ชื่อโครงการ การออกแบบสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันและกระแสอิมพัลส์หลายรูปคลื่น พิกัด 60 kV, 30 kA

แหล่งเงิน เงินรายได้

ประจำปีงบประมาณ 2555 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 200,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2554 ถึง กันยายน 2555

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

1. ดร.พีรวุฒิ ยุทธโกวิท (หัวหน้าโครงการวิจัย) สังกัด สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
2. นายปุณยวีร์ ฉายศิริ สังกัด สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

## บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า 8/20 μs พิกัด 40 kA โดยรูปคลื่นที่สร้างขึ้นอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 60060-1 กำหนด โดยสามารถนำไปใช้ในการทดสอบอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินที่ใช้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ วงจรสร้างแรงดันและกระแสอิมพัลส์เป็นแบบตัวเก็บประจุ ตัวต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำต่ออนุกรมกัน ค่าความจุไฟฟ้าอัดประจุรวมสูงสุดของเครื่องกำเนิดแรงดันและกระแสอิมพัลส์เท่ากับ 4 μF ค่าความต้านทานเท่ากับ 2 Ω, 4 Ω และ 8 Ω โดยเป็นตัวต้านทานแบบไร้ความเหนี่ยวนำ ใช้วิธีการพันขดลวดความต้านทานนิกเกิล-โครเมียมในลักษณะพันสวนทิศทาง ค่าความเหนี่ยวนำหน้าคลื่นมีค่าเท่ากับ 17.25 μH ใช้วิธีพันขดลวดพันบนท่อพีวีซี ในส่วนฉนวนของตัวต้านทานและความเหนี่ยวนำที่ใช้เป็นแผ่นไมล่า

**คำสำคัญ :** เครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์, เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์, กับดักแรงดันเกิน

**Research Title:** A Multi-Impulse Voltage and Current Generator Rated 60 kV, 30 kA
**Researcher:** Dr.Peerawut Yutthagowith
**Faculty:** Engineering **Department:** Electrical Engineering

## ABSTRACT

This final report presents a design and construction of an impulse current generator that can generate a lightning impulse current of 8/20 μs waveform with rated of 40kA. The generated current waveform is accordance with IEC 60060-1. The generator can use for testing of lightning arrester used in the distribution system. The circuit for impulse current generation is a series connection of a capacitor, a resistor, and an inductor. The maximum total charging capacitance is 4 μF. The non - inductance resistors of 2, 4 and 8 Ω is made of nickel – chromium resistance wire with configuration of the counter wound and the inductor of 17.25 μH is wound on a tubes of polyvinyl chloride; PVC. The Mila film is used for insulation of the resistor and the inductor.

**Keywords:** Impulse current generator, Impulse voltage generator, Arrestor

# กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนเงินทุนในโครงการวิจัยนี้

ขอขอบคุณคุณปิยะพล ถือทอง คุณสรรชัย อานอาชา คุณกฤษณ์ กิจวัฒนา คุณชเยศ กองจันทร์ดี คุณบุญเลิศ เมฆลอย คุณบุษยพล เพาพาน คุณชาติอริยะ ประเสริฐสังข์ คุณบัญญัติ ลีลาจริยกุล และคุณนวคุณ ไตรรัตนาภิรักษ์ นักศึกษาปริญญาโทประจำห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง สจล. ที่ให้ความช่วยเหลือในการทดสอบมาโดยตลอด

ดร.พีรวุฒิ ยุทธโกวิท
นายปุณยวีร์ ฉายศิริ

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| **บทคัดย่อ** | I |
| ABSTRACT | II |
| **กิตติกรรมประกาศ** | III |
| **สารบัญ** | IV |
| **สารบัญรูปภาพ** | VI |
| **สารบัญตาราง** | VIII |
| **บทที่ 1 บทนำ** | **1** |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน | 1 |
| 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน | 2 |
| 1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงานโครงงาน | 2 |
| 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน | 3 |
| 1.6 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง | 3 |
| **บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง** | **5** |
| 2.1 ลักษณะรูปคลื่นกระแสอิมพัลส์มาตรฐาน | 5 |
| 2.1.1 องค์ประกอบของรูปคลื่นกระแสอิมพัลส์ | 6 |
| 2.1.2 ค่าวามคลาดเคลื่อนของรูปคลื่นกระแสอิมพัลส์มาตรฐาน | 6 |
| 2.1.3 ค่าความคลาดเคลื่อนของรูปคลื่นกระแสอิมพัลส์ขนาด 8/20 μs ตามมาตรฐาน IEC 60060–1 | 6 |
| 2.2 วงจรและหลักการทำงานของเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ | 7 |
| 2.2.1 ตัวเก็บประจุ ($C_S$) | 7 |
| 2.2.1.1 ช่วงการอัดประจุ | 8 |
| 2.2.1.2 ช่วงคายประจุ | 9 |
| 2.2.2 ความต้านทานกระแสอัดประจุ ($R_L$) | 10 |
| 2.2.3 ตัวต้านทานปรับรูปคลื่น | 10 |
| 2.2.4 เทคนิคการพันตัวต้านทานแบบไร้ความเหนี่ยวนำ | 10 |
| 2.2.5 สปาร์กแกป | 12 |
| 2.2.6 ตัวแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divider, VD) | 12 |
| 2.2.7 การวัดกระแสอิมพัลส์ | 13 |
| 2.2.7.1 มาตรฐานของระบบการวัดกระแสอิมพัลส์ | 13 |
| 2.2.7.2 หลักการของโรกอฟสกีคอยล์ | 13 |
| 2.2.7.3 หลักการทำงานของโรกอฟสกีคอยล์แบบพาสซีฟ ชนิด Self Integrator | 15 |

# สารบัญ (ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| **บทที่ 3 การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์** | **18** |
| 3.1 การออกแบบและสร้างโวลท์เตจดิไวเดอร์ | 18 |
| 3.2 รูปคลื่นกระแสอิมพัลส์ฟ้าผ่ามาตรฐาน | 18 |
| 3.3 วงจรพื้นฐานเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า | 19 |
| 3.4 การคำนวณค่าองค์ประกอบวงจรเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ | 21 |
| 3.5 การจำลองสร้างกระแสอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า โดยใช้โปรแกรม PSpice | 23 |
| 3.5.1 วงจรสร้างเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า ด้วย PSpice | 24 |
| 3.5.2 ผลการจำลองวงจรเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ | 24 |
| 3.6 การออกแบบตัวเก็บประจุอิมพัลส์ | 25 |
| 3.7 การออกแบบตัวต้านทานสำหรับรูปคลื่น | 26 |
| 3.8 การออกแบบตัวต้านทานกระแสอัดประจุ | 27 |
| 3.9 ความต้านทานจำกัดกระแสอัดประจุ ($R_L$) | 29 |
| 3.9.1 การหาค่าความต้านทาน ($R_L$) | 29 |
| 3.10 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำ | 31 |
| 3.11 การออกแบบชุดโหลด | 32 |
| 3.12 ชุดควบคุมช่องว่างทรงกลม | 33 |
| **บทที่ 4 การทดสอบและการวิเคราะห์ผล** | **34** |
| 4.1 การทดสอบตัวเก็บประจุอิมพัลส์ | 34 |
| 4.2 การทดสอบตัวต้านทานของเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ | 34 |
| 4.3 การทดสอบค่าตัวเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ | 35 |
| 4.4 การทดสอบเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน | 36 |
| 4.5 การทดสอบเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า | 37 |
| 4.6 การทดสอบการปรับรูปคลื่น | 39 |
| **บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลผลการทดลอง** | **43** |
| 5.1 สรุปผลการดำเนินงานโครงงาน | 43 |
| **เอกสารอ้างอิง** | 44 |

# สารบัญรูป


| รูปที่ | หน้า |
|---|---|
| 2.1 การเกิดฟ้าผ่า | 5 |
| 2.2 ลักษณะรูปคลื่นกระแสอิมพัลส์มาตรฐาน | 5 |
| 2.3 วงจรเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ | 7 |
| 2.4 ตัวอย่างการพันตัวเหนี่ยวนำ | 11 |
| 2.5 วงจรวัดแรงดันอิมพัลส์ | 13 |
| 2.6 การวัดกระแสด้วยโรกอฟสกีคอยล์ | 14 |
| 2.7 หลักการวัดด้วยโรกอฟสกีคอยล์ | 14 |
| 2.8 โรกอฟสกีคอยล์ชนิด Self integrator | 15 |
| 2.9 ผลตอบสนองทางความถี่ของโรโกวสกี้คอยล์ชนิด Self integrator | 16 |
| 3.1 ลักษณะรูปคลื่นกระแสอิมพัลส์ฟ้าผ่าตามมาตรฐาน IEC | 18 |
| 3.2 วงจรเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์พื้นฐาน | 20 |
| 3.3 คลื่นกระแสอิมพัลส์ | 21 |
| 3.4 เวลาหน้าคลื่น และเวลาหลังคลื่นบนระนาบความต้านทาน ความเหนี่ยวนำ และความจุไฟฟ้าในกรณีกระแสอิมพัลส์ฟ้าผ่า 8/20 μs | 22 |
| 3.5 ค่ายอดกระแสต่อความจุไฟฟ้า (μF) ต่อแรงดันอัดประจุ (kV) บนระนาบความต้านทาน ความเหนี่ยวนำและความจุไฟฟ้าในกรณีกระแสอิมพัลส์ฟ้าผ่า8/20μs | 22 |
| 3.6 วงจรจำลองเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ | 24 |
| 3.7 ผลการจำลองเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ | 24 |
| 3.8 ตัวเก็บประจุ | 25 |
| 3.9 ออกแบบการสร้างตัวเก็บประจุ | 26 |
| 3.10 วิธีการพันตัวต้านทาน | 27 |
| 3.11 วิธีการพันตัวต้านทาน (ทฤษฎี) | 27 |
| 3.12 กราฟแสดงค่าสภาพต้านทานของสารละลาย $CuSO_4$ ในน้ำกลั่น 1 ลิตร | 28 |
| 3.13 สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต | 28 |
| 3.14 น้ำกลั่น | 29 |
| 3.15 เครื่องวัดความนำไฟฟ้าของสารละลาย | 29 |
| 3.16 ตัวต้านทานจำกัดกระแสอัดประจุ | 31 |
| 3.17 อุปกรณ์ที่ใช้ในการพันตัวเหนี่ยวนำ | 31 |
| 3.18 วิธีการพันตัวเหนี่ยวนำ | 32 |
| 3.19 เครื่องวัด RLC | 32 |
| 3.20 ชุดโหลด | 33 |
| 3.21 ชุดควบคุมช่องว่างทรงกลม | 33 |
| 4.1 วงจรการทดสอบตัวเก็บประจุอิมพัลส์ | 34 |
| 4.2 ตัวต้านทานปรับรูปคลื่น | 35 |
| 4.3 ตัวต้านทานจำกัดกระแสอัดประจุ | 35 |

# สารบัญรูป (ต่อ)


| รูปที่ | หน้า |
|---|---|
| 4.4 เครื่องวัด RLC | 36 |
| 4.5 วงจรเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ | 36 |
| 4.6 เครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ | 37 |
| 4.7 กระแสอิมพัลส์ฟ้าผ่า 8/20 μs ที่ได้จากการทดสอบลัดวงจร | 37 |
| 4.8 กระแสอิมพัลส์ฟ้าผ่า 4/10 μs ที่ได้จากการทดสอบลัดวงจร | 38 |
| 4.9 กระแสอิมพัลส์ฟ้าผ่าที่ได้จากการทดสอบกับดักแรงดันเกิน | 38 |
| 4.10 กระแสสูงอิมพัลส์ที่ได้จากการทดสอบกับดักแรงดันเกิน | 39 |
| 4.11 แรงดันคงเหลือเมื่อทดสอบกระแสอิมพัลส์ 5 kA | 39 |
| 4.12 กระแสอิมพัลส์ฟ้าผ่าที่ได้จากการทดสอบกับดักแรงดันเกิน | 40 |
| 4.13 แรงดันคงเหลือที่ได้จากการทดสอบกระแสอิมพัลส์ฟ้าผ่า | 40 |
| 4.14 กระแสสูงอิมพัลส์ที่ได้จากการทดสอบกับดักแรงดันเกิน | 40 |
| 4.15 แรงดันคงเหลือที่ได้จากการทดสอบกระแสสูงอิมพัลส์ | 41 |
| 4.16 กระแสอิมพัลส์ฟ้าผ่าที่ได้จากการทดสอบกับดักแรงดันเกิน | 41 |
| 4.17 แรงดันคงเหลือที่ได้จากการทดสอบกระแสอิมพัลส์ฟ้าผ่า | 41 |
| 4.18 กระแสสูงอิมพัลส์ที่ได้จากการทดสอบกับดักแรงดันเกิน | 42 |
| 4.19 แรงดันคงเหลือที่ได้จากการทดสอบกระแสสูงอิมพัลส์ | 42 |

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | หน้า |
|---|---|
| 1.1 แผนการดำเนินโครงงาน | 3 |
| 2.1 ชนิดของรูปคลื่นกระแสอิมพัลส์มาตรฐาน | 5 |
| 3.1 ค่าเวลาที่กำหนดและค่าความคลาดเคลื่อนของรูปคลื่นกระแสอิมพัลส์ ตามมาตรฐานIEC 60060-1 | 19 |
| 3.2 ค่าองค์ประกอบของวงจรสร้างกระแสอิมพัลส์ | 23 |
| 3.3 ค่าองค์ประกอบรูปคลื่นกระแสอิมพัลส์เมื่อใช้ค่าองค์ประกอบของวงจร | 23 |
| 3.4 ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้จำลองวงจร | 24 |
| 3.5 ผลการจำลองเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ | 25 |
| 3.6 อุปกรณ์การต่อตัวเก็บประจุ | 25 |
| 3.7 ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้การทำตัวต้านทาน | 28 |
| 4.1 ผลการทดสอบค่าองค์ประกอบตัวต้านทานของเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ | 35 |
| 5.1 ค่าองค์ประกอบของวงจรสร้างกระแสอิมพัลส์ | 43 |