บทที่ 4

การพัฒนาโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ฮาร์มอนิกสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม

จากวิธีการที่ใช้วิเคราะห์ฮาร์มอนิกสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังทั่วไป จะใช้วิธีการสร้างเมตริกซ์ความนำ (Y_{BUS}) ถ้านำวิธีการนี้มาประยุกต์ใช้สำหรับโรงงานที่มีหลายบัสจะทำให้การวิเคราะห์สะดวกมากขึ้น เนื่องการวิเคราะห์ด้วยการมองเป็นวงจรสมมูลนั้นจะทำได้ยาก โดยเฉพาะกรณี ที่มีแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกไม่ได้ต่ออยู่ที่บัสเดียวกัน ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จะพัฒนาโปรแกรมเพื่อเป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมด้วยวิธีการสร้างเมตริกซ์ความนำ โดยการสร้างไดอะแกรมของอุปกรณ์หลักๆภายในโรงงานขึ้นมา ให้ผู้ใช้เลือกปิด/เปิดสวิตช์ ให้ได้ตามไดอะแกรมของโรงงานที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งจะสะดวกและรวดเร็วสำหรับผู้ใช้งาน

4.1 วัตถุประสงค์ของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ วิเคราะห์หาแรงดันฮาร์มิอนิกที่บัสและกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลผ่านไปยังอุปกรณ์ต่างๆในโรงงาน เมื่อ

- โรงงานมีโหลดที่เป็นแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิก
- โรงงานมีการเพิ่ม หรือ ลด โหลด ในระบบ
- โรงงานมีการขนานหม้อแปลงเข้ากับบัสที่แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกต่ออยู่
- แหล่งจ่ายไฟฟ้ามีอิมพีแดนซ์เปลี่ยนไป (MAV_{SC} เปลี่ยน)
- แหล่งจ่ายไฟมีแรงดันฮาร์มอนิก (Background harmonic voltage)

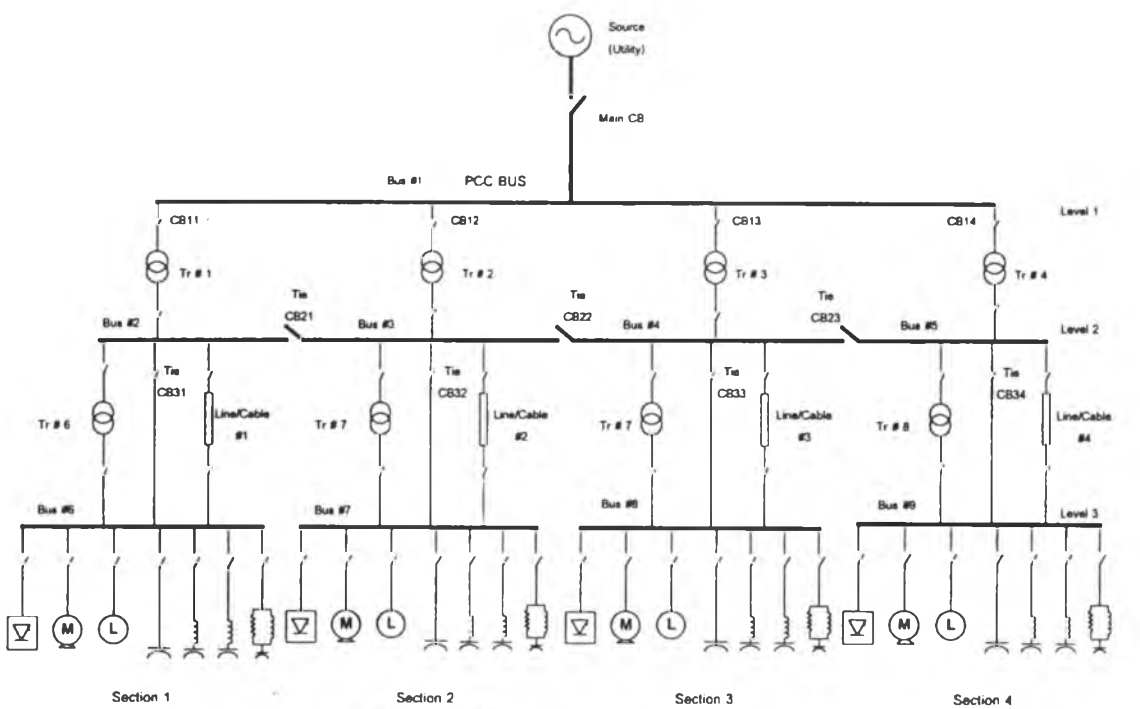
นอกจากนี้ยังมีวัตถุประสงค์เพื่อ วิเคราะห์ลักษณะอิมพีแดนซ์ของแต่ละบัสในโรงงานอุตสาหกรรม ที่ฮาร์มอนิกลำดับต่างๆ เพื่อจะศึกษาถึงสภาวะการเกิดเรโซแนนซ์ วิเคราะห์หาอัตราการขยายกระแสซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งสำหรับการดูผลกระทบจากฮาร์มอนิกที่จะเกิดกับโรงงานข้างเคียง และวิเคราะห์ถึงอิมพีแดนซ์ของแต่ละบัส ในกรณีที่ค่ากำลังงานรีแอคทีฟของคาปาซิเตอร์แปรเปลี่ยนไปตามลักษณะของโหลด

4.2 ไดอะแกรมที่สร้างขึ้นเพื่อใช้วิเคราะห์การไหลของกระแสฮาร์มอนิกในโรงงาน

สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้ จะเตรียมไดอะแกรม ซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักๆทั่วไปของระบบโรงงานอุตสาหกรรม ไว้ให้ผู้ใช้เลือกปิด หรือ เปิด สวิตช์ ของอุปกรณ์นั้นเข้าหรือออกจากระบบ อุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านี้ได้แก่

- โหลดประเภทมอเตอร์
- โหลดเชิงเส้นทั่วๆไป
- ชุดคาปาซิเตอร์ที่ใช้เพื่อปรับค่าตัวประกอบกำลัง
- ตัวกรองฮาร์มอนิก ทั้งแบบ Single tuned และ แบบ High pass
- เคเบิล หรือ สายส่งย่อยภายในโรงงาน
- แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิก

ไดอะแกรมที่สร้างขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ไดอะแกรมที่สร้างขึ้นเพื่อวิเคราะห์การไหลของกระแสฮาร์มอนิกในโรงงาน

จากไดอะแกรมรูปที่ 4.1 ได้สร้างขึ้นโดยมีทั้งหมด 9 บัส แบ่งออกเป็น 4 ส่วน 3 ระดับแรงดัน แต่ละส่วนจะมีอุปกรณ์เตรียมไว้เหมือนๆกันให้ผู้ใช้เลือกสร้างไดอะแกรมของโรงงานที่ต้องการวิเคราะห์ โดยผู้ใช้ทำการเลือกสวิตช์ที่ต่อกับอุปกรณ์เพื่อให้ได้ตามไดอะแกรมของโรงงานที่ต้องการวิเคราะห์ จากข้อมูลของอิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์ที่ถูกเลือกจะนำมาสร้างเมตริกซ์ความนำ (Y_{BUS}) ที่เป็น

ตัวแทนของระบบสำหรับการคำนวณ ส่วนกระแสฮาร์มอนิกจากแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิก ผู้ใช้จะเลือกได้ 2 อย่างคือ กำหนดเป็นร้อยละของกระแสที่ความถี่หลักมูลของ แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิก หรือ กระแสที่ได้จากการตรวจวัดจริง เมื่อพิจารณาในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟมีฮาร์มอนิกปนอยู่ โปรแกรมจะให้ผู้ใช้ป้อนแรงดันฮาร์มอนิกโดยจะเป็นค่าจริงหรือเป็นร้อยละของแรงดันระบบ จากนั้นโปรแกรมจะทำการแปลงแรงดันฮาร์มอนิกที่ปนอยู่เป็นกระแสฮาร์มอนิกที่ป้อนเข้าที่ PCC บัส จากข้อมูลของกระแสฮาร์มอนิก จะได้เมตริกซ์ของกระแสฮาร์มอนิก [Ih] จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการคำนวณหาแรงดันฮาร์มอนิกที่บัสต่างๆ ตามสมการ ที่ (2.17) และคำนวณหา กระแสฮาร์มอนิกที่ไหลผ่านอุปกรณ์ต่างๆ ดังตัวอย่างตามสมการที่ (2.18) และ (2.19)

4.3 การวิเคราะห์จุดเรโซแนนซ์ และ อัตราการขยายกระแส [5]

ในกรณีการวิเคราะห์การเกิดเรโซแนนซ์ โปรแกรมนี้จะวิเคราะห์จากสมการแรงดันที่บัสใดๆ ของระบบ เช่น แรงดันที่บัส i^{th} คำนวณได้ตามสมการที่ (4.1)

$$V_i = Z_{i1}I_1+\ldots+Z_{ii}I_i+\ldots+Z_{in}I_n \qquad (4.1)$$

ถ้าฉีดกระแสกระแสขนาด 1 หน่วย (pu.) เข้าที่บัส i^{th} เพียงบัสเดียว สมการที่ (4.1) จะเขียนใหม่ได้ดังสมการที่ (4.2)

$$V_i = Z_{ii} \qquad (4.2)$$

ดังนั้นอิมพีแดนซ์ที่บัสใดๆสามารถหาได้จากค่าของแรงดันที่บัสเมื่อฉีดกระแสขนาด 1 หน่วย เข้าที่บัสนั้นๆเพียงบัสเดียว และถ้าคิดที่ความถี่อื่นๆด้วย จะได้เส้นกราฟของค่าอิมพีแดนซ์ที่ลำดับฮาร์มอนิกต่างๆ ซึ่งใช้วิเคราะห์สภาวะการเกิดเรโซแนนซ์ของบัสต่างๆในโรงงานได้

ในกรณีการวิเคราะห์หาอัตราการขยายกระแส ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับการพิจารณาติดตั้งชุดคาปาซิเตอร์ เพื่อปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า สมการที่ใช้คำนวณดังนี้

$$AF_n^k = \frac{I_n^k}{I_n^s} \qquad (4.3)$$

เมื่อ AF_n^k = อัตราการขยายกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ n ที่ไหลผ่านกิ่ง (branch) k

I_n^k = กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ n ที่ไหลผ่านกิ่งที่ k

I_n^s = กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ n ของแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์มอนิก

จากสมการที่ (4.3) ในโปรแกรมนี้จะประยุกต์ใช้โดย ขนาดของกระแสฮาร์มอนิกจากแหล่งกำเนิดจะให้มีขนาด 1 หน่วย ที่ทุกๆความถี่ ดังนั้นการหาอัตราการขยายกระแส ในที่นี้ จะเสมือนเป็นการคำนวณ

หาการไหลของกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลผ่านอุปกรณ์ โดยที่จะคำนวณตลอดช่วงความถี่ที่ต้องการวิเคราะห์ เช่นเดียวกับการหาอิมพีแดนซ์สมมูล

4.4 การแบ่งกลุ่มของสวิตช์ของโปรแกรม

สำหรับสวิตช์ที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆในโปรแกรมจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

สวิตช์กลุ่มที่ 1 หมายถึงสวิตช์หรือเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่เชื่อมต่อ ระหว่าง โหลดต่างๆ เช่น มอเตอร์ หม้อแปลง ระบบจ่ายไฟของการไฟฟ้า แหล่งกำเนิดกระแสฮาร์มอนิก เป็นต้น สถานะปิด หมายถึง อุปกรณ์นั้นๆต่ออยู่กับระบบ สถานะเปิด หมายถึง อุปกรณ์นั้นๆถูกปลดออกจากระบบ เช่น CB11,CB12 ของรูปที่ 4.1

สวิตช์กลุ่มที่ 2 หมายถึงสวิตช์หรือเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่เชื่อมต่อระหว่างบัส หรือ เรียกว่า Tie switch ที่ใช้ในการถ่ายเทโหลด การขนานหม้อแปลง เป็นต้น เมื่อสวิตช์ปิด หมายถึง มีการเชื่อมต่อระหว่างบัสที่สวิตช์ต่ออยู่ให้เสมือนเป็นบัสเดียวกันด้วยการแทนค่าอิมพีแดนซ์ระหว่างบัสนั้นๆให้มีค่าน้อยมากๆ เช่น ถ้าผู้ใช้เลือกปิดสวิตช์ CB21 (ดูรูปที่ 4.1 ประกอบ) แรงดันฮาร์มอนิกที่คำนวณได้ของบัสที่ 2 จะเท่ากับแรงดันฮาร์มอนิกที่บัสที่ 3 ดังนั้น แรงดันฮาร์มอนิกที่คำนวณได้ของบัสที่เชื่อมต่อด้วยสวิตช์กลุ่มที่ 2 นี้จึงมีค่าเท่ากัน เมื่อสวิตช์เปิด หมายถึงบัสที่เชื่อมต่อด้วยสวิตช์กลุ่มที่ 2 นี้ แยกจากกัน ค่าอิมพีแดนซ์ระหว่างบัสจะมีค่าสูงมากๆเข้าใกล้ค่าอนันต์ เสมือนว่าบัสทั้ง 2 ไม่ได้ต่อถึงกัน

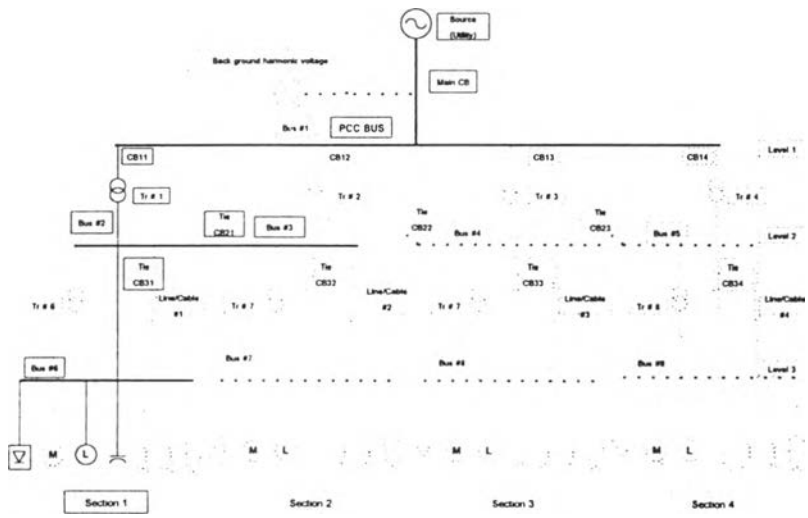
4.5 ตัวอย่างการเลือกอุปกรณ์เพื่อสร้างไดอะแกรม

เนื่องจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นโปรแกรมที่เตรียมไดอะแกรมไว้ให้ผู้ใช้เลือกว่าควรจะปิดสวิตช์ตัวใดบ้าง จึงจะได้ไดอะแกรมที่ต้องการวิเคราะห์ ดังได้กล่าวมาแล้วว่าไดอะแกรมที่เตรียมไว้นี้เป็น แบบทั่วไปของโรงงานอุตสาหกรรม หากโรงงานใดที่มีไดอะแกรมซับซ้อนกว่านี้ อาจจะวิเคราะห์ได้ไม่ละเอียดนัก และโปรแกรมจะเตรียมไดอะแกรมไว้เพียง 1 หน้าจอ ดังนั้นจำนวนบัสมากสุดที่วิเคราะห์ได้ คือ 9 บัส

ตัวอย่างที่ 1 พิจารณาระบบโรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่างดังรูปที่ 2.1 (ในบทที่ 2) ให้นำมาสร้างไดอะแกรม ถ้าระบบโรงงานมีขนาดเล็กวิเคราะห์หม้อแปลงเพียง 1 ชุด จะเลือกใช้ส่วนใดของไดอะแกรมที่โปรแกรมเตรียมไว้ให้ก็ได้ เช่น ถ้าเลือกใช้สวิตช์ในส่วนที่ 1 จะได้ดังรูปที่ 4.2 ซึ่งเทียบเท่ากับรูปที่ 2.1

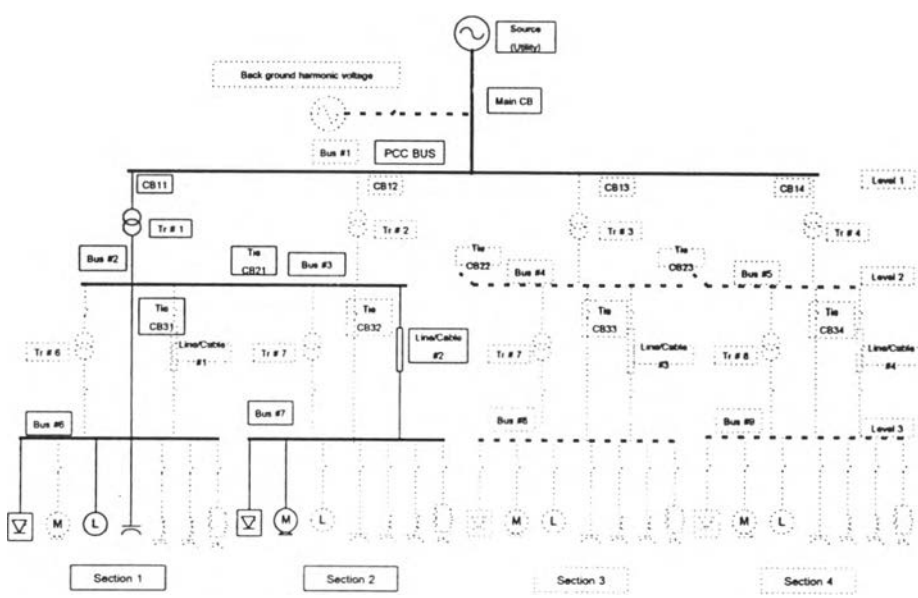
จากไดอะแกรมในรูปที่ 4.2 อุปกรณ์ที่อยู่ระหว่างบัสในระดับที่ 2 (Level 2) และระดับที่ 3 (Level 3) คือ สวิตช์ต่อตรง (กลุ่มที่ 2) ตามตัวอย่างนี้ บัสที่ 2 กับ บัสที่ 6 จะเสมือนเป็นบัสเดียวกัน

ส่วนอุปกรณ์อื่นๆที่ไม่ถูกเลือกใช้ ค่าอิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์นั้นจะไม่ถูกรวมในการสร้าง Y_{BUS} และขนาดยังคงเป็นเมตริกซ์ขนาด 9x9 เหมือนเดิม แต่ผลที่คำนวณได้จะพิจารณาเฉพาะบัสที่ถูกเลือกเข้าสู่ระบบเท่านั้นด้วยการตรวจสอบสถานะสวิตช์ที่ต่ออยู่ที่บัสนั้นๆ



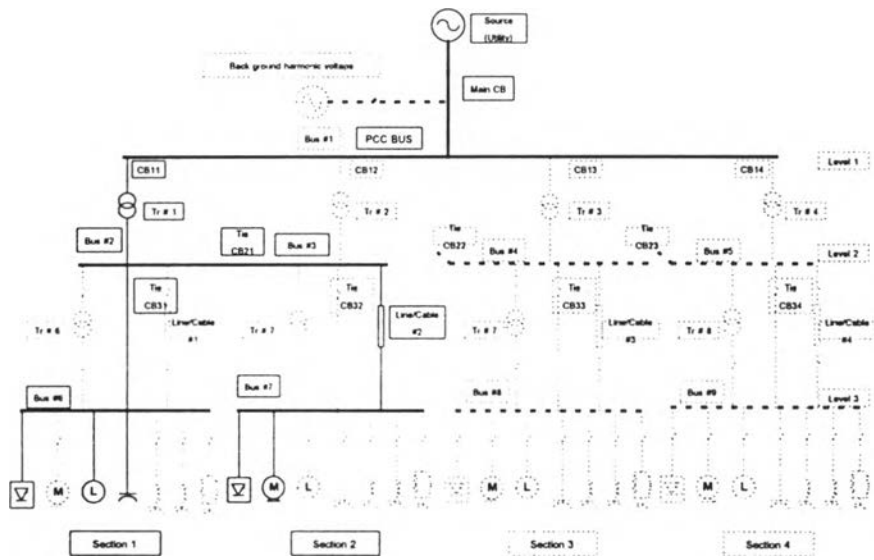
รูปที่ 4.2 การเลือกใช้อุปกรณ์และสวิตช์ในสวน 1
(เพื่อสร้างไดอะแกรมของโรงงานตามรูปที่ 2.1)

ตัวอย่างที่ 2 พิจารณา ระบบโรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่างดังรูปที่ 2.2 (ในบทที่ 2) เลือกสร้างไดอะแกรมได้ดังตัวอย่างรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การเลือกใช้อุปกรณ์และสวิตช์ในสวน 1และ 2
(เพื่อสร้างไดอะแกรมของโรงงานตามรูปที่ 2.2)

ตัวอย่างที่ 3 พิจารณา ระบบโรงงานอุตสาหกรรมดังรูปที่ 2.3 (ในบทที่ 2) ถ้าจะประยุกต์ไดอะแกรมที่โปรแกรมเตรียมไว้ให้ต้องมีการปรับเปลี่ยน ดังนี้ คือ ให้มองอิมพีแดนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นเสมือนโหลด ที่ต่ออยู่ที่บัสที่ 2 (รูปที่ 2.3) และมอเตอร์ 2 ชุดให้มองเสมือนเป็นมอเตอร์ชุดเดียวกัน ดังนั้นสร้างไดอะแกรมจากโปรแกรมได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การเลือกใช้อุปกรณ์และสวิตช์ในส่วน 1และ 2
(เพื่อสร้างไดอะแกรมของโรงงานตามรูปที่ 2.3)

จะเห็นได้ว่าไดอะแกรมดังกล่าวสามารถใช้ได้กับระบบของโรงงานอุตสาหกรรมได้หลายกรณี ด้วยการเลือกปิด/เปิด สวิตช์ ทั้งสองกลุ่ม ดังนั้นสถานะของสวิตช์จึงมีความสำคัญต่อการสร้าง Y_{BUS} มาก การแทนค่าอิมพีแดนซ์ของสวิตช์ในกลุ่มที่ 2 ด้วยค่ามากๆในกรณีสวิตช์เปิดอยู่ เพื่อที่จะทำให้โหนดที่เชื่อมต่อด้วยสวิตช์นี้แยกจากกัน และ การแทนด้วยค่าที่น้อยมากๆ ในกรณีสวิตช์ถูกปิด เพื่อที่จะทำให้โหนดที่เชื่อมต่อด้วยสวิตช์นี้กลายเป็นโหนด (Node) เดียวกัน นั่นเอง ส่วนจะแทนด้วยค่าขนาดเท่าใดนั้น จะต้องพิจารณาความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นในขั้นตอนการหาค่าผกผัน (Inverse) ของ Y_{BUS} กล่าวคือ คำตอบที่ได้จากการหาค่าผกผัน Y_{BUS} ที่มีมิติ เป็น 9x9 จะต้องมีค่าใกล้เคียงกับการหาค่าผกผันของ Y_{BUS} ที่เกิดขึ้นจริง เนื่องจากในวิทยานิพนธ์นี้จะคำนวณเป็นค่าต่อหน่วย (pu.) และได้แทนค่าอิมพีแดนซ์ของสวิตช์กลุ่มที่ 2 ด้วยค่า 10000 p.u. สำหรับสถานะเปิด และ 0.0001 pu. สำหรับสถานะปิด ซึ่งคำตอบที่ได้มีความถูกต้อง โดยเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรม Matlab

สำหรับค่าอิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์นั้น จะมีค่าก็ต่อเมื่อ อุปกรณ์นั้นๆถูกเลือกเข้าสู่ระบบเท่านั้น ถ้าอุปกรณ์นั้นๆไม่ถูกเลือกค่าอิมพีแดนซ์จะมีค่าเป็นศูนย์ จากแนวคิดนี้จึงได้นำมาสร้างเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยวิเคราะห์ฮาร์มอนิกสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมได้รวดเร็วขึ้น ตลอดจนการวางแผนล่วงหน้า ถ้าหากนำโหลดที่เป็นแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกเข้ามาใช้งาน