บทที่ 2

การป้องกันอุปกรณ์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีเบื้องต้นของการป้องกันอุปกรณ์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า รายละเอียดของการจัดเรียงบัสประเภทต่างๆที่ใช้แพร่หลายในสถานีไฟฟ้าบนระบบส่งของประเทศไทย และเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัลที่ใช้บันทึกข้อมูลสัญญาณต่างๆภายในสถานีไฟฟ้า

หลักการป้องกันอุปกรณ์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า โครงสร้างการจัดเรียงบัส และเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล อธิบายในหัวข้อที่ 2.1, 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ

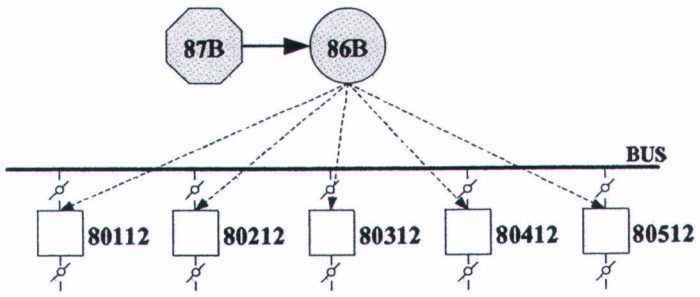
2.1 หลักการป้องกันอุปกรณ์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า

หลักการป้องกันอุปกรณ์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้ามีความจำเป็นที่จะต้องมีการทำงานทับซ้อนกันจากหลายอุปกรณ์ป้องกัน เพื่อให้ระบบป้องกันยังคงสามารถทำงานต่อไปได้เมื่อมีอุปกรณ์ป้องกันตัวใดตัวหนึ่งไม่ทำงาน เพราะระบบป้องกันจำเป็นต้องตัดวงจรของอุปกรณ์ที่เกิดความผิดพร่องออกจากระบบก่อนที่ความผิดพร่องจะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์อื่นๆในระบบส่ง

ในหัวข้อย่อยต่อจากนี้จะกล่าวถึง หลักการป้องกันบัส หลักการป้องกันสายส่ง หลักการป้องกันหม้อแปลง และหลักการป้องกันของรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงาน [13] อธิบายในหัวข้อที่ 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3 และ 2.1.4 ตามลำดับ

2.1.1 หลักการป้องกันบัส

บัสเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เป็นเส้นทางร่วมของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าออกในสถานีไฟฟ้า โดยหลักการป้องกันบัสในระบบส่งกำลังไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 หลักการป้องกันบัสในระบบส่งกำลังไฟฟ้า

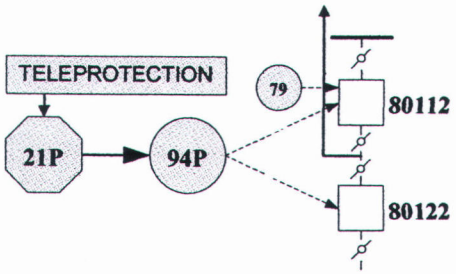
จากรูป 2.1 หลักการป้องกันบัสจะประกอบด้วยรีเลย์ 2 ตัว ดังนี้

- 87B คือ Bus Differential Relay
- 86B คือ Bus Differential Auxiliary Tripping and Lockout Relay

หลักการป้องกันบัสนี้จะใช้รีเลย์ 87 ตรวจจับผลต่างของค่าผลรวมกระแสที่ติดบัสจากทุกเบย์ ในสภาวะปกติค่าผลรวมของกระแสจะเป็นศูนย์ แต่ถ้ามีความผิดพร่องเกิดขึ้นบนบัสค่าผลรวมกระแสจะไม่เป็นศูนย์ ทำให้รีเลย์ 87 ทำงานและไปสั่งให้รีเลย์ 86 ส่งสัญญาณให้ตัวตัดวงจรทุกตัวที่ติดบัสทำงาน

2.1.2 หลักการป้องกันสายส่ง

สายส่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ส่งผ่านกระแสไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าแห่งหนึ่งไปยังสถานีไฟฟ้าอีกแห่งหนึ่ง โดยหลักการป้องกันสายส่งในระบบส่งกำลังไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 หลักการป้องกันสายส่งในระบบส่งกำลังไฟฟ้า

จากรูป 2.2 หลักการป้องกันสายส่งจะประกอบด้วยรีเลย์ 3 ตัว ดังนี้

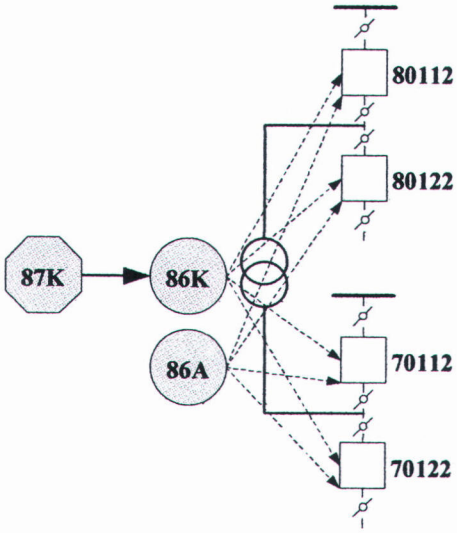
- 21P คือ Distance Relay, Primary Protection
- 94P คือ High Speed Auxiliary Tripping Relay, Primary Protection
- 79 คือ Auto Reclosing Relay

หลักการป้องกันสายส่งจะใช้รีเลย์ 21 ตรวจจับค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งที่คำนวณจากค่ากระแสและแรงดันของสายส่ง ถ้าค่าอิมพีแดนซ์มีค่าตามที่ตั้งไว้ให้ทำงานรีเลย์ 21 จะไปสั่งให้รีเลย์ 94 ส่งสัญญาณให้ตัวตัดวงจรที่ป้องกันสายส่งทำงาน และรีเลย์ 79 ก็จะเริ่มนับเวลารอที่จะทำการสับตัวตัดวงจรกลับในกรณีที่ความผิดพร่องเกิดขึ้นแบบชั่วคราว ซึ่งค่าอิมพิแดนซ์ที่ตั้งให้รีเลย์ทำงานนั้นมีอยู่หลายวิธีขึ้นอยู่กับลักษณะของสายส่งที่ใช้งาน นอกจากนี้ในระดับแรงดัน 230

และ 500 กิโลโวลต์จะประกอบด้วยรีเลย์ 21 อีกหนึ่งชุด เพื่อป้องกันในกรณีที่รีเลย์ 21 ชุดแรกไม่ทำงาน

2.1.3 หลักการป้องกันหม้อแปลง

หม้อแปลงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้แปลงแรงดันให้สูงขึ้นเมื่อป้อนเข้าสู่ระบบส่งกำลังไฟฟ้า และแปลงแรงดันให้ต่ำลงเมื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่าย โดยหลักการป้องกันหม้อแปลงในระบบส่งกำลังไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 หลักการป้องกันหม้อแปลงในระบบส่งกำลังไฟฟ้า

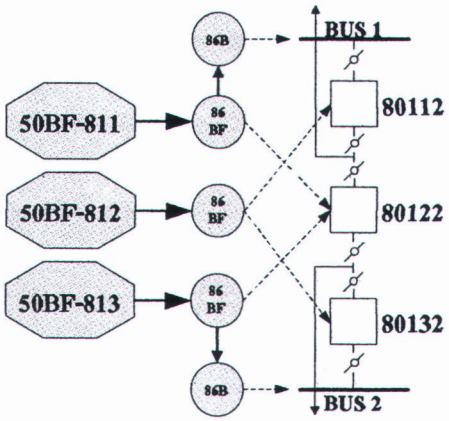
จากรูป 2.3 หลักการป้องกันหม้อแปลงจะประกอบด้วยรีเลย์ 3 ตัว ดังนี้

- 87K คือ Transformer Differential Relay
- 86K คือ Transformer Differential Auxiliary Tripping and Lockout Relay
- 86A คือ Transformer Tripping and Lockout Relay (self protection)

สำหรับการป้องกันหม้อแปลงนี้จะใช้รีเลย์ 87 ตรวจจับผลต่างของค่าผลรวมกระแสจากขดลวดทั้งสองด้านของหม้อแปลง ในสภาวะปกติค่าผลรวมของกระแสจะเป็นศูนย์ แต่ถ้ามีความผิดพร่องเกิดขึ้นบนหม้อแปลงค่าผลรวมกระแสจะไม่เป็นศูนย์และรีเลย์ 87 จะไปสั่งให้รีเลย์ 86 ส่งสัญญาณให้ตัวตัดวงจรที่ป้องกันหม้อแปลงทำงาน นอกจากนี้ในตัวหม้อแปลงยังมีระบบป้องกันของตัวหม้อแปลงด้วย

2.1.4 หลักการป้องกันของรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงาน

รีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานมีหน้าที่ตรวจจับตัวตัดวงจรที่ไม่ทำงานเมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นกับอุปกรณ์ในระบบส่ง โดยหลักการป้องกันของรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 หลักการป้องกันของรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงาน

จากรูป 2.4 หลักการป้องกันของรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานจะประกอบด้วยรีเลย์ 3 ตัว ดังนี้

- 50BF คือ Current Detector Relay
- 86BF คือ Breaker Failure Relay
- 86B คือ Bus Differential Auxiliary Tripping and Lockout Relay

สำหรับการป้องกันเมื่อมีตัวตัดวงจรไม่ทำงานจะใช้รีเลย์ 50 ตรวจจับค่ากระแสของความผิดพร่องว่ายังคงอยู่ในวงจรเมื่อถึงเวลาที่ตั้งไว้หรือไม่ ถ้ามีกระแสของความผิดพร่องอยู่ในวงจรแสดงว่าตัวตัดวงจรไม่ทำงานเพื่อตัดอุปกรณ์ที่เกิดความผิดพร่องออก หลังจากนั้นรีเลย์ 50 สั่งให้รีเลย์ 86 ส่งสัญญาณให้ตัวตัดวงจรบริเวณข้างเคียงทำงานแทน เพื่อป้องกันไม่ให้ความผิดพร่องไปสร้างความเสียหายแก่อุปกรณ์อื่น

2.2 โครงสร้างการจัดเรียงบัส

โครงสร้างการจัดเรียงบัสของแต่ละสถานีไฟฟ้าอาจจะแตกต่างกันตามการออกแบบของแต่ละสถานีไฟฟ้า สำหรับวิธีการออกแบบโครงสร้างการจัดเรียงบัสจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ขนาดของพื้นที่ งบประมาณ และความสำคัญของสถานีไฟฟ้า เป็นต้น โดยที่หมายเลขของตัวตัดวงจรในโครงสร้างการจัดเรียงบัสแต่ละประเภท จะมีลักษณะที่แตกต่างกันไม่มากนัก เพราะการตั้ง

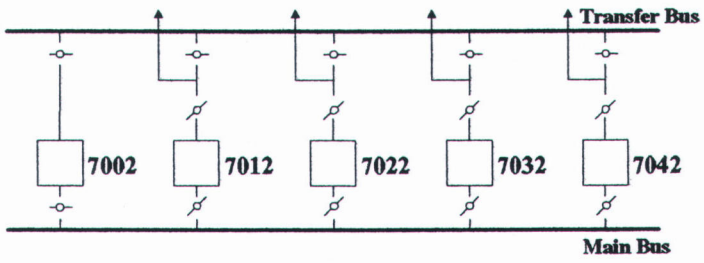
ชื่อของตัวตัดวงจรได้ถูกกำหนดกฎเกณฑ์ไว้เป็นมาตราฐาน และชื่อของตัวตัดวงจรจะอ้างอิงถึงตำแหน่งของตัวตัดวงจรบนบัส เพื่อความความสะดวกต่อการใช้งานและทำความเข้าใจของผู้ปฏิบัติงาน [13-14]

การจัดวางอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าของระบบส่งกำลังไฟฟ้านั้นมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบที่ตั้งอยู่ภายนอกอาคาร หรือ AIS (Air Insulated Switchgear) และแบบที่ติดตั้งภายในอาคาร หรือ GIS (Gas Insulated Switchgear) โดยสถานีไฟฟ้าในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นแบบที่ตั้งอยู่ภายนอกอาคาร เพราะค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างถูกกว่าแบบที่ติดตั้งภายในอาคาร อย่างไรก็ดี แบบที่ติดตั้งภายนอกอาคารจะใช้พื้นที่เพื่อวางอุปกรณ์มากกว่าติดตั้งภายในอาคาร เนื่องจากการวางอุปกรณ์ของแบบที่ติดตั้งภายนอกอาคาร จำเป็นต้องวางอุปกรณ์ให้ห่างกันตามมาตราฐานเพื่อป้องกันการอาร์คกันระหว่างอุปกรณ์

โครงสร้างการจัดเรียงบัสที่ใช้แผ่หลายในสถานีไฟฟ้าบนระบบส่งของปะเทศไทย มีอยู่ด้วยกัน 4 ประเภท คือ การจัดเรียงแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอน (Main and transfer bus) การจัดเรียงแบบบัสหลักคู่และบัสถ่าย (Double main bus and transfer bus) การจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์คู่ (Double bus double breakers) และการจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์หนึ่งครึ่ง (Breaker and a half) โดยจะอธิบายในหัวข้อ 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3 และ 2.2.4 ตามลำดับ สำหรับหลักการตั้งหมายเลขของตัวตัดวงจร จะอธิบายในหัวข้อ 2.2.5

2.2.1 การจัดเรียงแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอน

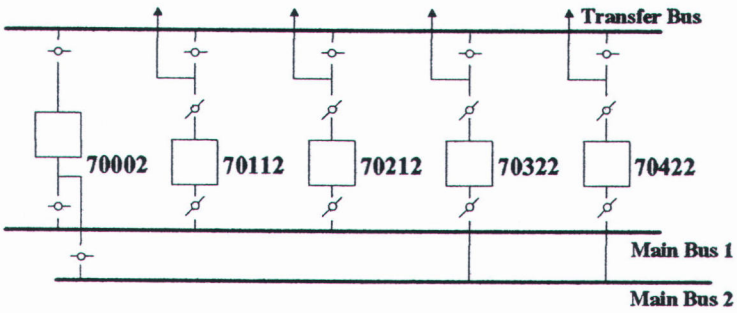
การจัดเรียงแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอนประกอบด้วย 2 บัสคือ บัสหลักและบัสถ่ายโอน ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยบัสหลักจะเชื่อมต่อกับวงจรสายส่งหรือหม้อแปลงเพื่อใช้ส่งกำลังไฟฟ้า และบัสถ่ายโอนจะใช้เมื่อมีการบำรุงรักษาอุปกรณ์ การโอนย้ายวงจรจากบัสหลักไปยังบัสถ่ายโอนจะใช้ตัวตัดวงจรเชื่อมต่อ (Tie Circuit Breaker) เป็นตัวเชื่อมต่อจนกว่าจะทำการบำรุงรักษาเสร็จ การจัดบัสบาร์แบบนี้เหมาะสมสถานีไฟฟ้าที่มีความสำคัญระดับปานกลาง ส่วนใหญ่จะใช้ในระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์



รูปที่ 2.5 การจัดเรียงแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอน

2.2.2 การจัดเรียงแบบบัสหลักคู่และบัสถ่ายโอน

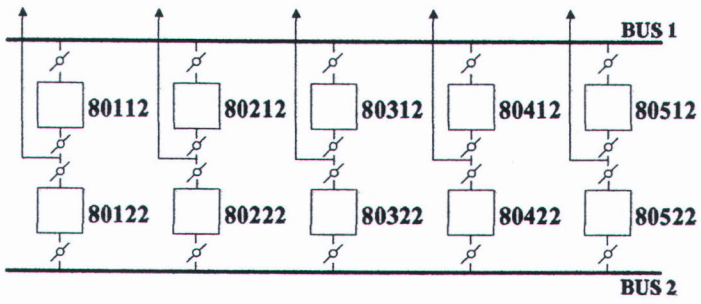
การจัดเรียงแบบบัสหลักคู่และบัสถ่ายโอนประกอบด้วย 3 บัสคือ บัสหลักสองชุดและบัสถ่ายโอน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 การจัดเรียบัสประเภทนี้มีการจัดเรียงบัสเช่นเดียวกับแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอน โดยเพิ่มบัสหลักเข้าไปอีกหนึ่งบัสและใช้บัสถ่ายโอนร่วมกัน เพื่อเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือมากขึ้นจากการจัดเรียงแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอน การจัดบัสบาร์แบบนี้เหมาะสมสถานีไฟฟ้าที่มีความสำคัญระดับปานกลาง ส่วนใหญ่จะใช้ในระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์



รูปที่ 2.6การจัดเรียงแบบบัสหลักคู่และบัสถ่ายโอน

2.2.3 การจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์คู่

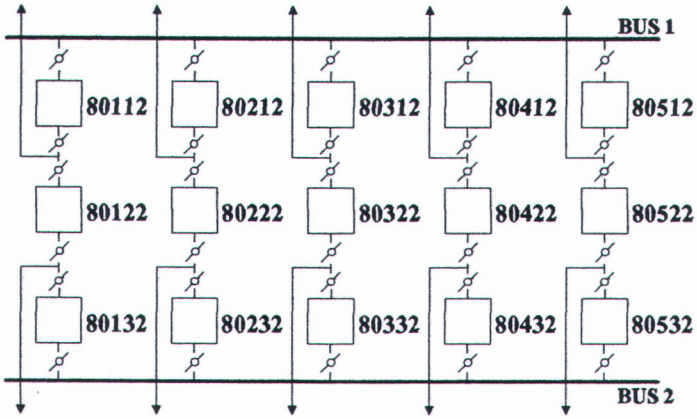
การจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์คู่ประกอบด้วย 2 บัส คือ บัสหลักสองชุด ดังแสดงในรูปที่ 2.7 โดยการจัดเรียงบัสประเภทนี้จะใช้ตัวตัดวงจรจำนวนสองตัวต่อหนึ่งวงจรสายส่งหรือหม้อแปลง ทำให้การบำรุงรักษาตัวตัดวงจรในแต่ละวงจรได้โดยไม่จำเป็นต้องปลดวงจรออกจากระบบไฟฟ้า การจัดบัสบาร์ลักษณะนี้เหมาะสมสำหรับสถานีไฟฟ้าที่มีความสำคัญระดับสูง ส่วนใหญ่จะใช้ในระดับแรงดัน 230 กิโลโวลต์



รูปที่ 2.7 การจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์คู่

2.2.4 การจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์หนึ่งครึ่ง

การจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์หนึ่งครึ่งประกอบด้วย 2 บัส คือ บัสหลักสองชุด เช่นดียวกับการการจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์คู่ อย่างไรก็ดีการจัดเรียงบัสประเภทนี้ จะใช้ตัวตัดวงจรสามตัวต่อหนึ่งเบย์ โดยแต่ละวงจรจะถูกป้องกันด้วยตัวตัดวงจรสองตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.8 การจัดบัสบาร์ลักษณะนี้เหมาะสมสำหรับสถานีไฟฟ้าที่มีความสำคัญระดับสูงมาก ส่วนใหญ่จะใช้ในระดับแรงดัน 230 และ 500 กิโลโวลต์



รูปที่ 2.8 การจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์หนึ่งครึ่ง

2.2.5 หลักการตั้งหมายเลขของตัวตัดวงจร

หมายเลขของตัวตัดวงจรถูกกำหนดขึ้นเพื่อความสะดวกในการสับเปลี่ยนวงจรของผู้ปฏิบัติงาน โดยหมายเลขตัวตัดวงจรประกอบด้วยตัวเลข 4-6 หลัก ขึ้นอยู่กับจำนวนคอลัมน์หรือเบย์และประเภทของการจัดเรียงบัส ซึ่งส่วนใหญ่การจัดเรียงบัสแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอน จะประกอบด้วยตัวเลข 4 หลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.9 สำหรับการจัดเรียงบัสแบบบัสหลักคู่และบัสถ่ายโอน การจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์คู่ และการจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์หนึ่งครึ่งจะมีประกอบด้วยตัวเลข 5 หลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.10

รูปที่ 2.9 ตัวอย่างหมายเลขตัวตัดวงจรของการจัดเรียงแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอน

รูปที่ 2.10 ตัวอย่างหมายเลขตัวตัดวงจรของการจัดเรียงแบบแบบบัสคู่เบรคเกอร์คู่

จากตัวอย่างในรูปที่ 2.9 และ 2.10 หมายเลขตัวตัดวงจรจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ใช้แสดงระดับแรงดัน ส่วนที่ใช้แสดงตำแหน่ง และส่วนที่ใช้บอกชนิดของอุปกรณ์ ดังนี้

หมายเลข 2 ตัวหน้า แสดงถึงระดับแรงดันของตัวตัดวงจร

- 90 แสดงถึงระดับแรงดัน 500 กิโลโวลต์
- 80 แสดงถึงระดับแรงดัน 230 กิโลโวลต์
- 70 แสดงถึงระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์

หมายเลขตัวที่ 3 นับจากตัวเลขหลักซ้ายไปขวาแสดงถึงตำแหน่งคอลัมน์หรือเบย์ของอุปกรณ์นั้นในลานไก

หมายเลขตัวที่ 4 นับจากตัวเลขหลักซ้ายไปขวา แบ่งออกได้เป็น 2 กรณี

- กรณีหมายเลขตัวตัดวงจรมี 4 หลัก เลขตัวที่ 4 จะแสดงถึงชนิดของอุปกรณ์ โดยหมายเลข 2 แสดงว่าเป็นตัวตัดวงจร
- กรณีหมายเลขตัวตัดวงจรมี 5 หลัก เลขตัวที่ 4 จะแสดงถึงตำแหน่งแถวของอุปกรณ์นั้นในลานไก

หมายเลขตัวที่ 5 นับจากตัวเลขหลักซ้ายไปขวา แสดงถึงชนิดของอุปกรณ์

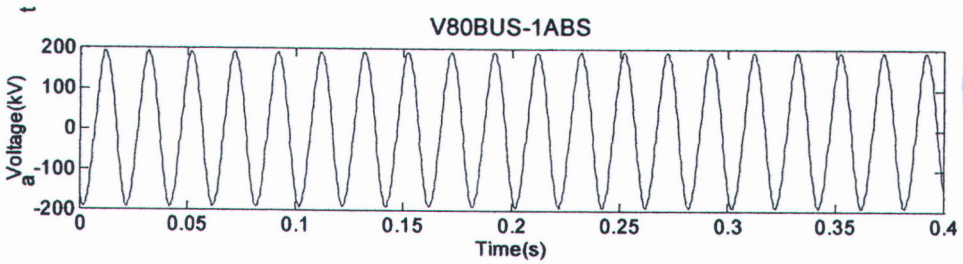
สำหรับในกรณีที่มีตัวตัดวงจรตั้งแต่ 10 เบย์ขึ้นไป เลขหลักที่ 3 และ 4 จะแสดงถึงตำแหน่งเบย์ของตัวตัดวงจร และจะเลื่อนตำแหน่งของตัวเลขที่เหลือออกไปอีกหนึ่งหลัก

2.3 เครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล

เครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล หรือที่เรียกว่า Digital Fault Recorder (DFR) ได้ถูกติดตั้งไว้ที่สถานีไฟฟ้าที่สำคัญของระบบส่งกำลังไฟฟ้า เพื่อทำหน้าที่ตรวจจับความผิดพร่องและบันทึกข้อมูลสัญญาณของอุปกรณ์ต่างๆที่เชื่อมต่อสัญญาณไว้กับเครื่องบันทึก ซึ่งตัวอย่างข้อมูลสัญญาณของอุปกรณ์ที่ถูกบันทึกมานั้น ได้แก่ แรงดันของบัส กระแสของสายส่ง สถานะหน้าสัมผัสรีเลย์ และสถานะหน้าสัมผัสของตัวตัดวงจร เป็นต้น

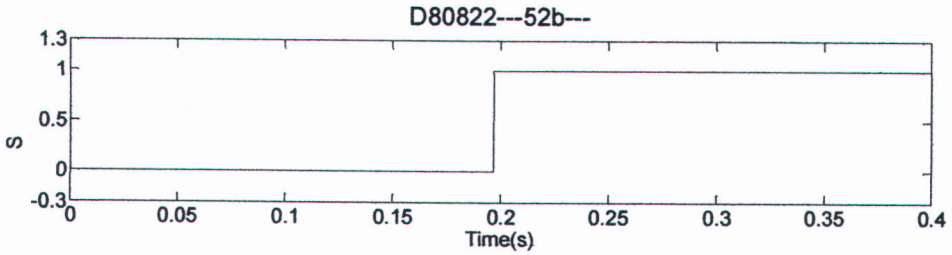
ข้อมูลของเครื่องบันทึกจะประกอบด้วยช่องสัญญาณ 2 ชนิด คือ ช่องสัญญาณอะนาล็อกไฟสลับ (AC analog) และช่องสัญญาณดิจิตัล (Digital) โดยข้อมูลของช่องสัญญาณอะนาล็อกไฟสลับจะถูกจัดเก็บข้อมูลด้วยวิธีการสุ่มค่าสัญญาณของสัญญาณอะนาล็อกตามอัตราการสุ่มที่กำหนดไว้และบันทึกค่าที่ได้จากการสุ่มในรูปแบบดิจิตัล ประเภทของสัญญาณที่ถูกบันทึกแบบสัญญาณอะนาล็อกไฟสลับนี้ ได้แก่ แรงดันของบัส แรงดันของสายส่ง กระแสของสายส่ง และกระแสของขดลวดตติยภูมิของหม้อแปลง เป็นต้น สำหรับข้อมูลของสัญญาณดิจิตัลจะถูกจัดเก็บด้วยค่าสถานะการทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัว และค่าของข้อมูลภายในช่องสัญญาณดิจิตัลนี้จะมีเพียงศูนย์และหนึ่ง ประเภทของสัญญาณที่ถูกบันทึกแบบสัญญาณดิจิตัลนี้ ได้แก่ สถานะหน้าสัมผัสของรีเลย์ป้องกัน สถานะหน้าสัมผัสของตัวตัดวงจร และสถานะของเซนเซอร์ในเครื่องบันทึก เป็นต้น

ตัวอย่างของการรูปสัญญาณของช่องสัญญาณอะนาล็อกไฟสลับ และช่องสัญญาณดิจิตัล ดังแสดงในรูปที่ 2.11 และรูปที่ 2.12 ตามลำดับ



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 2.11 ตัวอย่างช่องสัญญาณอะนาล็อกไฟสลับของบัสที่ระดับแรงดัน 230 กิโลโวลต์



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างช่องสัญญาณดิจิตัลของตัวตัดวงจร

ข้อมูลของเครื่องบันทึกความผิดพร่องเป็นข้อมูลที่สามารถเรียกดูได้แบบออนไลน์ ทำให้เจ้าหน้าที่ส่วนกลางสามารถเรียกดูข้อมูลของสัญญาณต่างๆที่เชื่อมต่อกับเครื่องบันทึกได้ตลอดเวลา นอกจากนี้เครื่องบันทึกของแต่ละผู้ผลิตจะมีโปรแกรมสำหรับใช้งานเพื่อช่วยอำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์อีกด้วย ตัวอย่างเช่น สามารถกำหนดสัญญาณที่ต้องการแสดงผลหลายๆสัญญาณไว้ในหน้าจอเดียวกัน ทำให้เจ้าหน้าที่สามารถเปรียบเทียบลักษณะของสัญญาณหลายสัญญาณในขณะที่ทำการวิเคราะห์ได้

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 21 พ.ค. 2555
เลขทะเบียน 246223
เลขเรียกหนังสือ

จากที่ได้กล่าวถึงภาพรวมของเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัลไปแล้ว ในหัวข้อย่อยต่อจากนี้จะกล่าวถึง หลักการทำงานของเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล ข้อมูลที่ถูกบันทึกจากเครื่องบันทึกความผิดพร่อง และการอ่านชื่อช่องสัญญาณของเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.3.1, 2.3.2 และ 2.3.3 ตามลำดับ

2.3.1 หลักการทำงานของเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล

เครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัลจะเริ่มทำงานเมื่อมีสัญญาณใดสัญญาณหนึ่งที่เชื่อมต่อกับเครื่องบันทึกเป็นไปตามเงื่อนไขของการทำงานที่กำหนดไว้ เครื่องบันทึกความผิดพร่องจะทำการบันทึกค่าสัญญาณของทุกช่องสัญญาณที่เชื่อมต่อกับเครื่องบันทึก สำหรับกรณีที่ภายในสถานีไฟฟ้ามีการติดตั้งเครื่องบันทึกไว้มากกว่าหนึ่งเครื่อง เมื่อมีการตรวจพบสัญญาณใดสัญญาณหนึ่งของเครื่องบันทึกตัวใดตัวหนึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขการทำงานที่ตั้งเอาไว้ เครื่องบันทึกทั้งหมดภายในสถานีไฟฟ้าจะทำการบันทึกค่าสัญญาณทุกช่องสัญญาณของแต่ละเครื่องบันทึกเอาไว้ทั้งหมด สำหรับการบันทึกช่องสัญญาณอะนาล็อกไฟสลับจะเลือกอัตราการสุ่มข้อมูลในการบันทึกอย่างน้อย 2000 เฮิร์ตหรือมากกว่า เพื่อให้ระยะห่างระหว่างข้อมูลมีความละเอียดมากพอที่สามารถนำไปใช้ได้ ทั้งนี้อัตราความถี่ของแต่ละผู้ผลิตจะมีค่าไม่เท่ากันตามแต่การกำหนดของผู้ผลิต

เงื่อนไขที่ทำให้เครื่องบันทึกความผิดพร่องเริ่มทำการบันทึกมีดังต่อไปนี้

- ค่าของช่องสัญญาณแรงดันมีค่าต่ำกว่า 85% ของค่าแรงดันพิกัด
- ค่าของช่องสัญญาณกระแสมีค่าสูงกว่า 120% ของค่าพิกัดวงจรนั้นๆ
- ช่องสัญญาณรีเลย์ ตัวตัดวงจร และเซนเซอร์ มีการเปลี่ยนสถานะหน้าสัมผัส

ระยะเวลาในการบันทึกค่าของเครื่องบันทึกจะใช้เวลาประมาณ 4 วินาที โดยระยะเวลาทั้งหมดของการบันทึก สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงเวลา คือ

1. ช่วงก่อนการเกิดความผิดพร่อง (Pre fault) ในช่วงเวลานี้จะเริ่มบันทึกตั้งแต่ 150 มิลลิวินาทีก่อนมีสัญญาณใดสัญญาณเป็นไปตามเงื่อนไขการทำงานที่ตั้งไว้
2. ช่วงระหว่างการเกิดความผิดพร่อง (During fault) ในช่วงเวลานี้จะเริ่มบันทึกตั้งแต่มีสัญญาณใดสัญญาณเป็นไปตามเงื่อนไขการทำงานที่ตั้งไว้ จนกระทั่งไม่มีสัญญาณใดเป็นไปตามเงื่อนไขการทำงานหรือความจุในการบันทึกแต่ละเหตุการณ์ของเครื่องบันทึกเต็ม

3. ช่วงหลังจากการเกิดความผิดพร่อง (Post fault) ในช่วงเวลานี้จะเริ่มตั้งแต่เวลาไม่มีสัญญาณใดเป็นไปตามเงื่อนไขการทำงาน จนกระทั่งถึงเวลาที่กำหนดไว้หรือความจุในการบันทึกแต่ละเหตุการณ์ของเครื่องบันทึกเต็ม

2.3.2 ข้อมูลที่ได้จากเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล

ข้อมูลที่ได้จากเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัลจะมีมาตรฐานในการจัดเก็บไฟล์ข้อมูลที่เรียกว่า common format for transient data exchange (COMTRADE IEEE C37.111.1999) [15] ในการบันทึกข้อมูลแต่ละเหตุการณ์ของเครื่องบันทึกจะประกอบด้วยไฟล์ทั้งหมด 4 ประเภท คือ ไฟล์หัว (Header file) ไฟล์โครงร่าง (Config file) ไฟล์ข้อมูล (Data file) และไฟล์รายละเอียด (Information file) อย่างไรก็ตามเครื่องบันทึกของบางผู้ผลิตจะทำการจัดเก็บไฟล์มาเพียง 2 ประเภท คือ ไฟล์โครงร่างและไฟล์ข้อมูล

ไฟล์จากเครื่องบันทึกที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์เพื่อหาอุปกรณ์ผิดพร่อง คือ ไฟล์โครงร่างและไฟล์ข้อมูล โดยไฟล์โครงร่างนี้จะทำหน้าที่จัดเก็บรายละเอียดของช่องสัญญาณต่างๆของไฟล์ข้อมูล เช่น ชื่อของสถานีไฟฟ้า จำนวนช่องสัญญาณทั้งหมด จำนวนช่องสัญญาณอะนาล็อก ไฟสลับ จำนวนช่องสัญญาณดิจิตัล ชื่อสัญญาณของแต่ละช่องสัญญาณในไฟล์ข้อมูล และเวลาที่ทำการบันทึก เป็นต้น ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.3 สำหรับไฟล์ข้อมูลจะทำหน้าเก็บค่าของสัญญาณแต่ละช่องสัญญาณในเครื่องบันทึก

จากรูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างของไฟล์โครงร่างที่ถูกบันทึกจากสถานีไฟฟ้าบ้านโป่งสอง โดยมีช่องสัญญาณทั้งหมด 48 ช่อง เป็นสัญญาณอะแนล็อกไฟสลับ 16 ช่อง และสัญญาณดิจิตัล 32 ช่อง มีอัตราการสุ่มค่า 6400 จุดต่อวินาที และมีจำนวนข้อมูล 14268 จุดต่อช่องสัญญาณ คิดเป็นเวลาในการบันทึกทั้งสิ้น 2.23 วินาที สำหรับวิธีอ่านชื่อช่องสัญญาณอะนาล็อกไฟสลับและช่องสัญญาณดิจิตัลของไฟล์โครงร่าง จะอธิบายไว้ในหัวข้อ 2.1.3

```
BP2, 0, 1997 <---------- ชื่อสถานีไฟฟ้า
48, 16A, 32D <---------- จำนวนช่องสัญญาณทั้งหมด, จำนวนช่องสัญญาณอะนาล็อกไฟสลับ, จำนวนช่องสัญญาณดิจิตัล
0,I80KB2--1ALN----, , ,kA,1.000,0.000,0.000,-0.089,0.089,240.000,1.000,P
1,I80KB2--1BLN----, , ,kA,1.000,0.000,0.000,-0.092,0.101,240.000,1.000,P
2,I80KB2--1CLN----, , ,kA,1.000,0.000,0.000,-0.099,0.079,240.000,1.000,P
3,I80NCS--2ALN----, , ,kA,1.000,0.000,0.000,-0.680,0.676,400.000,1.000,P
4,I80NCS--2BLN----, , ,kA,1.000,0.000,0.000,-0.702,0.679,400.000,1.000,P
5,I80NCS--2CLN----, , ,kA,1.000,0.000,0.000,-0.701,0.690,400.000,1.000,P
6,I80SNR--2ALN----, , ,kA,1.000,0.000,0.000,-0.084,0.106,240.000,1.000,P
7,I80SNR--2BLN----, , ,kA,1.000,0.000,0.000,-0.075,0.093,240.000,1.000,P
8,I80SNR--2CLN----, , ,kA,1.000,0.000,0.000,-0.119,0.095,240.000,1.000,P
9,I80NCS--1ALN----, , ,kA,1.000,0.000,0.000,-0.699,0.684,400.000,1.000,P
10,I80NCS--1BLN----, , ,kA,1.000,0.000,0.000,-0.700,0.689,400.000,1.000,P
11,I80NCS--1CLN----, , ,kA,1.000,0.000,0.000,-0.700,0.667,400.000,1.000,P
12,V80BUS1--ABS----, , ,kV,1.000,0.000,0.000,-192.151,192.680,2000.000,1.000,P
13,V80BUS1--BBS----, , ,kV,1.000,0.000,0.000,-191.929,192.002,2000.000,1.000,P
14,V80BUS1--CBS----, , ,kV,1.000,0.000,0.000,-191.231,191.926,2000.000,1.000,P
15,SPARE16, , ,kA,1.000,0.000,0.000,-0.106,0.000,400.000,1.000,P
                                                                  } ช่องสัญญาณอะนาล็อกไฟสลับ
0,D80KB2--1-94P---,, ,0
1,D80KB2--1-94BU--,, ,0
2,D80KB2--1-RXPTT-,, ,0
3,D80KB2--1-79----,, ,0
4,D80NCS--1-94P---,, ,0
5,D80NCS--1-94BU--,, ,0
6,D80NCS--1-RXPTT-,, ,0
7,D80NCS--1-79----,, ,0
8,D80SNR--2-94P---,, ,0
9,D80SNR--2-94BU--,, ,0
10,D80SNR--2-RXPTT-,, ,0
11,D80SNR--2-79----,, ,0
12,D80NCS--2-94P---,, ,0
13,D80NCS--2-94BU--,, ,0
14,D80NCS--2-RXPTT-,, ,0
15,D80NCS--2-79----,, ,0
16,D80BUS1---86----,, ,0
17,D80512----86BF--,, ,0
18,D80522----86BF--,, ,0
19,D80532----86BF--,, ,0
20,D80612----86BF--,, ,0
21,D80622----86BF--,, ,0
22,D80632----86BF--,, ,0
23,D80512----52b---,, ,0
24,D80522----52b---,, ,0
25,D80532----52b---,, ,0
26,D80612----52b---,, ,0
27,D80622----52b---,, ,0
28,D80632----52b---,, ,0
29,SPARE30,, ,0
30,SPARE31,, ,0
31,SPARE32,, ,0
                                                                  } ช่องสัญญาณดิจิตัล
50 <---------- ความถี่
1
6400, 14268 <---------- อัตราการสุ่ม, จำนวนข้อมูลต่อหนึ่งช่องสัญญาณ
03/03/2010,13:21:43.168342 <---------- เวลาที่เริ่มการบันทึก
03/03/2010,13:21:43.318967 <---------- เวลาที่ตรวจพบสัญญาณผิดปกติ
ASCII
156
```

รูปที่ 2.13 ตัวอย่างของไฟล์โครงร่างของสถานีไฟฟ้าบ้านโป่งสอง

2.3.3 การอ่านชื่อช่องสัญญาณของเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล

เครื่องบันทึกความผิดพร่องดิจิตัลสามารถกำหนดชื่อของแต่ละช่องสัญญาณได้เองตามความสะดวกของผู้ใช้งาน อย่างไรก็ดีการกำหนดชื่อของช่องสัญญาณแต่ละช่องสัญญาณให้เป็นมาตราฐานเดียวกัน จะช่วยให้ผู้ใช้งานหรือผู้วิเคราะห์สามารถทำความเข้าใจและตีความหมายจากชื่อช่องสัญญาณได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้การกำหนดชื่อช่องสัญญาณให้เป็นมาตารฐานเดียวกันจะทำให้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น สามารถอ่านหรือค้นหาชื่อช่องสัญญาณในการวิเคราะห์และประมวลผลได้สะดวกมากยิ่งขึ้น โดยชื่อช่องสัญญาณที่ใช้จะประกอบด้วยทั้งหมด 16 ตัวอักษร [14] ตัวอย่างของชื่อช่องสัญญาณอะนาล็อกไฟสลับและช่องสัญญาณดิจิตัล จะแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างชื่อช่องสัญญาณอะนาล็อกไฟสลับของสถานีไฟฟ้าบ้านโป่งสอง

ชนิดของสัญญาณ	ระดับแรงดัน	ชื่ออุปกรณ์	ลำดับที่	เฟส	ชนิดของอุปกรณ์
V	80	BUS1-	-	A	BUS
V	80	BUS1-	-	B	BUS
V	80	BUS1-	-	C	BUS
I	80	NCS--	1	A	LINE
I	80	NCS--	1	B	LINE
I	80	NCS--	1	C	LINE
I	80	NCS--	2	A	LINE
I	80	NCS--	2	B	LINE
I	80	NCS--	2	C	LINE
I	80	KB2--	1	A	LINE
I	80	KB2--	1	B	LINE
I	80	KB2--	1	C	LINE

จากตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างชื่อช่องสัญญาณอะนาล็อกไฟสลับ สำหรับคอลัมน์ที่หนึ่งแสดงชนิดของช่องสัญญาณ โดยใช้ตัวอักษร V แทนช่องสัญญาณของแรงดัน และตัวอักษร I แทนช่องสัญญาณกระแส คอลัมน์ที่สองแสดงระดับแรงดัน โดยใช้ตัวเลข 90 แทนระดับแรงดัน 500 กิโลโวลต์ ตัวเลข 80 แทนระดับแรงดัน 230 กิโลโวลต์ และตัวเลข 70 แทนระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ คอลัมน์ที่สามแสดงชื่ออุปกรณ์หรือสถานีไฟฟ้าปลายทางในกรณีที่อุปกรณ์เป็นสายส่ง

คอลัมน์ที่สี่แสดงลำดับวงจรของสายส่ง คอลัมน์ที่ห้าแสดงเฟสของช่องสัญญาณ และคอลัมน์ที่หกแสดงชนิดอุปกรณ์ของช่องสัญญาณ

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างชื่อช่องสัญญาณดิจิตัลของสถานีไฟฟ้าบ้านโป่งสอง

ชนิดของสัญญาณ	ระดับแรงดัน	ชื่ออุปกรณ์	ลำดับที่	เฟส	ชนิดของอุปกรณ์
D	80	BUS1-	-	-	RELAY 86
D	80	NCS--	1	-	RELAY 94P
D	80	NCS--	1	-	RELAY 94BU
D	80	NCS--	1	-	RELAY 79
D	80	NCS--	2	-	RELAY 94P
D	80	NCS--	2	-	RELAY 94BU
D	80	NCS--	2	-	RELAY 79
D	80	KB2--	1	-	RELAY 94P
D	80	KB2--	1	-	RELAY 94BU
D	80	KB2--	1	-	RELAY 79
D	80	512--	-	-	RELAY 86BF
D	80	512--	-	-	BREAKER 52

จากตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างชื่อช่องสัญญาณดิจิตัล สำหรับคอลัมน์ที่หนึ่งใช้ตัวอักษร D แทนช่องสัญญาณดิจิตัล คอลัมน์ที่สองแสดงระดับแรงดัน คอลัมน์ที่สามแสดงชื่ออุปกรณ์ที่รีเลย์เกี่ยวข้องและตำแหน่งของตัวตัดวงจร และตั้งแต่คอลัมน์ที่สี่ถึงคอลัมน์ที่หกจะใช้หลักเกณฑ์เดียวกันกับการอ่านชื่อของช่องสัญญาณอะนาล็อกไฟสลับ อย่างไรก็ดีถ้าจำนวนของตัวอักษรไม่ครบตามโครงสร้างที่กำหนด จะใช้เครื่องหมายขีดกลาง (Hyphen) แทนตามจำนวนตัวอักษรในส่วนดังกล่าว และในกรณีของคอลัมน์ที่ห้าใช้แสดงเฟสของช่องสัญญาณ ถ้าหากช่องสัญญาณนั้นใช้งานทั้งสามเฟสจะใช้เครื่องหมายขีดกลางแทนตัวอักษรเฟส