การปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าอย่างเหมาะสมสำหรับการเลือกกับดักเสิร์จในการป้องกันฟ้าผ่าที่มีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่าย 22 kV โดยวิธีการประเมินดัชนีความเสี่ยงหาความน่าจะเป็น

Optimal Power Quality Improvement for Surge Arrester Selection in Lightning Protection for Reliability on 22 kV Distribution System by Probability Risk Index Estimation Method

บัญชา บูรณพัฒนศิริ[1] ชำนิ ใจประดิษฐ์ธรรม[2*] และไชยวรุฒ จันทร์อุดร[3]

[1,2,3]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและการจัดการพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

1761 ถ.พัฒนาการ เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250 โทร. 0-2321-6930-9, Fax: 0 -2321-4444, *E-mail: j_chamni@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าอย่างเหมาะสมในการเลือกชนิดกับดักเสิร์จที่ดีนำไปใช้งานของระบบจำหน่าย 22 kV โดยวิธีการประเมินดัชนีความเสี่ยงหาความน่าจะเป็น เริ่มทำการทดสอบวัดค่า วิเคราะห์ประเมินผลและสร้างแบบจำลองโมเดลของกับดักเสิร์จโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ATP-EMTP ได้แก่ หาแรงดันเกิน กระแสดิสชาร์จ ระยะช่วงคืบ กระแสรั่วไหล และพลังงานดูดซึมของกับดักเสิร์จ เป็นต้น เพื่อให้ผู้ผลิตไฟฟ้านำข้อมูลไปออกแบบติดตั้งเลือกชนิดกับดักเสิร์จในระบบจำหน่ายสามารถป้องกันไฟฟ้าดับและอุปกรณ์ไฟฟ้าเกิดเสียหายจากแรงดันเกินฟ้าผ่า งานวิจัยนี้นำเสนอผลการเปรียบเทียบดัชนีความเสี่ยงของการป้องกันความล้มเหลวของกับดักเสิร์จในแต่ละชนิด ผลการวิจัยพบว่าเมื่อเลือกกับดักเสิร์จชนิด Q108 นำไปแก้ปัญหาและการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าดีที่สุด เพราะว่าระบบมีคุณภาพไฟฟ้าให้ความน่าเชื่อถือได้ประมาณ 97.4 % ของความน่าจะเป็น การเลือกกับดักเสิร์จที่เหมาะสมที่สุดจะขึ้นอยู่กับการประเมินดัชนีความเค้นได้ดี

คำสำคัญ: กับดักเสิร์จ, ความน่าจะเป็น, คุณภาพไฟฟ้า, ความเชื่อถือได้

Abstract

This paper presents about improvement of optimize power quality in selecting a good surge arrester type on 22 kV distribution system by a probabilistic risk index assessment method which start the measurement test analyze evaluate and model the surge arrester using the ATP-EMTP program, i.e. find the overvoltage, discharge current, creepage distance, leakage current and energy capability of arrester, etc. For the electricity supplier take the data to design, choose of surge arrester type in system. It can prevent outages & damage equipment from lightning overvoltage. This research shows to compare the risk index of failure protection for each type of surge arrester. The results showed that the Q108 arrester was selected, the best problem solving and to power quality improve. Because the system has reliability is about 97.4 % of the probability. Selection of arrester is based on a good assessment of the stress index.

Keywords: surge arrester, probability, power quality, reliability

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้เสถียรภาพและความน่าเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายจะมีความสำคัญต่อการพัฒนาด้านเศรษฐกิจและความมั่นคงทางการค้าด้านอุตสาหกรรมของประเทศไทย ถ้าระบบจำหน่ายได้รับการออกแบบอย่างถูกต้องเหมาะสมและเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบที่ถูกวิธี กับดักเสิร์จ (Surge Arrester) เป็นอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้งานในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ทำหน้าที่ป้องกันแรงดันเกินประเภทเสิร์จที่ไหลเข้าสู่อุปกรณ์ทั้งแรงดันเกินเสิร์จฟ้าผ่าและแรงดันเกินสวิตชิ่ง แรงดันเสิร์จจากฟ้าผ่าทำให้เกิดสิ่งรบกวนขึ้นในระบบ การเลือกกับดักเสิร์จที่ดีเหมาะสมกับการใช้งานจึงมีความสำคัญ จะช่วยส่งเสริมเสถียรภาพของการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้ดียิ่งขึ้นและช่วยการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าอย่างเหมาะสมในด้านความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าจะมีคุณภาพไฟฟ้าที่ดีด้วย [1]

ดังนั้นงานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อผู้ผลิตไฟฟ้าต้องการออกแบบติดตั้งเลือกชนิดกับดักเสิร์จในระบบจำหน่าย เพื่อป้องกันไฟดับขัดข้องและอุปกรณ์ไฟฟ้าเสียหายจากแรงดันเสิร์จเนื่องจากฟ้าผ่า เพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าอย่างเหมาะสมในการเลือกชนิดกับดักเสิร์จที่ดีโดยศึกษาวิธีการประเมินดัชนีความเสี่ยงหาความน่าจะเป็นเพื่อผู้ใช้ไฟฟ้ามีความน่าเชื่อถือได้ของระบบจำหน่าย 22 kV โดยการเลือกติดตั้งอุปกรณ์กับดักเสิร์จและช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดแรงดันเสิร์จในระบบป้องกันฟ้าผ่า และเพื่อศึกษาวิธีแก้ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่ส่งผลกระทบต่อโหลดในระบบด้วยประเมินดัชนีความเสี่ยงหาความน่าจะเป็น

2. หลักการ

2.1 คุณภาพไฟฟ้า (Power Quality)

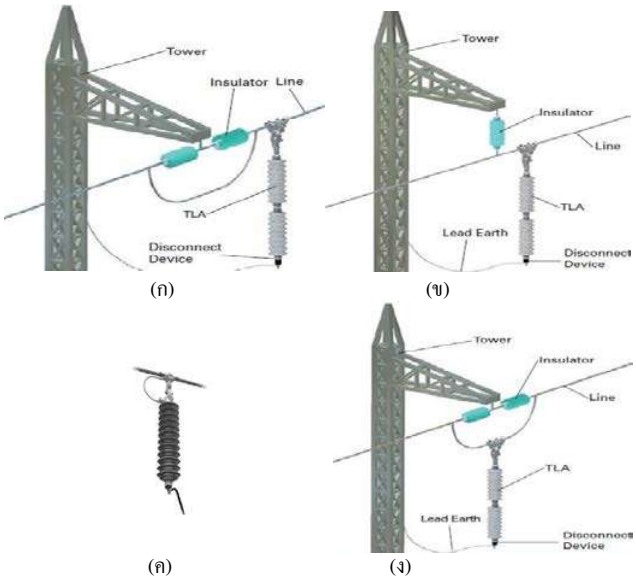
คุณภาพไฟฟ้า (Power Quality) หมายถึง ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า หรือความมั่นคงในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของการไฟฟ้าและปัญหากับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการทำงานผิดพลาด เสียหาย หยุดทำงานจากผู้ใช้ไฟ ปัญหาส่วนหนึ่งเกิดจากไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้าไม่เป็นไปตามข้อกำหนดหรือหมายถึงคุณลักษณะกระแส แรงดัน และความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าในสภาวะปกติไม่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานผิดพลาดหรือเกิดเสียหาย

ปัญหาคุณภาพไฟฟ้านั้น แหล่งกำเนิดที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการรบกวนขึ้นในระบบ [1]และทำให้คุณภาพไฟฟ้าต่ำลงจนส่งผลกระทบต่อโหลดต่างๆ อุปกรณ์ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับความเสียหายมีสาเหตุดังนี้

1. เกิดจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เช่น ฟ้าผ่า ทำให้ไฟฟ้าดับ
2. เกิดจากฟอลต์ (Fault) ในระบบส่งกำลังไฟฟ้าและระบบจำหน่าย ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งทำให้เกิดเสิร์จ (Surge)
3. เกิดการตัด-ต่อของอุปกรณ์ไฟฟ้าสวิตชิ่ง (Switching) ในระบบ
4. เกิดจากอุปกรณ์ที่มีการแปลงไฟจากกระแสสลับเป็นกระแสตรง
5. การต่อลงดินไม่ถูกต้องและไม่เหมาะสม

2.2 คุณสมบัติการทำงานของกับดักเสิร์จ

มีลักษณะเป็นความต้านทานที่ไม่เป็นเชิงเส้น ในสภาวะการใช้งานเมื่อมีกระแสเสิร์จไหลผ่านมากขึ้นทำให้ความต้านทานกลับลดลง ดังนั้นแรงดันตกคร่อมกับดักเสิร์จจะเพิ่มขึ้นไม่เป็นเชิงเส้นกับกระแสดังรูปที่ 1 กับดักเสิร์จมีโครงสร้างจะประกอบด้วยช่องว่างอากาศถูกต่ออนุกรมกับวาลว์ อีลีเมนท์(Valve Element) ซึ่งทำมาจากซิลิคอนคาร์ไบด์ ในสภาวะปกติจะทำหน้าที่เป็นตัวกั้นกระแสไม่ให้ไหลผ่านกับดักเสิร์จลงดิน เมื่อมีแรงดันเกินเกิดขึ้นและมีค่ามากกว่าแรงดันเบรกดาวน์ของช่องว่างอากาศจะเกิดการสปาร์กวาบไฟตามผิว (Flashover) ขึ้น ทำให้มีกระแสเสิร์จไหลลงดิน ผ่านวาล์วอีลีเมนท์จะเป็นสาเหตุให้เกิดแรงดันตกคร่อมกับดักเสิร์จ



รูปที่ 1 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์กับดักเสิร์จในระบบจำหน่าย 22 kV [2]

3. วิธีการประเมินดัชนีความเสี่ยงหาความน่าจะเป็นของสายส่ง

ซึ่งเป็นวิธีการประเมินดัชนีความเสี่ยงหาความน่าจะเป็นจากปัจจัยที่มีผลกระทบต่อระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและระบบจำหน่าย เมื่อเกิดชีลด์ล้มเหลว (Shielding Failure) ในระบบป้องกันฟ้าผ่าจะมีแรงดันเสิร์จฟ้าผ่า วิธีนี้เพื่อใช้วิเคราะห์ในการตัดสินใจ วางแผนและบำรุงรักษา หาค่าดังนี้

3.1 ความน่าจะเป็นที่เกิด Flashover ในสายส่ง

ความน่าจะเป็น p_L ขณะเกิดวาบไฟตามผิวในสายส่งแสดงดังรูปที่ 2 ทำให้เกิดแรงดันเสิร์จฟ้าผ่า สมมติให้แรงดันเปลี่ยนแปลงตามความยาวของสายส่งที่ขึงระหว่างเสา พิจารณาแรงดันที่ยอดเสา V_n หาค่าได้ดังนี้

$$p_L = \frac{1}{2}\int_0^{\infty}\left[1-\left(1-P_k\left(V_k\right)\right)\right]_{k=1}^{n} f\left(V_n\right)dV_n \qquad (1)$$

สามารถลดทอนสมการ (1) หาค่า p_L ได้ดังนี้ [2]

$$p_L = \frac{1}{2}\int_0^{\infty}\left[1-\left(1-P\left(V_n\right)\right)\right]^{n} f\left(V_n\right)dV_n \qquad (2)$$

โดย p_L คือ ความน่าจะเป็นที่เกิดวาบไฟตามผิวในสายส่ง

½ คือ แรงกระทำ (Strength) ต่อเสาเพียงครึ่งหนึ่งที่เกิดเสิร์จ

V_n คือ แรงดันเสิร์จที่ยอดเสาระยะไกลสุดของสายส่ง (kV)

V_k คือ แรงดันเสิร์จเทียบเคียงค่า V_n ที่เสาจุด k (kV)

n คือ จำนวนช่วงเสาติดตั้งระยะห่าง n เสา

3.2 ความน่าจะเป็นของความล้มเหลว (Failure Probability)

แรงดันเสิร์จที่เกิดจากวาบไฟตามผิวของสายส่ง จะมีปริมาณการแจกแจงความน่าจะเป็นของความล้มเหลวบนสายส่งที่เสา หาได้ดังนี้

$$p_F = \frac{1}{2}\int_{V_o}^{\infty} f(V)dV = \frac{1}{2}\left(1-e^{-y_o}\right) \qquad (3)$$

การแจกแจงความน่าจะเป็นของการเกิดวาบไฟตามผิวที่สายส่ง: p_F จะมีค่าน้อยกว่าความน่าจะเป็นที่ยอดเสา p_L ที่แรงดันเสิร์จ V_n

3.3 หากระแสฟ้าผ่าวิกฤต (Critical Stroke Current)

จำนวนครั้งฟ้าผ่าจะมีความรุนแรงของกระแสฟ้าผ่าไม่เท่ากัน หากระแสฟ้าผ่าที่ทำให้เกิดวาบไฟตามผิวบนลูกถ้วยได้จากสมการที่(5) ดังนี้

$$I'' = \frac{V_{tfo}}{V_t} \qquad (4)$$

$$I_{min} = I''t_o \qquad (5)$$

โดย V_t คือ แรงดันขณะเกิดวาบไฟตามผิวบนลูกถ้วยฉนวน (kV)

V_{fo} คือ แรงดันวาบไฟตามผิว (kV)

t_o คือ เวลาที่ใช้ไปขณะเกิดวาบไฟตามผิว (sec)

I_{min} คือ กระแสลำฟ้าผ่าต่ำสุดขณะเกิดวาบไฟตามผิว (kA)

อิมพีแดนซ์เสิร์จ Z_ϕ สามารถประมาณได้โดยค่าเฉลี่ยเลขคณิตของค่าความต้านทานเสิร์จจะขึ้นอยู่กับความสูงของสายส่ง หาได้ดังนี้

$$Z_\phi = 60\sqrt{ln\frac{2h_g}{r_s}\times ln\frac{2h_g}{R}} \qquad (6)$$

โดย R คือ รัศมีของตัวนำที่มีการกระจายโคโรนา

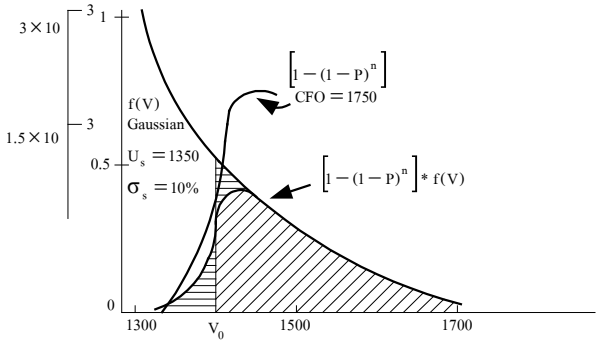
3.4 ความน่าจะเป็นติดตั้งกับดักเสิร์จ (Probability of Arrester)

การหาความน่าจะเป็นของลำฟ้าผ่าที่เกิดบนสาย OGW จะมีกระแสสูงสุด I_p ไหลผ่าน ทำให้เกิดความเสียหายกับลูกถ้วยฉนวน เมื่อติดตั้งกับดักเสิร์จ ดังนั้นหาความน่าจะเป็นของกับดักเสิร์จได้ดังนี้

$$p_{A(Ti)} = \int_{I_{SG}(T_i)}^{\infty} f(I_P)hg(I_p)dI_p \quad (7)$$

และระยะโจมตีฟ้าผ่าในช่วงเวลาวิกฤตฟอลต์ (Strike Distance)

$$S = 8\,I_p^{0.65} \quad (8)$$

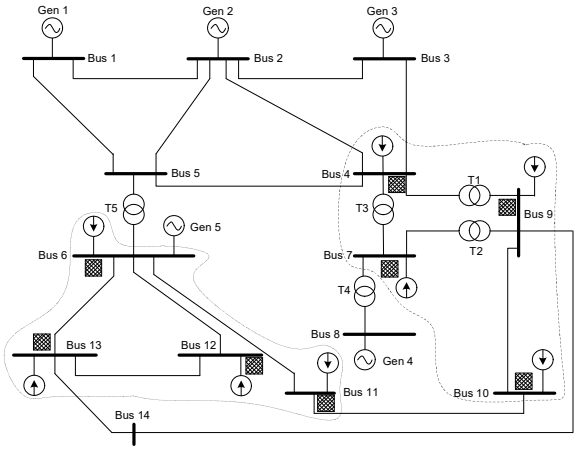


รูปที่ 2 ความน่าจะเป็นขณะเกิด Flashover แปรผันตามระยะช่วงเสา

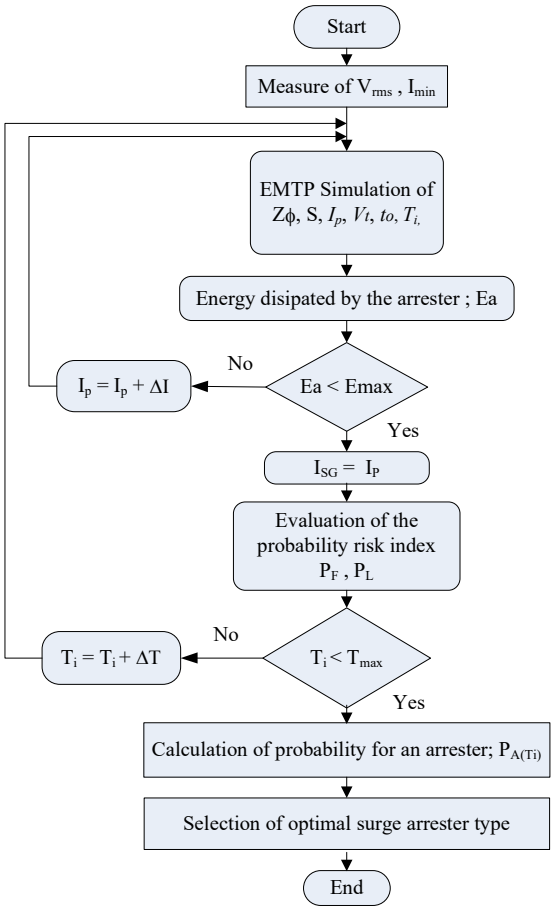
4. วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเลือกชนิดของกับดักเสิร์จ ทำการประเมินดัชนีหาความน่าจะเป็นที่มีความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายของกับดักเสิร์จแต่ละชนิด ทดสอบวัดค่า วิเคราะห์สภาวะทรานเซี้ยนต์หาแรงดันเกิน แรงดันใช้งาน กระแสดิสชาร์จ ระยะช่วงคืบ กระแสรั่วไหล เวลาใช้งานกับดักเสิร์จและพลังงานดูดซึมของกับดักเสิร์จ เป็นต้น และสร้างแบบจำลองโมเดลของกับดักเสิร์จโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ATP-EMTP โดยพิจารณารูปที่ 3 วงจรทดสอบ RTS ระบบจำหน่าย 22 kV, 14 บัส ผลประเมินดัชนีเพื่อวิเคราะห์ค่าจะช่วยปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าอย่างเหมาะสมในระบบ วิธีดำเนินงานวิจัยแสดงดังรูปที่ 4 แผนผังขั้นตอนหาดัชนีความน่าจะเป็น อธิบายได้ดังนี้

1. เก็บรวบรวมข้อมูลจากการสำรวจทางสถิติของกระแสฟ้าผ่า
2. ตรวจวัดแรงดันใช้งาน V_{rms} และกระแสลำฟ้าผ่าต่ำสุด I_{min}
3. ทดสอบวัดหาค่า Z_ϕ, S, I_p, V_t, t_o, T_i และสร้างแบบจำลองโมเดลของสายส่งและกับดักเสิร์จในระบบโดยใช้โปรแกรม ATP-EMTP
4. วัดหาพลังงานที่ใช้ไปของกับดักเสิร์จ Ea
5. วิเคราะห์เงื่อนไขพลังงาน Ea < Emax ให้ดำเนินขั้นตอนต่อไป
6. กำหนดให้กระแสดิสชาร์จ $I_{SG} = I_p$ ถ้าเงื่อนไข Ea > Emax ให้คำนวณหา $I_p = I_p + \Delta I$ แล้วกลับไปทำขั้นที่ 3 ซ้ำอีกครั้ง
7. ทำการประเมินค่าดัชนีความเสี่ยงหาความน่าจะเป็น p_F, p_L
8. วิเคราะห์เงื่อนไขอุณหภูมิ Ti < Tmax ให้ดำเนินขั้นตอนต่อไป ถ้าเงื่อนไข Ti >Tmax ให้คำนวณ $T_i = T_i + \Delta T$ แล้วทำขั้นที่ 3 ซ้ำอีกครั้ง
9. คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นของการติดตั้งกับดักเสิร์จ: $p_{A(Ti)}$ ณ อุณหภูมิของกับดักเสิร์จ i ใดๆ: Ti
10. เลือกกับดักเสิร์จให้เหมาะสมกับพิกัดแรงดัน, กระแสดิสชาร์จ



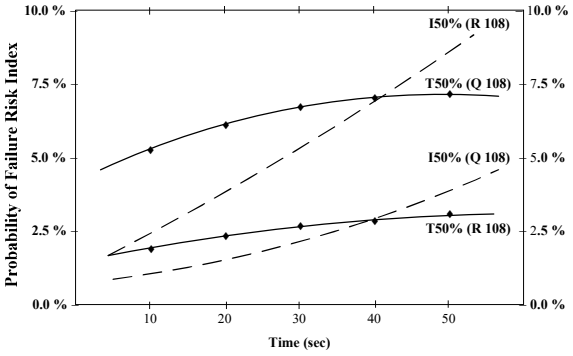
รูปที่ 3 ไดอะแกรมวงจรทดสอบ RTS ระบบจำหน่าย 22 kV, 14 บัส



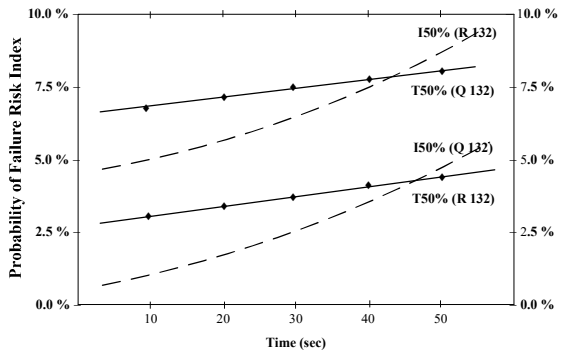
รูปที่ 4 แผนผังขั้นตอนการประเมินหาดัชนีความน่าจะเป็นของกับดักเสิร์จ

5. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

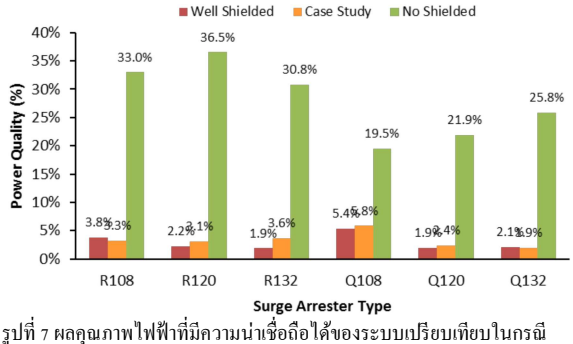
งานวิจัยนี้ทำการทดสอบระบบจำหน่าย 22 kV, 14 บัส ดังแสดงรูปที่ 3 ปรับระดับแรงดันใช้งานตั้งแต่ 120-175 kVrms ระยะเวลาทดสอบนาน 2 ชั่วโมง บันทึกผลการทดสอบทุกๆ เวลา 10 sec รูปที่ 5 และรูปที่ 6 แสดงผลการประเมินดัชนีความเสี่ยงโดยคิดอุณหภูมิเฉลี่ย T_{50} และกระแสสูงสุดเฉลี่ย I_{50} พบว่าค่าความน่าจะเป็นทางสถิติประมาณ 7.5 % อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นควรจะติดตั้งกับดักเสิร์จชนิด Q108 ถูกเลือกให้แก้ปัญหาปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าที่ดีที่สุด เนื่องจากความสามารถปล่อยพลังงานสูงกว่ากับดักเสิร์จชนิดอื่นๆ ประมาณ 108 kJ (22%) และมีความน่าจะเป็นของความล้มเหลวสูงเพียง 0.3 % และผลรูปที่ 7 แสดงผลคุณภาพไฟฟ้ามีความน่าเชื่อถือได้จากกรณีศึกษาเท่ากับ 5.8 %ใกล้เคียงกับการป้องกันที่ดี (Well Shielded) มีค่า 5.4 % ซึ่งกับดักเสิร์จชนิด R120 ไม่มีการป้องกันในระบบมีค่าสูงถึง 36.5 % ถือว่าไม่มีคุณภาพไฟฟ้าที่ดี และรูปที่ 8 แสดงผลคุณภาพไฟฟ้ามีความน่าเชื่อถือได้พบว่าเลือกกับดักเสิร์จชนิด Q108 จะมีความเหมาะสมที่สุดคือระยะขอบป้องกัน(Pro.Margin) มีค่า 92 % ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียงกันกับความน่าจะเป็นของดัชนีความเสี่ยง 97.40 % เนื่องจากมีแรงดันเกินเพียง 86 kV กระแสรั่วไหล 0.65 mA พลังงานดูดซึม 486 kJ และกระแสดิสชาร์จของกับดักเสิร์จเท่ากับ 10 kA แสดงผลตารางที่ 1



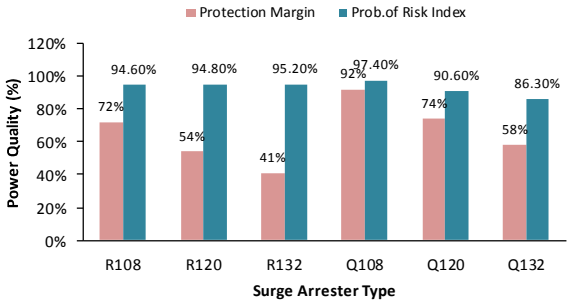
รูปที่ 5 ผลความน่าจะเป็นที่มีดัชนีความเสี่ยงล้มเหลวทางสถิติ T_{50} และ I_{50} ของกับดักเสิร์จชนิด R108 และ Q108



รูปที่ 6 ผลความน่าจะเป็นที่มีดัชนีความเสี่ยงล้มเหลวทางสถิติ T_{50} และ I_{50} ของกับดักเสิร์จชนิด R132 และ Q132



รูปที่ 7 ผลคุณภาพไฟฟ้าที่มีความน่าเชื่อถือได้ของระบบเปรียบเทียบในกรณีศึกษา การป้องกันที่ดีและไม่มีการป้องกันของกับดักเสิร์จแต่ละชนิด



รูปที่ 8 ผลคุณภาพไฟฟ้าที่มีความน่าเชื่อถือได้ของระบบ เปรียบเทียบระยะขอบป้องกันกับความน่าจะเป็นที่มีดัชนีความเสี่ยงของกับดักเสิร์จแต่ละชนิด

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบวัดค่าดัชนีของชนิดอุปกรณ์ป้องกันกับดักเสิร์จ

ดัชนี	R108	R120	R132	Q108	Q120	Q132
แรงดันใช้งาน (kV)	120	150	175	120	150	175
กระแสดิสชาร์จ(kA)	10	10	10	10	10	10
แรงดันเกิน (kV)	86	92	98	86	92	98
ระยะช่วงคืบ (mm)	4630	4630	4630	4580	4580	4580
พลังงานดูดซึม (kJ)	270	300	330	486	540	594
กระแสรั่วไหล (mA)	0.83	0.74	0.82	0.65	0.75	0.79

6. สรุปผล

ผลวิจัยนี้นำไปใช้เป็นแนวทางแก้ปัญหาและปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าลดการสูญเสียเนื่องจากกระแสรั่วไหลจากผลกระทบของสิ่งเปรอะเปื้อนที่บริเวณผิวของกับดักเสิร์จ พบว่าระบบจำหน่ายมีคุณภาพไฟฟ้าให้ความน่าเชื่อถือได้ 97.4 % ของความน่าจะเป็น ดังนั้นควรเลือกชนิดกับดักเสิร์จที่ดีเพื่อป้องกันไฟฟ้าดับและอุปกรณ์ไฟฟ้าเกิดความเสียหายจากแรงดันเกินฟ้าผ่า และพบว่าถ้าเลือกกับดักเสิร์จที่มีคุณภาพไฟฟ้าไม่ดีจะส่งผลกระทบต่อโหลดต่างๆที่ใช้งานในระบบ ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องเสียเวลาในการตรวจวัดและปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าในการเลือกกับดักเสิร์จ

เอกสารอ้างอิง

[1] โตศักดิ์ ทัศนานุตริยะ,“วิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง”,ซีเอ็ดยูเคชั่น,หน้า561,2543.

[2] Nang Kyu Thin, “Lightning performance of MV by surge arrester”, *Inter. Journal of SE&T Research* , vol.3,16, pp.3362-3367, 2014.