หน้าเครื่อง
3. ปรับความถี่เริ่มต้นที่ 10Hz โดยเลือกจากโมดูลสวิทช์โรตารี หน้าเครื่อง
4. วัดแรงดันเอาต์พุตด้วยดิจิตอล โวลต์มิเตอร์ บันทึกค่าแรงดันเอาต์พุต
5. ปรับความถี่เพิ่มขึ้นครั้งละ 50Hz จนถึง 3000Hz พร้อมกับวัดและบันทึกค่าแรงดันเอาต์พุตของแต่ละความถี่
6. เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ชุดคอยล์เป็น +15V, +18V, +21V และ +24V ตามลำดับ โดยที่แต่ละแรงดันไฟฟ้า ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 3. - 5.
7. เขียนกราฟระหว่างความถี่กับแรงดันเอาต์พุต

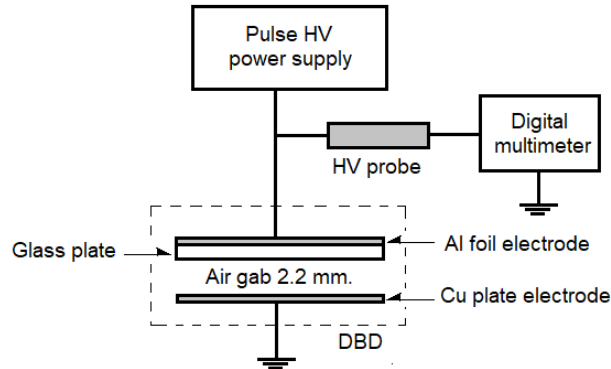


ภาพที่ 6 การทดสอบศักย์ไฟฟ้าเอาต์พุตกับความถี่ และแรงดันที่จ่ายให้ชุดคอยล์

การผลิตพลาสมาของอากาศด้วยวิธีไดอิเล็กตริก แบริเออร์ ดิสชาร์จ

ไดอิเล็กตริก แบริเออร์ ดิสชาร์จ เป็นการคายประจุระหว่างขั้วไฟฟ้าสองขั้วที่อยู่ห่างกัน โดยที่ขั้วใดขั้วหนึ่งหรือทั้งขั้วจะมีชั้นของไดอิเล็กตริก และช่องว่างระหว่างขั้วเป็นก๊าซ ลักษณะของขั้วไฟฟ้ามีได้หลายแบบ เช่น แบบแผ่นขนาน แบบทรงกระบอก แบบวงแหวน หรือแบบผสม (Kogelschatz, 2000) ขั้วไฟฟ้าทั้งสองจะต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับศักย์สูง หรือแหล่งจ่ายไฟศักย์สูงแบบพัลส์ ทำให้โครงสร้างของ DBD เหมือนกับตัวเก็บประจุ โดยศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าสลับ ถ้าสนามไฟฟ้ามีค่ามากพอจะทำให้ก๊าซแตกตัวทำให้เกิดพลาสมาขึ้น ในขณะเวลาใด ๆ ไอออนและอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะถูกดึงดูดไปยังขั้วที่มีศักย์ตรงข้ามกับชนิดของประจุ ทำให้เกิดขึ้นของประจุบนผิวของไดอิเล็กตริก ประจุเหล่านี้จะไปหักล้างกับประจุบนผิวของขั้วไฟฟ้า ทำให้สนามไฟฟ้าสุทธิระหว่างขั้วลดลงเป็นศูนย์และทำให้การคายประจุหยุดลง เมื่อศักย์ไฟฟ้ามีการสลับขั้วการคายประจุจะเกิดขึ้นอีกครั้ง เป็นเช่นนี้เรื่อยไปในทุก ๆ รอบของสัญญาณไฟฟ้า

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองใช้เครื่องจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบบพัลส์ที่สร้างขึ้นนี้ ไปใช้กับตัวผลิตพลาสมาแบบไดอิเล็กทริก แบรีเออร์ ดิสชาร์จ อย่างง่าย ที่มีโครงสร้างตามภาพที่ 7 โดยขั้วด้านหนึ่งได้ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ ปิดบนแผ่นกระจกสไลด์ ส่วนอีกขั้วหนึ่งจะเป็นแผ่นทองแดง (ใช้ทองแดงของแผ่นวงจรพิมพ์) โดยช่องว่างอากาศเป็นบริเวณที่เกิดพลาสมาที่ความดันบรรยากาศ ในการทดลองได้ปรับความกว้างของช่องว่างอากาศที่ระยะต่าง ๆ โดยใช้ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดพบว่าความกว้างของช่องว่างอากาศสูงสุดที่ยังสามารถกำเนิดพลาสมาได้ คือ 2.2 มิลลิเมตร

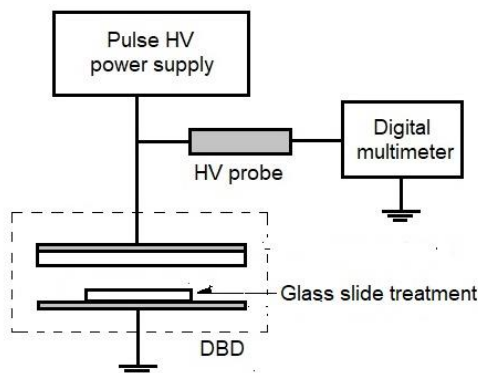


ภาพที่ 7 ระบบของไดอิเล็กทริก แบรีเออร์ ดิสชาร์จ อย่างง่าย ที่ใช้กำเนิดพลาสมา

การปรับปรุงผิวของกระจกสไลด์ด้วยพลาสมา

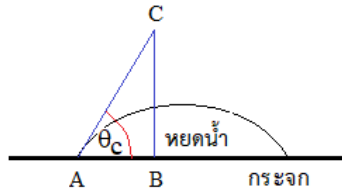
การปรับปรุงพื้นผิวของวัสดุด้วยพลาสมา เกี่ยวข้องกับอันตรกิริยาระหว่างพลาสมากับพื้นผิวชั้นนอกสุดของวัสดุ ถึงแม้ว่าเทคนิคที่ใช้ในการทดลองจะง่าย แต่ผู้วิจัยคาดหวังว่าจะได้ข้อมูลบางอย่างจากการให้ผิวของวัสดุ (ในที่นี้คือแผ่นกระจกสไลด์) ไปสัมผัสกับพลาสมาวิธีการทดลองกระทำดังนี้

1. นำแผ่นสไลด์ขนาดความหนา 1.1 มิลลิเมตร ที่จะทำการปรับปรุงพื้นผิวไปทำความสะอาดด้วยน้ำยาทำความสะอาดแล้วทำให้แห้ง
2. หยดน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิตร ลง ณ บริเวณกึ่งกลางของแผ่นสไลด์ และถ่ายภาพด้านข้างของหยดน้ำ เช็ดน้ำออกจากแผ่นสไลด์ และเป่าให้แห้ง จากนั้นนำแผ่นสไลด์สอดเข้าไปที่ช่องว่างอากาศ (Air gab) ของโครงสร้างไดอิเล็กทริก แบรีเออร์ ดิสชาร์จ อย่างง่ายตามภาพที่ 8
3. ทำให้เกิดพลาสมา ที่แรงดันไฟศักย์สูง 20kV เป็นระยะเวลา 1 นาที จากนั้น นำแผ่นสไลด์มาหยดน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิตร และถ่ายภาพด้านข้างของหยดน้ำ
4. ทำการทดลองซ้ำ ตามข้อ 3. อีก 4 ครั้ง และเปลี่ยนเวลาเป็น 2, 3, 4 และ 5 นาที ตามลำดับ
5. นำภาพถ่ายด้านข้างของหยดน้ำไปวัดค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวกระจกด้วยสมการที่ 3



ภาพที่ 8 การปรับปรุงผิวกระจกสไลด์ด้วยพลาสมา

$$\theta_c = \tan^{-1}\left(\frac{BC}{AB}\right) \dots\dots\dots (3)$$



ภาพที่ 9 การวัดมุมสัมพันธ์

ผลการวิจัย

1. การทดสอบวงจร

จากส่วนประกอบของเครื่องมือในแผนภาพตามภาพที่ 2 และวงจรสมบูรณตามภาพที่ 3 มีวงจรที่สร้างขึ้นเอง 2 ส่วน คือ วงจรลดทอนแรงดัน 6:1 และวงจรขับ MOSFET เพื่อสร้างพัลส์จ่ายให้กับคอยล์จตุระเปิด ได้ผลการทดสอบดังนี้

1.1 ผลการทดสอบวงจรลดทอนแรงดัน 6:1

ทำการทดสอบโดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง จ่ายแรงดันกระแสตรงขาเข้าวงจรลดทอน 6:1 ที่แรงดันต่าง ๆ ด้วยดิจิทล มัลติมิเตอร์ เปรียบเทียบกับค่าที่อ่านได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงได้ตามตารางที่ 1

1.2 ผลการทดสอบวงจรขับ MOSFET

ใช้ดิจิทล ออสซิลโลสโคป วัดสัญญาณพัลส์ที่ถูกสร้างขึ้นด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ความถี่ 10Hz, 100Hz, 1kHz, 10kHz และ 100kHz โดยผลการทดสอบแสดงได้ตามตารางที่ 2

1.3 การสร้างค้ำยไฟค้ำยสูงแบบพัลส์

พบว่าวงจรที่ออกแบบในงานวิจัยนี้สามารถสร้างค้ำยไฟฟ้าแบบพัลส์ได้มากกว่า 40kV ซึ่งจากการทดลองตามกราฟในภาพที่ 11 พบว่าแรงดันขาออกที่ความถี่ 10Hz ถึง 3kHz สามารถสร้างค้ำยไฟฟ้าได้มากกว่า 40kV ที่ความถี่ 2 ค่า คือ ที่ความถี่ 1000Hz สามารถสร้างค้ำยไฟฟ้าแบบพัลส์ได้สูงสุด 43.14kV และที่ความถี่ 2000Hz สามารถก้าเนิดค้ำยไฟฟ้าแบบพัลส์ได้สูงสุด 49.2kV

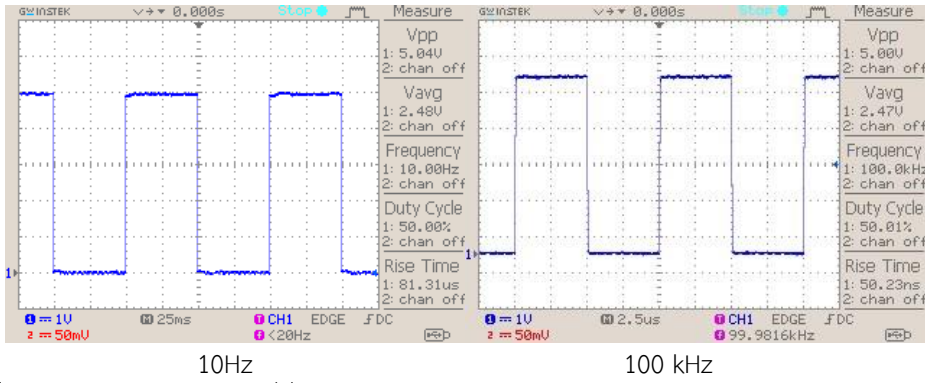
ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการอ่านค่าจากวงจลดทอนแรงดัน6:1

ค่าที่ได้จากดิจิทลโวลต์มิเตอร์ (V)	ค่าที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ (V)
12	12
14	14
16	16
18	18
20	20
22	22
24	24
26	26
28	28
30	30

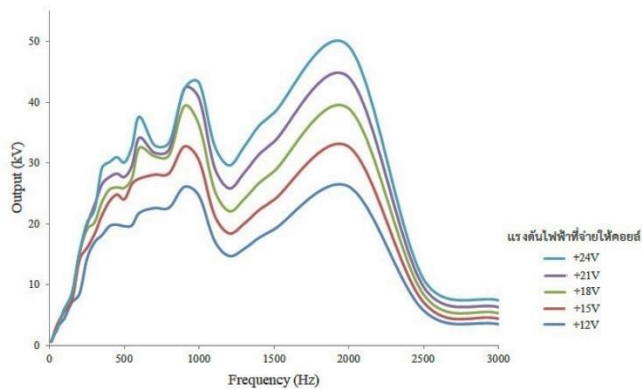
ตารางที่ 2 ผลการก้าเนิดสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม

ความถี่ที่ต้องการ	ความถี่ที่วัดได้	แรงดันที่ได้ (Vpp)
10Hz	9.998Hz	5.04
100Hz	99.981Hz	5.04
1kHz	999.817Hz	5.04
10kHz	9.998kHz	5.04
100kHz	99.981kHz	5.00





ภาพที่ 10 ตัวอย่างสัญญาณความถี่ที่เกิดจากไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ 11 ศักย์ไฟฟ้าแบบพัลส์ที่ความถี่ 10Hz ถึง 3000Hz เมื่อใช้แรงดันไฟฟ้าค่าต่าง ๆ ที่จ่ายให้กับชุดคอยล์

2. การผลิตพลาสมาของอากาศด้วยวิธีไดอิเล็กตริก แบรีเออร์ ดิสชาร์จ

ผลการทดลองสามารถทำให้เกิดพลาสมาบริเวณช่องว่างอากาศได้ พบว่า ที่ระยะความกว้างของช่องอากาศประมาณ 1 มิลลิเมตร จะเกิดพลาสมาได้ที่ความถี่ 140Hz และใช้แรงดัน +13.47V จ่ายให้กับชุดคอยล์ โดยภาพที่ 12 เป็นพลาสมาของอากาศที่ระยะความกว้างของช่องอากาศ 2.2 มิลลิเมตร เกิดขึ้นที่ความถี่ 450Hz เมื่อใช้แรงดัน +24V จ่ายให้กับชุดคอยล์



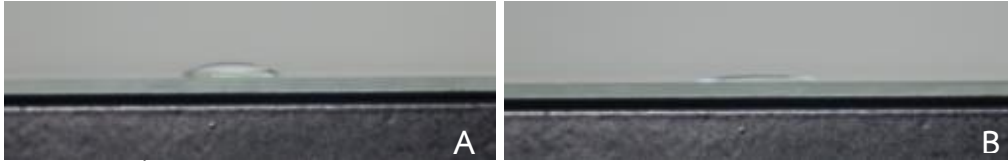
ภาพที่ 12 พลาสมาของอากาศที่เกิดจากโครงสร้างไดอิเล็กตริก แบรีเออร์ ดิสชาร์จ อย่างง่าย

3. การปรับปรุงผิวของกระจกสไลด์ด้วยพลาสมา

ลักษณะรูปร่างของหยดน้ำบนกระจกสไลด์ ก่อนที่ไม่ได้สัมผัสพลาสมาแสดงได้ตามภาพที่ 13 โดยลักษณะของหยดน้ำบนแผ่นสไลด์ หลังที่ผ่านการสัมผัสพลาสมา เป็นเวลา 1 และ 5 นาที ตามลำดับ (ภาพที่ 14) ค่ามุมสัมผัสเฉลี่ยของหยดน้ำกับผิวกระจกสไลด์ ก่อนที่กระจกยังไม่สัมผัสกับพลาสมา และหลังที่ผ่านการสัมผัสกับพลาสมา เป็นเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที แสดงได้ตามตารางที่ 3 และสามารถเขียนกราฟได้ตามภาพที่ 15



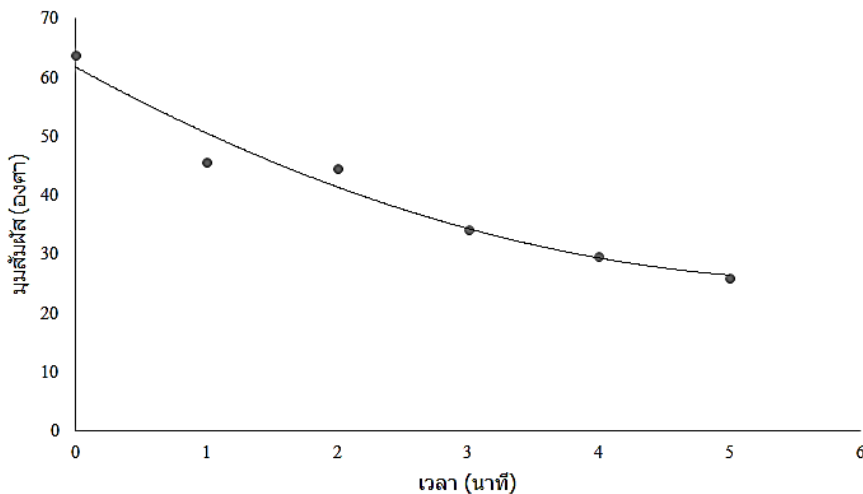
ภาพที่ 13 ลักษณะหยดน้ำบนแผ่นสไลด์ที่ยังไม่ผ่านการสัมผัสพลาสมา



ภาพที่ 14 หยดน้ำบนแผ่นกระจก หลังผ่านการสัมผัสพลาสมาเป็นเวลา (A) 1 นาที และ (B) 5 นาที

ตารางที่ 3 ค่ามุมสัมผัสเฉลี่ยของหยดน้ำบนผิวกระจกสไลด์

เวลาสัมผัสพลาสมา (นาที)	มุมสัมผัสเฉลี่ย (องศา)
0	63.80
1	45.62
2	44.66
3	34.20
4	29.59
5	26.00



ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงมุมสัมผัส

สรุปผลการวิจัย

1. เครื่องจ่ายไฟคัลย์สูงแบบพัลส์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ สามารถสร้างแรงดันเอาต์พุตได้มากกว่า 40kV ที่ความถี่ 2 ค่า คือที่ความถี่ 1000Hz สามารถสร้างศักย์ไฟฟ้าแบบพัลส์ได้สูงสุด 43.14kV และที่ความถี่ 2000Hz สามารถสร้างศักย์ไฟฟ้าแบบพัลส์ได้สูงสุด 49.2kV ทั้งสองค่านี้เกิดขึ้นเมื่อจ่ายแรงดัน +24V ให้กับชุดคอยล์

2. จากการทดสอบโดยนำเครื่องจ่ายไฟคัลย์สูงแบบพัลส์ไปสร้างพลาสมาด้วยวิธีไดอิเล็กทริกแบริเออร์ ดิสชาร์จ พบว่าที่ระยะห่างของช่องว่างอากาศประมาณ 1 มิลลิเมตร เกิดพลาสมาที่ความถี่ 140Hz เมื่อใช้แรงดัน +13.47V จ่ายให้กับชุดคอยล์ และระยะสูงสุดที่สามารถเกิดพลาสมาที่ความดันบรรยากาศ คือ 2.2 มิลลิเมตร ซึ่งที่ระยะนี้เกิดพลาสมาที่ความถี่ 450Hz เมื่อใช้แรงดัน +24V จ่ายให้กับชุดคอยล์

3. การทดสอบปรับปรุงผิวของกระจกสไลด์จากการใช้พลาสมาที่ผลิตด้วยวิธีไดอิเล็กทริก แบรีเออร์ ดิสชาร์จ โดยให้กระจกสัมผัสกับพลาสมาในช่วงเวลา 1 ถึง 5 นาที พบว่ามุมสัมผัสระหว่างผิวกระจกกับหยดน้ำมีค่าลดลง แสดงว่าโมเลกุลของน้ำดึงดูดผิวของกระจกได้มากขึ้นกว่าการดึงดูดของตัวหยดน้ำเอง เรียกเงื่อนไขนี้ว่าผิวกระจกมีคุณสมบัติในการชอบน้ำซึ่งผลการศึกษาในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับผลงานวิจัยที่รายงาน (Nayan *et al.*, 2012)

4. เครื่องจ่ายไฟคัลสูงแบบพัลส์ต้นแบบที่ได้จากงานวิจัยนี้ สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนและสาธิตในวิชาฟิสิกส์ได้ เช่น การสอน/สาธิตรูปร่างของสนามไฟฟ้า การสาธิตพลาสมาบอลโดยใช้หลอดไฟแบบมีไส้ (ที่เสียแล้ว) โดยมีราคางบประมาณโครงการอยู่ที่ 25,000 บาท ซึ่งถูกกว่าการซื้อเครื่องมือที่มาจากต่างประเทศ

อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เครื่องจ่ายไฟคัลสูงแบบพัลส์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นนี้ สามารถสร้างแรงดันเอาต์พุตได้สูงสุด 49.2kV ซึ่งสูงกว่าที่กำหนดไว้ในวัตถุประสงค์ โดยแรงดันเอาต์พุตขึ้นอยู่กับความถี่และแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้กับชุดคอยล์จุดระเบิดเครื่องมือที่สร้างขึ้นนี้มีต้นทุนต่ำ มีขนาดเล็กโดยเป็นแบบตั้งโต๊ะ มีองค์ประกอบที่ไม่ซับซ้อน ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ง่าย ทำให้สร้างและซ่อมบำรุงได้ง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัย (Nayan *et al.*, 2012) ที่ใช้คอยล์จุดระเบิดเพียงลูกเดียวจะให้แรงดันเอาต์พุตสูงสุด 22kV หรือคิดเป็นประมาณครึ่งหนึ่งของเครื่องจ่ายไฟในงานวิจัยนี้ที่ใช้คอยล์จุดระเบิด 2 ลูก

ผลการทดสอบการกำเนิดพลาสมาด้วยวิธีไดอิเล็กทริก แบรีเออร์ ดิสชาร์จ พบว่าเครื่องจ่ายไฟที่ออกแบบและสร้างขึ้นนี้จะทำให้เกิดพลาสมาที่ความดันบรรยากาศ ได้เป็นอย่างดี ดังนั้น จึงสามารถนำไปเป็นต้นแบบเพื่อประยุกต์ใช้กับงานด้านอื่น ๆ ได้ เช่น การผลิตไอโซนเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสีย การกำจัดกลิ่น หรือนำไปใช้สร้างพลาสมาเจท (Plasma jet) เป็นต้น

ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะเพื่อให้เครื่องจ่ายไฟคัลสูงแบบพัลส์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นนี้ให้มีความสมบูรณ์ จึงควรเพิ่มเติมหน่วยการวัดและแสดงผล ของแรงดันเอาต์พุตและกระแสด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ตลอดจนปรับปรุงวงจรให้สามารถจ่ายกระแสได้สูงขึ้น ซึ่งจะช่วยให้สามารถสร้างพลาสมาในช่องว่างที่มีระยะห่างได้มากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณรายจ่ายจากรายได้ปีงบประมาณ 2564 และขอขอบคุณสาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์ลำปาง ที่สนับสนุนสถานที่ห้องวิทยาศาสตร์บูรณาการ วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ ทำให้การศึกษาศึกษานสำเร็จลุล่วงด้วยดีและขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จงรักษ์ สิทธิรักษ์ สถาบันภาษา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์ลำปาง เป็นอย่างสูง ที่ช่วยตรวจทานในส่วนของบทคัดย่อภาษาอังกฤษ

เอกสารอ้างอิง

- Al-Jobouri, H.H. and O.H. Ismaeel. 2014. Design an ozone generator by using dielectricbarrierdischarge. Journal of Al-Nabrain University. 17: 89-94.
- Campbell, D., Harper J., Natham V., Xiao F. and R. Sundararajan. 2008. A compact high voltage nanosecond pulse generator. Proc. ESA AnnualMeeting on Electrostatics. H3: 1-12.
- Chaney, A. and R. Sundarajan. 2004. Simple MOFET-based high-voltage nano second pulse circuit. IEEE Transactions on Plasma Science. 32: 1919-1924.
- Gupta, D.K. and P.I. John. 2001. Design and construction of double-blumlein HV pulse power supply. Sadhana. 26: 475-484.
- Kasri N.F., Piah M.A.M. and Z. Adzis. 2020. Compact high voltage pulse generator for pulse electric field applications: lab-scale development. Journal of Electrical and Computer Engineering. Article ID 6525483:1-12. DOI: 10.1155/2020/6525483.
- Kogelschatz, U. 2000. Fundamentals and applications of dielectric-barrier dischargema. [Online]. Available: <http://www.coronalab.net/wxzl/plasma-16.pdf>. (Retrieved November 2021).
- Moshkunov, S., Podguyko N. and E. Shershunava. 2018. Compact high voltage pulse generator for DBD plasma jets. IOPConference Series: Journal ofPhysics: Conference Series. 1115: 1-6.

- Nayan, N., Zahariman M., Bin-Amad M., Mohamed Ali, R. and M. Sahdan. 2012. Development and application of in-house high voltage power supply for atmospheric pressure plasma treatment system. ICSE 2012 Proceeding. 2012: 631-634.
- Serway R.A. and J.W. Jewett. 2008. Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics. Saunders College Publishing. USA. 1505 pages.
- Tarigan, K., Serway R.A. and J.W. Jewett. 2019. Simple designed of high voltage pulsed electric field generator base on fly-back transformer. IOP Conference Series: Journal of Physics Conference Series. 1230: 1-5.
- Tudoran, C.D. 2011. High frequency portable plasma generator unit for surface treatments. Romanian Journal of Physics. 56: 103-108.
- Valdivia-Barrientos, R., Pacheco-Pacheco, M., Sotelo, J.P. and N. Estrada-Martinez. 2009. A high efficiency bipolar pulse power supply source for DBD discharge. 29th ICPG Proc. Cancún. Mexico: 1-4.