

การประเมินค่าเสถียรภาพชั่วคราว โดยใช้ระบบอนุมานนิวโรฟัซซี่ โครงข่ายปรับตัวได้

Transient Stability Assessment Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)

สิริวุฒิ กลอวุฒิเสถียร สมชาติ จีรวិภากร

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการการประเมินค่าเสถียรภาพชั่วคราว โดยใช้ระบบอนุมานนิวโรฟัซซี่โครงข่ายปรับตัวได้ ซึ่งเป็นระบบอัจฉริยะแบบผสมที่นำข้อดีระหว่างโครงข่ายประสาทเทียมกับตรรกศาสตร์คลุมเครือเข้าด้วยกัน มาทำนายค่าช่วงเวลาตัดกระแสวิกฤติ ระบบไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบเป็นระบบมาตรฐานสองระบบ คือระบบ New England 39 บัส และระบบ Western System Coordinating Council 9 บัส ผลที่ได้จากระบบดังกล่าวถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าช่วงเวลาตัดกระแสวิกฤติ ที่ได้มาจากการคำนวณแบบทีละขั้นตอนจากโปรแกรม Power world Version 17 ซึ่งผลที่ได้นั้นสามารถสร้างระบบอนุมานนิวโรฟัซซี่โครงข่ายปรับตัวได้สำหรับระบบไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบและทำนายค่าช่วงเวลาตัดกระแสวิกฤติ ได้ใกล้เคียงกับวิธีการคำนวณแบบทีละขั้นตอน

คำสำคัญ : เสถียรภาพชั่วคราว,ระบบอนุมานนิวโรฟัซซี่โครงข่ายปรับตัวได้,ช่วงเวลาตัดกระแสวิกฤติ,วิธีทีละขั้นตอน

Abstract

This paper presents transient stability assessment using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). It is a hybrid intelligent system. ANFIS is completed with core competency of neural network and fuzzy logic in order to predict the critical clearing time by using two test systems named New England 39 bus test system and Western System Coordinating Council 9 bus. From the results, it shows the structure of ANFIS for these electrical power systems. Prediction results compared with the critical clearing times obtained from simulations using step-by-step method of Power world program version17 are accurate.

Keywords : transient stability, adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS), critical clearing time, step-by-step method

1. บทนำ

ในปัจจุบัน เพื่อรองรับกับปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีความสลับซับซ้อนที่เพิ่มขึ้น และเพื่อให้มีการจ่ายไฟอย่างต่อเนื่อง ระบบไฟฟ้ากำลังจำเป็นต้องมีเสถียรภาพที่ดี

เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงภายในระบบอย่างทันทีทันใด เช่น การเปิดวงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การปลดสายส่ง หรือเกิดการลัดวงจร ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้า รวมทั้งความเร็วและแรงบิดของเครื่องจักรภายในระบบ ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของการเปลี่ยนแปลง ถูกเรียกว่า เสถียรภาพชั่วคราว (Transient Stability) โดยปัญหาของการเปลี่ยนแปลงภายในระบบที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือ เกิดการลัดวงจร ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าอย่างรุนแรง เพื่อรักษาเสถียรภาพของระบบ จึงต้องกำจัดกระแสลัดวงจรภายในช่วงเวลาตัดกระแสวิกฤติ (Critical Clearing Time, CCT) มิเช่นนั้นแล้วจะเกิดการสูญเสียเสถียรภาพของระบบ จึงจำเป็นต้องนำช่วงเวลาตัดกระแสวิกฤติ มาพิจารณาในการปลดวงจรของอุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้าเพื่อป้องกันการล่มระบบไฟฟ้า [1]

การศึกษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าในปัจจุบันนั้น จำเป็นต้องอาศัยคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ เพราะระบบไฟฟ้ากำลังเป็นระบบขนาดใหญ่ที่มีการเชื่อมโยงกันมาก ตั้งแต่ ส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจนถึงผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งการประเมินเสถียรภาพนั้น ส่วนใหญ่ใช้วิธีการคำนวณทีละขั้นตอน โดยอาศัยสมการสวิง ซึ่งมีความยุ่งยากและสิ้นเปลืองเวลา จึงได้มีการวิจัยเพื่อหาวิธีในการประเมินเสถียรภาพที่มีความยุ่งยากน้อยกว่าและรวดเร็วกว่า ตัวอย่างเช่น A. W. Noor Izzi ได้เสนอวิธีการที่เรียกว่า least squares support vectormachine (LS-SVM) [2], H. H. Al Marhoon ใช้ A Practical Method ในการประเมินค่าเวลาวิกฤติ [3], A. Karami ได้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมมาประเมินเสถียรภาพชั่วคราว [4]

ในบทความนี้ได้นำระบบอนุมานฟัซซี่โครงข่ายปรับตัวได้ (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) มาประเมินหาช่วงเวลาตัดกระแสวิกฤติ โดยเปรียบเทียบผลที่ได้กับวิธีทีละขั้นตอน (step by step) ซึ่งได้มาจากการ

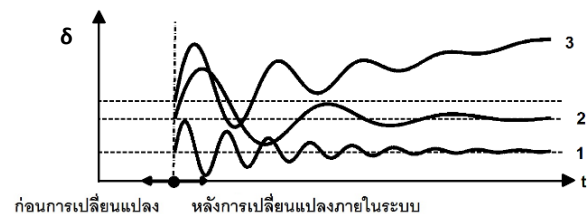
จำลอง Transient Stability (TS) ในโปรแกรม Power world Version17 [5]

2. เสถียรภาพชั่วคราวของระบบไฟฟ้า

การพิจารณาเสถียรภาพชั่วคราวของระบบไฟฟ้ากำลัง สามารถพิจารณาได้จากมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงภายในระบบไฟฟ้า มุมโรเตอร์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ตามสมการที่ 1

$$\frac{H}{2\pi} \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_m - P_e \quad (1)$$

เมื่อ δ คือมุมโรเตอร์, H คือค่าคงที่ความเฉื่อย (Inertia Constant) ของเครื่องจักร P_m คือกำลังกลของเครื่องจักรและ P_e คือกำลังทางไฟฟ้า โดยเรียกสมการที่ (1) ว่าสมการสวิง และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับเวลา ถูกเรียกว่า กราฟสวิง



รูปที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมโรเตอร์ต่อเวลา

จากรูปที่ 1 เป็นกราฟสวิงของระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เครื่อง เมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นภายในระบบ มุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมายเลข 1 และ 2 มีการแกว่งเล็กน้อยก่อนกลับเข้าสู่ค่าคงที่ใดๆ ในขณะที่ มุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมายเลข 3 เพิ่มขึ้นตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปและไม่กลับเข้าสู่ค่าคงที่ใดๆ แสดงว่า เครื่องจักร 3 สูญเสียเชิงโครนิสซิม จึงกล่าวได้ว่า ระบบไม่มีเสถียรภาพหลังจากการลัดวงจรขึ้นภายในระบบ โดยเรียกการหาเสถียรภาพด้วยวิธีนี้ว่า การคำนวณทีละขั้นตอน (step by step)

การคำนวณทีละขั้นตอน จะทำการแบ่งช่วงเวลาคำนวณออกเป็นช่วงๆ เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ จึงต้องอาศัยสมมติฐานดังต่อไปนี้ 1. กำลังไฟฟ้าแรง มีค่าคงที่จากกึ่งกลางของช่วงเวลานึงไปยังกึ่งกลางของอีกช่วงเวลานึง 2. ความเร็วเชิงมุมมีค่าคงที่ตลอดในแต่ละช่วงเวลา

จากสมการสวิงและสมมติฐานดังกล่าว สามารถหาการเปลี่ยนแปลงของมุมโรเตอร์ได้จากสมการที่ (2)

$$\Delta\delta_n = \Delta\delta_{n-1} + \frac{P_a(n-1)}{M} (\Delta t)^2 \quad (2)$$

ช่วงเวลาตัดกระแสวิกฤติเป็นเวลาสุดท้ายในการกำจัดกระแสลัดวงจรก่อนที่จะทำให้ระบบสูญเสียเสถียรภาพสามารถหาได้จากกราฟสวิง ซึ่งความถูกต้องและแม่นยำของวิธีการนี้จะขึ้นอยู่กับกระบวนการแบ่งช่วงเวลาคำนวณ เพราะถ้าแบ่งช่วงเวลากว้างเกินไป ส่งผลให้กราฟที่ได้มีความคลาดเคลื่อนไปจากกราฟจริงที่ได้จากสมการสวิง โดยทั่วไปแล้วการแบ่งช่วงเวลาคำนวณมักแบ่งที่เวลา 0.1 หรือ 0.01 วินาที [6]

3. ระบบอนุมานนิเวศฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้

ระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference system, ANFIS) เป็นการประยุกต์ใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) ซึ่งมีข้อดีในเรื่องของการเรียนรู้แต่ไม่สามารถอธิบายถึงการได้มาของการตัดสินใจได้ ร่วมกับตรรกศาสตร์คลุมเครือหรือฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) ซึ่งมีคุณสมบัติในการให้เหตุผลเชื่อมโยงมนุษย์ แต่ไม่สามารถเรียนรู้ได้โดยอัตโนมัติ จึงเหมาะสมที่นำระบบทั้งสอง ทำเป็นระบบประสานแบบอัจฉริยะ (hybrid intelligent system, HIS) ที่สามารถเรียนรู้ได้ด้วยตัวเองและอธิบายถึงที่มาของเอาต์พุตได้ โดยระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้แบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนของอนุมานฟัซซี (Fuzzy Inference) ของฟัซซีลอจิก และวิธีการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ (Back Propagation) ของโครงข่ายประสาทเทียม [7]

จากรูปที่ 2 เป็นระบบที่มีโครงสร้าง 2 อินพุต 1 เอาต์พุต แต่ละอินพุตแบ่งเป็นสองฟัซซีเซต มิติที่ 1 แบ่งฟัซซีเซตเป็น A_1 และ A_2 มิติที่ 2 แบ่งเป็น B_1 และ B_2 เอาต์พุตมีพารามิเตอร์เป็น p, q และ r โดยมีกฎจำนวน L กฎ ดังนี้

Rule1: IF x_1 is A_1 and x_2 is B_1 THEN $y_1 = p_1x_1 + q_1x_2 + r_1$

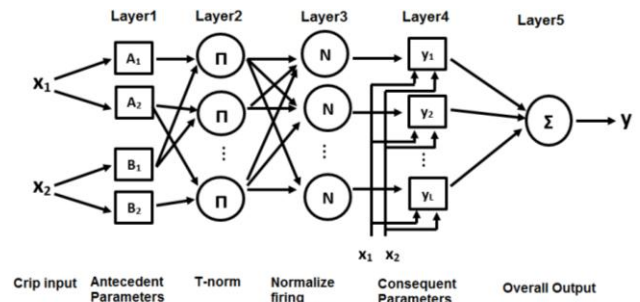
Rule2: IF x_1 is A_2 and x_2 is B_1 THEN $y_2 = p_2x_1 + q_2x_2 + r_2$

⋮

RuleL: IF x_1 is A_2 and x_2 is B_2 THEN $y_L = p_Lx_1 + q_Lx_2 + r_L$

โดยโครงสร้างประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1: Antecedent Parameters เป็นการหาค่าฟัซซีจากอินพุตในรูปแบบคิ (Crip input, x) ให้เป็นค่าความเป็นสมาชิก



รูปที่ 2 โครงสร้างระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้

ผ่านฟังก์ชันความเป็นสมาชิก μ_{A_i} หรือ μ_{B_i} โดยที่

$$O_j^1 = \mu_{A_i}(x) \quad (3)$$

เมื่อ A_i คือพจน์ทางภาษาและ O_j^1 เป็นค่าความเป็นสมาชิกของพจน์ภาษา A_i ที่เกิดจากค่า x โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิก อาจฟังก์ชันแบบสามเหลี่ยม สี่เหลี่ยมคางหมู รูปประฆังคว่ำหรือแบบอื่นก็ได้

ขั้นที่ 2: T-norm หรือขั้นกฎของฟัซซี (fuzzy rule base) เป็นขั้นทำการเชื่อมโยงค่าฟัซซีจากแต่ละมิติโดยคูณสัญญาณเข้าที่เป็นฟัซซี เข้าด้วยกัน และส่งค่าฟัซซีผลคูณเป็นสัญญาณออก

$$w_j = \mu_{j1}(x_1) \times \mu_{j2}(x_2) \quad (4)$$

เมื่อ w_j เป็นค่า firing strength จากกฎแต่ละข้อ และ $\mu_{j1}(x_1)$ เป็นค่าฟัซซีจากมิติที่ i ของกฎข้อที่ j

ขั้นที่ 3: Normalize firing strength หรือขั้นค่าถ่วงน้ำหนัก เป็นขั้นหาค่าฟัซซีผลรวมทุกกฎให้เป็นหนึ่ง

$$\bar{w}_j = \frac{w_j}{w_1 + w_2 + \dots + w_L}, j = 1, 2, \dots, L \quad (5)$$

ขั้นที่ 4: Consequent Parameters เป็นขั้นของ output membership ซึ่งค่าเอาต์พุตหาได้จาก

$$O_j^4 = \bar{w}_j y_j = \bar{w}_j (p_j x_1 + q_j x_2 + r_{j0}) \quad (6)$$

ขั้นที่ 5: Overall Output เป็นขั้นตอนการทำดีฟัซซีฟิเคชัน (Defuzzification) เพื่อหาเอาต์พุตของโครงข่าย โดยทำการรวมสัญญาณเข้า เอาต์พุตหาได้จาก

$$O_j^5 = \bar{w}^T y = \sum_{j=1}^L \bar{w}_j y_j \quad (7)$$

เมื่อ $\bar{w}^T = [\bar{w}_1 \ \bar{w}_2 \ \dots \ \bar{w}_L]$ เป็นค่าฟัซซีที่ผ่านวิธีอนุมอลไลซ์จากกฎข้อ 1 ถึง L และ $y^T = [y_1 \ y_2 \ \dots \ y_L]$ เป็นส่วนเอาต์พุตของกฎข้อ 1 ถึง L [8]-[9]

ซึ่งการประยุกต์ใช้งานระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวในด้านงานวิศวกรรม ได้แก่ การนำไปใช้

ร่วมกับระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ การพยากรณ์โหลด การคำนวณกระแสลัดวงจร เป็นต้น

4. ระบบที่ใช้ในการจำลอง

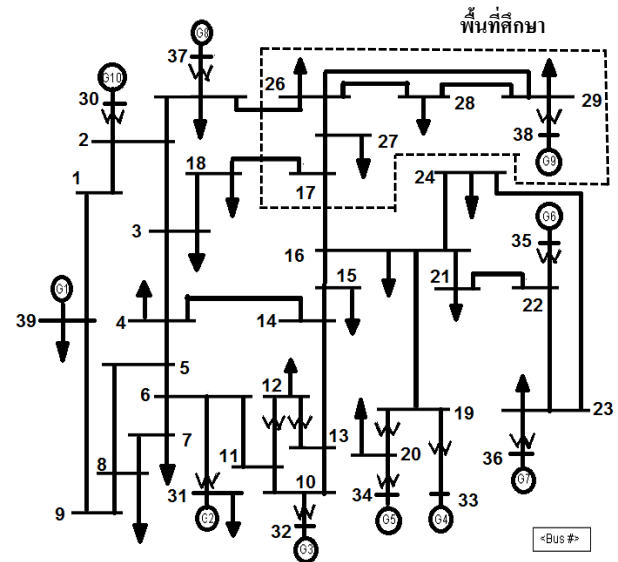
ระบบที่ใช้ในการจำลองในบทความนี้ ได้เลือกใช้ระบบมาตรฐาน 2 ระบบด้วยกัน ได้แก่

1. ระบบ New England ซึ่งเป็นระบบไฟฟ้าขนาดกลาง โดยประกอบไปด้วย บัสทั้งสิ้น 39 บัส มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมด 10 เครื่อง มีแผนภูมิเส้นเคี้ยวรูปที่ 3 โดยมีพารามิเตอร์ของ สายส่ง หม้อแปลง รวมทั้งค่าเริ่มต้นของระบบเป็นไปตาม เอกสารอ้างอิง [10] โดยใช้โมเดลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแบบพื้นฐาน (Classical Model) ไม่มีการพิจารณาผลของตัวควบคุมใดๆ เนื่องจากระบบ New England เป็นระบบที่มีการเชื่อมโยงกันมาก และเมื่อคำนวณช่วงเวลาตัดกระแสวิกฤติของบัสต่างๆ พบว่าบริเวณบัส 26, 28 และ 29 มีช่วงเวลาตัดกระแสวิกฤติต่ำที่สุดในบทความนี้จึงได้กำหนดขอบเขตการจำลองตามกรอบในรูปที่ 3 โดยมีการเปลี่ยนขนาดกำลังไฟฟ้าในบัสที่ 26, 27, 28 และ 29 ในช่วง 80 % ถึง 120 % ของกำลังไฟฟ้าเริ่มต้น และให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าคงที่

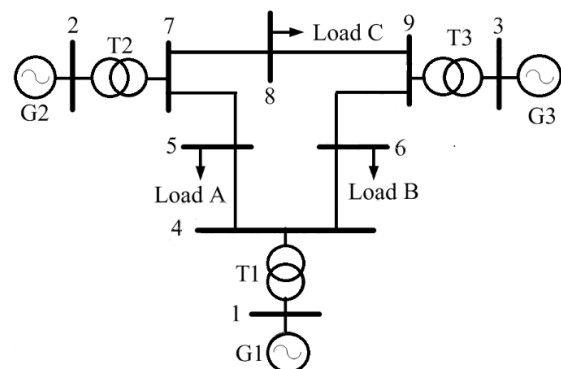
2. ระบบ Western System Coordinating Council (WSCC) ซึ่งเป็นระบบไฟฟ้าที่มีขนาดเล็ก ประกอบด้วยบัส 9 บัส เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เครื่อง มีแผนภูมิเส้นเคี้ยวรูปที่ 4 โดยมีพารามิเตอร์ของสายส่ง หม้อแปลง รวมทั้งค่าเริ่มต้นของระบบเป็นไปตาม เอกสารอ้างอิง [11] โดยใช้โมเดลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแบบมีรายละเอียด (Detailed Model) ใช้ตัวควบคุมตามมาตรฐาน IEEE Type 1 ในการจำลองมีการเปลี่ยนขนาดกำลังไฟฟ้าของโหลดในบัสที่ 5, 6 และ 8 ในช่วง 80 % ถึง 120 % ของกำลังไฟฟ้าเริ่มต้น และให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าคงที่

5. ผลการจำลอง

การจำลองในทั้งสองระบบ ใช้โครงสร้างของระบบอนุमानนิวโรฟฟิซซึโครงข่ายปรับตัวได้แบบ Sugeno อันดับที่ 1 (first order - Sugeno) มีอินพุตคือ กำลังไฟฟ้าจริงในแต่ละบัส ในขอบเขตการจำลองและตำแหน่งการเกิดการลัดวงจร และมีเอาต์พุตคือ ช่วงเวลาตัดกระแสวิกฤติ โดยจำนวนข้อมูลที่ใช้ต้องเพียงพอต่อการฝึกสอน



รูปที่ 3 แผนภูมิเส้นเคี้ยวของระบบทดสอบ New England



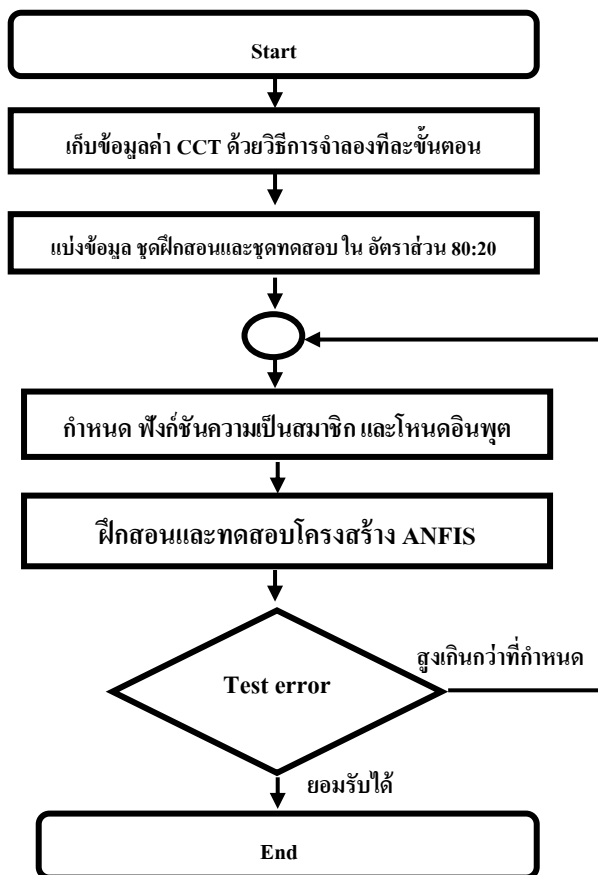
รูปที่ 4 แผนภูมิเส้นเคี้ยวของระบบทดสอบ WSCC 9 bus

ระบบอนุमानนิวโรฟฟิซซึโครงข่ายปรับตัวได้ และครอบคลุมพื้นที่การจำลอง ใช้กระบวนการเรียนรู้แบบผสม มีรอบการฝึกสอน 300 รอบ (epochs) โดยข้อมูลได้มาจากการจำลองในโปรแกรม Power world ในแต่ละระบบจะทำการแบ่งข้อมูลเป็น ชุดฝึกสอนและชุดทดสอบ ในอัตราส่วน 80:20 โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ใช้ในการจำลองเป็นการเลือกมาจากระบบการลองผิดลองถูก (Trial and error) และมีกระบวนการจำลองตามรูปที่ 5

การพิจารณาถึงความสามารถในการหาค่าตอบสามารถพิจารณาได้จากค่าความผิดพลาด โดยในที่นี้จะใช้ค่าความผิดพลาดแบบ RMSE (Root Mean Square Error) ดังสมการที่ 8

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - F_i)^2}{n}} \times 100\% \quad (8)$$

เมื่อ O_i คือ ค่าที่ได้จากการจำลองด้วย Transient Stability (TS) ในโปรแกรม Power world Version17, F_i คือค่าที่



รูปที่ 5 แผนภาพบล็อกกระบวนการจำลอง

ได้จากการทำนายโดยใช้ระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ และ n คือจำนวนข้อมูลฝึกสอนหรือทดสอบ

ในระบบ New England มีข้อมูล 400 ชุด มี 5 อินพุต คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่บัส 26, 27, 28 และ 29 และตำแหน่งการลัดวงจร โดยมีตำแหน่งการลัดวงจรทั้งสิ้น 21 ตำแหน่งประกอบด้วย การลัดวงจรที่บัส 17, 26, 27, 28, 29 และ 38 และการลัดวงจรที่ความยาว 25, 50 และ 75 เปอร์เซนต์ของสายระหว่างบัส 17-27, 26-27, 26-28, 26-29 และ 28-29 เลือกใช้ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบ pimf (Π -shaped membership function) [12] ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 1

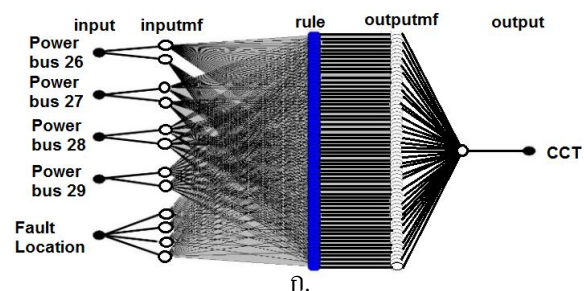
ในระบบ WSCC มีข้อมูล 300 ชุดมี 4 อินพุต คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่บัส 5, 6 และ 8 และตำแหน่งการลัดวงจร โดยมีตำแหน่งการลัดวงจรทั้งสิ้น 27 ตำแหน่งประกอบด้วย การลัดวงจรที่บัสทั้ง 9 บัส และการลัดวงจรที่ความยาว 25, 50 และ 75 เปอร์เซนต์ของสายส่งระหว่างบัส 1-5, 1-6, 5-7, 6-9, 7-8 และ 8-9 เลือกใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบ trimf

ตารางที่ 1 ค่าความผิดพลาด RMSE ในโครงสร้างต่างๆ ของระบบ New England

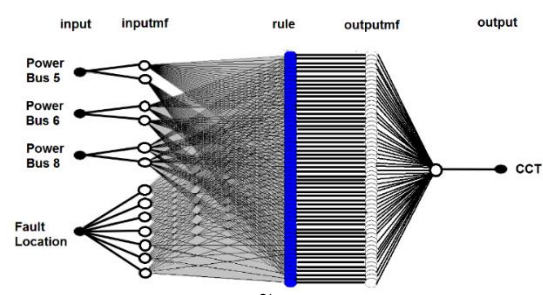
จำนวนโหนด อินพุต	Training error (%RMSE)	Test error (%RMSE)
2 2 2 2 2	1.39	1.65
2 2 2 2 3	1.23	1.60
2 2 2 2 4	0.90	1.28
3 3 3 3 4	0.38	79.0

ตารางที่ 2 ค่าความผิดพลาด RMSE ในโครงสร้างต่างๆ ของระบบ WSCC

จำนวนโหนด อินพุต	Training error (%RMSE)	Test error (%RMSE)
2 2 2 2	3.94	4.00
3 3 3 3	3.33	5.31
2 2 2 7	1.95	1.83
2 2 5 7	1.51	18.00



ก.



ข.

รูปที่ 5 โครงสร้างระบบอนุมานนิเวศวิทยาโครงข่ายปรับตัวได้ดีที่สุดในการทดสอบของระบบ

ก. New England ข. WSCC

(Triangular-shaped membership function) [12] ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 2

จากตารางที่ 1 ในระบบ New England โครงสร้างของระบบอนุมานนิเวศวิทยาโครงข่ายปรับตัว

ได้ ที่มีจำนวนโหนดในชั้นที่ 1 เป็น แบบ 2 2 2 2 4 เป็น โครงสร้างที่ให้ค่าความผิดพลาดของข้อมูลในชุดฝึกสอนต่ำ โดยมีค่าความผิดพลาดของชุดทดสอบต่ำที่สุดและสามารถยอมรับได้ จึงกล่าวได้ว่าโครงสร้างดังกล่าวเหมาะสมสำหรับการหาค่าช่วงเวลาตัด กระแสวิกฤติในระบบ New England โดยจะมีโครงสร้างดังรูปที่ 5ก

จากตารางที่ 2 ในระบบ Western System Coordinating Council (WSCC) โครงสร้างของระบบอนุমানนิวโรฟิซซึโครงข่ายปรับตัวได้ ที่มีจำนวนโหนดในชั้นที่ 1 เป็นแบบ 2 2 2 7 เป็นโครงสร้างที่ให้ค่าความผิดพลาดของข้อมูลในชุดทดสอบต่ำที่สุดและสามารถยอมรับได้ จึงกล่าวได้ว่า โครงสร้างดังกล่าวเหมาะสมสำหรับการหาค่าช่วงเวลาตัดกระแสวิกฤติในระบบ WSCC โดยจะมีโครงสร้างดังรูปที่ 5ข

บทความนี้ ได้กำหนดขอบเขตการจำลองในระบบ New England เพียง 6 บัส โดยสายส่งเชื่อมต่อ 5 เส้น ในขณะที่ระบบ WSCC ได้กำหนดขอบเขตทำการจำลองทั้งระบบ คือ 9 บัส และสายส่ง 6 เส้น จึงทำให้ขอบเขตของการศึกษาในระบบ New England มีขนาดเล็กกว่าระบบ WSCC ซึ่งทำให้การออกแบบตัวแปรอินพุตของตำแหน่งการลัดวงจรมีความซับซ้อนยุ่งยาก รวมทั้งโมเดลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแบบมีรายละเอียด ส่งผลให้ระบบอนุমানนิวโรฟิซซึโครงข่ายปรับตัวได้ทำนายค่า CCT ได้คลาดเคลื่อนมากกว่าในระบบ New England

6. บทสรุป

การประเมินค่าเสถียรภาพชั่วคราวของระบบไฟฟ้า โดยใช้ระบบอนุমানฟิซซึโครงข่ายปรับตัวได้ในบทความนี้ เป็นการนำระบบดังกล่าวมาทำนายค่าช่วงเวลาตัดกระแสวิกฤติของระบบไฟฟ้า โดยความถูกต้องของผลการทำนายขึ้นอยู่กับ การออกแบบ โครงสร้างของระบบอนุমানฟิซซึโครงข่ายปรับตัวได้ซึ่งผลการทำนายที่ได้ในบทความนี้ สามารถทำนายช่วงเวลาตัดกระแสวิกฤติ ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากวิธีทีละขั้นตอน โดยใช้เวลาในการประเมินค่าเสถียรภาพชั่วคราวเร็วกว่าวิธีทีละขั้นตอน แต่ประสบปัญหาผลที่ได้นั้นมีค่าต่ำกว่าค่าจริงและสูงกว่าค่าจริงปนกันไป ซึ่งทำให้เกิดปัญหาในการนำค่าที่ได้ไปใช้

ต่อไปได้ ดังนั้นการทำนายที่ได้ี้เหมาะสำหรับการใช้วิเคราะห์ในเบื้องต้นก่อนทำการประเมินเสถียรภาพอย่างละเอียดต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] H. Saadat, Power System Analysis, The McGraw-Hill, New York, 2010.
- [2] A. W. N. Izzri "A New Method of Transient Stability Assessment in Power Systems Using LS-SVM" 5th Student Conference on Research and Development, pp.1-6, Dec., 2007,
- [3] H. H. A. Marhoon "A Practical Method for Power Systems Transient Stability and Security Analysis" Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D), pp.1-6., May, 2012
- [4] A. Karami and S.Z. Esmaili "Transient stability assessment of power systems described with detailed models using neural networks" International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol.45, pp. 279-292, Feb., 2013
- [5] online <http://www.powerworld.com>
- [6] C. Hokeyrit, Electrical Power System Analysis, Charan Sanit Wong Pu publishing, Bangkok, 2007.
- [7] P. Meesad, Fuzzy logic and Neural network, King Mongkut's University of Technology North Bangkok Publishers, Bangkok, 2010.
- [8] J. W. Hines, Fuzzy and Neural Approaches in Engineering MATLAB Supplement, John Wiley and Sons, New York, 1997.
- [9] J. R. Jang "ANFIS : Adaptive-Neural-Based Fuzzy Inference System," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 23, pp.665-685, May/June, 1993.
- [10] M.A. Pai, Energy Function Analysis for Power System Stability, Kluwer Academic Publishers, London, 1989.
- [11] S. K. Nallagatla, M. K. Kirar and G. Agnihotri "Transient Stability Analysis of the IEEE 9-Bus Electric Power System," International Journal of Scientific Engineering and Technology, Vol.1, pp.161-166, July, 2012.
- [12] online <http://www.mathworks.com/help/fuzzy/anfis.html>