การศึกษาเปรียบเทียบแบบจำลองการเกิดวาบไฟและการใช้งานในโปรแกรม EMTP

นายนรณัษฐ์ ตปนียพันธ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-0958-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I21164745 - 8 ก.ย. 2543

A COMPARATIVE STUDY OF SOME FLASHOVER MODELS AND THEIR IMPLEMENTATION IN EMTP

Mr.Noranut Tapaneeyapan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineer

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-0958-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเปรียบเทียบแบบจำลองการเกิดวาบไฟและการใช้งานในโปรแกรม EMTP
โดย	นายนรณัษฐ์ ตปนียพันธ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์)

นรณัษฐ์ ตปนียพันธ์ : การศึกษาเปรียบเทียบแบบจำลองการเกิดวาบไฟและการใช้งานในโปรแกรม EMTP. (A COMPARATIVE STUDY OF SOME FLASHOVER MODELS AND THEIR IMPLEMENTATION IN EMTP) อ. ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. ชาญณรงค์ บาลมงคล, จำนวนหน้า 127 หน้า. ISBN 974-17-0958-7.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอผลการศึกษาการใช้อินทิเกรชันโมเดลและลีดเดอร์โมเดลในโปรแกรม EMTP เพื่อจำลองการเกิดเบรกดาวน์ของแกปอากาศเนื่องจากแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าระหว่างอิเล็กโตรดทั้งแบบ rod-rod และ rod-plane ที่มีระยะแกปในช่วง 10-28.5 ซม. และนำไปประยุกต์ใช้สำหรับจำลองการเกิดวาบไฟตามผิวของลูกถ้วยแท่งก้านตรงชนิด 56/57-2 และ 56/57-3 โดยเปรียบเทียบเส้นโค้งแรงดันเบรกดาวน์-เวลาเบรกดาวน์ที่ได้จากการจำลองกับผลการทดลองจริงโดยป้อนแรงดันอิมพัลส์ 1.2/50 μs และ 5/50 μs เพื่อพิจารณาความแม่นยำของผลการจำลองและความสะดวกในการใช้งานแต่ละโมเดล

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2545..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4270375121 : ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORDS : BREAKDOWN MODELS / AIR GAP / EMTP / V-T CURVES

NORANUT TAPANEEYAPAN : THESIS TITLE (A COMPARATIVE STUDY OF SOME FLASHOVER MODELS AND THEIR IMPLEMENTATION IN EMTP) THESIS ADVISOR : CHANNARONG BALMONGKOL, Dr.Sc.Techn. 127 pp. ISBN 974-17-0958-7

This thesis presents the implementation of integration and leader models in Electromagnetic Transient Program (EMTP) for simulating breakdown of air gap due to lightning impulses. Rod-rod and Rod-plane electrodes with gap length in the range of 10-28.5 cm are studied. Moreover, both models are applied to simulate flashover characteristics of Pin-Post insulators type 56/57-2 and 56/57-3. The simulated results of breakdown voltage-time to breakdown (V-t) curve of 1.2/50 μs and 5/50 μs impulses are compared with the measured ones. The accuracy of simulation and convenience in using of each model are considered.

Department Electrical Engineering

Field of study Electrical Engineering

Academic year 2002

Student's signature Noranut Tapaneeyapan

Advisor's signature Channarong Banmongkol

Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบผลสำเร็จไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจาก อาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้แนวทางศึกษาวิจัย, การแก้ปัญหาและแก้ไขข้อบกพร่องจนวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร และอาจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์ ที่ช่วยตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. วีรพันธ์ รังสีวิจิตรประภา คุณถาวร เอื้อดี คุณ อรรณพ ลิ้มสีมารัตน์ และคุณเกรียงไกร โอษฐ์ธนู ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์วัดและอุปกรณ์ทดสอบในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงและในการทดลองมาโดยตลอด ตลอดจนเพื่อนๆพี่ๆน้องๆทุกท่านทั้งที่อยู่ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงและที่ชมรมกีฬาฟันดาบซึ่งเป็นกำลังใจให้ฝ่าฟันจนประสบผลสำเร็จ รวมทั้งบัณฑิตวิทยาลัยที่มอบทุนอุดหนุนโครงการวิจัยหรือค้นคว้าเพื่อทำวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ท้ายสุดนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ซึ่งมอบโอกาสให้ได้รับสิ่งที่มีคุณค่าอย่างยิ่งในชีวิตข้าพเจ้านั่นคือการศึกษา และเป็นกำลังใจรวมทั้งสนับสนุนข้าพเจ้าในทุกๆด้านตลอดมา จนประสบผลสำเร็จในที่สุด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญรูป ..... ฎ

บทที่ 1
1. บทนำ 1
1.1 บทนำทั่วไป 1
1.2 ที่มาของปัญหา 2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย 3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ 3
1.6 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย 3
2. ทฤษฎีการเกิดเบรกดาวน์และการวิเคราะห์ทางสถิติ 4
2.1 เบรกดาวน์ในอากาศ 4
2.1.1 ไอออไนเซชั่น (Ionization) 4
2.1.1.1 ไอออไนเซชั่นโดยการชน (Collision Ionization) 5
2.1.1.2 โฟโตไอออไนเซชั่น(Photoionization) 5
2.1.1.3 เทอร์มัลไอออไนเซชั่น(Thermal Ionization) 5
2.1.2 ทฤษฎีการเกิดเบรกดาวน์ในแกปอากาศ 6
2.1.2.1 กลไกเบรกดาวน์ของทาวน์เซนด์ 6
2.1.2.2 กลไกเบรกดาวน์แบบสตรีมเมอร์ 7
2.1.3 เบรกดาวน์เนื่องจากแรงดันอิมพัลส์ 8
2.1.3.1 เวลาล่าช้า 9
2.1.3.2 เส้นโค้งแรงดัน-เวลา (V-t Curve) 9

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.1.3.3 ความน่าจะเป็นในการเกิดเบรกดาวน์ 11
2.1.4 ลักษณะสมบัติทางมิติของลูกถ้วย 12
2.2 การวิเคราะห์ทางสถิติ 13
2.2.1 สถิติพื้นฐาน 14
2.2.1.1 ตัวแปรสุ่ม 14
2.2.1.2 ความเชื่อถือได้ (Reliability) 14
2.2.1.3 ชนิดของข้อมูล 15
2.2.1.4 ค่ากลางของข้อมูล 16
2.2.2 ฟังก์ชันความน่าจะเป็น 16
2.2.2.1 การกระจายแบบปกติ 17
2.2.2.2 การกระจายแบบล็อกปกติ 18
2.2.3 วิธีกราฟความน่าจะเป็น 19
2.2.3.1 การหาความน่าจะเป็นสะสม 19
2.2.3.2 การสร้างกราฟความน่าจะเป็นและการหาค่าพารามิเตอร์ 21
2.2.3.2.1 การกระจายแบบปกติ 22
2.2.3.2.2 การกระจายแบบล็อกปกติ 23
3. โปรแกรม EMTP และ แบบจำลองเบรกดาวน์ 24
3.1 โปรแกรม EMTP 24
3.1.1 TACS 25
3.1.2 MODELS 26
3.2 แบบจำลองเบรกดาวน์ 26
3.2.1 อินทิเกรชันโมเดล 27
3.2.1.1 โมเดลของ Sekioka 28
3.2.1.2 โมเดลของ Chowdhuri, Mishra และ McConnell 28
3.2.1.3 โมเดล V_0 แปรตามเวลา 29
3.2.2 ลีดเดอร์โมเดล 30
3.2.2.1 โมเดลของ Shindo และ Suzuki 31
3.2.2.2 โมเดลของ Hideki Motoyama 33
3.3 การสร้างแบบจำลองเบรกดาวน์ในโปรแกรม EMTP 34

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.3.1 อินทิเกรชันโมเดล 35
3.3.2 ลีดเดอร์โมเดล 36
4. กระบวนการทดลองเพื่อหาเส้นโค้งแรงดัน-เวลา 38
4.1 วงจรทดลอง 39
4.2 วิธีการทดลองและการเก็บข้อมูล 41
4.3 การสร้างเส้นโค้งแรงดัน-เวลา 43
5. ผลการจำลองและการวิเคราะห์ผล 46
5.1 อินทิเกรชันโมเดล 46
5.1.1 โมเดลของ Sekioka 46
5.1.1.1 กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-rod และ rod-plane 46
5.1.1.2 กรณีลูกถ้วยแท่งก้านตรง 48
5.1.2 โมเดลของ Chowdhuri, Mishra และ McConnell 50
5.1.2.1 กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-rod และ rod-plane 51
5.1.2.2 กรณีลูกถ้วยแท่งก้านตรง 53
5.1.3 โมเดล V_0 แปรตามเวลา 55
5.1.3.1 กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-rod และ rod-plane 55
5.1.3.2 กรณีลูกถ้วยแท่งก้านตรง 58
5.2 ลีดเดอร์โมเดล 59
5.2.1 โมเดลของ Shindo และ Suzuki 59
5.2.1.1 กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-rod 59
5.2.1.2 กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-plane 62
5.2.2 โมเดลของ Hideki Motoyama 62
6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 64
6.1 สรุปผลการวิจัย 64
6.2 ข้อเสนอแนะ 67
รายการอ้างอิง 69
ภาคผนวก 72
ภาคผนวก ก. Maximum Likelihood Parameter Estimation 73
ภาคผนวก ข. Least Square Estimation 74

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ค. ข้อมูลแรงดันเบรกดาวน์และเวลาเบรกดาวน์.....76
ภาคผนวก ง. ข้อมูลจากวิธีปรับระดับแรงดันขึ้นลง.....105
ภาคผนวก จ. การกระจายทางสถิติของข้อมูลเวลาเบรกดาวน์.....114
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....127

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Y และ F(Y) ในกรณีที่ข้อมูล T มีการกระจายแบบปกติ 22

3.1 แสดงค่า A,B ที่ใช้ในการหา T_S 32

3.2 สมการความเร็วของลีดเดอร์ 32

3.3 ค่า K สำหรับแกปแบบ rod-rod 33

3.4 ค่าคงที่สำหรับคำนวณกระแสและความเร็วลีดเดอร์ 34

4.1 ตารางแสดงเส้นโค้งแรงดัน-เวลาที่ต้องทดลอง 39

4.2 ค่า $V_{50\%}$ และ σ กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-rod 42

4.3 ค่า $V_{50\%}$ และ σ กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-plane 42

4.4 ค่า $V_{50\%}$ และ σ กรณีลูกถ้วยแท่งก้านตรง 42

5.1 ค่า DE และ V_o ของอิเล็กโตรดแบบ rod-rod และ rod-plane 48

5.2 ค่า DE และ V_o ของลูกถ้วยแท่งก้านตรง 50

5.3 ค่า DE, α และ V_o ของอิเล็กโตรดแบบ rod-rod 51

5.4 ค่า DE, α และ V_o ของอิเล็กโตรดแบบ rod-plane 52

5.5 ค่า DE, α และ V_o ของลูกถ้วยแท่งก้านตรง 53

5.6 ค่า DE, a และ b ของอิเล็กโตรดแบบ rod-rod 56

5.7 ค่า DE, a และ b ของอิเล็กโตรดแบบ rod-plane 56

5.8 ค่า DE, a และ b ของลูกถ้วยแท่งก้านตรง 58

6.1 ข้อมูลการเลือกใช้โมเดลเบรกดาวน์แต่ละชนิด กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-rod 65

6.3 ข้อมูลการเลือกใช้โมเดลเบรกดาวน์แต่ละชนิด กรณีลูกถ้วยแท่งก้านตรงชนิด 56/57-2 66

6.4 ข้อมูลการเลือกใช้โมเดลเบรกดาวน์แต่ละชนิด กรณีลูกถ้วยแท่งก้านตรงชนิด 56/57-3 67

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 เวลาล่าช้า 9

2.2 เส้นโค้งแรงดัน-เวลา 10

2.3 แรงดัน $V_{50\%}$ 11

2.4 ลักษณะทางมิติของลูกถ้วย 13

2.5 ความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ 15

2.6 กราฟความน่าจะเป็นของการกระจายแบบปกติ 23

3.1 องค์ประกอบจำลองใน EMTP 24

3.2 การติดต่อระหว่างวงจรไฟฟ้า กับ TACS 26

3.3 อินทิเกรชันโมเดลของ Sekioka 28

3.4 เบรกดาวน์ใน rod-plane และ rod-rod 30

3.5 ขั้นตอนการคำนวณเวลาเบรกดาวน์ 34

3.6 แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่น 1.2/50 μs และ 5/50 μs 35

3.7 การใช้ TACS สร้างอินทิเกรชันโมเดล 35

3.8 ตัวอย่างการใช้ TACS สร้างอินทิเกรชันโมเดล 36

3.9 การใช้ MODELS สร้างลีดเดอร์โมเดล 36

3.10 ตัวอย่างการใช้ MODELS สร้างลีดเดอร์โมเดล 36

4.1 วงจรสร้างแรงดันอิมพัลส์ 39

4.2 ลักษณะของ rod และ plane 40

4.3 ลูกถ้วยแท่งก้านตรงแบบ 56/57-2 40

4.4 ลูกถ้วยแท่งก้านตรงแบบ 56/57-3 41

4.5 เส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 1.2/50 μs กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-rod 43

4.6 เส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 5/50 μs กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-rod 43

4.7 เส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 1.2/50 μs กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-plane 44

4.8 เส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 5/50 μs กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-plane 44

4.9 เส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 1.2/50μs กรณีลูกถ้วยแท่งก้านตรงแบบ 56/57-2 และ 56/57-3 . 44

4.10 เส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 5/50μs กรณีลูกถ้วยแท่งก้านตรงแบบ 56/57-2 และ 56/57-3 .. 45

5.1 ผลการจำลองเส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 1.2/50 μs กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-rod 47

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.2 ผลการจำลองเส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 5/50 μs กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-rod 47
5.3 ผลการจำลองเส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 1.2/50 μs กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-plane 47
5.4 ผลการจำลองเส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 5/50 μs กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-plane .. 48
5.5 ผลการจำลองเส้นโค้งแรงดัน-เวลากรณี ลูกถ้วยแท่งก้านตรงแบบ 56/57-2..... 49
5.6 ผลการจำลองเส้นโค้งแรงดัน-เวลากรณีลูกถ้วยแท่งก้านตรงแบบ 56/57-3..... 49
5.7 ผลการจำลองเส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 1.2/50 μs กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-rod ... 52
5.8 ผลการจำลองเส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 5/50 μs กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-rod 52
5.9 ผลการจำลองเส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 1.2/50 μs กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-plane 53
5.10 ผลการจำลองเส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 5/50 μs กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-plane... 53
5.11 ผลการจำลองเส้นโค้งแรงดัน-เวลากรณี ลูกถ้วยแท่งก้านตรงแบบ 56/57-2..... 54
5.12 ผลการจำลองเส้นโค้งแรงดัน-เวลากรณีลูกถ้วยแท่งก้านตรงแบบ 56/57-3..... 54
5.13 ผลการจำลองเส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 1.2/50 μs กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-rod .. 56
5.14 ผลการจำลองเส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 5/50 μs กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-rod 57
5.15 ผลการจำลองเส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 1.2/50 μs กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-plane ... 57
5.16 ผลการจำลองเส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 5/50 μs กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-plane.... 57
5.17 ผลการจำลองเส้นโค้งแรงดัน-เวลากรณี ลูกถ้วยแท่งก้านตรงแบบ 56/57-2..... 58
5.18 ผลการจำลองเส้นโค้งแรงดัน-เวลากรณีลูกถ้วยแท่งก้านตรงแบบ 56/57-3..... 58
5.19 ผลการจำลองเส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 1.2/50 μs กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-rod .. 59
5.20 ผลการจำลองเส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 5/50 μs กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-rod 60
5.21 ผลการจำลองเส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 1.2/50 μs กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-rod .. 61
5.22 ผลการจำลองเส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 5/50 μs กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-rod 61
5.23 ผลการจำลองเส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ขั้วบวก กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-plane.... 62
5.24 ผลการจำลองเส้นโค้งแรงดัน-เวลาของอิมพัลส์ 1.2/50 μs กรณีอิเล็กโตรดแบบ rod-rod .. 62