

บทที่ 3

การจำลองฟอลต์



เพื่อศึกษาพฤติกรรมของสัญญาณฟอลต์ที่เกิดขึ้นของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง แต่ฟอลต์เป็นสิ่งที่ผิดปกติในระบบไฟฟ้าในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถทดลองในระบบจริงได้ จึงมีความจำเป็นที่ต้องสร้างแบบจำลองทางไฟฟ้าขึ้นมา ในโครงการวิจัยนี้จึงได้จำลองปรากฏการณ์การเกิดฟอลต์ โดยอาศัยโปรแกรม ATPDraw for Windows version 3.65 ที่ได้รับการพัฒนามาจากโปรแกรม ATP/EMTP [33,34] หรือ Alternative Transients Program / Electromagnetic Transients Program ซึ่งช่วยในการสร้างแบบจำลองในระบบไฟฟ้าโดยเฉพาะเพื่อใช้สำหรับการศึกษาพฤติกรรมตอบสนองทางด้านทรานเซียนต์เมื่อคุณสมบัติของระบบจำลองเปลี่ยนไป โปรแกรมนี้มีการใช้งานและได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางว่ามีความเหมาะสมในด้านการจำลองแบบดิจิทัลสำหรับปรากฏการณ์ทรานเซียนต์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และให้ผลตอบสนองเหมือนกับปรากฏการณ์ทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของจริงในระบบไฟฟ้า

3.1 แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง [16]

ในการศึกษาฟอลต์ที่เกิดภายในโซนหม้อแปลงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องคำนวณพารามิเตอร์ต่างๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังให้ถูกต้องเพื่อนำไปใช้สำหรับการจำลองฟอลต์ เนื่องจากสัญญาณฟอลต์จะมีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่ที่สูงกว่าความถี่พื้นฐานอยู่มาก ดังนั้นจึงต้องเลือกรูปแบบในการคำนวณให้เหมาะสมด้วย การคำนวณพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังนั้นมีให้เลือกใช้อยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ ได้แก่ BCTRAN, Saturable Transformer, X Transformer และ Ideal Transformer แต่สำหรับการศึกษาสภาวะทรานเซียนต์จะใช้แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง BCTRAN เพื่อจำลองปรากฏการณ์การเกิดฟอลต์ในงานวิจัยนี้

ขั้นตอนที่ 1 ใช้ผลการทดสอบของหม้อแปลงมาเป็นข้อมูลอินพุต ส่วนเอาต์พุตได้จากโปรแกรม BCTRAN อยู่ในรูปของเมตริกซ์ค่าความต้านทาน $[R]$ และค่าความเหนี่ยวนำในรูปของ self-inductance และ mutual-inductance $[L]$ ขนาด 6×6 สำหรับหม้อแปลงชนิด 2 ขดลวดดังสมการที่ 3.1 และสมการที่ 3.2 ซึ่งไม่พิจารณาฟอลต์ภายในขดลวด (อยู่ในสภาวะทำงานปกติ)

$$[R] = \begin{bmatrix} R_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_6 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$$[L] = \begin{bmatrix} L_1 & M_{12} & M_{13} & M_{14} & M_{15} & M_{16} \\ M_{21} & L_2 & M_{14} & M_{24} & M_{25} & M_{26} \\ M_{31} & M_{32} & L_3 & M_{34} & M_{35} & M_{36} \\ M_{41} & M_{42} & M_{43} & L_4 & M_{45} & M_{46} \\ M_{51} & M_{52} & M_{53} & M_{54} & L_5 & M_{56} \\ M_{61} & M_{62} & M_{63} & M_{64} & M_{65} & L_6 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

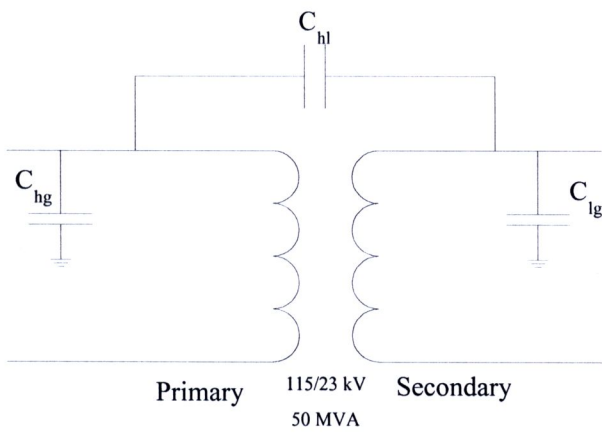
ขั้นตอนที่ 2 เปลี่ยนแปลงเมทริกซ์ข้างต้น $[R]$ และ $[L]$ ตามชนิดฟอลต์ขดลวดภายใน โดยใช้ความสัมพันธ์ของหลักการความสอดคล้อง (Consistency), การรั่วไหล (Leakage) และสัดส่วน (Proportionality) มาช่วย และได้เมทริกซ์ฟอลต์ขดลวดภายในขึ้นมาใหม่ดังสมการที่ 3.3 และสมการที่ 3.4

$$[R] = \begin{bmatrix} R_a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_6 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

$$[L] = \begin{bmatrix} L_a & M_{ab} & M_{a2} & M_{a3} & M_{a4} & M_{a5} & M_{a6} \\ M_{ba} & L_b & M_{b2} & M_{b3} & M_{b4} & M_{b5} & M_{b6} \\ M_{2a} & M_{2b} & L_2 & M_{23} & M_{24} & M_{25} & M_{26} \\ M_{3a} & M_{3b} & M_{32} & L_3 & M_{34} & M_{35} & M_{36} \\ M_{4a} & M_{4b} & M_{42} & M_{43} & L_4 & M_{45} & M_{46} \\ M_{5a} & M_{5b} & M_{52} & M_{53} & M_{54} & L_5 & M_{56} \\ M_{6a} & M_{6b} & M_{62} & M_{63} & M_{64} & M_{65} & L_6 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

ขั้นตอนที่ 3 เพื่อศึกษาพฤติกรรมสภาวะเกิดฟอลต์ของหม้อแปลงในสภาวะเกิดฟอลต์ภายใน ขดลวดหม้อแปลงในงานวิจัยนี้ นำตัวเก็บประจุที่เกิดขึ้นในขดลวดทางด้านแรงดันสูง, แรงดันต่ำ (earth capacitance of the HV and LV windings) และตัวเก็บประจุระหว่างขดลวดแรงดันสูงกับ

แรงดันต่ำ (inter-winding capacitances) มาต่อเพิ่มเข้าไปในแบบจำลองหม้อแปลง BCTRAN [17] ดังรูปที่ 3.1

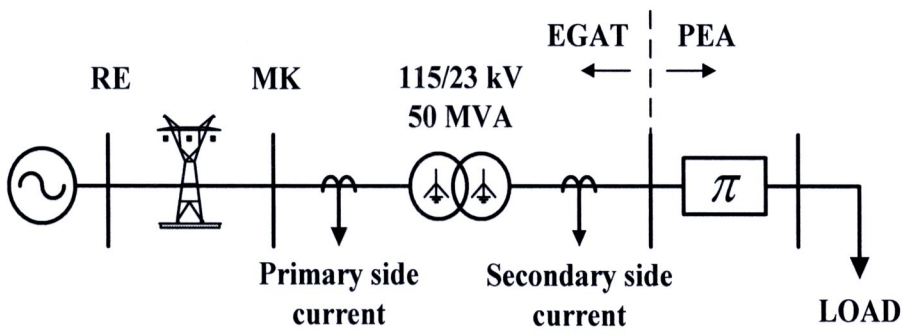


รูปที่ 3.1 แสดงแบบจำลองหม้อแปลงเฟสเดียวเมื่อต่อตัวเก็บประจุ [18]

3.2 ระบบจำลองฟอลต์

3.2.1 แบบจำลอง

เนื่องจากในสภาวะที่เกิดฟอลต์นั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบของเหตุการณ์เกิดขึ้น ดังนั้นเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ฟอลต์ได้ครอบคลุมในหลายรูปแบบมากที่สุด จึงทำการสร้างระบบจำลองขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.2 [19]



รูปที่ 3.2 แสดงระบบจำลองฟอลต์ภายในหม้อแปลงขนาด 50 MVA [19]

3.2.2 ผลการทดสอบของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง [20]

ในโครงการวิจัยนี้ได้ใช้ระบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังขนาด 50 MVA, 115/23 kV ซึ่งเป็นหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่มีใช้งานจริงที่สถานีไฟฟ้ามหาสารคาม (MK) โดยสามารถแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

พิกัดแรงดัน ปฐมภูมิ/ทุติยภูมิ	115/23 kV
พิกัดกระแส ปฐมภูมิ/ทุติยภูมิ	251.02/1255.11 kA
การต่อขดลวด	Ynyn0
พิกัดกำลัง	50 MVA
ค่าสูญเสียการกระตุ้นลำดับบวก / ศูนย์ (เปิดวงจรทางด้านแรงดันสูง)	22.18/221 kW
กระแสกระตุ้นลำดับบวก / ศูนย์	0.922/200 A
แรงดันกระตุ้นลำดับบวก / ศูนย์ (จ่ายไฟที่พิกัดแรงดัน)	23/1.993 kV
ค่าสูญเสียการลัดวงจรลำดับบวก / ศูนย์ (ลัดวงจรทางด้านแรงดันต่ำ)	148.10/345 kW
กระแสลัดวงจรลำดับบวก / ศูนย์ (จ่ายไฟที่พิกัดกระแส)	251.07/200.2 A
แรงดันลัดวงจรลำดับบวก / ศูนย์	14.44/3.224 kV
ตัวเก็บประจุที่เกิดขึ้นในขดลวดทางด้านแรงดันสูง	12491.62 pF
ตัวเก็บประจุที่เกิดขึ้นในขดลวดทางด้านแรงดันต่ำ	21795.15 pF
ตัวเก็บประจุระหว่างขดลวดแรงดันสูงกับแรงดันต่ำ	17424.32 pF

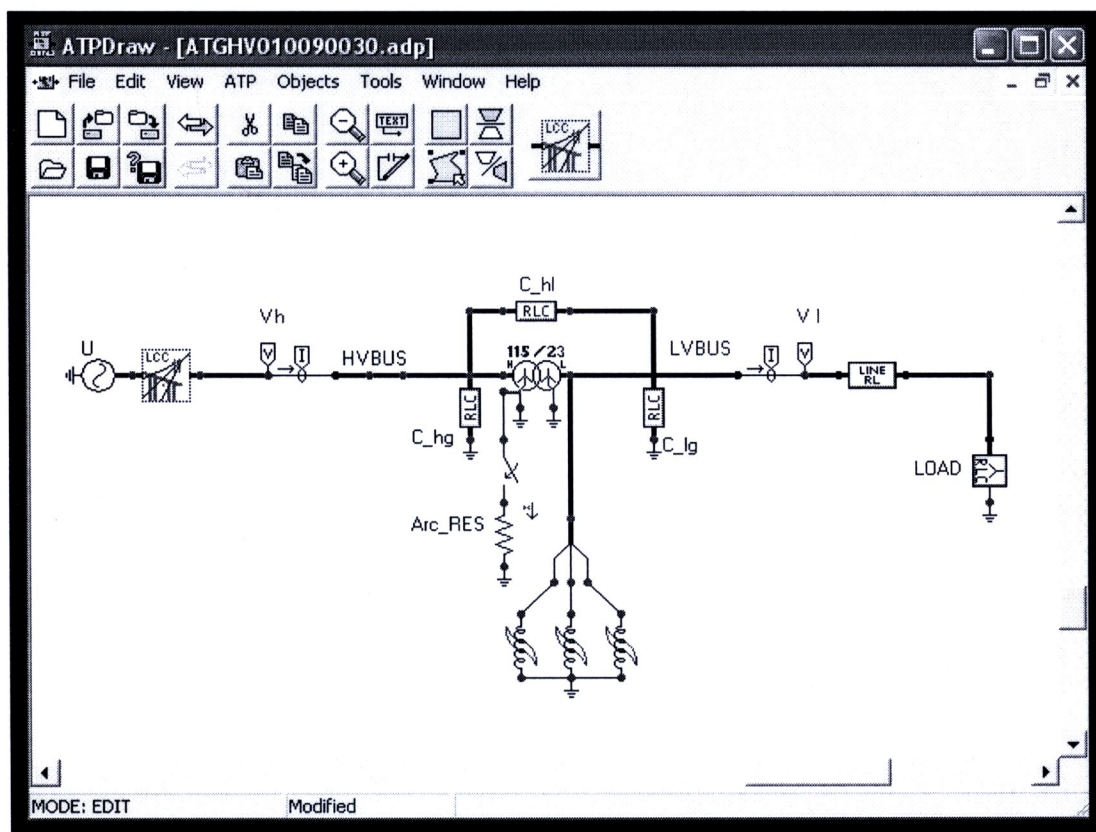
3.2.3 การปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์

ในการจำลองฟอลต์นั้นเพื่อศึกษาฟอลต์ที่แตกต่างกันจึงทำการการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ที่มีผลเกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

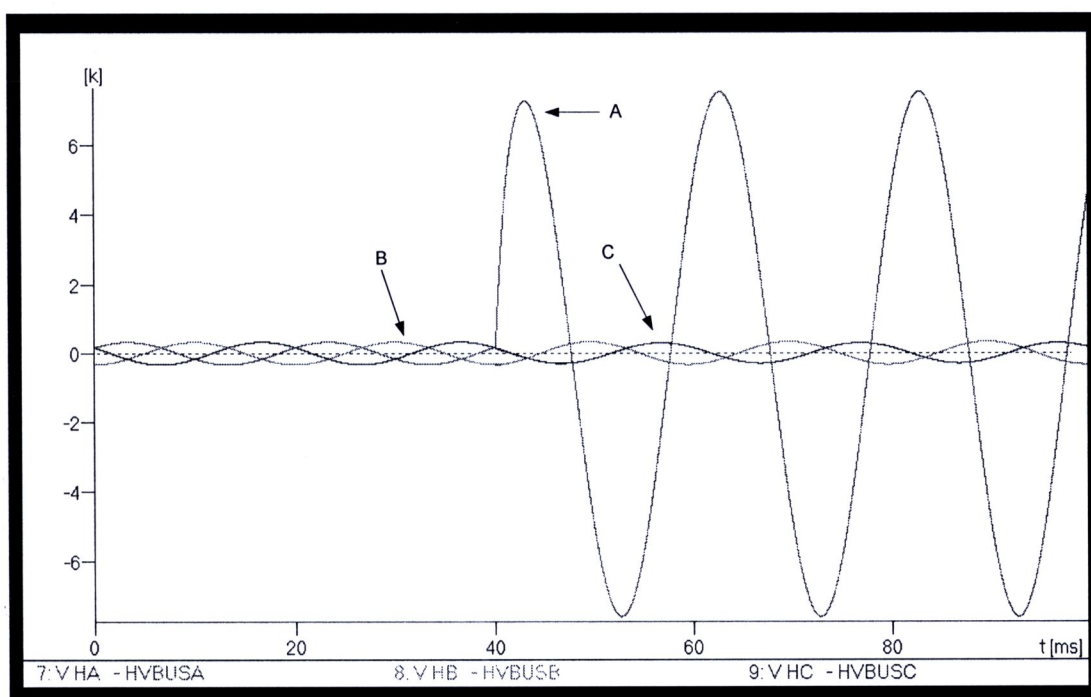
- ประเภทของฟอลต์ 2 ชนิดได้แก่ ฟอลต์ขดลวดลัดวงจรลงดินและขดลวดลัดวงจรระหว่างรอบ
- ชนิดของฟอลต์ที่เกิดขึ้นทางฝั่งปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลง
- มุมที่เริ่มเกิดฟอลต์ 0° - 330° เมื่อเทียบกับมุมเฟสของแรงดันสูงที่เฟส A (ช่วงละ 30°)
- สำหรับกรณีฟอลต์ขดลวดลัดวงจรลงดิน ตำแหน่งที่ลัดวงจร 10%-90% ของขดลวด (ขดลวดย่อย a เปลี่ยนแปลงช่วงละ 10%)
- สำหรับกรณีฟอลต์ขดลวดลัดวงจรระหว่างรอบ ตำแหน่งที่ลัดวงจร 10%-80% ของขดลวด (ขดลวดย่อย a เปลี่ยนแปลงช่วงละ 10%)
- สำหรับกรณีฟอลต์ขดลวดลัดวงจรระหว่างรอบ ตำแหน่งที่ลัดวงจร 10%-80% ของขดลวด (ขดลวดย่อย b เปลี่ยนแปลงช่วงละ 10%)
- ความต้านทานของฟอลต์ 5 โอห์ม

จากวงจรขณะเกิดฟอลต์ของหม้อแปลงทดสอบในรูปที่ 3.3 ซึ่งเป็นแบบจำลองการทดสอบในโปรแกรม ATPDraw โดยใช้สวิตช์ทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดรูปแบบและเวลาของการเกิดฟอลต์ ซึ่งในที่นี้ได้กำหนดให้เริ่มเกิดฟอลต์ที่ t = 0.04 วินาที และทำการจำลองสัญญาณทั้งหมด 5 ไซเคิล (0

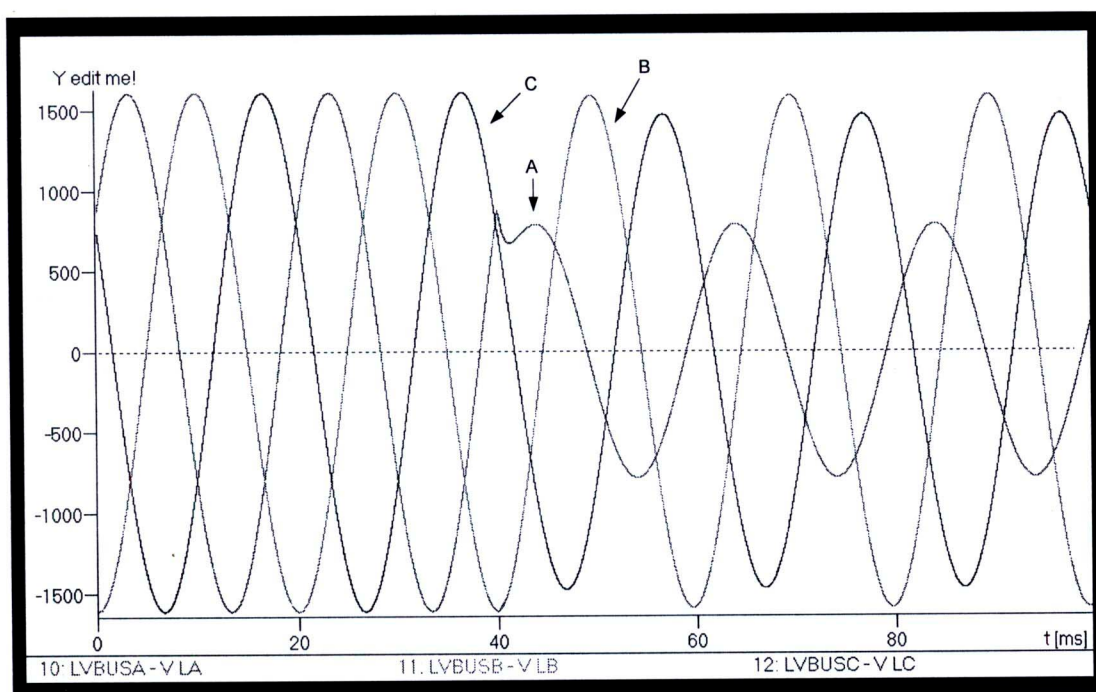
- 0.1 วินาที) โดยไม่มีการกำจัดฟอลต์ออก ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างของสัญญาณที่ได้จากการจำลองดังแสดงในรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรในการจำลองฟอลต์ด้วยโปรแกรม ATP/EMTP



รูปที่ 3.4 แสดงสัญญาณฟอลต์ของกระแสที่ได้จากการจำลองที่ปลายด้านแรงดันสูง



รูปที่ 3.5 แสดงสัญญาณฟอลต์ของกระแสที่ได้จากการจำลองที่ปลายด้านแรงต่ำ

จากรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5 แสดงให้เห็นผลการจำลองของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงทดสอบ จะพบว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของฟอลต์ทั้งสองชนิดมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน จึงยากแก่การแยกประเภทฟอลต์ ด้วยเหตุนี้เอง จึงได้นำการแปลงเวฟเลตมาช่วยในการแยกประเภทฟอลต์ โดยจะอธิบายในบทที่ 4 ต่อไป