บทที่ 3

การออกแบบจำลองเหตุการณ์สายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระไฟฟ้า

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบการจำลองความผิดพร่องแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านโหลด (Broken conductor fault on the load side) โดยจะแบ่งการออกแบบการจำลองเป็น 2 ลักษณะดังนี้

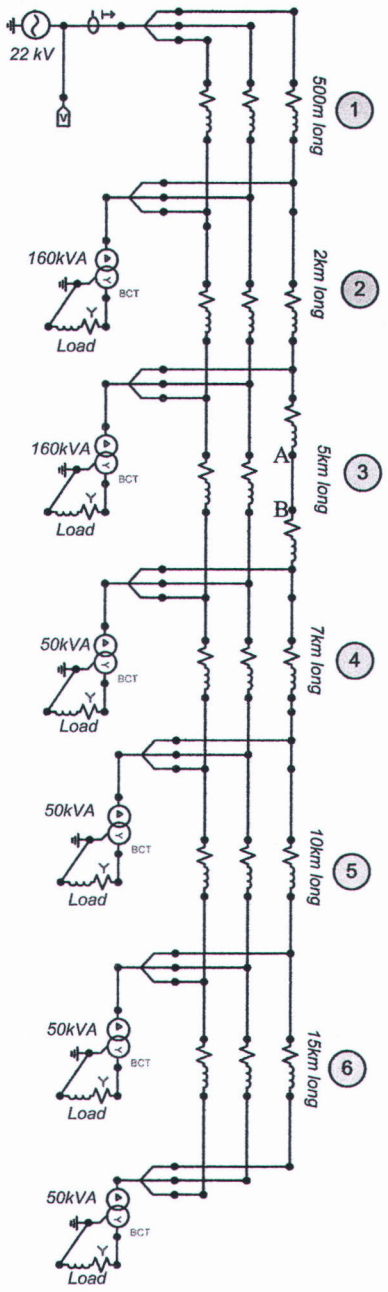
1. ออกแบบการจำลองความผิดพร่องแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระด้วยโปรแกรม ATP– Alternative Transients Program
2. ออกแบบการจำลองความผิดพร่องแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระภายในห้องปฏิบัติการ

ทั้งนี้การออกแบบในบทนี้จะรวมถึงการออกแบบเทคนิคในการตรวจจับความผิดพร่องเนื่องจากสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระไฟฟ้า

3.1 ออกแบบการจำลองความผิดพร่องแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระไฟฟ้าด้วยโปรแกรมประยุกต์ ATP – Alternative Transients Program

ในการจำลองความผิดพร่องแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระด้วยโปรแกรมประยุกต์นั้น จะเลือกใช้โปรแกรม ATP – Alternative Transients Program เป็นโปรแกรมในการจำลองความผิดพร่อง และแสดงผลการจำลองความผิดพร่องดังกล่าวด้วยสัญญาณกระแส เพราะฉะนั้น ในลำดับแรกจำเป็นต้องสร้างระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่จะทำการจำลองความผิดพร่อง ในที่นี้จะสมมติให้บัสแรงดันสูงปานกลาง (Medium voltage bus) เป็นแหล่งจ่ายของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่จำลองขึ้น ส่วนอุปกรณ์ตรวจวัด ทั้งกระแส (Current transformer) และแรงดัน (Potential transformer) จะใช้โพรบวัดกระแสและแรงดันตามลำดับ ในส่วนของสายจ่ายไฟฟ้าแบบเดินอากาศ (Overhead line) จะแทนด้วยความต้านทานและความเหนี่ยวนำ และหม้อแปลงจำหน่าย (Distribution transformer) ที่ติดตั้งไว้ตามวงจรสายป้อน (Outgoing feeder) นั้น ให้แทนด้วยโมเดลสำเร็จรูปของหม้อแปลงจำหน่าย โดยใช้ตัวแปรต่างๆตามอุปกรณ์หม้อแปลงจำหน่ายจริง ภาระไฟฟ้าของระบบจำหน่ายจะแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ เดลต้า(Delta) วาย 3 เฟส 3 สาย(Wye without neutral)และวาย 3 เฟส 4 สาย(Wye with neutral) ส่วนความผิดพร่องที่เกิดจากเหตุการณ์สายไฟฟ้าขาดนั้นจะจำลอง โดยใช้ สวิตซ์ที่ควบคุมด้วยเวลา (Switch time controlled) แล้วเมื่อสายไฟฟ้ามาสัมผัสพื้นจะใช้ค่าความต้านทานต่อลงดิน เพื่อแทนเหตุการณ์ดังกล่าว

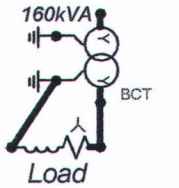
ระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่จำลองขึ้น เพื่อทำการจำลองความผิดพร่องแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ สามารถแสดงได้ภาพที่ 3.1 ซึ่งเป็นระบบจำหน่ายที่มีลักษณะแบบรัศมี (radial scheme) และมีหม้อแปลงจำหน่ายประกอบอยู่ 6 เครื่องในวงจรสายป้อนนี้



ภาพที่ 3.1 วงจรจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า รูปแบบรัศมี ระยะทาง 39.5 กิโลเมตร

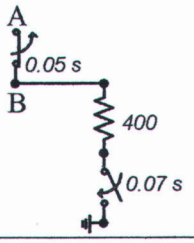
รายละเอียดของวงจรจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้น แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบอุปกรณ์ระบบจำหน่ายกับโมเดลการจำลองด้วยโปรแกรม ATP

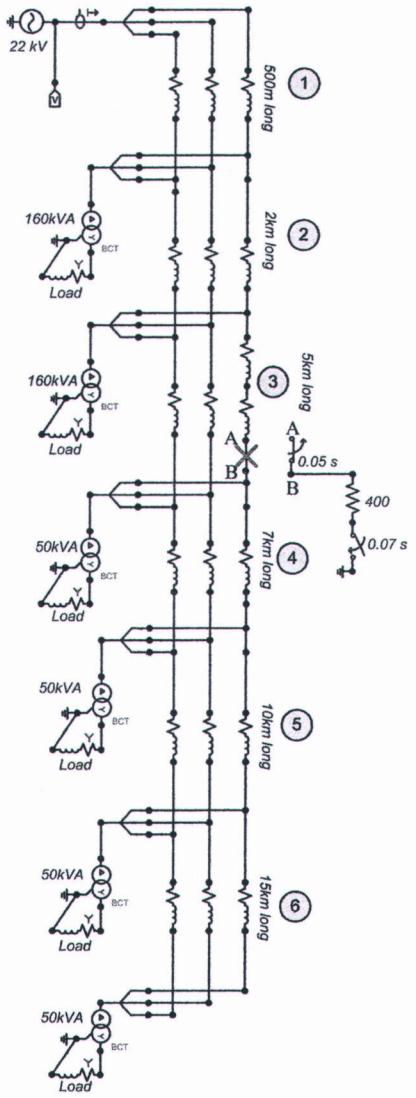
ระบบจำหน่ายจริง		ระบบจำหน่ายจำลอง	
อุปกรณ์ไฟฟ้า	รายละเอียด	โมเดลจำลอง	ค่าตัวแปร
บัสแรงดันสูงปานกลาง	รับไฟฟ้าจากหม้อแปลงกำลังด้านทุติยภูมิที่ติดตั้งภายในสถานีไฟฟ้า ปกติจะมีแรงดันอยู่ที่ 22 – 33 kV		แรงดันสายเท่ากับ 22 kV ความถี่ 50 Hz
หม้อแปลงกระแส	ใช้ในการตรวจวัดปริมาณกระแสของวงจรสายป้อนที่ออกจากสถานีไฟฟ้า การเลือกใช้จะพิจารณาจากความเหมาะสมของวงจรสายป้อนนั้น		ใช้โพรบวัดกระแสทั้งสามเฟส
สายไฟฟ้าแบบเดินในอากาศ	ในระบบจำหน่ายจะเลือกใช้ SAC – Space Aerial Cable หรือ PIC – Partial Insulated Cable เป็นสายไฟฟ้าเดินอากาศ		เลือกตัวแปรทางไฟฟ้าของสายSAC ขนาด 185 ตร.มม. ในการจำลอง Resistance 0.2069 Ω/km. และ Inductance 0.5 mH/km.
หม้อแปลงจำหน่ายไฟฟ้า	โดยทั่วไปหม้อแปลงจำหน่าย จะต่อแบบเดลต้า(Δ)ในด้านแรงสูง และเป็นแบบวาย(Y) สำหรับด้านแรงต่ำ		ในวงจรจำลองเลือกใช้ 2 ขนาด คือ 50 kVA และ 160 kVA โดยมีแรงดัน 22kV/400V, Dyn11
	ให้หม้อแปลงจำหน่าย ต่อแบบวาย(Y)ในด้านแรงสูง และเป็นแบบวาย(Y)มีนิวทรัล สำหรับด้านแรงต่ำ		ในวงจรจำลองเลือกใช้ 2 ขนาด คือ 50 kVA และ 160 kVA โดยมีแรงดัน 22kV/400V, Yyn0
	ให้หม้อแปลงจำหน่าย ต่อแบบวาย(Y)ในด้านแรงสูง และเป็นแบบวาย(Y) สำหรับด้านแรงต่ำ โดยทั้งสองด้านมีนิวทรัล		ในวงจรจำลองเลือกใช้ 2 ขนาด คือ 50 kVA และ 160 kVA โดยมีแรงดัน 22kV/400V, YNyn0

ในการจำลองความผิดพร่องแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ จะต้องสร้างโมเดลที่ใช้แทนความผิดพร่องแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระที่เกิดขึ้นภายในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โมเดลดังกล่าวมีรายละเอียดตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 โมเดลความผิดพร่องที่ใช้จำลองสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ

ระบบจำหน่ายจริง		ระบบจำหน่ายจำลอง	
ความผิดพร่อง	รายละเอียด	โมเดลจำลอง	ค่าตัวแปร
สายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ	เป็นความผิดพร่องแบบสายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ ด้วยความต้านทานผิดพร่องขนาด 400 โอห์ม		สมมติเวลาสายไฟฟ้าขาดเวลา 0.05 วินาที และใช้เวลาที่สายไฟฟ้าตกลงสู่พื้นด้วยเวลา 0.07 วินาที

ทำการจำลองความผิดพร่องด้วยโมเดลสายไฟฟ้าขาด ดังตารางที่ 3.2 ลงในภาพที่ 3.2 โดยจะจำลองความผิดพร่องในแต่ละช่วงสายตั้งแต่ 1 – 6



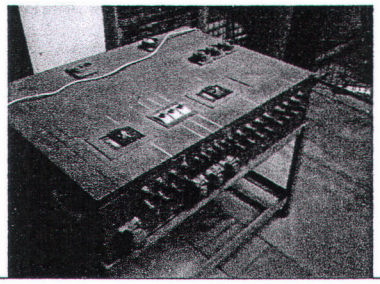
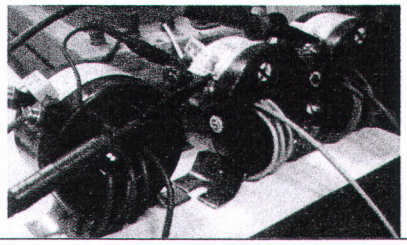
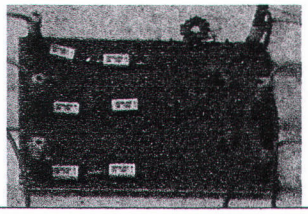
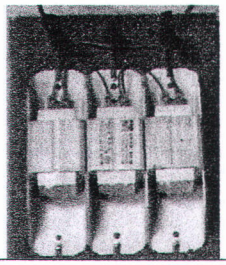
ภาพที่ 3.2 การจำลองความผิดพร่องแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสลงพื้นด้านภาระ

3.2 ออกแบบการจำลองความผิดพร่องแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระภายในห้องปฏิบัติการ

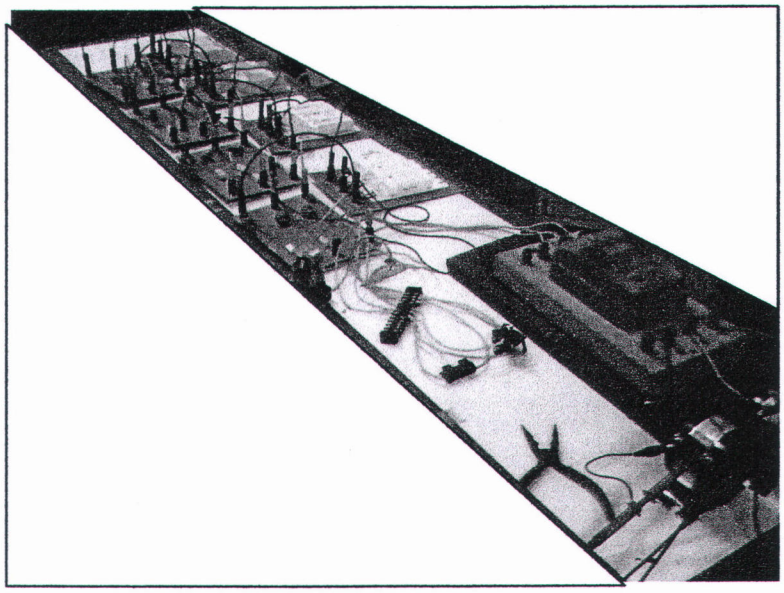
เป็นการออกแบบการจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ทางไฟฟ้า และจำลองความผิดพร่องลงในชุดทดลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบคุณลักษณะของความผิดพร่องแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายที่จำลองด้วยโปรแกรม ATP

โดยอุปกรณ์ที่ใช้ทำการจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้น ถูกสรุปและเปรียบเทียบกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าจริง ตามตารางที่ 3.3 ดังนี้

ตารางที่ 3.3 อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้จำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า ในห้องปฏิบัติการ

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าจริง	ระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลอง	
อุปกรณ์ไฟฟ้า	อุปกรณ์จำลอง	ค่าใช้งานของอุปกรณ์
บัสแรงดันสูงปานกลาง		แหล่งจ่ายที่มีแรงดันสายเท่ากับ 400 V ความถี่ 50 Hz
หม้อแปลงกระแส		หม้อแปลงกระแสที่มีอัตราส่วน 30/5 A
สายไฟฟ้าแบบเดินในอากาศ		ใช้ตัวต้านทานอนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำในการจำลองสายจำหน่ายไฟฟ้า
หม้อแปลงจำหน่ายไฟฟ้า		ใช้บัลลาสต์ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวเหนี่ยวนำแทนขดลวดของหม้อแปลงจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งต่อแบบวายไม่มีนิวทรัล

การนำอุปกรณ์ในตารางที่ 3.3 มาต่อเป็นระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลองจะได้ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลองที่ใช้ในการทดลอง

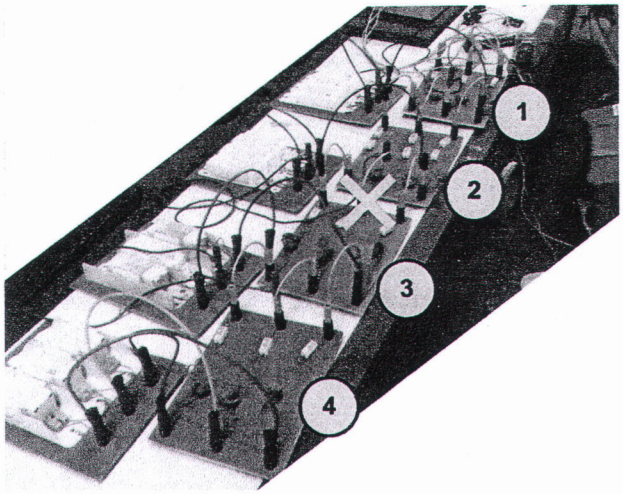
ชุดจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้านี้ จะใช้ออสซิลโลสโคปในการวัดสัญญาณกระแสที่ได้จากหม้อแปลงวัดกระแส โดยแสดงผลการทดลองในแบบของรูปคลื่น เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผล

ในการจำลองความผิดพร่องเนื่องจากสายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ จะใช้อุปกรณ์ดังแสดงในตารางที่ 3.4 เป็นตัวทำเหตุการณ์ความผิดพร่องแบบสายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้น

ตารางที่ 3.4 อุปกรณ์ที่ใช้จำลองความผิดพร่องฯบนชุดจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าจริง		ระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลอง	
เหตุการณ์	รายละเอียด	อุปกรณ์จำลอง	ค่าใช้งานของอุปกรณ์
ความผิดพร่อง	เป็นความผิดพร่องแบบสายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ		ใช้แมกเนติก คอนแทคเตอร์ ในการจำลองความผิดพร่องของเหตุการณ์สายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วทำให้สายไฟฟ้าสัมผัสกับพื้น

การจำลองเหตุการณ์ความผิดพร่องฯ จะใช้อุปกรณ์ในตารางที่ 3.4 เพื่อทำให้เกิดความผิดพร่องบนชุดจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าในเฟส “C” ระหว่างสายจำหน่ายช่วงที่ 2 – 3 ตามภาพที่ 3.4



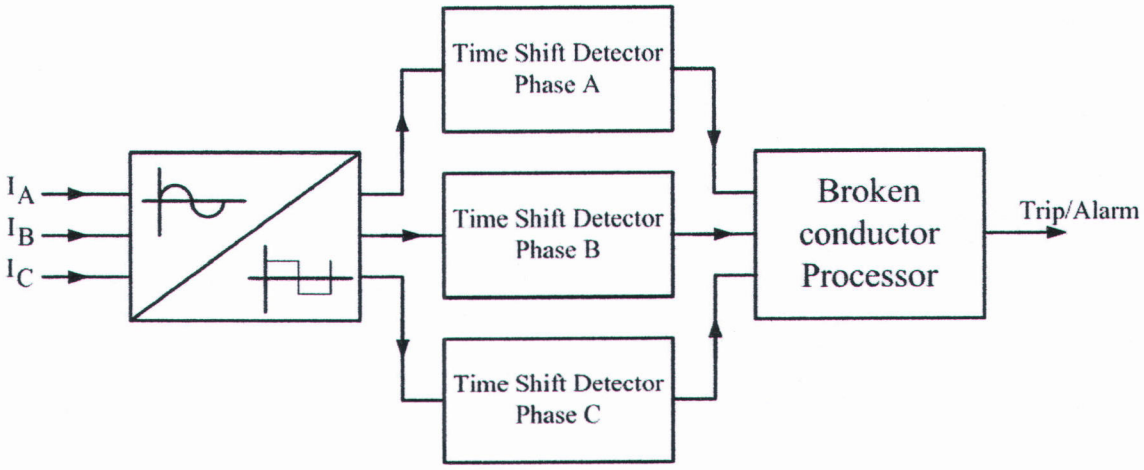
ภาพที่ 3.4 แสดงจุดที่เกิดความผิดพร่องฯ ในชุดจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า คือช่วงที่ 2 – 3

3.3 ออกแบบเทคนิคการตรวจจับความผิดพร่องแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ

การออกแบบเทคนิคการตรวจจับความผิดพร่องนี้ จะอธิบายด้วยแนวคิดที่ใช้ในการออกแบบระบบตรวจจับความผิดพร่องแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ ไฟฟ้า พร้อมทั้งการคำนวณเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับแนวความคิดที่ใช้ในการตรวจจับความผิดพร่องฯ

3.3.1 แนวความคิดในการตรวจจับความผิดพร่องฯ

ในขั้นตอนการออกแบบเทคนิคการตรวจจับนี้ จะแสดงการทำงานด้วย Block diagram ซึ่งมีรูปแบบดังนี้



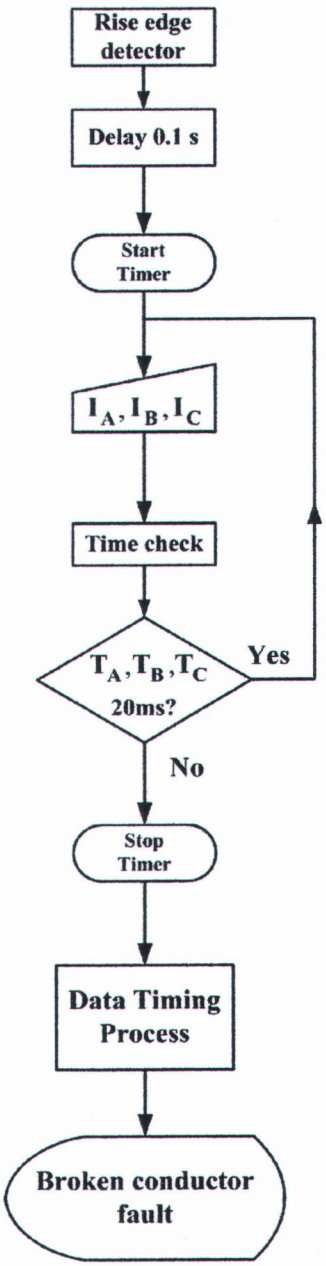
ภาพที่ 3.5 รูปแบบการตรวจจับความผิดพร่องแบบสายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ

สามารถอธิบายถึงเทคนิคการตรวจจับความผิดพร่องโดยสังเขป ดังนี้ รับสัญญาณกระแสที่ได้จากหม้อแปลงกระแส นำมาเข้าวงจรการแปลงกระแส จากนั้นสัญญาณขาออกที่ได้จากการแปลง

จะถูกส่งต่อไปยัง ภาคการตรวจจับการเลื่อนของเวลา เพื่อวิเคราะห์สัญญาณความผิดพร่องฯ ในแต่ละเฟส จากนั้นสัญญาณที่ได้จากการวิเคราะห์ของแต่ละเฟสจะนำมาประมวลผลในภาคการระบุเฟสที่เกิดความผิดพร่อง แล้วส่งสัญญาณปลดวงจรการจ่ายพลังงานไฟฟ้า หรือส่งสัญญาณแจ้งเตือนให้แก่ผู้ปฏิบัติงานได้

3.3.2 ผังงานแสดงขั้นตอนการทำงาน (Flow chart diagram)

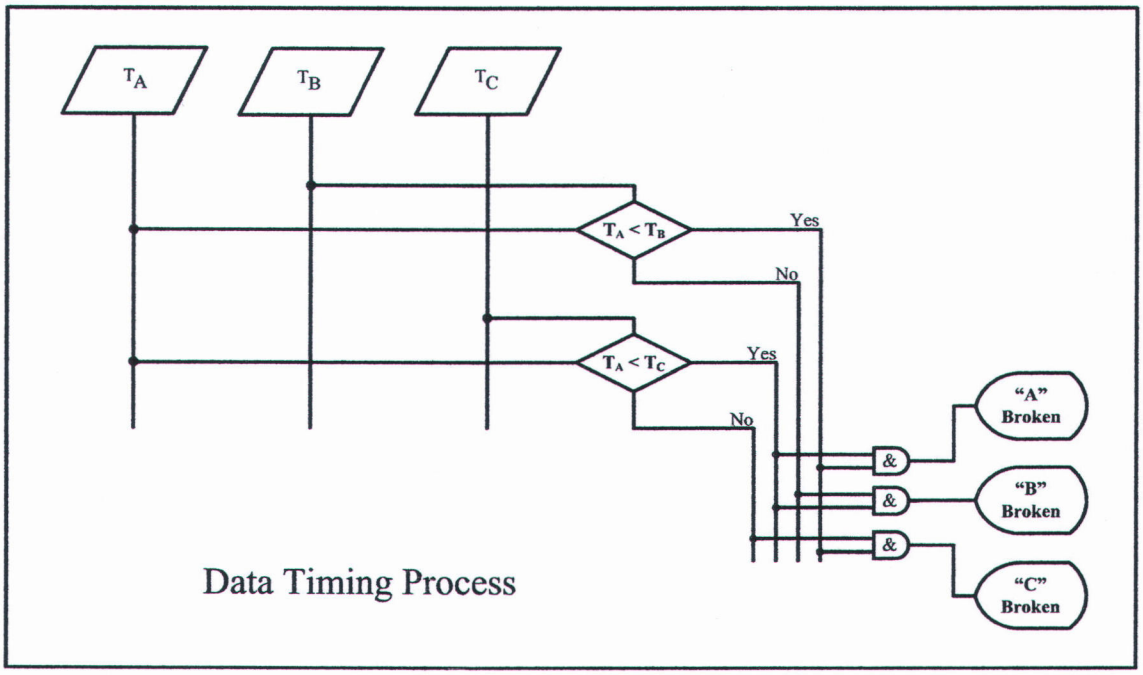
ผังงานจะแสดงให้เห็นถึงขบวนการทางความคิดของงานวิทยานิพนธ์นี้ โดยแสดงในภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 ผังงานแสดงขั้นตอนการทำงานของการตรวจจับความผิดพร่องฯ

ผังงานด้านบนสามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อมีสัญญาณกระแสเข้าสู่ระบบจะทำการตรวจจับขอบขาขึ้นของสัญญาณ เมื่อพบจะทำการหน่วงเวลาไป 100 มิลลิวินาที เพื่อไม่ให้อุปกรณ์ป้องกันที่ออกแบบทำงานในช่วงกระแสกระชาก (Inrush current) แล้วจึงเริ่มเข้าสู่โปรแกรมการตรวจจับเวลา การตรวจจับจะตรวจสอบว่าเวลานั้นเป็น 20 มิลลิวินาที หรือไม่ ถ้าพบว่าใช่ ก็จะตรวจจับสัญญาณของกระแสต่อไป จนเมื่อตรวจสอบแล้วพบว่าเวลาของสัญญาณนั้นเกิดการเลื่อนแตกต่างออกไปจาก 20 มิลลิวินาที ระบบตรวจจับสัญญาณจะหยุดการทำงาน แล้วส่งค่าที่ตรวจสอบได้ไปยัง หน่วยประมวลความผิดพร่องแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ เพื่อวิเคราะห์ความผิดพร่องที่เกิดขึ้น

ผังการทำงานของหน่วยประมวลความผิดพร่องแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.7

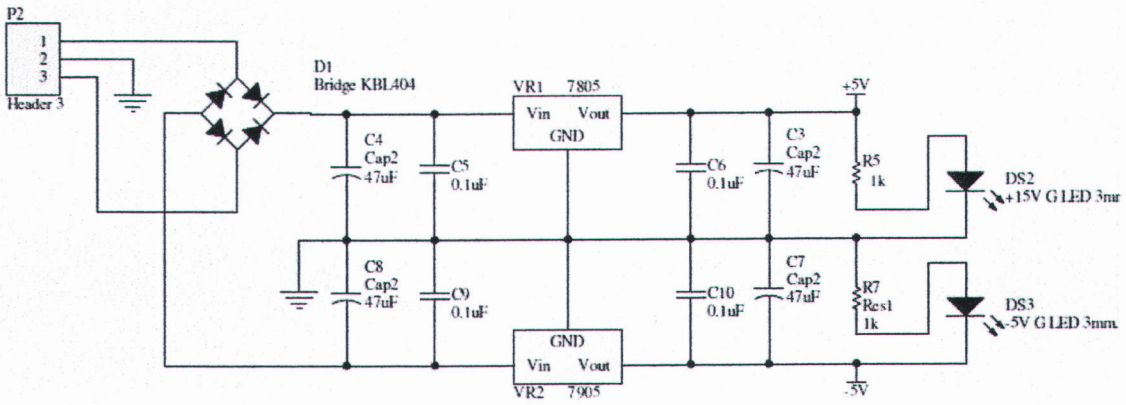


ภาพที่ 3.7 ผังการทำงานของหน่วยประมวลความผิดพร่องแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาด

เมื่อโปรแกรมการตรวจจับเวลาหยุดทำงาน เวลาของแต่ละเฟสจะถูกบันทึก แล้วถูกส่งเข้ามาสู่หน่วยประมวลความผิดพร่องแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาด การทำงานของหน่วยนี้จะทำการเปรียบเทียบเวลาของสัญญาณกระแสทั้งสามเฟส และเมื่อทำการเปรียบเทียบแล้ว พบว่าเฟสใดที่มีเวลาในการเลื่อนน้อยที่สุด จะเป็นเฟสที่เกิดปัญหาสายจำหน่ายไฟฟ้าขาด พฤติกรรมของความผิดพร่องนี้มาจากการทดลอง ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในบทที่ 4 เรื่องการจำลองความผิดพร่องเนื่องจากสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดและวิเคราะห์ผลการจำลอง

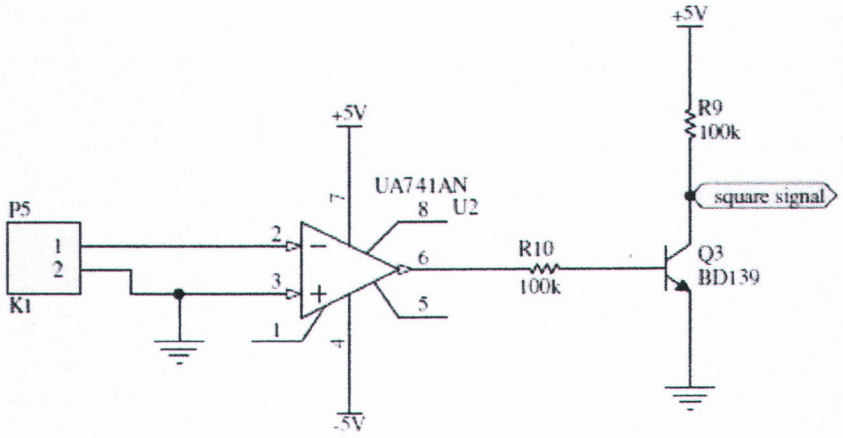
3.3.3 วงจรการตรวจจับความผิดพร่องแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาด

จากรูปแบบการตรวจจับความผิดพร่องแบบสายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ ในภาพที่ 3.5 สามารถนำมาออกแบบวงจรการตรวจจับความผิดพร่องได้ โดยแบ่งภาคการทำงานต่างๆดังนี้



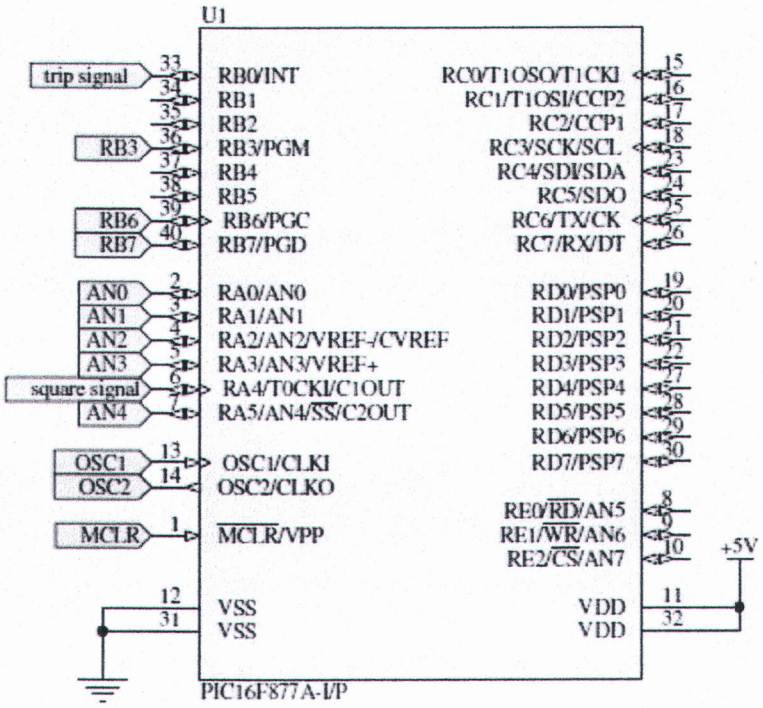
ภาพที่ 3.8 ภาคแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า

ภาคการทำงานนี้ ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ และไมโครคอนโทรลเลอร์



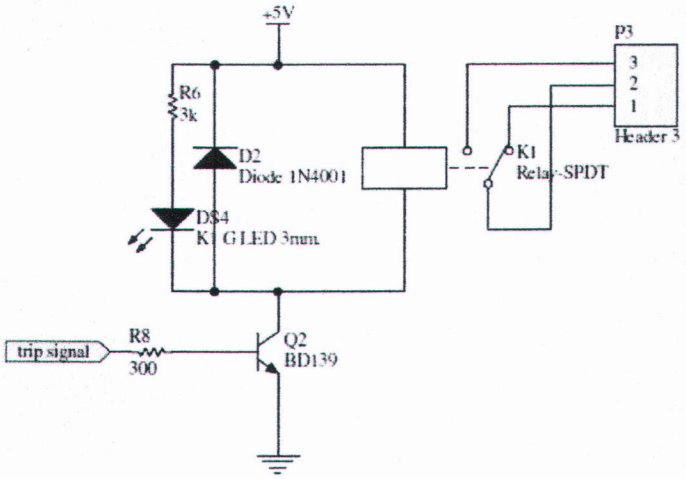
ภาพที่ 3.9 ภาคการแปลงสัญญาณกระแส

ภาคการแปลงสัญญาณกระแสนี้ ทำหน้าที่แปลงสัญญาณรูปคลื่นซายน์ของกระแสไฟฟ้า (Sinusoidal current) ให้เป็นสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square current) เพื่อให้สัญญาณเข้าสู่ภาคการประมวณผลกระแสต่อไป



ภาพที่ 3.10 ภาคการประมวลผลสัญญาณกระแส

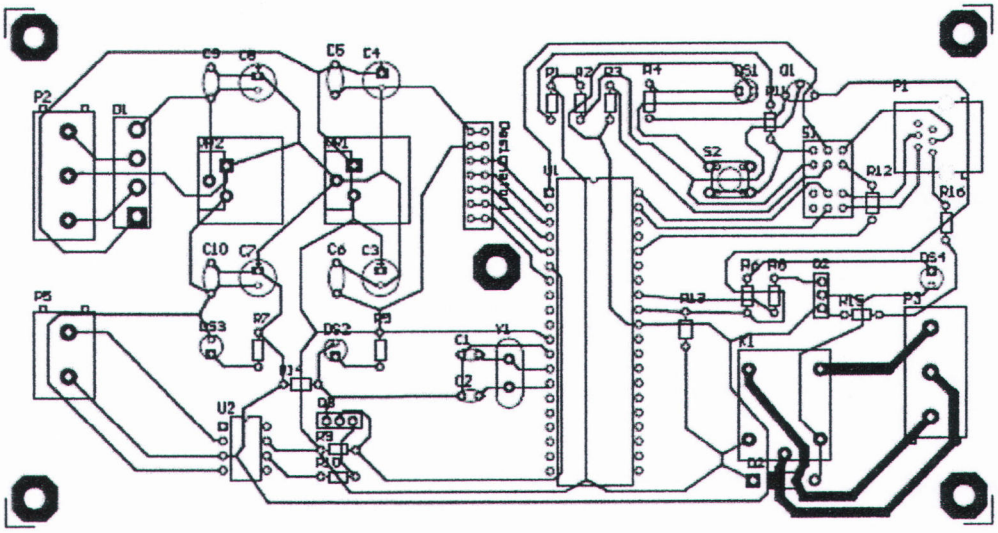
ภาคการประมวลผลสัญญาณกระแส ทำหน้าที่วิเคราะห์การเลื่อนเวลา และการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแส เมื่อพบเหตุการณ์ความผิดพร่องเนื่องจากสายไฟฟ้าขาด จะทำการส่งสัญญาณไปยังภาคการแจ้งเตือน ต่อไป



ภาพที่ 3.11 ภาคการแจ้งเตือน

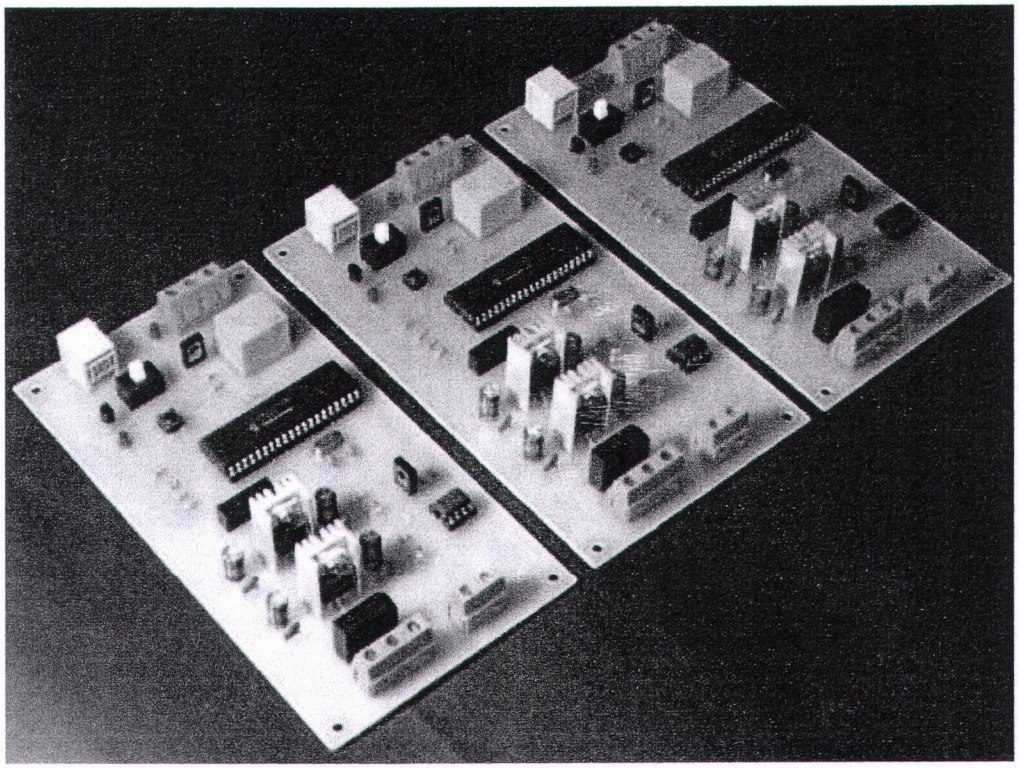
ภาคการทำงานนี้ จะทำหน้าที่เมื่อได้รับสัญญาณจากภาคการประมวลผลสัญญาณกระแส โดยทำการส่งสัญญาณการปลดวงจรจ่ายพลังงานไฟฟ้าของเซอร์กิตเบรกเกอร์ หรือแจ้งเตือนสู่ผู้ให้บริการไฟฟ้า

แล้วเมื่อนำภาคการทำงานต่างๆมารวมเข้าด้วยกัน เพื่อประกอบเป็นวงจรการตรวจจับความผิดพร่อง จะได้แบบของวงจรฯ ดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 แบบวงจรการตรวจจับความผิดพร่องแบบสายไฟฟ้าขาด

และเมื่อนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ที่เกี่ยวข้องติดตั้งลงบนแบบวงจรฯ จะทำให้ได้วงจรการตรวจจับที่สมบูรณ์ ดังแสดงในภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 วงจรการตรวจจับความผิดพร่องฯ ทั้งสามเฟสที่สมบูรณ์พร้อมใช้งาน