

โพลติอิเล็กทรอนิกส์ป้องกันแรงดันเกินแบบสเวลล์

Electronics Load Performance for Voltage Swell Protection

นิวัตธ์ วรรณวงศ์*

Niwat Wanawong*

*สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคนครปฐม นครปฐม 73000

*Electrical Technology Department, Nakhonpathom Technical College, Nakhonpathom 73000

Received : December 14, 2020 Revised : December 22, 2020 Accepted : December 28, 2020

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบโพลติอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการป้องกันแรงดันไฟเกินของไฟฟ้ากระแสสลับเกิดจากการเสิร์จ (Surge) เนื่องมาจากข้อบกพร่องแรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าเฟสเดียว (Single Phase/220 V) โดยใช้หลักการโพลติอิเล็กทรอนิกส์ในการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากับเวลาที่เกิดขึ้นเพื่อให้สามารถดำเนินงานต่อไปได้ จากคุณสมบัติของการออกแบบอุปกรณ์สามารถป้องกันแรงดันไฟฟ้าแบบสเวลล์ โดยการทดสอบสัญญาณที่สร้างขึ้นและแรงดันไฟ (rms) ร่วมกับมาตรฐานที่ใช้กับแรงดันไฟเฟสเดียว (220 V) จากการทดสอบผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบอุปกรณ์เพื่อต้องการที่จะลดแรงดันไฟเกินที่สูงกว่าค่ามาตรฐานโดยใช้เวลา 10 มิลลิวินาที - 1 นาที ในขณะที่ผลลัพธ์ที่ได้จากวงจรที่ใช้ในปัจจุบันปรับปรุงแก้ไขและมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพไฟฟ้าในประเทศไทยในระบบการส่งจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ได้ผลดีขึ้น เพื่อเพิ่มระยะเวลาการใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้า

คำสำคัญ : โพลติอิเล็กทรอนิกส์, การป้องกันแรงดันเกิน, แรงดันไฟแบบสเวลล์

Abstract

The purposes of the research were : designs AC Electronics load surge protection to carry electric surge load arisen from faults in low-voltage electricity system (single phase/220V) value shows that clamping voltage was still within the specified standards (220 V). After the tested, the results complied with the design that this continue to work. The qualification of the designed device could prevent voltage swell. The test where test signals were generated with different RMS with the principle of electronics load clamping voltage during induction period there for electric voltage could go through to safe load and mode device will reduce over voltage which occurs when RMS is higher than the specified standards. The duration is approximately 10mS - 1min. As the results, the circuit is used to improve and modify the electrical power quality in Thailand electricity distribution system more effective than the past and help increase the lifetime of appliances, devices, and electricity protection equipments.

Keywords : Electronics Load, Over-Voltage Protection, Voltage Swell

*นิวัตธ์ วรรณวงศ์

E-mail : niwatwanawong@gmail.com

1. บทนำ

ในปัจจุบันโลกมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านเทคโนโลยี และมีการพัฒนาในงานด้านต่าง ๆ มากมายทั้งทาง เศรษฐกิจ สังคม ความเป็นอยู่ของผู้คน การศึกษาและ สิ่งแวดล้อม ตลอดทั้งในส่วนของภาครัฐและเอกชนทั่วไป ได้มีการนำเอาเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์และ คอมพิวเตอร์เข้ามาใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็น การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล การจัดการระบบสารสนเทศ การวางแผน การดำเนินงาน ในองค์กร ตลอดจนการเอามาใช้งานด้านการควบคุม การทำงาน และการออกแบบเครื่องมือเครื่องใช้ และการนำมาใช้ในงานควบคุมเครื่องจักรในงานอุตสาหกรรม ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งเทคโนโลยีเหล่านี้ล้วนมาจากการนำเอาอุปกรณ์ทางด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มา ใช้ การที่จะใช้งานอุปกรณ์เหล่านี้ให้สามารถทำงานได้ดีนั้น ก็ขึ้นอยู่กับระบบไฟฟ้าที่เชื่อมต่อ (ตฤณ แสงสุวรรณ, 2556) ดังนั้นคุณภาพและกำลังของไฟฟ้าก็มีผลต่อ การทำงานของอุปกรณ์ เพื่ออุปกรณ์ที่นำมาใช้ไม่เกิด การทำงานที่ผิดพลาด จนส่งผลให้เกิดความเสียหายหรือ การทำงานหยุดชะงักได้

สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาของคุณภาพกำลังไฟฟ้า มาจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ สภาวะผิดปกติ (Fault) ทางไฟฟ้า การกระทำการสวิตซ์อุปกรณ์ การใช้อุปกรณ์ ที่ไม่เป็นเชิงเส้น และการเชื่อมต่อลงดินอย่างไม่ถูกต้อง ในระบบไฟฟ้า (อำนาจ สุกสุกใส, 2542) ซึ่งอุปกรณ์ ที่นำมาใช้งานในปัจจุบันนี้ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงระดับ กระแสและแรงดันไฟฟ้าที่มี การเปลี่ยนแปลงหาก เมื่อระบบไฟฟ้าขาดความเสถียรภาพและคุณภาพที่ดีแล้ว แรงดันไฟเกินนี้ย่อมจะส่งผลต่อ การทำงานของอุปกรณ์ ด้วย การป้องกันความเสียหายที่เกิดจากไฟกระชอก (Surge) อุปกรณ์ที่มีจำหน่ายทั่วไปส่วนมากจะนำเข้าจาก ต่างประเทศ ราคาค่อนข้างสูงโดยอุปกรณ์ป้องกันยังไม่ สามารถแก้ไขปัญหาแรงดันเกินช่วงสั้นได้ดีนัก รวมทั้ง ระบบการใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่แรงดันเกินช่วงสั้นได้ดี นั้น รวมทั้งระบบการใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่นำมาใช้งาน ในแต่ละประเทศก็มีความแตกต่างกันความสามารถ ในการจำลองและทดสอบวงจรป้องกันไฟเกินในสภาวะ ชั่วขณะโดยการนำเอาอุปกรณ์จำลองการป้องกันไฟเกิน คือวาริสเตอร์ชนิดโลหะออกไซด์ (MOV : Metal Oxide Varistor) มาเพื่อทดสอบความสามารถในการรับไฟเกินใน สภาวะชั่วขณะ (ศักดิ์ทงค์ วงศ์เจริญ, 2550) โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Pspice) มาใช้ในการพัฒนา และออกแบบวงจรที่สามารถป้องกันแรงดันไฟเกินชั่วขณะ โดยการอาศัยความสามารถในการจำลองสถานการณ์ เมื่อมีแรงดันไฟเกินเข้ามาในระบบไฟฟ้าซึ่งอุปกรณ์ป้องกัน

ไฟฟ้าในปัจจุบันจะทนแรงดันเกินเสิร์จได้ไม่เกิน 1 KV ส่งผลให้เกิดความเสียหายหรือการทำงาน หยุดชะงักได้ของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบ (ธนวัฒน์ ฉลาดสกุล, 2547)

ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ป้องกันแรงดัน เกินที่สามารถลดทอนแรงดันเกินให้คงเหลือราว 600 V โดยที่แรงดันระดับนี้อุปกรณ์ใช้งานทั่วไปยังสามารถรับได้ โดยไม่เกิดความเสียหายต่อวงจรภายในทำให้สามารถ ออกแบบวงจรที่จะป้องกันอุปกรณ์ไม่ให้เกิดความเสียหายได้ หรืออันตรายและทำให้ไม่มีค่าใช้จ่ายสิ้นเปลืองเกิดขึ้น

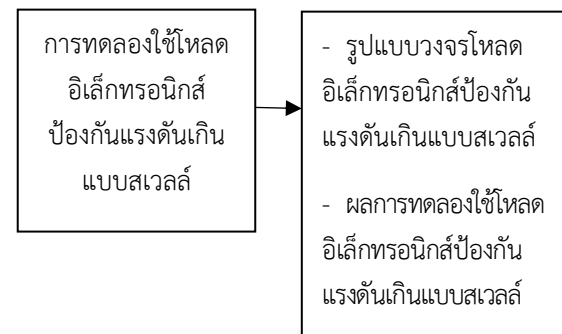
2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบโพลติอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการ ป้องกันแรงดันไฟเกินของไฟฟ้ากระแสสลับ เกิดจาก การเสิร์จ (Surge) เนื่องมาจากข้อบกพร่องแรงดันไฟต่ำ ในระบบไฟฟ้าเฟสเดียว (Single Phase/220 V)

2.2 เพื่อทดลองใช้อุปกรณ์ลดทอนแรงดันไฟเกิน ในสภาวะชั่วขณะโดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Pspice) ในการสร้างและวิเคราะห์การทำงาน

3. กรอบแนวคิดการวิจัย

ผู้วิจัยกำหนดกรอบแนวคิดการวิจัยใช้อุปกรณ์ลดทอน แรงดันไฟเกินที่สร้างขึ้นมีส่วนประกอบหลักได้แก่ ตัวเหนี่ยวนำ และวาริสเตอร์ (MOV : Metal Oxide Varistor) ดังนี้



ภาพที่ 1 ภาพแสดงกรอบแนวคิดการวิจัย

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

4.1 ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขต ของการวิจัยดังนี้

4.1.1 ออกแบบอุปกรณ์จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Pspice) และจำลองสถานการณ์โปรแกรมการทดลอง และออกแบบอุปกรณ์ ควบคุมระดับแรงดันไฟเกินใน ระบบไฟฟ้าแรงต่ำเฟสเดียวแรงดันไฟฟ้า 50 โวลต์ 220 Hz

4.1.2 อุปกรณ์ลดทอนแรงดันไฟเกินที่สร้างขึ้น

มีส่วนประกอบหลักได้แก่ ตัวเหนี่ยวนำ และวาริสเตอร์ (MOV : Metal Oxide Varistor)

4.1.3 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ลวดทองแดงแรงดันไฟเกินในสถานะชั่วขณะใช้โปรแกรม (Pspice) ในการสร้างและวิเคราะห์การทำงาน สถานการณ์ให้มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุด 6,000 50/1.2 โวลต์ แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่น μS ตามมาตรฐาน IEC และ IEEE

4.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

4.2.1 ศึกษาค้นคว้างานวิจัย ข้อมูล บทความและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวัสดุและอุปกรณ์ลวดทองแดงแรงดันไฟเกินทางด้านเอซี

4.2.2 ออกแบบและสร้างวงจรต้นแบบตามแนวทางที่ได้กำหนดไว้

4.2.3 ทดสอบการทำงานของวงจรป้องกันแรงดันไฟกระชอกโดยใช้โปรแกรม (Pspice) ในการสร้างและวิเคราะห์การทำงานจำลองสถานการณ์

4.2.4 นำผลการจำลองสถานการณ์ที่เขียนและทดสอบจากโปรแกรม (Pspice) มาสร้างอุปกรณ์จริงตามที่ได้ออกแบบไว้

4.2.5 หาประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์จากการทดลองซึ่งอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าในปัจจุบันจะทนแรงดันเกินเสิร์จได้ไม่เกิน 1 KV ส่งผลให้เกิดความเสียหายหรือการทำงานหยุดชะงักได้ของอุปกรณ์ฟ้าในระบบผู้วิจัยจึงได้ศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินที่สามารถลดทอนแรงดันเกินให้คงเหลือ 576.631 V

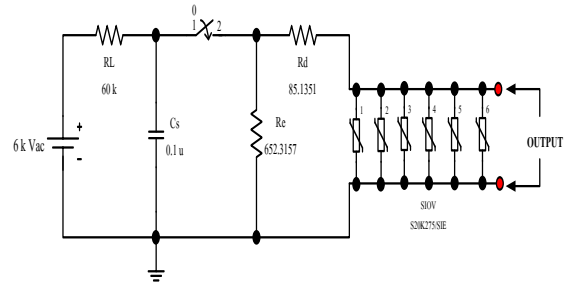
4.2.6 สรุปผลการทำงานของวงจรและอุปกรณ์ลดทอนแรงดันไฟเกินในสถานะชั่วขณะโดยโหลดอิเล็กทรอนิกส์แบบสเวลล์

5. ผลการวิจัย

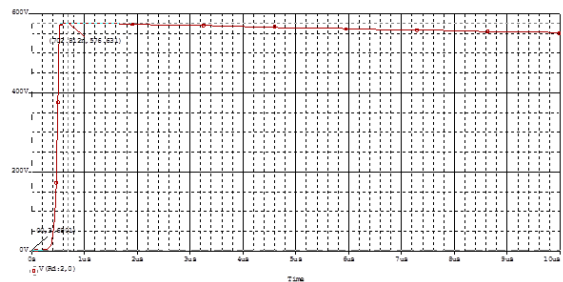
5.1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Pspice) มาใช้ในการพัฒนาและออกแบบวงจรที่สามารถป้องกันแรงดันไฟเกินชั่วขณะโดยการอาศัยความสามารถในการจำลองสถานการณ์เมื่อมีแรงดันไฟเกินเข้ามาในระบบไฟฟ้าซึ่งอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าในปัจจุบันจะทนแรงดันเกินเสิร์จไม่เกิน 1 KV

ส่งผลให้เกิดความเสียหายหรือการทำงานหยุดชะงักได้ของอุปกรณ์ฟ้าในระบบได้ศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินที่สามารถลดทอนแรงดันเกินให้คงเหลือราว 600V ในการใช้อุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกิน MOV 1 ตัว และได้เพิ่มอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกิน MOV 6 ตัวมาต่อขนานเข้ากับวงจร คงเหลือแรงดัน 576.631 V

ผลจากการโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Pspice) วิเคราะห์การทำงานของอุปกรณ์ป้องกันโหลดที่ใช้ MOV ต่อขนานกับวงจรป้องกันแรงดันเกินและได้เพิ่มอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินจำนวน 1,2,3,4,5,6 ตัว ดังนี้



ภาพที่ 2 ภาพแสดงการทดสอบด้วยโปรแกรม PSpice ด้วย MOV 6 ตัว



ภาพที่ 3 ภาพแสดงลักษณะรูปคลื่นสัญญาณ กรณีทดสอบ MOV ที่แรงดัน (1.2/50 μS) โวลต์ 6000

ตารางที่ 1 บันทึกผลการทดลอง (MOV) ที่ระดับแรงดัน 1000-โวลต์ 6000

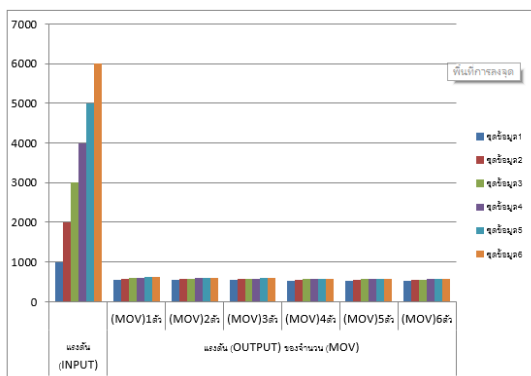
ลำดับ	แรงดัน (INPUT)	แรงดัน (OUTPUT) ของจำนวน (MOV)					
		(MOV) 1 ตัว	(MOV) 2 ตัว	(MOV) 3 ตัว	(MOV) 4 ตัว	(MOV) 5 ตัว	(MOV) 6 ตัว
1	1000	559.999	547.590	540.722	535.951	532.248	529.225
2	2000	586.448	571.108	562.898	557.505	553.194	549.876
3	3000	600.147	583.020	573.999	567.963	563.461	559.887
4	4000	609.949	590.424	581.763	575.343	570.576	566.806
5	5000	617.782	598.047	587.855	581.111	576.122	572.185
6	6000	624.375	603.590	592.939	585.903	580.715	576.631

จากตารางที่ 1 พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่อินพุตมีค่า 6 KV ใช้อุปกรณ์ป้องกันโวลต์อิเล็กทรอนิกส์แบบ MOV ต่อขนาน 6 ตัว แรงดันไฟฟ้าที่ได้จะลดลงเหลือ 576.631 V ที่ใช้ป้องกันอุปกรณ์เป็นค่าที่ส่งผลไม่ให้เกิดความเสียหายและการทำงานไม่หยุดชะงักได้ของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบได้

5.2 ผลการทดลองใช้โวลต์อิเล็กทรอนิกส์ป้องกันแรงดันเกินแบบสเวลล์

ผลจากการทดลองใช้นำมาวิเคราะห์ที่ได้นี้

5.2.1 ผลการวิเคราะห์จากตารางที่ 1 กราฟแสดงการบันทึกการทดลอง (MOV) ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 1000-6000 โวลต์



ภาพที่ 4 ภาพแสดงกราฟแสดงการบันทึกการทดลอง (MOV) ที่ระดับแรงดัน 1000-6000 โวลต์

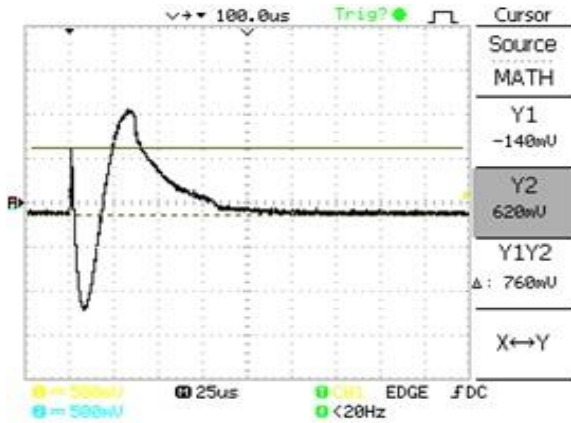
5.2.2 ผลการทดลองโวลต์อิเล็กทรอนิกส์ป้องกันแรงดันไฟเกินแบบสเวลล์ด้วยเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

ตารางที่ 2 บันทึกการทดลอง กรณีทดสอบ MOV ที่ระดับแรงดัน 1000 -6000 โวลต์ (1.2/50 μ S)

ลำดับ	จำนวน MOV (ตัว)	แรงดัน (INPUT)	แรงดัน (OUTPUT)
1	6	1000	488 mV
2	6	2000	552 mV
3	6	3000	600 mV
4	6	4000	380 mV
5	6	5000	620 mV
6	6	6000	760 mV

จากตารางที่ 2 พบว่าการทดลองชุดโวลต์อิเล็กทรอนิกส์ป้องกันแรงดันไฟเกินแบบสเวลล์ด้วยเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์เป็นแรงดันที่มีรูปคลื่นเลียนแบบมาจากแรงดันเกินที่เกิดจากสาเหตุจากภายนอกเกี่ยวข้องกับฟ้าผ่าเรียกว่าแรงดันอิมพัลส์ทดสอบอุปกรณ์ก่อนใช้งาน ผลปรากฏว่าอุปกรณ์ MOV ที่เป็นโวลต์ขนาน 6 ตัว ผลที่ได้ 760 mV มีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าสามารถนำไปใช้งานได้

5.2.3 ผลการทดสอบแรงดันอิมพัลส์ลักษณะรูปคลื่นสัญญาณ ในกรณีใช้อุปกรณ์ MOV ที่แรงดัน (1.2/50 μ S) โวลต์ 6000



ภาพที่ 5 ภาพแสดงลักษณะรูปคลื่นสัญญาณ กรณีทดสอบ MOV ที่แรงดัน (1.2/50 µS) โวลต์ 6000

7. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาและพัฒนาออกแบบโพลติอิเล็กทรอนิกส์สำหรับที่ใช้แรงดันไฟเกินที่ใช้ในไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดจากการลัดวงจรที่มีผลจากข้อบกพร่องทางแรงดันไฟฟ้าโดยการออกแบบอุปกรณ์และการป้องกันแรงดันไฟแบบสเวทช์เพื่อที่จะลดแรงดันไฟเกินที่มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานโดยใช้การจำลองสถานการณ์เพื่อเลียนแบบการทำงานของอุปกรณ์แรงดันไฟกับสัญญาณที่ใช้กับโพลติอิเล็กทรอนิกส์ในโปรแกรม (Pspice) สำหรับใช้ช่วยในการวิเคราะห์หรือออกแบบพัฒนา คุณสมบัติของวงจรกำจัดลัดวงจรด้านแรงดันไฟต่ำให้สามารถใช้ป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพวงจรที่ออกแบบมานี้สามารถป้องกันแรงดันเกินลัดวงจรได้ตามมาตรฐานกำหนด โดยมีแรงดันขาออกอยู่ประมาณ 576.63 V - 600 V ซึ่งสามารถทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ต่ออยู่สามารถทำงานได้ตามปกติ

8. อภิปรายผลการวิจัย

จากการทดลองวงจรพัฒนาออกแบบโพลติอิเล็กทรอนิกส์สำหรับที่ใช้แรงดันไฟเกินที่ใช้ในไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดจากการลัดวงจรที่มีผลจากข้อบกพร่องทางแรงดันไฟฟ้าโดยการออกแบบอุปกรณ์และการป้องกันแรงดันไฟแบบสเวทช์เพื่อที่จะลดแรงดันไฟเกินที่มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบอุปกรณ์สามารถลดทอนแรงดันไฟเกินที่สูงเกินมาตรฐานได้โดยใช้เวลา 10 มิลลิวินาที - 1 นาที่พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่อินพุตมีค่า 6 KV ใช้อุปกรณ์ป้องกันโพลติอิเล็กทรอนิกส์แบบ MOV ต่อขนาน 6 ตัวแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะลดลงเหลือ 576.631 V ที่ใช้ป้องกันอุปกรณ์เป็นค่าที่ส่งผลไม่ให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบได้ ผลการศึกษาสอดคล้องกับผลการศึกษาของ ภูซงค์ รุ่งเรือง รัฐพล มั่งคั่ง และอธิรุจน์ เจริญจิตร

(2556) ซึ่งทำการศึกษาทดลองแบบจำลองการควบคุมแรงดันเกินในระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า ผลการศึกษาพบว่าวัสดุที่นำมาทดสอบจะต้องมีประสิทธิภาพที่ดี สามารถทนต่อแรงดันสูงชั่วขณะที่นำมาทดสอบได้เพื่อความปลอดภัยของระบบไฟฟ้า

9. ข้อเสนอแนะ

9.1 ออกแบบโพลติอิเล็กทรอนิกส์ให้มีประสิทธิภาพที่ทนแรงดันไฟฟ้าเกินให้มีความทนทานมากขึ้น

9.2 เพิ่มจำนวนอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินอุปกรณ์ MOV

9.3 ผลการจำลองอุปกรณ์โพลติอิเล็กทรอนิกส์ป้องกันแรงดันเกินลัดวงจรที่ได้แรงดันขาออกจะมีค่าประมาณ 400 - 600V ซึ่งแท้จริงแล้วแรงดันขาออกควรมีค่าประมาณ 600 V ที่เป็นเช่นนั้นเพราะในการติดตั้งองค์ประกอบโพลติอิเล็กทรอนิกส์แต่ละชนิดในชุดกับตัวควบคุมภายนอกการจัดวางให้เหมาะสมไม่ทำให้ขาขององค์ประกอบอุปกรณ์แต่ละชนิดจะยาวเกินไปเพื่อลดปัญหาค่าความต้านทานของวงจรเพิ่มขึ้นจึงต้องมีการติดตั้งวาริสเตอร์

9.4 องค์ประกอบอื่นที่สามารถตัดกระแสพลังงานต่อเนื่องนี้ได้ (Residual voltage) ต่ำลงแต่ครั้งนี่จะต้องคำนึงถึงค่า Max. Operating voltage ของวาริสเตอร์ด้วยเพื่อไม่ให้วาริสเตอร์เสื่อมสภาพอายุการใช้งานเร็ว

10. เอกสารอ้างอิง

ธนวัฒน์ ฉลาดสกุล. (2547). การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

ภูซงค์ รุ่งเรือง รัฐพล มั่งคั่ง และอธิรุจน์ เจริญจิตร. (2556). แบบจำลองการควบคุมแรงดันเกินในระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า. ปรียญานันท์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

ตฤณ แสงสุวรรณ. (2556). คุณภาพไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศักดิ์ทองงค์ วงศ์เจริญ. (2550). การออกแบบสร้างโพลติอิเล็กทรอนิกส์ป้องกันไฟกระชอกทางด้านเอซี. วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อำนาจ สุกสุกใส. (2542). โปรแกรมวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).