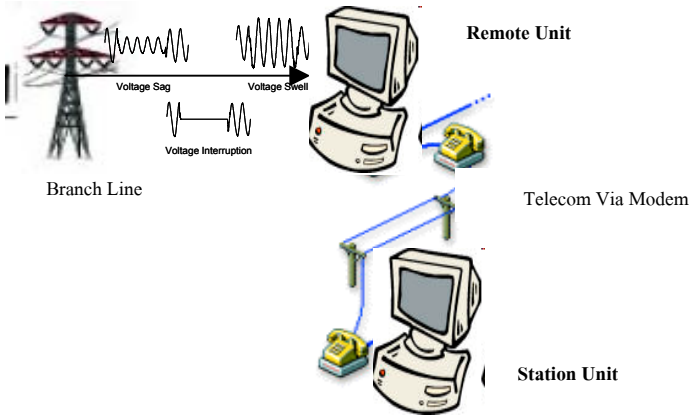
บทที่ 3

การดำเนินการวิจัยการเฝ้าระวังอัตโนมัติสำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าไลน์แยก

3.1 การทำงานของระบบการเฝ้าระวังอัตโนมัติสำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าไลน์แยก

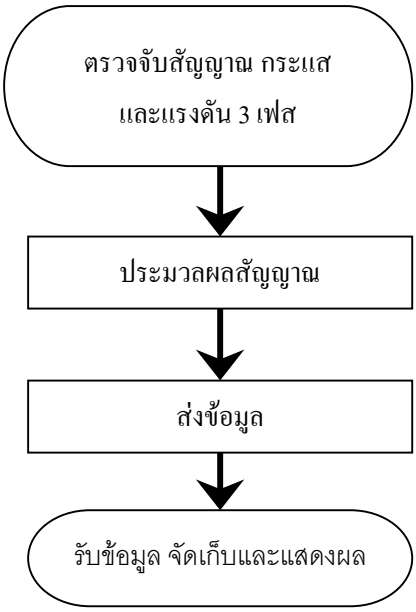
จากการศึกษาการทำงานของระบบเฝ้าระวังอัตโนมัติ ทำให้สามารถนำหลักการมาใช้ในการออกแบบระบบเฝ้าระวังอัตโนมัติสำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าไลน์แยกได้ดังภาพประกอบ 3-1



ภาพประกอบ 3-1 ระบบเฝ้าระวังอัตโนมัติสำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าไลน์แยก

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

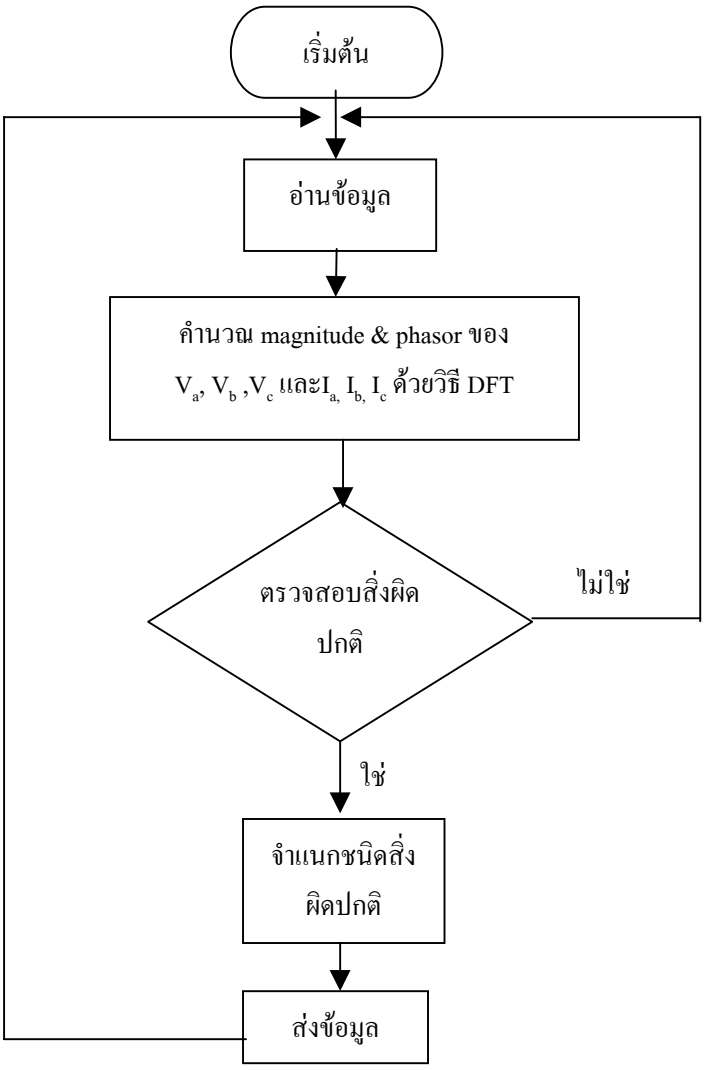
กระบวนการทำงานของการเฝ้าระวังอัตโนมัติสำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าไลน์แยกประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก แสดงดังภาพประกอบ 3-2



ภาพประกอบ 3-2 ขั้นตอนการทำงานของการเฝ้าระวังอัตโนมัติสำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าไลน์แยก

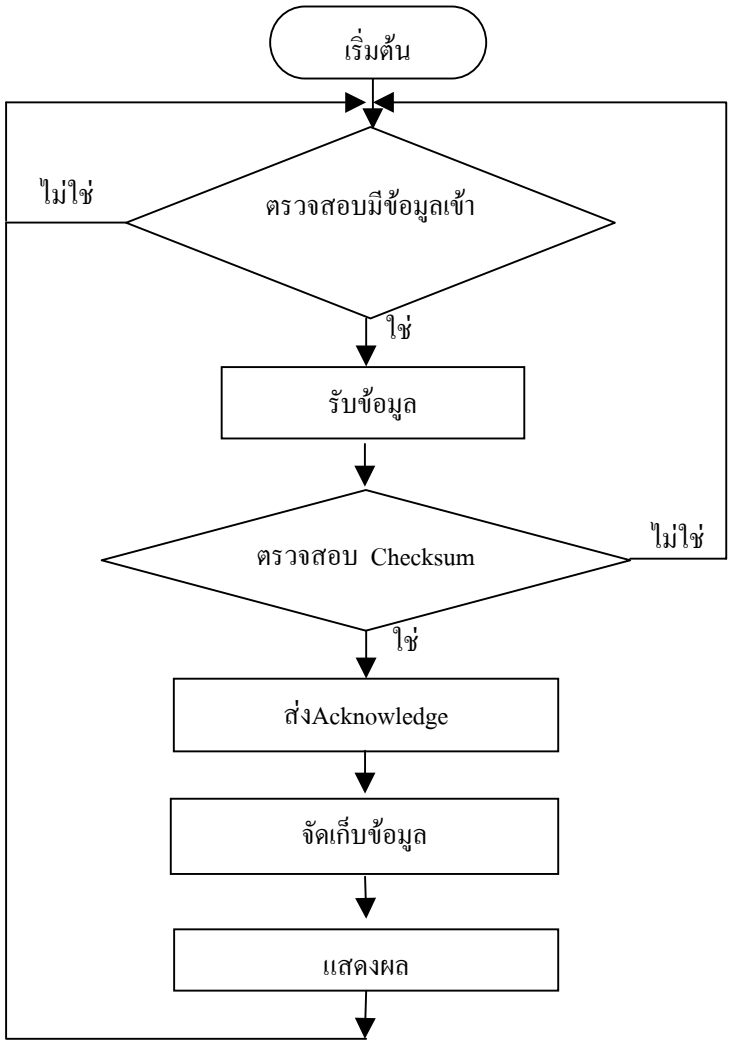
ระบบเฝ้าระวังอัตโนมัติสำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าไลน์แยก ทำหน้าที่ตรวจสอบและรายงานความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้าไลน์แยก โดยการตรวจจับสัญญาณกระแสและแรงดันของแต่ละเฟส ระบบเฝ้าระวังอัตโนมัติประกอบด้วย 2 ส่วน คือ Remote Unit และ Station Unit สื่อสารข้อมูลผ่านระบบโทรศัพท์

- Remote Unit ทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณกระแสและแรงดันทั้งสามเฟสด้วย CT และ PT ตามลำดับ นำสัญญาณกระแส 3 สัญญาณและสัญญาณแรงดัน 3 สัญญาณผ่านกระบวนการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล ด้วยอัตราการสุ่ม 800 Sampling/sec Resolution 12 bits และ Input range ±5 V สัญญาณที่ได้ถูกประมวลผลโดยใช้วิธีการของ DFT แบบเต็มลูกคลื่น ทำให้ได้ค่าขนาดและเฟสเซอร์ของแต่ละสัญญาณ เพื่อนำมาใช้ในการจำแนกชนิดสิ่งผิดปกติ เมื่อตรวจจับและจำแนกได้ว่าเกิดสิ่งผิดปกติชนิดใดขึ้น จึงทำการส่งข้อมูลไปยังส่วน Station Unit ผ่านทางระบบโทรศัพท์ แสดงขั้นตอนการทำงานของ Remote Unit ดังภาพประกอบ 3-3



ภาพประกอบ 3-3 ขั้นตอนการทำงานของ Remote Unit

- Station Unit ทำหน้าที่รับข้อมูลที่ส่งมาจาก Remote Unit เพื่อนำมาแสดงผลทางหน้าจอมอนิเตอร์ และจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล การแสดงผลได้นำระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ มาใช้ในการแสดงผล เพื่อทำให้สามารถมองเห็นภาพระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้อย่างชัดเจน การทำงานของ Station Unit ใช้โปรแกรม Visual Basic รับข้อมูลแล้วเรียกเปิดโปรแกรม Arcview โดยเซตให้โปรแกรม Arcview ทำงานตามสคริบท์ (Script) ที่เขียนไว้ โดยใช้วิธี ค้นหาข้อมูล (Query) ในฟิลด์ (Field) ที่ชื่อว่า Status ในไฟล์ (.shp) ที่เก็บข้อมูลไว้ หากพบว่า มีค่าเป็น “0” ให้แสดงสีของไลน์แยกนั้นเป็นสีแดง แสดงว่าไลน์แยกนั้นมีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้น ขั้นตอนการทำงานของ Station Unit แสดงในภาพประกอบ 3-4



ภาพประกอบ 3-4 ขั้นตอนการทำงานของ Station Unit

3.2 Remote Unit

แบ่งการทำงานเป็นสองส่วน

3.2.1 การรับสัญญาณอินพุท

การกำหนดคุณสมบัติต่างๆในการรับค่าอินพุทของกระบวนมีความสำคัญต่อความถูกต้องในการประมวลผลของระบบเฝ้าระวังอัตโนมัติ สัญญาณอินพุทที่นำมาประมวลผล คือ สัญญาณกระแสและแรงดัน จำนวนช่องสัญญาณสำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าชนิด 3 เฟส ใช้ 6 ช่องสัญญาณ สำหรับ สัญญาณของกระแส 3 ช่องสัญญาณ และแรงดัน 3 ช่องสัญญาณ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการรับอินพุท จะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- มีจำนวนช่องสัญญาณอินพุท 6 ช่องสัญญาณ
- อัตราการสุ่มสัญญาณใช้ 800 Sampling/sec ต่อช่องสัญญาณ หรือ 16 Sampling/cycle โดยพิจาณาจากความถี่ของสัญญาณสิ่งผิดปกติที่ต้องการตรวจจับ ซึ่งมีความถี่ 50 Hz โดยทั่วไปกำหนดความถี่การสุ่มสัญญาณมากกว่าสองเท่าของความถี่สัญญาณที่ต้องการตรวจจับเพื่อป้องกันการเกิด Aliasing
- Input range ในงานวิจัยนี้กำหนดค่าสูงสุดที่ +5 โวลต์ และค่าต่ำสุดที่ -5 โวลต์
- Resolution 12 bits โดยพิจารณาได้ดังนี้ การพิจารณาความละเอียด 12 bit คือ สามารถแบ่งได้เป็น 2^{12} = 4096 ระดับ จากค่า Input Range ที่เลือกใช้ คือ ± 5 โวลต์ ดังนั้น สามารถแบ่งได้เป็นระดับละ 10/4096 = 0.00244 โวลต์ เมื่อพิจารณาการนำไปใช้ เช่น ในการตรวจวัดกระแสลัดวงจร ใช้ CT ratio = 3000/5 = 600 ดังนั้นค่าจริง ของแต่ละระดับ คือ 0.00244 x 600 = 1.4648 แอมป์ หรือ กรณีที่ใช้กับ CT ratio = 6000/5 = 1200 ดังนั้น ค่าจริงของแต่ละระดับ คือ 0.00244 x 1200 = 2.9296 แอมป์ ซึ่งมีความละเอียดเพียงพอเมื่อเทียบกับค่ากระแสลัดวงจรที่จะเกิดขึ้น ซึ่งมีค่ามากๆ เช่น 1000 แอมป์ ดังนั้น Resolution 12 bit จึงสามารถนำมาใช้ในการตรวจวัดได้
- Data transmission รูปแบบการรับอินพุทของ A/D โดยทั่วไปมี 2 แบบ คือ Differential และ Single ended ซึ่งแต่ละแบบมีข้อดีและข้อด้อยต่างกัน มีรายละเอียดดังนี้

แบบ Differential data transmission

ข้อดี

- ส่งข้อมูลได้เร็ว
- ใช้กับระยะทางไกลได้
- ไม่อ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวน
- ไม่ต้องมีกราวด์

ข้อเสีย

- ราคาแพง

แบบ Single ended data transmission

ข้อดี

- ราคาถูก
- ใช้ง่าย

ข้อเสีย

- อ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวน
- ส่งข้อมูลช้า
- ใช้ได้กับระยะทางสั้นๆ
- ต้องมีกราวด์

จากการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของทั้งสองแบบในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แบบ Differential data transmission

3.2.2 การประมวลผล

เป็นการนำสัญญาณอินพุทมาประมวลผล เพื่อจำแนกได้ว่าเกิดสิ่งผิดปกติหรือไม่ และระบุได้ว่าสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นเป็นชนิดใด ขั้นตอนการทำงานดังแสดงในภาพประกอบ 3-5 โดยมีการจัดลำดับความสำคัญในการตรวจสอบสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้น ดังนี้

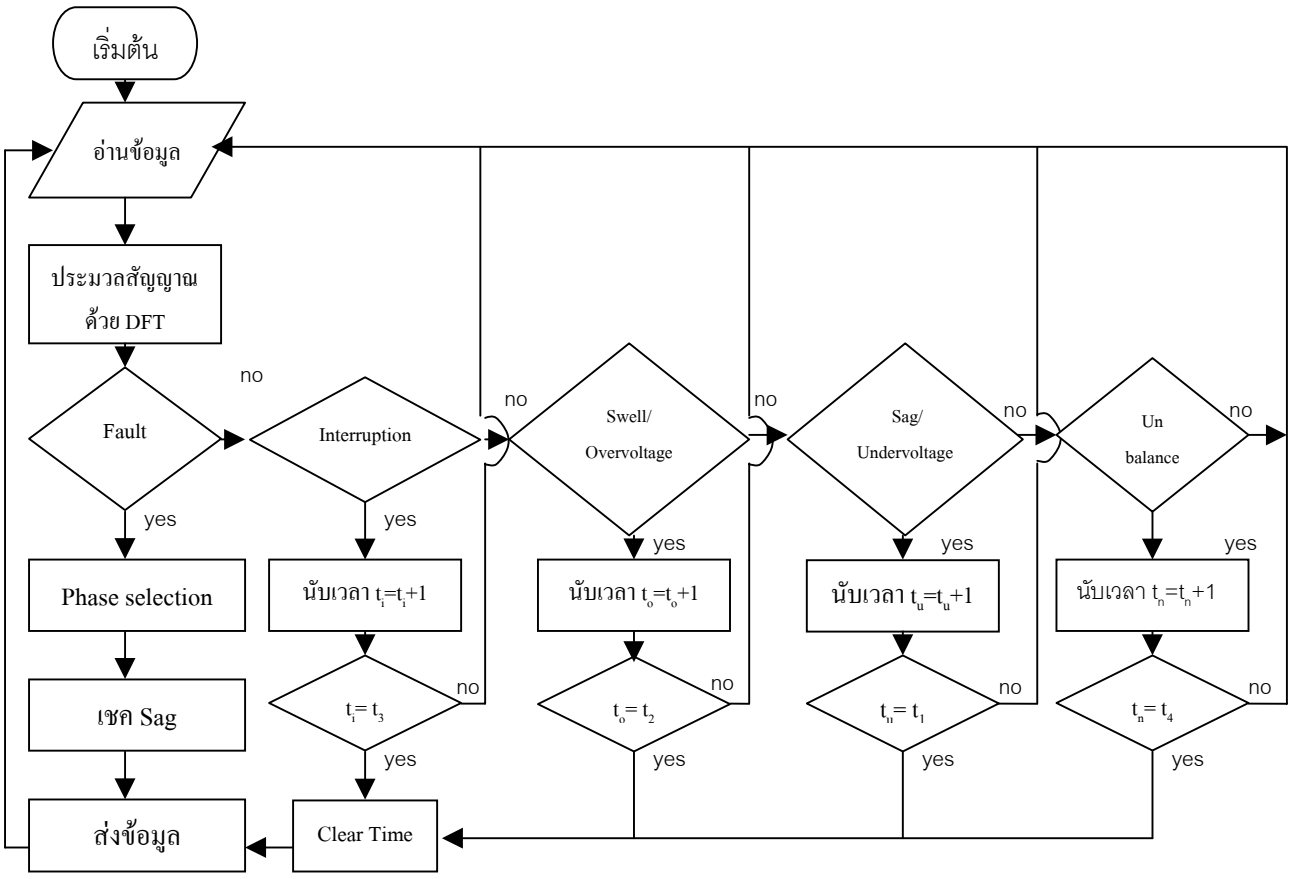
(1) ตรวจสอบการลัดวงจร เมื่อตรวจพบว่าเกิดลัดวงจรขึ้น จะดำเนินการตรวจสอบว่าเป็นการลัดวงจรชนิดใดและเกิดที่เฟสใด หลังจากนั้น ตรวจสอบการเกิดแรงดันตกชั่วขณะหรือไม่และเกิดที่เฟสใด

(2) ตรวจสอบ Interruption เมื่อพบว่าเกิดแรงดันตกเป็น 0 pu ที่เฟสใด เริ่มนับเวลา ($t_i = t_i+1$) แล้วตรวจสอบว่า $t_i = t_3$ หรือไม่ ($t_3 \geq$ 1 นาที หรือ 3000 ลูกคลื่น) ถ้าใช่แสดงว่าเกิด Interruption

(3) ตรวจสอบ แรงดันตกหรือแรงดันตกชั่วขณะ เมื่อตรวจพบว่าเกิดแรงดันตกชั่วขณะ คือแรงดันตกมาอยู่ในช่วง 0.8-0.9 pu ที่เฟสใด เริ่มนับเวลา ($t_s = t_s+1$) และตรวจสอบว่า $t_s = t_1$ หรือไม่ ($t_1 \geq$ 1 นาที หรือ 3 000 ลูกคลื่น) ถ้าใช่ แสดงว่าเกิด แรงดันตก แต่ถ้าไม่ใช่ แสดงว่าเกิด แรงดันตกชั่วขณะ

(4) ตรวจสอบแรงดันเกินและแรงดันเกินชั่วขณะ เมื่อตรวจพบว่าเกิดแรงดันเกินชั่วขณะ คือ แรงดันเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 1.1-1.2 pu ที่เฟสใด เริ่มนับเวลา ($t_o = t_o+1$) และตรวจสอบว่า $t_o = t_2$ หรือไม่ ($t_2 \geq$ 1 นาที หรือ 3000 ลูกคลื่น) ถ้าใช่ แสดงว่าเกิด แรงดันเกิน แต่ถ้าไม่ใช่ แสดงว่าเกิดแรงดันเกินชั่วขณะ

(5) ตรวจสอบแรงดันไม่สมดุล เป็นการตรวจสอบเปอร์เซ็นต์ของอัตราส่วนค่าแรงดันระหว่าง Negative sequence และ Positive sequence มีค่าอยู่ในช่วง 0.5-2 เปอร์เซ็นต์ หรือไม่ ถ้ามีค่ามากกว่าเริ่มนับเวลา ($t_n = t_n+1$) แล้วตรวจสอบว่า $t_n = t_3$ หรือไม่ ($t_3 \geq$ 15 นาที หรือ 45000 ลูกคลื่น) ถ้าใช่แสดงว่าเกิดแรงดันไม่สมดุล



ภาพประกอบ 3-5 ขั้นตอนการทำงานส่วนประมวลผล

3.2.2.1 วิธีการจำแนกชนิดการลัดวงจร

วิธีการจำแนกชนิดการลัดวงจร ประกอบด้วย 3 เงื่อนไข คือ

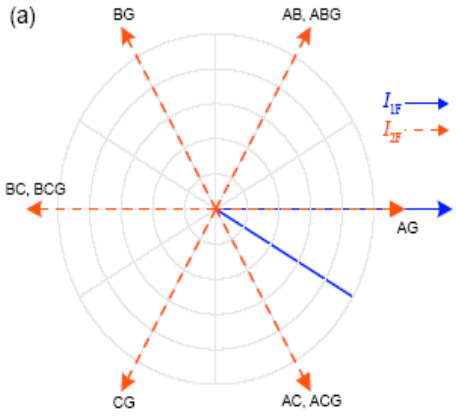
- เงื่อนไขที่ 1 ตรวจสอบขนาดกระแสแต่ละเฟส
- เงื่อนไขที่ 2 ตรวจสอบ ค่าความแตกต่างระหว่างมุมของ กระแสลัดวงจร Negative- Sequence กับ Positive-Sequence
- เงื่อนไขที่ 3 ตรวจสอบขนาดของกระแส Zero-Sequence

(1) การตรวจสอบขนาดของกระแส

เป็นการเปรียบเทียบขนาดของกระแส โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าขนาดกระแสที่คำนวณได้โดยใช้ อัลกอริทึม DFT จากการรับสัญญาณอินพุท (กำหนดเป็นตัวแปร I_{in}) กับค่ากระแสเริ่มต้น (I_{pickup}) เงื่อนไขจะเป็นจริงเมื่อ $I_{in} \geq I_{pickup}$ การกำหนดค่ากระแสเริ่มต้นพิจารณาจากค่ากระแสลัดวงจรชนิด Single line to ground ที่มีโอกาสเกิดในบริเวณที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าไลน์แยกนั้นติดตั้งอยู่

(2) การตรวจสอบค่าความแตกต่างระหว่างมุมของ Negative sequence current (I_{2F}) กับ Positive sequence current (I_{1F})

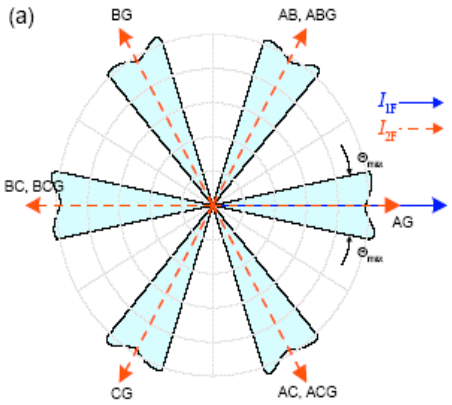
การลัดวงจรแต่ละชนิดจะให้ค่าความแตกต่างระหว่างมุม Negative sequence current (I_{2F}) กับ Positive sequence current (I_{1F}) มีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในภาพประกอบ 3-6



ภาพประกอบ 3-6 Negative sequence vs positive-sequence fault signature

ที่มา:Bogdan Kasztenny, Bruce Campbell and Jeff Mazereeuw, 2000.

เนื่องจากในบางครั้งเกิดการเฟสชิฟ (Phase shift) ดังนั้นจึงมีการจำกัดมุมสูงสุด (maximum limit angle) สำหรับการตรวจสอบ negative – positive sequence คือ ±30 องศา ดังแสดงในภาพประกอบ 3-7



ภาพประกอบ 3-7 Illustration of the angle comparator limits: negative-sequence vs positive-sequence fault signature

ที่มา:Bogdan Kasztenny, Bruce Campbell and Jeff Mazereeuw, 2000.

สามารถสรุปค่าความแตกต่างระหว่างมุม Negative sequence current (I_{2F}) กับ Positive sequence current (I_{1F}) มีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 สรุปค่าความแตกต่างระหว่างมุม Negative sequence current (I_{2F}) กับ Positive sequence current (I_{1F})

Fault type	**I_{2F} lead I_{1F}**
ag	$0^0 \pm 30^0$
bg	$120^0 \pm 30^0$
cg	$240^0 \pm 30^0$
ab, abg	$60^0 \pm 30^0$
bc, bcg	$180^0 \pm 30^0$
ca, cag	$300^0 \pm 30^0$

(3) การตรวจสอบขนาดกระแสลำดับเฟสศูนย์

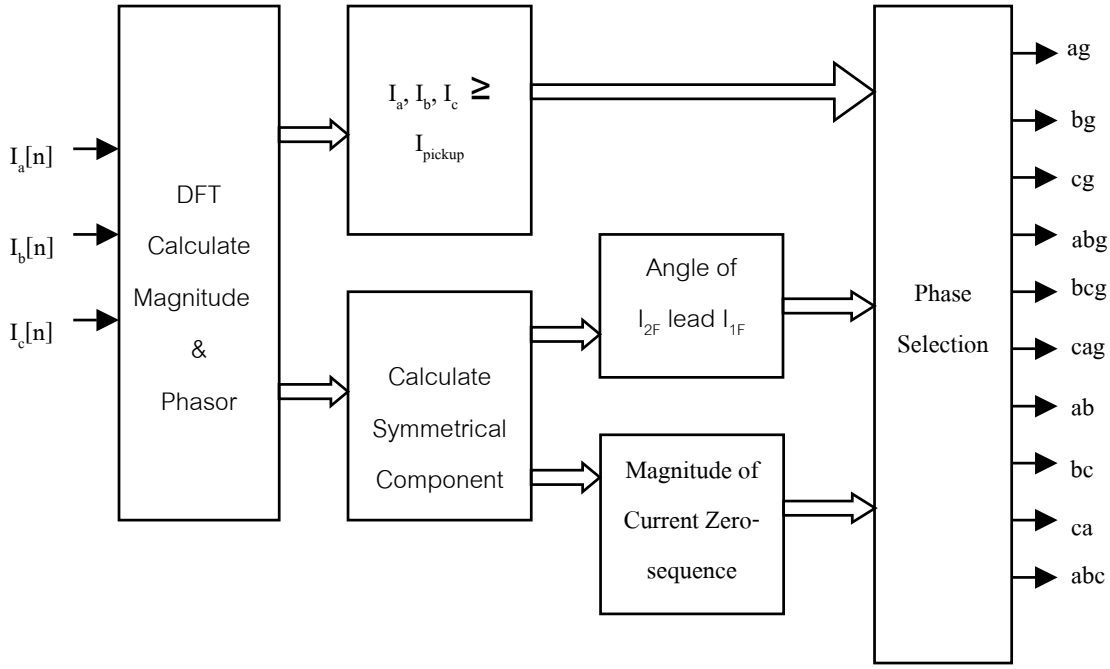
จากการตรวจสอบเงื่อนไขที่ 2 จะพบว่าในกรณีการเกิดลัดวงจรชนิด Double line to ground fault และ Line to line fault ที่เฟสเดียวกันจะใช้ค่าความแตกต่างของมุมที่เท่ากัน ดังนั้นเพื่อระบุว่าเกิดลัดวงจรชนิดใด จึงใช้เงื่อนไขที่ 3 นี้ใช้สำหรับการตรวจสอบว่ามีการ

ลัดวงจรลงดินหรือไม่ วิธีการคือ ในกรณีที่มีการลัดวงจรลงดิน ขนาดของกระแสลำดับเฟสศูนย์ ไม่เท่ากับศูนย์ และในกรณีที่มีการลัดวงจรแบบไม่ลงดินขนาดของกระแสลำดับเฟสศูนย์ เท่ากับศูนย์ สามารถแสดงในรูปแบบตาราง 3-2

ตารางที่ 3-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกระแส Zero Sequence กับชนิดการลัดวงจรลงดิน

การลัดวงจร	**ขนาด Zero Sequence**
ลงดิน	> 0
ไม่ลงดิน	= 0

จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปในรูปแบบของ Block diagram ได้ดังภาพประกอบ 3- 8



ภาพประกอบ 3-8 Block diagram of the phase selector

3.2.2.2 วิธีการจำแนกสิ่งผิดปกติอีก 6 ชนิดที่เหลือโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE 1159-1995 โดยใช้ 2 เงื่อนไขในการตรวจสอบ คือ การเปลี่ยนแปลงของขนาด และช่วงเวลาที่เกิดเหตุการณ์ ซึ่งประกอบด้วย

3.2.2.2.1 Sag คือ สภาวะการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ (น้อยกว่า 1 นาที) ค่าอินพุทที่ใช้ คือ ค่าแรงดันของ V_{an}, V_{bn}, V_{cn} มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.9 pu ของค่าแรงดันปกติ

แรงดันปกติ = 19 kV

แรงดันฐาน (V_{base}) = 19 kV

0.9 pu = 0.9×19 = 17.1 kV

V_{rms}	Time Interval
V_{an} <= 17.1 kV	0.5 cycle < T < 1 min
V_{bn} <= 17.1 kV	0.5 cycle < T < 1 min
V_{cn} <= 17.1 kV	0.5 cycle < T < 1 min

3.2.2.2.2 Swell คือสภาวะการเกิดแรงดันเกินชั่วครู่ (น้อยกว่า 1 นาที) ค่าอินพุทที่ใช้ คือ ค่าแรงดัน V_{an}, V_{bn}, V_{cn} มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1.1 pu ของค่าแรงดันปกติ

แรงดันปกติ = 19 kV

แรงดันฐาน (V_{base}) = 19 kV

1.1pu = 1.1×19 = 20.9 kV

V_{rms}	Time Interval
V_{an} >= 20.9 kV	0.5 cycle < T < 1 min
V_{bn} >= 20.9 kV	0.5 cycle < T < 1 min
V_{cn} >= 20.9 kV	0.5 cycle < T < 1 min

3.2.2.2.3 Undervoltage คือสภาวะการเกิดแรงดันตกที่มีช่วงเวลานานกว่า Sag คือ มากกว่า 1 นาที ค่าอินพุทที่ใช้ คือ ค่าแรงดัน V_{an}, V_{bn}, V_{cn}

แรงดันปกติ = 19 kV

แรงดันฐาน (V_{base}) = 19 kV

0.9 pu = 0.9×19 = 17.1 kV

V_{rms}	Time Interval
V_{an} <= 17.1 kV	T > 1 min
V_{bn} <= 17.1 kV	T > 1 min
V_{cn} <= 17.1 kV	T > 1 min

3.2.2.2.4 Overvoltage คือสภาวะการเกิดแรงดันเกินที่มีช่วงเวลานานกว่า Swell คือ มากกว่า 1 นาที ค่าอินพุทที่ใช้ คือ ค่าแรงดัน V_{an}, V_{bn}, V_{cn}

แรงดันปกติ = 19 kV

แรงดันฐาน (V_{base}) = 19 kV

1.1pu = 1.1×19 = 20.9 kV

V_{rms}	Time Interval
V_{an} >= 20.9 kV	T > 1 min
V_{bn} >= 20.9 kV	T > 1 min
V_{cn} >= 20.9 kV	T > 1 min

3.2.2.2.5 Interruption คือสภาวะการเกิดแรงดันน้อยกว่า 1.9 kV นานเกินกว่า 1 นาที

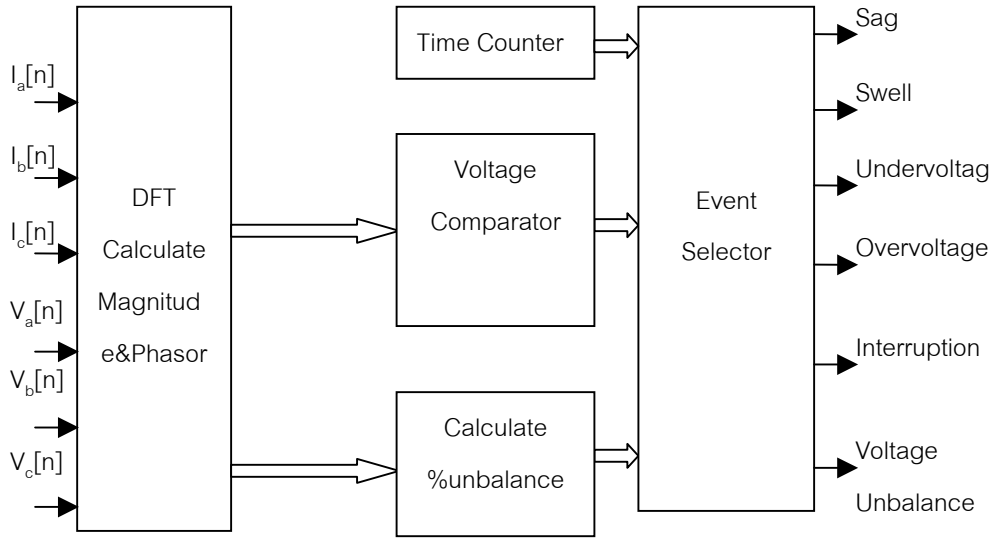
V_{rms}	Time Interval
V_{an} = 0 kV	T > 1 min
V_{bn} = 0 kV	T > 1 min
V_{cn} = 0 kV	T > 1 min

3.2.2.2.6 Voltage Unbalance คือการเกิดสภาวะไม่สมดุลทางด้านแรงดัน ไม่เกิน 0.5-2 เปอร์เซ็นต์ อย่างต่อเนื่อง โดยสามารถคำนวณได้จากสมการข้างล่างนี้ โดยอ้างอิงตาม NEMA Standards MG

114.35.

$$\text{Voltage unbalance} = \frac{\text{Maximum deviation from mean of } (V_{ab}, V_{bc}, V_{ca})}{\text{Mean of } (V_{ab}, V_{bc}, V_{ca})}$$

จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปในรูปแบบของ Block diagram ได้ดังภาพประกอบ 3-9



ภาพประกอบ 3-9 Block Diagram of event selector

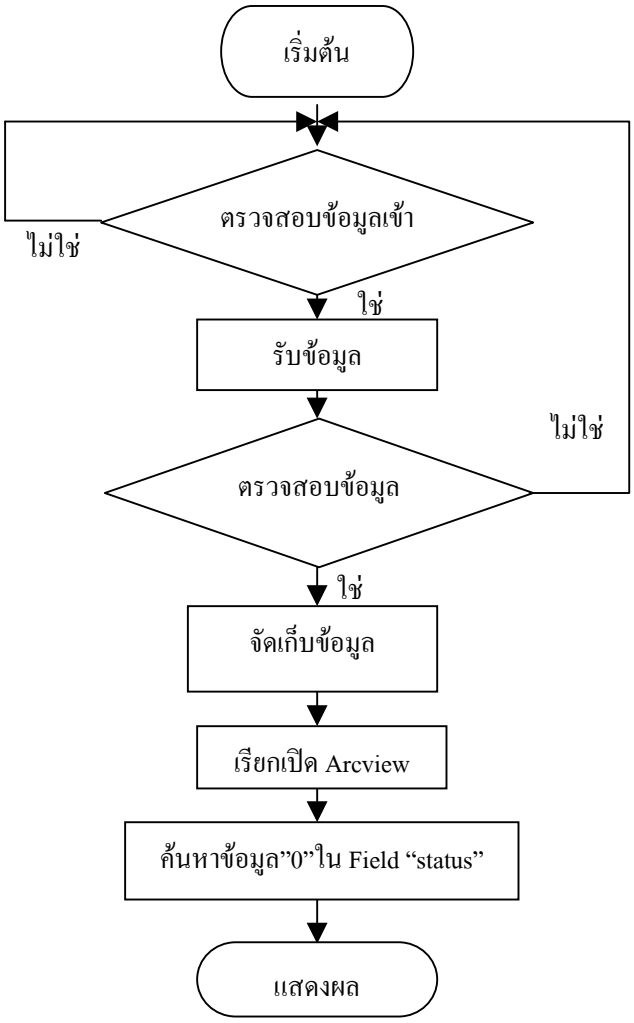
3.3 Station Unit

ทำหน้าที่รับข้อมูลที่ส่งมาจาก Remote Unit เพื่อนำมาแสดงผลทางหน้าจอมอนิเตอร์ และจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล การแสดงผลได้นำระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ มาใช้ในการแสดงผลเพื่อทำให้สามารถมองเห็นภาพระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้อย่างชัดเจน การทำงานของ Station Unit ใช้โปรแกรม Visual Basic รับข้อมูลแล้วเรียกเปิดโปรแกรม Arcview โดยกำหนดให้โปรแกรม Arcview ทำงานตามสคริบท์ (Script) ที่เขียนไว้ โดยใช้วิธีค้นหาข้อมูล (Query) ในฟิลด์ (Field) ที่ชื่อว่า Status ในไฟล์ (.shp) ที่เก็บข้อมูลไว้ หากพบว่า มีค่าเป็น “0” ให้แสดงสีของไลน์แยกนั้นเป็นสีแดง แสดงว่าไลน์แยกนั้นมีสิ่งผิดปกติ ในส่วนของ Station Unit แบ่งการทำงานเป็น 3 ส่วน

3.3.1 การรับและจัดเก็บข้อมูล

เพื่อรับข้อมูลที่ส่งมาจากส่วนประมวล เพื่อนำมาจัดเก็บและสามารถตอบสนองการเรียกค้นข้อมูลย้อนหลังและสามารถจัดทำในรูปแบบรายงาน โดยการเขียนโปรแกรมด้วย Visual Basic เพื่อทำการรับข้อมูลจาก Remote Unitโดยนำข้อมูลที่ได้รับมาทำการ

ตรวจสอบ ตามขั้นตอนการรับข้อมูลที่ได้ออกแบบไว้ตามภาพประกอบ 3-10 เมื่อได้รับข้อมูลที่ถูกต้องแล้วนำข้อมูลที่ได้ไปจัดเก็บในฐานข้อมูล GIS ซึ่งเป็นไฟล์ชนิด database file (.shp)

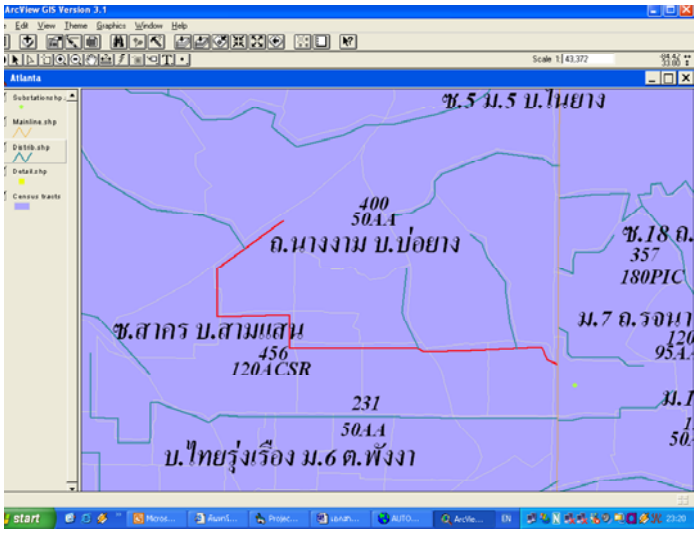


ภาพประกอบ 3-10 สรุปขั้นตอนการทำงานของ Station Unit

3.3.2 การแสดงผล

เพื่อแสดงให้ผู้ปฏิบัติงานทราบว่าเกิดสิ่งผิดปกติที่ไลน์แยกใด โดยใช้โปรแกรม Visual Basic เรียกเปิดโปรแกรม Arcview โดยเซตให้โปรแกรม Arcview ทำงานตาม Script ที่เขียนไว้ โดยใช้วิธี ค้นหาข้อมูล (Query)ในฟิลด์ ที่ชื่อว่า Status ในไฟล์ (.shp) ที่เก็บข้อมูลไว้ หากพบว่า มีค่าเป็น "0" ให้แสดงสีของไลน์แยกนั้นเป็นสีแดง แสดงว่าไลน์

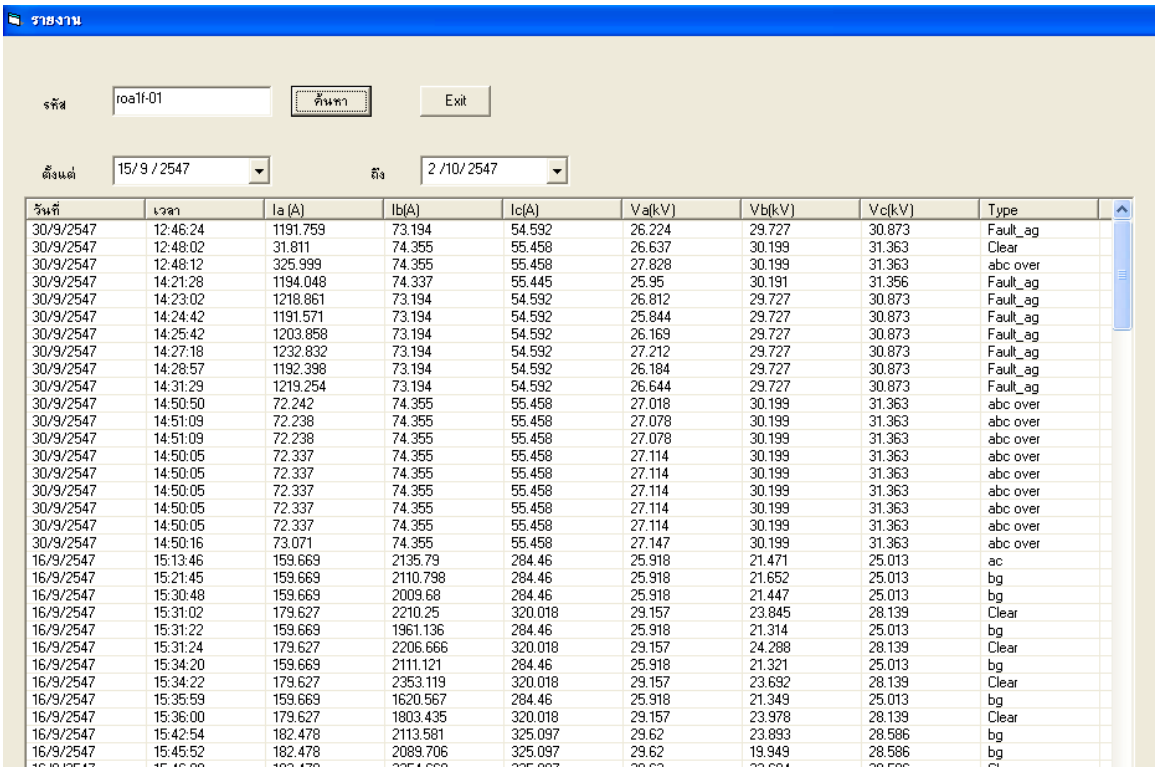
แยกนั้นผิดปกติ ดังแสดงในภาพประกอบ 3-11 หากมีค่าเป็น “1” ให้แสดงเป็นสีเขียว แสดงว่าไลน์แยกนั้นปกติ



ภาพประกอบ 3-11 การแสดงผลเมื่อได้รับข้อมูลว่ามีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นในไลน์แยก ซ.สาคร บ.สามแสน

3.3.3 การเรียกค้นข้อมูลและจัดทำรายงาน

เพื่ออำนวยความสะดวกในการนำข้อมูลที่จัดเก็บไปใช้ โดยใช้โปรแกรม Visual Basic แอพพลิเคชั่น data report ในการจัดทำรายงาน โดยใช้งานร่วมกับออบเจ็ค Parameter เพื่อใช้เป็นตัวรับข้อมูลที่จะนำมาค้นหาข้อมูลที่ต้องการ เช่น ต้องการข้อมูลของไลน์แยก ROA1F-01 ในช่วง วันที่ 15 กันยายน 2547 ถึง 2 ตุลาคม 2547 ดังแสดงในภาพประกอบ 3-12



วันที่	เวลา	Ia (A)	Ib(A)	Ic(A)	Va(kV)	Vb(kV)	Vc(kV)	Type
30/9/2547	12:46:24	1191.759	73.194	54.592	26.224	29.727	30.873	Fault_ag
30/9/2547	12:48:02	31.811	74.355	55.458	26.637	30.199	31.363	Clear
30/9/2547	12:48:12	325.999	74.355	55.458	27.828	30.199	31.363	abc over
30/9/2547	14:21:28	1194.048	74.337	55.445	25.95	30.191	31.356	Fault_ag
30/9/2547	14:23:02	1218.861	73.194	54.592	26.812	29.727	30.873	Fault_ag
30/9/2547	14:24:42	1191.571	73.194	54.592	25.844	29.727	30.873	Fault_ag
30/9/2547	14:25:42	1203.858	73.194	54.592	26.169	29.727	30.873	Fault_ag
30/9/2547	14:27:18	1232.832	73.194	54.592	27.212	29.727	30.873	Fault_ag
30/9/2547	14:28:57	1192.398	73.194	54.592	26.184	29.727	30.873	Fault_ag
30/9/2547	14:31:29	1219.254	73.194	54.592	26.644	29.727	30.873	Fault_ag
30/9/2547	14:50:50	72.242	74.355	55.458	27.018	30.199	31.363	abc over
30/9/2547	14:51:09	72.238	74.355	55.458	27.078	30.199	31.363	abc over
30/9/2547	14:51:09	72.238	74.355	55.458	27.078	30.199	31.363	abc over
30/9/2547	14:50:05	72.337	74.355	55.458	27.114	30.199	31.363	abc over
30/9/2547	14:50:05	72.337	74.355	55.458	27.114	30.199	31.363	abc over
30/9/2547	14:50:05	72.337	74.355	55.458	27.114	30.199	31.363	abc over
30/9/2547	14:50:05	72.337	74.355	55.458	27.114	30.199	31.363	abc over
30/9/2547	14:50:05	72.337	74.355	55.458	27.114	30.199	31.363	abc over
30/9/2547	14:50:16	73.071	74.355	55.458	27.147	30.199	31.363	abc over
16/9/2547	15:13:46	159.669	2135.79	284.46	25.918	21.471	25.013	ac
16/9/2547	15:21:45	159.669	2110.798	284.46	25.918	21.652	25.013	bg
16/9/2547	15:30:48	159.669	2009.68	284.46	25.918	21.447	25.013	bg
16/9/2547	15:31:02	179.627	2210.25	320.018	29.157	23.845	28.139	Clear
16/9/2547	15:31:22	159.669	1961.136	284.46	25.918	21.314	25.013	bg
16/9/2547	15:31:24	179.627	2206.666	320.018	29.157	24.288	28.139	Clear
16/9/2547	15:34:20	159.669	2111.121	284.46	25.918	21.321	25.013	bg
16/9/2547	15:34:22	179.627	2353.119	320.018	29.157	23.692	28.139	Clear
16/9/2547	15:35:59	159.669	1620.567	284.46	25.918	21.349	25.013	bg
16/9/2547	15:36:00	179.627	1803.435	320.018	29.157	23.978	28.139	Clear
16/9/2547	15:42:54	182.478	2113.581	325.097	29.62	23.893	28.586	bg
16/9/2547	15:45:52	182.478	2089.706	325.097	29.62	19.949	28.586	bg

ภาพประกอบ 3-12 แสดงการรายงานข้อมูลสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไลน์แยก ROA1F-01

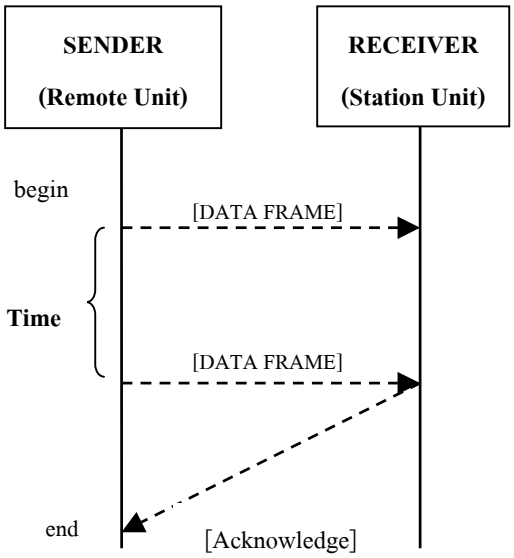
3.4 การสื่อสารข้อมูลระหว่าง Remote Unit และ Station Unit

3.4.1 การออกแบบโปรโตคอลในการรับและส่งข้อมูล เพื่อให้มั่นใจได้ว่า ผู้รับและผู้ส่งมีความเข้าใจกัน และผู้รับได้รับข้อมูลที่ถูกต้องตรงตามข้อมูลที่ผู้ส่งส่งไป

- ออกแบบโปรโตคอล (Protocol) มีรูปแบบดังนี้

ผู้ส่ง จะส่งเฟรมข้อมูล (Data frame) ไปยังผู้รับ แล้วเริ่มทำการนับเวลาและรอการตอบกลับ (Acknowledge) จากผู้รับ ถ้ายังไม่ได้รับการตอบกลับภายในเวลาที่กำหนด จะทำการส่งข้อมูลอีกครั้ง ซึ่งจะทำซ้ำจนกว่าจะได้รับการตอบกลับ

ผู้รับ เมื่อได้รับเฟรมข้อมูล จะคำนวณหาค่า Checksum แล้วนำค่าที่คำนวณได้เปรียบเทียบกับค่า Checksum ที่ส่งมา ถ้ามีค่าเท่ากันแสดงว่าได้รับข้อมูลถูกต้อง จะส่ง Acknowledge ตอบกลับไปยังผู้ส่ง แต่ถ้าค่าที่คำนวณได้ไม่ตรงกับค่าที่ส่งมา ไม่ต้องส่ง Acknowledge และรอรับข้อมูลที่ผู้ส่งจะส่งมาใหม่ ดังแสดงในภาพประกอบ 3-13



ภาพประกอบ 3-13 รูปแบบการทำงานของโปรโตคอล

- กำหนดขนาดและรายละเอียดของเฟรมข้อมูล (data frame) ที่จะส่ง ดังนี้

Preamble	**Destination**	**Source**	**Data**	**Checksum**
2 byte	**8 byte**	**8 byte**	**1-1000 byte**	**2 byte**

ภาพประกอบ 3-14 ส่วนประกอบของเฟรมข้อมูล (data frame) มีขนาด รวม 1020 byte

Preamble คือ การบอกตำแหน่งเริ่มต้นของเฟรมข้อมูล

Destination คือ ข้อมูลที่บอกว่าผู้รับคือใคร

Source คือ ข้อมูลที่บอกว่าผู้ส่งคือใคร

Data คือ ส่วนของข้อมูลที่ต้องการส่ง

ในส่วนของ Data ประกอบด้วยข้อมูลดังนี้

(1) วัน เดือน ปี (Date) ที่เกิดเหตุการณ์

(2) เวลา (Time)

(3) ค่าสถานะ (Status) เป็นค่าที่จะบอกว่าเกิดเหตุการณ์ผิดปกติหรือไม่ มี 2 ค่า คือ

0 แสดงว่าเกิดเหตุการณ์ผิดปกติ

1 แสดงว่าเหตุการณ์ปกติ

(4) ค่ากระแสเฟสเอ บี และซี มีหน่วยเป็นแอมแปร์

(5) ค่าแรงดันทั้งสามเฟส มีหน่วยเป็นกิโลโวลต์

(6) ชนิดสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้น เช่น Sag Swell หรือ Interruption เป็นต้น

ส่วนสุดท้าย คือ Checksum เป็นข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของการรับข้อมูล รูปแบบการคำนวณค่า Checksum ดังนี้

$$\text{Checksum} = \sim [\sum_{N=0}^{K} (BYTE_N)]$$

* $BYTE_N$ หมายถึง ข้อมูลลำดับที่ N

* K หมายถึง จำนวนข้อมูลทั้งหมดไม่รวม Checksum

3.4.2 การรับส่งข้อมูลผ่านระบบโทรศัพท์

การรับส่งข้อมูลโดยผ่านระบบโทรศัพท์ ต้องอาศัยโมเด็มในการทำหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอกเพื่อส่งสัญญาณผ่านระบบโทรศัพท์ได้ ดังนั้นจึงต้องใช้โมเด็ม 2 เครื่องสำหรับผู้ส่งและผู้รับ

การสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับโมเด็ม ใช้พอร์ตอนุกรม ก่อนใช้งานพอร์ตอนุกรมนั้นต้องมีการกำหนดค่าเริ่มต้นก่อน คือ การกำหนดจำนวนบิตข้อมูลที่ต้องการส่ง จำนวนบิตปิดท้าย ชนิดพาริตี้ที่ใช้ และบอดเรต (baud rate) ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Visual Basic ซึ่งมีคอนโทรลสำหรับการสื่อสารผ่านทางพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ โดยมีขั้นตอนการใช้งานดังนี้

(1) CommPort ใช้ในการกำหนดและอ่านค่าพอร์ตอนุกรมที่ติดต่ออยู่ เช่น

Mscomm1.CommPort = 1 (คือ กำหนดใช้ COM1) เป็นต้น

(2) Setting ใช้ในการกำหนดและอ่านค่าอัตราบอด (baud rate), พาริตี้, จำนวนของบิตข้อมูล, จำนวนของบิตปิดท้าย โดยทั่วไปกำหนดดังนี้

Mscomm1.settings = “9600, N, 8, 1”

(3) PortOpen ใช้ในการกำหนดและอ่านค่าสถานะของพอร์ตอนุกรม เพื่อเปิดหรือปิดพอร์ต คือ

Mscomm1.PortOpen = True เพื่อเปิดพอร์ต

Mscomm1.PortOpen = False เพื่อปิดพอร์ต

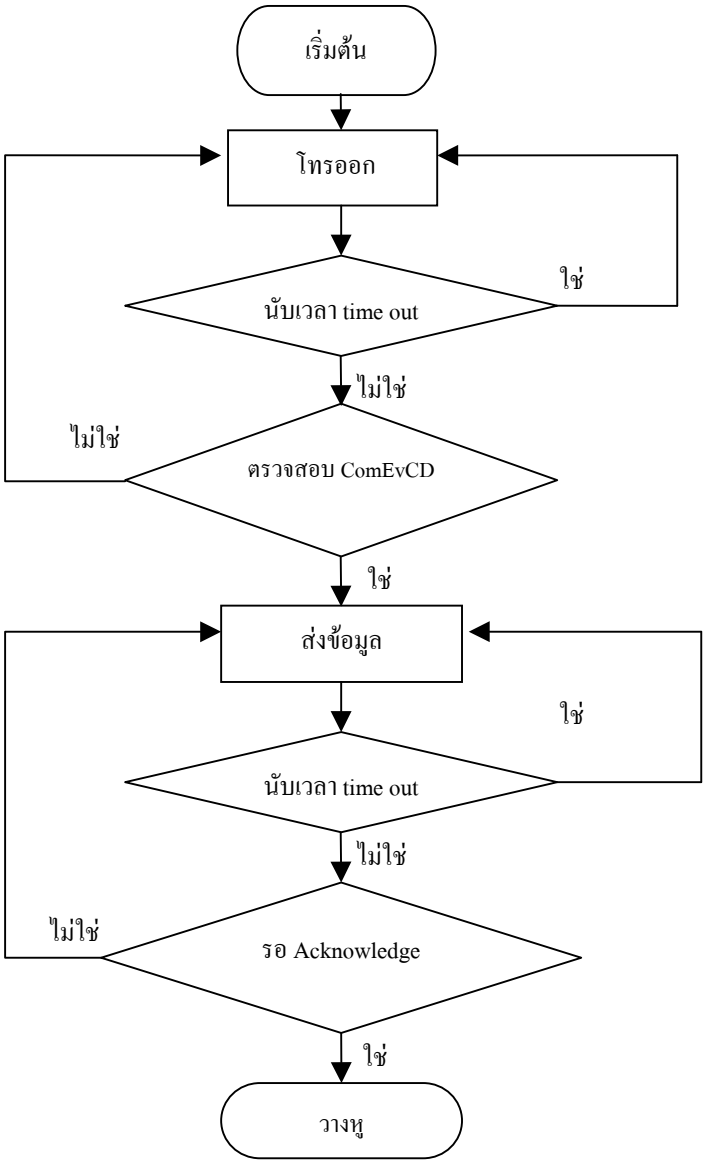
ในการติดต่อสื่อสารผ่านระบบโทรศัพท์ ก่อนที่จะดำเนินการรับส่งข้อมูลต้องมีการเชื่อมต่อ (connect) ระหว่างผู้รับและผู้ส่งก่อน โดยมีขั้นตอนเหมือนกับการโทรศัพท์ คือ ผู้ส่งต้องกดหมายเลขโทรศัพท์ของผู้รับ แล้วรอฟังสัญญาณ เมื่อผู้รับยกหูรับโทรศัพท์แล้ว จึงสามารถพูดคุยกันได้ ซึ่งในการติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ผ่านระบบโทรศัพท์ก็มีขั้นตอนเหมือนกัน โดยผู้รับสามารถตรวจสอบว่ามีการโทรเข้าหรือไม่ และผู้ส่งสามารถทราบได้ว่าผู้รับรับโทรศัพท์แล้วหรือยัง โดยตรวจสอบเหตุการณ์ OnComm ซึ่งถูกสร้างขึ้นเมื่อค่าของคุณสมบัติ CommEvent มีการเปลี่ยนแปลง ค่าคงที่สำหรับคุณสมบัติ OnComm แสดงในตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 ค่าคงที่สำหรับคุณสมบัติ OnComm

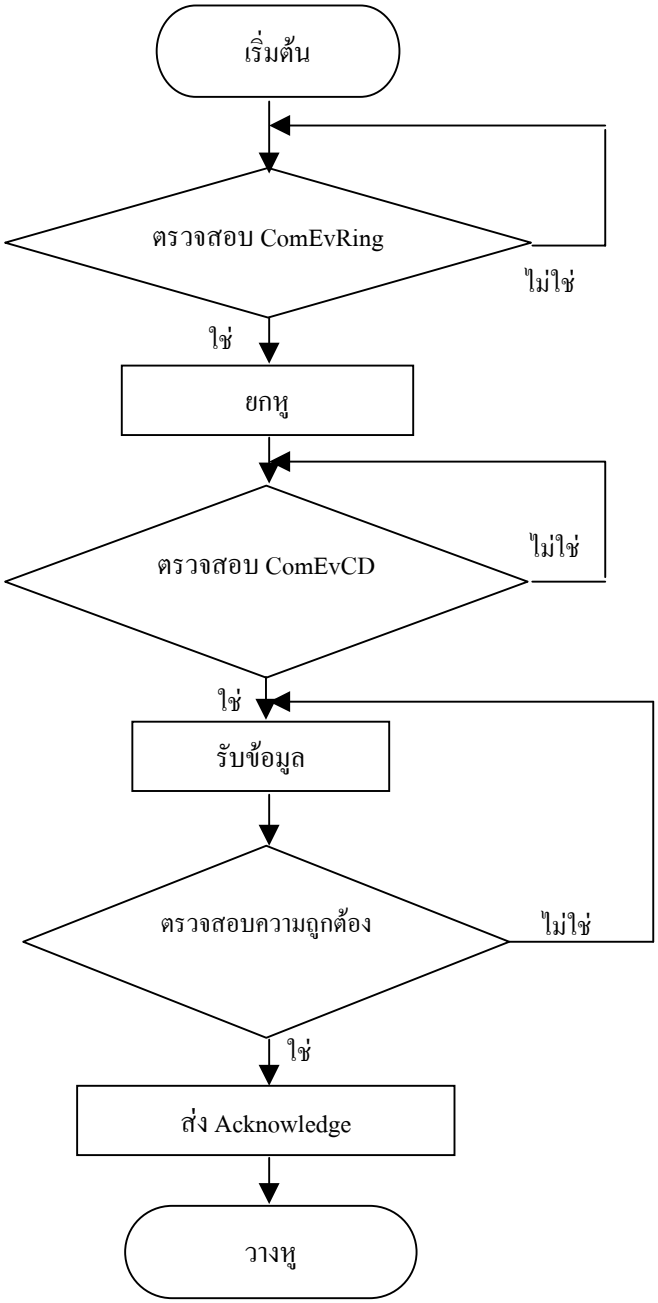
ค่าคงที่	ค่า	รายละเอียด
comEvSend	1	ส่งค่าเหตุการณ์ (send event)
comEvReceive	2	รับค่าเหตุการณ์ (receive event)
comEvCTS	3	มีการเปลี่ยนแปลงที่ขา CTS
comEvDSR	4	มีการเปลี่ยนแปลงที่ขา DSR
comEvCD	5	มีการเปลี่ยนแปลงที่ขา DCD
comEvRing	6	ตรวจจับสัญญาณกระดิ่งของโทรศัพท์
comEvEOF	7	ตรวจพบตำแหน่งท้ายสุดของไฟล์ (End of file)

ผู้รับ (Station Unit) ต้องมีการตรวจสอบ comEVRing ว่ามีการโทรเข้าหรือไม่ ส่วนผู้ส่ง (Remote Unit) ต้องตรวจสอบ comEvCD ว่ามีการรับโทรศัพท์หรือไม่ เมื่อมีการรับโทรศัพท์ เหตุการณ์ Oncomm จะมีค่าเป็น 5 ทั้งในส่วนผู้รับและผู้ส่ง ดังนั้นจึงสามารถรับและส่งข้อมูลระหว่างกันได้ แสดงขั้นตอนการสื่อสารผ่านระบบโทรศัพท์ในส่วนของผู้ส่งดังภาพประกอบ 3-15 และส่วนของผู้รับดังภาพประกอบ 3-16 การสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับโมเด็มจะใช้คำสั่งของเฮย์เรียกว่า AT Command คือ

- ATDT เป็นคำสั่งโทรออก
- ATA เป็นคำสั่งยกหูโทรศัพท์
- ATH เป็นคำสั่งวางหูโทรศัพท์



ภาพประกอบ 3-15 ขั้นตอนการสื่อสารข้อมูลผ่านระบบโทรศัพท์ของ Remote Unit



ภาพประกอบ 3-16 ขั้นตอนการสื่อสารข้อมูลผ่านระบบโทรศัพท์ของ Station Unit

3.5 การสร้างสัญญาณอนาลอกของสิ่งผิดปกติเพื่อใช้ในการทดสอบ

เนื่องจากไม่สามารถทดสอบการทำงานของระบบเฝ้าระวังอัตโนมัติกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าจริงได้ ดังนั้นจึงต้องมีการสร้างสัญญาณสิ่งผิดปกติเพื่อใช้ทดสอบการทำงานของระบบเฝ้าระวังอัตโนมัติสำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าไลน์แยก โดยนำข้อมูลที่ได้จากการบันทึกของอุปกรณ์ป้องกันที่สถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มาใช้ทดสอบโดยแบ่งการดำเนินการเป็น 2 ส่วน

3.5.1 การหาสมการของสัญญาณสิ่งผิดปกติ

เนื่องจากข้อมูลที่ได้นำมาจากสถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบกราฟ ดังนั้นในการสร้างสัญญาณอนาลอก ต้องนำข้อมูลสัญญาณแต่ละสัญญาณมาหาสมการในรูปแบบ

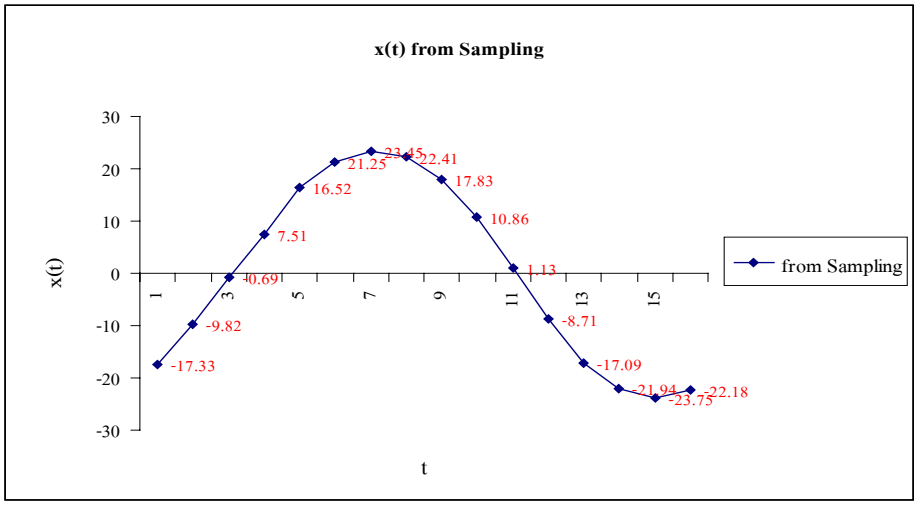
$$x(t) = a*\sin(\omega t+\square)$$

$$\omega = 2\pi f$$

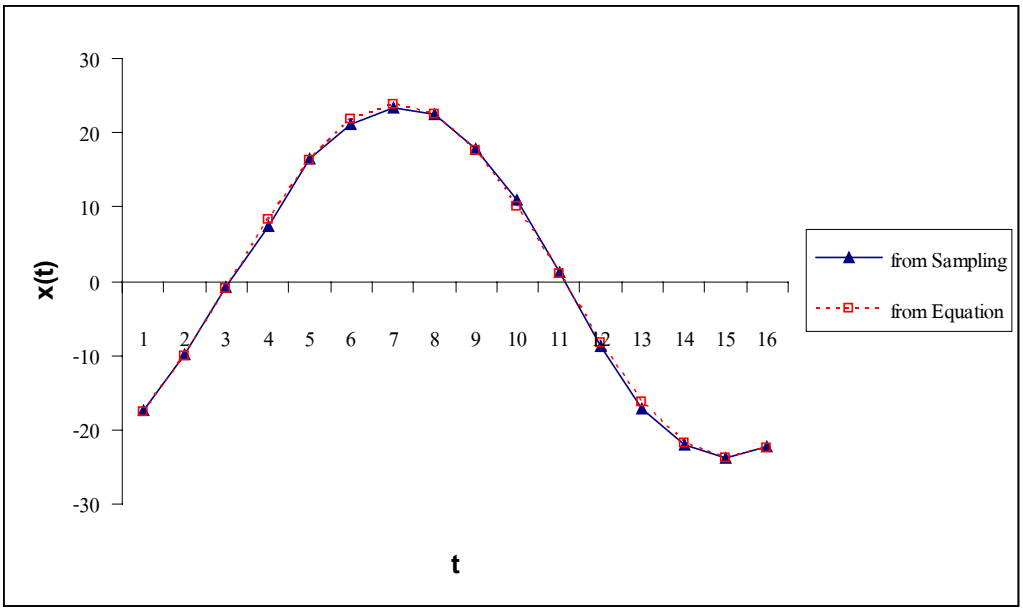
a = amplitude, f = frequency, $\square$ = angle

โดยการนำข้อมูลที่ได้ มาทำการสุ่มหาค่า ที่ทุกช่วงเวลา 20/16 msec ใน 1 ลูกคลื่น ดังแสดงในภาพประกอบ 3-17 จะได้ค่า 16 ค่า แล้วนำค่าทั้ง 16 ค่า มาหาขนาดและมุมเฟสของสัญญาณ ด้วยวิธีการ DFT ทำให้ได้ค่าแอมปลิจูด และมุมเฟสของแต่ละสัญญาณ

การตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่หาได้โดยการนำสมการที่ได้ มาแทนค่า t โดย $\Delta t = 0.00125$ sec แล้วนำค่าที่ได้จากการแทนค่าไปพล๊อตกราฟ แล้วนำกราฟที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟที่พล๊อตจากค่าการสุ่มสัญญาณ พบว่าเส้นกราฟมีค่าใกล้เคียงมากเกือบจะทับกันสนิทดังแสดงในภาพประกอบ 3-18



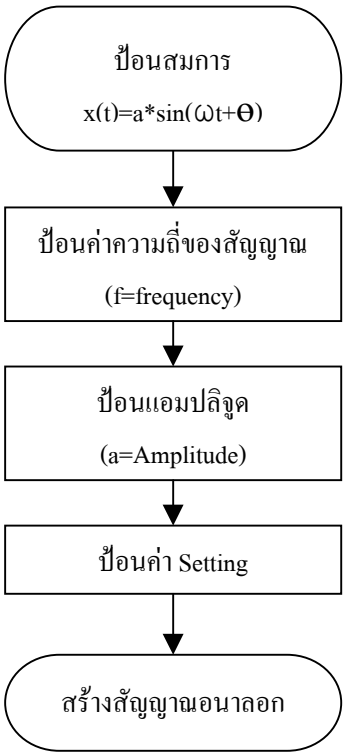
ภาพประกอบ 3-17 รูปแบบข้อมูลที่ได้จากสถานีไฟฟ้า ทำการสุ่มสัญญาณ 1 ลูกคลื่น



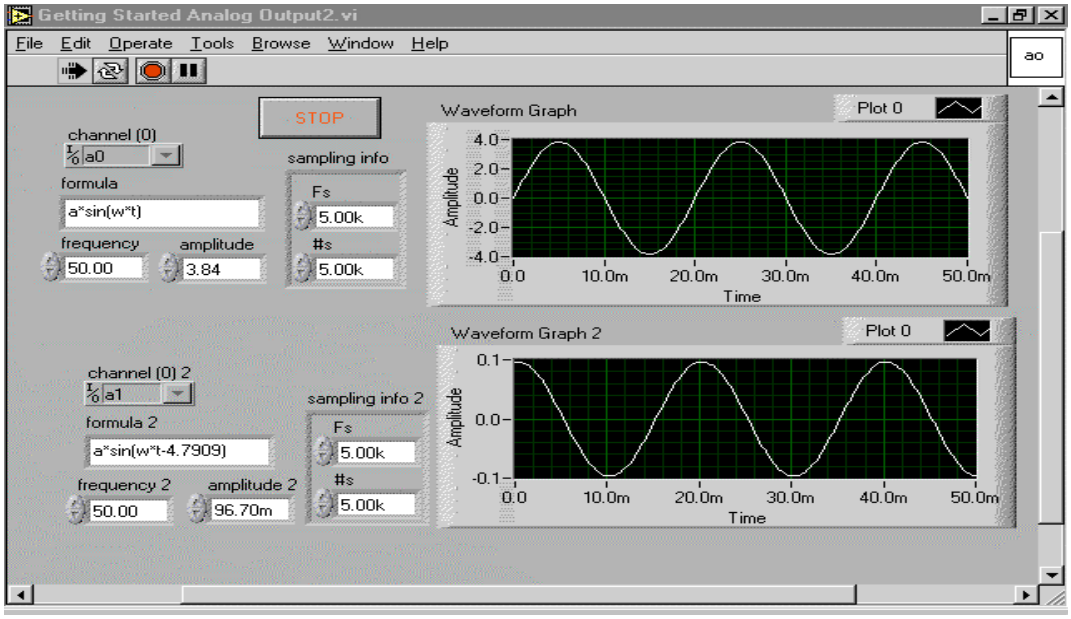
ภาพประกอบ 3-18 เปรียบเทียบลักษณะกราฟระหว่างค่าที่ได้จากการสุ่มสัญญาณ และค่าที่ได้จากการคำนวณตามสมการ

3.5.2 การสร้างสัญญาณสิ่งผิดปกติจากสมการ

การสร้างสัญญาณสิ่งผิดปกติ โดยใช้การ์ด Lab-PC-1200 Multifunction I/O device ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท National Instrument ใช้ร่วมกับเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้งานกับโปรแกรม Labview 6 โดยนำสมการที่หาได้จากข้อ 3.5.1 มาใช้ เนื่องจาก Lab-PC-1200 มีข้อจำกัดคือ มี analog output 2 ช่องสัญญาณ เท่านั้น แต่สัญญาณอินพุทที่ต้องการ คือ 6 ช่องสัญญาณ ดังนั้นจึงต้องมีการประยุกต์ใช้ โดยสัญญาณอีก 4 ช่องสัญญาณ จะสร้างเก็บไว้ในรูปแบบเท็กซ์ไฟล์ (text file) เก็บไว้ และใช้วิธี Crossing Zero เพื่อในการตรวจสอบจุดเริ่มต้นในการอ่านข้อมูลทำให้ได้ข้อมูลอินพุทที่สัมพันธ์กันอย่างถูกต้อง ส่วนขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม Labview มีรายละเอียดดังนี้



ภาพประกอบ 3-19 ขั้นตอนการสร้างสัญญาณอนาลอกด้วย Labview



ภาพประกอบ 3-20 โปรแกรม Labview สำหรับสร้างสัญญาณอนาลอก

การตรวจสอบความถูกต้องการสร้างสัญญาณโดยการใช้ออสซิโลสโคป (Oscilloscope) ตรวจจับสัญญาณ แล้วพิจารณาค่าแอมปลิจูด และความถี่ของสัญญาณ พบว่า สามารถสร้างสัญญาณที่มีค่าแอมปลิจูดและความถี่ตามต้องการ

3.6 ฮาร์ดแวร์และซอฟท์แวร์ที่ใช้ในงานวิจัย

สรุปอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

3.6.1 เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับทำหน้าที่ รับอินพุทและประมวลผล ใช้ร่วมกับ PCI6024E

คุณสมบัติเฉพาะ ประกอบด้วย

- Operating System : Windows 2000/NT/XP
- Software : Visual Basic
- Driver Software : NI-DAQ 7
- Serial Port
- PCI6042E (PCI slot) มีคุณสมบัติตามตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 PCI6024 E Series Channel, Speed, and Resolution Specifications

Family	**Bus**	**Analog Inputs**	**Input Resolution**	**Max Sampling Rate**	**Input Range**
NI 6024E	PCI, PCMCAI	16 SE/8DI	12 bits	200 kS/s	± 0.05 to ± 10

3.6.2 เครื่องคอมพิวเตอร์ สำหรับทำหน้าที่มอนิเตอร์ จัดเก็บและแสดงผล

คุณสมบัติเฉพาะ ประกอบด้วย

- Software: Visual Basic, Arcview
- Serial port

3.6.3 เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับสร้างสัญญาณอินพุท

คุณสมบัติเฉพาะ ประกอบด้วย

- Operating System: Windows 2000/NT/9x
- Software: Labview
- Hardware: Lab-PC-1200 (ISA slot) มีคุณสมบัติตามตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-5 1200 Family Channel, Speed, and Resolution Specifications

Bus	**Analog Inputs**	**Resolution**	**Sampling Rate**	**Input Range**	**Analog Outputs**	**Resolution**	**Output Rate**	**Output Range**	**Digital I/O**
ISA	8SE/4DI	12 bits	100kS/s	Up to ±5V	2	12 bits	1kS/s	±5 V	24