บทที่ 5

การคำนวณ ATC ด้วย ANFIS

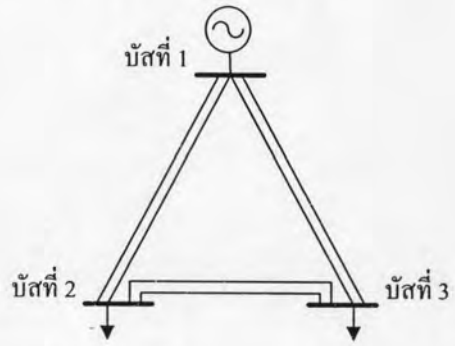
ข้อดีของ ANFIS คือสามารถจำลองระบบที่มีความสลับซับซ้อนได้ โดย ANFIS จะแปลงขาเข้าของระบบไปเป็นขาออกของระบบได้โดยไม่ต้องสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ยุ่งยาก และ ANFIS ที่ผ่านการฝึกสอนก็จะสามารถคำนวณขาออกได้อย่างรวดเร็ว จากข้อดีเหล่านี้ทำให้มีการนำANFIS ไปประยุกต์ใช้ในศาสตร์ต่าง ๆ ในช่วงเวลาที่ผ่านมา

การคำนวณ ATC ก็เป็นการหาค่าความสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในระบบที่มีความสลับซับซ้อน ถึงแม้ว่าจะมีวิธีการหาคำตอบแต่เวลาที่ใช้ในการคำนวณจะใช้เวลามาก และยิ่งระบบไฟฟ้ากำลังมีขนาดใหญ่ก็จะใช้เวลามากขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้ ATC ค่าหนึ่งจะเกิดจากสภาวะของระบบ 1 สภาวะ และการคำนวณด้วยวิธีดั้งเดิมจึงไม่สามารถเปลี่ยนค่า ATC ตามสภาวะของระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ดังนั้นจึงมีผู้สนใจนำ ANFIS มาคำนวณค่า ATC โดยสร้างรูปแบบขาเข้าของ ANFIS ขึ้นมา และอาศัยข้อมูลสภาวะของระบบกับ ATC ที่มีการคำนวณไว้ด้วยวิธีดั้งเดิมมาเป็นข้อมูลฝึกสอน ANFIS ซึ่งที่มาและวิธีการที่เคยมีการนำเสนอไว้จะรวบรวมมาไว้ในเนื้อหาบทนี้

5.1 แนวคิดพื้นฐานในการคำนวณ ATC ด้วย ANFIS

การคำนวณ ATC ค่าหนึ่งด้วยวิธีการบนพื้นฐานของโหลดโฟลว์เช่น RPF จะต้องทำโหลดโฟลว์หลายครั้ง ทั้งนี้การทำโหลดโฟลว์เป็นการหาคำตอบของปัญหาไม่เชิงเส้นซึ่งต้องมีการทำซ้ำเช่นกัน เวลาที่ใช้ในการคำนวณ ATC ค่าหนึ่งจึงขึ้นอยู่กับขนาดและสภาวะของระบบ กล่าวคือระบบขนาดใหญ่มีตัวแปรสถานะจำนวนมากก็จะใช้เวลาในการคำนวณมากขึ้นรวมทั้งสถานะของระบบที่แตกต่างกันก็จะใช้จำนวนของการทำซ้ำในการหาคำตอบแตกต่างกันไปด้วย ต่อมาเพื่อปรับปรุงการคำนวณ ATC ให้เหมาะสมกับการปรับปรุงค่าแบบเวลาจริง (real time) Khairuddin et al. [2] ได้นำเสนอวิธีคำนวณ ATC ระหว่างบัสสองบัสในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ด้วย ANFIS โดยกำหนดขาเข้าจำนวน 3 ตัว แล้วจึงฝึกสอน ANFIS ด้วยขาเข้าและขาออกตัวอย่าง ซึ่งANFIS ที่ผ่านการฝึกสอนจะสามารถคำนวณค่า ATC ค่าหนึ่งโดยการคำนวณผ่านฟังก์ชันภายใน ANFIS เพียงรอบเดียวไม่ต้องมีการทำซ้ำเหมือนวิธี RPF ทำให้ใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าวิธี RPF

วิธีที่ Khairuddin et al. [2] นำเสนอเป็นการคำนวณค่า ATC ในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ด้วย ANFIS โดยใช้ขาเข้าที่มีแนวคิดเริ่มต้นมาจากระบบ 3 บัสดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 5.1 ระบบ 3 บัส

ในการคำนวณค่า ATC ระหว่างบัสที่ 1 กับบัสที่ 2 จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าสามารถส่งผ่านสายส่งได้ 2 เส้นทางคือ 1-2 และ 1-3-2 โดยเรียกเส้นทาง 1-2 ว่าเส้นทางตรง (direct path) เรียกเส้นทาง 1-3-2 ว่าเส้นทางอ้อม (indirect path) และเรียกบัสที่ 3 ว่าบัสข้างเคียง (neighboring bus)

ในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่มีจำนวนบัสและเส้นทางต่าง ๆ มากมายจากบัสต้นทางไปยังบัสปลายทาง จึงทำให้การคำนวณค่า ATC ระหว่างบัสในระบบขนาดใหญ่มีความแตกต่างจากกรณีบัส 3 บัส กล่าวคือ

1.) ระบบขนาดใหญ่การหา ATC ระหว่างบัส 2 บัสจะมีเส้นทางจำนวนมากที่สามารถเป็นเส้นทางอ้อมและก็มีบัสจำนวนมากที่สามารถเป็นบัสข้างเคียงได้เช่นกัน
2.) โครงสร้างของระบบขนาดใหญ่ บัสต้นทางและบัสปลายทางที่พิจารณาจะได้รับอิทธิพลจากบัสอื่น ๆ ในแต่ละสภาวะการทำงานของระบบ
3.) ในระบบไฟฟ้ากำลังการเกิดเหตุการณ์ผิดพลาดของอุปกรณ์ในระบบย่อมส่งผลต่อค่า ATC เนื่องจากการไหลของกำลังไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง
4.) สามารถติดตามการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบ 3 บัสได้ง่ายกว่าระบบขนาดใหญ่

5.2 การกำหนดเส้นทางอ้อมและบัสข้างเคียง

สำหรับบัสต้นทางและบัสปลายทางที่พิจารณา จะมีเส้นหลายเส้นทางที่กำลังไฟฟ้าจะไหลจากบัสต้นทางไปยังบัสปลายทางได้ แต่จะมีเส้นทางหนึ่งที่มีอิมพีแดนส์น้อยที่สุด ซึ่งจะเลือกเส้นทางนี้เป็นเส้นทางอ้อม

จากเส้นทางอ้อมที่ได้จะมีบัสที่อยู่บนเส้นทางอ้อมจำนวนหนึ่งที่อยู่ระหว่างบัสต้นทางและบัสปลายทาง บัสที่จะระบุให้เป็นบัสข้างเคียงได้ จะต้องเป็นบัสที่อยู่บนเส้นทางอ้อมและอยู่ใกล้กับบัสต้นทางมากที่สุด อย่างไรก็ตามถ้าบัสดังกล่าวไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่ก็ให้พิจารณาบัส

ถัดไปที่อยู่บนเส้นทางอ้อมที่พิจารณา ถ้ามีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชื่อมต่อก็ให้เลือกบัสนั้นเป็นบัสข้างเคียง และบัสข้างเคียงนี้จะมีความสำคัญในการกำหนดขาเข้าของ ANFIS ในลำดับต่อไป

5.3 การกำหนดขาเข้าของ ANFIS ในการคำนวณ ATC

สภาวะของระบบ 1 สภาวะจะให้ค่า ATC 1 ค่า ซึ่งผลของการเปลี่ยนแปลงโหลดที่บัสทุกบัสจะมีผลต่อค่า ATC ทั้งสิ้น อย่างไรก็ตามหากจะกำหนดให้โหลดที่บัสทุกบัสเป็นขาเข้าของ ANFIS จะทำให้โครงสร้างใน ANFIS มีกฎเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจากแนวคิดระบบ 3 บัส จึงนำมาสู่การกำหนดขาเข้าเพื่อหา ATC ของระบบขนาดใหญ่ ซึ่ง Khairuddin et al. [2] ได้มีการนำเสนอขาเข้าในการคำนวณ ATC จำนวน 3 ตัวคือ

1.) กำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสปลายทาง (sink bus power injection, P_s)
2.) กำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสข้างเคียง (neighboring bus power injection, P_n)
3.) ดัชนีโหลด (loading index, L) เป็นการรวมผลของกำลังไฟฟ้าที่บัสทั้งหมดและรวมผลของเหตุการณ์ผิดพลาดที่เกิดขึ้น ในรูปแบบดังนี้

$$L = \frac{\sum_{i=1}^{N} P_{di}}{1.5A_{\max}} + 2C \tag{5.1}$$

โดย

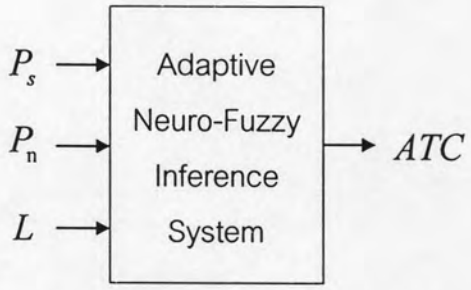
P_{di} คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้า (MW) ของบัสที่ i

N คือ จำนวนบัสทั้งหมดในระบบ

$A_{\max}$ คือ ขีดจำกัดด้านความร้อนของสายส่งที่สูงที่สุดในระบบ

C คือ ขาเข้าที่เป็นเลขจำนวนเต็มที่บ่งบอกถึงสภาวะของระบบขณะที่กำลังคำนวณค่า ATC เช่น ระบบอยู่ในภาวะปกติกำหนดให้มีค่าเป็น 1 สภาวะที่เกิดเหตุการณ์ผิดพลาด (contingency) ที่สายส่งเส้นสำคัญกำหนดให้มีค่าเป็น 2 เป็นต้น

จะได้รูปแบบขาเข้าของ ANFIS แสดงดังรูป



รูปที่ 5.2 รูปแบบขาเข้า ANFIS ในการคำนวณ ATC ที่นำเสนอโดย Khairuddin et al.

ต่อมา Vinod Kumar, Narayan Reddy และ Venkaiah [3] ได้ปรับขาเข้าใหม่โดยแยกขาเข้าที่เป็นดัชนีโหลด (L) ออกเป็นขาเข้าที่แสดงถึงผลของความต้องการกำลังไฟฟ้ากับผลของสภาวะระบบ โดยขาเข้าที่มีการปรับปรุงเป็นดังนี้

1.) กำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสปลายทาง (sink bus power injection, P_s)

2.) กำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสข้างเคียง (neighboring bus power injection, P_n)

3.) ดัชนีเอนกประสงค์ (universal index, γ) เป็นขาเข้าที่แสดงถึงความต้องการกำลังไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ ยกเว้นบัสปลายทางและบัสข้างเคียง มีสูตรคำนวณดังนี้

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1, i\neq Ns, Nn}^{N} P_{di}}{A_{\max}} \tag{5.2}$$

โดย

P_{di} คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้า (MW) ของบัสที่ i

N คือ จำนวนบัสทั้งหมดในระบบ

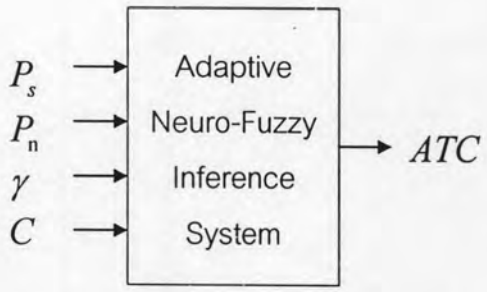
Ns คือ หมายเลขบัสปลายทาง

Nn คือ หมายเลขบัสข้างเคียง

$A_{\max}$ คือ ขีดจำกัดด้านความร้อนของสายส่งที่สูงที่สุดในระบบ

4.) ดัชนีสภาวะ (category index, C) คือ เลขจำนวนเต็มบ่งบอกสภาวะของระบบ

จะได้รูปแบบขาเข้าของ ANFIS แสดงดังรูป



รูปที่ 5.3 รูปแบบขาเข้า ANFIS ในการคำนวณ ATC ที่นำเสนอโดย Vinod Kumar et al.

5.4 ข้อมูลที่ใช้ฝึกสอน ANFIS ในการคำนวณ ATC

ANFIS จะสามารถคำนวณ ATC ได้ต้องใช้ชุดข้อมูลขาเข้าขาออกที่แตกต่างกันมาฝึกสอน ANFIS โดยข้อมูลที่ได้อาจมาจากฐานข้อมูลของระบบที่เคยคำนวณค่า ATC ด้วยวิธีบนพื้นฐานของโหลดโฟลว์ แต่หากระบบไม่มีฐานข้อมูลที่เก็บค่า ATC ข้อมูลที่จะนำมาใช้ฝึกสอนสามารถทำได้โดยนำสถานะของระบบที่เวลาต่าง ๆ มาคำนวณ ATC ด้วยวิธีพื้นฐานของโหลดโฟลว์ ซึ่งข้อมูลที่นำมาฝึกสอน ANFIS ควรจะเป็นข้อมูลที่ครอบคลุมกรณีต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้ากำลังที่พิจารณาให้มากที่สุด เพื่อที่ ANFIS จะสามารถคำนวณ ATC ได้อย่างถูกต้อง

5.5 การสร้างข้อมูลฝึกสอน

ข้อมูลในการฝึกสอน ANFIS ประกอบด้วยคู่ขาเข้าและขาออกจำนวนมาก ในการคำนวณ ATC จะใช้ขาเข้าดังที่ได้นำเสนอไปในหัวข้อที่ 5.3 และกำหนดให้ขาออกเป็นค่า ATC โดยระบบที่ไม่มีฐานข้อมูล ATC จะต้องนำข้อมูลระบบมาคำนวณค่า ATC ด้วยวิธีแบบดั้งเดิมโดย Khairuddin et al. และ Vinod Kumar et al. ได้ใช้วิธี RPF ในการคำนวณค่า ATC เพื่อให้ได้ข้อมูลที่นำมาฝึกสอน ANFIS

การคำนวณ ATC ด้วยวิธี RPF สำหรับกรณีบัสต่อบัสสามารถทำได้โดยให้บัสต้นทางเป็นบัสอ้างอิง (slack bus) จากนั้นทำโหลดโฟลว์โดยตรวจสอบว่ามีการละเมิดขีดจำกัดของระบบหรือไม่เมื่อไม่เกิดการละเมิดจึงเพิ่มโหลดที่บัสปลายทางโดยคงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ดังนี้

$$P_{D\text{sink}} = P^0_{D\text{sink}} + \lambda \tag{5.3}$$

$$Q_{D\text{sink}} = (P_{D\text{sink}} + \lambda)\tan(\cos^{-1}(PF)) \tag{5.4}$$

โดย

λ คือ ปริมาณสเกลาร์ที่แสดงถึงการเพิ่มขึ้นของโหลดปลายทาง โดยในการทำ RPF จะเพิ่มปริมาณนี้ทุกครั้งที่ทำโหลดโฟลว์จนกว่าจะเกิดการละเมิดขีดจำกัด ในที่นี้ค่า λ สูงสุดที่ได้คือค่า ATC

P_{Dsink} คือ กำลังจริงที่บัสปลายทางที่เพิ่มขึ้นในการทำ RPF

Q_{Dsink} คือ กำลังรีแอกทีฟที่บัสปลายทางที่เพิ่มขึ้นในการทำ RPF

PF คือ เพาเวอร์แฟกเตอร์ของโหลดที่บัสปลายทาง

ขั้นตอนการคำนวณ ATC แบบบัสต่อบัสด้วยวิธี RPF สามารถอธิบายได้ดังนี้

1.) กำหนดกรณีที่ต้องการคำนวณ ATC โดยให้บัสต้นทางเป็นบัสอ้างอิง
2.) กำหนด $\lambda = 0$ ในการทำโหลดโฟลว์ครั้งแรก
3.) ทำโหลดโฟลว์
4.) หากไม่เกิดการละเมิดขีดจำกัดของระบบให้เพิ่มค่า λ อีก $\Delta\lambda$ จากนั้นปรับค่าโหลดที่บัสปลายทางตาม 5.3 และ 5.4 แล้วกลับไปยังขั้นตอนที่ 3 แต่หากว่าหลังจากการทำโหลดโฟลว์เกิดการละเมิดขีดจำกัดให้ทำต่อในขั้นตอนที่ 5
5.) ลดค่า λ ไปเป็นจำนวนร้อยละ 10 ของ $\Delta\lambda$ ปรับค่าโหลดที่บัสปลายทางตาม 5.3 และ 5.4
6.) ทำโหลดโฟลว์
7.) ตรวจสอบว่าเกิดการละเมิดขีดจำกัดของระบบหรือไม่ ถ้าเกิดการละเมิดให้กลับไปที่ขั้นตอนที่ 5 แต่ถ้าไม่เกิดการละเมิดให้ทำต่อในขั้นตอนต่อไป
8.) ให้ค่า λ ที่ได้เป็นค่า ATC

หลังจากคำนวณตามขั้นตอนดังกล่าว กรณีโหลด 1 กรณีจะให้ค่า ATC 1 ค่า จากนั้นจะต้องคำนวณขาเข้าของ ANFIS โดยใช้ข้อมูลโหลดที่มีอยู่ เพื่อจัดทำเป็นข้อมูลขาเข้าและขาออกที่จะนำไปฝึกสอน ANFIS และหลังจากฝึกสอนก็จะได้ ANFIS ที่พร้อมนำไปรับขาเข้าจากระบบและสามารถคำนวณ ATC ได้สอดคล้องกับข้อมูลตัวอย่างที่นำมาฝึกสอน

5.6 สรุป

การคำนวณ ATC ด้วย ANFIS มีหลักการสำคัญคือการกำหนดขาเข้าที่เหมาะสมเพื่อให้ ANFIS สามารถแยกแยะสภาวะของระบบและส่งขาออกที่เป็นค่า ATC ได้อย่างถูกต้อง แต่การกำหนดขาเข้าเป็นโหลดที่บัสทุกบัสเป็นสิ่งที่ไม่เหมาะสม จากเนื้อหาที่กล่าวมาในบทนี้จะเห็นได้ว่า Khairuddin et al. และ Vinod Kumar et al. ได้ใช้ดัชนีที่บอกสภาวะของโหลดที่บัสต่าง ๆ เป็นขาเข้าของ ANFIS แทนที่จะกำหนดโหลดที่บัสทุกบัสเป็นขาเข้า