

การกำหนดตำแหน่งติดตั้งฮาร์มอนิกส์มิเตอร์โดยใช้วิธีการปรับปรุงของ KCA

ยุทธนา คงจีน¹ และ กานท์ เกิดชื่น

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
744 ถ.สุรนารายณ์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 โทรศัพท์ : 044-252659 ¹E-mail: yuttana595@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาการกำหนดตำแหน่งติดตั้งฮาร์มอนิกส์มิเตอร์ในระบบไฟฟ้าด้วยเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีการปรับปรุงของ KCA (Improved Key Cutting Algorithms : IKCA) เป็นการวิเคราะห์ตำแหน่งติดตั้งฮาร์มอนิกส์มิเตอร์ในระบบไฟฟ้า โดยฟังก์ชันเป้าหมายนั้นเป็นการหาค่าต่ำสุดของจำนวนฮาร์มอนิกส์มิเตอร์ มีเงื่อนไขที่ต้องทำให้สมการการประมาณค่าตัวแปรสถานะฮาร์มอนิกส์ของระบบสามารถหาคำตอบได้และระบบไม่มีมิเตอร์วิกฤตติดตั้งอยู่ โดยแทน “0” และ “1” ของ IKCA สำหรับมิเตอร์ที่ติดตั้งในระบบไฟฟ้า ใช้ความน่าจะเป็นของกลุ่มลูกกุญแจและปรับปรุงการสุ่มจากกลุ่มคำตอบใกล้เคียงสร้างลูกกุญแจใหม่ ทดลองกับระบบ 10 บัส, IEEE 14 และ IEEE 30 บัส เปรียบเทียบผลการทดลองกับวิธีกลุ่มอนุภาค โดยใช้เปอร์เซ็นต์การพบคำตอบ เวลาเฉลี่ยและจำนวนรอบการค้นหาคำตอบ โดยผลการทดลองที่ระบบทดลองขนาดเล็กวิธีการ IKCA ใช้เวลาเฉลี่ยและรอบการค้นหาคำตอบที่สั้นกว่าวิธีการฝูงอนุภาค ที่ระบบการทดลองขนาดใหญ่วิธีการ IKCA มีเปอร์เซ็นต์การพบคำตอบ ทำได้ไม่ดีเท่าวิธีการกลุ่มอนุภาค

คำสำคัญ วิธีการปรับปรุง KCA, มิเตอร์วิกฤต, ฮาร์มอนิกส์มิเตอร์

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกส์ที่ผลิตขึ้นโดยโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นจำนวนมาก เนื่องมาจากการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ได้ก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว ส่งผลต่อระบบการส่งจ่ายระบบไฟฟ้า ผลของฮาร์มอนิกส์บางสาเหตุอาจเกิดผลร้ายแรง ในระบบไฟฟ้า ระบบการสื่อสาร และ เครื่องใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ด้วยผลดังกล่าวผู้เกี่ยวข้องจึงพยายามจำกัดจำนวนฮาร์มอนิกส์ในระบบ และจัดทำข้อกำหนดมาตรฐานฮาร์มอนิกส์ต่าง ๆ ขึ้น เพื่อเป็นการควบคุมและลดการแพร่ขยายของฮาร์มอนิกส์ในระบบไฟฟ้าให้น้อยลงอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด [1]

ในปัญหาการกำหนดตำแหน่งและขนาดของแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกส์ แต่ละตำแหน่งของผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบ จำนวนเครื่องมือวัดฮาร์มอนิกส์ที่ติดตั้งในระบบ ถูกจำกัดในด้านราคา คุณภาพในการวัด รวมทั้งจำนวนจุดตรวจวัด ความแตกต่างในด้านการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า ต้องคุ้มค่าต่อการลงทุนและเหมาะสมต่อ

นโยบายทางด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งจากข้อจำกัดด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ เมื่อพิจารณาแล้วทำให้ไม่สามารถทำการวัดและติดตั้งฮาร์โมนิกส์มิเตอร์ได้ทุกตำแหน่งในระบบไฟฟ้า

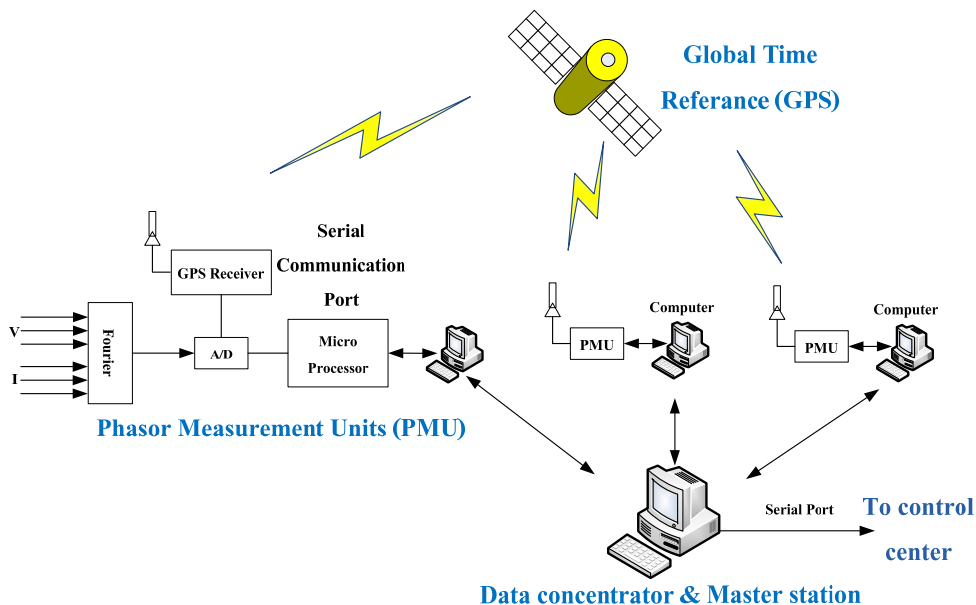
เพราะฉะนั้นการกำหนดขั้นตอนนี้รวมทั้งวิธีการต้องมีกรอบเพื่อหาจุดที่เหมาะสมของตำแหน่งเครื่องมือวัดฮาร์โมนิกส์ในแต่ละประเภทก่อนการติดตั้งเครื่องวัดจริง หรือต้องการที่จะปรับปรุงระบบการวัดจึงเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่งเพื่อให้ได้มาซึ่งคุณภาพการวัดและการบริหารจัดการพลังงานที่เหมาะสมต่อระบบไฟฟ้า [2]

2. การประมาณค่าตัวแปรสถานะฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้า

วิธีการประมาณค่าตัวแปรสถานะเป็นหนึ่งในวิธีที่ใช้เป็นเครื่องมือในการบริหารจัดการด้านพลังงาน ใช้ประมาณค่าตัวแปรสถานะที่ไม่ทราบค่าจากข้อมูลการวัดเพียงบางส่วน เพื่อลดปริมาณการวัดและค่าใช้จ่ายเครื่องมือวัดลงได้

2.1 ระบบการวัดฮาร์โมนิกส์

วิธีการวัดค่าฮาร์โมนิกส์จากระบบไฟฟ้า เพื่อนำมาใช้ในการประมาณค่าตัวแปรสถานะฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้า มีความคล้ายกับวิธีการวัด Wide Area Measurement System (WAMS) แต่แตกต่างกันที่สัญญาณที่ได้จากการวัดจะเป็นรูปแบบผลแปลงฟูเรียร์จากเครื่องมือวัดที่ติดตั้งในระบบ โดยค่าที่ได้จะเป็นขนาดและมุมของฮาร์โมนิกส์ในแต่ละลำดับที่เวลาวัดเดียวกันเทียบสัญญาณเวลาระบุพิกัด (Global Time reference : GPS) ระบบการวัดประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ประมวลผลสถานีย่อย, Phasor Measurement Units (PMU), คอมพิวเตอร์ประมวลผลส่วนกลาง และระบบการสื่อสาร สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1 [3]



รูปที่ 1 โครงสร้างการวัดฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้า

2.2 การประมาณค่าตัวแปรสถานะฮาร์มอนิกส์

การวิเคราะห์ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกส์ในระบบไฟฟ้า ในการวิเคราะห์จะอาศัยพื้นฐานในการคำนวณโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและแรงดันฮาร์มอนิกส์ และการวิเคราะห์ด้วยวิธีโนด (Node Analysis) การประมาณค่าตัวแปรสถานะฮาร์มอนิกส์ จะเป็นการวิเคราะห์โนดกับวิธีการประมาณค่าตัวแปรสถานะ ประกอบการคำนวณ วิเคราะห์ตำแหน่งกำเนิดฮาร์มอนิกส์ได้โดยการวิเคราะห์จากกระแสเข้าสู่บัส ที่บัสต่าง ๆ ภายในระบบรูปแบบสมการการประมาณค่าตัวแปรสถานะฮาร์มอนิกส์แสดงได้ดังสมการ (1) ดังนี้ [2]

$$\mathbf{z}(h) = \mathbf{H}(h)\mathbf{x}(h) + \mathbf{e}(h) \quad (1)$$

เมื่อ $\mathbf{z}(h)$ คือ เวกเตอร์การวัดมีขนาด $m \times 1$ ซึ่ง m เป็นจำนวนเครื่องมือวัด

$\mathbf{H}(h)$ คือ เมตริกซ์การวัดเครื่องมือวัดที่สัมพันธ์กับตัวแปรสถานะมีขนาด $m \times n$ ซึ่ง n คือจำนวนบัส

$\mathbf{x}(h)$ คือ ตัวแปรสถานะที่จะประมาณค่า มีขนาด $n \times 1$

$\mathbf{e}(h)$ คือ สัญญาณรบกวนแต่ละลำดับฮาร์มอนิกส์ h^{th} และ ผิดพลาดจากระบบสื่อสาร มีขนาด $m \times 1$

เนื่องจากเมตริกซ์การวัด $\mathbf{H}(h)$ มีความเกี่ยวข้องกับเวกเตอร์การวัด $\mathbf{z}(h)$ เพื่อใช้เป็นส่วนประกอบในการคำนวณหาตัวแปรสถานะ $\mathbf{x}(h)$ เครื่องมือวัดฮาร์มอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับเวกเตอร์การวัด $\mathbf{z}(h)$ คือ เครื่องมือวัดแรงดันที่โนด, เครื่องมือวัดกระแสเข้าสู่โนด และ เครื่องมือวัดกระแสไหลในสาย ซึ่งจะนำค่าข้อมูลการวัดของเครื่องมือวัดฮาร์มอนิกส์แต่ละชนิดมาใช้ในการคำนวณหาตัวแปรสถานะต่อไป

วิธีการประมาณค่าตัวแปรสถานะด้วยวิธีค่าถ่วงน้ำหนักกำลังสองน้อยที่สุด (Weighted Least Square; WLS) คือ ค่าเวกเตอร์ส่วนที่เหลือของค่าน้อยที่สุดของค่าผลรวมค่าถ่วงน้ำหนักยกกำลังสอง $\mathbf{r} = \mathbf{z} - \mathbf{H}\mathbf{x}$ จากค่าที่ได้จากการวัดจริงกับค่าที่ได้จากการประมาณสามารถแสดงได้ดังสมการ (2) ดังนี้

$$\text{Minimise } \mathbf{J}(\mathbf{x}) = (\mathbf{z} - \mathbf{H}\mathbf{x})^T \mathbf{R}^{-1} (\mathbf{z} - \mathbf{H}\mathbf{x}) \quad (2)$$

เมื่อ \mathbf{z} คือ เมตริกซ์ของค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์วัด

\mathbf{H} คือ เมตริกซ์จาโคเบียนของฟังก์ชันเครื่องมือวัด

\mathbf{R}^{-1} คือค่าผกผันของ เมตริกซ์ของค่าความแปรปรวนของการวัด

ดังนั้นเมื่อแทนสมการที่ (1) ด้วยสมการที่ (2) สามารถแสดงได้ดังสมการ (3) ดังนี้

$$(\mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H})\mathbf{x} = (\mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1})\mathbf{z} \quad (3)$$

$$\mathbf{x} = (\mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H})^{-1} (\mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1}) \mathbf{z} \quad (4)$$

จากสมการที่ (4) สมการเครื่องมือวัดเป็นสมการแบบเชิงเส้นสามารถคำนวณหาค่าตัวแปรสถานะ \mathbf{x} ได้โดยตรงไม่ต้องคำนวณวนรอบซ้ำ

2.3 การวิเคราะห์การหาค่าตอบได้ของสมการระบบ

การวิเคราะห์การหาค่าตอบได้ของสมการระบบนั้นจะเกี่ยวข้องกับจำนวนเครื่องมือวัดที่ติดตั้งในระบบ ซึ่งมีความจำเป็นก่อนที่จะนำข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัดที่ติดตั้งในระบบไฟฟ้าไปทำการคำนวณ ด้วยวิธีการประมาณค่าตัวแปรสถานะ สามารถตรวจสอบความพอเพียงของเครื่องมือวัดในระบบได้โดยค่าลำดับชั้น (rank) เมตริกซ์การวัด (\mathbf{H}) จะต้องเท่ากับจำนวนตัวแปรสถานะ (State Variable) หรือจำนวนบัสแทนด้วย n แสดงได้ดังสมการ (5) ดังนี้ [3]

$$\text{rank}(\mathbf{H}) = n \quad (5)$$

จากสมการที่ (5) ค่าลำดับชั้นมีค่าเท่ากับจำนวนตัวแปรสถานะ แสดงว่า สมการเครื่องมือวัดของระบบสามารถหาค่าตอบได้ ซึ่งจะเป็นการพิจารณาเมตริกซ์การวัด (\mathbf{H}) แบบลำดับชั้นเต็ม (Full rank Observability)

2.4 มิเตอร์วิกฤต (Critical Measurement : CM) [4]

มิเตอร์วิกฤตหมายถึงฮาร์โมนิกส์มิเตอร์ที่ไม่สามารถอ่านค่าการวัดจากระบบไฟฟ้าได้ แล้วทำให้สมการเครื่องมือวัดฮาร์โมนิกส์ไม่สามารถหาค่าตอบ ใช้วิธีการวิเคราะห์ส่วนที่เหลือในการระบุมิเตอร์วิกฤต โดยที่เวกเตอร์ส่วนที่เหลือ \mathbf{r} ซึ่งสามารถหาได้จากค่าแตกต่างของเวกเตอร์การวัด \mathbf{z} และค่าที่ตรงกับฟิลเตอร์เวกเตอร์ $\hat{\mathbf{z}}$ โดยที่ $\hat{\mathbf{z}} = \mathbf{H}\hat{\mathbf{x}}$ จัดสมการให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ \mathbf{E} แสดงได้ดังสมการ (6) ดังนี้

$$\begin{aligned} \mathbf{r} &= \mathbf{z} - \hat{\mathbf{z}} = \mathbf{z} - \mathbf{H}\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{z} - \mathbf{H}(\mathbf{G}^{-1}\mathbf{H}^T\mathbf{z}) \\ &= (\mathbf{I} - \mathbf{H}\mathbf{G}^{-1}\mathbf{H}^T)\mathbf{z} = \mathbf{E}\mathbf{z} \end{aligned} \quad (6)$$

เมื่อ $\mathbf{E} = \mathbf{I} - \mathbf{H}\mathbf{G}^{-1}\mathbf{H}^T$, \mathbf{z} แทนด้วย เวกเตอร์หนึ่งหน่วย และ $\mathbf{G} = \mathbf{H}^T\mathbf{H}$ แทน Gain matrix สามารถคำนวณหาเวกเตอร์ส่วนที่เหลือได้ในแต่ละรอบ i^{th} แสดงได้ดังสมการ (7) ดังนี้

$$r(i) = \sum_{k=1}^m E(i, k) \quad (7)$$

สำหรับค่า $z(i)$ ของมิเตอร์ที่วัดค่าในระบบแล้ว ถ้า $r(i)$ และ $E(i,i)$ เท่ากับ 0 แสดงว่ามีมิเตอร์ตำแหน่ง $z(i)$ เป็นมิเตอร์วิกฤต

3. เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมของ IKCA

ใช้หลักการจำลองการปลดล๊อคแม่กุญแจโดยสร้างลูกกุญแจที่เหมาะสมจากกลุ่มลูกกุญแจที่สร้างขึ้น ใช้หลักการสุ่มความน่าจะเป็นจากความคล้ายกันในกลุ่ม (Probability factor) ของลูกกุญแจในเซตเดียวกัน และปรับปรุงเพิ่มการสุ่มสร้างลูกกุญแจจากกลุ่มคำตอบใกล้เคียงสามารถแสดงขั้นตอนเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมของ IKCA ได้ดังนี้ [5-6]

ขั้นตอนที่ 1 ทำการสร้างลูกกุญแจเริ่มต้นจำนวน $2m$ ลูก จากการสุ่มแทนรหัส “0” และ “1” สำหรับพื้นลูกกุญแจ โดยจำนวนพื้นแทนตำแหน่งที่เป็นไปได้ในการติดตั้งฮาร์ดมอณิกส์มิเตอร์

ขั้นตอนที่ 2 ทำการคำนวณค่าฟังก์ชันเป้าหมายเริ่มต้น เพื่อเก็บค่าในครั้งแรกจากการสุ่มสร้างลูกกุญแจ ก่อนทำการวนซ้ำในขั้นตอน IKCA

ขั้นตอนที่ 3 ทำการเลือกลูกกุญแจที่ให้ค่าฟังก์ชันเป้าหมายดีที่สุดมาครั้งหนึ่งจากทั้งหมด $2m$ ซึ่งเท่ากับจำนวนลูกกุญแจ m ลูก

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่าความน่าจะเป็นของลูกกุญแจแต่ละพื้น P_{ij} ของลูกกุญแจแต่ละลูก S_{ij}

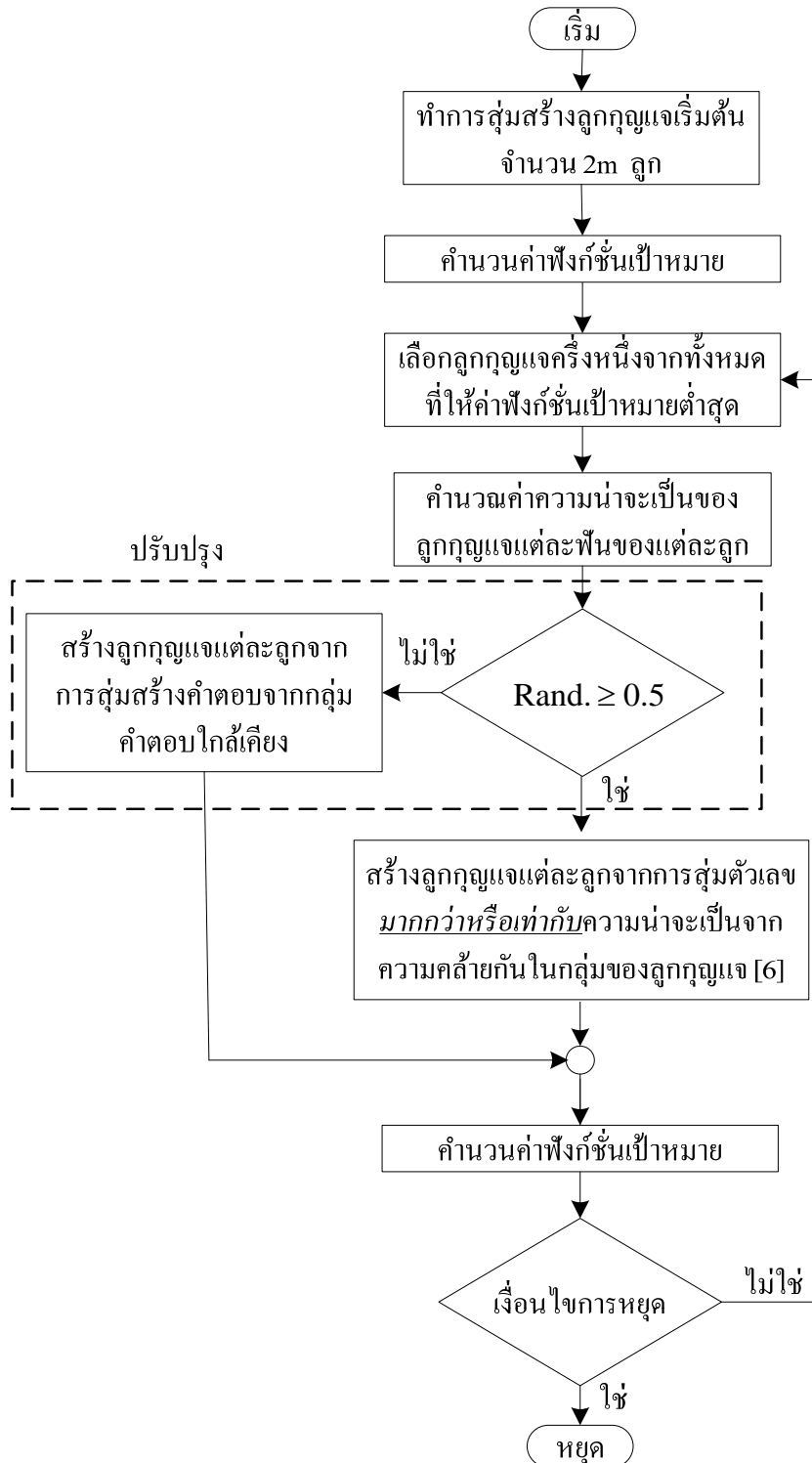
$$p_{ij} = 1 - (\text{the number of } S_{ij} \text{ in column } J/m)$$

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} S_{1n} & S_{1(n-1)} & \cdots & S_{12} & S_{11} \\ S_{2n} & S_{2(n-1)} & \cdots & S_{22} & S_{21} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ S_{(m-1)n} & S_{(m-1)(n-1)} & \cdots & S_{(m-1)2} & S_{(m-1)1} \\ S_{mn} & S_{m(n-1)} & \cdots & S_{m2} & S_{m1} \end{bmatrix}$$

ขั้นตอนที่ 5 ทำการสร้างลูกกุญแจชุดสอง จากการสุ่มตัวเลขถ้ามีค่ามากกว่า 0.5 จะเลือกสร้างลูกกุญแจจากความน่าจะเป็นจากความคล้ายกันในกลุ่มและถ้าน้อยกว่าจะเลือกสร้างลูกกุญแจ จากการสุ่มสร้างลูกกุญแจจากกลุ่มคำตอบใกล้เคียง อีกครั้งหนึ่งเท่ากับ m รวมกับลูกกุญแจที่ดีที่สุดของชุดแรก

ขั้นตอนที่ 6 ทำการคำนวณค่าฟังก์ชันเป้าหมาย

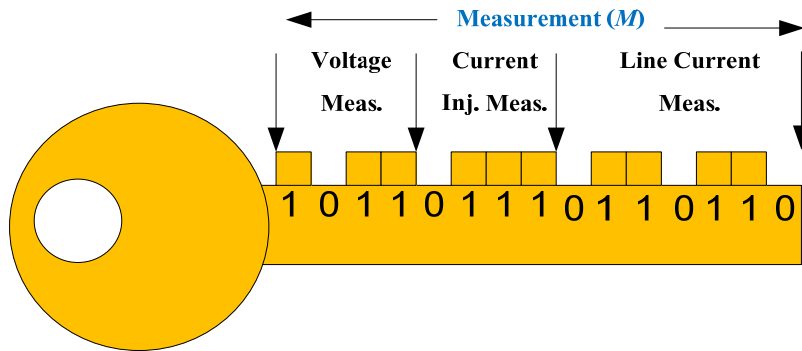
ขั้นตอนที่ 7 ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด ถ้าคำตอบไม่เปลี่ยนในจำนวนรอบที่กำหนดจะการสุ่มสร้างลูกกุญแจจากคำตอบที่ดีที่สุด และวนทำซ้ำในขั้นตอนที่ 3 จนตรงกับเงื่อนไขการหยุดที่กำหนดไว้ซึ่งก็คือฟังก์ชันเป้าหมายของการหาคำตอบและจำนวนรอบที่กำหนดในการวนทำซ้ำ



รูปที่ 2 ขั้นตอนเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีการ IKCA

4. การประยุกต์ใช้งานเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสม IKCA สำหรับการกำหนดตำแหน่งติดตั้งฮาร์มอนิกส์อย่างเหมาะสม

สำหรับวิธีการ IKCA แทนจำนวนพิกัดของแต่ละลูกด้วยฮาร์มอนิกส์มิเตอร์ที่สามารถติดตั้งในระบบไฟฟ้าได้ “0” ไม่ได้ติดตั้ง และ “1” ติดตั้งฮาร์มอนิกส์มิเตอร์ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การติดตั้งฮาร์มอนิกส์มิเตอร์ในแต่ละพิกัดของลูกกุญแจ

โดยฟังก์ชันเป้าหมายเป็นปัญหาการหาค่าต่ำสุดของจำนวนฮาร์มอนิกส์มิเตอร์ (M) โดยมีเงื่อนไขที่ต้องทำให้สมการของระบบสามารถหาค่าได้โดยที่ $rank(\mathbf{H}) = n$ เมื่อ \mathbf{H} คือเมตริกซ์การวัดที่สร้างขึ้นจากฮาร์มอนิกส์มิเตอร์ที่ติดตั้งในระบบ โดยแทนด้วยจำนวนพิกัดของลูกกุญแจที่สร้างขึ้น n คือจำนวนตัวแปรสถานะหรือจำนวนบัสในระบบไฟฟ้าที่พิจารณา และพิจารณาฮาร์มอนิกส์มิเตอร์ที่ติดตั้งในระบบในเงื่อนไขต้องไม่มีมิเตอร์วิกฤต (CM) ติดตั้งในระบบ คือเมื่อไม่สามารถอ่านค่าจากฮาร์มอนิกส์มิเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งที่ติดตั้งในระบบได้แล้วยังทำให้สมการของระบบยังสามารถหาค่าได้ สามารถแสดงสมการฟังก์ชันเป้าหมายแสดงได้ดังสมการ (8) ดังนี้ [4, 7]

$$fitness = (n - rank(\mathbf{H})) + Abs.((n+1) - M) + (CM \times n) \quad (8)$$

จากสมการที่ 8 ค่าฟังก์ชันเป้าหมายต่ำสุดคือ 1 ในส่วนที่สองเท่านั้นที่จะทำให้สมการฮาร์มอนิกส์มิเตอร์ในระบบสามารถหาค่าตอบได้ โดยใช้ค่า 1 เป็นเงื่อนไขในการหยุด ในส่วน $CM \times n$ เป็นค่ากำหนดโทษเมื่อสมการฮาร์มอนิกส์มิเตอร์ในระบบมีมิเตอร์วิกฤต

5. ผลการทดลอง

ทำการทดลองกับ ระบบ 10 บัส, IEEE 14 บัส และ IEEE 30 บัส จำนวนรอบการทดลอง 10 รอบ วิธีการ KCA และ IKCA กำหนดลูกกุญแจเท่ากับ 200 ลูก และวิธีการ BPSO ผูกอนุภาคเท่ากับ 200 อนุภาค จำนวนรอบในการวนซ้ำของขั้นตอนเท่ากับ 1000 รอบ

ตารางที่ 1 ผลการทดลอง

| ระบบทดลอง | เงื่อนไขการทดลอง | เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสม | | |
|-------------|----------------------|--------------------------|-------|-------|
| | | BPSO | KCA | IKCA |
| 10 บัส[8] | % การหาค่าตอบได้ | 100 | 40 | 100 |
| | รอบเฉลี่ยที่พบคำตอบ | 37 | 91.5 | 7.8 |
| | เวลาเฉลี่ยที่พบคำตอบ | 3.57 | 10.67 | 0.81 |
| IEEE 14 บัส | % การหาค่าตอบได้ | 100 | 0 | 100 |
| | รอบเฉลี่ยที่พบคำตอบ | 171.6 | N/A | 27.55 |
| | เวลาเฉลี่ยที่พบคำตอบ | 27.84 | N/A | 3.85 |
| IEEE 30 บัส | % การหาค่าตอบได้ | 100 | 0 | 20 |
| | รอบเฉลี่ยที่พบคำตอบ | 600.5 | N/A | 427.5 |
| | เวลาเฉลี่ยที่พบคำตอบ | 203.9 | N/A | 52.79 |

จากตารางที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมทั้ง 3 วิธีแล้วพบว่า วิธีการ IKCA จะให้คำตอบที่ดีกว่าวิธีการอื่น ในเงื่อนไขรอบเฉลี่ยและเวลาที่พบคำตอบ ที่ระบบทดสอบ 10 บัส และ IEEE 14 บัส และหากพิจารณาในเงื่อนไข เปอร์เซ็นต์การหาค่าตอบได้ วิธีการ BPSO จะหาค่าตอบได้ดีที่สุดทุกระบบทดลอง เมื่อเทียบกับ IKCA และ KCA ซึ่งสามารถพบ เปอร์เซ็นต์การหาค่าตอบได้รองลงมาตามลำดับ สำหรับวิธีการ KCA นั้นจากเงื่อนไขการทดลองมีข้อด้อยกว่าเมื่อเทียบกับวิธีอื่น ที่สามารถหาค่าตอบได้ที่ระบบทดลอง 10 บัส และเปอร์เซ็นต์การหาค่าตอบได้เท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น

6. สรุป

บทความนี้ได้ศึกษาการกำหนดตำแหน่งติดตั้งฮาร์มอนิกส์มิเตอร์โดยใช้วิธี IKCA โดยฟังก์ชันเป้าหมายเป็นการหาค่าต่ำสุดของจำนวนฮาร์มอนิกส์มิเตอร์ มีเงื่อนไขที่ต้องทำให้สมการการประมาณค่าตัวแปรสถานะฮาร์มอนิกส์ของระบบสามารถหาค่าได้และระบบไม่มีมิเตอร์วิกฤตติดตั้งอยู่ ผลที่ได้จากการทดลองวิธี IKCA นั้นพบว่า ที่ระบบทดลองขนาดเล็ก จำนวนรอบและเวลาเฉลี่ยที่พบคำตอบสั้นกว่าวิธีกลุ่มอนุภาค และ KCA แต่ที่ระบบขนาดใหญ่ เปอร์เซ็นต์การพบคำตอบทำได้ดีกว่าวิธี KCA แต่ด้อยกว่าวิธีกลุ่มอนุภาค โดยพบคำตอบแค่ 20 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นวิธีการ IKCA จำเป็นต้องมีการปรับปรุงเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้นในโอกาสต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] IEEE Recommended practice and requirements for harmonic control in electric power system. IEEE Std.519, 1992.
- [2] A. Ketabi, S.A. Hosseini, 2008. A New Method for Optimal Harmonic Meter Placement, American Journal of Applied Sciences 5 (11) : 1499-1505, 2008 ISSN 1546-9239
- [3] Yiquan Zhang, Yonghai Xu, 2011. Research on Power System Harmonic State Estimation. Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT) International conference, July 6-9, 2011, pp. 596-600
- [4] Kerdchuen, T. 2009. Measurement Scheme Improving for State Estimation Using Stochastic Tabu Search. *International Journal of Electrical and Electronics Engineering*, Vol. 3, No. 9, pp.528-531
- [5] Qin, J. 2009. A New Optimization Algorithm and Its Application—Key Cutting Algorithm. IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services, November 10-12, China
- [6] Kongjeen, Y. and Kerdchuen, T. 2012. Key Cutting Algorithm Application to Measurement Placement for Power System State Estimation. Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium, Ubon ratchatani, Thailand, December 5-8, 2012
- [7] Monticelli, A. and Wu, F. F. 1985. Network Observability: Theory. *IEEE Trans. Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-104, no. 5, pp. 1042-1048
- [8] Abur, A. and Magnago, F. H. 2001. Optimal Meter Placement against Contingencies. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting 2001, vol. 1, pp: 424-428

ยุทธนา คงจีน สำเร็จการศึกษา วศ.บ (ไฟฟ้า-ไฟฟ้ากำลัง)จาก รม.และกำลังศึกษาระดับปริญญาโท สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา งานวิจัยที่สนใจเกี่ยวกับระบบไฟฟ้า กำลังพลังงาน

กานท์ เกิดชื่น สำเร็จการศึกษา วศ.บ (ไฟฟ้า-ไฟฟ้ากำลัง) รม. ,วศ.ม(ไฟฟ้า) มข.และ D.Eng(Energy, Electric Power System) AIT. ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง รองศาสตราจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง มทร. อีสาน งานวิจัยที่สนใจเกี่ยวกับระบบไฟฟ้ากำลัง การหาค่าที่เหมาะสม และการบริหารจัดการพลังงาน

บทความนี้คัดลอกจากการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้าราชมงคล EENET 2013 ตีพิมพ์ออนไลน์ ใน JPEE เมื่อ 30 มิถุนายน 2556