

การวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้าโดยวิธีดีคัปเปิล

และการวิเคราะห์คอนทินเจนซี

Decoupled Load Flow and Contingency Analysis



T 0 3 4 1 7 0



โดย

นายสุภวัชร จิตรวรนนท์

นายสุรศักดิ์ ดีไชยเศรษฐ์

นายเอกภพ พงศ์วิทยาเลิศ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เลขที่.....

34170

เลขที่.....

วัน, เดือน, ปี- 6 ต.ค. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แม้จะมีผู้ใดก็ตามที่ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้าโดยวิธีดีคัปเปิล
และการวิเคราะห์คอนทินเจนซี
Decoupled Load Flow and Contingency Analysis



ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2541

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้าโดยวิธีดีคัปเปิลและการวิเคราะห์คอนทินเจนซี

(Decoupled Load Flow and Contingency Analysis)

ผู้จัดทำ

1. นายสุภวัชร จิตรวรรณันท์
2. นายสุรศักดิ์ ดีไชยเศรษฐ
3. นายเอกภพ พงศ์วิทยาเลิศ

อาจารย์ที่ปรึกษา



(อ.สมโภชน์ ประไพ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้าโดยวิธีตัดเปิด
และการวิเคราะห์คอนทินเจนซี

นายสุภวัชร จิตรวรรณันท์
นายสุรศักดิ์ ดีไชยเศรษฐ
นายเอกภพ พงศ์วิทยาเลิศ
อาจารย์ที่ปรึกษา อ.สม โภชน์ ประไพ
ปีการศึกษา 2541

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงการคำนวณการไหลของภาระไฟฟ้าโดยวิธีตัดเปิดและการวิเคราะห์คอนทินเจนซี การคำนวณการไหลของภาระไฟฟ้าโดยวิธีตัดเปิดเป็นวิธีการคำนวณที่ปรับปรุงมาจากวิธีนิวตัน-ราฟสัน โดยอาศัยคุณสมบัติทางวิศวกรรมของระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อตัดสมาชิกบางตัวในจาโคเบียนเมตริกซ์ออกไป เป็นการลดขนาดหน่วยความจำและเวลาในการคำนวณของคอมพิวเตอร์ ทำให้เหมาะสมกับการคำนวณระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ โดยวิธีการคำนวณนี้ไม่ซับซ้อน เข้าหาคำตอบได้แน่นอนรวดเร็วและมีแนวทางการใช้งานได้กว้างขวาง ส่วนการวิเคราะห์คอนทินเจนซีจะใช้วิธีการเลือกกรณีคอนทินเจนซีแบบอัตโนมัติ เพื่อรักษาความปลอดภัยของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยจะสร้างตารางลำดับตามความรุนแรงของเอาต์เจตที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและที่สายส่งไฟฟ้า และจะคำนวณการไหลของภาระไฟฟ้าโดยวิธีตัดเปิดตามลำดับจากส่วนบนไปยังส่วนล่างสุดของตารางลำดับ ซึ่งเทคนิคการคำนวณทั้งหมดนี้ จะนำไปทดสอบใช้กับระบบไฟฟ้าทดสอบขนาดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Decoupled Load Flow and Contingency Analysis

Mr.Supawat Chitvaranund

Mr.Surasak Deechaisate

Mr.Akekapop Pongwittayarlert

Advisor Mr.Sompotsh Prapai

Academic Year 1998

Abstract

Decoupled Load Flow and Contingency Analysis is the main focus of this thesis. Decoupled Load Flow is the method improved from Newton-Raphson Load Flow method using engineering properties of electrical power system to remove some elements from Jacobian matrix that reduced computer storage requirements and calculation time. This method is appropriated for large power systems. The algorithm is quite simple, very reliable and extremely fast with a wide range of possible practical applications. About Contingency Analysis use Automatic Contingency Selection for a power system security. A contingency list is built containing line and generator outages which are ranked according to their expected severity. An adaptive contingency processor can be set up by performing sequential contingency tests starting with the most severe contingencies at the top of the list and proceeding down the list. Computational results of these techniques applied to different test systems are presented.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	ก
สารบัญรูป	ข
สารบัญตาราง	ง
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	2
บทที่ 3 การทดลองและผลการทดลอง	33
บทที่ 4 บทวิจารณ์และสรุปผลการทดลอง	69
ภาคผนวก ก. วิธีการใช้งาน โปรแกรม	ผ.1
ภาคผนวก ข. โพลีชาร์ทการวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้า โดยวิธีนิวตัน-ราฟสันและคัลป์เปิด	ผ.9
ภาคผนวก ค. ความรู้เพิ่มเติม	ผ.11
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2.1	แบบจำลองสายส่งไฟฟ้า	2
2.2	วงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้า	3
2.3	หม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับแทน	4
2.4	วงจรสมมูลย์อย่างง่ายในระบบเปอร์ยูนิต สำหรับการคัปปลิง (coupling) ระหว่างขดลวดด้านปฐมภูมิและขดลวดด้านทุติยภูมิ	4
2.5	รูปแสดงค่าต่าง ๆ ของโหนดในระบบอย่างง่าย	6
2.6	การประมาณค่าเชิงเส้นของตัวแปรเดียว	11
2.7	ระบบแบบ 6 บัส ในสภาวะปกติ	22
2.8	ระบบแบบ 6 บัส เมื่อเกิดเอาต์เตจที่สายส่งไฟฟ้าจากบัส 3 ถึงบัส 5	23
2.9	ระบบแบบ 6 บัส เมื่อเกิดเอาต์เตจที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 3 ซึ่งจ่ายเพิ่มโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 1	24
2.10	ระบบแบบ 6 บัส เมื่อเกิดเอาต์เตจที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 3 ซึ่งจ่ายเพิ่มโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 1 และ 2	25
2.11	โพลีชาร์ทการวิเคราะห์คอนทินเจนซี	26
2.12	การวิเคราะห์ความปลอดภัยของระบบโดยวิธีการไหลของภาระไฟฟ้าแบบกระแสสลับ	27
2.13	การวิเคราะห์ความปลอดภัยของระบบโดยวิธีการไหลของภาระไฟฟ้าแบบกระแสสลับพร้อมทั้งการเลือกกรณีคอนทินเจนซี	29
2.14	ขั้นตอนวิธีการเลือกคอนทินเจนซีโดยวิธี IP1Q	31
3.1	ระบบไฟฟ้ากำลัง 6 บัส	35
3.2	ระบบไฟฟ้ากำลัง 14 บัส	38
3.3	ระบบไฟฟ้ากำลัง 30 บัส	43
ก.1	หน้าต่างแสดงการเลือกวิธีป้อนข้อมูลให้โปรแกรม	ผ.1
ก.2	หน้าต่างแสดงข้อมูลทั่วไปของระบบ	ผ.2
ก.3	หน้าต่างแสดงข้อมูลของบัส	ผ.2
ก.4	หน้าต่างแสดงข้อมูลของสายส่งไฟฟ้า	ผ.3
ก.5	หน้าต่างแสดงข้อมูลของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง	ผ.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
ก.6 หน้าต่างแสดงการเลือกวิธีในการวิเคราะห์	ผ.4
ก.7 หน้าต่างตารางแสดงผลลัพธ์ของบัส	ผ.5
ก.8 หน้าต่างตารางแสดงผลลัพธ์ของสายส่งไฟฟ้า	ผ.5
ก.9 หน้าต่างตารางแสดงผลลัพธ์ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง	ผ.6
ก.10 หน้าต่างแสดงผลลัพธ์ทั่วไป	ผ.6
ก.11 หน้าต่างตารางแสดงค่า PI_V	ผ.7
ก.12 หน้าต่างตารางแสดงค่า PI_{MW}	ผ.7
ก.13 หน้าต่างตารางแสดงการเกินพิกัดของเอาต์เตจต่าง ๆ ตามค่า PI_V ที่ได้เรียงไว้	ผ.8
ก.14 หน้าต่างตารางแสดงการเกินพิกัดของเอาต์เตจต่าง ๆ ตามค่า PI_{MW} ที่ได้เรียงไว้	ผ.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
3.1	แสดงข้อมูลทั่วไปของระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบ ขนาด 6 บัส	33
3.2	แสดงข้อมูลของบัส สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบขนาด 6 บัส	34
3.3	แสดงข้อมูลของสายส่ง สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบขนาด 6 บัส	34
3.4	แสดงข้อมูลของหม้อแปลง สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบขนาด 6 บัส	34
3.5	แสดงข้อมูลทั่วไปของระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบ ขนาด 14 บัส	36
3.6	แสดงข้อมูลของ บัส สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบ ขนาด 14 บัส	36
3.7	แสดงข้อมูลของสายส่ง สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบ ขนาด 14 บัส	37
3.8	แสดงข้อมูลของหม้อแปลง สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบ ขนาด 14 บัส	37
3.9	แสดงข้อมูลทั่วไปของระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบ ขนาด 30 บัส	39
3.10	แสดงข้อมูลของบัส สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบขนาด 30 บัส	40
3.11	แสดงข้อมูลของสายส่ง สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบขนาด 30 บัส	41
3.12	แสดงข้อมูลของหม้อแปลง สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบ ขนาด 30 บัส	42
3.13	แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 6 บัส เมื่อคำนวณ โดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่	หน้า	
3.14	แสดงกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านในสายส่ง สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 6 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน	44
3.15	แสดงกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านในหม้อแปลงไฟฟ้า สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 6 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน	44
3.16	แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 6 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.0001	45
3.17	แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 6 บัส เมื่อคำนวณโดยวิธีดีคัปเปิล	45
3.18	แสดงกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านในสายส่ง สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 6 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีดีคัปเปิล	45
3.19	แสดงกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านในหม้อแปลงไฟฟ้า สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 6 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีดีคัปเปิล	46
3.20	แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 6 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีดีคัปเปิล โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.0001	46
3.21	แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 14 บัส เมื่อคำนวณโดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน	46
3.22	แสดงกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านในสายส่ง สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 14 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน	47
3.23	แสดงกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านในหม้อแปลงไฟฟ้า สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 14 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน	48
3.24	แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 14 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.0001	48
3.25	แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 14 บัส เมื่อคำนวณโดยวิธีดีคัปเปิล	48
3.26	แสดงกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านในสายส่ง สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 14 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีดีคัปเปิล	49
3.27	แสดงกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านในหม้อแปลงไฟฟ้า สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 14 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีดีคัปเปิล	50

ตารางที่	หน้า	
3.28	แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 14 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีคัลป์เปิด โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.0001	50
3.29	แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 30 บัส เมื่อคำนวณโดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน	51
3.30	แสดงกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านในสายส่ง สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 30 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน	52
3.31	แสดงกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านในหม้อแปลงไฟฟ้า สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 30 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน	53
3.32	แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 30 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.0001	53
3.33	แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 30 บัส เมื่อคำนวณโดยวิธีคัลป์เปิด	54
3.34	แสดงกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านในสายส่ง สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 30 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีคัลป์เปิด	55
3.35	แสดงกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านในหม้อแปลงไฟฟ้า สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 30 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีคัลป์เปิด	56
3.36	แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 30 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีคัลป์เปิด โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.0001	57
3.37	แสดงข้อมูลของบัสต่าง ๆ เพิ่มเติม ในการวิเคราะห์คอนทินเจนซีของระบบไฟฟ้าทดสอบขนาด 6 บัส	58
3.38	แสดงข้อมูลของสายส่งต่าง ๆ เพิ่มเติม ในการวิเคราะห์คอนทินเจนซีของระบบไฟฟ้าทดสอบขนาด 6 บัส	58
3.39	แสดงข้อมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าต่าง ๆ เพิ่มเติม ในการวิเคราะห์คอนทินเจนซีของระบบไฟฟ้าทดสอบขนาด 6 บัส	58
3.40	แสดงผลการเรียงลำดับเอาต์เตจตามค่า PI_V และ PI_{MW} ของระบบไฟฟ้ากำลังทดสอบขนาด 6 บัส	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่	หน้า	
3.41	แสดงผลของการเกิดเกินพิกัดที่บัส สายส่งและหม้อแปลงไฟฟ้าต่าง ๆ หลังจากเกิดเอาต์เตจต่าง ๆ เรียงตามลำดับตามค่า PI_V ของระบบไฟฟ้าขนาด 6 บัส	59
3.42	แสดงผลของการเกิดเกินพิกัดที่บัส สายส่งและหม้อแปลงไฟฟ้าต่าง ๆ หลังจากเกิดเอาต์เตจต่าง ๆ เรียงตามลำดับตามค่า PI_{MW} ของระบบไฟฟ้าขนาด 6 บัส	59
3.43	แสดงข้อมูลของบัสต่าง ๆ เพิ่มเติมในการวิเคราะห์คอนทินเจนซีของระบบไฟฟ้าทดสอบขนาด 14 บัส	60
3.44	แสดงข้อมูลของสายส่งต่าง ๆ เพิ่มเติมในการวิเคราะห์คอนทินเจนซีของระบบไฟฟ้าทดสอบขนาด 14 บัส	60
3.45	แสดงข้อมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าต่าง ๆ เพิ่มเติมในการวิเคราะห์คอนทินเจนซีของระบบไฟฟ้าทดสอบขนาด 14 บัส	61
3.46	แสดงผลการเรียงลำดับเอาต์เตจตามค่า PI_V และ PI_{MW} ของระบบไฟฟ้ากำลังทดสอบขนาด 14 บัส	61
3.47	แสดงผลของการเกิดเกินพิกัดที่บัส สายส่งและหม้อแปลงไฟฟ้าต่าง ๆ หลังจากเกิดเอาต์เตจต่าง ๆ เรียงตามลำดับตามค่า PI_V ของระบบไฟฟ้าขนาด 14 บัส	62
3.48	แสดงผลของการเกิดเกินพิกัดที่บัส สายส่งและหม้อแปลงไฟฟ้าต่าง ๆ หลังจากเกิดเอาต์เตจต่าง ๆ เรียงตามลำดับตามค่า PI_{MW} ของระบบไฟฟ้าขนาด 14 บัส	65
4.1	ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบผลการคำนวณของระบบไฟฟ้ากำลังทดสอบขนาด 6 บัส	69
4.2	ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบผลการคำนวณของระบบไฟฟ้ากำลังทดสอบขนาด 14 บัส	70
4.3	ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบผลการคำนวณของระบบไฟฟ้ากำลังทดสอบขนาด 30 บัส	71
4.4	แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการคำนวณและจำนวนรอบการคำนวณซ้ำของระบบทดสอบต่าง ๆ	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

การศึกษาการไหลของภาระไฟฟ้า (load flow) ในระบบไฟฟ้ากำลัง เป็นการพิจารณาถึงแรงดันไฟฟ้า กระแส กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน รวมทั้งค่าตัวประกอบกำลังที่จุดต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้ากำลังภายใต้สภาวะต่าง ๆ การศึกษาการไหลของภาระไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นในการวางแผนเพื่อที่จะพัฒนาระบบต่อไป เช่น การเชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้ากำลังอื่น ๆ การต่อภาระไฟฟ้าเพิ่ม การมีแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่ม การเพิ่มสายส่งไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงผลที่จะเกิดขึ้นก่อนที่จะทำการติดตั้งจริง

ในปัจจุบัน การศึกษาการไหลของภาระไฟฟ้าได้ใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการคำนวณ เพื่อให้การวิเคราะห์มีความสะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น ซึ่งการคำนวณมีอยู่หลายวิธี เช่น วิธีเกาส์-ไซดอล (Gauss Seidel) วิธีนิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson Method) วิธีดีคัปเปิล (Decoupled Method) เป็นต้น โดยแต่ละวิธีได้ถูกพัฒนาให้สามารถคำนวณผลลัพธ์ได้รวดเร็วขึ้นตามลำดับ

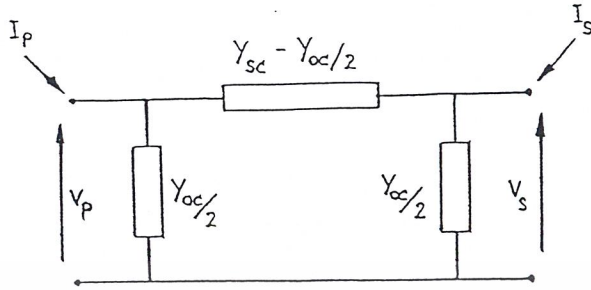
ปริญญาานิพนธ์นี้จะเป็นการนำเสนอวิธีดีคัปเปิลซึ่งเป็นวิธีที่ประยุกต์มาจากวิธีนิวตัน-ราฟสัน โดยอาศัยคุณสมบัติทางวิศวกรรมของระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อเพิ่มความเร็วในการคำนวณให้สูงขึ้น ทั้งนี้ผลที่ได้จากการคำนวณก็มีความถูกต้องในช่วงที่สามารถยอมรับได้ วิธีการนี้จึงเหมาะที่จะใช้กับระบบไฟฟ้ากำลังที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งจะได้ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลระหว่างวิธีนี้กับวิธีนิวตัน-ราฟสันต่อไป

จากนั้นจะกล่าวถึงการวิเคราะห์คอนทินเจนซี (Contingency Analysis) ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์เพื่อการรักษาความปลอดภัยให้แก่ระบบไฟฟ้ากำลัง และจากการคำนวณผลลัพธ์ที่รวดเร็วของวิธีดีคัปเปิล สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการคำนวณเพื่อเลือกกรณีคอนทินเจนซี (Contingency Selection) ทำให้การวิเคราะห์คอนทินเจนซีเป็นไปด้วยความรวดเร็วยิ่งขึ้น

สำหรับในส่วนของภาคผนวก แต่ละภาคผนวกจะมีรายละเอียดต่าง ๆ ในส่วนของโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้น และยังได้เพิ่มเติมความรู้ที่ได้จากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งใช้โปรแกรม PSS/E ในการวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้าทั้งวิธีนิวตัน-ราฟสันและดีคัปเปิล ซึ่งเป็นลักษณะการปฏิบัติงานจริงที่ใช้กันอยู่ภายในประเทศ ทำให้สามารถเข้าใจการทำงานจริงได้มากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แดนซ์รั่วไหล (leakage impedance) z_{sc} โดยที่ค่า z_{oc} และ z_{sc} ได้จากการทำทดสอบโดยวิธีเปิดวงจรและวิธีลัดวงจรตามลำดับ



รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า

สามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ในรูปเมตริกซ์ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} I_p \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{sc} & -y_{sc} + \frac{y_{oc}}{2} \\ -y_{sc} + \frac{y_{oc}}{2} & y_{sc} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

เมื่อ y_{sc} เป็นแอดมิแตนซ์รั่วไหล (leakage admittance) และ y_{oc} เป็นแอดมิแตนซ์แม่เหล็ก (magnetizing admittance)

โดยทั่วไปแล้วค่าแอดมิแตนซ์แม่เหล็กจะถูกตัดออกจากแบบจำลองของหม้อแปลงไฟฟ้า และจะเพิ่มเข้าไปในภายหลังด้วยแอดมิแตนซ์ที่ค่อนข้างน้อย ๆ ที่ขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้า

ในระบบที่เป็นเปอร์ยูนิต แบบจำลองของหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟสสามารถทำการลดรูปให้เหลือเพียงแอดมิแตนซ์รั่วไหล (lumped admittance leakage) ระหว่างด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิของบัสบาร์ (bus bar) ได้

2.2 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับแทปได้ (Off Nominal Ratio Tap Setting Transformer)

หม้อแปลงไฟฟ้าที่มีอัตราส่วนจำนวนรอบ (turn ratio) เท่ากับ a และต่อเข้ากับโหนด i และโหนด k สามารถที่จะแสดงด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าอุดมคติซึ่งต่ออนุกรมกับแอดมิแตนซ์รั่วไหลของ หม้อแปลงไฟฟ้าปกติ ดังแสดงในรูป 2.3 (a)

ถ้าหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นแบบปกติ ($a=1$) สมการโหนดสำหรับวงจรในระบบเปอร์ยูนิตคือ

$$I_{ik} = y_{ik}V_i - y_{ik}V_k \quad (2.4)$$

$$I_{ki} = y_{ik}V_k - y_{ik}V_i \quad (2.5)$$

ในกรณีนี้ $I_{ik} = -I_{ki}$ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาหม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับเทปได้โดยให้แรงดันไฟฟ้าบนด้าน k ของหม้อแปลงไฟฟ้าอุดมคติเป็น V_i สามารถเขียนได้ว่า

$$V_i = \frac{V_i}{a} \quad (2.6)$$

$$I_{ki} = y_{ik}(V_k - V_i) \quad (2.7)$$

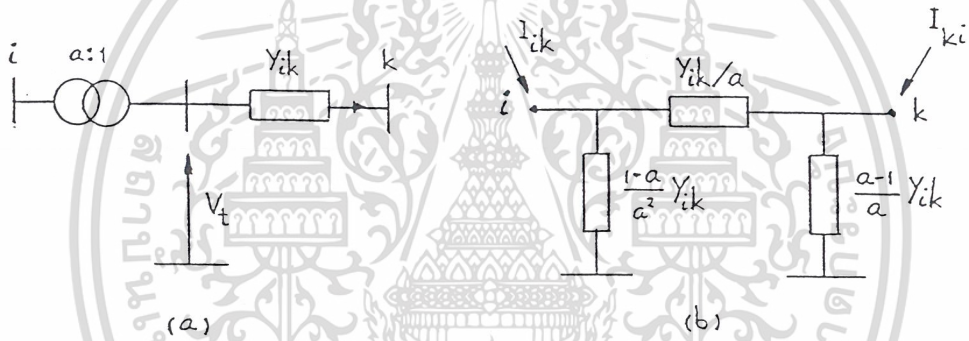
$$I_{ik} = \frac{-I_{ki}}{a} \quad (2.8)$$

กำจัด V_i จากสมการที่ (2.6) และ (2.7) จะได้

$$I_{ki} = y_{ik}V_k - \frac{y_{ik}V_i}{a} \quad (2.9)$$

$$I_{ik} = \frac{-y_{ik}V_k}{a} + \frac{y_{ik}V_i}{a^2} \quad (2.10)$$

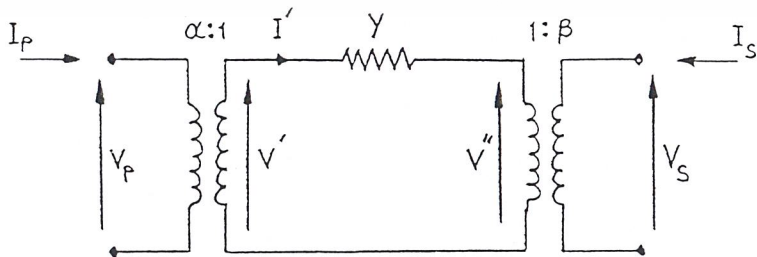
วงจรสมมูลย์แบบ π อย่างง่าย ๆ สามารถสรุปได้ตามสมการที่ (2.9) และ (2.10) สมาชิกแต่ละตัวสามารถจัดอยู่ในรูปของแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์ ได้ดังรูปที่ 2.3 (b)



รูปที่ 2.3 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับเทป

2.3 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบเลื่อนเฟส (Phase Shifting Transformer)

หม้อแปลงไฟฟ้าแบบเลื่อนเฟสดังรูปที่ 2.4 จะมีอัตราส่วนจำนวนรอบเป็นรูปเชิงซ้อน นอกจากรูปนี้ค่า VI^* จะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อพิจารณาหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าอุดมคติ และต้องแสดงความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนจำนวนรอบของกระแสและแรงดันไฟฟ้าด้วย



รูปที่ 2.4 วงจรสมมูลย์อย่างง่ายในระบบ เปรอ์ยูนิต สำหรับการคัปปลิง (coupling)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาระหว่างนี้ ไม่ควรเผยแพร่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ระหว่างขดลวดค่านปฐมภูมิและขดลวดค่านทุติยภูมิ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_p I_p^* = -V I'^*$$

$$V_p = (a + jb)V' = \alpha V'$$

$$I_p^* = \frac{-I'^*}{(a + jb)}$$

$$I_p = \frac{-I'}{(a - jb)} = \frac{-I'}{\alpha^*}$$

ดังนั้น วงจรในรูปที่ 2.4 จึงมีเทิร์นเรโซ 2 ค่าที่แตกต่างกัน

$$\alpha_v = a + jb \quad \text{สำหรับแรงดันไฟฟ้า}$$

$$\alpha_i = a - jb \quad \text{สำหรับกระแส}$$

แก้สมการของจุดต่อกระแสกับวงจรที่ปรับปรุงแล้ว จะได้

$$\begin{aligned} I_p &= \frac{I'}{\alpha_i} = \frac{(V' - V'')y}{\alpha_i} \\ &= \frac{(V_p / \alpha_v - V_s / \beta)y}{\alpha_i} = \frac{yV_p}{\alpha_v \alpha_i} - \frac{yV_s}{\alpha_i \beta} \end{aligned} \quad (2.11)$$

$$I_s = \frac{I'}{\beta} = \frac{yV_p}{\alpha_v \beta} - \frac{yV_s}{\beta^2} \quad (2.12)$$

ดังนั้นรูปแบบทั่วไปของแอดมิตแดนซ์สำหรับวงจรหนึ่งเฟสของหม้อแปลงไฟฟ้ารวมทั้งการตั้งเฟสเป็น

$$[y] = \begin{bmatrix} \frac{y}{\alpha_i \alpha_v} & \frac{-y}{\alpha_i \beta} \\ \frac{-y}{\alpha_v \beta} & \frac{y}{\beta^2} \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

3. แบบจำลองการผลิตและการใช้กำลังไฟฟ้า

ลักษณะของการผลิตและการใช้กำลังไฟฟ้า จะแสดงโดยกำลังไฟฟ้าที่ไหลเข้าไปยังโหนด การไหลของกำลังไฟฟ้าจะเป็นบวกหรือลบ ขึ้นอยู่กับว่าเป็นการผลิตกำลังไฟฟ้าหรือการใช้กำลังไฟฟ้าตามลำดับ ผลรวมทางพีชคณิตของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ไหลเข้าไปยังโหนด i จะถูกแสดงด้วย P_i และ Q_i ตามลำดับ

การคำนวณโครงข่ายไฟฟ้า

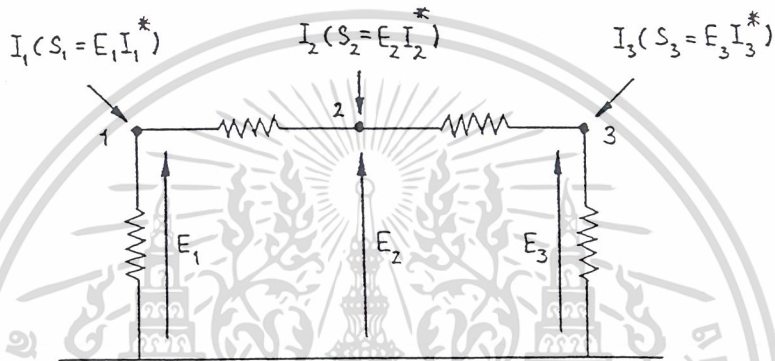
วิธีการคำนวณแบบโหนดอย่างง่าย

ในการประยุกต์ใช้วิธีการคำนวณแบบโหนดกับระบบไฟฟ้ากำลังนั้น ตัวแปรของแต่ละโหนดจะอยู่ในรูปเชิงซ้อนทั้งแรงดันไฟฟ้าและกระแส โดยมีการเทียบกับโหนดอ้างอิง ค่าอ้างอิงที่ไม่ทราบได้ทั้งสเกล อักทงหามมีเหตุผลแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้จะมีอยู่ 2 ค่าคือขนาดของแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงกับกราวด์ (ground) และสำหรับมุมของแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงที่ได้เลือกไว้ที่โหนดใดโหนดหนึ่งแล้ว โดยกำหนดค่าให้เป็นศูนย์

กระแสที่โหนดคือกระแสสุทธิที่ไหลเข้ามาในระบบที่โหนดนั้น ๆ จากแหล่งจ่ายหรือภาระไฟฟ้าภายนอกของระบบ กระแสที่ไหลเข้าระบบจากแหล่งจ่ายไฟจะมีค่าเป็นบวก ในขณะที่กระแสที่ไหลออกจากระบบไปยังภาระไฟฟ้ามีค่าเป็นลบ และกระแสสุทธิที่ไหลเข้ามายังโหนดก็คือผลรวมทางพีชคณิตของค่าเหล่านี้

สำหรับกำลังไฟฟ้าที่ไหลเข้าโหนด จะเป็น $S = P + jQ$ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งเป็นการแสดงกระแส แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่โหนดในระบบอย่างง่าย



รูปที่ 2.5 รูปแสดงค่าต่าง ๆ ของโหนดในระบบอย่างง่าย

จากการใช้วิธีการคำนวณแบบโหนดจะใช้ค่าบรานซ์แอดมิตแตนซ์ (branch admittance) ได้สะดวกกว่าใช้ค่าบรานซ์อิมพีแดนซ์ (branch impedance) โดยแรงดันไฟฟ้าที่โหนด k และ i เป็น E_k และ E_i ตามลำดับ สำหรับบรานซ์แอดมิตแตนซ์ที่อยู่ระหว่างโหนด k และ i เป็น y_{ki} จะได้กระแสที่ไหลในบรานซ์จากโหนด k ไปยังโหนด i เป็น

$$I_{ki} = y_{ki}(E_k - E_i) \quad (2.14)$$

ให้โหนดในระบบมีหมายเลขเป็น $0, 1, \dots, n$ เมื่อกำหนดโหนด 0 ให้เป็นโหนดอ้างอิง โดยใช้กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchoff's Current Law) คือกระแสที่ไหลเข้าโหนด k ต้องมีค่าเท่ากับผลรวมของกระแสที่ไหลออกจากโหนด k นั่นคือ

$$I_k = \sum_{i=0}^n I_{ki} = \sum_{i=0}^n y_{ki}(E_k - E_i) \quad (2.15)$$

เมื่อ $E_0 = 0$ และระบบเป็นเชิงเส้นจะได้

$$I_k = \sum_{i=0}^n y_{ki}E_k - \sum_{i=1 \neq k}^n y_{ki}E_i \quad (2.16)$$

ถ้าเขียนสมการนี้สำหรับโหนดทุกโหนดยกเว้นโหนดอ้างอิง สามารถแสดงสมการที่สมบูรณ์ได้ในรูปของเมทริกซ์ได้ดังนี้
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_n \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

เมื่อ $Y_{kk} = \sum_{i=1 \neq k}^n Y_{ki}$ = แอดมิตแตนซ์เฉพาะ โหนด (self admittance) ของโหนด k
 $Y_{ki} = -y_{ki}$ = แอดมิตแตนซ์เกี่ยวข้อง (mutual admittance) ระหว่างโหนด k และ i

จากสมการที่ (2.16) สามารถเขียนในรูปอย่างง่าย ได้เป็น

$$I = YE \quad (2.17)$$

หรือในรูปของผลรวม จะได้

$$I_k = \sum_{i=1}^n Y_{ki} E_i \quad \text{สำหรับ } i = 1, 2, \dots, n \quad (2.18)$$

โหนดแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์ในสมการที่ (2.17) หรือ (2.18) สามารถกำหนดรูปแบบเพื่อความง่ายในการสร้าง โดยมีคุณสมบัติดังนี้

- เป็นเมตริกซ์จัตุรัสมิติ $n \times n$
- มีความสมมาตรเนื่องจาก $y_{ki} = y_{ik}$
- เป็นเมตริกซ์ในรูปเชิงซ้อน
- สมาชิกแต่ละตัวนอกแนวทแยงมุมหลัก y_{ki} เป็นค่าลบของบรานซ์แอดมิตแตนซ์ระหว่างโหนด k และ i และมักจะมีค่าเป็นศูนย์
- สมาชิกแต่ละตัวในแนวทแยงมุมหลัก y_{kk} เป็นผลรวมของบรานซ์แอดมิตแตนซ์ซึ่งมีขั้วหนึ่งอยู่บนโหนด k รวมทั้งบรานซ์ที่ต่อกับกราวด์ด้วย

การวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้า

ในระบบไฟฟ้ากำลัง กำลังไฟฟ้าจะไหลจากศูนย์กลางการผลิตกำลังงานไฟฟ้าไปยังศูนย์กลางภาระไฟฟ้า ในกระบวนการนี้ต้องมีการศึกษาวิเคราะห์ในหลายสิ่งหลายอย่าง เช่น ส่วนของแรงดันไฟฟ้าที่บัส การไหลของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนในสายส่งไฟฟ้า ผลของการปรับเปลี่ยนวงจร และการติดตั้งอุปกรณ์รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าเพิ่มเข้าไป เป็นต้น ในปัจจุบันระบบไฟฟ้ากำลังจะมีขนาดใหญ่และซับซ้อนมาก ทำให้การวิเคราะห์ควรจะทำในลักษณะแบบจำลองระบบไฟฟ้ากำลัง แบบจำลองระบบไฟฟ้ากำลังและขั้นตอนที่เกี่ยวกับการไหลของกำลังไฟฟ้านี้เองเรียกว่า การวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้าจะช่วยให้ได้คำตอบในภาวะสม่ำเสมอ (steady state) ของระบบไฟฟ้ากำลังที่สมบูรณ์ ในปัจจุบันนี้ได้นำคอมพิวเตอร์มาใช้เพื่อเพิ่มความสะดวกและรวดเร็วในการวิเคราะห์เพื่อหาค่าของแรงดันไฟฟ้าเชิงซ้อนของบัสต่าง ๆ ในระบบ และค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน

การวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้าจะทำระหว่างวางแผนระบบใหม่หรือการเพิ่มเติมระบบเดิมที่มีอยู่ ซึ่งต้องมีการคำนวณผลของสถานะของภาระไฟฟ้าที่แตกต่างจากระบบเดิม ผลของการวิเคราะห์เหล่านี้ยังสามารถนำไปใช้วิเคราะห์กับเรื่องอื่น ๆ ได้อีก เช่น การศึกษาการลัดวงจรในระบบ เสถียรภาพของระบบ และการจ่ายภาระไฟฟ้าอย่างประหยัด เป็นต้น

1. การแบ่งชนิดของบัสในระบบไฟฟ้ากำลัง

ระบบไฟฟ้ากำลังเป็นวงจรกระแสสลับที่ใช้พลังงานไฟฟ้า เห็นได้ชัดว่าทุก ๆ โหนดหรือบัสของระบบจะมีคุณลักษณะเฉพาะของกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน และแรงดันไฟฟ้าเชิงซ้อน โดยแรงดันไฟฟ้าเชิงซ้อนสามารถแยกได้เป็น 2 ตัวแปรคือ ขนาดแรงดันไฟฟ้า $|V|$ และมุมเฟส δ ดังนั้นในทุก ๆ บัสของระบบไฟฟ้าจึงประกอบไปด้วย 4 ตัวแปรคือ P Q $|V|$ และ δ

สำหรับบัสที่มีแหล่งกำเนิดไฟฟ้าอยู่เรียกว่า บัสแหล่งกำเนิด (generator bus) โดยขนาดของ $|V|$ จะมีค่าคงที่โดยการใช้อุปกรณ์คงค่าแรงดันไฟฟ้า นอกจากนี้ปริมาณของการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงสามารถทราบได้เนื่องจากทราบขีดจำกัดของการไหลของไอน้ำและน้ำที่ใช้ในการขับเคลื่อน ดังนั้นสำหรับบัสแหล่งกำเนิด จึงทราบค่าของ $|V|$ และ P โดยเหลือ 2 ตัวแปรที่ไม่ทราบค่าและต้องการที่จะหาคือค่า Q และ δ

ส่วนบัสที่ไม่ใช่บัสแหล่งกำเนิดเรียกว่า บัสภาระไฟฟ้า (load bus) จะมีเฉพาะความต้องการกำลังไฟฟ้าเท่านั้นจึงรู้ค่าของ P และ Q แน่นอน โดย $|V|$ และ δ จะเปลี่ยนแปลงตามความต้องการกำลังไฟฟ้า ดังนั้นค่าของ $|V|$ และ δ จึงเป็นค่าที่ต้องการในบัสชนิดนี้

ในระบบไฟฟ้ากำลังการผลิตกำลังไฟฟ้าทั้งหมดต้องสอดคล้องกับปริมาณความต้องการทั้งหมดของกำลังไฟฟ้ารวมกับค่าความสูญเสียที่เกิดในสายส่งไฟฟ้า เนื่องจากความสูญเสียในสายส่งไฟฟ้าไม่สามารถที่ทราบล่วงหน้าได้ ดังนั้นการผลิตกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่ต้องจ่ายจึงไม่สามารถที่จะเจาะจงลงไปได้ ภายใต้สถานะนี้วิธีที่สามารถนำมาใช้คือ ให้บัสหนึ่งในบัสแหล่งกำเนิดทั้งหมดเป็นบัสอ้างอิง ซึ่งสามารถที่จะระบุขนาดของแรงดันไฟฟ้า $|V|$ ลงไปได้ แต่ไม่มีการเจาะจงในปริมาณของการผลิตกำลังไฟฟ้า สำหรับมุมเฟส δ ของบัสแต่ละบัสควรวัดโดยเทียบกับบัสอ้างอิง ซึ่งเฟสเซอร์แรงดันไฟฟ้าของบัสอ้างอิงจะถูกใช้เป็นบัสอ้างอิง และมีมุมเฟส δ เป็นศูนย์ ดังนั้นบัสที่ใช้ในการวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้า จึงสามารถแยกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. บัสอ้างอิง $|V|, \delta$ ทราบค่า P, Q ไม่ทราบค่า

2. บัสแหล่งกำเนิด $P, |V|$ ทราบค่า Q, δ ไม่ทราบค่า

เอกสารนี้เริ่มเอามาใช้ตั้งแต่ปี 2561 สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. บัณฑิตไฟฟ้า P, Q ทราบค่า $|V|, \delta$ ไม่ทราบค่า โดยบัณฑิตแหล่งกำเนิดอาจเรียกได้ว่าเป็นบัณฑิตควบคุมแรงดันไฟฟ้า ส่วนบัณฑิตไฟฟ้าอาจเรียกได้ว่าเป็นบัณฑิตควบคุมภาระไฟฟ้า

2. สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้า

การวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้าต้องหาแรงดันไฟฟ้าเชิงซ้อนของบัสต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้ากำลังที่สภาวะต่าง ๆ ซึ่งจะใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการหาคำตอบ สมการของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนของบัสต่าง ๆ จะอยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้าเชิงซ้อน สำหรับระบบที่มี n โหนดซึ่งไม่รวมกราวด์จะได้จำนวนของสมการเท่ากับจำนวนโหนดสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} I_1 &= Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 + Y_{13}V_3 + \dots + Y_{1n}V_n \\ I_2 &= Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 + Y_{23}V_3 + \dots + Y_{2n}V_n \\ &\vdots \\ I_n &= Y_{n1}V_1 + Y_{n2}V_2 + Y_{n3}V_3 + \dots + Y_{nn}V_n \end{aligned}$$

จากสมการข้างต้น สามารถเขียนในรูปทั่ว ๆ ไปได้เป็น

$$I_i = \sum_{m=1}^n Y_{im} V_m \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.19)$$

เมื่อ

I_i = กระแสเชิงซ้อนที่ไหลเข้าบัส i
 V_m = แรงดันไฟฟ้าเชิงซ้อนเทียบกราวด์ของบัส m
 Y_{im} = แอดมิตแตนซ์เชิงซ้อนระหว่างบัส i และ m

สามารถแสดงสมการที่ (2.19) ในรูปเมตริกซ์ได้เป็น

$$I = YV \quad (2.20)$$

เมื่อ I เป็นเมตริกซ์แนวตั้ง (column matrix) ที่ประกอบไปด้วยสมาชิก I_1, I_2, \dots, I_n เช่นเดียวกันกับ V ที่เป็นเมตริกซ์แนวตั้งที่มีสมาชิกเป็น V_1, V_2, \dots, V_n ส่วนแอดมิตแตนซ์ที่จุดใดโรฟวิ่ง (Driving Point) จะบรรจุอยู่ในแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์

ในระบบไฟฟ้ากำลังค่าของกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนมีความสำคัญมากกว่ากระแส ดังนั้นกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่เข้าสู่บัสจึงสามารถแสดงได้เป็น

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (2.21)$$

เครื่องหมาย * ในสมการข้างบนแสดงว่าเป็นการสังยุค เมื่อแทนค่าสมการที่ (2.19) ลงในสมการที่ (2.21) จะได้

$$P_i + jQ_i = V_i \sum_{m=1}^n Y_{im}^* V_m^* \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทราบค่า

$$V_i = e_i + jf_i = |V_i| \angle \delta_i$$

$$V_m^* = e_m - jf_m = |V_m| \angle -\delta_m$$

$$Y_{im}^* = G_{im} - jB_{im} = |Y_{im}| \angle -\theta_{im}$$

สมการที่ (2.22) สามารถแสดงในรูปของโพลาร์ (polar) และเรกแทนกูลาร์ (rectangular) ได้ดังสมการที่ (2.23) และ (2.24) ตามลำดับ

$$P_i + jQ_i = |V_i| \sum_{m=1}^n |Y_{im}| |V_m| e^{j(\delta_i - \delta_m - \theta_{im})} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.23)$$

$$P_i + jQ_i = (e_i + jf_i) \sum_{m=1}^n (G_{im} - jB_{im})(e_m - jf_m) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.24)$$

สำหรับแต่ละบัสจะมี 2 ตัวแปรที่ไม่ทราบค่า และสำหรับระบบที่มี n บัสก็จะมีตัวแปรที่ไม่ทราบค่า $2n$ ตัว อันเป็นผลมาจากสมการเชิงซ้อนสมการที่ (2.22) แต่ในกรณีที่พิจารณาถึงตัวแปรที่ไม่ทราบค่าของบัสอ้างอิงไม่จำเป็นต้องมีสมการเพิ่มเติม เพราะจะหาค่าต่าง ๆ ได้เมื่อทราบค่าของตัวแปรที่ไม่ทราบค่าในบัสอื่น ๆ แล้ว ดังนั้นจึงสามารถตัดสมการในส่วนของบัสอ้างอิงออกไปได้ เหลือเพียง $n-1$ สมการจากสมการที่ (2.22)

การวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้าโดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

1. วิธีนิวตัน-ราฟสัน

วิธีนิวตัน-ราฟสันเป็นการคำนวณแบบใช้การคำนวณซ้ำจนได้ผลลัพธ์ที่ยอมรับได้ ใช้สำหรับแก้ปัญหาที่สมการที่ไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งมีจำนวนสมการเท่ากับจำนวนของตัวแปรที่ไม่ทราบค่า

$$f_k(x_m) = 0 \quad \text{สำหรับ } k=1 \rightarrow N \quad \text{และ } m=1 \rightarrow N \quad (2.25)$$

ในแต่ละรอบการคำนวณซ้ำของวิธีนิวตัน-ราฟสันจะแก้ปัญหาที่ไม่เป็นเชิงเส้นโดยประมาณเทียบเคียงกับสมการเมตริกซ์ที่เป็นเชิงเส้น การประมาณเชิงเส้นจะเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหาตัวแปรเดียว

ในรูปที่ 2.6 x^p คือคำตอบโดยประมาณ ซึ่งมีค่าความผิดพลาด Δx^p ที่รอบการคำนวณซ้ำ p แล้ว

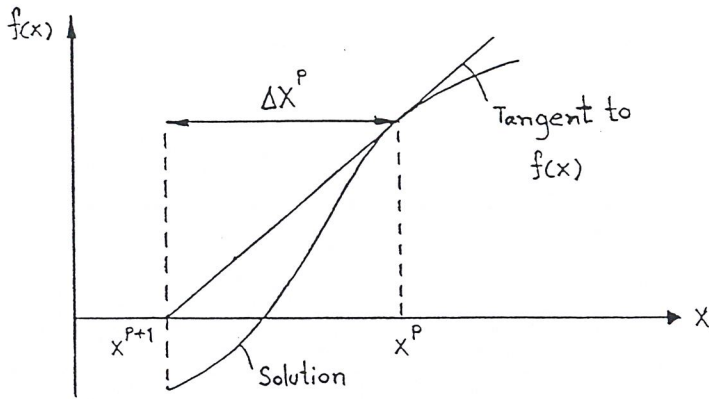
$$f(x^p + \Delta x^p) = 0 \quad (2.26)$$

สมการนี้สามารถกระจายได้โดยใช้ทฤษฎีเทย์เลอร์

$$f(x^p + \Delta x^p) = 0$$

$$= f(x^p) + \Delta x^p f'(x^p) + (\Delta x^p)^2 \frac{f''(x^p)}{2!} + \dots \quad (2.27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 การประมาณค่าเชิงเส้นของตัวแปรเดียว

ถ้าการประมาณค่าเริ่มต้นของตัวแปร x^p ใกล้เคียงกับค่าของคำตอบแล้ว Δx^p จะมีค่าน้อย ๆ และทุกเทอมของเทอมที่มีกำลังสูงกว่า สามารถที่จะละทิ้งได้ นั่นคือ

$$f(x^p) + \Delta x^p f'(x^p) = 0 \quad (2.28)$$

หรือ

$$\Delta x^p = \frac{-f(x^p)}{f'(x^p)} \quad (2.29)$$

ซึ่งจะได้ค่าใหม่ของตัวแปรจาก

$$x^{p+1} = x^p + \Delta x^p \quad (2.30)$$

จากสมการที่ (2.28) อาจเขียนใหม่ได้เป็น

$$f(x^p) = -J\Delta x^p \quad (2.31)$$

วิธีอย่างง่ายคือการกระจาย n สมการใน n ตัวไม่ทราบค่า โดยที่ J เป็นเมตริกซ์จัตุรัส จาโคเบียนเมตริกซ์ (Jacobian matrix) ของการดิฟเฟอเรนเชียลบางส่วนอันดับที่หนึ่งของฟังก์ชัน $f_k(x_m)$ สมาชิกของ $[J]$ กำหนดโดย

$$J_{km} = \frac{\partial f_k}{\partial x_m} \quad (2.32)$$

และแสดงด้วยความชันของเส้นสัมผัสกับฟังก์ชันประมาณการ $f_k(x_m)$ ที่แต่ละจุดของรอบการคำนวณซ้ำ

ขั้นตอนการคำนวณของวิธีนิวตัน-ราฟสันจะลู่เข้าหาแบบกำลังสองถ้าฟังก์ชันมีความต่อเนื่องที่อนุพันธ์อันดับที่หนึ่งในตำแหน่งใกล้เคียงกับคำตอบ จาโคเบียนเมตริกซ์ไม่ได้มีเพียงหนึ่งค่า และการประมาณค่าเริ่มต้นของ x เข้าใกล้กับคำตอบที่แท้จริง แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้จะตอบสนองอย่างรวดเร็วต่อพฤติกรรมของฟังก์ชัน $f_k(x_m)$ และสูตรที่ใช้ ถ้าความเป็นเชิงเส้นมากขึ้นจะทำให้การลู่เข้าสู่คำตอบของวิธีนิวตัน-ราฟสันมีความรวดเร็วและน่าเชื่อถือได้มากขึ้น ฟังก์ชันที่มีความเป็นเชิงเส้นน้อยในช่วงที่สนใจช่วงหนึ่ง ๆ จะเป็นสาเหตุให้การลู่เข้าสู่คำตอบถูกหน่วงเวลาออกไป ซึ่งความผิดพลาดรวมหรือการลู่ผิดทิศทางจะทำให้คำตอบที่ได้ไม่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สมการที่ใช้เกี่ยวกับการวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้า

จากสมการที่ว่า

$$I_k = \sum_{m \in k} y_{km} E_m \quad \text{สำหรับ } k \text{ ทุกๆ ค่า} \quad (2.33)$$

เมื่อ I_k เป็นกระแสที่ไหลเข้าไปยังบัส k จะได้กำลังไฟฟ้าที่บัสเป็น

$$S_k = P_k + jQ_k = E_k I_k^* = E_k \sum_{m \in k} y_{km}^* E_m^* \quad (2.34)$$

ในทางคณิตศาสตร์ สมการการไหลของภาระไฟฟ้าซึ่งเป็นเชิงซ้อนจะไม่สามารถวิเคราะห์และไม่สามารถทำการหาอนุพันธ์ในรูปของเชิงซ้อนได้ วิธีนิวตัน-ราฟสันจึงถูกนำมาใช้ ซึ่งปัญหาจะถูกแยกเป็นสมการค่าจริง และตัวแปรแบบโพลาร์หรือเรกแทนกูลาร์ เพื่อใช้สำหรับแก้ปัญหาแรงดันไฟฟ้าที่บัส จะได้ 2 สมการคือ

$$P_k = P(V, \theta) \quad \text{หรือ} \quad P(e, f)$$

$$Q_k = Q(V, \theta) \quad \text{หรือ} \quad Q(e, f)$$

ในแกนโพลาร์ ส่วนจริงและส่วนจินตภาพของสมการที่ (2.34) เป็น

$$P_k = \sum_{m \in k} V_k V_m (G_{km} \cos \theta_{km} + B_{km} \sin \theta_{km}) \quad (2.35)$$

$$Q_k = \sum_{m \in k} V_k V_m (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km}) \quad (2.36)$$

เมื่อ $\theta_{km} = \theta_k - \theta_m$

ความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ได้รับความนิยมสำหรับการเปลี่ยนแปลงน้อยๆ ของตัวแปร θ และ V ได้จากการจัดรูปของการดิฟเฟอเรนเชียลทั้งหมด จะได้ผลของสมการเป็นดังนี้

- สำหรับบัสควบคุมภาระไฟฟ้า

$$\Delta P_k = \sum_{m \in k} \left(\frac{\partial P_k}{\partial \theta_m} \right) \Delta \theta_m + \sum_{m \in k} \left(\frac{\partial P_k}{\partial V_m} \right) \Delta V_m \quad (2.37)$$

$$\Delta Q_k = \sum_{m \in k} \left(\frac{\partial Q_k}{\partial \theta_m} \right) \Delta \theta_m + \sum_{m \in k} \left(\frac{\partial Q_k}{\partial V_m} \right) \Delta V_m \quad (2.38)$$

- สำหรับบัสควบคุมแรงดันไฟฟ้าจะใช้เพียงสมการ (2.37) เท่านั้น เนื่องจากค่า Q_k ไม่ได้กำหนด

- สำหรับบัสอ้างอิง ไม่มีสมการ เพราะเป็นบัสที่ใช้ในการอ้างอิง

ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ปรากฏในสมการที่ (2.37) และ (2.38) สำหรับบัสควบคุมแรงดันไฟฟ้าและบัสอ้างอิงไม่ใช่ตัวแปร แต่เป็นค่าที่ได้นิยามเช่นเดียวกับ θ ที่กำหนดในบัสอ้างอิง

สมการสมบูรณที่ได้จะประกอบด้วย 2 ส่วนของแต่ละบัสควบคุมภาระไฟฟ้าและแต่ละบัสควบคุมแรงดันไฟฟ้า โดยตัวแปรปัญหาคือ V และ θ สำหรับแต่ละบัสควบคุมภาระไฟฟ้า และ θ สำหรับแต่ละบัสควบคุมแรงดันไฟฟ้า ดังนั้นจำนวนของตัวแปรจึงเท่ากับจำนวนของสมการ จะได้อันดับต้นการคำนวณของสมการที่ (2.31) เป็น เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} \Delta P^{p-1} \\ \Delta Q^{p-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H^{p-1} & N^{p-1} \\ J^{p-1} & L^{p-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta^p \\ \frac{\Delta V^p}{V^{p-1}} \end{bmatrix} \quad (2.39)$$

จาโคเบียนเมตริกซ์

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

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

$P_{k,spec}$ และ $Q_{k,spec}$ ได้จากการคำนวณผลรวมของกำลังงานที่ผลิตและกำลังงานภาระไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ ที่ได้กำหนดมาจากข้อมูลป้อนเข้าตั้งแต่เริ่มต้น

$P_{k,calc}$ และ $Q_{k,calc}$ ได้จากการคำนวณตามสมการที่ (2.35) และ (2.36) ตามลำดับในแต่ละรอบของการคำนวณ

การหาค่าของ ΔV_i^p แต่ละตัวด้วย V_i^{p-1} จะไม่มีผลต่อผลลัพธ์ของการคำนวณโดยรวม แต่จะช่วยให้บางเทอมของ จาโคเบียนเมตริกซ์ง่ายขึ้น สำหรับบัส k และ m (ไม่ใช่แถว k และหลัก m ในเมตริกซ์)

$$H_{km} = \frac{\partial P_k}{\partial \theta_m} = V_k V_m (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km})$$

$$N_{km} = V_m \frac{\partial P_k}{\partial V_m} = V_k (G_{km} \cos \theta_{km} + B_{km} \sin \theta_{km})$$

$$J_{km} = \frac{\partial Q_k}{\partial \theta_m} = -V_k V_m (G_{km} \cos \theta_{km} + B_{km} \sin \theta_{km})$$

$$L_{km} = V_m \frac{\partial Q_k}{\partial V_m} = V_k (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km})$$

และสำหรับ $m = k$

$$H_{kk} = \frac{\partial P_k}{\partial \theta_k} = -Q_k - B_{kk} V_k^2$$

$$N_{kk} = V_k \frac{\partial P_k}{\partial V_k} = P_k + G_{kk} V_k^2$$

$$J_{kk} = \frac{\partial Q_k}{\partial \theta_k} = P_k - G_{kk} V_k^2$$

$$L_{kk} = V_k \frac{\partial Q_k}{\partial V_k} = Q_k - B_{kk} V_k^2$$

จากสมการที่ (2.39) ทำการแก้สมการหาคำตอบของ $\Delta \theta$ และ ΔV โดยการอินเวอร์ท (invert) จาโคเบียนเมตริกซ์แล้วนำไปบวกกับค่า θ และ V ที่ได้จากการคำนวณในรอบของการคำนวณก่อนหน้าจะได้

$$\theta^{(p)} = \theta^{(p-1)} + \Delta \theta \quad \text{และ} \quad V^{(p)} = V^{(p-1)} + \Delta V$$

สำหรับบัสควบคุมภาระไฟฟ้า

$$\theta^{(p)} = \theta^{(p-1)} + \Delta \theta$$

สำหรับบัสควบคุมแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำค่า θ และ V ที่คำนวณได้ใหม่นี้ไปคำนวณค่า $P_{k,calc}$ และ $Q_{k,calc}$ เพื่อเริ่มคำนวณในรอบการคำนวณต่อไป ขั้นตอนเหล่านี้จะกระทำไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณมีค่าความผิดพลาดอยู่ในเงื่อนไขของการเข้าสู่หาค่าตอบของระบบที่ทำการวิเคราะห์

ในปฏิญานิพนธ์นี้จะใช้วิธีโพลาร์ในการวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้า ตามสมการซึ่งแสดงไว้ข้างต้น

3. สรุปวิธีของนิวตัน-ราฟสัน เป็นขั้นตอนได้ ดังนี้

1. คำนวณค่าของ $P_{k,calc}$ และ $Q_{k,calc}$ ซึ่งไหลภายในระบบที่ทุก ๆ บัส สำหรับใช้คำนวณค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้า V_k พร้อมทั้งมุมเฟส θ_k ในรอบของการคำนวณแต่ละรอบ
2. คำนวณ ΔP และ ΔQ ของทุก ๆ บัส
3. คำนวณค่าของจาโคเบียนเมตริกซ์โดยใช้ค่าประมาณหรือค่าที่กำหนดของขนาดแรงดันไฟฟ้า V_k และมุมเฟส θ_k ในสมการสำหรับการหาค่าเดริเวทีฟบางส่วน โดยการดิฟเฟอเรนเชียลสมการที่ (2.35) และ (2.36)
4. ทำการอินเวอร์ทจาโคเบียนเมตริกซ์และคำนวณค่า $\Delta\theta_k$ และ ΔV_k ที่ทุก ๆ บัส
5. คำนวณค่าใหม่ของ θ_k และ V_k โดยการบวก $\Delta\theta_k$ และ ΔV_k เข้ากับค่าเดิม
6. กลับไปยังขั้นที่ 1 และทำขั้นตอนเดิมซ้ำเพื่อหาขนาดของแรงดันไฟฟ้าและมุมเฟส จนกระทั่งค่า ΔP และ ΔV หรือ $\Delta\theta$ และ ΔV ของทุก ๆ บัสน้อยกว่าค่าความผิดพลาดที่ได้กำหนดไว้

ค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนที่บัสอ้างอิง และค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนที่บัสควบคุมแรงดันไฟฟ้า สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.35) และ (2.36) นอกจากนี้การไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากความแตกต่างระหว่างระดับแรงดันไฟฟ้าที่บัส

การวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้าโดยวิธีคัลป์เปิด

ในการวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้าโดยวิธีนิวตัน-ราฟสันนั้น จาโคเบียนเมตริกซ์จะถูกคำนวณในทุก ๆ รอบของการคำนวณ ส่วนในทางปฏิบัติจริงจาโคเบียนเมตริกซ์จะคำนวณแค่ 2-3 รอบ ซึ่งจะเพิ่มความเร็วในกระบวนการหาผลลัพธ์ทั้งหมด จะหาผลลัพธ์ท้ายสุดได้อย่างถูกต้อง โดยจะได้ค่ากำลังไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าที่บัสที่ยอมรับได้

เมื่อต้องการคำนวณระบบส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดใหญ่ จะใช้วิธีการคำนวณวิธีอื่นเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการคำนวณและลดหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ ในที่นี้จะใช้การวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้าโดยวิธีคัลป์เปิด ซึ่งเป็นวิธีการประมาณค่าทางวิศวกรรมจากวิธีนิวตัน-ราฟสัน โดยมีข้อสังเกตในการใช้วิธีคัลป์เปิดอยู่ 2 ข้อ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเปลี่ยนค่ามุมของแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นที่บัส (θ) จะมีผลต่อการไหลของกำลังไฟฟ้าจริง (P) ในสายส่งไฟฟ้าและคิดว่าการไหลของกำลังไฟฟ้าเสมือน (Q) ไม่เปลี่ยนแปลง
- การเปลี่ยนขนาดของแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นที่บัส ($|V|$) จะมีผลต่อการไหลของกำลังไฟฟ้าเสมือน (Q) ในสายส่งไฟฟ้าและคิดว่าการไหลของกำลังไฟฟ้าจริง (P) ไม่เปลี่ยนแปลง

เมื่อพิจารณาเรื่องการควบคุมการเปลี่ยนแปลงเฟสและขนาดของแรงดันไฟฟ้า จากข้อสังเกตแรกจะทำให้ $\frac{\partial P_i}{\partial \theta_j}$ มีค่ามากกว่า $\frac{\partial Q_i}{\partial \theta_j}$ มาก สามารถประมาณค่าให้เป็นศูนย์ได้ ส่วนข้อสังเกตที่สองนั้น $\frac{\partial Q_i}{\partial |V|_j}$ มีค่ามากกว่า $\frac{\partial P_i}{\partial |V|_j}$ มาก สามารถประมาณค่าให้เป็นศูนย์ได้เช่นเดียวกัน

เมื่อทำการประมาณค่าในจาโคเบียนเมตริกซ์จากการประมาณค่าข้างต้น จะทำให้อิเลเมนต์ (element) ของเมตริกซ์ย่อย J_{12} และ J_{21} เท่ากับศูนย์จะเหลือสมการเพียง 2 สมการแยกออกจากกัน คือ

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \theta_2} & \cdots & \frac{\partial P_2}{\partial \theta_4} \\ \vdots & J_{11} & \vdots \\ \frac{\partial P_4}{\partial \theta_2} & \cdots & \frac{\partial P_4}{\partial \theta_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta_2 \\ \vdots \\ \Delta \theta_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \vdots \\ \Delta P_4 \end{bmatrix} \quad (2.40)$$

$$\begin{bmatrix} |V_2| \frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|} & \cdots & |V_4| \frac{\partial Q_2}{\partial |V_4|} \\ \vdots & J_{22} & \vdots \\ |V_2| \frac{\partial Q_4}{\partial |V_2|} & \cdots & |V_4| \frac{\partial Q_4}{\partial |V_4|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta |V_2| \\ \vdots \\ \Delta |V_4| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta Q_2 \\ \vdots \\ \Delta Q_4 \end{bmatrix} \quad (2.41)$$

สมการที่ (2.40) และ (2.41) เรียกว่าสมการดิคัปเปิล คือค่า $\Delta \theta$ ถูกคำนวณโดยการใส่เพียงแค่ค่า ΔP เท่านั้น ในขณะที่ $\Delta |V|$ ถูกคำนวณโดยการใส่เพียงแค่ค่า ΔQ

อย่างไรก็ตามเมตริกซ์สัมประสิทธิ์ J_{11} และ J_{22} ยังคงสัมพันธ์กัน เพราะว่าอิเลเมนต์ของ J_{11} จะขึ้นอยู่กับขนาดแรงดันไฟฟ้าซึ่งคำนวณได้จากสมการ (2.41) ในขณะที่ส่วนต่าง ๆ ของ J_{22} จะขึ้นอยู่กับมุมของแรงดันไฟฟ้าจากสมการ (2.40)

ดังนั้นทั้งสองสมการนี้จะคำนวณสลับกัน โดยใช้ผลลัพธ์จากการคำนวณล่าสุดจากสมการหนึ่งเพื่อหาผลลัพธ์ในอีกสมการหนึ่ง แต่วิธีนี้ยังคงต้องคำนวณและหาค่าอิเลเมนต์ของเมตริกซ์สัมประสิทธิ์ทั้งสองในทุก ๆ รอบของการคำนวณ ซึ่งทำให้การคำนวณจาโคเบียนเมตริกซ์ง่ายขึ้น

โดยผลลัพธ์ที่ได้ยังมีค่าถูกต้องยอมรับได้ ในการออกแบบระบบไฟฟ้ากำลังที่ดีและถูกต้องสำหรับระบบส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าประกอบด้วย

- ความแตกต่างของมุม $(\theta_i - \theta_j)$ ระหว่างบัสในระบบมีค่าน้อยกล่าวคือ

$$\cos(\theta_i - \theta_j) = 1 \quad ; \quad \sin(\theta_i - \theta_j) = 0 \quad (2.42)$$

- ค่าซัสเซพแตนซ์ (susceptance) ของสายส่งไฟฟ้า B_{ij} มีขนาดใหญ่กว่าค่าคอนดักแตนซ์ (conductance) ของสายส่งไฟฟ้า G_{ij} หลายเท่า ดังนั้น

$$G_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) \ll B_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j) \quad (2.43)$$

- ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน Q_i ที่ไหลเข้าบัส i ใด ๆ ในระบบระหว่างที่อยู่ในสภาพการทำงานปกติ จะมีค่าน้อยกว่าค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนมาก ถ้าสายส่งไฟฟ้าทุกเส้นจากบัสนั้นถูกลัดวงจร ดังนั้น

$$Q_i \ll |V|^2 B_{ii} \quad (2.44)$$

การประมาณค่าเหล่านี้ทำให้ส่วนของจาโคเบียนเมตริกซ์ง่ายขึ้นจากสมการ (2.44) อีลิเมนต์ที่ไม่ได้อยู่ในแนวทแยงมุมหลักใน J_{11} และ J_{22} ถูกกำหนดเป็น

$$\frac{\partial P_i}{\partial \theta_j} = |V_j| \frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_{ij} + \theta_j - \theta_i) \quad (2.45)$$

แทนค่า $\sin(A+B) = \sin A \cos B + \cos A \sin B$ ในสมการ (2.45) จะได้

$$\frac{\partial P_i}{\partial \theta_j} = |V_j| \frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_i V_j| \{ B_{ij} \cos(\theta_j - \theta_i) + G_{ij} \sin(\theta_j - \theta_i) \} \quad (2.46)$$

เมื่อ $B_{ij} = |Y_{ij}| \sin \theta_{ij}$ และ $G_{ij} = |Y_{ij}| \cos \theta_{ij}$ และจากการประมาณค่าด้านบนจะได้อีลิเมนต์ที่ไม่ได้อยู่ในแนวทแยงมุมหลัก ดังนี้

$$\frac{\partial P_i}{\partial \theta_j} = |V_j| \frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} \cong -|V_i V_j| B_{ij} \quad (2.47)$$

จาก $Q_i \ll |V|^2 B_{ii}$ จะได้อีลิเมนต์ที่อยู่ในแนวทแยงมุมหลักใน J_{11} และ J_{22} ดังนี้

$$\frac{\partial P_i}{\partial \theta_i} \cong |V_i| \frac{\partial Q_i}{\partial \theta_i} \cong -|V_i|^2 B_{ii} \quad (2.48)$$

เมื่อนำการประมาณค่าด้านบนมาแทนค่าในสมการ (2.47) และ (2.48) เมตริกซ์สัมประสิทธิ์ J_{11} และ J_{22} จะได้เมตริกซ์ดังนี้

$$\begin{bmatrix} -|V_2 V_2| B_{22} & -|V_2 V_3| B_{23} & -|V_2 V_4| B_{24} \\ -|V_2 V_3| B_{32} & -|V_3 V_3| B_{33} & -|V_3 V_4| B_{34} \\ -|V_2 V_4| B_{42} & -|V_3 V_4| B_{43} & -|V_4 V_4| B_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta_2 \\ \Delta \theta_3 \\ \Delta \theta_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \\ \Delta P_4 \end{bmatrix} \quad (2.49)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} -|V_2V_2|B_{22} & -|V_2V_3|B_{23} & -|V_2V_4|B_{24} \\ -|V_2V_3|B_{32} & -|V_3V_3|B_{33} & -|V_3V_4|B_{34} \\ -|V_2V_4|B_{42} & -|V_3V_4|B_{43} & -|V_4V_4|B_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\Delta|V_2|}{|V_2|} \\ \frac{\Delta|V_3|}{|V_3|} \\ \frac{\Delta|V_4|}{|V_4|} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \\ \Delta Q_4 \end{bmatrix} \quad (2.50)$$

นำค่าแรงดันไฟฟ้าในเมตริกซ์สัมประสิทธิ์จากสมการ (2.50) แยกแยะคูณกับเมตริกซ์ความต่างของขนาดแรงดันไฟฟ้า เมื่อได้ผลลัพธ์แล้วหารด้วย $|V_2|$ ตลอด จะได้

$$-B_{22}\Delta|V_2| - B_{23}\Delta|V_3| - B_{24}\Delta|V_4| = \frac{\Delta Q_2}{|V_2|} \quad (2.51)$$

สัมประสิทธิ์ในสมการนี้เป็นค่าคงที่ซึ่งเท่ากับค่าลบของซัสเซพแตนซ์ในแถวของ Y_{bus} ที่เกี่ยวข้องกับบัสที่ 2 ส่วนแถวอื่นในสมการ (2.50) ก็คิดเหมือนกันจะได้ค่า $\frac{\Delta Q_i}{|V_i|}$ ที่บัส i ดังนั้นสมการ (2.50) สามารถเปลี่ยนเป็นค่าคงที่ทั้งหมดได้โดยหารค่าซัสเซพแตนซ์ของ Y_{bus} ในทำนองเดียวกันสามารถดัดแปลงสมการ (2.49) โดยนำแถวแรกคูณกับเมตริกซ์ความต่างของมุม แล้วจัดรูปใหม่จะได้

$$-|V_2|B_{22}\Delta\theta_2 - |V_3|B_{23}\Delta\theta_3 - |V_4|B_{24}\Delta\theta_4 = \frac{\Delta P_2}{|V_2|} \quad (2.52)$$

สัมประสิทธิ์ในสมการนี้สามารถทำในทำนองเดียวกับสมการ (2.50) โดยกำหนดให้ $|V_2|$ $|V_3|$ และ $|V_4|$ เท่ากับ 1.0 เปรอรัยูนิตในด้านซ้ายมือของสมการก็จะได้ค่า $\frac{\Delta P_2}{|V_2|}$ ทำแบบนี้กับทุกแถวของสมการ (2.49) ก็จะไ้ระบบดีคัปเปิล 2 ระบบของสมการสำหรับเครือข่าย 4 บัส ดังนี้

$$\begin{bmatrix} -B_{22} & -B_{23} & -B_{24} \\ -B_{32} & -B_{33} & -B_{34} \\ -B_{42} & -B_{43} & -B_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\theta_2 \\ \Delta\theta_3 \\ \Delta\theta_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta P_2}{|V_2|} \\ \frac{\Delta P_3}{|V_3|} \\ \frac{\Delta P_4}{|V_4|} \end{bmatrix} \quad (2.53)$$

$$\begin{bmatrix} -B_{22} & -B_{23} & -B_{24} \\ -B_{32} & -B_{33} & -B_{34} \\ -B_{42} & -B_{43} & -B_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta|V_2| \\ \Delta|V_3| \\ \Delta|V_4| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta Q_2}{|V_2|} \\ \frac{\Delta Q_3}{|V_3|} \\ \frac{\Delta Q_4}{|V_4|} \end{bmatrix} \quad (2.54)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปเมตริกซ์ \bar{B} จะสมมาตรและอีลิเมนต์ต่าง ๆ จะไม่เท่ากับศูนย์ และเป็นจำนวนจริงซึ่งเป็นค่าลบของค่าชัศเชิงพแดนซ์ ของ Y_{bus} ดังนั้นเมตริกซ์ \bar{B} จึงสร้างได้ง่าย โดยการคำนวณเพียงครั้งเดียวตอนเริ่มต้นที่บัสควบคุมแรงดันไฟฟ้าโดยกำลังไฟฟ้าเสมือนจะไม่ทราบค่าและ $\Delta|V|$ มีค่าเท่ากับศูนย์ แลวและหลักที่เกี่ยวข้องกับบัสจะไม่นำมาคำนวณ

ขั้นตอนการหาผลลัพธ์จะหาได้ดังนี้

1. คำนวณค่าเริ่มต้น $\frac{\Delta P}{|V|}$
2. หาค่า $\Delta\theta$ จากสมการ (2.53)
3. ปรับเปลี่ยนค่ามุม θ แล้วนำไปคำนวณ $\frac{\Delta Q}{|V|}$
4. แก้สมการ (2.54) เพื่อหาค่า $\Delta|V|$ แล้วปรับเปลี่ยนค่าขนาดแรงดันไฟฟ้า $|V|$
5. กลับไปคำนวณสมการ (2.53) ทำซ้ำรอบของการคำนวณต่อไปจนกระทั่งค่า ΔP และ ΔQ ทั้งหมดอยู่ในค่าความผิดพลาดที่กำหนดไว้

การวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้าโดยวิธีตีคูปเปิดนี้จะทำให้หาการไหลของภาระไฟฟ้าววดเร็วขึ้น ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ก็ถูกต้องเป็นที่ยอมรับได้

การรักษาความปลอดภัยของระบบไฟฟ้ากำลัง

หลังจากได้พิจารณาเกี่ยวกับการทำให้ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานของระบบไฟฟ้ากำลังมีค่าต่ำที่สุดแล้ว ปัจจัยสำคัญต่อไปก็คือการออกแบบให้ระบบสามารถคงอยู่ในสถานะที่ปลอดภัยอยู่ได้ ซึ่งเกี่ยวกับการออกแบบในทางปฏิบัติ ให้ระบบยังสามารถทำงานอยู่ได้เมื่อองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่งในระบบเกิดล้มเหลวขึ้น ตัวอย่างเช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องหนึ่งอาจจะถูกตัดออกจากระบบเพราะการทรูปของอุปกรณ์ป้องกันและเพื่อให้ยังคงมีค่าที่เหมาะสมของพลังงานสำรองหน่วยอื่น ๆ ที่เหลือในระบบจะต้องช่วยจ่ายในส่วนที่ขาดหายไป โดยไม่ทำให้ความถี่ลดต่ำลงไปหรือต้องปลดภาระไฟฟ้าใดภาระไฟฟ้าหนึ่งออกไปแทน ในกรณีเดียวกันสายส่งไฟฟ้ากำลังอาจจะถูกทำให้เสียหายจากพายุหรือถูกปลดโดยอัตโนมัติจากอุปกรณ์ป้องกันอัตโนมัติ สายส่งไฟฟ้าอื่น ๆ ที่เหลือ ต้องสามารถรับภาระไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นและยังคงมีการไหลของภาระไฟฟ้าผ่านตัวมันอยู่ในพิภคที่จะรับได้

เนื่องจากไม่สามารถคาดคะเนได้ว่า เมื่อใดจะเกิดเหตุการณ์ที่ทำให้องค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่งของระบบเกิดล้มเหลวขึ้น ระบบยังต้องทำงานอยู่ตลอดเวลา โดยห้ามให้อยู่ในสถานะที่อันตราย และเนื่องจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้ากำลังถูกออกแบบให้ทำงานได้ในพิภคที่แน่นอน อุปกรณ์ส่วนมากจึงมักจะถูกป้องกันโดยอุปกรณ์อัตโนมัติต่าง ๆ อีกที ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์ถูกเอ็ดตัดออกจากระบบ เมื่ออุปกรณ์เกิดความรุนแรงถึงค่าพิภคของมัน ถ้าเกิดเหตุการณ์ขึ้นในระบบซึ่งทำการคำนวณไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้การทำงานของระบบยังคงอยู่ในช่วงของความรุนแรงเกินพิกัด เหตุการณ์นั้นอาจจะทำให้เกิดการตัดอุปกรณ์อื่น ๆ ออกจากระบบต่อเนื่องตามไปด้วย ซึ่งถ้ากระบวนการนี้เกิดขึ้นต่อเนื่องกันไปเรื่อย ๆ แล้ว ระบบทั้งหมดหรือส่วนใหญ่ของระบบจะเกิดการเสียหายอย่างมาก

ส่วนมากระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ มักจะติดตั้งเครื่องมือเพื่อให้เจ้าหน้าที่ควบคุมสังเกตได้ สามารถควบคุมการทำงานของระบบให้อยู่ในสถานะที่ปลอดภัยได้ตลอดเวลา การรักษาความปลอดภัยของระบบมีหน้าที่สำคัญที่สามารถแบ่งออกเป็น 3 หน้าที่ใหญ่ ๆ ซึ่งจะถูกดำเนินการในศูนย์ควบคุมการทำงาน ดังนี้

1. ซิสเต็มมอนิเตอร์ริง (System monitoring)
2. การวิเคราะห์คอนทินเจนซี (Contingency analysis)
3. เซคเคียวริตี-คอนสเตรนออปติมัลพาวเวอร์โฟลว

(Security-constrained optimal power flow)

System monitoring จะมีหน้าที่จัดหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องในลักษณะเวลาจริง ๆ ในสถานะการทำงานขณะนั้น ๆ ของระบบไฟฟ้ากำลังตลอดเวลาให้แก่เจ้าหน้าที่ควบคุม ซึ่งเป็นหน้าที่ที่สำคัญที่สุดใน 3 หน้าที่ที่กล่าวถึง โดยเริ่มตั้งแต่เวลาที่มีการจ่ายภาระไฟฟ้าเกิดขึ้น การทำงานที่มีประสิทธิภาพของระบบต้องการค่าต่าง ๆ ที่สามารถส่งผลให้เกิดอันตรายได้ ซึ่งค่าเหล่านี้จะถูกวัดและถูกส่งมายังศูนย์กลางการปฏิบัติงาน ระบบที่วัดค่าต่าง ๆ และส่งข้อมูลมานี้ เรียกว่าระบบสื่อสารทางไกล

Contingency analysis ผลที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถทำให้ระบบรับความผิดปกติในการดำเนินการได้อย่างดีขึ้น ปัญหาหลาย ๆ อย่างที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังสามารถก่อให้เกิดความยุ่งยากได้ในเวลาอันสั้น เจ้าหน้าที่ไม่สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ทัน ซึ่งปัญหาเหล่านี้จะเกิดขึ้นบ่อย ดังนั้นคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันที่ใช้ในการปฏิบัติการจะถูกติดตั้งโปรแกรมการวิเคราะห์คอนทินเจนซี ซึ่งจะจำลองปัญหาที่อาจเกิดขึ้นกับระบบก่อนที่มันจะเกิดขึ้นจริง โปรแกรมนี้จะอยู่บนฐานของแบบจำลองระบบไฟฟ้ากำลัง และถูกใช้เพื่อศึกษาเหตุการณ์เอาท์เตจ (outage) จากนั้นจะส่งสัญญาณเตือนเจ้าหน้าที่เมื่อมีภาระไฟฟ้าเกินพิกัดหรือแรงดันไฟฟ้าเกินพิกัดที่อันตรายเกิดขึ้น

Security-constrained optimal power flow ในหน้าที่นี้การวิเคราะห์คอนทินเจนซีจะรวมกับออปติมัลพาวเวอร์โฟลว ซึ่งจะค้นหาเพื่อที่จะเปลี่ยนแปลงการกำเนิดพลังงานที่เหมาะสมที่สุด เช่นเดียวกับการปรับแต่งอื่น ๆ ดังนั้นเมื่อการวิเคราะห์การรักษาความปลอดภัยนี้ได้ถูกดำเนินการแล้ว จะไม่มีผลของคอนทินเจนซีใด ๆ นำไปสู่ความรุนแรงได้

จากทั้งหมดที่กล่าวมา การทำงานของระบบรักษาความปลอดภัยของระบบไฟฟ้ากำลังจะประกอบไปด้วยเครื่องมือที่ซับซ้อนมากซึ่งสามารถรักษาสถานะการดำเนินการที่ปลอดภัยของระบบไฟฟ้ากำลังเอาไว้ได้ ซึ่งเรื่องที่จะกล่าวถึงอย่างละเอียดก็คือเรื่องของกรวิเคราะห์คอนทินเจนซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์คอนทินเจนซี

สามารถแสดงภาพของปัญหาโดยใช้เครือข่าย 6 บัส ดังรูปที่ 2.7 การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีพื้นฐานแสดงดังรูปที่ 2.7 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการไหลของกำลังไฟฟ้า 43.8 MW และ 60.7 MVAR บนสายส่งไฟฟ้าจากบัส 3 ไปยังบัส 6 โดยพิกัดของสายส่งไฟฟ้านี้สามารถแสดงได้ในหน่วย MW และ MVAR เพื่อจุดประสงค์ในการอธิบายเรื่องนี้ สมมติพิจารณาเพียงแค่ภาระไฟฟ้า MW บนสายส่งไฟฟ้า และเมื่อพิจารณาถ้าสายส่งไฟฟ้าจากบัส 3 ไปยังบัส 5 ถูกตัดออกเนื่องจากการเกิดเอาต์เตจที่สายส่งไฟฟ้าจะส่งผลกระทบต่ออย่างไร ผลของการไหลและแรงดันไฟฟ้าจะแสดงไว้ดังรูปที่ 2.8 สังเกตว่าการไหลบนสายส่งไฟฟ้าจากบัส 3 ไปยังบัส 6 เพิ่มขึ้นเป็น 54.9 MW และสายส่งไฟฟ้าอื่น ๆ ส่วนมากก็จะมีเปลี่ยนแปลงของการไหลด้วย ส่วนขนาดของแรงดันไฟฟ้าก็มีการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน โดยเฉพาะที่บัส 5 ซึ่งจะพบว่าจะลดลงจากปกติเกือบ 5%

ส่วนรูปที่ 2.9 และรูปที่ 2.10 จะเป็นตัวอย่างของการเกิดเอาต์เตจที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเอาต์เตจชนิดนี้ก็สามารถส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการไหลและแรงดันไฟฟ้าบนด้วยเช่นกัน ดังตัวอย่างที่แสดงดังรูปที่ 2.9 ความสูญเสียในการกำเนิดพลังงานทั้งหมดจากบัส 3 จะถูกรับโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 ส่วนในรูปที่ 2.10 แสดงให้เห็นกรณีเมื่อความสูญเสียในการกำเนิดพลังงานที่บัส 3 จะถูกรับโดยการเพิ่มขึ้นของการกำเนิดพลังงานที่บัส 1 และ 2 ความแตกต่างของการไหลและแรงดันไฟฟ้าแสดงให้เห็นว่าการสูญเสียการกำเนิดพลังงานจะถูกรับเอาไปโดยหน่วยอื่น ๆ ที่เหลืออยู่ในเครือข่าย

เจ้าหน้าที่ควบคุมจะต้องทราบว่าการเกิดการเกิดเอาต์เตจที่สายส่งไฟฟ้าหรือการเกิดเอาต์เตจที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าใด ที่สามารถส่งผลให้การไหลหรือแรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้นพิกัดขึ้นเพื่อที่จะพยากรณ์ผลกระทบของเอาต์เตจทั้งหลายซึ่งจะใช้การวิเคราะห์คอนทินเจนซี ในกระบวนการของการวิเคราะห์คอนทินเจนซีจะจำลองเหตุการณ์การล้มเหลวของอุปกรณ์ทั้งแบบอุปกรณ์เดียว (การเกิดเอาต์เตจที่สายส่งไฟฟ้า 1 ที่หรือการเกิดเอาต์เตจที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 ที่) หรือจำลองเหตุการณ์การล้มเหลวของอุปกรณ์หลาย ๆ อุปกรณ์พร้อมกัน (การเกิดเอาต์เตจที่สายส่งไฟฟ้า 2 ที่หรือการเกิดเอาต์เตจที่สายส่งไฟฟ้า 1 ที่กับ การเกิดเอาต์เตจที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 ที่ เป็นต้น) ไปเรื่อย ๆ ตามลำดับจนทุก ๆ เอาต์เตจที่สามารถเกิดขึ้นได้ถูกพิจารณา สำหรับการตรวจสอบแต่ละเอาต์เตจกระบวนการการวิเคราะห์คอนทินเจนซี จะตรวจเช็คทุก ๆ สายส่งไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าทุก ๆ บัส ในเครือข่ายเทียบกับพิกัดของมันตามลำดับ รูปแบบพื้นฐานที่สุดของการวิเคราะห์คอนทินเจนซีแสดงอยู่ในรูปที่ 2.11

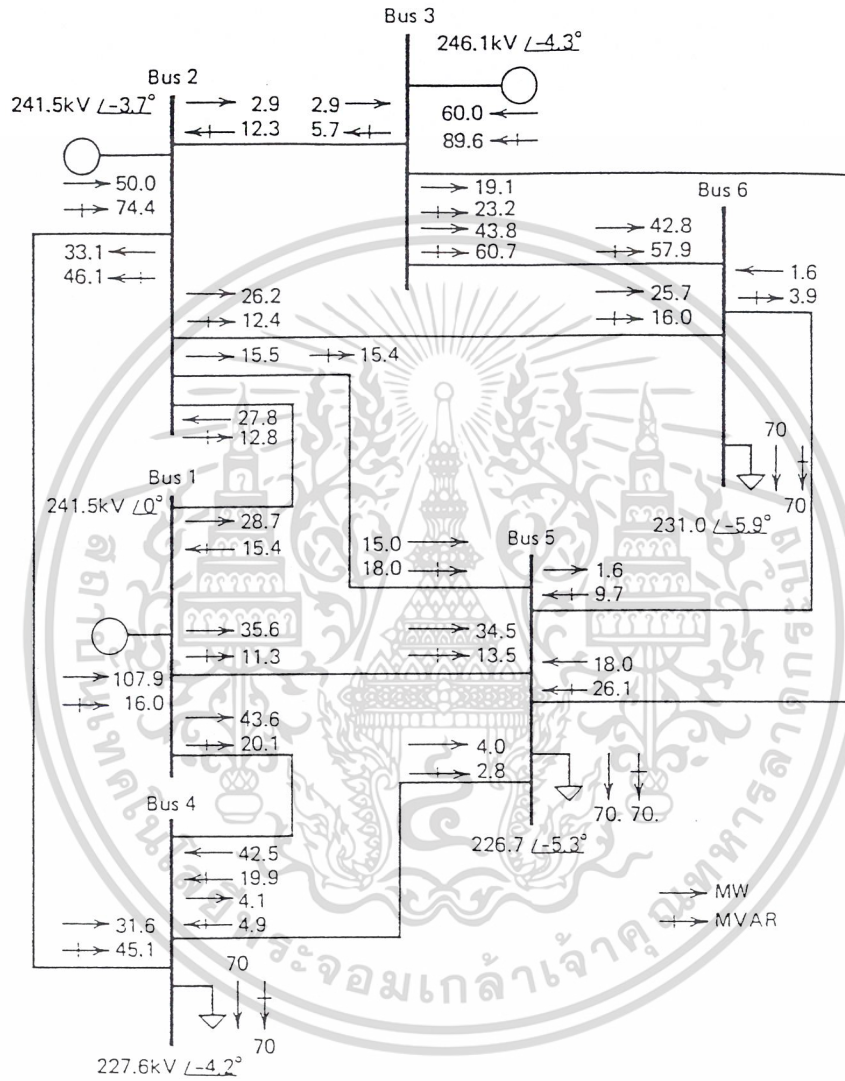
ปัญหาทางด้านวิธีการที่ยากที่สุดของการวิเคราะห์คอนทินเจนซี ก็คือความเร็วของผลลัพธ์ของรูปแบบการวิเคราะห์ที่ใช้ โดยปัญหาหลักก็คือการพิจารณาทุก ๆ เอาต์เตจที่สามารถเกิดขึ้นได้ ซึ่งสมมติว่าแต่ละเอาต์เตจใช้เวลาในการคำนวณ 1 วินาที ถ้าหลาย ๆ พันเอาต์เตจจะใช้เวลาเกือบ 1 ชั่วโมง ก่อนที่ทุก ๆ กรณีจะถูกแสดงผลออกมา ซึ่งจะเป็นสิ่งที่ดีมากถ้าสถานะของระบบไม่มี

การเปลี่ยนแปลงเลยตลอดเวลา อย่างไรก็ตามระบบจริง ๆ ต้องมีการเปลี่ยนแปลงและเจ้าหน้าที่ควบคุมจำเป็นต้องรู้ว่าการดำเนินการในขณะนี้ระบบยังอยู่ในสถานะที่ปลอดภัยอยู่หรือไม่ โดยไม่ต้องคอยคำตอบเป็นเวลานาน ซึ่งคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน จะใช้เวลาในการวิเคราะห์คอนทินเจนซีสำหรับหลาย ๆ พันเอาต์เตจได้น้อยกว่า 1 นาที

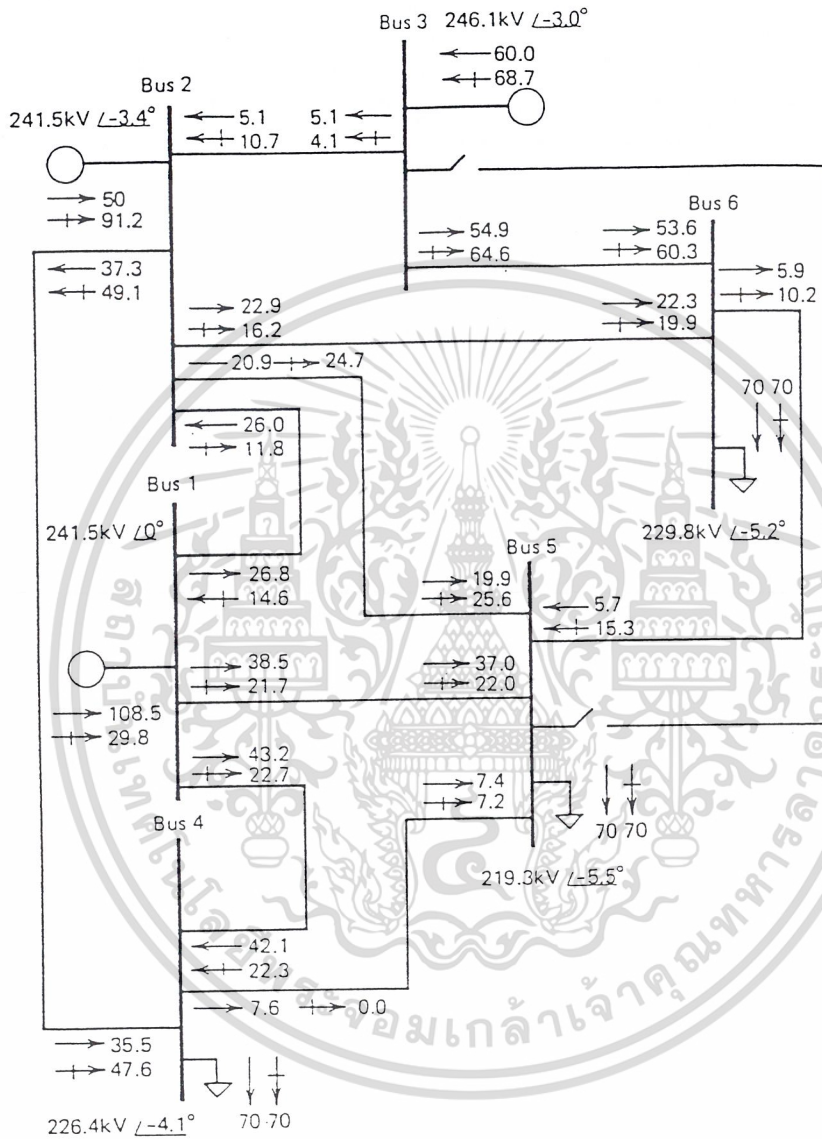
วิธีหนึ่งในการเพิ่มความเร็วของผลลัพธ์ในกระบวนการวิเคราะห์คอนทินเจนซี ก็คือใช้การประมาณแบบจำลองของระบบไฟฟ้ากำลัง สำหรับระบบหลาย ๆ ระบบการใช้แบบจำลองการไหลของภาระไฟฟ้าแบบดี.ซี. นั้นก็เพียงพอแล้วในการวิเคราะห์คอนทินเจนซี เช่นในระบบที่ขนาดของแรงดันไฟฟ้าไม่เป็นปัจจัยที่สำคัญมากนักและการไหลของภาระไฟฟ้าแบบดี.ซี. ก็ให้ความแม่นยำที่เพียงพอตามการไหลแบบ MW สำหรับระบบอื่น ๆ ที่แรงดันไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญนั้น การใช้การวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้าแบบกระแสสลับ นั้นก็เป็นสิ่งที่จำเป็น



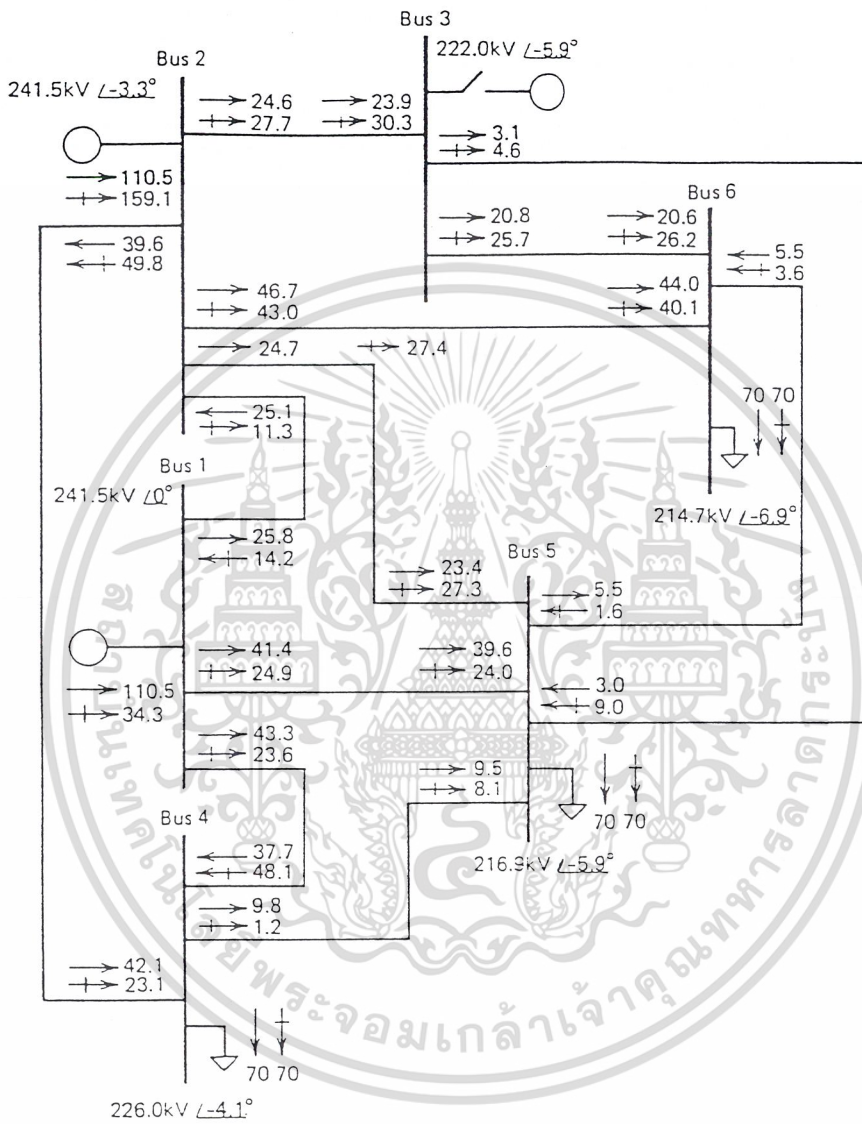
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



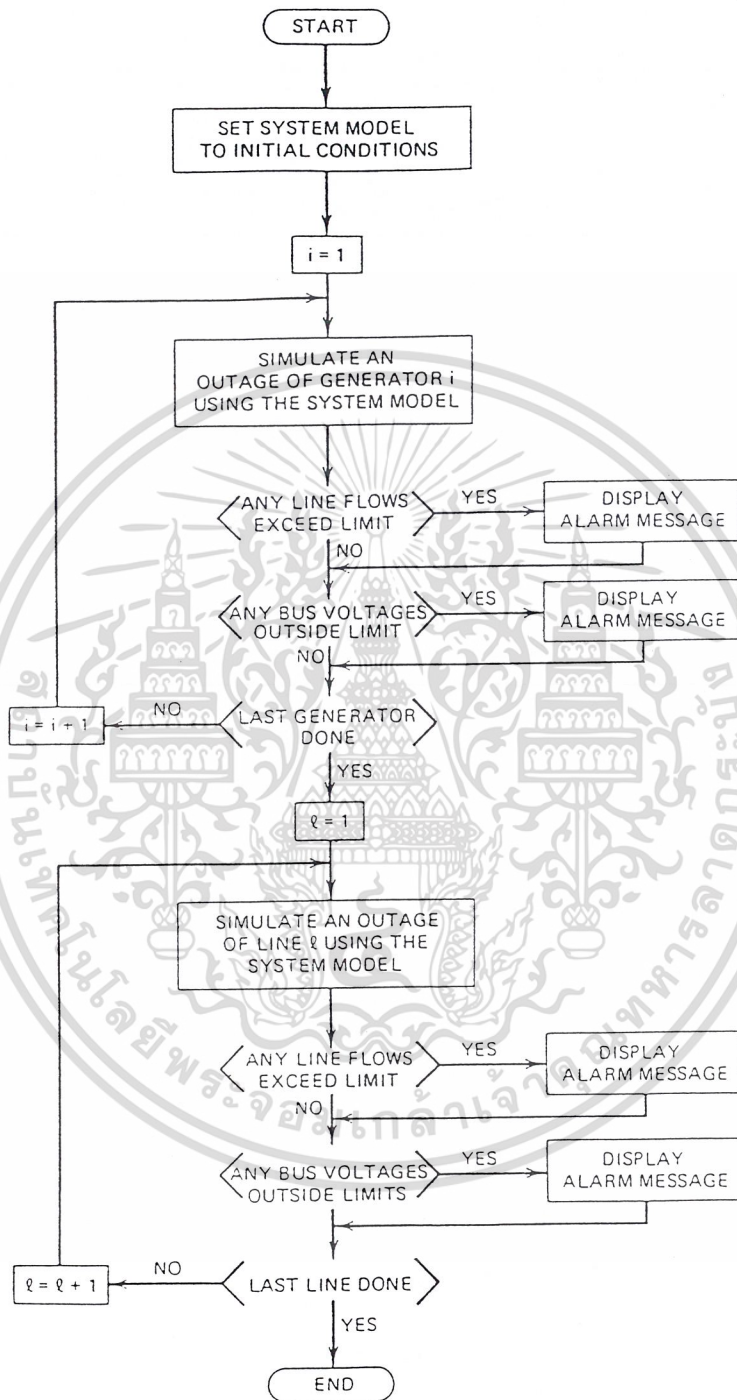
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.7 ระบบแบบ 6 บัส ในสภาวะปกติ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.8 ระบบแบบ 6 บัส เมื่อเกิดเอาต์เตจที่สายส่งไฟฟ้าจากบัส 3 ถึงบัส 5 ึ่งที่มีการนำไปใช้
 ไม่ว่าจะกรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ผลสืบเนื่องหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ระบบแบบ 6 บัส เมื่อเกิดเอาต์เตจที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 3 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ซึ่งจ่ายเพิ่มโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 1 และ 2 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



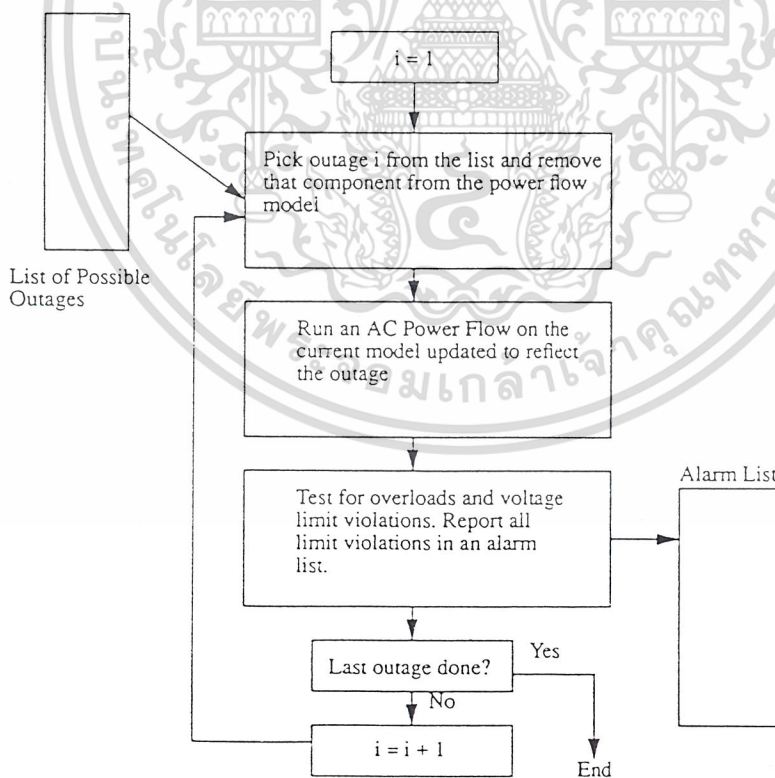
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.11 โฟลว์ชาร์ตการวิเคราะห์คอนตันเจนซ์
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์คอนทินเจนซี โดยวิธีการไหลของภาระไฟฟ้าแบบกระแสสลับ

เมื่อทำการวิเคราะห์คอนทินเจนซี โดยวิธีการไหลของภาระไฟฟ้าแบบกระแสสลับ สิ่งที่สำคัญมากในการวิเคราะห์คือความเร็วในการหาคำตอบและจำนวนกรณีที่น่ามาวิเคราะห์ เพราะถ้าลัญญานเดือนซ้ำเกินไป การวิเคราะห์ที่ทำได้ก็จะป้องกันอันตรายไม่ทัน

การวิเคราะห์คอนทินเจนซี ภายในศูนย์กลางควบคุมที่ใช้วิธีการไหลของภาระไฟฟ้าแบบกระแสสลับ ส่วนใหญ่จะใช้ทั้งวิธีนิวตัน-ราฟสันและคัลป์เปิดเพราะทั้งสองวิธีมีความเร็วในการคำนวณสูง และมีความเชื่อถือได้ในการหาค่าของคำตอบเมื่อทำการวิเคราะห์ระบบที่ซับซ้อน วิธีคัลป์เปิดยังมีข้อดีตรงที่เมตริกซ์ ที่ใช้ในแต่ละรอบการคำนวณนั้นสามารถ ใช้ร่วมกันในการจำลองเอาต์เตจของสายส่งไฟฟ้า โดยไม่ต้องทำการอินเวอร์ทจาโคเบียนเมตริกซ์ ในทุกรอบการคำนวณ

ขั้นตอนพื้นฐานของการวิเคราะห์ความปลอดภัยด้วยวิธีกระแสสลับ ประกอบไปด้วยการคำนวณการไหลของภาระไฟฟ้าแบบกระแสสลับสำหรับแต่ละเอาต์เตจของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สายส่งไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.12 ขั้นตอนนี้สามารถแสดงการเกิดภาระไฟฟ้าเกินและความเสียหายที่เกิดจากศักดาไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง แต่ถ้าจำนวนเอาต์เตจมีมากแล้วทำให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณมีค่ามาก ก็เสียเวลาในการคำนวณมากทำให้ส่งผลต่อความเสียหายของระบบได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.12 การวิเคราะห์ความปลอดภัยของระบบโดยวิธีการไหลของภาระไฟฟ้าแบบกระแสสลับ

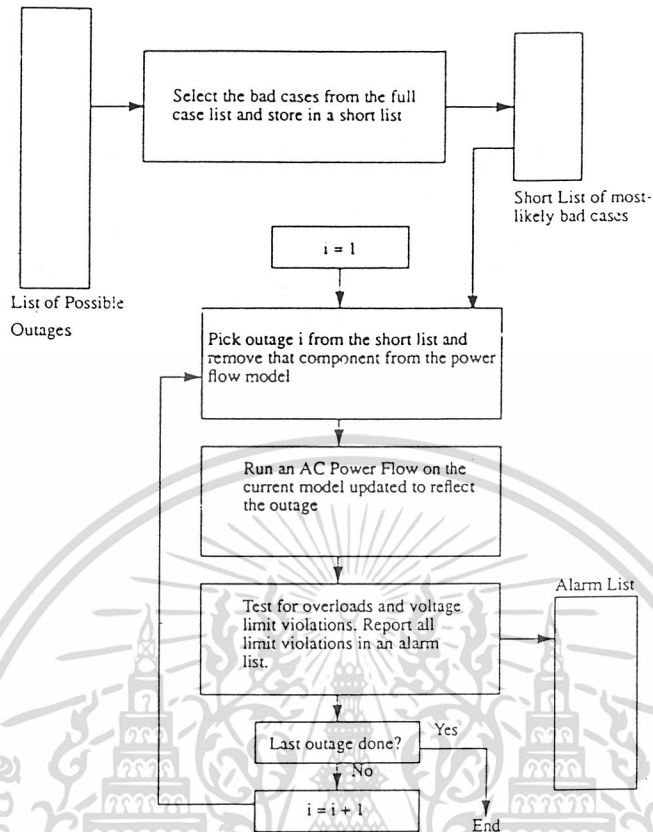
เนื่องจากระบบไฟฟ้ากำลังได้ถูกออกแบบและดำเนินการโดยมีเอาต์เจกต์น้อยกรณีมากที่เป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาต่อระบบ แต่เวลาที่ใช้คำนวณโดยการไหลของภาระไฟฟ้าแบบกระแสสลับส่วนใหญ่จะรวมกรณีที่ไม่ทำให้เกิดปัญหาเอาไว้ด้วย ดังนั้นจึงมีการเลือกคำนวณหาค่าตอบของกรณีเพียงไม่กี่กรณีที่จะทำให้เกิดปัญหาการภาระไฟฟ้าเกินหรือความเสียหายจากศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

จึงต้องมีวิธีเพื่อทำการเลือกเฉพาะกรณีเอาต์เจกต์ ที่ส่งผลให้เกิดภาระไฟฟ้าเกินหรือค่าศักดาไฟฟ้าเกินพิกัดเพื่อนำไปวิเคราะห์โดยละเอียด ส่วนกรณีอื่นที่ไม่เป็นอันตรายต่อระบบจะไม่นำมาวิเคราะห์ วิธีการดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 2.13 การเลือกกรณีที่น่าจะก่อให้เกิดอันตรายหรือเกิดปัญหาต่อระบบจากเอาต์เจกต์ทั้งหมดไม่ใช่วิธีการที่ถูกต้องแม่นยำอาจเกิดการผิดพลาดขึ้นได้ โดยสาเหตุของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมี 2 ข้อ คือ

- การเลือกจำนวนเอาต์เจกต์มากเกินไปมากเกิน ไปมากคำนวณ เป็นปัจจัยหนึ่งส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ความปลอดภัยของระบบไฟฟ้ากำลังนานขึ้น
- การเลือกเอาต์เจกต์อาจจะข้ามกรณีที่น่าจะก่อให้เกิดปัญหาไป ทำให้กรณีดังกล่าวไม่ได้ถูกนำไปวิเคราะห์ ซึ่งผลที่เกิดขึ้นอาจทำให้ระบบเกิดความเสียหายได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 การวิเคราะห์ความปลอดภัยของระบบโดยวิธีการไหลของภาระไฟฟ้าแบบกระแสสลับ พร้อมทั้งการเลือกกรณีคอนทินเจนซี

วิธีการเลือกคอนทินเจนซี

วิธีหาระชนีวัดภาระไฟฟ้าเกิน PI (Performance Index) สามารถวัดได้ว่าแต่ละเอาต์เตจส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลังมากน้อยเท่าใด โดยมีนิยามคือ

$$PI = \sum_{\text{all branches}} \left(\frac{P_{\text{flow } l}}{P_l^{\text{max}}} \right)^{2n} \quad (2.55)$$

ถ้า n เป็นเลขมาก ๆ PI จะมีค่าน้อยถ้าการไหลของกำลังไฟฟ้าของทุกกรณีอยู่ภายในพิกัด และจะมีค่ามากถ้าสายส่งไฟฟ้าหนึ่งหรือมากกว่ามีภาระไฟฟ้าเกิน

การคำนวณสามารถทำได้ง่าย ๆ ถ้ากำหนด $n=1$ นั่นคือ สามารถคำนวณค่าใส่ลงในตาราง PI ของแต่ละการเกิดเอาต์เตจที่สายส่งไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว จากนั้นทำการเรียงค่า PI ในตารางจากค่าที่มากที่สุดไปหาค่าน้อยที่สุด โดยการเกิดเอาต์เตจที่สายส่งไฟฟ้า ที่มี PI สูงสุดจะถูกใส่เอาไว้ในตารางเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

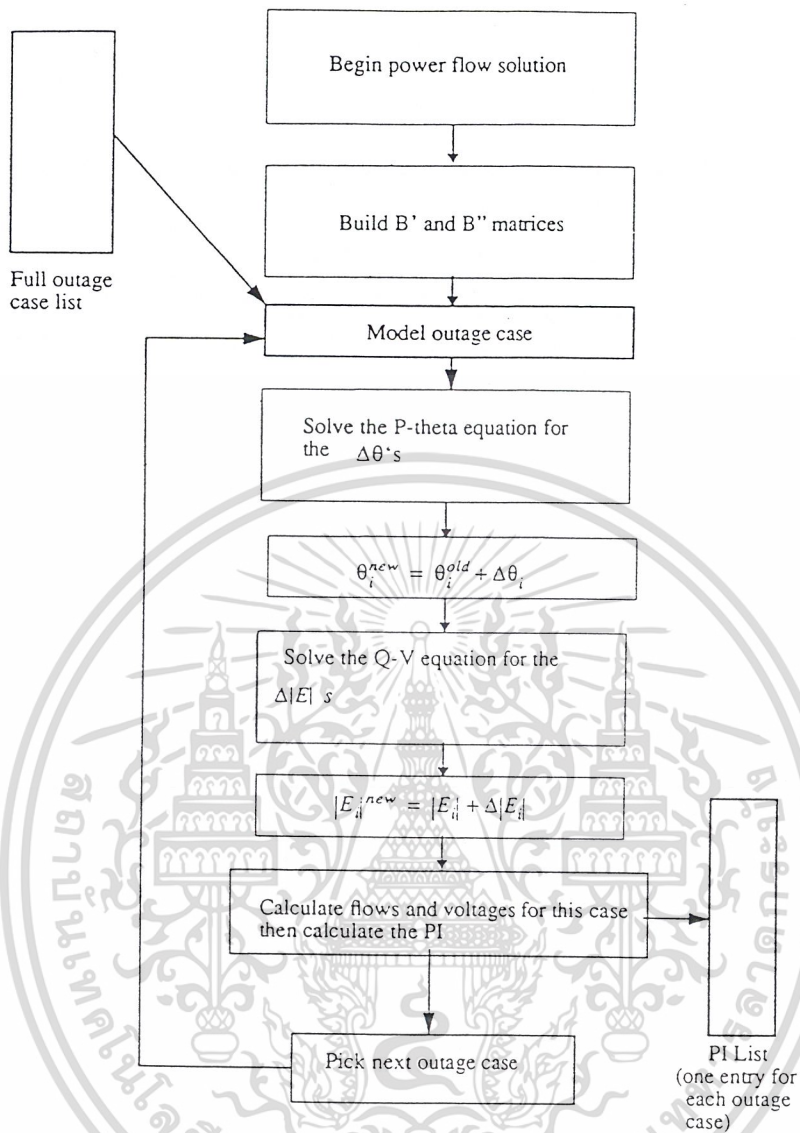
อย่างไรก็ตามเมื่อ $n=1$ ค่า PI จะเปลี่ยนแปลงไปแบบไม่เป็นเชิงเส้น แต่ค่าจะเพิ่มสูงขึ้นเป็นฟังก์ชันกำลังสอง นอกจากนี้แล้วสายส่งไฟฟ้าที่มีการไหลของกำลังไฟฟ้าน้อยกว่าพิกัด จะให้ค่า PI เท่ากับสายส่งไฟฟ้าที่มีการไหลของกำลังไฟฟ้าเกินพิกัด ผลที่ได้คือ PI จะมีค่ามากถึงแม้กรณีนั้นสายส่งไฟฟ้าหลายเส้นจะถูกใช้ต่ำกว่าพิกัดของมันก็ตาม ดังนั้นการกำหนดค่าให้ $n=1$ จึงไม่สามารถบอกลักษณะหรือป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับระบบได้ถูกต้อง เพราะการเรียงค่า PI ในรายชื่อจะได้จำนวนกรณีที่ไม่ครบถ้วน ส่วนการที่จะกำหนดค่า $n=2$ หรือมากกว่าจะทำให้การคำนวณมีความเร็วช้าลง

วิธีการหนึ่งที่ใช้ในการเลือกกรณีของเอาต์เตจเรียกว่าวิธี 1P1Q โดยวิธีการนี้ดีคัปเปิล จะถูกนำมาใช้ดังรูปที่ 2.14 โดยจะทำการคำนวณเพียงหนึ่งรอบการคำนวณซ้ำ (คำนวณ P-Q หนึ่งรอบ และคำนวณ Q-V หนึ่งรอบ จึงมีชื่อว่า 1P1Q) การหาค่า PI ด้วยวิธีการนี้สามารถใช้ค่า n ได้มากขึ้น เช่น $n=5$ จะพบว่าข้อมูลเพียงพอที่สามารถหาคำตอบได้เมื่อสิ้นสุดการคำนวณรอบแรกของวิธีดีคัปเปิล ทำให้สามารถหาค่า PI ที่เหมาะสมได้ ส่วนข้อดีอื่น ๆ ของวิธีนี้คือค่าศักดาไฟฟ้าจะถูกรวมเข้ามาเพื่อหาค่าของ PI ด้วย ดังนั้นการหาค่า PI อีกแบบหนึ่งเป็นดังนี้

$$PI = \sum_{\text{all branches } i} \left(\frac{P_{\text{flow } i}}{P_i^{\text{max}}} \right)^{2n} + \sum_{\text{all buses } i} \left(\frac{\Delta|E_i|}{\Delta|E|^{\text{max}}} \right)^{2m} \quad (2.56)$$

โดยที่ $\Delta|E_i|$ เป็นผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าที่หาจากจุดสุดท้ายของวิธี 1P1Q กับขนาดศักดาไฟฟ้าฐาน ส่วน $\Delta|E|^{\text{max}}$ เป็นค่าที่ตั้งโดยวิศวกรผู้ทำการวิเคราะห์ซึ่งเป็นการระบุขีดจำกัดของศักดาไฟฟ้าที่บัส จากการเปลี่ยนเอาต์เตจในกรณีหนึ่ง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ขั้นตอนวิธีการเลือกคอนทินเจนซีโดยวิธี 1P1Q

การวิเคราะห์ความปลอดภัยของระบบไฟฟ้ากำลังที่สมบูรณ์ ทำได้โดยการเรียงลำดับให้ PI ที่มีค่ามากที่สุดอยู่ส่วนบนสุดของรายชื่อ จากนั้นก็เริ่มคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างสมบูรณ์กับกรณีบนสุดของรายชื่อ แล้วคำนวณกรณีรองลงมาเรื่อย ๆ กระทำอย่างนี้จนกระทั่งครบตามจำนวนกรณีที่มีหรือจนกระทั่งไม่ทำให้เกิดการอันตรายต่อระบบ

วิธีการหาค่า PI ยังมีอีกหลายวิธี แต่วิธีที่เป็นมาตรฐานและนำมาใช้ในปฏิญญาฉบับนี้เป็นวิธีการวิเคราะห์โดยแยกพิจารณาหาค่า PI สำหรับการเกิดแรงดันไฟฟ้าเกินพิกัด (ที่บัสควบคุมแรงดันไฟฟ้า) กับกรณีการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงเกินพิกัด (ในสายส่งไฟฟ้า) ดังนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ดรรชนีวัดภาวะไฟฟ้าเกินสำหรับการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้า

$$PI_V = \sum_{i=1}^{NB} \left(\frac{|V_i| - |V_i^{sp}|}{\Delta V_i^{Lim}} \right)^{2n} \quad (2.57)$$

- โดยที่ $|V_i|$ = ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่บัส i
 $|V_i^{sp}|$ = ขนาดพิกัดแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดที่บัส i
 V_i^{Lim} = ค่าจำกัดการเบี่ยงเบนของแรงดันไฟฟ้า
 n = Exponent of penalty function
 NB = จำนวนบัสในระบบ

2. ดรรชนีวัดภาวะไฟฟ้าเกินสำหรับการวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าจริง

$$PI_{MW} = \sum_{l=1}^{NL} \left(\frac{P_l}{P_l^{Lim}} \right)^{2n} \quad (2.58)$$

- โดยที่ P_l = การไหลของกำลังไฟฟ้าจริงของสายส่งไฟฟ้า l
 (คำนวณโดยวิธีการไหลของภาระไฟฟ้าแบบกระแสตรง)
 P_l^{Lim} = ขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าจริงของสายส่งไฟฟ้า l
 n = Exponent of penalty function

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้ส่วนแรกจะนำเสนอผลการคำนวณการไหลของภาระไฟฟ้าของตัวอย่างระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้การคำนวณทั้งสองวิธีคือวิธีนิวตัน-ราฟสันและวิธีคิปลเปิด รวมถึงการรู้เข้าของคำตอบ จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ

ส่วนที่สองจะนำเสนอในเรื่องของการวิเคราะห์คอนทินเจนซีของระบบตัวอย่างซึ่งจะวิเคราะห์หาค่า PI และทำการคำนวณเพื่อบอกถึงการเกิดการไหลของกำลังไฟฟ้าที่สายส่ง และหม้อแปลงเกินพิกัด รวมถึงระดับแรงดันที่บัสต่างๆ เกินพิกัด ภายหลังจากเกิดเอาต์เตจต่าง ๆ

สำหรับระบบไฟฟ้าที่จะใช้ทดสอบในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยระบบไฟฟ้ากำลังขนาด 6 บัส 14 บัส และ 30 บัส ดังนี้

1. ระบบไฟฟ้ากำลังขนาด 6 บัส แสดงดังรูปที่ 3.1 โดยมีรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการไหลของภาระไฟฟ้างดตารางที่ 3.1 ถึง 3.4
2. ระบบไฟฟ้ากำลังขนาด 14 บัส แสดงดังรูปที่ 3.2 โดยมีรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการไหลของภาระไฟฟ้างดตารางที่ 3.5 ถึง 3.8
3. ระบบไฟฟ้ากำลังขนาด 30 บัส แสดงดังรูปที่ 3.3 โดยมีรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการไหลของภาระไฟฟ้างดตารางที่ 3.9 ถึง 3.12

ระบบไฟฟ้ากำลังขนาด 6 บัส

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลทั่วไปของระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบขนาด 6 บัส

ชนิดของข้อมูลทั่วไป	ข้อมูล
บัสอ้างอิง	1
จำนวนบัส	6
จำนวนสายส่ง	5
จำนวนหม้อแปลงไฟฟ้า	2
จำนวนรอบการคำนวณซ้ำสูงสุด	10
ค่าความผิดพลาดของกำลังไฟฟ้า	0.0001
ฐานของ MVA	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงข้อมูลของ บัส สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบขนาด 6 บัส

Bus No.	Bus Type	Volt (p.u.)	Angle (degree)	Generation		Load		Gen.QLimit MVAR	
				MW	MVAR	MW	MVAR	Qmax	Qmin
1	Swing	1.05	0	0	0	0	0	0	0
2	PV	1.1	0	50	0	0	0	70	0
3	PQ	0	0	0	0	55	13	0	0
4	PQ	0	0	0	0	0	0	0	0
5	PQ	0	0	0	0	30	18	0	0
6	PQ	0	0	0	0	50	5	0	0

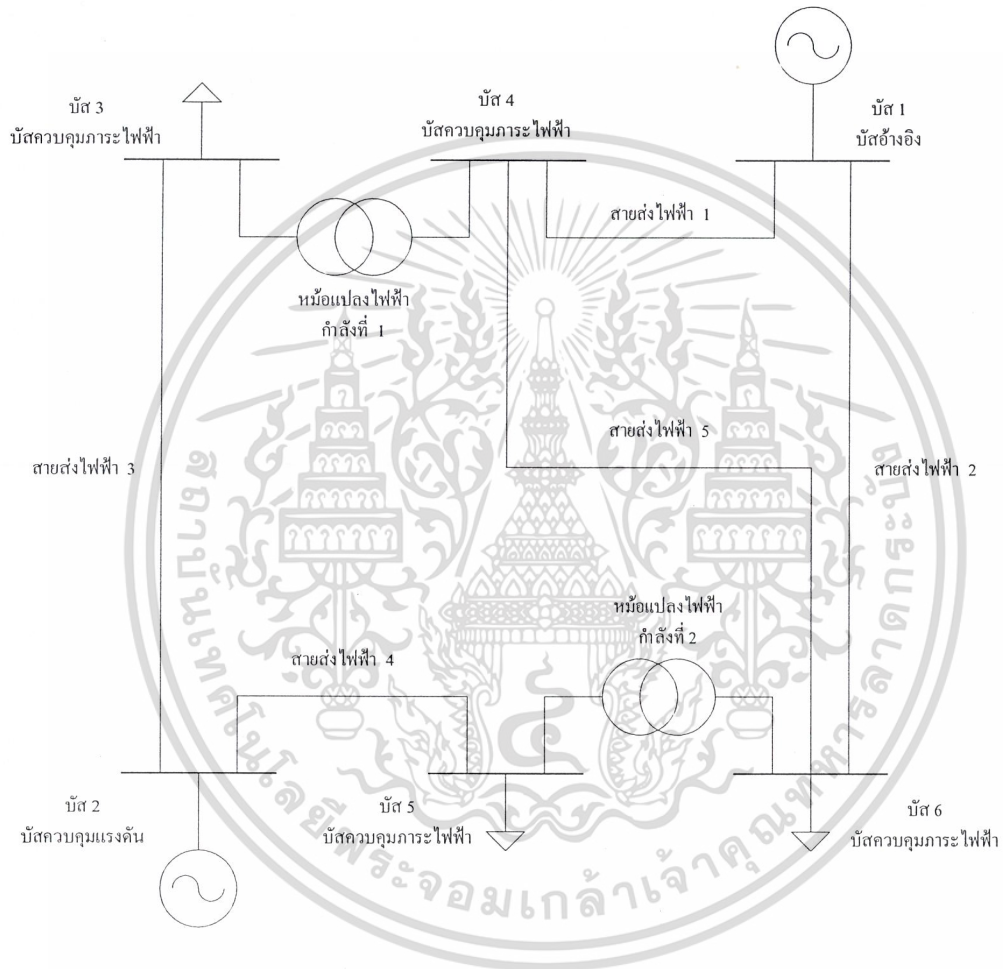
ตารางที่ 3.3 แสดงข้อมูลของสายส่ง สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบขนาด 6 บัส

Line No.	From Bus	To Bus	Impedance		Half line
			R (p.u.)	X (p.u.)	Charging
1	1	4	0.08	0.37	0.03
2	1	6	0.123	0.518	0.042
3	2	3	0.723	1.05	0
4	2	5	0.282	0.64	0
5	4	6	0.097	0.407	0.03

ตารางที่ 3.4 แสดงข้อมูลของหม้อแปลง สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบขนาด 6 บัส

Transformer No.	From Bus	To Bus	Impedance		Tap Setting
			R (p.u.)	X (p.u.)	
1	3	4	0	0.133	0.909
2	5	6	0	0.3	0.975

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ระบบไฟฟ้ากำลัง 6 บัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบไฟฟ้ากำลังขนาด 14 บัส

ตารางที่ 3.5 แสดงข้อมูลทั่วไปของระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบขนาด 14 บัส

ชนิดของข้อมูลทั่วไป	ข้อมูล
บัสอ้างอิง	1
จำนวน บัส	14
จำนวนสายส่ง	17
จำนวนหม้อแปลงไฟฟ้า	3
จำนวนรอบการคำนวณซ้ำสูงสุด	10
ค่าความผิดพลาดของกำลังไฟฟ้า	0.0001
ฐานของ MVA	100

ตารางที่ 3.6 แสดงข้อมูลของ บัส สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบขนาด 14 บัส

Bus No.	Bus Type	Volt (p.u.)	Angle (degree)	Generation		Load		Gen. Q Limit MVAR	
				MW	MVAR	MW	MVAR	Q max	Q min
1	Swing	1.06	0	0	0	0	0	0	0
2	PV	1.045	0	40	0	21.7	12.7	50	-40
3	PV	1.01	0	0	0	94.2	19	40	0
4	PQ	0	0	0	0	47.8	3.9	0	0
5	PQ	0	0	0	0	7.6	1.6	0	0
6	PV	1.07	0	0	0	11.2	7.5	24	-6
7	PQ	0	0	0	0	0	0	0	0
8	PV	1.09	0	0	0	0	0	24	-6
9	PQ	0	0	0	0	29.5	16.6	0	0
10	PQ	0	0	0	0	9	5.8	0	0
11	PQ	0	0	0	0	3.5	1.8	0	0
12	PQ	0	0	0	0	6.1	1.6	0	0
13	PQ	0	0	0	0	13.5	5.8	0	0
14	PQ	0	0	0	0	14.9	5	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

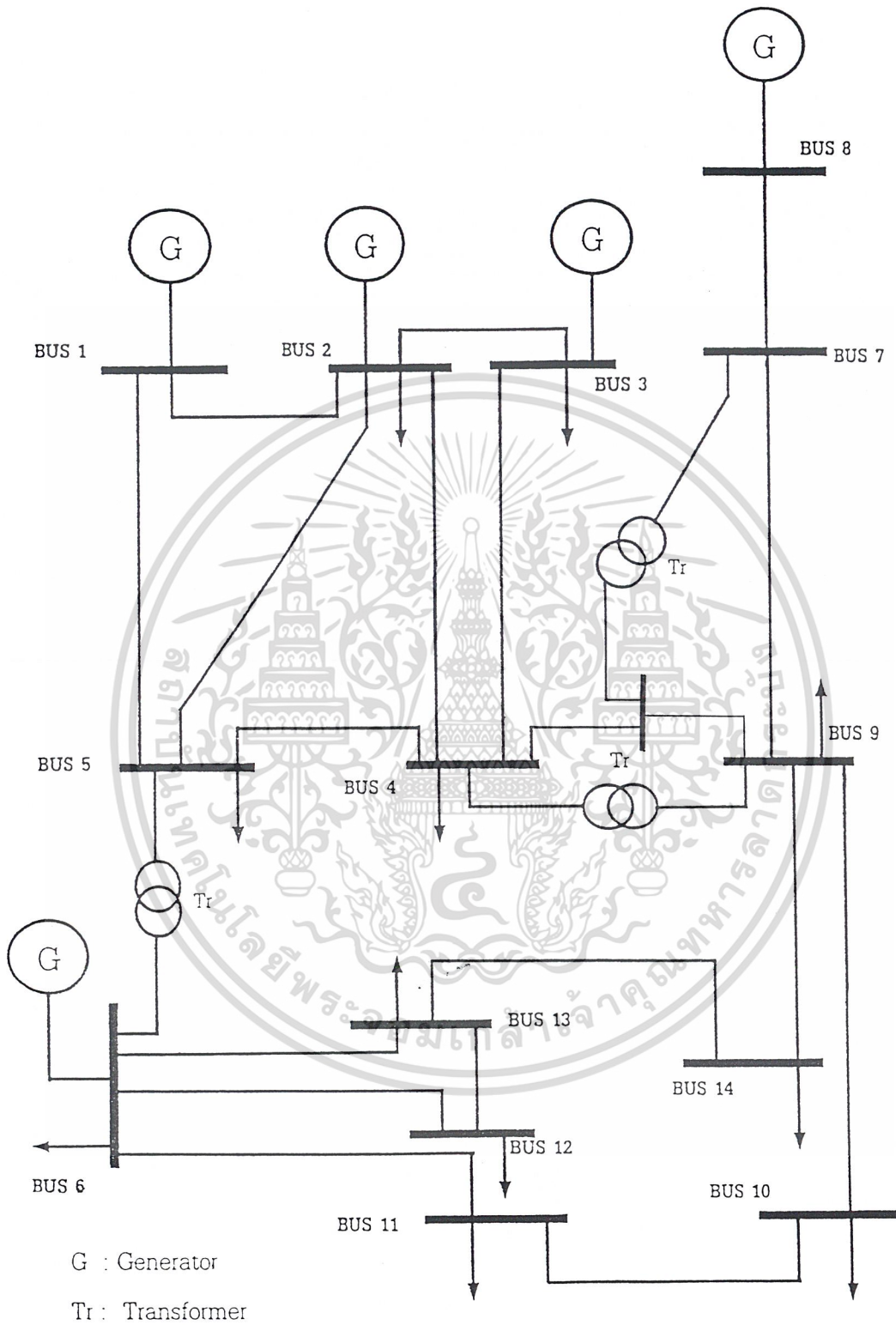
ตารางที่ 3.7 แสดงข้อมูลของสายส่ง สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบขนาด 14 บัส

Line No.	From Bus	To Bus	Impedance		Half line Charging
			R (p.u.)	X (p.u.)	
1	1	2	0.019	0.059	0.0264
2	1	5	0.054	0.223	0.0246
3	2	3	0.047	0.198	0.0219
4	2	4	0.058	0.176	0.0187
5	2	5	0.057	0.174	0.0170
6	3	4	0.067	0.171	0.0173
7	4	5	0.013	0.042	0.0064
8	6	11	0.095	0.199	0
9	6	12	0.123	0.256	0
10	6	13	0.066	0.130	0
11	7	8	0	0.176	0
12	7	9	0	0.110	0
13	9	10	0.032	0.084	0
14	9	14	0.127	0.270	0
15	10	11	0.082	0.192	0
16	12	13	0.221	0.200	0
17	13	14	0.171	0.348	0

ตารางที่ 3.8 แสดงข้อมูลของหม้อแปลง สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบขนาด 14 บัส

Transformer No.	From Bus	To Bus	Impedance		Tap Setting
			R (p.u.)	X (p.u.)	
1	4	7	0	0.209	0.978
2	4	9	0	0.556	0.969
3	5	6	0	0.252	0.932

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีพิมพ์ลงนิตยสาร และต้องยกย่องถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบไฟฟ้ากำลังขนาด 30 บัส

ตารางที่ 3.9 แสดงข้อมูลทั่วไปของระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบขนาด 30 บัส

ชนิดของข้อมูลทั่วไป	ข้อมูล
บัสอ้างอิง	1
จำนวนบัส	30
จำนวนสายส่ง	37
จำนวนหม้อแปลงไฟฟ้า	4
จำนวนรอบการคำนวณซ้ำสูงสุด	15
ค่าความผิดพลาดของกำลังไฟฟ้า	0.0001
ฐานของ MVA	100



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.10 แสดงข้อมูลของ บัส สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบขนาด 30 บัส

Bus No.	Bus Type	Volt (p.u.)	Angle (degree)	Generation		Load		Gen. Q Limit MVAR	
				MW	MVAR	MW	MVAR	Qmax	Qmin
1	Swing	1.05	0	0	0	0	0	0	0
2	PV	1.045	0	40	0	21.7	12.7	50	-40
3	PQ	0	0	0	0	2.4	1.2	0	0
4	PQ	0	0	0	0	7.6	1.6	0	0
5	PV	1.01	0	0	0	94.2	19	40	-40
6	PQ	0	0	0	0	0	0	0	0
7	PQ	0	0	0	0	22.8	10.9	0	0
8	PV	1.01	0	0	0	30	30	40	-10
9	PQ	0	0	0	0	0	0	0	0
10	PQ	0	0	0	0	5.8	2	0	0
11	PV	1.082	0	0	0	0	0	24	-6
12	PQ	0	0	0	0	11.2	7.5	0	0
13	PV	1.071	0	0	0	0	0	24	-6
14	PQ	0	0	0	0	6.2	1.6	0	0
15	PQ	0	0	0	0	8.2	2.5	0	0
16	PQ	0	0	0	0	3.5	1.8	0	0
17	PQ	0	0	0	0	9	5.8	0	0
18	PQ	0	0	0	0	3.2	0.9	0	0
19	PQ	0	0	0	0	9.5	3.4	0	0
20	PQ	0	0	0	0	2.2	0.7	0	0
21	PQ	0	0	0	0	17.5	11.2	0	0
22	PQ	0	0	0	0	0	0	0	0
23	PQ	0	0	0	0	3.2	1.6	0	0
24	PQ	0	0	0	0	8.7	6.7	0	0
25	PQ	0	0	0	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

26	PQ	0	0	0	0	3.5	2.3	0	0
27	PQ	0	0	0	0	0	0	0	0
28	PQ	0	0	0	0	0	0	0	0
29	PQ	0	0	0	0	2.4	0.9	0	0
30	PQ	0	0	0	0	10.6	1.9	0	0

ตารางที่ 3.11 แสดงข้อมูลของสายส่ง สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบขนาด 30 บัส

Line No.	From Bus	To Bus	Impedance		Half line
			R (p.u.)	X (p.u.)	Charging
1	1	2	0.019	0.058	0.0264
2	1	3	0.045	0.185	0.0204
3	2	4	0.057	0.174	0.0184
4	2	5	0.047	0.198	0.0209
5	2	6	0.058	0.176	0.0187
6	3	4	0.013	0.038	0.0042
7	4	6	0.012	0.041	0.0045
8	5	7	0.046	0.116	0.0102
9	6	7	0.027	0.082	0.0085
10	6	8	0.012	0.042	0.0045
11	6	28	0.017	0.06	0.0065
12	8	28	0.064	0.2	0.0214
13	9	10	0	0.11	0
14	9	11	0	0.208	0
15	10	17	0.032	0.084	0
16	10	20	0.094	0.209	0
17	10	21	0.035	0.075	0

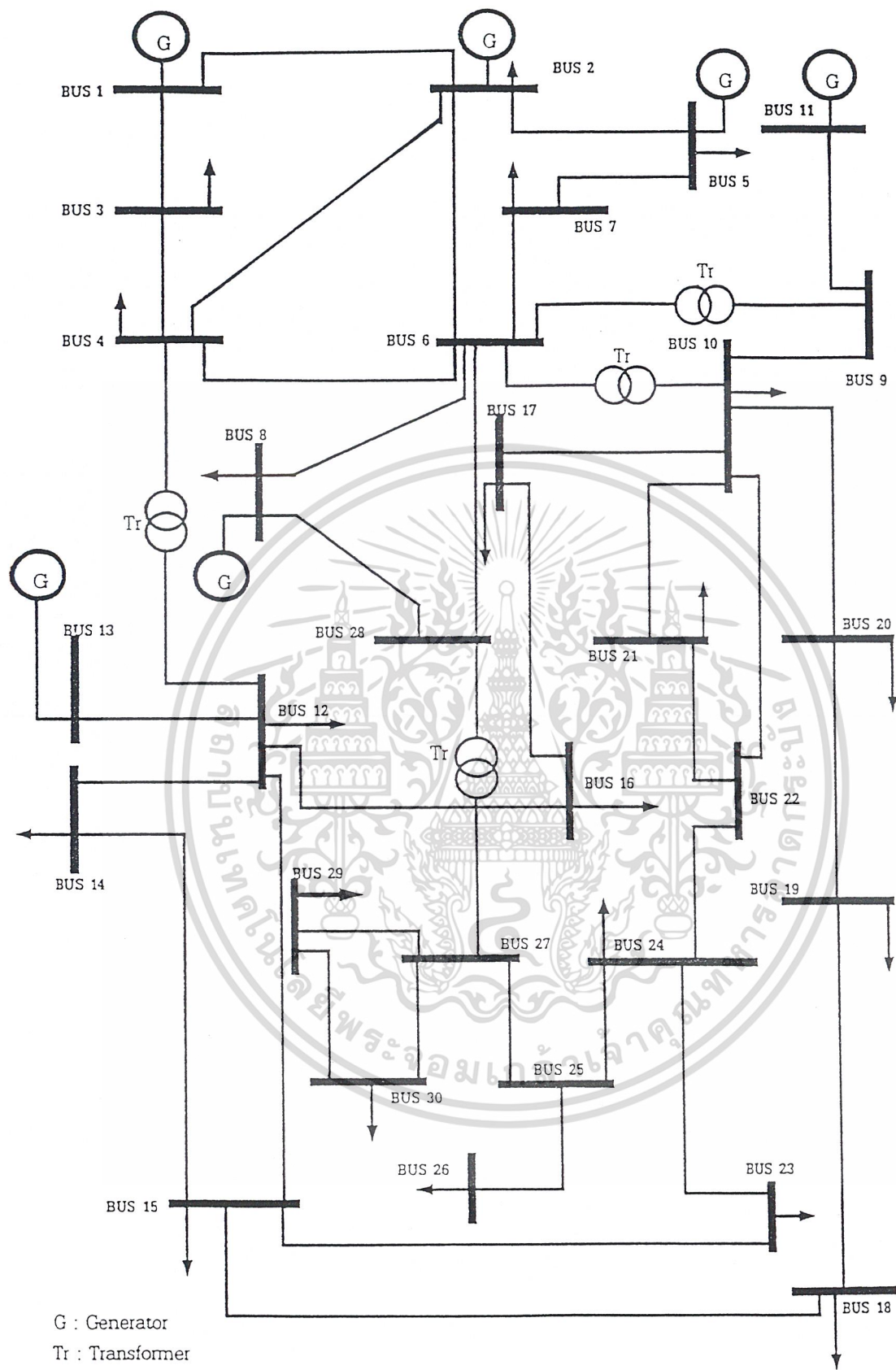
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18	10	22	0.073	0.15	0
19	12	13	0	0.14	0
20	12	14	0.123	0.256	0
21	12	15	0.066	0.13	0
22	12	16	0.094	0.199	0
23	14	15	0.221	0.2	0
24	15	18	0.107	0.219	0
25	15	23	0.1	0.202	0
26	16	27	0.082	0.193	0
27	18	19	0.064	0.129	0
28	19	20	0.034	0.068	0
29	21	22	0.012	0.024	0
30	22	24	0.115	0.179	0
31	23	24	0.132	0.27	0
32	24	25	0.189	0.329	0
33	25	26	0.254	0.38	0
34	25	27	0.109	0.209	0
35	27	29	0.22	0.415	0
36	27	30	0.32	0.603	0
37	29	30	0.24	0.453	0

ตารางที่ 3.12 แสดงข้อมูลของหม้อแปลง สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบขนาด 30 บัส

Transformer No.	From Bus	To Bus	Impedance		Tap Setting
			R (p.u.)	X (p.u.)	
1	4	12	0	0.256	1.013
2	6	9	0	0.208	1.015
3	6	10	0	0.556	0.963
4	28	27	0	0.396	0.958

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ระบบไฟฟ้ากำลัง 30 บัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการคำนวณการไหลของภาระไฟฟ้า

1. ผลการคำนวณการไหลของภาระไฟฟ้าของระบบไฟฟ้ากำลังทดสอบขนาด 6 บัส

1.1 การคำนวณโดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

ตารางที่ 3.13 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง

สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 6 บัส เมื่อคำนวณโดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

Bus No.	Type	Volt	Angle	Gen MW	Gen MVAR	Load MW	Load
1	Slack	1.05000	0.00000	95.21071	43.25780	0.00000	0.00000
2	PV	1.10000	-3.34835	50.00043	18.43860	0.00000	0.00000
3	PQ	1.00077	-12.78407	0.00000	0.00000	54.99860	12.99953
4	PQ	0.92975	-9.83593	0.00000	0.00000	0.00116	-0.00079
5	PQ	0.91978	-12.33410	0.00000	0.00000	29.99936	17.99977
6	PQ	0.91919	-12.23868	0.00000	0.00000	49.99939	4.99935
Total				145.21110	61.69640	134.99850	35.99786

ตารางที่ 3.14 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านในสายส่ง

สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 6 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

Line No.	From bus	To bus	Forward Flows		Reverse Flows	
			MW	MVAR	MW	MVAR
1	1	4	50.90947	25.34340	-48.49995	-17.14976
2	1	6	44.30123	17.91444	-41.65510	-10.86014
3	2	3	17.17811	-0.01436	-15.41490	2.57504
4	2	5	32.82231	18.45296	-29.51798	-10.95377
5	4	6	8.91510	-0.82664	-8.82567	-1.36212

ตารางที่ 3.15 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านในหม้อแปลงไฟฟ้า

สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 6 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

Tr. No.	From bus	To bus	Forward Flows		Reverse Flows	
			MW	MVAR	MW	MVAR
1	3	4	-39.58369	142.74590	39.58369	-118.66840
2	5	6	-0.48138	7.60088	0.48138	-7.40534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.16 แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 6 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันโดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.0001

Iteration Number	Maximum Real power Mismatches		Maximum Reactive Power Mismatches	
	Bus	Value (*1.0e-4)	Bus	Value (*1.0e-4)
1	6	-371.5116	4	-646.472
2	3	-21.68953	4	-27.1678
3	3	-0.14067	4	-0.07868

จำนวนรอบการคำนวณซ้ำที่ใช้ทั้งหมด 3 รอบ

เวลาที่ใช้ในการคำนวณ 0.02344 วินาที

1.2 การคำนวณโดยวิธีดีคัปเปิล

ตารางที่ 3.17 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 6 บัส เมื่อคำนวณโดยวิธีดีคัปเปิล

Bus No.	Type	Volt	Angle	Gen. MW	Gen. MVAR	Load MW	Load MVAR
1	Slack	1.05000	0.00000	95.21267	43.26223	0.00000	0.00000
2	PV	1.10000	-3.34908	49.99976	18.44076	0.00000	0.00000
3	PQ	1.00077	-12.78437	0.00000	0.00000	54.99958	13.00030
4	PQ	0.92974	-9.83610	0.00000	0.00000	-0.00004	0.00045
5	PQ	0.91978	-12.33464	0.00000	0.00000	30.00000	17.99936
6	PQ	0.91919	-12.23903	0.00000	0.00000	50.00002	5.00240
Total				145.21240	61.70299	134.99960	36.00251

ตารางที่ 3.18 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านในสายส่ง สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 6 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีดีคัปเปิล

Line No.	From bus	To bus	Forward Flows		Reverse Flows	
			MW	MVAR	MW	MVAR
1	1	4	50.91028	25.34471	-48.50065	-17.15054
2	1	6	44.30238	17.91552	-41.65609	-10.86051
3	2	3	17.17771	-0.01368	-15.41458	2.57424
4	2	5	32.82204	18.45372	-29.51768	-10.95447
5	4	6	8.91570	-0.82658	-8.82625	-1.36210

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.19 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านในหม้อแปลงไฟฟ้า
สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 6 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีคัลป์เปิด

Tr. No.	From bus	To bus	Forward Flows		Reverse Flows	
			MW	MVAR	MW	MVAR
1	3	4	-39.58498	142.74460	39.58498	-118.66710
2	5	6	-0.48232	7.60124	0.48232	-7.40568

ตารางที่ 3.20 แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ
สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 6 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีคัลป์เปิด โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.0001

Iteration Number	Maximum Real power Mismatches		Maximum Reactive Power Mismatches	
	Bus	Value (*1.0e-4)	Bus	Value (*1.0e-4)
	0	3	-5055.14	4.
1	3	1442.261	3	292.1164
2	2	93.38528	6	25.28857
3	4	-5.687475	6	1.742356
4	4	-1.181364	6	0.240318
5	3	-0.42319	-	-

จำนวนรอบการคำนวณซ้ำ P-angle ที่ใช้ทั้งหมด 5 รอบ

จำนวนรอบการคำนวณซ้ำ Q-V ที่ใช้ทั้งหมด 4 รอบ

เวลาที่ใช้ในการคำนวณ 0.01563 วินาที

2. ผลการคำนวณการไหลของภาระไฟฟ้าของระบบไฟฟ้ากำลังทดสอบขนาด 14 บัส

2.1 การคำนวณโดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

ตารางที่ 3.21 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง
สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 14 บัส เมื่อคำนวณโดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

Bus No.	Type	Volt (p.u.)	Volt angle	Gen. MW	Gen. MVAR	Load MW	Load MVAR
1	Slack	1.06000	0.00000	232.51590	-7.45130	0.00000	0.00000
2	PV	1.04315	-4.94863	40.00012	50.00016	21.70000	12.70000
3	PV	1.01000	-12.79904	0.00016	33.70065	94.20000	19.00000
4	PQ	1.00640	-10.16821	0.00000	0.00000	47.80023	3.89987

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5	PQ	1.01485	-8.70757	0.00000	0.00000	7.60069	1.59979
6	PV	0.95467	-14.65938	0.00012	24.00109	11.20000	7.50000
7	PQ	0.97771	-13.60751	0.00000	0.00000	0.00036	-0.00019
8	PV	1.01915	-13.60751	0.00000	23.99998	0.00000	0.00000
9	PQ	0.94973	-15.56802	0.00000	0.00000	29.49981	16.59973
10	PQ	0.94235	-15.76738	0.00000	0.00000	8.99986	5.79994
11	PQ	0.94460	-15.38527	0.00000	0.00000	3.49989	1.80006
12	PQ	0.93876	-15.72756	0.00000	0.00000	6.09982	1.60011
13	PQ	0.93418	-15.83947	0.00000	0.00000	13.49964	5.80013
14	PQ	0.92274	-16.94079	0.00000	0.00000	14.89966	5.00011
Total				272.51630	124.25060	259.00000	81.29955

ตารางที่ 3.22 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านในสายส่ง
สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 14 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

Line No.	From bus	To bus	Forward Flows		Reverse Flows	
			MW	MVAR	MW	MVAR
1	1	2	157.3496	-14.88983	-153.1325	25.06554
2	1	5	75.16628	7.43859	-72.41351	1.28045
3	2	3	73.84737	3.72884	-71.48144	3.92971
4	2	4	56.15791	4.72811	-54.45935	-1.53828
5	2	5	41.42727	3.77787	-40.51669	-2.79856
6	3	4	-22.7184	10.77103	23.14658	-11.43669
7	4	5	-62.06113	-0.56533	62.5555	1.50882
8	6	11	6.56697	1.73023	-6.51889	-1.62953
9	6	12	7.64172	2.32171	-7.55564	-2.14254
10	6	13	17.36552	6.37576	-17.1177	-5.88763
11	7	8	0.00000	-23.024	0.00000	24.00002
12	7	9	28.87854	25.3631	-28.87854	-23.66317
13	9	10	6.0151	6.05814	-5.98924	-5.99026
14	9	14	10.05855	4.85293	-9.88294	-4.47957
15	10	11	-3.01061	0.19022	3.01901	-0.17054
16	12	13	1.45582	0.54242	-1.44977	-0.53694
17	13	14	5.06782	0.62448	-5.01673	-0.52051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.23 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านในหม้อแปลงไฟฟ้า
สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 14 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

Tr. No.	From bus	To bus	Forward Flows		Reverse Flows	
			MW	MVAR	MW	MVAR
1	4	7	28.87889	26.14234	-28.87889	-23.14742
2	4	9	16.69489	17.38841	-16.69489	-14.3933
3	5	6	42.77411	60.22344	-42.77411	-48.62651

ตารางที่ 3.24 แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ
สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 14 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.0001

Iteration Number	Maximum Real power Mismatches		Maximum Reactive Power Mismatches	
	Bus	Value (*1.0e-4)	Bus	Value (*1.0e-4)
	0	3	-9219.432	6
1	2	-702.2615	5	-1327.688
2	5	197.3011	6	-49.18069
3	5	0.06862	8	-0.1093745

จำนวนรอบการคำนวณซ้ำที่ใช้ทั้งหมด 3 รอบ
เวลาที่ใช้ในการคำนวณ 0.28125 วินาที

2.2 การคำนวณโดยวิธีดีคัปเปิล

ตารางที่ 3.25 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง
สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 14 บัส เมื่อคำนวณโดยวิธีดีคัปเปิล

Bus No.	Type	Volts	Angle	Gen. MW	Gen. MVAR	Load MW	Load MVAR
1	Slack	1.06000	0.00000	232.51650	-7.44958	0.00000	0.00000
2	PV	1.04315	-4.94864	40.00009	49.99973	21.70000	12.70000
3	PV	1.01000	-12.79909	-0.00008	33.70203	94.20000	19.00000
4	PQ	1.00640	-10.16823	0.00000	0.00000	47.79958	3.90078
5	PQ	1.01485	-8.70758	0.00000	0.00000	7.60040	1.59955
6	PV	0.95466	-14.65953	-0.00002	24.00028	11.20000	7.50000
7	PQ	0.97770	-13.60756	0.00000	0.00000	0.00000	0.00010
8	PV	1.01915	-13.60756	0.00000	23.99993	0.00000	0.00000

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่มีการตีพิมพ์ใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นทำมีเพื่อเผยแพร่เนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารที่ตีพิมพ์ที่มีการนำไปใช้

9	PQ	0.94972	-15.56812	0.00000	0.00000	29.50013	16.59954
10	PQ	0.94234	-15.76750	0.00000	0.00000	9.00002	5.80008
11	PQ	0.94460	-15.38542	0.00000	0.00000	3.49996	1.80006
12	PQ	0.93875	-15.72811	0.00000	0.00000	6.10538	1.59174
13	PQ	0.93417	-15.83950	0.00000	0.00000	13.49454	5.80840
14	PQ	0.92274	-16.94091	0.00000	0.00000	14.90009	4.99992
Total				272.51640	124.25240	259.00010	81.30018

ตารางที่ 3.26 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านในสายส่ง
สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 14 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีตีคัปเปิล

Line No.	From bus	To bus	Forward Flows		Reverse Flows	
			MW	MVAR	MW	MVAR
1	1	2	157.35010	-14.88890	-153.13290	25.06467
2	1	5	75.16645	7.43924	-72.41367	1.27988
3	2	3	73.84763	3.72851	-71.48168	3.93012
4	2	4	56.15801	4.72849	-54.45943	-1.53863
5	2	5	41.42742	3.77831	-40.51683	-2.79898
6	3	4	-22.71841	10.77182	23.14660	-11.43745
7	4	5	-62.06092	-0.56508	62.55528	1.50857
8	6	11	6.56681	1.73011	-6.51874	-1.62942
9	6	12	7.64423	2.32200	-7.55809	-2.14271
10	6	13	17.36381	6.37536	-17.11604	-5.88732
11	7	8	0.00000	-23.02398	0.00000	24.00000
12	7	9	28.87911	25.36344	-28.87911	-23.66343
13	9	10	6.01550	6.05823	-5.98964	-5.99035
14	9	14	10.05861	4.85288	-9.88299	-4.47952
15	10	11	-3.01037	0.19030	3.01877	-0.17062
16	12	13	1.45272	0.54322	-1.44669	-0.53776
17	13	14	5.06819	0.62448	-5.01709	-0.52050

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.27 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านในหม้อแปลงไฟฟ้า
สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 14 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีคิป์เปิล

Tr. No.	From bus	To bus	Forward Flows		Reverse Flows	
			MW	MVAR	MW	MVAR
1	4	7	28.87911	26.14281	-28.87911	-23.14781
2	4	9	16.69509	17.38867	-16.69509	-14.39347
3	5	6	42.77487	60.22439	-42.77487	-48.62704

ตารางที่ 3.28 แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ
สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 14 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีคิป์เปิล โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.0001

Iteration Number	Maximum Real power Mismatches		Maximum Reactive Power Mismatches	
	Bus	Value (*1.0e-4)	Bus	Value (*1.0e-4)
	0	3	-9219.432	6
1	6	3262.234	6	2819.495
2	6	-696.1657	6	-142.3642
3	12	-47.68502	12	-26.40216
4	12	16.53064	12	10.72796
5	13	7.010549	13	4.59522
6	13	-3.000051	13	-1.966059
7	13	1.286119	13	0.8401275
8	13	-0.546127	-	-

จำนวนรอบการคำนวณซ้ำ P-angle ที่ใช้ทั้งหมด 8 รอบ

จำนวนรอบการคำนวณซ้ำ Q-V ที่ใช้ทั้งหมด 7 รอบ

เวลาที่ใช้ในการคำนวณ 0.14063 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลการคำนวณการไหลของภาระไฟฟ้าของระบบไฟฟ้ากำลังทดสอบขนาด 30 บัส

3.1 การคำนวณโดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

ตารางที่ 3.29 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง

สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 30 บัส เมื่อคำนวณโดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

Bus No.	Type	Volt	Angle	Gen. MW	Gen. MVAR	Load MW	Load MVAR
1	Slack	1.05000	0.00000	262.02020	7.35769	0.00000	0.00000
2	PV	1.02486	-5.56810	39.99996	49.99997	21.70000	12.70000
3	PQ	0.99923	-8.10300	0.00000	0.00000	2.40002	1.20010
4	PQ	0.98867	-9.80714	0.00000	0.00000	7.59991	1.59960
5	PV	0.98789	-14.81581	0.00005	40.00010	94.20000	19.00000
6	PQ	0.98342	-11.57796	0.00000	0.00000	-0.00005	-0.00019
7	PQ	0.97669	-13.45215	0.00000	0.00000	22.79997	10.89993
8	PV	0.98396	-12.37962	-0.00003	40.00013	30.00000	30.00000
9	PQ	0.98277	-15.16627	0.00000	0.00000	0.00001	-0.00010
10	PQ	0.95080	-17.09913	0.00000	0.00000	5.79994	1.99966
11	PV	1.03118	-15.16627	0.00000	24.00002	0.00000	0.00000
12	PQ	0.97899	-16.41454	0.00000	0.00000	11.20000	7.49993
13	PV	1.01218	-16.41454	0.00000	23.99998	0.00000	0.00000
14	PQ	0.96071	-17.43721	0.00000	0.00000	6.20000	1.60005
15	PQ	0.95377	-17.47142	0.00000	0.00000	8.19998	2.50001
16	PQ	0.95626	-16.57878	0.00000	0.00000	3.50000	1.79999
17	PQ	0.94256	-17.46380	0.00000	0.00000	8.99997	5.79996
18	PQ	0.93974	-18.18572	0.00000	0.00000	3.20001	0.90008
19	PQ	0.93383	-18.34412	0.00000	0.00000	9.49993	3.39985
20	PQ	0.93720	-18.09995	0.00000	0.00000	2.20003	0.70009
21	PQ	0.93708	-17.58703	0.00000	0.00000	17.50002	11.19995
22	PQ	0.93769	-17.55382	0.00000	0.00000	0.00002	0.00010
23	PQ	0.93761	-17.78454	0.00000	0.00000	3.20001	1.60003
24	PQ	0.92522	-17.79037	0.00000	0.00000	8.70003	6.70004
25	PQ	0.92941	-17.16314	0.00000	0.00000	-0.00002	-0.00002
26	PQ	0.91000	-17.66839	0.00000	0.00000	3.50000	2.30000
27	PQ	0.94138	-16.45746	0.00000	0.00000	0.00010	0.00001
28	PQ	0.98158	-12.25770	0.00000	0.00000	-0.00005	0.00000
29	PQ	0.91959	-17.91577	0.00000	0.00000	2.39999	0.89998
30	PQ	0.90701	-18.96950	0.00000	0.00000	10.59998	1.90003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Total			302.02020	185.35790	283.39970	126.19910
-------	--	--	-----------	-----------	-----------	-----------

ตารางที่ 3.30 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านในสายส่ง
สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 30 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

Line No.	From bus	To bus	Forward Flows		Reverse Flows	
			MW	MVAR	MW	MVAR
1	1	2	178.62920	-5.70998	-173.12710	19.66401
2	1	3	83.39106	13.06760	-80.47045	-3.20364
3	2	4	45.65058	6.98945	-44.48530	-5.29786
4	2	5	83.58439	4.84558	-80.44238	6.27351
5	2	6	62.19208	5.80111	-60.03084	-1.12920
6	3	4	78.07038	2.00354	-77.27618	-0.09697
7	4	6	71.21553	-7.27598	-70.58679	8.98663
8	5	7	-13.75758	14.72656	13.95604	-15.21032
9	6	7	37.14470	-3.94642	-36.75601	4.31041
10	6	8	29.52810	-9.69021	-29.40878	9.67238
11	6	28	18.49131	-2.41422	-18.43044	2.00164
12	8	28	-0.59124	0.32772	0.59270	-2.39005
13	9	10	28.65129	29.04165	-28.65129	-27.14614
14	9	11	0.00000	-22.87330	0.00000	24.00003
15	10	17	9.04127	5.90840	-8.99998	-5.80001
16	10	20	8.53296	2.41437	-8.45119	-2.23256
17	10	21	14.98774	10.43916	-14.85858	-10.16239
18	10	22	7.09154	4.87969	-7.03170	-4.75674
19	12	13	0.00000	-23.21288	0.00000	23.99999
20	12	14	8.07837	3.16599	-7.98175	-2.96490
21	12	15	18.24747	9.84699	-17.95140	-9.26382
22	12	16	5.42020	8.61982	-5.31851	-8.40454
23	14	15	1.78176	1.36485	-1.76970	-1.35394
24	15	18	6.54075	2.94444	-6.48024	-2.82058
25	15	23	4.98037	5.17331	-4.92368	-5.05880
26	16	27	1.81852	6.60454	-1.77644	-6.50550
27	18	19	3.28022	1.92055	-3.26484	-1.89945
28	19	20	-6.23513	-1.50040	6.25117	1.53247
29	21	22	-2.64148	-1.03781	2.64258	1.04001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

30	22	24	4.38883	3.71663	-4.34557	-3.64930
31	23	24	1.72368	3.45877	-1.70125	-3.41291
32	24	25	-2.65315	0.36219	2.66898	-0.33463
33	25	26	3.55380	2.38049	-3.50000	-2.30000
34	25	27	-6.22276	-2.04585	6.27690	2.14966
35	27	29	6.21686	1.71308	-6.11363	-1.51835
36	27	30	7.12037	1.72276	-6.92658	-1.35759
37	29	30	3.71363	0.61835	-3.67341	-0.54243

ตารางที่ 3.31 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านในหม้อแปลงไฟฟ้า
สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 30 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

Tr. No.	From bus	To bus	Forward Flows		Reverse Flows	
			MW	MVAR	MW	MVAR
1	4	12	42.94602	1.3341	-42.94602	3.62749
2	6	9	28.65131	-5.5671	-28.65131	7.45466
3	6	10	16.80217	13.74147	-16.80217	-11.2296
4	28	27	17.83776	22.18975	-17.83776	-19.13224

ตารางที่ 3.32 แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ
สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 30 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันโดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.0001

Iteration Number	Maximum Real power Mismatches		Maximum Reactive Power Mismatches	
	Bus	Value (*1.0e-5)	Bus	Value (*1.0e-5)
	0	5	-9317.165	12
1	2	-705.523	2	-1738.955
2	5	-13.43548	5	-1335.726
3	5	-3.519654	5	-275.0427
4	27	0.009536	4	-0.040214

จำนวนรอบการคำนวณซ้ำที่ใช้ทั้งหมด 4 รอบ

เวลาที่ใช้ในการคำนวณ 4.03125 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การคำนวณโดยวิธีดีคัปเปิล

ตารางที่ 3.33 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง
สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 30 บัส เมื่อคำนวณโดยวิธีดีคัปเปิล

Bus No.	Type	Volt	Angle	Gen. MW	Gen. MVAR	Load MW	Load MVAR
1	Slack	1.05000	0.00000	262.01980	7.35836	0.00000	0.00000
2	PV	1.02486	-5.56809	39.99986	49.99968	21.70000	12.70000
3	PQ	0.99923	-8.10298	0.00000	0.00000	2.40002	1.20010
4	PQ	0.98867	-9.80712	0.00000	0.00000	7.59961	1.59988
5	PV	0.98789	-14.81580	0.00008	40.00010	94.20000	19.00000
6	PQ	0.98342	-11.57793	0.00000	0.00000	0.00043	0.00029
7	PQ	0.97669	-13.45213	0.00000	0.00000	22.80006	10.90031
8	PV	0.98396	-12.37959	0.00003	40.00009	30.00000	30.00000
9	PQ	0.98277	-15.16622	0.00000	0.00000	0.00002	0.00019
10	PQ	0.95080	-17.09908	0.00000	0.00000	5.80003	2.00014
11	PV	1.03118	-15.16622	0.00000	23.99998	0.00000	0.00000
12	PQ	0.97899	-16.41453	0.00000	0.00000	11.20038	7.50039
13	PV	1.01218	-16.41453	0.00000	24.00002	0.00000	0.00000
14	PQ	0.96072	-17.43747	0.00000	0.00000	6.19133	1.59383
15	PQ	0.95377	-17.47130	0.00000	0.00000	8.20875	2.50611
16	PQ	0.95626	-16.57876	0.00000	0.00000	3.49999	1.79992
17	PQ	0.94256	-17.46376	0.00000	0.00000	8.99987	5.79987
18	PQ	0.93974	-18.18562	0.00000	0.00000	3.20058	0.90041
19	PQ	0.93383	-18.34406	0.00000	0.00000	9.49922	3.39947
20	PQ	0.93720	-18.09988	0.00000	0.00000	2.19998	0.70009
21	PQ	0.93708	-17.58698	0.00000	0.00000	17.49973	11.19995
22	PQ	0.93769	-17.55376	0.00000	0.00000	-0.00005	-0.00012
23	PQ	0.93760	-17.78445	0.00000	0.00000	3.19989	1.59988
24	PQ	0.92522	-17.79031	0.00000	0.00000	8.70010	6.70012
25	PQ	0.92941	-17.16311	0.00000	0.00000	-0.00006	-0.00007
26	PQ	0.91000	-17.66836	0.00000	0.00000	3.49999	2.29999
27	PQ	0.94138	-16.45744	0.00000	0.00000	0.00002	0.00004
28	PQ	0.98158	-12.25767	0.00000	0.00000	0.00010	0.00000
29	PQ	0.91959	-17.91574	0.00000	0.00000	2.40002	0.90002
30	PQ	0.90701	-18.96948	0.00000	0.00000	10.59999	1.89998
Total				302.01980	185.35820	283.40000	126.20080

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.34 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านในสายส่ง
สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 30 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีคัปเปิล

Line No.	From bus	To bus	Forward Flows		Reverse Flows	
			MW	MVAR	MW	MVAR
1	1	2	178.62880	-5.70949	-173.12680	19.66347
2	1	3	83.39092	13.06771	-80.47032	-3.20379
3	2	4	45.65051	6.98950	-44.48523	-5.29792
4	2	5	83.58437	4.84570	-80.44236	6.27340
5	2	6	62.19194	5.80120	-60.03071	-1.12931
6	3	4	78.07030	2.00387	-77.27610	-0.09730
7	4	6	71.21526	-7.27577	-70.58652	8.98641
8	5	7	-13.75769	14.72665	13.95615	-15.21041
9	6	7	37.14479	-3.94624	-36.75611	4.31024
10	6	8	29.52812	-9.69021	-29.40880	9.67239
11	6	28	18.49133	-2.41423	-18.43044	2.00165
12	8	28	-0.59124	0.32772	0.59270	-2.39004
13	9	10	28.65112	29.04163	-28.65112	-27.14613
14	9	11	0.00000	-22.87325	0.00000	23.99998
15	10	17	9.04132	5.90831	-9.00002	-5.79991
16	10	20	8.53298	2.41459	-8.45121	-2.23278
17	10	21	14.98757	10.43892	-14.85842	-10.16215
18	10	22	7.09143	4.87959	-7.03159	-4.75664
19	12	13	0.00000	-23.21293	0.00000	24.00003
20	12	14	8.07884	3.16326	-7.98224	-2.96220
21	12	15	18.24711	9.84908	-17.95102	-9.26588
22	12	16	5.42016	8.61990	-5.31847	-8.40462
23	14	15	1.78259	1.36837	-1.77049	-1.35742
24	15	18	6.54080	2.94428	-6.48028	-2.82041
25	15	23	4.98036	5.17292	-4.92368	-5.05842
26	16	27	1.81849	6.60467	-1.77641	-6.50562
27	18	19	3.28022	1.92003	-3.26484	-1.89892
28	19	20	-6.23515	-1.50063	6.25119	1.53270
29	21	22	-2.64165	-1.03772	2.64275	1.03992
30	22	24	4.38891	3.71683	-4.34565	-3.64949
31	23	24	1.72371	3.45850	-1.70128	-3.41264

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

32	24	25	-2.65312	0.36202	2.66895	-0.33446
33	25	26	3.55380	2.38047	-3.50000	-2.29999
34	25	27	-6.22274	-2.04593	6.27688	2.14975
35	27	29	6.21687	1.71309	-6.11363	-1.51836
36	27	30	7.12038	1.72275	-6.92659	-1.35758
37	29	30	3.71365	0.61833	-3.67342	-0.54241

ตารางที่ 3.35 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านในหม้อแปลงไฟฟ้า
สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 30 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีคัตเปิด

Tr. No.	From bus	To bus	Forward Flows		Reverse Flows	
			MW	MVAR	MW	MVAR
1	4	12	42.94609	1.33397	-42.94609	3.62764
2	6	9	28.65113	-5.56691	-28.65113	7.45444
3	6	10	16.80207	13.74153	-16.80207	-11.22966
4	28	27	17.83775	22.18973	-17.83775	-19.13221

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.36 แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ สำหรับระบบไฟฟ้าขนาด 30 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธีคัลป์เปิด โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.0001

Iteration Number	Maximum Real power Mismatches		Maximum Reactive Power Mismatches	
	Bus	Value (*1.0e-4)	Bus	Value (*1.0e-4)
0	5	-9317.165	12	5935.972
1	2	2212.555	2	997.1032
2	2	-474.189	2	-163.9906
3	15	67.02557	15	44.26097
4	15	-30.13954	15	-20.80584
5	15	14.65335	15	10.26964
6	15	-7.270426	15	-5.110744
7	15	3.621727	15	2.537724
8	15	-1.790375	15	-1.253132
9	15	0.875145	14	-0.617187

จำนวนรอบการคำนวณซ้ำ P-angle ที่ใช้ทั้งหมด 9 รอบ

จำนวนรอบการคำนวณซ้ำ Q-V ที่ใช้ทั้งหมด 9 รอบ

เวลาที่ใช้ในการคำนวณ 1.61719 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์คอนทินเจนซี

ในส่วนนี้จะทำการวิเคราะห์คอนทินเจนซีของระบบไฟฟ้ากำลังทดสอบขนาด 6 บัส และ 14 บัส ซึ่งเป็นระบบที่มีข้อมูลดังแสดงไว้เบื้องต้น แต่ว่าจำนวนรอบการคำนวณสูงสุดจะเป็น 100 รอบแทน และจะมีข้อมูลเพิ่มเติมในการวิเคราะห์คอนทินเจนซีดังต่อไปนี้

ระบบไฟฟ้าทดสอบขนาด 6 บัส

ตารางที่ 3.37 แสดงข้อมูลของบัสต่าง ๆ เพิ่มเติม

ในการวิเคราะห์คอนทินเจนซีของระบบไฟฟ้าทดสอบขนาด 6 บัส

Bus No.	Rated Volt (p.u.)	Max dV (p.u.)
1	1.05	0.1
2	1.1	0.1
3	1	0.1
4	1	0.1
5	1	0.1
6	1	0.1

ตารางที่ 3.38 แสดงข้อมูลของสายส่งต่าง ๆ เพิ่มเติม

ในการวิเคราะห์คอนทินเจนซีของระบบไฟฟ้าทดสอบขนาด 6 บัส

Line No.	From Bus	To Bus	Max MW Flow	Max MVAR Flow
1	1	4	0.8	0.5
2	1	6	0.7	0.5
3	2	3	0.5	0.12
4	2	5	0.6	0.2
5	4	6	0.2	0.4

ตารางที่ 3.39 แสดงข้อมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าต่าง ๆ เพิ่มเติม

ในการวิเคราะห์คอนทินเจนซีของระบบไฟฟ้าทดสอบขนาด 6 บัส

Tr No.	From Bus	To Bus	Max MW Flow	Max MVAR Flow
1	3	4	0.5	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.40 แสดงผลการเรียงลำดับเอาต์เตจตามค่า PI_V และ PI_{MW}

ของระบบไฟฟ้ากำลังทดสอบขนาด 6 บัส

Outage No.	Outage Order	PI_V	Outage Order	PI_{MW}
1	L 1	45.20018	L 2	20.35694
2	G 1	39.58808	L 1	18.49107
3	L 4	30.53485	G1	18.15612
4	L 2	28.65364	L 4	18.01524
5	L 3	14.60041	L 3	16.49846
6	L 5	11.28905	L 5	13.7511

ตารางที่ 3.41 แสดงผลของการเกิดเกินพิกัดที่บัส สายส่งและหม้อแปลงไฟฟ้าต่าง ๆ หลังจากเกิดเอาต์เตจต่าง ๆ เรียงตามลำดับตามค่า PI_V ของระบบไฟฟ้าขนาด 6 บัส

Outage No.	Outage Type	Overload	Percent
1	L 1	คำนวณไม่ได้	0.00000
2	G 1	คำนวณไม่ได้	0.00000
3	L 4	คำนวณไม่ได้	0.00000
4	L 2	คำนวณไม่ได้	0.00000
5- 1	L 3	Bus 5	18.18528
5- 2		L 4Q	5.22089
5- 3		T 1P	10.01326
5- 4		T 1Q	39.78860
6- 1	L 5	Bus 5	2.48667
6- 2		Bus 6	5.00479
6- 3		L 4Q	6.03233
6- 4		T 1Q	48.52230

ตารางที่ 3.42 แสดงผลของการเกิดเกินพิกัดที่บัส สายส่งและหม้อแปลงไฟฟ้าต่าง ๆ หลังจากเกิดเอาต์เตจต่าง ๆ เรียงตามลำดับตามค่า PI_{MW} ของระบบไฟฟ้าขนาด 6 บัส

Outage No.	Outage Type	Overload	Percent
1	L 2	คำนวณไม่ได้	0.00000
2	L 1	คำนวณไม่ได้	0.00000
3	G1	คำนวณไม่ได้	0.00000
4	L 4	คำนวณไม่ได้	0.00000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5-1	L 3	Bus 5	18.18528
5-2		L 4Q	5.22089
5-3		T 1P	10.01326
5-4		T 1Q	39.78860
6-1	L 5	Bus 5	2.48667
6-2		Bus 6	5.00479
6-3		L 4Q	6.03233
6-4		T 1Q	48.52230

ระบบไฟฟ้าทดสอบขนาด 14 บัส

ตารางที่ 3.43 แสดงข้อมูลของบัสต่าง ๆ เพิ่มเติมในการวิเคราะห์คอนทินเจนซีของระบบไฟฟ้าทดสอบขนาด 14 บัส

Bus No. (p.u.)	Rated Volt (p.u.)	Max dV
1	1.06	0.1
2	1.045	0.1
3	1.01	0.1
4	1	0.1
5	1	0.1
6	1.07	0.1
7	1	0.1
8	1.09	0.1
9	1	0.1
10	1	0.1
11	1	0.1
12	1	0.1
13	1	0.1
14	1	0.1

ตารางที่ 3.44 แสดงข้อมูลของสายส่งต่าง ๆ เพิ่มเติมในการวิเคราะห์คอนทินเจนซีของระบบไฟฟ้าทดสอบขนาด 14 บัส

Line No.	From Bus	To Bus	Max MW Flow	Max MVAR Flow
1	1	2	1.8	0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ โดยสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2	1	5	0.8	0.5
3	2	3	0.8	0.5
4	2	4	0.8	0.2
5	2	5	0.6	0.1
6	3	4	0.8	0.5
7	4	5	1	1
8	6	11	0.15	0.1
9	6	12	0.1	0.15
10	6	13	0.2	0.1
11	7	8	0.2	0.3
12	7	9	0.4	0.3
13	9	10	0.25	0.1
14	9	14	0.2	0.1
15	10	11	0.15	0.1
16	12	13	0.1	0.1
17	13	14	0.1	0.15

ตารางที่ 3.45 แสดงข้อมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าต่าง ๆ เพิ่มเติมในการวิเคราะห์คอนทินเจนซีของระบบไฟฟ้าทดสอบขนาด 14 บัส

Tr No.	From Bus	To Bus	Max MW Flow	Max MVAR Flow
1	4	7	0.4	0.4
2	4	9	0.25	0.2
3	5	6	0.5	0.65

ตารางที่ 3.46 แสดงผลการเรียงลำดับเอาต์ที่ติดตามค่า PI_V และ PI_{MW} ของระบบไฟฟ้ากำลังทดสอบขนาด 14 บัส

Outage No.	Outage Order	PI_V	Outage Order	PI_{MW}
1	L 11	406.3515	L 11	57.7593
2	L 1	105.8404	L 10	53.34815
3	L 3	42.85867	G 3	46.20123
4	G 2	42.34301	L 9	45.08018
5	L 2	41.42421	L 3	44.97846
6	G 1	40.57864	L 14	44.69814

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในเชิงวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงเป็นเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7	L 12	40.30693	L 8	43.13668
8	G 4	39.31854	L 15	42.97292
9	G 3	37.7653	L 12	42.71535
10	L 4	34.7825	G 1	40.64085
11	L 10	33.12315	L 4	40.48417
12	L 5	32.74053	L 7	40.36848
13	L 14	32.06263	L 16	40.2297
14	L 7	31.93273	L 13	40.02137
15	L 13	31.78701	L 17	39.88185
16	L 6	30.55213	G 4	39.86608
17	L 9	30.05027	G 2	39.82257
18	L 17	28.75321	L 2	38.79394
19	L 8	28.49614	L 6	38.69324
20	L 15	28.25233	L 5	37.68731
21	L 16	28.17286	L 1	34.39344

ตารางที่ 3.47 แสดงผลของการเกิดเกินพิกัดที่บัส สายส่งและหม้อแปลงไฟฟ้าต่าง ๆ หลังจากเกิดเอาต์เตจต่าง ๆ เรียงตามลำดับตามค่า PI_V ของระบบไฟฟ้าขนาด 14 บัส

Outage No.	Outage Type	Overload	Percent
1	L 11	Can't	None
2	L 1	Can't	None
3- 1	L 3	Bus 6	50.86150
3- 2		Bus 8	10.61078
3- 3		Bus 13	3.23107
3- 4		Bus 14	18.20745
3- 5		L 2P	18.59816
3- 6		L 4P	18.40651
3- 7		L 5P	16.21224
3- 8		L 6P	27.08914
3- 9		L 7P	4.43399
3-10		L 5Q	24.70623
4- 1	G 2	Bus 6	37.22425
4- 2		Bus 14	1.69130
5- 1	L 2	Bus 6	63.31315
5- 2		Bus 8	14.57979

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5-3		Bus 10	4.97612
5-4		Bus 11	3.16211
5-5		Bus 12	10.06939
5-6		Bus 13	14.67027
5-7		Bus 14	26.05584
5-8		L 1P	33.74933
5-9		L 3P	9.79906
5-10		L 4P	4.32245
5-11		L 5P	29.84384
6-1	G 1	Bus 6	37.20262
6-2		Bus 14	0.90673
6-3		L 1P	7.17714
6-4		L 2P	3.29526
6-5		L 1Q	0.99344
7-1	L 12	Bus 6	58.87606
7-2		Bus 9	52.62526
7-3		Bus 10	51.20774
7-4		Bus 11	25.52017
7-5		Bus 12	9.79664
7-6		Bus 13	19.85439
7-7		Bus 14	60.89028
7-8		L 8P	9.35232
7-9		L 10P	13.38214
7-10		L 17P	15.84626
7-11		L 10Q	4.43729
7-12		T 2P	19.62587
7-13		T 3P	18.89479
7-14		T 2Q	88.69282
7-15		T 3Q	17.36190
8-1	G 4	Bus 6	41.44551
8-2		Bus 8	62.46962
8-3		Bus 14	14.19523
8-4		T 1Q	1.31995
8-5		T 2Q	5.62339
9-1	G 3	Bus 6	74.61228

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั่นเอง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9-2		Bus 11	4.94369
9-3		Bus 12	19.79109
9-4		Bus 13	22.91777
9-5		Bus 14	23.05844
9-6		L 5Q	4.93944
9-7		L 12Q	0.81339
9-8		L 13Q	3.70324
9-9		T 2Q	0.94680
9-10		T 3Q	16.22389
10-1	L 4	Bus 6	32.15089
10-2		L 2P	14.08682
10-3		L 3P	14.16039
10-4		L 5P	11.64763
11-1	L 10	Bus 6	12.64026
11-2		Bus 13	20.91207
11-3		Bus 14	7.45132
11-4		L 9P	93.91751
11-5		L 16P	27.31254
11-6		L 9Q	23.40142
12-1	L 5	Bus 6	26.26767
12-2		L 2P	13.12407
12-3		L 3P	4.15796
13-1	L 14	Bus 6	29.44150
13-2		Bus 14	45.03514
13-3		L 9P	0.27571
13-4		L 10P	29.25161
13-5		L 17P	54.77814
13-6		L 10Q	17.94263
13-7		L 17Q	23.51776
13-8		T 3Q	1.15486
14-1	L 7	Bus 6	14.57407
14-2		L 3P	13.76425
14-3		L 4P	12.72883
14-4		L 8P	5.01232
14-5		L 10P	10.73536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14- 6		L 17P	8.98657
14- 7		T 3P	15.94610
14- 8		T 3Q	2.77385
15- 1	L 13	Bus 6	28.80307
15- 2		Bus 10	10.30334
15- 3		T 3Q	1.03060
16- 1	L 6	Bus 6	18.14075
16- 2		L 3P	23.00521
17- 1	L 9	Bus 6	15.53281
17- 2		L 10P	20.90473
18- 1	L 17	Bus 6	12.89936
19- 1	L 8	Bus 6	10.81970
20- 1	L 15	Bus 6	14.48717
21- 1	L 16	Bus 6	15.18776

ตารางที่ 3.48 แสดงผลของการเกิดเกินพิกัดที่บัส สายส่งและหม้อแปลงไฟฟ้าต่าง ๆ หลังจากเกิดเอาต์เตจต่าง ๆ เรียงตามลำดับตามค่า PI_{MW} ของระบบไฟฟ้าขนาด 14 บัส

Outage No.	Outage Type	Overload	Percent
1	L 11	คำนวณไม่ได้	0.00000
2- 1	L 10	Bus 6	12.64026
2- 2		Bus 13	20.91207
2- 3		Bus 14	7.45132
2- 4		L 9P	93.91751
2- 5		L 16P	27.31254
2- 6		L 9Q	23.40142
3- 1	G 3	Bus 6	74.61228
3- 2		Bus 11	4.94369
3- 3		Bus 12	19.79109
3- 4		Bus 13	22.91777
3- 5		Bus 14	23.05844
3- 6		L 5Q	4.93944
3- 7		L 12Q	0.81339
3- 8		L 13Q	3.70324
3- 9		T 2Q	0.94680
3- 10		T 3Q	16.22389

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

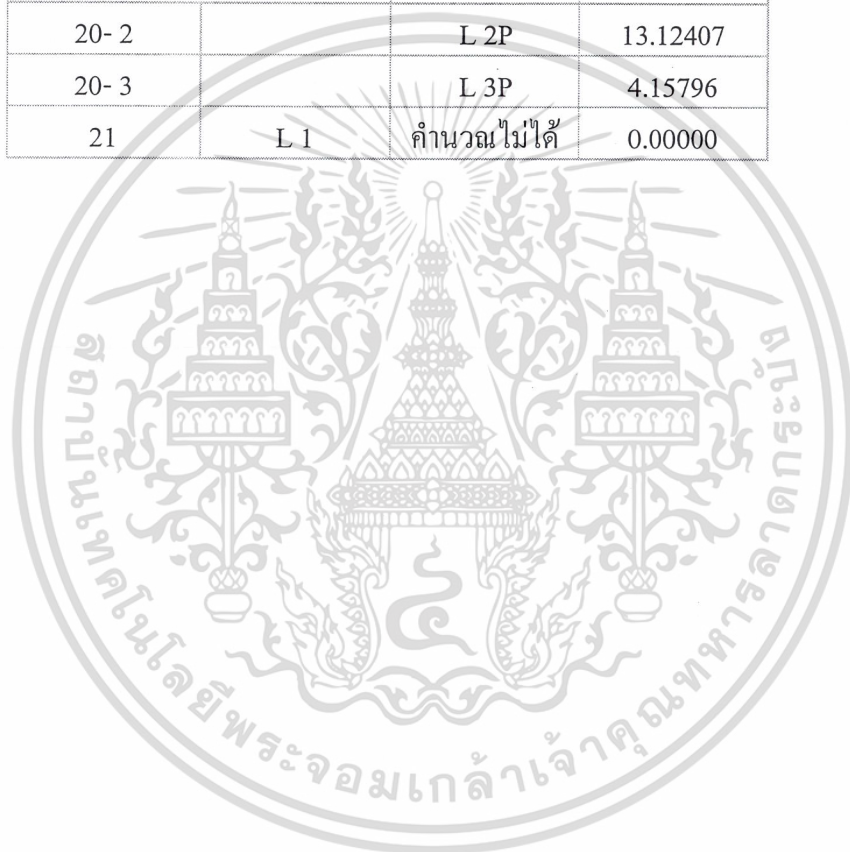
4-1	L 9	Bus 6	15.53281
4-2		L 10P	20.90473
5-1	L 3	Bus 6	50.86150
5-2		Bus 8	10.61078
5-3		Bus 13	3.23107
5-4		Bus 14	18.20745
5-5		L 2P	18.59816
5-6		L 4P	18.40651
5-7		L 5P	16.21224
5-8		L 6P	27.08914
5-9		L 7P	4.43399
5-10		L 5Q	24.70623
6-1	L 14	Bus 6	29.44150
6-2		Bus 14	45.03514
6-3		L 9P	0.27571
6-4		L 10P	29.25161
6-5		L 17P	54.77814
6-6		L 10Q	17.94263
6-7		L 17Q	23.51776
6-8		T 3Q	1.15486
7-1	L 8	Bus 6	10.81970
8-1	L 15	Bus 6	14.48717
9-1	L 12	Bus 6	58.87606
9-2		Bus 9	52.62526
9-3		Bus 10	51.20774
9-4		Bus 11	25.52017
9-5		Bus 12	9.79664
9-6		Bus 13	19.85439
9-7		Bus 14	60.89028
9-8		L 8P	9.35232
9-9		L 10P	13.38214
9-10		L 17P	15.84626
9-11		L 10Q	4.43729
9-12		T 2P	19.62587
9-13		T 3P	18.89479

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9- 14		T 2Q	88.69282
9- 15		T 3Q	17.36190
10- 1	G 1	Bus 6	37.20262
10- 2		Bus 14	0.90673
10- 3		L 1P	7.17714
10- 4		L 2P	3.29526
10- 5		L 1Q	0.99344
11- 1	L 4	Bus 6	32.15089
11- 2		L 2P	14.08682
11- 3		L 3P	14.16039
11- 4		L 5P	11.64763
12- 1	L 7	Bus 6	14.57407
12- 2		L 3P	13.76425
12- 3		L 4P	12.72883
12- 4		L 8P	5.01232
12- 5		L 10P	10.73536
12- 6		L 17P	8.98657
12- 7		T 3P	15.94610
12- 8		T 3Q	2.77385
13- 1	L 16	Bus 6	15.18776
14- 1	L 13	Bus 6	28.80307
14- 2		Bus 10	10.30334
14- 3		T 3Q	1.03060
15- 1	L 17	Bus 6	12.89936
16- 1	G 4	Bus 6	41.44551
16- 2		Bus 8	62.46962
16- 3		Bus 14	14.19523
16- 4		T 1Q	1.31995
16- 5		T 2Q	5.62339
17- 1	G 2	Bus 6	37.22425
17- 2		Bus 14	1.69130
18- 1	L 2	Bus 6	63.31315
18- 2		Bus 8	14.57979
18- 3		Bus 10	4.97612
18- 4		Bus 11	3.16211

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18- 5		Bus 12	10.06939
18- 6		Bus 13	14.67027
18- 7		Bus 14	26.05584
18- 8		L 1P	33.74933
18- 9		L 3P	9.79906
18- 10		L 4P	4.32245
18- 11		L 5P	29.84384
19- 1	L 6	Bus 6	18.14075
19- 2		L 3P	23.00521
20- 1	L 5	Bus 6	26.26767
20- 2		L 2P	13.12407
20- 3		L 3P	4.15796
21	L 1	คำนวณไม่ได้	0.00000



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

บทวิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

การคำนวณการไหลของภาระไฟฟ้าโดยวิธีนิวตัน-ราฟสันและวิธีดีคัปเปิล

ในการพิจารณาเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณการไหลของภาระไฟฟ้าระหว่างวิธีนิวตัน-ราฟสันและวิธีดีคัปเปิลนั้น จะแยกพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละบัสดังนี้

1. บัสอ้างอิง (Slack Bus) พิจารณากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน ซึ่งผลิตจากบัสนี้
2. บัสควบคุมแรงดัน (PV Bus) แยกพิจารณาดังต่อไปนี้

2.1 ในกรณีที่ผลลัพธ์การคำนวณกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ผลิตจากบัสนี้อยู่ในช่วงของ Q_{min} และ Q_{max} ที่กำหนดที่บัสนี้ ให้พิจารณามุมของแรงดันที่บัสนั้น และกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ผลิตออกจากบัสนั้น

2.2 ในกรณีที่ผลลัพธ์การคำนวณกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ผลิตจากบัสนี้อยู่ไม่อยู่ในช่วงของ Q_{min} และ Q_{max} ที่กำหนดที่บัสนี้ จะกำหนดให้บัสนี้จ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ขีดจำกัดทางด้านที่เกิน และพิจารณาให้บัสควบคุมแรงดันนี้เป็นบัสภาระไฟฟ้า ในการคำนวณในรอบต่อ ๆ ไป ในกรณีนี้จะพิจารณาขนาดของแรงดันและมุมของแรงดันที่บัสนี้แทน

3. บัสภาระไฟฟ้า (PQ Bus) พิจารณาขนาดของแรงดันและมุมของแรงดันที่บัสนี้

ในการพิจารณาค่าความผิดพลาดจะใช้ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีนิวตัน-ราฟสันเป็นหลักและพิจารณาว่าผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีดีคัปเปิลมีความแตกต่างจากวิธีนิวตัน-ราฟสันมากเพียงใด

จากนั้นจะทำการวิเคราะห์ถึงจำนวนรอบการคำนวณซ้ำและเวลาที่ใช้ในการคำนวณผลลัพธ์ระหว่างทั้ง 2 วิธี ซึ่งผลการเปรียบเทียบจะแสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบผลการคำนวณของระบบไฟฟ้ากำลังทดสอบขนาด 6 บัส

บัส หมายเลข	ชนิดของ บัส	ค่าที่นำมา เปรียบเทียบ	วิธีนิวตัน- ราฟสัน	วิธีดีคัปเปิล	ค่าความผิดพลาด
1	Slack	Gen MW	95.21070	95.21267	-0.00197
		Gen MVAR	43.25779	43.26223	-0.00444
2	PV	Volt Angle	-3.34835	-3.34907	0.00072
		Gen MVAR	18.43860	18.44076	-0.00216

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3	PQ	Volt magnitude	1.00077	1.00076	0.00001
		Volt Angle	-12.78407	-12.78436	0.00029
4	PQ	Volt magnitude	0.92974	0.92974	0.00000
		Volt Angle	-9.83593	-9.83610	0.00017
5	PQ	Volt magnitude	0.91978	0.91977	0.00001
		Volt Angle	-12.33409	-12.33464	0.00055
6	PQ	Volt magnitude	0.91919	0.91918	0.00001
		Volt Angle	-12.23867	-12.23903	0.00036

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบผลการคำนวณของ
ระบบไฟฟ้ากำลังทดสอบขนาด 14 บัส

บัส หมายเลข	ชนิดของ บัส	ค่าที่นำมา เปรียบเทียบ	วิธีนิวตัน- ราฟสัน	วิธีตีคัปเปิล	ค่าความผิด พลาด
1	Slack	Gen MW	232.51585	232.51652	-0.00067
		Gen MVAR	-7.45129	-7.44958	-0.00171
2	PV	Volt magnitude	1.04314	1.04314	0.00000
		Volt Angle	-4.94862	-4.94864	0.00002
3	PV	Volt Angle	-12.79903	-12.79908	0.00005
		Gen MVAR	33.70065	33.70203	-0.00138
4	PQ	Volt magnitude	1.00640	1.00640	0.00000
		Volt Angle	-10.16820	-10.16822	0.00002
5	PQ	Volt magnitude	1.01484	1.01485	-0.00001
		Volt Angle	-8.70756	-8.70758	0.00002
6	PV	Volt magnitude	0.95466	0.95466	0.00000
		Volt Angle	-14.65937	-14.65953	0.00016
7	PQ	Volt magnitude	0.97770	0.97770	0.00000
		Volt Angle	-13.60750	-13.60756	0.00006
8	PV	Volt magnitude	1.01915	1.01915	0.00000
		Volt Angle	-13.60750	-13.60756	0.00006
9	PQ	Volt magnitude	0.94972	0.94972	0.00000
		Volt Angle	-15.56801	-15.56812	0.00011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสำนักงานพลังงานแห่งชาติ ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10	PQ	Volt magnitude	0.94234	0.94234	0.00000
		Volt Angle	-15.76738	-15.76750	0.00012
11	PQ	Volt magnitude	0.94459	0.94459	0.00000
		Volt Angle	-15.38527	-15.38542	0.00015
12	PQ	Volt magnitude	0.93875	0.93875	0.00000
		Volt Angle	-15.72755	-15.72811	0.00056
13	PQ	Volt magnitude	0.93417	0.93417	0.00000
		Volt Angle	-15.83946	-15.83950	0.00004
14	PQ	Volt magnitude	0.92274	0.92274	0.00000
		Volt Angle	-16.94078	-16.94091	0.00013

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบผลการคำนวณของ
ระบบไฟฟ้ากำลังทดสอบขนาด 30 บัส

บัส หมายเลข	ชนิดของ บัส	ค่าที่นำมา เปรียบเทียบ	วิธีนิวตัน- ราฟสัน	วิธีคัลป์เปิด	ค่าความผิดพลาด
1	Slack	Gen MW	262.02023	262.01983	0.00040
		Gen MVAR	7.35769	7.35836	-0.00067
2	PV	Volt magnitude	1.02486	1.02486	0.00000
		Volt Angle	-5.56810	-5.56809	-0.00001
3	PQ	Volt magnitude	0.99923	0.99923	0.00000
		Volt Angle	-8.10299	-8.10298	-0.00001
4	PQ	Volt magnitude	0.98867	0.98867	0.00000
		Volt Angle	-9.80714	-9.80712	-0.00002
5	PV	Volt magnitude	0.98788	0.98788	0.00000
		Volt Angle	-14.81580	-14.81579	-0.00001
6	PQ	Volt magnitude	0.98342	0.983422	0.00020
		Volt Angle	-11.57796	-11.57793	-0.00003
7	PQ	Volt magnitude	0.97669	0.97669	0.00000
		Volt Angle	-13.45214	-13.45213	-0.00001
8	PV	Volt magnitude	0.98396	0.98396	0.00000
		Volt Angle	-12.37961	-12.37959	-0.00002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9	PQ	Volt magnitude	0.98276	0.98276	0.00000
		Volt Angle	-15.16626	-15.16622	-0.00004
10	PQ	Volt magnitude	0.95080	0.95080	0.00000
		Volt Angle	-17.09913	-17.09907	-0.00005
11	PV	Volt magnitude	1.03117	1.03117	0.00000
		Volt Angle	-15.16626	-15.16622	-0.00004
12	PQ	Volt magnitude	0.97898	0.97898	0.00000
		Volt Angle	-16.41453	-16.41452	-0.00001
13	PV	Volt magnitude	1.01215	1.01218	-0.00003
		Volt Angle	-16.41453	-16.41452	-0.00001
14	PQ	Volt magnitude	0.96071	0.96071	0.00000
		Volt Angle	-17.43720	-17.43747	0.00020
15	PQ	Volt magnitude	0.95377	0.95376	0.00001
		Volt Angle	-17.47142	-17.47130	-0.00012
16	PQ	Volt magnitude	0.95626	0.95626	0.00000
		Volt Angle	-16.57877	-16.57876	-0.00001
17	PQ	Volt magnitude	0.94255	0.94255	0.00000
		Volt Angle	-17.46380	-17.46375	-0.00005
18	PQ	Volt magnitude	0.93974	0.93974	0.00000
		Volt Angle	-18.18571	-18.18561	-0.00010
19	PQ	Volt magnitude	0.93383	0.93382	0.00000
		Volt Angle	-18.34412	-18.34405	-0.00007
20	PQ	Volt magnitude	0.93720	0.93720	0.00000
		Volt Angle	-18.09994	-18.09988	0.00004
21	PQ	Volt magnitude	0.93708	0.93708	0.00000
		Volt Angle	-17.58703	-17.58698	-0.00005
22	PQ	Volt magnitude	0.93768	0.93768	0.00000
		Volt Angle	-17.55381	-17.55376	-0.00005
23	PQ	Volt magnitude	0.93760	0.93760	0.00000
		Volt Angle	-17.78453	-17.78444	-0.00009
24	PQ	Volt magnitude	0.92521	0.92521	0.00000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		Volt Angle	-17.79037	-17.79030	-0.00007
25	PQ	Volt magnitude	0.92940	0.92940	0.00000
		Volt Angle	-17.16314	-17.16310	-0.00004
26	PQ	Volt magnitude	0.90999	0.90999	0.00000
		Volt Angle	-17.66838	-17.66835	-0.00003
27	PQ	Volt magnitude	0.94137	0.94137	0.00000
		Volt Angle	-16.45746	-16.45743	-0.00003
28	PQ	Volt magnitude	0.98157	0.98157	0.00000
		Volt Angle	-12.25769	-12.25767	-0.00002
29	PQ	Volt magnitude	0.91959	0.91959	0.00000
		Volt Angle	-17.91576	-17.91574	-0.00002
30	PQ	Volt magnitude	0.90700	0.90700	0.00000
		Volt Angle	-18.96949	-18.96948	-0.00001

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการคำนวณและจำนวนรอบการคำนวณซ้ำของระบบทดสอบต่างๆ

ระบบที่ใช้ทดสอบ	จำนวนรอบการคำนวณซ้ำ			เวลาที่ใช้ในการคำนวณ		
	วิธีนิวตัน-ราฟสัน	วิธีคัลป์เปิด		วิธีนิวตัน-ราฟสัน	วิธีคัลป์เปิด	%ความแตกต่าง
3	3	5	4	0.02344	0.01563	33.32
14	3	8	7	0.28125	0.14063	50.00
30	4	9	9	4.03125	1.61719	59.88

วิเคราะห์ผลการทดลองการคำนวณการไหลของภาระไฟฟ้า

1. ความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ที่ได้ จากตารางการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณการไหลของภาระไฟฟ้าทั้ง 2 วิธีคือวิธีนิวตัน-ราฟสันและวิธีคัลป์เปิด ผลที่ได้จะเห็นว่ามีความใกล้เคียงกันมาก ทั้งค่าของขนาดและมุมของแรงดันที่บัสภาระไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากบัสควบคุมแรงดันและบัสอ้างอิงในทุก ๆ ขนาดของระบบทดสอบ

2. จำนวนรอบการคำนวณซ้ำที่ใช้ จากผลที่ได้จะพบว่า การคำนวณโดยวิธีคัลป์เปิดจะมีจำนวนรอบการคำนวณซ้ำมากกว่าการคำนวณโดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน ในทุก ๆ ขนาดของระบบที่ทำการทดสอบ ซึ่งน่าจะเป็นเพราะว่าในการคำนวณโดยวิธีคัลป์เปิดนั้น ได้มีการตัดองค์ประกอบบางด้าน การคำนวณไม่ครบถ้วนใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของจาโคเบียนเมตริกซ์ออกไป ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละรอบจะลู่เข้าช้ากว่าการคำนวณแบบนิวตัน-ราฟสันซึ่งคิดจาโคเบียนเมตริกซ์ทุกองค์ประกอบและคำนวณจาโคเบียนเมตริกซ์ทุกรอบทำให้ในแต่ละรอบการคำนวณมีความละเอียดมากกว่า และส่งผลให้ลู่เข้าได้เร็วกว่าวิธีคัลป์เปิล

นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อขนาดของระบบมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันจำนวนรอบการคำนวณซ้ำจะเพิ่มขึ้นน้อยมาก ส่วนการคำนวณด้วยวิธีคัลป์เปิลจะมีการเพิ่มของจำนวนรอบการคำนวณซ้ำมากกว่าวิธีนิวตัน-ราฟสัน แต่ถ้าจะให้เห็นเด่นชัดมากขึ้นกว่านี้ควรจะใช้ระบบไฟฟ้ากำลังทดสอบที่มีขนาดใหญ่มากขึ้นกว่านี้ เช่น ระบบ 100 บัสขึ้นไป

3. เวลาที่ใช้ในการคำนวณ จากผลที่ได้พบว่าเวลาที่ใช้ในการคำนวณโดยวิธีคัลป์เปิลน้อยกว่าเวลาที่ใช้ในการคำนวณโดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน ในทุก ๆ ขนาดของระบบทดสอบ และจะพบว่ายิ่งระบบมีขนาดใหญ่มากขึ้นเวลาที่ใช้ในการคำนวณระหว่างทั้ง 2 วิธี จะยังมีความแตกต่างกันมากขึ้น ซึ่งน่าจะเป็นเพราะการคำนวณโดยวิธีคัลป์เปิลนั้นในแต่ละรอบการคำนวณซ้ำจะไม่ต้องคำนวณจาโคเบียนเมตริกซ์ใหม่ เหมือนกับวิธีนิวตันราฟสันทำให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณแต่ละรอบลดน้อยลงอย่างมาก และถ้าระบบมีขนาดใหญ่มากขึ้น การคำนวณโดยวิธีนิวตัน-ราฟสันซึ่งต้องคำนวณจาโคเบียนเมตริกซ์ใหม่ทุกรอบก็จะต้องใช้เวลามากขึ้น ทำให้เวลาระหว่าง 2 วิธียังมีความต่างกันมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

การวิเคราะห์ก่อนหินเงินซีของระบบไฟฟ้ากำลัง

ในปฏิญญาฉบับนี้ได้ทำการวิเคราะห์ก่อนหินเงินซีของระบบไฟฟ้ากำลังขนาด 6 บัส และ 14 บัส ซึ่งค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ก็คือ ค่า PI ซึ่งการคำนวณหาค่า PI นี้ได้แบ่งแยกเป็น 2 กรณี คือ

1. การคำนวณค่า PI โดยวิธีพิจารณาถึงพิกัดแรงดันที่บัสต่าง ๆ ในระบบทดสอบ (PI_V)
2. การคำนวณค่า PI โดยวิธีพิจารณาพิกัดการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงในสายส่งไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้า (PI_{MW})

จากนั้นทำการคำนวณการไหลของภาระไฟฟ้าหลังจากการเกิดเอาต์เตจที่บัสควบคุมแรงดันสายส่งไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้า แล้วพิจารณาว่ามีแรงดันที่บัสใดเปลี่ยนแปลงเกินพิกัดที่กำหนดไว้ หรือมีสายส่ง หรือหม้อแปลงไฟฟ้าใดมีการไหลของกำลังไฟฟ้าเกินพิกัดที่กำหนดไว้และรายงานผลออกมา

วิเคราะห์ผลการทดลองการวิเคราะห์ก่อนหินเงินซี

ระบบไฟฟ้าขนาด 6 บัส

สำหรับระบบนี้ พบว่ามีการเกิดคอนทินเจนซีอยู่ 6 กรณี คือ การเกิดเอาต์เตจที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 กรณี และการเกิดเอาต์เตจที่สายส่ง 5 กรณี และเมื่อพิจารณาค่า PI ของแต่ละเอาต์เตจที่ได้จากการคำนวณโดยพิจารณาเงื่อนไขที่ต่างกัน ก็จะได้ลำดับของค่า PI ที่เรียงจากมากไปน้อยที่ต่างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอก การดำเนินการร่วมกันเนื่องจากการพิจารณาการเกิดเกินพิกัดที่คนละเงื่อนไขกัน และเมื่อทำการคำนวณการไหลของไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

ภาระไฟฟ้า หลังจากการเกิดเอาต์เตจแล้วพบว่ามีความถี่หลายกรณีที่ไม่สามารถคำนวณหาค่าคำตอบได้ ซึ่งเป็นสาเหตุเนื่องมาจากการกำหนด ค่าความผิดพลาดของกำลังไฟฟ้าไว้น้อยไป ทำให้อาจจะต้องใช้จำนวนรอบการคำนวณซ้ำมากกว่าที่กำหนดไว้จึงจะลู่เข้าหรืออาจเป็นเพราะเมื่อเกิดเอาต์เตจขึ้น จะทำให้ผลลัพธ์ของระบบไฟฟ้ากำลังไม่สามารถลู่เข้าได้ (คอนเวอร์เจนต์) จึงไม่สามารถคำนวณค่าได้

เมื่อพิจารณาถึงลำดับความรุนแรงของการเกิดเอาต์เตจจากผลการเรียงลำดับตามค่า PI ของทั้ง 2 วิธีกับผลที่ได้จากการคำนวณจริง ๆ พบว่ากรณีเอาต์เตจที่ไม่สามารถคำนวณได้จะอยู่ในลำดับต้น ๆ ของการเรียงลำดับตามค่า PI ของทั้ง 2 วิธี ส่วนกรณีที่สามารถคำนวณได้ คือ L3 และ L5 ส่วนมากจะอยู่ในลำดับท้าย ๆ ของการเรียงลำดับตามการคำนวณค่า PI ของทั้ง 2 วิธี และค่อนข้างมีความรุนแรงของการเกิดเอาต์เตจน้อยลงตามลำดับ

ระบบไฟฟ้าขนาด 14 บัส

สำหรับระบบนี้ พบว่ามีการเกิดคอนทินเจนซีอยู่ 21 กรณี คือ การเกิดเอาต์เตจที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 4 กรณี และการเกิดเอาต์เตจที่สายส่ง 17 กรณี และเมื่อพิจารณาค่า PI ของแต่ละเอาต์เตจที่ได้จากการคำนวณ โดยพิจารณาเงื่อนไขที่ต่างกัน ก็จะได้ลำดับของค่า PI ที่เรียงจากมากไปน้อยที่ต่างกันมากกว่าในกรณีระบบไฟฟ้าขนาด 6 บัส และเมื่อทำการคำนวณการไหลของภาระไฟฟ้า หลังจากการเกิดเอาต์เตจแล้วพบว่ามียู 2 กรณีที่ไม่สามารถคำนวณหาค่าคำตอบได้

เมื่อพิจารณาถึงลำดับความรุนแรงของการเกิดเอาต์เตจจากผลการเรียงลำดับตามค่า PI ของทั้ง 2 วิธีกับผลที่ได้จากการคำนวณจริง ๆ นั้น พบว่ามีความผิดพลาดมากกว่าในกรณีระบบไฟฟ้าขนาด 6 บัส ซึ่งสาเหตุความผิดพลาดที่เกิดขึ้นอาจจะมาจากสาเหตุหลายประการ อาทิเช่น ในการคำนวณค่า PI จะใช้การคำนวณแบบ 1PIQ ซึ่งเป็นการคำนวณเพียงรอบการคำนวณซ้ำรอบเดียวเท่านั้น แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เลย ซึ่งค่าที่นำมาใช้นี้อาจจะยังแตกต่างจากผลลัพธ์จริงอยู่มากทำให้เกิดการคำนวณผิดพลาดขึ้นได้ และยังการคำนวณแบบคีคป์เปิดเป็นการคำนวณที่ต้องใช้จำนวนรอบการคำนวณซ้ำมากขึ้นอยู่แล้วโดยเฉพาะขนาดระบบที่ใหญ่ขึ้น จึงทำให้ค่าที่ได้จากการคำนวณเพียงรอบเดียวเชื่อถือได้น้อยลง เหตุผลอื่นอาจจะเนื่องมาจากว่าค่าความสำคัญของตำแหน่งที่ต่างกันในระบบไฟฟ้ากำลังมีค่าไม่เท่ากันในการเกิดเอาต์เตจที่ตำแหน่งต่างกัน จึงอาจจะต้องมีการถ่วงน้ำหนักขององค์ประกอบในการคำนวณค่า PI ในแต่ละเอาต์เตจที่ต่างกันด้วย จึงจะทำให้ผลของการคำนวณค่า PI นำไปใช้ได้ผลถูกต้องมากกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

การคำนวณการไหลของภาระไฟฟ้าโดยวิธีดีคัปเปิลซึ่งเป็นการประยุกต์ทางวิศวกรรมจากวิธีนิวตัน-ราฟสันมีผลลัพธ์น่าเชื่อถือได้ในทุก ๆ ขนาดของระบบไฟฟ้ากำลัง แต่จะประหยัดเวลาและหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์มากกว่าวิธีนิวตัน-ราฟสัน โดยเฉพาะในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะเห็นถึงความแตกต่างในเรื่องเวลาที่ใช้ในการคำนวณมากขึ้นตามลำดับ ซึ่งถึงแม้ว่าการคำนวณแบบดีคัปเปิล จะต้องใช้จำนวนรอบการคำนวณซ้ำมากกว่าการคำนวณแบบวิธีนิวตัน-ราฟสันก็ตาม แต่ในการคำนวณแต่ละรอบมีความเร็วกว่าวิธีนิวตัน-ราฟสันมาก โดยเฉพาะในระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่จะเสียเวลาในการคำนวณค่าจาโคเบียนเมตริกซ์ในแต่ละรอบมากยิ่งขึ้นถ้าคำนวณโดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน แต่ถ้าเป็นวิธีดีคัปเปิลจะไม่ต้องเสียเวลาในการคำนวณใหม่ทุกรอบ จึงเป็นการประหยัดเวลาไปได้มากกว่าวิธีนิวตัน-ราฟสันค่อนข้างมาก แต่ความผิดพลาดของวิธีนี้อาจจะมีมากขึ้นถ้าระบบที่ใช้พิจารณาเป็นระบบที่มีการออกแบบมาไม่ดี ทำให้การตัดองค์ประกอบบางส่วนในจาโคเบียนเมตริกซ์ ตามทฤษฎีที่ได้เสนอไปแล้วส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการคำนวณได้

ในเรื่องของการวิเคราะห์คอนทินเจนซี โดยได้มีการนำเอาค่า PI มาใช้ประกอบในการพิจารณาถึงความรุนแรงของเอาต์เตจ แต่ละเอาต์เตจที่ได้ทำการทดลองนั้น พบว่าความถูกต้องของค่า PI เมื่อพิจารณาระบบขนาด 6 บัสมีความถูกต้องแม่นยำมากกว่าในระบบขนาด 14 บัส ซึ่งสาเหตุจากความผิดพลาดนั้นอาจจะเนื่องมาจากการใช้วิธี 1PIQ ในการคำนวณค่าผลลัพธ์เพื่อนำไปคำนวณค่า PI นั้นยังมีความแตกต่างจากผลลัพธ์จริงๆพอสมควร และอาจจะต้องมีการถ่วงน้ำหนักขององค์ประกอบแต่ละจุดในการคำนวณค่า PI ของการเกิดเอาต์เตจแต่ละเอาต์เตจเพื่อให้มีความแม่นยำของค่า PI มากขึ้น กล่าวโดยสรุปก็คือถ้าหากต้องการให้การคำนวณค่า PI มีความถูกต้องแม่นยำมากกว่านี้ต้องมีขั้นตอนอื่นเพิ่มเติมในการคำนวณค่า PI ให้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น ส่วนการเรียงลำดับเอาต์เตจโดยใช้ค่า PI_V และ PI_{MW} จะให้ผลการเรียงลำดับที่แตกต่างกันเนื่องจากการพิจารณาการเกิดเกินพิกัดที่ต่างกัน แต่โดยรวมแล้วก็ยังสามารถยอมรับได้ว่าการใช้ค่า PI มีแนวโน้มพอที่จะบอกถึงความรุนแรงของเอาต์เตจได้พอสมควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

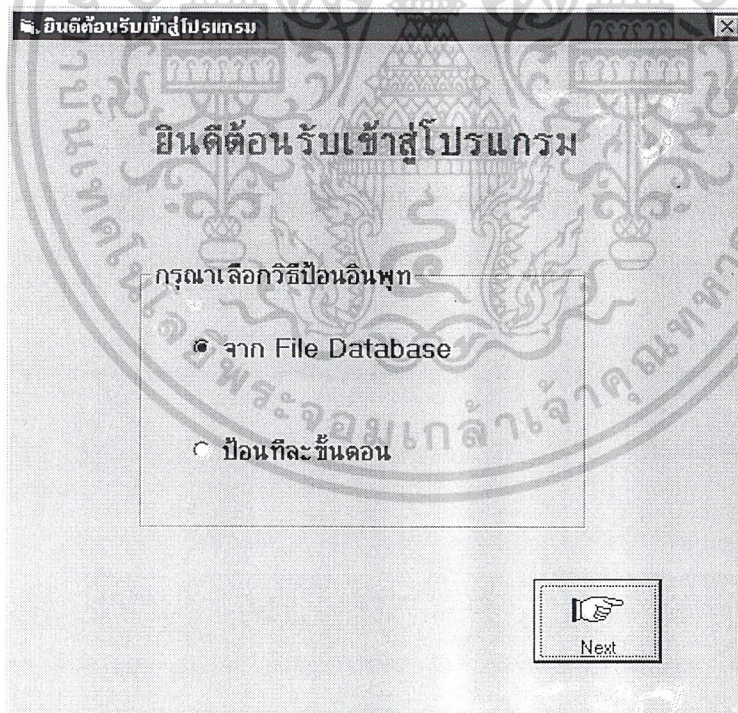
ภาคผนวก ก.

วิธีการใช้งานโปรแกรม

หลังจากสั่งให้โปรแกรมที่ชื่อ loadflow.exe ทำงานแล้ว จะต้องเลือกวิธีการป้อนข้อมูลในการคำนวณให้โปรแกรม โดยจะสามารถป้อนได้สองแบบคือ

1. จาก File Database ซึ่งเป็นไฟล์ที่ได้ป้อนข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณของระบบที่เตรียมไว้ในการวิเคราะห์ ซึ่งได้ทำเตรียมไว้แล้วในฐานข้อมูลแบบไมโครซอฟท์แอกเซส (นามสกุล MDB) วิธีนี้จะทำให้ไม่ต้องเสียเวลาในการป้อนทุก ๆ ครั้งที่ต้องการคำนวณใหม่ สามารถตรวจสอบความผิดพลาดและแก้ไขได้ในทุกขั้นตอน โดยไม่ต้องป้อนข้อมูลใหม่ตั้งแต่เริ่มต้น

2. ป้อนทีละขั้นตอน จะป้อนข้อมูลในการคำนวณจากทีละขั้นตอน โดยโปรแกรมจะเชื่อมถึงไฟล์ที่ชื่อ c:\temp\data.mdb ซึ่งเป็นไฟล์ฐานข้อมูลที่เกิดจากการคำนวณครั้งที่แล้ว ดังนั้นถ้าต้องการป้อนข้อมูลของระบบใหม่ จะต้องทำการลบข้อมูลในไฟล์นี้ก่อน



รูปที่ ก.1 หน้าต่างแสดงการเลือกวิธีป้อนข้อมูลให้โปรแกรม

ต่อมาจะแสดงถึงข้อมูลทั่วไปของระบบซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญที่จะต้องป้อนให้โปรแกรมรู้ ได้แก่ หมายเลขของบัสอ้างอิง จำนวนรอบการคำนวณซ้ำมากที่สุด ค่าความผิดพลาด จำนวนบัส จำนวนสายส่งไฟฟ้า จำนวนหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ในระบบและค่าฐาน MVA ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณ ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

General Data For Choose File

The Slack Bus is Bus Number

Maximum Number of Iterations

Power Tolerance

Number of Bus

Number of Line

Number of Transformer

Base in MVA

รูปที่ ก.2 หน้าต่างแสดงข้อมูลทั่วไปของระบบ

จากนั้นโปรแกรมจะแสดงข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้รับมา (ทั้งแบบรับจากไฟล์ฐานข้อมูลและจากการป้อนทีละขั้นตอน) ได้แก่ ข้อมูลของบัส สายส่งไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง (ถ้าในระบบที่ทำการคำนวณ) โดยสามารถจะเพิ่มเติม แก้ไข หรือลบข้อมูลได้ทันที โปรแกรมจะไปเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่แก้ไขในไฟล์ฐานข้อมูลโดยตรง

Bus Data

Bus Number : 1

Bus Type Voltage Magnitude

Rated Voltage Voltage Angle

Generation MW Mvar Minimum

Generation Mvar Mvar Maximum

Load MW Maximum dV

Load Mvar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ ก.3 หน้าต่างแสดงข้อมูลของบัสมีอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Line Number	1
From Bus Number	1
To Bus Number	2
Resistance	.019
Reactance	.059
B of line	.0264
Rated MW	5
Rated MVAR	5

Buttons: Add, Delete, Edit, Update, Finish

Footer: Line Number : 1

รูปที่ ก.4 หน้าต่างแสดงข้อมูลของสายส่งไฟฟ้า

Transformer Number	1
From Bus Number	4
To Bus Number	7
Resistance	0
Reactance	.209
Tap Setting	.978
Max flow P	5
Max flow Q	5

Buttons: Add, Edit, Delete, Update, Finish

Footer: Transformer Number : 1

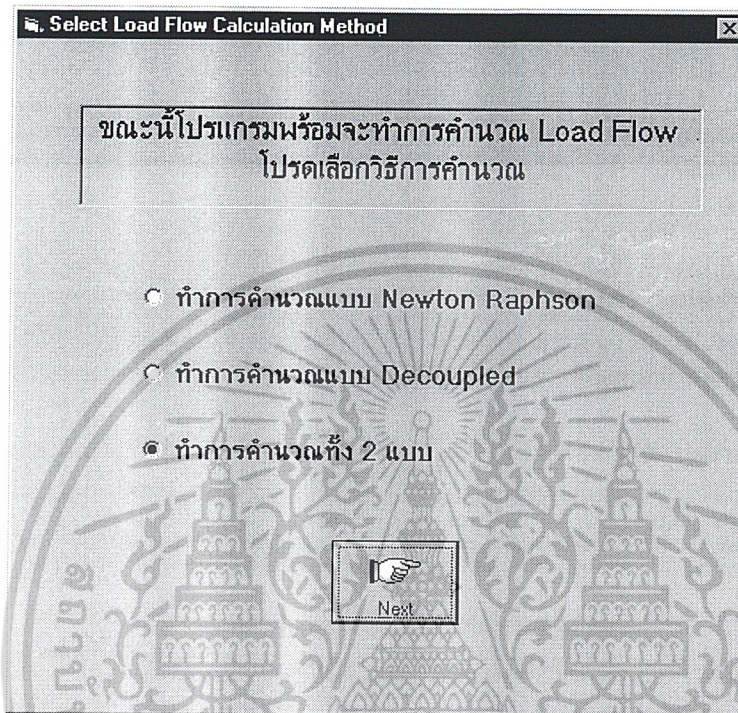
รูปที่ ก.5 หน้าต่างแสดงข้อมูลของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

หลังจากแสดงข้อมูลต่าง ๆ แล้วจะต้องยืนยันว่าได้ป้อนข้อมูลอย่างถูกต้องแล้ว ซึ่งสามารถตรวจสอบและแก้ไขได้เป็นครั้งสุดท้ายก่อนจะเข้าสู่การคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมาคือขั้นตอนการเตรียมข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณที่สำคัญ เช่น การทำแอดมิตแตนซ์ เมตริกซ์ ซึ่งเป็นเมตริกซ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้า

จากนั้นเลือกวิธีในการวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้าได้แก่วิธีนิวตัน-ราฟสัน วิธีคัลป์เปิลหรือคำนวณทั้งสองวิธี



รูปที่ ก.6 หน้าต่างแสดงการเลือกวิธีในการวิเคราะห์

เมื่อทำการคำนวณเสร็จสิ้น โปรแกรมจะแสดงผลการคำนวณการไหลของภาระไฟฟ้า โดยแสดงอยู่ในรูปของตาราง ประกอบด้วยตารางแสดงผลลัพธ์ของบัส ตารางแสดงผลลัพธ์ของสายส่ง ไฟฟ้า ตารางแสดงผลลัพธ์ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังและผลลัพธ์ทั่วไป จากตารางสามารถเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการคำนวณได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bus output ๖๖ Decoupled

Busnumber	volts	angle	Pg	Qg
1	1.05999994277954	0	232.516525268555	-7.4495792388916
2	1.04314577579498	-4.94863843917847	40.0000915527344	49.9997291564941
3	1.00999999046326	-12.7990875244141	-7.74860382080078E-05	33.702033996582
4	1.00639998912811	-10.1682252883911	0	0
5	1.0148469209671	-8.7075834274292	0	0
6	.954661846160889	-14.6595306396484	-2.23517417907715E-05	24.0002822875977
7	.977703213691711	-13.6075630187988	0	0
8	1.01914954185486	-13.6075630187988	0	23.9999294281006
9	.949723124504089	-15.5681219100952	0	0
10	.942343652248383	-15.7675046920776	0	0
11	.944596469402313	-15.3854188919067	0	0
12	.938749551773071	-15.7281112670898	0	0
13	.934174001216888	-15.839503288269	0	0
14	.922740876674652	-16.9409141540527	0	0
Total			272.516516983509	124.252395629883

Next

รูปที่ ก.7 หน้าต่างตารางแสดงผลลัพธ์ของบัส

Line Output ๖๖ Decoupled

Linenumber	Frombus	Tobus	MWflows	MVARflows
1	1	2	157.350082397461	-14.888897895819
1	2	1	-153.132934570313	25.0646743774414
2	1	5	75.1664505004883	7.43923854827881
2	5	1	-72.4136734008789	1.27988052368164
3	2	3	73.8476257324219	3.72850894927979
3	3	2	-71.4816818237305	-3.93012094497681
4	2	4	56.1580123801367	4.72848749160767
4	4	2	-54.4594345092773	-1.53862512111664
5	2	5	41.427417755127	3.77831268310547
5	5	2	-40.5168304443359	-2.79897737503052
6	3	4	-22.7184066772461	10.771821975708
6	4	3	23.1466026306152	-11.4374542236328
7	4	5	62.060920715332	-5.65080225467682
7	5	4	62.5552825927734	1.50856828689575
8	6	11	6.56681442260742	1.73011350631714
8	11	6	-6.51874399185181	-1.62941837310791
9	6	12	7.64423322677612	2.32199645042419
9	12	6	-7.55809307098389	-2.14271378517151
10	6	13	17.3638134002686	6.37535762786865
10	13	6	-17.116039276123	-5.88731575012207
11	7	8	1.01724118906077E-07	-23.0239810943604
11	8	7	-1.06036360136841E-07	24.0000019073486
12	7	9	28.879114151001	25.3634357452393
12	9	7	-28.879114151001	-23.6634349822998
13	9	10	6.01549673080444	6.05823230743408
13	10	9	-5.98963737487793	-5.99035263061523
14	9	14	10.0586061477661	4.85287666320801
14	14	9	-9.88298892974854	-4.47951745986938

Next

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ ก.8 หน้าต่างตารางแสดงผลลัพธ์ของสายส่งไฟฟ้าที่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transformer Output 55 Decoupled

transformernumber	Frombus	To bus	MWflows	MVARflows
1	4	7	28.8791122436523	26.1428108215332
1	7	4	-28.8791122436523	-23.1478099822998
2	4	9	16.69508934021	17.3886680603027
2	9	4	-16.69508934021	-14.3934698104858
3	5	6	42.7748718261719	60.2243881225586
3	6	5	-42.7748718261719	-48.6270408630371

Next

รูปที่ ก.9 หน้าต่างตารางแสดงผลลัพธ์ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

General Result Decoupled Method

ผลลัพธ์ทั่วไปจากการคำนวณโดยวิธี Decoupled

จำนวน Iteration ที่ใช้สำหรับ P-angle

จำนวน Iteration ที่ใช้สำหรับ Q-V

เวลาที่ใช้ในการคำนวณทั้งหมด

ค่า Maxdp ที่มากที่สุด ที่บัส

ค่า Maxdq มากที่สุด ที่บัส

Next

รูปที่ ก.10 หน้าต่างแสดงผลลัพธ์ทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจะเข้าสู่การคำนวณคอนทินเจนซีโดยจะต้องป้อนค่า n จากสูตรหาค่า PI_V (ค่า PI เมื่อเกิดเมื่อตัดคาไฟฟ้าเกินพิกัดที่บัสควบคุมแรงดัน) และหาค่า PI_{MW} (ค่า PI เมื่อเกิดภาวะไฟฟ้าเกินพิกัดในสายส่งไฟฟ้า) จากนั้นก็จะได้ตารางแสดงค่า PI ทั้งสองแบบ ซึ่งเรียงลำดับค่าจากมากไปน้อย

ผ. แสดงผลค่า PI เรียงตามลำดับ เมื่อพิจารณาจาก V ที่ GenBus

Outagenumber	Outage	PIvalue
1	L 11	26.967
2	L 16	24.11929
3	L 15	24.10741
4	L 8	24.10081
5	L 17	24.05467
6	L 9	23.94486
7	L 6	23.83164
8	L 7	23.82757
9	L 13	23.75927
10	T 2	23.72985
11	L 14	23.72608
12	L 10	23.63684
13	L 5	23.58595
14	L 4	23.38175
15	T 1	23.30437
16	G 3	23.08557
17	L 12	23.02884
18	G 4	22.92815
19	G 1	22.80214
20	L 2	22.71758
21	G 2	22.6257
22	L 2	22.57455

Next

รูปที่ ก.11 หน้าต่างตารางแสดงค่า PI_V

ผ. แสดงผลค่า PI เรียงตามลำดับ เมื่อพิจารณาจาก P flow

Outagenumber	Outage	PIValue
1	G 1	65.83232
2	T 3	64.43932
3	G 4	63.91544
4	G 2	63.79347
5	G 3	62.50105
6	L 11	55.28637
7	L 3	54.54107
8	L 10	50.84956
9	L 8	49.2321
10	L 15	48.74035
11	L 9	48.57288
12	L 2	48.5592
13	L 17	48.20202
14	L 14	47.46161
15	L 16	47.22202
16	T 2	46.99661
17	L 4	46.94846
18	L 13	46.78287
19	L 6	44.85822
20	L 12	44.64999
21	T 1	44.35104
22	L 5	43.1865

Next

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ ก.12 หน้าต่างตารางแสดงค่า PI_{MW} ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุดท้ายจะทำการพิจารณาการเกิดคอนทินเจนซีตามที่ได้เรียงไว้ในตาราง PI โดยโปรแกรม จะแสดงการเกิดแรงดันไฟฟ้าเกินพิกัด (ที่บัสต่าง ๆ) หรือการเกิดการไหลของกำลังไฟฟ้าเกินพิกัด (ในสายส่งไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง) ซึ่งสามารถส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อระบบได้

แสดงผลการเกิด Overload ตามลำดับเรียงตาม Volt Order

Outagenumber	OutageType	Overload	Percent
1	L 11	Can't	0
2	L 16	L 1P	214.7207
2	L 16	L 2P	50.3276
2	L 16	L 3P	47.71103
2	L 16	L 4P	12.33869
2	L 16	L 7P	25.27095
3	L 15	L 1P	214.9892
3	L 15	L 2P	50.11671
3	L 15	L 3P	47.92756
3	L 15	L 4P	12.74213
3	L 15	L 7P	28.48425
4	L 8	L 1P	215.4044
4	L 8	L 2P	49.97225
4	L 8	L 3P	48.22758
4	L 8	L 4P	13.1923
4	L 8	L 7P	31.95834
5	L 17	L 1P	215.2123
5	L 17	L 2P	50.10755

Next

รูปที่ ก.13 หน้าต่างตารางแสดงการเกินพิกัดของเอาต์เตจต่าง ๆ ตามค่า PI_v ที่ได้เรียงไว้

แสดงผลการเกิด Overload ตามลำดับเรียงตาม P flow Order

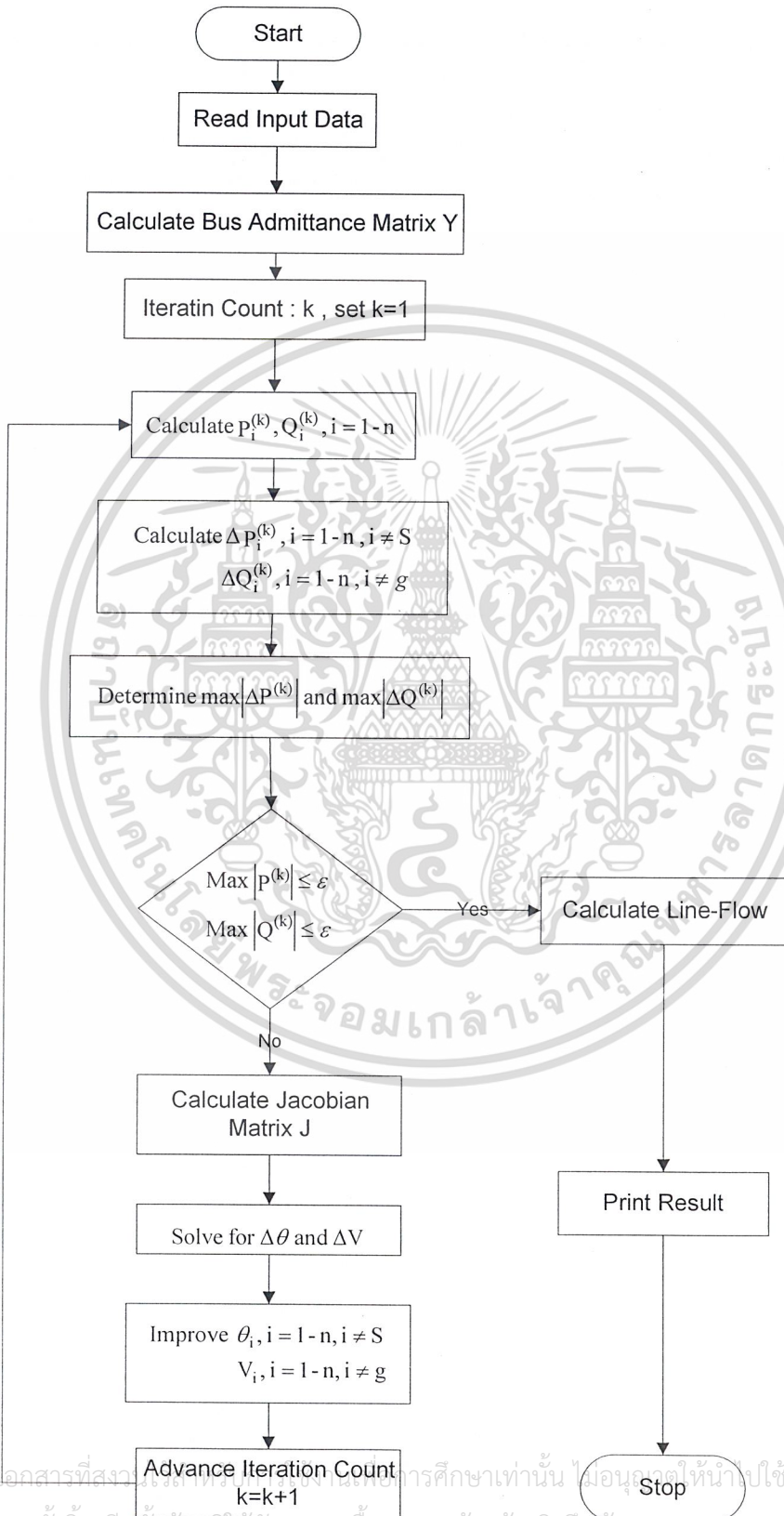
Outagenumber	OutageType	Overload	Percent
1	G 1	L 1P	285.8377
1	G 1	L 2P	65.27242
1	G 1	L 3P	45.89678
1	G 1	L 4P	7.244575
1	G 1	L 7P	31.83213
2	T 3	L 1P	226.54
2	T 3	L 2P	46.89387
2	T 3	L 3P	54.51637
2	T 3	L 4P	23.81142
2	T 3	L 7P	100.5242
2	T 3	L 12P	15.27708
2	T 3	T 1P	15.27358
3	G 4	L 1P	216.3304
3	G 4	L 2P	49.73405
3	G 4	L 3P	48.94424
3	G 4	L 4P	12.24357
3	G 4	L 7P	22.53617
4	G 2	L 1P	215.5209
4	G 2	L 2P	50.10755

Next

รูปที่ ก.14 หน้าต่างตารางแสดงการเกินพิกัดของเอาต์เตจต่าง ๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

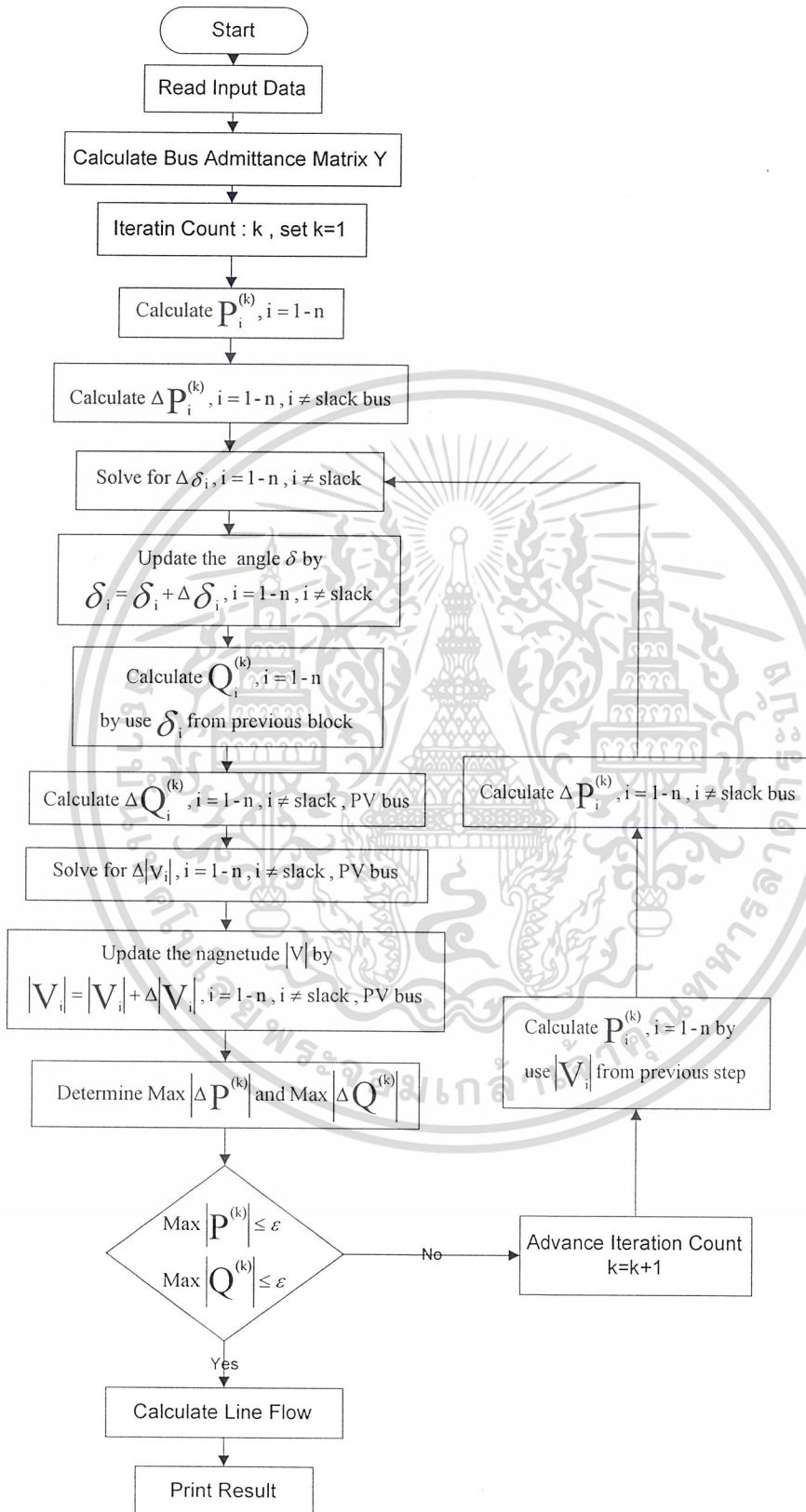
ภาคผนวก ข.

โพล์ชำระทวิวิธีนิวตัน-ราฟสัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลาร์วิธีตีคัปเปิล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ความรู้เพิ่มเติม

การศึกษาระบบไฟฟ้าด้วยโปรแกรม PSS/E

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยมีหน้าที่ความรับผิดชอบในการจัดหาพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการซึ่งเกี่ยวข้องกับการผลิตและส่งกระแสไฟฟ้าทั่วประเทศ จึงจำเป็นต้องมีศูนย์กลางในการประสานงานหรือศูนย์ควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า ปฏิบัติการควบคุมระบบกำลังไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดผ่านระบบส่งทั่วประเทศ ให้มีความเพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า คุณภาพอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด มั่นคงและเชื่อถือได้ ในการดำเนินการให้มีประสิทธิภาพดังกล่าว สิ่งสำคัญของศูนย์ควบคุมระบบกำลังไฟฟ้าจะต้องมีการวางแผนด้านการผลิตและระบบส่งล่วงหน้า เพื่อเป็นแนวทางให้หน่วยงานภาคปฏิบัติสามารถควบคุมระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพมั่นคง โดยการ ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ศึกษาควบคุมระบบ ซึ่งในปัจจุบันการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยมีโปรแกรมสำหรับการศึกษาจาก Power Technologies INC (PTI) มีชื่อว่า Power System Simulator หรือ PSS/E ในการคำนวณศึกษาระบบของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และเชื่อมต่อประเทศข้างเคียง

หลักการของโปรแกรม PSS/E ในการวิเคราะห์ระบบกำลังไฟฟ้า

โปรแกรม Power System Simulator (PSS/E) เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการศึกษาวิเคราะห์ด้านการผลิตและระบบส่งกำลังไฟฟ้าด้วยการจำลองระบบกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ด้านกำลังผลิตหรือโรงไฟฟ้า ระบบส่งและระบบจำหน่าย ซึ่งจะวิเคราะห์ทางด้าน Steady State และ Dynamic โดยมีผลการคำนวณการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าแสดงการไหลของกำลังไฟฟ้า การวิเคราะห์พอลท์ทั้งแบบสมมาตรและไม่สมมาตร โครงสร้างวงจรโครงข่ายสมมูลย์และการจำลองไดนามิก

การใช้โปรแกรม PSS/E ในการวิเคราะห์ระบบกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

- เพื่อสนับสนุนด้านการวางแผนระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ให้สอดคล้องกับความต้องการไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นจากความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ
- เพื่อสนับสนุนด้านการปฏิบัติการในการบำรุงรักษาอุปกรณ์ระบบส่ง และโรงไฟฟ้าให้มีความเชื่อถือได้ของระบบป้องกันการ และการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมในโรงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เพื่อสนับสนุนด้านการควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า สำหรับหน่วยควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า โดยแสดงข้อกำหนดของการผลิต และข้อจำกัดของระบบส่ง รวมทั้งการเร่งรัดการนำโรงไฟฟ้าหรือการนำอุปกรณ์ระบบส่งเข้าใช้งาน
- เพื่อการศึกษาสำหรับกำหนดค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ไฟฟ้า ให้เหมาะสมกับสภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับสภาพของระบบไฟฟ้า

การศึกษาการไหลของภาระไฟฟ้าได้มีการพัฒนาฮาร์ดแวร์จากเดิมที่เก็บข้อมูลโดยใช้การ์ดซึ่งอาจไม่สะดวกในการใช้งาน เพราะการแก้ไขหรือเพิ่มข้อมูลจะต้องเข้าเครื่องเจาะบัตรก่อน และการประมวลผลต้องผ่านเครื่องอ่านบัตร สำหรับผลการศึกษาก็จะผ่านทางกริพพ์ออกมาอย่างเดียว ฉะนั้นต้องเสียเวลาในการศึกษามาก ในบางครั้งที่หน่วยงานต่าง ๆ ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมกัน ผลการศึกษาก็จะช้าออกไป

จะเห็นว่าการศึกษาในแต่ละกรณีใช้เวลาค่อนข้างมาก วิวัฒนาการระยะต่อมาการศึกษาการไหลของภาระไฟฟ้าได้ใช้โปรแกรม PSS/E กับเครื่องคอมพิวเตอร์เมนเฟรม การแก้ไขเพิ่มเติมข้อมูลเริ่มสะดวกขึ้น โดยใช้คีย์บอร์ดแทนการเจาะบัตร การประมวลผลสามารถเรียกดูได้ทางหน้าจอ มอนิเตอร์ การใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เมนเฟรมดังกล่าวยังมีปัญหาที่มีผู้ใช้งานมาก จึงต้องมีการแบ่งเวลาตามความสำคัญเร่งด่วน การประมวลผลจึงยังต้องใช้เวลามากพอสมควร

ปัจจุบันโปรแกรม PSS/E ได้จัดทำเป็นโปรแกรมสำเร็จรูป สามารถทำงานกับเครื่องคอมพิวเตอร์พีซีรุ่น 386 ขึ้นไปและมีหน่วยความจำอย่างน้อย 8 เมกกะไบท์ ทำให้สะดวกรวดเร็วในการศึกษาการไหลของภาระไฟฟ้าเป็นอย่างยิ่ง จึงเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายสำหรับนักวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า

การใช้โปรแกรม PSS/E ในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง

ตัวอย่างของการศึกษาวิเคราะห์ระบบโดยการใช้โปรแกรม PSS/E
ศึกษาสภาพระบบเมื่อมีการทำงานปลดสายส่งไฟฟ้า

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยรับผิดชอบในการผลิตและส่งไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าแรงสูงไปยังสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีหม้อแปลงปรับระดับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับระบบจำหน่าย การเกิดไฟฟ้าดับทางด้านผู้ใช้ไฟฟ้านั้น อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากการขัดข้องของระบบไฟฟ้าส่วนหนึ่งส่วนใดก็ได้ ตั้งแต่โรงไฟฟ้า ระบบส่ง หรือระบบจำหน่าย แต่มีข้อควรสังเกตว่าหากการขัดข้องเกิดขึ้นในระบบผลิต หรือระบบส่งไฟฟ้าหลักของ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย แล้วอาจจะมีผลทำให้ไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้าง โดยมีพื้นที่เกือบทั้งจังหวัดหรือหลายจังหวัดได้ แต่ถ้าหากไฟฟ้าดับเฉพาะที่สาเหตุจะเกิดขึ้นเนื่องจากการขัดข้องในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยหรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งปัจจุบันการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยมีสายส่งไฟฟ้าแรงสูงระดับแรงดันไฟฟ้า 500 กิโลโวลต์และ 115 กิโลโวลต์เชื่อมโยงกับโรงไฟฟ้าทุกโรง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า และเชื่อมโยงกันเป็นเครือข่ายทั่วประเทศ และจะต้องมีการทำงานปลดสายส่งไฟฟ้าเพื่อบำรุงรักษา ไม่ควรกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ในระบบส่งดังกล่าว จึงมีความจำเป็นต้องจำลองสภาพระบบส่งเมื่อมีการปลดสายส่งไฟฟ้า โดยโปรแกรม PSS/E ศึกษาสภาพระบบส่งว่าเกิดปัญหาหรือไม่ เพื่อหาแนวทางแก้ไข

ศึกษาค่าระดับฟอลต์ของอุปกรณ์ที่สถานีไฟฟ้า

ตามปกติที่สถานีไฟฟ้า แต่ละสถานีไฟฟ้า จะมีค่าระดับฟอลต์ของอุปกรณ์ต่อการทนกระแสลัดวงจรเป็นค่า ๆ หนึ่ง แต่เมื่อมีการเพิ่มอุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ามาเชื่อมโยงในระบบ เช่น หม้อแปลง สายส่งไฟฟ้า เป็นต้น จะมีผลทำให้ค่าระดับฟอลต์เพิ่มขึ้น จึงต้องใช้โปรแกรม PSS/E ในการจำลองหาค่าระดับฟอลต์ที่เพิ่มขึ้นเพื่อศึกษาว่าจะมีปัญหาคืออุปกรณ์ระบบส่งต่าง ๆ หรือไม่ เพื่อหาแนวทางแก้ไขต่อไป ซึ่งการวิเคราะห์ฟอลต์ของโปรแกรม PSS/E ตั้งอยู่บนพื้นฐานระบบที่มีความสมมาตร

ศึกษาความต้องการกำลังไฟฟ้าเสมือนของระบบไฟฟ้า

ตามที่ต้องการของระบบในแต่ละปีเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 1,000 MW หรือประมาณ 7-10% ของความต้องการสูงสุด แต่จากการก่อสร้างระบบส่งเพิ่มเติมจะล่าช้าไม่ทันตามกำหนด เนื่องจากผลกระทบด้านที่ดินและสิ่งแวดล้อม ทำให้สภาพระบบขาดกำลังไฟฟ้าเสมือนมีผลทำให้สภาพแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่ามาตรฐาน เช่น บริเวณรอบกรุงเทพมหานครหรือเขตอุตสาหกรรม จึงต้องมีการศึกษาเพื่อลำดับความต้องการ C-Bank สำหรับติดตั้งเพิ่มเติมในแต่ละปี ให้ทันรองรับสภาพความต้องการสูงสุดของปีต่อไป เพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อาทิ ผวส. ผกส. ผบส. เป็นต้น ดำเนินการติดตั้งให้แล้วเสร็จทันตามกำหนด

ศึกษาทางด้าน Transient Stability

ตามที่ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยมีขนาดใหญ่ขึ้นเช่นเดียวกับระบบส่งหลักและโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่มีความสำคัญต่อการจ่ายกระแสไฟฟ้าของระบบ ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาระบบไฟฟ้าในกรณีที่มีการเกิดฟอลต์ในระบบส่ง หรือการฟอสเอาต์เตจ (forced outage) ของโรงไฟฟ้า โดยพิจารณาว่าระบบไฟฟ้ายังมีเสถียรภาพ หรือจำเป็นต้องมีการติดตั้งระบบป้องกันอื่นเพื่อเพิ่มความมั่นคง เช่น Generation Shedding Scheme หรือ Load Shedding Scheme และความเชื่อถือได้ของการจ่ายไฟฟ้าได้มาตรฐานที่กำหนด

ปัจจุบัน โปรแกรม PSS/E ได้นำมาใช้เพิ่มการศึกษาระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย มีหน่วยงานที่ใช้ศึกษาดังนี้

- ด้านการวางแผนระบบไฟฟ้าระยะยาว โดย ผผฟ.
- ด้านการบำรุงรักษาและระบบป้องกัน โดย ผบส., ผบฟ.
- ด้านปฏิบัติการวางแผนระยะสั้น โดย ผคฟ., ฝ่ายปฏิบัติการภาคเหนือ, ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, ภาคใต้ และภาคกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม PSS/E มีความสามารถในการเก็บข้อมูลทางด้านลักษณะการไหลของภาระไฟฟ้า ดังนี้

บัส	12,000
บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	3,600
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	4,000
บรานช์	24,000
หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง	4,800
สายส่งไฟฟ้ากระแสตรง	20
INTERCHANGE AREAS	100
ZERO SEQUENCE MUTUAL COUPLINGS	3,000
BRANCHES PER MUTUAL COUPLING	121

โปรแกรม PSS/E สามารถคำนวณสมการได้ 5 วิธี ดังนี้

1. วิธีเกาส์ ไชดอล
2. วิธีโมดิไฟด์เกาส์ ไชดอล
3. วิธีนิวตัน-ราฟสัน
4. วิธีคัลป์เปิดนิวตัน-ราฟสัน
5. วิธีคัลป์เปิดนิวตัน-ราฟสันซึ่งกำหนดค่าความชัน

ปัญหาและอุปสรรค

การใช้โปรแกรม PSS/E สำหรับการศึกษามีจำเป็นต้องพิจารณาตั้งแต่ข้อมูลซึ่งเป็นประเด็นหลักในการศึกษา หากรายละเอียดต่าง ๆ ในการจำลองระบบไฟฟ้ามีความถูกต้อง ผลการศึกษาจะถูกต้องหรือใกล้เคียงกับสภาวะระบบจริงได้ยิ่งขึ้น แต่เนื่องจากระบบกำลังไฟฟ้ามีขนาดใหญ่ ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ มากมายตั้งแต่อุปกรณ์ในส่วนของโรงไฟฟ้า ระบบส่งไฟฟ้า จนกระทั่งถึงสถานีไฟฟ้า รวมทั้งยังมีอุปกรณ์อื่น ๆ อาทิ PSS, Static Var Compensator, HVDC เป็นต้น ซึ่งในส่วนนี้การจำลองต้องมีการสร้างแบบจำลองที่ถูกต้องอีกส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญในการคำนวณ ก็คือสภาพความต้องการพลังงานไฟฟ้าของแต่ละสถานีไฟฟ้า ประกอบไปด้วยประเภทของโหลดชนิดต่าง ๆ จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น คือการสร้างแบบจำลองหรือการปรับปรุงข้อมูลของระบบไฟฟ้าเป็นส่วนที่ยุ่งยากในการจัดหาข้อมูล หรือยังขาดข้อมูลที่ถูกต้อง โดยในการจัดหาในปัจจุบัน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย มีข้อมูลด้านระบบส่งยังไม่สมบูรณ์เพียงพอ ข้อมูลบางส่วนเป็นค่าประเภท Typical Data หรือ Standard Model จาก IEEE หรือจากมาตรฐานอื่น ๆ ซึ่งเป็นปัญหาในการจัดทำโมเดลกับสภาวะระบบจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ในการใช้ศึกษาระบบไฟฟ้า มีจำนวนจำกัดทำให้ไม่สามารถดำเนินการศึกษาได้สมบูรณ์ หรือเพียงพอ

การศึกษาระบบไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม PSS/E ในปัจจุบันยังมีข้อจำกัดสำหรับการศึกษาด้าน Long Term Dynamic เพื่อวัตถุประสงค์การศึกษาด้าน Automatic Generation Control, Restoration หรือ Operator Training เป็นต้น

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

โปรแกรม PSS/E สำหรับการศึกษาระบบไฟฟ้า เป็นโปรแกรมที่ใช้สนับสนุนหน่วยงานด้านการวางแผน การบำรุงรักษา และการปฏิบัติการควบคุมระบบกำลังไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการศึกษาและวิเคราะห์จะต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านข้อมูลการจำลองอุปกรณ์ระบบไฟฟ้าทั้งหมด รวมทั้งข้อมูลอื่น ๆ อาทิ โหลดและแผนการผลิตของโรงไฟฟ้า ซึ่งผลของการศึกษาจากประสบการณ์มีความถูกต้องค่อนข้างสูง ในด้านการศึกษาสถานะวปกติอยู่ในเกณฑ์เป็นที่ยอมรับได้ ส่วนการศึกษาด้าน Dynamic จะแสดงผลเฉพาะ Short term Stability เท่านั้น แต่โปรแกรมนี้อาจมีขีดจำกัดของโปรแกรมทางด้าน Long Term Dynamic ซึ่ง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ในปัจจุบันมีความต้องการของระบบสูงสุดถึง 13,310.9 MW เมื่อวันที่ 22 มีนาคม 2539 นับว่าเป็นระบบไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่มาก ดังนั้นการศึกษาระบบไฟฟ้าจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการสนับสนุนในด้านปฏิบัติการ และสมควรดำเนินการจัดหาโปรแกรมด้าน Long Term Dynamic ด้วย อีกประการหนึ่งเนื่องจากภายใน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย มีหน่วยงานหลายหน่วยงานที่ใช้โปรแกรม PSS/E สำหรับการศึกษาระบบไฟฟ้า จึงควรมีการจัดตั้ง PSS/E user group เพื่อการแลกเปลี่ยนข้อมูล ข้อคิดเห็น และเป็นการพัฒนาความรู้ความสามารถเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้นต้องขอขอบคุณ อาจารย์สมโภชน์ ประไพ ในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษาซึ่งให้คำปรึกษาและชี้แนะเกี่ยวกับข้อมูลที่ใช้ศึกษามาเป็นอย่างดีโดยตลอด

ขอขอบคุณ อาจารย์ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษาสำหรับการทำปริญญานิพนธ์นี้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ คุณศิระ กุหลาบแก้ว วิศวกร ระดับ 5 กองควบคุมระบบและปฏิบัติการจ่ายไฟฟ้าฝ่ายปฏิบัติการเขตนครหลวง ที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังในประเทศไทยและโปรแกรม PSS/E ที่ใช้กันอยู่จริงในการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ขอขอบคุณ คุณสมพงษ์ กล้ายบัณฑิต เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์สำหรับนักศึกษาปริญญาโท คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมที่อนุเคราะห์เครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องพิมพ์ รวมทั้งสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ด้วยดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้ให้โอกาสในการศึกษา และขอขอบคุณท่านอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้แก่ศิษย์มา โดยตลอด จนกระทั่งประสบความสำเร็จได้ด้วยดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. B.R Gupta ,”Power System Analysis and Design” , Wheeler Publishing , New Delhi , India , 1993.
2. Charles A. Gross , “Power System Analysis” , John Wiley & Sons , Singapore , 1986.
3. J. ARRILLAGA and C.P. ARNOLD ,”Computer Modelling of Electrical Power Systems” , John Wiley & Sons , UK , 1984
4. J.-P. Barret ,P.Bornard and B.Meyer ,”Power System Simulation”, Chapman & Hall ,London, UK , 1997.
5. John. J. Grainger and William D. Stevenson, Jr.,”Power System Analysis”, McGraw-Hill, Singapore, 1994.
6. R N DHAR,”Computer Aided Power System Operation and Analysis”, TATA McGraw-Hill , New Delhi , India ,1984.
7. Stagg , G.W and El-Abiad , A.H. ,”Computer Methods in Power System Analysis” , McGraw-Hill , Tokyo , Japan , 1968.
8. Toran Gone ,”Modern Power System Analysis” , John Wiley & Sons , New York , 1987.
9. William D. Stevenson, Jr. ,”Elements of Power System Analysis” , McGraw-Hill , Singapore, 1982.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้