การออกแบบและสร้างอิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์ขนาด 400 กิโลโวลต์ แบบตัวเก็บประจุมีความต้านทานหน่วง

นาย ไพศาล จิรานันตรัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2533

ISBN 974-577-230-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

016359

I10311499X

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A 400 kV DAMPED CAPACITIVE IMPULSE VOLTAGE DIVIDER

Mr. Paisan Jiranuntarat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1990

ISBN 974-577-230-5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและสร้างอิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์ขนาด 400 กิโลโวลต์ แบบตัวเก็บประจุมีความต้านทานหน่วง

โดย นาย ไพศาล จิรานันตรัตน์

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. สำรวย สังข์สะอาด

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชราภัย)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ไพบูลย์ ไชยนิล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. สำรวย สังข์สะอาด)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ประโมทย์ อุณหไวทยะ)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. เอกชัย ลีลารัศมี)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ไพศาล. จิรานันตรัตน์ : การออกแบบและสร้างอิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์ขนาด 400 กิโลโวลต์ แบบตัวเก็บประจุมีความต้านทานหน่วง (DESIGN AND CONSTRUCTION OF A 400 kV DAMPED CAPACITIVE IMPULSE VOLTAGE DIVIDER)
อ.ที่ปรึกษา รศ.ดร.สำรวย สังข์สะอาด,96 หน้า. ISBN 974-577-230-5

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้รายงานการออกแบบสร้างอิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์ขนาด 400 กิโลโวลต์ แบบตัวเก็บประจุมีความต้านทานหน่วง โดยภาคแรงสูงประกอบด้วยตัวเก็บประจุย่อยจำนวนมากต่ออนุกรมอยู่กับความต้านทานหน่วงซึ่งกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดความยาวของภาคแรงสูง ให้รายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างของตัวเก็บประจุภาคแรงสูงและภาคแรงต่ำ เงื่อนไขการเลือกค่าองค์ประกอบและค่าที่กำหนด แสดงผลการทดสอบลักษณะและคุณสมบัติของโวลเตจดิไวเดอร์ หาค่าเวลาตอบสนองและอัตราส่วนแรงดันตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ไอ อี ซี 60 แสดงการทดลองใช้งานโดยการวัดแรงดันอิมพัลส์วาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2532 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

PAISAN JIRANUNTARAT : DESIGN AND CONSTRUCTION OF A 400 kV DAMPED CAPACITIVE IMPULSE VOLTAGE DIVIDER. THESIS ADVISOR : ASSO.PROF.DR. SAMRUAY SANGKASAAD, 96 PP.

This thesis presents the design and construction of a damped capacitive impulse voltage divider rated 400 kV. The high voltage part consists of a large number of capacitor stacks in series with damping resistors which uniformly distribute along the high voltage arm. The details of the constructions of the high and low voltage capacitors are given. The criterion of selecting the components and specifying the rated values of the voltage divider are given. The test results of the voltage divider characteristics are shown. The response time and the voltage ratio of the impulse voltage divider are determined according to the IEC publication No. 60. The constructed voltage divider is used to measure impulse flashover voltage on insulators.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2532 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร. สำรวย สังข์สะอาด อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆของการวิจัยมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ไพบูลย์ ไชยนิล รองศาสตราจารย์ ดร. ประโมทย์ อุณหไวทยะ และรองศาสตราจารย์ ดร. เอกชัย ลีลารัศมี ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอขอบคุณฝ่ายวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งได้ให้ทุนอุดหนุนสำหรับการวิจัยครั้งนี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนทางด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญรูปภาพ..... ฏ

บทที่

1. บทนำ..... 1

1.1 บทนำทั่วไป..... 1

1.2 วิธีการวัดแรงดันอิมพัลส์..... 3

1.3 ที่มาของปัญหา..... 3

2. ระบบวัดแรงดันอิมพัลส์..... 5

2.1 วงจรขั้นพื้นฐานของระบบวัดแรงดันอิมพัลส์..... 5

2.2 ลักษณะสมบัติที่ต้องการของระบบวัด..... 6

2.2.1 ผลตอบสนองรูปขั้นหนึ่งหน่วย

2.2.2 เวลาตอบสนอง

2.2.2.1 นิยามของเวลาตอบสนอง

2.2.2.2 ความสำคัญของเวลาตอบสนอง

2.2.2.3 การคำนวณเวลาตอบสนองของระบบวัด

2.2.3 อัตราส่วนแรงดันของโวลเตจดิไวเดอร์

2.3 โวลเตจดิไวเดอร์..... 19

2.3.1 วงจรสมมูลทั่วไปของโวลเตจดิไวเดอร์

2.3.2 โวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุมีความต้านทานหน่วง

3. การออกแบบและสร้างโวลเตจดิไวเดอร์..... 25

3.1 คุณลักษณะที่กำหนด..... 25

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 การออกแบบและสร้างภาคแรงสูง..... 26

3.2.1 ความจุสเตรลงดิน

3.2.2 ค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง

3.2.3 โครงสร้างและการฉนวนของภาคแรงสูง

3.2.4 ความต้านทานภาคแรงสูง

3.3 การออกแบบและสร้างภาคแรงต่ำ..... 39

3.3.1 คุณลักษณะที่ต้องการ

3.3.2 การเลือกแรงดันขาออก

3.3.3 ตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำ

3.3.4 ความต้านทานภาคแรงต่ำ

3.3.5 ความต้านทานแมชชิงและเคเบิลวัด

3.3.6 โครงสร้างของภาคแรงต่ำ

4. การทดสอบและประเมินผล..... 44

4.1 การวัดค่าความจุไฟฟ้า..... 44

4.1.1 การวัดค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง

4.1.2 การวัดค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำ

4.2 การทดสอบความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง..... 47

4.3 การทดลองหาผลตอบสนองต่อแรงดันรูปชั้น..... 48

4.3.1 ผลของความต้านทานหน่วง(R_1)ในภาคแรงสูง

4.3.2 ผลของตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำ (C_2)

4.3.3 ผลของความต้านทานภาคแรงต่ำ (R_2)

4.3.4 ผลตอบสนองรูปชั้นเมื่อความต้านทานภาคแรงสูงและภาคแรงต่ำเป็นแบบฟิล์มคาร์บอน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.5 ผลตอบสนองรูปขั้นเมื่อความต้านทานภาคแรงสูงและภาคแรงต่ำเป็นแบบคาร์บอน

4.3.6 ผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุมีความต้านทานหน่วงในสายนำ

4.3.7 ผลของความต้านทานแมชชิง(R_m)ของเคเบิลวัด

4.3.8 การหาเวลาตอบสนอง

4.4 การหาอัตราส่วนแรงดันของโวลเตจดิไวเดอร์..... 66

4.4.1 โดยการคำนวณทางทฤษฎี

4.4.2 โดยการวัดแรงดันเปรียบเทียบกับโวลเตจดิไวเดอร์ที่ทราบค่าอัตราส่วนแรงดัน

4.4.3 โดยการวัดแรงดันเปรียบเทียบกับแกปทรงกลม

4.5 การทดลองใช้งาน..... 70

4.5.1 การวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็ม

4.5.2 การวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดหน้าคลื่น

5. สรุปและข้อเสนอแนะ..... 75

เอกสารอ้างอิง..... 78

ภาคผนวก ก. ข้อมูลทางเทคนิคของตัวความต้านทานและตัวเก็บประจุ..... 80

ประวัติผู้เขียน..... 83

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

1.1 ค่าแรงดันทดสอบ BIL ของการฉนวนอุปกรณ์ไฟฟ้า..... 2

3.1 ลักษณะสมบัติของผลตอบสนองรูปชั้นที่ได้จากการวิเคราะห์... 38

3.2 รายละเอียดของความต้านทานภาคแรงต่ำ..... 42

4.1 ผลการวัดค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง..... 46

4.2 ผลการวัดค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำ..... 47

4.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากผลตอบสนองรูปชั้น..... 62

4.4 เวลาตอบสนองที่ต้องการของระบบวัด..... 65

4.5 อัตราส่วนแรงดันที่ได้จากการวัดเทียบแกปทรงกลม..... 67

4.6 ผลการทดลองหาอัตราส่วนแรงดันอิมพัลส์..... 69

5.1 ส่วนประกอบของภาคแรงต่ำ..... 75

5.2 ลักษณะสมบัติของโวลเตจดิไวเดอร์..... 76

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่

1.1 แรงดันอิมพัลส์แบบฟ้าผ่า..... 2

2.1 วงจรพื้นฐานสำหรับอุปกรณ์ทดสอบวัสดุฉนวนด้วยแรงดันอิมพัลส์..... 5

2.2 นิยามของ Overshoot และเวลาตอบสนองบางส่วน..... 7

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Overshoot และเวลาตอบสนองบางส่วน..... 7

2.4 ผลตอบสนองรูปขั้น G(t)..... 9

2.5 เวลาตอบสนอง..... 11

2.6 ผลตอบสนองรูปขั้นหนึ่งหน่วยแบบต่างๆในทางปฏิบัติ..... 13

2.7 ความคลาดเคลื่อนในการวัดเนื่องจากเวลาตอบสนอง..... 15

2.8 บล็อกไดอะแกรมของระบบวัดหนึ่งๆ..... 17

2.9 วงจรสมมูลทั่วไปของโวลเตจดิไวเดอร์..... 19

2.10 วงจรสมมูลทั่วไปของตัวประกอบวงจรของโวลเตจดิไวเดอร์แต่ละส่วนย่อย..... 20

2.11 วงจรสมมูลของโวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุมีความต้านทานหน่วง..... 21

2.12 วงจรสมมูลของโวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุมีความต้านทานหน่วงที่ใช้ในการวิเคราะห์..... 22

2.13 วงจรสมมูลของโวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุมีความต้านทานหน่วงที่ใช้หาอัตราส่วนแรงดัน..... 24

3.1 ตัวเก็บประจุเดี่ยวรูปทรงกระบอก..... 26

3.2 การเชื่อมต่อกันระหว่างตัวเก็บประจุย่อยและตัวความต้านทานย่อยแต่ละชั้น..... 29

3.3 วงจรสมมูลของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง..... 30

3.4 แรงดันกระจายของโวลเตจดิไวเดอร์..... 31

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

3.5 มิติและโครงสร้างของภาคแรงสูง..... 34

3.6 ผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์เมื่อ $R_1 = 0$..... 36

3.7 ผลตอบสนองรูปขั้นที่ได้จากการวิเคราะห์..... 37

3.8 โครงสร้างของภาคแรงต่ำ..... 43

4.1 วงจรทดลองหาค่าความจุไฟฟ้า..... 45

4.2 การทดสอบความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง..... 48

4.3 วงจรทดลองหาผลตอบสนองรูปขั้น..... 49

4.4 แรงดันทดสอบรูปขั้น..... 49

4.5 ผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์ของ Haefely.... 50

4.6 ผลของความต้านทานหน่วง (R_1) ที่มีต่อผลตอบสนองรูปขั้นในวงจรทดลอง..... 52

4.7 ผลของตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำ (C_2) ที่มีต่อผลตอบสนองรูปขั้นในวงจรทดลอง..... 55

4.8 ผลของความต้านทานภาคแรงต่ำ (R_2) ที่มีต่อผลตอบสนองรูปขั้นในวงจรทดลอง..... 57

4.9 ผลตอบสนองรูปขั้นเมื่อความต้านทานเป็นแบบฟิล์มคาร์บอน... 59

4.10 ผลตอบสนองรูปขั้นเมื่อความต้านทานเป็นแบบคาร์บอน..... 61

4.11 ผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุมีความต้านทานหน่วงในสายนำ..... 63

4.12 ผลของความต้านทานแมชชิงของเคเบิลวัด..... 64

4.13 อัตราส่วนแรงดันที่ระยะแกปต่างๆ..... 68

4.14 วงจรที่ใช้วัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็ม..... 70

4.15 การวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็มด้วยเคเบิลยาว 20 เมตร.. 71

4.16 การวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็มด้วยเคเบิลยาว 40 เมตร.. 72

4.17 วงจรที่ใช้วัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดหน้าคลื่น..... 73

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

4.18 การทดสอบวาบไฟตามผิวบนลูกถ้วยก้านตรง..... 74

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย