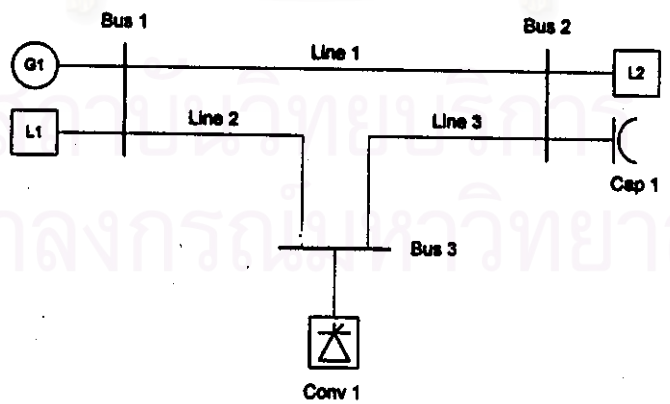
บทที่ 4

การคำนวณกระแสฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้ระบบจำลอง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอวิธีการคำนวณการไหลของกระแสฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลังโดยการทำเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อให้เกิดความสะดวกแก่ผู้ใช้งาน โดยได้ใช้โปรแกรมวิชวลเบสิค รุ่นเอนเตอร์ไพรส์ 4.0 (Microsoft Visual Basic 4.0 Enterprise) เป็นเครื่องมือในการพัฒนา โปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้ให้ขีดความสามารถดีพอสมควร ใช้ภาษาที่ง่ายต่อการทำงานของโปรแกรม ทั้งยังสามารถติดต่อกับผู้ใช้ได้สะดวก เข้าใจง่าย ตอบสนองต่อการทำงานของผู้ใช้โปรแกรมได้คล่องตัวตามต้องการ โดยไม่ต้องเรียงลำดับก่อนหลังเหมือนวิธีการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในรุ่นก่อน ๆ ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการที่ใช้ในการคำนวณการไหลของ กระแสฮาร์มอนิก และการพัฒนาขึ้นเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์

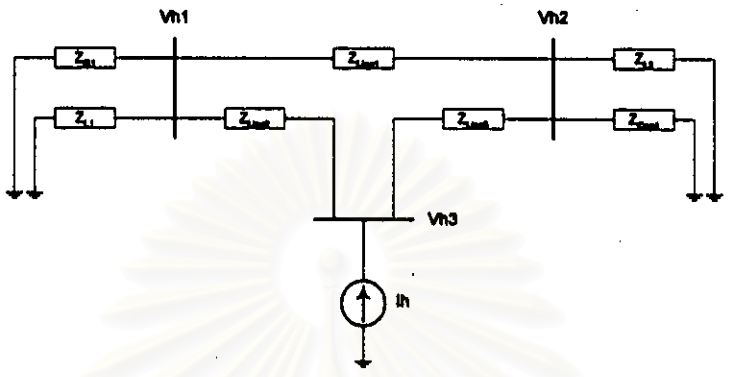
4.1 การคำนวณการไหลของกระแสฮาร์มอนิก

การคำนวณการไหลของกระแสฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลังสามารถทำได้โดยพิจารณาระบบตัวอย่างดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ระบบตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์หาการไหลของกระแสฮาร์มอนิก

จากระบบไฟฟ้าในรูปที่ 4.1 สามารถแปลงเป็นวงจรสมมูลเพื่อใช้วิเคราะห์การไหลของกระแสฮาร์มอนิกได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 วงจรสมมูลที่ความถี่ฮาร์มอนิกของระบบในรูปที่ 4.1

เมื่อ V_{h1} , V_{h2} และ V_{h3} แทนแรงดันฮาร์มอนิกที่บัสที่ 1 บัสที่ 2 และบัสที่ 3 ตามลำดับ

I_h แทนแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์มอนิก

Z_{G1} แทนอิมพีแดนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ความถี่ฮาร์มอนิก

Z_{L1} และ Z_{L2} แทนอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ฮาร์มอนิกของโหลดที่ 1 และโหลดที่ 2 ตามลำดับ

Z_{line1} , Z_{line2} และ Z_{line3} แทนอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ฮาร์มอนิกของสายส่งที่ 1 สายส่งที่ 2 และสายส่งที่ 3 ตามลำดับ

Z_{cap1} แทนอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุไฟฟ้า

จากวงจรสมมูลรูปที่ 4.2 สามารถทำการสร้าง Y_{BUS} หรือเขียนว่า $[Y_h]$ ได้โดยการแทนค่าอิมพีแดนซ์ของแต่ละส่วนของระบบดังสมการที่ (4.1)

$$Y_{BUS} = \begin{bmatrix} \frac{1}{Z_{G1}} + \frac{1}{Z_{L1}} + \frac{1}{Z_{Line1}} + \frac{1}{Z_{Line2}} & -\frac{1}{Z_{Line1}} & -\frac{1}{Z_{Line2}} \\ -\frac{1}{Z_{Line1}} & \frac{1}{Z_{Cap1}} + \frac{1}{Z_{L2}} + \frac{1}{Z_{Line1}} + \frac{1}{Z_{Line3}} & -\frac{1}{Z_{Line3}} \\ -\frac{1}{Z_{Line2}} & -\frac{1}{Z_{Line3}} & \frac{1}{Z_{Line2}} + \frac{1}{Z_{Line3}} \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

จาก $[I_h] = [Y_h][V_h]$ ตาม [7] ดังนั้นจะได้ว่า

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ I_h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{Z_{G1}} + \frac{1}{Z_{L1}} + \frac{1}{Z_{Line1}} + \frac{1}{Z_{Line2}} & -\frac{1}{Z_{Line1}} & -\frac{1}{Z_{Line2}} \\ -\frac{1}{Z_{Line1}} & \frac{1}{Z_{Cap1}} + \frac{1}{Z_{L2}} + \frac{1}{Z_{Line1}} + \frac{1}{Z_{Line3}} & -\frac{1}{Z_{Line3}} \\ -\frac{1}{Z_{Line2}} & -\frac{1}{Z_{Line3}} & \frac{1}{Z_{Line2}} + \frac{1}{Z_{Line3}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{h1} \\ V_{h2} \\ V_{h3} \end{bmatrix} \tag{4.2}$$

เมื่อทราบ $[I_h]$ และ $[Y_h]$ ทำให้สามารถหาค่าของ $[V_h]$ ได้ ซึ่งเป็นแรงดันที่ความถี่ฮาร์มอนิกของแต่ละบัส ดังนั้นจึงสามารถที่จะหาขนาดของกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลในสายส่งและกระแสฮาร์มอนิกในอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ กล่าวคือ

กระแสฮาร์มอนิกในสายส่งเส้นที่ 1 ที่ไหลจากบัสที่ 1 ไปยังบัสที่ 2 เป็นดังนี้

$$I_{h,Line1} = \frac{V_{h1} - V_{h2}}{Z_{Line1}} \tag{4.3}$$

กระแสฮาร์มอนิกที่ไหลเข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า G_1 เป็นดังนี้

$$I_{h,G1} = \frac{V_{h1}}{Z_{G1}} \tag{4.4}$$

กระแสฮาร์มอนิกที่ไหลในส่วนอื่น ๆ สามารถหาได้ในทำนองเดียวกัน คือถ้าเป็นสายส่งพลังงานไฟฟ้าใช้รูปแบบสมการที่ (4.3) ในขณะที่อุปกรณ์อื่น ๆ ใช้ตามแบบสมการที่ (4.4)

จากขั้นตอนที่กล่าวมาสามารถสรุปเป็นขั้นตอนดังนี้

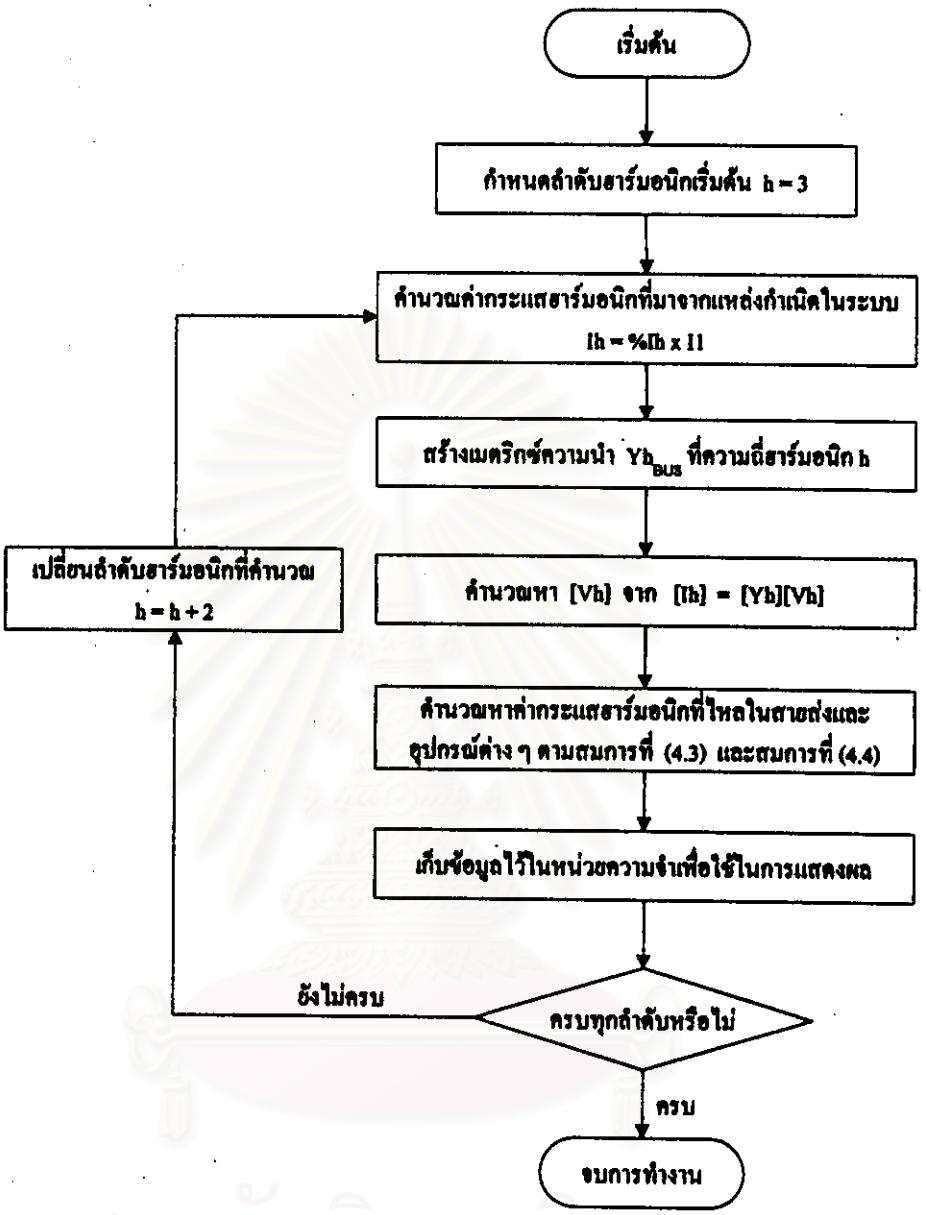
1) จากระบบไฟฟ้าแปลงเป็นวงจรสมมูลที่ความถี่ฮาร์มอนิกที่ต้องการวิเคราะห์

2) จากวงจรสมมูล ทำการสร้าง Y_{BUS} ที่ความถี่ฮาร์มอนิกนั้น

3) หา V_h ของแต่ละบัส

4) หา I_h ที่ไหลในส่วนต่าง ๆ ของระบบ

หรือสามารถเขียนเป็นแผนผังได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการคำนวณการไหลของกระแสฮาร์มอนิก

เมื่อจบการคำนวณการไหลของกระแสฮาร์มอนิกแล้ว ผลที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกระแสฮาร์มอนิกจะทำให้ทราบค่าต่าง ๆ ดังนี้

1) ค่ากระแสฮาร์มอนิกที่ไหลผ่านในส่วนต่าง ๆ ของระบบทั้งสายส่งและอุปกรณ์แต่ละตัว รวมทั้งค่าความผิดเพี้ยนทางฮาร์มอนิกรวมของกระแส
2) ค่าแรงดันฮาร์มอนิกที่บัสและค่าความผิดเพี้ยนทางฮาร์มอนิกรวมของแรงดันที่บัส ซึ่งข้อมูลนี้สามารถนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับมาตรฐานด้านฮาร์มอนิกต่าง ๆ ได้

4.1.1 ค่ากระแสฮาร์มอนิกที่ไหลผ่านอุปกรณ์และค่าความผิดเพี้ยนทางฮาร์มอนิกรวมของกระแสของอุปกรณ์ต่าง ๆ

$$I_{hT} = \sqrt{\sum_{h=3}^{49} I_h^2} \tag{4.5}$$

$$THD_I = \frac{I_{hT}}{I_1} \times 100\ \% \tag{4.6}$$

เมื่อ I_{hT} = ค่ากระแสฮาร์มอนิกรวมที่ไหลผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ

I_1 = ค่ากระแสความถี่หลักมูลที่ไหลผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ

I_h = ค่ากระแสฮาร์มอนิกลำดับ h ที่ไหลผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ

THD_I = ค่าความผิดเพี้ยนทางฮาร์มอนิกรวมของกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ

h = ลำดับของฮาร์มอนิก

4.1.2 ค่าแรงดันฮาร์มอนิกที่บัสและค่าความผิดเพี้ยนทางฮาร์มอนิกรวมของแรงดันที่บัส

ค่าแรงดันฮาร์มอนิก V_h ที่บัสต่าง ๆ และค่าความผิดเพี้ยนทางฮาร์มอนิกรวมของแรงดัน (Total Harmonic Distortion of Voltage : THD_V) ในวิทยานิพนธ์นี้ จะยึดตามมาตรฐาน IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems (IEEE 519 : 1992) [6] ซึ่งระบุไว้ว่า

$$V_{hT} = \sqrt{\sum_{h=3}^{49} V_h^2} \tag{4.7}$$

$$THD_V = \frac{V_{hT}}{V_1} \times 100\ \% \tag{4.8}$$

เมื่อ V_{hT} = ค่าแรงดันฮาร์มอนิกรวมที่บัสต่าง ๆ

V_1 = ค่าแรงดันความถี่หลักมูลที่บัสต่าง ๆ

V_h = ค่าแรงดันที่ฮาร์มอนิกลำดับ h ที่บัสต่าง ๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

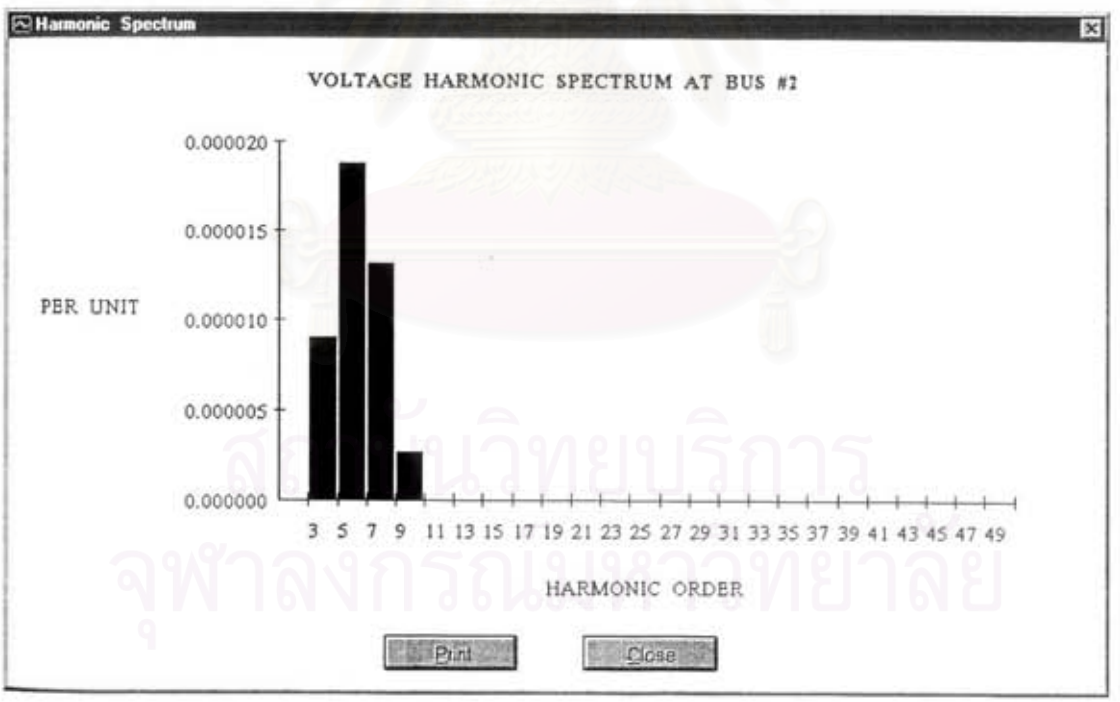
THD_V = ค่าความผิดเพี้ยนทางฮาร์มอนิกรวมของแรงดันที่บัสต่าง ๆ

h = ลำดับของฮาร์มอนิก

ตามสมการที่ (4.6) จะพบว่าค่า THD_i ที่ได้อาจจะมีค่าเกิน 100 % ได้ หากว่าในระบบมีกระแสฮาร์มอนิกปนอยู่มาก

4.1.3 ฮาร์มอนิกสเปคตรัมของแรงดันฮาร์มอนิกที่บัสและกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ

ฮาร์มอนิกสเปคตรัมจะแสดงเป็นรูปกราฟแท่ง (Bar Graph) โดยจะแสดงตั้งแต่ฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 ถึงลำดับที่ 49 ตัวอย่างของฮาร์มอนิกสเปคตรัมเป็นดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างฮาร์มอนิกสเปคตรัมของแรงดันที่บัส

4.2 การคำนวณโหลดโฟล์ว

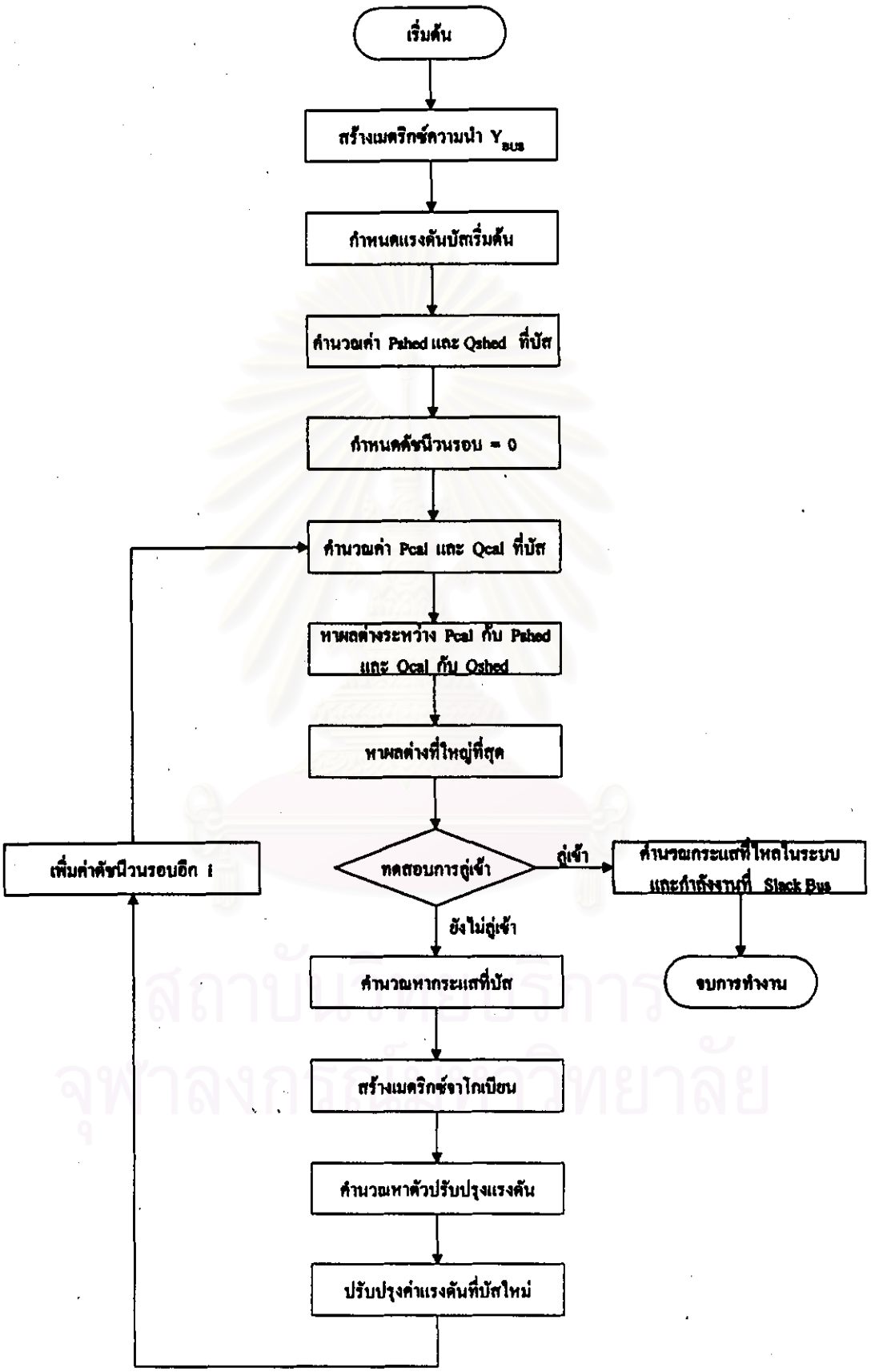
การคำนวณหาค่ากระแสฮาร์มอนิกที่ไหลในส่วนต่าง ๆ ของระบบไฟฟ้าตามหัวข้อที่ 4.1 ที่กล่าวมาแล้ว จำเป็นต้องทราบค่ากระแสฮาร์มอนิกที่แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกปล่อยออกมาสู่ระบบไฟฟ้า หรือ $[I_h]$ ซึ่งถือเป็นจุดสำคัญที่จะคำนวณหาค่าแรงดันฮาร์มอนิกที่บัสต่าง ๆ ในสมการที่ (4.2) ต่อไป ในวิทยานิพนธ์นี้ที่มาของ $[I_h]$ มีได้สองกรณีคือ

1) ถ้าทราบขนาดของกระแสฮาร์มอนิกที่ปล่อยออกมาเป็นค่าจริง เช่นเกิดจากกรณีที่มีผู้วัดขนาดกระแสฮาร์มอนิกออกมาเป็นแอมแปร์ (Ampere) ก็สามารถที่จะทราบ $[I_h]$ ได้ทันที และสามารถที่จะคำนวณตามสมการที่ (4.2) ได้ กรณีนี้ไม่จำเป็นต้องมีการคำนวณโหลดโฟล์วก่อน
2) ในกรณีที่ทราบค่าขนาดของกระแสฮาร์มอนิกในรูปของเปอร์เซ็นต์ของกระแสคอนเวอร์เตอร์ที่ความถี่หลักมูล ($\% \times I_1$) กรณีนี้ต้องมีการคำนวณโหลดโฟล์วก่อนเพื่อหาค่ากระแสของคอนเวอร์เตอร์แต่ละตัวที่ความถี่หลักมูล เพราะการกำหนดขนาดของคอนเวอร์เตอร์ได้กำหนดเป็น $P + jQ$ ถือเป็นค่าคงที่สำหรับคอนเวอร์เตอร์แต่ละตัว ดังนั้นขนาดกระแสที่ความถี่หลักมูลจึงขึ้นกับขนาดของแรงดันที่บัสนั่นเอง เหตุนี้จึงต้องมีการคำนวณโหลดโฟล์วก่อน วิทยานิพนธ์นี้ใช้การคำนวณโหลดโฟล์วตามวิธีของนิวตัน - ราฟสันโดยใช้ Y_{BUS} [5] เนื่องจากเหตุผลที่ว่าใช้เวลาในการคำนวณน้อย และคำตอบที่ได้ก็เป็นที่ยอมรับได้

อย่างไรก็ตามในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้การคำนวณแบบพื้นฐาน (Base Case) โดยมีข้อกำหนดดังนี้

1) บัสที่ 1 กำหนดให้เป็นบัสอ้างอิง
2) ให้ทุกบัสในระบบเป็นโหลดบัส ยกเว้นบัสที่ 1

ขั้นตอนการคำนวณโหลดโฟล์ว เป็นไปตามรูปที่ 4.5



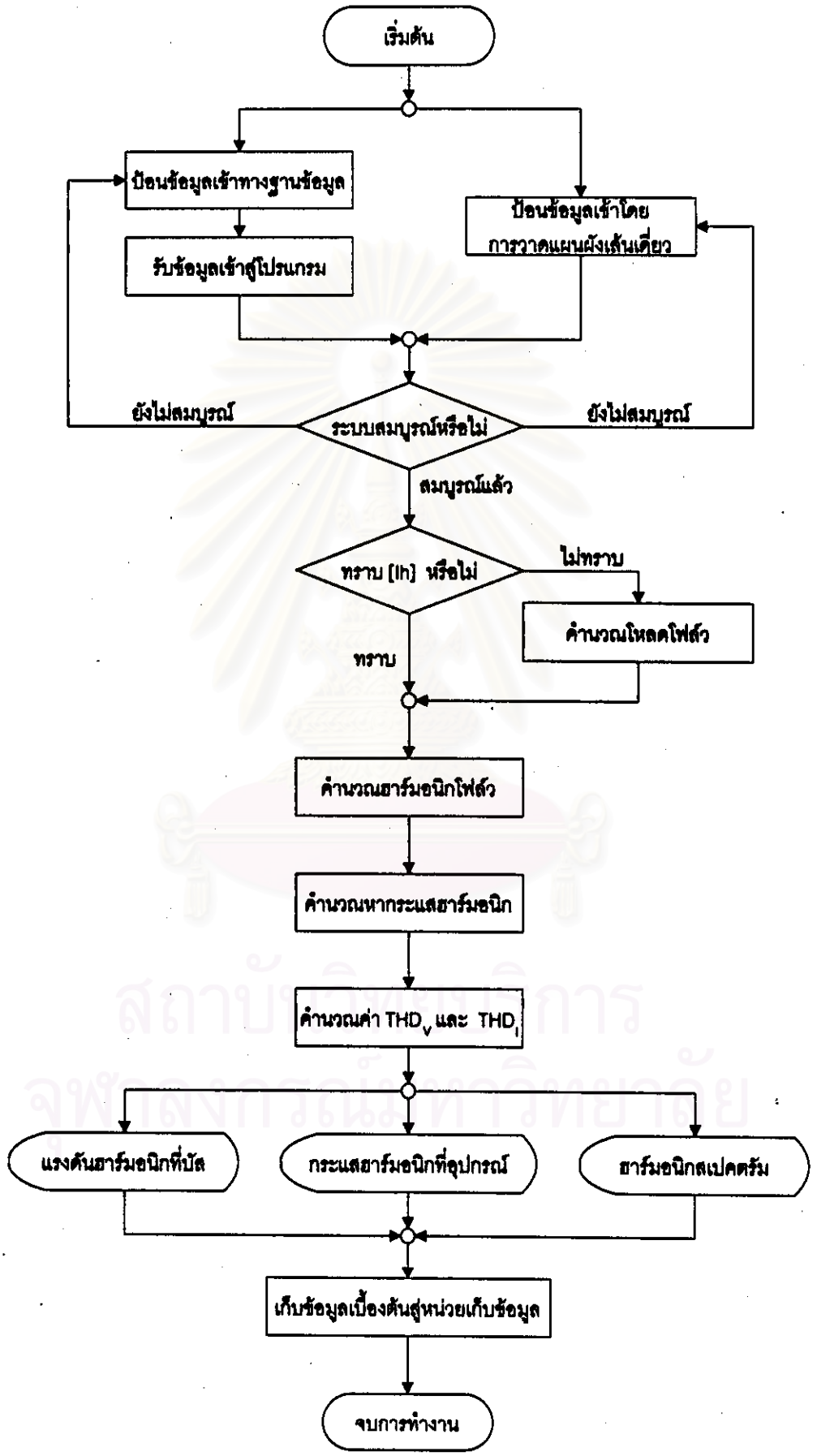
รูปที่ 4.5 การคำนวณโหลดโฟล์วแบบนิวตัน - ราฟสัน โดยใช้ Y_{BUS}

4.3 โครงสร้างของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

สำหรับการคำนวณการไหลของกระแสฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก ๆ ผู้วิเคราะห์ระบบอาจสามารถคำนวณได้โดยการคำนวณด้วยมือหรือใช้เครื่องคำนวณอิเล็กทรอนิกส์ตามวิธีการดังกล่าวข้างต้น แต่หากว่าระบบมีความซับซ้อนมากขึ้นหรือมีขนาดใหญ่ขึ้น การคำนวณอาจไม่สะดวกและลำบากมาก ดังนั้นจึงมีการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อความสะดวกรวดเร็วในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นสามารถที่สร้างระบบไฟฟ้าที่ผู้ใช้ต้องการขึ้นได้สองวิธีคือ การสร้างแผนภาพเส้นเดียว (Single Line Diagram) ลงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์โดยตรงและการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลที่สร้างจากโปรแกรมไมโครซอฟท์เอคเซส (Microsoft Access) เมื่อกรณีที่ระบบที่ต้องการวิเคราะห์มีขนาดใหญ่จนไม่สามารถที่จะเขียนแผนภาพเส้นเดียวได้บนหนึ่งหน้าจอคอมพิวเตอร์

ข้อมูลของระบบไฟฟ้าทั้งที่ได้จากการสร้างแผนภาพเส้นเดียวและที่ได้จากฐานข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะนำไปสร้างเป็นตัวแทนของระบบไฟฟ้า ในที่นี้จะใช้เมตริกซ์ความนำ (Admittance Matrix : Y_{BUS}) เป็นตัวแทนของระบบ จากนั้นหากทราบกระแสฮาร์มอนิกแต่ละลำดับฮาร์มอนิกที่แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกปล่อยออกมาสู่ระบบ ก็สามารถคำนวณการไหลของกระแสฮาร์มอนิกในส่วนต่าง ๆ ของระบบได้ แต่หากกระแสฮาร์มอนิกถูกกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของกระแสที่ความถี่หลักมูลของคอนเวอร์เตอร์ ก็ต้องคำนวณโหลดโฟล์วก่อนด้วย วิธีนิวตัน - ราฟสัน ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.2 เพื่อหาขนาดของกระแสของคอนเวอร์เตอร์ที่ความถี่หลักมูล จึงสามารถที่จะทราบค่ากระแสฮาร์มอนิกแต่ละลำดับที่ถูกผลิตออกมา จากนั้นจึงจะทำการคำนวณหาการไหลของกระแสฮาร์มอนิกในระบบที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นเป้าหมายของวิทยานิพนธ์นี้ได้ โครงสร้างของโปรแกรมเป็นดังรูปที่ 4.6



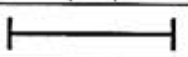
รูปที่ 4.6 แผนผังการทำงานของโปรแกรม

4.4 การป้อนข้อมูลเข้าสู่ระบบจำลอง

ดังที่ได้กล่าวแล้วว่าการป้อนข้อมูลสามารถทำได้สองวิธีคือการสร้างแผนภาพเส้นเดี่ยว และการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลโดยโปรแกรมไมโครซอฟท์เอคเซส ในที่นี้จะกล่าวถึงแต่ละวิธีโดยละเอียดดังนี้

4.4.1 การสร้างแผนภาพเส้นเดี่ยว

จากสมมติฐานของวิทยานิพนธ์ที่ตั้งไว้ว่า ระบบที่จะทำการวิเคราะห์จะอยู่ในสภาวะที่สมดุลกันทั้งสามเฟสจึงใช้แบบจำลองหนึ่งเฟสเป็นตัวแทนของระบบไฟฟ้าได้ แผนภาพเส้นเดี่ยวจึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมและนิยมใช้ ผู้ใช้สามารถเลือกอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่จะสร้างแผนภาพเส้นเดี่ยวได้โดยการเลือกรูปภาพของอุปกรณ์ที่มีอยู่ในโปรแกรม ดังตารางที่ 4.1

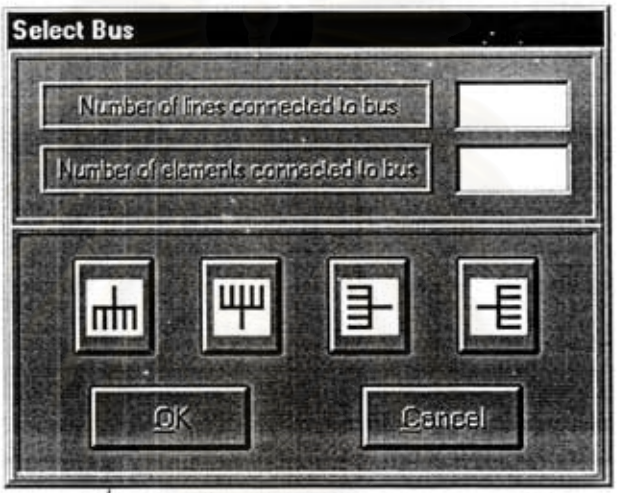
รูปภาพ	ความหมาย	รายละเอียด
	บัส	มีให้เลือก 4 ทิศทาง
	เครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้า	มีให้เลือก 4 ทิศทาง
	โหลด	มีให้เลือก 4 ทิศทาง
	หม้อแปลงไฟฟ้า	มีให้เลือก 2 ทิศทาง
	คอนเวอร์เตอร์	มีให้เลือก 4 ทิศทาง
	คาปาซิเตอร์	มีให้เลือก 4 ทิศทาง
	ตัวกรองฮาร์มอนิก	มีให้เลือก 4 ทิศทาง
	สายส่งพลังงานไฟฟ้า	-

ตารางที่ 4.1 รูปภาพอุปกรณ์ต่าง ๆ

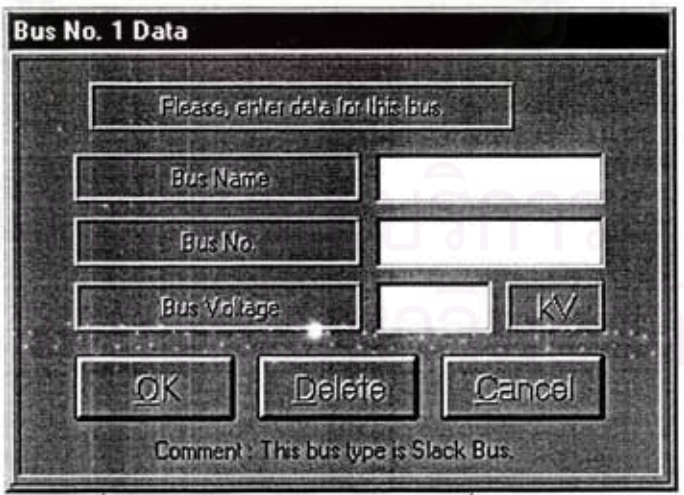
ตารางที่ 4.1 เป็นเพียงตัวอย่างหนึ่งสำหรับอุปกรณ์แต่ละแบบเท่านั้น ข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการคำนวณสำหรับอุปกรณ์แต่ละอย่างมีดังนี้

บัส ต้องการข้อมูลดังนี้

1) จำนวนของสายส่งพลังงานไฟฟ้าที่ต่ออยู่ที่บัส
2) จำนวนของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ที่บัส
3) ชื่อของบัส
4) หมายเลขที่บัส
5) แรงดันระบบที่บัส เป็นกิโลโวลท์ (KiloVolts)



รูปที่ 4.7 หน้าจอให้ผู้ใช้เลือกทิศทางของบัส

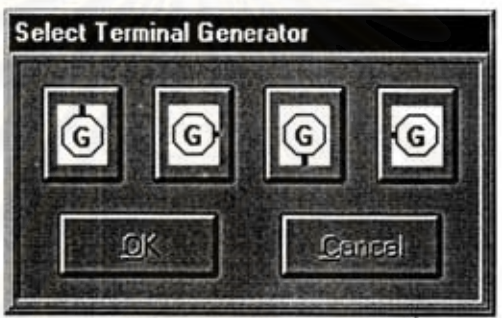


รูปที่ 4.8 หน้าจอให้ผู้ใช้ระบุข้อมูลที่จำเป็นของบัส

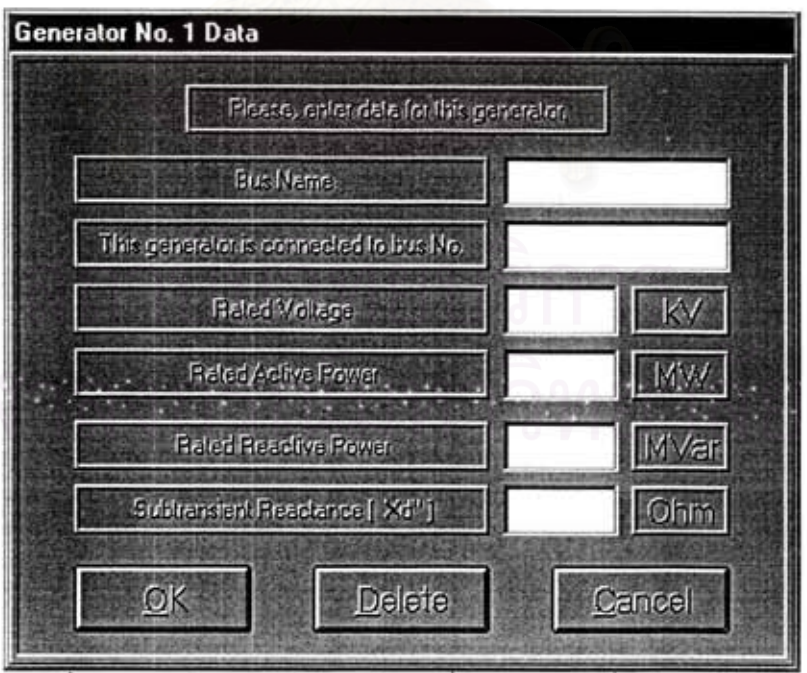
สำหรับข้อมูลของบัส โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะบังคับไว้ว่า บัสหมายเลขที่ 1 จะถูกกำหนดให้เป็นบัสอ้างอิง (Slack Bus : Reference Bus : Swing Bus) เสมอ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ต้องการข้อมูลดังนี้

1) ทิศทางที่ต้องการต่อในแผนภาพเส้นเดี่ยว
2) ชื่อของบัสที่ต่ออยู่
3) หมายเลขของบัสที่ต่ออยู่
4) ขนาดแรงดัน เป็นกิโลโวลท์
5) ขนาดกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ เป็นเมกกะวัตต์ (Megawatts)
6) ขนาดกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ เป็นเมกกะวาร์ (Megavars)
7) รีแอกแตนซ์ชั่วแวบ (Subtransient : X_d'') เป็นโอห์ม (Ohms)



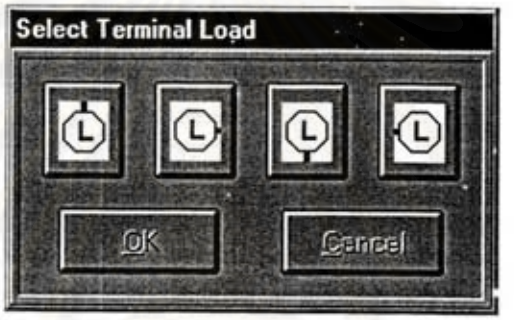
รูปที่ 4.9 หน้าจอให้ผู้ใช้เลือกทิศทางของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



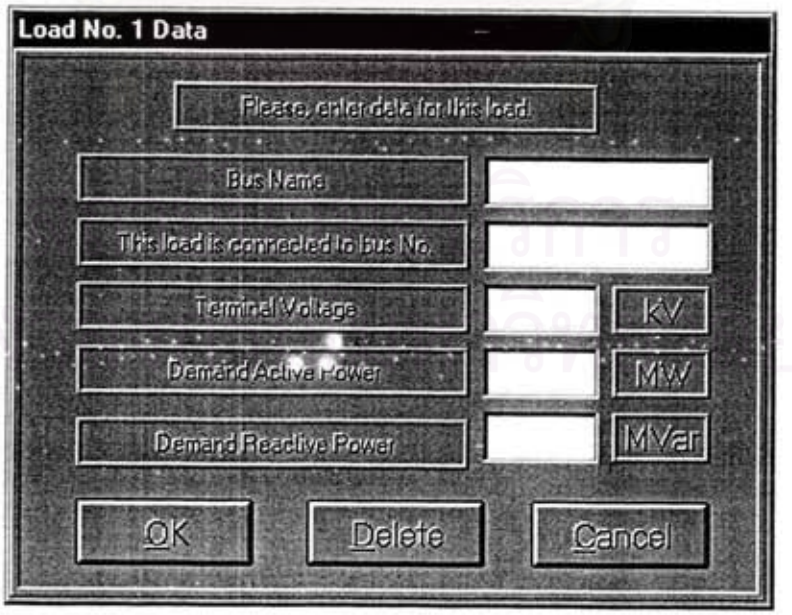
รูปที่ 4.10 หน้าจอให้ผู้ใช้ระบุข้อมูลที่จำเป็นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

โหลด ต้องการข้อมูลดังนี้

1) ทิศทางที่ต้องการต่อในแผนภาพเส้นเดี่ยว
2) ชื่อของบัสที่ต่ออยู่
3) หมายเลขของบัสที่ต่ออยู่
4) ขนาดแรงดัน เป็นกิโลโวลท์
5) ขนาดกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ เป็นเมกกะวัตต์
6) ขนาดกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ เป็นเมกกะวาร์



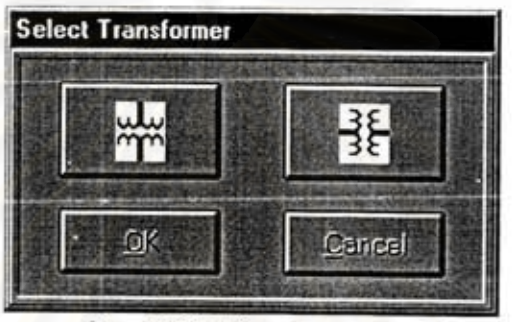
รูปที่ 4.11 หน้าจอให้ผู้ใช้เลือกทิศทางของโหลด



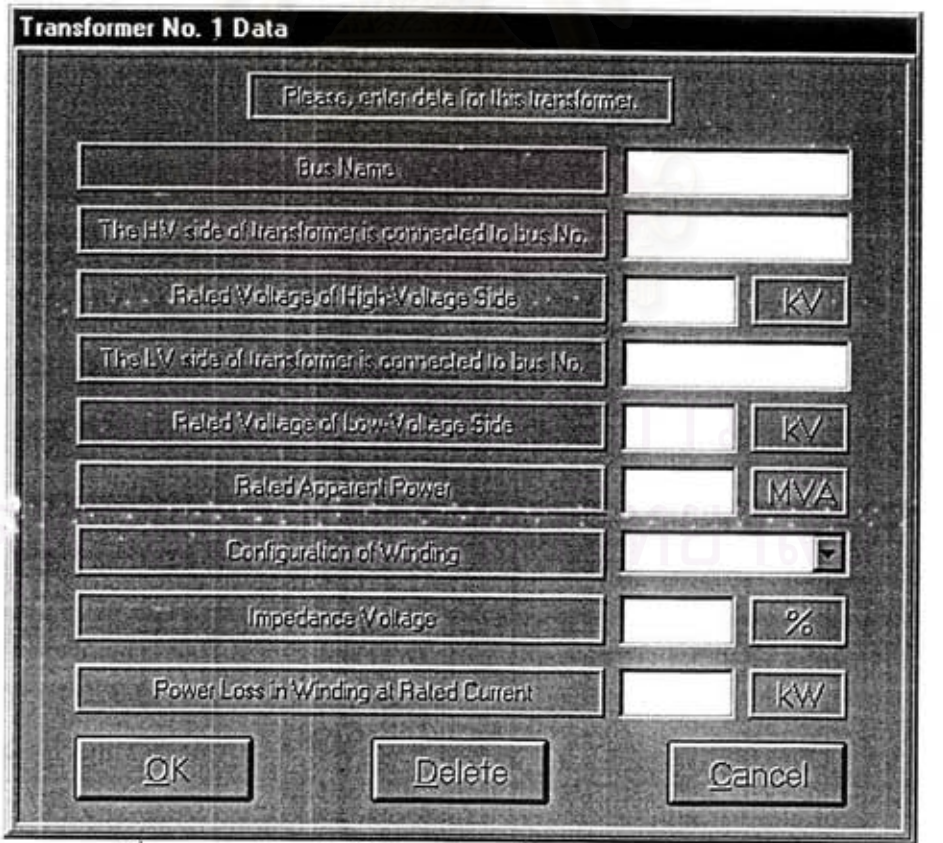
รูปที่ 4.12 หน้าจอให้ผู้ใช้ระบุข้อมูลที่จำเป็นของโหลด

หม้อแปลงไฟฟ้า ต้องการข้อมูลดังนี้

1) ทิศทางที่ต้องการต่อในแผนภาพเส้นเดี่ยว
2) ชื่อของบัสที่ต่ออยู่
3) หมายเลขของบัสทางด้านแรงสูงที่ต่ออยู่
4) ขนาดแรงดันพิกัดด้านแรงสูง เป็นกิโลโวลท์
5) หมายเลขของบัสทางด้านแรงต่ำที่ต่ออยู่
6) ขนาดแรงดันพิกัดด้านแรงต่ำ เป็นกิโลโวลท์
7) ขนาดกำลังไฟฟ้าพิกัด คิดเป็นเมกกะโวลท์ - แอมป์ (MegaVolt - Amps)
8) ลักษณะการต่อของขดลวดของหม้อแปลง
9) แรงดันลัดวงจรพิกัด เป็นเปอร์เซ็นต์
10) กำลังสูญเสียทั้งหมดในขดลวดของหม้อแปลงที่กระแสพิกัด เป็นกิโลวัตต์



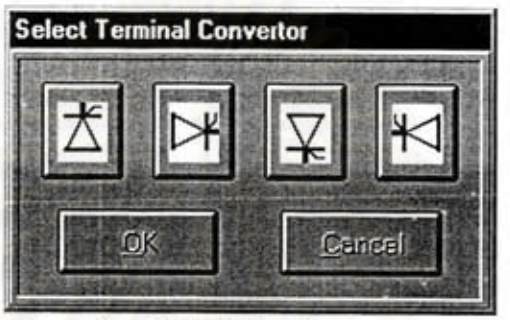
รูปที่ 4.13 หน้าจอให้ผู้ใช้เลือกทิศทางของหม้อแปลงไฟฟ้า



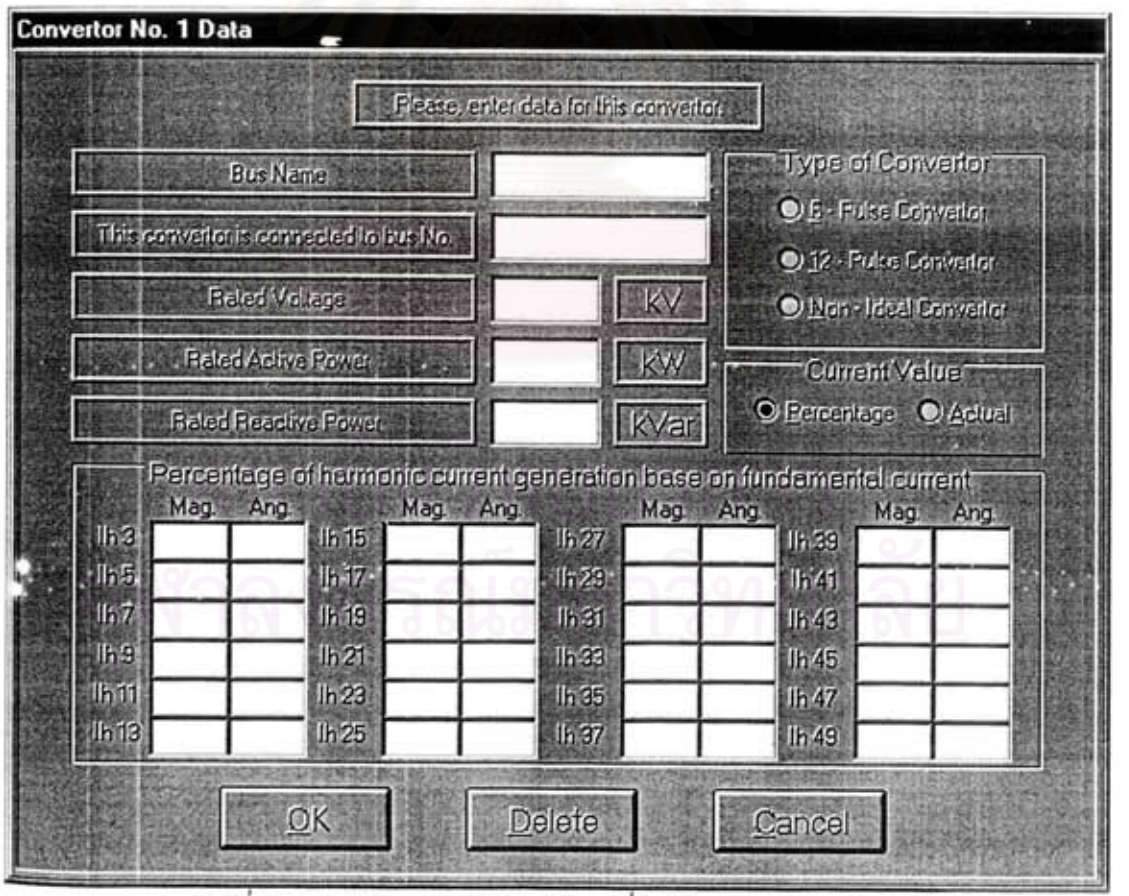
รูปที่ 4.14 หน้าจอให้ผู้ใช้ระบุข้อมูลที่จำเป็นของหม้อแปลงไฟฟ้า

คอนเวอร์เตอร์ ต้องการข้อมูลดังนี้

1) ทิศทางที่ต้องการต่อในแผนภาพเส้นเดี่ยว
2) ชื่อของบัสที่ต่ออยู่
3) หมายเลขของบัสที่ต่ออยู่
4) ขนาดแรงดัน เป็นกิโลโวลท์
5) ขนาดกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ เป็นกิโลวัตต์
6) ขนาดกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ เป็นกิโลวาร์
7) ชนิดของคอนเวอร์เตอร์
8) ขนาดของกระแสฮาร์มอนิกที่สร้างขึ้นมา



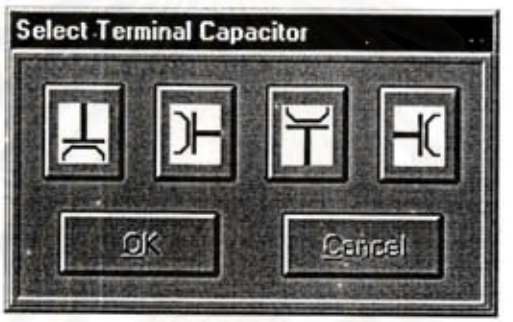
รูปที่ 4.15 หน้าจอให้ผู้ใช้เลือกทิศทางของคอนเวอร์เตอร์



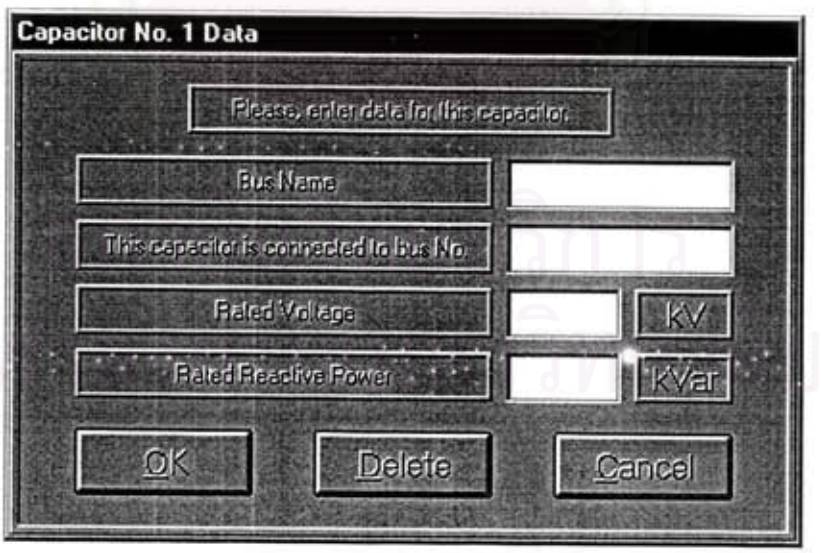
รูปที่ 4.16 หน้าจอให้ผู้ใช้ระบุข้อมูลที่จำเป็นของคอนเวอร์เตอร์

คาปาซิเตอร์ ต้องการข้อมูลดังนี้

1) ทิศทางที่ต้องการต่อในแผนภาพเส้นเดี่ยว
2) ชื่อของบัสที่ต่ออยู่
3) หมายเลขของบัสที่ต่ออยู่
4) ขนาดแรงดัน เป็นกิโลโวลท์
5) ขนาดกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ เป็นกิโลวาร์



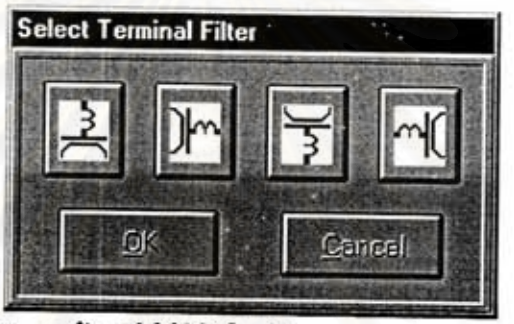
รูปที่ 4.17 หน้าจอให้ผู้ใช้เลือกทิศทางของคาปาซิเตอร์



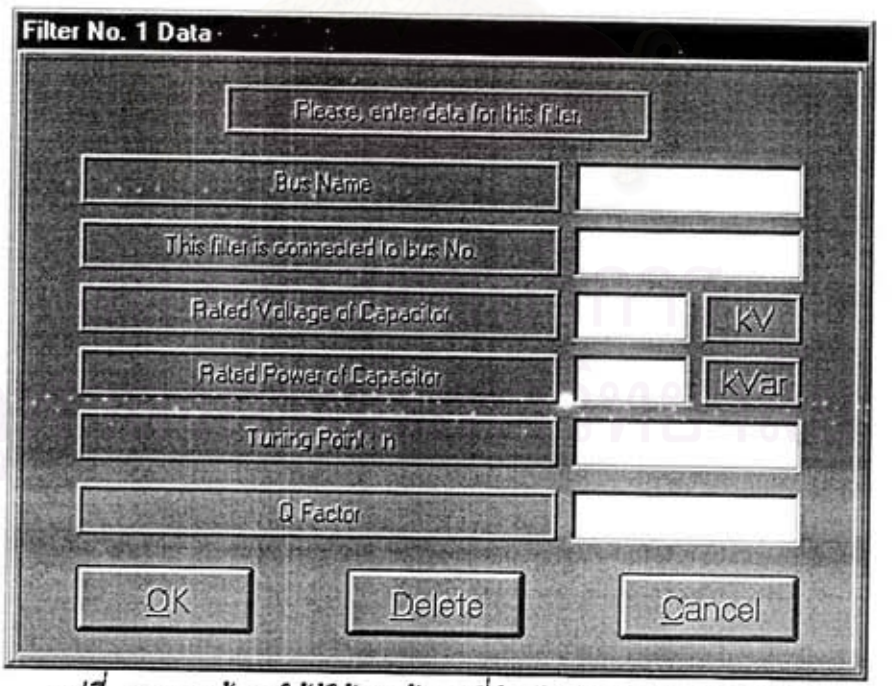
รูปที่ 4.18 หน้าจอให้ผู้ใช้ระบุข้อมูลที่จำเป็นของคาปาซิเตอร์

ตัวกรองฮาร์มอนิก ต้องการข้อมูลดังนี้

1) ทิศทางที่ต้องการต่อในแผนภาพเส้นเดี่ยว
2) ชื่อของบัสที่ต่ออยู่
3) หมายเลขของบัสที่ต่ออยู่
4) ขนาดแรงดันพิกัดของคาปาซิเตอร์ เป็นกิโลโวลท์
5) ขนาดกำลังไฟฟ้าพิกัดของคาปาซิเตอร์ เป็นกิโลวาร์
6) ความถี่ที่ต้องการกรอง (Tuning Point)
7) ค่า Q Factor



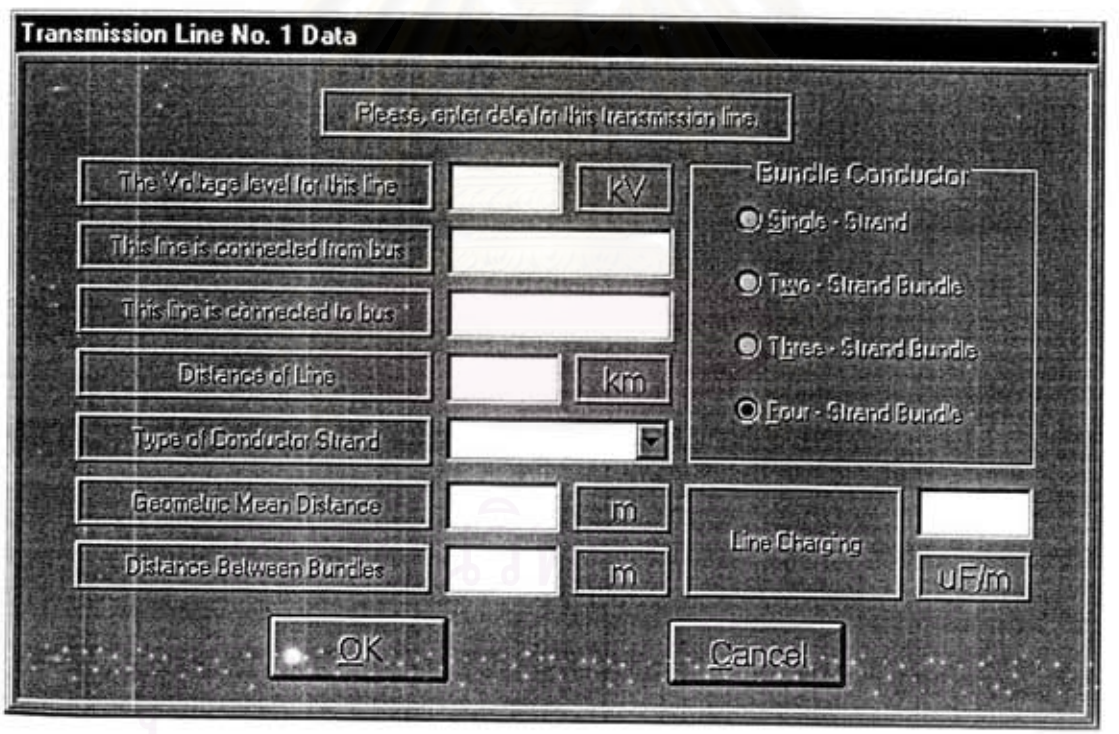
รูปที่ 4.19 หน้าจอให้ผู้ใช้เลือกทิศทางของตัวกรองฮาร์มอนิก



รูปที่ 4.20 หน้าจอให้ผู้ใช้ระบุข้อมูลที่จำเป็นของตัวกรองฮาร์มอนิก

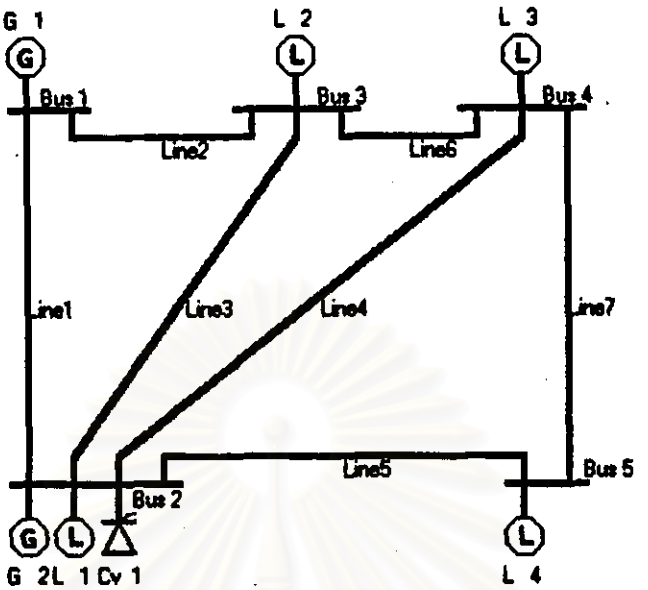
สายส่งพลังงานไฟฟ้า ต้องการข้อมูลดังนี้

1) ระดับแรงดันของสายส่งพลังงานไฟฟ้า เป็นกิโลโวลท์
2) ชื่อของบัสต้นทาง
3) ชื่อของบัสปลายทาง
4) ระยะทาง เป็นกิโลเมตร
5) ชนิดของตัวนำไฟฟ้า
6) ระยะเรขาคณิตเฉลี่ยระหว่างสายส่งแต่ละเฟส (GMD) เป็นเมตร
7) ระยะระหว่างสายควบในเฟสเดียวกัน (Ds) เป็นเมตร
8) จำนวนเส้นของสายควบแต่ละเฟส
9) ค่าคาปาซิแตนซ์รั่วลงดิน เป็นไมโครฟารัดต่อเมตร



รูปที่ 4.21 หน้าจอให้ผู้ใช้ระบุข้อมูลที่จำเป็นของสายส่งพลังงานไฟฟ้า

ลักษณะของแผนภาพเส้นเดี่ยวที่ได้จากการสร้างโดยผู้ใช้ เป็นดังรูปตัวอย่างที่ 4.22 เมื่อผู้ใช้สร้างระบบที่ต้องการวิเคราะห์เสร็จเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมสามารถที่จะคำนวณตามกระบวนต่อไปได้ทันที



รูปที่ 4.22 ตัวอย่างแผนภาพเส้นเดี่ยวที่สร้างขึ้นมา

4.4.2 การดึงข้อมูลจากฐานข้อมูล

ในกรณีที่จำนวนบัสของระบบที่ต้องการวิเคราะห์มีมากเกินกว่า 20 บัส ซึ่งจะไม่สามารถสร้างระบบนี้ได้ตามวิธีในหัวข้อที่ 4.4.1 จำเป็นต้องใช้วิธีเก็บข้อมูลต่าง ๆ ของระบบในรูปแบบของฐานข้อมูลที่จัดทำขึ้นโดยเฉพาะ เพื่อความสะดวกและความรวดเร็วในการป้อนข้อมูลเข้าสู่โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น เนื่องจากว่า เมื่อจำนวนบัสมากขึ้น อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในระบบก็มากขึ้นด้วย หากจะใช้วิธีสร้างแผนภาพเส้นเดียวจะเสียเวลามากและเกิดความยุ่งยาก

โดยปกติระบบทดสอบตามมาตรฐานของ "The Institute of Electrical And Electronics Engineers, Inc. : IEEE" ข้อมูลต่าง ๆ จะระบุค่าเป็นค่าต่อหน่วย (Per Unit) ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะทดสอบด้วยระบบตัวอย่าง 14 บัส และ 30 บัส ดังนั้นเพื่อสะดวกในการเขียนโปรแกรม จึงกำหนดให้การป้อนข้อมูลโดยวิธีใช้ฐานข้อมูลเป็นการป้อนข้อมูลที่เป็นค่าต่อหน่วยเหมือนกัน

รูปที่ 4.23 จะแสดงตัวอย่างของฐานข้อมูลที่มาจากระบบตัวอย่างของ IEEE 14 บัส ซึ่งในรูปเป็นข้อมูลของบัสต่าง ๆ ในระบบ

Bus

Bus_Code	Bus_Name	Voltage	Angle	P_Gen
1	Bus1	1.06	0	0
10	Bus10	1.051	-15.10	0
11	Bus11	1.057	-14.79	0
12	Bus12	1.055	-15.07	0
13	Bus13	1.050	-15.16	0
14	Bus14	1.036	-16.04	0
2	Bus2	1.045	-4.98	0.40
3	Bus3	1.010	-12.72	0
4	Bus4	1.019	-10.33	0
5	Bus5	1.020	-8.78	0
6	Bus6	1.070	-14.22	0
7	Bus7	1.062	-13.37	0
8	Bus8	1.090	-13.36	0
9	Bus9	1.056	-14.94	0
*				

Bus

Bus

รูปที่ 4.23 ข้อมูลตัวอย่างของระบบ IEEE 14 บัส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย