# บทที่ 4
# โปรแกรมประเมินแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากการเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลัง

เนื่องจากในการประเมินแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากการเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลังที่ต้องการค่าความถูกต้องสูงต้องมีการคำนวณการเกิดฟอลต์ทุกแบบในหลายๆตำแหน่งที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระบบไฟฟ้ากำลังและถ้าระบบที่ทำการประเมินมีขนาดใหญ่จะทำให้การคำนวณต้องใช้เวลามากตามไปด้วยจึงไม่สะดวกถ้าจะใช้การคำนวณด้วยมือ ดังนั้นเพื่อความสะดวก รวดเร็วและถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ในการศึกษาจะทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้นโดยโปรแกรมที่จะพัฒนาขึ้นนี้จะใช้วิธีตำแหน่งการเกิดฟอลต์(Fault position method) ทำการประเมิน ซึ่งเป็นวิธีการประเมินแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นในรอบปี ณ ตำแหน่งสนใจที่มีอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันต่ออยู่โดยจะทำการคำนวณการเกิดฟอลต์ ณ ตำแหน่งอื่นๆที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระบบไฟฟ้ากำลังแล้วพิจารณาผลที่ทำให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะขึ้น ณ ตำแหน่งที่สนใจแล้วทำการเก็บข้อมูลทั้ง ขนาด ระยะเวลา และความถี่ ของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะไว้จนทำการคำนวณจนครบทุกตำแหน่งในระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งผลที่ได้จะแสดงออกมาในรูปแบบของแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันตกชั่วขณะ (Voltage sags coordination chart) โดยมีรายละเอียดโปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังนี้

## 4.1 ขอบเขตและเงื่อนไขที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม

โปรแกรมที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นจะทำการประเมินแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นจากการเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลังโดยมีขอบเขตและเงื่อนไขในการพัฒนาโปรแกรมดังนี้

1. พิจารณาการเกิดแรงดันตกชั่วขณะเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก (Rectangular) คือให้มีขนาดและระยะเวลาเพียงค่าเดียวในแต่ละครั้งของการเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลัง
2. ไม่พิจารณาการเกิดฟอลต์ที่ซ้ำซ้อนหรือเกิดขึ้นพร้อมๆกัน
3. ในการคำนวณระยะเวลาการเกิดแรงดันตกชั่วขณะจะพิจารณาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเฉพาะอันดับแรก(Primary protection) คือสมมติให้อุปกรณ์ป้องกันอันดับแรกสามารถทำการกำจัดฟอลต์ได้สำเร็จทุกครั้งโดยไม่พิจารณาการทำงานล้มเหลวของอุปกรณ์ป้องกัน

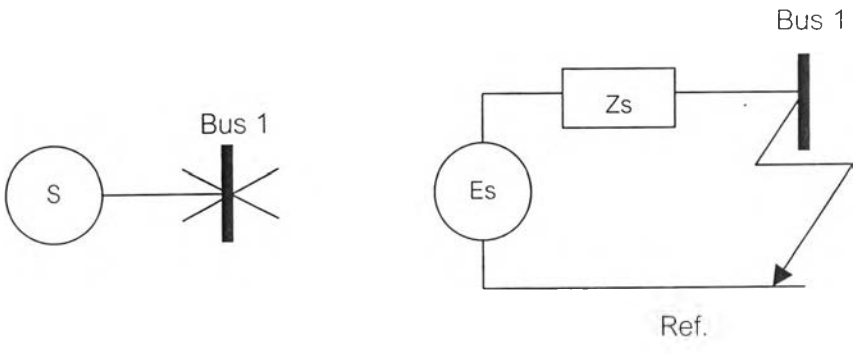
4. พิจารณาว่าเมื่ออุปกรณ์ป้องกันทำการกำจัดฟอลต์แล้วทำให้การเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นหายไป
5. ในการคำนวณฟอลต์ไม่พิจารณากระแสโหลดทั้งหมดโดยกำหนดให้แรงดันก่อนเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่งฟอลต์และตำแหน่งที่สนใจมีค่าประมาณเท่ากันทั้งขนาดและมุม คือมีค่าเท่ากับ 1 เปอร์ยูนิต มุมศูนย์องศา ($1\angle 0^{\circ}$)

## 4.2 การกำหนดตำแหน่งการเกิดฟอลต์ของอุปกรณ์ต่าง ๆในระบบไฟฟ้ากำลัง

การประเมินโดยใช้วิธีตำแหน่งการเกิดฟอลต์ (Fault position method) ต้องมีการคำนวณการเกิดฟอลต์ในหลายๆตำแหน่งที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลายอย่าง เช่น แหล่งกำเนิดไฟฟ้า (Source) หม้อแปลง (Transformer) สายส่งและสายจำหน่าย (Transmission line and distribution line) ซึ่งมีอัตราการเกิดของฟอลต์ต่างกัน ดังนั้นในการพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในการคำนวณได้มีการกำหนดตำแหน่งการเกิดฟอลต์เพื่อใช้ในการคำนวณการเกิดฟอลต์และค่าความถี่ของการเกิดฟอลต์ของอุปกรณ์ต่างๆไว้ดังนี้

### 4.2.1 แหล่งกำเนิดไฟฟ้า (Source)

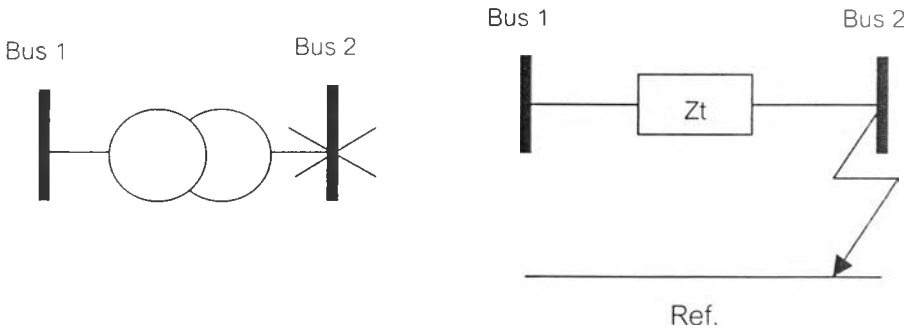
สำหรับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจะกำหนดให้เกิดฟอลต์ 1 ตำแหน่ง ณ ตำแหน่งบัสที่แหล่งกำเนิดไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่และการคำนวณค่าความถี่ของการเกิดฟอลต์จะให้เท่ากับอัตราการเกิดฟอลต์/ปี ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้านั้นดังรูปที่ 4.1




รูปที่4.1 ตำแหน่งที่ใช้คำนวณการเกิดฟอลต์ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า

4.2.2 **หม้อแปลง** (Transformer)

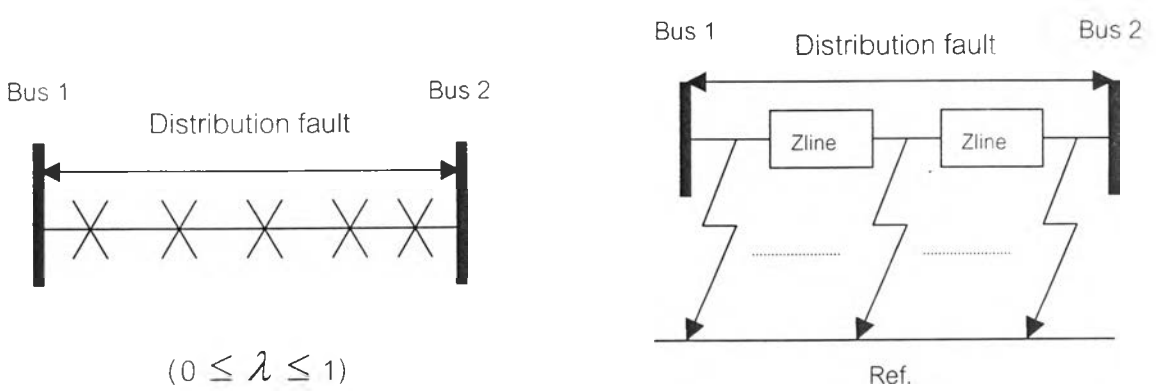
สำหรับหม้อแปลงจะกำหนดให้เกิดฟอลต์ 1 ตำแหน่ง ณ ตำแหน่งบัสที่อยู่ด้านทุติยภูมิ (Secondary) ของหม้อแปลงและการคำนวณค่าความถี่ของการเกิดฟอลต์จะให้เท่ากับอัตราการเกิดฟอลต์/ปี ของหม้อแปลงนั้นดังรูปที่ 4.2




รูปที่4.2 ตำแหน่งที่ใช้คำนวณการเกิดฟอลต์ของหม้อแปลง

4.2.3 **สายส่งและสายจำหน่าย** (Transmission Line and Distribution Line)

สำหรับสายส่งและสายจำหน่ายจะกำหนดให้เกิดฟอลต์บนสายโดยจะกระจายตำแหน่งการเกิดฟอลต์( $\lambda$ )ไปตามความยาวของสายดังรูปที่ 4.3




รูปที่4.3 ตำแหน่งที่ใช้คำนวณการเกิดฟอลต์ของสายส่งและสายจำหน่าย

โดยวิธีการกำหนดตำแหน่งและจำนวนของการเกิดฟอลต์ของสายส่งและสายจำหน่ายนี้จะทำการกำหนดโดยใช้ลักษณะการกระจายการเกิดแบบสม่ำเสมอ (Uniform) คือทุกตำแหนงมีโอกาสเกิดฟอลต์เท่ากัน ซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธีดังนี้

วิธีที่1 กำหนดให้กระจายเกิดห่างเป็นระยะทางเท่าๆกันตลอดทั้งความยาวสายจำนวน 100 ตำแหน่งตั้งแต่ตำแหน่งที่ $\lambda = 0.01$ถึง $\lambda = 1$เมื่อต้องทำการคำนวณฟอลต์ทั้ง 4 แบบคือ ฟอลต์แบบสมมาตร (Symmetrical fault) ฟอลต์ลงดินเส้นเดียว (Single line to ground fault) ฟอลต์สองเส้น (Line to line fault) และฟอลต์ลงดินสองเส้น (Double line to ground fault) ทำให้วิธีการนี้ต้องคำนวณฟอลต์ตลอดทั้งสายเป็นจำนวน 400 ครั้ง ซึ่งต้องใช้เวลาในการคำนวณมาก แต่วิธีการนี้จะให้ค่าความถูกต้องสูง การคำนวณค่าความถี่ของการเกิดฟอลต์จะให้ในแต่ละตำแหน่งมีค่าเท่ากันคือเท่ากับอัตราการเกิดฟอลต์ต่อปีหารด้วยจำนวนตำแหน่งการเกิดฟอลต์ เชน สายส่งยาว 100 กิโลเมตร และมีอัตราการเกิดฟอลต์เท่ากับ 10 ครั้งต่อ100 กิโลเมตรต่อปี แต่ละตำแหน่งจะมีค่าความถี่เท่ากับ 0.1 ครั้งต่อปี

วิธีที่ 2 กำหนดให้กระจายเกิดห่างเป็นระยะทางเท่าๆกันตลอดทั้งความยาวสายจำนวนเท่ากับจำนวนครั้งของอัตราการเกิดฟอลต์ต่อปีของสายนั้น เช่น สายส่งยาว100 กิโลเมตร และมีอัตราการเกิดฟอลต์เท่ากับ 8 ครั้งต่อ100 กิโลเมตรต่อปี ตำแหน่งฟอลต์ที่ต้องกำหนดก็จะเป็น 8 ตำแหน่ง ที่ระยะทางเท่าๆกันช่วงละ 12.5 กิโลเมตร คือเริ่มที่ 12.5 กิโลเมตร 25กิโลเมตร และ 37.5 กิโลเมตร ตามลำดับไปจนถึง 100 กิโลเมตร โดยจำนวนครั้งที่ใช้ในการคำนวณทั้งหมด คือ 32 ครั้ง วิธีการนี้เหมาะสมจะใช้ในกรณีที่ระบบมีขนาดใหญ่มาก จะสามารถลดจำนวนครั้งที่ใช้ในการคำนวณลงได้มากและทำให้ใช้เวลาในการคำนวณน้อยลงแต่ค่าความถูกต้องก็จะลดลงตามไปด้วย การคำนวณค่าความถี่ของการเกิดฟอลต์จะให้แต่ละตำแหน่งมีค่าความถี่เท่ากับ 1 ครั้งต่อปี

นอกจากนี้สามารถปรับการกำหนดตำแหน่งการเกิดฟอลต์เป็นกี่ตำแหน่งก็ได้ โดยในการกำหนดต้องแบ่งช่วงระยะให้เท่าๆกันและกระจายการเกิดตลอดทั้งความยาวสาย สำหรับอัตราการเกิดฟอลต์ของแต่ละตำแหน่งก็จะแตกต่างกันไปตามอัตราการเกิดฟอลต์ต่อระยะทางของสายนั้น ค่าความถูกต้องที่ได้ก็จะขึ้นอยู่กับจำนวนตำแหน่งที่กำหนดโดยถ้ายิ่งกำหนดตำแหน่งให้มากขึ้นค่าความถูกต้องก็จะมากตามไปด้วย

## 4.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

โปรแกรมการประเมินแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากการเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลัง ที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นด้วยวิธีตำแหน่งการเกิดฟอลต์ (Fault position method) มีขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมดังนี้

ขั้นตอนที่1: ป้อนข้อมูลของอุปกรณ์ในแผนผังวงจรเส้นเดี่ยว(Single line diagram) ของระบบไฟฟ้ารวมถึงอัตราการเกิดฟอลต์และชนิดของอุปกรณ์ป้องกัน

ขั้นตอนที่2: โปรแกรมทำการอ่านข้อมูลของระบบไฟฟ้าแล้วทำการเตรียมข้อมูล

ขั้นตอนที่3: ทำการสร้างบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ (Z bus matrix) เพื่อใช้ในการคำนวณ

ขั้นตอนที่4: เริ่มต้นทำการประเมินโดยใช้วิธีตำแหน่งการเกิดฟอลต์ (Fault position method) ซึ่งมีรายละเอียดในการคำนวณดังนี้

4.1 กำหนดตำแหน่งการเกิดฟอลต์ตามชนิดของอุปกรณ์แล้วทำการคำนวณค่ากระแสที่ผ่านอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดฟอลต์ ณ ตำแหน่งที่กำหนด

4.2 นำค่ากระแสที่ผ่านอุปกรณ์ป้องกันไปพิจารณาหาค่าเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการกำจัดฟอลต์(Total time to clearing fault) จากระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ป้องกัน

4.3 คำนวณหาค่าขนาดของแรงดันขณะเกิดฟอลต์ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่สนใจ

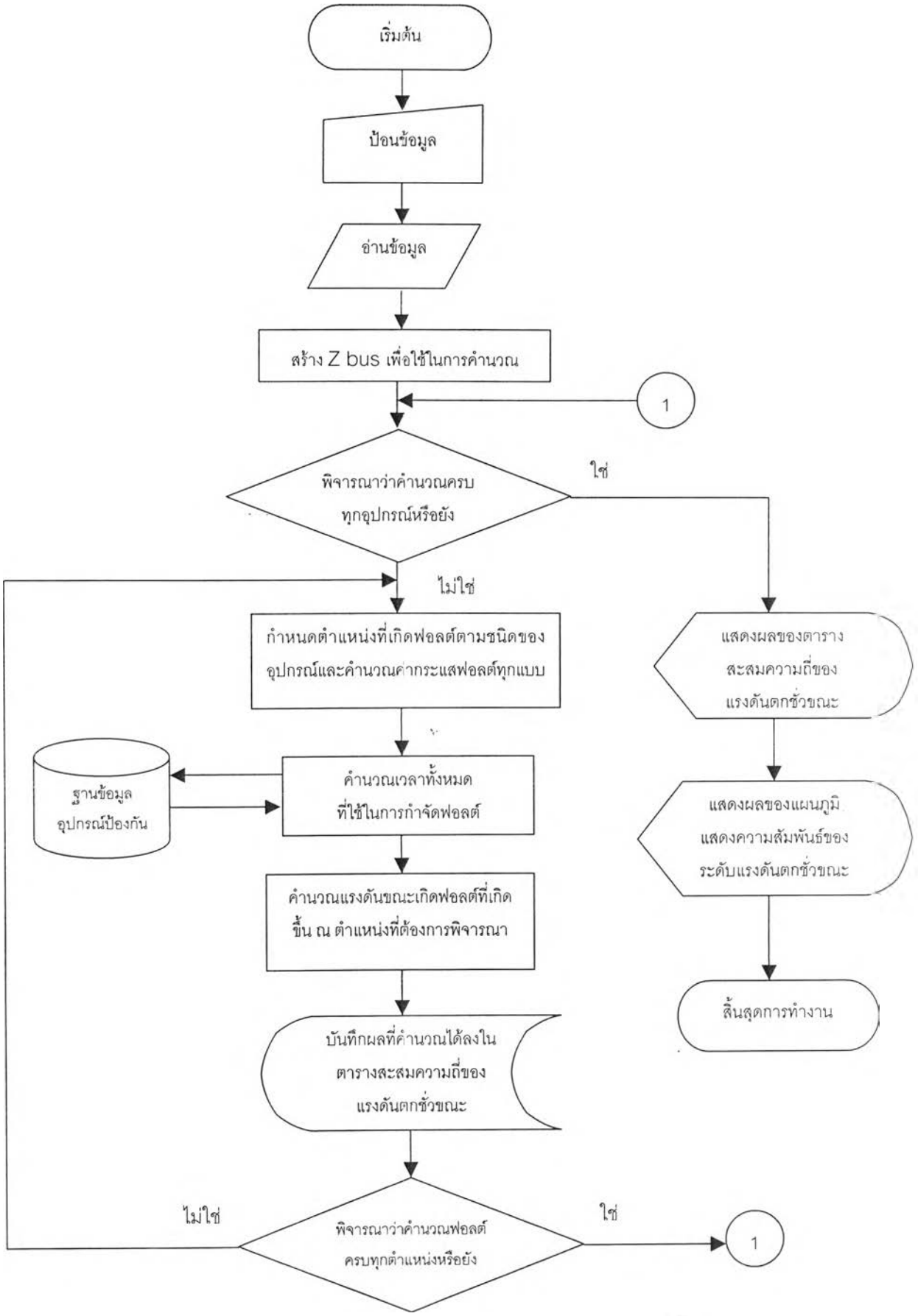
4.4 ทำการบันทึกผลที่เกิดขึ้นทั้ง ขนาด ระยะเวลา และความถี่ ลงในตารางความถี่สะสมของระดับแรงดันตกชั่วขณะ

4.5 ทำการคำนวณซ้ำตั้งแต่กระบวนการที่ 1-4 จนครบทุกตำแหน่งการเกิดฟอลต์ที่กำหนดของอุปกรณ์แต่ละชนิดในระบบไฟฟ้า

ขั้นตอนที่5: ทำการคำนวณซ้ำขั้นตอนที่ 4 จนครบทุกอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ากำลัง

ขั้นตอนที่ 6:แสดงผลการประเมินในรูปแบบของตารางความถี่สะสมและแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะ

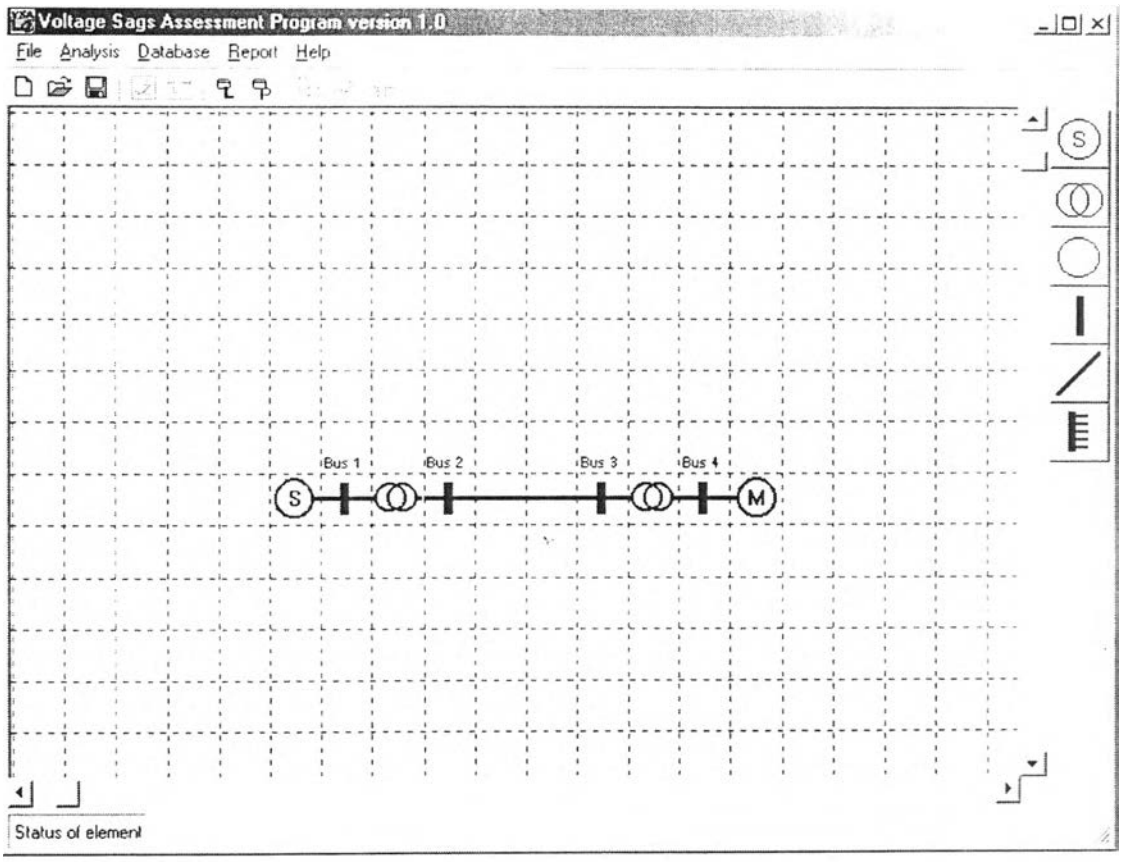
จากขั้นตอนดังกล่าวสามารถนำมาเขียนเป็นแผนผังขั้นตอนการประเมินแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากการเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลัง ได้ดังรูปที่ 4.4




รูปที่ 4.4 แผนผังขั้นตอนการประเมินแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากการเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลัง

## 4.4 การป้อนข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม

การใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นจะเริ่มจากการป้อนข้อมูลของระบบผ่านทางการสร้างแผนผังวงจรเส้นเดี่ยวโดยเลือกจากรูปภาพของอุปกรณ์มาวางต่อกัน ลงบนพื้นที่หน้าจอหลักของโปรแกรมที่กำหนดไว้ดังรูปที่ 4.5 และแต่ละรูปมีความหมายดังตารางที่ 4.1



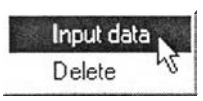

รูปที่ 4.5 หน้าจอหลักของโปรแกรม

I21175883

ตารางที่ 4.1 ความหมายของรูปภาพอุปกรณ์ต่างๆ

| รูปภาพ | ความหมาย | รายละเอียด |
|---|---|---|
| | แหล่งกำเนิดไฟฟ้า | มีได้เพียงแหล่งเดียวเท่านั้น |
| | หม้อแปลงไฟฟ้า | - |
| | เครื่องจักรกลไฟฟ้า | มีให้เลือก 6 แบบ |
| | บัส | มีให้เลือก 9 แบบ |
| | สายส่งและสายจำหน่าย | มีให้เลือก 6 แบบ |
| | บัสบาร์ | - |

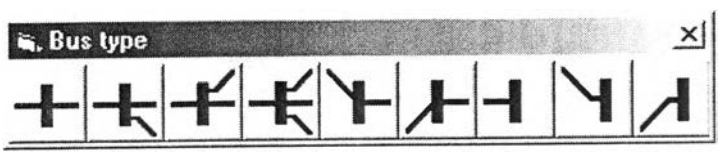
การป้อนข้อมูลของอุปกรณ์จะทำหลังจากที่วางลงบนตำแหน่งที่ต้องการแล้วโดยการคลิก




ขวาที่อุปกรณ์นั้นๆแล้วเลือกจากเมนูInput data สำหรับรายละเอียดในการวางอุปกรณ์และการป้อนข้อมูลที่ต้องใช้ในการคำนวณของแต่ละอุปกรณ์มีดังนี้

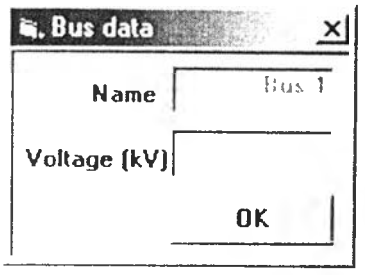
### 4.4.1 บัส และ บัสบาร์

การสร้างแผนผังวงจรเส้นเดี่ยวต้องเริ่มต้นจากการวางบัส หรือ บัสบาร์ก่อนเสมอ เพื่อให้อุปกรณ์อื่นๆมาเชื่อมต่อโดยกรณีของบัสบาร์สามารถเลือกตำแหน่งที่จะวางได้ทันที แต่สำหรับบัสที่จะนำมาวางต้องเลือกรูปแบบของบัสก่อน จากรูปแบบที่มีให้เลือก 9 แบบ ดังรูปที่ 4.6




รูปที่ 4.6 หน้าจอโปรแกรมแสดงรูปแบบของบัส

ข้อมูลที่ต้องป้อนคือค่าแรงดันมีหน่วยเป็นกิโลโวลท์ (kV) โดยลำดับของบัส โปรแกรมจะกำหนดให้โดยอัตโนมัติ ดังรูปที่ 4.7



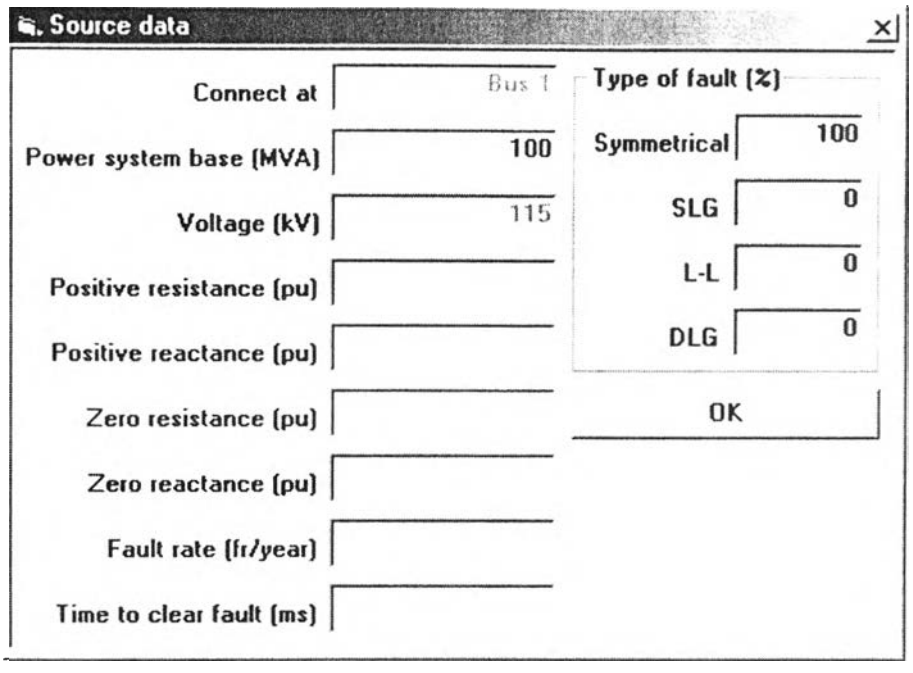

รูปที่ 4.7 หน้าจอโปรแกรมสำหรับการป้อนค่าข้อมูลของบัส

### 4.4.2 แหล่งกำเนิดไฟฟ้า

เนื่องจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้พัฒนาขึ้นใช้สำหรับระบบเรเดียลเท่านั้น จึงกำหนดให้ระบบมีแหล่งกำเนิดไฟฟ้าได้เพียงแหล่งเดียวโดยการวางแหล่งกำเนิดจะต้องวางต่อเข้ากับบัส และข้อมูลของแหล่งจ่ายที่ต้องป้อนมีดังนี้

1. ค่ากำลังงานไฟฟ้าปรากฏ (S) ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า มีหน่วยเป็นเมกกะโวลท์แอมป์ (MVA) ซึ่งจะใช้เป็นค่ากำลังไฟฟ้าฐาน (S BASE) ในการคำนวณของทั้งระบบด้วย ซึ่งปกติจะให้มีค่าเป็น100 MVA
1. ค่าความต้านทานลำดับบวก (Positive resistance, R1) และค่าความต้านทานลำดับศูนย์ (Zero resistance, R0) มีหน่วยเป็นเปอร์ยูนิต
2. ค่ารีแอคแตนซ์ลำดับบวก(Positive reactance, X1) ค่ารีแอคแตนซ์ลำดับศูนย์ (Zero reactance, X0) มีหน่วยเป็นเปอร์ยูนิต
3. อัตราการเกิดฟอลต์ต่อปี
4. ระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดฟอลต์ มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที (ms)
5. สัดส่วนของการเกิดฟอลต์แต่ละแบบโดยผลรวมที่ป้อนจะต้องมีค่าเท่ากับ 100%

สำหรับตำแหน่งบัสที่เชื่อมต่อและค่าแรงดันมีหน่วยเป็นกิโลโวลท์ (kV) จะได้มาจากบัสที่แหล่งกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่โดยอัตโนมัติ ดังรูปที่ 4.8



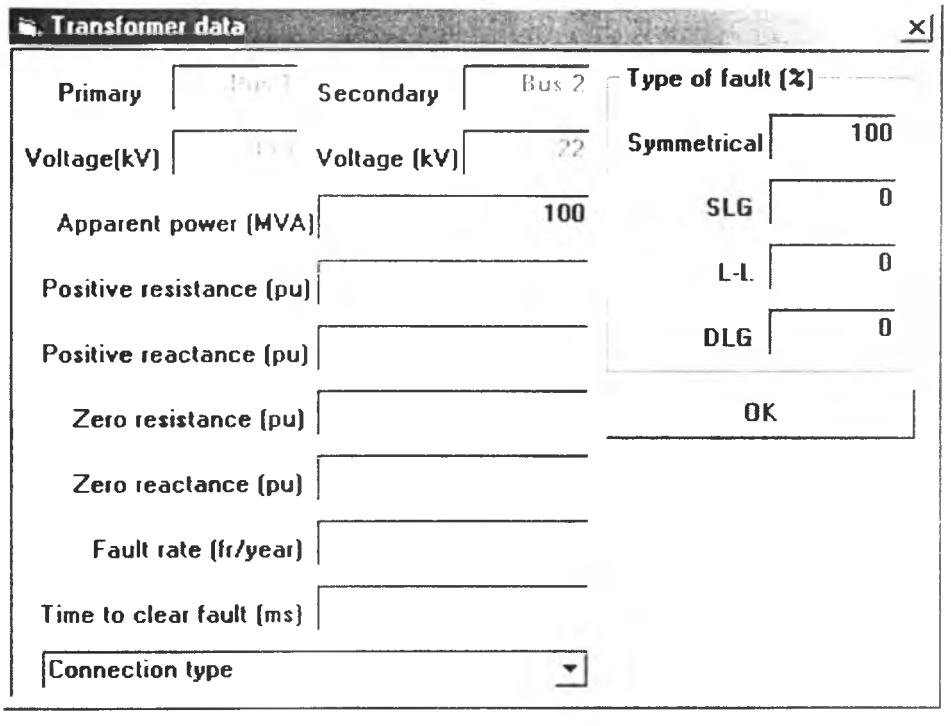

รูปที่ 4.8 หน้าจอโปรแกรมสำหรับการป้อนค่าข้อมูลของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า

### 4.4.3 หม้อแปลงไฟฟ้า

การวางหม้อแปลงไฟฟ้าต้องวางต่อระหว่างบัส และข้อมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ต้องป้อนมีดังนี้

1. ขนาดกำลังไฟฟ้าปรากฏ (S) ของหม้อแปลง มีหน่วยเป็นเมกกะโวลท์แอมป์ (MVA)
2. ค่าความต้านทานลำดับบวก (Positive resistance, R1) และค่าความต้านทานลำดับศูนย์ (Zero resistance, R0) มีหน่วยเป็นเปอร์ยูนิต
3. ค่ารีแอคแตนซ์ลำดับบวก (Positive reactance, X1) ค่ารีแอคแตนซ์ลำดับศูนย์ (Zero reactance, X0) มีหน่วยเป็นเปอร์ยูนิต
4. อัตราการเกิดฟอลต์ต่อปี
5. รูปแบบของการต่อ (Connection type) มีให้เลือก 3 แบบ คือ
   5.1 เดลต้า – วายกราวด์ (Delta – Wye ground)
   5.2 วายกราวด์ – เดลต้า (Wye ground – Delta)
   5.3 วายกราวด์ – วายกราวด์ (Wye ground – Wye ground)
6. ระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดฟอลต์ มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที (ms)
7. สัดส่วนของการเกิดฟอลต์แต่ละแบบโดยผลรวมที่ป้อนจะต้องมีค่าเท่ากับ 100%

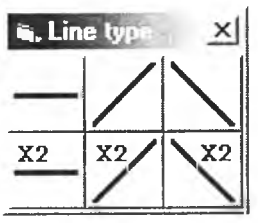
สำหรับตำแหน่งบัสปฐมภูมิและตำแหน่งบัสทุติยภูมิที่เชื่อมต่อและค่าแรงดันมีหน่วยเป็นกิโลโวลท์ (kV) จะได้มาจากบัสที่หม้อแปลงไฟฟ้าต่ออยู่โดยอัตโนมัติ ดังรูปที่ 4.9




รูปที่ 4.9 หน้าจอโปรแกรมสำหรับการป้อนค่าข้อมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า

### 4.4.4 สายส่งและสายจำหน่าย

การวางสายส่งและสายจำหน่ายต้องวางต่อระหว่างบัส สำหรับสายส่งและสายจำหน่ายที่จะนำมาวางต้องเลือกรูปแบบของสายก่อน จากรูปแบบที่มีให้เลือก 6 แบบ ดังรูปที่ 4.10

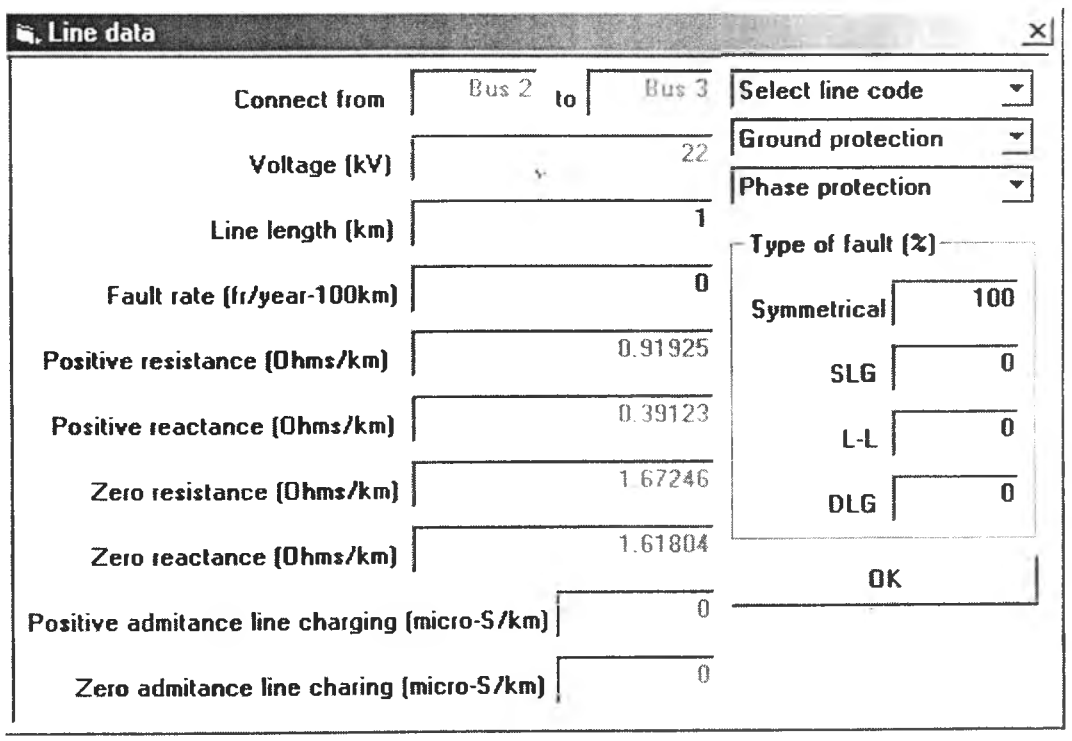



รูปที่ 4.10 หน้าจอโปรแกรมแสดงรูปแบบของสายส่งและสายจำหน่าย

ข้อมูลของสายส่งและสายจำหน่ายที่ต้องป้อนมีดังนี้

1. ความยาวของสายมีหน่วยเป็นกิโลเมตร ( km )
2. อัตราการเกิดฟอลต์ต่อปีต่อ100 กิโลเมตร (fr/year-100km)
3. ชนิดของอุปกรณ์ป้องกันฟอลต์ลงดิน (Ground protection) โดยเลือกเพียงชื่อของอุปกรณ์ป้องกันจากฐานข้อมูลของอุปกรณ์ป้องกัน
4. ชนิดของอุปกรณ์ป้องกันฟอลต์ระหว่างเฟส (Phase protection) โดยเลือกเพียงชื่อของอุปกรณ์ป้องกันจากฐานข้อมูลของอุปกรณ์ป้องกัน
5. ชนิดของสายโดยเลือกเพียงชื่อของสายจากฐานข้อมูลของสายส่งและสายจำหน่าย แล้วโปรแกรมจะแสดงค่าต่างๆที่ต้องใช้ในการคำนวณของสายออกมาให้โดยอัตโนมัติ
6. สัดส่วนของการเกิดฟอลต์แต่ละแบบโดยผลรวมที่ป้อนจะต้องมีค่าเท่ากับ 100%

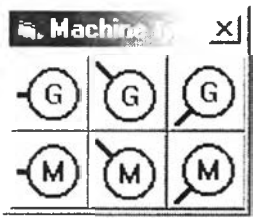
สำหรับค่าแรงดันมีหน่วยเป็นกิโลโวลท์ (kV) จะได้มาจากบัสที่สายส่งและสายจำหน่ายต่ออยู่โดยอัตโนมัติ ดังรูปที่ 4.11




รูปที่ 4.11 หน้าจอโปรแกรมสำหรับการป้อนค่าข้อมูลของสายส่งและสายจำหน่าย

### 4.4.5 เครื่องจักรกลไฟฟ้า

การวางเครื่องจักรกลไฟฟ้าต้องวางต่อจากบัส สำหรับเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่จะนำมาวาง ต้องเลือกรูปแบบของเครื่องจักรกลไฟฟ้าก่อน จากรูปแบบที่มีให้เลือก 6 แบบ โดยแบ่งเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 แบบ และ มอเตอร์ 3 แบบ ดังรูปที่ 4.12

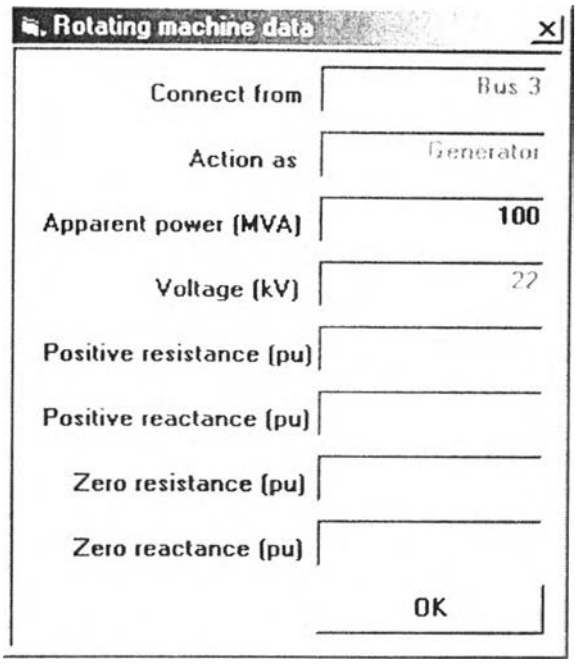



รูปที่ 4.12 หน้าจอโปรแกรมแสดงรูปแบบของเครื่องจักรกลไฟฟ้า

ข้อมูลของเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ต้องป้อนมีดังนี้

1. ขนาดกำลังไฟฟ้าปรากฏ (S) ของเครื่องจักรกลไฟฟ้ามีหน่วยเป็นเมกกะโวลท์แอมป์ (MVA)
2. ค่าความต้านทานลำดับบวก (Positive resistance, R1) และค่าความต้านทานลำดับศูนย์ (Zero resistance, R0) มีหน่วยเป็นเปอร์ยูนิต
3. ค่ารีแอคแตนซ์ลำดับบวก (Positive reactance, X1) ค่ารีแอคแตนซ์ลำดับศูนย์ (Zero reactance, X0) มีหน่วยเป็นเปอร์ยูนิต

สำหรับตำแหน่งบัสที่เชื่อมต่อและค่าแรงดันมีหน่วยเป็นกิโลโวลท์ (kV) จะได้มาจากบัสที่เครื่องจักรกลไฟฟ้าต่ออยู่โดยอัตโนมัติ ดังรูปที่ 4.13




รูปที่ 4.13 หน้าจอโปรแกรมสำหรับการป้อนค่าข้อมูลของเครื่องจักรกลไฟฟ้า

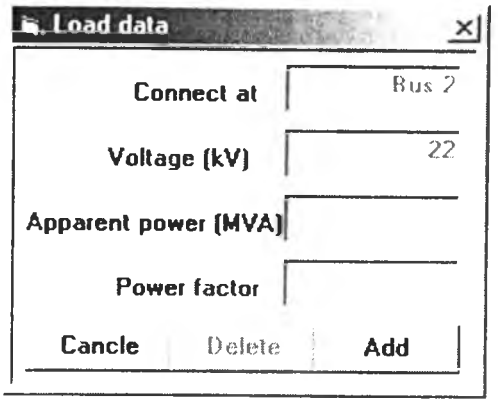
### 4.4.6 จุดโหลด และ คาปาซิเตอร์

ในการสร้างแผนผังวงจรเส้นเดี่ยวนอกจากอุปกรณ์ที่กล่าวมาแล้ว สำหรับแต่ละบัสเมื่อได้ทำการวางอุปกรณ์แล้วสามารถที่จะเพิ่มจุดโหลดหรือคาปาซิเตอร์ต่อเข้าไปที่บัสนั้นๆได้โดยคลิ้กขวาที่บัสแล้วเลือกที่เมนู Load เมื่อต้องการเพิ่มจุดโหลดหรือ Capacitor เมื่อต้องการเพิ่มคาปาซิเตอร์

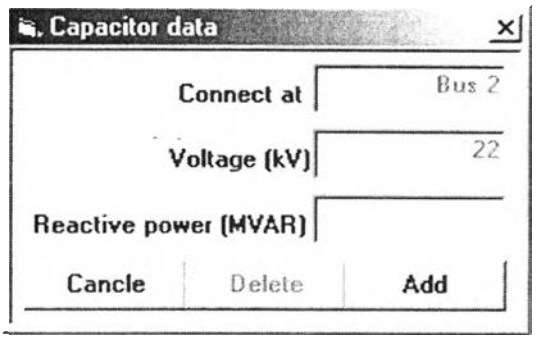
โดยข้อมูลของจุดโหลดที่ต้องป้อนมีดังนี้

1. ขนาดกำลังไฟฟ้าปรากฏ (S) ที่จุดโหลดมีหน่วยเป็นเมกกะโวลท์แอมป์ (MVA)
2. ค่าตัวประกอบกำลัง (Power factor) ของจุดโหลด

สำหรับคาปาซิเตอร์ที่ต่อเข้าที่บัส จะกำหนดให้เป็นชนิดที่มีรูปแบบการต่อแบบเดลต้าโดยข้อมูลของคาปาซิเตอร์ที่ต้องป้อนคือขนาดกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (Q) ของคาปาซิเตอร์ มีหน่วยเป็นเมกกะวาร์ (MVAR) ส่วนตำแหน่งบัสที่เชื่อมต่อและค่าแรงดันมีหน่วยเป็นกิโลโวลท์ (kV) จะได้มาจากบัสที่จุดโหลด และ คาปาซิเตอร์ต่ออยู่โดยอัตโนมัติ ดังรูปที่ 4.14 และรูปที่ 4.15 ตามลำดับ



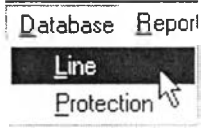

รูปที่4.14 หน้าจอโปรแกรมการป้อนค่าข้อมูลสำหรับจุดโหลด



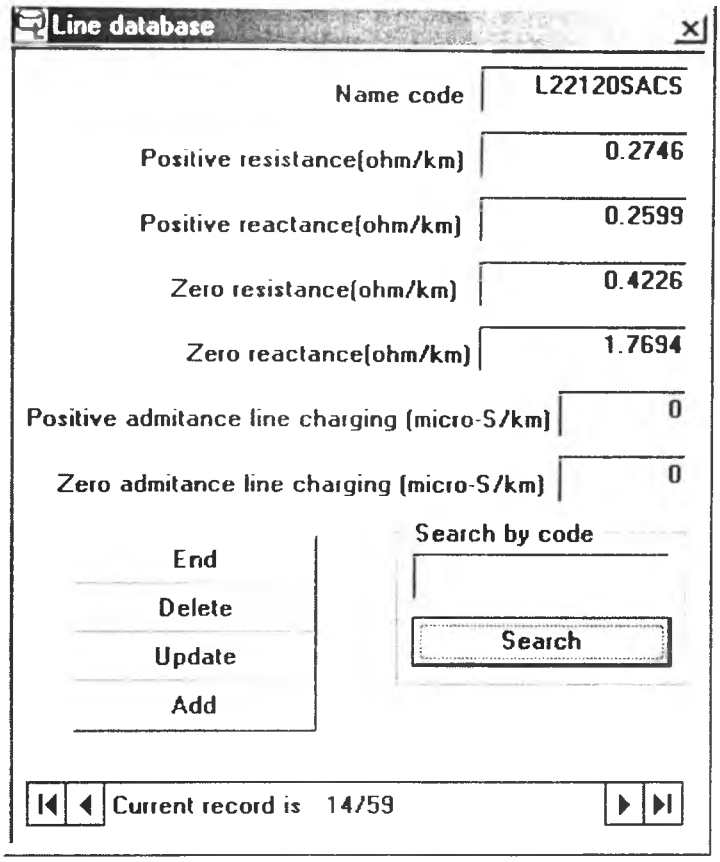

รูปที่4.15 หน้าจอโปรแกรมการป้อนค่าข้อมูลสำหรับคาปาซิเตอร์

### 4.4.7 ฐานข้อมูลของสายและอุปกรณ์ป้องกัน

โปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นนี้จะมีฐานข้อมูลของสายและอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้ในระบบจริงให้อยู่บ้างแล้ว แต่ในกรณีที่ต้องการเพิ่ม ลบ หรือ เปลี่ยนแปลงข้อมูลที่อยู่ในฐานข้อมูลก็สามารถทำ




ได้โดยการเลือกที่เมนูหลัก Database บนหน้าจอหลักของโปรแกรมแล้วเลือกเมนูย่อย Line หรือ Protection หรือใช้เมนูลัดที่ ทูลบาร์จะเป็นรูป สำหรับฐานข้อมูลของสาย และรูป สำหรับฐานข้อมูลของอุปกรณ์ป้องกันจากนั้นจะปรากฏหน้าจอโปรแกรมสำหรับป้อนข้อมูลเข้าฐานข้อมูลของสายและฐานข้อมูลของอุปกรณ์ป้องกัน ดังรูปที่ 4.16และ 4.17 ตามลำดับ

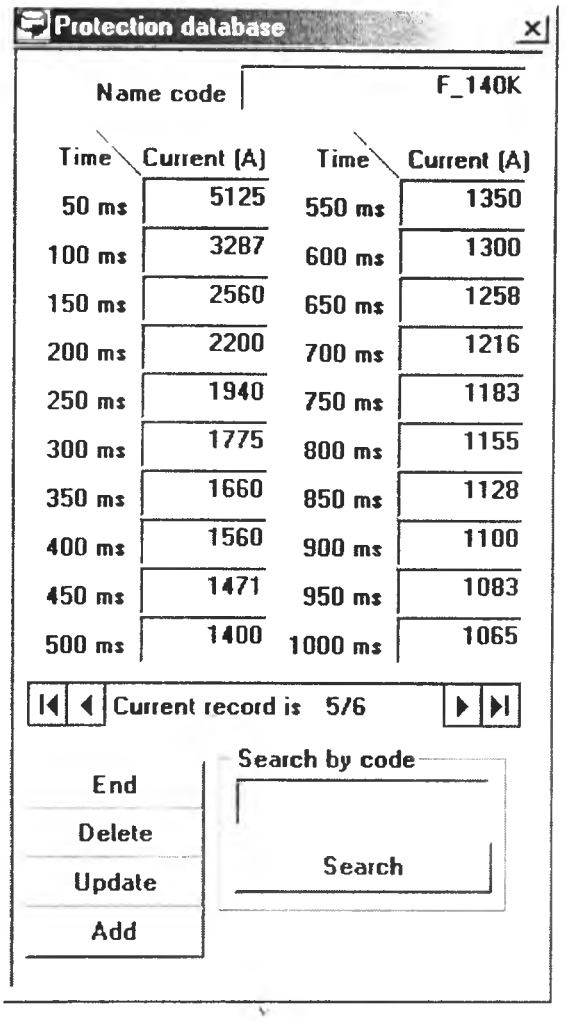



รูปที่4.16 หน้าจอโปรแกรมสำหรับการป้อนค่าฐานข้อมูลของสาย

ข้อมูลของสายที่ต้องป้อนลงในฐานข้อมูลมีดังนี้

1. ชื่อรหัสของสาย (Name code)
2. ค่าความต้านทานลำดับบวก (Positive resistance, R1) และค่าความต้านทานลำดับศูนย์ (Zero resistance, R0) มีหน่วยเป็นโอห์มต่อกิโลเมตร (Ohms/km)
3. ค่ารีแอคแตนซ์ลำดับบวก (Positive reactance, X1) ค่ารีแอคแตนซ์ลำดับศูนย์ (Zero reactance, X0) มีหน่วยเป็นโอห์มต่อกิโลเมตร (Ohms/km)
4. ค่าแอดมิทแทนซ์ชาร์จสายลำดับบวก (Positive admittance line charging, B1) และค่าแอดมิทแทนซ์ชาร์จสายลำดับศูนย์ (Zero admittance line charging, B0) มีหน่วยเป็นไมโครซีเมนต์ต่อกิโลเมตร (micro-S/km)

สำหรับข้อมูลของอุปกรณ์ป้องกันที่ต้องป้อนลงในฐานข้อมูลคือค่ากระแส มีหน่วยเป็นแอมป์ (A) ที่ทำให้อุปกรณ์ป้องกันใช้เวลาทำงานที่เวลาต่างๆตั้งแต่ 50 –1000 มิลลิวินาที (ms)

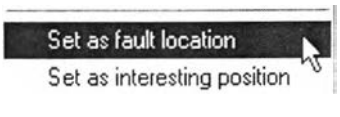



รูปที่4.17 หน้าจอโปรแกรมสำหรับการป้อนค่าฐานข้อมูลของอุปกรณ์ป้องกัน

## 4.5 การใช้โปรแกรมในการคำนวณ

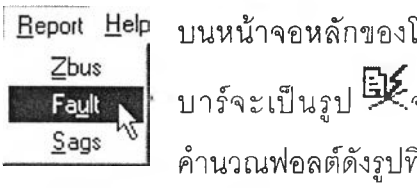
โปรแกรมที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น สามารถทำการคำนวณและรายงานผลหลังจากทำการป้อนข้อมูลของแต่ละอุปกรณ์ในระบบครบทุกอุปกรณ์แล้ว โดยมีรายละเอียดการใช้งานโปรแกรมเพื่อแสดงค่าต่างๆตามที่ต้องการดังนี้

### 4.5.1 การคำนวณฟอลต์

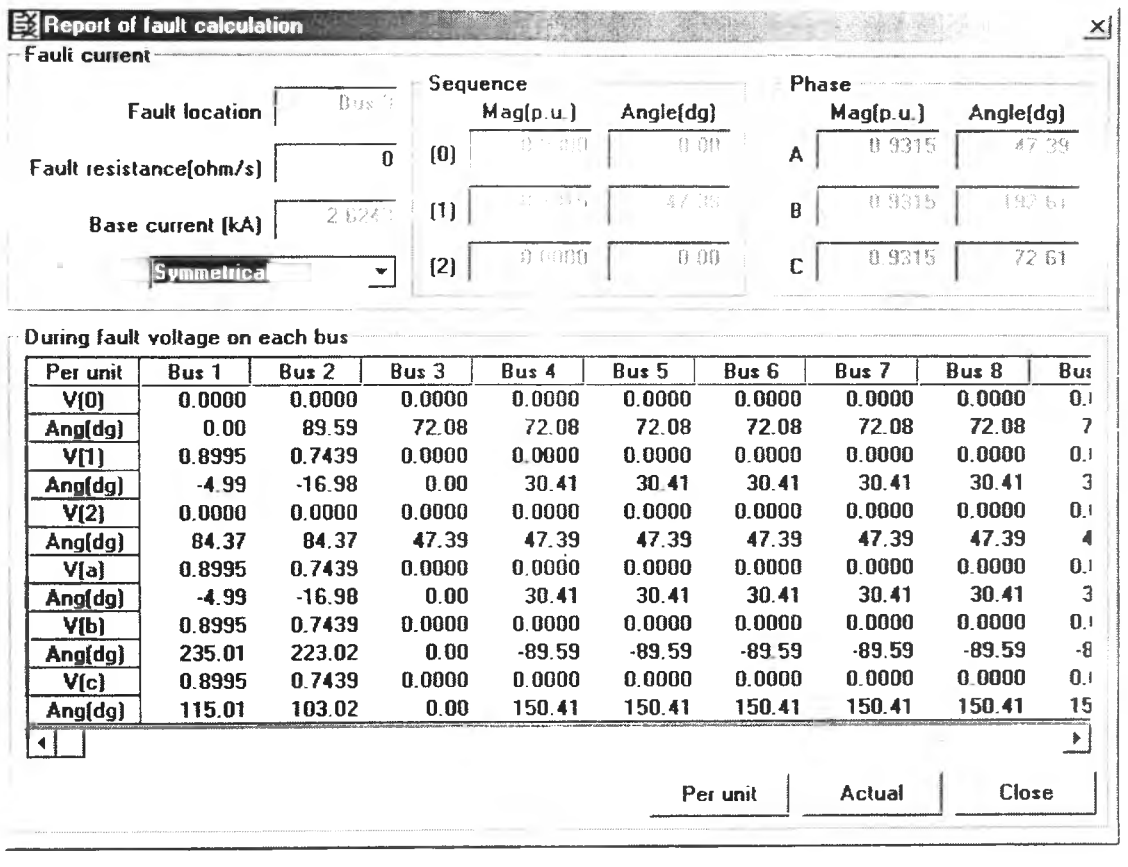



เริ่มจากการคลิ้กขวาที่บัส ที่ต้องการให้เป็นตำแหน่งเกิดฟอลต์ แล้วเลือกที่เมนู Set as fault location

จากนั้นเลือกที่เมนูหลัก Analysis บนหน้าจอหลักของโปรแกรมแล้วเลือกที่เมนูย่อย Fault calculation หรือเลือกที่เมนูลัดบนทูลบาร์จะเป็นรูป


เมื่อต้องการให้โปรแกรมรายงานผลการคำนวณสามารถทำได้โดยเลือกที่เมนูหลัก Report บนหน้าจอหลักของโปรแกรมแล้วเลือกที่เมนูย่อย Fault หรือเลือกที่เมนูลัดบนทูลบาร์จะเป็นรูป 

จากนั้นโปรแกรมจะแสดงหน้าจอโปรแกรมแสดงผลการคำนวณฟอลต์ดังรูปที่ 4.18



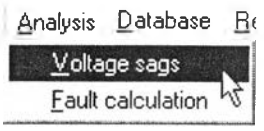

รูปที่ 4.18 หน้าจอโปรแกรมสำหรับแสดงผลการคำนวณฟอลต์

ค่าที่แสดงคือค่ากระแสฟอลต์และแรงดันขณะเกิดฟอลต์(During fault voltage) ของแต่ละบัส โดยการแสดงผลสามารถเลือกชนิดของฟอลต์และค่าความต้านทานฟอลต์มีหน่วยเป็นโอมห์ (Ohm) ซึ่งสามารถแสดงค่าได้ทั้งค่าจริงและค่าเปอร์ยูนิต

### 4.5.2 การประเมินแรงดันตกชั่วขณะ

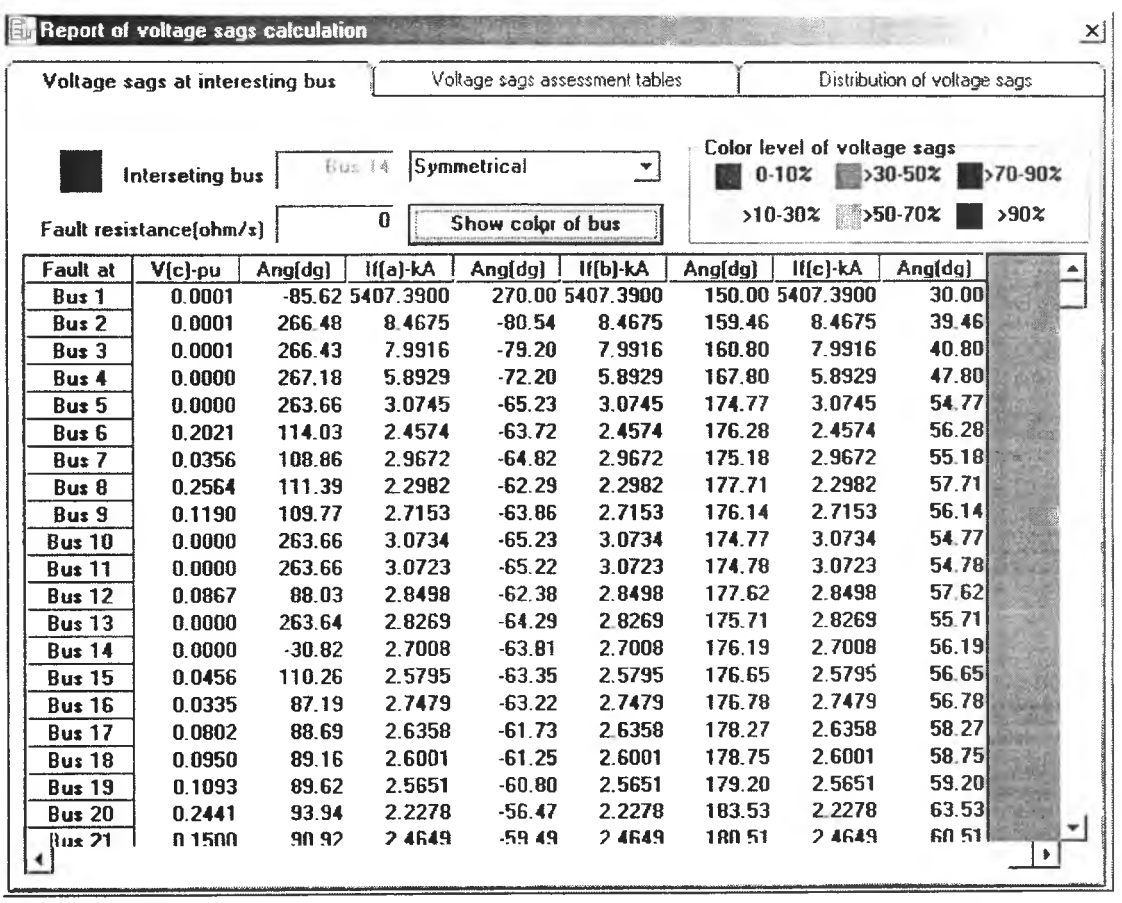
เริ่มจากการคลิ้กขวาที่บัส ที่ต้องการให้เป็นตำแหน่งที่สนใจแล้วเลือกที่เมนู Set as interesting position

จากนั้นเลือกที่เมนูหลัก Analysis บนหน้าจอหลักของโปรแกรมแล้วเลือกที่เมนูย่อย Voltage sags หรือเลือกที่เมนูลัดบนทูลบาร์จะเป็นรูป




เมื่อต้องการให้โปรแกรมรายงานผลการคำนวณสามารถทำได้โดยเลือกที่เมนูหลัก Report บนหน้าจอหลักของโปรแกรมแล้วเลือกที่เมนูย่อย Sags หรือเลือกที่เมนูลัดบนทูลบาร์จะเป็นรูป จากนั้นโปรแกรมจะแสดงหน้าจอโปรแกรมแสดงผลการประเมินแรงดันตกชั่วขณะ ดังรูปที่ 4.19



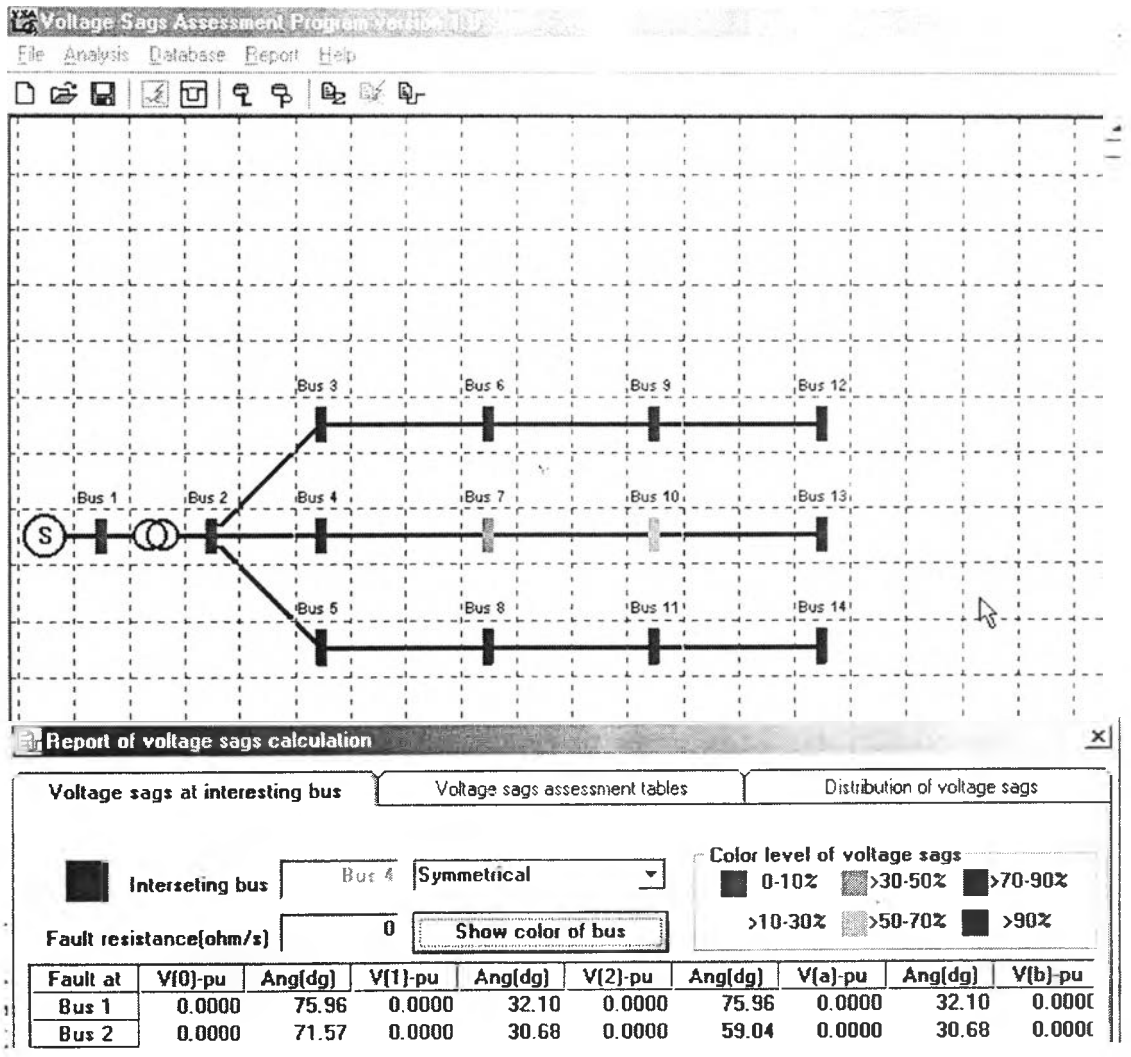




| Fault at | V[c]-pu | Ang[dg] | If[a]-kA | Ang[dg] | If[b]-kA | Ang[dg] | If[c]-kA | Ang[dg] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bus 1 | 0.0001 | -85.62 | 5407.3900 | 270.00 | 5407.3900 | 150.00 | 5407.3900 | 30.00 |
| Bus 2 | 0.0001 | 266.48 | 8.4675 | -80.54 | 8.4675 | 159.46 | 8.4675 | 39.46 |
| Bus 3 | 0.0001 | 266.43 | 7.9916 | -79.20 | 7.9916 | 160.80 | 7.9916 | 40.80 |
| Bus 4 | 0.0000 | 267.18 | 5.8929 | -72.20 | 5.8929 | 167.80 | 5.8929 | 47.80 |
| Bus 5 | 0.0000 | 263.66 | 3.0745 | -65.23 | 3.0745 | 174.77 | 3.0745 | 54.77 |
| Bus 6 | 0.2021 | 114.03 | 2.4574 | -63.72 | 2.4574 | 176.28 | 2.4574 | 56.28 |
| Bus 7 | 0.0356 | 108.86 | 2.9672 | -64.82 | 2.9672 | 175.18 | 2.9672 | 55.18 |
| Bus 8 | 0.2564 | 111.39 | 2.2982 | -62.29 | 2.2982 | 177.71 | 2.2982 | 57.71 |
| Bus 9 | 0.1190 | 109.77 | 2.7153 | -63.86 | 2.7153 | 176.14 | 2.7153 | 56.14 |
| Bus 10 | 0.0000 | 263.66 | 3.0734 | -65.23 | 3.0734 | 174.77 | 3.0734 | 54.77 |
| Bus 11 | 0.0000 | 263.66 | 3.0723 | -65.22 | 3.0723 | 174.78 | 3.0723 | 54.78 |
| Bus 12 | 0.0867 | 88.03 | 2.8498 | -62.38 | 2.8498 | 177.62 | 2.8498 | 57.62 |
| Bus 13 | 0.0000 | 263.64 | 2.8269 | -64.29 | 2.8269 | 175.71 | 2.8269 | 55.71 |
| Bus 14 | 0.0000 | -30.82 | 2.7008 | -63.81 | 2.7008 | 176.19 | 2.7008 | 56.19 |
| Bus 15 | 0.0456 | 110.26 | 2.5795 | -63.35 | 2.5795 | 176.65 | 2.5795 | 56.65 |
| Bus 16 | 0.0335 | 87.19 | 2.7479 | -63.22 | 2.7479 | 176.78 | 2.7479 | 56.78 |
| Bus 17 | 0.0802 | 88.69 | 2.6358 | -61.73 | 2.6358 | 178.27 | 2.6358 | 58.27 |
| Bus 18 | 0.0950 | 89.16 | 2.6001 | -61.25 | 2.6001 | 178.75 | 2.6001 | 58.75 |
| Bus 19 | 0.1093 | 89.62 | 2.5651 | -60.80 | 2.5651 | 179.20 | 2.5651 | 59.20 |
| Bus 20 | 0.2441 | 93.94 | 2.2278 | -56.47 | 2.2278 | 183.53 | 2.2278 | 63.53 |
| Bus 21 | 0.1500 | 90.92 | 2.4649 | -59.49 | 2.4649 | 180.51 | 2.4649 | 60.51 |

รูปที่ 4.19 หน้าจอโปรแกรมสำหรับแสดงผลการประเมินแรงดันตกชั่วขณะ

การแสดงผลการประเมินแรงดันตกชั่วขณะของโปรแกรมจะแบ่งเป็น 3 ส่วน

ส่วนแรกจะอยู่ที่แถบ Voltage sags at interesting bus สามารถแสดงขนาดแรงดันตกชั่วขณะ ณ ตำแหน่งที่สนใจ และกระแสฟอลต์เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นที่บัสอื่นๆในระบบ การแสดงผลสามารถเลือกชนิดของฟอลต์และค่าความต้านทานฟอลต์มีหน่วยเป็นโอมห์ (Ohm) ค่าที่แสดงจะเป็นค่าเปอร์ยูนิต นอกจากนี้เมื่อกดที่ปุ่ม Show color of bus จะแสดงให้เห็นถึงระดับพื้นที่ของระดับแรงดันตกชั่วขณะบนแผนผังวงจรเส้นเดี่ยวรอบตำแหน่งที่สนใจบนหน้าจอหลักของโปรแกรม โดยแต่ละบัสจะแสดงสีออกมา เพื่อให้เห็นถึงระยะที่ทำให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ระดับต่างๆกันดังรูปที่ 4.20

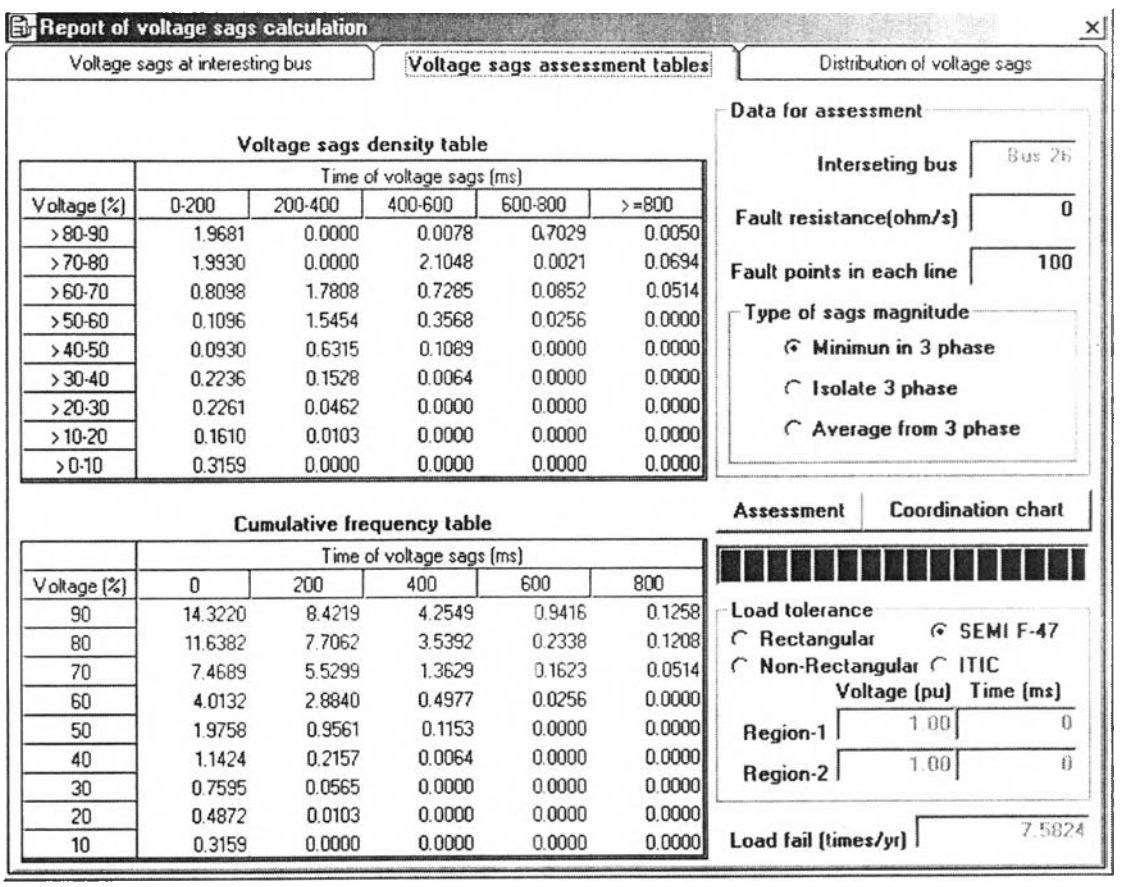



รูปที่ 4.20 หน้าจอหลักของโปรแกรมแสดงพื้นที่ของระดับแรงดันตกชั่วขณะโดยการแสดงสีที่บัส

สำหรับความหมายของสีที่ใช้แสดงระดับของแรงดันตกชั่วขณะของแต่ละบัสมีรายละเอียดดังนี้

- สีดำ คือ ตำแหน่งบัสที่สนใจ
- สีแดง คือ บัสที่เกิดฟอลต์แล้วทำให้เกิดขนาดแรงดันตกชั่วขณะ 0 - 10%
- สีเหลือง คือ บัสที่เกิดฟอลต์แล้วทำให้เกิดขนาดแรงดันตกชั่วขณะมากกว่า 10 - 30%
- สีเขียว คือ บัสที่เกิดฟอลต์แล้วทำให้เกิดขนาดแรงดันตกชั่วขณะมากกว่า 30 - 50%
- สีฟ้า คือ บัสที่เกิดฟอลต์แล้วทำให้เกิดขนาดแรงดันตกชั่วขณะมากกว่า 50 - 70%
- สีน้ำเงิน คือ บัสที่เกิดฟอลต์แล้วทำให้เกิดขนาดแรงดันตกชั่วขณะมากกว่า 70 - 90%
- สีน้ำเงินเข้ม คือ บัสที่เกิดฟอลต์แล้วทำให้เกิดขนาดแรงดันตกชั่วขณะมากกว่า 90%

ส่วนที่สองจะอยู่ที่แถบ Voltage sags assessment tables แสดงผลการประเมินแรงดันตกชั่วขณะ ณ ตำแหน่งที่สนใจ ในรูปแบบของตารางแสดงความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ (Voltage sags density table) และตารางความถี่สะสม (Cumulative frequency table) ดังรูปที่ 4.21




รูปที่ 4.21 หน้าจอโปรแกรมสำหรับแสดงผลการประเมินแรงดันตกชั่วขณะในรูปแบบของตาราง

การประเมินทำได้โดยการเลือกที่ปุ่ม Assessment โดยสามารถตั้งค่ารายละเอียดที่ต้องการในส่วนของ Data for assessment ได้ดังนี้

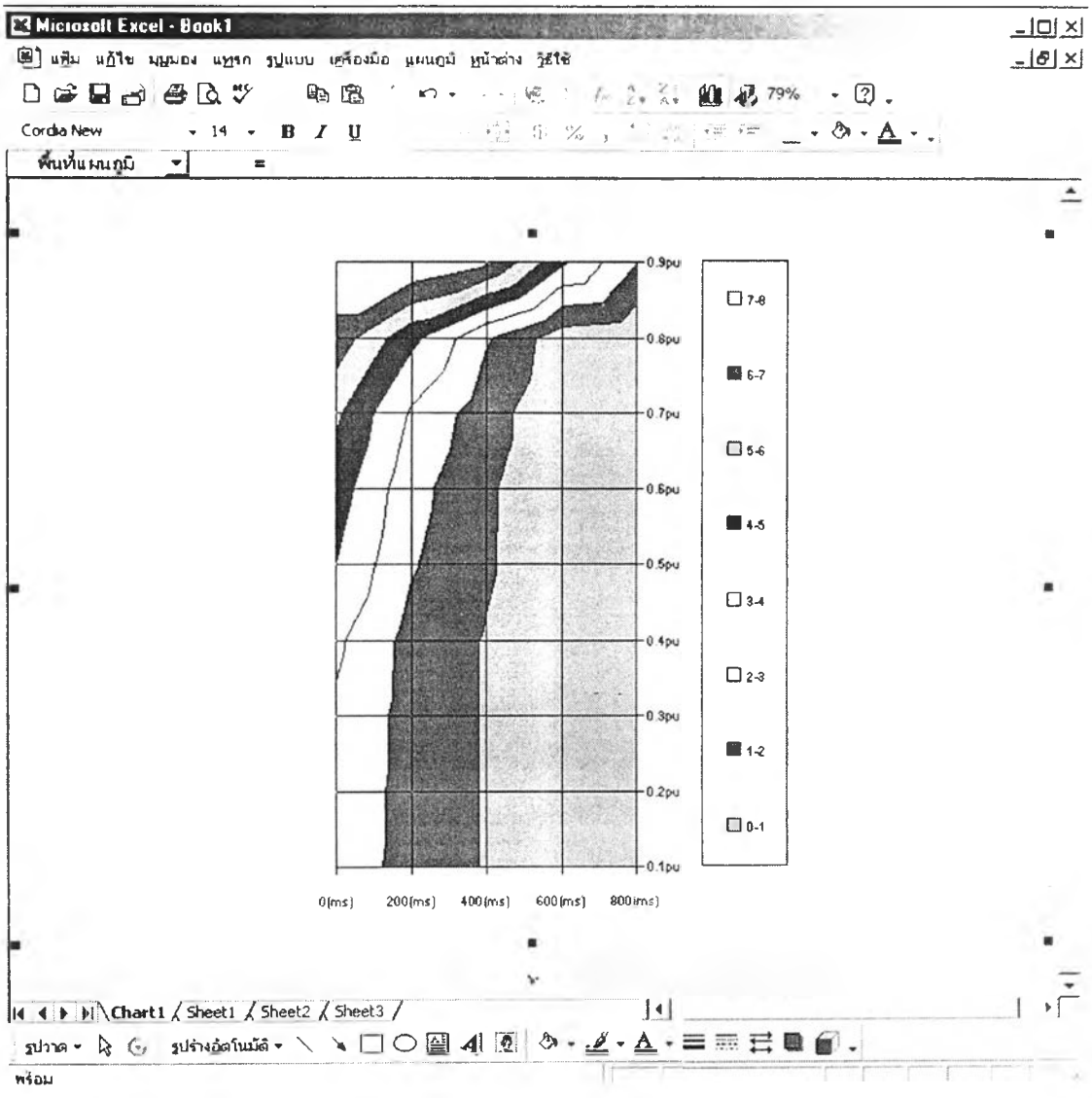
1. ค่าความต้านทานฟอลต์มีหน่วยเป็นโอมห์ (Ohm)
2. จำนวนตำแหน่งฟอลต์ที่ต้องการให้เกิดบนลายส่งแต่ละเส้น
3. รูปแบบของขนาดแรงดันตกชั่วขณะที่ต้องการประเมิน มีให้เลือก 3 แบบ คือ
   - ขนาดแรงดันตกชั่วขณะที่ต่ำที่สุดใน 3 เฟส (Minimum in 3 phase)
   - แต่ละเฟส แยกเป็นอิสระจากกัน (Isolate 3 phase)
   - ค่าเฉลี่ยจากทั้ง 3 เฟส (Average from 3 phase)

ในกรณีที่ทราบข้อมูลของอุปกรณ์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน สามารถใส่ข้อมูลลงไปเพื่อให้โปรแกรมแสดงค่าผลกระทบจากแรงดันตกชั่วขณะจากระบบ ณ ตำแหน่งที่อุปกรณ์ติดตั้งอยู่ได้โดยใส่ข้อมูลในส่วนของ Load telorance ดังนี้

1. เลือกรูปแบบของอุปกรณ์ว่าเป็นแบบที่มีความไวเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากหรือแบบที่ไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก
2. ใส่ข้อมูลความคงทน (telorance) ต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันและระยะเวลาการเกิดแรงดันตกชั่วขณะของอุปกรณ์
3. กรณีที่เลือกแบบที่ไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากต้องใส่ค่าความคงทน (telorance) ทั้งขนาดแรงดันและระยะเวลา ของทั้ง 2 ขอบเขต (Region)

นอกจากนี้สามารถใช้ข้อมูลมาตรฐานในการประเมินโดยเลือกข้อมูลอุปกรณ์จากมาตรฐาน SEMI F47 หรือ มาตรฐาน ITIC

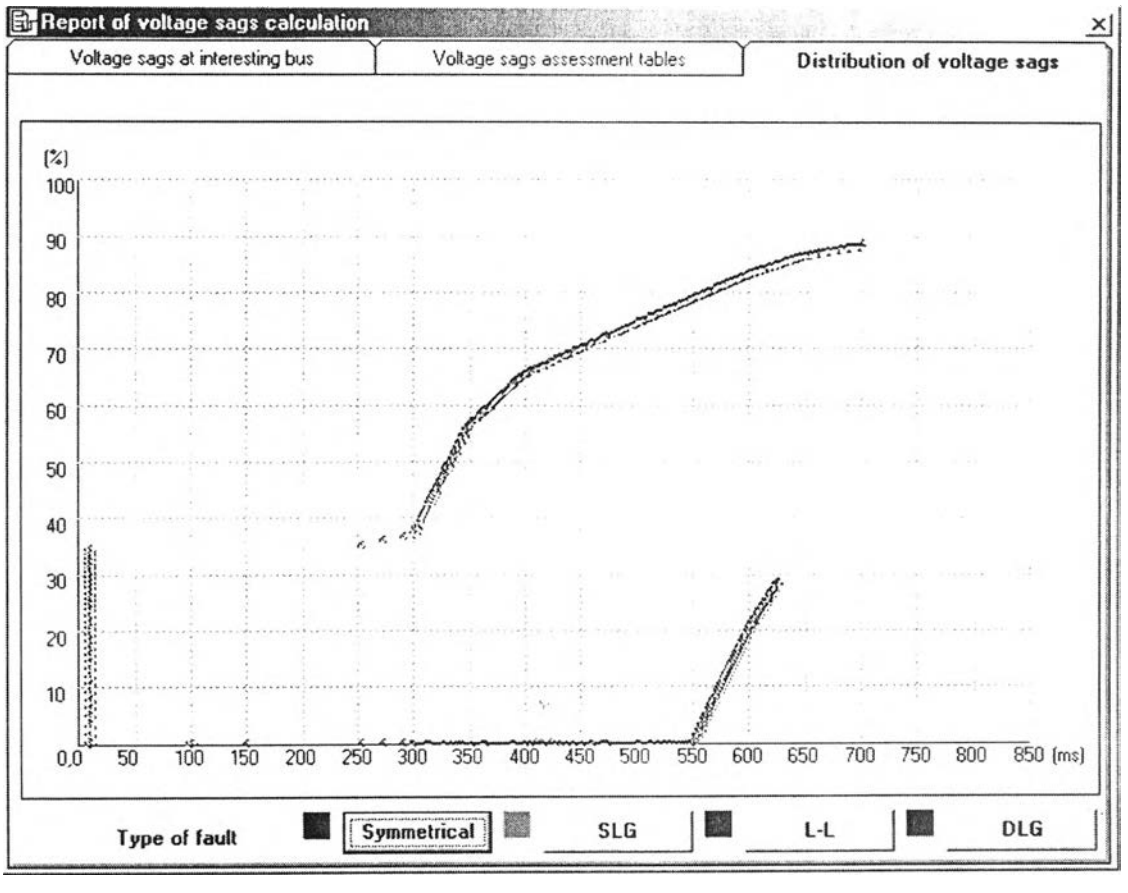
เมื่อทำการประเมินแรงดันตกชั่วขณะแล้วสามารถเรียกดูแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะ (Voltage sags coordination chart) ได้โดยการเลือกที่ปุ่ม Coordination chart จากนั้นโปรแกรมจะแสดงแผนภูมิออกมาให้ภายในโปรแกรมประยุกต์แบบไมโครซอฟต์เอกเซลล์ (Microsoft Excel) ซึ่งสามารถตั้งค่ารายละเอียดของแผนภูมิและบันทึกเก็บไว้ในรูปแบบเอกสารของเอกเซลล์ (Excel file) ได้ ดังรูปที่ 4.22




รูปที่ 4.22 หน้าจอโปรแกรมสำหรับแสดงแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะ

ส่วนที่สามจะอยู่ที่แถบ Distribution of voltage sags ในส่วนนี้เมื่อทำการประเมินเสร็จแล้วในแต่ละครั้งสามารถเลือกเพื่อดูการกระจายตัวของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นจากฟอลต์แต่ละแบบได้ดังรูปที่ 4.23 ในรูปแบบของแรงดันกับระยะเวลา ซึ่งแสดงให้เห็นความแตกต่างของแรงดันตกชั่วขณะจากฟอลต์แต่ละแบบโดยใช้สีที่แตกต่างกันโดยแต่ละแบบมีรายละเอียดดังนี้

- สีฟ้า แทนตำแหน่งที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะจากฟอลต์แบบสมมาตร
- สีเขียว แทนตำแหน่งที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะจากฟอลต์ลงดินเส้นเดียว
- สีแดง แทนตำแหน่งที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะจากฟอลต์สองเส้น
- สีม่วง แทนตำแหน่งที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะจากฟอลต์ลงดินสองเส้น

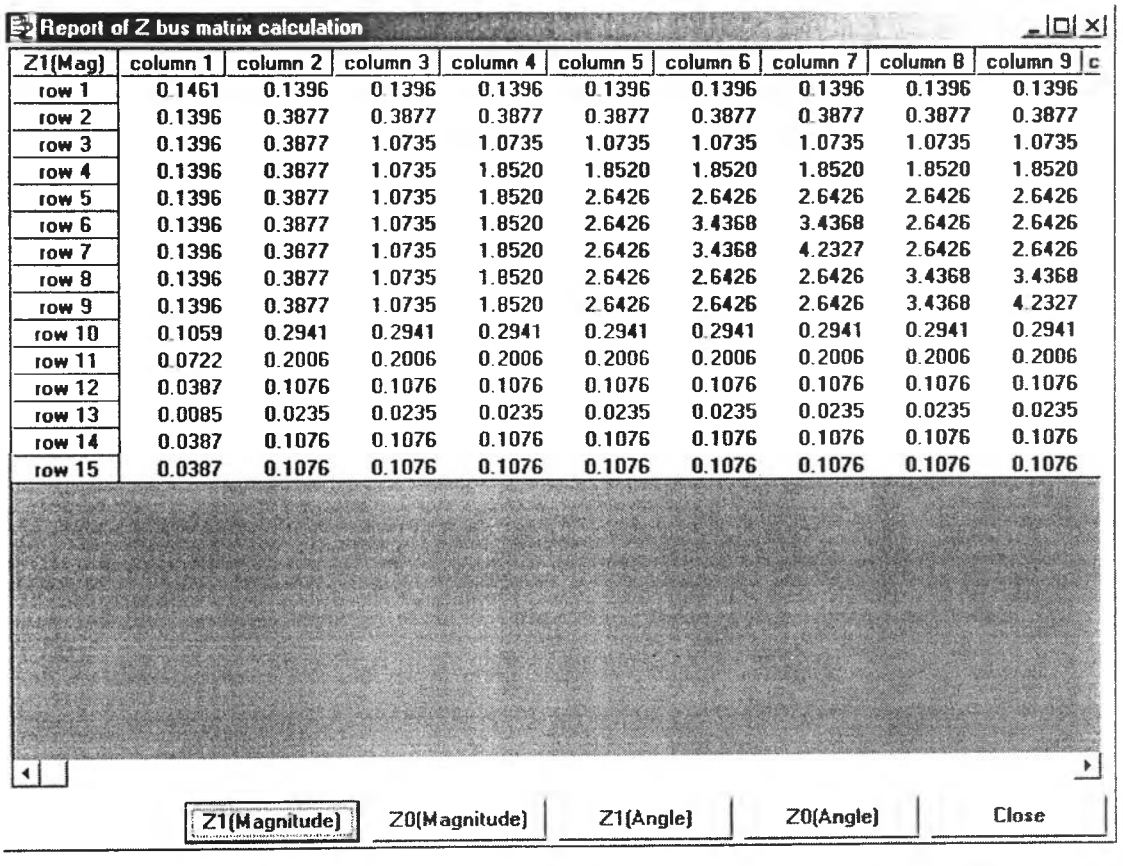



รูปที่ 4.23 หน้าจอโปรแกรมสำหรับการแสดงการกระจายตัวของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ

### 4.5.3 **บัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์** (Bus impedance matrix)

การสั่งให้โปรแกรมทำการคำนวณฟอลต์หรือทำการประเมินแรงดันตกชั่วขณะ ดังที่กล่าวมาแล้วโปรแกรมจะทำการคำนวณบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ (Bus impedance matrix) ก่อนเสมอ ดังนั้นถ้าต้องการให้โปรแกรมแสดงค่าบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ สามารถทำได้โดยเลือกที่เมนูหลัก

Report บนหน้าจอหลักของโปรแกรมแล้วเลือกที่เมนูย่อย Zbus หรือเลือกที่เมนูลัดบนทูลบาร์จะเป็นรูป จากนั้นโปรแกรมจะแสดงหน้าจอโปรแกรมแสดงผลการคำนวณบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ ดังรูปที่ 4.24




รูปที่ 4.24 หน้าจอโปรแกรมสำหรับการแสดงผลการคำนวณบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์

ค่าที่แสดงคือค่าของอิมพีแดนซ์ลำดับบวกและลำดับศูนย์ในบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์โดยจะแยกแสดงเป็นขนาด (Magnitude) มีหน่วยเป็นเปอร์ยูนิตและมุม (Angle) มีหน่วยเป็นองศา (Degree)