

ระบบเตือนภัยอันตรายจากกระแสไฟฟ้ารั่วบริเวณหม้อแปลงจำหน่าย แบบเวลาจริงประมวลผลแบบดิจิทัล

ผดุง กิจแสวง *

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบสร้างเครื่องวัดกระแสไฟฟ้ารั่วและเตือนภัยที่บริเวณหม้อแปลงจำหน่ายรายงานผลแบบเวลาจริง โดยสร้างอัลกอริทึม หาปริมาณและระดับความรุนแรง ของกระแสไฟฟ้ารั่ว ใช้วิธีถดถอยอย่างง่ายร่วมกับสมการพหุนามดีกรีอันดับ 2 โดยมุ่งเน้นใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผล พร้อมกับระบบเฝ้าแจ้งเตือนแบบเวลาจริง จากผลการวิจัยพบว่า ระบบที่สร้างขึ้นสามารถวัดหากระแสไฟฟ้ารั่วได้ในย่านตั้งแต่ 1 – 200 mA และสามารถกำหนดให้มีการแจ้งเตือนภัยตั้งแต่ 30 – 200 mA ซึ่งค่าผิดพลาดเฉลี่ยน้อยกว่าร้อยละ 4 นอกจากนี้ระบบยังสามารถนำไปใช้เป็นการวัดระดับกระแสรั่วที่รายงานแบบเวลาจริงที่ทำงานได้ดี เป็นที่น่าพอใจ

คำสำคัญ : กระแสไฟฟ้ารั่ว, หม้อแปลงจำหน่าย, ระบบเตือนภัย, ระบบเวลาจริง

Real-time Alarming System of Dangerous Leakage Current at Distribution Transformer via Digital Signal Processing

Padung Kitsawang^{*}

Abstract

This purpose of this research is to study, design and construct a device alarm system for dangerous leakage current distribution transformer in public area the real-time monitoring and alarm system. Test is determined and modeled using linear regression and polynomial using leakage current analysis and level dangerous in microcontroller for the real-time monitoring and alarm system. The result found was that the device and system can measure leakage current in the range 1 – 200 mA. The leakage current level could be set from 30 – 200 mA. The device error is not more than 4% which is acceptable. It is found that the system can correctly detect and report leakage current levels. with satis factory result.

Keywords : Leakage Current, Distribution Transformer, Alarm System, Real-Time System

Department of Electrical and Electronic Engineering, Faculty of Engineering, Ubonratchathani University.

^{*} Corresponding author, E-mail: padung2513@yahoo.com Received 26 October 2015, Accepted 8 August 2016

1. บทนำ

การเกิดกระแสไฟฟ้ารั่วไหลในบริเวณติดตั้งหม้อแปลงจำหน่ายจากสาเหตุการเสื่อมสภาพหรือการชำรุดของอุปกรณ์ไฟฟ้า ความชื้น การเปราะเปื้อนของลูกถ้วย ทำให้การเป็นฉนวนลดลง การเกิดดิสชาร์จตามผิวฉนวน [1-2] และทำให้เกิดกระแสรั่วไหลที่เกิดขึ้นมีปริมาณมากขึ้น นับเป็นข้อที่กังวลยิ่ง เพราะเหตุการณ์เหล่านี้อันเป็นผลทำให้สาธารณชนที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์เป็นอันตรายอย่างยิ่ง ซึ่งเป็นปัญหาที่ต้องมีการแจ้งเตือนและได้รับการแก้ไขอย่างทันท่วงที ได้มีงานวิจัยที่เสนอการตรวจวัดกระแสไฟฟ้ารั่วเพื่อเตือนระดับกระแสรั่วไหลที่เป็นอันตรายด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ งานวิจัยยังไม่สามารถบอกปริมาณกระแสรั่วไหลแบบเวลาจริงได้ [3] มีงานวิจัยที่ใช้การวัดกระแสไฟฟ้าด้วยการออกแบบขดลวด โรโกสกี๊วดกระแสไฟฟ้าสลับที่ความถี่ 4 kHz [4] ซึ่งมิงงานวิจัยการตรวจวัดมลภาวะแบบรีโมทข้อมูล โดยการตรวจจับกระแสรั่วไหลที่ผิวลูกถ้วย เพื่อติดตามประสิทธิภาพการทำงานของลูกถ้วย โดยประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมสถานีไฟฟ้าแรงสูง ส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุไร้สายสามารถตรวจสอบความผิดปกติระยะไกล ที่มีค่าผิดพลาดน้อยกว่าร้อยละ 5 [5] มีการใช้เทคนิควิธีการวิเคราะห์หาความผิดปกติของหม้อแปลงโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม [6] มีการวิเคราะห์หาปริมาณกระแสรั่วไหลของลูกถ้วย ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลทางโดเมนความถี่ [7] และได้มีการประมาณค่ากระแสบุขซึ่งหม้อแปลงโดยใช้สมการถอดถอย [8] นอกจากนี้การตรวจวัดกระแสรั่วแล้วได้มีงานวิจัยได้แจ้งเตือนระดับกระแสไฟฟ้ารั่วที่บริเวณตรวจวัดเพื่อให้มีการแก้ไขและป้องกันอันตราย [9] นอกจากนี้จะแจ้งเตือนที่หม้อแปลง

จำหน่ายแล้วความผิดปกติแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงยังส่งข้อมูลผ่านระบบโทรศัพท์ด้วย GSM Module ทำให้ต้องเสียค่าบริการในการส่งข้อมูล [10] จึงได้มีงานวิจัยได้ประยุกต์ใช้การรับส่งข้อมูลด้วย XBEE ในการตรวจวัดและรายงานกำลังไฟฟ้าด้วยการประมวลผลแบบดิจิทัล [11] และงานวิจัยการประมวลผลแบบดิจิทัลในการตรวจวัดระดับความผิดปกติจากการเชื่อมศูนย์แกนเพลลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส พร้อมแจ้งเตือนและรายงานระดับเชื่อมศูนย์ผ่าน XBEE [12] งานวิจัยนี้ได้เสนอ ออกแบบและสร้างระบบที่สามารถตรวจหากระแสไฟฟ้ารั่วลงดินและเตือนภัยในขณะที่เกิดกระแสไฟฟ้ารั่วที่หม้อแปลงจำหน่ายแรงต่ำ ในย่านที่เป็นอันตรายต่อร่างกายคนด้วยการประมวลผลแบบดิจิทัลและรายงานผลการตรวจวัดแบบการส่งข้อมูลไร้สายด้วย XBEE Module แบบเวลาจริง โดยมุ่งหวังสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่เป็นประโยชน์ต่อสาธารณชนและเป็นแนวทางในการป้องกันอันตรายอันเกิดจากกระแสไฟฟ้ารั่วและส่งเสริมความปลอดภัยในการใช้ไฟฟ้าได้อีกทาง

2. ทฤษฎี

2.1 การวัดกระแสไฟฟ้ารั่ว

ในการวัดกระแสไฟฟ้านั้น เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำจะเกิดสนามแม่เหล็กล้อมรอบตัวนำไปเกี่ยวข้องคล้อยกับขดลวดที่พันอยู่ในแกนแม่เหล็กเดียวกัน ถ้าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ก็จะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาเช่นเดียวกัน ฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นเกี่ยวข้องคล้อยกับขดลวดเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ปลายขดลวด ซึ่งจะแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กอันเนื่องมาจากกระแสที่ไหลผ่านตัวนำ โดย

ความสัมพันธ์ของแรงดันของเอาต์พุตจะเขียนได้ดังสมการที่ (1)

$$V_{turn} = - \frac{d\phi}{dt} = -A \frac{dB}{dt} \quad (1)$$

ซึ่งสามารถเขียนเป็นแรงดัน V_{coil} ดังสมการที่ (2)

$$V_{coil} = -nA \frac{dB}{dt} \quad (2)$$

เมื่อสนามแม่เหล็กบริเวณล้อมรอบแกนจะเปลี่ยนผันตามกระแสที่ไหลผ่านตัวนำ และแปลงผกผันกับความยาวตัวนำ สามารถเขียนเป็นสมการที่ (3)

$$B = \frac{\mu_0 i}{l} \quad (3)$$

และแรงดัน V_{coil} จะแปลงตามจำนวนรอบของขดลวด ดังนั้นสามารถเขียนสมการได้ดังสมการที่ (4)

$$V_{coil} = - \frac{nA\mu_0}{l} \frac{di}{dt} \quad (4)$$

ตารางที่ 1 เกณฑ์ในแบ่งระดับความรุนแรงการเตือนกระแสไฟฟ้ารั่ว

ระดับกระแสไฟฟ้ารั่ว	ขนาดกระแสไฟฟ้ารั่ว	ระดับความรุนแรง
1	น้อยกว่า 5 mA	ระดับเริ่มต้น
2	เท่ากับหรือมากกว่า 5 mA แต่น้อยกว่า 10 mA	ระดับมากต้องเตือนแก้ไขด่วน
3	เท่ากับหรือมากกว่า 10 mA แต่น้อยกว่า 20 mA	ระดับรุนแรงอันตราย
4	เท่ากับหรือมากกว่า 20 mA แต่น้อยกว่า 30 mA	ระดับรุนแรงอันตรายมาก
5	มากกว่า 30 mA	ระดับรุนแรงอันตรายสูงสุด

เมื่อนำแรงดันคอยล์ผ่านวงจรรีโวลติเกอร์เตอร์ จะได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกที่สัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำนั้น ดังสมการที่ (5)

$$V_{out} = -\frac{1}{\tau} \int V_{coil} dt \quad (5)$$

เมื่อ τ คือ ค่าคงตัวทางเวลาของวงจรรีโวลติเกอร์เตอร์ โดยที่ $\tau = RC$ ได้แรงดันทางออก ดังสมการที่ (6) [8]

$$V_{out} = -\frac{1}{RC} \int V_{coil} dt \quad (6)$$

2.2 เกณฑ์การแบ่งระดับการเตือนกระแสไฟฟ้ารั่ว

จากกระแสไฟฟ้าและเวลาที่เป็นอันตรายต่อคนทำให้หัวใจไม่ทำงานหรือทำงานไม่สัมพันธ์กัน ตาม IEC 479-1 เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ 10 mA และ 30 mA จะกำหนดให้กับเครื่องป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่ว ถ้าใช้เครื่องป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วที่ 10 mA จะไม่เป็นอันตรายเมื่อถูกไฟดูดด้วยกระแสดังกล่าว ดังนั้นจึงได้กำหนดระดับกระแสไฟฟ้ารั่วได้ ดังตารางที่ 1 [2]

3. การออกแบบการวิจัย

3.1 ออกแบบระบบ

ไออะแกรมระบบเตือนภัยอันตรายจากกระแสไฟฟ้า รั่วบริเวณหม้อแปลงจำหน่าย แสดงได้ ดังรูปที่ 1 มีรายละเอียดดังนี้

3.2 การออกแบบชุดวัดกระแส

3.2.1 ขดลวดวัดกระแส

งานวิจัยเลือกใช้เทคนิคการวัดกระแสไฟฟ้ารั่วไหล ที่ไหลผ่านตัวนำ ที่เกิดฟลักซ์แม่เหล็กล้อมรอบตัวนำ ไปเกี่ยวข้องกับขดลวดที่พันอยู่บนแกนที่ไม่ใช่สารแม่เหล็ก กระแสที่ไหลผ่านตัวนำมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเปลี่ยนแปลงตามเวลาเช่นเดียวกัน โดยเส้นแรงแม่เหล็กที่เกี่ยวข้องผ่านขดลวดจะเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ปลายขดลวด เมื่อนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าไปผ่านวงจรอินทิเกรเตอร์ จะได้แรงดันด้านออกที่สัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวนำ ตามกฎของแอมแปร์ ใช้แกนเฟอร์ไรต์ ชนิด U ความยาวเส้นรอบเท่า 16 เซนติเมตร พื้นที่หน้าตัดขดลวด 0.2134 mm^2 ตามมาตรฐาน SWG เบอร์ 35 พันขดลวด 200 รอบ ใช้เทคนิคการพันย้อนกลับเข้าไปในแกนขดลวด เพื่อให้เกิดการหักล้างกันของเส้นแรงแม่เหล็กจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจากภายนอก ดังรูปที่ 2

3.2.2 การออกแบบวงจรรวมอินทิเกรเตอร์

หลังจากได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากขดลวดวัดกระแสแล้ว จากนั้นใช้วงจรรวมอินทิเกรเตอร์รวมสัญญาณ เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกที่สัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ โดยใช้ไอซี LF353 เป็นวงจรรวมอินทิเกรเตอร์แบบกลับเฟส กำหนดให้ค่าคงตัว

วงจรรวมอินทิเกรเตอร์ ($\tau = R_1 C_1$) โดยให้ $\tau = 2 \text{ ms}$ กำหนด C_1 เท่ากับ 100 nF จะได้ R_1 เท่ากับ $47 \text{ k}\Omega$ ค่าคงตัวทางเวลาการเสื่อมถอย ($T = R_2 C_1$) จะได้ R_2 เท่ากับ $680 \text{ k}\Omega$

3.2.3 การออกแบบวงจรรองความถี่ต่ำ

ออกแบบวงจรรองความถี่ต่ำผ่านความถี่ 75 Hz อันดับ 2 เนื่องจากต้องการกำจัดสัญญาณความถี่สูง ตั้งแต่ฮาร์โมนิกอันดับที่ 2 เป็นต้นไป โดยใช้ไอซี LF353 เป็นวงจรรองความถี่ต่ำผ่านแอกทิฟ

3.2.4 การออกแบบวงจรรขยายแบบกลับเฟสและการออกแบบวงจรรปรับระดับแรงดัน

ผู้วิจัยได้ออกแบบวงจรรขยายแบบกลับเฟส อัตราขยายทางแรงดัน 100 เท่าโดยใช้ไอซี LF353 จากค่าของ $-(R_o/R_i)$ ซึ่งกำหนดให้ R_o เท่ากับ $1 \text{ k}\Omega$ และให้ R_i เท่ากับ $100 \text{ k}\Omega$ ส่วนวงจรรปรับระดับแรงดันใช้ไอซี LF353 ปรับระดับแรงดันเท่ากับ 2.5 V เพื่อเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการส่งข้อมูลไปคำนวณหากระแสรั่วไหล

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.3.1 ชุดวัดกระแสรั่วที่สร้างขึ้น

ชุดวัดกระแสที่ออกแบบสร้างขึ้นสามารถวัดกระแสที่ไหลได้ตั้งแต่ $1 \text{ mA} - 200 \text{ mA}$ มีแรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุตเฉลี่ยตั้งแต่ $52 \text{ mV} - 716 \text{ mV}$ ซึ่งชุดวัดกระแสที่ออกแบบสร้างขึ้นดังรูปที่ 2

3.4 วิธีการทดลอง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดลองเก็บข้อมูล โดยแบ่งเป็นหัวข้อ การติดตั้งชุดทดลอง ขั้นตอนการเก็บข้อมูล การประมวลผลสัญญาณ การสร้างอัลกอริทึม

การพยากรณ์กระแสรั่วไหล และระบบรายงานผลการวัดกระแสรั่วแบบเวลาจริง

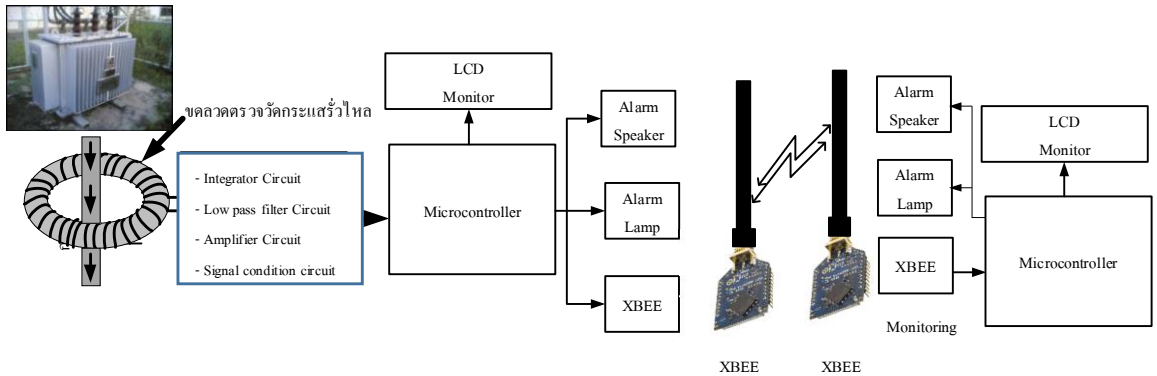
3.4.1 การติดตั้งชุดทดลองและการทดลองเก็บข้อมูล

การติดตั้งชุดทดลอง ดังรูปที่ 3 ทดลองเก็บข้อมูลวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของกระแสที่ไหลผ่านโหลดกับแรงดันทางเอาต์พุตของชุดวัดกระแสที่สร้างขึ้น โดยมีขั้นตอนการทดลองเก็บข้อมูลดังนี้

1. ปรับหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในตำแหน่ง 0 โวลต์

2. จ่ายไฟฟ้า 220 โวลต์ ให้กับชุดทดลองแล้วปรับที่หม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้าได้ ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านโหลดตัวด้านทานตั้งแต่ 1 mA ถึง 200 mA เพิ่มขึ้นทีละ 1 mA วัดแรงดันทางด้านออกของชุดวัดกระแส

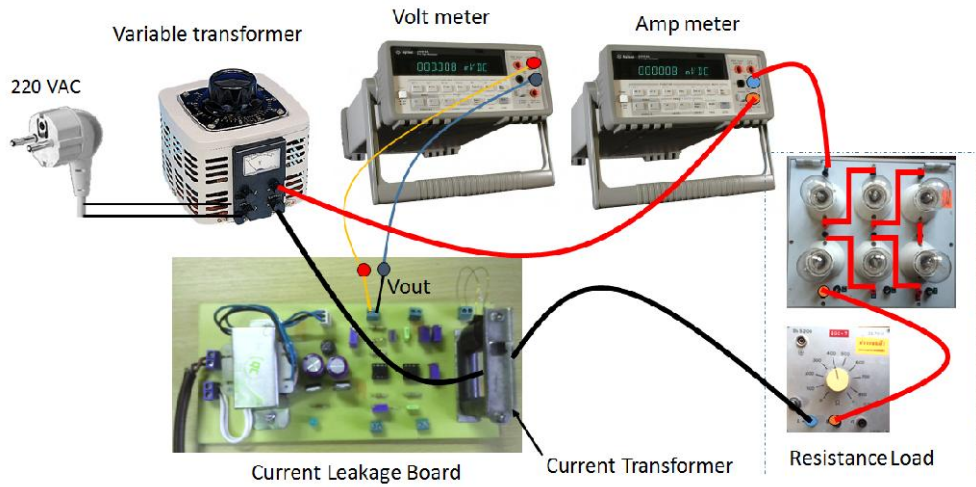
3. ทำการทดลองซ้ำในข้อที่ 2 จำนวน 5 ครั้ง คำนวณค่าเฉลี่ยแรงดันทางด้านออก รูปสัญญาณกระแสที่ชุดวัดกระแสที่โหลด 20 mA และ 200 mA ดังรูปที่ 4 และ รูปที่ 5



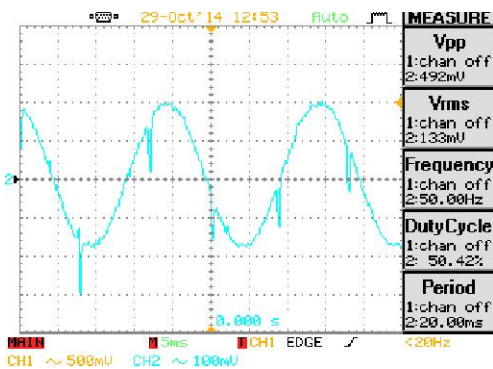
รูปที่ 1 ระบบเตือนภัยอันตรายจากกระแสไฟฟ้ารั่วบริเวณหม้อแปลงจำหน่าย



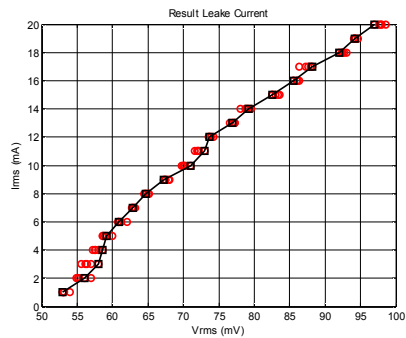
รูปที่ 2 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้ารั่วที่สร้างขึ้น



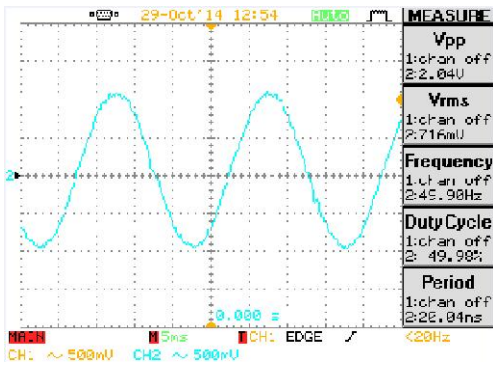
รูปที่ 3 การติดตั้งชุดทดลองหาความสัมพันธ์กระแสที่ไหลผ่านขดลวดกระแสกับแรงดันทางเอาต์พุต



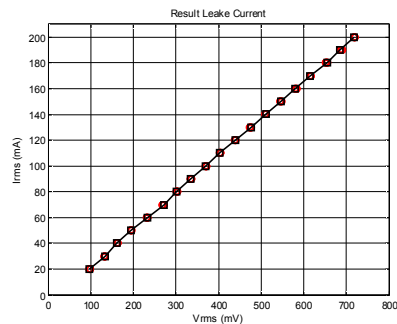
รูปที่ 4 สัญญาณกระแสเท่ากับ 20 mA



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของกระแสช่วง (1 – 20 mA) กับแรงดันด้านออก



รูปที่ 5 สัญญาณกระแสเท่ากับ 200 mA



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของกระแสช่วง (20 – 200 mA) กับแรงดันด้านออก

เมื่อวัดกระแสจากชุดวัดกระแสที่สร้างขึ้นค่า (1 – 20 mA) มีสัญญาณรบกวนรวมมาด้วย และเมื่อวัดกระแสที่ค่า (20–200 mA) สัญญาณรบกวนลดลง นำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง จากค่ากระแส (1 – 20 mA) มาแสดงในลักษณะกราฟในรูปที่ 6 และ 20 – 200 mA ได้ในรูปที่ 7

3.4.2 การสร้างอัลกอริทึมในการหาค่ากระแสไฟฟ้ารั่ว

สามารถสร้างสมการวัดหาค่ากระแสไฟฟ้ารั่ว แบ่งเป็นได้ 2 ข่านการวัด ข่านการวัดที่ 1 ใช้ข้อมูลกระแสตั้งแต่ 1 mA ถึง 20 mA ลักษณะข้อมูลไม่เป็นเชิงเส้น สร้างสมการโดยใช้สมการพหุนามดีกรีอันดับสอง ดังสมการที่ (7) และข่านการวัดที่ 2 ใช้ข้อมูลกระแสตั้งแต่ 20 mA ถึง 200 mA ลักษณะข้อมูลเป็นเชิงเส้น สร้างสมการ โดยใช้สมการถดถอยอย่างง่ายได้ดังสมการที่ (8)

$$y = -0.0033x^2 + 0.9063x - 37.061 \quad (7)$$

y คือค่ากระแสไฟฟ้ารั่วที่วัดได้

x คือแรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุตของชุดวัดกระแสที่สร้างขึ้น โดยค่าสัมประสิทธิ์เชื่อมั่นอยู่ที่ $R^2 = 0.9983$ อยู่ในระดับที่สูงมาก

$$y = 0.288x - 6.4813 \quad (8)$$

3.4.3 การประมวลผลหากระแสไฟฟ้ารั่ว

งานวิจัยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega324 ของ Unicon Board รับสัญญาณจากชุดวัดกระแสไฟฟ้ารั่วที่สร้างขึ้น โดยการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นข้อมูลดิจิทัลที่ความละเอียด 10 บิต อัตราสุ่มที่ 2 kS/s จำนวน 200 ข้อมูล คำนวณหาค่าแรงดันเมื่อน้อยกว่า 100 mV

คำนวณหากระแสไฟฟ้ารั่ว โดยใช้สมการที่ (7) เมื่อแรงดันเท่ากับหรือมากกว่า 100 mV และสมการที่ (8)

3.4.4 การแสดงผลและการแจ้งเตือน

วิธีการแสดงผลค่ากระแสรั่ว การแจ้งเตือน การรายงานผลตรวจวัดที่จุดวัดกระแสไปยังศูนย์กลาง ด้วยแบบการสื่อสารไร้สายตามมาตรฐาน XBEE และแสดงผ่านจอ GLCD ที่บอกเป็น

ปริมาณกระแสและระดับความรุนแรงของกระแสรั่ว ส่วนการแจ้งเตือนกระแสรั่ว โดยจะแจ้งเตือนเมื่อกระแสรั่วตั้งแต่ 30 mA ขึ้นไป โดยใช้ Warning Light รุ่น LTE – 5101

3.4.5 การรายงานปริมาณและระดับกระแสไฟฟ้ารั่วแบบไร้สาย

ประกอบด้วย การส่งข้อมูลปริมาณและระดับกระแสไฟฟ้ารั่ว ส่งข้อมูลแบบไร้สาย ผ่านการสื่อสารแบบอนุกรม (UART) ด้วย XBEE Pro 50 mW RPSMA - Series 2 (ZB) ส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 9600 bps การรับข้อมูลแบบไร้สายใช้ XBEE Pro 50 mW RPSMA - Series 2 (ZB) เช่นเดียวกัน รับข้อมูลด้วยความเร็ว 9600 bps ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับข้อมูลแล้วแสดงผลด้วย GLCD และควบคุมการแจ้งเตือนมีลักษณะ เช่นเดียวกับบทความ [12]

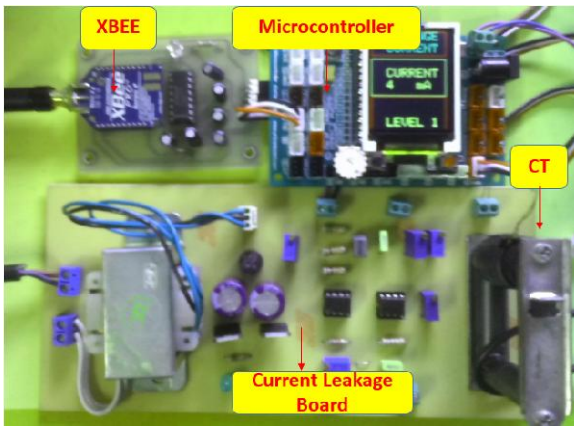
4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองใช้เครื่องวัดกระแสรั่วที่สร้างขึ้นวัดกระแสในห้องปฏิบัติการ

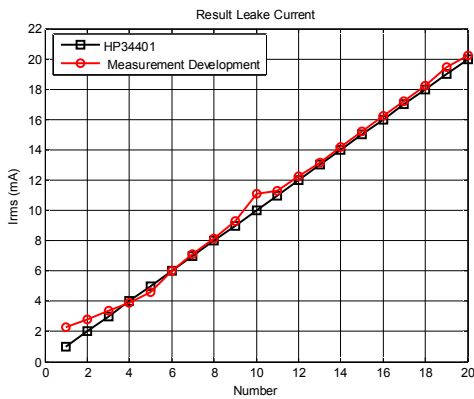
ติดตั้งเครื่องมือสอบเทียบตาม ดังรูปที่ 8 เครื่องสอบเทียบวัดกระแสรั่วกับเครื่องมือวัดดิจิทัลมาตรฐานของ HP รุ่น HP34401 วัดเทียบกระแสกลับตั้งแต่ 1– 200 mA อ่านค่าที่วัดได้เปรียบเทียบกับเครื่องมือที่สร้างขึ้น

ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย ผลการสอบเทียบ
 ย่านวัดแรกคือ 1–20 mA มีค่าผิดพลาดไม่เกิน 1.482 mA
 และมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุดที่ 0.054 mA ดังรูปที่ 9 และ
 ย่านวัดที่สองคือ 20–200 mA มีค่าผิดพลาดมากที่สุดไม่
 เกิน 2.75 mA น้อยที่สุด 0.23 mA ดังรูปที่ 10

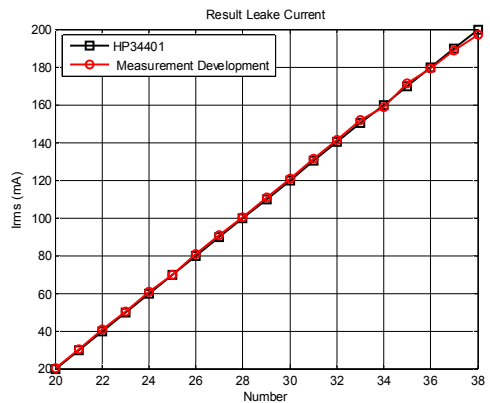
จากผลการทดสอบของเครื่องวัดกระแสรั่วที่สร้าง
 ขึ้น มีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด 0.054 mA ในช่วงย่านวัด
 กระแส 1-20 mA และมีค่ามากที่สุด 2.75 mA ในช่วง
 การวัดกระแส 20-200 mA ค่าผิดพลาด แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 8 การติดตั้งเครื่องมือสอบเทียบในห้องปฏิบัติการ

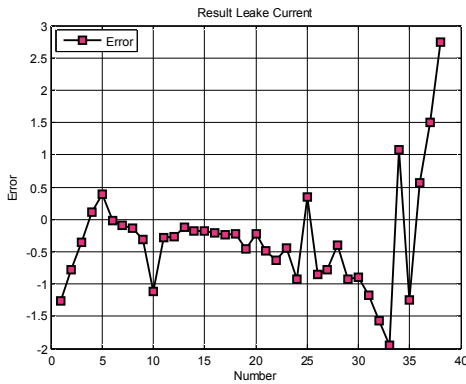


รูปที่ 9 ผลการทดสอบของเครื่องวัดที่สร้างขึ้นกับ
 เครื่องวัดมาตรฐานย่านวัด 1-20 mA



รูปที่ 10 ผลการทดสอบของเครื่องวัดที่สร้างขึ้นกับ
 เครื่องวัดมาตรฐานย่านวัด 20-200 mA

จากรูปที่ 9 – 11 ในแกน x แทนจำนวนข้อมูลที่ทดลองด้วย Number

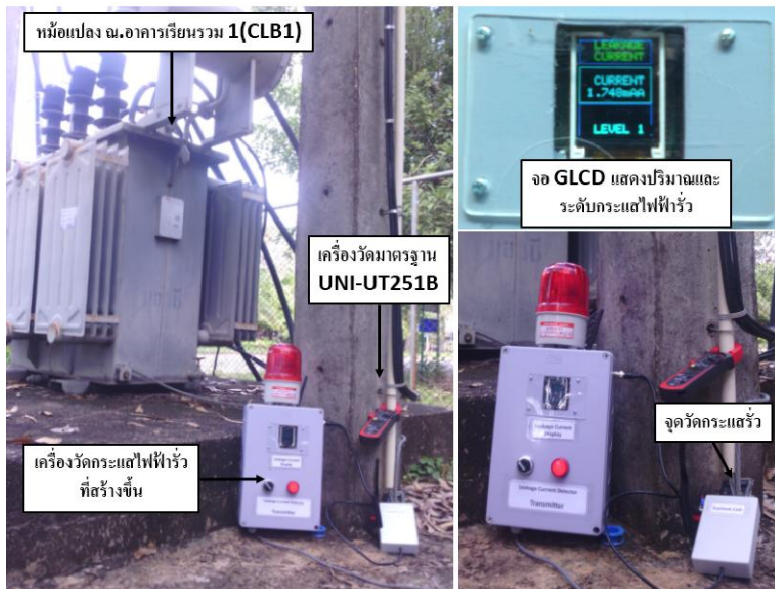


รูปที่ 11 ผลการทดสอบความผิดพลาดของเครื่องมือวัดกระแสรั่วที่สร้างขึ้นในห้องปฏิบัติการทั้ง 2 ย่านการวัด

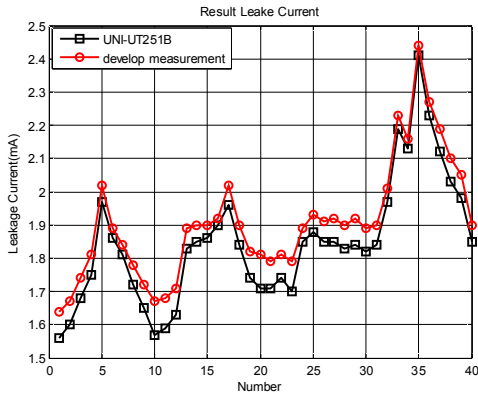
4.2 การทดสอบวัดกระแสรั่วลงดินของเครื่องที่สร้างขึ้นที่หม้อแปลงจำหน่าย

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบวัดกระแสรั่วโดยอาศัยวัดกระแสรั่วลงสายดินของหม้อแปลงจำหน่าย ณ.

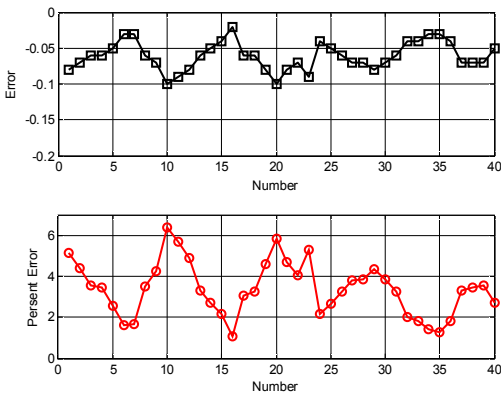
อาคารเรียน 1 (CLB1) มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ใช้วัดกระแสรั่วที่สร้างขึ้นเทียบกับเครื่องวัดกระแสมาตรฐาน UNI-T UT251B จะอ่านผลทุก 15 นาที จำนวน 40 ข้อมูล ทดสอบกระแสรั่วลงดิน เมื่อวันที่ 5 กันยายน 2557 ตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึง 18.00 น. การติดตั้งการทดสอบ ดังรูปที่ 12 ผลการทดสอบเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมาตรฐานกับเครื่องวัดที่สร้างขึ้น พบว่าค่ากระแสรั่วลงดินมากที่สุดที่ 2.44 mA และค่ากระแสรั่วลงดินน้อยที่สุด 1.67 mA ดังรูปที่ 13 ส่วนค่าผิดพลาดมากที่สุด 6.06 % และน้อยที่สุด 1.05 % โดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยที่ 3.34 % จากงานวิจัยมีค่าผิดพลาดการวัดกระแสรั่วน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัย [4] และสามารถแสดงปริมาณกระแสรั่วมีความละเอียด 1 μ A ที่การวัดน้อยกว่า 10 mA และจากงานวิจัยระดับของกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินอยู่ในระดับที่ 1 นำข้อมูลการทดลองแสดง ดังรูปที่ 13



รูปที่ 12 ทดสอบวัดกระแสรั่วลงดินของเครื่องที่สร้างขึ้นที่หม้อแปลงจำหน่าย



รูปที่ 13 ผลการวัดกระแสรั่วลงดินของเครื่องที่สร้างขึ้น เทียบกับเครื่องมาตรฐานที่หม้อแปลงจำหน่าย



รูปที่ 14 ค่าผิดพลาดของเครื่องวัดกระแสรั่วที่สร้างขึ้น

4.3 ผลของระบบแจ้งเตือนภัยรายงานการวัดกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินไร้สายแบบเวลาจริง

จากการวิจัย ระบบสามารถรายงานเฝ้าตรวจวัดระดับกระแสรั่ว ไร้สายแบบเวลาจริง จะส่งข้อมูลรายงานผลทุกๆ เวลา 1 วินาที ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลสัญญาณกระแสและประมวลผล ส่วนระยะทางในการส่งข้อมูลสูงสุดประมาณ 450 เมตร ผลการทดลองรายงานผลไร้สายแบบเวลาจริง ซึ่งสามารถรายงานผลดังนี้

1. ปริมาณกระแสรั่วมีหน่วยเป็นมิลลิแอมป์เปอร์
2. ระดับกระแสรั่ว ซึ่งมีระดับ 1 ถึงระดับ 5
3. การเตือนภัยกระแสรั่ว ด้วยเสียงและไฟกระพริบ

5. สรุปผล

จากการวิจัยสร้างเครื่องวัดกระแสรั่วลงดินที่บริเวณหม้อแปลงจำหน่ายแรงต่ำและระบบแจ้งเตือนภัยแบบเวลาจริงโดยมุ่งเน้นใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผลของระบบ สามารถสรุปได้ดังนี้

การออกแบบสร้างเครื่องวัดกระแสไฟฟ้ารั่ว ใช้วิธีวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินผลวิจัย พบว่าค่ากระแสไฟฟ้ารั่วลงดินมีค่าผิดพลาดมากที่สุด 6.06 % และน้อยที่สุด 1.05 % มีค่าผิดพลาดเฉลี่ยที่ 3.34 % ที่สามารถแสดงค่าปริมาณกระแสรั่วได้ที่จุดตรวจวัด และระบบแจ้งเตือนภัยนั้น ไฟกระพริบและเสียงจากลำโพง สามารถแจ้งเตือนได้เป็นอย่างดีทั้ง ในระบบแจ้งเตือนภัยและรายงานผลการตรวจวัดไร้สายแบบเวลาจริงจะรายงานผลทุกๆ เวลา 1 วินาที ในที่โล่งระยะทางส่งข้อมูล 450 เมตร

ดังนั้นงานวิจัย จึงสามารถตรวจวัดกระแสรั่วลงดินของหม้อแปลงจำหน่ายแรงต่ำได้อย่างแม่นยำรวดเร็ว ทำให้สามารถแจ้งเตือนภัยจากกระแสไฟฟ้ารั่วในปริมาณที่เป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ และยังสามารถวางแผนในการซ่อมบำรุงหม้อแปลงจำหน่ายอีกด้วย ซึ่งระบบที่สร้างขึ้นต้นทุนที่ต่ำกว่า 3,200 บาทต่อเครื่อง มีราคาต่ำกว่าระบบที่มีขายในท้องตลาด

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่อุดหนุนทุนวิจัยโครงการวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Suksri, K. Tonmirat and K. Boontun, "Electrical Leakage Current on 22 kV Porcelain Insulators Tested under Saline Solution", *KKU Engineering Journal* 30, 2003, pp. 379-389. (in Thai)
- [2] U. Malaivongs and W. Plueksawan, "A study of equivalent salt deposit causing insulator flashover in distribution system using bare conductor type", *Kasetsart Engineering Journal*. 73, 2010, pp. 45-52. (in Thai)
- [3] G. Srivichai, "Dangerous Leakage Current Alarming Device A Case Study of Dangerous Leakage Current in Public Area", Master Thesis, Faculty of Electrical Engineering, Kasetsart University, Thailand, 2010.
- [4] P. Suwilai, C. Pongparniche and C. Uthaiwasin, "Design implementation and used Rogowski coil for measurement electric current" *Proceedings of the 31th EECON Conference*, Nakhon nayok, Thailand, 2008, pp. 1337-1340.
- [5] S. Pasook and M. Leelachindakrairek, "Remote Pollution Monitoring System using Leakage Current Detection", *Ladkrabang Engineering Journal* 22, 2005, pp. 52-62. (in Thai)
- [6] C. Kusoljittitakorn, C. Tangsiriworakul, S. Supanyapong and S. Tudsum, "Fault Detection and Protection of Three-phase Transformer Using Artificial Neural Network", *The Journal KMUTNB* 23, 2013, pp. 52-62. (in Thai)
- [7] A. Suksri, K. Tonmitra and K. Boontan, "Harmonics Analysis on Leakage Current of High Voltage Porcelain Insulator Under Saline Condition Tested via Rotating Wheel Tester", *Proceedings of the 9th Conference on Tri-University International Joint Seminar and Symposium*, 2002, pp. 16-19.
- [8] A. Ahmad, P. Ghosh, S.A.K. Aljunid and S. Ahmad, "Estimation of Leakage Current Level on the Transformer Bushing using Regression Technique" *Proceedings of the 7th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials*, 2003, pp.1174-1177.
- [9] G. Srivichai and W. Plueksawan, "Dangerous Leakage Current Alarming Device A Case Study of Dangerous Leakage Current in Public Area", *Proceedings of the 7th KU-KPS Conference*, Bangkok, Thailand, 2010, pp. 1758-1766.
- [10] S. Sriprasan and M. Leelachindakaleak, "Transformer Monitoring System of the Provincial Electricity Authority", *Kasetsart-Engineering Journal*. 73, 2010, pp.23-32. (in Thai)
- [11] J. Cheng and M. Hung, "A ZigBee-Based Power Monitoring System with Direct Load Control Capabilities" *Proceedings of the IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control*, London, UK, 2009, pp. 895-900

- [12] P.Kitsawang, M. Pusayatanont, S. Wainwattanachai, and B. Sookananta, “Real-time Monitoring System of Induction Motor Misalignment”, Proceedings of the 36th EECON Conference, Bangkok, Thailand, 2013, pp. 225-228.