

การวิเคราะห์ความสามารถที่สังเกตได้ในการประมาณค่าสถานะ สำหรับระบบไฟฟ้าด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

ศศิพร ผลไพศาลศักดิ์¹ ระดมบุญ ทักขนา² ยุทธนา คงจีน³ และกฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์^{4*}
sasiporn_p@mail.rmutt.ac.th¹, radomboon_t@mail.rmutt.ac.th², yuttana.ko@rmuti.ac.th³,
krischonme.b@en.rmutt.ac.th^{4*}

^{1,2,4*} ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

³ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

Received	: 15-Jan-2020
Revised	: 11-Feb-2020
Accepted	: 11-Mar-2020

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์ความสามารถที่สังเกตได้ในการประมาณค่าสถานะของเครื่องมือวัดสำหรับระบบไฟฟ้าด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยการนำการประมาณค่าสถานะมาใช้แก้ไขปัญหาค่าข้อมูลที่ขาดหายไปในการวัดของเครื่องมือวัดและปัญหาการติดตั้งเครื่องมือวัดในทุกบัส เป้าหมายหลักคือการหาค่าจำนวนให้ได้น้อยที่สุดและตำแหน่งการติดตั้งที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องมือวัดสำหรับระบบไฟฟ้า นอกจากการศึกษาค่าสถานะของเครื่องมือวัดด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม ในการหาจำนวนและตำแหน่งการติดตั้งของเครื่องมือวัดในระบบไฟฟ้าแล้ว ยังได้มีการศึกษาการวิเคราะห์ความสามารถที่สังเกตได้ เพื่อนำมาใช้ในการหาตัวแปรที่ส่งผลต่อสมการเครื่องมือวัด โดยศึกษาบนพื้นฐานระบบมาตรฐาน IEEE 14 บัส แทนระบบไฟฟ้า จากการศึกษาบนพื้นฐานระบบมาตรฐาน IEEE 14 บัส ผลการทดสอบพบว่า การจำลองการติดตั้งเครื่องมือวัดในระบบไฟฟ้า ที่มีจำนวนเครื่องมือวัดทั้งหมด 122 ตัว เมื่อทำการติดตั้งเครื่องมือวัดด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม ทำให้สามารถลดจำนวนของเครื่องมือวัดลงเหลือ 56 ตัว และเมื่อทำการวิเคราะห์เฉพาะเครื่องมือวัดอัตโนมัติ AMR ในระบบไฟฟ้าที่มีจำนวนทั้งหมด 42 ตัว โดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรม ผลที่ได้พบว่าสามารถลดจำนวนของเครื่องมือวัดอัตโนมัติเหลือ 13 ตัว และระบบการวัดไฟฟ้าก็ยังสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ความสามารถที่สังเกตได้ การประมาณค่าสถานะ เทคนิควิธีเชิงพันธุกรรม

Analysis of Observability of Power System State Estimation using Genetic Algorithm Technique

Sasiporn Pholpaisansak¹, Radomboon Thaksana², Yuttana Kongjeen³, and Krischonme Bhumkittipich^{4*}
sasiporn_p@mail.rmutt.ac.th¹, radomboob_t@mail.rmutt.ac.th², yuttana.ko@rmuti.ac.th³,
krischonme.b@en.rmutt.ac.th^{4*}

^{1,2,4*}Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

³Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan

Received	: 15-Jan-2020
Revised	: 11-Feb-2020
Accepted	: 11-Mar-2020

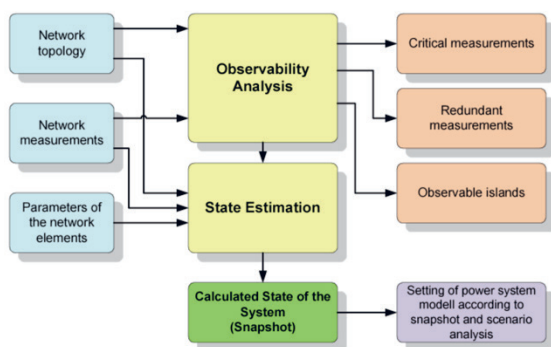
Abstract

This paper presents an analysis of observability in state estimation of instruments for electrical systems using genetic algorithm technique. This proposed algorithm can be solved for preventing the instruments from the measurement data missing in electrical power systems, and for installing the instruments in all bus standards. The goal of this research focuses on the minimum number of instruments and their most appropriate locations for electrical systems. Besides the state estimation of instruments by using genetic algorithm technique to find the minimum number of instruments and their most appropriate locations, the analysis of observability can be used to find the variables affecting the instrumentation equations. This is experimented on the basis of the IEEE 14 bus standard instead of the electrical system. The simulation results found that the instruments in electrical systems had a total of 122 sets, but after installing the instruments using a genetic algorithm technique, the number of instruments decreased by 56 sets. Also, the technique was used with the AMR instruments in electrical systems with a total of 42 set, the instruments decreased by 13 sets. The decreased number of instruments could function efficiently.

Keywords: observability, state estimation, genetic algorithm technique

1. บทนำ

การบริหารจัดการระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart grid) ในอนาคตจะเข้ามามีบทบาทอย่างยิ่งต่อการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าโดยรวมของระบบจำหน่ายไฟฟ้า ระบบผลิตไฟฟ้า ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า และยังมีกระแสเทคโนโลยีของโลกในการสื่อสารแบบไร้พรมแดน การเฝ้าติดตามผลการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบทันเวลา (Real time) ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ระบบการวัดพลังงานไฟฟ้าของระบบไฟฟ้านั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้า เมื่อเกิดปัญหาเกี่ยวกับระบบเครื่องวัดนั้น เช่น อ่านค่าผิดพลาด การชำรุดเสียหาย เป็นต้น ซึ่งเป็นผลทำให้ระบบเครื่องวัดไม่สามารถประมาณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงที่เครื่องวัดเกิดปัญหาขึ้นได้ เมื่อเกิดปัญหาเหล่านี้เกิดขึ้นส่วนใหญ่แล้วจะมีการจัดการโดยใช้วิธีหลักการนำค่าตัวประกอบโหนดของเครื่องวัดที่เกิดปัญหาดังกล่าวมาทำการเฉลี่ยค่าตัวประกอบโหนด ทำให้เกิดปัญหาที่เป็นภาระต่อผู้ใช้งานไฟฟ้าที่ต้องยอมรับในเงื่อนไขของหลักการดังกล่าว ที่ค่าของการใช้พลังงานไฟฟ้านั้นอาจจะไม่ใกล้เคียงกับค่าของความเป็นจริง หรือ การไฟฟ้า อาจเป็นฝ่ายที่เสียเปรียบในการคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าดังกล่าวได้ และอาจส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือของระบบเครื่องวัดลดน้อยลงได้



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ความสามารถที่สังเกตได้และการประมาณค่าสถานะ [1]

รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การวิเคราะห์ความสามารถที่สังเกตได้และการประมาณค่าสถานะของระบบไฟฟ้าเพื่อทำการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าที่ต้องการ ดังนั้นการวิเคราะห์ความสามารถที่สังเกตได้โดยใช้เทคนิคการประมาณค่าสถานะนั้นจึงมี

ความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งต่อการบริหารจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยภาพรวม เทคนิคการประมาณค่าสถานะมีการนำมาประยุกต์ใช้ในหลายด้านในปัจจุบัน และเริ่มกลับมาได้รับความนิยมอีกครั้งในการประยุกต์ใช้การประมาณค่าช่วงสภาวะทรานเซียนต์ (Transient State Estimation, TSE) [2] และงานอื่น ๆ ที่เป็นในลักษณะการควบคุมแบบทันเวลา (Dynamic State Estimation, DSE) [3] และค่าใช้จ่ายของจำนวนเครื่องมือวัดทั้งหมดในระบบ การมีเครื่องมือวัดที่เหมาะสมกับระบบไฟฟ้าก็เป็นอีกเงื่อนไขหนึ่งในทางเศรษฐศาสตร์ที่ต้องพิจารณา ในด้านภาระค่าใช้จ่ายและความเหมาะสมต่อจำนวนของเครื่องมือวัด ที่ไม่เกินความเป็นจริง ซึ่งการลดจำนวนเครื่องมือวัดในระบบโดยการใช้เทคนิคการหาค่าตัวแปรสถานะและเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมก็ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลาย [4]

บทความนี้จึงนำเสนอหลักการประยุกต์เบื้องต้นของวิธีการประมาณค่าสถานะ (State Estimation, SE) และจัดเตรียมนำไปใช้งานในสนามจริงโดยทำการศึกษาจากพื้นฐานระบบมาตรฐาน IEEE 14 บัส แทนระบบไฟฟ้า โดยนำเสนอโปรแกรมประมาณค่าสถานะของระบบไฟฟ้า โดยส่วนแรกจะอธิบายวิธีการประมาณค่าสถานะ วิธีการหาค่าตอบของการประมาณค่าสถานะ การหาตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดโดยวิธีการเชิงพันธุกรรม ผลการทดสอบการติดตั้งเครื่องมือวัดด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม สรุปและอภิปรายผล

2. วิธีการประมาณค่าสถานะ

การประมาณค่าสถานะนั้นเป็นการประมาณค่าตัวแปรที่ไม่สามารถทราบค่าได้ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่ทำมาเพื่อสามารถวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้า ซึ่งระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ในปัจจุบันมีการเชื่อมต่อเข้าด้วยกันทำให้ระบบนั้นมีความซับซ้อนมากขึ้น การประมาณค่าสถานะนั้นจึงเป็นตัวช่วยอย่างหนึ่งที่สามารถช่วยวิเคราะห์ระบบที่มีความซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ระบบนั้น จำเป็นต้องมีการพิจารณาข้อมูลจากการวัด โดยทั่วไปข้อมูลที่ได้จากการวัดจะเป็นข้อมูลของ ขนาดแรงดันที่บัส กำลังไฟฟ้าที่บัส และมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าที่บัส โดยตัวแปรสถานะเหล่านี้จะที่ถูกนำมาประมาณค่าสถานะของระบบไฟฟ้ากำลัง การหาค่าการประมาณ

สถานะ เพื่อที่จะให้ได้ค่าที่เป็นจริงมากที่สุด โดยนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อที่จะทำให้ระบบกำลังมีเสถียรภาพมากและมีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งสมการการประมาณค่าสถานะระบบไฟฟ้ากำลังที่ไม่เป็นเชิงเส้นสามารถเขียนได้เป็น [5]

$$z = h(x) + \varepsilon \quad (1)$$

เมื่อ Z คือ เวกเตอร์ของการวัด
 x คือ เวกเตอร์ตัวแปรของสถานะ
 $h(x)$ คือ ฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้น
 ε คือ เวกเตอร์ผิดพลาดของการวัด
 ซึ่งในระบบไฟฟ้ากำลัง จะมีตัวแปรสถานะ คือ ขนาดและมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าที่บัส (V และ δ) ที่ถูกประมาณค่าจำนวน $2N-1$ ตัวแปร ซึ่งตัวแปรสถานะและค่าที่วัดได้เขียนสมการได้ดังนี้ ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ V_i^{meas} จะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่าผิดพลาดในการวัด และเขียนสมการได้

$$V_i^{meas} = V_i + \varepsilon V_i \quad (2)$$

เมื่อ i คือ บัสที่พิจารณา
 εV_i คือ ค่าแรงดันที่ผิดพลาดของการวัด
 V_i^{meas} คือ ค่าที่วัดได้จากบัส i
 กำลังไฟฟ้าที่บัสจะมีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ของ สายส่งไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้าที่เชื่อมโยงกับบัสนั้น ๆ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าสามารถเขียนสมการได้เป็น

$$[\bar{Y}][\bar{V}] = [\bar{I}] \quad (3)$$

เมื่อ $\bar{Y} = Y \angle \theta$ คือ เมทริกซ์แอดมิตแตนซ์ของระบบ
 $\bar{V} = V \angle \theta$ คือ เมทริกซ์เฟสเซอร์ของแรงดันไฟฟ้า
 และ $\bar{I} = I \angle \theta$ คือ เมทริกซ์เฟสเซอร์ของกระแสไฟฟ้า
 ซึ่งกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนคำนวณได้จากสมการ

$$S = VI^* = P + jQ \quad (4)$$

และได้สมการของกำลังไฟฟ้าที่บัส i เป็น

$$P_i = \sum_{j=1}^i V_i V_j V_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (5)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^i V_i V_j V_{ij} \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (6)$$

ดังนั้นสมการของการวัดที่บัส i จึงเขียนได้เป็น

$$P_i^{meas} = \sum_{j=1}^i V_i V_j V_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) + \varepsilon P_i \quad (7)$$

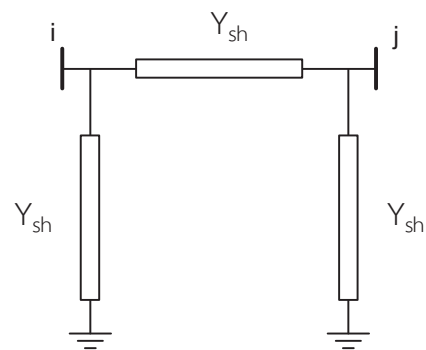
$$Q_i^{meas} = \sum_{j=1}^i V_i V_j V_{ij} \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) + \varepsilon Q_i \quad (8)$$

เมื่อ P_i^{meas} คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่บัส
 Q_i^{meas} คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนที่บัส
 iV_i คือ ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่บัส
 iV_n คือ ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่บัส
 nY_{in} คือ ขนาดแอดมิตแตนซ์ระหว่างบัส i และบัส n
 εP_i คือ ค่าผิดพลาดที่วัดกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส
 $i\varepsilon Q_i$ คือ ค่าผิดพลาดที่วัดกำลังไฟฟ้าเสมือนที่บัส
 $i\delta_n$ คือ มุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าที่บัส
 $n\delta_i$ คือ มุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าที่บัส
 $i\theta_{in}$ คือ มุมเฟสของแอดมิตแตนซ์ระหว่างบัส i
 nN คือ จำนวนบัสทั้งหมด

รูปที่ 2 แสดงแบบจำลองสายส่งไฟฟ้าซึ่งแทนด้วยวงจรสมมูล แบบ π จากรูปสามารถเขียนสมการของกระแสที่ไหลจากบัส i ไปยังบัส j ได้ดังนี้

$$I_{ij} = Y_{sh} V_i + Y_{se} (V_i - V_j) \quad (9)$$

ซึ่งกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนคำนวณการไหลจากบัส i ไปบัส j ได้จากสมการ



รูปที่ 2 แบบจำลองสายส่งแบบ π [6]

$$S_{ij} = V_i I_{ij} = P_{ij} + jQ_{ij} \quad (10)$$

ซึ่งจะได้สมการของกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากบัส i ไปยังบัส j ได้ดังนี้

$$P_{ij} = V_i^2 [Y_{se} \cos \theta_{se} + Y_{sh} \cos \theta_{sh}] - V_i V_j Y_{se} \cos(\theta_{se} - \delta_i - \delta_j) \quad (11)$$

$$Q_{ij} = -V_i^2 [Y_{se} \sin \theta_{se} + Y_{sh} \sin \theta_{sh}] - V_i V_j Y_{se} \sin(\theta_{se} - \delta_i - \delta_j) \quad (12)$$

สมการการวัดของกำลังไฟฟ้าที่ไหลระหว่างบัส i และบัส j จะได้สมการที่ (13) และ (14)

$$P_{ij}^{meas} = V_i^2 [Y_{se} \cos \theta_{se} + Y_{sh} \cos \theta_{sh}] - V_i V_j Y_{se} \cos(\theta_{se} - \delta_i - \delta_j) + \varepsilon P_{ij} \quad (13)$$

$$Q_{ij}^{meas} = -V_i^2 [Y_{se} \sin \theta_{se} + Y_{sh} \sin \theta_{sh}] - V_i V_j Y_{se} \sin(\theta_{se} - \delta_i - \delta_j) + \varepsilon Q_{ij} \quad (14)$$

เมื่อ P_{ij}^{meas} คือกำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลระหว่างบัส i ไปบัส j

Q_{ij}^{meas} คือกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ไหลระหว่างบัส i ไปบัส j

Y_{se} คือขนาดแอดมิตแตนซ์อนุกรมระหว่างบัส i ไปบัส j

Y_{sh} คือ ขนาดแอดมิตแตนซ์ขนาน

θ_{se} คือ มุมเฟสของแอดมิตแตนซ์อนุกรม

θ_{sh} คือ มุมเฟสของแอดมิตแตนซ์ขนาน

δ_i คือ มุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าที่บัส i

δ_j คือ มุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าที่บัส j

หากเครื่องมือวัดถูกติดตั้งที่ทุก ๆ 3 บัสและสายส่งทั้งหมดในระบบไฟฟ้ากำลังสมการการวัดที่เป็นไปได้ทั้งหมดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสและกำลังที่ไหลในสายส่ง(ทุกๆบัสและทุกสายส่ง) จะต้องถูกจัดรูปสมการที่ (14) เพื่อนำไปใช้ในการประมาณค่าสถานะ อย่างไรก็ตามการติดตั้งเครื่องมือวัดที่ทุกตำแหน่งที่เป็นไปได้จะต้องลงทุนสูง อีกทั้งยังเป็นการติดตั้งเครื่องมือวัดที่มากเกินไปจนความจำเป็นทั้งนี้เพราะสมการการวัดเพียง $2n-1$ สมการ ก็เพียงพอต่อการประมาณค่าตัวแปรสถานะแรงดันบัสทั้งหมดแล้ว [7]

3. วิธีการหาคำตอบของการประมาณค่าสถานะ

การประมาณสถานะโดยส่วนมากจะใช้ค่าจากเครื่องมือวัดที่มากกว่าหนึ่งค่าเพื่อที่จะหาค่าสถานะของการประมาณสถานะได้ จากสมการที่ (1) เป็นค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดหลายค่า ซึ่งจะดูตัวแปรที่มีผลต่อการวิเคราะห์ในระบบ ซึ่งจะได้สมการดังนี้

$$\min J(X) = \sum_{i=1}^{Nm} \left[\frac{(Z_i - f_i(X))^2}{\sigma_i^2} \right] \quad (15)$$

เมื่อ $J(x)$ คือ ผลที่เหลือจากการวัด

i คือ ลำดับการวัด

N_m คือ จำนวนการวัด

σ_i^2 คือ ค่าแปรปรวนที่บัส i

i การประมาณสถานะจำนวนตัวแปรสถานะ N_s ตัว จะต้องอาศัยค่าจากการวัด และ N_m ค่า ซึ่งจะได้สมการดังนี้

$$\min J(x_1, x_2, \dots, x_{N_s}) = \sum_{i=1}^{Nm} \left[\frac{(Z_i - f_i(x_1, x_2, \dots, x_{N_s}))^2}{\sigma_i^2} \right] \quad (16)$$

โดยทั่วไปตัวแปรสถานะจะมีจำนวนมากกว่าหนึ่ง ดังนั้นจะต้องจัดให้อยู่ในรูปที่ง่ายในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งสามารถจัดให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ดังนี้

$$f_i(x) = f_i(x_1, x_2, \dots, x_{N_s}) \quad (17)$$

$$f(x) = \begin{bmatrix} f_1(x) \\ f_2(x) \\ \vdots \\ f_{N_m}(x) \end{bmatrix} = h(x) \quad (18)$$

เมื่อ $h(x)$ คือ เมทริกซ์ค่าสัมประสิทธิ์ของเมตริก $f(x)$

h_{iN_s} คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชัน $f(x)$

N_m คือ จำนวนครั้งของการวัด

N_s คือ ตัวแปรสถานะที่ไม่ทราบค่าที่ต้องประมาณค่า

$$Z = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \vdots \\ Z_3 \end{bmatrix} \quad (19)$$

เมื่อ Z คือ เมทริกซ์ของค่าที่วัดจากสมการที่ (19) จัดให้อยู่ในรูปสมการใหม่ได้ดังนี้

$$J(x) = [z - f(x)]^T R^{-1} [z - f(x)] \quad (20)$$

$$R = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{N_m}^2 \end{bmatrix} \quad (21)$$

แทนสมการที่ (20) ลงในสมการที่ (21) จะได้สมการใหม่ดังนี้

$$\min [z - h(x)]^T R^{-1} [z - h(x)] \quad (22)$$

จากสมการ (22) R คือ ค่าความผิดพลาดจากการวัด (Measurement Covariance) โดยให้ R เป็นเมทริกซ์หนึ่ง หน่วย ซึ่งสามารถหาคำตอบโดยการทำซ้ำจากสมการดังนี้

$$\Delta x = G^{-1} H^T (x^k) R^{-1} [z - h(x^k)] \quad (23)$$

เมื่อ $G = H^T (x^k) R^{-1} H(x^k) \quad (24)$

ซึ่งการหาคำตอบของ x รอบใหม่เป็น

$$x^{k+1} = x^k + \Delta x \quad (25)$$

เมื่อ H คือ จาโคเบียนเมตริก
 $H(x^k)$ คือ เมตริกจาโคเบียนของ $h(x^k)$
 G คือ Gain Matrix
 k คือ จำนวนรอบการวนซ้ำ
 x^k คือ คำตอบของ x ในรอบที่ k

ในการประมาณค่าสถานะใด ๆ ความถูกต้องของการประมาณค่าจะขึ้นอยู่กับเพียงพอของข้อมูลระหว่างจำนวนตัวแปรสถานะที่ต้องการประมาณค่า (N_s) กับจำนวนข้อมูลที่วัดได้จากเครื่องมือวัด (N_m) หากจำนวนข้อมูลทั้งสองมีความเพียงพอต่อการวิเคราะห์ จะส่งผลให้การวิเคราะห์มีความถูกต้องแม่นยำ แต่ถ้าจำนวนข้อมูลทั้งสองนั้นไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ จะทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ผิดพลาดซึ่งส่งผลโดยตรงกับการประมาณค่าสถานะ สามารถแบ่งการตรวจสอบความเพียงพอได้ 3 กรณี ดังนี้

จากวิธีการหาค่าของการประมาณสถานะในระบบไฟฟ้า ฟังก์ชันจะมีผลเป็นอย่างมากสำหรับการคำนวณหาค่าที่ออกมาได้ เพราะฟังก์ชัน เป็นสมการการวัด ซึ่งได้มาจากการวางตำแหน่งของเครื่องวัดในระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งในระบบของการวัดที่ดีจะช่วยให้ได้ค่าของการประมาณสถานะและค่าจริงของระบบไฟฟ้ากำลังที่ได้มามีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน [8]

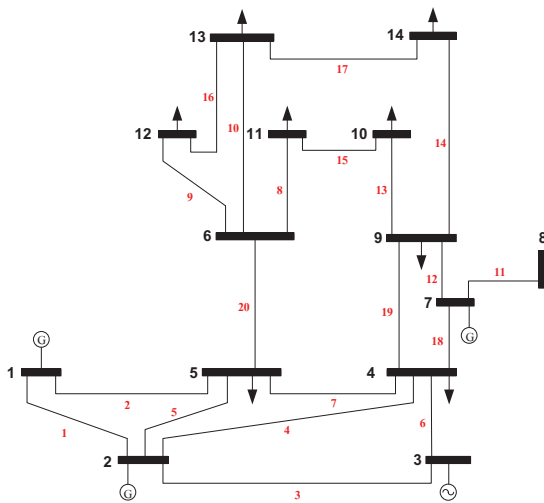
ตารางที่ 1 ความเพียงพอของข้อมูลระหว่างจำนวนตัวแปรสถานะที่ต้องการประมาณค่า (N_s) กับจำนวนข้อมูลที่วัดได้จากเครื่องมือวัด (N_m)

เงื่อนไข	ผลที่ได้
1. ($N_s < N_m$)	มีข้อมูลที่วัดได้จากเครื่องมือวัด จำนวนมากเกินความจำเป็น ดังนั้นหากเครื่องวัดบางตัวเสียจะส่งผลถึงความถูกต้องในการประมาณค่าได้
2. ($N_s = N_m$)	การวัดผลในการประมาณค่าสำหรับกรณีนี้จะดีที่สุด เนื่องจากจำนวนของข้อมูลนั้นมีจำนวนที่เพียงพอต่อการประมาณค่าสถานะ
3. ($N_s > N_m$)	มีจำนวนข้อมูลที่ไม่เพียงพอต่อการประมาณค่าสถานะ ส่งผลจากการประมาณค่าจะแย่ที่สุด ผลที่ได้จะมีความผิดพลาดสูง

4. การหาตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม

บทความนี้เป็นการประมาณค่าสถานะของเครื่องมือวัดสำหรับระบบไฟฟ้า ซึ่งในบทนี้จะเป็นการนำเอาโปรแกรม MATLAB มาประมาณค่าสถานะของระบบไฟฟ้า IEEE 14 บัส และจะทำการวิเคราะห์ผลกระทบที่สามารถเกิดขึ้นได้ที่มีผลต่อการประมาณค่าสถานะของเครื่องมือสำหรับระบบไฟฟ้า เช่น การชำรุด การสูญเสียและการอ่านข้อมูลที่ผิดพลาดของเครื่องมือวัดในระบบไฟฟ้า ด้วยเทคนิควิธีเชิงพันธุกรรมในการกำหนดตำแหน่งเครื่องมือวัด [9]

ระบบที่ได้นำมาใช้ในการทำบทความ คือ ระบบของ IEEE 14 บัส ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยการนำข้อมูลต่างๆ ของระบบไฟฟ้ามาใช้ในการเขียนโปรแกรมใน MATLAB เพื่อหาค่าประมาณสถานะของเครื่องมือวัด ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังนี้



รูปที่ 3 ระบบทดสอบ IEEE 14 บัส

การหาตำแหน่งการติดตั้งเครื่องวัดโดยใช้วิธีเทคนิคเชิงพันธุกรรมในการสุ่มเลือกหาบัสที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถวัดค่าพารามิเตอร์ได้มีประสิทธิภาพดีที่สุดโดยจะมีค่าที่ใช้เป็นค่าพารามิเตอร์คือจำนวนบัสข้อมูลการเชื่อมต่อระหว่างบัสของสายส่งกำลังไฟฟ้าโดยไม่พิจารณาการต่อโหลดที่บัส หรือ ประเภทของโหลด เงื่อนไขที่ใช้ในการติดตั้งเครื่องมือวัดในระบบไฟฟ้า ต้องพิจารณาทุกตำแหน่งที่สามารถติดตั้งเครื่องมือวัดได้แทนจำนวนเครื่องมือวัดทั้งหมดที่ติดตั้งในระบบไฟฟ้า

$$\text{เครื่องมือวัดแรงดันที่โนด} = N \text{ ตำแหน่ง} \quad (26)$$

$$\text{เครื่องมือวัดกระแสเข้าสู่โนด} = N \text{ ตำแหน่ง} \quad (27)$$

เมื่อพิจารณาเครื่องมือวัดกระแสไหลในสายส่งไฟฟ้า ตำแหน่งที่สามารถติดตั้งได้ในระบบ คือทุกสายส่งไฟฟ้าที่เชื่อมต่อระหว่างบัส (L) แต่เนื่องจากสายส่งไฟฟ้าที่พิจารณาเป็นแบบ π ทำให้กระแสที่ไหลในสายส่งต้นทางและปลายทางมีค่าไม่เท่ากันดังนั้นจำนวนเครื่องมือวัดที่สามารถติดตั้งได้จึงสามารถติดตั้งได้ 2 ตำแหน่งคือที่ต้นทางและปลายทางสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (28)

$$\text{เครื่องมือวัดกระแสไหลในสาย} = 2L \text{ ตำแหน่ง} \quad (28)$$

จากสมการที่ (26) ถึง สมการที่ (28) สามารถแสดงจำนวนที่สามารถติดตั้งเครื่องมือวัดในระบบได้ สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (29) ดังนี้

$$\text{จำนวนเครื่องมือวัด } M = 2N + 2L \quad (29)$$

การกำหนดฟังก์ชันต้องมีความสอดคล้องกับปัญหาที่ต้องพิจารณา โดยเป้าหมายของการประมาณค่านี้ต้องการค่าที่ต่ำที่สุดของจำนวนที่ติดตั้งของเครื่องมือวัดโดยมีเงื่อนไขที่ต้องพิจารณาคือการติดตั้งในตำแหน่งที่ดีที่สุดและต้องไม่มีมิเตอร์วิกฤตติดตั้งในระบบไฟฟ้า ดังสมการที่ (30)

$$\text{fitness} = (n - \text{rank}(\mathbf{H})) + \text{Abs.}((n+1) - M) + (CM \times n) \quad (30)$$

โดยที่ M คือ จำนวนเครื่องมือวัด n คือ จำนวนตัวแปรสถานะหรือจำนวนบัสในระบบไฟฟ้าที่พิจารณา H คือ เมทริกซ์การวัดที่สร้างขึ้นจากเครื่องมือวัดที่ติดตั้งในระบบ CM คือ มิเตอร์วิกฤต ซึ่งวิธีการดำเนินการของวิธีการเชิงพันธุกรรม GA ได้แสดงลำดับขั้นตอนของการทำงานในการทำการเลือกหาตำแหน่งของบัสที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากที่สุด สำหรับการติดตั้งเครื่องมือในระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อที่จะให้การวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ครอบคลุมการวัดทุกตำแหน่ง

กำหนดค่าพารามิเตอร์ของเทคนิควิธีเชิงพันธุกรรม โดยใช้พื้นฐานแทนค่าเครื่องมือวัดด้วยเลขฐานสองเพื่อใช้ในการกำหนดตำแหน่งที่จะติดตั้งเครื่องมือวัดจากนั้นก็กำหนดตำแหน่งของการติดตั้งเครื่องมือวัดจำนวนในตำแหน่งของบัสที่ต้องการ คือ

ขั้นตอนที่ 1 รับข้อมูลบัสของแบบจำลองของระบบไฟฟ้าที่ต้องการพิจารณา

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดตำแหน่งที่สามารถติดตั้งเครื่องมือวัดในระบบ ตามสมการที่ (29)

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดค่าเริ่มต้นของประชากร ด้วยขนาดประชากร pop=25 รอบการค้นหาคำตอบ gens=50 มีการปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซมเดียวกันด้วยความน่าจะเป็นเท่ากับ mu= 0.02

ขั้นตอนที่ 4 ทำการสุ่มสร้างประชากรเริ่มต้นที่จำนวนเท่ากับ $2N + 2L$ โดยแทนเครื่องมือวัดแต่ละตำแหน่งด้วย “0” คือไม่ได้มีการ

ติดตั้งเครื่องมือวัด และ “1” คือมีการติดตั้งเครื่องมือวัด

ขั้นตอนที่ 5 ทำการคำนวณหาค่าฟิตเนสฟังก์ชัน

ขั้นตอนที่ 6 เลือกโครโมโซมต้นแบบจากรุ่นต้นฉบับหรือรุ่นพ่อแม่ ใช้ความน่าจะเป็นในการพิจารณาจากค่าที่ได้จากฟิตเนสฟังก์ชัน

ขั้นตอนที่ 7 เมื่อจำนวนรอบของการคำนวณและการคัดเลือกมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดไว้ และใช้วิธีเชิงพันธุกรรม ดำเนินการคัดเลือกสายพันธุ์ การครอสโอเวอร์ และการมิวเทชันแล้วดำเนินการปรับปรุงข้อมูลไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ค่าที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 8 จบการทำงาน

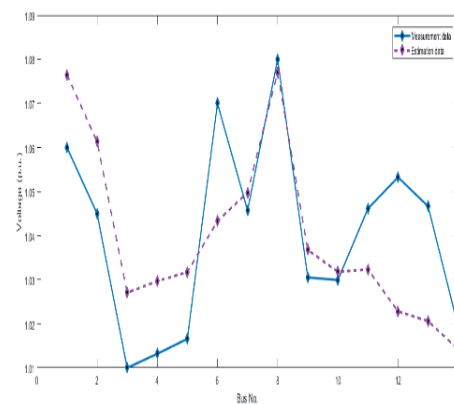
5. ผลการทดสอบการติดตั้งเครื่องมือวัดด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม

การวิเคราะห์ความสามารถที่สังเกตได้และการหายไปของเครื่องมือวัดโดยใช้เทคนิคการประมาณค่าสถานะนั้นได้ทำการจำลอง ด้วยระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE14 บัส โดยเครื่องมือวัดที่ติดตั้งในระบบไฟฟ้าสามารถกำหนดชนิดเครื่องมือวัดประกอบไปด้วยเครื่องมือวัดขนาดแรงดันไฟฟ้าที่บัส (V) เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าเข้าสู่บัส (P_i, Q_i) เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสาย (P_{ij}, Q_{ij}) ตามลำดับ เมื่อได้พิจารณาค่า MAPE ที่ดีที่สุดแล้ว คือ 1.3624 หลังจากนั้นก็ได้ทำการจำลองกรณีศึกษาทั้งหมด 10 กรณี และได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดไปในแต่ละตำแหน่งเพื่อให้สามารถวัดค่าพารามิเตอร์ในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด

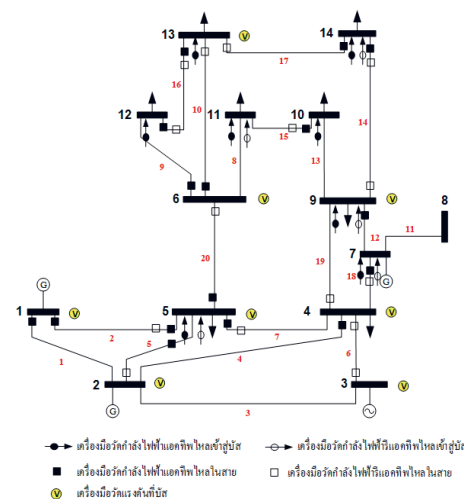
จากตารางที่ 2 ทำการจำลองทั้งหมด 10 กรณี โดยทำการติดตั้งเครื่องมือวัดทั้งหมด ด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรมในการติดตั้งมิเตอร์แต่ละตำแหน่ง แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งเครื่องมือวัดด้วยวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถลดจำนวนที่ติดตั้งเครื่องมือลงไปในระบบไฟฟ้าได้และยังสามารถมีค่าประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเทียบกับจำนวนเครื่องมือวัดทั้งระบบได้

ตารางที่ 2 การทดสอบการติดตั้งเครื่องมือวัดในระบบไฟฟ้า

กรณี	จำนวนเครื่องมือวัด					ผลรวม
	V	P_i	Q_i	P_{ij}	Q_{ij}	
1	8	8	6	21	24	67
2	8	4	10	19	16	57
3	9	7	6	23	19	64
4	5	9	9	19	18	60
5	8	9	5	17	17	56
6	8	8	8	19	19	62
7	12	7	6	21	17	63
8	9	4	8	23	19	63
9	6	10	9	19	23	67
10	8	10	8	25	20	71



รูปที่ 4 กรณีศึกษาที่ 5 จำนวนมิเตอร์ 56 ตัว



รูปที่ 5 ตำแหน่งการติดตั้งมิเตอร์ในกรณีศึกษาที่ 5

จากการศึกษาทั้งหมด 10 กรณี จะพบว่าในกรณีที่ 5 ในตารางที่ 2 เครื่องมือวัดที่สามารถติดตั้งได้ในระบบไฟฟ้าโดยมีจำนวนน้อยที่สุดนั้น อยู่ที่ 56 ตัวจากระบบทั้งหมด 122 ตัว ซึ่งค่าแรงดันแต่ละบัสจากการประมาณค่าเทียบกับการวัดค่าจริงนั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ค่าแรงดันนี้ไม่ได้พิจารณาไมเตอร์วิกฤตและมิเตอร์อ่านค่าผิดพลาด จากผลการประมาณการเบื้องต้นจากเครื่องมือวัดที่ติดตั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานจริงและต้องเพิ่มการพิจารณาความเหมาะสมในเครื่องมือวัดแต่ละชนิดประกอบการออกแบบของกรณีที่ 5 ดังรูปที่ 4 และจากรูปที่ 5 ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดแต่ละประเภทไปในระบบพื้นฐาน IEEE 14 บัส เพื่อได้แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งของเครื่องมือที่ติดตั้งในแต่ละตำแหน่งที่สามารถวัดค่าพารามิเตอร์ของระบบได้อย่างครบถ้วน

6. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการประมาณค่าสถานะของระบบไฟฟ้ากำลังโดยการจำลองบนระบบ IEEE 14 บัสแทนระบบไฟฟ้าโดยใช้เทคนิควิธีการเชิงพันธุกรรม เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการระบุตำแหน่งจุดติดตั้งเครื่องมือวัดที่เหมาะสมในระบบไฟฟ้า และทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้า เทคนิควิธีการประมาณค่าสถานะได้นำมาใช้ในการประมาณค่าที่ยังไม่ทราบค่าโดยอาศัยข้อมูลพื้นฐานเพียงบางส่วน ทำให้ไม่ต้องวัดค่าต่าง ๆ ทั้งหมด เช่น ขนาดของแรงดันที่บัส กำลังไฟฟ้าที่บัส และกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง สำหรับข้อดีของการประมาณค่าสถานะคือ เมื่อข้อมูลที่ได้จากการวัดเกิดข้อผิดพลาด การสูญหายของข้อมูลบางส่วน เมื่อใช้วิธีการประมาณค่าสถานะจะสามารถทราบถึงค่าที่ประมาณที่ดีที่สุดได้ นอกจากนี้วิธีการประมาณค่าสถานะยังอาจตรวจจับและบ่งชี้ว่าเครื่องมือวัดตัวใดที่มีปัญหาในระบบไฟฟ้าที่ไม่สามารถอ่านข้อมูลได้อย่างถูกต้อง การที่จะให้คำตอบจากการประมาณค่าสถานะให้ได้ค่าใกล้เคียงกับค่าจริงในระบบ IEEE 14 บัสจะต้องมีการปรับปรุงระบบการวัดให้จำนวนข้อมูลที่ได้จากการวัดมีค่าเท่ากับจำนวนตัวแปรสถานะ เนื่องจากจำนวนครั้งของการวัดมีจำนวนที่เพียงพอต่อการประมาณค่าสถานะ และควรมีการปรับปรุงระบบของการวัด โดยเลือกการวางตำแหน่งของเครื่องมือวัดให้เหมาะสมและปริมาณของเครื่องมือวัดที่พอเพียงต่อการ

วัดค่าพารามิเตอร์ ซึ่งจากวิธีการเชิงพันธุกรรมจะเป็นตัวดำเนินการสุ่มเลือกหาตำแหน่งของบัสที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการติดตั้งเครื่องมือวัดซึ่งจากวิธีดำเนินการของวิธีการพันธุกรรมสามารถที่จะลดจำนวนของการติดตั้งเครื่องมือวัดจำนวน 56 ตัว แทนที่จะติดตั้งเครื่องมือวัด 122 ตัว และถ้าพิจารณาเฉพาะเครื่องมือวัดอัตโนมัติ AMR สามารถลดเครื่องมือวัดลงได้เหลือ 13 ตัว จากทั้งหมด 42 ตัว ซึ่งตำแหน่งที่ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดแต่ละบัสก็แสดงให้เห็นไว้ในการทดลองการติดตั้งแล้วผลที่ได้สามารถที่จะวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในระบบได้ ซึ่งจากวิธีการเชิงพันธุกรรม ที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของการติดตั้งเครื่องมือวัด เป็นวิธีการที่ดีที่ช่วยลดจำนวนเครื่องมือวัดลงได้มากและยังมีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้า

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Molina-Moreno I, Medina-Rios A, Cisneros-Magania R, Anaya-Lara O. A methodology for transient state estimation based on numerical derivatives optimal monitoring and filtered measurements. IEEE Transactions on Power Delivery. 2017 9 Aug. 33(4):1-8.
- [2] Abur A. Observability and dynamic state estimation. Proceeding of IEEE Power and Energy Society General Meeting; 2015 July. p.1-5.
- [3] Kongjeen Y, Inrawong P, Buayai K, Kerdchuen T. Key cutting algorithm application to measurement placement for power system state estimation. energy Procedia. 2013. 34:142-47.
- [4] Kumar A, Das B. Genetic algorithm-based meter placement for static estimation of harmonic sources. IEEE Transactions on Power Delivery. 2005 May. 20(2): 1088-96.
- [5] Kerdchuen T, Ongsakul W, Boonchaim P. Improving of measurement system for state estimation. EECON30: Proceeding of Electrical Engineering Conference.

- 2007 Oct 25-26. Felix Riverkwai, Kanchanaburi. p. 1-4. (in Thai)
- [6] D'Antona G, Muscas C, Sulis S. State estimation for the localization of harmonic sources in electric distribution systems. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2009 June. 58(5): 1462-70.
- [7] Asprou M, Kyriakides E, Albu M. The effect of variable weights in a WLS state. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2014 June. 63(6):1484-95.
- [8] Ghiocel S G, Chow J H, Stefopoulos G, Fardanesh B, Maragal D, Bertagnolli D B. Phasor measurement based state estimation for synchro phasor data quality improvement and power transfer interface monitoring. IEEE Transactions on Power System. 2014 March. 29(2): 881-8.
- [9] Qin J. A new optimization algorithms and Its application key cutting algorithms. GSIS2009: Proceeding of 2009 IEEE International Conference on Gray Systems and Intelligent Services. 2009 Nov 10-12. Nanjing, China. p. 1-6.