

บทที่ 4

การจำลองความผิดปกติเนื่องจากสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดและวิเคราะห์ผลการจำลอง

จากบทที่ผ่านมาได้กล่าวถึงการออกแบบการจำลองความผิดปกติของเหตุการณ์สายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระไฟฟ้า ทั้งออกแบบโดยโปรแกรม ATP หรือออกแบบโดยอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อจำลองในห้องปฏิบัติการ

ต่อไปจะเป็นการแสดงผลการจำลองความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระไฟฟ้าตามแบบการจำลองต่างๆ พร้อมทั้งวิเคราะห์ผลของสัญญาณกระแสที่ได้จากการจำลองความผิดปกติ

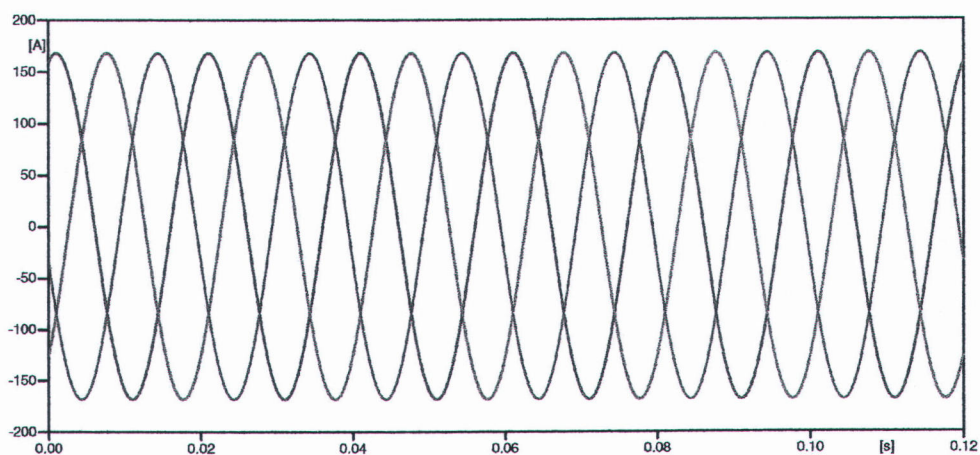
4.1 การจำลองความผิดปกติด้วยโปรแกรม (ATP – Alternative Transients Program) และวิเคราะห์ผลการจำลอง

4.1.1 การจำลองระบบไฟฟ้าแบบรัศมี (radial circuit) เมื่อภาระเป็นแบบเดลต้า (Delta load)

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้านแรงดันสูงปานกลาง (Medium voltage) นั้น ภาระโดยส่วนใหญ่เป็นการต่อแบบเดลต้า (Delta connection) เพราะฉะนั้นจึงทำการจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้ภาระเป็นแบบเดลต้า เพื่อให้ได้ลักษณะที่ใกล้เคียงกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าจริง

4.1.1.1 ผลการจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า เมื่อสภาวะปกติ

ได้รูปคลื่นกระแสสายของทั้งสามเฟส ดังภาพที่ 4.1



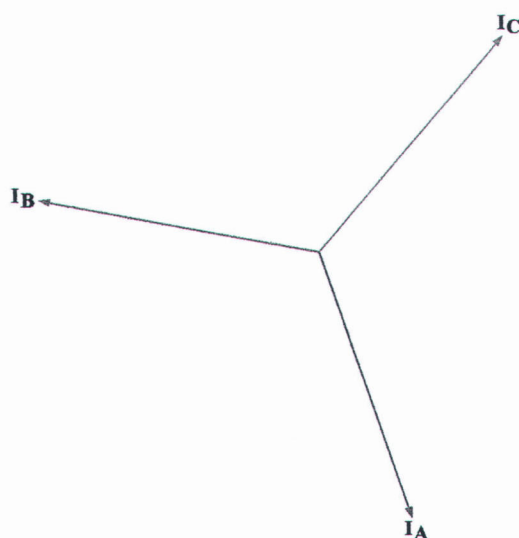
ภาพที่ 4.1 สัญญาณของกระแสสายทั้งสามเฟส ในสภาวะปกติ

กระแสสายที่ตรวจวัดได้ในทั้งสามเฟส มีค่า พอสรุปได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลของกระแสสาย เมื่อระบบจำหน่ายอยู่ในสภาวะปกติ

I_A (แดง)			I_B (เขียว)			I_C (น้ำเงิน)		
กระแส (A)	มุมเฟส (degree)	เวลา เลื่อน (ms)	กระแส (A)	มุมเฟส (degree)	เวลา เลื่อน (ms)	กระแส (A)	มุมเฟส (degree)	เวลา เลื่อน (ms)
118.95	-70.9	-	118.95	169.38	-	118.95	49.66	-

จากตาราง 4.1 ของวงจรสายป้อนนี้ สามารถนำมาสร้างเวกเตอร์ของกระแสสายได้ โดยจะพบว่า ปริมาณของกระแสทั้งสามเฟสจะมีค่าเท่ากัน ไม่เกิดการเลื่อนเวลาของสัญญาณกระแสขึ้นในสภาวะปกติ และมีมุมเฟสของกระแสทำมุมกันอยู่ที่ 120 องศา ซึ่งเวกเตอร์ของกระแสที่ได้จากตารางที่ 4.1 นั้น แสดงด้วยภาพที่ 4.2

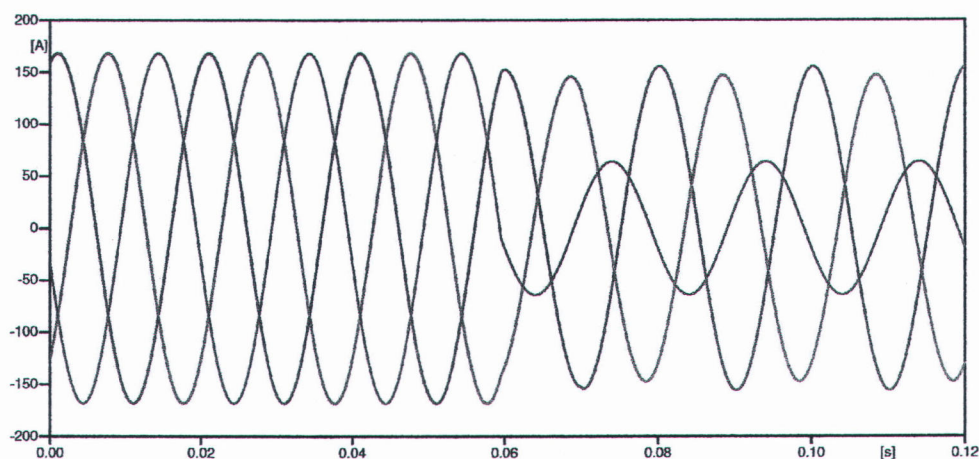


ภาพที่ 4.2 เวกเตอร์ของกระแสสาย เมื่อระบบไฟฟ้าอยู่ในสภาวะปกติ

ทั้งนี้เวกเตอร์ของกระแสสายในภาพที่ 4.2 นั้น ยังแสดงให้เห็นถึงความปกติของระบบไฟฟ้า เพราะมุมเฟสของกระแสสายแต่ละเฟสทำมุมกันที่ 120 องศา และมีขนาดของกระแสสายที่ใกล้เคียงกันในทุกเฟส

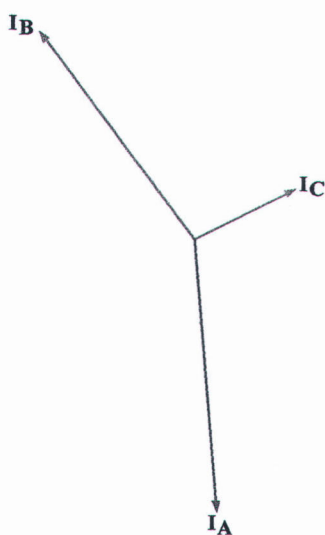
4.1.1.2 ผลการจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า ให้เกิดความผิดปกติเนื่องจากสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นดินภาระ กรณีที่ภาระไฟฟ้าเป็นแบบเคลด้า

ตัวอย่างสัญญาณกระแสสาย เมื่อเวลาเกิดความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นดินภาระ ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 ตัวอย่างสัญญาณของกระแสสาย เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในช่วงที่ 3 ของวงจรจำหน่ายไฟฟ้า โดยภาระเป็นเคลด้า

จากตัวอย่างสัญญาณของกระแสสาย เมื่อเกิดความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดในช่วงที่ 3 แล้วสัมผัสพื้นดินภาระ ซึ่งภาระเป็นแบบเคลด้า พบว่าสัญญาณในเฟส C มีขนาดกระแสสายที่ลดลงที่ชัดเจน ส่วนกระแสสายในเฟส A และ B นั้นลดลงเพียงเล็กน้อย ค่าขนาดของกระแสสายและมุมเฟสของกระแส สามารถนำมาสร้างเวกเตอร์ของกระแสทั้งสามเฟสได้ตามภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 ตัวอย่างเวกเตอร์ของกระแสสาย เมื่อระบบไฟฟ้าเกิดความผิดปกติ ซึ่งภาระเป็นเคลด้า

การวิเคราะห์สัญญาณกระแสที่ได้จากการจำลองความผิดปกติของ แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลของกระแสสายทั้งสามเฟส เมื่อจำลองความผิดปกติลงบนเฟส “C”

ณ ช่วงความยาวสายต่างๆ โดยภาระเป็นเคลต้า

ช่วง สายที่ ขาด	I_A (แอมป์)			I_B (แอมป์)			I_C (น้ำเงิน)		
	กระแส (A)	มุมเฟส (degree)	คาบ เวลา (ms)	กระแส (A)	มุมเฟส (degree)	คาบ เวลา (ms)	กระแส (A)	มุมเฟส (degree)	คาบ เวลา (ms)
1	104.80	-99.74	18.579	101.69	90.80	21.647	0.000	-99.74	0.000
2	106.97	-94.74	18.852	102.28	106.30	21.341	22.70	13.47	19.600
3	109.99	-85.37	19.179	104.02	126.42	21.014	45.38	26.57	19.646
4	111.71	-81.04	19.401	107.42	139.75	20.731	63.88	32.86	19.840
5	113.86	-76.92	19.625	111.23	151.64	20.462	82.37	39.41	19.915
6	116.31	-73.52	19.851	115.19	161.15	20.254	100.73	44.84	19.991

ผลที่ได้จากการจำลอง จะพบว่าการลดลงของกระแสภาระเดิม และยังมีมุมเฟสเปลี่ยนแปลงไปอีกด้วย เมื่อเกิดเหตุการณ์สายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ ทั้งนี้เพราะเมื่อเกิดความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นด้านภาระขึ้นในระบบไฟฟ้า ระบบไฟฟ้าจะทำการปรับเข้าสู่สมดุลใหม่

จากผลการจำลองความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระในระบบจำหน่ายไฟฟ้าในตารางที่ 4.2 สามารถนำมาทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมได้ โดยการเพิ่มการเปรียบเทียบในมิติของการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแส และการเปรียบเทียบในมิติของการเปลี่ยนแปลงเวลาของสัญญาณ เพื่อความชัดเจนในการแยกแยะ หรือระบุความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระได้ดีขึ้น โดยการเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงเวลาของกระแส ถูกแสดงในตารางที่ 4.3 ส่วนตารางที่ 4.5 จะแสดงการเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสสายเมื่อเกิดความผิดปกติ

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบเวลาของสัญญาณกระแสที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม
เมื่อเกิดความผิดปกติในเฟส “C” ที่ระยะสายจำหน่ายช่วงต่างๆ

ช่วงสาย ที่ขาด	I _A (แดง)		I _B (เขียว)		I _C (น้ำเงิน)	
	คาบเวลา (ms)	การเลื่อน เวลา (ms)	คาบเวลา (ms)	การเลื่อน เวลา (ms)	คาบเวลา (ms)	การเลื่อน เวลา (ms)
1	18.579	-1.421	21.647	1.647	-	-
2	18.852	-1.148	21.341	1.341	19.600	-0.400
3	19.179	-0.821	21.014	1.014	19.646	-0.354
4	19.401	-0.599	20.731	0.731	19.840	-0.160
5	19.625	-0.375	20.462	0.462	19.915	-0.085
6	19.851	-0.149	20.254	0.254	19.991	-0.009

การเปรียบเทียบในมิติของเวลาจากตารางด้านบน พบว่าเหตุการณ์สายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้ว สัมผัสพื้นด้านภาระที่ระยะสายจำหน่ายใดๆ กระแสเฟส “C” จะมีการเลื่อนเวลาของสัญญาณ กระแสที่น้อยที่สุด นั่นแสดงว่า สายจ่ายไฟฟ้าเฟสที่ขาดจะมีการเลื่อนเวลาที่น้อยที่สุด เมื่อเทียบกับ สัญญาณกระแสในเฟสอื่น

เพื่อยืนยันผลลัพธ์ของการเปลี่ยนแปลงเวลาของสัญญาณกระแสดังกล่าว จึงเพิ่มการจำลอง ความผิดปกติแบบสายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระบนระยะสายจำหน่าย 14.5 กิโลเมตร (ช่วงที่ 4) ในเฟส “A” และ “B” ตามลำดับแล้ว เปรียบเทียบเวลาของสัญญาณกระแสที่เลื่อนไปจากระบบไฟฟ้าปกติ ผลการวิเคราะห์เพิ่มเติมนั้น พอสรุปได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์การเลื่อนเวลาของกระแส เมื่อเกิดความผิดปกติในเฟส “A” และ “B”
แล้วสัมผัสพื้นด้านภาระแบบเดลต้า

เฟสที่ขาด	I _A (แดง)		I _B (เขียว)		I _C (น้ำเงิน)	
	คาบเวลา (ms)	การเลื่อน เวลา (ms)	คาบเวลา (ms)	คาบเวลา (ms)	การเลื่อน เวลา (ms)	คาบเวลา (ms)
A	19.816	-0.184	19.316	-0.684	20.764	0.764
B	20.660	0.660	19.842	-0.158	19.290	-0.710

พบว่า เมื่อเกิดเหตุการณ์ความผิดปกติดังกล่าว ในเฟส “A” การเลื่อนเวลาของสัญญาณกระแสของเฟส “A” จะมีเวลาที่เปลี่ยนไปน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับเฟสที่ไม่ได้เกิดความผิดปกติ ส่วนการขาดในเฟส “B” จะได้ผลเช่นเดียวกับเหตุการณ์สายไฟฟ้าขาดในเฟส “A” และ “C”

จึงสรุปผลการจำลองความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นด้านภาระ ในด้านการวิเคราะห์เชิงการเลื่อนเวลาได้ว่า “ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีภาระด้านแรงสูงปานกลางเป็นแบบการต่อเคลด้า (Delta connection) ซึ่งเป็นลักษณะส่วนใหญ่ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าของประเทศไทย จะมีการเลื่อนเวลาของสัญญาณกระแสเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมน้อยที่สุด ในเฟสที่สายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ”

ต่อไปจะวิเคราะห์ในด้านขนาดของกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปจากกระแสโหลด เมื่อเกิดความผิดปกติแบบสายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ ผลการจำลองความผิดปกติฯ พอสรุปได้ดังในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแส เมื่อเกิดความผิดปกติฯ ในเฟส “C” แต่ละช่วงของสายจำหน่ายแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระแบบเคลด้า

ช่วงสาย ที่ขาด	I _A (แดง)		I _B (เขียว)		I _C (น้ำเงิน)	
	กระแส (A)	เปลี่ยนแปลง (%)	กระแส (A)	เปลี่ยนแปลง (%)	กระแส (A)	เปลี่ยนแปลง (%)
1	104.80	11.90	101.69	14.51	0.000	100.00
2	106.97	10.07	102.28	14.02	22.70	80.92
3	109.99	7.54	104.02	12.56	45.38	61.85
4	111.71	6.09	107.42	9.69	63.88	46.29
5	113.86	4.28	111.23	6.49	82.37	30.76
6	116.31	2.23	115.19	3.17	100.73	15.32

จากผลการวิเคราะห์ในมิติของขนาดกระแสดังกล่าว พบว่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสของเฟส “C” จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด เมื่อเทียบกับเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสของเฟสอื่น

ทำการวิเคราะห์ด้านการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสเพิ่มเติม เพื่อยืนยันผลลัพธ์ของการเปลี่ยนแปลง โดยจะทำการจำลองเหตุการณ์สายจ่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระบนระยะทาง

14.5 กิโลเมตร (ช่วงที่ 4) ในเฟส “A” และ “B” ตามลำดับ ผลการจำลองเพิ่มเติมนี้ พอจะวิเคราะห์เพิ่มเติมได้ตามตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแส เมื่อเกิดความผิดปกติบนเฟส “A” และ “B” แล้วสัมผัสพื้นด้านภาระแบบเดลต้า

เฟส ที่ขาด	I _A (แดง)		I _B (เขียว)		I _C (น้ำเงิน)	
	กระแส (A)	เปลี่ยนแปลง (%)	กระแส (A)	เปลี่ยนแปลง (%)	กระแส (A)	เปลี่ยนแปลง (%)
A	63.89	46.29	109.46	7.98	106.11	10.80
B	107.43	9.69	63.88	46.30	111.71	6.09

พบว่าเมื่อมีความผิดปกติเกิดขึ้นในเฟส “A” จะมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงขนาดที่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงของกระแสเฟสอื่นๆ ส่วนผลที่ได้จากการจำลองความผิดปกติบนเฟส “B” จะได้ลักษณะเดียวกับเฟส “A”

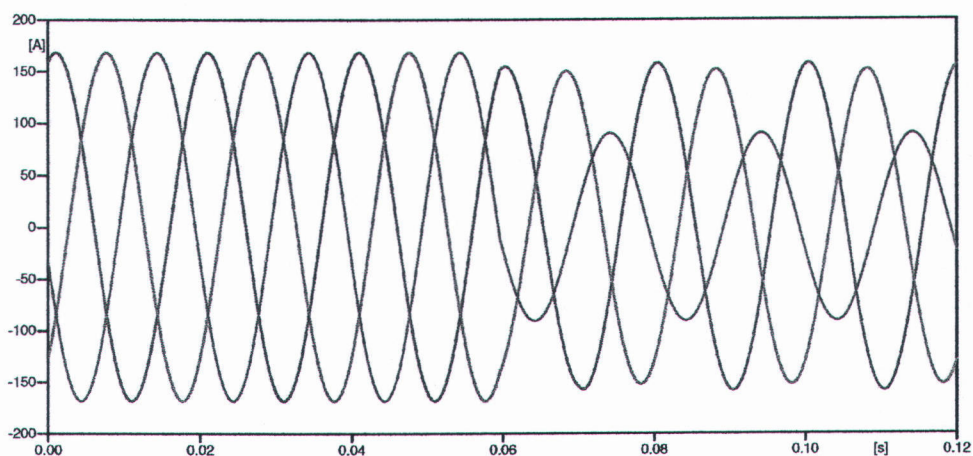
เพราะฉะนั้น จึงสรุปผลของความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นด้านภาระ ในด้านของการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสสายได้ว่า “ในระบบจำหน่ายที่มีภาระด้านไฟฟ้าแรงสูงปานกลางเป็นการต่อแบบเดลต้า (Delta connection) นั้น เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสจะเกิดขึ้นมากที่สุดในเฟสที่สายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นด้านภาระ”

4.1.2 การจำลองระบบไฟฟ้าแบบรัศมี (Radial circuit) เมื่อภาระเป็นแบบวาย 3 เฟส 3 สาย (Load wye without neutral)

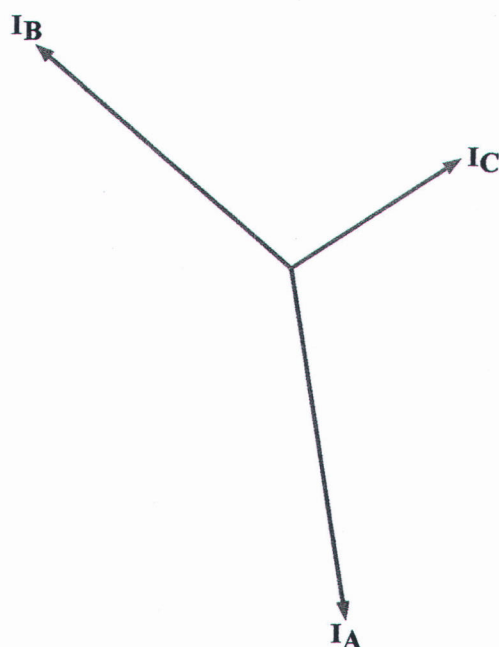
หัวข้อนี้จะเปลี่ยนภาระไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองจากเดลต้าไปเป็นวาย 3 เฟส 3 สาย (Load wye without neutral) และจากการจำลองระบบจำหน่ายที่มีภาระเป็นวาย 3 เฟส 3 สายในสถานะปกติ พบว่ามีผลการจำลองเหมือนกับระบบจำหน่ายที่มีภาระเป็นเดลต้าในสถานะปกติ ดังนั้นจึงไม่ขอกล่าวถึงสถานะปกติของระบบจำหน่ายที่มีภาระเป็นวาย 3 เฟส 3 สาย โดยจะขอกกล่าวถึงการจำลองระบบจำหน่ายที่มีภาระแบบวาย 3 เฟส 3 สาย เมื่อเกิดความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นด้านภาระ ดังนี้

4.1.2.1 ผลการจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า ให้เกิดความผิดปกติเนื่องจากสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นด้านภาระ กรณีที่ภาระไฟฟ้าเป็นแบบวาย 3 เฟส 3 สาย

เมื่อทำการจำลองเหตุการณ์สายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ ซึ่งภาระเป็นแบบวาย 3 เฟส 3 สาย ในช่วงที่ 4 ของวงจรสายป้อนจำลอง ผลของกระแสสายที่ได้ เมื่อจำลองความผิดปกติ จะถูกแสดงด้วยสัญญาณกระแสทั้งสามเฟส ได้แก่ A, B และ C ซึ่งจะพบว่า สัญญาณกระแสในเฟส C (สีน้ำเงิน) จะมีขนาดของกระแสที่ลดลงมากที่สุด เมื่อเทียบกับสัญญาณกระแส 2 เฟสที่เหลือ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 4.5 และจากสัญญาณกระแสในภาพที่ 4.5 สามารถวิเคราะห์แล้วสร้างเวกเตอร์ของสัญญาณกระแสสายได้ โดยแสดงไว้ในภาพที่ 4.6 ซึ่งจะพบว่าระบบไฟฟ้าไม่ได้อยู่ในสภาวะสมดุล เพราะเนื่องจากขนาดกระแสที่ลดลงของสัญญาณกระแสเฟส C และมุมเฟสระหว่างกระแสเฟส A กับกระแสเฟส B นั้น มุมเฟสทำมุมกันเกิน 120 องศา



ภาพที่ 4.5 สัญญาณของกระแสสาย เมื่อเกิดความผิดปกติ บนช่วงที่ 4 ของวงจรจำหน่ายไฟฟ้า โดยภาระเป็นแบบวาย 3 เฟส 3 สาย



ภาพที่ 4.6 เวกเตอร์กระแสสาย เมื่อระบบไฟฟ้าเกิดความผิดปกติ ซึ่งภาระเป็นสาย 3 เฟส 3 สาย

จากสัญญาณกระแสที่ได้จากการจำลองเหตุการณ์ความผิดปกติเนื่องจากสายจำหน่ายไฟฟ้าขาด แล้วตกลงมาสัมผัสกับพื้นด้านภาระ ผลของกระแสสายจะได้ตามตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลกระแสทั้งสามเฟส เมื่อเกิดเหตุการณ์ความผิดปกติบนเฟส “C” แล้วตกลงมาสัมผัสพื้นด้านภาระ แบบสาย 3 เฟส 3 สาย

ช่วง สายที่ ขาด	I_A (แดง)			I_B (เขียว)			I_C (น้ำเงิน)		
	ขนาด (A)	มุมเฟส (degree)	คาบ เวลา (ms)	ขนาด (A)	มุมเฟส (degree)	คาบ เวลา (ms)	ขนาด (A)	มุมเฟส (degree)	คาบ เวลา (ms)
4	111.71	-80.99	19.46	107.42	139.32	20.67	63.88	32.35	19.80

การวิเคราะห์ความผิดปกติเนื่องจากสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ เมื่อภาระเป็นประเภทสาย 3 เฟส 3 สาย จะทำการวิเคราะห์เหมือนในกรณีภาระที่เป็นแบบเดลด้า คือวิเคราะห์ด้านการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสและด้านการเลื่อนเวลาของสัญญาณกระแส โดยจะเพิ่มการจำลองสายจำหน่ายขาดในเฟส “A” และ “B” ด้วย เพื่อที่เป็นการยืนยันผลการจำลองความผิดปกติว่าการวิเคราะห์นี้ สามารถระบุหรือเจาะจงเฟสที่เกิดความผิดปกติลักษณะดังกล่าวได้ดียิ่งขึ้น การวิเคราะห์ความผิดปกติชนิดนี้ที่มีต่อภาระประเภทสาย 3 เฟส 3 สาย ได้ถูกวิเคราะห์แล้วแสดงในตารางที่ 4.8 เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นการวิเคราะห์ทั้งสองลักษณะคือ ทั้งการวิเคราะห์ด้วยการ

เปลี่ยนแปลงมิติของขนาดกระแสสาย และวิเคราะห์ด้วยมิติการเปลี่ยนแปลงเวลาของสัญญาณกระแสสาย ซึ่งจะพบการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบเหตุการณ์สายไฟฟ้าที่ขาดในเฟสเดียวกัน กล่าวคือ ถ้าจะพิจารณากรณีที่สายไฟฟ้าเฟส A ขาด ก็ให้พิจารณาในตารางที่ 4.8 โดยพิจารณาเฉพาะแถวที่เฟสที่ขาดเป็น เฟส A ซึ่งจะพบว่า การเปลี่ยนแปลงของขนาดกระแสเฟส A เกิดขึ้น 46.27%, เฟส B 6.03% และเฟส C 9.63% นั้นหมายความว่าเฟส A ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์ความผิดปกติพ่วงมากที่สุด จึงอาจสันนิษฐานได้ว่า สายไฟฟ้าเฟส A เป็นเฟสที่เกิดเหตุการณ์สายไฟฟ้าขาด ตารางที่ 4.8 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดและการเลื่อนเวลาของกระแส เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในเฟสต่างๆ แล้วสัมพันธ์พื่นด้านภาระแบบวาย 3 เฟส 3 สาย

เฟสที่ขาด	I_A (แดง)		I_B (เขียว)		I_C (น้ำเงิน)	
	กระแส (A)	เปลี่ยนแปลง (%)	กระแส (A)	เปลี่ยนแปลง (%)	กระแส (A)	เปลี่ยนแปลง (%)
A	63.88	46.27	111.73	6.03	107.44	9.63
B	107.43	9.64	63.88	46.26	111.71	6.04
C	111.71	6.04	107.42	9.65	63.88	46.26
เฟสที่ขาด	คาบเวลา (ms)	การเลื่อนเวลา (ms)	คาบเวลา (ms)	คาบเวลา (ms)	การเลื่อนเวลา (ms)	คาบเวลา (ms)
A	19.797	-0.203	19.297	-0.703	20.696	0.696
B	20.660	0.660	19.842	-0.158	19.290	-0.710
C	19.460	-0.540	20.672	0.672	19.799	-0.201

จากการวิเคราะห์ผลของกระแสในตารางที่ 4.8 พบว่าเมื่อเกิดความผิดปกติพ่วงเนื่องจากสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมพันธ์พื่นด้านภาระ ซึ่งเป็นประเภทวาย 3 เฟส 3 สาย จะเกิดลักษณะคล้ายกับภาระประเภทเคลด้า กล่าวคือ “เปอร์เซ็นต์ของการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสจะมีค่ามากที่สุด และสัญญาณกระแสที่เกิดการเลื่อนเวลาน้อยที่สุด จะปรากฏขึ้นในสายจำหน่ายไฟฟ้าเฟสที่ขาด”

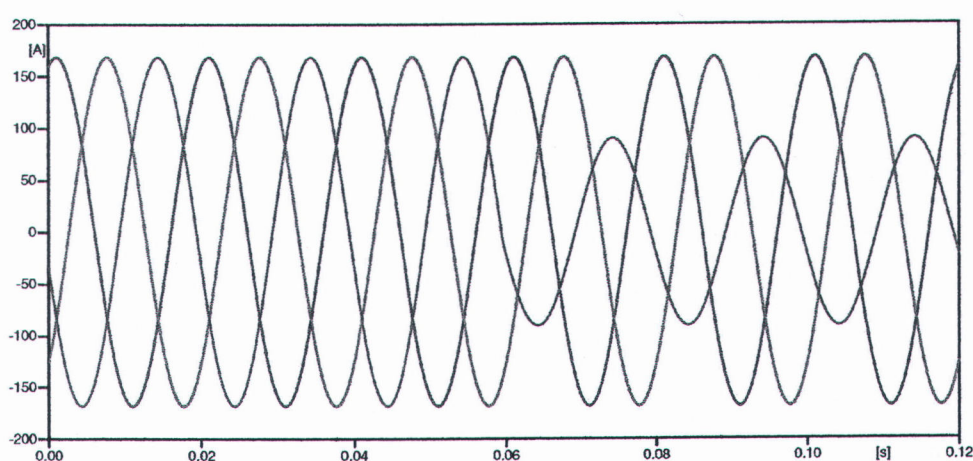
4.1.3 การจำลองระบบไฟฟ้าแบบรัศมี (radial circuit) เมื่อภาระเป็นแบบวาย 3 เฟส 4 สาย (Load wye with neutral)

หัวข้อนี้จะเปลี่ยนภาระไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองความผิดพลาดจากวาย 3 เฟส 3 สาย (Load wye without neutral) ไปเป็นวาย 3 เฟส 4 สาย (Load wye with neutral) และจากการจำลองระบบจำหน่ายที่มีภาระเป็นวาย 3 เฟส 4 สายในสถานะปกติ พบว่ามีผลการจำลองเหมือนกับระบบจำหน่ายที่มีภาระเป็นเดลต้าในสถานะปกติ ดังนั้นจึงไม่ขอกล่าวถึงสถานะปกติของระบบจำหน่ายที่มีภาระเป็นวาย 3 เฟส 4 สาย โดยจะขอกล่าวถึงการจำลองระบบจำหน่ายที่มีภาระแบบวาย 3 เฟส 4 สาย เมื่อเกิดความผิดพลาดแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นดินภาระ ดังนี้

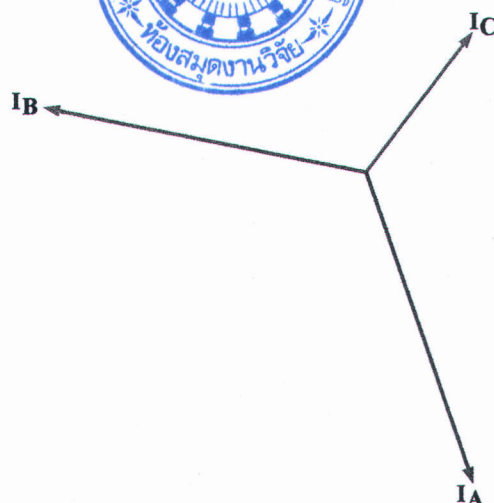
4.1.3.1 ผลการจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า ให้เกิดความผิดพลาดเนื่องจากสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นดินภาระ กรณีที่ภาระไฟฟ้าเป็นแบบวาย 3 เฟส 4 สาย

การจำลองความผิดพลาดแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นดินภาระ ซึ่งภาระเป็นแบบวาย 3 เฟส 4 สาย (Load wye with neutral) นี้จะทำการจำลองความผิดพลาดบนเฟส “C” ของสายจำหน่ายไฟฟ้าระยะทาง 14.5 กิโลเมตรจากสถานีไฟฟ้า (ช่วงที่ 4) ด้วยความต้านทานผิดพลาด 400 โอห์ม

ผลการจำลองความผิดพลาด ได้แสดงด้วยสัญญาณกระแสทั้งสามเฟส ดังภาพที่ 4.7 และสามารถสร้างเวกเตอร์ของกระแสสาย เมื่อเกิดความผิดพลาด โดยแสดงในภาพที่ 4.8 ซึ่งเวกเตอร์ของกระแสสายในภาพที่ 4.8 นั้น แสดงให้เห็นว่าระบบไฟฟ้าเกิดความไม่สมดุลขึ้น เมื่อเกิดความผิดพลาดแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสกับพื้นดินภาระ



ภาพที่ 4.7 สัญญาณของกระแสสาย เมื่อเกิดความผิดพลาด ในช่วงที่ 4 ของวงจรจำหน่ายไฟฟ้า โดยภาระเป็นแบบวาย 3 เฟส 4 สาย



ภาพที่ 4.8 เวกเตอร์กระแสสาย เมื่อระบบไฟฟ้าเกิดความผิดปกติ ซึ่งภาระเป็นสาย 3 เฟส 4 สาย

จากสัญญาณที่ได้จากการจำลองเหตุการณ์ความผิดปกติเนื่องจากสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้ว สัมผัสพื้นด้านภาระ พอสรุปผลได้ตามตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลกระแสทั้งสามเฟส เมื่อเกิดเหตุการณ์ความผิดปกติบนเฟส “C” บนระยะสายส่ง ช่วงที่ 4 แล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ แบบสาย 3 เฟส 4 สาย

ช่วง สายที่ ขาด	I_A (แดง)			I_B (เขียว)			I_C (น้ำเงิน)		
	ขนาด (A)	มุมเฟส (degree)	คาบ เวลา (ms)	ขนาด (A)	มุมเฟส (degree)	คาบ เวลา (ms)	ขนาด (A)	มุมเฟส (degree)	คาบ เวลา (ms)
4	118.89	-70.95	20	118.89	168.43	20	63.89	52.19	19.83

การวิเคราะห์ความผิดปกติเนื่องจากสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นด้านภาระ เมื่อภาระเป็นประเภทการต่อแบบสาย 3 เฟส 4 สาย จะทำการวิเคราะห์ความผิดปกติ เหมือนในกรณีของภาระที่เป็นแบบ สาย 3 เฟส 3 สาย คือวิเคราะห์ด้านการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสและวิเคราะห์ด้านการเลื่อนเวลาของสัญญาณกระแส โดยจะเพิ่มการจำลองเหตุการณ์สายจำหน่ายขาดในเฟส “A” และ “B” ด้วย เพื่อที่จะสามารถระบุหรือเจาะจงเฟสที่เกิดความผิดปกติในลักษณะดังกล่าวได้ดียิ่งขึ้น การวิเคราะห์กระแสสาย เมื่อเกิดความผิดปกติ ต่อภาระประเภทสาย 3 เฟส 4 สาย ผลการวิเคราะห์ด้านการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสสาย และการวิเคราะห์ด้านการเปลี่ยนแปลงเวลาของสัญญาณกระแสนั้น ได้ถูกแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดและการเลื่อนเวลาของกระแส เมื่อเกิดความผิดปกติ
ในเฟสต่างๆ แล้วสัมผัสพื้นด้านภาระแบบ วาย 3 เฟส 4 สาย

เฟส ที่ขาด	I_A (แดง)		I_B (เขียว)		I_C (น้ำเงิน)	
	กระแส (A)	เปลี่ยนแปลง (%)	กระแส (A)	เปลี่ยนแปลง (%)	กระแส (A)	เปลี่ยนแปลง (%)
A	63.89	46.26	118.91	0.018	118.89	0.000
B	118.87	0.018	63.89	46.26	118.88	0.006
C	118.89	0.000	118.89	0.000	63.89	46.26
เฟส ที่ขาด	คาบเวลา (ms)	การเลื่อนเวลา (ms)	คาบเวลา (ms)	การเลื่อนเวลา (ms)	คาบเวลา (ms)	การเลื่อนเวลา (ms)
A	19.797	-0.203	20	-	20	-
B	20	-	19.842	-0.158	20	-
C	20	-	20	-	19.830	-0.170

จากตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ผลของกระแสสาย เมื่อเกิดความผิดปกติเนื่องจากสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ ซึ่งเป็นประเภทวาย 3 เฟส 4 สาย สามารถแยกการวิเคราะห์ออกเป็น 2 กรณี คือ

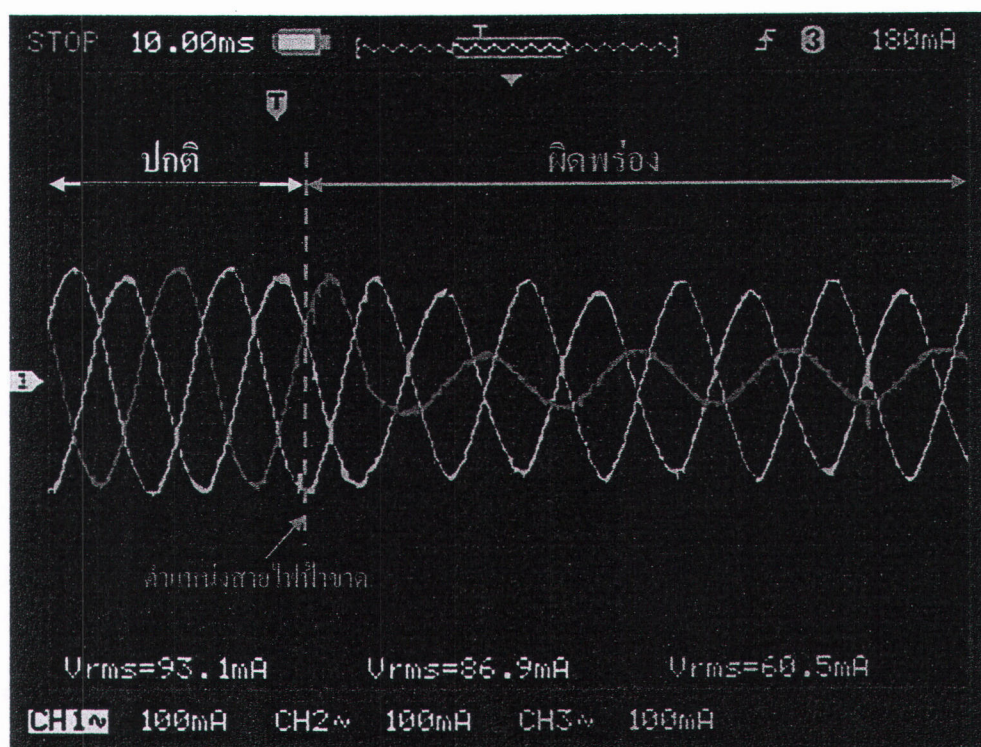
กรณีที่ 1 ด้านการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสสาย พบว่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสมีค่าการเปลี่ยนแปลงมากในสายจำหน่ายไฟฟ้าเฟสที่ขาด ซึ่งจะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเหมือนกับการต่อภาระแบบเดลต้า และวาย 3 เฟส 3 สาย

กรณีที่ 2 ด้านการเปลี่ยนแปลงการเลื่อนเวลาของสัญญาณกระแสสายมีลักษณะแตกต่างกับภาระประเภทเดลต้าหรือวาย 3 เฟส 3 สาย คือ สัญญาณกระแสสายมีการเลื่อนเวลาเกิดขึ้นเฉพาะในสายจำหน่ายไฟฟ้าเฟสที่ขาด

4.2 การจำลองความผิดปกติภายในห้องปฏิบัติการและวิเคราะห์ผลการทดลอง

การจำลองเหตุการณ์ความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสกับพื้นด้านภาระ ลงบนระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลองภายในห้องปฏิบัติการนั้น จะทดลอง/วิจัยในลักษณะเดียวกันกับการจำลองความผิดปกติ ด้วยโปรแกรมประยุกต์

ผลของกระแสสาย เมื่อจำลองความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลอง ที่วัดรูปคลื่นผ่านดิจิตอลออสซิลโลสโคป ดังแสดงในภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 สัญญาณของกระแส เมื่อเกิดความผิดปกติ ในระหว่างช่วงที่ 2 กับ 3 ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลอง

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าในช่วงปกติ สัญญาณกระแสสายจะไม่มีเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเกิดเหตุการณ์สายจำหน่ายไฟฟ้าขาด ณ ตำแหน่งเส้นประสีแดงในภาพที่ 4.9 จะพบการเปลี่ยนแปลงกระแสสายในทุกเฟส และเฟส C เป็นเฟสที่มีการเปลี่ยนแปลงลดลงมากที่สุด ส่วนเฟส A และเฟส B มีการเปลี่ยนแปลงกระแสสายจากเดิมเล็กน้อย

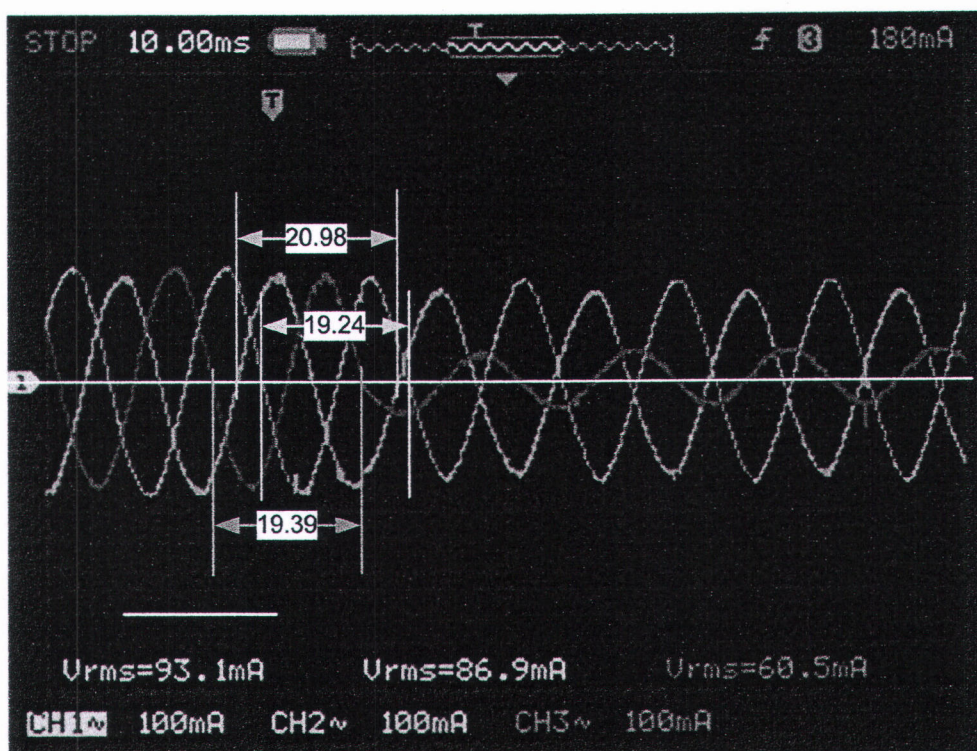
ปริมาณกระแสสายทั้งสามเฟสได้แสดงในรูปแบบของตาราง เมื่อเหตุการณ์ความผิดปกติแบบสายไฟฟ้าขาดได้ถูกจำลองในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลอง ตามตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ปริมาณกระแสทั้งสามเฟส เมื่อเกิดความผิดปกติในเฟส “C”

ช่วง สายที่ ขาด	I_A (เหลือง)			I_B (ฟ้า)			I_C (ชมพู)		
	ขนาด (mA)	มุมเฟส (degree)	คาบ เวลา (ms)	ขนาด (mA)	มุมเฟส (degree)	คาบ เวลา (ms)	ขนาด (mA)	มุมเฟส (degree)	คาบ เวลา (ms)
2-3	93.1	-50	19.24	86.9	142.64	20.98	60.5	46.82	19.38

จากสัญญาณของกระแสสาย เมื่อเกิดความผิดปกติ ในระหว่างช่วงที่ 2 กับ 3 ของระบบ
จำหน่ายไฟฟ้าจำลอง ในภาพที่ 4.9 นั้น สามารถวิเคราะห์ผลกระแสสายได้ 2 ลักษณะคือ ด้านการ
เปลี่ยนแปลงขนาดของกระแส และด้านการเปลี่ยนแปลงการเลื่อนของเวลา

การวิเคราะห์ด้านการเปลี่ยนแปลงการเลื่อนเวลานั้น ได้ถูกวิเคราะห์ลงไปในภาพที่ 4.10 ซึ่ง
พบว่าคาบเวลาของกระแสไฟฟ้าแต่ละเฟสจะเปลี่ยนแปลงไปจาก 20 มิลลิวินาทีทั้งสิ้น



ภาพที่ 4.10 วิเคราะห์ด้านการเลื่อนของเวลา เมื่อเกิดความผิดปกติ ในระหว่างช่วงที่ 2 กับ 3 ของ
ระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลอง

ส่วนการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดและการเลื่อนเวลาของสัญญาณกระแส และจากการ
วิเคราะห์ดังกล่าว พอสรุปได้ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดและการเลื่อนเวลาของกระแส เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมๆ
ในเฟส “C” แล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ

เฟส ที่ขาด	I _A (เหลือง)		I _B (ฟ้า)		I _C (ชมพู)	
	กระแส (mA)	เปลี่ยนแปลง (%)	กระแส (mA)	เปลี่ยนแปลง (%)	กระแส (mA)	เปลี่ยนแปลง (%)
C	93.10	5.95	86.90	12.22	60.50	38.88
เฟส ที่ขาด	คาบเวลา (ms)	การเลื่อนเวลา (ms)	คาบเวลา (ms)	การเลื่อนเวลา (ms)	คาบเวลา (ms)	การเลื่อนเวลา (ms)
C	19.24	-0.760	20.98	0.980	19.39	-0.610

ผลวิเคราะห์ของตารางด้านบน พบว่าเมื่อเกิดความผิดปกติเนื่องจากสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ ซึ่งภาระของชุดจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้านี้เป็นแบบวาย 3 เฟส 3 สาย จะได้ลักษณะที่ระบุความผิดปกติได้ดังนี้คือ “เปอร์เซ็นต์ของการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสจะมีค่ามากที่สุด และสัญญาณที่เกิดการเลื่อนเวลาน้อยที่สุด จะปรากฏขึ้นในสายจำหน่ายไฟฟ้าเฟสที่ขาด”

ตารางที่ 4.13 ลักษณะเฉพาะของความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ

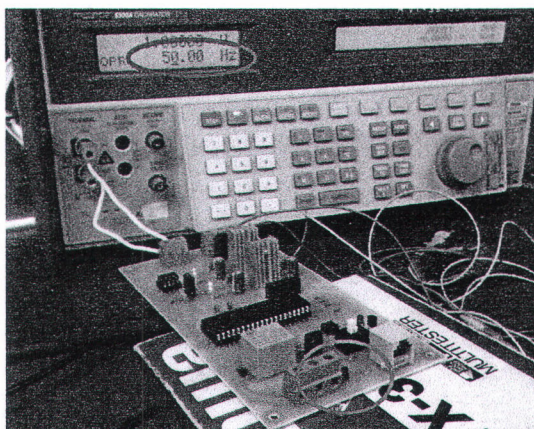
ภาระไฟฟ้า	จุดสังเกต	คุณลักษณะของความผิดปกติ	
		เฟสที่ปกติ	เฟสที่ขาด
เดลด้า	% การเปลี่ยนแปลงกระแส	ไม่เกิน 15% ของกระแสโหลด	มากกว่า 15% ของกระแสโหลด
	การเลื่อนเวลาของกระแส	เกิดการเลื่อนเวลา	เกิดการเลื่อนเวลา น้อยที่สุด
วาย 3 เฟส 3 สาย	% การเปลี่ยนแปลงกระแส	มีการลดลงของ กระแสโหลด	มีการลดลงของกระแส มากที่สุด
	การเลื่อนเวลาของกระแส	เกิดการเลื่อนเวลา	เกิดการเลื่อนเวลา น้อยที่สุด
วาย 3 เฟส 4 สาย	% การเปลี่ยนแปลงกระแส	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	มีการลดลงของกระแส
	การเลื่อนเวลาของกระแส	ไม่มีการเลื่อนเวลา	เกิดการเลื่อนเวลา

4.3 การทดสอบตรวจจับความผิดปกติจากเหตุการณ์สายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระด้วยวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์

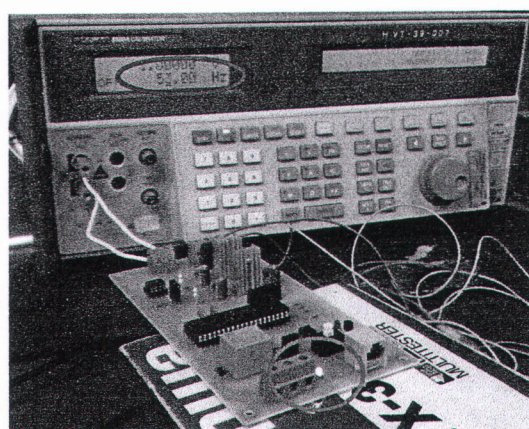
ในหัวข้อนี้จะเป็นการนำอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบตามหัวข้อการออกแบบเทคนิคการตรวจจับความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ มาทดลองตรวจจับความผิดปกติที่จะเกิดขึ้นในชุดจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าภายในห้องปฏิบัติการ

4.3.1 ทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติด้วยเครื่องสอบเทียบ

การทดสอบดังกล่าวจะเป็นการสมมติการเปลี่ยนแปลงคาบเวลาของสัญญาณขาเข้าด้วยเครื่องสอบเทียบ FLUKE รุ่น CALIBRATOR 5500A เข้าไปยังอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติฯ เสมือนว่าสัญญาณกระแสเกิดการเลื่อนเวลา การเลื่อนเวลาในที่นี้จะใช้การเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณแทนการเลื่อนเวลาของสัญญาณ



(ก) ในสภาวะปกติ (50 Hz)



(ข) ในสภาวะผิดปกติ (53 Hz)

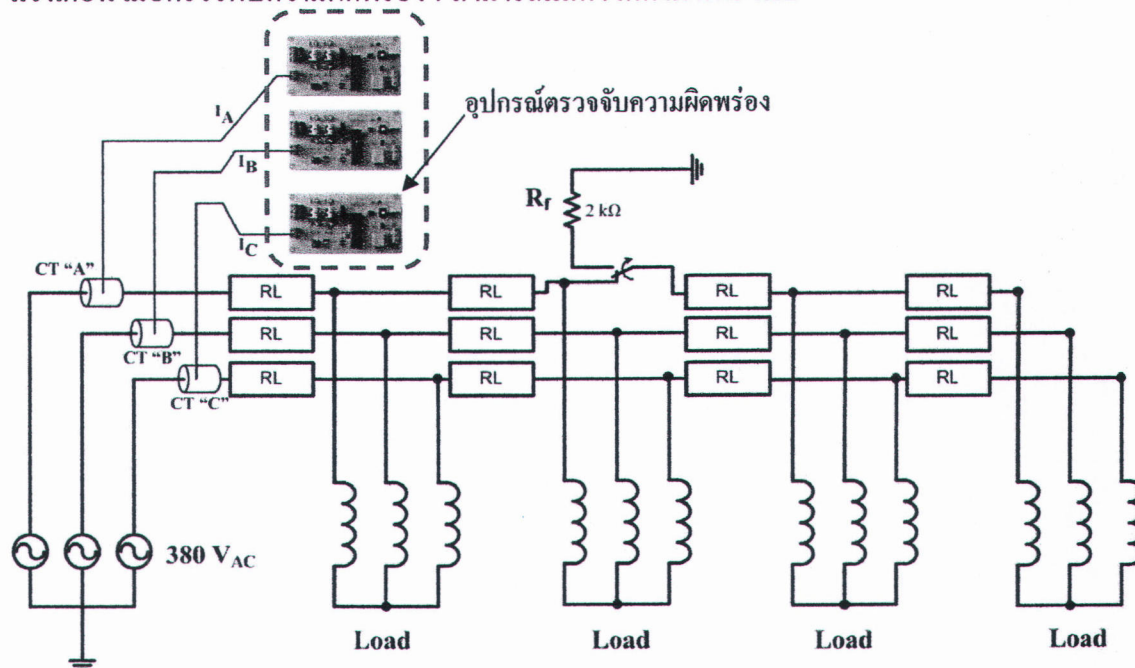
ภาพที่ 4.11 การทดลองอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติกับเครื่องสอบเทียบ

ในภาพที่ 4.11(ก) อุปกรณ์ตรวจจับฯ เมื่อพบว่าสัญญาณที่ตรวจวัดมีค่าความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ (วงกลมสีแดง) หรือคาบเวลา 20 มิลลิวินาที อุปกรณ์ตรวจจับฯ จะไม่มีสัญญาณแจ้งเตือนปรากฏขึ้น (หลอด LED ภายในวงกลมสีน้ำเงิน ไม่สว่าง)

ส่วนภาพที่ 4.11(ข) นั้นอุปกรณ์ตรวจจับฯ พบสัญญาณที่มีความถี่ 53 เฮิร์ตซ์ (วงกลมสีแดง) หรือคาบเวลา 18.87 มิลลิวินาที อุปกรณ์ตรวจจับฯ จะมีสัญญาณแจ้งเตือนปรากฏขึ้น (หลอด LED ภายในวงกลมสีน้ำเงิน สว่าง)

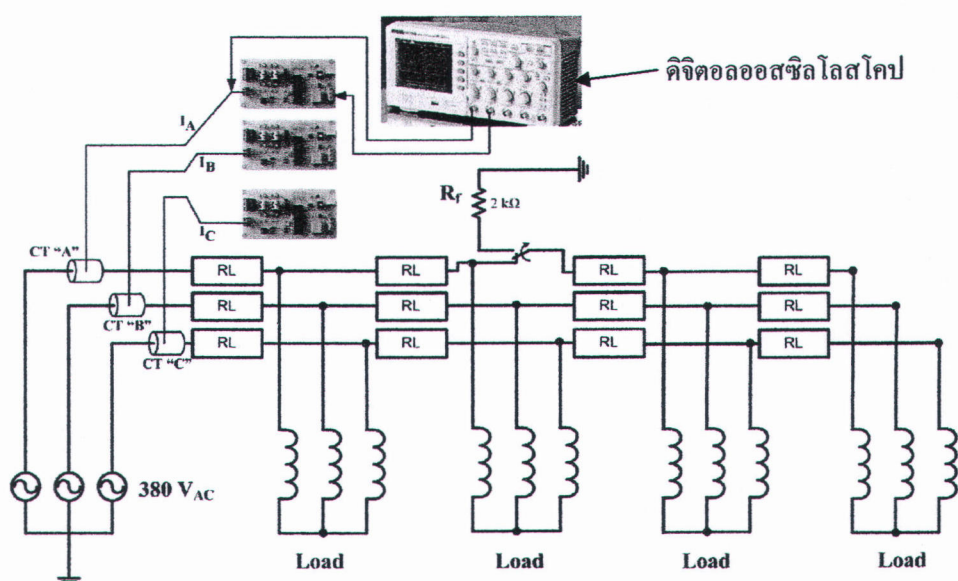
4.3.2 การทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติด้วยการจำลองความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลอง

วงจรการทดสอบความสามารถในการทำงานของอุปกรณ์ความผิดปกติฯ ให้ทำการป้องกันหรือแจ้งเตือน เมื่อตรวจพบความผิดปกติฯ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.12



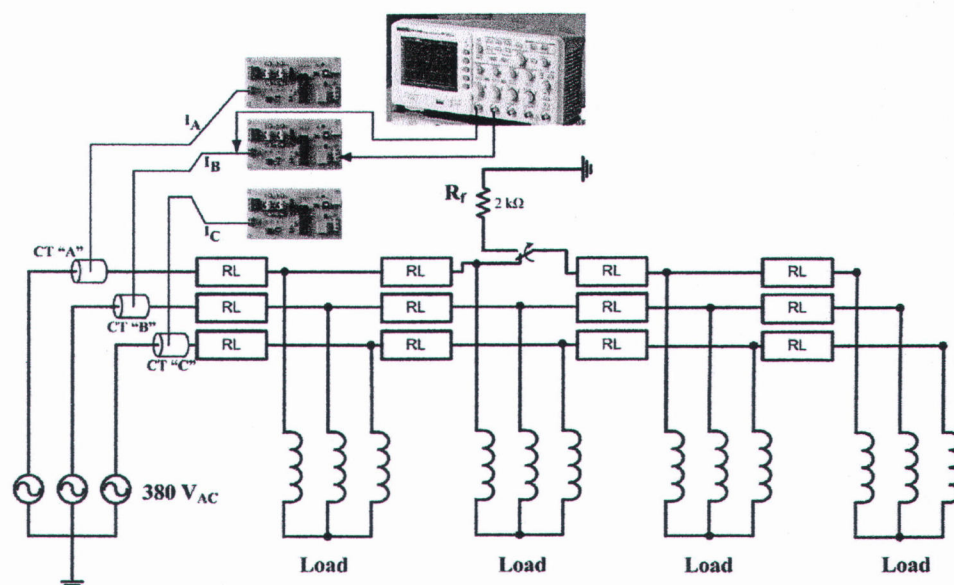
ภาพที่ 4.12 วงจรการทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับกับเหตุการณ์สายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมา สัมผัสพื้นด้านภาระแบบสาย 3 เฟส 3 สาย

ทดลองการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติในเฟส A โดยต้องวงจรตามภาพที่ 4.13



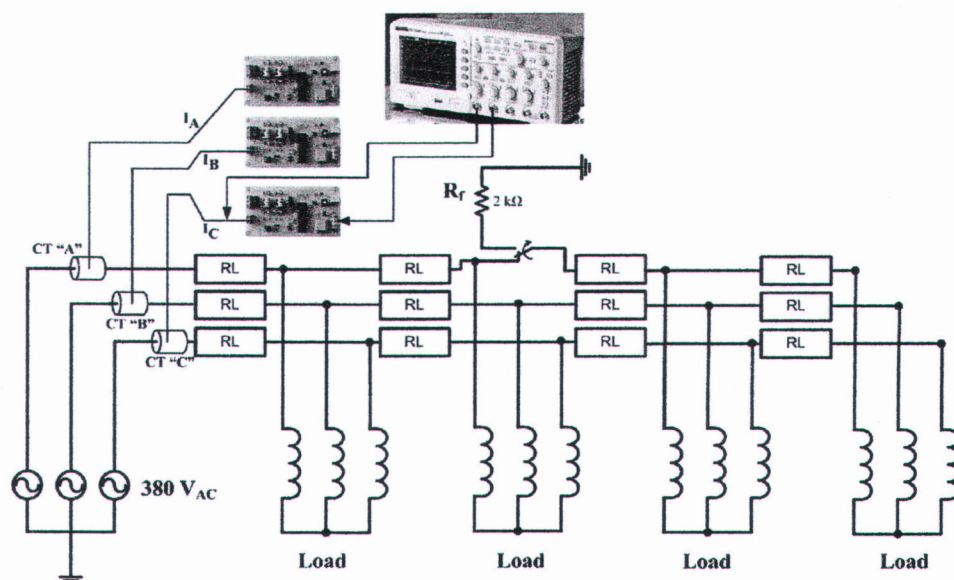
ภาพที่ 4.13 วงจรวัดสัญญาณกระแสเฟส A เทียบกับสัญญาณการทำงานของวงจรตรวจจับเฟส A

ทำการทดลองในลักษณะเดียวกันที่อุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติของเฟส B โดยต่อวงจรตามภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.14 วงจรวัดสัญญาณกระแสเฟส B เทียบกับสัญญาณการทำงานของวงจรตรวจจับเฟส B

ทำการทดลองในลักษณะเดียวกันที่อุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติของเฟส C โดยต่อวงจรตามภาพที่ 4.15



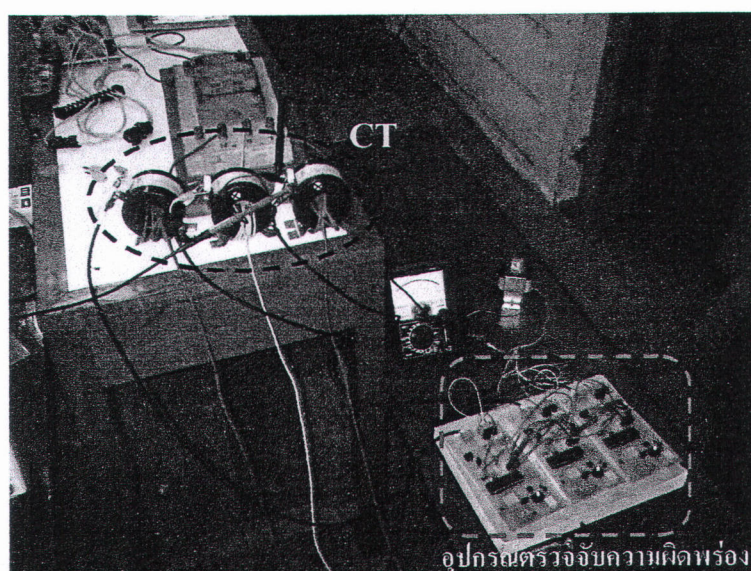
ภาพที่ 4.15 วงจรวัดสัญญาณกระแสเฟส C เทียบกับสัญญาณการทำงานของวงจรตรวจจับเฟส C

การทำการทดลองในลักษณะนี้ เพราะอุปกรณ์ตรวจจับฯ จะอาศัยหลักการเลื่อนเวลาและการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแส เมื่อตรวจพบการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวฯ อุปกรณ์ตรวจจับจะส่งสัญญาณแจ้งเตือนออกมา ด้วยเหตุนี้จึงต้องทำการเปรียบเทียบสัญญาณเข้า ซึ่งก็คือสัญญาณกระแส

ที่ได้จากหม้อแปลงวัดกระแส กับสัญญาณขาออก ซึ่งก็คือคือสัญญาณแรงดัน โดยใช้ CH1 ของ ออสซิลโลสโคป วัดสัญญาณขาเข้า ซึ่งเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับรูปคลื่นไซน์ ส่วน CH2 ของ ออสซิลโลสโคปทำการวัดสัญญาณขาออก (Output) ซึ่งคือสัญญาณแรงดันของอุปกรณ์ตรวจจับ ความผิดปกติ ซึ่งเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง

การทดลองทั้ง 3 กรณีดังกล่าวนี้ เป็นการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติ เมื่อจำลองความผิดปกติแบบสายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสดินในเฟส A ของระบบไฟฟ้าจำลอง ทั้งยังจะทำให้ทราบถึงเวลาในการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับฯ ว่ารวดเร็วเพียงใด เมื่อตรวจจับได้ว่า เกิดความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นดินภาระจันในระบบไฟฟ้า จำลอง

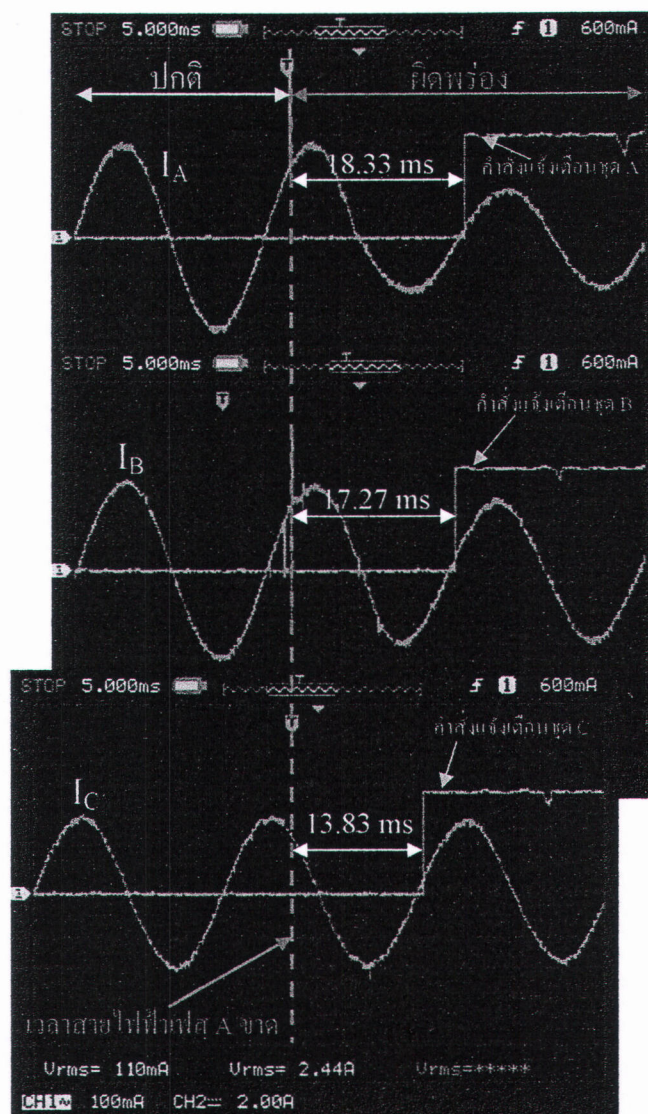
การนำอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติไปเฟ้ะวังระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลอง นั้นได้ถูกแสดงใน ภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.16 อุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติฯ ที่ต่อร่วมกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลอง

4.3.3 ผลการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติ

ผลการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติ นั้น จะแสดงผลการทำงานผ่านดิจิตอลออสซิลโลสโคป (Digital Oscilloscope) ซึ่งเป็นการแสดงผลของสัญญาณกระแสเทียบกับสัญญาณแรงดันของอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติ



ภาพที่ 4.17 แสดงการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติ ณ ตำแหน่งเวลาที่สายไฟฟ้าขาด

สัญญาณกระแสสาย และสัญญาณแรงดันของอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติ ได้ถูกแสดงไว้ ภาพที่ 4.17 โดยสัญญาณรูปคลื่นไซน์ (สีเหลือง) เป็นสัญญาณกระแสสายของเฟสต่างๆ ส่วนสัญญาณกระแสตรง (สีฟ้า) นั้นเป็นสัญญาณแรงดันของอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติใน

แต่ละเฟส จะพบว่าเมื่อเกิดเหตุการณ์สายไฟฟ้าขาด (เส้นประสีแดง) อุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติ จะใช้เวลาในการแจ้งเตือนแตกต่างกัน โดยอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติ ของเฟส A ใช้เวลาในการแจ้งเตือนอยู่ที่ 18.33 มิลลิวินาที, อุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติ ของเฟส B ใช้เวลาในการแจ้งเตือนอยู่ที่ 17.27 มิลลิวินาที และอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติ ของเฟส C ใช้เวลาในการแจ้งเตือนอยู่ที่ 13.83 มิลลิวินาที

จากการทดลองอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสกับพื้นด้านภาระ ทั้ง 3 ชุด คืออุปกรณ์ตรวจจับเฟส A, อุปกรณ์ตรวจจับเฟส B และอุปกรณ์ตรวจจับเฟส C พบว่าเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้า อุปกรณ์ทั้งสามชุดดังกล่าวสามารถที่จะตอบสนองต่อความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้ เพราะมีสัญญาณแจ้งเตือนปรากฏออกมาให้เห็น ส่วนในสถานะปกติของระบบไฟฟ้า อุปกรณ์ดังกล่าวก็ไม่ส่งสัญญาณแจ้งเตือนออกมา นับว่าอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นด้านภาระนั้น สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องตามหน้าที่การเฝ้าระวังระบบไฟฟ้า