อภินันทนาการ

สำนักหอสมุด

โปรแกรมวิเคราะห์โหลดโฟลว์สำหรับระบบจำหน่ายแบบเรเดียล แรงดันต่ำบนไมโครซอฟท์เอ็กซ์เซล

LOAD FLOW ANALYSIS FOR RADIAL LOW VOLTAGE DISTRIBUTION SYSTEM BASED ON MICROSOFT EXCEL

นายอลงกรณ์ ติ๊บพรม รหัส 55364503

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 18 ก.ย. 2560
เลขทะเบียน 1778330
เลขเรียกหนังสือ

ป
0 423 ป
2558

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2558

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	โปรแกรมวิเคราะห์โหลดโฟลว์สำหรับระบบจำหน่ายแบบเรเดียลแรงดันต่ำบนไมโครซอฟท์เอ็กซ์เซล
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายอลงกรณ์ ติ๊บพรม รหัส 55364503
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร.ปิยดนัย ภาชนะพรรณ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2558

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน
(ดร.ปิยดนัย ภาชนะพรรณ์)

.....กรรมการ
(ดร.สราวุฒิ วัฒนวงค์พิทักษ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณนิกา วัฒนะ)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	โปรแกรมวิเคราะห์โหลดโฟลว์สำหรับระบบจำหน่ายแบบเรเดียล แรงดันต่ำบนไมโครซอฟท์เอ็กซ์เซล
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายอลงกรณ์ ติ๊บพรม รหัส 55364503
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร.ปิยดนัย ภาชนะพรรณ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2558

.....

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่าย 3 เฟส แบบเรเดียล แรงดันต่ำ ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ร่วมกับ Visual Basic ที่มีมาพร้อมกับคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในระบบปฏิบัติการของ Microsoft Windows เพื่อทำการวิเคราะห์และคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้า, ค่ามุมของแรงดันไฟฟ้า, ค่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายและกำลังไฟฟ้าสูญเสียด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล, วิธีนิวตัน - ราฟสัน, วิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับและทดสอบลักษณะของโหลดในกรณีต่างๆ ได้แก่ กรณีที่โหลดเท่ากันและไม่เท่ากัน, กรณีที่โหลดมีและไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่

ผลทดสอบด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดลและวิธีนิวตัน - ราฟสัน เมื่อเทียบกับผลการทดสอบของโปรแกรม MATLAB มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 1.1 เปอร์เซ็นต์และ 0.05 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนผลการทดสอบด้วยวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ เมื่อเทียบกับผลการทดสอบที่ได้จาก IEEE 4 Node Test Feeder มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.3 เปอร์เซ็นต์และจากการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของโหลดในกรณีต่างๆจะได้ว่า เมื่อไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเชื่อมต่ออยู่จะทำให้เกิดแรงดันตกมาก เมื่อมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายน้อยกว่าโหลดเชื่อมต่ออยู่จะทำให้เกิดแรงดันตกน้อยลง แต่เมื่อมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายมากกว่าโหลดเชื่อมต่ออยู่จะทำเกิดแรงดันเกิน

Project title	Load Flow Analysis for Radial Low Voltage Distribution System based on Microsoft Excel
Name	Mr.Alongkron Tibprom ID. 55364503
Project advisor	Dr.Piyadanai Pachanapan
Major	Electrical Engineering
Department	Electrical and Computer Engineering
Academic year	2015

Abstract

This load flow calculator tool is developed in this project for analysis the 3 phase low voltage Radial distribution networks by Microsoft Excel with Visual Basic, included in any computer with Microsoft Windows operating system. This tool can analysis and calculate voltage, phase angle, the flow of power and power loss in network with 3 method which Gauss - Seidel, Newton - Raphson, Forward Backward Sweep. The case studies are examined in different scenarios such as balance and unbalance load condition or with and without the impact of distribution generation (DG).

From the comparison of load flow tests between developed tools and MATLAB, It is found that the results from Gauss - Seidel and Newton - Raphson methods based on developed tools have the maximum error about 1.1 % and 0.05 %, respectively,comparing to the results from the MATLAB. Moreover, the IEEE 4 node test feeder is used as the test system for testing Forward Backward Sweep method. The results from developed tool have the maximum error about 0.3 % comparing to the results from the IEEE benchmark test. In case of DG connections, it can be seen that DG can improve the voltage level in radial distribution networks. However, the over voltage problem is concerned when the total generation from DG is higher then the over all load demand in the same feeder.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จได้ด้วยดีการดูแลจาก ดร.ปิยดนัย ภาชนะพรรณ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่คอยให้คำปรึกษาและแนะนำขั้นตอนและข้อมูลต่างๆในการทำโครงงานเกี่ยวกับโปรแกรมวิเคราะห์โหลดโฟลว์สำหรับระบบจำหน่ายแบบเรเดียล แรงดันต่ำ โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กซ์เซล นอกจากนั้นยังให้การตรวจทานเล่มปริญญานิพนธ์ผู้ดำเนินโครงงานจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ดร.สราวุฒิ วัฒนวงค์พิทักษ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณนิกา วัฒนะ ที่ให้เกียรติมาเป็นคณะกรรมการในการสอบโครงงานให้คำแนะนำข้อคิดเห็นต่างๆและรวมถึงการตรวจรูปเล่มปริญญานิพนธ์ ทำให้โครงงานนี้ออกมาสมบูรณ์

ขอขอบคุณเพื่อนๆสาขาไฟฟ้าที่คอยช่วยเหลือในงานของข้าพเจ้าในหลายๆด้านทำให้โครงงานนี้จนบรรลุวัตถุประสงค์ตามที่ข้าพเจ้าได้ตั้งเป้าหมายไว้

นายอลงกรณ์ ติ๊บพรม

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ซ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1
1.3 ขอบเขตการทำโครงงาน 2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.6 แผนการดำเนินงาน 3
1.7 งบประมาณ 4

บทที่ 2 ทฤษฎีหลักการ 5
2.1 ระบบไฟฟ้าจำหน่ายแบบเรเดียล 5
2.2 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า 6
2.3 วิธีเกาส์ - ไซเดล (Gauss - Seidel Method) 8
2.4 วิธีนิวตัน - ราฟสัน (Newton - Raphson Method) 12
2.5 วิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ (Forward Backward Sweep Method) 19
2.6 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจาย (Distribution Generation) 23
2.7 โปรแกรม Visual Basic 25

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน 29

3.1 การออกแบบโปรแกรม 29

3.2 การออกแบบโค้ดโปรแกรม 41

บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ 44

4.1 การทดสอบด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล (Gauss - Seidel Method) 44

4.2 การทดสอบด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน (Newton - Raphson Method) 53

4.3 การทดสอบด้วยวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ (Forward Backward Sweep) 59

4.4 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของโหลดในกรณีต่างๆ 65

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 81

5.1 สรุปผลการทดลอง 81

5.2 ประเมินผล 82

5.3 ปัญหาและแนวทางแก้ไข 82

5.4 แนวทางในการพัฒนาต่อไป 82

เอกสารอ้างอิง 83

ภาคผนวก ก วิธีตั้งค่าและเริ่มต้นใช้งานโปรแกรม 84

ภาคผนวก ข ตารางข้อมูลของสายไฟ 88

ภาคผนวก ค รายละเอียด IEEE 4 Node Test Feeder 92

ภาคผนวก ง โค้ดคำสั่งในโปรแกรม 102

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 159

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ค่าในแต่ชนิดของบัส 6

2.2 ตัวดำเนินการด้านคณิตศาสตร์ 27

2.3 ตัวดำเนินการทางด้านตรรกะ 27

2.4 ตัวดำเนินการทางด้านการเปรียบเทียบ 28

3.1 Base Data 31

3.2 Initial Data 31

3.3 Conductor Type Data (สำหรับวิธีเกาส์ - ไซเดลและวิธีนิวตัน - ราฟสัน) 31

3.4 Conductor Type Data (สำหรับวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ) 32

3.5 Voltage Drop Data 32

3.6 Line Data 33

3.7 Bus Data 34

3.8 Voltage and Power 35

3.9 Power Flow and Power Loss 36

4.1 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าจากการทดสอบด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล 50

4.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าจินตภาพที่ไหลในสายจากการทดสอบด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล 51

4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงและกำลังไฟฟ้าสูญเสียจินตภาพจากการทดสอบด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล 52

4.4 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าจากการทดสอบด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน 56

4.5 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าจินตภาพที่ไหลในสายจากการทดสอบด้วยนิวตัน - ราฟสัน 57

4.6 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงและกำลังไฟฟ้าสูญเสียจินตภาพจากการทดสอบด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน 58

4.7 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าจากการทดสอบด้วยวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ 64

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ระบบจำหน่ายแบบเรเดียลจำนวน 10 บัส 5
2.2 ระบบไฟฟ้าที่มีการต่อแบบ π 7
2.3 การไหลของกระแสไฟฟ้าระหว่างบัส i กับ j 10
2.4 ตัวอย่างการวิเคราะห์หาค่ากระแสของโหลดและกระแสที่ไหลในสาย 19
2.5 วงจรสมมูลสายป้อนสามเฟสสี่สาย 20
2.6 ระบบจำหน่ายแบบเรเดียลที่มีการเชื่อมต่อของระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจาย 23
2.7 แสดงลักษณะการไหลของกระแสไฟฟ้าเมื่อมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ (ขนาดเล็กกว่าโหลด) 24
2.8 แสดงลักษณะการไหลของกระแสไฟฟ้าเมื่อมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ (ขนาดใหญ่กว่าโหลด) 24
3.1 แผนผังโครงสร้างการรับข้อมูลและแสดงผลของโปรแกรม 29
3.2 หน้าต่างของส่วนรับข้อมูล (Input) ของวิธีเกาส์ - ไซเดลและวิธีนิวตัน - ราฟสัน 30
3.3 หน้าต่างของส่วนรับข้อมูล (Input) ของวิธีไปข้าง - ย้อนกลับ 30
3.4 ปุ่มคำสั่งเริ่มการทำงานด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดลและวิธีนิวตัน - ราฟสัน 34
3.5 หน้าต่างของส่วนแสดงผล (Output) 35
3.6 แถบจำนวนรอบของการคำนวณ 35
3.7 กราฟแรงดันไฟฟ้า 37
3.8 ปุ่มคำสั่งเคลียร์ข้อมูล 37
3.9 แผนผังลำดับการทำงานของวิธีเกาส์ - ไซเดล 38
3.10 แผนผังลำดับการทำงานของวิธีนิวตัน - ราฟสัน 39
3.11 แผนผังลำดับการทำงานของวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ 40
3.12 การเลือกใช้งานปุ่มคำสั่งด้วยตัวควบคุมแบบ Active X 41
3.13 การสร้างปุ่มคำสั่งด้วยตัวควบคุมแบบ Active X 41
3.14 โค้ดฟังก์ชันของปุ่มคำสั่งด้วยตัวควบคุมแบบ Active X 42
4.1 ตัวอย่างระบบจำหน่ายแบบเรเดียลจำนวน 10 บัส 44
4.2 การกำหนดค่าในตาราง Base Data บนโปรแกรม Microsoft Excel 45
4.3 การกำหนดค่าในตาราง Initial Data บนโปรแกรม Microsoft Excel 45
4.4 การกำหนดค่าในตาราง Conductor Type Data บนโปรแกรม Microsoft Excel 45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.5 การกำหนดค่าในตาราง Voltage Drop Data บนโปรแกรม Microsoft Excel....46
4.6 การกำหนดค่าในตาราง Line Data บนโปรแกรม Microsoft Excel....46
4.7 การกำหนดค่าในตาราง Bus Data บนโปรแกรม Microsoft Excel (ของเฟส A และเฟส B)
....46
4.8 การกำหนดค่าใน Bus data และ Line data ของเฟส A บนโปรแกรม MATLAB (1 เฟส)
....47
4.9 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม
Microsoft Excel ด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล....48
4.10 ผลการทดสอบของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายและกำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยใช้โปรแกรม
Microsoft Excel ด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล....48
4.11 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม
MATLAB ด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล (เฟส A)....49
4.12 ผลการทดสอบของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายและกำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยใช้โปรแกรม
MATLAB ด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล (เฟส A)....49
4.13 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม
Microsoft Excel ด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน....54
4.14 ผลการทดสอบของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายและกำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยใช้โปรแกรม
Microsoft Excel ด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน....54
4.15 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม
MATLAB ด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน (เฟส A)....55
4.16 ผลการทดสอบของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายและกำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยใช้โปรแกรม
MATLAB ด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน (เฟส A)....55
4.17 ตัวอย่างระบบไฟฟ้าแบบเรเดียลจำนวน 4 บัส....59
4.18 ค่าอิมพิแดนซ์ระหว่างเฟสที่มีลักษณะสายต่อแบบวาย....60
4.19 ข้อมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส....60
4.20 ค่าโหลดของแต่ละเฟสในกรณีต่างๆ....60
4.21 การกำหนดค่าในตาราง Base Data บนโปรแกรม Microsoft Excel
(วิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ)....61

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.22 การกำหนดค่าในตาราง Initial Data บนโปรแกรม Microsoft Excel (วิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ) 61
4.23 การกำหนดค่าในตาราง Conductor Type Data บนโปรแกรม Microsoft Excel (วิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ) 62
4.24 การกำหนดค่าในตาราง Line Data บนโปรแกรม Microsoft Excel (วิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ) 62
4.25 การกำหนดค่าในตาราง Bus Data บนโปรแกรม Microsoft Excel (วิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ) 62
4.26 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ด้วยวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ 63
4.27 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก IEEE 4 Node Test Feeder 63
4.28 ตัวอย่างระบบทดสอบแบบเรเดียลจำนวน 20 บัส 65
4.29 การกำหนดค่าการทดสอบกรณีโหลดเท่ากันทั้งสามเฟส 66
4.30 การกำหนดค่าการทดสอบกรณีโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟส 66
4.31 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้ากรณีโหลดเท่ากันทั้งสามเฟส 67
4.32 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้ากรณีโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟส 67
4.33 กราฟแรงดันไฟฟ้ากรณีโหลดมีค่าเท่ากันทั้งสามเฟส 68
4.34 กราฟแรงดันไฟฟ้ากรณีโหลดมีค่าไม่เท่ากันทั้งสามเฟส 68
4.35 การกำหนดค่าการทดสอบกรณีโหลดมีค่าไม่เท่ากันทั้งสามเฟสและไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ 69
4.36 การกำหนดค่าการทดสอบกรณีโหลดมีค่าไม่เท่ากันทั้งสามเฟสและมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ (ขนาดเล็กกว่าโหลด) 70
4.37 การกำหนดค่าการทดสอบกรณีโหลดมีค่าไม่เท่ากันทั้งสามเฟสและมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ (ขนาดใหญ่กว่าโหลด) 70
4.38 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้ากรณีโหลดมีค่าไม่เท่ากันทั้งสามเฟสและไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ 71

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.39 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้ากรณีโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟสและมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ (ขนาดเล็กกว่าโหลด) 72
4.40 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้ากรณีโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟสและมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ (ขนาดใหญ่กว่าโหลด) 72
4.41 กราฟแรงดันไฟฟ้ากรณีโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟสและไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ 73
4.42 กราฟแรงดันไฟฟ้ากรณีโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟสและมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ (ขนาดเล็กกว่าโหลด) 73
4.43 กราฟแรงดันไฟฟ้ากรณีโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟสและมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ (ขนาดใหญ่กว่าโหลด) 74
4.44 การกำหนดค่าการทดสอบกรณีแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงมีค่าเท่ากัน.....74
4.45 การกำหนดค่าการทดสอบกรณีแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงมีค่าไม่เท่ากัน 74
4.46 การกำหนดค่าโหลดเท่ากันทั้งสามเฟสและไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ 75
4.47 การกำหนดค่าโหลดเท่ากันทั้งสามเฟสและมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ (ขนาดใหญ่กว่าโหลด) 75
4.48 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้ากรณีแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงมีค่าเท่ากันและไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเชื่อมต่ออยู่ 76
4.49 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้ากรณีแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงมีค่าไม่เท่ากันและไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเชื่อมต่ออยู่ 77
4.50 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้ากรณีแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงมีค่าเท่ากันและมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเชื่อมต่ออยู่ 77
4.51 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้ากรณีแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงมีค่าไม่เท่ากันและมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเชื่อมต่ออยู่ 78
4.52 กราฟแรงดันไฟฟ้ากรณีแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงมีค่าเท่ากันและไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเชื่อมต่ออยู่.....78
4.53 กราฟแรงดันไฟฟ้ากรณีแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงมีค่าไม่เท่ากันและไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเชื่อมต่ออยู่.....79

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.54 กราฟแรงดันไฟฟ้ากรณีแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงมีค่าเท่ากันและมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเชื่อมต่ออยู่ 79
4.55 กราฟแรงดันไฟฟ้ากรณีแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงมีค่าไม่เท่ากันและมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเชื่อมต่ออยู่ 80

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ระบบไฟฟ้ากำลังในปัจจุบันมีการเชื่อมต่อกันแบบเครือข่ายโดยระบบมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและมีความซับซ้อนของระบบอย่างมากในการศึกษาการคำนวณและวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยการคำนวณด้วยมือของมนุษย์นั้นต้องใช้เวลามากและทำได้ยุ่งยากเพื่อที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและการถ่ายเทของกำลังไฟฟ้าในส่วนต่างๆของระบบไฟฟ้ากำลัง

ในปัจจุบันได้มีการนำโปรแกรมในคอมพิวเตอร์มาช่วยในเรื่องของการคำนวณและวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า โดยมีรูปแบบลักษณะของโปรแกรมที่หลากหลาย เช่น MATLAB, PowerWord Simulator ซึ่งโปรแกรมเหล่านี้เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้เฉพาะด้านจึงไม่มีติดตั้งอยู่ในคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานโดยทั่วไปทำให้ในการการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าโดยคอมพิวเตอร์จะต้องทำการติดตั้งโปรแกรมเหล่านี้ก่อนจึงทำให้เสียเวลาในการติดตั้งโปรแกรมและต้องศึกษาการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ รวมถึงวิธีการใช้งานอีกด้วยในโครงงานนี้จะเป็นการประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีลักษณะที่แตกต่างจากข้างต้นมาใช้ในการศึกษาคำนวณและวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel และ Visual Basic ซึ่งทั้งสองเป็นโปรแกรมที่มีอยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows และอีกทั้งยังเป็นโปรแกรมที่คุ้นเคยและนิยมในการนำมาใช้งาน

ดังนั้นโครงงานจึงได้นำโปรแกรม Microsoft Excel และ Visual Basic มาทำการออกแบบการคำนวณและวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าเพื่อที่จะหาการถ่ายเทของกำลังไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า ในส่วนต่างๆของระบบไฟฟ้าบนโปรแกรม Microsoft Excel โดยวิเคราะห์ในระบบไฟฟ้าแบบเรเดียลที่มีระบบมีขนาดไม่ใหญ่มากและเป็นระบบแบบ 3 เฟส ในระบบจำหน่ายแรงต่ำโดยในระบบไฟฟ้ามีระบบที่มีโหลดอย่างเดียวและระบบที่มีระบบผลิตแบบกระจาย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อออกแบบการคำนวณและการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าโดยแสดงค่าทางไฟฟ้าได้แก่ แรงดันไฟฟ้า, มุมของแรงดันไฟฟ้า, การไหลของกำลังไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel และ Visual Basic

1.3 ขอบเขตการทำโครงงาน

ใช้โปรแกรม Microsoft Excel และ Visual Basic มาออกแบบการคำนวณและวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบจำหน่ายแบบเรเดียลขนาดแรงดันไฟฟ้า 400 โวลต์ 3 เฟส ในกรณีมีและไม่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ระบบแรงต่ำและมีจำนวนบัสในระบบสูงสุด 20 บัส โดยวิเคราะห์ด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล (Gauss - Seidel Method), วิธีนิวตัน - ราฟสัน (Newton - Raphson Method) และวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ (Forward Backward Sweep Method)

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยการวิเคราะห์ด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล (Gauss - Seidel Method), วิธีนิวตัน - ราฟสัน (Newton - Raphson Method) และวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ (Forward Backward Sweep Method)
2. ศึกษาเกี่ยวกับโปรแกรม Microsoft Excel และโปรแกรม Visual Basic
3. ออกแบบและเขียนโค้ดการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าโดยโปรแกรม Visual Basic
4. ทดสอบการทำงานของโปรแกรมวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าบน Microsoft Excel
5. ปรับปรุงแก้ไขโครงงาน
6. จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์
7. เรียบเรียงปริญญานิพนธ์เป็นรูปเล่มและนำเสนออาจารย์ที่ปรึกษา

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำโปรแกรม Microsoft Excel ที่ออกแบบไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ 3 เฟส เพื่อที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับการถ่ายเทของกำลังไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้า
2. สามารถออกแบบเขียนโค้ดการคำนวณและวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าจำหน่ายแรงดันต่ำ โดยโปรแกรม Microsoft Excel และ Visual Basic

1.6 แผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	ปี 2558				ปี 2559					
	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า ได้แก่ 1) วิธีเกาส์ - ไซเดล, 2) วิธีนิวตัน - ราฟสัน และ 3) วิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ										
2. ศึกษาเกี่ยวกับโปรแกรม Microsoft Excel และ Visual Basic										
3. ออกแบบโปรแกรมและทดสอบการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้ากรณีที่ระบบไฟฟ้ามีแต่โหลดของผู้ใช้ไฟฟ้า										
4. ออกแบบโปรแกรมและทดสอบการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้ากรณีที่ระบบไฟฟ้ามีทั้งโหลดของผู้ใช้ไฟและระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจาย										
5. ทดสอบการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าโดยเพิ่มจำนวนบัสในระบบรวมทั้งสามารถรับข้อมูลและแสดงผลผ่านทาง Microsoft Excel										

กิจกรรม	ปี 2558				ปี 2559					
	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
6. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบเสนอโครงงานให้อาจารย์ที่ปรึกษา						■	■			
7. เขียนโครงร่างปริญญานิพนธ์และจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์								■		
8. เรียบเรียงปริญญานิพนธ์และจัดทำเป็นรูปเล่มแดง รวมถึงนำเสนออาจารย์ที่ปรึกษา									■	■

1.7 งบประมาณ

1. ค่าจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์ 500 บาท
2. ค่าอื่นๆ 500 บาท

รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (หนึ่งพันบาทถ้วน) 1,000 บาท

หมายเหตุ : ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

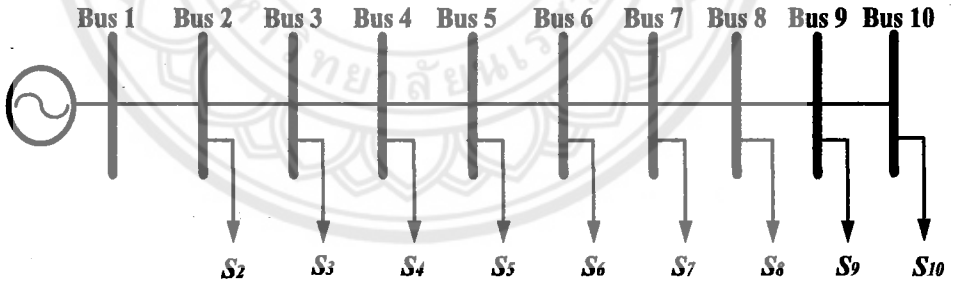
บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

ในบทที่ 2 นี้อธิบายถึงหลักการและทฤษฎีที่รวบรวมเพื่อนำมาใช้ประกอบการทำโครงงาน โดยอธิบายถึงหลักการและทฤษฎีที่นำมาใช้งานควบคู่กับการเขียนโปรแกรมเพื่อให้ได้ผลงานออกมาตามที่ตั้งเป้าหมายไว้ตามจุดประสงค์ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 1

2.1 ระบบไฟฟ้าจำหน่ายแบบเรเดียล

ระบบจำหน่ายคือระบบที่ทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างระบบส่งกำลังไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าหรือโหลดโดยรับแรงดันไฟฟ้าที่ลดระดับลงให้ต่ำจนมีความเหมาะสมให้กับผู้ใช้ระบบส่งจ่ายพลังไฟฟ้ามีรูปแบบพื้นฐาน 3 แบบ คือ ระบบเรเดียล, ระบบลูปและระบบเน็ตเวิร์ก โดยส่วนใหญ่ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะเป็นระบบส่งจ่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล

ระบบแบบเรเดียล (Radial System) คือระบบที่มีส่งจ่ายพลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไปสู่โหลดเพียงวงจรเดียวเริ่มจากบัสของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและกระจายออกไประบบเรเดียลจะแยกวงจรออกไปยังผู้ใช้ที่จุดต่างๆตามที่ต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 2.1 ระบบจำหน่ายแบบเรเดียลจำนวน 10 บัส

ข้อดีระบบแบบเรเดียล

1. การลงทุนของระบบเรเดียลไม่สูงมากทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย
2. การออกแบบวงจรง่ายต่อการใช้งาน
3. เมื่อเกิดปัญหาข้อขัดข้องกับการจ่ายไฟส่วนใดส่วนหนึ่งสามารถตัดวงจรไฟฟ้าส่วนนั้นออกเพื่อสามารถแก้ไขปัญหา

ข้อเสียระบบแบบเรเดียล

1. ขาดความน่าเชื่อถือเมื่อเกิดเหตุผิดปกติส่งผลให้ไฟฟ้าดับทั้งระบบ
2. ยากต่อการบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้ง

2.2 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า (Load Flow Analysis)

การศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าโดยทั่วไปปัญหาในเรื่องการไหลของกำลังไฟฟ้านั้นจะมีการแบ่งบัส (Bus) ทางไฟฟ้าออกเป็น 3 ชนิดด้วยกันดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าในแต่ชนิดของบัส

บัส	ค่าที่กำหนดมา		ค่าที่ต้องการหา	
บัสอ้างอิง	V	δ	P	Q
บัสโหลด	P	Q	V	δ
บัสแรงดันคงที่	P	V	Q	δ

กำหนดให้ V คือ แรงดันไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

δ คือ มุมของแรงดันไฟฟ้ามีหน่วยเป็นองศา (Degree)

P คือ กำลังไฟฟ้าจริงมีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

Q คือ กำลังไฟฟ้าจินตภาพมีหน่วยเป็นวาร์ (Var)

ข้อมูลสำหรับการศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้า

1) ค่าอิมพีแดนซ์และแอดมิตแดนซ์เมทริกซ์ของระบบ

2) บัสอ้างอิงคือบัสอ้างอิงของระบบ โดยที่บัสนี้จะกำหนดค่าขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้า

3) บัสโหลดคือบัสที่มีโหลดต่ออยู่ โดยที่บัสนี้จะกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าจินตภาพของโหลด

4) บัสแรงดันคงที่คือบัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่จะกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงและขนาดแรงดันไฟฟ้า

5) ข้อมูลอื่นๆ เช่น พิกัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง

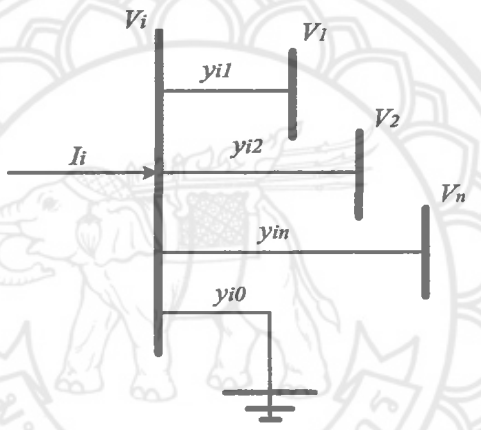
จากสมการของแรงดันไฟฟ้าและสมการของแอดมิตแตนซ์ดังสมการที่ (2.1) และสมการที่ (2.2) ตามลำดับ

$$V = ZI \tag{2.1}$$

$$y = \frac{1}{Z} \tag{2.2}$$

โดยที่ Z คือ ค่าอิมพิแดนซ์มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)

y คือ ค่าแอดมิตแตนซ์มีหน่วยเป็นซีเมนต์ (S)



รูปที่ 2.2 ระบบไฟฟ้าที่มีการต่อแบบ π

สามารถจัดสมการให้อยู่ในรูปสมการกระแสโดยอ้างอิงตามรูปที่ 2.2 ได้ดังสมการที่ (2.3)

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^{n} y_{ij} - \sum_{j=1}^{n} y_{ij} V_j \tag{2.3}$$

โดยที่ I_i คือ กระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

V_i คือ แรงดันไฟฟ้าที่บัส i

V_j คือ แรงดันไฟฟ้าที่บัส j

y_{ij} คือ แอดมิตแตนซ์ระหว่างที่บัส i ไป j

จากสมการกำลังไฟฟ้าดังสมการที่ (2.4)

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \tag{2.4}$$

โดยที่ P_i คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่บัส i

Q_i คือ กำลังไฟฟ้าจินตภาพที่บัส i

จากสมการที่ (2.3) และสมการที่ (2.4) สามารถเขียนสมการการไหลของกำลังไฟฟ้าได้ดังสมการที่ (2.5)

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^{n} y_{ij} - \sum_{j=1}^{n} y_{ij} V_j \tag{2.5}$$

สมการที่ได้เป็นสมการที่ไม่เป็นเชิงเส้นการหาคำตอบของสมการจะหาได้ด้วยการคำนวณแบบหาค่าคำตอบซ้ำหลายๆครั้งโดยวิธีที่ใช้แก้ไขปัญหาในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในที่นี้มีด้วยกัน 3 วิธีคือ

1. วิธีเกาส์ - ไซเดล (Gauss - Seidel Method)
2. วิธีนิวตัน - ราฟสัน (Newton - Raphson Method)
3. วิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ (Forward - Backward Sweep Method)

2.3 วิธีเกาส์ - ไซเดล (Gauss - Seidel Method)

2.3.1 หลักการของวิธีเกาส์ - ไซเดล

การวิเคราะห์ด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล เป็นการคำนวณแบบซ้ำหลายๆครั้งโดยมีขั้นตอนดังนี้

1) สมมติค่าเริ่มต้นของตัวแปรที่ต้องการหา

2) แทนค่าเข้าไปในสมการเพื่อหาค่าตัวแปร

3) เปรียบเทียบระหว่างค่าตัวแปรที่สมมติกับค่าที่คำนวณออกมาได้ถ้าค่าที่เปรียบเทียบกันมีค่าไม่ใกล้เคียงกันให้นำตัวแปรใหม่ที่หาได้แทนกลับเข้าสมการอีก

4) ทำซ้ำๆหลายๆครั้งจนกว่าค่าตัวแปรที่หาได้จากสมการแต่ละครั้งมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงหรือมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมากและจะได้คำตอบของตัวแปรนั้น

2.3.2 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล

การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล จะทำการวิเคราะห์ค่าต่างๆ โดยเปลี่ยนให้อยู่ในหน่วยเปอร์ยูนิต (p.u.) จากสมการการไหลของกำลังไฟฟ้าจากสมการที่ (2.4) และสมการกำลังไฟฟ้าสุทธิดังสมการที่ (2.6)

$$P_i^{sch} + jQ_i^{sch} = \frac{S_i}{S_{base}} \tag{2.6}$$

โดยที่ P_i^{sch} คือ กำลังไฟฟ้าจริงสุทธิที่บัส i มีหน่วยเป็นเปอร์ยูนิต (p.u.)

Q_i^{sch} คือ กำลังไฟฟ้าจินตภาพสุทธิที่บัส i มีหน่วยเป็นเปอร์ยูนิต (p.u.)

S_i คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏที่บัส i มีหน่วยเป็นโวลต์แอมแปร์ (VA)

S_{base} คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏฐานมีหน่วยเป็นโวลต์แอมแปร์ (VA)

ถ้าต้องการหาแรงดันไฟฟ้าที่บัส i ด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล จัดรูปใหม่ได้ดังสมการที่ (2.7)

$$V_i^{(k+1)} = \frac{\dfrac{P_i^{sch} - jQ_i^{sch}}{V_i^{*(k)}} + V_j^{(k)} \sum y_{ij}}{\sum y_{ij}} \quad \text{เมื่อ } j \neq i \tag{2.7}$$

โดยที่ $V_i^{(k+1)}$ คือ แรงดันไฟฟ้าที่บัส i ของรอบการคำนวณที่ k+1

$V_i^{(k)}$ คือ แรงดันไฟฟ้าที่บัส i ของรอบการคำนวณที่ k

$V_j^{(k)}$ คือ แรงดันไฟฟ้าที่บัส j ของรอบการคำนวณที่ k

$\sum y_{ij}$ คือ ผลรวมของค่าแอดมิตแตนซ์ระหว่างบัส i กับบัส j

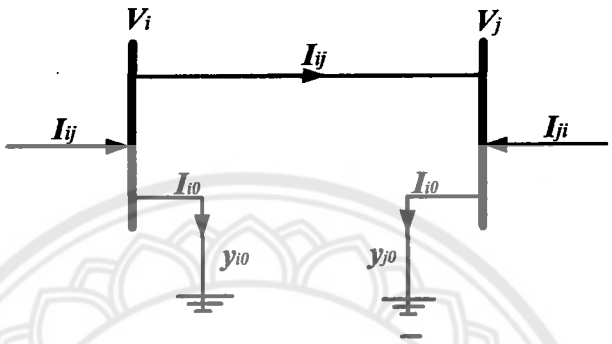
เมื่อได้ค่าแรงดันไฟฟ้าในรอบการคำนวณใหม่สามารถนำมาหาค่าความผิดพลาดได้ตามสมการที่ (2.8) โดยมีค่าความผิดพลาดประมาณ 0.00001

$$\left| V_i^{(k+1)} - V_i^{(k)} \right| \leq \varepsilon \tag{2.8}$$

โดยที่ ε คือ ค่าความผิดพลาด

จากสมการที่ (2.7) เมื่อได้คำตอบของแรงดันไฟฟ้าแล้วสามารถจัดรูปใหม่เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าจินตภาพที่บัสอ้างอิงได้ดังสมการที่ (2.9)

$$P_i - jQ_i = V_i^* \left[V_i \sum_{j=0}^{n} y_{ij} - V_j \sum_{j=1}^{n} y_{ij} \right] \tag{2.9}$$



รูปที่ 2.3 การไหลของกระแสไฟฟ้าระหว่างบัส i กับ j

ได้สมการการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลจากบัส i ไปบัส j และไหลจากบัส j ไปบัส i ได้ดังสมการที่ (2.10) และสมการที่ (2.11) ตามลำดับ

$$I_{ij} = y_{ij}\left(V_i - V_j\right) \tag{2.10}$$

$$I_{ji} = y_{ji}\left(V_j - V_i\right) \tag{2.11}$$

โดยที่ I_{ij} คือ กระแสที่ไหลจากบัส i ไปบัส j

y_{ij} คือ แอดมิตแตนซ์ที่อยู่ระหว่างบัส i ไปบัส j

I_{ji} คือ กระแสที่ไหลจากบัส j ไปบัส i

y_{ji} คือ แอดมิตแตนซ์ที่อยู่ระหว่างบัส j ไปบัส i

สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลจากบัส i ไปบัส j และไหลจากบัส j ไปบัส i และกำลังไฟฟ้าสูญเสียได้ดังสมการที่ (2.12) ถึงสมการที่ (2.14) ตามลำดับ

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* \tag{2.12}$$

$$S_{ji} = V_j I_{ji}^* \tag{2.13}$$

$$S_{L,ji} = S_{ij} + S_{ji} \tag{2.14}$$

โดยที่ S_{ij} คือ กำลังไฟฟ้าจากบัส i ไปบัส j

S_{ji} คือ กำลังไฟฟ้าจากบัส j ไปบัส i

$S_{L,ji}$ คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากบัส i ไปบัส j

2.3.3 การประยุกต์ใช้วิธีเกาส์ - ไซเดลกับระบบจำหน่ายแบบเรเดียล

1) จากรูที่ 2.1 กำหนดให้บัสที่ 1 เป็นบัสอ้างอิงคือบัสต้นทางที่ทราบขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้า โดยกำหนดให้บัสที่ 2 ถึงบัสที่ 10 มีแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นเป็น 1.0 p.u. และมุมของแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้น 0 องศา โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล เป็นการวิเคราะห์ในแต่ละเฟสและไม่คิดค่าอิมพิแดนซ์ของสายที่เชื่อมต่อกันระหว่างเฟส ซึ่งในระบบไฟฟ้า 3 เฟสแต่ละเฟสมีมุมของแรงดันไฟฟ้าต่างกัน 120 องศา คือถ้าให้เฟส A มีมุมของแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 0 องศา เฟส B และ C จะมีมุมของแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ -120 และ 120 องศาตามลำดับ

2) คำนวณหาค่าแอดมิตแตนซ์เมทริกซ์ของแต่ละเฟส

3) คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าของโหลดบัสของแต่ละเฟสตามสมการที่ (2.6)

4) คำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าของรอบการคำนวณที่ 1 โดยที่ค่า $k = 0$ ได้จากสมการที่ (2.7) ในการคำนวณในแต่ละรอบจะมีการอัพเดทค่าแรงดันไฟฟ้าของบัสก่อนหน้านั้นเพื่อใช้คำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าในบัสถัดไปของแต่ละเฟส

5) นำค่าแรงดันไฟฟ้าที่คำนวณได้ในรอบการคำนวณที่ k+1 มาเปรียบเทียบกับค่าแรงดันไฟฟ้าของรอบการคำนวณที่ k ว่ามีค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปสามารถยอมรับได้หรือไม่ ตามสมการที่ (2.8) ถ้ายังยอมรับไม่ได้ให้กลับไปทำตามข้อที่ 4 โดยเพิ่มรอบการคำนวณและเพิ่มค่า k ขึ้นทีละ 1 จนกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความผิดพลาดประมาณ 0.00001

6) เมื่อได้ค่าขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าที่ยอมรับได้แล้วนำมาคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงของแต่ละเฟสตามสมการที่ (2.9)

7) คำนวณหาค่ากระแสที่ไหลในสายของแต่ละเฟสตามสมการที่ (2.10) และสมการที่ (2.11)

8) คำนวณหากำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายและกำลังไฟฟ้าสูญเสียของแต่ละเฟสตามสมการที่ (2.12) ถึงสมการที่ (2.14) ตามลำดับ

2.4 วิธีนิวตัน - ราฟสัน (Newton - Raphson Method)

2.4.1 หลักการของวิธีนิวตัน - ราฟสัน

การวิเคราะห์โดยวิธีนิวตัน - ราฟสัน จะเป็นการใช้อนุกรมเทเลอร์เข้ามาคำนวณโดยมีขั้นตอนดังนี้

1) จากสมการทั่วไปกำหนดค่าเริ่มต้นและค่าความแตกต่างระหว่างค่าเริ่มต้นกับคำตอบได้ดังสมการที่ (2.15)

$$f(x^{(0)}+\Delta x^{(0)})=c \tag{2.15}$$

โดยที่ $x^{(0)}$ คือ ค่าคำตอบเริ่มต้น

$\Delta x^{(0)}$ คือ ค่าความแตกต่างของค่าเริ่มต้นกับคำตอบ

c คือ คำตอบของสมการ

2) นำสมการที่ (2.15) มากระจายอนุกรมเทเลอร์และจัดรูปจะได้ดังสมการที่ (2.16) และสมการที่ (2.17)

$$\Delta c^{(k)}=c-f(x^{(k)}) \tag{2.16}$$

$$\Delta x^{(k)}=\frac{\Delta c^{(k)}}{\left(\frac{df}{dx}\right)^{(k)}} \tag{2.17}$$

โดยที่ $\Delta x^{(k)}$ คือ ผลต่างของค่า x ในรอบการคำนวณที่ k

$\Delta c^{(k)}$ คือ ผลต่างของค่า c ในรอบการคำนวณที่ k

และจัดรูปใหม่ได้เป็นดังสมการที่ (2.18)

$$\Delta c^{(k)} = J^{(k)} \Delta x^{(k)} \tag{2.18}$$

เมื่อ $J^{(k)}$ คือ $\left(\frac{df}{dx}\right)^{(k)}$

3) คำตอบที่หาได้ในแต่ละรอบสามารถหาได้จากสมการที่ (2.19)

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} + \Delta x^{(k)} \tag{2.19}$$

โดยที่ $x^{(k+1)}$ คือ ค่า x ของรอบคำนวณที่ k+1

$x^{(k)}$ คือ ค่า x ของรอบคำนวณที่ k

$\Delta x^{(k)}$ คือ ผลต่างของค่า x ในอบการคำนวณที่ k

2.4.2 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน

การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน จะทำการวิเคราะห์ค่าต่างๆ โดยเปลี่ยนให้อยู่ในหน่วยเปอร์ยูนิตและจัดรูปสมการการไหลของกำลังไฟฟ้าให้อยู่ในรูปเชิงขั้วได้ดังสมการที่ (2.20)

$$P_i - jQ_i = \sum_{j=1}^{n} \left| V_i V_j Y_{ij} \right| \angle(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \tag{2.20}$$

โดยที่ $|V_i|$ คือ ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส i

$|V_j|$ คือ ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส j

$|Y_{ij}|$ คือ ขนาดของแอดมิตแตนซ์ระหว่างบัส i กับบัส j

θ_{ij} คือ มุมของแอดมิตแตนซ์ระหว่างบัส i กับบัส j

δ_i คือ มุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัส i

δ_j คือ มุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัส j

สามารถเขียนให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ได้ดังสมการที่ (2.21)

$$\begin{bmatrix} \Delta P_i^{(k)} \\ \Delta Q_i^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J^{(k)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_i^{(k)} \\ \left|\Delta V_i^{(k)}\right| \end{bmatrix} \tag{2.21}$$

โดยที่ $\Delta P_i^{(k)}$ คือ ผลต่างของกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส i ของรอบการคำนวณที่ k

$\Delta Q_i^{(k)}$ คือ ผลต่างของกำลังไฟฟ้าจินตภาพที่บัส i ของรอบการคำนวณที่ k

$J^{(k)}$ คือ ค่าของจาโคเบียนในรอบการคำนวณที่ k

$\Delta \delta_i^{(k)}$ คือ ผลต่างของมุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัส i ของรอบการคำนวณที่ k

$\left|\Delta V_i^{(k)}\right|$ คือ ผลต่างของขนาดแรงดันไฟฟ้าที่บัส i ของรอบการคำนวณที่ k

จากสมการที่ (2.21) สามารถหาค่าในเมทริกซ์จาโคเบียนเพื่อทำการวิเคราะห์หาค่าแรงดันไฟฟ้าโดยในส่วนที่บัสอ้างอิงจะไม่นำค่าแรงดันไฟฟ้ามาคำนวณเนื่องจากทราบค่าแล้วดังสมการที่ (2.22)

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{ccc|ccc} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & J_1 & \vdots & \vdots & J_2 & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \hline \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & J_3 & \vdots & \vdots & J_4 & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{array}\right] \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta |V_2^{(k)}| \\ \vdots \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{bmatrix} \tag{2.22}$$

สามารถหา J_1 ได้ตามสมการที่ (2.23) และสมการที่ (2.24)

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \frac{\partial}{\partial \delta_i}\left[\left|V_i V_i Y_{ii}\right| \cos(\theta_{ii} + \delta_i - \delta_i) + \sum_{j=1}^{n} \left|V_i V_j Y_{ij}\right| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \right] \tag{2.23}$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = \frac{\partial}{\partial \delta_j}\left[\left|V_i V_i Y_{ii}\right| \cos(\theta_{ii} + \delta_i - \delta_i) + \sum_{j=1}^{n} \left|V_i V_j Y_{ij}\right| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \right] \tag{2.24}$$

สามารถหา J_2 ได้สมการที่ (2.25) และสมการที่ (2.26)

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = \frac{\partial}{\partial V_i}\left[\left|V_i V_i Y_{ii}\right| \cos(\theta_{ii} + \delta_i - \delta_i) + \sum_{j=1}^{n} \left|V_i V_j Y_{ij}\right| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \right] \tag{2.25}$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = \frac{\partial}{\partial V_j}\left[\left|V_i V_i Y_{ii}\right| \cos(\theta_{ii} + \delta_i - \delta_i) + \sum_{j=1}^{n} \left|V_i V_j Y_{ij}\right| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \right] \tag{2.26}$$

สามารถหา J_3 ได้สมการที่ (2.27) และสมการที่ (2.28)

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \frac{\partial}{\partial \delta_i}\left[-\left|V_i V_i Y_{ii}\right| \sin(\theta_{ii} + \delta_i - \delta_i) - \sum_{j=1}^{n} \left|V_i V_j Y_{ij}\right| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \right] \tag{2.27}$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = \frac{\partial}{\partial \delta_j}\left[-\left|V_i V_i Y_{ii}\right| \sin(\theta_{ii} + \delta_i - \delta_i) - \sum_{j=1}^{n} \left|V_i V_j Y_{ij}\right| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \right] \tag{2.28}$$

สามารถหา J_4 ได้สมการที่ (2.29) และสมการที่ (2.30)

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = \frac{\partial}{\partial V_i}\left[-\left|V_i V_i Y_{ii}\right| \sin(\theta_{ii} + \delta_i - \delta_i) - \sum_{j=1}^{n} \left|V_i V_j Y_{ij}\right| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \right] \tag{2.29}$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = \frac{\partial}{\partial V_j}\left[-|V_i V_i Y_{ii}| \sin(\theta_{ii} + \delta_i - \delta_i) - \sum_{j=1}^{n} |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \right] \quad (2.30)$$

ผลต่างของค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าจินตภาพที่บัสนั้นๆกับค่าที่ได้จากการคำนวณในแต่ละรอบหาได้ตามสมการที่ (2.31) และสมการที่ (2.32)

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sch} + P_i^{(k)} \quad (2.31)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{sch} + Q_i^{(k)} \quad (2.32)$$

โดยที่ $\Delta P_i^{(k)}$ คือ ผลต่างของกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส i ของรอบการคำนวณที่ k

P_i^{sch} คือ กำลังไฟฟ้าจริงสุทธิที่บัส i

$P_i^{(k)}$ คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่บัส i ของรอบการคำนวณที่ k

$\Delta Q_i^{(k)}$ คือ ผลต่างของกำลังไฟฟ้าจินตภาพที่บัส i ของรอบการคำนวณที่ k

Q_i^{sch} คือ กำลังไฟฟ้าจินตภาพสุทธิที่บัส i

$Q_i^{(k)}$ คือ กำลังไฟฟ้าจินตภาพที่บัส i ของรอบการคำนวณที่ k

สามารถหาค่าแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปได้ตามสมการที่ (2.33)

$$\begin{bmatrix} \Delta\delta_i^{(k)} \\ \Delta|V_i^{(k)}| \end{bmatrix} = \left[J^{(k)}\right]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P_i^{(k)} \\ \Delta Q_i^{(k)} \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

โดยที่ $\left[J^{(k)}\right]^{-1}$ คือ ค่าอินเวอร์สเมทริกซ์ในจาโคเบียนของรอบการคำนวณที่ k

และเมื่อทราบค่าแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปสามารถนำไปหาค่ามุมของแรงดันไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่บัสใหม่ได้ตามสมการที่ (2.34) และสมการที่ (2.35)

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta\delta_i^{(k)} \tag{2.34}$$

โดยที่ $\delta_i^{(k+1)}$ คือ มุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัส i ของรอบการคำนวณที่ k+1

$\delta_i^{(k)}$ คือ มุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัส i ของรอบการคำนวณที่ k

$\Delta\delta_i^{(k)}$ คือ ผลต่างของมุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัส i ของรอบการคำนวณที่ k

$$\left|V_i^{(k+1)}\right| = \left|V_i^{(k)}\right| + \left|\Delta V_i^{(k)}\right| \tag{2.35}$$

โดยที่ $\left|V_i^{(k+1)}\right|$ คือ ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส i ของรอบการคำนวณที่ k+1

$\left|V_i^{(k)}\right|$ คือ ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส i ของรอบการคำนวณที่ k

$\left|\Delta V_i^{(k)}\right|$ คือ ผลต่างของขนาดแรงดันไฟฟ้าที่บัส i ของรอบการคำนวณที่ k

ตรวจสอบค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าจินตภาพที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความผิดพลาด เมื่อค่าความผิดพลาดประมาณ 0.00025 ตามสมการที่ (2.36)

$$\left|\Delta P_i^{(k)}\right| \le \varepsilon \quad \text{และ} \quad \left|\Delta Q_i^{(k)}\right| \le \varepsilon \tag{2.36}$$

โดยที่ $\left|\Delta P_i^{(k)}\right|$ คือ ผลต่างของขนาดกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส i ของรอบการคำนวณที่ k

$\left|\Delta Q_i^{(k)}\right|$ คือ ผลต่างของขนาดกำลังไฟฟ้าจินตภาพที่บัส i ของรอบการคำนวณที่ k

ε คือ ค่าความผิดพลาด

คำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในสาย, ค่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายและกำลังไฟฟ้าสูญเสียได้จากสมการที่ (2.10) ถึงสมการที่ (2.14) ตามลำดับ

2.4.3 การประยุกต์ใช้วิธีนิวตัน - ราฟสันกับระบบจำหน่ายแบบเรเดียล

1) จากรูปที่ 2.1 กำหนดให้บัสที่ 1 เป็นบัสอ้างอิงจึงไม่นำมาคำนวณเนื่องจากทราบค่าขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าและกำหนดให้ขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นของบัสอื่นๆเท่ากับ 1.0 p.u. และ 0 องศา โดยในการวิเคราะห์ด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน จะเป็นการแยกวิเคราะห์ในแต่ละเฟสไม่คิดผลอิมพิแดนซ์ของสายไฟที่เชื่อมต่อกันระหว่างเฟสในแต่ละช่วงแต่ละเฟสมีมุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงต่างกัน 120 องศาคือถ้ากำหนดให้เฟส A มีมุมของแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 0 องศา ที่เฟส B และเฟส C จะมีมุมของแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ -120 และ 120 องศาตามลำดับ

2) คำนวณค่าแอดมิตแตนซ์เมทริกซ์และเปลี่ยนให้อยู่ในรูปเชิงขั้วของแต่ละเฟส

3) คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าจินตภาพในแต่ละบัสของแต่ละเฟสจากสมาการที่ (2.4) โดยรอบการคำนวณที่ 1 ค่า $k = 0$

4) คำนวณหาสมาชิกแต่ละตัวในเมทริกซ์จาโคเบียนของแต่ละเฟสจากสมการที่ (2.23) ถึงสมการที่ (2.30)

5) คำนวณหาค่าผลต่างของกำลังไฟฟ้าของรอบการคำนวณที่ k ของแต่ละเฟสได้จากสมการที่ (2.29) และสมการที่ (2.32)

6) เมื่อได้ค่าผลต่างของกำลังไฟฟ้ารอบการคำนวณที่ k นำมาคำนวณเพื่อหาค่าผลต่างของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเฟสจากสมการที่ (2.33)

7) คำนวณหาได้ขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัสใหม่ของแต่ละเฟสจากสมการที่ (2.34) และสมการที่ (2.35)

8) ตรวจสอบค่าผลต่างของกำลังไฟฟ้าจากสมการที่ (2.36) ถ้าค่ากำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปยังไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ให้กลับไปทำตามข้อที่ 3 โดยเพิ่มค่า k ขึ้นทีละ 1 จนกว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปจะมีค่าน้อยหรือเท่ากับค่าความผิดพลาดประมาณ 0.00025

9) เมื่อค่ากำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้จะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าเพื่อนำมาคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงของแต่ละเฟสจากสมการที่ (2.18)

10) คำนวณหาค่ากระแสที่ไหลในสายของแต่ละเฟสตามสมการที่ (2.10) และสมการที่ (2.9)

11) คำนวณหากำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายและกำลังไฟฟ้าสูญเสียของแต่ละเฟสตามสมการที่ (2.12) ถึงสมการที่ (2.14) ตามลำดับ

2.5 วิธีไปข้างหน้า - ถอยหลัง (Forward Backward Sweep Method)

2.5.1 หลักการของวิธีไปข้างหน้า - ถอยหลัง

หลักการของวิธีไปข้างหน้า - ถอยหลัง มีดังต่อไปนี้

1) คำนวณค่ากระแสของโหลดในแต่ละบัสหาได้จากค่าโหลดในแต่ละบัสหารด้วยค่าแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัส

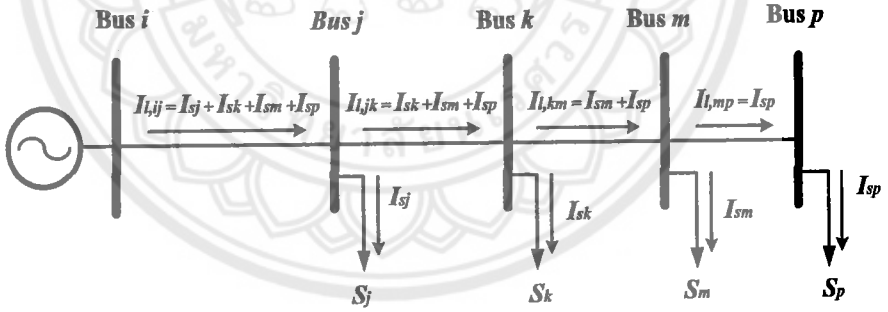
2) คำนวณค่ากระแสที่ไหลในสายโดยมองจากที่บัสปลายทางย้อนกลับมาที่บัสต้นทางจากหลักการที่ว่ากระแสไหลเข้าบัสย่อมมีค่าเท่ากับกระแสไหลออกจากบัส

3) นำค่ากระแสที่ไหลในสายมาคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสจากบัสต้นทางไปยังบัสปลายทางได้จากแรงดันไฟฟ้าที่บัสถัดไปเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่บัสก่อนหน้านั้นหักลบกับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมอิมพิแดนซ์ของสายไฟระหว่างบัสสองบัส

4) คำนวณซ้ำจนกว่าแต่ละครั้งจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความผิดพลาด

2.5.2 การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าด้วยวิธีไปข้างหน้า - ถอยหลัง

การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าด้วยวิธีไปข้างหน้า - ถอยหลัง จะทำการวิเคราะห์ค่าต่างๆ โดยเปลี่ยนให้อยู่ในหน่วยเปอร์ยูนิต (p.u.)



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการวิเคราะห์หาค่ากระแสของโหลดและกระแสที่ไหลในสาย

จากรูปที่ 2.4 จะได้สามารถหาค่ากระแสของโหลดที่บัส p และบัสอื่นๆ ได้ลักษณะเดียวกับสมาการที่ (2.37)

$$I_{sp}^{(k)} = \left(\frac{S_p}{V_p^{(k-1)}} \right)^* \tag{2.37}$$

โดยที่ $I_{sp}^{(k)}$ คือ กระแสของโหลดที่บัส p ของรอบการคำนวณที่ k

S_p คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏที่บัส p

$V_p^{(k-1)}$ คือ แรงดันไฟฟ้าที่บัส p ของรอบการคำนวณที่ k-1

สามารถหาค่ากระแสที่ไหลในสายระหว่างบัสที่ i กับบัสที่ j และสามารถหาค่ากระแสสายในช่วงอื่นๆได้ลักษณะเดียวกับสมาการที่ (2.38)

$$I_{l,ij}^{(k)} = I_{sj}^{(k)} + I_{sk}^{(k)} + I_{sm}^{(k)} + I_{sp}^{(k)} \tag{2.38}$$

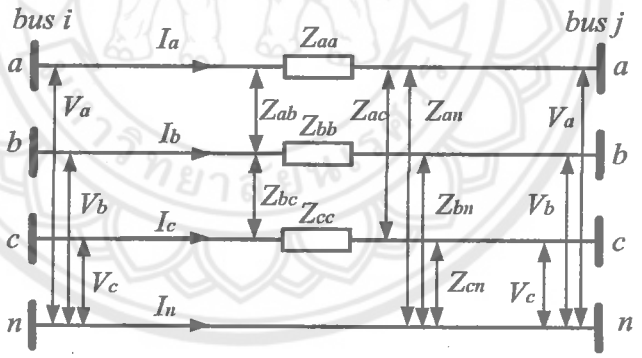
โดยที่ $I_{l,ij}^{(k)}$ คือ กระแสที่ไหลในสายระหว่างบัส i กับบัส j ของรอบการคำนวณที่ k

$I_{sj}^{(k)}$ คือ กระแสของโหลดที่บัส j ของรอบการคำนวณที่ k

$I_{sk}^{(k)}$ คือ กระแสของโหลดที่บัส k ของรอบการคำนวณที่ k

$I_{sm}^{(k)}$ คือ กระแสของโหลดที่บัส m ของรอบการคำนวณที่ k

$I_{sp}^{(k)}$ คือ กระแสของโหลดที่บัส p ของรอบการคำนวณที่ k



รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลสายป้อนสามเฟสสี่สาย

จากรูปที่ 2.5 สามารถเขียนสมการของแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปได้ดังสมการที่ (2.39) และสมการของอิมพิแดนซ์ที่มีการเชื่อมกันในแต่ละเฟสได้ดังสมการที่ (2.40)

$$V_i^{abc} = V_j^{abc} + Ze_{ij}^{abc} I_{l,ij}^{abc} \tag{2.39}$$

โดยที่ V_i^{abc} คือ แรงดันไฟฟ้าที่บัส *i* ของเฟส *abc*

V_j^{abc} คือ แรงดันไฟฟ้าที่บัส *j* ของเฟส *abc*

Ze_{ij}^{abc} คือ อิมพิแดนซ์ที่มีการเชื่อมกันในแต่ละเฟสระหว่างบัส *i* กับบัส *j* ของเฟส *abc*

$I_{l,ij}^{abc}$ คือ กระแสที่ไหลในสายสายระหว่างบัส *i* กับบัส *j* ของเฟส *abc*

$$Ze_{ij}^{abc} = Z_{ij}^{abc} - Z_{ij}^{n} Z_{ij}^{nn^{-1}} Z_{ij}^{n^{T}} \tag{2.40}$$

โดยที่ Ze_{ij}^{abc} คือ อิมพิแดนซ์คิดผลของนิวทรัลระหว่างบัส *i* กับบัส *j* ของเฟส *abc*

Z_{ij}^{abc} คือ อิมพิแดนซ์ระหว่างบัส *i* กับบัส *j* ของเฟส *abc*

Z_{ij}^{n} คือ อิมพิแดนซ์ระหว่างบัส *i* กับบัส *j* ของนิวทรัล

$Z_{ij}^{nn^{-1}}$ คือ อินเวอร์สอิมพิแดนซ์ระหว่างบัส *i* กับบัส *j* ของนิวทรัล

$Z_{ij}^{n^{T}}$ คือ ทรานสโพสท์อิมพิแดนซ์ระหว่างบัส *i* กับบัส *j* ของนิวทรัล

สามารถหาค่าแรงดันไฟฟ้าในบัสถัดไปได้จากสมการที่ (2.41)

$$V_j^{abc^{(k)}} = V_i^{abc^{(k)}} - Ze_{ij}^{abc} I_{l,ij}^{abc^{(k)}} \tag{2.41}$$

ค่าแรงดันไฟฟ้าหาได้จากผลต่างของแรงดันไฟฟ้าในรอบใหม่กับแรงดันไฟฟ้าในรอบก่อนหน้านั้นดังสมการที่ (2.42)

$$\Delta V_i^{(k)} = V_i^{(k)} - V_i^{(k-1)} \tag{2.4/}$$

โดยที่ $\Delta V_i^{(k)}$ คือ ผลต่างของแรงดันไฟฟ้าที่บัส *i* ของรอบการคำนวณที่ *k*

$V_i^{(k)}$ คือ แรงดันไฟฟ้าที่บัส *i* ของรอบการคำนวณที่ *k*

$V_i^{(k-1)}$ คือ แรงดันไฟฟ้าที่บัส *i* ของรอบการคำนวณที่ *k*-1

และตรวจสอบค่าความผิดพลาดได้จากผลต่างของแรงดันไฟฟ้าดังสมการที่ (2.43)

$$\left|\Delta V_i^{(k)}\right| = \varepsilon \tag{2.43}$$

โดยที่ ε คือ ค่าความผิดพลาด

คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายและกำลังไฟฟ้าสูญเสียของทั้งสามเฟสได้ด้วยสมการที่ (2.12) ถึงสมการที่ (2.14)

2.5.3 การประยุกต์วิธีไปข้างหน้า - ถอยหลังกับระบบแบบเรเดียล

1) จากรูปที่ 2.1 เมื่อวิเคราะห์เป็นระบบสามเฟสกำหนดให้บัสที่ 1 เป็นบัสอ้างอิงคือบัสต้นทางที่ทราบขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าทั้งสามเฟส โดยกำหนดให้บัสที่ 2 ถึงบัสที่ 10 มีแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นเป็น 1.0 p.u. และมุมของแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้น 0 องศาสำหรับเฟส A และในเฟส B และ C จะมีมุมของแรงดันไฟฟ้าเป็น -120 และ 120 องศา ตามลำดับ

2) คำนวณค่ากระแสของโหลดในแต่ละบัสของทั้งสามเฟสได้ในรูปแบบเดียวกับสมการที่ (2.37)

3) คำนวณค่ากระแสที่ไหลในสายระหว่างแต่ละบัสของทั้งสามเฟสได้ในรูปแบบเดียวกับสมการที่ (2.38)

4) คำนวณค่าอิมพิแดนซ์ที่มีการเชื่อมกันในแต่ละเฟสของแต่ละช่วงได้จากสมการที่ (2.39)

5) คำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสของทั้งสามเฟสในรอบที่ 1 โดยที่ $k = 1$ ได้จากสมการที่ (2.41) โดยในการคำนวณในแต่ละรอบจะมีการแทนค่าแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าของบัสก่อนหน้านั้นและคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าจนไปถึงบัสสุดท้าย

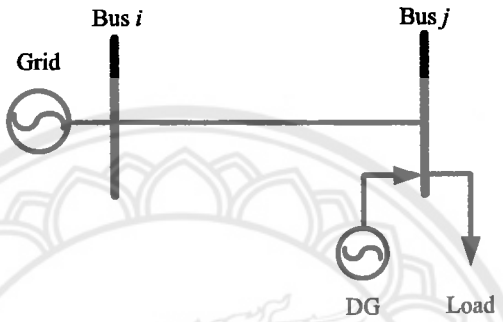
6) นำค่าที่คำนวณได้ในรอบการคำนวณใหม่มาเปรียบเทียบกับค่าของรอบการคำนวณก่อนหน้านั้นว่ามีค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปสามารถยอมรับได้หรือไม่ ตามสมการที่ (2.42) ถ้าหากยอมรับไม่ได้ให้ไปทำข้อที่ 2 โดยเพิ่มค่า k ขึ้นทีละ 1 จนกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปสามารถยอมรับได้

7) เมื่อได้ค่าแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าที่ยอมรับได้แล้วนำมาคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงของทั้งสามเฟสตามสมการที่ (2.9)

8) คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายและกำลังไฟฟ้าสูญเสียของทั้งสามเฟสจากสมการที่ (2.12) ถึงสมการที่ (2.14) ตามลำดับ

2.6 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจาย (Distribution Generation)

ระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเป็นแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าที่มีขนาดไม่ใหญ่มาก โดยมีรูปแบบชนิดของพลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Seal), พลังงานลม (Wind), พลังงานน้ำ (Hydro), แก๊สชีวมวล (Biomass) เป็นต้น ส่วนใหญ่เป็นแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์หรือโซล่าเซลล์ ซึ่งมีการนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟในส่วนที่อยู่ไกลจากระบบผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่เรียกว่าย่อๆว่า DG (Distribution Generation)



รูปที่ 2.6 ระบบจำหน่ายแบบเรเดียลที่มีการเชื่อมต่อของระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจาย

จากหลักการที่ว่ากระแสไฟฟ้าที่โหลดจะเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่ต้องจ่ายโหลดรวมกับกระแสไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายที่มีการเชื่อมต่ออยู่และจัดรูปเพื่อหาค่ากระแสที่ต้องจ่ายโหลดได้ ดังสมการที่ (2.44)

$$I_G = I_{Load} - I_{DG} \tag{2.44}$$

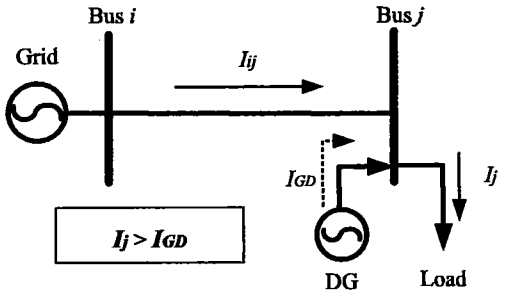
โดยที่ I_G คือ กระแสไฟฟ้าที่ต้องจ่ายโหลด

I_{Load} คือ กระแสไฟฟ้าของโหลด

I_{DG} คือ กระแสไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจาย

เมื่อมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายที่มีขนาดเล็กกว่าโหลดเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 2.7 จะสามารถช่วยลดกำลังไฟฟ้าที่ระบบไฟฟ้าได้และสามารถช่วยลดปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายให้กับโหลด ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมอิมพิแดนซ์ของสายไฟลดลง ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่บัสถัดไปลดลงตามสมการที่ (2.45)

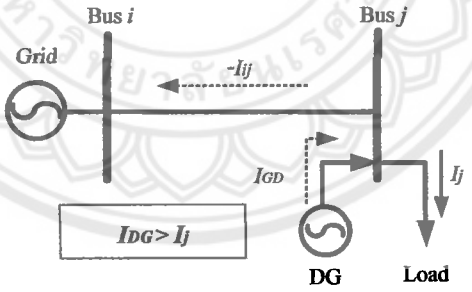
$$V_j = V_i - (I_{ij}Z) \tag{2.45}$$



รูปที่ 2.7 ลักษณะการไหลของกระแสไฟฟ้าเมื่อมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ (ขนาดเล็กกว่าโหลด)

แต่ถ้ามีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายที่มีขนาดใหญ่กว่าโหลดดังแสดงในรูปที่ 2.8 จะส่งผลให้มีกระแสไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายมากกว่ากระแสไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า ทำให้มีกระแสไหลย้อนกลับเข้าสู่ระบบ ส่งผลให้มีกำลังไฟฟ้าไหลย้อนกลับเข้าสู่ระบบไฟฟ้าและทำให้แรงดันไฟฟ้าที่บัสอื่นๆ โดยเฉพาะที่บัสปลายทางมีค่าสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสต้นทางและเกิดแรงดันเกินดังแสดงในสมการที่ (2.46)

$$V_j = V_i - (-I_{ij}Z) = V_i + I_{ij}Z \qquad (2.46)$$



รูปที่ 2.8 ลักษณะการไหลของกระแสไฟฟ้าเมื่อมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ (ขนาดใหญ่กว่าโหลด)

2.7 โปรแกรมวิชวลเบสิก (Visual Basic)

ป
๐๔๓ป
๒๕๙

สำนักหอสมุด
18 ก.ย. 2561

2.7.1 ประวัติความเป็นมา

วิชวลเบสิกเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ (Programming Language) ที่พัฒนาโดยบริษัทไมโครซอฟท์ซึ่งเป็นบริษัทยักษ์ใหญ่ที่สร้างระบบปฏิบัติการ Windows 95/98 และ Windows NT/XP ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันโดยตัวภาษาเองมีรากฐานมาจากภาษา Basic ซึ่งย่อมาจาก Beginner's All Purpose Symbolic Instruction หมายถึงชุดคำสั่งหรือภาษาคอมพิวเตอร์ สำหรับผู้เริ่มต้นภาษา Basic มีจุดเด่นคือผู้ที่ไม่มีพื้นฐานเรื่องการเขียนโปรแกรมเลยก็สามารถเรียนรู้และนำไปใช้งานได้อย่างง่ายดายและรวดเร็ว Visual basic เวอร์ชันแรกคือเวอร์ชัน 1.0 โดยในช่วง แรกยังไม่มีความสามารถต่างจากภาษา QBASIC มากนักแต่จะเน้นเรื่องเครื่องมือที่ช่วยในการเขียนโปรแกรมบนวินโดวส์ซึ่งปรากฏว่า Visual Basic ได้รับความนิยมและประสบความสำเร็จอย่างดี ทางไมโครซอฟท์จึงพัฒนา Visual Basic ให้ดีขึ้นเรื่อยๆทั้งในด้านประสิทธิภาพความสามารถและเครื่องมือต่างๆเช่นเครื่องมือตรวจสอบแก้ไขโปรแกรมสภาพแวดล้อมของการพัฒนาโปรแกรมโปรแกรมลักษณะนี้เรียกว่า Visual Programming ซึ่งไม่จำเป็นต้องเขียนคำสั่งต่างๆมากนักและสามารถสร้างโปรแกรมได้อย่างรวดเร็ว

2.7.2 การประกาศตัวแปร (Declarations)

Dim varname **As** datatypes

ความหมายของแต่ละส่วน มีดังนี้

Dim	คือ คำสั่งต้องการประกาศตัวแปร
varname	คือ ชื่อของตัวแปร
As	คือ คำสงวน ต้องการกำหนดให้ตัวแปรชื่อดังกล่าวแทนข้อมูลชนิดใด
Datatypes	คือ ชนิดของข้อมูลของ VB ซึ่งมีอยู่หลายชนิด เช่น integer, string เป็นต้น

2.7.3 การตั้งชื่อตัวแปร

ให้ขึ้นต้นด้วยพยัญชนะเท่านั้น ความยาวของชื่อที่ตั้งสูงสุดไม่เกิน 255 ชื่อที่ตั้งจะต้องไม่ซ้ำกับคำสงวน, คำสั่ง, ฟังก์ชันหรืออื่นๆที่ VB กำหนดไว้ ห้ามตั้งชื่อซ้ำกันในโพรซีเดอร์เดียวกันหรือในขอบเขตเดียวกัน ห้ามใช้เครื่องหมายทางคณิตศาสตร์, ตัวดำเนินการหรือเครื่องหมายพิเศษ ห้ามมีช่องว่างในชื่อของตัวแปร ถ้าต้องการเว้นว่างให้ใช้เครื่องหมาย _ เท่านั้น

ขอบเขตของตัวแปร (Scope of Variable) ตัวแปรที่ต้องการใช้งานแต่ละตัวมีขอบเขตการใช้งานใน VB สามารถแบ่งขอบเขตตัวแปรได้ 2 ประเภท คือ

1) ตัวแปรแบบเฉพาะส่วน (Local) เป็นตัวแปรที่ประกาศขึ้นมาสามารถเรียกใช้งานได้ในเฉพาะโพรซีเดอร์ที่ประกาศเท่านั้นหรือต้องการใช้แค่ในโพรซีเดอร์นั้นๆ

2) ตัวแปรแบบทั่วถึง (Public) เป็นตัวแปรที่คุณประกาศใช้งานแล้วสามารถเรียกใช้งานได้ทั้งโปรเจ็กต์ใช้ในกรณีที่ต้องเก็บค่าตัวแปรที่ต้องใช้ทุกโพรซีเดอร์

การกำหนดชนิดให้เหมาะสมกับข้อมูลที่เก็บไว้สำหรับเรียกใช้ในโปรแกรมมีดังนี้

1) ข้อมูลชนิด Byte ขนาดหน่วยความจำที่ใช้ 1 Byte เก็บข้อมูลตัวเลขที่อยู่ใน ช่วง 0 ถึง 255 นิยมใช้เก็บค่าตัวเลขที่มีค่าไม่มากหรือตัวแปรที่ใช้ในการนับค่าการวนรอบที่จำนวนรอบไม่มาก

2) ข้อมูลชนิด Integer ขนาดหน่วยความจำที่ใช้ 2 Byte เก็บข้อมูลตัวเลขที่อยู่ในช่วง -32,768 ถึง +32,767 นิยมใช้เก็บค่าตัวเลขจำนวนเต็มไม่มีจุดทศนิยมและมีค่าเป็นลบได้

3) ข้อมูลชนิด Long ขนาดหน่วยความจำที่ใช้ 4 Byte เก็บข้อมูลตัวเลขที่อยู่ในช่วง -2,147,483,648 ถึง +2,147,483,647 นิยมใช้เก็บค่าตัวเลขที่มีค่ามากๆ

4) ข้อมูลชนิด Currency เก็บข้อมูลทศนิยมอยู่ในช่วง -922,337,203,685,477.5808 ถึง +922,337,203,685,477.5807 นิยมใช้เก็บค่าตัวเลขที่ทศนิยม

5) ข้อมูลชนิด Single เก็บข้อมูลตัวเลขทศนิยมที่อยู่ในช่วง -3.402823E+38 ถึง +3.402823E+38 นิยมใช้เก็บค่าตัวเลขทศนิยมเช่น เงินเดือน, ค่าตัวเลขทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม

6) ข้อมูลชนิด Double เก็บข้อมูลตัวเลขทศนิยมที่อยู่ในช่วง -1.79769313486232E+308 ถึง +1.79769313486232E+308 นิยมใช้เก็บค่าตัวเลขทศนิยมที่มีค่ามากๆ เช่นเงินงบประมาณแผ่นดินหรือค่าตัวเลขทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม

7) ข้อมูลชนิด String เก็บข้อมูลที่เป็นตัวอักษรข้อความหรือสัญลักษณ์นิยมใช้เก็บชื่อ-สกุล, ที่อยู่ หรือข้อมูลใดๆที่ เป็นลักษณะของข้อความใช้เก็บตัวเลขได้ในลักษณะสัญลักษณ์ เช่นข้อมูล 1234 คือ 'หนึ่ง สอง สาม สี่' ไม่ใช่หนึ่งพันสองร้อยสามสิบสี่

8) ข้อมูลชนิด Boolean เก็บข้อมูลในรูปแบบตรรกะคือ True (จริง) และ False (เท็จ) นิยมใช้ในการเก็บค่าการ ทดสอบทางเงื่อนไข

9) ข้อมูลชนิด Date เก็บข้อมูลในรูปแบบวันที่นิยมใช้ในการเก็บค่าของวันที่

10) ข้อมูลชนิด Variant เก็บข้อมูลได้ทุกรูปแบบนิยมใช้ในการเก็บค่าที่ไม่ทราบล่วงหน้าว่าเป็นชนิดใด

ตัวแปรอาร์เรย์ เป็นกลุ่มของตัวแปรที่ประกาศขึ้นมาโดยใช้ชื่อของตัวแปรแต่ละตัวเหมือนกันข้อแตกต่างของตัวแปรแต่ละตัวจะใช้ค่า Index ในการอ้างอิงตัวแปรชนิดนี้มีประโยชน์ในแง่ของการเก็บข้อมูลที่คล้ายๆกันเป็นชุดๆ โดยไม่ต้องห่วงเรื่องการตั้งชื่อตัวแปรแต่ละตัว

ตัวดำเนินการด้านคณิตศาสตร์ (Arithmetic Operators) เป็นตัวดำเนินการที่ใช้สำหรับบวก ลบ คูณ หาร ตัวเลข มีดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตัวดำเนินการด้านคณิตศาสตร์

ชื่อตัวดำเนินการ	ลักษณะตัวดำเนินการ
การบวก	+
การลบ	–
การคูณ	*
การหาร	/
การยกกำลัง	^
การเปลี่ยนเครื่องหมาย	-

ตัวดำเนินการทางด้านตรรกะ (Logical Operator) เป็นตัวดำเนินการที่ให้ผลลัพธ์แค่ 2 ค่าเท่านั้น คือ True และ False มักจะใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไขหรือสร้างเงื่อนไขขึ้นมาเพื่อทดสอบกรณีต่างๆ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตัวดำเนินการทางด้านตรรกะ

A	B	And	Or
True	True	True	True
True	False	False	True
False	True	False	True
False	False	False	False

ตัวดำเนินการทางด้านการเปรียบเทียบ (Comparison Operators) เป็นการนำพจน์ตั้งแต่ 2 พจน์ขึ้นไปมาเปรียบเทียบกันเพื่อทดสอบเงื่อนไขหรือสร้างเงื่อนไขมักจะใช้คู่กับตัวดำเนินการทางด้านตรรกะเพื่อตรวจสอบเงื่อนไขต่างๆ ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ตัวดำเนินการทางด้านการเปรียบเทียบ

ตัวดำเนินการ	ชื่อตัวดำเนินการ
<	น้อยกว่า
>	มากกว่า
<=	น้อยกว่าหรือเท่ากับ
>=	มากกว่าหรือเท่ากับ
=	เท่ากับ
<>	ไม่เท่ากับ

2.7.4 คำสั่ง (Statements)

เป็นสิ่งหนึ่งที่ต้องทำความเข้าใจมากพอสมควร เนื่องจากว่าถ้าทราบความหมาย รูปแบบการใช้งานและทราบหน้าที่มากเท่าใดจะสามารถปรับแต่งโค้ดให้ประมวลผลได้รวดเร็วมากขึ้น ดังนั้นควรเลือกใช้คำสั่งให้ตรงกับความต้องการของมากที่สุด

คำสั่งที่เกี่ยวกับการสร้างเงื่อนไข เป็นกลุ่มคำสั่งที่ต้องใช้มากที่สุดไม่ว่าจะเขียนโปรแกรมด้วยภาษาอะไรก็ตาม ซึ่งประกอบไปด้วยกลุ่มคำสั่ง 2 ชุดดังนี้

1. กลุ่มคำสั่งที่สร้างเงื่อนไขในการตัดสินใจ
   - 1.1) If - Else Then
   - 1.2) Select - Case
2. กลุ่มคำสั่งในการวนลูป หรือทำซ้ำ
   - 2.1) For - Next
   - 2.2) Do While - Loop
   - 2.3) Do - Loop While
   - 2.4) Do Until - Loop
   - 2.5) Do - Loop Until

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

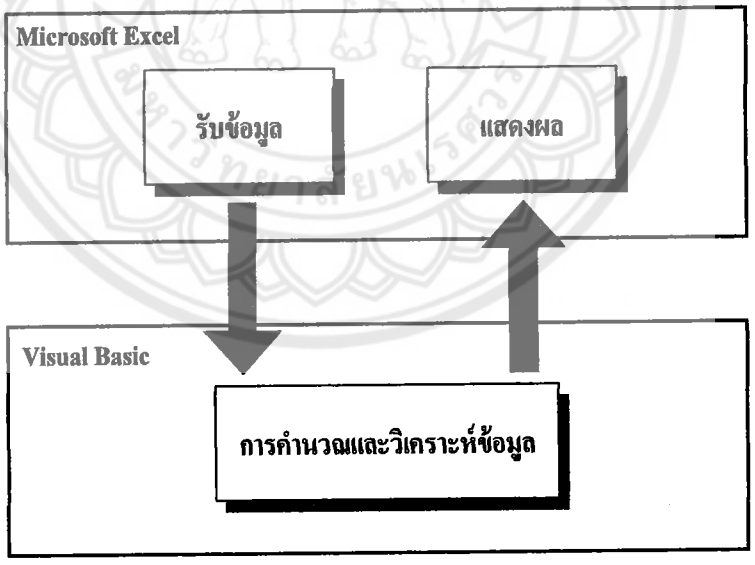
ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการดำเนินงานของโครงงาน เพื่อให้ได้โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบจำหน่ายแบบเรเดียล แรงดันต่ำ แรงดันไฟฟ้า 400 โวลต์ 3 เฟส โดยทำการวิเคราะห์บนโปรแกรม Microsoft Excel

3.1 การออกแบบโปรแกรม

ในส่วนของการออกแบบโปรแกรมจะเป็นการออกแบบการทำงานของโปรแกรมว่ามีลักษณะโครงสร้างและรูปแบบการทำงานของโปรแกรมเป็นอย่างไร

3.1.1 โครงสร้างการรับข้อมูลและแสดงผลของโปรแกรม

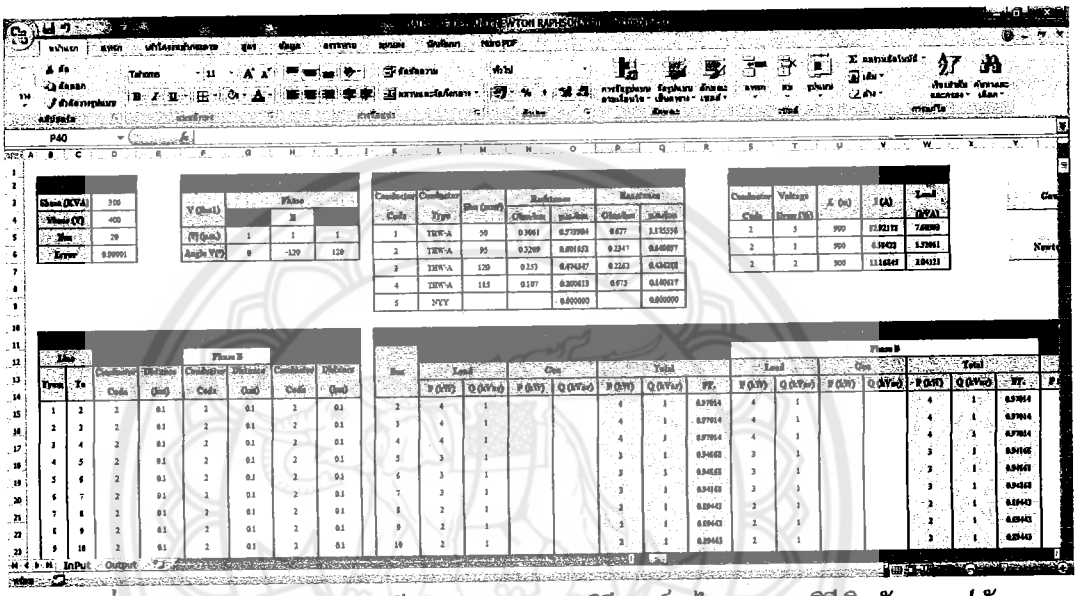
การรับข้อมูลและแสดงผลของโปรแกรมจะมีการทำงานใน Microsoft Excel ส่วนการคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูลจะมีการทำงานใน Visual Basic ดังรูปที่ 3.1



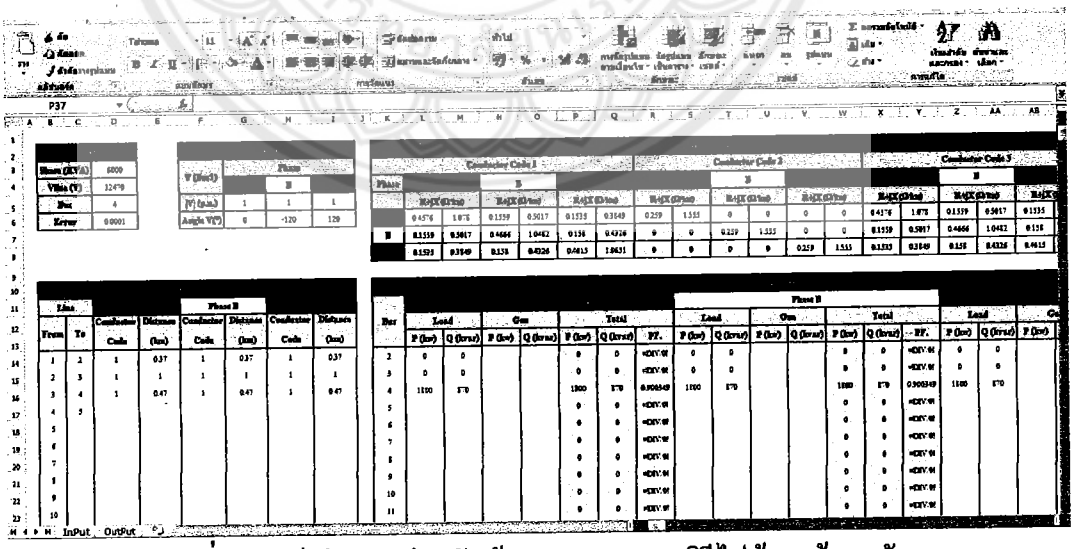
รูปที่ 3.1 แผนผังโครงสร้างการรับข้อมูลและแสดงผลของโปรแกรม

3.1.2 การทำงานของโปรแกรม Microsoft Excel

1) *ส่วนรับข้อมูล (Input)* ในส่วนนี้เป็นการกำหนดข้อมูลต่างๆก่อนที่จะนำไปคำนวณและวิเคราะห์ในโปรแกรม Visual Basic ประกอบด้วยตาราง Base Data, ตาราง Initial Data, ตาราง Conductor Type Data, ตาราง Voltage Drop Data, ตาราง Line Data, ตาราง Bus Data และปุ่มคำสั่งเริ่มการทำงาน ดังรูปที่ 3.2 (วิธีเกาส์ - ไซเดลและวิธีนิวตัน - ราฟสัน) และรูปที่ 3.3 (วิธีไปข้าง - ย้อนกลับ)



รูปที่ 3.2 หน้าต่างของส่วนรับข้อมูล (Input) ของวิธีเกาส์ - ไซเดลและวิธีนิวตัน - ราฟสัน



รูปที่ 3.3 หน้าต่างของส่วนรับข้อมูล (Input) ของวิธีไปข้าง - ย้อนกลับ

1.1) ตาราง Base Data เป็นตารางที่กำหนดค่าฐานของระบบประกอบด้วยค่ากำลังไฟฟ้าฐานของระบบ 3 เฟส (Sbase), ค่าแรงดันไฟฟ้า (Vbase), จำนวนบัสในระบบ (Bus) และค่าความผิดพลาด (Error) ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 Base Data

Sbase (kVA)	300
Vbase (V)	400
Bus	10
Error	0.00001

1.2) ตาราง Initial Data เป็นตารางที่กำหนดแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นที่บัสอ้างอิง ประกอบด้วยค่าขนาดแรงดันไฟฟ้า (|V|) และมุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิง (Angle V) ในระบบสามเฟสโดยมุมของแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเฟสจะแตกต่างกัน 120 องศา ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 Initial Data

V (Bus1)	Phase		
		B	
|V| (p.u.)	1	1	1
Angle V(°)	0	-120	120

1.3) ตาราง Conductor Type Data เป็นตารางที่กำหนดชนิดและขนาดของสายไฟ ประกอบด้วยรหัสหมายเลขใช้เรียกแทนชนิดสายไฟ (Conductor Code), ชนิดของสายไฟ (Conductor Type), ขนาดของสายไฟ (Size), ค่ารีซิสแตนซ์ (Resistance) และรีแอคแตนซ์ (Reactance) ของสายไฟฟ้าดังตารางที่ 3.3 (สำหรับวิธีเกาส์ - ไซเดลและวิธีนิวตัน - ราฟสัน) และตารางที่ 3.4 (สำหรับวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ)

ตารางที่ 3.3 Conductor Type Data (สำหรับวิธีเกาส์ - ไซเดล และวิธีนิวตัน - ราฟสัน)

Conductor Code	Conductor Type	Size (mm^2)	Resistance		Reactance	
			Ohm/km	p.u./km	Ohm/km	p.u./km
1	THW-A	50	0.3061	0.573904	0.627	1.175556
2	THW-A	95	0.3209	0.870576	0.2347	0.440037
3	THW-A	120	0.443	0.601652	0.2450	0.459348
4	NYY	50		0.0000		0.0000
5	NYY	120		0.0000		0.0000

ตารางที่ 3.4 Conductor Type Data (สำหรับวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ)

	Conductor Code 1						Conductor Code 2						Conductor Code 3					
Phase			B						B						B			
	R+jX(Ω/km)		R+jX(Ω/km)		R+jX(Ω/km)		R+jX(Ω/km)		R+jX(Ω/km)		R+jX(Ω/km)		R+jX(Ω/km)		R+jX(Ω/km)		R+jX(Ω/km)	
	0.45	1.07	0.15	0.50	0.15	0.38	0.25	1.55	0	0	0	0	0.45	1.07	0.15	0.50	0.15	0.38
B	0.15	0.50	0.46	1.04	0.15	0.42	0	0	0.25	1.55	0	0	0.15	0.50	0.46	1.04	0.15	0.42
	0.15	0.38	0.15	0.42	0.46	1.06	0	0	0	0	0.25	1.55	0.15	0.38	0.15	0.42	0.46	1.06

1.4) ตาราง Voltage Drop Data เป็นตารางคำนวณค่าแรงดันตกประกอบด้วยค่าชนิดของสายตัวนำที่ใช้ (Conductor Code) เปอร์เซ็นต์ของแรงดันตก (Voltage Drop), ความยาวของสายในระบบ (L) โดยจะคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าของโหลด (I) ในระบบจำหน่าย 3 เฟส 4 สาย ตามสมการที่ (3.1) ถึงสมการที่ (3.4) [7] เพื่อนำมาการคำนวณหาโหลดของแต่ละเฟส (Load) เพื่อไม่ให้เกิดแรงดันตกที่ปลายสายมากเกินมาตรฐานตามสมการที่ (3.4) ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 Voltage Drop Data

Conductor Code	Voltage Drop (%)	L (m)	I (A)	Load (kVA)
1	0.1	900	47.07533	10.87190
2	0.1	900	65.84225	15.20606
3	0.1	900	37.39927	8.63724

$$VD = \%VD \times V_{L-L} = \%VD \times \sqrt{3} \times V_p \quad (3.1)$$

โดยที่ VD คือ ค่าแรงดันตกจากการคำนวณ (V)

$\%VD$ คือ เปอร์เซ็นต์แรงดันตก (%)

V_{L-L} คือ แรงดันสาย (V)

V_p คือ แรงดันเฟส (V)

$$VD = \sqrt{3} \times I \times (R\cos\theta + X\sin\theta) \times L \quad (3.2)$$

โดยที่ I คือ กระแสเฟสของโหลดที่ปลายสาย (A)

R คือ ค่ารีซิสแตนซ์ของสายไฟ (Ω/m)

X คือ ค่ารีแอคแตนซ์ของสายไฟ (Ω/m)

$\cos\theta$ คือ ค่าตัวประกอบกำลัง (PF) โดยกำหนดให้ PF = 0.9

L คือ ความยาวของสายในระบบ (m)

จากสมการที่ (3.1) และสมการที่ (3.2) สามารถจัดรูปเพื่อหาค่ากระแสไฟฟ้าได้ตามสมการที่ (3.3) และสามารถหาค่าโหลดของแต่ละเฟสได้ตามสมการที่ (3.4)

$$I = \frac{\%VD \times V_p}{(R\cos\theta + X\sin\theta) \times L} \tag{3.3}$$

$$S = I \times V_p \tag{3.4}$$

โดยที่ S คือ โหลดที่ตำแหน่งปลายสายของแต่ละเฟส (VA)

1.5) ตาราง Line Data เป็นตารางกำหนดข้อมูลของสายไฟในแต่ละช่วงโดยประกอบด้วยหมายเลขรหัสที่ใช้แทนชนิดของสาย (Conductor Code) และความยาวของสายในแต่ละช่วง (Distance) ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 Line Data

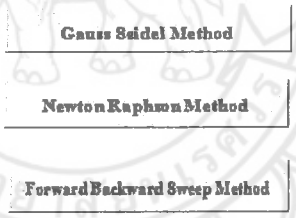
Line		Phase B					
From	To	Conductor Code	Distance (km)	Conductor Code	Distance (km)	Conductor Code	Distance (km)
1	2	2	0.1	2	0.1	2	0.1
2	3	2	0.1	2	0.1	2	0.1
3	4	2	0.1	2	0.1	2	0.1
4	5	2	0.1	2	0.1	2	0.1
5	6	2	0.1	2	0.1	2	0.1
6	7	2	0.1	2	0.1	2	0.1
7	8	2	0.1	2	0.1	2	0.1
8	9	2	0.1	2	0.1	2	0.1
9	10	2	0.1	2	0.1	2	0.1

1.6) ตาราง Bus Data เป็นตารางกำหนดข้อมูลของโหลดในแต่ละบัสของแต่ละเฟส โดยประกอบด้วยค่าของโหลดในแต่ละบัส (Load) และค่ากำลังไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายที่เชื่อมต่ออยู่ในแต่ละบัส (Gen) ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 Bus Data

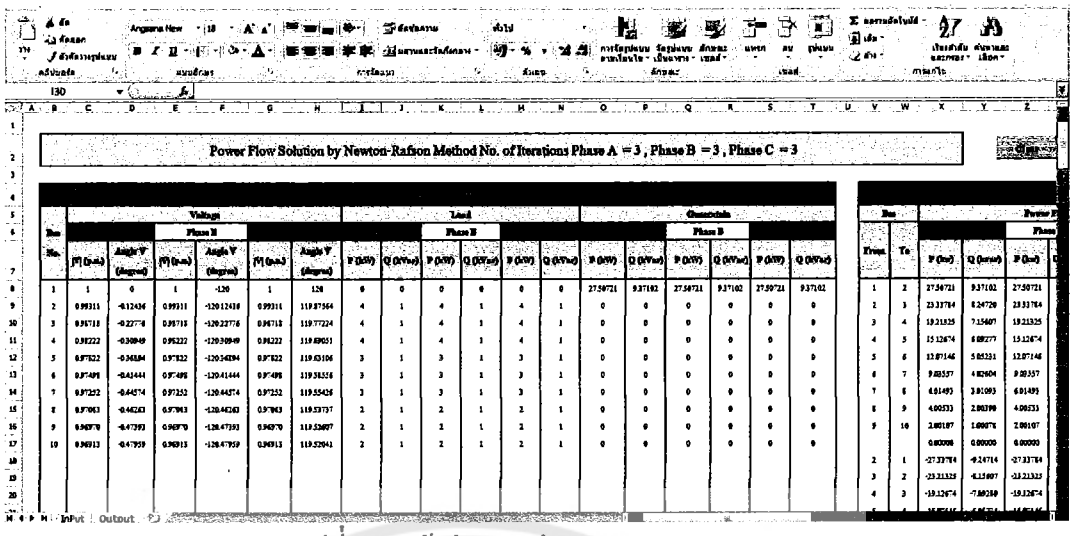
Bus	Phase B													
	Load		Gen		Total			Load		Gen		Total		
	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	PF.	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	PF.
2	4	1			4	1	0.970	4	1			4	1	0.970
3	4	1			4	1	0.970	4	1			4	1	0.970
4	4	1			4	1	0.970	4	1			4	1	0.970
5	3	1			3	1	0.948	3	1			3	1	0.948
6	3	1			3	1	0.948	3	1			3	1	0.948
7	3	1			3	1	0.948	3	1			3	1	0.948
8	2	1			2	1	0.894	2	1			2	1	0.894
9	2	1			2	1	0.894	2	1			2	1	0.894
10	2	1			2	1	0.894	2	1			2	1	0.894

1.7) ปุ่มคำสั่งเริ่มการทำงาน เป็นส่วนของการสั่งเริ่มการคำนวณและวิเคราะห์ด้วยวิธีต่างๆดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ปุ่มคำสั่งเริ่มการทำงานด้วยวิธีต่างๆ

2) ส่วนแสดงผล (Output) ในส่วนนี้จะแสดงผลที่ได้จากการคำนวณและวิเคราะห์ด้วยวิธีต่างๆในVisual Basic ประกอบด้วยแถบแสดงจำนวนรอบของการคำนวณ, ตาราง Voltage and Power, ตาราง Power Flow and Power Loss, กราฟแรงดันไฟฟ้าและปุ่มคำสั่งเคลียร์ข้อมูลดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 หน้าต่างของส่วนแสดงผล (Output)

2.1) แถบแสดงจำนวนรอบของการคำนวณเป็นส่วนแสดงจำนวนรอบของการคำนวณและวิเคราะห์ด้วยวิธีต่างๆดังรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 แถบจำนวนรอบของการคำนวณ

2.2) ตาราง Voltage and Power เป็นตารางแสดงผลของค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณและวิเคราะห์ด้วยวิธีต่างๆประกอบด้วยค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้า (Voltage), ค่ากำลังไฟฟ้าของโหลด (Load) และค่ากำลังไฟฟ้าที่บัสอ้างอิง (Generator) ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 Voltage and Power

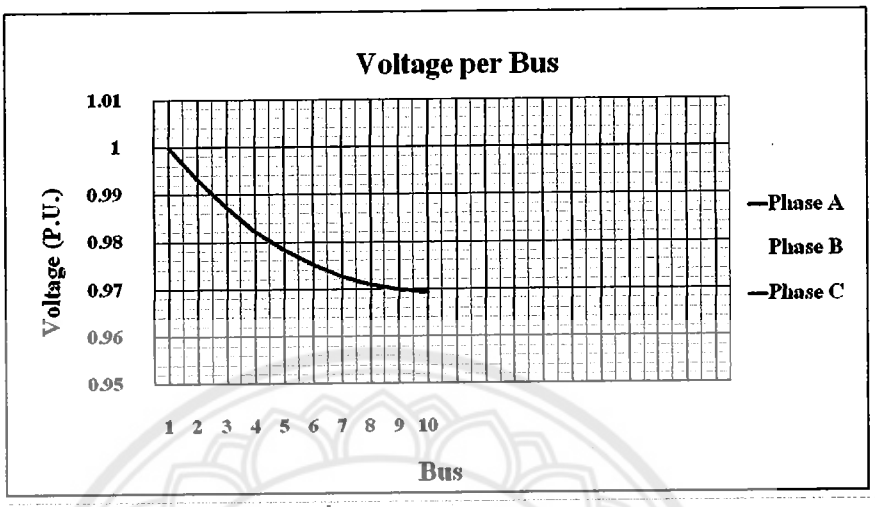
Bus No.	Voltage		Phase B				Load		Phase B				Generator		Phase B			
	[V] (p.u.)	Angle V (degree)	[V] (p.u.)	Angle V (degree)	[V] (p.u.)	Angle V (degree)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)
1	1	0	1	-120	1	120	0	0	0	0	0	0	28.695	12.514	28.695	12.514	28.695	12.514
2	0.969	-1.569	0.969	-121.569	0.969	118.430	4	1	4	1	4	1	0	0	0	0	0	0
3	0.942	-2.976	0.942	-122.976	0.942	117.023	4	1	4	1	4	1	0	0	0	0	0	0
4	0.920	-4.185	0.920	-124.185	0.920	115.814	4	1	4	1	4	1	0	0	0	0	0	0
5	0.901	-5.163	0.901	-125.163	0.901	114.836	3	1	3	1	3	1	0	0	0	0	0	0
6	0.887	-5.967	0.887	-125.967	0.887	114.032	3	1	3	1	3	1	0	0	0	0	0	0
7	0.875	-6.577	0.875	-126.577	0.875	113.422	3	1	3	1	3	1	0	0	0	0	0	0
8	0.867	-6.979	0.867	-126.979	0.867	113.020	2	1	2	1	2	1	0	0	0	0	0	0
9	0.862	-7.251	0.862	-127.251	0.862	112.748	2	1	2	1	2	1	0	0	0	0	0	0
10	0.859	-7.388	0.859	-127.388	0.859	112.611	2	1	2	1	2	1	0	0	0	0	0	0

2.3) ตาราง Power Flow and Power Loss เป็นตารางแสดงผลของค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณและวิเคราะห์ด้วยวิธีต่างๆ ประกอบด้วยค่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายในแต่ละช่วง (Power Flow) และค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Power Loss) ดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 Power Flow and Power Loss

Bus		Power Flow						Power Loss					
				Phase B						Phase B			
From	To	P (kw)	Q (kvar)	P (kw)	Q (kvar)	P (kw)	Q (kvar)	P (kw)	Q (kvar)	P (kw)	Q (kvar)	P (kw)	Q (kvar)
1	2	28.695	12.514	28.695	12.514	28.695	12.514	0.562	1.152	0.562	1.152	0.562	1.152
2	3	24.135	10.364	24.135	10.364	24.135	10.364	0.421	0.863	0.421	0.863	0.421	0.863
3	4	19.716	8.503	19.716	8.503	19.716	8.503	0.297	0.610	0.297	0.610	0.297	0.610
4	5	15.422	6.896	15.422	6.896	15.422	6.896	0.193	0.396	0.193	0.396	0.193	0.396
5	6	12.233	5.504	12.233	5.504	12.233	5.504	0.126	0.260	0.126	0.260	0.126	0.260
6	7	9.111	4.248	9.111	4.248	9.111	4.248	0.073	0.151	0.073	0.151	0.073	0.151
7	8	6.043	3.101	6.043	3.101	6.043	3.101	0.034	0.070	0.034	0.070	0.034	0.070
8	9	4.013	2.035	4.013	2.035	4.013	2.035	0.015	0.031	0.015	0.031	0.015	0.031
9	10	2.003	1.007	2.003	1.007	2.003	1.007	0.003	0.007	0.009	0.007	0.003	0.007
		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	1	-28.133	-11.362	-28.133	-11.362	-28.133	-11.362						
3	2	-23.713	-9.500	-23.713	-9.500	-23.713	-9.500						
4	3	-19.419	-7.893	-19.419	-7.893	-19.419	-7.893						
5	4	-15.229	-6.500	-15.229	-6.500	-15.229	-6.500						
6	5	-12.106	-5.244	-12.106	-5.244	-12.106	-5.244						
7	6	-9.037	-4.097	-9.037	-4.097	-9.0379	-4.097						
8	7	-6.008	-3.030	-6.008	-3.030	-6.008	-3.030						
9	8	-3.998	-2.003	-3.998	-2.003	-3.998	-2.003						
10	9	-1.999	-0.999	-1.999	-0.999	-1.999	-0.999						
		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000						
						TotalLoss 1Phase		1.729	3.543	1.729	3.543	1.729	3.543
						Total Loss 3 Phase		P (kW)	Q (kVar)	% Efficiency		P (%)	Q (%)
								5.189	10.629			94.314	77.933

2.4) กราฟแรงดันไฟฟ้า เป็นส่วนแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละบัสของแต่ละเฟสที่ได้จากการคำนวณและวิเคราะห์ด้วยวิธีต่างๆแสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 กราฟแรงดันไฟฟ้า

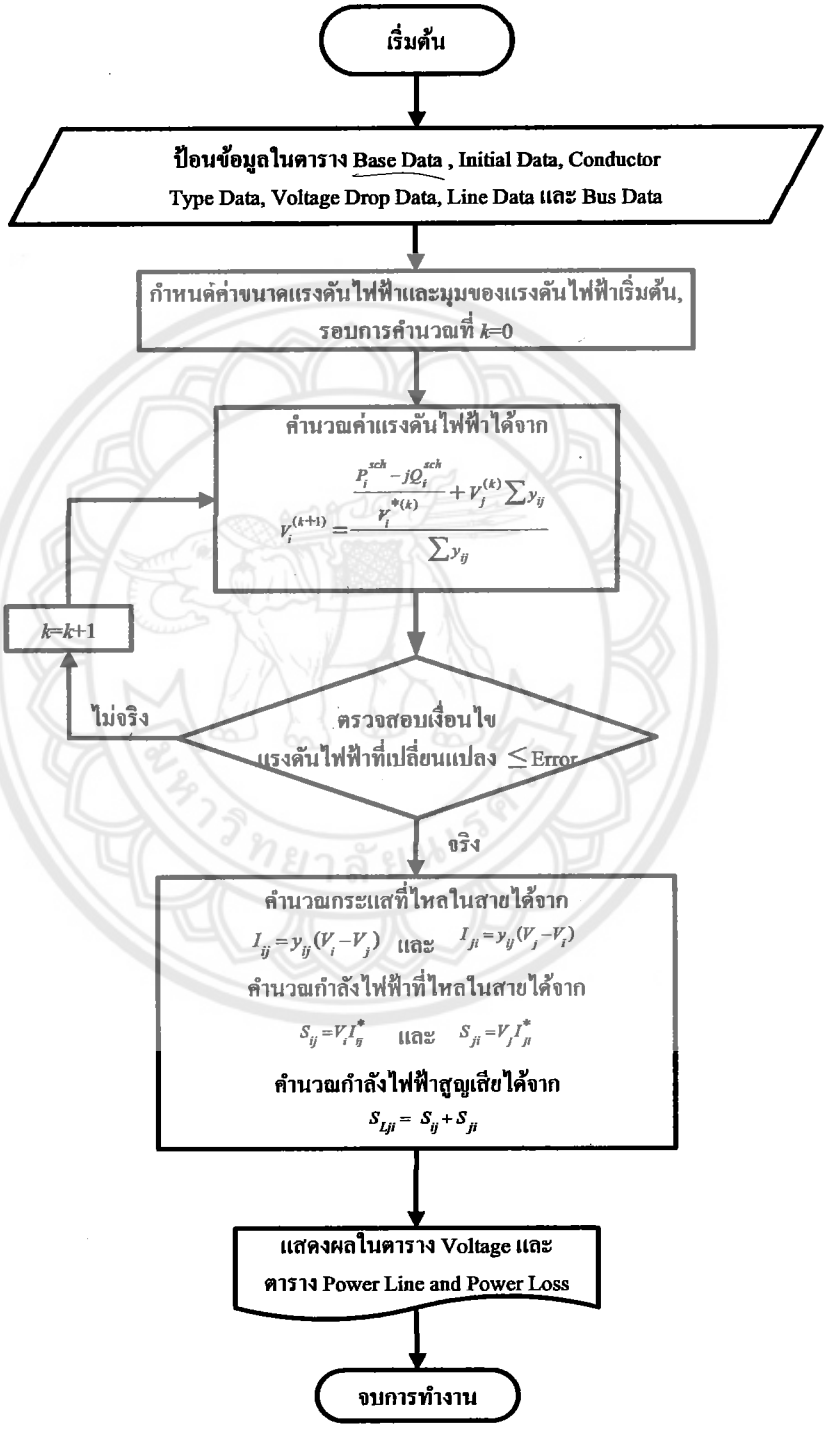
2.5) ปุ่มคำสั่งเคลียร์ข้อมูล เป็นการสั่งลบข้อมูลในส่วนแสดงผลได้แก่ แถบแสดงจำนวนรอบในการคำนวณ, ตาราง Voltage and Power และตาราง Power Flow and Power Loss ดังรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 ปุ่มคำสั่งเคลียร์ข้อมูล

3.1.3 การทำงานของโปรแกรม Visual Basic

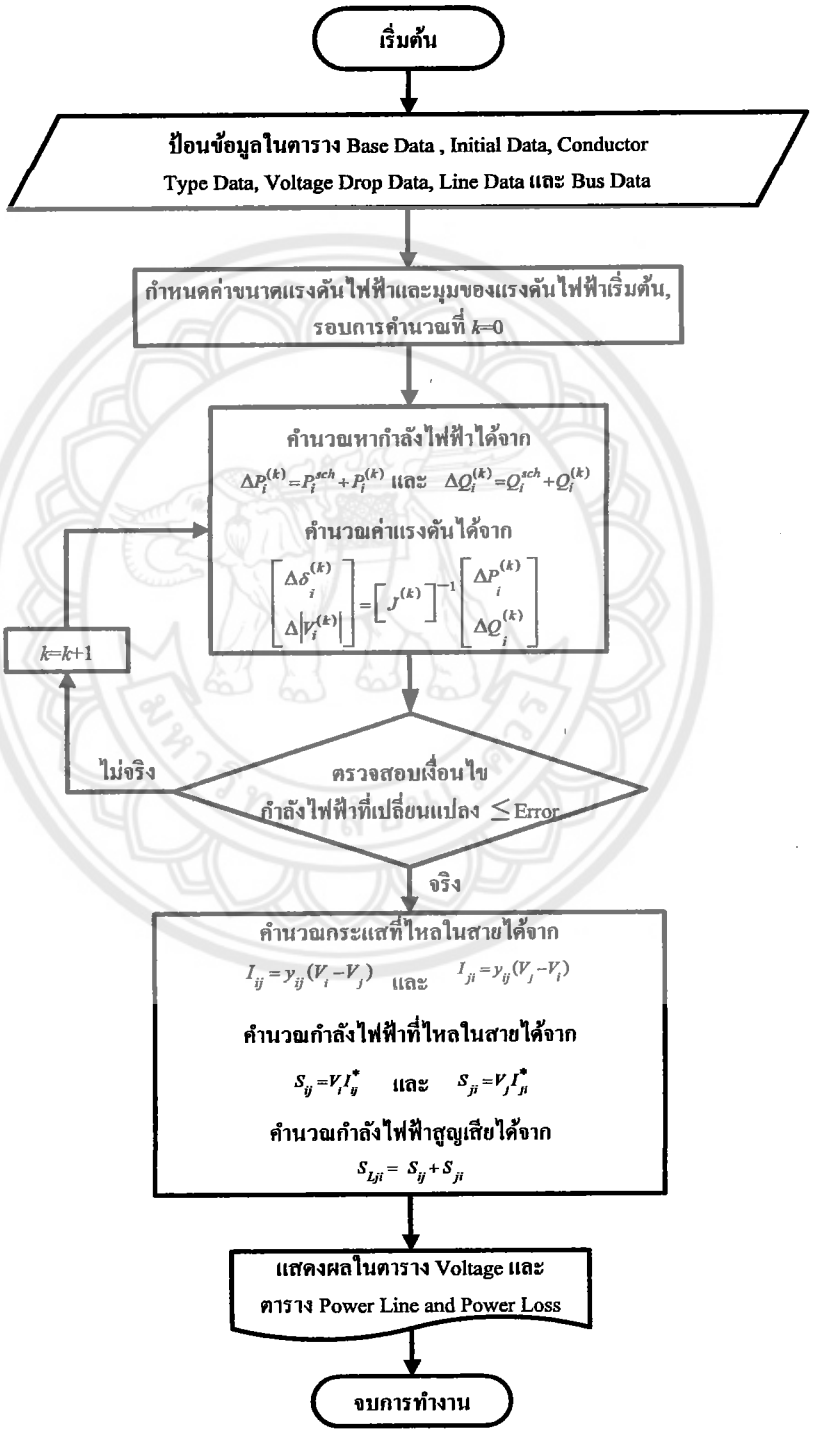
ในส่วนของโปรแกรม Visual Basic จะเป็นส่วนของการคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากส่วนรับข้อมูลใน Microsoft Excel โดยจะแยกการคำนวณและวิเคราะห์ออกเป็น 3 วิธี คือ วิธีเกาส์ - ไซเดล (Gauss - Seidel Method), วิธีนิวตัน - ราฟสัน (Newton - Raphson Method) และวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ (Forward Backward Sweep Method) ซึ่งจะแสดงแผนผังลำดับการคำนวณและวิเคราะห์ของแต่ละวิธีดังต่อไปนี้

1) การคำนวณและการวิเคราะห์ด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล (Gauss - Seidel Method) โดยลักษณะการทำงานหลักๆจะเป็นการคำนวณค่าขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าแบบซ้ำๆจนค่าที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความผิดพลาดดังรูปที่ 3.9



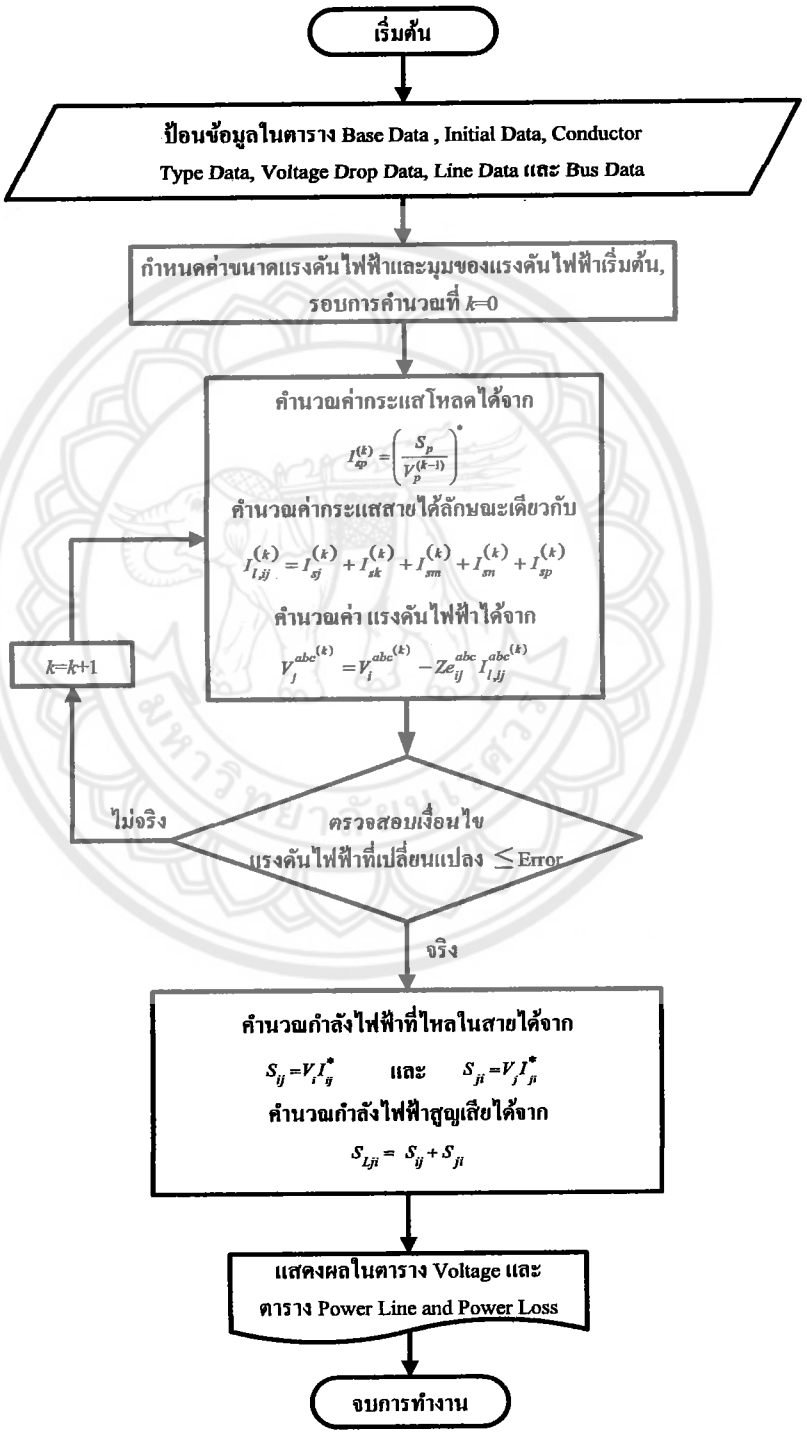
รูปที่ 3.19 แผนผังลำดับการทำงานด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล

2) การคำนวณและการวิเคราะห์ด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน (Newton - Raphson Method) โดยลักษณะการคำนวณหลักๆจะเป็นการคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้า, ค่ามุมของกำลังไฟฟ้า, ค่ากำลังไฟฟ้า และค่าในจาโคเบียนเมทริกซ์โดยคำนวณแบบซ้ำๆจนค่ากำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความผิดพลาดดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แผนผังลำดับการทำงานด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน

3) การคำนวณและการวิเคราะห์ด้วยวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ (Forward Backward Sweep Method) จะเป็นการคำนวณค่ากระแสของโหลด, กระแสที่ไหลในสายและค่าอิมพิแดนซ์ที่เชื่อมกันในและเฟสและค่าแรงดันไฟฟ้าแบบซ้ำๆจนค่าแรงดันไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความผิดพลาดดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แผนผังลำดับการทำงานด้วยวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ

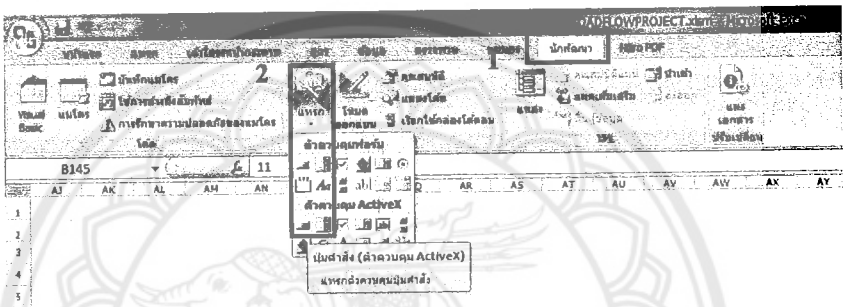
3.2 การออกแบบโค้ดโปรแกรม

ลักษณะของการออกแบบโค้ดโปรแกรมจะใช้เป็นแบบตัวควบคุมการทำงานโดยจะมีการออกแบบโค้ดโปรแกรมในส่วนของตัวควบคุมการทำงานเพื่อให้สามารถทำงานได้

3.2.1 การออกแบบโค้ดโปรแกรมด้วยตัวควบคุม

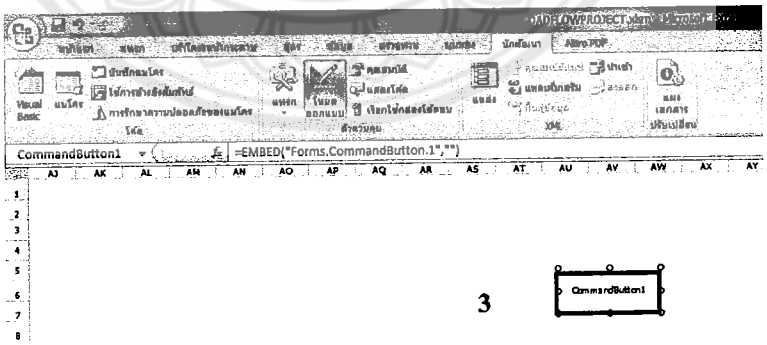
ขั้นตอนการสร้างฟังก์ชันด้วยตัวควบคุมมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) เลือกแถบเครื่องมือที่ชื่อว่า "นักพัฒนา" ตามหมายเลข 1 และคลิกเครื่องมือที่มีชื่อว่า "แทรก" เลือกที่ปุ่มคำสั่ง (ตัวควบคุม Active X) ตามหมายเลข 2 ดังรูปที่ 3.12



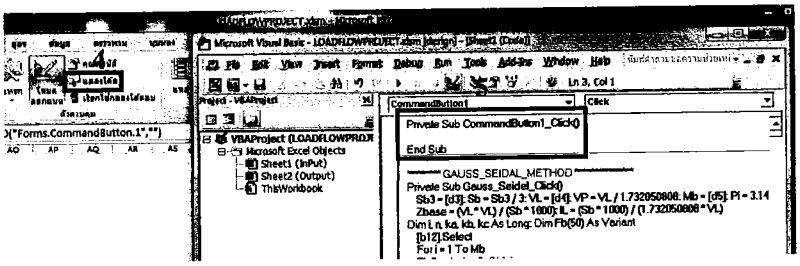
รูปที่ 3.12 การเลือกใช้งานปุ่มคำสั่งด้วยตัวควบคุมแบบ Active X

2) คลิกวางลงในตารางของ Microsoft Excel สามารถปรับขนาดของปุ่มคำสั่งด้วยตัวควบคุมตามหลายเลข 3 ได้ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การสร้างปุ่มคำสั่งด้วยตัวควบคุมแบบ Active X

3) คลิกที่แถบแสดงโค้ดตามหลายเลข 4 จะแสดงส่วนของโค้ดฟังก์ชันของตัวควบคุมและสามารถเขียนหรือแก้ไขโค้ดคำสั่งการทำงานที่ต้องการได้ตามหมายเลข 5 ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 โค้ดฟังก์ชันของปุ่มคำสั่งด้วยกล่องตัวควบคุม Active X

3.2.2 การออกแบบโค้ดโปรแกรมวิธีเกาส์ - ไซเดล (Gauss - Seidel Method)

การออกแบบการคำนวณและวิเคราะห์ด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล จะอธิบายขั้นตอนการออกแบบโค้ดโปรแกรมไว้ดังต่อไปนี้

1) ประกาศตัวแปรที่ทราบค่า ได้แก่ ค่ากำลังไฟฟ้าฐานของระบบสามเฟส, ค่าแรงดันสาย, ค่าความผิดพลาด และจำนวนบัสในระบบ

2) รับค่าจากตาราง Base Data, ตาราง Initial Data, ตาราง Conductor Type Data, ตาราง Line Data และตาราง Bus Data

3) คำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์และแอดมิตแตนซ์เมทริกซ์

4) คำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสแบบทำซ้ำจนกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้

5) คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่บัสอ้างอิง

6) คำนวณค่ากระแสที่ไหลในสาย, กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสาย และกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

7) แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณได้แก่ ขนาดแรงดันไฟฟ้า, มุมของแรงดันไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายและกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

8) แสดงจำนวนรอบของการคำนวณด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล

3.2.3 การออกแบบโค้ดโปรแกรมวิธีนิวตัน - ราฟสัน (Newton - Raphson Method)

การออกแบบโค้ดการคำนวณและวิเคราะห์ด้วยวิธี นิวตัน - ราฟสัน จะอธิบายขั้นตอนการออกแบบโค้ดโปรแกรมไว้ดังต่อไปนี้

1) ประกาศตัวแปรที่ทราบค่า ได้แก่ ค่ากำลังไฟฟ้าฐานของระบบสามเฟส, แรงดันสาย, ค่าความผิดพลาดและจำนวนบัสในระบบ

2) รับค่าจากตาราง Base Data, ตาราง Initial Data, ตาราง Conductor Type Data, ตาราง Line Data และตาราง Bus Data

3) คำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์และแอดมิตแตนซ์เมทริกซ์ทำให้อยู่ในรูปเชิงขั้ว

4) คำนวณหาสมาชิกแต่ละตัวในเมทริกซ์จาโคเบียนและคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าจากนั้นส่งค่ากำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าไปคำนวณที่ตารางใน *Microsoft Excel*

5) รับค่ากำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่คำนวณได้จากตารางใน Microsoft Excel กลับมาคำนวณในส่วนของ Visual Basic

6) ทำซ้ำตามข้อที่ 4 และ 5 จนกว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้

7) คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่บัสอ้างอิง

8) คำนวณค่ากระแสที่ไหลในสาย, กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสาย และกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

9) แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณได้แก่ ขนาดแรงดันไฟฟ้า, มุมของแรงดันไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายและกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

10) แสดงจำนวนรอบของการคำนวณด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน

3.2.4 การออกแบบโค้ดโปรแกรมวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ (Forward Backward Sweep Method)

การออกแบบการคำนวณและวิเคราะห์ด้วยวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ จะอธิบายขั้นตอนการออกแบบโค้ดโปรแกรมไว้ดังต่อไปนี้

1) ประกาศตัวแปรที่ทราบค่า ได้แก่ ค่ากำลังไฟฟ้าฐานของระบบสามเฟส, แรงดันสาย, ค่าความผิดพลาดและจำนวนบัสในระบบ

2) รับค่าจากตาราง Base Data, ตาราง Initial Data, ตาราง Conductor Type Data, ตาราง Line Data และตาราง Bus Data

3) คำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ในสายและค่าแอดมิตแตนซ์

4) คำนวณหาค่าอิมพิแดนซ์ที่เชื่อมกันระหว่างของแต่ละเฟส

5) คำนวณค่ากระแสโหลด, กระแสสาย, แรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป

6) คำนวณค่าตามข้อที่ 5 แบบทำซ้ำจนกว่าค่าแรงดันไฟฟ้ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้

7) คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่บัสอ้างอิง

8) คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายและกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

9) แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณได้แก่ ขนาดแรงดันไฟฟ้า, มุมของแรงดันไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายและกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

10) แสดงจำนวนรอบของการคำนวณด้วยวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ

บทที่ 4

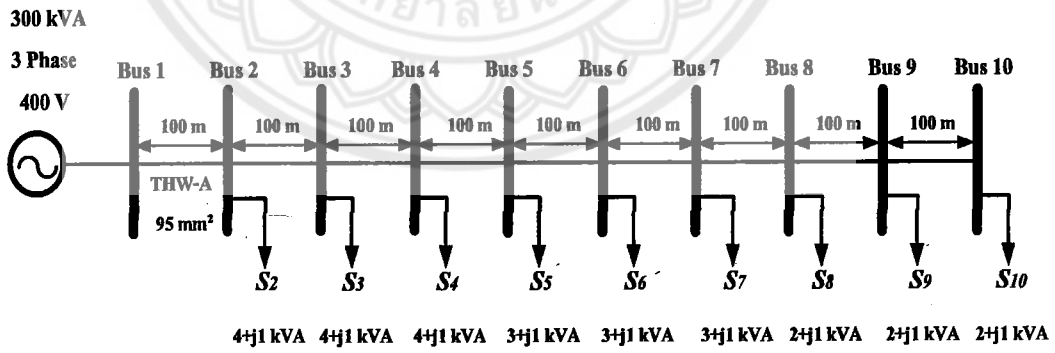
การทดสอบและผลการทดสอบ

ในบทนี้จะเป็นการทดสอบและผลการทดสอบค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายและกำลังไฟฟ้าสูญเสีย โดยเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างโดยใช้โปรแกรม MATLAB กับโปรแกรม Microsoft Excel ที่ได้พัฒนาขึ้นมาด้วย 3 วิธีคือ วิธีเกาส์ - ไซเดล(Gauss - Seidel Method), วิธีนิวตัน - ราฟสัน (Newton - Raphson Method) และวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ (Forward Backward Sweep Method) โดยการกำหนดค่าการทดสอบของโปรแกรมจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การทดสอบโดยวิธีเกาส์ - ไซเดล (Gauss - Seidel Method)

จากหลักการการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายแบบเรเดียลด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล ในบทที่ 2 สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ได้ดังนี้

4.1.1 การกำหนดค่าการทดสอบด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel และโปรแกรม MATLAB



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างระบบจำหน่ายแบบเรเดียลจำนวน 10 บัส

จากรูปที่ 4.1 จะได้รายละเอียดสำหรับกำหนดค่าต่างๆ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ได้ดังนี้

1) ตาราง Base Data ได้ค่ากำลังไฟฟ้าฐานของระบบ 3 เฟส เท่ากับ 300 kVA, แรงดันสาย 400 V, จำนวนบัสในระบบ 10 บัสและค่าความผิดพลาดเท่ากับ 0.00001 ดังรูปที่ 4.2

Sbase (KVA)	300
Vbase (V)	400
Bus	20
Error	0.00001

รูปที่ 4.2 การกำหนดค่าในตาราง Base Data บนโปรแกรม Microsoft Excel

2) ตาราง Initial Data จะกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงของระบบไฟฟ้า 3 เฟสโดยเฟส A, B และ C มีค่าขนาดแรงดันไฟฟ้า 1.0 p.u. และมุมของแรงดันไฟฟ้าของเฟส A, B และ C มีค่า 0 องศา, -120 องศา และ 120 องศาดังรูปที่ 4.3

V (Bus1)	Phase		
	A	B	C
|V| (p.u.)	1	1	1
Angle V(°)	0	-120	120

รูปที่ 4.3 การกำหนดค่าในตาราง Initial DataบนโปรแกรมMicrosoft Excel

3) ตาราง Conductor Type Data จะได้ Conductor Code หมายเลข 2 แทนสายไฟชนิด THW-A ขนาด 95 mm^2 มีค่ารีซิสแตนซ์เท่ากับ 0.60165 p.u./km และค่ารีแอคแตนซ์เท่ากับ 0.44003 p.u./km ดังรูปที่ 4.4

Conductor Code	Conductor Type	Size (mm^2)	Resistance		Reactance	
			Ohm/km	p.u./km	Ohm/km	p.u./km
1	THW-A	50	0.2	0.374978	0.15	0.2812335
2	THW-A	95	0.3209	0.6016522	0.2347	0.44003688
3	NYY	50	0.23	0.4312247	0.12	0.2249868
4	NYY	95	0.15	0.2812335	0.08	0.1499912
5	THWC-A	95	0.35	0.6562115	0.25	0.4687225

รูปที่ 4.4 การกำหนดค่าในตาราง Conductor Type Data บนโปรแกรม Microsoft Excel

4) ตาราง Voltage Drop Data จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์ของแรงดันตก 0.1 เปอร์เซ็นต์และความยาวของสายไฟทั้งระบบ 900 เมตรเพื่อคำนวณหาค่าโหลดที่ปลายสายของสายไฟแต่ละชนิดในแต่ละเฟสดังรูปที่ 4.5

Conductor Code	Voltage Drop (%)	L (m)	I (A)	Load (kVA)
1	0.1	900	34.836875	8.04546766
2	0.1	900	45.818249	10.5815817
3	0.1	900	59.381438	13.713958

รูปที่ 4.5 การกำหนดค่าในตาราง Voltage Drop Data บนโปรแกรม Microsoft Excel

5) ตาราง Line Data จะได้ Conductor Code หมายเลข 2 แทนชนิดของสายไฟและมีความยาวสายในแต่ละช่วงยาว 0.1 กิโลเมตรดังรูปที่ 4.6

Line		Phase B					
From	To	Conductor Code	Distance (km)	Conductor Code	Distance (km)	Conductor Code	Distance (km)
1	2	2	0.1	2	0.1	2	0.1
2	3	2	0.1	2	0.1	2	0.1
3	4	2	0.1	2	0.1	2	0.1
4	5	2	0.1	2	0.1	2	0.1
5	6	2	0.1	2	0.1	2	0.1
6	7	2	0.1	2	0.1	2	0.1
7	8	2	0.1	2	0.1	2	0.1
8	9	2	0.1	2	0.1	2	0.1
9	10	2	0.1	2	0.1	2	0.1

รูปที่ 4.6 การกำหนดค่าในตาราง Line Data บนโปรแกรม Microsoft Excel

6) ตาราง Bus Data จะได้ค่าโหลดของแต่ละเฟสตั้งแต่บัสที่ 2 ถึงบัสที่ 10 ดังรูปที่ 4.7

Bus								Phase B						
	Load		Gen		Total			Load		Gen		Total		
	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	PF.	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	PF.
2	4	1			4	1	0.97014	4	1			4	1	0.97014
3	4	1			4	1	0.97014	4	1			4	1	0.97014
4	4	1			4	1	0.97014	4	1			4	1	0.97014
5	3	1			3	1	0.94868	3	1			3	1	0.94868
6	3	1			3	1	0.94868	3	1			3	1	0.94868
7	3	1			3	1	0.94868	3	1			3	1	0.94868
8	2	1			2	1	0.89443	2	1			2	1	0.89443
9	2	1			2	1	0.89443	2	1			2	1	0.89443
10	2	1			2	1	0.89443	2	1			2	1	0.89443

รูปที่ 4.7 การกำหนดค่าในตาราง Bus Data บนโปรแกรม Microsoft Excel (ของเฟส A และเฟส B)

สามารถกำหนดค่าการทดสอบในส่วนของ Bus data และ Line data โดยใช้โปรแกรม MATLAB ที่ได้จากหนังสือ *Power System Analysis* ของ *Hadi Saadat* [1] โดยสามารถวิเคราะห์ค่าได้ทีละเฟส ถ้าต้องการวิเคราะห์ทั้ง 3 เฟสสามารถเปลี่ยนค่ามุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงจาก 0 เป็น -120 และ 120 องศาสำหรับเฟส A, B และ C ตามลำดับโดยในที่นี้จะทำการทดสอบที่เฟส A ให้มุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงเป็น 0 องศา ดังรูปที่ 4.8

```
1 -  basekva = 100;  accuracy = 0.00001; accel = 1.5; maxiter = 100;
2
3    %         IEEE 3-BUS TEST SYSTEM (American Electric Power)
4    %         Bus Bus  Voltage Angle    ---Load---- -------Generator----- Static Mvar
5    %         No  code Mag.    Degree   kW    kvar  kW  kvar Qmin Qmax    +Qc/-Ql
6 -  busdata=[1   1    1.00     0.0      0.0   0.0    0.0  0.0   0    0       0
7             2   0    1.00     0.0      4     1      0.0  0.0   0    0       0
8             3   0    1.00     0.0      4     1      0.0  0.0   0    0       0
9             4   0    1.00     0.0      4     1      0.0  0.0   0    0       0
10            5   0    1.00     0.0      3     1      0.0  0.0   0    0       0
11            6   0    1.00     0.0      3     1      0.0  0.0   0    0       0
12            7   0    1.00     0.0      3     1      0.0  0.0   0    0       0
13            8   0    1.00     0.0      2     1      0.0  0.0   0    0       0
14            9   0    1.00     0.0      2     1      0.0  0.0   0    0       0
15            10  0    1.00     0.0      2     1      0.0  0.0   0    0       0];
16
17   %                                        Line code
18   %          Bus bus   R       X      1/2 B   = 1 for lines
19   %          nl  nr  p.u.    p.u.    p.u.      > 1 or < 1 tr. tap at bus nl
20 -  linedata=[1   2   0.060165   0.044003   0.0        1
21            2   3   0.060165   0.044003   0.0        1
22            3   4   0.060165   0.044003    0.0       1
23            4   5   0.060165   0.044003   0.0        1
24            5   6   0.060165   0.044003    0.0       1
25            6   7   0.060165   0.044003    0.0       1
26            7   8   0.060165   0.044003    0.0       1
27            8   9   0.060165   0.044003   0.0        1
28            9   10   0.060165   0.044003    0.0       1];
29
30 -  Lfybus                          % form the bus admittance matrix
31 -  Lfgauss                  % Load flow solution by Gauss-Seidel method
32 -  Busout                % Prints the power flow solution on the screen
33 -  Lineflow           % Computes and displays the line flow and losses
```

รูปที่ 4.8 การกำหนดค่าใน Bus data และ Line data ของเฟส A บนโปรแกรม MATLAB (1 เฟส)

4.1.2 ผลการการทดสอบด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel และโปรแกรม MATLAB

ผลการทดสอบของตัวอย่างระบบจำหน่ายแบบเรเดียลจำนวน 10 บัส ดังรูปที่ 4.1 ด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล จะได้ขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายและกำลังไฟฟ้าสูญเสียดังรูปที่ 4.9 ถึงรูปที่ 4.10 (ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรมMicrosoft Excel) และรูปที่ 4.11 ถึงรูปที่ 4.12 (ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรมMATLAB)

Bus No.	Voltage					
			Phase B			
	|V| (p.u.)	Angle V (degree)	|V| (p.u.)	Angle V (degree)	|V| (p.u.)	Angle V (degree)
1	1	0	1	-120	1	120
2	0.97832	-0.37807	0.97832	-120.37807	0.97832	119.62193
3	0.95958	-0.70139	0.95958	-120.70139	0.95958	119.29861
4	0.94382	-0.96330	0.94382	-120.96330	0.94382	119.03670
5	0.93109	-1.15777	0.93109	-121.15777	0.93109	118.84223
6	0.92077	-1.30918	0.92077	-121.30918	0.92077	118.69082
7	0.91289	-1.41474	0.91289	-121.41474	0.91289	118.58526
8	0.90746	-1.47228	0.90746	-121.47228	0.90746	118.52772
9	0.90383	-1.51106	0.90383	-121.51106	0.90383	118.48894
10	0.90201	-1.53063	0.90201	-121.53063	0.90201	118.46937

รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล

Bus		Power Flow						Power Loss					
				Phase B						Phase B			
From	To	P (kw)	Q (kvar)	P (kw)	Q (kvar)	P (kw)	Q (kvar)	P (kw)	Q (kvar)	P (kw)	Q (kvar)	P (kw)	Q (kvar)
1	2	28.61582	10.19962	28.61582	10.19962	28.61582	10.19962	0.55526	0.40611	0.55526	0.40611	0.55526	0.40611
2	3	24.06505	8.79574	24.06505	8.79574	24.06505	8.79574	0.41268	0.30183	0.41268	0.30183	0.41268	0.30183
3	4	19.65874	7.49703	19.65874	7.49703	19.65874	7.49703	0.28925	0.21155	0.28925	0.21155	0.28925	0.21155
4	5	15.37745	6.28933	15.37745	6.28933	15.37745	6.28933	0.18643	0.13635	0.18643	0.13635	0.18643	0.13635
5	6	12.20025	5.15741	12.20025	5.15741	12.20025	5.15741	0.12176	0.08905	0.12176	0.08905	0.12176	0.08905
6	7	9.08866	4.07323	9.08866	4.07323	9.08866	4.07323	0.07039	0.05148	0.07039	0.05148	0.07039	0.05148
7	8	6.02907	3.02690	6.02907	3.02690	6.02907	3.02690	0.03286	0.02403	0.03286	0.02403	0.03286	0.02403
8	9	4.00729	2.00815	4.00729	2.00815	4.00729	2.00815	0.01468	0.01074	0.01468	0.01074	0.01468	0.01074
9	10	2.00368	1.00269	2.00368	1.00269	2.00368	1.00269	0.00370	0.00270	0.00370	0.00270	0.00370	0.00270
		0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	1	-28.06056	-9.79351	-28.06056	-9.79351	-28.06056	-9.79351						
3	2	-23.65237	-8.49391	-23.65237	-8.49391	-23.65237	-8.49391						
4	3	-19.36949	-7.28548	-19.36949	-7.28548	-19.36949	-7.28548						
5	4	-15.19102	-6.15298	-15.19102	-6.15298	-15.19102	-6.15298						
6	5	-12.07849	-5.06836	-12.07849	-5.06836	-12.07849	-5.06836						
7	6	-9.01827	-4.02175	-9.01827	-4.02175	-9.01827	-4.02175						
8	7	-5.99621	-3.00287	-5.99621	-3.00287	-5.99621	-3.00287						
9	8	-3.99261	-1.99742	-3.99261	-1.99742	-3.99261	-1.99742						
10	9	-1.99998	-0.99998	-1.99998	-0.99998	-1.99998	-0.99998						
		0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000						
						Total Loss 1 Phase				1.68701	1.23384		
						Total Loss 3 Phase		P (kW)	Q (kVar)	% Efficiency		P (%)	Q (%)
								5.06102	3.70153			94.432845	89.2084984

รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายและกำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล

```
Press Enter to terminate the iterations and print the results
                    ITERATIVE SOLUTION DID NOT CONVERGE
                    Maximum Power Mismatch = 1.69456e-005
                          No. of Iterations = 101

   Bus  Voltage  Angle     ------Load------     ---Generation---    Injected
   No.  Mag.     Degree      kW       kvar       kW       kvar        kvar

    1 1.00000  0.00000   0.00000   0.00000  28.69468  10.24014   0.00000
    2 0.97825 -0.37869   4.00000   1.00000   0.00000   0.00000   0.00000
    3 0.95945 -0.70267   4.00000   1.00000   0.00000   0.00000   0.00000
    4 0.94364 -0.96522   4.00000   1.00000   0.00000   0.00000   0.00000
    5 0.93086 -1.16027   3.00000   1.00000   0.00000   0.00000   0.00000
    6 0.92050 -1.31219   3.00000   1.00000   0.00000   0.00000   0.00000
    7 0.91259 -1.41815   3.00000   1.00000   0.00000   0.00000   0.00000
    8 0.90713 -1.47595   2.00000   1.00000   0.00000   0.00000   0.00000
    9 0.90349 -1.51488   2.00000   1.00000   0.00000   0.00000   0.00000
   10 0.90167 -1.53447   2.00000   1.00000   0.00000   0.00000   0.00000

   Total                27.00000   9.00000  28.69468  10.24014   0.00000
```

รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม MATLAB ด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล (เฟส A)

```
                              Line Flow and Losses

  --Line--  Power at bus & line flow     --Line loss--  Transformer
  from  to     kW       kvar     kVA        kW      kvar      tap

     1        28.69468 10.24014 30.46712
          2  28.69502 10.24033 30.46750  0.55849  0.40847

     2        -4.00000 -1.00000  4.12311
          1 -28.13652 -9.83186 29.80486  0.55849  0.40847
          3  24.13693  8.83208 25.70208  0.41532  0.30375

     3        -4.00000 -1.00000  4.12311
          2 -23.72161 -8.52833 25.20808  0.41532  0.30375
          4  19.72206  7.52857 21.11016  0.29126  0.21302

     4        -4.00000 -1.00000  4.12311
          3 -19.43079 -7.31554 20.76230  0.29126  0.21302
          5  15.43127  6.31580 16.67373  0.18784  0.13738

     5        -3.00000 -1.00000  3.16228
          4 -15.24342 -6.17841 16.44794  0.18784  0.13738
          6  12.24391  5.17867 13.29405  0.12271  0.08975

     6        -3.00000 -1.00000  3.16228
          5 -12.12120 -5.08892 13.14612  0.12271  0.08975
          7   9.12167  4.08917  9.99631  0.07095  0.05189

     7        -3.00000 -1.00000  3.16228
          6  -9.05072 -4.03728  9.91036  0.07095  0.05189
          8   6.05118  3.03752  6.77077  0.03312  0.02422

     8        -2.00000 -1.00000  2.23607
          7  -6.01806 -3.01329  6.73031  0.03312  0.02422
          9   4.01849  2.01352  4.49472  0.01477  0.01080

     9        -2.00000 -1.00000  2.23607
          8  -4.00372 -2.00272  4.47668  0.01477  0.01080
         10   2.00411  1.00292  2.24105  0.00370  0.00271

    10        -2.00000 -1.00000  2.23607
          9  -2.00041 -1.00021  2.23653  0.00370  0.00271

    Total loss                           1.69817  1.24200
>>
```

รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายและกำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยใช้โปรแกรม MATLAB ด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล (เฟส A)

4.1.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล ระหว่างใช้โปรแกรม Microsoft Excel และใช้โปรแกรม MATLAB

สมการค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบระหว่างใช้โปรแกรม Microsoft Excel และใช้โปรแกรม MATLAB สามารถหาได้จากสมการที่ (4.1)

$$\%Error = \left| \frac{V_{MS.Excel} - V_{MATLAB}}{V_{MATLAB}} \right| \times 100 \qquad (4.1)$$

1) เปรียบเทียบผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล ระหว่างใช้โปรแกรม Microsoft Excel และใช้โปรแกรม MATLAB ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าจากการทดสอบด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล

บัส	ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel		ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม MATLAB		ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	
	ขนาดแรงดันไฟฟ้า (p.u.)	มุมของแรงดันไฟฟ้า (Degree)	ขนาดแรงดันไฟฟ้า (p.u.)	มุมของแรงดันไฟฟ้า (Degree)	ขนาดแรงดันไฟฟ้า (%)	มุมของแรงดันไฟฟ้า (%)
1	1.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	0.97832	-0.37807	0.97825	-0.37869	0.00716	0.16372
3	0.95958	-0.70139	0.95945	-0.70267	0.01355	0.18216
4	0.94382	-0.96330	0.94364	-0.96522	0.01908	0.19892
5	0.93109	-1.15770	0.93086	-1.16027	0.02471	0.22150
6	0.92077	-1.30918	0.9205	-1.31219	0.02933	0.22939
7	0.91289	-1.41474	0.91259	-1.41815	0.03287	0.24045
8	0.90746	-1.47228	0.90713	-1.47595	0.03638	0.24865
9	0.90383	-1.51106	0.90349	-1.51488	0.03763	0.25217
10	0.90201	-1.53063	0.90167	-1.53447	0.03771	0.25025

2) เปรียบเทียบผลการทดสอบของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล ระหว่างใช้โปรแกรม *Microsoft Excel* และใช้โปรแกรม MATLAB ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าจินตภาพที่ไหลในสายจากการทดสอบด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล

บัส		ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel		ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม MATLAB		ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	
		กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสาย		กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสาย		กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสาย	
จาก	ถึง	กำลังไฟฟ้าจริง (kW)	กำลังไฟฟ้าจินตภาพ (kVar)	กำลังไฟฟ้าจริง (kW)	กำลังไฟฟ้าจินตภาพ (kVar)	กำลังไฟฟ้าจริง (%)	กำลังไฟฟ้าจินตภาพ (%)
1	2	28.61582	10.19962	28.69502	10.24033	0.27601	0.39755
2	3	24.06505	8.79574	24.13693	8.83208	0.29780	0.41145
3	4	19.65874	7.49703	19.72206	7.52857	0.32106	0.41894
4	5	15.37745	6.28933	15.43127	6.3158	0.34877	0.41911
5	6	12.20025	5.15741	12.24391	5.17867	0.35659	0.41053
6	7	9.08866	4.07323	9.12167	4.08917	0.36189	0.38981
7	8	6.02907	3.02690	6.05118	3.03752	0.36538	0.34963
8	9	4.00729	2.00815	4.04849	2.01352	1.01766	0.26670
9	10	2.00368	1.00269	2.00411	1.00292	0.02146	0.02293
2	1	-28.06056	-9.79351	-28.13693	-9.83186	0.27142	0.39006
3	2	-23.65237	-8.49391	-23.72161	-8.52208	0.29189	0.33055
4	3	-19.36949	-7.28548	-19.43079	-7.31155	0.31548	0.35661
5	4	-15.19102	-6.15298	-15.24342	-6.17841	0.34375	0.41159
6	5	-12.07849	-5.06836	-12.1212	-5.08892	0.35236	0.40401
7	6	-9.01827	-4.02175	-9.05072	-4.03728	0.35854	0.38466
8	7	-5.99621	-3.00287	-6.01806	-3.01329	0.36307	0.34580
9	8	-3.99261	-1.99742	-4.00372	-2.00272	0.27749	0.26464
10	9	-1.99998	-0.99998	-2.00041	-1.00021	0.02150	0.02250

3) เปรียบเทียบผลการทดสอบของกำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงและกำลังไฟฟ้าสูญเสียจินตภาพด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล ระหว่างใช้โปรแกรม Microsoft Excel และใช้โปรแกรม MATLAB ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงและกำลังไฟฟ้าสูญเสียจินตภาพจากการทดสอบด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล

บัส		ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel		ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม MATLAB		ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	
		กำลังไฟฟ้าสูญเสีย		กำลังไฟฟ้าสูญเสีย		กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	
จาก	ถึง	กำลังไฟฟ้าจริง (kW)	กำลังไฟฟ้าจินตภาพ (kVar)	กำลังไฟฟ้าจริง (kW)	กำลังไฟฟ้าจินตภาพ (kVar)	กำลังไฟฟ้าจริง (%)	กำลังไฟฟ้าจินตภาพ (%)
1	2	0.55526	0.40611	0.55849	0.40849	0.57835	0.58263
2	3	0.41268	0.30183	0.41532	0.30375	0.63565	0.63210
3	4	0.28925	0.21155	0.29126	0.21302	0.69011	0.69008
4	5	0.18643	0.13635	0.18784	0.13738	0.75064	0.74975
5	6	0.12176	0.08905	0.12271	0.08975	0.77418	0.77994
6	7	0.07039	0.05148	0.07095	0.05189	0.78929	0.79013
7	8	0.03286	0.02403	0.03312	0.02422	0.78502	0.78448
8	9	0.01468	0.01074	0.01477	0.0108	0.60934	0.55556
9	10	0.00370	0.00270	0.0037	0.00271	0.00000	0.36900

จากตารางที่ 4.1 ถึงตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล มีค่าที่ใกล้เคียงกับผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม MATLAB โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกิน 1.1 เปอร์เซ็นต์

4.2 การทดสอบโดยวิธีนิวตัน - ราฟสัน (Newton -Raphson Method)

จากหลักการการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายแบบเรเดียลด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน ในบทที่ 2 สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ได้ดังนี้

4.2.1 การกำหนดค่าการทดสอบด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel และใช้โปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.1 จะได้รายละเอียดสำหรับกำหนดค่าต่างๆโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ได้ดังนี้

1) ตาราง Base Data ได้ค่ากำลังไฟฟ้าฐานของระบบ 3 เฟส เท่ากับ 300 kVA, แรงดันสาย 400 V, จำนวนบัสในระบบ 10 บัสและมีค่าความผิดพลาด 0.00001 ดังรูปที่ 4.2

2) ตาราง Initial Data จะกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงโดยเฟส A, B และ C มีค่าขนาดแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้น 1.0 p.u .และมุมของแรงดันไฟฟ้าของเฟส A, B และ C มีค่า 0 องศา, -120 องศา และ 120 องศาดังรูปที่ 4.3

3) ตาราง Conductor Type Data จะได้ Conductor Code หมายเลข 2 แทนสายไฟชนิด THW-A ขนาด 95 mm^2 มีค่ารีซิสแตนซ์เท่ากับ 0.60165 p.u./km และค่ารีแอคแตนซ์เท่ากับ 0.44003 p.u./km ดังรูปที่ 4.4

4) ตาราง Voltage Drop Data ได้เปอร์เซ็นต์แรงดันตกมีค่า 0.1 เปอร์เซ็นต์และความยาวของสายไฟทั้งระบบ 900 เมตรดังรูปที่ 4.5

5) ตาราง Line Data จะได้ Conductor Code หมายเลข 2 แทนชนิดของสายไฟและมีความยาวในแต่ละช่วงยาว 0.1 กิโลเมตรดังรูปที่ 4.6

6) ในตาราง Bus Data จะได้ค่าโหลดของแต่ละเฟสตั้งแต่บัสที่ 2 ถึงบัสที่ 10 ตามลำดับดังรูปที่ 4.7

สามารถกำหนดค่าในส่วนของ Bus data และ Line data ของเฟส A โดยใช้โปรแกรม MATLAB [1] ได้โดยวิเคราะห์ทีละเฟสดังรูปที่ 4.8

4.2.2 ผลการทดสอบด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน ระหว่างใช้โปรแกรม Microsoft Excel และใช้โปรแกรม MATLAB

ผลการทดสอบด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน จะได้ขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายและกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ดังรูปที่ 4.13 ถึงรูปที่ 4.14 (ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel) และรูปที่ 4.15 ถึงรูปที่ 4.16 (ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรมMATLAB) ตามลำดับ

Bus No.	Voltage					
			Phase B			
	|V| (p.u.)	Angle V (degree)	|V| (p.u.)	Angle V (degree)	|V| (p.u.)	Angle V (degree)
1	1	0	1	-120	1	120
2	0.97825	-0.37872	0.97825	-120.37872	0.97825	119.62128
3	0.95944	-0.70265	0.95944	-120.70265	0.95944	119.29735
4	0.94363	-0.96514	0.94363	-120.96514	0.94363	119.03486
5	0.93085	-1.16014	0.93085	-121.16014	0.93085	118.83986
6	0.92049	-1.31202	0.92049	-121.31202	0.92049	118.68798
7	0.91257	-1.41797	0.91257	-121.41797	0.91257	118.58203
8	0.90711	-1.47577	0.90711	-121.47577	0.90711	118.52423
9	0.90347	-1.51469	0.90347	-121.51469	0.90347	118.48531
10	0.90165	-1.53428	0.90165	-121.53428	0.90165	118.46572

รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน

Bus		Power Flow						Power Loss					
				Phase B						Phase B			
From	To	P (kw)	Q (kvar)	P (kw)	Q (kvar)	P (kw)	Q (kvar)	P (kw)	Q (kvar)	P (kw)	Q (kvar)	P (kw)	Q (kvar)
1	2	28.69871	10.24235	28.69871	10.24235	28.69871	10.24235	0.55865	0.40858	0.55865	0.40858	0.55865	0.40858
2	3	24.14007	8.83597	24.14007	8.83597	24.14007	8.83597	0.41546	0.30386	0.41546	0.30386	0.41546	0.30386
3	4	19.72460	7.53247	19.72460	7.53247	19.72460	7.53247	0.29137	0.21310	0.29137	0.21310	0.29137	0.21310
4	5	15.43323	6.31885	15.43323	6.31885	15.43323	6.31885	0.18792	0.13744	0.18792	0.13744	0.18792	0.13744
5	6	12.24532	5.18077	12.24532	5.18077	12.24532	5.18077	0.12276	0.08978	0.12276	0.08978	0.12276	0.08978
6	7	9.12257	4.09038	9.12257	4.09038	9.12257	4.09038	0.07097	0.05191	0.07097	0.05191	0.07097	0.05191
7	8	6.05159	3.03806	6.05159	3.03806	6.05159	3.03806	0.03313	0.02423	0.03313	0.02423	0.03313	0.02423
8	9	4.01847	2.01364	4.01847	2.01364	4.01847	2.01364	0.01477	0.01080	0.01477	0.01080	0.01477	0.01080
9	10	2.00370	1.00275	2.00370	1.00275	2.00370	1.00275	0.00370	0.00271	0.00370	0.00271	0.00370	0.00271
		0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	1	-28.14006	-9.83376	-28.14006	-9.83376	-28.14006	-9.83376						
3	2	-23.72461	-8.53211	-23.72461	-8.53211	-23.72461	-8.53211						
4	3	-19.43323	-7.31936	-19.43323	-7.31936	-19.43323	-7.31936						
5	4	-15.24532	-6.18141	-15.24532	-6.18141	-15.24532	-6.18141						
6	5	-12.12256	-5.09098	-12.12256	-5.09098	-12.12256	-5.09098						
7	6	-9.05159	-4.03847	-9.05159	-4.03847	-9.05159	-4.03847						
8	7	-6.01847	-3.01383	-6.01847	-3.01383	-6.01847	-3.01383						
9	8	-4.00370	-2.00284	-4.00370	-2.00284	-4.00370	-2.00284						
10	9	-2.00000	-1.00004	-2.00000	-1.00004	-2.00000	-1.00004						
		0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000						
						Total Loss 1 Phase				1.69872	1.24141		
						Total Loss 3 Phase		P (kW)	Q (kVar)	% Efficiency		P (%)	Q (%)
								5.09617	3.72724			94.411621	89.1829713

รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายและกำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method
Maximum Power Mismatch = 2.39079e-009
No. of Iterations = 4

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	Load kW	Load kvar	Generation kW	Generation kvar	Injected kvar
1	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	28.69862	10.24232	0.00000
2	0.97825	-0.37871	4.00000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3	0.95944	-0.70271	4.00000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000
4	0.94363	-0.96529	4.00000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000
5	0.93085	-1.16036	3.00000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000
6	0.92049	-1.31229	3.00000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000
7	0.91257	-1.41826	3.00000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000
8	0.90712	-1.47607	2.00000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000
9	0.90348	-1.51500	2.00000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000
10	0.90166	-1.53458	2.00000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Total			27.00000	9.00000	28.69862	10.24232	0.00000

รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม MATLAB ด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน (เฟส A)

Line Flow and Losses

--Line-- from	to	Power at bus & line flow kW	kvar	kVA	--Line loss-- kW	kvar	Transformer tap
1		28.69862	10.24232	30.47156			
	2	28.69862	10.24232	30.47156	0.55864	0.40857	
2		-4.00000	-1.00000	4.12311			
	1	-28.13998	-9.83375	29.80874	0.55864	0.40857	
	3	24.13998	8.83375	25.70552	0.41543	0.30383	
3		-4.00000	-1.00000	4.12311			
	2	-23.72455	-8.52992	25.21138	0.41543	0.30383	
	4	19.72455	7.52992	21.11297	0.29134	0.21308	
4		-4.00000	-1.00000	4.12311			
	3	-19.43321	-7.31684	20.76501	0.29134	0.21308	
	5	15.43321	6.31684	16.67592	0.18790	0.13742	
5		-3.00000	-1.00000	3.16228			
	4	-15.24531	-6.17941	16.45006	0.18790	0.13742	
	6	12.24531	5.17941	13.29564	0.12274	0.08977	
6		-3.00000	-1.00000	3.16228			
	5	-12.12257	-5.08964	13.14766	0.12274	0.08977	
	7	9.12257	4.08964	9.99732	0.07097	0.05191	
7		-3.00000	-1.00000	3.16228			
	6	-9.05160	-4.03774	9.91134	0.07097	0.05191	
	8	6.05160	3.03774	6.77124	0.03312	0.02423	
8		-2.00000	-1.00000	2.23607			
	7	-6.01847	-3.01351	6.73077	0.03312	0.02423	
	9	4.01847	2.01351	4.49470	0.01477	0.01080	
9		-2.00000	-1.00000	2.23607			
	8	-4.00370	-2.00271	4.47666	0.01477	0.01080	
	10	2.00370	1.00271	2.24059	0.00370	0.00271	
10		-2.00000	-1.00000	2.23607			
	9	-2.00000	-1.00000	2.23607	0.00370	0.00271	
Total loss					1.69862	1.24232	

รูปที่ 4.16 ผลการทดสอบของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายและกำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยใช้โปรแกรม MATLAB ด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน (เฟส A)

4.2.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน ระหว่างใช้โปรแกรม Microsoft Excel และใช้โปรแกรม MATLAB

1) เปรียบเทียบผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน ระหว่างใช้โปรแกรม Microsoft Excel และใช้โปรแกรม MATLAB ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าจากการทดสอบด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน

บัส	ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel		ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม MATLAB		ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	
	ขนาดแรงดันไฟฟ้า (p.u.)	มุมของแรงดันไฟฟ้า (Degree)	ขนาดแรงดันไฟฟ้า (p.u.)	มุมของแรงดันไฟฟ้า (Degree)	ขนาดแรงดันไฟฟ้า (%)	มุมของแรงดันไฟฟ้า (%)
1	1.00000	0.00000	1.00000	0.0000	0.00000	0.00000
2	0.97825	-0.37872	0.97825	-0.37871	0.00000	0.00264
3	0.95944	-0.70265	0.95994	-0.70271	0.05209	0.00854
4	0.94363	-0.96514	0.94363	-0.96529	0.00000	0.01554
5	0.93085	-1.16014	0.93085	-1.16036	0.00000	0.01896
6	0.92049	-1.31202	0.92049	-1.31229	0.00000	0.02057
7	0.91257	-1.41797	0.91257	-1.41826	0.00000	0.02045
8	0.90711	-1.47577	0.90712	-1.47607	0.00110	0.02032
9	0.90347	-1.51469	0.90348	-1.515	0.00111	0.02046
10	0.90165	-1.53428	0.90166	-1.53458	0.00111	0.01955

2) เปรียบเทียบผลการทดสอบของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน ระหว่างใช้โปรแกรม *Microsoft Excel* และใช้โปรแกรม *MATLAB* ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าจินตภาพที่ไหลในสายจากการทดสอบด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน

บัส		ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel		ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม MATLAB		ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	
		กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสาย		กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสาย		กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสาย	
จาก	ถึง	กำลังไฟฟ้าจริง (kW)	กำลังไฟฟ้าจินตภาพ (kVar)	กำลังไฟฟ้าจริง (kW)	กำลังไฟฟ้าจินตภาพ (kVar)	กำลังไฟฟ้าจริง (%)	กำลังไฟฟ้าจินตภาพ (%)
1	2	28.69871	10.24235	28.69862	10.24232	0.00031	0.00029
2	3	24.14007	8.83597	24.13998	8.83375	0.00037	0.02513
3	4	19.72460	7.53247	19.72455	7.52992	0.00025	0.03386
4	5	15.43323	6.31885	15.43321	6.31684	0.00013	0.03182
5	6	12.24532	5.18077	12.24531	5.17941	0.00008	0.02626
6	7	9.12257	4.09038	9.12257	4.08964	0.00000	0.01809
7	8	6.05159	3.03806	6.05160	3.03774	0.00017	0.01053
8	9	4.01847	2.01364	4.01847	2.01351	0.00000	0.00646
9	10	2.00370	1.00275	2.00370	1.00271	0.00000	0.00399
2	1	-28.14006	-9.83376	-28.13998	-9.83375	0.00028	0.00010
3	2	-23.72461	-8.53211	-23.72455	-8.52992	0.00025	0.02567
4	3	-19.43323	-7.31936	-19.43321	-7.31684	0.00010	0.03444
5	4	-15.24532	-6.18141	-15.24531	-6.17941	0.00007	0.03237
6	5	-12.12256	-5.09098	-12.12257	-5.08964	0.00008	0.02633
7	6	-9.05159	-4.03847	-9.05160	-4.03774	0.00011	0.01808
8	7	-6.01847	-3.01383	-6.01847	-3.01351	0.00000	0.01062
9	8	-4.00370	-2.00284	-4.00370	-2.00271	0.00000	0.00649
10	9	-2.00000	-1.00004	-2.00000	-1.00000	0.00000	0.00400

3) เปรียบเทียบผลการทดสอบของกำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงและกำลังไฟฟ้าสูญเสียจินตภาพด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน ระหว่างใช้โปรแกรม Microsoft Excel และใช้โปรแกรม MATLAB ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงและกำลังไฟฟ้าสูญเสียจินตภาพจากการทดสอบด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน

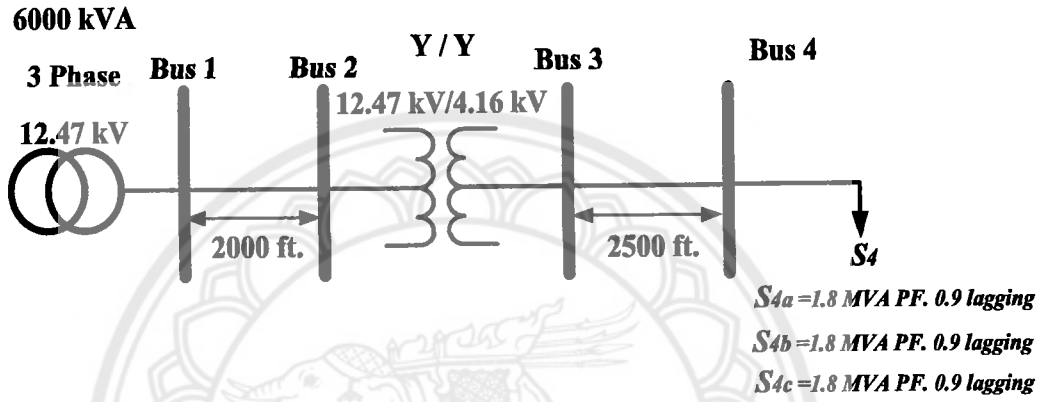
บัส		ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel		ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม MATLAB		ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	
		กำลังไฟฟ้าสูญเสีย		กำลังไฟฟ้าสูญเสีย		กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	
จาก	ถึง	กำลังไฟฟ้าจริง (kW)	กำลังไฟฟ้าจินตภาพ (kVar)	กำลังไฟฟ้าจริง (kW)	กำลังไฟฟ้าจินตภาพ (kVar)	กำลังไฟฟ้าจริง (%)	กำลังไฟฟ้าจินตภาพ (%)
1	2	0.55865	0.40858	0.55864	0.40857	0.00179	0.00245
2	3	0.41546	0.30386	0.41543	0.30383	0.00722	0.00987
3	4	0.29137	0.21310	0.29134	0.21308	0.01030	0.00939
4	5	0.18792	0.13744	0.1879	0.13742	0.01064	0.01455
5	6	0.12276	0.08978	0.12274	0.08977	0.01629	0.01114
6	7	0.07097	0.05191	0.07097	0.05191	0.00000	0.00000
7	8	0.03313	0.02423	0.03312	0.02423	0.03019	0.00000
8	9	0.01477	0.01080	0.01477	0.0108	0.00000	0.00000
9	10	0.00370	0.00271	0.0037	0.00271	0.00000	0.00000

จากตารางที่ 4.4 ถึงตารางที่ 4.6 จะเห็นว่าผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน มีค่าที่ใกล้เคียงกับผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม MATLAB โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกิน 0.05 เปอร์เซ็นต์

4.3 การทดสอบโดยวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ (Forward Backward Sweep)

จากหลักการการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายแบบเรเดียลด้วยวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ ในบทที่ 2 สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ได้ดังนี้

4.3.1 การกำหนดค่าการทดสอบของด้วยวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ



รูปที่ 4.17 ตัวอย่างระบบไฟฟ้าแบบเรเดียลจำนวน 4 บัส

ที่มา: IEEE 4 Node Test Feeder

สำหรับวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ จะใช้ระบบไฟฟ้าแบบเรเดียลจำนวน 4 บัส [ภาคผนวก ค IEEE 4 Node Test Feeder] เป็นระบบ 3 เฟส มีกำลังไฟฟ้าฐาน 6,000 kVA แรงดันสาย 12.47 kV จำนวน 4 บัส โดยระหว่างบัสที่ 1 และบัสที่ 2 มีสายไฟต่อเป็นแบบวายยาว 2,000 ฟุต, ระหว่างบัสที่ 2 และบัสที่ 3 มีหม้อแปลงไฟฟ้าต่ออยู่แปลงแรงดันไฟฟ้าจาก 12.47 kV เป็น 4.16 kV เป็นแบบวาย - วาย, ระหว่างบัสที่ 3 และบัสที่ 4 มีสายไฟต่อเป็นแบบวายยาว 2,500 ฟุตและบัสที่ 4 มีโหลดของแต่ละเฟสขนาด 1.8 MW PF.0.9 lagging ดังรูปที่ 4.17 (1 ไมล์ เท่ากับ 5,280 ฟุต)

โดยมีค่าพารามิเตอร์และการกำหนดค่าทดสอบในกรณีต่างๆดังรูปที่ 4.18 ถึงรูปที่ 4.20

4-wire configuration:

Phase impedance matrix:

$$zy = \begin{pmatrix} 0.4576 + 1.078j & 0.1559 + 0.5017j & 0.1535 + 0.3849j \\ 0.1559 + 0.5017j & 0.4666 + 1.0482j & 0.158 + 0.4236j \\ 0.1535 + 0.3849j & 0.158 + 0.4236j & 0.4615 + 1.0651j \end{pmatrix} \quad \Omega/\text{mile}$$

Sequence impedances:

$zy_{pos} = 0.3061 + 0.627j$ Ω/mile

$zy_{zero} = 0.7735 + 1.9373j$ Ω/mile

รูปที่ 4.18 ค่าอิมพิแดนซ์ที่มีลักษณะสายเชื่อมต่อกันเป็นแบบวาย

ที่มา: IEEE 4 Node Test Feeder

Three-Phase Transformer Data:

Connection	kVA	kVLL-high	kVLL-low	R - %	X - %
Step-Down	6,000	12.47	4.16	1.0	6.0
Step-Up	6,000	12.47	24.9	1.0	6.0

รูปที่ 4.19 ข้อมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

ที่มา: IEEE 4 Node Test Feeder

Closed Connections Load Data:

	Balanced	Unbalanced
Phase-1		
kW	1800	1275
Power Factor	0.9 lag	0.85 lag
Phase-2		
kW	1800	1800
Power Factor	0.9 lag	0.9 lag
Phase-3		
kW	1800	2375
Power Factor	0.9 lag	0.95 lag

รูปที่ 4.20 ค่าโหลดของแต่ละเฟสในกรณีต่างๆ

ที่มา: IEEE 4 Node Test Feeder

จากรูปที่ 4.17 จะได้รายละเอียดสำหรับกำหนดค่าโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ดังนี้ (1 ไมล์ ประมาณเท่ากับ 1 กิโลเมตรเพื่อความง่ายในการเปรียบเทียบค่า)

1) ในตาราง Base Data ได้ค่ากำลังไฟฟ้าฐานของระบบ 3 เฟสเท่ากับ 6,000 kVA, แรงดันด้านหน้าหม้อแปลง 12.47 kV, แรงดันด้านหลังหม้อแปลง 4.16 kV (กรณีที่มีหม้อแปลงเพียง 1 ตัวเท่านั้น), จำนวนบัส 4 บัสและมีค่าความผิดพลาด 0.00001 ดังรูปที่ 4.21 (*ถ้าไม่มีหม้อแปลงต่อยู่จะกำหนดให้ Vpri และ Vsec มีค่าเท่ากัน)

Sbase (KVA)		6000
Vline (V)	Vpri	12470
	Vsec	4160
Bus		4
Error		0.00001

รูปที่ 4.21 การกำหนดค่าในตาราง Base Data บนโปรแกรม Microsoft Excel
(วิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ)

2) ในตาราง Initial Data จะกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงโดยของเฟส A, B และ C มีขนาดแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้น 1.0 p.u. และมุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงของเฟส A, B และ C มีค่า 0 องศา, -120 องศาและ 120 องศาดังรูปที่ 4.22

V (Bus1)	Phase		
	B		
|V| (p.u.)	1	1	1
Angle V(°)	0	-120	120

รูปที่ 4.22 การกำหนดค่าในตาราง Initial Data บนโปรแกรม Microsoft Excel
(วิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ)

3) ในตาราง Conductor Type Data จะได้ Conductor Code 1 แทนค่าอิมพิแดนซ์ของสายไฟที่ต่อแบบวายที่ด้านแรงสูง (ได้จากรูปที่ 4.18), Conductor Code2 แทนค่าอิมพิแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ต่ออยู่และระหว่างบัสที่ 2 และบัสที่ 3 และ Conductor Code3 แทนค่าอิมพิแดนซ์ของสายไฟที่ต่อแบบวายที่ด้านแรงต่ำ (ได้จากรูปที่ 4.18) ดังรูปที่ 4.23

โดยค่ารีซิสแตนซ์ (R) และรีแอคแตนซ์ (X) ของหม้อแปลงไฟฟ้าหาได้จาก 1% และ 6% ของค่าอิมพีแดนซ์ฐานหาได้จากสมการที่ (4.2)

$$Z_{base} = \frac{V_{L-L}^2}{S_{base}} = \frac{12.47^2\, kV}{6000kVA} = 25.916\Omega \qquad (4.2)$$

จะได้ค่ารีซิสแตนซ์เท่ากับ 0.259 Ω และค่ารีแอคแตนซ์เท่ากับ 1.555 Ω

Conductor Code 1						Conductor Code 2						Conductor Code 3					
		B						B						B			
R+jX (Ω/km)		R+jX (Ω/km)		R+jX (Ω/km)		R+jX (Ω/km)		R+jX (Ω/km)		R+jX (Ω/km)		R+jX (Ω/km)		R+jX (Ω/km)		R+jX (Ω/km)	
0.4576	1.078	0.1559	0.5017	0.1535	0.3849	0.259	1.555	0	0	0	0	0.4576	1.078	0.1559	0.5017	0.1535	0.3849
0.1559	0.5017	0.4666	1.0482	0.158	0.4326	0	0	0.259	1.555	0	0	0.1559	0.5017	0.4666	1.0482	0.158	0.4326
0.1535	0.3849	0.158	0.4326	0.4615	1.0651	0	0	0	0	0.259	1.555	0.1535	0.3849	0.158	0.4326	0.4615	1.0651

รูปที่ 4.23 การกำหนดค่าในตาราง Conductor Type Data บนโปรแกรม Microsoft Excel

(วิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ)

4) ในตาราง Line Data จะได้ช่วงระหว่างบัสที่ 1 กับบัสที่ 2 ได้ Conductor Code หมายเลข 1 แทนอิมพิแดนซ์ของสายไฟที่ต่อแบบวาย (ด้านแรงสูง) ยาว 0.378 กิโลเมตร (2000 ฟุต) ช่วงระหว่างบัสที่ 2 กับบัสที่ 3 ได้ Conductor Code หมายเลข 2 แทนอิมพิแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า ช่วงระหว่างบัสที่ 3 กับบัสที่ 4 ได้ Conductor Code หมายเลข 3 แทนอิมพิแดนซ์ของสายไฟที่ต่อแบบวาย (ด้านแรงต่ำ) ยาว 0.473 กิโลเมตร (2500 ฟุต) ดังรูปที่ 4.24

Line				Phase B			
From	To	Conductor Code	Distance (km)	Conductor Code	Distance (km)	Conductor Code	Distance (km)
1	2	1	0.378	1	0.378	1	0.378
2	3	2	1	2	1	2	1
3	4	3	0.473	3	0.473	3	0.473

รูปที่ 4.24 การกำหนดค่าในตาราง Line Data บนโปรแกรม Microsoft Excel

(วิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ)

5) ตาราง Bus Data จะได้โหลดที่บัส 4 มีขนาด 1.8 MW, P.F. 0.9 lagging ดังรูปที่ 4.25

Bus								Phase B								
	Load		Gen		Total			Load		Gen		Total			Load	
	P (kw)	Q (kvar)	P (kw)	Q (kvar)	P (kw)	Q (kvar)	PF.	P (kw)	Q (kvar)	P (kw)	Q (kvar)	P (kw)	Q (kvar)	PF.	P (kw)	Q (kvar)
2	0	0			0	0	#DIV/0!	0	0			0	0	#DIV/0!	0	0
3	0	0			0	0	#DIV/0!	0	0			0	0	#DIV/0!	0	0
4	1800	870			1800	870	0.900349	1800	870			1800	870	0.900349	1800	870

รูปที่ 4.25 การกำหนดค่าในตาราง Bus Data บนโปรแกรม Microsoft Excel

(วิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ)

4.3.2 ผลทดสอบด้วยวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel และผลทดสอบที่ได้จาก *IEEE 4 Node Test Feeder*

จากรูปที่ 4.17 จะได้ผลการทดสอบ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ด้วยวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ โดยมีค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าอยู่ในหน่วยเปอร์ยูนิต ดังรูปที่ 4.26 และผลการทดสอบที่ได้จาก IEEE 4 Node Test Feeder ดังรูปที่ 4.27

Bus No.	Voltage					
			Phase B			
	|V| (V)	Angle V (°)	|V| (V)	Angle V (°)	|V| (V)	Angle V (°)
1	1.00000	0.00000	1.00000	-120.00000	1.00000	120.00000
2	0.98707	-0.33765	0.99164	-120.33859	0.98933	119.63039
3	0.93577	-3.69605	0.94452	-123.47733	0.93983	116.40664
4	0.79804	-9.07211	0.85730	-128.26809	0.82796	110.91209

รูปที่ 4.26 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ด้วยวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ

Solutions

Step-Down with Balanced Loading

Standard 30 degree connections are assumed for wye-delta and delta-wye banks

V1 = Vag for wye connections and Vab for delta connections
V2 = Vbg for wye connections and Vbc for delta connections
V3 = Vcg for wye connections and Vca for delta connections

Connection	Gr Y - Gr Y	Gr Y -D	Y - D	D - Gr Y	D - D	Open Gr.Y-D
Node-2						
V1	7107/-0.3	7113/-0.3	7112/-.03	12340/29.7	12339/29.7	6984/0.4
V2	7140/-120.3	7132/-120.3	7133/-120.4	12349/-90.4	12349/-90.4	7167/-121.7
V3	7121/119.6	7123/119.6	7124/119.6	12318/149.6	12321/149.6	7293/120.5
Node-3						
V1	2247.6/-3.7	3906/-3.5	3906/-3.4	2249/-33.7	3911/26.5	3701/-0.9
V2	2269/-123.5	3915/-123.6	3915/-123.6	2263/-153.4	3914/-93.6	4076/-126.5
V3	2256/116.4	3909/116.3	3909/116.3	2259/86.4	3905/146.4	3572/110.9
Node-4						
V1	1918/-9.1	3437/-7.8	3437/-7.8	1920/-39.1	3442/22.3	3384/-3.5
V2	2061/-128.3	3497/-129.3	3497/-129.3	2054/-158.3	3497/-99.4	3804.9/-130.
V3	1981/110.9	3388/110.6	3388/110.6	1986/80.9	3384/140.7	3246/106.5

รูปที่4.27 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก IEEE 4 Node Test Feeder

4.3.3 การเปรียบเทียบผลการทดสอบด้วยวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ ระหว่างใช้โปรแกรม *Microsoft Excel* กับผลการทดสอบที่ได้จาก *IEEE 4 Node Test Feeder*

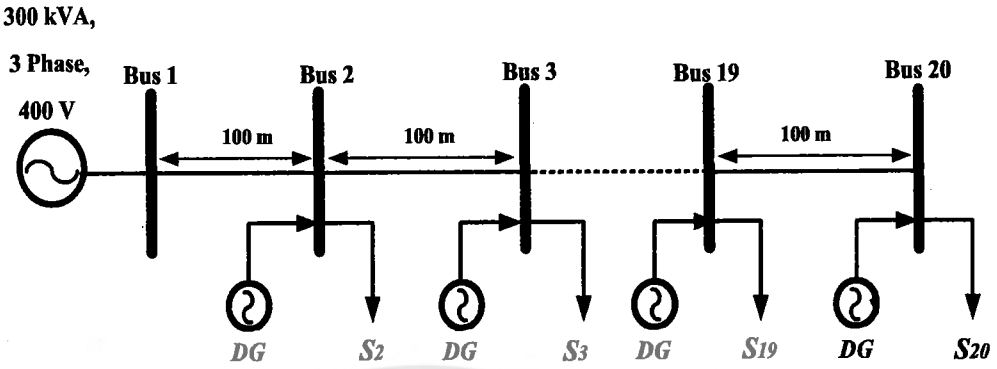
จากผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ดังรูปที่ 4.26 เปลี่ยนค่าขนาดแรงดันไฟฟ้าจากหน่วยเปอร์ยูนิตเป็นหน่วยโวลต์ โดยนำมาคูณกับค่าแรงดันเฟสของแต่ละบัสซึ่งมีค่าแรงดันเฟสของแต่ละบัสดังนี้ บัสที่ 2 มีแรงดันเฟส 7,200 V, บัสที่ 3 และบัสที่ 4 มีแรงดันเฟส 2,400 V นำมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบที่ได้จาก IEEE 4 Node Test Feeder ดังรูปที่ 4.27 เพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าจากการทดสอบด้วยวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ

บัส	เฟส	ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel		ผลการทดสอบที่ได้จาก IEEE 4 Node Test Feeder		ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	
		ขนาดแรงดันไฟฟ้า (V)	มุมของแรงดันไฟฟ้า (Degree)	ขนาดแรงดันไฟฟ้า (V)	มุมของแรงดันไฟฟ้า (Degree)	ขนาดแรงดันไฟฟ้า (%)	มุมของแรงดันไฟฟ้า (%)
2	A	7106	-0.3	7107	-0.3	0.014	0.000
	B	7135	-120.3	7140	-120.4	0.070	0.083
	C	7120	119.6	7121	119.6	0.014	0.000
3	A	2244	-3.7	2247	-3.7	0.134	0.000
	B	2265	-123.4	2269	-123.5	0.176	0.081
	C	2253	116.4	2256	116.4	0.133	0.000
4	A	1915	-9.1	1918	-9.1	0.156	0.000
	B	2056	-128.2	2061	-128.3	0.243	0.078
	C	1984	110.9	1981	110.9	0.151	0.000

จากตารางที่ 4.7 ผลทดสอบด้วยวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ เมื่อเทียบกับผลการทดสอบที่ได้จาก IEEE 4 Node Test Feeder โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกิน 0.3 เปอร์เซ็นต์

4.4 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของโหลดในกรณีต่างๆ



รูปที่ 4.28 ตัวอย่างระบบจำหน่ายแบบเรเดียลจำนวน 20 บัส

จากรูปที่ 4.28 จะทำการทดสอบด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน เนื่องจากมีค่าความเคลื่อนน้อยกว่าวิธีอื่นเพื่อหาลักษณะขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปของระบบเมื่อโหลดมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงในกรณีต่างๆได้แก่ โหลดเท่ากันทั้งสามเฟส, โหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟส, โหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟสมีและไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่และกรณีแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงมีค่าเท่ากันและไม่เท่ากันทั้งสามเฟส โดยจะทำการกำหนดค่าการทดสอบแสดงค่าขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าและแสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงไปของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะแสดงผลการทดสอบในกรณีต่างๆได้ดังต่อไปนี้

4.4.1 การทดสอบระหว่างกรณีโหลดเท่ากันทั้งสามเฟสและโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟส

1) การกำหนดค่าการทดสอบระหว่างกรณีโหลดเท่ากันทั้งสามเฟสและโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟส

จากรูปที่ 4.28 กำหนดให้มีค่าโหลดในกรณีโหลดเท่ากันทั้งสามเฟสและโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟส เมื่อไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ดังรูปที่ 4.29 และรูปที่ 4.30 ตามลำดับ

Bus	Phase B																			
	Load		Gen		Total			Load		Gen		Total			Load		Gen		Total		
	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	PF.	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	PF.	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	PF.
2	5	1	0	0	5	1	0.98058	5	1	0	0	5	1	0.98058	5	1	0	0	5	1	0.98058
3	5	1	0	0	5	1	0.98058	5	1	0	0	5	1	0.98058	5	1	0	0	5	1	0.98058
4	5	1	0	0	5	1	0.98058	5	1	0	0	5	1	0.98058	5	1	0	0	5	1	0.98058
5	5	1	0	0	5	1	0.98058	5	1	0	0	5	1	0.98058	5	1	0	0	5	1	0.98058
6	5	1	0	0	5	1	0.98058	5	1	0	0	5	1	0.98058	5	1	0	0	5	1	0.98058
7	4	1	0	0	4	1	0.97014	4	1	0	0	4	1	0.97014	4	1	0	0	4	1	0.97014
8	4	1	0	0	4	1	0.97014	4	1	0	0	4	1	0.97014	4	1	0	0	4	1	0.97014
9	4	1	0	0	4	1	0.97014	4	1	0	0	4	1	0.97014	4	1	0	0	4	1	0.97014
10	4	1	0	0	4	1	0.97014	4	1	0	0	4	1	0.97014	4	1	0	0	4	1	0.97014
11	4	1	0	0	4	1	0.97014	4	1	0	0	4	1	0.97014	4	1	0	0	4	1	0.97014
12	3	1	0	0	3	1	0.94868	3	1	0	0	3	1	0.94868	3	1	0	0	3	1	0.94868
13	3	1	0	0	3	1	0.94868	3	1	0	0	3	1	0.94868	3	1	0	0	3	1	0.94868
14	3	1	0	0	3	1	0.94868	3	1	0	0	3	1	0.94868	3	1	0	0	3	1	0.94868
15	3	1	0	0	3	1	0.94868	3	1	0	0	3	1	0.94868	3	1	0	0	3	1	0.94868
16	3	1	0	0	3	1	0.94868	3	1	0	0	3	1	0.94868	3	1	0	0	3	1	0.94868
17	2	1	0	0	2	1	0.89443	2	1	0	0	2	1	0.89443	2	1	0	0	2	1	0.89443
18	2	1	0	0	2	1	0.89443	2	1	0	0	2	1	0.89443	2	1	0	0	2	1	0.89443
19	2	1	0	0	2	1	0.89443	2	1	0	0	2	1	0.89443	2	1	0	0	2	1	0.89443
20	2	1	0	0	2	1	0.89443	2	1	0	0	2	1	0.89443	2	1	0	0	2	1	0.89443
Total					68	19	70.60453					68	19	70.60453					68	19	70.60453

รูปที่ 4.29 การกำหนดค่าโหลดกรณีโหลดเท่ากันทั้งสามเฟส

Bus	Phase B																			
	Load		Gen		Total			Load		Gen		Total			Load		Gen		Total		
	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	PF.	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	PF.	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	PF.
2	4	1	0	0	4	1	0.97014	5	1	0	0	5	1	0.98058	6	1	0	0	6	1	0.98639
3	4	1	0	0	4	1	0.97014	5	1	0	0	5	1	0.98058	6	1	0	0	6	1	0.98639
4	4	1	0	0	4	1	0.97014	5	1	0	0	5	1	0.98058	6	1	0	0	6	1	0.98639
5	4	1	0	0	4	1	0.97014	5	1	0	0	5	1	0.98058	6	1	0	0	6	1	0.98639
6	4	1	0	0	4	1	0.97014	5	1	0	0	5	1	0.98058	6	1	0	0	6	1	0.98639
7	3	1	0	0	3	1	0.94868	4	1	0	0	4	1	0.97014	5	1	0	0	5	1	0.98058
8	3	1	0	0	3	1	0.94868	4	1	0	0	4	1	0.97014	5	1	0	0	5	1	0.98058
9	3	1	0	0	3	1	0.94868	4	1	0	0	4	1	0.97014	5	1	0	0	5	1	0.98058
10	3	1	0	0	3	1	0.94868	4	1	0	0	4	1	0.97014	5	1	0	0	5	1	0.98058
11	3	1	0	0	3	1	0.94868	4	1	0	0	4	1	0.97014	5	1	0	0	5	1	0.98058
12	2	1	0	0	2	1	0.89443	3	1	0	0	3	1	0.94868	4	1	0	0	4	1	0.97014
13	2	1	0	0	2	1	0.89443	3	1	0	0	3	1	0.94868	4	1	0	0	4	1	0.97014
14	2	1	0	0	2	1	0.89443	3	1	0	0	3	1	0.94868	4	1	0	0	4	1	0.97014
15	2	1	0	0	2	1	0.89443	3	1	0	0	3	1	0.94868	4	1	0	0	4	1	0.97014
16	2	1	0	0	2	1	0.89443	3	1	0	0	3	1	0.94868	4	1	0	0	4	1	0.97014
17	1	1	0	0	1	1	0.70711	2	1	0	0	2	1	0.89443	3	1	0	0	3	1	0.94868
18	1	1	0	0	1	1	0.70711	2	1	0	0	2	1	0.89443	3	1	0	0	3	1	0.94868
19	1	1	0	0	1	1	0.70711	2	1	0	0	2	1	0.89443	3	1	0	0	3	1	0.94868
20	1	1	0	0	1	1	0.70711	2	1	0	0	2	1	0.89443	3	1	0	0	3	1	0.94868
Total					49	19	52.55473					68	19	70.60453					87	19	89.05055

รูปที่ 4.30 การกำหนดค่ากรณีโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟส

2) ผลการทดสอบระหว่างกรณีโหลดเท่ากันทั้งสามเฟสและโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟส

ถ้าโหลดของแต่ละเฟสมีค่าเท่ากันจะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปของแต่ละเฟสมีค่าใกล้เคียง ส่วนถ้าโหลดมีค่าไม่เท่ากันจะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปของแต่ละเฟสมีค่าแตกต่างกันดังรูปที่ 4.31 และรูปที่ 4.32 ตามลำดับ

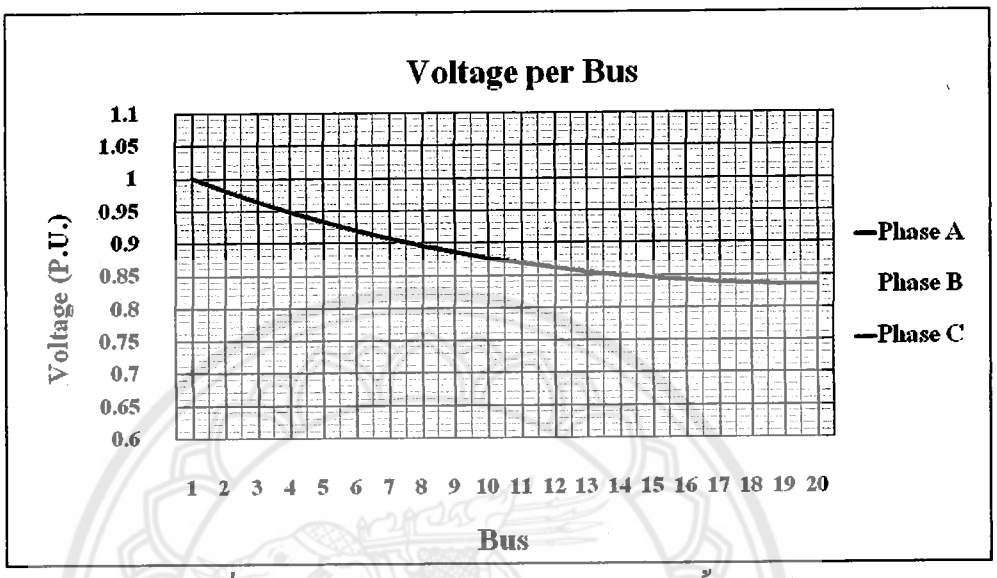
Bus No.	Voltage					
			Phase B			
	|V| (p.u.)	Angle V (degree)	|V| (p.u.)	Angle V (degree)	|V| (p.u.)	Angle V (degree)
1	1	0	1	-120	1	120
2	0.98142	-0.36076	0.98142	-120.36076	0.98142	119.63924
3	0.96404	-0.70237	0.96404	-120.70237	0.96404	119.29763
4	0.94788	-1.02242	0.94788	-121.02242	0.94788	118.97758
5	0.93295	-1.31844	0.93295	-121.31844	0.93295	118.68156
6	0.91928	-1.58797	0.91928	-121.58797	0.91928	118.41203
7	0.90687	-1.82858	0.90687	-121.82858	0.90687	118.17142
8	0.89552	-2.04831	0.89552	-122.04831	0.89552	117.95169
9	0.88524	-2.24549	0.88524	-122.24549	0.88524	117.75451
10	0.87604	-2.41853	0.87604	-122.41853	0.87604	117.58147
11	0.86793	-2.56595	0.86793	-122.56595	0.86793	117.43405
12	0.86092	-2.68637	0.86092	-122.68637	0.86092	117.31363
13	0.85477	-2.79000	0.85477	-122.79000	0.85477	117.21000
14	0.84950	-2.87613	0.84950	-122.87613	0.84950	117.12387
15	0.84512	-2.94413	0.84512	-122.94413	0.84512	117.05587
16	0.84161	-2.99346	0.84161	-122.99346	0.84161	117.00654
17	0.83900	-3.02371	0.83900	-123.02371	0.83900	116.97629
18	0.83704	-3.04652	0.83704	-123.04652	0.83704	116.95348
19	0.83573	-3.06179	0.83573	-123.06179	0.83573	116.93821
20	0.83507	-3.06944	0.83507	-123.06944	0.83507	116.93056

รูปที่ 4.31 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้า กรณีโหลดเท่ากันทั้งสามเฟส

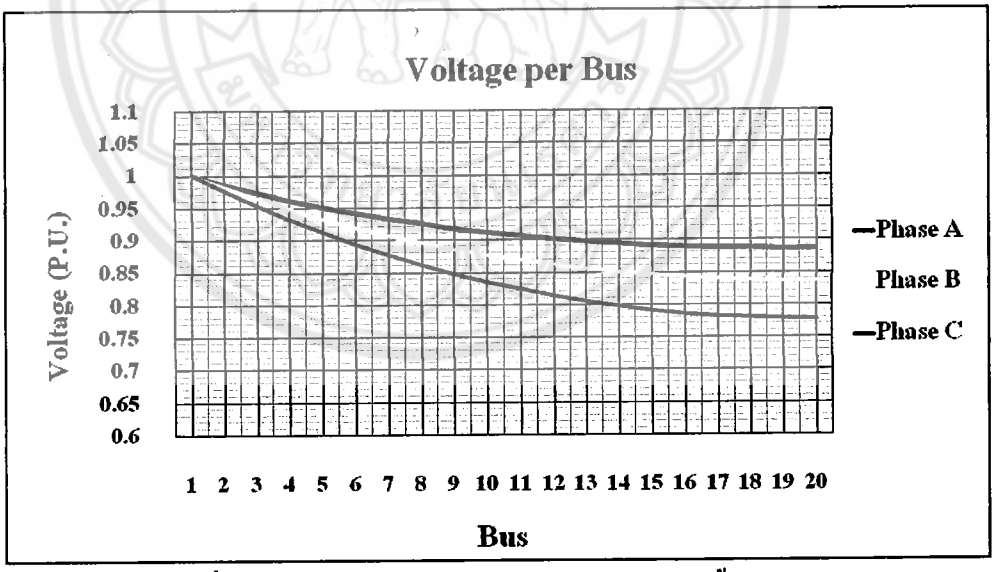
Bus No.	Voltage					
			Phase B			
	|V| (p.u.)	Angle V (degree)	|V| (p.u.)	Angle V (degree)	|V| (p.u.)	Angle V (degree)
1	1	0	1	-120	1	120
2	0.98636	-0.19681	0.98142	-120.36076	0.97575	119.47391
3	0.97369	-0.37562	0.96404	-120.70237	0.95296	118.96381
4	0.96200	-0.53568	0.94788	-121.02242	0.93165	118.47345
5	0.95130	-0.67507	0.93295	-121.31844	0.91185	118.00684
6	0.94160	-0.79275	0.91928	-121.58797	0.89359	117.56814
7	0.93292	-0.88752	0.90687	-121.82858	0.87689	117.16163
8	0.92503	-0.96606	0.89552	-122.04831	0.86153	116.78040
9	0.91795	-1.03372	0.88524	-122.24549	0.84755	116.42778
10	0.91169	-1.08392	0.87604	-122.41853	0.83494	116.10707
11	0.90624	-1.11813	0.86793	-122.56595	0.82373	115.82151
12	0.90162	-1.13590	0.86092	-122.68637	0.81394	115.57413
13	0.89761	-1.14723	0.85477	-122.79000	0.80531	115.35469
14	0.89420	-1.15199	0.84950	-122.87613	0.79788	115.16572
15	0.89141	-1.15008	0.84512	-122.94413	0.79164	115.00837
16	0.88923	-1.14141	0.84161	-122.99346	0.78660	114.88435
17	0.88767	-1.12593	0.83900	-123.02371	0.78276	114.79493
18	0.88649	-1.11429	0.83704	-123.04652	0.77989	114.72729
19	0.88571	-1.10650	0.83573	-123.06179	0.77797	114.68192
20	0.88532	-1.10261	0.83507	-123.06944	0.77700	114.65914

รูปที่ 4.32 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้า กรณีโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟส

จากผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปจะได้ลักษณะของกราฟแรงดันไฟฟ้ากรณีโหลดเท่ากันทั้งสามเฟสและโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟสดังรูปที่ 4.33 และรูปที่ 4.34 ตามลำดับ



รูปที่ 4.33 กราฟแรงดันไฟฟ้ากรณีโหลดเท่ากันทั้งสามเฟส



รูปที่ 4.34 กราฟแรงดันไฟฟ้ากรณีโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟส

4.4.2 การทดสอบกรณีโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟสระหว่างไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายและมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่

1) การกำหนดค่าการทดสอบกรณีโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟสระหว่างไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายและมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่

จากรูปที่ 4.28 กำหนดให้ค่าโหลดในกรณีโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟสและไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่, ในกรณีโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟสและมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ (ขนาดเล็กกว่าโหลด) และในกรณีโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟสและมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ (ขนาดใหญ่กว่าโหลด) มีค่าของโหลดและค่าของระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายในกรณีต่างๆดังรูปที่ 4.35 ถึงรูปที่ 4.37 ตามลำดับ

Bus	Phase B																			
	Load		Gen		Total			Load		Gen		Total			Load		Gen		Total		
	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	PF.	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	PF.	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	PF.
2	4	1	0	0	4	1	0.97014	5	1	0	0	5	1	0.98058	6	1	0	0	6	1	0.98639
3	4	1	0	0	4	1	0.97014	5	1	0	0	5	1	0.98058	6	1	0	0	6	1	0.98639
4	4	1	0	0	4	1	0.97014	5	1	0	0	5	1	0.98058	6	1	0	0	6	1	0.98639
5	4	1	0	0	4	1	0.97014	5	1	0	0	5	1	0.98058	6	1	0	0	6	1	0.98639
6	4	1	0	0	4	1	0.97014	5	1	0	0	5	1	0.98058	6	1	0	0	6	1	0.98639
7	3	1	0	0	3	1	0.94868	4	1	0	0	4	1	0.97014	5	1	0	0	5	1	0.98058
8	3	1	0	0	3	1	0.94868	4	1	0	0	4	1	0.97014	5	1	0	0	5	1	0.98058
9	3	1	0	0	3	1	0.94868	4	1	0	0	4	1	0.97014	5	1	0	0	5	1	0.98058
10	3	1	0	0	3	1	0.94868	4	1	0	0	4	1	0.97014	5	1	0	0	5	1	0.98058
11	3	1	0	0	3	1	0.94868	4	1	0	0	4	1	0.97014	5	1	0	0	5	1	0.98058
12	2	1	0	0	2	1	0.89443	3	1	0	0	3	1	0.94868	4	1	0	0	4	1	0.97014
13	2	1	0	0	2	1	0.89443	3	1	0	0	3	1	0.94868	4	1	0	0	4	1	0.97014
14	2	1	0	0	2	1	0.89443	3	1	0	0	3	1	0.94868	4	1	0	0	4	1	0.97014
15	2	1	0	0	2	1	0.89443	3	1	0	0	3	1	0.94868	4	1	0	0	4	1	0.97014
16	2	1	0	0	2	1	0.89443	3	1	0	0	3	1	0.94868	4	1	0	0	4	1	0.97014
17	1	1	0	0	1	1	0.70711	2	1	0	0	2	1	0.89443	3	1	0	0	3	1	0.94868
18	1	1	0	0	1	1	0.70711	2	1	0	0	2	1	0.89443	3	1	0	0	3	1	0.94868
19	1	1	0	0	1	1	0.70711	2	1	0	0	2	1	0.89443	3	1	0	0	3	1	0.94868
20	1	1	0	0	1	1	0.70711	2	1	0	0	2	1	0.89443	3	1	0	0	3	1	0.94868
Total					49	19	52.55473					68	19	70.60455					87	19	89.05055

รูปที่ 4.35 การกำหนดค่ากรณีโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟสและไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่

Bus	Load		Gen		Total			Phase B							Load		Gen		Total		
	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	PF.	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	PF.	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	PF.
2	4	1	2	0	2	1	0.89443	5	1	2	0	3	1	0.94868	6	1	2	0	4	1	0.97014
3	4	1	2	0	2	1	0.89443	5	1	2	0	3	1	0.94868	6	1	2	0	4	1	0.97014
4	4	1	2	0	2	1	0.89443	5	1	2	0	3	1	0.94868	6	1	2	0	4	1	0.97014
5	4	1	2	0	2	1	0.89443	5	1	2	0	3	1	0.94868	6	1	2	0	4	1	0.97014
6	4	1	2	0	2	1	0.89443	5	1	2	0	3	1	0.94868	6	1	2	0	4	1	0.97014
7	3	1	2	0	1	1	0.70711	4	1	2	0	2	1	0.89443	5	1	2	0	3	1	0.94868
8	3	1	2	0	1	1	0.70711	4	1	2	0	2	1	0.89443	5	1	2	0	3	1	0.94868
9	3	1	2	0	1	1	0.70711	4	1	2	0	2	1	0.89443	5	1	2	0	3	1	0.94868
10	3	1	2	0	1	1	0.70711	4	1	2	0	2	1	0.89443	5	1	2	0	3	1	0.94868
11	3	1	2	0	1	1	0.70711	4	1	2	0	2	1	0.89443	5	1	2	0	3	1	0.94868
12	2	1	2	0	0	1	0.00000	3	1	2	0	1	1	0.70711	4	1	2	0	2	1	0.89443
13	2	1	2	0	0	1	0.00000	3	1	2	0	1	1	0.70711	4	1	2	0	2	1	0.89443
14	2	1	2	0	0	1	0.00000	3	1	2	0	1	1	0.70711	4	1	2	0	2	1	0.89443
15	2	1	2	0	0	1	0.00000	3	1	2	0	1	1	0.70711	4	1	2	0	2	1	0.89443
16	2	1	2	0	0	1	0.00000	3	1	2	0	1	1	0.70711	4	1	2	0	2	1	0.89443
17	1	1	2	0	-1	1	-0.70711	2	1	2	0	0	1	0.00000	3	1	2	0	1	1	0.70711
18	1	1	2	0	-1	1	-0.70711	2	1	2	0	0	1	0.00000	3	1	2	0	1	1	0.70711
19	1	1	2	0	-1	1	-0.70711	2	1	2	0	0	1	0.00000	3	1	2	0	1	1	0.70711
20	1	1	2	0	-1	1	-0.70711	2	1	2	0	0	1	0.00000	3	1	2	0	1	1	0.70711
Total					11	19	21.95450					30	19	35.51056					49	19	52.55473

รูปที่ 4.36 การกำหนดค่ากรณีโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟสและมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ (ขนาดเล็กกว่าโหลด)

Bus	Load		Gen		Total			Phase B							Load		Gen		Total		
	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	PF.	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	PF.	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	PF.
2	4	1	6	0	-2	1	-0.89443	5	1	6	0	-1	1	-0.70711	6	1	6	0	0	1	0.00000
3	4	1	6	0	-2	1	-0.89443	5	1	6	0	-1	1	-0.70711	6	1	6	0	0	1	0.00000
4	4	1	6	0	-2	1	-0.89443	5	1	6	0	-1	1	-0.70711	6	1	6	0	0	1	0.00000
5	4	1	2	0	2	1	0.89443	5	1	2	0	3	1	0.94868	6	1	2	0	4	1	0.97014
6	4	1	6	0	-2	1	-0.89443	5	1	6	0	-1	1	-0.70711	6	1	6	0	0	1	0.00000
7	3	1	6	0	-3	1	-0.94868	4	1	6	0	-2	1	-0.89443	5	1	6	0	-1	1	-0.70711
8	3	1	6	0	-3	1	-0.94868	4	1	6	0	-2	1	-0.89443	5	1	6	0	-1	1	-0.70711
9	3	1	6	0	-3	1	-0.94868	4	1	6	0	-2	1	-0.89443	5	1	6	0	-1	1	-0.70711
10	3	1	6	0	-3	1	-0.94868	4	1	6	0	-2	1	-0.89443	5	1	6	0	-1	1	-0.70711
11	3	1	6	0	-3	1	-0.94868	4	1	6	0	-2	1	-0.89443	5	1	6	0	-1	1	-0.70711
12	2	1	6	0	-4	1	-0.97014	3	1	6	0	-3	1	-0.94868	4	1	6	0	-2	1	-0.89443
13	2	1	6	0	-4	1	-0.97014	3	1	6	0	-3	1	-0.94868	4	1	6	0	-2	1	-0.89443
14	2	1	6	0	-4	1	-0.97014	3	1	6	0	-3	1	-0.94868	4	1	6	0	-2	1	-0.89443
15	2	1	6	0	-4	1	-0.97014	3	1	6	0	-3	1	-0.94868	4	1	6	0	-2	1	-0.89443
16	2	1	6	0	-4	1	-0.97014	3	1	6	0	-3	1	-0.94868	4	1	6	0	-2	1	-0.89443
17	1	1	6	0	-5	1	-0.98058	2	1	6	0	-4	1	-0.97014	3	1	6	0	-3	1	-0.94868
18	1	1	6	0	-5	1	-0.98058	2	1	6	0	-4	1	-0.97014	3	1	6	0	-3	1	-0.94868
19	1	1	6	0	-5	1	-0.98058	2	1	6	0	-4	1	-0.97014	3	1	6	0	-3	1	-0.94868
20	1	1	6	0	-5	1	-0.98058	2	1	6	0	-4	1	-0.97014	3	1	6	0	-3	1	-0.94868
Total					-61	19	63.89053					-42	19	46.09772					-23	19	29.83287

รูปที่ 4.37 การกำหนดค่าของโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟสกรณีมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ (ขนาดใหญ่กว่าโหลด)

2) ผลการทดสอบกรณีโหลดไม่เท่าทั้งสามเฟสระหว่างไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่และมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายขนาดเชื่อมต่ออยู่

จากค่าโหลดของแต่ละเฟสมีค่าไม่เท่ากันและไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่จะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเฟสมีค่าแตกต่างกันและมีค่าแรงดันตกมากโดยเมื่อมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ (ขนาดเล็กกว่าโหลด) จะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเฟสดีขึ้นและมีค่าแรงดันตกน้อยส่วนถ้าหากมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ (ขนาดใหญ่กว่าโหลด) จะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเฟสเพิ่มขึ้นทำให้เกิดแรงดันเกินดังรูปที่ 4.38 ถึงรูปที่ 4.40 ตามลำดับ

Bus No.	Voltage					
	Phase B					
	|V| (p.u.)	Angle V (degree)	|V| (p.u.)	Angle V (degree)	|V| (p.u.)	Angle V (degree)
1	1	0	1	-120	1	120
2	0.98636	-0.19681	0.98142	-120.36076	0.97575	119.47391
3	0.97369	-0.37582	0.96404	-120.70237	0.95296	118.96381
4	0.96200	-0.53568	0.94788	-121.02242	0.93165	118.47345
5	0.95130	-0.67507	0.93295	-121.31844	0.91185	118.00684
6	0.94160	-0.79275	0.91928	-121.58797	0.89359	117.56814
7	0.93292	-0.88752	0.90687	-121.82858	0.87689	117.16163
8	0.92503	-0.96806	0.89552	-122.04831	0.86153	116.78040
9	0.91795	-1.03372	0.88524	-122.24549	0.84755	116.42778
10	0.91169	-1.08392	0.87604	-122.41853	0.83494	116.10707
11	0.90624	-1.11813	0.86793	-122.56595	0.82373	115.82151
12	0.90162	-1.13590	0.86092	-122.68637	0.81394	115.57413
13	0.89761	-1.14723	0.85477	-122.79000	0.80531	115.35489
14	0.89420	-1.15199	0.84950	-122.87613	0.79788	115.16572
15	0.89141	-1.15006	0.84512	-122.94413	0.79164	115.00837
16	0.88923	-1.14141	0.84161	-122.99346	0.78660	114.88435
17	0.88767	-1.12593	0.83900	-123.02371	0.78276	114.79493
18	0.88649	-1.11429	0.83704	-123.04652	0.77989	114.72729
19	0.88571	-1.10650	0.83573	-123.06179	0.77797	114.68192
20	0.88532	-1.10261	0.83507	-123.06944	0.77700	114.65914

รูปที่ 4.38 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้ากรณีโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟสและไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่

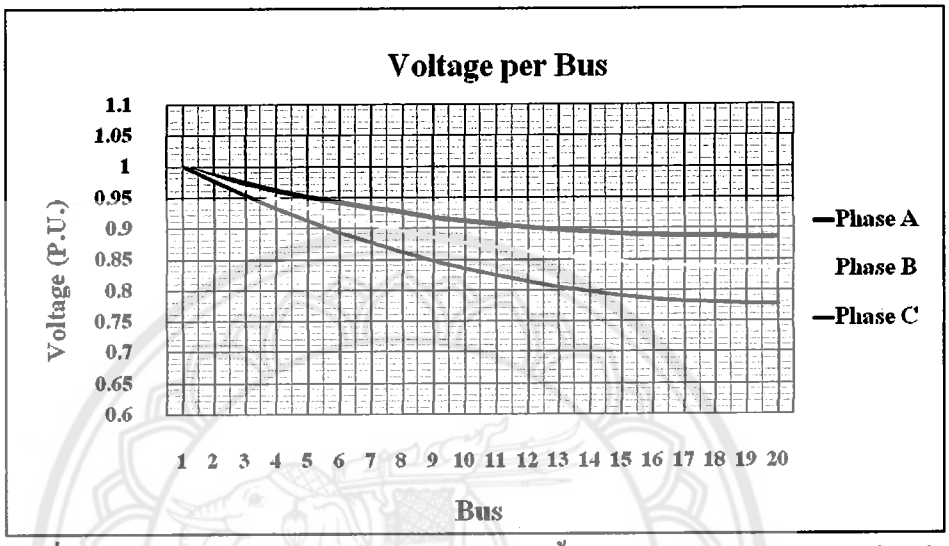
Bus No.	Voltage					
			Phase B			
	|V| (p.u.)	Angle V (degree)	|V| (p.u.)	Angle V (degree)	|V| (p.u.)	Angle V (degree)
1	1	0	1	-120	1	120
2	0.99483	0.12593	0.99079	-120.03473	0.98636	119.80319
3	0.99021	0.25854	0.98233	-120.05596	0.97369	119.62418
4	0.98614	0.39779	0.97464	-120.06316	0.96200	119.46432
5	0.98264	0.54363	0.96771	-120.05590	0.95130	119.32493
6	0.97971	0.69600	0.96155	-120.03375	0.94160	119.20725
7	0.97733	0.85477	0.95617	-119.99638	0.93292	119.11248
8	0.97532	1.01106	0.95136	-119.95272	0.92503	119.03194
9	0.97367	1.16471	0.94713	-119.90271	0.91795	118.96628
10	0.97239	1.31560	0.94347	-119.84630	0.91169	118.91608
11	0.97147	1.46360	0.94040	-119.78345	0.90624	118.88187
12	0.97091	1.60859	0.93791	-119.71417	0.90162	118.86410
13	0.97050	1.74156	0.93579	-119.64802	0.89761	118.85277
14	0.97026	1.86245	0.93404	-119.58509	0.89420	118.84801
15	0.97017	1.97120	0.93266	-119.52547	0.89141	118.84992
16	0.97023	2.06778	0.93166	-119.46920	0.88923	118.85859
17	0.97045	2.15217	0.93102	-119.41636	0.88767	118.87407
18	0.97061	2.21543	0.93055	-119.37668	0.88649	118.88571
19	0.97072	2.25760	0.93023	-119.35020	0.88571	118.89350
20	0.97077	2.27867	0.93008	-119.33696	0.88532	118.89739

รูปที่ 4.39 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้ากรณีโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟสและมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ (ขนาดเล็กกว่าโหลด)

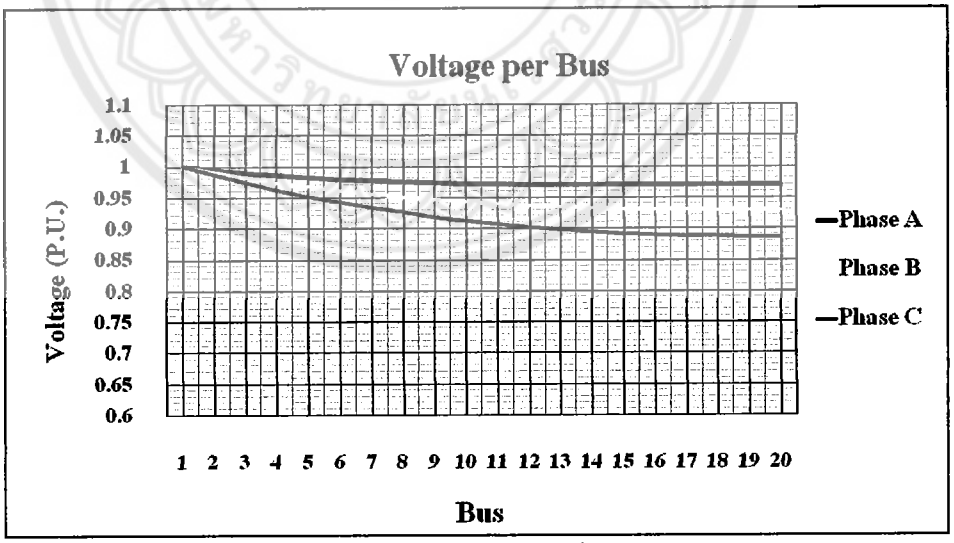
Bus No.	Voltage					
			Phase B			
	|V| (p.u.)	Angle V (degree)	|V| (p.u.)	Angle V (degree)	|V| (p.u.)	Angle V (degree)
1	1	0	1	-120	1	120
2	1.00754	0.72489	1.00449	-119.43184	1.00123	120.41061
3	1.01499	1.41147	1.00902	-118.88636	1.00266	120.80873
4	1.02232	2.06090	1.01358	-118.36916	1.00429	121.19427
5	1.02953	2.67433	1.01817	-117.87388	1.00610	121.56715
6	1.03739	3.28388	1.02357	-117.37022	1.00890	121.96016
7	1.04511	3.85828	1.02900	-116.89071	1.01189	122.33968
8	1.05250	4.39111	1.03424	-116.44272	1.01487	122.69761
9	1.05954	4.88379	1.03930	-116.02546	1.01784	123.03420
10	1.06622	5.33767	1.04417	-115.63822	1.02078	123.34970
11	1.07254	5.75398	1.04884	-115.28031	1.02371	123.64437
12	1.07849	6.13383	1.05331	-114.95109	1.02660	123.91845
13	1.08388	6.47114	1.05737	-114.65747	1.02927	124.16428
14	1.08870	6.76706	1.06103	-114.39667	1.03171	124.38226
15	1.09294	7.02267	1.06429	-114.17403	1.03392	124.57275
16	1.09660	7.23880	1.06713	-113.98297	1.03590	124.73607
17	1.09969	7.41622	1.06956	-113.82499	1.03764	124.87252
18	1.10200	7.54863	1.07136	-113.70697	1.03894	124.97454
19	1.10354	7.63659	1.07260	-113.62851	1.03981	125.04242
20	1.10432	7.68046	1.07320	-113.58935	1.04025	125.07631

รูปที่ 4.40 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้ากรณีโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟสมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ (ขนาดใหญ่กว่าโหลด)

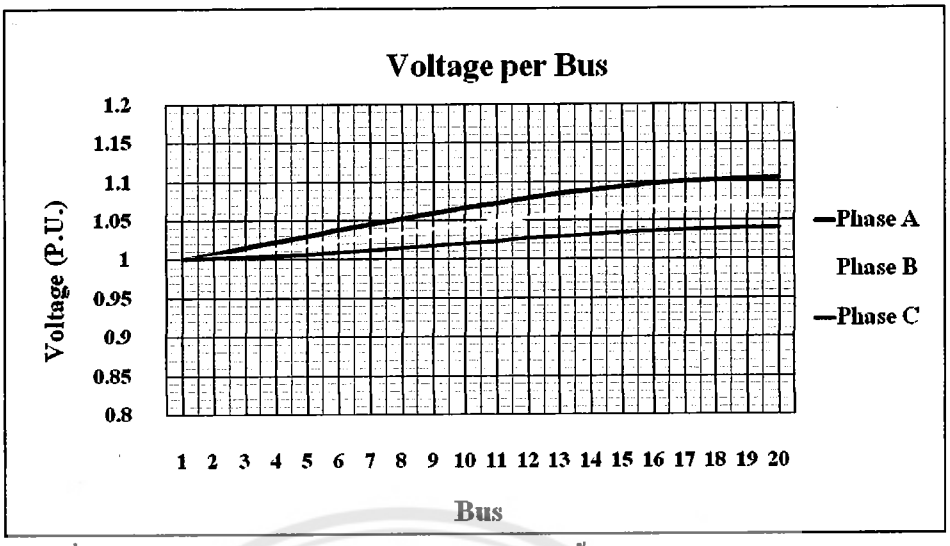
จากผลการทดสอบในแต่ละกรณีไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ในกรณีมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ (ขนาดเล็กกว่าโหลด) และในกรณีมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ (ขนาดใหญ่กว่าโหลด) จะได้กราฟของแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปของแต่ละเฟสในกรณีต่างๆดังรูปที่ 4.41 ถึงรูปที่ 4.43 ตามลำดับ



รูปที่ 4.41 กราฟแรงดันไฟฟ้ากรณีโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟสและไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่



รูปที่ 4.42 กราฟแรงดันไฟฟ้ากรณีโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟสและมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ (ขนาดเล็กกว่าโหลด)



รูปที่ 4.43 กราฟแรงดันไฟฟ้ากรณีโหลดไม่เท่ากันทั้งสามเฟสและมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ (ขนาดใหญ่กว่าโหลด)

4.4.3 การทดสอบระหว่างกรณีแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงมีค่าเท่ากันและไม่เท่ากันทั้งสามเฟส

1) การกำหนดค่าการทดสอบกรณีระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงเท่ากันและไม่เท่ากันทั้งสามเฟส

จากรูปที่ 4.28 กำหนดให้มีค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงมีค่าในกรณีต่างๆดังรูปที่ 4.44 และรูปที่ 4.45 โดยกำหนดค่าโหลดมีค่าเท่ากันทั้งสามเฟสในกรณีไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่และมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ดังรูปที่ 4.46 ถึงรูปที่ 4.47

V (Bus1)	Phase		
		B	
|V| (p.u.)	1	1	1
Angle V(°)	0	-120	120

รูปที่ 4.44 การกำหนดค่ากรณีแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงมีค่าเท่ากันทั้งสามเฟส

V (Bus1)	Phase		
		B	
|V| (p.u.)	1	0.97	1.03
Angle V(°)	0	-120	120

รูปที่ 4.45 การกำหนดค่ากรณีแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงมีค่าไม่เท่ากันทั้งสามเฟส

Bus	Phase B																					
	Load		Gen		Total			Load		Gen		Total			Load		Gen		Total		
	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	PF.	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	PF.	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	PF.
2	5	1	0	0	5	1	0.98058	5	1	0	0	5	1	0.98058	5	1	0	0	5	1	0.98058
3	5	1	0	0	5	1	0.98058	5	1	0	0	5	1	0.98058	5	1	0	0	5	1	0.98058
4	5	1	0	0	5	1	0.98058	5	1	0	0	5	1	0.98058	5	1	0	0	5	1	0.98058
5	5	1	0	0	5	1	0.98058	5	1	0	0	5	1	0.98058	5	1	0	0	5	1	0.98058
6	5	1	0	0	5	1	0.98058	5	1	0	0	5	1	0.98058	5	1	0	0	5	1	0.98058
7	4	1	0	0	4	1	0.97014	4	1	0	0	4	1	0.97014	4	1	0	0	4	1	0.97014
8	4	1	0	0	4	1	0.97014	4	1	0	0	4	1	0.97014	4	1	0	0	4	1	0.97014
9	4	1	0	0	4	1	0.97014	4	1	0	0	4	1	0.97014	4	1	0	0	4	1	0.97014
10	4	1	0	0	4	1	0.97014	4	1	0	0	4	1	0.97014	4	1	0	0	4	1	0.97014
11	4	1	0	0	4	1	0.97014	4	1	0	0	4	1	0.97014	4	1	0	0	4	1	0.97014
12	3	1	0	0	3	1	0.94868	3	1	0	0	3	1	0.94868	3	1	0	0	3	1	0.94868
13	3	1	0	0	3	1	0.94868	3	1	0	0	3	1	0.94868	3	1	0	0	3	1	0.94868
14	3	1	0	0	3	1	0.94868	3	1	0	0	3	1	0.94868	3	1	0	0	3	1	0.94868
15	3	1	0	0	3	1	0.94868	3	1	0	0	3	1	0.94868	3	1	0	0	3	1	0.94868
16	3	1	0	0	3	1	0.94868	3	1	0	0	3	1	0.94868	3	1	0	0	3	1	0.94868
17	2	1	0	0	2	1	0.89443	2	1	0	0	2	1	0.89443	2	1	0	0	2	1	0.89443
18	2	1	0	0	2	1	0.89443	2	1	0	0	2	1	0.89443	2	1	0	0	2	1	0.89443
19	2	1	0	0	2	1	0.89443	2	1	0	0	2	1	0.89443	2	1	0	0	2	1	0.89443
20	2	1	0	0	2	1	0.89443	2	1	0	0	2	1	0.89443	2	1	0	0	2	1	0.89443
Total					68	19	70.60453					68	19	70.60453					68	19	70.60453

รูปที่ 4.46 การกำหนดค่าโหลดเท่ากันทั้งสามเฟสและไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่

Bus	Phase B																					
	Load		Gen		Total			Load		Gen		Total			Load		Gen		Total		
	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	PF.	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	PF.	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	P (kW)	Q (kVar)	PF.
2	5	1	6	0	-1	1	-0.70711	5	1	6	0	-1	1	-0.70711	5	1	6	0	-1	1	-0.70711
3	5	1	6	0	-1	1	-0.70711	5	1	6	0	-1	1	-0.70711	5	1	6	0	-1	1	-0.70711
4	5	1	6	0	-1	1	-0.70711	5	1	6	0	-1	1	-0.70711	5	1	6	0	-1	1	-0.70711
5	5	1	6	0	-1	1	-0.70711	5	1	6	0	-1	1	-0.70711	5	1	6	0	-1	1	-0.70711
6	5	1	6	0	-1	1	-0.70711	5	1	6	0	-1	1	-0.70711	5	1	6	0	-1	1	-0.70711
7	4	1	6	0	-2	1	-0.89443	4	1	6	0	-2	1	-0.89443	4	1	6	0	-2	1	-0.89443
8	4	1	6	0	-2	1	-0.89443	4	1	6	0	-2	1	-0.89443	4	1	6	0	-2	1	-0.89443
9	4	1	6	0	-2	1	-0.89443	4	1	6	0	-2	1	-0.89443	4	1	6	0	-2	1	-0.89443
10	4	1	6	0	-2	1	-0.89443	4	1	6	0	-2	1	-0.89443	4	1	6	0	-2	1	-0.89443
11	4	1	6	0	-2	1	-0.89443	4	1	6	0	-2	1	-0.89443	4	1	6	0	-2	1	-0.89443
12	3	1	6	0	-3	1	-0.94868	3	1	6	0	-3	1	-0.94868	3	1	6	0	-3	1	-0.94868
13	3	1	6	0	-3	1	-0.94868	3	1	6	0	-3	1	-0.94868	3	1	6	0	-3	1	-0.94868
14	3	1	6	0	-3	1	-0.94868	3	1	6	0	-3	1	-0.94868	3	1	6	0	-3	1	-0.94868
15	3	1	6	0	-3	1	-0.94868	3	1	6	0	-3	1	-0.94868	3	1	6	0	-3	1	-0.94868
16	3	1	6	0	-3	1	-0.94868	3	1	6	0	-3	1	-0.94868	3	1	6	0	-3	1	-0.94868
17	2	1	6	0	-4	1	-0.97014	2	1	6	0	-4	1	-0.97014	2	1	6	0	-4	1	-0.97014
18	2	1	6	0	-4	1	-0.97014	2	1	6	0	-4	1	-0.97014	2	1	6	0	-4	1	-0.97014
19	2	1	6	0	-4	1	-0.97014	2	1	6	0	-4	1	-0.97014	2	1	6	0	-4	1	-0.97014
20	2	1	6	0	-4	1	-0.97014	2	1	6	0	-4	1	-0.97014	2	1	6	0	-4	1	-0.97014
Total					-46	19	49.76947					-46	19	49.76947					-46	19	49.76947

รูปที่ 4.47 การกำหนดค่าโหลดเท่ากันทั้งสามเฟสและมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ (ขนาดใหญ่กว่าโหลด)

2) ผลการทดสอบระหว่างกรณีแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงมีค่าเท่ากันและไม่เท่ากันทั้งสามเฟส

จากการกำหนดค่าโหลดมีค่าเท่ากันทั้งสามและไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงมีค่าเท่ากันและไม่เท่ากันทั้งสามเฟสจะได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.48 และรูปที่ 4.49 เมื่อโหลดมีค่าเท่ากันทั้งสามเฟสและมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ (ขนาดใหญ่กว่าโหลด) ในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงมีค่าเท่ากันและไม่เท่ากันทั้งสามเฟสจะได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.50 และรูปที่ 4.51

Bus No.	Voltage					
			Phase B			
	|V| (p.u.)	Angle V (degree)	|V| (p.u.)	Angle V (degree)	|V| (p.u.)	Angle V (degree)
1	1	0	1	-120	1	120
2	0.98142	-0.36076	0.98142	-120.36076	0.98142	119.63955
3	0.96404	-0.70237	0.96404	-120.70237	0.96404	119.29797
4	0.94788	-1.02242	0.94788	-121.02242	0.94788	118.97775
5	0.93295	-1.31844	0.93295	-121.31844	0.93296	118.68142
6	0.91928	-1.58797	0.91928	-121.58797	0.91929	118.41149
7	0.90687	-1.82858	0.90687	-121.82858	0.90689	118.17046
8	0.89552	-2.04831	0.89552	-122.04831	0.89554	117.95031
9	0.88524	-2.24549	0.88524	-122.24549	0.88527	117.75272
10	0.87604	-2.41853	0.87604	-122.41853	0.87607	117.57931
11	0.86793	-2.56595	0.86793	-122.56595	0.86796	117.43157
12	0.86092	-2.68637	0.86092	-122.68637	0.86095	117.31089
13	0.85477	-2.79000	0.85477	-122.79000	0.85481	117.20704
14	0.84950	-2.87613	0.84950	-122.87613	0.84954	117.12073
15	0.84512	-2.94413	0.84512	-122.94413	0.84516	117.05260
16	0.84161	-2.99346	0.84161	-122.99346	0.84166	117.00316
17	0.83900	-3.02371	0.83900	-123.02371	0.83904	116.97285
18	0.83704	-3.04652	0.83704	-123.04652	0.83708	116.94999
19	0.83573	-3.06179	0.83573	-123.06179	0.83577	116.93469
20	0.83507	-3.06944	0.83507	-123.06944	0.83512	116.92702

รูปที่ 4.48 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้ากรณีแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงมีค่าเท่ากันทั้งสามเฟสและไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่

Bus No.	Voltage					
			Phase B			
	|V| (p.u.)	Angle V (degree)	|V| (p.u.)	Angle V (degree)	|V| (p.u.)	Angle V (degree)
1	1	0	0.97	-120	1.03	120
2	0.98142	-0.36076	0.95064	-120.38362	1.01212	119.66052
3	0.96404	-0.70237	0.93253	-120.74818	0.99540	119.33976
4	0.94788	-1.02242	0.91569	-121.09086	0.97987	119.03988
5	0.93295	-1.31844	0.90013	-121.40881	0.96553	118.76309
6	0.91928	-1.58797	0.88586	-121.69914	0.95239	118.51158
7	0.90687	-1.82858	0.87292	-121.95901	0.94048	118.28748
8	0.89552	-2.04831	0.86107	-122.19690	0.92959	118.08322
9	0.88524	-2.24549	0.85034	-122.41085	0.91973	117.90023
10	0.87604	-2.41853	0.84073	-122.59698	0.91090	117.73990
11	0.86793	-2.56595	0.83225	-122.75955	0.90312	117.60352
12	0.86092	-2.68637	0.82492	-122.89091	0.89640	117.49226
13	0.85477	-2.79000	0.81850	-123.00411	0.89051	117.39662
14	0.84950	-2.87613	0.81299	-123.09830	0.88546	117.31722
15	0.84512	-2.94413	0.80840	-123.17274	0.88125	117.25459
16	0.84161	-2.99346	0.80474	-123.22679	0.87790	117.20918
17	0.83900	-3.02371	0.80200	-123.25996	0.87539	117.18136
18	0.83704	-3.04652	0.79995	-123.28498	0.87351	117.16038
19	0.83573	-3.06179	0.79858	-123.30174	0.87226	117.14635
20	0.83507	-3.06944	0.79790	-123.31014	0.87163	117.13931

รูปที่ 4.49 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้ากรณีแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงมีค่าไม่เท่ากันทั้งสามเฟสและไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่

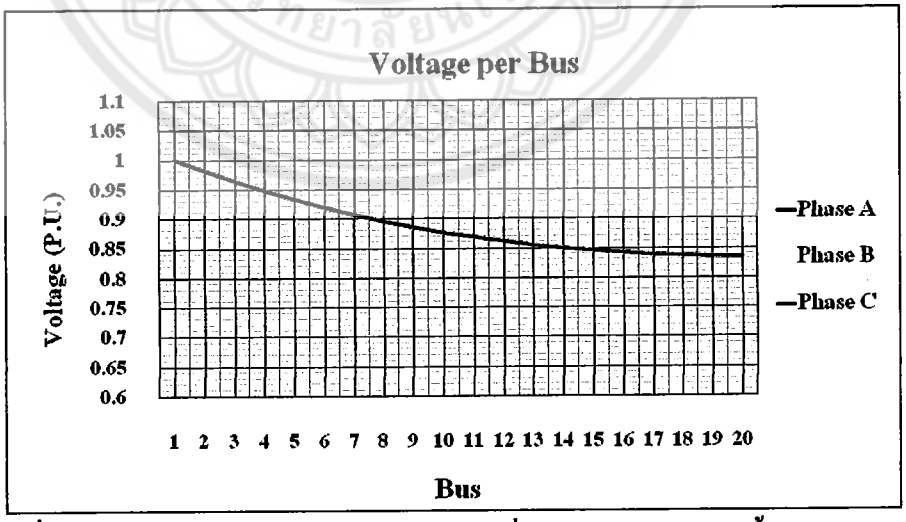
Bus No.	Voltage					
			Phase B			
	|V| (p.u.)	Angle V (degree)	|V| (p.u.)	Angle V (degree)	|V| (p.u.)	Angle V (degree)
1	1	0	1	-120	1	120
2	1.00523	0.60118	1.00523	-119.39882	1.00523	120.60118
3	1.01050	1.17657	1.01050	-118.82343	1.01050	121.17657
4	1.01583	1.72661	1.01583	-118.27339	1.01583	121.72661
5	1.02119	2.25176	1.02119	-117.74824	1.02119	122.25176
6	1.02657	2.75246	1.02657	-117.24754	1.02657	122.75246
7	1.03199	3.22918	1.03199	-116.77082	1.03199	123.22918
8	1.03722	3.67460	1.03722	-116.32540	1.03722	123.67460
9	1.04227	4.08948	1.04227	-115.91052	1.04227	124.08948
10	1.04712	4.47454	1.04712	-115.52546	1.04712	124.47454
11	1.05178	4.83044	1.05178	-115.16956	1.05178	124.83044
12	1.05623	5.15783	1.05623	-114.84217	1.05623	125.15783
13	1.06029	5.44983	1.06029	-114.55017	1.06029	125.44983
14	1.06394	5.70722	1.06394	-114.29278	1.06394	125.70722
15	1.06719	5.93063	1.06719	-114.06937	1.06719	125.93063
16	1.07002	6.12066	1.07002	-113.87934	1.07002	126.12066
17	1.07244	6.27779	1.07244	-113.72221	1.07244	126.27779
18	1.07426	6.39518	1.07426	-113.60482	1.07426	126.39518
19	1.07547	6.47322	1.07547	-113.52678	1.07547	126.47322
20	1.07608	6.51217	1.07608	-113.48783	1.07608	126.51217

รูปที่ 4.50 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้ากรณีแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงมีค่าเท่ากันทั้งสามเฟสและมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่

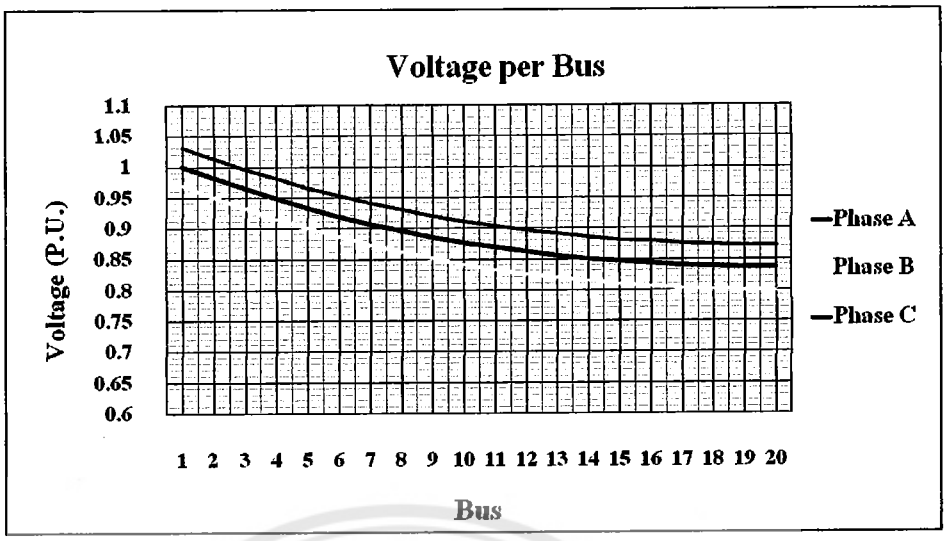
Bus No.	Voltage					
			Phase B			
	|V| (p.u.)	Angle V (degree)	|V| (p.u.)	Angle V (degree)	|V| (p.u.)	Angle V (degree)
1	1	0	0.97	-120	1.03	120
2	1.00523	0.60118	0.97532	-119.36121	1.03513	120.56681
3	1.01050	1.17657	0.98070	-118.75015	1.04031	121.10957
4	1.01583	1.72661	0.98613	-118.16632	1.04553	121.62867
5	1.02119	2.25176	0.99160	-117.60922	1.05077	122.12454
6	1.02657	2.75246	0.99712	-117.07834	1.05604	122.59757
7	1.03199	3.22918	1.00265	-116.57317	1.06133	123.04818
8	1.03722	3.67460	1.00801	-116.10143	1.06645	123.46942
9	1.04227	4.08948	1.01318	-115.66228	1.07137	123.86197
10	1.04712	4.47454	1.01816	-115.25490	1.07611	124.22647
11	1.05178	4.83044	1.02294	-114.87856	1.08066	124.56354
12	1.05623	5.15783	1.02751	-114.53253	1.08500	124.87373
13	1.06029	5.44953	1.03167	-114.22403	1.08896	125.15051
14	1.06394	5.70722	1.03542	-113.95223	1.09252	125.39456
15	1.06719	5.93063	1.03875	-113.71637	1.09568	125.60648
16	1.07002	6.12066	1.04166	-113.51583	1.09844	125.78677
17	1.07244	6.27779	1.04414	-113.35004	1.10080	125.93590
18	1.07426	6.39518	1.04601	-113.22622	1.10257	126.04732
19	1.07547	6.47322	1.04726	-113.14391	1.10376	126.12141
20	1.07606	6.51217	1.04788	-113.10284	1.10435	126.15839

รูปที่ 4.51 ผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้ากรณีแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงมีค่าไม่เท่ากันและมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่

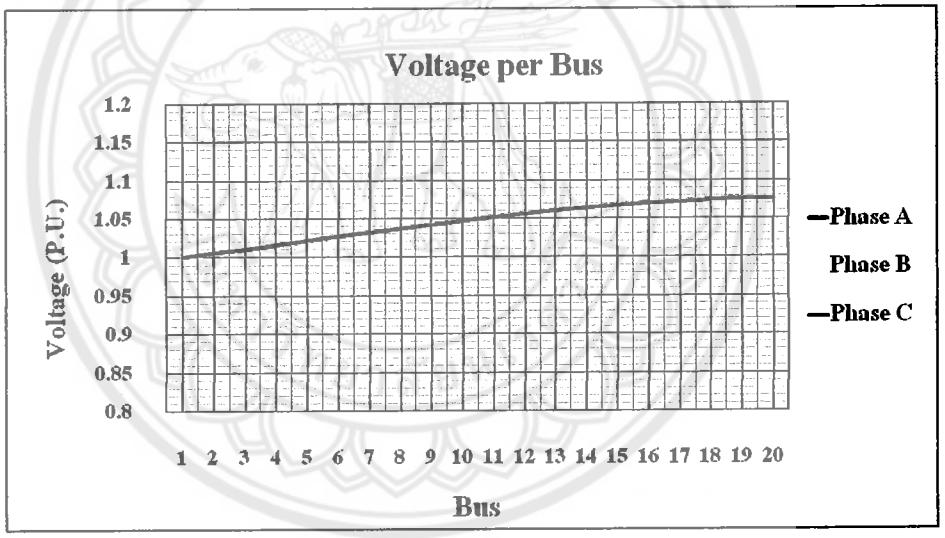
จากผลการทดสอบกรณีแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงมีค่าเท่ากันและไม่เท่ากันทั้งสามเฟส เมื่อโหลดเท่ากันทั้งสามเฟสไม่มีและมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่จะได้ลักษณะกราฟของแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในกรณีต่างๆดังรูปที่ 4.52 และรูปที่ 4.55



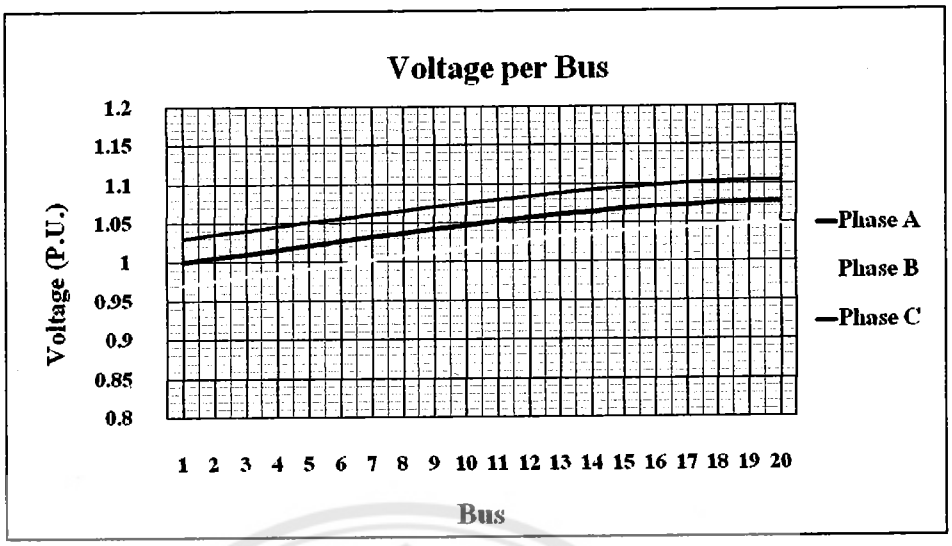
รูปที่ 4.52 กราฟแรงดันไฟฟ้ากรณีแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงมีค่าเท่ากันทั้งสามเฟสและไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่



รูปที่ 4.53 กราฟแรงดันไฟฟ้ากรณีแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงมีค่าไม่เท่ากันทั้งสามเฟสและไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่



รูปที่ 4.54 กราฟแรงดันไฟฟ้ากรณีแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงมีค่าเท่ากันทั้งสามเฟสและมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่



รูปที่ 4.55 กราฟแรงดันไฟฟ้ากรณีแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงมีค่าไม่เท่ากันทั้งสามเฟสและมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบการวิเคราะห์การไหลของระบบจำหน่ายแบบเรเดียล 3 เฟส แรงดันต่ำ จำนวนบัส 10 บัสโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ที่ได้พัฒนาขึ้นจากการทดสอบด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล (Gauss - Seidel Method) พบว่าผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้า, มุมของแรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายและกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม MATLAB โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกิน 1.1 เปอร์เซ็นต์ และจากการทดสอบด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน (Newton - Raphson Method) พบว่าผลการทดสอบของขนาดแรงดันไฟฟ้า, มุมของแรงดันไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายและกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ได้มีค่าใกล้เคียงมากกับผลการทดสอบที่ได้จากโปรแกรม MATLAB โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกิน 0.05 เปอร์เซ็นต์

สำหรับการทดสอบด้วยวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ (Forward Backward Sweep Method) พบว่าผลการทดสอบที่ได้มีลักษณะของขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้ามีค่าเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกับผลการทดสอบที่ได้จาก IEEE 4 Node Test Feeder โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกิน 0.3 เปอร์เซ็นต์

จากการทดสอบระบบจำหน่ายแบบเรเดียลจำนวน 20 บัส ในกรณีต่างๆ ด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน เมื่อมีโหลดเท่ากันทั้งสามเฟสและไม่เท่ากันทั้งสามเฟสทั้งมีและไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ ถ้าหากระบบมีโหลดต่างกันและไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่จะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าในแต่ละเฟสที่เปลี่ยนแปลงไปแตกต่างกันและเกิดแรงดันตกมาก เมื่อมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายขนาดน้อยกว่าโหลดเชื่อมต่ออยู่จะช่วยลดกำลังไฟฟ้าที่จ่ายโหลดและปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าให้ดีขึ้นและทำให้เกิดแรงดันตกน้อยลง แต่เมื่อมีระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายขนาดมากกว่าโหลดเชื่อมต่ออยู่จะทำให้กำลังไฟฟ้าไหลย้อนกลับส่งผลให้กระแสไฟฟ้าไหลไหลย้อนกลับและเกิดแรงดันเกิน

5.2 ประเมินผล

จากการดำเนินงานเทียบกับวัตถุประสงค์ผลที่ได้คือสามารถพัฒนาโปรแกรม Microsoft Excel ร่วมกับ Visual Basic มาใช้ในการวิเคราะห์โหลดโฟลว์ในระบบจำหน่ายแบบเรเดียลด้วย 3 วิธี คือ วิธีเกาส์ - ไซเดล (Gauss - Seidel Method), วิธีนิวตัน - ราฟสัน (Newton - Raphson Method) และวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ (Forward Backward Sweep Method) สามารถแสดงขนาดแรงดันไฟฟ้า, มุมของแรงดันไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายและกำลังไฟฟ้าสูญเสีย จากผลการทดสอบที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยเป็นที่น่าพึงพอใจ โดยทั้ง 3 วิธีมีข้อดีและข้อเสียต่างกันโดยวิธีเกาส์ - ไซเดล เป็นวิธีที่มีการคำนวณที่ไม่ซับซ้อน การคำนวณค่าแต่ละรอบใช้เวลาไม่นานแต่ใช้จำนวนรอบในการคำนวณมาก ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมากกว่าวิธีอื่นๆ ส่วนวิธีนิวตัน - ราฟสัน เป็นวิธีที่มีการคำนวณที่ซับซ้อน การคำนวณค่าแต่ละรอบใช้เวลานานแต่ใช้จำนวนรอบในการคำนวณน้อย ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและวิธีสุดท้ายวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับเป็นวิธีที่มีการคำนวณที่ไม่ซับซ้อนจนเกินไปการคำนวณค่าแต่ละรอบใช้เวลาไม่นานและใช้จำนวนรอบในการคำนวณไม่มาก ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าวิธีเกาส์ - ไซเดล

ดังนั้นในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายแบบเรเดียล ควรจะใช้วิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ (Forward Backward Sweep) เป็นวิธีที่ดีที่สุดสำหรับนำมาใช้ในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าแบบเรเดียลเพราะว่าวิธีการคำนวณไม่ซับซ้อนใช้จำนวนรอบในการคำนวณไม่มากและมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยและสามารถคำนวณในกรณีที่คิดและไม่คิดค่าอิมพิแดนซ์ระหว่างเฟสได้

5.3 ปัญหาข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไข

1. ปัญหาจากการออกแบบในส่วนรับข้อมูลโดยหากมีการขยายช่วงข้อมูลทำให้ต้องเปลี่ยนแปลงทั้งส่วนรับข้อมูลและส่วนของโค้ดโปรแกรม

2. ปัญหาจากข้อจำกัดและลักษณะการทำงานของภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมทำให้การออกแบบโค้ดคำสั่งในโปรแกรมมีจำนวนมาก

5.4 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

จากโปรแกรมที่พัฒนาสามารถนำไปวิเคราะห์โหลดโฟลว์ของระบบจำหน่ายแบบเรเดียลเพื่อหาค่าแรงดันไฟฟ้า, มุมของแรงดันไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายและกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบไฟฟ้าที่มีจำนวนบัสในระบบมากขึ้น อีกทั้งยังสามารถนำไปพัฒนาต่อเพื่อสามารถวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าแบบอื่นๆได้

เอกสารอ้างอิง

[1] Hadi Saadat. (1999). Power System Analysis (p. 189-256). United States: McGraw-Hill Companies

[2] http://powerlab.ee.ncku.edu.tw/(2556) Power System and Convertor Design Lab เรื่อง POWER FLOW ANALYSIS. สืบค้นเมื่อ 13 มกราคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://powerlab.ee.ncku.edu.tw/PowerSim/aps_chap9%20(Power%20flow).pdf

[3] http://academic.udru.ac.th/ (2557) โดยผู้ช่วยศาสตราจารย์ บรรณญัติ บริบูรณ์ เรื่อง การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายแบบรัศมีสามเฟสไม่สมดุล. สืบค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2559, เข้าถึงได้จาก http://academic.udru.ac.th/~banyat/?p=181

[4] http://www.jatit.org/ (2554) By J. B. V. SUBRAH MANYAM เรื่อง LOAD FLOW SOLUTION OF UNBALANCED RADIAL DISTRIBUTION SYSTEMS. สืบค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.jatit.org/volumes/research-papers/Vol6No1/5Vol6No1.pdf

[5] http://ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom/testfeeders/ (2557) IEEE PES POWER ENERGY SOCICTY เรื่อง Distribution Test Feeder. สืบค้นเมื่อ 20 เมษายน 2559, เข้าถึงได้จาก http://ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom/testfeeders/testfeeders.pdf

[6] ลือชัย ทองนิล. (2548). การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า (หน้าที่ 289-294). (12). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี

[7] http://ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom/testfeeders/ (2558) NECTEC's Web Based Learning เรื่องแรงดันตก (Voltage Drop). สืบค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.srayaisomwittaya.ac.th/nectec/electrical/v_drop/v_drop.html

[8] http://www2.eppo.go.th/ (2558) บริษัท เอ็นจิเนียริ่ง โซลูชั่น โพรวาย เดอร์ จำกัด เรื่อง ผลกระทบจากพลังงานหมุนเวียนต่อระบบไฟฟ้า. สืบค้นเมื่อ 25 พฤษภาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www2.eppo.go.th/power/ENSOP.pdf

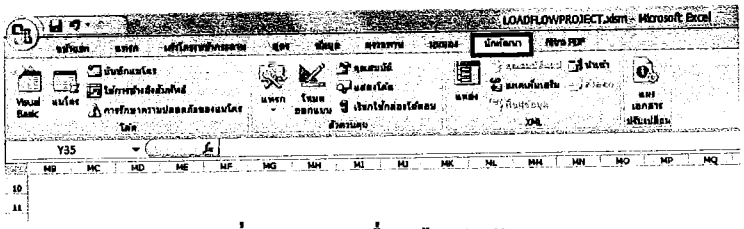
[9] http://kampol.htc.ac.th/web1/ (2553) เรื่อง Visual Basic Basics. สืบค้นเมื่อ 8 ธันวาคม 2558, จาก http://kampol.htc.ac.th/web1/subject/programming2/sheet/vb6/vbch01.html

[10] http://www.thaicablewires.com/ (2558) ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอส.พี.เอ็น.เคเบิล แอนด์อีควิปเมนท์ เรื่องสายไฟฟ้าชนิดตัวนำอะลูมิเนียม. สืบค้นเมื่อ 25 มีนาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.thaicablewires.com/aluminium.html

ภาคผนวก ก
วิธีการตั้งค่าและเริ่มต้นใช้งานโปรแกรม

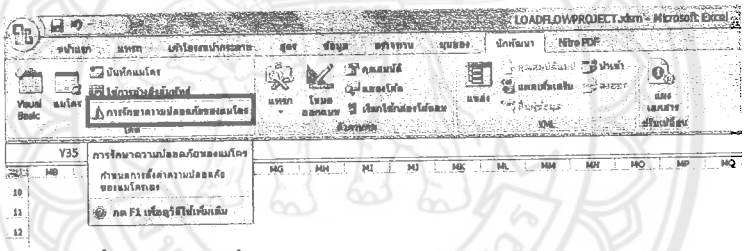
การตั้งค่าและแก้ไขในโค้ดโปรแกรม

สามารถเรียกใช้ได้โดยคลิกแถบเครื่องมือที่ชื่อว่า “นักพัฒนา (Developer) ดังรูปที่ ก.1

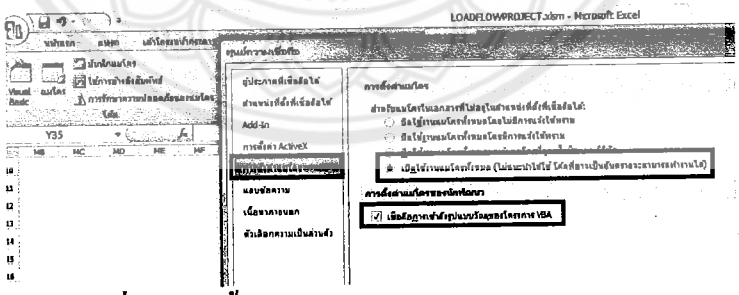


รูปที่ ก.1 แถบเครื่องมือนักพัฒนา

โดยก่อนจะเริ่มการใช้งาน Macro และ Visual Basic ต้องไปตั้งค่าการรักษาความปลอดภัยก่อน สำหรับคอมพิวเตอร์ที่ยังไม่เคยเปิดใช้งาน Macro และ Visual Basic ใน Microsoft Excel ดังรูปที่ ก.2 ถึง รูปที่ ก.3 ตามลำดับ

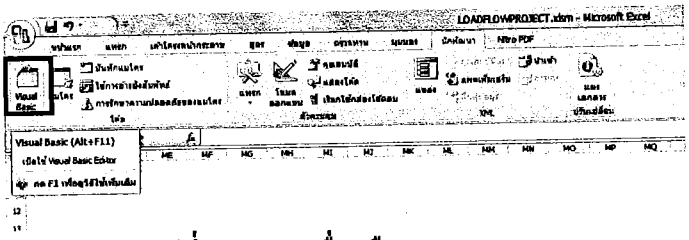


รูปที่ ก.2 แถบเครื่องมือการรักษาความปลอดภัยของแมโคร



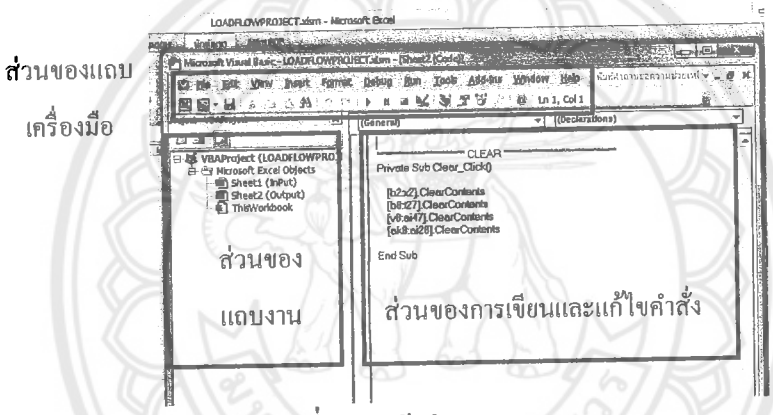
รูปที่ ก.3 การตั้งค่าเปิดใช้งาน Macro และ Visual Basic

จากนั้นคลิกที่ Visual Basic หรือกด Alt + F11 จะปรากฏหน้าต่าง Visual Basic ดังรูปที่ ก.4



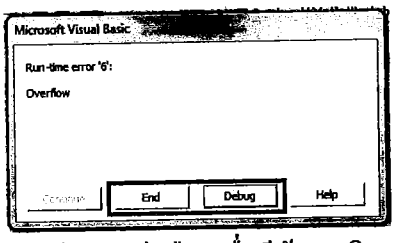
รูปที่ ก.4 แถบเครื่องมือ Visual Basic

โดยจะมีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ส่วนที่ใช้เขียนหรือแก้ไขคำสั่ง ส่วนของแถบงานและส่วนของแถบเครื่องมือ ดังรูปที่ ก.5

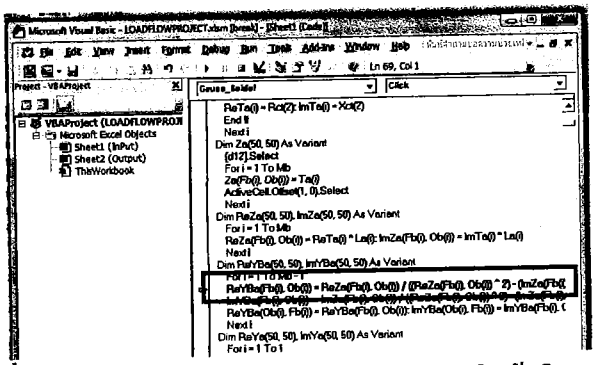


รูปที่ ก.5 หน้าต่างของ Visual Basic

สำหรับเมื่อเกิดข้อผิดพลาดขึ้นในโปรแกรมจะมีหน้าต่างแจ้งเตือนขึ้นมาแสดงดังรูปที่ ก.6 โดยถ้าหากเกิดข้อผิดพลาดในส่วนของ Microsoft Excel ให้เลือก End แล้วกลับไปหาข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น แต่ถ้าเกิดข้อผิดพลาดในส่วนของโค้ดโปรแกรมให้เลือก Debug จะปรากฏโค้ดคำสั่งที่เกิดข้อผิดพลาดแล้วจึงเข้าไปแก้ไขในส่วนของโค้ดโปรแกรม ดังรูปที่ ก.7

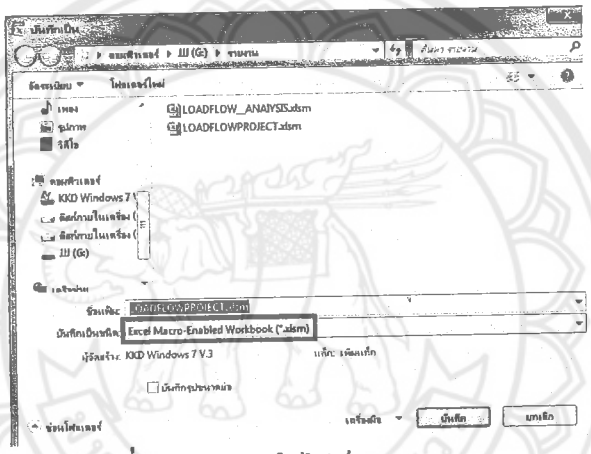


รูปที่ ก.6 หน้าต่างแจ้งเตือนเมื่อมีข้อมูลเกินขอบเขต



รูปที่ ก.7 หน้าต่างส่วนของโค้ดโปรแกรมขณะเกิดข้อผิดพลาด

การบันทึกไฟล์ที่สามารถใช้กับ Visual Basic ได้จะเป็นนามสกุล .xlsm ดังรูปที่ ก.8



รูปที่ ก.8 การบันทึกไฟล์นามสกุล .xlsm

ภาคผนวก ข

ตารางข้อมูลสายไฟ

ตารางที่ ข.1 ค่า R และ X ที่คำนวณได้จากสายไฟฟ้า THW

ขนาดสาย (mm^2)	R ที่ 70 °C (Ω/km)	X (Ω/km) ในท่อโลหะ	X (Ω/km) ในท่อโลหะ	X (Ω/km) เดินบน Rack (เดินลอย)
2.5	8.8658	0.1228	0.1535	0.3559
4	5.5157	0.1146	0.1433	0.3412
6	3.6851	0.1116	0.1395	0.3251
10	2.1895	0.1059	0.1324	0.3087
16	1.3759	0.1035	0.1294	0.2943
25	0.8698	0.0981	0.1226	0.2798
35	0.6269	0.0983	0.1229	0.2661
50	0.4723	0.0933	0.1166	0.2566
70	0.3207	0.0904	0.113	0.245
95	0.2309	0.0902	0.1128	0.2347
120	0.1840	0.0879	0.1099	0.2263
150	0.1493	0.0870	0.1088	0.2198
185	0.1196	0.0873	0.1091	0.2127
240	0.0918	0.0865	0.1081	0.2037
300	0.0737	0.0862	0.1078	0.1966
400	0.0587	0.0841	0.1052	0.1889
500	0.0467	0.085	0.1063	0.1816

ที่มา: NECTEC's Web Based Learning [7]

ตารางที่ ข.2 รายละเอียดข้อมูลสายไฟฟ้าชนิด THW-A

Nominal cross Sectional area (mm^2)	Number and diameter of wire (No./mm)	Insalation thicknossr (mm)	Approx. overtall diameter (mm)	Maximum conductor resistance at 20 °C (Ω/km)	Maximum insulation resistance at 20 °C (MΩ-km)	Maximum conductor current rating in free air (Ampere)	Cable weight apprpx. (kg/km)	Standard length (m)
10	1/3.49	1.1	5.9	3.08	0.038	50	50	500/D
10	7/1.32	1.1	6.4	3.08	0.034	52	55	500/D
16	1/4.43	1.1	6.8	1.91	0.032	67	70	500/D
16	7/1.68	1.1	7.4	1.91	0.028	69	80	500/D
25	7/2.12	1.3	9	1.2	0.027	92	120	500/D
35	7/2.49	1.3	10.5	0.868	0.023	113	160	500/D
50	7/2.90	1.5	12	0.641	0.023	135	210	500/D
50	19/1.76	1.5	12.5	0.641	0.023	135	210	500/D
70	19/2.12	1.5	14	0.443	0.02	173	280	500/D
95	19/2.49	1.7	16.5	0.32	0.019	218	390	500/D
120	19/2.80	1.7	18	0.253	0.017	257	470	500/D
120	37/2.01	1.7	18	0.253	0.017	258	470	500/D
150	37/2.23	1.9	20	0.206	0.017	298	600	500/D
185	37/2.50	2.1	22	0.164	0.017	351	700	500/D
240	61/2.23	2.3	25	0.125	0.016	426	900	500/D
300	61/2.49	2.5	28	0.1	0.016	498	1100	500/D
400	61/2.82	2.7	32	0.0778	0.015	594	1400	500/D
500	61/3.20	3.1	36	0.0605	0.015	708	1900	500/D

หมายเหตุ: สายไฟยี่ห้อ FUHRER

ที่มา: ห้างหุ้นสวนจำกัด เอส.พี.เอ็น.เคเบิ้ล แอนด์ อีควิปเมนท์ [10]

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดข้อมูลของสายไฟฟ้าชนิด NYY

Nominal cross Sectional area (mm^2)	Number and diameter of wire (No./mm)	Insalation thicknossr (mm)	Sheath thickness (mm)	Max. overtall diameter (mm)	Maximum insulation resistance at 70 °C (MΩ-km)	Maximum conductor current rating in free air (Ampere)		Standard length (m)
						Free air	Under air	
1	1/1.13	1.5	1.8	8.6	0.0207	17	22	100/C
1	7/0.43	1.5	1.8	8.6	0.02	17	22	100/C
1.5	1/1.38	1.5	1.8	9	0.0184	21	27	100/C
1.5	7/0.52	1.5	1.8	9.2	0.0175	21	27	100/C
2.5	1/1.78	1.5	1.8	9.4	0.0157	28	36	100/C
2.5	7/0.67	1.5	1.8	9.8	0.0146	28	36	100/C
4	1/2.25	1.5	1.8	10	0.0135	38	47	100/C
4	7/0.85	1.5	1.8	10.5	0.0124	49	47	100/C
6	7/1.04	1.5	1.8	11	0.0107	67	60	100/C
10	7/1.35	1.5	1.8	12	0.0088	89	81	500/D
16	7/1.70	1.5	1.8	13	0.0074	118	105	500/D
25	7/2.14	1.5	1.8	14.5	0.0061	146	136	500/D
35	19/1.53	1.5	1.8	16	0.0053	146	165	500/D
50	19/1.78	1.5	1.8	17	0.0046	177	196	500/D
70	19/214	1.5	1.8	19	0.0039	222	241	500/D
95	19/2.52	1.7	1.8	21.5	0.0038	274	289	500/D
120	37/2.03	1.7	1.8	23	0.0034	318	330	500/D
150	37/2.25	1.9	2	26	0.0034	362	370	500/D
185	37/2.52	2.1	2	28	0.0034	416	419	500/D
240	61/2.25	2.3	2.2	31.5	0.0033	192	486	500/D
300	61/2.52	2.5	2.2	35	0.0032	565	551	500/D
400	61/2.85	2.7	2.2	3805	0.003	655	629	500/D
500	61/3.20	3.1	2.4	43	0.0031	757	717	500/D

หมายเหตุ: สายไฟยี่ห้อ FUHRER

ที่มา: ห้างหุ้นสวนจำกัด เอส.พี.เอ็น.เคเบิ้ล แอนด์ อีควิปเมนท์ [10]

ภาคผนวก ค

รายละเอียด IEEE 4 Node Test Feeder

Power System Analysis, Computing and Economics Committee

Chair
MARTIN L. BAUGHMAN
Professor Emeritus
The University of Texas at Austin
5703 Painted Valley Drive
Austin, TX 78759
Vox: 512-345-8255
Fax: 512-345-9880
baughman@mail.utexas.edu

Vice Chair
CHEN-CHING LIU
Dept. of Electrical Eng.
University of Washington
Box 352500
Seattle, WA 98195
Vox: 206-543-2198
Fax: 206-543-3842
liu@ee.washington.edu

Secretary
ROGER C. DUGAN
Sr. Consultant
Electrotek Concepts, Inc.
408 N Cedar Bluff Rd
Knoxville, TN 37923
Vox: 865-470-9222
Fax: 865-470-9223
r.dugan@ieee.org

Subcommittee Chairs

Computer & Analytical Methods
EDWIN LIU, Chair
Nexant, Inc.
101, 2nd street, 11F
San Francisco CA 94105
Vox: 415-369-1088
Fax: 415-369-0894
exliu@nexant.com

Distribution Systems Analysis
SANDOVAL CARNEIRO, JR, Chair
Dept. of Electrical Engineering
Federal Univ. of Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, RJ, Brazil
Vox: 55-21-25628025
Fax: 55-21-25628628
sandoval@coep.ufrj.br

Intelligent System Applications
DAGMAR NIEBUR, Chair
Department of ECE
Drexel University
3141 Chestnut Street
Philadelphia, PA 19104
Vox: (215) 895 6749
Fax: (215) 895 1695
niebur@cbis.ece.drexel.edu

Reliability, Risk & Probability Applications
JAMES D. MCCALLEY, Chair
Iowa State University
Room 2210 Coover Hall
Ames, Iowa 50011
Vox: 515-294-4844
Fax: 515-294-4263
jdm@iastate.edu

Systems Economics
ROSS BALDICK, Chair
ECE Dept., ENS 502
The University of Texas at Austin
Austin, TX 78712
Vox: 512-471-5879
Fax: 512-471-5532
baldick@ece.utexas.edu

Past Chair
JOANN V. STARON
Nexant Inc/ PCA
1921 S. Alma School Road
Suite 207
Mesa, AZ 85210
Vox: 480-345-7600
Fax: 480-345-7601
joann.staron@pca-corp.com

Distribution System Analysis Subcommittee

IEEE 4 Node Test Feeder

IEEE 4 Node Test Feeder

The system to be use in testing transformer models is shown in Figure 1:

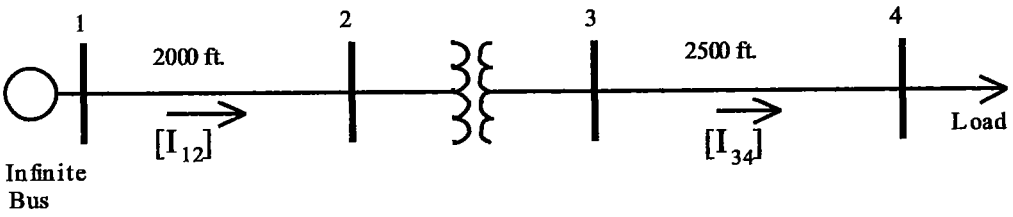


Figure 1 – IEEE 4 Node Test Feeder

Both the primary line (Node 1 - Node 2) and the secondary line (Node 3 – node 4) will be constructed using the pole configuration shown in Figure 2.

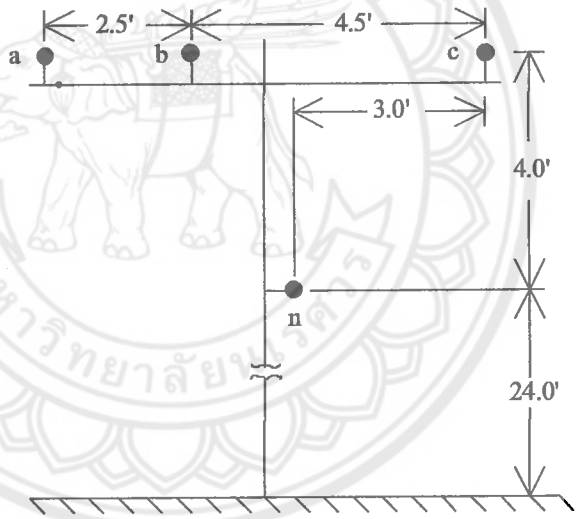


Figure 2 – Pole Configuration

Phase Conductor: 336,400 26/7

GMR = 0.0244 ft., Resistance = 0.306 Ω/mile, Diameter = 0.721 inch

Neutral Conductor: 4/0 6/1 ACSR

GMR = 0.00814 ft., Resistance = 0.592 Ω/mile, Diameter = 0.563 inch

The source is a 12.47 kV line – to - line infinite bus.

Three - Phase Transformer Data:

Connection	kVA	kVLL-high	kVLL-low	R - %	X - %
Step-Down	6,000	12.47	4.16	1.0	6.0
Step-Up	6,000	12.47	24.9	1.0	6.0

Open Wye – Open Delta:

(Two Single Phase Transformers Each Rated)

Connection	kVA	kV-high	kV-low	R - %	X - %
Step-Down	2000	7.2	4.16	1.0	6.0
Step-Up	2000	7.2	24.9	1.0	6.0

Closed Connections Load Data:

	Balanced	Unbalanced
Phase-1		
kW	1800	1275
Power Factor	0.9 lag	0.85 lag
Phase-2		
kW	1800	1800
Power Factor	0.9 lag	0.9 lag
Phase-3		
kW	1800	2375
Power Factor	0.9 lag	0.95 lag

Open Connection Load Data:

	Balanced	Unbalanced
Phase-1		
kW	1200	850
Power Factor	0.9 lag	0.85 lag
Phase-2		
kW	1200	1200
Power Factor	0.9 lag	0.9 lag
Phase-3		
kW	1200	1583.33
Power Factor	0.9 lag	0.95 lag

Loads are connected in grounded wye for four wire line configurations and connected in closed delta for three wire line configurations.

Line Impedances

4-wire configuration:

Phase impedance matrix:

$$zy = \begin{pmatrix} 0.4576+ 1.078j & 0.1559+ 0.5017j & 0.1535+ 0.3849j \\ 0.1559+ 0.5017j & 0.4666+ 1.0482j & 0.158+ 0.4236j \\ 0.1535+ 0.3849j & 0.158+ 0.4236j & 0.4615+ 1.0651j \end{pmatrix} \quad \Omega/\text{mile}$$

Sequence impedances:

$zy_{pos} = 0.3061+ 0.627j$ Ω/mile

$zy_{zero} = 0.7735+ 1.9373j$ Ω/mile

Three wire configuration:

Phase impedance matrix:

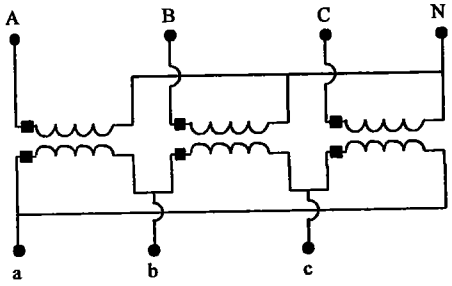
$$zd = \begin{pmatrix} 0.4013+ 1.4133j & 0.0953+ 0.8515j & 0.0953+ 0.7266j \\ 0.0953+ 0.8515j & 0.4013+ 1.4133j & 0.0953+ 0.7802j \\ 0.0953+ 0.7266j & 0.0953+ 0.7802j & 0.4013+ 1.4133j \end{pmatrix} \quad \Omega/\text{mile}$$

Sequence impedances:

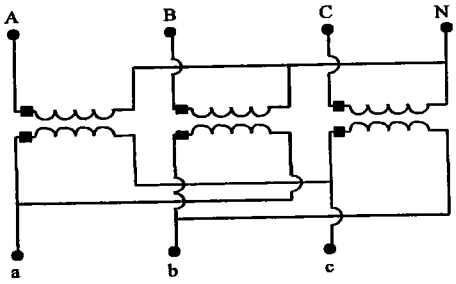
$zd_{pos} = 0.306+ 0.6272j$ Ω/mile

$zd_{zero} = 0.5919+ 2.9855j$ Ω/mile

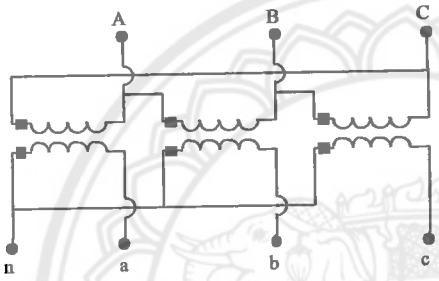
Standard Wye-Delta and Delta – Wye Connections



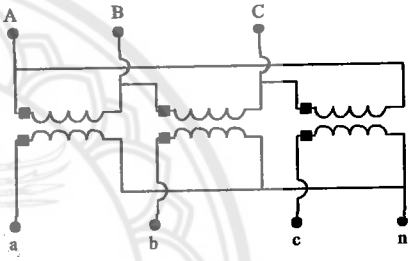
Wye - Delta Step Down



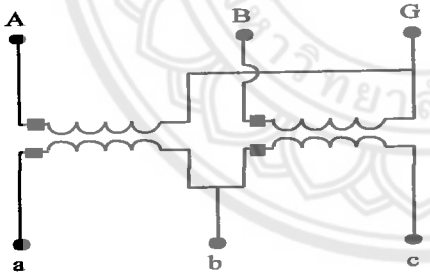
Wye - Delta Step Up



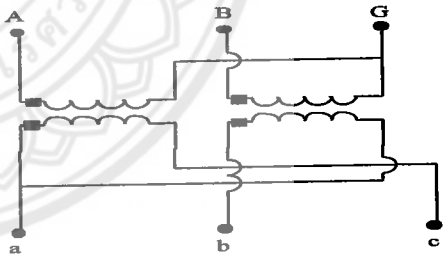
Delta - Wye Step Down



Delta - Wye Step Up



Open Wye - Delta Step Down



Open Wye - Delta Step Up

Solutions

Step-Down with Balanced Loading

Standard 30 degree connections are assumed for wye-delta and delta-wye banks

V1 = Vag for wye connections and Vab for delta connections
V2 = Vbg for wye connections and Vbc for delta connections
V3 = Vcg for wye connections and Vca for delta connections

Connection	Gr Y - Gr Y	Gr Y -D	Y - D	D - Gr Y	D - D	Open Gr.Y-D
Node-2						
V1	7107/-0.3	7113/-0.3	7112/-.03	12340/29.7	12339/29.7	6984/0.4
V2	7140/-120.3	7132/-120.3	7133/-120.4	12349/-90.4	12349/-90.4	7167/-121.7
V3	7121/119.6	7123/119.6	7124/119.6	12318/149.6	12321/149.6	7293/120.5
Node-3						
V1	2247.6/-3.7	3906/-3.5	3906/-3.4	2249/-33.7	3911/26.5	3701/-0.9
V2	2269/-123.5	3915/-123.6	3915/-123.6	2263/-153.4	3914/-93.6	4076/-126.5
V3	2256/116.4	3909/116.3	3909/116.3	2259/86.4	3905/146.4	3572/110.9
Node-4						
V1	1918/-9.1	3437/-7.8	3437/-7.8	1920/-39.1	3442/22.3	3384/-3.5
V2	2061/-128.3	3497/-129.3	3497/-129.3	2054/-158.3	3497/-99.4	3804.9/-130.2
V3	1981/110.9	3388/110.6	3388/110.6	1986/80.9	3384/140.7	3246/106.5
Current 1-2						
Ia	347.9/-34.9	334.8/-34.5	335.8/-34.7	335.0/-35.7	335.8/-34.7	380.9/-65.2
Ib	323.7/-154.2	335.4/-154.9	335.9/-154.6	331.8/-154.0	335.8/-154.6	387.4/-125.2
Ic	336.8/85.0	337.4/85.4	335.9/85.3	341.6/85.6	336.0/85.4	0
Current 3-4						
Ia	1042.8/-34.9	1006.6/-64.7	1006.6/-64.7	1041.9/-64.9	1006.7/-34.7	659.3/-65.2
Ib	970.2/-154.2	1006.7/175.4	1006.7/175.4	973.7/175.9	1006.7/-154.6	665.7/175.6
Ic	1009.6/85.0	1007.2/55.3	1007.2/55.3	1007.0/55.0	1007.2/85.4	670.5/54.8
Node 2						
Van			7116/-.03			
Vbn			7131/-120.3			
Vcn			7121/119.6			
Vng			3.6/169.5			

Step-Down with Unbalanced Loading

Standard 30 degree connections are assumed for wye-delta and delta-wye banks

V1 = Vag for wye connections and Vab for delta connections
V2 = Vbg for wye connections and Vbc for delta connections
V3 = Vcg for wye connections and Vca for delta connections

Connection	Gr Y - Gr Y	Gr Y -D	Y - D	D - Gr Y	D - D	Open Gr.Y-D
Node-2						
V1	7164/-0.1	7113/-0.2	7112/-0.2	12350/29.6	12341/29.8	6952/0.7
V2	7110/-120.2	7144/-120.4	7144/-120.4	12314/-90.4	12370/-90.5	7172/-122.0
V3	7082/119.3	7111/119.5	7112/119.5	12333/149.8	12302/149.5	7313/120.5
Node-3						
V1	2305/-2.3	3896/-2.8	3896/-2.8	2290/-32.4	3902/27.2	3632/0.1
V2	2255/-123.6	3972/-123.8	3972/-123.8	2261/-153.8	3972/-93.9	4121/-127.6
V3	2203/114.8	3875/115.7	3874/115.7	2214/85.2	3871/145.7	3450/108.9
Node-4						
V1	2175/-4.1	3425/-5.8	3425/-5.8	2157/-34.2	3431/24.3	3307/-1.5
V2	1930/-126.8	3646/-130.3	3646/-130.3	1936/-157.0	3647/-100.4	3907/-131.9
V3	1833/102.8	3298/108.6	3298/108.6	1849/73.4	3294/138.6	3073/103.1
Current 1-2						
Ia	230.1/-35.9	308.5/-41.5	309.8/-41.7	285.7/-27.6	361.7/-41.0	424.8/-73.8
Ib	345.7/-152.6	314.6/-145.5	315.5/-145.2	402.7/-149.6	283.5/-153.0	440.3/-118.5
Ic	455.1/84.7	389.0/85.9	387.2/85.9	349.1/74.4	366.5/93.2	0
Current 3-4						
Ia	689.7/-35.9	10083.8/-71.0	1083.8/-71.0	695.5/-66.0	1084/-41.0	735.2/-73.8
Ib	1036/-152.6	849.9/177.0	849.9/177.0	1033/177.1	849.7/-153.0	569.9/176.3
Ic	1364/84.7	1098.7/63.1	1098.7/63.1	1352/55.2	1099/93.2	762.0/61.5
Node 2						
Van			7116/-0.3			
Vbn			7142/-120.4			
Vcn			7109/119.6			
Vng			4.27/171.6			

Step-Up with Balanced Loading

Standard 30 degree connections are assumed for wye-delta and delta-wye banks

V1 = Vag for wye connections and Vab for delta connections
V2 = Vbg for wye connections and Vbc for delta connections
V3 = Vcg for wye connections and Vca for delta connections

Connection	Gr Y - Gr Y	Gr Y -D	Y - D	D - Gr Y	D - D	Open Gr.Y-D
Node-2						
V1	7126/-0.3	7128/-0.3	7127/-0.3	12361/29.7	12361/29.7	7001/-0.3
V2	7145/-120.4	7145/-120.3	7145/-120.4	12372/-90.4	12372/-90.4	7183/-121.5
V3	7137/119.6	7137/119.6	7138/119.6	12348/149.6	12348/149.6	7281/120.5
Node-3						
V1	13675/-3.3	23746/56.7	23746/56.7	13697/26.7	23723/26.7	24603/54.1
V2	13715/-123.4	23722/-63.4	23722/-63.4	13710/-93.4	23746/-93.4	21938/-68.6
V3	13698/116.6	23698/176.7	23698/176.7	13681/146.6	23698/146.6	22433/178.7
Node-4						
V1	13631/-3.5	23680/56.6	23681/56.6	13653/26.6	23657/26.6	24558/54.0
V2	13682/-123.5	23663/-63.6	23664/-63.6	13678/-93.5	23688/-93.5	21900/-68.7
V3	13661/116.5	23625/176.5	23625/176.5	13644/146.5	23625/146.5	22380/178.6
Current 1-2						
Ia	293.0/-29.3	291.6/-29.1	292.4/-29.34	292.4/-29.3	292.4/-29.3	346.7/-61.3
Ib	291.9/-149.3	291.9/-149.6	292.4/-149.3	292.4/-149.3	292.4/-149.3	349.8/-121.4
Ic	292.3/90.6	293.7/90.7	292.4/90.7	292.4/90.7	292.4/90.7	0
Current 3-4						
Ia	146.7/-29.3	146.4/0.7	146.7/0-.7	146.5/0.7	146.4/-29.3	100.9/-0.9
Ib	146.2/-149.3	146.4/-119.3	146.4/-119.3	146.2/-119.4	146.4/-149.3	101.2/-121.4
Ic	146.4/90.6	146.4/120.7	146.4/120.7	146.6/120.6	146.4/90.7	100.2/118.7
Node 2						
Van			7130/-0.3			
Vbn			7144/-120.3			
Vcn			7136/119.6			
Vng			3.10/174.9			

Step-Up with Unbalanced Loading

Standard 30 degree connections are assumed for wye-delta and delta-wye banks

V1 = Vag for wye connections and Vab for delta connections
V2 = Vbg for wye connections and Vbc for delta connections
V3 = Vcg for wye connections and Vca for delta connections

Connection	Gr Y - Gr Y	Gr Y -D	Y - D	D - Gr Y	D - D	Open Gr.Y-D
Node-2						
V1	7161/-0.1	7121/-0.4	7120/-0.4	12364/29.8	12362/29.8	7001/0.01
V2	7120/-120.3	7147/-120.3	7147/-120.3	12391/-90.5	12392/-90.4	7207/-121.3
V3	7128/119.3	7150/119.5	7150/119.6	12333/149.6	12334/149.5	7264/120.5
Node-3						
V1	13839/-2.1	23703/57.2	23703/57.2	13792/27.7	23675/27.2	24762/55.0
V2	13663/-123.3	24040/-63.6	24040/-63.6	13733/-93.5	24060\-93.6	22756/-68.8
V3	13655/115.1	23576/176.1	23576/176.1	13641/145.4	23573/146.0	22455/177.6
Node-4						
V1	13815/-2.2	23637/57.1	23637/57.1	13768/27.7	23610/27.2	24716/54.9
V2	13614/-123.4	23995/-63.8	23995/-63.8	13684/-93.6	24015/-93.7	22728/-68.9
V3	13615/114.9	23496/175.9	23495/175.9	13600/145.2	23492/145.9	22398/177.5
Current 1-2						
Ia	216.8/-34.0	332.6/-28.1	333.5/-28.2	309.3/-35.2	312.3/-34.8	368.9/-52.6
Ib	293.3/-149.2	269.5/-155.6	269.6/-155.4	249.5/-146.5	248.1/-147.2	295.5/-119.5
Ic	366.7/96.7	275.5/100.3	274.3/100.2	319.3/98.1	316.5/98.7	0
Current 3-4						
Ia	108.6/-34.0	156.4/-4.8	156.4/-4.8	109.0/-4.1	156.4/-34.8	107.3/-5.6
Ib	147.0/-149.2	124.2/-117.2	124.2/117.2	146.2/-119.4	124.2/-147.2	85.4/-119.5
Ic	183.6/96.7	158.4/128.7	158.4/128.7	183.8/127.0	158.5/98.7	106.7/127.4
Node 2						
Van			7123/-0.3			
Vbn			7146/-120.2			
Vcn			7149/119.5			
Vng			2.79/-173.9			

ภาคผนวก ง
โค้ดโปรแกรม

โค้ดโปรแกรมของส่วนอินพุตของ GAUSS - SEIDAL และ NEWTON - RAPHSON

```
'***** GAUSS_SEIDAL_METHOD *****
Private Sub Gauss_Seidel_Click()      'ฟังก์ชันเกาส์ - ไซเดล
Dim i, n, ka, kb, kc, Sb3, Sb, VL, VP, Mb, Pi, Er As Variant      'ประกาศตัวแปรเริ่มต้นและกำหนดค่าคงที่
  Sb = [d3]/3      'กำหนดค่า Sb (Sb คือ กำลังไฟฟ้าฐานของ 1 เฟส)
  VL = [d4]      'กำหนดค่า VL (VL คือ แรงดันสาย)
  VP = VL / 1.732050808    'กำหนดค่า VP (VP คือ แรงดันเฟส)
  Mb = [d5]      'กำหนดค่า Mb (Mb คือ จำนวนบัส)
  Pi = 3.141592654      'กำหนดค่า Pi
  Er = [d6]      'กำหนดค่า Er (Er คือ ค่าความผิดพลาด)
Dim Fb(50), Ob(50), Nb(50) As Variant      'ประกาศตัวแปรเป็นชนิด Variant
[b15].Select      'เลือกที่เซลล์ b15
For i = 1 To Mb    'วนรอบโดยคำสั่ง For เริ่มที่ i เท่ากับ 1 ถึง Mb
  Fb(i) = ActiveCell.Value  'เก็บค่า Fb (Fb คือ จากบัสที่)
  ActiveCell.Offset(1, 0).Select      'เลื่อนเซลล์ลง 1 เซลล์
Next i    'เพิ่มค่า i และกลับไปทำที่คำสั่ง For
[c15].Select
For i = 1 To Mb
  Ob(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select      'เก็บค่า Ob (Ob คือ ถึงบัสที่)
Next i
[k15].Select
For i = 2 To Mb
  Nb(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select      'เก็บค่า Nb (Nb คือ บัสที่)
Next i
Dim Rct(5), Xct(5) As Variant
  Rct(1) = [o5]: Xct(1) = [q5]  'กำหนดค่า Rct (Rct คือ R ของสายตัวนำ) และ Xct (Xct คือ X ของสายตัวนำ)
  Rct(2) = [o6]: Xct(2) = [q6]: Rct(3) = [o7]: Xct(3) = [q7]
  Rct(4) = [o8]: Xct(4) = [q8]:  Rct(5) = [o9]: Xct(5) = [q9]
For i = 2 To Mb    'แสดงผล Nb ที่เอาท์พุท
  Sheets("Output").Cells(8, 2).Value = 1: Sheets("Output").Cells(7 + i, 2).Value = Nb(i)
Next i
For i = 1 To Mb
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 22).Value = Fb(i)      'แสดงผล Fb ที่เอาท์พุท
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 23).Value = Ob(i)      'แสดงผล Ob ที่เอาท์พุท
  Sheets("Output").Cells(7 + Mb + i, 22).Value = Ob(i): Sheets("Output").Cells(7 + Mb + i, 23).Value = Fb(i)
Next i
```

```
'***** PHASE_A *****    'ส่วนการทำงานของเฟส A
Dim Ta(50), La(50) As Variant
[d15].Select
For i = 1 To Mb
  Ta(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select      'เก็บค่า Ta (Ta คือ Code สายตัวนำ)
Next i
[e15].Select
For i = 1 To Mb
  La(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select      'เก็บค่า La (La คือ ความยาวสาย)
Next i
Dim ReTa(50), ImTa(50) As Variant
For i = 1 To Mb
  If Ta(i) = 1 Then          'เช็คเงื่อนไข Ta เท่ากับ 1
  ReTa(i) = Rct(1): ImTa(i) = Xct(1)          'ReTa เท่ากับ Rct(1) และ ImTa เท่ากับ Xct(1)
  ElseIf Ta(i) = 2 Then      'เช็คเงื่อนไขถ้า Ta เท่ากับ 2
  ReTa(i) = Rct(2): ImTa(i) = Xct(2)          'ReTa เท่ากับ Rct(2) และ ImTa เท่ากับ Xct(2)
  ElseIf Ta(i) = 3 Then ReTa(i) = Rct(3): ImTa(i) = Xct(3)
  ElseIf Ta(i) = 4 Then ReTa(i) = Rct(4): ImTa(i) = Xct(4)
  ElseIf Ta(i) = 5 Then ReTa(i) = Rct(5): ImTa(i) = Xct(5)
  End If          'จบการเช็คเงื่อนไข
Next i
Dim Za(50, 50), ReZa(50, 50), ImZa(50, 50) As Variant
[d15].Select
For i = 1 To Mb
  Za(Fb(i), Ob(i)) = Ta(i): ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
For i = 1 To Mb
  ReZa(Fb(i), Ob(i)) = ReTa(i) * La(i)   'คำนวณค่า ReZa (ReZa คือ ค่าส่วนจริงของอิมพิแดนซ์)
  ImZa(Fb(i), Ob(i)) = ImTa(i) * La(i)   'คำนวณค่า ImZa (ImZa คือ ค่าส่วนจินภาพของอิมพิแดนซ์)
Next i
Dim ReYBa(50, 50), ImYBa(50, 50), ReYa(50, 50), ImYa(50, 50) As Variant
For i = 1 To Mb - 1
  ReYBa(Fb(i), Ob(i)) = ReZa(Fb(i), Ob(i)) / ((ReZa(Fb(i), Ob(i)) ^ 2) - (ImZa(Fb(i), Ob(i)) * -ImZa(Fb(i),
Ob(i))))          'คำนวณค่า ReYBa (ReYBa คือ ค่าส่วนจริงของแอดมิดแตนซ์)
  ImYBa(Fb(i), Ob(i)) = -ImZa(Fb(i), Ob(i)) / ((ReZa(Fb(i), Ob(i)) ^ 2) - (ImZa(Fb(i), Ob(i)) * -ImZa(Fb(i),
Ob(i))))          'คำนวณค่า ImYBa (ImYBa คือ ค่าส่วนจินตภาพของแอดมิดแตนซ์)
```

```
    ReYBa(Ob(i), Fb(i)) = ReYBa(Fb(i), Ob(i)): ImYBa(Ob(i), Fb(i)) = ImYBa(Fb(i), Ob(i))
  Next i
  For i = 1 To 1
    ReYa(i, i) = ReYBa(i, i + 1)          'คำนวณค่า ReYa (ReYa คือ ค่าส่วนจริงของแอดมิดแตนซ์เมทริกซ์)
    ImYa(i, i) = ImYBa(i, i + 1)          'คำนวณค่า ImYa (ImYa คือ ค่าส่วนจริงของแอดมิดแตนซ์เมทริกซ์)
    ReYa(Fb(i), Ob(i)) = -ReYBa(Fb(i), Ob(i)): ImYa(Fb(i), Ob(i)) = -ImYBa(Fb(i), Ob(i))
    ReYa(Ob(i), Fb(i)) = -ReYBa(Fb(i), Ob(i)): ImYa(Ob(i), Fb(i)) = -ImYBa(Fb(i), Ob(i))
  Next i
  For i = 2 To Mb
    ReYa(i, i) = ReYBa(i, i - 1) + ReYBa(i, i) + ReYBa(i, i + 1)
    ImYa(i, i) = ImYBa(i, i - 1) + ImYBa(i, i) + ImYBa(i, i + 1)
    ReYa(Fb(i), Ob(i)) = -ReYBa(Fb(i), Ob(i)): ImYa(Fb(i), Ob(i)) = -ImYBa(Fb(i), Ob(i))
    ReYa(Ob(i), Fb(i)) = -ReYBa(Fb(i), Ob(i)): ImYa(Ob(i), Fb(i)) = -ImYBa(Fb(i), Ob(i))
  Next i
  Dim Pa(50), Qa(50), PaSc(50), QaSc(50) As Variant
  [p15].Select
  For i = 2 To Mb
    Pa(Nb(i)) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select      'เก็บค่า Pa (Pa คือ ค่าส่วนจริงของโหลด)
  Next i
  [q15].Select
  For i = 2 To Mb
    Qa(Nb(i)) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select  'เก็บค่า Qa (Qa คือ ค่าส่วนจินตภาพของโหลด)
  Next i
  For i = 2 To Mb
    PaSc(i) = -Pa(i) / Sb: QaSc(i) = -Qa(i) / Sb                  'คำนวณค่า PaSc และ QaSc
  Next i
  Dim ReVa(50, 5000), ImVa(50, 5000), SiVa(50, 5000), AngVa(50, 5000) As Variant
    SiVa(1, 0) = [g5]: AngVa(1, 0) = [g6] * (Pi / 180)      'กำหนดค่าขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้า
  For i = 1 To 5000
    ReVa(1, i - 1) = SiVa(1, 0) * Cos(AngVa(1, 0)): ImVa(1, i - 1) = SiVa(1, 0) * Sin(AngVa(1, 0))
  Next i
  For i = 2 To Mb
    ReVa(i, 0) = 1: ImVa(i, 0) = 0
  Next i
  Dim ReSuVa(50, 5000), ImSuVa(50, 5000), DeReVa(50, 5000) As Variant
  n = 1      'รอบการคำนวณเริ่มต้น
```

```
Do        'เริ่มการคำนวณแบบวนซ้ำด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล
For i = 2 To Mb
  ReSuVa(i, n) = (((PaSc(i) * ReVa(i, n - 1)) - (-QaSc(i) * ImVa(i, n - 1))) / ((ReVa(i, n - 1) ^ 2) - (-ImVa(i, n -
1) * ImVa(i, n - 1)))) - ((ReYa(i, i - 1) * ReVa(i - 1, n)) - (ImYa(i, i - 1) * ImVa(i - 1, n))) - ((ReYa(i, i + 1) *
ReVa(i + 1, n - 1)) - (ImYa(i, i + 1) * ImVa(i + 1, n - 1)))
  ImSuVa(i, n) = (((PaSc(i) * ImVa(i, n - 1)) + (-QaSc(i) * ReVa(i, n - 1))) / ((ReVa(i, n - 1) ^ 2) - (-ImVa(i, n
- 1) * ImVa(i, n - 1)))) - ((ReYa(i, i - 1) * ImVa(i - 1, n)) + (ImYa(i, i - 1) * ReVa(i - 1, n))) - ((ReYa(i, i + 1) *
ImVa(i + 1, n - 1)) + (ImYa(i, i + 1) * ReVa(i + 1, n - 1)))
  ReVa(i, n) = ((ReSuVa(i, n) * ReYa(i, i)) - (ImSuVa(i, n) * -ImYa(i, i))) / ((ReYa(i, i) ^ 2) - (ImYa(i, i) * -
ImYa(i, i)))
  ImVa(i, n) = ((ReSuVa(i, n) * -ImYa(i, i)) + (ImSuVa(i, n) * ReYa(i, i))) / ((ReYa(i, i) ^ 2) - (ImYa(i, i) * -
ImYa(i, i)))
  DeReVa(i, n) = Abs(ReVa(i, n - 1) - ReVa(i, n))        'คำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป
Next i
ka = n
n = n + 1          'เพิ่มค่า n
Loop Until DeReVa(Mb, ka) <= Er    'ตรวจสอบเงื่อนไขว่ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ Er ถ้าเป็นจริงให้หยุดแล้ว
ออกจากลูป แต่ถ้าเป็นเท็จให้กลับไปทำที่คำสั่ง Do
For i = 2 To Mb    'แปลงค่าแรงดันไฟฟ้าจากส่วนจริงและส่วนจินตภาพเป็นขนาดและมุมเฟส
  SiVa(i, ka) = Sqr((ReVa(i, ka) ^ 2) + (ImVa(i, ka) ^ 2)): AngVa(i, ka) = Atn(ImVa(i, ka) / ReVa(i, ka))
Next i
Dim ReSuSa1(5000), ImSuSa1(5000) As Variant        'คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่บัสอ้างอิง
  ReSuSa1(ka) = ((ReYa(1, 1) * ReVa(1, 0)) - (ImYa(1, 1) * ImVa(1, 0))) + ((ReYa(1, 2) * ReVa(2, ka)) -
(ImYa(1, 2) * ImVa(2, ka)))
  ImSuSa1(ka) = ((ReYa(1, 1) * ImVa(1, 0)) + (ImYa(1, 1) * ReVa(1, 0))) + ((ReYa(1, 2) * ImVa(2, ka)) +
(ImYa(1, 2) * ReVa(2, ka)))
  PaSc(1) = ((ReVa(1, 0) * ReSuSa1(ka)) - (ImVa(1, 0) * ImSuSa1(ka)))
  QaSc(1) = -((ReVa(1, 0) * ImSuSa1(ka)) + (ImVa(1, 0) * ReSuSa1(ka)))
Dim ReSuIa(50, 50), ImSuIa(50, 50), ReIa(50, 50), ImIa(50, 50) As Variant
For i = 1 To Mb          'คำนวณค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในสาย
  ReSuIa(Fb(i), Ob(i)) = ReVa(Fb(i), ka) - ReVa(Ob(i), ka): ImSuIa(Fb(i), Ob(i)) = ImVa(Fb(i), ka) -
ImVa(Ob(i), ka)
  ReIa(Fb(i), Ob(i)) = (ReYBa(Fb(i), Ob(i)) * ReSuIa(Fb(i), Ob(i))) - (ImYBa(Fb(i), Ob(i)) * ImSuIa(Fb(i),
Ob(i)))
  ImIa(Fb(i), Ob(i)) = (ReYBa(Fb(i), Ob(i)) * ImSuIa(Fb(i), Ob(i))) + (ImYBa(Fb(i), Ob(i)) * ReSuIa(Fb(i),
Ob(i)))
```

```
  ReSuIa(Ob(i), Fb(i)) = ReVa(Ob(i), ka) - ReVa(Fb(i), ka): ImSuIa(Ob(i), Fb(i)) = ImVa(Ob(i), ka) -
ImVa(Fb(i), ka)
  ReIa(Ob(i), Fb(i)) = (ReYBa(Ob(i), Fb(i)) * ReSuIa(Ob(i), Fb(i))) - (ImYBa(Ob(i), Fb(i)) * ImSuIa(Ob(i),
Fb(i)))
  ImIa(Ob(i), Fb(i)) = (ReYBa(Ob(i), Fb(i)) * ImSuIa(Ob(i), Fb(i))) + (ImYBa(Ob(i), Fb(i)) * ReSuIa(Ob(i),
Fb(i)))
Next i
Dim ReSa(50, 50), ImSa(50, 50) As Variant
For i = 1 To Mb                'คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลในสาย
  ReSa(Fb(i), Ob(i)) = ((ReVa(Fb(i), ka) * ReIa(Fb(i), Ob(i))) - (ImVa(Fb(i), ka) * -ImIa(Fb(i), Ob(i))))
  ImSa(Fb(i), Ob(i)) = ((ReVa(Fb(i), ka) * -ImIa(Fb(i), Ob(i))) + (ImVa(Fb(i), ka) * ReIa(Fb(i), Ob(i))))
  ReSa(Ob(i), Fb(i)) = ((ReVa(Ob(i), ka) * ReIa(Ob(i), Fb(i))) - (ImVa(Ob(i), ka) * -ImIa(Ob(i), Fb(i))))
  ImSa(Ob(i), Fb(i)) = ((ReVa(Ob(i), ka) * -ImIa(Ob(i), Fb(i))) + (ImVa(Ob(i), ka) * ReIa(Ob(i), Fb(i))))
Next i
Dim ReSLa(50, 50), ImSLa(50, 50) As Variant
For i = 1 To Mb                'คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูยเสีย
  ReSLa(Fb(i), Ob(i)) = ReSa(Fb(i), Ob(i)) + ReSa(Ob(i), Fb(i))
  ImSLa(Fb(i), Ob(i)) = ImSa(Fb(i), Ob(i)) + ImSa(Ob(i), Fb(i))
Next i
For i = 2 To Mb                'แสดงผลค่าขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าที่เอาท์พุท
  Sheets("Output").Cells(8, 3).Value = SiVa(1, 0)
  Sheets("Output").Cells(8, 4).Value = AngVa(1, 0) * (180 / Pi) + [g6]
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 3).Value = SiVa(Nb(i), ka)
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 4).Value = AngVa(Nb(i), ka) * (180 / Pi) + [g6]
Next i
For i = 2 To Mb                'แสดงผลค่าโหลดที่เอาท์พุท
  Sheets("Output").Cells(8, 9).Value = 0: Sheets("Output").Cells(8, 10).Value = 0
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 9).Value = Pa(Nb(i)): Sheets("Output").Cells(7 + i, 10).Value = Qa(Nb(i))
Next i
For i = 2 To Mb                'แสดงผลค่ากำลังไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงที่เอาท์พุท
  Sheets("Output").Cells(8, 15).Value = PaSc(1) * Sb: Sheets("Output").Cells(8, 16).Value = QaSc(1) * Sb
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 15).Value = 0: Sheets("Output").Cells(7 + i, 16).Value = 0
Next i
For i = 1 To Mb    'แสดงผลค่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายที่เอาท์พุท

  Sheets("Output").Cells(7 + i, 24).Value = ReSa(Fb(i), Ob(i)) * Sb
```

```
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 25).Value = ImSa(Fb(i), Ob(i)) * Sb
    Sheets("Output").Cells(7 + Mb + i, 24).Value = ReSa(Ob(i), Fb(i)) * Sb
    Sheets("Output").Cells(7 + Mb + i, 25).Value = ImSa(Ob(i), Fb(i)) * Sb
Next i
For i = 1 To Mb     'แสดงผลค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เอาท์พุท
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 30).Value = ReSLa(Fb(i), Ob(i)) * Sb
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 31).Value = ImSLa(Fb(i), Ob(i)) * Sb
Next i
'***** PHASE_B *****     ส่วนการทำงานของเฟส B (มีลักษณะการทำงานคล้ายของเฟส A)
Dim Tb(50), Lb(50) As Variant
[f15].Select
For i = 1 To Mb
    Tb(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
[g15].Select
For i = 1 To Mb
    Lb(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
Dim ReTb(50), ImTb(50) As Variant
For i = 1 To Mb
    If Tb(i) = 1 Then
    ReTb(i) = Rct(1): ImTb(i) = Xct(1)
    ElseIf Tb(i) = 2 Then ReTb(i) = Rct(2): ImTb(i) = Xct(2)
    ElseIf Tb(i) = 3 Then ReTb(i) = Rct(3): ImTb(i) = Xct(3)
    ElseIf Tb(i) = 4 Then ReTb(i) = Rct(4): ImTb(i) = Xct(4)
    ElseIf Tb(i) = 5 Then ReTb(i) = Rct(5): ImTb(i) = Xct(5)
    End If
Next i
Dim Zb(50, 50), ReZb(50, 50), ImZb(50, 50) As Variant
[f15].Select
For i = 2 To Mb
    Zb(Fb(i), Ob(i)) = Tb(i): ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
For i = 1 To Mb
    ReZb(Fb(i), Ob(i)) = ReTb(i) * Lb(i): ImZb(Fb(i), Ob(i)) = ImTb(i) * Lb(i)
Next i
```

```
Dim ReYBb(50, 50), ImYBb(50, 50), ReYb(50, 50), ImYb(50, 50) As Variant
For i = 1 To Mb - 1
  ReYBb(Fb(i), Ob(i)) = ReZb(Fb(i), Ob(i)) / ((ReZb(Fb(i), Ob(i)) ^ 2) - (ImZb(Fb(i), Ob(i)) * -ImZb(Fb(i),
Ob(i))))
  ImYBb(Fb(i), Ob(i)) = -ImZb(Fb(i), Ob(i)) / ((ReZb(Fb(i), Ob(i)) ^ 2) - (ImZb(Fb(i), Ob(i)) * -ImZb(Fb(i),
Ob(i))))
  ReYBb(Ob(i), Fb(i)) = ReYBb(Fb(i), Ob(i)): ImYBb(Ob(i), Fb(i)) = ImYBb(Fb(i), Ob(i))
Next i
For i = 1 To 1
  ReYb(i, i) = ReYBb(i, i + 1): ImYb(i, i) = ImYBb(i, i + 1)
  ReYb(Fb(i), Ob(i)) = -ReYBb(Fb(i), Ob(i)): ImYb(Fb(i), Ob(i)) = -ImYBb(Fb(i), Ob(i))
  ReYb(Ob(i), Fb(i)) = -ReYBb(Fb(i), Ob(i)): ImYb(Ob(i), Fb(i)) = -ImYBb(Fb(i), Ob(i))
Next i
For i = 2 To Mb
  ReYb(i, i) = ReYBb(i, i - 1) + ReYBb(i, i) + ReYBb(i, i + 1)
  ImYb(i, i) = ImYBb(i, i - 1) + ImYBb(i, i) + ImYBb(i, i + 1)
  ReYb(Fb(i), Ob(i)) = -ReYBb(Fb(i), Ob(i)): ImYb(Fb(i), Ob(i)) = -ImYBb(Fb(i), Ob(i))
  ReYb(Ob(i), Fb(i)) = -ReYBb(Fb(i), Ob(i)): ImYb(Ob(i), Fb(i)) = -ImYBb(Fb(i), Ob(i))
Next i
Dim Pb(50), Qb(50), PbSc(50), QbSc(50) As Variant
[w15].Select
For i = 2 To Mb
  Pb(Nb(i)) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
[x15].Select
For i = 2 To Mb
  Qb(Nb(i)) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
For i = 2 To Mb
  PbSc(i) = -Pb(i) / Sb: QbSc(i) = -Qb(i) / Sb
Next i
Dim ReVb(50, 5000), ImVb(50, 5000), SiVb(50, 5000), AngVb(50, 5000) As Variant
  SiVb(1, 0) = [h5]: AngVb(1, 0) = 0 * (Pi / 180)
For i = 1 To 5000
  ReVb(1, i - 1) = SiVb(1, 0) * Cos(AngVb(1, 0)): ImVb(1, i - 1) = SiVb(1, 0) * Sin(AngVb(1, 0))
Next i
```

```
For i = 2 To Mb
   ReVb(i, 0) = 1: ImVb(i, 0) = 0
Next i
Dim ReSuVb(50, 5000), ImSuVb(50, 5000), DeReVb(50, 5000) As Variant
n = 1
Do
For i = 2 To Mb
   ReSuVb(i, n) = (((PbSc(i) * ReVb(i, n - 1)) - (-QbSc(i) * ImVb(i, n - 1))) / ((ReVb(i, n - 1) ^ 2) - (-ImVb(i, n
- 1) * ImVb(i, n - 1)))) - ((ReYb(i, i - 1) * ReVb(i - 1, n)) - (ImYb(i, i - 1) * ImVb(i - 1, n))) - ((ReYb(i, i + 1) *
ReVb(i + 1, n - 1)) - (ImYb(i, i + 1) * ImVb(i + 1, n - 1)))
   ImSuVb(i, n) = (((PbSc(i) * ImVb(i, n - 1)) + (-QbSc(i) * ReVb(i, n - 1))) / ((ReVb(i, n - 1) ^ 2) - (-ImVb(i, n
- 1) * ImVb(i, n - 1)))) - ((ReYb(i, i - 1) * ImVb(i - 1, n)) + (ImYb(i, i - 1) * ReVb(i - 1, n))) - ((ReYb(i, i + 1) *
ImVb(i + 1, n - 1)) + (ImYb(i, i + 1) * ReVb(i + 1, n - 1)))
   ReVb(i, n) = ((ReSuVb(i, n) * ReYb(i, i)) - (ImSuVb(i, n) * -ImYb(i, i))) / ((ReYb(i, i) ^ 2) - (ImYb(i, i) * -
ImYb(i, i)))
   ImVb(i, n) = ((ReSuVb(i, n) * -ImYb(i, i)) + (ImSuVb(i, n) * ReYb(i, i))) / ((ReYb(i, i) ^ 2) - (ImYb(i, i) * -
ImYb(i, i)))
   DeReVb(i, n) = Abs(ReVb(i, n - 1) - ReVb(i, n))
Next i
kb = n
n = n + 1
Loop Until DeReVb(Mb, kb) <= Er
For i = 2 To Mb
   SiVb(i, kb) = Sqr((ReVb(i, kb) ^ 2) + (ImVb(i, kb) ^ 2)): AngVb(i, kb) = (Atn(ImVb(i, kb) / ReVb(i, kb)))
Next i
Dim ReSuSb1(5000), ImSuSb1(5000) As Variant
   ReSuSb1(kb) = ((ReYb(1, 1) * ReVb(1, 0)) - (ImYb(1, 1) * ImVb(1, 0))) + ((ReYb(1, 2) * ReVb(2, kb)) -
(ImYb(1, 2) * ImVb(2, kb)))
   ImSuSb1(kb) = ((ReYb(1, 1) * ImVb(1, 0)) + (ImYb(1, 1) * ReVb(1, 0))) + ((ReYb(1, 2) * ImVb(2, kb)) +
(ImYb(1, 2) * ReVb(2, kb)))
   PbSc(1) = ((ReVb(1, 0) * ReSuSb1(kb)) - (ImVb(1, 0) * ImSuSb1(kb)))
   QbSc(1) = -((ReVb(1, 0) * ImSuSb1(kb)) + (ImVb(1, 0) * ReSuSb1(kb)))
Dim ReSuIb(50, 50), ImSuIb(50, 50), ReIb(50, 50), ImIb(50, 50) As Variant
For i = 1 To Mb
   ReSuIb(Fb(i), Ob(i)) = ReVb(Fb(i), kb) - ReVb(Ob(i), kb): ImSuIb(Fb(i), Ob(i)) = ImVb(Fb(i), kb) -
ImVb(Ob(i), kb)
```

```
ReIb(Fb(i), Ob(i)) = (ReYBb(Fb(i), Ob(i)) * ReSuIb(Fb(i), Ob(i))) - (ImYBb(Fb(i), Ob(i)) * ImSuIb(Fb(i),
Ob(i)))
ImIb(Fb(i), Ob(i)) = (ReYBb(Fb(i), Ob(i)) * ImSuIb(Fb(i), Ob(i))) + (ImYBb(Fb(i), Ob(i)) * ReSuIb(Fb(i),
Ob(i)))
ReSuIb(Ob(i), Fb(i)) = ReVb(Ob(i), kb) - ReVb(Fb(i), kb)
ImSuIb(Ob(i), Fb(i)) = ImVb(Ob(i), kb) - ImVb(Fb(i), kb)
ReIb(Ob(i), Fb(i)) = (ReYBb(Ob(i), Fb(i)) * ReSuIb(Ob(i), Fb(i))) - (ImYBb(Ob(i), Fb(i)) * ImSuIb(Ob(i),
Fb(i)))
ImIb(Ob(i), Fb(i)) = (ReYBb(Ob(i), Fb(i)) * ImSuIb(Ob(i), Fb(i))) + (ImYBb(Ob(i), Fb(i)) * ReSuIb(Ob(i),
Fb(i)))
Next i
Dim ReSb(50, 50), ImSb(50, 50) As Variant
For i = 1 To Mb
ReSb(Fb(i), Ob(i)) = ((ReVb(Fb(i), kb) * ReIb(Fb(i), Ob(i))) - (ImVb(Fb(i), kb) * -ImIb(Fb(i), Ob(i)))) * Sb
ImSb(Fb(i), Ob(i)) = ((ReVb(Fb(i), kb) * -ImIb(Fb(i), Ob(i))) + (ImVb(Fb(i), kb) * ReIb(Fb(i), Ob(i)))) * Sb
ReSb(Ob(i), Fb(i)) = ((ReVb(Ob(i), kb) * ReIb(Ob(i), Fb(i))) - (ImVb(Ob(i), kb) * -ImIb(Ob(i), Fb(i)))) * Sb
ImSb(Ob(i), Fb(i)) = ((ReVb(Ob(i), kb) * -ImIb(Ob(i), Fb(i))) + (ImVb(Ob(i), kb) * ReIb(Ob(i), Fb(i)))) * Sb
Next i
Dim ReSLb(50, 50), ImSLb(50, 50) As Variant
For i = 1 To Mb
ReSLb(Fb(i), Ob(i)) = ReSb(Fb(i), Ob(i)) + ReSb(Ob(i), Fb(i))
ImSLb(Fb(i), Ob(i)) = ImSb(Fb(i), Ob(i)) + ImSb(Ob(i), Fb(i))
Next i
For i = 2 To Mb
Sheets("Output").Cells(8, 5).Value = SiVb(1, 0)
Sheets("Output").Cells(8, 6).Value = AngVb(1, 0) * (180 / Pi) + [h6]
Sheets("Output").Cells(7 + i, 5).Value = SiVb(Nb(i), kb)
Sheets("Output").Cells(7 + i, 6).Value = AngVb(Nb(i), kb) * (180 / Pi) + [h6]
Next i
For i = 2 To Mb
Sheets("Output").Cells(8, 11).Value = 0: Sheets("Output").Cells(8, 12).Value = 0
Sheets("Output").Cells(7 + i, 11).Value = Pb(Nb(i)): Sheets("Output").Cells(7 + i, 12).Value = Qb(Nb(i))
Next i
For i = 2 To Mb
Sheets("Output").Cells(8, 17).Value = PbSc(1) * Sb: Sheets("Output").Cells(8, 18).Value = QbSc(1) * Sb
Sheets("Output").Cells(7 + i, 17).Value = 0: Sheets("Output").Cells(7 + i, 18).Value = 0
```

```
Next i
For i = 1 To Mb
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 26).Value = ReSb(Fb(i), Ob(i))
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 27).Value = ImSb(Fb(i), Ob(i))
  Sheets("Output").Cells(7 + Mb + i, 26).Value = ReSb(Ob(i), Fb(i))
  Sheets("Output").Cells(7 + Mb + i, 27).Value = ImSb(Ob(i), Fb(i))
Next i
For i = 1 To Mb
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 32).Value = ReSLb(Fb(i), Ob(i))
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 33).Value = ImSLb(Fb(i), Ob(i))
Next i
'***** PHASE_C *****    'ส่วนการทำงานของเฟส C (มีลักษณะการทำงานคล้ายของเฟส A)
Dim Tc(50), Lc(50) As Variant
[h15].Select
For i = 1 To Mb
  Tc(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
[i15].Select
For i = 1 To Mb
  Lc(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
Dim ReTc(50), ImTc(50) As Variant
For i = 1 To Mb
  If Tc(i) = 1 Then
  ReTc(i) = Rct(1): ImTc(i) = Xct(1)
  ElseIf Tc(i) = 2 Then ReTc(i) = Rct(2): ImTc(i) = Xct(2)
  ElseIf Tc(i) = 3 Then ReTc(i) = Rct(3): ImTc(i) = Xct(3)
  ElseIf Tc(i) = 4 Then ReTc(i) = Rct(4): ImTc(i) = Xct(4)
  ElseIf Tc(i) = 5 Then ReTc(i) = Rct(5): ImTc(i) = Xct(5)
  End If
Next i
Dim Zc(50, 50), ReZc(50, 50), ImZc(50, 50), ReYBc(50, 50), ImYBc(50, 50) As Variant
[h15].Select
For i = 1 To Mb
  Zc(Fb(i), Ob(i)) = Tc(i): ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
```

```
For i = 1 To Mb
   ReZc(Fb(i), Ob(i)) = ReTc(i) * Lc(i): ImZc(Fb(i), Ob(i)) = ImTc(i) * Lc(i)
Next i
For i = 1 To Mb - 1
   ReYBc(Fb(i), Ob(i)) = ReZc(Fb(i), Ob(i)) / ((ReZc(Fb(i), Ob(i)) ^ 2) - (ImZc(Fb(i), Ob(i)) * -ImZc(Fb(i),
Ob(i))))
   ImYBc(Fb(i), Ob(i)) = -ImZc(Fb(i), Ob(i)) / ((ReZc(Fb(i), Ob(i)) ^ 2) - (ImZc(Fb(i), Ob(i)) * -ImZc(Fb(i),
Ob(i))))
   ReYBc(Ob(i), Fb(i)) = ReYBc(Fb(i), Ob(i)): ImYBc(Ob(i), Fb(i)) = ImYBc(Fb(i), Ob(i))
Next i
Dim ReYc(50, 50), ImYc(50, 50) As Variant
For i = 1 To 1
   ReYc(i, i) = ReYBc(i, i + 1): ImYc(i, i) = ImYBc(i, i + 1)
   ReYc(Fb(i), Ob(i)) = -ReYBc(Fb(i), Ob(i)): ImYc(Fb(i), Ob(i)) = -ImYBc(Fb(i), Ob(i))
   ReYc(Ob(i), Fb(i)) = -ReYBc(Fb(i), Ob(i)): ImYc(Ob(i), Fb(i)) = -ImYBc(Fb(i), Ob(i))
Next i
For i = 2 To Mb
   ReYc(i, i) = ReYBc(i, i - 1) + ReYBc(i, i) + ReYBc(i, i + 1)
   ImYc(i, i) = ImYBc(i, i - 1) + ImYBc(i, i) + ImYBc(i, i + 1)
   ReYc(Fb(i), Ob(i)) = -ReYBc(Fb(i), Ob(i)): ImYc(Fb(i), Ob(i)) = -ImYBc(Fb(i), Ob(i))
   ReYc(Ob(i), Fb(i)) = -ReYBc(Fb(i), Ob(i)): ImYc(Ob(i), Fb(i)) = -ImYBc(Fb(i), Ob(i))
Next i
Dim Pc(50), Qc(50), PcSc(50), QcSc(50) As Variant
[ad15].Select
For i = 2 To Mb
   Pc(Nb(i)) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
[ae15].Select
For i = 2 To Mb
   Qc(Nb(i)) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
For i = 2 To Mb
   PcSc(i) = -Pc(i) / Sb: QcSc(i) = -Qc(i) / Sb
Next i
Dim ReVc(50, 5000), ImVc(50, 5000), SiVc(50, 5000), AngVc(50, 5000) As Variant
   SiVc(1, 0) = [i5]: AngVc(1, 0) = 0 * (Pi / 180)
```

```
For i = 1 To 5000
  ReVc(1, i - 1) = SiVc(1, 0) * Cos(AngVc(1, 0)): ImVc(1, i - 1) = SiVc(1, 0) * Sin(AngVc(1, 0))
Next i
For i = 2 To Mb
  ReVc(i, 0) = 1: ImVc(i, 0) = 0
Next i
Dim ReSuVc(50, 5000), ImSuVc(50, 5000), DeReVc(50, 5000) As Variant
n = 1
Do
For i = 2 To Mb
  ReSuVc(i, n) = (((PcSc(i) * ReVc(i, n - 1)) - (-QcSc(i) * ImVc(i, n - 1))) / ((ReVc(i, n - 1) ^ 2) - (-ImVc(i, n - 1) * ImVc(i, n - 1)))) - ((ReYc(i, i - 1) * ReVc(i - 1, n)) - (ImYc(i, i - 1) * ImVc(i - 1, n))) - ((ReYc(i, i + 1) * ReVc(i + 1, n - 1)) - (ImYc(i, i + 1) * ImVc(i + 1, n - 1)))
  ImSuVc(i, n) = (((PcSc(i) * ImVc(i, n - 1)) + (-QcSc(i) * ReVc(i, n - 1))) / ((ReVc(i, n - 1) ^ 2) - (-ImVc(i, n - 1) * ImVc(i, n - 1)))) - ((ReYc(i, i - 1) * ImVc(i - 1, n)) + (ImYc(i, i - 1) * ReVc(i - 1, n))) - ((ReYc(i, i + 1) * ImVc(i + 1, n - 1)) + (ImYc(i, i + 1) * ReVc(i + 1, n - 1)))
  ReVc(i, n) = ((ReSuVc(i, n) * ReYc(i, i)) - (ImSuVc(i, n) * -ImYc(i, i))) / ((ReYc(i, i) ^ 2) - (ImYc(i, i) * -ImYc(i, i)))
  ImVc(i, n) = ((ReSuVc(i, n) * -ImYc(i, i)) + (ImSuVc(i, n) * ReYc(i, i))) / ((ReYc(i, i) ^ 2) - (ImYc(i, i) * -ImYc(i, i)))
  DeReVc(i, n) = Abs(ReVc(i, n - 1) - ReVc(i, n))
  Next i
kc = n
n = n + 1
Loop Until DeReVc(Mb, kc) <= Er
For i = 2 To Mb
  SiVc(i, kc) = Sqr((ReVc(i, kc) ^ 2) + (ImVc(i, kc) ^ 2)): AngVc(i, kc) = (Atn(ImVc(i, kc) / ReVc(i, kc)))
Next i
Dim ReSuSc1(5000), ImSuSc1(5000) As Variant
  ReSuSc1(kc) = ((ReYc(1, 1) * ReVc(1, 0)) - (ImYc(1, 1) * ImVc(1, 0))) + ((ReYc(1, 2) * ReVc(2, kc)) - (ImYc(1, 2) * ImVc(2, kc)))
  ImSuSc1(kc) = ((ReYc(1, 1) * ImVc(1, 0)) + (ImYc(1, 1) * ReVc(1, 0))) + ((ReYc(1, 2) * ImVc(2, kc)) + (ImYc(1, 2) * ReVc(2, kc)))
  PcSc(1) = ((ReVc(1, 0) * ReSuSc1(kc)) - (ImVc(1, 0) * ImSuSc1(kc)))
  QcSc(1) = -((ReVc(1, 0) * ImSuSc1(kc)) + (ImVc(1, 0) * ReSuSc1(kc)))
Dim ReSuIc(50, 50), ImSuIc(50, 50), ReIc(50, 50), ImIc(50, 50) As Variant
```

```
For i = 1 To Mb
  ReSuIc(Fb(i), Ob(i)) = ReVc(Fb(i), kc) - ReVc(Ob(i), kc): ImSuIc(Fb(i), Ob(i)) = ImVc(Fb(i), kc) -
ImVc(Ob(i), kc)
  ReIc(Fb(i), Ob(i)) = (ReYBc(Fb(i), Ob(i)) * ReSuIc(Fb(i), Ob(i))) - (ImYBc(Fb(i), Ob(i)) * ImSuIc(Fb(i),
Ob(i)))
  ImIc(Fb(i), Ob(i)) = (ReYBc(Fb(i), Ob(i)) * ImSuIc(Fb(i), Ob(i))) + (ImYBc(Fb(i), Ob(i)) * ReSuIc(Fb(i),
Ob(i)))
  ReSuIc(Ob(i), Fb(i)) = ReVc(Ob(i), kc) - ReVc(Fb(i), kc)
  ImSuIc(Ob(i), Fb(i)) = ImVc(Ob(i), kc) - ImVc(Fb(i), kc)
  ReIc(Ob(i), Fb(i)) = (ReYBc(Ob(i), Fb(i)) * ReSuIc(Ob(i), Fb(i))) - (ImYBc(Ob(i), Fb(i)) * ImSuIc(Ob(i),
Fb(i)))
  ImIc(Ob(i), Fb(i)) = (ReYBc(Ob(i), Fb(i)) * ImSuIc(Ob(i), Fb(i))) + (ImYBc(Ob(i), Fb(i)) * ReSuIc(Ob(i),
Fb(i)))
Next i
Dim ReSc(50, 50), ImSc(50, 50) As Variant
For i = 1 To Mb
  ReSc(Fb(i), Ob(i)) = ((ReVc(Fb(i), kc) * ReIc(Fb(i), Ob(i))) - (ImVc(Fb(i), kc) * -ImIc(Fb(i), Ob(i)))) * Sb
  ImSc(Fb(i), Ob(i)) = ((ReVc(Fb(i), kc) * -ImIc(Fb(i), Ob(i))) + (ImVc(Fb(i), kc) * ReIc(Fb(i), Ob(i)))) * Sb
  ReSc(Ob(i), Fb(i)) = ((ReVc(Ob(i), kc) * ReIc(Ob(i), Fb(i))) - (ImVc(Ob(i), kc) * -ImIc(Ob(i), Fb(i)))) * Sb
  ImSc(Ob(i), Fb(i)) = ((ReVc(Ob(i), kc) * -ImIc(Ob(i), Fb(i))) + (ImVc(Ob(i), kc) * ReIc(Ob(i), Fb(i)))) * Sb
Next i
Dim ReSLc(50, 50), ImSLc(50, 50) As Variant
For i = 1 To Mb
  ReSLc(Fb(i), Ob(i)) = ReSc(Fb(i), Ob(i)) + ReSc(Ob(i), Fb(i))
  ImSLc(Fb(i), Ob(i)) = ImSc(Fb(i), Ob(i)) + ImSc(Ob(i), Fb(i))
Next i
For i = 2 To Mb
  Sheets("Output").Cells(8, 7).Value = SiVc(1, 0)
  Sheets("Output").Cells(8, 8).Value = AngVc(1, 0) * (180 / Pi) + [i6]
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 7).Value = SiVc(Nb(i), kc)
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 8).Value = AngVc(Nb(i), kc) * (180 / Pi) + [i6]
Next i
For i = 2 To Mb
  Sheets("Output").Cells(8, 13).Value = 0: Sheets("Output").Cells(8, 14).Value = 0
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 13).Value = Pc(Nb(i)): Sheets("Output").Cells(7 + i, 14).Value = Qc(Nb(i))
Next i
```

```
For i = 2 To Mb
   Sheets("Output").Cells(8, 19).Value = PcSc(1) * Sb :Sheets("Output").Cells(8, 20).Value = QcSc(1) * Sb
   Sheets("Output").Cells(7 + i, 19).Value = 0: Sheets("Output").Cells(7 + i, 20).Value = 0
Next i
For i = 1 To Mb
   Sheets("Output").Cells(7 + i, 28).Value = ReSc(Fb(i), Ob(i))
   Sheets("Output").Cells(7 + i, 29).Value = ImSc(Fb(i), Ob(i))
   Sheets("Output").Cells(7 + Mb + i, 28).Value = ReSc(Ob(i), Fb(i))
   Sheets("Output").Cells(7 + Mb + i, 29).Value = ImSc(Ob(i), Fb(i))
Next i
For i = 1 To Mb
   Sheets("Output").Cells(7 + i, 34).Value = ReSLc(Fb(i), Ob(i))
   Sheets("Output").Cells(7 + i, 35).Value = ImSLc(Fb(i), Ob(i))
Next i
[x1].Select
For i = 1 To 2
   Nb(0) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(0, i).Select
Next i
   'แสดงผลของจำนวณรอบของการคำนวณด้วยวิธีเกาส์ - ไซเดล ของแต่ละเฟสที่เอาท์พุท
   Sheets("Output").Cells(2, 2).Value = " Power Flow Solution by Gauss-Seidel Method No.of Iterations Phase
A = " & ka & "," & "  Phase B = " & kb & "," & " Phase C = " & kc
End Sub '          จบกราทำงานฟังก์ชันของเกาส์ - ไซเดล
```

```
'***** NEWTON_RAPHSON *****
Private Sub Newton_Raphson_Click()          'ฟังก์ชันการทำงานด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน
Dim ja, jb, jc, Nb(50)  As variant          'ประกาศตัวแปร
  Call Newton_A(ja)       'ฟังก์ชันย่อยของเฟส A และให้คืนค่า ja
  Call Newton_B(jb)       'ฟังก์ชันย่อยของเฟส B และให้คืนค่า jb
  Call Newton_C(jc)       'ฟังก์ชันย่อยของเฟส C และให้คืนค่า jc
[x1].Select
For i = 1 To 2
  Nb(0) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(0, i).Select
Next i
  'แสดงผลของรอบการคำนวณด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน ของแต่ละเฟสที่เอาท์พุท
  Sheets("Output").Cells(2, 2).Value = " Power Flow Solution by Newton-Rafson Method No. of Iterations
Phase A  = " & ja & " , " & "Phase B  = " & jb & " , " & "Phase C  = " & jc
End Sub
'***** PHASE A *****     'ส่วนของฟังก์ชันย่อยเฟส A
Sub Newton_A(ja)          'ฟังก์ชันย่อยนิวตัน - ราฟสันของเฟส A
Dim i, n, k, Sb3, Sb, VL, VP, Pi, Mb, Er As Variant
  Sb = [d3]/3: VL = [d4]: VP = VL / 1.732050808
  Mb = [d5]: Pi = 3.141592654: Er = [d6]
Dim Fb(50), Ob(50), Nb(50), Ta(50), La(50) As Variant
[b15].Select
For i = 1 To Mb
  Fb(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
[c15].Select
For i = 1 To Mb
  Ob(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
[k15].Select
For i = 2 To Mb
  Nb(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
[d15].Select
For i = 1 To Mb
  Ta(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
```

```
[e15].Select
For i = 1 To Mb
  La(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
Dim Rct(5), Xct(5), ReTa(50), ImTa(50) As Variant
  Rct(1) = [o5]: Xct(1) = [q5]: Rct(2) = [o6]: Xct(2) = [q6]: Rct(3) = [o7]: Xct(3) = [q7]
  Rct(4) = [o8]: Xct(4) = [q8]: Rct(5) = [o9]: Xct(5) = [q9]
For i = 1 To Mb
  If Ta(i) = 1 Then
  ReTa(i) = Rct(1): ImTa(i) = Xct(1)
  ElseIf Ta(i) = 2 Then ReTa(i) = Rct(2): ImTa(i) = Xct(2)
  ElseIf Ta(i) = 3 Then ReTa(i) = Rct(3): ImTa(i) = Xct(3)
  ElseIf Ta(i) = 4 Then ReTa(i) = Rct(4): ImTa(i) = Xct(4)
  ElseIf Ta(i) = 5 Then ReTa(i) = Rct(5): ImTa(i) = Xct(5)
  End If
Next i
Dim Za(50, 50), ReZa(50, 50), ImZa(50, 50), ReYBa(50, 50), ImYBa(50, 50) As Variant
[d15].Select
For i = 1 To Mb
  Za(Fb(i), Ob(i)) = Ta(i): ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
For i = 1 To Mb
  ReZa(Fb(i), Ob(i)) = ReTa(i) * La(i): ImZa(Fb(i), Ob(i)) = ImTa(i) * La(i)
Next i
For i = 1 To Mb - 1
  ReYBa(Fb(i), Ob(i)) = ReZa(Fb(i), Ob(i)) / ((ReZa(Fb(i), Ob(i)) ^ 2) - (ImZa(Fb(i), Ob(i)) * -ImZa(Fb(i),
Ob(i))))
  ImYBa(Fb(i), Ob(i)) = -ImZa(Fb(i), Ob(i)) / ((ReZa(Fb(i), Ob(i)) ^ 2) - (ImZa(Fb(i), Ob(i)) * -ImZa(Fb(i),
Ob(i))))
  ReYBa(Ob(i), Fb(i)) = ReYBa(Fb(i), Ob(i)): ImYBa(Ob(i), Fb(i)) = ImYBa(Fb(i), Ob(i))
Next i
Dim ReYa(50, 50), ImYa(50, 50), SiYa(50, 50), AngYa(50, 50) As Variant
For i = 1 To 1
  ReYa(i, i) = ReYBa(i, i + 1): ImYa(i, i) = ImYBa(i, i + 1)
Next i
For i = 2 To Mb
```

```
    ReYa(i, i) = ReYBa(i, i - 1) + ReYBa(i, i + 1): ImYa(i, i) = ImYBa(i, i - 1) + ImYBa(i, i + 1)
  Next i
  For i = 1 To Mb - 1
    ReYa(Fb(i), Ob(i)) = -ReYBa(Fb(i), Ob(i)): ImYa(Fb(i), Ob(i)) = -ImYBa(Fb(i), Ob(i))
    ReYa(Ob(i), Fb(i)) = -ReYBa(Fb(i), Ob(i)): ImYa(Ob(i), Fb(i)) = -ImYBa(Fb(i), Ob(i))
  Next i
  For i = 1 To Mb              'คำนวณค่าแอดมิดแตนซ์เมทรอกซ์ให้อยู่ในรูปเชิงขั้ว
    SiYa(i, i) = Sqr((ReYa(i, i) ^ 2) + (ImYa(i, i) ^ 2))
    If ReYa(i, i) > 0 And ImYa(i, i) > 0 Then
    AngYa(i, i) = Atn(ImYa(i, i) / ReYa(i, i))
    ElseIf ReYa(i, i) > 0 And ImYa(i, i) < 0 Then AngYa(i, i) = Atn(ImYa(i, i) / ReYa(i, i))
    ElseIf ReYa(i, i) < 0 And ImYa(i, i) > 0 Then AngYa(i, i) = Atn(ImYa(i, i) / ReYa(i, i)) + Pi
    ElseIf ReYa(i, i) < 0 And ImYa(i, i) < 0 Then AngYa(i, i) = Atn(ImYa(i, i) / ReYa(i, i)) - Pi
    End If
    Next i
  For i = 1 To Mb - 1
    SiYa(Ob(i), Fb(i)) = Sqr((ReYa(Ob(i), Fb(i)) ^ 2) + (ImYa(Ob(i), Fb(i)) ^ 2))
    If ReYa(Ob(i), Fb(i)) > 0 And ImYa(Ob(i), Fb(i)) > 0 Then
    AngYa(Ob(i), Fb(i)) = Atn(ImYa(Ob(i), Fb(i)) / ReYa(Ob(i), Fb(i)))
    ElseIf ReYa(Ob(i), Fb(i)) > 0 And ImYa(Ob(i), Fb(i)) < 0 Then
    AngYa(Ob(i), Fb(i)) = Atn(ImYa(Ob(i), Fb(i)) / ReYa(Ob(i), Fb(i)))
    ElseIf ReYa(Ob(i), Fb(i)) < 0 And ImYa(Ob(i), Fb(i)) > 0 Then
    AngYa(Ob(i), Fb(i)) = Atn(ImYa(Ob(i), Fb(i)) / ReYa(Ob(i), Fb(i))) + Pi
    ElseIf ReYa(Ob(i), Fb(i)) < 0 And ImYa(Ob(i), Fb(i)) < 0 Then
    AngYa(Ob(i), Fb(i)) = Atn(ImYa(Ob(i), Fb(i)) / ReYa(Ob(i), Fb(i))) - Pi
    End If
  Next i
  For i = 1 To Mb - 1
    SiYa(Fb(i), Ob(i)) = Sqr((ReYa(Fb(i), Ob(i)) ^ 2) + (ImYa(Fb(i), Ob(i)) ^ 2))
    If ReYa(Fb(i), Ob(i)) > 0 And ImYa(Fb(i), Ob(i)) > 0 Then
    AngYa(Fb(i), Ob(i)) = Atn(ImYa(Fb(i), Ob(i)) / ReYa(Fb(i), Ob(i)))
    ElseIf ReYa(Fb(i), Ob(i)) > 0 And ImYa(Fb(i), Ob(i)) < 0 Then
    AngYa(Fb(i), Ob(i)) = Atn(ImYa(Fb(i), Ob(i)) / ReYa(Fb(i), Ob(i)))
    ElseIf ReYa(Fb(i), Ob(i)) < 0 And ImYa(Fb(i), Ob(i)) > 0 Then
    AngYa(Fb(i), Ob(i)) = Atn(ImYa(Fb(i), Ob(i)) / ReYa(Fb(i), Ob(i))) + Pi
    ElseIf ReYa(Fb(i), Ob(i)) < 0 And ImYa(Fb(i), Ob(i)) < 0 Then
```

```
    AngYa(Fb(i), Ob(i)) = Atn(ImYa(Fb(i), Ob(i)) / ReYa(Fb(i), Ob(i))) - Pi
    End If
  Next i
  Dim Pa(50), Qa(50), PaSc(50), QaSc(50) As Variant
  [p15].Select
  For i = 2 To Mb
    Pa(Nb(i)) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
  Next i
  [q15].Select
  For i = 2 To Mb
    Qa(Nb(i)) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
  Next i
  For i = 2 To Mb
    PaSc(i) = -Pa(i) / Sb: QaSc(i) = -Qa(i) / Sb
  Next i
  Dim SiVa(50, 100), AngVa(50, 100) As Variant
    SiVa(1, 0) = [g5]: AngVa(1, 0) = [g6] * (Pi / 180)
  For i = 1 To 100
    SiVa(1, i) = SiVa(1, 0): AngVa(1, i) = AngVa(1, 0)
  Next i
  For i = 2 To Mb              'กำหนดค่าขนาดและมุมของแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้น
    SiVa(i, 0) = 1: AngVa(i, 0) = 0
  Next i
  Dim ReVa(50, 100), ImVa(50, 100), SiPa(50, 100), SiQa(50, 100) As Variant
  Dim DePa(50, 100), DeQa(50, 100), DeDa(50, 100), DeVa(50, 100) As Variant
  Dim Da(50, 100), Va(50, 1000) As Variant
  Dim SiDePa(50, 100), SiDeQa(50, 100), SiSiPa(50, 100), SiSiQa(50, 100) As Variant
  Dim JPaD(50, 50, 100), JPaV(50, 50, 100) As Variant
  Dim JQaD(50, 50, 100), JQaV(50, 50, 100) As Variant
  n = 0      'รอบการคำนวณเริ่นต้น
  Do         'เริ่มการคำนวณแบบวนซ้ำด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน
  For i = 2 To Mb
    SiPa(i, n) = ((SiVa(i, n) * SiVa(i - 1, n) * SiYa(i, i - 1)) * Cos(AngYa(i, i - 1) + AngVa(i - 1, n) - AngVa(i,
  n))) + ((SiVa(i, n) * SiVa(i, n) * SiYa(i, i)) * Cos(AngYa(i, i) + AngVa(i, n) - AngVa(i, n))) + ((SiVa(i, n) *
  SiVa(i + 1, n) * SiYa(i, i + 1)) * Cos(AngYa(i, i + 1) + AngVa(i + 1, n) - AngVa(i, n)))
```

```
  SiQa(i, n) = -((SiVa(i, n) * SiVa(i - 1, n) * SiYa(i, i - 1)) * Sin(AngYa(i, i - 1) + AngVa(i - 1, n) - AngVa(i,
n))) - ((SiVa(i, n) * SiVa(i, n) * SiYa(i, i)) * Sin(AngYa(i, i) + AngVa(i, n) - AngVa(i, n))) - ((SiVa(i, n) *
SiVa(i + 1, n) * SiYa(i, i + 1)) * Sin(AngYa(i, i + 1) + AngVa(i + 1, n) - AngVa(i, n)))
  DePa(i, n) = PaSc(i) - SiPa(i, n)      'คำนวณค่าผลต่างของกำลังไฟฟ้าจริง
  DeQa(i, n) = QaSc(i) - SiQa(i, n)      'คำนวณค่าผลต่างของกำลังไฟฟ้าจินตภาพ
Next i
If Mb = 3 Then      'เช็คเงื่อนไข ถ้า Mb เท่ากับค่าใดให้ไปเลือกเซลล์ที่กำหนดไว้
[b51].Select
ElseIf Mb = 4 Then [b56].Select: ElseIf Mb = 5 Then [b63].Select: ElseIf Mb = 6 Then [b72].Select
ElseIf Mb = 7 Then [b83].Select: ElseIf Mb = 8 Then [b96].Select: ElseIf Mb = 9 Then [b111].Select
ElseIf Mb = 10 Then [b128].Select: ElseIf Mb = 11 Then [b147].Select: ElseIf Mb = 12 Then [b168].Select
ElseIf Mb = 13 Then [b191].Select: ElseIf Mb = 14 Then [b216].Select: ElseIf Mb = 15 Then [b243].Select
ElseIf Mb = 16 Then [b272].Select: ElseIf Mb = 17 Then [b303].Select: ElseIf Mb = 18 Then [b336].Select
ElseIf Mb = 19 Then [b371].Select: ElseIf Mb = 20 Then [b408].Select: End If
For i = 2 To Mb
  ActiveCell.Offset(i, 0).Value = DePa(i, n)      'ส่งค่าผลต่างของกำลังไฟฟ้าจริง
Next i
If Mb = 3 Then
[b53].Select
ElseIf Mb = 4 Then [b59].Select: ElseIf Mb = 5 Then [b67].Select: ElseIf Mb = 6 Then [b77].Select
ElseIf Mb = 7 Then [b89].Select: ElseIf Mb = 8 Then [b103].Select: ElseIf Mb = 9 Then [b119].Select
ElseIf Mb = 10 Then [b137].Select: ElseIf Mb = 11 Then [b157].Select: ElseIf Mb = 12 Then [b179].Select
ElseIf Mb = 13 Then [b203].Select: ElseIf Mb = 14 Then [b229].Select: ElseIf Mb = 15 Then [b257].Select
ElseIf Mb = 16 Then [b287].Select: ElseIf Mb = 17 Then [b319].Select: ElseIf Mb = 18 Then [b353].Select
ElseIf Mb = 19 Then [b389].Select: ElseIf Mb = 20 Then [b427].Select: End If
For i = 2 To Mb
  ActiveCell.Offset(i, 0).Value = DeQa(i, n)      'ส่งค่าผลต่างของกำลังไฟฟ้าจินตภาพ
Next i
For i = 2 To Mb
For k = 2 To Mb
  If i = k Then                'คำนวณค่าในจาโคเบียนเมทริกซ์ตัวที่ 1
  JPaD(i, k, n) = ((SiVa(i, n) * SiVa(i - 1, n) * SiYa(i, i - 1)) * Sin(AngYa(i, i - 1) + AngVa(i - 1, n) - AngVa(i,
n))) + ((SiVa(i, n) * SiVa(i + 1, n) * SiYa(i, i + 1)) * Sin(AngYa(i, i + 1) + AngVa(i + 1, n) - AngVa(i, n)))
  ElseIf i <> k Then
  JPaD(i, k, n) = -((SiVa(i, n) * SiVa(k, n) * SiYa(i, k)) * Sin(AngYa(i, k) + AngVa(k, n) - AngVa(i, n)))
  End If
```

```
Next k
Next i
If Mb = 3 Then
[b51].Select
ElseIf Mb = 4 Then [b56].Select: ElseIf Mb = 5 Then [b63].Select: ElseIf Mb = 6 Then [b72].Select
ElseIf Mb = 7 Then [b83].Select: ElseIf Mb = 8 Then [b96].Select: ElseIf Mb = 9 Then [b111].Select
ElseIf Mb = 10 Then [b128].Select: ElseIf Mb = 11 Then [b147].Select: ElseIf Mb = 12 Then [b168].Select
ElseIf Mb = 13 Then [b191].Select: ElseIf Mb = 14 Then [b216].Select: ElseIf Mb = 15 Then [b243].Select
ElseIf Mb = 16 Then [b272].Select: ElseIf Mb = 17 Then [b303].Select: ElseIf Mb = 18 Then [b336].Select
ElseIf Mb = 19 Then [b371].Select: ElseIf Mb = 20 Then [b408].Select: End If
For i = 2 To Mb
For k = 2 To Mb
   ActiveCell.Offset(i, k).Value = JPaD(i, k, n)      'ส่งค่าของจาโคเบียนตัวที่ 1 ไปยังเซลล์ที่กำหนดไว้
Next k
Next i
For i = 2 To Mb
For k = 2 To Mb
   If i = k Then                    'คำนวณค่าในจาโคเบียนเมทริกซ์ตัวที่ 2
   JPaV(i, k, n) = ((SiVa(i - 1, n) * SiYa(i, i - 1)) * Cos(AngYa(i, i - 1) + AngVa(i - 1, n) - AngVa(i, n))) + ((2 *
SiVa(i, n) * SiYa(i, i)) * Cos(AngYa(i, i) + AngVa(i, n) - AngVa(i, n))) + ((SiVa(i + 1, n) * SiYa(i, i + 1)) *
Cos(AngYa(i, i + 1) + AngVa(i + 1, n) - AngVa(i, n)))
   ElseIf i <> k Then
   JPaV(i, k, n) = (SiVa(i, n) * SiYa(i, k)) * Cos(AngYa(i, k) + AngVa(k, n) - AngVa(i, n))
   End If
Next k
Next i
If Mb = 3 Then
[d51].Select
ElseIf Mb = 4 Then [e56].Select: ElseIf Mb = 5 Then [f63].Select: ElseIf Mb = 6 Then [g72].Select
ElseIf Mb = 7 Then [h83].Select: ElseIf Mb = 8 Then [i96].Select: ElseIf Mb = 9 Then [j111].Select
ElseIf Mb = 10 Then [k128].Select: ElseIf Mb = 11 Then [l147].Select: ElseIf Mb = 12 Then [m168].Select
ElseIf Mb = 13 Then [n191].Select: ElseIf Mb = 14 Then [o216].Select: ElseIf Mb = 15 Then [p243].Select
ElseIf Mb = 16 Then [q272].Select: ElseIf Mb = 17 Then [r303].Select: ElseIf Mb = 18 Then [s336].Select
ElseIf Mb = 19 Then [t371].Select: ElseIf Mb = 20 Then [u408].Select: End If
For i = 2 To Mb
For k = 2 To Mb
```

```
    ActiveCell.Offset(i, k).Value = JPaV(i, k, n)      'ส่งค่าของจาโคเบียนตัวที่ 2 ไปยังเซลล์ที่กำหนดไว้
  Next k
  Next i
  For i = 2 To Mb
  For k = 2 To Mb
    If i = k Then                'คำนวณค่าในจาโคเบียนเมทริกซ์ตัวที่ 3
    JQaD(i, k, n) = ((SiVa(i, n) * SiVa(i - 1, n) * SiYa(i, i - 1)) * Cos(AngYa(i, i - 1) + AngVa(i - 1, n) -
  AngVa(i, n))) + ((SiVa(i, n) * SiVa(i + 1, n) * SiYa(i, i + 1)) * Cos(AngYa(i, i + 1) + AngVa(i + 1, n) -
  AngVa(i, n)))
    ElseIf i <> k Then
    JQaD(i, k, n) = -((SiVa(i, n) * SiVa(k, n) * SiYa(i, k)) * Cos(AngYa(i, k) + AngVa(k, n) - AngVa(i, n)))
    End If
  Next k
  Next i
  If Mb = 3 Then
  [b53].Select
  ElseIf Mb = 4 Then [b59].Select: ElseIf Mb = 5 Then [b67].Select: ElseIf Mb = 6 Then [b77].Select
  ElseIf Mb = 7 Then [b89].Select: ElseIf Mb = 8 Then [b103].Select: ElseIf Mb = 9 Then [b119].Select
  ElseIf Mb = 10 Then [b137].Select: ElseIf Mb = 11 Then [b157].Select: ElseIf Mb = 12 Then [b179].Select
  ElseIf Mb = 13 Then [b203].Select: ElseIf Mb = 14 Then [b229].Select: ElseIf Mb = 15 Then [b257].Select
  ElseIf Mb = 16 Then [b287].Select: ElseIf Mb = 17 Then [b319].Select: ElseIf Mb = 18 Then [b353].Select
  ElseIf Mb = 19 Then [b389].Select: ElseIf Mb = 20 Then [b427].Select: End If
  For i = 2 To Mb
  For k = 2 To Mb
    ActiveCell.Offset(i, k).Value = JQaD(i, k, n)          'ส่งค่าของจาโคเบียนตัวที่ 3 ไปยังเซลล์ที่กำหนดไว้
  Next k
  Next i
  For i = 2 To Mb
  For k = 2 To Mb
    If i = k Then                'คำนวณค่าในจาโคเบียนเมทริกซ์ตัวที่ 4
    JQaV(k, i, n) = -((SiVa(i - 1, n) * SiYa(i, i - 1)) * Sin(AngYa(i, i - 1) + AngVa(i - 1, n) - AngVa(i, n))) - ((2 *
  SiVa(i, n) * SiYa(i, i)) * Sin(AngYa(i, i) + AngVa(i, n) - AngVa(i, n))) - ((SiVa(i + 1, n) * SiYa(i, i + 1)) *
  Sin(AngYa(i, i + 1) + AngVa(i + 1, n) - AngVa(i, n)))
    ElseIf i <> k Then
    JQaV(k, i, n) = -((SiVa(i, n) * SiYa(i, k)) * Sin(AngYa(i, k) + AngVa(k, n) - AngVa(i, n)))
    End If
```

```
Next k
Next i
If Mb = 3 Then
[d53].Select
ElseIf Mb = 4 Then [e59].Select: ElseIf Mb = 5 Then [f68].Select: ElseIf Mb = 6 Then [g77].Select
ElseIf Mb = 7 Then [h89].Select: ElseIf Mb = 8 Then [i103].Select: ElseIf Mb = 9 Then [j119].Select
ElseIf Mb = 10 Then [k137].Select: ElseIf Mb = 11 Then [l157].Select: ElseIf Mb = 12 Then [m179].Select
ElseIf Mb = 13 Then [n203].Select: ElseIf Mb = 14 Then [o229].Select: ElseIf Mb = 15 Then [p257].Select
ElseIf Mb = 16 Then [q287].Select: ElseIf Mb = 17 Then [r319].Select: ElseIf Mb = 18 Then [s353].Select
ElseIf Mb = 19 Then [t389].Select: ElseIf Mb = 20 Then [u427].Select: End If
For i = 2 To Mb
For k = 2 To Mb
  ActiveCell.Offset(i, k).Value = JQaV(i, k, n)          'ส่งค่าของจาโคเบียนตัวที่ 4 ไปยังเซลล์ที่กำหนดไว้
Next k
Next i
If Mb = 3 Then
[n53].Select
ElseIf Mb = 4 Then [r58].Select: ElseIf Mb = 5 Then [v65].Select: ElseIf Mb = 6 Then [z74].Select
ElseIf Mb = 7 Then [ad85].Select: ElseIf Mb = 8 Then [ah98].Select: ElseIf Mb = 9 Then [al118].Select
ElseIf Mb = 10 Then [ap130].Select: ElseIf Mb = 11 Then [at149].Select: ElseIf Mb = 12 Then [ax170].Select
ElseIf Mb = 13 Then [bb193].Select: ElseIf Mb = 14 Then [bf218].Select: ElseIf Mb = 15 Then [bj245].Select
ElseIf Mb = 16 Then [bn274].Select: ElseIf Mb = 17 Then [br306].Select: ElseIf Mb = 18 Then [bv338].Select
ElseIf Mb = 19 Then [bz373].Select: ElseIf Mb = 20 Then [cd410].Select: End If
For i = 2 To Mb
  Da(i, n) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select    'รับค่ามุมของแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป
Next i
If Mb = 3 Then
[n55].Select
ElseIf Mb = 4 Then [r61].Select: ElseIf Mb = 5 Then [v69].Select: ElseIf Mb = 6 Then [z79].Select:
ElseIf Mb = 7 Then [ad91].Select: ElseIf Mb = 8 Then [ah105].Select: ElseIf Mb = 9 Then [al121].Select:
ElseIf Mb = 10 Then [ap139].Select: ElseIf Mb = 11 Then [at159].Select: ElseIf Mb = 12 Then [ax181].Select
ElseIf Mb = 13 Then [bb205].Select: ElseIf Mb = 14 Then [bf231].Select: ElseIf Mb = 15 Then [bj259].Select
ElseIf Mb = 16 Then [bn289].Select: ElseIf Mb = 17 Then [br321].Select: ElseIf Mb = 18 Then [bv355].Select
ElseIf Mb = 19 Then [bz391].Select: ElseIf Mb = 20 Then [cd429].Select: End If
For i = 2 To Mb
  Va(i, n) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select    'รับค่าขนาดแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป
```

```
Next i
For i = 2 To Mb
   SiVa(i, n + 1) = SiVa(i, n) + Va(i, n)          'คำนวณค่าขนาดแรงดันไฟฟ้าของรอบใหม่
   AngVa(i, n + 1) = AngVa(i, n) + Da(i, n)        'คำนวณค่ามุมของแรงดันไฟฟ้าของรอบใหม่
Next i
If Mb = 3 Then
[b53].Select
ElseIf Mb = 4 Then [b58].Select: ElseIf Mb = 5 Then [b65].Select: ElseIf Mb = 6 Then [b74].Select
ElseIf Mb = 7 Then [b85].Select: ElseIf Mb = 8 Then [b98].Select: ElseIf Mb = 9 Then [b113].Select
ElseIf Mb = 10 Then [b130].Select: ElseIf Mb = 11 Then [b149].Select: ElseIf Mb = 12 Then [b150].Select
ElseIf Mb = 13 Then [b193].Select: ElseIf Mb = 14 Then [b218].Select: ElseIf Mb = 15 Then [b245].Select
ElseIf Mb = 16 Then [b274].Select: ElseIf Mb = 17 Then [b305].Select: ElseIf Mb = 18 Then [b338].Select
ElseIf Mb = 19 Then [b373].Select: ElseIf Mb = 20 Then [b410].Select: End If
For i = 2 To Mb
   SiDePa(i, n) = ActiveCell.Value                 'รับค่าขนาดกำลังไฟฟ้าจริงที่เปลี่ยนแปลงไป
   ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
If Mb = 3 Then
[b55].Select
ElseIf Mb = 4 Then [b61].Select: ElseIf Mb = 5 Then [b69].Select: ElseIf Mb = 6 Then [b79].Select
ElseIf Mb = 7 Then [b91].Select: ElseIf Mb = 8 Then [b105].Select: ElseIf Mb = 9 Then [b121].Select
ElseIf Mb = 10 Then [b139].Select: ElseIf Mb = 11 Then [b159].Select: ElseIf Mb = 12 Then [b181].Select
ElseIf Mb = 13 Then [b205].Select: ElseIf Mb = 14 Then [b231].Select: ElseIf Mb = 15 Then [b259].Select
ElseIf Mb = 16 Then [b289].Select: ElseIf Mb = 17 Then [b321].Select: ElseIf Mb = 18 Then [b355].Select
ElseIf Mb = 19 Then [b391].Select: ElseIf Mb = 20 Then [b429].Select: End If
For i = 2 To Mb
   SiDeQa(i, n) = ActiveCell.Value                 'รับค่าขนาดกำลังไฟฟ้าจินตภาพที่เปลี่ยนแปลงไป
   ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
For i = 2 To Mb
   SiSiPa(i, n) = Abs(SiDePa(i, n)): SiSiQa(i, n) = Abs(SiDeQa(i, n))
Next i
ja = n
n = n + 1                  'เพิ่มรอบของการคำนวณ
Loop Until SiSiPa(Mb, ja) <= Er And SiSiQa(Mb, ja) <= Er        'ตรวจสอบเงื่อนไขถ้าเป็นจริงให้ออกจากลูป
ถ้าเป็จเท็จให้กลับไปทำที่คำสั่ง Do
```

```
'คำนวณกำลังไฟฟ้าที่บัสอ้างอิง
  SiPa(1, ja) = ((SiVa(1, ja) * SiVa(1, ja) * SiYa(1, 1)) * Cos(AngYa(1, 1) + AngVa(1, ja) - AngVa(1, ja))) +
((SiVa(1, ja) * SiVa(2, ja) * SiYa(1, 2)) * Cos(AngYa(1, 2) + AngVa(2, ja) - AngVa(1, ja)))
  SiQa(1, ja) = -((SiVa(1, ja) * SiVa(1, ja) * SiYa(1, 1)) * Sin(AngYa(1, 1) + AngVa(1, ja) - AngVa(1, ja))) -
((SiVa(1, ja) * SiVa(2, ja) * SiYa(1, 2)) * Sin(AngYa(1, 2) + AngVa(2, ja) - AngVa(1, ja)))
For i = 1 To Mb                'เปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าห็อยู่ในรูปเชิงซ้อน
  ReVa(i, ja) = SiVa(i, ja) * Cos(AngVa(i, ja)): ImVa(i, ja) = SiVa(i, ja) * Sin(AngVa(i, ja))
Next i
Dim ReSuIa(50, 50), ImSuIa(50, 50), ReIa(50, 50), ImIa(50, 50) As Variant
For i = 1 To Mb                'คำนวณกระแสไฟฟ้าที่ไหลในสาย
  ReSuIa(Fb(i), Ob(i)) = ReVa(Fb(i), ja) - ReVa(Ob(i), ja)
  ImSuIa(Fb(i), Ob(i)) = ImVa(Fb(i), ja) - ImVa(Ob(i), ja)
  ReIa(Fb(i), Ob(i)) = (ReYBa(Fb(i), Ob(i)) * ReSuIa(Fb(i), Ob(i))) - (ImYBa(Fb(i), Ob(i)) * ImSuIa(Fb(i),
Ob(i)))
  ImIa(Fb(i), Ob(i)) = (ReYBa(Fb(i), Ob(i)) * ImSuIa(Fb(i), Ob(i))) + (ImYBa(Fb(i), Ob(i)) * ReSuIa(Fb(i),
Ob(i)))
  ReSuIa(Ob(i), Fb(i)) = ReVa(Ob(i), ja) - ReVa(Fb(i), ja)
  ImSuIa(Ob(i), Fb(i)) = ImVa(Ob(i), ja) - ImVa(Fb(i), ja)
  ReIa(Ob(i), Fb(i)) = (ReYBa(Ob(i), Fb(i)) * ReSuIa(Ob(i), Fb(i))) - (ImYBa(Ob(i), Fb(i)) * ImSuIa(Ob(i),
Fb(i)))
  ImIa(Ob(i), Fb(i)) = (ReYBa(Ob(i), Fb(i)) * ImSuIa(Ob(i), Fb(i))) + (ImYBa(Ob(i), Fb(i)) * ReSuIa(Ob(i),
Fb(i)))
Next i
Dim ReSa(50, 50), ImSa(50, 50) As Variant
For i = 1 To Mb                'คำนวณกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสาย
  ReSa(Fb(i), Ob(i)) = ((ReVa(Fb(i), ja) * ReIa(Fb(i), Ob(i))) - (ImVa(Fb(i), ja) * -ImIa(Fb(i), Ob(i)))) * Sb
  ImSa(Fb(i), Ob(i)) = ((ReVa(Fb(i), ja) * -ImIa(Fb(i), Ob(i))) + (ImVa(Fb(i), ja) * ReIa(Fb(i), Ob(i)))) * Sb
  ReSa(Ob(i), Fb(i)) = ((ReVa(Ob(i), ja) * ReIa(Ob(i), Fb(i))) - (ImVa(Ob(i), ja) * -ImIa(Ob(i), Fb(i)))) * Sb
  ImSa(Ob(i), Fb(i)) = ((ReVa(Ob(i), ja) * -ImIa(Ob(i), Fb(i))) + (ImVa(Ob(i), ja) * ReIa(Ob(i), Fb(i)))) * Sb
Next i
Dim ReSLa(50, 50), ImSLa(50, 50) As Variant
For i = 1 To Mb                'คำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสีย
  ReSLa(Fb(i), Ob(i)) = ReSa(Fb(i), Ob(i)) + ReSa(Ob(i), Fb(i))
  ImSLa(Fb(i), Ob(i)) = ImSa(Fb(i), Ob(i)) + ImSa(Ob(i), Fb(i))
Next i
For i = 2 To Mb                'แสดงผลค่าขนาดและมุมของแรงดันไฟฟ้าที่เอาท์พุท
```

```
    Sheets("Output").Cells(8, 3).Value = SiVa(1, 0)
    Sheets("Output").Cells(8, 4).Value = AngVa(1, 0) * (180 / Pi) + [g6]
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 3).Value = SiVa(Nb(i), ja)
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 4).Value = AngVa(Nb(i), ja) * (180 / Pi) + [g6]
  Next i
  For i = 2 To Mb     'แสดงผลค่าโหลดที่เอาท์พุท
    Sheets("Output").Cells(8, 9).Value = 0: Sheets("Output").Cells(8, 10).Value = 0
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 9).Value = Pa(Nb(i)): Sheets("Output").Cells(7 + i, 10).Value = Qa(Nb(i))
  Next i
  For i = 2 To Mb     'แสดงผลค่ากำลังไฟฟ้าของบัสอ้างอิงที่เอาท์พุท
    Sheets("Output").Cells(8, 15).Value = SiPa(1, ja) * Sb
    Sheets("Output").Cells(8, 16).Value = SiQa(1, ja) * Sb
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 15).Value = 0: Sheets("Output").Cells(7 + i, 16).Value = 0
  Next i
  For i = 1 To Mb     'แสดงผลค่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายที่เอาท์พุท
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 24).Value = ReSa(Fb(i), Ob(i))
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 25).Value = ImSa(Fb(i), Ob(i))
    Sheets("Output").Cells(7 + Mb + i, 24).Value = ReSa(Ob(i), Fb(i))
    Sheets("Output").Cells(7 + Mb + i, 25).Value = ImSa(Ob(i), Fb(i))
  Next i
  For i = 1 To Mb     'แสดงผลค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เอาท์พุท
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 30).Value = ReSLa(Fb(i), Ob(i))
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 31).Value = ImSLa(Fb(i), Ob(i))
  Next i
  End Sub             'จบการทำงานของฟังก์ชันย่อย
'***** PHASE B *****     'ส่วนฟังก์ชันย่อยของเฟส B (มีลักษณะการทำงานคล้ายกับเฟส A)
  Sub Newton_B(jb)
  Dim i, n, k, Sb3, Sb, VL, VP, Pi, Mb, Er As Variant
    Sb3 = [d3]: Sb = Sb3 / 3: VL = [d4]: VP = VL / 1.732050808
    Mb = [d5]: Pi = 3.141592654: Zbase = (VL * VL) / (Sb * 1000): Er = [d6]
  Dim Fb(50), Ob(50), Nb(50), Tb(50), Lb(50) As Variant
  [b15].Select
  For i = 1 To Mb
    Fb(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
  Next i
  [c15].Select
```

```
For i = 1 To Mb
   Ob(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
[k15].Select
For i = 2 To Mb
   Nb(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
[f15].Select
For i = 1 To Mb
   Tb(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
[g15].Select
For i = 1 To Mb
   Lb(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
Dim Rct(5), Xct(5), ReTb(50), ImTb(50) As Variant
   Rct(1) = [o5]: Xct(1) = [q5]: Rct(2) = [o6]: Xct(2) = [q6]: Rct(3) = [o7]: Xct(3) = [q7]
   Rct(4) = [o8]: Xct(4) = [q8]: Rct(5) = [o9]: Xct(5) = [q9]
For i = 1 To Mb
   If Tb(i) = 1 Then
   ReTb(i) = Rct(1): ImTb(i) = Xct(1)
   ElseIf Tb(i) = 2 Then ReTb(i) = Rct(2): ImTb(i) = Xct(2)
   ElseIf Tb(i) = 3 Then ReTb(i) = Rct(3): ImTb(i) = Xct(3)
   ElseIf Tb(i) = 4 Then ReTb(i) = Rct(4): ImTb(i) = Xct(4)
   ElseIf Tb(i) = 5 Then ReTb(i) = Rct(5): ImTb(i) = Xct(5)
   End If
Next i
Dim Zb(50, 50), ReZb(50, 50), ImZb(50, 50), ReYBb(50, 50), ImYBb(50, 50) As Variant
[f15].Select
For i = 1 To Mb
   Zb(Fb(i), Ob(i)) = Tb(i): ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
For i = 1 To Mb
   ReZb(Fb(i), Ob(i)) = ReTb(i) * Lb(i): ImZb(Fb(i), Ob(i)) = ImTb(i) * Lb(i)
Next i
For i = 1 To Mb - 1
```

```
    ReYBb(Fb(i), Ob(i)) = ReZb(Fb(i), Ob(i)) / ((ReZb(Fb(i), Ob(i)) ^ 2) - (ImZb(Fb(i), Ob(i)) * -ImZb(Fb(i),
Ob(i))))
    ImYBb(Fb(i), Ob(i)) = -ImZb(Fb(i), Ob(i)) / ((ReZb(Fb(i), Ob(i)) ^ 2) - (ImZb(Fb(i), Ob(i)) * -ImZb(Fb(i),
Ob(i))))
    ReYBb(Ob(i), Fb(i)) = ReYBb(Fb(i), Ob(i)): ImYBb(Ob(i), Fb(i)) = ImYBb(Fb(i), Ob(i))
Next i
Dim ReYb(50, 50), ImYb(50, 50), SiYb(50, 50), AngYb(50, 50) As Variant
For i = 1 To 1
    ReYb(i, i) = ReYBb(i, i + 1): ImYb(i, i) = ImYBb(i, i + 1)
Next i
For i = 2 To Mb
    ReYb(i, i) = ReYBb(i, i - 1) + ReYBb(i, i + 1): ImYb(i, i) = ImYBb(i, i - 1) + ImYBb(i, i + 1)
Next i
For i = 1 To Mb - 1
    ReYb(Fb(i), Ob(i)) = -ReYBb(Fb(i), Ob(i)): ImYb(Fb(i), Ob(i)) = -ImYBb(Fb(i), Ob(i))
    ReYb(Ob(i), Fb(i)) = -ReYBb(Fb(i), Ob(i)): ImYb(Ob(i), Fb(i)) = -ImYBb(Fb(i), Ob(i))
Next i
For i = 1 To Mb
    SiYb(i, i) = Sqr((ReYb(i, i) ^ 2) + (ImYb(i, i) ^ 2))
    If ReYb(i, i) > 0 And ImYb(i, i) > 0 Then
    AngYb(i, i) = Atn(ImYb(i, i) / ReYb(i, i))
    ElseIf ReYb(i, i) > 0 And ImYb(i, i) < 0 Then AngYb(i, i) = Atn(ImYb(i, i) / ReYb(i, i))
    ElseIf ReYb(i, i) < 0 And ImYb(i, i) > 0 Then AngYb(i, i) = Atn(ImYb(i, i) / ReYb(i, i)) + Pi
    ElseIf ReYb(i, i) < 0 And ImYb(i, i) < 0 Then AngYb(i, i) = Atn(ImYb(i, i) / ReYb(i, i)) - Pi
    End If
Next i
For i = 1 To Mb - 1
    SiYb(Ob(i), Fb(i)) = Sqr((ReYb(Ob(i), Fb(i)) ^ 2) + (ImYb(Ob(i), Fb(i)) ^ 2))
    If ReYb(Ob(i), Fb(i)) > 0 And ImYb(Ob(i), Fb(i)) > 0 Then
    AngYb(Ob(i), Fb(i)) = Atn(ImYb(Ob(i), Fb(i)) / ReYb(Ob(i), Fb(i)))
    ElseIf ReYb(Ob(i), Fb(i)) > 0 And ImYb(Ob(i), Fb(i)) < 0 Then
    AngYb(Ob(i), Fb(i)) = Atn(ImYb(Ob(i), Fb(i)) / ReYb(Ob(i), Fb(i)))
    ElseIf ReYb(Ob(i), Fb(i)) < 0 And ImYb(Ob(i), Fb(i)) > 0 Then
    AngYb(Ob(i), Fb(i)) = Atn(ImYb(Ob(i), Fb(i)) / ReYb(Ob(i), Fb(i))) + Pi
    ElseIf ReYb(Ob(i), Fb(i)) < 0 And ImYb(Ob(i), Fb(i)) < 0 Then
    AngYb(Ob(i), Fb(i)) = Atn(ImYb(Ob(i), Fb(i)) / ReYb(Ob(i), Fb(i))) - Pi
```

```
    End If
  Next i
  For i = 1 To Mb - 1
    SiYb(Fb(i), Ob(i)) = Sqr((ReYb(Fb(i), Ob(i)) ^ 2) + (ImYb(Fb(i), Ob(i)) ^ 2))
    If ReYb(Fb(i), Ob(i)) > 0 And ImYb(Fb(i), Ob(i)) > 0 Then
    AngYb(Fb(i), Ob(i)) = Atn(ImYb(Fb(i), Ob(i)) / ReYb(Fb(i), Ob(i)))
    ElseIf ReYb(Fb(i), Ob(i)) > 0 And ImYb(Fb(i), Ob(i)) < 0 Then
    AngYb(Fb(i), Ob(i)) = Atn(ImYb(Fb(i), Ob(i)) / ReYb(Fb(i), Ob(i)))
    ElseIf ReYb(Fb(i), Ob(i)) < 0 And ImYb(Fb(i), Ob(i)) > 0 Then
    AngYb(Fb(i), Ob(i)) = Atn(ImYb(Fb(i), Ob(i)) / ReYb(Fb(i), Ob(i))) + Pi
    ElseIf ReYb(Fb(i), Ob(i)) < 0 And ImYb(Fb(i), Ob(i)) < 0 Then
    AngYb(Fb(i), Ob(i)) = Atn(ImYb(Fb(i), Ob(i)) / ReYb(Fb(i), Ob(i))) - Pi
    End If
  Next i
  Dim Pb(50), Qb(50), PbSc(50), QbSc(50) As Variant
  [w15].Select
  For i = 2 To Mb
    Pb(Nb(i)) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
  Next i
  [x15].Select
  For i = 2 To Mb
    Qb(Nb(i)) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
  Next i
  For i = 2 To Mb
    PbSc(i) = -Pb(i) / Sb: QbSc(i) = -Qb(i) / Sb
  Next i
  Dim SiVb(50, 100), AngVb(50, 100) As Variant
    SiVb(1, 0) = [h5]: AngVb(1, 0) = 0 * (Pi / 180)
  For i = 1 To 100
    SiVb(1, i) = SiVb(1, 0): AngVb(1, i) = AngVb(1, 0)
  Next i
  For i = 2 To Mb
    SiVb(i, 0) = 1: AngVb(i, 0) = 0
  Next i
  Dim ReVb(50, 100), ImVb(50, 100), SiPb(50, 100), SiQb(50, 100) As Variant
  Dim DePb(50, 100), DeQb(50, 100), DeDb(50, 100), DeVb(50, 100) As Variant
```

```
Dim Db(50, 100), Vb(50, 1000) As Variant
Dim SiDePb(50, 100), SiDeQb(50, 100), SiSiPb(50, 100), SiSiQb(50, 100) As Variant
Dim JPbD(50, 50, 100), JPbV(50, 50, 100) As Variant
Dim JQbD(50, 50, 100), JQbV(50, 50, 100) As Variant
n = 0
Do
For i = 2 To Mb
  SiPb(i, n) = ((SiVb(i, n) * SiVb(i - 1, n) * SiYb(i, i - 1)) * Cos(AngYb(i, i - 1) + AngVb(i - 1, n) - AngVb(i, n))) + ((SiVb(i, n) * SiVb(i, n) * SiYb(i, i)) * Cos(AngYb(i, i) + AngVb(i, n) - AngVb(i, n))) + ((SiVb(i, n) * SiVb(i + 1, n) * SiYb(i, i + 1)) * Cos(AngYb(i, i + 1) + AngVb(i + 1, n) - AngVb(i, n)))
  SiQb(i, n) = -((SiVb(i, n) * SiVb(i - 1, n) * SiYb(i, i - 1)) * Sin(AngYb(i, i - 1) + AngVb(i - 1, n) - AngVb(i, n))) - ((SiVb(i, n) * SiVb(i, n) * SiYb(i, i)) * Sin(AngYb(i, i) + AngVb(i, n) - AngVb(i, n))) - ((SiVb(i, n) * SiVb(i + 1, n) * SiYb(i, i + 1)) * Sin(AngYb(i, i + 1) + AngVb(i + 1, n) - AngVb(i, n)))
  DePb(i, n) = PbSc(i) - SiPb(i, n): DeQb(i, n) = QbSc(i) - SiQb(i, n)
Next i
If Mb = 3 Then
[b51].Select
ElseIf Mb = 4 Then [b56].Select: ElseIf Mb = 5 Then [b63].Select: ElseIf Mb = 6 Then [b72].Select
ElseIf Mb = 7 Then [b83].Select: ElseIf Mb = 8 Then [b96].Select: ElseIf Mb = 9 Then [b111].Select
ElseIf Mb = 10 Then [b128].Select: ElseIf Mb = 11 Then [b147].Select: ElseIf Mb = 12 Then [b168].Select
ElseIf Mb = 13 Then [b191].Select: ElseIf Mb = 14 Then [b216].Select: ElseIf Mb = 15 Then [b243].Select
ElseIf Mb = 16 Then [b272].Select: ElseIf Mb = 17 Then [b303].Select: ElseIf Mb = 18 Then [b336].Select
ElseIf Mb = 19 Then [b371].Select: ElseIf Mb = 20 Then [b408].Select: End If
For i = 2 To Mb
  ActiveCell.Offset(i, 0).Value = DePb(i, n)
Next i
If Mb = 3 Then
[b53].Select
ElseIf Mb = 4 Then [b59].Select: ElseIf Mb = 5 Then [b67].Select: ElseIf Mb = 6 Then [b77].Select
ElseIf Mb = 7 Then [b89].Select: ElseIf Mb = 8 Then [b103].Select: ElseIf Mb = 9 Then [b119].Select
ElseIf Mb = 10 Then [b137].Select: ElseIf Mb = 11 Then [b157].Select: ElseIf Mb = 12 Then [b179].Select
ElseIf Mb = 13 Then [b203].Select: ElseIf Mb = 14 Then [b229].Select: ElseIf Mb = 15 Then [b257].Select
ElseIf Mb = 16 Then [b287].Select: ElseIf Mb = 17 Then [b319].Select: ElseIf Mb = 18 Then [b353].Select
ElseIf Mb = 19 Then [b389].Select: ElseIf Mb = 20 Then [b427].Select: End If
For i = 2 To Mb
  ActiveCell.Offset(i, 0).Value = DeQb(i, n)
```

```
Next i
For i = 2 To Mb
For k = 2 To Mb
  If i = k Then
  JPbD(i, k, n) = ((SiVb(i, n) * SiVb(i - 1, n) * SiYb(i, i - 1)) * Sin(AngYb(i, i - 1) + AngVb(i - 1, n) -
AngVb(i, n))) + ((SiVb(i, n) * SiVb(i + 1, n) * SiYb(i, i + 1)) * Sin(AngYb(i, i + 1) + AngVb(i + 1, n) -
AngVb(i, n)))
  ElseIf i <> k Then
  JPbD(i, k, n) = -((SiVb(i, n) * SiVb(k, n) * SiYb(i, k)) * Sin(AngYb(i, k) + AngVb(k, n) - AngVb(i, n)))
  End If
Next k
Next i
If Mb = 3 Then
[b51].Select
ElseIf Mb = 4 Then [b56].Select: ElseIf Mb = 5 Then [b63].Select: ElseIf Mb = 6 Then [b72].Select
ElseIf Mb = 7 Then [b83].Select: ElseIf Mb = 8 Then [b96].Select: ElseIf Mb = 9 Then [b111].Select
ElseIf Mb = 10 Then [b128].Select: ElseIf Mb = 11 Then [b147].Select: ElseIf Mb = 12 Then [b168].Select
ElseIf Mb = 13 Then [b191].Select: ElseIf Mb = 14 Then [b216].Select: ElseIf Mb = 15 Then [b243].Select
ElseIf Mb = 16 Then [b272].Select: ElseIf Mb = 17 Then [b303].Select: ElseIf Mb = 18 Then [b336].Select
ElseIf Mb = 19 Then [b371].Select: ElseIf Mb = 20 Then [b408].Select: End If
For i = 2 To Mb
For k = 2 To Mb
  ActiveCell.Offset(i, k).Value = JPbD(i, k, n)
Next k
Next i
For i = 2 To Mb
For k = 2 To Mb
  If i = k Then
  JPbV(i, k, n) = ((SiVb(i - 1, n) * SiYb(i, i - 1)) * Cos(AngYb(i, i - 1) + AngVb(i - 1, n) - AngVb(i, n))) + ((2
* SiVb(i, n) * SiYb(i, i)) * Cos(AngYb(i, i) + AngVb(i, n) - AngVb(i, n))) + ((SiVb(i + 1, n) * SiYb(i, i + 1)) *
Cos(AngYb(i, i + 1) + AngVb(i + 1, n) - AngVb(i, n)))
  ElseIf i <> k Then
  JPbV(i, k, n) = (SiVb(i, n) * SiYb(i, k)) * Cos(AngYb(i, k) + AngVb(k, n) - AngVb(i, n))
  End If
Next k
Next i
```

```
If Mb = 3 Then
[d51].Select
ElseIf Mb = 4 Then [e56].Select: ElseIf Mb = 5 Then [f63].Select: ElseIf Mb = 6 Then [g72].Select
ElseIf Mb = 7 Then [h83].Select: ElseIf Mb = 8 Then [i96].Select: ElseIf Mb = 9 Then [j111].Select
ElseIf Mb = 10 Then [k128].Select: ElseIf Mb = 11 Then [l147].Select: ElseIf Mb = 12 Then [m168].Select
ElseIf Mb = 13 Then [n191].Select: ElseIf Mb = 14 Then [o216].Select: ElseIf Mb = 15 Then [p243].Select
ElseIf Mb = 16 Then [q272].Select: ElseIf Mb = 17 Then [r303].Select: ElseIf Mb = 18 Then [s336].Select
ElseIf Mb = 19 Then [t371].Select: ElseIf Mb = 20 Then [u408].Select: End If
For i = 2 To Mb
For k = 2 To Mb
  ActiveCell.Offset(i, k).Value = JPbV(i, k, n)
Next k
Next i
For i = 2 To Mb
For k = 2 To Mb
  If i = k Then
  JQbD(i, k, n) = ((SiVb(i, n) * SiVb(i - 1, n) * SiYb(i, i - 1)) * Cos(AngYb(i, i - 1) + AngVb(i - 1, n) -
AngVb(i, n))) + ((SiVb(i, n) * SiVb(i + 1, n) * SiYb(i, i + 1)) * Cos(AngYb(i, i + 1) + AngVb(i + 1, n) -
AngVb(i, n)))
  ElseIf i <> k Then
  JQbD(i, k, n) = -((SiVb(i, n) * SiVb(k, n) * SiYb(i, k)) * Cos(AngYb(i, k) + AngVb(k, n) - AngVb(i, n)))
End If
Next k
Next i
If Mb = 3 Then
[b53].Select
ElseIf Mb = 4 Then [b59].Select: ElseIf Mb = 5 Then [b67].Selec: ElseIf Mb = 6 Then [b77].Select
ElseIf Mb = 7 Then [b89].Select: ElseIf Mb = 8 Then [b103].Select: ElseIf Mb = 9 Then [b119].Select
ElseIf Mb = 10 Then [b137].Select: ElseIf Mb = 11 Then [b157].Select: ElseIf Mb = 12 Then [b179].Select
ElseIf Mb = 13 Then [b203].Select: ElseIf Mb = 14 Then [b229].Select: ElseIf Mb = 15 Then [b257].Select
ElseIf Mb = 16 Then [b287].Select: ElseIf Mb = 17 Then [b319].Select: ElseIf Mb = 18 Then [b353].Select
ElseIf Mb = 19 Then [b389].Select: ElseIf Mb = 20 Then [b427].Select: End If
For i = 2 To Mb
For k = 2 To Mb
  ActiveCell.Offset(i, k).Value = JQbD(i, k, n)
Next k
```

```
Next i
For i = 2 To Mb
For k = 2 To Mb
  If i = k Then
  JQbV(k, i, n) = -((SiVb(i - 1, n) * SiYb(i, i - 1)) * Sin(AngYb(i, i - 1) + AngVb(i - 1, n) - AngVb(i, n))) - ((2
* SiVb(i, n) * SiYb(i, i)) * Sin(AngYb(i, i) + AngVb(i, n) - AngVb(i, n))) - ((SiVb(i + 1, n) * SiYb(i, i + 1)) *
Sin(AngYb(i, i + 1) + AngVb(i + 1, n) - AngVb(i, n)))
  ElseIf i <> k Then
  JQbV(k, i, n) = -((SiVb(i, n) * SiYb(i, k)) * Sin(AngYb(i, k) + AngVb(k, n) - AngVb(i, n)))
  End If
Next k
Next i
If Mb = 3 Then
[d53].Select
ElseIf Mb = 4 Then [e59].Select: ElseIf Mb = 5 Then [f68].Select: ElseIf Mb = 6 Then [g77].Select
ElseIf Mb = 7 Then [h89].Select: ElseIf Mb = 8 Then [i103].Select: ElseIf Mb = 9 Then [j119].Select
ElseIf Mb = 10 Then [k137].Select: ElseIf Mb = 11 Then [l157].Select: ElseIf Mb = 12 Then [m179].Select
ElseIf Mb = 13 Then [n203].Select: ElseIf Mb = 14 Then [o229].Select: ElseIf Mb = 15 Then [p257].Select
ElseIf Mb = 16 Then [q287].Select: ElseIf Mb = 17 Then [r319].Select: ElseIf Mb = 18 Then [s353].Select
ElseIf Mb = 19 Then [t389].Select: ElseIf Mb = 20 Then [u427].Select: End If
For i = 2 To Mb
For k = 2 To Mb
  ActiveCell.Offset(i, k).Value = JQbV(i, k, n)
Next k
Next i
If Mb = 3 Then
[n53].Select
ElseIf Mb = 4 Then [r58].Select: ElseIf Mb = 5 Then [v65].Select: ElseIf Mb = 6 Then [z74].Select
ElseIf Mb = 7 Then [ad85].Select: ElseIf Mb = 8 Then [ah98].Select: ElseIf Mb = 9 Then [al118].Select
ElseIf Mb = 10 Then [ap130].Select: ElseIf Mb = 11 Then [at149].Select: ElseIf Mb = 12 Then [ax170].Select
ElseIf Mb = 13 Then [bb193].Select: ElseIf Mb = 14 Then [bf218].Select: ElseIf Mb = 15 Then [bj245].Select
ElseIf Mb = 16 Then [bn274].Select: ElseIf Mb = 17 Then [br306].Select: ElseIf Mb = 18 Then [bv338].Select
ElseIf Mb = 19 Then [bz373].Select: ElseIf Mb = 20 Then [cd410].Select: End If
For i = 2 To Mb
  Db(i, n) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
```

```
If Mb = 3 Then
[n55].Select
ElseIf Mb = 4 Then [r61].Select: ElseIf Mb = 5 Then [v69].Select: ElseIf Mb = 6 Then [z79].Select
ElseIf Mb = 7 Then [ad91].Select: ElseIf Mb = 8 Then [ah105].Select: ElseIf Mb = 9 Then [al121].Select
ElseIf Mb = 10 Then [ap139].Select: ElseIf Mb = 11 Then [at159].Select: ElseIf Mb = 12 Then [ax181].Select
ElseIf Mb = 13 Then [bb205].Select: ElseIf Mb = 14 Then [bf231].Select: ElseIf Mb = 15 Then [bj259].Select
ElseIf Mb = 16 Then [bn289].Select: ElseIf Mb = 17 Then [br321].Select: ElseIf Mb = 18 Then [bv355].Select
ElseIf Mb = 19 Then [bz391].Select: ElseIf Mb = 20 Then [cd429].Select: End If
For i = 2 To Mb
  Vb(i, n) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
For i = 2 To Mb
  SiVb(i, n + 1) = SiVb(i, n) + Vb(i, n): AngVb(i, n + 1) = AngVb(i, n) + Db(i, n)
Next i
If Mb = 3 Then
[b53].Select
ElseIf Mb = 4 Then [b58].Select: ElseIf Mb = 5 Then [b65].Select: ElseIf Mb = 6 Then [b74].Select
ElseIf Mb = 7 Then [b85].Select: ElseIf Mb = 8 Then [b98].Select: ElseIf Mb = 9 Then [b113].Select
ElseIf Mb = 10 Then [b130].Select: ElseIf Mb = 11 Then [b149].Select: ElseIf Mb = 12 Then [b150].Select
ElseIf Mb = 13 Then [b193].Select: ElseIf Mb = 14 Then [b218].Select: ElseIf Mb = 15 Then [b245].Select
ElseIf Mb = 16 Then [b274].Select: ElseIf Mb = 17 Then [b305].Select: ElseIf Mb = 18 Then [b338].Select
ElseIf Mb = 19 Then [b373].Select: ElseIf Mb = 20 Then [b410].Select: End If
For i = 2 To Mb
  SiDePb(i, n) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
If Mb = 3 Then
[b55].Select
ElseIf Mb = 4 Then [b61].Select: ElseIf Mb = 5 Then [b69].Select: ElseIf Mb = 6 Then [b79].Select
ElseIf Mb = 7 Then [b91].Select: ElseIf Mb = 8 Then [b105].Select: ElseIf Mb = 9 Then [b121].Select
ElseIf Mb = 10 Then [b139].Select: ElseIf Mb = 11 Then [b159].Select: ElseIf Mb = 12 Then [b181].Select
ElseIf Mb = 13 Then [b205].Select: ElseIf Mb = 14 Then [b231].Select: ElseIf Mb = 15 Then [b259].Select
ElseIf Mb = 16 Then [b289].Select: ElseIf Mb = 17 Then [b321].Select: ElseIf Mb = 18 Then [b355].Select
ElseIf Mb = 19 Then [b391].Select: ElseIf Mb = 20 Then [b429].Select: End If
For i = 2 To Mb
  SiDeQb(i, n) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
```

```
For i = 2 To Mb
   SiSiPb(i, n) = Abs(SiDePb(i, n)): SiSiQb(i, n) = Abs(SiDeQb(i, n))
Next i
jb = n
n = n + 1
Loop Until SiSiPb(Mb, jb) <= Er And SiSiQb(Mb, jb) <= Er
   SiPb(1, jb) = ((SiVb(1, jb) * SiVb(1, jb) * SiYb(1, 1)) * Cos(AngYb(1, 1) + AngVb(1, jb) - AngVb(1, jb))) +
((SiVb(1, jb) * SiVb(2, jb) * SiYb(1, 2)) * Cos(AngYb(1, 2) + AngVb(2, jb) - AngVb(1, jb)))
   SiQb(1, jb) = -((SiVb(1, jb) * SiVb(1, jb) * SiYb(1, 1)) * Sin(AngYb(1, 1) + AngVb(1, jb) - AngVb(1, jb))) -
((SiVb(1, jb) * SiVb(2, jb) * SiYb(1, 2)) * Sin(AngYb(1, 2) + AngVb(2, jb) - AngVb(1, jb)))
For i = 1 To Mb
   ReVb(i, jb) = SiVb(i, jb) * Cos(AngVb(i, jb)): ImVb(i, jb) = SiVb(i, jb) * Sin(AngVb(i, jb))
Next i
Dim ReSuIb(50, 50), ImSuIb(50, 50), ReIb(50, 50), ImIb(50, 50) As Variant
For i = 1 To Mb
   ReSuIb(Fb(i), Ob(i)) = ReVb(Fb(i), jb) - ReVb(Ob(i), jb)
   ImSuIb(Fb(i), Ob(i)) = ImVb(Fb(i), jb) - ImVb(Ob(i), jb)
   ReIb(Fb(i), Ob(i)) = (ReYBb(Fb(i), Ob(i)) * ReSuIb(Fb(i), Ob(i))) - (ImYBb(Fb(i), Ob(i)) * ImSuIb(Fb(i),
Ob(i)))
   ImIb(Fb(i), Ob(i)) = (ReYBb(Fb(i), Ob(i)) * ImSuIb(Fb(i), Ob(i))) + (ImYBb(Fb(i), Ob(i)) * ReSuIb(Fb(i),
Ob(i)))
   ReSuIb(Ob(i), Fb(i)) = ReVb(Ob(i), jb) - ReVb(Fb(i), jb)
   ImSuIb(Ob(i), Fb(i)) = ImVb(Ob(i), jb) - ImVb(Fb(i), jb)
   ReIb(Ob(i), Fb(i)) = (ReYBb(Ob(i), Fb(i)) * ReSuIb(Ob(i), Fb(i))) - (ImYBb(Ob(i), Fb(i)) * ImSuIb(Ob(i),
Fb(i)))
   ImIb(Ob(i), Fb(i)) = (ReYBb(Ob(i), Fb(i)) * ImSuIb(Ob(i), Fb(i))) + (ImYBb(Ob(i), Fb(i)) * ReSuIb(Ob(i),
Fb(i)))
Next i
Dim ReSb(50, 50), ImSb(50, 50) As Variant
For i = 1 To Mb
   ReSb(Fb(i), Ob(i)) = ((ReVb(Fb(i), jb) * ReIb(Fb(i), Ob(i))) - (ImVb(Fb(i), jb) * -ImIb(Fb(i), Ob(i)))) * Sb
   ImSb(Fb(i), Ob(i)) = ((ReVb(Fb(i), jb) * -ImIb(Fb(i), Ob(i))) + (ImVb(Fb(i), jb) * ReIb(Fb(i), Ob(i)))) * Sb
   ReSb(Ob(i), Fb(i)) = ((ReVb(Ob(i), jb) * ReIb(Ob(i), Fb(i))) - (ImVb(Ob(i), jb) * -ImIb(Ob(i), Fb(i)))) * Sb
   ImSb(Ob(i), Fb(i)) = ((ReVb(Ob(i), jb) * -ImIb(Ob(i), Fb(i))) + (ImVb(Ob(i), jb) * ReIb(Ob(i), Fb(i)))) * Sb
Next i
Dim ReSLb(50, 50), ImSLb(50, 50) As Variant
```

```
For i = 1 To Mb
  ReSLb(Fb(i), Ob(i)) = ReSb(Fb(i), Ob(i)) + ReSb(Ob(i), Fb(i))
  ImSLb(Fb(i), Ob(i)) = ImSb(Fb(i), Ob(i)) + ImSb(Ob(i), Fb(i))
Next i
For i = 2 To Mb
  Sheets("Output").Cells(8, 5).Value = SiVb(1, 0)
  Sheets("Output").Cells(8, 6).Value = AngVb(1, 0) * (180 / Pi) + [h6]
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 5).Value = SiVb(Nb(i), jb)
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 6).Value = AngVb(Nb(i), jb) * (180 / Pi) + [h6]
Next i
For i = 2 To Mb
  Sheets("Output").Cells(8, 11).Value = 0: Sheets("Output").Cells(8, 12).Value = 0
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 11).Value = Pb(Nb(i)): Sheets("Output").Cells(7 + i, 12).Value = Qb(Nb(i))
Next i
For i = 2 To Mb
  Sheets("Output").Cells(8, 17).Value = SiPb(1, jb) * Sb
  Sheets("Output").Cells(8, 18).Value = SiQb(1, jb) * Sb
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 17).Value = 0: Sheets("Output").Cells(7 + i, 18).Value = 0
Next i
For i = 1 To Mb
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 26).Value = ReSb(Fb(i), Ob(i))
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 27).Value = ImSb(Fb(i), Ob(i))
  Sheets("Output").Cells(7 + Mb + i, 26).Value = ReSb(Ob(i), Fb(i))
  Sheets("Output").Cells(7 + Mb + i, 27).Value = ImSb(Ob(i), Fb(i))
Next i
For i = 1 To Mb
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 32).Value = ReSLb(Fb(i), Ob(i))
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 33).Value = ImSLb(Fb(i), Ob(i))
Next i
End Sub
'***** PHASE C *****     'ส่วนฟังก์ชันย่อยของเฟส C (มีลักษณะการทำงานคล้ายกับเฟส A)
Sub Newton_C(jc)
Dim i, n, k, Sb3, Sb, VL, VP, Pi, Mb, Er As Variant
  Sb3 = [d3]: Sb = Sb3 / 3: VL = [d4]: VP = VL / 1.732050808
  Mb = [d5]: Pi = 3.141592654: Zbase = (VL * VL) / (Sb * 1000): Er = [d6]
Dim Fb(50), Ob(50), Nb(50), Tc(50), Lc(50) As Variant
```

```
[b15].Select
For i = 1 To Mb
  Fb(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
[c15].Select
For i = 1 To Mb
  Ob(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
[k15].Select
For i = 2 To Mb
  Nb(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
[h15].Select
For i = 1 To Mb
  Tc(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
[i15].Select
For i = 1 To Mb
  Lc(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
Dim Rct(5), Xct(5), ReTc(50), ImTc(50) As Variant
  Rct(1) = [o5]: Xct(1) = [q5]: Rct(2) = [o6]: Xct(2) = [q6]: Rct(3) = [o7]: Xct(3) = [q7]
  Rct(4) = [o8]: Xct(4) = [q8]: Rct(5) = [o9]: Xct(5) = [q9]
For i = 1 To Mb
  If Tc(i) = 1 Then
  ReTc(i) = Rct(1): ImTc(i) = Xct(1)
  ElseIf Tc(i) = 2 Then ReTc(i) = Rct(2): ImTc(i) = Xct(2)
  ElseIf Tc(i) = 3 Then ReTc(i) = Rct(3): ImTc(i) = Xct(3)
  ElseIf Tc(i) = 4 Then ReTc(i) = Rct(4): ImTc(i) = Xct(4)
  ElseIf Tc(i) = 5 Then ReTc(i) = Rct(5): ImTc(i) = Xct(5)
  End If
Next i
Dim Zc(50, 50), ReZc(50, 50), ImZc(50, 50), ReYBc(50, 50), ImYBc(50, 50) As Variant
[h15].Select
For i = 1 To Mb
  Zc(Fb(i), Ob(i)) = Tc(i): ActiveCell.Offset(1, 0).Select
```

```
Next i
For i = 1 To Mb
  ReZc(Fb(i), Ob(i)) = ReTc(i) * Lc(i): ImZc(Fb(i), Ob(i)) = ImTc(i) * Lc(i)
Next i
For i = 1 To Mb - 1
  ReYBc(Fb(i), Ob(i)) = ReZc(Fb(i), Ob(i)) / ((ReZc(Fb(i), Ob(i)) ^ 2) - (ImZc(Fb(i), Ob(i)) * -ImZc(Fb(i),
Ob(i))))
  ImYBc(Fb(i), Ob(i)) = -ImZc(Fb(i), Ob(i)) / ((ReZc(Fb(i), Ob(i)) ^ 2) - (ImZc(Fb(i), Ob(i)) * -ImZc(Fb(i),
Ob(i))))
  ReYBc(Ob(i), Fb(i)) = ReYBc(Fb(i), Ob(i)): ImYBc(Ob(i), Fb(i)) = ImYBc(Fb(i), Ob(i))
Next i
Dim ReYc(50, 50), ImYc(50, 50), SiYc(50, 50), AngYc(50, 50) As Variant
For i = 1 To 1
  ReYc(i, i) = ReYBc(i, i + 1): ImYc(i, i) = ImYBc(i, i + 1)
Next i
For i = 2 To Mb
  ReYc(i, i) = ReYBc(i, i - 1) + ReYBc(i, i + 1): ImYc(i, i) = ImYBc(i, i - 1) + ImYBc(i, i + 1)
Next i
For i = 1 To Mb - 1
  ReYc(Fb(i), Ob(i)) = -ReYBc(Fb(i), Ob(i)): ImYc(Fb(i), Ob(i)) = -ImYBc(Fb(i), Ob(i))
  ReYc(Ob(i), Fb(i)) = -ReYBc(Fb(i), Ob(i)): ImYc(Ob(i), Fb(i)) = -ImYBc(Fb(i), Ob(i))
Next i
For i = 1 To Mb
  SiYc(i, i) = Sqr((ReYc(i, i) ^ 2) + (ImYc(i, i) ^ 2))
  If ReYc(i, i) > 0 And ImYc(i, i) > 0 Then
  AngYc(i, i) = Atn(ImYc(i, i) / ReYc(i, i))
  ElseIf ReYc(i, i) > 0 And ImYc(i, i) < 0 Then AngYc(i, i) = Atn(ImYc(i, i) / ReYc(i, i))
  ElseIf ReYc(i, i) < 0 And ImYc(i, i) > 0 Then AngYc(i, i) = Atn(ImYc(i, i) / ReYc(i, i)) + Pi
  ElseIf ReYc(i, i) < 0 And ImYc(i, i) < 0 Then AngYc(i, i) = Atn(ImYc(i, i) / ReYc(i, i)) - Pi
  End If
Next i
For i = 1 To Mb - 1
  SiYc(Ob(i), Fb(i)) = Sqr((ReYc(Ob(i), Fb(i)) ^ 2) + (ImYc(Ob(i), Fb(i)) ^ 2))
  If ReYc(Ob(i), Fb(i)) > 0 And ImYc(Ob(i), Fb(i)) > 0 Then
  AngYc(Ob(i), Fb(i)) = Atn(ImYc(Ob(i), Fb(i)) / ReYc(Ob(i), Fb(i)))
  ElseIf ReYc(Ob(i), Fb(i)) > 0 And ImYc(Ob(i), Fb(i)) < 0 Then
```

```
    AngYc(Ob(i), Fb(i)) = Atn(ImYc(Ob(i), Fb(i)) / ReYc(Ob(i), Fb(i)))
    ElseIf ReYc(Ob(i), Fb(i)) < 0 And ImYc(Ob(i), Fb(i)) > 0 Then
    AngYc(Ob(i), Fb(i)) = Atn(ImYc(Ob(i), Fb(i)) / ReYc(Ob(i), Fb(i))) + Pi
    ElseIf ReYc(Ob(i), Fb(i)) < 0 And ImYc(Ob(i), Fb(i)) < 0 Then
    AngYc(Ob(i), Fb(i)) = Atn(ImYc(Ob(i), Fb(i)) / ReYc(Ob(i), Fb(i))) - Pi
    End If
  Next i
  For i = 1 To Mb - 1
    SiYc(Fb(i), Ob(i)) = Sqr((ReYc(Fb(i), Ob(i)) ^ 2) + (ImYc(Fb(i), Ob(i)) ^ 2))
    If ReYc(Fb(i), Ob(i)) > 0 And ImYc(Fb(i), Ob(i)) > 0 Then
    AngYc(Fb(i), Ob(i)) = Atn(ImYc(Fb(i), Ob(i)) / ReYc(Fb(i), Ob(i)))
    ElseIf ReYc(Fb(i), Ob(i)) > 0 And ImYc(Fb(i), Ob(i)) < 0 Then
    AngYc(Fb(i), Ob(i)) = Atn(ImYc(Fb(i), Ob(i)) / ReYc(Fb(i), Ob(i)))
    ElseIf ReYc(Fb(i), Ob(i)) < 0 And ImYc(Fb(i), Ob(i)) > 0 Then
    AngYc(Fb(i), Ob(i)) = Atn(ImYc(Fb(i), Ob(i)) / ReYc(Fb(i), Ob(i))) + Pi
    ElseIf ReYc(Fb(i), Ob(i)) < 0 And ImYc(Fb(i), Ob(i)) < 0 Then
    AngYc(Fb(i), Ob(i)) = Atn(ImYc(Fb(i), Ob(i)) / ReYc(Fb(i), Ob(i))) - Pi
    End If
  Next i
  Dim Pc(50), Qc(50), PcSc(50), QcSc(50) As Variant
  [ad15].Select
  For i = 2 To Mb
    Pc(Nb(i)) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
  Next i
  [ae15].Select
  For i = 2 To Mb
    Qc(Nb(i)) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
  Next i
  For i = 2 To Mb
    PcSc(i) = -Pc(i) / Sb: QcSc(i) = -Qc(i) / Sb
  Next i
  Dim SiVc(50, 100), AngVc(50, 100) As Variant
    SiVc(1, 0) = [i5]: AngVc(1, 0) = 0 * (Pi / 180)
  For i = 1 To 100
    SiVc(1, i) = SiVc(1, 0): AngVc(1, i) = AngVc(1, 0)
  Next i
```

```
For i = 2 To Mb
   SiVc(i, 0) = 1: AngVc(i, 0) = 0
Next i
Dim ReVc(50, 100), ImVc(50, 100) As Variant: Dim SiPc(50, 100), SiQc(50, 100) As Variant
Dim DePc(50, 100), DeQc(50, 100) As Variant: Dim DeDc(50, 100), DeVc(50, 100) As Variant
Dim Dc(50, 100), Vc(50, 1000) As Variant
Dim SiDePc(50, 100), SiDeQc(50, 100) As Variant: Dim SiSiPc(50, 100), SiSiQc(50, 100) As Variant
Dim JPcD(50, 50, 100), JPcV(50, 50, 100) As Variant
Dim JQcD(50, 50, 100), JQcV(50, 50, 100) As Variant
n = 0
Do
For i = 2 To Mb
   SiPc(i, n) = ((SiVc(i, n) * SiVc(i - 1, n) * SiYc(i, i - 1)) * Cos(AngYc(i, i - 1) + AngVc(i - 1, n) - AngVc(i,
n))) + ((SiVc(i, n) * SiVc(i, n) * SiYc(i, i)) * Cos(AngYc(i, i) + AngVc(i, n) - AngVc(i, n))) + ((SiVc(i, n) *
SiVc(i + 1, n) * SiYc(i, i + 1)) * Cos(AngYc(i, i + 1) + AngVc(i + 1, n) - AngVc(i, n)))
   SiQc(i, n) = -((SiVc(i, n) * SiVc(i - 1, n) * SiYc(i, i - 1)) * Sin(AngYc(i, i - 1) + AngVc(i - 1, n) - AngVc(i,
n))) - ((SiVc(i, n) * SiVc(i, n) * SiYc(i, i)) * Sin(AngYc(i, i) + AngVc(i, n) - AngVc(i, n))) - ((SiVc(i, n) *
SiVc(i + 1, n) * SiYc(i, i + 1)) * Sin(AngYc(i, i + 1) + AngVc(i + 1, n) - AngVc(i, n)))
   DePc(i, n) = PcSc(i) - SiPc(i, n): DeQc(i, n) = QcSc(i) - SiQc(i, n)
Next i
If Mb = 3 Then
[b51].Select
ElseIf Mb = 4 Then [b56].Select: ElseIf Mb = 5 Then [b63].Select: ElseIf Mb = 6 Then [b72].Select
ElseIf Mb = 7 Then [b83].Select: ElseIf Mb = 8 Then [b96].Select: ElseIf Mb = 9 Then [b111].Select
ElseIf Mb = 10 Then [b128].Select: ElseIf Mb = 11 Then [b147].Select: ElseIf Mb = 12 Then [b168].Select
ElseIf Mb = 13 Then [b191].Select: ElseIf Mb = 14 Then [b216].Select: ElseIf Mb = 15 Then [b243].Select
ElseIf Mb = 16 Then [b272].Select: ElseIf Mb = 17 Then [b303].Select: ElseIf Mb = 18 Then [b336].Select
ElseIf Mb = 19 Then [b371].Select: ElseIf Mb = 20 Then [b408].Select: End If
For i = 2 To Mb
   ActiveCell.Offset(i, 0).Value = DePc(i, n)
Next i
If Mb = 3 Then
[b53].Select
ElseIf Mb = 4 Then [b59].Select: ElseIf Mb = 5 Then [b67].Select: ElseIf Mb = 6 Then [b77].Select
ElseIf Mb = 7 Then [b89].Select: ElseIf Mb = 8 Then [b103].Select: ElseIf Mb = 9 Then [b119].Select
ElseIf Mb = 10 Then [b137].Select: ElseIf Mb = 11 Then [b157].Select: ElseIf Mb = 12 Then [b179].Select
```

```
ElseIf Mb = 13 Then [b203].Select: ElseIf Mb = 14 Then [b229].Select: ElseIf Mb = 15 Then [b257].Select
ElseIf Mb = 16 Then [b287].Select: ElseIf Mb = 17 Then [b319].Select: ElseIf Mb = 18 Then [b353].Select
ElseIf Mb = 19 Then [b389].Select: ElseIf Mb = 20 Then [b427].Select: End If
For i = 2 To Mb
  ActiveCell.Offset(i, 0).Value = DeQc(i, n)
Next i
For i = 2 To Mb
For k = 2 To Mb
  If i = k Then
  JPcD(i, k, n) = ((SiVc(i, n) * SiVc(i - 1, n) * SiYc(i, i - 1)) * Sin(AngYc(i, i - 1) + AngVc(i - 1, n) - AngVc(i,
n))) + ((SiVc(i, n) * SiVc(i + 1, n) * SiYc(i, i + 1)) * Sin(AngYc(i, i + 1) + AngVc(i + 1, n) - AngVc(i, n)))
  ElseIf i <> k Then
  JPcD(i, k, n) = -((SiVc(i, n) * SiVc(k, n) * SiYc(i, k)) * Sin(AngYc(i, k) + AngVc(k, n) - AngVc(i, n)))
  End If
Next k
Next i
If Mb = 3 Then
[b51].Select
ElseIf Mb = 4 Then [b56].Select: ElseIf Mb = 5 Then [b63].Select: ElseIf Mb = 6 Then [b72].Select
ElseIf Mb = 7 Then [b83].Select: ElseIf Mb = 8 Then [b96].Select: ElseIf Mb = 9 Then [b111].Select
ElseIf Mb = 10 Then [b128].Select: ElseIf Mb = 11 Then [b147].Select: ElseIf Mb = 12 Then [b168].Select
ElseIf Mb = 13 Then [b191].Select: ElseIf Mb = 14 Then [b216].Select: ElseIf Mb = 15 Then [b243].Select
ElseIf Mb = 16 Then [b272].Select: ElseIf Mb = 17 Then [b303].Select: ElseIf Mb = 18 Then [b336].Select
ElseIf Mb = 19 Then [b371].Select: ElseIf Mb = 20 Then [b408].Select: End If
For i = 2 To Mb
For k = 2 To Mb
  ActiveCell.Offset(i, k).Value = JPcD(i, k, n)
Next k
Next i
For i = 2 To Mb
For k = 2 To Mb
  If i = k Then
  JPcV(i, k, n) = ((SiVc(i - 1, n) * SiYc(i, i - 1)) * Cos(AngYc(i, i - 1) + AngVc(i - 1, n) - AngVc(i, n))) + ((2 *
SiVc(i, n) * SiYc(i, i)) * Cos(AngYc(i, i) + AngVc(i, n) - AngVc(i, n))) + ((SiVc(i + 1, n) * SiYc(i, i + 1)) *
Cos(AngYc(i, i + 1) + AngVc(i + 1, n) - AngVc(i, n)))
  ElseIf i <> k Then
```

```
    JPcV(i, k, n) = (SiVc(i, n) * SiYc(i, k)) * Cos(AngYc(i, k) + AngVc(k, n) - AngVc(i, n))
    End If
  Next k
  Next i
  If Mb = 3 Then
  [d51].Select
  ElseIf Mb = 4 Then [e56].Select: ElseIf Mb = 5 Then [f63].Select: ElseIf Mb = 6 Then [g72].Select
  ElseIf Mb = 7 Then [h83].Select: ElseIf Mb = 8 Then [i96].Select: ElseIf Mb = 9 Then [j111].Select
  ElseIf Mb = 10 Then [k128].Select: ElseIf Mb = 11 Then [l147].Select: ElseIf Mb = 12 Then [m168].Select
  ElseIf Mb = 13 Then [n191].Select: ElseIf Mb = 14 Then [o216].Select: ElseIf Mb = 15 Then [p243].Select
  ElseIf Mb = 16 Then [q272].Select: ElseIf Mb = 17 Then [r303].Select: ElseIf Mb = 18 Then [s336].Select
  ElseIf Mb = 19 Then [t371].Select: ElseIf Mb = 20 Then [u408].Select: End If
  For i = 2 To Mb
  For k = 2 To Mb
    ActiveCell.Offset(i, k).Value = JPcV(i, k, n)
  Next k
  Next i
  For i = 2 To Mb
  For k = 2 To Mb
    If i = k Then
    JQcD(i, k, n) = ((SiVc(i, n) * SiVc(i - 1, n) * SiYc(i, i - 1)) * Cos(AngYc(i, i - 1) + AngVc(i - 1, n) -
AngVc(i, n))) + ((SiVc(i, n) * SiVc(i + 1, n) * SiYc(i, i + 1)) * Cos(AngYc(i, i + 1) + AngVc(i + 1, n) -
AngVc(i, n)))
    ElseIf i <> k Then
    JQcD(i, k, n) = -((SiVc(i, n) * SiVc(k, n) * SiYc(i, k)) * Cos(AngYc(i, k) + AngVc(k, n) - AngVc(i, n)))
    End If
  Next k
  Next i
  If Mb = 3 Then
  [b53].Select
  ElseIf Mb = 4 Then [b59].Select: ElseIf Mb = 5 Then [b67].Select: ElseIf Mb = 6 Then [b77].Select
  ElseIf Mb = 7 Then [b89].Select: ElseIf Mb = 8 Then [b103].Select: ElseIf Mb = 9 Then [b119].Select
  ElseIf Mb = 10 Then [b137].Select: ElseIf Mb = 11 Then [b157].Select: ElseIf Mb = 12 Then [b179].Select
  ElseIf Mb = 13 Then [b203].Select: ElseIf Mb = 14 Then [b229].Select: ElseIf Mb = 15 Then [b257].Select
  ElseIf Mb = 16 Then [b287].Select: ElseIf Mb = 17 Then [b319].Select: ElseIf Mb = 18 Then [b353].Select
  ElseIf Mb = 19 Then [b389].Select: ElseIf Mb = 20 Then [b427].Select: End If
```

```
For i = 2 To Mb
For k = 2 To Mb
  ActiveCell.Offset(i, k).Value = JQcD(i, k, n)
Next k
Next i
For i = 2 To Mb
For k = 2 To Mb
  If i = k Then
  JQcV(k, i, n) = -((SiVc(i - 1, n) * SiYc(i, i - 1)) * Sin(AngYc(i, i - 1) + AngVc(i - 1, n) - AngVc(i, n))) - ((2 *
SiVc(i, n) * SiYc(i, i)) * Sin(AngYc(i, i) + AngVc(i, n) - AngVc(i, n))) - ((SiVc(i + 1, n) * SiYc(i, i + 1)) *
Sin(AngYc(i, i + 1) + AngVc(i + 1, n) - AngVc(i, n)))
  ElseIf i <> k Then
  JQcV(k, i, n) = -((SiVc(i, n) * SiYc(i, k)) * Sin(AngYc(i, k) + AngVc(k, n) - AngVc(i, n)))
  End If
Next k
Next i
If Mb = 3 Then
[d53].Select
ElseIf Mb = 4 Then [e59].Select: ElseIf Mb = 5 Then [f68].Select: ElseIf Mb = 6 Then [g77].Select
ElseIf Mb = 7 Then [h89].Select: ElseIf Mb = 8 Then [i103].Select: ElseIf Mb = 9 Then [j119].Select
ElseIf Mb = 10 Then [k137].Select: ElseIf Mb = 11 Then [l157].Select: ElseIf Mb = 12 Then [m179].Select
ElseIf Mb = 13 Then [n203].Select: ElseIf Mb = 14 Then [o229].Select: ElseIf Mb = 15 Then [p257].Select
ElseIf Mb = 16 Then [q287].Select: ElseIf Mb = 17 Then [r319].Select: ElseIf Mb = 18 Then [s353].Select
ElseIf Mb = 19 Then [t389].Select: ElseIf Mb = 20 Then [u427].Select: End If
For i = 2 To Mb
For k = 2 To Mb
  ActiveCell.Offset(i, k).Value = JQcV(i, k, n)
Next k
Next i
If Mb = 3 Then
[n53].Select
ElseIf Mb = 4 Then [r58].Select: ElseIf Mb = 5 Then [v65].Select: ElseIf Mb = 6 Then [z74].Select
ElseIf Mb = 7 Then [ad85].Select: ElseIf Mb = 8 Then [ah98].Select: ElseIf Mb = 9 Then [al118].Select
ElseIf Mb = 10 Then [ap130].Select: ElseIf Mb = 11 Then [at149].Select: ElseIf Mb = 12 Then [ax170].Select
ElseIf Mb = 13 Then [bb193].Select: ElseIf Mb = 14 Then [bf218].Select: ElseIf Mb = 15 Then [bj245].Select
ElseIf Mb = 16 Then [bn274].Select: ElseIf Mb = 17 Then [br306].Select: ElseIf Mb = 18 Then [bv338].Select
```

```
ElseIf Mb = 19 Then [bz373].Select: ElseIf Mb = 20 Then [cd410].Select: End If
For i = 2 To Mb
  Dc(i, n) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
If Mb = 3 Then
[n55].Select
ElseIf Mb = 4 Then [r61].Select: ElseIf Mb = 5 Then [v69].Select: ElseIf Mb = 6 Then [z79].Select
ElseIf Mb = 7 Then [ad91].Select: ElseIf Mb = 8 Then [ah105].Select: ElseIf Mb = 9 Then [al121].Select
ElseIf Mb = 10 Then [ap139].Select: ElseIf Mb = 11 Then [at159].Select: ElseIf Mb = 12 Then [ax181].Select
ElseIf Mb = 13 Then [bb205].Select: ElseIf Mb = 14 Then [bf231].Select: ElseIf Mb = 15 Then [bj259].Select
ElseIf Mb = 16 Then [bn289].Select: ElseIf Mb = 17 Then [br321].Select: ElseIf Mb = 18 Then [bv355].Select
ElseIf Mb = 19 Then [bz391].Select: ElseIf Mb = 20 Then [cd429].Select: End If
For i = 2 To Mb
  Vc(i, n) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
For i = 2 To Mb
  SiVc(i, n + 1) = SiVc(i, n) + Vc(i, n): AngVc(i, n + 1) = AngVc(i, n) + Dc(i, n)
Next i
If Mb = 3 Then
[b53].Select
ElseIf Mb = 4 Then [b58].Select: ElseIf Mb = 5 Then [b65].Select: ElseIf Mb = 6 Then [b74].Select
ElseIf Mb = 7 Then [b85].Select: ElseIf Mb = 8 Then [b98].Select: ElseIf Mb = 9 Then [b113].Select
ElseIf Mb = 10 Then [b130].Select: ElseIf Mb = 11 Then [b149].Select: ElseIf Mb = 12 Then [b150].Select
ElseIf Mb = 13 Then [b193].Select: ElseIf Mb = 14 Then [b218].Select: ElseIf Mb = 15 Then [b245].Select
ElseIf Mb = 16 Then [b274].Select: ElseIf Mb = 17 Then [b305].Select: ElseIf Mb = 18 Then [b338].Select
ElseIf Mb = 19 Then [b373].Select: ElseIf Mb = 20 Then [b410].Select: End If
For i = 2 To Mb
  SiDePc(i, n) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
If Mb = 3 Then
[b55].Select
ElseIf Mb = 4 Then [b61].Select: ElseIf Mb = 5 Then [b69].Select: ElseIf Mb = 6 Then [b79].Select
ElseIf Mb = 7 Then [b91].Select: ElseIf Mb = 8 Then [b105].Select: ElseIf Mb = 9 Then [b121].Select
ElseIf Mb = 10 Then [b139].Select: ElseIf Mb = 11 Then [b159].Select: ElseIf Mb = 12 Then [b181].Select
ElseIf Mb = 13 Then [b205].Select: ElseIf Mb = 14 Then [b231].Select: ElseIf Mb = 15 Then [b259].Select
ElseIf Mb = 16 Then [b289].Select: ElseIf Mb = 17 Then [b321].Select: ElseIf Mb = 18 Then [b355].Select
```

```
ElseIf Mb = 19 Then [b391].Select: ElseIf Mb = 20 Then [b429].Select: End If
For i = 2 To Mb
  SiDeQc(i, n) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
For i = 2 To Mb
  SiSiPc(i, n) = Abs(SiDePc(i, n)): SiSiQc(i, n) = Abs(SiDeQc(i, n))
Next i
jc = n
n = n + 1
Loop Until SiSiPc(Mb, jc) <= Er And SiSiQc(Mb, jc) <= Er
  SiPc(1, jc) = ((SiVc(1, jc) * SiVc(1, jc) * SiYc(1, 1)) * Cos(AngYc(1, 1) + AngVc(1, jc) - AngVc(1, jc))) +
((SiVc(1, jc) * SiVc(2, jc) * SiYc(1, 2)) * Cos(AngYc(1, 2) + AngVc(2, jc) - AngVc(1, jc)))
  SiQc(1, jc) = -((SiVc(1, jc) * SiVc(1, jc) * SiYc(1, 1)) * Sin(AngYc(1, 1) + AngVc(1, jc) - AngVc(1, jc))) -
((SiVc(1, jc) * SiVc(2, jc) * SiYc(1, 2)) * Sin(AngYc(1, 2) + AngVc(2, jc) - AngVc(1, jc)))
For i = 1 To Mb
  ReVc(i, jc) = SiVc(i, jc) * Cos(AngVc(i, jc)): ImVc(i, jc) = SiVc(i, jc) * Sin(AngVc(i, jc))
Next i
Dim ReSuIc(50, 50), ImSuIc(50, 50) As Variant
Dim ReIc(50, 50), ImIc(50, 50) As Variant
For i = 1 To Mb
  ReSuIc(Fb(i), Ob(i)) = ReVc(Fb(i), jc) - ReVc(Ob(i), jc)
  ImSuIc(Fb(i), Ob(i)) = ImVc(Fb(i), jc) - ImVc(Ob(i), jc)
  ReIc(Fb(i), Ob(i)) = (ReYBc(Fb(i), Ob(i)) * ReSuIc(Fb(i), Ob(i))) - (ImYBc(Fb(i), Ob(i)) * ImSuIc(Fb(i),
Ob(i)))
  ImIc(Fb(i), Ob(i)) = (ReYBc(Fb(i), Ob(i)) * ImSuIc(Fb(i), Ob(i))) + (ImYBc(Fb(i), Ob(i)) * ReSuIc(Fb(i),
Ob(i)))
  ReSuIc(Ob(i), Fb(i)) = ReVc(Ob(i), jc) - ReVc(Fb(i), jc)
  ImSuIc(Ob(i), Fb(i)) = ImVc(Ob(i), jc) - ImVc(Fb(i), jc)
  ReIc(Ob(i), Fb(i)) = (ReYBc(Ob(i), Fb(i)) * ReSuIc(Ob(i), Fb(i))) - (ImYBc(Ob(i), Fb(i)) * ImSuIc(Ob(i),
Fb(i)))
  ImIc(Ob(i), Fb(i)) = (ReYBc(Ob(i), Fb(i)) * ImSuIc(Ob(i), Fb(i))) + (ImYBc(Ob(i), Fb(i)) * ReSuIc(Ob(i),
Fb(i)))
Next i
Dim ReSc(50, 50), ImSc(50, 50) As Variant
For i = 1 To Mb
  ReSc(Fb(i), Ob(i)) = ((ReVc(Fb(i), jc) * ReIc(Fb(i), Ob(i))) - (ImVc(Fb(i), jc) * -ImIc(Fb(i), Ob(i)))) * Sb
```

```
    ImSc(Fb(i), Ob(i)) = ((ReVc(Fb(i), jc) * -ImIc(Fb(i), Ob(i))) + (ImVc(Fb(i), jc) * ReIc(Fb(i), Ob(i)))) * Sb
    ReSc(Ob(i), Fb(i)) = ((ReVc(Ob(i), jc) * ReIc(Ob(i), Fb(i))) - (ImVc(Ob(i), jc) * -ImIc(Ob(i), Fb(i)))) * Sb
    ImSc(Ob(i), Fb(i)) = ((ReVc(Ob(i), jc) * -ImIc(Ob(i), Fb(i))) + (ImVc(Ob(i), jc) * ReIc(Ob(i), Fb(i)))) * Sb
  Next i
  Dim ReSLc(50, 50), ImSLc(50, 50) As Variant
  For i = 1 To Mb
    ReSLc(Fb(i), Ob(i)) = ReSc(Fb(i), Ob(i)) + ReSc(Ob(i), Fb(i))
    ImSLc(Fb(i), Ob(i)) = ImSc(Fb(i), Ob(i)) + ImSc(Ob(i), Fb(i))
  Next i
  For i = 2 To Mb
    Sheets("Output").Cells(8, 7).Value = SiVc(1, 0)
    Sheets("Output").Cells(8, 8).Value = AngVc(1, 0) * (180 / Pi) + [i6]
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 7).Value = SiVc(Nb(i), jc)
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 8).Value = AngVc(Nb(i), jc) * (180 / Pi) + [i6]
  Next i
  For i = 2 To Mb
    Sheets("Output").Cells(8, 13).Value = 0: Sheets("Output").Cells(8, 14).Value = 0
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 13).Value = Pc(Nb(i)): Sheets("Output").Cells(7 + i, 14).Value = Qc(Nb(i))
  Next i
  For i = 2 To Mb
    Sheets("Output").Cells(8, 19).Value = SiPc(1, jc) * Sb
    Sheets("Output").Cells(8, 20).Value = SiQc(1, jc) * Sb
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 19).Value = 0: Sheets("Output").Cells(7 + i, 20).Value = 0
  Next i
  For i = 1 To Mb
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 28).Value = ReSc(Fb(i), Ob(i))
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 29).Value = ImSc(Fb(i), Ob(i))
    Sheets("Output").Cells(7 + Mb + i, 28).Value = ReSc(Ob(i), Fb(i))
    Sheets("Output").Cells(7 + Mb + i, 29).Value = ImSc(Ob(i), Fb(i))
  Next i
  For i = 1 To Mb
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 34).Value = ReSLc(Fb(i), Ob(i))
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 35).Value = ImSLc(Fb(i), Ob(i))
    Next i
  End Sub
```

โค้ดโปรแกรมของส่วนอินพุตของ FORWARD BACKWARD SWEEP

```
'***** FORWARD_BACKWARD_SWEEP ******
Private Sub Forward_Backward_Sweep_Click()          'ฟังก์ชันการทำงานด้วยวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ
Dim i, j, l, n, k, Sb3, Sb, VL1, VP1, VL2, VP2,  Mb, Er, Zbase1, Zbase2 As Variant
  Sb3 = [d3]: Sb = Sb3 / 3: VL1 = [d4]: VP1 = VL1 / 1.732050808: VL2= [d5]: VP2 = VL2 / 1.732050808
  Mb = [d6]: Pi = 3.141592654: Er = [d7]
  Zbase1 = (VL1 * VL1) / (Sb3 * 1000)          'คำนวณค่าอิมพิแดนซ์ฐานของด้านก่อนหม้อแปลงไฟฟ้า
  Zbased2 = (VL2 * VL2) / (Sb3 * 1000)         'คำนวณค่าอิมพิแดนซ์ฐานของด้านหลังหม้อแปลงไฟฟ้า
Dim Fb(50), Ob(50), Nb(50) As Variant
[b14].Select
For i = 1 To Mb
  Fb(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
[c14].Select
For i = 1 To Mb
  Ob(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
[k14].Select
For i = 2 To Mb
  Nb(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
Dim Ta(50), Tb(50), Tc(50) As Variant
[d14].Select
For i = 1 To Mb
  Ta(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
[f14].Select
For i = 1 To Mb
  Tb(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
[h14].Select
For i = 1 To Mb
  Tc(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
```

```
Dim Raa(5), Xaa(5), Rab(5), Xab(5), Rac(5), Xac(5) As Variant
Dim Rba(5), Xba(5), Rbb(5), Xbb(5), Rbc(5), Xbc(5) As Variant
Dim Rca(5), Xca(5), Rcb(5), Xcb(5), Rcc(5), Xcc(5) As Variant
For i = 1 To Mb
  If Ta(i) = 1 Then          'เช็คเงื่อนไขถ้า Ta เท่ากับ 1 ให้ให้ทำงานหลังคำสั่ง Then
  Raa(1) = [l6] / Zbase1          ' Raa คือ ค่ารีซิสแตนซ์ของเฟส A
  Xaa(1) = [m6] / Zbase1          ' Xaa คือ ค่ารีแอคแตนซ์ของเฟส A
  Rab(1) = [n6] / Zbase1          ' Rab คือ ค่ารีซิสแตนซ์ระหว่างเฟส A กับเฟส B
  Xab(1) = [o6] / Zbase1          ' Xab คือ ค่ารีแอคแตนซ์ระหว่างเฟส A กับเฟส B
  Rac(1) = [p6] / Zbase1          ' Rac คือ ค่ารีซิสแตนซ์ระหว่างเฟส A กับเฟส C
  Xac(1) = [q6] / Zbase1          ' Xac คือ ค่ารีแอคแตนซ์ระหว่างเฟส A กับเฟส C
  ElseIf Ta(i) = 2 Then
  Raa(2) = [r6] / Zbase1: Xaa(2) = [s6] / Zbase1
  Rab(2) = [t6] / Zbase1: Xab(2) = [u6] / Zbase1: Rac(2) = [v6] / Zbase1: Xac(2) = [w6] / Zbase1
  ElseIf Ta(i) = 3 Then
  Raa(3) = [x6] / Zbase2: Xaa(3) = [y6] / Zbase2
  Rab(3) = [z6] / Zbase2: Xab(3) = [aa6] / Zbase2: Rac(3) = [ab6] / Zbase2: Xac(3) = [ac6] / Zbase2
  End If
Next i
For i = 1 To Mb
  If Tb(i) = 1 Then
  Rba(1) = [l7] / Zbase1          ' Rba คือ ค่ารีซิสแตนซ์ระหว่างเฟส B กับเฟส A
  Xba(1) = [m7] / Zbase1          ' Xba คือ ค่ารีแอคแตนซ์ระหว่างเฟส B กับเฟส A
  Rbb(1) = [n7] / Zbase1          ' Rbb คือ ค่ารีซิสแตนซ์ของเฟส B
  Xbb(1) = [o7] / Zbase1          ' Xbb คือ ค่ารีแอคแตนซ์ของเฟส B
  Rbc(1) = [p7] / Zbase1          ' Rbc คือ ค่ารีซิสแตนซ์ระหว่างเฟส B กับเฟส C
  Xbc(1) = [q7] / Zbase1          ' Xbc คือ ค่ารีแอคแตนซ์ระหว่างเฟส B กับเฟส C
  ElseIf Tb(i) = 2 Then
  Rba(2) = [r7] / Zbase1: Xba(2) = [s7] / Zbase1
  Rbb(2) = [t7] / Zbase1: Xbb(2) = [u7] / Zbase1: Rbc(2) = [v7] / Zbase1: Xbc(2) = [w7] / Zbase1
  ElseIf Tb(i) = 3 Then
  Rba(3) = [x7] / Zbase2: Xba(3) = [y7] / Zbase2
  Rbb(3) = [z7] / Zbase2: Xbb(3) = [aa7] / Zbase2: Rbc(3) = [ab7] / Zbase2: Xbc(3) = [ac7] / Zbase2
  End If
Next i
For i = 1 To Mb
```

```
  If Tc(i) = 1 Then
  Rca(1) = [l8] / Zbase1              ' Rca คือ ค่ารีซิสแตนซ์ระหว่างเฟส C กับเฟส A
  Xca(1) = [m8] / Zbase1              ' Xca คือ ค่ารีแอคแตนซ์ระหว่างเฟส C กับเฟส A
  Rcb(1) = [n8] / Zbase1              ' Rcb คือ ค่ารีซิสแตนซ์ระหว่างเฟส C กับเฟส B
  Xcb(1) = [o8] / Zbase1              ' Xcb คือ ค่ารีแอคแตนซ์ระหว่างเฟส C กับเฟส B
  Rcc(1) = [p8] / Zbase1              ' Rcc คือ ค่ารีซิสแตนซ์ของเฟส C
  Xcc(1) = [q8] / Zbase1              ' Xcc คือ ค่ารีแอคแตนซ์ของเฟส C
  ElseIf Tc(i) = 2 Then
  Rca(2) = [r8] / Zbase1: Xca(2) = [s8] / Zbase1
  Rcb(2) = [t8] / Zbase1: Xcb(2) = [u8] / Zbase1: Rcc(2) = [v8] / Zbase1: Xcc(2) = [w8] / Zbase1
  ElseIf Tc(i) = 3 Then
  Rca(3) = [x8] / Zbase2: Xca(3) = [y8] / Zbase2
  Rcb(3) = [z8] / Zbase2: Xcb(3) = [aa8] / Zbase2: Rcc(3) = [ab8] / Zbase2: Xcc(3) = [ac8] / Zbase2
  End If
Next i
Dim La(50), Lb(50), Lc(50) As Variant
[e14].Select
For i = 1 To Mb
  La(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
[g14].Select
For i = 1 To Mb
  Lb(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
[i14].Select
For i = 1 To Mb
  Lc(i) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
Dim ReZaa(50, 50), ImZaa(50, 50), ReZab(50, 50), ImZab(50, 50), ReZac(50, 50), ImZac(50, 50) As Variant
Dim ReZba(50, 50), ImZba(50, 50), ReZbb(50, 50), ImZbb(50, 50), ReZbc(50, 50), ImZbc(50, 50) As Variant
Dim ReZca(50, 50), ImZca(50, 50), ReZcb(50, 50), ImZcb(50, 50), ReZcc(50, 50), ImZcc(50, 50) As Variant
For i = 1 To Mb    'คำนวณค่าอิมพิแดนซ์
  ReZaa(Fb(i), Ob(i)) = Raa(Ta(i)) * La(i): ImZaa(Fb(i), Ob(i)) = Xaa(Ta(i)) * La(i)
  ReZaa(Ob(i), Fb(i)) = ReZaa(Fb(i), Ob(i)): ImZaa(Ob(i), Fb(i)) = ImZaa(Fb(i), Ob(i))
  ReZab(Fb(i), Ob(i)) = Rab(Ta(i)) * La(i): ImZab(Fb(i), Ob(i)) = Xab(Ta(i)) * La(i)
  ReZab(Ob(i), Fb(i)) = ReZab(Fb(i), Ob(i)): ImZab(Ob(i), Fb(i)) = ImZab(Fb(i), Ob(i))
```

```
    ReZac(Fb(i), Ob(i)) = Rac(Ta(i)) * La(i): ImZac(Fb(i), Ob(i)) = Xac(Ta(i)) * La(i)
    ReZac(Ob(i), Fb(i)) = ReZac(Fb(i), Ob(i)): ImZac(Ob(i), Fb(i)) = ImZac(Fb(i), Ob(i))
    ReZba(Fb(i), Ob(i)) = Rba(Tb(i)) * Lb(i): ImZba(Fb(i), Ob(i)) = Xba(Tb(i)) * Lb(i):
    ReZba(Ob(i), Fb(i)) = ReZba(Fb(i), Ob(i)): ImZba(Ob(i), Fb(i)) = ImZba(Fb(i), Ob(i))
    ReZbb(Fb(i), Ob(i)) = Rbb(Tb(i)) * Lb(i): ImZbb(Fb(i), Ob(i)) = Xbb(Tb(i)) * Lb(i)
    ReZbb(Ob(i), Fb(i)) = ReZbb(Fb(i), Ob(i)): ImZbb(Ob(i), Fb(i)) = ImZbb(Fb(i), Ob(i))
    ReZbc(Fb(i), Ob(i)) = Rbc(Tb(i)) * Lb(i): ImZbc(Fb(i), Ob(i)) = Xbc(Tb(i)) * Lb(i)
    ReZbc(Ob(i), Fb(i)) = ReZbc(Fb(i), Ob(i)): ImZbc(Ob(i), Fb(i)) = ImZbc(Fb(i), Ob(i))
    ReZca(Fb(i), Ob(i)) = Rca(Tc(i)) * Lc(i): ImZca(Fb(i), Ob(i)) = Xca(Tc(i)) * Lc(i)
    ReZca(Ob(i), Fb(i)) = ReZca(Fb(i), Ob(i)): ImZca(Ob(i), Fb(i)) = ImZca(Fb(i), Ob(i))
    ReZcb(Fb(i), Ob(i)) = Rcb(Tc(i)) * Lc(i): ImZcb(Fb(i), Ob(i)) = Xcb(Tc(i)) * Lc(i)
    ReZcb(Ob(i), Fb(i)) = ReZcb(Fb(i), Ob(i)): ImZcb(Ob(i), Fb(i)) = ImZcb(Fb(i), Ob(i))
    ReZcc(Fb(i), Ob(i)) = Rcc(Tc(i)) * Lc(i): ImZcc(Fb(i), Ob(i)) = Xcc(Tc(i)) * Lc(i)
    ReZcc(Ob(i), Fb(i)) = ReZcc(Fb(i), Ob(i)): ImZcc(Ob(i), Fb(i)) = ImZcc(Fb(i), Ob(i))
  Next i
  Dim Pa(50), Qa(50), Pb(50), Qb(50), Pc(50), Qc(50) As Variant
  [p14].Select
  For i = 2 To Mb
    Pa(Nb(i)) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
  Next i
  [q14].Select
  For i = 2 To Mb
    Qa(Nb(i)) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
  Next i
  [w14].Select
  For i = 2 To Mb
    Pb(Nb(i)) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
  Next i
  [x14].Select
  For i = 2 To Mb
    Qb(Nb(i)) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
  Next i
  [ad14].Select
  For i = 2 To Mb
    Pc(Nb(i)) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
  Next i
```

```
[ae14].Select
For i = 2 To Mb
  Qc(Nb(i)) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next i
Dim PaSc(50), QaSc(50), PbSc(50), QbSc(50), PcSc(50), QcSc(50) As Variant
For i = 2 To Mb
  PaSc(i) = Pa(i) / (Sb): QaSc(i) = Qa(i) / (Sb): PbSc(i) = Pb(i) / (Sb): QbSc(i) = Qb(i) / (Sb)
  PcSc(i) = Pc(i) / (Sb): QcSc(i) = Qc(i) / (Sb)
  Next i
Dim SiVa(50, 2000), AngVa(50, 2000), SiVb(50, 2000), AngVb(50, 2000), SiVc(50, 2000), AngVc(50, 2000)
As Variant
Dim ReVa(50, 2000), ImVa(50, 2000), ReVb(50, 2000), ImVb(50, 2000), ReVc(50, 2000), ImVc(50, 2000) As
Variant
  SiVa(1, 0) = [g5]: AngVa(1, 0) = 0 * (Pi / 180):SiVb(1, 0) = [h5]: AngVb(1, 0) = 0 * (Pi / 180)
  SiVc(1, 0) = [i5]: AngVc(1, 0) = 0 * (Pi / 180)
For i = 1 To 2000
  ReVa(1, i - 1) = SiVa(1, 0) * Cos(AngVa(1, 0)): ImVa(1, i - 1) = SiVa(1, 0) * Sin(AngVa(1, 0))
  ReVb(1, i - 1) = SiVb(1, 0) * Cos(AngVb(1, 0)): ImVb(1, i - 1) = SiVb(1, 0) * Sin(AngVb(1, 0))
  ReVc(1, i - 1) = SiVc(1, 0) * Cos(AngVc(1, 0)): ImVc(1, i - 1) = SiVc(1, 0) * Sin(AngVc(1, 0))
Next
For i = 2 To Mb    'กำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้น
  ReVa(i, 0) = 1: ImVa(i, 0) = 0: ReVb(i, 0) = 1: ImVb(i, 0) = 0: ReVc(i, 0) = 1: ImVc(i, 0) = 0
Next i
Dim ReIsa(50, 2000), ImIsa(50, 2000), ReSuVa(50, 2000), ImSuVa(50, 2000) As Variant
Dim DeReVa(50, 2000), DeImVa(50, 2000), ReIa(50, 50, 2000), ImIa(50, 50, 2000) As Variant
Dim ReIsb(50, 2000), ImIsb(50, 2000), ReSuVb(50, 2000), ImSuVb(50, 2000) As Variant
Dim DeReVb(50, 2000), DeImVb(50, 2000), ReIb(50, 50, 2000), ImIb(50, 50, 2000) As Variant
Dim ReIsc(50, 2000), ImIsc(50, 2000), ReSuVc(50, 2000), ImSuVc(50, 2000) As Variant
Dim DeReVc(50, 2000), DeImVc(50, 2000), ReIc(50, 50, 2000), ImIc(50, 50, 2000) As Variant
n = 1              'เริ่มรอบการคำนวณ
Do                 'การคำนวณแบบวนซ้ำด้วยวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ
For i = 2 To Mb          'คำนวณค่ากระแสไฟฟ้าของโหลด
  ReIsa(i, n) = (((PaSc(i) * ReVa(i, n - 1)) - (-QaSc(i) * ImVa(i, n - 1))) / ((ReVa(i, n - 1) ^ 2) - (ImVa(i, n - 1)
* -ImVa(i, n - 1))))
  ImIsa(i, n) = (((PaSc(i) * ImVa(i, n - 1)) + (-QaSc(i) * ReVa(i, n - 1))) / ((ReVa(i, n - 1) ^ 2) - (ImVa(i, n - 1)
* -ImVa(i, n - 1))))
```

```
  ReIsb(i, n) = (((PbSc(i) * ReVb(i, n - 1)) - (-QbSc(i) * ImVb(i, n - 1))) / ((ReVb(i, n - 1) ^ 2) - (ImVb(i, n - 1)
* -ImVb(i, n - 1))))
  ImIsb(i, n) = (((PbSc(i) * ImVb(i, n - 1)) + (-QbSc(i) * ReVb(i, n - 1))) / ((ReVb(i, n - 1) ^ 2) - (ImVb(i, n -
1) * -ImVb(i, n - 1))))
  ReIsc(i, n) = (((PcSc(i) * ReVc(i, n - 1)) - (-QcSc(i) * ImVc(i, n - 1))) / ((ReVc(i, n - 1) ^ 2) - (ImVc(i, n - 1)
* -ImVc(i, n - 1))))
  ImIsc(i, n) = (((PcSc(i) * ImVc(i, n - 1)) + (-QcSc(i) * ReVc(i, n - 1))) / ((ReVc(i, n - 1) ^ 2) - (ImVc(i, n - 1)
* -ImVc(i, n - 1))))
Next i
  ReIa(1, 2, n) = ReIsa(2, n) + ReIsa(3, n) + ReIsa(4, n) + ReIsa(5, n) + ReIsa(6, n) + ReIsa(7, n) + ReIsa(8, n)
+ ReIsa(9, n) + ReIsa(10, n) + ReIsa(11, n) + ReIsa(12, n) + ReIsa(13, n) + ReIsa(14, n) + ReIsa(15, n) +
ReIsa(16, n) + ReIsa(17, n) + ReIsa(18, n) + ReIsa(19, n) + ReIsa(20, n)
  ImIa(1, 2, n) = ImIsa(2, n) + ImIsa(3, n) + ImIsa(4, n) + ImIsa(5, n) + ImIsa(6, n) + ImIsa(7, n) + ImIsa(8, n)
+ ImIsa(9, n) + ImIsa(10, n) + ImIsa(11, n) + ImIsa(12, n) + ImIsa(13, n) + ImIsa(14, n) + ImIsa(15, n) +
ImIsa(16, n) + ImIsa(17, n) + ImIsa(18, n) + ImIsa(19, n) + ImIsa(20, n)
  ReIb(1, 2, n) = ReIsb(2, n) + ReIsb(3, n) + ReIsb(4, n) + ReIsb(5, n) + ReIsb(6, n) + ReIsb(7, n) + ReIsb(8,
n) + ReIsb(9, n) + ReIsb(10, n) + ReIsb(11, n) + ReIsb(12, n) + ReIsb(13, n) + ReIsb(14, n) + ReIsb(15, n) +
ReIsb(16, n) + ReIsb(17, n) + ReIsb(18, n) + ReIsb(19, n) + ReIsb(20, n)
  ImIb(1, 2, n) = ImIsb(2, n) + ImIsb(3, n) + ImIsb(4, n) + ImIsb(5, n) + ImIsb(6, n) + ImIsb(7, n) + ImIsb(8,
n) + ImIsb(9, n) + ImIsb(10, n) + ImIsb(11, n) + ImIsb(12, n) + ImIsb(13, n) + ImIsb(14, n) + ImIsb(15, n) +
ImIsb(16, n) + ImIsb(17, n) + ImIsb(18, n) + ImIsb(19, n) + ImIsb(20, n)
  ReIc(1, 2, n) = ReIsc(2, n) + ReIsc(3, n) + ReIsc(4, n) + ReIsc(5, n) + ReIsc(6, n) + ReIsc(7, n) + ReIsc(8, n)
+ ReIsc(9, n) + ReIsc(10, n) + ReIsc(11, n) + ReIsc(12, n) + ReIsc(13, n) + ReIsc(14, n) + ReIsc(15, n) +
ReIsc(16, n) + ReIsc(17, n) + ReIsc(18, n) + ReIsc(19, n) + ReIsc(20, n)
  ImIc(1, 2, n) = ImIsc(2, n) + ImIsc(3, n) + ImIsc(4, n) + ImIsc(5, n) + ImIsc(6, n) + ImIsc(7, n) + ImIsc(8, n)
+ ImIsc(9, n) + ImIsc(10, n) + ImIsc(11, n) + ImIsc(12, n) + ImIsc(13, n) + ImIsc(14, n) + ImIsc(15, n) +
ImIsc(16, n) + ImIsc(17, n) + ImIsc(18, n) + ImIsc(19, n) + ImIsc(20, n)
For i = 2 To Mb – 1          'คำนวณค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายของแต่ละช่วง
  ReIa(i, i + 1, n) = ReIa(i - 1, i, n) - ReIsa(i, n): ImIa(i, i + 1, n) = ImIa(i - 1, i, n) - ImIsa(i, n)
  ReIb(i, i + 1, n) = ReIb(i - 1, i, n) - ReIsb(i, n): ImIb(i, i + 1, n) = ImIb(i - 1, i, n) - ImIsb(i, n)
  ReIc(i, i + 1, n) = ReIc(i - 1, i, n) - ReIsc(i, n): ImIc(i, i + 1, n) = ImIc(i - 1, i, n) - ImIsc(i, n)
Next i
For i = 1 To Mb - 1
  ReIa(i + 1, i, n) = -ReIa(i, i + 1, n): ImIa(i + 1, i, n) = -ImIa(i, i + 1, n)
  ReIb(i + 1, i, n) = -ReIb(i, i + 1, n): ImIb(i + 1, i, n) = -ImIb(i, i + 1, n)
  ReIc(i + 1, i, n) = -ReIc(i, i + 1, n): ImIc(i + 1, i, n) = -ImIc(i, i + 1, n)
```

```
Next i
For i = 2 To Mb                    'คำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป
  ReVa(i, n) = ReVa(i - 1, n-1) - ((((ReZaa(i - 1, i) * ReIa(i - 1, i, n)) - (ImZaa(i - 1, i) * ImIa(i - 1, i, n))) +
((ReZab(i - 1, i) * ReIb(i - 1, i, n)) - (ImZab(i - 1, i) * ImIb(i - 1, i, n))) + ((ReZac(i - 1, i) * ReIc(i - 1, i, n)) -
(ImZac(i - 1, i) * ImIc(i - 1, i, n)))))
  ImVa(i, n) = ImVa(i - 1, n-1) - ((((ReZaa(i - 1, i) * ImIa(i - 1, i, n)) + (ImZaa(i - 1, i) * ReIa(i - 1, i, n))) +
((ReZab(i - 1, i) * ImIb(i - 1, i, n)) + (ImZab(i - 1, i) * ReIb(i - 1, i, n))) + ((ReZac(i - 1, i) * ImIc(i - 1, i, n)) +
(ImZac(i - 1, i) * ReIc(i - 1, i, n)))))
  ReVb(i, n) = ReVb(i - 1, n-1) - ((((ReZbb(i - 1, i) * ReIb(i - 1, i, n)) - (ImZbb(i - 1, i) * ImIb(i - 1, i, n))) +
((ReZba(i - 1, i) * ReIa(i - 1, i, n)) - (ImZba(i - 1, i) * ImIa(i - 1, i, n))) + ((ReZbc(i - 1, i) * ReIc(i - 1, i, n)) -
(ImZbc(i - 1, i) * ImIc(i - 1, i, n)))))
  ImVb(i, n) = ImVb(i - 1, n-1) - ((((ReZbb(i - 1, i) * ImIb(i - 1, i, n)) + (ImZbb(i - 1, i) * ReIb(i - 1, i, n))) +
((ReZba(i - 1, i) * ImIa(i - 1, i, n)) + (ImZba(i - 1, i) * ReIa(i - 1, i, n))) + ((ReZbc(i - 1, i) * ImIc(i - 1, i, n)) +
(ImZbc(i - 1, i) * ReIc(i - 1, i, n)))))
  ReVc(i, n) = ReVc(i - 1, n-1) - ((((ReZcc(i - 1, i) * ReIc(i - 1, i, n)) - (ImZcc(i - 1, i) * ImIc(i - 1, i, n))) +
((ReZca(i - 1, i) * ReIa(i - 1, i, n)) - (ImZca(i - 1, i) * ImIa(i - 1, i, n))) + ((ReZcb(i - 1, i) * ReIb(i - 1, i, n)) -
(ImZcb(i - 1, i) * ImIb(i - 1, i, n)))))
  ImVc(i, n) = ImVc(i - 1, n-1) - ((((ReZcc(i - 1, i) * ImIc(i - 1, i, n)) + (ImZcc(i - 1, i) * ReIc(i - 1, i, n))) +
((ReZca(i - 1, i) * ImIa(i - 1, i, n)) + (ImZca(i - 1, i) * ReIa(i - 1, i, n))) + ((ReZcb(i - 1, i) * ImIb(i - 1, i, n)) +
(ImZcb(i - 1, i) * ReIb(i - 1, i, n)))))
  DeReVa(i, n) = Abs(ReVa(i, n) - ReVa(i, n - 1))
  DeReVb(i, n) = Abs(ReVb(i, n) - ReVb(i, n - 1)): DeReVc(i, n) = Abs(ReVc(i, n) - ReVc(i, n - 1))
Next i
k = n
n = n + 1                          'เพิ่มรอบการคำนวณ
'ตรวจสอบเงื่อนไขว่ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความผิดพลาด ถ้าเป็นจริงให้หยุดและออกจากลูป ถ้าเป็นเท็จให้
กลับไปทำที่คำสั่ง Do
Loop Until DeReVa(Mb, k) <= Er And DeReVb(Mb, k) <= Er And DeReVc(Mb, k) <= Er
For i = 2 To Mb                    'เปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในรูปเชิงขั้ว
  SiVa(i, k) = Sqr((ReVa(i, k) ^ 2) + (ImVa(i, k) ^ 2))
  If ReVa(i, k) > 0 And ImVa(i, k) > 0 Then
  AngVa(i, k) = Atn(ImVa(i, k) / ReVa(i, k))
  ElseIf ReVa(i, k) > 0 And ImVa(i, k) < 0 Then AngVa(i, k) = Atn(ImVa(i, k) / ReVa(i, k))
  ElseIf ReVc(i, k) < 0 And ImVc(i, k) > 0 Then AngVa(i, k) = Atn(ImVa(i, k) / ReVa(i, k)) + Pi
  ElseIf ReVa(i, k) < 0 And ImVa(i, k) < 0 Then AngVa(i, k) = Atn(ImVa(i, k) / ReVa(i, k)) - Pi
  End If
```

```
SiVb(i, k) = Sqr((ReVb(i, k) ^ 2) + (ImVb(i, k) ^ 2))
If ReVb(i, k) > 0 And ImVb(i, k) > 0 Then
AngVb(i, k) = Atn(ImVb(i, k) / ReVb(i, k))
ElseIf ReVb(i, k) > 0 And ImVb(i, k) < 0 Then AngVb(i, k) = Atn(ImVb(i, k) / ReVb(i, k))
ElseIf ReVb(i, k) < 0 And ImVb(i, k) > 0 Then AngVb(i, k) = Atn(ImVb(i, k) / ReVb(i, k)) + Pi
ElseIf ReVb(i, k) < 0 And ImVb(i, k) < 0 Then AngVb(i, k) = Atn(ImVb(i, k) / ReVb(i, k)) - Pi
End If
SiVc(i, k) = Sqr((ReVc(i, k) ^ 2) + (ImVc(i, k) ^ 2))
If ReVc(i, k) > 0 And ImVc(i, k) > 0 Then
AngVc(i, k) = Atn(ImVc(i, k) / ReVc(i, k))
ElseIf ReVc(i, k) > 0 And ImVc(i, k) < 0 Then AngVc(i, k) = Atn(ImVc(i, k) / ReVc(i, k))
ElseIf ReVc(i, k) < 0 And ImVc(i, k) > 0 Then AngVc(i, k) = Atn(ImVc(i, k) / ReVc(i, k)) + Pi
ElseIf ReVc(i, k) < 0 And ImVc(i, k) < 0 Then AngVc(i, k) = Atn(ImVc(i, k) / ReVc(i, k)) - Pi
End If
Next i
Dim ReSa(50, 50), ImSa(50, 50), ReSb(50, 50), ImSb(50, 50), ReSc(50, 50), ImSc(50, 50) As Variant
For i = 1 To Mb                    'คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลในสาย
ReSa(Fb(i), Ob(i)) = ((ReVa(Fb(i), k) * ReIa(Fb(i), Ob(i), k)) - (ImVa(Fb(i), k) * -ImIa(Fb(i), Ob(i), k)))
ImSa(Fb(i), Ob(i)) = ((ReVa(Fb(i), k) * -ImIa(Fb(i), Ob(i), k)) + (ImVa(Fb(i), k) * ReIa(Fb(i), Ob(i), k)))
ReSa(Ob(i), Fb(i)) = ((ReVa(Ob(i), k) * ReIa(Ob(i), Fb(i), k)) - (ImVa(Ob(i), k) * -ImIa(Ob(i), Fb(i), k)))
ImSa(Ob(i), Fb(i)) = ((ReVa(Ob(i), k) * -ImIa(Ob(i), Fb(i), k)) + (ImVa(Ob(i), k) * ReIa(Ob(i), Fb(i), k)))
ReSb(Fb(i), Ob(i)) = ((ReVb(Fb(i), k) * ReIb(Fb(i), Ob(i), k)) - (ImVb(Fb(i), k) * -ImIb(Fb(i), Ob(i), k)))
ImSb(Fb(i), Ob(i)) = ((ReVb(Fb(i), k) * -ImIb(Fb(i), Ob(i), k)) + (ImVb(Fb(i), k) * ReIb(Fb(i), Ob(i), k)))
ReSb(Ob(i), Fb(i)) = ((ReVb(Ob(i), k) * ReIb(Ob(i), Fb(i), k)) - (ImVb(Ob(i), k) * -ImIb(Ob(i), Fb(i), k)))
ImSb(Ob(i), Fb(i)) = ((ReVb(Ob(i), k) * -ImIb(Ob(i), Fb(i), k)) + (ImVb(Ob(i), k) * ReIb(Ob(i), Fb(i), k)))
ReSc(Fb(i), Ob(i)) = ((ReVc(Fb(i), k) * ReIc(Fb(i), Ob(i), k)) - (ImVc(Fb(i), k) * -ImIc(Fb(i), Ob(i), k)))
ImSc(Fb(i), Ob(i)) = ((ReVc(Fb(i), k) * -ImIc(Fb(i), Ob(i), k)) + (ImVc(Fb(i), k) * ReIc(Fb(i), Ob(i), k)))
ReSc(Ob(i), Fb(i)) = ((ReVc(Ob(i), k) * ReIc(Ob(i), Fb(i), k)) - (ImVc(Ob(i), k) * -ImIc(Ob(i), Fb(i), k)))
ImSc(Ob(i), Fb(i)) = ((ReVc(Ob(i), k) * -ImIc(Ob(i), Fb(i), k)) + (ImVc(Ob(i), k) * ReIc(Ob(i), Fb(i), k)))
Next i
Dim ReSLa(50, 50), ImSLa(50, 50), ReSLb(50, 50), ImSLb(50, 50), ReSLc(50, 50), ImSLc(50, 50) As Variant
For i = 1 To Mb                    'คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย
ReSLa(Fb(i), Ob(i)) = ReSa(Fb(i), Ob(i)) + ReSa(Ob(i), Fb(i))
ImSLa(Fb(i), Ob(i)) = ImSa(Fb(i), Ob(i)) + ImSa(Ob(i), Fb(i))
ReSLb(Fb(i), Ob(i)) = ReSb(Fb(i), Ob(i)) + ReSb(Ob(i), Fb(i))
ImSLb(Fb(i), Ob(i)) = ImSb(Fb(i), Ob(i)) + ImSb(Ob(i), Fb(i))
```

```
    ReSLc(Fb(i), Ob(i)) = ReSc(Fb(i), Ob(i)) + ReSc(Ob(i), Fb(i))
    ImSLc(Fb(i), Ob(i)) = ImSc(Fb(i), Ob(i)) + ImSc(Ob(i), Fb(i))
  Next i
  For i = 2 To Mb
    Sheets("Output").Cells(8, 2).Value = 1: Sheets("Output").Cells(7 + i, 2).Value = Nb(i)
  Next i
  For i = 1 To Mb
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 22).Value = Fb(i): Sheets("Output").Cells(7 + i, 23).Value = Ob(i)
    Sheets("Output").Cells(7 + Mb + i, 22).Value = Ob(i)
    Sheets("Output").Cells(7 + Mb + i, 23).Value = Fb(i)
  Next i
  For i = 2 To Mb                    'แสดงผลขนาดและมุมของแรงดันไฟฟ้าที่เอาท์พุท
    Sheets("Output").Cells(8, 3).Value = SiVa(1, 0)
    Sheets("Output").Cells(8, 4).Value = AngVa(1, 0) * (180 / Pi) + [g6]
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 3).Value = SiVa(Nb(i), k)
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 4).Value = AngVa(Nb(i), k) * (180 / Pi) + [g6]
    Sheets("Output").Cells(8, 5).Value = SiVb(1, 0)
    Sheets("Output").Cells(8, 6).Value = AngVb(1, 0) * (180 / Pi) + [h6]
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 5).Value = SiVb(Nb(i), k)
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 6).Value = AngVb(Nb(i), k) * (180 / Pi) + [h6]
    Sheets("Output").Cells(8, 7).Value = SiVc(1, 0)
    Sheets("Output").Cells(8, 8).Value = AngVc(1, 0) * (180 / Pi) + [i6]
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 7).Value = SiVc(Nb(i), k)
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 8).Value = AngVc(Nb(i), k) * (180 / Pi) + [i6]
  Next i
  For i = 2 To Mb
    Sheets("Output").Cells(8, 9).Value = 0: Sheets("Output").Cells(8, 10).Value = 0
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 9).Value = Pa(Nb(i))
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 10).Value = Qa(Nb(i))
    Sheets("Output").Cells(8, 11).Value = 0: Sheets("Output").Cells(8, 12).Value = 0
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 11).Value = Pb(Nb(i))
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 12).Value = Qb(Nb(i))
    Sheets("Output").Cells(8, 13).Value = 0: Sheets("Output").Cells(8, 14).Value = 0
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 13).Value = Pc(Nb(i))
    Sheets("Output").Cells(7 + i, 14).Value = Qc(Nb(i))
  Next i
```

```
For i = 2 To Mb
  Sheets("Output").Cells(8, 15).Value = ReSa(1, 2) * Sb
  Sheets("Output").Cells(8, 16).Value = ImSa(1, 2) * Sb
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 15).Value = 0 :Sheets("Output").Cells(7 + i, 16).Value = 0
  Sheets("Output").Cells(8, 17).Value = ReSb(1, 2) * Sb
  Sheets("Output").Cells(8, 18).Value = ImSb(1, 2) * Sb
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 17).Value = 0: Sheets("Output").Cells(7 + i, 18).Value = 0
  Sheets("Output").Cells(8, 19).Value = ReSc(1, 2) * Sb
  Sheets("Output").Cells(8, 20).Value = ImSc(1, 2) * Sb
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 19).Value = 0: Sheets("Output").Cells(7 + i, 20).Value = 0
Next i
For i = 1 To Mb    'แสดงผลค่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายที่เอาท์พุท
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 24).Value = ReSa(Fb(i), Ob(i)) * Sb
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 25).Value = ImSa(Fb(i), Ob(i)) * Sb
  Sheets("Output").Cells(7 + Mb + i, 24).Value = ReSa(Ob(i), Fb(i)) * Sb
  Sheets("Output").Cells(7 + Mb + i, 25).Value = ImSa(Ob(i), Fb(i)) * Sb
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 26).Value = ReSb(Fb(i), Ob(i)) * Sb
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 27).Value = ImSb(Fb(i), Ob(i)) * Sb
  Sheets("Output").Cells(7 + Mb + i, 26).Value = ReSb(Ob(i), Fb(i)) * Sb
  Sheets("Output").Cells(7 + Mb + i, 27).Value = ImSb(Ob(i), Fb(i)) * Sb
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 28).Value = ReSc(Fb(i), Ob(i)) * Sb
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 29).Value = ImSc(Fb(i), Ob(i)) * Sb
  Sheets("Output").Cells(7 + Mb + i, 28).Value = ReSc(Ob(i), Fb(i)) * Sb
  Sheets("Output").Cells(7 + Mb + i, 29).Value = ImSc(Ob(i), Fb(i)) * Sb
Next i
For i = 1 To Mb    'แสดงผลค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เอาท์พุท
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 30).Value = ReSLa(Fb(i), Ob(i)) * Sb
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 31).Value = ImSLa(Fb(i), Ob(i)) * Sb
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 32).Value = ReSLb(Fb(i), Ob(i)) * Sb
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 33).Value = ImSLb(Fb(i), Ob(i)) * Sb
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 34).Value = ReSLc(Fb(i), Ob(i)) * Sb
  Sheets("Output").Cells(7 + i, 35).Value = ImSLc(Fb(i), Ob(i)) * Sb
Next i
[ad1].Select
For i = 1 To 2
  Nb(0) = ActiveCell.Value: ActiveCell.Offset(0, i).Select
```

```
Next i
  'แสดงจำนวนรอบของการคำนวณด้วยวธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ
  Sheets("Output").Cells(2, 2).Value = " Power Flow Solution by Forward Backward Sweep Method No. of
Iterations = " & k
End Sub          'จบฟังก์ชันการทำงานด้วยวิธีไปข้างหน้า - ย้อนกลับ
```

โค้ดโปรแกรมของส่วนเอาท์พุท

```
                                    '***** CLEAR *****
Private Sub Clear_Click()           'ฟังก์ชันการทำงานของการเคลียร์ข้อมูล
  [b2:x2].ClearContents             'ลบข้อมูลในช่วงของเซลล์ b2 ถึงเซลล์ x2
  [b8:t27].ClearContents
  [v8:ai47].ClearContents
  [ak8:ai28].ClearContents
End Sub                             'จบฟังก์ชันการทำงานของการเคลียร์ข้อมูล
```