บทที่ 4

การพัฒนาโปรแกรม

ด้วยเหตุที่การคำนวณค่าระดับจำกัดตามวิธีการในบทที่ 2 และ 3 ผู้วิเคราะห์ระบบอาจสามารถคำนวณได้โดยการคำนวณด้วยมือหรือเครื่องช่วยคำนวณอิเล็กทรอนิกส์ตามวิธีการดังกล่าวข้างต้น แต่หากว่าระบบมีความซับซ้อนมากขึ้นหรือมีขนาดใหญ่ขึ้น การคำนวณด้วยวิธีดั้งเดิมอาจไม่สะดวกและลำบากมาก ด้วยเหตุนี้จึงมีการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อความสะดวกรวดเร็วในการคำนวณและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า โปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังกล่าวได้พัฒนาโดยใช้โปรแกรมประยุกต์ บอร์แลนด์เดลไฟล์ รุ่นที่ 3 (Borland Delphi 3) ซึ่งมีขีดความสามารถดี และ มีรูปแบบการเขียนไม่ซับซ้อน

สำหรับบทที่ 4 นี้จะกล่าวถึงวัตถุประสงค์ของโปรแกรม แบบจำลองอุปกรณ์ โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น

4.1 วัตถุประสงค์ของโปรแกรม

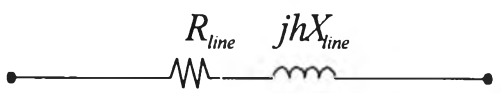
1)สามารถให้ผู้จ่ายไฟฟ้าตั้งค่าระดับวางแผนของระบบแรงดันปานกลางได้ทั้งหมด
2)วิเคราะห์หาค่าระดับความสามารถรับได้ ของระบบแรงดันปานกลางทั้งการประมาณแบบที่ 1 และ แบบที่ 2
3)วิเคราะห์ค่าระดับจำกัดฮาร์มอนิกทั้งการประมาณแบบที่ 1 และ แบบที่ 2 ซึ่งยังไม่รวมผลการดูดซับฮาร์มอนิกของระบบ
4)วิเคราะห์ค่าระดับจำกัดฮาร์มอนิกทั้งการประมาณแบบที่ 3 ซึ่งรวมผลการดูดซับฮาร์มอนิกของระบบ โดยนำโครงข่ายของระบบมารวมวิเคราะห์ด้วย

4.2 แบบจำลองของอุปกรณ์ (Harmonic modelling)

การกำหนดแบบจำลองของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ เป็นปัญหาซับซ้อน ไม่ว่าใช้วิธีการวัดหรือ วิธีการคำนวณที่สามารถชดเชยข้อมูลสำคัญบางอย่างที่บกพร่องได้ เพื่อให้ค่าที่ถูกต้องอย่างแท้จริง อย่างไรก็ตาม มาตรฐาน IEC 1000-3-6 ได้แนะนำให้ใช้แบบจำลองของอุปกรณ์ตามแบบจำลองของซีเกร์ (CIGRE) [3] โดยคิดว่าระบบอยู่ในสภาวะสมดุล ดังนั้นจึงคิดค่าต่าง ๆ เป็นค่าต่อเฟสทั้งหมด ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 สายป้อน (Feeder)

วงจรสมมูลของสายป้อนสามารถแทนค่าอิมพีแดนซ์ของสายป้อนด้วยค่าความต้านทานต่ออนุกรมกับค่ารีแอคแตนซ์ซึ่งเป็นสัดส่วนกับเลขอันดับที่ฮาร์มอนิก หากไม่คิดผลของความจุไฟฟ้า และ ปรากฏการณ์ทางผิว (Skin effect) ที่ความถี่ฮาร์มอนิก ค่าอิมพีแดนซ์ของสายป้อนมีค่าเป็น



รูปที่ 4.1 รูปวงจรสมมูลของสายป้อนโดยคิดผลของฮาร์มอนิก

$$Z_{h(line)} = R_{1(Line)} + jhX_{1(line)} \quad (4.1)$$

เมื่อ

$Z_{h(line)}$ ค่าอิมพีแดนซ์ของสายป้อนที่ฮาร์มอนิกอันดับที่ h

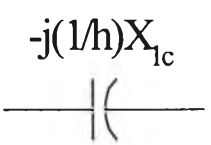
$R_{1(line)}$ ค่าความต้านทานที่ความถี่มูลฐานของสายป้อน

$X_{1(line)}$ ค่ารีแอคแตนซ์ที่ความถี่มูลฐานของสายป้อน

ส่วนใหญ่ข้อมูลคุณสมบัติของสายป้อนมักถูกระบุมาเป็นค่า โอห์ม ต่อ เมตร หรือ ต่อกิโลเมตร เพราะฉะนั้นจึงมีความจำเป็นต้องทราบความยาวของสายเพื่อช่วยคำนวณ ค่าความต้านทาน และค่ารีแอคแตนซ์ของสายที่ความถี่มูลฐาน

4.2.2 แบบจำลองตัวเก็บประจุ (Capacitor)

วงจรสมมูลของตัวเก็บประจุสามารถแทนได้ด้วยค่าคาปาซิทีฟ รีแอกแตนซ์ (X_C) โดยไม่คิดค่าความต้านทาน ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 รูปวงจรสมมูลของตัวเก็บประจุโดยคิดผลของฮาร์มอนิก

ค่าคาปาซิทีฟ รีแอคแตนซ์ที่ความถี่มูลฐานสามารถหาได้จากสมการที่ 4.2

$$X_{(1)C} = \frac{V_{rated}^2}{Q_C} \quad (4.2)$$

ที่ความถี่ฮาร์มอนิกค่าคาปาซิทีฟรีแอคแตนซ์ จะเป็นสัดส่วนกลับกับเลขอันดับที่ฮาร์มอนิก ดังสมการที่ 4.3

$$X_{(h)C} = -j\frac{X_{(1)C}}{h} \quad (4.3)$$

เมื่อ

$X_{(1)C}$ ค่าคาปาซิทีฟรีแอคแตนซ์ที่ความถี่มูลฐาน

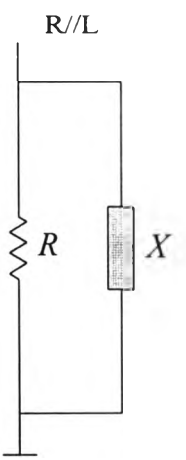
V_{rated} แรงดันพิกัดของคาปาซิเตอร์ (แรงดันระหว่างเฟส : โวลต์)

Q_C ค่าพิกัดกำลังงานรีแอคทีฟของคาปาซิเตอร์ (วาร์)

$X_{(h)C}$ ค่าคาปาซิทีฟรีแอคแตนซ์ของคาปาซิเตอร์ที่ฮาร์มอนิกอันดับที่ h

4.2.3 แบบจำลองของภาระเชิงเส้น(Linear Load)

สำหรับข้อมูลภาระเชิงเส้นโดยทั่วไปแล้ว จะแทนอยู่ในรูปของกำลังงานจริง (P) และกำลังงานปรากฏ (Q) สำหรับการคำนวณในที่นี้จะใช้แบบจำลองของภาระเป็นแบบความต้านทานขนานกับรีแอคแตนซ์ ตามรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 รูปแบบจำลองของภาระตามแบบ R//L

โดย ค่าความต้านทาน และ ค่ารีแอคแตนซ์ หาได้จาก กำลังงานจริง (P) และกำลังงานรีแอคทีฟ (Q) ของภาระนั้นๆตามลำดับ ตามสมการที่ 4.4 และ สมการที่ 4.5 ซึ่งถือว่า ภาระต้องการค่ากำลังงานทั้ง 2 นี้คงที่

ที่ความถี่ฮาร์มอนิก

$$R_{hL} = \frac{V_n^2}{P_l} \quad (4.4)$$

$$X_{hL} = h\frac{V_n^2}{Q_l} \quad (4.5)$$

เมื่อ

R_{hL} ค่าความต้านทานที่ฮาร์มอนิกอันดับที่ h ของแบบจำลองภาระเชิงเส้น

X_{hL} ค่ารีแอคแตนซ์ที่ฮาร์มอนิกอันดับที่ h ของแบบจำลองภาระเชิงเส้น

V_n แรงดันในสภาวะปกติของระบบที่ภาระเชื่อมต่ออยู่

P_1 กำลังงานจริงภายใต้สภาวะแรงดันปกติของระบบที่ภาระเชื่อมต่ออยู่

Q_1 กำลังงานปรากฏภายใต้สภาวะแรงดันปกติของระบบที่ภาระเชื่อมต่ออยู่

สรุปได้ว่าข้อมูลที่ต้องการสำหรับการจำลองแบบของภาระคือกำลังงานจริง กำลังงานรีแอกทีฟ และ แรงดันปกติของระบบในสภาวะที่ภาระทำงาน

4.3 แผนผังโครงสร้างโปรแกรม

แผนผังโครงสร้างโปรแกรมแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก

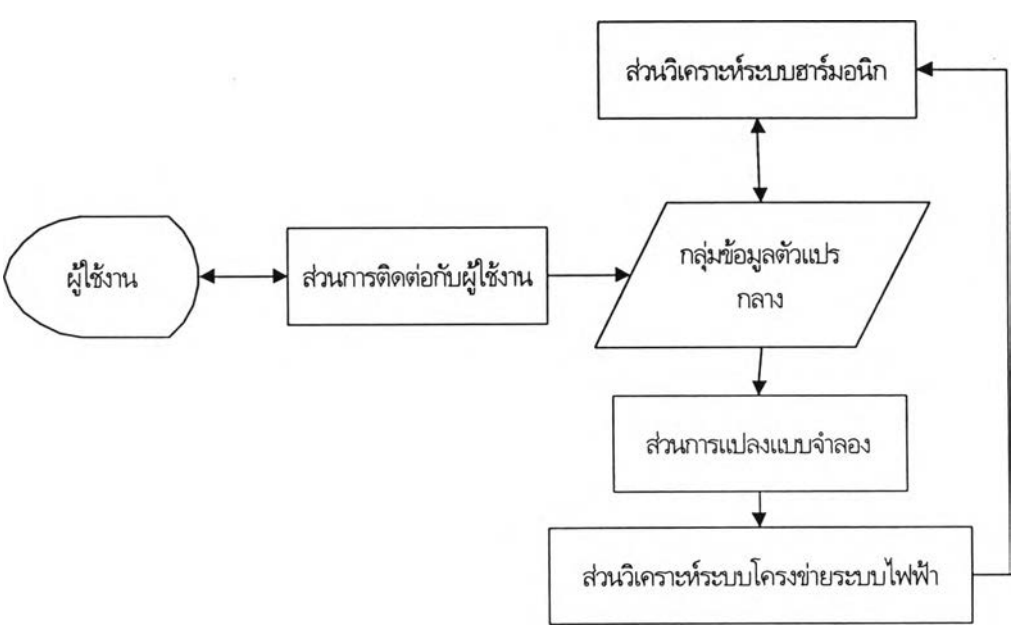
1)ส่วนการติดต่อกับผู้ใช้งาน เป็นส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้เพื่อรับค่า รวมถึงแสดงผลการคำนวณต่อผู้ใช้งาน

2)ส่วนการแปลงแบบจำลอง คือการแปลงแบบจำลองให้เข้ากับระบบวิเคราะห์

3)ส่วนวิเคราะห์ระบบโครงข่ายระบบไฟฟ้า ส่วนวิเคราะห์หาแรงดันตอบสนองของระบบไฟฟ้า โดยต้องใช้ข้อมูลจากระบบไฟฟ้าจริงในการวิเคราะห์

4)ส่วนวิเคราะห์ระบบฮาร์มอนิก รวมถึง วิธีการคำนวณค่าระดับจำกัด ค่าซึมซับของระบบไฟฟ้า การคำนวณตามกฎการรวม และ การแปลงหน่วย

สำหรับความสัมพันธ์เชื่อมโยงโดยรวมของทั้ง 4 ส่วนหลัก แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 รูปแบบความสัมพันธ์ของโครงสร้างโปรแกรม

I 18952550

โดยส่วนหลักทั้ง 4 ส่วนหลักมีรายละเอียดย่อย ดังต่อไปนี้

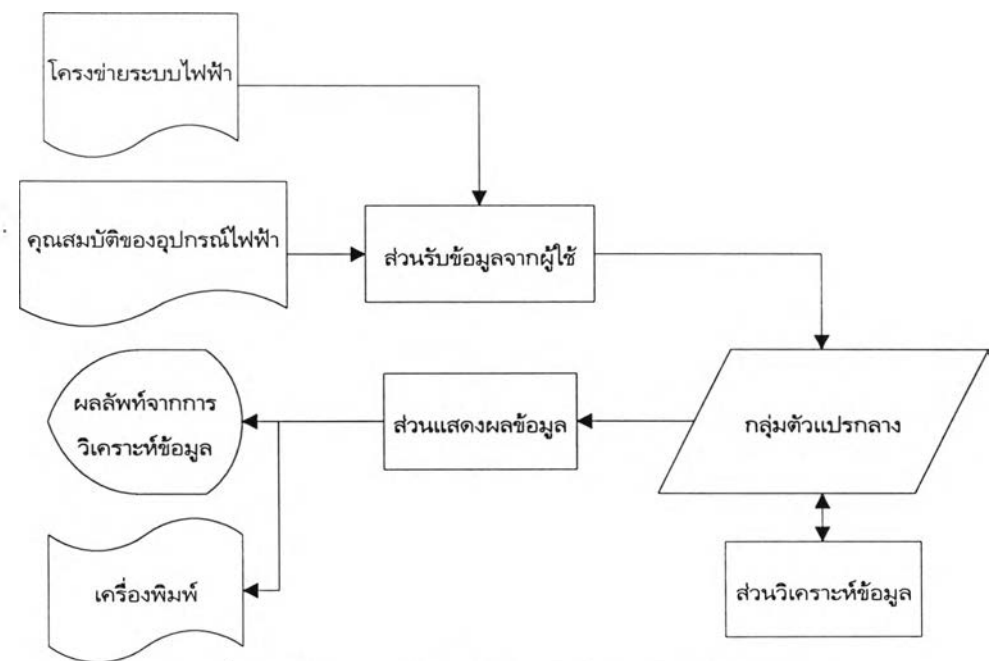
4.3.1 ส่วนการติดต่อกับผู้ใช้งาน

โปรแกรมจะแบ่งส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานเป็น 2 ส่วนย่อยคือ

1)ส่วนรับข้อมูล เป็นส่วนรับข้อมูลรูปแบบโครงข่ายของระบบไฟฟ้า และ ค่าคุณสมบัติของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า

2)ส่วนแสดงผลข้อมูล เป็นส่วนแสดงรายงานผลหลังจากการวิเคราะห์ของโปรแกรม รวมถึงจัดการกับระบบพิมพ์เอกสารผ่านเครื่องพิมพ์

โดยที่ทั้งสองส่วนจะทำงานแยกกัน โดยเมื่อผู้ใช้ป้อนข้อมูลจนครบกำหนดแล้ว ส่วนวิเคราะห์ทั้ง 3 ส่วนดังจะกล่าวในหัวข้อที่ 4.3.2 , 4.3.3 , 4.3.4 ก็จะนำไปวิเคราะห์ เมื่อได้ผลการวิเคราะห์แล้วจึงนำมาแสดงผลวิเคราะห์ผ่านส่วนแสดงผลข้อมูล โดยทั้งหมดจะใช้กลุ่มตัวแปรกลางเป็นตัวพักข้อมูลของทั้งหมด



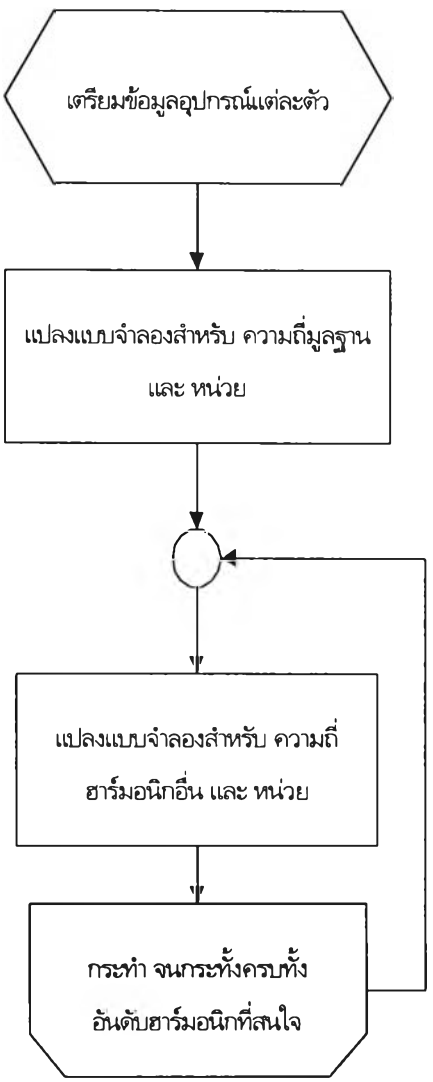
รูปที่ 4.5 รูปความสัมพันธ์ของส่วนรับข้อมูล และ แสดงผลข้อมูล

4.3.2 ส่วนการแปลงแบบจำลอง

เนื่องจากข้อมูลแบบจำลองที่ผู้ใช้ป้อนในขั้นต้น ไม่สามารถนำมาคำนวณได้โดยตรง ด้วยเหตุว่าเกิดปัญหาในเรื่องความเข้ากันของหน่วย หรือ รูปแบบจำลองไม่ง่ายต่อการคำนวณ ดังนั้นการแปลงแบบจำลองจึงเป็นสิ่งจำเป็นก่อนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การทำงานของส่วนแปลงแบบจำลอง คือนำแบบจำลองและข้อมูลที่ผู้ใช้ป้อนที่ละอุปกรณ์ มาวิเคราะห์ เพื่อจะสร้างแบบจำลองที่ความถี่มูลฐานอันเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์

ด้วยส่วนอื่น และยังทำการแปลงหน่วยให้เป็นหน่วย (p.u.) รวมถึงสร้างแบบจำลองของอุปกรณ์นั้นในฮาร์มอนิกอันดับอื่น ๆด้วย



รูปที่ 4.6 แผนผังการทำงานของส่วนการแปลงแบบจำลอง

4.3.3 ส่วนวิเคราะห์ระบบโครงข่ายระบบไฟฟ้า

เพื่อทำการวิเคราะห์โครงข่ายเพื่อหาค่าแรงดันตอบสนองของระบบจากหัวข้อที่ 3.4.2. จึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลรูปแบบโครงข่าย และ ข้อมูลของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย ในการวิเคราะห์ด้วย

โดยขั้นแรกนำ แบบจำลองที่ได้ทำการแปลงเรียบร้อยที่เรียกว่า แบบจำลองพื้นฐาน ทำการสร้างเมตริกซ์ความนำ โดยเปลี่ยนค่าอิมพีแดนซ์ของแบบจำลองพื้นฐานเป็นแบบจำลองสำหรับความถี่ฮาร์มอนิกที่สนใจ เป็นค่าแอตมิแตนซ์ที่ความถี่ฮาร์มอนิกดังกล่าว แทนเข้าในตัวแปรเมตริกซ์ $Y(Y_{BUS})$

ขั้นต่อมานำเมตริกซ์ Y ทำการอินเวอร์ส ด้วยทฤษฎีพีชคณิต อินเวอร์สเมตริกซ์เชิงซ้อน จนได้ค่าเมตริกซ์อิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้า (Z_{BUS})

สร้างเมตริกซ์กระแสสมมติทั้ง 3 กลุ่มตามหัวข้อที่ 3.4.1. จากนั้นนำเมตริกซ์ กระแสสมมติ ไปคำนวณร่วมกับระบบเมตริกซ์อิมพีแดนซ์ ด้วยหลักตามหัวข้อที่ 3.4.2. และ สมการที่ 4.6 ซึ่งจะได้ผลลัพท์ค่าแรงดันตอบสนองของแต่ละผู้ใช้ไฟฟ้าที่เกิดจากแหล่งกระแสสมมติแต่ละตัว

$$U_{h(i,j)} = Z_{h(i,j)} \cdot I_{h(j)} \qquad (4.6)$$

$U_{h(i,j)}$ แรงดันตอบสนองของผู้ใช้ไฟฟ้าที่จุด i ที่เกิดจากภาระกระแส j

$Z_{h(i,j)}$ ค่าอิมพีแดนซ์อิมพีแดนซ์ที่จุด i สัมพันธ์กับ จุดที่ j

$I_{h(j)}$ กระแสภาระสมมติจากจุดที่ j

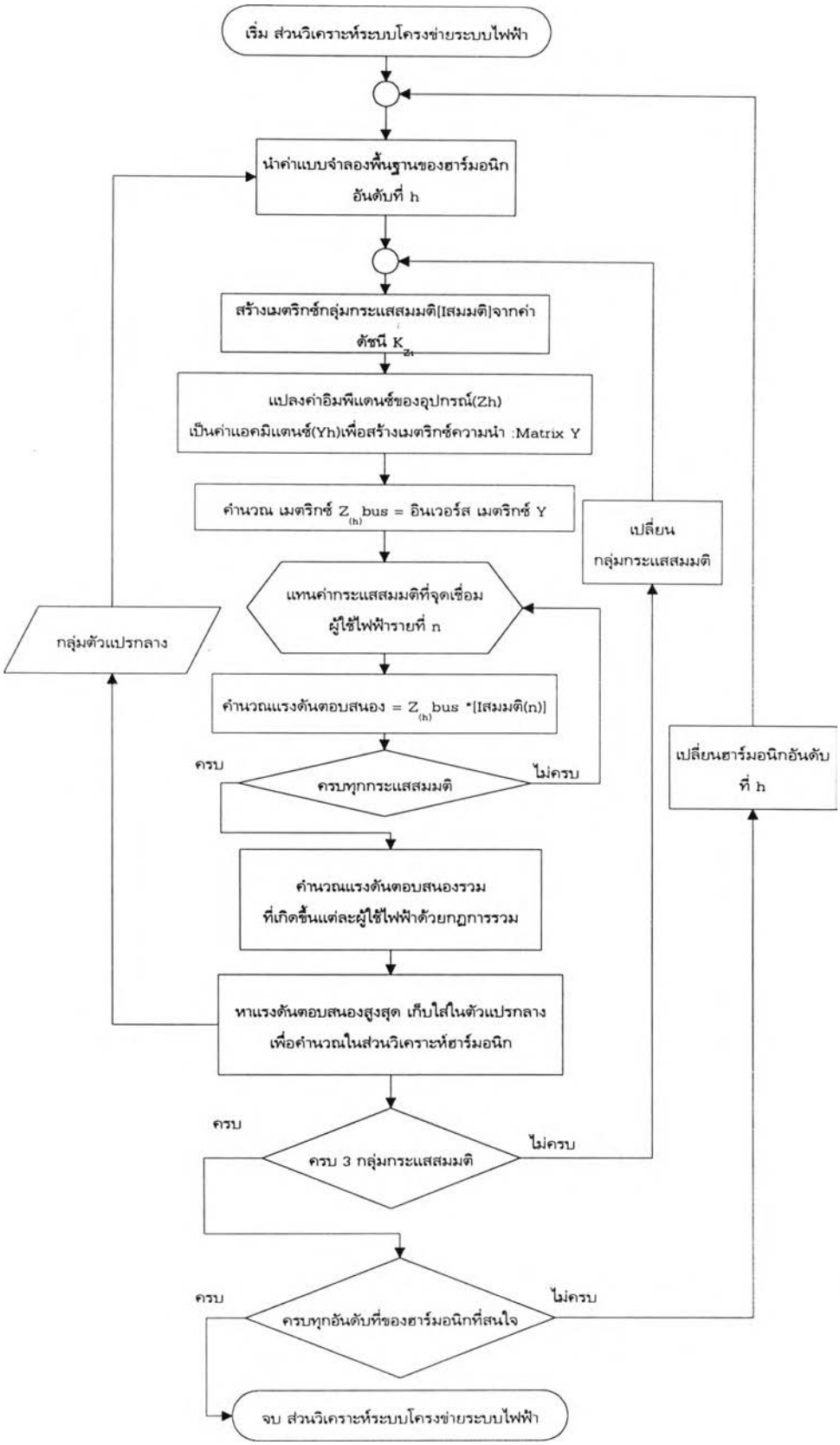
เมื่อได้แรงดันตอบสนองที่เกิดจากกระแสสมมติที่จุดที่ j แต่ละตัว หลังจากนั้นทำการรวมแรงดันตอบสนองของแต่ละผู้ใช้ไฟฟ้าที่เกิดจากภาระทั้งหมดทุกตัวของแต่ละกลุ่มกระแสฮาร์มอนิกสมมติ ด้วยกฎการรวมดังหัวข้อที่ 2.1.4.2 ดังสมการที่ 4.7

$$U_{h(i)} = \sqrt[\alpha]{\sum_{i} U^{\alpha}_{(i,j)}} \qquad (4.7)$$

$U_{h(i)}$ แรงดันตอบสนองรวมของผู้ใช้ไฟฟ้าที่จุด i

ขั้นสุดท้ายหาแรงดันตอบสนองสูงสุดที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าเพื่อนำไปทำการคำนวณค่าระดับจำกัดกระแสฮาร์มอนิกด้วยส่วนระบบวิเคราะห์ระบบฮาร์มอนิกต่อไป

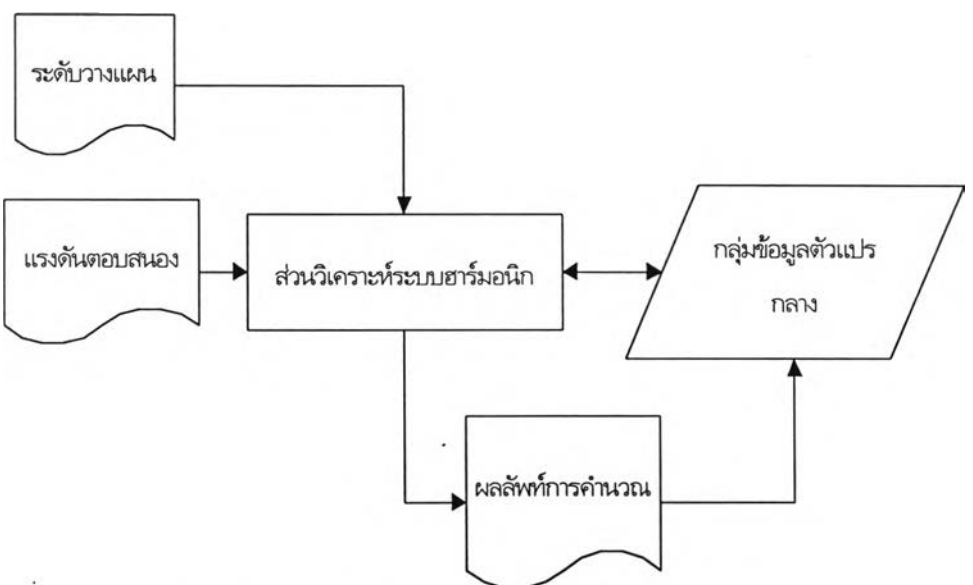
รูปแผนผังการคำนวณดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แผนผังส่วนวิเคราะห์ระบบโครงข่ายระบบไฟฟ้า

4.3.4 ส่วนวิเคราะห์ระบบฮาร์มอนิก

หลังจากนำข้อมูลโครงข่ายระบบไฟฟ้ามาแปลงแบบจำลอง จนกระทั่งข้อมูลแบบจำลองพื้นฐานผ่านเข้าส่วนวิเคราะห์โครงข่าย หลังจากนั้น นำผลลัพท์การวิเคราะห์ และ ค่าแรงดันตอบสนองสูงสุด เข้าส่วนวิเคราะห์ระบบฮาร์มอนิกโดยจะทำการคำนวณ ขั้นแรกคำนวณค่าความสามารถยอมรับแรงดันฮาร์มอนิกของภาระทั้งหมด ตามหลักการในหัวข้อที่ 2.2.2.1 ขั้นที่สองค่าระดับจำกัดการแพร่ฮาร์มอนิกของทุกผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งแบบประมาณแบบที่ 1 , 2 , 3 ดังหลักการคำนวณตามหัวข้อที่ 2.2.2.2 ขั้นสุดท้ายปรับค่าผลลัพท์การคำนวณจากหน่วยเปอร์ยูนิต(per unit) เป็นร้อยละ แผนผังการทำงานดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แผนผังการทำงานส่วนวิเคราะห์ระบบฮาร์มอนิก

4.4 รูปแบบโปรแกรม

4.4.1 ส่วนจัดการโครงการ(Project Manager)

เมื่อเริ่มต้นโปรแกรม โปรแกรมแสดงจะหัวข้อสำหรับเลือกเพื่อป้อนข้อมูล ซึ่งแบ่งออกเป็น ส่วนรับข้อมูล แย่งออกเป็น 4 ส่วน

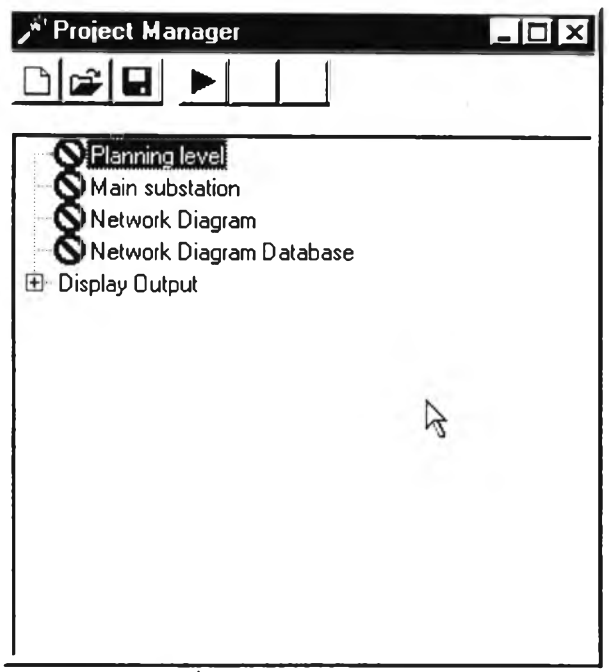
- -ป้อนค่าระดับวางแผน (Planning level)
- -ป้อนรูปแบบของสถานีไฟฟ้าย่อยหลัก(Main substation)
- -ป้อนโครงข่ายของระบบไฟฟ้า(Network diagram)
- -ป้อนโครงข่ายของระบบไฟฟ้าด้วยระบบฐานข้อมูล(Network diagram database)

ส่วนแสดงผลลัพท์การคำนวณ แบ่งเป็น 2 ส่วน

- -แสดงค่ายอมรับความผิดเพี้ยนของภาระทั้งหมด(Global contribution)

-แสดงค่าระดับจำกัดกระแสฮาร์มอนิกของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย (Individual limits)

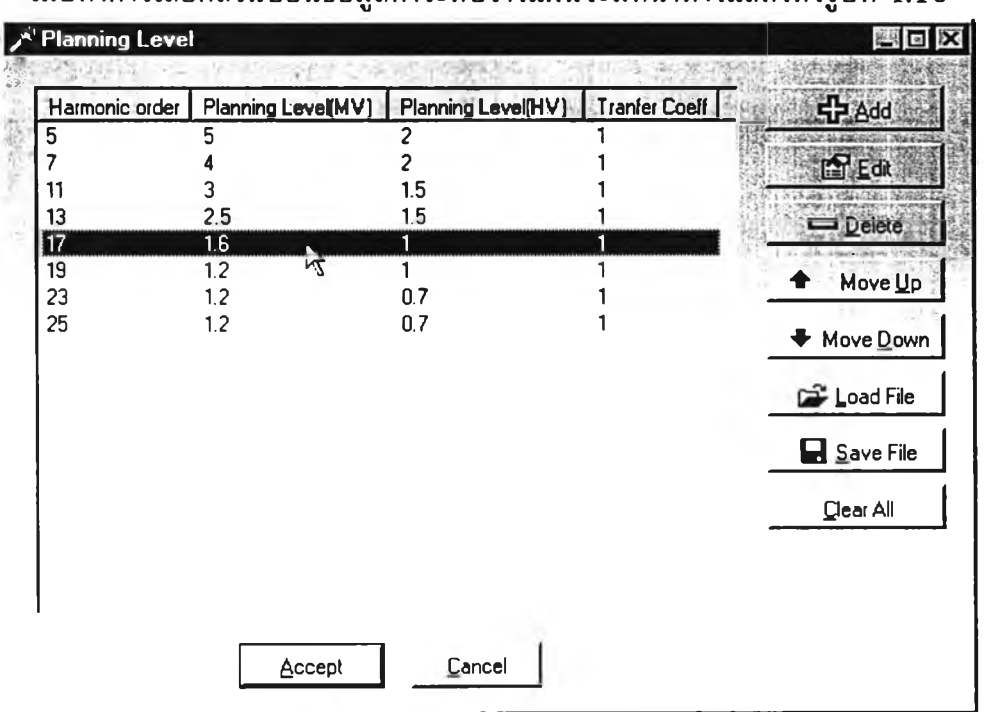
รูปแบบของส่วน Project Manager ดังแสดงรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ส่วนจัดการโครงการ

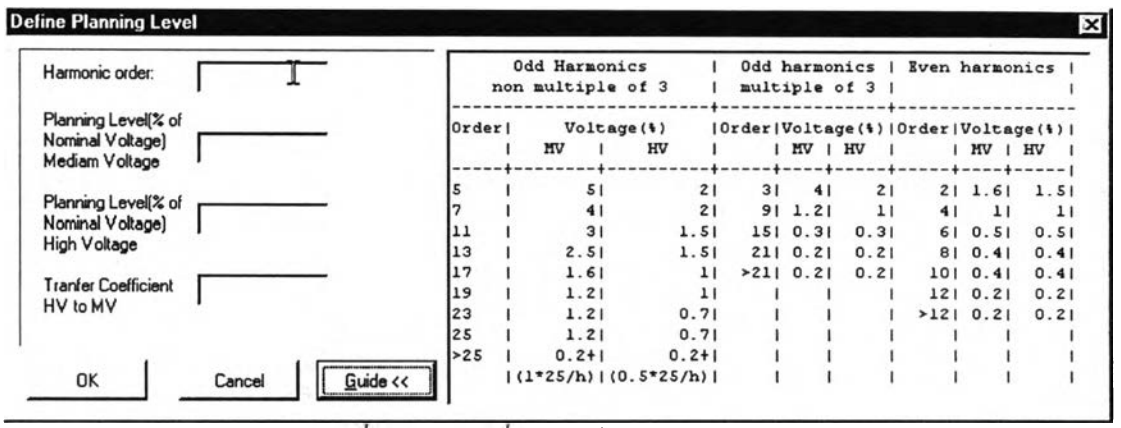
4.4.2 ส่วนกำหนดค่าระดับวางแผน(Planning level)

เมื่อทำการเลือกส่วนป้อนข้อมูลค่าระดับวางแผนจะมีหน้าต่างแสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ส่วนกำหนดค่าระดับวางแผน

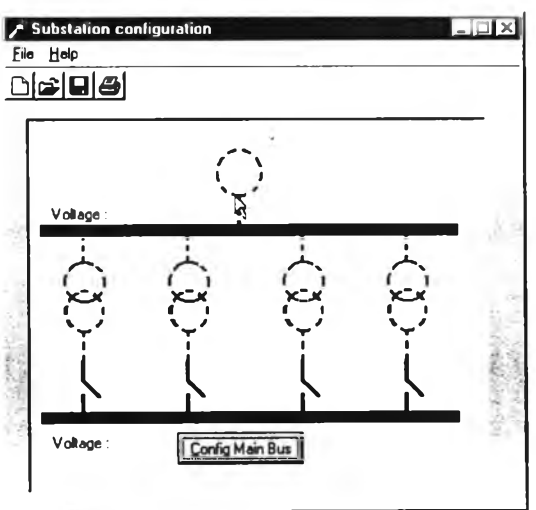
ถ้าทำการเพิ่ม แก้ไข ค่าระดับวางแผนหน้าต่างของโปรแกรมจะแสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ส่วนเพิ่มหรือแก้ไขค่าระดับวางแผน

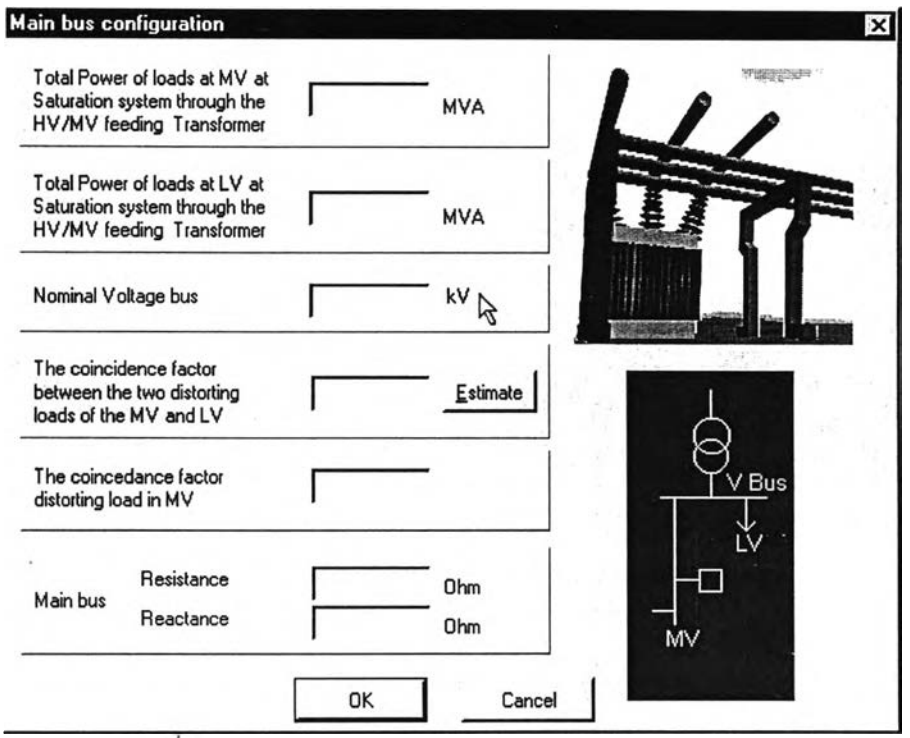
4.4.3 ส่วนกำหนดรูปแบบของสถานีไฟฟ้าย่อย (Main substation)

หลังจากกำหนดค่าระดับวางแผนเรียบร้อยแล้วก็จะกลับสู่ส่วนจัดการโครงการ ให้เลือกส่วนกำหนดรูปแบบของสถานีไฟฟ้าย่อย โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ส่วนกำหนดรูปแบบสถานีไฟฟ้าย่อย

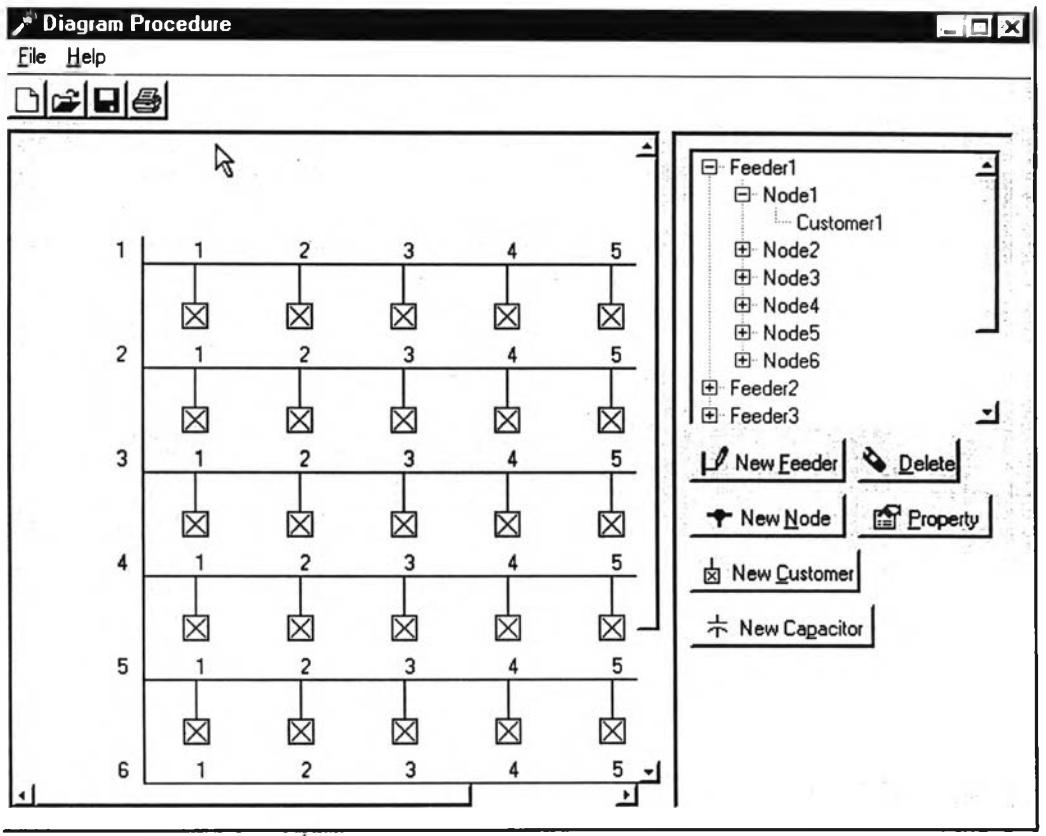
ต่อมากำหนด คุณสมบัติของด้านแรงดันสูงและหม้อแปลงแรงดัน และ ระบุค่าปัจจัยของบัสหลักของสถานีไฟฟ้าย่อย โปรแกรมจึงแสดงหน้าต่างดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ส่วนกำหนดค่าปัจจัยบนสถานีไฟฟ้าย่อยและบัสหลัก

4.4.4 ส่วนกำหนดรูปแบบโครงข่ายของระบบไฟฟ้า (Network diagram)

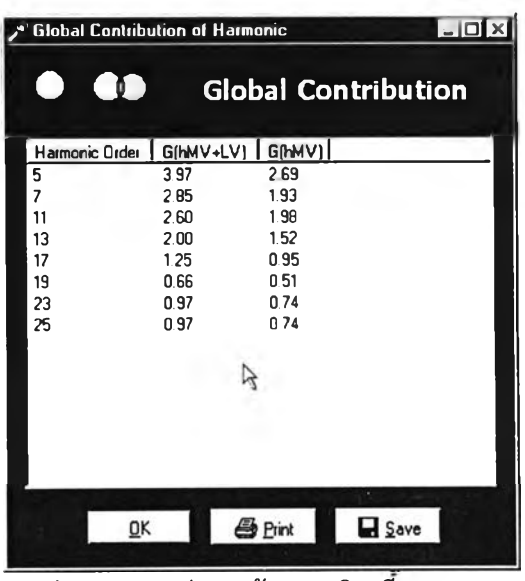
เมื่อกำหนด รูปแบบสถานีไฟฟ้าย่อยเรียบร้อยหลักจากนั้นทำการป้อนข้อมูลโครงข่ายระบบไฟฟ้าซึ่ง มีรูปแบบดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ส่วนกำหนดรูปแบบโครงข่ายระบบไฟฟ้า

4.4.5 ส่วนแสดงผลค่ายอมรับความผิดเพี้ยนของภาระทั้งหมด (Global contribution)

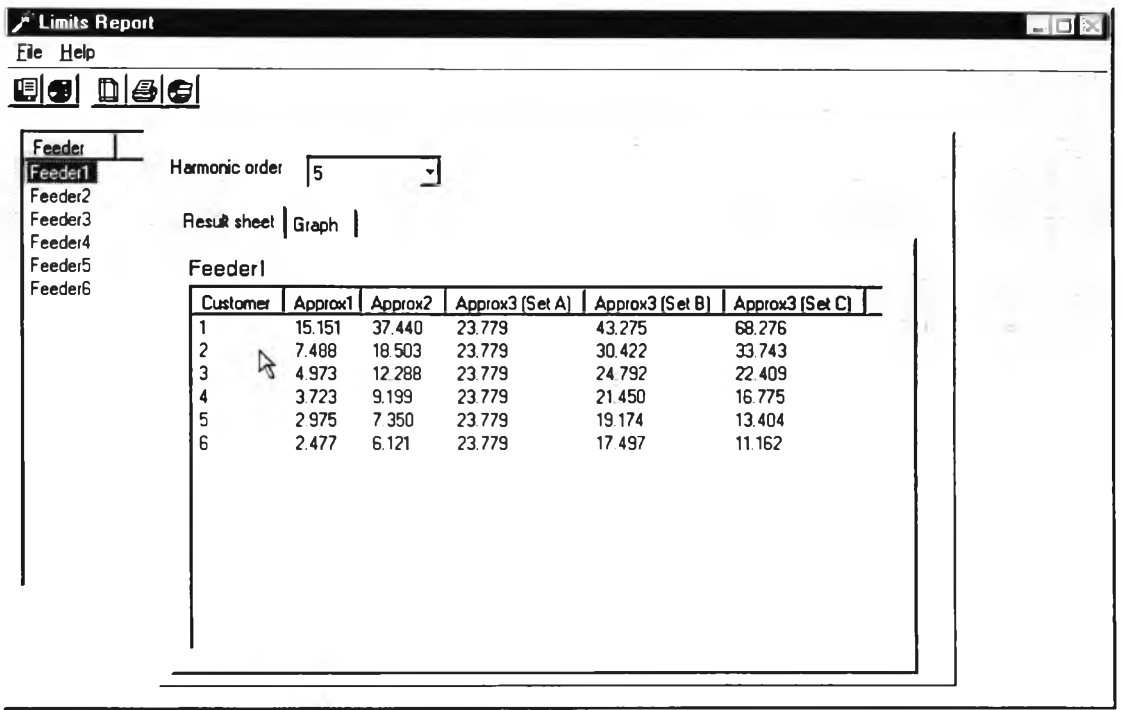
เมื่อป้อนข้อมูลจนครบสมบูรณ์แล้ว ให้กดปุ่ม Process บนหน้าต่าง Project Manager เมื่อโปรแกรม คำนวณเรียบร้อยแล้ว กดเลือก Global contribution จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ส่วนแสดงผลค่ายอมรับความผิดเพี้ยนของภาระทั้งหมด

4.4.6 ส่วนแสดงผลค่าระดับจำกัดกระแสฮาร์มอนิก (limits)

หลักจากการคำนวณผลแล้วเลือกแสดงผลค่าระดับจำกัดกระแสฮาร์มอนิกจากหน้าต่างตัวจัดการโครงการ ได้หน้าต่างแสดงรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ส่วนแสดงผลค่าระดับจำกัดกระแสฮาร์มอนิก