

การประเมินคุณภาพระบบไฟฟ้า โดยใช้ระบบอนุมานฟัซซี่โครงข่ายปรับตัวได้

Power System Quality Evaluation Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems

อรรถกร เลียงใส และ สมชาติ จิรวิภากร

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail: s-attakorn@hotmail.com, kjsomcha@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการประเมินคุณภาพระบบไฟฟ้ากำลัง โดยนำความเชื่อถือได้ทางไฟฟ้า และคุณภาพไฟฟ้าของระบบจำหน่ายมาวิเคราะห์ร่วมกัน ด้วยวิธีการ Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems (ANFIS) ซึ่งมีรูปร่างคล้ายคลึงกับโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) รวมกันกับระบบอนุมานฟัซซี่ (FIS) ใช้กระบวนการเรียนรู้แบบลูกผสม (Hybrid) โดยกำหนดให้ดัชนีความเชื่อถือได้ทางไฟฟ้าเป็นอินพุต และดัชนีคุณภาพไฟฟ้าเป็นเอาต์พุตของ ANFIS ซึ่งดัชนีคุณภาพไฟฟ้าที่เลือกใช้คือ SARFI₉₀ และ SARFI₁₁₀ ซึ่งเป็นจำนวนครั้งเฉลี่ยที่เกิดแรงดันไฟฟ้าตก และแรงดันไฟฟ้าเกินตามลำดับ เพื่อใช้สำหรับประเมินคุณภาพระบบไฟฟ้ากำลัง และผลที่ได้มีการเปรียบเทียบกับโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมที่เลือกใช้เป็นแบบมีหลายชั้น ชนิดการเรียนรู้ที่มีการแพร่ค่าย้อนกลับ ซึ่งวิธีการ ANFIS ให้ผลการจำลองเป็นที่น่าพอใจและดีกว่าโครงข่ายประสาทเทียมทั้งค่าความผิดพลาด และเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้

คำสำคัญ:

คุณภาพไฟฟ้า ความเชื่อถือได้ทางไฟฟ้า โครงข่ายประสาทเทียม ระบบอนุมานฟัซซี่โครงข่ายปรับตัวได้

Abstract

This paper describes an approach to evaluate the power quality by means of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems (ANFIS) of which reliability and distribution system quality are taken account. The ANFIS is regarded as the hybrid configuration which is developed from integration of together Artificial Neural Network (ANN) and Fuzzy Inference Systems (FIS) technique. Herein, the reliability index is applied to be the ANFIS input, and the gotten outputs are SARFI₉₀ and SARFI₁₁₀. The SARFI₉₀ and SARFI₁₁₀ indexes indicate the average amounts of

voltage sag and voltage swell occurring to power system respectively, which both of the said outputs are subsequently brought to determine the quality index result. Finally, the ANFIS's result comparing to ANN's, illustrated in this paper, shows that the ANFIS technique has been proved it satisfies the final result more than using the ANN technique, both of error and training time.

Keywords:

power quality, reliability, artificial neural networks, adaptive neuro-fuzzy inference systems

1. บทนำ

ความเชื่อถือได้ทางไฟฟ้าและคุณภาพไฟฟ้านั้นมีความสำคัญมากขึ้น ปัจจุบันได้มีการนำความเชื่อถือได้ทางไฟฟ้าและคุณภาพไฟฟ้า มาวิเคราะห์ร่วมกัน เพื่อความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้า ทั้งในส่วนของภาคอุตสาหกรรมและภาคธุรกิจ ซึ่งมีการใช้อุปกรณ์สำหรับขับเคลื่อนเครื่องจักรกลไฟฟ้า และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังอย่างแพร่หลาย อุปกรณ์เหล่านี้ส่งผลต่อคุณภาพไฟฟ้า รวมทั้งฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบต่อกระบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรม และการบริการของภาคธุรกิจ

การนำความเชื่อถือได้ทางไฟฟ้า และคุณภาพไฟฟ้า มาวิเคราะห์ร่วมกัน สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในขั้นตอนของการออกแบบระบบไฟฟ้า การวางแผนการขยายสถานีไฟฟ้า การวางแผนการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งมีความจำเป็นมากสำหรับการจำหน่ายไฟฟ้าให้กับนิคมอุตสาหกรรมที่ต้องการความเชื่อถือได้ทางไฟฟ้าที่สูง และมีคุณภาพไฟฟ้าที่ดี

การนำข้อมูลทั้งสองส่วนคือ ความเชื่อถือได้ทางไฟฟ้า และคุณภาพไฟฟ้ามาวิเคราะห์ร่วมกันนั้นได้มีการใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANN) เป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งเป็นการนำคุณภาพไฟฟ้ามาใช้พยากรณ์ความเชื่อถือได้

ทางไฟฟ้าในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค [1] และได้มีการรวมดัชนีคุณภาพไฟฟ้าเป็นดัชนีเดียว ซึ่งเป็นการรวมดัชนีความเชื่อถือได้ทางไฟฟ้าและคุณภาพไฟฟ้าไว้ด้วยกัน เพื่อใช้ในการวางแผนการขยายสถานีไฟฟ้าในระบบจำหน่าย [2] ได้มีการนำความเชื่อถือได้ทางไฟฟ้ามาทำนายคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม [3] และมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีคุณภาพไฟฟ้ากับดัชนีความเชื่อถือได้ทางไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า [4] ซึ่งจากการศึกษาพบว่าดัชนี MAIFI SAIIFI และ SARFI₉₀ ที่มีสาเหตุมาจากการเกิดฟอลต์ในระบบจำหน่ายมีความสัมพันธ์กัน โดยการศึกษาที่ใช้วิธีการทางสถิติ Multiple linear regression และ Generalize linear model เพื่อหาความสัมพันธ์ของดัชนีทั้งสาม ในบทความนี้ได้นำเสนอวิธีการการประเมินคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้ดัชนีความเชื่อถือได้ทางไฟฟ้าบนพื้นฐานของวิธีการระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems: ANFIS) ซึ่งดัชนีที่ใช้สำหรับการประเมิน ใช้ดัชนีความเชื่อถือได้ทางไฟฟ้า SAIIFI และ MAIFI โดยใช้ข้อมูลระบบจำหน่าย 22 kV การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สถานีไฟฟ้าย่อยแหลมฉบัง และได้มีการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์ของทั้ง ANN และ ANFIS

2. ความเชื่อถือได้ทางไฟฟ้า และคุณภาพไฟฟ้า

ความเชื่อถือได้ทางไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าบอกด้วยดัชนีความเชื่อถือได้ ซึ่งจะใช้ดัชนี SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) คือ ค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งไฟดับต่อผู้ใช้ทั้งระบบ

$$SAIFI = \frac{\sum N_i}{N_T} \quad (1)$$

และ MAIFI (Momentary Average Interruption Frequency Index) คือ ดัชนีจำนวนครั้งไฟดับเฉลี่ยที่กระทบต่อผู้ใช้ไฟหนึ่งรายสำหรับระยะเวลาที่ไฟดับน้อยกว่า 1 ถึง 5 นาที

$$MAIFI = \frac{\sum IM_i N_{mi}}{N_T} \quad (2)$$

เมื่อ N_i = จำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบที่เกิดจากไฟดับ

N_{mi} = จำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบที่เกิดเหตุการณ์ไฟกะพริบ

N_T = จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมด

IM_i = จำนวนครั้งที่เกิดไฟกะพริบ

ทั้งสองดัชนีโดยทั่วไปใช้เป็นครั้งต่อรายต่อปี หรือ ครั้งต่อรายต่อเดือน [5], [6]

คุณภาพไฟฟ้า ปัญหาด้านคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้านั้นมีหลายชนิดด้วยกัน ทั้งแรงดันไฟฟ้าตก แรงดันไฟฟ้าเกิน จะใช้ดัชนี SARFI_x ซึ่งบ่งบอกถึงคุณภาพไฟฟ้า เป็นดัชนีเฉลี่ยจำนวนครั้งที่มีการแปรเปลี่ยนของแรงดันไฟฟ้าของระบบ [7], [8] โดยทั่วไปใช้เป็น ครั้งต่อรายต่อปี หรือ ครั้งต่อรายต่อเดือน

$$SARFI_x = \frac{\sum N_i}{N_T} \quad (3)$$

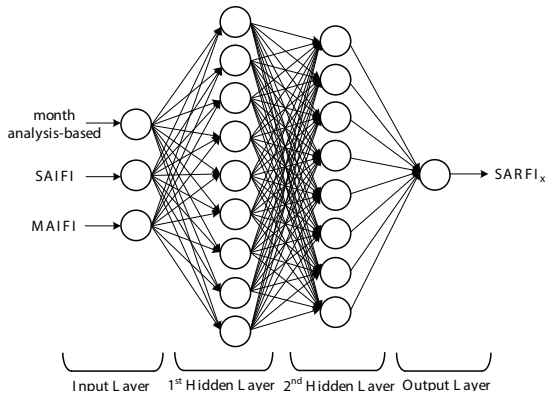
เมื่อ x = ค่าแรงดันไฟฟ้า r.m.s. - 140, 120, 110, 90, 80, 70, 50 และ 10

N_i = จำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบที่เกิดแรงดันแปรเปลี่ยนที่มีขนาดสูงกว่า $X\%$ สำหรับ $X > 100$ หรือต่ำกว่า $X\%$ สำหรับ $X < 100$ เนื่องจากเหตุการณ์วัด i

N_T = จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดของระบบที่ประเมิน

3. โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANN)

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่มีการประมวลข้อมูลที่ถูกพัฒนาโดยอาศัยหลักการการทำงานของโครงข่ายประสาทชีววิทยามนุษย์ ในบทความนี้จะเป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบที่ต้องมีผู้สอน (Supervised Learning) เพื่อช่วยกำหนดเอาต์พุตเป้าหมาย (Output target) ให้กับโครงข่ายประสาทเทียม และเลือกใช้แบบหลายชั้น (Multi-Layer Feed Forward Neural Network) ชนิดที่มีการแพร่ค่าย้อนกลับ (Back-propagation) เนื่องจากเป็นปัญหาที่ค่อนข้างซับซ้อน และไม่เป็นเชิงเส้น โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่ค่าย้อนกลับนั้นจะประกอบไปด้วย ตัวแปรด้านเข้า (Input Layer) ชั้นซ่อน (Hidden Layer) และตัวแปรด้านออก (Output Layer) ในแต่ละชั้นจะมีการต่อแบบเชื่อมถึงกันหมด (Fully Connect) ดังภาพที่ 1 โดยในแต่ละนิวรอนประกอบไปด้วย ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) และค่าไบแอส (Bias) ซึ่งเริ่มต้นจากการสุ่ม นอกจากนี้ยังมีตัวกระตุ้น (Activation Function) หรือฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ช่วยในการคำนวณหาค่าที่เหมาะสม [9], [10]



ภาพที่ 1 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

4. ระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems: ANFIS)

ประเภทของโครงข่ายปรับตัวได้ บนกรอบพื้นฐานของการปรับตัวระบบอนุมานโดยฟัซซี (Fuzzy Inference Systems: FIS) โครงข่ายชนิดนี้เรียกว่า ANFIS ซึ่งย่อมาจาก Adaptive Network-based Fuzzy Inference Systems หรือ Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems [11], [12]

4.1 โครงสร้าง ANFIS

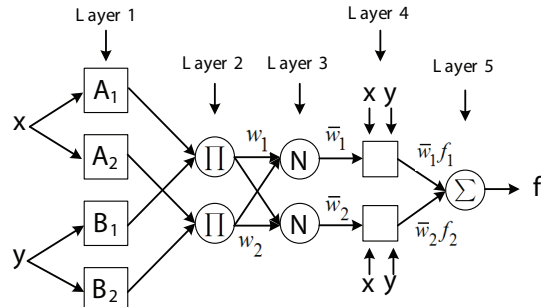
เพื่อความง่าย สมมติระบบอนุมานโดยฟัซซีภายใต้การพิจารณามี 2 อินพุต x และ y และ 1 เอาท์พุต f สำหรับโมเดลฟัซซี Sugeno อันดับที่ 1 โดยทั่วไปหลักปฏิบัติเซตของ 2 ฟัซซี คือหลัก if-then สามารถแสดงเป็น

Rule 1: If x is A_1 and y is B_1
then $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$,

Rule 2: If x is A_2 and y is B_2
then $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$.

เมื่อ p_1, q_1, r_1, p_2, q_2 และ r_2 เป็นพารามิเตอร์ผลลัพธ์

โครงสร้างของ ANFIS ดังภาพที่ 2 สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้ (เอาท์พุตโหนด i ในชั้น l เช่น $O_{l,i}$)



ภาพที่ 2 โครงสร้างของ ANFIS

ชั้นที่ 1 ทุกโหนด i ในชั้นนี้คือการปรับโหนดโหนดเอาท์พุตกำหนดโดย

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x), \text{ for } i = 1, 2 \text{ or}$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(y), \text{ for } i = 3, 4 \quad (4)$$

เมื่อ x หรือ y คือ อินพุตของโหนด และ A_i หรือ B_{i-2} เป็นเซตของฟัซซีที่เกี่ยวข้องกับโหนด กล่าวคือ เอาท์พุตของชั้นนี้คือค่าเมมเบอร์ชิพฟังก์ชันของส่วนหลักฐาน สำหรับตัวอย่าง A_i มีคุณลักษณะ โดย gaussian function

$$\mu_{A_i}(x) = e^{-\frac{(x-c_i)^2}{2\sigma_i^2}} \quad (5)$$

เมื่อ c_i, σ_i คือเซตพารามิเตอร์ พารามิเตอร์ในชั้นนี้เรียกว่า พารามิเตอร์หลักฐาน (premise parameters)

ชั้นที่ 2 ทุกโหนดในชั้นนี้ถูกกำหนดด้วย Π ซึ่งคือการคูณกันของสัญญาณที่เข้ามาและเป็นเอาท์พุตตัวอย่างเช่น

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_i}(y), i = 1, 2. \quad (6)$$

ขั้นที่ 3 ทุกโหนดในชั้นนี้ถูกกำหนดโดย N เพื่อทำการนอร์มอลไลซ์ค่าน้ำหนัก

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, i = 1, 2. \quad (7)$$

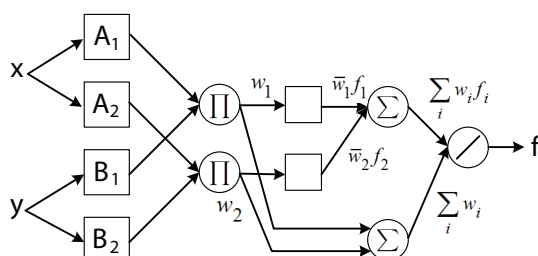
ขั้นที่ 4 ทุกโหนด i ในชั้นนี้ คือโหนดปรับตัวได้กับฟังก์ชันโหนด

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (8)$$

เมื่อ $\bar{w}_i$ คือ เอาท์พุตของขั้นที่ 3 และ $\{p_i, q_i, r_i\}$ เป็นเซตพารามิเตอร์ พารามิเตอร์ในชั้นนี้เรียกว่า พารามิเตอร์ที่เป็นผลลัพธ์ (consequent parameters)

ขั้นที่ 5 ชั้นนี้จะมีอยู่โหนดเดียว กำหนดโดย Σ ซึ่งเอาท์พุตที่ได้คือการรวมกันของสัญญาณเข้ามาทั้งหมด

$$O_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}. \quad (9)$$



ภาพที่ 3 โครงสร้าง ANFIS รูปแบบอื่น ที่มี 2 อินพุต 2 กฎการกระทำ โมเดลฟัซซี Sugeno

โครงสร้างปรับตัวได้ไม่มีลักษณะเฉพาะสามารถรวมชั้นที่ 3 และชั้นที่ 4 เอาไว้ด้วยกัน โครงข่ายก็จะมีเพียง 4 ชั้นเท่านั้น ทำนองเดียวกันสามารถกระทำการนอร์มอลไลซ์ค่าน้ำหนักในชั้นสุดท้าย ภาพที่ 3 แสดงถึง ANFIS ชนิดนี้

4.2 ขั้นตอนวิธีการเรียนรู้แบบผสม

จากโครงสร้างของ ANFIS เมื่อค่าพารามิเตอร์หลักฐานถูกกำหนดไม่ให้เกิดเปลี่ยนแปลง เอาท์พุตทั้งหมดสามารถแสดงในรูปของผลรวมเชิงเส้นของพารามิเตอร์ที่เป็นผลลัพธ์ ในสัญลักษณ์เอาท์พุต f ในภาพที่ 2 สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\begin{aligned} f &= \frac{w_1}{w_1 + w_2} f_1 + \frac{w_2}{w_1 + w_2} f_2 \\ &= \bar{w}_1 f_1 + \bar{w}_2 f_2 \\ &= (\bar{w}_1 x) p_1 + (\bar{w}_1 y) q_1 + \bar{w}_1 r_1 \\ &\quad + (\bar{w}_2 x) p_2 + (\bar{w}_2 y) q_2 + \bar{w}_2 r_2 \quad (10) \end{aligned}$$

ซึ่งคือความเป็นเชิงเส้นในพารามิเตอร์ที่เป็นผลลัพธ์ p_1, q_1, r_1, p_2, q_2 และ r_2 ดังนั้นขั้นตอนวิธีการเรียนรู้แบบผสมมีการพัฒนาในส่วนก่อนหน้านี้สามารถนำมาใช้ได้โดยตรงมากขึ้น โดยเฉพาะในส่วนคำนวณไปข้างหน้าของขั้นตอนวิธีการเรียนรู้แบบผสม โหนดเอาท์พุตส่งผ่านไปข้างหน้าจนกระทั่งชั้นที่ 4 และพารามิเตอร์ที่เป็นผลลัพธ์ ถูกตรวจสอบโดยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด (Least Squares Method) ในส่วนการคำนวณค่าย้อนกลับสัญญาณค่าผิดพลาดถูกแพร่กลับมา และพารามิเตอร์หลักฐานถูกอัปเดตโดย gradient descent

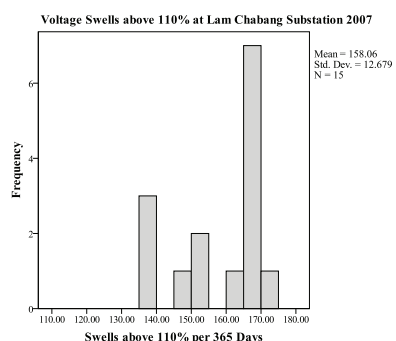
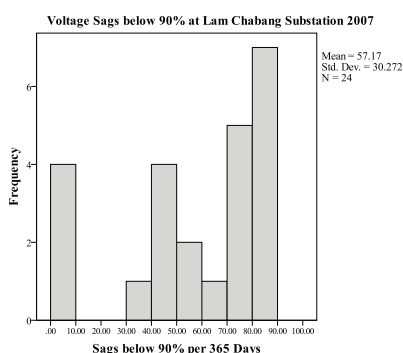
พารามิเตอร์ที่เป็นผลลัพธ์ ถูกตรวจสอบให้เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขที่พารามิเตอร์หลักฐานถูกกำหนดไม่ให้เกิดเปลี่ยนแปลงนั้น วิธีการแบบผสมจะลู่เข้าหาคำตอบได้เร็วขึ้นมาก เนื่องจากช่วยลดมิติของพื้นที่ว่างในการค้นหาของวิธีการแพร่ค่าย้อนกลับแบบดั้งเดิม

5. วิธีการ

การนำข้อมูลความเชื่อถือได้ทางไฟฟ้ามาวิเคราะห์เพื่อประเมินถึงคุณภาพไฟฟ้า โดยใช้ ANFIS ซึ่งอินพุตประกอบไปด้วย เดือนที่ใช้วิเคราะห์ และดัชนีความเชื่อถือได้ทางไฟฟ้า SAIFI และ MAIFI ใช้เป็นครั้งต่อรายต่อครึ่งเดือน ส่วนเอาต์พุตคือดัชนีคุณภาพไฟฟ้า SARFI₉₀ และ SARFI₁₁₀ จำนวนครั้งที่เกิดแรงดันไฟฟ้าตกและแรงดันไฟฟ้าเกินตามลำดับแสดงในภาพที่ 4 ใช้เป็นครั้งต่อรายต่อครึ่งเดือนของสถานีไฟฟ้าแหลมฉบัง มีจำนวน 9 ฟีดเดอร์ ซึ่งข้อมูลด้านคุณภาพไฟฟ้าใช้โปรแกรม PQ Secure [13] เพื่ออ่านค่าจากฐานข้อมูลของมิเตอร์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสถานีไฟฟ้าย่อยแหลมฉบัง ข้อมูลที่ใช้อยู่ในช่วงเดือนมกราคม ปี 2007 ถึงเดือนธันวาคม ปี 2007 แบ่งเป็นข้อมูลฝึกสอน 19 ชุด และข้อมูลทดสอบ 5 ชุด ซึ่งโมเดล Sugeno ถูกกำหนดให้มีเอาต์พุตเพียงค่าเดียว ดังนั้นจึงแยกการวิเคราะห์เป็น 2 โครงข่าย โครงสร้างของ ANFIS เลือกใช้ โมเดลฟัซซี่ Sugeno อันดับที่ 1 จำนวนเมมเบอร์ชิฟฟังก์ชันเดือนที่ใช้วิเคราะห์มีอยู่ 5 จำนวนเมมเบอร์ชิฟฟังก์ชันของ

SAIFI มีอยู่ 6 จำนวนเมมเบอร์ชิฟฟังก์ชันของ MAIFI มีอยู่ 5 โดยทั้งสามอินพุตใช้เมมเบอร์ชิฟฟังก์ชันเป็น gaussmf [14] สำหรับดัชนีคุณภาพไฟฟ้า SARFI₉₀ และเมมเบอร์ชิฟฟังก์ชันของอินพุตเดือนที่ใช้วิเคราะห์ SAIFI และ MAIFI มีอยู่ 5 ใช้เมมเบอร์ชิฟฟังก์ชันเป็น gauss2mf [14] สำหรับดัชนีคุณภาพไฟฟ้า SARFI₁₁₀ และใช้กระบวนการเรียนรู้แบบผสม (Hybrid) 150 epochs.

โครงข่ายประสาทเทียมใช้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ มีอยู่ 2 ชั้นซ่อน ชั้นซ่อนที่ 1 มีจำนวน 9 นิวรอน ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Tan-Sigmoid ชั้นซ่อนที่ 2 มีจำนวน 8 นิวรอน ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Log-Sigmoid ชั้นเอาต์พุตใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Tan-Sigmoid สำหรับดัชนีคุณภาพไฟฟ้า SARFI₉₀ และชั้นซ่อนที่ 1 มีจำนวน 10 นิวรอน ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Tan-Sigmoid ชั้นซ่อนที่ 2 มีจำนวน 9 นิวรอนใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Log-Sigmoid ชั้นเอาต์พุตใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น Tan-Sigmoid สำหรับดัชนีคุณภาพไฟฟ้า SARFI₁₁₀ และใช้กระบวนการเรียนรู้แบบ Levenberg-Marquardt 500 epochs โดยค่า Weight และ Bias เริ่มต้นจากการสุ่มทำการเรียนรู้ 30 รอบเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด



ภาพที่ 4 จำนวนครั้งที่เกิดแรงดันไฟฟ้าตกและแรงดันไฟฟ้าเกินที่สถานีไฟฟ้าแหลมฉบัง ปี 2007

6. ผลการจำลอง

การจำลองการประเมินคุณภาพไฟฟ้า โดยใช้ความเชื่อถือได้ทางไฟฟ้าเป็นอินพุต และใช้ดัชนีคุณภาพไฟฟ้า SARFI₉₀ และ SARFI₁₁₀ เป็นเอาต์พุต ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการจำลองการประเมินดัชนีคุณภาพไฟฟ้า SARFI₉₀ และ SARFI₁₁₀

ดัชนีคุณภาพไฟฟ้า	ผลการจำลอง	ANN	ANFIS
SARFI ₉₀	เวลาที่ใช้ในการเรียนรู้	1 นาที 32 วินาที	59.31 วินาที
	MSE ของชุดฝึกสอน	8.42×10^{-5}	3.51×10^{-6}
	MSE ของชุดทดสอบ	0.0042	0.0038
SARFI ₁₁₀	เวลาที่ใช้ในการเรียนรู้	1 นาที 28 วินาที	42.39 วินาที
	MSE ของชุดฝึกสอน	1.74×10^{-4}	3.51×10^{-6}
	MSE ของชุดทดสอบ	0.0028	0.0017

จากตารางที่ 1 วิธีการที่นำเสนอให้ผลการจำลองดีกว่าโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) ทั้งเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ ค่า Mean Square Error (MSE) ของข้อมูลชุดฝึกสอน และชุดทดสอบ การจำลอง 2 วิธี ทั้ง ANN และ ANFIS ใช้คอมพิวเตอร์ที่มี

คุณลักษณะ CPU intel CORE i5 2.4 GHz, RAM 2.00 GB โดยใช้โปรแกรม MATLAB (R2009a) ในการจำลอง และได้เปรียบเทียบข้อมูลทดสอบของค่าเอพท์พุตเป้าหมายกับ ANN และ ANFIS แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าเอพท์พุต ANN กับ ANFIS ของข้อมูลชุดทดสอบ

ดัชนีคุณภาพไฟฟ้า	อินพุต			เอพท์พุต		
	เดือนที่ใช้วิเคราะห์	SAIFI	MAIFI	เป้าหมาย	ANN	ANFIS
SARFI ₉₀	10	0	0.6903	1	1.1269	1.01
	2	0	0.2507	-1	-0.9633	-0.934
	12	0	0	1	1.0017	1
	8	0	1.945	1	1.0608	1.02
	11	0	0.6327	-1	-1.005	-0.881
SARFI ₁₁₀	4	1.3519	0.6846	-1	-1.0068	-1.02
	5	0	0.5468	-1	-1.0992	-1
	8	0	1.545	1	1.0558	0.911
	11	0	0.9327	-1	-0.9707	-1.01
	12	0	0	1	0.9973	1

การแสดงค่าของเอพท์พุต -1 หมายถึงไม่เกิดเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกหรือแรงดันไฟฟ้าเกินที่สถานีไฟฟ้าย่อย

จากตารางที่ 2 แสดงข้อมูลที่ใช้สำหรับการทดสอบของ ANN และ ANFIS ซึ่งประกอบไปด้วยอินพุตที่เป็นดัชนีความเชื่อถือได้ทางไฟฟ้า และเอพท์พุตที่เป็นดัชนีคุณภาพไฟฟ้า จะเห็นว่าทั้ง ANN และ ANFIS ให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับเป้าหมาย โดยแต่ละดัชนีคุณภาพไฟฟ้านำข้อมูลมาทดสอบ 5 ชุด

จากผลการจำลองค่าเอพท์พุตที่ได้จาก ANFIS สามารถนำไปประเมินถึงคุณภาพระบบไฟฟ้ากำลัง โดยถ้าค่าที่ได้จากการประเมินดัชนีคุณภาพไฟฟ้า SARFI₉₀ และ SARFI₁₁₀ มีค่าน้อย หมายถึงคุณภาพของระบบไฟฟ้ากำลังดี และเมื่อประเมินระบบไฟฟ้าร่วมกันกับดัชนีความเชื่อถือได้ทางไฟฟ้า ถ้าดัชนีความเชื่อถือได้ทางไฟฟ้ามีค่าต่ำ และดัชนีคุณภาพไฟฟ้ามีค่าต่ำ แสดงว่าระบบไฟฟ้ากำลังมีสมรรถนะที่ดี

7. สรุป

บทความนี้มีการนำเสนอวิธีการ ANFIS ซึ่งเป็นการรวมระบบอนุมานฟัซซี่ และโครงข่ายประสาทเข้าด้วยกัน มีกระบวนการเรียนรู้แบบผสม (Hybrid) ซึ่งเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ใช้สำหรับการประเมินดัชนีคุณภาพไฟฟ้า SARFI₉₀ และ SARFI₁₁₀ โดยใช้ความเชื่อถือได้ทางไฟฟ้าเป็นอินพุต และได้มีการเปรียบเทียบผลการจำลองวิธีการที่นำเสนอคือระบบอนุมานฟัซซี่โครงข่ายปรับตัวได้ (ANFIS) กับวิธีการประเมินคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งผลที่ได้จากการจำลอง ANFIS ให้ผลดีกว่าวิธีการที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียม ทั้งในเรื่องของเวลาที่ใช้ในการฝึกสอน และค่าความผิดพลาดเฉลี่ย ค่าดัชนีที่ได้จากการประเมินนี้ สามารถนำไปใช้ในส่วนของการออกแบบระบบไฟฟ้ากำลัง และการขยายสถานีไฟฟ้าย่อยต่อไป

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณกองทุนวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเป็นอย่างสูง ที่ได้สนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กิตติศักดิ์ กาฬรัตน์ และสมชาติ จิรวิภากร. (2553). การนำคุณภาพทางไฟฟ้ามาใช้พยากรณ์ความเชื่อถือได้ทางไฟฟ้าในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ม.ค.-เม.ย.
- [2] Lee B., Kim K.M. and Goh Y., (2008), "Unified Power Quality Index using Ideal AHP", IEEE Harmonics and Quality of Power ICHQP 13th. pp.1-5.
- [3] อรรถกร เสี่ยงใส และสมชาติ จิรวิภากร. (2554). การนำความเชื่อถือได้ทางไฟฟ้ามาทำนายคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 34. หน้า 97-100.
- [4] Schainker R., (2005), "Correlating Power Quality Indices with System Reliability Indices". EPRI Technical report.
- [5] ชำนาญ ห่อเกียรติ. (2549). ความเชื่อถือได้และการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้า. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [6] IEEE Std 1366, 2003 Edition. (2003). "IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices"
- [7] IEEE Std 1159-1995 IEEE. (1995). "Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality"
- [8] Arrillaga J., Watson N.R. and Chen S., (2000), "Power System Quality Assessment". John Wiley & Sons.
- [9] สมชาติ จิรวิภากร. (2554). การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในระบบไฟฟ้ากำลัง. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [10] Jang. J.-S.R., Sun C.T. and Mizutani E., (1997), "Neuro-fuzzy and Soft Computing". Prentice Hall.
- [11] Jang. J.-S.R., (1993), "ANFIS: Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System". IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., Vol. 23. No. 3, pp. 665 - 685.
- [12] Jang. J.-S.R. and Sun C.T., (1995), "Neuro-fuzzy modeling and control". IEEE Proceedings. Vol. 83. No. 3, pp. 378-406.
- [13] Unipower. "PQ Secure Installation Manual". [online], Available: www.unipower.se
- [14] [Online]. Available: <http://www.mathworks.com/help/toolbox/fuzzy/anfis.html>.