การออกแบบและสร้างมัลติเปิลช็อบปิ้งแกปขนาด 400 กิโลโวลต์

นายปรีชา คุ้มครอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2525

ISBN 974-561-378-9

007315

I16504756

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A 400-KV MULTIPLE CHOPPING GAP

Mr.Preecha Koomkrong

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1982

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและสร้างมัลติเปิลช็อบปิ้งแกปขนาด 400 กิโลโวลต์

โดย นายปรีชา คุ้มครอง

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สำรวย สังข์สะอาด

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ไพบูลย์ ไชยนิล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สัณห์ ศิวารัตน์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สำรวย สังข์สะอาด)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและสร้างมัลติเปิลซ็อบปิ้งแกปขนาด 400 กิโลโวลต์

ชื่อ นายปรีชา คุ้มครอง

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สำรวย สังข์สะอาด

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา ๒๕๒๔

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้รายงานผลการศึกษา ค้นคว้าวิจัยหาวิธีออกแบบและสร้างมัลติเปิลซ็อบปิ้งแกป ขนาด 400 กิโลโวลต์ เพื่อใช้ประกอบเข้ากับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ทำให้เกิดรูปคลื่นตัดที่บังคับให้มีช่วงคลื่นตัดได้ตามที่ต้องการ ตั้งแต่ 1 ถึง 6 ไมโครวินาที โดยไม่ขึ้นอยู่กับขนาดแรงดันใช้งานตั้งแต่ 67 กิโลโวลต์ ถึง 400 กิโลโวลต์ โครงสร้างแบ่งออกเป็น 4 ชั้น ชั้นละ 100 กิโลโวลต์ สะดวกแก่การเพิ่มจำนวนชั้นในกรณีที่ต้องการใช้กับแรงดันสูงขึ้น สามารถถอดสับเปลี่ยนกันได้ง่าย ใช้ขันน้ำทำด้วยสแตนเลสทำหน้าที่เป็นสปาร์กแกปชั้นละหนึ่งแกปยึดอยู่บนคอลัมน์กระบอกพีวีซี ควบคุมการกระจายแรงดันของมัลติเปิลซ็อบปิ้งแกปด้วยคะแปซิเตอร์อยู่ในกระบอกพีวีซีอีกคอลัมน์หนึ่ง และออกแบบให้คอลัมน์คะแปซิ-เตอร์นี้ใช้เป็นโวลเตจดิไวเดอร์แบบคะแปซิเตอร์มีความต้านทานหน่วงต่ำ มีคะแปซิแตนซ์ 357 pF ความต้านทาน 280 โอห์ม ผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่ามัลติเปิลซ็อบปิ้งแกปสามารถบังคับเวลาช่วงคลื่นตัดได้ถูกต้องถึง 0.1 ไมโครวินาที คอลัมน์คะแปซิเตอร์โวลเตจดิไวเดอร์วัดแรงดันอิมพัลส์ได้ทั้งขั้วบวก ขั้วลบ รูปคลื่นเต็มและรูปคลื่นตัดมีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ ±1.14 % มีเวลาตอบสนอง 120 นาโนวินาที และใช้เป็นโหลดคะแปซิเตอร์ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ได้ด้วย

Thesis Title Design and Construction of a 400-kV Multiple Chopping Gap

Name Mr.Preecha Koomkrong

Thesis Advisor Assistant Professor Dr.Samruay Sangkasaad

Department Electrical Engineering

Academic Year 1981

ABSTRACT

This thesis dealt with the design and construction of a 400 kV multiple chopping gap for use with an impulse generator for generating chopped impulse voltages. The chopping time could be controlled in the range from 1 to 6 μsec at different levels of working voltages from 67 kV upto 400 kV. The multiple chopping gaps consisted of 4 stages, each of which was rated at 100 kV. All the stages were interchangeable and the number of stages could be expanded in case of higher voltages. Sparking gaps were made of stainless steel bowls supported by cylindrical PVC tubes. The voltage distribution across the multiple chopping gaps was controlled by high-voltage capacitors mounted inside a cylindrical PVC tube. The high-voltage capacitor column was used as a low damping capacitive voltage didiver, having the capacitance of 357 pF and resistance of 280 ohms for impulse voltage measurements. The tests show that the designed multiple chopping gap could regulate the specified chopping time to within 0.1 μsec. The column of the capacitor voltage divider can be applied for both polarities of impulse voltages and for full and chopped waves with an accuracy of ±1.14%. The response time of the divider is 120 nsec. The capacitor of the multiple chopping gap can also be used as a capacitive load of an impulse generator.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สำรวย สังข์สะอาด ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและผู้ควบคุมการทำค้นคว้าวิจัยที่กรุณาให้คำแนะนำทั้งด้านทฤษฎีและปฏิบัติ ตลอดจนได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณต่อ บริษัท ไทยแมกซ์เวล จำกัด บริษัท เจริญชัยหม้อแปลงไฟฟ้า จำกัด และบริษัท เอกรัฐวิศวกรรม จำกัด ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาค้นคว้าวิจัยเรื่องนี้ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความร่วมมือในการทดสอบ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการศึกษาค้นคว้าวิจัยเรื่องนี้ทุกท่านที่มิได้กล่าวนามไว้ในที่นี้ ท้ายนี้ผู้วิจัยขอบคุณอย่างยิ่งต่อ คุณวิมล ประทักษ์นุกูล ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดพิมพ์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนแล้วเสร็จสมบูรณ์

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

รายการตารางประกอบ ..... ฌ

รายการรูปประกอบ ..... ฎ

บทที่

1. บทนำทั่วไป 1

1.1 บทนำ 1

1.2 ปัญหาและวัตถุประสงค์ 4

1.3 ประวัติการวิจัยสร้างมัลติเปิลช็อบปิ้งแกป 4

1.4 แรงดันอิมพัลส์ 6

1.5 วงจรเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 11

2. ภาคทฤษฎีของมัลติเปิลช็อบปิ้งแกป 14

2.1 บทนำ 14

2.2 ส่วนประกอบของมัลติเปิลช็อบปิ้งแกป 14

2.3 หลักการทำงานของมัลติเปิลช็อบปิ้งแกป 16

2.4 ลักษณะสมบัติที่สำคัญของมัลติเปิลช็อบปิ้งแกป 17

2.4.1 พิสัยการกระตุ้น 17

2.4.2 การกระจัดกระจายเวลาช่วงคลื่นตัด 20

2.5 การใช้มัลติเปิลช็อบปิ้งแกปทำให้เกิดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัด 21

2.6 การควบคุมเวลาช่วงคลื่นตัด 24

2.7 การวัดแรงดันอิมพัลส์ด้วยคอลัมน์คะแปซิเตอร์ของมัลติเปิลช็อบปิ้งแกป 25

2.7.1 ผลตอบสนอง 25

2.7.2 อัตราส่วนแรงดันของโวลเตจดิไวเดอร์ 29

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.8 โวลเตจดิไวเดอร์แบบคะแปซิเตอร์มีความต้านทานหน่วงต่ำ 30

2.9 การใช้มัลติเปิลซ็อบปิ้งแกปเป็นโหลดคะแปซิเตอร์สำหรับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 32

3. การออกแบบและสร้างมัลติเปิลซ็อบปิ้งแกป 33

3.1 บทนำ 33

3.2 การออกแบบโครงสร้างทั่วไปและการฉนวน 34

3.3 การออกแบบคอลัมน์ควบคุมการกระจายแรงดัน 37

3.3.1 การเลือกคะแปซิเตอร์ 37

3.3.2 การเลือกค่าความต้านทาน 37

3.3.3 การจัดวางคะแปซิเตอร์และความต้านทาน 40

3.4 การออกแบบสปาร์กแกป 41

3.5 การออกแบบความต้านทานขนาน 43

3.5.1 การเลือกใช้วัสดุทำความต้านทานขนาน 43

3.5.2 การพันลวดความต้านทาน 44

3.6 การออกแบบภาคแรงต่ำของโวลเตจดิไวเดอร์ 45

3.6.1 การคำนวณหาค่าคะแปซิแตนซ์ภาคแรงต่ำ 45

3.6.2 ความต้านทานแมทชิ่ง 46

3.6.3 การประกอบภาคแรงต่ำ 46

4. การทดสอบและการประเมินผล 48

4.1 บทนำ 48

4.2 การทดสอบความคงทนต่อแรงดันตามข้อกำหนดของการฉนวน 48

4.3 การทดสอบเปรียบเทียบระหว่างการเบรคดาวน์ของอิเลคโตรดที่ใช้กับอิเลคโตรดแบบทรงกลม 50

4.4 การทดสอบหาพิสัยการกระตุ้นของมัลติเปิลซ็อบปิ้งแกป 53

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5 การทดสอบการใช้มัลติเปิลซ็อบปิ้งแกปทำให้เกิดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดลักษณะต่างๆ กัน 57

4.5.1 การทำให้เกิดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดที่เวลาช่วงคลื่นตัดต่างๆ กันแต่ระดับแรงดันค่าเดียวกัน 59

4.5.2 การทำให้เกิดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดที่เวลาช่วงคลื่นตัดและค่าของแรงดันคงที่ 60

4.5.3 การทำให้เกิดรูปคลื่นตัดของแรงดันอิมพัลส์ที่เวลาช่วงคลื่นตัดเท่ากันที่ค่าแรงดันต่างๆ 62

4.6 การทดสอบการวัดแรงดันอิมพัลส์ด้วยคอลัมน์ควบคุมการกระจายแรงดันของมัลติเปิลซ็อบปิ้งแกป 63

4.6.1 การทดสอบผลตอบสนองรูปขั้นและเวลาตอบสนองของคอลัมน์โวลเตจดิไวเดอร์ 63

4.6.2 การทดสอบหาอัตราส่วนแรงดันของคอลัมน์คะแปซิเตอร์โวลเตจดิไวเดอร์ 65

4.6.3 ใช้คอลัมน์คะแปซิเตอร์โวลเตจดิไวเดอร์ของมัลติเปิลซ็อบปิ้งแกปวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็ม 67

4.7 การทดสอบการใช้มัลติเปิลซ็อบปิ้งแกปทำให้เกิดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดพร้อมกับวัดแรงดัน 69

4.8 การทดสอบการใช้มัลติเปิลซ็อบปิ้งแกปเป็นโหลดคะแปซิเตอร์ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 73

4.9 การทดสอบความคงทนต่อแรงดันที่กำหนด 75

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5. สรุปและข้อเสนอแนะ 76

เอกสารอ้างอิง 78

ภาคผนวก

ก โครงสร้างทั่วไปของมัลติเปิลซ็อบปิ้งแกป 80

ข รายละเอียดส่วนประกอบ 84

ค ข้อกำหนดทางเทคนิคของทริกกาตรอน 93

ประวัติการศึกษา 94

รายการตารางประกอบ

หน้า

ตารางที่

1.1 แรงดันทดสอบระดับการฉนวนสำหรับแรงดันระบบสูงสุดมากกว่า 1 kV แต่น้อยกว่า 52 kV 2

1.2 แรงดันทดสอบระดับการฉนวนสำหรับแรงดันระบบสูงสุดตั้งแต่ 52 kV แต่น้อยกว่า 300 kV 2

4.1 เปรียบเทียบแรงดันอิมพัลส์เบรคดาวน์ 50 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างอิเลคโตรดที่ใช้กับอิเลคโตรดแบบทรงกลม 51

4.2 ค่าแรงดันอิมพัลส์เริ่มเบรคดาวน์ของมัลติเปิลช็อบปิ้งแกป 55

4.3 อัตราส่วนแรงดันของโวลเตจดิไวเดอร์ที่สร้างขึ้นจากคอลัมน์คะแปซิเตอร์ควบคุมการกระจายแรงดันของมัลติเปิลช็อบปิ้งแกป 67

4.4 เปรียบเทียบผลทดสอบการวัดค่าแรงดัน 67

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการรูปประกอบ

หน้า

รูป

1.1 แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่ารูปคลื่นเต็ม 7

1.2 แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่ารูปคลื่นตัด 8

1.3 แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดหน้าคลื่นเพิ่มอย่างเชิงเส้น 9

1.4 แรงดันอิมพัลส์แบบสวิทชิ่งรูปคลื่นเต็ม 10

1.5 วงจรพื้นฐานเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 11

1.6 แสดงวงจรเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์แบบหลายชั้น 13

2.1 วงจรมัลติเปิลซ็อบปิ้งแกป 15

2.2 พิสัยการกระตุ้นเฉพาะแกปล่างของมัลติเปิลซ็อบปิ้งแกป 18

2.3 เวลาช่วงคลื่นตัด และการกระจัดกระจายเวลาช่วงคลื่นตัด 20

2.4 วงจรทดสอบแรงดันอิมพัลส์ 22

2.5 ผลการใช้มัลติเปิลซ็อบปิ้งแกปสร้างแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดลักษณะต่างๆ 25

2.6 ผลตอบสนองรูปขั้นแบบต่างๆ ของโวลเตจดิไวเดอร์ในทางปฏิบัติ 26

2.7 ความคลาดเคลื่อนในการวัดเนื่องจากเวลาตอบสนอง 28

2.8 ผลตอบสนองของโวลเตจดิไวเดอร์แบบคะแปซิเตอร์ความต้านทานหน่วงต่ำ 31

3.1 ลักษณะของมัลติเปิลซ็อบปิ้งแกปหนึ่งชั้น 36

3.2 คอลัมน์ควบคุมการกระจายแรงดัน 40

3.3 ลักษณะของแกปใช้อิเลคโตรดรูปขันขอบมน 42

3.4 แกปมีตัวกระตุ้น 43

3.5 ความต้านทานขนาน 44

3.6 การประกอบภาคแรงต่ำของโวลเตจดิไวเดอร์ 47

3.7 มัลติเปิลซ็อบปิ้งแกปที่ออกแบบและสร้างขึ้น 47

4.1 แสดงการทดสอบความคงทนต่อแรงดันตามข้อกำหนดของการฉนวน 49

4.2 แสดงการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างการเบรคดาวน์ของอิเลคโตรดที่ใช้กับ
อิเลคโตรดแบบทรงกลม 50

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

หน้า

4.3 แสดงกราฟค่าแรงดันอิมพัลส์เบรคดาวน์ 50 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างอิเลคโตรดที่ใช้กับอิเลคโตรดแบบทรงกลม 52

4.4 แสดงการทดสอบหาพิสัยการกระตุ้นของมัลติเปิลซ็อบปิ้งแกป 54

4.5 แสดงพิสัยการกระตุ้นของมัลติเปิลซ็อบปิ้งแกป 56

4.6 แสดงการทดสอบการใช้มัลติเปิลซ็อบปิ้งแกปทำให้เกิดรูปคลื่นตัดของแรงดันอิมพัลส์ลักษณะต่างๆ กัน 58

4.7 แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดชนิดขั้วลบที่แรงดันคงที่แต่เวลาช่วงคลื่นตัดต่างกัน 59

4.8 แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดชนิดขั้วบวกที่แรงดันคงที่แต่เวลาช่วงคลื่นตัดต่างกัน 60

4.9 แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดขั้วลบที่เวลาช่วงคลื่นตัดและแรงดันคงที่ 61

4.10 แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดขั้วบวกที่เวลาช่วงคลื่นตัดและแรงดันคงที่ 61

4.11 แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดขั้วลบที่เวลาช่วงคลื่นตัดเท่ากันที่แรงดันต่างๆ 62

4.12 แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดขั้วบวกที่เวลาช่วงคลื่นตัดเท่ากันที่ค่าแรงดันต่างๆ 63

4.13 วงจรการทดสอบผลตอบสนองรูปขั้น 64

4.14 ผลตอบสนองรูปขั้นของมัลติเปิลซ็อบปิ้งแกป 65

4.15 แสดงการทดสอบการใช้คอลัมน์คะแปซิเตอร์โวลเตจดิไวเดอร์ของมัลติเปิลซ็อบปิ้งแกปวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็ม 68

4.16 ผลการทดลองใช้คอลัมน์คะแปซิเตอร์โวลเตจดิไวเดอร์ของมัลติเปิลซ็อบปิ้งแกปวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็ม 69

4.17 แสดงการทดสอบการใช้มัลติเปิลซ็อบปิ้งแกปทำให้เกิดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดพร้อมกับการวัด 70

4.18 ผลการทดลองใช้มัลติเปิลซ็อบปิ้งแกปทำให้เกิดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดขั้วลบพร้อมกับวัดแรงดัน 71

4.19 ผลการทดลองใช้มัลติเปิลซ็อบปิ้งแกปทำให้เกิดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดขั้วบวกพร้อมกับวัดแรงดัน 72

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

หน้า

4.20 แสดงการทดสอบการใช้มัลติเปิลซ็อบปิ้งแกปเป็นโหลดคะแปซิเตอร์ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 73

4.21 ผลการทดลองใช้มัลติเปิลซ็อบปิ้งแกปทำหน้าที่เป็นโหลดคะแปซิเตอร์ให้กับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 74

4.22 ผลการทดสอบความคงทนต่อแรงดันตามกำหนด 75