สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
จำลองการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงในระบบจำหน่ายของ กฟน.

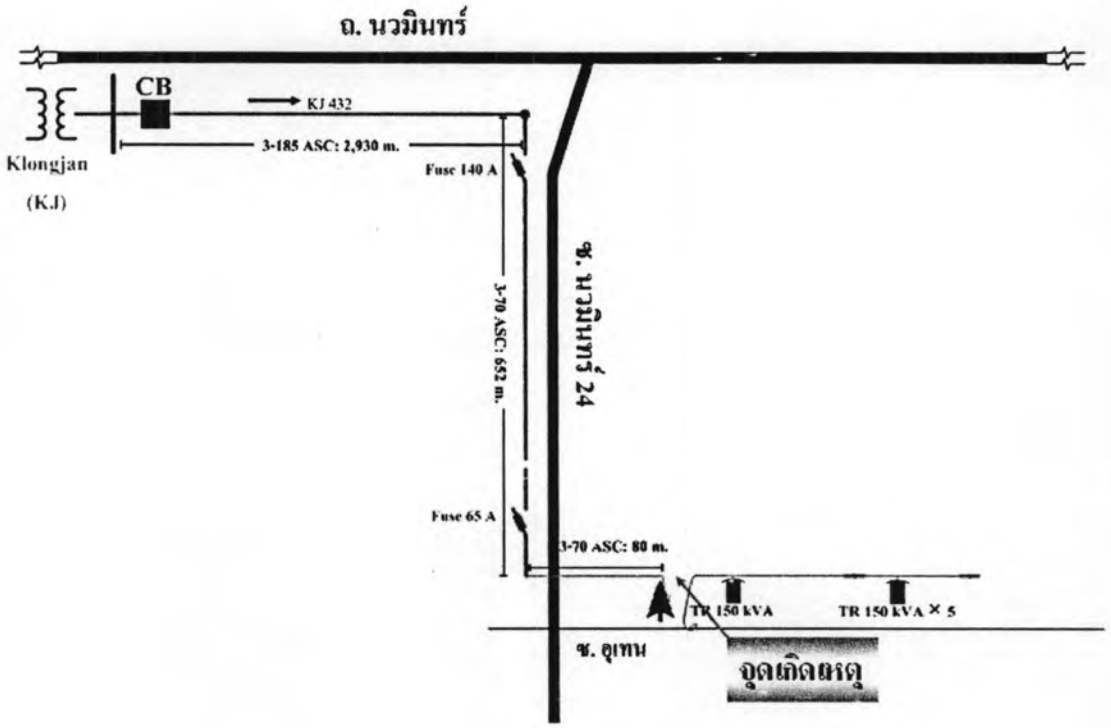
4.1 การจำลองการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูง

ในหัวข้อนี้จะพิจารณากรณีสายตัวนำไฟฟ้าขาดตกพื้นที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายของ กฟน. โดยใช้โปรแกรม ATP เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่สถานีย่อย ในขณะเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูง โดยทำการจำลองเหตุการณ์สายตัวนำไฟฟ้าขาดตกพื้นด้านแหล่งจ่ายและด้านโหลด เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้ไปพิจารณาร่วมกับการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินที่มีการติดตั้งใช้งานในสถานีย่อยของ กฟน.

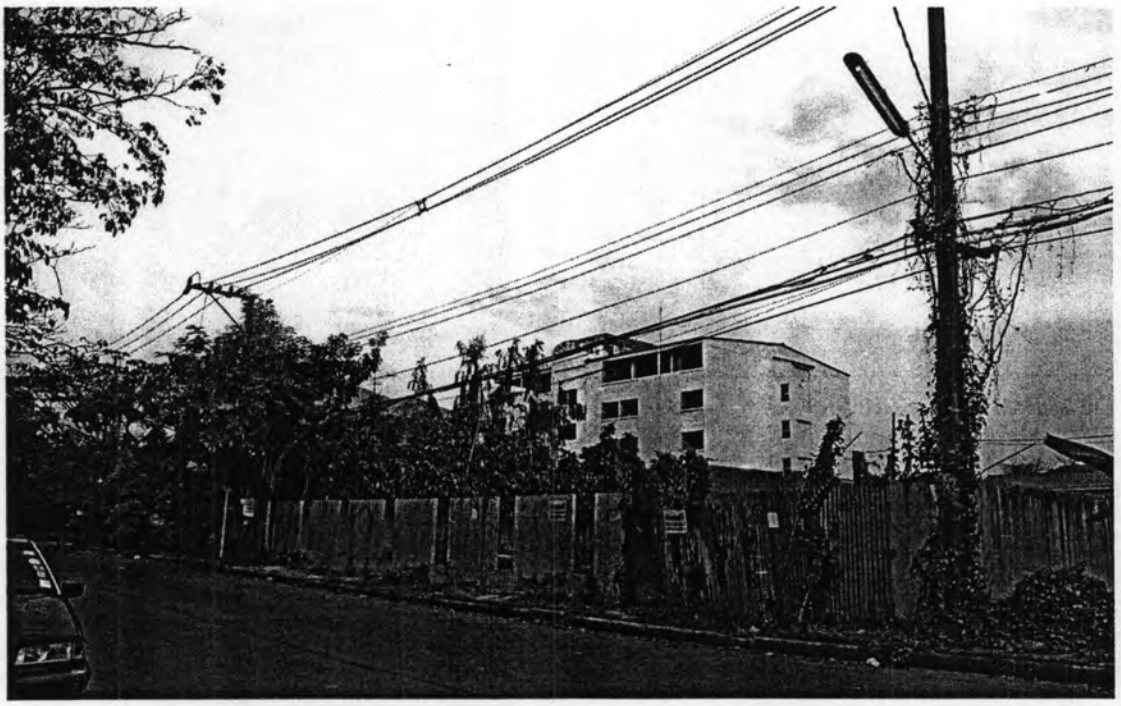
4.1.1 กรณีศึกษาเหตุการณ์สายตัวนำไฟฟ้าขาด

ในเขตพื้นที่จำหน่ายไฟฟ้าของ กฟน.ได้เกิดเหตุการณ์สายตัวนำไฟฟ้าขาดตกพื้นหลายเหตุการณ์ ซึ่งแต่ละครั้งสร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนที่สัญจรผ่านบริเวณที่เกิดเหตุ กรณีตัวอย่างที่จะนำมาศึกษาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นเหตุการณ์กรณีสายป้อนระบบจำหน่าย 24 กิโลโวลต์ ขาดตกโดนประชาชนที่สัญจรบนท้องถนนจนได้รับบาดเจ็บ โดยอุปกรณ์ป้องกันที่สถานีย่อยไม่สามารถตรวจจับได้ จึงถือเป็นประเด็นสำคัญที่ต้องทำการศึกษาและวิเคราะห์สาเหตุรวมถึงหาแนวทางการป้องกันเหตุการณ์ดังกล่าว ยกตัวอย่างกรณีเหตุการณ์เมื่อวันที่ 23 มิถุนายน 2550 เวลาประมาณ 17.30 น. เกิดเหตุสายตัวนำชนิด space aerial cable สายป้อน KJ-432 ของสถานีย่อยคลองจั่น ขาดที่เฟส C สถานที่เกิดเหตุอยู่ในซอยนวมินทร์ 24 ห่างจากสถานีย่อยประมาณ 3.7 กิโลเมตร จุดที่เกิดเหตุและสภาพพื้นที่ที่พบสายขาด แสดงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2

จากการตรวจสอบเบื้องต้นพบว่า spacer ตำแหน่งที่สายขาดชำรุด และก่อนเกิดเหตุการณ์สายตัวนำไฟฟ้าขาด อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินคือ ฟิวส์ ขนาด 140 และ 65 แอมแปร์ ขาดที่เฟส C พร้อมกัน จึงส่งพนักงานเพื่อตรวจสอบระบบจำหน่ายและเปลี่ยนฟิวส์ แล้วจ่ายไฟฟ้ากลับเข้าสู่ระบบ จากนั้นประมาณ 30 นาทีได้รับแจ้งจากประชาชนว่ามีเหตุการณ์สายตัวนำไฟฟ้าขาด โดยที่อุปกรณ์ป้องกันที่สถานีย่อยและในระบบจำหน่ายไฟฟ้าไม่สามารถตรวจจับได้



รูปที่ 4.1 แผนผังแสดงจุดเกิดเหตุสายตัวนำไฟฟ้าขาดตกพื้น



รูปที่ 4.2 สภาพพื้นที่ที่พบสายตัวนำไฟฟ้าขาดตกพื้น

4.1.2 การจำลองการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูง

ในหัวข้อนี้จะเป็นการจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าสายป้อน KJ-432 ที่เกิดเหตุการณ์สายตัวนำไฟฟ้าขาดตกพื้น โดยใช้โปรแกรม ATP จำลองการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูง กรณีสายตัวนำไฟฟ้าขาดตกลงพื้นด้านแหล่งจ่ายและด้านโหลด โดยค่าความต้านทานพื้นผิวมีทั้งแบบคงที่และแปรค่าได้เพื่อพิจารณาปริมาณกระแสไฟฟ้าที่สถานีย่อยต่อพื้นผิวชนิดต่างๆ แบบจำลองการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูง ใช้แบบจำลองที่นำเสนอโดย Emanuel และ Gulachensh [19] ส่วนค่าแรงดันอาร์ก อ้างอิงจาก Powertech labs [20] สภาพพื้นผิวที่เลือกใช้คือเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กแห้งมีความต้านทานประมาณ 360 โอห์ม [23]

4.1.2.1 ข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า

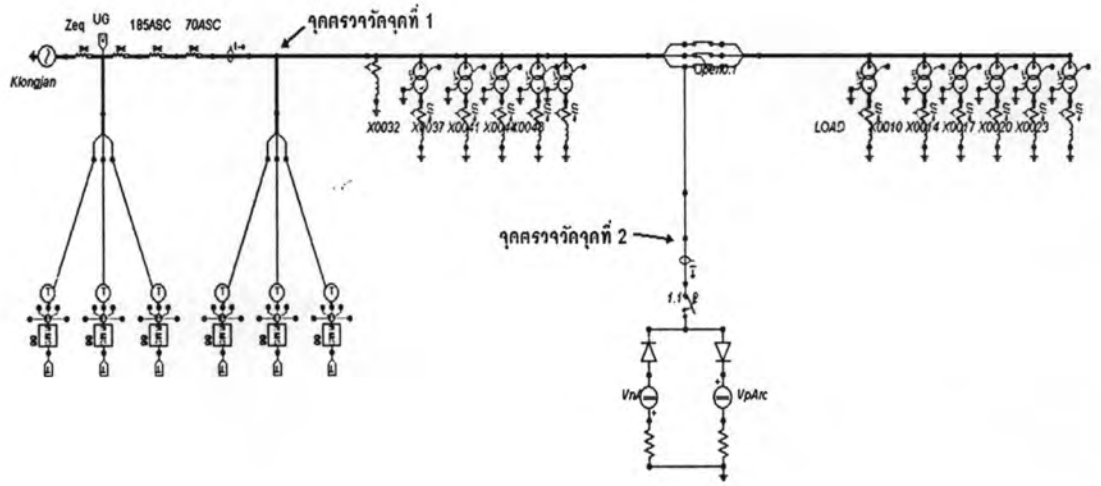
ในการจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าข้อมูลของอุปกรณ์ที่ใช้ในโปรแกรม ATP เพื่อคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าขณะเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูง ได้แก่ อิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายสถานีย่อย ค่าอิมพีแดนซ์ของสายป้อน และปริมาณโหลดของสายป้อน สรุปดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า

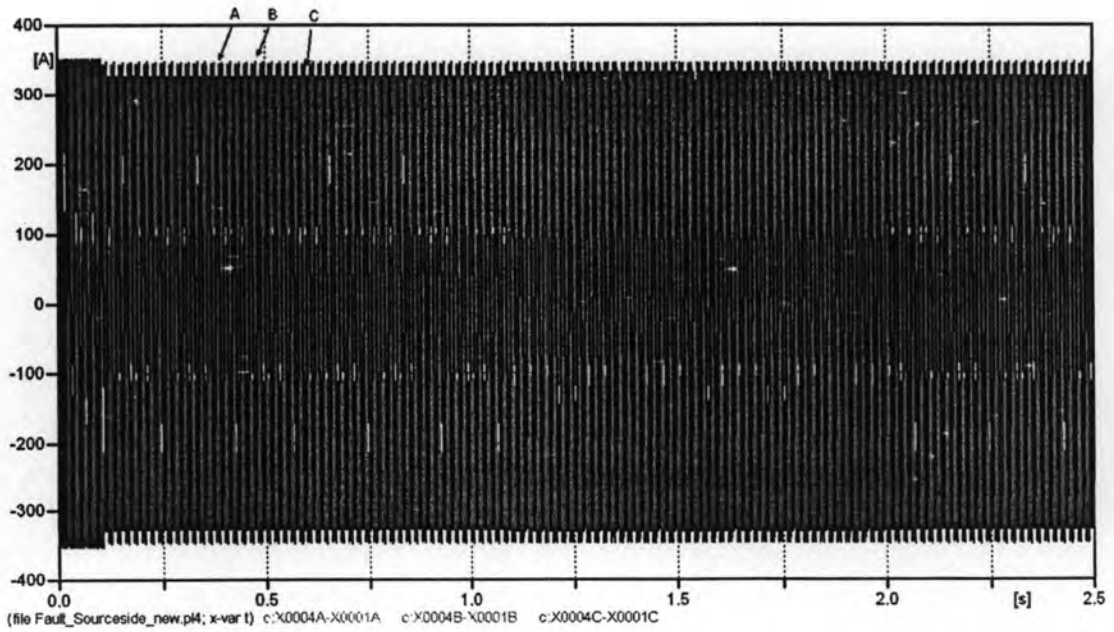
อุปกรณ์ในระบบจำหน่าย	อิมพีแดนซ์			
	R1	X1	R0	X0
อิมพีแดนซ์แหล่งจ่าย (Bus 24 kV Bay 2 สถานีย่อยคลองจั่น) (โอห์ม)	0.45253	2.45662	0.29190	2.11775
สายเคเบิลใต้ดิน 400 ตร.มม. (โอห์ม/กิโลเมตร)	0.0669	0.1053	0.776	0.371
สายอากาศ (Space Aerial Cable) (โอห์ม/กิโลเมตร)				
- ขนาด 185 ตร.มม.	0.2	0.229	0.508	1.845
- ขนาด 70 ตร.มม.	0.504	0.263	0.849	1.680

4.1.2.2 แบบจำลองกรณีสายตัวนำไฟฟ้าขาดตกสัมผัสพื้นด้านแหล่งจ่าย

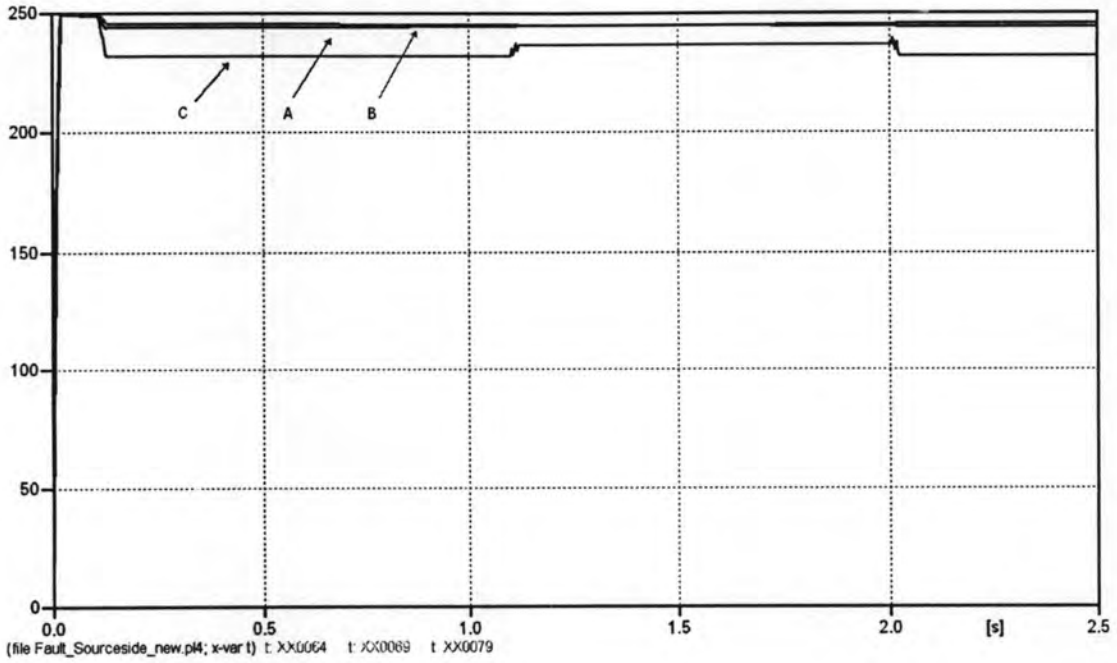
ลำดับขั้นตอนเหตุการณ์ คือ เกิดสายตัวนำไฟฟ้าขาดที่เฟส C ที่เวลา 0.1 วินาที จากนั้นสายตกสัมผัสพื้นที่เวลา 1.1 – 2 วินาที ข้อมูลลำดับเหตุการณ์แสดงในตารางที่ 4.2 ปริมาณกระแสโหลดมีค่าประมาณ 249.07 แอมแปร์(อาร์เอ็มเอส) โดยทำการวัดกระแสไฟฟ้าทั้งหมด 2 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่ 1 หมายถึงกระแสไฟฟ้าที่สถานีย่อย ส่วนตำแหน่งที่ 2 หมายถึงกระแสไฟฟ้า ณ จุดที่สายสัมผัสพื้น รูปแบบวงจรแสดงในรูปที่ 4.3



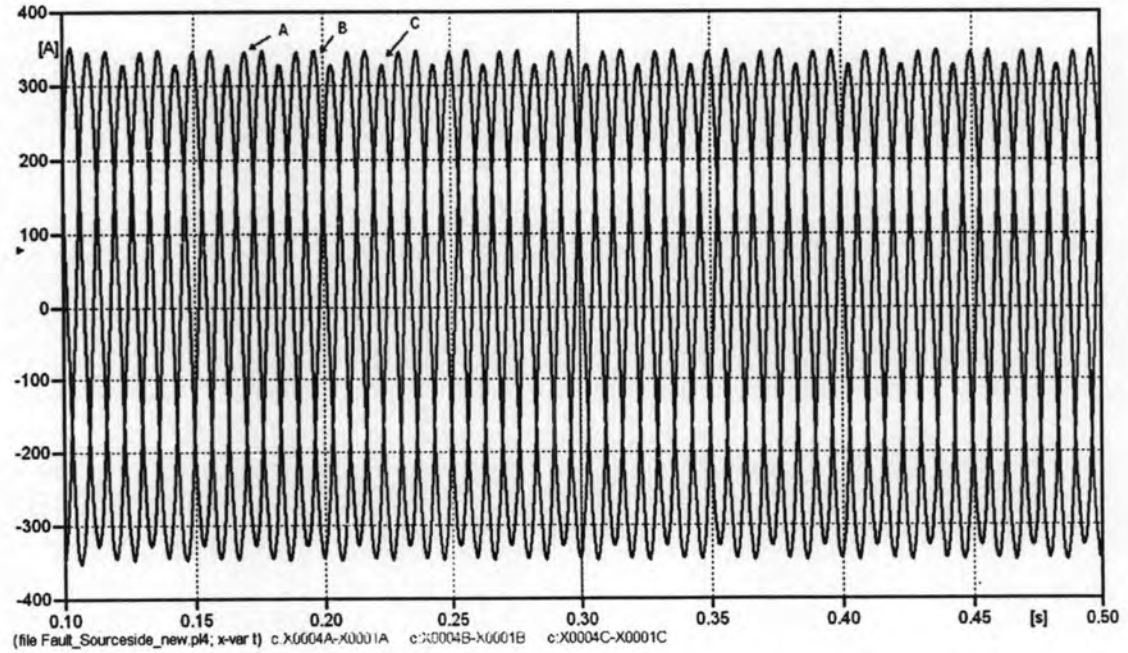
รูปที่ 4.3 แบบจำลองกรณีสายตัวนำไฟฟ้าขาดตกพื้นด้านแหล่งจ่าย



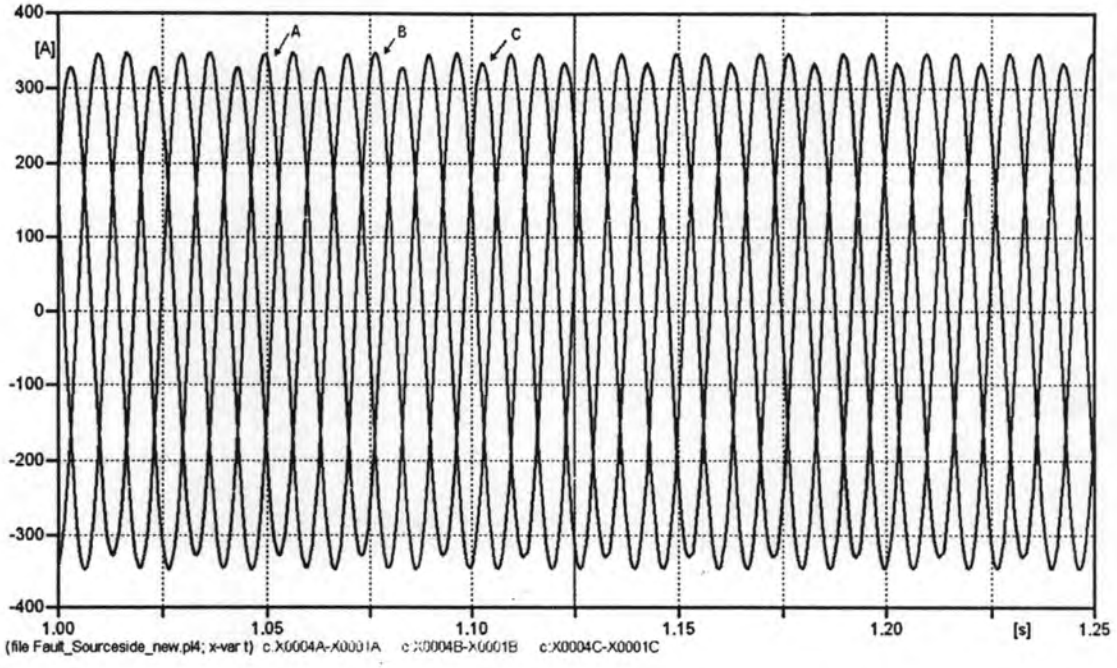
รูปที่ 4.4 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้า จุดตรวจวัดจุดที่ 1



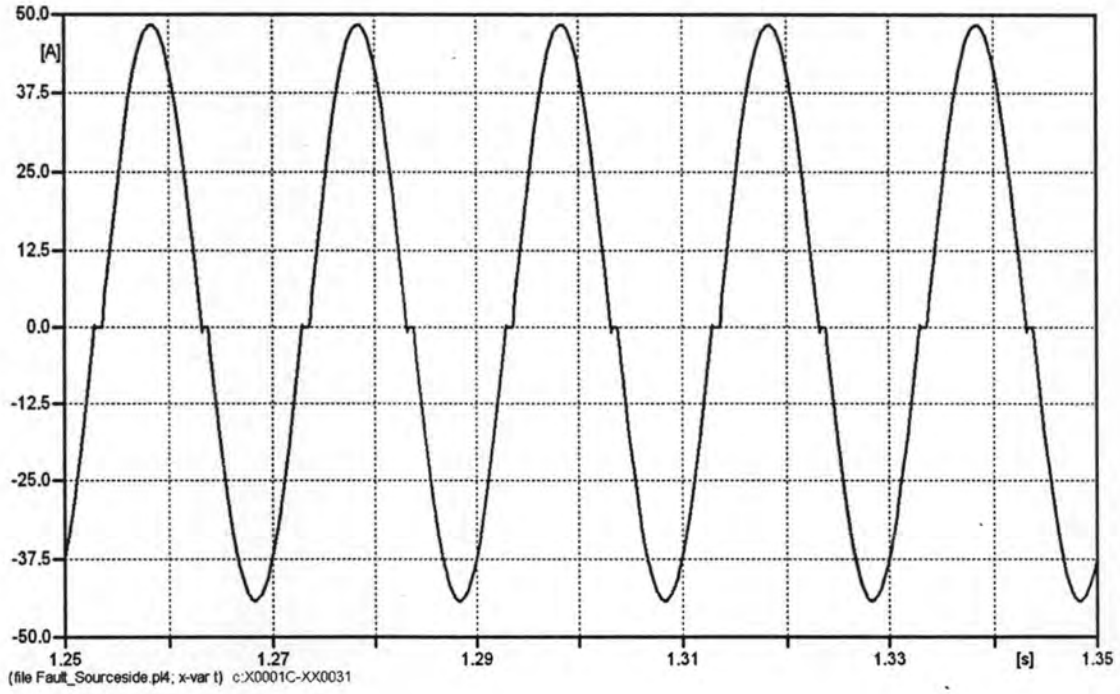
รูปที่ 4.5 ปริมาณกระแสไฟฟ้า(อาร์เอ็มเอส) จุดตรวจวัดจุดที่ 1



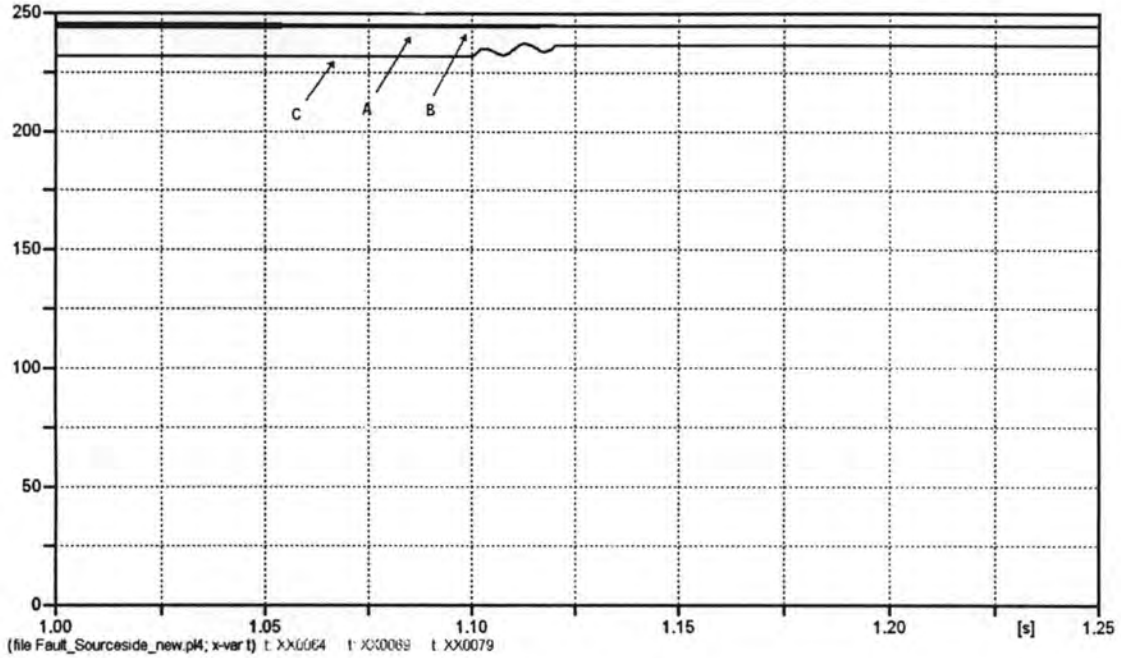
รูปที่ 4.6 รูปขยายรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าช่วงที่สายเริ่มขาดแต่ยังไม่สัมผัสพื้น จุดตรวจวัดจุดที่ 1



รูปที่ 4.7 รูปขยายรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าลัดวงจรช่วงที่สายสัมผัสพื้นด้านแหล่งจ่าย จุดตรวจวัดจุดที่ 1



รูปที่ 4.8 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าลัดวงจร ณ ตำแหน่งที่สายสัมผัสพื้น จุดตรวจวัดจุดที่ 2



รูปที่ 4.9 ปริมาณกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (อาร์เอ็มเอส) ช่วงที่สายสัมผัสพื้นด้านแหล่งจ่าย จุดตรวจวัดจุดที่ 1

ตารางที่ 4.2 การเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงที่เกิดจากสายตัวนำขาดตกพื้นด้านแหล่งจ่าย โดยความต้านทานพื้นผิวคอนกรีตเสริมเหล็กมีค่า 360 โอห์ม

ลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงที่เกิดจากสายตัวนำขาดด้านแหล่งจ่ายพื้นผิวคอนกรีตเสริมเหล็ก				
สภาวะ		ปกติ	สายขาด	สายสัมผัสพื้น
เวลา(วินาที)		0 – 0.1	0.1 – 1.1	1.1 – 2
I_{Line}(Arms)	A	249.07	244.14	244.84
	B	249.07	245.63	245.06
	C	249.07	231.98	236.63

ผลจากการจำลองเหตุการณ์สายตัวนำขาดตกพื้นด้านแหล่งจ่าย โดยทำการวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่สถานีย่อยและตำแหน่งที่สายสัมผัสพื้น ดังแสดงในรูปที่ 4.4 – 4.9 และผลการสรุปปริมาณกระแสไฟฟ้าที่สถานีย่อยในสภาวะต่างๆ ดังตารางที่ 4.2 พบว่าเมื่อสายตัวนำขาดแต่ยังไม่สัมผัสพื้น ปริมาณกระแสไฟฟ้าเฟสที่สายขาดจะลดลงไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีโหลดบางส่วนหายไป ส่วนเฟสอื่นจะลดลงไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์และเมื่อสายตัวนำสัมผัสพื้นที่มีลักษณะ

การเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงนั้นปริมาณกระแสไฟฟ้าเฟสที่สัมผัสพื้นจะลดลงไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเฟสอื่นจะลดลงไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับสภาวะปกติ

ซึ่งสามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์ผลต่างกระแสไฟฟ้าของเหตุการณ์แต่ละช่วงเวลาได้ดังนี้

- สภาวะสายตัวนำขาด

$$\Delta IALINE = \left(\frac{244.14 - 249.07}{249.07}\right) \times 100\% = -1.98\% \qquad (4.1)$$

$$\Delta IBLINE = \left(\frac{245.63 - 249.07}{249.07}\right) \times 100\% = -1.38\% \qquad (4.2)$$

$$\Delta ICLINE = \left(\frac{231.98 - 249.07}{249.07}\right) \times 100\% = -6.86\% \qquad (4.3)$$

- สภาวะสายตัวนำตกสัมผัสพื้น

$$\Delta IALINE = \left(\frac{244.84 - 249.07}{249.07}\right) \times 100\% = -1.7\% \qquad (4.4)$$

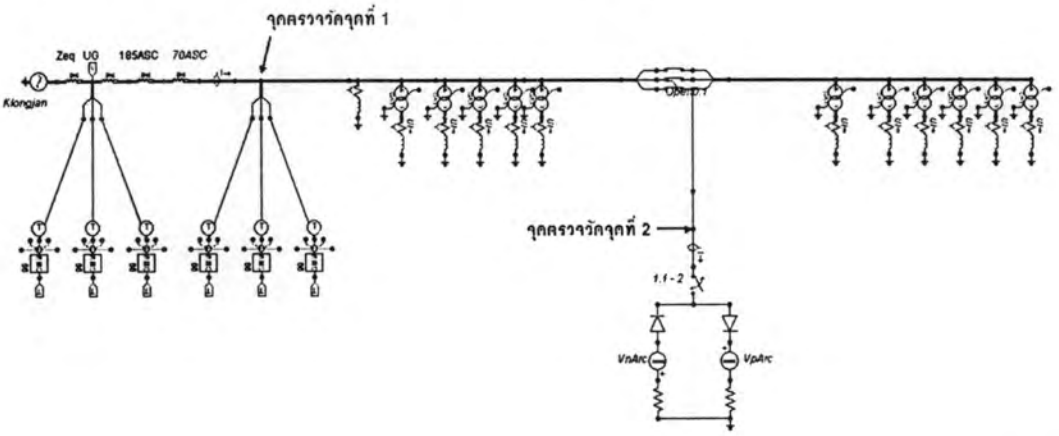
$$\Delta IBLINE = \left(\frac{245.06 - 249.07}{249.07}\right) \times 100\% = -1.6\% \qquad (4.5)$$

$$\Delta ICLINE = \left(\frac{236.63 - 249.07}{249.07}\right) \times 100\% = -4.99\% \qquad (4.6)$$

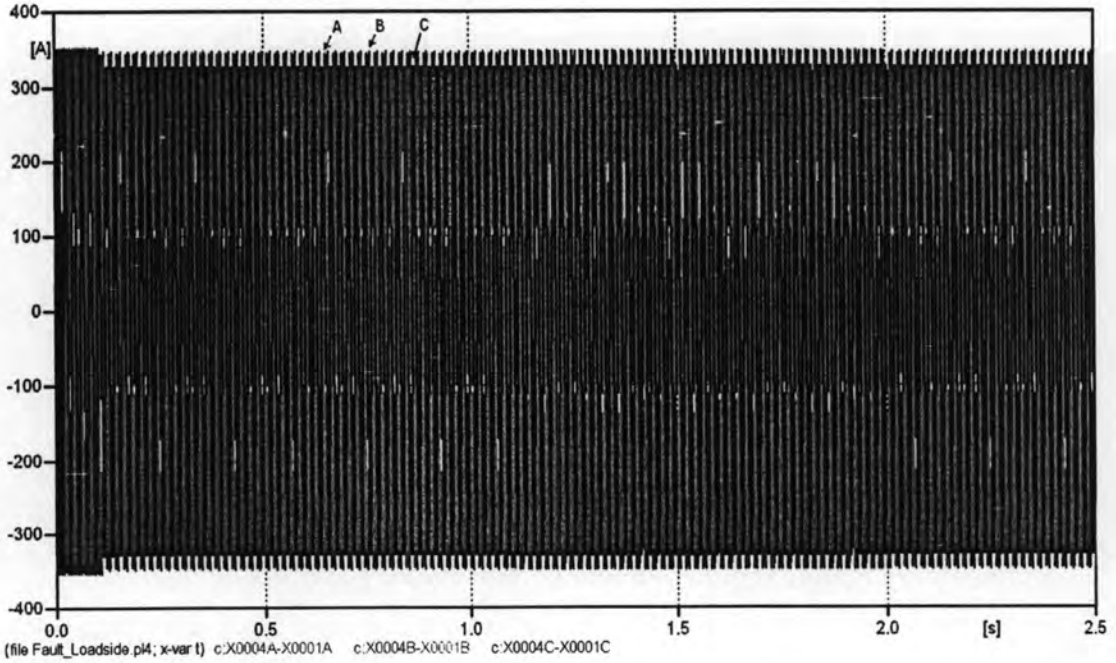
สังเกตได้ว่ากรณีเกิดเหตุการณ์สายตัวนำไฟฟ้าขาดสัมผัสพื้นทางด้านแหล่งจ่าย อุปกรณ์ป้องกันที่สถานีย่อย ซึ่งใช้หลักการตรวจจับปริมาณกระแสไฟฟ้าเกินไม่สามารถรับรู้ความแตกต่างของการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงกับสภาวะปกติได้อย่างชัดเจน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้านี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ปริมาณโหลดในสายป้อน, สภาพพื้นผิวที่สายตัวนำตกสัมผัส เป็นต้น บางครั้งอาจทำให้กระแสไฟฟ้าในสายมีค่ามากกว่าหรืออาจใกล้เคียงกับกระแสโหลด จนไม่สามารถแยกแยะความผิดปกติได้

4.1.2.3 แบบจำลองกรณีสายตัวนำไฟฟ้าขาดตกสัมผัสพื้นด้านโหลด

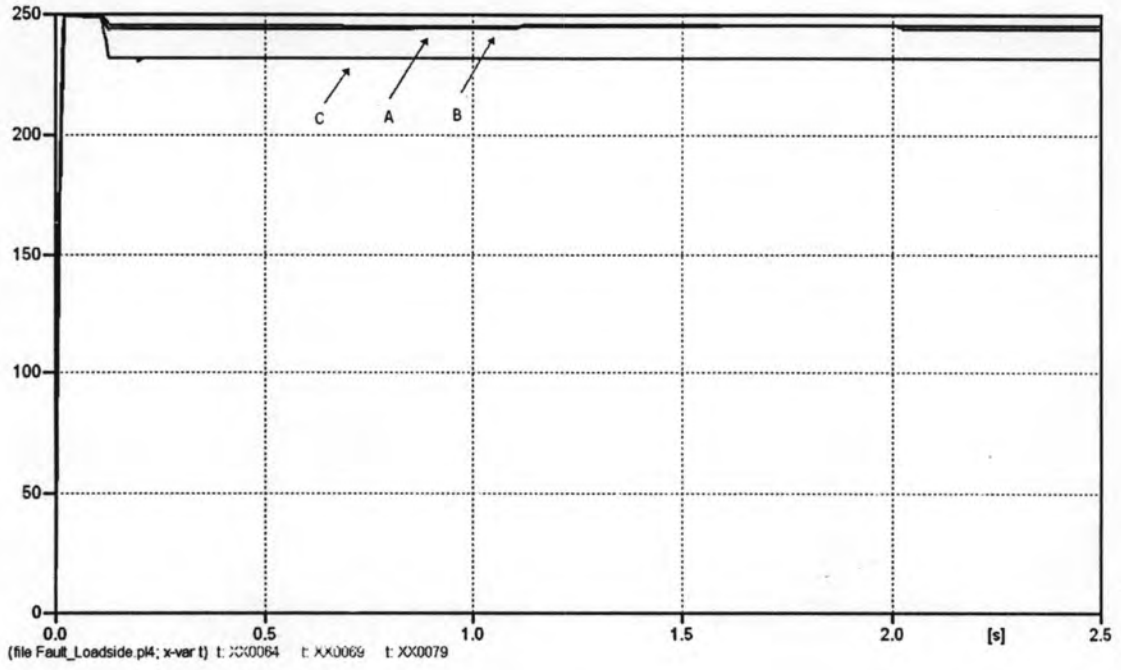
ลำดับขั้นตอนเหตุการณ์ คือ เกิดสายตัวนำไฟฟ้าขาดที่เฟส C ที่เวลา 0.1 วินาที จากนั้นสายตกสัมผัสพื้นที่เวลา 1.1 – 2 วินาที ข้อมูลลำดับเหตุการณ์แสดงในตารางที่ 4.3 ปริมาณกระแสโหลดมีค่าประมาณ 249.07 แอมแปร์(อาร์เอ็มเอส) โดยทำการวัดกระแสไฟฟ้าทั้งหมด 2 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่ 1 หมายถึงกระแสไฟฟ้าที่สถานีย่อย ส่วนตำแหน่งที่ 2 หมายถึงกระแสไฟฟ้า ณ จุดที่สายสัมผัสพื้น รูปแบบวงจรแสดงในรูปที่ 4.10



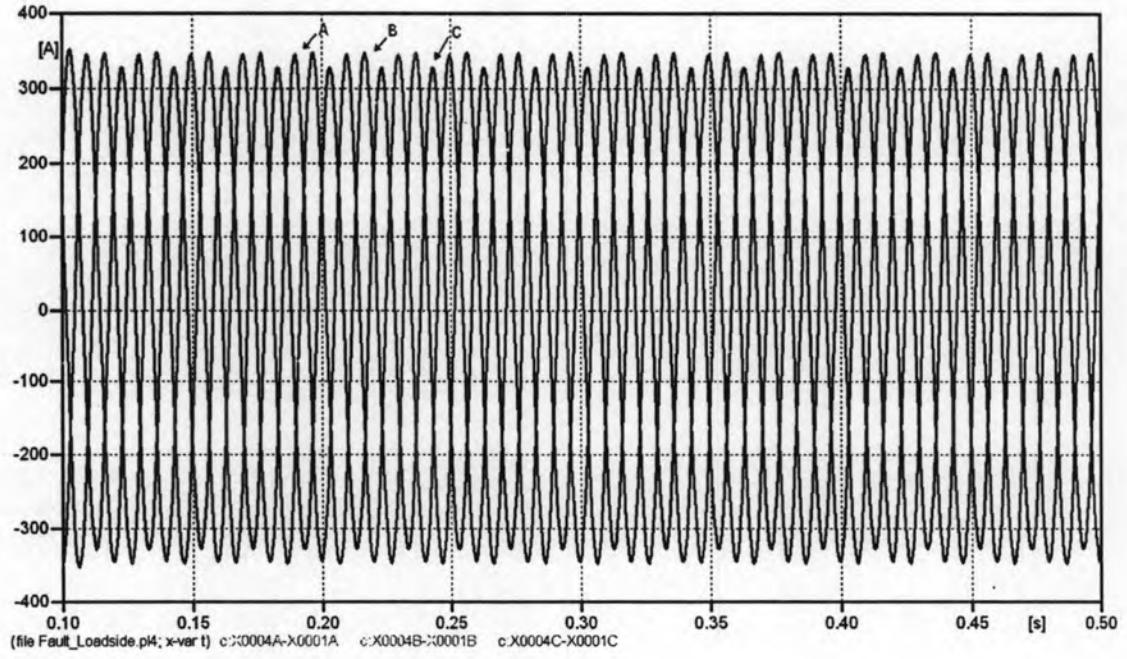
รูปที่ 4.10 แบบจำลองกรณีเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงโดยสายตัวนำไฟฟ้าขาดสัมผัสพื้นด้านโหลด



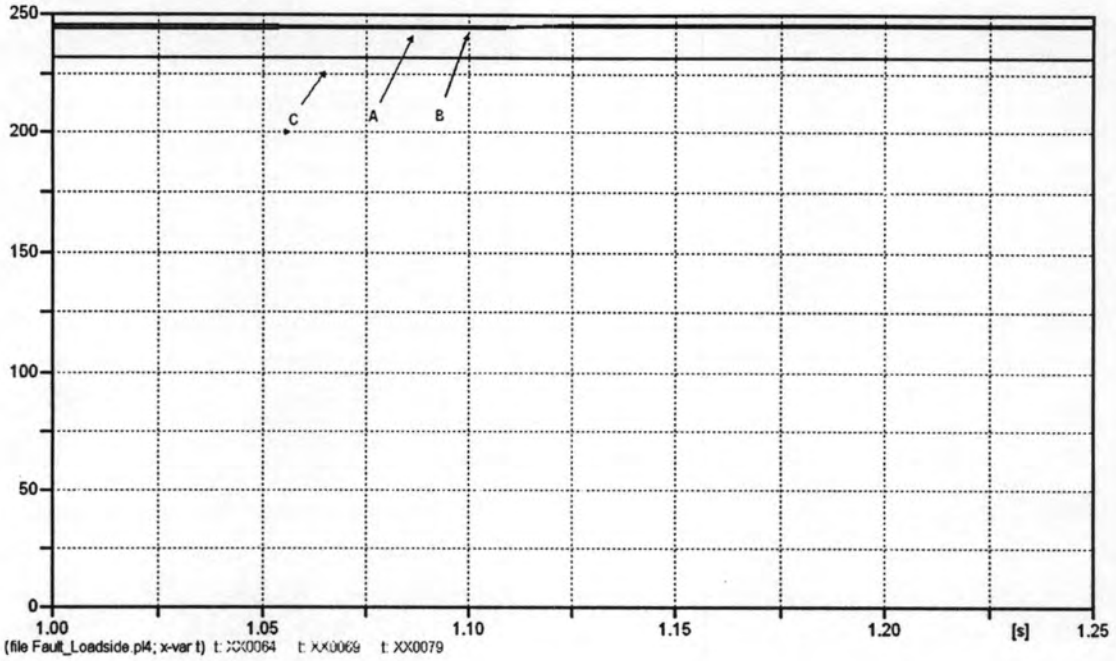
รูปที่ 4.11 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้า จุดตรวจวัดจุดที่ 1



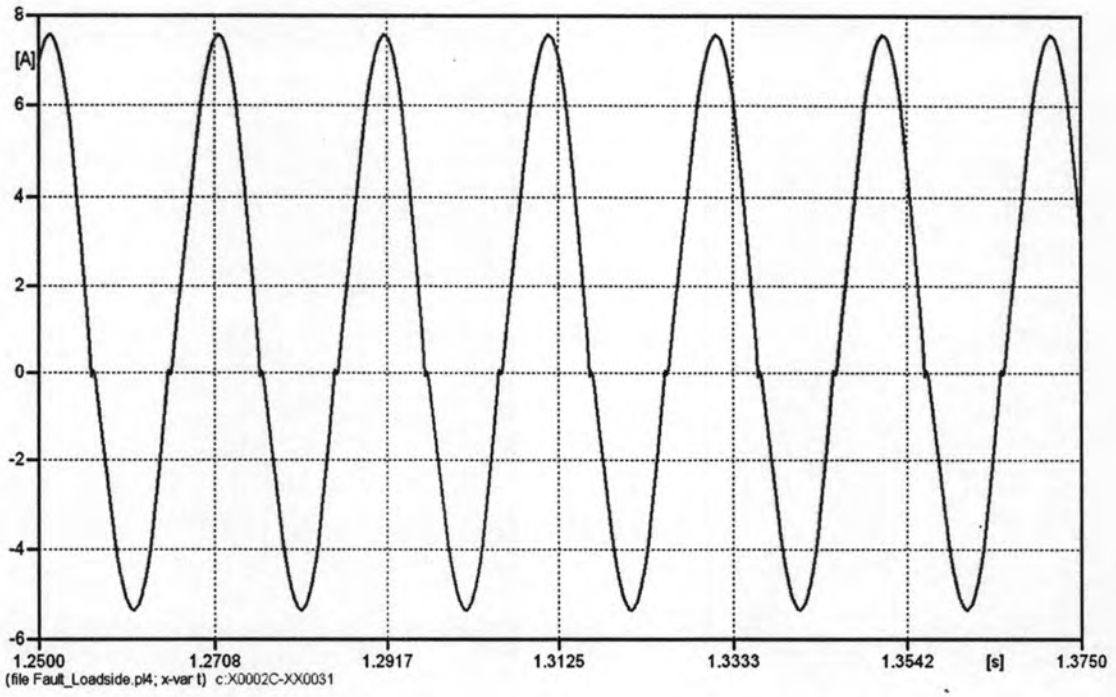
รูปที่ 4.12 ปริมาณกระแสไฟฟ้า(อาร์เอ็มเอส) จุดตรวจวัดจุดที่ 1



รูปที่ 4.13 รูปขยายรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าช่วงที่สายเริ่มขาดแต่ยังไม่สัมผัสพื้น จุดตรวจวัดจุดที่ 1



รูปที่ 4.14 ปริมาณกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (อาร์เอ็มเอส) ช่วงที่สายสัมผัสพื้นด้านโหลด จุดตรวจวัดจุดที่ 1



รูปที่ 4.15 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าลัดวงจร ณ ตำแหน่งที่สายสัมผัสพื้น จุดตรวจวัดจุดที่ 2

ตารางที่ 4.3 การเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงที่เกิดจากสายตัวนำขาดด้านโหลดโดยความต้านทานพื้นผิวคอนกรีตเสริมเหล็กมีค่า 360 โอห์ม

ลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงที่เกิดจากสายตัวนำขาดด้านโหลดพื้นผิวคอนกรีตเสริมเหล็ก				
สภาวะ		ปกติ	สายขาด	สายสัมผัสพื้น
เวลา(วินาที)		0 – 0.1	0.1 – 1.1	1.1 – 2
I_{Line}(Arms)	A	249.07	244.14	245.91
	B	249.07	245.63	245.47
	C	249.07	231.98	231.98

ผลจากการจำลองเหตุการณ์สายตัวนำขาดตกพื้นด้านโหลด โดยทำการวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่สถานีย่อยและตำแหน่งที่สายสัมผัสพื้น ดังแสดงในรูปที่ 4.11 – 4.15 และผลการสรุปปริมาณกระแสไฟฟ้าที่สถานีย่อยในสภาวะต่างๆ ดังตารางที่ 4.3 พบว่าเมื่อสายตัวนำขาดแต่ยังไม่สัมผัสพื้นปริมาณกระแสไฟฟ้าเฟสที่ขาดจะลดลงไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีโหลดบางส่วนหายไป ส่วนเฟสอื่นจะลดลงไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์และเมื่อสายตัวนำสัมผัสพื้นทางด้านโหลดที่มีลักษณะการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงนั้นปริมาณกระแสไฟฟ้าเฟสที่สัมผัสพื้นจะลดลงไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ส่วนเฟสอื่นจะลดลงไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับสภาวะปกติ ซึ่งสามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์ผลต่างกระแสไฟฟ้าของเหตุการณ์แต่ละช่วงเวลาได้ดังนี้

- สภาวะสายตัวนำขาด

$$\Delta IALINE = \left(\frac{244.14 - 249.07}{249.07}\right) \times 100\% = -1.98\% \quad (4.7)$$

$$\Delta IBLINE = \left(\frac{245.63 - 249.07}{249.07}\right) \times 100\% = -1.38\% \quad (4.8)$$

$$\Delta ICLINE = \left(\frac{231.98 - 249.07}{249.07}\right) \times 100\% = -6.86\% \quad (4.9)$$

- สภาวะสายตัวนำตกสัมผัสพื้น

$$\Delta IALINE = \left(\frac{245.91 - 249.07}{249.07}\right) \times 100\% = -1.27\% \quad (4.10)$$

$$\Delta IBLINE = \left(\frac{245.47 - 249.07}{249.07}\right) \times 100\% = -1.45\% \quad (4.11)$$

$$\Delta ICLINE = \left(\frac{231.98 - 249.07}{249.07}\right) \times 100\% = -6.86\% \quad (4.12)$$

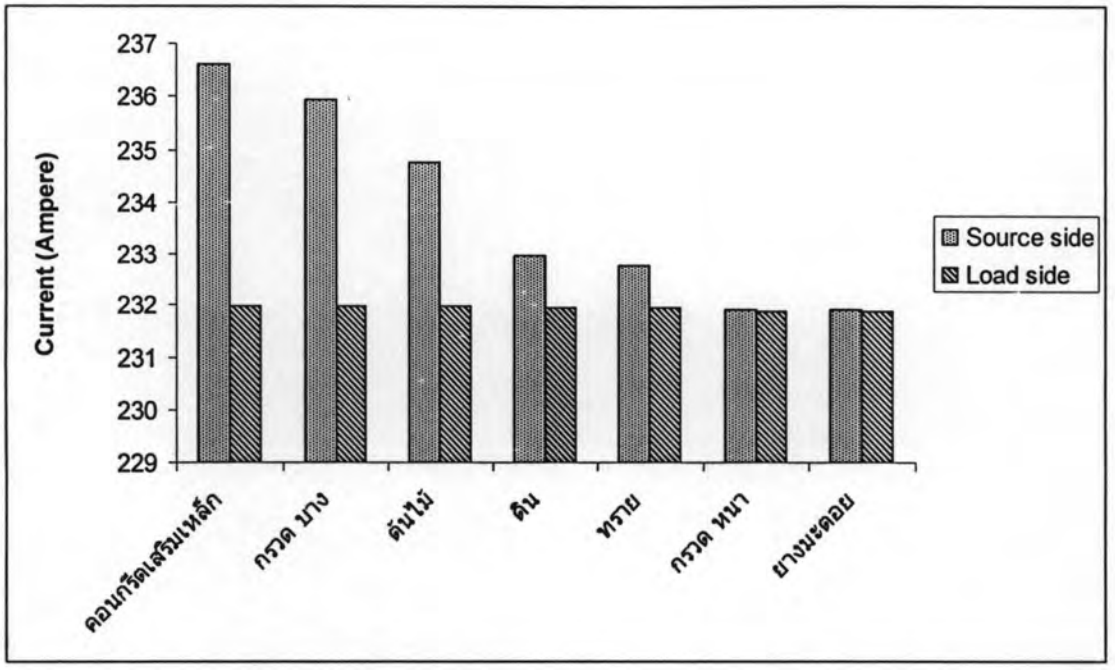
สังเกตได้ว่ากรณีเกิดเหตุการณ์สายตัวนำไฟฟ้าขาดสัมผัสพื้นทางด้านโหลด อุปกรณ์ป้องกันที่สถานีย่อย ซึ่งใช้หลักการตรวจจับปริมาณกระแสไฟฟ้าเกินไม่สามารถรับรู้ความแตกต่างของการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงกับสภาวะปกติได้อย่างชัดเจน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้านี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ปริมาณโหลดในสายป้อน, สภาพพื้นผิวที่สายตัวนำตกสัมผัสและปริมาณโหลดที่ต่อกับหม้อแปลงจำหน่าย เป็นต้น บางครั้งอาจทำให้กระแสไฟฟ้าในสายมีค่ามากกว่าหรืออาจใกล้เคียงกับกระแสโหลด จนไม่สามารถแยกแยะความผิดปกติได้ โดยในรูปที่ 4.14 ช่วงที่สายขาดสัมผัสพื้นที่เวลา 1.1 วินาที ไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่สถานีย่อยของเฟสที่สัมผัสพื้นได้ ซึ่งต่างจากกรณีสายตัวนำขาดตกสัมผัสพื้นทางด้านแหล่งจ่ายที่สามารถสังเกตพบการกระเพื่อมของปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ช่วงเวลาดังกล่าว

ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองระบบจำหน่ายของสถานีย่อยคลองจั่น เมื่อเกิดเหตุการณ์ลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูง โดยสายตัวนำขาดตกสัมผัสพื้นทั้งด้านแหล่งจ่ายและด้านโหลด พบว่าช่วงที่เกิดการลัดวงจรลักษณะดังกล่าวปริมาณกระแสไฟฟ้าที่สถานีย่อยมีการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกับกระแสโหลด ดังนั้นทำให้รีเลย์ป้องกันกระแสเกินที่สถานีย่อยไม่สามารถตรวจจับได้ ซึ่งสอดคล้องกับการเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวที่พนักงานต้องมาทำการปลดฟิวส์เอง ทั้งที่ขณะนั้นสายไฟฟ้าได้ตกสัมผัสพื้นถนนแล้วก็ตาม

ในส่วนของการจำลองโดยปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานของพื้นผิว เพื่อพิจารณากรณีที่สายตัวนำไฟฟ้าขาดตกสัมผัสพื้นแต่ละชนิด โดยมีค่าความต้านทานพื้นผิวแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 4.4 ซึ่งทำการจำลองทั้งกรณีสายขาดตกพื้นด้านแหล่งจ่ายและด้านโหลดจากนั้นทำการวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่สถานีย่อยได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.16

ตารางที่ 4.4 ค่าความต้านทานของพื้นผิวชนิดต่างๆ [23]

ชนิดพื้นผิว (แห้ง)	ความต้านทาน (โอห์ม)
ทราย	1,296
ยางมะตอย	120,357
กรวด(หนา)	100,847
กรวด(บาง)	400
คอนกรีตเสริมเหล็ก	360
ดิน	1,098
ต้นไม้	512



รูปที่ 4.16 ปริมาณกระแสไฟฟ้าลัดวงจรเทียบกับพื้นผิวชนิดต่างๆ

รูปที่ 4.16 ผลการจำลองเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่สถานีย่อย โดยจำลองระบบจำหน่ายสถานีย่อยคลองจั่นสายป้อน KJ – 432 ซึ่งมีกระแสโหลดประมาณ 249.07 แอมแปร์ เมื่อเกิดเหตุการณ์สายตัวนำไฟฟ้าขาดตกพื้นทางด้านแหล่งจ่ายพบว่าชนิดของพื้นผิวที่สายสัมผัสจะมีผลต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าที่สถานีย่อย แต่อย่างไรก็ตามกรณีพื้นผิวที่มีค่าความต้านทานต่ำสุด (คอนกรีตเสริมเหล็ก) การเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าช่วงที่สายสัมผัสพื้นก็ยังคงมีค่าใกล้เคียงกับกระแสโหลด ส่วนกรณีสายตัวนำขาดสัมผัสพื้นด้านโหลดพบว่าชนิดของพื้นผิวที่สายสัมผัสมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่สถานีย่อยน้อยมาก ซึ่งปริมาณกระแสไฟฟ้าลัดวงจรกรณีดังกล่าวนี้จะถูกจำกัดไว้ด้วยขนาดพิกัดหม้อแปลงจำหน่ายที่ติดตั้งหลังตำแหน่งที่สายขาด อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาปริมาณกระแสไฟฟ้าลัดวงจรทั้ง 2 เหตุการณ์แล้วพบว่าเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกับกระแสโหลด ดังนั้นรีเลย์ป้องกันกระแสเกินที่สถานีย่อยจึงไม่สามารถตรวจจับได้