บทที่ 2

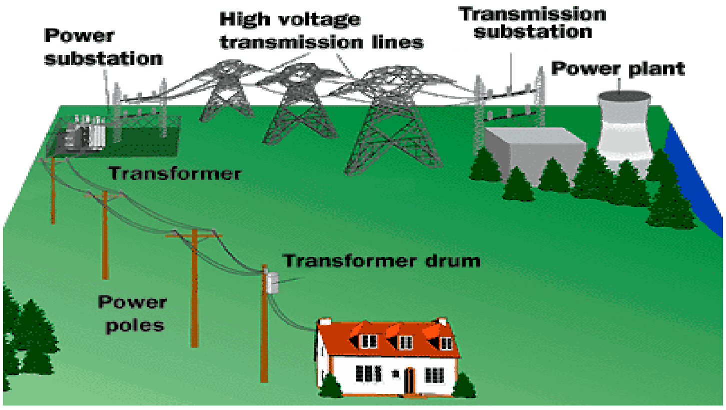
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการเฝ้าระวังอัตโนมัติสำหรับสิ่งใดสิ่งหนึ่งนั้น โดยทั่วไปมีจุดมุ่งหมายที่จะต้องการทราบถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในทันทีทันใด ในงานวิจัยนี้ได้นำหลักการการเฝ้าระวังอัตโนมัติมาใช้สำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าไลน์แยก ดังนั้นเราจึงต้องทำความเข้าใจกับทฤษฎีและหลักการของส่วนประกอบของระบบจำหน่ายไฟฟ้า ลักษณะและผลกระทบของสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้น รวมไปถึงวิธีการและหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจเพื่อจำแนกให้ได้ว่า เกิดสิ่งผิดปกติชนิดใดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าไลน์แยก

2.1 ส่วนประกอบของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

การส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า เริ่มจากการผลิตไฟฟ้า ที่โรงไฟฟ้า (Power plant) โดยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ซึ่งการกำหนดขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขึ้นอยู่กับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า การส่งพลังงานไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟ ต้องอาศัยระบบส่งพลังงานไฟฟ้าซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

- ระบบส่ง (Transmission system)
- ระบบจำหน่าย (Distribution system)



ภาพประกอบ2-1 typical electrical power grid

ที่มา: www.howstuffworks.com/power.htm

ระบบส่ง คือระบบส่งพลังงานไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้ามายังสถานีไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย ระบบส่งจะอยู่ในความรับผิดชอบของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า คือระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย ได้แบ่งพื้นความรับผิดชอบออกเป็น 2 ส่วน คือ เขตกรุงเทพฯและปริมณฑล อยู่ในความรับผิดชอบของ การไฟฟ้านครหลวง ส่วนเขตพื้นที่ทั้งหมดที่เหลือ อยู่ในความรับผิดชอบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

2.1.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ ดังนี้

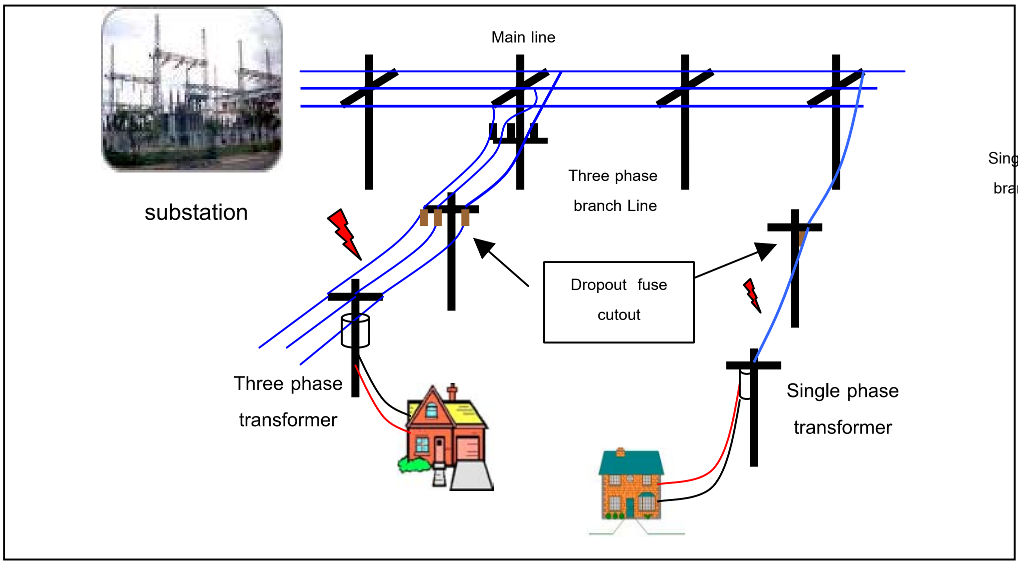
2.1.1.1 สถานีไฟฟ้า (Substation) ทำหน้าที่รับพลังงานไฟฟ้าจากระบบส่ง เพื่อลดระดับแรงดันลงมาแล้วแยกจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟโดยผ่านระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง

2.1.1.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง (High Voltage Distribution) ทำหน้าที่เป็นตัวกลางนำพลังงานไฟฟ้า จากสถานีไฟฟ้าส่งจ่ายไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า ดังแสดงในภาพประกอบ 2-2 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้จำแนกระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นสองส่วนโดยพิจารณาตามลำดับความสำคัญ คือ

- ระบบจำหน่ายไฟฟ้าไลน์เมน (Main Line Distribution) คือระบบจำหน่ายไฟฟ้าหลัก ชนิด 3 เฟส ที่มีจุดเริ่มต้นจากสถานีไฟฟ้า
- ระบบจำหน่ายไฟฟ้าไลน์แยก (Branch Line Distribution) คือระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่แยกจาก ระบบจำหน่ายไฟฟ้าหลัก มี2 ชนิด คือ ชนิด 1 เฟส (Single Phase) และชนิด 3 เฟส (Three Phase)

2.1.1.3 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) ทำหน้าที่ลดระดับแรงดัน ให้อยู่ในช่วงที่ผู้ใช้ไฟสามารถใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ โดยทั่วไปสำหรับประเทศไทยจะมีระดับแรงดันที่ 380 โวลต์ (Line to Line) หรือ 220 โวลต์ (Line to neutral)

2.1.1.4 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำ (Low Voltage Distribution) ทำหน้าที่ส่งพลังงานไฟฟ้าที่รับจากหม้อแปลงไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า โดยผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถใช้พลังงานไฟฟ้าได้ทันที



ภาพประกอบ2-2 ลักษณะระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง

ที่มา: www.pea.co.th

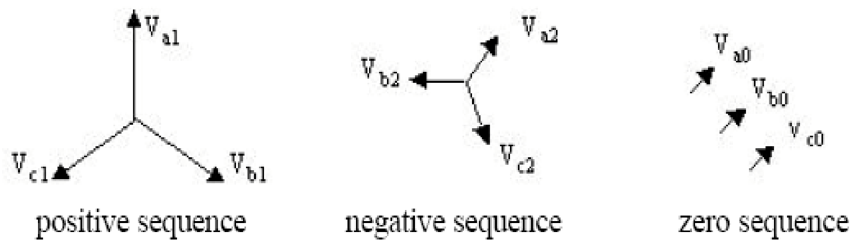
ภาพประกอบ 2-2 แสดงลักษณะการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า ในความรับผิดชอบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเริ่มต้นที่สถานีไฟฟ้า ซึ่งจะรับพลังงานไฟฟ้าจาก การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ระดับแรงดัน 230 กิโลโวลต์ หรือ 115 กิโลโวลต์ ผ่านหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง (Power Transformer) เพื่อลดระดับแรงดันเป็น 33 หรือ 22 กิโลโวลต์ การส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟโดยผ่านระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง เพื่อส่งพลังงานไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟต้องมีการลดระดับแรงดันอีกครั้ง โดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อลดระดับแรงดันเพื่อให้มีระดับแรงดันที่ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถนำไปใช้ได้ ดังนั้นความมั่นคงในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจึงมีความสำคัญ เพื่อใช้ผู้ใช้ไฟฟ้ามีพลังงานไฟฟ้าใช้อย่างต่อเนื่อง ปลอดภัยและมีคุณภาพ จึงจำเป็นต้องมีการนำอุปกรณ์ที่ทันสมัยมาติดตั้งใช้งาน เพื่อควบคุมให้สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.1.1.5 อุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง (protective devices) คืออุปกรณ์ที่นำมาติดตั้งเพื่อทำหน้าที่เปิดวงจรไฟฟ้าออก เมื่อมีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้า อุปกรณ์ป้องกันที่นำมาใช้ เช่น รีเลย์ป้องกัน (protective Relay) รีโคลสเซอร์ (Recloser) และฟิวส์ รีเลย์ป้องกันจะถูกติดตั้งที่สถานีไฟฟ้า ทำงานร่วมกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker) มีหน้าที่หลักในการป้องกันการเกิดสภาวะกระแสเกิน (Overcurrent Relay)

แรงดันเกิน (Overvoltage Relay) และ แรงดันตก (Undervoltage Relay) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของรีเลย์ป้องกัน ส่วนรีโคลสเซอร์จะนำมาติดตั้งในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยตำแหน่งที่ติดตั้งมักอยู่ห่างจากสถานีไฟฟ้า 10 กิโลเมตร (ตามหลักเกณฑ์การออกแบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค) เพื่อป้องกันการเกิดกระแสเกินจากสาเหตุการลัดวงจร ส่วนฟิวส์ทำหน้าที่ป้องกันกระแสเกิน โดยทั่วไปจะติดตั้งเพื่อป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้าไลน์แยก การติดตั้งใช้งานอุปกรณ์ป้องกันทั้ง 3 ชนิด จะต้องปฏิบัติตามหลักของการจัดอุปกรณ์ป้องกันให้ทำงานสัมพันธ์กัน หรือที่เรียกว่าการจัดโคออดิเนชั่น (Co-ordination) ของอุปกรณ์ป้องกัน

2.2 ส่วนประกอบสมมาตร (Symmetrical Component)

ส่วนประกอบสมมาตร เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าหลายเฟสในกรณีที่เกิดสภาวะไม่สมดุล โดยใช้การอ้างอิงของส่วนประกอบ 3 ส่วน ในกรณีระบบ 3 เฟสมีรายละเอียดดังภาพประกอบ 2-3



ภาพประกอบ2-3 Symmetrical component of an unbalanced system of voltages
ที่มา: V. Gosbell, S. Perera, V. Smith, 2002

- ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสบวก (Positive-sequence components) ประกอบด้วย 3 เฟสเซอร์ (phasors) ที่มีขนาดเท่ากัน มุมเฟสต่างกัน 120 องศา
- ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสลบ (Negative-sequence components) ประกอบด้วย 3 เฟสเซอร์ ที่มีขนาดเท่ากัน มุมเฟสต่างกัน 120 องศา แต่มีลำดับเฟสตรงข้ามกับส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสบวก

- ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสศูนย์ (Zero-sequence components) ประกอบด้วย 3 เฟสเซอร์ ที่มีขนาดเท่ากันและมีมุมเฟสเท่ากัน (in phases)

ดังนั้นสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ของแรงดันแต่ละเฟสได้ดังนี้

$V_a = V_{a1}+V_{a2}+V_{a0}$; V_a แทนแรงดันเฟสเอ

$V_b = V_{b1}+V_{b2}+V_{b0}$; V_b แทนแรงดันเฟสบี

$V_c = V_{c1}+V_{c2}+V_{c0}$; V_c แทนแรงดันเฟสซี

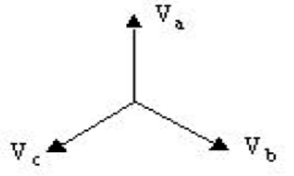
และสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ด้านกระแสได้เช่นเดียวกัน

$I_a = I_{a1}+I_{a2}+I_{a0}$; I_a แทนกระแสของเฟสเอ

$I_b = I_{b1}+I_{b2}+I_{b0}$; I_b แทนกระแสของเฟสบี

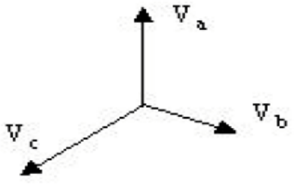
$I_c = I_{c1}+I_{c2}+I_{c0}$; I_c แทนกระแสเฟสซี

ในกรณีที่ระบบสมดุล (balance system) ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสลบและลำดับเฟสศูนย์ มีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นผลรวมทางเฟสเซอร์ แสดงดังภาพประกอบ 2-4 ส่วนกรณีระบบไม่สมดุล (unbalance system) ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสลบและลำดับเฟสศูนย์ไม่เป็นศูนย์ ดังนั้นผลรวมทางเฟสเซอร์ แสดงดังภาพประกอบ 2-5



ภาพประกอบ 2-4 แสดงเฟสเซอร์แรงดันของระบบสมดุล

ที่มา: V. Gosbell, S. Perera, V. Smith, 2002



ภาพประกอบ 2-5 แสดงเฟสเซอร์แรงดันของระบบไม่สมดุล

ที่มา: V. Gosbell, S. Perera, V. Smith, 2002

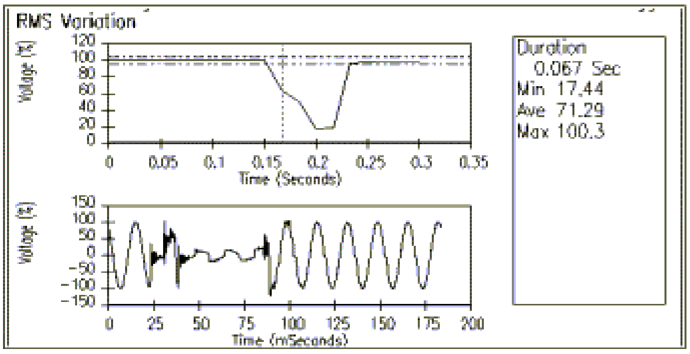
เราสามารถนำทฤษฎีของส่วนประกอบสมมาตร มาใช้ในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า เช่น การวิเคราะห์การลัดวงจร การวิเคราะห์แรงดันไม่สมดุล เป็นต้น

2.3 ลักษณะและผลกระทบของสิ่งผิดปกติ

สิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้า หมายถึง ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น แล้วส่งผลกระทบต่อรูปคลื่นสัญญาณของแรงดันและกระแส ทำให้มีรูปร่างและขนาดเปลี่ยนไป ซึ่งส่งผลต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า

2.3.1 ลักษณะสิ่งผิดปกติที่เกิดจากสาเหตุที่แตกต่างกัน

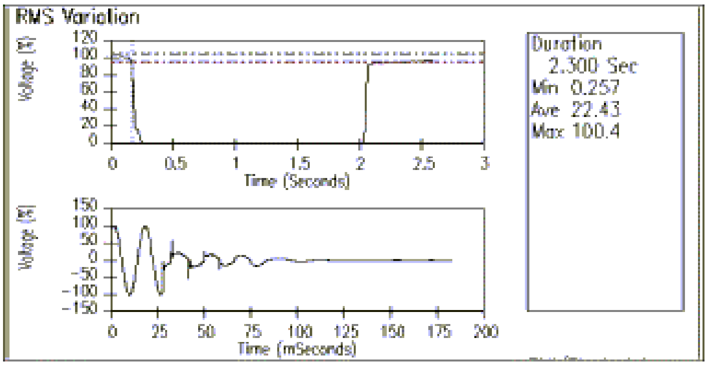
ลักษณะรูปคลื่นเมื่อเกิดสิ่งผิดปกติ จากสาเหตุที่แตกต่างกันแสดงในภาพประกอบ 2-6, 2-7 และ 2-8



Voltage Sag Caused by a SLG Fault

ภาพประกอบ 2-6 แรงดันตกชั่วขณะจากสาเหตุการเกิดลัดวงจรลงดิน

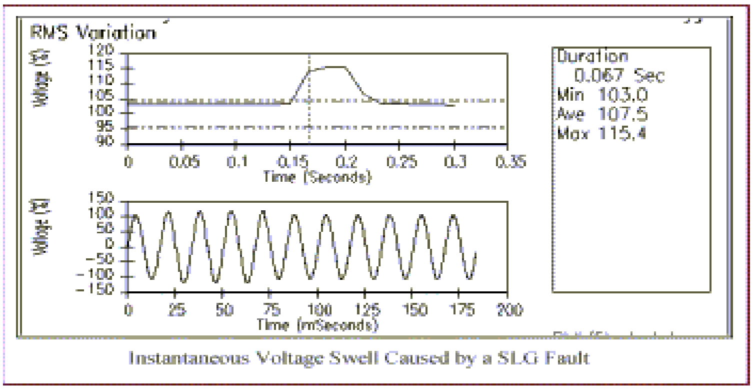
ที่มา: ศักด์ชัย นรสิงห์, 2546



Momentary Interruption Due to a Fault and Subsequent Recloser Operation

ภาพประกอบ 2-7 ไฟฟ้าดับชั่วขณะจากสาเหตุรีโคลสเซอร์มีการทำงานเนื่องจากการเกิดลัดวงจร

ที่มา: ศักด์ชัย นรสิงห์, 2546



ภาพประกอบ 2-8 แรงดันเกินชั่วขณะจากสาเหตุจากการเกิดลัดวงจรลงดิน

ที่มา: ศักด์ชัย นรสิงห์, 2546

2.3.2 ผลกระทบเมื่อเกิดสิ่งผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

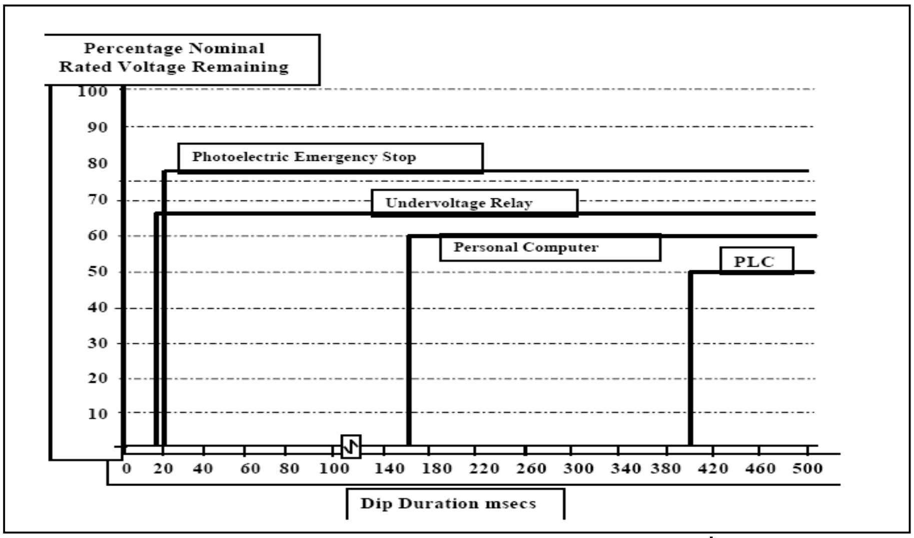
จากการศึกษาพบว่าการเกิดสิ่งผิดปกติที่ส่งผลต่อผู้ใช้ไฟบ่อยครั้งที่สุด คือการเกิดการลดลงของระดับแรงดันชั่วขณะ หรือที่เรียกว่า Voltage Sag โดยมีหลายสาเหตุด้วยกัน เช่นการสตาร์ทของมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ การปลดสับสวิทช์ของอุปกรณ์ตัดตอน แต่สาเหตุจากการเกิดการลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นสาเหตุหลัก ส่วนสิ่งผิดปกติที่ทำให้เกิดการเพิ่มของระดับแรงดัน ก็ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าเช่นเดียวกันแต่ความถี่ในการเกิดจะน้อยกว่า จากตารางที่ 2-1 แสดงตัวอย่างผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้า เมื่อเกิดสิ่งผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ตารางที่ 2-1 Ability of Manufacturing and Process Industries to Voltage Dips

Plant	**Problem**
Paper mills	Speed of paper, about 20m/sec, breaker of web and plant restart.
Textile mills	Major design flaws and loss production.
Steel mills	High speed strip, wire, bar forming, wire rod wrapped around roller.
Newspaper printing	Loss of papers; no chance to recover sales.
Petrochemicals	Loss of process and process contamination; purging with steam.

ที่มา: PowerCon 2000 Perth 7th December 2000 “Developments in Power Quality”

จากตารางแสดงให้เห็นว่า เมื่อเกิดสภาวะแรงดันตกชั่วขณะ ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆมีลักษณะเดียวกัน คือเกิดการหยุดชะงักของกระบวนการผลิต ทำให้สูญเสียวัตถุดิบ เสียเวลา เสียค่าใช้จ่าย และส่งผลกระทบอื่นๆตามมาอีกมากมาย ผลกระทบที่รุนแรงที่สุด คือ ทำให้อุปกรณ์ชำรุด ภาพประกอบ 2-9 แสดงให้เห็นถึงค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของระดับแรงดันที่มีผลต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด



ภาพประกอบ 2-9 ค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของแรงดันที่มีผลต่ออุปกรณ์แต่ละชนิด

ที่มา: PowerCon 2000 Perth 7th December 2000 “Developments in Power Quality”

จากภาพประกอบ 2-9 แสดงให้เห็นถึงค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันที่ลดลงที่ระดับต่างๆมีผลกระทบต่ออุปกรณ์แต่ละชนิด คือ แรงดันลดลงอยู่ในช่วง 75-80% มีผลกระทบต่อ Photoelectric Emergency Stop ช่วง 65-70% มีผลกระทบต่อ Undervoltage Relay ที่ 60% มีผลกระทบต่อ Personal Computer ที่ 50% มีผลต่อ PLC

กรณีการเกิดสภาวะแรงดันไม่สมดุล (Voltage Unbalance) มักเกิดจาก โหลดชนิด 1 เฟสในแต่ละเฟสไม่เท่ากัน หรือมีโหลดชนิดสามเฟสไม่สมดุลเชื่อมต่อในระบบ หรือเกิดจากเฟสใดเฟสหนึ่งของระบบไฟฟ้าหายไป เช่นการทำงานของ ฟิวส์แรงสูง เพื่อเคลียร์ฟอลต์ในระบบไฟฟ้า หรือเกิดจากการเกิดแรงดันตก เมื่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าเกิดสภาวะแรงดันไม่สมดุล อุปกรณ์ที่จะได้รับผลกระทบมากที่สุด คือ มอเตอร์เหนี่ยวนำ (induction motor) ซึ่งทำให้อายุการใช้งานของมอเตอร์ลดลง เนื่องจากเมื่อเกิดแรงดันไม่สมดุล จะทำให้เกิดกระแสไม่สมดุลในโรเตอร์ (rotor) และ สเตเตอร์ (stator) ของมอเตอร์ ส่งผลทำให้มอเตอร์มีอุณหภูมิสูงขึ้นและเกิดความสูญเสีย (loss) อุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ทำงานทำให้กระบวนการผลิตหยุดชะงัก

2.3.3 มาตรฐาน IEEE 1159-1995

สิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นจะส่งผลกระทบด้านแรงดันของระบบจำหน่ายไฟฟ้า สามารถพิจารณาตามมาตรฐาน IEEE Std. 1159-1995 (Recommend Practice for Monitoring Electric Power Quality) ดังแสดงในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 : IEEE Std 1159-1995

Type of PQ Phenomena	Magnitude	Duration
Short Duration RMS Variations		
Instantaneous		0.5-30 cycles
Interruption	< 0.1 pu	
Sag	0.1-0.9 pu	
Swell	1.1-1.8 pu	
Momentary		0.5-3 seconds
Interruption	< 0.1 pu	
Sag	0.1-0.9 pu	
Swell	1.1-1.8 pu	
Temporary		3 seconds – 1 minute
Interruption	< 0.1 pu	
Sag	0.1-0.9 pu	
Swell	1.1-1.8 pu	
Long Duration RMS Variation		
Interruption	< 0.1 pu	> 1 minute
Undervoltage	0.1-0.9 pu	
Overvoltage	1.1-1.8 pu	
Voltage Imbalance	0.5-2%	Steady state

ที่มา: IEEE Std 1159-1995, "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality", IEEE Press, 1995

ในงานวิจัยนี้อ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE 1159-1995 เป็นเกณฑ์การวัดสิ่งผิดปกติ โดยพิจารณาชนิดของสิ่งผิดปกติที่ส่งผลกระทบกับผู้ใช้ไฟฟ้ามากที่สุด ซึ่งประกอบด้วย

- Short Duration RMS Variations หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของขนาดแรงดันในช่วงเวลาสั้น โดยพิจารณา แบบ Instantaneous คือ เกิดในช่วงเวลา 0.5-30 cycles มี 2 ลักษณะคือ

(1) แรงดันตกชั่วขณะ (Sag) คือ การเกิดสภาวะขนาดแรงดันลดลง อยู่ในช่วง 0.1-0.9 pu (per unit)

(2) แรงดันเกินชั่วขณะ (Swell) คือ การเกิดสภาวะขนาดแรงดันเพิ่มขึ้นในช่วง 1.1-1.8 pu

- Long Duration RMS Variations การเปลี่ยนแปลงของMagnitude แรงดันในช่วงเวลา มากกว่า 1 นาที มี 3 ลักษณะคือ

(1) ไฟดับ (Interruption) คือ การเกิดสภาวะขนาดแรงดันลดลง มีค่าน้อยกว่า 0.1 pu

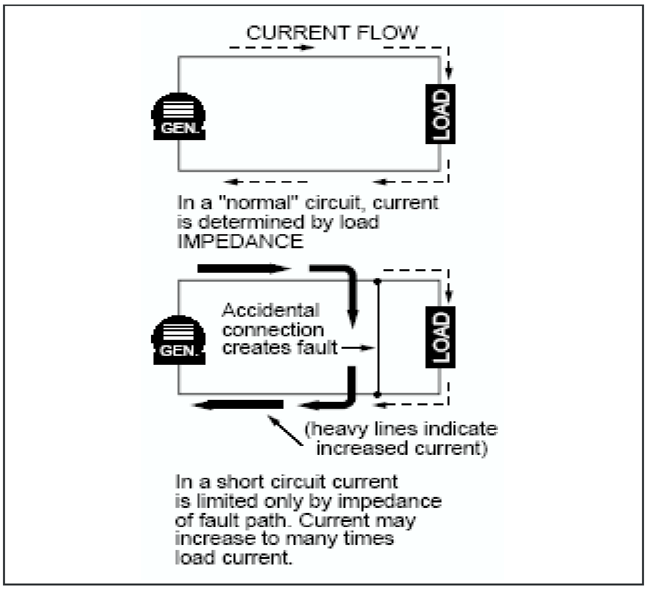
(2) แรงดันตก (Undervoltage) คือ การเกิดสภาวะขนาดแรงดันลดลง อยู่ในช่วง 0.1-0.9 pu

(3) แรงดันเกิน (Overvoltage) คือ การเกิดสภาวะขนาดแรงดันเพิ่มขึ้น ในช่วง 1.1-1.8 pu

- แรงดันไม่สมดุล (Voltage Unbalance) คือ การเกิดสภาวะไม่สมดุลของแรงดัน โดยกำหนดไว้ไม่เกิน 0.5-2 เปอร์เซ็นต์ อย่างต่อเนื่อง

2.4 ชนิดของการลัดวงจรและผลกระทบ

การลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เกิดได้จากหลายสาเหตุ การลัดวงจรเกิดขึ้นได้จากการมีวัสดุที่มีค่าความต้านทานต่ำสัมผัสตัวนำ หรือค่าความเป็นฉนวนของอุปกรณ์ลดลง ทำให้เกิดการสัมผัสระหว่างตัวนำกับพื้นดิน หรือตัวนำกับตัวนำ ทำให้กระแสปริมาณสูงสามารถไหลกลับมายังแหล่งกำเนิด ดังแสดงในภาพประกอบ 2-10



ภาพประกอบ 2-10 Short circuit

ที่มา:http:// www.littlefuse.com/PwrGard-Fuseology.pdf

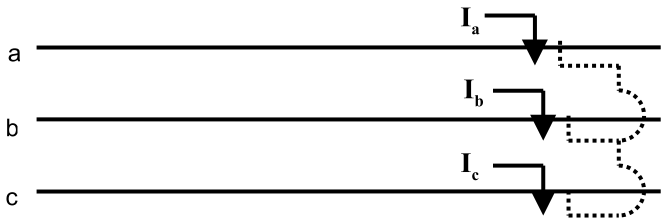
2.4.1 ชนิดการลัดวงจร สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.4.1.1 การลัดวงจรแบบสมมาตร (Symmetrical Faults) เป็นการลัดวงจรที่เกิดขึ้นน้อย จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อตัวนำไฟฟ้า 3 เฟสลัดวงจรเข้าด้วยกัน อาจมีการลัดวงจรลงกราวด์ เมื่อเกิดการลัดวงจรแล้วระบบยังคงรักษาสมดุลของระบบได้ เรียกการลัดวงจรชนิดนี้ว่า การลัดวงจรสามเฟส (Three Phase Fault)

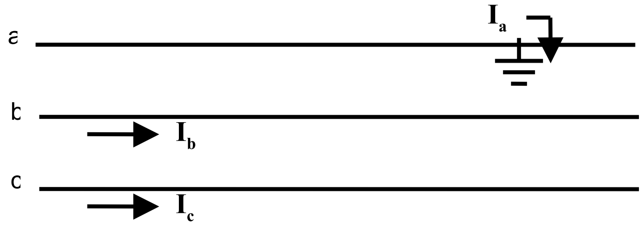
2.4.1.2 การลัดวงจรแบบไม่สมมาตร (Unsymmetrical Faults) เป็นการลัดวงจรที่เกิดขึ้นมากที่สุด เมื่อเกิดขึ้นทำให้เกิดสภาวะไม่สมดุลในระบบจำหน่าย ประกอบด้วย 3 ชนิด คือ

- Single Line to Ground Fault คือ การลัดวงจรระหว่างเฟสใดเฟสหนึ่งกับกราวด์
- Double Line to Ground Fault คือ การลัดวงจรระหว่างเฟสสองเฟสกับกราวด์
- Line to Line Fault คือ การลัดวงจรระหว่างเฟส แต่ไม่ลัดวงจรกับกราวด์

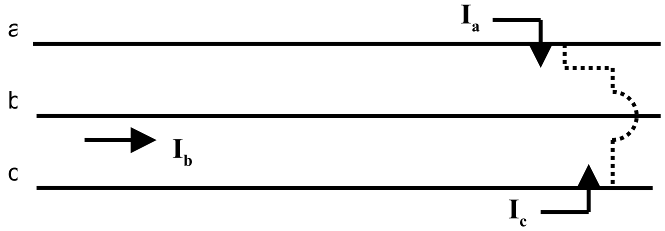
ลักษณะการลัดวงจรสามารถแสดงได้ดังนี้



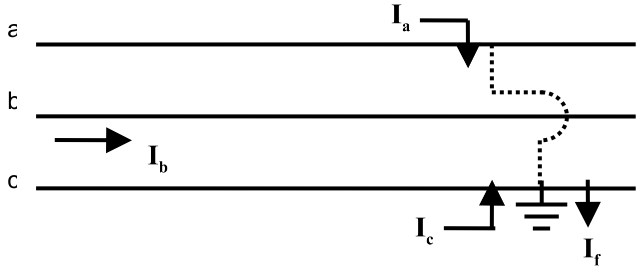
ภาพประกอบ 2-11 Three Phase Fault



ภาพประกอบ 2-12 Single Line to Ground Fault

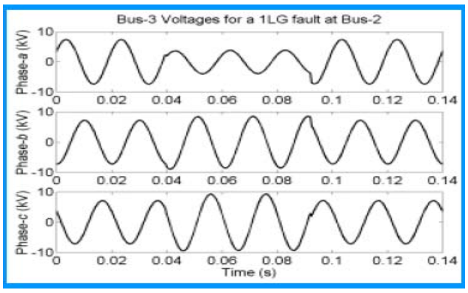


ภาพประกอบ 2-13 Line to Line Fault



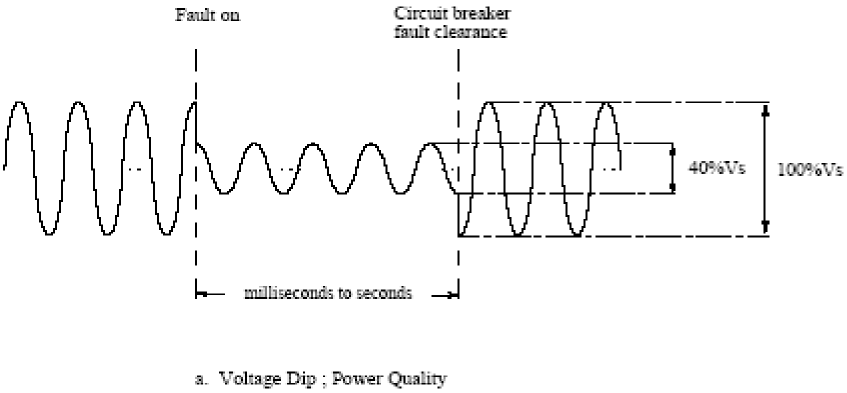
ภาพประกอบ 2-14 Double Line to Ground Fault

ตัวอย่างการลัดวงจรชนิด Single Line to Ground Fault และผลกระทบต่อรูปคลื่นสัญญาณแรงดันดังแสดงในภาพประกอบ 2-15 และภาพประกอบ 2-16 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 2-15 รูปคลื่นแรงดัน

ที่มา: http://www.littelfuse.com/PwrGard-Fuseology.pdf



ภาพประกอบ 2-16 การเกิดแรงดันตกชั่วขณะ

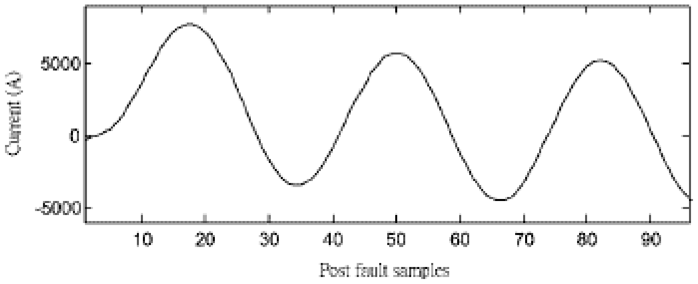
ที่มา: PowerCon 2000 Perth 7th December 2000 “Developments in Power Quality”

จากภาพประกอบ 2-15 และภาพประกอบ 2-16 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของการลัดวงจรต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงดัน พบว่าในการเกิดลัดวงจร ที่เฟสใด จะทำให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่เฟสนั้น แต่จะเกิดแรงดันเกินชั่วขณะกับเฟสที่เหลือ ซึ่งส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า

2.4.2 ลักษณะรูปคลื่นสัญญาณกระแสลัดวงจร

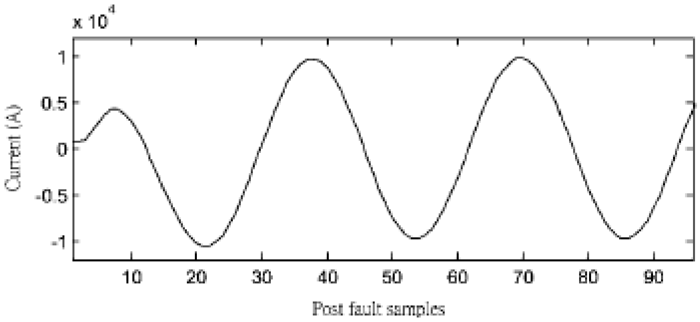
ภาพประกอบ 2-17 และภาพประกอบ 2-18 แสดงตัวอย่างสัญญาณกระแสลัดวงจร ซึ่งมี 2 ลักษณะคือ มีส่วนประกอบไฟฟ้ากระแสตรง (DC component) และไม่มีส่วนประกอบไฟฟ้า

กระแสตรง จากลักษณะของสัญญาณกระแสลัดวงจร ส่วนประกอบไฟฟ้ากระแสตรงจะมีค่ามากอยู่ในช่วง ไซเคิลแรก (first cycle) เท่านั้น



ภาพประกอบ 2-17 decaying dc offset is present in current signal

ที่มา: C.-S. Chen, C.-W. Lui, J.-Z. Yang



ภาพประกอบ 2-18 decaying dc offset is not present in current signal

ที่มา: C.-S. Chen, C.-W. Lui, J.-Z. Yang 2002

2.4.3 ผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อเกิดการลัดวงจร มี แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

2.4.3.1 ผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า มี 3 ลักษณะ คือ

- การเกิดความร้อน (Heating) โดยแปรตามค่ากระแส (I) ยกกำลังสองและช่วงเวลาที่เกิด (t) คือ I^2t ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นสามารถทำให้เกิดการกลายเป็นไอของฉนวนของอุปกรณ์ที่กระแสลัดวงจรไหลผ่าน ทำให้เกิดการชำรุดของอุปกรณ์

- การเกิดความเครียดของสนามแม่เหล็ก (Magnetic stress) ทำให้เกิดแรงกระทำต่ออุปกรณ์ แปรผันตามค่ากระแสลัดวงจรยกกำลังสอง (I^2) เช่น I=100,000 แอมแปร์ สามารถทำให้เกิดแรงกระทำต่อ บัสบาร์ (Bus bar) 7,000 lb/ft

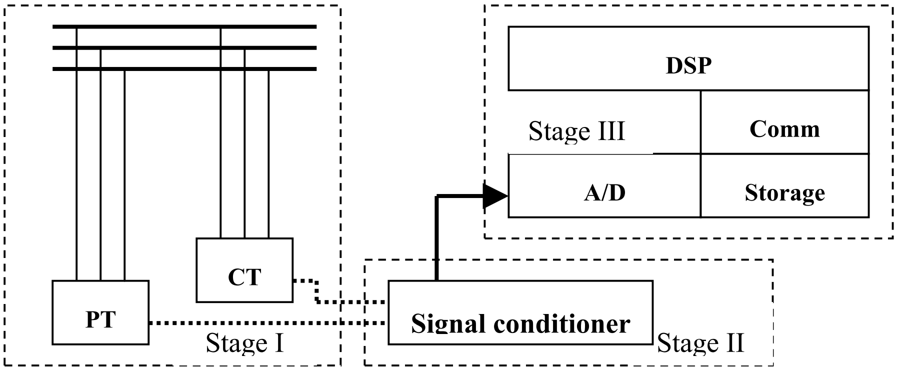
- การเกิดอาร์ค (Arcing) ทำให้เกิดการหลอมละลายและการกลายเป็นไอของฉนวนของอุปกรณ์

2.4.3.2 ผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้า

เมื่อเกิดการลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้า อุปกรณ์ป้องกันที่ติดตั้งไว้เพื่อป้องกันความเสียหาย และอันตรายต่อผู้ใช้ไฟฟ้า จะทำการตัดระบบจำหน่ายไฟฟ้าออกจากระบบ ทำให้เกิดสภาวะที่เรียกว่า ไฟดับ ซึ่งจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายส่วนที่เกิดลัดวงจร และในขณะเดียวกันจะส่งผลทางอ้อมต่อผู้ใช้ไฟในส่วนระบบจำหน่ายไฟฟ้าส่วนอื่น คือ การเกิดสภาวะแรงดันตกชั่วขณะ และสภาวะแรงดันเกินชั่วขณะ

2.5 ส่วนประกอบของระบบเฝ้าระวังอัตโนมัติสำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

องค์ประกอบหลักของระบบเฝ้าระวังอัตโนมัติ ประกอบด้วย 3 ส่วนดังแสดงในภาพประกอบ 2-19



ภาพประกอบ 2-19 power quality monitoring equipment scheme

ที่มา :Rafale A. Flores, “State of the Art in the Classification of Power Quality Events, An Overview”

ส่วนที่ 1 ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับสัญญาณหรือที่เรียกว่า เซนเซอร์ (sensor) ประกอบด้วย หม้อแปลงกระแส (Current Transformer :CT) และหม้อแปลงแรงดัน (Potential or Voltage Transformer : PT) ทำหน้าที่ในการลดขนาดสัญญาณให้มีขนาดเล็กลงตามอัตราส่วน (ratio) ที่ต้องการ คุณสมบัติของ หม้อแปลงกระแส และหม้อแปลงแรงดันต้องมีความเหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพิจารณาเลือกใช้หม้อแปลงกระแส ต้องสามารถหลีกเลี่ยงการเกิดสภาวะอิ่มตัว (Saturation) ซึ่งส่งผลให้การตรวจวัดค่ากระแสผิดพลาด

การกำหนดคุณสมบัติของ CT และ PT โดยทั่วไปประกอบด้วย

- ระดับค่าความเป็นฉนวน (Insulation level)
- ค่าความถี่ที่ใช้งาน (Frequency)
- อัตราส่วนการลดขนาดสัญญาณที่ตรวจจับ (Transformer ratio)
- ระดับขั้นความถูกต้อง (Class of accuracy)

การพิจารณา อัตราส่วนหม้อแปลงกระแส (CT ratio) เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดสภาวะอิ่มตัว ประกอบด้วย

(1) ค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด

(2) ค่า CT burden (Z_b) หมายถึง ค่าภาระ (Load) ที่ต่อเข้าขั้วแรงต่ำของหม้อแปลงกระแส

(3) ค่า X/R ระบบจำหน่ายไฟฟ้า

เมื่อหม้อแปลงกระแสเกิดสภาวะอิ่มตัว มีผลทำให้ค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (Flux Density) ในแกนเหล็กสูงเกินค่าที่ออกแบบไว้ ทำให้ค่าความถูกต้องต่ำเนื่องจากรูปคลื่นด้านทุติยภูมิ (Secondary) จะเกิดความผิดเพี้ยน (Distortion) และมีฮาร์โมนิค (Harmonic) ทำให้กระแสด้านทุติยภูมิมีขนาดลงลด เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบการเกิดสภาวะอิ่มตัว ค่า CT Burden ด้านทุติยภูมิต้องมีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

ตัวอย่าง การพิจารณาอัตราส่วนหม้อแปลงกระแส สำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด 5,589 แอมแปร์ และมีค่า X= 0.39827 โอห์ม และ R = 0.04286 โอห์ม นั่นคือ X/R = 9.29 จากตารางที่ 2-3 สามารถเลือกใช้ CT ชนิด C400, 1500 : 5 ได้ ตารางที่ 2-4 และ 2-5 แสดง Accuracy class ซึ่งแสดงถึงค่าความถูกต้องของ CT และ PT ตามลำดับ การพิจารณาเลือกใช้ขึ้นอยู่กับระดับความต้องการความถูกต้อง

ตารางที่ 2-3 Maximum Current to Avoid Saturation

Line Angle	X/R ratio	C800, 3000:5 $Z_B = 2.5$	C800, 2000:5 $Z_B = 2.0$	C400, 1500:5 $Z_B = 2.0$
75°	3.7	40,547 amps	33,812 amps	12,680 amps
77°	4.3	36,012 amps	30,010 amps	11,254 amps
80°	5.7	28,780 amps	23,983 amps	8,994 amps
82°	7.1	23,689 amps	19,715 amps	7,393 amps
83°	8.1	20,997 amps	17,479 amps	6,561 amps
84°	9.5	18,261 amps	15,217 amps	5,707 amps
85°	11.4	15,446 amps	12,872 amps	4,827 amps
86°	14.3	12,548 amps	10,457 amps	3,921 amps
87°	19.1	9,561 amps	7,968 amps	2,988 amps
88°	28.6	6,478 amps	5,399 amps	2,025 amps

ที่มา: J. Roberts, Stanley E. Zocholl, G. Benmouyal, 2003

ตารางที่2-4 Accuracy Class for protective CT (IEC standard)

ACCURACY CLASS	CURRENT ERROR AT RATED PRIMARY CURRENT (%)	PHASE DISPLACEMENT AT RATED PRIMARY CURRENT (MIN.)	COMPOSITE ERROR AT RATE ACCURACY LIMIT PRIMARY CURRENT (%)
5 P	± 1	± 60	5
10 P	± 3	-	10
15 P	± 5	-	15

ที่มา:R. shamar, 2002

ตารางที่ 2-5 Accuracy Class for protective PT

Accuracy Class	% Voltage error	Phase displacement (minutes)	APPLICATION
3P	±3.0	±120	Directional overcurrent relay reverse power relay, directional distance protection etc.
6P	±6.0	±240	Under voltage/over voltage overcurrent relays etc.

ที่มา: R. shamar, 2002

ส่วนที่ 2 Signal conditioner ทำหน้าที่ปรับสัญญาณให้มีความเหมาะสม เช่น การปรับระดับแรงดันของสัญญาณให้มีขนาดที่เหมาะสมกับ A/D หรืออาจมีการกำจัดสัญญาณรบกวน (noise)

ส่วนที่ 3 ส่วนประมวลผล ประกอบด้วย 4 ส่วนซึ่งมีหน้าที่ดังนี้

- **Analog to Digital (A/D)** ทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล คือ เป็นการแปลงสัญญาณที่ต่อเนื่อง (continuous) ไปเป็นสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่อง (discrete) โดยใช้วิธีการสุ่มสัญญาณ (sampling) โดยอัตราการสุ่ม (sampling rate) จะขึ้นอยู่กับค่าความถี่พื้นฐาน(fundamental frequency) ของสัญญาณที่ต้องการตรวจจับ คุณสมบัติของ A/D ประกอบด้วย

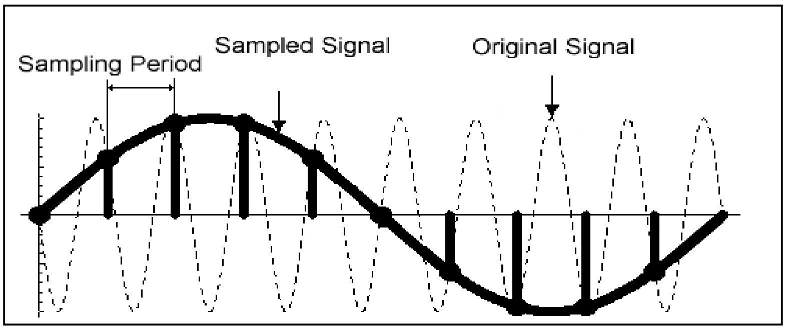
(1) **input signal** เป็นสัญญาณอนาลอก จำนวนช่องสัญญาณอินพุท ขึ้นอยู่กับความต้องการใช้งาน เช่น ระบบไฟฟ้าสามเฟส ต้องมีอย่างน้อย 6 ช่องสัญญาณ ในงานวิจัยนี้ใช้ 6 ช่องสัญญาณอินพุท สำหรับตรวจวัด กระแส 3 ช่องสัญญาณ ประกอบด้วย เฟสเอ เฟสบี เฟสซี และสำหรับตรวจวัดค่าแรงดัน 3 ช่องสัญญาณ ประกอบด้วย เฟสเอ เฟสบี และเฟสซี

(2) **Sampling rate** โดยทั่วไปกำหนดไว้ที่ สองเท่าหรืออาจมากกว่า ความถี่ของสัญญาณที่ต้องการตรวจจับ

Sampling rate = 2f

f = fundamental frequency

เพื่อป้องกันการเกิด Aliasing ดังแสดงในภาพประกอบ 2-20 ซึ่งจะเกิดเมื่ออัตราการสุ่มมีค่าต่ำกว่าความถี่ของสัญญาณที่ต้องการสุ่ม กว่าความถี่ของสัญญาณที่ต้องการสุ่ม ทำให้ได้สัญญาณที่ไม่ใกล้เคียงกับสัญญาณจริง เมื่อนำไปประมวลผลทำให้เกิดความผิดพลาด



ภาพประกอบ 2-20 ลักษณะการเกิด Aliasing

ที่มา:http://www.feh.eng.ohio-state.edu/Labs/DataAcquisitionSystem/ Lab 1 - Data Acquisition Fundamentals.ppt

(3) **Throughput** เป็นค่าเฉลี่ยความถี่ต่อช่องสัญญาณอินพุท (Hertz per channel)โดยพิจารณาได้จากค่าความถี่สูงสุดและจำนวนช่องสัญญาณอินพุท

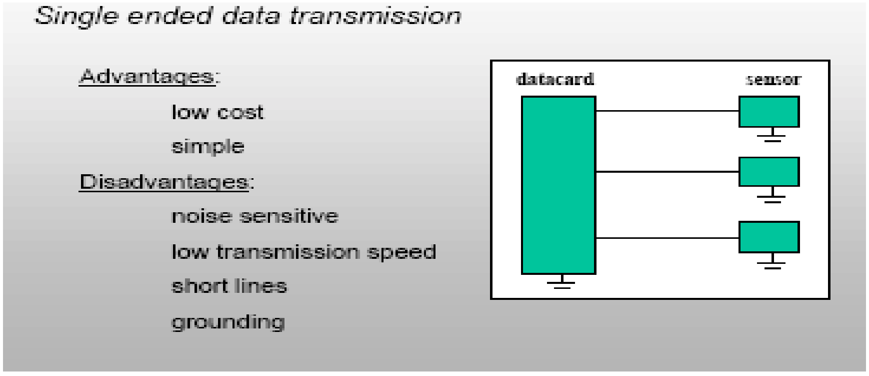
(4) **Range** เป็นช่วงระดับแรงดันของสัญญาณอินพุทสูงสุดและต่ำสุด เช่น ± 5 โวลต์ หรือ ± 10 โวลต์

(5) **Resolution** ความละเอียดในการแปลงสัญญาณเป็นดิจิตอล มีหน่วยเป็น บิท (bit) การพิจารณาต้องคำนึงถึงความละเอียดในการตรวจวัด เช่น

- Resolution 8 bit การพิจารณาความละเอียด 8 บิท คือ สามารถแบ่งได้เป็น 2^8 = 256 ระดับ สมมุติเลือกค่า Input Range ที่ ± 5 โวลต์ ดังนั้น สามารถแบ่งได้เป็นระดับละ 10/256 = 0.03906 โวลต์
- Resolution 12 bit การพิจารณาความละเอียด 12 บิท คือ สามารถแบ่งได้เป็น 2^{12} = 4096 ระดับ สมมุติเลือกค่า Input Range ที่ ± 5 โวลต์ ดังนั้น สามารถแบ่งได้เป็นระดับละ 10/4096 = 0.00244 โวลต์

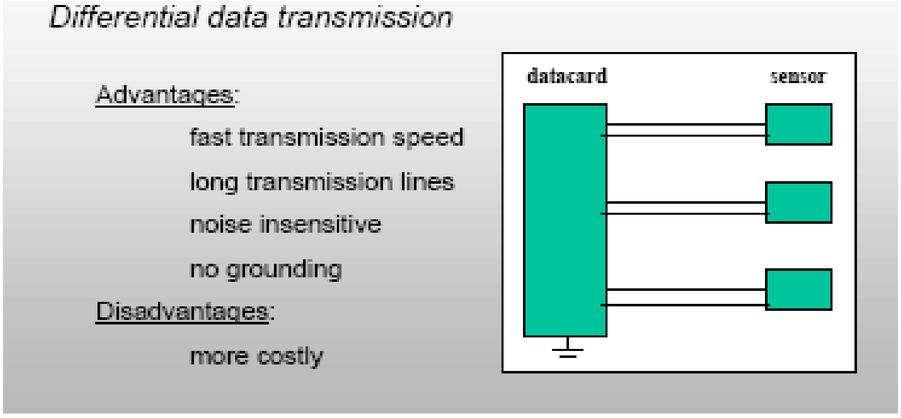
การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับความต้องการความละเอียดในการนำไปใช้ เช่นงานที่ต้องการตรวจวัดค่าที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบต้องเลือกค่าความละเอียดมากกว่า

(6) **Data transmission** รูปแบบการรับอินพุทของ A/D โดยการเปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อยระหว่างแบบ Differential และ Single ended มีรายละเอียดตามภาพประกอบ 2-21 และภาพประกอบ 2-22



ภาพประกอบ 2-21 Single ended data transmission

ที่มา:http://www.biomath.rug.ac.be/classes/lv/lesson1.pdf



ภาพประกอบ 2-22 Differential data transmission

ที่มา: http://www.biomath.rug.ac.be/classes/lv/lesson1.pdf

- **Digital Signal Processing** (DSP) ทำหน้าที่ในการประมวลผลจากค่าที่ได้รับจาก A/D โดยใช้เทคนิคที่เหมาะสมกับความต้องการใช้งาน ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 2.5
- **Storage** ทำหน้าที่ในการจัดเก็บข้อมูล
- **Communication** ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการสื่อสารข้อมูลไปยังที่ที่ต้องการใช้งาน

2.6 อัลกอริทึมที่ใช้ในการประมวลผลสัญญาณ

การเลือกใช้อัลกอริทึม ต้องพิจารณาจากคุณลักษณะของสัญญาณที่ต้องการตรวจวัด ซึ่งสัญญาณที่ต้องการตรวจวัดมีคุณลักษณะเป็นสัญญาณคาบ (Periodic Signal) ที่มีความถี่พื้นฐาน คือ 50 เฮิร์ซ (Hz) ประกอบด้วยฮาร์โมนิกและส่วนประกอบไฟฟ้ากระแสตรง

2.6.1 อัลกอริทึมที่น่าสนใจในการประมวลผลสัญญาณ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.6.1.1 Root Mean Square (RMS)

เหมาะสมสำหรับการใช้วัดปริมาณทางไฟฟ้าที่สัญญาณมีความถี่พื้นฐาน โดยปราศจากฮาร์โมนิก หรือสัญญาณรบกวน และส่วนประกอบไฟฟ้ากระแสตรง ข้อดีคือ มีวิธีการคำนวณที่ง่ายและรวดเร็ว ใช้หน่วยความจำน้อย

2.6.1.2 Discrete Fourier Transform (DFT)

เหมาะสมกับสัญญาณที่เป็นคาบ ที่มีสถานะอยู่ตัว (Stationary state) และถูกกำจัดส่วนประกอบไฟฟ้ากระแสตรงออกไปแล้ว ไม่เหมาะกับสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เช่น สัญญาณอิมพัลส์ (Impluse) และ ทรานเซี้ยน (Transient)

2.6.1.3 Least Squares (LS)

อัลกอริทึมนี้คล้ายกับ DFT มาก แต่แตกต่างกันที่สัญญาณที่ต้องการประมวลผลไม่ต้องมีการกำจัด ส่วนประกอบไฟฟ้ากระแสตรงออกก่อน แต่มีการคำนวณที่ซับซ้อนกว่า

2.6.1.4 Kalman Algorithm

อัลกอริทึมนี้มีข้อจำกัด คือ จำเป็นต้องมีการกำหนดค่าเริ่มต้น (Initial information) และมีความอ่อนไหวต่อค่าผิดพลาดที่เกิดจากการสุ่มสัญญาณ

การเปรียบเทียบข้อได้เปรียบของแต่ละอัลกอริทึม แสดงในตารางที่ 2-6 โดยจะพิจารณาเฉพาะ 3อัลกอริทึมเท่านั้น เนื่องจากอัลกอริทึม RMS ไม่เหมาะสมกับสัญญาณที่มี ฮาร์โมนิก

ตารางที่ 2-6 Characteristics of the discussed algorithm

	Speed	**Removal of Decay DC offset**	**System information required**	**Accuracy during the first cycle**	**Accuracy after the first cycle**
DFT*	--	--	no	--	++
LS*	~	++	no	~	+
Kalman	+	~	yes	+	-

++ excellent + good ~ average - poor --bad

* Assume the sampling windows be one fundamental cycle

ที่มา: Fan Wang. 2003, "Power Quality Disturbance and Protective Relay", Thesis for the degree of doctor of philosophy. Department of Electric Power Engineering Chalmers University of Technology Gutenberg, Sweden

จากตารางจะพบว่าอัลกอริทึม DFT มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการประมวลผลสัญญาณ สัญญาณหลังจากไซเคิลแรก โดยไม่ต้องมีค่าเริ่มต้น การคำนวณมีความซับซ้อนน้อย และเป็นที่นิยมในการนำมาใช้กับอุปกรณ์ป้องกันประเภทรีเลย์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้อัลกอริทึม DFT ในการประมวลผลสัญญาณภายใต้สมมุติฐาน คือ สัญญาณที่นำมาประมวลผล ได้มีการกำจัด ส่วนประกอบไฟฟ้ากระแสตรง เรียบร้อยแล้ว

2.6.2 การเปรียบเทียบช่วงการสุ่มสัญญาณแบบครึ่งลูกคลื่น (Haft cycle) และเต็มลูกคลื่น (Full cycle) ของการประมวลผลสัญญาณด้วยอัลกอริทึม DFT

การพิจารณาช่วงการสุ่มสัญญาณ โดยทั่วไปนิยมใช้ช่วงการสุ่มสัญญาณ 2 ขนาด คือ ครึ่งลูกคลื่น และเต็มลูกคลื่น จากการศึกษาโดยทดสอบกับการทำงานของรีเลย์ชนิดกระแสเกิน (Overcurrent relay) โดยใช้อัลกอริทึม DFT พบว่า การใช้แบบครึ่งลูกคลื่นจะมีผลกระทบทำให้การทำงานของรีเลย์ผิดพลาดในกรณีที่เกิด inrush current เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างช่วงการสุ่มแบบครึ่งลูกคลื่น และแบบเต็มลูกคลื่น จะแสดงผลการคำนวณทั้งสองแบบ ดังนี้

ทดสอบกับสัญญาณ $V_k = 1.5\sin(\omega t + \pi/4)$

สมการที่ใช้ประกอบด้วย Real (R) และ Imaginary (I)

$$X[k] = R + j\,I$$

$$R = 2\left(\sum_{n=0}^{N-1} x(n)\,.\sin(2\pi nk/N)\right)/N \qquad (2\text{-}1)$$

$$I = 2\left(\sum_{n=0}^{N-1} x(n)\,.\cos(2\pi nk/N)\right)/N \qquad (2\text{-}2)$$

$$\text{Magnitude} = \left(R^2 + I^2\right)^{1/2} \qquad (2\text{-}3)$$

$$\text{Angle} = \tan^{-1}(I/R) \qquad (2\text{-}4)$$

แทนค่า x(n) คือค่าที่ได้จากการ Sampling ครั้งที่ n

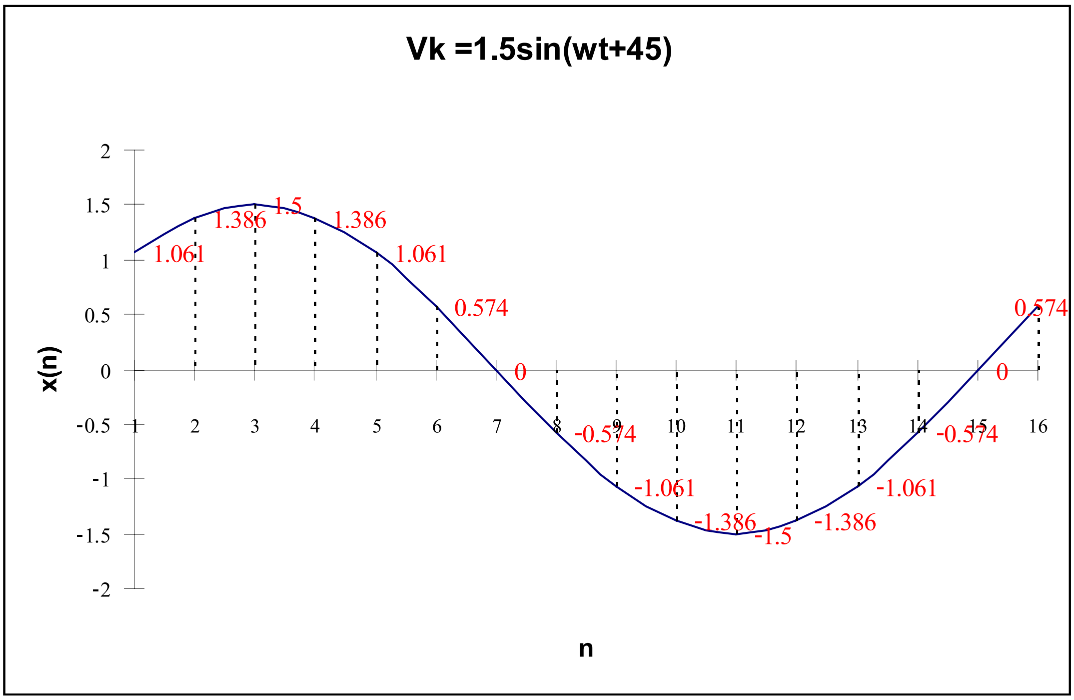
N = 16 ได้มาจากการใช้อัตราการสุ่ม 800 Sampling/sec คือ 1 วินาที จะได้ค่าจากการสุ่มสัญญาณ 800 ค่า เนื่องจากความถี่ของสัญญาณที่ตรวจจับ คือ 50 Hz นั่นคือ ใน 1 วินาทีประกอบด้วย 50 ลูกคลื่น ดังนั้น 1 ลูกคลื่น จะได้ค่าจากการสุ่มสัญญาณ เท่ากับ 800/50 = 16 (พิจารณาแบบเต็มลูกคลื่น)

N= 8 สำหรับแบบครึ่งลูกคลื่น

k = 1 พิจารณาที่ความถี่พื้นฐาน

ตารางที่ 2-7 ค่า x(n) ที่ได้จากการสุ่มสัญญาณ ด้วยอัตรา 800 Sampling/sec

x(0)	**x(1)**	**x(2)**	**x(3)**	**x(4)**	**x(5)**	**x(6)**	**x(7)**
1.061	1.386	1.5	1.386	1.061	0.574	0	-0.574
x(8)	**x(9)**	**x(10)**	**x(11)**	**x(12)**	**x(13)**	**x(14)**	**x(15)**
-1.061	-1.386	-1.5	-1.386	-1.061	-0.574	0	0.574



ภาพประกอบ 2-23 การสุ่มสัญญาณ V_k 1 cycle

- แบบเต็มลูกคลื่น

แทนค่า x(n) โดยที่ n = 0-15 จากตารางที่ 2-7 และ N=16 ในสมการที่ (2-1) และ (2-2) จะได้

$$X(1) = 1.0608+j1.0608$$

จะได้ $\text{Magnitude} = \left(1.0608^2 + 1.0608^2\right)^{1/2}$

$$= 1.5002$$

$$\text{Angle} = \tan^{-1}(1.0608/1.0608) = 44.99$$

-แบบครึ่งลูกคลื่น

แทนค่า x(n) โดยที่ n = 0-7 จากตารางที่ 2-4 และ N = 8 ในสมการที่ (2-1) และ (2-2) จะได้

$$X(1) = 0.865024999- j0.202939646$$

จะได้ $\text{Magnitude} = \left(0.865024999^2 + 0.202939646^2\right)^{1/2}$

$$= 0.888511536$$

$$\text{Angle} = \tan^{-1}(-0.202939646/0.865024999) = -13.20$$

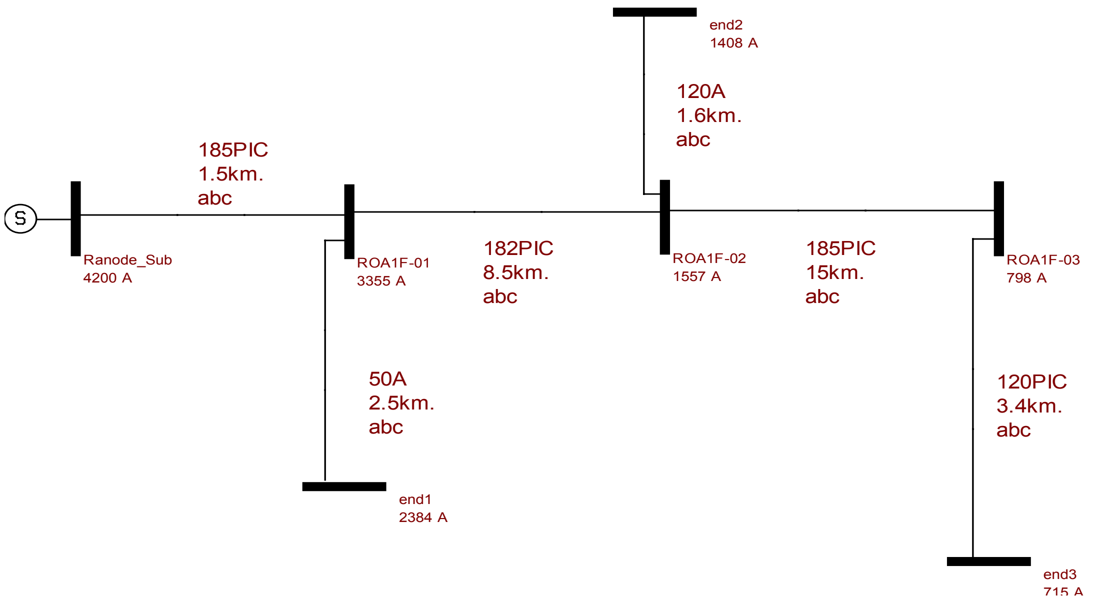
จากผลที่ได้จากการคำนวณทั้งสองแบบจะพบว่า การคำนวณแบบครึ่งลูกคลื่น จะให้ค่าที่ผิดพลาดจากสัญญาณจริง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะใช้อัลกอริทึม DFT แบบเต็มลูกคลื่น

2.7 การคำนวณค่ากระแสลัดวงจร

การคำนวณค่ากระแสลัดวงจรชนิดต่าง ในไลน์แยกแต่ละไลน์ เพื่อความถูกต้องแม่นยำ จึงได้นำโปรแกรม PSS/ADEPT (Power System Simulator Advanced Distribution Engineering Productivity Tool) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ระบบจำหน่ายไฟฟ้า เช่น Short circuit, Power flow, Motor starting, Capacitor placement, Protection coordinate และฮาร์โมนิค มาใช้ในการคำนวณ

ในการใช้โปรแกรมเพื่อคำนวณกระแสลัดวงจร สิ่งสำคัญที่ต้องระมัดระวังคือ การป้อนค่าคุณสมบัติของแหล่งจ่ายของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่กำลังพิจารณา เช่น ค่า Positive sequence resistance, Positive sequence reactance, Zero sequence resistance, Zero sequence reactance นอกจากนี้ต้องมีข้อมูลทางกายภาพของระบบจำหน่ายที่ต้องการคำนวณกระแสลัดวงจร เช่น ชนิดสายไฟ การจัดวางสายแบบสองฟีดเดอร์ซ้อนกัน (Double) หรือแบบฟีดเดอร์เดียว (Single) ระยะทางของสายแต่ละชนิด มีหน่วยเป็นกิโลเมตร

ค่ากระแสลัดวงจรที่ต้องการคือค่ากระแสลัดวงจรต่ำสุด คือกระแสลัดวงจรชนิด Single Line to Ground ซึ่งค่าที่คำนวณได้ จะถูกนำมาใช้เป็นค่ากระแสเริ่มต้น (pickup current) ในการตรวจสอบการเกิดลัดวงจรของไลน์แยกนั้นๆ



ภาพประกอบ 2-24 ตัวอย่างผลการคำนวณค่ากระแสลัดวงจรชนิด Single Line to Ground

ภาพประกอบ 2-24 แสดงตัวอย่างผลการคำนวณกระแสลัดวงจรชนิด Single Line to Ground ของไลน์แยก ROA1F-01 ROA1F-02 และ ROA1F-03 ซึ่งรับกระแสไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าระโนด ดังนั้นสามารถกำหนดค่ากระแสเริ่มต้นของแต่ละไลน์แยกได้ดังนี้

ค่ากระแสเริ่มต้นของระบบจำหน่ายไฟฟ้าไลน์แยกรหัส ROA1F-01 = 2,384 แอมแปร์

ค่ากระแสเริ่มต้นของระบบจำหน่ายไฟฟ้าไลน์แยกรหัส ROA1F-02 = 1,408 แอมแปร์

ค่ากระแสเริ่มต้นของระบบจำหน่ายไฟฟ้าไลน์แยกรหัส ROA1F-03 = 715 แอมแปร์

2.8 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบงานสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS)

2.8.1 ความหมายของระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์

คือ ระบบการจัดเก็บข้อมูลที่สัมพันธ์กับสภาพทางภูมิศาสตร์หรือพื้นผิวโลก โดยการนำระบบคอมพิวเตอร์มาใช้ในการดำเนินการ โดยมีการพัฒนาซอฟท์แวร์ ที่มีขีดความสามารถในการจัดเก็บและจัดการข้อมูลในรูปแบบแผนที่ รวมทั้งข้อมูลเชิงตัวเลขและเชิงบรรยายได้เป็นอย่างดี ทำให้ผู้ใช้สามารถมองเห็นข้อมูลต่างๆในรูปแบบภาพเสมือนจริง เช่นเส้นทางการคมนาคม ที่ตั้งสถานที่ราชการ ภาพถ่ายทางอากาศ แผนที่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม การกระจายของประชากร เป็นต้น ในปัจจุบันการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้นำระบบ GIS มาใช้จัดทำแผนผังและจัดเก็บข้อมูลระบบจำหน่ายไฟฟ้าทั้งหมด ในพื้นที่รับผิดชอบ เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติงานด้านต่างๆ ทางด้านวิศวกรรมระบบไฟฟ้า เช่นการออกแบบ การปฏิบัติการและบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า ตลอดจนการบริการผู้ใช้ไฟให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ฐานข้อมูลพื้นที่ภูมิศาสตร์ (Reference base data) เป็นการจัดเก็บข้อมูลสภาพพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ สำหรับใช้อ้างอิง ในการจัดทำฐานข้อมูลระบบจำหน่ายไฟฟ้า การจัดเก็บข้อมูลจะใช้เครื่อง Global Positioning System (GPS) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการอ่านค่าพิกัดตำแหน่ง โดยประมวลจากสัญญาณดาวเทียม ซึ่งจะให้ค่าพิกัดที่มีความแม่นยำสูง ดังนั้นระบบจำหน่ายไฟฟ้าทุกตำแหน่งจะมีพิกัดเป็นของตัวเอง เพื่อใช้ในการอ้างอิง

2.8.2 วัตถุประสงค์ในการนำระบบ GIS มาใช้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

เพื่อพัฒนาระบบการจัดทำแผนผังและข้อมูลระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการจัดทำ จัดเก็บ จัดการ เรียกค้นแผนผัง และข้อมูลระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงภาพ (Graphic Data) และข้อมูลเชิงตัวเลข (Numeric Data) ที่เกี่ยวข้อง และแสดงผลลัพธ์ เพื่อช่วยในการวางแผนและตัดสินใจ เกี่ยวกับงานด้านปฏิบัติการได้อย่างรวดเร็วทันต่อเหตุการณ์และมีประสิทธิภาพ

2.8.3 องค์ประกอบหลักของระบบ GIS

ประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกัน คือ

- ระบบคอมพิวเตอร์และโปรแกรมสำหรับการจัดการฐานข้อมูลเชิงภูมิศาสตร์
- ฐานข้อมูลพื้นที่ภูมิศาสตร์ (Reference Base Data) เป็นการจัดเก็บข้อมูลสภาพพื้นที่ทางภูมิสาสตร์ สำหรับใช้อ้างอิงในการจัดทำฐานข้อมูลระบบจำหน่ายไฟฟ้า
- ฐานข้อมูลระบบไฟฟ้า (Electrical Facilities Data) ประกอบด้วยข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้า ทั้งระบบส่งและระบบจำหน่ายโดยมีทั้งข้อมูลเชิงภาพ (Graphic Data) และข้อมูลที่เป็นตัวอักษร (Textual Data)
- โปรแกรมประยุกต์ใช้งาน (Application Software)

2.8.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากระบบ GIS

สามารถเรียกค้นข้อมูลเพื่อใช้ในการวางแผนงานการขยายเขตระบบไฟฟ้า การบำรุงรักษา การปรับปรุง และการออกแบบระบบไฟฟ้าให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น

- การคาดคะเนความต้องการพลังงานไฟฟ้า
- การวิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบไฟฟ้า
- การกำหนดตำแหน่งสถานีไฟฟ้า
- การตัดจ่ายระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงสุด
- การกำหนดตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ เช่น คาปาซิเตอร์ สวิทช์ตัดตอน รีโครสเซอร์
- การวิเคราะห์สาเหตุไฟฟ้าขัดข้อง

2.8.5 ข้อด้อยของระบบ GIS

เนื่องจากสิ่งสำคัญของระบบ GIS คือการจัดเก็บข้อมูลที่ถูกต้องและมีการปรับปรุงฐานข้อมูลให้เป็นปัจจุบันอยู่เสมอ ดังนั้นหากข้อมูลที่ได้รับการจัดเก็บไม่เป็นปัจจุบัน ย่อมมีผลกระทบต่อการใช้งานระบบ GIS เช่นทำให้การวิเคราะห์และวางแผนงานเกิดข้อผิดพลาด

2.9 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบ SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)

2.9.1 ความหมาย

เป็นการนำเทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์และระบบสื่อสารข้อมูล มาใช้ในการควบคุมและจัดเก็บข้อมูลของอุปกรณ์ที่ต้องการ ซึ่งติดตั้งในสถานที่เดียวกันหรือคนละสถานที่

2.9.2 วัตถุประสงค์ในการนำระบบ SCADA มาใช้งาน

ในส่วนของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ได้นำระบบ SCADA มาใช้ในการควบคุมและเก็บข้อมูลของอุปกรณ์ตัดตอน เช่น สวิทช์ตัดตอน หรือ อุปกรณ์ป้องกัน ซึ่งประกอบด้วยรีโคลสเซอร์ และรีเลย์ป้องกัน เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจ่ายกระแสไฟฟ้า โดยเมื่อระบบ SCADA ตรวจพบความผิดปกติ ระบบดังกล่าวช่วยติดสินใจในการแยกส่วนที่มีปัญหาออกไป แล้วทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องอย่างอัตโนมัติ

2.9.3 ส่วนประกอบของระบบ SCADA ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ

- ศูนย์ควบคุม ทำหน้าที่เก็บรวบรวมข้อมูลสภาพการจ่ายกระแสไฟฟ้าและควบคุมอุปกรณ์ต่างๆในระบบผ่านทางระบบคอมพิวเตอร์ โดยจะทำการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ผ่านทาง Remote Terminal Unit หรือเรียกว่า RTU ซึ่งถูกติดตั้งที่อุปกรณ์ที่ต้องการควบคุม
- Remote Terminal Unit หรือ RTU ทำหน้าที่รับ-ส่งข้อมูลระหว่างศูนย์ควบคุมกับอุปกรณ์ เพื่อควบคุมการทำงานและรายงานสถานการณ์ทำงานของอุปกรณ์
- ระบบสื่อสาร แบ่งเป็นสองส่วน คือ ระหว่างศูนย์ควบคุมกับ RTU ใช้ระบบสื่อสารวิทยุย่าน UHF และระหว่างศูนย์ควบคุมใช้ไฟเบอร์ออปติค (Fiber Optic)

2.9.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

เพิ่มประสิทธิภาพในการจ่ายกระแสไฟฟ้า โดยการนำระบบคอมพิวเตอร์มาช่วยในการตัดสินใจควบคุมการทำงานและเก็บข้อมูลของอุปกรณ์ เช่น เมื่อเกิดระบบไฟฟ้าขัดข้อง สามารถลดพื้นที่ที่เกิดไฟฟ้าดับ โดยการตัดระบบไฟฟ้าในส่วนที่มีปัญหาออกไป และสั่งจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบไฟฟ้าในส่วนที่ไม่มีปัญหา และช่วยลดระยะเวลาการเกิดไฟฟ้าดับ

2.9.5 ความเกี่ยวข้องของระบบ SCADA กับงานวิจัย

SCADA เป็นระบบที่ต้องมีการลงทุนที่สูงมาก เนื่องจากจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ต่างๆเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่ต้องการติดตั้งอุปกรณ์ และอุปกรณ์ส่วนใหญ่เป็นของต่างประเทศ จึงมีราคาค่อนข้างสูง การนำมาใช้งานส่วนใหญ่จะนำมาใช้เฉพาะกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีความสำคัญ คือ ระบบจำหน่ายไฟฟ้าไลน์เมน โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ ใช้สำหรับเก็บข้อมูลและควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ตัดตอน ส่วนงานวิจัยนี้ได้อาศัยแนวคิดจากระบบ SCADA มาประยุกต์เพื่อใช้กับระบบจำหน่ายไลน์แยก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้า และลดต้นทุนในการซื้ออุปกรณ์ราคาแพง

2.10 การสื่อสารข้อมูลผ่านระบบโทรศัพท์

อุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ผ่านระบบโทรศัพท์ คือ โมเด็ม (Modem) ซึ่งย่อมาจาก คำว่ามอดูเลเตอร์ดีมอดูเลเตอร์ (Modulator-de-Modulator) จึงกล่าวได้ว่า โมเด็ม คืออุปกรณ์ที่ใช้เป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสารทางด้านข้อมูล (data communication equipment, DCE) ปัจจุบันโมเด็มทั่วไปใช้มาตรฐาน ความเร็ว ที่ 56 กิโลบิตต่อวินาที (kbit/s) แต่เนื่องจากโครงข่ายโทรศัพท์ที่ไม่อำนวย ทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ตามความเร็วที่บอกไว้ ส่วนประกอบสำคัญของโมเด็มคือ RS232 ซึ่งเป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อ หรือเรียกกว่าอินเตอร์เฟซ (interface) มีรูปแบบการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม (serial communication) ระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก โมเด็มมีหน้าที่สำคัญ 2 ประการ คือ

(1) เมื่อต้องการส่งข้อมูลออก โมเด็มจะแปลงสัญญาณดิจิตอลที่คอมพิวเตอร์รู้จัก เป็นสัญญาณอนาลอก และทำการส่งไปตามระบบโทรศัพท์ หรือที่เรียกว่า มอดูเลต (modulate) คือการรวมสัญญาณข้อมูลกับสัญญาณพาห์เข้าด้วยกัน จากนั้นส่งผ่านไปทางสายโทรศัพท์

(2) เมื่อต้องการรับข้อมูลเข้า โมเด็มจะรับสัญญาณอนาลอก ที่ได้รับจากระบบโทรศัพท์ ให้เป็นสัญญาณดิจิตอล เพื่อส่งให้เครื่องคอมพิวเตอร์ต่อไป หรือที่เรียกว่า ดีมอดูเลต (demodulate) คือการแยกสัญญาณข้อมูลออกจากสัญญาณพาห์ ที่รับผ่านมาทางสายโทรศัพท์ เพื่อส่งต่อให้คอมพิวเตอร์

สิ่งสำคัญอีกส่วนหนึ่งของการสื่อสารข้อมูล คือ การออกแบบโปรโตคอล (Protocol) โปรโตคอล คือวิธีการ กฎระเบียบ หรือข้อตกลงที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลเพื่อให้ผู้รับและผู้ส่งสามารถเข้าใจกันหรือพูดกันรู้เรื่อง เพื่อให้มั่นใจได้ว่าการรับและส่งข้อมูลระหว่างกัน มีความถูกต้อง

การส่งข้อมูลด้วยระบบโทรศัพท์ มีข้อดี คือ ต้นทุนต่ำ และในปัจจุบันระบบโทรศัพท์มีความมั่นคงและมีเครือข่ายครอบคลุม จึงพิจารณานำระบบโทรศัพท์มาใช้สำหรับงานวิจัยนี้

2.11 สรุป

จากทฤษฎีและหลักการที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น ทำให้เข้าใจถึงลักษณะของระบบจำหน่ายไฟฟ้าไลน์แยก และผลกระทบของสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า วิธีการตรวจจับและจำแนกชนิดสิ่งผิดปกติเหล่านั้น ตลอดจนการส่งและรับข้อมูล ซึ่งทฤษฎีต่างๆที่กล่าวมานี้จะถูกนำมาใช้เป็นแนวทางในงานวิจัยนี้