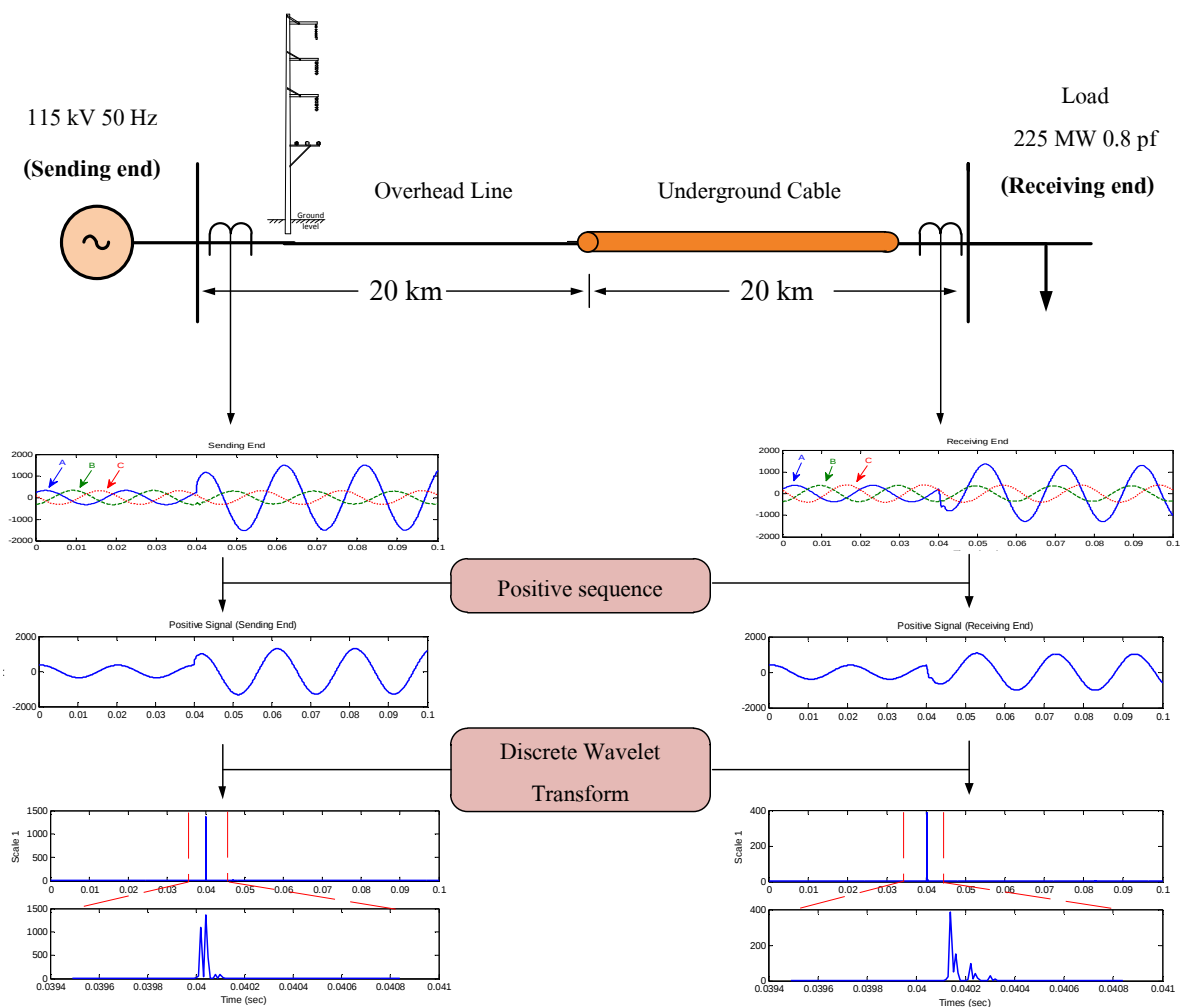


## บทที่ 4

### การวิเคราะห์ด้วยวิธีการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย

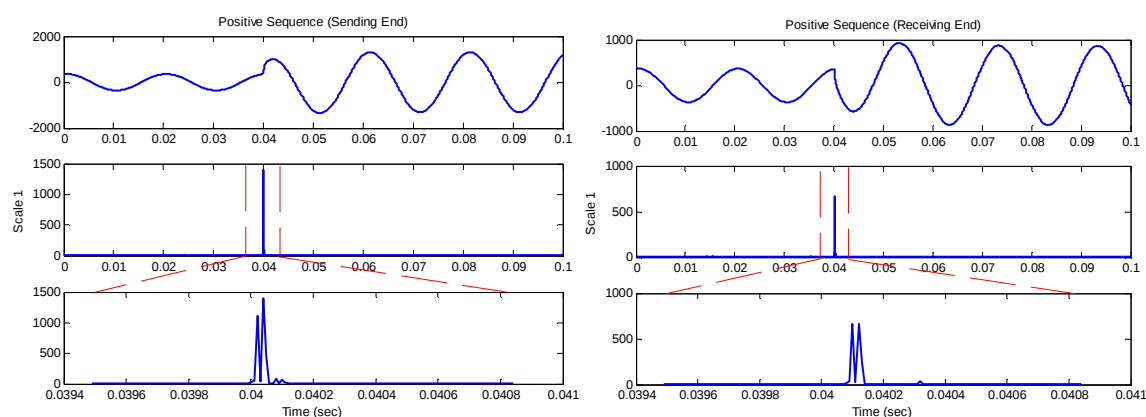
เมื่อมีฟอลต์เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่ต่างๆ แทรกอยู่ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะมีความสัมพันธ์กับรูปแบบของฟอลต์ โดยข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงนี้เมื่อนำการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (DWT) มาใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ โดยทำการแยกองค์ประกอบความถี่สูง (Detail) พิจารณาการเปลี่ยนแปลงของในหลายสเกลหรือหลายช่วงความถี่ เพื่อที่จะใช้เป็นข้อมูลของการประมวลผลตามหลักการที่มีอยู่ และวิธีการที่เพิ่มเติมเข้าไป ผลที่ได้สามารถนำมาใช้ในการตรวจจับเพื่อตรวจจับการเกิดฟอลต์ ระบุตำแหน่งของการเกิดฟอลต์ และการระบุชนิดฟอลต์ การศึกษาพฤติกรรมของลักษณะรูปคลื่นที่ได้จึงมีความสำคัญไม่น้อย



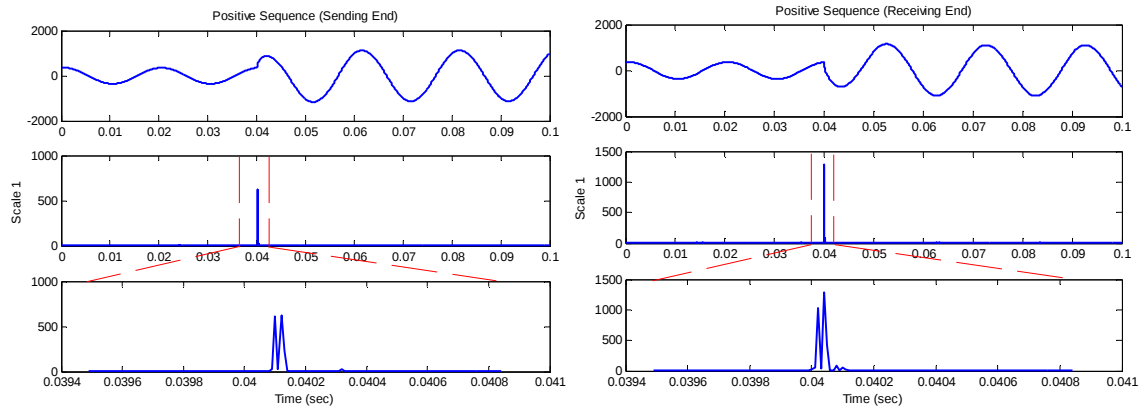
ภาพที่ 4.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ฟอลต์โดยรวม

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าจากสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากฝั่งส่ง (Sending End) และทางด้านฝั่งรับ (Receiving End) ของปลายสายทั้งสองด้าน นำสัญญาณทั้งสองที่ได้มาคำนวณหากระแสองค์ประกอบลำดับบวก (Positive Sequence) และวิเคราะห์สัญญาณตามสมมุติฐานคือ ในสภาวะปกติสัญญาณกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าจะไม่มีองค์ประกอบความถี่สูงรวมอยู่ แต่ในสภาวะที่มีฟอลต์จะมีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่เกิดขึ้น ซึ่งจะใช้สมมุติฐานนี้ในการตรวจจับและแบ่งแยกประเภทฟอลต์ที่เกิดขึ้นโดยอาศัยวิธีการแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform, DWT) จากทฤษฎีพื้นฐานในบทที่ 2 เข้ามาวิเคราะห์ความถี่ที่แทรกเข้ามาในระบบ การแปลงเวฟเลตเป็นเทคนิคสำหรับการกรองสัญญาณออกเป็นช่วงความถี่ต่าง ๆ ซึ่งในการวิเคราะห์นี้จะทำการแยกองค์ประกอบความถี่สูงในสเกลที่ 1 ออกมาศึกษาพฤติกรรมของฟอลต์แต่ละรูปแบบ ซึ่งสามารถแสดงขั้นตอนในการวิเคราะห์ดังภาพที่ 4.1

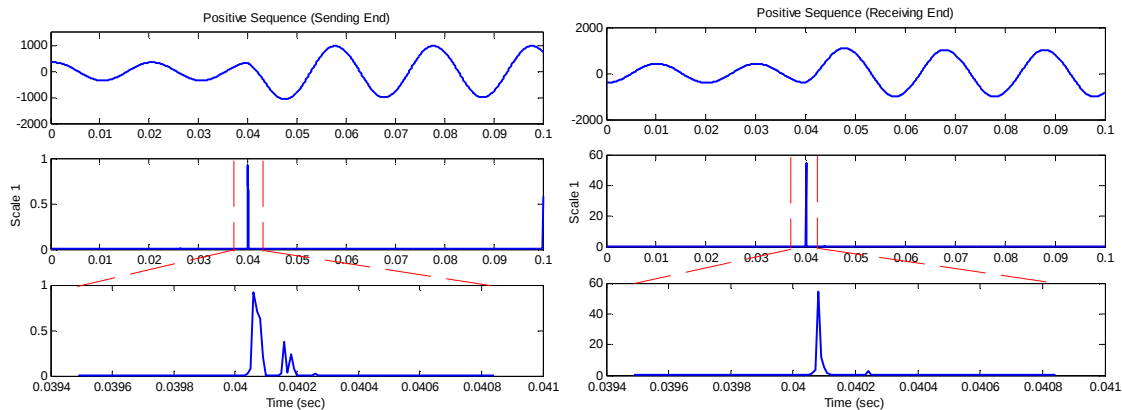
วิธีการคือทำการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ที่ปลายสายในแต่ละด้าน โดยนำข้อมูลของสัญญาณกระแสฟอลต์ที่ได้จากแบบจำลองด้วยโปรแกรม EMTP/ATPDraw มาทำการแปลงให้อยู่ในองค์ประกอบลำดับต่างๆ (Network Sequence) จากนั้นนำสัญญาณองค์ประกอบกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) มาดำเนินการแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วย (DWT) เพื่อแยกองค์ประกอบความถี่สูงในสเกลที่ 1 ออกมา โดยการใช้เวฟเลตแม่ชนิด Daubechies 4 (db4) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเลตจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 4.2-4.6 สำหรับสายส่งแบบเหนือดิน ภาพที่ 4.7-4.11 สำหรับสายส่งแบบใต้ดิน และภาพที่ 4.12-4.16 สำหรับสายส่งแบบผสม



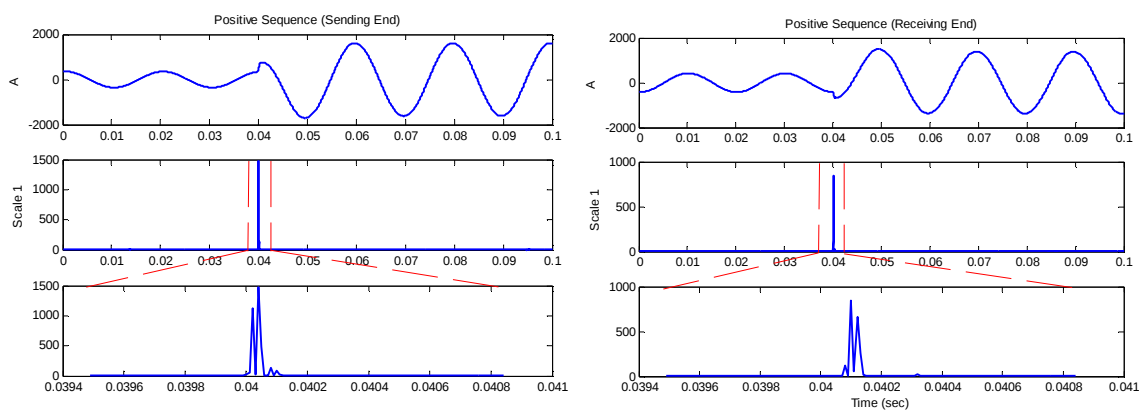
ภาพที่ 4.2 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเลตกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% ของสายส่งแบบเหนือดิน



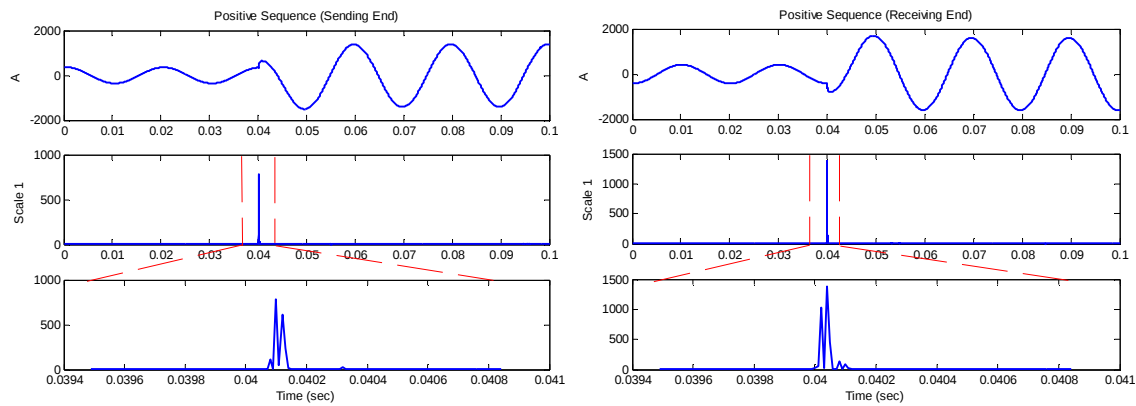
ภาพที่ 4.3 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็คตรอนการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบเหนือดิน



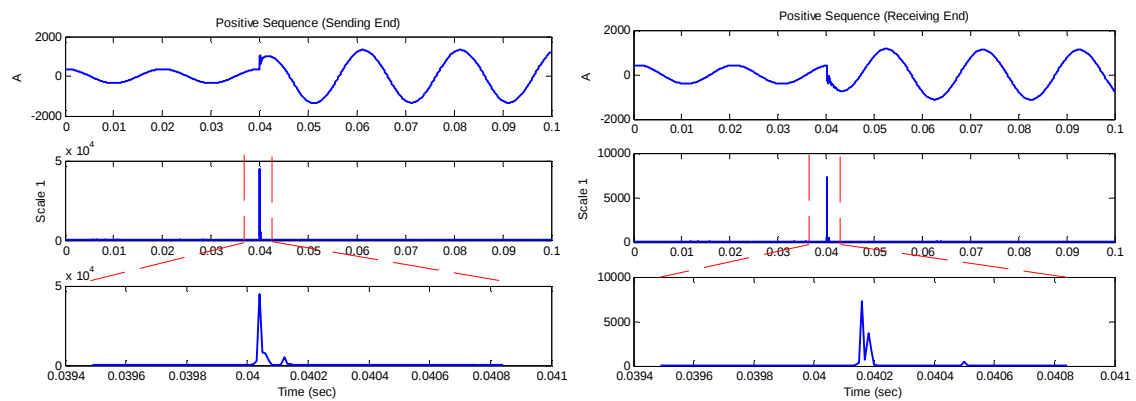
ภาพที่ 4.4 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็คตรอนการเกิดฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 40% ของสายส่งแบบเหนือดิน



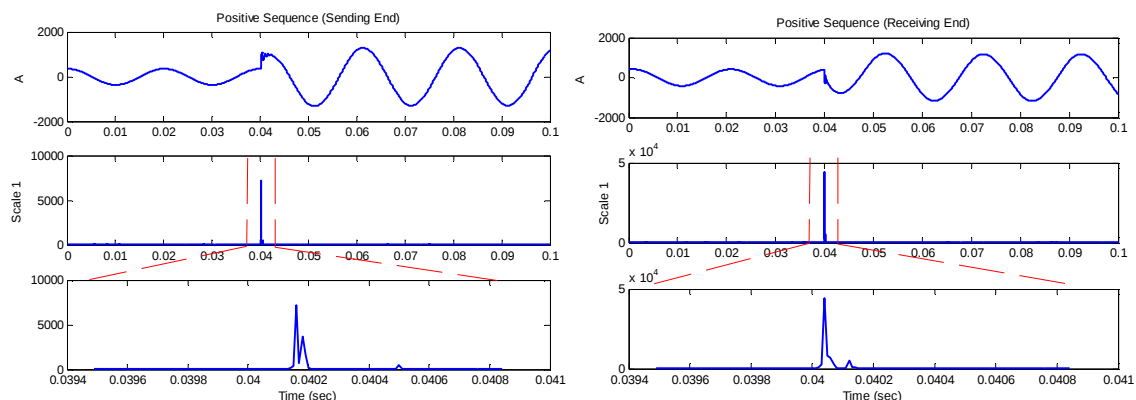
ภาพที่ 4.5 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็คตรอนการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 40% ของสายส่งแบบเหนือดิน



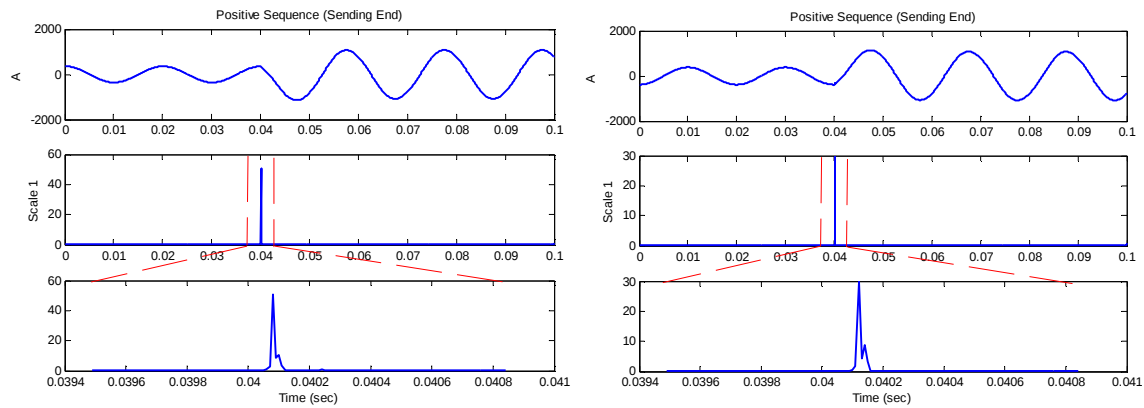
ภาพที่ 4.6 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเส้นกรณีการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 60% และเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบเหนือดิน



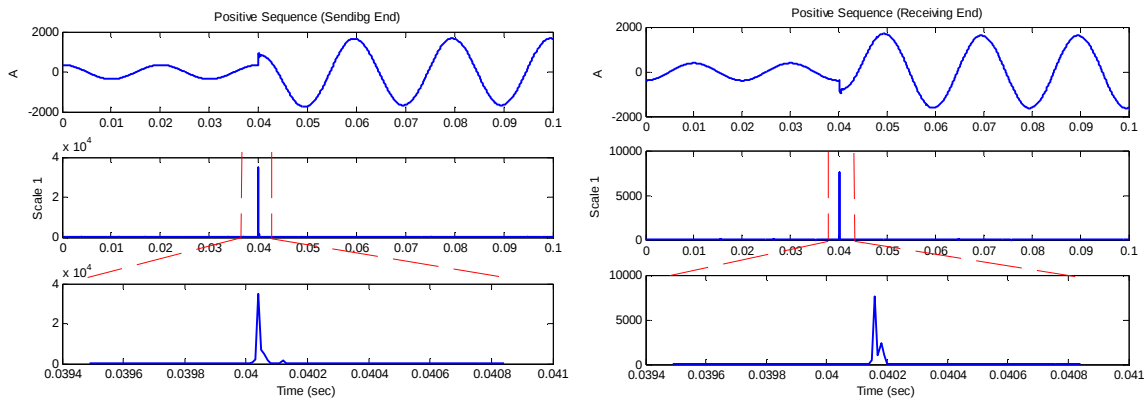
ภาพที่ 4.7 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเส้นกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% ของสายส่งแบบใต้ดิน



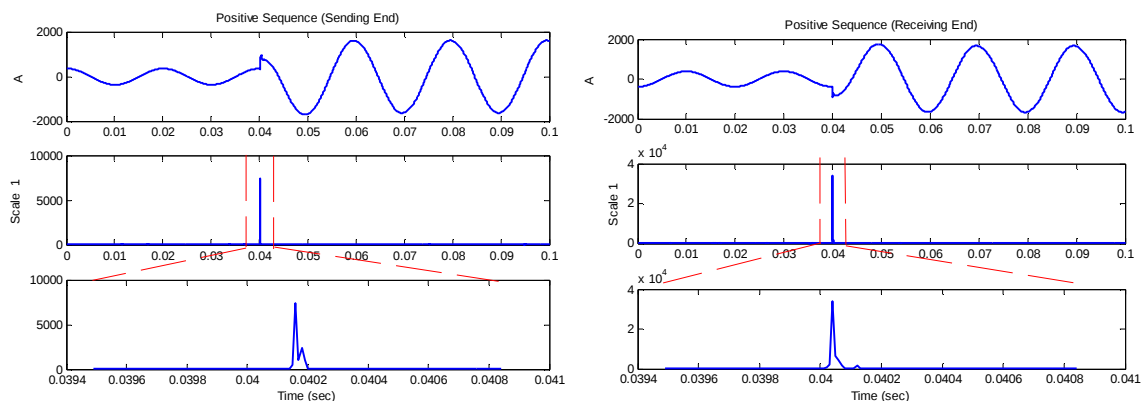
ภาพที่ 4.8 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเส้นกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบใต้ดิน



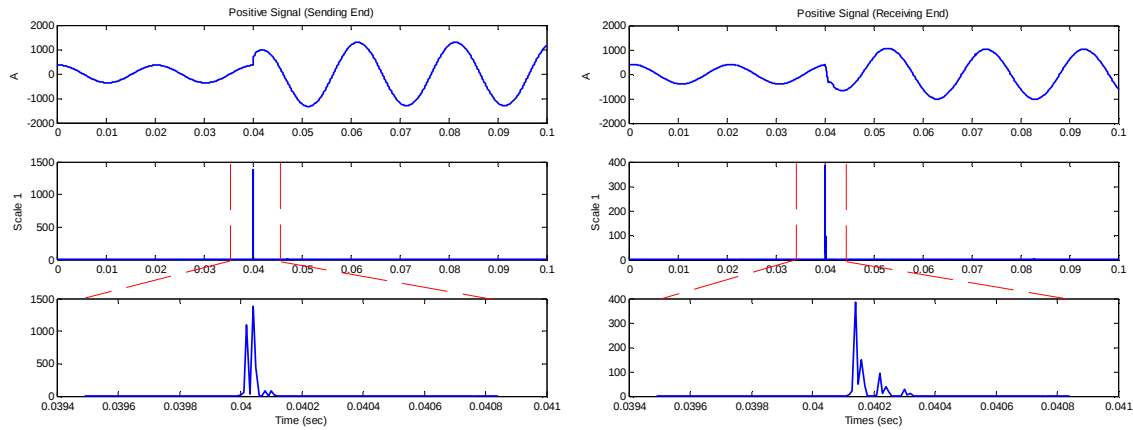
ภาพที่ 4.9 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเฟสเส้นกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 40% ของสายส่งแบบใต้ดิน



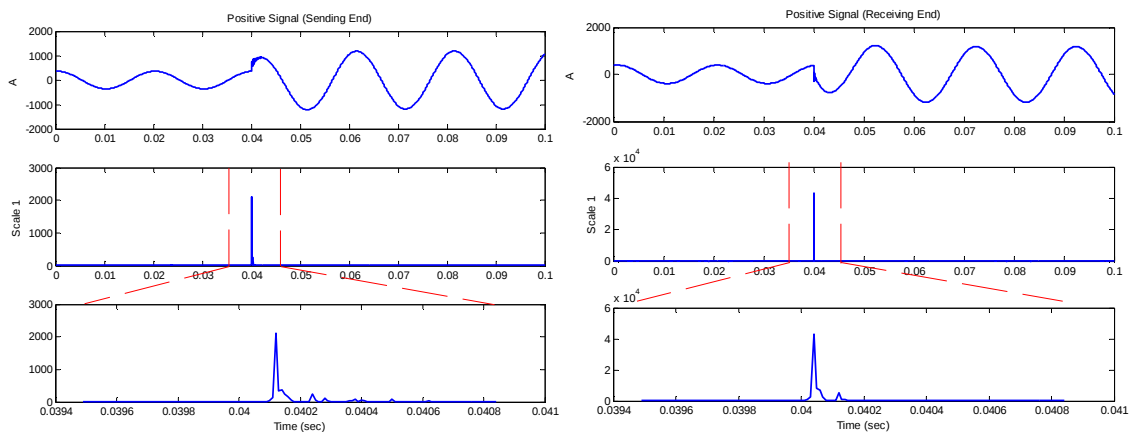
ภาพที่ 4.10 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเฟสเส้นกรณีการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 40% ของสายส่งแบบใต้ดิน



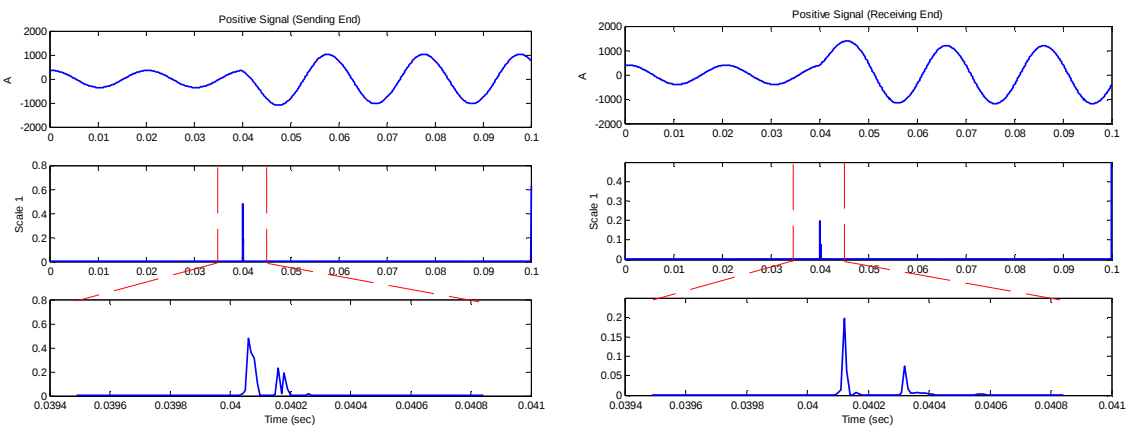
ภาพที่ 4.11 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเฟสเส้นกรณีการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 60% และเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบใต้ดิน



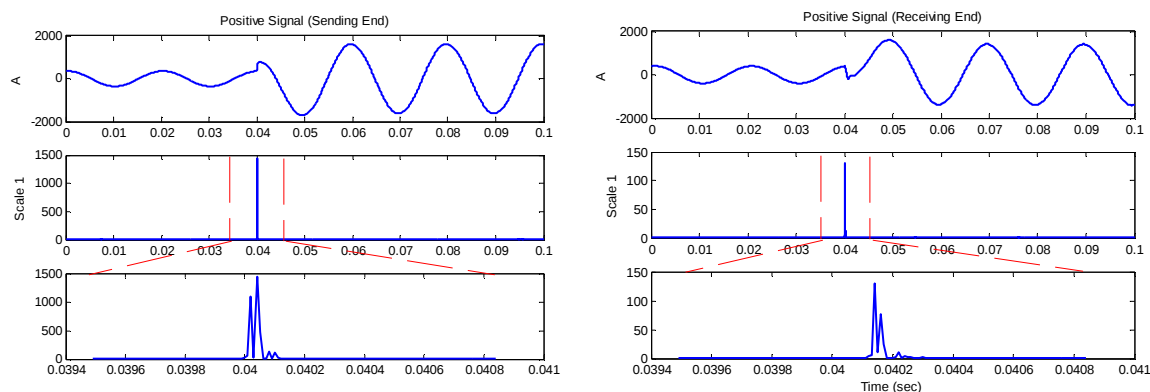
ภาพที่ 4.12 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็กรณการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% ของสายส่งแบบผสม



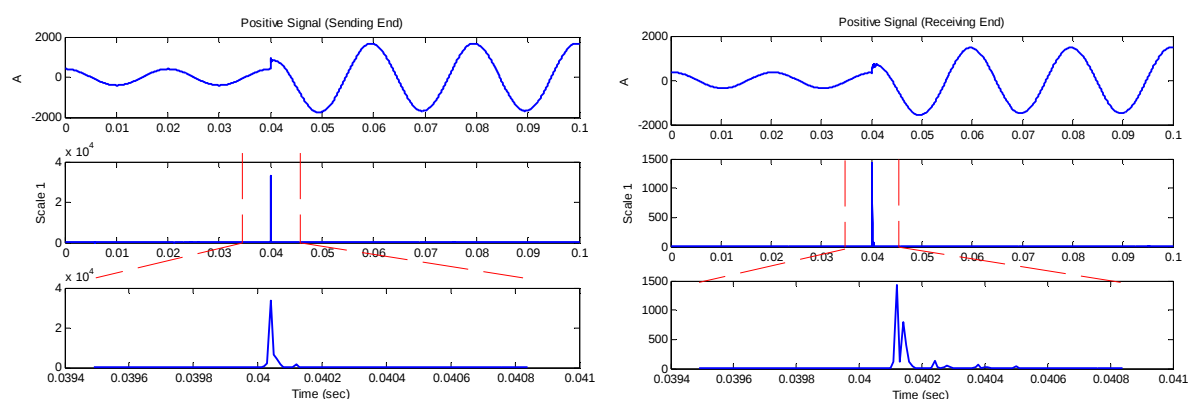
ภาพที่ 4.13 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็กรณการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบผสม



ภาพที่ 4.14 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็กรณการเกิดฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 40% ของสายส่งแบบผสม



ภาพที่ 4.15 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตรณการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 40% ของสายส่งแบบผสม



ภาพที่ 4.16 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตรณการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 60% และเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบผสม

จากภาพที่ 4.2 – 4.16 การแปลงเวฟเล็ตรณการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุด จะสังเกตได้อย่างชัดเจนสำหรับสัญญาณที่เกิดฟอลต์มีลักษณะของสัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตรณพุ่งขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยที่สัญญาณที่เกิดขึ้นจะมีค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดไม่เท่ากันและเวลาที่เกิดขึ้นก็ไม่เท่ากัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งและรูปแบบในการเกิดฟอลต์เช่นตารางที่ 4.1-4.3

ตารางที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดสเกลที่ 1 ของการเกิดฟอลต์แต่ละประเภทของสายส่งแบบเหนือนดิน

| Case    |     |         |     | Sending End      |           | Receiving End    |           |
|---------|-----|---------|-----|------------------|-----------|------------------|-----------|
| Fault 1 |     | Fault 2 |     | Peak coefficient | Time (ms) | Peak coefficient | Time (ms) |
| AG      | 20% | -       | -   | 1,399            | 40.05     | 666.76           | 40.11     |
| AG      | 80% | -       | -   | 618.83           | 40.13     | 1,290            | 40.05     |
| BC      | 40% | -       | -   | 0.924            | 40.07     | 54.84            | 40.09     |
| AG      | 20% | BC      | 40% | 1,481            | 40.05     | 846.01           | 40.11     |
| BC      | 60% | AG      | 80% | 784.04           | 40.11     | 1,382            | 40.05     |

ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดสเกลที่ 1 ของการเกิดฟอลต์แต่ละประเภทของสายส่งแบบใต้ดิน

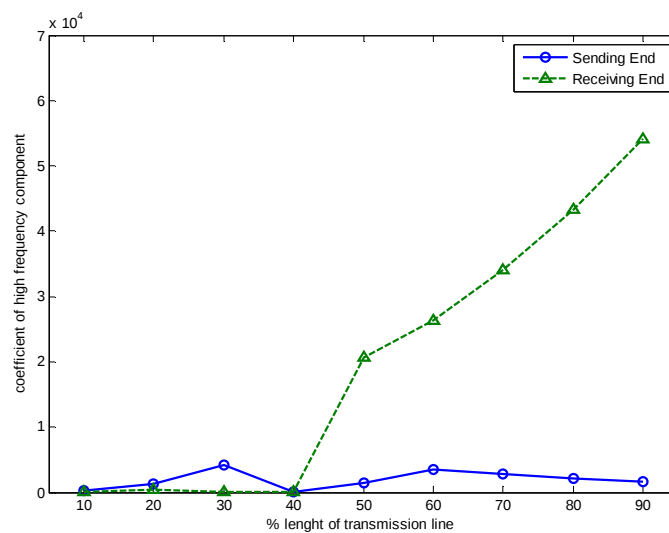
| Case    |     |         |     | Sending End      |           | Receiving End    |           |
|---------|-----|---------|-----|------------------|-----------|------------------|-----------|
| Fault 1 |     | Fault 2 |     | Peak coefficient | Time (ms) | Peak coefficient | Time (ms) |
| AG      | 20% | -       | -   | 45,070           | 40.05     | 7,301            | 40.17     |
| AG      | 80% | -       | -   | 7,154            | 40.17     | 44,429           | 40.05     |
| BC      | 40% | -       | -   | 50.64            | 40.09     | 29.95            | 40.13     |
| AG      | 20% | BC      | 40% | 3,488            | 40.05     | 7,559            | 40.17     |
| BC      | 60% | AG      | 80% | 7,429            | 40.17     | 3,419            | 40.05     |

ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดสเกลที่ 1 ของการเกิดฟอลต์แต่ละประเภทของสายส่งแบบผสม

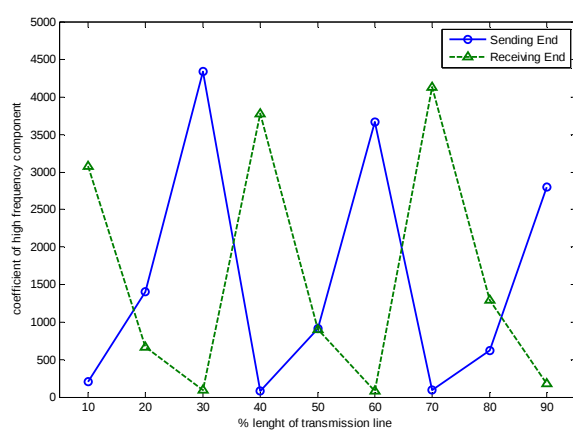
| Case    |     |         |     | Sending End      |           | Receiving End    |           |
|---------|-----|---------|-----|------------------|-----------|------------------|-----------|
| Fault 1 |     | Fault 2 |     | Peak coefficient | Time (ms) | Peak coefficient | Time (ms) |
| AG      | 20% | -       | -   | 1,371.9          | 40.05     | 383.52           | 40.15     |
| AG      | 80% | -       | -   | 21,08.3          | 40.13     | 43,281           | 40.05     |
| BC      | 40% | -       | -   | 0.539            | 40.05     | 0.579            | 40.13     |
| AG      | 20% | BC      | 40% | 1,431            | 40.05     | 272.42           | 40.15     |
| BC      | 60% | AG      | 80% | 1,432            | 40.13     | 33,357           | 40.05     |

#### 4.1 พฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเลตชนิดฟอลต์จุดเดียว

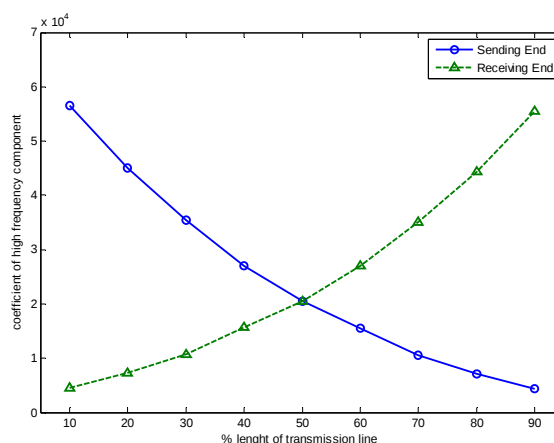
พฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเลตนั้น จะมีความแตกต่างกันซึ่งจะขึ้นอยู่กับประเภทของการเกิดฟอลต์ มุมที่เกิดฟอลต์ และตำแหน่งการเกิดฟอลต์ โดยทั้งนี้จะแสดงให้เห็นพฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากสายส่งแบบผสม แล้วนำมาเปรียบเทียบกับ สายส่งแบบเหนือดิน และแบบใต้ดิน เพื่อศึกษาลักษณะของความแตกต่างที่ได้ ซึ่งจะสามารถนำมาเป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์การแบ่งแยกประเภทฟอลต์ได้ต่อไป



ก. สายส่งไฟฟ้าแบบผสม



ข. สายส่งไฟฟ้าแบบเหนือดิน

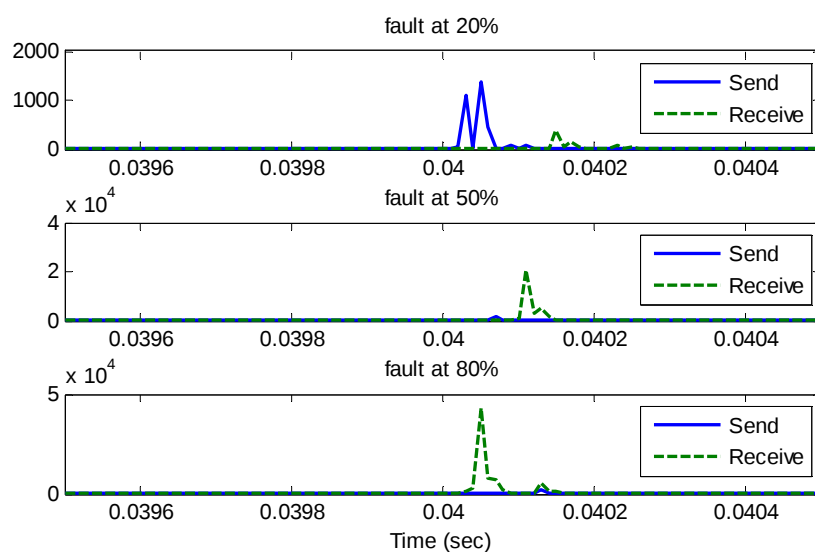


ค. สายส่งไฟฟ้าแบบใต้ดิน

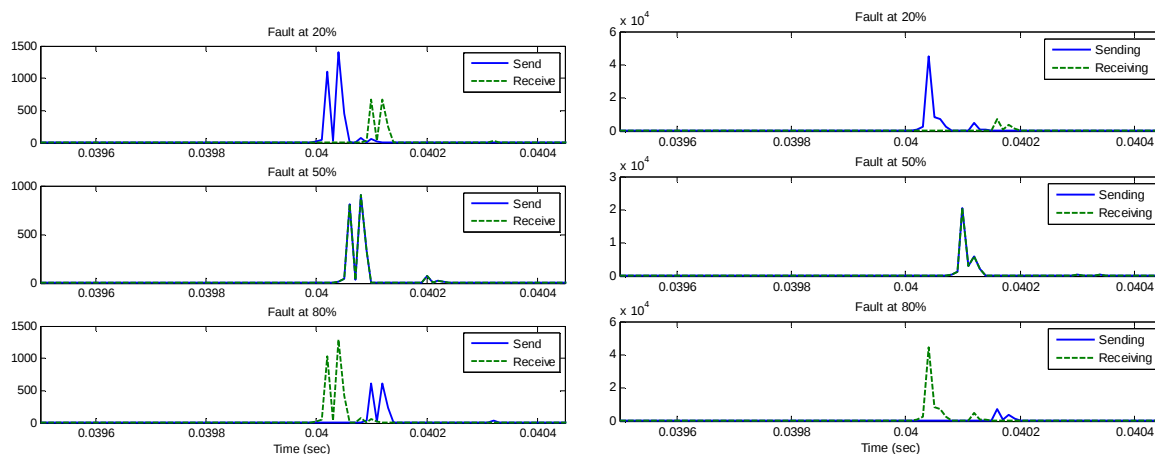
ภาพที่ 4.17 ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบความถี่สูงกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่ง

ภาพที่ 4.17 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดเมื่อระยะที่เกิดฟอลต์เปลี่ยนแปลงไป จะสังเกตเห็นว่าสายส่งแบบเหนือดินและสายส่งแบบใต้ดินนั้นจะมีลักษณะของพฤติกรรมที่เกิดขึ้นแตกต่างกัน โดยที่สายส่งเหนือดินค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดจะมีที่ค่าประมาณ 200 ถึง 4,500 ส่วนค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดของสายส่งใต้ดินจะมีค่าตั้งแต่ 500 ถึง 60,000 ลักษณะกราฟที่เกิดขึ้นก็จะมี ความแตกต่างกัน แต่เมื่อฟอลต์นั้นเกิดขึ้นกับสายส่งแบบผสมก็จะมีลักษณะตามภาพที่ 4.17 ก. ซึ่งเป็นลักษณะของการนำสายส่งเหนือดินมาต่อกับสายใต้ดิน

ทั้งนี้จากภาพที่ 4.2-4.16 จะสังเกตเห็นว่าสัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตทั้งด้านฝั่งรับและด้านฝั่งส่งจะมีเวลาการเกิดค่าสูงสุดที่ไม่ตรงกัน หากเกิดฟอลต์ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่งจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้เปลี่ยนแปลงไปตามภาพที่ 4.18



ก. สายส่งไฟฟ้าแบบผสม



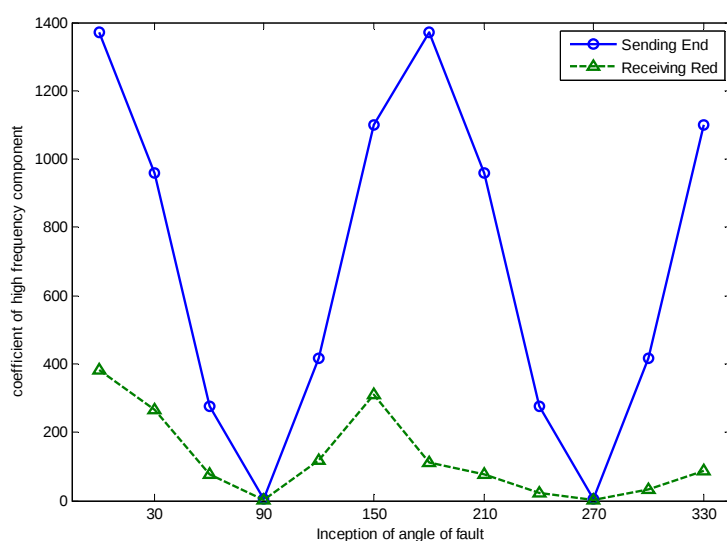
ข. สายส่งไฟฟ้าแบบเหนือดิน

ค. สายส่งไฟฟ้าแบบใต้ดิน

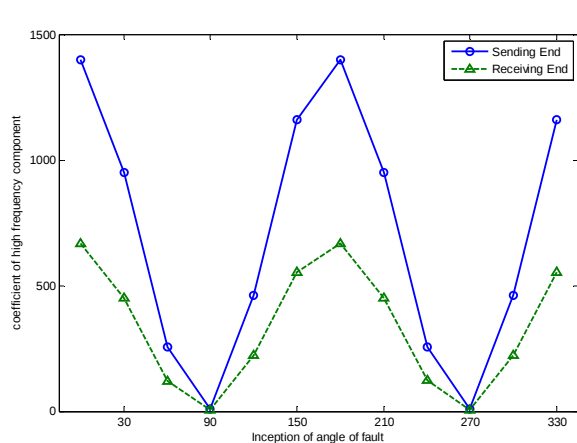
ภาพที่ 4.18 เวลาของค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบความถี่สูงกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่ง

ภาพที่ 4.18 แสดงเวลาของค่าสัมประสิทธิ์ที่เกิดขึ้นสูงสุดเมื่อระยะที่เกิดฟอลต์เปลี่ยนแปลงไป จะสังเกตเห็นว่าเวลาของค่าสัมประสิทธิ์ของสายส่งแบบเหนือดินและสายส่งแบบใต้ดินนั้นจะมีลักษณะของพฤติกรรมที่เกิดขึ้นแตกต่างกัน โดยที่หากเกิดฟอลต์ที่ระยะ 20% ของระยะสายส่งหรือใกล้กับฝั่งส่ง (Sending End) จะเกิดค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดที่ฝั่งส่งก่อนที่จะเกิดที่ฝั่งรับ แต่หากเกิดฟอลต์ที่ระยะ 80% ของระยะสายส่งหรือใกล้กับฝั่งรับจะเกิดค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดที่ฝั่งรับก่อน

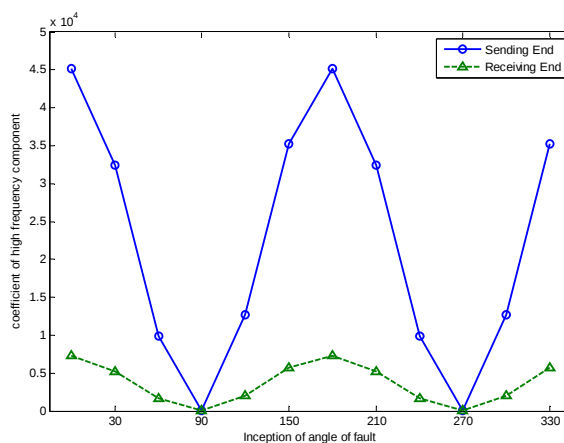
เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงมุมเกิดฟอลต์ของกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดินที่ระยะ 20% ของสายส่ง ลักษณะของค่าสัมประสิทธิ์ที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามภาพที่ 4.19



ก. สายส่งไฟฟ้าแบบผสม



ข. สายส่งไฟฟ้าแบบเหนือดิน



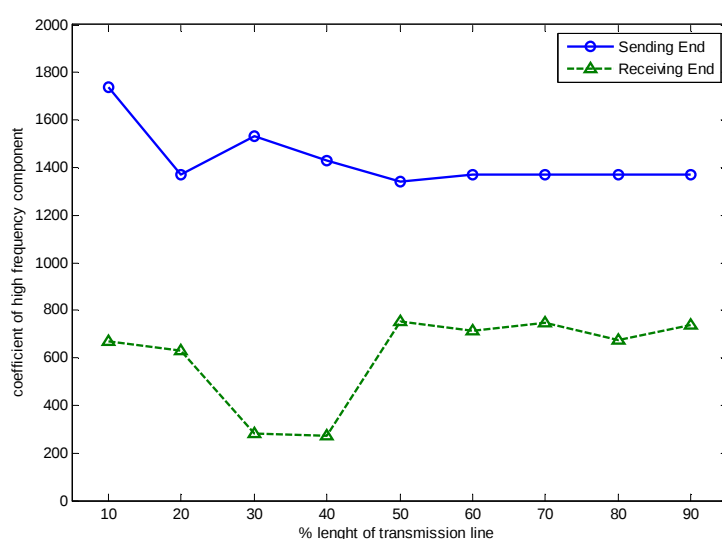
ค. สายส่งไฟฟ้าแบบใต้ดิน

ภาพที่ 4.19 ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบความถี่สูงกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่มุมต่าง ๆ

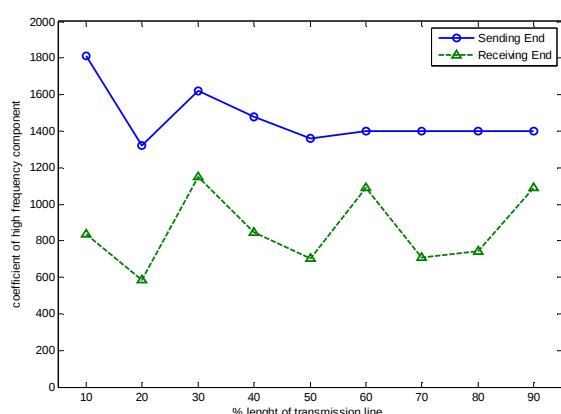
เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงมุมเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% ของสายส่ง ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้มีค่าเปลี่ยนแปลงตามมุมที่เกิดฟอลต์ ซึ่งมีค่าสูงสุดที่มุม 0 องศา น้อยสุดที่ 90 องศา และที่มุม 180 - 330 องศา มีลักษณะค่าสัมประสิทธิ์ลักษณะเดียวกับมุมที่ 0-150 องศา เนื่องจากได้ยกกำลังสองค่าสัมประสิทธิ์จึงได้ค่าที่เป็นค่าบวก ลักษณะของค่าสัมประสิทธิ์ ระบบผสม ระบบเหนือดินและแบบใต้ดินจะมีรูปแบบเดียวกัน

#### 4.2 พฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเลตชนิดฟอลต์พร้อมกันสองจุด

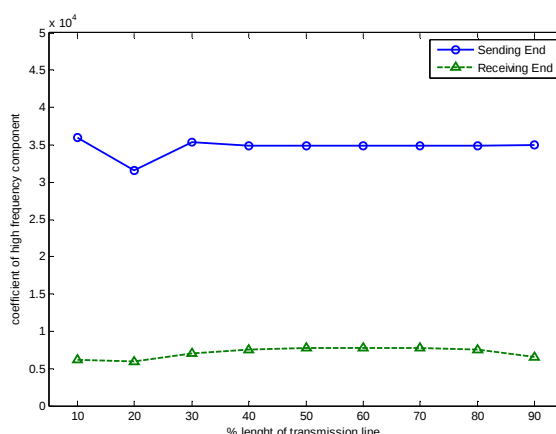
ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเลตของการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดนั้น จะมีลักษณะของพฤติกรรมที่แตกต่างจากการเกิดฟอลต์แบบจุดเดียว ซึ่งการขึ้นอยู่กับรูปแบบการเกิดฟอลต์ ระยะทางการเกิดฟอลต์ เป็นต้น สามารถแสดงได้ดังนี้



ก. สายส่งไฟฟ้าแบบผสม



ข. สายส่งไฟฟ้าแบบเหนือดิน

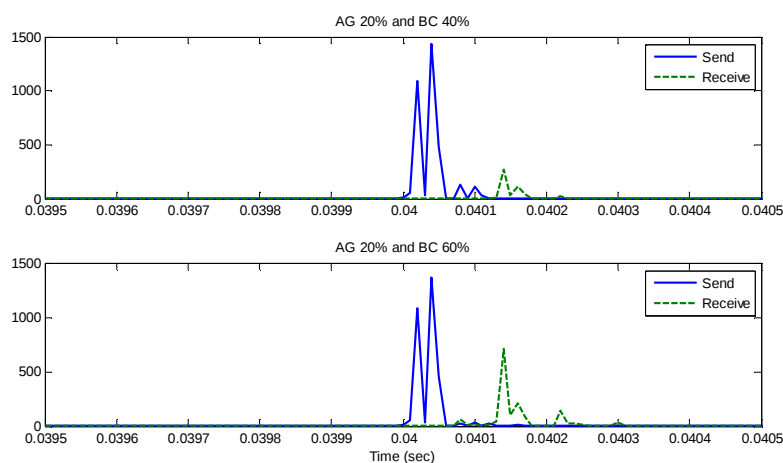


ค. สายส่งไฟฟ้าแบบใต้ดิน

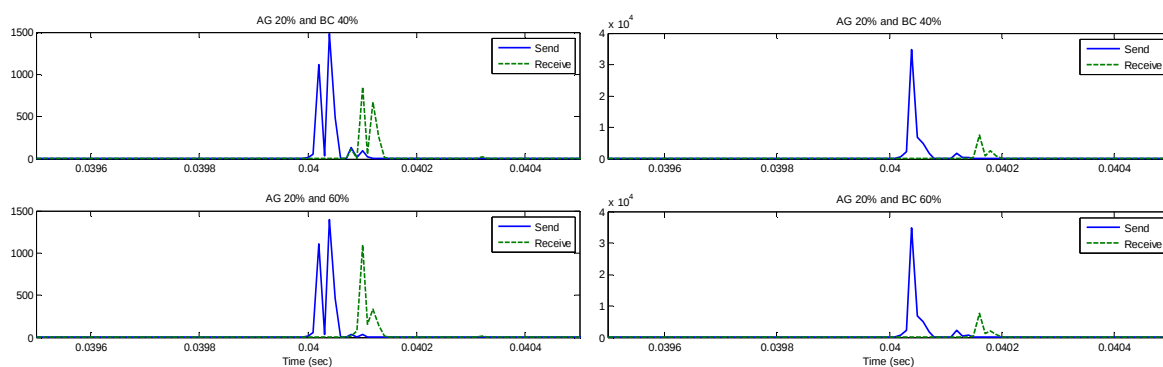
ภาพที่ 4.20 ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบความถี่สูงกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่ง

ภาพที่ 4.20 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดเมื่อระยะที่เกิดฟอลต์ที่สองเปลี่ยนแปลงไป โดยจะให้เกิดฟอลต์สองจุดในเวลาพร้อมกันคือ เกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดินที่ระยะ 20% ของสายส่งและเกิดฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่ง จะสังเกตเห็นว่าสายส่งแบบเหนื่อดิน สายส่งแบบใต้ดิน และสายส่งแบบผสมนั้นจะมีลักษณะของพฤติกรรมที่เกิดขึ้นคล้ายกันคือ ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดฝั่งส่งจะมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ฝั่งรับ ค่าสัมประสิทธิ์การเกิดฟอลต์ของสายส่งใต้ดินจะมีค่าสัมประสิทธิ์มากกว่าสายส่งเหนื่อดินและสายส่งแบบผสม ซึ่งสายส่งแบบผสมจะมีลักษณะพฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์ที่ใกล้เคียงกับสายส่งแบบเหนื่อดิน

ทั้งนี้สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ดทั้งด้านฝั่งรับและด้านฝั่งส่งจะมีเวลาการเกิดค่าสูงสุดที่ไม่ตรงกัน หากเกิดฟอลต์ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่งจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้เปลี่ยนแปลงไปตามภาพที่ 4.21



ก. สายส่งไฟฟ้าแบบผสม



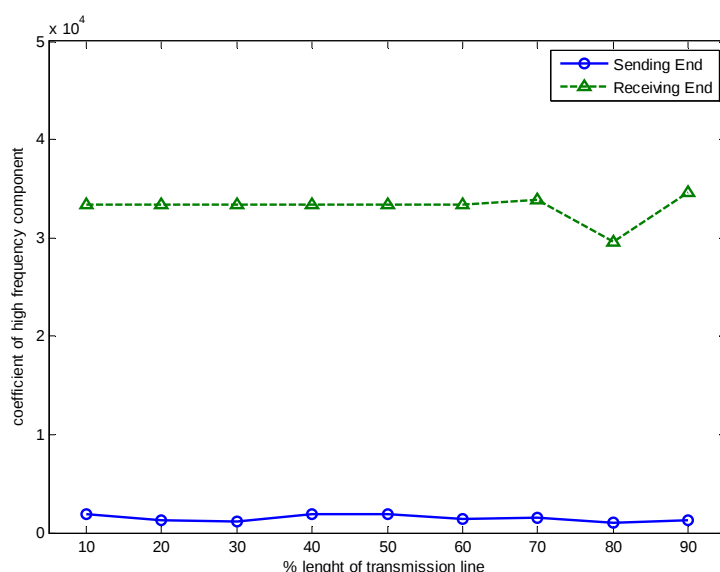
ข. สายส่งไฟฟ้าแบบเหนื่อดิน

ค. สายส่งไฟฟ้าแบบใต้ดิน

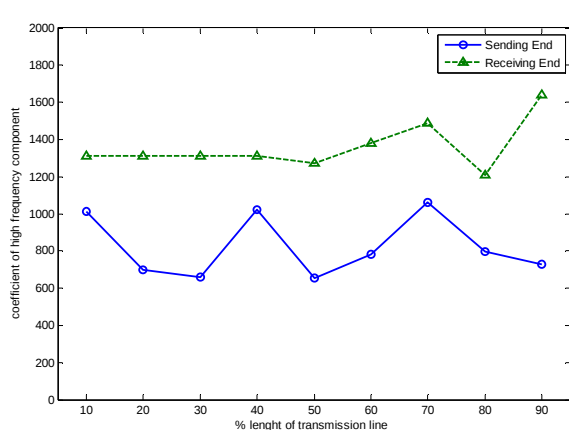
ภาพที่ 4.21 เวลาของค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบความถี่สูงกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่ง

ภาพที่ 4.21 แสดงเวลาของค่าสัมประสิทธิ์ที่เกิดขึ้นสูงสุดเมื่อระยะที่เกิดฟอลต์เปลี่ยนแปลงไป จะสังเกตเห็นว่าเวลาของค่าสัมประสิทธิ์ของสายส่งแบบเหนือดิน สายส่งแบบใต้ดิน และสายส่งแบบผสมนั้นจะมีลักษณะของพฤติกรรมที่เกิดขึ้นคล้ายกัน โดยจะเกิดค่าสูงสุดที่ด้านฝั่งส่งก่อนและจะเกิดค่าสูงสุดที่ด้านฝั่งรับตอนหลัง ซึ่งเวลาที่เกิดค่าสูงสุดฝั่งส่งจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ด้านฝั่งรับจะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของระบบส่ง ระบบส่งเหนือดินจะเกิดค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดเร็วกว่าสายส่งแบบผสม และสายส่งแบบใต้ดิน เนื่องจากสายส่งแต่ละรูปแบบจะมีค่าความเร็วของคลื่นที่แตกต่างกันออกไป

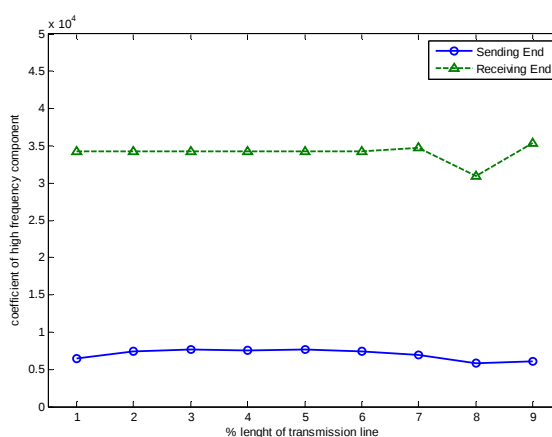
ทั้งนี้เมื่อทำการเปลี่ยนรูปแบบการเกิดฟอลต์แบบสองจุดเป็นแบบการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดินที่ระยะ 80% ของสายส่งและเกิดฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่ง ลักษณะของค่าสัมประสิทธิ์ที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามภาพที่ 4.22



ก. สายส่งไฟฟ้าแบบผสม



ข. สายส่งไฟฟ้าแบบเหนือดิน

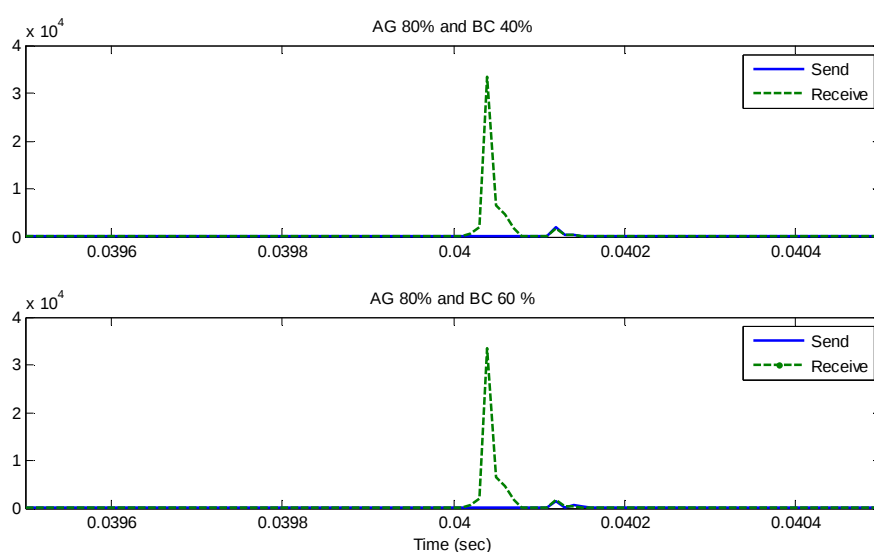


ค. สายส่งไฟฟ้าแบบใต้ดิน

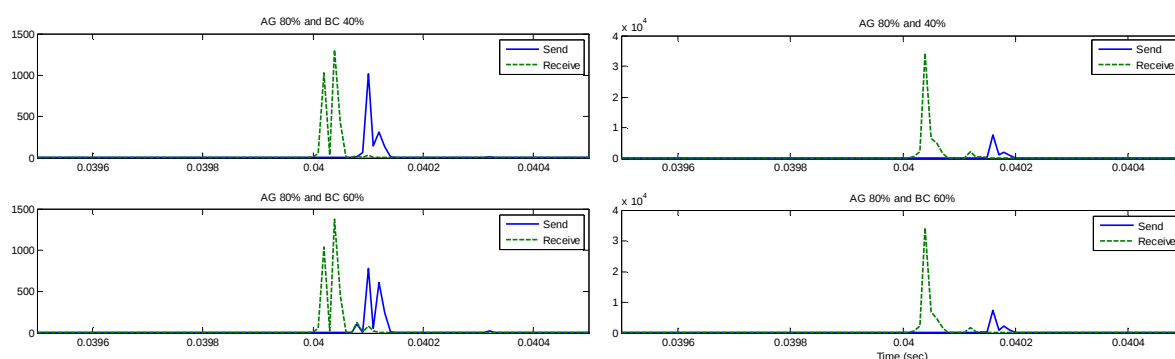
ภาพที่ 4.22 ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบความถี่สูงกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่ง

ภาพที่ 4.22 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดเมื่อระยะที่เกิดฟอลต์ที่สองเปลี่ยนแปลงไป โดยจะให้เกิดฟอลต์สองจุดในเวลาพร้อมกันคือ เกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดินที่ระยะ 80% ของสายส่งและเกิดฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่ง จะสังเกตเห็นว่าสายส่งแบบเหนื่อดิน สายส่งแบบใต้ดิน และสายส่งแบบผสมนั้นจะมีลักษณะของพฤติกรรมที่เกิดขึ้นคล้ายกันคือ ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดฝั่งรับจะมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ฝั่งส่ง ค่าสัมประสิทธิ์การเกิดฟอลต์ของสายส่งใต้ดินและสายส่งแบบผสมจะมีค่าสัมประสิทธิ์มากกว่าสายส่งเหนื่อดิน ส่วนสายส่งแบบผสมจะมีค่าสัมประสิทธิ์ที่ใกล้เคียงกับสายส่งแบบใต้ดิน

ทั้งนี้สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเลตทั้งด้านฝั่งรับและด้านฝั่งส่งจะมีเวลาการเกิดค่าสูงสุดที่ไม่ตรงกัน หากเกิดฟอลต์ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่งจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้เปลี่ยนแปลงไปตามภาพที่ 4.23



ก. สายส่งไฟฟ้าแบบผสม



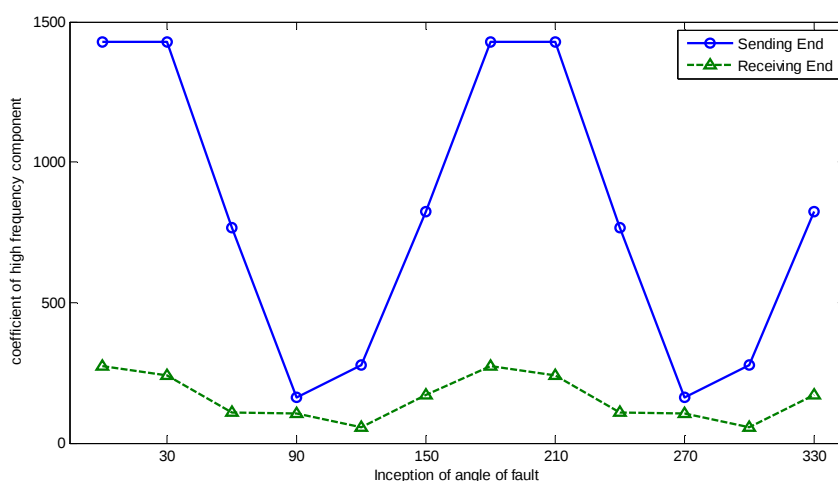
ข. สายส่งไฟฟ้าแบบเหนื่อดิน

ค. สายส่งไฟฟ้าแบบใต้ดิน

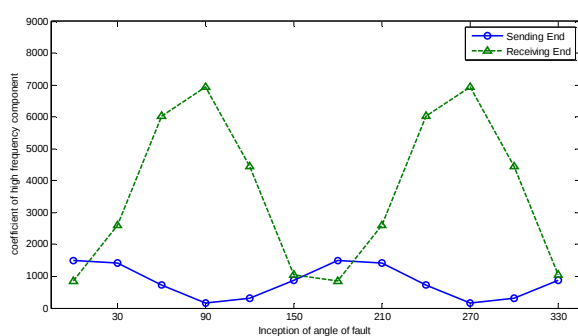
ภาพที่ 4.23 เวลาของค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบความถี่สูงกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่ง

ภาพที่ 4.23 แสดงเวลาของค่าสัมประสิทธิ์ที่เกิดขึ้นสูงสุดเมื่อระยะที่เกิดฟอลต์เปลี่ยนแปลงไป จะสังเกตเห็นว่าเวลาของค่าสัมประสิทธิ์ของสายส่งแบบเหนือดินสายส่งแบบใต้ดิน และสายส่งแบบผสมนั้นจะมีลักษณะของพฤติกรรมที่เกิดขึ้นคล้ายกัน โดยจะเกิดค่าสูงสุดที่ด้านฝั่งรับก่อนและจะเกิดค่าสูงสุดที่ด้านฝั่งส่งตอนหลัง ซึ่งเวลาที่เกิดค่าสูงสุดฝั่งรับจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ด้านฝั่งส่งจะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของระบบส่ง ระบบส่งเหนือดินจะเกิดค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดเร็วกว่าสายส่งแบบผสม และสายส่งแบบใต้ดิน เนื่องจากสายส่งแต่ละรูปแบบจะมีค่าความเร็วของคลื่นที่แตกต่างกัน

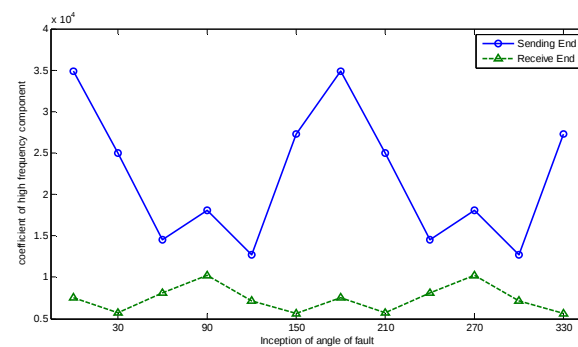
เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงมุมเกิดฟอลต์ของกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดินที่ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c ที่ระยะ 40% ของสายส่ง ลักษณะของค่าสัมประสิทธิ์ที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามภาพที่ 4.24



ก. สายส่งไฟฟ้าแบบผสม



ข. สายส่งไฟฟ้าแบบเหนือดิน



ค. สายส่งไฟฟ้าแบบใต้ดิน

ภาพที่ 4.24 ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบความถี่สูงกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ระยะ 40% ที่มุมต่าง ๆ

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงมุมเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ระยะ 40% ของสายส่ง ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้มีค่าเปลี่ยนแปลงตามมุมที่เกิดฟอลต์ โดยระบบสายส่งผสมและสายส่งแบบใต้ดินจะมีค่าสัมประสิทธิ์ของฝั่งส่งมากกว่าฝั่งรับ แต่สายส่งแบบเหนือดินจะมีค่าสัมประสิทธิ์ฝั่งรับมากกว่าฝั่งส่ง ระบบสายส่งผสมมีค่าสูงสุดของฝั่งส่งที่มุม 0 น้อยสุดที่มุม 90 ส่วนฝั่งรับค่าสูงสุดที่มุม 0 น้อยสุดที่มุม 120 ระบบสายส่งเหนือดินมีค่าสูงสุดของฝั่งส่งที่มุม 120 น้อยสุดที่มุม 0 ส่วนฝั่งรับค่าสูงสุดที่มุม 0 น้อยสุดที่มุม 90 ระบบสายส่งใต้ดินมีค่าสูงสุดของฝั่งส่งมุม 0 น้อยสุดที่มุม 120 ส่วนฝั่งรับค่าสูงสุดที่มุม 90 น้อยสุดที่มุม 150