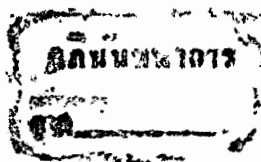




ปีการศึกษา 2530

เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูง



ปริญญาโทบริหารการศึกษา 253๐

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูง

ผู้จัดทำ

1. นายบัณฑิต งามขำ

2. นายพจนาท ศุภวันต์



(อาจารย์ ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

สารบัญ

| | |
|---|----|
| บทคัดย่อ | I |
| Abstract | ii |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีทั่วไป | 3 |
| 2.1 บทนำ | 3 |
| 2.2 สนามไฟฟ้า | 3 |
| 2.3 ดิฟฟิเคชันในกาซ | 8 |
| 2.4 ไอออนในเซชัน | 9 |
| 2.5 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวโลหะ | 11 |
| 2.6 การเบรคดาวน์ในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ | 13 |
| 2.7 สมมติฐานการหมุน | 17 |
| 2.8 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่มอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงสูงหมุน | 20 |
| บทที่ 3 โครงสร้างของเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูง | 23 |
| 3.1 บทนำ | 23 |
| 3.2 มอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงดันสูง | 23 |
| 3.3 การทดลองมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงสูง | 28 |
| 3.4 ส่วนประมวลผลและแสดงผล | 29 |
| บทที่ 4 การทดสอบเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูง | 34 |
| 4.1 บทนำ | 34 |
| 4.2 การทดสอบตัวอิเล็กทรอนิกส์โทรตปลายแหลม | 34 |
| 4.3 การทดสอบเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูงต้นแบบ | 38 |
| บทที่ 5 บทสรุป | 39 |
| เอกสารอ้างอิง | 41 |
| กิตติกรรมประกาศ | 42 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูง

บัณฑิต งามชา

พจนานท ศุภวันต์

อ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 253๘

บทคัดย่อ

เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูงนี้ทำงานโดยอาศัย สมมติฐานการทำงานของมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงสูง มาทำการสร้างเครื่องมือวัดความเร็วรอบการหมุน แล้วเปลี่ยนจากความเร็วรอบการหมุนมาเป็นการแสดงระดับของแรงดันไฟฟ้า โดยในโครงการนี้เป็นการทดสอบคุณสมบัติของอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์ของมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงสูง และคุณสมบัติของเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูง โดยทำการวิเคราะห์เทียบกับคุณสมบัติของมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงสูง เพื่อทำการเปรียบเทียบหาผลสรุปการทำงานของเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูง

HIGH VOLTAGE MEASUREMENT

BANDIT NGARMKUM

POJJANAT SUPAWAN

SIRIWAT POTIVEGKUL ADVISOR

1987

ABSTRACT

This High-Voltage Voltmeter is worked by using the hypothesis of High Voltage Electric Field Motor to produce revolution measurement . Then change revolution measurement to show level of voltage . This project is used for electrode-rotor of high voltage electric field motor characteristic tested , high-voltage voltmeter characteristic compares high-voltage electric field motor . To assume it .

บทที่ 1

บทนำ

ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูงในปัจจุบันนี้ มักจะทำการวัดระดับศักดาไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการสปาร์คของช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรด, การลดระดับแรงดันลงมาแล้วทำการวัด (POTENTIAL DIVIDER) หรือการใช้เครื่องมือกลอย่างอื่นมาประกอบเข้าด้วยกันแล้วทำการวัดค่าศักดาไฟฟ้าออกมา ซึ่งวิธีการเหล่านี้จะต้องผ่านขั้นตอนหรือวิธีการหลายอย่างที่ซับซ้อนพอสมควรจนกว่าที่วัดค่าแรงดันนั้นออกมาเป็นค่าที่ใช้งานได้ ซึ่งผลที่ได้อาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดมากขึ้นตามลำดับขั้นตอนของระบบ

สำหรับโครงการทดลองวิจัยนี้ เป็นการทดลองสร้าง เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูง โดยอาศัยหลักการการทำงานของมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงดันสูง (HIGHVOLTAGE ELECTRIC FIELD MOTOR) มาเป็นส่วนประกอบการสร้างเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูง สำหรับมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงดันสูงต้นแบบที่ใช้งาน จะประกอบด้วยส่วนที่เป็นตัวหมุน (ROTOR) เป็นอิเล็กโทรดปลายแหลมที่มีทิศทางการหมุนตั้งฉากกับแนวระนาบ (VERTICAL) , ส่วนตัวที่อยู่นิ่ง (STATOR) เป็นอิเล็กโทรดระนาบที่เป็นแผ่นวงกลมครอบอิเล็กโทรดตัวหมุน (ROTOR ELECTRODE) ในแนวทิศทางการหมุน โดยมีระยะห่างระหว่างปลายแหลมกับระนาบเท่ากันตลอด โดยที่อิเล็กโทรดตัวหมุนนั้นประกอบอยู่บนแกนเพลลา และบรรจุอยู่ในตัวถัง (CASE) ของมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงดันสูง จึงมีลักษณะเป็นเครื่องวงกลม 2 ใบมาประกอบกันเข้าเป็นรูปทรงกลม โดยใช้สกรูพลาสติกยึดเครื่องวงกลม 2 ใบเข้าด้วยกัน

การทำงานของมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงดันสูง โดยที่การหมุนของอิเล็กโทรดตัวหมุนนั้นน่าจะเกิดจากแรงที่ผลักให้อิเล็กโทรดตัวหมุนเคลื่อนที่ได้ ทั้งจากขบวนการไอออนไนเซชัน (COLLISSION IONIZATION) เพิ่มจำนวนทวีคูณจำนวนเล็กตรอนอิสระและไอออนบวก รวมถึงขบวนการการปล่อยอิเล็กตรอนจากผิวคะโอดโดยการชนของไอออนบวก (ELECTRON EMISSION FROM SURFACE) ผลที่เกิดจากอิเล็กตรอนเคลื่อนที่เข้าชนปลายแหลมของอิเล็กโทรดตัวหมุนอะโนด หรือไอออนบวกวิ่งเข้าชนปลายแหลมทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากขั้วอิเล็กโทรดตัวหมุนคะโอด จะเป็นแรงที่กระทำให้ตัวหมุนสามารถเคลื่อนที่ได้ โดยที่ความเร็วรอบหมุนจะขึ้นอยู่กับระดับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเป็นสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการทดลองวิจัย

ในการทดลองวิจัยการสร้างเครื่องมือวัดนี้จะอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบการหมุนกับระดับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ จากความสัมพันธ์นี้จึงสร้างมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงดันสูงต้นแบบขึ้นมาใหม่ แล้วทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงดันสูงที่สร้างขึ้นใหม่ ด้วยเพื่อมาให้เป็นส่วนประกอบสำคัญร่วมกับส่วนที่วัดความเร็วรอบการหมุน แล้วทำการแสดงผล ออกมาเป็นค่าแรงดันออกมาและทำการเปรียบเทียบค่าแรงดันที่วัดได้นั้นกับการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าโดยวิธีอื่น



บทที่ 2 ทฤษฎีทั่วไป

2.1 บทนำ

เนื่องจากในโครงการวิจัยของปริญญาโทฉบับนี้ เป็นการค้นคว้าทดลองเกี่ยวกับการสร้างเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูง ซึ่งต้องอ้างอิงถึงทฤษฎีพื้นฐานไปในการอธิบายเกี่ยวกับปรากฏการณ์ต่างๆ ในบทนี้จะเป็นการอ้างอิงถึงทฤษฎีและสมมติฐานที่ใช้ในการอ้างอิงของงานวิจัยโดยละเอียด เพื่อให้ผู้อ่านสามารถทำความเข้าใจถึงสาเหตุที่เกิดปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในการทดลองได้ดีขึ้น โดยจะอ้างอิงถึงตั้งแต่ลักษณะของสนามไฟฟ้า รูปร่างของอิเล็กโทรด การดีสชาร์จในก๊าซ (GASEOUS DISCHARGE) ขบวนการไอออนไนเซชัน (IONIZATION) การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวโลหะ (ELECTRON EMISSION FROM METALLIC SURFACE) กลไกการเกิดเบรคดาวน์ (BREAKDOWN) และผลการเกิดเบรคดาวน์ในสภาวะต่างๆ

2.2 สนามไฟฟ้า

ก๊าซเป็นฉนวนอย่างหนึ่งทางไฟฟ้า ในกรณีแรงดันไฟฟ้าสูงๆและมีที่ว่างจำกัด การเป็นฉนวนจะแปรเปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของก๊าซ แรงดันไฟฟ้าและความเครียดสนามไฟฟ้า สภาพของฉนวนจะเริ่มเปลี่ยนไปสู่สภาพนำไฟฟ้าอย่างดีเมื่อ เกิดการสปาร์คหรือ วาบไฟหรือ มีการเบรคดาวน์ผ่านฉนวนในก๊าซ หรือของเหลวหลังจากสภาพฉนวนเปลี่ยนเป็นสภาพนำไฟฟ้าและจะคงอยู่ถ้าแรงนั้นสูงพอ และจะกลับคืนสู่สภาพการเป็นฉนวนดั้งเดิม หลังจากการเบรคดาวน์หรือสปาร์คได้ผ่านพ้นไปแล้ว ซึ่งจะแตกต่างไปจากฉนวนที่เป็นของแข็งหลังจากการเกิดเบรคดาวน์แล้วสภาพการเป็นฉนวนจะเสียไปอย่างถาวร

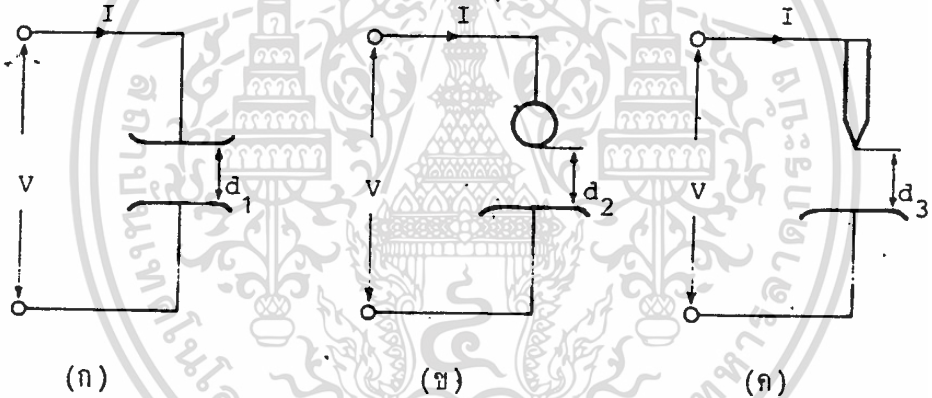
2.2.1 ความคงทนของฉนวนต่อแรงดันไฟฟ้า (DIELECTRIC STRENGTH)

ความคงทนของฉนวนต่อแรงดันไฟฟ้าหมายถึงค่าความเครียดสนามไฟฟ้า (ELECTRIC FIELD STRESS) สูงสุดที่ฉนวนนั้นทนได้ โดยไม่เกิดความเสียหายหรือเกิดเบรคดาวน์หรือทำให้ความเป็นฉนวนเสื่อมคุณภาพ มีหน่วยเป็น ค่าแรงดันต่อความหนาของฉนวนหรือระยะห่างของอิเล็กโทรดเป็นโวลต์ต่อเซนติเมตร (V/cm) หรือกิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร (KV/cm) ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าที่ใช้กำหนดค่าคงทนของการฉนวนไฟฟ้าโดยทั่วไป จะหาจากสนามไฟฟ้าที่สม่ำเสมอ

เอกเสมอ (UNIFORM FIELD) ความคงทนการฉนวนต่อแรงดันไฟฟ้าขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ การคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างๆหลายประการ อาทิเช่น รูปลักษณะเรขาคณิตของอิเล็กโทรด ลักษณะสมบัติของไดอิเล็กตริก (DIELECTRIC) และ เวลา เป็นต้น

เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับอิเล็กโทรดลักษณะต่างๆที่วางอยู่ในอากาศดังในรูปที่ 2.1 จะพบว่าแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการเบรคดาวนั้นจะไม่เท่ากัน ถึงแม้ว่าจะจัดระยะ d_1 , d_2 และ d_3 ให้เท่ากันก็ตาม ค่าความคงทนของฉนวนแต่ละชนิดต่อแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าไม่แน่นอนตายตัว ส่วนใหญ่จะเป็นค่าสถิติหรือค่าโดยประมาณ มักจะกำหนดโดยค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด E_{max} ที่เกิดขึ้น ณ จุดใดจุดหนึ่งระหว่างอิเล็กโทรดในขณะที่การเบรคดาวเริ่มเกิดขึ้น ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอีกหลายประการ



รูปที่ 2.1 อิเล็กโทรดที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าแบบต่างๆกัน

- (ก) สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ (UNIFORM FIELD)
- (ข) สนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย (SLIGHTLY NONUNIFORM FIELD)
- (ค) สนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอสูง (HIGHLY NONUNIFORM FIELD)

2.2.2 อิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

อิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ หมายถึงอิเล็กโทรดที่มีสนามไฟฟ้าทุกจุดในช่วงระหว่างอิเล็กโทรดสม่ำเสมอเท่ากันตลอด เช่นอิเล็กโทรดในรูปที่ 2.1(ก) ซึ่งสามารถคำนวณ

$$E_{max} = E = V/d \quad (2.1)$$

V : แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไประหว่างขั้วอิเล็กโทรด หน่วย โวลต์ หรือกิโลโวลต์

d : ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด หน่วย เซนติเมตร

E : ความเครียดสนามไฟฟ้า ณ จุดใด ๆ ระหว่างอิเล็กโทรด หน่วย โวลต์ต่อเซนติเมตร หรือ กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร

E_{max} : ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด

เมื่อป้อนแรงดันให้กับอิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ จะเกิดเบรคดาวน์ทันทีที่ความเครียดสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรด ซึ่งจะเท่ากันทุกจุดถึงค่าที่กำหนดค่าหนึ่งโดยประมาณ และกระแสจะเพิ่มขึ้นอย่างมากในทันทีทันใด โดยที่ค่าของกระแสก่อนจะเกิดเบรคดาวน์นั้นจะวัดไม่ได้ ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแรงดันขณะเกิดเบรคดาวน์นี้ก็คือ ค่าคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของฉนวนนั่นเอง ซึ่งคำนวณได้จาก

$$E_b = V_b/d \quad (2.2)$$

V_b : แรงดันไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการเบรคดาวน์ด้วยสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

E_b : ความเครียดสนามไฟฟ้าที่ทำให้เกิดเบรคดาวน์ หรือความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของฉนวน

2.2.3 อิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ

อิเล็กโทรดแบบนี้มีความเครียดสนามไฟฟ้าแต่ละจุดมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดนั้นๆ ความแตกต่างกัน ณ จุดต่างๆจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะแห่งรูปทรงเรขาคณิตของอิเล็กโทรดที่มีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอมากหรือน้อย เช่นอิเล็กโทรดในรูปที่ 2.1(ข) ถ้าเส้นสนามไฟฟ้าและเส้นศักย์เท่าๆจะได้ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ผิวของอิเล็กโทรดทรงกลม

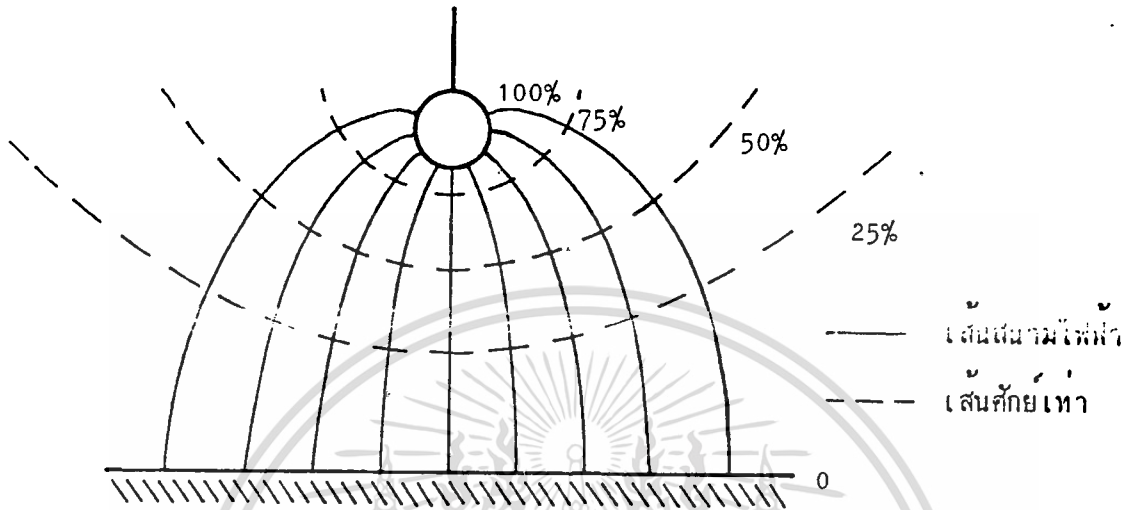
อาจคำนวณได้จาก

$$E_{max} = V/d \cdot \eta \quad (2.3)$$

η : แฟคเตอร์สนามไฟฟ้า (FIELD UTILIZATION FACTOR) มีนิยามว่า

$$\eta = E_{av}/E_{max}$$

E_{sv} : ค่าเฉลี่ยของสนามไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ V/d



รูปที่ 2.2 สนามไฟฟ้าและเส้นศักย์เท่า

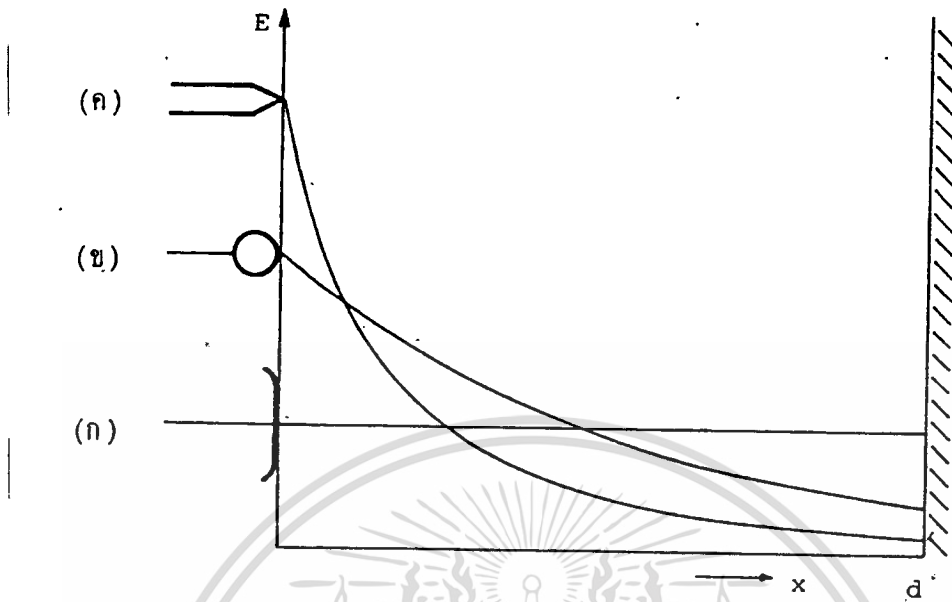
ดังนั้นอาจจะกล่าวได้ว่า τ^* คือค่าดัชนีชี้บอกให้ทราบค่าว่าอิเล็กโตรดนั้นมีลักษณะสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอมากน้อยเพียงใด และโดยอาศัยแฟคเตอร์นี้เองจึงสามารถคำนวณหาความเครียดเบรคดาวน์ของฉนวนในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อยได้คือ

$$E_{sv} = V_{sv} / d\tau^* \quad (2.4)$$

สมการนี้ใช้ได้เฉพาะในกรณีที่มีอิเล็กโตรดมีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย หรือใช้กับกรณีที่ไม่มีโคโรนา (CORONA) หรือพรีดิสชาร์จ (PREDISCHARGE) เกิดก่อนเบรคดาวน์ ดังอิเล็กโตรดในรูปที่ 2.1(ข) กล่าวคือก่อนเกิดเบรคดาวน์จะไม่ปรากฏว่ามีกระแสไหลระหว่างอิเล็กโตรดเลย และลักษณะสนามไฟฟ้าจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง จะเกิดเบรคดาวน์ทันทีที่เกิดความเครียดสนามไฟฟ้าสูงถึงค่าหนึ่งคือค่าสนามไฟฟ้าวิกฤติ E_{sv}

ในกรณีที่อิเล็กโตรดมีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง ซึ่งความเครียดสนามไฟฟ้าสูงจะอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับผิวอิเล็กโตรดที่มีพื้นผิวน้อยที่สุด เช่นปลายแหลม ดังรูปที่ 2.1(ค) ที่ระห่างออกไปจากผิวอิเล็กโตรด ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าจะลดลงอย่างรวดเร็วดังในรูปที่ 2.3

ซึ่งอิเล็กโตรดแบบนี้แม้ว่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดจะมีค่าถึงค่าวิกฤติแล้วก็ตามจะยังไม่เกิดการคายไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 เปรียบเทียบสนามไฟฟ้าของอิเล็กโทรดลักษณะต่างๆ

การเบรคดาวน์ แต่จะเกิดโคโรนาพริตติสซาร์จขึ้นในบริเวณใกล้ผิวอิเล็กโทรด คือบริเวณที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด ส่วนในบริเวณอื่นยังมีความเครียดสนามไฟฟ้าต่ำจะไม่เกิดโคโรนา ฉะนั้นในช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดจะเกิดการดิสซาร์จ (DISCHARGE) ที่ไม่สมบูรณ์ คือไม่ตลอดแนวอิเล็กโทรดเรียกว่าการดิสซาร์จบางส่วน (PARTIAL DISCHARGE) ปรากฏการอาจเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องหรือเป็นช่วงๆทำให้กระแสไหลในวงจรที่ป้อนแรงดันให้กับอิเล็กโทรด กระแสนี้จะเกิดขึ้นและวัดได้ก่อนเบรคดาวน์เรียกว่า กระแสโคโรนา (CORONA CURRENT) หรือ กระแสพริตติสซาร์จ การเกิดโคโรนาเป็นผลทำให้สนามไฟฟ้าแห่งเรขาคณิตเปลี่ยนไปเพราะมีประจุค้าง (SPACE CHARGE) แต่ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดยังคำนวณได้จากสมการ (2.3) แต่ r^2 จะเปลี่ยนไป ดังนั้นค่าความเครียดเบรคดาวน์จะคำนวณจากสมการ (2.4) ไม่ได้ อย่างไรก็ตามสมการ (2.4) นี้อาจใช้คำนวณหาความเครียดสนามไฟฟ้าที่แรงดันโคโรนาเริ่มเกิดได้ เพราะสนามไฟฟ้าแห่งเรขาคณิตยังไม่เปลี่ยนแปลงนั่นคือ

$$E_1 = V_1 / d \cdot r^2 \tag{2.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับก... ความเครียดสนามไฟฟ้าโคโรนาเริ่มเกิด... ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V_1 : แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนที่โคโรนาเริ่มเกิด (COLONA INCEPTION VOLTAGE)

โดยที่ E_1 และ V_1 เป็นค่าความเครียดสนามไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่โคโรนาเริ่มเกิด ฉะนั้นสมการ (2.5) จึงได้เฉพาะกรณีไม่มีประจุค้างระหว่างอิเล็กโทรด หรือกล่าวได้ว่าสมการ (2.5) นี้ใช้สำหรับคำนวณหาความเครียดสนามไฟฟ้าหรือแรงดันเริ่มต้น (STARTING VOLTAGE, THRESHOLD VOLTAGE, INCEPTION VOLTAGE) ซึ่งหมายถึงแรงดันที่ทำให้เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงในช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรด อาจจะเป็นเบรคดาวน์ในกรณีทีอิเล็กโทรดเป็นแบบสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอหรือไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย อาจเป็นแรงดันที่โคโรนาเริ่มเกิด ในกรณีที่ เป็นแบบสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง ซึ่งค่าแรงดันเบรคดาวน์จะมีค่าสูงกว่าค่าแรงดันเริ่มต้นจึงอาจเขียนในรูปสมการทั่วไปว่า

$$V_1 = E_1 \cdot d \cdot \tau^m \tag{2.6}$$

V_1 : แรงดันเริ่มต้น
 E_1 : ความเครียดสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแรงดันเริ่มต้น V_1

2.3 ดิสชาร์จในกาซ

ดิสชาร์จในกาซเป็นการอธิบายปรากฏการณ์การไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านกาซ โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุ (อิเล็กตรอน, ไอออน) ที่เกิดจากขบวนการเพิ่มทวีคูณจำนวนอิเล็กตรอนและไอออนจากการไอออไนเซชันด้วยวิธีใดวิธีหนึ่ง โดยมีสนามไฟฟ้าเป็นตัวกระตุ้นให้อนุภาคประจุมิพลังและเคลื่อนที่ไปสู่อิเล็กโทรดได้ ซึ่งการเกิดดิสชาร์จในกาซเป็นจุดเริ่มต้นของขบวนการต่างๆที่นำไปสู่การเกิดเบรคดาวน์ ลำดับขั้นของขบวนการดิสชาร์จอาจแบ่งออกได้เป็น 4 ช่วงด้วยกันคือ

1. ดิสชาร์จที่ประทังตัวเองไม่ได้ (NONSELF SUSTAINED DISCHARGE)

ขอบเขตของช่วงนี้กำหนดด้วยแรงดันเริ่มต้น เมื่อฉายแสงรังสีเข้าไปที่คะโทดกระแสจะเพิ่มขึ้นตามแรงดันที่ระยะเริ่มต้นและกระแสจะอิ่มตัว เนื่องจากอิเล็กตรอนที่ออกจากคะโทดหรือเกิดขึ้นในกาซทั้งหมดวิ่งไปหาอะโนดหมด ในช่วงนี้กระแสจะไม่เพิ่มตามแรงดันที่เพิ่ม จนกระทั่งถึงค่าหนึ่งกระแสจะเพิ่มในลักษณะเอ็กโปเนนเชียล (EXPONENTIAL) จนถึงจุดหนึ่งแรงดันคร่อมช่องว่างจะหดตัวและมีกระแสไหลเพิ่มขึ้นอย่างมากมาย ซึ่งจำกัดด้วยค่าความต้านทานของวงจรภายนอก

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ที่ต่อเท่านั้น จุดนี้เรียกว่าเบรคดาวน เมื่อเกิดเบรคดาวนแล้วดิสชาร์จสามารถประทังตัวเองได้ (SELF SUSTAINED DISCHARGE) คือจะมีกระแสไหลต่อไปได้ ถึงแม้ว่าจะเอาต้นกำเนิดฉายแสงหรือรังสีไปยังคะโทดออกก็ตาม

2. ดิสชาร์จเรืองแสงปกติ (NORMAL GLOW DISCHARGE)

หลังจากเกิดเบรคดาวนแล้ว ถ้าปล่อยให้กระแสเพิ่มขึ้นต่อไปโดยตัดความต้านทานวงจรภายนอกออก แรงดันคร่อมช่องว่างดิสชาร์จจะลดลงจนเหลือต่ำสุด ดิสชาร์จเรืองแสงย่านนี้อาจจะให้คงสภาพอยู่ได้ โดยมากจะเกิดที่ความดันก๊าซต่ำ ในอากาศที่ความดันบรรยากาศอาจเกิดได้ในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงเท่านั้น

3. ดิสชาร์จเรืองแสงไม่ปกติ (ABNORMAL GLOW DISCHARGE)

หลังจากถึงย่านเรืองแสงปกติแล้ว ถ้าหากกระแสเพิ่มขึ้นต่อไปอีกเป็นเอ็กโปเนนเชียล เรียกว่าการไอออนเซชันจากความร้อนในก๊าซและที่ผิวโลหะ

4. ดิสชาร์จแบบอาร์ค (ARC DISCHARGE)

ถ้าปล่อยให้กระแสเพิ่มไปอีก ในที่สุดจะปรากฏการณ์ของดิสชาร์จใหม่ที่เรียกว่าอาร์คดิสชาร์จ จะมีอิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวคะโทดด้วยความร้อนและมีแสงจ้าจากลำอาร์ค

2.4 ไอออนเซชัน

ขบวนการที่แยกอิเล็กตรอนให้หลุดออกจากอะตอม หรือโมเลกุลของก๊าซเมื่อได้รับพลังงานเพียงพอ และทำให้เกิดไอออนบวกเพิ่มขึ้นเรียกว่า ไอออนไนเซชัน (SOLID) เรียกว่าการปล่อยอิเล็กตรอน (ELECTRON EMISSION) ซึ่งในที่นี้จะ เป็นขบวนการที่ทำให้อิเล็กตรอนออกจากอิเล็กโทรด ซึ่งเป็นขบวนการที่มีความสำคัญอย่างยิ่งที่ทำให้ก๊าซมีสภาพนำไฟฟ้าขึ้นมาได้ การเพิ่มทวิคูณจำนวนอิเล็กตรอนและไอออนในก๊าซเนื่องจากขบวนการไอออนไนเซชัน มีอยู่หลายวิธี ซึ่งจะกล่าวเพียงบางวิธีที่สำคัญพอสังเขป

2.4.1 ไอออนไนเซชันโดยการชน (COLLISION IONIZATION)

เมื่ออนุภาค

มีมวล m (อิเล็กตรอน, ไอออนหรืออะตอมเป็นกลาง) เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v และชนกับอะตอมที่มีมวล M จะมีการถ่ายทอดพลังงานจลน์ ถ้าไม่มีผลทำให้เกิดการตื่นกระตุ้น (EXCITATION) หรือทำให้เกิดการไอออนเซชันเรียกการชนนั้นว่า ชนแบบยืดหยุ่น (ELASTIC COLLISION)

แต่ถ้าชนแล้วอะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซที่ถูกชนได้รับพลังงานจากอนุภาคที่ชนเกิดการคาย

ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตีนกระตุ้นหรือไอออไนเซชันเรียกการชนนี้ว่า ชนแบบไม่ยืดหยุ่น (INELASTIC COLLISION) นั้นหมายความว่ามีการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานศักย์ ไอออไนเซชัน เกิดจากการชนจากอิเล็กตรอนวิ่งชนโมเลกุลหรืออะตอมของก๊าซ โดยที่อิเล็กตรอนได้รับพลังงาน จากสนามไฟฟ้า E ในขณะที่วิ่งเข้าหาอะโนด พลังงานที่อิเล็กตรอนได้รับจะเป็นพลังงานจลน์ ซึ่ง ถ้ามมากกว่าพลังงานไอออไนเซชัน (IONIZATION ENERGY) ของโมเลกุลก๊าซ ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของก๊าซแต่ละชนิด ถ้าพลังงานที่ได้รับจากสนามไฟฟ้าไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการไอออไนเซชันได้ ก็อาจจะเป็นผลทำให้โมเลกุลที่ถูกชนนั้นอยู่ในสภาพที่กระตุ้นได้พอดี เรียกว่าพลังงานกระตุ้น (EXCITATION ENERGY)

2.4.2 โฟโตไอออไนเซชัน (PHOTOIONIZATION)

เมื่ออะตอมของธาตุบางชนิด เช่น อะตอมไฮโดรเจน ได้รับพลังงานจากภายนอก จะทำให้วงโคจรของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสดอยห่างออกมามากกว่าปกติ แต่ยังโคจรอยู่รอบนิวเคลียสในวงโคจรที่แน่นอนวงหนึ่ง โดยไม่หลุดออกมา ซึ่งลักษณะเช่นนี้เรียกว่าอะตอมอยู่ในสภาวะที่กระตุ้น พลังงานจะคงสภาพอยู่ในช่วงเวลาสั้นๆ ประมาณ 10^{-11} ถึง 10^{-7} วินาทีเท่านั้น แล้วอะตอมจะกลับเข้าสู่สภาพปกติ ขณะเดียวกันก็จะปล่อยพลังงานที่ได้รับมาในตอนแรกกลับคืนออกมาในรูปของ โฟตรอน (PHOTON) ถ้าวิ่งไปกระทบเข้ากับอะตอมหรือโมเลกุล อาจทำให้เกิดการที่กระตุ้นหรือไอออไนเซชันได้

2.4.3 เทอร์มัลไอออไนเซชัน (THERMAL IONIZATION)

เทอร์มัลไอออไนเซชัน เป็นการ ไอออไนเซชันอะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซด้วยพลังงานความร้อน ในก๊าซที่มีอุณหภูมิสูงๆ ไอออไนเซชันอาจเกิดขึ้นจาก

1. ไอออไนเซชันโดยการชนกันเองของโมเลกุลหรืออะตอม เนื่องจากอุณหภูมิสูง ทำให้มีความเร็วสูง จึงให้พลังงานสูง ทำให้เกิดไอออไนเซชันได้
2. ก๊าซร้อนทำให้มีโฟตรอนปล่อยออกมาแล้วทำให้เกิดไอออไนเซชันขึ้นได้
3. การชนของอิเล็กตรอน ที่มีพลังงานสูงจากข้อ 1) และ 2)

2.4.4 การเกิดไอออนลบ (NEGATIVE ION FORMATION)

ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ไอออไนเซชันเป็นขบวนการที่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซ และที่เหลือเป็นไอออนบวก ในโอกาสเดียวกันไอออนลบอาจเกิดขึ้นได้

โดยถ้าอิเล็กตรอนมีพลังงานไม่เพียงพอที่จะชนให้อะตอม หรือโมเลกุลที่เป็นกลางของกาซบางชนิดแตกตัวออกได้แต่อิเล็กตรอนอาจจับหรือเกาะโมเลกุลนั้น (ELECTRON ATTACHEMENT) ทำให้กลายเป็นอนุภาคที่มีมวลเพิ่มขึ้นเป็นผลให้เคลื่อนที่ได้ช้า นั่นคือไอออนลบจะได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้าน้อย โอกาสจะเกิดไอออนในเซชันโดยการวิ่งชนของไอออนลบจึงมีน้อย เท่ากับเป็นการหน่วงการเกิดไอออนในเซชัน การหน่วงนี้จะมีผลอย่างยิ่งถ้าเกิดขึ้นในบริเวณใกล้กะโถด อันเป็นที่เริ่มต้นของอิเล็กตรอนซึ่งเป็นผลให้อิเล็กตรอนอิสระที่เป็นตัวเริ่มจะลดลงไป

โมเลกุลของกาซประเภทฮาโลเจน คือพวกที่มีองค์ประกอบของ F, Cl, Br, I และ At รวมทั้งพวก O_2, CO_2, SF_6 เป็นต้น จะจับอิเล็กตรอนไว้ได้ง่ายและเป็นไอออนลบที่มั่นคง ก๊าซที่มีอะตอมหรือโมเลกุลเหล่านี้รวมอยู่ด้วย หรือเรียกว่ากาซไฟฟ้าลบ (ELECTRONEGATIVE GASSES) ในกาซอื่นๆ หากมีกาซไฟฟ้าลบเจือปนแม้เพียงเล็กน้อยก็จะทำให้ลักษณะทางไฟฟ้าของกาซนั้น เปลี่ยนไปอย่างเห็นได้ชัด

2.5 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวโลหะ

การที่อิเล็กตรอนวิ่งชนโมเลกุลหรืออะตอมของกาซ แล้วทำให้มีอิเล็กตรอนหลุดออกมาจากโมเลกุล ซึ่งเป็นขบวนการไอออนในเซชัน จัดเป็นขบวนการเบื้องต้น นับเป็นขบวนการที่สำคัญในการสร้างจำนวนอิเล็กตรอนอิสระที่เพิ่มทวีคูณนั้น แต่ตามลำดับขบวนการเบื้องต้นไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดเบรคดาวน จำต้องมีขบวนการอื่นมาช่วยเสริมจำนวนอิเล็กตรอนด้วยการปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวโลหะถือได้ว่าเป็นขบวนการที่สำคัญในการช่วยเพิ่มทวีคูณจำนวนอิเล็กตรอนอิสระนำไปสู่การเกิดเบรคดาวนได้ ซึ่งมีมากหลายวิธี แต่การที่จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาได้นั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและสนามไฟฟ้าที่ผิวของโลหะเป็นสำคัญ ซึ่งจะกล่าวพอสังเขปดังนี้

2.5.1 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวคะโถดโดยการชนของไอออนบวก

ไอออนบวกที่เกิดจากขบวนการเบื้องต้นที่อิเล็กตรอนวิ่งชนโมเลกุลหรืออะตอม ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาเหลือไอออนบวกวิ่งเข้าหาอะโนด โดยเหตุที่ไอออนบวกมีมวลมากจึงเคลื่อนที่ได้ช้า พลังงานจลน์ที่ไอออนบวกได้จากสนามไฟฟ้าจึงมีน้อยไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการไอออนในเซชันโดยการชนของไอออนบวกกับโมเลกุลของกาซได้ แต่ไอออนบวกมีพลังงานศักย์พอที่จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดกระจายออกมาจากผิวคะโถดได้เมื่อไอออนบวกวิ่งกระทบ

2.5.2 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวคะโถดโดยพลังงานโฟตอน (PHOTO EMISSION)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานวิจัยในท้องถิ่น และอยู่ภายใต้เงื่อนไขของการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเลกุลที่อยู่ในสภาพตื่นกระตุ้น ปลดปล่อยพลังงาน โฟตรอนออกมาในขณะที่อะตอมคืนสู่สถานะสภาพพื้น (GROUND STATE) โดยอิเล็กตรอนกลับเข้าสู่วงโคจรเดิมพลังงานโฟตอนตกลงบนคะโทด ทำให้มีอิเล็กตรอนหลุดออกจากคะโทดหรือโมเลกุลที่อยู่ในสภาพเมตาเสถียร (META STABLE) นั้นอาจแพร่กระจายกลับไปหาคะโทดแล้วทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาได้ เมื่อโมเลกุลนั้นวิ่งไปกระทบคะโทด

2.5.3 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากคะโทดโดยพลังงานแสง

อิเล็กตรอนอาจหลุดหรือกระจายออกจากผิวโลหะได้ เมื่อได้รับพลังงานแสงมากพอ อาจมีพลังงานเหลือเฟือ และเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์วิ่งเข้าหาอะโนดได้ถึงแม้ว่าจะไม่มีสนามไฟฟ้าก็ตาม

2.5.4 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวโลหะด้วยความร้อน (THERMIONIC EMISSION)

ที่อุณหภูมิสูงๆ บางอิเล็กตรอนที่ผิวโลหะจะมีพลังงานพอที่จะเอาชนะหรือข้ามกำแพงศักย์ (POTENTIAL BARRIER) ที่ผิวของโลหะไปได้ และจะมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นตามอุณหภูมิของผิวโลหะ ซึ่งการหลุดของอิเล็กตรอนจากผิวโลหะโดยไม่มีแหล่งพลังงานใด ๆ จากภายนอกนี้ เรียกว่าการปล่อยอิเล็กตรอนด้วยความร้อน

2.5.5 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากคะโทดโดยสนามไฟฟ้า (FIELD EMISSION)

ผลจากสนามไฟฟ้าที่ป้อนจากภายนอกเข้าไป จะทำให้มีอิเล็กตรอนหลุดหรือปล่อยออกมาจากผิวโลหะได้นั้นจะต้องมีพลังงานมากพอ อย่างน้อยต้องมีพลังงานมากกว่าการปล่อยออกด้วยพลังงานความร้อน ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่นชนิดของโลหะ ลักษณะของอิเล็กโตรด เป็นต้น โดยการป้อนแรงดันไฟฟ้าให้มีความเข้มสนามไฟฟ้าสูงมาก อาศัยแรงดึงดูดของสนามไฟฟ้าดึงอิเล็กตรอนให้หลุดออกจากแรงดึงดูดระหว่างอิเล็กตรอน ซึ่งผลของขบวนการปล่อยอิเล็กตรอนออกจากคะโทดโดยสนามไฟฟ้านี้ จะทำให้เกิดความหนาแน่นของอิเล็กตรอนตรงบริเวณหัวอิเล็กโตรดสูงมาก ซึ่งปรากฏการณ์นี้มีความสำคัญมากในโคโรนาดีสชาร์จของปลายแหลมหัวลบ

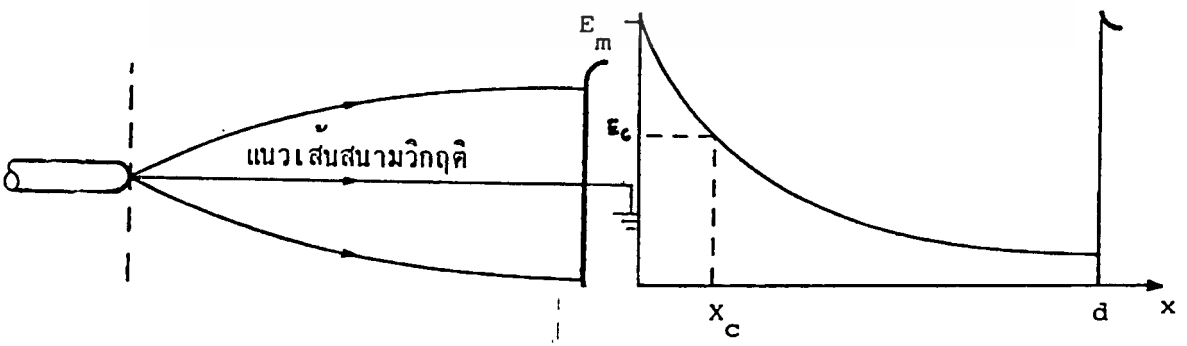
2.6 การเบรคดาวน์ในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ (BREAKDOWN IN NONUNIFORM FIELD)

ดังที่กล่าวไว้แล้วว่าปรากฏการณ์การเบรคดาวน์ในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอมีลักษณะที่แตกต่างออกไปจากการเบรคดาวน์ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ โดยจะมีโคโรนาเกิดขึ้นในบริเวณที่มีความเคียดสนามไฟฟ้าสูงและเกิดขึ้นที่แรงดันต่ำกว่าแรงดันเบรคดาวน์ โคโรนานี้ อาจจะไม่อาจการคำนวณได้ทั้งหมดอีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพอยู่ได้ในบางจุดโดยไม่เกิดการเบรคดาวน์ จากการวิจัยลักษณะเบรคดาวน์ในสนามไฟฟ้า เราพบว่าขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์สนามไฟฟ้า ($\gamma = E_{av} / E_{max}$) พิจารณาจากรูปที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าสนามไฟฟ้าของอิเล็กโทรดที่มี γ ยิ่งต่ำความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด (E_{max}) ที่ผิวอิเล็กโทรดรัศมีน้อยจะยิ่งมีค่ามาก และความเครียดสนามไฟฟ้าจะลดลงอย่างรวดเร็ว ฉะนั้น ไอออนในเซชันจะเกิดขึ้นได้เฉพาะบริเวณที่ผิวของอิเล็กโทรดซึ่งมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด เท่านั้น ที่ระยะห่างออกไป ความเครียดสนามไฟฟ้าต่ำเกินไปที่จะทำให้เกิดไอออนเซชัน จึงไม่อาจเกิดเบรคดาวน์และจัดเป็นเบรคดาวน์แบบโคโรน่า (CORONA BREAKDOWN)

2.6.1 แรงดันเริ่มต้นช้าลบนต่ำกว่าช้าบวก

แรงดันเริ่มต้น (THRESHOLD VOLTAGE, STARTING VOLTAGE) หมายถึงแรงดันที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรด ถ้าอิเล็กโทรดเป็นแบบสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย แรงดันเริ่มต้นก็คือแรงดันเบรคดาวน์โดยตรง กล่าวคือเมื่อมีเงื่อนไขการเกิดเบรคดาวน์ก็จะเกิดการเบรคดาวน์ทันที ในกรณีของสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง ในย่านเบรคดาวน์แบบโคโรน่า แรงดันเริ่มต้นก็คือแรงดันที่โคโรน่าเริ่มเกิด ในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอและไม่สมมาตร แรงดันเริ่มต้นช้าลบของอิเล็กโทรดที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดจะมีค่าต่ำกว่าแบบช้าบวก ซึ่งจะพิจารณาได้จากรูปที่ 2.4 สมมติว่าเป็นช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดรีด (ROD) กับแผ่นระนาบ ถ้าที่รีดเป็นช้าลบ อิเล็กตรอนเริ่มต้นจะเริ่มที่ผิวของปลายรีดซึ่งเป็นบริเวณที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด มีโอกาสเกิดไอออนเซชันจากการชนได้มากจึงสามารถสร้างอะวาลานซ์วิกฤติของอิเล็กตรอนได้ง่าย ค่าแรงดันเบรคดาวน์จึงต่ำ แต่ถ้ารีดเป็นช้าบวก



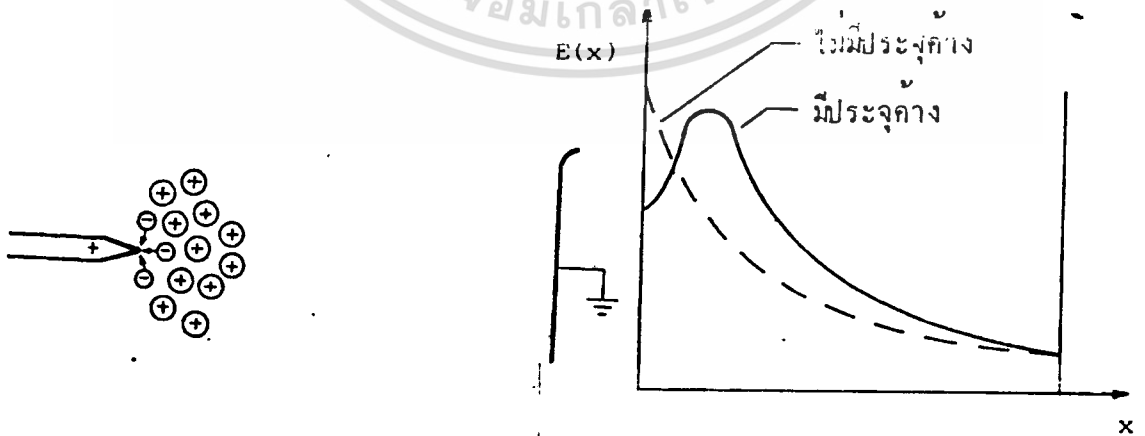
รูปที่ 2.4 ระยะอะวาลานซ์วิกฤติในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ

อิเล็กตรอนเริ่มต้นจะต้องเริ่มในช่องว่างที่ห่างจากผิวอิเล็กโทรดรีดไปตามแนวที่มีความเครียด
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดได้เห็นใบเขียวประจำชิ้นงานการค้ำ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามไฟฟ้าสูงสุด คือแนวที่มีความยาวของเส้นสนามไฟฟ้าที่สั้นที่สุดระหว่างอิเล็กโทรดไปเป็น
 อย่างน้อยที่สุดเท่ากับระยะวิกฤติ x_c เพื่อให้อิเล็กตรอนมีโอกาสสร้างอิเล็กตรอนอิสระเพิ่มทวี
 จนถึงจำนวนวิกฤติ ($N_c = 10^{11}$) ได้ ซึ่งความยาวของอะวาลานซ์วิกฤติอย่างน้อยจะเท่ากับ x_c
 ตามเงื่อนไขการเกิดเบรคดาวน์ในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอของทฤษฎีสตรีมเมอร์แต่มีระยะ N_c
 จากปลายรีดเป็นบริเวณที่สนามไฟฟ้ามีความเครียดต่ำลง โอกาสที่จะเกิดการไอออไนเซชันเพื่อ
 สร้างอะวาลานซ์จึงเป็นไปได้ยากหรือเป็นไปได้ไม่ได้ ถ้าต้องการให้เกิดการไอออไนเซชันที่ระยะ
 x_c บริเวณนั้นจะต้องมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงขึ้น นั่นก็คือจะเกิดเบรคดาวน์ได้ต้องป้อนแรงดัน
 ไฟฟ้าสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้เองแรงดันเริ่มต้นในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอของซีลลอบจึงต่ำกว่าของซีล
 บวก คือ $V_{i-} < V_{i+}$

2.6.2 ผลของประจุค้างต่อแรงดันเบรคดาวน์ต่างขั้ว

ประจุค้าง (SPACE CHARGE) ที่เกิดขึ้นในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงเป็นผลให้
 แรงดันเบรคดาวน์ V_b มีค่าสูงกว่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิด V_c และผลของประจุค้าง ทำให้แรง
 ดันเบรคดาวน์ของซีลบวกและซีลลบต่างกัน ในทางตรงกันข้ามกับแรงดันเบรคดาวน์โดยตรง
 กล่าวคือแรงดันเบรคดาวน์โดยตรงหรือแรงดันเริ่มต้นของซีลลบจะต่ำกว่าของซีลบวกเสมอ แต่ผล
 ของประจุค้างทำให้แรงดันเบรคดาวน์ซีลลบจะสูงกว่าซีลบวก ซึ่งเกิดในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ
 สูงของอิเล็กโทรดแบบไม่สมมาตรดังตัวอย่างเช่น ปลายแหลมกับแผ่นระนาบ การอ้างถึงแรงดัน
 ซีลบวกหรือซีลลบหมายถึงซีลแรงดันบนอิเล็กโทรดที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงที่สุด



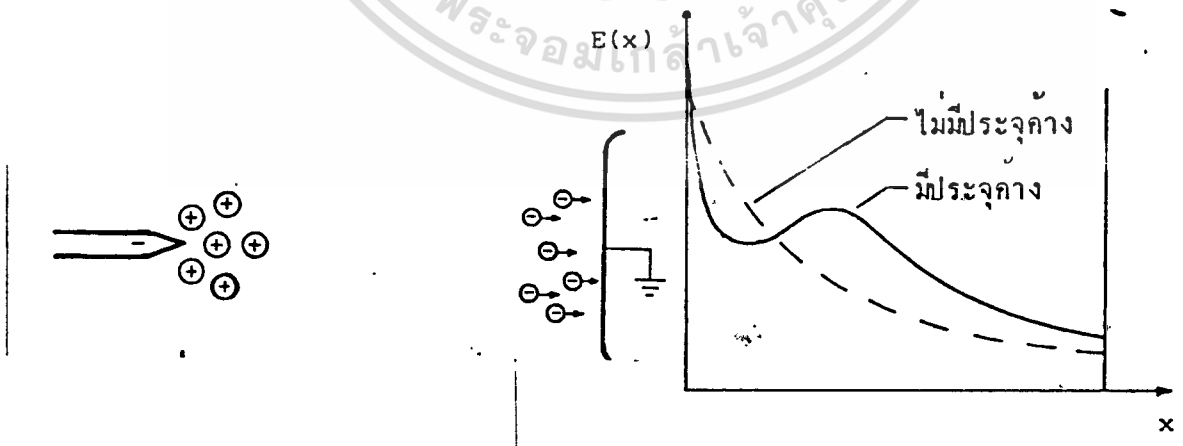
รูปที่ 2.5 ผลประจุค้างของปลายแหลมซีลบวก

1 ปลายแหลมซีลบวก

ที่ปลายแหลมเป็นซี่ยาวกเทียบกับแผ่นระนาบตั้งรูปที่ 2.5 (ก) เมื่อแรงดันสูงถึงค่าแรงดันโคโรน่าเริ่มเกิด จะเกิดไอออนในเซชันของกาซรอบๆปลายแหลม อิเล็กตรอนซึ่งเคลื่อนที่ได้เร็วจะวิ่งเข้าหาอะโนดคือปลายแหลม และรวมตัวเป็นกลางปล่อยให้ไอออนบวกซึ่งเคลื่อนที่ได้ช้าค้างออกันอยู่หน้าปลายแหลมเป็นผลให้สนามไฟฟ้าที่ปลายแหลมมีความเครียดน้อยลง แต่ความเครียดสนามไฟฟ้าทิศทางเข้าหาคะโถดคือแผ่นระนาบจะมีค่าสูงขึ้นดังรูปที่ 2.5 (ข) ประจุไอออนบวกหน้าปลายแหลมเสมือนหนึ่งว่าทำให้อิเล็กโตรดยาวขึ้นเมื่อระยะแกปลี่ยนลง และเวลาเดียวกับความเครียดสนามไฟฟ้าแกปลี่ยนเพิ่มขึ้น เป็นผลให้เกิดเบรคดาวนได้ง่ายขึ้น นั่นคือประจุค้างทำให้แรงดันเบรคดาวนซี่ยาวกต่ำลง

2 ปลายแหลมซี่วลบ

ปลายแหลมซี่วลบตามรูปที่ 2.6 อิเล็กตรอนที่เกิดจากไอออนในเซชันเคลื่อนที่ไปหาอะโนดอะโนดซึ่งเป็นบริเวณที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าต่ำ อิเล็กตรอนอาจเกาะบนตัวโมเลกุลได้และรวมตัวเป็นกลางที่อะโนด ส่วนประจุไอออนบวกเคลื่อนที่ได้ช้าเข้าหาปลายแหลมคะโถดจะค้างอยู่บริเวณปลายแหลม ทำให้สนามไฟฟ้าที่ปลายแหลมมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงขึ้นดังรูปที่ 2.6 (ข) แต่สนามไฟฟาระหว่างหมอกประจุค้างกับอะโนดระนาบกับสม่าเสมอดีขึ้น เนื่องจากประจุค้างจึงทำให้เบรคดาวนได้ยากขึ้น ฉะนั้นผลของประจุค้างจะทำให้แรงดันเบรคดาวนซี่วลบมีค่าสูงขึ้น



รูปที่ 2.6 ผลประจุค้างของปลายแหลมซี่วลบ

2.6.3 ปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบต่อแรงดันเบรคดาวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการรื้อท้อเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีเงื่อนไขสภาวะแวดล้อมหลายประการที่มีผลกระทบต่อแรงดันเบรกดาวน์ เช่น ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด, รัศมีความโค้ง, ลักษณะผิว, ช่วงเวลาที่ป้อนแรงดัน, ความถี่, รูปคลื่นแรงดัน, อุณหภูมิ, ความดัน, ความชื้น, ชนิดของก๊าซรวมทั้งแรงดันบนอิเล็กโทรดที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ได้เสนอไปแล้ว ดังจะขอกล่าวถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่มีความสำคัญส่งผลกระทบต่อแรงดันเบรกดาวน์ของก๊าซ โดยกำหนดระยะห่างของอิเล็กโทรดคงที่พอสังเขปดังนี้

1 รูปลักษณะอิเล็กโทรด

รูปลักษณะอิเล็กโทรดจะมีผลต่อแรงดันเบรกดาวน์มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะสนามไฟฟ้าว่าเป็นแบบสม่ำเสมอ ไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย หรือไม่สม่ำเสมอมาก ในกรณีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดกับค่าเฉลี่ยจะแตกต่างกันไม่มากนัก ค่าแรงดันเริ่มต้นกับค่าแรงดันเบรกดาวน์เป็นค่าเดียวกัน กล่าวคือเมื่อเวลาผ่านไปเรื่อยๆ จะเกิดเบรกดาวน์ทันที จะไม่มีโคโรนาเกิดขึ้นก่อนเบรกดาวน์ จึงเรียกลักษณะเบรกดาวน์โดยตรง เช่น เบรกดาวน์ในช่องว่างระหว่างทรงกลมที่มีระยะห่างไม่มากนักเมื่อเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลาง ความแตกต่างของหัวแรงดันมีผลต่อค่าแรงดันเบรกดาวน์เพียงเล็กน้อย

ในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดมีมากเมื่อเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางของอิเล็กโทรด ค่าแรงดันเริ่มต้นจะต่ำกว่าแรงดันเบรกดาวน์อย่างเห็นได้ชัด ในสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอแบบสมมาตร เช่น แท่งกลม-แท่งกลมมีปลายเหมือนกัน รูปลักษณะอิเล็กโทรดไม่มีผลต่อแรงดันเบรกดาวน์ จะมีผลในกรณีที่อิเล็กโทรดเป็นแบบไม่สมมาตรมากๆ เช่น แท่งกลมกับแผ่นระนาบ และจะเกิดโคโรนาขึ้นก่อนเบรกดาวน์

2 ผลของความหนาแน่นของก๊าซ

ในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ ลักษณะของแรงดันเบรกดาวน์ในเทอมของความดันก๊าซ จะมีลักษณะสูงสุด-ต่ำสุด กล่าวคือที่ความดันต่างๆ จะมีโคโรนาเกิดขึ้นก่อนจะเกิดเบรกดาวน์ และเรียกว่า เบรกดาวน์ตามโคโรนา ถ้าเป็นโคโรนาตามสถานะ (STABILIZED CORONA) จะทำให้แรงดันเบรกดาวน์สูงกว่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิดมาก จนกระทั่งค่าแรงดันเบรกดาวน์และค่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิดมีค่าเท่ากัน และเป็นความดันที่แรงดันมีค่าต่ำ หลังจากจุดนี้เพิ่มความดันก๊าซต่อไปอีก ค่าแรงดันเบรกดาวน์จะเพิ่มเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความดันก๊าซอีก ในช่วงหลังแรงดันต่ำสุดนี้ เบรกดาวน์จะเป็นแบบเบรกดาวน์โดยตรง ปรากฏการณ์ลักษณะแรงดันเบรกดาวน์ใน

เทอมของความดันอากาศที่มีลักษณะสูงสุด-ต่ำสุดนี้จะปรากฏเห็นเด่นชัดในกรณีของก๊าซประจำไฟฟ้าลบ เช่น SF_6

3 ผลของความชื้นในอากาศ

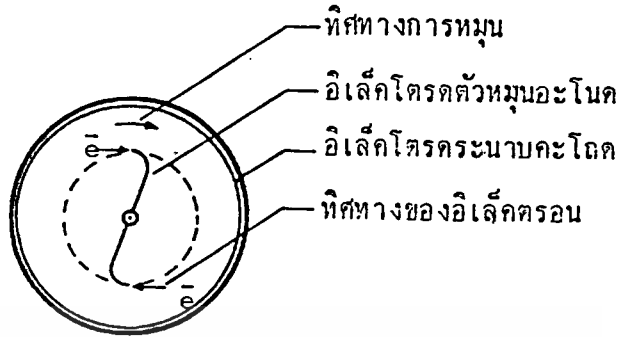
โมเลกุลของ H_2O ในอากาศมีลักษณะเป็นก๊าซไฟฟ้าลบอ่อนเพราะมีอะตอมของออกซิเจนประกอบอยู่ ทำให้อากาศมีความชื้น มีความคงทนต่อแรงดันสูงขึ้นตรงเท่าที่ความชื้นยังไม่กลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ในสนามไฟฟ้าที่สม่ำเสมอหรือสม่ำเสมอ ผลของความชื้นที่ต่อแรงดันเบรคดาวน์น้อยมากเลยได้ แต่ในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงที่มีดิสชาร์จก่อน ความชื้นจะมีผลต่อแรงดันเบรคดาวน์ และมีผลมากที่สุดต่อแรงดันกระแสดร่ง แรงดันเบรคดาวน์จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามความชื้นสัมบูรณ์ในอากาศ

2.7 สมมติฐานการหมุน

เนื่องจากวิธีการที่อิเล็กโตรดตัวหมุนสามารถเคลื่อนที่ได้มันจะต้องมีแรงมากระทำกับตัวหมุนที่มากพอ ที่จะเอาชนะแรงบิดเริ่มต้นของตัวหมุนได้ จากการทดลองโดยการป้อนสนามไฟฟ้าแรงสูงกระแสดร่งให้กับมอเตอร์ที่มีลักษณะอิเล็กโตรดตัวหมุนปลายแหลมกับระนาบ ทำให้เกิดความเข้มสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงระหว่างอิเล็กโตรดทั้งสอง โดยมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดที่บริเวณปลายแหลมของแกนตัวหมุน ทำให้เกิดขบวนการเพิ่มทวีคูณจำนวนอิเล็กตรอนอิสระและไอออนมากขึ้นก๊าซระหว่างขั้วอิเล็กโตรดนั้น อิเล็กตรอนอิสระที่เกิดขึ้นหรือไอออนที่เกิดขึ้นจะเป็นกระทำต่อปลายแหลมของแกนตัวหมุนหลักให้ตัวหมุนสามารถเคลื่อนที่ได้ ถ้าหากแรงมากระทำมากพอที่จะเอาชนะแรงบิดเริ่มต้นได้ ตัววนสาเหตุนี้จึงได้ตั้งสมมติฐานการหมุนเนื่องจากผลของแรงกระทำได้อดังนี้

2.7.1 สมมติฐานข้อที่ 1 ผลจากอิเล็กตรอน

เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าแรงสูงให้มีค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงพอที่จะทำให้เกิดขบวนการไอออนในเซชันเพิ่มทวีคูณจำนวนอิเล็กตรอนอิสระและไอออนมากในก๊าซ ระหว่างขั้วอิเล็กโตรดตัวหมุนปลายแหลมและอิเล็กโตรดระนาบ กลุ่มอิเล็กตรอนอิสระจะเคลื่อนเข้าหาอิเล็กโตรดอะโนด ในขณะที่กลุ่มไอออนบวกเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าจะเคลื่อนที่เข้าหาอิเล็กโตรดคะโทด จากผลที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายถึงสาเหตุของการหมุนเนื่องจากผลของแรงกระทำของอิเล็กตรอนต่ออิเล็กโตรดตัวหมุนได้โดย



รูปที่ 2.7 แรงกระทำของอิเล็กตรอนต่ออิเล็กตรอนตัวหมุนอะโนด

1) เมื่อตัวหมุนเป็นอิเล็กตรอนอะโนด กลุ่มอิเล็กตรอนอิสระที่เกิดขึ้นจากขบวนการไอออไนเซชันจะวิ่งเข้าหาตัวหมุนอะโนด โดยที่ตัวหมุนมีแกนเป็นปลายแหลม ดังนั้นบริเวณปลายแหลมของแกนตัวหมุนจะมีความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุด ทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนอิสระที่เกิดขึ้นจะวิ่งเข้าชนบริเวณปลายแหลมของแกนตัวหมุน ทำให้เกิดแรงกระทำลึกลับให้ตัวหมุนสามารถเคลื่อนหมุนได้ โดยที่ขนาดความเร็วรอบของตัวหมุนขึ้นอยู่กับ จำนวนของอิเล็กตรอนอิสระที่เป็นสาเหตุของแรงกระทำต่อตัวหมุนให้สามารถหมุนได้ ตามรูปที่ 2.7 ซึ่งแสดงถึงทิศทางการหมุนของอิเล็กตรอนอิสระที่เป็นแรงกระทำต่อแกนปลายแหลม ผลักให้อิเล็กตรอนตัวหมุนอะโนดสามารถเคลื่อนที่ได้ในทิศทางของอิเล็กตรอนที่เข้ามากระทำตามทิศทางการหมุนที่แสดงไว้ในรูป

2) เมื่อตัวหมุนเป็นอิเล็กตรอนคะโถด กลุ่มของไอออนบวกที่เกิดขึ้นจากขบวนการไอออไนเซชันจะเคลื่อนเข้าหาตัวหมุนคะโถดที่มีลักษณะเป็นแกนปลายแหลม ซึ่งมีค่าความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดที่บริเวณปลายแกน เมื่อกลุ่มของไอออนบวกซึ่งมีมวลมากกว่าจะเคลื่อนเข้าชนปลายแหลมของแกนช้ากว่าทำให้มีพลังงานการชนน้อยแต่จะมีพลังงานมากพอที่จะสามารถทำให้มีจำนวนอิเล็กตรอนอิสระหลุดออกมาจากขั้วอิเล็กตรอนตัวหมุนปลายแหลมคะโถดนั้น ตามขบวนการปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวโลหะคะโถดโดยการชนของไอออนบวกได้ ตามรูปที่ 2.8 ซึ่งแสดงถึงทิศทางของอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจากผลไอออนบวก พุ่งมาจากปลายแหลมของแกนตัวหมุน พลังงานที่อิเล็กตรอนพุ่งออกมาจะทำให้เกิดพลังงานย้อนกลับสู่ตัวหมุน ทำให้อิเล็กตรอนตัวหมุนคะโถดสามารถเคลื่อนหมุนได้ในทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจากปลายแหลม

แสดงไว้ในรูป ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีทิศทางการหมุนเหมือนกับอิเล็กทรอนิกส์ตัวหมุนอะโนดที่แสดงไว้ในรูป 2.7

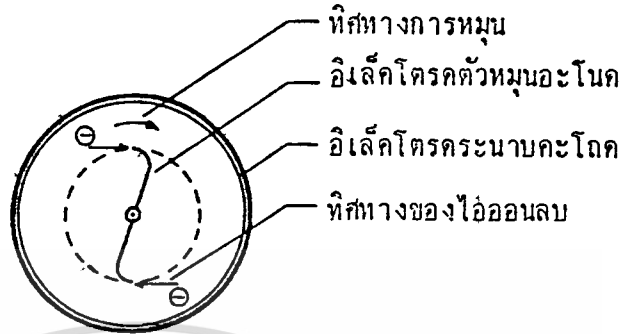


รูปที่ 2.8 แรงกระทำของอิเล็กตรอนต่ออิเล็กทรอนิกส์ตัวหมุนอะโนด

2.7.2 สมมติฐานข้อที่ 2 ผลจากไอออน

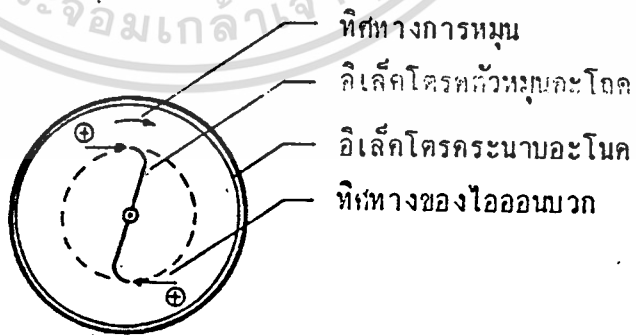
เมื่อมีการป้อนสนามไฟฟ้าให้เกิดขบวนการไอออนในเซชันขึ้นในก๊าซเพิ่มทวีคูณจำนวนอิเล็กตรอนอิสระและไอออนมากขึ้น ถ้าหากมีก๊าซไฟฟ้าลบเจือปนอยู่ภายในและอิเล็กตรอนอิสระที่เกิดมีพลังงานไม่มากพอที่จะชนให้อะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซแตกตัวออก ตามขบวนการไอออนในเซชันได้ต่อไป อิเล็กตรอนเหล่านั้นก็จะรวมตัวหรือเกาะอยู่กับอะตอม หรือโมเลกุลของก๊าซนั้นๆ เป็นไอออนลบขึ้นได้ ซึ่งสามารถอธิบายถึงสาเหตุการหมุนเนื่องจากผลของแรงกระทำของไอออนต่ออิเล็กทรอนิกส์ตัวหมุนได้โดย

1) เมื่อตัวหมุนเป็นอิเล็กทรอนิกส์อะโนด ผลที่เกิดจากการที่อิเล็กตรอนรวมตัวกับอะตอมหรือโมเลกุลของไฟฟ้าลบ กลายเป็นไอออนลบจะเคลื่อนที่เข้าชนปลายแหลมของแกนของอิเล็กทรอนิกส์ตัวหมุนอะโนด ทำให้มีแรงกระทำผลทำให้ตัวหมุนสามารถเคลื่อนที่ได้ ตามรูปที่ 2.9 ซึ่งทิศทางของไอออนลบที่เป็นแรงกระทำต่อแกนปลายแหลม ผลักให้อิเล็กทรอนิกส์ตัวหมุนอะโนดสามารถเคลื่อนหมุนได้ในทิศทางของไอออนลบที่เข้ากระทำตามทิศทางการหมุนที่แสดงไว้ในรูป



รูปที่ 2.9 แรงกระทำของไอออนลบต่ออิเล็กโตรดตัวหมุนอะโนด

2) เมื่อตัวหมุนเป็นอิเล็กโตรดกะโปก กลุ่มของไอออนบวกที่เกิดขึ้นจากขบวนการไอออไนเซชันจะเคลื่อนเข้าขั้วบริเวณปลายแหลมของแซนอิเล็กโตรดตัวหมุนกะโปก เป็นผลทำให้เกิดแรงกระทำหลักให้ตัวหมุนสามารถเคลื่อนที่ได้ ดังรูปที่ 2.10 แสดงทิศทางไอออนบวกอิสระที่เป็นแรงกระทำหลักให้อิเล็กโตรดตัวหมุนกะโปกเคลื่อนที่ในทิศทางของไอออนบวกที่เข้ากระทำ โดยมีทิศทางการหมุนดังที่แสดงไว้ในรูป ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีทิศทางการหมุนเหมือนกับอิเล็กโตรดหมุนอะโนดที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.9



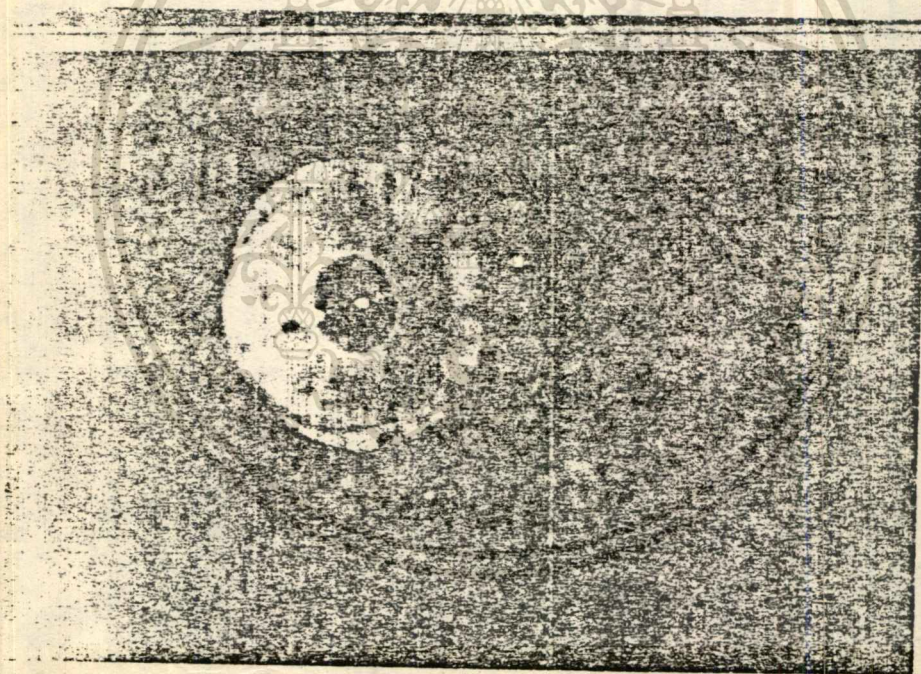
รูปที่ 2-10 แรงกระทำของไอออนบวกต่ออิเล็กโตรดตัวหมุนกะโปก

2.8 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อเตอเรสไนไฟฟ้แรงสูงหมุนวนนั้น ไม่นุญวตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนนี้จะเสนอปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับมอเตอร์ต่อเนื่อง ไปจนมอเตอร์เริ่มหมุนจนกระทั่งถึงแรงดัดไฟฟ้าเบรคดาวน์ สามารถแสดงถึงสิ่งต่างๆที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่างๆ เหล่านั้น สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนสมมติฐานการหมุนที่วางเอาไว้

2.8.1 ปรากฏการณ์โคโรน่า

จากการทดลองพบว่ามีปรากฏการณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งเกิดขึ้นก่อนที่จะถึงแรงดันเบรคดาวน์ โดยในขณะที่ตัวหมุนเคลื่อนหมุนไปตรงบริเวณปลายแหลมของแกนตัวหมุน จะเห็นเป็นแสงเรืองเป็นวงกลมตามแนวการเคลื่อนที่หมุนของปลายแหลมและระหว่างขั้วอเล็กโตรด เรียกเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ว่า เป็นปรากฏการณ์โคโรน่า ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.11

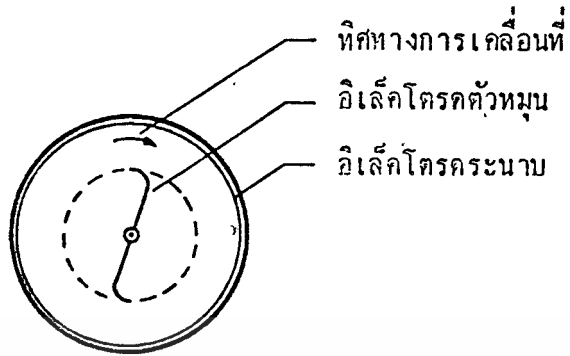


รูปที่ 2.11 ปรากฏการณ์โคโรน่า

2.8.2 ทิศทางการหมุนของตัวหมุน

ทิศทางการหมุนของอเล็กโตรดตัวหมุนเป็นไปตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.12 โดยที่ทิศทางการหมุนจะเป็นไปตามที่แสดงไว้ในรูปเสมอ ไม่ว่าตัวหมุนจะเป็นขั้วอเล็กโตรดอะโนดหรือเป็นขั้วอเล็กโตรดแคโทด ทิศทางการหมุนมีทิศทางเดียว และเมื่อเริ่มตลอดเวลาที่ป้อนแรงดันไฟฟ้า ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้าให้กับมอเตอร์



รูปที่ 2.12 ทิศทางการหมุนของตัวหมุน

2.8.3 ลำแสงเบรคตาวาน์

เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าถึงระดับแรงดันไฟฟ้าเบรคตาวาน์ จะปรากฏลำแสงเบรคตาวาน์ขึ้นระหว่างปลายแหลมของแกนตัวหมุนกับอิเล็คโตรคระนาบโดยรอบ ในขณะที่ตัวหมุนหมุนไป สถานะของอิเล็คโตรคตัวหมุนอะโนดและอิเล็คโตรคตัวหมุนแคโทดจะทำให้ทิศทางของลำแสงมีความแตกต่างกัน

บทที่ 3

โครงสร้างของเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูง

3.1 บทนำ

การสร้างเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูงต้นแบบตัวนี้ อาศัยหลักการทำงานของมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงดันสูง ที่ว่าความเร็วรอบหมุนของอีเล็กโตรดตัวหมุนจะขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ เป็นส่วนสำคัญ ดังนั้นในการสร้างเครื่องต้นแบบจึงประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ

1. มอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงดันสูง
2. ส่วนประมวลผลและแสดงผล

สำหรับสนามไฟฟ้าแรงดันสูงนั้น ต้องการคุณสมบัติความสัมพันธ์ของความเร็วรอบการหมุนกับระดับศักดาไฟฟ้าที่ป้อนให้ สำหรับส่วนประมวลผลกับส่วนแสดงผล จะทำหน้าที่ในการวัดความเร็วรอบของมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงดันสูง แล้วทำการเปรียบเทียบค่าระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความเร็วยรอบการหมุน แล้วแสดงผลออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า

3.2 มอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงดันสูง

สำหรับมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงดันสูงที่จะสร้างขึ้นนี้ถือว่าเป็นแบบ เมื่อนำไปใช้งานจะสามารถใช้งานได้แค่ตามคุณสมบัติของตัวมันเองเท่านั้น มอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงดันสูงต้นแบบนี้จะมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้คือ

1. ตัวถัง (CASE)
2. อีเล็กโตรดตัวหมุน
3. อีเล็กโตรดระนาบ และฐานรองรับ

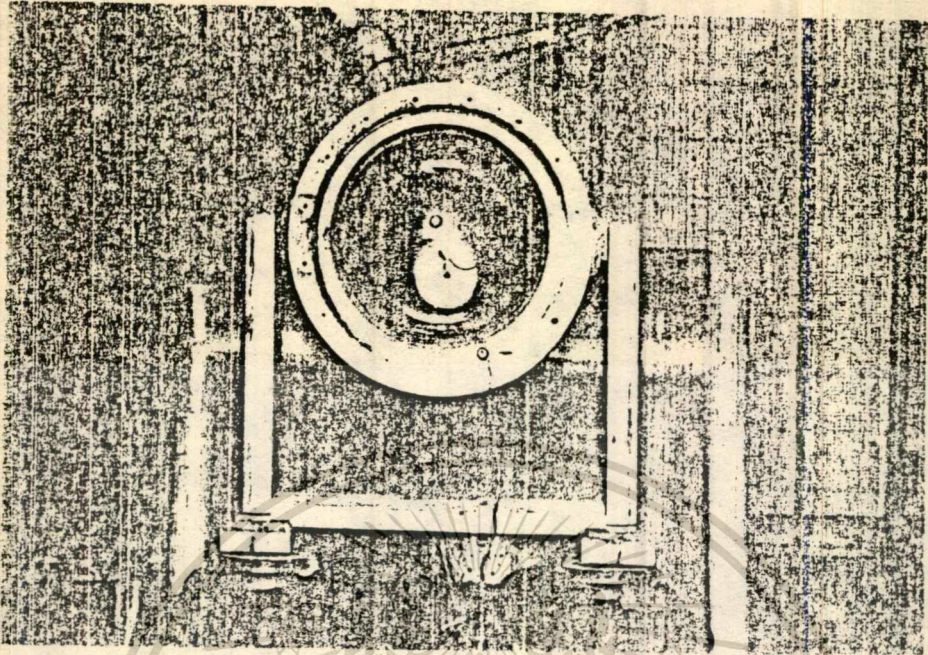
โดยในรูปที่ 3.1 จะแสดงลักษณะมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงดันสูงต้นแบบที่จะนำมาใช้งานได้

3.2.1 ตัวถัง (CASE)

ในการออกแบบตัวถังของมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงดันสูง ได้ทำการศึกษาข้อมูลและสร้างให้สอดคล้องกับจุดมุ่งหมายของการนำไปใช้งาน และความเป็นไปได้โดยพิจารณาถึง

-วัสดุที่ใช้ เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ใช้เป็นแรงดันไฟฟ้าแรงสูง โดยที่มีอีเล็กโตรดอยู่ภายใน ดังนั้นวัสดุที่จะนำมาใช้ในการทำตัวถังจึงควรเป็นวัสดุที่มีความคงทนและทนสูง จำพวกพลาสติก แก้ว หรือเบกาไลท์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงดันสูงต้นแบบ

-การวัดความเร็วรอบ โดยอุปกรณ์ที่ใช้วัดจะใช้แสงเป็นตัวจับความเร็วของอิเล็กโตรดตัวหมุน ดังนั้นตัวถังจึงควรทำจากวัสดุโปร่งใส เพื่อให้จะให้แสงผ่านทะลุได้

-รูปทรง เนื่องจากจุดมุ่งหมายหลักการสร้างตัวถังก็เพื่อที่จะสามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมต่างๆได้ โดยที่สามารถควบคุมระดับความดันภายใน และควบคุมชนิดของกาภายในได้ด้วย และตัวถังนี้จะต้องทนต่อความกดดันจากภายนอกโดยไม่เกิดความเสียหาย ในขณะที่ภายในเป็นสุญญากาศ รูปทรงที่เหมาะสมคือ ทรงกลม

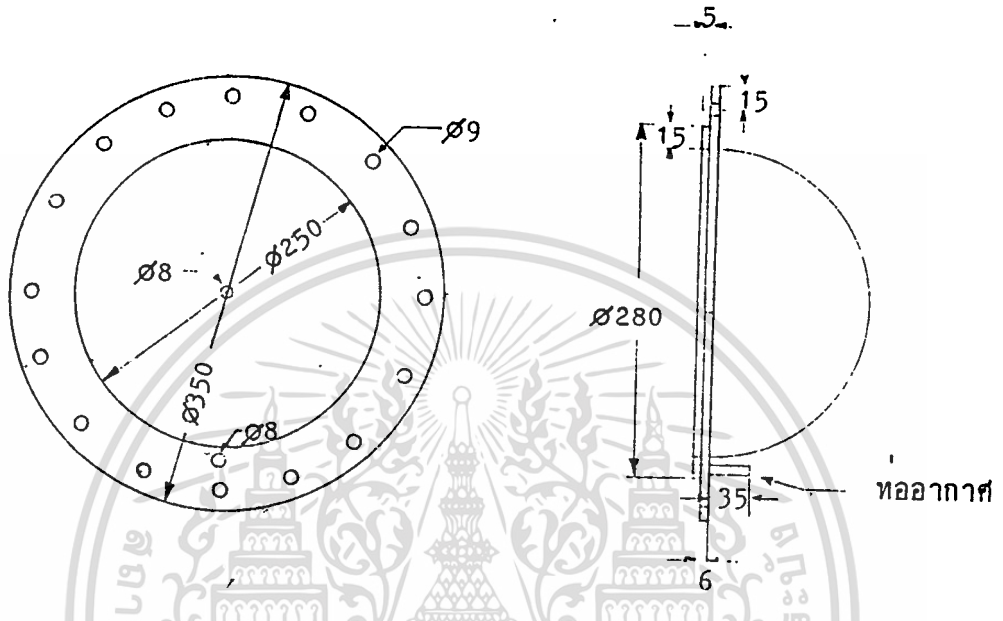
ข้อคำนึงที่กล่าวมานี้ เป็นเพียงองค์ประกอบหลักที่สำคัญในการออกแบบสร้างตัวถังของมอเตอร์ไฟฟ้าแรงดันสูง นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบปลีกย่อยอีกหลายประการที่ต้องคำนึงถึงในการสร้าง

หลังจากที่ได้พิจารณาจากจุดประสงค์และความต้องการต่างๆแล้ว จึงได้ทำการจัดสร้างตัวถังของมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงดันสูงต้นแบบ ดังรูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.3 โดยมีรายละเอียดของโครงสร้างดังนี้

-วัสดุที่ใช้เป็นพลาสติกใสหนาประเภทอะครีลิก มีความหนาประมาณ 6 มิลลิเมตร

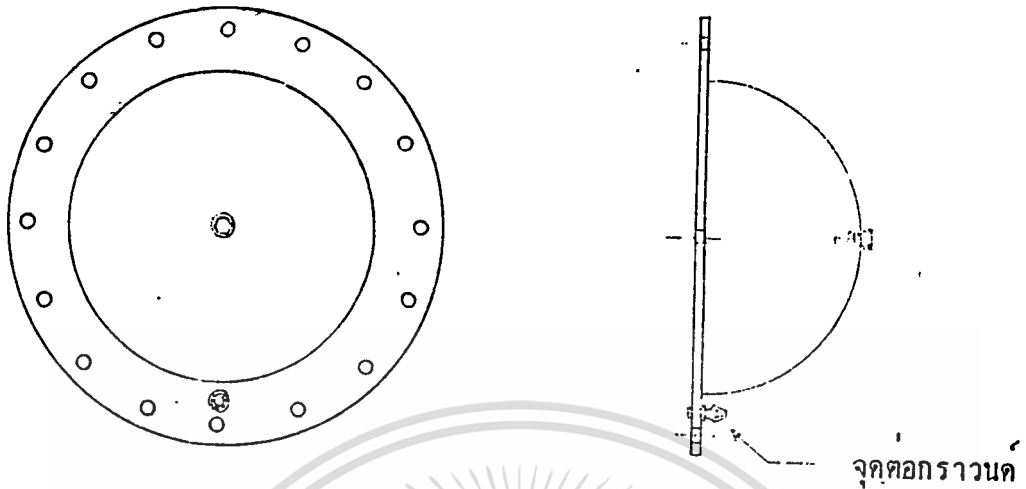
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้ให้มาไปใช้บ่อยครั้งเกินกว่าการค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ขึ้นรูปเป็นเครื่องวางกลมสองใบมาประกอบเข้าเป็นรูปทรงกลม โดยแต่ละเครื่องวางกลมจะมีปีกโดยรอบ มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 250 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 350 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.2 ตัวถังส่วนเครื่องวางกลม ด้านท่ออากาศ

- เจาะที่ปีกของเครื่องทรงกลมโดยรอบ สำหรับใช้สกรูพลาสติกยึดเครื่องทรงกลมสองใบเข้าด้วยกัน
- เจาะรูตรงกลางของเครื่องวางกลมทั้งสอง เพื่อเตรียมไว้สำหรับยึดแกนเพลลาของอีเล็กโตรดตัวหมุน
- เครื่องวางกลมด้านท่ออากาศดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.2 จะมีส่วนของท่ออากาศที่ทำมาจากแก๊สอะคริลิกกลึง ท่อออกมาภายนอกไว้สำหรับการสูบลมอากาศออก และอัดก๊าซเข้าไปภายใน
- เครื่องวางกลมด้านจุดต่อกราวด์ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.3 จะมีส่วนของขั้วต่อสายติดอยู่ด้วย เพื่อต่อสายกราวด์เข้ากับอีเล็กโตรดระนาบที่อยู่ภายใน
- อุปกรณ์ป้องกันการรั่วซึมของก๊าซตามจุดต่างๆ ใช่วงยาง (O-RING) ใส่กับไว้ทุกจุดที่มีรูเจาะหรือรอยต่อ ตัวถังที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์พร้อมที่จะนำไปใช้งานในการทดลองได้ แสดงไว้ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.3 ตัวถังเครื่องวงกลมด้านจุดต่อกราวด์

3.2.2 อิเล็กโทรดตัวหมุน

ตัวหมุนเป็นอิเล็กโทรดที่มีลักษณะปลายแหลมที่สามารถเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระ ในการสร้างตัวหมุนนี้ต้องให้เหมาะสมกับตัวถังที่ได้ทำการออกแบบไว้ รูปที่ 3.4 เป็นรูปที่แสดง โครงสร้างของชุดตัวหมุนที่ออกแบบขึ้นมา โดยมีรายละเอียดของโครงสร้างดังต่อไปนี้

- โลหะที่ใช้เป็นลวดทองเหลืองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มิลลิเมตร

- โครงสร้างของตัวหมุนเป็นแกนปลายแหลมโค้งงอ 2 ข้าง ที่สามารถหมุนได้อย่าง

อิสระ โดยมีแบริ่งเป็นตัวลดแรงเสียดทานระหว่างตัวหมุนกับเพลาทองเหลืองที่ยึดติดกับตัวถัง

- ความยาวของแกนตัวหมุน วัดจากจุดศูนย์กลางถึงปลายแหลมยาว 100 มิลลิเมตร

- น้ำหนักตัวหมุน กรัม

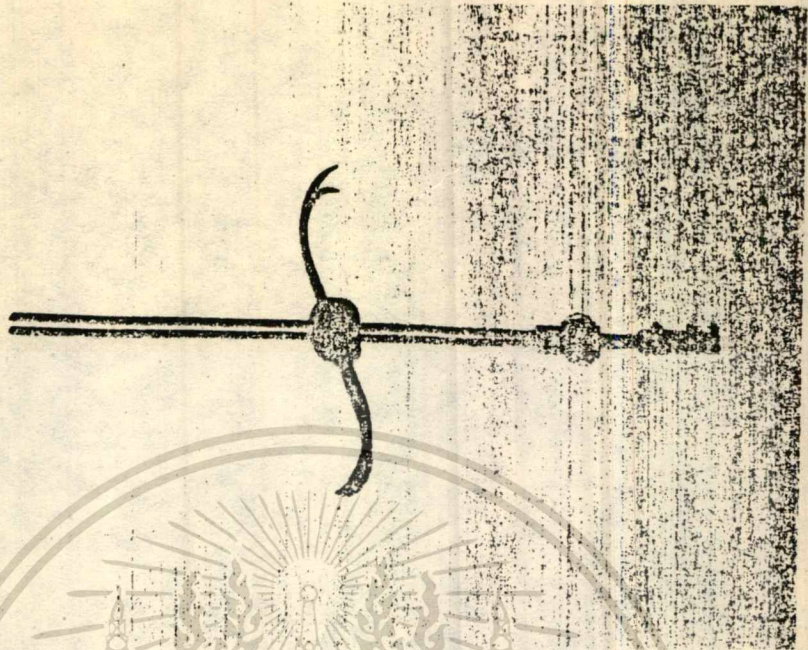
- แกนเพลาทองเหลืองที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร โดยที่ปลาย

แหลมของของแกนเพลาทองเหลืองหนึ่งจะมีขั้วต่อสายไฟที่จะทะลุออกมาจากตัวถัง สำหรับต่อสายป้อน แรงดันไฟฟ้าเข้าสู่ตัวหมุน

ชุดอิเล็กโทรดตัวหมุนที่ทำการออกแบบ และสร้างขึ้นจะนำไปใช้เป็นชุดตัวหมุนในโม

เตอร์สนามไฟฟ้าแรงดันสูงต้นแบบ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.4 ซึ่งจะมีแนวการหมุนในแนวตั้งฉากกับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระนาบ (VERTICAL)



รูปที่ 3.4 อเล็กโตรดตัวหมุน

3.2.3 อเล็กโตรดระนาบ

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วถึงอเล็กโตรดตัวหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้าแรงดันสูงต้นแบบซึ่งเคลื่อนที่ สามารถหมุนได้อย่างอิสระ รวมถึงการออกแบบการสร้างไปอย่างละเอียดแล้วนั้น โดยส่วนต่อไปนี้จะ เป็นกล่าวถึงการออกแบบการสร้างอเล็กโตรดที่รูปลักษณะเป็นแผ่นระนาบซึ่งถูกยึดติดอยู่กับที่โดยมีรายละเอียดของการออกแบบและโครงสร้างดังนี้

- โลหะที่ใช้เป็นแผ่นทองแดง กว้าง 40 มิลลิเมตร

- ทำเป็นรูปวงกลมติดอยู่กับผนังด้านในของตัวถัง ในแนวการหมุนของอเล็กโตรดตัวหมุน โดยจะต่อเข้ากับขั้วต่อสายในเครื่องทรงกลมด้านจุดต่อกราวด์ของตัวถังซึ่งได้ออกแบบไว้แล้ว

ดังนั้นภายในตัวถังของมอเตอร์ จะมีอเล็กโตรดที่มีลักษณะต่างกัน 2 แบบ บรรจุอยู่ภายใน โดยตัวหมุนจะเป็นอเล็กโตรดแบบปลายแหลม และแผ่นโลหะทองแดงจะเป็นอเล็กโตรดระนาบ โดยมีระยะห่างระหว่างปลายแหลมกับระนาบคงที่ตลอดเวลาขณะหมุน

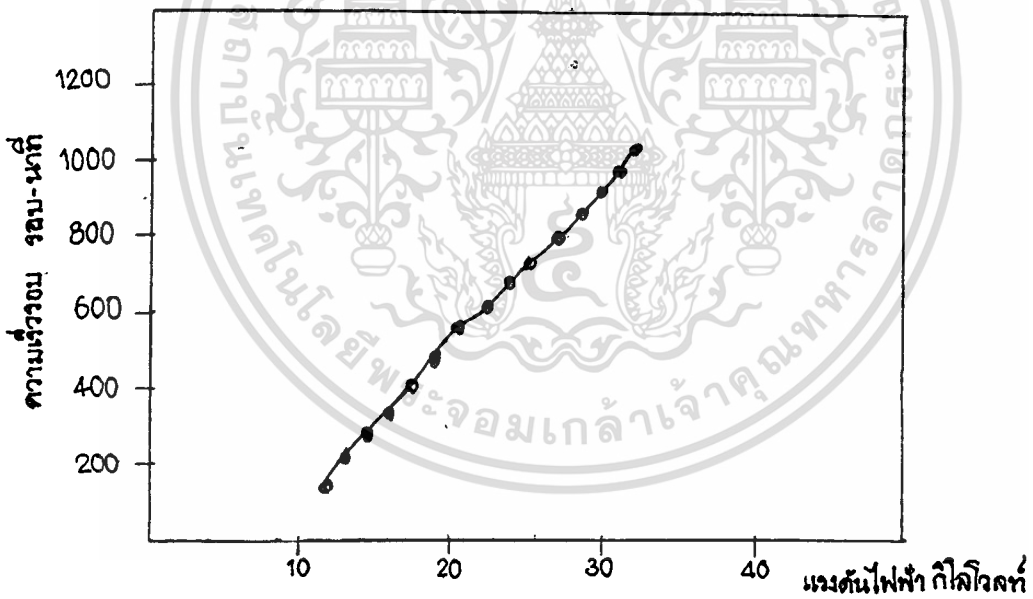
3.2.4 ฐานรองรับ

ฐานที่ใช้รองรับตัวมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงดันสูงต้องมีขนาดพอเหมาะ สามารถรองรับน้ำหนักทั้งหมดได้ ในการสร้างฐานรองรับต้นแบบนี้ใช้ไม้สร้างมา ดังรูปที่ 3.1

3.3 การทดสอบมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงดันสูง

หลังจากที่ได้อธิบายการออกแบบการสร้างมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงดันสูงต้นแบบแล้ว ก็นำมาทำการทดสอบ พิจารณาผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบหมุนกับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนของมอเตอร์ รูปที่ 3.5 ได้แสดงตัวอย่างการติดตั้งมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงดันสูงต้นแบบในห้องปฏิบัติการ พร้อมทั้งจะทำการทดสอบ โดยมีเงื่อนไขของการทดสอบคือ เป็นการทดสอบมอเตอร์มอเตอร์แรงดันสูงต้นแบบที่ภายในบรรยากาศ

การทดลองเพื่อหาข้อมูลของความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบหมุนของมอเตอร์ที่ภายในบรรยากาศกับระดับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อน เมื่อตัวหมุ่มีคุณสมบัติเป็นข้าวอะโนด โดยที่ระดับความมัตนบรรยากาศมีค่าเท่ากับ 760 มม. ของปรอท ทำการป้อนค่าแรงดันไฟฟ้าจนกระทั่งถึงแรงดันเบรกดาวน์ บันทึกผลข้อมูลการทดลอง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบการหมุนและแรงดันไฟฟ้าที่ป้อน พร้อมกับแสดงเป็นกราฟของความสัมพันธ์ดังกล่าวด้วย



รูปที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า-กิโลโวลต์ กับความเร็วรอบ-rpm

3.4 ส่วนประมวลผลและแสดงผล

เนื่องจากผลของความเร็วรอบของการหมุนจะมีผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้าที่ป้อน ดังนั้นในการวัดความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงดันสูง จึงจำเป็นต้องมีประสิทธิ์ภาพพอสมควร เพื่อให้ค่าที่ถูกต้องที่สุด ในการออกแบบการสร้างส่วนประมวลผลและแสดงผลจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงผลกระทบจากมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงดันสูงที่มีต่อตัวประมวลผลนี้ด้วย

สำหรับผลกระทบที่เกิดจากตัวมอดูเลเตอร์ที่สำคัญก็คือ สัญญาณรบกวน (NOISE) และลำแสงที่เกิดจากการสปร้าครระหว่างซีวี่เล็กโตรด ซึ่งจำเป็นต้องกำจัดสัญญาณรบกวน (NOISE REDUCTION) โดยทำการชิลด์ (SHIELD) ให้สัญญาณรบกวนไหลลงกราวด์ สำหรับส่วนประมวลผลและแสดงผลจะประกอบด้วยส่วนที่สำคัญดังต่อไปนี้คือ ตัวส่งสัญญาณ (SENDER), ภาครับสัญญาณ (RECEIVER), ส่วนเปรียบเทียบสัญญาณเมื่อแสดงผล (COMPAREDIC DISPLY)

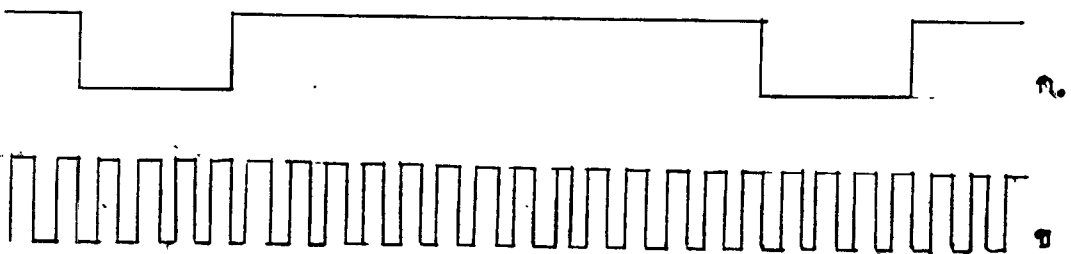
สำหรับภาครับและภาคส่งสัญญาณจะใช้หลักการทำงานของอินฟราเรด (INFRARED) แทนลำแสงไฟ เพื่อลดสัญญาณรบกวนเนื่องจากลำแสงขณะเบรกดาวน์ (BREAKDOWN) ระหว่างซีวี่เล็กโตรด โดยที่ภาคส่งจะมีการมอดูเลชัน (MODULATION) ของสัญญาณที่ส่งไป เพื่อป้องกันการรบกวน และภาครับจะทำการดีมอดูเลชัน (DEMODULATION) สัญญาณที่ได้รับจะได้สัญญาณค่าที่เกิดเนื่องมาจากการตัดลำแสงของตัวซีวี่เล็กโตรดตัวหมุนแต่เพียงอย่างเดียว สัญญาณที่ได้นี้จะเข้าสู่ส่วนของการเปรียบเทียบสัญญาณเพื่อการแสดงผล โดยอาศัยคุณสมบัติของความเร็วรอบการหมุนของตัวหมุนกับแรงดันที่ป้อนให้ เป็นสำคัญ



รูปที่ 3.6 แสดงการทำงานส่วนประมวลผลและแสดงผล

3.4.1 ภาคส่งสัญญาณ

ในภาคส่งสัญญาณนี้สามารถแบ่งวงจรทางภาคส่งออกเป็นสองส่วนได้ 2 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนสร้างสัญญาณขนาด 10 กิโลเฮิร์ต โดยใช้ไอซีเบอร์ 555 สร้างสัญญาณอะสเทเบิล (ASTABLE) ออกมา และภาคขับจะใช้ TIL30 ซึ่งเป็นไดโอดเปล่งแสงในรูปของหลอดไฟ LED



รูปที่ 3.7 รูปคลื่นที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 รูปคลื่นที่วัดได้

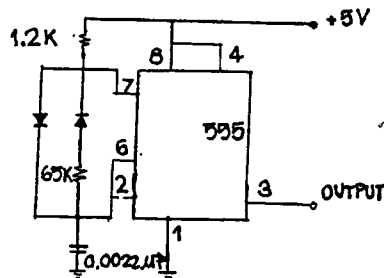
ในการวัดความเร็วรอบการหมุนนี้ จะอาศัยการหมุนตัดผ่านลำแสงอินฟราเรด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาเวลาที่เซนเซอร์เล็กโตรดตัวหมุนข้างหนึ่ง ตัดผ่านลำแสงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1 นิ้ว (2.5 เซนติเมตร) จากคุณสมบัติของความเร็วยรอบการหมุนจะพิจารณาค่าที่โอกาสสูงสุดคือ 1200 รอบต่อนาที (RPM) หรือมีค่าเท่ากับ 20 เฮิร์ต (1200/60 = 20) ดังนั้นเวลาที่เซ็นเซอร์เล็กโตรดตัวหมุนตัดผ่านลำแสงดังในรูปที่ 3.7 ก. จะมีค่าเท่ากับ

$$(2.5 \times 10^{-2}) / 20 = 1.25 \times 10^{-3} \text{ วินาที}$$

ดังนั้นการออกแบบสัญญาณอะสเทเบิลจะต้องออกแบบให้มีค่าของคาบเวลาน้อยกว่าค่าเวลาของขาข้างหนึ่งของตัวหมุนตัดผ่านลำแสง จึงพิจารณาค่าสัญญาณขนาด 10 กิโลเฮิร์ต มีคาบเวลาเท่ากับ 0.1 มิลลิวินาที ซึ่งมีค่าคาบเวลาน้อยกว่า และเมื่อพิจารณาถึงค่าดีวตี้ไซเคิล (DUTY CYCLE) ของสัญญาณประกอบด้วยข้อมูลของ TIL 39 ต้องพิจารณาที่ค่าดีวตี้ไซเคิลต่ำๆ เพื่อให้ TIL 39 จะได้มีความเข้มแสงที่ปล่อยออกมามีค่าเพิ่มขึ้น ค่าดีวตี้ไซเคิลเป็นค่าสัญญาณเปิด (ON) ต่อสัญญาณเปิด (OFF)

-ส่วนสร้างสัญญาณอะสเทเบิล

การสร้างสัญญาณอะสเทเบิลนั้น จะใช้ไอซีเบอร์ 555 สร้างสัญญาณอะสเทเบิลขนาด 10 กิโลเฮิร์ต ที่มีช่วงเวลาที่เปิด (t_{on}) มิลลิวินาที ดังรูปที่ 3.7 ข. และมีลักษณะวงจรดังรูปที่ 3.8

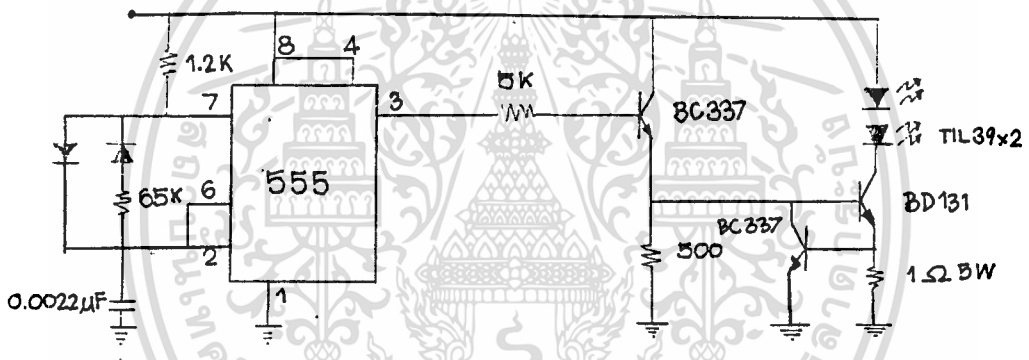


รูปที่ 3.8 รูปสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ส่วนขับ TIL 39

ออกแบบให้ใช้ TIL 39 (อินฟราเรด แออีดี) จำนวน 2 ตัวเพื่อเพิ่มความเข้มลำแสง ซึ่งมีกระแสสูงสุด (PEAK CURRENT) เท่ากับ 1 แอมป์ และมีช่วงเวลาที่เปิด(t_{on}) มิลลิวินาที คิดเป็นความกว้างพัลส์(PULSE WIDTH) เปอร์เซนต์



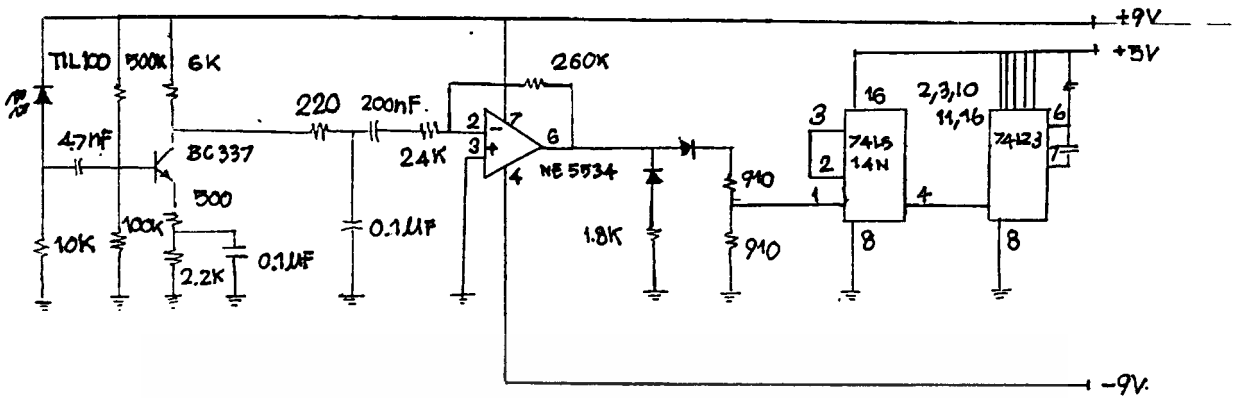
รูปที่ 3.9 ภาคส่ง

3.4.2 ภาครับ

เมื่อภาคส่งสัญญาณทำการส่งสัญญาณที่มีอดุลเลขขึ้นด้วยความถี่ขนาด 10 กิโลเฮิรท์และขาของอิเล็กโทรดตัวหมุนเคลื่อนที่ตัดผ่านลำแสง จะได้สัญญาณดังรูปที่ 3.7 ค. เมื่อรับลำแสงอินฟราเรดด้วยภาครับ สำหรับภาครับประกอบด้วย ตัว TIL 100 เป็นตัวรับลำแสงอินฟราเรดที่ถูกอิเล็กโทรดตัวหมุนตัดผ่าน เมื่อรับสัญญาณได้แล้วก็จะนำสัญญาณที่ได้มาทำการกรองเอาความถี่ที่ไม่ต้องการออก เพื่อที่จะนำสัญญาณที่ได้มาขยายโดยการใช้ออนแอมป์เบอร์ 351 มีอัตราขยาย 100 หลังจากที่ยขยายสัญญาณที่ได้เรียบร้อยแล้วก็นำมาปรับแต่งสัญญาณใหม่ โดยใช้ซิมิทริกเกอร์ 7414 .เมื่อทำการปรับแต่งสัญญาณเรียบร้อยแล้วก็นำสัญญาณที่ได้มาทำการมอดุลเลขขึ้นโดยใช้ทริกเกอร์ 74123 เพื่อที่จะให้ได้สัญญาณเป็นดังรูป 3.7 ก ซึ่งเป็นสัญญาณที่ความถี่ของการหมุนของอิเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทรศัตว์หมุน



รูปที่ 3.10 แสดงภาครับทั้งหมด

3.4.3 ส่วนเปรียบเทียบสัญญาณเพื่อการแสดงผล

หลังจากได้สัญญาณที่แสดงความถี่ของการหมุนของอิเล็กโทรศัตว์หมุน จากภาครับที่เกิดจากอิเล็กโทรศัตว์ ตัวหมุนเคลื่อนที่หมุนตัดผ่านลำแสงอินฟราเรด ก็นำสัญญาณที่รับได้นั้นมาทำการนับการนับสัญญาณโดยใช้ตัวนับ 4510 เป็นตัวนับ (COUNTER) และ 4513 ซึ่งเป็นตัวถอดรหัสสัญญาณบีซีดี (BCD CODE) จาก 4510 เปลี่ยนไปแสดงผลด้วย 7 เซกเมนต์ ซึ่ง 4513 นี้จะทำหน้าที่แลชชิง (LATCHING), ถอดรหัส (DECODE) และเป็นตัวขับตัว 7 เซกเมนต์ (7SEGMENT) เพื่อการแสดงผล การแสดงผลเป็นตัวเลขแสดงระดับแรงดันนี้จะมีค่าใกล้เคียงมากกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่บ่อนให้มอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงดันสูง ดังสมการ

$$(RPM * n) / 60 = V \quad (\text{กิโลโวลท์})$$

สำหรับ RPM เป็นความเร็วมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงดันสูง

n เป็นจำนวนแชนของอิเล็กโทรศัตว์หมุน

V เป็นค่าแรงดันไฟฟ้ามินหน่วยเป็นกิโลโวลท์

สำหรับวงจรในภาคนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.11

บทที่ 4

การทดสอบเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูง

2.1 บทนำ

จากที่ได้ออกแบบเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูงต้นแบบขึ้นมาแล้ว จะต้องนำเอาเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูงต้นแบบมาทำการศึกษาทดลองคุณสมบัติต่างๆ ของเครื่องมือวัด โดยการทดสอบจะเป็นการทดสอบอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์ตัวหุ้ม ซึ่งขนาดของอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์จะมีผลต่อเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูงต้นแบบโดยตรง และเป็นการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูงต้นแบบกับการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าแรงสูงโดยผ่านเครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

4.2 การทดสอบตัวอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์

เนื่องจากการที่อิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์เป็นส่วนสำคัญต่อการออกแบบสร้างเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูงต้นแบบ คือความสามารถของเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูงต้นแบบนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์ โดยที่ความสามารถของเครื่องมือวัดต้นแบบจะหมายถึงช่วงของการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า

สำหรับอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์ที่มีลักษณะเป็นปลายแหลมที่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ โดยมีลักษณะของการออกแบบดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 แล้วนำมาประกอบรวมร่วมกับอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์และตัวถัง หลังจากทำการประกอบเรียบร้อยแล้ว ก็นำมาทดสอบโดยป้อนแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูงระหว่างอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์ทั้งสอง แล้วทำการบันทึกข้อมูลความเร็วรอบการหมุนของอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์กับระดับแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูงที่ป้อนให้ โดยมีการบันทึกข้อมูลในลักษณะที่เพิ่มค่าแรงดันจากค่าศูนย์ไปจนถึงค่าแรงดันสูงสุดที่เกิดการเบรคดาว์นระหว่างหัวอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์ทั้งสอง แล้วทำการลดระดับแรงดันลงมาจนกระทั่งอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์หยุดหมุน โดยทำการบันทึกข้อมูลตลอดเวลาที่ทำการเพิ่มหรือลดระดับแรงดันไฟฟ้า โดยที่ข้อมูลความเร็วรอบการหมุนและระดับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

เมื่อนำเอาข้อมูลที่ได้นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์จะได้ดังรูปที่ 4.1

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์จะเริ่มทำการเคลื่อนที่หมุนรอบแกน

เวลาที่ค่าแรงดันไฟฟ้าประมาณ 19.5 กิโลโวลต์ แล้วเมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าไปจนถึงเกิดการ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

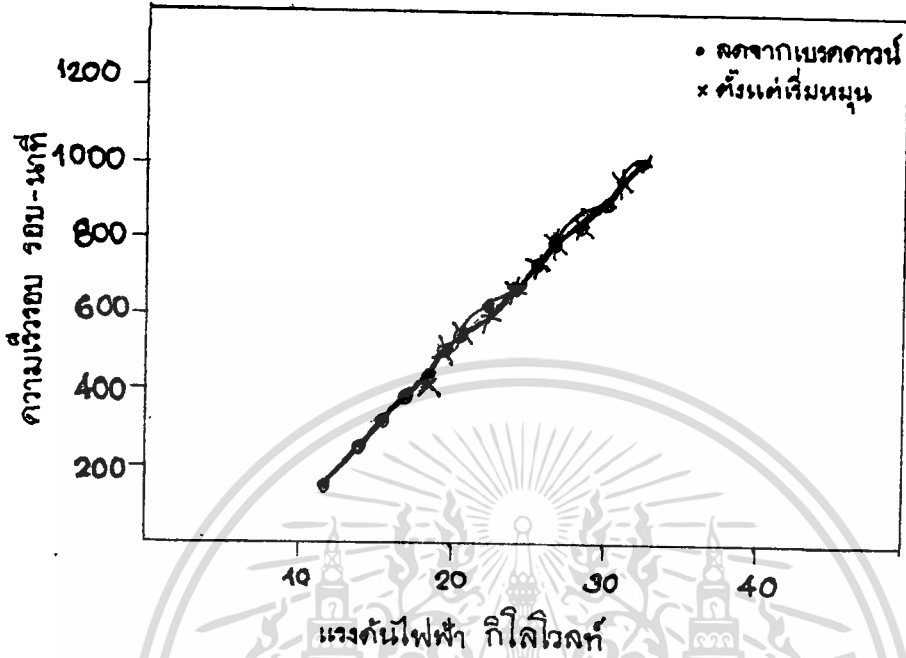
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับระดับแรงดันไฟฟ้า

| ระดับแรงดันที่ป้อน (KV) | ความเร็วรอบ (rpm) (ตั้งแต่เริ่มหมุน) | ความเร็วรอบ (rpm) (ลดจากเบรคดาวน์) |
|-------------------------|---|---------------------------------------|
| 12.0 | | 174 |
| 13.5 | | 255 |
| 15.0 | | 327 |
| 16.5 | | 397 |
| 18.0 | 454.1 | 455 |
| 19.5 | 519 | 514 |
| 22.5 | 631 | 638 |
| 24.0 | 692 | 690 |
| 25.5 | 741 | 751 |
| 27.0 | 795 | 803 |
| 28.5 | 860 | 855 |
| 30.0 | 906 | 909 |
| 31.5 | 965 | 968 |
| 33.0 | 1022 | 1023 |

เบรคดาวน์ ระหว่างขั้วอีเล็กโตรดทั้งสองที่ประมาณ 33 กิโลโวลต์ ซึ่งจะทำให้การวัดความเร็วรอบได้ไม่แน่นอน เนื่องจากการรบกวนของขบวนการเกิดเบรคดาวน์ และเมื่อทำการลดระดับแรงดันไฟฟ้าแรงสูงสามารถทำการลดระดับแรงดันให้ต่ำลงมาได้ถึง 12 กิโลโวลต์ อีเล็กโตรด

ตัวหมุนก็จะทำการหยุดหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะโดยทางตรงหรือทางอ้อม หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



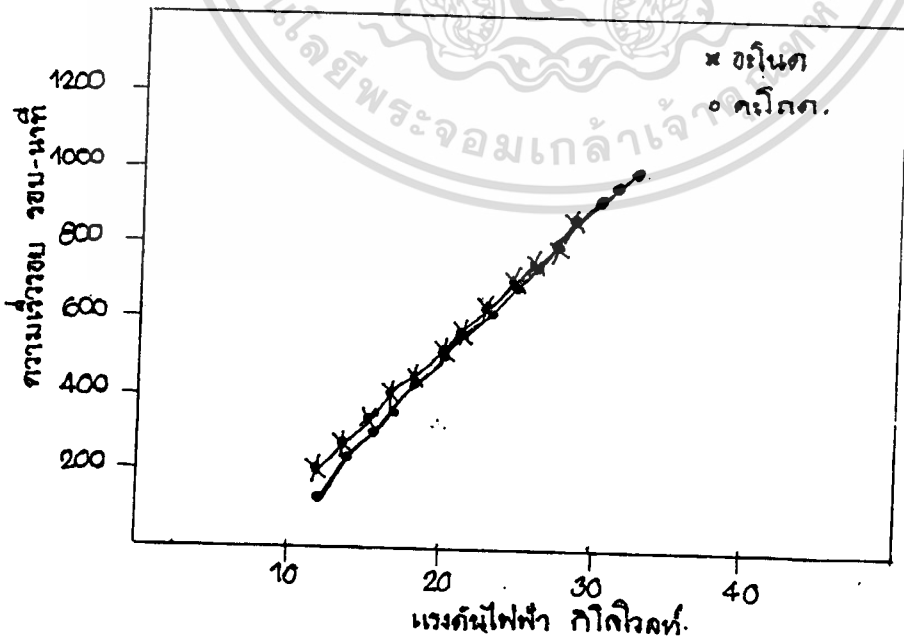
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า (KV) กับความเร็วรอบของตัวหมุนอะโนด

เมื่อทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าจากศูนย์โวลต์ จนถึงค่าแรงดันไฟฟ้าค่าใดค่าหนึ่ง อิเล็กโตรดตัวหมุนก็จะเริ่มหมุน ขณะที่อิเล็กโตรดตัวหมุนเริ่มหมุน ถ้าหยุดการเพิ่มแรงดันไฟฟ้า โดยที่ยังคงระดับแรงดันไว้เท่าเดิม เราจะพบว่าอิเล็กโตรดตัวหมุนจะหมุนจนมีความเร็วค่าหนึ่ง แสดงว่าที่ระดับแรงดันไฟฟ้าระดับนี้ โมเลกุลของอากาศเริ่มมีการแตกตัว มีกลุ่มอิเล็กตรอนอิสระวิ่งเข้าชนที่ปลายแหลมของอิเล็กโตรด และแรงที่ชนนั้นมีขนาดแรงพอที่จะทำให้อิเล็กโตรดปลายแหลมเริ่มหมุนได้ และเมื่อรักษาระดับแรงดันให้คงที่ค่าความเร็วรอบการหมุนจะเพิ่มขึ้น แสดงว่าเกิดการแตกตัวของโมเลกุลของอากาศเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนการแตกตัวของโมเลกุลเริ่มค่อนข้างจะมีค่าคงที่ ทำให้ความเร็วรอบการหมุนนั้นเฉลี่ยออกมาได้คงที่ ทุกครั้งที่เพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าไปค่าหนึ่ง หลังจากตัวอิเล็กโตรดตัวหมุน แล้วรักษาระดับแรงดันให้คงที่จะพบว่าความเร็วรอบการหมุนจะเพิ่มขึ้นถึงค่าหนึ่ง แล้วก็ลดลงจนถึงค่าหนึ่ง ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าคงที่ ในกรณีเช่นนี้อาจเนื่องมาจากขบวนการไอออไนเซชัน เพราะการที่อะตอมหรือโมเลกุลจะแตกตัวจะต้องได้รับพลัง

งานเพียงพอกับระดับพลังงานที่กระตุ้น ดังนั้นจำนวนของอะตอมหรือโมเลกุลที่ถูกทำให้ตื่นกระตุ้น
อย่างไม่ต่อเนื่องจึงมีผลทำให้ความเร็วไม่คงที่

จากการทดลองเราจะพบอีกว่าระดับแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้ตัวอิเล็กทรอนิกส์โตรดตัวหยุดหมุน
จะมีค่าระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าระดับแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการหมุนของอิเล็กทรอนิกส์โตรดตัวหมุน
อาจเนื่องมาจากผลของการแตกตัวของโมเลกุลอากาศและจำนวนอิเล็กทรอนิกส์ตรอนอิสระ มีจำนวน
เพียงพอที่จะผลักปลายแหลมของอิเล็กทรอนิกส์โตรดเคลื่อนที่ต่อไป นอกจากนี้ยังอาจจะเกิดความเฉื่อยอีก
ด้วย

จากการทดลอง เมื่อเปลี่ยนตัวอิเล็กทรอนิกส์โตรดตัวหมุนจากตัวหมุนอะโกลด์เป็นตัวหมุนอะ
โนด จะพบว่าจุดที่เกิดเบรคดาวระหว่างตัวอิเล็กทรอนิกส์โตรดจะมีระดับแรงดันไฟฟ้าเบรคดาวนี้และ
ความเร็วรอบต่ำกว่าตัวหมุนอะโกลด์ แสดงว่าตัวหมุนอะโนดน่าจะมีอิเล็กทรอนิกส์ตรอนอิสระที่เกิดขึ้น
เนื่องจากขบวนการไอออไนเซชันมากกว่า ตัวหมุนอะโกลด์จึงมีจุดเบรคดาวนี้ต่ำกว่าตัวหมุนอะโกลด์
และจะพบอีกว่าที่ระดับไฟฟ้าเดียวกัน ตัวหมุนอะโนดจะมีความเร็วรอบการหมุนสูงกว่าตัวหมุนอะ
โกลด์ดังเหตุผลข้างต้นเช่นกัน

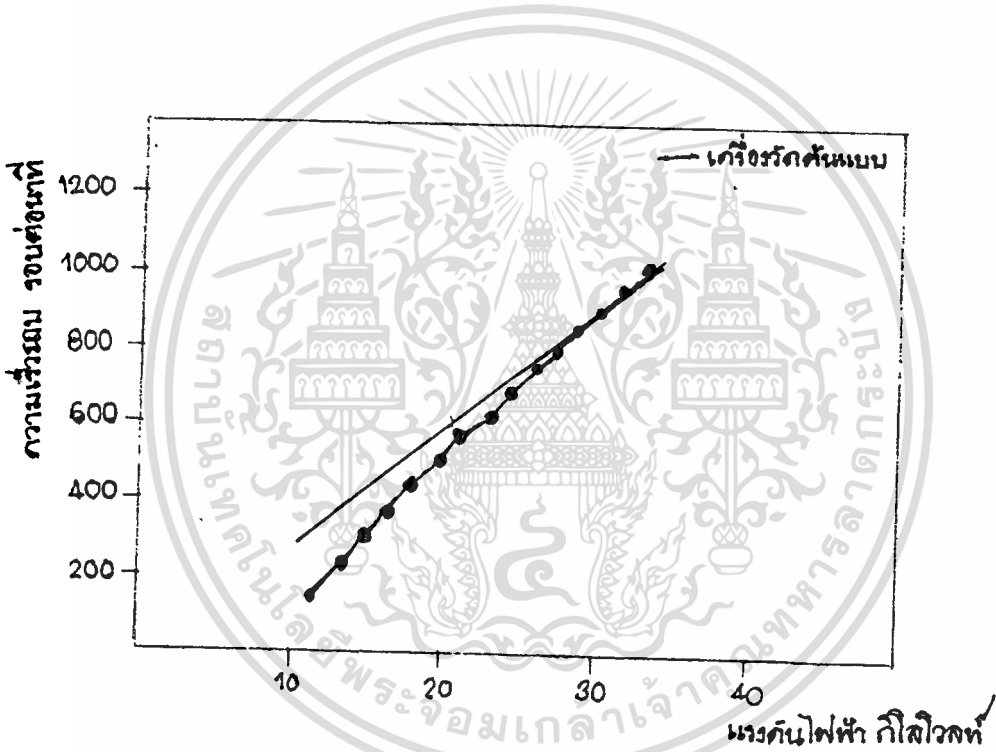


รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างตัวหมุนอะโนดกับตัวหมุนอะโกลด์

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับนักเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นสมควรจะขอแก้ไขข้อผิดพลาดในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบเครื่องมือวัดความต้านไฟฟ้าแรงสูงต้นแบบ

สำหรับเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูงต้นแบบ มีลักษณะการสร้างดังที่ได้กล่าวมาแล้ว และเมื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติของตัวเครื่องนี้ โดยที่จะทำการทดสอบวัดระดับแรงดันไฟฟ้า โดยอาศัยความเร็วของตัวมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงสูงเป็นตัววัดระดับแรงดันไฟฟ้า สำหรับการวัดระดับแรงดันไฟฟ้าโดยเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูงต้นแบบกับการวัดโดยอาศัยเครื่องกำเนิดแรงดันกระแสตรงแรงสูง เมื่อเทียบกับความเร็วรอบของการหมุน สามารถแสดงได้ดังกราฟในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า-กิโลโวลท์ กับความเร็ว -รอบต่อนาที ระหว่างเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าสูงต้นแบบกับการวัดผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง

จากผลการทดลอง จะพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบการหมุนกับแรงดันไฟฟ้า ระหว่างตัวเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูงต้นแบบกับวัดผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง มีความใกล้เคียงกันมาก โดยที่มีการใช้งาน สามารถวัดระดับแรงดันไฟฟ้าได้ที่ 12-30 กิโลโวลท์แต่ช่วงการใช้งานได้ดีคือ 24-33 กิโลโวลท์

บทที่ 5

บทสรุป

เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูงที่ทดลองวิจัยเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูง โดยอาศัยหลักการทำงานของมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญของมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงสูงมีความเร็วรอบการหมุนของอิเลคโตรดตัวหมุนสัมพันธ์กับแรงดันไฟฟ้าแรงสูงที่ป้อนระหว่างขั้วอิเลคโตรดทั้งสองของมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงสูง สำหรับในการทดลองวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติของอิเลคโตรดตัวหมุนและคุณสมบัติของตัวเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูง โดยที่เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูงประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ

1. มอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงสูง
2. ส่วนประมวลผลและแสดงผล

สำหรับมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงสูงที่สร้างขึ้นมา เป็นผลมาจากพฤติกรรมของสนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอสูงของขั้วอิเลคโตรดปลายแหลมกับระนาบในก๊าซ คือผลของสนามไฟฟ้านอกจากจะก่อให้เกิดขบวนการไอออนไนเซชันเพิ่มทวีคูณจำนวนอิเล็กตรอนอิสระและไอออนบวก เพื่อทำการกลายเป็นฉนวนของก๊าซแล้วยังเป็นขบวนการที่ก่อให้เกิดแรงผลักดันกระทำต่อปลายแหลมของอิเลคโตรดตัวหมุนอีกด้วยสำหรับการหมุนของอิเลคโตรดตัวหมุน จะมีความเร็วรอบการหมุนสัมพันธ์กับระดับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนระหว่างขั้วอิเลคโตรดทั้งสอง และลักษณะของตัวอิเลคโตรดตัวหมุนก็จะมีส่วนต่อการหมุนของอิเลคโตรดตัวหมุนซึ่งทิศทางการเคลื่อนที่ โดยหมุนรอบแกนเวลาที่หยุดนิ่ง โดยมีแรงเป็นตัวลดความเสียดทาน ความเร็วรอบการหมุนของตัวอิเลคโตรดตัวหมุน ที่ทดสอบได้จะมีค่าความเร็วไม่คงที่ เป็นค่าเฉลี่ยที่ระดับแรงดันคงที่ อันเป็นผลจากสนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอระหว่างอิเลคโตรด และแรงที่กระทำต่อปลายแหลมของอิเลคโตรดตัวหมุน อันเนื่องมาจากการชนของอิเล็กตรอนอิสระและไอออนบวกของอากาศ รวมทั้งแรงเฉื่อยของตัวอิเลคโตรดตัวหมุน

ในการเลือกการป้อนไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเลคโตรดเลือกที่จะป้อนไฟให้ตัวหมุนเป็นตัวหมุนคาโอด ซึ่งให้ช่วงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงดันไฟฟ้า เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นที่มีช่วงระดับแรงดันมากกว่าแบบตัวหมุนแอนโนด

สำหรับผลการทดสอบเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูงต้นแบบ โดยการตรวจจับความเร็วของมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงสูง แล้วนำไปเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของตัวมอเตอร์สนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย โดยผู้จัดทำเอกสารนี้ไม่มีการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงสูง ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบการหมุนกับระดับแรงดันที่ป้อนระหว่างขั้วอิเลคโตรดทั้งสอง แล้วจะพบว่าคุณสมบัติของเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูงมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับตัวมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงสูงสามารถนำไปใช้งานได้ในช่วงระดับแรงดัน 25 - 33 กิโลโวลท์ แต่ในช่วงระดับต่ำกว่า 25 กิโลโวลท์ จะเกิดความเสียหายเนื่องจากเป็นจุดเริ่มต้นและหยุดของตัวหมุน ดังนั้นในการที่จะพัฒนาเครื่องมือวัดระดับแรงดันไฟฟ้าแรงสูงควรพิจารณาถึงคุณสมบัติระหว่างมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงสูงกับเครื่องมือวัดระดับแรงดันไฟฟ้าแรงสูงให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน

ในกรณีที่ต้องการใช้เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูงนี้ไปใช้งานควรจะต้องคำนึงถึงสภาพสนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอระหว่างขั้วอิเลคโตรดทั้งสองซึ่งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของอิเลคโตรดตัวหมุน ในขณะที่มีแรงดันไฟฟ้าคงที่แต่เครื่องมือวัดระดับแรงดันไฟฟ้าแรงสูงนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันไฟฟ้าตามความเร็วรอบการหมุนของอิเลคโตรดตัวหมุนด้วย ซึ่งจะต่างกับคุณสมบัติของมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงสูง

ถ้าต้องการขยายช่วงการวัดระดับแรงดันไฟฟ้าแรงสูงให้มีช่วงกว้างขึ้น จะต้องคำนึงถึงส่วนสำคัญ 2 ส่วนที่จะต้องทำการออกแบบคำนวณเพื่อสร้างขึ้นมาใหม่คือ ตัวมอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงสูง และส่วนประมวลผลและแสดงผล

อย่างไรก็ดีผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ผลการทดลองค้นคว้าของโครงการวิจัยสร้างเครื่องมือวัดระดับแรงดันไฟฟ้าแรงสูงนี้ พอที่จะเป็นประโยชน์และแนวทางสำหรับผู้อ่าน และผู้ที่สนใจในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงสามารถนำไปพัฒนาและศึกษาทดลองค้นคว้าต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- 1) ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล , "มอเตอร์สนามไฟฟ้าแรงสูง" , ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2528
- 2) Charles Green , "Electrostatics Handbook" , The United States Of america , 1987
- 3) E. Khffel and M. Abddulah , "High - Voltage Engineering" , Oxford , Pergamon Press , 1977
- 4) LL Alston , "High - Voltage Technology" ,Oxford University Press ; London , 1968
- 5) ซีเอ็ดยูเคชั่น , "คู่มือ/เทียบเบอร์ไอที TTL" , บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น , 2529
- 6) ซีเอ็ดยูเคชั่น , "คู่มือไอที CMOS 4000 SERIES" , บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น , 2528

กิติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อ อาจารย์ ศิริวัฒน์ โนริเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ ขนิษฐา แซ่ตั้ง ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ที่เป็นแนวทางในการทำโครงการมาโดยตลอด จนทำให้ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณสโตร์ภาควิศวกรรมไฟฟ้าและเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ ให้ความอนุเคราะห์บางประการแก่ผู้เขียน ซึ่งถ้าปราศจากบุคคลเหล่านี้แล้ว ปริญญาโทฉบับนี้คงไม่สามารถสำเร็จลงด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณอย่างยิ่งสำหรับเธอคนนั้น ที่เป็นผู้ให้กำลังใจตั้งแต่ต้นจนสำเร็จ
สมความตั้งใจ.....

