การศึกษาแรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์ของแกประหว่างทรงกลมระนาบ ภายใต้การส่องแสง UV

นายมานพ ยิ่งรัมย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-7083-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I21941282

A STUDY OF IMPULSE BREAKDOWN VOLTAGES OF SPHERE-PLANE GAP UNDER UV IRRADIATION

Mr.Manop Yingrum

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2004

ISBN 974-17-7083-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาแรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์ของแกประหว่างทรงกลมระนาบภายใต้การส่องแสง UV
โดย	นายมานพ ยิ่งรัมย์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.สมบูรณ์ แสงวงค์วาณิชย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มานพ ยิ่งรัมย์ : การศึกษาแรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์ของแกประหว่างทรงกลมระนาบภายใต้การส่องแสง UV (A STUDY OF IMPULSE BREAKDOWN VOLTAGES OF SPHERE-PLANE GAP UNDER UV IRRADIATION) อ. ที่ปรึกษา : ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์, 70 หน้า. ISBN 974-17-7083-9.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอผลการศึกษาคุณลักษณะของแรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่าทั้งขั้วบวกและขั้วลบของอิเล็กโตรดทรงกลม-ระนาบ ในสภาวะอากาศของห้องทดลอง ในกรณีที่ไม่ส่องแสงUV และส่องแสงUV จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์ขั้วบวกกรณีไม่ส่องแสงUV มีค่าสูงกว่ากรณีส่องแสงUV ส่วนแรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์ขั้วลบกรณีไม่ส่องแสงUV และกรณีส่องแสงUV มีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์ขั้วบวกไม่ว่าจะส่องแสงUV หรือไม่ส่องแสงUV มีค่าสูงกว่าแรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์ขั้วลบเสมอ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2547..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4570484121 : ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORDS : IMPULSE BREAKDOWN VOLTAGE / SPHERE-PLANE GAP / UV IRRADIATION

MANOP YINGRUM : A STUDY OF IMPULSE BREAKDOWN VOLTAGES OF SPHERE-PLANE GAP UNDER UV IRRADIATION : KOMSON PETCHARAKS, Dr.Sc.Techn. 70 pp. ISBN 974-17-7083-9.

This thesis presents a study of positive and negative lightning impulse breakdown voltage characteristics of sphere-plane gaps, under laboratory atmospheric conditions, with and without UV irradiation. The results show that the positive impulse breakdown voltage of sphere-plane gap without UV irradiation is higher than with UV irradiation, while the UV irradiation has only a slight affect on negative impulse breakdown voltage. The positive breakdown voltage with and without UV irradiation are always higher than the negative impulse breakdown voltage.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Electrical Engineering
Field of study Electrical Engineering
Academic year 2004

Student's signature Y. Manop
Advisor's signature K. Petcharaks
Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบผลสำเร็จไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจาก อาจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้แนวทางศึกษาวิจัย การแก้ไขปัญหาจนวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ รวมทั้งสนับสนุน และเอาใจใส่ต่อผู้วิจัยเป็นอย่างดี อาจารย์ ดร.สมบูรณ์ แสงวงค์วาณิชย์ และอาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล ที่ช่วยตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.วีระพันธ์ รังสีวิจิตรประภา คุณถาวร เอื้อดี คุณเกรียงไกร โอษฐ์ธนู ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์วัดและอุปกรณ์ทดสอบในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงและให้คำแนะนำ คุณเรียน สุขเกษม ที่ช่วยอำนวยความสะดวก ดูแลห้องทดสอบ รวมทั้ง เพื่อน พี่ น้องทุกท่านในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจ ผู้วิจัยขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบ พระคุณบิดา พระคุณมารดา ผู้เป็นดั่งพรหมของลูก และคอยอุปการะมาโดยตลอด ขอขอบคุณ น้องชาย น้องสาว ที่น่ารัก และให้กำลังใจ ขอขอบคุณ คุณกาญจนา ฤทธิ์ชัยภูมิ ผู้เป็นอนาคต และเป็นแรงใจ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 ที่มาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ 2

1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย 2

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 แรงดันอิมพัลส์ 3

2.2 การวัดแรงดันอิมพัลส์ด้วยแกปทรงกลม 4

2.3 สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย (Slightly nonuniform field) 7

2.4 ไอออไนเซชั่นและการปล่อยอิเล็กตรอน 8

2.4.1 ไอออไนเซชั่นโดยการชน (collision ionization) 9

2.4.1.1 สัมประสิทธิ์การไอออไนเซชั่นในก๊าซ 9

2.4.1.2 การเกิดอะวานลานช์อิเล็กตรอน (electron avanlanche) 10

2.4.1.3 โฟโตไอออไนเซชั่น (photo ionization) 11

2.4.2 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวโลหะ 12

2.4.2.1 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวคะโถดโดยการชนของไอออนบวก 13

2.4.2.2 การปล่อยอิเล็กตรอนออกโดยสนามไฟฟ้า (field emission) 14

2.4.2.3 การปล่อยอิเล็กตรอนออกโดยพลังแสง 14

2.5 กลไกการเบรกดาวน์ (breakdown mechanisms) 16

2.5.1 กลไกเบรกดาวน์แบบสตรีมเมอร์ (streamer breakdown mechanism) 16

2.5.2 ผลของขั้วแรงดันต่อแรงดันเริ่มต้น 18

2.5.3 ผลของรูปลักษณะอิเล็กโตรด (electrode configuration) 19

บทที่

3. การทดลอง 21
3.1 ชุดทดลอง 21
3.2 วงจรทดลอง 22
3.3 ขั้นตอนการทดลอง 23
3.3.1 การเตรียมชุดทดลอง 23
3.3.2 การปรับระยะแกป 23
3.3.3 การป้อนแรงดันและการเก็บข้อมูล 23
4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง 25
4.1 $U_{b50\%}$ และ ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน (%SD) จากผลการทดลอง 25
4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง. 27
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 38
5.1 สรุปผลการทดลอง 38
5.2 ข้อเสนอแนะ 39
รายการอ้างอิง 40
ภาคผนวก 42
ภาคผนวก ก 43
ภาคผนวก ข 45
ภาคผนวก ค 66
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 70

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1 ค่าคงตัวของ A และ B ของก๊าซต่างๆ 9
2.2 ค่าเวอร์คฟังก์ชันของธาตุต่างๆเป็น eV เมื่อใช้พลังงานแสงเทียบกับเมื่อใช้ความร้อน 15
ข.1 ข้อมูลปรับระยะโครงเหล็กที่ใส่หลอดUV 45
ข.2 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์จากการทดลอง ที่ g = 1 ซ.ม. 46
ข.3 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์จากการทดลอง ที่ g = 1.2 ซ.ม. 46
ข.4 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์จากการทดลอง ที่ g = 1.4 ซ.ม. 47
ข.5 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์จากการทดลอง ที่ g = 1.5 ซ.ม. 47
ข.6 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์จากการทดลอง ที่ g = 1.6 ซ.ม. 48
ข.7 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์จากการทดลอง ที่ g = 1.8 ซ.ม. 48
ข.8 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์จากการทดลอง ที่ g = 2 ซ.ม. 49
ข.9 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์จากการทดลอง ที่ g = 2.2 ซ.ม. 49
ข.10 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์จากการทดลอง ที่ g = 2.4 ซ.ม. 50
ข.11 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์จากการทดลอง ที่ g = 2.6 ซ.ม. 50
ข.12 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์จากการทดลอง ที่ g = 2.8 ซ.ม. 51
ข.13 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์จากการทดลอง ที่ g = 3 ซ.ม. 51
ข.14 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์จากการทดลอง ที่ g = 3.5 ซ.ม. 52
ข.15 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์จากการทดลอง ที่ g = 4 ซ.ม. 52
ข.16 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์จากการทดลอง ที่ g = 4.5 ซ.ม. 53
ข.17 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์จากการทดลอง ที่ g = 5 ซ.ม. 53
ข.18 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์จากการทดลอง ที่ g = 5.5 ซ.ม. 54
ข.19 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์จากการทดลอง ที่ g = 6 ซ.ม. 54
ข.20 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์จากการทดลอง ที่ g = 6.5 ซ.ม. 55
ข.21 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์จากการทดลอง ที่ g = 7 ซ.ม. 55
ข.22 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์จากการทดลอง ที่ g = 7.5 ซ.ม. 56
ข.23 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์จากการทดลอง ที่ g = 8 ซ.ม. 56
ข.24 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์จากการทดลอง ที่ g = 9 ซ.ม. 57
ข.25 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์จากการทดลอง ที่ g = 10 ซ.ม. 57
ข.26 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์จากการทดลอง ที่ g = 11 ซ.ม. 58

ตารางที่

ข.27 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์จากการทดลอง ที่ g = 12 ซ.ม. 58
ข.28 แรงดันเบรกดาวน์กระแสสลับจากการทดลอง ที่ g = 1 ซ.ม. 59
ข.29 แรงดันเบรกดาวน์กระแสสลับจากการทดลอง ที่ g = 1.2 ซ.ม. 59
ข.30 แรงดันเบรกดาวน์กระแสสลับจากการทดลอง ที่ g = 1.4 ซ.ม. 59
ข.31 แรงดันเบรกดาวน์กระแสสลับจากการทดลอง ที่ g = 1.5 ซ.ม. 59
ข.32 แรงดันเบรกดาวน์กระแสสลับจากการทดลอง ที่ g = 1.6 ซ.ม. 60
ข.33 แรงดันเบรกดาวน์กระแสสลับจากการทดลอง ที่ g = 1.8 ซ.ม. 60
ข.34 แรงดันเบรกดาวน์กระแสสลับจากการทดลอง ที่ g = 2 ซ.ม. 60
ข.35 แรงดันเบรกดาวน์กระแสสลับจากการทดลอง ที่ g = 2.2 ซ.ม. 60
ข.36 แรงดันเบรกดาวน์กระแสสลับจากการทดลอง ที่ g = 2.4 ซ.ม. 61
ข.37 แรงดันเบรกดาวน์กระแสสลับจากการทดลอง ที่ g = 2.6 ซ.ม. 61
ข.38 แรงดันเบรกดาวน์กระแสสลับจากการทดลอง ที่ g = 2.8 ซ.ม. 61
ข.39 แรงดันเบรกดาวน์กระแสสลับจากการทดลอง ที่ g = 3 ซ.ม. 61
ข.40 แรงดันเบรกดาวน์กระแสสลับจากการทดลอง ที่ g = 3.5 ซ.ม. 62
ข.41 แรงดันเบรกดาวน์กระแสสลับจากการทดลอง ที่ g = 4 ซ.ม. 62
ข.42 แรงดันเบรกดาวน์กระแสสลับจากการทดลอง ที่ g = 4.5 ซ.ม. 62
ข.43 แรงดันเบรกดาวน์กระแสสลับจากการทดลอง ที่ g = 5 ซ.ม. 62
ข.44 แรงดันเบรกดาวน์กระแสสลับจากการทดลอง ที่ g = 5.5 ซ.ม. 63
ข.45 แรงดันเบรกดาวน์กระแสสลับจากการทดลอง ที่ g = 6 ซ.ม. 63
ข.46 แรงดันเบรกดาวน์กระแสสลับจากการทดลอง ที่ g = 6.5 ซ.ม. 63
ข.47 แรงดันเบรกดาวน์กระแสสลับจากการทดลอง ที่ g = 7 ซ.ม. 63
ข.48 แรงดันเบรกดาวน์กระแสสลับจากการทดลอง ที่ g = 7.5 ซ.ม. 64
ข.49 แรงดันเบรกดาวน์กระแสสลับจากการทดลอง ที่ g = 8 ซ.ม. 64
ข.50 แรงดันเบรกดาวน์กระแสสลับจากการทดลอง ที่ g = 9 ซ.ม. 64
ข.51 แรงดันเบรกดาวน์ที่ภาวะอากาศมาตรฐานตาม IEC Publ.52 65

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่

2.1 แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่าเต็ม 3
2.2 แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นสวิตชิ่ง 4
2.3 การติดตั้งช่องว่างทรงกลมวัดแรงดัน..... 5
2.4 อิเล็กโตรดแบบสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย 7
2.5 เส้นศักย์เท่าของสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย 7
2.6 อะวาลานช์ของอิเล็กตรอน..... 10
2.7 อะตอมไฮโดรเจน..... 12
2.8 ผลของความเครียดสนามไฟฟ้าที่เกิดจากอะวาลานช์ต่อความเครียดสนามไฟฟ้าที่ป้อน 17
2.9 กลไกเบรกดาวน์แบบสตรีมเมอร์..... 17
2.10 ระยะวิกฤตของอะวาลานช์อิเล็กตรอน 17
2.11 แรงดันเบรกดาวน์เฉลี่ยค่ายอดกระแสสลับ 50/60 Hz
ในอากาศที่สภาวะมาตรฐาน IEC ในเทอมระยะแกป d ของอิเล็กโตรดรูปแบบต่างๆ..... 20
2.12 แรงดันเบรกดาวน์ U_b กระแสตรงของอากาศในเทอมของระยะแกป 20
3.1 ชุดทดลอง..... 21
3.2 วงจรทดลอง..... 22
4.1 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลองด้วยแรงดันอิมพัลส์ 1.2/50 μs
ขั้วบวกที่ระยะแกปต่างๆ..... 25
4.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลองด้วยแรงดันอิมพัลส์ 1.2/50 μs
ขั้วลบที่ระยะแกปต่างๆ..... 26
4.3 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลองด้วยแรงดันกระแสสลับที่ระยะแกปต่างๆ..... 26
4.4 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์ 1.2/50 μsขั้วบวกสำหรับรูปทรงอิเล็กโตรดแตกต่างกัน.....28
4.5 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์ 1.2/50 μsขั้วลบสำหรับรูปทรงอิเล็กโตรดแตกต่างกัน..... 28
4.6 เส้นศักย์เท่าของแกปทรงกลมมาตรฐานแกป 10 ซ.ม..... 29
4.7 เส้นศักย์เท่าของอิเล็กโตรดทรงกลม-ระนาบแกป 10 ซ.ม. 29
4.8 เส้นศักย์เท่าของแกปทรงกลมมาตรฐานแกป 5 ซ.ม..... 30
4.9 เส้นศักย์เท่าของอิเล็กโตรดทรงกลม-ระนาบแกป 5 ซ.ม. 30
4.10 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์ 1.2/50 μsขั้วบวกและขั้วลบของอิเล็กโตรดทรงกลม-ระนาบ..... 31

รูปที่

4.11 ผลการเปรียบเทียบแรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์ 1.2/50 μsขั้วบวกของ
อิเล็กโตรดทรงกลม-ระนาบกรณีไม่ส่องแสงUV กับกรณีส่องแสงUV 32
4.12 ผลการเปรียบเทียบแรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์ 1.2/50 μsขั้วลบของ
อิเล็กโตรดทรงกลม-ระนาบกรณีไม่ส่องแสงUV กับกรณีส่องแสงUV 33
4.13 ผลการเปรียบเทียบแรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์ 1.2/50 μsทั้งขั้วบวกและขั้วลบของ 34
4.14 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์ขั้วบวกกรณีไม่ส่องแสงUV
เทียบกับแรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์ขั้วลบในระบบเปอร์ยูนิต 35
4.15 แรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์ขั้วบวกกรณีส่องแสงUV
เทียบกับแรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์ขั้วลบในระบบเปอร์ยูนิต 35
4.16 ผลการเปรียบเทียบแรงดันเบรกดาวน์กระแสสลับของ
อิเล็กโตรดทรงกลม-ระนาบกรณีไม่ส่องแสงUV กับกรณีส่องแสงUV 36
4.17 ผลการเปรียบเทียบแรงดันเบรกดาวน์กระแสสลับกับแรงดันเบรกดาวน์อิมพัลส์ขั้วลบ
ของอิเล็กโตรดทรงกลม-ระนาบกรณีไม่ส่องแสงUV และกรณีส่องแสงUV 37
4.18 แรงดันเบรกดาวน์ของอิเล็กโตรดทรงกลม-ระนาบที่ได้จากการทดลองทั้งหมด
เมื่อเทียบกับแรงดันเบรกดาวน์ของแกปทรงกลมมาตรฐาน 37
ค.1 แสดงภาพตัวอย่างของสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลที่มีกำลังสูงสุดเป็น 1 66
ค.2 แสดงภาพตัวอย่างของสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลที่มีกำลังสูงสุดเป็น 2 67
ค.3 แสดงภาพตัวอย่างของสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลที่มีกำลังสูงสุดเป็น 3 67

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย