



วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. UBU Engineering Journal

บทความวิจัย

การแยกแยะเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีกระแสรั่วในโครงข่ายไฟฟ้าแรงต่ำด้วยวิธีวิเคราะห์ความถี่ Identification of Electrical Appliances with Leakage Current in Low Voltage Network Using Frequency Analysis Approach

เจษฎา สายใจ^{1*} ณัฐพันธ์ ถนอมสัตย์¹

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี 20131

Jedsada Saijai^{1*} Nattapan Thanomsat¹

¹ Faculty of Engineering, Burapha University, Muang Chonburi, Chonburi 20131

* Corresponding author.

E-mail: jedsada@eng.buu.ac.th; Telephone: 08 6537 7886

วันที่รับบทความ 14 ธันวาคม 2560; วันที่แก้ไขบทความครั้งที่ 1 19 กุมภาพันธ์ 2561; วันที่แก้ไขบทความครั้งที่ 2 4 เมษายน 2561; วันที่ตอบรับบทความ 23 พฤษภาคม 2561

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอวิธีแยกแยะเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีกระแสรั่วในโครงข่ายไฟฟ้าแรงต่ำด้วยวิธีวิเคราะห์ความถี่ โดยเมื่อมีกระแสรั่วที่เครื่องใช้ไฟฟ้าจะทำการป้อนแรงดันซึ่งมีความถี่เฉพาะเข้าที่สายกราวด์ (ground wire) ของเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นเพื่อให้เกิดกระแสไหลในสายกราวด์ไปยังจุดต่อกราวด์ร่วม (ground link) ในแผงจ่ายไฟหลัก (main distribution board: MDB) จากนั้นใช้วิธีการแปลงฟูริเยอร์อย่างรวดเร็ว (fast Fourier transform: FFT) ในการแยกความถี่เพื่อแยกแยะเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีกระแสรั่ว การทดสอบการทำงานของวิธีการนี้ใช้โปรแกรมจำลอง PSpice และการต่อเครื่องต้นแบบกับเครื่องใช้ไฟฟ้าจริงแล้วประมวลผลด้วยโปรแกรม LabVIEW

คำสำคัญ

กระแสรั่ว การแยกแยะ เครื่องใช้ไฟฟ้า ระบบแรงต่ำ การวิเคราะห์ความถี่

Abstract

This article presents an approach to identify the electrical appliances with leakage current in a low voltage 220VAC network by frequency analysis. A voltage with particular frequency that corresponds to each electrical appliance is injected into its ground point when leakage current occurs. A particular frequency will be found at the ground link in the main distribution board (MDB) using the Fast Fourier Transform (FFT) technique. The performance of this method is verified by using the simulation program PSpice. Moreover, the prototype hardware with program LabVIEW is also implemented with the electrical appliances to show the effectiveness of this method.

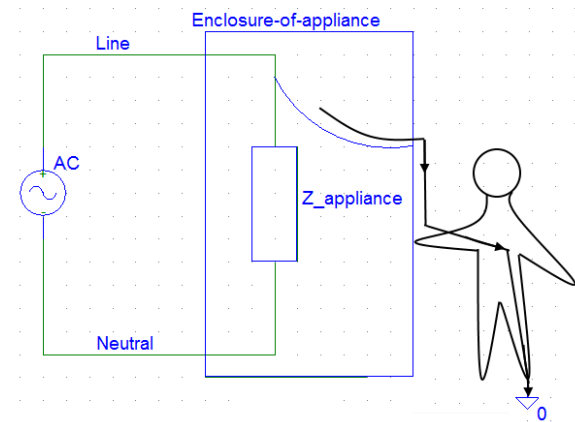
Keywords

leakage current; identification; electrical appliance; low voltage system; frequency analysis

1. บทนำ

กระแสรั่วเป็นความผิดปกติของเครื่องใช้ไฟฟ้าซึ่งทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้งานได้ การป้องกันกระแสรั่วในเครื่องใช้ไฟฟ้าทำได้โดยการติดตั้งสายดินร่วมกับอุปกรณ์ตัดไฟรั่ว (earth leakage circuit breaker: ELCB) ซึ่งใช้หลักการแรงดันเกินหรือกระแสเหลือ (residue current circuit breaker: RCCB) ในสายไลน์ (line) และนิวตรอน (neutron) โดยถ้าต่างกันมากกว่าค่าเริ่มต้นที่กำหนดไว้จะทำให้หน้าสัมผัสตัดวงจรทั้งระบบ วิธีดังกล่าวเผยแพร่ในหนังสือและบทความต่างๆ อย่างกว้างขวาง เช่น [1–4] แต่วิธีนี้ไม่สามารถแยกแยะได้ว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าใดมีกระแสรั่ว นอกจากนั้นหากกระแสรั่วมีค่าน้อยกว่าที่ตั้งไว้ อุปกรณ์ป้องกันจะไม่ทำงาน ส่งผลให้ผู้ใช้งานไม่ทราบว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าใดเริ่มผิดปกติแล้ว

บทความ [5–7] เสนอวิธีตรวจจับความผิดปกติจากการลัดวงจรหรือกระแสเกินในเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยเปรียบเทียบกระแสที่วัดได้กับค่าอ้างอิงเพื่อสั่งให้ตัดวงจรส่วนนั้นออก ซึ่งวิธีนี้ต้องใช้ส่วนประมวลผลและส่วนควบคุมการทำงานเท่ากับจำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า ในบทความ [8] เสนอวิธีการปรับแต่งค่าเริ่มต้นของเครื่องตัดไฟรั่วแบบอัตโนมัติเพื่อลดการทำงานที่ผิดพลาด สำหรับวิธีแยกแยะเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีกระแสรั่วในเชิงพาณิชย์พบใน [9] โดยใช้หลักการวัดกระแสรั่วของเครื่องใช้ไฟฟ้าทีละตัว วิธีนี้สามารถแยกแยะได้ว่า



รูปที่ 1 การไหลของกระแสรั่ว

เครื่องใช้ไฟฟ้าใดมีกระแสรั่ว แต่ระบบมีขนาดใหญ่ ต้นทุนสูง และต้องเดินสายสัญญาณเป็นจำนวนมาก

ดังนั้นงานวิจัยนี้เสนอวิธีแยกแยะเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีกระแสรั่วโดยการเพิ่มความถี่เฉพาะให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละตัวแล้ววิเคราะห์ความถี่ของกระแสที่วัดได้ที่จุดต่อกราวด์รวมในแผงจ่ายไฟหลัก ซึ่งวิธีนี้ทำให้ทราบว่ามีการรั่วในระบบและสามารถแยกแยะเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ทำให้เกิดกระแสรั่วได้ในเวลาเดียวกัน

2. ทฤษฎีเบื้องต้นและการสร้างโจทย์ปัญหา

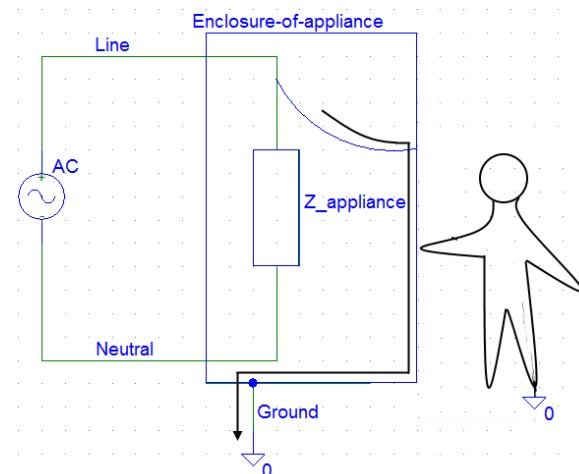
ในหัวข้อนี้เสนอทฤษฎีเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องและนำมาพิจารณาพร้อมกับแนวคิดเพื่อสร้างและเสนอวิธีแก้ไขโจทย์ปัญหา

2.1 กระแสรั่ว

กระแสรั่วคือกระแสที่ไหลจากวัสดุห่อหุ้มเครื่องใช้ไฟฟ้า (enclosure) ผ่านผู้สัมผัสไปยังจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่า ทำให้เกิดอันตรายแก่ผู้ที่สัมผัสโดนเครื่องใช้ไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 1

สำหรับระบบที่มีการติดตั้งสายกราวด์นั้นกระแสรั่วจะไหลผ่านสายกราวด์ไปยังจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าทำให้ไม่เกิดอันตรายต่อผู้สัมผัส ดังแสดงในรูปที่ 2

กระแสรั่วของเครื่องใช้ไฟฟ้าลำดับที่ $j \in \{1, 2, 3, \dots\}$ แทนด้วยสมการ



รูปที่ 2 การไหลของกระแสรั่วเมื่อต่อสายกราวด์

$$i_j(t) = \sum_{k=0}^{\infty} I_{j,k} \sin(2\pi k f_1 t + \phi_k) \quad (1)$$

โดยที่ f_1 คือความถี่หลักมูล (fundamental frequency) I_k คือขนาดสูงสุดและเฟสของฮาร์มอนิกลำดับที่ $k = \{0, 1, 2, \dots\}$ ตามลำดับ

$$i_{GND}(t) = \sum_{j=1}^M i_j(t) \quad (2)$$

โดยที่ M คือจำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมด

2.2 การแยกความถี่

จากสมการที่ (1) และ (2) เมื่อมีกระแสรั่วที่เครื่องใช้ไฟฟ้า ตัวที่ 1 2 และ 3 พร้อมกัน จะได้กระแสรั่วที่แผ่กระจายไฟหลักในโดเมนเวลาดังสมการ

$$i_{GND,123}(t) = \sum_{k=0}^{\infty} I_{1,k} \sin(2\pi k f_1 t + \phi_k) + \sum_{k=0}^{\infty} I_{2,k} \sin(2\pi k f_1 t + \phi_k) + \sum_{k=0}^{\infty} I_{3,k} \sin(2\pi k f_1 t + \phi_k) \quad (3)$$

เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าทำงานจะปล่อยกระแสฮาร์มอนิกที่มีความถี่ต่าง ๆ เข้าสู่ระบบไฟฟ้าซึ่งหาค่าได้จากการวิเคราะห์ในโดเมนความถี่ การแปลงฟูริเย (Fourier transformation) เป็นวิธีหนึ่งในการแปลงสัญญาณจากโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ โดยการแปลงฟูริเยของสัญญาณแบบสุ่มแสดงดังสมการ

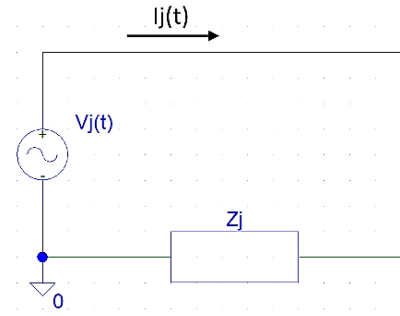
$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \left[\cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) - j \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \right] \quad (4)$$

โดยที่ N คือจำนวนสัญญาณในโดเมนเวลาที่ใช้ในการแปลงฟูริเย X_k คือขนาดของสัญญาณลำดับที่ $k \in \{0, 1, \dots, N-1\}$ x_n คือสัญญาณในโดเมนเวลาแบบสุ่มลำดับที่ $n \in \{0, 1, \dots, N-1\}$

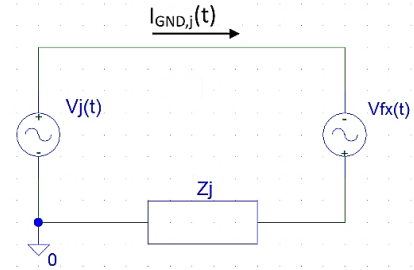
บทความนี้ลดเวลาดำเนินการของสัญญาณในโดเมนความถี่ X_k ด้วยวิธีการแปลงฟูริเยอย่างรวดเร็ว (FFT)

2.3 กระแสและแรงดันฮาร์มอนิก

กระแสรั่วของเครื่องใช้ไฟฟ้าตัวที่ j สามารถแทนด้วยแหล่งจ่ายแรงดัน $v_j(t)$ ต่ออนุกรมกับอิมพีแดนซ์ (impedance) Z_j ของสายกราวด์ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 วงจรสมมูลแสดงกระแสรั่วที่ไหลในสายกราวด์



รูปที่ 4 วงจรสมมูลแสดงกระแสรั่วในสายกราวด์ของเครื่องใช้ไฟฟ้าตัวที่ j เมื่อมีแหล่งกำเนิดแรงดันความถี่เฉพาะ

เพิ่มแรงดัน $v_{fx}(t) = V_{fx} \sin(2\pi f_x t)$ ซึ่งมีความถี่เฉพาะเท่ากับ f_x จะได้วงจรสมมูลดังรูปที่ 4

จากทฤษฎีทับซ้อน (superposition) จะได้กระแสที่ไหลในสายกราวด์ของเครื่องใช้ไฟฟ้าตัวที่ j คือ

$$i_{GND,j}(t) = \frac{v_j(t)}{Z_j} + \frac{v_{fx}(t)}{Z_j} = i_j(t) + i_{fx}(t) \quad (5)$$

หรือ

$$i_{GND,j}(t) = \sum_{k=0}^{\infty} I_{j,k} \sin(2\pi k f_1 t + \phi_k) + \frac{V_{fx} \sin(2\pi f_x t)}{Z_j} \quad (6)$$

ดังนั้นกระแสที่ไหลในสายกราวด์ประกอบด้วยกระแสรั่วจากเครื่องใช้ไฟฟ้าและกระแสจากแหล่งกำเนิดแรงดันที่มีความถี่เฉพาะ

2.4 กระแสฮาร์มอนิกของเครื่องใช้ไฟฟ้า

บทความนี้ใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า 3 ชนิดเพื่อทดสอบผลการทำงาน ได้แก่ ตู้เย็น เตารีด และเตาไมโครเวฟ โดยกระแสฮาร์มอนิกที่จุดต่อกราวด์รวมในแผงจ่ายไฟหลักซึ่งห่างประมาณ 15

ตารางที่ 1 กระแสฮาร์โมนิกที่จุดต่อกราวด์ร่วมในแผงจ่ายไฟหลัก

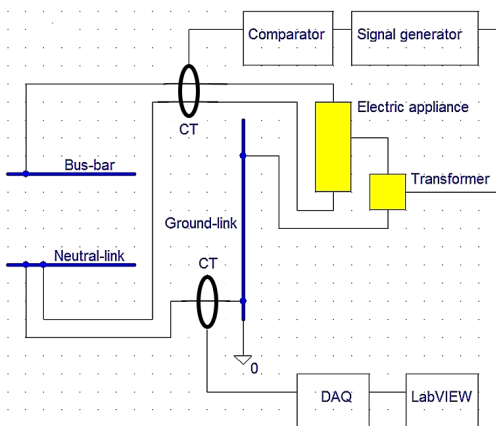
ความถี่ (Hz)	กระแสฮาร์โมนิก (mA)		
	ตู้เย็น	เตารีด	เตาไมโครเวฟ
0	0.280	0.246	0.228
50	0.322	1.450	1.850
100	0.005	0.046	0.115
150	0.045	0.024	1.196
200	0.008	0.047	0.046
250	0.050	0.029	0.760
300	0.035	0.021	0.055
350	0.057	0.081	0.628
400	0.012	0.060	0.017
450	0.008	0.015	0.342
500	0.015	0.013	0.023
550	0.059	0.060	0.199
600	0.019	0.033	0.012
650	0.053	0.077	0.202
700	0.021	0.014	0.009
750	0.028	0.068	0.130
800	0.014	0.022	0.017
850	0.057	0.058	0.156
900	0.002	0.004	0.004
950	0.039	0.039	0.050
1000	0.024	0.029	0.007
1050	0.033	0.015	0.079
1100	0.007	0.035	0.010
1150	0.034	0.020	0.006
1200	0.009	0.025	0.025
1250	0.053	0.061	0.035
1300	0.005	0.026	0.003
1350	0.035	0.059	0.020
1400	0.008	0.032	0.009
1450	0.016	0.050	0.024
1500	0.014	0.021	0.004

ความถี่ (Hz)	กระแสฮาร์โมนิก (mA)		
	ตู้เย็น	เตารีด	เตาไมโครเวฟ
1550	0.031	0.058	0.021
1600	0.027	0.015	0.007
1650	0.017	0.038	0.006
1700	0.013	0.019	0.004
1750	0.011	0.020	0.011
1800	0.008	0.030	0.010
1850	0.015	0.032	0.008
1900	0.019	0.026	0.003
1950	0.032	0.006	0.007
2000	0.014	0.006	0.001
2050	0.029	0.002	0.013
2100	0.004	0.029	0.003
2150	0.015	0.012	0.006
2200	0.016	0.022	0.010
2250	0.010	0.010	0.016
2300	0.004	0.012	0.008
2350	0.005	0.007	0.009
2400	0.010	0.016	0.015
2450	0.017	0.010	0.009
2500	0.010	0.012	0.013
2550	0.007	0.008	0.007
2600	0.015	0.018	0.010
2650	0.001	0.009	0.009
2700	0.006	0.018	0.004
2750	0.017	0.007	0.010
2800	0.007	0.003	0.001
2850	0.018	0.003	0.011
2900	0.011	0.009	0.006
2950	0.018	0.020	0.009
3000	0.008	0.016	0.010

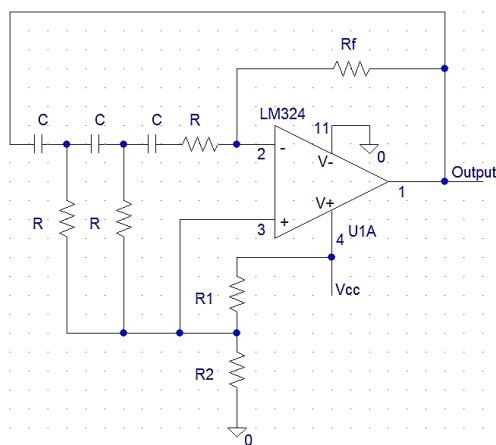
เมตร จากจุดต่อเครื่องใช้ไฟฟ้าแสดงดังตารางที่ 1

จากข้อมูลในตารางที่ 1 การแยกแยะเครื่องใช้ไฟฟ้าออกจากกันสามารถใช้คุณสมบัติกระแสฮาร์โมนิกของ

เครื่องใช้ไฟฟ้าซึ่งมีลักษณะเฉพาะแตกต่างกัน แต่วิธีดังกล่าวต้องสร้างฐานข้อมูลกระแสฮาร์โมนิกของเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมดซึ่งมีความยุ่งยากและใช้พื้นที่เก็บข้อมูลเป็นจำนวนมาก



รูปที่ 5 แผนผังแสดงระบบแยกแยะเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีกระแสรั่ว



รูปที่ 6 วงจร RC phase shift oscillator แบบใช้ไฟเลี้ยงเดี่ยว

ดังนั้นบทความนี้จะเสนอวิธีเพิ่มความถี่เฉพาะให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละตัวแล้วใช้การวิเคราะห์ความถี่เพื่อแยกแยะว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าใดมีกระแสรั่ว

3. การออกแบบ

หัวข้อนี้เสนอการออกแบบระบบแยกแยะเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีกระแสรั่วซึ่งเป็นเนื้อหาหลักของบทความนี้

3.1 ผังระบบ

การแยกแยะเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีกระแสรั่วมีส่วนประกอบของระบบดังแสดงในรูปที่ 5

จากรูปที่ 5 ระบบประกอบด้วยหม้อแปลงกระแส (current transformer: CT) และวงจรเปรียบเทียบ

(comparator) เพื่อควบคุมให้วงจรกำเนิดสัญญาณ (signal generator) สร้างแรงดันไฟฟ้าที่มีความถี่เฉพาะเมื่อมีกระแสรั่วในเครื่องใช้ไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้านี้จะถูกฉีดเข้าไปยังสายกราวด์ด้วยหม้อแปลงแรงดัน (transformer) จากนั้นใช้หม้อแปลงกระแสวัดกระแสที่จุดต่อกราวด์รวมในแผงจ่ายไฟหลักแล้วส่งไปประมวลผลเพื่อแยกแยะว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าใดที่มีกระแสรั่วด้วยโปรแกรม LabVIEW

3.2 วงจรกำเนิดสัญญาณ

บทความนี้ใช้วงจร RC phase shift oscillator แบบใช้ไฟเลี้ยงเดี่ยวในการสร้างแรงดันรูปไซน์ (sine) ที่มีความถี่เฉพาะโดยใช้หลักการป้อนกลับร่วมกับโครงข่ายตัวต้านทานและตัวเก็บประจุดังแสดงในรูปที่ 6

ความถี่จากวงจรกำเนิดสัญญาณคำนวณจากสมการ

$$f = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{2P}} \quad (7)$$

โดยที่ R คือค่าความต้านทาน C คือค่าความจุตัวต้านทาน P คือจำนวนชุด RC ($P=3$ ในวงจรรูปที่ 6) โดยมีเงื่อนไขอัตราขยายคือ

$$A_v = \frac{R_f}{R} \geq 29 \quad (8)$$

โดยที่ R_f คือค่าความต้านทานป้อนกลับ

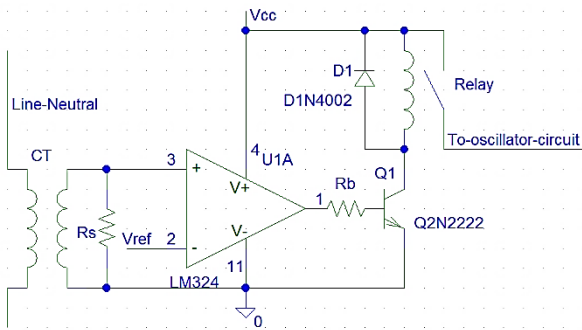
สำหรับตัวต้านทาน R_1 และ R_2 ใช้สร้างแรงดันขดขยซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 50 ของแรงดันไฟเลี้ยง V_{CC}

3.3 วงจรสั่งการทำงาน

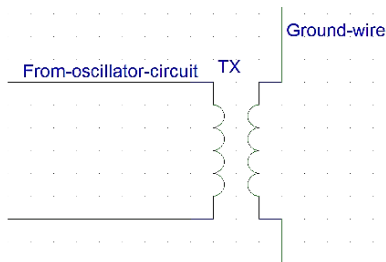
วงจรสั่งการทำงานทำหน้าที่เปรียบเทียบกับกระแสเหลือในสายไลน์และนิวตรอลกับค่าอ้างอิงแล้วสั่งให้วงจรกำเนิดสัญญาณทำงาน ประกอบด้วยหม้อแปลงกระแส วงจรเปรียบเทียบ และรีเลย์ตัดต่อแสดงดังรูปที่ 7

กำหนดให้ระบบทำงานเมื่อมีกระแสรั่วมากกว่าค่าเริ่มต้นซึ่งคำนวณได้จากสมการ

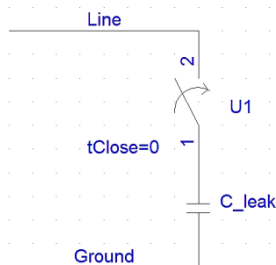
$$V_{ref} = \frac{I_p R_s}{a} \quad (9)$$



รูปที่ 7 วงจรสั่งการทำงาน



รูปที่ 8 วงจรผสมสัญญาณ

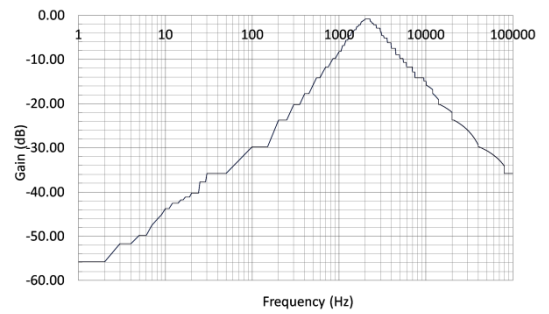


รูปที่ 9 วงจรจำลองกระแสรั่ว

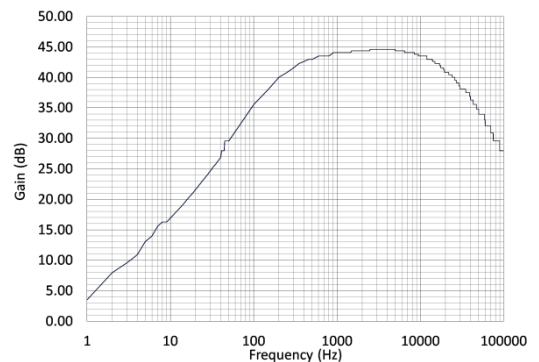
โดยที่ $a = \frac{I_p}{I_s}$ คืออัตราส่วนกระแส (current ratio) ด้านปฐมภูมิ ซึ่งเท่ากับกระแสรั่วขั้นต่ำที่ต้องการตรวจจับ และ (I_p) R_s ของหม้อแปลงกระแส และ (I_s) ด้านทุติยภูมิ คือความต้านทานเปลี่ยนค่ากระแสเป็นแรงดัน

3.4 วงจรผสมสัญญาณ

ประกอบด้วยหม้อแปลงแรงดันซึ่งต่อกับวงจรกำเนิดสัญญาณและสายกราวด์ของเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยจะทำหน้าที่ฉีดแรงดัน (voltage injection) จากวงจรกำเนิดสัญญาณไปที่สายกราวด์ ดังแสดงในรูปที่ 8



(ก) การตอบสนองความถี่ของหม้อแปลงกระแส



(ข) การตอบสนองความถี่ของหม้อแปลงแรงดัน

รูปที่ 10 การตอบสนองความถี่ของหม้อแปลงกระแสและหม้อแปลงแรงดัน

3.5 การจำลองกระแสรั่ว

ใช้หลักการกำหนดค่าคาปาซิทีฟรีแอคแตนซ์ (capacitive reactance) ของตัวเก็บประจุเพื่อให้มีกระแสฟ้ารั่วจากสายไลน์ไปยังสายกราวด์ดังรูปที่ 9

กระแสรั่วจากวงจรในรูปที่ 9 คำนวณจากสมการ

$$I_{leak} = \frac{220}{X_C} \quad (10)$$

โดยที่ $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ คือค่าคาปาซิทีฟรีแอคแตนซ์ของตัวเก็บประจุ f ความถี่ของแรงดันไฟฟ้า และ C คือค่าความจุของตัวเก็บประจุ

3.6 การตอบสนองความถี่ของหม้อแปลงกระแสและหม้อแปลงแรงดัน

การตอบสนองความถี่ของหม้อแปลงกระแสและหม้อแปลงแรงดันแสดงดังรูปที่ 10(ก) และ 10(ข) ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ความถี่และขนาดของสัญญาณที่ใช้ในระบบ

เครื่องใช้ไฟฟ้า	ความถี่ (kHz)	ขนาด (mA)
ตู้เย็น	1.5	5
เตารีด	2.0	5
เตาไมโครเวฟ	2.5	5

3.7 ความถี่และขนาดของวงจรกำเนิดสัญญาณ

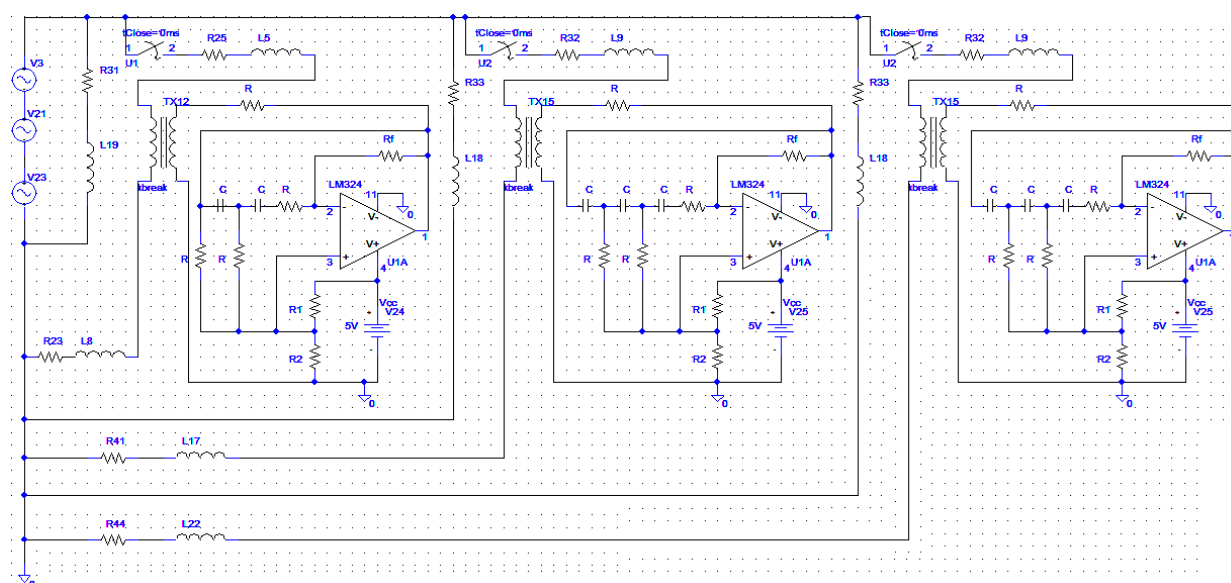
ความถี่ที่กำหนดให้เครื่องใช้ไฟฟ้าพิจารณาจาก การตอบสนองความถี่ของหม้อแปลงกระแสและหม้อแปลงแรงดัน รวมถึงต้องมีขนาดมากกว่ากระแสฮาร์มอนิกที่จุดต่อกราวด์ร่วม ดังนั้นจากข้อมูลในหัวข้อที่ 2.4 และ 3.6 สามารถกำหนดความถี่และขนาดของสัญญาณได้ดังตารางที่ 2

4. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการวิจัยประกอบด้วยการทดสอบการทำงานของระบบด้วยโปรแกรม PSpice และการทดสอบกับระบบจริงด้วยเครื่องต้นแบบร่วมกับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม LabVIEW

4.1 ผลการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice

การจำลองการทำงานของระบบแยกแยะเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีกระแสรั่วด้วยโปรแกรม PSpice แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 วงจรจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSpice

กระแสที่แผงจ่ายไฟหลักและผลการแปลง FFT ที่สอดคล้องกันเมื่อไม่มีกระแสรั่ว แสดงดังรูปที่ 12

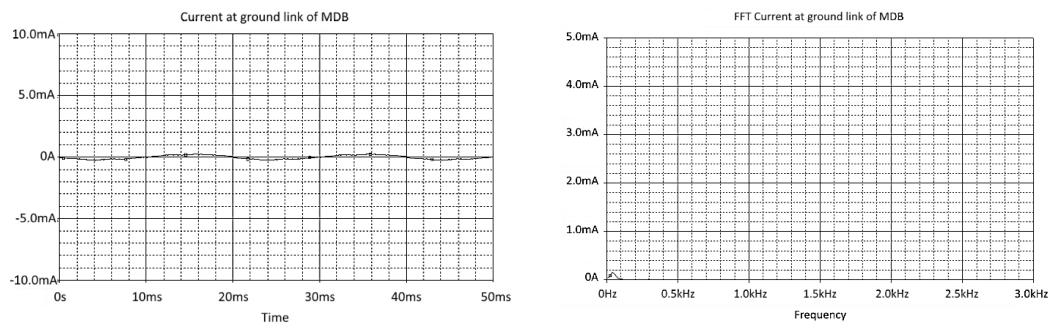
เมื่อตู้เย็น เตารีด หรือเตาไมโครเวฟมีกระแสรั่วจะวัดกระแสที่จุดต่อกราวด์ร่วมและผลการแปลง FFT ที่สอดคล้องกันดังรูปที่ 13(ก) 13(ข) และ 13(ค) ตามลำดับ

จากรูปที่ 13 พบว่าเกิดความถี่เฉพาะที่กำหนดให้เครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละตัว ดังนั้นทำให้สามารถแยกแยะได้ว่ามีไฟรั่วเกิดขึ้นที่ตู้เย็น เตารีด หรือเตาไมโครเวฟ ตามลำดับ

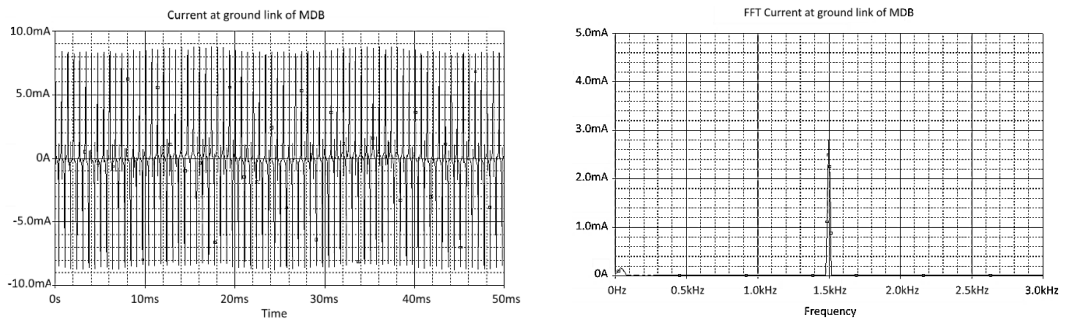
ต่อมาเมื่อมีกระแสรั่วพร้อมกันที่ตู้เย็นและเตารีด จะวัดกระแสที่จุดต่อกราวด์ร่วมและผลการแปลง FFT ที่สอดคล้องกันดังรูปที่ 14 จากรูปที่ 14 พบความถี่ 1.5 kHz และ 2.0 kHz ซึ่งสอดคล้องกับความถี่ที่ป้อนให้กับตู้เย็นและเตารีดตามลำดับ ทำให้สามารถแยกแยะได้ว่ามีกระแสรั่วเกิดขึ้นพร้อมกันที่ตู้เย็นและเตารีด

ในกรณีที่มิมีกระแสรั่วพร้อมกันที่ตู้เย็น เตารีด และเตาไมโครเวฟ จะวัดกระแสที่จุดต่อกราวด์ร่วมและผลการแปลง FFT ที่สอดคล้องกันดังรูปที่ 15

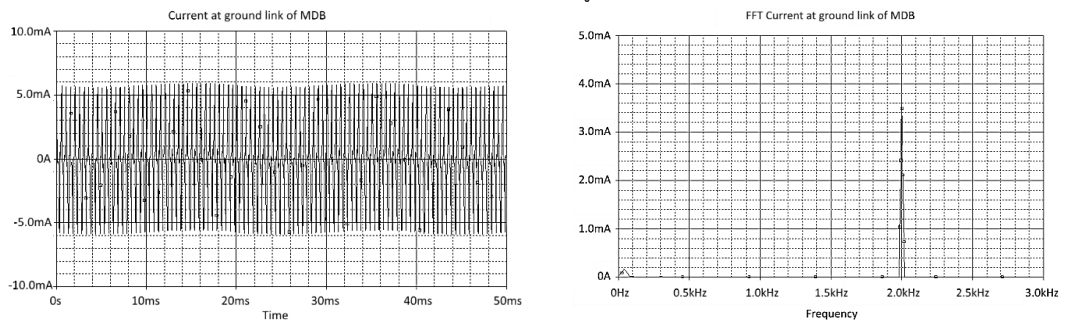
จากรูปที่ 15 พบความถี่ 1.5 kHz 2.0 kHz และ 2.5 kHz ซึ่งสอดคล้องกับความถี่ที่ป้อนให้กับตู้เย็น เตารีด และเตา



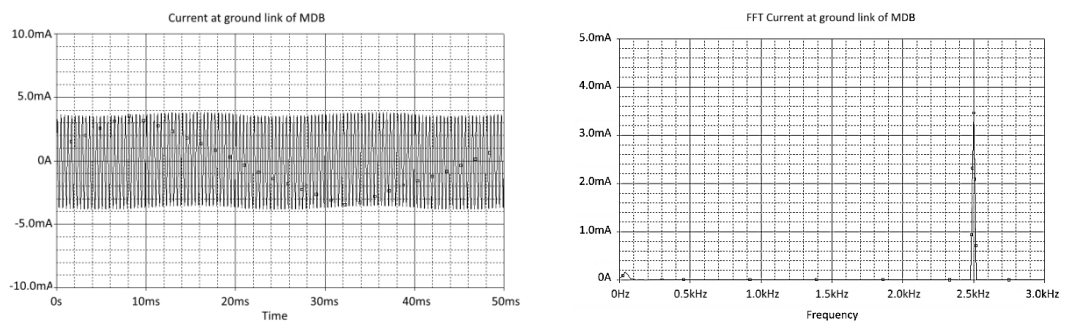
รูปที่ 12 ผลการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice เมื่อไม่มีกระแสรั่ว



(ก) มีกระแสรั่วที่ตู้เย็น



(ข) มีกระแสรั่วที่เตารีด

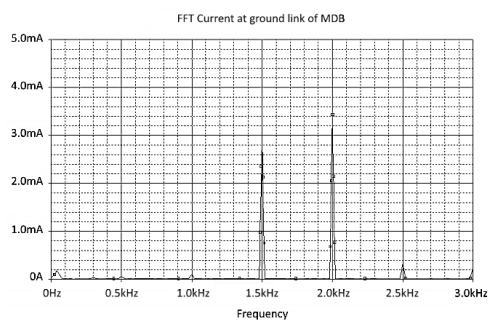
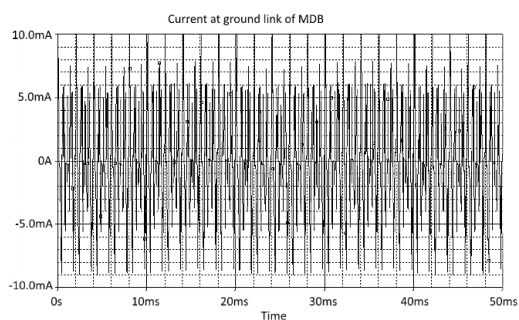


(ค) มีกระแสรั่วที่เตาไมโครเวฟ

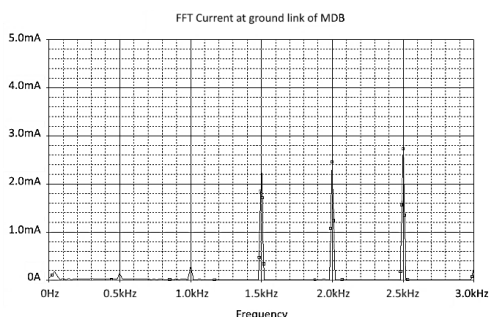
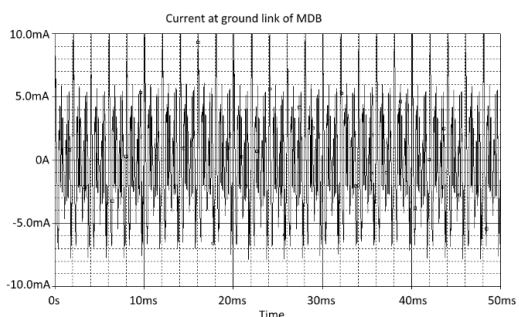
รูปที่ 13 ผลการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice เมื่อมีกระแสรั่วที่ตู้เย็น หรือ เตารีด หรือเตาไมโครเวฟ

ไมโครเวฟ ตามลำดับ ทำให้สามารถแยกแยะได้ว่ามีกระแสรั่ว

เกิดขึ้นพร้อมกันที่ตู้เย็น เตารีด และเตาไมโครเวฟ



รูปที่ 14 ผลการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice เมื่อมีกระแสรั่วพร้อมกันที่ตู้เย็นและเตารีด



รูปที่ 15 ผลการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice เมื่อมีกระแสรั่วพร้อมกันที่ตู้เย็น เตารีด และเตาไมโครเวฟ

4.2 ผลการทดสอบกับระบบจริง

การทดสอบเครื่องต้นแบบสำหรับแยกแยะกระแสรั่วกับระบบจริงประกอบด้วยเครื่องต้นแบบ เครื่องใช้ไฟฟ้า และเครื่องประมวลผลด้วยโปรแกรม LabVIEW โดยต่อเครื่องใช้ไฟฟ้ากับเครื่องต้นแบบดังแสดงในรูปที่ 16 ภายในเครื่องต้นแบบมีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 17 บล็อกไดอะแกรมสำหรับแยกแยะเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีกระแสรั่วในโปรแกรม LabVIEW แสดงดังรูปที่ 18



รูปที่ 16 การต่อเครื่องใช้ไฟฟ้ากับเครื่องต้นแบบ



(ก) ด้านบน

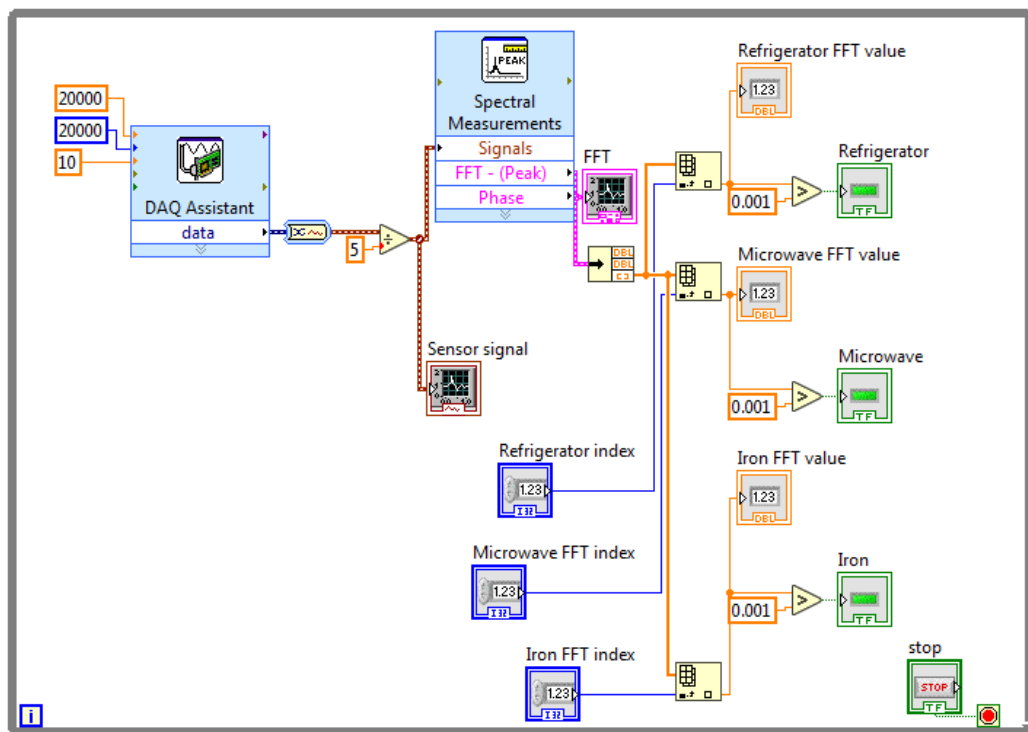


(ข) ด้านหน้า

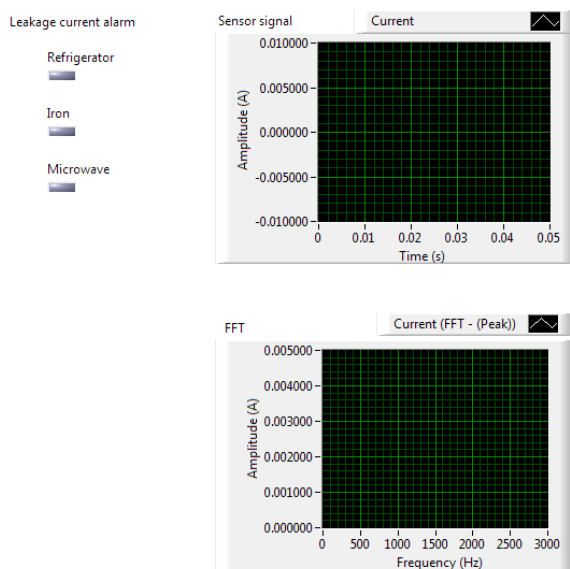


(ค) ด้านหลัง

รูปที่ 17 เครื่องต้นแบบระบบแยกแยะเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีกระแสรั่ว

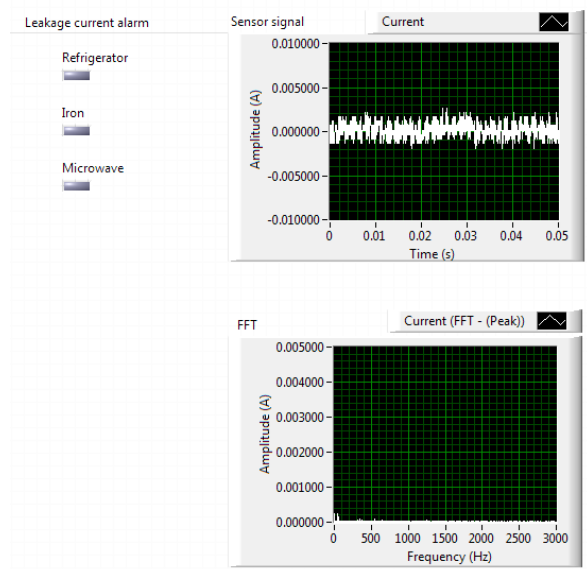


รูปที่ 18 บล็อกไดอะแกรมสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีกระแสรั่วด้วยโปรแกรม LabVIEW



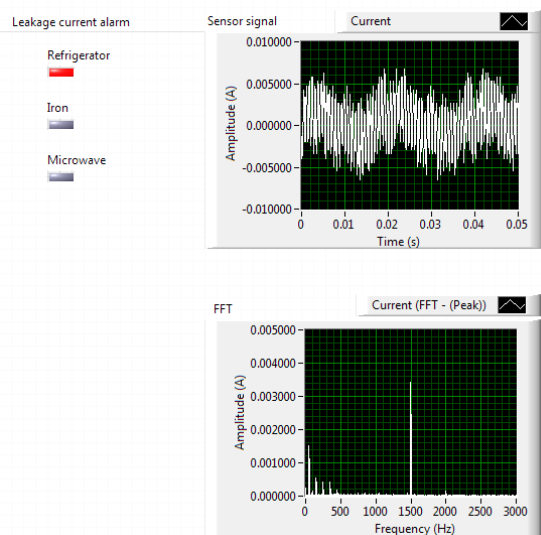
รูปที่ 19 หน้าแสดงผลด้วยโปรแกรม LabVIEW

หน้าแสดงผลการทำงานของระบบแยกแยะเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีกระแสรั่วด้วยโปรแกรม LabVIEW แสดงดังรูปที่ 19 ซึ่งประกอบด้วยส่วนแสดงผลต่าง ๆ คือ กราฟแสดงผลในโดเมน

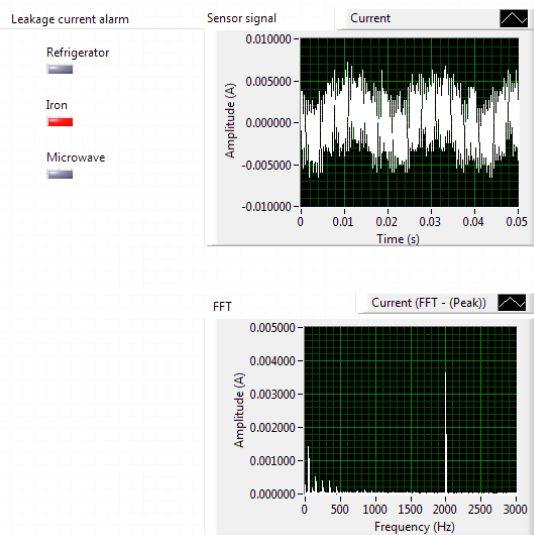


รูปที่ 20 ไม่มีกระแสรั่ว

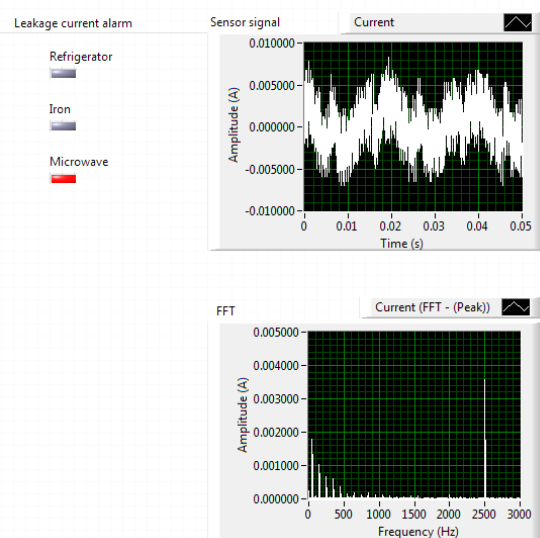
เวลา (sensor signal) กราฟแสดงผลโดเมนความถี่ (FFT) และไฟแสดงการรั่วของกระแสที่เครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด (leakage current alarm)



(ก) กระแสรั่วที่ตู้เย็น



(ข) กระแสรั่วที่เตารีด



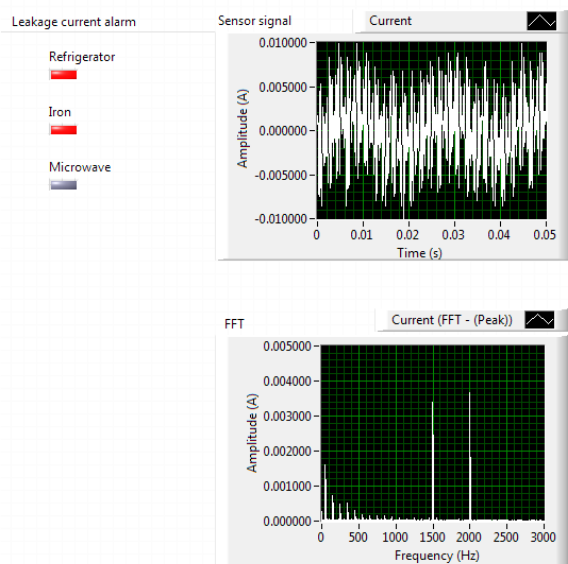
(ค) กระแสรั่วที่เตาไมโครเวฟ

รูปที่ 21 หน้าจอแสดงผลเมื่อมีกระแสรั่วที่ตู้เย็น เตารีด หรือเตาไมโครเวฟ ตามลำดับ

จากการทดสอบพบว่าเมื่อไม่มีกระแสรั่วจะวัดกระแสที่จุดต่อกราวด์ร่วมในแผงจ่ายไฟหลัก ผลการแปลง FFT และไฟแสดงสถานะด้วยโปรแกรม LabVIEW ดังแสดงในรูปที่ 20

จากรูปที่ 20 พบว่ามีกระแสไหลในปริมาณที่น้อยกว่าค่าขั้นต่ำที่ต้องการตรวจจับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าไม่มีเครื่องใช้ไฟฟ้าใดมีกระแสรั่ว

เมื่อมีกระแสรั่วที่ตู้เย็น เตารีด หรือเตาไมโครเวฟ จะมีกระแสที่มีความถี่เฉพาะไหลผ่านสายกราวด์ไปยังจุดต่อกราวด์ร่วมในแผงจ่ายไฟหลัก ซึ่งกระแสที่วัดได้ ผลการแปลง FFT และไฟแสดงสถานะด้วยโปรแกรม LabVIEW แสดงดังรูปที่ 21 (ก) 21(ข) และ 21(ค) ตามลำดับ



รูปที่ 22 มีกระแสรั่วพร้อมกันที่ตู้เย็นและเตารีด

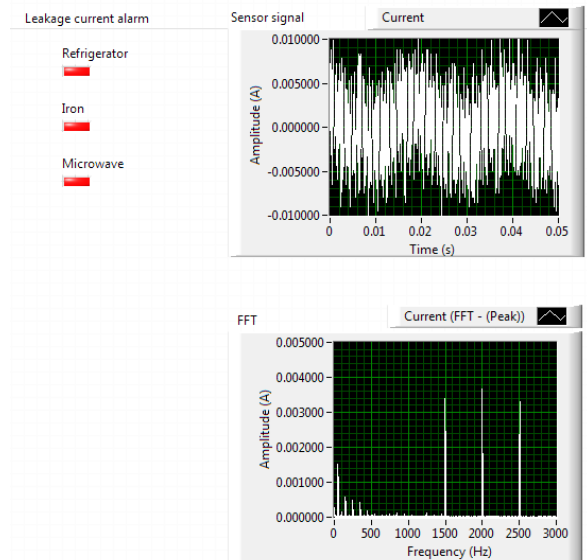
จากรูปที่ 21 พบว่าผลการแปลง FFT มีความถี่สอดคล้องกับค่าที่ป้อนให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละตัว ดังนั้นทำให้สามารถแยกแยะได้ว่ามีไฟรั่วเกิดขึ้นที่ตู้เย็น เตารีด หรือเตาไมโครเวฟตามลำดับ

ต่อมาเมื่อมีกระแสรั่วพร้อมกันที่ตู้เย็นและเตารีด จะวัดกระแสที่จุดต่อกราวด์ร่วมในแผงจ่ายไฟหลัก ผลการแปลง FFT และไฟแสดงสถานะด้วยโปรแกรม LabVIEW ดังรูปที่ 22

จากรูปที่ 22 พบว่าความถี่ 1.5 kHz และ 2.0 kHz มีขนาดสอดคล้องกับเงื่อนไขการเกิดกระแสรั่วที่เตารีดและตู้เย็นพร้อมกัน

ในกรณีที่กระแสรั่วพร้อมกันที่ตู้เย็น เตารีด และเตาไมโครเวฟ จะได้กระแสที่จุดต่อกราวด์ร่วมในแผงจ่ายไฟหลัก ผลการแปลง FFT และไฟแสดงสถานะด้วยโปรแกรม LabVIEW แสดงดังรูปที่ 23

จากรูปที่ 23 พบว่าความถี่ 1.5 kHz 2.0 kHz และ 2.5 kHz มีขนาดสอดคล้องกับเงื่อนไขการเกิดกระแสรั่วที่ตู้เย็น เตารีด และเตาไมโครเวฟพร้อมกัน



รูปที่ 23 มีกระแสรั่วพร้อมกันที่ตู้เย็น เตารีด และเตาไมโครเวฟ

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทความนี้ได้เสนอวิธีแยกแยะเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีกระแสรั่วในระบบแรงดันต่ำ 220 โวลต์ ด้วยวิธีวิเคราะห์ความถี่ของกระแสที่จุดต่อกราวด์ร่วมในแผงจ่ายไฟหลัก อย่างไรก็ตามในการทดสอบกับระบบจริงพบว่าความถี่ของวงจร RC phase shift oscillator มีค่าผิดเพี้ยนไปจากที่ออกแบบไว้เล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากความเหนี่ยวนำและความจุไฟฟ้าแฝงในโครงข่ายไฟฟ้า ดังนั้นจึงต้องสร้างเงื่อนไขแบบช่วงความถี่ (frequency band) แทนการใช้ค่าความถี่คงที่ที่เพียงค่าใดค่าหนึ่งเพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาดในการตรวจจับ สำหรับระบบที่มีเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบไม่เชิงเส้น (nonlinear load) อาจพบปัญหากระแสฮาร์โมนิกที่เข้าหรือมีขนาดสูงกว่าความถี่เฉพาะที่ใช้ในการตรวจจับซึ่งส่งผลให้การทำงานผิดพลาดได้ นอกจากนี้เพื่อเพิ่มความสะดวกให้ผู้ใช้งานในการเข้าถึงผลการวิเคราะห์โดยไม่จำเป็นต้องดูข้อมูลที่แผงจ่ายไฟหลักโดยการสื่อสารผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตและโทรศัพท์เคลื่อนที่

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่สนับสนุน งบประมาณ
สถานที่ และอุปกรณ์ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Blackburn JL, Domin TJ. *Protective Relaying: Principles and Applications, 3rd Edition*. USA: CRC Press, Taylors & Francis Group; 2006.
- [2] The Electro-Technical Council of Ireland. 2005. .Guide to the Selection & Use of Residual Current Devices, Edition 1. In: *The Electro-Technical Council of Ireland Limited*. 2006.
- [3] Sleva AM. *Protective Relay Principles*. USA: CRC Press, Taylors & Francis Group; 2009.
- [4] Luo X, Du Y, Wong XH, Chen ML. Tripping Characteristics of Residual Current Devices under Non-Sinusoidal Currents. In: *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*. Houston: TX; 2010. p. 1–6.
- [5] Abd Azzis AZH, Nor NM, Ibrahim T. Automated Electrical Protection System for Domestic Application. In: *Proceedings of the 7th IEEE International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO)*. Malaysia; 2013. p. 3–4.
- [6] Rajaram J, Nor NM, Ibrahim T, Daud H, Shaikh PH. A Novel Supervisory Control for Residential Building Protection System. In: *Proceedings of the 2014 IEEE 8th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO)*. Malaysia; 2014. p. 286–290.
- [7] Joshi N. Microcontroller based Fault Detector. *International Journal of Advancements in Research & Technology*. 2012; 1: 281–288.
- [8] Chen D, Zhao Q, Chen F, Luo S. Adaptive Residual Current Circuit Breaker Based on Microcontroller. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on Digital Manufacturing & Automation*. Hunan; 2011. p. 159–162.
- [9] Circulator SA. Earth Leakage Protection and Monitoring Solution, Technical document, Barcelona, Spain.
- [10] Carr JJ. *Electronic Circuit Guide Book, Vol. 6: Oscillator*. Chennai: Prompt publication; 1999.