

โครงสร้างโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์การไหลของกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดจากแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกภายในโรงงานอุตสาหกรรม และ ผลของแรงดันฮาร์มอนิกจากแหล่งจ่ายไฟ (Background harmonic voltage) ที่จุดต่อร่วม (PCC) ที่มีอยู่ก่อนที่จะต่อระบบของโรงงานเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ โดยได้นำเอาวิธีการที่ใช้วิเคราะห์สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังแบบทั่วไป คือ การสร้างเมตริกซ์ความนำ (Y_{BUS}) ซึ่งเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับโรงงานที่มีหลายบัส โดยโปรแกรมจะเตรียมอุปกรณ์ต่างๆไว้เพื่อให้ผู้ใช้เลือกสร้างไดอะแกรมตามระบบของโรงงาน ด้วยการเลือก ปิดหรือเปิด สวิตช์ ของอุปกรณ์นั้นๆ โปรแกรมที่ใช้พัฒนาคือ โปรแกรมบอร์แลนด์เดลไฟล์ รุ่นที่ 3 (Borland Delphi 3.0) ซึ่งมีขีดความสามารถดี และมีรูปแบบการเขียนไม่ซับซ้อน สำหรับหลักการพัฒนาโปรแกรมได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น













โครงสร้างของโปรแกรมจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ

- ส่วนป้อนเข้า (Input Section) เป็นส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้เพื่อรับข้อมูลต่างๆสำหรับการคำนวณ
 - ส่วนแสดงผล (Output Section) การแสดงผลการคำนวณ จะอยู่ในรูปของ กราฟ และ ตาราง
- นอกจาก 2 ส่วนหลักนี้ ในโปรแกรมได้สร้างตัวเลือก (Option) สำหรับวิเคราะห์อัตราขยายกระแสเพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อโรงงานข้างเคียง และตัวเลือกสำหรับวิเคราะห์จุดเรโซแนนซ์เมื่อขนาดกำลังงานรีแอกทีฟของคาปาซิเตอร์เปลี่ยน โดยให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูลของ โหลด และ kVAR ของคาปาซิเตอร์ ที่ระดับต่างๆ ตัวเลือกนี้มีไว้เพื่อวิเคราะห์ถึง การแปรเปลี่ยนของจุดเรโซแนนซ์

5.1 สัญลักษณ์ของอุปกรณ์ที่ใช้ในโปรแกรม

อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในโปรแกรมนี้นี้ ระบบจ่ายไฟ แรงดันฮาร์มอนิกจากแหล่งจ่ายไฟ หม้อแปลง สายส่งย่อย หรือ เคเบิล มอเตอร์โหลด โหลดเชิงเส้น คาปาซิเตอร์ของชุดปรับปรุงตัวประกอบกำลัง ตัวกรองฮาร์มอนิก สวิตช์ และ แหล่งกำเนิดกระแสฮาร์มอนิก เพื่อความสะดวกต่อการใช้งาน สัญลักษณ์ที่ใช้ในโปรแกรม จะเป็นแบบอย่างง่าย ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สัญลักษณ์ของอุปกรณ์ที่ใช้ในโปรแกรม

| | |
|---|---|
|  <p>แหล่งจ่ายไฟ</p> |  <p>สวิตช์ หรือ เซอร์กิตเบรกเกอร์</p> |
|  <p>แรงดันฮาร์โมนิก(Black ground harmonic voltage)</p> |  <p>สายส่งย่อย หรือ เคเบิลในโรงงาน</p> |
|  <p>หม้อแปลง</p> |  <p>คาปาซิเตอร์</p> |
|  <p>มอเตอร์โหลด</p> |  <p>ตัวกรองปรับคลื่นเดียว</p> |
|  <p>โหลดเชิงเส้น</p> |  <p>ตัวกรอง High Pass</p> |
|  <p>แหล่งกำเนิดกระแสฮาร์โมนิก</p> |  <p>การต่อระหว่างบัส ด้วย Tie สวิตช์ (Direct connected)</p> |

สำหรับข้อสังเกตของการปิดหรือเปิดสวิตช์ โปรแกรมจะแสดงสถานะโดย สัญลักษณ์ของอุปกรณ์จะเป็นสีเขียวเมื่อเปิดสวิตช์ (อุปกรณ์ไม่ได้ต่อกับระบบ) และ สัญลักษณ์ของอุปกรณ์จะเป็นสีแดง เมื่อปิดสวิตช์ (อุปกรณ์ต่อใช้งานอยู่ในระบบ)

5.2 การป้อนข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าโปรแกรมนี้จะมีทั้งหมด 4 ส่วน (Section) ให้ผู้ใช้เลือกสร้างไดอะแกรมด้วยอุปกรณ์ที่เตรียมไว้ การป้อนข้อมูลของทั้ง 4 ส่วนนี้ จะเหมือนกัน ข้อมูลของแหล่งจ่ายไฟจะอยู่ที่ ส่วนที่ 1 ของไดอะแกรม การป้อนข้อมูลจะกระทำได้เมื่ออุปกรณ์นั้นๆ ถูกเลือกเข้าสู่ระบบเท่านั้น

5.2.1 ข้อมูลที่จำเป็นในการป้อนเข้าสู่โปรแกรม

สำหรับพารามิเตอร์ต่างๆที่ต้องป้อนเข้าสู่โปรแกรม เมื่ออุปกรณ์นั้นๆถูกนำเข้าสู่ระบบ มีดังนี้

แหล่งจ่ายไฟของการไฟฟ้า ข้อมูลที่ต้องการมีดังนี้

- แรงดันของระบบ (System voltage :kV)
- ความถี่ของระบบ (System Frequency : Hz)
- ค่ากำลังไฟฟ้าลัดวงจรที่จุด PCC (MVA short circuit at PCC)
- อัตราส่วน ของ คาร์เรแคแตนซ์ต่อ ค่าความต้านทาน (X/R ratio)
- ค่าฐานของระบบ (Base MVA) เพื่อกำหนดเป็นค่าต่อหน่วย (p.u.)

หม้อแปลงไฟฟ้า ข้อมูลที่ต้องการมีดังนี้

- แรงดันพิกัดด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง (Secondary voltage :kV)
- ค่าพิกัดกำลังของหม้อแปลง (MVA rating)
- กำลังสูญเสียในขดลวดหม้อแปลง (Load Loss)
- แรงดันลัดวงจรพิกัด เป็นร้อยละ (% Impedance :%Z)
- แรงดันขณะทำงาน (Operating voltage)
- การต่อขดลวด (winding connection)

สายส่งย่อย หรือ เคเบิล ในโรงงาน ข้อมูลที่ต้องการมีดังนี้

- ความยาวของสาย (Length :m)
- ความต้านทานของสาย (โอห์ม ต่อ กิโลเมตร)
- ความรีแอกแตนซ์ของสาย ที่ความถี่ 50 Hz (โอห์ม ต่อ กิโลเมตร)

มอเตอร์โหลด ข้อมูลที่ต้องการมีดังนี้

- แรงดันขณะทำงาน (Operating voltage :kV)
- กำลังไฟฟ้าขณะทำงาน (Operating power :kW)
- ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power factor :P_f)
- ประสิทธิภาพของมอเตอร์ (Efficiency :η)

โหลดที่มีคุณสมบัติเป็นเชิงเส้น ข้อมูลที่ต้องการมีดังนี้

- แรงดันขณะทำงาน (Operating voltage :kV)
- กำลังไฟฟ้าแอกทีฟขณะทำงาน (Operating active power : kW)
- กำลังไฟฟารีแอกทีฟขณะทำงาน (Operating reactive power :kVAr)

ชุดคาปาซิเตอร์ที่ใช้ปรับปรุงตัวประกอบกำลัง ข้อมูลที่ต้องการมีดังนี้

- แรงดันพิกัด (Rating voltage :kV)
- กำลังไฟฟารีแอกทีฟพิกัด (Rating reactive power :kVAr)

ตัวกรองฮาร์มอนิก แบบ กรองแบบปรับคลื่นเดียว (Single tuned)

ข้อมูลที่ต้องการมีดังนี้

- แรงดันพิกัดของคาปาซิเตอร์ (Rating voltage :kV)
- กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟพิกัด (Rating reactive power :kVAr)
- จุดปรับตั้งความถี่ที่ต้องการกรอง (Tuning point)
- ค่า Q Factor

ตัวกรองฮาร์มอนิก แบบ High pass ข้อมูลที่ต้องการมีดังนี้

- แรงดันพิกัดของคาปาซิเตอร์ (Rating voltage :kV)
- กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟพิกัด (Rating reactive power :kVAr)
- จุดปรับตั้งความถี่ที่ต้องการกรอง (Tuning point)
- ค่า Q Factor

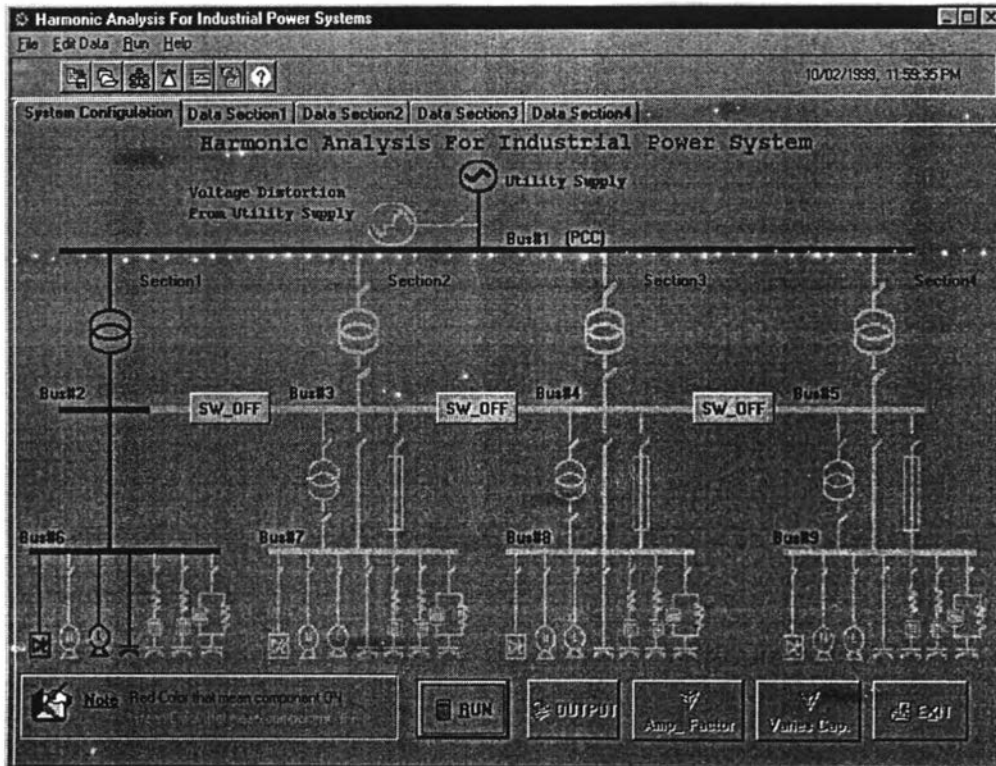
แหล่งกำเนิดกระแสฮาร์มอนิก ข้อมูลที่ต้องการมีดังนี้

- ขนาดแรงดันขณะทำงาน (Operating voltage :kV)
- ขนาดกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ (Active power :kW)
- ขนาดกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ (Reactive power :kVAr)
- ส่วนที่แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกต่ออยู่ (Section 1,2,3 or 4)
- ชนิดของแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิก เช่น เป็นคอนเวอร์เตอร์จำนวนกี่พัลส์
- ขนาดของกระแสฮาร์มอนิกที่ แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกสร้างขึ้น

แหล่งกำเนิดแรงดันฮาร์มอนิก (Background harmonic voltage)ที่ PCC บัส ข้อมูลที่ต้องการมีดังนี้ (เป็นข้อมูลก่อนที่จะต่อระบบของโรงงานเข้าสู่ระบบจ่ายไฟของการไฟฟ้า)

- ขนาดของแรงดันฮาร์มอนิก
- ชนิดของแรงดันฮาร์มอนิก (ร้อยละของแรงดันหลักมูล หรือ ค่าจริง)

ค่าต่างๆของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ในระบบจะนำมาคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ซึ่งเป็นตัวแทนของอุปกรณ์นั้นๆ เนื่องจาก ในวงจรอาจมีแรงดันหลายระดับ ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการคำนวณ ในโปรแกรมนี้จะแปลงค่าอิมพีแดนซ์ เป็นค่าต่อหน่วย (p.u.) โดยในขั้นต้นจะคำนวณค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่หลักมูลก่อน (ตามขั้นตอนที่แสดงไว้ท้ายบทในรูปที่ 5.18) จากนั้นเมื่อคำนวณที่ความถี่ฮาร์มอนิก จะใช้แบบจำลอง ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 สำหรับหน้าจอของโปรแกรมที่ออกแบบไว้ติดต่อกับผู้ใช้มีดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 5.1 หน้าจอหลัก (Main program) ให้ผู้ใช้เลือกสร้างไดอะแกรมที่ต้องการวิเคราะห์

รูปที่ 5.2 หน้าจอส่วนป้อนข้อมูลของอุปกรณ์ (ป้อนได้เฉพาะส่วนที่ถูกเลือก)

Rated of Converter

Power (kW) = 1250 Reactive Power (kVar) = 1000 Voltage(kVbase) = 0.416

Source At Section

Section 1
 Section 2
 Section 3
 Section 4

Type of Converter

6 - Pulse Converter
 12 - Pulse Converter
 Non - Ideal Converter

Current Value

Percentage (%)
 Actual Value (Amp)

Percentage Base on Fundamental Current of Converter

| Ih | Mag. | Ang. | Ih | Mag. | Ang. | Ih | Mag. | Ang. | Ih | Mag. | Ang. |
|-------|--------|------|-------|--------|------|-------|------|------|-------|------|------|
| Ih 3 | | | Ih 15 | | | Ih 27 | | | Ih 39 | | |
| Ih 5 | 444.33 | 0 | Ih 17 | 131.08 | 0 | Ih 29 | | | Ih 41 | | |
| Ih 7 | 317.7 | 0 | Ih 19 | 117.75 | 0 | Ih 31 | | | Ih 43 | | |
| Ih 9 | | | Ih 21 | | | Ih 33 | | | Ih 45 | | |
| Ih 11 | 202.17 | 0 | Ih 23 | 95.53 | 0 | Ih 35 | | | Ih 47 | | |
| Ih 13 | 171.07 | 0 | Ih 25 | 88.87 | 0 | Ih 37 | | | Ih 49 | | |

รูปที่ 5.3 หน้าจอส่วนป้อนข้อมูลของคอนเวอร์เตอร์(แหล่งกำเนิดกระแสฮาร์มอนิก)

Voltage Distortion From Supply

Harmonic Voltage Distortion at PCC Bus

Harmonic Voltage Distortion From Utility Supply

| Vh | Mag. | Ang. | Vh | Mag. | Ang. | Vh | Mag. | Ang. | Vh | Mag. | Ang. |
|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|
| Vh 3 | | | Vh 15 | | | Vh 27 | | | Vh 39 | | |
| Vh 5 | | | Vh 17 | | | Vh 29 | | | Vh 41 | | |
| Vh 7 | | | Vh 19 | | | Vh 31 | | | Vh 43 | | |
| Vh 9 | | | Vh 21 | | | Vh 33 | | | Vh 45 | | |
| Vh 11 | | | Vh 23 | | | Vh 35 | | | Vh 47 | | |
| Vh 13 | | | Vh 25 | | | Vh 37 | | | Vh 49 | | |

Value Of Distortion Voltage at PCC

Percent (% Of Fundamental)
 Actual (Volts)

Note We Can get Data of Voltage Distortion At PCC Point By Measurement Method or Predict this Value by Assumption on term of Percentage of Fundamental Value

รูปที่ 5.4 หน้าจอส่วนป้อนข้อมูลของแรงดันฮาร์มอนิกจากการไฟฟ้า(Background voltage at PCC bus)

หลังจากผู้ใช้ป้อนข้อมูลเข้าสู่ระบบสมบูรณ์แล้ว โปรแกรมจะคำนวณค่าอิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่กับระบบที่ความถี่หลักมูล โดยคำนวณเป็นค่าต่อเฟส ค่าอิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์ต่างๆ คำนวณได้จากสมการดังสรุปไว้ในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ค่าอิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์ที่ความถี่หลักมูล

| อุปกรณ์ | อิมพีแดนซ์ที่ความถี่หลักมูล (Z at fundamental Freq) | ค่าอิมพีแดนซ์เมื่อ สวิตช์ปิด | ค่าอิมพีแดนซ์เมื่อ สวิตช์เปิด |
|---|---|---------------------------------|----------------------------------|
| ระบบจ่ายไฟ | $Z_s = \frac{kV^2}{MVA_{sc}}$ $R_s = \frac{Z_s}{\sqrt{(X/R)^2 + 1}}$ $X_s = (X/R) \cdot R_s$ | $Z_s = R_s + jX_s$ | $Z_s = 0$ |
| หม้อแปลงไฟฟ้า | $Z_T = \frac{\%Z}{100} \times \frac{kV_{rated}^2}{MVA_{rated}}$ $R_T = \frac{KW_{LOSS} \times 10^3 (kV \times 10^3)^2}{(MVA \times 10^6)^2}$ $X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}$ | $Z_T = R_T + jX_T$ | $Z_T = 0$ |
| สายส่งย่อย หรือเคเบิล ภายในโรงงาน | $R_{A(Total)} = R_{(Ohm/km)} \cdot Length_{(km)}$ $X_{A(Total)} = X_{(Ohm/km)} \cdot Length_{(km)}$ | $Z_A = R_A + jX_A$ | $Z_A = 0$ |
| มอเตอร์โหลด | $S_{input} = \frac{kW \times 10^3}{P_f \times \eta}$ $Z_M = \frac{(kV \times 10^3)^2}{K \cdot S_{input}}$ $K = I_L / I_M$ | $Z_M = R_M + jX_M$ | $Z_M = 0$ |
| โหลดเชิงเส้น | $R_L = \frac{(kV \times 10^3)^2}{kW \times 10^3}$ $X_L = \frac{(kV \times 10^3)^2}{kVar \times 10^3}$ | $Z_L = R_L // jX_L$ | $Z_L = 0$ |
| คาปาซิเตอร์ | $X_C = \frac{(kV_{rated} \times 10^3)^2}{kVar \times 10^3}$ | $Z_C = -jX_C$ | $Z_C = 0$ |
| ตัวกรองฮาร์มอนิก แบบความถี่เดียว (Single tuned) | $X_C = \frac{(kV_{rated} \times 10^3)^2}{kVar_{rated} \times 10^3}$ $X_L = \frac{X_C}{n^2} \cdot R = \frac{X_L \cdot X_n}{Q_f}$ | $Z_{FS} = R + jX_L - jX_C$ | $Z_{FS} = 0$ |
| ตัวกรองฮาร์มอนิก แบบ High Pass | $X_C = \frac{(kV_{rated} \times 10^3)^2}{kVar_{rated} \times 10^3}$ $X_L = \frac{X_C}{n^2}$ $R = \frac{Q_f}{X_L \cdot X_n}$ | $Z_{FH} = (R // jX_L) - jX_C$ | $Z_{FH} = 0$ |

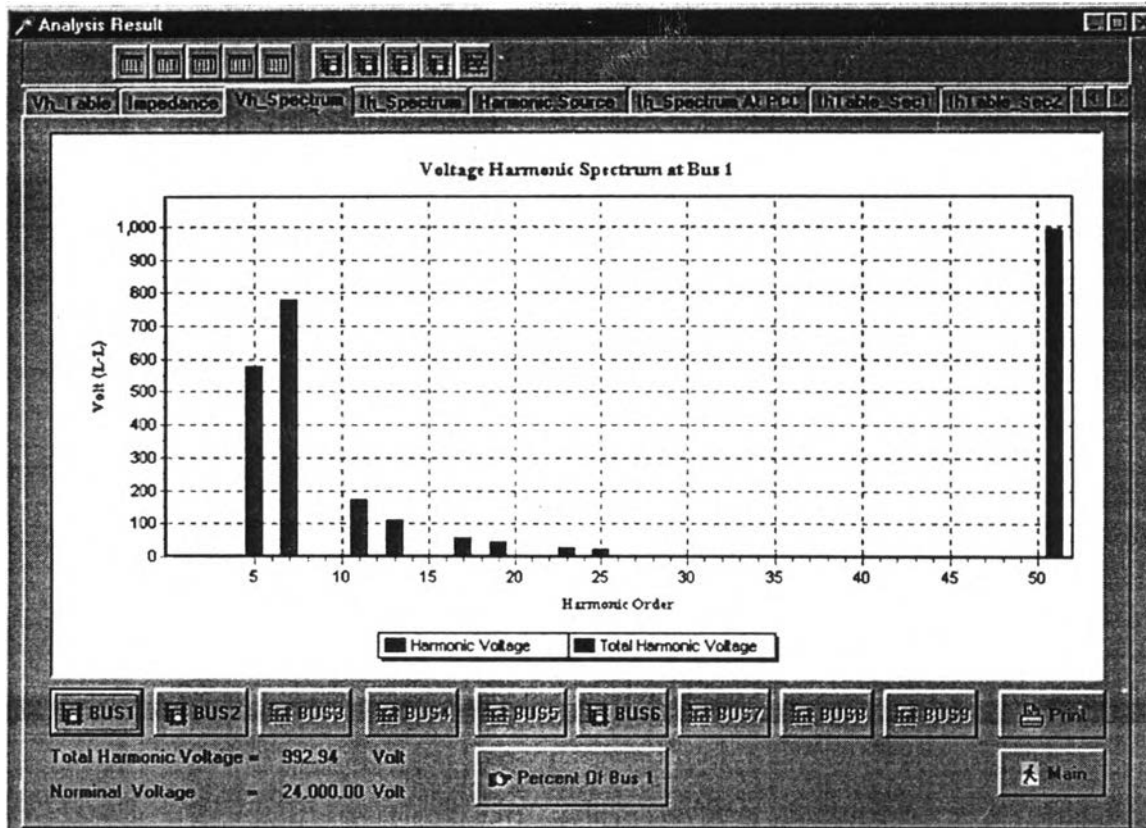
หมายเหตุ

ค่าแรงดันที่ใช้ในสูตรตามตารางที่ 5.2 เป็นค่าแรงดันระหว่างเฟส (L-L)

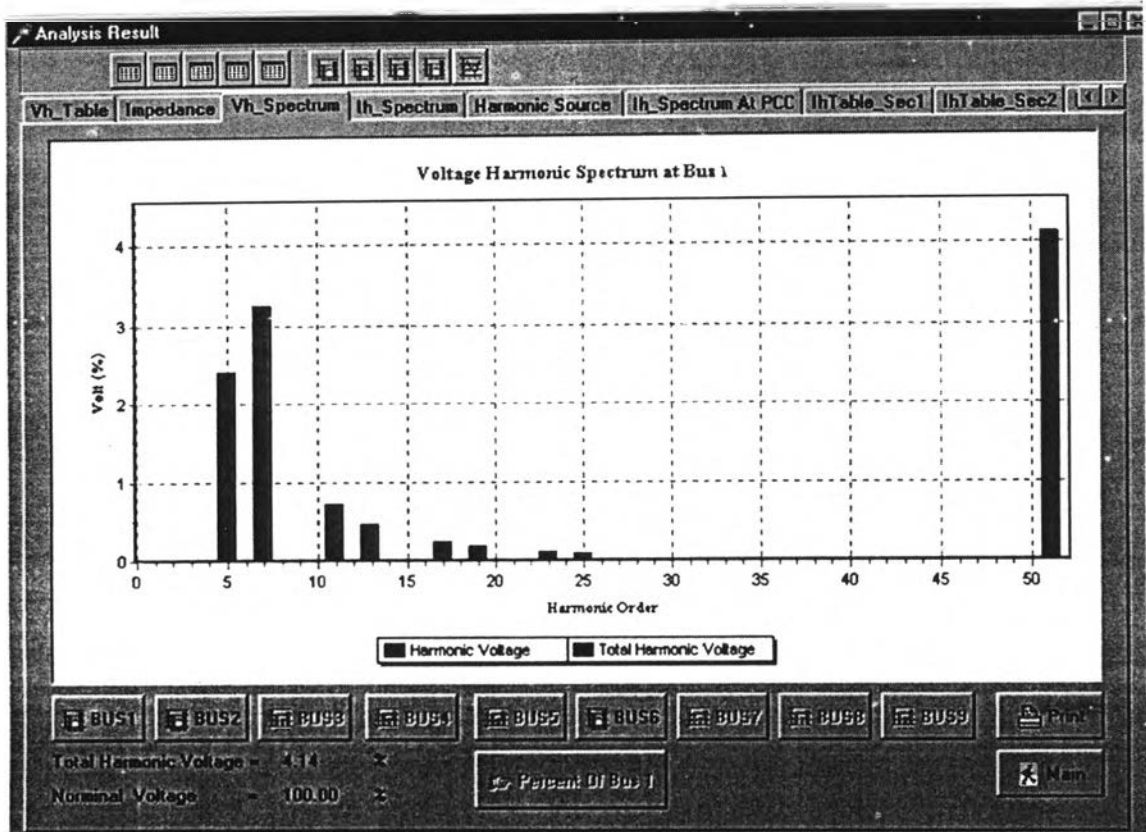
ในการสร้าง เมตริกซ์ความนำ จะต้อง เปลี่ยนค่าอิมพีแดนซ์ให้เป็นค่าแอดมิตแตนซ์ก่อน ดังนั้นที่ความถี่ฮาร์มอนิกจะต้องหาค่าอิมพีแดนซ์ตามแบบจำลองก่อน จากนั้นจึงแปลงอิมพีแดนซ์เป็นค่าแอดมิตแตนซ์ เพื่อสร้าง Y_{BUS} ที่ความถี่ฮาร์มอนิก

5.3 การแสดงผลของโปรแกรม

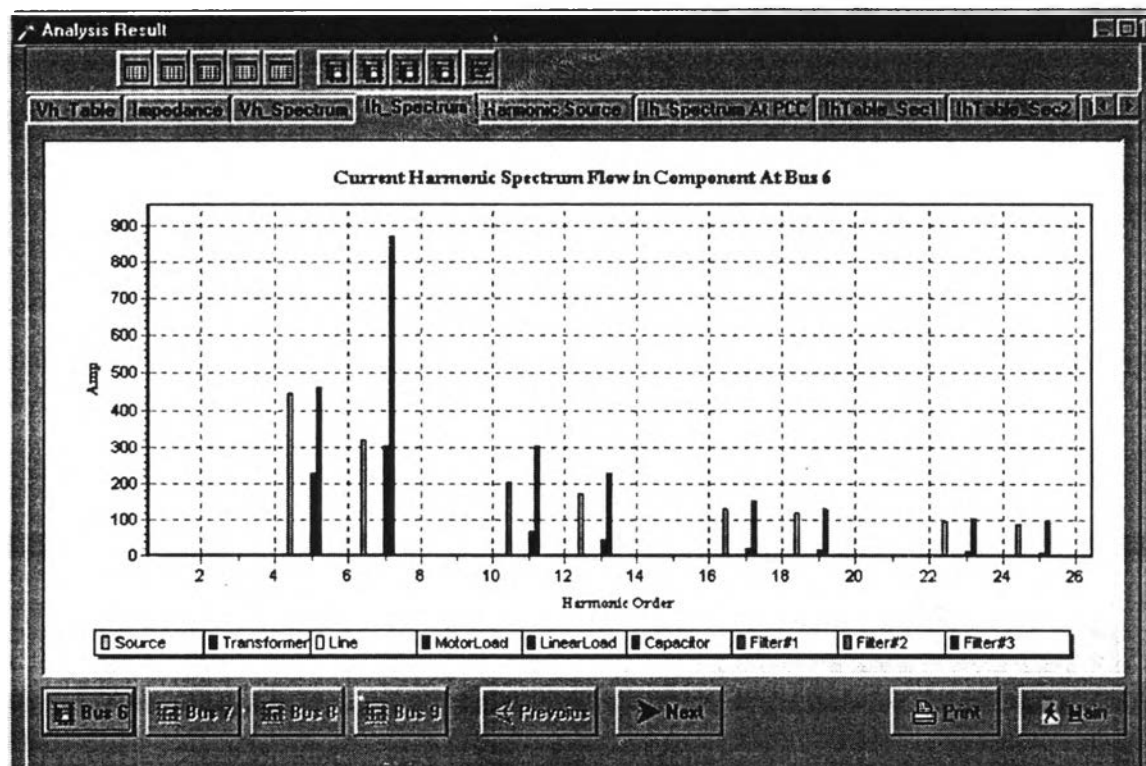
ผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรมนี้จะแสดงอยู่ในรูปของ กราฟ และ ตาราง ของ แรงดันฮาร์มอนิกที่บัสต่างๆ กระแสฮาร์มอนิกที่ไหลผ่านอุปกรณ์ต่างๆที่ต่อกับระบบ ทั้งแบบฮาร์มอนิกเฉพาะลำดับ และ ความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม เพื่อประเมินถึงพิกัดของอุปกรณ์ว่าจะทนกับผลกระทบนี้ได้หรือไม่ นอกจากนี้ ที่ PCC บัส จะเปรียบเทียบกับมาตรฐาน หรือ ข้อบังคับเกี่ยวกับค่าจำกัดทางฮาร์มอนิกในรูปของตาราง ส่วนกราฟอิมพีแดนซ์สมมูลซึ่งได้จาก การทำ Frequency scan จะมีประโยชน์ในการวิเคราะห์การเกิดเรโซแนนซ์ได้ โดยการเลือกดูผลให้เลือกตามส่วนที่อุปกรณ์ต่ออยู่ สำหรับตัวอย่างการแสดงผลการคำนวณจากโปรแกรมแสดงดังรูปต่อไปนี้



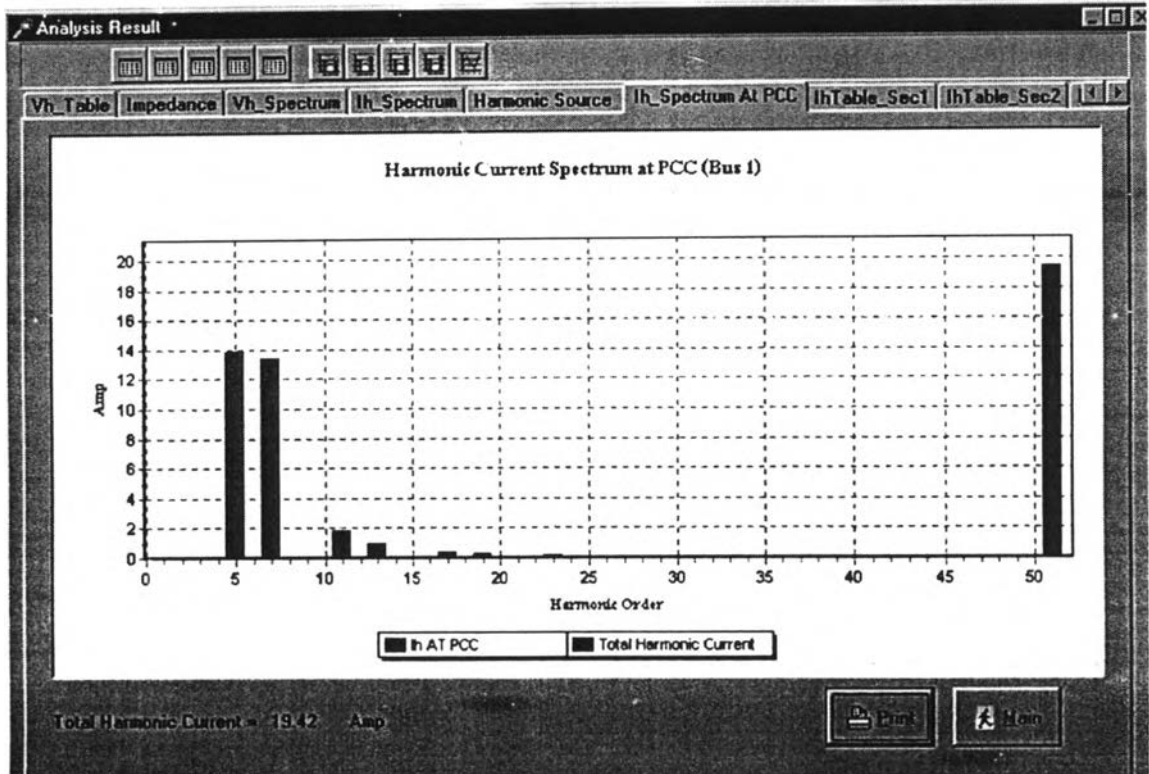
รูปที่ 5.5 หน้าจอส่วนแสดงผลเปคตรัมของแรงดันฮาร์มอนิก (ค่าจริง)



รูปที่ 5.6 หน้าจอส่วนแสดงผลสเปกตรัมของแรงดันฮาร์มอนิก (% of V1)



รูปที่ 5.7 หน้าจอส่วนแสดงผลสเปกตรัมของกระแสฮาร์มอนิก (ค่าจริง) ที่ไหลผ่านอุปกรณ์ต่างๆ



รูปที่ 5.8 หน้าจอส่วนแสดงผลสเปกตรัมของกระแสฮาร์มอนิก (ค่าจริง) ที่ไหลผ่านจุด PCC

TABLE OF HARMONIC VOLTAGE DISTORTION (< 50.00 Hz)

| Order | Bus #1 (PCC) | | Bus #2 | | Bus #3 | | Bus #4 | | Bus #5 | | Bus #6 | |
|----------|--------------|---------|--------|---------|--------|-------|--------|----|--------|----|---------|---------|
| | KV | % | KV | % | KV | % | KV | % | KV | % | KV | % |
| 1 | 23.077 | 100.000 | 0.400 | 100.000 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 400.000 | 100.000 |
| 3 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 5 | 0.033 | 0.138 | 0.005 | 1.284 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 0.005 | 1.284 |
| 7 | 0.038 | 0.160 | 0.006 | 1.488 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 0.006 | 1.488 |
| 9 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 11 | 0.168 | 0.701 | 0.027 | 6.540 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 0.027 | 6.539 |
| 13 | 0.067 | 0.279 | 0.011 | 2.599 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 0.011 | 2.599 |
| 15 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 17 | 0.019 | 0.080 | 0.003 | 0.747 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 0.003 | 0.747 |
| 19 | 0.012 | 0.052 | 0.002 | 0.482 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 0.002 | 0.482 |
| 21 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 23 | 0.007 | 0.029 | 0.001 | 0.269 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 0.001 | 0.269 |
| 25 | 0.005 | 0.021 | 0.001 | 0.194 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 0.001 | 0.194 |
| 27 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 29 | 0.003 | 0.013 | 0.001 | 0.122 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 0.001 | 0.122 |
| 31 | 0.002 | 0.009 | 0.000 | 0.080 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 0.000 | 0.080 |
| Th Total | 23.077 | 100.000 | 7.370 | 100.000 | 0.031 | 7.369 | | | | | | |
| Vrms | 23.078 | 100.000 | 0.401 | 100.000 | | | | | | | | |

รูปที่ 5.9 หน้าจอส่วนแสดงผลของแรงดันฮาร์มอนิก (แบบตาราง) ที่บัสต่างๆที่ต่อใช้งานอยู่

Analysis Result

Vh_Table Impedance Vh_Spectrum Ih_Spectrum Harmonic Source Ih_Spectrum At PCC IhTable_Sec1 IhTable_Sec2

TABLE OF HARMONIC CURRENT FLOW (SECTION 1)

| Order | Source1 | | Utility Limit | | System | | Transformer 1 | | Transformer 5 | | Cable 1 | |
|-----------|-----------|---------|---------------|----|--------|---------|---------------|---------|---------------|----|---------|----|
| | Arms | % | Arms | % | Arms | % | Arms | % | Arms | % | Arms | % |
| 1 | 2,221.66 | 100.00 | -- | -- | 97.21 | 100.00 | 97.21 | 100.00 | -- | -- | -- | -- |
| 3 | -- | -- | 7.00 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 5 | 444.33 | 20.00 | 9.00 | -- | 13.91 | 14.30 | 13.91 | 14.30 | -- | -- | -- | -- |
| 7 | 317.70 | 14.30 | 6.00 | -- | 13.38 | 13.76 | 13.38 | 13.76 | -- | -- | -- | -- |
| 9 | -- | -- | 2.00 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 11 | 202.17 | 9.10 | 6.00 | -- | 1.89 | 1.94 | 1.89 | 1.94 | -- | -- | -- | -- |
| 13 | 171.07 | 7.70 | 5.00 | -- | 1.01 | 1.04 | 1.01 | 1.04 | -- | -- | -- | -- |
| 15 | -- | -- | 1.00 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 17 | 131.08 | 5.90 | 2.00 | -- | 0.40 | 0.41 | 0.40 | 0.41 | -- | -- | -- | -- |
| 19 | 117.75 | 5.30 | 1.00 | -- | 0.28 | 0.29 | 0.28 | 0.29 | -- | -- | -- | -- |
| 21 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 23 | 95.53 | 4.30 | -- | -- | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | -- | -- | -- | -- |
| 25 | 88.87 | 4.00 | -- | -- | 0.11 | 0.12 | 0.11 | 0.12 | -- | -- | -- | -- |
| 27 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 29 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 31 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 33 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| Ih(total) | 645.423 | 29.051 | 15.395 | | 19.421 | 19.977 | 19.421 | 19.977 | | | | |
| Irms | 2,313.515 | 104.134 | Na | | 99.135 | 101.976 | 99.135 | 101.976 | | | | |

Previous Next Print Main

รูปที่ 5.10 หน้าจอส่วนแสดงผลของกระแสฮาร์มอนิก (แบบตาราง) ที่อุปกรณ์ต่างๆที่ต่อใช้งานอยู่

Analysis Result

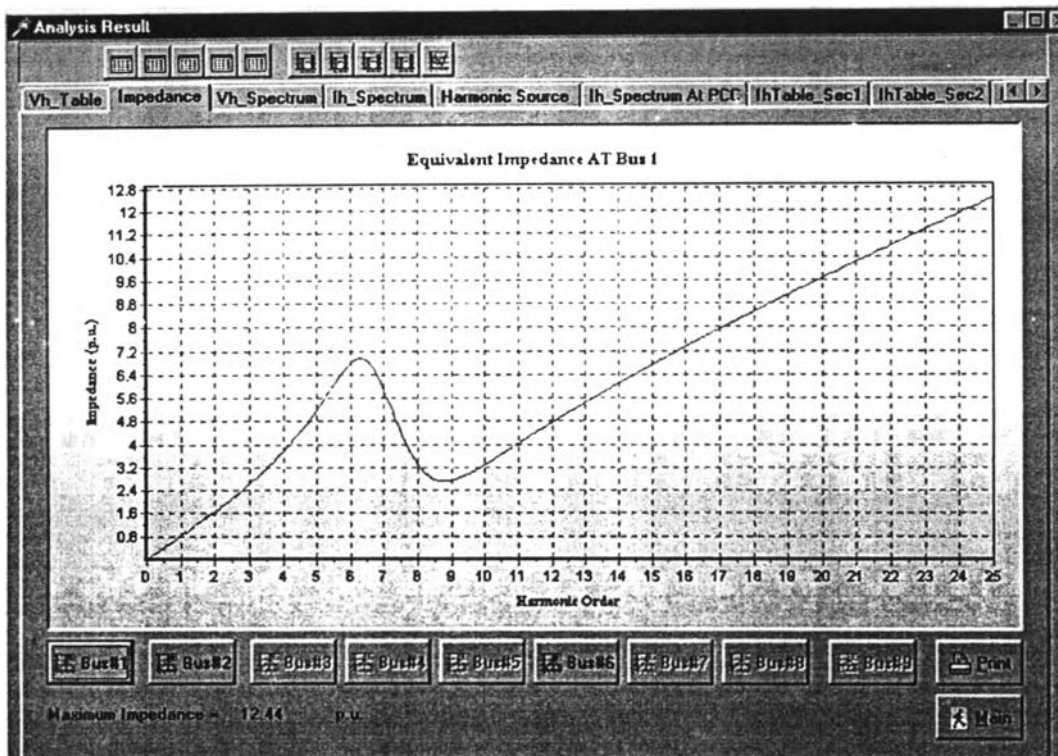
Ih_Spectrum Harmonic Source Ih_Spectrum At PCC IhTable_Sec1 IhTable_Sec2 IhTable_Sec3 IhTable_Sec4

TABLE OF HARMONIC CURRENT FLOW (SECTION 1)

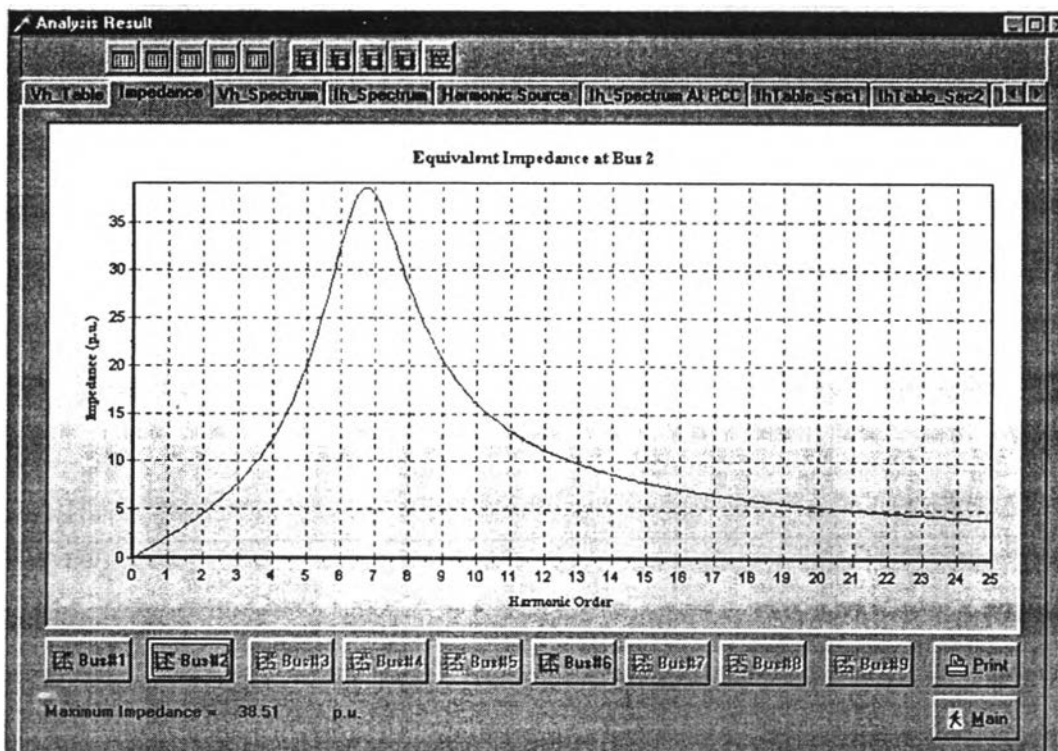
| Order | Motor 1 | | Linear Load 1 | | Capacitor 1 | | Filter # 1 | | Filter # 2 | | Filter # 3 (HF) | |
|-----------|---------|----|---------------|---------|-------------|---------|------------|----|------------|----|-----------------|----|
| | Arms | % | Arms | % | Arms | % | Arms | % | Arms | % | Arms | % |
| 1 | -- | -- | 4,448.53 | 100.00 | 1,441.07 | 100.00 | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 3 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 5 | -- | -- | 225.73 | 5.07 | 462.85 | 32.12 | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 7 | -- | -- | 302.10 | 6.79 | 872.60 | 60.55 | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 9 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 11 | -- | -- | 66.82 | 1.50 | 304.47 | 21.13 | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 13 | -- | -- | 42.01 | 0.94 | 226.41 | 15.71 | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 15 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 17 | -- | -- | 21.73 | 0.49 | 153.27 | 10.64 | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 19 | -- | -- | 16.90 | 0.38 | 133.24 | 9.25 | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 21 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 23 | -- | -- | 10.87 | 0.24 | 103.79 | 7.20 | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 25 | -- | -- | 9.18 | 0.21 | 95.30 | 6.61 | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 27 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 29 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 31 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 33 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| Ih(total) | | | 386.538 | 8.689 | 1,086.610 | 76.403 | | | | | | |
| Irms | | | 4,465.292 | 100.377 | 1,804.825 | 125.242 | | | | | | |

Previous Next Print Main

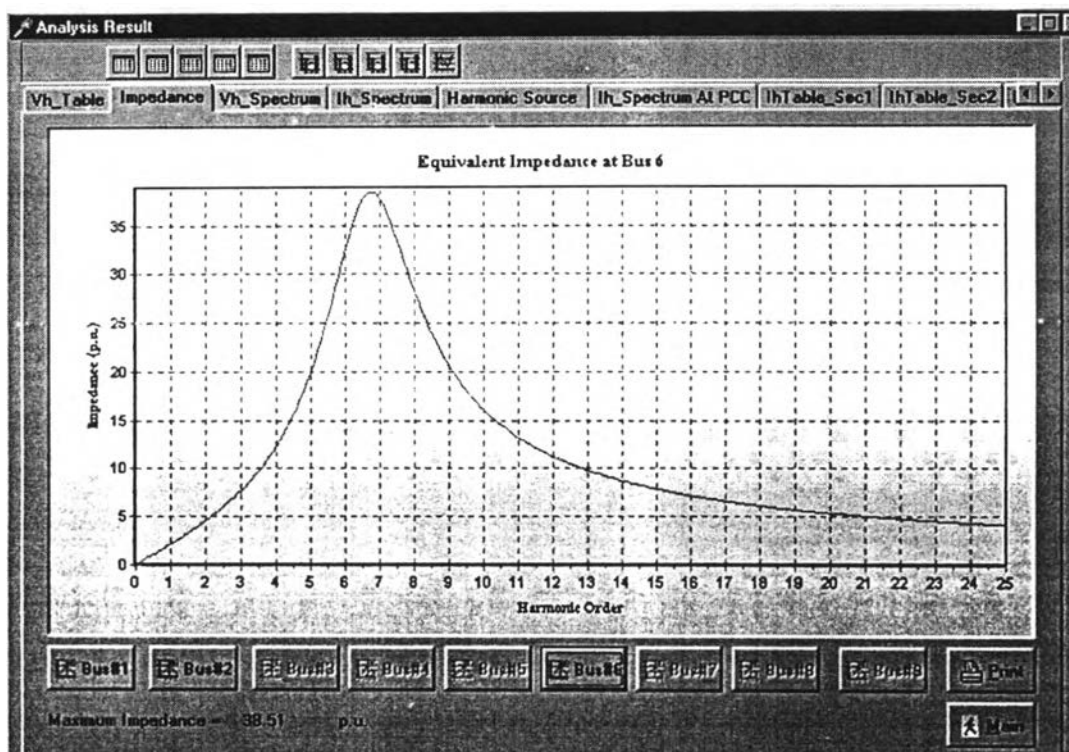
รูปที่ 5.11 หน้าจอส่วนแสดงผลของกระแสฮาร์มอนิก (แบบตาราง) ที่บัสต่างๆที่ต่อใช้งานอยู่ (เมื่อเลือกปุ่ม Next)



รูปที่ 5.12 หน้าจอส่วนแสดงผลของอิมพีแดนซ์สมมูลที่ฮาร์โมนิกลำดับต่างๆ ที่ PCC บัส



รูปที่ 5.13 หน้าจอส่วนแสดงผลของอิมพีแดนซ์สมมูลที่ฮาร์โมนิกลำดับต่างๆ ของ บัสที่ 2

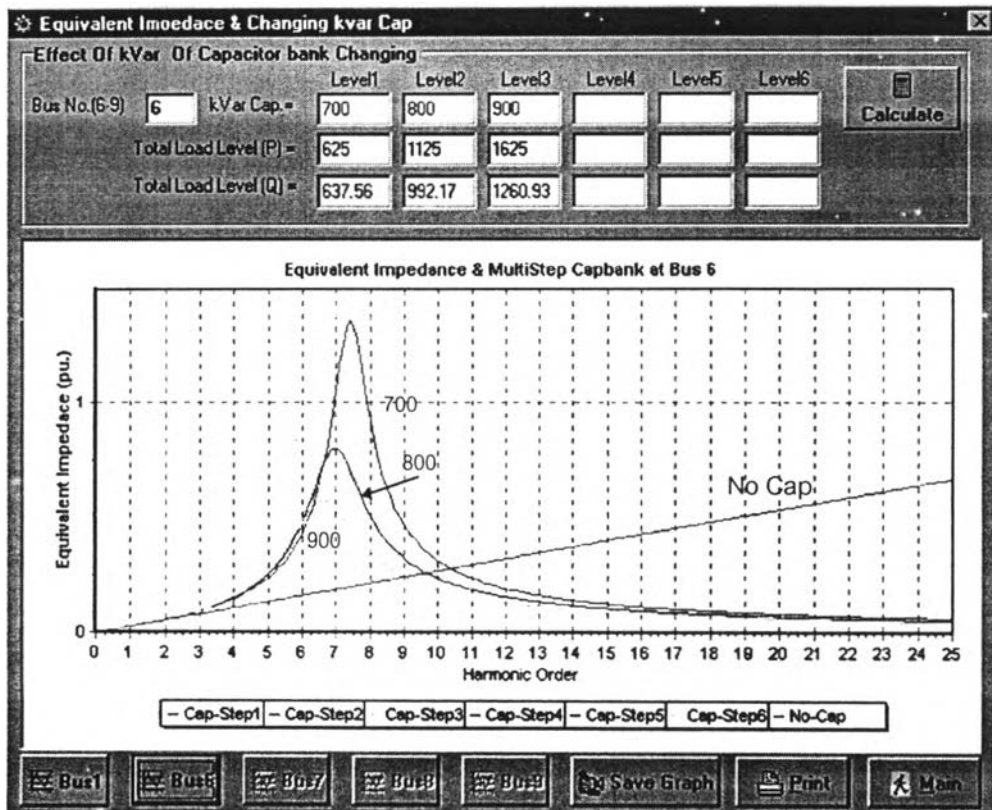


รูปที่ 5.14 หน้าจอส่วนแสดงผลของอิมพีแดนซ์สมมูลที่ฮาร์มอนิกลำดับต่างๆ ของ บัสที่ 6

จากรูปที่ 5.5 ถึงรูปที่ 5.14 เป็นตัวอย่างของส่วนแสดงผลของโปรแกรมตามตัวอย่างการสร้างไดอะแกรมและข้อมูลของอุปกรณ์ดังรูปที่ 5.3 และ 5.4 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า บัสที่ 2 ถูกต่อตรงเข้ากับบัสที่ 6 ดังนั้น ค่าแรงดันฮาร์มอนิกที่คำนวณได้จะมีค่าเท่ากัน รวมทั้งค่าอิมพีแดนซ์สมมูลที่ความถี่ฮาร์มอนิกลำดับต่างๆของบัสที่ 2 จะเท่ากับ ค่าที่บัสที่ 6 ดังรูปที่ 5.13 และ 5.14 เป็นต้น โปรแกรมจะไม่ให้มีการแสดงผล ของอุปกรณ์หรือบัสใดๆที่ไม่ถูกเลือก

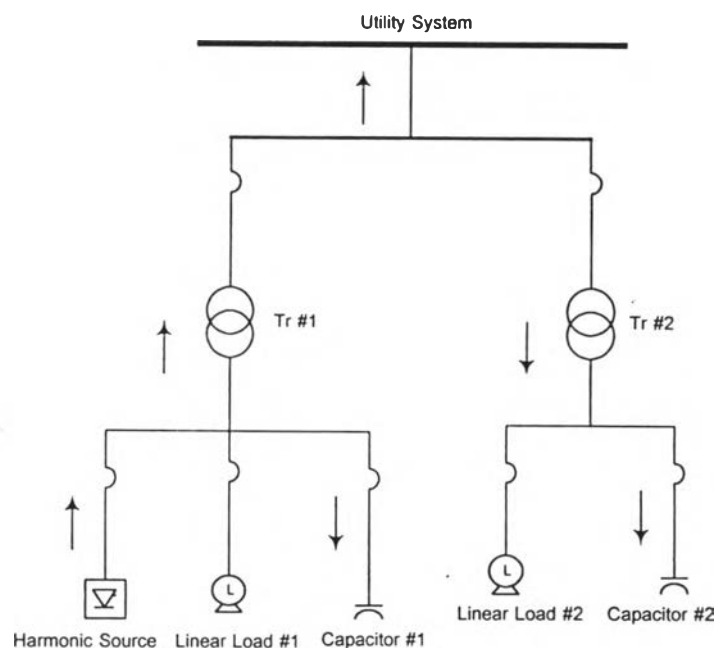
ในส่วนการแสดงผลแบบตารางนั้น โปรแกรมจะคำนวณ ค่าผิดพลาดรวมทั้งที่เป็นค่าจริงและเป็นร้อยละไว้ให้ด้วย เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ (ดังรูปที่ 5.9 ถึง 5.11) และเมื่อต้องการวิเคราะห์ผลกระทบอื่นๆ เช่นการ เพิ่ม/ลด ขนาดของอุปกรณ์ต่างๆ การขนานหม้อแปลง ผลกระทบจากแรงดันฮาร์มอนิกจากแหล่งจ่ายไฟ เป็นต้น ผู้ใช้สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆของระบบได้ตามความต้องการด้วยการกลับไปเปลี่ยนค่าที่หน้าจอ ซึ่งแผนผังการทำงานโดยสรุปทั้งหมดของโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 5.18

สำหรับตัวเลือกการวิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่แปรเปลี่ยนไปตามระดับโหลด ในกรณีที่มีการควบคุมตัวประกอบกำลังนั้น โปรแกรมจะให้ผู้ใช้ป้อนขนาดของโหลด (P,Q) และ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (kVAr) ของคาปาซิเตอร์ ในแต่ละระดับ จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณค่าอิมพีแดนซ์สมมูลที่ความถี่ต่างๆ แล้วนำมาเขียนกราฟเพื่อเปรียบเทียบ ดังรูปที่ 5.15



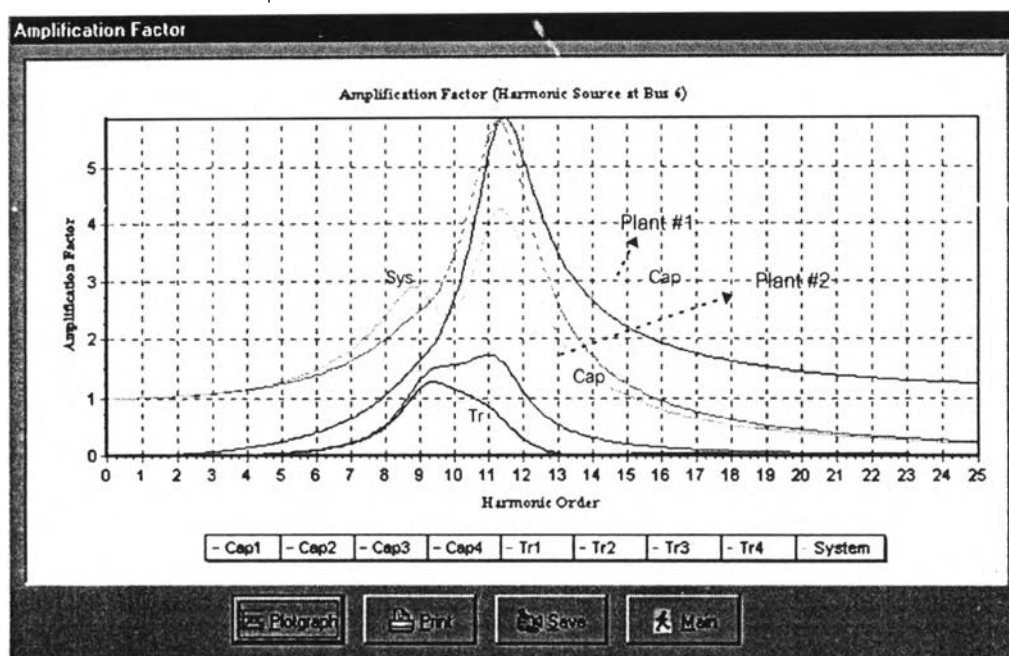
รูปที่ 5.15 อิมพีแดนซ์สมมูลที่ฮาร์มอนิกลำดับต่างๆเมื่อคิดผลของการเปลี่ยนแปลง kVAr ของCap

สำหรับตัวเลือกการหาอัตราขยายกระแส ไปแกรมจะเตรียมไว้เพื่อวิเคราะห์ดูเพียง 2 ส่วน กล่าวคือ จะดูผลกระทบระหว่างโรงงานที่ 1 และ โรงงานที่ 2 โดยอัตราการขยายที่สนใจ คือ กระแสที่ไหลกลับเข้าแหล่งจ่ายไฟ ไหลผ่านหม้อแปลง และ คาปาซิเตอร์ ดังรูปที่ 5.16



รูปที่ 5.16 ไดอะแกรมที่ใช้ศึกษาการหาอัตราขยายกระแส

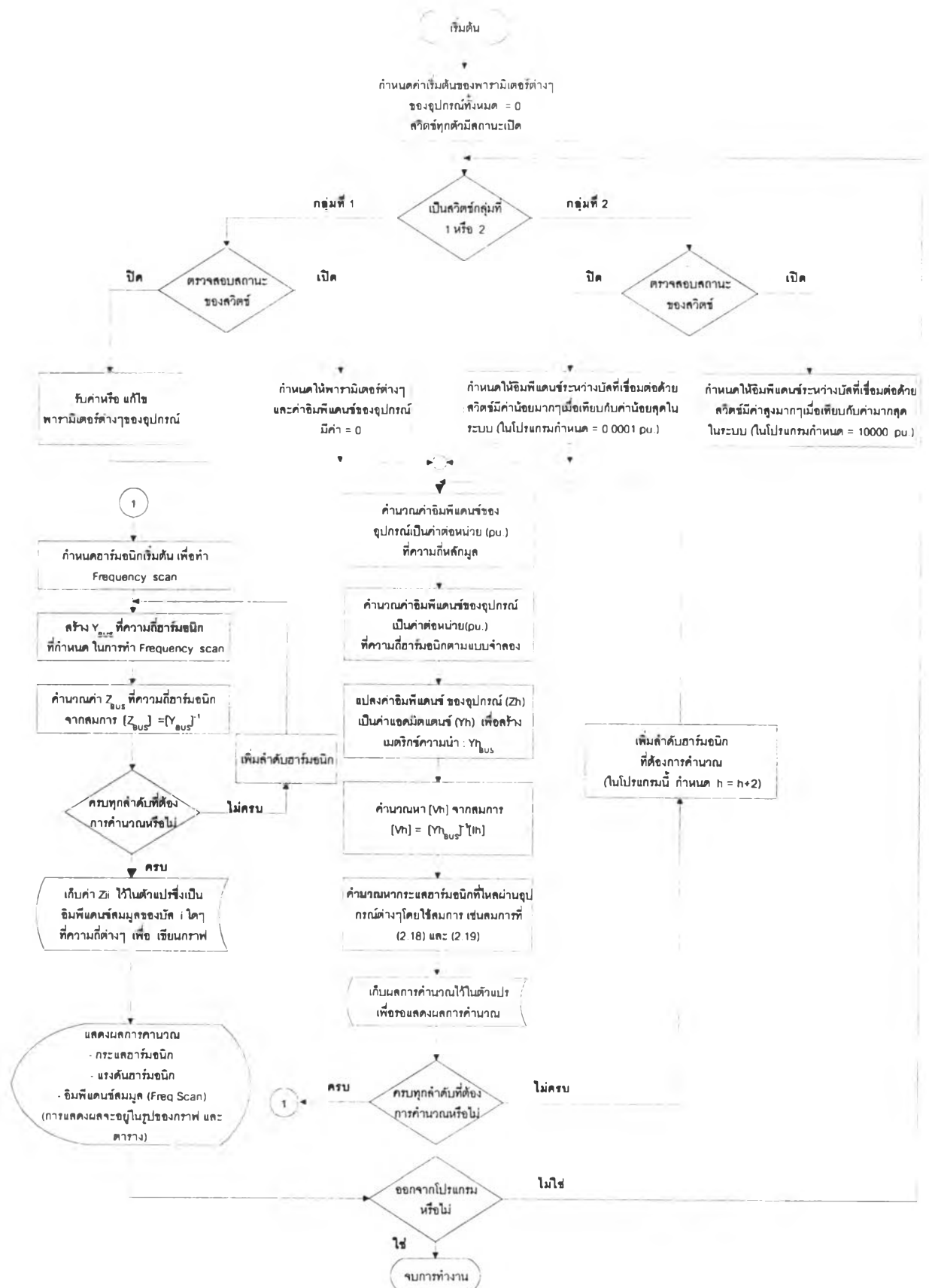
ตัวเลือกนี้จะเลือกได้เมื่อผ่านการคำนวณการหาแรงดัน และ กระแสฮาร์มอนิก มาแล้ว โดยเขียนเป็นกราฟที่ฮาร์มอนิกลำดับต่างๆดังนี้



รูปที่ 5.17 แสดงอัตราขยายกระแสที่ฮาร์มอนิกลำดับต่างๆ ระหว่างโรงงาน

จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นตามหลักการที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้สามารถวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ทางด้านฮาร์มอนิก สรุปได้ดังนี้

- แรงดันฮาร์มอนิกในแต่ละลำดับ (V_h) ของบัสต่างๆที่ต่อในระบบ
- แรงดันฮาร์มอนิกผิดเพี้ยนรวม (THD_v)
- กระแสฮาร์มอนิกในแต่ละลำดับ (I_h) ที่ไหลผ่านอุปกรณ์ต่างๆภายในโรงงาน
- กระแสฮาร์มอนิกผิดเพี้ยนรวม (THD_i)
- กราฟอิมพีแดนซ์สมมูลที่ฮาร์มอนิกลำดับต่างๆ (เพื่อวิเคราะห์หาจุดเรโซแนนซ์)
- กราฟอัตราขยายกระแส (Amplification factor)



รูปที่ 5.18 แผนผังการทำงานโดยรวมของโปรแกรม