การออกแบบและสร้างอิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์ขนาด 300 กิโลโวลท์

นายวรา จูห้อง

004092

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2524

I 17216357

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A 300-KV IMPULSE VOLTAGE DIVIDER

Mr.Vara Juhong

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1981

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและสร้างอิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์ขนาด 300 กิโลโวลท์

โดย นายวรา จูห้อง

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สำรวย สังข์สะอาด

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ อยู่ถนอม)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทิน เวทย์วัฒนะ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธัชชัย สุมิตร)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สำรวย สังข์สะอาด)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและสร้างอิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์ขนาด 300 กิโลโวลท์

ชื่อ นายวรา จูห้อง

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สำรวย สังข์สะอาด

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2524

บทคัดย่อ

อิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์เป็นอุปกรณ์วัดแรงดันอิมพัลส์ ลักษณะสมบัติที่สำคัญของอิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์ที่ดี คือ ต้องมีอัตราส่วนแรงดันคงที่ และมีผลตอบสนองรูปขั้นดี วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นรายงานผลของการศึกษาค้นคว้าวิจัยและทดลองเพื่อหาวิธีออกแบบและสร้างโวลเตจดิไวเดอร์ขนาด 300 กิโลโวลท์ แบบความต้านทาน มีความต้านทานภาคแรงสูงขนาด 7170 โอห์ม ทำด้วยลวดความต้านทานพันบนท่อพีวีซีแบบสเตรอินดัดแตนซ์ต่ำ แช่น้ำมันหม้อแปลงซึ่งบรรจุในท่อพีวีซีอีกชั้นหนึ่ง ความต้านทานภาคแรงต่ำขนาด 21.7 โอห์ม สร้างจากตัวความต้านทานแบบฟิล์มโลหะออกไซด์จำนวน 23 ตัว ต่อขนานกัน โวลเตจดิไวเดอร์ที่สร้างขึ้นมีเวลาตอบสนอง 27 nS ถ้าใช้ซีลด์ติดตั้งไว้ส่วนบนของโวลเตจดิไวเดอร์เวลาตอบสนองจะเป็น 20 nS อัตราส่วนแรงดันของโวลเตจดิไวเดอร์ 449.4 เปรียบเทียบผลการใช้วัสดุความต้านทานโดยใช้ความต้านทานแบบฟิล์มโลหะออกไซด์และแบบฟิล์มคาร์บอนเป็นความต้านทานภาคแรงสูง ปรากฏผลว่าความต้านทานแบบฟิล์มทั้งสองแบบหลังนี้ไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นความต้านทานภาคแรงสูงของโวลเตจดิไวเดอร์ เพราะมีขีดจำกัดความคงทนต่อความร้อน

Thesis Title	Design and Construction of a 300-KV Impulse Voltage Divider
Name	Mr.Vara Juhong
Thesis Advisor	Assistant Professor Samruay Sangkasaad, Dr. tech.
Department	Electrical Engineering
Academic Year	1981

ABSTRACT

An impulse voltage divider is a device intended for the measuring of impulse voltages. The characteristics of an ideal impulse voltage divider are characterized by a constant divider ratio and good step-response. This thesis reported the result of the researches and experiments on the design and construct a 300 kV impulse voltage resistor divider. The resistance of the high voltage arm is 7170 ohms, made of resistance wire wound in a low stray inductance manner on a PVC tube, immersed in transformer oil contained in another PVC tube. The resistance of the low voltage arm is 21.7 ohms, made of 23 parallel metal oxide film resistors. The response time of the divider so-constructed are 27 nS without shielding and 20 nS with shielding on the top of the divider. The divider ratio is 449.4. The metal oxide film resistors and the carbon film resistors were also used as the high voltage arm of the divider. It was found that they were not applicable because of their limited thermal capacity.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สำรวย สังข์สะอาด ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและผู้ควบคุมการทำค้นคว้าวิจัยที่กรุณาให้คำแนะนำทั้งด้านทฤษฎีและปฏิบัติ และได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี และขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อ รองศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ อยู่ถนอม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทิน เวทย์วัฒนะ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธัชชัย สุมิตร ที่ได้ให้คำวิจารณ์และข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์บางประการเกี่ยวกับการค้นคว้าวิจัยนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณต่อ คุณสมเจตน์ วัฒนสินธุ์ กรรมการผู้จัดการ บริษัท ศิริวิวัฒน์ (2515) จำกัด ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาค้นคว้าวิจัยเรื่องนี้ และขอขอบคุณ คุณสัมพันธ์ วงษ์ปาน วิศวกรหัวหน้าฝ่ายตรวจสอบและควบคุมคุณภาพ บริษัท ศิริวิวัฒน์ (2515) จำกัด ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการวิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความร่วมมือในการทดสอบ และขอขอบคุณ คุณวิมล ประทักษ์นุกูล ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดพิมพ์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค

กิตติกรรมประกาศ ..... ง

สารบัญ ..... จ

รายการตารางประกอบ ..... ช

รายการรูปประกอบ ..... ฌ

สัญญลักษณ์ ..... ฎ

บทที่

1. บทนำทั่วไป 1

1.1 บทนำ 1

1.2 ที่มาของปัญหา 2

1.3 ประวัติความเป็นมาของโวลเตจดิไวเดอร์ 3

1.4 นิยามและคำศัพท์เทคนิค 4

2. ภาคทฤษฎีของโวลเตจดิไวเดอร์ 10

2.1 บทนำ 10

2.2 ลักษณะสมบัติของโวลเตจดิไวเดอร์ 10

2.2.1 ผลตอบสนอง 10

2.2.2 อัตราส่วนแรงดันของโวลเตจดิไวเดอร์ 16

2.3 วงจรสมมูลย์ทั่วไปของโวลเตจดิไวเดอร์ 17

2.4 แบบต่างๆ ของโวลเตจดิไวเดอร์ 20

2.4.1 โวลเตจดิไวเดอร์แบบความต้านทาน 20

2.4.2 โวลเตจดิไวเดอร์แบบความต้านทานมีซีลด์ 27

2.4.3 โวลเตจดิไวเดอร์แบบผสม 23

2.4.4 โวลเตจดิไวเดอร์แบบคะแปซิเตอร์ 28

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.5 โวลเตจดิไวเดอร์แบบคะแปซิเตอร์มีความต้านทานหน่วง.... 33

3. การออกแบบและสร้างโวลเตจดิไวเดอร์..... 37

3.1 บทนำ..... 37

3.2 การออกแบบและสร้างภาคแรงสูง..... 38

3.2.1 การคำนวน..... 38

3.2.2 พลังงานสูญเสียในตัวความต้านทาน..... 40

3.2.3 การเลือกตัวความต้านทานภาคแรงสูง..... 41

3.3 การออกแบบภาคแรงต่ำ..... 50

3.3.1 หลักเกณฑ์ทั่วไป..... 50

3.3.2 การเลือกแรงดันขาออก..... 51

3.4 การต่อโวลเตจดิไวเดอร์ในระบบการวัด..... 53

3.5 การออกแบบซีลด์อีเลกโตรด..... 53

4. การทดสอบและการประเมินผล..... 57

4.1 บทนำ..... 57

4.2 การทดสอบความคงทนต่อแรงดันตามกำหนดของการคำนวน..... 57

4.3 การทดสอบผลตอบสนองรูปขั้น..... 58

4.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ..... 59

4.3.2 การหาเวลาตอบสนอง..... 61

4.3.3 ผลตอบสนองของโวลเตจดิไวเดอร์ที่มีความต้านทานภาคแรงสูง เป็นแบบลวดความต้านทาน..... 63

4.3.4 ผลตอบสนองของโวลเตจดิไวเดอร์ที่มีความต้านทานภาคแรงสูง เป็นแบบฟิล์ม..... 65

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.5 การหาเวลาตอบสนองโดยการคำนวณ..... 67

4.4 การหาอัตราส่วนแรงดันของโวลเตจดิไวเดอร์..... 69

4.4.1 โดยการคำนวณ..... 69

4.4.2 โดยการวัดแรงดันขาเข้าและแรงดันขาออกพร้อมกัน..... 69

4.4.3 โดยใช้วงจรบริดจ์..... 70

4.5 การใช้งาน..... 71

4.5.1 การทดลองใช้งานโดยไม่มีความต้านทานหน่วงในสายนำไฟแรงสูง..... 71

4.5.2 ความคงทนต่อแรงดันที่กำหนดของโวลเตจดิไวเดอร์..... 72

4.5.3 ใช้โวลเตจดิไวเดอร์วัดแรงดันทดสอบลูกถ้วย..... 75

5. สรุปและข้อเสนอแนะ..... 76

เอกสารอ้างอิง..... 78

ภาคผนวก..... 80

1. การคำนวณอัตราส่วนแรงดันของโวลเตจดิไวเดอร์แบบความต้านทาน..... 80

2. ภาพเขียนแบบของโวลเตจดิไวเดอร์แบบความต้านทาน 300 กิโลโวลท์..... 81

3. การยึดหัวท้ายท่อฉนวน..... 82

4. ภาพเขียนแบบแสดงการประกอบตัวความต้านทานภาคแรงสูง..... 83

ประวัติการศึกษา..... 84

รายการตารางประกอบ

หน้า

ตารางที่

1.1 แรงดันทดสอบอิมพัลส์ (BIL)..... 2

4.1 โวลเตจดิไวเดอร์แบบต่างๆ ที่สร้างขึ้น..... 65

4.2 เวลาตอบสนองของโวลเตจดิไวเดอร์ที่สร้างขึ้น..... 68

4.3 อัตราส่วนแรงดันของโวลเตจดิไวเดอร์ที่สร้างขึ้น..... 71

4.4 เปรียบเทียบผลการทดสอบการวัดแรงดันตามกำหนด..... 74

รายการรูประกอบ

รูปที่ หน้า

1.1 แรงดันอิมพัลส์แบบฟ้าผ่าลักษณะต่างๆ 6

2.1 ผลตอบสนองรูปขั้นแบบต่างๆ ในทางปฏิบัติ 13

2.2 ความคลาดเคลื่อนในการวัดเนื่องจากเวลาตอบสนอง 15

2.3 วงจรสมมูลย์ทั่วไปของโวลเตจดิไวเดอร์ 18

2.4 วงจรสมมูลย์ทั่วไปของตัวประกอบวงจรของโวลเตจดิไวเดอร์แต่ละส่วนย่อย 18

2.5 วงจรสมมูลย์ของโวลเตจดิไวเดอร์แบบความต้านทาน 20

2.6 ผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์แบบความต้านทานมีค่าความต้านทาน R เป็นพารามิเตอร์ 22

2.7 ผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์แบบความต้านทานมีสเตรอินดัคแตนซ์ L เป็นพารามิเตอร์ 23

2.8 ผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์แบบความต้านทานมีคะแปซิแตนซ์ขนาน C_p เป็นพารามิเตอร์ 24

2.9 วงจรสมมูลย์ของโวลเตจดิไวเดอร์แบบความต้านทานอย่างง่าย 25

2.10 ผลตอบสนองรูปขั้นหนึ่งหน่วยของโวลเตจดิไวเดอร์แบบความต้านทาน 26

2.11 วงจรของโวลเตจดิไวเดอร์แบบคะแปซิเตอร์ 28

2.12 วงจรสมมูลย์ของโวลเตจดิไวเดอร์แบบคะแปซิเตอร์ 29

2.13 วงจรสมมูลย์ของโวลเตจดิไวเดอร์แบบคะแปซิเตอร์ล้วน 30

2.14 ผลตอบสนองรูปขั้นหนึ่งหน่วยของโวลเตจดิไวเดอร์แบบคะแปซิเตอร์ล้วน 31

2.15 ผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์แบบคะแปซิเตอร์ล้วน 3 MV C = 450 pF. 31

2.16 ผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์แบบคะแปซิเตอร์ขนาด 3 MV มีตัวต้านทานหน่วงในสายนำไฟแรงสูง สเกลแกนเวลา 200 nS/div. 32

2.17 โวลเตจดิไวเดอร์แบบคะแปซิเตอร์ความต้านทานหน่วงกระจายในภาคแรงสูง 33

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

หน้า

2.18 ผลตอบสนองรูปขั้นหนึ่งหน่วยของโวลเตจดิไวเดอร์แบบคะแปซิเตอร์มีความต้านทานหน่วง..... 35

2.19 ผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์แบบคะแปซิเตอร์ถูกหน่วงขนาด 1.6 MV..... 36

4.1 วงจรการทดสอบผลตอบสนองรูปขั้น..... 58

4.2 เครื่องกำเนิดแรงดันรูปขั้นของ Haefely แบบ 40..... 59

4.3 แรงดันรูปขั้นที่สร้างขึ้นโดยเครื่องกำเนิดแรงดันรูปขั้นในรูป 4.2..... 60

4.4 ผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์ที่มีภาคแรงสูงเป็นลวดความต้านทานมีความต้านทานหน่วง R_d อยู่ที่ปลายขาเข้าของสายนำไฟแรงสูงค่าต่างๆ... 64

4.5 เปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบระหว่างไม่มีและมีซิลด์อีเลกโตรดแบบต่างๆ..... 64

4.6 ผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์ที่มีภาคแรงสูงเป็นความต้านทานแบบฟิล์มโลหะออกไซด์..... 66

4.7 ผลตอบสตองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์ที่มีภาคแรงสูงเป็นความต้านทานแบบฟิล์มคาร์บอน..... 67

4.8 การหาอัตราส่วนแรงดันโดยใช้วงจรบริดจ์..... 70

4.9 ผลกระทบของความต้านทานหน่วงในสายนำไฟแรงสูง 72

4.10 รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ที่ทดลอง..... 75

สัญญลักษณ์

α	คือ	สัมประสิทธิ์อุณหภูมิ
β	คือ	ความร้อนจำเพาะ
γ	คือ	ความหนาแน่น
δ_t	คือ	ความคลาดเคลื่อนในการวัดช่วงเวลา
δ_v	คือ	ความคลาดเคลื่อนในการวัดค่ายอดของแรงดัน
ε	=	2.718
ρ	คือ	ความต้านทานจำเพาะ
$\Delta\theta$	คือ	อุณหภูมิเพิ่ม
τ	คือ	ค่าคงที่เวลา
τ_v	คือ	เวลาจรในสายนำแนวดิ่ง
τ_l	คือ	เวลาจรในสายนำแนวนอน
A	คือ	พื้นที่หน้าตัด
a	คือ	อัตราส่วนแรงดัน
a_o	คือ	อัตราส่วนแรงดันไฟตรง
C	คือ	ตัวคะแปซิเตอร์
C'	คือ	ตัวคะแปซิเตอร์ย่อย
C_1	คือ	คะแปซิเตอร์ภาคแรงสูง
C_2	คือ	คะแปซิเตอร์ภาคแรงต่ำ
C_e	คือ	สเตรคะแปซิแตนซ์ลงดิน
C'_e	คือ	สเตรคะแปซิแตนซ์ลงดินย่อย
C_k	คือ	คะแปซิแตนซ์ของสายเคเบิลวัด
C_p	คือ	คะแปซิเตอร์ขนาน
C'_p	คือ	คะแปซิเตอร์ขนานย่อย
CRO	คือ	ออสซิลโลสโคป
c	คือ	ความเร็วแสง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

d	คือ	เส้นผ่าศูนย์กลาง
G	คือ	ผลตอบสนองรูปขั้น
g	คือ	ผลตอบสนองรูปขั้นหนึ่งหน่วย
$H(S)$	คือ	ทรานสเฟอร์ฟังชั่น
$h(S)$	คือ	normalized transfer function
h	คือ	ความสูงแนวดิ่ง
L	คือ	สเตรอินดัคแตนซ์
L'	คือ	สเตรอินดัคแตนซ์ย่อย
L_2	คือ	สเตรอินดัคแตนซ์ภาคแรงต่ำ
l	คือ	ความยาว
m	คือ	มวล
N	คือ	จำนวน (ส่วนย่อยทั้งหมด)
R	คือ	ความต้านทาน
R'	คือ	ความต้านทานย่อย
R_1	คือ	ความต้านทานภาคแรงสูง
R_2	คือ	ความต้านทานภาคแรงต่ำ
R_d	คือ	ความต้านทานหน่วงตอนบนของโวลเตจดิไวเดอร์
R'_d	คือ	ความต้านทานหน่วงขาเข้าของสายนำไฟแรงสูง
R_m	คือ	ความต้านทานแมทชิ่ง
S	คือ	ลาปลาซโอเปอเรเตอร์
S_L	คือ	ความชันของแรงดัน
T	คือ	เวลาตอบสนองของระบบการวัด
T_1	คือ	เวลาช่วงหน้าคลื่น
T_2	คือ	เวลาช่วงหางคลื่น
T_c	คือ	เวลาช่วงคลื่นตัด
T_n	คือ	เวลาตอบสนองของระบบการวัดดัดแปลง

T_t คือ เวลาตอบสนองของระบบการวัดไม่มีสายนำ

t คือ เวลา

$u_1(t)$ คือ แรงดันรูปขั้นหนึ่งหน่วย

V, v คือ แรงดันไฟฟ้า

$\hat{V}$ คือ ค่าอัมปลิจูดของคลื่นแรงดัน

V_1, v_1 คือ แรงดันป้อนเข้า

V_2, v_2 คือ แรงดันขาออก

W_{el} คือ พลังงานไฟฟ้า

W_{th} คือ พลังงานความร้อน

W_v = $\int_0^\infty v^2(t)\, dt$

Z คือ เสิร์จอิมพีแดนซ์

Z_g คือ อิมพีแดนซ์ขนานลงดินรวม

Z_g' คือ อิมพีแดนซ์ขนานลงดินต่อหนึ่งส่วนย่อย

Z_L คือ อิมพีแดนซ์อนุกรมรวม

Z_L' คือ อิมพีแดนซ์อนุกรมต่อหนึ่งส่วนย่อย