

ระบบเตือนภัยอันตรายจากกระแสไฟฟ้ารั่วบริเวณหม้อแปลงจำหน่าย แบบเวลาจริงประมวลผลแบบดิจิทัล

ผดุง กิจแสวง *

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบสร้างเครื่องวัดกระแสไฟฟ้ารั่วและเตือนภัยที่บริเวณหม้อแปลงจำหน่ายรายงานผลแบบเวลาจริง โดยสร้างอัลกอริทึม หาปริมาณและระดับความรุนแรง ของกระแสไฟฟ้ารั่ว ใช้วิธีถดถอยอย่างง่ายร่วมกับสมการพหุนามดีกรีอันดับ 2 โดยมุ่งเน้นใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผล พร้อมกับระบบเฟ้าแจ้งเตือนแบบเวลาจริง 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 ซึ่งเป็นปัญหาที่ต้องมีการแจ้งเตือนและได้รับการแก้ไขอย่างทันทั่วถึง ได้มีงานวิจัยที่เสนอการตรวจวัดกระแสไฟฟ้ารั่วเพื่อเตือนระดับกระแสรั่วไหลที่เป็นอันตรายด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ งานวิจัยยังไม่สามารถบอกปริมาณกระแสรั่วไหลแบบเวลาจริงได้ [3] มีงานวิจัยที่ใช้การวัดกระแสไฟฟ้าด้วยการออกแบบขดลวด โรโกสกีวัดกระแสไฟฟ้าสลับที่ความถี่ 4 kHz [4] ซึ่งมีงานวิจัยการตรวจวัดมลภาวะแบบรีโมทข้อมูล โดยการตรวจจับกระแสรั่วไหลที่ผิวลูกถ้วย เพื่อติดตามประสิทธิภาพการทำงานของลูกถ้วย โดยประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมสถานีไฟฟ้าแรงสูง ส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุไร้สายสามารถตรวจสอบความผิดปกติระยะไกล ที่มีค่าผิดพลาดน้อยกว่าร้อยละ 5 [5] มีการใช้เทคนิควิธีการวิเคราะห์หาความผิดปกติของหม้อแปลงโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม [6] มีการวิเคราะห์หาปริมาณกระแสรั่วไหลของลูกถ้วย ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลทางโดเมนความถี่ [7] และได้มีการประมาณค่ากระแสขุซึ่งหม้อแปลงโดยใช้สมการถดถอย [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 เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำจะเกิดสนามแม่เหล็กล้อมรอบตัวนำไปเกี่ยวข้องกับขดลวดที่พันอยู่ในแกนแม่เหล็กเดียวกัน ถ้าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ก็จะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาเช่นเดียวกัน ฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นเกี่ยวข้องกับขดลวดเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ปลายขดลวด 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

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

3. การออกแบบการวิจัย

3.1 ออกแบบระบบ

ได้อะแกรมระบบเตือนภัยอันตรายจากกระแสไฟฟ้า รั่วบริเวณหม้อแปลงจำหน่าย แสดงได้ ดังรูปที่ 1 มีรายละเอียดดังนี้

3.2 การออกแบบชุดวัดกระแส

3.2.1 ขดลวดวัดกระแส

งานวิจัยเลือกใช้เทคนิคการวัดกระแสไฟฟ้ารั่วไหล ที่ไหลผ่านตัวนำ ที่เกิดฟลักซ์แม่เหล็กล้อมรอบตัวนำ ไป เกี่ยวข้องกับขดลวดที่พันอยู่บนแกนที่ไม่ใช่สาร แม่เหล็ก กระแสที่ไหลผ่านตัวนำมีการเปลี่ยนแปลงตาม เวลา ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเปลี่ยนแปลงตาม เวลาเช่นเดียวกัน โดยเส้นแรงแม่เหล็กที่เกี่ยวข้องผ่าน ขดลวดจะเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ที่ปลายขดลวด เมื่อนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าไปผ่านวงจร อินทิเกรเตอร์ จะได้แรงดันด้านออกที่สัมพันธ์กับ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวนำ ตามกฎของแอมแปร์ ใช้แกน เฟอร์ไรต์ ชนิด U ความยาวเส้นรอบเท่า 16 เซนติเมตร พื้นที่หน้าตัดลวด 0.2134 mm^2 ตามมาตรฐาน SWG เบอร์ 35 พันขดลวด 200 รอบ ใช้เทคนิคการพัน ข้อนกลับเข้าไปในแกนขดลวด เพื่อให้เกิดการหักล้าง กันของเส้นแรงแม่เหล็กจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ที่เกิดขึ้นจากภายนอก ดังรูปที่ 2

3.2.2 การออกแบบวงจรอินทิเกรเตอร์

หลังจากได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากขดลวดวัด กระแสแล้ว จากนั้นใช้วงจรอินทิเกรเตอร์รวมสัญญาณ เพื่อให้ได้แรงดัน ไฟฟ้าด้านออกที่สัมพันธ์กับ กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ โดยใช้ไอซี LF353 เป็น วงจรอินทิเกรเตอร์แบบกลับเฟส กำหนดให้ค่าคงตัว

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

3.2.3 การออกแบบวงจรรองความถี่ต่ำ

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

3.2.4 การออกแบบวงจรรขยายแบบกลับเฟสและการ ออกแบบวงจรปรับระดับแรงดัน

ผู้วิจัยได้ออกแบบวงจรรขยายแบบกลับเฟส อัตราขยายทางแรงดัน 100 เท่าโดยใช้ไอซี LF353 จาก ค่าของ $-(R_6/R_5)$ ซึ่งกำหนดให้ R_5 เท่ากับ $1 \text{ k}\Omega$ และให้ R_6 เท่ากับ $100 \text{ k}\Omega$ ส่วนวงจรรปรับระดับแรงดันใช้ไอซี LF353 ปรับระดับแรงดันเท่ากับ 2.5 V เพื่อเชื่อมต่อกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการส่งข้อมูลไปคำนวณหา กระแสรั่วไหล

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.3.1 ชุดวัดกระแสรั่วที่สร้างขึ้น

ชุดวัดกระแสที่ออกแบบสร้างขึ้นสามารถวัดกระแส ที่ไหลได้ตั้งแต่ $1 \text{ mA} - 200 \text{ mA}$ มีแรงดันไฟฟ้าที่ เอาต์พุตเฉลี่ยตั้งแต่ $52 \text{ mV} - 716 \text{ mV}$ ซึ่งชุดวัดกระแสที่ ออกแบบสร้างขึ้นดังรูปที่ 2

3.4 วิธีการทดลอง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดลองเก็บข้อมูล โดย แบ่งเป็นหัวข้อ การติดตั้งชุดทดลอง ขั้นตอนการเก็บ ข้อมูล การประมวลผลสัญญาณ การสร้างอัลกอริทึม

การพยากรณ์กระแสรั่วไหล และระบบรายงานผลการวัดกระแสรั่วแบบเวลาจริง

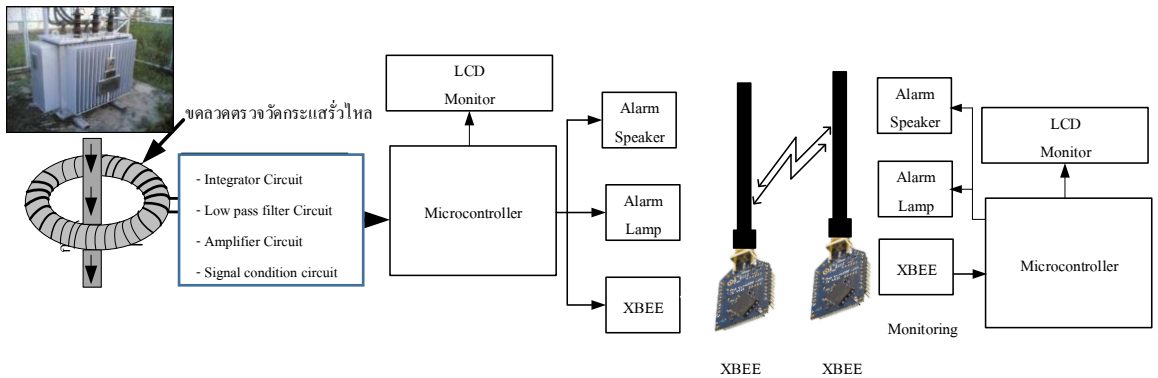
3.4.1 การติดตั้งชุดทดลองและการทดลองเก็บข้อมูล

การติดตั้งชุดทดลอง ดังรูปที่ 3 ทดลองเก็บข้อมูลวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของกระแสที่ไหลผ่านโหลดกับแรงดันทางเอาต์พุตของชุดวัดกระแสที่สร้างขึ้น โดยมีขั้นตอนการทดลองเก็บข้อมูลดังนี้

1. ปรับหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในตำแหน่ง 0 โวลต์

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

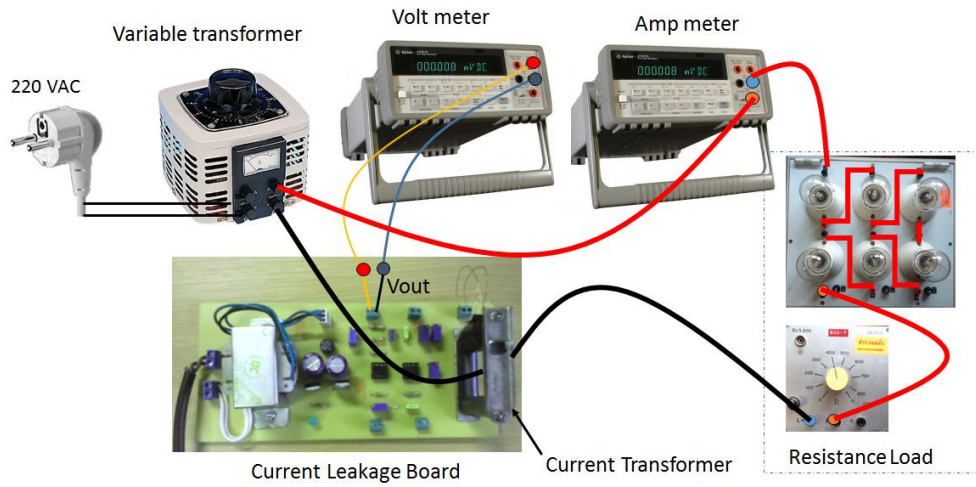
3. ทำการทดลองซ้ำในข้อที่ 2 จำนวน 5 ครั้ง คำนวณค่าเฉลี่ยแรงดันทางด้านออก รูปสัญญาณกระแสที่ชุดวัดกระแสที่โหลด 20 mA และ 200 mA ดังรูปที่ 4 และ รูปที่ 5



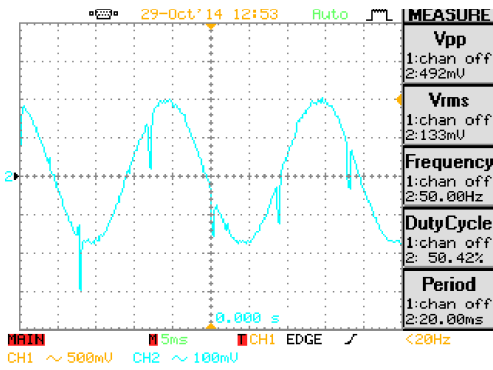
รูปที่ 1 ระบบเตือนภัยอันตรายจากกระแสไฟฟ้ารั่วบริเวณหม้อแปลงจำหน่าย



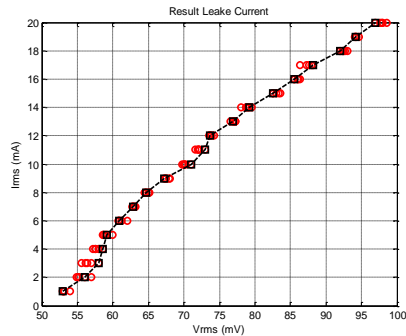
รูปที่ 2 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้ารั่วที่สร้างขึ้น



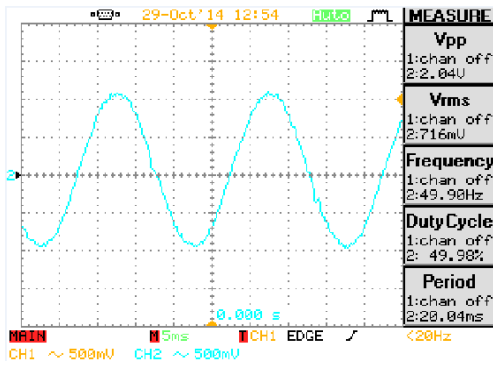
รูปที่ 3 การติดตั้งชุดทดลองหาความสัมพันธ์กระแสที่ไหลผ่านขดลวดวัฏกระแสกับแรงดันทางเอาต์พุต



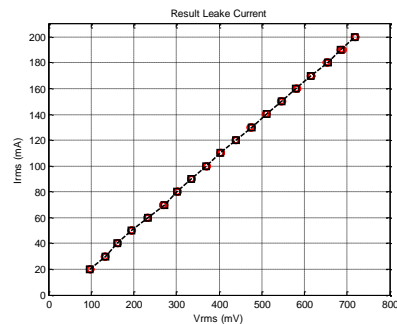
รูปที่ 4 สัญญาณกระแสเท่ากับ 20 mA



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 ย่านการวัด ย่านการวัดที่ 1 ใช้ข้อมูลกระแสตั้งแต่ 1 mA ถึง 20 mA ลักษณะข้อมูลไม่เป็นเชิงเส้น สร้างสมการโดยใช้สมการพหุนามดีกรีอันดับสอง ดังสมการที่ (7) และย่านการวัดที่ 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 ที่บอกเป็นปริมาณกระแสและระดับความรุนแรงของกระแสรั่ว 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]

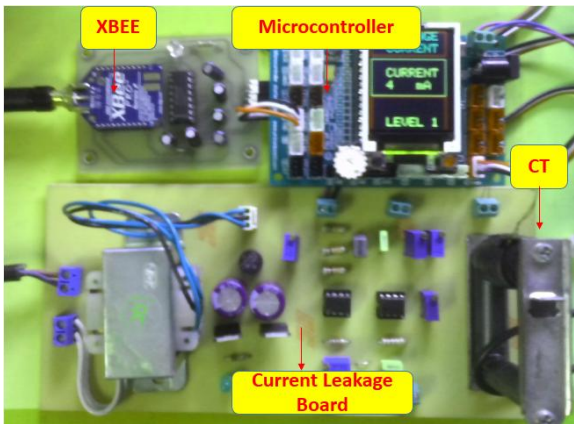
4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองใช้เครื่องวัดกระแสรั่วที่สร้างขึ้นวัดกระแสในห้องปฏิบัติการ

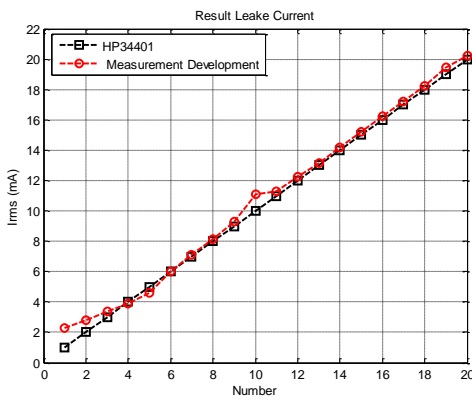
ติดตั้งเครื่องมือสอบเทียบตาม ดังรูปที่ 8 เครื่องมือเทียบวัดกระแสรั่วกับเครื่องมือวัดดิจิทัลมาตรฐานของ HP รุ่น HP34401 วัดเทียบกระแสกลับตั้งแต่ 1– 200 mA อ่านค่าที่วัดได้เปรียบเทียบกับเครื่องมือที่สร้างขึ้น

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

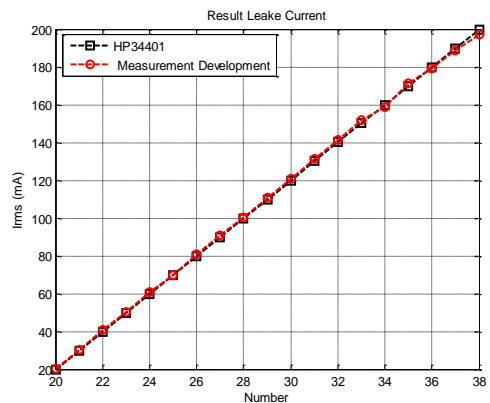
จากผลการทดสอบของเครื่องวัดกระแสรั่วที่สร้างขึ้น มีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด 0.054 mA ในช่วงย่านวัดกระแส 1-20 mA และมีค่ามากที่สุด 2.75 mA ในช่วงการวัดกระแส 20-200 mA ค่าผิดพลาด แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 8 การติดตั้งเครื่องมือสอบเทียบในห้องปฏิบัติการ

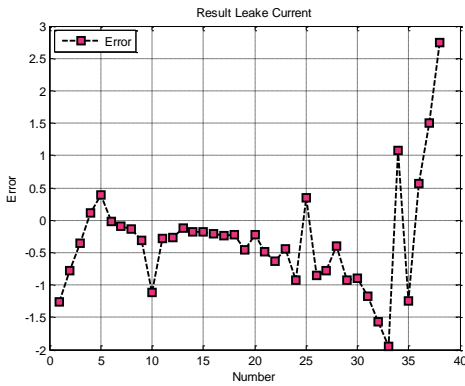


รูปที่ 9 ผลการทดสอบของเครื่องวัดที่สร้างขึ้นกับ เครื่องวัดมาตรฐานย่านวัด 1-20 mA



รูปที่ 10 ผลการทดสอบของเครื่องวัดที่สร้างขึ้นกับ เครื่องวัดมาตรฐานย่านวัด 20-200 mA

จากรูปที่ 9 – 11 ในแกน x แทนจำนวนข้อมูลที่ทดลองด้วย Number

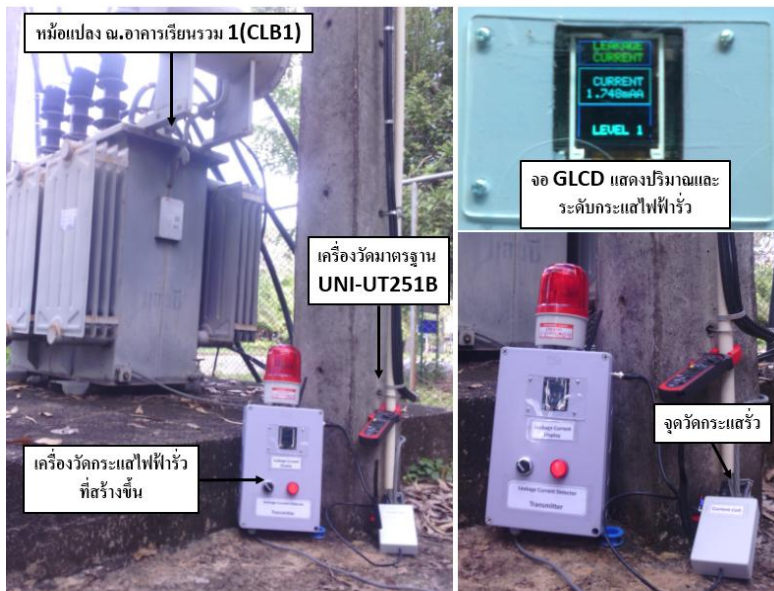


รูปที่ 11 ผลการทดสอบความผิดพลาดของเครื่องมือวัดกระแสที่สร้างขึ้นในห้องปฏิบัติการทั้ง 2 ย่านการวัด

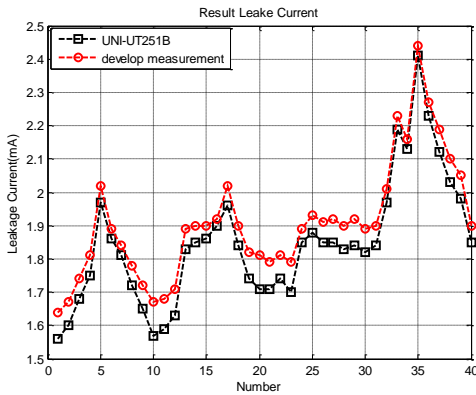
4.2 การทดสอบวัดกระแสรั่วลงดินของเครื่องที่สร้างขึ้นที่หม้อแปลงจำหน่าย

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบวัดกระแสรั่วโดยอาศัยวัดกระแสรั่วลงสายดินของหม้อแปลงจำหน่าย ณ.

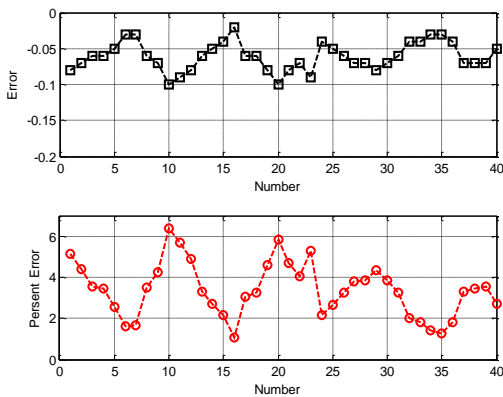
อาคารเรียน 1 (CLB1) มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ใช้วัดกระแสรั่วที่สร้างขึ้นเทียบกับเครื่องวัดกระแสมาตรฐาน UNI-T UT251B จะอ่านผลทุก 15 นาที จำนวน 40 ข้อมูล ทดสอบกระแสรั่วลงดิน เมื่อวันที่ 5 กันยายน 2557 ตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึง 18.00 น. การติดตั้งการทดสอบ ดังรูปที่ 12 ผลการทดสอบเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมาตรฐานกับเครื่องวัดที่สร้างขึ้น พบว่าค่ากระแสรั่วลงดินมากที่สุดที่ 2.44 mA และค่ากระแสรั่วลงดินน้อยที่สุด 1.67 mA ดังรูปที่ 13 ส่วนค่าผิดพลาดมากที่สุด 6.06 % และน้อยที่สุด 1.05 % โดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยที่ 3.34 % จากงานวิจัยมีค่าผิดพลาดการวัดกระแสต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัย [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 จะส่งข้อมูลรายงานผลทุก ๆ เวลา 1 วินาที ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลสัญญาณกระแสและประมวลผล ส่วนระยะทางในการส่งข้อมูลสูงสุดประมาณ 450 เมตร ผลการทดลองรายงานผลไร้สายแบบเวลาจริง ซึ่งสามารถรายงานผลดังนี้

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

5. สรุปผล

จากการวิจัยสร้างเครื่องวัดกระแสรั่วลงดินที่บริเวณหม้อแปลงจำหน่ายแรงต่ำและระบบแจ้งเตือนภัยแบบเวลาจริง โดยมุ่งเน้นใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผลของระบบ สามารถสรุปได้ดังนี้

การออกแบบสร้างเครื่องวัดกระแสไฟฟ้ารั่ว ใช้วิธีวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินผลวิจัย พบว่าค่ากระแสไฟฟ้ารั่วลงดินมีค่าผิดพลาดมากที่สุด 6.06 % และน้อยที่สุด 1.05 % มีค่าผิดพลาดเฉลี่ยที่ 3.34 % ที่สามารถแสดงค่าปริมาณกระแสรั่วได้ที่จุดตรวจวัด และระบบแจ้งเตือนภัยนั้น ไฟกระพริบและเสียงจากลำโพง สามารถแจ้งเตือนได้เป็นอย่างดีทั้ง ในระบบแจ้งเตือนภัยและรายงานผลการตรวจวัดไร้สายแบบเวลาจริงจะรายงานผลทุก ๆ 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. Leelachindakrairerk, "Remote Pollution Monitoring System using Leakage Current Detection", *Ladkrabang Engineering Journal* 22, 2005, pp. 52-62. (in Thai)
- [6] C. Kusoljittitakorn, C. Tangsiriyorakul, 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. Leelachindakailak, "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.