

## บทที่ 5

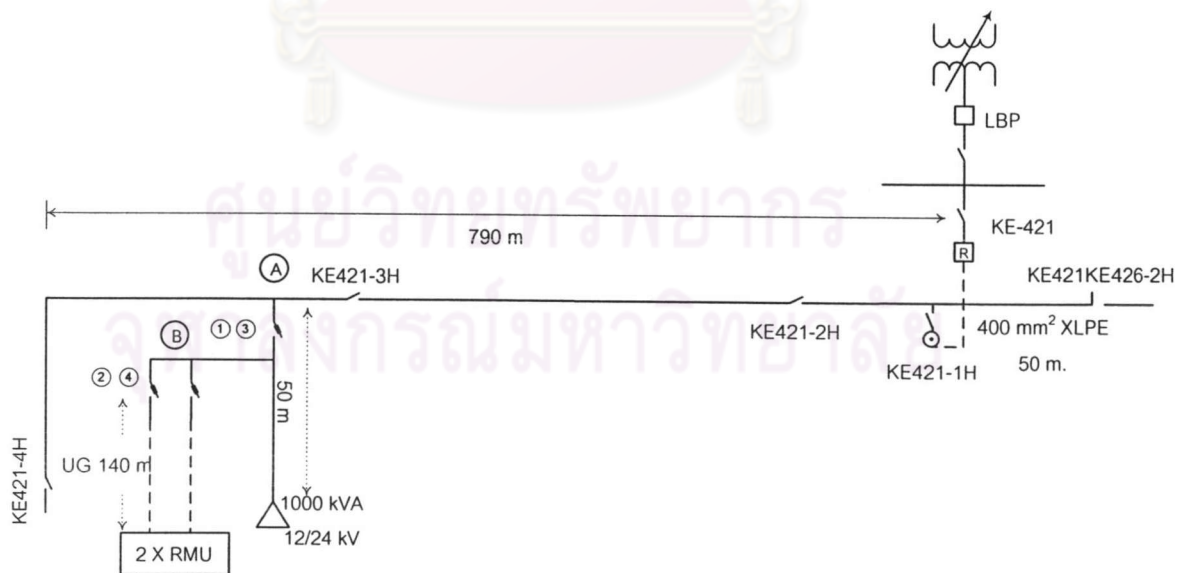
### แรงดันเกินจากการสับ-ปลดฟิวส์ชนิดขาดตก

#### 5.1 ปัญหา

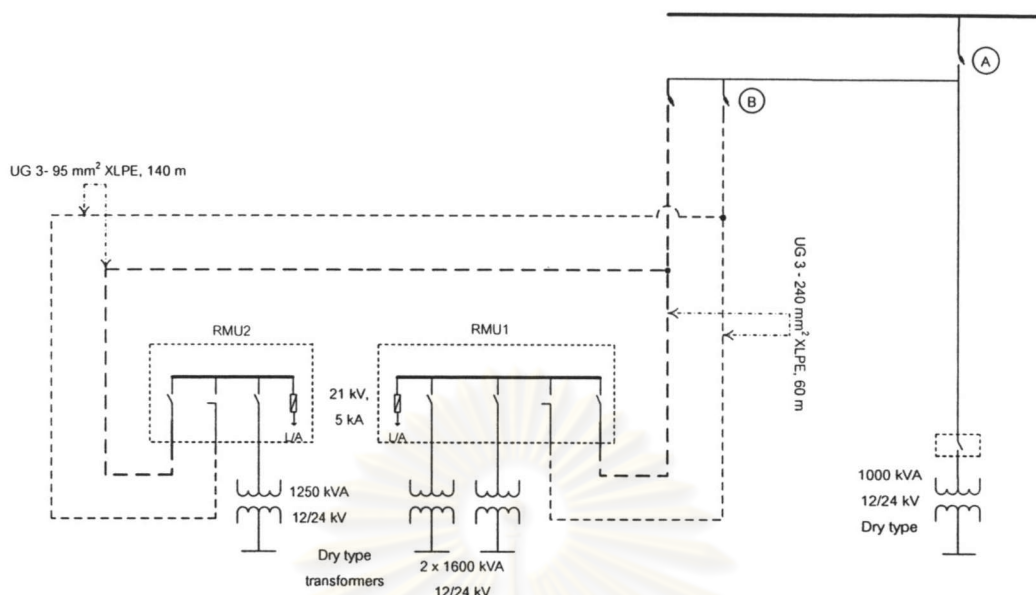
บทนี้นำเสนอการศึกษากรณีปัญหาแรงดันเกินจากการสับ-ปลดฟิวส์ชนิดขาดตก (drop-out fuse) จากตัวอย่างกรณีปัญหาของ การไฟฟ้านครหลวง ขณะการปฏิบัติงานเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟจากระบบ 12 kV เป็น 24 kV ภายหลังจากปฏิบัติงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว ฟิวส์ชนิดขาดตกที่เสาะจำหน่ายแรงสูงบริเวณด้านหน้าของอาคารที่ละเฟส จนครบทั้ง 3 เฟส พบว่ากับดักฟ้าผ่าที่ติดตั้งในตู้ RMU ภายในอาคารเกิดระเบิดขึ้นทันที ทำให้กับดักฟ้าผ่าได้รับความเสียหายทั้ง 3 เฟส ซึ่งปัญหาลักษณะเดียวกันนี้ยังคงเกิดขึ้นอยู่บ่อยครั้งขณะปฏิบัติงานบำรุงรักษา ระบบจ่ายไฟของผู้ใช้ไฟ

##### 5.1.1 โครงสร้างของระบบ

กรณีศึกษานี้เป็นระบบจำหน่ายพิกัดแรงดัน 24 kV รับไฟจากสถานีไฟฟ้าย่อย ผ่านสายบ่อน KE421 จ่ายไฟให้กับผู้ใช้ไฟประเภทอาคารพาณิชย์ซึ่งอยู่ระหว่างสวิตช์ ไบมีด KE421-3H กับ KE421-4H โครงสร้างของระบบแสดงได้ดังแผนภาพเส้นเดียวใน รูปที่ 5.1 และ 5.2 โดยสามารถแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

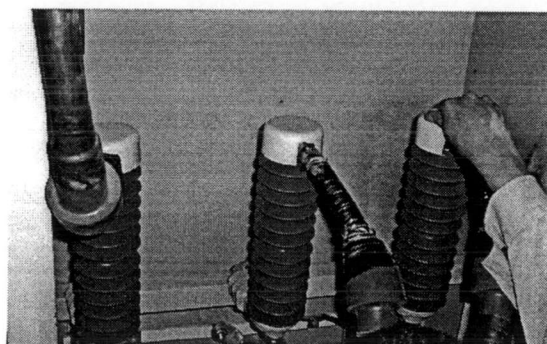


รูปที่ 5.1 แผนภาพเส้นเดียวของกรณีศึกษา



รูปที่ 5.2 แผนภาพเส้นเดียวของระบบ RMU ภายในอาคารของผู้ใช้ไฟ

- 1) อาคารรับไฟจากสถานีไฟฟ้าย่อย ผ่านวงจรสายป้อนอากาศชนิด Spaced Aerial Cable (KE421) โดยต่อแยกเข้าอาคารที่ จุด A ดังแสดงในรูปที่ 5.1 และ 5.2
- 2) จากจุด A จ่ายเข้าอาคารของผู้ใช้ไฟ 2 ส่วน ส่วนแรกจ่ายให้กับหม้อแปลงชนิดแห้ง (dry type transformer) ขนาด 1,000 kVA 1 ตัว และอีกส่วนหนึ่งจ่ายให้กับระบบ RMU 2 ชุด ด้วยวงจรสายเคเบิลใต้ดิน โดยมีฟิวส์ชนิดขาดตก 2 ชุด ติดตั้งที่ จุด B เป็นอุปกรณ์ตัดต่อวงจร และใช้ป้องกันความเสียหายจากกระแสลัดวงจร ดังแสดงในรูปที่ 5.2
- 3) ระบบ RMU1 จ่ายไฟให้กับหม้อแปลงชนิดแห้งขนาด 1,600 kVA จำนวน 2 ตัว และ RMU2 จ่ายไฟให้กับหม้อแปลงชนิดเดียวกันขนาด 1,250 kVA จำนวน 1 ตัว
- 4) ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าขนาด 21 kV, 5 kA ชนิดโพลีเมอร์ ที่บัสภายในตู้ RMU ทั้ง 2 ชุด เพื่อป้องกันแรงดันเกินเสิร์จกับหม้อแปลงและสายเคเบิลใต้ดิน ดังแสดงในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 กับดักฟ้าผ่าขนาด 21 kV, 5 kA ที่ติดตั้งภายในตู้ RMU

### 5.1.2 ขั้นตอนและเหตุการณ์ขณะปฏิบัติงาน

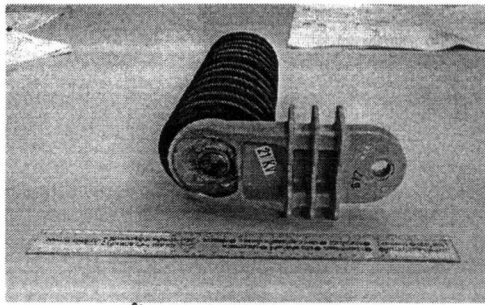
การปฏิบัติงานเปลี่ยนอุปกรณ์ภายในระบบไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟ ต้องทำการดับไฟที่จ่ายให้กับอาคารเพื่อปฏิบัติงาน โดยมีขั้นตอนในการสับ-ปลดสวิตช์และเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นขณะปฏิบัติงานของกรณีศึกษาดังต่อไปนี้

- 1) ผู้ปฏิบัติงานดับไฟที่จ่ายให้กับอาคาร ด้วยการปลด Dropout Fuse ที่จุด A ออกที่ละเฟสจนครบทั้ง 3 เฟส
- 2) ปลด Dropout Fuse ที่จุด B ออกที่ละเฟสจนครบทั้ง 3 เฟสและเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าจากระบบ 12 kV เป็น 24 kV พร้อมเปลี่ยนสายไฟด้านหลังของ Dropout Fuse จุด A ด้วย
- 3) ผู้ปฏิบัติงานจ่ายไฟกลับคืนหลังจากปฏิบัติงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว โดยสับ Dropout Fuse ที่จุด A เข้าที่ละเฟสจนครบทุกเฟส เพื่อเตรียมจ่ายไฟให้กับอาคาร
- 4) สับ Dropout Fuse ที่จุด B เข้าที่ละเฟสจนครบทั้งหมด เพื่อจ่ายไฟให้ RMU ในสถานะที่ด้านแรงต่ำของหม้อแปลงไม่มีโหลดต่ออยู่
- 5) หลังจากสับ Dropout Fuse ที่จุด B ครบทุกเฟส กับดักฟ้าผ่าเฟส R ที่ต่อกับหม้อแปลง 1,250 kVA เกิดระเบิดขึ้น และยังทำให้ Dropout Fuse เฟส R ที่จุด B ขาดตกด้วย
- 6) เปลี่ยนกับดักฟ้าผ่าที่จุด B ทั้ง 3 เฟส โดยใช้ชนิดพอร์ชเลน แบบกระเบื้องยาว ที่มีพิทักเดียวกันแทน แล้วสับ Dropout Fuse เข้าในลักษณะเดียวกัน แต่ไม่พบปัญหาและสามารถจ่ายไฟได้ตามปกติ

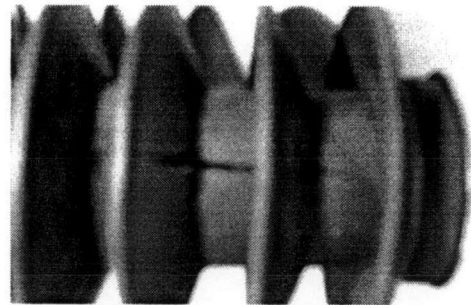
### 5.1.3 ความเสียหายของกับดักฟ้าผ่า

กับดักฟ้าผ่าเฟส R มีลักษณะการระเบิดจากความร้อนสูงภายใน ทำให้ขั้วต่อสายลงดินกระเด็นหลุดออก และยังพบรอยฉีกขาดของเปลือกโพลีเมอร์และคราบเขม่าจำนวนมากดังแสดงในรูปที่ 5.4 (a) และ (b) ส่วนกับดักฟ้าผ่าเฟส Y และ B นั้นไม่มีลักษณะของการระเบิดแต่พบเพียงคราบเขม่าดำและโลหะที่ขั้วต่อด้านบนหลอมละลายไปบางส่วนซึ่งคาดว่าอาจเกิดจากความร้อนสูง และเขม่าจากการระเบิดของกับดักฟ้าผ่าเฟส R ดังแสดงในรูปที่ 5.5 (a) และ (b) ตามลำดับ



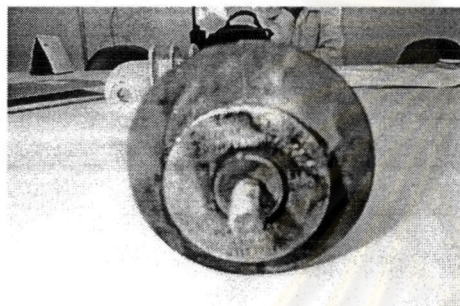


(a) ขั้วต่อสายลงดินหลุดออก

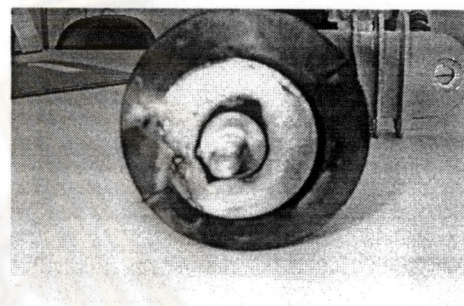


(b) รอยฉีกขาดของเปลือกโพลีเมอร์

รูปที่ 5.4 ภาพถ่ายของกับดีกฟ้าผ่าเฟส R ที่เกิดระเบิด



(a) กับดีกฟ้าผ่าเฟส Y



(b) กับดีกฟ้าผ่าเฟส B

รูปที่ 5.5 ภาพถ่ายขั้วต่อโลหะส่วนบนของกับดีกฟ้าผ่าเฟส Y และ B ที่มีคราบเขม่าดำและมีบางส่วนหลอมละลายไป

## 5.2 การจำลองด้วยโปรแกรม EMTP

จากลักษณะการสับ-ปลดสวิตช์ จะเห็นว่าการจ่ายไฟให้กับหม้อแปลงทั้ง 3 ชุด ภายในตัวอาคารผ่านวงจรสายเคเบิลใต้ดิน ด้วยการสับฟิวส์ชนิดขาดตกที่จุด B เข้าที่ละเฟส คาดว่าอาจทำให้เกิดแรงดันเกินชั่วคราวจากปรากฏการณ์เฟอร์โรเรโซแนนซ์ในเฟสที่เปิดวงจรอยู่ และอาจมีขนาดเกินกว่าพิกัด MCOV ของกับดีกฟ้าผ่าขนาด 21 kV (17 kV MCOV) จึงเป็นผลให้กับดีกฟ้าผ่าได้รับความเสียหาย ในการจำลองด้วยโปรแกรม EMTP จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ กรณีไม่ติดตั้งกับดีกฟ้าผ่า และติดตั้งกับดีกฟ้าผ่า ขณะสับฟิวส์ชนิดขาดตกเข้าที่ละเฟส ตามลำดับเฟส Y, B และ R

### 5.2.1 แบบจำลองของกรณีศึกษา

จากแผนภาพของกรณีศึกษาในรูปที่ 5.1 และ 5.2 สามารถจำลองด้วยโปรแกรม ATP/EMTP ได้ดังรูปที่ 5.6 ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

#### 5.2.1-1 วงจรสมมูลของแหล่งจ่าย

ใช้แหล่งจ่ายแรงดันอุดมคติ 3 เฟส ขนาด 24 kV<sub>rms</sub>(L-L) ต่อกับ อิมพีแดนซ์ลัดวงจรซึ่งขนานกับอิมพีแดนซ์เสิร์จรวมของสายป้อนอื่นที่ต่ออยู่ในบัสเดียวกัน โดยมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

- 1) อิมพีแดนซ์ลัดวงจร ที่ระดับแรงดัน 24 kV, 100 MVA (Z<sub>th</sub>)

$$R_{1,2} = 0.3598848 \ \Omega \text{ และ } L_{1,2} = 6.45563 \text{ mH}$$

$$R_0 = 0.029952 \ \Omega \text{ และ } L_0 = 6.092604 \text{ mH}$$

- 2) อิมพีแดนซ์เสิร์จรวม (Z<sub>s</sub>) ของสายเคเบิลใต้ดินอื่นที่ต่ออยู่ในบัสเดียวกัน จำนวน 4 สาย มีค่าประมาณ 6.57  $\Omega$  (Z<sub>s</sub> = 26.29  $\Omega$  /เส้น)

#### 5.2.1-2 สายป้อนเหนือศีรษะและสายเคเบิลใต้ดิน

วงจรสายป้อนประกอบด้วยสายป้อนเหนือศีรษะขนาด 185 mm<sup>2</sup> และสายเคเบิลใต้ดินขนาด 95, 240 และ 400 mm<sup>2</sup> ซึ่งแทนด้วยแบบจำลองสายส่งชนิด PI โดยมีข้อมูลและพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงอยู่ในภาคผนวก ข.2 และ ข.3

#### 5.2.1-3 หม้อแปลงจำหน่าย

หม้อแปลงจำหน่ายแบบแห้ง ขนาด 1,250 และ 1,600 kVA 24kV/416 V แทนด้วยแบบจำลองหม้อแปลงทั่วไป (SatTrafo) กับตัวเหนี่ยวนำไม่เชิงเส้นชนิดฮิสเทอรีสิสต่อภายนอก โดยมีข้อมูลและคุณลักษณะต่างๆ ของหม้อแปลงแสดงอยู่ในภาคผนวก ข.4

#### 5.2.1-4 กั๊บดักฟ้าผ่า

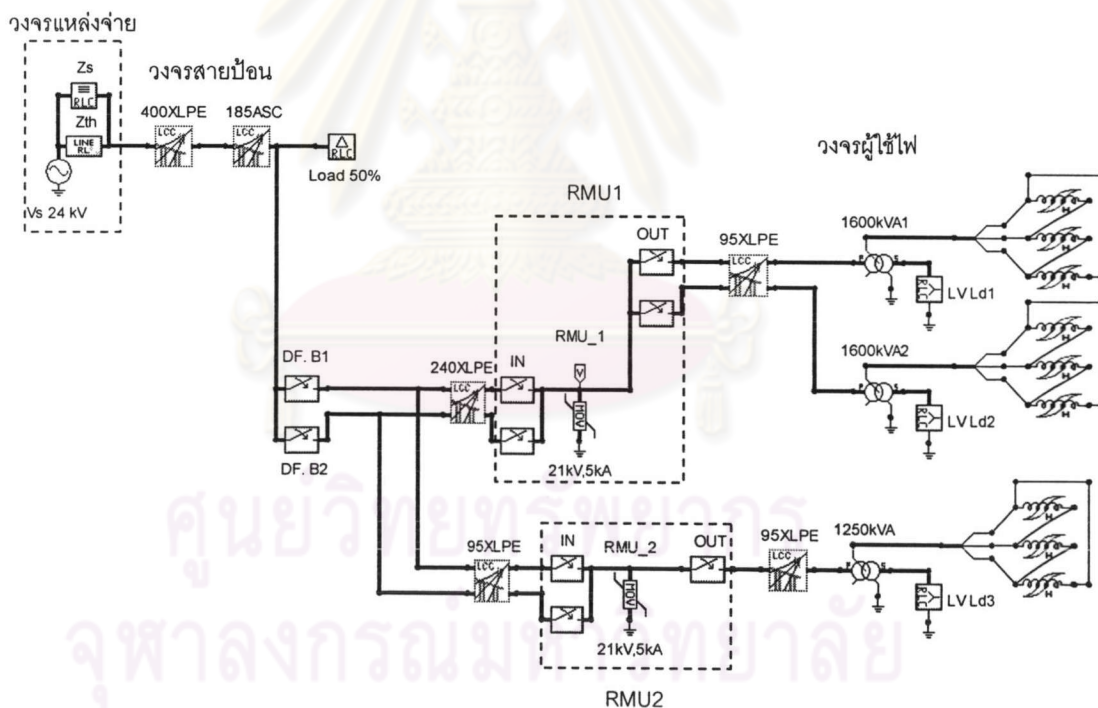
กั๊บดักฟ้าผ่าขนาดพิกัด 21 kV, 5 kA แบบติดตั้งในระบบจำหน่าย ชนิดโพลีเมอร์ แทนด้วยตัวต้านทานไม่เชิงเส้นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล สำหรับข้อมูลต่างๆ และกราฟคุณลักษณะไม่เชิงเส้นของกั๊บดักฟ้าผ่าแสดงอยู่ในภาคผนวก ข.5

5.2.1-5 โหลด

โหลดด้านแรงสูงของวงจรสายป้อนแทนด้วยโหลดเชิงเส้นแบบก้อน (lumped Load) 3 เฟส ต่อแบบเดลต้า มีขนาดประมาณ 50% ของกระแสโหลดสูงสุดของสายป้อน (400 A) ที่พิกัดแรงดัน 24 kV, 0.9 p.f. lagging โดยมีค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 5.1 สำหรับโหลดด้านแรงต่ำของหม้อแปลงจะแทนด้วยโหลดเชิงเส้นแบบก้อน 3 เฟส เช่นเดียวกัน แต่มีการต่อเป็นแบบวายลงดิน

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ของโหลดในสายป้อน

% Load	Resistance ( $\Omega$ )	Inductance (mH)
50	187.0616	288.3826



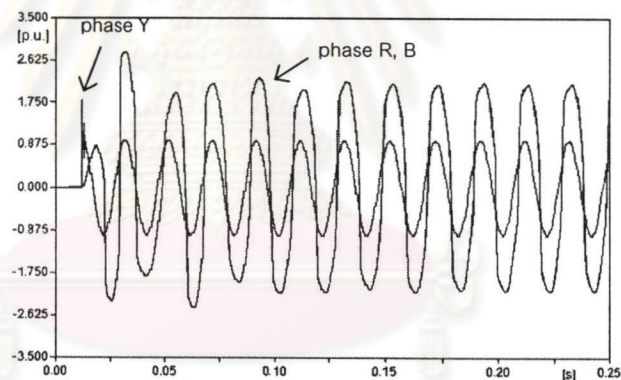
รูปที่ 5.6 แบบจำลองโปรแกรม ATP/EMTP ของกรณีศึกษา



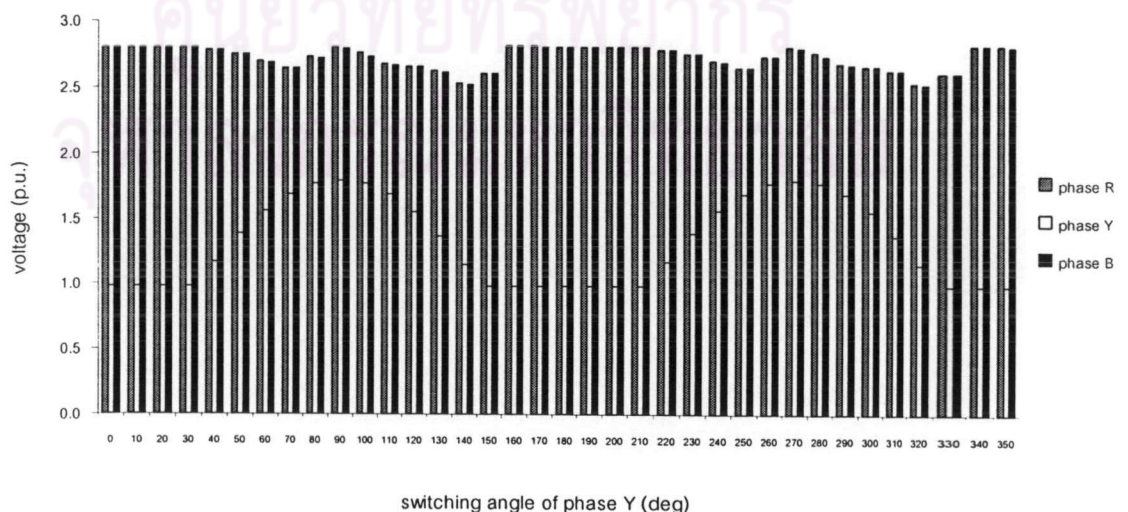
## 5.2.2 ผลการจำลอง

### 5.2.2-1 กรณีไม่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่า

จากผลการจำลองพบว่า ภายหลังจากสับฟิวส์เฟส Y เข้าเป็นเฟสแรก แรงดันที่จุดติดตั้งกับดักฟ้าผ่าเฟส R และ B ที่ RMU2 (หม้อแปลง 1,250 kVA) จะเกิดแรงดันเกินชั่วคราวขึ้น มีลักษณะรูปคลื่นผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ไม่มากนัก และมีความถี่เท่ากับความถี่มูลฐาน (fundamental mode) ที่สภาวะคงตัวค่ายอดสูงสุดของแรงดันทั้งสองมีขนาดใกล้เคียงกันประมาณ 2.13 p.u. ดังแสดงในรูปที่ 5.7 สำหรับในช่วงประมาณ 100 ms แรกหลังจากสับฟิวส์เฟส Y เป็นช่วงที่แรงดันเกินมีการเปลี่ยนแปลงในสภาวะชั่วคราว (transient) และเกิดค่ายอดของแรงดันเกินสูงสุด โดยมีขนาดสูงสุดและลักษณะการเปลี่ยนแปลงของรูปคลื่นขึ้นอยู่กับมุมในการสับ แรงดันและฟลักซ์คงค้างในสภาวะเริ่มต้น (initial condition) รูปที่ 5.8 แสดงผลของมุมสับกับขนาดค่ายอดแรงดันเกินสูงสุดของกรณีศึกษาที่ สภาวะเริ่มต้นต่างๆ เป็นศูนย์

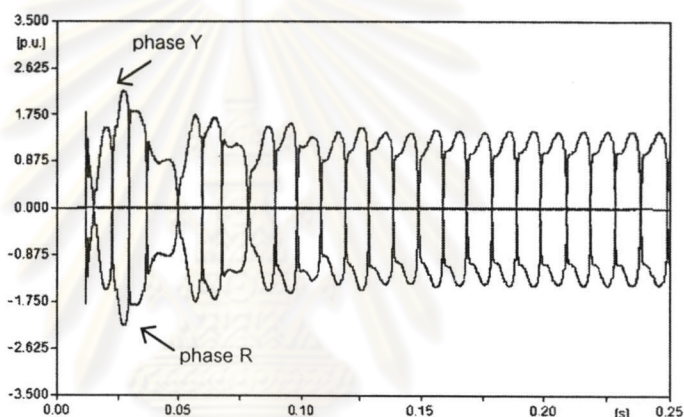


รูปที่ 5.7 รูปคลื่นแรงดันขณะสับฟิวส์เฟส Y ที่มุม  $90^\circ$

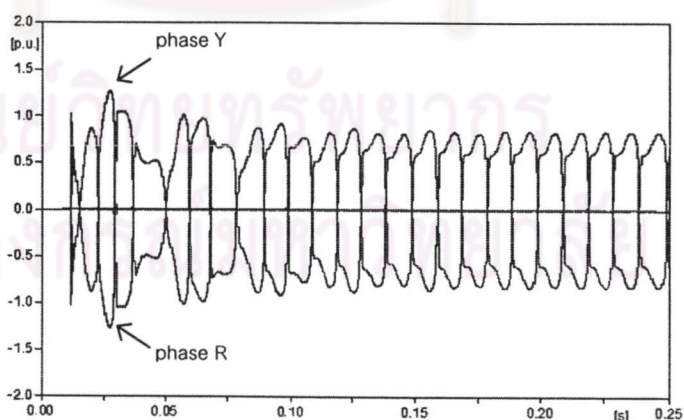


รูปที่ 5.8 ผลของมุมในการสับฟิวส์เฟส Y กับขนาดค่ายอดของแรงดันเกินสูงสุดที่เกิดขึ้น

จากรูปที่ 5.8 จะเห็นว่าแรงดันเกินในเฟส R และ B สามารถเกิดขึ้นได้ในทุกๆ มุมที่สับของฟิวส์เฟส Y และอาจมีขนาดค่ายอดสูงสุดประมาณ 2.82 p.u. ในช่วงแรก และ 2.13 p.u. ในสภาวะคงตัว สำหรับแรงดันตกคร่อมขดลวดของหม้อแปลงทั้งสามเฟสแสดงในรูปที่ 5.9 ซึ่งเกิดแรงดันเกินในเฟส R และ Y โดยมีค่าสูงสุดประมาณ 2.20 p.u. ในช่วงต้น และ 1.44 p.u. ในสภาวะคงตัว หรือคิดเป็นเพียง 1.27 และ 0.83 p.u. ของแรงดันระหว่างสาย (line voltage) ซึ่งเป็นแรงดันที่ขดลวดได้รับในสภาวะการจ่ายไฟปกติ ดังนั้นกรณีปัญหาขดลวดของหม้อแปลงจะไม่ได้ได้รับความเสียหายจากปรากฏการณ์เฟอร์โรเรโซแนนซ์ที่เกิดขึ้นขณะสับฟิวส์เฟส Y และยังเป็นผลให้ด้านแรงต่ำก็ไม่เกิดแรงดันเกินเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.10



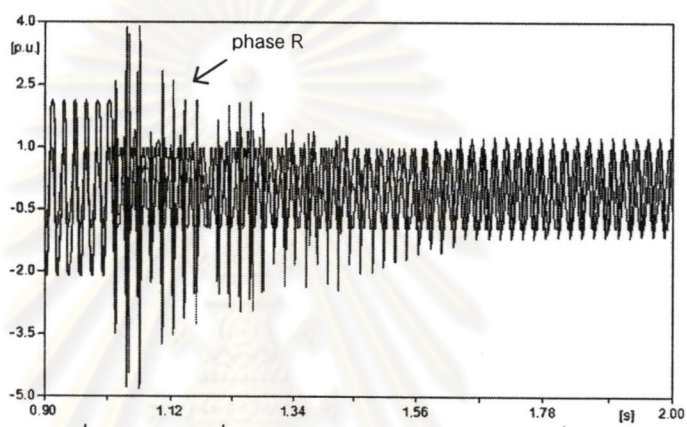
รูปที่ 5.9 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมขดลวดของหม้อแปลง  
ขณะสับฟิวส์เฟส Y ที่มุม  $90^\circ$



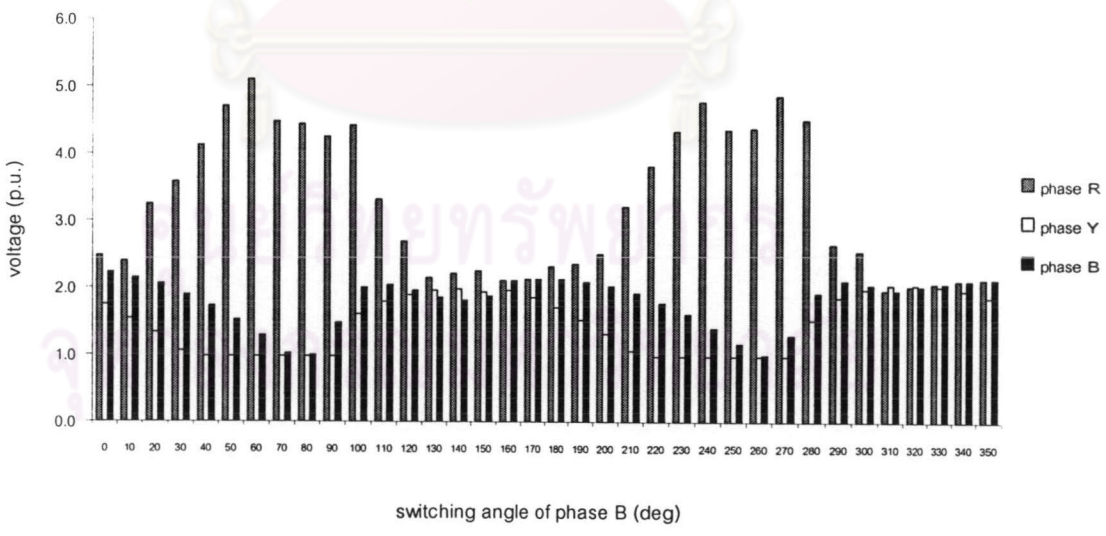
รูปที่ 5.10 รูปคลื่นแรงดันด้านแรงต่ำของหม้อแปลง  
ขณะสับฟิวส์เฟส Y ที่มุม  $90^\circ$



จากนั้นเมื่อสับฟิวส์เฟส B เข้าเป็นลำดับต่อมาพบว่าที่จุดติดตั้งกับดักฟ้าผ่า เกิดแรงดันเกินชั่วคราวขึ้นในเฟส R ซึ่งเป็นเฟสที่เปิดวงจรอยู่เช่นเดียวกัน แรงดันเกินขนาดสูงและมีลักษณะรูปคลื่นไม่เป็นฟังก์ชันคาบเวลาจะเกิดขึ้นในช่วงแรก ประมาณ 600 ms โดยขนาดค่ายอดสูงสุดจะขึ้นอยู่กับมุมในการสับฟิวส์เฟส B ซึ่งอาจมีค่าสูงสุดถึง 4.9 p.u. จากนั้นในช่วงสภาวะคงตัวแรงดันเกินจะมีขนาดสูงสุดเพียง 1.2 p.u.เท่านั้น และมีความถี่เท่ากับความถี่ มูลฐาน ดังแสดงในรูปที่ 5.11 และ 5.12

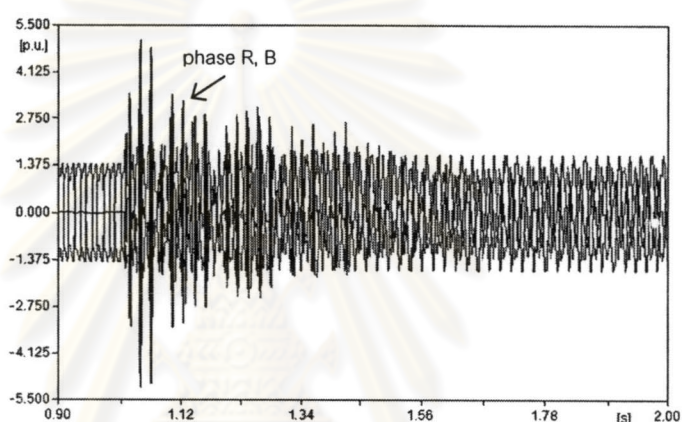


รูปที่ 5.11 รูปคลื่นแรงดันขณะสับฟิวส์เฟส B ที่มุม 60°  
(สับฟิวส์เฟส Y ที่มุม 90°)

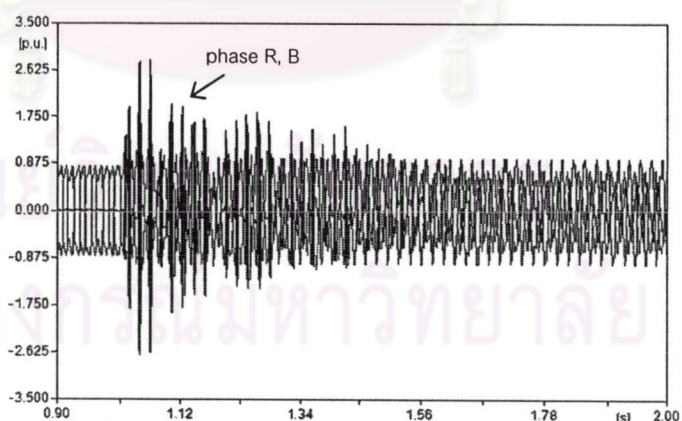


รูปที่ 5.12 ผลของมุมในการสับฟิวส์เฟส B กับขนาดค่ายอดของแรงดันเกินสูงสุดที่เกิดขึ้น

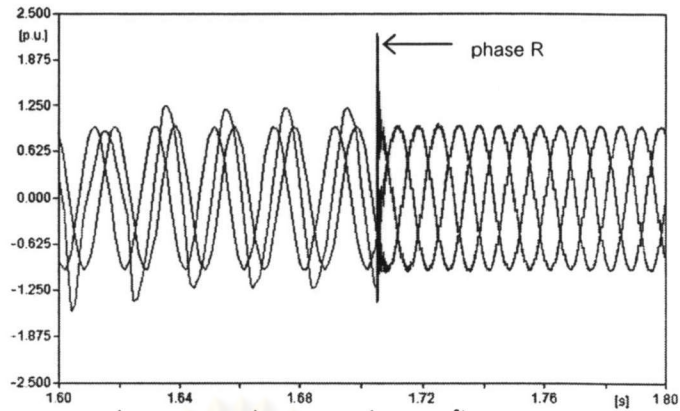
รูปที่ 5.13 แสดงแรงดันตกคร่อมขดลวดของหม้อแปลงขณะสับฟิวส์เฟส B พบว่าเกิดแรงดันเกินขึ้นในเฟส R และ B โดยมีขนาดสูงสุดประมาณ 5.17 และ 5.04 p.u. ตามลำดับ หรือคิดเป็น 2.98 และ 2.91 p.u. ของแรงดันระหว่างสายที่ขดลวดได้รับปกติ แรงดันเกินนี้เกิดขึ้นเพียงชั่วครู่แล้วค่อยๆ ลดลงจนมีขนาดเพียง 1.34 และ 0.95 p.u. ตามลำดับ ดังนั้นผลจากการสับฟิวส์เฟส B ทำให้เกิดแรงดันเกินในเฟส R และ B ด้านแรงต่ำด้วย ดังแสดงในรูปที่ 5.14 ซึ่งเกิดขึ้นเพียงชั่วครู่แล้วลดลงเช่นเดียวกัน และเมื่อสับฟิวส์เฟส R เข้าเป็นเฟสสุดท้าย จากผลการจำลองไม่พบแรงดันเกินชั่วคราวเกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.13 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมขดลวดของหม้อแปลง  
ขณะสับฟิวส์เฟส B ที่มุม  $60^\circ$



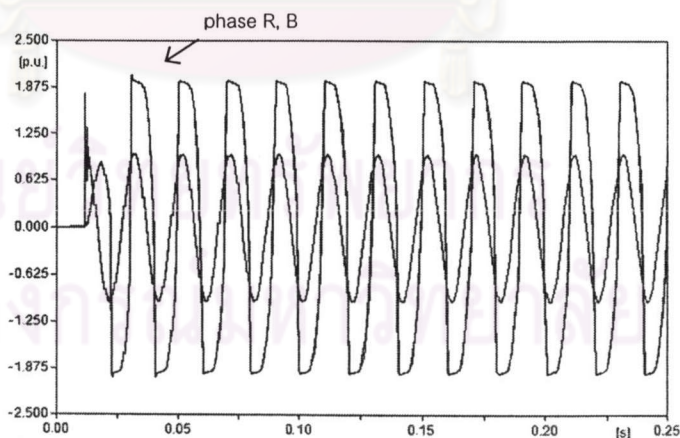
รูปที่ 5.14 รูปคลื่นแรงดันด้านแรงต่ำของหม้อแปลง  
ขณะสับฟิวส์เฟส B ที่มุม  $60^\circ$



รูปที่ 5.15 รูปคลื่นแรงดันที่จุดติดตั้งกับดักฟ้าผ่า  
ขณะสับฟิวส์เฟส R ที่มุม  $90^\circ$  เป็นเฟสสุดท้าย

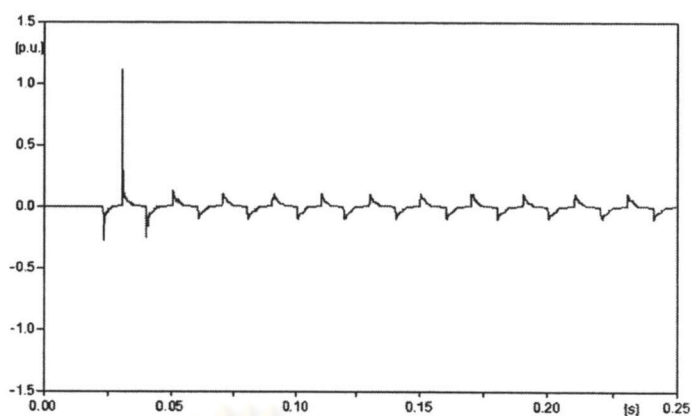
5.2.2-2 กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่า

ระบบนี้ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าขนาด 21 kV, 5 kA และ 17 kV MCOV เพื่อป้องกันแรงดันเกิน โดยติดตั้งอยู่ภายใน RMU ทั้งสองชุด (ดูรูปที่ 5.2) ผลการจำลองกรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าจะพบว่าหลังจากสับฟิวส์เฟส Y ทำให้เกิดแรงดันเกินชั่วคราวในเฟส R และ B ซึ่งเป็นผลให้กับกับดักฟ้าผ่าทำงาน และจำกัดขนาดของแรงดันเกินไว้ประมาณ 1.96 p.u. ดังแสดงในรูปที่ 5.16 สำหรับรูปที่ 5.17 และ 5.18 แสดงรูปคลื่นของกระแสที่ไหลผ่านกับดักฟ้าผ่าเฟส R และพลังงานที่เกิดขึ้นขณะรับแรงดันเกิน



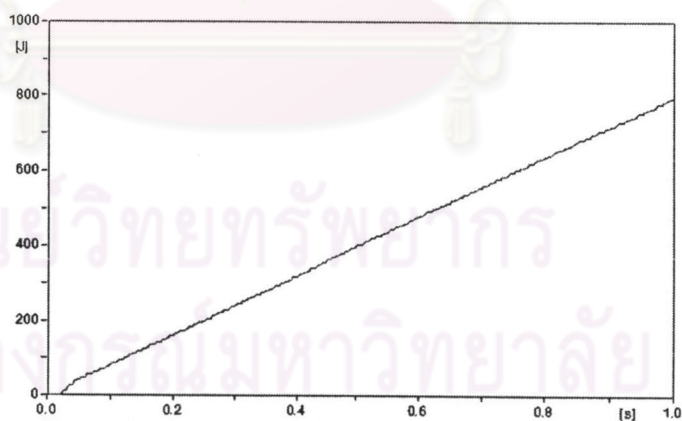
รูปคลื่น 5.16 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมกับดักฟ้าผ่าขณะสับฟิวส์เฟส Y





รูปที่ 5.17 รูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านกับดักฟ้าผ่าเฟส R  
ขณะรับแรงดันเกินหลังจากสับฟิวส์เฟส Y

รูปที่ 5.18 แสดงพลังงานที่กับดักฟ้าผ่าเฟส R และ B ได้รับจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ด้วยอัตราประมาณ 813 J/s ซึ่งกับดักฟ้าผ่าสามารถรับพลังงานได้สูงสุด 1.4 kJ/kV ดังนั้นถ้าแรงดันเกินเกิดขึ้นเป็นระยะเวลาสั้นเพียงพอก็อาจทำให้กับดักฟ้าผ่าอาจได้รับความเสียหายหรือเสียหายได้ แต่เนื่องจากแรงดันเกินนี้เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์เฟอร์โรเรโซแนนซ์ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายแรงดันที่มีอิมพีแดนซ์สูง (weakness source) จึงไม่สามารถจ่ายกระแสได้มากพอที่จะทำให้กับดักฟ้าผ่าเกิดระเบิดขึ้นถึงแม้ความต้านทานภายในจะลดลง



รูปที่ 5.18 พลังงานที่กับดักฟ้าผ่าเฟส R ได้รับ  
ขณะรับแรงดันเกินหลังจากสับฟิวส์เฟส Y

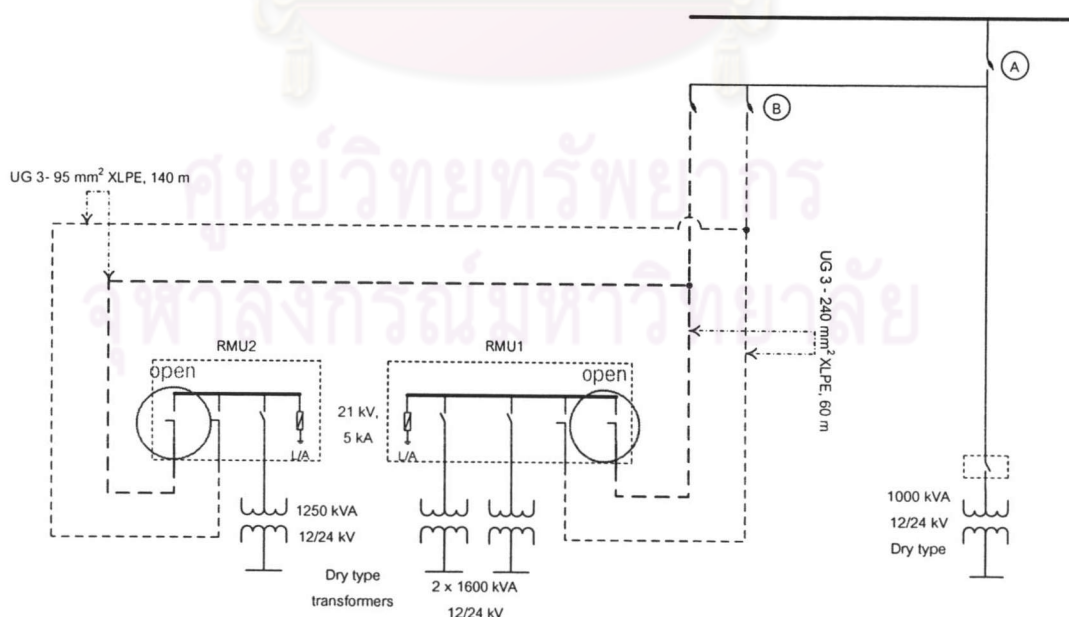
เนื่องจากคุณลักษณะความต้านทานของกับดักฟ้าผ่าเปลี่ยนแปลงไปขณะรับแรงดันเกินที่เกิดขึ้น ทำให้ยากที่จะจำลองให้ได้ผลเช่นเดียวกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงกรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่า แต่สามารถอธิบายได้ว่าภายหลังจากสับฟิวส์เฟส B ในเวลาต่อมา อาจทำให้กับดักฟ้าผ่าเฟส R ต้องรับแรงดันเกินที่เกิดขึ้นอีกครั้ง เป็นผลให้ได้รับความเสียหายเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม ดังนั้นภายหลังจากสับฟิวส์เฟส R จะทำให้กับดักฟ้าผ่าเฟส R ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันระบบโดยตรง ซึ่งสามารถจ่ายกระแสได้มากพอที่จะทำให้ความร้อนภายในของกับดักฟ้าผ่าเฟส R สูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนสูญเสียเสถียรภาพและเกิดระเบิดขึ้นในที่สุด

### 5.3 การแก้ปัญหา

การแก้ปัญหาแรงดันเกินจากปรากฏการณ์เฟอร์โรเรโซแนนซ์ที่เกิดขึ้น ขณะสับฟิวส์ชนิดขาดตก เพื่อจ่ายไฟให้กับผู้ใช้ไฟสามารถปฏิบัติได้ตามวิธีต่างๆ ดังต่อไปนี้

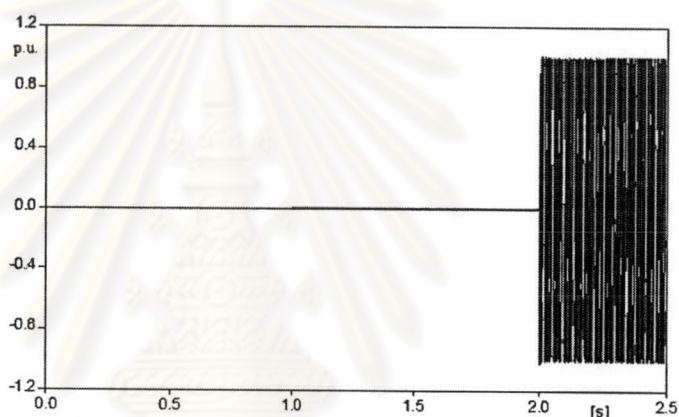
#### 5.3.1 หลีกเลี่ยงการทำให้เกิดโครงสร้างของวงจรเฟอร์โรเรโซแนนซ์

- 1) เปิด incoming C.B. ที่ RMU เพื่อแยกวงจรหม้อแปลงจำหน่ายและสายเคเบิลใต้ดินออกจากกันก่อนการสับฟิวส์ชนิดขาดตกจ่ายไฟเข้าไปรอที่ incoming ของ RMU ทั้งสองชุดจนครบทั้งสามเฟส จากนั้นค่อยสับ incoming C.B. เพื่อจ่ายไฟให้กับหม้อแปลงที่ละชุด ดังรูปที่ 5.19

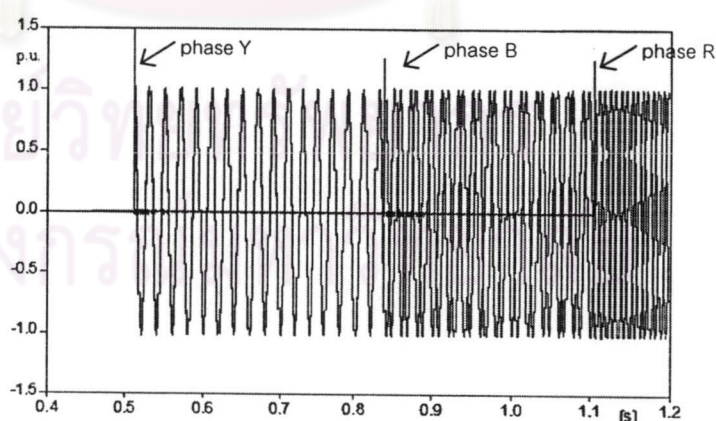


รูปที่ 5.19 แผนภาพแสดงการแก้ปัญหาด้วยการปลด incoming C.B. ของ RMU ออกก่อนการสับฟิวส์ชนิดขาดตก

การปฏิบัติด้วยวิธีนี้สามารถทำได้ง่ายและไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม แต่อาจต้องมีการพิจารณาขนาดของฟิวส์แรงสูงภายใน RMU หรือฟิวส์ชนิดขาดตกให้มีขนาดเพียงพอที่จะสามารถรองรับกระแสพุ่งเข้า (inrush current) ขณะสับ incoming C.B. ได้ รูปที่ 5.20 และ 5.21 แสดงรูปคลื่นแรงดันเฟสที่จุดติดตั้งกับดักฟ้าผ่าของหม้อแปลง 1,250 kVA และแรงดันเฟสของสายเคเบิลใต้ดินจากการจำลองด้วยโปรแกรม EMTP ขณะสับฟิวส์ชนิดขาดตกและ incoming C.B. ของ RMU ทั้งสองชุดเปิดวงจร ซึ่งจะเห็นว่าไม่เกิดแรงดันเกินจากเฟอร์โรเรโซแนนซ์ขึ้น สำหรับรูปที่ 5.22 แสดงกระแสพุ่งเข้าขณะสับ incoming C.B. จ่ายไฟให้กับหม้อแปลง 2x1,600 kVA และ 1,250 kVA ตามลำดับ

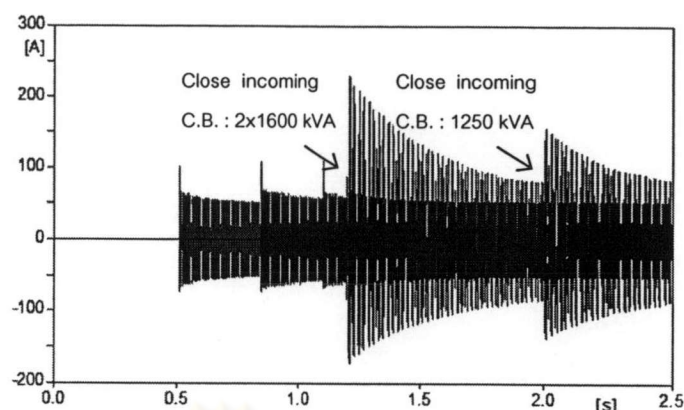


รูปที่ 5.20 รูปคลื่นแรงดันเฟสที่จุดติดตั้งกับดักฟ้าผ่าของหม้อแปลง 1,250 kVA ขณะสับฟิวส์ชนิดขาดตกและ incoming C.B. ของ RMU ทั้งสองชุดเปิดวงจร



รูปที่ 5.21 รูปคลื่นแรงดันเฟสของสายเคเบิลใต้ดินขณะสับฟิวส์ชนิดขาดตกเฟส Y, B และ R ที่มุม  $90^\circ$  ตามลำดับ



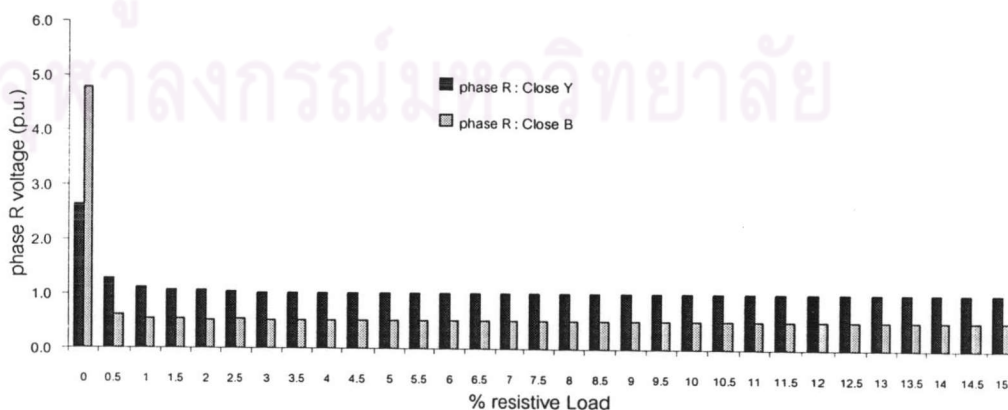


รูปที่ 5.22 รูปคลื่นกระแสฟุ้งเข้าขณะสับ incoming C.B. จ่ายไฟให้กับหม้อแปลงขนาด 2 x 1,600 kVA และ 1,250 kVA ตามลำดับ

- 2) เปลี่ยนจากการใช้ฟิวส์ชนิดขาดตก มาเป็นสวิตช์ชนิดสับ-ปลดพร้อมกันทั้งสามเฟสแทน ในวงจรที่มีความสำคัญและมีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดปรากฏการณ์เฟลโรเรโซแนนซ์

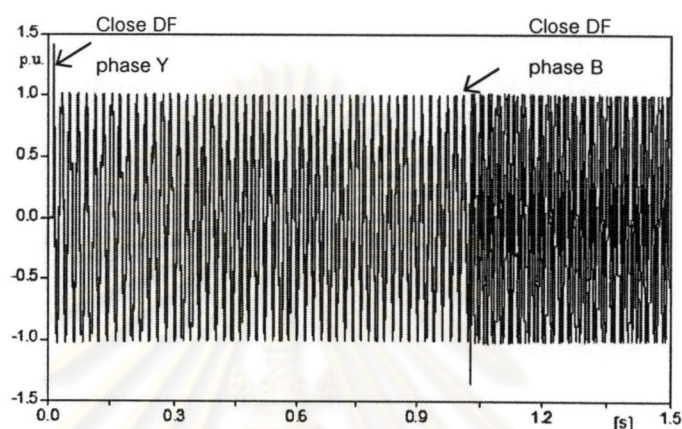
### 5.3.2 การต่อโหลดความต้านทานด้านแรงต่ำ

การต่อโหลดความต้านทานทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงที่มีขนาดไม่ต่ำกว่า 5% ของพิกัดกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงสามารถช่วยลดทอน หรือหน่วงแรงดันเกินจากเฟลโรเรโซแนนซ์ได้ โดยส่วนใหญ่จะแนะนำให้ใช้ประมาณ 10% ในทางปฏิบัติอาจต่อโหลดเข้ากับหม้อแปลงก่อนการปลดฟิวส์ชนิดขาดตกเพื่อดับไฟปฏิบัติงาน และปลดออกภายหลังจากสับฟิวส์ชนิดขาดตกครบทุกเฟสเมื่อปฏิบัติงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว รูปที่ 5.23 แสดงผลของขนาดโหลดความต้านทานด้านแรงต่ำกับขนาดแรงดันสูงสุดของเฟส R ขณะสับฟิวส์ชนิดขาดตก เฟส Y และ B ที่มุม  $90^\circ$  และ  $270^\circ$  ตามลำดับ



รูปที่ 5.23 ขนาดของโหลดความต้านทานกับขนาดแรงดันเฟส R สูงสุดขณะสับฟิวส์เฟส Y และ B ที่มุม  $90^\circ$  และ  $270^\circ$  ตามลำดับ

จากรูปที่ 5.23 จะเห็นว่ากระแสไหลลดความต้านทานด้านแรงต่ำเพียง 1% ของ พิกัดกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงก็สามารถลดทอนระดับแรงดันเกินที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งโดยปกติ แล้วจะแนะนำให้ต่อไหลลดความต้านทานขนาดประมาณ 10% รูปที่ 5.24 แสดงรูปคลื่น แรงดันที่จุดติดตั้งกับดักฟ้าผ่าของหม้อแปลง 1,250 kVA ขณะสับฟิวส์เฟส Y และ B ที่มีมุม  $90^\circ$  และ  $270^\circ$  และมีไหลลดต่ออยู่ด้านแรงต่ำของหม้อแปลงทั้ง 3 ตัวขนาด 10 %



รูปที่ 5.24 รูปคลื่นแรงดันขณะสับฟิวส์เฟส Y และ B ที่มีมุม  $90^\circ$  และ  $270^\circ$   
(Load 10%)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย