บทที่ 4
ผลการทดสอบและประเมินผล

4.1 ผลการทำงานของ Matlab/GUI

GUI ที่ทำขึ้นนั้นมีจุดประสงค์เพื่อการหาค่า Impedance setting ในโซนต่างๆเพื่อให้ง่ายในการปรับตั้ง mho relay และยังแสดงแผนภาพคุณลักษณะของรีเลย์ เมื่อรัน GUI ขึ้นมา ทำการกรอกข้อมูลที่ต้องการลงไปใน GUI

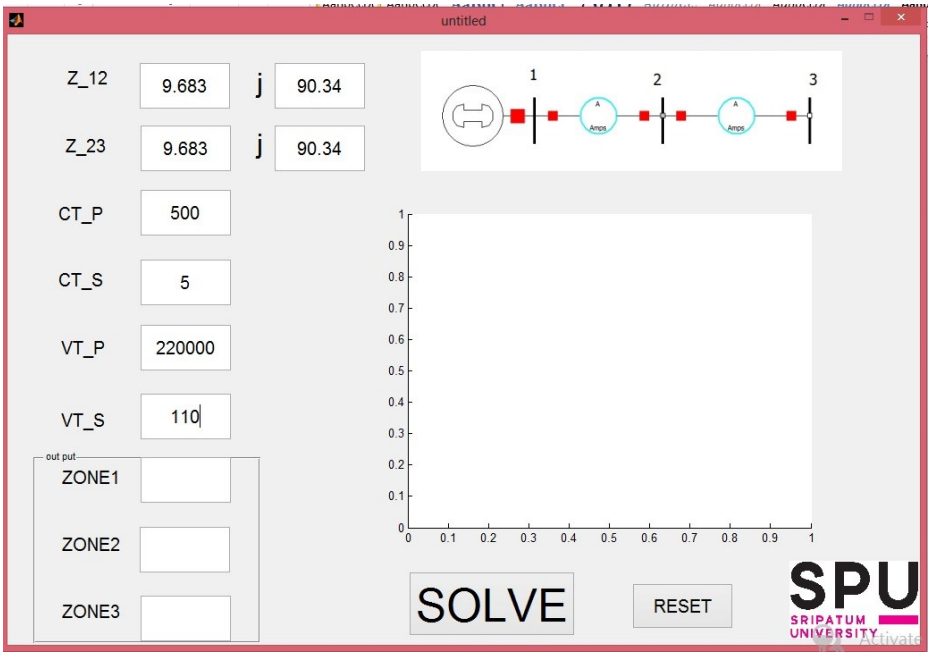
4.1.1ข้อมูลที่กรอกลงใน GUI

ให้อิมพีแดนซ์ของสายส่ง $Z = 0.09683 + j0.9034\ \Omega/km$

โดยสายส่งบัส 2 ห่างจากบัส 1 เป็นระยะทาง 100 km

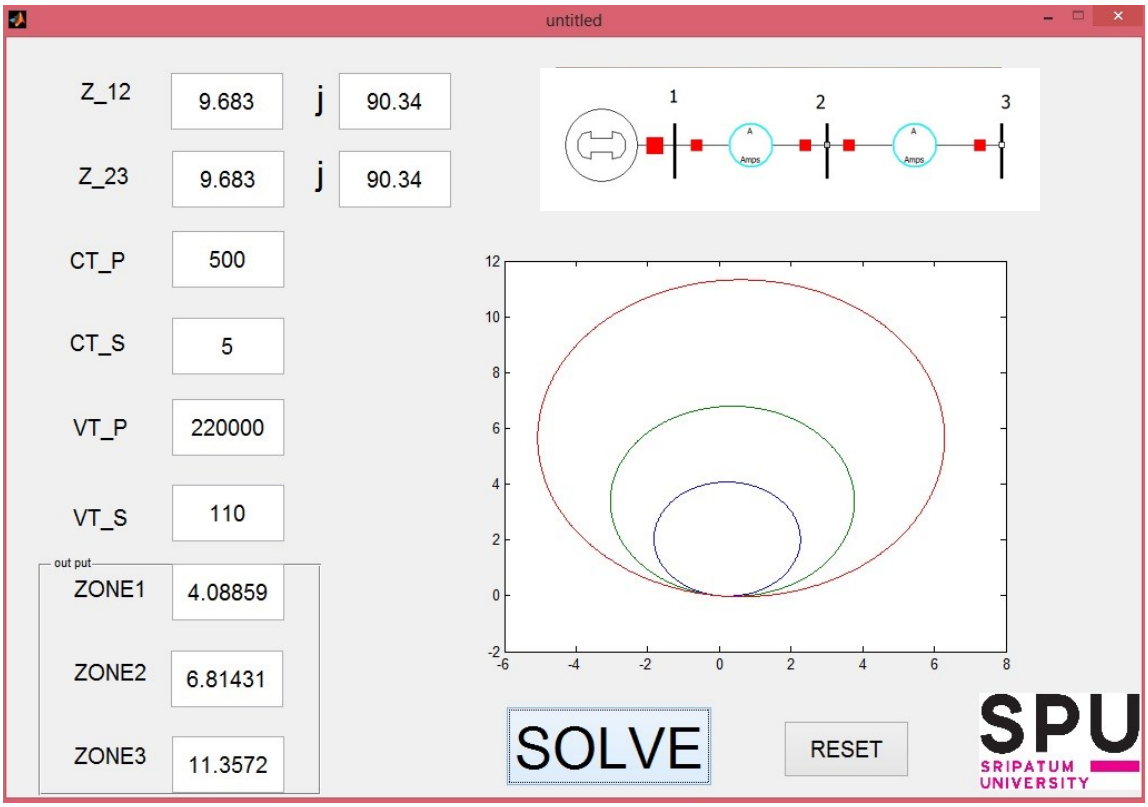
โดยสายส่งบัส 3 ห่างจากบัส 2 เป็นระยะทาง 100 km

ใช้หม้อแปลงแรงดัน 220kV/110V และหม้อแปลงกระแส 500/5 A



ภาพที่ 4.1 การกรอกข้อมูลลงใน GUI

ทำการกดปุ่ม SOLVE เพื่อให้ GUI แสดงผลการคำนวณ โดยช่อง output จะแสดงขนาดของ Impedance setting ทางด้านทุติยภูมิ(รีเลย์มองเห็น) และทำการพลอตกราฟคุณลักษณะของรีเลย์ เมื่อต้องการที่จะคำนวณค่าต่อไป ให้กดปุ่ม RESET โปรแกรม GUI จะทำการลบข้อมูลทั้งหมด เพื่อให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลชุดใหม่ลงไป



ภาพที่ 4.2 ผลของ GUI

4.1.2 การคำนวณเพื่อเทียบความถูกต้องของ GUI

การปรับตั้งระยะป้องกันขอบเขตที่ 1 ที่ 90% ของสายส่ง 1-2 คือ

$Z_{r1} = 0.9(9.683 + j90.34) = 8.7147 + j81.306\ \Omega$

$|Z_{r1}| = 81.503\ \Omega$

ค่า Z ทางด้านทุติยภูมิ คือ 81.503 x (100/2000) = 4.0751 Ω

การปรับตั้งระยะป้องกันขอบเขตที่ 2 ที่ 150% ของสายส่ง 1-2 คือ

$Z_{r2} = 1.5(9.683 + j90.34) = 14.5245 + j135.51\ \Omega$

$|Z_{r2}| = 136.286\ \Omega$

ค่า Z ทางด้านทุติยภูมิ คือ 136.286 x (100/2000) = 6.8143 Ω

การปรับตั้งระยะป้องกันขอบเขตที่ 3 ที่ $100\%Z_{12} + 150\%Z_{23}$ คือ

$Z_{r3} = (9.683 + j90.34) + 1.5(9.683 + j90.34) = 24.207 + j225.85\ \Omega$

$|Z_{r3}| = 227.144\ \Omega$

ค่า Z ทางด้านทุติยภูมิ คือ 227.14 x (100/2000) = 11.3572 Ω

จากการคำนวณจะเห็นว่าค่าที่ได้จากการคำนวณนั้นตรงกับค่าที่ได้จากโปรแกรม Matlab/GUI

$Z_{50km} = 0.5(9.683 + j90.34) = 4.9315 + j45.17\ \Omega$

ค่า Z_{50km} ทางด้านทุติยภูมิ คือ (0.435 + j2.25) x (100/2000) = 0.435 + j2.25 Ω

$Z_{130km} = 1.3(9.683 + j90.34) = 12.589 + j117.442\ \Omega$

ค่า Z_{130km} ทางด้านทุติยภูมิ คือ (12.589 + j117.442) x (100/2000) = 0.629 + j5.872 Ω

$Z_{170km} = 1.7(9.683 + j90.34) = 16.461 + j153.578\ \Omega$

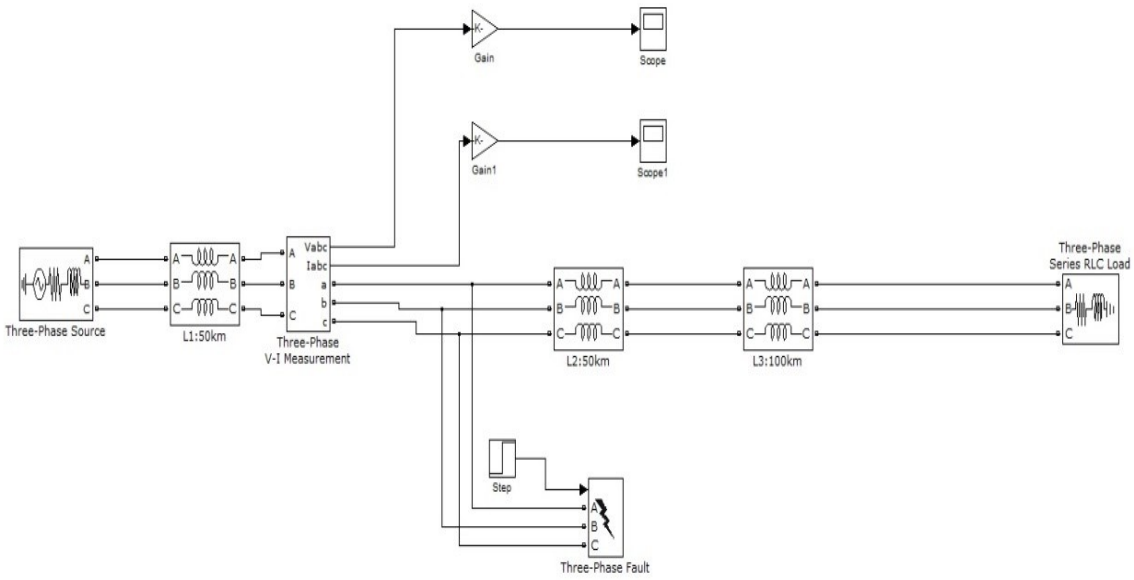
ค่า Z_{170km} ทางด้านทุติยภูมิ คือ (16.461 + j153.578) x (100/2000) = 0.8231 + j7.679 Ω

4.2 ผลการทำงานของ Matlab/Simulink

ในส่วนของ Simulink ได้ทำการออกแบบเพื่อที่จะวัดค่า แรงดัน และกระแส ขณะลัดวงจร ณ จุดต่างๆ โดยแสดงผลในส่วนทุติยภูมิ(รีเลย์มองเห็น) เพื่อนำข้อมูลมาหาค่าอิมพีแดนซ์ ณ จุดลัดวงจร ซึ่งสามารถจำลองการเกิดการลัดวงจรได้ทุกรูปแบบ

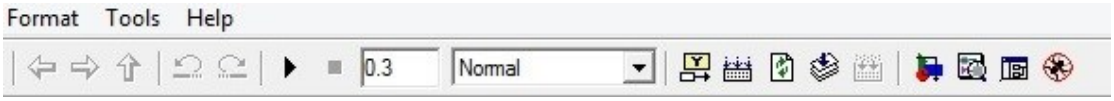
4.2.1 การตั้งค่าพารามิเตอร์

ทำการเปิดโปรแกรมไฟล์ของโปรแกรม Simulink ขึ้นมา



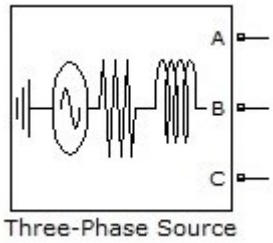
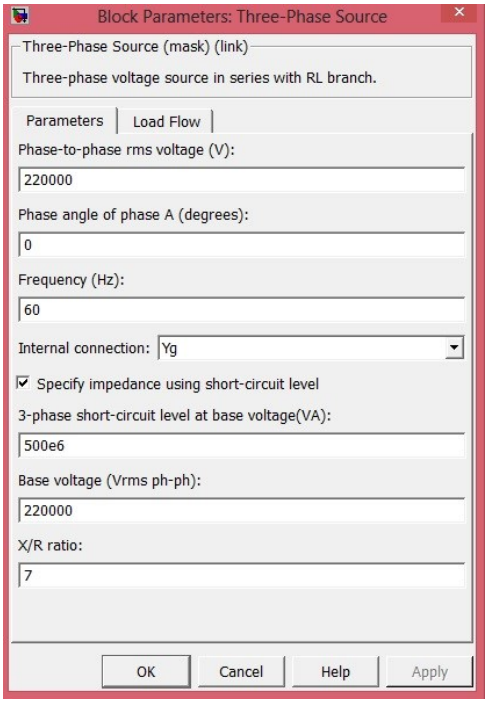
ภาพที่ 4.3 วงจรภายในโปรแกรม Simulink

ค่าพารามิเตอร์ที่ตั้งไว้คือ แหล่งจ่ายกระแสสลับ 220kV ความถี่ 60 Hz ค่าอิมพีแดนซ์และความยาวของสายส่งเหมือนกับส่วนของ GUI ตั้งค่าให้เกิดการลัดวงจรที่เวลา 0.1 วินาที โดยเกิดการลัดวงจรที่ 50km จากแหล่งกำเนิด ทำการ Simulate โดยกดที่ Start Simulation (ปุ่ม play) โดยตั้งเวลาการทำงานไว้เป็นเวลา 0.3 วินาที ดังภาพที่ 4.3

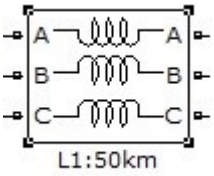
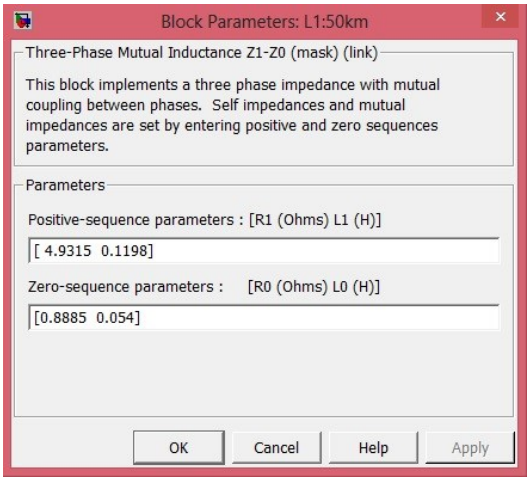
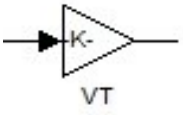
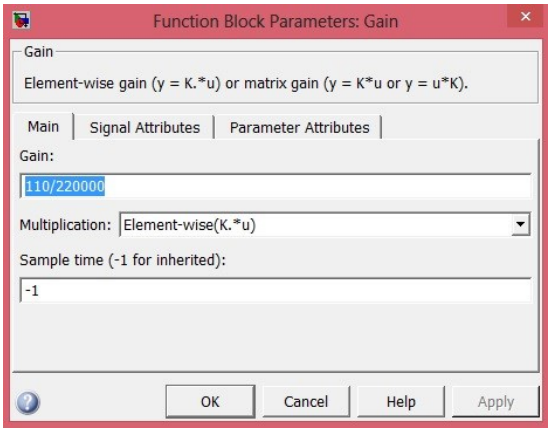


ภาพที่ 4.4 การ Start Simulation และ การตั้งเวลาทำงาน

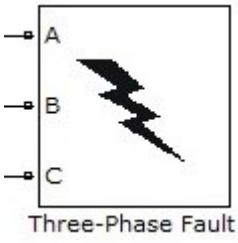
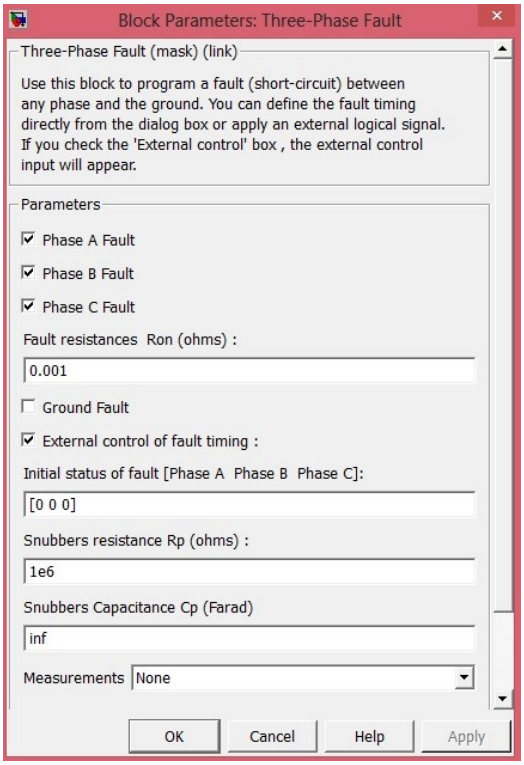
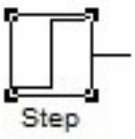
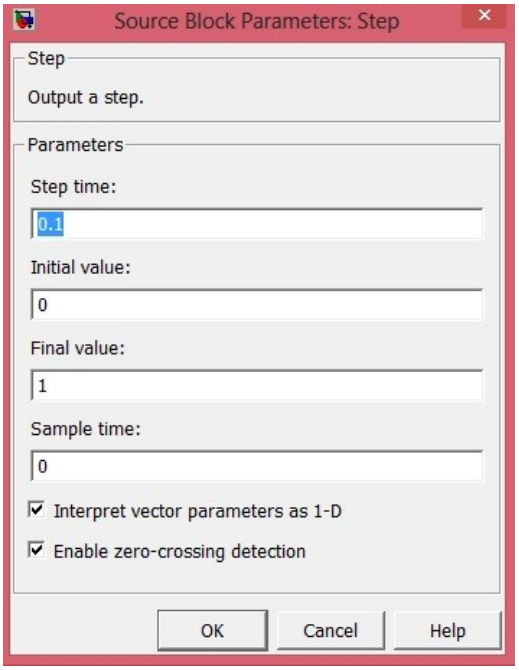
ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างการใส่ค่าพารามิเตอร์

อุปกรณ์	การใส่ค่าพารามิเตอร์
	

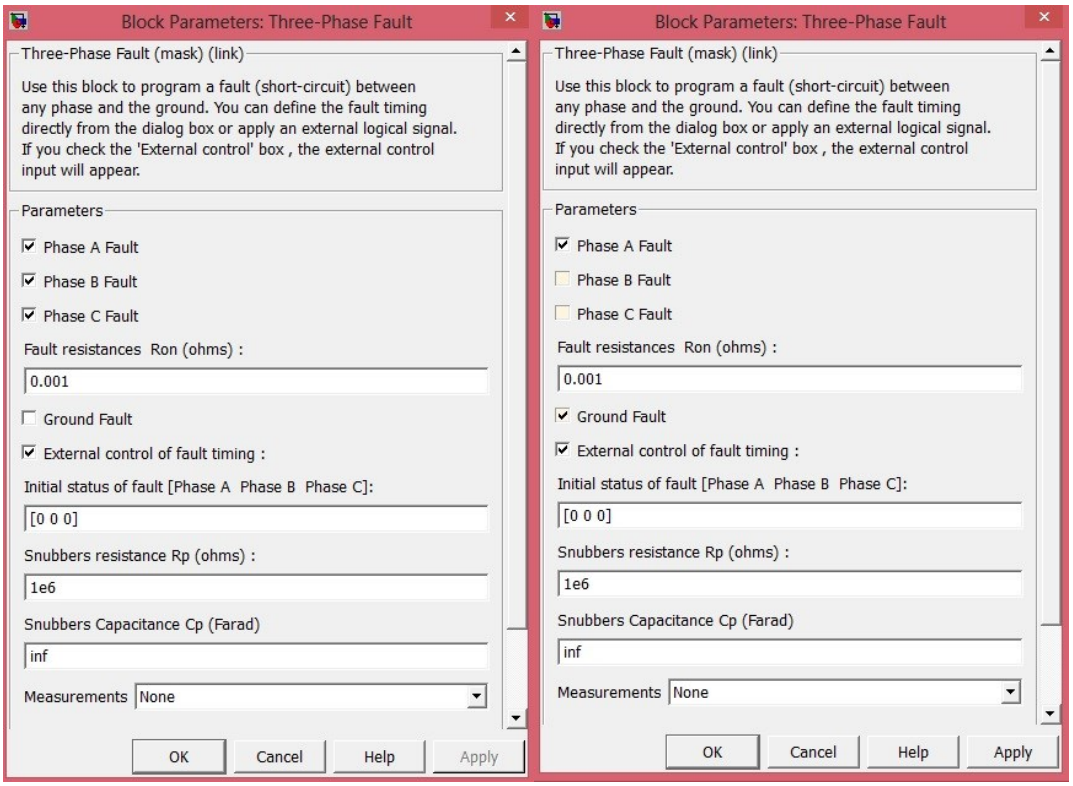
ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างการใส่ค่าพารามิเตอร์(ต่อ)

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างการใส่ค่าพารามิเตอร์(ต่อ)

	
 สัญญาณให้เริ่มเกิดการลัดวงจร	

การกำหนดชนิดของการลัดวงจรใน Simulink สามารถทำได้ทุกกรณีของการเกิดการลัดวงจร โดยการตั้งค่าที่ Block parameters : Three phase fault การตั้งค่าทำได้โดยการทำเครื่องหมายถูกหน้าช่อง เช่น ต้องการให้เกิดการลัดวงจรแบบ Three Phase Fault หรือ ต้องการแบบ Phase to ground Fault สามารถกำหนดได้ดังภาพที่ 4.5 ส่วนการลัดวงจรรูปแบบอื่นๆก็ทำในทำนองเดียวกัน



ภาพที่ 4.5 การตั้งค่าการลัดวงจร Three Phase Fault และ Phase to ground Fault

4.2.2 ผลการ Simulation

ทำการ Simulation การเกิดการลัดวงจรรูปแบบต่างๆ โดยให้จุดเกิดการลัดวงจรอยู่ที่ระยะทาง 50 km จากแหล่งกำเนิด ผลจาก scope จะแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกระแสขณะเกิดการลัดวงจร โดยเริ่มเกิดการลัดวงจร ณ เวลา 0.1 วินาที โดยมี Fault Resistance น้อยมาก

กราฟเส้นสีเหลือง คือเฟส A

กราฟเส้นสีม่วง คือเฟส B

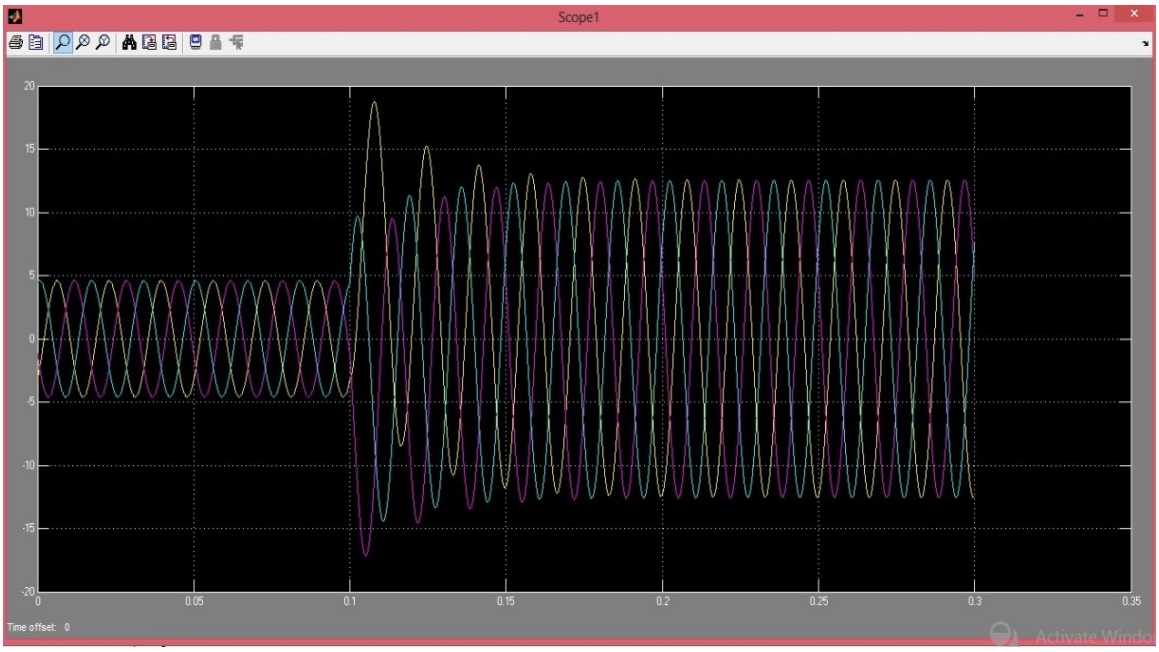
กราฟเส้นสีฟ้า คือเฟส C

ผลที่เกิดขึ้นแสดงกระแสและแรงดันในด้านทุติยภูมิ(รีเลย์มองเห็น)

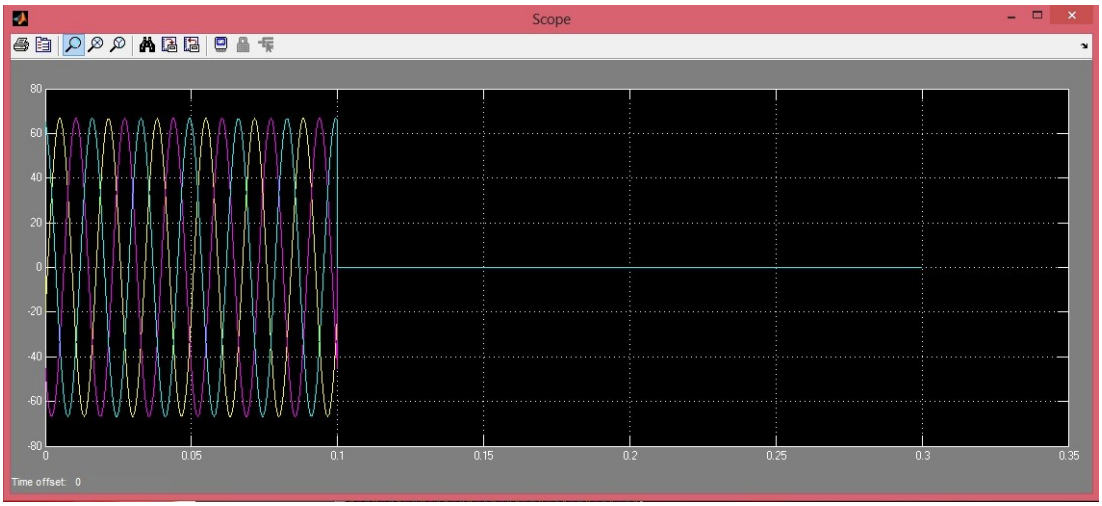
4.2.2.1 Three Phase Fault

ขณะปกติ $V_p = 66\ V$, $I_P = 4.6\ A$

ขณะเกิดการลัดวงจร $I_A = I_B = I_C = 12.55\ A$, $V_A = V_B = V_C$ มีค่าน้อยมาก



ภาพที่ 4.6 รูปคลื่นกระแส ณ จุดเกิดการลัดวงจรแบบ Three Phase Fault



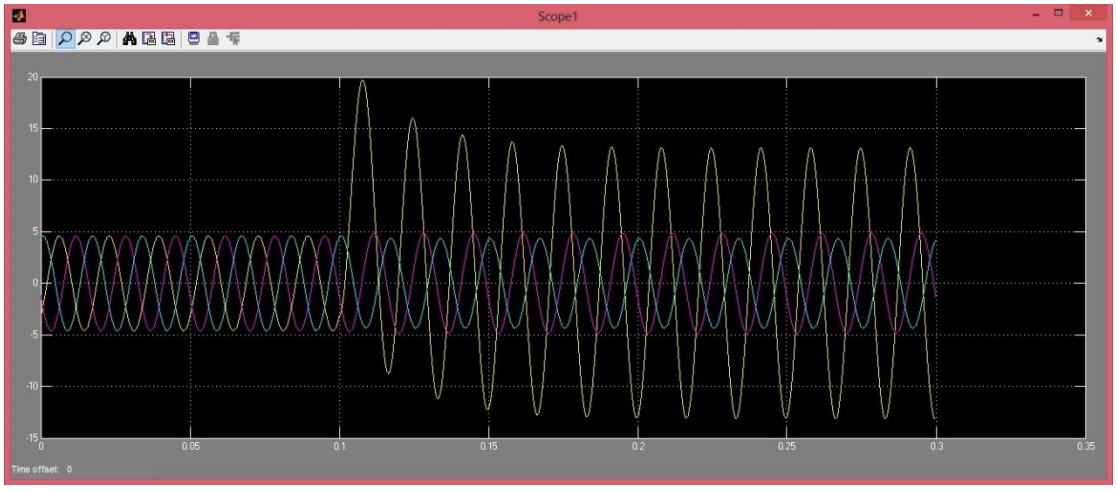
ภาพที่ 4.7 รูปคลื่นแรงดัน ณ จุดเกิดการลัดวงจรแบบ Three Phase Fault

4.2.2.2 Phase to Ground Fault (A-G)

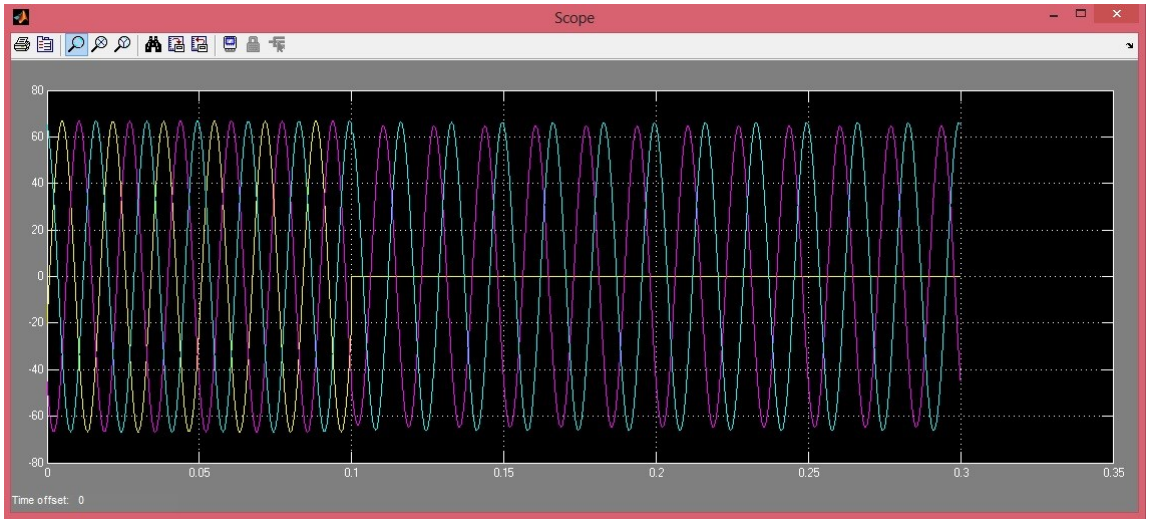
ขณะปกติ $V_p = 66\ V$, $I_P = 4.6\ A$

ขณะเกิดการลัดวงจร $I_A = 13.3\ A$, $I_B = I_C = 4.6\ A$, V_A มีค่าน้อยมาก

$V_B = V_C = 66\ V$



ภาพที่ 4.8 รูปคลื่นกระแส ณ จุดเกิดการลัดวงจรแบบ Phase to Ground Fault



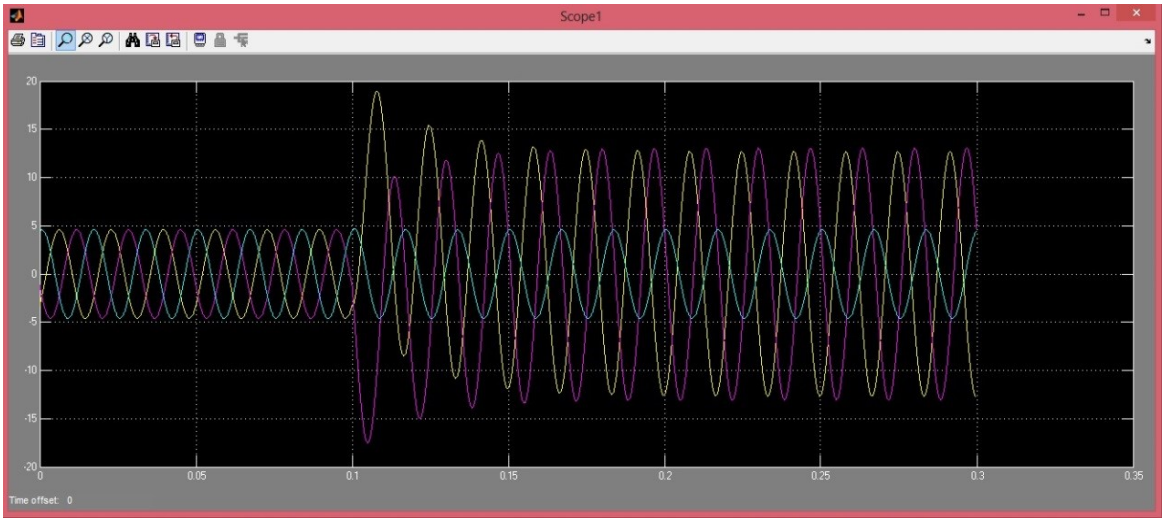
ภาพที่ 4.9 รูปคลื่นแรงดัน ณ จุดเกิดการลัดวงจรแบบ Phase to Ground Fault

4.2.2.3 Phase to Phase to Ground Fault (A-B-G)

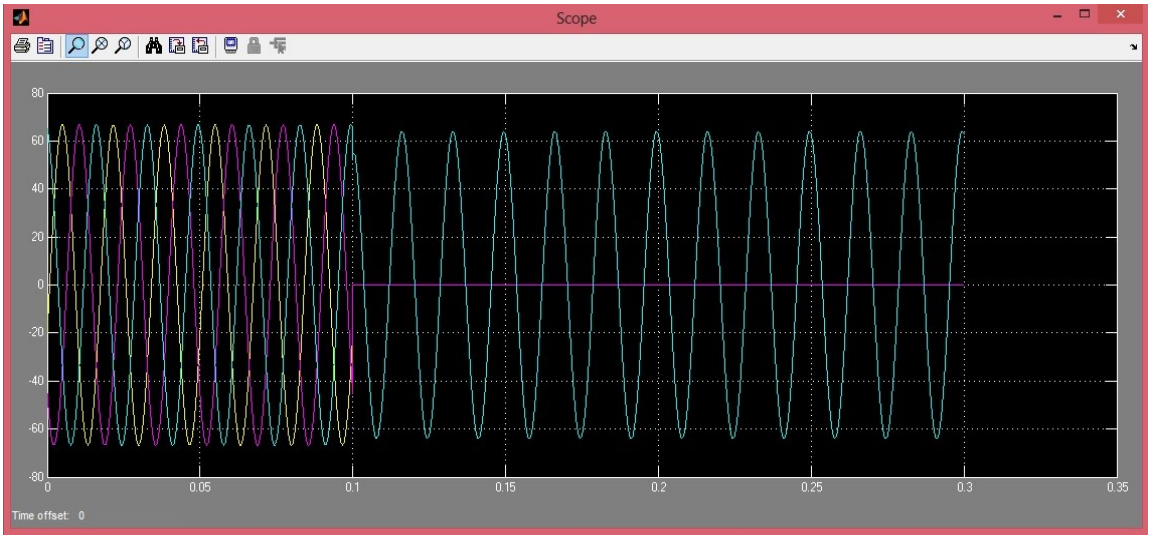
ขณะปกติ $V_p = 66\ V$, $I_P = 4.6\ A$

ขณะเกิดการลัดวงจร $I_A = I_B = 13\ A$, $I_C = 4.6\ A$, $V_A = V_B$ มีค่าน้อยมาก

$V_C = 66\ V$



ภาพที่ 4.10 รูปคลื่นกระแส ณ จุดเกิดการลัดวงจรแบบ Phase to Phase to Ground Fault



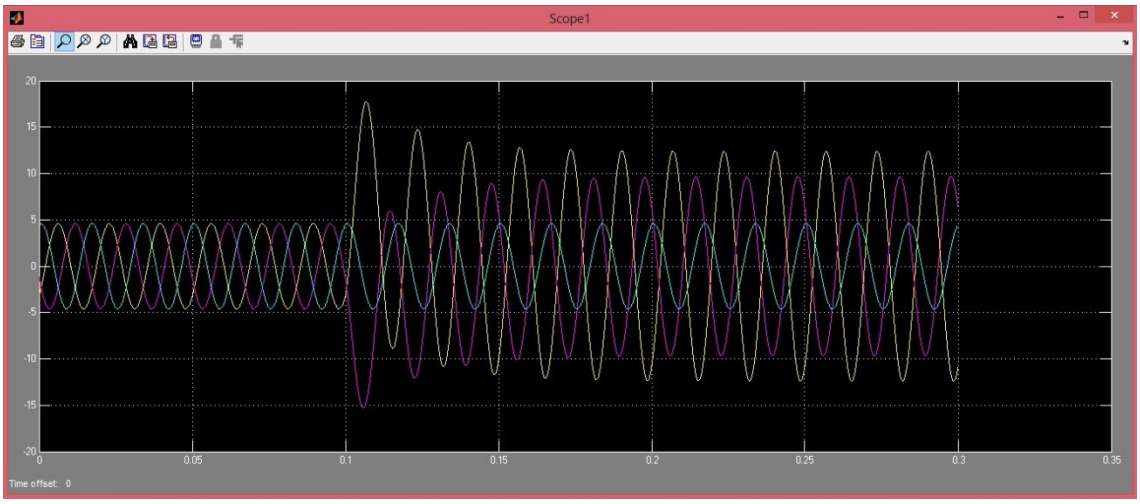
ภาพที่ 4.11 รูปคลื่นแรงดัน ณ จุดเกิดการลัดวงจรแบบ Phase to Phase to Ground Fault

4.2.2.4 Phase to Phase Fault (A-B)

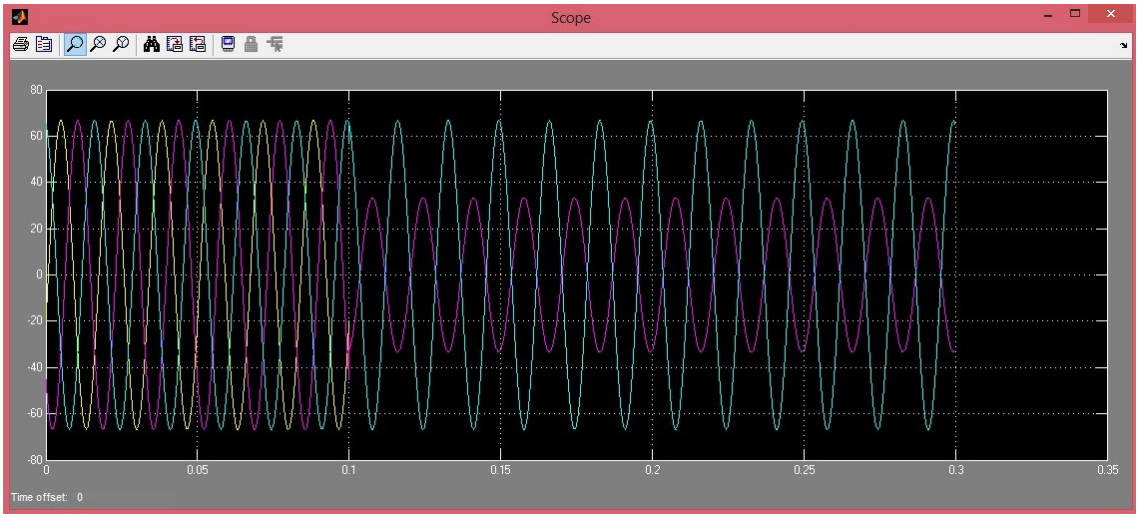
ขณะปกติ $V_p = 66\ V$, $I_P = 4.6\ A$

ขณะเกิดการลัดวงจร $I_A = 12.58\ A$, $I_B = 9.35\ A$, $I_C = 4.6\ A$

V_A มีค่าน้อยมาก , $V_B = 33.3\ V$, $V_C = 66\ V$



ภาพที่ 4.12 รูปคลื่นกระแส ณ จุดเกิดการลัดวงจรแบบ Phase to Phase Fault



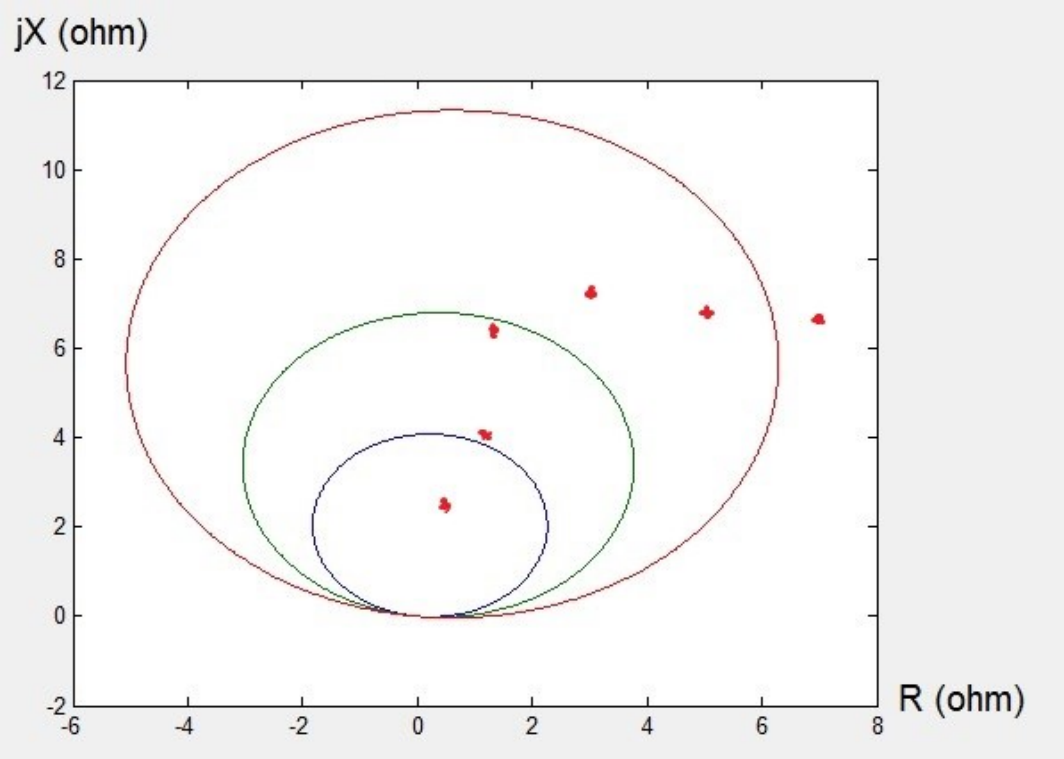
ภาพที่ 4.13 รูปคลื่นแรงดัน ณ จุดเกิดการลัดวงจรแบบ Phase to Phase Fault

4.3 การศึกษาค่าอิมพีแดนซ์บนกราฟคุณลักษณะของ mho relay

เลือกทำการศึกษาค่าอิมพีแดนซ์ ณ เวลาต่างๆ ซึ่งแสดงบนกราฟคุณลักษณะของ mho relay เพราะโดยส่วนมากการลัดวงจรแบบ Three Phase Fault จะทำให้เกิดค่ากระแสลัดวงจรสูง มากกว่าการลัดวงจรรูปแบบอื่นๆ โดยการนำข้อมูลจากกราฟกระแส แลกรงดัน ขณะเกิดการลัดวงจร มาหาค่าอิมพีแดนซ์ กรณีการลัดวงจรแบบ Three Phase Fault นั้นใช้สมการ (2.22) ในการแก้ปัญหา เมื่อได้ค่าอิมพีแดนซ์ ที่เวลาต่างๆ จากนั้นนำมาพลอตบนกราฟคุณลักษณะของ mho relay(R-X diagram)

4.3.1 จุดลัดวงจรระยะ 50 km ภายในเขตการป้องกันที่ 1

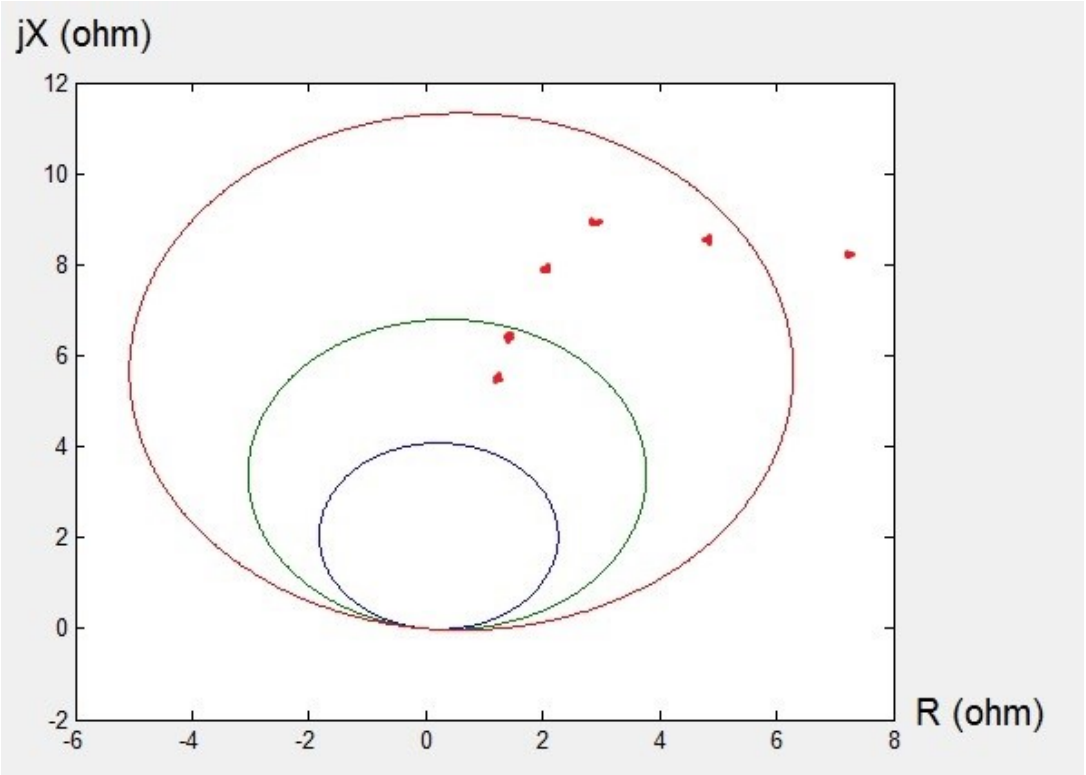
เมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นค่าอิมพีแดนซ์จะเปลี่ยนแปลงและวิ่งเข้าไปยังจุดที่ค่าอิมพีแดนซ์ในสภาวะคงตัวซึ่งจากการพลอตจะได้ค่า $Z = 0.543 + j2.46\ \Omega$ ซึ่งเป็นค่าอิมพีแดนซ์ที่รีเลย์มองเห็นและอยู่ในเขตการป้องกันที่ 1 ตามที่กำหนด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าอิมพีแดนซ์ของการคำนวณที่จุด 50 km $Z_{50km} = 0.435 + j2.25\ \Omega$ (คำนวณไว้แล้วในส่วนของ GUI ในข้อ 4.1.2)



ภาพที่ 4.14 บันทึกค่าอิมพีแดนซ์บน R-X diagram ที่ 50 km

4.3.2 จุดลัดวงจรระยะ 130 km ภายในเขตการป้องกันที่ 2

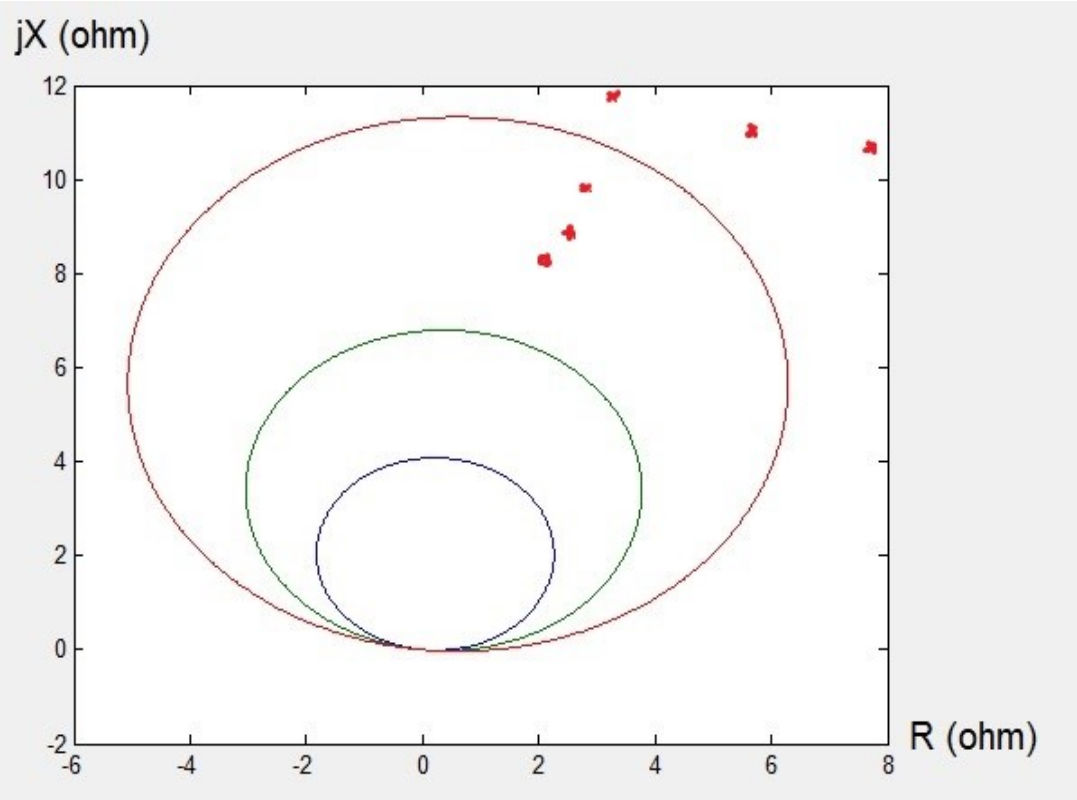
เมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นค่าอิมพีแดนซ์จะเปลี่ยนแปลงและวิ่งเข้าไปยังจุดที่ค่าอิมพีแดนซ์ในสภาวะคงตัวซึ่งจากการพลอตจะได้ค่า $Z = 0.583 + j5.246\ \Omega$ ซึ่งเป็นค่าอิมพีแดนซ์ที่รีเลย์มองเห็นและอยู่ในเขตการป้องกันที่ 2 ตามที่กำหนด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าอิมพีแดนซ์ของการคำนวณที่จุด 130 km $Z_{130km} = 0.625 + j5.872\ \Omega$ (คำนวณไว้แล้วในส่วนของ GUI ในข้อ 4.1.2)



ภาพที่ 4.15 บันทึกค่าอิมพีแดนซ์บน R-X diagram ที่ 130 km

4.3.3 จุดลัดวงจรระยะ 170 km ภายในเขตการป้องกันที่ 3

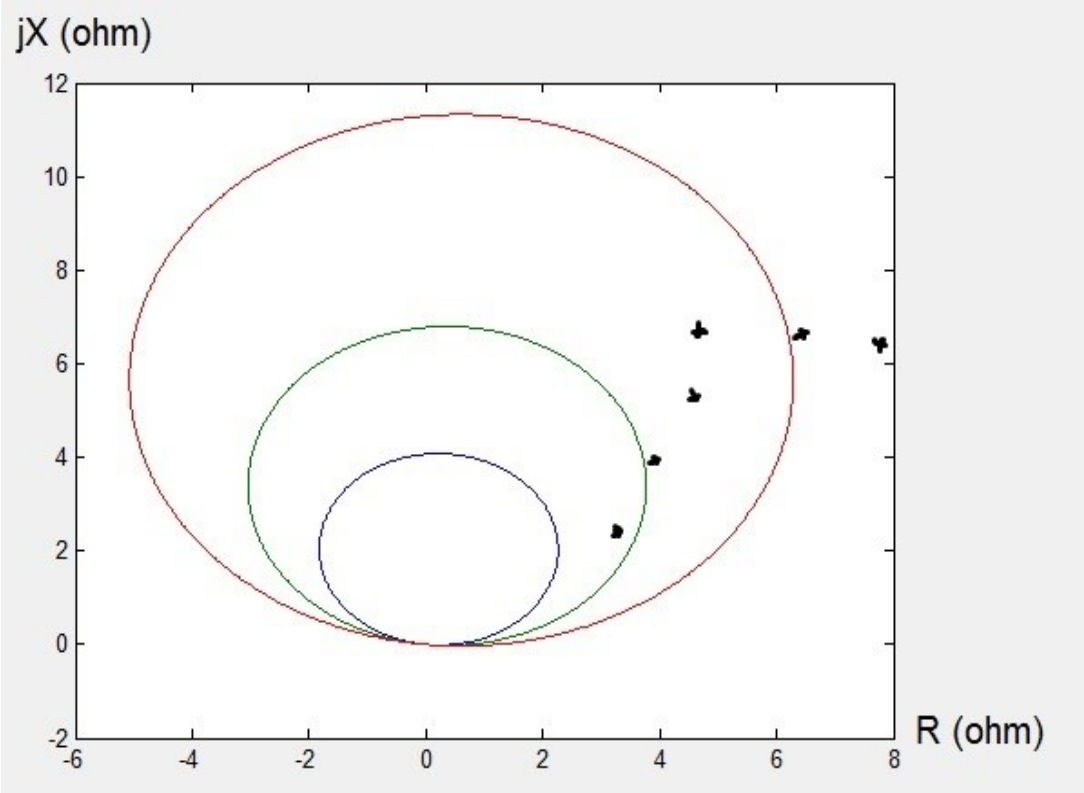
เมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นค่าอิมพีแดนซ์จะเปลี่ยนแปลงและวิ่งเข้าไปยังจุดที่ค่าอิมพีแดนซ์ในสภาวะคงตัวซึ่งจากการพลอตจะได้ค่า $Z = 0.964 + j8.26\ \Omega$ ซึ่งเป็นค่าอิมพีแดนซ์ที่รีเลย์มองเห็นและอยู่ในเขตการป้องกันที่ 3 ตามที่กำหนด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าอิมพีแดนซ์ของการคำนวณที่จุด 170 km $Z_{170km} = 0.823 + j7.679\ \Omega$ (คำนวณไว้แล้วในส่วนของ GUI ในข้อ 4.1.2)



ภาพที่ 4.16 บันทึกค่าอิมพีแดนซ์บน R-X diagram ที่ 170 km

4.3.4 ทดสอบผลกระทบจากค่า Fault Resistance

ทดลองตั้งค่าให้ Fault Resistance มี ค่า 20 Ω เกิดการลัดวงจรที่ 50 km ผลคือรีเลย์มองเห็นการเกิดการลัดวงจรไปอยู่ในขอบเขตการป้องกันที่ 2 แทน ตามปกติต้องอยู่ในโซนการป้องกันที่ 1 อันเนื่องมาจากค่า Fault Resistance ที่นำไปคิดค่าในวงจรทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ที่รีเลย์มองเห็นผิดพลาด



ภาพที่ 4.17 บันทึกค่าอิมพีแดนซ์บน R-X diagram ที่ 50 km with Fault Resistance