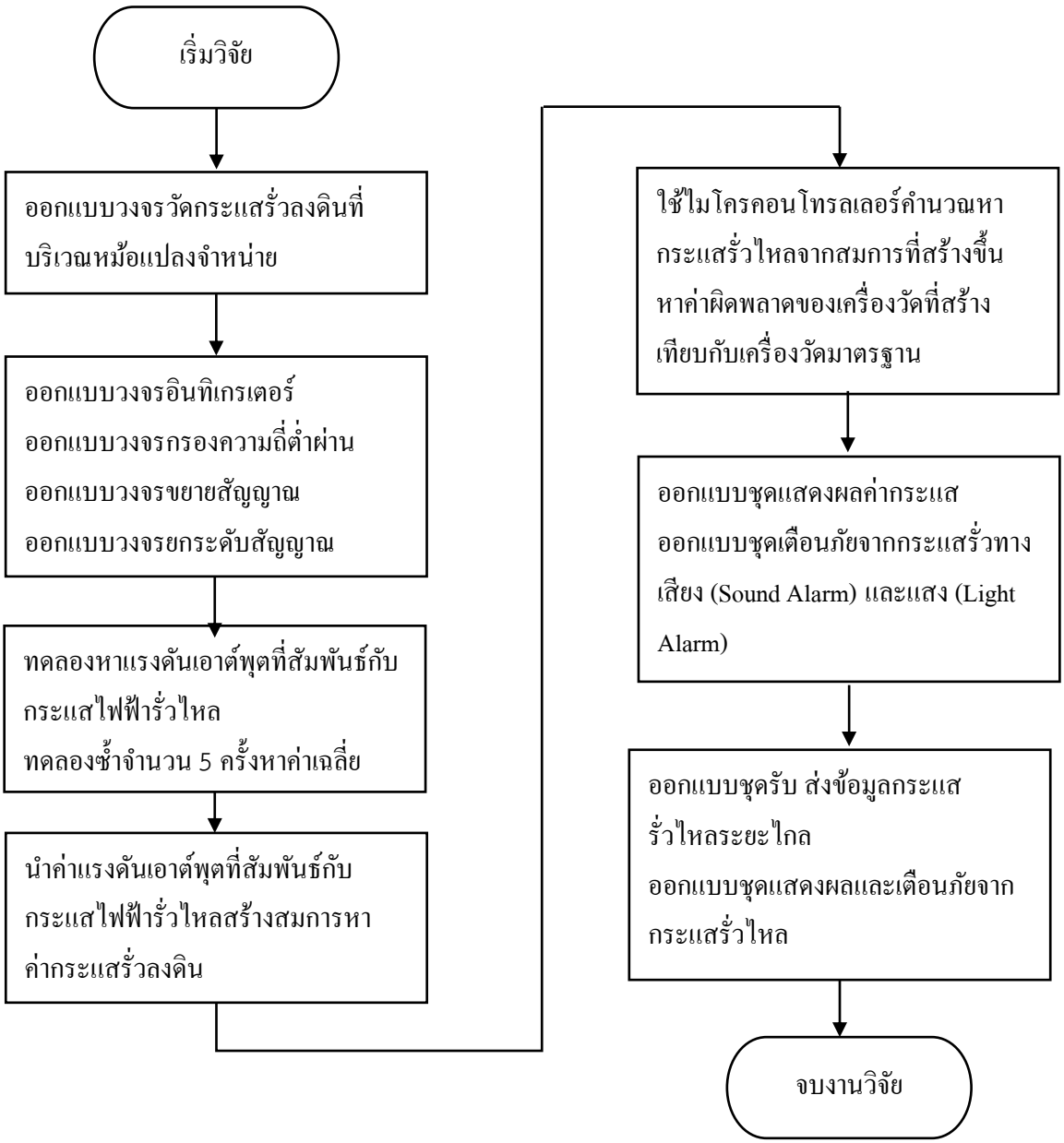
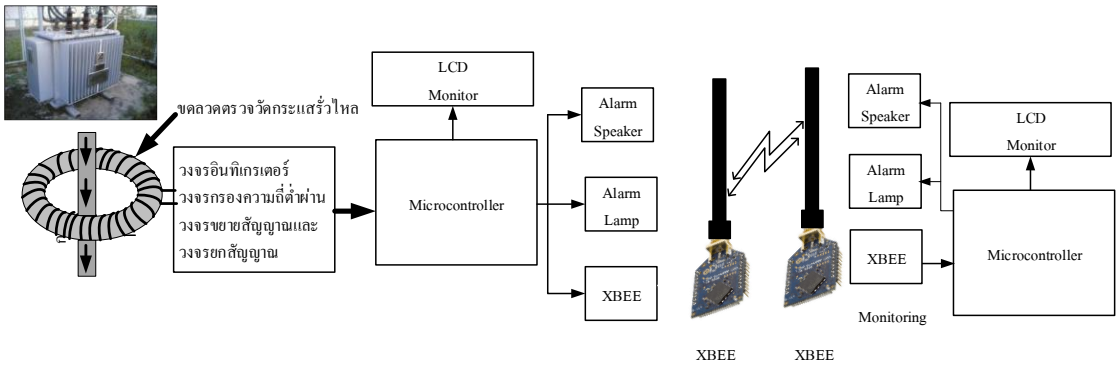
บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึง อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง เช่นการออกแบบวงจรวัดกระแส วงจรขยายและปรับแต่งสัญญาณ วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และการแสดงผล วงจรการรับ-ส่งข้อมูลสื่อสารไร้สายเพื่อรายงานประมาณกระแส ซึ่งมีแผนผังการทำวิจัยดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผงผังงานวิจัย

ไดอะแกรมระบบเตือนภัยอันตรายจากกระแสไฟฟ้ารั่วบริเวณหม้อแปลงจำหน่าย แสดงดังภาพที่ 3.2 มีรายละเอียดดังนี้

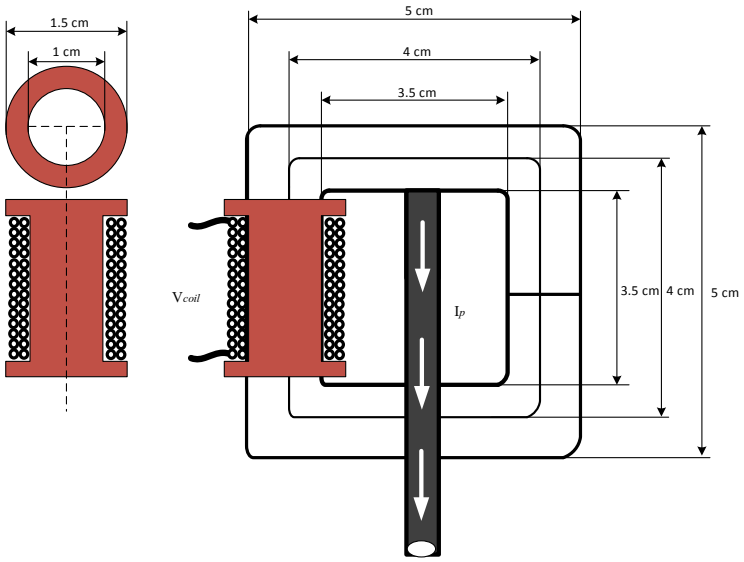


ภาพที่ 3.2 ระบบเตือนภัยอันตรายจากกระแสไฟฟ้ารั่วบริเวณหม้อแปลงจำหน่าย

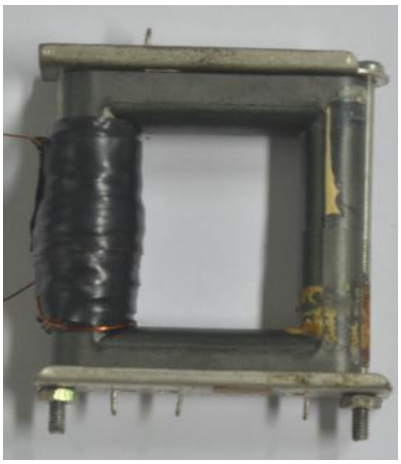
3.1 การออกแบบชุดวัดกระแส

3.1.1 การออกแบบวงจรวัดกระแส

งานวิจัยนี้เลือกใช้เทคนิคการวัดกระแสไฟฟ้ารั่วไหล ที่ไหลผ่านตัวนำ จะเกิดฟลักซ์แม่เหล็กล้อมรอบตัวนำ ไปเกี่ยวข้องกับขดลวดที่พันอยู่บนแกนที่ไม่ใช่สารแม่เหล็ก ถ้ากระแสที่ไหลผ่านตัวนำมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเปลี่ยนแปลงตามเวลาเช่นเดียวกัน โดยเส้นแรงแม่เหล็กที่เกี่ยวคล้องผ่านขดลวดจะเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ปลายขดลวด และเมื่อนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าไปผ่านวงจรอินติเกรเตอร์ จะได้กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวนำ (i_p) ตามกฎของแอมแปร์ โดยใช้แกนเฟอร์ไรด์ ชนิด U มีความยาวเส้นรอบ 16 cm พื้นที่หน้าตัดของลวด 0.2134 mm^2 ตามมาตรฐาน SWG เบอร์ 35 พันขดลวดเท่ากับ 200 รอบ พันใช้เทคนิคการพันย้อนกลับเข้าไปในแกนขดลวด เพื่อให้เกิดการหักล้างกันของเส้นแรงแม่เหล็กจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจากภายนอก ขดลวดวัดกระแสที่ออกแบบดังภาพที่ 3.3 ส่วนขดลวดที่สร้างขึ้นดังภาพที่ 3.4



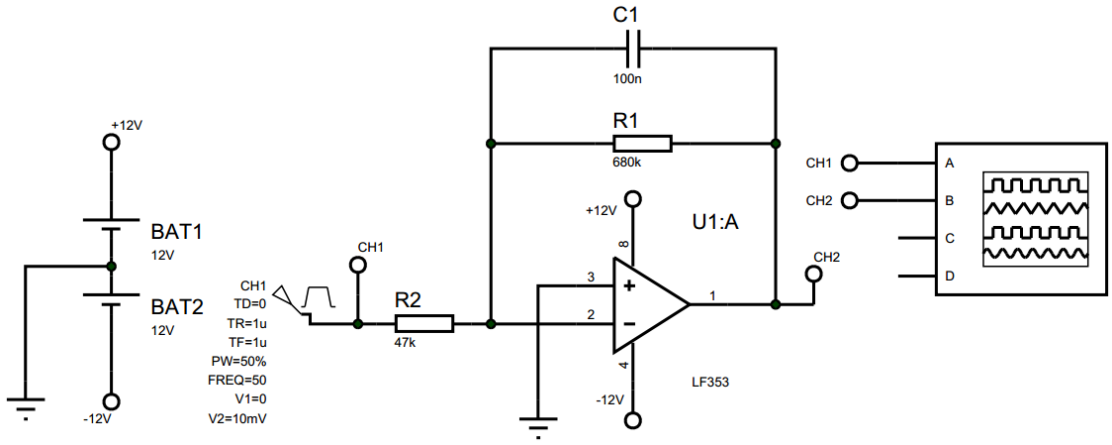
ภาพที่ 3.3 ขดลวดวัดกระแสที่ออกแบบ



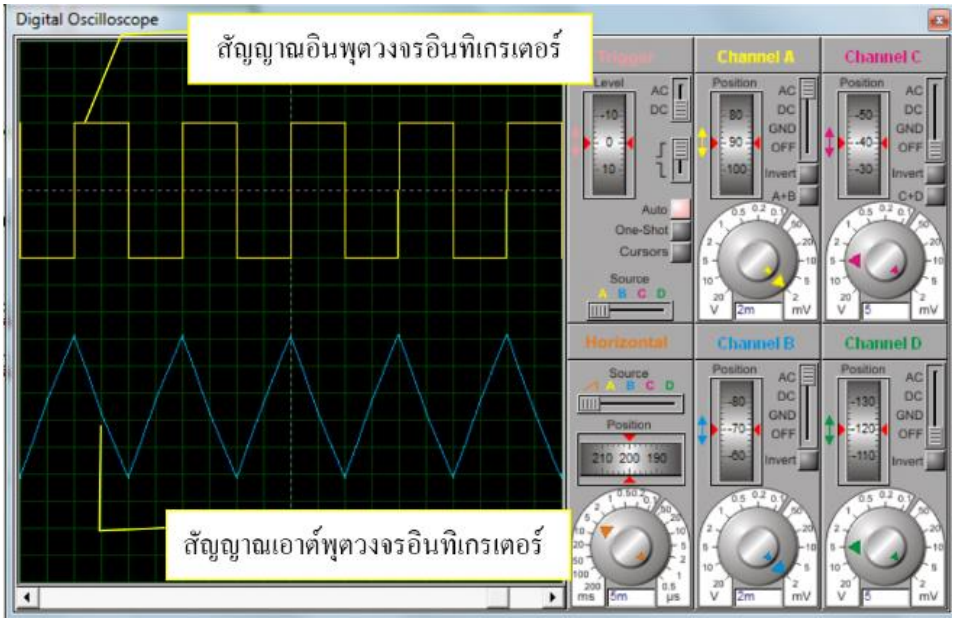
ภาพที่ 3.4 ขดลวดวัดกระแสที่สร้างขึ้น

3.1.2 การออกแบบวงจรอินทิเกรเตอร์

หลังจากได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากขดลวดวัดกระแสแล้ว จากนั้นใช้ออกแบบวงจรอินทีเกรเตอร์รวมสัญญาณเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกที่สัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ โดยใช้ไอซี LF353 (U1:A) เป็นวงจรอินทิเกรเตอร์แบบกลับเฟส กำหนดให้ค่าคงตัววงจรอินทิเกรเตอร์($\tau = R_1C_1$) โดยกำหนดให้ $\tau = 2ms$ กำหนด C_1 เท่ากับ 100 nF จะได้ R_1 เท่ากับ 47 kΩ ค่าคงตัวทางเวลา degeneration ($T = R_2 C_1$) ได้ R_2 เท่ากับ 680 kΩ ดังภาพที่ 3.5 และผลการจำลองการทำงานดังภาพที่ 3.6



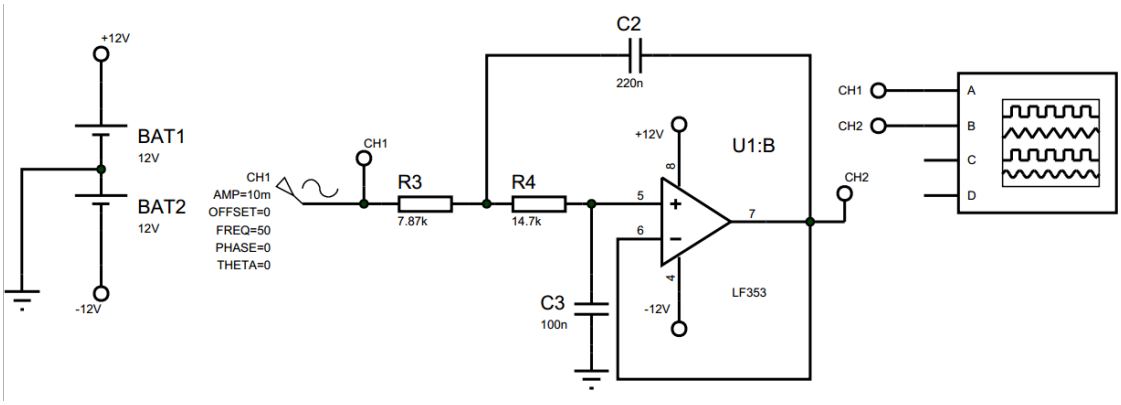
ภาพที่ 3.5 วงจรอินทิเกรเตอร์ที่ออกแบบ



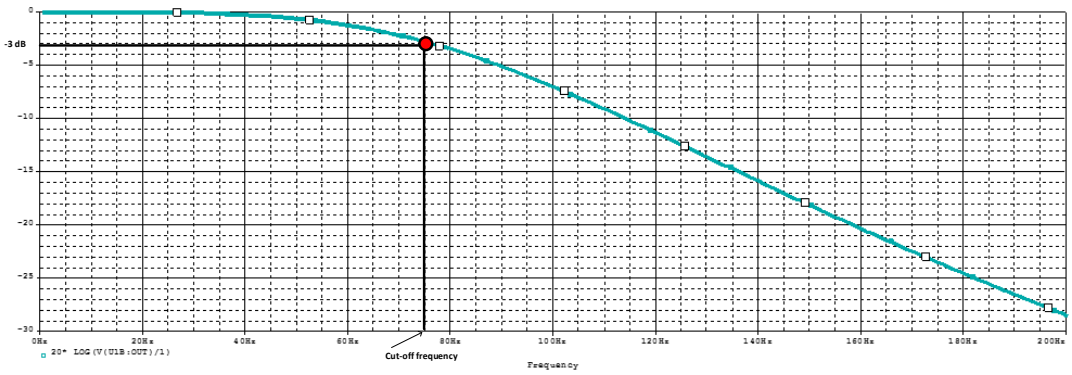
ภาพที่ 3.6 ผลการจำลองการทำงานวงจรอินทิเกรเตอร์ที่ความถี่ 50 Hz

3.1.3 การออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำ

ได้ออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ 75 Hz อันดับ 2 เนื่องจากต้องการกำจัดสัญญาณความถี่สูงตั้งแต่ฮาร์มอนิกส์อันดับที่ 2 เป็นต้นไป โดยใช้ไอซี LF353(U1:B) เป็นวงจรกรองแบบ Active Filter วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านภาพที่ 3.7 และผลการจำลองการทำงานดังภาพที่ 3.8 ซึ่งมีความถี่คัทออฟ (cut-off frequency) ที่ 75 Hz ซึ่งอยู่ในช่วงความถี่ที่ต้องการให้ผ่าน



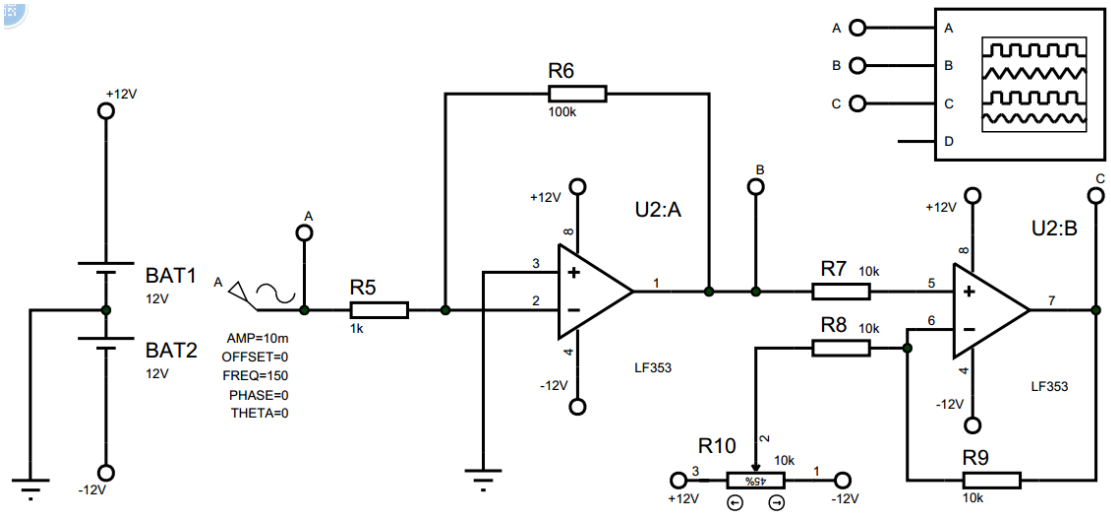
ภาพที่ 3.7 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ออกแบบ



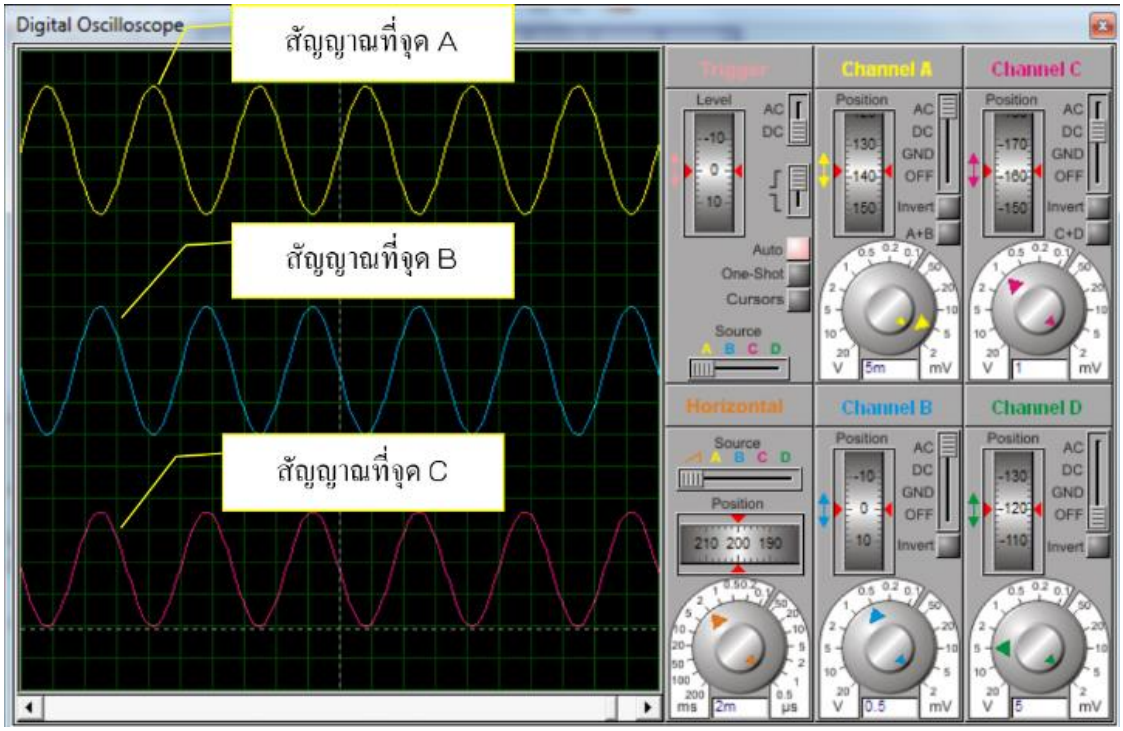
ภาพที่ 3.8 ผลการจำลองการทำงานวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

3.1.4 การออกแบบวงจรขยายแบบกลับเฟสและการออกแบบวงจรปรับยกระดับแรงดัน

ผู้วิจัยได้ออกแบบวงจรขยายแบบกลับเฟสโดยใช้ไอซี LF353 (U2:A)ให้มีอัตราขยายทางแรงดัน 100 เท่า ซึ่งได้จากค่าของ $-(R_6/R_5)$ ซึ่งกำหนดให้ R_5 เท่า 1 kΩ และให้ R_6 เท่ากับ 100 kΩ และให้จุด A เป็นสัญญาณอินพุตเท่ากับ 10 mV_{p-p} และจุด B เป็นสัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายแบบกลับเฟสผลของการจำลองเท่ากับ 1 V_{p-p} ในส่วนวงจรปรับระดับแรงดันใช้ไอซี LF353 (U2:B) ปรับระดับแรงดันเท่ากับ 2.5 V เพื่อเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการนำข้อมูลไปคำนวณหากระแสรั่วไหล วงจรดังภาพที่ 3.9 ส่วนผลการจำลองการทำงาน ดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.9 วงจรขยายแบบกลับเฟสและการออกแบบวงจรปรับยกระดับแรงดัน



ภาพที่ 3.10 ผลการจำลองวงจรขยายแบบกลับเฟสและวงจรปรับยกระดับแรงดัน

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 ชุดวัดกระแสรั่วที่สร้างขึ้น

ชุดวัดกระแสที่ออกแบบสร้างขึ้นสามารถวัดกระแสที่โหลดได้ตั้งแต่ 1 mA – 200 mA มีแรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุตเฉลี่ยตั้งแต่ 52 mV – 716 mV (Vrms) ซึ่งชุดวัดกระแสที่ออกแบบสร้างขึ้นดังภาพที่ 3.11

ภาพที่ 3.11 ชุดวัดกระแสไฟฟ้ารั่วที่สร้างขึ้น

3.3 วิธีการทดลอง

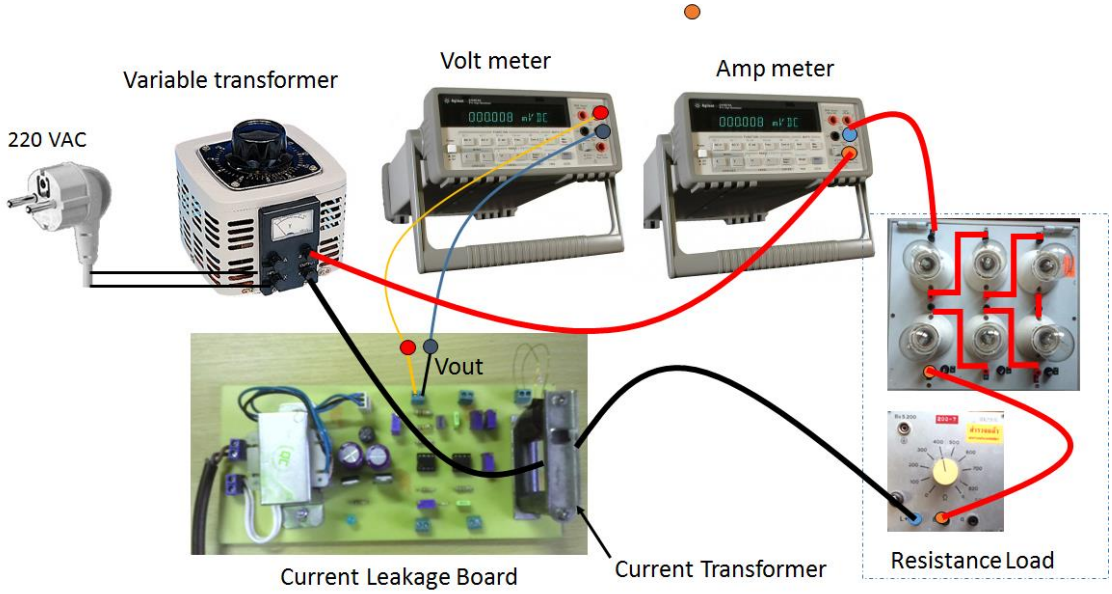
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดลองเก็บข้อมูลโดยแบ่งเป็นหัวข้อ การติดตั้งชุดทดลอง ขั้นตอนการเก็บข้อมูล การประมวลผลสัญญาณ การสร้างอัลกอริทึมการพยากรณ์กระแสรั่วไหล และระบบรายงานผลการวัดกระแสรั่วแบบเวลาจริง

3.3.1 การติดตั้งชุดทดลองและเก็บข้อมูล

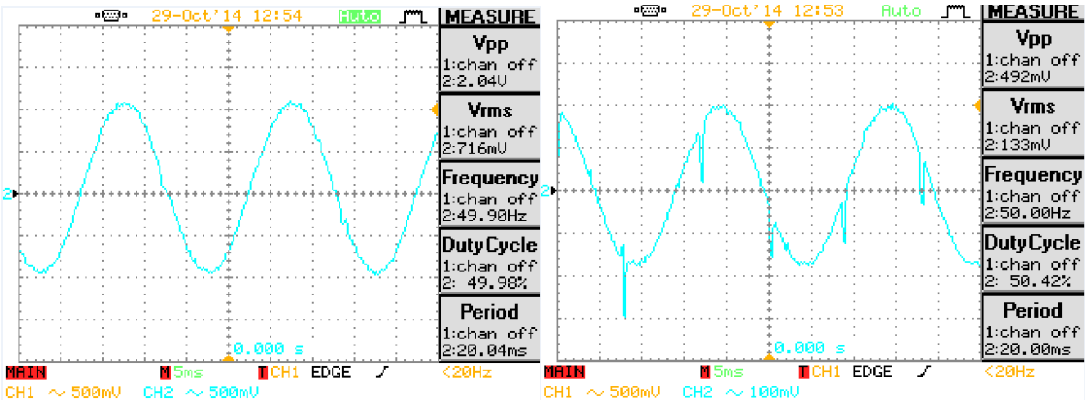
การติดตั้งระบบตามไดอะแกรมของระบบ ดังภาพที่ 3.12 ทดลองหาความสัมพันธ์ของกระแสที่ไหลผ่านโหลดกับแรงดันทางเอาต์พุตของชุดวัดกระแสที่สร้างขึ้น มีขั้นตอนการทดลองเก็บข้อมูลดังนี้

1. ปรับ Variable Transformer ให้อยู่ในตำแหน่ง 0 V
2. จ่ายไฟฟ้า 220 V ให้กับชุดทดลองและชุดวัดกระแส
3. ปรับ Variable Transformer ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านโหลดตัวต้านทานตั้งแต่ 1 mA ถึง 200 mA เพิ่มขึ้นทีละ 1 mA วัดแรงดันทางเอาต์พุตของชุดวัดกระแสที่สร้างขึ้นเก็บข้อมูล

4. ทำการทดลองซ้ำในข้อที่ 3 จำนวน 5 ครั้งหาค่าเฉลี่ยแรงดันทางเอาต์พุตสัญญาณกระแสที่ Current Transformer ที่โหลด 200 mA และ 30 mA ดังภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.12 ไดอะแกรมของระบบทดลองเก็บข้อมูลกระแสไฟฟ้ารั่วกับแรงดันเอาต์พุต



(ก) สัญญาณกระแสเท่ากับ 200 mA (ข) สัญญาณกระแสเท่ากับ 30 mA

ภาพที่ 3.13 แรงดันเอาต์พุตของชุดวัดกระแสที่สร้างขึ้น

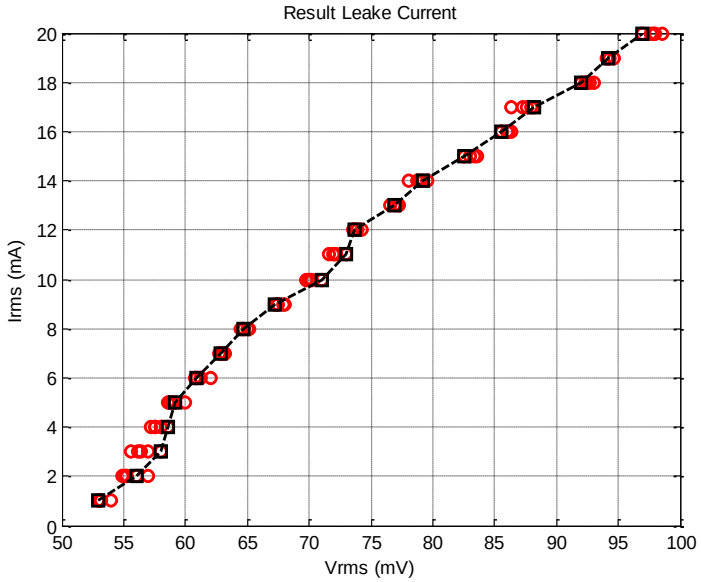
ตารางที่ 3.1 ผลการทดลองความสัมพันธ์กระแสไฟฟ้ารั่วกับแรงดันเอาต์พุต

ลำดับที่	กระแส I_{rms} (mA)	แรงดันเอาท์พุตวงจรวัดกระแส (mV_{rms}) ทดลองครั้งที่					ค่าเฉลี่ย V_{rms} (mV)
		1	2	3	4	5	
1	1.0	53.0	52.5	53.1	52.6	52.9	52.0
2	2.0	55.1	54.9	55.2	54.9	56.0	54.5
3	3.0	57.0	56.2	56.4	55.6	55.8	55.8
4	4.0	57.5	57.6	57.6	57.2	56.9	56.4
5	5.0	58.9	59.0	58.7	58.6	59.2	58.4
6	6.0	61.2	60.9	60.8	60.6	60.9	60.3
7	7.0	63.2	62.9	62.7	63.1	62.9	62.6
8	8.0	65.0	64.7	65.2	64.5	64.7	64.7
9	9.0	68.0	67.9	67.5	67.4	67.2	67.0
10	10.0	69.8	70.1	70.0	70.2	69.5	70.0
11	11.0	72.0	72.2	72.1	71.6	71.8	71.7
12	12.0	73.6	73.7	73.9	74.2	73.7	74.0
13	13.0	77.0	77.2	77.3	76.5	76.9	76.6
14	14.0	78.0	78.8	79.0	79.5	79.2	79.5
15	15.0	83.0	83.3	83.6	82.5	82.6	82.0
16	16.0	86.0	85.5	86.3	86.1	85.5	85.0
17	17.0	87.6	88.0	86.4	87.3	88.2	87.0
18	18.0	92.5	93.0	92.7	92.3	92.0	90.0
19	19.0	94.6	94.3	94.1	94.2	94.2	93.5
20	20.0	98.0	98.6	97.9	97.6	97.0	97.0

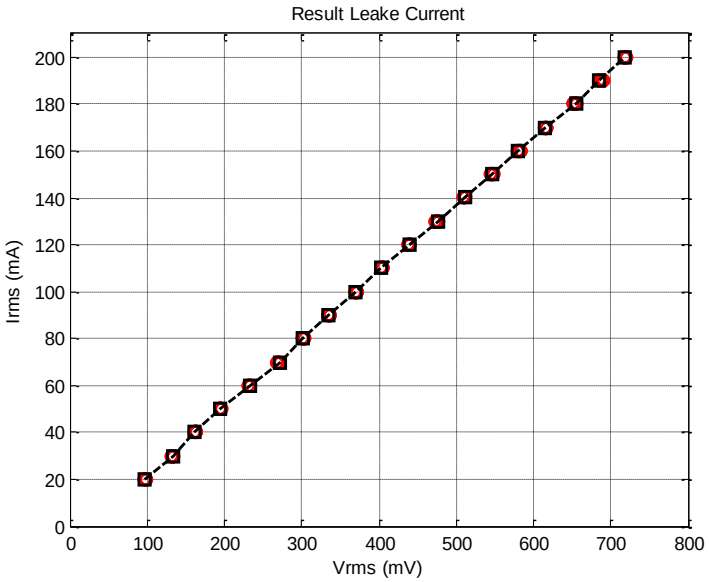
ตารางที่ 3.1 ผลการทดลองความสัมพันธ์กระแสไฟฟ้ารั่วกับแรงดันเอาต์พุต (ต่อ)

ลำดับที่	กระแส I_{rms} (mA)	แรงดันเอาท์พุตวงจรวัดกระแส (mV) ทดลองครั้งที่					ค่าเฉลี่ย V_{rms} (mV)
		1	2	3	4	5	
21	30.0	132	133.2	132	134	134.5	130.0
22	40.0	163	162.5	164	163.5	162	161.0
23	50.0	197	195	194.3	195	194.2	193.0
24	60.0	234	233.2	232	231.5	233	229.0
25	70.0	269.4	267.9	269	270.5	271	267.0
26	80.0	304	302	303.4	303.7	301	300.0
27	90.0	337	335	336.3	334.3	334	333.0
28	100.0	370	372	371.5	371.6	369	368.0
29	110.0	404	402	405	404	402	403.0
30	120.0	439	440	438.5	439.7	440.2	437.0
31	130.0	475	476	473.5	474.1	477	473.0
32	140.0	509	509.9	511	510.3	512	507.0
33	150.0	547	548.7	544.6	544	546.5	542.0
34	160.0	579	583.4	583.2	581.3	579.7	578.0
35	170.0	615	617	616.3	617.1	615.3	614.0
36	180.0	653	655	652	651.8	655.2	651.0
37	190.0	689	684	689.6	689.8	685.2	686.0
38	200.0	718	720	719	719.5	718	716.0

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองในตารางที่ 3.1 จากลำดับที่ 1 ถึง 20 คือค่ากระแส (1 mA – 20 mA) มาแสดงในลักษณะกราฟในภาพที่ 3.14 และลำดับที่ 20 ถึง 38 คือ (20 mA – 200 mA)ได้ในภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.14 ความสัมพันธ์ค่ากระแส (1 mA – 20 mA) กับแรงดันเอาต์พุต



ภาพที่ 3.15 ความสัมพันธ์ค่ากระแส (20 mA – 200 mA) กับแรงดันเอาต์พุต

3.3.2 การสร้างอัลกอริทึมในการหาค่ากระแสไฟฟ้ารั่ว

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการสร้างสมการวัดหาค่ากระแสไฟฟ้ารั่วโดยใช้ข้อมูลของกระแส I_{rms} และแรงดันเอาต์พุตค่าเฉลี่ย V_{rms} จากการทดลองในตารางที่ 3.1 สร้างสมการหาค่ากระแสไฟฟ้ารั่ว ซึ่งจะแบ่งเป็นสมการได้ 2 ย่านการวัด ในย่านการวัดที่ 1 ใช้ข้อมูลกระแสตั้งแต่ 1 mA ถึง 20 mA

สร้างสมการโดยใช้โพลิเนอร์เมียลกำลังสองได้ดังสมการที่ 3.1 ส่วนย่านการวัดที่ 2 ใช้ข้อมูลกระแสตั้งแต่ 20 mA ถึง 200 mA ใช้วิธีการทางสถิติสร้างสมการถดถอยอย่างง่ายได้ดังสมการที่ 3.2

$$y = -0.0033x^2 + 0.9063x - 37.061 \quad (3.1)$$

เมื่อ y คือค่ากระแสไฟฟ้ารั่วที่วัดได้

x คือแรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุตของชุดวัดกระแสที่สร้างขึ้น

โดยค่าสัมประสิทธิ์เชื่อมั่นอยู่ที่ $R^2 = 0.9983$ อยู่ในระดับที่สูงมาก

$$y = 0.288x - 6.4813 \quad (3.2)$$

ย่านการวัดที่ 2 โดยค่าสัมประสิทธิ์เชื่อมั่นอยู่ที่ $R^2 = 0.9999$ อยู่ในระดับที่สูงมาก

3.3.3 การประมวลผลหากระแสไฟฟ้ารั่ว

ในงานวิจัยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMega324 ของ Unicon Board รับสัญญาณจากชุดวัดกระแสไฟฟ้ารั่วที่สร้างขึ้นโดยการแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นข้อมูลดิจิตอลที่ความละเอียด 10 บิต อัตราสุ่มที่ 2kS/s สุ่ม 200 ข้อมูล คำนวณหาค่าแรงดันเมื่อน้อยกว่า 100 mV คำนวณหากระแสไฟฟ้ารั่ว โดยใช้สมการที่ 3.1 เมื่อแรงดันเท่ากับหรือมากกว่า 100 mV และสมการที่ 3.2

3.3.4 เกณฑ์การแบ่งระดับการเตือนกระแสไฟฟ้ารั่ว

จาก IEEE80-2000 กระแสและเวลาที่มีอันตรายต่อคนที่หัวใจไม่ทำงานหรือทำงานไม่สัมพันธ์กัน กับการแบ่งโซน3 และโซน4 ของ IEC 479-1 เมื่อกระแสที่ 10 mA และ 30 mA จะกำหนดให้กับเครื่องป้องกันไฟฟ้ารั่ว ถ้าใช้เครื่องป้องกันไฟฟ้ารั่วที่ 10 mA จะไม่เป็นอันตรายเมื่อถูกไฟดูดด้วยกระแสดังกล่าว ดังนั้นจึงกำหนดระดับกระแสไฟฟ้ารั่วดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เกณฑ์ในแบ่งระดับความรุนแรงการเตือนกระแสไฟฟ้ารั่ว

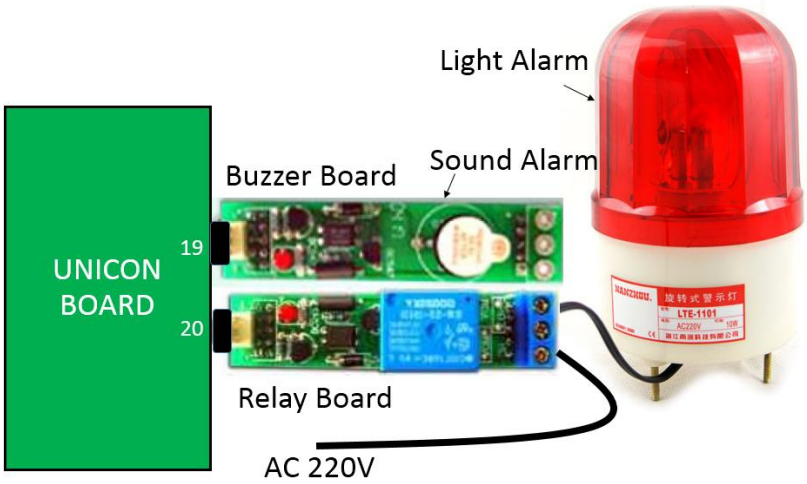
ระดับกระแสไฟฟ้ารั่ว	ขนาดกระแสไฟฟ้ารั่ว	ระดับความรุนแรง
1	I < 5 mA	ระดับเริ่มต้น
2	5 mA $\geq$ I <10 mA	ระดับมากต้องเตือนแก้ไขด่วน
3	10 mA $\geq$ I < 20 mA	ระดับรุนแรงอันตราย
4	20 mA $\geq$ I < 30 mA	ระดับรุนแรงอันตรายมาก
5	>30 mA	ระดับรุนแรงอันตรายสูงสุด

3.3.5 การแสดงผลและการแจ้งเตือน

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการแสดงผลค่ากระแสรั่ว การแจ้งเตือน การรายงานผลตรวจวัดที่จุดวัดกระแสและไปยังศูนย์กลาง แบบการสื่อสารไร้สายตามมาตรฐาน XBEE

3.3.5.1 เมื่อทำการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าจะแสดงผ่านจอ GLCD ที่บอกเป็นปริมาณกระแสรั่วและระดับความรุนแรงของกระแสรั่ว โดยใช้เกณฑ์การจำแนกในตารางที่ 3.2

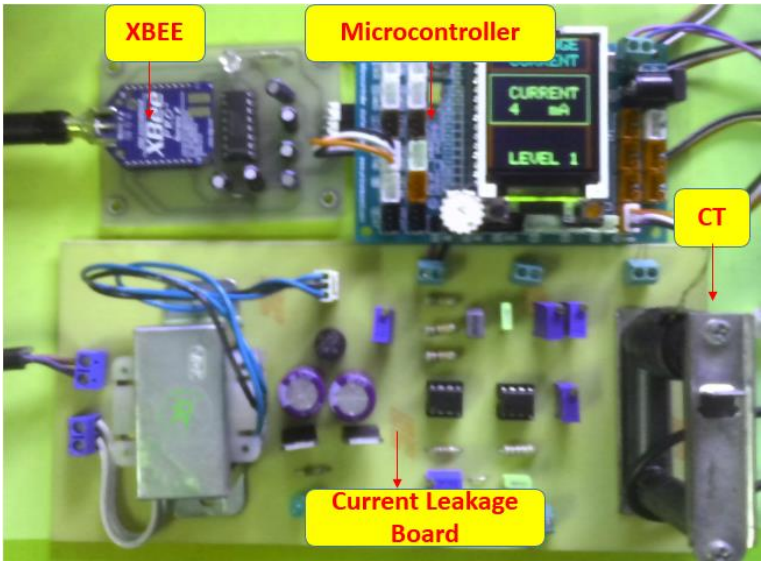
3.3.5.2 การแจ้งเตือนกระแสรั่ว โดยจะแจ้งเตือนเมื่อกระแสรั่วตั้งแต่ 30 mA ขึ้นไป โดยใช้ Warning Light รุ่น LTE – 5101 ในการแจ้งเตือน แสดงดังภาพที่ 3.16



ภาพที่ 3.16 ไดอะแกรมของระบบแจ้งเตือนภัยจากกระแสไฟฟ้ารั่ว

3.3.5.2 การรายงานปริมาณและระดับกระแสไฟฟ้ารั่ว แบบไร้สาย ซึ่งจะประกอบด้วย 3 ส่วนดังนี้

1) การส่งข้อมูลแบบไร้สาย เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผลปริมาณและระดับกระแสไฟฟ้ารั่ว ส่งข้อมูลรายงานแบบไร้สาย ผ่านการสื่อสารแบบอนุกรรม (UART) ให้กับ XBEE Pro 50mW RPSMA - Series 2 (ZB) รับ-ส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 9600 bps จากนั้น XBEE จะส่งข้อมูลแบบไร้สายตามมาตรฐานโปรโตคอล ZigBee/IEEE 802.15.4 ย่านความถี่ 2.4 GHz ดังภาพที่ 3.17



ภาพที่ 3.17 ชุดส่งรายงานปริมาณและระดับกระแสไฟฟ้ารั่วแบบไร้สายด้วย XBEE

2) การรับข้อมูลแบบไร้สายจากชุดส่งรายงานกระแสไฟฟ้ารั่วใช้ XBEE Pro 50mW RPSMA - Series 2 (ZB) รับข้อมูลด้วยความเร็ว 9600 bps ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับข้อมูลแล้วแสดงผลด้วย GLCD และควบคุมการแจ้งเตือน ดังภาพที่ 3.19

(ก) การติดตั้งอุปกรณ์ภายในกล่องชุดรับข้อมูล (ข) ภายนอกกล่องชุดรับข้อมูล

ภาพที่ 3.18 ชุดรับรายงานผลกระแสไฟฟ้ารั่วแบบไร้สายด้วย XBEE