

แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงแบบสวิตชิง ในการกระบวนการโครโนไดซาร์จ สำหรับแท่งโอโซน

ศิริโรตม์ เกตุแก้ว *

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

ถนนรามคำแหง หัวหมาก บางกะปิ กรุงเทพฯ 10240. E – mail : siseerot@eng.ru.ac.th, siseerot@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาการออกแบบและการสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการสวิตชิงแรงดันสูงความถี่สูง สำหรับผลิตรังสีโครโน เพื่อใช้ในกระบวนการผลิตก๊าซโอโซน ซึ่งแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้เป็นแบบฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์มีแรงดันไฟฟ้า 3 กิโลโวลต์ ทำงานที่ความถี่ 30 กิโลเฮิร์ต และใช้ไอซี TL494 ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สวิตชิง และควบคุมการทำงานโดยใช้เทคนิคแบบพัลส์วิดมอดูเลชัน และทำการทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยการจ่ายไฟฟ้าแรงสูงเข้าไปที่แท่งผลิตก๊าซโอโซนต้นแบบในเวลา 1 ชั่วโมง ที่ปริมาณออกซิเจน 21 % ของอากาศ ซึ่งแท่งโอโซนสามารถผลิตก๊าซโอโซนได้เท่ากับ 95.2 mgO₃/hr
คำสำคัญ : โครโน, ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์, สวิตชิง

Siseerot Ketkaew *

Faculty of Engineering, Ramkhamhaeng University (RU), Bangkok, Bangkok Thailand 10240

E-mail siseerot@hotmail.com

Abstract

This paper presents a study of design and construction of a high voltage DC switching power supply for corona generating of ozone gas generating. This supply uses flyback converter at 3 kV_{dc} 30 kHz and controls its operation using PWM techniques. IC TL494 is controlled of the switching. The testing of supply by putting high voltage to ozone gas tube at one-hour, the oxygen quantity 21 % of air, which ozone tube model enables ozone gas generating capacity of 95.2 mgO₃/hr.

Keywords : corona, flyback converter, switching

บทนำ

ปัจจุบันการพัฒนาของเทคโนโลยีด้านต่างๆ ได้มีการพัฒนาเป็นอย่างมากรวมถึงเรื่องของการนำไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงมาใช้ประโยชน์ เช่น ทางทางการแพทย์ใช้สำหรับเครื่องฉายรังสีต่างๆ เครื่องผลิตก๊าซไอโซน ประโยชน์ทางด้านเทคนิค ใช้ทดลองเกี่ยวกับวัสดุเปลี่ยนแปลงทางเคมีและฟิสิกส์ เช่น ทำการอสถิงโพลิทีลีน โดยการฉายรังสีลงบนวัสดุนั้น การพ่นสีโดยใช้ไอเล็กโตรสแตติกส์ และเครื่องกรองเขม่าควัน เป็นต้น การศึกษาหลักการทํางาน การออกแบบจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อพัฒนาให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป จึงเป็นที่มาของการทำงานวิจัยนี้

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงนั้นอาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ในขณะเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง จะเกิดการเก็บสะสมประจุไฟฟ้าในก้อนเมฆ ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดิน แต่ในทางปฏิบัติสามารถสร้างไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงขึ้นเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ในด้านต่างๆ ได้ ซึ่งในบทความนี้ได้ทำการสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงแบบสวิตชิงโดยใช้หม้อแปลงฟลายแบคที่สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ตั้งแต่ 1 ถึง 5 กิโลโวลต์มาใช้งาน และได้มุ่งเน้นถึงการออกแบบ การสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง โดยใช้หลักการสวิตชิงแบบฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ โดยจะทำการทดสอบในส่วนของวงจรสวิตชิง และในส่วนของแท่งไอโซนว่าสามารถผลิตก๊าซไอโซนได้ปริมาณเท่าไร เพราะจะได้้นำผลการทดสอบทั้งสองส่วนมาใช้ในการวิเคราะห์และสรุปผลต่อไป

ทฤษฎีหลักการเกิดก๊าซไอโซน

ก๊าซไอโซนคือก๊าซที่เกิดจากการจับตัวกันของออกซิเจน 3 อะตอม การที่จะทำให้ออกซิเจนแตกพันธะได้นั้น จะต้องป้อนพลังงานจากภายนอกเข้าไปกระตุ้นให้ก๊าซออกซิเจน (Oxygen gas : $O_2(g)$) แตกพันธะออกเป็นอะตอมอิสระของออกซิเจน (O) แล้วจึงรวมตัวกับ O_2 กลายเป็น O_3 ซึ่งพลังงานของ O_3 จะน้อยกว่า O_2 มาก นั่นคือ ในกรณีที่มีการเพิ่มพลังงานให้กับระบบที่มี O_3 อยู่ พลังงานเพียงเล็กน้อยก็จะสามารถทำให้ O_3 สลายตัวได้ ดังนั้นในระบบจึงไม่ควรเกิดความร้อนขึ้นภายในช่องว่างอากาศมากเกินไป เช่น ความร้อนที่เกิดเนื่องจากการเบรคดาวน ในการผลิตไอโซนนั่นยังพลังงานที่ต้องใช้ทางเคมีคือ 493.2 kJ/mol – 682.8 kJ/mol กระบวนการแปลงหน่วยจาก mol เป็นปริมาตร อ้างถึงพฤติกรรมของก๊าซในทางเคมี ก๊าซในทางอุณหพลศาสตร์มีแบบจำลองเป็นจุดและไม่มีแรงกระทำต่อกัน 1 โมลของก๊าซในอุณหพลศาสตร์เขียนเป็นความสัมพันธ์เรียกว่าสมการก๊าซในสมการที่ 1 เมื่อ n คือจำนวนโมล มีค่าเท่ากับ

จากกฎของก๊าซ (Gas law)

$$PV = nRT$$

(1)

แต่ก๊าซจริง (Real Gas) พบว่าโมเลกุลก๊าซมีขนาดและแรงกระทำระหว่างโมเลกุลเป็นแรง Van der Waals ซึ่งขนาดของโมเลกุลและแรงกระทำนี้เป็นคุณสมบัติของก๊าซแต่ละชนิด สมการโดยประมาณของก๊าซจริงถูกนำเสนอโดย Van der Waals คือ

สมการแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals)

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

ในสมการที่ (1) และ (2) V คือปริมาณก๊าซ m^3

P คือ ความดันบรรยากาศ มีค่า 101.58×10^2 Pascal

N คือ จำนวนโมล

R คือ ค่าคงที่ก๊าซ มีค่า 8314.3

หลักการผลิตก๊าซโอโซน

หลักการผลิตก๊าซโอโซน คือ การเลียนแบบ กระบวนการเกิดโคโรนาดิสชาร์จ โดยการทำให้ ออกซิเจนแตกพันธะซึ่งจำเป็นต้องป้อนพลังงานภายนอกเข้าไปกระตุ้นก๊าซออกซิเจนให้แตกพันธะ ออกเป็นอะตอมอิสระ

ดังนั้นย่านพลังงานที่จำเป็นต้องใช้ คือ $5.58 \text{ kWh/m}^3 - 7.73 \text{ kWh/m}^3$ แต่เนื่องจากในอากาศมี ออกซิเจนอยู่โดยประมาณ 21% ดังนั้นคิดเทียบแล้วพลังงานจำเป็นต้องใช้คือ $1.172 \text{ kWh/m}^3 - 1.62 \text{ kWh/m}^3$ จึงเพียงพอต่อการเกิดก๊าซโอโซนในช่องว่างอากาศ

โอโซนสามารถผลิตขึ้นมาเพื่อใช้งานได้ โดยใช้หลักการดังต่อไปนี้

1. วัสดุหรือวัตถุดิบที่ใช้ผลิตโอโซน มี 2 อย่าง คือ

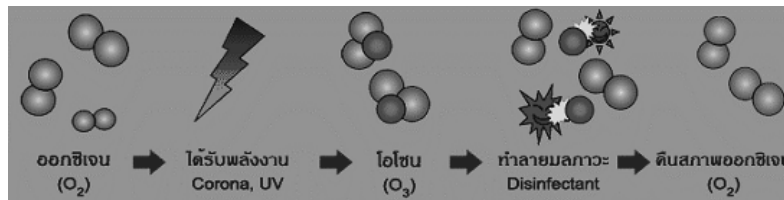
1.1 ใช้อากาศแห้งที่มีอยู่ทั่วไป

1.2 ใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์

2. เครื่องกำเนิดโอโซน สามารถแยกตามหลักการได้ดังนี้

2.1 ใช้หลักการทางไฟฟ้า ที่เราเรียกว่า โคโรนาดิสชาร์จ (Corona Discharge) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะตามความถี่ คือ ชนิดความถี่ต่ำและชนิดความถี่สูง สำหรับสภาพอากาศที่ร้อน และชื้นชนิดความถี่สูงจะเหมาะกว่า เพราะสามารถผลิตโอโซนได้ความเข้มข้น (Concentration) ได้สูงกว่า

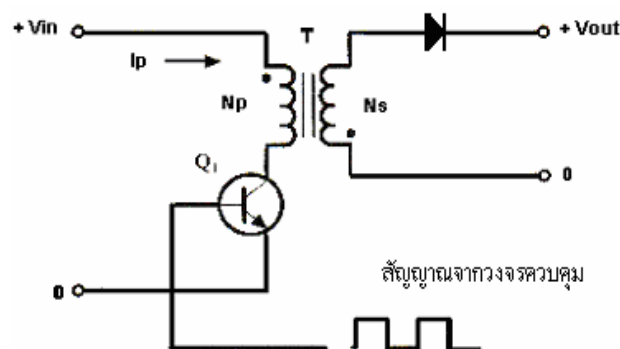
2.2 ใช้หลอดยูวี (Ultra Violet : UV) ชนิดนี้จะผลิตโอโซนความเข้มข้นต่ำ (100-1,000 ppm) จะใช้ได้ในการบำบัดอากาศ สำหรับการบำบัดน้ำจะไม่ค่อยเหมาะสม เพราะการละลายต่ำมากจึงไม่ค่อยได้ผล



รูปที่ 1 การแตกตัวของออกซิเจน พร้อมทั้งการทำลายมลภาวะ

หลักการทำงานของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

วงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ดังรูปที่ 2 การทำงานของวงจรจะเป็นดังนี้ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 จะทำงานโดยนำกระแส และหยุดนำกระแสสลับกันไป เมื่อ Q_1 นำกระแสจะมีกระแสไหลผ่านขดลวดด้านปฐมภูมิ (N_p) แต่เนื่องจากหม้อแปลงถูกกำหนดให้ขดลวดด้านทุติยภูมิพันอยู่ในลักษณะกลับทิศกัน ดังนั้นในขณะที่ Q_1 นำกระแส ไดโอด D_1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับและไม่มีกระแสไหลผ่านไปยังโหลด R_L พลังงานจะถูกสะสมอยู่ในขดไฟร์มาร์ของหม้อแปลงเมื่อ Q_1 หยุดนำกระแส สนามแม่เหล็กในแกนหม้อแปลงยุบตัว ทำให้มีการกลับขั้วของแรงดัน พลังงานที่ถูกสะสมจะถูกถ่ายเทไป และมีกระแสไหลผ่านไปยังโหลดได้



รูปที่ 2 ลักษณะวงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

เมื่อวงจรการทำงานอยู่ในสภาวะคงที่ ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากคอนเวอร์เตอร์จะเป็นไปตามสมการ

$$V_{out} = \frac{T_{ON} \times (N_S / N_P) (V_{in} - V_{CE(sat)})}{(T - t_{ON})} - V_D \quad (3)$$

โดยที่ T = คาบเวลาการทำงานของ Q_1 เป็นวินาที

t_{ON} = ช่วงเวลาที่ Q_1 นำกระแส เป็นวินาที

N_P = จำนวนรอบของขดไพรมารี เป็นรอบ

N_S = จำนวนรอบของขดเซคันดารี เป็นรอบ

V_{out} = แรงดันที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ เป็นโวลต์

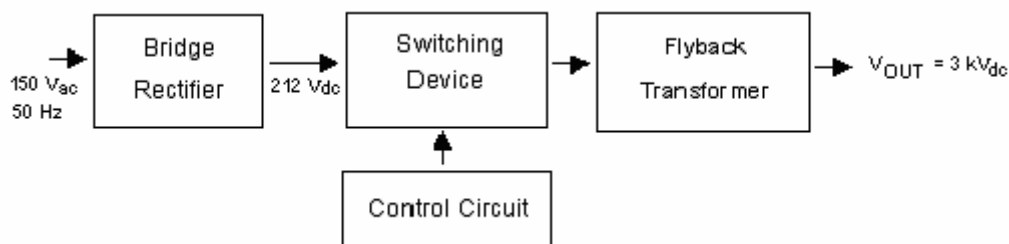
V_{in} = แรงดันที่อินพุตของคอนเวอร์เตอร์ เป็นโวลต์

$V_{CE(sat)}$ = แรงดันคร่อม Q_1 ขณะนำกระแสที่จุดตัว เป็นโวลต์

V_D = แรงดันที่ตกคร่อมไดโอด เป็นโวลต์

การออกแบบและการสร้าง

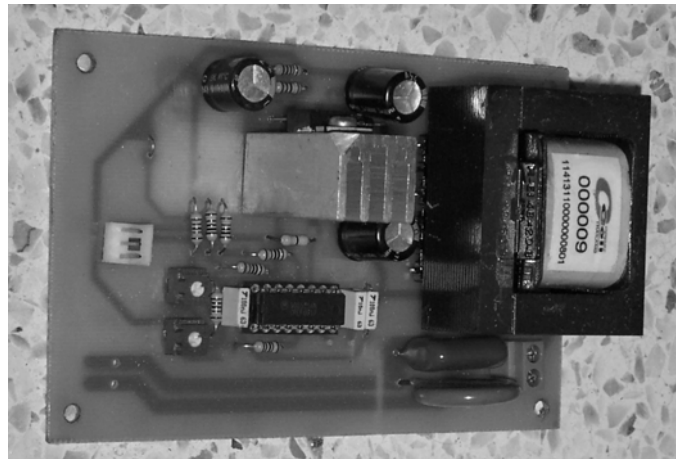
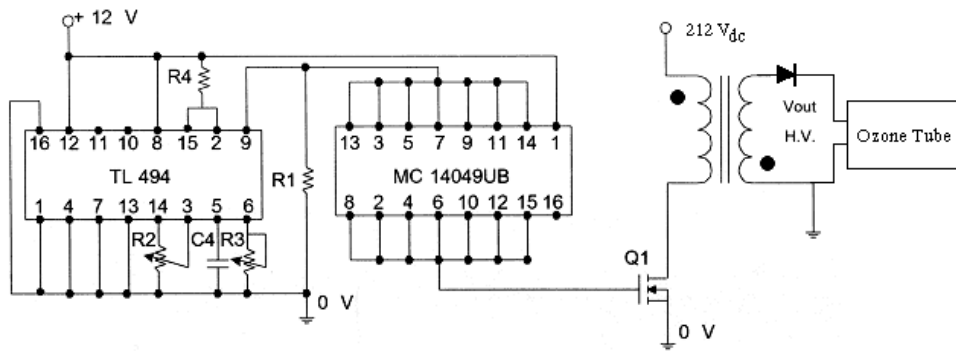
โครงสร้างของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงแบบสวิตซิ่ง



รูปที่ 3 บล็อกไดอะแกรมของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงแบบสวิตซิ่ง

วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงแบบสวิตซิ่ง

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงแบบสวิตซิ่ง ได้นำไอซีเบอร์ TL494 นำมาใช้ในวงจรควบคุมการทำงานในโหมดแรงดัน ซึ่งเป็นวงจรพัลส์วิดมอดูเลเตอร์ที่ใช้สัญญาณที่มีความชันคงที่ โดยที่คาบเวลาการทำงานของเอาต์พุตพัลส์สามารถกำหนดจากค่าของ R_T และ C_T ของ TL494 โดยมีวงจรการทำงานแบบฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ และใช้หม้อแปลงฟลายแบคเป็นตัวเพิ่มระดับแรงดัน ซึ่งใช้ความถี่สวิตซิ่ง 30 kHz สร้างแรงดันสูงได้ 3 kV_{dc}



รูปที่ 4 วงจรสร้างไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงแบบสวิตชิ่งที่สร้างขึ้น

แท่งโอโซน

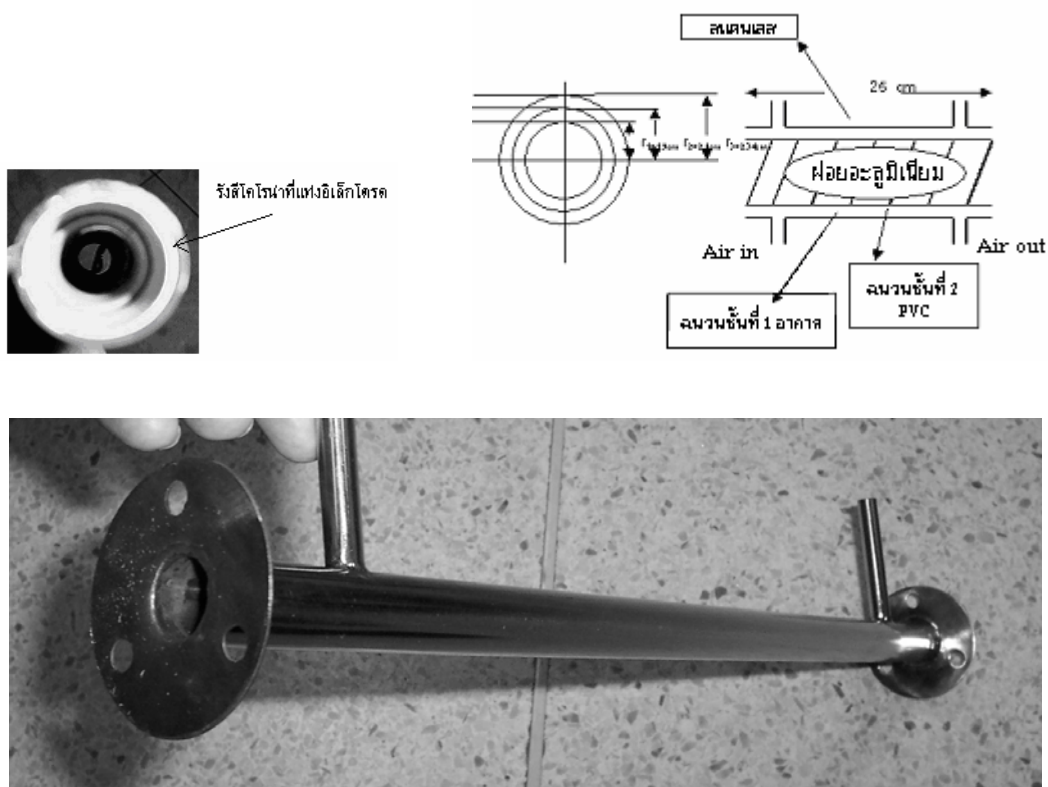
การออกแบบแท่งโอโซนแบบทรงกระบอกแกนร่วม 2 ชั้น มีหลักการในการออกแบบคือว่า ปริมาณโอโซนจะเกิดได้ดีในความเครียดสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอมากเกินไป ดังนั้นการออกแบบแท่งอิเล็กโทรด จึงเลือกใช้แบบฉนวน 2 ชั้น เพราะว่าการใช้ฉนวนที่มีค่า ϵ (ϵ คือ ค่าเปอร์มิตติวิตี) ต่างกัน เหมาะที่จะใช้กับสนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งจะทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าในแต่ละชั้นที่มีค่า ϵ ต่างกัน มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นภายในแท่งโอโซน ประกอบไปด้วย

- ฉนวนชั้นที่ 1 เลือกใช้พีวีซีมาเป็นฉนวนเนื่องจากว่าพีวีซีมีผลกระทบต่อเกิดโอโซนน้อยมาก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ (ϵ_1) เท่ากับ 5 โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 4.5 เซนติเมตร ความยาว เท่ากับ 26 เซนติเมตร

- ฉนวนชั้นที่ 2 จะใช้อากาศเป็นฉนวน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ (ϵ_2) เท่ากับ 1

- ขั้วคาโทด จะใช้เป็นอะลูมิเนียมแบบฟอยล์รวมกันอยู่ภายในของฉนวนพีวีซี

- ขั้วแอโนด จะใช้เป็นแบบสแตนเลสทรงกระบอก เพราะสแตนเลสไม่มีผลกระทบต่อก๊าซโอโซน โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 4.6 เซนติเมตร ความยาว เท่ากับ 26 เซนติเมตร



รูปที่ 5 แท่งโอโซนที่สร้างขึ้น

ผลการทดสอบ

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกระแสไฟฟ้ากับปริมาณการผลิตก๊าซโอโซน (โดยมีความถี่ 30 kHz คงที่) ดังตารางที่ 1

f_{sw} (kHz)	$V_{in(rms)}$ (V)	$I_{in(rms)}$ (A)	P_{in} (W)	PF	V_{out} (kV _{dc})	mgO ₃ /hr
30	150	0.75	92.25	0.82	3.5	95.2

f_{sw} (kHz) คือ ความถี่สวิตช์ของคอนเวอร์เตอร์

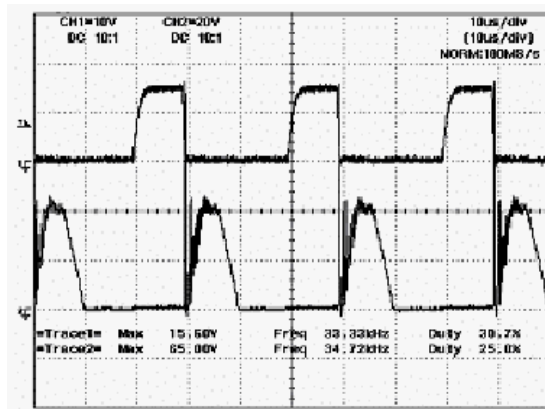
$V_{in(rms)}$ (V) คือ แรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตของคอนเวอร์เตอร์

$I_{in(rms)}$ (A) คือ กระแสไฟฟ้าด้านอินพุตของคอนเวอร์เตอร์

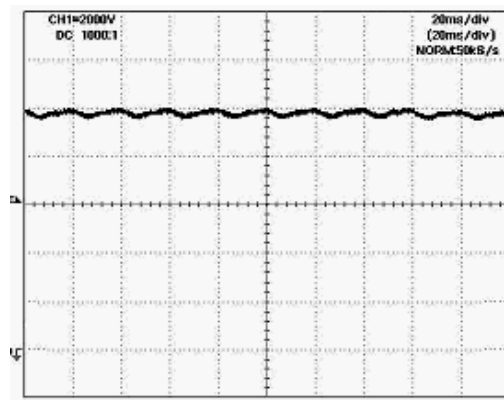
P_{in} (W) คือ กำลังไฟฟ้าด้านอินพุตของคอนเวอร์เตอร์

PF คือ เพาเวอร์แฟกเตอร์ด้านอินพุตของคอนเวอร์เตอร์

V_{out} (kV_{dc}) คือ แรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตที่แท่งโอโซน

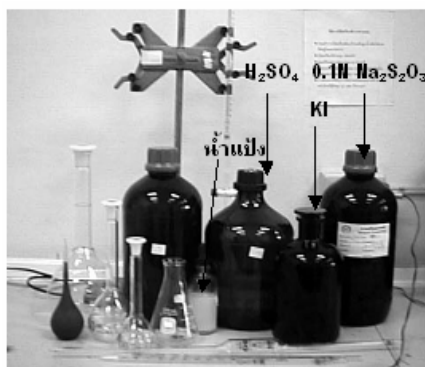


(ก)

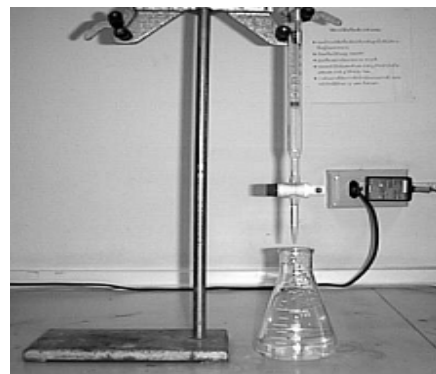


(ข)

รูปที่ 6 (ก) สัญญาณแรงดัน V_{GS} และ V_{DS} ที่เพาเวอร์มอสเฟต และ (ข) สัญญาณแรงดันเอาต์พุต 3 kV_{dc} ที่แท่งไอโซน



(ก)



(ข)

รูปที่ 7 (ก) สารเคมีที่ใช้ในการทดลองหาปริมาณก๊าซไอโซน และ (ข) ทำการไทรเตรตเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาปริมาณก๊าซไอโซน [3]

สรุป

จากการทดลองได้ทำการออกแบบและสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงแบบสวิตชิง โดยอาศัยหลักการของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์มาใช้งาน ในส่วนของแท่งไอโซนที่ใช้ในการผลิตก๊าซไอโซนนั่นได้นำแท่งอิเล็กโตรดที่ได้ออกแบบไว้แล้ว ซึ่งแท่งอิเล็กโตรดได้ใช้หลักการของทรงกระบอกแกนร่วมสองชั้น เพราะจะทำให้เกิดความเครียดของสนามไฟฟ้าที่สูงจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาโคโรนาดิสชาร์จ ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะเกิดพลังงานที่ทำให้ก๊าซออกซิเจนเปลี่ยนสถานะ

เป็นก๊าซโอโซนได้ และผลการทดสอบของงานวิจัยนี้จะพบว่าแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงที่สร้างขึ้นสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูงได้ตั้งแต่ 1 ถึง 5 กิโลโวลต์ ซึ่งสามารถปรับแรงดันได้โดยดูจากควัตซ์ไซเคิลของวงจรควบคุม แต่ในงานวิจัยนี้เลือกใช้แรงดันไฟฟ้าที่ 3.5 กิโลโวลต์ เนื่องจากเป็นแรงดันที่มีความเหมาะสม เพราะทำให้ไม่มีการเบรคดาวน์ที่แท่งอิเล็กโตรด แต่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาโคโรนาดีสชาร์จโดยจะเห็นเป็นแสง สี เสียข อยู่บริเวณระหว่างช่องอากาศในแท่งโอโซน และจากการทดสอบแท่งอิเล็กโตรดสามารถผลิตก๊าซโอโซนในปริมาณ 95.2 mgO₃/hr ซึ่งปริมาณก๊าซโอโซนระดับนี้สามารถนำไปใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดกลิ่นอันไม่พึงประสงค์หรือนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. สุวัฒน์ ดั่น, 2537. เทคนิคและการออกแบบสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย. บริษัท เอนเทลไทย จำกัด, พิมพ์ครั้งที่ 1
2. ศิริโรตม์ เกตุแก้ว และวีระศักดิ์ วงศ์วิวัฒน์, ปีที่ 21 ฉบับที่ 4 เดือนธันวาคม 2547 . การศึกษาผลของการเปลี่ยนความถี่สวิตชิงในฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ต่อปริมาณการผลิตก๊าซโอโซน. วิศวกรรมลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, หน้า 72-76.
3. ศิริโรตม์ เกตุแก้ว, ปีที่ 22 ฉบับที่ 2 เดือนมิถุนายน 2548. การศึกษาเทคนิคการผลิตก๊าซโอโซนโดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงความถี่สูง แบบแรงดันกระแสเฟืองสูง. วิศวกรรมลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, หน้า 1-6.
4. Siseerotm Ketkaew and Prapas Praisuwanna, 25 – 26 August 2004. Small Particles Trap System Using High Frequency High Voltage Electrostatic Application. Proceeding of The 1st KMITL International Conference Integration of Science and Technology for Sustainable Development (STIC). pp. 237-240.
5. E.Kuff and M.Abddulah, 1977. High-Voltage Engineering. Pergamon Press. Oxford.
6. L.L. Alston, 1968. High-Voltage Technology. Oxford University Press. London.