



การควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยใช้หม้อแปลงแบบเปลี่ยนอัตรา
และปรับมุมเฟส

POWER FLOW CONTROL USING TAP-CHANGING AND
PHASE-SHIFTING TRANSFORMER



นายจักรินทร์ สุปรการ รหัส 50380140
นายบัณฑิต อุเทน รหัส 50380355

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
ณที่รับ..... ๔ S.A. 2555
เลขทะเบียน..... 16111002
เลขเรียกหนังสือ..... นร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๙ ๒๓ ๙

๒๖๑๔

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2554



ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยใช้หม้อแปลงแบบเปลี่ยนแท๊ป
และปรับมุมเฟส

ผู้ดำเนินโครงการ นายจักรินทร์ สุปราการ รหัส 50380140
นายบัณฑิต อุเทน รหัส 50380355

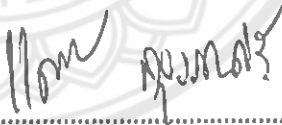
ที่ปรึกษาโครงการ ดร.แคทรียา สุวรรณศรี


สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า


ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

ปีการศึกษา 2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร.แคทรียา สุวรรณศรี)


.....กรรมการ
(ดร.นิพัทธ์ จันทรมินทร์)


.....กรรมการ
(ดร.ศุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยใช้หม้อแปลงแบบเปลี่ยนแท็ปและปรับมุมเฟส
ผู้ดำเนินโครงการ	นายจักรินทร์ สุปราคากร รหัส 50380140 นายบัณฑิต อูเทน รหัส 50380355
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร.แคทรียา สุวรรณศรี
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอการวิเคราะห์การควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม PowerWorld และวิธีนิวตัน-ราฟสันถูกใช้ในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าระบบศึกษาถูกแบ่งเป็น 2 ระบบ คือ ระบบแบบรูปและแบบเรเดียลระบบแบบรูปประกอบด้วยบัส 7 บัส เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 เครื่องและหม้อแปลงไฟฟ้า 2 เครื่องระบบแบบเรเดียลประกอบด้วยบัส 7 บัส เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 เครื่องและหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เครื่องโปรแกรม PowerWorld จะถูกนำไปใช้เพื่อหาค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟารีแอกที่รวมถึงค่าปริมาณการใช้สายส่งด้วย หม้อแปลงแบบเปลี่ยนแท็ปและแบบปรับมุมเฟสจะถูกใช้เพื่อวิเคราะห์การควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าทั้งระบบแบบรูปและแบบเรเดียล ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเมื่อภาระโหลดมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง โหลดจะส่งผลกระทบต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันบัสส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟารีแอกที่ฟในระบบไฟฟ้า การใช้หม้อแปลงแบบเปลี่ยนแท็ปและปรับมุมเฟสสามารถควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งเพื่อให้ทำงานในสภาวะปกติโดยไม่มีภาระมากเกินไป ดังนั้นหม้อแปลงแบบเปลี่ยนแท็ปและปรับมุมเฟสสามารถรักษาเสถียรภาพไว้ได้

Project title Power Flow Control Using Tap-Changing and Phase-Shifting Transformer

Name Mr. Jakkarin Suprakan ID. 50380140
Mr. Bodin Auten ID. 50380355

Project advisor Mrs. Cattareeya Suwanasri, D.Eng.

Major Electrical Engineering

Department Electrical and Computer Engineering

Academic year 2011

.....

Abstract

This project presents an analysis of power flow control system using PowerWorld simulator. The Newton–Raphson method is used to calculate the power flow. The studied system is divided into 2 types. The loop and radial types. The loop system consists of seven buses, two generators and two transformers. The radial system also consists of seven buses, one generator and one transformer. The PowerWorld program is used to determine real and reactive power flow, as well as capacity usage in transmission lines. The tap-changing and phase-shifting transformers are used to analyze the power flow control of both loop and radial systems. The analysis results show that the load fluctuation affects the changes in bus voltages, resulting in the changes of real and reactive power flows in the system. By using tap-changing and phase shifting transformers, they can control the power flow in transmission lines to be operated in normal conditions without excessive burden on the coordinates. Therefore, tap-changing and phase-shifting transformers can maintain the stability of the system.

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำปริญญาานิพนธ์ในครั้งนี้ คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ดร.แกทริยา สุวรรณศรี อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้ให้ความกรุณา แนะนำความคิด ความรู้ แนวทางแก้ไขปัญหา ตลอดจนให้โอกาสในการจัดทำปริญญาานิพนธ์ รวมไปถึงการเอื้อเพื่อเอกสารแหล่งข้อมูลในการค้นคว้าเพิ่มเติมและอุปกรณ์ต่างๆที่จำเป็นในการวิเคราะห์ช่วยให้ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมทั้งคณะกรรมการสอบโครงการทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ ตรวจสอบเพื่อให้ปริญญาานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวถึงในที่นี้ที่ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญาานิพนธ์นี้

สุดท้ายนี้สิ่งที่คณะผู้จัดทำรู้สึกและซาบซึ้งอยู่เสมออันคือพระคุณของบิดา มารดา ซึ่งเข้าใจและให้ความสนับสนุนช่วยเหลือในทุกๆด้าน ในการศึกษาและทำปริญญาานิพนธ์จนกระทั่งประสบผลสำเร็จ คณะผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

นายจักรินทร์ สุปรการ

นายบัณฑิต อุเทน

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท..... ก	ก
บทคัดย่อภาษาไทย..... ข	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ค	ค
กิตติกรรมประกาศ..... ง	ง
สารบัญ..... จ	จ
สารบัญตาราง..... ช	ช
สารบัญรูป..... ญ	ญ
บทที่ 1 บทนำ..... 1	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ..... 1	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ..... 1	1
1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน..... 1	1
1.4 แผนการดำเนินงาน..... 2	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ..... 3	3
1.6 งบประมาณที่ใช้..... 3	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 4	4
2.1 ระบบไฟฟ้า..... 4	4
2.1.1 แบบเรเดียล..... 4	4
2.1.2 แบบวงแหวน..... 5	5
2.2 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าโดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน..... 6	6
2.2.1 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า..... 6	6
2.2.2 ค่าที่กำหนดให้ และ ค่าที่ต้องคำนวณที่บัสต่างๆ..... 6	6
2.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าโดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน..... 7	7
2.3 การควบคุมแรงดันไฟฟ้าและการไหลของกำลังไฟฟ้า..... 8	8
2.3.1 การแบ่งชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง..... 8	8
2.3.2 หม้อแปลงที่มีตัวเปลี่ยนแท็ป..... 17	17
2.3.3 การชดเชยขนาน..... 19	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.4 การชดเชยอนุกรม.....	22
2.3.5 การขนานของสายส่ง.....	23
2.3.6 การควบคุมการไหลของพลังงานด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับมุมเฟส	25
บทที่ 3 การวิเคราะห์ ออกแบบ และพัฒนาระบบ.....	30
3.1 วิเคราะห์ตัวอย่างระบบไฟฟ้าแบบ 2 บัส จากการคำนวณ.....	30
3.1.1 ข้อกำหนดทั่วไป.....	30
3.1.2 คำนวณค่าเมทริกซ์แอดมิตแดนซ์เมื่อไม่พิจารณาการปรับมุมเฟส.....	30
3.1.3 คำนวณตัวแปรเมื่อพิจารณาปรับมุมเฟสที่ -5°	32
3.1.4 คำนวณตัวแปรเมื่อพิจารณาปรับมุมเฟสที่ -3°	34
3.1.5 คำนวณตัวแปรเมื่อพิจารณาปรับมุมเฟสที่ 0°	35
3.1.6 คำนวณตัวแปรเมื่อพิจารณาปรับมุมเฟสที่ 3°	37
3.1.7 คำนวณตัวแปรเมื่อพิจารณาปรับมุมเฟสที่ 5°	39
3.2 วิเคราะห์ตัวอย่างระบบไฟฟ้าแบบ 2 บัสด้วยโปรแกรม PowerWorld	42
3.2.1 วงจรระบบไฟฟ้าแบบ 2 บัส.....	42
3.2.2 วิเคราะห์ระบบไฟฟ้าแบบ 2 บัส ด้วยผลจากโปรแกรม PowerWorld	46
3.3 สรุปปัญหาการวิเคราะห์วงจร 2 บัส โดยปรับหม้อแปลงที่มุมเฟสที่ 3°	47
3.4 ระบบศึกษา.....	48
บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงและปรับมุมเฟสหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง.....	50
4.1 ระบบไฟฟ้าแบบรูป 7 บัส เมื่อปรับมุมเฟสของ T3 โดยเท็ป T3 เท่ากับ 0.9.....	50
4.2 ระบบไฟฟ้าแบบรูป 7 บัส เมื่อปรับมุมเฟสของ T3 โดยเท็ป T3 เท่ากับ 1.0.....	56
4.3 ระบบไฟฟ้าแบบรูป 7 บัส เมื่อปรับมุมเฟสของ T3 โดยเท็ป T3 เท่ากับ 1.1.....	62
4.4 ระบบไฟฟ้าแบบรูป 7 บัส เมื่อปรับเท็ปของ T3 โดยมุมเฟส T3 เท่ากับ -3°	69
4.5 ระบบไฟฟ้าแบบรูป 7 บัส เมื่อปรับเท็ปของ T3 โดยมุมเฟส T3 เท่ากับ 0°	73
4.6 ระบบไฟฟ้าแบบรูป 7 บัส เมื่อปรับเท็ปของ T3 โดยมุมเฟส T3 เท่ากับ 3°	78
4.7 ระบบไฟฟ้าแบบรูป 7 บัส เมื่อปรับมุมเฟสของ T4 โดยเท็ป T4 เท่ากับ 1.....	82
4.8 ระบบไฟฟ้าแบบเรเดียล 7 บัส เมื่อปรับมุมเฟสของ T2 โดยเท็ป T2 เท่ากับ 0.9.....	89

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินโครงการ.....	94
5.1 สรุปผล.....	94
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข.....	95
5.3 แนวทางการพัฒนาโครงการต่อไป.....	95
เอกสารอ้างอิง.....	96
ภาคผนวก ก.....	97
ค่าพารามิเตอร์ของวงจรแบบรูประบบ 7 บิต.....	98
ค่าพารามิเตอร์ของวงจรแบบเรเดียลระบบ 7 บิต.....	99
ภาคผนวก ข.....	100
วิธีติดตั้ง โปรแกรม PowerWorld.....	101
วิธีการออกแบบระบบไฟฟ้าใน โปรแกรม PowerWorld.....	104
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	115

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางแจกแจงค่าที่กำหนดให้และค่าที่ด้อยกว่าที่บัสต่างๆในการวิเคราะห์กำลังไฟฟ้า.....6	
2.2 ข้อดีข้อเสียของการใช้อุปกรณ์ในการปรับแรงดัน.....28	
3.1 ค่าผลต่างของกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าโดยการปรับมุมเฟสที่ -5°33	
3.2 ค่าผลต่างของกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าโดยการปรับมุมเฟสที่ -3°35	
3.3 ค่าผลต่างของกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าโดยการปรับมุมเฟสที่ 0°37	
3.4 ค่าผลต่างของกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าโดยการปรับมุมเฟสที่ 3°39	
3.5 ค่าผลต่างของกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าโดยการปรับมุมเฟสที่ 5°41	
3.6 สรุปค่าพารามิเตอร์ของตัวอย่างระบบ ไฟฟ้าแบบ 2 บัสจากการคำนวณ41	
3.7 ค่าแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า 2 บัส โดยการเปลี่ยนแท็ปและมุมเฟส45	
3.8 ค่ากำลังไฟฟ้าสายส่งเส้นที่ 1 และสายส่งเส้นที่ 2 ของระบบไฟฟ้า 2 บัส.....46	
3.9 สรุปค่าพารามิเตอร์ของตัวอย่างระบบ ไฟฟ้าแบบ 2 บัสจากโปรแกรม PowerWorld47	
3.10 ค่ากำลังไฟฟ้าที่คำนวณและค่ากำลังไฟฟ้าจากโปรแกรม PowerWorld48	
4.1 ค่ากำลังไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์การไหลกำลังไฟฟ้า ที่แท็ป T3 เท่ากับ 0.952	
4.2 ค่าขนาดและมุมเฟสของแรงดันที่แท็ป T3 เท่ากับ 0.9.....54	
4.3 ค่ากำลังไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์การไหลกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่แท็ป T3 เท่ากับ 1.0.....58	
4.4 ค่าขนาดและมุมเฟสของแรงดันที่แท็ป T3 เท่ากับ 1.0.....60	
4.5 ค่ากำลังไฟฟ้าในสายส่งที่แท็ป T3 เท่ากับ 1.164	
4.6 ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่แท็ป T3 เท่ากับ 1.165	
4.7 ค่าขนาดและมุมเฟสของแรงดันที่แท็ป T3 เท่ากับ 1.1.....67	
4.8 ค่ากำลังไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์การไหลกำลังไฟฟ้าในสายส่งมุมเฟส T3 เท่ากับ -3°70	
4.9 ค่าขนาดและมุมเฟสของแรงดันที่มุมเฟส T3 เท่ากับ -3°72	
4.10 ค่ากำลังไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์การไหลกำลังไฟฟ้าในสายส่งมุมเฟส T3 เท่ากับ 0°75	
4.11 ค่าขนาดและมุมเฟสของแรงดันที่มุมเฟส T3 เท่ากับ 0°76	
4.12 ค่ากำลังไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์การไหลกำลังไฟฟ้าในสายส่งมุมเฟส T3 เท่ากับ 3°79	
4.13 ค่าขนาดและมุมเฟสของแรงดันที่มุมเฟส T3 เท่ากับ 3°81	
4.14 ค่ากำลังไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์การไหลกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่แท็ป T4 เท่ากับ 1.....85	
4.15 ค่าขนาดและมุมเฟสของแรงดันที่แท็ป T4 เท่ากับ 1.....86	
4.16 ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่แท็ป T4 เท่ากับ 188	

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.17 ค่ากำลังไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์การไหลกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่แท๊ป T2 เท่ากับ 0.9.....	92



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รูปแบบของสายจำหน่ายแรงสูงแบบเรเดียลทรี-โพล์.....	4
2.2 สายจำหน่ายแรงสูงแบบโพลเดียนเตอร์เรเดียล.....	5
2.3 สายจำหน่ายแรงสูงแบบวงแหวน.....	5
2.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแบบแยก.....	9
2.5 เครื่องกำเนิดแบบอนุกรม.....	10
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ขั้วกับกระแสโพล.....	11
2.7 เครื่องกำเนิดแบบขนาน.....	11
2.8 แรงดันที่ขั้วจะลดลงอย่างมากถ้ากระแสโพลเพิ่มขึ้นเกินค่าพิคคของกระแสที่โพลเต็มที่.....	12
2.9 เครื่องกำเนิดแบบผสม.....	13
2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ขั้วกระแสโพลของเครื่องกำเนิดแบบผสม ชนิดต่างๆ.....	14
2.11 เครื่องกำเนิดแบบผสมเชิงสะสม.....	15
2.12 เครื่องกำเนิดแบบผสมต่อแบบสั้นและต่อแบบยาว.....	15
2.13 เครื่องกำเนิดชนิดกระตุ้นแบบแยก.....	16
2.14 การใช้หม้อแปลงที่มีตัวเปลี่ยนเทปแก้ปัญหาไฟตกชั่วขณะ.....	17
2.15 วงจรของหม้อแปลงที่มีตัวเปลี่ยนเทป.....	18
2.16 การต่อ B_L ขนานกับวงจรสมมูลแบบ π	20
2.17 วงจรสมมูลตัวเหนี่ยวนำแบบ T.....	20
2.18 การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบอนุกรมต่อขนานกับ B_L	20
2.19 การต่อ B_C ขนานกับวงจรสมมูลแบบ π	21
2.20 วงจรสมมูลตัวเก็บประจุแบบ T.....	21
2.21 การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบอนุกรมต่อขนานกับ B_C	22
2.22 การต่อ jX_L อนุกรมกับวงจรสมมูลแบบ π	22
2.23 การต่อ jX_C อนุกรมกับวงจรสมมูลแบบ π	23
2.24 การเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า 2 แหล่งเข้าด้วยกันโดยสายส่ง 2 ชุด.....	24
2.25 การเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า 2 แหล่งเข้าด้วยกันโดยสายส่ง 3 ชุด.....	24
2.26 การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบขนาน.....	25
2.27 หม้อแปลง 2 ตัวมาต่ออนุกรมกัน.....	26
2.28 วงจรสมมูลของหม้อแปลงที่ต่ออนุกรมกัน.....	26

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.29 แผนภาพเชิงเส้นของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	27
2.30 รูปวงจรสมมูล pu.....	27
2.31 รูปวงจรสมมูลแบบ π	27
3.1 ภาพแสดงการทำงานของหม้อแปลงมุมเฟส 3 องศา	30
3.2 วงจรสมมูลของ L1.....	31
3.3 วงจรสมมูลของ L2.....	31
3.4 ระบบไฟฟ้า 2 บัส หม้อแปลงที่เท็ป 1.01875 โดยปรับมุมเฟสของหม้อแปลง.....	42
3.5 ระบบไฟฟ้า 2 บัส หม้อแปลงที่มุมเฟส -5° โดยปรับเท็ปของหม้อแปลง.....	43
3.6 ระบบไฟฟ้า 2 บัส หม้อแปลงที่มุมเฟส -3° โดยปรับเท็ปของหม้อแปลง.....	43
3.7 ระบบไฟฟ้า 2 บัส หม้อแปลงที่มุมเฟส 0° โดยปรับเท็ปของหม้อแปลง	44
3.8 ระบบไฟฟ้า 2 บัส หม้อแปลงที่มุมเฟส 3° โดยปรับเท็ปของหม้อแปลง	44
3.9 ระบบไฟฟ้า 2 บัส หม้อแปลงที่มุมเฟส 5° โดยปรับเท็ปของหม้อแปลง	45
3.10 วงจรแบบรูป 7 บัส.....	48
3.11 วงจรแบบเรเดียล 7 บัส.....	49
4.1 การไหลของกำลังไฟฟ้าเมื่อปรับมุมเฟสของ T3 โดยเท็ป T3 เท่ากับ 0.9.....	50
4.2 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ ที่เท็ป T3 เท่ากับ 0.9	53
4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่บัส 4-5, บัส 4-6 และ บัส 5-6 ที่เท็ป T3 เท่ากับ 0.9...53	53
4.4 ค่าแรงดันที่บัส 4, 5, 6ที่เท็ป T3 เท่ากับ 0.9	55
4.5 ค่ามุมเฟสของแรงดันที่บัส 4, 5, 6 ที่เท็ป T3 เท่ากับ 0.9.....	55
4.6 การไหลของกำลังไฟฟ้าที่เท็ปเท่ากับ 1.0 เมื่อมีการปรับมุมเฟสของหม้อแปลง	56
4.7 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ ที่เท็ป T3 เท่ากับ 1.0	58
4.8 ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่บัส 4-5, บัส 4-6 และ บัส 5-6ที่เท็ป T3 เท่ากับ 1.0...59	59
4.9 ค่าแรงดันที่บัส 4, 5, 6 ที่เท็ป T3 เท่ากับ 1.0.....	60
4.10 ค่ามุมเฟสของแรงดันที่บัส 4, 5, 6 ที่เท็ป T3 เท่ากับ 1.0.....	61
4.11 การไหลของกำลังไฟฟ้าที่เท็ปเท่ากับ 1.1 เมื่อมีการปรับมุมเฟสของหม้อแปลง	62
4.12 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่เท็ป T3 เท่ากับ 1.1	64
4.13 ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าบัส 4-5, บัส 4-6 และ บัส 5-6 ที่เท็ป T3 เท่ากับ 1.1 ...66	66
4.14 ค่าผลต่างเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่เท็ป T3 เท่ากับ 1.1.....	66

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15 ค่าแรงดันที่บัส 4, 5, 6 ที่แท๊ป T3 เท่ากับ 1.1.....	67
4.16 ค่ามุมเฟสของแรงดันที่บัส 4, 5, 6 ที่แท๊ป T3 เท่ากับ 1.1.....	68
4.17 การไหลของกำลังไฟฟ้าที่มุมเฟสเท่ากับ -3° เมื่อมีการปรับแท๊ปของหม้อแปลง	69
4.18 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ายิ่งยวดที่มุมเฟส T3 เท่ากับ -3°	71
4.19 ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่มุมเฟส T3 เท่ากับ -3°	71
4.20 ค่าของแรงดันไฟฟ้า ที่มุมเฟส T3 เท่ากับ -3°	73
4.21 ค่ามุมเฟสของแรงดันไฟฟ้า ที่มุมเฟส T3 เท่ากับ -3°	73
4.22 การไหลของกำลังไฟฟ้าที่มุมเฟสเท่ากับ 0° เมื่อมีการปรับแท๊ปของหม้อแปลง.....	73
4.23 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ายิ่งยวดที่มุมเฟส T3 เท่ากับ 0°	75
4.24 ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่มุมเฟส T3 เท่ากับ 0°	76
4.25 ค่าของแรงดันไฟฟ้าที่มุมเฟส T3 เท่ากับ 0°	77
4.26 ค่ามุมเฟสของแรงดันไฟฟ้า ที่มุมเฟส T3 เท่ากับ 0°	77
4.27 การไหลของกำลังไฟฟ้าที่มุมเฟสเท่ากับ 3° เมื่อมีการปรับแท๊ปของหม้อแปลง.....	78
4.28 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ายิ่งยวดที่มุมเฟส T3 เท่ากับ 3°	80
4.29 ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้า ที่มุมเฟส T3 เท่ากับ 3°	80
4.30 ค่าของแรงดันไฟฟ้าที่มุมเฟส T3 เท่ากับ 3°	82
4.31 ค่ามุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าที่มุมเฟส T3 เท่ากับ 3°	82
4.32 การไหลของกำลังไฟฟ้าที่แท๊ปเท่ากับ 1 เมื่อมีการปรับมุมเฟสของหม้อแปลง T4.....	83
4.33 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ายิ่งยวดที่แท๊ป T4 เท่ากับ 1	85
4.34 ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่บัส 4-5, บัส 4-6 และ บัส 5-6 ที่แท๊ป T4 เท่ากับ 1...86	86
4.35 ค่าแรงดันที่บัส 4, 5, 6 ที่แท๊ป T4 เท่ากับ 1	87
4.36 ค่ามุมเฟสของแรงดันที่บัส 4, 5, 6 ที่แท๊ป T4 เท่ากับ 1	87
4.37 ผลต่างของแรงดันที่แท๊ป T4 เท่ากับ 1.....	88
4.38 การไหลของกำลังไฟฟ้าแบบเรเดียลที่แท๊ปเท่ากับ 0.9 เมื่อมีการปรับมุมเฟสของหม้อแปลง.89	89

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

โครงสร้างระบบไฟฟ้าในปัจจุบันสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ แบบรูป (Loop) และ แบบเรเดียล (Radial) การดูแลระบบไฟฟ้าต้องรักษาให้ระบบทำงานอยู่ในสภาวะปกติ (Normal operation) เมื่อภาระโหลดของระบบมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงจะทำให้ค่าของแรงดันของระบบเปลี่ยนแปลงส่งผลให้กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ไหลในสายส่ง (Active and reactive power flow) มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้นการควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นให้อยู่ในสภาวะปกติโดยไม่มีภาระมากเกินไป (Overload) จึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อรักษาเสถียรภาพของระบบให้มั่นคง

ดังนั้น โครงการนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์การควบคุมการไหลกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า (Power system voltage control) ซึ่งออกแบบ 2 ลักษณะคือสายส่งแบบรูป (Transmission loop) และสายจำหน่ายแบบเรเดียล (Radial distribution feeder) โดยใช้อุปกรณ์ควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้า (Phase shift transformer) เช่น การเปลี่ยนแท็ปหม้อแปลง (Tap-changing transformer) และหม้อแปลงแบบปรับมุมเฟส

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

ศึกษาการควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบกำลังจริงและแบบกำลังรีแอกทีฟในระบบส่งและระบบจำหน่ายโดยใช้วิธีการเปลี่ยนแท็ปหม้อแปลงและหม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับมุมเฟส

1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน

1. ออกแบบระบบไฟฟ้าแบบรูป 7 บัสและแบบเรเดียล 7 บัสที่กำหนดให้โดยใช้โปรแกรม PowerWorld
2. คำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยวิธีนิวตัน-ราฟสันโดยใช้โปรแกรม PowerWorld
3. วิเคราะห์การควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าในสภาวะโหลดสูงโดยใช้วิธีการเปลี่ยนแท็ปหม้อแปลงและหม้อแปลงแบบปรับมุมเฟส

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

เราสามารถใช้โปรแกรม PowerWorld มาวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าในสถานะโหลดสูงโดยการควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการเปลี่ยนแท่งหม้อแปลงและหม้อแปลงแบบปรับมุมเฟส

1.6 งบประมาณที่ใช้

1. ค่าถ่ายเอกสาร	500 บาท
2. ค่าพิมพ์เอกสาร	600 บาท
3. ค่าจัดทำรูปเล่มปริญญาบัตร	900 บาท
รวมเป็นเงิน (สองพันบาทถ้วน)	<u>2,000 บาท</u>
หมายเหตุ : ถัวเฉลี่ยทุกรายการ	



บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะศึกษาเกี่ยวกับหลักการและทฤษฎีว่าระบบไฟฟ้าแบบรูปและแบบเรเดียลนั้นเป็นอย่างไร การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าโดยวิธีนิวตัน-ราฟสันมีหลักการอย่างไรบ้างในการคำนวณการควบคุมแรงดันไฟฟ้าและการไหลของกำลังไฟฟ้ามีอะไรบ้าง

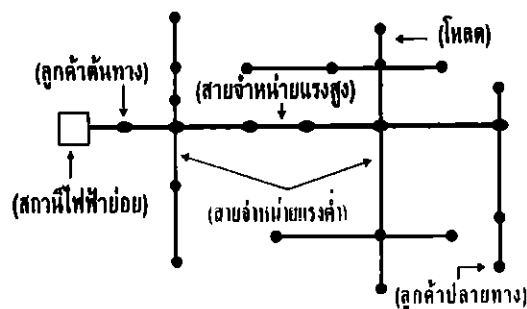
2.1 ระบบไฟฟ้า

รูปแบบหรือวงจรของสายจำหน่ายแรงสูงการเดินสายจำหน่ายแรงสูงไปยังแหล่งผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีลักษณะการใช้โหลดหรือความหนาแน่นของผู้ใช้แตกต่างกันนั้นต้องจัดรูปแบบให้เหมาะสมกับจุดประสงค์ของการใช้ซึ่งจำแนกออกเป็นวงจรแบบต่างๆดังนี้

2.1.1 แบบเรเดียลมี 2 ชนิดคือ

1. เรเดียลทรี-ไทป์

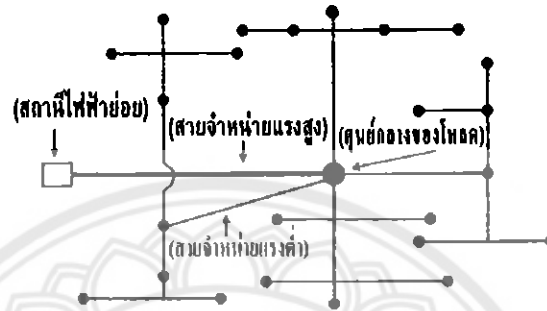
วงจรของสายจำหน่ายแรงสูงแบบเรเดียลทรี-ไทป์ (Radial tree-type) นี้จะประกอบด้วยสายจำหน่ายแรงสูง (Primary distribution line) หรือสายป้อนปฐมภูมิ (Primary feeder) ที่เดินตรงจากสถานีไฟฟ้าย่อยจำหน่าย (Secondary substation) แล้วแยกเป็นสายจำหน่ายแรงต่ำ (Secondary distribution line) ออกไปตามถนนหรือสถานที่ต่างๆซึ่งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าวงจรกิ่ง (Branch circuit) ต่างๆ (มีลักษณะเหมือนต้นไม้ที่แยกเป็นกิ่งก้านสาขา) อาจเป็นแบบเฟสเดียวหรือ 3 เฟสก็ได้แต่จะต้องจัดแบ่งโหลดที่สายเมนที่จะจ่ายไฟฟ้าออกไปให้แต่ละเฟสมีโหลดที่สมดุล (Balanced load) ในการจ่ายไฟฟ้าไปได้มากน้อยเท่าใดนั้นหากไม่ถูกจำกัดในเรื่องอุณหภูมิของสายไฟฟ้าจะสูงเกินไปแล้วก็ต้องพิจารณาเรื่องของแรงดันไฟฟ้า ณ จุดที่ใกล้สถานีไฟฟ้าที่สุด (โหลดที่ต้นทาง) กับจุดที่อยู่ไกลจากสถานีไฟฟ้าที่สุดหรือปลายสาย (โหลดที่ปลายทาง) โดยทั้ง 2 จุดดังกล่าวจะต้องมีระดับแรงดันไม่ต่างกันมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 รูปแบบของสายจำหน่ายแรงสูงแบบเรเดียลทรี-ไทป์ [3]

2. แบบโหลดเซ็นเตอร์เรเดียล

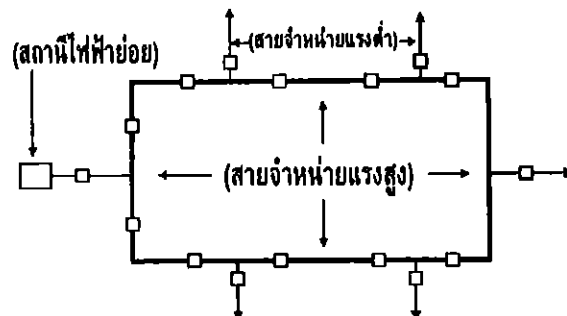
สายจำหน่ายแบบโหลดเซ็นเตอร์เรเดียล (Load-center radial or feeder-and-main) นี้แตกต่างจากแบบแรกตรงที่มีสายเมนค์เดินตรงจากสถานีไฟฟ้าย่อยหรือโรงไฟฟ้าขนาดเล็ก (ดีเซล) ไปยังศูนย์กลางการใช้ไฟฟ้า (Load center) ซึ่งการจ่ายไฟฟ้าในลักษณะนี้เหมาะที่จะใช้ในเมืองใหญ่ๆหรือบริเวณที่มีการใช้ไฟฟ้าหนาแน่น (มี Load-density มาก) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 สายจำหน่ายแรงสูงแบบ โหลดเซ็นเตอร์เรเดียล [3]

2.1.2 แบบวงแหวน

สายจำหน่ายแรงสูงแบบวงแหวน (Loop or ring systems) นี้ตามรูปที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าการเดินสายจำหน่ายแรงสูง (Primary distribution line) หรือสายป้อนปฐมภูมิ (Primary feeder) ใ้รอบๆบริเวณที่มีการใช้ไฟฟ้าอย่างหนาแน่นในลักษณะวนกลับมาบรรจบที่เดิมการลงทุนก่อสร้างจะสูงมากนิยมใช้กับบริเวณที่มีการใช้ไฟฟ้าอย่างหนาแน่นมีโหลดหลายๆเช่นบริเวณนิคมอุตสาหกรรมเพื่อต้องการให้มีเหตุไฟฟ้าขัดข้อง (ดับ) น้อยที่สุดหรือต้องการความมีเสถียรภาพในการจ่ายไฟฟ้าสูงๆนั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สายจำหน่ายแรงสูงแบบวงแหวน [3]

2.2 การวิเคราะห์ห้วงจรไฟฟ้าโดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

อนุกรมเทเลอร์การขยายตัว ทำหน้าที่ของตัวแปรสองตัวหรือมากกว่าเป็นพื้นฐานของการวิธีนิวตัน-ราฟสันในการแก้ปัญหาพลังงานหมุนเวียน จากการศึกษาวิธีการเริ่มจากการอภิปรายของการแก้ปัญหาของปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการเพียงสองสมการและตัวแปรทั้งสองจากนั้นเราจะดูว่าการที่จะขยายการวิเคราะห์เพื่อแก้ปัญหของพลังงานหมุนเวียนสมการ

2.2.1 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า

ในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง (Power flow analysis) จะต้องทราบข้อมูลของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบก่อน เพื่อใช้ในการหากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของระบบข้อมูลสำหรับการศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้า (Information for power flow studying) มีดังนี้

1. เมทริกซ์แอดมิตแตนซ์ (Y) ของระบบ
2. บัสอ้างอิง (Swing bus) คือ บัสอ้างอิงของระบบ (Reference bus) ที่บัสนี้จะกำหนดค่าแรงดันและมุมของแรงดันไว้
3. บัสโหลด (Load bus) คือ บัสที่มีภาระไฟฟ้าต่อบัสนี้จะกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ (P, Q)
4. บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator bus) คือ บัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อบัสนี้จะกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงและขนาดของแรงดัน (P, V)
5. อิมพีแดนซ์อนุกรมและแอดมิตแตนซ์ขนานของสายส่งเวลาเพิ่มอุปกรณ์เข้ามาในระบบ
6. ข้อมูลอื่นๆ เช่น พิกัดกำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงพิกัดตัวเก็บประจุขนานและการตั้งแท๊ปของหม้อแปลง

2.2.2 ค่าที่กำหนดให้ และ ค่าที่ต้องคำนวณที่บัสต่างๆ

ค่ากำลังไฟฟ้าจริง (P) กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ (Q) ขนาดของแรงดันไฟฟ้า (V) และมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้า (δ) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่กำหนดค่ามาให้ หรือต้องคำนวณ ณ บัสต่างๆ ได้แก่ บัสอ้างอิง บัสภาระไฟฟ้า และบัสที่มีแรงดัน ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางแจกแจงค่าที่กำหนดให้และค่าที่ต้องคำนวณที่บัสต่างๆ ในการวิเคราะห์กำลังไฟฟ้า

บัส	ค่าที่กำหนดมาให้	ค่าที่ต้องคำนวณ
บัสสวิง (Swing bus)	V และ δ	P และ Q
บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator bus)	P และ V	Q และ δ
บัสโหลด (Load bus)	P และ Q	V และ δ

2.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ห้วงจรไฟฟ้าโดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

1. บัสโหลด

ก) ทราบค่า P_i^{sch} และ Q_i^{sch}

ข) กำหนดค่าแรงดันบัสเริ่มต้น

กำหนดให้เท่ากับ บัสอ้างอิง (Swing bus)

หรือ - กำหนด $|V_i^{(0)}| = 1$ และ $d_i^{(0)} = 0$

ค) หาค่า $P_i^{(k)}, Q_i^{(k)}$ จาก

$$P_i = \sum_{j=1}^N |V_i V_j V_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j + \delta_i) \quad (2.1)$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^N |V_i V_j V_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j + \delta_i) \quad (2.2)$$

ง) หาค่า $\Delta P_i^{(k)}, \Delta Q_i^{(k)}$ จาก

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sch} - P_i^{(k)} \quad (2.3)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{sch} - Q_i^{(k)} \quad (2.4)$$

2. บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ก) ทราบค่า P_i^{sch}

ข) กำหนดค่า มุมเฟส ของแรงดันบัสเริ่มต้น

กำหนดให้เท่ากับ บัสอ้างอิง (Swing bus)

หรือ - กำหนด $d_i^{(0)} = 0$

ค) หาค่า $P_i^{(k)}$ จาก

$$P_i = \sum_{j=1}^N |V_i V_j V_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j + \delta_i) \quad (2.5)$$

ง) หาค่า $\Delta P_i^{(k)}$ จาก

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sch} - P_i^{(k)} \quad (2.6)$$

3. หาสมาชิกแต่ละตัวในเมทริกซ์จาโคเบียน [J]

$$[J] = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

โดยแทนค่า $V_i^{(k)} \angle \delta_i^{(k)}$, $V_j^{(k)} \angle \delta_j^{(k)}$, $Y_{ij}^{(k)} \angle \theta_{ij}^{(k)}$

4. หาค่า $\Delta \delta_i^{(k)}$, $\Delta |V_i^{(k)}|$ จาก

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta_i^{(k)} \\ \Delta |V_i^{(k)}| \end{bmatrix} = [J^{(k)}]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P_i^{(k)} \\ \Delta Q_i^{(k)} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

5. หา $\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)}$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad (2.9)$$

6. กลับไปทำ ขั้นตอนที่ 1 ใหม่ โดยใช้ $\delta_i^{(k+1)}$, $|V_i^{(k+1)}|$

7. ทำไปเรื่อยๆ จนกระทั่ง $|\Delta P_i^{(k)}| \leq \epsilon$ และ $|\Delta Q_i^{(k)}| \leq \epsilon$
เมื่อ ϵ เท่ากับ 2.5×10^{-4} pu.

2.3 การควบคุมแรงดันไฟฟ้าและการไหลของกำลังไฟฟ้า

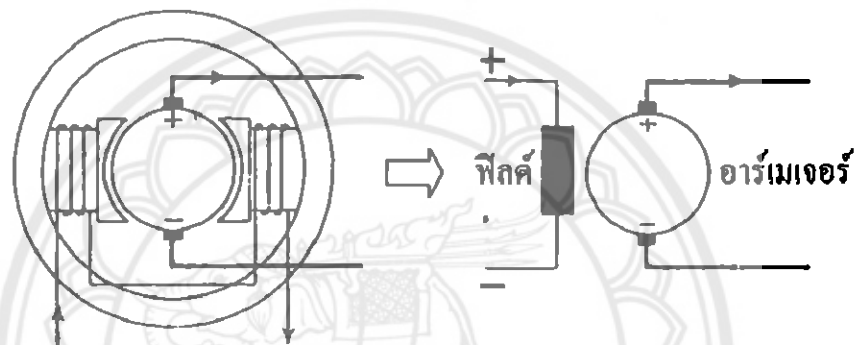
เนื่องจากในระบบสายส่งกำลังนั้นต้องการความเสถียรในระบบสูงในการส่งแรงดันไฟฟ้า เพื่อป้องกันแรงดันไฟฟ้าตกหรือแรงดันไฟฟ้าเกินซึ่งจะทำให้แรงดันปลายสายไม่เป็นไปตามที่ ต้องการของผู้ใช้การไหลส่งผลให้กำลังไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงซึ่งอาจก่อให้เกิดภาวะไหลเกินใน สายส่งบางเส้นและนำไปสู่การเกิดไฟฟ้าดับในวงกว้าง ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้ อยู่ในค่าพิกัดและการควบคุมการไหลกำลังไฟฟ้าเพื่อให้ระบบไฟฟ้าสามารถทำงานอยู่ได้ในสภาพ ปกติในการควบคุมแรงดันไฟฟ้าและการไหลของกำลังไฟฟ้านั้นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมมีดังนี้ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง, การชดเชยขนาน, การชดเชยอนุกรม, การขนานสายส่ง, หม้อแปลง ที่มีตัวเปลี่ยนเทป, หม้อแปลงเปลี่ยนมุมเฟส

2.3.1 การแบ่งชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกตามลักษณะการนำกระแสไฟฟ้าไปกระตุ้น ขดลวดสนามแม่เหล็กได้ 2 แบบคือ

1. เครื่องกำเนิดชนิดกระตุ้นแบบแยก

เครื่องกำเนิดชนิดกระตุ้นแบบแยก (Separately excited generator) คือเครื่องกำเนิดชนิดหรือประเภทที่ซึ่งขดลวดสนามแม่เหล็กของมันถูกกระตุ้นจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอกที่แยกต่างหากซึ่งแหล่งจ่ายที่ใช้ในการกระตุ้นสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอกที่แยกต่างหากซึ่งแหล่งจ่ายที่ใช้ในการกระตุ้นสำหรับเครื่องกำเนิดชนิดนี้อาจจะเป็นแบตเตอรี่หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงตัวอื่นๆเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวอื่นๆถูกนำมาใช้ในการกระตุ้นมันก็จะถูกเรียกว่าตัวกระตุ้นหรือเอ็กไซเตอร์ (Exciter) สัญลักษณ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแบบแยกได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.4

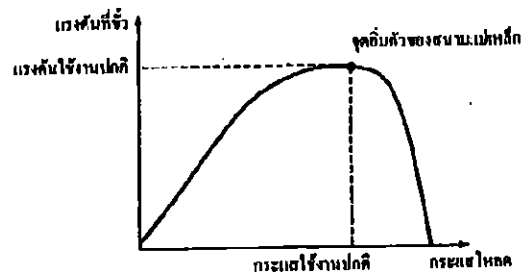


รูปที่ 2.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแบบแยก [1]

เนื่องจากการกระตุ้นแบบแยกต้องการแบตเตอรี่หรือเครื่องกำเนิดที่แยกต่างหากดังนั้นโดยทั่วไปมันจึงมีราคาแพงกว่าการกระตุ้นตัวเองตามผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น โดยปกติแล้วการกระตุ้นแบบแยกจะถูกนำมาใช้เมื่อการกระตุ้นตัวเองให้ผลไม่เป็นที่น่าพอใจซึ่งสิ่งที่เกิดขึ้นในกรณีที่เครื่องกำเนิดต้องตอบสนองอย่างรวดเร็วและถูกต้องแน่นอนต่อการควบคุมแหล่งจ่ายจากภายนอกหรือเมื่อแรงดันด้านออกของเครื่องกำเนิดต้องเปลี่ยนแปลงไปในย่านที่กว้างในระหว่างที่มันทำงานตามปกติ

2. เครื่องกำเนิดชนิดกระตุ้นตัวเอง

เครื่องกำเนิดชนิดกระตุ้นตัวเอง (Self excited generator) คือเครื่องกำเนิดชนิดหรือประเภทซึ่งขดลวดสนามแม่เหล็กของมันถูกกระตุ้นด้วยกระแสที่เกิดจากตัวของมันเองเนื่องจากแม่เหล็กตกค้างจึงมีฟลักซ์แม่เหล็กบางส่วนหลงเหลืออยู่ภายในแท่งขั้วแม่เหล็กเสมอเมื่ออาร์เมเจอร์หมุนจะมีแรงเคลื่อนจำนวนหนึ่งเกิดขึ้นและทำให้กระแสเหนี่ยวนำจำนวนหนึ่งเกิดขึ้นด้วยซึ่งเป็นบางส่วนหรือทั้งหมดที่มันเคลื่อนที่ผ่านขดลวดสนามแม่เหล็กเพราะฉะนั้นฟลักซ์แม่เหล็กที่ตกค้างที่แท่งขั้วแม่เหล็กจึงถูกทำให้มีความเข้มมากขึ้น



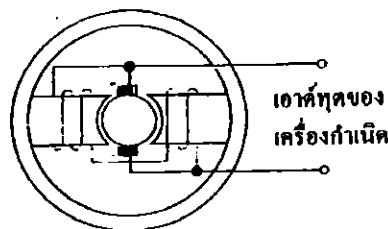
รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ขั้วกับกระแสไหลลด [1]

สำหรับเหตุผลที่ว่าทำไมแรงดันที่ขั้วจึงมีค่าลดลงหลังจากจุดนี้แล้วแทนที่มันจะคงที่อยู่ที่ค่าสูงสุดก็เพราะว่าแรงดันตกคร่อมที่ชุดขดลวดสนามแม่เหล็กและที่ขดลวดอาร์เมเจอร์มีค่าเพิ่มขึ้น แรงดันตกคร่อมมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของกระแสแต่แรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นยังคงมีค่าเท่าเดิม และเนื่องจากแรงเคลื่อนที่มีค่าเท่ากับแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นลบด้วยแรงดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นภายในตัวเครื่องกำเนิดดังนั้นแรงดันที่ขั้วจึงต้องมีค่าลดลงและเหตุผลอย่างอื่นสำหรับการลดลงในขนาดของแรงดันที่ขั้วก็คือการเกิดอาร์เมเจอร์รีแอกชันซึ่งจะอธิบายในเรื่องต่อไป

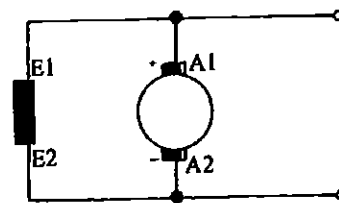
ข้อเสียอย่างอื่นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอนุกรมนอกจากความสม่ำเสมอของแรงดันที่แบ่ของมันแล้วก็คือชุดขดลวดสนามแม่เหล็กของมันต้องพันด้วยลวดตัวนำที่รองรับกระแสไหลทั้งหมดได้อย่างปลอดภัยโดยที่ไม่ทำให้เกิดความร้อนมากเกินไปจึงจำเป็นต้องใช้ลวดตัวนำที่มีพื้นที่หน้าตัดค่อนข้างใหญ่หรือเส้นโต

ข) เครื่องกำเนิดแบบขนาน

เครื่องกำเนิดชนิดแบบขนาน (Shunt generator) นี้ชุดขดลวดสนามแม่เหล็กจะพันด้วยขดลวดเส้นเล็กพันจำนวนมากรอบต่อขนานกับอาร์เมเจอร์และโหลดค่าของกระแสกระตุ้นในเครื่องกำเนิดแบบขนานจะขึ้นอยู่กับแรงดันที่ขั้วและความต้านทานของชุดขดลวดสนามแม่เหล็ก โดยปกติกระแสกระตุ้นจะถูกรักษาให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 5 % ของกระแสทั้งหมดที่ไหลออกจากเครื่องกำเนิดในรูปที่ 2.7 (ก) และ (ข) แสดงให้เห็นถึงสัญลักษณ์และแผนภาพเครื่องกำเนิดแบบขนาน



(ก) สัญลักษณ์

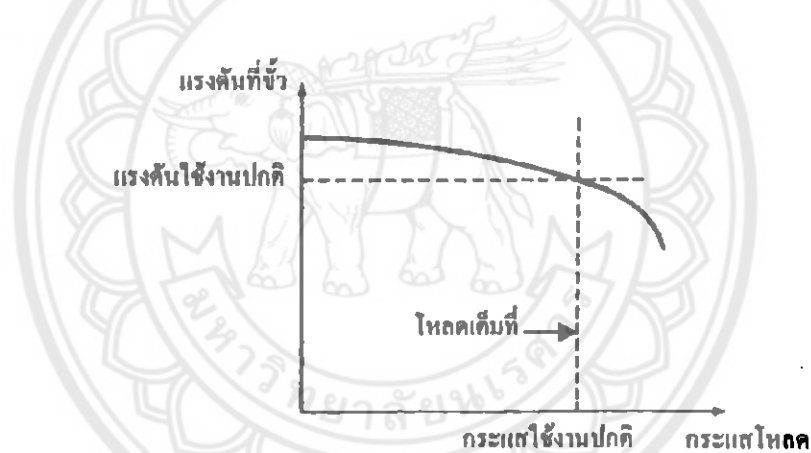


(ข) แผนภาพ

รูปที่ 2.7 เครื่องกำเนิดแบบขนาน [1]

แรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขนานที่หมุนด้วยความเร็วคงที่ภายใต้สภาวะโหลดที่เปลี่ยนแปลงจะมีเสถียรภาพมากกว่าแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดแบบอนุกรมแต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงในขนาดของแรงดันที่ขั้วของมันยังคงมีอยู่บ้างอันเนื่องมาจากแรงดันตกคร่อมที่ขดลวดอาร์เมเจอร์ถ้ากระแสที่ถูกดึงโดยโหลดมีค่ามากกว่าขนาดของกระแสที่ได้ถูกออกแบบไว้แรงดันที่ขั้วจะลดลงอย่างมากอย่างไรก็ตามสำหรับการเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลดภายในย่านหรือพิคัดที่ได้ออกแบบเอาไว้การลดลงในขนาดของแรงดันที่ขั้วด้วยการเพิ่มขึ้นของกระแสโหลดจะมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้นด้วยความจริงที่ว่าแรงดันที่ขั้วจะลดลงในขณะที่กระแสโหลดเพิ่มขึ้นจึงทำให้เครื่องกำเนิดแบบขนานมีคุณสมบัติในการป้องกันตัวเองซึ่งเป็นลักษณะเด่นของมันกล่าวคือถ้าโหลดเกิดลัดวงจรขึ้นในทันทีทันใดแรงดันที่ขั้วของมันจะลดลงเป็นศูนย์เพราะฉะนั้นจึงไม่มีกระแสกระตุ้นไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็กเครื่องกำเนิดจึงไม่สามารถผลิตแรงเคลื่อนได้

การเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดแบบขนานในขณะที่กระแสโหลดของมันเกิดการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 2.8



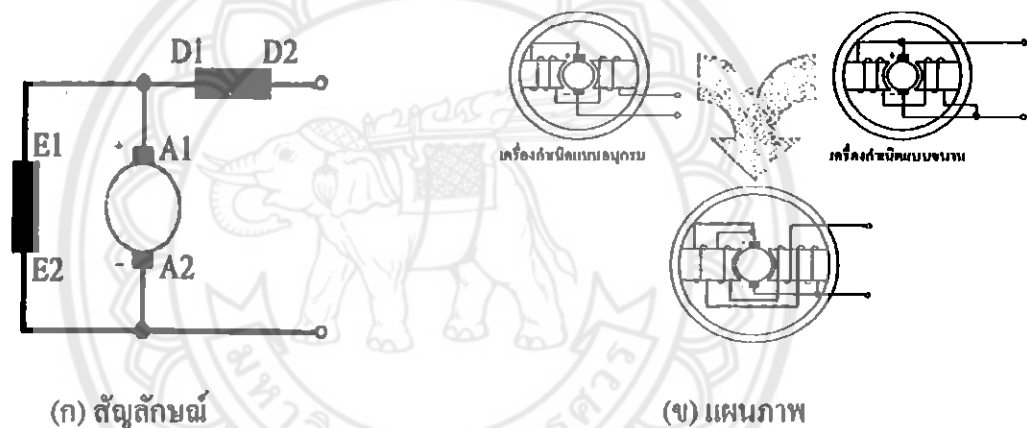
รูปที่ 2.8 แรงดันที่ขั้วจะลดลงอย่างมากถ้ากระแส โหลดเพิ่มขึ้นเกินค่าพิคัดกระแสที่ โหลดเต็มที [1]

การเปลี่ยนแปลงในขนาดของแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดแบบขนานด้วยการเปลี่ยนแปลงในกระแสโหลดเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงในอาร์เมเจอร์รีแอกชันด้วยซึ่งมีลักษณะเหมือนกับในเครื่องกำเนิดแบบอนุกรมโดยที่อาร์เมเจอร์รีแอกชันจะกล่าวในเรื่องต่อไปเมื่อนำกระแสกระตุ้นในเครื่องกำเนิดแบบขนาน ไปเปรียบเทียบกับกระแส

กระตุ้นในเครื่องกำเนิดแบบอนุกรมแล้วมันจะมีค่าน้อยกว่ามากเพราะฉะนั้นจึงสามารถใช้เส้นลวดขนาดเล็กสำหรับขดลวดสนามแม่เหล็กของมันอย่างไรก็ตามในเครื่องกำเนิดแบบขนานที่ใช้งานในทางปฏิบัติที่แท้จริงแล้วที่ขดลวดสนามแม่เหล็กของมันจะประกอบด้วยเส้นลวดเส้นเล็กๆหลายๆรอบพันอยู่

ก) เครื่องกำเนิดแบบผสม

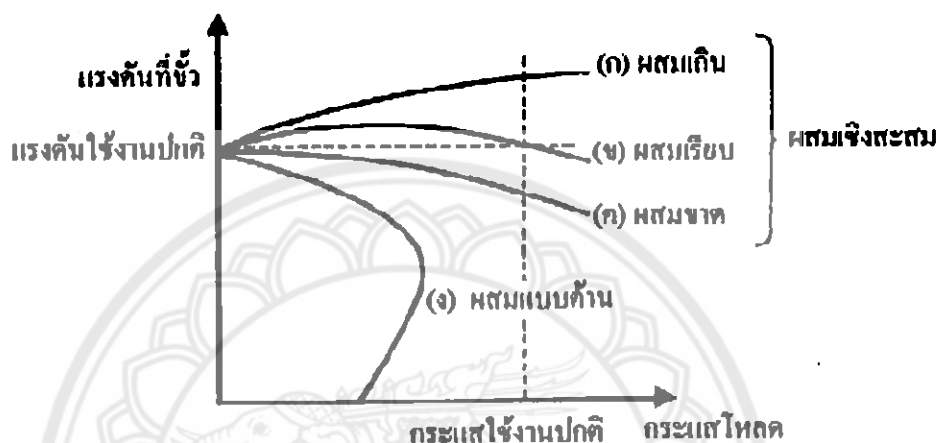
เครื่องกำเนิดแบบผสม (Compound generator) ทั้งเครื่องกำเนิดแบบอนุกรมและแบบขนานต่างก็มีข้อเสียที่เหมือนกันกล่าวคือเมื่อกระแสไหลของมันเกิดการเปลี่ยนแปลงจากค่าศูนย์จนถึงค่าใช้งานปกติจะทำให้แรงดันที่ขั้วของมันเกิดการเปลี่ยนแปลงสำหรับในเครื่องกำเนิดแบบอนุกรมเมื่อกระแสไหลเพิ่มขึ้นเป็นเหตุให้แรงดันที่ขั้วเพิ่มขึ้นในขณะที่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขนานเมื่อกระแสไหลเพิ่มขึ้นเป็นเหตุให้แรงดันที่ขั้วลดลงในการใช้งานหลายอย่างที่ต้องการให้ได้แรงดันที่ขั้วของมันมีเสถียรภาพมากกว่าเช่นที่มันจ่ายโดยเครื่องกำเนิดอนุกรมหรือแบบขนานวิธีหนึ่งที่ใช้เพื่อที่จะให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วมีเสถียรภาพคือการใช้เครื่องกำเนิดแบบขนานในรูปแบบการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าให้ดีขึ้นและอีกวิธีหนึ่งของการจ่ายแรงดันที่ขั้วให้มีเสถียรภาพคือการใช้เครื่องกำเนิดแบบผสม ดังรูปที่ 2.9 (ก) และ (ข) แสดงให้เห็นถึงสัญลักษณ์และแผนภาพของเครื่องกำเนิดแบบผสม



รูปที่ 2.9 เครื่องกำเนิดแบบผสม [1]

ในรูปที่ 2.9 (ก) และ (ข) แสดงให้เห็นถึงสัญลักษณ์และแผนภาพของเครื่องกำเนิดแบบผสมตามลำดับจากภาพจะเห็นได้ว่าเครื่องกำเนิดแบบผสมจะประกอบด้วยทั้งชุดขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรมและชุดขดลวดสนามแม่เหล็กขนานต่อปนกันอยู่ชุดขดลวดสนามแม่เหล็กสองชุดของเครื่องกำเนิดแบบผสมเมื่อถูกสร้างขึ้นให้สนามแม่เหล็กของมันเกิดมีทิศทางเดียวกัน (เสริมกัน) เครื่องกำเนิดที่ถูกสร้างขึ้นในลักษณะเช่นนี้เรียกว่าเครื่องกำเนิดแบบผสมเชิงสะสม (Cumulative compound) โดยที่เครื่องกำเนิดชนิดนี้จะมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือเมื่อกระแสไหลเพิ่มขึ้นกระแสที่ไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็กขนานหรือขั้วฟิลด์จะมีค่าลดลงและทำให้ความเข้มสนามแม่เหล็กของมันมีค่าลดลงแต่กระแสไหลที่เพิ่มขึ้นค่าเดียวกันนี้จะไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรมหรือขั้วฟิลด์เพิ่มขึ้นและทำให้ความเข้มสนามแม่เหล็กของมันเพิ่มขึ้นด้วยจำนวนรอบในขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรมที่เหมาะสมจะทำให้การเพิ่มในความเข้มของสนามแม่เหล็กของมันทำการชดเชยกับการลดในความเข้มของสนามแม่เหล็กของขดลวดสนามแม่เหล็กขนานเพราะฉะนั้นความเข้มทั้งหมดของสนามแม่เหล็กที่รวมตัวเข้าด้วยกัน

จึงเกือบจะไม่เปลี่ยนแปลงคังนั้นแรงดันที่ขั้วจึงยังคงมีค่าค่อนข้างคงที่แต่ในความเป็นจริงแล้ว ขดลวดสนามแม่เหล็กทั้งสองขดไม่สามารถที่จะสร้างสนามแม่เหล็กของมันให้ทำการชดเชย สำหรับขดลวดอีกขดหนึ่งได้ถูกต้องอย่างแท้จริงและในขณะที่กระแสของเครื่องกำเนิดเปลี่ยนแปลง จากในขณะที่ไม่มีโหลดไปจนถึงในขณะที่มีโหลดอย่างเต็มที่ที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงในขนาดของ แรงดันที่ขั้วอยู่บ้าง ดังรูปที่ 2.10



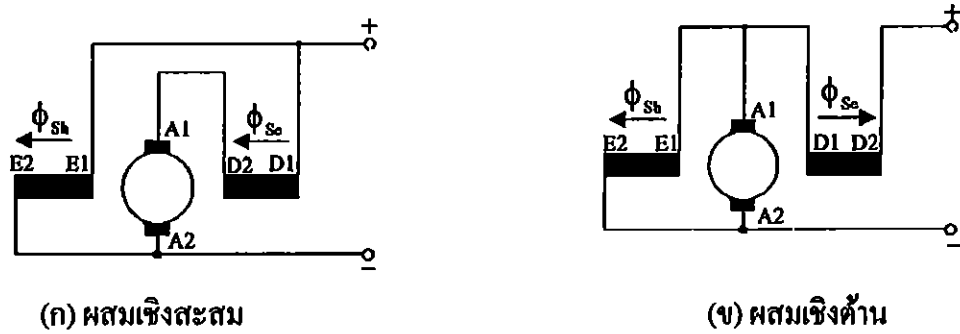
รูปที่ 2.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ขั้วกระแสโหลดของเครื่องกำเนิดแบบผสม ชนิดต่างๆ [1]

เครื่องกำเนิดแบบผสมเชิงสะสมแบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ

(ก) เครื่องกำเนิดแบบผสมชนิดผสมเรียบ (Flat compound generator) เครื่องกำเนิดชนิดนี้ จะมีลักษณะสมบัติตามที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.10 (ข) กล่าวคือแรงดันที่ขั้วของมันในขณะที่ไม่มี โหลดกับในขณะที่มีโหลดอย่างเต็มที่ที่มีค่าเท่ากัน โดยที่การเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่ขั้วที่เกิดขึ้น ในระหว่างในขณะที่ไม่มีโหลดกับในขณะที่มีโหลดอย่างเต็มที่ที่มีค่าไม่เกิน 5%

(ข) เครื่องกำเนิดแบบผสมชนิดผสมเกิน (Over compound generator) เครื่องกำเนิดชนิดนี้ จะมีลักษณะสมบัติตามที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.10 (ก) กล่าวคือแรงดันที่ขั้วของมันจะค่อยๆมีค่า เพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของกระแสโหลด โดยเริ่มตั้งแต่ในขณะที่ไม่มีโหลดไปจนถึง ในขณะที่มีโหลดอย่างเต็มที่

(ค) เครื่องกำเนิดแบบผสมชนิดผสมขาด (Under compound generator) เครื่องกำเนิดชนิด นี้จะมีลักษณะสมบัติตามที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.10 (ค) กล่าวคือแรงดันที่ขั้วของมันจะค่อยๆ ลดลงมาเรื่อยๆพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของกระแสโหลด โดยเริ่มตั้งแต่ในขณะที่ไม่มีโหลดไปจนถึงใน ขณะที่มีโหลดอย่างเต็มที่ ดังรูปที่ 2.11



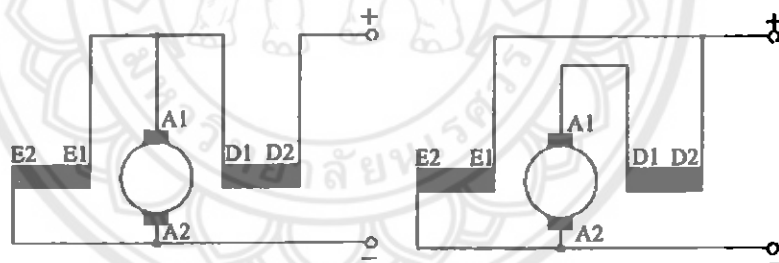
(ก) ผสมเชิงสะสม

(ข) ผสมเชิงต่าง

รูปที่ 2.11 เครื่องกำเนิดแบบผสมเชิงสะสม [1]

แต่ถ้าขดลวดสนามแม่เหล็กสองชุดของเครื่องกำเนิดแบบผสมถูกสร้างขึ้น โดยให้สนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดแต่ละชุดมีทิศทางตรงข้ามกัน (หักล้างกัน) เครื่องกำเนิดที่ถูกสร้างขึ้นในลักษณะเช่นนี้เรียกว่าเครื่องกำเนิดแบบผสมชนิดผสมต่าง ซึ่งมีลักษณะสมบัติที่แสดงให้เห็นตามรูปที่ 2.10 (ง) สัญลักษณ์ของเครื่องกำเนิดแบบผสมชนิดผสมเชิงสะสม (Cumulative) และชนิดผสมต่าง (Differential) ได้แสดงให้เห็นดังในรูปที่ 2.11 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

นอกจากนี้เครื่องกำเนิดแบบผสมยังสามารถแบ่งออกตามลักษณะการต่อได้อีกสองชนิดคือต่อแบบ Short-shunt และต่อแบบ Long-shunt ซึ่งสัญลักษณ์ของมันได้แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.12 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



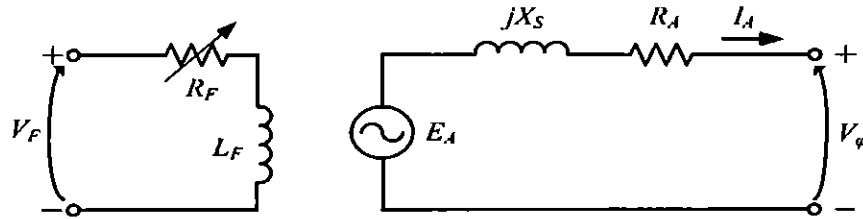
(ก) ต่อแบบ Short - Shunt

(ข) ต่อแบบ Long - Shunt

รูปที่ 2.12 เครื่องกำเนิดแบบผสมต่อแบบสั้นและต่อแบบยาว [1]

3. วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกระตุ้นแบบแยก

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกระตุ้นแบบแยกสามารถนำมาเขียนเป็นวงจรสมมูลเพื่อที่จะนำวงจรสมมูลมาวิเคราะห์สมการได้ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 เครื่องกำเนิดขั้วกระตุ้นแบบแยก [4]

จากรูปที่ 2.13

$$E_A = \sqrt{2}\pi N_C \Phi f \quad (2.10)$$

หรือ

$$E_A = K\Phi\omega \quad (2.11)$$

โดยที่ $K = \frac{N_C}{\sqrt{2}}$, เมื่อ ω แสดงอยู่ในรูปทางไฟฟ้าในรอบต่อหน่วย
 และ $K = \frac{N_C P}{\sqrt{2}}$, เมื่อ ω แสดงอยู่ในรูปทางกลในรอบต่อหน่วย

จากรูปเมื่อวนลูปกระแสจะได้

$$V_\phi = E_A + E_{stat} \quad (2.12)$$

เมื่อ

$$E_{stat} = -jX I_A$$

ดังนั้น

$$V_\phi = E_A - jX I_A \quad (2.13)$$

$$V_\phi = E_A - jX I_A - jX_A I_A - R_A I_A \quad (2.14)$$

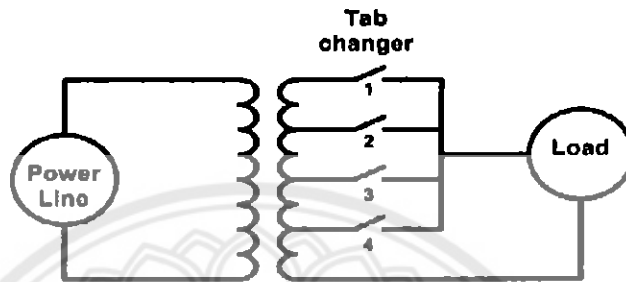
$$X_S = X + X_A \quad (2.15)$$

$$V_\phi = E_A - jX_S I_A - R_A I_A \quad (2.16)$$

ดังนั้นหากต้องการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถปรับค่ากระแสกระตุ้นของขดลวดสนามของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละแบบได้

2.3.2 หม้อแปลงที่มีตัวเปลี่ยนแท็ป

หม้อแปลงที่มีตัวเปลี่ยนแท็ป (Transformer with tap-changer) วิธีนี้มีข้อดีที่สามารถประยุกต์ใช้กับระบบที่มีอยู่แล้ว โดยการเพิ่มแท็ปของหม้อแปลงและเพิ่มสวิตช์ควบคุมที่แต่ละแท็ป ทำให้สามารถแก้ปัญหาแรงดันตกและแรงดันเกินชั่วขณะ (ซึ่งเกิดขึ้นไม่บ่อยนัก) ได้ทั้งสองกรณี ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การใช้หม้อแปลงที่มีตัวเปลี่ยนแท็ปแก้ปัญหาไฟตกชั่วขณะ [6]

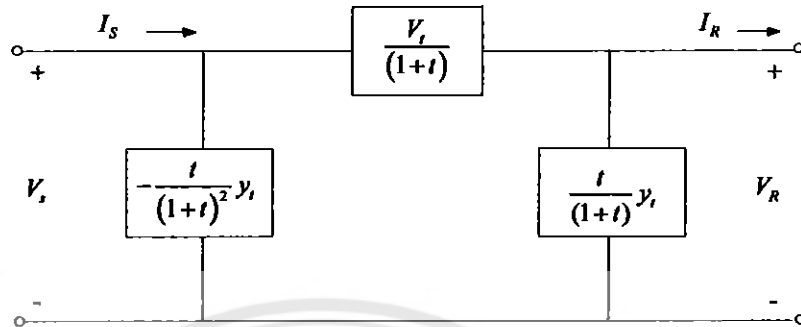
จากรูปที่ 2.14 สมมุติให้ในสภาวะปกติ สวิตช์หมายเลข 3 ทำให้แรงดันที่โหลดที่ค่าปกติ เมื่อเกิดแรงดันตกชั่วขณะระบบควบคุมจะต้องสั่งให้สวิตช์หมายเลข 1 หรือหมายเลข 2 ค่อยงจร (และสั่งตัดสวิตช์หมายเลข 3) ตามแต่ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะ ดังนั้นแรงดันด้านนอกที่จ่ายไปยังโหลดจะสามารถถูกชดเชยให้ใกล้เคียงกับแรงดันปกติได้ กรณีนี้ทำหน้าที่เป็นหม้อแปลงแบบแปลงขึ้น (Step-up transformer)

ในทำนองเดียวกันถ้าหากเกิดแรงดันเกินชั่วขณะระบบจะต้องสั่งให้สวิตช์หมายเลข 3 คัดวงจรและสั่งให้สวิตช์หมายเลข 4 ค่อยงจร ดังนั้นแรงดันด้านออกจะสามารถชดเชยให้ใกล้เคียงกับแรงดันโหลดในสภาวะปกติได้ กรณีนี้ทำหน้าที่เป็นหม้อแปลงแบบแปลงลง (Step-down transformer)

ระดับความละเอียดของแรงดันชดเชยจะขึ้นอยู่กับจำนวนแท็ปของหม้อแปลง ดังนั้นการชดเชยแรงดันจะเรียกได้ว่าเกือบจะต่อเนื่อง (Quasi-continuous) เท่านั้นซึ่งไม่เหมือนกับวิธีที่ผ่าน ๆ มาที่เป็นวิธีชดเชยแบบต่อเนื่อง ดังนั้นถ้าต้องการหม้อแปลงที่มีแท็ปมาก ๆ เพื่อความต่อเนื่องในการชดเชยสิ่งที่ตามมาคือต้นทุนที่สูง นอกจากนี้ระบบนี้ยังมีโอกาสที่จะเกิดสภาวะชั่วคราวของแรงดันในช่วงที่เกิดการเปลี่ยนแท็ปได้ การปรับแท็ปหม้อแปลงปกติได้ออกแบบไว้สำหรับชดเชยแรงดันเล็กน้อยบวกลบ $2 \times 2.5\%$ ซึ่งเป็นการชดเชยปัญหาทั่วไปของแหล่งจ่ายไฟอยู่ใกล้หรือไกลจากโหลดรวมทั้งลักษณะการใช้โหลดหลักการคือต้องการตั้งค่าระบบไฟเพื่อใช้งานทางด้านแรงต่ำ แต่ทั่วไปนิยมมีการเปลี่ยนแท็ปทางด้านแรงสูงเนื่องจากสะดวกและประหยัดกว่าเพราะกระแสทางด้านแรงสูงจะน้อยกว่าทางด้านแรงต่ำ ซึ่งโดยทั่วไปก็จะนิยมใช้เป็นการเปลี่ยนแท็ปหม้อแปลงขณะไม่มีโหลด

1. วงจรสมมูลแบบ π ของหม้อแปลงที่มีตัวเปลี่ยนแท๊ป

เมื่อนำหม้อแปลงที่มีตัวเปลี่ยนแท๊ปมาเขียนเป็นวงจรสมมูลเพื่อที่จะวิเคราะห์สมการ แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 วงจรของหม้อแปลงที่มีตัวเปลี่ยนแท๊ป [2]

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสได้สมการดังนี้

$$\begin{aligned}
 V_s &= (I_2 + I_R)Z + V_R \\
 &= \left(V_R \left(\frac{t}{1+t} \right) y_t + I_R \right) \left(\frac{V_t}{1+t} \right) + V_R \\
 &= V_R \left(\frac{tV_t}{(1+t)} \right) \left(\frac{y_t}{(1+t)} \right) + I_R \left(\frac{y_t}{(1+t)} \right) + V_R \\
 &= V_R \left(\frac{ty_t^2}{(1+t)^2} + 1 \right) + I_R \left(\frac{y_t}{(1+t)} \right)
 \end{aligned} \tag{2.17}$$

จากรูปเมื่อวิเคราะห์กระแสจะได้

$$\begin{aligned}
 I_s &= I_1 + I_2 + I_R \\
 &= V_s \left(-\frac{t}{(1+t)^2} y_t \right) + V_R \left(\frac{t}{(1+t)} y_t \right) + I_R \\
 &= V_R \left(\frac{ty_t^2}{(1+t)^2} + 1 \right) + I_R \left(\frac{y_t}{(1+t)} \right) \left(-\frac{t}{(1+t)^2} y_t \right) + V_R \left(\frac{t}{(1+t)} y_t \right) + I_R
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= V_R \left(\frac{-t^2 y_t^3}{(1+t)^4} - \frac{t y_t}{(1+t)^2} \right) - \frac{I_R t y_t^2}{(1+t)^3} + \frac{V_R t y_t}{(1+t)} + I_R \\
&= V_R \left(\frac{-t^2 y_t^3}{(1+t)^4} - \frac{t y_t}{(1+t)^2} + \frac{t y_t}{(1+t)} \right) + I_R \left(\frac{-t y_t^2}{(1+t)^3} + 1 \right)
\end{aligned} \tag{2.18}$$

ดังนั้นจากสมการที่ (2.17) และ (2.18) เขียนความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอยู่ในรูปเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(\frac{t y_t^2}{(1+t)^2} + 1 \right) & \left(\frac{y_t}{(1+t)} \right) \\ \left(\frac{-t^2 y_t^3}{(1+t)^4} - \frac{t y_t}{(1+t)^2} + \frac{t y_t}{(1+t)} \right) & \left(\frac{-t y_t^2}{(1+t)^3} + 1 \right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \tag{2.19}$$

เมื่อ y_t = ค่าแอดมิตแตนซ์ในวงจรหม้อแปลงเทป (โอห์ม)

t = ค่าของการเทปของหม้อแปลง

V_s = ค่าแรงดันต้นทาง (โวลต์)

V_R = ค่าแรงดันปลายทาง (โวลต์)

I_s = ค่ากระแสต้นทาง (แอมแปร์)

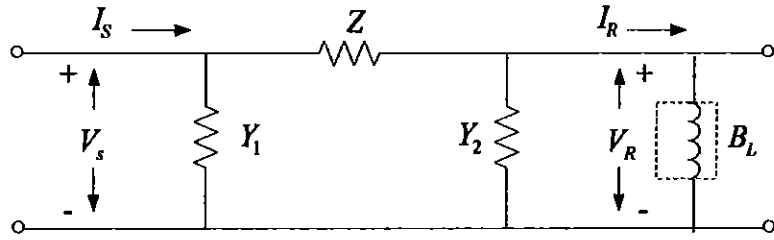
I_R = ค่ากระแสปลายทาง (แอมแปร์)

2.3.3 การชดเชยขนาน

การชดเชยขนาน (Shunt compensation) ใช้ในระบบที่มี ตัวประกอบกำลังแบบตาม ซึ่งสถานะดังกล่าวคือช่วงความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง (Peak load) เนื่องจากโหลดส่วนใหญ่มีความต้องการกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องจ่ายกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟมาชดเชย ทำให้แรงดันปลายสายลดลงการต่อตัวเก็บประจุแบบขนานเข้าที่ตำแหน่งใกล้โหลดที่ต้องการกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟจะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่ต้องจ่ายกระแสในส่วนของการตอบสนองแรงดันจะไม่ตก

1. การต่อตัวเหนี่ยวนำขนานเข้ากับวงจร

เมื่อทำการต่อตัวเหนี่ยวนำขนานกับวงจรนั้นจะทำให้แรงดันทางไฟฟ้าลดลงเนื่องจากตัวเหนี่ยวนำมาต่อขนานกับวงจรจะทำให้ค่าแอดมิตแตนซ์มีค่าเพิ่มขึ้น แรงดันไฟฟ้ามีค่าลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.16

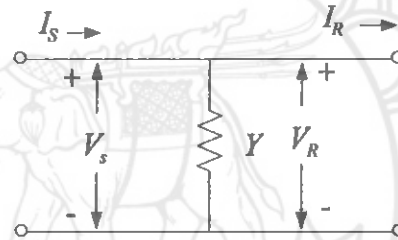


รูปที่ 2.16 การต่อ B_L ขนานกับวงจรสมมูลแบบ π [2]

จากวงจรสมมูลแบบ π ที่ยังไม่ได้ต่อขนานกับ B_L จะได้เมทริกซ์ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + Y_2 Z & Z \\ Y_1 + Y_2 + Y_1 Y_2 Z & 1 + Y_1 Z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \tag{2.20}$$

วงจรสมมูลตัวเหนี่ยวนำแบบ T ดังรูปที่ 2.17

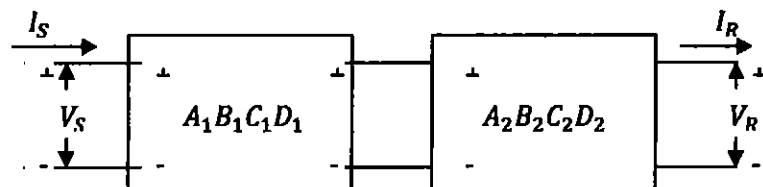


รูปที่ 2.17 วงจรสมมูลตัวเหนี่ยวนำแบบ T [2]

จากรูปที่ 2.17 จะได้รูปเมทริกซ์ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \tag{2.21}$$

การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบอนุกรมต่อขนานกับ B_L ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบอนุกรมต่อขนานกับ B_L [2]

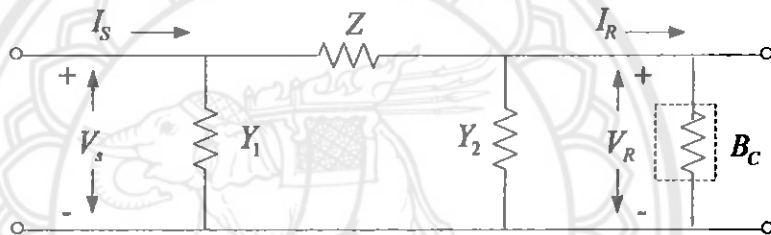
จากรูปที่ 2.18 จะเห็นได้ว่าวงจรสมมูลแบบ π ต่ออนุกรมกับวงจรสมมูลของการต่อค่าแอดมิตแตนซ์แบบขนานดังนั้นจะได้รูปเมทริกซ์ดังนี้

$$\begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (A_1A_2 + B_1C_2) & (A_1B_2 + B_1D_2) \\ (A_2C_1 + C_2D_1) & (B_2C_1 + D_1D_2) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + Y_1Z & Z \\ Y_1 + Y_2 + Y_1Y_2Z + Y + Y_1YZ & 1 + Y_1Z \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

2. การต่อตัวเก็บประจุขนานเข้ากับวงจร

เมื่อทำการต่อตัวเก็บประจุกับวงจรนั้นจะทำให้แรงดันทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเนื่องจากตัวเก็บประจุมาต่อขนานกับวงจรจะทำให้ค่าแอดมิตแตนซ์มีค่าลดลง แรงดันไฟฟ้าที่มีค่าเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.19



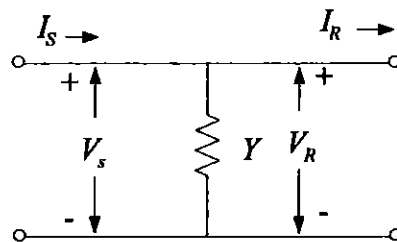
รูปที่ 2.19 การต่อ B_C ขนานกับวงจรสมมูลแบบ π [2]

ดังนี้

จากวงจรสมมูลแบบ π ที่ยังไม่ได้ต่อขนานกับ B_C จะได้เมทริกซ์เหมือนสมการที่ (2.20)

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + Y_2Z & Z \\ Y_1 + Y_2 + Y_1Y_2Z & 1 + Y_1Z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

วงจรสมมูลตัวเก็บประจุแบบ T ดังรูปที่ 2.20

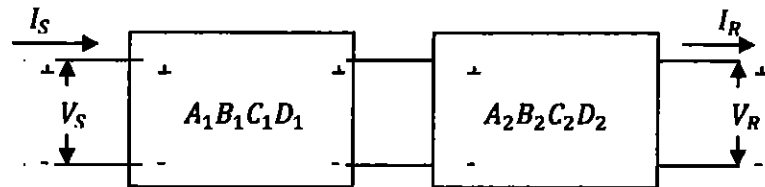


รูปที่ 2.20 วงจรสมมูลตัวเก็บประจุแบบ T [2]

จากรูปที่ 2.20 จะได้รูปเมทริกซ์เหมือนสมการที่ (2.21) ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบอนุกรมต่อขนานกับ B_C ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบอนุกรมต่อขนานกับ B_C [2]

จากรูปที่ 2.21 จะเห็นได้ว่าวงจรสมมูลแบบ π ต่ออนุกรมกับวงจรสมมูลของการต่อค่าแอดมิตแตนซ์แบบขนานดังนั้นจะได้รูปเมทริกซ์ดังนี้

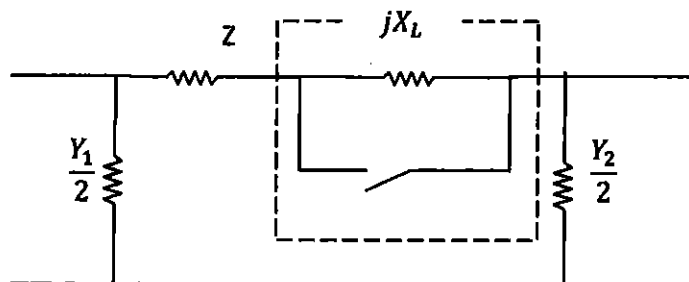
$$\begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (A_1A_2 + B_1C_2) & (A_1B_2 + B_1D_2) \\ (A_2C_1 + C_2D_1) & (B_2C_1 + D_1D_2) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & 1 + Y_1Z \\ Y_1 + Y_2 + Y_1Y_2Z + Y + Y_1YZ & 1 + Y_1Z \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

2.3.4 การชดเชยอนุกรม

1. การต่อตัวเหนี่ยวนำอนุกรมเข้ากับวงจร

เมื่อทำการต่อตัวเก็บประจุกับวงจรนั้นจะทำให้กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเพิ่มขึ้นเนื่องจากตัวเก็บประจุมาต่อขนานกับวงจรจะทำให้ค่าแอดมิตแตนซ์มีค่าเพิ่มขึ้นดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟจึงมีค่าเพิ่มขึ้นในสายส่งดังแสดงในรูปที่ 2.22



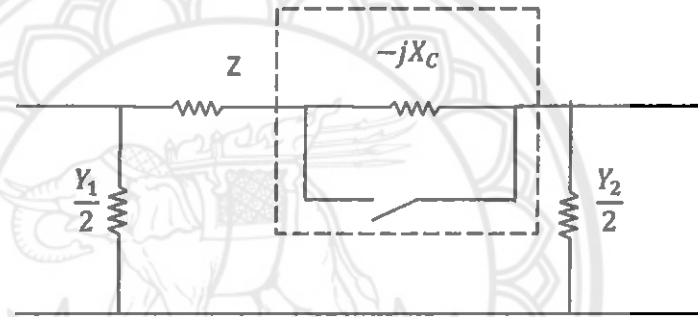
รูปที่ 2.22 การต่อ jX_L อนุกรมกับวงจรสมมูลแบบ π [2]

จากรูปที่ 2.22 เมื่อเพิ่ม jX_L เข้าไปในวงจรจึงทำให้ค่าอิมพีแดนซ์มีการเปลี่ยนแปลงและได้เมทริกซ์ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{Y_2}{2}(Z + jX_L) & (Z + jX_L) \\ \frac{Y_1}{2} + \frac{Y_2}{2} + \frac{Y_1 Y_2}{2}(Z + jX_L) & 1 + \frac{Y_1}{2}(Z + jX_L) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

2. การต่อตัวเก็บประจุอนุกรมเข้ากับวงจร

เมื่อทำการต่อตัวเก็บประจุกับวงจรนั้นจะทำให้กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเพิ่มขึ้นเนื่องจากตัวเก็บประจุมาต่อขนานกับวงจรจะทำให้ค่าแอดมิตแตนซ์มีค่าลดลง ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟจึงมีค่าลดลงในสายส่งดังแสดงในรูปที่ 2.23



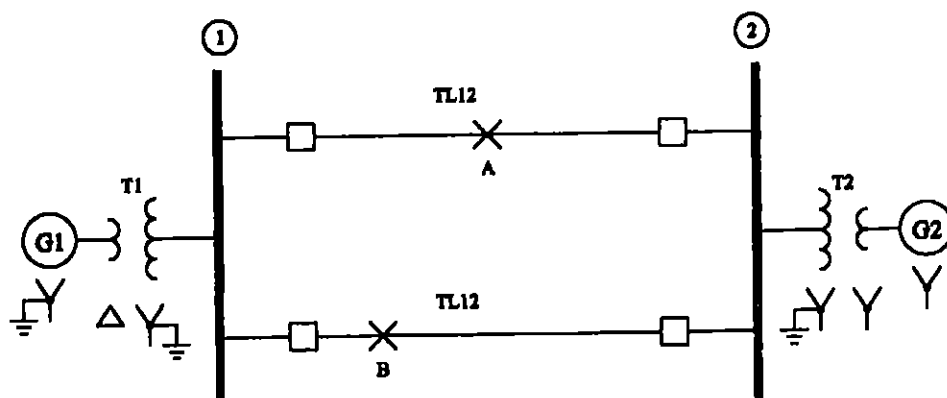
รูปที่ 2.23 การต่อ jX_C อนุกรมกับวงจรสมมูลแบบ π [2]

จากรูปที่ 2.23 เมื่อเพิ่ม jX_C เข้าไปในวงจรจึงทำให้ค่าอิมพีแดนซ์มีการเปลี่ยนแปลงและได้เมทริกซ์ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{Y_2}{2}(Z - jX_C) & (Z - jX_C) \\ \frac{Y_1}{2} + \frac{Y_2}{2} + \frac{Y_1 Y_2}{2}(Z - jX_C) & 1 + \frac{Y_1}{2}(Z - jX_C) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

2.3.5 การขนานของสายส่ง

การขนานของสายส่ง (Parallel transmission line) ในกรณีที่แหล่งผลิตของระบบไฟฟ้าที่จะทำการเชื่อมโยงเข้าด้วยกันนั้น มีกำลังผลิตหลายๆสายส่งที่ทำหน้าที่เชื่อมโยงเพียงจุดเดียว ไม่เพียงพอในการรับกำลังไฟฟ้าจำนวนดังกล่าว จึงต้องใช้สายส่งแรงสูงมากกว่า 1 ชุดในการเชื่อมโยง (Parallel interconnections) เพื่อหลีกเลี่ยงการสร้างสายส่งแรงสูงขนาดใหญ่เพียงชุดเดียวซึ่งมีต้นทุนในการก่อสร้างสูง ดังรูปที่ 2.24 และ 2.25



รูปที่ 2.24 การเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า 2 แหล่งเข้าด้วยกัน โดยสายส่ง 2 ชุด [3]



รูปที่ 2.25 การเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า 2 แหล่งเข้าด้วยกัน โดยสายส่ง 3 ชุด [3]

การเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า โดยใช้สายส่งหลาย ๆ ชุดนั้นปัญหาที่พบคือมีการถ่ายเทกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละชุดไม่เท่ากันทำให้เกิดมีกำลังไฟฟ้าไหลกลับทางกันได้ส่งผลให้ขีดความสามารถของสายส่งบางชุดลดลงซึ่งกรณีดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการติดตั้งหม้อแปลงแบบปรับมุมเฟสเข้าในสายส่งเชื่อมโยงเพื่อทำการปรับให้เกิดความสมดุลในการถ่ายเทกำลังไฟฟ้าในสายส่งเชื่อมโยงแต่ละชุดแต่วิธีดังกล่าวก็มีข้อเสียอยู่บ้างเช่นต้นทุนสูงขึ้นความสูญเสียในระบบไฟฟ้ามักขึ้น และค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งเพิ่มขึ้นทำให้ขีดความสามารถลดลง

1. ผลดีของการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า

ก) ทำให้เกิดความมั่นคงทางด้านระดับของแรงดันไฟฟ้า เพราะมีแหล่งผลิตเข้ามาหลายทาง

ข) ทำให้เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลาย ๆ แบบร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ เพราะไม่ถูกจำกัดอยู่ที่ความต้องการใช้ไฟฟ้าของระบบใดระบบหนึ่ง

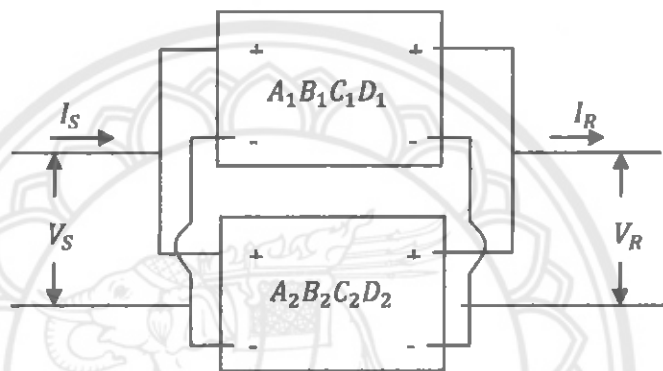
ค) ทำให้มีทางเลือกในการสร้างแหล่งผลิตหรือโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ๆ ชนิดต่างๆ เพื่อความเหมาะสมได้มากขึ้นเพราะต้นทุนในการสร้างโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ (บาทต่อกิโลวัตต์) ถูกกว่าโรงไฟฟ้าขนาดเล็ก

ง) ทำให้ลดกำลังผลิตสำรองลงไปได้และสามารถหยุดตรวจสอบซ่อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ขัดข้องได้สะดวกโดยที่ไม่กระทบต่อการส่งจ่ายไฟฟ้าในระบบ

จ) สามารถเลือกหยุดและเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดต่างๆ ได้ตามความเหมาะสมเช่น โรงไฟฟ้าพลังน้ำอาจหยุดเดินเครื่องในฤดูฝนและให้เริ่มต้นเดินเครื่อง ในฤดูแล้งเพื่อนำน้ำที่ปล่อย ที่ออกมาจากการหมุนเทอร์ไบน์ไปใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรในฤดูแล้ง เป็นต้น

2. ผลเสียของการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า

เมื่อเกิดผิดปกติ (Fault) ขึ้นในระบบจะทำให้กระแสลัดวงจรมีค่าสูงซึ่งส่งผลถึงขนาดของ อุปกรณ์ป้องกันในระบบด้วย และขีดจำกัดความสามารถของสายส่งเชื่อมโยง อาจจะถูกลดด้วย ทำให้ส่งกำลังไฟฟ้าผ่านสายส่งเชื่อมโยงได้น้อยกว่าความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าของสายส่ง นั้นๆ ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบขนาน [3]

จากรูปที่ 2.26 จะได้เมทริกซ์ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (A_1B_2 + A_2B_1)/(B_1 + B_2) & B_1B_2/(B_1 + B_2) \\ [C_1 + C_2 + (A_1 - A_2)(D_2 - D_1)]/(B_1 + B_2) & (B_2D_1 + B_1D_2)/(B_1 + B_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

2.3.6 การควบคุมการไหลของพลังงานด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับมุมเฟส

หม้อแปลงไฟฟ้าส่วนมากมักจะใช้ในการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าระหว่างระดับแรงดันที่แตกต่างกันของวัตถุตัวนำไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้าอาจไม่สามารถควบคุมมุมเฟสระหว่างหม้อแปลง ด้านปฐมภูมิ (Source) และด้านทุติยภูมิ (Load) หม้อแปลงคั้งที่กล่าวมานั้น จะเรียกแทนว่าเป็นหม้อแปลงควบคุมเฟสหรือเรียกง่ายๆ ว่า (Phase-shifters) ซึ่งหม้อแปลงควบคุมเฟสจะปรับระหว่างแรงดันด้านปฐมภูมิและแรงดันด้านทุติยภูมิ จุดประสงค์ของการปรับมุมเฟสนี้มักจะใช้ในการควบคุมการไหลของแนวคลวดในหม้อแปลงมุมเฟสของแรงดันทั้งสองเฟสจะเป็นทิศทางแนวแรงของพลังงานที่ไหลผ่าน ซึ่งสามารถควบคุมความแตกต่างนี้ได้โดยการปรับแท็ปโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความสำคัญของการปรับมุมเฟสที่สามารถควบคุมพลังงานที่สับเปลี่ยนระหว่างบัสการชดเชย

กำลังไฟฟ้าจริง (Real power) ไม่สามารถกระทำได้หรือถ้าทำได้ก็ยากมากดังนั้นสิ่งที่ทำได้ง่ายที่สุดคือการปรับปรุงค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive power) เช่นหากโหลดมีผลของตัวเหนี่ยวนำมากก็ชดเชยด้วยการใส่ตัวเก็บประจุเป็นต้นซึ่งสุดท้ายจะได้ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent power) ใกล้เคียงกับค่ากำลังไฟฟ้าจริงให้มากที่สุดครับ โดยในทางอุดมคติก็คือต้องการให้กำลังไฟฟ้าปรากฏมีค่าเท่ากับกำลังไฟฟ้าจริงนั่นเองกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือเป็นการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง (Power factor) ให้มีค่าเท่ากับหนึ่งให้มากที่สุดอย่างไรก็ตามการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังโดยการใส่ตัวเก็บประจุเพื่อแก้ปัญหาจะสามารถกระทำได้กับระบบที่มีรูปคลื่นของสัญญาณเป็นไซน์แต่เพียงอย่างเดียวเท่านั้น

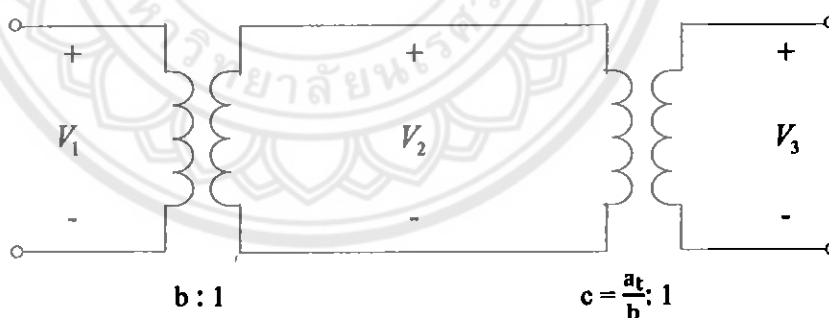
1. วงจรสมมูลของหม้อแปลง

วิธีการคำนวณหาค่าตัวแปรของหม้อแปลงแบบปรับมุมเฟสแสดงแบบภาพเสมือนมีหม้อแปลง 2 ตัวแบบธรรมดาต่อกันดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 หม้อแปลง 2 ตัวมาต่อกัน [5]

จากรูปที่ 2.27 สามารถทำเป็นวงจรสมมูลได้ดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 วงจรสมมูลของหม้อแปลงที่ต่อกัน [5]

กำหนด V_3 คือแรงดันปลายทาง, V_1 คือแรงดันต้นทาง, V_2 คือแรงดันระหว่างหม้อแปลงตัวที่ 1 และ 2 เนื่องจากอยู่ในรูปของ pu.

$$\text{เมื่อ} \quad V_2 = \frac{a_t}{b} \quad (2.27)$$

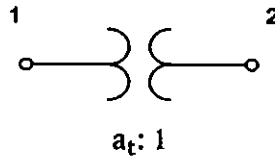
$$\text{และ} \quad \frac{V_1}{V_2} = b \quad (2.28)$$

ดังนั้น

$$V_1 = a_t$$

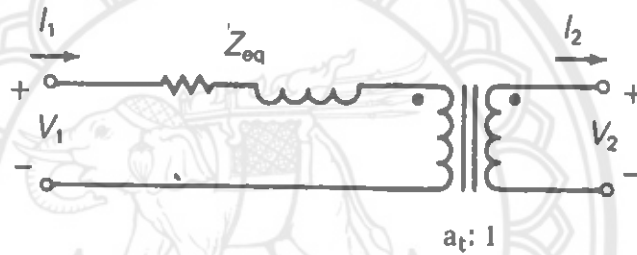
(2.29)

ดังนั้นเมื่อลดรูปให้อยู่ในรูปแผนภาพเชิงเส้นของหม้อแปลงไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 2.29



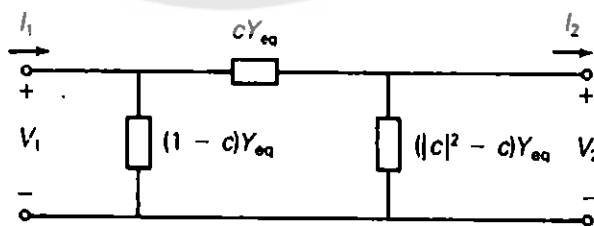
รูปที่ 2.29 แผนภาพเชิงเส้นของหม้อแปลงไฟฟ้า [5]

จากรูปที่ 2.29 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปวงจรมมูลของ pu. ได้ดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 รูปวงจรมมูล pu. [5]

จากรูปที่ 2.30 สามารถเขียนในรูปวงจรมมูลแบบ π ในรูปของตัวแปร c และ Y_{eq} ได้ดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 รูปวงจรมมูลแบบ π [5]

$$\text{เมื่อ } c = \frac{a_t}{b} \text{ และ } Y_{eq} = \frac{1}{Z_{eq}}$$

ดังนั้นเมื่อเขียนให้อยู่ในเมทริกซ์จะได้

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ -I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

หา Y_{11} จะได้ $Y_{11} = \frac{I_1}{V_1} \Big|_{V_2=0} = \frac{1}{Z_{eq}} = Y_{eq} \quad (2.31)$

หา Y_{22} จะได้ $Y_{22} = \frac{-I_2}{V_2} \Big|_{V_1=0} = \frac{1}{Z_{eq}/|c|^2} = |c|^2 Y_{eq} \quad (2.32)$

หา Y_{12} จะได้ $Y_{12} = \frac{I_1}{V_2} \Big|_{V_1=0} = \frac{-cV_2/Z_{eq}}{V_2} = -c Y_{eq} \quad (2.33)$

หา Y_{21} จะได้ $Y_{21} = \frac{-I_2}{V_1} \Big|_{V_2=0} = \frac{-c^*/I_1}{V_1} = -c^* Y_{eq} \quad (2.34)$

จากข้อมูลอุปกรณ์ในการชดเชยแรงดันต่าง ๆ สามารถวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียของอุปกรณ์ในการชดเชยแรงดันต่าง ๆ ของระบบไฟฟ้าได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ข้อดีข้อเสียของการใช้อุปกรณ์ในการปรับแรงดัน

อุปกรณ์	สถานที่ตั้ง	ข้อดีและข้อเสีย
Generator Excitation	จะติดตั้งตรงที่บัสแรกของวงจร	ข้อดี สามารถทนต่อฮาร์โมนิกโพลด์ได้ดี สามารถทนต่อกระแสลัดวงจรได้ถึง 300% เป็นเวลา 10 วินาที ข้อเสีย การเปลี่ยนแปลงของกระแสโพลด์จะมีผลอย่างมากต่อแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดเพราะฉะนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าเครื่องกำเนิดแบบอนุกรมจะมีความสม่ำเสมอของแรงดันที่แย
Tap-changing Transformer	จะถูกติดตั้งไว้กับหม้อแปลงไฟฟ้า	ข้อดี สามารถประยุกต์ใช้กับระบบที่มีอยู่แล้วโดยการเพิ่มแท็ปของหม้อแปลงและเพิ่มสวิตช์ควบคุมที่แต่ละแท็ปทำให้สามารถแก้ปัญหาแรงดันตกและแรงเกิน ข้อเสีย ต้นทุนที่สูง นอกจากนี้ระบบนี้ยังมีโอกาสที่จะเกิดสถานะชั่วคราวของแรงดันในช่วงที่เกิดการเปลี่ยนแท็ปได้

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) ข้อดีข้อเสียของการใช้อุปกรณ์ในการปรับแรงดัน

อุปกรณ์	สถานที่ตั้ง	ข้อดีและข้อเสีย
Static Capacitor	ติดตั้งตรงสายส่งกำลัง	ข้อดี การต่อ Shunt capacitor เข้าที่ตำแหน่งใกล้โหลดที่ต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ จะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่ต้องจ่ายกระแสในส่วนจินตภาพ แรงดันจะไม่ตก ข้อเสีย เมื่อค่อแบบอนุกรมจะทำให้แรงดันแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลง
Parallel Transmission Line	จะถูกติดตั้งตรงบัสแรกและบัสที่มีการเชื่อมต่อไปยังโหลด	ข้อดี 1) ทำให้เกิดความมั่นคงทางด้านระดับของแรงดันไฟฟ้า เพราะมีแหล่งผลิตเข้ามาหลายทาง 2) ทำให้เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลายๆแบบร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพเพราะไม่ถูกจำกัดอยู่ที่ความต้องการใช้ไฟฟ้าของระบบใดระบบหนึ่ง 3) ทำให้มีทางเลือกในการสร้างแหล่งผลิตหรือโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ๆชนิดต่างๆเพื่อความเหมาะสมได้มากขึ้นเพราะต้นทุนในการสร้างโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ (บาทต่อกิโลวัตต์) ถูกกว่าโรงไฟฟ้าขนาดเล็ก 4) ทำให้ลดกำลังผลิตสำรองลงไปได้และสามารถหยุดตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ขัดข้องได้สะดวก โดยที่ไม่กระทบต่อการส่งจ่ายไฟฟ้าในระบบ 5) สามารถเลือกหยุดและเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดต่างๆได้ตามความเหมาะสมเช่น โรงไฟฟ้าพลังน้ำอาจหยุดเดินเครื่องในฤดูฝนและให้เริ่มต้นเดินเครื่องในฤดูแล้งเพื่อนำน้ำที่ปล่อยทิ้งออกมาจากการหมุนเทอร์ไบน์ไปใช้ประโยชน์ทางด้านเกษตรกรรมในฤดูแล้ง เป็นต้น ข้อเสีย เมื่อเกิดผิดปกติ (Fault) ขึ้นในระบบจะทำให้กระแสลัดวงจรมีค่าสูงซึ่งส่งผลถึงขนาดของอุปกรณ์ป้องกันในระบบด้วยและขีดจำกัดความสามารถของสายส่งเชื่อมโยงอาจจะลดลงด้วยทำให้ส่งกำลังไฟฟ้าผ่านสายส่งเชื่อมโยงได้น้อยกว่าความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าของสายส่งนั้นๆ
Phase-shifting Transformer	ติดตั้งบนสายส่งกำลัง	ข้อดี สามารถควบคุมการไหลของพลังงานหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับได้ ข้อเสีย ไม่สามารถนำไปใช้กันกระแสตรงได้

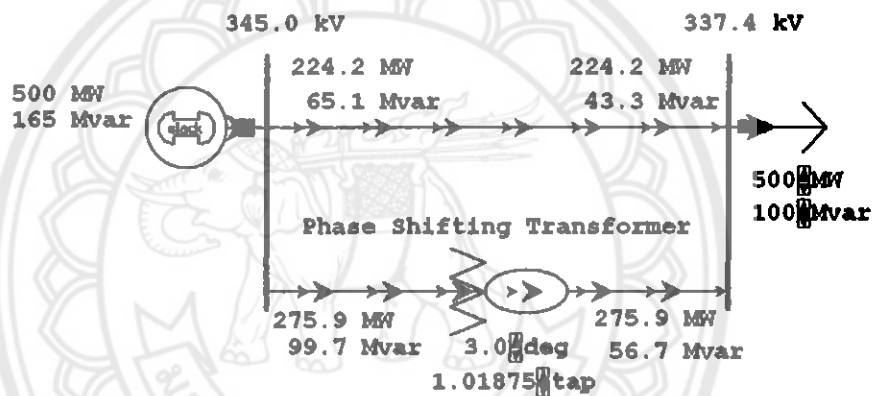
บทที่ 3

การวิเคราะห์ ออกแบบ และพัฒนาระบบ

บทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงแท็ปและปรับมุมเฟสหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังของระบบไฟฟ้ากำลังของระบบไฟฟ้าแบบ 2 บัส โดยการคำนวณและใช้โปรแกรม PowerWorld เพื่อนำค่าที่ได้มาเทียบกัน

3.1 วิเคราะห์ตัวอย่างระบบไฟฟ้าแบบ 2 บัส จากการคำนวณ

วิเคราะห์แรงดันและปรับมุมเฟสของหม้อแปลง 3 เฟส 2 บัสดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การทำงานของหม้อแปลงมุมเฟส 3°

3.1.1 ข้อกำหนดทั่วไป

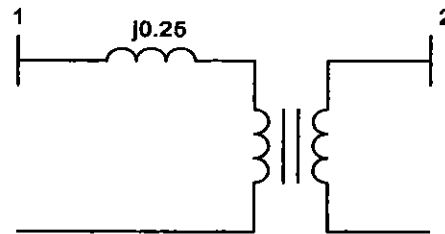
ระบบไฟฟ้านี้เป็นแบบ 2 บัสคือ บัส abc และ บัส a'b'c' เชื่อมต่อโดยสายส่ง 2 เส้น ถูขนานคือ L1 ซึ่งอยู่ด้านล่างเป็นการต่อหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังโดยแท็ปอยู่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง ส่วนสายส่ง L2 เป็นรูปแบบสายส่งต่ออยู่ด้านบน ระบบไฟฟ้าเป็นแบบโพซิทีฟเฟสซีเควิน ค่าความต้านทาน $X_{L1} = 0.25$ กับ $X_{L2} = 0.20$ pu เมื่อทำการติดตั้งหม้อแปลงปรับค่าแรงดันและปรับมุมเฟสได้ต่ออนุกรมกับ L1 ที่บัสบาร์ a'b'c' โดยทั้งความต้านทานอนุกรมและค่าแอดมิตแตนซ์แบบขนานที่สายส่งไม่นำมาพิจารณา

3.1.2 คำนวณค่าเมทริกซ์แอดมิตแตนซ์เมื่อไม่พิจารณาการปรับมุมเฟส

1. พิจารณาที่ L_1

สำหรับเมทริกซ์แอดมิตแตนซ์ของ L_1 ขนาด 2×2 สามารถพิจารณาวงจรสมมูลของ L_1

ได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วงจรสมมูลของ L_1 [4]

$$Y_{11L1} = \frac{1}{z_{eq}} = \frac{1}{j0.25} = -j4.0 \text{ pu.}$$

$$Y_{22L2} = |c|^2 Y_{eq} = (0.9524)^2 (-j4.0) = -j3.628 \text{ pu.}$$

$$Y_{12L1} = Y_{21L1} = -c Y_{eq} = (-0.9524)(-j4.0) = j3.810 \text{ pu.}$$

2. พิจารณาที่ L_2

สำหรับเมทริกซ์แอดมิตแตนซ์ของ L_2 ขนาด 2×2 สามารถพิจารณาวงจรสมมูลของ L_2

ได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วงจรสมมูลของ L_2 [4]

$$Y_{11L2} = Y_{22L2} = \frac{1}{j0.20} = -j5.0 \text{ pu.}$$

$$Y_{12L2} = Y_{21L2} = -\left(\frac{1}{j0.20}\right) = j5.0 \text{ pu.}$$

นำค่าแอดมิตแตนซ์ ของ L_1 และ L_2 มารวมกัน

$$Y_{11} = Y_{11L1} + Y_{11L2} = -j4.0 - j5.0 = -j9.0 \text{ pu.}$$

$$Y_{22} = Y_{22L1} + Y_{22L2} = -j3.628 - j5.0 = -j8.628 \text{ pu.}$$

$$Y_{12} = Y_{21} = Y_{12L1} + Y_{21L2} = j3.810 + j5.0 = j8.810 \text{ pu.}$$

3.1.3 คำนวณตัวแปรเมื่อพิจารณาปรับมุมเฟสที่ -5°

1. ค่าแอดมิตแตนซ์ ปรับค่าของหม้อแปลงเมื่อมีการเปลี่ยนเฟส -5° สมมติให้ปรับหม้อแปลงในอุดมคติ จากสมการที่ (2.31) ถึง (2.34) ค่าพารามิเตอร์ของการปรับหม้อแปลงที่ต่ออนุกรมกับ L_1 คือเมื่อปรับมุมเฟสของหม้อแปลงเป็น -5° จะได้ $C = 1 \angle -\infty = 1 \angle 5^\circ$ โดยใช้เครื่องคำนวณเมื่อพิจารณาที่ L_1 จะได้

$$Y_{11L1} = \frac{1}{j0.25} = -j4.0 \text{ pu.}$$

$$Y_{22L1} = |1.0 \angle -5^\circ|^2 (-j4.0) = -j4.0 \text{ pu.}$$

$$Y_{12L1} = -(1.0 \angle -5^\circ)(-j4.0) = 4.0 \angle 95^\circ = -0.348 + j3.984 \text{ pu.}$$

$$Y_{12L1} = -(1.0 \angle -5^\circ)^* (-j4.0) = 4.0 \angle 85^\circ = 0.348 + j3.984 \text{ pu.}$$

นำค่า Y_{L1} และ Y_{L2} จากหัวข้อที่ 3.1.2 ข้อที่ 2 มารวมกันจะได้

$$Y_{11} = Y_{22} = -j4.0 - j5.0 = -j9.0 \text{ pu.}$$

$$Y_{12} = -0.348 + j3.984 + j5.0 = -0.348 + j8.984 = 9 \angle 92.22^\circ \text{ pu.}$$

$$Y_{21} = 0.348 + j3.984 + j5.0 = 0.348 + j8.984 = 8.49 \angle 87.65^\circ \text{ pu.}$$

2. คำนวณค่ากระแสเมื่อพิจารณาปรับมุมเฟส นำค่าแอดมิตแตนซ์ที่ได้ใส่ลงในเมทริกซ์

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ -I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j9.0 & -0.348 + j8.984 \\ 0.348 + j8.984 & -j9.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0.9775 \angle -8.786^\circ \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ -I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j9.0 & -0.348 + j8.984 \\ 0.348 + j8.984 & -j9.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0.966 - j0.1493 \end{bmatrix}$$

ค่ากระแสที่ได้คือ

$$I_1 = 1.0051 - j0.2695 \text{ pu.}$$

$$I_2 = 0.9957 - j0.2900 \text{ pu.}$$

3. คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าในระบบสายส่งเมื่อพิจารณาปรับมุมเฟส

$$S = VI^*$$

$$S_1 = (1)(1.0051 + j0.2695)(500) = 502.5 + j134.7 \text{ MVA}$$

$$S_2 = (0.966 - j0.1493)(0.9957 + j0.2900)(500) = 502.5 + j65.7 \text{ MVA}$$

วิธีการคำนวณโดยใช้โปรแกรม PowerWorld จะได้ค่ากระแสดังนี้

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ -I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j9.0 & -0.34 + j8.91 \\ 0.34 + j8.91 & -j8.85 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0.966 - j0.1493 \end{bmatrix}$$

$$I_1 = 1.0018 - j0.3422 \text{ pu.}$$

$$I_2 = 0.9813 - j0.3609 \text{ pu.}$$

เมื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าในระบบสายส่งจะได้ดังนี้

$$S_1 = (1)(1.0018 + j0.3422)(500) = 500.9 + j171.1 \text{ MVA}$$

$$S_2 = (0.966 - j0.1493)(0.9813 + j0.3609)(500) = 500.91 + j101 \text{ MVA}$$

ค่าผลต่างของกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าโดยการปรับมุมเฟสที่ -5° ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าผลต่างของกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าโดยการปรับมุมเฟสที่ -5°

ค่ากระแสไฟฟ้าและ กำลังไฟฟ้า	ค่าการคำนวณ โดยใช้ เครื่องคำนวณ	ค่าการคำนวณ โดยใช้ โปรแกรม PowerWorld	ค่าผลต่าง
I_1	$1.0051 - j0.2695$	$1.0018 - j0.3422$	$0.0033 + j0.0727$
I_2	$0.9957 - j0.2900$	$0.9813 - j0.3609$	$0.0144 + j0.0709$
S_1	$502.50 + j134.70$	$500.90 + j171.10$	$1.6000 - j36.400$
S_2	$502.50 + j65.50$	$500.91 + j101.0$	$1.5900 - j35.300$

3.1.4 คำนวณตัวแปรเมื่อพิจารณาปรับมุมเฟสที่ -3°

1. ค่าเมทริกซ์แอดมิตแตนซ์ ปรับค่าของหม้อแปลงเมื่อมีการเปลี่ยนเฟส -3° สมมติให้ปรับหม้อแปลงในอุดมคติ จากสมการที่ (2.31) ถึง (2.34) ค่าพารามิเตอร์ของการปรับหม้อแปลงที่ต่ออนุกรมกับ L_1 คือเมื่อปรับมุมเฟสของหม้อแปลงเป็น -3° จะได้ $C = 1\angle -\infty = 1\angle 3^\circ$ โดยใช้เครื่องคำนวณ เมื่อพิจารณาที่ L_1 จะได้

$$Y_{11L1} = Y_{22L1} = -j4.0 \text{ pu.}$$

$$Y_{12L1} = -0.209 + j3.992 = 4\angle 93^\circ \text{ pu.}$$

$$Y_{21L1} = 0.209 + j3.992 = 4\angle 87^\circ \text{ pu.}$$

นำค่า Y_{L1} และ Y_{L2} มารวมกันจะได้

$$Y_{11} = Y_{22} = -j9.0 \text{ pu.}$$

$$Y_{12} = -0.209 + j8.992 = 9\angle 91.33^\circ \text{ pu.}$$

$$Y_{21} = 0.209 + j8.992 = 9\angle 88.67^\circ \text{ pu.}$$

2. คำนวณค่ากระแสเมื่อพิจารณาปรับมุมเฟส นำค่าแอดมิตแตนซ์ที่ได้ใส่ลงในเมทริกซ์

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ -I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j9.0 & -0.209 + j8.992 \\ 0.209 + j8.992 & -j9.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0.9782\angle -7.898^\circ \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ -I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j9.0 & -0.209 + j8.992 \\ 0.209 + j8.992 & -j9.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0.9689 - j0.1344 \end{bmatrix}$$

ค่ากระแสที่ได้คือ

$$I_1 = 1.0060 - j0.2596 \text{ pu.}$$

$$I_2 = 1.0006 - j0.2719 \text{ pu.}$$

3. คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าในระบบสายส่งเมื่อพิจารณาปรับมุมเฟส

$$S = VI^*$$

$$S_1 = (1)(1.0060 + j0.2596)(500) = 503 + j129.8 \text{ MVA}$$

$$S_2 = (0.9689 - j0.1344)(1.0006 + j0.271)(500) = 503 + j64.48 \text{ MVA}$$

วิธีการคำนวณโดยใช้โปรแกรม PowerWorld จะได้ค่ากระแสดังนี้

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ -I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j9.0 & -0.21 + j8.92 \\ 0.21 + j8.92 & -j8.85 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0.9689 - j0.1344 \end{bmatrix}$$

$$I_1 = 0.9954 - j0.3292 \text{ pu.}$$

$$I_2 = 0.9794 - j0.3452 \text{ pu.}$$

เมื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าในระบบสายส่งจะได้ดังนี้

$$S_1 = (1)(0.9954 + j0.3292)(500) = 497.7 + j164.6 \text{ MVA}$$

$$S_2 = (0.968 - j0.134)(0.979 + j0.345)(500) = 497.67 + j101.42 \text{ MVA}$$

ค่าผลต่างของกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าโดยการปรับมุมเฟสที่ -3° ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่าผลต่างของกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าโดยการปรับมุมเฟสที่ -3°

ค่ากระแสไฟฟ้าและ กำลังไฟฟ้า	ค่าการคำนวณโดยใช้ เครื่องคำนวณ	ค่าการคำนวณโดยใช้ โปรแกรม PowerWorld	ค่าผลต่าง
I_1	$1.0060 - j0.2596$	$0.9954 - j0.3292$	$0.0106 + j0.0696$
I_2	$1.0006 - j0.2719$	$0.9794 - j0.3452$	$0.0212 + j0.0733$
S_1	$503.00 + j129.80$	$497.70 + j164.60$	$5.3000 - j34.800$
S_2	$503.00 + j64.480$	$497.67 + j101.42$	$5.300 - j36.940$

3.1.5 คำนวณตัวแปรเมื่อพิจารณาปรับมุมเฟสที่ 0°

1. ค่าเมทริกซ์แอดมิตแตนซ์ ปรับค่าของหม้อแปลงเมื่อมีการเปลี่ยนเฟส 0° สมมติให้ปรับหม้อแปลงในอุดมคติ จากสมการที่ (2.31) ถึง (2.34) ค่าพารามิเตอร์ของการปรับหม้อแปลงที่ต่ออนุกรมกับ L_1 คือเมื่อปรับมุมเฟสของหม้อแปลง เป็น 0° จะได้ $C = 1\angle -\infty = 1\angle 0^\circ$ โดยใช้เครื่องคำนวณ เมื่อพิจารณาที่ L_1 จะได้

$$Y_{11L1} = -j4.0 \text{ pu.}$$

$$Y_{22L1} = -j4.0 \text{ pu.}$$

$$Y_{12L1} = Y_{21L1} = -j4.0 = 4\angle 90^\circ \text{ pu.}$$

นำค่า Y_{L1} และ Y_{L2} มารวมกันจะได้

$$Y_{11} = Y_{22} = -j9.0 \text{ pu.}$$

$$Y_{12} = Y_{21} = j9.0 \text{ pu.}$$

2. คำนวณค่ากระแสเมื่อพิจารณาปรับมุมเฟส โดยนำค่าแอดมิตแตนซ์ที่ได้ใส่ลงในเมทริกซ์

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ -I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j9.0 & j9.0 \\ j9.0 & -j9.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0.9784\angle -6.576^\circ \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ -I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j9.0 & j9.0 \\ j9.0 & -j9.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0.972 - j0.112 \end{bmatrix}$$

ค่ากระแสที่ได้คือ

$$I_1 = 1.0080 - j0.252 \text{ pu.}$$

$$I_2 = 1.0080 - j0.2520 \text{ pu.}$$

3. จำนวนค่ากำลังไฟฟ้าในระบบสายส่งเมื่อพิจารณาปรับมุมเฟส

$$S = VI^*$$

$$S_1 = (1)(1.0080 + j0.2520)(500) = 504 + j126 \text{ MVA}$$

$$S_2 = (0.972 - j0.112)(1.0080 + j0.2520)(500) = 504 + j66 \text{ MVA}$$

4. วิธีการคำนวณโดยใช้โปรแกรม PowerWorld จะได้ค่ากระแสดังนี้

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ -I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j9.0 & j8.93 \\ j8.93 & -j8.85 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0.972 - j0.112 \end{bmatrix}$$

$$I_1 = 1.0002 - j0.3200 \text{ pu.}$$

$$I_2 = 0.9912 - j0.3278 \text{ pu.}$$

เมื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าในระบบสายส่งจะได้ดังนี้

$$S_1 = (1)(1.0002 + j0.3200)(500) = 500.1 + j160 \text{ MVA}$$

$$S_2 = (0.972 - j0.112)(0.9912 + j0.3278)(500) = 495.6 + j103.8 \text{ MVA}$$

ค่าผลต่างของกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าโดยการปรับมุมเฟสที่ 0° ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ค่าผลต่างของกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าโดยการปรับมุมเฟสที่ 0°

ค่ากระแสไฟฟ้าและ กำลังไฟฟ้า	ค่าการคำนวณโดยใช้ เครื่องคำนวณ	ค่าการคำนวณ โดยใช้ โปรแกรม PowerWorld	ค่าผลต่าง
I_1	$1.0080 - j0.2520$	$1.0002 - j0.3200$	$0.0078 + j0.0680$
I_2	$1.0080 - j0.2520$	$0.9912 - j0.3278$	$0.0168 + j0.0758$
S_1	$504.00 + j126.00$	$500.10 + j160.00$	$3.9000 - j34.000$
S_2	$504.00 + j66.000$	$495.60 + j103.80$	$8.4000 - j37.800$

3.1.6 คำนวณตัวแปรเมื่อพิจารณาปรับมุมเฟสที่ 3°

1. ค่าเมทริกซ์แอดมิตแตนซ์ ปรับค่าของหม้อแปลงเมื่อมีการเปลี่ยนเฟส 3° สมมติให้ปรับหม้อแปลงในอุดมคติ จากสมการที่ (2.31) ถึง (2.34) ค่าพารามิเตอร์ของการปรับหม้อแปลงที่ต่ออนุกรมกับ L_1 คือเมื่อปรับมุมเฟสของหม้อแปลง เป็น 3° จะได้ $C = 1\angle -\infty = 1\angle -3^\circ$ โดยใช้เครื่องคำนวณ เมื่อพิจารณาที่ L_1 จะได้

$$Y_{11L1} = \frac{1}{j0.25} = -j4.0 \text{ pu.}$$

$$Y_{22L1} = |1.0\angle -3^\circ|^2(-j4.0) = -j4.0 \text{ pu.}$$

$$Y_{12L1} = -(1.0\angle -3^\circ)(-j4.0) = 4.0\angle 87^\circ = 0.2093 + j3.9945 \text{ pu.}$$

$$Y_{21L1} = -(1.0\angle -3^\circ)^*(-j4.0) = 4.0\angle 93^\circ = -0.2093 + j3.9945 \text{ pu.}$$

เมื่อนำค่าพารามิเตอร์จาก L_2 ที่คำนวณได้ในการคำนวณเมทริกซ์แอดมิตแตนซ์เมื่อไม่พิจารณาการปรับมุมเฟสรวมกับค่าแอดมิตแตนซ์ที่ต่อขนานกันจะได้

$$Y_{11} = Y_{22} = -j4.0 - j5.0 = -j9.0 \text{ pu.}$$

$$Y_{12} = 0.2093 + j3.9945 + j5.0 = 0.2093 + j8.9945 \text{ pu.}$$

$$Y_{22} = -0.2093 + j3.9945 + j5.0 = -0.2093 + j8.9945 \text{ pu.}$$

2. คำนวณค่ากระแสเมื่อพิจารณามุมเฟส เมื่อนำค่าแอดมิตแตนซ์ที่ได้ใส่ลงในเมทริกซ์

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ -I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j9.0 & 0.2093 + j8.9945 \\ -0.2093 + j8.9945 & -j9.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0.9781\angle -5.259^\circ \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ -I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j9.0 & 0.2093 + j8.9945 \\ -0.2093 + j8.9945 & -j9.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0.974 - j0.089 \end{bmatrix}$$

ค่ากระแสที่ได้คือ

$$I_1 = 1.0044 - j0.2580 \text{ pu.}$$

$$I_2 = 1.0103 - j0.2285 \text{ pu.}$$

3. คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าในระบบสายส่งเมื่อพิจารณาปรับมุมเฟส

$$S = VI^*$$

$$S_1 = (1)(1.0044 - j0.2580)(500) = 502.2 + j129 \text{ MVA}$$

$$S_2 = (0.974 - j0.089)(1.0103 + j0.2285)(500) = 502.2 + j66.3 \text{ MVA}$$

4. วิธีการคำนวณโดยใช้โปรแกรม PowerWorld จะได้ค่ากระแสดังนี้

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ -I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j9.0 & 0.21 + j8.92 \\ -0.21 + j8.92 & -j8.85 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0.974 - j0.089 \end{bmatrix}$$

$$I_1 = 0.9984 - j0.3306 \text{ pu.}$$

$$I_2 = 0.9976 - j0.3001 \text{ pu.}$$

เมื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าในระบบสายส่งจะได้ดังนี้

$$S_1 = (1)(0.9984 + j0.3306)(500) = 499.2 + j165.3 \text{ MVA}$$

$$S_2 = (0.974 - j0.089)(0.997 + j0.300)(500) = 499.19 + j101.76 \text{ MVA}$$

ค่าผลต่างของกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าโดยการปรับมุมเฟสที่ 3° ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ค่าผลต่างของกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าโดยการปรับมุมเฟสที่ 3°

ค่ากระแสไฟฟ้าและ กำลังไฟฟ้า	ค่าการคำนวณโดยใช้ เครื่องคำนวณ	ค่าการคำนวณโดยใช้ โปรแกรม PowerWorld	ค่าผลต่าง
I_1	$1.0044 - j0.2580$	$0.9984 - j0.3306$	$0.0060 + j0.0726$
I_2	$1.0103 - j0.2285$	$0.9976 - j0.3001$	$0.0127 + j0.0716$
S_1	$502.20 + j129.00$	$499.20 + j165.30$	$3.0000 - j36.300$
S_2	$502.20 + j66.30$	$499.19 + j101.76$	$3.0100 - j35.460$

3.1.7 จำนวนตัวแปรเมื่อพิจารณาปรับมุมเฟสที่ 5°

1. ค่าเมทริกซ์แอดมิตแตนซ์ปรับมือแปลงมุมเฟสที่ $C = 1\angle -5^\circ$

$$Y_{11L1} = Y_{22L1} = -j4.0 \text{ pu.}$$

$$Y_{12L1} = 0.348 + j3.984 = 4\angle 85^\circ \text{ pu.}$$

$$Y_{21L1} = -0.348 + j3.984 = 4\angle 95^\circ \text{ pu.}$$

นำค่า Y_{L1} และ Y_{L2} มารวมกันจะได้ดังนี้

$$Y_{11} = Y_{22} = -j9.0 \text{ pu.}$$

$$Y_{12} = 0.348 + j8.984 = 9\angle 87.78^\circ \text{ pu.}$$

$$Y_{21} = -0.348 + j8.984 = 9\angle 92.2^\circ \text{ pu.}$$

2. จำนวนค่ากระแสเมื่อพิจารณาปรับมุมเฟส นำค่าแอดมิตแตนซ์ที่ได้ใส่ลงในเมทริกซ์

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ -I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j9.0 & 0.348 + j8.984 \\ -0.348 + j8.984 & -j9.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0.9775\angle -4.387^\circ \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ -I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j9.0 & 0.348 + j8.984 \\ -0.348 + j8.984 & -j9.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0.974 - j0.0748 \end{bmatrix}$$

ค่ากระแสที่ได้คือ

$$I_1 = 1.0110 - j0.275 \text{ pu.}$$

$$I_2 = 1.0212 - j0.2180 \text{ pu.}$$

3. จำนวนค่ากำลังไฟฟ้าในระบบสายส่งเมื่อพิจารณาปรับมุมเฟส

$$S = VI^*$$

$$S_1 = (1)(1.0110 + j0.2756)(500) = 505.5 + j137.8 \text{ MVA}$$

$$S_2 = (0.974 - j0.0748)(1.0212 + j0.2180)(500) = 505.5 + j67.9 \text{ MVA}$$

4. วิธีการคำนวณโดยใช้โปรแกรม PowerWorld จะได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ -I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j9.0 & 0.34 + j8.91 \\ -0.34 + j8.91 & -j8.85 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0.974 - j0.0748 \end{bmatrix}$$

$$I_1 = 0.9976 - j0.347 \text{ pu.}$$

$$I_2 = 1.0020 - j0.2901 \text{ pu.}$$

เมื่อกำหนดกำลังไฟฟ้าในระบบสายส่งจะได้ดังนี้

$$S_1 = (1)(0.9976 + j0.3471)(500) = 498.8 + j173.55 \text{ MVA}$$

$$S_2 = (0.974 - j0.075)(1.002 + j0.290)(500) = 498.82 + j103.8 \text{ MVA}$$

ค่าผลต่างของกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าโดยการปรับมุมเฟสที่ 5° และสรุปค่าพารามิเตอร์ของตัวอย่างระบบไฟฟ้าแบบ 2 บัส จากการคำนวณดังตารางที่ 3.5 และตารางที่ 3.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.5 ค่าผลต่างของกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าโดยการปรับมุมเฟสที่ 5°

ค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า	ค่าการคำนวณโดยใช้เครื่องคำนวณ	ค่าการคำนวณโดยใช้โปรแกรม PowerWorld	ค่าผลต่าง
I_1	$1.0110 - j0.2756$	$0.9976 - j0.3471$	$0.0134 + j0.0715$
I_2	$1.0212 - j0.2180$	$1.0020 - j0.2901$	$0.0192 + j0.0721$
S_1	$505.50 + j137.80$	$498.80 + j173.55$	$6.7000 - j35.750$
S_2	$505.50 + j67.900$	$498.82 + j103.80$	$6.6800 - j35.900$

ตารางที่ 3.6 สรุปค่าพารามิเตอร์ของตัวอย่างระบบไฟฟ้าแบบ 2 บัส จากการคำนวณ

Degree	V_1 (V)	V_2 (V)	P_{g1} (MW)	Q_{g1} (MVA)	P_{L1} (MW)	Q_{L1} (MVA)	$S_{12,1}$ (MVA)	$S_{12,2}$ (MVA)
-5	1	$0.9660 - j0.1493$	502.5	134.7	502.5	65.70	-	-
-3	1	$0.9689 - j0.1344$	503.0	129.8	503.0	64.48	-	-
0	1	$0.9720 - j0.1120$	504.0	126.0	504.0	66.00	-	-
3	1	$0.9740 - j0.0890$	502.2	129.0	502.2	66.30	-	-
5	1	$0.9740 - j0.0748$	505.5	137.8	505.5	67.90	-	-

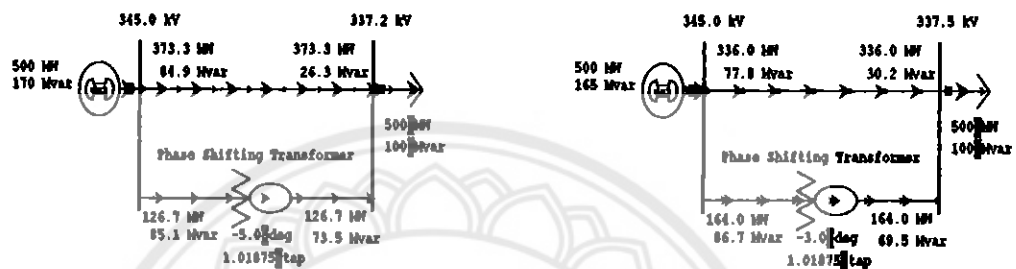
3.2 วิเคราะห์ตัวอย่างระบบไฟฟ้าแบบ 2 บัสด้วยโปรแกรม PowerWorld

3.2.1 วงจรระบบไฟฟ้าแบบ 2 บัส

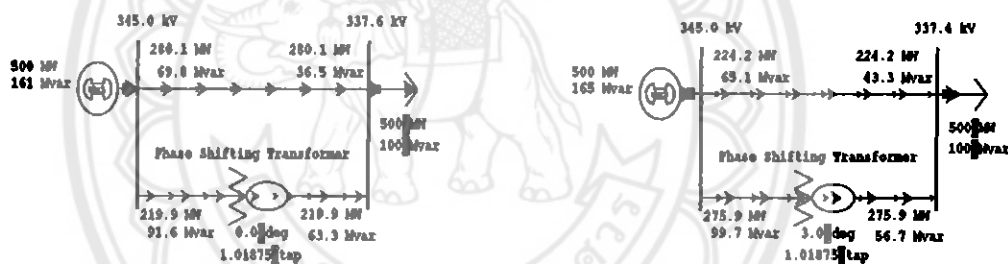
ในการปรับมุมเฟสของหม้อแปลงไฟฟ้าจาก -5° ถึง 5° และการปรับแท็ปจาก 0.95 ถึง 1.05 จะทำการประมวลผลทั้งหมด 6 กรณี

กรณีที่ 1 การเปลี่ยนมุมเฟส จาก -5° ถึง 5° โดยแท็ปคงที่เท่ากับ 1.01875 แสดงดังรูปที่

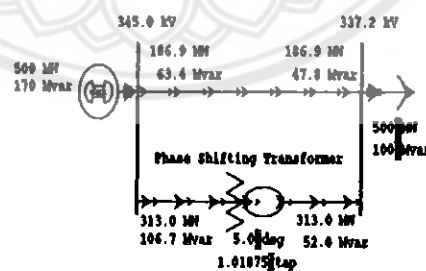
3.4 ข้อมูลการไหลของกำลังไฟฟ้าแสดงในตารางที่ 3.7 และตารางที่ 3.8



(ก) หม้อแปลงมุมเฟส -5° ที่แท็ปเท่ากับ 1.01875 (ข) หม้อแปลงมุมเฟส -3° ที่แท็ปเท่ากับ 1.01875



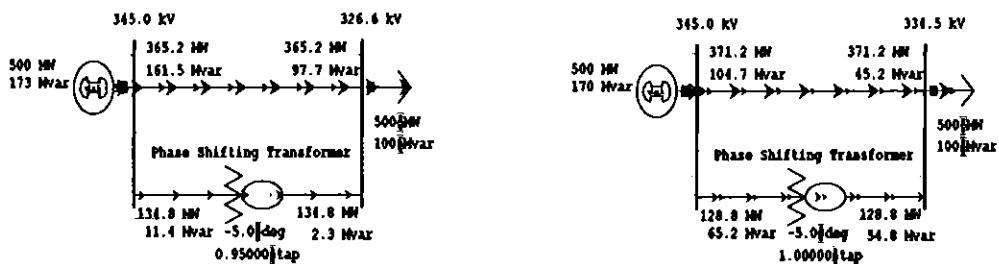
(ค) หม้อแปลงมุมเฟส 0° ที่แท็ปเท่ากับ 1.01875 (ง) หม้อแปลงมุมเฟส 3° ที่แท็ปเท่ากับ 1.01875



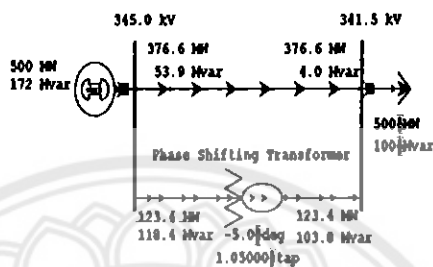
(จ) หม้อแปลงมุมเฟส 5° ที่แท็ปเท่ากับ 1.01875

รูปที่ 3.4 ระบบไฟฟ้า 2 บัส หม้อแปลงที่แท็ป 1.01875 โดยปรับมุมเฟสของหม้อแปลง

กรณีที่ 2 การเปลี่ยนแท็ปจาก 0.95 ถึง 1.05 โดยค่ามุมเฟสคงที่เท่ากับ -5° แสดงดังรูปที่ 3.5 ข้อมูลการไหลของกำลังไฟฟ้าแสดงในตารางที่ 3.7 และตารางที่ 3.8



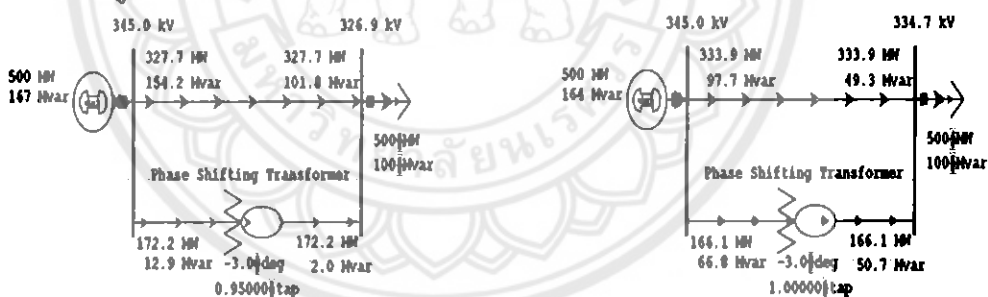
(ก) หม้อแปลงมุมเฟส -5° เปลี่ยนแท็ปที่ 0.95 (ข) หม้อแปลงมุมเฟส -5° เปลี่ยนแท็ปที่ 1



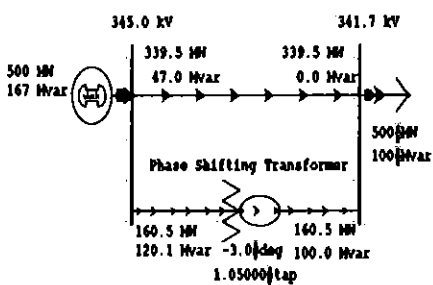
(ค) หม้อแปลงมุมเฟส -5° เปลี่ยนแท็ปที่ 1.05

รูปที่ 3.5 ระบบไฟฟ้า 2 บัส หม้อแปลงที่มุมเฟส -5° โดยปรับแท็ปของหม้อแปลง

กรณีที่ 3 การเปลี่ยนแท็ปจาก 0.95 ถึง 1.05 โดยค่ามุมเฟสคงที่เท่ากับ -3° แสดง
 ดังรูปที่ 3.6 ข้อมูลการไหลของกำลังไฟฟ้าแสดงในตารางที่ 3.7 และตารางที่ 3.8



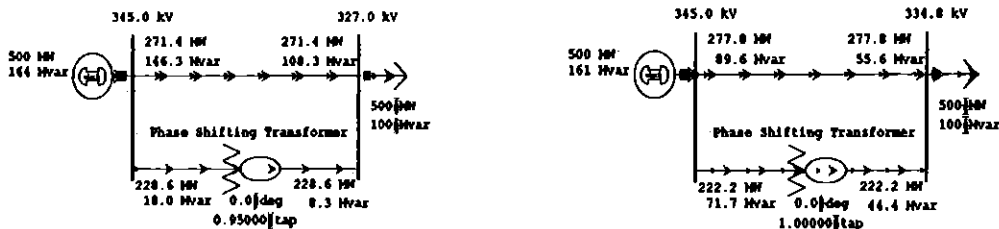
(ก) หม้อแปลงมุมเฟส -3° เปลี่ยนแท็ปที่ 0.95 (ข) หม้อแปลงมุมเฟส -3° เปลี่ยนแท็ปที่ 1



(ค) หม้อแปลงมุมเฟส -3° เปลี่ยนแท็ปที่ 1.05

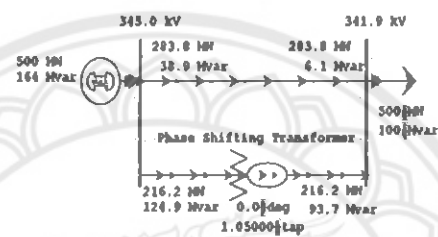
รูปที่ 3.6 ระบบไฟฟ้า 2 บัส หม้อแปลงที่มุมเฟส -3° โดยปรับแท็ปของหม้อแปลง

กรณีที่ 4 การเปลี่ยนแท่งจาก 0.95 ถึง 1.05 โดยค่ามุมเฟสคงที่เท่ากับ 0° แสดงดังรูปที่ 3.7 ข้อมูลการไหลของกำลังไฟฟ้าแสดงในตารางที่ 3.7 และตารางที่ 3.8



(ก) หม้อแปลงปรับมุมเฟส 0° ที่แท่ง 0.95

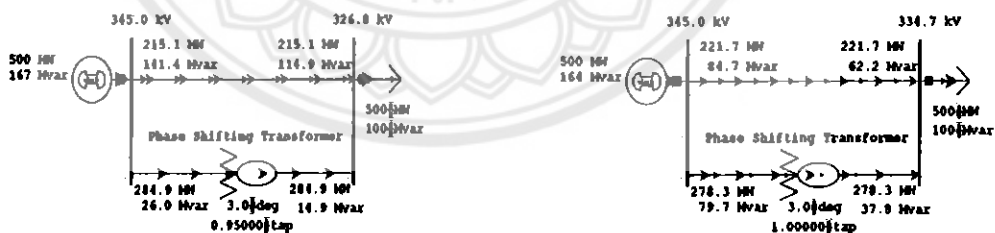
(ข) หม้อแปลงมุมเฟส 0° เปลี่ยนแท่งที่ 1



(ค) หม้อแปลงมุมเฟส 0° เปลี่ยนแท่งที่ 1.05

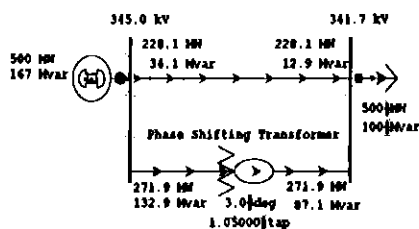
รูปที่ 3.7 ระบบไฟฟ้า 2 บัส หม้อแปลงที่มุมเฟส 0° โดยปรับแท่งของหม้อแปลง

กรณีที่ 5 การเปลี่ยนแท่งจาก 0.95 ถึง 1.05 โดยค่ามุมเฟสคงที่เท่ากับ 3° แสดงดังรูปที่ 3.8 ข้อมูลการไหลของกำลังไฟฟ้าแสดงในตารางที่ 3.7 และตารางที่ 3.8



(ก) หม้อแปลงมุมเฟส 3° เปลี่ยนแท่งที่ 0.95

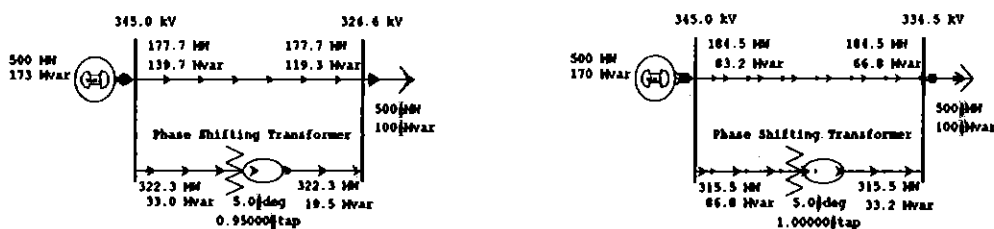
(ข) หม้อแปลงมุมเฟส 3° เปลี่ยนแท่งที่ 1



(ค) หม้อแปลงมุมเฟส 3° เปลี่ยนแท่งที่ 1.05

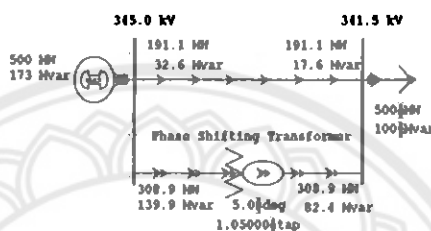
รูปที่ 3.8 ระบบไฟฟ้า 2 บัส หม้อแปลงที่มุมเฟส 3° โดยปรับแท่งของหม้อแปลง

กรณีที่ 6 การเปลี่ยนแท็ปจาก 0.95 ถึง 1.05 โดยค่ามุมเฟสคงที่เท่ากับ 5° แสดงดังรูปที่ 3.9 ข้อมูลการไหลของกำลังไฟฟ้าแสดงในตารางที่ 3.7 และตารางที่ 3.8



(ก) หม้อแปลงมุมเฟส 5° เปลี่ยนแท็ปที่ 0.95

(ข) หม้อแปลงมุมเฟส 5° เปลี่ยนแท็ปที่ 1



(ค) หม้อแปลงมุมเฟส 5° เปลี่ยนแท็ปที่ 1.05

รูปที่ 3.9 ระบบไฟฟ้า 2 บัส หม้อแปลงที่มุมเฟส 5° โดยปรับแท็ปของหม้อแปลง

ค่าแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า 2 บัส โดยการเปลี่ยนแท็ปและมุมเฟสดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ค่าแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า 2 บัส โดยการเปลี่ยนแท็ปและมุมเฟส

Degree	Tap	V_g (kV)	V_L (kV)	S_g (MVA)	S_L (MVA)
-5	0.95	345	326.6	500 + j173	500 + j100
	1	345	334.5	500 + j170	500 + j100
	1.05	345	341.5	500 + j172	500 + j100
-3	0.95	345	326.9	500 + j167	500 + j100
	1	345	334.7	500 + j164	500 + j100
	1.05	345	341.7	500 + j167	500 + j100
0	0.95	345	327.0	500 + j164	500 + j100
	1	345	334.8	500 + j161	500 + j100
	1.05	345	341.9	500 + j164	500 + j100
3	0.95	345	326.8	500 + j167	500 + j100
	1	345	334.7	500 + j164	500 + j100
	1.05	345	341.7	500 + j167	500 + j100
5	0.95	345	326.6	500 + 173	500 + j100
	1	345	334.5	500 + j170	500 + j100
	1.05	345	341.5	500 + j173	500 + j100

ค่ากำลังไฟฟ้าสายส่งเส้นที่ 1 และสายส่งเส้นที่ 2 ของระบบไฟฟ้า 2 บัสดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ค่ากำลังไฟฟ้าสายส่งเส้นที่ 1 และสายส่งเส้นที่ 2 ของระบบไฟฟ้า 2 บัสดังตารางที่ 3.8

Degree	Tap	$S_{12,L1}$ (MVA)	$S_{12,L2}$ (MVA)	$S_{21,L1}$ (MVA)	$S_{21,L2}$ (MVA)
-5	0.95	134.8 + j11.4	365.2 + j161.5	134.8 + j2.3	365.2 + j97.2
	1	128.8 + j65.2	371.2 + j104.7	128.8 + j54.8	371.2 + j45.2
	1.05	123.4 + j118.4	376.6 + j53.9	123.4 + j103.8	376.6 + j4.0
-3	0.95	172.2 + j12.9	327.7 + j154.2	172.2 + j2.0	327.7 + j101.8
	1	166.1 + j66.8	333.9 + j97.7	166.1 + j50.7	333.9 + j49.3
	1.05	160.5 + j120.1	339.5 + j47	160.5 + j100	339.5 + j0
0	0.95	228.6 + j18.0	271.4 + j146.3	228.6 + j8.3	271.4 + j108.3
	1	222.2 + j71.7	277.8 + j89.6	222.2 + j44.4	277.8 + j55.6
	1.05	216.2 + j124.9	283.8 + j38.9	216.2 + j93.7	283.8 + j6.1
3	0.95	284.9 + j26	215.1 + j141.4	284.9 + j14.9	215.1 + j114.9
	1	278.3 + j79.7	221.7 + j84.7	278.3 + j37.8	221.7 + j62.2
	1.05	271.9 + j132.9	228.1 + j34.1	271.9 + j87.1	228.1 + j12.9
5	0.95	322.3 + j33	177.7 + j139.7	322.3 + j19.5	177.7 + j119.3
	1	315.5 + j86.8	184.5 + j83.2	315.5 + j33.2	184.5 + j66.8
	1.05	308.9 + j139.9	191.1 + j32.6	308.9 + j82.4	191.1 + j17.6

3.2.2 วิเคราะห์ระบบไฟฟ้าแบบ 2 บัสด ด้วยผลจากโปรแกรม PowerWorld

จากตารางที่ 3.7 เนื่องจากแท็ปของหม้อแปลงอยู่ด้านปฐมภูมิ จึงสรุปได้ว่าเมื่อทำการปรับแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าเพิ่มขึ้น โดยให้มุมเฟสคงที่ จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าเท่าเดิมแต่ค่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านโหลดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากว่าเมื่อพิจารณาให้ V_1 แรงดันทางด้านโหลดและให้ V_2 เป็นแรงดันทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้างดสมการที่ (3.1)

$$\frac{V_1}{V_2} = a_t \quad (3.1)$$

จะเห็นได้ว่าเมื่อต้องการที่จะหา V_1 ดังนั้นค่า V_2 จึงผูกกับค่า a_t หรือค่าแท็ปของหม้อแปลงจึงเป็นผลทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านโหลดมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกันกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งเส้นที่ 1 คือเส้นที่ต่อกับหม้อแปลงจะมีค่ากำลังไฟฟ้าลดลง ในขณะที่กำลังไฟฟ้าไหลในสายส่งเส้นที่ 2 ที่ขนานกันเส้นที่ 1 มีค่ากำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แต่เพราะค่าแท็ปมีผลต่อกำลังไฟฟ้าไม่มากนักดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงนั้นเพื่อที่จะรักษาเสถียรภาพในระบบ

สรุปค่าพารามิเตอร์ของตัวอย่างระบบไฟฟ้าแบบ 2 บัส จากโปรแกรม PowerWorld ดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 สรุปค่าพารามิเตอร์ของตัวอย่างระบบไฟฟ้าแบบ 2 บัส จากโปรแกรม PowerWorld

Degree	V ₁ (V)	V ₂ (V)	P _{g1} (MW)	Q _{g1} (MVA)	P _{L1} (MW)	Q _{L1} (MVA)	S _{12,1} (MVA)	S _{12,2} (MVA)
-5	1	0.966-j0.1493	500	170	500	100	126.7+j85.1	373.3+j84.9
-3	1	0.9689-j0.134	500	165	500	100	164+j86.7	336+j77.8
0	1	0.972-j0.112	500	161	500	100	219.9+j91.6	280.1+j69.8
3	1	0.974-j0.089	500	165	500	100	275.9+j99.7	224.2+j65.1
5	1	0.974-j0.0748	500	170	500	100	313.0+j106.7	186.9+j63.4

สรุป เมื่อมีการเปลี่ยนมุมเฟสทำให้กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟมีการเบี่ยงเบนการไหลของกำลังไฟฟ้าไปยังสายส่งอื่นๆที่ไม่ได้ต่อหม้อแปลงปรับมุมเฟส เนื่องจากเมื่อมีการเพิ่มมุมเฟสของหม้อแปลงค่ากำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ต่อกับหม้อแปลงนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นดังนั้นเพื่อที่จะรักษาเสถียรภาพของระบบจึงมีการเบี่ยงเบนการไหลของกำลังไฟฟ้าไปยังสายส่งอื่นๆซึ่งสามารถแก้ปัญหาเรื่องการติดขัดของสายส่ง (Over load)

3.3 สรุปปัญหาการวิเคราะห์ห้วงจร 2 บัส โดยปรับหม้อแปลงที่มุมเฟสที่ 3°

เนื่องจากการคำนวณค่าเมทริกซ์แอดมิตแตนซ์ที่ได้นั้นไม่ตรงกับค่าที่ใช้โปรแกรม PowerWorld เช่น เมื่อปรับหม้อแปลงที่มุมเฟสที่ 3° ค่าเมทริกซ์แอดมิตแตนซ์ที่คำนวณได้คือ

$$Y = \begin{bmatrix} -j9.0 & 0.2093 + j8.9945 \\ -0.2093 + j8.9945 & -j9.0 \end{bmatrix}$$

และเมื่อปรับหม้อแปลงที่มุมเฟสที่ 3° ค่าเมทริกซ์แอดมิตแตนซ์ที่ได้จากโปรแกรมคือ

$$Y = \begin{bmatrix} -j9.0 & 0.21 + j8.92 \\ -0.21 + j8.92 & -j8.85 \end{bmatrix}$$

ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จึงมีค่าที่คำนวณไม่ตรงกับโปรแกรม

ค่ากำลังไฟฟ้าที่คำนวณและค่ากำลังไฟฟ้าจากโปรแกรม PowerWorld ดังตารางที่ 3.10

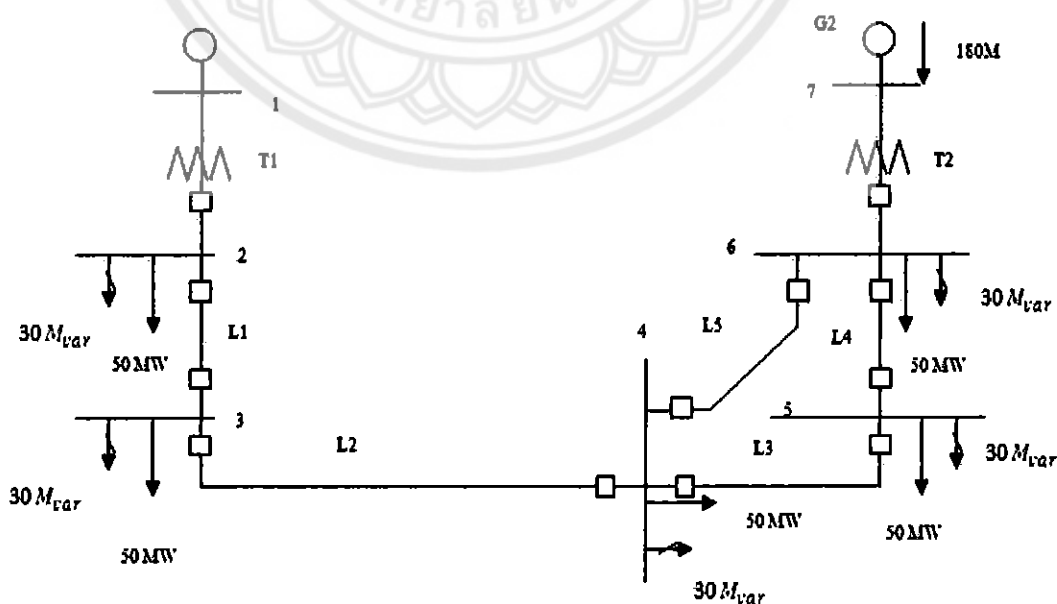
ตารางที่ 3.10 ค่ากำลังไฟฟ้าที่คำนวณและค่ากำลังไฟฟ้าจากโปรแกรม PowerWorld

คำนวณ	โปรแกรม	คำนวณ	โปรแกรม	คำนวณ	โปรแกรม	คำนวณ	โปรแกรม
P_{gl} (MW)	P_{gl} (MW)	Q_{gl} (MVA)	Q_{gl} (MVA)	P_{Li} (MW)	P_{Li} (MW)	Q_{Li} (MVA)	Q_{Li} (MVA)
502.5	500	134.7	170	502.5	500	65.7	100
503.0	500	129.8	165	503.0	500	64.48	100
504.0	500	126.0	161	504.0	500	66.0	100
502.2	500	129.0	165	502.2	500	66.3	100
505.5	500	137.8	170	505.5	500	67.9	100

3.4 ระบบศึกษา

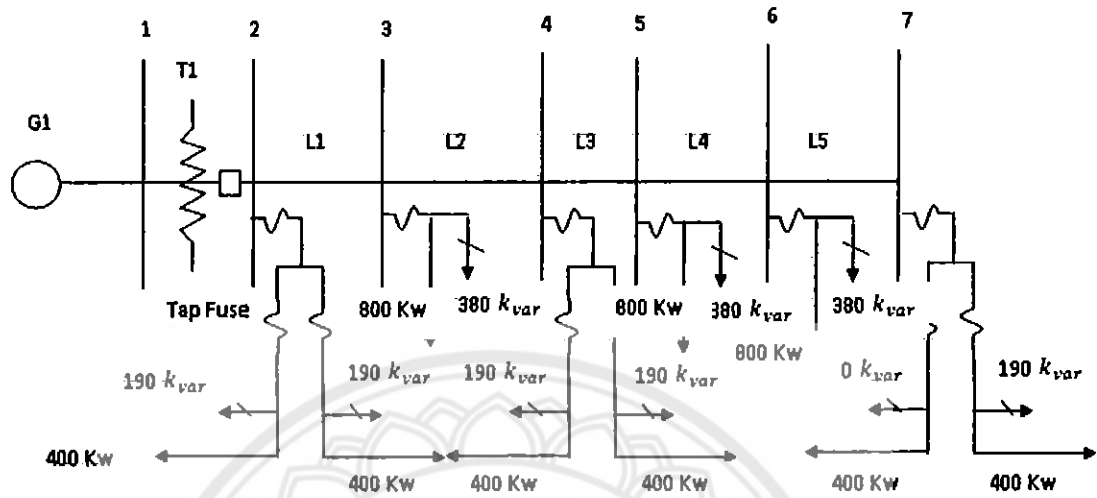
ระบบศึกษาคือการเปลี่ยนแท่งหม้อแปลงไฟฟ้าและการปรับมุมเฟสหม้อแปลง ใช้วิธีคำนวณแบบนิวตัน-ราฟสันและใช้โปรแกรม PowerWorld เพื่อที่จะศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบ 7 บัสแบบรูปและแบบเรเดียมล ดังนี้

วงจรแบบรูปประกอบด้วย บัส 7 บัส, เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 เครื่อง, หม้อแปลงไฟฟ้า 2 เครื่อง, โหลด 5 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 3.10 ข้อมูลแสดงในภาคผนวก ก



รูปที่ 3.10 วงจรแบบรูป 7 บัส

วงจรแบบ เรเดียล ประกอบด้วย บัส 7 บัส, เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 เครื่อง, หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เครื่อง, โหลด 9 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 3.11 ข้อมูลแสดงในภาคผนวก ก



รูปที่ 3.11 วงจรแบบเรเดียล 7 บัส



บทที่ 4

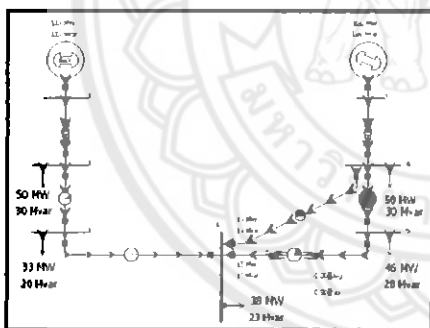
การวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงแท็บและปรับมุมเฟสหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

บทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงแท็บและปรับมุมเฟสหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง โดยใช้โปรแกรม PowerWorld เพื่อสังเกตผลกระทบที่มีต่อระบบไฟฟ้ากำลังแบบรูป

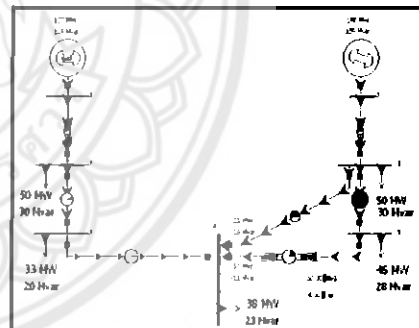
4.1 ระบบไฟฟ้าแบบรูป 7 บัส เมื่อปรับมุมเฟสของ T3 โดยแท็บ T3 เท่ากับ 0.9

ระบบไฟฟ้ากำลังแบบรูป จำนวน 7 บัส ประกอบไปด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 เครื่อง หม้อแปลง 3 เครื่อง โหลด 5 ชุด การกำหนดค่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ค่าโหลด ค่าตัวแปรสายส่งและหม้อแปลงไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า 7 บัส แสดงในภาคผนวก ก โดยที่หม้อแปลง T1 เชื่อมต่อบัสที่ 1 และบัสที่ 2 และ หม้อแปลง T2 เชื่อมต่อบัสที่ 6 และบัสที่ 7 และหม้อแปลง T3 เชื่อมต่อบัสที่ 4 และบัสที่ 5

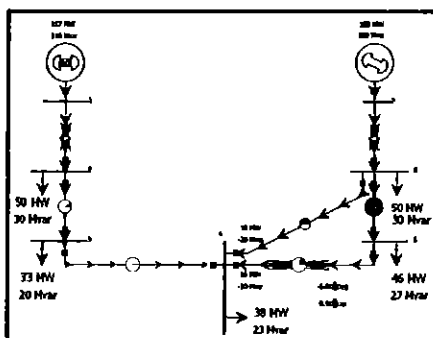
เมื่อทำการปรับค่ามุมเฟสของหม้อแปลง T3 จาก -10° ถึง 10° โดยให้แท็บ T3 เท่ากับ 0.9 ผลการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม PowerWorld เป็นดังรูปที่ 4.1



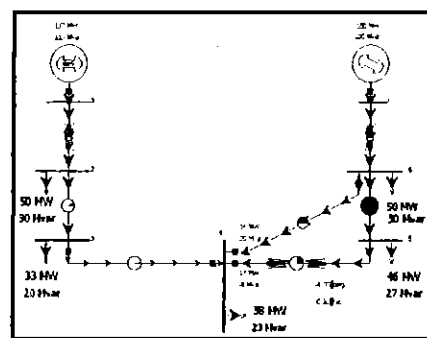
(ก) หม้อแปลง T3 แท็บ = 0.9 มุมเฟส = -10°



(ข) หม้อแปลง T3 แท็บ = 0.9 มุมเฟส = -8°

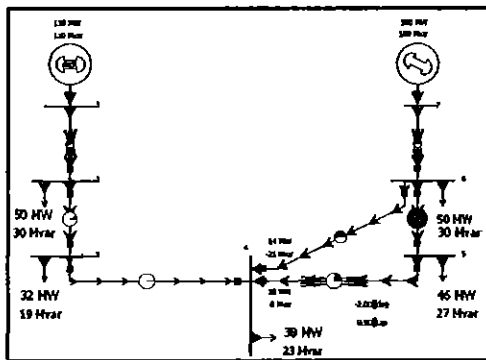


(ค) หม้อแปลง T3 แท็บ = 0.9 มุมเฟส = -6°

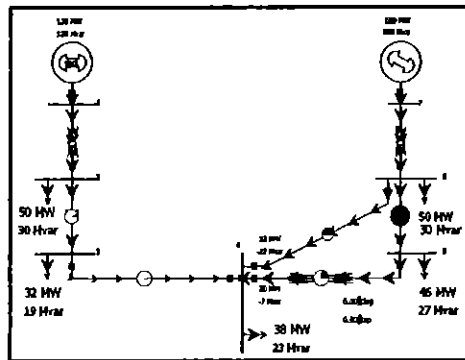


(ง) หม้อแปลง T3 แท็บ = 0.9 มุมเฟส = -4°

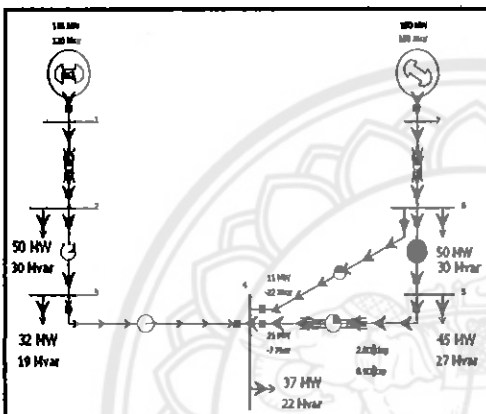
รูปที่ 4.1 การไหลของกำลังไฟฟ้าเมื่อปรับมุมเฟสของ T3 โดยแท็บ T3 เท่ากับ 0.9



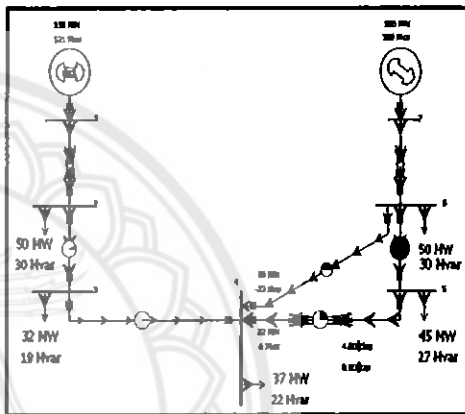
(จ) หม้อแปลง T3 แท็ป = 0.9 มุมเฟส = -2°



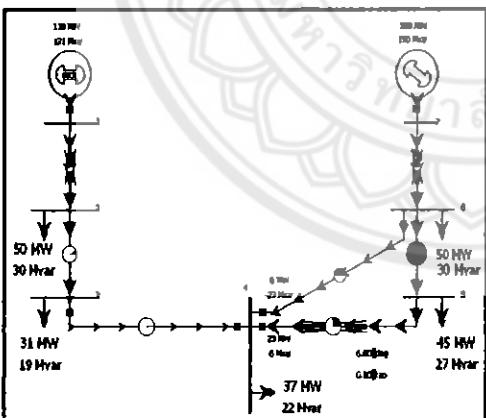
(ฉ) หม้อแปลง T3 แท็ป = 0.9 มุมเฟส = 0°



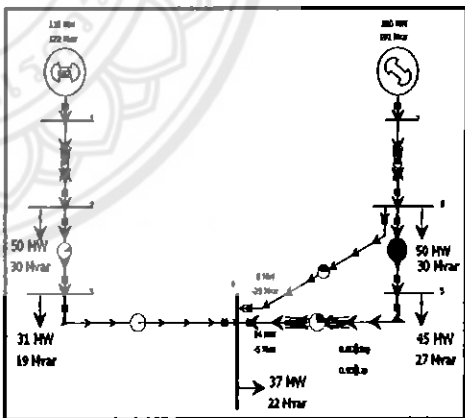
(ช) หม้อแปลง T3 แท็ป = 0.9 มุมเฟส = 2°



(ซ) หม้อแปลง T3 แท็ป = 0.9 มุมเฟส = 4°

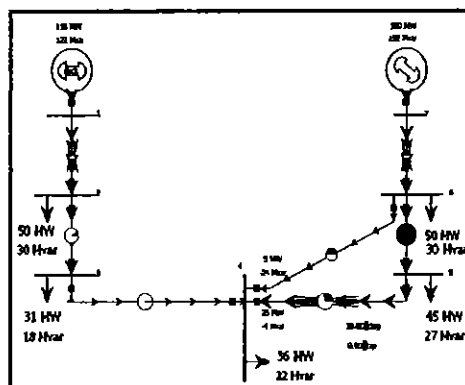


(ฅ) หม้อแปลง T3 แท็ป = 0.9 มุมเฟส = 6°



(ฉ) หม้อแปลง T3 แท็ป = 0.9 มุมเฟส = 8°

รูปที่ 4.1 (ต่อ) การไหลของกำลังไฟฟ้าเมื่อปรับมุมเฟสของ T3 โดยแท็ป T3 เท่ากับ 0.9



(ก) หม้อแปลง T3 แท็ป = 0.9 มุมเฟส = 10°

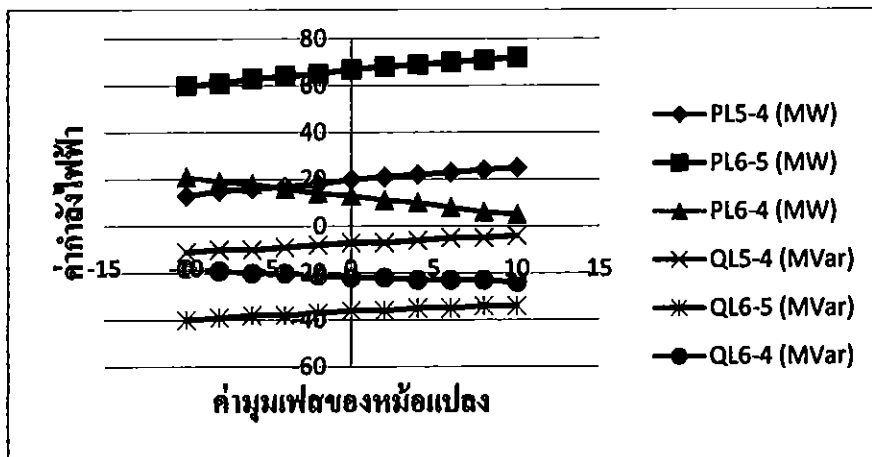
รูปที่ 4.1 (ต่อ) การไหลของกำลังไฟฟ้าเมื่อปรับมุมเฟสของ T3 โดยแท็ป T3 เท่ากับ 0.9

จากรูปที่ 4.1 จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์การไหลกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่แท็ป T3 เท่ากับ 0.9 ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่ากำลังไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์การไหลกำลังไฟฟ้า ที่แท็ป T3 เท่ากับ 0.9

Tap=0.9 Deg	P_{L5-4} (MW)	P_{L6-5} (MW)	P_{L6-4} (MW)	Q_{L5-4} (MVar)	Q_{6-5} (MVar)	Q_{L6-4} (MVar)	%Flow L5-4	%Flow L6-5	%Flow L6-4
-10	13	60	21	-11	-40	-18	18.8	90	54.9
-8	15	61	19	-10	-39	-19	19.4	91	53.8
-6	16	63	18	-10	-38	-20	20.1	92	52.7
-4	17	64	16	-9	-38	-20	21.0	93	51.7
-2	18	65	14	-8	-37	-21	21.9	94	50.9
0	20	67	13	-7	-36	-22	22.9	95	50.1
2	21	68	11	-7	-36	-22	23.9	96	49.5
4	22	69	10	-6	-35	-23	24.9	97	49.0
6	23	70	8	-5	-35	-23	25.9	98	48.7
8	24	71	6	-5	-34	-23	27.0	99	48.5
10	25	72	5	-4	-34	-24	28.0	99	48.4

จากตารางที่ 4.1 นำมาเขียนกราฟการไหลของกำลังไฟฟ้าจริง, กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟและเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3



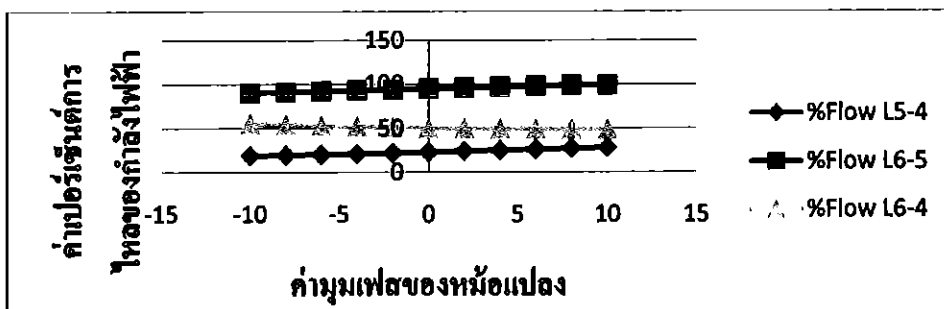
รูปที่ 4.2 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ ที่แท็ป T3 เท่ากับ 0.9

จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มมุมเฟสจาก -10° ถึง 10° ให้กับหม้อแปลง T3 โดยที่ให้ค่าแท็ปของหม้อแปลง T3 คงที่เท่ากับ 0.9 และค่าตัวแปรที่บัสต่างๆ มีค่าคงที่

เมื่อพิจารณากำลังไฟฟ้าจริง จะเห็นได้ว่าค่าการไหลกำลังไฟฟ้าจริงที่ผ่านหม้อแปลง T3 ซึ่งเชื่อมต่อบัสที่ 4 และบัสที่ 5 มีค่าเพิ่มขึ้นมากอย่างชัดเจน คือจาก 13 MW ถึง 25 MW และการไหลกำลังไฟฟ้าจริงที่สายส่ง L6-5 มีค่าเพิ่มขึ้นมากอย่างชัดเจน คือจาก 60 MW ถึง 72 MW เนื่องจากเป็นสายส่งที่ต่ออนุกรมกันกับหม้อแปลง T3 ส่วนการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงที่สายส่ง L6-4 นั้นมีค่าลดลงมากอย่างเห็นได้ชัดเช่นกัน คือจาก 21 MW ถึง 5 MW เนื่องจากเป็นสายส่งที่ต่อขนานกันกับหม้อแปลง T3

ในทำนองเดียวกันขนาดการไหลของกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่ผ่านหม้อแปลง T3 และที่สายส่ง L6-5 ก็จะเพิ่มขึ้น ในขณะที่สายส่ง L6-4 ลดลง

ดังนั้นการเพิ่มมุมเฟสของหม้อแปลงไฟฟ้าให้มากขึ้นจะทำให้กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟไหลมายังเส้นทางที่มีการเพิ่มมุมเฟสของหม้อแปลงไฟฟ้ามากขึ้น



รูปที่ 4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่บัส 4-5, บัส 4-6 และ บัส 5-6 ที่แท็ป T3 เท่ากับ 0.9

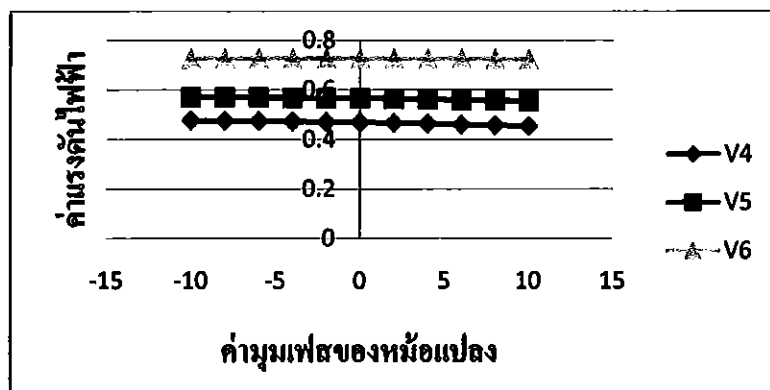
จากรูปที่ 4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้า (%Flow) โดยแสดงกราฟเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าของสายส่ง L5-4, L6-5 และ L6-4 จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่สายส่ง L5-4 มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 18.8% ถึง 28% และ ที่สายส่ง L6-5 มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 90% ถึง 99% ส่วนเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่สาย L6-4 จะมีค่าลดลงจาก 54.9% ถึง 48.4% เนื่องจากเมื่อมุมเฟสของหม้อแปลงไฟฟ้า T3 กำลังไฟฟ้าในสายส่งนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นดังนั้นเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่ถ้ากำลังไฟฟ้ามีค่าลดลงดังนั้นเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าก็จะลดลงเช่นกัน

ค่าขนาดและมุมเฟสของแรงดันที่แท็ป T3 เท่ากับ 0.9 จะได้ค่าดังตารางที่ 4.2

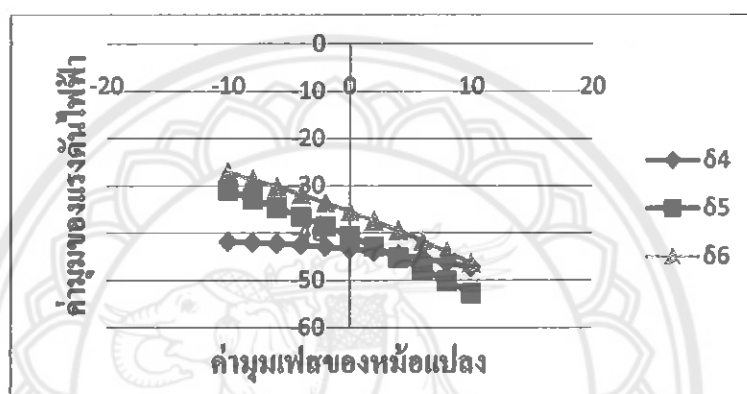
ตารางที่ 4.2 ค่าขนาดและมุมเฟสของแรงดันที่แท็ป T3 เท่ากับ 0.9

Tap=0.9 Deg	V_4 (pu.)	V_5 (pu.)	V_6 (pu.)	δ_4 (°)	δ_5 (°)	δ_6 (°)
-10	0.4765	0.5708	0.7265	-41.849	-31.029	-27.126
-8	0.4754	0.5702	0.7269	-42.038	-32.835	-28.659
-6	0.4741	0.5694	0.7272	-42.225	-34.644	-30.197
-4	0.4725	0.5684	0.7274	-42.511	-36.557	-31.843
-2	0.4706	0.5671	0.7273	-42.894	-38.572	-33.596
0	0.4684	0.5655	0.7271	-43.374	-40.689	-35.457
2	0.4659	0.5637	0.7267	-43.949	-42.906	-37.424
4	0.4631	0.5616	0.7261	-44.617	-45.221	-39.494
6	0.4600	0.5592	0.7254	-45.377	-47.633	-41.667
8	0.4567	0.5566	0.7244	-46.226	-50.140	-43.942
10	0.4531	0.5537	0.7233	-47.165	-52.741	-46.317

เมื่อนำค่าจากตารางที่ 4.2 มาเขียนกราฟแรงดันและมุมเฟสที่บัส 4, 5 และ 6 เมื่อมีการปรับมุมเฟสได้ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.4 ค่าแรงดันที่บัส 4, 5 และ 6 ที่แท๊ป T3 เท่ากับ 0.9



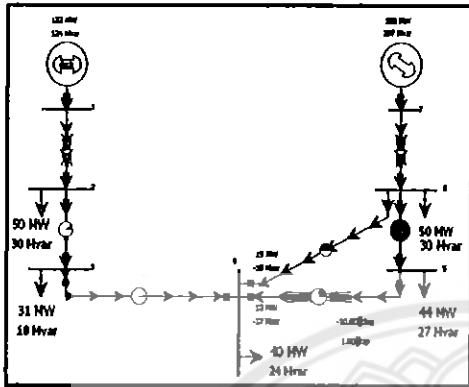
รูปที่ 4.5 ค่ามุมเฟสของแรงดันที่บัส 4, 5 และ 6 ที่แท๊ป T3 เท่ากับ 0.9

จะเห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มมุมเฟสของหม้อแปลง T3 แรงดัน V_4 , V_6 มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และ V_5 มีค่าลดลงเล็กน้อย แต่มุมของแรงดัน δ_4 , δ_5 , δ_6 มีค่าลดลงอย่างมาก แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มมุมเฟสไม่มีผลกับแรงดันมากนักแต่มีผลกับมุมเฟสของแรงดันอย่างมาก ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนการไหลกำลังไฟฟ้ามายังสายส่งเส้นที่ต่อกับหม้อแปลงแบบปรับมุมเฟสเมื่อหม้อแปลงมีการปรับมุมเฟสเพิ่มขึ้น

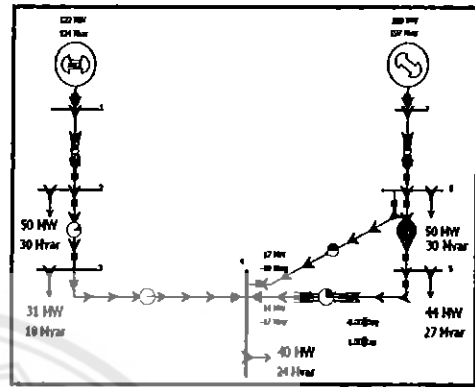
ในทางตรงข้ามกันหากมีการปรับมุมเฟสให้ลดลง ก็จะทำให้ค่ามุมเฟสของแรงดันในบัสที่เกี่ยวข้องมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่สายส่งหรือหม้อแปลงด้านที่มีการปรับมุมเฟสลดลงหรืออธิบายได้ว่ากำลังไฟฟ้าจะไหลไปยังสายส่งเส้นที่ต่อขนานกับหม้อแปลงแบบปรับมุมเฟสลดลงนั่นเอง

4.2 ระบบไฟฟ้าแบบรูป 7 บัส เมื่อปรับมุมเฟสของ T3 โดยแท้ป T3 เท่ากับ 1.0

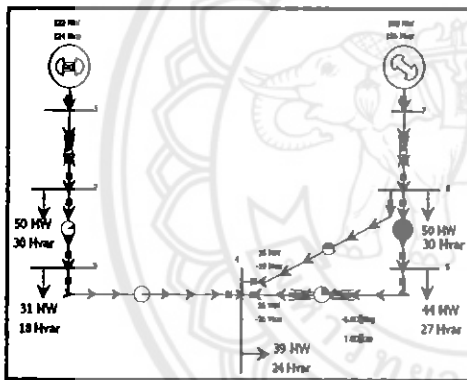
ระบบไฟฟ้ากำลังแบบรูป จำนวน 7 บัส เมื่อทำการปรับค่ามุมเฟสของหม้อแปลง T3 จาก -10° ถึง 10° โดยให้แท้ป T3 เท่ากับ 1.0 ผลการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม PowerWorld เป็นดังรูปที่ 4.6



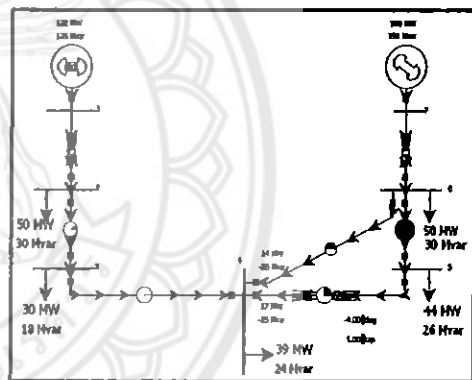
(ก) หม้อแปลง T3 แท้ป = 1.0 มุมเฟส = -10°



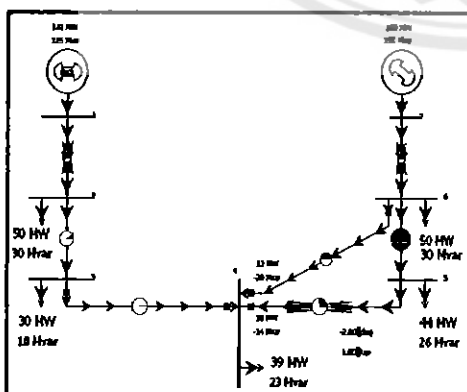
(ข) หม้อแปลง T3 แท้ป = 1.0 มุมเฟส = -8°



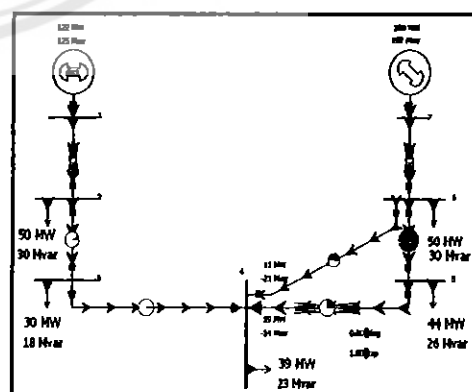
(ค) หม้อแปลง T3 แท้ป = 1.0 มุมเฟส = -6°



(ง) หม้อแปลง T3 แท้ป = 1.0 มุมเฟส = -4°

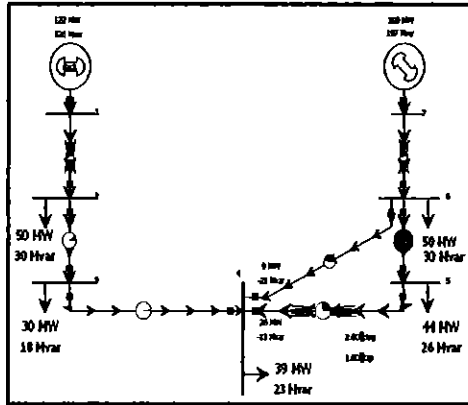


(จ) หม้อแปลง T3 แท้ป = 1.0 มุมเฟส = -2°

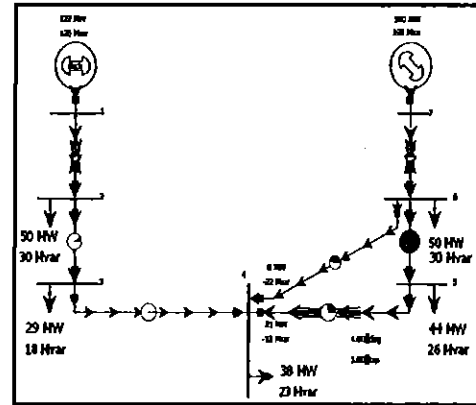


(ฉ) หม้อแปลง T3 แท้ป = 1.0 มุมเฟส = 0°

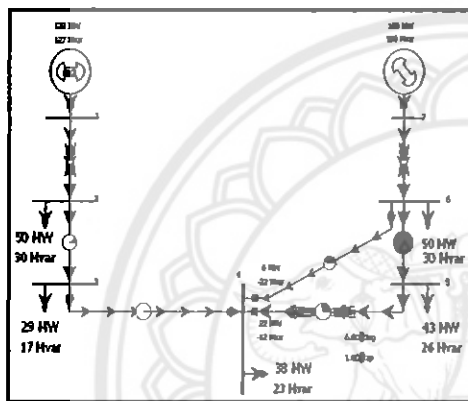
รูปที่ 4.6 การไหลของกำลังไฟฟ้าที่แท้ป = 1.0 เมื่อมีการปรับมุมเฟสของหม้อแปลง



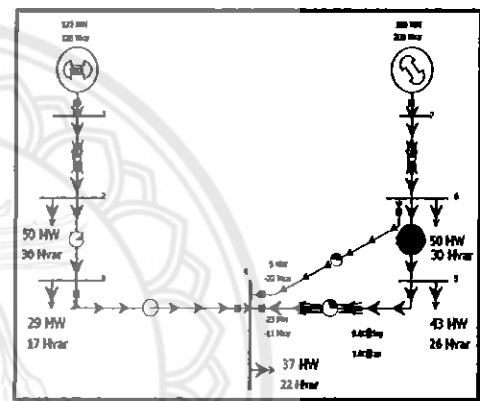
(ข) หม้อแปลง T3 แท็ป = 1.0 มุมเฟส = 2°



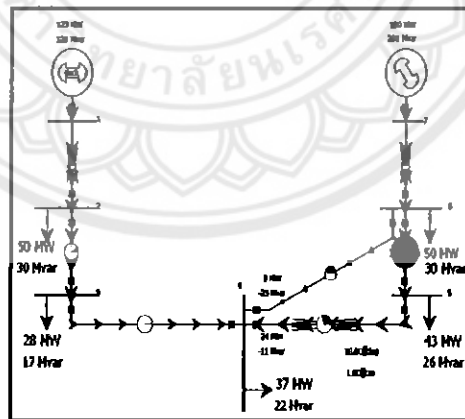
(ค) หม้อแปลง T3 แท็ป = 1.0 มุมเฟส = 4°



(ด) หม้อแปลง T3 แท็ป = 1.0 มุมเฟส = 6°



(จ) หม้อแปลง T3 แท็ป = 1.0 มุมเฟส = 8°



(ฉ) หม้อแปลง T3 แท็ป = 1.0 มุมเฟส = 10°

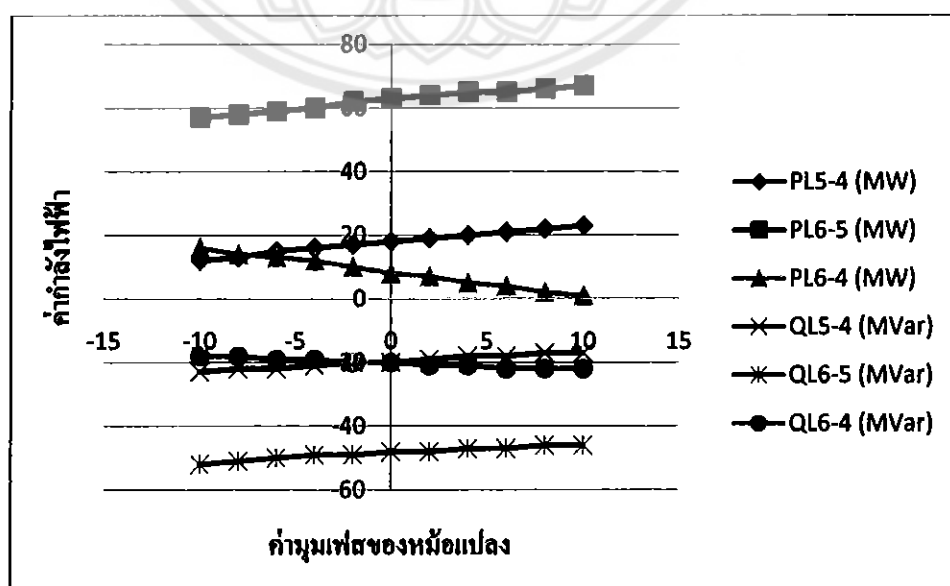
รูปที่ 4.6 (ต่อ) การไหลของกำลังไฟฟ้าที่แท็ป = 1.0 เมื่อมีการปรับมุมเฟสของหม้อแปลง

จากรูปที่ 4.6 จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์การไหลกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่แท็ป T3 เท่ากับ 1.0 ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่ากำลังไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์การไหลกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่แท็ป T3 เท่ากับ 1.0

Tap=0.9 Deg	P_{L5-4} (MW)	P_{L6-5} (MW)	P_{L6-4} (MW)	Q_{L5-4} (MVar)	Q_{L6-5} (MVar)	Q_{L6-4} (MVar)	%Flow L5-4	%Flow L6-4	%Flow L6-5
-10	13	59	19	-17	-46	-18	24.2	93	51.1
-8	14	60	17	-17	-45	-18	24.5	94	50.0
-6	16	61	16	-16	-44	-19	24.8	95	49.0
-4	17	63	14	-15	-44	-20	25.3	95	48.2
-2	18	64	13	-14	-43	-20	25.9	96	47.4
0	19	65	11	-14	-42	-21	26.6	97	46.8
2	20	66	9	-13	-42	-21	27.3	98	46.3
4	21	67	8	-12	-41	-22	28.1	99	46.0
6	22	68	6	-12	-41	-22	28.8	99	45.8
8	23	69	5	-11	-40	-22	29.7	100	45.8
10	24	70	3	-11	-40	-23	30.5	101	45.9

จากตารางที่ 4.3 นำมาเขียนกราฟการไหลของกำลังไฟฟ้าจริง, กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟและเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8



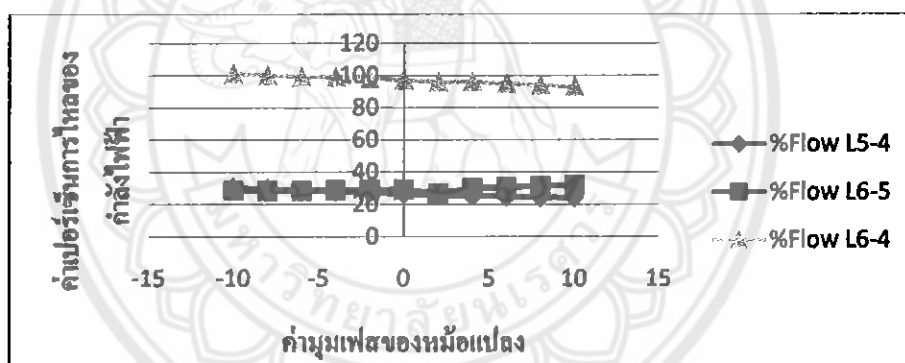
รูปที่ 4.7 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ที่แท็ป T3 เท่ากับ 1.0

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มมุมเฟสจาก -10° ถึง 10° ให้กับหม้อแปลง T3 โดยที่ให้ค่าแท็ปของหม้อแปลง T3 คงที่เท่ากับ 1.0 และค่าตัวแปรที่บัสต่าง ๆ มีค่าคงที่

เมื่อพิจารณากำลังไฟฟ้าจริง จะเห็นได้ว่าค่าการไหลกำลังไฟฟ้าจริงที่ผ่านหม้อแปลง T3 ซึ่งเชื่อมต่อบัสที่ 4 และบัสที่ 5 มีค่าเพิ่มขึ้นมากอย่างชัดเจน คือจาก 13 MW ถึง 24 MW และการไหลกำลังไฟฟ้าจริงที่สายส่ง L6-5 มีค่าเพิ่มขึ้นมากอย่างชัดเจน คือจาก 59 MW ถึง 70 MW เนื่องจากเป็นสายส่งที่ต่ออนุกรมกันกับหม้อแปลง T3 ส่วนการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงที่สายส่ง L6-4 นั้นมีค่าลดลงมากอย่างเห็นได้ชัดเช่นกัน คือจาก 19 MW ถึง 3 MW เนื่องจากเป็นสายส่งที่ต่อขนานกันกับหม้อแปลง T3

ในทำนองเดียวกันขนาดการไหลของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ผ่านหม้อแปลง T3 และที่สายส่ง L6-5 ก็จะเพิ่มขึ้น ในขณะที่สายส่ง L6-4 ลดลง

ดังนั้นการเพิ่มมุมเฟสของหม้อแปลงไฟฟ้าให้มากขึ้นจะทำให้กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟไหลมายังเส้นทางที่มีการเพิ่มมุมเฟสของหม้อแปลงไฟฟ้ามากขึ้น



รูปที่ 4.8 ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่บัส 4-5, บัส 4-6 และ บัส 5-6 ที่แท็ป T3 เท่ากับ 1.0

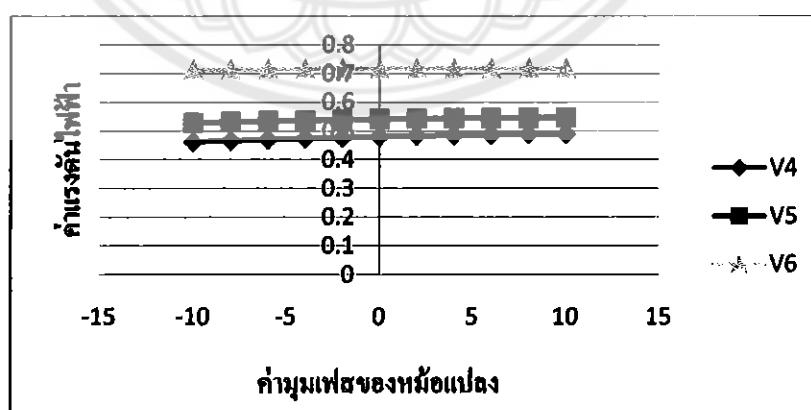
รูปที่ 4.8 แสดงเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้า (%Flow) โดยแสดงกราฟเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าของสายส่ง L5-4, L6-5 และ L6-4 จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่สายส่ง L5-4 มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 24.2% ถึง 30.5% และที่สายส่ง L6-5 มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 59% ถึง 70% ส่วนเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่สาย L6-4 จะมีค่าลดลงจาก 19% ถึง 3% เนื่องจากเมื่อมุมเฟสของหม้อแปลงไฟฟ้า T3 กำลังไฟฟ้าในสายส่งนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นดังนั้นเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่ถ้ากำลังไฟฟ้ามีค่าลดลงดังนั้นเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าก็จะลดลงเช่นกัน

ค่าขนาดและมุมเฟสของแรงดันที่แท็ป T3 เท่ากับ 1.0 จะได้ค่าดังตารางที่ 4.4

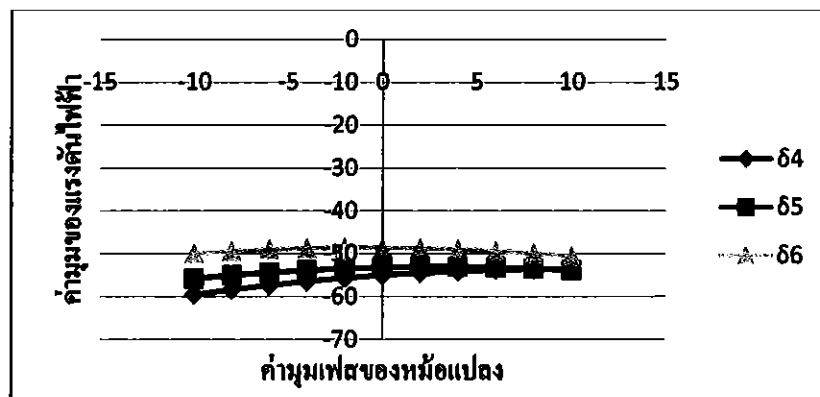
ตารางที่ 4.4 ค่าขนาดและมุมเฟสของแรงดันที่แท็ป T3 เท่ากับ 1.0

Tap=1 Deg	V_4 (pu.)	V_5 (pu.)	V_6 (pu.)	δ_4 ($^{\circ}$)	δ_5 ($^{\circ}$)	δ_6 ($^{\circ}$)
-10	0.4894	0.5461	0.7175	-53.701	-43.942	-40.739
-8	0.4884	0.5458	0.7181	-53.694	-45.506	-42.012
-6	0.4869	0.5450	0.7183	-53.857	-47.250	-43.471
-4	0.4851	0.5440	0.7184	-54.132	-49.111	-45.055
-2	0.4829	0.5427	0.7183	-54.530	-51.104	-46.775
0	0.4803	0.5411	0.7180	-55.053	-53.229	-48.636
2	0.4774	0.5391	0.7175	-55.705	-55.490	-50.639
4	0.4741	0.5369	0.7168	-56.483	-57.884	-52.783
6	0.4704	0.5344	0.7159	-57.388	-60.413	-55.070
8	0.4664	0.5316	0.7148	-58.419	-63.077	-57.500
10	0.462	0.5286	0.7135	-59.580	-65.877	-60.075

เมื่อนำค่าจากตารางที่ 4.4 มาเขียนกราฟแรงดันและมุมเฟสที่บัส 4, 5 และ 6 เมื่อมีการปรับมุมเฟสได้ดังรูปที่ 4.9 และ 4.10



รูปที่ 4.9 ค่าแรงดันที่บัส 4, 5 และ 6 ที่แท็ป T3 เท่ากับ 1.0



รูปที่ 4.10 ค่ามุมเฟสของแรงดันที่บัส 4, 5 และ 6 ที่แท๊ป T3 เท่ากับ 1.0

จะเห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มมุมเฟสของหม้อแปลง T3 แรงดัน V_4 , V_6 มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และ V_5 มีค่าลดลงเล็กน้อย แต่มุมของแรงดัน δ_4 , δ_5 , δ_6 มีค่าลดลงอย่างมาก แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มมุมเฟสไม่มีผลกับแรงดันมากนักแต่มีผลกับมุมเฟสของแรงดันอย่างมาก ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนการไหลกำลังไฟฟ้ามายังสายส่งเส้นที่ต่อกับหม้อแปลงแบบปรับมุมเฟสเมื่อหม้อแปลงมีการปรับมุมเฟสเพิ่มขึ้น

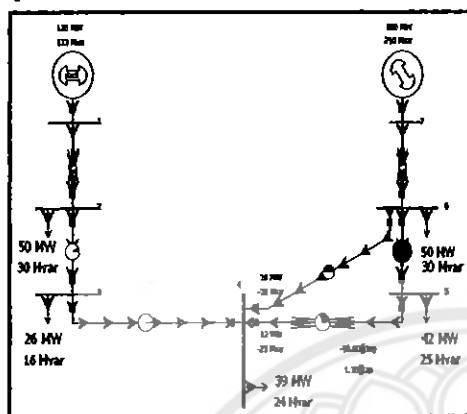
ในทางตรงข้ามกันหากมีการปรับมุมเฟสให้ลดลง ก็จะทำให้ค่ามุมเฟสของแรงดันในบัสที่เกี่ยวข้องมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่สายส่งหรือหม้อแปลงด้านที่มีการปรับมุมเฟสลดลงหรืออธิบายได้ว่ากำลังไฟฟ้าจะไหลไปยังสายส่งเส้นที่ต่อขนานกับหม้อแปลงแบบปรับมุมเฟสลดลงนั่นเอง

ในกรณีนี้เป็นการเพิ่มแท๊ปของหม้อแปลง T3 ซึ่งเชื่อมต่อบัสที่ 4 และบัสที่ 5 จาก 0.9 เป็น 1.0 แรงดัน V_4 มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วน V_5 และ V_6 มีค่าลดลง ส่วนมุมเฟส δ_4 , δ_5 , δ_6 มีค่าลดลงทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการแท๊ปของหม้อแปลง T3 มีผลกับแรงดัน โดยแรงดันด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงที่ปรับแท๊ปขึ้นจะมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนแรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงที่ปรับแท๊ปขึ้นจะมีค่าลดลง ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่สายส่งหรือหม้อแปลงด้านที่มีการปรับแท๊ปเพิ่มขึ้นนั้นมีเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ส่วนด้านตรงข้ามก็จะลดลงนั่นเอง

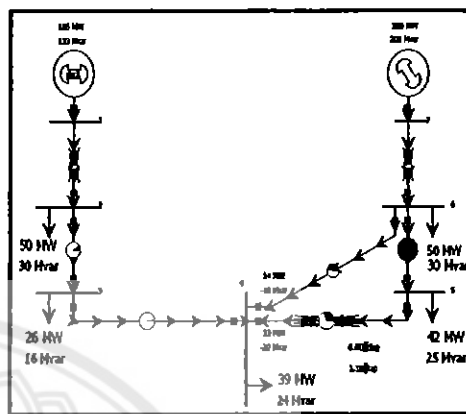
ตัวอย่างเช่น เมื่อเพิ่มแท๊ปของหม้อแปลง T3 จาก 0.9 เป็น 1.0 ที่มุมเฟส -10° ค่าแรงดัน V_4 มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.4765 (ในตารางที่ 4.2) เป็น 0.4894 (ในตารางที่ 4.4) ส่วน V_5 และ V_6 มีค่าลดลงจาก 0.5708 และ 0.7265 (ในตารางที่ 4.2) เป็น 0.5461 และ 0.7175 (ในตารางที่ 4.4) ตามลำดับ ส่วนมุมเฟส δ_4 , δ_5 , δ_6 มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบจากตาราง 4.2 และ 4.4 เมื่อสังเกตเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้า L5-4 ก็เพิ่มขึ้นจาก 18.8% เป็น 24. % สายส่งเส้นอื่น ๆ สามารถสังเกตได้จากตารางเช่นเดียวกัน

4.3 ระบบไฟฟ้าแบบรูป 7 บัส เมื่อปรับมุมเฟสของ T3 โดยแท้ป T3 เท่ากับ 1.1

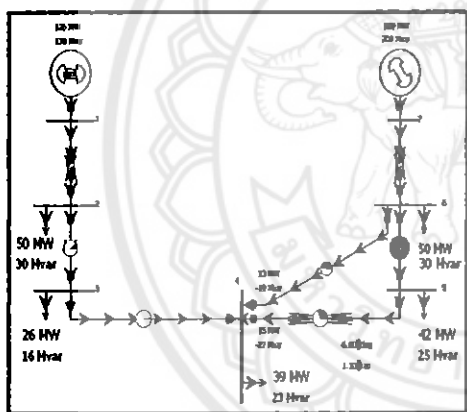
ระบบไฟฟ้ากำลังแบบรูป จำนวน 7 เมื่อทำการปรับค่ามุมเฟสของหม้อแปลง T3 จาก -10° ถึง 10° โดยให้แท้ป T3 เท่ากับ 1.0 ผลการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม PowerWorld เป็นดังรูปที่ 4.11



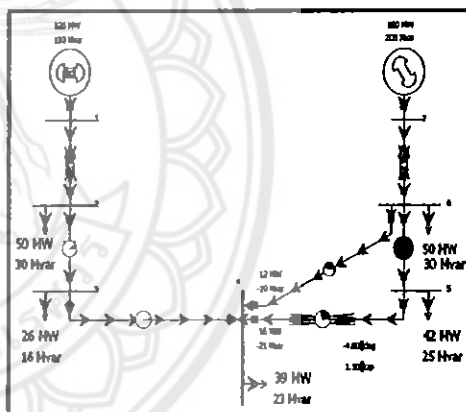
(ก) หม้อแปลง T3 แท้ป = 1.1 มุมเฟส = -10°



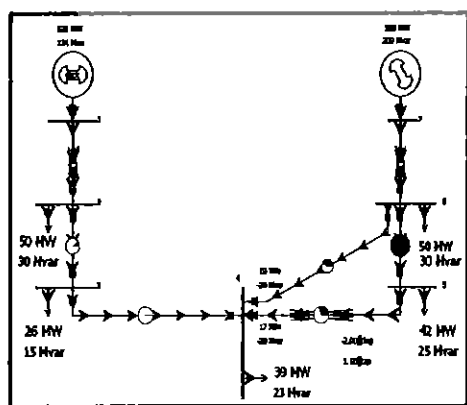
(ข) หม้อแปลง T3 แท้ป = 1.1 มุมเฟส = -8°



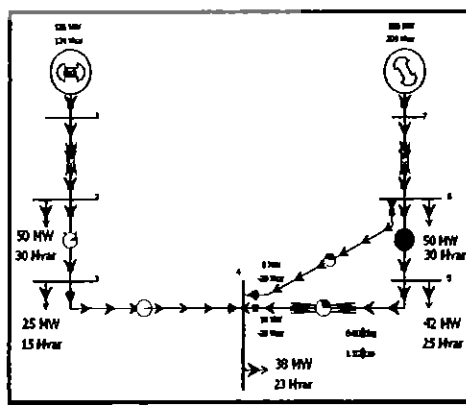
(ค) หม้อแปลง T3 แท้ป = 1.1 มุมเฟส = -6°



(ง) หม้อแปลง T3 แท้ป = 1.1 มุมเฟส = -4°

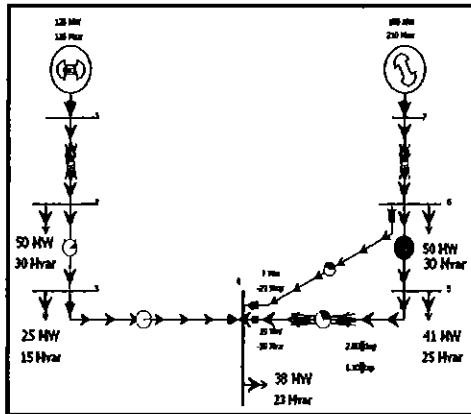


(จ) หม้อแปลง T3 แท้ป = 1.1 มุมเฟส = -2°

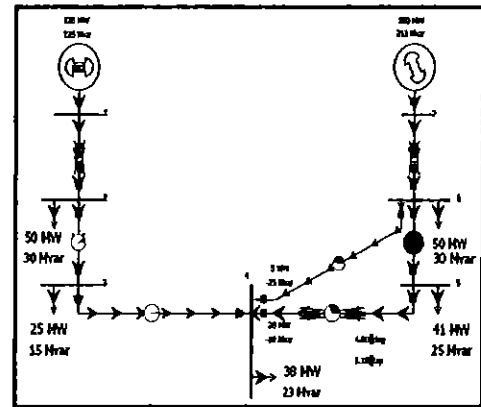


(ฉ) หม้อแปลง T3 แท้ป = 1.1 มุมเฟส = 0°

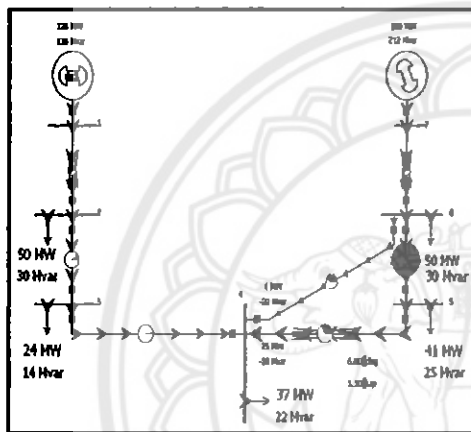
รูปที่ 4.11 การไหลของกำลังไฟฟ้าที่แท้ป = 1.1 เมื่อมีการปรับมุมเฟสของหม้อแปลง



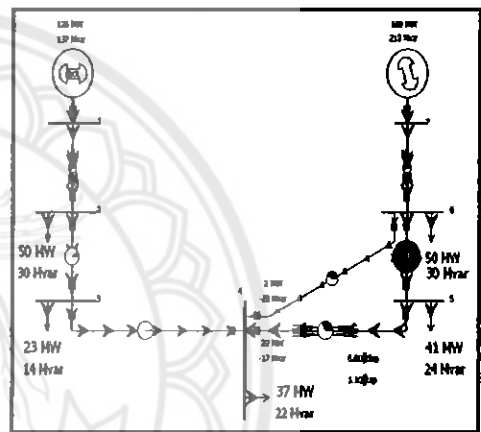
(ข) หม้อแปลง T3 แท้ป = 1.1 มุมเฟส = 2°



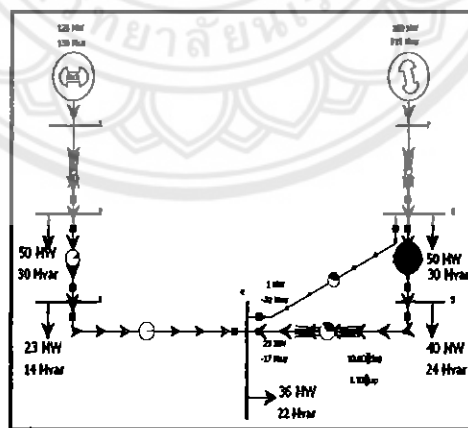
(ซ) หม้อแปลง T3 แท้ป = 1.1 มุมเฟส = 4°



(ฉ) หม้อแปลง T3 แท้ป = 1.1 มุมเฟส = 6°



(ค) หม้อแปลง T3 แท้ป = 1.1 มุมเฟส = 8°



(ง) หม้อแปลง T3 แท้ป = 1.1 และมุมเฟส = 10°

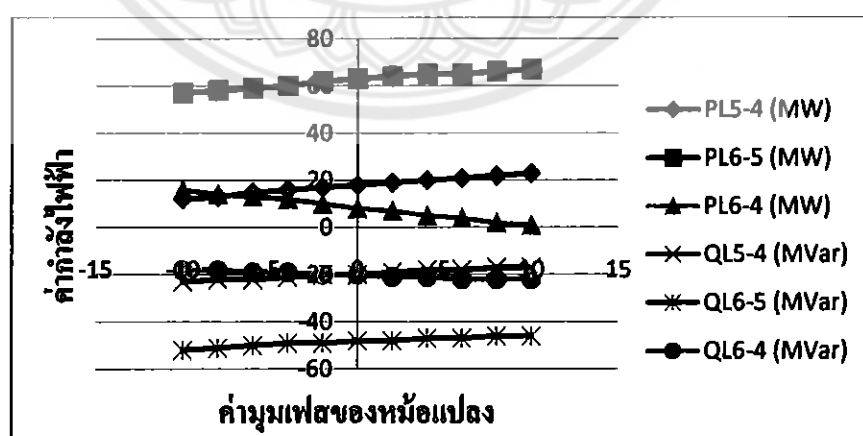
รูปที่ 4.11 (ต่อ) การไหลของกำลังไฟฟ้าที่แท้ป = 1.1 เมื่อมีการปรับมุมเฟสของหม้อแปลง

จากรูปที่ 4.11 จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าในสายส่งที่แท๊ป T3 เท่ากับ 1.1 ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่ากำลังไฟฟ้าในสายส่งที่แท๊ป T3 เท่ากับ 1.1

Tap=1.1 Deg	P_{L5-4} (MW)	P_{L6-5} (MW)	P_{L6-4} (MW)	Q_{L5-4} (MVar)	Q_{L6-5} (MVar)	Q_{6-4} (MVar)
-10	12	57	16	-23	-52	-18
-8	13	58	14	-22	-51	-18
-6	15	59	13	-22	-50	-19
-4	16	60	12	-21	-49	-19
-2	17	62	10	-20	-49	-20
0	18	63	8	-20	-48	-20
2	19	64	7	-19	-48	-21
4	20	65	5	-18	-47	-21
6	21	65	4	-18	-47	-22
8	22	66	2	-17	-46	-22
10	23	67	1	-17	-46	-22

จากตารางที่ 4.5 นำมาเขียนกราฟการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟได้
ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่แท๊ป T3 เท่ากับ 1.1

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.12 จะเห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มมุมเฟสจาก -10° ถึง 10° ให้กับหม้อแปลง T3 โดยที่ให้ค่าแท็ปของหม้อแปลง T3 คงที่เท่ากับ 1.0 และค่าตัวแปรที่บัสต่าง ๆ มีค่าคงที่

เมื่อพิจารณากำลังไฟฟ้าจริง จะเห็นได้ว่าค่าการไหลกำลังไฟฟ้าจริงที่ผ่านหม้อแปลง T3 ซึ่งเชื่อมต่อบัสที่ 4 และบัสที่ 5 มีค่าเพิ่มขึ้นมากอย่างชัดเจน คือจาก 12 MW ถึง 23 MW และการไหลกำลังไฟฟ้าจริงที่สายส่ง L6-5 มีค่าเพิ่มขึ้นมากอย่างชัดเจน คือจาก 57 MW ถึง 67 MW เนื่องจากเป็นสายส่งที่ต่ออนุกรมกันกับหม้อแปลง T3 ส่วนการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงที่สายส่ง L6-4 นั้นมีค่าลดลงมากอย่างเห็นได้ชัดเช่นกัน คือจาก 16 MW ถึง 1 MW เนื่องจากเป็นสายส่งที่ต่อขนานกันกับหม้อแปลง T3

ในทำนองเดียวกันขนาดการไหลของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ผ่านหม้อแปลง T3 และที่สายส่ง L6-5 ก็จะเพิ่มขึ้น ในขณะที่สายส่ง L6-4 ลดลง

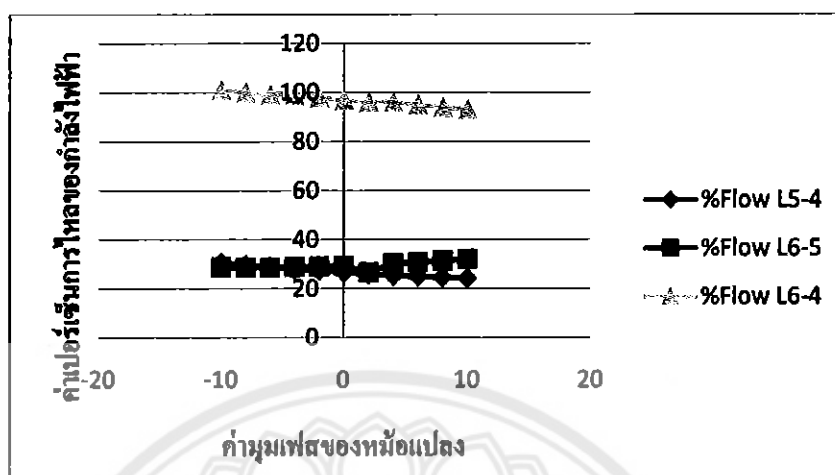
ดังนั้นการเพิ่มมุมเฟสของหม้อแปลงไฟฟ้าให้มากขึ้นจะทำให้กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟไหลมายังเส้นทางที่มีการเพิ่มมุมเฟสของหม้อแปลงไฟฟ้ามากขึ้น

ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลและผลต่างของเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้า ที่แท็ป T3 เท่ากับ 1.1 จะได้อ้างอิงตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่แท็ป T3 เท่ากับ 1.1

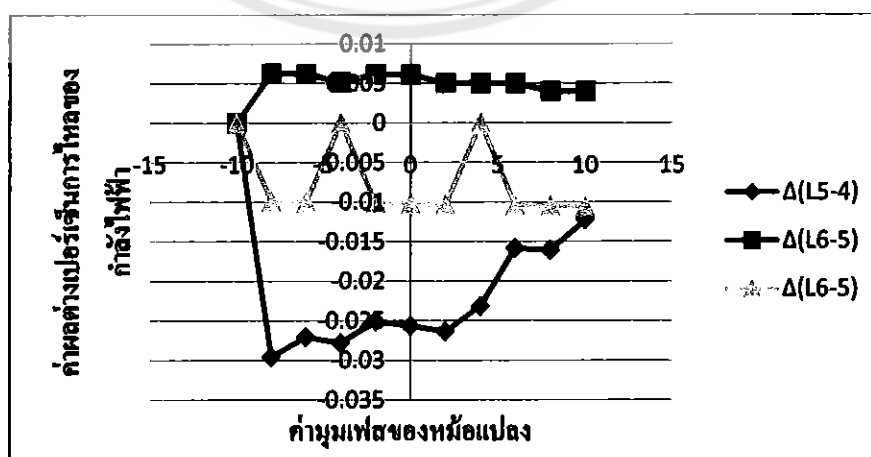
Tap=1.1 deg	%Flow L5-4	$\Delta(L5-4)$	%Flow L6-5	$\Delta(L6-5)$	%Flow L6-4	$\Delta(L6-4)$
-10	30.4	0.00000000	95.9	0.00000000	47.0	0.00000000
-8	30.4	0.00000000	96.5	0.0062565	46.2	-0.01702128
-6	30.5	0.00328947	97.1	0.0062176	45.4	-0.01731602
-4	30.7	0.00655738	97.6	0.0051493	44.8	-0.01321586
-2	31.0	0.00977199	98.2	0.0061475	44.3	-0.01116071
0	31.4	0.01290323	98.8	0.0061100	43.9	-0.00902935
2	31.8	0.01273885	99.3	0.0050607	43.7	-0.00455581
4	32.3	0.01572327	99.8	0.0050352	43.6	-0.00228833
6	32.9	0.01857585	100.3	0.0050100	43.7	0.00229358
8	33.5	0.01823708	100.7	0.0039880	43.9	0.00457666
10	34.1	0.01791045	101.1	0.0039722	44.3	0.00911162

จากตารางที่ 4.6 นำมาเขียนกราฟค่าเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้า (%Flow) ได้ดังรูปที่ 4.13 และ 4.14



รูปที่ 4.13 ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าบัส 4-5, บัส 4-6 และ บัส 5-6 ที่แท๊ป T3 เท่ากับ 1.1

รูปที่ 4.13 แสดงเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้า (%Flow) โดยแสดงกราฟเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าของสายส่ง L5-4, L6-5 และ L6-4 จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่สายส่ง L5-4 มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 30.4% ถึง 34.1% และที่สายส่ง L6-5 มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 95.9% ถึง 101.1% ส่วนเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่สาย L6-4 จะมีค่าลดลงจาก 47% ถึง 44.3% เนื่องจากเมื่อมุมเฟสของหม้อแปลงไฟฟ้า T3 กำลังไฟฟ้าในสายส่งนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นดังนั้นเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟาก็จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่ถ้ากำลังไฟฟ้ามีค่าลดลงดังนั้นเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟาก็จะลดลงเช่นกัน



รูปที่ 4.14 ค่าผลต่างเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้า ที่แท๊ป T3 เท่ากับ 1.1

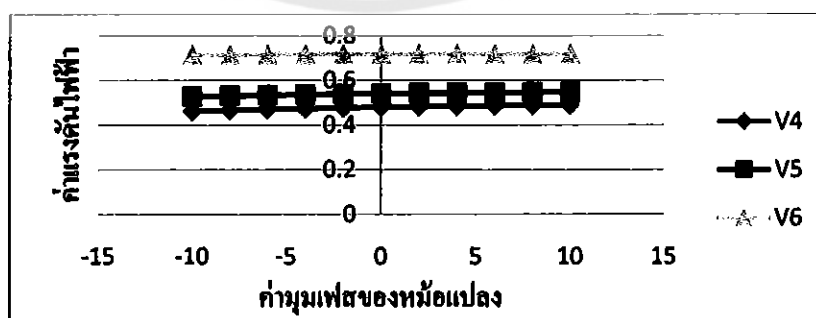
จากรูปที่ 4.14 แสดงผลต่างเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าเมื่อนำค่าผลต่างเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าจากตารางที่ 4.6 มาเขียนกราฟจะเห็นว่าที่สายส่งสายส่ง L5-4, L6-5 มีค่าเพิ่มขึ้นแต่สายส่ง L6-4 มีค่าลดลง

ค่าขนาดและมุมเฟสของแรงดันที่แท็ป T3 เท่ากับ 1.1 จะได้ค่าดังตารางที่ 4.7

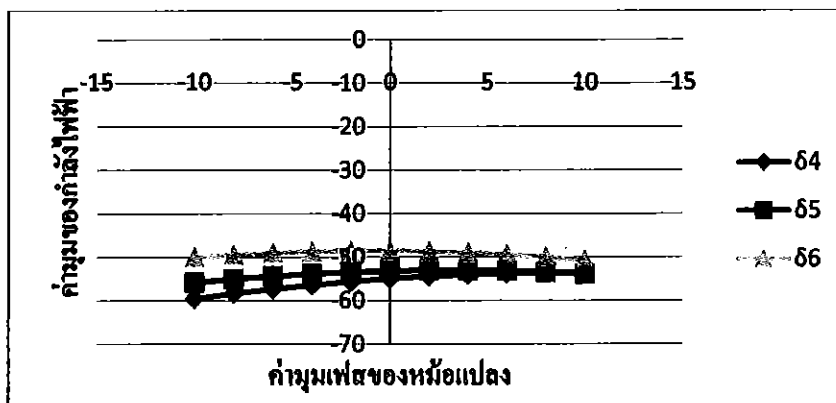
ตารางที่ 4.7 ค่าขนาดและมุมเฟสของแรงดันที่แท็ป T3 เท่ากับ 1.1

Tap=1.1 deg	V_4 (pu.)	V_5 (pu.)	V_6 (pu.)	δ_4 (°)	δ_5 (°)	δ_6 (°)
-10	0.4853	0.5155	0.7045	-69.572	-61.221	-58.814
-8	0.4858	0.5164	0.7056	-68.742	-61.867	-59.137
-6	0.4830	0.5148	0.7054	-69.425	-64.122	-61.119
-4	0.4825	0.5150	0.7061	-68.954	-65.148	-61.837
-2	0.4786	0.5125	0.7053	-70.076	-67.874	-64.309
0	0.4755	0.5108	0.7048	-70.762	-70.127	-66.298
2	0.4719	0.5087	0.7041	-71.676	-72.628	-68.544
4	0.4678	0.5062	0.7032	-72.796	-75.347	-71.020
6	0.4631	0.5033	0.7020	-74.180	-78.346	-73.788
8	0.4577	0.5000	0.7005	-75.874	-81.675	-76.901
10	0.4516	0.4962	0.6986	-77.944	-85.406	-80.432

เมื่อนำค่าจากตารางที่ 4.7 มาเขียนกราฟแรงดันและมุมเฟสที่บัส 4, 5, 6 เมื่อมีการปรับมุมเฟสได้ดังรูปที่ 4.15 และ 4.16



รูปที่ 4.15 ค่าแรงดันที่บัส 4, 5 และ 6 ที่แท็ป T3 เท่ากับ 1.1



รูปที่ 4.16 ค่ามุมเฟสของแรงดันที่บัส 4, 5 และ 6 ที่แท๊ป T3 เท่ากับ 1.1

จะเห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มมุมเฟสของหม้อแปลง T3 แรงดัน V_4 , V_6 มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และ V_5 มีค่าลดลงเล็กน้อย แต่มุมของแรงดัน δ_4 , δ_5 , δ_6 มีค่าลดลงอย่างมาก แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มมุมเฟสไม่มีผลกับแรงดันมากนักแต่มีผลกับมุมเฟสของแรงดันอย่างมาก ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนการไหลกำลังไฟฟ้ามายังสายส่งเส้นที่ต่อกับหม้อแปลงแบบปรับมุมเฟสเมื่อหม้อแปลงมีการปรับมุมเฟสเพิ่มขึ้น

ในทางตรงข้ามกันหากมีการปรับมุมเฟสให้ลดลง ก็จะทำให้ค่ามุมเฟสของแรงดันในบัสที่เกี่ยวข้องมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่สายส่งหรือหม้อแปลงด้านที่มีการปรับมุมเฟสลดลงหรืออธิบายได้ว่ากำลังไฟฟ้าจะไหลไปยังสายส่งเส้นที่ต่อขนานกับหม้อแปลงแบบปรับมุมเฟสลดลงนั่นเอง

สรุปเปรียบเทียบผลการปรับแท๊ปของหม้อแปลง T3 ที่ 0.9, 1.0 และ 1.1

ในกรณีนี้เป็นการเพิ่มแท๊ปของหม้อแปลง T3 ซึ่งเชื่อมต่อบัสที่ 4 และบัสที่ 5 จาก 0.9 เป็น 1.1 แรงดัน V_4 มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วน V_5 และ V_6 มีค่าลดลง ส่วนมุมเฟส δ_4 , δ_5 , δ_6 มีค่าลดลงทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการแท๊ปของหม้อแปลง T3 มีผลกับแรงดัน โดยแรงดันด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงที่ปรับแท๊ปขึ้นจะมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนแรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงที่ปรับแท๊ปขึ้นจะมีค่าลดลง ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่สายส่งหรือหม้อแปลงด้านที่มีการปรับแท๊ปเพิ่มขึ้นนั้นมีเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ส่วนด้านตรงข้ามก็จะลดลงนั่นเอง

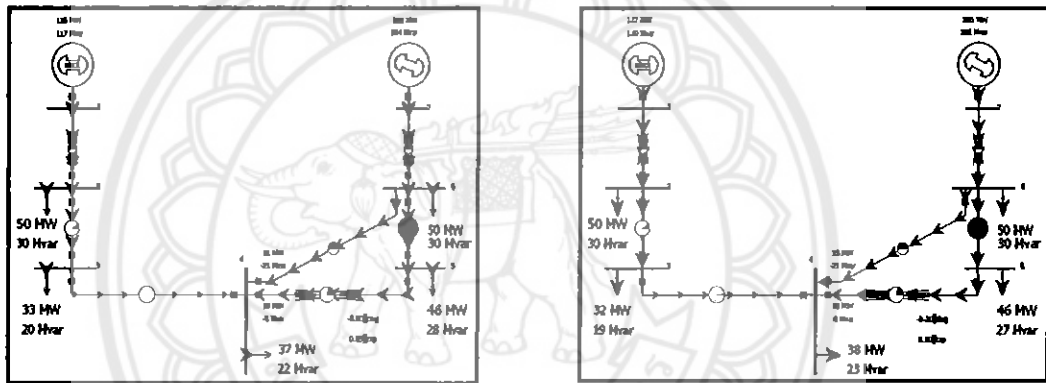
ตัวอย่างเช่น เมื่อเพิ่มแท๊ปของหม้อแปลง T3 จาก 0.9 เป็น 1.1 ที่มุมเฟส -10° ค่าแรงดัน V_4 มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.4765 (ในตารางที่ 4.2) เป็น 0.4853 (ในตารางที่ 4.7) ส่วน V_5 และ V_6 มีค่าลดลงจาก 0.5708 และ 0.7265 (ในตารางที่ 4.2) เป็น 0.5155 และ 0.7045 (ในตารางที่ 4.7) ตามลำดับ ส่วนมุมเฟส δ_4 , δ_5 , δ_6 มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบจากตาราง 4.2 และ 4.4 เมื่อสังเกตเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้า L5-4 ก็เพิ่มขึ้นจาก 18.8% เป็น 30.4% (ในตารางที่ 4.6) ส่วน

สายส่ง L5-4 ก็เพิ่มขึ้นจาก 90.0% เป็น 95.9 % ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อระบบเนื่องจากสายส่งเส้นนี้จะเกิดสถานะโหลดเกินได้

ดังนั้นการปรับแก้ของหม้อแปลงจะมีผลดีก็ต่อเมื่อมีการปรับเพิ่มแรงดันเมื่อมีแรงดันตกในสถานะโหลดมาก ๆ แต่การปรับต้องพิจารณาให้ไปเพิ่มการไหลของสายส่งเส้นที่มีสถานะโหลดเกินอยู่แล้วซึ่งอาจทำให้เกิดความไม่เสถียรของระบบไฟฟ้าได้

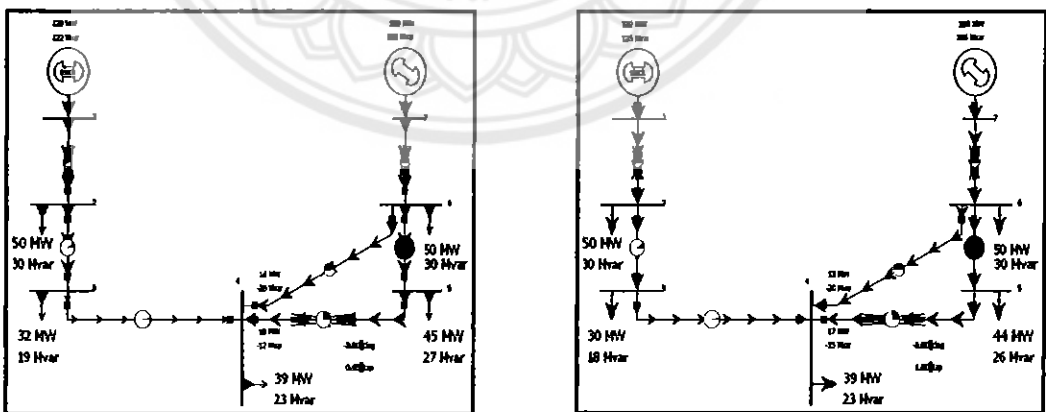
4.4 ระบบไฟฟ้าแบบรูป 7 บัส เมื่อปรับแก้ของ T3 โดยมุมเฟส T3 เท่ากับ -3°

ระบบไฟฟ้ากำลังแบบรูป จำนวน 7 เมื่อทำการปรับค่าแก้ของหม้อแปลง T3 จาก 0.85° ถึง 1.15° โดยให้มุมเฟส T3 เท่ากับ -3° ผลการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม PowerWorld เป็นดังรูปที่ 4.17



(ก) หม้อแปลง T3 มุมเฟส = -3° แท็ป = 0.85

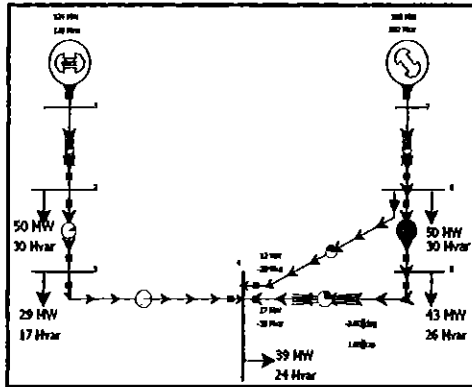
(ข) หม้อแปลง T3 มุมเฟส = -3° แท็ป = 0.90



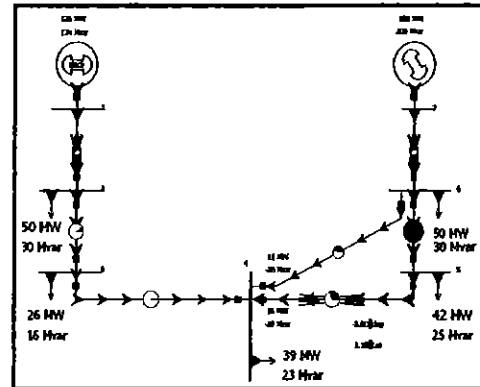
(ค) หม้อแปลง T3 มุมเฟส = -3° แท็ป = 0.95

(ง) หม้อแปลง T3 มุมเฟส = -3° แท็ป = 1.00

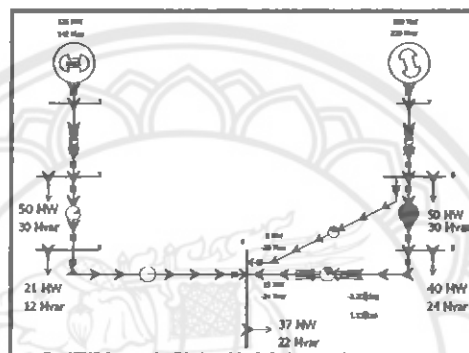
รูปที่ 4.17 การไหลของกำลังไฟฟ้าที่มุมเฟส = -3° เมื่อมีการปรับแก้ของหม้อแปลง



(จ) หม้อแปลง T3 มุมเฟส = -3° แท็ป = 1.05



(ฉ) หม้อแปลง T3 มุมเฟส = -3° แท็ป = 1.10



(ช) หม้อแปลง T3 มุมเฟส = -3° แท็ป = 1.15

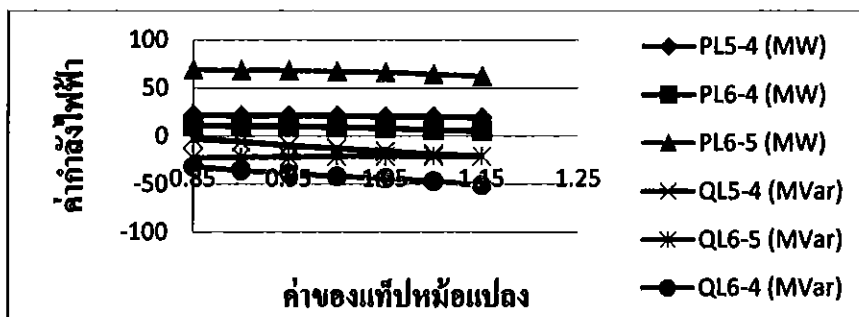
รูปที่ 4.17 (ต่อ) การไหลของกำลังไฟฟ้าที่มุมเฟส = -3° เมื่อมีการปรับแท็ปของหม้อแปลง

จากรูปที่ 4.17 จะได้อำนาจกำลังไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์การไหลกำลังไฟฟ้าในสายส่งมุมเฟส T3 เท่ากับ -3° ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่ากำลังไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์การไหลกำลังไฟฟ้าในสายส่งมุมเฟส T3 เท่ากับ -3°

Deg=-3 Tap	P _{L5-4} (MW)	P _{L6-4} (MW)	P _{L6-5} (MW)	Q _{L5-4} (MVar)	Q _{L6-4} (MVar)	Q _{L6-5} (MVar)	%Flow L5-4	%Flow L6-4	%Flow L6-5
0.85	18	16	65	-5	-21	-34	20.0	53.0	92
0.90	18	15	65	-8	-21	-37	21.4	51.3	93
0.95	18	14	64	-12	-20	-40	23.4	49.5	95
1.00	17	13	63	-15	-20	-43	25.6	47.8	96
1.05	17	12	62	-18	-20	-46	28.1	46.1	97
1.10	16	11	61	-20	-20	-49	30.8	44.5	98
1.15	15	8	59	-24	-20	-52	34.3	43.3	98

จากตารางที่ 4.8 นำมาเขียนกราฟการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ และเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.18 และ 4.19



รูปที่ 4.18 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ที่มุมเฟส T3 เท่ากับ -3°

จากตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.18 จะเห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มแท็ปจาก 0.85 ถึง 1.15 ให้กับหม้อแปลง T3 โดยที่ให้ค่ามุมเฟสของหม้อแปลง T3 คงที่ ในขณะที่ค่าตัวแปรที่บัสต่าง ๆ มีค่าคงที่ จะเห็นได้ว่าค่าการไหลกำลังไฟฟ้าจริงที่สายส่ง PL5-4 ซึ่งต่อกับหม้อแปลง T3 มีค่าลดลงจาก 18 MW ถึง 15 MW และการไหลกำลังไฟฟ้าจริงที่สายส่ง PL6-5 มีค่าลดลงจาก 65 MW ถึง 59 MW ส่วนการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงที่สายส่ง PL6-4 นั้นมีค่าลดลงจาก 16 MW ถึง 8 MW ทั้งนี้ เนื่องจากการลดลงของไหลตนเองโดยอัตโนมัติที่บัสต่าง ๆ เพื่อที่จะรักษาเสถียรภาพของระบบตามการคำนวณของ โปรแกรม PowerWorld



รูปที่ 4.19 ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้า ที่มุมเฟส T3 เท่ากับ -3°

รูปที่ 4.19 กราฟเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าของสายส่ง L5-4, L6-5 และ L6-4 จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่สายส่ง L5-4 มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 20% ถึง 34.3% และที่สายส่ง L6-5 มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 92% ถึง 98% ส่วนที่สาย L6-4 จะมีค่าลดลงจาก 53% ถึง 43.3% เนื่องจากการปรับแท็ปเพิ่มขึ้นของหม้อแปลง T3 ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่าน T3 และในสายส่งที่ต่อเนื่องมากับ T3 มีค่าเพิ่มขึ้น การไหลของกำลังไฟฟ้าเช่นนี้อธิบายได้จากผลของแรงดันในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่าขนาดและมุมเฟสของแรงดันที่มุมเฟส T3 เท่ากับ -3°

deg= -3 tap	V_4 (p.u.)	V_5 (p.u.)	V_6 (p.u.)	δ_4 ($^\circ$)	δ_5 ($^\circ$)	δ_6 ($^\circ$)
0.85	0.4609	0.5789	0.731	-37.086	-31.548	-26.39
0.90	0.4716	0.5679	0.7274	-42.654	-37.513	-32.666
0.95	0.4795	0.5562	0.7233	-48.26	-43.55	-39.022
1.00	0.4841	0.5435	0.7185	-54.261	-50.034	-45.839
1.05	0.4847	0.5294	0.7126	-61.157	-57.481	-53.648
1.10	0.4798	0.5131	0.7053	-69.899	-66.904	-63.482
1.15	0.4613	0.4904	0.694	-85.241	-83.336	-80.48

จากตารางที่ 4.9 แสดงค่าขนาดและมุมเฟสของแรงดันที่บัส 4, 5 และ 6 ของวงจร 7 บัส โดยมุมเฟสของหม้อแปลง T3 คงที่เท่ากับ -3° เมื่อมีการปรับแท็ปของ T3 ตั้งแต่ 0.85° ถึง 1.15° จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเพิ่มแท็ปของหม้อแปลง โดยที่ค่ามุมเฟสของหม้อแปลงคงที่จะพบว่าค่าแรงดันไฟฟ้า V_4 มีค่าเพิ่มขึ้น จาก 0.4609 เป็น 0.4847 ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า V_5 มีค่าลดลงจาก 0.5789 เป็น 0.5294 สามารถพิจารณาได้จากสมการที่ (4.1)

$$\frac{V_4}{V_5} = a_t \quad (4.1)$$

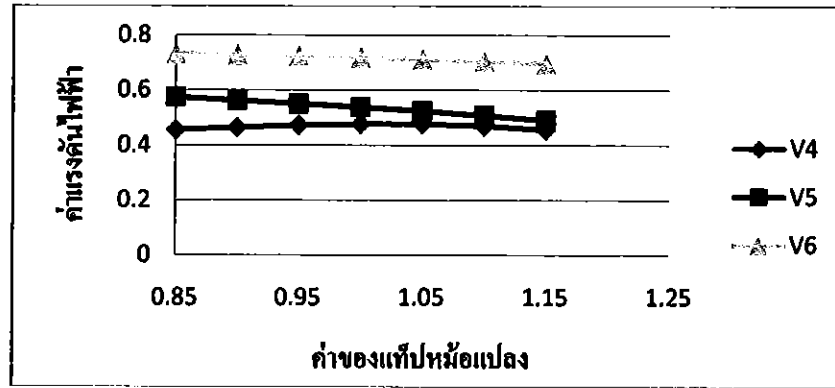
โดยที่

ถ้า

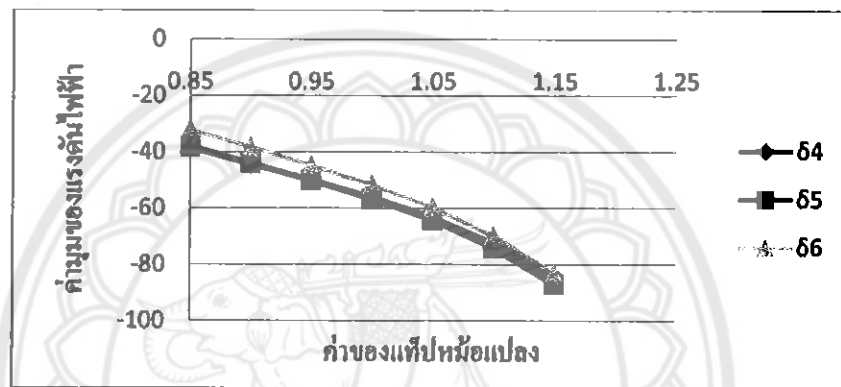
$$V_5 = \frac{V_4}{a_t}$$

ดังนั้นเมื่อเพิ่มแท็ป a_t ค่า V_5 จึงมีค่าลดลง การลดลงของแรงดัน V_5 ทำให้กระแสไหลในสายส่ง L5-4 มากขึ้นทำให้การไหลของกำลังไฟฟ้าของสายส่ง L5-4 และ L6-5 มากขึ้น ส่งผลให้การไหลของกำลังไฟฟ้าของสายส่ง L6-4 ลดลง เมื่อนำค่าจากตารางที่ 4.9 มาเขียนกราฟแรงดันและมุมเฟสที่บัส 4, 5, 6 เมื่อมีการปรับแท็ปได้ดังรูปที่ 4.20 และ 4.21

ค่ามุมเฟสของแรงดันที่บัสต่าง ๆ เป็นการปรับโดยอัตโนมัติของโปรแกรม PowerWorld เพื่อที่จะรักษาเสถียรภาพของระบบ



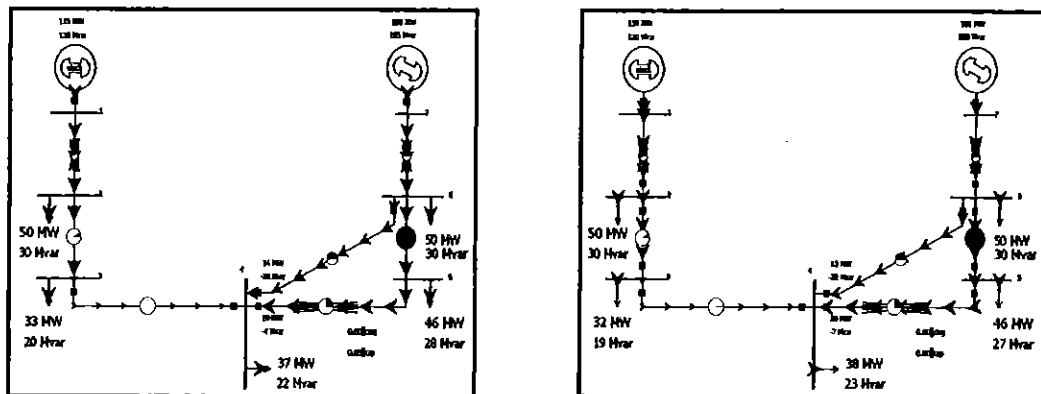
รูปที่ 4.20 ค่าของแรงดัน ไฟฟ้า ที่มุมเฟส T3 เท่ากับ -3°



รูปที่ 4.21 ค่ามุมเฟสของแรงดัน ไฟฟ้า ที่มุมเฟส T3 เท่ากับ -3°

4.5 ระบบไฟฟ้าแบบรูป 7 บัส เมื่อปรับแท็ปของ T3 โดยมุมเฟส T3 เท่ากับ 0°

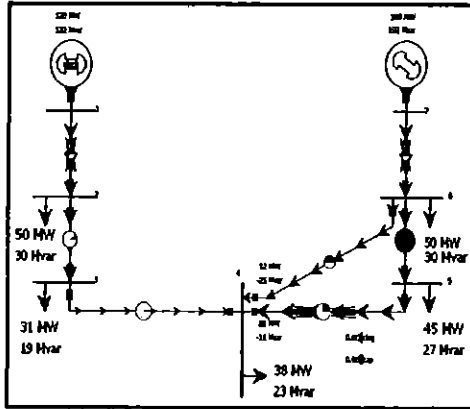
ระบบไฟฟ้ากำลังแบบรูป จำนวน 7 เมื่อทำการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลง T3 จาก 0.85° ถึง 1.15° โดยให้มุมเฟส T3 เท่ากับ 0° ผลการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม PowerWorld เป็น ดังรูปที่ 4.22



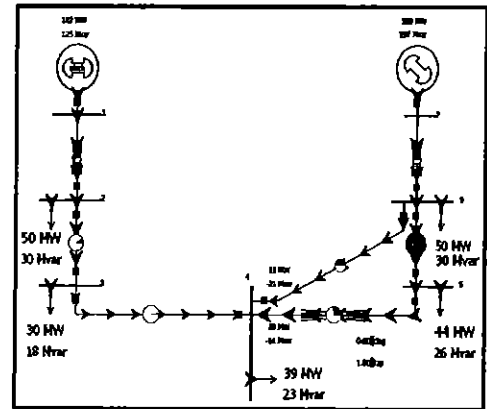
(ก) หม้อแปลง T3 มุมเฟส = 0° แท็ป = 0.85

(ข) หม้อแปลง T3 มุมเฟส = 0° แท็ป = 0.90

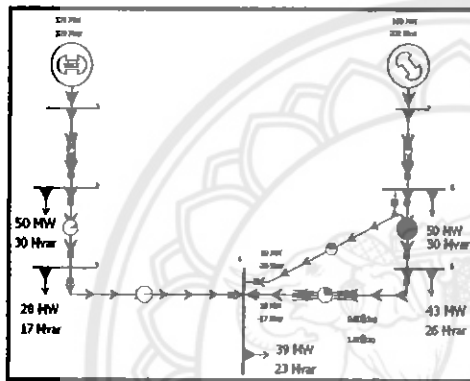
รูปที่ 4.22 การไหลของกำลัง ไฟฟ้าที่มุมเฟส = 0° เมื่อมีการปรับแท็ปของหม้อแปลง



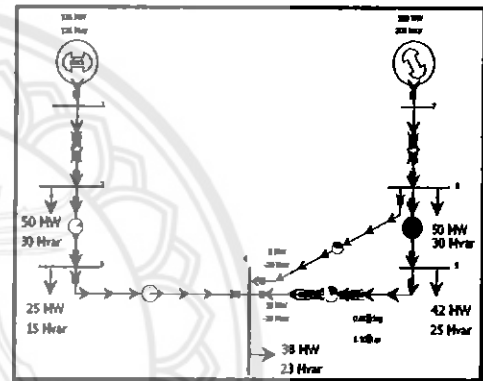
(ค) หม้อแปลง T3 มุมเฟส = 0° แท้ป = 0.95



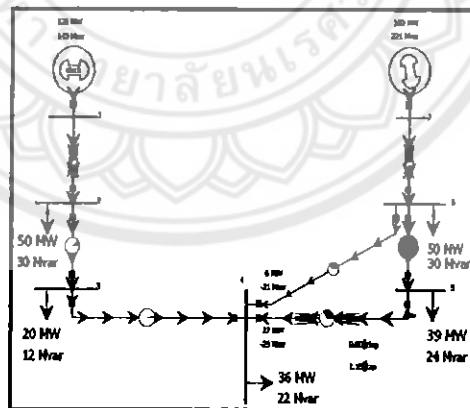
(ง) หม้อแปลง T3 มุมเฟส = 0° แท้ป = 1.00



(จ) หม้อแปลง T3 มุมเฟส = 0° แท้ป = 1.05



(ฉ) หม้อแปลง T3 มุมเฟส = 0° แท้ป = 1.10



(ซ) หม้อแปลง T3 มุมเฟส = 0° แท้ป = 1.15

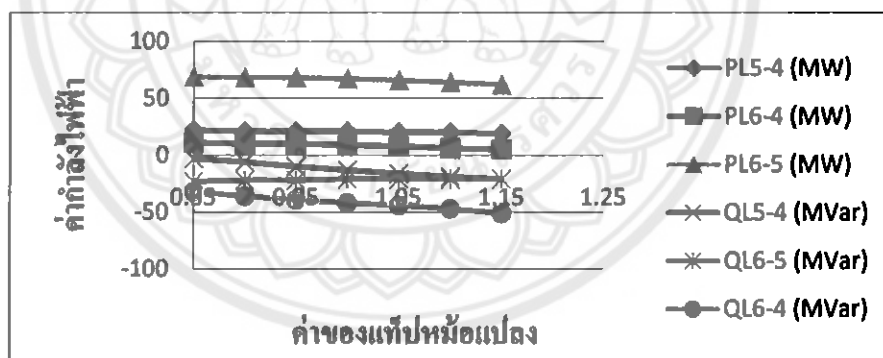
รูปที่ 4.22 (ต่อ) การไหลของกำลังไฟฟ้าที่มุมเฟส = 0° เมื่อมีการปรับแท้ปของหม้อแปลง

จากรูปที่ 4.22 จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์การไหลกำลังไฟฟ้าในสายส่งมุมเฟส T3 เท่ากับ 0° ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่ากำลังไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์การไหลกำลังไฟฟ้าในสายส่งมุมเฟส T3 เท่ากับ 0°

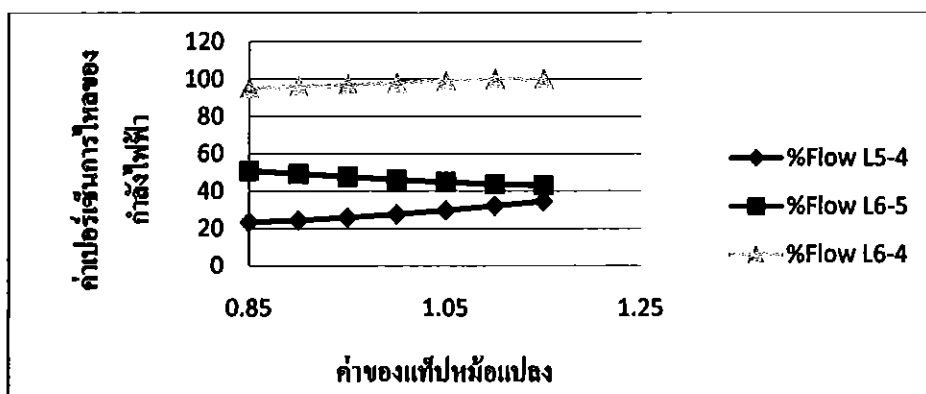
Deg=0 Tap	P _{L5-4} (MW)	P _{L6-4} (MW)	P ₆₋₅ (MW)	Q _{L5-4} (MVar)	Q _{L6-4} (MVar)	Q ₆₋₅ (MVar)	%Flow L5-4	%Flow L6-4	%Flow L6-5
0.85	20	14	67	-4	-22	-33	21.6	51.7	94
0.90	20	13	67	-7	-22	-36	22.9	50.1	95
0.95	20	12	66	-11	-21	-39	24.6	48.5	96
1.00	19	11	65	-14	-21	-42	26.6	46.8	97
1.05	19	10	64	-17	-20	-45	28.8	45.2	98
1.10	18	8	63	-19	-20	-48	31.4	43.9	99
1.15	17	6	60	-23	-21	-52	34.8	43.0	99

จากตารางที่ 4.10 นำมาเขียนกราฟการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟารีแอกทีฟ และเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 4.23 และ 4.24



รูปที่ 4.23 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟารีแอกทีฟ ที่มุมเฟส T3 เท่ากับ 0°

จากตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.23 จะเห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มแท็ปจาก 0.85 ถึง 1.15 ให้กับหม้อแปลง T3 โดยที่ให้ค่ามุมเฟสของหม้อแปลง T3 คงที่ ในขณะที่ค่าตัวแปรที่บัสต่าง ๆ มีค่าคงที่ จะเห็นได้ว่าค่าการไหลกำลังไฟฟ้าจริงที่สายส่ง PL5-4 ซึ่งต่อกับหม้อแปลง T3 มีค่าลดลงจาก 20 MW ถึง 17 MW และการไหลกำลังไฟฟ้าจริงที่สายส่ง PL6-5 มีค่าลดลงจาก 67 MW ถึง 60 MW ส่วนการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงที่สายส่ง PL6-4 นั้นมีค่าลดลงจาก 14 MW ถึง 6 MW ทั้งนี้เนื่องจากการลดลงของโหลดเองโดยอัตโนมัติที่บัสต่าง ๆ เพื่อที่จะรักษาเสถียรภาพของระบบตามการคำนวณของโปรแกรม PowerWorld



รูปที่ 4.24 ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้า ที่มุมเฟส T3 เท่ากับ 0°

รูปที่ 4.24 แสดงกราฟเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าของสายส่ง L5-4, L6-5 และ L6-4 จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่สายส่ง L5-4 มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 21.6% ถึง 34.8% และ ที่สายส่ง L6-5 มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 94% ถึง 99% ส่วนที่สาย L6-4 จะมีค่าลดลงจาก 51.7% ถึง 43% เนื่องจากการปรับแท็ปเพิ่มขึ้นของหม้อแปลง T3 ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่าน T3 และในสายส่งที่ต่ออนุกรมกับ T3 นั้นมีค่าเพิ่มขึ้น การไหลของกำลังไฟฟ้าเช่นนี้สามารถอธิบายได้จากผลของแรงดันในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ค่าขนาดและมุมเฟสของแรงดันที่มุมเฟส T3 เท่ากับ 0°

Deg=0 Tap	V ₄ (pu.)	V ₅ (pu.)	V ₆ (pu.)	δ_4 (°)	δ_5 (°)	δ_6 (°)
0.85	0.4578	0.5763	0.7306	-37.901	-34.845	-29.316
0.90	0.4684	0.5656	0.7271	-43.343	-40.656	-35.423
0.95	0.4760	0.5539	0.7230	-48.973	-46.690	-41.768
1.00	0.4803	0.5411	0.7180	-55.056	-53.226	-48.634
1.05	0.4807	0.5270	0.7122	-61.957	-60.655	-56.418
1.10	0.4754	0.5107	0.7048	-70.822	-70.177	-66.353
1.15	0.4536	0.4861	0.6922	-88.136	-88.641	-85.442

จากตารางที่ 4.11 แสดงค่าขนาดและมุมเฟสของแรงดันที่บัส 4, 5 และ 6 ของวงจร 7 บัส โดยมุมเฟสของหม้อแปลง T3 คงที่เท่ากับ 0 เมื่อมีการปรับแท็ปของ T3 ตั้งแต่ 0.85° ถึง 1.15° จะเห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มแท็ปของหม้อแปลง โดยที่ค่ามุมเฟสของหม้อแปลงคงที่จะพบว่า

ค่าแรงดันไฟฟ้า V_4 มีค่าเพิ่มขึ้น จาก 0.4578 เป็น 0.4807 ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า V_5 มีค่าลดลงจาก 0.5763 เป็น 0.4861 สามารถพิจารณาได้จากสมการที่ (4.5)

$$\frac{V_4}{V_5} = a_t \quad (4.5)$$

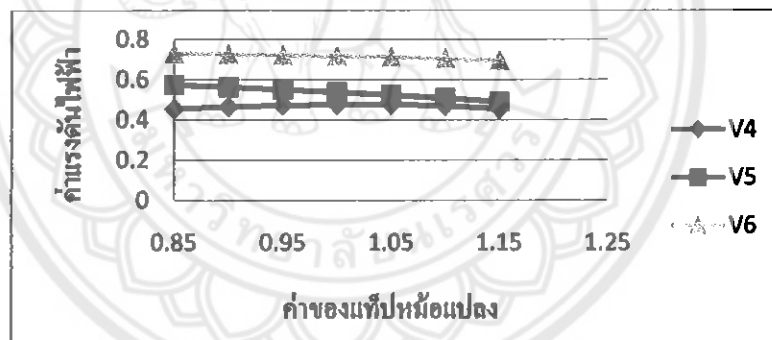
โดยที่

ถ้า

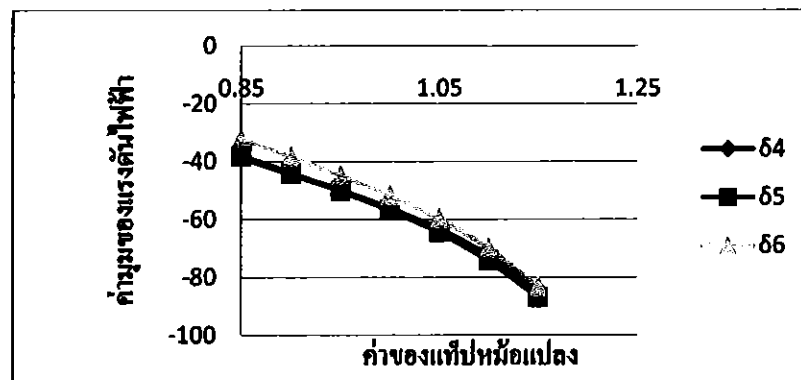
$$V_5 = \frac{V_4}{a_t}$$

ดังนั้นเมื่อเพิ่มแท็บ a_t ค่า V_5 จึงมีค่าลดลง การลดลงของแรงดัน V_5 ทำให้กระแสไหลในสายส่ง L5-4 มากขึ้นทำให้การไหลของกำลังไฟฟ้าของสายส่ง L5-4 และ L6-5 มากขึ้น ส่งผลให้การไหลของกำลังไฟฟ้าของสายส่ง L6-4 ลดลง เมื่อนำค่าจากตารางที่ 4.9 มาเขียนกราฟแรงดันและมุมเฟสที่บัส 4, 5 และ 6 เมื่อมีการปรับแท็บได้ดังรูปที่ 4.25 และ 4.26

ค่ามุมเฟสของแรงดันที่บัสต่าง ๆ เป็นการปรับโดยอัตโนมัติของโปรแกรม PowerWorld เพื่อที่จะรักษาเสถียรภาพของระบบ



รูปที่ 4.25 ค่าของแรงดันไฟฟ้า ที่มุมเฟส T3 เท่ากับ 0°

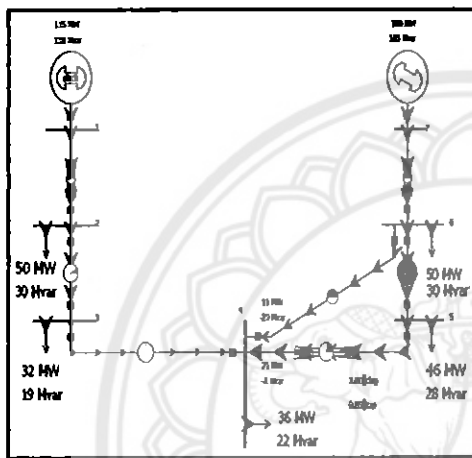


รูปที่ 4.26 ค่ามุมเฟสของแรงดันไฟฟ้า ที่มุมเฟส T3 เท่ากับ 0°

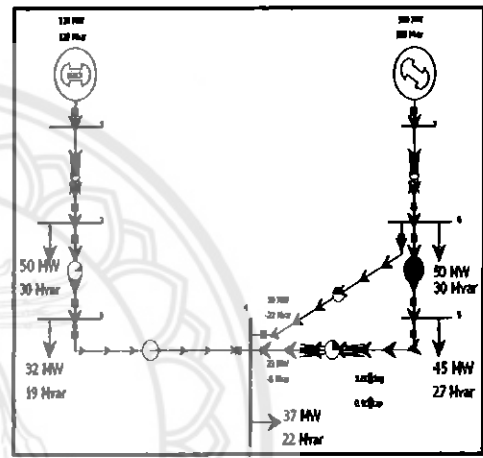
ผลการประมวลผลของโปรแกรมมีแนวโน้มเหมือนกันกับกรณีเมื่อปรับมุมเฟสของ T3 โดยมุมเฟส T3 เท่ากับ -3° ซึ่งเป็นเหตุผลที่สอดคล้องกัน

4.6 ระบบไฟฟ้าแบบรูป 7 บัส เมื่อปรับแท็ปของ T3 โดยมุมเฟส T3 เท่ากับ 3°

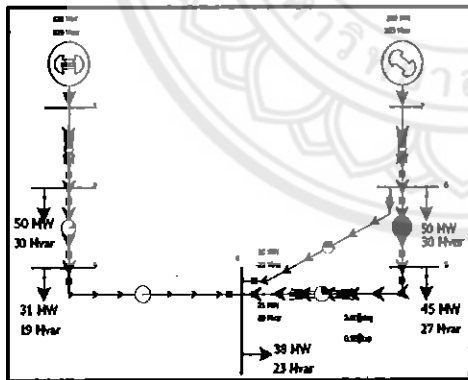
ระบบไฟฟ้ากำลังแบบรูป จำนวน 7 บัส เมื่อทำการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลง T3 จาก 0.85% ถึง 1.15% โดยให้มุมเฟส T3 เท่ากับ 0° ผลการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม PowerWorld เป็นดังรูปที่ 4.27



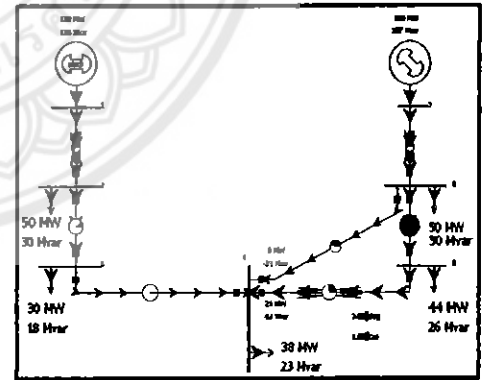
(ก) หม้อแปลง T3 มุมเฟส = 3° แท็ป = 0.85



(ข) หม้อแปลง T3 มุมเฟส = 3° แท็ป = 0.90

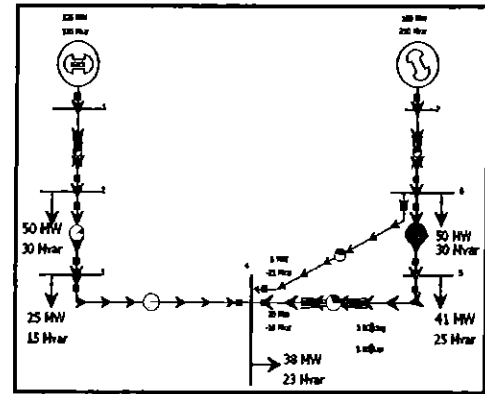
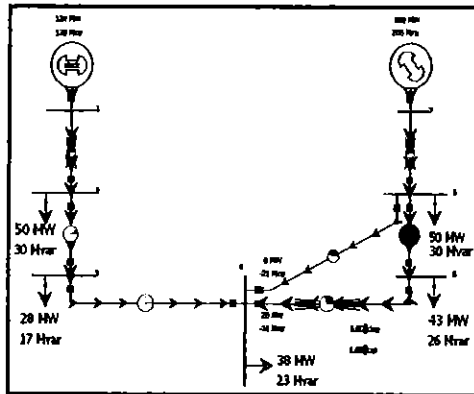


(ค) หม้อแปลง T3 มุมเฟส = 3° แท็ป = 0.95



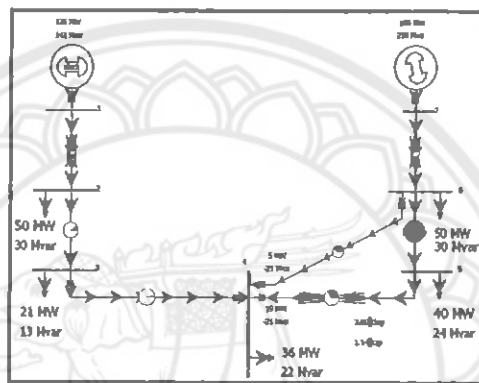
(ง) หม้อแปลง T3 มุมเฟส = 3° แท็ป = 1.00

รูปที่ 4.27 การไหลของกำลังไฟฟ้าที่มุมเฟส = 3° เมื่อมีการปรับแท็ปของหม้อแปลง



(จ) หม้อแปลง T3 มุมเฟส = 3° แท็ป = 1.05

(ค) หม้อแปลง T3 มุมเฟส = 3° แท็ป = 1.10



(ข) หม้อแปลง T3 มุมเฟส = 3° แท็ป = 1.15

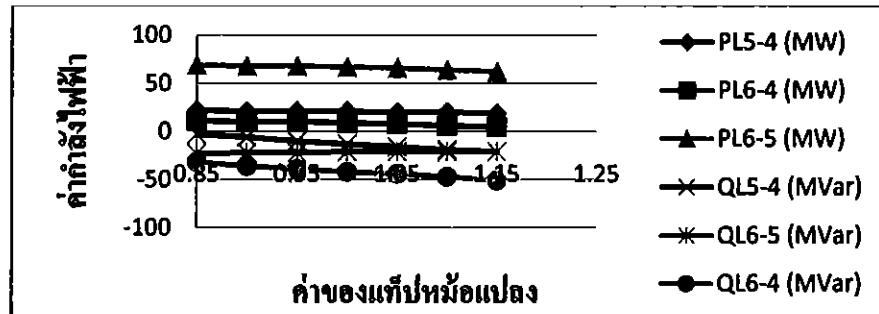
รูปที่ 4.27 (ต่อ) การไหลของกำลังไฟฟ้าที่มุมเฟส = 3° เมื่อมีการปรับแท็ปของหม้อแปลง

จากรูปที่ 4.27 จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์การไหลกำลังไฟฟ้าในสายส่งมุมเฟส T3 เท่ากับ 3° ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ค่ากำลังไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์การไหลกำลังไฟฟ้าในสายส่งมุมเฟส T3 เท่ากับ 3°

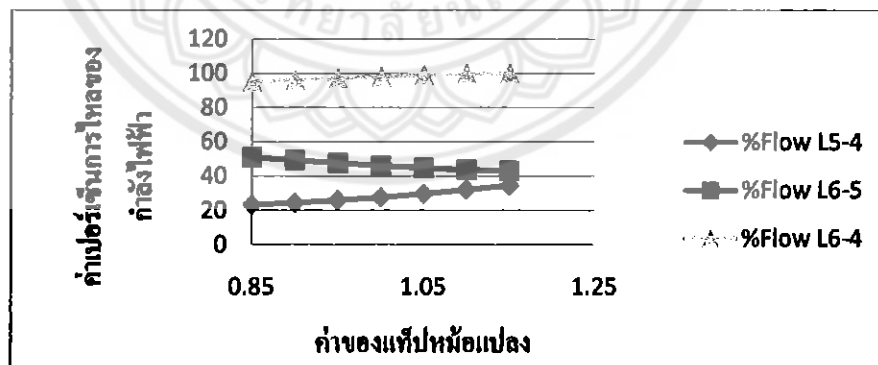
deg=3 tap	P _{L5-4} (MW)	P _{L6-4} (MW)	P _{L6-5} (MW)	Q _{L5-4} (MVar)	Q _{L6-4} (MVar)	Q _{L6-5} (MVar)	%Flow L5-4	%Flow L6-4	%Flow L6-5
0.85	22	11	69	-3	-23	-32	23.4	50.9	95
0.90	21	10	68	-6	-22	-36	24.4	49.3	96
0.95	21	10	68	-10	-22	-39	25.9	47.7	97
1.00	21	9	67	-13	-21	-42	27.7	46.1	98
1.05	20	8	66	-16	-21	-44	29.7	44.8	99
1.10	20	6	64	-19	-21	-47	32.1	43.6	100
1.15	19	5	62	-21	-21	-51	34.5	43.1	100

จากตารางที่ 4.12 นำมาเขียนกราฟการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ และเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 4.28 และ 4.29



รูปที่ 4.28 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ที่มุมเฟส T3 เท่ากับ 3°

จากตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.28 จะเห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มแท็ปจาก 0.85 ถึง 1.15 ให้กับหม้อแปลง T3 โดยที่ให้ค่ามุมเฟสของหม้อแปลง T3 คงที่ ในขณะที่ค่าตัวแปรที่บัสต่าง ๆ มีค่าคงที่ จะเห็นได้ว่าค่าการไหลกำลังไฟฟ้าจริงที่สายส่ง PL5-4 ซึ่งต่อกับหม้อแปลง T3 มีค่าลดลงจาก 22 MW ถึง 19 MW และการไหลกำลังไฟฟ้าจริงที่สายส่ง PL6-5 มีค่าลดลงจาก 69 MW ถึง 62 MW ส่วนการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงที่สายส่ง PL6-4 นั้นมีค่าลดลงจาก 11 MW ถึง 5 MW ทั้งนี้เนื่องจากการลดลงของโหลดเองโดยอัตโนมัติที่บัสต่าง ๆ เพื่อที่จะรักษาเสถียรภาพของระบบตามการคำนวณของโปรแกรม PowerWorld



รูปที่ 4.29 ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้า ที่มุมเฟส T3 เท่ากับ 3°

รูปที่ 4.29 แสดงกราฟเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าของสายส่ง L5-4, L6-5 และ L6-4 จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่สายส่ง L5-4 มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 23.4% ถึง 34.5% และที่สายส่ง L6-5 มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 95% ถึง 100% ส่วนที่สาย L6-4 จะมีค่าลดลงจาก 50.9% ถึง 43.1% เนื่องจากการปรับแท็ปเพิ่มขึ้นของหม้อแปลง T3 ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่าน T3

และในสายส่งที่ค่อนุกรมกับ T3 นั้นมีค่าเพิ่มขึ้น การไหลของกำลังไฟฟ้าเช่นนี้สามารถอธิบายได้จากผลของแรงดันในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ค่าขนาดและมุมเฟสของแรงดันที่มุมเฟส T3 เท่ากับ 3°

Deg=3 Tap	V ₄ (pu.)	V ₅ (pu.)	V ₆ (pu.)	δ ₄ (°)	δ ₅ (°)	δ ₆ (°)
0.85	0.4545	0.5739	0.7302	-38.618	-38.047	-32.147
0.90	0.4646	0.5627	0.7265	-44.244	-44.022	-38.415
0.95	0.4719	0.5509	0.7222	-49.928	-50.086	-44.784
1.00	0.4758	0.5381	0.7172	-56.087	-56.673	-51.697
1.05	0.4758	0.5239	0.7112	-63.116	-64.208	-59.588
1.10	0.4698	0.5074	0.7036	-72.277	-74.011	-69.811
1.15	0.4555	0.4897	0.6947	-84.304	-86.839	-83.092

จากตารางที่ 4.13 แสดงค่าขนาดและมุมเฟสของแรงดันที่บัส 4, 5 และ 6 ของวงจร 7 บัส โดยมุมเฟสของหม้อแปลง T3 คงที่เท่ากับ 3° เมื่อมีการปรับแท็ปของ T3 ตั้งแต่ 0.85° ถึง 1.15° จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเพิ่มแท็ปของหม้อแปลง โดยที่ค่ามุมเฟสของหม้อแปลงคงที่จะพบว่าค่าแรงดันไฟฟ้า V₄ มีค่าเพิ่มขึ้น จาก 0.4545 เป็น 0.4555 ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า V₅ มีค่าลดลงจาก 0.5739 เป็น 0.4897 สามารถพิจารณาได้จากสมการที่ (4.2)

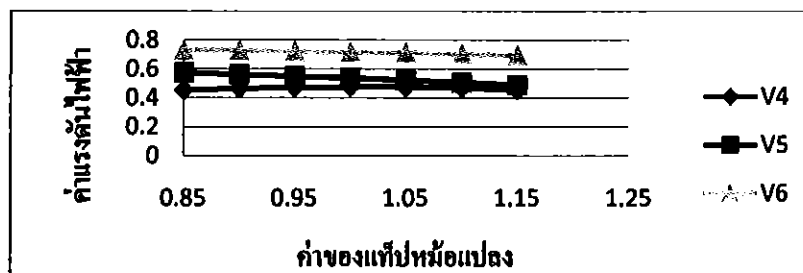
$$\frac{V_4}{V_5} = a_t \quad (4.2)$$

โดยที่

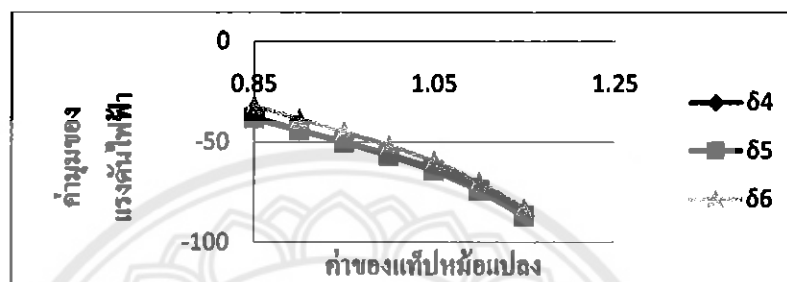
$$a_t = \frac{V_4}{V_5}$$

ดังนั้นเมื่อยิ่งเพิ่มแท็ป a_t ค่า V_5 จึงมีค่าลดลง การลดลงของแรงดัน V_5 ทำให้กระแสไหลในสายส่ง L5-4 มากขึ้นทำให้การไหลของกำลังไฟฟ้าของสายส่ง L5-4 และ L6-5 มากขึ้น ส่งผลให้การไหลของกำลังไฟฟ้าของสายส่ง L6-4 ลดลง เมื่อนำค่าจากตารางที่ 4.9 มาเขียนกราฟแรงดันและมุมเฟสที่บัส 4, 5, 6 เมื่อมีการปรับแท็ปได้ดังรูปที่ 4.30 และ 4.31

ข้อสังเกตพบว่าค่ามุมเฟสของแรงดันที่บัสต่าง ๆ เป็นการปรับโดยอัตโนมัติของโปรแกรม PowerWorld เพื่อที่จะรักษาเสถียรภาพของระบบ



รูปที่ 4.30 ค่าของแรงดันไฟฟ้า ที่มุมเฟส T3 เท่ากับ 3°



รูปที่ 4.31 ค่ามุมเฟสของแรงดันไฟฟ้า ที่มุมเฟส T3 เท่ากับ 3°

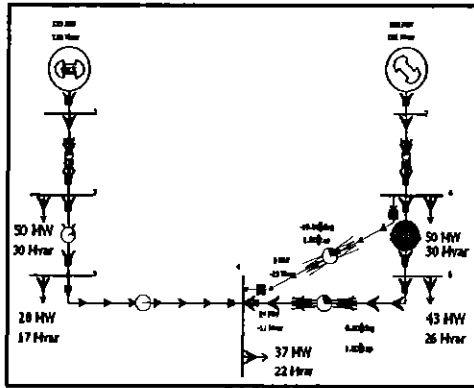
การปรับแท็ปของหม้อแปลง มีจุดประสงค์เพื่อให้คงระดับแรงดันตามที่ระบบต้องการ เช่น หากความต้องการโหลดมากปริมาณการดีงกระแสจากหม้อแปลงก็จะมากทำให้ระดับแรงดันของหม้อแปลงลดต่ำลงดังนั้นจึงต้องมีการปรับแท็ป ให้สูงขึ้นเพื่อให้ได้ระดับแรงดันที่ต้องการ หากความต้องการของโหลดน้อยปริมาณการดีงกระแสจากหม้อแปลงก็จะน้อยลงทำให้ระดับแรงดันของหม้อแปลงสูงขึ้นดังนั้นจึงต้องมีการปรับแท็ปให้ลดต่ำลงเพื่อให้ได้ระดับแรงดันที่ต้องการ

สรุปเปรียบเทียบผลการปรับมุมเฟสของหม้อแปลง T3 ที่ -3°, 0° และ 3°

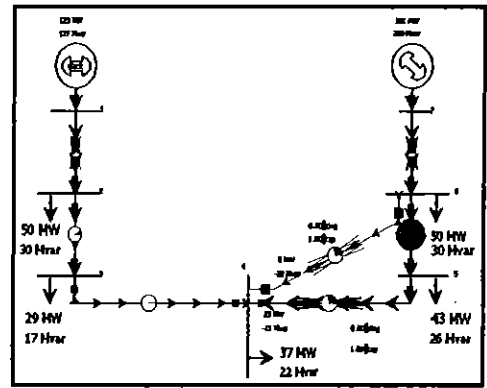
การปรับมุมเฟส T3 คือหม้อแปลงที่ต่อระหว่างบัสที่ 4 และบัสที่ 5 เพิ่มขึ้นจาก -3°, 0° และ 3° โดยให้แท็ปที่จะทำให้ผลของกำลังไฟฟ้าที่สาย L5-4 จะมีการไหลเพิ่มขึ้นตามลำดับ เช่น ที่แท็ป T3 เท่ากับ 0.85 เมื่อมุมเฟสเท่ากับ -3°, 0° และ 3° จะได้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 18, 20 MW และ 22 MW แสดงว่าการปรับมุมเฟสที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงให้เพิ่มขึ้น

4.7 การประมวลผลระบบไฟฟ้าแบบรูป 7 บัส เมื่อมุมเฟสของ T4 โดยแท็ป T4 เท่ากับ 1

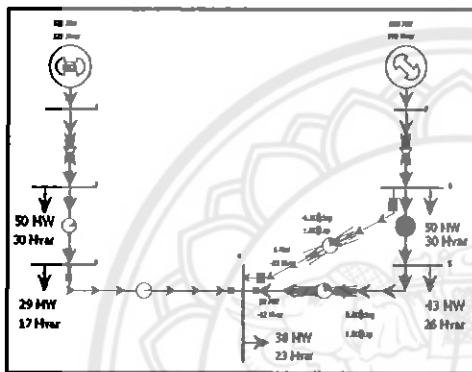
ระบบไฟฟ้ากำลังแบบรูป จำนวน 7 บัส ที่เพิ่มหม้อแปลง T4 คือหม้อแปลงระหว่างบัสที่ 4 และบัสที่ 6 โดยทำการกำหนดค่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, โหลดและแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าจากข้อมูลระบบไฟฟ้าเหมือนหัวข้อที่ 4.1 ถึง 4.6 ประกอบไปด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 เครื่อง หม้อแปลง 4 เครื่อง โหลด 5 ชุด เมื่อทำการปรับค่ามุมเฟสของหม้อแปลง T4 จาก -10° ถึง 10° โดยให้แท็ป T4 เท่ากับ 1 ผลการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม PowerWorld เป็นดังรูปที่ 4.32



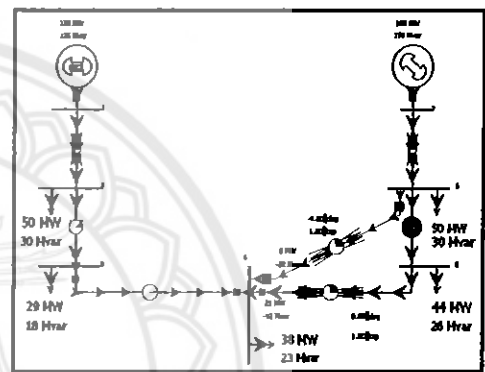
(ก) หม้อแปลง T4 แท็ป = 1 มุมเฟส = -10°



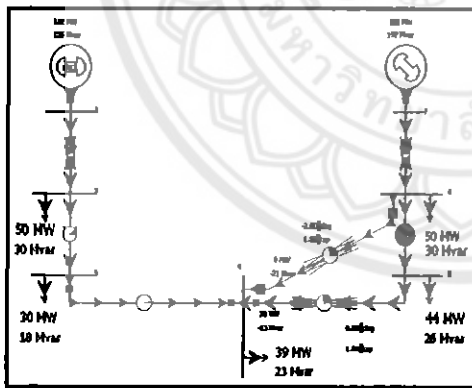
(ข) หม้อแปลง T4 แท็ป = 1 มุมเฟส = -8°



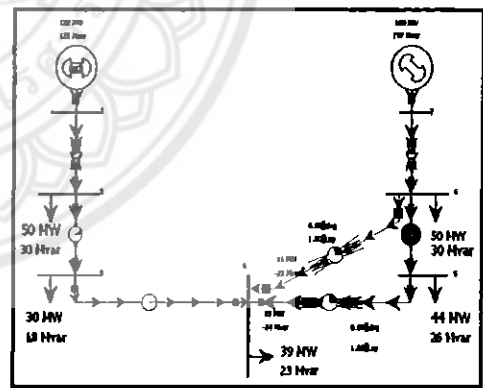
(ค) หม้อแปลง T4 แท็ป = 1 มุมเฟส = -6°



(ง) หม้อแปลง T4 แท็ป = 1 มุมเฟส = -4°

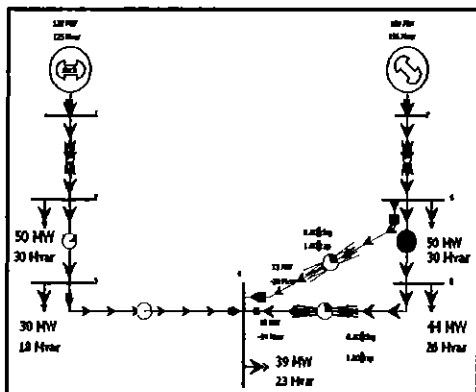


(จ) หม้อแปลง T4 แท็ป = 1 มุมเฟส = -2°

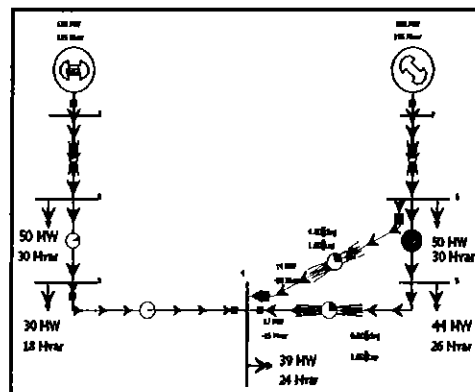


(ฉ) หม้อแปลง T4 แท็ป = 1 มุมเฟส = 0°

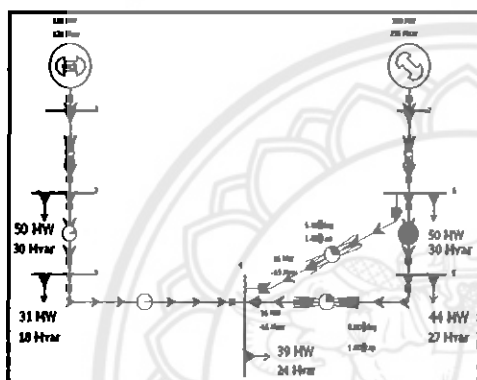
รูปที่ 4.32 การไหลของกำลังไฟฟ้าที่แท็ป = 1 เมื่อมีการปรับมุมเฟสของหม้อแปลง T4



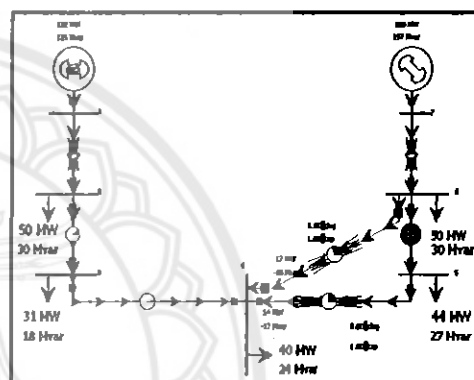
(ข) หม้อแปลง T4 แท็ป = 1 มุมเฟส = 2°



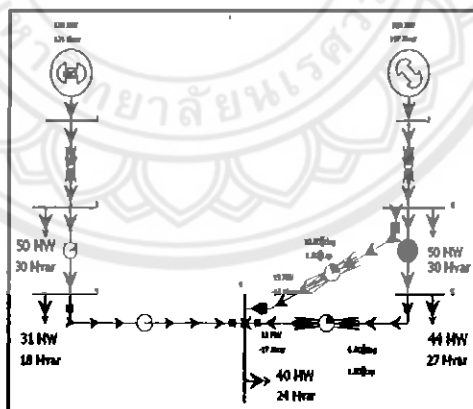
(จ) หม้อแปลง T4 แท็ป = 1 มุมเฟส = 4°



(ฉ) หม้อแปลง T4 แท็ป = 1 มุมเฟส = 6°



(ช) หม้อแปลง T4 แท็ป = 1 มุมเฟส = 8°



(ฎ) หม้อแปลง T4 แท็ป = 1 มุมเฟส = 10°

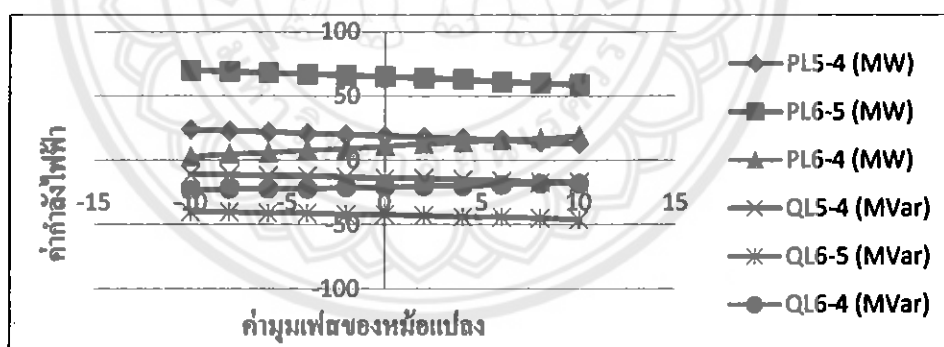
รูปที่ 4.32 (ต่อ) การไหลของกำลังไฟฟ้าที่แท็ป = 1 เมื่อมีการปรับมุมเฟสของหม้อแปลง T4

จากรูปที่ 4.32 จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์การไหลกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่แท็ป T4 เท่ากับ 1 ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ค่ากำลังไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่แท็ป T4 เท่ากับ 1

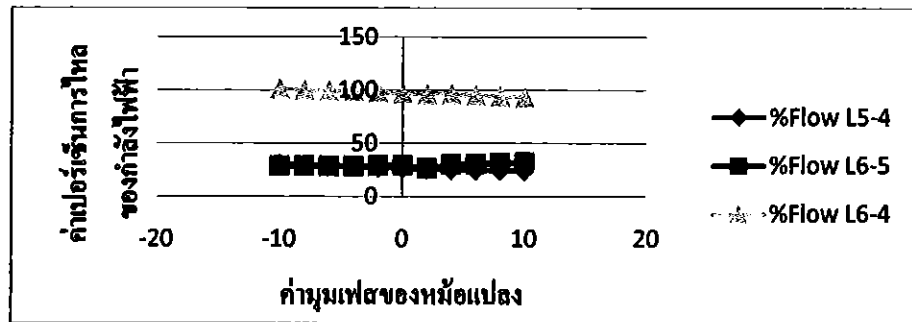
Tap=1 Deg	P _{L5-4} (MW)	P _{L6-5} (MW)	P _{L6-4} (MW)	Q _{L5-4} (MVar)	Q _{L6-5} (MVar)	Q ₆₋₄ (MVar)	%Flow L5-4	%Flow L6-4	%Flow L6-5
-10	24	70	3	-11	-40	-23	30.5	28.7	101
-8	23	69	5	-11	-40	-22	29.6	28.6	100
-6	22	68	6	-12	-41	-22	28.8	28.6	99
-4	21	67	8	-12	-41	-22	28.0	28.8	99
-2	20	66	9	-13	-42	-21	27.3	29.0	98
0	19	65	11	-14	-42	-21	26.6	29.2	97
2	18	64	13	-14	-43	-20	25.9	26.6	96
4	17	63	14	-15	-44	-20	25.3	30.1	96
6	16	61	16	-16	-44	-19	24.9	30.7	95
8	14	60	17	-17	-45	-18	24.5	31.3	94
10	13	59	19	-17	-46	-18	24.2	32.0	93

จากตารางที่ 4.14 นำมาเขียนกราฟการไหลของกำลังไฟฟ้าจริง, กำลังไฟฟารีแอกทีฟและเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 4.33 และ 4.34



รูปที่ 4.33 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟารีแอกทีฟ ที่แท็ป T4 เท่ากับ 1

จากตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.33 จะเห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มมุมเฟสจาก -10° ถึง 10° ให้กับหม้อแปลง T4 โดยที่ให้ค่าแท็ปของหม้อแปลง T4 คงที่ ในขณะที่ค่าตัวแปรที่บัสต่างๆ มีค่าคงที่ จะเห็นได้ว่าค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงที่สายส่ง PL5-4 ซึ่งต่อกับหม้อแปลง T3 มีค่าลดลงอย่างชัดเจน คือจาก 24 MW ถึง 13 MW และการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงที่สายส่ง PL6-5 มีค่าลดลงอย่างชัดเจน คือจาก 70 MW ถึง 59 MW ส่วนการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงที่สายส่ง PL6-4 นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเช่นกัน คือจาก 3 MW ถึง 19 MW



รูปที่ 4.34 ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่บัส 4-5, บัส 4-6 และ บัส 5-6 ที่แท็ป T4 เท่ากับ 1

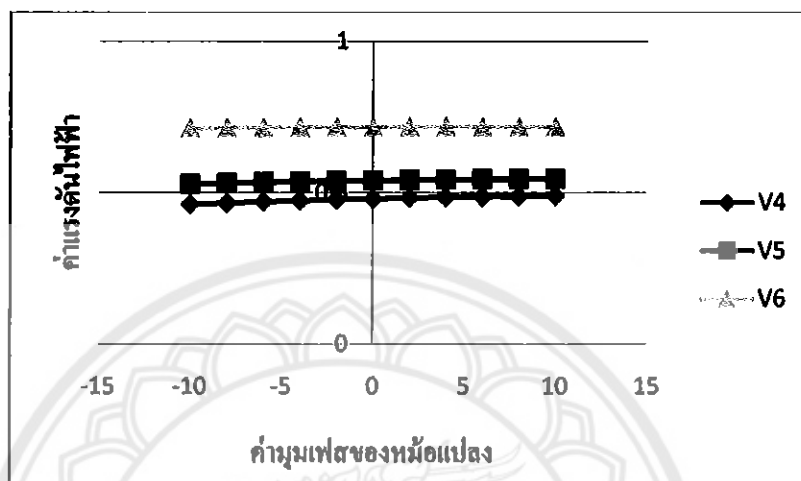
จากรูปที่ 4.34 แสดงกราฟเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าของสายส่ง L5-4, L6-5 และ L6-4 จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่สายส่ง L5-4 มีค่าลดลงจาก 30.5% ถึง 24.2% และ ที่สายส่ง L6-5 มีค่าลดลงจาก 101% ถึง 93 % ส่วนเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่สาย L6-4 จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 28.7% ถึง 32% เนื่องจากเมื่อปรับมุมเฟสของหม้อแปลง T4 กำลังไฟฟ้าในสายส่งนั้นมีค่าเพิ่มขึ้น

ค่าขนาดและมุมเฟสของแรงดันที่แท็ป T4 เท่ากับ 1 จะได้อ้างตารางที่ 4.15

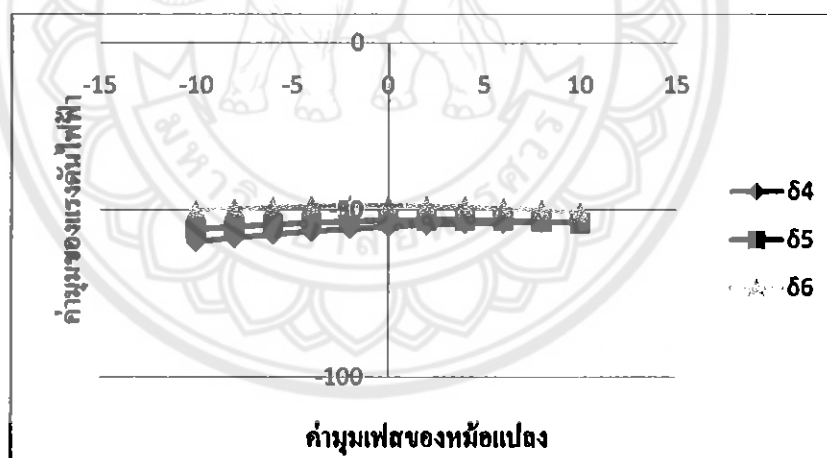
ตารางที่ 4.15 ค่าขนาดและมุมเฟสของแรงดันที่แท็ป T4 เท่ากับ 1

Tap=1 Deg	V_4 (pu.)	V_5 (pu.)	V_6 (pu.)	δ_4 ($^{\circ}$)	δ_5 ($^{\circ}$)	δ_6 ($^{\circ}$)
-10	0.4623	0.5288	0.7137	-59.504	-55.792	-49.985
-8	0.4667	0.5318	0.7150	-58.345	-54.993	-49.410
-6	0.4707	0.5346	0.7160	-57.312	-54.329	-48.981
-4	0.4743	0.5371	0.7169	-56.405	-53.799	-48.693
-2	0.4776	0.5393	0.7176	-55.623	-53.401	-48.546
0	0.4805	0.5413	0.7181	-54.964	-53.133	-48.536
2	0.4831	0.5429	0.7184	-54.433	-53.000	-48.668
4	0.4853	0.5442	0.7185	-54.029	-53.002	-48.946
6	0.4871	0.5452	0.7185	-53.756	-53.142	-49.360
8	0.4886	0.5459	0.7182	-53.617	-53.424	-49.927
10	0.4896	0.5463	0.7177	-53.616	-53.851	-50.644

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าขนาดและมุมเฟสของแรงดันที่บัส 4,5 และ 6 ของวงจร 7 บัส โดยแท็บของหม้อแปลง T4 คงที่เท่ากับ 1 เมื่อมีการปรับมุมเฟสของ T4 ตั้งแต่ -10° ถึง 10° เมื่อนำค่าจากตารางที่ 4.15 มาเขียนกราฟแรงดันและมุมเฟสที่บัส 4, 5, 6 เมื่อมีการปรับมุมเฟสได้ดังรูปที่ 4.35 และ รูปที่ 4.36



รูปที่ 4.35 ค่าแรงดันที่บัส 4, 5, 6 ที่แท็บ T4 เท่ากับ 1



รูปที่ 4.36 ค่ามุมเฟสของแรงดันที่บัส 4, 5, 6 ที่แท็บ T4 เท่ากับ 1

จะเห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มมุมเฟสของหม้อแปลง T4 แรงดัน V_4 , V_6 มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และ V_5 มีค่าลดลงเล็กน้อย แต่มุมของแรงดัน δ_4 , δ_5 , δ_6 มีค่าลดลงอย่างมาก แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มมุมเฟสจึงไม่มีผลกับแรงดันมากนัก แต่มีผลกับมุมของแรงดันอย่างมากทำให้เกิดการเบี่ยงเบนการไหลกำลังไฟฟ้า ไปยังสายส่งเส้นที่ค่อนข้างนานกันสายส่งที่ทำการต่อหม้อแปลงแบบปรับมุมเฟส เมื่อหม้อแปลงมีการปรับมุมเฟสเพิ่มขึ้น ในทางตรงข้ามกันหากมีการปรับมุมเฟสให้ลดลง

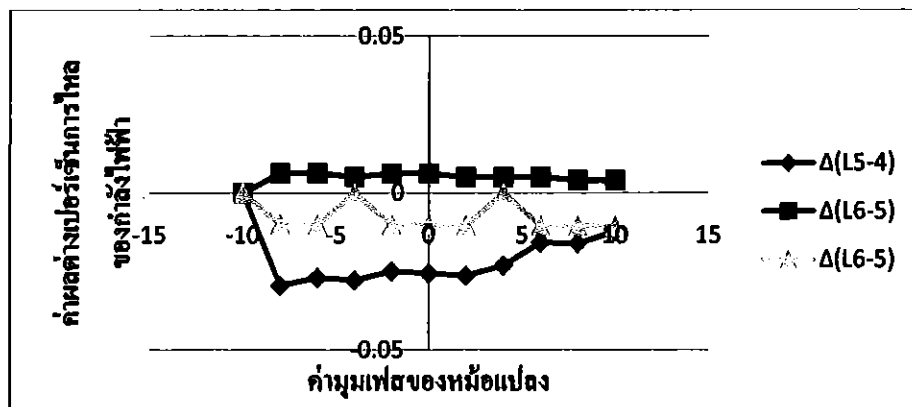
ก็จะทำให้ค่ามุมเฟสของแรงดันในบัสที่เกี่ยวข้องมีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้กำลังไฟฟ้าไหลมาที่สายส่งหรือหม้อแปลงด้านที่มีการปรับมุมเฟสลดลงนั่นเอง

ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลและผลต่างของเปอร์เซ็นต์การไหลกำลังไฟฟ้า ที่แท็ป T4 เท่ากับ 1 จะได้ค่าดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่แท็ป T4 เท่ากับ 1

Tap=1 Deg	%Flow L5-4	$\Delta(L5-4)$	%Flow L6-4	$\Delta(L6-4)$	%Flow L6-5	$\Delta(L6-5)$
-10	30.5	0.0000000	28.7	0.0000000	101	0.00000
-8	29.6	-0.0295082	28.6	-0.0034843	100	-0.00990
-6	28.8	-0.027027	28.6	0.0000000	99	-0.01000
-4	28	-0.0277778	28.8	0.0069930	99	0.00000
-2	27.3	-0.0250000	29.0	0.0069444	98	-0.01010
0	26.6	-0.0256410	29.2	0.0068966	97	-0.01020
2	25.9	-0.0263158	29.6	0.0136986	96	-0.01031
4	25.3	-0.0231660	30.1	0.0168919	96	0.00000
6	24.9	-0.0158103	30.7	0.0199336	95	-0.01042
8	24.5	-0.0160643	31.3	0.0195440	94	-0.01053
10	24.2	-0.0122449	32.0	0.0223642	93	-0.01064

จากตารางที่ 4.16 นำมาเขียนกราฟค่าเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 4.37



รูปที่ 4.37 ผลต่างของแรงดันที่แท็ป T4 เท่ากับ 1

จากรูปที่ 4.37 แสดงผลต่างเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าเมื่อนำค่าผลต่างเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าจากตารางที่ 4.16 มาเขียนกราฟจะเห็นได้ว่าที่สายส่งสายส่ง L5-4, L6-5 มีค่าเพิ่มขึ้นแต่สายส่ง L6-4 มีค่าลดลง

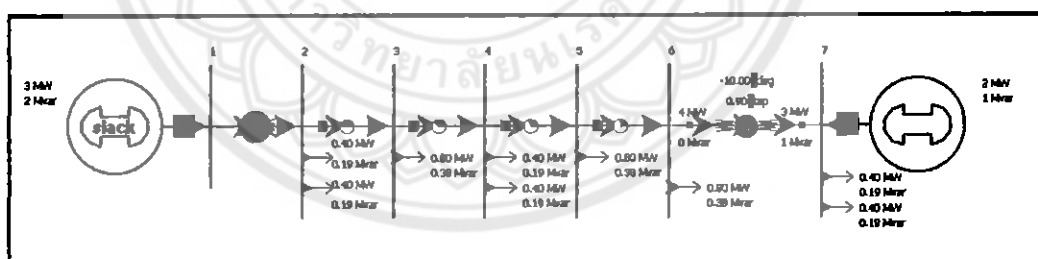
ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มหม้อแปลงเปลี่ยนแท๊ปและหม้อแปลงปรับมุมเฟสเข้าไปยังสายส่ง L6-4 เมื่อทำการปรับค่ามุมเฟสของหม้อแปลง T4 จาก -10° ถึง 10° โดยให้แท๊ป T4 เท่ากับ 1 จะทำให้กำลังไฟฟ้าที่สายส่ง L6-4 มีค่าเพิ่มขึ้นและสายส่ง L5-4 และสายส่ง L6-5 มีค่าลดลง

ดังนั้นการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับแท๊ปและปรับมุมเฟสเพิ่มอีก 1 เครื่อง ที่สายส่งเส้นที่ต่อขนานกับหม้อแปลงเครื่องเดิม จะเบี่ยงเบนการไหลของกำลังไฟฟ้าไปยังหม้อแปลงตัวใหม่ที่นำมาต่อซึ่งจะกระทบกับการไหลของกำลังไฟฟ้าของสายส่งเส้นอื่น ๆ ในระบบได้

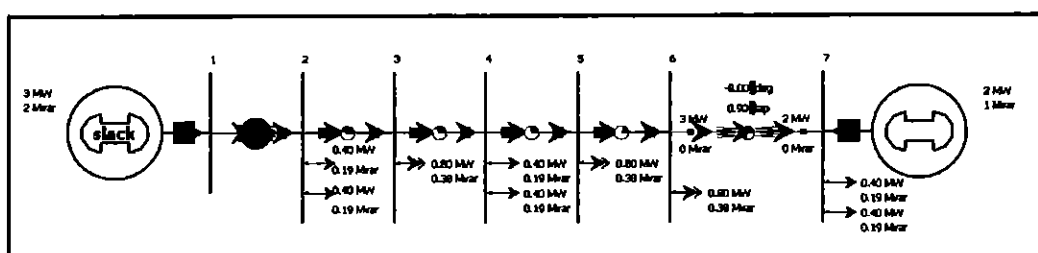
ข้อระวังในการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับแท๊ปและปรับมุมเฟส ต้องระวังมิให้การไหลที่เปลี่ยนไป ส่งผลต่อการไหลของสายส่งไฟฟ้าเส้นอื่น ๆ ให้เกินค่าพิกัดสายส่ง ซึ่งอาจทำให้สายส่งเสียหายและจำนำความเสียหายต่อระบบในที่สุด

4.8 ระบบไฟฟ้าแบบเรเดียล 7 บัส เมื่อปรับมุมเฟสของ T2 โดยแท๊ป T2 เท่ากับ 0.9

ระบบไฟฟ้ากำลังแบบเรเดียล จำนวน 7 บัส เมื่อทำการปรับค่ามุมเฟสของหม้อแปลง T2 จาก -10° ถึง 10° โดยให้แท๊ป T2 เท่ากับ 0.9 ผลการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม PowerWorld เป็นดังรูปที่ 4.38

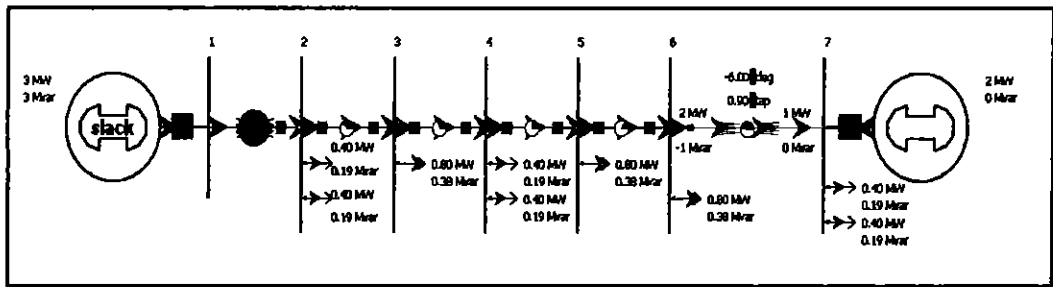


(ก) หม้อแปลง T2 แท๊ป = 0.9 มุมเฟส = -10°

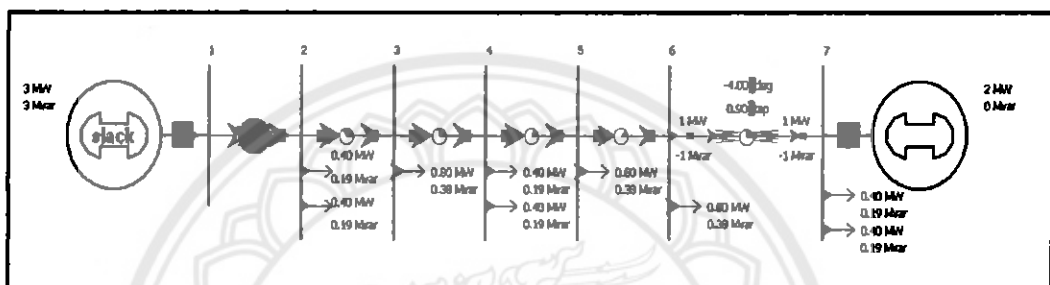


(ข) หม้อแปลง T2 แท๊ป = 0.9 มุมเฟส = -8°

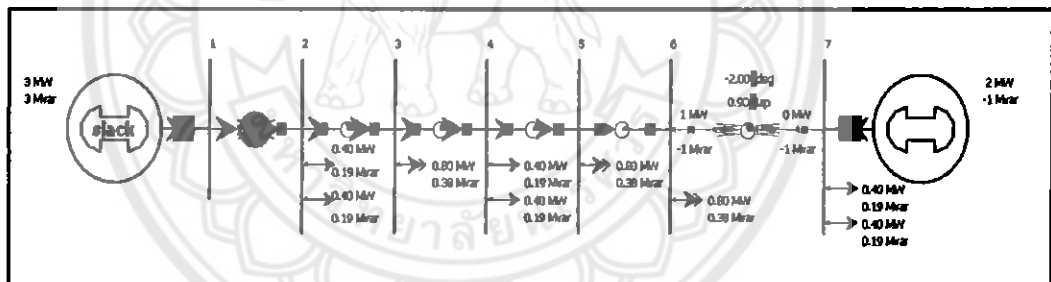
รูปที่ 4.38 การไหลของกำลังไฟฟ้าแบบเรเดียลที่แท๊ป = 0.9 เมื่อมีการปรับมุมเฟสของหม้อแปลง



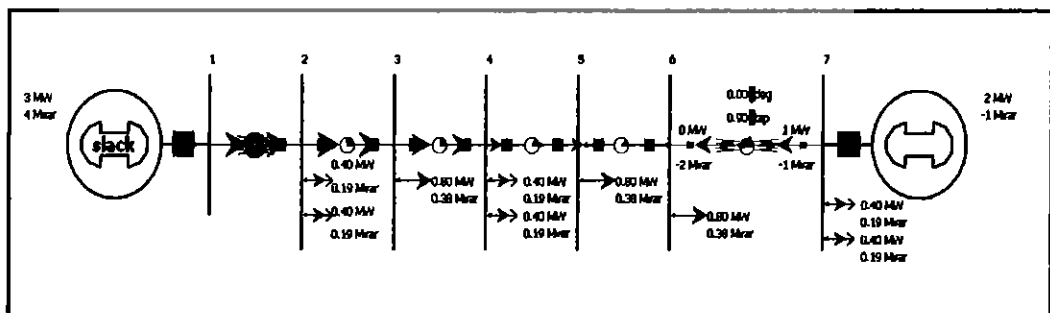
(ค) หม้อแปลง T2 แท้ป = 0.9 มุมเฟส = -6°



(ง) หม้อแปลง T2 แท้ป = 0.9 มุมเฟส = -4°

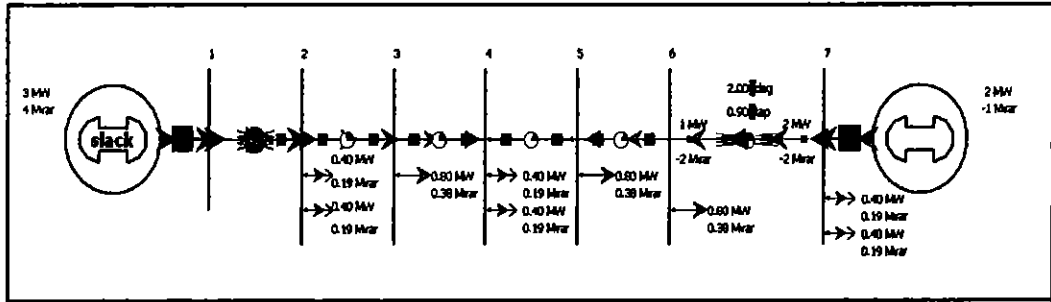


(จ) หม้อแปลง T2 แท้ป = 0.9 มุมเฟส = -2°

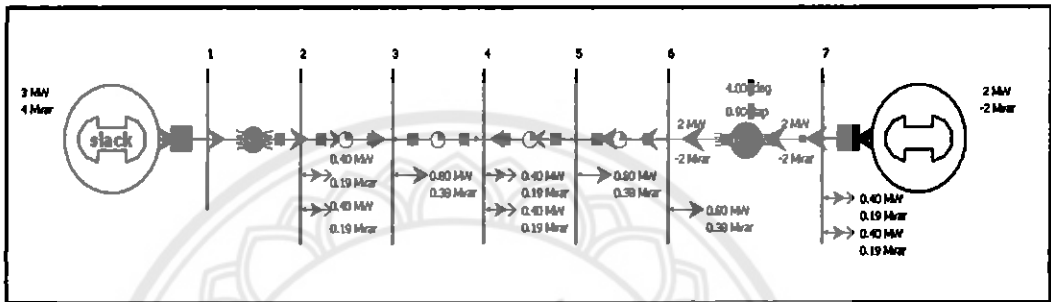


(ฉ) หม้อแปลง T2 แท้ป = 0.9 มุมเฟส = 0°

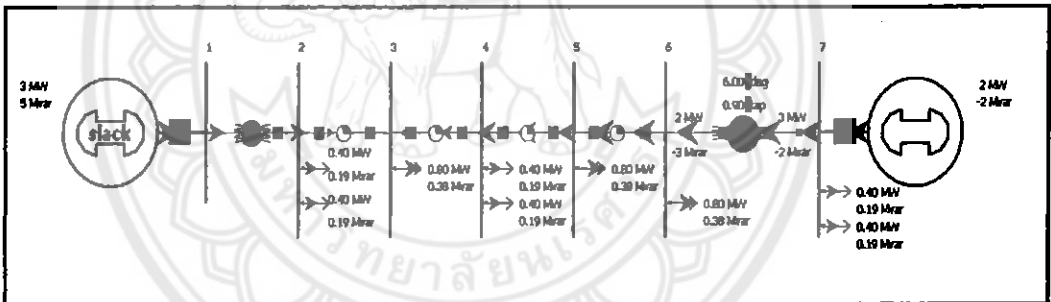
รูปที่ 4.38 (ต่อ) การไหลของกำลังไฟฟ้าแบบเรเดียลที่แท้ป = 0.9 เมื่อมีการปรับมุมเฟสของหม้อแปลง



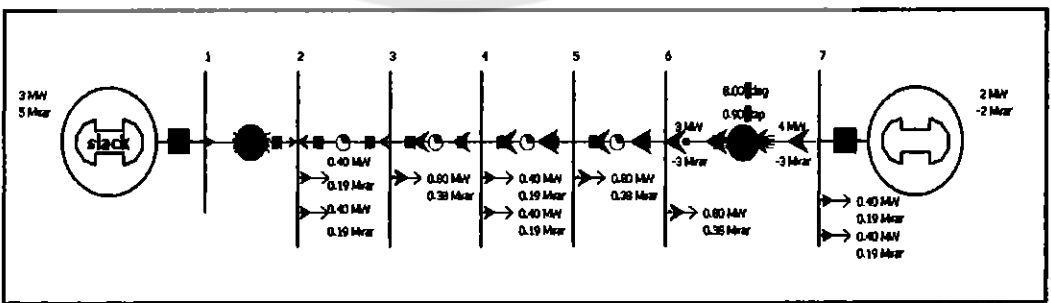
(ข) หม้อแปลง T2 แท้ป = 0.9 มุมเฟส = 2°



(ค) หม้อแปลง T2 แท้ป = 0.9 มุมเฟส = 4°

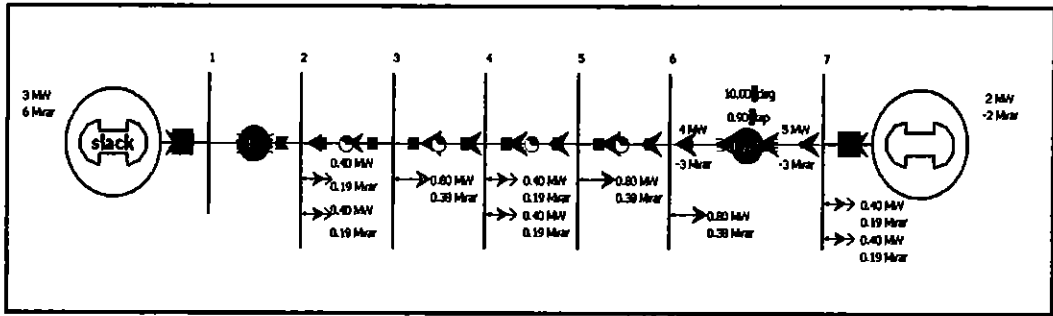


(ด) หม้อแปลง T2 แท้ป = 0.9 มุมเฟส = 6°



(จ) หม้อแปลง T2 แท้ป = 0.9 มุมเฟส = 8°

รูปที่ 4.38 (ต่อ) การไหลของกำลังไฟฟ้าแบบเรเดียลที่แท้ป = 0.9 เมื่อมีการปรับมุมเฟสของหม้อแปลง



(ก) หม้อแปลง T2 แท็ป = 0.9 มุมเฟส = 10°

รูปที่ 4.38 (ต่อ) การไหลของกำลังไฟฟ้าแบบเรคทีลที่แท็ป = 0.9 เมื่อมีการปรับมุมเฟสของหม้อแปลง

ค่ากำลังไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์การไหลกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่แท็ป T2 เท่ากับ 0.9 ดัง

ตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ค่ากำลังไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์การไหลกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่แท็ป T2 เท่ากับ 0.9

Tap=0.9 Deg	P _{T2} (ปฏินุกฎ) (MW)	P _{T2} (ทูลอกฎ) (MW)	Q _{T2} (ปฏินุกฎ) (MVar)	Q _{T2} (ทูลอกฎ) (MVar)	%Flow L1-2	%Flow L7-6
-10	4	3	0	1	151	96.0
-8	3	2	0	0	137	70.1
-6	2	1	-1	0	124	45.8
-4	1	1	-1	-1	112	28.7
-2	1	0	-1	-1	103	33.0
0	0	1	-2	-1	96	53.8
2	1	2	-2	-2	93	79.0
4	2	2	-2	-2	93	105.0
6	2	3	-3	-2	96	132.0
8	3	4	-3	-3	96	159.0
10	4	5	-3	-3	113	187.0

จากรูปที่ 4.38 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการปรับมุมเฟสของหม้อแปลง T2 และให้แท็ปของหม้อแปลง T2 เท่ากับ 0.9 จะเห็นว่าเมื่อทำการปรับมุมเฟสของหม้อแปลง T2 จาก -10° ถึง 0° นั้นค่ากำลังไฟฟ้าของโหลดที่ได้ไม่สัมพันธ์กับค่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังเช่นรูปที่ 4.38 (ก) จะเห็นว่าค่ากำลังไฟฟ้าของโหลดที่บัส 1 ถึงบัส 6 นั้นค่ากำลังไฟฟ้าของโหลดรวมกันได้ 4 MW แต่

ค่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 จ่ายกำลังไฟฟ้ามายังที่ 3 MW เนื่องจากโปรแกรมสามารถคำนวณถึงเข้าสู่คำตอบได้แต่ในความเป็นจริงแล้วไม่สามารถที่จะทำได้ และเมื่อทำการปรับมุมเฟสของหม้อแปลง T2 จาก 2° ถึง 4° ค่ากำลังไฟฟ้าของโหลดและค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กันและสามารถนำมาวิเคราะห์ตามหลักความเป็นจริงได้ และเมื่อทำการปรับมุมเฟสของหม้อแปลง T2 จาก 6° ถึง 10° นั้นค่ากำลังไฟฟ้าของโหลดที่ได้ไม่สัมพันธ์กับค่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหมือนกับการปรับมุมเฟสของหม้อแปลง T2 จาก -10° ถึง 0°

เปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงที่บัส 1-2 และ บัส 7-6 จะได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่จะนำมาวิเคราะห์ได้นั้นต้องวิเคราะห์มุมเฟสของหม้อแปลง T2 ระหว่าง 2° ถึง 4° เท่านั้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าหม้อแปลงเปลี่ยนแท็ปและหม้อแปลงปรับมุมเฟสนั้นไม่เหมาะที่จะนำมาวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าแบบเรเดียล เนื่องจากไม่มีรูปแบบวงจรไฟฟ้าแบบรูปเพื่อเปรียบเทียบการไหลไปยังเส้นคู่ขนาน โดยที่ T2 มีค่ามุมเฟสเพิ่มขึ้นจาก 2 ถึง 4 ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่สายส่งที่บัส 7 ละบัส 6 มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 76 % เป็น 106%

จากการวิเคราะห์หม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับแท็ปและปรับมุมเฟสสำหรับวงจรเรเดียล จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการปรับแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้านั้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัดตามอัตราส่วนความสัมพันธ์ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง แต่หากทำการปรับมุมเฟสของหม้อแปลงไฟฟ้านั้นจะทำให้การไหลของกำลังไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัดทั้งนี้วิเคราะห์วงจรได้เมื่อค่ามุมเฟสอยู่ระหว่าง 2° ถึง 4° เท่านั้น

บทที่ 5

สรุปผลการการดำเนินงาน

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาและวิเคราะห์หม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับแก้และปรับมุมเฟสของระบบไฟฟ้าของวงจร 2 บัส ระบบไฟฟ้าแบบรูป 7 บัส และแบบเรเดียล 7 บัส จะเห็นได้ว่า

กรณีของระบบไฟฟ้าของวงจร 2 บัส

1. เมื่อทำการปรับแก้ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่อยู่ด้านปฐมภูมิ โดยแก้ของหม้อแปลงเพิ่มขึ้นและให้มุมเฟสคงที่ จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าเท่าเดิมเนื่องจากเป็นสวิตช์ แต่ค่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านโหลดมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากแก้ของหม้อแปลง การเปลี่ยนแปลงของแรงดันทำให้กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งเส้นที่ต่อกับหม้อแปลงจะมีค่ากำลังไฟฟาลดลง โดยเบี่ยงเบนไปไหลในในสายส่งเส้นที่ขนานกับหม้อแปลงตามผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า แต่การเปลี่ยนแก้มีผลต่อกำลังไฟฟ้าไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนมุมเฟส ดังนั้นวิธีนี้สามารถแก้ปัญหาแรงดันตกที่บัสใด ๆ ในระบบได้

2. เมื่อมีการเพิ่มมุมเฟสของหม้อแปลงจะทำให้กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟมีการเบี่ยงเบนการไหลของกำลังไฟฟ้าไปยังสายส่งเส้นที่ขนานกับหม้อแปลง ดังนั้นการเพิ่มมุมเฟสของหม้อแปลงจะทำให้กำลังไฟฟ้าในสายส่งด้านที่ต่อกับหม้อแปลงนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นตามผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า เพื่อที่จะรักษาเสถียรภาพของระบบ ซึ่งวิธีนี้สามารถแก้ปัญหาการติดขัดของสายส่ง (Over load) ได้

กรณีของระบบไฟฟ้าแบบรูป 7 บัส

1. เมื่อทำการปรับแก้ของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยแก้ที่อยู่ด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง ซึ่งต่างกับระบบไฟฟ้า 2 บัส โดยแก้ของหม้อแปลงเพิ่มขึ้นและให้มุมเฟสคงที่ จะเห็นได้ว่าเมื่อปรับแก้เพิ่มขึ้นค่าแรงดันทางด้านที่ปรับแก้มีค่าลดลง แต่ค่าแรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงมีค่าเพิ่มขึ้น

แก้ของหม้อแปลงที่เพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งเส้นที่ต่อกับหม้อแปลงจะมีค่ากำลังไฟฟาลดลง โดยเบี่ยงเบนไปไหลในในสายส่งเส้นที่ขนานกับหม้อแปลงตามผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า การเปลี่ยนแก้มีผลต่อกำลังไฟฟ้าไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนมุมเฟส เช่นเดียวกับระบบไฟฟ้า 2 บัส ดังนั้นวิธีนี้สามารถแก้ปัญหาแรงดันตกที่บัสใด ๆ ในระบบได้

2. เมื่อมีการเพิ่มมุมเฟสของหม้อแปลงจะทำให้กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟมีการเบี่ยงเบนการไหลของกำลังไฟฟ้าไปยังสายส่งเส้นที่ขนานกับหม้อแปลงและสายส่งที่ต่ออนุกรม

กับสายส่งที่ต่อกับหม้อแปลงปรับแท็ปและปรับมุมเฟสมีค่าเพิ่มขึ้นตามสายส่งที่ต่อกับหม้อแปลง ดังนั้นการเพิ่มมุมเฟสของหม้อแปลงจะทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าในสายส่งด้านที่ต่อกับหม้อแปลงนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นตามผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า เพื่อที่จะรักษาเสถียรภาพของระบบ ซึ่งวิธีนี้สามารถแก้ปัญหาการติดขัดของสายส่งได้

3. การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับแท็ปและปรับมุมเฟสเพิ่มอีก 1 เครื่อง ที่สายส่งเส้นที่ค่อนข้างานกับหม้อแปลงเครื่องเดิม จะเบี่ยงเบนการไหลของกำลังไฟฟ้าไปยังหม้อแปลงตัวใหม่ที่น่าสนใจ นั่นหมายถึงหม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับแท็ปและปรับมุมเฟสเมื่อนำมาต่อที่สายส่งเส้นใด จะกระทบกับการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบได้

ข้อระวังในการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับแท็ปและปรับมุมเฟส คือต้องระวังมิให้การไหลที่เปลี่ยนไป ส่งผลต่อการไหลของสายส่งไฟฟ้าเส้นอื่น ๆ ให้เกินค่าพิกัดสายส่ง ซึ่งอาจทำให้สายส่งเสียหายและจะทำความเสียหายต่อระบบในที่สุด

กรณีของระบบไฟฟ้าแบบแรงดัน 7 บัต์

1. เมื่อทำการเปลี่ยนมุมเฟสของหม้อแปลงไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าค่าที่เป็นไปได้ในการวิเคราะห์ห้วงจรรนั้นจะมีค่ามุมเฟสที่ 2° ถึง 4° เท่านั้น ส่วนค่ามุมเฟสค่าอื่นนั้นไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้เนื่องจากค่าโปรแกรมประมวลผลที่ได้นั้นไม่สามารถสรุปตามหลักการไหลของกำลังไฟฟ้าได้

จากการวิเคราะห์หม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับแท็ปและปรับมุมเฟส จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการปรับแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้านั้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัดตามอัตราส่วนความสัมพันธ์ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง แต่หากทำการปรับมุมเฟสของหม้อแปลงไฟฟ้านั้นจะทำให้การไหลของกำลังไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัดทั้งนี้วิเคราะห์ห้วงจรรได้เมื่อค่ามุมเฟสอยู่ระหว่าง 2° ถึง 4° เท่านั้น

5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

โปรแกรม PowerWorld นั้นเป็นรุ่นสำหรับนักศึกษามีการแสดงรายละเอียดของโปรแกรมจำกัด เนื่องจากโปรแกรม PowerWorld นี้ไม่มีคู่มือการใช้งาน จึงจำเป็นต้องใช้เวลาในการศึกษาและออกแบบวงจรอย่างมาก

5.3 แนวทางการพัฒนาโครงการต่อไป

ควรจะศึกษาคู่มือการใช้งานและวิธีการออกแบบของโปรแกรม PowerWorld เพื่อให้เรียนรู้การใช้งานของโปรแกรมให้มากขึ้นจะได้ลดความผิดพลาดในการออกแบบและการคำนวณหาค่าต่างในครั้งต่อไปได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] พิชัย อารีย์ (2552) การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง (Power System Analysis) สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [2] โคศักดิ์ ทัศนานุตรริยะ (2540) การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง สำนักพิมพ์ซีเอ็นยูเคชั่น.
- [3] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธานี ใจประคิษฐ์ธรรม (2552) การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังในงานวิศวกรรม สำนักพิมพ์ท็อป.
- [4] John J. Grainger, William D. Stevenson, (2537) **Power System Analysis.**
- [5] J. Duncan Glover Mulukutlas Sarma and Thomas J.Overbye (2545) **Power System Analysis and Design.**
- [6] <http://www.powerworld.com/> สืบค้นเมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2553

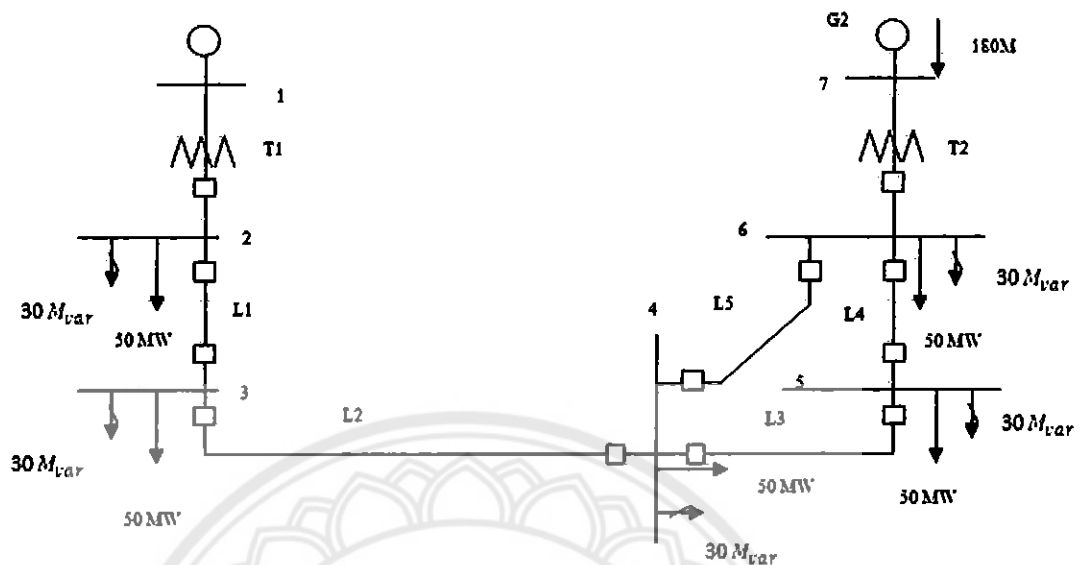




ภาคผนวก ก

มหาวิทยาลัยนเรศวร

วงจรแบบทุกระบบ 7 บัส



พิกัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

G1 : 100 MVA , 13.8 KV , $x'' = 0.12$,

$x_2 = 0.14$, $x_0 = 0.05$ per unit

G2 : 200 MVA , 15.0 KV , $x'' = 0.12$,

$x_2 = 0.14$, $x_0 = 0.05$ per unit

พิกัดหม้อแปลงไฟฟ้า

T1 : 100 MVA , 13.8 KV Δ /230 KVY ,

$x = 0.1$ per unit

T2 : 200 MVA , 15 KV Δ /230 KVY ,

$x = 0.1$ per unit

พิกัดสายส่ง

All Lines : 230 KV , $z_1 = 0.08 + j0.5 \Omega/\text{Km}$,

$z_0 = 0.2 + j1.5 \Omega/\text{Km}$, $y_1 = j3.3 \text{ E-6 S/Km}$

Maximum MVA = 400

ความยาวของแต่ละสาย

$L_1 = 15 \text{ Km}$, L_2 assigned by the instructor

(20 to 50 Km) ,

$L_3 = 40 \text{ Km}$, $L_4 = 15 \text{ Km}$, $L_5 = 50 \text{ Km}$

ข้อมูลกระแสไฟฟ้า

Bus 1 : Swing bus , $V_1 = 13.8 \text{ KV}$, $\theta_1 = 0^\circ$

Bus 2,3,4,5,6 : Load buses

Bus 7 : Constant voltage magnitude bus ,

$V_7 = 15 \text{ KV}$

$P_{G7} = 180 \text{ MW}$, $-87 \text{ Mvar} < Q_{G7} < +87 \text{ Mvar}$

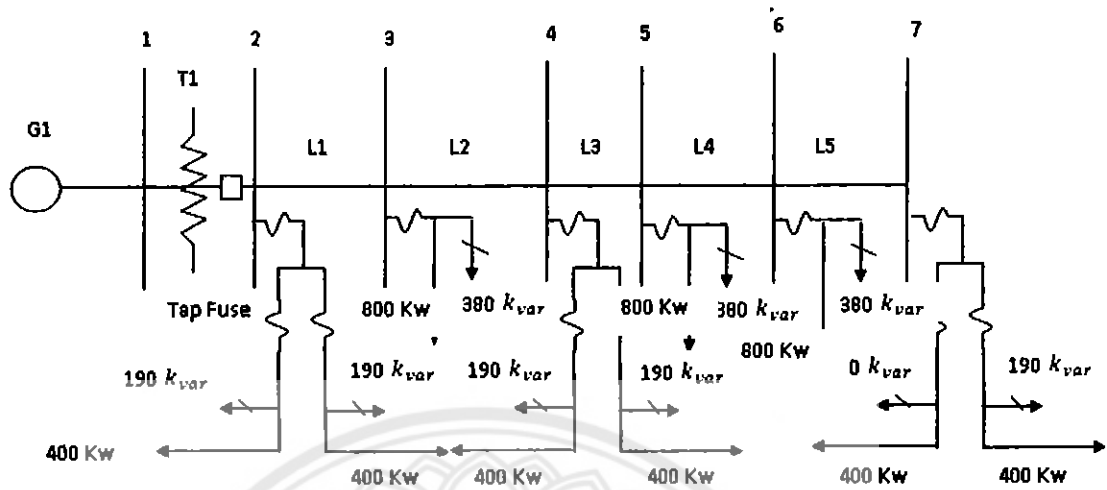
ค่าพื้นฐานของระบบ

$S_{\text{base}} = 100 \text{ MVA}$ (three - phase)

$V_{\text{base}} = 13.8 \text{ KV}$ (line - to - line) in the zone

of G_1

วงจรแบบเรเดียลระบบ 7 บัส



พิกัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

G1 (infinite bus): 50 MVA, 345 KV,

$x = x_1 = 0.15$ per unit

พิกัดหม้อแปลงไฟฟ้า

T1 : 5 MVA, 345 KV Δ /13.8 KVY,

$x = 0.1$ per unit

พิกัดสายส่ง

All Lines : 13.8 KV, $z_1 = 0.19 + j0.38$

Ω/Km , $z_0 = 0.6 + j1.0 \Omega/\text{Km}$, $y_1 = j4.0 \text{ E-}6$

S/Km

Maximun MVA = 5

ความยาวของแต่ละสาย

$L_1 = 2 \text{ Km}$, L_2 assigned by the instructor

(1 to 5 Km), $L_3 = L_4 = L_5 = 2 \text{ Km}$

ข้อมูลกระแสไฟฟ้า

Bus 1 : Swing bus, $V_1 = 345 \text{ KV}$, $\theta_1 = 0^\circ$

Bus 2,3,4,5,6,7 : Load buses

ค่าพื้นฐานของระบบ

$S_{\text{base}} = 100 \text{ MVA}$ (three - phase)

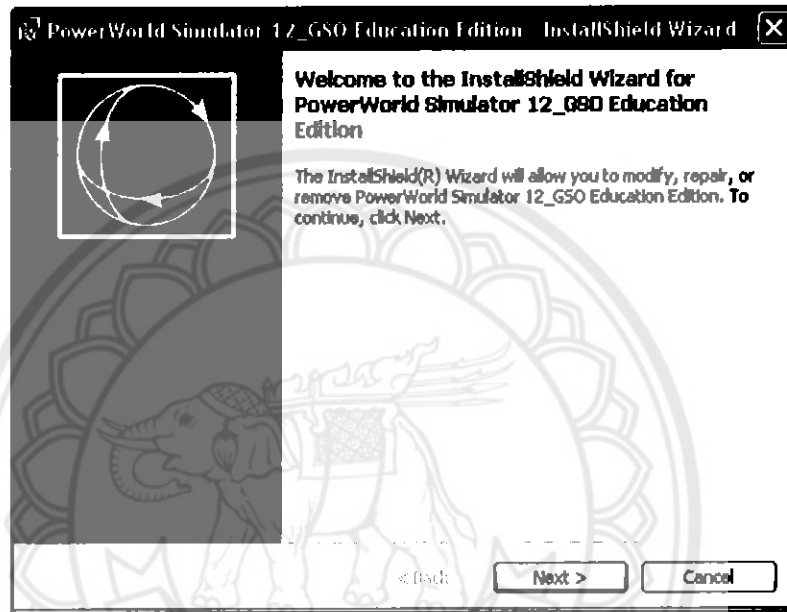
$V_{\text{base}} = 13.8 \text{ KV}$ (line - to - line) in the zone

of the line

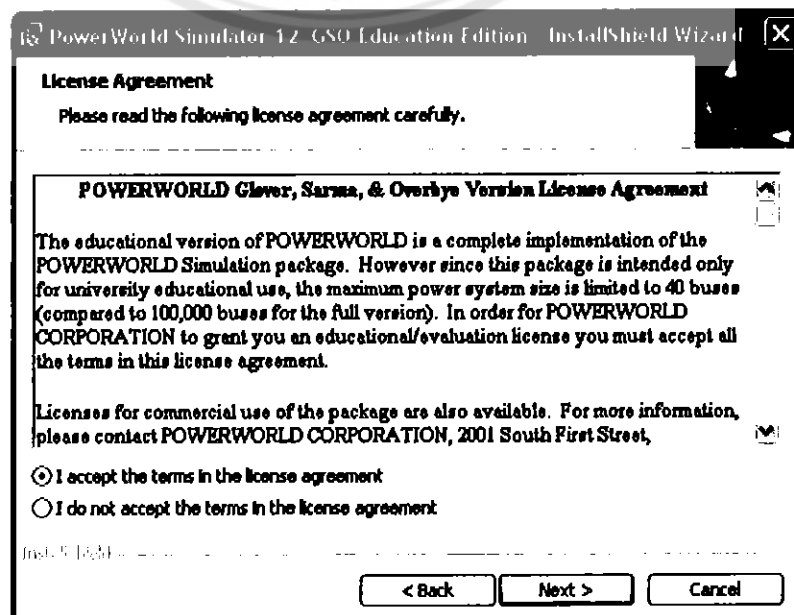


วิธีติดตั้งโปรแกรม PowerWorld

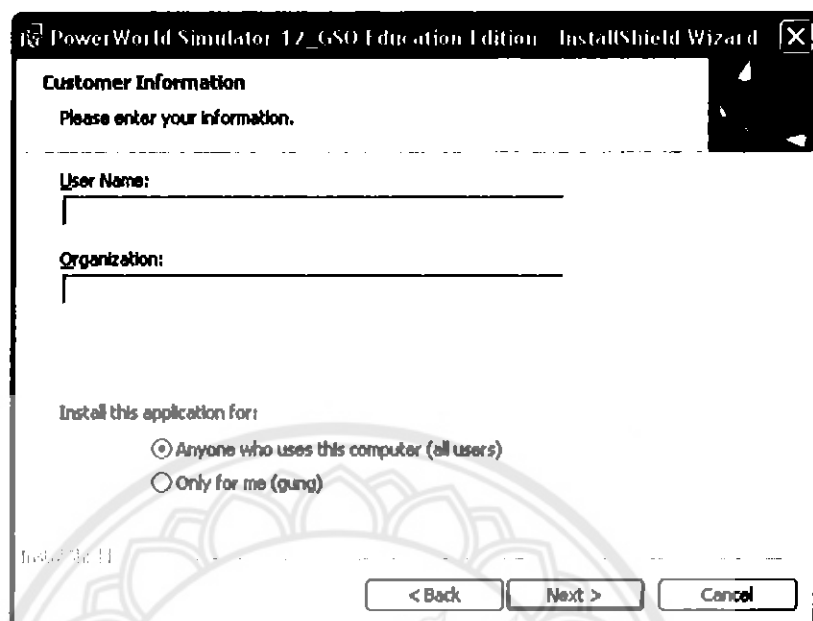
1. ใส่แผ่นโปรแกรม PowerWorld ที่ต้องการติดตั้งลงในเครื่องรอสักครู่โปรแกรมรันโดยอัตโนมัติ จากนั้นจะมีหน้าต่างขึ้นมา ถ้าหากใส่แผ่นโปรแกรมลงไปแล้วไม่รันอัตโนมัติให้กดเข้าไปที่ My Computer ค้างเบิ้ลคลิกตรง Disk ที่แผ่นโปรแกรมอยู่ จากนั้นให้กด Next



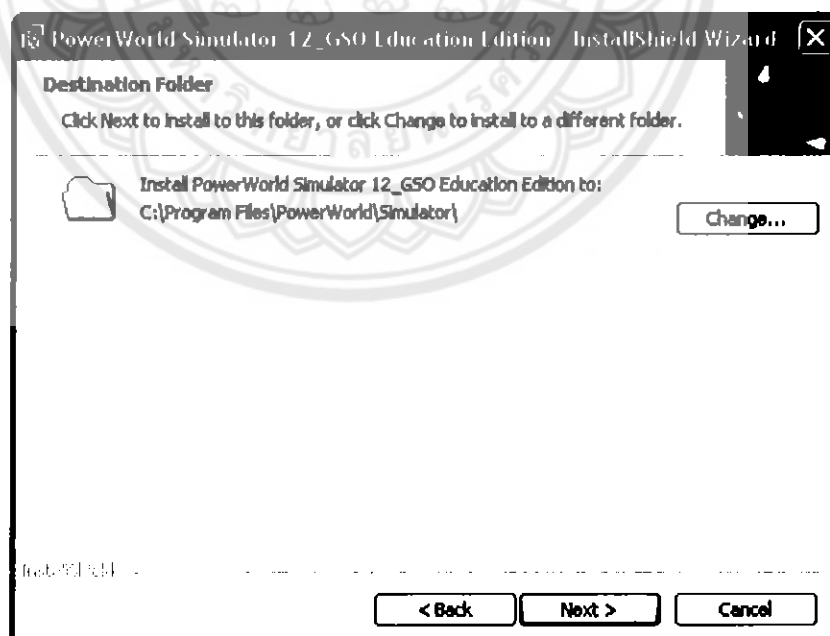
2. จะมีเงื่อนไขในการใช้โปรแกรม PowerWorld ให้กดเลือก I accept the terms in the license agreement แล้วกด Next เพื่อทำขั้นตอนต่อไป



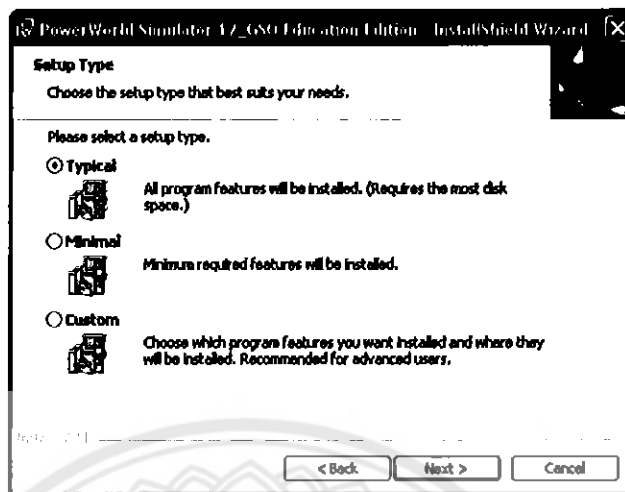
3. จากนั้นให้ใส่ User Name แล้วกด Next เพื่อทำขั้นตอนต่อไป



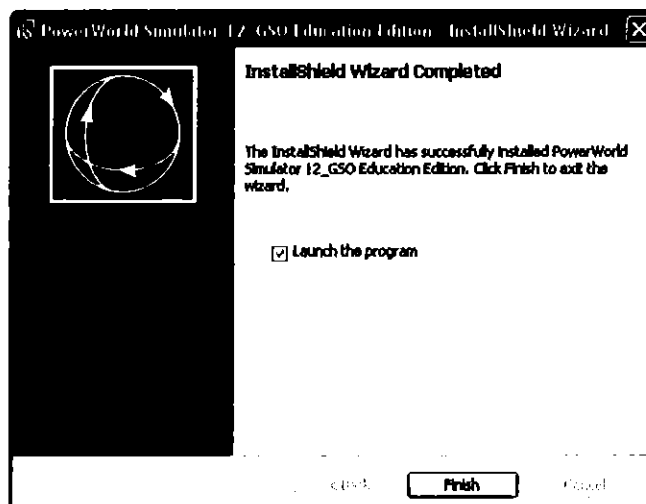
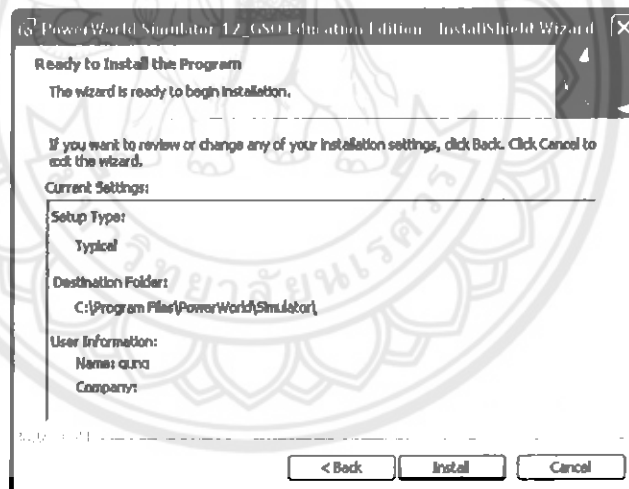
4. จากนั้นให้เลือกไฟล์ โปรแกรม PowerWorld ไปเก็บไว้ที่ที่เราต้องการจะเก็บแล้วกด Next เพื่อทำขั้นตอนต่อไป



5. จากนั้นให้เลือกวิธีติดตั้งแบบ Typical แล้วกด Next เพื่อทำขั้นตอนต่อไป

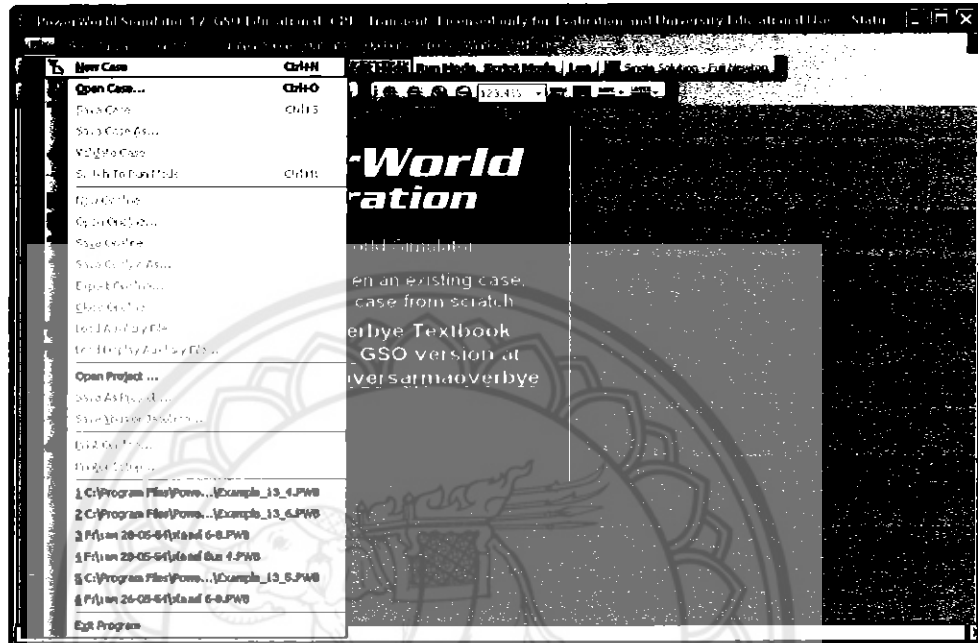


6. จากนั้นกด Install เพื่อติดตั้งโปรแกรม PowerWorld หลังจากนั้นให้รอกจนกระทั่งโปรแกรมลงเสร็จให้กด Finish เท่านั้นก็สามารถใช้โปรแกรม PowerWorld ได้ตามที่เรต้องการ

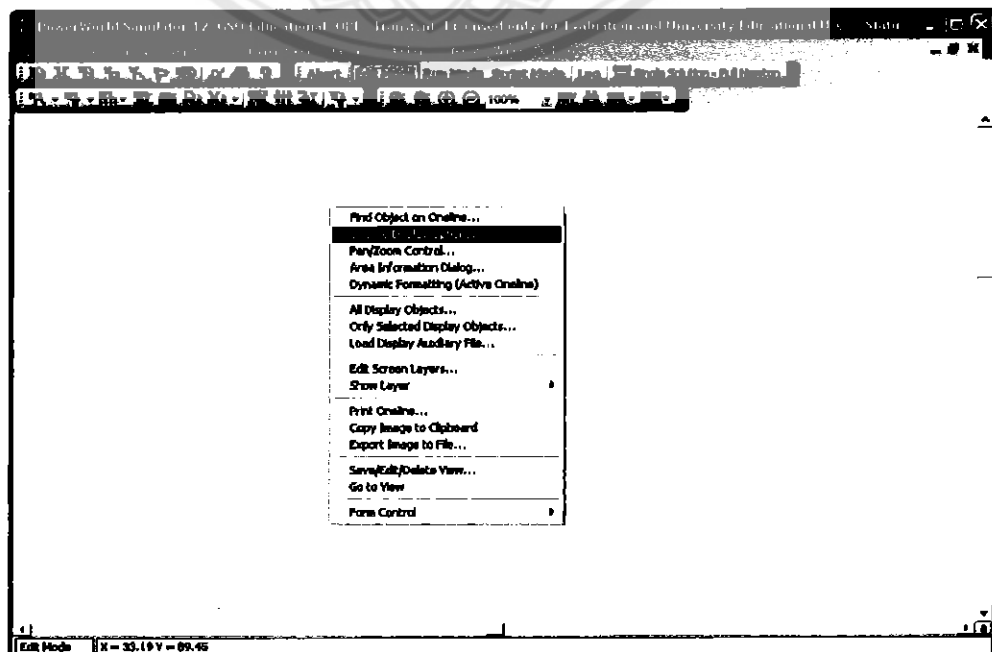


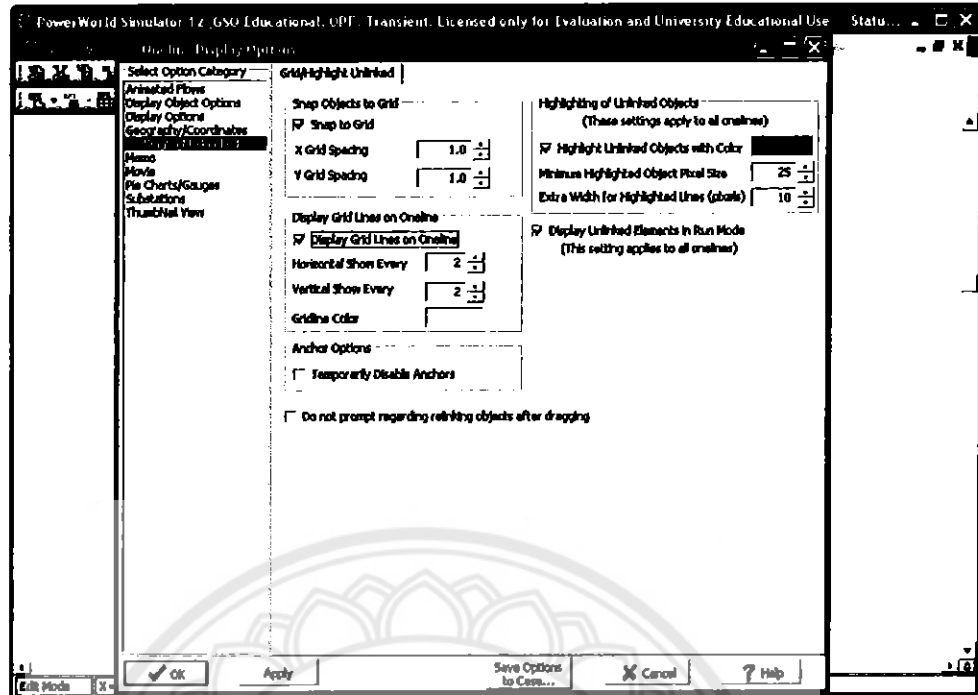
วิธีการออกแบบระบบไฟฟ้าในโปรแกรม PowerWorld

1. เปิดโปรแกรม PowerWorld ออกมา แล้วทำการสร้าง File ใหม่ โดยการไปที่ File → New Case
 ดังรูป

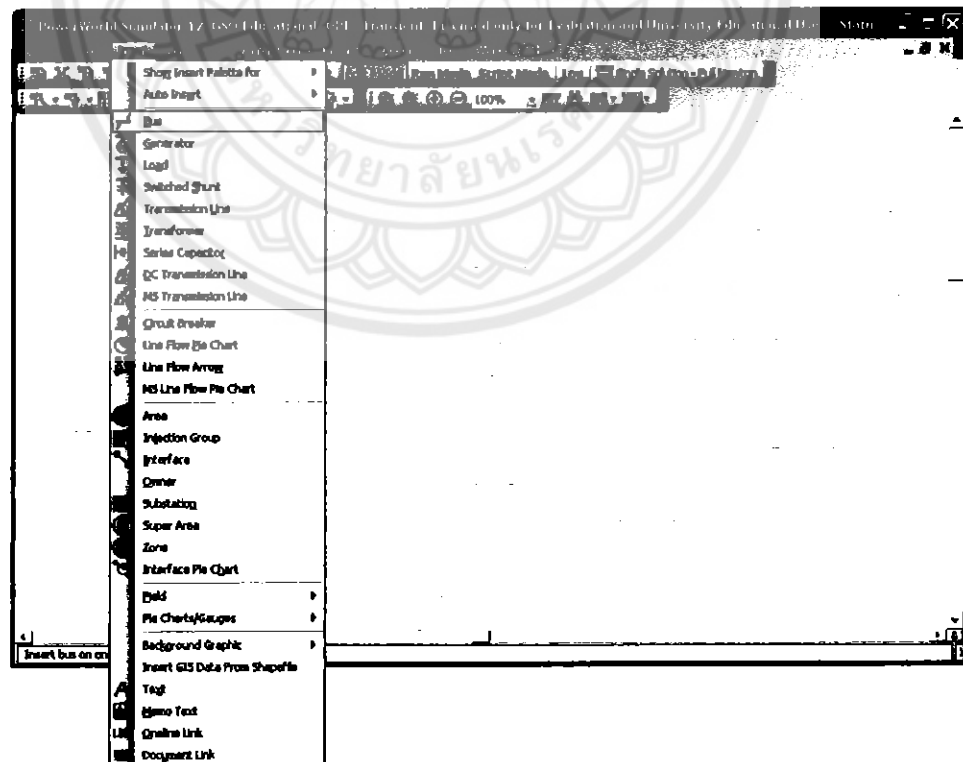


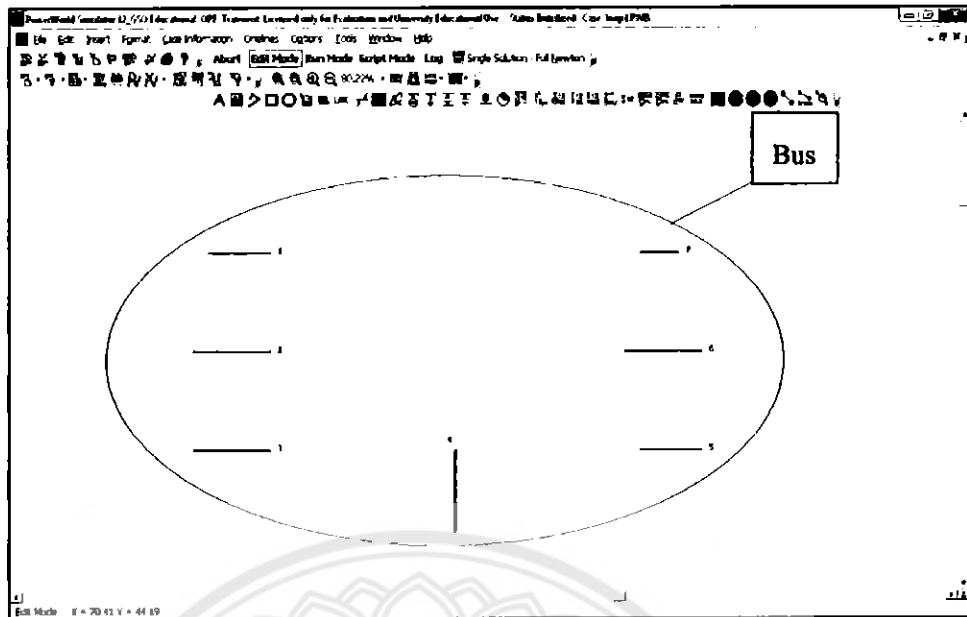
2. จากนั้นคลิกขวาที่กลางหน้ากระดาษ เพื่อสร้างตารางที่ให้ง่ายต่อการออกแบบ โดยคลิกขวา กด Online Display options → Greid/Highlight Unlinked จากนั้นทำการคลิกค่าตรง Display Grid Lines ดังรูป



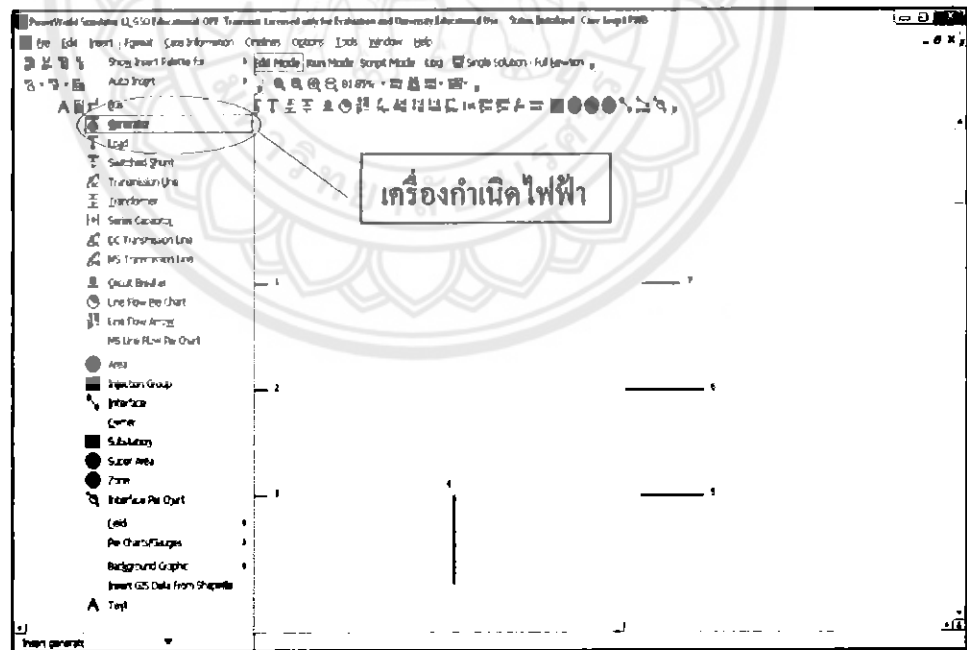


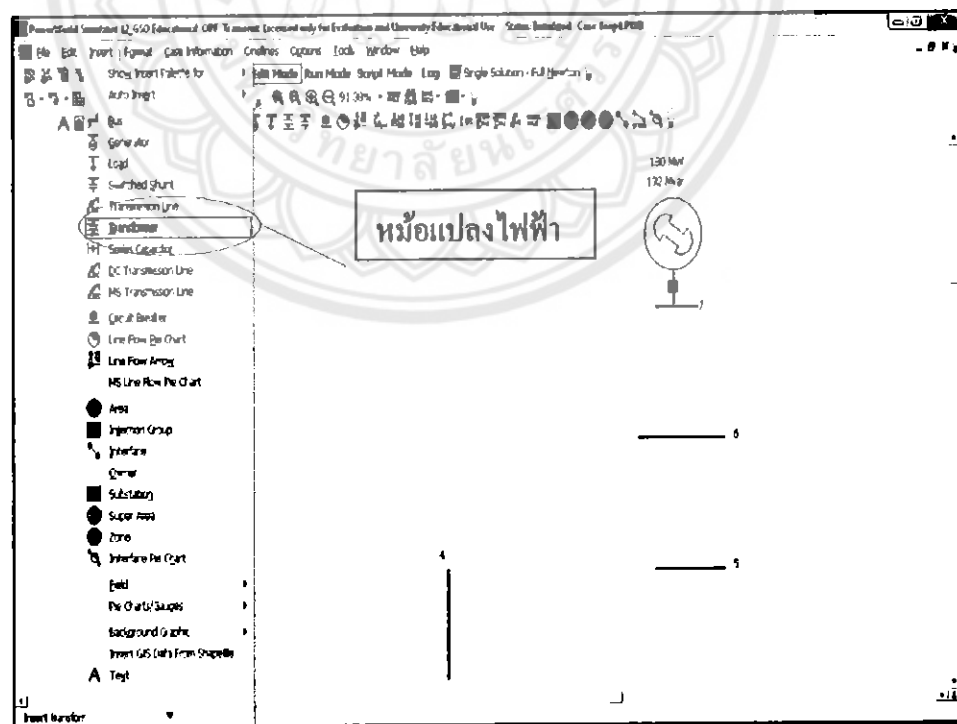
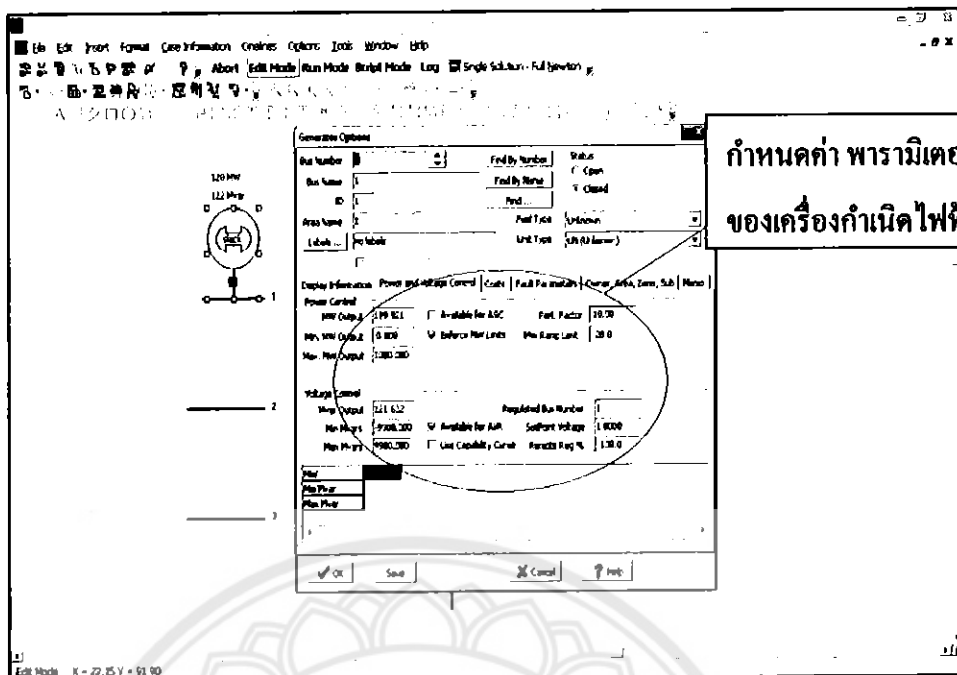
3. จากนั้นไปคลิกที่ Insert แล้วจะมีอุปกรณ์ต่างๆออกมา ให้เราเลือกสร้าง Bus มาเพื่อสร้างระบบ ตามที่ต้องการออกแบบผังรูป





4. จากนั้น ไปคลิกที่ Insert เราจะทำการวาดระบบ โดยการวาด เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า สายส่ง และ โหลด ขณะเดียวกันกำหนดค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์แต่ละตัวเข้าไปด้วยเมื่อทำการออกแบบเสร็จจะได้วงจรที่ต้องการ





กำหนดค่า พารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้า

Line	MW
Line A	100.000
Line B	1.000.000
Line C	0.000
Line D	0.000
Line E	0.000
Line F	0.000
Line G	0.000
Line H	0.000

โหนด

Load Option

Bus Number: 1
Bus Name: 120 kV
Label: 120 kV

Load Information

	Constant Power	Constant Current	Constant Impedance
MW Value	50,000	0.000	0.000
Mvar Value	30,000	0.000	0.000

กำหนดค่า พารามิเตอร์
ของโหลด

PowerWorld Simulator 2.050 Educational - CDF Treatment Licensed only for Evaluation and University Educational Use - Status: Enabled - Case: Single PWB

สายส่ง

180 MW
120 kV

50 MW
30 Mvar

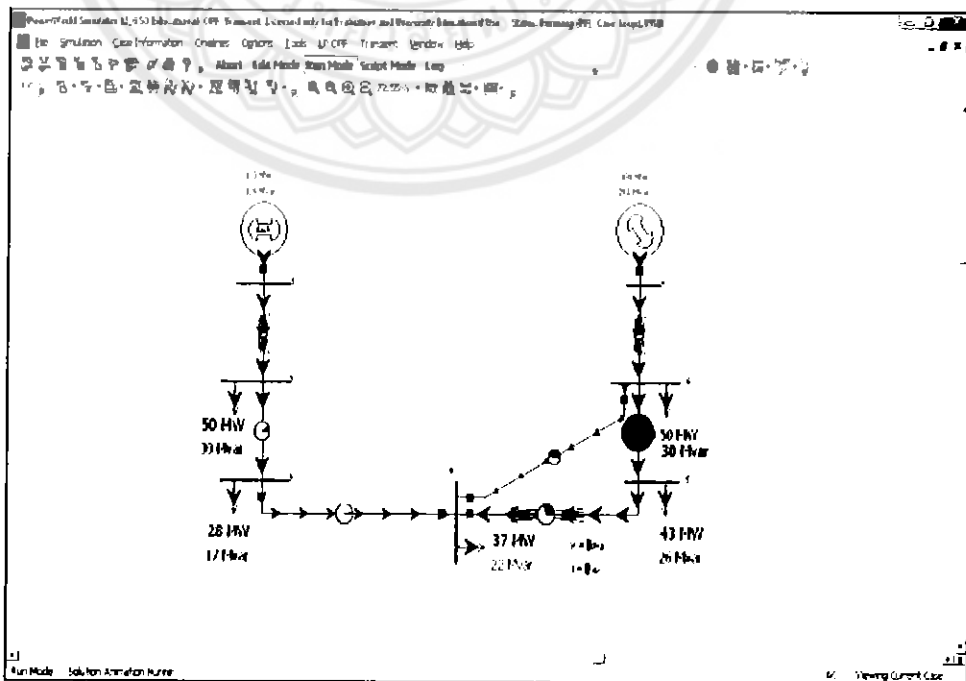
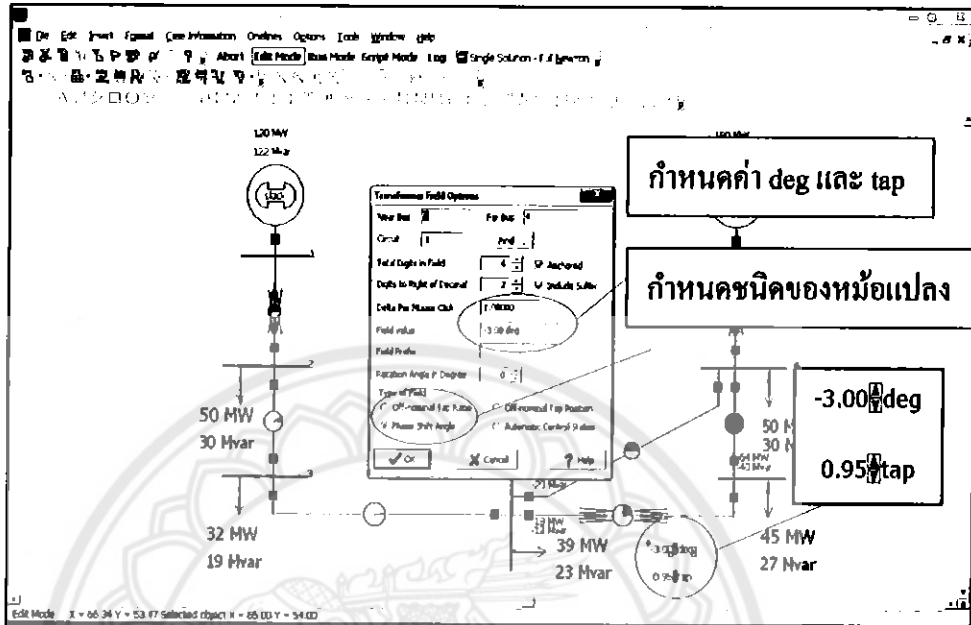
39 MW
23 Mvar

45 MW
27 Mvar

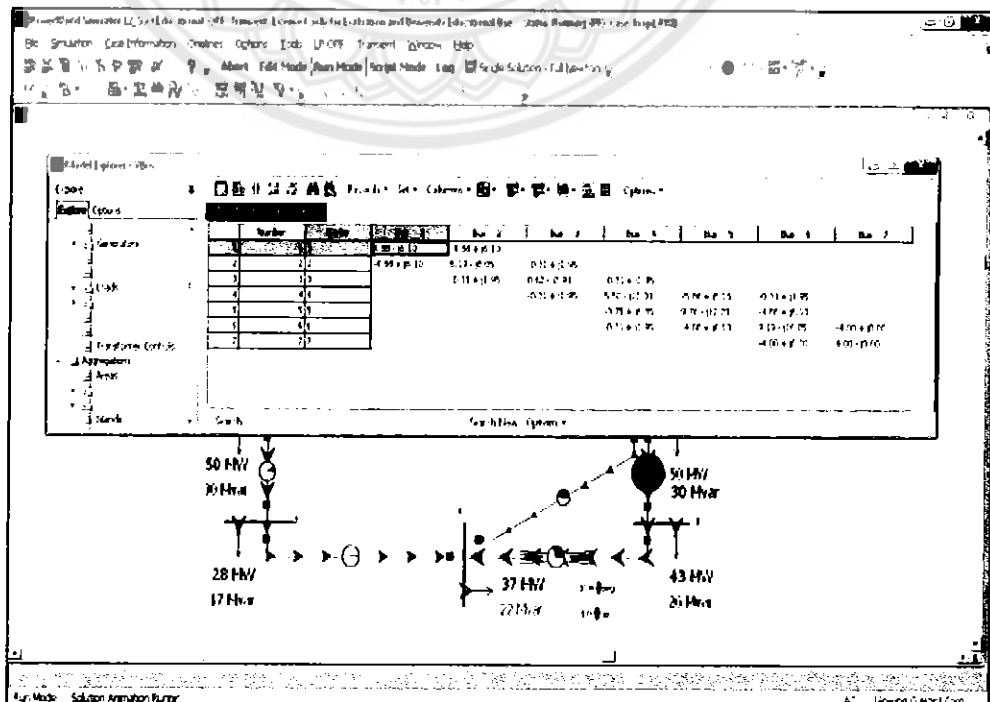
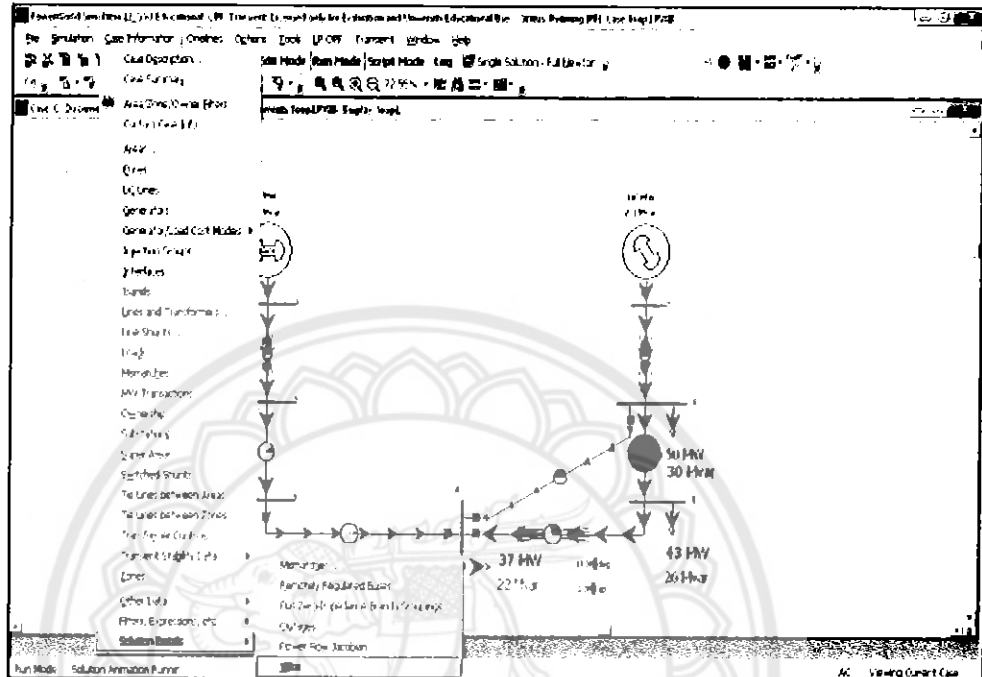
กำหนดค่า พารามิเตอร์ของสายส่ง

Parameter	Value
Series Resistance (R)	0.0000
Series Reactance (X)	0.5000
Shunt Capacitance (C)	0.0000
Shunt Conductance (G)	0.0000

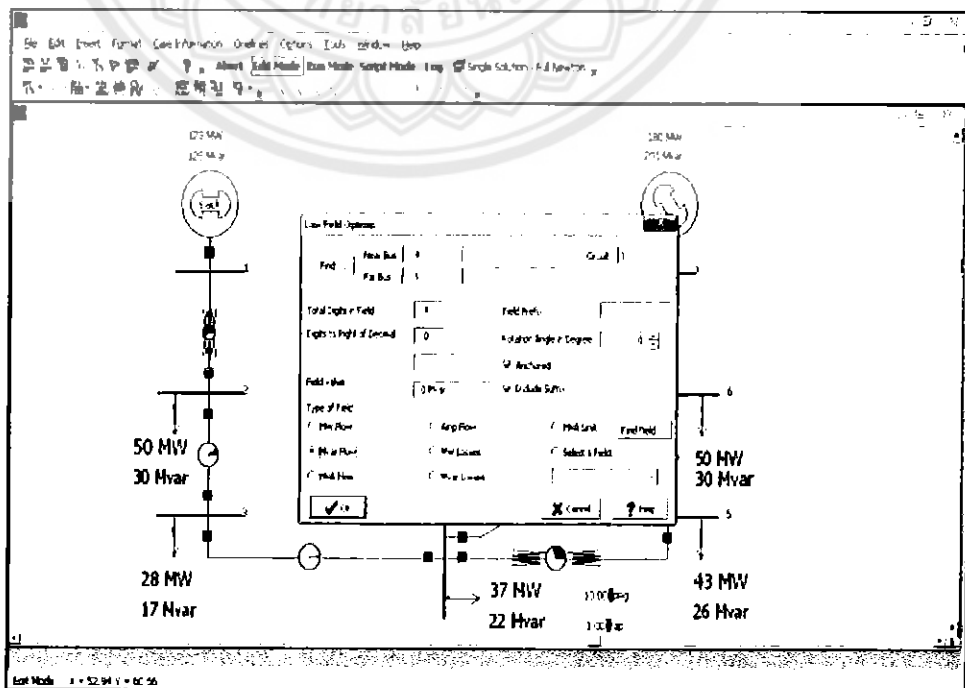
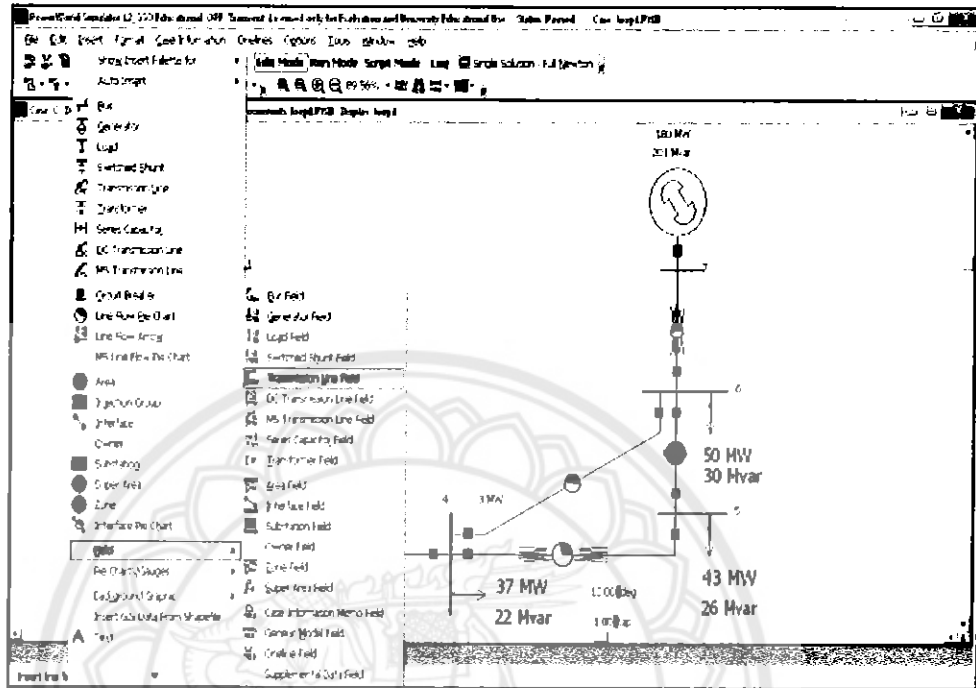
5. เมื่อออกแบบระบบเสร็จเราจะทำการกำหนดค่าแท็ปและค่ามุมเฟสของหม้อแปลง และทำการประมวลผลโปรแกรม ดังรูป



6. จากนั้นสามารถหาค่า Ybus จากการประมวลผลโปรแกรมโดยกรกด Case Description → Solution Details → YBUS ดังรูป



7. จากนั้นต้องการดูค่ากำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละสายโดยการกด Insert → Field → Transmission Line Field แล้วนำไปคลิกที่สายส่งเส้นที่เราต้องการดูค่ากำลังไฟฟ้าดังรูป



8. แล้วทำการประมวลผล โปรแกรมแล้วสามารถดูค่ากำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นได้ดังรูป

