

การออกแบบอัลกอริทึมแบบปรับตัวเองได้ สำหรับตรวจวัดค่าองค์ประกอบสมมาตร
โดยประยุกต์ใช้ในโปรแกรม LabVIEW
ADAPTIVE ALGORITHM DESIGN FOR SYMMETRICAL COMPONENT
DETECTION USING LABVIEW IMPLEMENTATION

สุรเดช อินทร์พุม¹ ฤกษ์ชัยนาม ภูมิภคตพิชญ์² ชวงศ วัฒนศักดิ์ภูบาล³

บทคัดย่อ

ในบทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบอัลกอริทึมแบบปรับตัวเองได้ สำหรับตรวจวัดค่าองค์ประกอบสมมาตร โดยประยุกต์ใช้ในโปรแกรม LabVIEW องค์ประกอบสมมาตร มีความสำคัญ และมีการประยุกต์ใช้ในหลายๆ ด้านสำหรับงานด้านไฟฟ้ากำลัง ในงานด้านคุณภาพไฟฟ้า ในงานด้านการป้องกันระบบไฟฟ้า และได้นำเสนอเทคนิคอัลกอริทึมปรับตัวเองได้ เพื่อในการตรวจวัดค่าองค์ประกอบสมมาตรทั้งในระบบที่มีการเปลี่ยนแปลง และไม่เปลี่ยนแปลง โดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อทำการทดสอบอัลกอริทึม จากผลการทดสอบ จะเห็นได้ว่า สามารถติดตามระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ และใช้เวลาในการเข้าระบบเพียง 0.04 วินาที เมื่อนำเทคนิคนี้เทียบกับเทคนิค Fast Fourier Transform (FFT) จะเห็นได้ว่าเทคนิคอัลกอริทึมปรับตัวเองได้เร็วกว่าเทคนิค FFT ถึง 28.9015 เท่าโดยประมาณ อัลกอริทึมใหม่ที่ได้ออกจากการทดสอบสามารถนำมาใช้ในการตรวจวัดค่าองค์ประกอบสมมาตร, เป็นเครื่องมือค้นแบบและการประยุกต์ใช้กับโปรแกรม LabVIEW จะสามารถนำไปใช้งานจริงได้ ซึ่งจะช่วยลดการนำเข้าเครื่องมือจากต่างประเทศ

คำสำคัญ : องค์ประกอบสมมาตร, อัลกอริทึมแบบปรับตัวเองได้

Abstract

This paper presents the adaptive algorithm for symmetrical component detection using LabVIEW implementation. The symmetrical component are important and can be applied to aspects of power system application, for example, the power quality, power system protection and so on and presents the technique of adaptive algorithm for measuring the value of symmetrical component both normal and abnormal system, and carried out by using MATLAB program. In order to test this algorithm, the examination result found that it could track the abnormal and about only 0.04 seconds. When comparing this with fast fourier transform (FFT), technique it shows that the algorithm technique could adjust itself faster than FFT technique FFT about approximately 28.9015 times. This algorithm can be ensured by using LabVIEW program. It shows that the symmetrical component can be tracked faster than MATLAB program 16 times.

Keywords : Symmetrical Component, Adaptive algorithm

¹พนักงานช่างระดับ 4 (สอทไลน์) ประจำการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 3 ภาคกลาง (นครปฐม)

²อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

³วิศวกรระดับ 5 ประจำการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 3 ภาคใต้ (ยะลา)

1. บทนำ

องค์ประกอบสมมาตรของกระแส และแรงดันไฟฟ้า [1],[2] มีความสำคัญ และมีการประยุกต์ใช้ในหลายๆด้านสำหรับงานด้านไฟฟ้ากำลัง เช่น งานด้านคุณภาพไฟฟ้า และงานด้านการป้องกันระบบไฟฟ้า ในบทความนี้ต้องการนำเสนอโครงสร้างของอัลกอริทึมแบบปรับตัวเองเชิงเส้นผสม (Adaptive linear combiner structure) [3] สำหรับการประมาณ และติดตามค่าองค์ประกอบสมมาตร โครงสร้างดังกล่าวสามารถให้ผลลัพธ์มากกว่าหนึ่ง (Multi-output) แยกต่างจากโครงสร้างของอัลกอริทึมแบบปรับตัวเองเชิงเส้นผสมทั่วไปที่ให้ผลลัพธ์เพียงหนึ่ง (Single-output) โครงสร้างใหม่นี้เรียกว่า อัลกอริทึมปรับตัวเองได้ (Adaptive algorithm)

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตเทคนิคการวัดค่าองค์ประกอบสมมาตรสามารถทำได้หลายวิธี วิธีที่ 1 การแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว [4],[5] วิธีนี้สามารถใช้ได้กับแรงดันที่ผิดเพี้ยน ข้อเสียของวิธีนี้คือไม่มีความแม่นยำในการวัดภายใต้สภาวะของโหลดที่เปลี่ยนแปลง วิธีที่ 2 The Kalman Filter (KF)[6],[7] ข้อดีของวิธีนี้คือใช้ในการประมาณค่าองค์ประกอบสมมาตรของระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาได้เป็นอย่างดี วิธีเหมาะสมสำหรับระบบที่มีสัญญาณรบกวน ค่าที่ได้จะเป็นค่าประมาณที่ใกล้เคียงค่าจริงที่สุด ข้อเสียของวิธีนี้คือมีการคำนวณที่มากไม่สามารถประยุกต์ใช้สร้างเป็นเครื่องมือในการติดตามองค์ประกอบสมมาตรได้ ถ้าจะสร้างเครื่องมือเพื่อติดตามองค์ประกอบสมมาตรจะต้องใช้หน่วยความจำขนาดใหญ่ และตัวประมวลผลที่มีความไวสูง

ในบทความนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอวิธีการใหม่โดยการออกแบบอัลกอริทึมแบบปรับตัวได้ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือประมาณติดตามค่าขององค์ประกอบสมมาตรเพื่อนำค่าพารามิเตอร์ไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆต่อไป โดยการพัฒนาในโปรแกรม LabVIEW โดยผู้วิจัยได้ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อให้ใช้งานง่ายสำหรับบุคคลทั่วไปที่ไม่มีความรู้ด้านการเขียนโปรแกรมสามารถใช้ได้และกราฟที่สวยงาม และการเก็บข้อมูลเก็บเป็นไฟล์ .csv

เพราะไฟล์นี้สามารถใช้ โปรแกรม Microsoft Excel อ่านได้เลย และยังโหลดค่าข้อมูลไปยัง Workspace ของโปรแกรม Matlab ได้เลยโดยไม่ต้องแปลงค่าก่อน จากความสามารถข้างต้น สามารถใช้โปรแกรมนี้เป็นเครื่องมือเพื่อติดตามค่าองค์ประกอบสมมาตรได้

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

องค์ประกอบสมมาตรของกระแสและแรงดันไฟฟ้ามีความสำคัญ และมีการประยุกต์ใช้ในหลายๆด้านสำหรับงานด้านไฟฟ้ากำลัง ในงานด้านคุณภาพไฟฟ้า (Power Quality) ขนาดขององค์ประกอบสมมาตรของกระแสลำดับศูนย์ (Zero Sequence Current) และองค์ประกอบสมมาตรของกระแสลำดับลบ (Negative Sequence Current) เป็นตัวบ่งชี้ถึงความไม่สมดุลของโหลดในระบบไฟฟ้า ในงานด้านการป้องกันระบบไฟฟ้า (Power System Protection) องค์ประกอบสมมาตรของกระแส และแรงดันไฟฟ้าถูกใช้เพื่อกำหนดการทำงานให้รีเลย์วัดระยะทาง (Distance Relay) หรือนำมาใช้เพื่อคำนวณหาตำแหน่งผิดพร่อง (Fault Locator) นอกจากนี้ยังมีรีเลย์อีกหลายชนิดที่จำเป็นต้องตรวจขนาดขององค์ประกอบสมมาตรของกระแสลำดับต่างๆ เพื่อนำมาตัดสินใจและป้องกันระบบไฟฟ้า เช่น รีเลย์กระแสเกิน (Ground Over Current Relay) ใช้องค์ประกอบสมมาตรของกระแสลำดับศูนย์เพื่อนำมาตัดสินใจสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker) ปลดวงจรออกเมื่อเกิดความผิดพร่องลงดินขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง เป็นต้น

ทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้ จะเห็นได้ว่ารีเลย์และเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าจะต้องมีการประมวลผลเพื่อติดตามค่าองค์ประกอบแบบสมมาตรของกระแส หรือ/และองค์ประกอบสมมาตรของแรงดันอยู่ตลอดเวลาในแง่ (Real time)

การประมวลผลเพื่อติดตามค่าองค์ประกอบแบบสมมาตรของกระแส หรือ/และองค์ประกอบสมมาตรของแรงดันอยู่ตลอดเวลา โดยทั่วไปแล้วนิยมใช้วิธีการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform) ร่วมกับตัว

คูณเมตริกซ์ (Matrix Transform) โดยเริ่มต้นจาก สัญญาณของกระแสและแรงดันไฟฟ้าซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อก (Analog signal) มีความต่อเนื่องทางเวลา ถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณดิจิทัล (Digital signal) โดยใช้ตัวแปลงสัญญาณ (A/D) ส่งไปประมวลผลยังไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อหาค่าเฟสเซอร์ (Phasor) ของกระแส และแรงดันไฟฟ้าที่เวลาใดๆ โดยอาศัยการแปรงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว เมื่อได้ผลลัพธ์ในรูปแบบของค่าเฟสเซอร์ของกระแส และแรงดันไฟฟ้าที่เวลาใดๆ ในขั้นต่อไปจึงใช้ตัวคูณเมตริกซ์แปลงค่าจากเฟสเซอร์ของกระแส และแรงดันไฟฟ้าที่เวลาใดๆ เป็นองค์ประกอบสมมาตรของกระแส และแรงดันไฟฟ้าที่เวลาใดๆต่อไป โดยกระบวนการทั้งหมดที่ได้กล่าวมาจะต้องประมวลผลให้เสร็จก่อนที่สัญญาณดิจิทัลของกระแส และแรงดันค่าใหม่ถูกสุ่ม เพื่อคำนวณในรอบของการคำนวณถัดไป

เพื่อลดความซับซ้อนในการประมวลผลเพื่อติดตามค่าองค์ประกอบแบบสมมาตรลง อีกทั้งยังเป็นหน่วยประมวลผลเพื่อติดตามค่าองค์ประกอบแบบสมมาตรโดยตรง ในงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบอัลกอริทึมแบบปรับตัวเอง มีโครงสร้างเชิงเส้นผสมเพื่อให้ผลลัพธ์เป็น 3 ผลลัพธ์ที่เวลาเดียวกัน คือ 1.) องค์ประกอบสมมาตรลำดับศูนย์ 2.) องค์ประกอบสมมาตรลำดับลบ 3.) องค์ประกอบสมมาตรลำดับบวก ซึ่งจะช่วยให้ง่ายต่อการนำไปใช้ประมวลผลเพื่อติดตามค่าองค์ประกอบแบบสมมาตรแบบเวลาจริง

3. การออกแบบอัลกอริทึมปรับตัวเองได้

3.1 การออกแบบสมการอัลกอริทึมปรับตัวเองได้

ในการสร้างสมการสำหรับองค์ประกอบสมมาตรนี้จะอาศัยความสัมพันธ์ของรูปคลื่นที่ไม่สมมาตรและองค์ประกอบสมมาตรเป็นส่วนใหญ่ในอัลกอริทึมนี้ การแสดงส่วนที่สมมาตรกันของปริมาณทางไฟฟ้า (3 เฟส) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$i_o = I_0 \sin(\omega t + \phi_0) + I_1 \sin(\omega t + \phi_1) + I_2 \sin(\omega t + \phi_2) \quad (1)$$

$$i_b = I_0 \sin(\omega t + \phi_0) + I_1 \sin(\omega t + \phi_1 - 120) + I_2 \sin(\omega t + \phi_2 + 120) \quad (2)$$

$$i_c = I_0 \sin(\omega t + \phi_0) + I_1 \sin(\omega t + \phi_1 + 120) + I_2 \sin(\omega t + \phi_2 + 120) \quad (3)$$

เมื่อ I_0 และ f_0 คือ ขนาด และมุมเฟสขององค์ประกอบลำดับศูนย์

I_1 และ f_1 คือ ขนาด และมุมเฟสขององค์ประกอบลำดับบวก

I_2 และ f_2 คือ ขนาด และมุมเฟสขององค์ประกอบลำดับลบ

ถ้าเราใช้สมการ $\sin(a + b) = \sin(a)\cos(b) + \cos(a)$

$\sin(b)$ แทนในสมการที่ (1)-(3) จะได้

$$i_o = I_0 \cos(\phi_0) \sin(\omega t) + I_0 \sin(\phi_0) \cos(\omega t) + I_1 \cos(\phi_1) \sin(\omega t) + I_1 \sin(\phi_1) \cos(\omega t) + I_2 \cos(\phi_2) \sin(\omega t) + I_2 \sin(\phi_2) \cos(\omega t) \quad (4)$$

$$i_b = I_0 \cos(\phi_0) \sin(\omega t) + I_0 \sin(\phi_0) \cos(\omega t) + I_1 \cos(\phi_1) \sin(\omega t - 120) + I_1 \sin(\phi_1) \cos(\omega t - 120) + I_2 \cos(\phi_2) \sin(\omega t + 120) + I_2 \sin(\phi_2) \cos(\omega t + 120) \quad (5)$$

$$i_c = I_0 \cos(\phi_0) \sin(\omega t) + I_0 \sin(\phi_0) \cos(\omega t) + I_1 \cos(\phi_1) \sin(\omega t + 120) + I_1 \sin(\phi_1) \cos(\omega t + 120) + I_2 \cos(\phi_2) \sin(\omega t + 120) + I_2 \sin(\phi_2) \cos(\omega t + 120) \quad (6)$$

ถ้าเราจัดสมการที่ (4)-(6) ใหม่ให้อยู่ในรูปแบบเมตริกซ์ จะได้

$$y(t) = \Phi(t)\theta(t) \quad (7)$$

เมื่อ $y(t)$ แทน การวัด

$\theta(t)$ แทน การประมาณค่าตัวแปรในอนาคด

$\Phi(t)$ แทน ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เปลี่ยนแปลงกับเมตริกซ์

ตัวแปรเหล่านี้แสดงในสมการ (8)-(10) ที่แสดงไว้ด้านล่าง งานวิจัยนี้ได้ตั้งสมมุติฐานว่าสัญญาณกระแสหรือแรงดันใดๆ เป็นฟังก์ชันของโคไซน์ (Cosine) ที่ความเร็วเชิงมุมเท่ากับความเร็วเชิงมุมมูลฐาน (fundamental-

$$y(t) = \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \tag{8}$$

$$\Phi(t)^T = \begin{bmatrix} \sin \omega t & \cos \omega t & \sin \omega t & \cos \omega t & \sin \omega t & \cos \omega t \\ \sin \omega t & \cos \omega t & \sin(\omega t - 120) & \cos(\omega t - 120) & \sin(\omega t + 120) & \cos(\omega t + 120) \\ \sin \omega t & \cos \omega t & \sin(\omega t + 120) & \cos(\omega t + 120) & \sin(\omega t - 120) & \cos(\omega t - 120) \end{bmatrix} \tag{10}$$

$$y(t) = A_i \cdot \cos(i \cdot \omega \cdot t + \theta_i) \tag{11}$$

นำสมการที่ (3.11) มาจัดรูปใหม่ ให้อยู่ในรูปของสมการผลต่างของฟังก์ชันโคไซน์ตามสมการที่ (12)-(16) ตามลำดับ

$$y(t) = A_i \cdot \cos(\omega_s \cdot t) \cdot \cos(\theta_i) - A_i \cdot \sin(\omega_s \cdot t) \cdot \sin(\theta) \tag{12}$$

$$[X] = [\Phi] \tag{13}$$

$$[W] = [\theta] \tag{14}$$

$$y(t) = [W] \cdot [X]^T \tag{15}$$

$$e(t) = x(t) - [W] \cdot [X]^T \tag{16}$$

เมื่อ $x(t)$ คือ แทนสัญญาณกระแส หรือแรงดันที่ต้องการวัดหาส่วนประกอบของค้ประกอบสมมาตร

$e(t)$ คือ ความแตกต่างระหว่างสัญญาณกระแส หรือ แรงดัน ที่ต้องการวัดที่ต้องการวัดหาส่วนประกอบขององค์ประกอบสมมาตรกับสัญญาณด้านออกจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ ค่าสัมประสิทธิ์

[W] Weight vector (การถ่วงน้ำหนักของค่า)

angular frequency 1^{th}) ของระบบไฟฟ้านั้นๆ โดยมีส่วนประกอบขององค์ประกอบสมมาตรที่ i ถึง $i(t)$ ตามสมการที่ (11)

$$\theta(t) = \begin{bmatrix} I_0 \cos(\phi_0) \\ I_0 \sin(\phi_0) \\ I_1 \cos(\phi_1) \\ I_1 \sin(\phi_1) \\ I_2 \cos(\phi_2) \\ I_2 \sin(\phi_2) \end{bmatrix} \tag{9}$$

จากสมการที่ (10) เมื่อแปลงสัญญาณอนาล็อก (Analog Signal) เป็นสัญญาณเชิงเวลาเต็มหน่วย (Discrete Time Signal) ค่าสัมประสิทธิ์ [W] สามารถปรับตัวเองเพื่อให้มีค่า $|e(t)|^2$ ต่ำสุด ตามกฎของ Widrow-Hoff delta rule [8],[9] จะได้สมการที่ (3.17) คือ

$$W(k+1) = W(k) + \frac{\alpha \times e(k) \times [X(k)]}{[X(k)] \times [X(k)]^T} \tag{16}$$

เมื่อ k คือ รอบของการปรับค่าสัมประสิทธิ์ Weight Vector

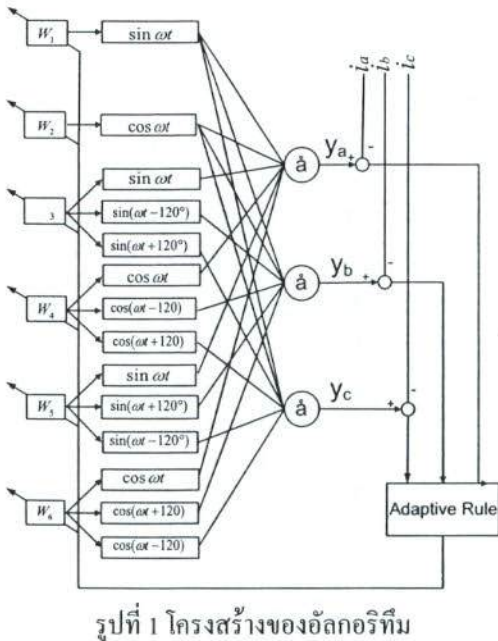
$W(k)$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ Weight Vector รอบที่ k

$W(k+1)$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ Weight Vector ที่ถูกปรับในรอบต่อไปที่ $k+1$

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้ (Learning Parameter)

3.2 โครงสร้างอัลกอริทึมปรับตัวเองได้

การออกแบบโครงสร้างอัลกอริทึมปรับตัวเองได้นั้น จะนำ สมการทั้งหมดในข้างต้นมาเขียนเป็นรูปเพื่อที่จะได้ทำความเข้าใจได้ง่ายขึ้น



จากรูปที่ 1 W_{1-6} คือค่าของ $q(t)$ ในสมการที่ (9) คือค่าขององค์ประกอบสมมาตร นำมาคูณ $F(t)$ ในสมการที่ (10) จะได้ $y_{(a,b,c)}$ แล้วนำมาลบด้วย สัญญาณจริง เกิดค่า Error นำค่า Error มาคำนวณใน Adaptive Rule ในสมการที่ (16) จะได้ค่า w ในรอบต่อไป

4. ผลการทดสอบอัลกอริทึม

ในการทดสอบอัลกอริทึมนั้นจะจำลองความผิดปกติด้วยโปรแกรม ATP-EMTP โดยกำหนดค่าเริ่มต้นเป็นดังนี้

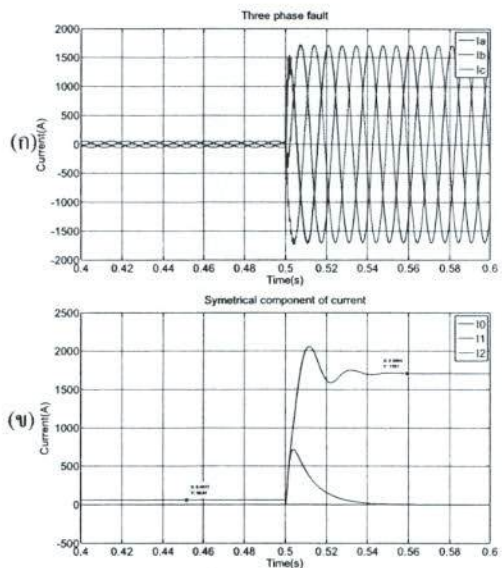
ตารางที่ 1 กำหนดระบบเริ่มต้นของระบบ

ระบบ	ขนาด	ระบบ
แหล่งจ่ายแรงดัน 3 เฟส	22kV	แหล่งจ่ายแรงดัน 3 เฟส
ความถี่	50Hz	ความถี่
สายส่ง	10 ก.ม.	สายส่ง
โหลด	2000+ 0.0025i	โหลด
เกิดการผิดปกติที่เวลา	0.5 วินาที	เกิดการผิดปกติที่เวลา

4.1 การทดสอบอัลกอริทึมด้วยโปรแกรม MATLAB

กรณีศึกษานี้จะกำหนดระบบเริ่มต้นเป็น ดังนี้ แหล่งจ่ายเป็นแหล่งจ่ายแรงดัน 3 เฟส 22kV ที่ความถี่ 50Hz ต่อกับสายส่งยาว 10 ก.ม. จ่ายให้กับโหลดขนาด $1796 + 0.000032i$ เท่ากันทั้ง 3 เฟส

จำลองการเกิดความผิดปกติในระบบแบบสามเฟส ในระบบเริ่มต้นที่เวลา 0 วินาทีเกิดความผิดปกติที่เวลา 0.5 วินาที โดยแสดงในรูปที่ 2

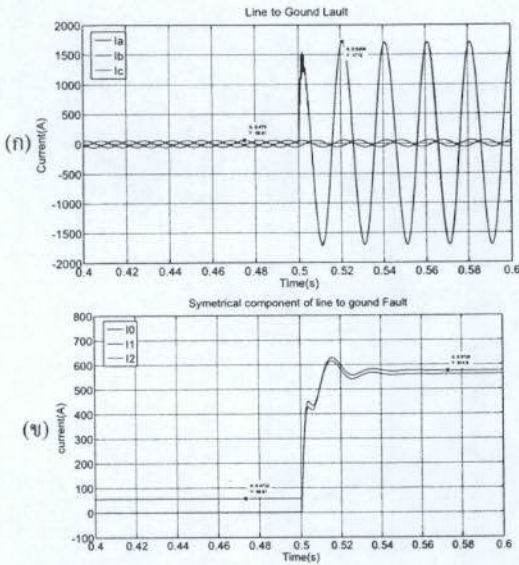


รูปที่ 2 (ก) กระแสเมื่อเกิดการผิดปกติในระบบแบบ 3 เฟส (ข) องค์ประกอบสมมาตรของสัญญาณกระแส

จากรูปที่ 2 อธิบายการแยกองค์ประกอบสมมาตรของสัญญาณกระแสในรูปที่ 2 (ก) ออกเป็น ลำดับศูนย์ (I_0), ลำดับบวก (I_1), ลำดับลบ (I_2) โดยใช้อัลกอริทึมแบบปรับตัวเองได้ด้วยโปรแกรม Matlab ที่เวลา 0 วินาที ถึง 0.49 วินาที ระบบเป็นปกติจะวัดได้แค่ลำดับบวกมีค่าประมาณ 56.6A เท่ากับค่าขอดของกระแสในรูปที่ 2 ที่เวลา 0.5s เกิดการผิดปกติแบบสามเฟสในระบบในช่วงเวลา 1-2 cycle แรก อัลกอริทึมจะพยายามปรับตัวจากสภาวะปกติเป็นสภาวะเกิดการผิดปกติหลังจากนั้นอัลกอริทึมจะเข้าสู่สภาวะคงที่ที่จะเห็นได้ว่ามีแต่ค่าลำดับบวกที่เท่ากับ

1708A เท่ากับค่าของกระแสในรูปที่ 2 และลำดับศูนย์, ลำดับลบมีค่าเท่ากับศูนย์ เป็นไปตามทฤษฎีของการเกิดความผิดปกติในระบบแบบสมมาตร

จำลองการเกิดความผิดปกติในระบบแบบสายเส้นใดเส้นหนึ่งต่อลงดินกำหนดให้เกิดความผิดปกติที่เฟส A ในระบบเริ่มต้นที่เวลา 0 วินาทีเกิดความผิดปกติที่เวลา 0.5 วินาที โดยแสดงในรูปที่ 3 (ก)



รูปที่ 3 (ก) กระแสเมื่อการเกิดการผิดปกติในระบบแบบเฟส-ดิน

(ข) องค์ประกอบสมมาตรของสัญญาณกระแส

จากรูปที่ 3 อธิบายการแยกองค์ประกอบสมมาตรของสัญญาณกระแสในรูปที่ 4 ออกเป็น ลำดับศูนย์, ลำดับบวก, ลำดับลบ โดยใช้อัลกอริทึมแบบปรับตัวเองได้ด้วยโปรแกรม Matlab ที่เวลา 0 วินาที ถึง 0.49 วินาที ระบบเป็นปกติจะวัดได้แต่ลำดับบวกมีค่าประมาณ 56.6A เท่ากับค่าของกระแสในรูปที่ 4 ที่เวลา 0.5 วินาที เกิดการผิดปกติแบบสามเฟสในระบบในช่วงเวลา 1-2 cycle แรกอัลกอริทึมจะพยายามปรับตัวจากสภาวะปกติเป็นสภาวะเกิดการผิดปกติหลังจากนั้นอัลกอริทึมจะเข้าสู่สภาวะคงที่ที่จะเห็นได้ว่ามีแต่ลำดับบวกที่เท่ากับ 1708A เท่ากับค่าของกระแสในรูปที่ 4 และลำดับศูนย์, ลำดับ

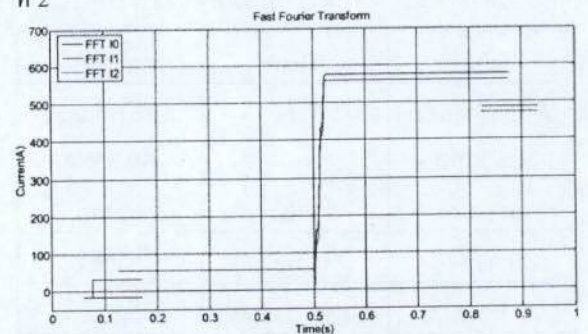
ลบมีค่าใกล้เคียงกับลำดับบวกเป็นไปตามทฤษฎีของการเกิดความผิดปกติในระบบแบบสายเส้นใดเส้นหนึ่งต่อลงดิน

4.2 การเปรียบเทียบด้วยเทคนิค Fast Fourier Transform (FFT)



รูปที่ 4 องค์ประกอบสมมาตรของสัญญาณกระแสของเทคนิค FFT เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ 3 เฟส

จากรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าการติดตามองค์ประกอบสมมาตรด้วยเทคนิค FFT นั้นจะมีค่าเท่ากับเทคนิคอัลกอริทึมปรับตัวเองได้ ข้อแตกต่างคือช่วงแรก 200 ค่าแรกหรือประมาณ 1 รูปคลื่น มีค่าเท่ากับ 0 ค่าในช่วงแรกนี้จะต้องเก็บไว้เพื่อคำนวณในช่วงเวลาต่อไป และเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นที่เวลา 0.5 วินาที ค่าจะค่อยๆ ปรับเพิ่มขึ้นการเก็บค่าเพื่อที่จะคำนวณในช่วงแรกเปลี่ยนแปลงไป เทคนิค FFT ใช้เวลาในการคำนวณค่อนข้างมากจะดูได้จากตารางที่ 2



รูปที่ 5 องค์ประกอบสมมาตรของกระแสของเทคนิค FFT เมื่อเกิดความผิดปกติแบบเฟส-ดิน

จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าการติดตามองค์ประกอบสมมาตรด้วยเทคนิค FFT นั้นจะมีค่าเท่ากับเทคนิคอัลกอริทึมปรับตัวเองได้ ข้อแตกต่างคือช่วงแรก 200 ค่าแรกหรือประมาณ 1 รูปคลื่น มีค่าเท่ากับ 0 ค่าในช่วงแรกนี้จะต้องเก็บไว้เพื่อคำนวณในช่วงเวลาต่อไป และเมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นที่เวลา 0.5 วินาที ค่าจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นการเก็บค่าเพื่อที่จะคำนวณในช่วงแรกเปลี่ยนแปลงไป เทคนิค FFT ใช้เวลาในการคำนวณค่อนข้างมากจะดูได้จากตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบเวลาของทั้ง 2 เทคนิค

การผิดพร่อง	อัลกอริทึมปรับตัวเองได้(วินาที)	FFT (วินาที)
3 เฟส	3.058676	74.604329
เฟส-ดิน	2.483633	74.91632
เฟส-เฟส-ดิน	3.290306	79.679923
เฟส-เฟส	4.422047	77.962395
ค่าเฉลี่ย	3.1469294	76.3734592

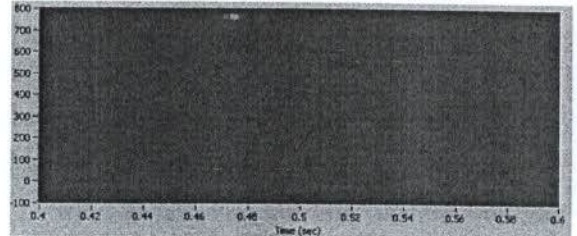
4.3 การทดสอบอัลกอริทึมด้วยโปรแกรม LabVIEW

ในส่วนสุดท้ายของงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม LabVIEW เพื่อทำการประมาณ/ติดตามค่าองค์สมมาตรจากการเก็บข้อมูลจากกรีเล็ยของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค แต่การเขียนโปรแกรม LabVIEW นั้นจะเขียนให้ถูกต้องทีเดียวนั้นยาก เพื่อทำความเข้าใจผู้วิจัยจึงทำการทดสอบและเก็บข้อมูลก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง



รูปที่ 6 องค์ประกอบสมมาตรของกระแสด้วยโปรแกรม LabVIEW เมื่อเกิดความผิดพลาดแบบ 3 เฟส

จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบสมมาตรที่ได้จากโปรแกรม LabVIEW นั้นมีค่าเท่ากับองค์ประกอบสมมาตรที่ได้จากโปรแกรม Matlab จากรูปที่ 2 (ข) จึงยืนยันได้ว่าการโปรแกรม LabVIEW นั้นถูกต้อง



รูปที่ 7 องค์ประกอบสมมาตรของกระแสด้วยโปรแกรม LabVIEW เมื่อเกิดความผิดพลาดแบบ เฟส-ดิน

จากรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบสมมาตรที่ได้จากโปรแกรม LabVIEW นั้นมีค่าเท่ากับองค์ประกอบสมมาตรที่ได้จากโปรแกรม Matlab จากรูปที่ 3 (ข) จึงยืนยันได้ว่าการโปรแกรม LabVIEW นั้นถูกต้อง

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบเวลาของทั้ง 2 โปรแกรม

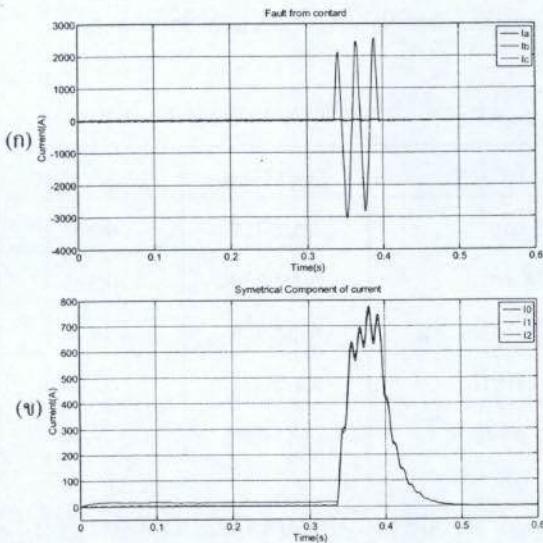
การผิดพร่อง	MATLAB	LABVIEW
3 เฟส	5.517417	0.394
เฟส-ดิน	6.180637	0.394
เฟส-เฟส-ดิน	6.405969	0.386
เฟส-เฟส	8.148571	0.387
ค่าเฉลี่ย	6.4458978	0.3908

การที่ต้องเก็บข้อมูลของเวลาในการทดสอบอัลกอริทึมนั้นเพื่อการประยุกต์เป็นเครื่องมือแบบเวลาจริง (real time) จะต้องคำนึงถึงเวลาเป็นหลัก อาทิเช่น เครื่องคำนวณหาตำแหน่งผิดพลาด, รีเลย์กระแสเกินแบบใช้ องค์ประกอบสมมาตรของกระแสลำดับศูนย์เพื่อนำมาตัดสินใจสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ เป็นต้น เครื่องมือเหล่านี้อาศัยความเร็วในการทำงาน ยังใช้ค่าพารามิเตอร์ขององค์ประกอบสมมาตรในการคำนวณทั้งสิ้น

4.4 การติดตาม/ประมาณค่าองค์ประกอบสมมาตรจาก ไฟล์ Contard ที่ได้จากระเบียบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ในปัจจุบันรีเลย์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิกานั้นมีความสามารถมากขึ้นเรื่อยๆ จนในปัจจุบันสามารถพัฒนาจนเก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์บนคอมพิวเตอร์ได้ ข้อมูลนี้มีชื่อว่าไฟล์ Contard ข้อมูลนี้จะถูกเก็บไว้ที่ตัวบันทึกในตู้ควบคุมรีเลย์ การนำไฟล์ Contard จะต้องนำคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมดึงข้อมูลไปทำการดึงข้อมูลออกมา เพื่อนำข้อมูลนั้นไปวิเคราะห์ต่อไป

กรณีศึกษาที่จะกล่าวต่อไปนี้จะใช้ไฟล์ Contard จากระเบียบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเป็น Input แล้วใช้อัลกอริทึมปรับตัวเองได้เป็นตัวแทนองค์ประกอบสมมาตร กรณีศึกษาที่ 1 : เป็นการนำไฟล์ Contard จากระเบียบของการไฟฟ้ามาทำการติดตาม/ประมาณค่าองค์ประกอบสมมาตร



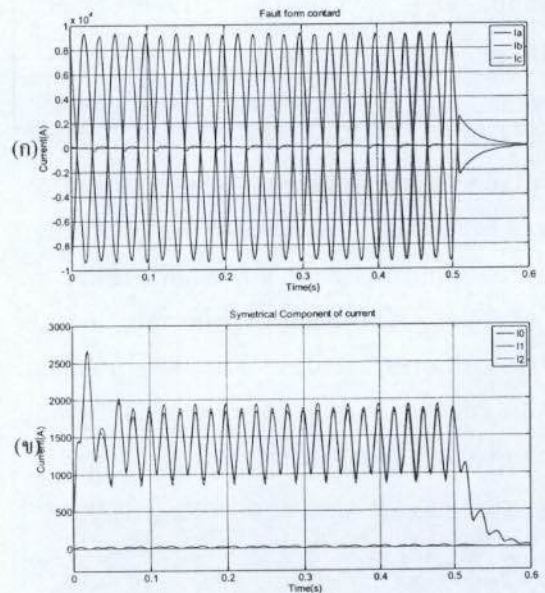
รูปที่ 8 (ก) กระแสเมื่อเกิดการผิดปกติในระบบ (ข) องค์ประกอบสมมาตรของสัญญาณกระแส

จากรูปที่ 8 (ก) ที่เวลา 0-0.35 วินาที กระแสจะอยู่ในสภาวะปกติเพราะการเก็บค่าของไฟล์ Contard จะเก็บก่อนเกิดความผิดปกติ 5 ลูกคลื่น และหลังจากนั้นที่เวลา 0.35-0.4 วินาที ค่าของความผิดปกติในระบบ จะเห็นได้ว่ากระแสที่เฟส B พุ่งสูงขึ้น หลังจากเวลา 0.4 วินาที

บางกระแสก็ลดลงอย่างมากจนมีค่าเกือบเท่ากับศูนย์เพราะ โหลดกำลังปรับตัวเข้าสู่สภาวะปกติอยู่จำเป็นต้องใช้เวลา

จากรูปที่ 8 (ข) จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกที่เวลา 0-0.35 วินาที กระแสจะปกติ ลำดับบวกของกระแสจะมีค่า และ ลำดับศูนย์และลำดับลบ จะมีค่าเท่ากับศูนย์ในทางทฤษฎี และหลังจากนั้นในช่วงเวลา 0.35-0.4 วินาที เกิดการผิดปกติในระบบขึ้น จะเห็นว่า ลำดับบวก, ลำดับลบและลำดับศูนย์ มีค่าเท่ากัน จึงสรุปได้ว่าเป็นไปตามทฤษฎี ความผิดปกติแบบ เฟส-ดิน และหลังจากเวลา 0.4 วินาที ระบบอยู่ในสภาวะปรับตัว

กรณีศึกษาที่ 1 : เป็นการนำไฟล์ Contard จากระเบียบของการไฟฟ้ามาทำการติดตาม/ประมาณค่าองค์ประกอบสมมาตร รีเลย์ตัวนี้จะแตกต่างจากที่ผ่านมามาเพราะจะวัดค่าแค่กระแสและเก็บค่าคอนเกิดความผิดปกติโดยไม่มีการเก็บค่าเริ่มต้น



รูปที่ 9 (ก) กระแสเมื่อเกิดการผิดปกติในระบบ (ข) องค์ประกอบสมมาตรของสัญญาณกระแส

จากรูปที่ 9 (ก) ที่เวลา 0-0.5 วินาทีกระแสเฟส C มีค่าปกติ และเฟส A,B พุ่งสูงขึ้นเท่ากัน และที่เวลาที่ 0.5 วินาทีจะค่อยปรับตัวลดลง

จากรูปที่ 9 (ก) ที่เวลา 0-0.5 วินาที มีค่า ลำดับศูนย์ มีค่าประมาณศูนย์ ลำดับบวกและลำดับลบมีค่าเท่ากัน จึงสรุปได้เกิดการผิดพ้องแบบ ความผิดพ้องแบบ เฟส-เฟส แต่ รูปไม่ราบเรียบเพราะการเก็บค่าของรีเลย์ไม่ละเอียด หลังจากเวลาที่เวลา 0.5 วินาที กระแสจะหายไป

5. สรุป

จากการจำลองติดตาม/ประมาณค่าองค์ประกอบสมมาตร ทั้ง 5 กรณี จะเห็นได้ว่าการทำงานของอัลกอริทึมปรับตัวเองได้จะติดตามประมาณค่าองค์ประกอบสมมาตรในระบบที่เปลี่ยนแปลงได้โดยใช้เวลาเพียง 0.04 วินาที ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบการทำงานเพื่อความถูกต้องของอัลกอริทึมปรับตัวเองได้ กับ FFT ผลคือจะได้ค่าที่ใกล้เคียงกัน แม้จะใช้การคำนวณที่แตกต่างกันมาก อัลกอริทึมปรับตัวเองได้นั้นยังเร็วกว่า FFT ถึง 24.2692 เท่าโดยประมาณ และทำการเขียนโปรแกรมเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรม Matlab และ LabVIEW จะเห็นได้ว่าการทำงานของทั้งสองโปรแกรมจะได้ค่าเท่ากัน แต่โปรแกรม LabVIEW เร็วกว่าโปรแกรม Matlab ถึง 16.494109 เท่าโดยประมาณ เพราะการทำงานของโปรแกรม LabVIEW เป็นการคำนวณแบบขนาน ส่วนการคำนวณของโปรแกรม Matlab เป็นการคำนวณค่าทีละบรรทัด สุดท้าย ผู้วิจัยได้ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อให้ใช้งานง่ายสำหรับบุคคลทั่วไปที่ไม่มีความรู้ด้านการเขียนโปรแกรมสามารถใช้ได้ และกราฟที่สวยงาม และการเก็บข้อมูลเก็บเป็นไฟล์ .csv เพราะไฟล์นี้สามารถใช้โปรแกรม Microsoft Excel อ่านได้เลย และยังโหลดค่าข้อมูลไปยัง Workspace ของโปรแกรม Matlab ได้เลยโดยไม่ต้องแปลงค่าก่อน จากความสามารถข้างต้นสามารถใช้โปรแกรมนี้เป็นเครื่องมือเพื่อติดตามค่าองค์ประกอบสมมาตรได้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Wagner, C.F. and Evans, R.D. 1993. Symmetrical Components. New York :McGraw-Hill
- [2] M. S. Sachdev and M. Nagpal, "A recursive least error squares algorithm for power system relaying and measurement applications," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 6, pp. 1008–1015, July 1991.
- [3] P. K. Dash, D. P. Swain, A. C. Liew, and S. Rahman, "An adaptive linear combiner for on-line tracking of power system harmonics," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 11, pp. 1730–1735, Nov. 1996.
- [4] S. A. Soliman and M. E. El-Hawary, "Application of Kalman filtering for online estimation of symmetrical components for power system protection," *Elect. Power Syst. Res.*, vol. 38, pp. 113–123, 1997.
- [5] A. A. Girgis, W. Chang, and E. B. Makram, "Analysis of high-impedance fault generated signals using a Kalman filtering approach," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 5, pp. 1714–1724, Oct. 1990.
- [6] K. M. El-Naggar, "A fast method for identification of symmetrical components for power system protection," *Int. J. Elect. Power Energy Syst.*, vol. 23, pp. 813–817, 2001.
- [7] Blackburn, J.L. 1993. Symmetrical Components for Power Systems Engineering. New York : Marcel Dekker Inc.
- [8] B. Window and M.A. Lehr, "30 Years of Adaptive Neutral networks: Perception, madaline and back propagation", *Proc. IEEE*.Vol.78, pp.1415-1442, Sept. 1990.
- [9] E. Elmitwally, S. Abdelkader, and M. El-Kateb, "Neural network controlled three-phase four-wire shunt active power filter," in *Proc. Inst. Elect. Eng., Gen., Transm., Dist.*, vol. 47, Mar. 2000, pp. 87–92.