

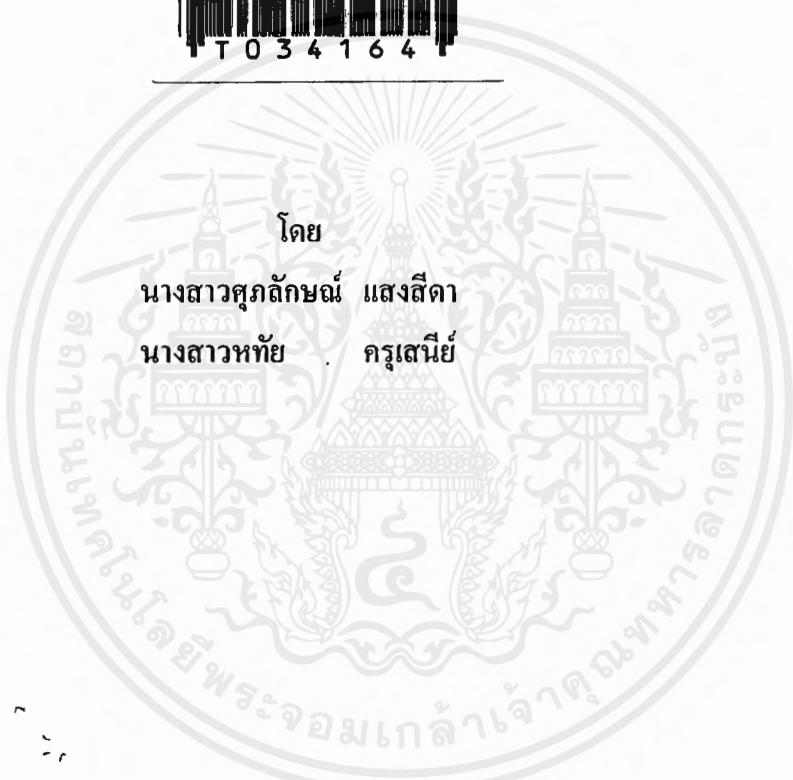
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง
การศึกษาผลกระทบอย่างรุนแรงที่มีต่อซิงโครนัสเจนเนอเรเตอร์
POWER SYSTEM STABILITY
Large Disturbance Effect On Synchronous Generator



โดย

นางสาวศุภลักษณ์ แสงสีดา
นางสาวหทัย ครุเสนีย์



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 34164
วัน, เดือน, ปี - 6 ต.ค. 2542

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

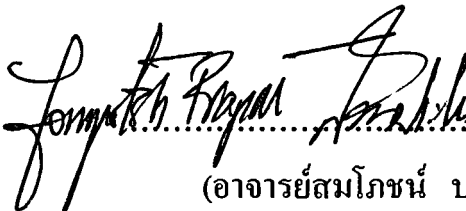
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2541

เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง
การศึกษาผลกระทบอย่างรุนแรงที่มีต่อซิงโครนัสเจนเนอเรเตอร์
POWER SYSTEM STABILITY
Large Disturbance Effect On Synchronous Generator



โดย
นางสาวศุภลักษณ์ แสงสีดา
นางสาวหทัย ครุเสนีย์

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์สมโภชน์ ประไพ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2541

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาผลกระทบอย่างรุนแรงที่มีต่อชิงโครน์สเจนเนอเรเตอร์

ผู้จัดทำ

1.นางสาวศุภลักษณ์ แสงสีดา

2.นางสาวหทัย ครุเสนีย์



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์สมโภชน์ ประไพ)

เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง

การศึกษาผลกระทบอย่างรุนแรงที่มีต่อชิงโครนัสเจนเนอเรเตอร์

นางสาวศุภลักษณ์ แสงสีดา

นางสาวหทัย ครุเสนีย์

อาจารย์สมโภชน์ ประไพ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2541

บทคัดย่อ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการจัดทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นกับโรเตอร์ของชิงโครนัสเจนเนอเรเตอร์ในการศึกษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งประกอบไปด้วย n บัส n หม้อแปลง และ n เจเนอเรเตอร์ ผลการวิเคราะห์จะแสดงออกมาในรูปแบบของเส้นโค้งสวิง โดยแกนเอ็กซ์แสดงถึงมุมโรเตอร์ของเจนเนอเรเตอร์และแกนวายแสดงเวลา โปรแกรมที่ใช้ เขียนขึ้นจากภาษาวิซวลเบสิก 5 จึงทำให้ง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน มีอินเตอร์เฟส สวยงาม ผู้ที่ไม่มีความรู้ทางคอมพิวเตอร์ก็สามารถใช้งานโปรแกรมนี้ได้

Power system stability

Large disturbance effect on synchronous generator

Suphaluck Sangseeda

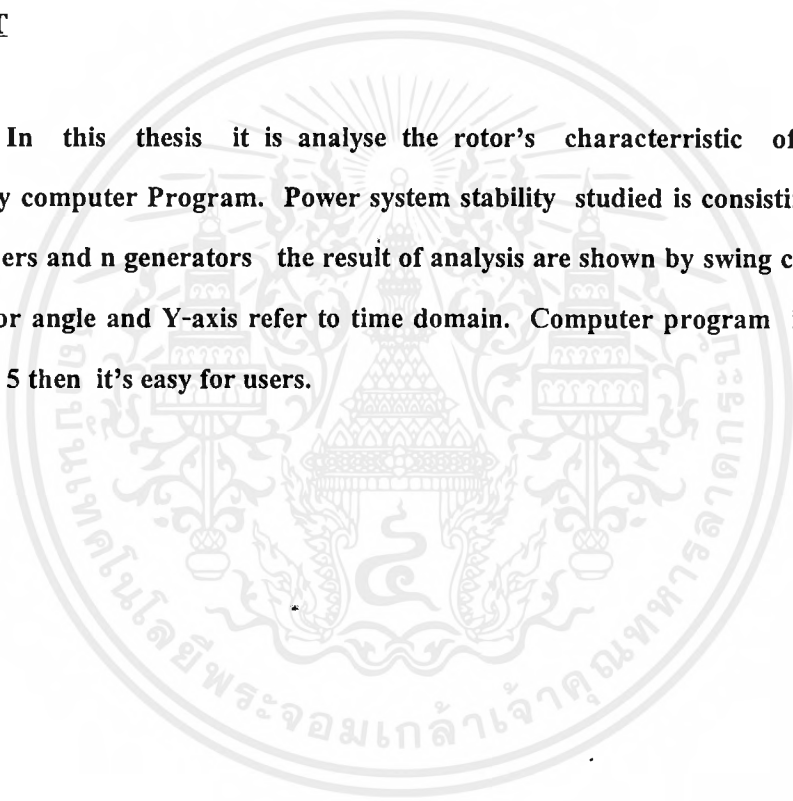
Hatai Karusanee

Sompoth Prapai Advisor

1998

ABSTRACT

In this thesis it is analyse the rotor's characterristic of synhronous generator by computer Program. Power system stability studied is consisting of n buses n transformers and n generators the result of analysis are shown by swing curve . X-axis refer to rotor angle and Y-axis refer to time domain. Computer program is designed by Visual basic 5 then it's easy for users.



เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูปภาพ	ง
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	2
2.1 การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังในสถานะทรานเซียนท์	2
2.1.1 การคำนวณราวด์โรเตอร์เงินเนอร์เรเตอร์	5
2.1.2 การคำนวณชาเลียนท์โพลเงินเนอร์เรเตอร์	6
2.2 สมการสวิง	8
2.3 การศึกษาเสถียรภาพโดยหลักพื้นที่เท่ากัน	12
2.4 การคำนวณฟลัดด์	20
2.4.1 3-φ ฟลัดด์	21
2.4.2 1-φ ฟลัดด์	27
บทที่ 3 การแก้ปัญหาโหลดฟลว	30
บทที่ 4 การออกแบบโปรแกรมเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง	34
บทที่ 5 การทดสอบโปรแกรม	40
5.1 การทดสอบกับระบบจำลอง	40
5.2 ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม	48
บทที่ 6 สรุปผล และวิจารณ์การทดลอง	46
ภาคผนวก	55
ภาคผนวก ก	
ภาคผนวก ข	
กิตติกรรมประกาศ	
หนังสืออ้างอิง	

สารบัญรูปลภาพ

รูปภาพ	หน้า
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
รูปที่ 2.1 แสดงการแทนราวด์โรเตอร์แมชชีน	4
รูปที่ 2.2 แสดงการแทนซาเลียนท์โพลแมชชีน	4
รูปที่ 2.3 เฟสเซอร์ไดอะแกรมแสดง Quadrature component voltage behind transient reactance	7
รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงของมุม δ ตามเวลาชนิดเสถียรภาพและไม่เสถียรภาพ	12
รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าในระบบเกิดการเร่งและหน่วงโรเตอร์	14
รูปที่ 2.6 เส้นโค้งกำลังไฟฟ้าและมุม δ แสดงมุมเคลื่อนที่รั้งวิกฤต	16
รูปที่ 2.7 ลำดับขั้นตอนเมื่อเกิดฟอลต์ A-ก่อนเกิดฟอลต์ B-ขณะเกิดฟอลต์ C-หลังแยกฟอลต์ออกจากกระบวนการ	19
รูปที่ 2.8 ระบบไฟฟ้าขณะเกิดฟอลต์	20
รูปที่ 2.9 ค่ากระแสลัดวงจรสมมาตร	21
รูปที่ 2.10 ค่าแมชชีนโมเดล	23
รูปที่ 2.11 ระบบขนาดเล็ก	22
รูปที่ 2.12 โครงข่ายสมมูลย์	24
รูปที่ 2.13 วงจรสมมูลย์ของเทวินินก่อนเกิดฟอลต์	25
รูปที่ 2.14 วงจรสมมูลย์ของเทวินินของระบบที่เกิดฟอลต์	25
บทที่ 4 การออกแบบโปรแกรมเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง	
รูปที่ 4.1 หลักการทำงานของโปรแกรม	34
รูปที่ 4.2 แสดงแผนผังการคำนวณโหลดโฟลว	37
รูปที่ 4.3 แสดงแผนผังการคำนวณสมการสวิง	38
รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างของกราฟสวิงที่คำนวณได้	39
บทที่ 5 การทดสอบโปรแกรม	
รูปที่ 5.1 ตัวอย่างระบบที่ใช้ในการทดลอง	40
รูปที่ 5.2 กราฟจากการทดลองที่ 1	47
รูปที่ 5.3 กราฟจากการทดลองที่ 2	47
รูปที่ 5.4 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมเมื่อเรียกใช้งาน	48

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่ 5.5	แสดงหน้าจอเมื่อผู้ใช้เริ่มทำการใช้โปรแกรม	49
รูปที่ 5.6	แสดงการเลือกฐานข้อมูลจากพื้นฐานข้อมูล	49
รูปที่ 5.7	แสดงรายละเอียดของข้อมูลทั่วไปของระบบ	50
รูปที่ 5.8	แสดงรายละเอียดของข้อมูลบัสที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณ	50
รูปที่ 5.9	แสดงรายละเอียดของข้อมูลสายส่งที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณ	50
รูปที่ 5.10	แสดงรายละเอียดของข้อมูลหม้อแปลง	51
รูปที่ 5.11	แสดงรายละเอียดของข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนัส ที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณ	51
รูปที่ 5.12	แสดงข้อมูลของความคิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น	51
รูปที่ 5.13	แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมกำลังการคำนวณ	52
รูปที่ 5.14	แสดงผลจากการคำนวณด้วยหลักพื้นที่เท่ากัน	53
รูปที่ 5.15	แสดงผลจากการคำนวณโหลดฟูลวในส่วนของบัส	53
รูปที่ 5.16	ผลจากการคำนวณโหลดฟูลวในส่วนของ Line	53
รูปที่ 5.17	ผลจากการคำนวณโหลดฟูลวในส่วนของหม้อแปลง	53
รูปที่ 5.18	แสดงผลที่ได้จากการคำนวณสมการสวิง	53
รูปที่ 5.19	แสดงผลการพลอตกราฟสวิง	53

บทที่ 1

บทนำ

เสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้า (Power System Stability) นิยามได้ว่าเป็นคุณสมบัติของระบบซึ่งทำให้เครื่องจักรซิงโครนัสของระบบตอบสนองต่อการรบกวน (disturbance) จากเงื่อนไขการทำงานปกติ เพื่อกลับสู่การทำงานปกติอีกครั้งหนึ่งหลังจากการเกิดการรบกวน การเกิดการรบกวนอย่างรุนแรง (Large disturbance) อาจหมายถึงการเกิดฟอลต์อย่างรุนแรง(เช่น 3 - Φ fault) ความเสียหายของเงินเนอเรเตอร์ หรือโหลด ความเสียหายของ ระบบสายส่ง (transmission network) บางส่วนซึ่งจะมีผลต่อระบบกำลังไฟฟ้าทั้งระบบและยังมีผลไปกระทบต่อระบบข้างเคียงด้วย

ดังนั้นในการศึกษาเสถียรภาพ ระบบไฟฟ้ากำลังอาจหมายถึงกลุ่มของเครื่องจักรซิงโครนัสและโหลด ซึ่งต่อเชื่อมกันในระบบสายส่ง ในสภาวะการทำงานปกติเครื่องจักรซิงโครนัสจะทำงานที่ความเร็วซิงโครนัสเมื่อเกิดการรบกวนอย่างรุนแรงขึ้น เครื่องจักรซิงโครนัสจะเกิดการแกว่งไกว (swinging) ซึ่งสามารถแสดงในรูปแบบ สมการอนุพันธ์ไม่เชิงเส้น(nonlinear differential equation) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ รูปแบบของระบบไฟฟ้ากำลัง ของแต่ละระบบ วิธีการแก้ปัญหา สมการอนุพันธ์ไม่เชิงเส้น โดยทั่วไปมักใช้วิธีการนิวเมอริกอล อินทิเกรต ซึ่งเราสามารถวัดความคงทนต่อการรบกวนอย่างรุนแรงได้โดยวัดค่าเวลาเคลียร์ริงวิฤต ซึ่งเป็นค่าเวลาสูงสุดที่เกิดการรบกวนอย่างรุนแรงโดยยังสามารถกลับมายังสภาวะเสถียรภาพ (steady state) ได้ดั้งเดิม โดยแยกพิจารณาเป็น 3 สภาวะ คือ ก่อนการเกิด ฟอลต์ ช่วงการเกิดฟอลต์และหลังการเกิดฟอลต์

วัตถุประสงค์ในการศึกษาเสถียรภาพนั้นเพื่อเป็นการพิจารณา โรเตอร์ ของเครื่องจักรที่ถูกรบกวนทำให้เกิด มุม โรเตอร์และกลับไปยังการทำงานที่ความเร็วคงที่ด้วยเหตุนี้เพื่อให้การคำนวณง่ายขึ้นจึงได้สร้างสมมติฐานเบื้องต้น 3 ประการในการศึกษาเสถียรภาพคือ

1. พิจารณาเฉพาะกระแสและแรงดันความถี่ซิงโครนัสใน ขดสเตเตอร์ โดยไม่นำค่า ดีซี ออฟเซตและองค์ประกอบ ฮาร์โมนิก มารวมคำนวณด้วย
2. ใช้ องค์ประกอบแบบสมมาตร แสดง ฟอลต์ที่ไม่สมมาตร
3. การเปลี่ยนแปลงความเร็วของเครื่องจักรไม่มีผลกระทบกับ โวลต์เตจ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังในสถานะทรานเซียนท์

การคำนวณเสถียรภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตอร์จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

1. ชนิด รวดโรเตอร์ เจเนอเรเตอร์ โดยถือหลักว่า voltage behind direct-axis transient reactance มีค่าคงที่
2. ชนิด ขาเลี่ยนท์ โพลเจเนอเรเตอร์ โดยถือหลักว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่าของ ฟลักซ์ เกี่ยวข้อง ของขดสนาม (Eq) แปรค่าได้

ขั้นตอนในการคำนวณ

ในการคำนวณเสถียรภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตอร์ โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เป็นตัวคำนวณนี้ จำเป็นที่จะต้องมียรายละเอียดของระบบ เช่น บัสของระบบ , สายส่ง, เจเนอเรเตอร์

จากแผนผังจะเห็นว่าขั้นตอนในการคำนวณคือ การคำนวณ โหลด โฟลวซึ่งผลการคำนวณจะทำให้ทราบถึง โวลเตจบัสของระบบซึ่งในที่นี้เราใช้วิธีนิวตันราฟสัน

ขั้นตอนคือการ modified network data โดยที่โหลด และ แมชชีน ทุกตัวในระบบจะต้องแทนที่ด้วยวงจรสมมูลย์แล้วนำไปรวมใน Network data ที่มีอยู่ ซึ่งการแทนโหลดด้วย วงจรสมมูลย์นั้น ปกติจะแทนด้วย static impedance to ground และสำหรับการคำนวณในโปรแกรมนี้จะใช้ บัสแอดมิตแตนซ์ดังนั้นจึงแปลงโหลดเป็นค่าสมมูลย์ได้ดังนี้

$$I_{po} = \frac{(P_{lp} - Q_{lp})}{E * p}$$

(2.1)

P_{lp} และ Q_{lp} คือค่า real and reactive power of load bus P

$E * p$ คือค่า คอนจูเกตของบัสโวลเตจที่บัสP

I_{po} คือค่า กระแสไหลจาก บัสP ไปยังกราวด์

สแตติกแอดมิตแตนซ์ (Y_{po}) หาได้จาก

$$(E_p - E_o)Y_{po} = I_{po} \quad (2.2)$$

E_o คือค่าโวลเตจที่กราวด์ซึ่งเท่ากับ 0

$$Y_{po} = \frac{I_{po}}{E_p} = \frac{(P_{lp} - jQ_{lp})}{E_p E_p^*} \quad (2.3)$$

ส่วนการแทนแมชชีนด้วยวงจรสมมูลย์จะแทนค่าด้วยแอดมิตแตนซ์ที่หาค่าจากค่าพารามิเตอร์รีแอกแตนซ์ของ แมชชีน นั้นเอง

ขั้นต่อมาคือ การหาค่าโวลเตจของตัวที่เรานำมาเป็นวงจรสมมูลย์ของแหล่งจ่ายกำลังของ แมชชีน ซึ่งจะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ระบบ คือ แบบราวต์โรเตอร์ เจนเนอเรเตอร์และแบบซาลิเจนท์โพล เจนเนอเรเตอร์

ในกรณีของราวต์โรเตอร์จะแทนเจนเนอเรเตอร์ ด้วย voltage source in back of transient reactance ซึ่งตลอดการคำนวณ โวลเตจจะมีค่าคงที่ แต่ตำแหน่งเชิงมุมจะเปลี่ยนไปเรื่อยๆ เห็นได้จากสมการ

$$E' = E_t + r_a I_t + x'_d I_t \quad (2.4)$$

E' คือ Voltage back of transient reactance

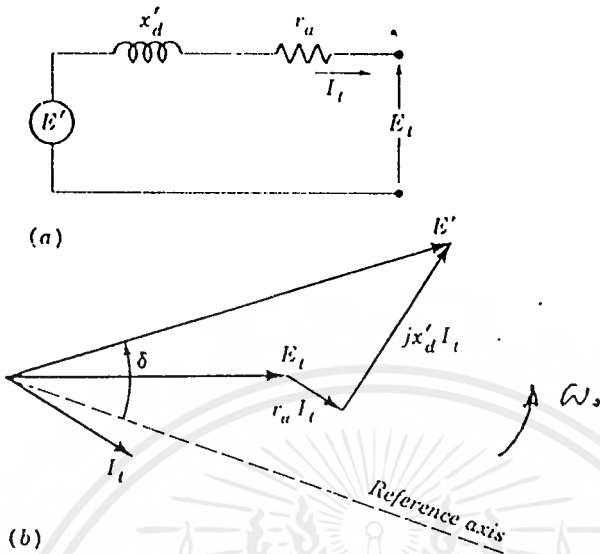
E_t คือ Terminal voltage ของเจ็นเนอเรเตอร์

I_t คือ กระแสที่ไหลผ่าน terminal ของ เจ็นเนอเรเตอร์

r_a คือ ความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์ ซึ่งสำหรับเจ็นเนอเรเตอร์

ตัวใหญ่จะเท่ากับศูนย์

x'_d คือ direc-axis transient reactance



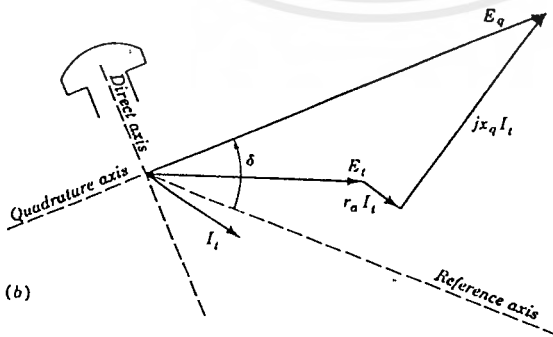
รูป 2.1 แสดงการแทนราวด์โรเตอร์แมชชีน

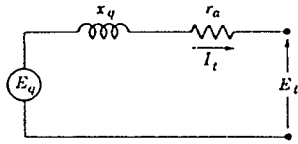
ในกรณีของซาลิเอนที่โพลจะแทนเงินเนอร์เรเตอร์ด้วย voltage back of quadrature-axis synchronous reactance

$$E_q = E_t + r_a I_t + jX'_q I_t \tag{2.5}$$

E_t คือ Voltage back of quadrature-axis synchronous reactance

X'_q คือ quadrature-axis synchronous reactance





(a)

รูป 2.2 แสดงการแทนชาเลียนที่โพลแมชชีน

การคำนวณเสถียรภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัวซึ่งก็คือ จำนวนตำแหน่งเชิงมุมโรเตอร์ (δ) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั่นเอง ซึ่งจะถูกสมมุติให้เกิดความผิดปกติขึ้นในระบบ โดยความผิดปกติที่เกิดขึ้นจะเป็นเหตุทำให้ระบบสูญเสียเสถียรภาพซึ่งก็คือฟอลต์ชนิดต่างๆ ได้แก่

- 1. 3- ϕ fault
- 2. Single line to ground fault
- 3. Line to line fault
- 4. Double line to ground fault

ฟอลต์ที่เกิดบ่อยได้คือ Single line to ground แต่สำหรับในการคำนวณเสถียรภาพจะกำหนดให้เกิด 3- ϕ fault ขึ้นในระบบ ซึ่งจะทำให้โวลเตจ ที่บัส ที่เกิดฟอลต์ มีค่าเป็นศูนย์ และนอกจากนี้ก็จะมีการ modify system data ขึ้น ถ้ามี switching operation ขึ้นในระบบ เช่นมีการทริปของ เซอร์คิตเบรกเกอร์จากนั้นก็ทำการคำนวณหาโวลเตจบัสของระบบขึ้นโดยใช้ วิธีเกาส์ไชดอล

$$E_p^{k+f} = \sum_{q=f}^{n+m} Z_{pq} I_q \tag{2.6}$$

- n คือ จำนวนบัส
- m คือ จำนวน buses behind the equivalent machines impedance
- f คือ บัสที่เกิดฟอลต์
- I_q คือ กระแสไหลด

ต่อไปจะเป็นการคำนวณค่า real power ที่ เจนเนอเรเตอร์แต่ละตัวจ่ายออกมาซึ่งมีการคำนวณที่แตกต่างกันดังนี้

2.1.1 การคำนวณราวต์โรเตอร์เจนเนอเรเตอร์

หลังจากแทนที่ราวต์โรเตอร์เจนเนอเรเตอร์ ด้วย voltage behind transient reactance แล้ว ยังมีสิ่งที่เป็นตัวกำหนดสภาพของ เจนเนอเรเตอร์ อีกคือ ในขณะที่เกิดฟอลต์ ขึ้นในระบบ

เจนเนอเรเตอร์ แต่ละตัวจ่ายกำลังไฟฟ้าเท่าใด ซึ่งเมื่อทราบถึงกำลังไฟฟ้าที่ เจนเนอเรเตอร์ จ่ายออกมา ก็จะทำให้ทราบ rate of change in speed of rotor of generator จากสมการสวิง

$$\frac{d^2 \lambda}{dt^2} = \frac{\pi f}{H} (P_m - P_e) \quad (2.7)$$

การหาค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกมาของ เจนเนอเรเตอร์ ชนิด ราวต์โรเตอร์โดยที่ E มีค่าคงที่มีขั้นตอนง่ายๆดังนี้

หลังจากคำนวณ โวลเตจบัคของระบบก็จะคำนวณ ค่ากระแสแมชชีนจาก

$$I_t = (E - E_t) Y_p \quad (2.8)$$

เมื่อ E คือ voltage behind direct-axis transient reactance

E_t คือ terminal voltage of machine

Y_p คือ equivalent admittance of machine

เมื่อได้ค่า กระแสแมชชีนแล้ว นำไปหาค่า Electrical real power ของ แมชชีน ได้จากสูตร

$$P_e - jQ_e = I_t (E')$$

$$P_e = \text{Real}(I_t E')$$

จากนั้นนำเอาค่า Electrical real power ไปใช้ในการแก้สมการ อนุพันธ์อันดับสอง เมื่อหาค่ามุม δ และ ω ออกมา

2.1.2 การคำนวณของชาเลียนท์โพล

จากสมมุติฐานที่ตั้งขึ้นในการคำนวณเสถียรภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดชาเลียนท์โพล จะถือว่ามี การเปลี่ยนแปลงค่า field flux linkage เนื่องจากแทน แมชชีน ด้วย voltage back of quadrature-axis synchronous reactance (E_q) แล้วทำให้ทราบมุม δ จาก

$$E_q = e_q + jf_q \quad (2.9)$$

$$\angle E_q = \tan^{-1} \left(\frac{f_q}{e_q} \right) \quad (2.10)$$

ค่า sinusoidal flux ที่เกิดจาก การเหนี่ยวนำของ field current จะนำค่าของ ฟลักซ์ไป 90 องศา บนแกน ควอดราเจอร์ซึ่งจะกำหนดได้จาก

$$E_t = E_f + r_a I_t + jx_d I_d + jx_q I_q \quad (2.11)$$

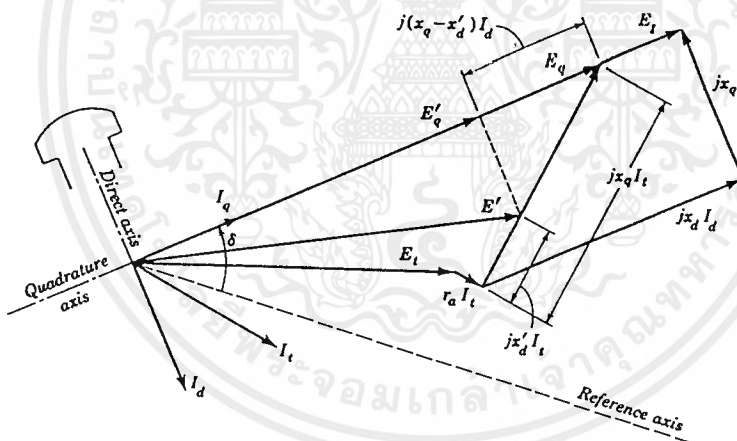
E_t คือ voltage proportional to field current

x_d คือ direct-axis synchronous reactance

x_q คือ quadrature-axis synchronous reactance

I_d คือ direct-axis component of machine terminal current

I_q คือ quadrature-axis component of machine terminal current



รูป 2.3 เฟสเซอร์ไดอะแกรม แสดง quadrature component ของ voltage behind transient reactance

จาก เฟสเซอร์ไดอะแกรม จะเห็นว่า quadrature component ของ voltage behind transient reactance (E'_q) คือ

$$E'_q = E_q - j(x_d - x'_d) I_d \quad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E'_q คือ voltage proportional to field flux linkage ซึ่งรวมผลของ กระแสฟิลด์และ กระแสอาร์เมเจอร์

field flux linkage ไม่สามารถที่จะเปลี่ยนทันทีทันใดได้หลังจากเกิดฟลตต์ แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงของ E'_q ซึ่งขึ้นอยู่กับ voltage proportional to field current กับ direct-axis transient open circuit time constant

$$\frac{dE'_q}{dt} = \frac{1}{T_{do}}(E_{fd} - E'_q) \quad (2.13)$$

ค่า initial field voltage (E_{fd}) จะมีค่าเท่ากับ E'_q ถ้าไม่คิดผลของ saturation และค่า field voltage นี้จะมีค่าคงที่ เพราะว่าไม่คิดผลของ Excitor control system ขึ้นต่อไปในการคำนวณคือ หาผลที่เกิดขึ้น

$$I_t = \frac{(E'_q - E_t)}{r_a + jx_q}$$

กับ E'_q เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของ terminal voltage (E_t) ซึ่งก็คือการคำนวณ machine terminal current

(2.14)

จากนั้นก็หา component ของ terminal current ตามแกนไควร์รี แล้วนำไปคำนวณหา voltage behind quadrature-axis synchronous reactance

$$E_q = E'_q + (x_q - x'_d)I_d \quad (2.15)$$

ค่าของ machine air-gap power หาจาก

$$P - jQ = I_t E^* \quad (2.16)$$

$$P = \text{Real}(I_t E^*) \quad (2.16)$$

ซึ่งจะนำไปใช้แก้สมการ ดิฟเฟอเรนเชียลต่อไป

2.2 สมการสวิง

สมการการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ของ ซิงโครนัส แมชชีนอาศัยกฎเกณฑ์ทางแมชชีนคือ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$J\alpha = T_a \quad (2.17)$$

$$J \frac{d^2\theta}{dt} = T_a \quad (2.18)$$

เมื่อ T_a คือ ผลบวกพีชคณิตของแรงบิดทุกแรงที่กระทำต่อเครื่องจักร (คือแรงบิดที่เพลาเนื่องจากเครื่องต้นกำลังของเจนเนอเรเตอร์หรือเนื่องจากโหลดของ มอเตอร์แรง บิดเนื่องจาก rotation loss(ความฝืด ขดลวด และความสูญเสียจากแกนเหล็ก)และ electromagnetic torque)

T_m คือ shaft torque

T_e คือ electromagnetic torque

ในกรณีของ ซิงโครนัสเจนเนอเรเตอร์แรงบิดทั้งสองจะมีค่าเป็นบวกส่วนกรณีของ มอเตอร์จะมีค่าเป็นลบ แรงบิดสุทธิ (net torque) ที่ทำให้เกิดการเร่งขึ้นเป็นผลต่างทางพีชคณิต ระหว่าง accelerating shaft torque กับ retarding electromagnetic torque

$$T_a = T_m - T_e \quad (2.19)$$

โดยทั่วไปเราจะวัดตำแหน่งเชิงมุม ความเร็วเชิงมุม เทียบกับแกนอ้างอิงที่หมุนไปด้วย ความเร็วซิงโครนัส ดังนั้น

$$\delta_m = \theta_m - \omega_{sm} \quad (2.20)$$

เมื่อ ω_{sm} คือ ความเร็วซิงโครนัส, mech rad/sec

δ_m คือ การกระจัดเชิงมุมของโรเตอร์ rad/sec

จาก(2.20)

$$\frac{d\delta_m}{dt} = \frac{d\theta_m}{dt} - \omega_{sm} \quad (2.21)$$

$$\frac{d^2\theta_m}{dt^2} = \frac{d^2\delta_m}{dt^2} \quad (2.22)$$

แทนใน(2.18)

$$J \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = T \quad (2.23)$$

$$J \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = T_a = T_m - T_e \quad (2.24)$$

ดังนั้น

$$J\omega_m \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = P_a = P_m - P_e \quad (2.25)$$

$$\omega_m = \frac{d\theta_m}{dt} \quad (2.26)$$

เมื่อ

P_m =shaft power input

P_e = electrical power

P_a =accelerating power

$J\omega_m$ =angular momentum= M (inertia constant)

$$M \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_a = P_m - P_e \quad (2.27)$$

H-constant

$$H = \frac{\text{Stored kinetic Energy in joules}}{\text{Rating in volt - amperes}} \quad (2.28)$$

นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H = \frac{J\omega_{sm}}{2s_{mech}} = \frac{m\omega_{sm}}{2s_{mech}}$$

(2.29)

$$M = \frac{2HS_{mech}}{\omega_{ms}}$$

MJ/mech rad (2.30)

แทนใน (2.17)

$$\frac{2H}{\omega_{sm}} \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = \frac{P_a}{S_{mech}} = \frac{P_m - P_e}{S_{mech}}$$

(2.31)

$$\frac{2H}{\omega_s} \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_a = P_m - P_e$$

เปอร์ยูนิต (2.32)

ถ้า δ อยู่ในหน่วย electrical radian

$$\frac{H}{\pi f} \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_a = P_m - P_e$$

เปอร์ยูนิต(2.33)

ถ้า δ อยู่ในหน่วย electrical degree

$$\frac{H}{180f} \frac{d^2\delta}{dt} = P_a = P_m - P_e$$

เปอร์ยูนิต(2.34)

สมการที่(2.32)นี้เรียกว่าสมการสวิงซึ่งอยู่ในรูป สมการอนุพันธ์อันดับสองแต่สามารถทำให้อยู่ให้รูป สมการอนุพันธ์อันดับหนึ่งได้ดังนี้

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega - \omega_s$$

เปอร์ยูนิต (2.35)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{2H}{\omega_s} \frac{d\omega}{dt} = P_m - P_e$$

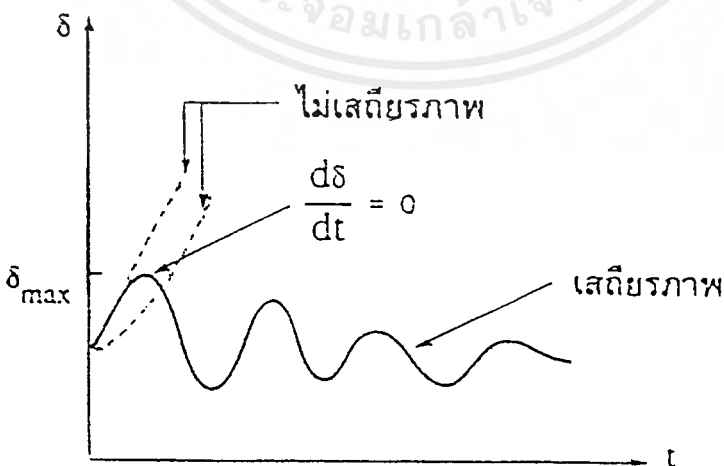
(2.36)

จากสมการเหล่านี้นำไปพิจารณาเสถียรภาพของซิงโครนิสเจเนอเรเตอร์ในระบบไฟฟ้ากำลังเมื่อสมการสวิงอยู่ในรูปของมุม δ ขึ้นกับเวลา กราฟของผลเฉลยเรียกว่าเส้นโค้งสวิงซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าเครื่องจักรจะยังอยู่ในสภาวะใดหลังจากเกิดการรบกวน

2.3 การศึกษาเสถียรภาพโดยหลักพื้นที่เท่ากัน

เสถียรภาพที่สภาวะทรานเซียนท์จะพิจารณาผลกระทบจากการรบกวนอย่างรุนแรงสิ่งเหล่านี้เนื่องมาจากการเกิดฟลัดนั้นเองเมื่อเกิดฟลัดขึ้นที่เทอมินอลของซิงโครนิสเจเนอเรเตอร์กำลังไฟฟ้าที่ได้ของเมชชีนจะลดลงอย่างมากอย่างไรก็ตามกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้เจเนอเรเตอร์จากเทอร์ไบน์ไม่สามารถเปลี่ยนได้ทันทีภายในช่วงเวลาสั้นๆที่เกิดฟลัด ความเร็วของโรเตอร์จะเพิ่มขึ้นเพื่อทำให้มีพลังงานเท่าเดิมถ้าเกิดฟลัดเป็นเวลานานมุมโรเตอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องแล้วจะเสถียรภาพซิงโครนิสซึ่ม ถ้าโรเตอร์สวิงไปเรื่อยๆจนกระทั่งความเร็วเชิงมุมเท่ากับศูนย์ซึ่งเมชชีนจะยังเสถียรภาพอยู่ได้

จากสมการ(2.33)ถ้าพิจารณามุม δ ในสมการนี้จะบอกถึงการเคลื่อนที่หรือการสวิงของโรเตอร์(โรเตอร์หมุนด้วยความเร็วสูงและด่ากลับไปกลับมาหรือความเร็วไม่คงที่ เมื่อเกิดการรบกวนขึ้นในระบบไฟฟ้า) ดังแสดงในรูป 2.4



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงของมุม δ ตามเวลาชนิดเสถียรภาพและไม่เสถียรภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.4 ในกรณีที่ระบบไม่เสถียรภาพมุม δ จะเพิ่มขึ้นไปตามเวลาและเครื่องจักรซิงโครนัสก็จะหลุดจากการซิงโครไนซ์ แต่ในกรณีของระบบที่เสถียรภาพมุม δ จะมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะออสซิลเลชันหรือสวิงไปมาและในที่สุดก็จะหยุดคงที่ จากรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ว่าที่เสถียรภาพนั้นบางช่วงของเวลาจะต้องมี

$$\frac{d\delta}{dt} = 0$$

ถ้าพิจารณาดิฟเฟอเรนเชียล dx^2/dt เราจะได้

$$\frac{dx^2}{dt} = 2x \frac{dx}{dt}$$

ดังนั้น

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{d\delta}{dt} \right)^2 = 2 \frac{d\delta}{dt} \frac{d^2\delta}{dt^2}$$

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{d(d\delta/dt)^2}{2d\delta}$$

(2.37)

แทนในสมการที่(2.37)ในสมการที่(2.27)จะได้

$$Md \left(\frac{d\delta}{dt} \right)^2 = 2(P_m - P_e)d\delta$$

(2.38)

ทำการอินทิเกรตสมการที่(2.38)ดังนั้น

$$\left(\frac{d\delta}{dt} \right)^2 = \frac{2}{M} \int_{\delta_0}^{\delta} (P_m - P_e) d\delta$$

(2.39)

หรือ

$$\frac{d\delta}{dt} = \sqrt{\frac{2}{M} \int_{\delta_0}^{\delta} (P_m - P_e) d\delta}$$

(2.40)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ δ_0 คือ มุมกำลังเริ่มต้นก่อนที่โรเตอร์จะเกิดการสวิงเพราะสาเหตุจากการรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า

จากหลักเกณฑ์ของการเสถียรภาพเราจะได้ $d\delta/dt = 0$ (ที่เวลาบางช่วง) นั้นหมายถึง

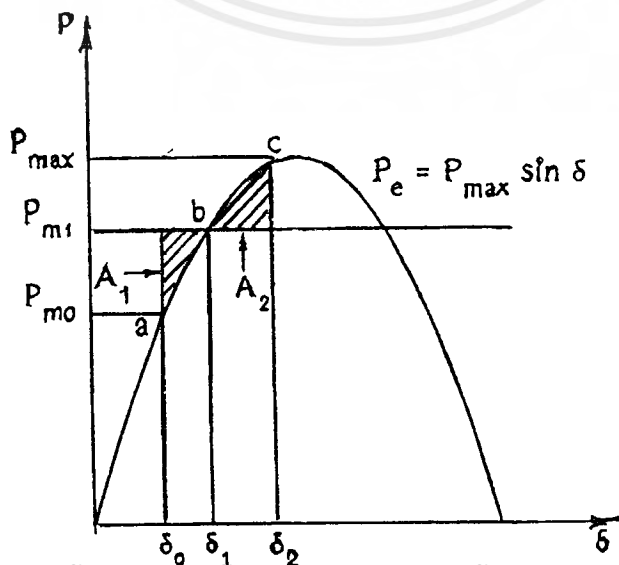
$$\int_{\delta_0}^{\delta} (P_m - P_e) d\delta = 0 \tag{2.41}$$

จากสมการที่(2.39)เป็นเงื่อนไขสำหรับการเสถียรภาพโดยการพิจารณาจากรูปที่ 2.5 ถ้าระบบเริ่มต้นจ่ายพลังงานไฟฟ้าอยู่ที่มุม δ_0 แต่เมื่อเกิดการรบกวนขึ้นกับระบบจนทำให้ต้องมีการจ่ายพลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นโดยมุม δ เลื่อนไปสู่มุม δ_1 ($P_{m1} > P_{e0}$) ดังนั้นจึงต้องเร่งโรเตอร์จากมุม δ_0 ไปสู่ δ_1

เพื่อให้เข้าสู่เสถียรภาพ ($P_{m1} = P_{e1}$) โดยใช้พลังงานในการเร่งโรเตอร์เท่ากับพื้นที่ A_1 แต่โรเตอร์ไม่สามารถหยุดที่มุม δ_1 ได้เนื่องจากความเฉื่อยของส่วนที่หมุน จึงทำให้มุม δ เคลื่อนไปสู่มุม δ_2 ($P_{m1} < P_{e2}$) ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการหน่วงโรเตอร์กลับมาที่มุม δ_1 โดยใช้พลังงานเท่ากับพื้นที่ A_2 จึงทำให้เกิดเสถียรภาพ ตามที่ได้กล่าวมานี้จะเป็นหลักเกณฑ์พื้นที่ที่เท่ากันสำหรับเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง กล่าวคือพื้นที่บวก(หรือพลังงานที่ใช้เร่งโรเตอร์)ต้องเท่ากับพื้นที่ลบ(หรือพลังงานที่ใช้หน่วงโรเตอร์)

จากรูปที่ 2.5 สามารถหาพื้นที่ A_1 และ A_2 ได้ดังนี้

$$A_1 = \int_{\delta_0}^{\delta_1} (P_{m1} - P_e) d\delta = \int_{\delta_0}^{\delta_1} (P_{m1} - P_{\max} \sin \delta) d\delta \tag{2.42}$$



รูป 2.5 การเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าในระบบเกิดการเร่งและหน่วงโรเตอร์
ในทำนองเดียวกัน

$$A_2 = \int_{\delta_1}^{\delta_2} (P_e - P_m) d\delta = \int_{\delta_1}^{\delta_2} (P_{\max} \sin \delta - P_{m1}) d\delta$$

(2.43)

$A_1 = A_2$ หรือ

$$\int_{\delta_0}^{\delta_1} (P_{m1} - P_{\max} \sin \delta) d\delta = \int_{\delta_1}^{\delta_2} (P_{\max} \sin \delta - P_{m1}) d\delta$$

ทำการอินทิเกรตจะได้ผล

$$P_{m1}(\delta_1 - \delta_0) + P_{\max}(\cos \delta_1 - \cos \delta_0) = P_{m1}(\delta_1 - \delta_2) + P_{\max}(\cos \delta_1 - \cos \delta_2)$$

(2.44)

แต่ที่จุดเสถียรภาพจะมีความสัมพันธ์ของ ($P_m = P_e$) หรือ

$$P_{m1} = P_{\max} \sin \delta_1$$

(2.45)

แทนสมการที่(2.45)ลงในสมการที่(2.44)และจัดเรียงเทอมใหม่จะได้

$$(\delta_2 - \delta_1) \sin \delta_1 + \cos \delta_2 - \cos \delta_0 = 0$$

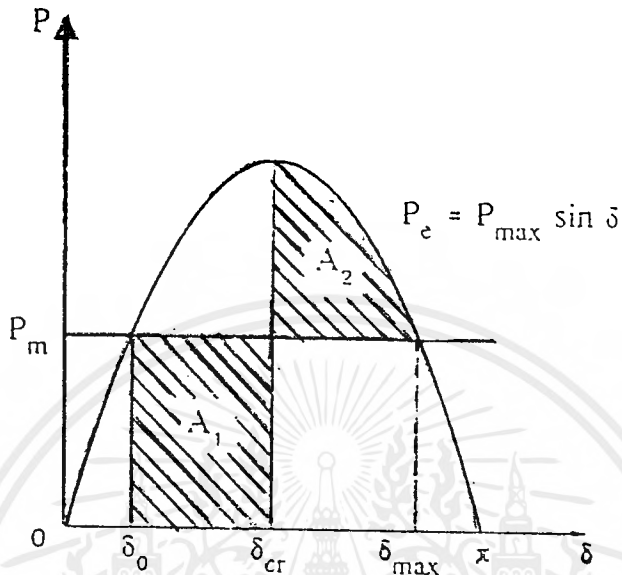
(2.46)

เมื่อทราบค่า δ_0 และ δ_1 เราสามารถใช้สมการที่(2.46)หาค่า δ_2 ได้

มุมเคลียร์ริงวิกฤต (Critical Clearing Angle)

เมื่อมีการรบกวนระบบหรือฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าจะมีผลทำให้มุม δ มีค่าสูงขึ้น เนื่องจากอิทธิพลของกำลังที่ทำให้เกิดความเร่ง ซึ่งถ้ามุม δ มีค่าสูงมากระบบก็จะเข้าสู่สภาวะไม่เสถียรภาพถ้าต้องการให้ระบบยังคงอยู่ในสภาวะเสถียรภาพและสอดคล้องกับเงื่อนไขของหลักเกณฑ์พื้นที่เท่ากันเราจึงจำเป็นต้องแยกฟอลต์ออกก่อนที่ระบบจะมีมุม δ เกินค่าที่วิกฤตค่าหนึ่ง ซึ่งเรียกมุมนี้ว่า มุมเคลียร์ริงวิกฤต ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และเวลาวิกฤตที่สอดคล้องกันสำหรับแยกฟอลต์ออกจากระบบเรียกว่า เวลาเคลียร์ริงวิกฤต (critical clearing time)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.6 เส้นโค้งกำลังไฟฟ้าและมุม δ แสดงมุมเคลียร์วิกฤต และพื้นที่ A_1 เท่ากับพื้นที่ A_2

$$A_1 = \int_{\delta_0}^{\delta_{cr}} P_m d\delta = P_m (\delta_{cr} - \delta_0) \quad (2.47)$$

$$A_2 = \int_{\delta_{cr}}^{\delta_{\max}} (P_e - P_m) d\delta$$

$$A_2 = P_{\max} (\cos \delta_{cr} - \cos \delta_{\max}) - P_m (\delta_{\max} - \delta_{cr}) \quad (2.48)$$

$$A_1 = A_2$$

$$P_{\max} (\cos \delta_{cr} - \cos \delta_{\max}) - P_m (\delta_{\max} - \delta_{cr}) = P_m (\delta_{cr} - \delta_0)$$

$$P_{\max} (\cos \delta_{cr} - \cos \delta_{\max}) = P_m (\delta_{\max} - \delta_0)$$

จะได้

$$\cos \delta_{cr} = \frac{P_m}{P_{max}} (\delta_{max} - \delta_0) + \cos \delta_{max} \quad (2.49)$$

สำหรับเส้นโค้งกำลังไฟฟ้าและมุม δ เป็นฟังก์ชันไซน์ซอซด์ ดังนั้นจะได้

$$\delta_{max} = \pi - \delta_0 \quad (2.50)$$

และ

$$P_m = P_{max} \sin \delta_0 \quad (2.51)$$

เมื่อแทนค่า δ_{max} และ P_m ลงในสมการที่(2.49)จึงทำให้หาค่ามุม δ_{cr} ได้คือ

$$\cos \delta_{cr} = \frac{P_{max} \sin \delta_0}{P_{max}} (\pi - \delta_0 - \delta_0) + \cos(\pi - \delta_0)$$

และ

$$\delta_{cr} = \cos^{-1} [(\pi - 2\delta_0) \sin \delta_0 - \cos \delta_0] \quad (2.52)$$

จากสมการสวิงได้

$$P_m - P_e = \frac{H}{\pi f} \frac{d^2 \delta}{dt^2}$$

เกิดฟลลด์ขึ้นที่เวลา $t=0$ ในทันทีทันใด ค่ากำลังไฟฟ้าขาออก P_e จะตกลงเป็น ศูนย์ แต่กำลังกลขาเข้าที่โรเตอร์ยังคงมีอยู่ซึ่งจะเป็นกำลังที่ทำให้เกิดความเร่งนั่นเอง ดังนั้นในเหตุการณ์ช่วงเวลาดังกล่าวจะได้

$$P_m = \frac{H}{\pi f} \frac{d^2 \delta}{dt^2}$$

และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ $\frac{d^2 \delta}{dt^2} = \frac{\pi f}{H} P_m = \frac{2\pi f}{2H} P_m$ นั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{\omega_s}{2H} P_m \quad (2.53)$$

ดังนั้นในขณะที่เกิดฟลัดต์ความเร็วของโรเตอร์ที่เพิ่มขึ้นมากกว่าความเร็วซิงโครนัส ซึ่งเราสามารถหาค่าได้จากการอินทิเกรตสมการ (3.17)

$$\frac{d\delta}{dt} = \int \frac{\omega_s}{2H} P_m t dt = \frac{\omega_s}{2H} P_m t + c_1 \quad (2.54)$$

เนื่องจากสภาวะก่อนเกิดฟลัดต์ระบบมีความเป็นเสถียรภาพ($P_m = P_c$)หรือ $d\delta/dt=0$ ดังนั้นเมื่อเริ่มเกิดฟลัดต์ที่ $t=0$ ค่า c_1 ในสมการที่(2.53)จึงเท่ากับศูนย์ถ้าเราต้องการหามุม δ ที่เลื่อนออกจากมุม δ_0 เนื่องจากแรงที่โรเตอร์ได้รับก็สามารถทำได้โดยการอินทิเกรตสมการ(2.54) เทียบกับเวลา

$$\delta = \int \frac{\omega_s}{2H} P_m t dt = \frac{\omega_s}{4H} P_m t^2 + c_2 \quad (2.55)$$

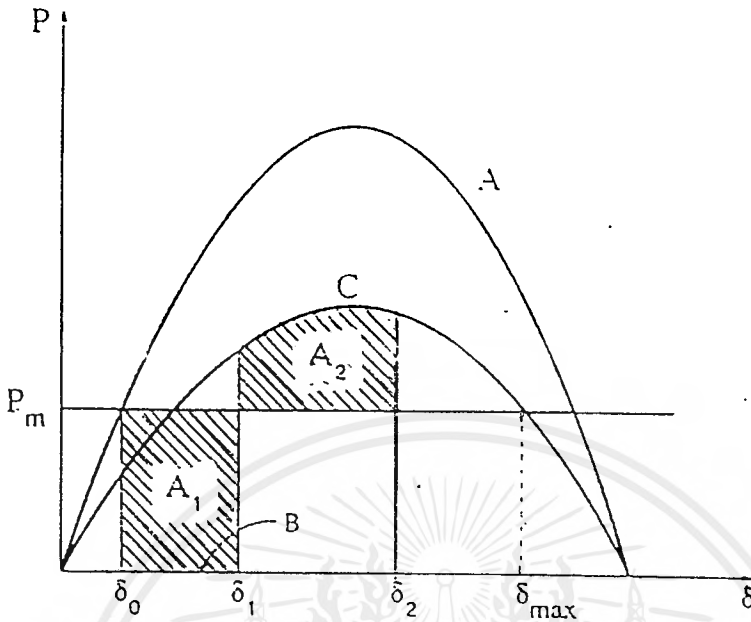
ขณะเริ่มเกิดฟลัดต์ที่เวลา $t=0$ มีมุม $\delta=\delta_0$ ดังนั้นสมการที่(2.55) จะเปลี่ยนเป็น

$$\delta = \frac{\omega_s}{4H} P_m t^2 + \delta_0 \quad (2.56)$$

มุม δ เป็นตำแหน่งเชิงมุม(angular position)ของโรเตอร์เคลื่อนที่ออกไปเนื่องจากความเร่งนั่นเอง

ถ้าเรากำหนดหามุมเคลียร์วิกฤตจากสมการที่(2.52)ได้แล้วและนำมาแทนค่าทางซ้ายของสมการที่(2.56) ก็จะคำนวณหาเวลาเคลียร์วิกฤตได้เช่นกัน

$$t_{cr} = \sqrt{\frac{4H(\delta_{cr} - \delta_0)}{\omega_s P_m}} \quad (2.57)$$



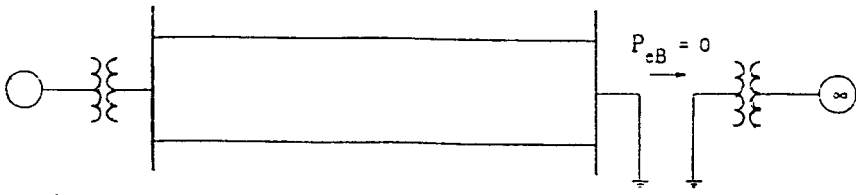
รูป 2.7 ลำดับขั้นตอนเมื่อเกิดฟอลต์ A-ก่อนเกิดฟอลต์ B-ขณะเกิดฟอลต์ C-หลังแยกฟอลต์ออก
ในกรณีที่เกิดขึ้นฟอลต์ ยังคงมี กำลังส่งผ่านไปได้ในกรณีนี้ power angle curve
ขึ้นใน 3 ลักษณะคือ

1. ก่อนเกิดฟอลต์ แสดงด้วยเส้นโค้ง A ซึ่งถือว่าระบบอยู่ในสภาวะปกติ ดังนั้น $P_e = P_m$
และสามารถหาค่า P_e ได้จากสมการ

$$P_{eA} = \frac{EV \sin \delta}{X_1 + X_2 + \frac{X_2 X_3}{X_2 + X_3}}$$

(2.58)

- 2 ระหว่างเกิดฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์แบบสมมาตร 3 เฟส ขึ้นที่จุด F จะเสมือนว่าได้ แยก
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบดังรูป 3.5 ดังนั้นกำลังไฟฟ้าขาออก $P_e = 0$ พื้นที่ A_1 ในรูปที่ 3.4 จะ
เป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานจลน์สะสมในโรเตอร์ที่ทำให้เกิดความเร่งและมีการเลื่อนมุม δ ไป
ตำแหน่ง δ_1



รูป 2.8 ระบบไฟฟ้าในขณะที่เกิดฟอลต์

3. หลังเกิดฟอลต์ถ้าเซอร์กิตเบรกเกอร์ A และ B สามารถ แยกได้ทันที ระบบจะได้รับพลังงานโดยผ่านสายส่ง TL₁ ตามเส้นโค้ง C ซึ่งมีความสัมพันธ์เป็นไปตามสมการ

$$P_{ec} = \frac{EV \sin \delta}{X_1 + X_2 + X_4} \quad (2.59)$$

และ

$$A_2 = \int_{\delta_1}^{\delta_2} (P_{ec} - P_m) d\delta \quad (2.60)$$

สำหรับการคำนวณมุมเคลียร์ริงวิกฤตในกรณีนี้ ($\delta_{cr} - \delta_1$) เราต้องตั้งค่า δ_2 ของสมการที่ 3.25 ให้เท่ากับ δ_{max} ที่เป็นจุดตัดระหว่างเส้นโค้ง C กับ P_{max} แล้วจัดสมการให้พื้นที่ A_1 เท่ากับ A_2

2.4 การคำนวณฟอลต์

ในระบบไฟฟ้าสิ่งที่จำเป็นและต้องคำนึงถึงก็คือเมื่อเกิดการผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ ตำแหน่งต่าง ๆ นั้นสามารถคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรได้หรือไม่ เพราะค่ากระแสลัดวงจรนี้เป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างมากในการนำไปหาขนาดของอุปกรณ์ป้องกันต่างๆได้ ในกรณีเกิดการลัดวงจรขึ้นในระบบไฟฟ้า ความรุนแรงของกระแสลัดวงจรที่จะเกิดขึ้น ณ จุดที่เกิดการลัดวงจรนั้น จะขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้าต่างๆในระบบ ค่ารีแอกแตนซ์ของแหล่งกำเนิด ค่ารีแอกแตนซ์ของระบบจนถึงจุดที่เกิดการลัดวงจร

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

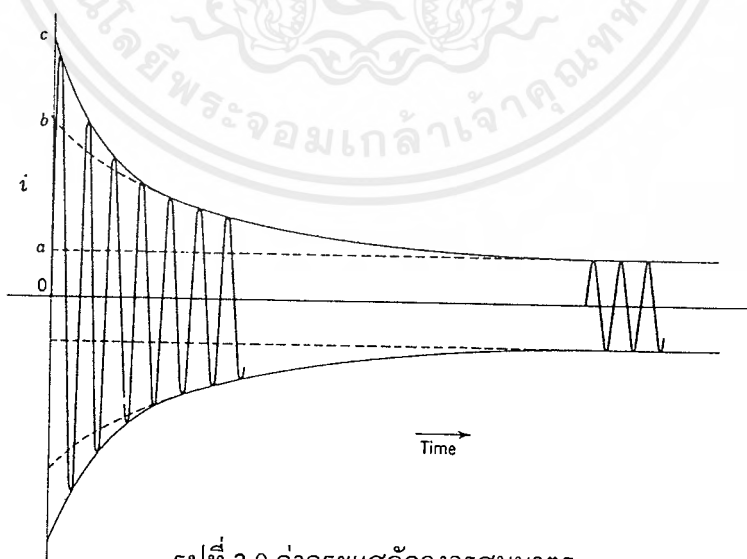
ในกรณีที่เกิดการลัดวงจรนั้นทั้งตัวต้นกำลังและกระแสกระตุ้นก็ยังคงมีอยู่ ดังนั้น กระแสลัดวงจรที่เกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะถูกกำหนดโดยค่ารีแอกแตนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ตลอดจนถึงขึ้นอยู่กับค่าตัวประกอบในวงจรที่อยู่ระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับจุดที่เกิดการลัดวงจร นอกจากนี้ผลของการลัดวงจรยังจะมีผลต่อเนื่องมาถึงค่ารีแอกแตนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีกด้วย

ก. ค่าชับทรานเซียนต์รีแอกแตนซ์แกนตรง (X_d'') จะเป็นค่ารีแอกแตนซ์ของขดสเตเตอร์ โดยจะปรากฏขึ้นทันทีที่เกิดการลัดวงจรขึ้นและจะเป็นตัวกำหนดกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นภายใน ช่วง 1-2-3 ไซเคิลแรกหลังจากเกิดการลัดวงจร

ข. ค่าทรานเซียนต์รีแอกแตนซ์แกนตรง (X_d') จะเป็นค่าที่กำหนดกระแสลัดวงจร โดยค่ารีแอกแตนซ์นี้จะผลจนถึง 0.5 วินาที หรือนานกว่าจนถึง 2 วินาที

ค. ค่าซิงโครนัสรีแอกแตนซ์แกนตรง (X_d) ค่านี้จะเป็นตัวกำหนดการไหลของกระแสลัดวงจรในช่วงสถานะอยู่ตัวและจะไม่มีผลอะไร ค่ารีแอกแตนซ์ค่านี้จะนำมาพิจารณาหลังเกิดการลัดวงจรผ่านไปหลายวินาทีดังนั้นส่วนใหญ่จึงจะไม่นิยมใช้ค่า X_d ในการคำนวณกระแสลัดวงจร

ค่ารีแอกแตนซ์ที่กล่าวมานี้ ถ้านำมาเขียนถึงผลของกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นในรูปจะเห็นว่ากระแสจะค่อยๆ ลดลงอย่างเอ็กซ์โพเนนเชียลจากค่าสูงลงไปสู่ค่าต่ำจนถึงช่วงสถานะอยู่ตัว ค่ากระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นนี้จะขึ้นอยู่กับค่ารีแอกแตนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยค่ารีแอกแตนซ์จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับเวลา



รูปที่ 2.9 ค่ากระแสลัดวงจรสมมาตร

2.4.1 3-φ ฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาโวลเตจที่เงินเนอเรเตอร์เป็นค่าคงที่ E^M (voltage behind an approximate machine admittance) ซึ่งจะมีค่าขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่ทำกรคำนวณพอลต์ วิเคราะห์เพียงสองถึงสามไซเคิล จะใช้สับทรานเซียนแอดมิตแตนซ์ในการพิจารณา แต่ถ้าเวลานานขึ้นจะใช้ทรานเซียนแอดมิตแตนซ์ จากรูปที่ 2.8 แปลงให้เป็นวงจรสมมูลย์ของโหนดโดย ทฤษฎีของ นอร์ตัน

$$I_j = y_j^M E_j^M \quad (2.61)$$

โดย

$$E_j^M = V_j + \frac{I_j^M}{y_j^M} \quad (2.62)$$

ดังนั้น

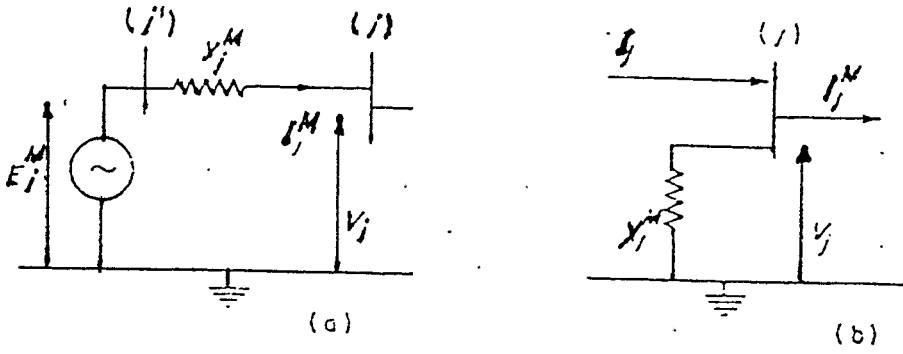
$$I_j = y_j^M V_j + I_j^M \quad (2.63)$$

I_j^M เป็นกระแสที่ V_j ทำให้เกิด กำลังของแมชชีน $P_j^M + jQ_j^M$ ดังนั้น

$$(I_j^M)^* V_j = P_j^M + jQ_j^M \quad (2.64)$$

จากข้อมูลของโหนดโพลวเราจะได้ P^M V^M และ Q^M เราจะสามารถคำนวณกระแสที่ไหลเข้าโหนดได้ I_j

$$I_j = y_j^M V_j + \frac{P_j^M - jQ_j^M}{V_j^*} \quad (2.65)$$



รูป 2.10 แมชชีน โมเดล

สมการแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์

ใช้ระบบไฟฟ้ากำลังขนาดเล็กในการพิจารณาเช่นรูปที่ 2.9 แปลงเป็น โหนด สมมูลย์ (node equivalent) เราจะได้สมการ

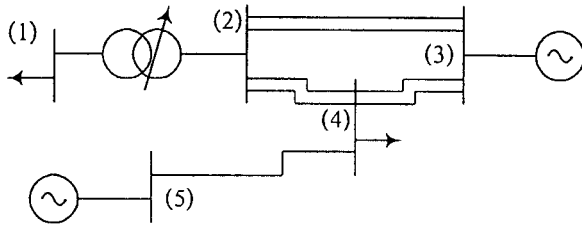
$$I_1 = y_{11}V_1 + y_{12}(V_1 - V_2) \tag{2.66}$$

$$I_2 = y_{12}(V_2 - V_1) + y_{22}V_2 + y_{23}(V_2 - V_3) + y_{24}(V_2 - V_4) \tag{2.67}$$

$$I_3 = y_{23}(V_3 - V_2) + y_{33}V_3 + y_{34}(V_3 - V_4) \tag{2.68}$$

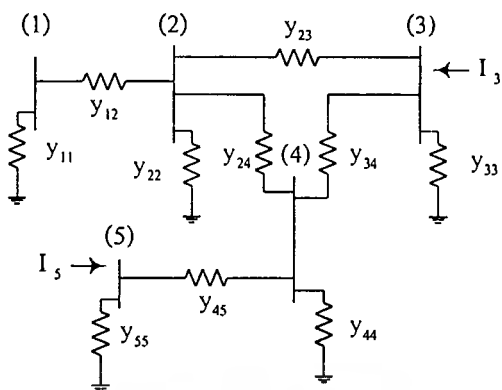
$$I_4 = y_{24}(V_4 - V_2) + y_{34}(V_4 - V_3) + y_{44}(V_4) + y_{45}(V_4 - V_5) \tag{2.69}$$

$$I_5 = y_{45}(V_5 - V_4) + y_{55}V_5 \tag{2.70}$$



รูป 2.11 ระบบขนาดเล็ก

จากสมการ(2.69)-(2.70) เขียนเป็น โครงข่ายได้



รูป 2.12 โครงข่ายสมมูลย์

ทำการแปลงให้อยู่ในรูปเมตริกซ์

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{21} & Y_{31} & Y_{41} & Y_{51} \\ Y_{12} & Y_{22} & Y_{32} & Y_{42} & Y_{52} \\ Y_{13} & Y_{23} & Y_{33} & Y_{43} & Y_{53} \\ Y_{14} & Y_{24} & Y_{34} & Y_{44} & Y_{54} \\ Y_{15} & Y_{25} & Y_{35} & Y_{45} & Y_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \end{bmatrix} \tag{2.71}$$

$$Y_{ij} = \sum_j y_{ij}$$

$$Y_{ij} = -y_{ij} \quad i \neq j$$

สมการ (2.71)เขียนเป็น

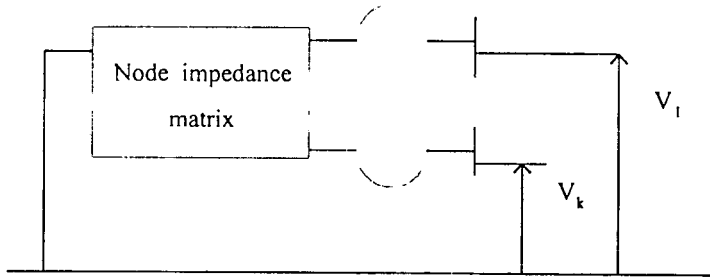
$$[I] = [Y][V] \tag{2.72}$$

สมการอิมพีแดนซ์เมตริก

จากสมการ(2.72)

$$\begin{aligned} [V] &= [Y]^{-1}[I] \\ &= [Z][I] \end{aligned} \tag{2.73}$$

โดยพิจารณาวงจรสมมูลย์ของเทวินิน



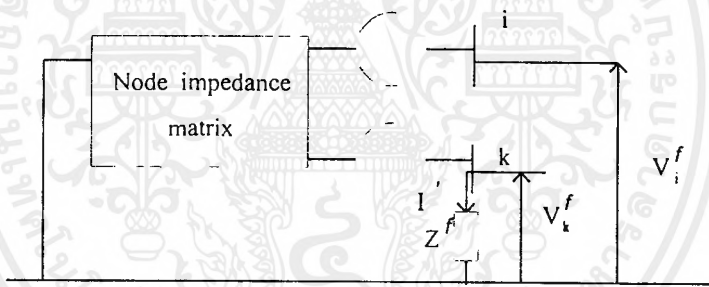
รูป 2.13 วงจรสมมูลของเทวินินก่อนเกิดฟอลต์

การคำนวณฟอลต์

จากรูปที่ 2.12 โวลเตจที่บัส k มีค่า

$$V_k^f = Z^f I^f \tag{2.74}$$

k คือบัสที่เกิดฟอลต์ Z_f คือฟอลต์อิมพีแดนซ์ I_f คือกระแสฟอลต์



รูป 2.14 วงจรสมมูลของเทวินินของระบบที่เกิดฟอลต์

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_k \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \cdots & Z_{1k} & \cdots & Z_{1n} \\ Z_{21} & Z_{22} & \cdots & Z_{2k} & \cdots & Z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{k1} & Z_{k2} & \cdots & Z_{kk} & \cdots & Z_{kn} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{n1} & Z_{n2} & \cdots & Z_{nk} & \cdots & Z_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_k \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix}$$

(2.75)

เลือกแถว k ทำการกระจาย

$$V_k = Z_{k1}I_1 + \dots + Z_{kk}I_k + \dots + Z_{kn}I_n - Z_{kk}I^f \tag{2.76}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างเกิดฟอลต์จะมีกระแส I_f ไหลออกจากบัส k จากสมการ(2.74)และ (2.75)

$$V_k^f = Z^f I^f + \dots + Z_{kk} I_k + \dots + Z_{kn} I_n - Z_{kk} I^f \quad (2.77)$$

หรือ

$$Z^f I^f = V_k - Z_{kk} I^f \quad (2.78)$$

จะได้กระแสฟอลต์

$$I^f = \frac{V_k}{Z_{kk} + Z^f} \quad (2.79)$$

จากสมการ(2.75) จะได้ค่าโวลเตจของพรีฟอลต์ที่บัส j ใดๆ

$$V_j = Z_{j1} I_1 + Z_{j2} I_2 + \dots + Z_{jk} I_k + \dots + Z_{jn} I_n \quad (2.80)$$

และระหว่างฟอลต์

$$V_j^f = Z_{j1} I_1 + Z_{j2} I_2 + \dots + Z_{jn} I_n - Z_{jk} I^f \quad (2.81)$$

หรือ

$$V_j^f = V_j - Z_{jk} I^f \quad (2.82)$$

$$\begin{bmatrix} Z_{1k} \\ Z_{2k} \\ \cdot \\ Z_{kk} \\ \cdot \\ Z_{nk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \cdot & Z_{1k} & \cdot & Z_{1n} \\ Z_{21} & Z_{22} & \cdot & Z_{2k} & \cdot & Z_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Z_{k1} & Z_{k2} & \cdot & Z_{kk} & \cdot & Z_{kn} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Z_{n1} & Z_{n2} & \cdot & Z_{nk} & \cdot & Z_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \cdot \\ 1 \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix}$$

(2.83)

$$I_j^f = I_j \quad j \neq k, \quad j = 1 \text{ ถึง } n$$

$$I_k^f = I_k - I^f \quad j=k$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โวลเตจระหว่างเกิตฟอลต์

$$[V^f] = [Z][I^f] \quad (2.84)$$

จากการกระจาย สมการที่ (2.84) จะเท่ากับ (2.82)

$$[I^f] = [I] - [0, 0, 0, \dots, I^f, \dots, 0]^T$$

จาก (2.84)

$$[V^f] = [Z] \{ [I] - [0, 0, 0, \dots, I^f, \dots, 0]^T \}$$

หรือ

$$[V^f] = [V] - [Z][0, 0, \dots, I^f, \dots, 0]^T$$

ซึ่งจะเท่ากับ (2.82)

จากโวลเตจฟอลต์สามารถคำนวณกระแสระหว่างบัสได้

$$I_{ij}^f = y_{ij} \{ V_i^f - V_j^f \} \quad (2.85)$$

$$I_{ij}^f = y_{ij} \{ (1 - \tau) V_i^f - V_j^f \} \quad (2.86)$$

$$I_{ij}^{Mf} = (E_i^M - V_i^f) y_i^M$$

$$I_i^{Mf} = I_i^M - V_i^f y_i^M$$

(2.87)

2.4.2 single line to ground fault

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟอลต์ที่เกิดในระบบไฟฟ้ากำลังส่วนใหญ่จะเป็นฟอลต์แบบไม่สมมาตรเช่น single line to ground fault, line to line fault หรือ double line to ground fault การเกิดฟอลต์แบบไม่สมมาตรจะทำให้เกิดกระแสไม่สมมาตรขึ้นในระบบ

$$I_b = 0$$

$$I_c = 0$$

$$V_a = 0$$

จาก $I_b=0$ และ $I_c=0$ จะมีส่วนประกอบสมมาตรของกระแส

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

ดังนั้น I_{a0} , I_{a1} และ I_{a2} จะมีค่าเท่ากับ $I_a/3$ และ

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0}$$

(2.88)

จาก

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

(2.89)

แทน I_{a2} และ I_{a0} ด้วย I_{a1} จะได้

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ E_a \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a1} \\ I_{a1} \\ I_{a1} \end{bmatrix}$$

(2.90)

$$\begin{aligned}
 V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} &= -I_{a1}Z_1 + E_a - I_{a1}Z_1 - I_{a1}Z_2 \\
 V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} &= 0
 \end{aligned}
 \tag{2.91}$$

จะได้

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0}
 \tag{2.92}$$



บทที่ 3

การแก้ปัญหาโหลดไหล

ในการศึกษาโหลดไหลเป็นสิ่งสำคัญมากในการประเมินผลการปฏิบัติงานของระบบไฟฟ้ากำลัง การควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง และการวางแผนสำหรับการขยายระบบในอนาคต การศึกษาโหลดไหลนี้จะทำให้ทราบเกี่ยวกับกำลังจริงและรีแอกทีฟและแรงดันชนิดเฟสเซอร์ ณ บัสแต่ละบัส ในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีจำนวนบัส N บัสโดยเราพิจารณาในรูปของบัสโวลเตจและส่วนประกอบบัสแอตมิตแตนซ์ ปัญหาที่เกิดขึ้นจะกำหนดให้อยู่ในสภาวะคงตัว เทคนิคในการแก้ปัญหาวัดรวมทั้งสมการไม่เป็นเชิงเส้นของเกาส์ ไซคอลล รอบการแก้ปัญหาแบบเชิงเส้นของวิธีนิวตัน-ราฟสัน

วิธีการนิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson Method)

วิธีการนิวตัน-ราฟสัน เป็นวิธีในการแก้ปัญหาโดยพิจารณาสมการของฟังก์ชันสองตัวแปร

$$f_1(x_1, x_2) = K_1 \tag{3.1}$$

$$f_2(x_1, x_2) = K_2 \tag{3.2}$$

เมื่อ K_1, K_2 เป็นค่าคงที่

เราประมาณคำตอบของสมการเช่น $x_1^{(0)}$ และ $x_2^{(0)}$ ตัวตั้งศรียเป็นการบอกค่าเริ่มต้นของการประมาณ $\Delta x_1^{(0)}$ และ $\Delta x_2^{(0)}$ เป็นค่าคงที่ที่บวกกับ $x_1^{(0)}$ และ $x_2^{(0)}$

$$K_1 = f_1(x_1, x_2) = f_1(x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)}, x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(0)}) \tag{3.3}$$

$$K_2 = f_2(x_1, x_2) = f_2(x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)}, x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(0)}) \tag{3.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากอนุกรมเทย์เลอร์ทำการกระจาย สมการ(3.3) (3.4) หาค่า $\Delta x_1^{(0)}$ และ $\Delta x_2^{(0)}$

จะได้

$$K_1 = f_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) + \Delta x_1^{(0)} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} /_{(0)} + \Delta x_2^{(0)} \frac{\partial f_1}{\partial x_2} + \dots \quad (3.5)$$

$$K_2 = f_2(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) + \Delta x_1^{(0)} \frac{\partial f_2}{\partial x_1} /_{(0)} + \Delta x_2^{(0)} \frac{\partial f_2}{\partial x_2} /_{(0)} + \dots \quad (3.6)$$

จากสมการ(3.5),(3.6)ทำให้อยู่ในรูปเมตริกซ์

$$\begin{bmatrix} \Delta K_1^{(0)} \\ \Delta K_2^{(0)} \end{bmatrix} = J^{(0)} \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

ซึ่งเมตริกซ์กำลังสองของพหุนามเชิงเส้น เรียกว่าจาโคเบียน(jacobien,J)

$$\begin{bmatrix} K_1 - f_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) \\ K_2 - f_2(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

เพื่อให้ได้คำตอบที่ถูกต้อง โดยการประมาณค่าใหม่ไปเรื่อยๆจนกระทั่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

$$x_1^{(1)} = x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)}$$

$$x_2^{(1)} = x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(0)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำวิธีการนิเวศน์-กราฟต้นมาใช้ในการคำนวณ โหลดโพล จะต้องทำบัสโวลเตจ และ โหลดแอดมิตแตนซ์ให้อยู่ในรูปโพลาร์ (polar form) หรือรูปเรกแตงกูลาร์ (rectangular form) ถ้าเป็นรูปโพลาร์ จำนวน N บัส หาค่าที่บัส k จาก

$$P_k - jQ_k = V_k^* \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n$$

จะได้

$$P_k - jQ_k = \sum_{n=1}^N |V_k V_n Y_{kn}| \angle \theta_{kn} + \delta_n - \delta_k \quad (3.9)$$

$$P_k = \sum_{n=1}^N |V_k V_n Y_{kn}| \cos(\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k) \quad (3.10)$$

$$Q_k = \sum_{n=1}^N |V_k V_n Y_{kn}| \sin(\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k) \quad (3.11)$$

การประมาณขนาดของโวลเตจและขนาดของมุมจะได้จากการประมาณ x_1 , x_2 จากสมการ(3.7)เราใช้การประมาณนี้มาคำนวณค่า P_k , Q_k จากสมการ(3.10) และ (3.11)

$$\Delta P_k = P_{k,spec} - P_{k,calc}$$

$$\Delta Q_k = Q_{k,spec} - Q_{k,calc}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขียนให้อยู่ในรูปเมตริกซ์จำนวนบิต 3 บิต

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \\ \dots \\ \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_3} \cdot \frac{\partial P_2}{\partial |V_2|} \frac{\partial P_2}{\partial |V_3|} \\ \frac{\partial P_3}{\partial \delta_2} \frac{\partial P_3}{\partial \delta_3} \cdot \frac{\partial P_3}{\partial |V_2|} \frac{\partial P_3}{\partial |V_3|} \\ \dots \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_3} \cdot \frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|} \frac{\partial Q_2}{\partial |V_3|} \\ \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_2} \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_3} \cdot \frac{\partial Q_3}{\partial |V_2|} \frac{\partial Q_3}{\partial |V_3|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2 \\ \Delta \delta \\ \dots \\ \Delta V_2 \\ \Delta V_3 \end{bmatrix}$$

(3.12)

พหุคูณตรีโกณมิติ สมการ(3.10)และ(3.11)จะได้จาโคเบียนเมตริกซ์

$$\frac{\partial P_k}{\partial \delta_n} = -|V_k V_n Y_{kn}| \sin(\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k)$$

(3.13)

$n \neq k$

$$\frac{\partial P_k}{\partial \delta_k} = \sum_{n=1, n \neq k}^N |V_k V_n Y_{kn}| \sin(\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k)$$

(3.14)

ค่าที่ได้รับกำหนดสำหรับหา $\Delta \delta^{(0)}_k$ และ $\Delta |V^{(0)}_k|$ จะนำไปบวกกับค่าประมาณก่อนหน้าของ δ_k V_k เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าประมาณค่าใหม่ที่จะใช้เพื่อเริ่มต้นการวนซ้ำรอบต่อไป จะทำกระบวนการนี้ซ้ำจนกระทั่งเมตริกซ์แนวตั้งเมตริกซ์โคเมตริกซ์หนึ่งมีค่าน้อยลงตามต้องการ

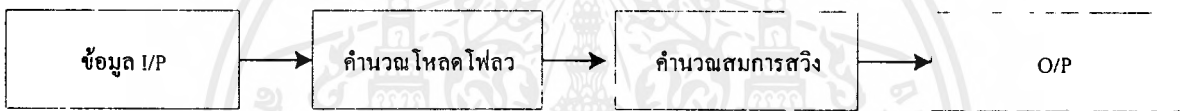
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบโปรแกรมเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง

หลักการการทำงานของโปรแกรม

การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังโดยวิธีการใช้กราฟสวิงช่วยในการวิเคราะห์นั้น เราจะพิจารณาจากความสัมพันธ์ของมุมโรเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงไป เปรียบเทียบที่เวลาต่างๆ แล้วทำการสังเกตลักษณะของกราฟ เมื่อเวลาที่ใช้ในการเคลียร์ฟอลต์ เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับ ค่ามุมวิกฤตและค่าเวลาวิกฤต ความสัมพันธ์ของกราฟจะเป็นไปตามการคำนวณ สมการสวิง ซึ่งจะช่วยให้เราทราบถึงเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังที่เรากำลังพิจารณาอยู่นั้น ได้อย่างคร่าวๆ ซึ่งเราสามารถแบ่งการทำงานของโปรแกรมออกเป็นหลักใหญ่ ๆ ตามแผนผังงานในรูปที่ 4.1 ได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 หลักการทำงานของ โปรแกรม

- 1 ส่วนรับข้อมูล (Input Data)
- 2 ส่วนคำนวณโหลดไหล
- 3 ส่วนคำนวณสมการสวิง
- 4 ส่วนเอาท์พุท

ซึ่งโปรแกรมทั้ง 4 ส่วนนี้จะทำงานเรียงลำดับขั้นจาก 1 ถึง 4 ดังรายละเอียดที่จะแสดงต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 : ส่วนรับข้อมูล (Input Data)

ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องทราบข้อมูลของระบบที่จะทำการวิเคราะห์โดยข้อมูลดังกล่าวผู้ใช้จะต้องทำการป้อนข้อมูลไปตามขั้นตอน หรือจะต้องมีอยู่แล้วในฐานะข้อมูล ซึ่งจะประกอบไปด้วยข้อมูลต่างๆ คือ

1. ข้อมูลทั่วไป (General Data)

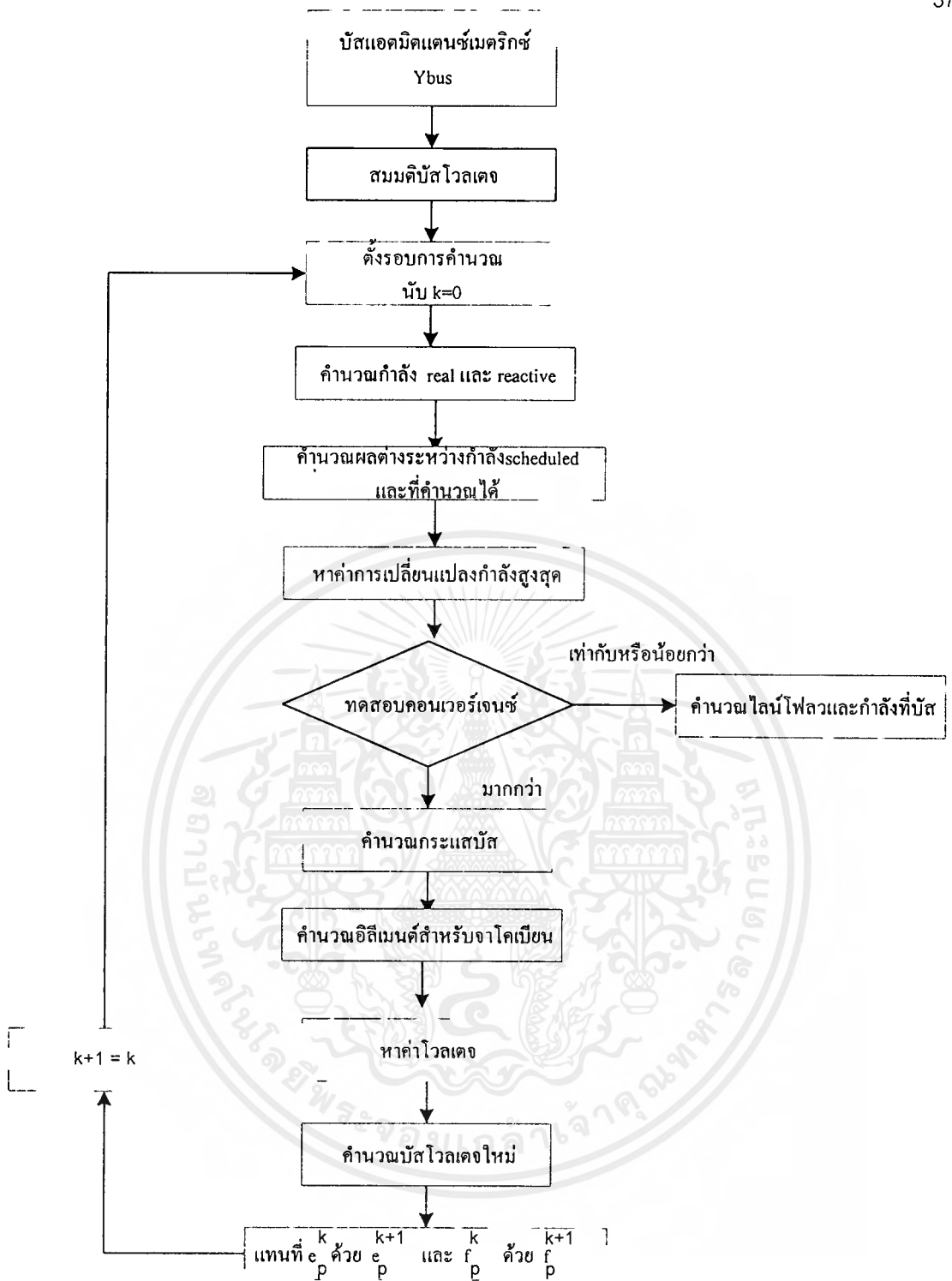
1.1 หมายเลข Slack Bus

1.2 จำนวนวงรอบการคำนวณสูงสุด

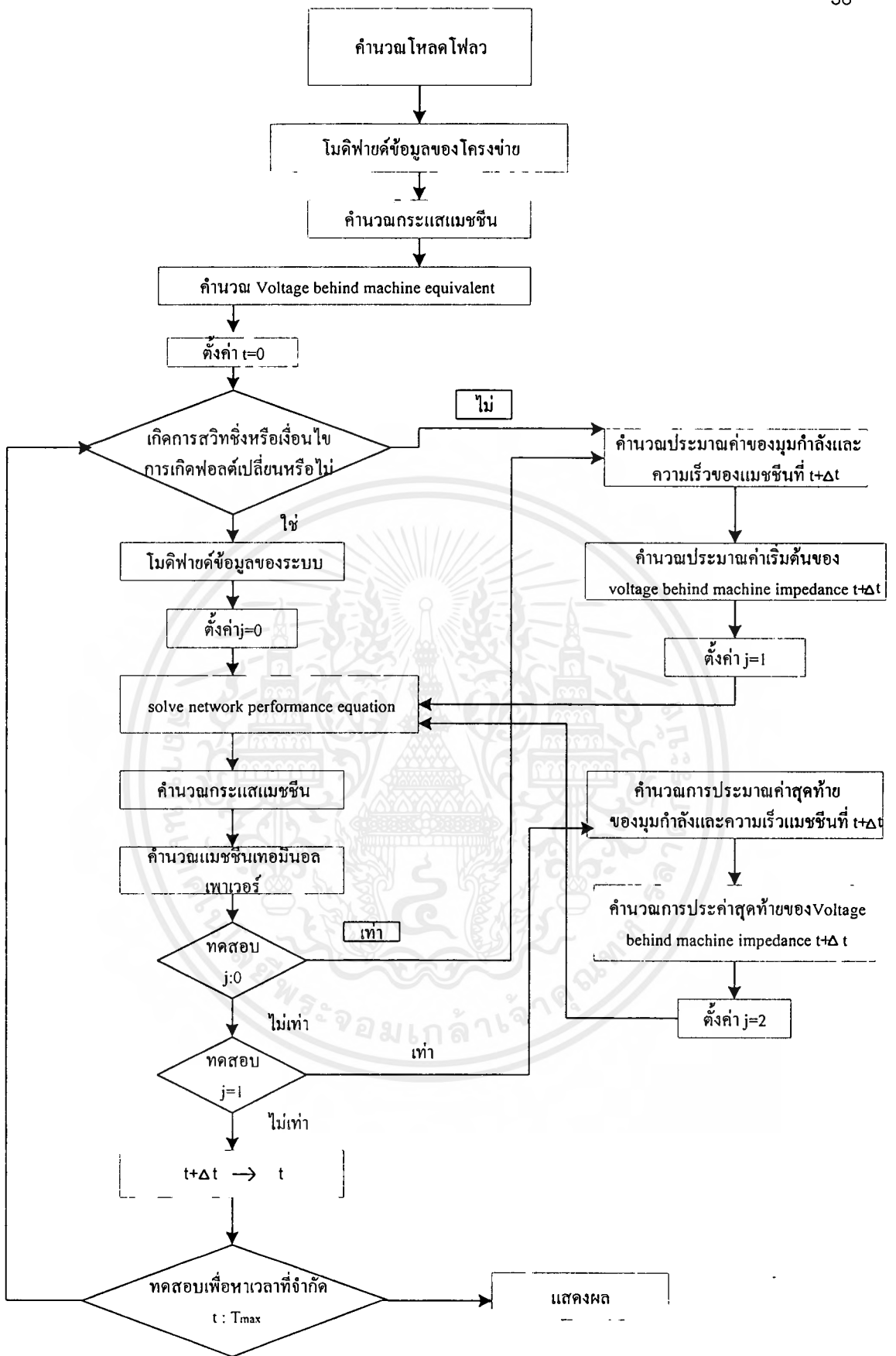
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.3 ค่า Power Tolerance ใช้ในการกำหนดพิสัยเงื่อนไขการลู่เข้าของค่าตอบ
- 1.4 จำนวนบัสในระบบ
- 1.5 จำนวนสายส่งในระบบ
- 1.6 จำนวนหม้อแปลงในระบบ
- 1.7 จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสในระบบ
- 1.8 จำนวน Capacitor Bank ที่ต่ออยู่ในระบบ
- 1.9 ค่าฐาน MVA ที่ใช้ในการคำนวณ
- 1.10 ค่าความถี่ของระบบ
2. ข้อมูลบัส
 - 2.1 ชนิดของบัส
 - 2.2 ค่าพิกัดแรงดัน
 - 2.3 ค่า Power Generation เป็น MW
 - 2.4 ค่า Power Generation เป็น MVA
 - 2.5 ค่า Load เป็น MW
 - 2.3 ค่า Load เป็น MVA
 - 2.4 ค่าขนาดแรงดัน
 - 2.5 ค่ามุมของแรงดัน
 - 2.6 ค่า MVAR ต่ำสุด
 - 2.7 ค่า MVAR สูงสุด
 - 2.8 ค่าความแตกต่างของแรงดันสูงสุด
3. ข้อมูลสายส่ง
 - 3.1 จำนวนสายส่ง
 - 3.2 หมายเลขบัสต้นทาง
 - 3.3 หมายเลขบัสปลายทาง
 - 3.4 ค่า Resistance ของสายส่ง
 - 3.5 ค่า Reactance ของสายส่ง
 - 3.6 ค่า Susceptance ของสายส่ง
 - 3.7 ค่าพิกัด MW
 - 3.8 ค่าพิกัด MVAR
4. ข้อมูลหม้อแปลง
 - 4.1 หมายเลขของหม้อแปลง

- 4.2 หมายเลขบัสต้นทาง
- 4.3 หมายเลขบัสปลายทาง
- 4.4 ค่า Resistance ของหม้อแปลง
- 4.5 ค่า Reactance ของหม้อแปลง
- 4.6 ค่าตั้ง Tap
- 4.7 ค่า Flow Real Power
- 4.8 ค่า Flow Reactive Power
5. ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตัท
 - 5.1 หมายเลขของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
 - 5.2 หมายเลขบัสที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่
 - 5.3 ชนิดของ Rotor
 - 5.4 ค่าความเฉื่อยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
 - 5.5 ค่า Direct Axis Reactance
 - 5.6 ค่า Quadrature Axis Reactance
 - 5.7 ค่า Direct Axis Transient Reactance
 - 5.8 ค่า Quadrature Axis Transient Reactance
 - 5.9 ค่า Direct Axis Subtransient Reactance
 - 5.10 ค่า Quadrature Axis Subtransient Reactance
 - 5.11 ค่า Direct Axis Open Circuit Time Constant
 - 5.12 ค่า Direct Axis Short Circuit Transient Time Constant
 - 5.13 ค่า Direct Axis Short Circuit Subtransient Time Constant
6. ข้อมูลความผิดปกติ
 - 6.1 หมายเลขบัสที่เกิดความผิดปกติก่อน
 - 6.2 หมายเลขบัสที่เกิดความผิดปกติต่อมา
 - 6.3 ค่าหมายเลข Cycle ที่เกิดความผิดปกติก่อน
 - 6.4 ค่าหมายเลข Cycle ที่เกิดความผิดปกติต่อมา
 - 6.5 ค่าหมายเลข Cycle ที่แก้ไขความผิดปกติก่อน
 - 6.6 ค่าหมายเลข Cycle ที่แก้ไขความผิดปกติต่อมา



รูปที่ 4.2 แสดงแผนผังการคำนวณโหลดโฟลว



เท่ากันหรือน้อยกว่า

รูปที่ 4.3 แสดงแผนผังการคำนวณสมการสวิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 2 : ส่วนคำนวณโหนดโพลว

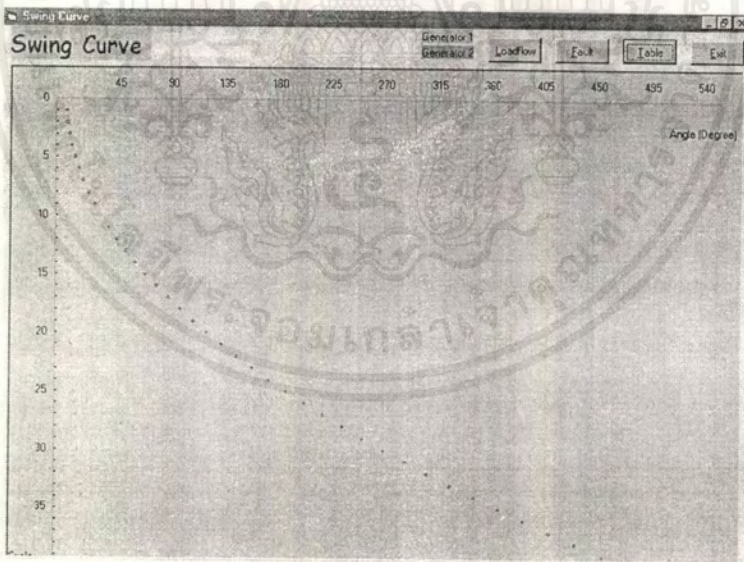
เป็นส่วนที่นำข้อมูลจากส่วนแรกมาใช้ในการคำนวณโหนดโพลวซึ่งจะใช้เป็นเงื่อนไขเบื้องต้นในการคำนวณส่วนต่อไปคือส่วนของการคำนวณเสถียรภาพโดยการใช้ สมการสวิง รายละเอียดของการคำนวณ โหนดโพลวแสดงดังรูปที่ 4.2

ส่วนที่ 3 : ส่วนคำนวณสมการสวิง

ส่วนคำนวณสมการสวิงจะทำการคำนวณต่อจากการคำนวณ โหนดโพลว ซึ่งจะมีแผนผังการคำนวณดังรูปที่ 4.3

ส่วนที่ 4 : ส่วนเอาต์พุต

ส่วนเอาต์พุตจะทำการแสดงผลข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ ได้แก่ ผลจากการคำนวณโหนดโพลวในส่วนของบัส ,สายส่ง ,หม้อแปลง และผลจากการคำนวณสมการสวิง พร้อมทั้งสามารถแสดงกราฟสวิงได้ ถ้าผู้ใช้ต้องการ ดังรูปที่ 4.4

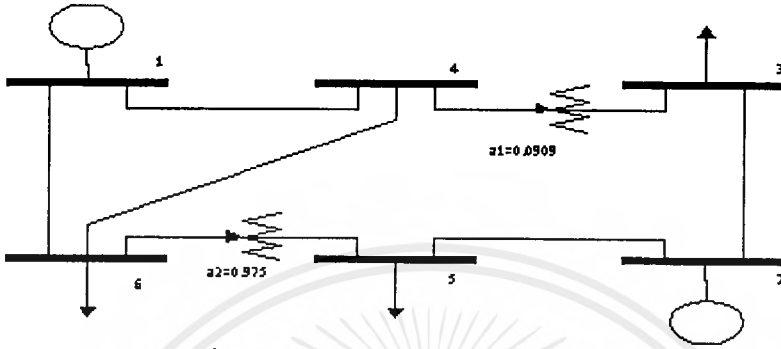


รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างของกราฟสวิงที่คำนวณได้

บทที่ 5

การทดสอบโปรแกรม

5.1 การทดสอบกับระบบจำลอง



รูปที่ 5.1 ตัวอย่างระบบที่ใช้ในการทดลอง

ข้อมูลอินพุท

NumberBus = 6 NumberLine = 5 NumberTranf = 2
 NumberGen = 2 NumberCap = 0 PowerTolerance = .0001
 MaxIteration = 100 SlackBusNo = 1 BaseMVA = 100
 Freq = 50

ข้อมูลบัส

No	BusType	Pg	Qg	Pl	Ql	Vmag	Vang	QMin	QMax	CapBank
1	1	.00	.00	.00	.00	1.05	.00	.00	.00	.00
2	2	50.00	.00	.00	.00	1.10	.00	.00	.00	.00
3	3	.00	.00	55.00	13.00	.00	.00	.00	.00	.00
4	3	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
5	3	.00	.00	30.00	18.00	.00	.00	.00	.00	.00
6	3	.00	.00	50.00	5.00	.00	.00	.00	.00	.00

ข้อมูลสายส่ง

No	SendingBus	EndingBus	Rline	XLine	Susce	MaxMW	MaxMVAR
1	1	4	.08	.03	.03	.00	.00
2	1	6	.12	.51	.04	.00	.00
3	2	3	.72	1.05	.00	.00	.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4	2	5	.28	.64	.00	.00	.00
5	4	6	0.097	.40	.03	.00	.00

ข้อมูลหม้อแปลง

No	SendingBus	EndingBus	RTr	XTr	Tap	maxflowP	maxflowQ
1	3	4	.00	.13	.90	.50	1.00
2	5	6	.00	.30	.97	.30	.20

ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนัส

No	CNB	H	Xd	Xq	Xxd	Xxq	Xxxd	Xxxq	TDO	TTD	TTTD
1	1	160	.10	.10	.10	1	0	.00	1.00	.00	.00
2	2	3	.10	.10	.30	1.00	0	.00	1.00	.00	.00

จากการทดลองโปรแกรมด้วยระบบดังกล่าวด้วยเงื่อนไขการแก้ไขความผิดปกติที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้ คือ

การทดลองที่ 1

เกิด 3 phase fault ที่ bus 2 เวลา Cycle 2 หรือที่ 0.04 วินาที และกำจัดได้ภายใน Cycle 14 (0.28 วินาที) และเกิด 3 phase fault ที่ bus 1 เวลา Cycle 5 (0.1 วินาที) กำจัดได้ภายใน ที่ Cycle 15 (0.3 วินาที) จะเกิดผลดังนี้

"McNumber"	"CYC"	"Time"	"RAD"	"DEG"	"Speed"	"Power"	"AccT"	"V"
"1"	.00	.00	.23	13.60	1.00	2.55	.00	1.05
"2"	.00	.00	.18	10.41	1.00	.40	.00	1.04
"1"	1.00	.02	.23	13.60	1.00	2.55	.00	1.05
"2"	1.00	.02	.18	10.41	1.00	.40	.00	1.04
"1"	2.00	.04	.23	13.60	1.00	2.55	.00	1.05
"2"	2.00	.04	.18	10.41	1.00	.40	.00	1.04
"1"	2.00	.04	.23	13.63	3.14	.00	2.55	.24
"2"	2.00	.04	.18	10.65	3.14	.00	.40	.18
"1"	3.00	.06	.23	13.71	3.14	.00	2.55	.24
"2"	3.00	.06	.19	11.37	3.14	.00	.40	.18
"1"	4.00	.08	.24	13.85	3.14	.00	2.55	.24
"2"	4.00	.08	.21	12.57	3.15	.00	.40	.18
"1"	5.00	.10	.24	14.06	3.14	.00	2.55	.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"2"	5.00	.10	.24	14.25	3.15	.00	.40	.18
"1"	6.00	.11	.24	14.31	3.14	.00	2.55	.24
"2"	6.00	.11	.28	16.41	3.16	.00	.40	.18
"1"	7.00	.14	.25	14.63	3.14	.00	2.55	.24
"2"	7.00	.14	.33	19.05	3.16	.00	.40	.18
"1"	8.00	.15	.26	15.00	3.14	.00	2.55	.24
"2"	8.00	.15	.38	22.17	3.17	.00	.40	.18
"1"	9.00	.18	.26	15.44	3.14	.00	2.55	.24
"2"	9.00	.18	.44	25.77	3.17	.00	.40	.18
"1"	10.00	.20	.27	15.92	3.14	.00	2.55	.24
"2"	10.00	.20	.52	29.85	3.17	.00	.40	.18
"1"	11.00	.21	.28	16.47	3.14	.00	2.55	.24
"2"	11.00	.21	.60	34.41	3.18	.00	.40	.18
"1"	12.00	.23	.29	17.07	3.14	.00	2.55	.24
"2"	12.00	.23	.68	39.45	3.18	.00	.40	.18
"1"	13.00	.25	.30	17.73	3.14	.00	2.55	.24
"2"	13.00	.25	.78	44.97	3.19	.00	.40	.18
"1"	14.00	.28	.32	18.45	3.14	.00	2.55	.24
"2"	14.00	.28	.88	50.97	3.19	.00	.40	.18
"1"	15.00	.30	.33	19.23	3.14	.00	2.55	.24
"2"	15.00	.30	1.00	57.45	3.20	.00	.40	.18
"1"	16.00	.31	.35	20.06	3.14	.00	2.55	.24
"2"	16.00	.31	1.12	64.41	3.20	.00	.40	.18
"1"	17.00	.34	.36	20.95	3.14	.00	2.55	.24
"2"	17.00	.34	1.25	71.85	3.20	.00	.40	.18
"1"	18.00	.36	.38	21.90	3.15	.00	2.55	.24
"2"	18.00	.36	1.39	79.77	3.21	.00	.40	.18
"1"	19.00	.37	.39	22.91	3.15	.00	2.55	.24
"2"	19.00	.37	1.53	88.17	3.21	.00	.40	.18
"1"	20.00	.40	.41	23.97	3.15	.00	2.55	.24
"2"	20.00	.40	1.69	97.05	3.22	.00	.40	.18
"1"	21.00	.41	.43	25.09	3.15	.00	2.55	.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"2"	21.00	.41	1.85	106.41	3.22	.00	.40	.18
"1"	22.00	.43	.45	26.27	3.15	.00	2.55	.24
"2"	22.00	.43	2.02	116.25	3.22	.00	.40	.18
"1"	23.00	.46	.48	27.51	3.15	.00	2.55	.24
"2"	23.00	.46	2.20	126.57	3.23	.00	.40	.18
"1"	24.00	.47	.50	28.80	3.15	.00	2.55	.24
"2"	24.00	.47	2.39	137.37	3.23	.00	.40	.18
"1"	25.00	.50	.52	30.15	3.15	.00	2.55	.24
"2"	25.00	.50	2.59	148.65	3.24	.00	.40	.18
"1"	26.00	.51	.55	31.56	3.15	.00	2.55	.24
"2"	26.00	.51	2.79	160.41	3.24	.00	.40	.18
"1"	27.00	.54	.57	33.03	3.15	.00	2.55	.24
"2"	27.00	.54	3.01	172.65	3.25	.00	.40	.18
"1"	28.00	.56	.60	34.55	3.15	.00	2.55	.24
"2"	28.00	.56	3.23	185.37	3.25	.00	.40	.18
"1"	29.00	.57	.63	36.13	3.15	.00	2.55	.24
"2"	29.00	.57	3.46	198.57	3.25	.00	.40	.18
"1"	30.00	.60	.65	37.77	3.15	.00	2.55	.24
"2"	30.00	.60	3.70	212.25	3.26	.00	.40	.18
"1"	31.00	.62	.68	39.46	3.15	.00	2.55	.24
"2"	31.00	.62	3.95	226.41	3.26	.00	.40	.18
"1"	32.00	.63	.71	41.22	3.15	.00	2.55	.24
"2"	32.00	.63	4.20	241.05	3.27	.00	.40	.18
"1"	33.00	.66	.75	43.03	3.15	.00	2.55	.24
"2"	33.00	.66	4.47	256.17	3.27	.00	.40	.18
"1"	34.00	.68	.78	44.90	3.15	.00	2.55	.24
"2"	34.00	.68	4.74	271.77	3.27	.00	.40	.18
"1"	35.00	.69	.81	46.82	3.15	.00	2.55	.24
"2"	35.00	.69	5.02	287.85	3.28	.00	.40	.18
"1"	36.00	.72	.85	48.81	3.15	.00	2.55	.24
"2"	36.00	.72	5.31	304.41	3.28	.00	.40	.18
"1"	37.00	.74	.88	50.85	3.15	.00	2.55	.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"2"	37.00	.74	5.61	321.45	3.29	.00	.40	.18
"1"	38.00	.76	.92	52.94	3.16	.00	2.55	.24
"2"	38.00	.76	5.91	338.97	3.29	.00	.40	.18
"1"	39.00	.77	.96	55.10	3.16	.00	2.55	.24
"2"	39.00	.77	6.23	356.97	3.30	.00	.40	.18

การทดลองที่ 2

เกิด 3 phase fault ที่ bus 2 เวลา Cycle 2 หรือที่ 0.04 วินาที และกำจัดได้ภายใน Cycle 14 (0.28 วินาที) และเกิด 3 phase fault ที่ bus 1 เวลา Cycle 5 (0.1 วินาที) กำจัดได้ภายใน ที่ Cycle 14 (0.28 วินาที) จะเกิดผลดังนี้

"McNumber"	"CYC"	"Time"	"RAD"	"DEG"	"Speed"	"Power"	"AccT"	"V"
"1"	.00	.00	.17	10.07	1.00	2.01	.00	1.04
"2"	.00	.00	.17	10.27	1.00	1.00	.00	1.03
"1"	1.00	.02	.17	10.07	1.00	2.01	.00	1.04
"2"	1.00	.02	.17	10.27	1.00	1.00	.00	1.03
"1"	2.00	.04	.17	10.07	1.00	2.01	.00	1.04
"2"	2.00	.04	.17	10.27	1.00	1.00	.00	1.03
"1"	2.00	.06	.17	10.07	1.00	2.01	.00	1.04
"2"	2.00	.06	.18	10.87	1.00	.00	.00	.00
"1"	4.00	.08	.17	10.07	1.00	.00	.00	1.04
"2"	4.00	.08	.19	15.64	1.01	.00	1.00	.00
"1"	5.00	.10	.17	10.10	1.00	.00	2.01	.00
"2"	5.00	.10	.24	19.87	1.01	.00	1.00	.00
"1"	6.00	.11	.17	10.17	1.00	.00	2.02	.00
"2"	6.00	.11	.44	25.27	1.01	.00	1.00	.00
"1"	7.00	.14	.17	10.28	1.00	.00	2.01	.00
"2"	7.00	.14	.55	31.58	1.02	.00	1.00	.00
"1"	8.00	.15	.18	10.44	1.00	.00	2.01	.00
"2"	8.00	.15	.69	48.64	1.02	.00	1.00	.00
"1"	9.00	.18	.18	10.94	1.00	.00	2.01	.00
"2"	9.00	.18	.84	58.46	1.03	.00	1.00	.00
"1"	10.00	.20	.19	11.16	1.00	.00	2.01	.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

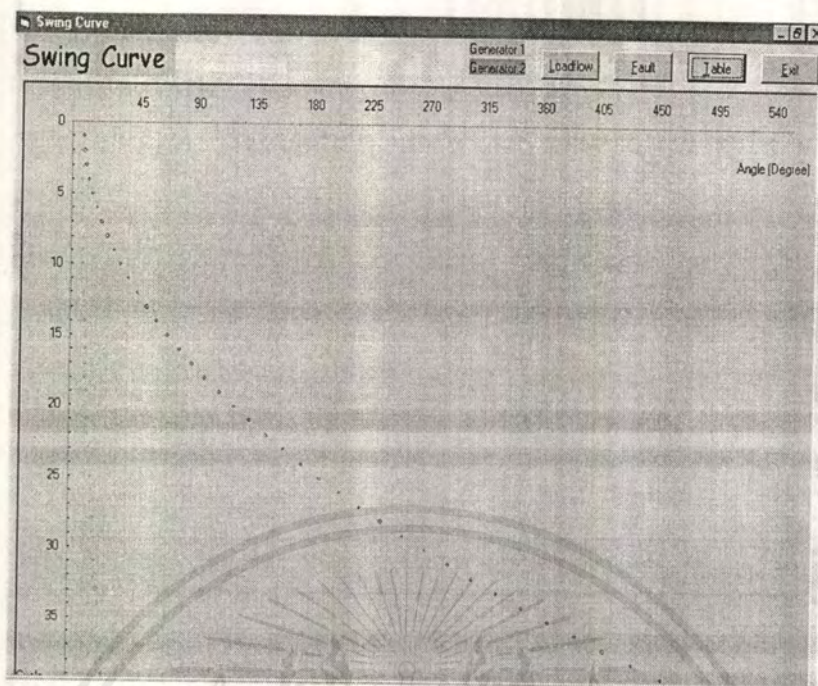
"2"	10.00	.20	1.02	70.28	1.03	.00	1.00	.00
"1"	11.00	.21	.19	11.54	1.00	.00	2.01	.00
"2"	11.00	.21	1.22	75.46	1.03	.00	1.00	.00
"1"	12.00	.23	.20	11.85	1.00	.00	2.01	.00
"2"	12.00	.23	1.44	82.83	1.03	.00	1.00	.00
"1"	13.00	.25	.20	11.91	1.00	.00	2.01	.00
"2"	13.00	.25	1.68	96.68	1.04	.00	1.00	.00
"1"	14.00	.28	.21	12.26	1.01	-1.02	3.04	.81
"2"	14.00	.28	1.91	109.97	1.03	2.48	-1.77	.69
"1"	15.00	.30	.23	13.44	1.00	-.91	3.02	.77
"2"	15.00	.30	2.11	121.16	1.12	2.59	-1.58	.67
"1"	16.00	.31	.23	13.55	1.00	-.97	2.94	.73
"2"	16.00	.31	2.28	130.45	1.01	2.38	-1.36	.55
"1"	17.00	.34	.25	14.08	1.00	-.84	2.84	.49
"2"	17.00	.34	2.48	138.45	1.04	2.18	-1.15	.45
"1"	18.00	.36	.22	13.54	3.14	.00	1.17	.14
"2"	18.00	.36	2.04	138.54	3.24	.00	.50	.15
"1"	19.00	.37	.23	13.54	3.14	.00	1.17	.14
"2"	19.00	.37	2.25	140.46	3.24	.00	.50	.15
"1"	20.00	.40	.24	14.08	3.14	.00	1.17	.14
"2"	20.00	.40	2.46	141.33	3.25	.00	.50	.15
"1"	21.00	.41	.25	14.65	3.14	.00	1.17	.14
"2"	21.00	.41	2.69	154.23	3.25	.00	.50	.15
"1"	22.00	.43	.26	15.24	3.14	.00	1.17	.14
"2"	22.00	.43	2.92	167.73	3.26	.00	.50	.15
"1"	23.00	.46	.27	15.87	3.14	.00	1.17	.14
"2"	23.00	.46	3.17	167.13	3.26	.00	.50	.15
"1"	24.00	.47	.28	16.51	3.14	.00	1.17	.14
"2"	24.00	.47	3.17	166.49	3.27	.00	.50	.15
"1"	25.00	.50	.30	17.19	3.14	.00	1.17	.14
"2"	25.00	.50	3.07	166.12	3.27	.00	.50	.15
"1"	26.00	.51	.31	17.15	3.14	.00	1.17	.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

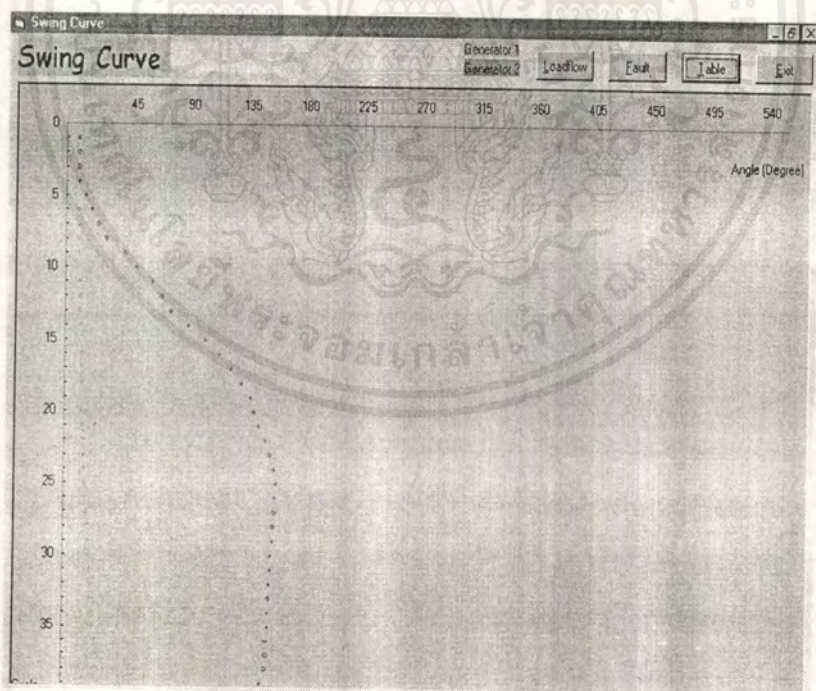
"2"	26.00	.51	3.09	165.97	3.28	.00	.50	.15
"1"	27.00	.54	.32	18.62	3.14	.00	1.17	.14
"2"	27.00	.54	2.92	165.12	3.28	.00	.50	.15
"1"	28.00	.56	.33	19.37	3.14	.00	1.17	.14
"2"	28.00	.56	2.45	164.84	3.29	.00	.50	.15
"1"	29.00	.57	.35	20.15	3.14	.00	1.17	.14
"2"	29.00	.57	2.18	162.16	3.29	.00	.50	.15
"1"	30.00	.60	.36	20.96	3.14	.00	1.17	.14
"2"	30.00	.60	1.98	161.94	3.30	.00	.50	.15
"1"	31.00	.62	.38	21.79	3.14	.00	1.17	.14
"2"	31.00	.62	1.91	161.45	3.30	.00	.50	.15
"1"	32.00	.63	.39	22.65	3.14	.00	1.17	.14
"2"	32.00	.63	1.85	160.94	3.31	.00	.50	.15
"1"	33.00	.66	.41	23.54	3.14	.00	1.17	.14
"2"	33.00	.66	1.21	160.54	3.31	.00	.50	.15
"1"	34.00	.68	.42	24.54	3.14	.00	1.17	.14
"2"	34.00	.68	1.15	157.54	3.32	.00	.50	.15
"1"	35.00	.69	.44	25.39	3.14	.00	1.17	.14
"2"	35.00	.69	.94	155.16	3.33	.00	.50	.15
"1"	36.00	.72	.46	26.45	3.15	.00	1.17	.14
"2"	36.00	.72	.83	150.45	3.33	.00	.50	.15
"1"	37.00	.74	.47	27.35	3.15	.00	1.17	.14
"2"	37.00	.74	.80	148.65	3.34	.00	.50	.15
"1"	38.00	.75	.49	28.37	3.15	.00	1.17	.14
"2"	38.00	.75	.71	148.15	3.34	.00	.50	.15
"1"	39.00	.77	.51	29.42	3.15	.00	1.17	.14
"2"	39.00	.77	.67	146.17	3.35	.00	.50	.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงเส้นโค้งสวิง



รูปที่ 5.2 กราฟจากการทดลองที่ 1

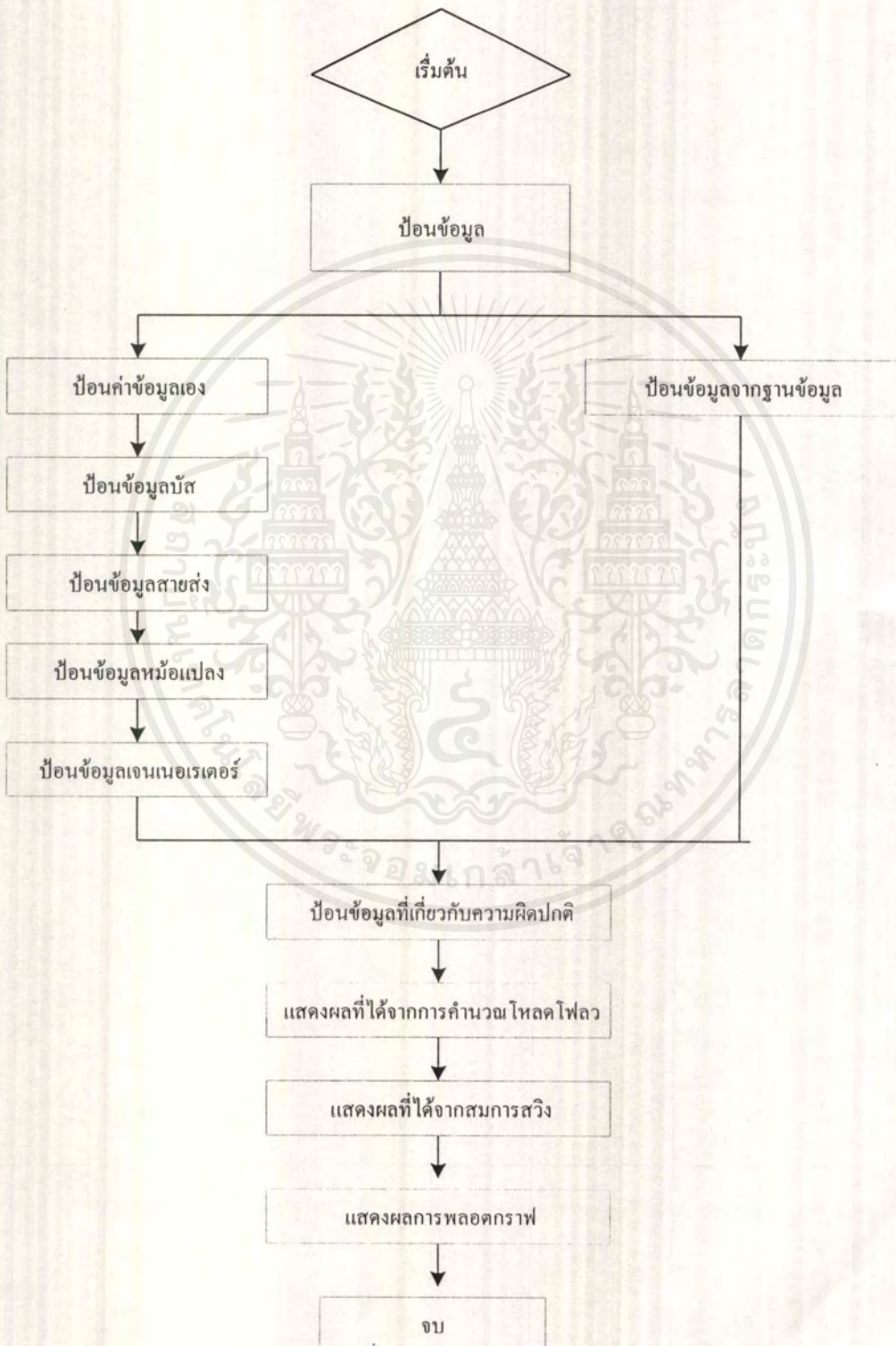


รูปที่ 5.3 กราฟจากการทดลองที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม

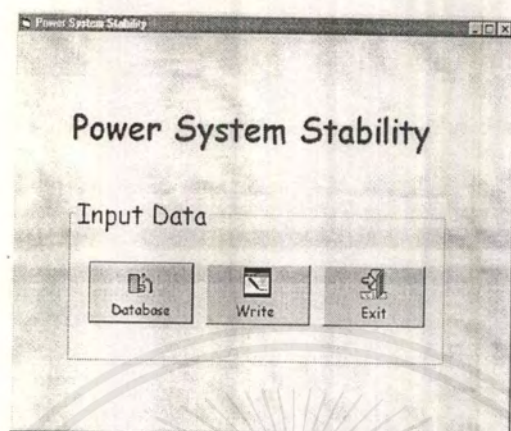
โปรแกรมการคำนวณเสถียรภาพที่จัดทำขึ้นนี้เป็นโปรแกรมที่ผ่านการCompile เรียบร้อยแล้ว ดังนั้นในการทดสอบการทำงานของโปรแกรมเราสามารถเรียกใช้โปรแกรมได้โดยตรง โดยเมื่อทำการเรียกใช้งาน โปรแกรม การทำงานของโปรแกรมจะเป็นดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 แสดงขั้นตอนการทำงานของ โปรแกรมเมื่อเรียกใช้งาน

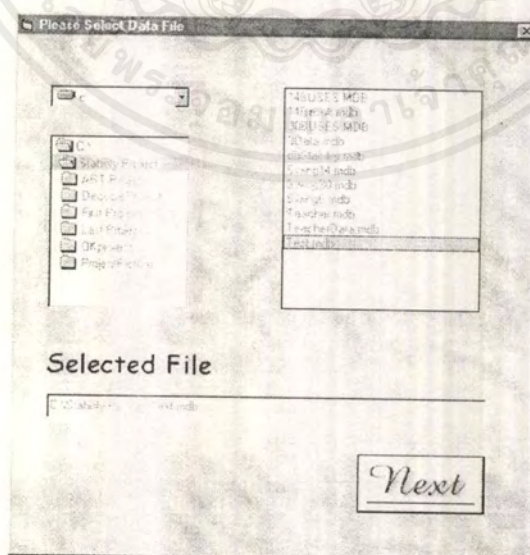
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าจจะปรากฏดังรูปที่ 5.5 ผู้ใช้จะต้องทำการเลือกวิธีการป้อนข้อมูลของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยสามารถเลือกจากปุ่มกดซึ่งมีปุ่มต่างๆ ให้ผู้ใช้เลือกที่จะป้อนข้อมูลเองตามขั้นตอน หรือเลือกที่จะใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูล



รูปที่ 5.5 แสดงหน้าจอเมื่อผู้ใช้เริ่มทำการใช้โปรแกรม

ถ้าผู้ใช้เลือกการใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูล ปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 5.6 แสดงรายละเอียดของการเลือกฐานข้อมูลที่มีอยู่แล้วจากเพิ่มฐานข้อมูล และจะข้ามไปรูปที่ 5.7 หากผู้ใช้เลือกที่จะป้อนข้อมูลเองตามขั้นตอน และจะปรากฏหน้าจอสำหรับป้อนข้อมูลอื่นๆ ก็คือข้อมูลบัส , สายส่ง , หม้อแปลง , และข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส เพิ่มเติมตามลำดับ โดยมีรายละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 5.8-5.11



รูปที่ 5.6 แสดงการเลือกฐานข้อมูลจากเพิ่มฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

General Data

The Slack Bus is Bus Number: 1

Maximum Number of Iterations: 50

Power Tolerance: 0.1

Number of Bus: 6

Number of Line: 5

Number of Generator: 1

Number of Transformer: 1

Number of Capacitor Bank: 1

Base in MVA: 100

System Frequency: 50

INDEX

รูปที่ 5.7 แสดงรายละเอียดของข้อมูลทั่วไปของระบบ

Bus Data

Bus Type: 1

Rated Voltage: 1

Generation MW: 0

Generation Mvar: 0

Load MW: 0

Load Mvar: 0

Voltage Magnitude: 1.00

Voltage Angle: 0

Mvar Minimum: 0

Mvar Maximum: 0

Maximum dV: 1

Add Edit Delete Cancel Finish

No.	Bus Type	Bus
1	1	Bus 1
2	1	Bus 2
3	1	Bus 3
4	1	Bus 4
5	1	Bus 5

รูปที่ 5.8 แสดงรายละเอียดของข้อมูลบัสที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณ

Line Data

Line Number: 1

From Bus Number: 1

To Bus Number: 4

Resistance: 0.02

Reactance: 0.32

B of line: 0.1

Rated MW: 0

Rated MVAR: 0

Add Delete Edit Cancel Finish

No.	Sending Bus	Ending Bus	RLine
1	1	4	0.02
2	1	5	0.02
3	2	3	0.02
4	2	5	0.02
5	3	5	0.02

Line Number: 1

รูปที่ 5.9 แสดงรายละเอียดของข้อมูลสายส่งที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No	Sending Bus	Ending Bus	RTI
1	3	4	0
2	5	6	0

รูปที่ 5.10 แสดงรายละเอียดของข้อมูลหม้อแปลงที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณ

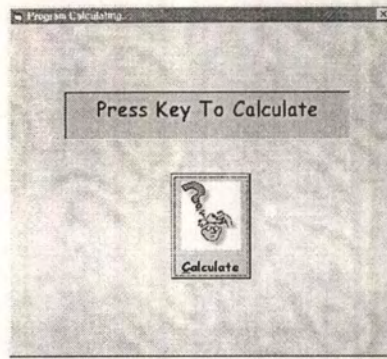
No	Connected Bus	Rotor Type	H
1	1	0	100
2	2	0	0

รูปที่ 5.11 แสดงรายละเอียดของข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตอร์ที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณ

หลังจากป้อนข้อมูลเกี่ยวกับระบบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ผู้ใช้จะต้องทำการป้อนข้อมูลเกี่ยวกับความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบดังรูปที่ 5.12

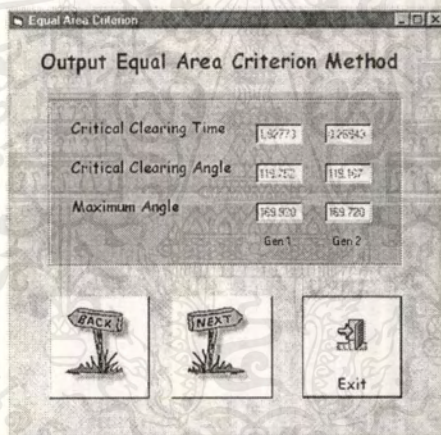
รูปที่ 5.12 แสดงข้อมูลของความผิดปกติที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 แสดงให้ทราบว่าโปรแกรมกำลังทำการคำนวณ

เมื่อป้อนข้อมูลสำหรับการคำนวณครบเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าต่างๆ โดยปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 5.13 เมื่อโปรแกรมทำการคำนวณเสร็จก็จะทำการแสดงผลในส่วนของการคำนวณค่าต่างๆ คือจากการคำนวณหลักพื้นที่เท่ากัน โหลดโฟลว สมการสวิงดังรูปที่ 5.14 - 5.17 ตามลำดับ



รูปที่ 5.14 แสดงผลจากการคำนวณด้วยวิธีหลักพื้นที่เท่ากัน

BusNumber	Volts	Angle	Pg
1	1	0	117.59072166927
2	1.204199850220	-8.22811078024345	50.0000209175781
3	1.16153657612129	15.0539493760231	30.0000123514404
4	1.04248554043916	12.4106369491912	0
5	1.1258305195007	15.5390215146273	0
6	1.10361122346950	16.0301629564685	0
Load	0	0	157.550000034546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 5.15 แสดงผลจากการคำนวณโหลดโฟลวในส่วนของบัส
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Line Output 55 Newton Raphson

Loadflow Line Output

Line Number	From Bus	To Bus	MVA/Bus	MVA/Line
1	1	2	1.1421357762927	22.842715535795
2	1	3	1.1421357762927	22.842715535795
3	2	3	1.1421357762927	22.842715535795
4	2	4	1.1421357762927	22.842715535795
5	3	4	1.1421357762927	22.842715535795
6	3	5	1.1421357762927	22.842715535795
7	4	5	1.1421357762927	22.842715535795
8	4	6	1.1421357762927	22.842715535795
9	5	6	1.1421357762927	22.842715535795

รูปที่ 5.16 ผลจากการคำนวณโหลดไฟลว ในส่วนของ Line

Transformer Output 55 Newton Raphson

Loadflow Transformer Output

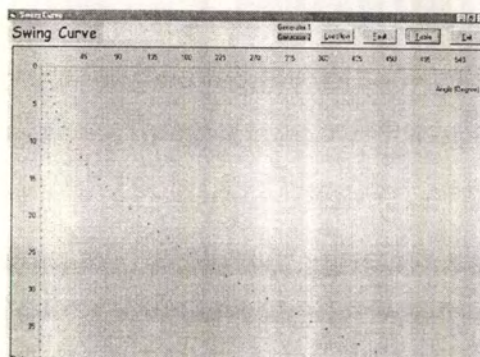
Transformer Number	From Bus	To Bus	MVA/Bus	MVA/Tran
1	1	2	1.1421357762927	22.842715535795
2	1	3	1.1421357762927	22.842715535795
3	2	3	1.1421357762927	22.842715535795
4	2	4	1.1421357762927	22.842715535795
5	3	4	1.1421357762927	22.842715535795
6	3	5	1.1421357762927	22.842715535795
7	4	5	1.1421357762927	22.842715535795
8	4	6	1.1421357762927	22.842715535795
9	5	6	1.1421357762927	22.842715535795

รูปที่ 5.17 ผลจากการคำนวณโหลดไฟลวในส่วนของหม้อแปลง

Swing Output Table

Line No.	From Bus	To Bus	Angle (Deg)	Mag (pu)
1	1	2	0.0	1.0
2	1	3	0.0	1.0
3	2	3	0.0	1.0
4	2	4	0.0	1.0
5	3	4	0.0	1.0
6	3	5	0.0	1.0
7	4	5	0.0	1.0
8	4	6	0.0	1.0
9	5	6	0.0	1.0

รูปที่ 5.18 แสดงผลที่ได้จากการคำนวณสมการสวิง



รูปที่ 5.19 แสดงผลการพลอตกราฟสวิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผล และวิจารณ์การทดลอง

6.1 สรุปผลการทดลอง

การวิเคราะห์ระบบด้วยหลักพื้นที่เท่ากันปรากฏว่า ที่เจนเนอเรเตอร์ 1 มีค่ามุมเคลียร์ริงวิกฤต 119.73 ดีกรี และมีค่ามุมโรเตอร์สูงสุด 169.92 ดีกรี ส่วนที่เจนเนอเรเตอร์ 2 มีค่ามุมเคลียร์ริงวิกฤต 119.16 ดีกรีและมีค่ามุมโรเตอร์สูงสุด 169.72 ดีกรี

และเมื่อทำการวิเคราะห์ระบบด้วยกราฟสวิงเปรียบเทียบกับกรวิเคราะห์ด้วยหลักของพื้นที่เท่ากัน ในการทดลองที่ 1 ปรากฏว่าผลการทดลองจากทั้ง 2 วิธี มีความสอดคล้องกัน กล่าวคือที่เจนเนอเรเตอร์ 1 มีค่ามุมเคลียร์ริงวิกฤต 119.73 ดีกรี และมุมโรเตอร์ทั้ง 2 มุมที่มีค่าสูงสุด ก่อนที่การเคลียร์ฟอลต์จะเสร็จสิ้น มีค่าน้อยกว่าค่ามุมเคลียร์ริงวิกฤต จึงทำให้เจนเนอเรเตอร์ 1 ยังคงมีเสถียรภาพหลังจากการเกิดฟอลต์

ในขณะที่เดียวกันที่เจนเนอเรเตอร์ 2 มีค่ามุมเคลียร์ริงวิกฤต 119.16 ดีกรี แต่มุมโรเตอร์จากการทดลองที่ 1 มีค่าสูงกว่าค่ามุมเคลียร์ริงวิกฤต ก่อนที่การเคลียร์ฟอลต์ในระบบจะเสร็จสิ้น จึงทำให้เจนเนอเรเตอร์ 2 หลุดออกจากการซิงโครไนซ์

แต่ถ้าทำการวิเคราะห์ระบบตามข้อมูลในการทดลองที่ 2 ค่ามุมโรเตอร์ของเจนเนอเรเตอร์ 1 จะยังคงเป็นไปในทำนองเดียวกับในการทดลองที่ 1 นั่นคือเจนเนอเรเตอร์ 1 ยังคงมีเสถียรภาพหลังการเกิดฟอลต์ แต่สำหรับเจนเนอเรเตอร์ 2 จะต่างกับการทดลองที่ 1 คือค่ามุมโรเตอร์ยังคงมีค่าน้อยกว่าค่ามุมเคลียร์ริงวิกฤตอยู่ ขณะทำการเคลียร์ฟอลต์ จึงทำให้เจนเนอเรเตอร์ 2 ยังคงมีเสถียรภาพอยู่ได้ เช่นเดียวกับเจนเนอเรเตอร์ 1

6.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

1. ข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดลองยังเป็นข้อมูลเฉพาะยังไม่มีความเป็นมาตรฐาน ผลการทดลองที่ได้จึงยังไม่สามารถใช้ในการอ้างอิงได้ แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้ยังคงสามารถใช้ในการวิเคราะห์ระบบอย่างคร่าวๆ ได้อย่างถูกต้อง
2. สำหรับในส่วนของตัวโปรแกรม ควรได้รับการปรับปรุงในส่วนของการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
3. ควรมีการปรับปรุง พัฒนาโปรแกรมให้สามารถใช้ในการวิเคราะห์ระบบที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง
4. เป็นจริงและซับซ้อนมากยิ่งขึ้น เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้จริงในอนาคต



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลเฉลยทางคณิตศาสตร์ของสมการอนุพันธ์

ในหลายๆระบบที่ซับซ้อนมักจะอธิบายด้วยสมการอนุพันธ์ซึ่งไม่สามารถหาคำตอบของสมการได้โดยตรง ดังนั้นจึงมีเทคนิคที่ช่วยในการหาคำตอบโดยประมาณของสมการอนุพันธ์หรือกลุ่มของสมการด้วยการใช้วิธีนิวเมอริคอล

โดยทั่วไป วิธีการทางนิวเมอริคอลจะทำเป็นขั้นตอนเพื่อหากลุ่มของตัวแปรสำหรับแต่ละตัวแปรต้น ซึ่งแปรตามการเลือกกลุ่มของตัวแปรอิสระ ขั้นตอนที่ต้องทำเสมอคือเลือกค่าตัวแปรอิสระแปรตามรอบการคำนวณที่จำกัด fixed interval ความถูกต้องแม่นยำของคำตอบของวิธีนิวเมอริคอลนี้จะขึ้นกับทั้งวิธีที่ใช้ และจำนวนครั้งที่ใช้ในการคำนวณ

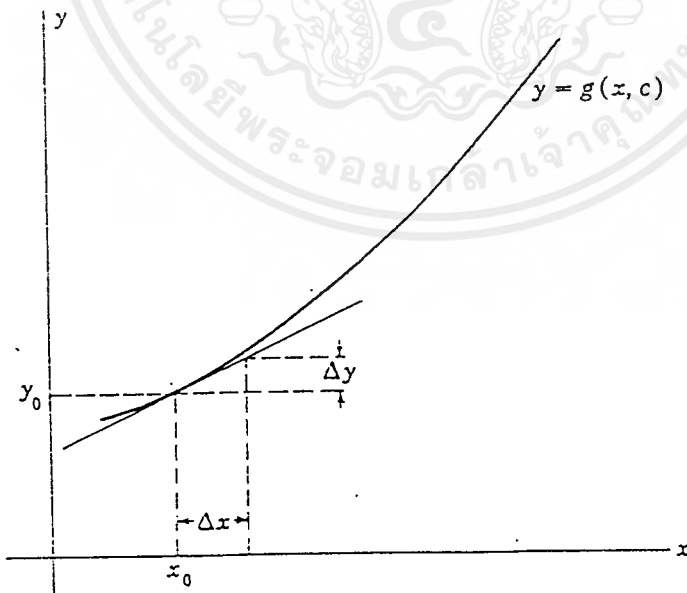
1. วิธีออยเลอร์(Euler's method)

กำหนดให้สมการ อนุพันธ์อันดับหนึ่งคือ

$$\frac{dy}{dx} = f(x, y) \quad (1)$$

โดย x เป็นตัวแปรอิสระ และ y เป็นตัวแปรตาม คำตอบของสมการจะอยู่ในรูปของ

$$y = g(x, c) \quad (2)$$



รูป 1 กราฟแสดงฟังก์ชันของผลลัพธ์ของสมการอนุพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย c เป็นค่าคงที่จากการพิจารณาค่าเริ่มต้นของสมการ กราฟของสมการ(2)จะแสดงในรูป(1) ซึ่งเห็นได้ว่าเป็น smooth curve ซึ่งเราจะแบ่งเป็นสัดส่วนย่อยๆเพื่อที่จะประมาณค่าเป็นเส้นตรง ดังนั้นเริ่มต้นที่จุด (x_0, y_0) บน curve จะได้

$$\Delta y \approx \left. \frac{dy}{dx} \right|_0 \Delta x$$

$\left. \frac{dy}{dx} \right|_0$ คือค่าความชันของเส้นโค้งที่จุด (x_0, y_0) และสามารถหาค่าได้จากการแทนค่า x_0 และ y_0

ลงในสมการ (1) ค่า y ที่ได้ใหม่นี้จะเป็นค่าที่ Δx ถ้าให้ $h = \Delta x$ แล้ว

$$y_1 = y_0 + \Delta y$$

$$y_1 = y_0 + \left. \frac{dy}{dx} \right|_0 h$$

ซึ่ง Δy เป็นค่าที่เพิ่มขึ้นของ y ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของ x ด้วยวิธีที่กล่าวมาจะได้

$$\left. \frac{dy}{dx} \right|_1 = f(x_1, y_1)$$

โดย

$$y_2 = y_1 + \left. \frac{dy}{dx} \right|_1 h$$

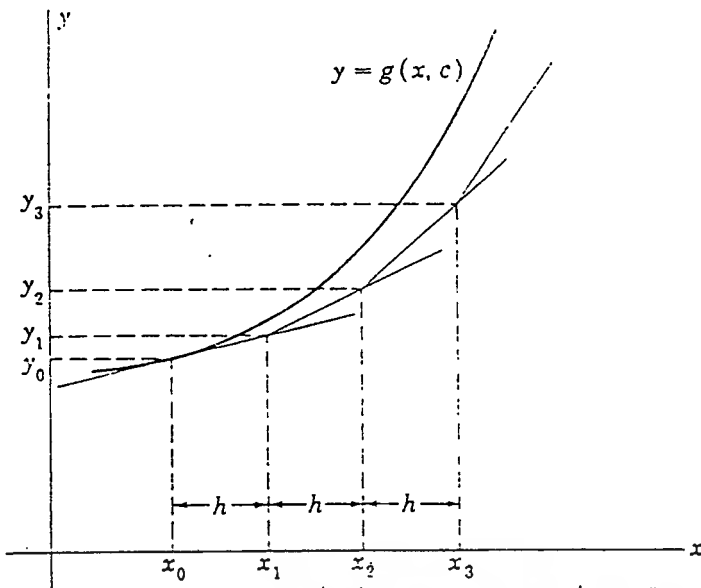
และจะได้

$$y_3 = y_2 + \left. \frac{dy}{dx} \right|_2 h$$

$$y_4 = y_3 + \left. \frac{dy}{dx} \right|_3 h$$

.....

ซึ่งค่าที่ได้คือ x และ y จะเป็นคำตอบของสมการอนุพันธ์ (1) มีภาพประกอบที่ 2



รูป 2 กราฟแสดงค่าประมาณผลลัพธ์ของสมการอนุพันธ์โดยวิธีออยเลอร์

2 วิธีโมดิฟายด์ออยเลอร์ (Modified Euler's method)

ในการประยุกต์ใช้วิธีของออยเลอร์ค่าของ $\frac{dy}{dx}$ ที่คำนวณได้ในรอบการคำนวณครั้ง

แรกจะนำมาใช้ในการคำนวณครั้งต่อไป ซึ่งค่า y ใหม่ที่ค่า x_1 จะเป็นดังนี้คือ

$$x_1 = x_0 + h$$

$$y_1^{(0)} = y_0 + \frac{dy}{dx} \Big|_0 h$$

และใช้ค่า x_1 ใหม่ และค่า $y_1^{(0)}$ ในสมการ (1) เพื่อคำนวณค่าประมาณของ $\frac{dy}{dx} \Big|_1$ ในตอน

ท้ายของรอบการคำนวณ

$$\frac{dy}{dx} \Big|_1^{(0)} = f(x_1, y_1^{(0)})$$

ดังนั้นค่า $y_1^{(1)}$ จะหาค่าได้จากการประมาณค่าของ $\frac{dy}{dx} \Big|_0$ และ $\frac{dy}{dx} \Big|_1^{(0)}$ คือ

$$y_1^{(1)} = y_0 + \left(\frac{\frac{dy}{dx} \Big|_0 + \frac{dy}{dx} \Big|_1^{(0)}}{2} \right) h$$

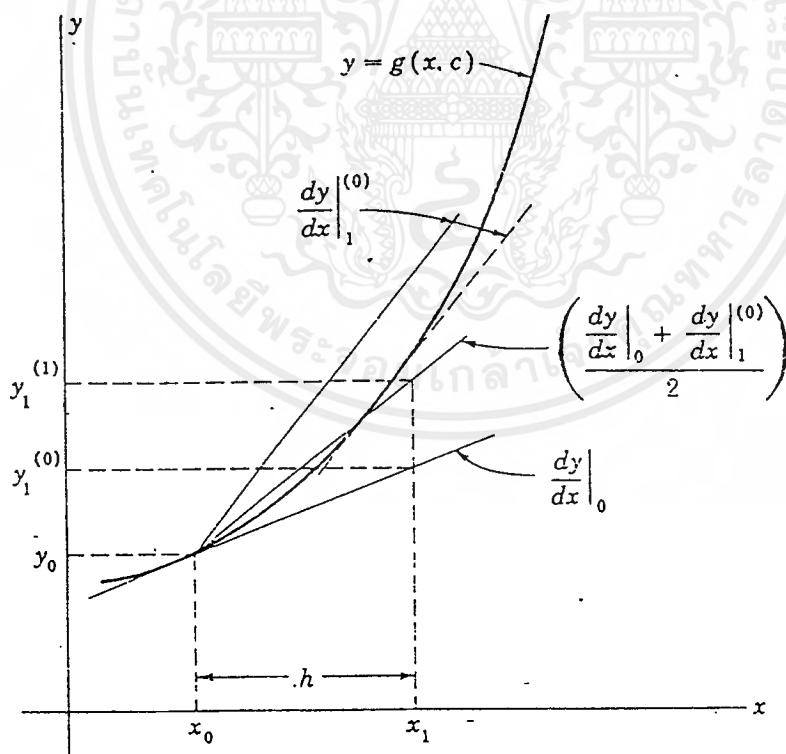
ใช้ค่า x_1 และ y_1 สำหรับการประมาณค่า $y_1^{(2)}$ จะหาได้จากวิธีดังกล่าวคือ

$$y_1^{(2)} = y_0 + \left(\frac{\frac{dy}{dx} \Big|_0 + \frac{dy}{dx} \Big|_1^{(1)}}{2} \right) h$$

และ

$$y_1^{(3)} = y_0 + \left(\frac{\frac{dy}{dx} \Big|_0 + \frac{dy}{dx} \Big|_1^{(2)}}{2} \right) h$$

วิธีนี้จะทำต่อเนื่องไปจนกว่าค่าประมาณของ y ที่ต่อเนื่องกัน 2 ค่า มีค่าคลาดเคลื่อนในช่วงที่ยอมรับได้ กระบวนการทั้งหมดกระทำซ้ำไปจนกว่าจะได้ค่าของ y_2 ค่าความถูกต้องของวิธีโมดิไฟด์ออยเลอร์ที่ได้จะแสดงในภาพ 3



รูป 5.3 กราฟแสดงค่าประมาณผลลัพธ์ของ สมการอนุพันธ์โดยวิธี โมดิไฟด์ออยเลอร์

3 วิธีประมาณค่าของพิการ์ด Picard's method of successive approximations

วิธีของ พิการ์ด คือการหาค่าโดยประมาณค่าของ y ในรูปของฟังก์ชัน x จากช่วงของค่า x ที่กำหนดให้จะได้

$$y \approx g(x)$$

ค่าที่กำหนดขึ้นมานั้นจะใช้แทนค่าของ x เพื่อหาค่าของ y ที่สอดคล้องกัน จาก สมการอนุพันธ์(1)จะได้

$$dy = f(x)dx$$

ทำการอินทิเกรตในช่วงของค่า x และ y

$$\int_{y_1}^{y_0} dy = \int_{x_0}^{x_1} f(x, y) dx$$

จะได้

$$y_1 - y_0 = \int_{x_0}^{x_1} f(x, y) dx$$

หรือ

$$y_1 = y_0 + \int_{x_0}^{x_1} f(x, y) dx$$

ในทอม อินทิเกรตแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า y เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของค่า x จาก x_0 ไป x_1 ค่าตอบของสมการหาได้จากการหาค่า อินทิเกรตโดยวิธีการประมาณค่าสุดท้าย การประมาณค่าครั้งแรกของ y ในรูปฟังก์ชันของ x สามารถหาได้จากการแทนค่า y ในส่วนด้วย y_0 จากค่าเริ่มต้นจะได้อ่า

$$y_1^{(1)} = y_0 + \int_{x_0}^{x_1} f(x, y_0) dx$$

และในค่า y ใหม่จะใช้แทนค่าในสมการ (3)ซึ่งจะเป็นการประมาณค่าครั้งที่2 ของ y นั่นคือ

$$y_1^{(2)} = y_0 + \int_{x_0}^{x_1} f(x, y_1^{(1)}) dx$$

ทำซ้ำตามวิธีข้างต้นหลายๆครั้งจนกว่าค่าที่ได้จะมีความถูกต้องในช่วงที่ยอมรับได้

4 วิธีรุ่งเง-กัตตา(Runge-Kutta method)

ในวิธีของ รุ่งเง-กัตตาการเปลี่ยนค่าของตัวแปรต้นจะถูกคำนวณจากกลุ่มของสูตรที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ในเทอมของเดอริเวทีฟตั้งนั้นแต่ละค่าของ y จะหาเพียงครั้งเดียวต่างกับวิธีโมดิฟายค้อยเลอร์ หรือวิธีพิการ์ด อนุพันธ์อันดับสองของฟังก์ชันจะประมาณค่าโดยใช้สูตรอนุกรม เทเลอร์ กระจายค่าออกมาโดย

$$y_1 = y_0 + a_1 k_1 + a_2 k_2 \quad (4)$$

$$k_1 = f(x_0, y_0)h$$

$$k_2 = f(x_0 + b_1 h, y_0 + b_2 k_1)h$$

และค่าสัมประสิทธิ์ a_1, a_2, b_1, b_2 จะหาได้ในภายหลัง ขั้นแรกกระจาย ค้อยเลอร์ที่ ค่า (x_0, y_0) จะได้

$$k_2 = f(x_0, y_0) + b_1 \left. \frac{df}{dx} \right|_0 h + b_2 k_1 \left. \frac{df}{dy} \right|_0 + \dots \}h$$

แทนค่า k_1 และ k_2 เทอมในอนุกรมสำหรับ k_2 ในสมการ (4) ค่าประมาณจะเป็น

$$y_1 = y_0 + (a_1 + a_2) f(x_0, y_0)h + a_2 b_1 \left. \frac{df}{dx} \right|_0 h^2 + a_2 b_2 f(x_0, y_0) \left. \frac{df}{dy} \right|_0 h^2 \quad (5)$$

กระจายด้วยอนุกรม Taylor ของค่า y ที่ค่า (x_0, y_0) จะได้

$$y_1 = y_0 + \left. \frac{dy}{dx} \right|_0 h + \left. \frac{d^2 y}{dx^2} \right|_0 \frac{h^2}{2} + \dots \quad (6)$$

เมื่อ

$$\left. \frac{dy}{dx} \right|_0 = f(x_0, y_0)$$

$$\left. \frac{d^2 y}{dx^2} \right|_0 = \left. \frac{df}{dx} \right|_0 + \left. \frac{df}{dy} \right|_0 f(x_0, y_0)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ(6)จะได้ว่า

$$y_1 = y_0 + f(x_0, y_0)h + \frac{df}{dx} \Big|_0 \frac{h^2}{2} + \frac{df}{dy} \Big|_0 f(x_0, y_0) \frac{h^2}{2}$$

(7)

เปรียบเทียบกับสัมประสิทธิ์ภาพระหว่างสมการ(6)และ(7)จะได้ว่า

$$a_1 + a_2 = 1$$

$$a_2 b_1 = \frac{1}{2}$$

$$a_2 b_2 = \frac{1}{2}$$

เลือกค่า a_1 ตามความพอใจ กำหนดให้

$$a_1 = \frac{1}{2}$$

จะได้ว่า

$$a_1 = \frac{1}{2}, b_1 = 1, b_2 = 1$$

แทนค่าสมการทั้งหมดในสมการ(4) สูตรการประมาณของวิธี รังเง-กัตตา จะได้ว่า

โดย

$$y_1 = y_0 + \frac{1}{2} k_1 + \frac{1}{2} k_2$$

$$k_1 = f(x_0, y_0)h$$

$$k_2 = f(x_0 + h, y_0 + k_1)h$$

ดังนั้น

$$\Delta y = \frac{1}{2} (k_1 + k_2)$$

การหาคำตอบด้วยวิธี รังเง-กัตตาสำหรับ second-order การประมาณค่าจะต้องทำการคำนวณค่า

ของ k_1 และ k_2 ก่อน ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการประมาณจะเกิดใน order h^3 เพราะอนุกรม

จะถูก truncate หลังจากเทอมของ second-order

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เปรียบเทียบวิธีการคำนวณ

ในการแก้สมการอนุพันธ์จะเป็นการหาค่าของตัวแปรอิสระ x และตัวแปรตาม y ซึ่งจะมีวิธีการหาคำตอบที่ยุ่งยากและบางครั้งอาจหาคำตอบไม่ได้ วิธีการนิวเมอริกอล จะเป็นวิธีการแก้ปัญหาด้วยการ

- (1) กำหนดค่า y ในฟังก์ชันของ x ซึ่งค่าประมาณของ y จะเอามาใช้เป็นคำตอบได้โดยตรง หรือ
- (2) กำหนดความสัมพันธ์โดยประมาณระหว่างค่าของ y ที่ต้องการเพื่อใช้สำหรับเลือกค่า x วิธีพิคาร์ดเป็นวิธีในข้อ (1) สำหรับวิธีของออยเลอร์ รังเง-กัตตาและ Miline เป็นตัวอย่าง ของวิธีในข้อ (2)

ความยุ่งยากที่เกิดจากวิธีการประมาณค่า y ด้วยฟังก์ชัน เช่นวิธี รังเง-กัตตา ซึ่งต้องทำซ้ำไปเรื่อยๆจนกว่าจะได้ฟังก์ชันที่ ให้ค่าที่ยอมรับได้ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่ค่อยนิยมใช้กันในทางปฏิบัติ

สำหรับวิธีในข้อ(2) จะใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ขั้นพื้นฐาน ดังนั้นจึงมักใช้ คอมพิวเตอร์มาช่วยในการแก้ปัญหасสมการอนุพันธ์โดยทั่วไป ในความสัมพันธ์ต่างๆ จะใช้รอบการคำนวณน้อยรอบสำหรับตัวแปรอิสระ โดยที่ยังวิธีการซับซ้อนจะสามารถใช้จำนวนรอบในการคำนวณมากขึ้น คำตอบที่ได้มีความถูกต้องในระดับหนึ่ง วิธีของออยเลอร์เป็นวิธีการเบื้องต้นแต่ก็เป็นวิธีที่ใช้รอบการคำนวณมาก ซึ่งค่าที่ได้จะมีความผิดพลาดอยู่มากจึงไม่เหมาะที่จะใช้ในการปฏิบัติ วิธีโมดิฟายด์ออยเลอร์เป็นวิธีพื้นฐานเช่นกันแต่มีการพัฒนามากขึ้น มีการตรวจสอบค่าในตัวเองในกระบวนการหาคำตอบโดยประมาณของ y วิธีนี้มีความแม่นยำจำกัด แต่อย่างไรก็ตามจำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณตัวแปรอิสระมีจำนวนน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการของ รังเง-กัตตาจะใช้วิธีการคำนวณยุ่งยากกว่าแต่ผลที่ได้รับจะมีความถูกต้องมากกว่าวิธีอื่น

ภาคผนวก ข

โปรแกรมส่วนที่เป็นการคำนวณ Load Flow และ Swing Equation

```

Public Sub Round(Step, CYC, I, CNB, Curr, Freq, ICount)
    JJ = CNB(I)
    If (Step = 1) Then GoTo 410:
    'FOR STEP = 0
    VG(I, I) = V(JJ, JJ) + Curr * Sqr(XXD(I) ^ 2)
    Exit Sub
    'FOR STEP=1
410: T = CSng(ICount) / Freq
    'CHECK THE VALUE OF VARIABLE"CX"
    If (CX = 0) Then GoTo 500:
    XG = 1 / (1 / XD(I) + (1 / XXD(I) - 1 / XD(I)) * Exp(-T / TTD
(I) + (1 / XXXD(I) - 1 / XXD(I)) * Exp(-T / TTTD(I)))
    GoTo 600:
500: XG = XXD(I)
600: Del = (VG(I, I) - V(JJ, JJ))
    Curr = Del / Sqr(XG ^ 2)
    PWR(CYC + 1, I) = Curr * (VG(I, 0))
    Exit Sub
Exit Sub
End Sub

Public Sub Setlent(Step, CYC, I, CNB, Curr, Freq, ICount)
    J = CNB(I)
    If (Step = 1) Then GoTo 810:
    'FOR STEP=0
    EQ = VMag(I) + Curr * Sqr(XQ(I) ^ 2)
    AngEQ = Atn(Sin(EQ) / Cos(EQ))
    AngCURR = Atn(Sin(Curr) / Cos(Curr))
    AngIQ = AngEQ - AngCURR
    ABSCURR = Abs(Curr)
    AA = ABSCURR * Sin(AngIQ)
    BBB = ABSCURR * Cos(AngIQ)
    ABSEQ = Abs(EQ)
    UEQ = EQ / ABSEQ
    UJEQ = (-Sqr(1 ^ 2))) * UEQ
    DCURR = UJEQ * (AA)
    QCURR = UEQ * (BBB)
    EFD(I) = VMag(JJ) + (DCURR * Sqr(XD(I) ^ 2)) +
(QCURR * Sqr(XQ(I) ^ 2))
    XX = XQ(I) - XXD(I)
    EQ1(I) = EQ - DCURR * Sqr(XX ^ 2)
    VG(I, I) = EQ
    Exit Sub
    'FOR STEP=1
810: T = CSng(ICount) / Freq
    'CHECK VALUE OF 'CX'
    EQ = EQ1(I) + DCURR + Sqr(XX ^ 2)
    VG(I, I) = EQ
    PWR(CYC + 1, I) = Cos(Curr * (Cos(EQ) - Sin(EQ)))
    Exit Sub
End Sub

Private Sub Form_Load()
    Resultbusnew.DatabaseName = MdbFileName
    resultlinenew.DatabaseName = MdbFileName
    resulttmew.DatabaseName = MdbFileName
    swingoutput.DatabaseName = MdbFileName
End Sub

Private Sub Next_Click()
    'start preparedata
    ReDim suscep(NumberOfBus, NumberOfBus)
    ReDim G(NumberOfBus, NumberOfBus)
    ReDim b(NumberOfBus, NumberOfBus)
    ReDim RArrayFbx(NumberOfLine)
    ReDim LArrayFbx(NumberOfLine)
    ReDim susFbx(NumberOfLine)
    ReDim FromBusFbx(NumberOfLine)
    ReDim ToBusFbx(NumberOfLine)
    ReDim MaxflowPfbx(NumberOfLine)
    ReDim MaxflowQfbx(NumberOfLine)
    ReDim RTransFbx(NumberOfTransformer)
    ReDim XTransFbx(NumberOfTransformer)
    ReDim TransFromBusFbx(NumberOfTransformer)
    ReDim TransToBusFbx(NumberOfTransformer)
    ReDim TapFbx(NumberOfTransformer)
    ReDim MaxflowPtrfbx(NumberOfTransformer)
    ReDim MaxflowQtrfbx(NumberOfTransformer)
    'form admittance matrix
    For I = 1 To NumberOfLine
        lin1 = FromBus(I)
        lin2 = ToBus(I)
        G(lin1, lin2) = -1 * (RArray(I) / (RArray(I) ^ 2 + LArray(I) ^ 2))
        b(lin1, lin2) = (LArray(I) / (RArray(I) ^ 2 + LArray(I) ^ 2))
    
```

```

suscep(ln1, ln2) = sus(i) / 2
G(ln2, ln1) = -1 * (RArray(i) / (RArray(i) ^ 2 + LArray(i) ^ 2))
b(ln2, ln1) = (LArray(i) / (RArray(i) ^ 2 + LArray(i) ^ 2))
suscep(ln2, ln1) = sus(i) / 2

```

```
Next i
```

```
SumI = 0
```

```
somI = 0
```

```
For i = 1 To NumberOfBus
```

```
For j = 1 To NumberOfBus
```

```
SumI = SumI + (-1 * G(i, j))
```

```
somI = somI + (-1 * b(i, j)) + suscep(i, j)
```

```
Next j
```

```
G(i, i) = SumI
```

```
b(i, i) = somI
```

```
SumI = 0
```

```
somI = 0
```

```
Next i
```

```
ReDim GLineFlow(NumberOfBus, NumberOfBus)
```

```
ReDim BLineFlow(NumberOfBus, NumberOfBus)
```

```
For i = 1 To NumberOfBus
```

```
For j = 1 To NumberOfBus
```

```
GLineFlow(i, j) = G(i, j)
```

```
BLineFlow(i, j) = b(i, j)
```

```
Next j
```

```
Next i
```

```
'admittancematrix plus transformerdata
```

```
If NumberOfTransformer <> 0 Then
```

```
For i = 1 To NumberOfTransformer
```

```
ln1 = TransFromBus(i)
```

```
ln2 = TransToBus(i)
```

```
G(ln1, ln2) = G(ln1, ln2) + (-1 * (RTrans(i) / (RTrans(i) ^ 2 + XTrans(i) ^ 2))) / Tap(i)
```

```
b(ln1, ln2) = b(ln1, ln2) + ((XTrans(i) / (RTrans(i) ^ 2 + XTrans(i) ^ 2)) / Tap(i))
```

```
G(ln2, ln1) = G(ln2, ln1) + (-1 * (RTrans(i) / (RTrans(i) ^ 2 + XTrans(i) ^ 2))) / Tap(i)
```

```
b(ln2, ln1) = b(ln2, ln1) + ((XTrans(i) / (RTrans(i) ^ 2 + XTrans(i) ^ 2)) / Tap(i))
```

```
Next i
```

```
For i = 1 To NumberOfTransformer
```

```
G(TransFromBus(i), TransFromBus(i)) = G(TransFromBus(i), TransFromBus(i)) + (RTrans(i) / (RTrans(i) ^ 2 + XTrans(i) ^ 2))
```

```
b(TransFromBus(i), TransFromBus(i)) = b(TransFromBus(i), TransFromBus(i)) + (-1 * XTrans(i) / (RTrans(i) ^ 2 + XTrans(i) ^ 2))
```

```
G(TransToBus(i), TransToBus(i)) = G(TransToBus(i),
```

```
TransToBus(i)) + (RTrans(i) / (RTrans(i) ^ 2 + XTrans(i) ^ 2)) / (Tap(i) ^ 2)
```

```
b(TransToBus(i), TransToBus(i)) = b(TransToBus(i),
```

```
TransToBus(i)) + (-1 * XTrans(i) / (RTrans(i) ^ 2 + XTrans(i) ^ 2)) / (Tap(i) ^ 2)
```

```
Next i
```

```
End If
```

```
'prepare bus data to calculate
```

```
ReDim VMagFbx(NumberOfBus) As Single
```

```
ReDim VAngleFix(NumberOfBus) As Single
```

```
ReDim VAngleRad(NumberOfBus) As Single
```

```
ReDim BusTypeArrayFbx(NumberOfBus) As Integer
```

```
ReDim PspecFbx(NumberOfBus) As Single
```

```
ReDim QspecFbx(NumberOfBus) As Single
```

```
ReDim addP(NumberOfBus) As Single
```

```
ReDim addQ(NumberOfBus) As Single
```

```
NumberOfpvBus = 0
```

```
For i = 1 To NumberOfBus
```

```
If BusTypeArray(i) = 2 Then NumberOfpvBus = NumberOfpvBus + 1
```

```
Next i
```

```
NumberOfpvBusfix = NumberOfpvBus
```

```
NumberOfLineFix = NumberOfLine
```

```
NumberOfTransformerFix = NumberOfTransformer
```

```
For i = 1 To NumberOfBus
```

```
addP(i) = Pspec(i)
```

```
addQ(i) = Qspec(i)
```

```
Pspec(i) = -1 * Pspec(i)
```

```
Qspec(i) = -1 * Qspec(i)
```

```
If BusTypeArray(i) = 3 Then VMag(i) = 1
```

```
If BusTypeArray(i) <> 1 Then VAngle(i) = 0
```

```
If BusTypeArray(i) <> 3 Then Pspec(i) = Pspec(i) + Pgen(i)
```

```
If BusTypeArray(i) <> 3 Then Qspec(i) = Qspec(i) + Qgen(i)
```

```
Next i
```

```
For i = 1 To NumberOfBus
```

```
VMagFbx(i) = VMag(i)
```

```
VAngleFbx(i) = VAngle(i)
```

```
BusTypeArrayFbx(i) = BusTypeArray(i)
```

```
PspecFbx(i) = Pspec(i)
```

```
QspecFbx(i) = Qspec(i)
```

```
Next i
```

```
For i = 1 To NumberOfLine
```

```
RArrayFix(i) = RArray(i)
```

```
LArrayFix(i) = LArray(i)
```

```
susFbx(i) = sus(i)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

FromBusFbx(i) = FromBus(i)
ToBusFbx(i) = ToBus(i)
MaxflowPfbx(i) = MaxflowP(i)
MaxflowQfbx(i) = MaxflowQ(i)
Next i

For i = 1 To NumberOfTransformer
  RTransFbx(i) = RTrans(i)
  XTransFbx(i) = XTrans(i)
  TransFromBusFbx(i) = TransFromBus(i)
  TransToBusFbx(i) = TransToBus(i)
  TapFbx(i) = Tap(i)
  MaxflowPtrfbx(i) = MaxflowPtr(i)
  MaxflowQtrfbx(i) = MaxflowQtr(i)
Next i

'start newcalc
PI = 4 * Ath(1)
ReDim MaxdPiteration(MaxdIteration) As Single
ReDim MaxdQiteration(MaxdIteration) As Single
ReDim BusMaxdP(MaxdIteration) As Integer
ReDim BusMaxdQ(MaxdIteration) As Integer
ReDim QJac(NumberOfBus) As Single
ReDim PJac(NumberOfBus) As Single
IterationCount = 0
start = Timer
iteration:
'transform degree to radian
For i = 1 To NumberOfBus
  VAngleRad(i) = (VAngle(i) * PI) / 180
Next i
sumP = 0
sumQ = 0

'keep pjac(i) for use to jacobian k=m (i=numberofbus)
k = 1
For i = 1 To NumberOfBus
  For m = 1 To NumberOfBus
    Vanglekm = VAngleRad(k) - VAngleRad(m)
    Pcal = ((G(k, m) * Cos(Vanglekm)) + (b(k, m) * Sin
(Vanglekm))) * VMag(k) * VMag(m)
    sumP = sumP + Pcal
  Next m
  PJac(i) = sumP
  k = k + 1
  sumP = 0
Next i

'keep qjac(i) for use to jacobian k=m (i=numberofbus)
k = 1
For i = 1 To NumberOfBus
  For m = 1 To NumberOfBus
    Vanglekm = VAngleRad(k) - VAngleRad(m)
    Qcal = ((G(k, m) * Sin(Vanglekm)) - (b(k, m) * Cos
(Vanglekm))) * VMag(k) * VMag(m)
    sumQ = sumQ + Qcal
  Next m
  QJac(i) = sumQ
  k = k + 1
  sumQ = 0
Next i

'Special Scan for Qmin and Qmax limit
For i = 1 To NumberOfBus
  If BusTypeArray(i) = 2 Then
    If (QJac(i) + addQ(i)) > Qmax(i) Then
      Qspec(i) = Qmax(i) + Qspec(i)
      BusTypeArray(i) = 3
      NumberOfpvBus = NumberOfpvBus - 1
    End If
    If (QJac(i) + addQ(i)) < Qmin(i) Then
      Qspec(i) = Qmin(i) + Qspec(i)
      BusTypeArray(i) = 3
      NumberOfpvBus = NumberOfpvBus - 1
    End If
  End If
Next i

'form dp() for everybus except slack bus
ReDim dP(NumberOfBus - 1) As Single
MaxdP = 0
j = 1
For i = 1 To NumberOfBus
  If BusTypeArray(i) <> 1 Then
    dP(i) = Pspec(i) - PJac(i)
    If Abs(dP(i)) > Abs(MaxdP) Then
      MaxdP = dP(i)
    End If
  End If
  j = j + 1
End If
Next i
MaxdPiteration(IterationCount) = MaxdP
BusMaxdP(IterationCount) = k

'form dq() for loadbus only
ReDim dQ(NumberOfBus - 1 - NumberOfpvBus) As Single
MaxdQ = 0
j = 1
For i = 1 To NumberOfBus

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

If BusTypeArray(i) = 3 Then
    dQ(j) = Qspec(i) - QJac(i)
If Abs(dQ(j)) > Abs(MaxdQ) Then
    MaxdQ = dQ(j)
    k = i
End If
j = j + 1
End If
Next i

MaxdQIteration(IterationCount) = MaxdQ
BusMaxdQ(IterationCount) = k

'check to exit loop and print result
If (Abs(MaxdP) < ee) And (Abs(MaxdQ) < ee) Then GoTo
endofloop:
    IterationCount = IterationCount + 1
If IterationCount > Maxditeration Then GoTo countererror:

'form jacobian matrix
rc = (NumberOfBus - 1) + (NumberOfBus - 1 -
NumberOfpvBus)
ReDim Jacobian(rc, rc) As Single
k = 1
m = 1

'form J1
For i = 1 To NumberOfBus - 1
Select Case BusTypeArray(k)
Case 1
    i = i - 1
Case 2
    For j = 1 To NumberOfBus - 1
        If BusTypeArray(m) <> 1 Then
            If k = m Then Jacobian(i, j) = (-1 * QJac(k)) - (b(k, k) *
VMag(k) * VMag(k))
            Vanglekm = VAngleRad(k) - VAngleRad(m)
            If k <> m Then Jacobian(i, j) = -1 * VMag(k) * VMag(m) *
((G(k, m) * Cos(Vanglekm)) + (b(k, m) * Sin(Vanglekm)))
        End If
        If BusTypeArray(m) = 1 Then j = j - 1
        m = m + 1
    Next j
Case 3
    i = i - 1
End Select
k = k + 1
m = 1
Next i

'form J2
k = 1
m = 1
For i = 1 To NumberOfBus - 1
    If BusTypeArray(k) <> 1 Then
        For j = NumberOfBus To rc
            Select Case BusTypeArray(m)
            Case 1
                j = j - 1
            Case 3
                If k = m Then Jacobian(i, j) = (PJac(k) / VMag(k)) + (G(k, k)
* VMag(k))
                Vanglekm = VAngleRad(k) - VAngleRad(m)
                If k <> m Then Jacobian(i, j) = VMag(k) * ((G(k, m) * Cos
(Vanglekm)) + (b(k, m) * Sin(Vanglekm)))
            End If
        Next j
    End If
    m = m + 1
Next i

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Case 2
    j = j - 1
End Select
m = m + 1
Next j
End If
If BusTypeArray(k) = 1 Then l = l - 1
k = k + 1
m = 1
Next l

'form J4
k = 1
m = 1
For l = NumberOfBus To rc
    Select Case BusTypeArray(k)
    Case 1
        l = l - 1
    Case 3
        For j = NumberOfBus To rc
            Select Case BusTypeArray(m)
            Case 1
                j = j - 1
            Case 3
                If k = m Then Jacobian(l, j) = (QJac(k) / VMag(k)) - (b(k, k) *
VMag(k))
                Vanglekm = VAngleRad(k) - VAngleRad(m)
                If k <> m Then Jacobian(l, j) = VMag(k) * ((G(k, m) * Sin
(Vanglekm)) - (b(k, m) * Cos(Vanglekm)))
            Case 2
                j = j - 1
            End Select
            m = m + 1
        Next j
        Case 2
            l = l - 1
        End Select
        k = k + 1
        m = 1
    Next k

'form inverse jacobian
Call inversejacobianmatrx(rc)

'form dpdqmatrx to multiply with inverse jacobian
ReDim dPdQ(rc) As Single
j = 1
For l = 1 To rc
    If l <= NumberOfBus - 1 Then dPdQ(l) = dQ(l)
    If l > NumberOfBus - 1 Then
        'find dangledvmag matrx to update with vangle and vmag
        ReDim dAngledVmag(rc) As Single
        sumAngVmag = 0
        k = 1
        For l = 1 To rc
            For j = 1 To rc
                sumAngVmag = sumAngVmag + (dPdQ(k) * Inverse(l, j))
                k = k + 1
            Next j
            dAngledVmag(l) = sumAngVmag
            sumAngVmag = 0
            k = 1
        Next l

        'transform vangle in dangledvmag matrx from radian to degree
        For l = 1 To NumberOfBus - 1
            dAngledVmag(l) = dAngledVmag(l) * 180 / Pi
        Next l

        'find vangle cut matrx to update with dangle
        ReDim VangleCut(NumberOfBus - 1) As Single
        j = 1
        For l = 1 To NumberOfBus
            If BusTypeArray(l) = 1 Then j = j - 1 Else VangleCut(j) = VAngle
(l)
            j = j + 1
        Next l

        'update vangle for everybus except slackbus
        For l = 1 To NumberOfBus - 1
            VangleCut(l) = VangleCut(l) + dAngledVmag(l)
        Next l

        'find vmagcut matrx to update with dvmag
        ReDim VmagCut(NumberOfBus - 1 - NumberOfpvBus) As Single
        j = 1
        For l = 1 To NumberOfBus
            If BusTypeArray(l) = 1 Then j = j - 1
            If BusTypeArray(l) = 2 Then j = j - 1
            If (BusTypeArray(l) = 3) Then VmagCut(j) = VMag(l)
            j = j + 1
        Next l

        'update vmag for pqbus and pvbus that overlimit
        j = 1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

For l = NumberOfBus To rc
VmagCut(j) = VmagCut(j) + dAngledVmag(l)
j = j + 1
Next i

'expand vanglecut to vangle to use with next pcalc and next
qcalc
j = 1
For l = 1 To NumberOfBus
If BusTypeArray(l) <> 1 Then VAngle(l) = VangleCut(j) Else j = j -
1
j = j + 1
Next i

'expand vmagcut to vmag to use with next pcalc and next qcalc
j = 1
For l = 1 To NumberOfBus
If BusTypeArray(l) = 3 Then VMag(l) = VmagCut(j)
If (BusTypeArray(l) = 1) Or (BusTypeArray(l) = 2) Then j = j - 1
j = j + 1
Next i

GoTo Iteration:
endoffloop:
finish = Timer
Timenew = finish - start
NumberOfpvBus = NumberOfpvBusfix

'find MW and MVAR for slackbus, MVAR for pvbus
For l = 1 To NumberOfBus
BusTypeArray(l) = BusTypeArrayFix(i)
Qspec(i) = QspecFix(i)
Next i
For l = 1 To NumberOfBus
If BusTypeArray(l) = 1 Then
PJac(l) = PJac(l) + addP(l)
QJac(l) = QJac(l) + addQ(l)
End If
If BusTypeArray(l) = 2 Then
PJac(l) = PJac(l) + addP(l)
QJac(l) = QJac(l) + addQ(l)
End If
Next i

```

```

'find power flow between line to line
ReDim ILineReal(NumberOfBus, NumberOfBus) As Single
ReDim ILineImag(NumberOfBus, NumberOfBus) As Single
ReDim SReal(NumberOfBus, NumberOfBus) As Single
ReDim SImag(NumberOfBus, NumberOfBus) As Single

```

```

Dim art1 As Single
Dim art2 As Single
If NumberOfTransformer = 0 Then
For k = 1 To NumberOfBus
For m = 1 To NumberOfBus
If k <> m Then
art1 = (VMag(k) * Cos(VAngleRad(k))) - (VMag(m) * Cos
(VAngleRad(m)))
art2 = (VMag(k) * Sin(VAngleRad(k))) - (VMag(m) * Sin
(VAngleRad(m)))
ILineReal(k, m) = (art1 * -1 * G(k, m)) - (art2 * -1 * b(k, m))
ILineImag(k, m) = (art1 * -1 * b(k, m)) + (art2 * -1 * G(k, m))
SReal(k, m) = (VMag(k) * Cos(VAngleRad(k)) * ILineReal(k, m))
+ (VMag(k) * Sin(VAngleRad(k)) * ILineImag(k, m))
SImag(k, m) = (VMag(k) * Sin(VAngleRad(k)) * ILineReal(k, m))
- (VMag(k) * Cos(VAngleRad(k)) * ILineImag(k, m)) + (VMag(k) *
VMag(k) * -1 * suscep(k, m))
End If
Next m
Next k
End If
If NumberOfTransformer <> 0 Then
For k = 1 To NumberOfBus
For m = 1 To NumberOfBus
If k <> m Then
art1 = (VMag(k) * Cos(VAngleRad(k))) - (VMag(m) * Cos
(VAngleRad(m)))
art2 = (VMag(k) * Sin(VAngleRad(k))) - (VMag(m) * Sin
(VAngleRad(m)))
ILineReal(k, m) = (art1 * -1 * GLineFlow(k, m)) - (art2 * -1 *
BLineFlow(k, m))
ILineImag(k, m) = (art1 * -1 * BLineFlow(k, m)) + (art2 * -1 *
GLineFlow(k, m))
SReal(k, m) = (VMag(k) * Cos(VAngleRad(k)) * ILineReal(k, m))
+ (VMag(k) * Sin(VAngleRad(k)) * ILineImag(k, m))
SImag(k, m) = (VMag(k) * Sin(VAngleRad(k)) * ILineReal(k, m))
- (VMag(k) * Cos(VAngleRad(k)) * ILineImag(k, m)) + (VMag(k) *
VMag(k) * -1 * suscep(k, m))
End If
Next m
Next k
End If

```

```

'find power through transformer
Dim z As Single
Dim y As Single
If NumberOfTransformer <> 0 Then
For i = 1 To NumberOfTransformer
Trs = TransFromBus(i)
Trr = TransToBus(i)

```

```

d = Tap(i)
Vanglekm = VAngleRad(Trs) - VAngleRad(Trr)
art1 = ((VMag(Trs) ^ 2) / (d ^ 2)) - ((VMag(Trs) * VMag(Trr) *
Cos(Vanglekm)) / d)
art2 = -1 * ((VMag(Trs) * VMag(Trr) * Sin(Vanglekm)) / d)
z = RTrans(i) / ((RTrans(i) ^ 2) + (XTrans(i) ^ 2))
y = XTrans(i) / ((RTrans(i) ^ 2) + (XTrans(i) ^ 2))
SReal(Trs, Trr) = (art1 * z) - (art2 * y)
SImag(Trs, Trr) = (art2 * z) + (art1 * y)
Next i
End If
If NumberOfTransformer <> 0 Then
For i = 1 To NumberOfTransformer
Trr = TransToBus(i)
Trs = TransFromBus(i)
d = Tap(i)
Vanglekm = VAngleRad(Trr) - VAngleRad(Trs)
art1 = (VMag(Trr) ^ 2) - ((VMag(Trr) * VMag(Trs) * Cos
(Vanglekm)) / d)
art2 = -1 * ((VMag(Trr) * VMag(Trs) * Sin(Vanglekm)) / d)
z = RTrans(i) / ((RTrans(i) ^ 2) + (XTrans(i) ^ 2))
y = XTrans(i) / ((RTrans(i) ^ 2) + (XTrans(i) ^ 2))
SReal(Trr, Trs) = (art1 * z) - (art2 * y)
SImag(Trr, Trs) = (art2 * z) + (art1 * y)
Next i
End If
ReDim PJacNew(NumberOfBus) As Single
ReDim QJacNew(NumberOfBus) As Single
ReDim VMagNew(NumberOfBus) As Single
ReDim VAngleNew(NumberOfBus) As Single
Iterationcountnew = IterationCount
For i = 1 To NumberOfBus
PJacNew(i) = PJac(i)
QJacNew(i) = QJac(i)
VMagNew(i) = VMag(i)
VAngleNew(i) = VAngle(i)
VAngle(i) = VAngleFb(i)
VMag(i) = VMagFb(i)
Next i
ReDim SRealNew(NumberOfBus, NumberOfBus) As Single
ReDim SImagNew(NumberOfBus, NumberOfBus) As Single
For i = 1 To NumberOfBus
For j = 1 To NumberOfBus
SRealNew(i, j) = SReal(i, j)
SImagNew(i, j) = SImag(i, j)
Next j
Next i
GoTo enough:
counterror:
MsgBox "Over Iteration in Load Flow Calculation", vbOKOnly,
"Information"
End
enough:
'prepare result loadflow
Resultbusnew.Recordset.MoveLast
resultlineew.Recordset.MoveLast
'delete tr database
If (NumberOfTransformer <> 0) Then
Do
resulttnew.Recordset.Delete
resultmnew.Recordset.MoveLast
Loop Until resulttnew.Recordset.transformernumber.Value = 1
resultmnew.Recordset.Delete
resultfnew.Recordset.MoveLast
End If
'input tr data
If (NumberOfTransformer <> 0) Then
For i = 1 To NumberOfTransformer
resultmnew.Recordset.AddNew
resultmnew.Recordset.transformernumber.Value = i
resultmnew.Recordset.FromBus.Value = TransFromBus(i)
resultmnew.Recordset.ToBus.Value = TransToBus(i)
resultmnew.Recordset.MWflows.Value = SRealNew
(TransFromBus(i), TransToBus(i)) * baseMVA
resultmnew.Recordset.MVARflows.Value = SImagNew
(TransFromBus(i), TransToBus(i)) * baseMVA
resultmnew.Recordset.Update
resultmnew.Recordset.AddNew
resultmnew.Recordset.Update
resultmnew.Recordset.MoveLast
resultmnew.Recordset.Edit
resultmnew.Recordset.transformernumber.Value = i
resultmnew.Recordset.FromBus.Value = TransToBus(i)
resultmnew.Recordset.ToBus.Value = TransFromBus(i)
resultmnew.Recordset.MWflows.Value = SRealNew(TransToBus
(i), TransFromBus(i)) * baseMVA
resultmnew.Recordset.MVARflows.Value = SImagNew
(TransToBus(i), TransFromBus(i)) * baseMVA
resultmnew.Recordset.Update
Next i
End If
'delete bus database
Do
Resultbusnew.Recordset.Delete
Resultbusnew.Recordset.MoveLast

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Loop Until Resultbusnew.Recordset.busnumber.Value = 1
```

```
'delete line database
```

```
Do
```

```
resultlinenew.Recordset.Delete
```

```
resultlinenew.Recordset.MoveLast
```

```
Loop Until resultlinenew.Recordset.linenumber.Value = 1
```

```
resultlinenew.Recordset.Delete
```

```
resultlinenew.Recordset.MoveLast
```

```
'input bus data
```

```
For i = 1 To NumberOfBus
```

```
Resultbusnew.Recordset.Edit
```

```
Resultbusnew.Recordset.busnumber.Value = i
```

```
Resultbusnew.Recordset.voits.Value = VMagNew(i)
```

```
Resultbusnew.Recordset.angle.Value = VAngleNew(i)
```

```
If BusTypeArray(i) = 1 Then
```

```
Resultbusnew.Recordset.Pg.Value = PJacNew(i) * baseMVA
```

```
Resultbusnew.Recordset.Qg.Value = QJacNew(i) * baseMVA
```

```
Resultbusnew.Recordset.PI.Value = addP(i) * baseMVA
```

```
Resultbusnew.Recordset.QI.Value = addQ(i) * baseMVA
```

```
End If
```

```
If BusTypeArray(i) = 2 Then
```

```
Resultbusnew.Recordset.Pg.Value = PJacNew(i) * baseMVA
```

```
Resultbusnew.Recordset.Qg.Value = QJacNew(i) * baseMVA
```

```
Resultbusnew.Recordset.PI.Value = addP(i) * baseMVA
```

```
Resultbusnew.Recordset.QI.Value = addQ(i) * baseMVA
```

```
End If
```

```
If BusTypeArray(i) = 3 Then
```

```
Resultbusnew.Recordset.Pg.Value = 0
```

```
Resultbusnew.Recordset.Qg.Value = 0
```

```
Resultbusnew.Recordset.PI.Value = PJacNew(i) * baseMVA * -1
```

```
Resultbusnew.Recordset.QI.Value = QJacNew(i) * baseMVA * -1
```

```
End If
```

```
Resultbusnew.Recordset.Update
```

```
totalnewPg = totalnewPg + Resultbusnew.Recordset.Pg.Value
```

```
totalnewQg = totalnewQg + Resultbusnew.Recordset.Qg.Value
```

```
totalnewPI = totalnewPI + Resultbusnew.Recordset.PI.Value
```

```
totalnewQI = totalnewQI + Resultbusnew.Recordset.QI.Value
```

```
If i < NumberOfBus Then
```

```
Resultbusnew.Recordset.AddNew
```

```
Resultbusnew.Recordset.Update
```

```
Resultbusnew.Recordset.MoveLast
```

```
End If
```

```
Next i
```

```
Resultbusnew.Recordset.AddNew
```

```
Resultbusnew.Recordset.Update
```

```
Resultbusnew.Recordset.MoveLast
```

```
Resultbusnew.Recordset.Edit
```

```
Resultbusnew.Recordset.busnumber.Value = "Total"
```

```
Resultbusnew.Recordset.Pg.Value = totalnewPg
```

```
Resultbusnew.Recordset.Qg.Value = totalnewQg
```

```
Resultbusnew.Recordset.PI.Value = totalnewPI
```

```
Resultbusnew.Recordset.QI.Value = totalnewQI
```

```
Resultbusnew.Recordset.Update
```

```
'input line data
```

```
For l = 1 To NumberOfLine
```

```
resultlinenew.Recordset.Edit
```

```
resultlinenew.Recordset.linenumber.Value = i
```

```
resultlinenew.Recordset.FromBus.Value = FromBus(i)
```

```
resultlinenew.Recordset.ToBus.Value = ToBus(i)
```

```
resultlinenew.Recordset.MWflows.Value = SRealNew(FromBus
```

```
(i), ToBus(i)) * baseMVA
```

```
resultlinenew.Recordset.MVARflows.Value = SImagNew
```

```
(FromBus(i), ToBus(i)) * baseMVA
```

```
resultlinenew.Recordset.Update
```

```
resultlinenew.Recordset.AddNew
```

```
resultlinenew.Recordset.Update
```

```
resultlinenew.Recordset.MoveLast
```

```
resultlinenew.Recordset.Edit
```

```
resultlinenew.Recordset.linenumber.Value = i
```

```
resultlinenew.Recordset.FromBus.Value = ToBus(i)
```

```
resultlinenew.Recordset.ToBus.Value = FromBus(i)
```

```
resultlinenew.Recordset.MWflows.Value = SRealNew(ToBus(i),
```

```
FromBus(i)) * baseMVA
```

```
resultlinenew.Recordset.MVARflows.Value = SImagNew(ToBus
```

```
(i), FromBus(i)) * baseMVA
```

```
resultlinenew.Recordset.Update
```

```
If i < NumberOfLine Then
```

```
resultlinenew.Recordset.AddNew
```

```
resultlinenew.Recordset.Update
```

```
resultlinenew.Recordset.MoveLast
```

```
End If
```

```
'Next i
```

```
'STABILITY
```

```
'MODIFY ADMITTANCE MATRIX
```

```
For l = 1 To NumberOfBus
```

```
If ((BusTypeArray(l) = 2) And (PJacNew(l) = 0)) Then addQ(l)  
= addQ(l) - QJacNew(l)
```

```
If ((addP(l) = 0) And (PJacNew(l) = 0)) Then GoTo 10:
```

```
yy(l, l) = yy(l, l) + (Sqr(addP(l) ^ 2 + (-addQ(l) ^ 2)) /
```

```
(VMag(i))
```

```
Next l
```

```
'INCLUDE GEN ADMITTANCE TO Y-MATRIX AND FORM
```

```
NEW BUS TO REPRESENT THE MACHINES
```

```
'10: ll = 1
```

```
For ll = 1 To NG
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

k = CNB(i)
j = NumberOfBus + ii
If (RTT(ii) <> 0) Then
  YG = 1 / (Sqr(0 ^ 2 + (XQ(ii) ^ 2))
Else
  YG = 1 / (Sqr(0 ^ 2 + (XXD(ii) ^ 2))
End If
yy(k, k) = yy(k, k) + YG
yy(j, j) = YG
yy(j, k) = -YG
yy(k, j) = yy(j, k)
Next ii

'NGB=NUMBER OF GEN AND BUS
NGB = NG + NumberOfBus

'CLEAR LINE PARAMETER MATRIX YLpq
For i = 1 To NGB
  For j = 1 To NGB
    YL(i, j) = 0
  Next j
Next i

'FORM LINE PARAMETER MATRIX YLpq (YLpq=Ypq/Ypp)
For i = 1 To NGB
  For j = 1 To NGB
    YL(i, j) = yy(i, j) / yy(i, i)
  Next j
Next i

'STEP OF OPERATION OF BOTH SUB-SALIENT AND SUB-
ROUND
Step = 0

TO CALCULATE THE MACHINE CURRENTS PRIOR TO THE
DISTURBANCE
For i = 1 To NG
  j = CNB(i)
  Curr = Sqr((PJacNew(j) ^ 2) + ((-QJacNew(j)) ^ 2)) / (VMag
(i))

'ROUND ROTOR
If (RTT(i) = 0) Then
  Round Step, CYC, i, CNB, Curr, Freq, ICount
End If

'SALIENT ROTOR
If (RTT(i) = 1) Then
  Sallent Step, CYC, i, CNB, Curr, Freq, ICount
End If

Next i

'STEP OPERATION OF BOTH SUB-SALIENT AND SUB-
ROUND
Step = 1
LCYC1 = 40

>Delete Database
For ii = 1 To (2 * (LCYC1 + 1))
  swingoutput.Recordset.Delete
  swingoutput.Recordset.MoveLast
Next ii

'WRITE OUTPUT DATA OF SWINGOUTPUT
Const Pii = 3.141592654
Torque = 0
Omega = 1
CYC = 0
T = 0
635: For i = 1 To NG
  T = CSng(CYC) / Freq
  AVT(i) = 2 * Pii * Freq
  OMA(CYC + 1, i) = AVT(i)
  AngRad(i) = Atn(VG(i, i))
  AngDeg(CYC + 1, i) = 180 * AngRad(i) / Pii
  j = CNB(i)
  ABSV = Abs(VMag(j))
  PWR(CYC + 1, i) = PJacNew(j)

'WRITE SWINGOUTPUT IN DATABASE
swingoutput.Recordset.AddNew
swingoutput.Recordset.CYC.Value = CYC
swingoutput.Recordset.Time.Value = T
swingoutput.Recordset.MCNUMBER.Value = i
swingoutput.Recordset.RAD.Value = AngRad(i)
swingoutput.Recordset.DEG.Value = AngDeg(CYC + 1,
i)
swingoutput.Recordset.SPEED.Value = Omega
swingoutput.Recordset.POWER.Value = PWR(CYC + 1, i)
swingoutput.Recordset.ACCT.Value = Torque
swingoutput.Recordset.V.Value = ABSV
swingoutput.Recordset.Update
swingoutput.Recordset.MoveLast
Next i
If (CYC = FCYC1) Then GoTo 900:
CYC = CYC + 1
GoTo 635:

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

'CALL SUB ROUTINE FOR EACH FAULT TYPE TO CALCULATE
OUTPUT DATA(TR03)

'call tr03

900: MaxIter = MaxIteration

ICount = 0

For i = 1 To NG

DT(i) = Atn(VG(i, i))

AVT(i) = 2 * PII * Freq

VMag(i) = Abs(VG(i, i))

Next i

'start loop

910: N = 0

T = CSng(CYC) / Freq

'check fault cycle + clear fault

If ((CYC = FCYC1) Or (CYC = CCYC1)) Then GoTo 920:

GoTo 985:

920: Itera = 0

935: MaxDel = 0

For i = 1 To NumberOfBus

If (CYC < CCYC1) Then

m = FBus1

V(m, m) = 0

If (i = m) Then GoTo 950:

Else

Summ(1, 1) = 0

VM(1, 1) = V(i, i)

End If

For j = 1 To NumberOfBus

If (j <> i) Then

Summ(1, 1) = Summ(1, 1) + YL(i, j) * V(j, j)

End If

Next j

For j = 1 To NG

k = NumberOfBus + j

Summ(1, 1) = Summ(1, 1) + YL(i, k) * VG(j, j)

Next j

V(i, i) = -Summ(1, 1)

DV(i, i) = V(i, i) - VM(1, 1)

V(i, i) = VM(1, 1) + DV(i, i) * (AccEF)

DELV = Abs(V(i, i) - VM(1, 1))

If (DELV >= MaxDel) Then MaxDel = DELV

Next i

950: Err = 0.000001

Itera = Itera + 1

If (Itera >= MaxIter) Then

MsgBox "Over Iteration in Swing Calculation", vbOKOnly,

"Information"

End

End If

If (MaxDel <= Err) Then

For i = 1 To NG

If (RTT(i) = 0) Then

Round Step, CYC, i, CNB, Curr, Freq, ICount

'SUB ROUND ROTOR

End If

If (RTT(i) = 1) Then

Salient Step, CYC, i, CNB, Curr, Freq, ICount

'SUB SALIENT ROTOR

End If

Next i

Else

GoTo 935:

End If

If (N = 0) Then GoTo 1030:

If (N = 1) Then GoTo 1040:

GoTo 1080:

985: For i = 1 To NG

DDT(i) = AVT(i) - (2 * PII * Freq)

DAVT(i) = DAVTT(i)

DTT(i) = DT(i) + DDT(i) / Freq

AVTT(i) = AVT(i) + DAVT(i) / Freq

Next i

GoTo 987:

1030: For i = 1 To NG

j = CNB(i)

DDT(i) = AVT(i) - (2 * PII * Freq)

DAVT(i) = PII * Freq * (PJacNew(j) - PWR(CYC + 1, i)) / H

(i)

DTT(i) = DT(i) + DDT(i) / Freq

AVTT(i) = AVT(i) + DAVT(i) / Freq

Next i

987: For L = 1 To NG

AA = VMag(L) * Cos(DTT(L))

BBB = VMag(L) * Sin(DTT(L))

VMag(L) = Sqr(AA ^ 2 + BBB ^ 2)

Next L

N = 1

GoTo 920:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

If (CYC < LCYC1) Then GoTo 910:

```

1040: For I = 1 To NG
      J = CNB(I)
      DAVTT(I) = PII * Freq * (PJacNew(J) - PWR(CYC + 1, I)) /
      H(I)
      AVTT(I) = AVT(I) + (DAVTT(I) + DAVTT(I)) / 2 / Freq
      DDTT(I) = AVTT(I) - (2 * PII * Freq)
      DTT(I) = DT(I) + (DDT(I) + DDTT(I)) / 2 / Freq
      DT(I) = DTT(I)
      AVT(I) = AVTT(I)
Next I

```

```

1070: For L = 1 To NG
      AA = VMag(L) * Cos(DT(L))
      BBB = VMag(L) * Sin(DT(L))
      VG(L, L) = Sqr(AA ^ 2 + BBB ^ 2)
Next L
N = 2
GoTo 920:

```

write swing output

```

1080: For I = 1 To NG
      T = CSng(CYC) / Freq
      J = CNB(I)
      AngDeg(CYC + 1, I) = DTT(I) * 180 / PII
      OMA(CYC + 1, I) = AVTT(I) / 2 / Freq
      ABSV = Abs(VMag(J))
      Ta = H(I) * DAVTT(I) / PII / Freq
)

WRITE SWINGOUTPUT IN DATABASE
swingoutput.Recordset.AddNew
swingoutput.Recordset.Update
swingoutput.Recordset.MoveLast
swingoutput.Recordset.Edit
swingoutput.Recordset.CYC.Value = CYC
swingoutput.Recordset.Time.Value = T
swingoutput.Recordset.MCNUMBER.Value = I
swingoutput.Recordset.RAD.Value = DTT(I)
swingoutput.Recordset.DEG.Value = AngDeg(CYC + 1,
)

swingoutput.Recordset.SPEED.Value = OMA(CYC + 1, I)
swingoutput.Recordset.POWER.Value = PWR(CYC + 1, I)
swingoutput.Recordset.ACCT.Value = Ta
swingoutput.Recordset.V.Value = ABSV
swingoutput.Recordset.Update
swingoutput.Recordset.MoveLast
Next I

```

CYC = CYC + 1

ICount = ICount + 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] G.W Stagg and El-Abaid , “Computer Methods in Power System Analysis”Network,Mc Graw-Hill ,1968
- [2] M. Pavella & P.G. Murthy, “transient stability of Power System :Theory and practice”,John Willey & sons 1994
- [3] William D. Stevenson , Jr: Elements of Power System Analysis
- [4] Behic R. Gungor ,Power system
- [5] นายโชคชัย ศศิวรรณ นายรุ่งโรจน์ วนพฤชาศิลป์, Power system planning load flow and load forecasting ปริญญาโทปี 2540



หนังสืออ้างอิง

- [1] G.W Stagg and El-Abaid , “Computer Methods in Power System Analysis”Network,Mc Graw-Hill ,1968
- [2] M. Pavella & P.G. Murthy, “transient stability of Power Systm :Theory and practice”,John Willey & sons 1994
- [3] William D. Stevenson , Jr: Elements of Power System Analysis
- [4] Behic R. Gungor ,Power system
- [5] นายโยชัย ศศิวรรณ นายรุ่งโรจน์ วนพฤกษาศิลป์, Power system planning load flow and load forecasting ปรึญญาปีพนธ์ปี 2540

