

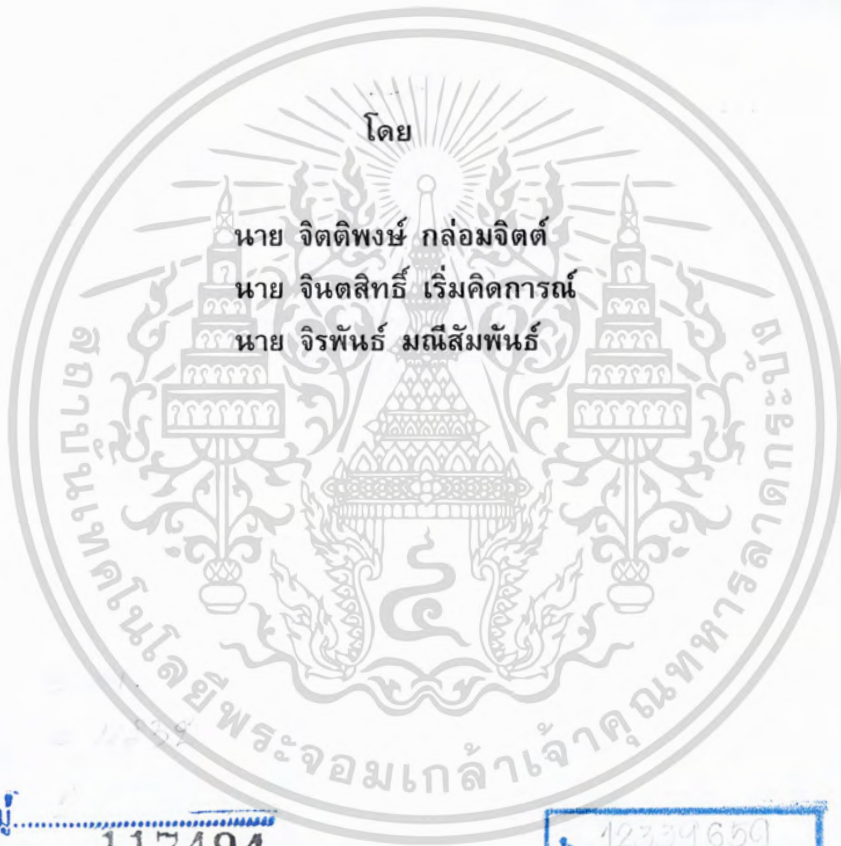
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชุดทดลองระบบส่งกำลังไฟฟ้า

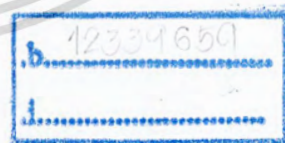
DEVELOPMENT OF ELECTRICAL POWER TRANSMISSION LINE
PRACTICE SET



T117494



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 117494
วัน,เดือน,ปี..... 5 ต.ค. 2554



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2553
ชุดทดลองระบบส่งกำลังไฟฟ้า
DEVELOPMENT OF ELECTRICAL POWER TRANSMISSION LINE
PRACTICE SET



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. อรรถพล เก่าพิทักษ์กุล
ผศ. ชายชาญ โพรธสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดทดลองระบบส่งกำลังไฟฟ้า

ผู้จัดทำ

1. นาย จิตติพงษ์ กล่อมจิตต์

2. นาย จินตสิทธิ์ เริ่มคิดการณ์

3. นาย จิรพันธ์ มณีสัมพันธ์



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรถพล เก่าพิทักษ์กุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชัยชาญ โภธิสาร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดทดลองระบบส่งกำลังไฟฟ้า

นาย จิตติพงษ์ กล่อมจิตต์

นาย จินตสิทธิ์ เริ่มคิดการณ์

นาย จิรพันธ์ มณีสมพันธ์

ผศ.ดร. อรรถพล เก่าพิทักษ์กุล อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ชายชาญ โปธิสาร อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

โครงการนี้ ได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้าแรงดันสูง (Transmission Line) ซึ่งแบ่งเป็นระยะสั้น ระยะกลาง ระยะไกล โดยมีการคิดค่าพารามิเตอร์ ที่ขึ้นกับรูปแบบเสาส่ง ขนาดตัวนำ ชนิดตัวนำ และการจัดเรียงตัวของสายส่ง เพื่อแปลงค่าที่ได้ให้อยู่ในรูปของระบบจำลองในวงจรสมมูลย์แบบพาย (π) และวงจรสมมูลย์แบบที (T) ที่สามารถนำมาทดลองในห้องปฏิบัติการทางไฟฟ้าโดยไม่เกิดอันตรายและนำมาวิเคราะห์พฤติกรรมต่าง ๆ รวมทั้งนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณทางทฤษฎีเพื่อนำมาพัฒนาชุดทดลองระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาการส่งกำลังไฟฟ้าในอนาคต

DEVELOPMENT OF ELECTRICAL POWER TRANSMISSION LINE
PRACTICE SET

Jittiphong Klomjit

Jintasit Rumkidgran

Chiraphan Maneesumphan

Asst. Prof. Dr. Atthapol Ngaopitakkul Supervisor

Asst.Prof.Chaichan Pothisarn Supervisor

2010

Abstract

This project proposed practice set for electrical power transmission system which is divided into short-line model, medium-line model and long-line model. Calculation the parameters depend on transmission towers, conductor size, and collocate of transmission line which can be converted to the model system of π – model and T – model. This transmission line model can be used in electrical laboratory. In addition the calculated results compared to the theoretical analysis for solving the problem. There will lead to solve the problem in real electricity transmission system which will be useful for power transmission development in the future.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำโครงการรู้สึกซาบซึ้งต่อความกรุณาที่ ผศ.ดร. อรรถพล เก่าพิทักษ์กุล และ ผศ. ชัยชาญ โภธิสาร อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำ ตลอดจนอาจารย์ในภาควิชาที่ประสิทธิประสาทความรู้ให้กับผู้จัดทำในครั้งนี้ ถ้าปราศจากท่านโครงการนี้ก็คงไม่สำเร็จลุล่วงไปได้

นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ คุณนครศักดิ์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้เบิกใช้เครื่องมือ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกใบเสร็จของโครงการ และผู้จัดทำต้องขอขอบคุณเพื่อนร่วมห้องปฏิบัติการ (Lab) ที่คอยเอาใจใส่คอยถามไถ่ตลอดเวลา

ท้ายที่สุดนี้ ผู้จัดทำต้องขอกราบขอพระคุณบิดา มารดา ที่คอยส่งเสียเงินทองให้ผู้จัดทำเรียนหนังสือจนจบในครั้งนี้



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	VI
สารบัญตาราง.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ.....	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ.....	3
1.5 แผนการดำเนินโครงการ.....	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	4
1.6 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานินทร์.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีการคำนวณ.....	5
2.1 ความต้านทานไฟฟ้า.....	6
2.2 ความเหนี่ยวนำไฟฟ้า.....	6
2.2.1 ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าของสายส่ง 3 เฟส.....	8
2.2.2 สายส่งตัวนำควบ.....	9
2.3 ความจุไฟฟ้า.....	10
2.3.1 ค่าความจุไฟฟ้าของสายส่งสามเฟส ซึ่งมีระยะห่างระหว่างเฟสสมมาตร....	11
2.4 กระแสและแรงดันในสายส่ง.....	14
2.5 ปริมาณเพอร์ยูนิต.....	17
บทที่ 3 การออกแบบการจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้า.....	18
3.1 การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบจำลอง.....	19
3.2 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบ.....	20
3.3 การป้องกันระบบ.....	21
3.4 มิเตอร์วัดไฟฟ้า.....	21
3.5 วงจรจำลองสายส่งกำลังไฟฟ้า.....	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1	การออกแบบความต้านทานไฟฟ้า(R)	22
3.5.2	การออกแบบตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า(L).....	23
3.5.3	การออกแบบตัวเก็บประจุไฟฟ้า(C).....	23
3.6	โหลดของระบบส่งกำลังไฟฟ้า.....	24
3.7	ชุดจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้า.....	25
3.8	แสดงค่าพารามิเตอร์ในระบบไฟฟ้าทั้งระบบจริงและระบบจำลอง26	
บทที่ 4	ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง	28
4.1	วงจรสายส่งระยะสั้น.....	28
4.2	วงจรสายส่งระยะกลาง	41
4.2.1	วงจรสมมูลระยะกลางแบบพาย.....	41
4.2.2	วงจรสมมูลระยะกลางแบบที.....	54
4.3	วงจรสายส่งระยะไกล	67
4.3.1	วงจรสมมูลระยะไกลแบบพาย.....	67
4.3.2	วงจรสมมูลระยะไกลแบบที.....	80
บทที่ 5	สรุปและข้อเสนอแนะ.....	93
เอกสารอ้างอิง.....		95
ภาคผนวก		96
ประวัติผู้เขียน		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แสดงชุดทดลองระบบส่งกำลังไฟฟ้าจากต่างประเทศ	1
2.1 แสดงพารามิเตอร์ของสายส่งกำลังไฟฟ้า	5
2.2 แสดงทิศทางการแพร่ไฟฟ้าในวงจรหนึ่งเฟส	7
2.3 แสดงการสลับสายตัวนำของสายส่งกำลังไฟฟ้า 3 เฟส	8
2.4 แสดงการจัดวางสายตัวนำแบบควบ	9
2.5 แสดงสายตัวนำตัน 2 เส้น ของสายส่งหนึ่งเฟส ซึ่งวางขนานกัน	10
2.6 แสดงการสลับสายที่สมบูรณ์ของสายส่งกำลังไฟฟ้า 3 เฟส	12
2.7 วงจรสมมูลย์ของสายส่งระยะไกล	15
2.8 วงจรสมมูลย์ของสายส่งระยะปานกลางแบบ π	15
2.9 วงจรสมมูลย์ของสายส่งระยะปานกลางแบบ T	16
2.10 วงจรสมมูลย์ของสายส่งระยะไกลแบบ π	17
3.1 สายส่งกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้า 500 kV แม่เมาะ – ท่าตะโก	18
3.2 สายส่งกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้า 500 kV ท่าตะโก – หนองจอก	18
3.3 สายส่งกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้า 230 kV บ้านโป่ง – ไทรน้อย	19
3.4 การต่อวงจรการจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้า	20
3.5 หม้อแปลงปรับค่าได้ 3 Phase 420 V _{ac} 30 A	20
3.6 มิเตอร์วัดปริมาณทางไฟฟ้าในชุดการจำลอง	21
3.7 มิเตอร์วัดปริมาณทางไฟฟ้า	21
3.8 ตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ แบบไวร์วาวด์ (Wire Wound) 50 W	22
3.9 ตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้าพิกัดกระแสไฟฟ้า 5 A	23
3.10 ตัวเก็บประจุไฟฟ้าพิกัดแรงดันไฟฟ้า 400 V \pm 5 %	24
3.11 โหลดของระบบที่ใช้ในการทดลอง	25
3.12 โครงสร้างการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆในการจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้า	25
3.13 การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆลงบนแผงจำลอง	26
4.1 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะสั้นฝั่งส่ง จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	29
4.2 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะสั้นฝั่งส่ง จากชุดทดลอง	29
4.3 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะสั้นฝั่งรับ จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	30
4.4 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะสั้นฝั่งรับ จากชุดทดลอง	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ(ต่อ)

4.5	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะสั้นฝั่งส่ง จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	32
4.6	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะสั้นฝั่งส่ง จากชุดทดลอง	32
4.7	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะสั้นฝั่งรับ จากการsimulation.....	33
4.8	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะสั้นฝั่งรับ จากการทดลอง	33
4.9	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะสั้นฝั่งส่ง จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	35
4.10	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะสั้นฝั่งส่ง จากชุดทดลอง	35
4.11	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะสั้นฝั่งรับ จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	36
4.12	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะสั้นฝั่งรับ จากการทดลอง	36
4.13	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะสั้นฝั่งส่ง จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	38
4.14	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะสั้นฝั่งส่ง จากชุดทดลอง	38
4.15	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะสั้นฝั่งรับ จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	39
4.16	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะสั้นฝั่งรับ จากการทดลอง	39
4.17	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่ง จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	42
4.18	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่ง จากการทดลอง	42
4.19	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับ จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	43
4.20	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับ จากการทดลอง	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ(ต่อ)

4.21	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่ง จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	45
4.22	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่ง จากการทดลอง	45
4.23	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับ จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	46
4.24	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับ จากการทดลอง	46
4.25	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่ง จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	48
4.26	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่ง จากการทดลอง	48
4.27	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับ จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	49
4.28	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับ จากการทดลอง	49
4.29	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่ง จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	51
4.30	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่ง จากการทดลอง	51
4.31	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับ จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	52
4.32	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับ จากการทดลอง	52
4.33	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่ง จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	55
4.34	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่ง จากการทดลอง	55
4.35	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับ จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	56
4.36	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับ จากการทดลอง	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติให้นำไปเผยแพร่ชนด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

4.37	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่ง จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	58
4.38	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่ง จากการทดลอง.....	58
4.39	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับ จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	59
4.40	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับ จากการทดลอง.....	59
4.41	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่ง จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	61
4.42	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่ง จากการทดลอง.....	61
4.43	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับ จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	62
4.44	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับ จากการทดลอง.....	62
4.45	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่ง จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	64
4.46	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่ง จากการทดลอง.....	64
4.47	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับ จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	65
4.48	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับ จากการทดลอง.....	65
4.49	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่ง จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	68
4.50	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่ง จากการทดลอง.....	68
4.51	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับ จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	69
4.52	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับ จากการทดลอง.....	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

4.53	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่ง จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	71
4.54	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่ง จากการทดลอง	71
4.55	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับ จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	72
4.56	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับ จากการทดลอง	72
4.57	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่ง จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	74
4.58	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่ง จากการทดลอง	74
4.59	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับ จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	75
4.60	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับ จากการทดลอง	75
4.61	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่ง จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	77
4.62	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่ง จากการทดลอง	77
4.63	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับ จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	78
4.64	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับ จากการทดลอง	78
4.65	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่ง จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	81
4.66	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่ง จากการทดลอง	81
4.67	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับ จากการจำลองด้วยโปรแกรม	82
4.68	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับ จากการทดลอง	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

4.69	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่ง จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	84
4.70	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่ง จากการทดลอง.....	84
4.71	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับ จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	85
4.72	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับ จากการทดลอง.....	85
4.73	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่ง จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	87
4.74	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่ง จากการทดลอง.....	87
4.75	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับ จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	88
4.76	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับ จากการทดลอง.....	88
4.77	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่ง จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	90
4.78	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่ง จากการทดลอง.....	90
4.79	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับ จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	91
4.80	แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับ จากการทดลอง.....	91

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินโครงการ.....	3
3.1 แสดงค่าเพอร์ยูนิตระบบจริงและค่าที่ติดตั้งในชุดทดลองของระยะใกล้.....	26
3.2 แสดงค่าเพอร์ยูนิตระบบจริงและค่าที่ติดตั้งในชุดทดลองของระยะกลาง.....	27
3.2 แสดงค่าเพอร์ยูนิตระบบจริงและค่าที่ติดตั้งในชุดทดลองของระยะใกล้.....	27
4.1 เพอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะสั้นด้านส่ง (โหลด 50%).....	29
4.2 เพอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะสั้นด้านรับ (โหลด 50%).....	30
4.3 เพอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะสั้นด้านส่ง (โหลด 100%).....	32
4.4 เพอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะสั้นด้านรับ (โหลด 100%).....	33
4.5 เพอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะสั้นด้านส่ง (โหลด 150%).....	35
4.6 เพอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะสั้นด้านรับ (โหลด 150%).....	36
4.7 เพอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะสั้นด้านส่ง (โหลด R-L).....	38
4.8 เพอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะสั้นด้านรับ (โหลด R-L).....	39
4.9 เพอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะกลางด้านส่ง (โหลด 50%).....	42
4.10 เพอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะกลางด้านรับ (โหลด 50%).....	43
4.11 เพอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะกลางด้านส่ง (โหลด 100%).....	45
4.12 เพอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะกลางด้านรับ (โหลด 100%).....	46
4.13 เพอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะกลางด้านส่ง (โหลด 150%).....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

4.14	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง ของสายส่งระยะกลางด้านรับ (โหลด 150%)	49
4.15	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง ของสายส่งระยะกลางด้านส่ง (โหลด R-L)	51
4.16	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง ของสายส่งระยะกลางด้านรับ (โหลด R-L)	52
4.17	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง ของสายส่งระยะกลางด้านส่ง (โหลด 50%).....	55
4.18	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง ของสายส่งระยะกลางด้านรับ (โหลด 50%)	56
4.19	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง ของสายส่งระยะกลางด้านส่ง (โหลด 100%).....	58
4.20	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง ของสายส่งระยะกลางด้านรับ (โหลด 100%)	59
4.21	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง ของสายส่งระยะกลางด้านส่ง (โหลด 150%).....	61
4.22	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง ของสายส่งระยะกลางด้านรับ (โหลด 150%)	62
4.23	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง ของสายส่งระยะกลางด้านส่ง (โหลด R-L)	64
4.24	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง ของสายส่งระยะกลางด้านรับ (โหลด R-L).....	65
4.25	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง ของสายส่งระยะไกลด้านส่ง (โหลด 50%).....	68
4.26	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง ของสายส่งระยะไกลด้านรับ (โหลด 50%)	69
4.27	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง ของสายส่งระยะไกลด้านส่ง (โหลด 100%).....	71
4.28	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง ของสายส่งระยะไกลด้านรับ (โหลด 100%)	72
4.29	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง ของสายส่งระยะไกลด้านส่ง (โหลด150%).....	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

4.30	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง ของสายส่งระยะไกลด้านรับ (โหลด 150%)	75
4.31	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง ของสายส่งระยะไกลด้านส่ง (โหลด R-L)	77
4.32	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง ของสายส่งระยะไกลด้านรับ (โหลด R-L).....	78
4.33	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง ของสายส่งระยะไกลด้านส่ง (โหลด 50%).....	81
4.34	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง ของสายส่งระยะไกลด้านรับ (โหลด 50%)	82
4.35	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง ของสายส่งระยะไกลด้านส่ง (โหลด 100%).....	84
4.36	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง ของสายส่งระยะไกลด้านรับ (โหลด 100%)	85
4.37	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง ของสายส่งระยะไกลด้านส่ง (โหลด150%).....	87
4.38	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง ของสายส่งระยะไกลด้านรับ (โหลด 150%)	88
4.39	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง ของสายส่งระยะไกลด้านส่ง (โหลด R-L)	90
4.40	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง ของสายส่งระยะไกลด้านรับ (โหลด R-L).....	91

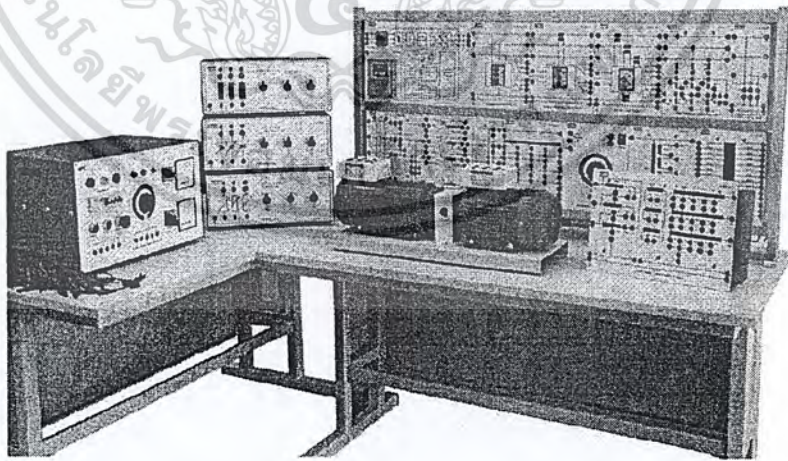
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

แหล่งผลิตไฟฟ้ามักจะตั้งอยู่ห่างไกลจากแหล่งใช้งาน เพื่อลดการสูญเสียภายในสายส่งไฟฟ้าที่มีระยะทางไกลให้น้อยลงจึงทำการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าด้วยหม้อแปลงไฟฟ้า สำหรับสายส่งไฟฟ้าแรงดันสูงของประเทศไทย ประกอบด้วยแรงดันระดับต่างๆ คือ ขนาดแรงดันไฟฟ้า 69, 115, 230 กิโลโวลต์ และ ขนาดแรงดันไฟฟ้าสูงพิเศษ 500 กิโลโวลต์ ซึ่งการส่งกำลังไฟฟ้าโดยใช้แรงดันไฟฟ้าสูงๆ จะต้องทำการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านทางสายส่งกำลังไฟฟ้าเท่านั้น ด้วยเหตุนี้สายส่งกำลังไฟฟ้าจึงมีความสำคัญต่อระบบส่งกำลังไฟฟ้าเป็นอย่างมาก

สำหรับการศึกษาหรือการจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้าในประเทศไทยส่วนมากมีการศึกษาระบบสายส่งกำลังไฟฟ้าแรงดันสูงในรูปแบบการจำลองทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งอาจทำให้ไม่เห็นพฤติกรรมของระบบอย่างชัดเจนหรือใช้ชุดทดลองจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูงไม่คุ้มค่ากับการลงทุนและพารามิเตอร์ต่างๆ ของต่างประเทศก็ไม่เหมาะสมหรือไม่ตรงกับประเทศไทย เช่น ความถี่ รูปแบบการจัดเรียงตัวหน้าของสายส่งกำลังไฟฟ้า และอุณหภูมิ เป็นต้น รวมทั้งชุดทดลองจากต่างประเทศส่วนมากเป็นการจำลองวงจรสมมูลย์แบบพายจึงไม่มีการเปรียบเทียบการจำลองวงจรสมมูลย์แบบพายกับแบบที่ แต่ข้อดีของชุดทดลองของต่างประเทศคือ สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการจำลองได้ (พารามิเตอร์ต่างๆจะมีราคาสูง) และทำการทดลองที่แรงดันไฟฟ้าต่ำ (380V) ชุดทดลองระบบส่งกำลังไฟฟ้าจากต่างประเทศแสดงไว้ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ชุดทดลองระบบส่งกำลังไฟฟ้าจากต่างประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อจำกัดต่างๆ ของชุดทดลองจากต่างประเทศ โครงการนี้จึงได้ทำการศึกษาและจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้าเพื่อให้สอดคล้องกับการระบบส่งกำลังไฟฟ้าในประเทศไทย ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบส่งกำลังไฟฟ้าจริงได้ โดยเป็นการจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้าจากระบบสายส่งของการไฟฟ้าฯ ในประเทศไทยมาเป็นชุดลงในห้องปฏิบัติการซึ่งแบ่งเป็นการจำลองสายส่งระยะสั้น ระยะกลาง และระยะไกล โดยมีแนวคิดในการจำลองระบบสายส่งกำลังไฟฟ้าแรงดันสูงให้สามารถนำมาทดลองได้ในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำในห้องปฏิบัติการ (400V) เพื่อให้ทำการทดลองได้อย่างปลอดภัยและไม่มีอันตรายกับผู้ทดลองและสามารถทำการทดลองเปรียบเทียบการจำลองวงจรสมมุติแบบพายกับแบบที่ได้ด้วย โดยให้ค่าเพอร์ยูนิตในชุดทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าเพอร์ยูนิตของการไฟฟ้า เพื่อให้ค่าที่ได้ใกล้เคียงระบบจริงมากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในระบบสายส่งกำลังไฟฟ้าแรงดันสูงโดยการใช้แบบจำลอง เพื่อเทียบค่ากลับไปหาค่าในระบบจริงต่อไป
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบเมื่อต่อวงจรกำลังไฟฟ้าแบบพาย (π) และวงจรแบบที (T)
3. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองและผลที่ได้จากคำนวณ

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1. โครงการนี้จะทำการจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้า โดยแบ่งเป็น ระยะสั้น ระยะกลาง และระยะไกล และจำลองระบบสายส่งที่เป็นสายส่งเหนือศีรษะ (Overhead) เท่านั้นซึ่งรายละเอียดมีดังต่อไปนี้

ระยะไกล เลือกจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้า โรงไฟฟ้าแม่เมาะ (ลำปาง) ถึง สถานีไฟฟ้าท่าตะโก (นครสวรรค์) ระยะทาง 325.6 กิโลเมตร (base 500kV, 100MVA)

ระยะกลาง เลือกจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้า สถานีไฟฟ้าท่าตะโก(นครสวรรค์) ถึง สถานีไฟฟ้าหนองจอก (กรุงเทพ) ระยะทาง 207.6 กิโลเมตร (base 500kV, 100MVA)

ระยะสั้น เลือกจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้า สถานีไฟฟ้าบ้านโป่ง (ราชบุรี) ถึง สถานีไฟฟ้าไทรน้อย (นนทบุรี) ระยะทาง 53.87 กิโลเมตร (base 230kV, 100MVA)

2. การจำลองและศึกษาระบบส่งกำลังไฟฟ้านี้เป็นการจำลองต้นแบบเป็นการจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้าเฉพาะสายส่งกำลังไฟฟ้าเหนือศีรษะเท่านั้นและไม่ได้มีการจำลองหรือศึกษาเรื่องการฟอลต์ของระบบ

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1. คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในระบบจำลองให้มีค่าใกล้เคียงกับระบบของการไฟฟ้าในรูปของค่าเพอร์ยูนิต
2. ออกแบบและสร้างระบบจำลองส่งกำลังไฟฟ้า 3 เฟส ในรูปวงจรมุมแบบพาย และวงจรมุมแบบที่ โดยแบ่งการจำลองเป็น ระยะสั้น ระยะกลาง และระยะไกล
3. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองและผลที่ได้จากการคำนวณ

1.5 แผนการดำเนินโครงการ

โครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาและจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้าเบื้องต้นโดยมีระยะเวลาในการดำเนินโครงการ 2 เทอม ซึ่งสามารถแบ่งการดำเนินได้ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินการโครงการ

การดำเนินงาน	ม.ย. 2553	ก.ค. 2553	ส.ค. 2553	ก.ย. 2553	ต.ค. 2553	พ.ย. 2553	ธ.ค. 2553	ม.ค. 2554
1. ศึกษาหัวข้อโครงการ	←.....→ ↔							
2. ศึกษาทฤษฎีการคำนวณ หาค่าพารามิเตอร์	←.....→ ↔							
3. จัดหาอุปกรณ์และทำการ ทดลองวงจร 1 เฟส ตามที่ ได้ คำนวณมา		←.....→ ↔						
4. วิเคราะห์ผลการทดลอง				←.....→ ↔				
5. สรุปผลการทดลองเบื้องต้น				←.....→ ↔				
6. ทำการทดลองวงจร 3 เฟส					←.....→ ↔			
7. วิเคราะห์ผลการทดลองและ เปรียบเทียบกับผลการจำลอง ทางคอมพิวเตอร์						←.....→ ↔		
8. สรุปผลและนำเสนอวิธีการ								←.....→ ↔

←.....→ : แผนงานที่วางไว้

↔ : แผนงานที่ทำได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

โครงการวิจัยและพัฒนาเรื่องนี้เป็นการค้นหาวิธีการจำลองระบบสายส่งกำลังไฟฟ้าแรงดันสูง ให้สามารถนำมาทดลองได้ในระดับไฟฟ้าแรงดันต่ำในห้องปฏิบัติการ เพื่อทำการศึกษาวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณทางไฟฟ้าและปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้น เพื่อนำไปสู่ความเข้าใจในการศึกษาที่ระดับไฟฟ้าแรงดันสูงๆ ซึ่งไม่สามารถที่จะทดลองได้ในห้องปฏิบัติการได้และสามารถนำมาทดลองในห้องปฏิบัติการทางไฟฟ้าโดยไม่เกิดอันตรายเพื่อนำมาวิเคราะห์พฤติกรรมต่างๆ รวมทั้งนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับการคำนวณทางทฤษฎีเพื่อนำมาพัฒนาชุดทดลองระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาการส่งกำลังไฟฟ้าในอนาคต

1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์

บทที่ 1 เป็นการกล่าวเกี่ยวกับบทนำของโครงการที่ปฏิบัติโดยได้กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของโครงการเกี่ยวกับระบบส่งกำลังไฟฟ้า รวมทั้งยังกล่าวถึงขอบเขตของโครงการ และประโยชน์ที่ได้จากโครงการนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวกับสายส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission Line) โดยเป็นทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณเพื่อแปลงค่าพารามิเตอร์ ความต้านทาน (R) ความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L) และความจุไฟฟ้า (C) จากสายส่งกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้า มาเป็นพารามิเตอร์ในระบบจำลอง โดยใช้อัตราส่วนเพอร์ยูนิต (Per Unit)

บทที่ 3 เป็นการกล่าวเกี่ยวกับการออกแบบการจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้า ซึ่งเป็นการอธิบายถึงขั้นตอนต่างๆ ในการคิดหาพารามิเตอร์สายส่งกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้า และแปลงมาเป็นพารามิเตอร์ในระบบจำลอง โดยใช้ทฤษฎีในบทที่ 2 มาประกอบกับการคำนวณ รวมทั้งอธิบายการออกแบบระบบจำลองติดตั้งเครื่องมือวัด และออกแบบโหลดของระบบจำลอง

บทที่ 4 จะแสดงถึงผลการทดลองที่ได้ทำการทดลองจากชุดจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้าที่ได้ทำการแปลงมาจากการไฟฟ้า และนำมาเปรียบเทียบกับผลการจำลองโดยใช้โปรแกรม ATP / EMTP เพื่อหาค่าความผิดพลาดดังกล่าว และยังมีการใช้ข้อซิลิโคนโคปตรวจวัดความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าและรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าด้วย

บทที่ 5 เป็นการสรุปผลการจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้าและข้อเสนอแนะในการปรับปรุงชุดจำลองระบบส่งไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

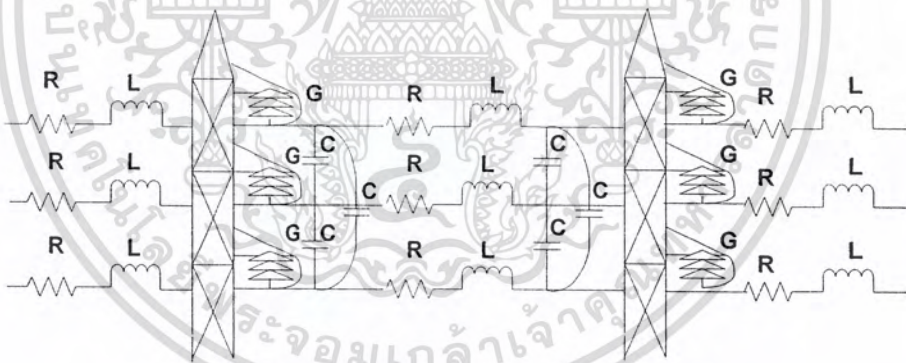
บทที่ 2

ทฤษฎีการคำนวณ

สายส่งกำลังไฟฟ้าจะมีค่าพารามิเตอร์ทั้งหมด 4 ค่าซึ่งมีผลกระทบต่อความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าโดยตรงพารามิเตอร์เหล่านั้น คือ

ความต้านทานไฟฟ้า	(Resistance: R)
ความเหนี่ยวนำไฟฟ้า	(Inductance: L)
ความจุไฟฟ้า	(Capacitance: C)
ความนำไฟฟ้า	(Conductance: G)

จากรูปที่ 2.1 สังเกตเห็นว่าค่าความต้านทานไฟฟ้าและค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าเกิดขึ้นตลอดความยาวสายซึ่งอยู่ในรูปอิมพีแดนซ์อนุกรม (Series Impedance) ในขณะที่ค่าความนำไฟฟ้า (Conductance: G) และค่าความจุไฟฟ้า (Capacitance: C) ที่อยู่ระหว่างสายตัวนำของสายไฟฟ้า 1 เฟสหรือระหว่างสายเฟสกับสายนิวทรัล (Neutral) ของสายส่งกำลังไฟฟ้า 3 เฟสอยู่ในรูปของแอดมิตแตนซ์ขนาน (Shunt Admittance) โดยปกติจะตัดค่าความนำไฟฟ้า (Conductance) ทิ้งเพราะค่าความนำไฟฟ้านี้ส่งผลต่อค่าแอดมิตแตนซ์ขนาน (Shunt Admittance) น้อยมาก



รูปที่ 2.1 แสดงพารามิเตอร์ของสายส่งกำลังไฟฟ้า

2.1 ความต้านทานไฟฟ้า (Resistance: R)

ค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistance: R) ของสายตัวนำไฟฟ้าเป็นผลที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในรูปของความร้อน ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่เป็นสายตัวนำจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิในลักษณะเป็นเส้นตรง (Linear) คือเมื่ออุณหภูมิยิ่งสูงขึ้น ความต้านทานไฟฟ้ายิ่งมากตามสมการที่ 2.1

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{T+t_2}{T+t_1} \quad (2.1)$$

โดยที่

R_1 และ R_2 เป็นความต้านทานของตัวนำที่อุณหภูมิ t_1 และ t_2 ตามลำดับ

T คือ ค่าคงที่ของสารที่นำมาทำสายตัวนำไฟฟ้า ซึ่งมีค่าดังนี้

$T = 234.5 \text{ } ^\circ\text{C}$ สำหรับ Annealed Copper of 100% Conductivity

$T = 241 \text{ } ^\circ\text{C}$ สำหรับ Hard-Drawn Copper of 97.3% Conductivity

$T = 228 \text{ } ^\circ\text{C}$ สำหรับ Hard-Drawn Aluminum of 61% Conductivity

t_1 คือ อุณหภูมิมาตรฐานที่ $20 \text{ } ^\circ\text{C}$

t_2 คือ อุณหภูมิใหม่ที่ต้องการทราบค่า

ซึ่งสามารถหาค่าพารามิเตอร์ของสายส่งได้ดังนี้ ค่าความต้านทาน (R) หาได้จากการเปิดตาราง Characteristics of Aerial Lines [2] โดยใส่ตารางไว้ในภาคผนวก ก

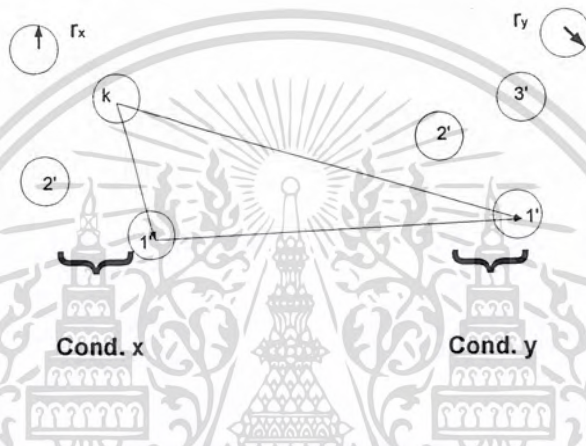
2.2 ความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Inductance: L)

ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าเกิดจากสายตัวนำสองเส้นเมื่อวางขนานกันและมีกระแสไฟฟ้าไหลจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า (i) ในวงจร จึงทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก (ϕ) ที่เกิดจากการไหลของกระแสไฟฟ้านี้เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย เมื่อค่าซบซิม (Permeability) ไม่คงที่ ทำให้ความเหนี่ยวนำไม่คงที่ด้วยจะได้ค่าความเหนี่ยวนำ L ดังแสดงในสมการที่ 2.2

$$L = \frac{d\phi}{di} = N \frac{d\phi}{dt} \quad (2.2)$$

เนื่องจากสายตัวนำไฟฟ้าอยู่ในอากาศ ดังนั้น สนามไฟฟ้า (ϕ) ที่เปลี่ยนแปลงตามกระแสไฟฟ้า (i) จึงมีลักษณะเป็นเส้นตรง (เพราะไม่มีการอ้อมตัวของสารแม่เหล็กเหมือนแกนเหล็ก) ถ้าฟลักซ์เกี่ยวข้องมีการเปลี่ยนแปลงเป็นเชิงเส้น (Linear) กับกระแสไฟฟ้า หมายความว่า วงจรแม่เหล็กมีค่าซบซิม (Permeability) คงที่

ชุดของสายส่งกำลังไฟฟ้าที่ภายในประกอบด้วยสายตัวนำย่อยตั้งแต่ 2 สายตัวนำขึ้นไป (โดยแต่ละสายตัวนำย่อยนั้นเหมือนและเท่ากันทุกประการ) ทำหน้าที่แบ่งการจ่ายกระแสไฟฟ้าของเฟสใด ๆ เมื่อนำมาขนานกันเรียกว่า กลุ่มสายตัวนำ (Composite-Conductor Lines) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เป็นสายส่ง 1 เฟสประกอบด้วยกลุ่มสายตัวนำ x (Conductor x) และกลุ่มสายตัวนำ y (Conductor y) ให้สายตัวนำเป็นสายนำเป็นทรงกระบอก (Cylindrical) ต่อขนานกันและมีกระแสไฟฟ้าไหลเท่า ๆ กัน กลุ่มสายตัวนำ x ประกอบด้วยตัวนำย่อย N ตัวนำต่อขนานกันซึ่งแต่ละตัวนำย่อยมีกระแสไหลเท่ากับ I/N และกลุ่มสายตัวนำ y เป็นชุดกระแสไฟฟ้าไหลกลับกันประกอบด้วยตัวนำย่อย M ตัวนำต่อขนานกันแต่ละตัวนำย่อยมีกระแสไฟฟ้าไหลกลับเท่ากับ I/M ระยะห่างระหว่างตัวนำย่อยเท่ากับ D ตามด้วยอักษรต่อท้ายที่เหมาะสม



รูปที่ 2.2 แสดงสายส่งกำลังไฟฟ้า 1 เฟสประกอบด้วยกลุ่มสายตัวนำ 2 กลุ่ม

ความเหนี่ยวนำไฟฟ้าในกลุ่ม x นี้มีตัวเหนี่ยวนำย่อย n ตัวนำต่อขนานกันอยู่ ซึ่งแต่ละตัวนำย่อยมีค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าเท่ากัน ดังนั้น ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าของกลุ่มสายตัวนำ x เท่ากับ $1/n$ เท่าของค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าเฉลี่ย จึงทำให้ค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้าของกลุ่มสายตัวนำ x ลดลง เป็น

$$L_x = \frac{L_{av}}{N} = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_N}{N^2} \quad (2.3)$$

แทนค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้าของแต่ละตัวนำย่อยลงในสมการที่ 2.3 และรวมเทอมจะได้

$$L_x = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{\sqrt{(D_{11}' D_{12}' D_{13}' \dots D_{1M}') (D_{21}' D_{22}' D_{23}' \dots D_{2M}') \dots (D_{N1}' D_{N2}' D_{N3}' \dots D_{NM}')}}{\sqrt{(r_1' D_{11}' D_{12}' D_{13}' \dots D_{1N}') (D_{21}' r_2' D_{22}' D_{23}' \dots D_{2N}') \dots (D_{N1}' D_{N2}' D_{N3}' \dots r_N')}} \text{ H/m} \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L) หาได้จากสมการที่ 2.4 จะได้

$$L_x = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{\text{GMD}}{\text{GMR}} \frac{H}{m} \quad (2.5)$$

โดยที่ GMD คือ (Geometric Mean Distance)

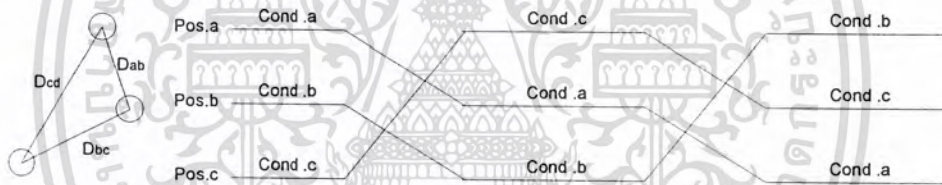
หมายถึง ค่าเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตของระยะห่างระหว่างกลุ่มสายตัวนำ (ระหว่างเฟส)

GMR คือ (Geometric Mean Radius)

หมายถึง ค่าเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตของรัศมีในตัวนำย่อยในกลุ่มเดียวกัน (เฉพาะเฟส)

2.2.1 ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าของสายส่ง 3 เฟส (Inductance of three phase lines)

เมื่อสายส่งแต่ละเฟสมีระยะห่างไม่เท่ากัน จึงทำให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำในแต่ละเฟสไม่เท่ากันจะเป็นผลให้เกิดการไม่สมดุลในวงจร เป็นเหตุให้แรงดันไฟฟ้าตก (Voltage drop) ในสายของแต่ละเฟสมีค่ามากน้อยไม่เท่ากัน ทำให้ระบบไฟฟ้าสามเฟสไม่สมดุล (Unbalance) เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว สามารถทำได้โดยสลับสายส่งในแต่ละช่วงความยาวของสายส่งที่เท่ากัน การเปลี่ยนตำแหน่งหรือสลับของสายส่งนี้เรียกว่า การสลับสาย (Transposition) ของสายส่งที่ครบถ้วนและทำให้ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าเฉลี่ยของสายส่งแต่ละเส้นมีค่าเท่ากัน



รูปที่ 2.3 แสดงการสลับสายตัวนำของสายส่งกำลังไฟฟ้า 3 เฟส

สายส่งกำลังไฟฟ้าในปัจจุบันปกติไม่มีเกณฑ์ในการสลับสาย (Transposition) ที่แน่นอน แม้ว่า มีการสลับสายของสายตัวนำแล้วยังอาจทำได้ที่สถานีสวิตชิง (Switching Station) เพื่อให้ได้ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่ใกล้เคียงค่าสมดุลมากที่สุด เห็นว่า สายของทุกเฟส มีอยู่ครบทั้ง 3 ตำแหน่ง แสดงว่า ค่าประมาณของฟลักซ์เกี่ยวคัลล่องเฉลี่ยมีค่าเท่ากันทุกสายด้วย เมื่อพิจารณาเฟส A ในตำแหน่งที่ 1 กำหนดให้ฟลักซ์เกี่ยวคัลล่องในตำแหน่งนี้เป็น λ_{a1} ในตำแหน่งที่ 2 เป็น λ_{a2} และในตำแหน่งที่ 3 เป็น λ_{a3}

$$\text{ดังนั้น} \quad \lambda_a = \lambda_{a(av)} = \frac{\lambda_{a1} + \lambda_{a2} + \lambda_{a3}}{3} \quad (2.6)$$

$$\text{จะได้} \quad \lambda_a = 2 \times 10^{-7} I_a \ln \frac{\sqrt[3]{D_{ab} D_{bc} D_{ca}}}{r'_a} \quad \text{Wb-t/m} \quad (2.7)$$

และจะได้ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเฟสคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_a = \frac{\lambda_a}{I_a} = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{\sqrt[3]{D_{ab}D_{bc}D_{ca}}}{r'_a} \quad \text{H/m/phase} \quad (2.8)$$

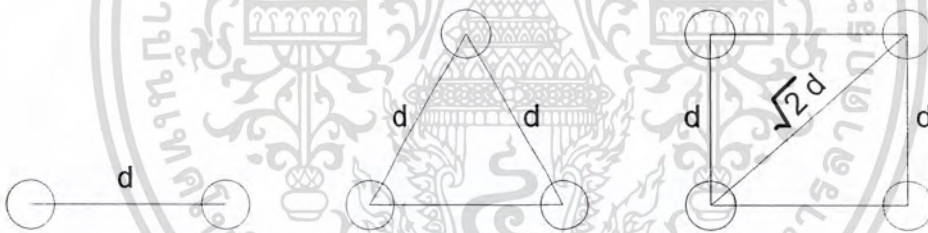
เขียนได้เป็น $L_a = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{\text{GMD}}{\text{GMR}} \quad \text{H/m/phase} \quad (2.9)$

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } \text{GMD} &= \sqrt[3]{D_{ab}D_{bc}D_{ca}} \\ \text{GMR} &= 0.7788r = r' \end{aligned}$$

2.2.2 สายส่งตัวนำควบ (Bundled conductors)

สายส่งตัวนำควบ คือ การใช้กลุ่มสายตัวนำตั้งแต่ 2 ตัวนำขึ้นไปต่อเฟส และมีการวางสายตัวนำ ดังรูป 2.4 แทนการใช้สายตัวนำหนึ่งเส้นขนาดใหญ่ต่อเฟส ส่วนมากใช้กับงานส่งกำลังไฟฟ้าที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 230 kV ขึ้นไปหรือที่เรียกว่า สายส่งไฟฟ้าแรงดันสูงพิเศษ (Extra - High Voltage : EHV) กระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายตัวนำของสายส่งแบบควบจะไม่เท่ากันจริง ๆ ทุกเส้น ซึ่งเกิดความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเนื่องจากไม่ได้ทำการสลับสาย (Transposition) ของสายตัวนำภายในกลุ่มของสายตัวนำควบ ในทางปฏิบัติไม่ถือว่าเรื่องสำคัญ การใช้สายส่งที่เป็นสายควบ (bundled) นี้จะมีเงื่อนไขอยู่ว่า

1. พื้นที่หน้าตัดของสายตัวนำทุกตัวเท่ากันเสมอ
2. ระยะระหว่างสายตัวนำภายในกลุ่ม (d) ต้องเท่ากัน



รูป 2.4 แสดงการจัดวางสายตัวนำแบบควบ

จากการเลือกใช้สายที่เป็นตัวนำควบ (Bundled conductor) ทำให้ค่ารีแอกแตนซ์ลดลงเนื่องจาก ค่า GMR ของระบบโตขึ้นซึ่งค่า GMR ของตัวนำควบ (Bundled conductor) นี้คำนวณได้ดังต่อไปนี้

สำหรับสายตัวนำทีเกลียวแบบควบ 2 สายตัวนำ (Two-Strand Bundled)

$$\text{GMD} = \sqrt[4]{\text{GMD}^2(d)^2} = \sqrt{\text{GMD} \times d} \quad (2.10)$$

สำหรับสายตัวนำทีเกลียวแบบควบ 3 สายตัวนำ (Three-Strand Bundled)

$$\text{GMD} = \sqrt[9]{\text{GMD}^3(d)^6} = \sqrt[3]{\text{GMD} \times (d)^3} \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสายตัวนำตีเกลียวแบบควบ 4 สายตัวนำ (Four-Strand Bundled)

$$\text{GMD} = \sqrt[16]{\text{GMD}^4(d)^8(\sqrt{2d})^4} = 1.09\sqrt[4]{\text{GMD} \times (d)^3} \quad (2.12)$$

2.3 ความจุไฟฟ้า (Capacitance: C)

ค่าความจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระบบสายส่งกำลังไฟฟ้าจะเกิดขึ้นตลอดช่วงความยาวของสายส่งกำลังไฟฟ้า ค่าความจุไฟฟ้านี้มีค่าคงที่ขึ้นอยู่กับขนาดและระยะห่างของสายตัวนำ สำหรับสายส่งกำลังไฟฟ้าที่ยาวน้อยกว่า 80 กิโลเมตร ค่าความจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นน้อยมากจึงไม่ต้องนำมาคิด แต่สายส่งกำลังไฟฟ้ามีความยาวระหว่าง 80 กิโลเมตร ถึง 240 กิโลเมตร ต้องนำความจุไฟฟ้ามาคิดด้วยแต่เป็นการคิดแบบค่าประมาณ ถ้าเป็นสายส่งที่มีความยาวมากกว่า 240 กิโลเมตร ขึ้นไปการนำค่าความจุไฟฟ้ามาคิดต้องคิดอย่างละเอียด

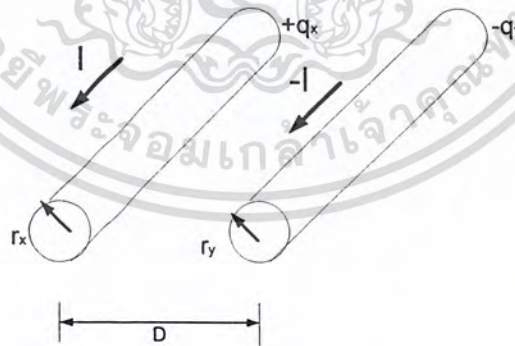
สายตัวนำยาววางอยู่ในอากาศ จะเกิดการกระจายประจุไฟฟ้าขึ้นอย่างสม่ำเสมอตลอดความยาวของสายตัวนำ ทุก ๆ จุดที่อยู่ห่างจากผิวของสายตัวนำที่ระยะห่างเท่า ๆ กันก็จะมี ความต่างศักย์เท่ากันและมีความหนาแน่นสนามไฟฟ้าเท่ากันด้วย ความจุไฟฟ้าระหว่างสายตัวนำสองเส้นที่วางขนานกันตลอด หาได้จากค่าประจุไฟฟ้า (q) บนตัวนำซึ่งยาวหนึ่งเมตรต่อความต่างศักย์ (v) ระหว่างสายตัวนำสองเส้นนั้น ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$C = \frac{q}{v} \text{ F/m} \quad (2.13)$$

เมื่อ C คือ ความจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็น ฟารัด (Farad:F)

q คือ ประจุไฟฟ้าในสาย มีหน่วยเป็น คูลอมบ์ต่อตารางเมตร(C/m)

V คือ ความต่างศักย์ระหว่างสาย มีหน่วยเป็น โวลต์ (Volt)



รูปที่ 2.5 แสดงสายตัวนำตัน 2 เส้น ของสายส่งหนึ่งเฟส ซึ่งวางขนานกัน

จากรูปที่ 2.5 จะมีค่าความจุไฟฟ้าระหว่างสายตัวนำสองเส้น แต่บางครั้ง ต้องการทราบ ค่าความจุไฟฟ้าระหว่างสายกับนิวทรัล (Neutral Point) ที่อยู่ระหว่างสาย ความต่างศักย์ระหว่างสายตัวนำกับกราวด์เป็นครึ่งหนึ่งของความต่างศักย์ระหว่างสายทั้งสองเส้น (สายตัวนำ x กับ y) และค่าความจุไฟฟ้าระหว่างสายตัวนำกับกราวด์หรือความจุไฟฟ้าระหว่างสายตัวนำกับนิวทรัล (Capacitance to Ground, or Capacitance to neutral) หรือ C_n ก็คือ ค่าประจุไฟฟ้าบนสายตัวนำต่อหน่วยของความต่างศักย์ระหว่างสายตัวนำกับนิวทรัล ดังนั้น ค่าความจุไฟฟ้ากับนิวทรัล สำหรับสายส่ง 2 เส้นมีค่าความจุไฟฟ้าเป็น 2 เท่าของค่าความจุไฟฟ้าระหว่างสายตัวนำ (Capacitance Between Conductors) ถ้าพิจารณาค่าความจุไฟฟ้าระหว่างสายตัวนำ ประกอบด้วยความจุไฟฟ้าที่มีค่าเท่ากัน 2 ตัวต่ออนุกรมกัน แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมระหว่างสายตัวนำถูกแบ่งออกเป็นศักย์กราวด์ (Ground Potential) ดังนั้นค่าความจุไฟฟ้าระหว่างสายกับกราวด์จึงมีค่าเป็น 2 เท่าของค่าความจุไฟฟ้าระหว่างสายตัวนำ และจะได้

$$C_{xy} = 2C_{xy} = \frac{2\pi\epsilon}{\ln\left(\frac{D}{r}\right)} \frac{F}{m} \text{ to neutral} \quad (2.14)$$

ค่าความจุไฟฟ้า(C) หาได้จากสมการที่ 2.26

$$C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln\left(\frac{GMD}{GMR}\right)} \frac{F}{m} \text{ to neutral} \quad (2.15)$$

เมื่อ

GMD คือ ค่าเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตของระยะห่างระหว่างกลุ่มสาย ตัวนำ (ระหว่างเฟส)

GMR คือ ค่าเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตของรัศมีในตัวนำย่อยในกลุ่มเดียว (เฉพาะเฟส)

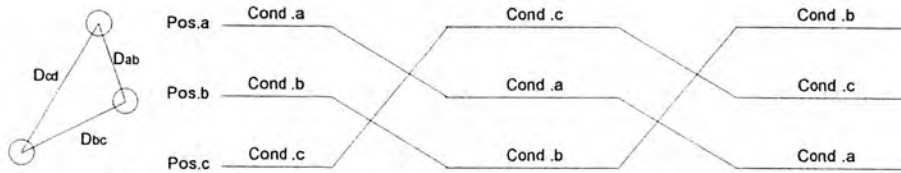
ϵ คือ เพอร์มิททิวิตี (Permittivity)

ϵ_0 คือ เพอร์มิททิวิตีของสุญญากาศมีค่าเท่ากับ $\frac{10^{-9}}{36\pi}$ F/m

ϵ_r คือ เพอร์มิททิวิตีของตัวกลาง (อากาศมีค่าเท่ากับ 1)

2.3.1 ค่าความจุไฟฟ้าของสายส่งสามเฟส

ในระบบสายส่ง 3 เฟสที่ไม่มีการสลับสาย (Untransposed Line) ค่าความจุไฟฟ้าระหว่างเฟสกับนิวทรัลมีค่าไม่เท่ากัน สำหรับสายส่งที่มีการสลับสาย (Transposed Line) ค่าความจุไฟฟ้าเฉลี่ยของแต่ละเฟสกับนิวทรัลมีค่าเท่ากันทุกเฟส เพื่อให้ง่ายในการคำนวณถือว่าระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า 3 เฟส มีการสลับสาย (Transposed) ตลอดความยาวของสายส่ง



รูปที่ 2.6 แสดงการสลับสายที่สมบูรณ์ของสายส่งกำลังไฟฟ้า 3 เฟส

เนื่องมีการวางสายแบบไม่เท่ากันดังนั้น

$$V_{ab} = \frac{V_{ab1} + V_{ab2} + V_{ab3}}{3} \quad (2.16)$$

$$V_{ac} = \frac{V_{ac1} + V_{ac2} + V_{ac3}}{3} \quad (2.17)$$

สำหรับสายส่งที่แสดงให้เห็นในรูป 2.6 มีสมการทั้งหมด 3 สมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าของ V_{ab} เมื่อสายอยู่ในแต่ละส่วน (Part) ของการสลับสาย (Transposed Cycle) ซึ่งเฟส a อยู่ในตำแหน่งที่ 1 เฟส b อยู่ในตำแหน่งที่ 2 และเฟส c อยู่ในตำแหน่งที่ 3 ได้สมการแรก คือ

$$V_{ab1} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \left(q_a \ln \frac{D_{ab}}{r_a} + q_b \ln \frac{r_b}{D_{ab}} + \ln \frac{D_{bc}}{D_{cb}} \right) \quad (2.18)$$

เมื่อเฟส a อยู่ในตำแหน่งที่ 2 เฟส b อยู่ที่ตำแหน่งที่ 3 และเฟส c อยู่ในตำแหน่งที่ 1 จะได้

$$V_{ab2} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \left(q_a \ln \frac{D_{bc}}{r_a} + q_b \ln \frac{r_b}{D_{bc}} + \ln \frac{D_{ca}}{D_{ab}} \right) \quad (2.19)$$

เมื่อเฟส a อยู่ในตำแหน่งที่ 3 เฟส b อยู่ในตำแหน่งที่ 1 และเฟส c อยู่ในตำแหน่งที่ 2 จะได้

$$V_{ab3} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \left(q_a \ln \frac{D_{ca}}{r_a} + q_b \ln \frac{r_b}{D_{ca}} + \ln \frac{D_{cb}}{D_{bc}} \right) \quad (2.20)$$

สมการเหล่านี้ใช้ในการคำนวณค่าฟลักซ์เกี่ยวค้ำ (Flux Linkages) ของสายส่งหนึ่งเส้นที่มีการสลับสายส่ง อย่างไรก็ตามในสมการของฟลักซ์เกี่ยวค้ำ (Flux Linkages) กำหนดให้สมการไฟฟ้าของแต่ละเฟสมีค่าเท่ากันในทุก ๆ ส่วนของการสลับสาย (Transposition Cycle) ถ้าไม่คำนึงถึงแรงดันไฟฟ้าตกตลอดความยาวสายส่ง จะได้แรงดันไฟฟ้าของสายกับนิวทรัลของเฟสหนึ่งที่อยู่ในส่วนหนึ่งของการสลับสายส่งที่มีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าของสายกับนิวทรัลของเฟสนั้นในทุก ๆ ส่วนของการสลับสายส่ง ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายตัวนำ 2 เส้นมีค่าเท่ากันในทุก ๆ ส่วนของการสลับสายส่ง แต่สิ่งที่ตามมาคือ ประจุไฟฟ้าบนสายตัวนำมีค่าแตกต่างกันไปเมื่อตำแหน่งของสายส่งเปลี่ยนไปเมื่อเทียบสายตัวนำอื่น ๆ

ในการหาค่าความจุไฟฟ้าอย่างละเอียดจะยุ่งยากมาก ยกเว้นบางครั้งสำหรับการจัดวางสายตัวนำในแนวราบที่มีระยะห่างระหว่างสายตัวนำเท่ากันและใกล้เคียงกัน ด้วยการใช้ระยะห่างและสายตัวนำก็จะได้ความแม่นยำในการคำนวณเพียงพอโดยสมมติให้ประจุไฟฟ้าต่อหน่วยความยาวบนสายส่งมีค่าเหมือนกันตลอดทุก ๆ ส่วนของการสลับสายส่ง เมื่อการสมมติข้างต้นนี้ ต้อง

คำนึงถึงประจุไฟฟ้าระหว่างคู่สายตัวนำมีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละส่วนของการสลับสาย ดังนั้นค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายตัวนำสามารถหาได้และค่าความจุไฟฟ้าเฉลี่ยคำนวณได้จากแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย โดยรวมสมการทั้งสามก่อนหน้านี้นี้เข้าด้วยกันแล้วหารด้วยสาม ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยระหว่างสายตัวนำ a และ b อยู่บนพื้นฐานของการสมมุติว่าสายตัวนำประจุไฟฟ้าเท่ากันไม่ว่าตำแหน่งของสายตัวนำจะถูกสลับตำแหน่งไปอยู่ในตำแหน่งใด ๆ ก็ตามและจะได้ V_{ab} ดังนี้

$$V_{ab} = \frac{1}{3(2\pi\epsilon)} \left(q_a \ln \frac{D_{ab}D_{bc}D_{ca}}{(r_a)^3} + q_b \ln \frac{(r_b)^3}{D_{ab}D_{bc}D_{ca}} + q_c \ln \frac{D_{cb}D_{bc}D_{ca}}{D_{ab}D_{bc}D_{ca}} \right) \quad (2.21)$$

$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \left(q_a \ln \frac{D_{eq}}{r_a} + q_b \ln \frac{r_b}{D_{eq}} \right) \quad (2.22)$$

โดยที่ $D_{eq} = \sqrt[3]{D_{ab}D_{bc}D_{ca}}$

ในการทำงานเดียวกันแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมระหว่างสายตัวนำ a และ c จะได้คล้ายกับสมการ (2.18 ถึง 2.20) จะได้

$$V_{ac} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \left(q_a \ln \frac{D_{eq}}{r_a} + q_c \ln \frac{r_c}{D_{eq}} \right) \quad (2.23)$$

นำ $V_{ab} + V_{ac}$ จะได้

$$V_{ab} + V_{ac} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \left(2q_a \ln \frac{D_{eq}}{r} + (q_a + q_c) \ln \frac{r}{D_{eq}} \right) \quad (2.24)$$

เนื่องจาก $q_b + q_c = -q_a$ นำไปแทนใน 2.39 จะได้

$$V_{ab} + V_{ac} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \left(3q_a \ln \frac{D_{eq}}{r} \right) \quad (2.25)$$

แต่เนื่องจาก $V_{ab} + V_{ac} = 3V_n$ ดังนั้นจะได้

$$V_{an} = \frac{q_a}{2\pi\epsilon} \left(\ln \frac{D_{eq}}{r} \right) \quad (2.26)$$

จาก $C = \frac{q}{V}$ ดังนั้นจากสมการที่ 2.26 จะได้

$$C_{an} = \frac{q_a}{V_{an}} = \left(\frac{q_a}{\frac{q_a}{2\pi\epsilon} \ln \frac{D_{eq}}{r}} \right) \quad (2.27)$$

เมื่อต้องการหาค่าความจุไฟฟ้าในเฟส B และ C สามารถหาค่าความจุไฟฟ้าได้จากสมการที่ 2.27 ทั้งนี้เพราะ $c_{an} = c_{bn} = c_{cn}$ F/m to neutral

$$C_n = \frac{2\pi\epsilon}{\ln \frac{D_{eq}}{r}} \quad \text{F/m to neutral} \quad (2.28)$$

โดยที่ $D_{eq} = \sqrt[3]{D_{ab}D_{bc}D_{ca}}$

สมการที่ 2.28 เป็นค่าความจุไฟฟ้าของสายกับนิวทรัลของสายส่ง 3 เฟส ที่ทำการสลับสายตัวนำ เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าของสายส่ง (โดยส่วนใหญ่) เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา หรือตามลักษณะของรูปคลื่นไซน์ (Sine wave) อยู่ตลอดเวลา เมื่อในสายส่งกำลังไฟฟ้ามีความจุไฟฟ้าเกิดขึ้น จึงเกิดการอัด (Charge) และคาย (Discharge) ประจุไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลาเช่นกัน และจะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านค่าความจุไฟฟ้านั้น ๆ เรียกค่ากระแสไฟฟ้านั้นว่า “กระแสไฟฟ้าอัดประจุ (Charging Current : I_c)”

ค่ากระแสไฟฟ้าอัดประจุ (I_c) นี้ เมื่อพิจารณาให้แรงดันด้านรับ (Receiving end voltage : V_R) ที่ด้านปลายสายส่งเป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ในขณะที่ปลายสายเปิดวงจรออก (Open Circuit) หรือในขณะที่ปลายสายส่งมีโหลดขนาดต่ำ ๆ ค่ากระแสไฟฟ้าอัดประจุ (I_c) นำหน้าแรงดันไฟฟ้าด้านรับ (V_R) เป็นมุม 90° จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ด้านรับ (V_R) สูงกว่าแรงดันไฟฟ้าที่ด้านส่ง (Sending end voltage : V_s) เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “Ferranti effect”

2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันในสายส่ง

การคำนวณเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าส่งจ่าย [3] โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเขียนอยู่ในรูปสมการของค่าที่ปลายด้านส่ง (Sending-end value) ซึ่งอยู่ในตัวแปรของค่าที่ปลายด้านรับ (Receiving-end value) ดังสมการที่ 2.29

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

เมื่อ

V_S คือ แรงดันไฟฟ้าที่จุดส่งต่อเฟส

V_R คือ แรงดันไฟฟ้าที่จุดรับต่อเฟส

I_S คือ กระแสไฟฟ้าที่จุดส่ง

I_R คือ กระแสไฟฟ้าที่จุดรับ

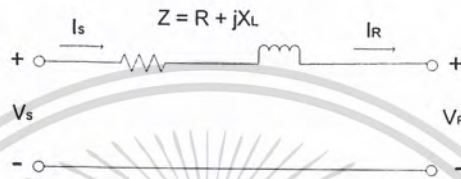
ABCD คือค่าคงที่ของสายส่ง (Generalized Circuit Constants of the Transmission Line)

จากสมการที่ 2.29 จะสามารถแบ่งวิธีการคิดคำนวณออกตามระยะความยาวของสายส่งได้เป็น 3 ระยะความยาว คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายส่งระยะใกล้ (Short line) ความยาวสายน้อยกว่าหรือเท่ากับ 80 กิโลเมตร ค่าแอดมิตแตนซ์ขนาน (Shunt admittance) จะมีค่าน้อยมาก ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องนำมาคิด สามารถตัดทิ้งได้ โดยจะมีเฉพาะความต้านทานไฟฟ้าอนุกรม (Series Resistance) และความเหนี่ยวนำไฟฟ้าอนุกรม (Series Inductance) ที่เกิดขึ้นตลอดความยาวสายส่งเท่านั้นดังรูปที่ 2.7

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

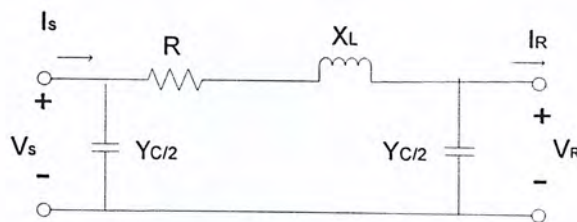


รูปที่ 2.7 วงจรสมมูลของสายส่งระยะใกล้

สายส่งระยะปานกลาง (Medium line) ความยาวสายมากกว่า 80 กิโลเมตร แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 240 กิโลเมตร การวิเคราะห์สายส่งระยะกลางนี้ ต้องคำนึงถึงค่าแอดมิตแตนซ์ขนาน (Shunt Admittance) ด้วย โดยนำค่าความจุไฟฟ้ามาใช้ในการคำนวณ เพราะสายส่งมีความยาวเพิ่มมากขึ้นค่าความจุไฟฟ้าจึงมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย จึงทำให้กระแสไฟฟ้าอัดประจุ (Charging current : I_c) มีผลต่อระบบ ด้วยเหตุนี้จึงมองข้ามค่าความจุไฟฟ้าไม่ได้ แต่สำหรับค่าความนำไฟฟ้า(G) ซึ่งขนานอยู่กับค่าความจุไฟฟ้า(C) นั้นมีค่าน้อยมาก จึงไม่นำมาคิด สำหรับสายส่งระยะกลางนี้ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสามารถแยกวิเคราะห์เป็น 2 ลักษณะ คือ

1. วงจรแบบ π (Nominal - π)

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{ZY}{2} & Z \\ Y + \frac{ZY^2}{4} & 1 + \frac{ZY}{2} \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

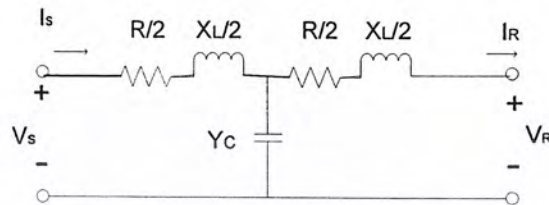


รูปที่ 2.8 วงจรสมมูลของสายส่งระยะปานกลางแบบ π

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วงจรแบบ T (Normal - T)

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{ZY}{2} & Z + \frac{ZY^2}{4} \\ Y & 1 + \frac{ZY}{2} \end{bmatrix} \quad (2.32)$$



รูปที่ 2.9 วงจรสมมูลของสายส่งระยะปานกลางแบบ T

สายส่งระยะไกล (Long line) ความยาวสายมากกว่า 240 กิโลเมตร (ในรูปสมการไฮเพอร์โบลิก) การคำนวณค่าพารามิเตอร์ของสายส่งระยะยาวเพื่อให้ได้ค่าที่มีความแม่นยำสูงต้องพิจารณาถึงค่าความเป็นจริงของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายส่งว่า อิมพีแดนซ์อนุกรม (Series impedance) และแอดมิตแตนซ์ขนาน (Shunt admittance) ไม่ได้อยู่รวมกัน (Lumped) เหมือนกับสายส่งระยะสั้นและระยะกลาง แต่กระจายออกไปอย่างสม่ำเสมอตลอดความยาวสายส่ง เพื่อให้คำนวณให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด นั่นคือ พิจารณาทุก ๆ ช่วงของความยาวน้อย ๆ และคำนวณค่าความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าและความแตกต่างของกระแสไฟฟ้าบนความยาวน้อย ๆ นั้น โดยกำหนดให้ค่าอิมพีแดนซ์อนุกรม (Series Impedance) และแอดมิตแตนซ์ขนาน (Shunt Admittance) ของสายส่งที่มีความยาวน้อย ๆ แล้วใช้แก้ปัญหาด้วยสมการดิฟเฟอเรนเชียล (Differential) เข้าช่วย

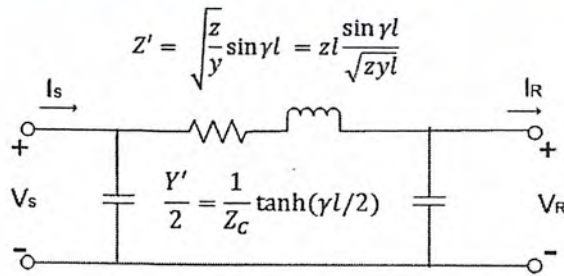
$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh \gamma l & Z_c \sinh \gamma l \\ \frac{1}{Z_c \sinh \gamma l} & \cosh \gamma l \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

เมื่อ

$\gamma = \sqrt{yz}$ คือ ค่าคงตัวการแพร่กระจาย (Propagation constant) ต่อหน่วยความยาว

$Z_c = \sqrt{\frac{Z}{Y}}$ คือ อิมพีแดนซ์คุณลักษณะ (Characteristic Impedance)

l คือ ความยาวของสายส่ง



รูปที่ 2.10 วงจรสมมูลย์ของสายส่งระยะไกลแบบ π

2.5 ปริมาณเพอร์ยูนิต (Per-unit Quantities)

สายส่งกำลังไฟฟ้ามักใช้งานที่ระดับของแรงดันไฟฟ้าเป็นกิโลโวลต์ (kV) ซึ่งเป็นหน่วยที่ใช้แทนแรงดันไฟฟ้าที่สะดวก เพราะกำลังไฟฟ้าที่ส่งไปโดยส่วนใหญ่เป็นกิโลวัตต์ (kW) หรือ เมกกะวัตต์

ค่าเพอร์ยูนิต (Per unit system) คือ อัตราส่วนระหว่างค่าจริง (Actual value) ต่อค่าฐาน (Base value) เขียนสมการได้เป็น

$$\text{Per unit value} = \frac{\text{Actual value}}{\text{Base value}} \tag{2.34}$$

แรงดันฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์จะเกี่ยวข้องกับการเลือกค่าฐาน (Base value) และจะต้องใช้ 2 ค่าเพื่อนำมาคำนวณค่าฐานที่เหลืออยู่อีก 2 ค่า โดยปกติค่าฐาน (Base) ที่กำหนด คือ ค่าฐานกำลังไฟฟ้าและค่าฐานแรงดันไฟฟ้า และมาหาค่าฐานอิมพีแดนซ์ และค่าฐานกระแสไฟฟ้า

$$\text{Base I} = \frac{\text{Base VA}_{3\phi}}{\sqrt{3} \text{ Base V}_{LL}} \tag{A/ph} \tag{2.35}$$

$$\text{Base Z} = \frac{(\text{Base V}_{LL})^2}{\text{Base VA}_{3\phi}} = \frac{(\sqrt{3} \text{ Base V}_{LN})^2}{\text{Base VA}_{3\phi}} \tag{\Omega/ph} \tag{2.36}$$

การเปลี่ยนค่าฐานของปริมาณเพอร์ยูนิต (Changing the base of per unit quantities) บางครั้งต้องการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์เพอร์ยูนิต (Per - unit impedance) ของระบบหนึ่งให้ไปอยู่อีกระบบหนึ่ง ดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนอิมพีแดนซ์ทั้งหมดให้อยู่ในค่าฐานอิมพีแดนซ์ (Impedance Base) สมการ

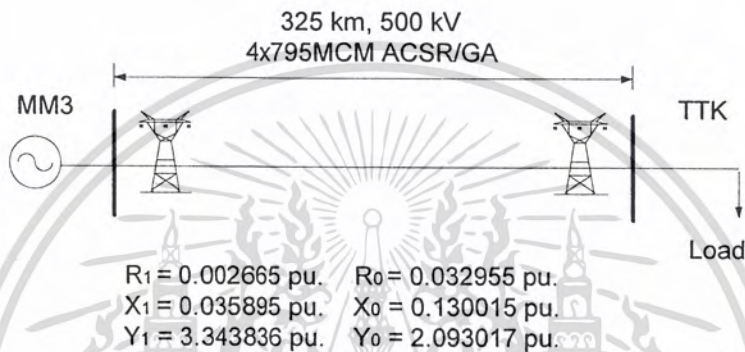
$$Z \text{ pu}_{\text{new}} = Z \text{ pu}_{\text{old}} \left(\frac{\text{base V}_{old}}{\text{base V}_{new}} \right)^2 \left(\frac{\text{base VA}_{new}}{\text{base VA}_{old}} \right) \tag{2.37}$$

บทที่ 3

การออกแบบการจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้า

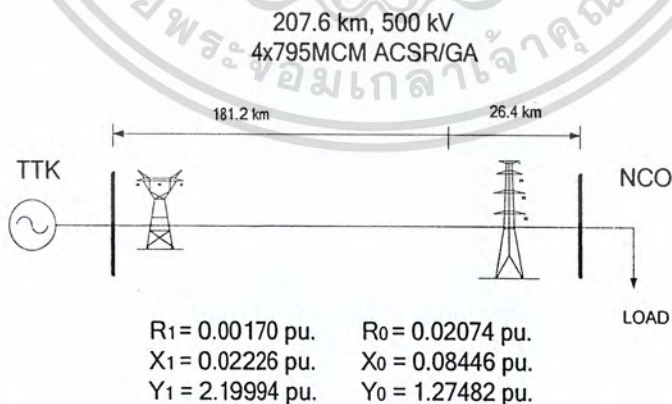
จากทฤษฎีการคำนวณในบทที่ 2 จึงแบ่งการจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้าเป็น 3 ระยะ ตามความยาวของสายส่งกำลังไฟฟ้า ดังนี้

ระยะไกล เลือกจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้า โรงไฟฟ้าแม่เมาะ (MM3) ถึง สถานีไฟฟ้าท่าตะโก (TTK) ระยะทาง 325.6 กิโลเมตร (base 500kV, 100MVA) ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 สายส่งกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้า 500 kV แม่เมาะ – ท่าตะโก

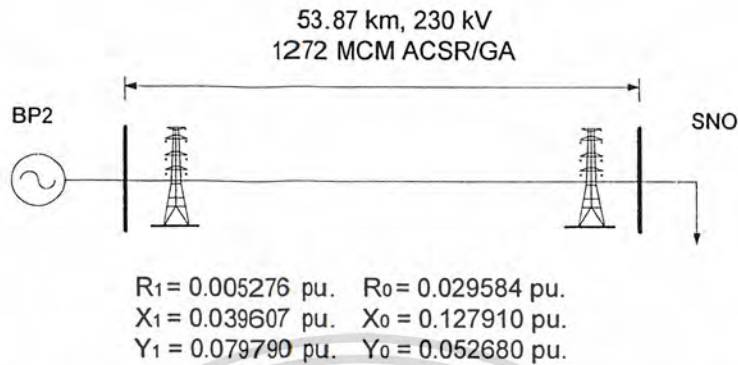
ระยะกลาง เลือกจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้า สถานีไฟฟ้าท่าตะโก (นครสวรรค์) ถึง สถานีไฟฟ้าหนองจอก (NCO) ระยะทาง 207.6 กิโลเมตร (base 500kV, 100MVA) ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 สายส่งกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้า 500 kV ท่าตะโก – หนองจอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะสั้น เลือกจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้า สถานีไฟฟ้าบ้านโป่ง (BP2) ถึง สถานีไฟฟ้า ไทรน้อย (SNO) ระยะทาง 53.87 กิโลเมตร (base 230kV, 100MVA) ดังแสดงในรูปที่ 3.3

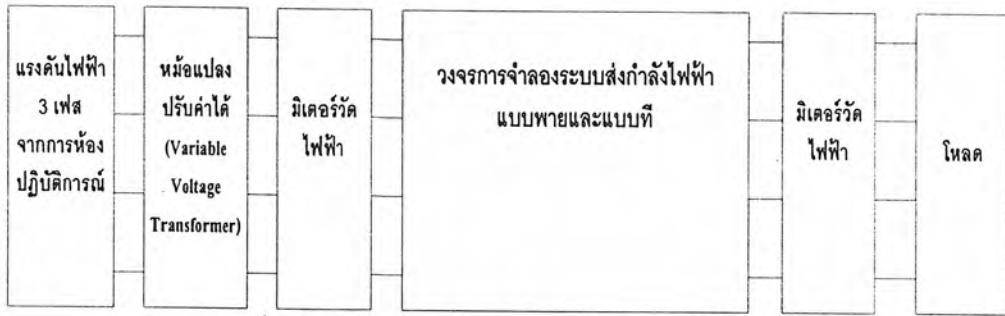


รูปที่ 3.3 สายส่งกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้า 230 kV บ้านโป่ง – ไทรน้อย

3.1 การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบจำลอง

การสร้างวงจรจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้าของโครงการนี้จะเห็นว่ามีแรงดันไฟฟ้ามาจากห้องปฏิบัติการซึ่งมีค่าเท่ากับ 380 V จากนั้นส่งผ่านมายังหม้อแปลงปรับค่าได้ (Variable Voltage Transformer) เพื่อทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายให้กับวงจรจำลองระบบกำลังไฟฟ้าและคอยควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้มีค่าคงที่ จากนั้นแรงดันไฟฟ้าที่ผ่านหม้อแปลงปรับค่าได้จะผ่านมายังระบบป้องกันคือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ และ ฟิวส์ เพื่อป้องกันความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์จะตัดวงจรเมื่อมีกระแสไฟฟ้าเกิน 10 A และ ฟิวส์จะหลอมเมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านเกิน 5 A (เนื่องจากมิเตอร์รับกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 5 A) จากนั้นกำลังไฟฟ้าทั้งหมดก็จะผ่านมายังมิเตอร์ไฟฟ้าด้านส่งวงจรเพื่อวัดค่าต่างๆ ทางต้นเข้าของวงจร คือ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า เป็นต้น เมื่อกำลังไฟฟ้าถูกวัดผ่านมิเตอร์ไฟฟ้ามาแล้วก็จะเข้าสู่วงจรการจำลองสายส่งกำลังไฟฟ้า ทั้งแบบพาย และแบบที เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร และวงจรการจำลองสายส่งกำลังไฟฟ้านี้ยังทำการจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้าแบบระยะสั้น ระยะกลาง และระยะไกล อีกด้วย เมื่อกำลังไฟฟ้าผ่านวงจรการจำลองสายส่งกำลังไฟฟ้าแล้วก็จะผ่านมายังมิเตอร์วัดไฟฟ้าด้านรับเพื่อวัดค่าต่างๆ ทางด้านรับของวงจรเหมือนทางด้านส่ง โดยจะกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าด้านรับของวงจรหรือด้านหน้าของโหลดเป็นค่าคงที่เท่ากับ 400 V จากนั้นกำลังไฟฟ้าทั้งหมดก็จะผ่านมิเตอร์วัดไฟฟ้าไปยังโหลดซึ่งโหลดจะประกอบไปด้วย โหลดขนาด 300 W 600 W 900 W และโหลด RL เพื่อทำการศึกษาศักยภาพพฤติกรรมต่างๆ ของระบบเมื่อโหลดเปลี่ยนแปลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.4 การต่อวงจรการจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้า

รายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆ ภายในวงจรจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้าสามารถแบ่งได้ออกเป็นดังนี้

3.2 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบ

โครงการนี้ได้รับแรงดันไฟฟ้ามาจากห้องปฏิบัติการซึ่งมีค่าเท่ากับ 380 V แต่เนื่องจากในระบบการจำลองต้องการให้แรงดันด้านรับให้มีค่าคงที่เท่ากับ 400 V จึงต้องใช้ หม้อแปลงปรับค่าได้ (Variable Voltage Transformer) มาเป็นแหล่งจ่ายให้กับระบบ เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการมีค่าน้อยกว่าที่กำหนดไว้และถ้ามีการเพิ่มหรือลดขนาดของพิกัดของโหลดแล้วจะทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านรับเปลี่ยนไปด้วยจึงต้องทำการปรับให้มีค่าคงที่เท่าเดิมเท่ากับ 400 V (แรงดันไฟฟ้าฐาน) โดยที่พิกัดของหม้อแปลงปรับค่าได้มีขนาดเท่ากับ 420 V_{ac} 30 A 3 Phase

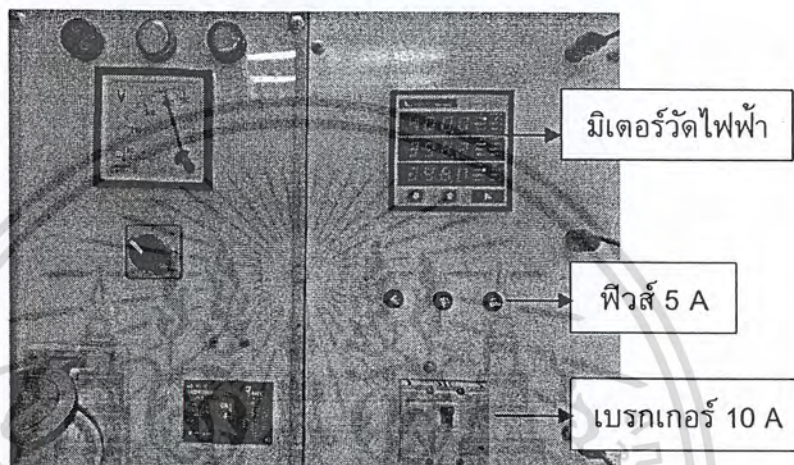


รูปที่ 3.5 หม้อแปลงปรับค่าได้ 3 Phase 420 V_{ac} 30 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การป้องกันระบบ

การป้องกันของการจำลองนี้มีการป้องกันอยู่ 3 แห่งด้วยกันคือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ 2 แห่ง และฟิวส์อีก 1 แห่งดังแสดงในรูปที่ 3.7 เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวแรกป้องกันความผิดปกติระหว่างห้องปฏิบัติการกับหม้อแปลงปรับค่าได้ ซึ่งจะทำงานเมื่อกระแสไฟฟ้าเกิน 30 A เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวที่ 2 จะป้องกันระหว่างหม้อแปลงปรับค่าได้และวงจรการจำลองสายส่งกำลังไฟฟ้า ซึ่งจะทำงานเมื่อกระแสไฟฟ้าเกิน 10 A และมีฟิวส์ทำหน้าที่ป้องกันกระแสไฟฟ้าก่อนเข้ามิเตอร์ไฟฟ้าด้านส่ง เนื่องจากมิเตอร์ไฟฟ้าทั้งด้านส่งและด้านรับมีกระแสไฟฟ้าห้ามเกิน 5 A



รูปที่ 3.6 มิเตอร์วัดปริมาณทางไฟฟ้าในชุดการจำลอง

3.4 มิเตอร์วัดไฟฟ้า

มิเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นมิเตอร์แบบดิจิตอล ซึ่งสามารถวัดค่าปริมาณต่างๆ ทางไฟฟ้า แต่ในโครงงานนี้จะใช้วัดเฉพาะ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า เท่านั้น โดยมิเตอร์ไฟฟ้านี้จะทำการติดตั้งไว้สองแห่ง คือ ด้านส่งของวงจรจำลองสายส่งกำลังไฟฟ้าและด้านรับของวงจรจำลองสายส่งกำลังไฟฟ้า ซึ่งการวัดปริมาณทางไฟฟ้าทั้งหมดเป็นการวัดทั้ง 3 เฟส และจะแสดงค่าปริมาณต่างๆ ออกมาในแต่ละเฟส



รูปที่ 3.7 มิเตอร์วัดปริมาณทางไฟฟ้า

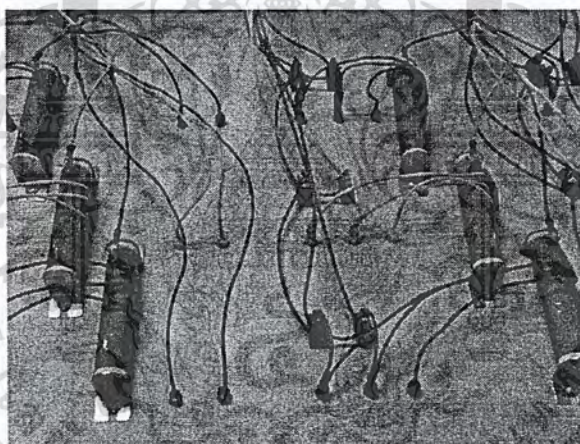
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วงจรจำลองสายส่งกำลังไฟฟ้า

การจำลองสายส่งกำลังไฟฟ้าในโครงการนี้ได้ทำการจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้าแบบระยะสั้นระยะทาง 53.87 กิโลเมตร ระยะกลางระยะทาง 207.6 กิโลเมตร ระยะไกลระยะทาง 325.6 กิโลเมตร โดยการจำลองทั้งหมดได้แปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ ค่าความต้านทาน (R) ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L) และค่าความจุไฟฟ้า (C) ลงมาในอัตราส่วนที่กำหนดไว้แล้ว (อัตราส่วนเพอร์ยูนิต) และยังทำการจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้าแบบพาย และแบบที เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างที่เกิดขึ้น ส่วนประกอบต่างๆ ของสายส่งกำลังไฟฟ้ามีรายละเอียดดังนี้

3.5.1 การออกแบบความต้านทานไฟฟ้า (R)

ความต้านทานไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้านี้ได้ใช้ตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ แบบไวร์ววด (Wire Wound) ซึ่งมีคุณสมบัติทนกำลังไฟฟ้าได้สูงโดยในการจำลองใช้ความต้านทานขนาด 50 W และเป็นแบบปรับค่าได้ตั้งแต่ 0 – 1 Ω ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ แบบไวร์ววด (Wire Wound) 50 W

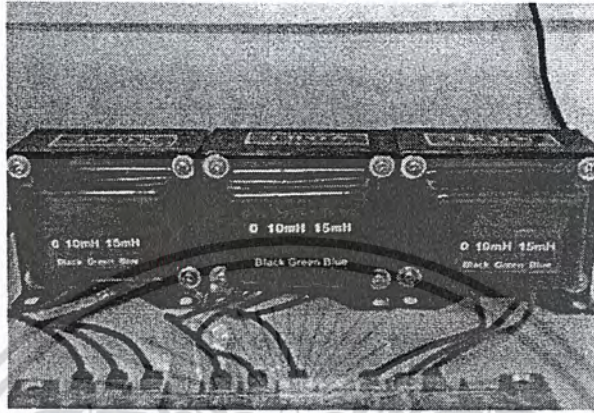
การออกแบบความต้านทานปรับค่าได้นี้ได้นำมาใช้จำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้า 3 แบบ คือ ระยะสั้น ระยะกลาง และระยะไกล โดยแบ่งความต้านทานปรับค่าได้เป็น 3 ช่วง สำหรับใช้งานกับการจำลองทั้ง 3 แบบ ดังนี้

1. ระยะสั้นใช้ค่าความต้านทานเท่ากับ 1.4 Ω
(ใช้ตัวต้านทานต่อกัน 2 ช่วง ช่วงละ 0.7 Ω)
2. ระยะกลางใช้ค่าความต้านทานเท่ากับ 0.4 Ω
(ใช้ตัวต้านทานต่อกัน 2 ช่วง ช่วงละ 0.2 Ω)
3. ระยะไกลใช้ค่าความต้านทานเท่ากับ 0.7 Ω
(ใช้ตัวต้านทานต่อกัน 2 ช่วง ช่วงละ 0.35 Ω)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L)

ความเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้านี้ได้ใช้ค่าความเหนี่ยวนำที่เป็นแกนเหล็ก และมีพิกัดกระแสไฟฟ้า 5 A ซึ่งตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้านี้มีค่าความเหนี่ยวนำ 2 ค่า คือ 10 mH และ 15 mH



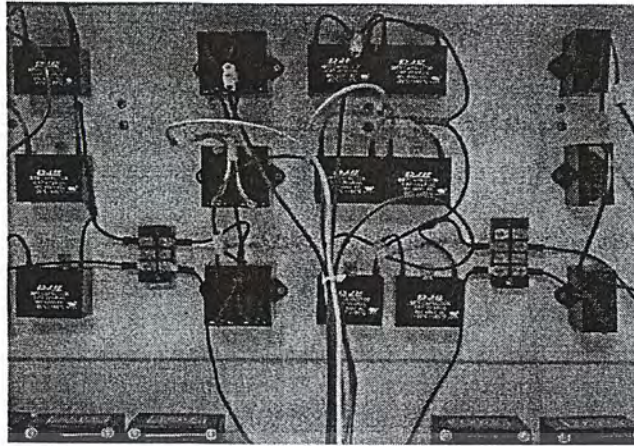
รูปที่ 3.9 ตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้าพิกัดกระแสไฟฟ้า 5 A

การออกแบบความเหนี่ยวนำไฟฟ้านี้ได้นำมาใช้จำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้า 3 แบบ คือ ระยะสั้น ระยะกลาง และระยะไกล โดยแบ่งความเหนี่ยวนำไฟฟ้าได้เป็น 2 ช่วง สำหรับใช้งานกับการจำลองทั้ง 3 แบบ ดังนี้

1. ระยะสั้นใช้ความเหนี่ยวนำไฟฟ้าเท่ากับ 30 mH
(ใช้ตัวเหนี่ยวนำต่อกัน 2 ช่วง ช่วงละ 15 mH)
2. ระยะกลางใช้ความเหนี่ยวนำไฟฟ้าเท่ากับ 20 mH
(ใช้ตัวเหนี่ยวนำต่อกัน 2 ช่วง ช่วงละ 10 mH)
3. ระยะไกลใช้ความเหนี่ยวนำไฟฟ้าเท่ากับ 30 mH
(ใช้ตัวเหนี่ยวนำต่อกัน 2 ช่วง ช่วงละ 15 mH)

3.5.3 การออกแบบตัวเก็บประจุไฟฟ้า (C)

ตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้านี้ได้ใช้ตัวเก็บประจุที่มีพิกัดแรงดันไฟฟ้า $400 V_{ac} \pm 5\%$ ซึ่งตัวเก็บประจุที่ใช้ในการจำลองนี้ใช้ค่าความจุไฟฟ้า 2 ค่า คือ 14 μF และ 20 μF สำหรับการจำลองวงจรสายส่งกำลังไฟฟ้าแบบที่ (T) ที่ใช้ค่าความจุไฟฟ้า 28 μF และ 40 μF ก็จะใช้ตัวเก็บประจุขนาด 14 μF 2 ตัวมาต่อขนานกัน และ 20 μF 2 ตัวมาต่อขนานกันตามลำดับดังรูป 3.10



รูปที่ 3.10 ตัวเก็บประจุไฟฟ้าพิกัดแรงดันไฟฟ้า 400 V

การออกแบบตัวเก็บประจุไฟฟ้านี้ได้นำมาใช้จำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้า 3 แบบ คือ ระยะสั้น ระยะกลาง และระยะไกล โดยใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า 2 ขนาด สำหรับใช้งานกับการจำลองทั้ง 3 แบบ ดังนี้

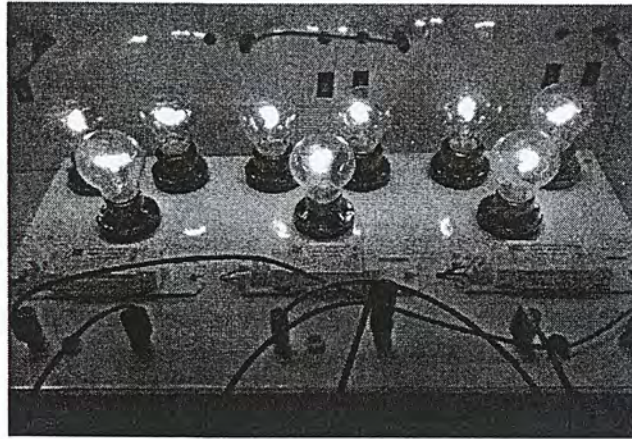
1. ระยะสั้นไม่ใช้ค่าความจุไฟฟ้า (เนื่องจากมีค่าน้อยมาก)
2. ระยะกลางใช้ค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับ $28 \mu\text{F}$
3. ระยะไกลใช้ค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับ $40 \mu\text{F}$

3.6 โหลดของระบบส่งกำลังไฟฟ้า

โหลดของโครงการนี้จะมี 2 ประเภท คือ โหลดหลอดไฟ และโหลดบัลลาสต์ ซึ่งในการจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้านี้จะเป็นการจ่ายโหลด 3 เฟส โดยแต่ละเฟสจะมีโหลดที่แตกต่างกันอยู่ 4 แบบ คือ

1. โหลดหลอดไฟ 1 หลอด (300 W)
2. โหลดหลอดไฟ 2 หลอด (600 W)
3. โหลดหลอดไฟ 3 หลอด (900 W)
4. โหลดหลอดไฟ 1 หลอด + โหลดบัลลาสต์ 1 อัน

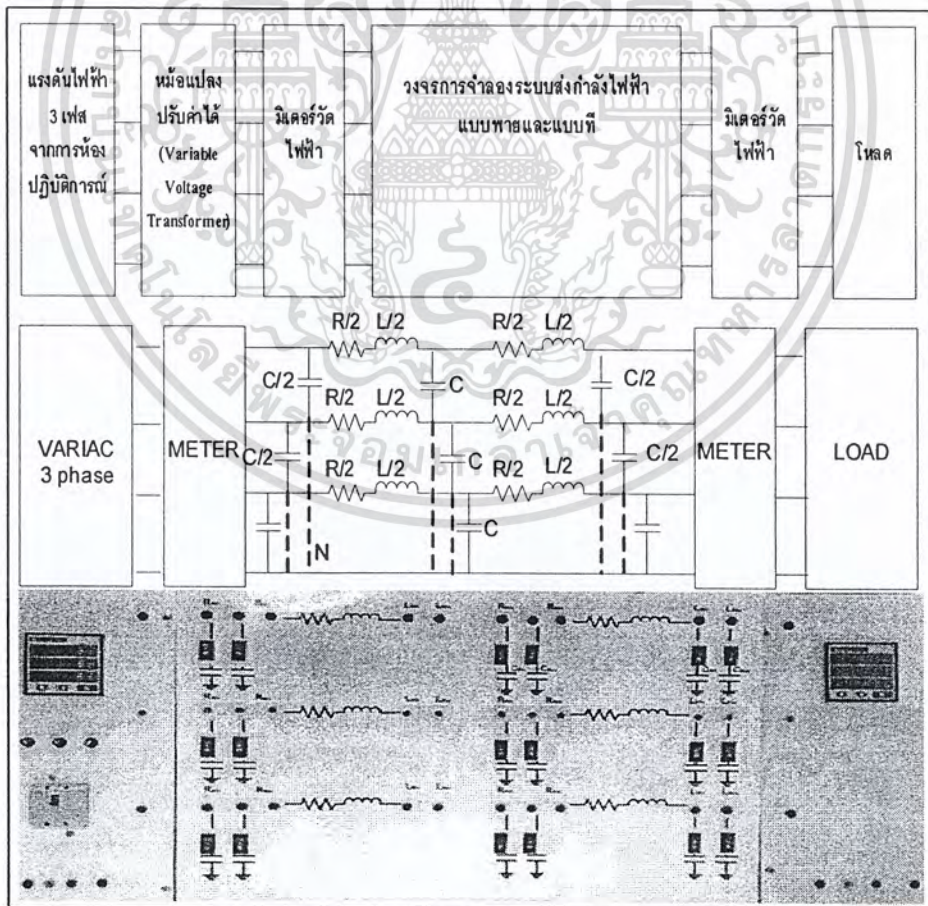
โดยการจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้านี้จะมองว่าจ่ายโหลดในสภาวะปกติที่ 600 W และมีการจำลองลดและเพิ่มขนาดโหลดจากสภาวะปกติ เพื่อสังเกตว่าพฤติกรรมต่างๆ ของระบบมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรเมื่อมีการลดและเพิ่มโหลด



รูปที่ 3.11 โหลดของระบบที่ใช้ในการทดลอง

3.7 ชุดจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้า

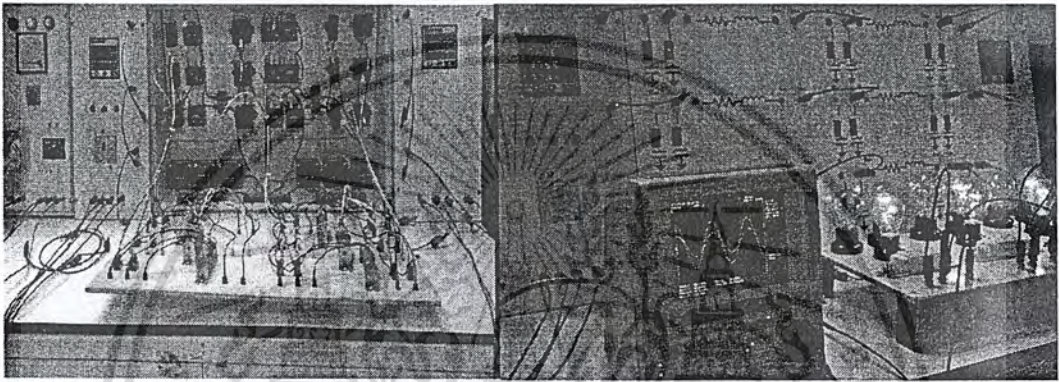
หลังจากคำนวณค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดและจัดหาอุปกรณ์ตามที่ได้คำนวณมาแล้วก็ทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ลงบนชุดทดลองระบบส่งกำลังไฟฟ้า โดยการติดตั้งมีโครงสร้างดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 โครงสร้างการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ในการจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการออกแบบโครงสร้างดังกล่าวแล้วก็ทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ลงบนชุดทดลองดังนี้ มีเตอร์วัดปริมาณทางไฟฟ้า ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำ และโหลดของระบบ โดยการจำลองสามารถจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้าได้ทั้ง ระยะสั้น ระยะกลาง และระยะไกล ซึ่งขึ้นอยู่กับทางเลือกเสียบสายไฟเพื่อต่อกับค่าความต้านทานและค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า ตามระบบที่ต้องการจำลอง และสามารถเลือกค่าความจุไฟฟ้าได้จากการเปิด ปิดสวิตช์เพื่อเลือกค่าความจุไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการจำลอง รวมทั้งสามารถจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้าได้ทั้งแบบพาย (π) และแบบที (T) ทำได้โดยการเลือกเสียบสายไฟและการเลือกเปิด ปิดสวิตช์เช่นกัน ซึ่งการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งการเลือกระบบการจำลองได้แสดงไว้ดังรูป 3.13



รูปที่ 3.13 การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ลงบนแผงจำลอง

3.8 แสดงค่าพารามิเตอร์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้าทั้งระบบจริงและระบบจำลอง

จากทฤษฎีบทที่ 2 ได้คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ดังนี้ ค่าความต้านทาน ค่าความเหนี่ยวนำ และค่าความจุไฟฟ้า ของระบบส่งกำลังไฟฟ้าจริงจากการไฟฟ้าฯ มาเป็นค่าในชุดทดลองซึ่งค่าพารามิเตอร์ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 – 3.3

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าเพอร์ยูนิตระบบจริงและค่าที่ติดตั้งในชุดทดลองของระยะไกล

MM3 –TTK (325.6 km.)	ระบบจริงจากการไฟฟ้า		ชุดทดลอง	
	ค่าจริง	เพอร์ยูนิต	ค่าจริง	เพอร์ยูนิต
	(Base 500kV, 100MVA)		(Base 400V, 600VA)	
R	6.87 Ω	0.002665	0.7 Ω	0.002625
X_L	87.65 Ω (279 mH)	0.035895	9.425 Ω (30 mH)	0.035343
Y	745.8 Ω (4.268 μ F)	3.343836	79.57 Ω (40 μ F)	3.351347

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าเพอร์ยูนิตระบบจริงและค่าที่ติดตั้งในชุดทดลองของระยะกลาง

TTK-NCO (207.6 km.)	ระบบจริงจากการไฟฟ้า (Base 500kV, 100MVA)		ชุดทดลอง (Base 400V, 600VA)	
	ค่าจริง	เพอร์ยูนิต	ค่าจริง	เพอร์ยูนิต
R	3.82 Ω	0.001700	0.4 Ω	0.001500
X_L	87.65 Ω (178.40 mH)	0.022261	6.283 Ω (20 mH)	0.023562
Y	1168.5 Ω (2.723 μF)	2.199940	113.68 Ω (28 μF)	2.345723

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าเพอร์ยูนิตระบบจริงและค่าที่ติดตั้งในชุดทดลองของระยะใกล้

BP2 - SNO (53.87 km.)	ระบบจริงจากการไฟฟ้า (Base 230kV, 100MVA)		ชุดทดลอง (Base 400V, 600VA)	
	ค่าจริง	เพอร์ยูนิต	ค่าจริง	เพอร์ยูนิต
R	2.82 Ω	0.005276	1.4 Ω	0.005249
X_L	21.16 Ω (66.7 mH)	0.039607	9.425 Ω (30 mH)	0.035343

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง

การจำลองด้วยโปรแกรม ATP / EMTP และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองวงจรแบบจำลองที่ได้แบ่งการจำลองออกเป็น 3 แบบคือ

1. วงจรสายส่งระยะสั้นระยะ
2. วงจรสายส่งระยะกลาง ในรูปแบบวงจรสมมูลย์ π และแบบสมมูลย์ T
3. วงจรสายส่งระยะไกล ในรูปแบบวงจรสมมูลย์ π และแบบสมมูลย์ T

เพื่อศึกษาพฤติกรรมแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, และมุมระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า ทั้งฝั่งส่งและฝั่งรับเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง 4 แบบคือ

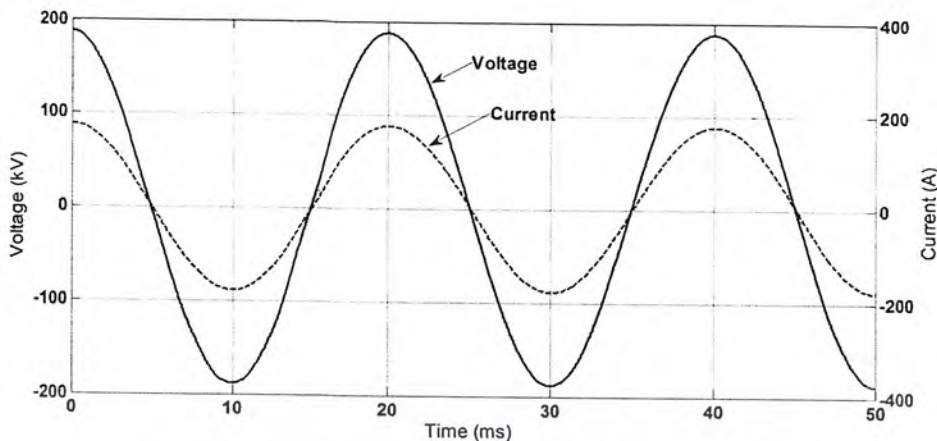
1. 50% (50MVA ในระบบจริง หรือ 300VA ในระบบจำลอง) power factor = 1
2. 100% (100MVA ในระบบจริง หรือ 600VA ในระบบจำลอง) power factor = 1
3. 150% (150MVA ในระบบจริง หรือ 900VA ในระบบจำลอง) power factor = 1
4. R-L (100MVA ในระบบจริง หรือ 600VA ในระบบจำลอง) power factor = 0.63 Lag

ผลการทดลอง วงจรสายส่งระยะสั้น

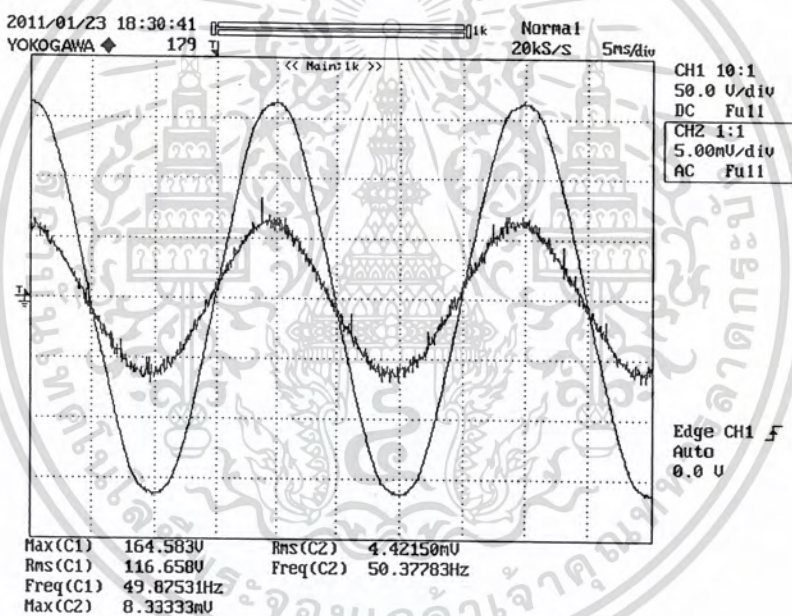
Load	ส่ง			รับ		
	I	$\cos \theta$	V_{L-L}	I	$\cos \theta$	V_{L-L}
300W	0.447 A	1	403.7 V	0.447 A	1	400 V
600W	0.908 A	0.99 Lag	408.4 V	0.908 A	1	400 V
900W	1.353 A	0.99 Lag	409.0 V	1.353 A	1	400 V
R-L	0.956 A	0.60 Lag	427.3 V	0.956 A	0.63 Lag	400 V

วงจรระยะสั้น
ความยาวสายส่ง 53.87 km ขนาดสาย 1272MCM ACSR/GA
Base ระบบจริง 100 MVA 230 kV
Base ระบบจำลอง 600 VA 400 V
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง R : 2.79 Ω L : 66.7 mH
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง R : 1.4 Ω L : 30 mH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะสั้นฝั่งส่งจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

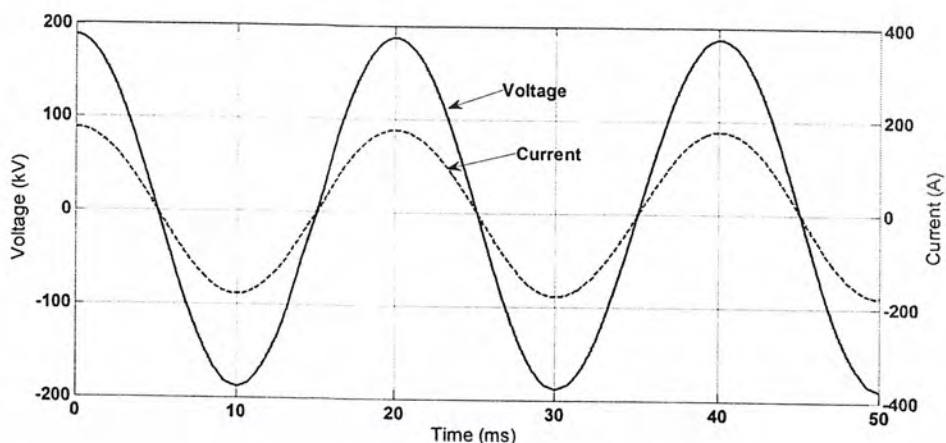


รูปที่ 4.2 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะสั้นฝั่งส่งจากชุดทดลอง

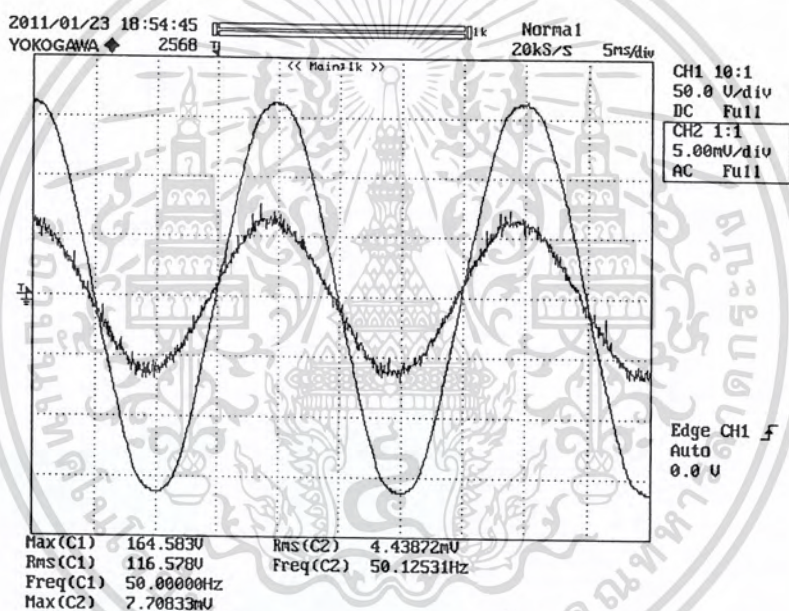
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะสั้นด้านส่ง (โหลด 50%)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	230680 V	125.53 A	0.99 Lag
ชุดทดลอง	232127 V	129.56 A	1
% ความคลาดเคลื่อน	0.627%	3.21%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะสั้นฝั่งรับจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.4 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะสั้นฝั่งรับจากชุดทดลอง

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะสั้นด้านรับ (โหลด 50%)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	230000 V	125.53 A	1
ชุดทดลอง	230000 V	129.56 A	1
% ความคลาดเคลื่อน	-	3.21%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1- 4.4 และตารางที่ 4.1-4.2 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

การทดลองโหลด 50% ของสายส่งระยะสั้น

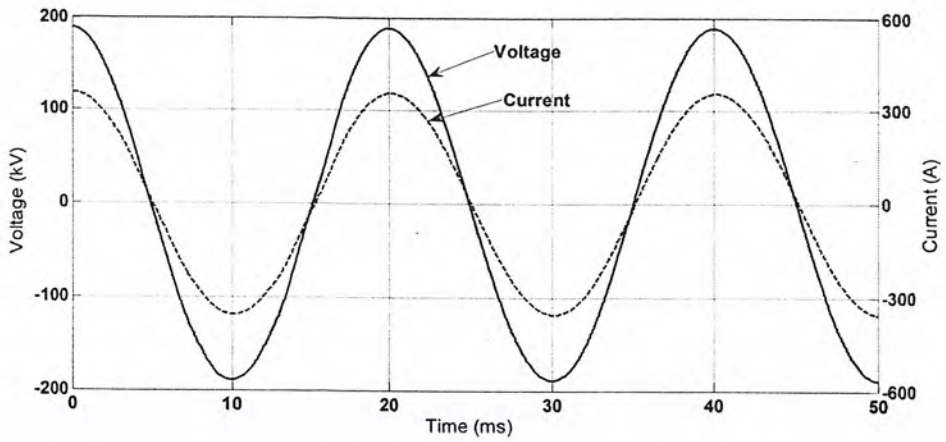
การจำลองจากโปรแกรมพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 230.68 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 230 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 0.68 kV เนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้าตกบนสายส่ง สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับและด้านส่งมีค่าเท่ากันเท่ากับ 125.53 A เนื่องจากไม่คิดค่าความจุไฟฟ้า(C) เพราะมีค่าน้อยมากในสายส่งระยะสั้น ผลของมุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้าทั้งสองฝั่งมีค่าใกล้เคียงกันหรืออาจกล่าวได้ว่าค่าความเหนี่ยวนำ (L) ในสายส่งมีผลต่อการส่งกำลังไฟฟ้าน้อยมาก

ผลสรุปที่ได้จากชุดทดลองพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 232.12 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 230 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 2.12 kV สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับและด้านส่งมีค่าเท่ากันเท่ากับ 129.56 A สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองเหมือนกับการจำลองจากโปรแกรม

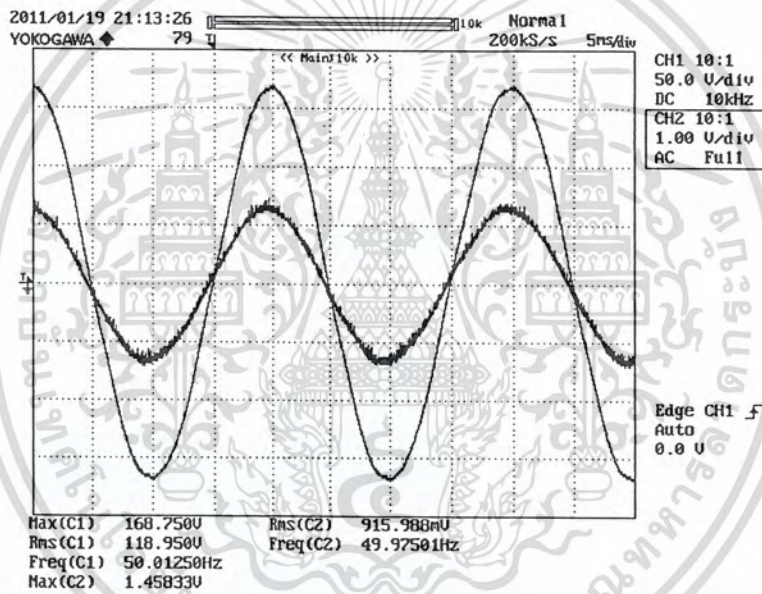
เปรียบเทียบการจำลองจากโปรแกรมและผลการทดลองเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าด้านรับเป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง 230 kV พบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งของการจำลองจากโปรแกรมและแรงดันไฟฟ้าด้านส่งจากผลการทดลองมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 0.627% สำหรับกระแสไฟฟ้าของการจำลองจากโปรแกรมและกระแสไฟฟ้าจากชุดทดลองมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 3.21%

จากรูปที่ 4.1 ถึง 4.4 รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า จะเห็นว่ารูปคลื่นมีลักษณะเฟสที่ตรงกัน ซึ่งรูปคลื่นจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีรูปคลื่นที่ได้ตรงกับที่ได้จากชุดทดลอง เป็นการยืนยันผลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี

เนื่องจากเป็นสายส่งระยะสั้นและใช้แรงดันไฟฟ้าในสายส่งสูง (230kV) จึงทำให้ประสิทธิภาพในการส่งกำลังไฟฟ้ามีค่าสูงเป็นผลให้ค่าพารามิเตอร์ในสายส่งมีผลกระทบต่อระบบส่งกำลังไฟฟ้าน้อย



รูปที่ 4.5 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะสั้นฝั่งส่งจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

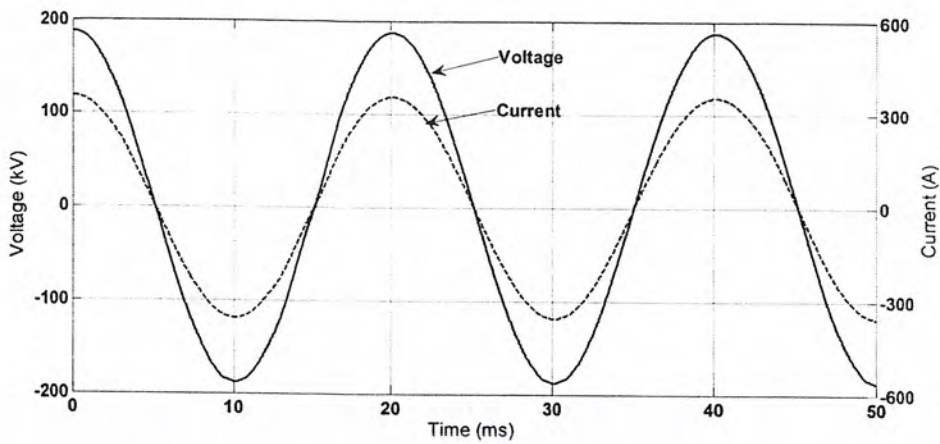


รูปที่ 4.6 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะสั้นฝั่งส่งจากชุดทดลอง

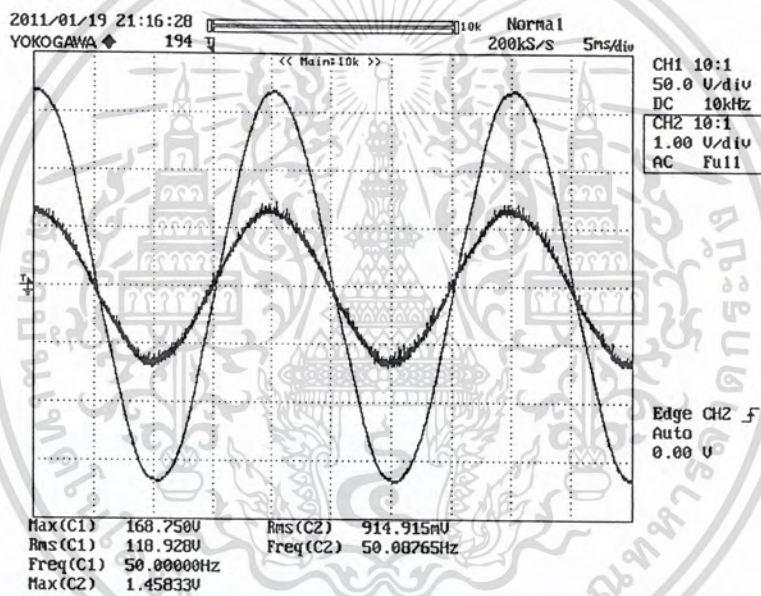
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะสั้นด้านส่ง (โหลด 100%)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	231476 V	251.11 A	0.99 Lag
ชุดทดลอง	234772 V	263.19 A	0.99 Lag
% ความคลาดเคลื่อน	1.42%	4.81%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะสั้นฝั่งรับจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.8 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะสั้นฝั่งรับจากการทดลอง

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะสั้นด้านรับ (โหลด 100%)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	230000 V	251.11 A	1
ชุดทดลอง	230000 V	263.19 A	1
% ความคลาดเคลื่อน	-	4.81%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5- 4.8 และตารางที่ 4.3- 4.4 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

การทดลองโหลด 100% ของสายส่งระยะสั้น

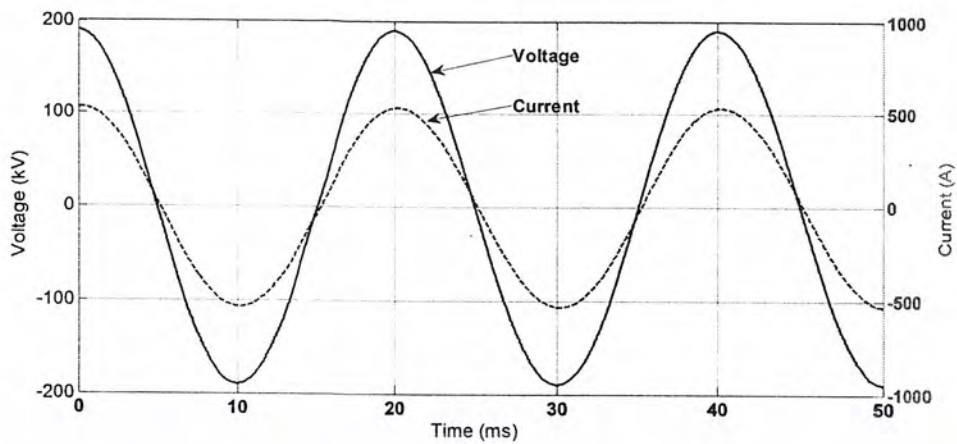
การจำลองจากโปรแกรมพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 231.47 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 230 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 1.47 kV เนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้าตกบนสายส่ง สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับและด้านส่งมีค่าเท่ากันเท่ากับ 251.11 A เนื่องจากไม่คิดค่าความจุไฟฟ้า(C) เพราะมีค่าน้อยมากในสายส่งระยะสั้น ผลของมุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้าทั้งสองฝั่งมีค่าใกล้เคียงกันหรืออาจกล่าวได้ว่าค่าความเหนี่ยวนำ (L) ในสายส่งมีผลต่อการส่งกำลังไฟฟ้าน้อยมาก

สรุปผลที่ได้จากชุดทดลองพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 234.77 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 230 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 4.77kV สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับและด้านส่งมีค่าเท่ากันเท่ากับ 263.19 A สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองเหมือนกับการจำลองจากโปรแกรม

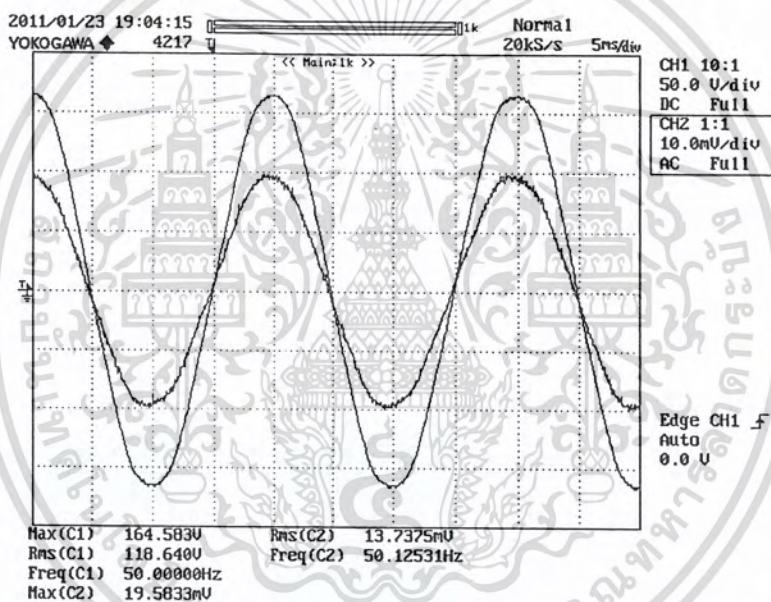
เปรียบเทียบการจำลองจากโปรแกรมและผลการทดลองเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าด้านรับเป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง 230 kV พบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งของการจำลองจากโปรแกรมและแรงดันไฟฟ้าด้านส่งจากผลการทดลองมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 1.42% สำหรับกระแสไฟฟ้าของการจำลองจากโปรแกรมและกระแสไฟฟ้าจากผลการทดลองมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 4.81%

จากรูปที่ 4.5 ถึง 4.8 รูปร่างคลื่นของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า จะเห็นว่ารูปร่างคลื่นมีลักษณะเฟสที่ตรงกัน ซึ่งรูปร่างคลื่นจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีรูปร่างที่ได้ตรงกับที่ได้จากชุดทดลอง เป็นการยืนยันผลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี

เนื่องจากเป็นสายส่งระยะสั้นและใช้แรงดันไฟฟ้าในสายส่งสูง (230kV) จึงทำให้ประสิทธิภาพในการส่งกำลังไฟฟ้ามี่ค่าสูงเป็นผลให้ค่าพารามิเตอร์ในสายส่งมีผลกระทบต่อระบบส่งกำลังไฟฟ้าน้อย



รูปที่ 4.9 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะสั้นฝั่งส่งจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

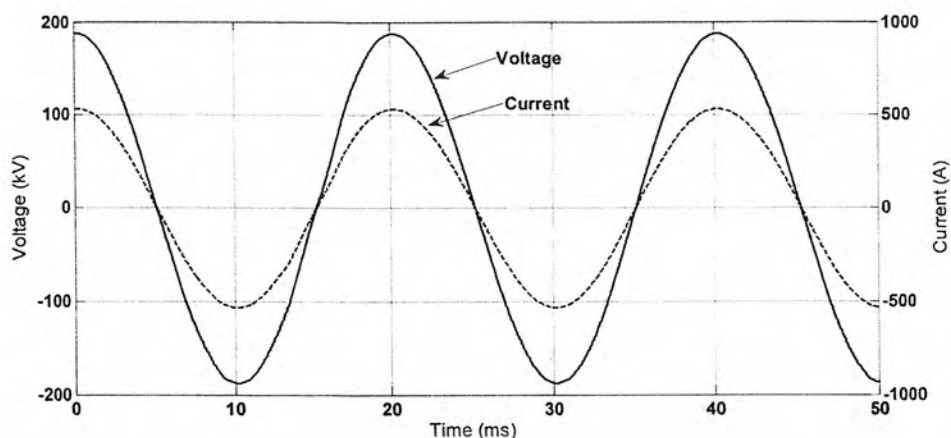


รูปที่ 4.10 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะสั้นฝั่งส่งจากชุดทดลอง

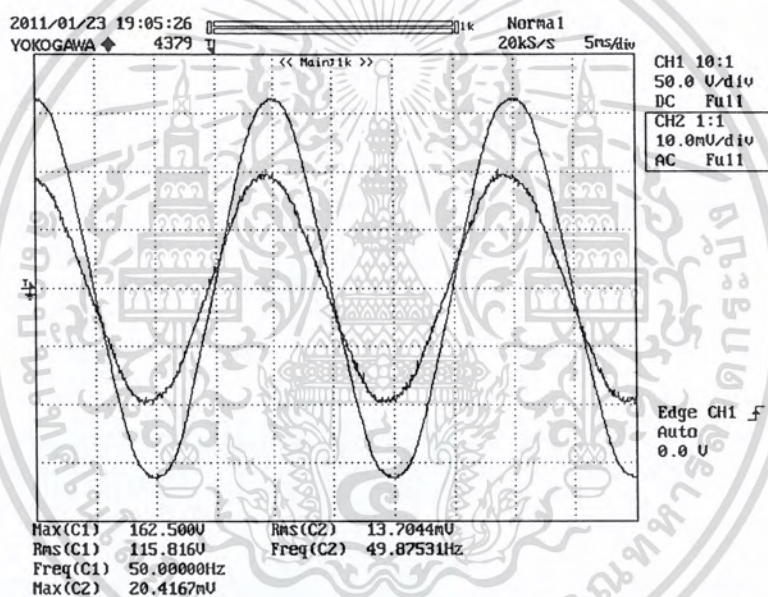
ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะสั้นด้านส่ง (โหลด 150%)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	232272 V	376.71 A	0.99 Lag
ชุดทดลอง	235175 V	392.17 A	0.99 Lag
% ความคลาดเคลื่อน	1.25%	4.1%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะสั้นฝั่งรับจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.12 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะสั้นฝั่งรับจากชุดทดลอง

ตารางที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะสั้นด้านส่ง (โหลด 150%)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	230000 V	376.71 A	1
ชุดทดลอง	230000 V	392.17 A	1
% ความคลาดเคลื่อน	-	4.1%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9- 4.12 และตารางที่ 4.5- 4.6 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

การทดลองโหลด 150% ของสายส่งระยะสั้น

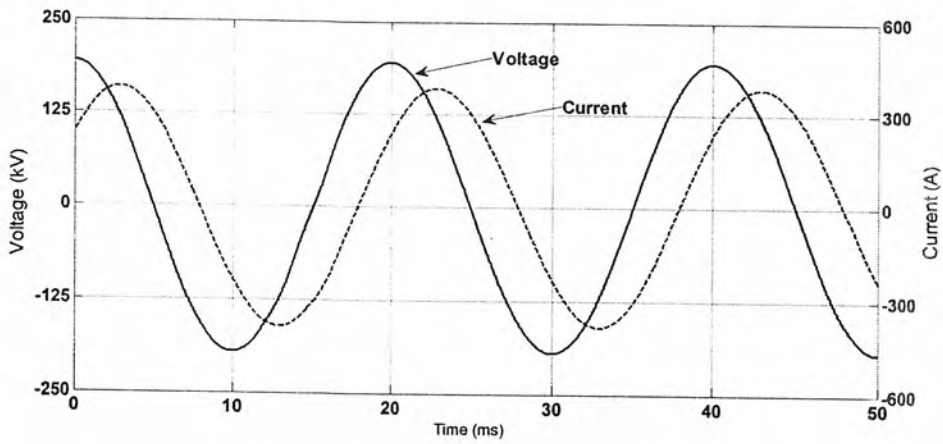
การจำลองจากโปรแกรมพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 232.27 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 230 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 2.27 kV เนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้าตกบนสายส่ง สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับและด้านส่งมีค่าเท่ากันเท่ากับ 376.71 A เนื่องจากไม่คิดค่าความจุไฟฟ้า(C) เพราะมีค่าน้อยมากในสายส่งระยะสั้น ผลของมุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้าทั้งสองฝั่งมีค่าใกล้เคียงกันหรืออาจกล่าวได้ว่าค่าความเหนี่ยวนำ (L) ในสายส่งมีผลต่อการส่งกำลังไฟฟ้าน้อยมาก

ผลสรุปที่ได้จากชุดทดลองพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 235.17 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 230 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 5.17 kV สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับและด้านส่งมีค่าเท่ากันเท่ากับ 392.17 A สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองเหมือนกับการจำลองจากโปรแกรม

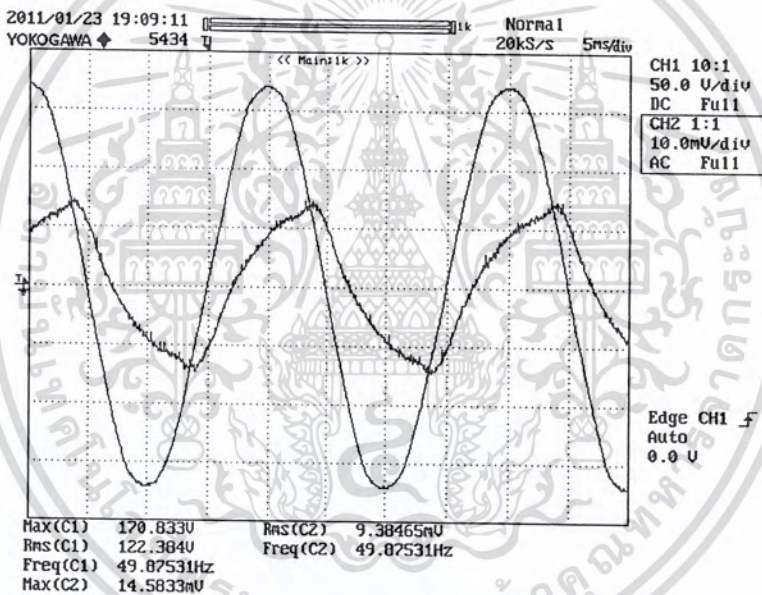
เปรียบเทียบการจำลองจากโปรแกรมและผลการทดลองเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าด้านรับเป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง 230 kV พบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งของการจำลองจากโปรแกรมและแรงดันไฟฟ้าด้านส่งจากผลการทดลองมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 1.25% สำหรับกระแสไฟฟ้าของการจำลองจากโปรแกรมและกระแสไฟฟ้าจากผลการทดลองมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 4.1%

จากรูปที่ 4.9 ถึง 4.12 รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า จะเห็นว่ารูปคลื่นมีลักษณะเฟสที่ตรงกัน ซึ่งรูปคลื่นจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีรูปคลื่นที่ได้ตรงกับที่ได้จากชุดทดลอง เป็นการยืนยันผลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี

เนื่องจากเป็นสายส่งระยะสั้นและใช้แรงดันไฟฟ้าในสายส่งสูง (230kV) จึงทำให้ประสิทธิภาพในการส่งกำลังไฟฟ้ามีค่าสูงเป็นผลให้ค่าพารามิเตอร์ในสายส่งมีผลกระทบต่อระบบส่งกำลังไฟฟ้าน้อย



รูปที่ 4.13 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะสั้นฝั่งส่งจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

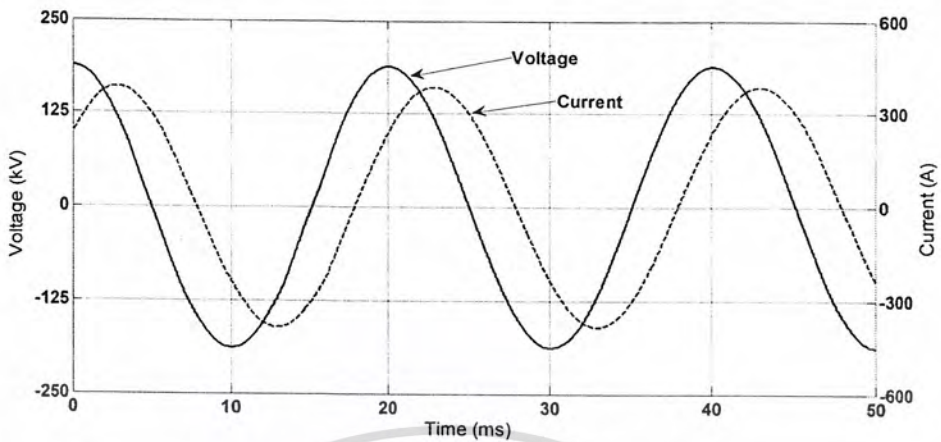


รูปที่ 4.14 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะสั้นฝั่งส่งจากชุดทดลอง

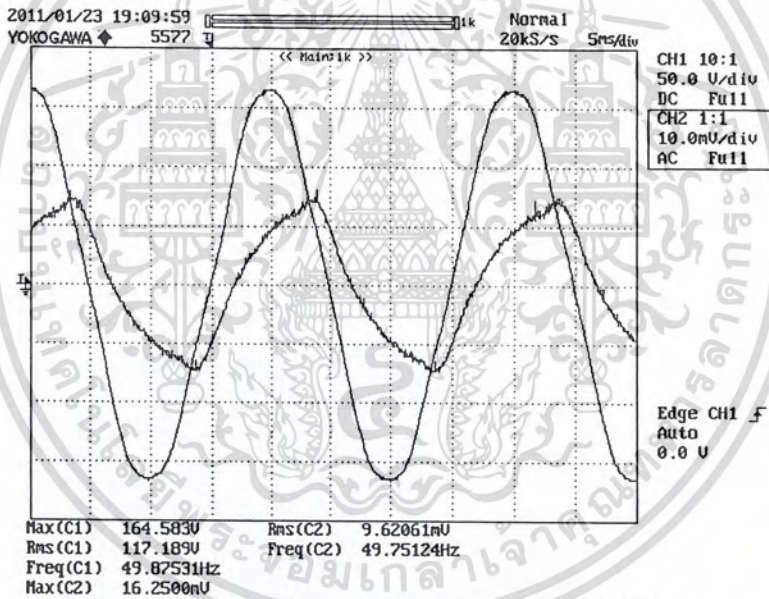
ตารางที่ 4.7 เปรอ์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะสั้นด้านส่ง (โหลด R-L)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	238580 V	272.08 A	0.61 Lag
ชุดทดลอง	245697 V	277.10 A	0.60 Lag
% ความคลาดเคลื่อน	2.98%	1.84%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะสั้นฝั่งรับจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.16 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะสั้นฝั่งรับจากชุดทดลอง

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะสั้นด้านรับ (โหลด R-L)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	230000 V	272.08 A	0.63 Lag
ชุดทดลอง	230000 V	277.10 A	0.63 Lag
% ความคลาดเคลื่อน	-	1.84%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.13- 4.16 และตารางที่ 4.7- 4.8 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

การทดลองโหลด R-L ของสายส่งระยะสั้น

การจำลองจากโปรแกรมพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 238.58 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 230 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 8.58 kV เนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้าตกบนสายส่ง สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับและด้านส่งมีค่าเท่ากันเท่ากับ 272.08 A เนื่องจากไม่คิดค่าความจุไฟฟ้า(C) เพราะมีค่าน้อยมากในสายส่งระยะสั้น ผลของมุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้าด้านรับมากกว่าด้านส่งเพราะค่าความเหนี่ยวนำ (L) ในสายส่งมีผลต่อการส่งกำลังไฟฟ้า

ผลสรุปที่ได้จากชุดทดลองพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 245.69 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 230 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 15.69 kV สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับและด้านส่งมีค่าเท่ากันเท่ากับ 277.10 A สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองเหมือนกับการจำลองจากโปรแกรม

เปรียบเทียบการจำลองจากโปรแกรมและผลการทดลองเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าด้านรับเป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง 230 kV พบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งของการจำลองจากโปรแกรมและแรงดันไฟฟ้าด้านส่งจากผลการทดลองมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 2.98% สำหรับกระแสไฟฟ้าของการจำลองจากโปรแกรมและกระแสไฟฟ้าจากผลการทดลองด้านรับมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 1.84%

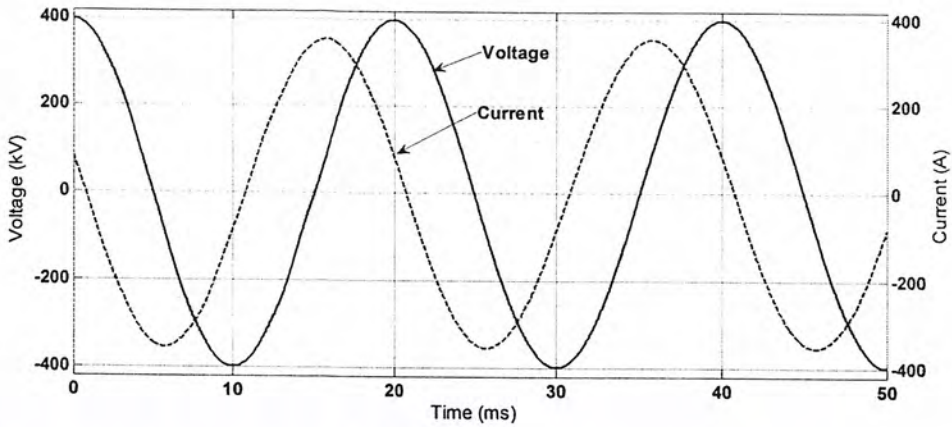
จากรูปที่ 4.13 ถึง 4.16 รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า จะเห็นว่ารูปคลื่นมีกระแสมีลักษณะที่ผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์อันเนื่องมาจากโหลด แต่ลักษณะกราฟที่ได้จากชุดทดลองและโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีลักษณะเดียวกัน เป็นการยืนยันผลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี

เนื่องจากเป็นสายส่งระยะสั้นและใช้แรงดันไฟฟ้าในสายส่งสูง (230kV) จึงทำให้ประสิทธิภาพในการส่งกำลังไฟฟ้ามี่ค่าสูงเป็นผลให้ค่าพารามิเตอร์ในสายส่งมีผลกระทบต่อระบบส่งกำลังไฟฟ้าน้อย

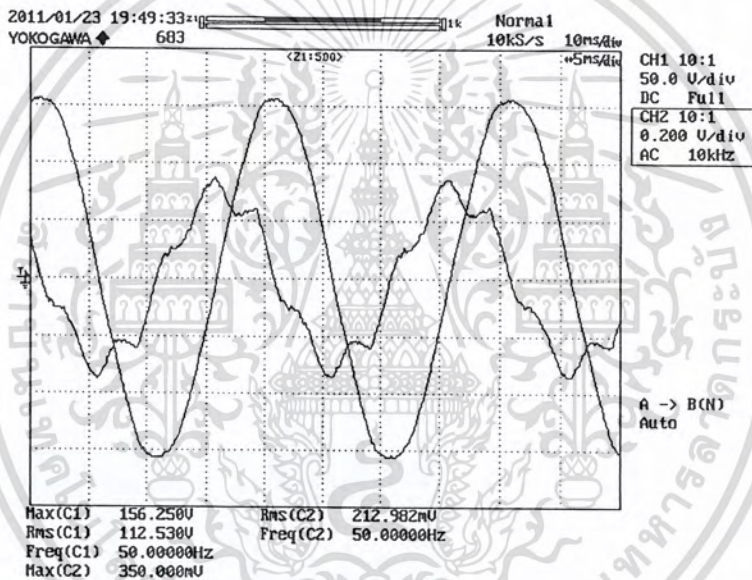
วงจรสายส่งระยะกลาง แบบวงจร PI

วงจรระยะกลาง						
ความยาวสายส่ง 207.6 km		ขนาดสาย 795MCM ACSR/GA				
Base ระบบจริง		100 MVA	500 kV			
Base ระบบจำลอง		600 VA	400 V			
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง		R : 4.38 Ω	L : 148.405 mH	C : 2.724 μ F		
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง		R : 0.4 Ω	L : 20 mH	C : 28 μ F		
Load	ส่ง			รับ		
	I	cos θ	V_{L-L}	I	cos θ	V_{L-L}
300W	2.116 A	0.22 Lead	383.0 V	0.448 A	1	400 V
600W	2.247 A	0.42 Lead	384.2 V	0.904 A	1	400 V
900W	2.445 A	0.58 Lead	386.8 V	1.354 A	1	400 V
R-L	1.532 A	0.38 Lead	389.1 V	0.9 A	0.63 Lag	400 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่งจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

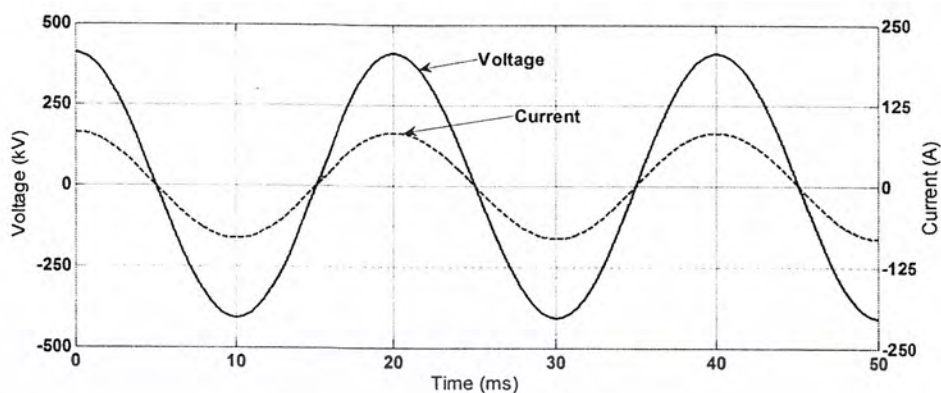


รูปที่ 4.18 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่งจากชุดทดลอง

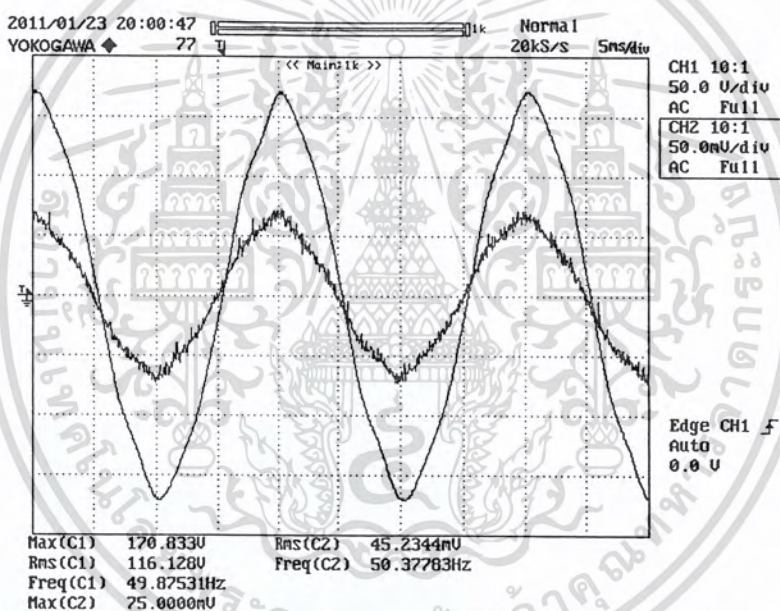
ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะกลางด้านส่ง (โหลด 50%)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	488550 V	250.58 A	0.28 Lead
ชุดทดลอง	478750 V	281.33 A	0.22 Lead
% ความคลาดเคลื่อน	2%	12.27%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.20 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับจากชุดทดลอง

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะกลางด้านรับ (โหลด 50%)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	500000 V	57.74 A	1
ชุดทดลอง	500000 V	59.73 A	1
% ความคลาดเคลื่อน	-	3.45%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.17- 4.20 และตารางที่ 4.9- 4.10 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

การทดลองโหลด 50% ของสายส่งระยะกลาง

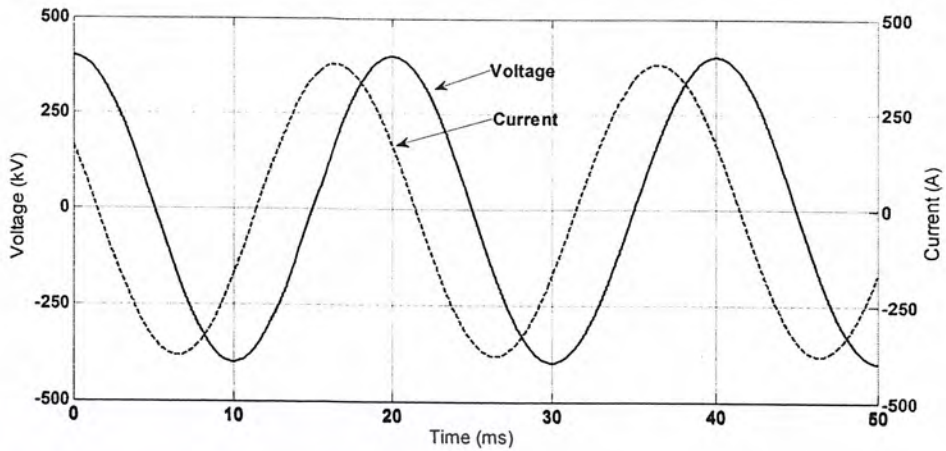
การจำลองจากโปรแกรมพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 488.55 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 11.45 kV เกิดแรงดันด้านรับมากกว่าด้านส่งเพราะว่ามีค่าความจุไฟฟ้าระหว่างสายเฟสกับสายนิวทรัล สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 57.74 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 250.58 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 192.84 A เนื่องจากเกิดกระแสไฟฟ้าซาร์จความจุไฟฟ้า(C) และค่าความจุไฟฟ้ามียุทธกระทบมากเพราะว่าโหลดที่น้อยเกิดตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามี่ค่าเท่ากับ 0.28 Lead

ผลสรุปที่ได้จากชุดทดลองพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 478.75 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 21.15 kV สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 59.73 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 281.33 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 221.60 A ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.22 Lead สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองเหมือนกับการจำลองจากโปรแกรม

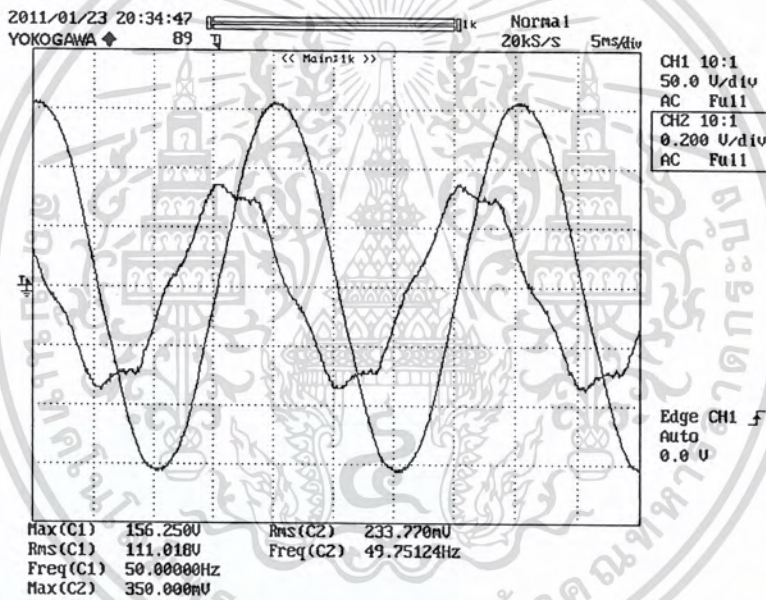
เปรียบเทียบการจำลองจากโปรแกรมและผลการทดลองเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าด้านรับเป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง 500 kV พบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งของการจำลองจากโปรแกรมและแรงดันไฟฟ้าด้านส่งจากผลการทดลองมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 2% สำหรับกระแสไฟฟ้าของการจำลองจากโปรแกรมและกระแสไฟฟ้าจากผลการทดลองด้านส่งมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 12.27% และกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 3.45%

จากรูปที่ 4.17 ถึง 4.20 รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า จะเห็นว่าด้านส่งรูปคลื่นมีลักษณะลูกคลื่นกระแสน้ำหน้าลูกคลื่นแรงดันทำให้เกิดมุมประกอบกำลังไฟฟ้าแบบหน้าหน้า รูปกราฟกระแสที่ได้จากชุดทดลองมีรูปคลื่นผิดเพี้ยนจากรูปคลื่นไซน์มีผลทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนของกระแสไฟฟ้าด้านส่งค่อนข้างมาก แต่ลักษณะกราฟที่ได้จากชุดทดลองและโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีลักษณะเดียวกัน เป็นการยืนยันผลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี

เนื่องจากเป็นสายส่งระยะกลางค่าความจุไฟฟ้าจึงมีผลกระทบต่อกรส่งกำลังไฟฟ้าและโหลดน้อยทำให้ค่าพารามิเตอร์ในสายส่งเป็นโหลดไปด้วย มุมประกอบกำลังไฟฟ้าจึงมีผลตามค่าพารามิเตอร์ในสายส่ง



รูปที่ 4.21 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่งจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

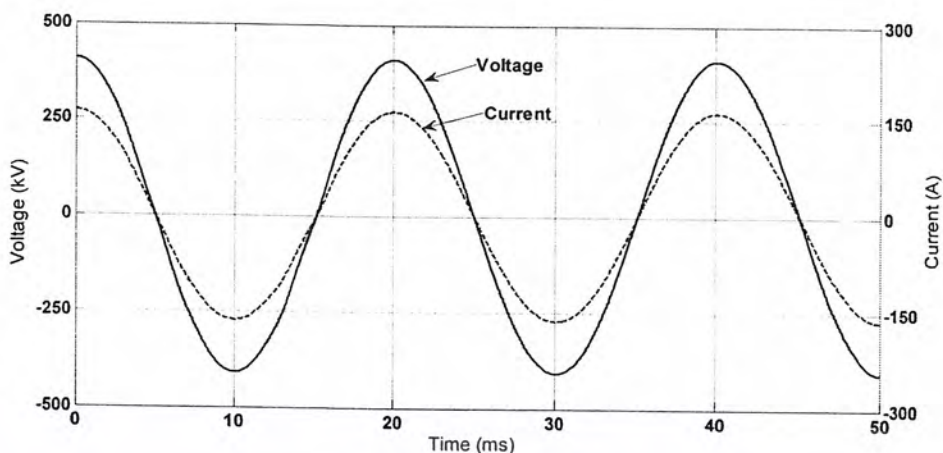


รูปที่ 4.22 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่งจากชุดทดลอง

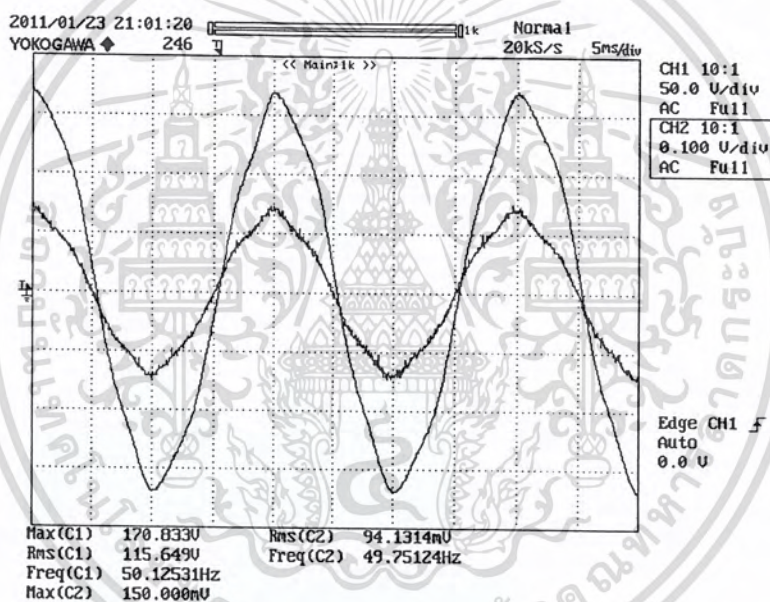
ตารางที่ 4.11 เปรอ์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะกลางด้านส่ง (โหลด 100%)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	489065 V	268.95 A	0.44 Lead
ชุดทดลอง	480250 V	296.62 A	0.42 Lead
% ความคลาดเคลื่อน	1.80%	10.28%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.24 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับจากชุดทดลอง

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะกลางด้านรับ (โหลด 100%)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	500000 V	115.47 A	1
ชุดทดลอง	500000 V	120.53 A	1
% ความคลาดเคลื่อน	-	3.92%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.21- 4.24 และตารางที่ 4.11- 4.12 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

การทดลองโหลด 100% ของสายส่งระยะกลาง

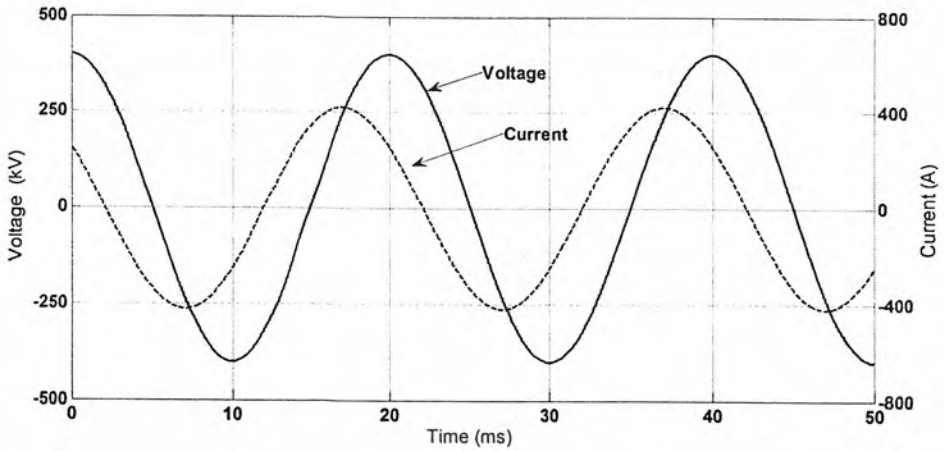
การจำลองจากโปรแกรมพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 489.06 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 10.935 kV เกิดแรงดันด้านรับมากกว่าด้านส่งเพราะว่ามีค่าความจุไฟฟ้าระหว่างสายเฟสกับสายนิวทรัล สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 268.95 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 115.47 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 153.48 A เนื่องจากเกิดกระแสไฟฟ้าซาร์จความจุไฟฟ้า(C) และค่าความจุไฟฟ้ามีผลกระทบมากเพราะว่าโหลดที่น้อยเกิดตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามี่ค่าเท่ากับ 0.44 Lead

ผลสรุปที่ได้จากชุดทดลองพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 480.25 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 19.75 kV สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 120.53 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 296.62 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 176.09 A ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.42 Lead สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองเหมือนกับการจำลองจากโปรแกรม

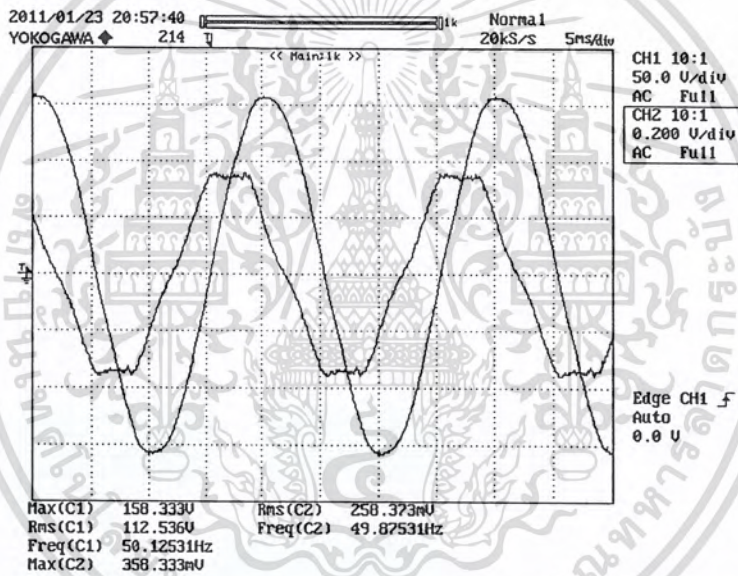
เปรียบเทียบการจำลองจากโปรแกรมและผลการทดลองเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าด้านรับเป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง 500 kV พบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งของการจำลองจากโปรแกรมและแรงดันไฟฟ้าด้านส่งจากผลการทดลองมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 1.80% สำหรับกระแสไฟฟ้าของการจำลองจากโปรแกรมและกระแสไฟฟ้าจากผลการทดลองด้านส่งมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 10.28% และกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 3.92%

จากรูปที่ 4.21 ถึง 4.24 รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า จะเห็นว่าด้านส่งรูปคลื่นมีลักษณะลูกคลื่นกระแสหน้าหน้าลูกคลื่นแรงดันทำให้เกิดมุมประกอบกำลังไฟฟ้าแบบนำหน้า รูปกราฟกระแสที่ได้จากชุดทดลองมีรูปคลื่นผิดเพี้ยนจากรูปคลื่นไซน์มีผลทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนของกระแสไฟฟ้าด้านส่งค่อนข้างมาก แต่ลักษณะกราฟที่ได้จากชุดทดลองและโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีลักษณะเดียวกัน เป็นการยืนยันผลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี

เนื่องจากเป็นสายส่งระยะกลางค่าความจุไฟฟ้าจึงมีผลกระทบต่อ การส่งกำลังไฟฟ้าและโหลดน้อยทำให้ค่าพารามิเตอร์ในสายส่งเป็นโหลดไปด้วย มุมประกอบกำลังไฟฟ้าจึงมีผลตามค่าพารามิเตอร์ในสายส่ง



รูปที่ 4.25 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่งจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

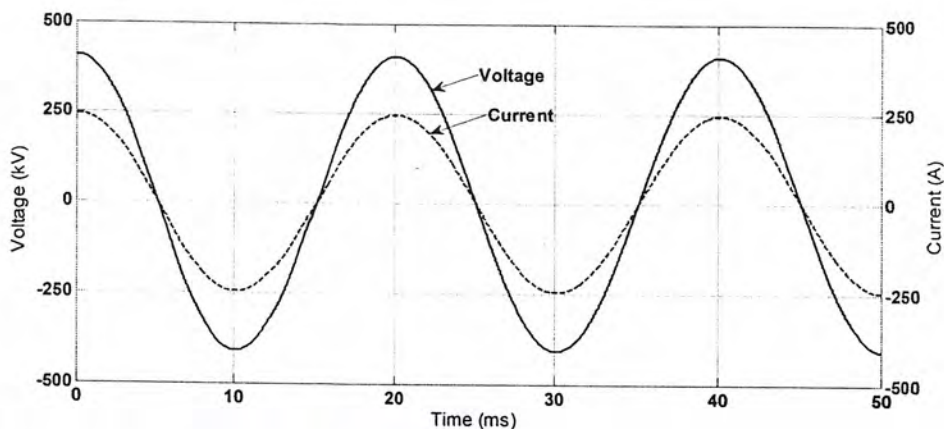


รูปที่ 4.26 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่งจากชุดทดลอง

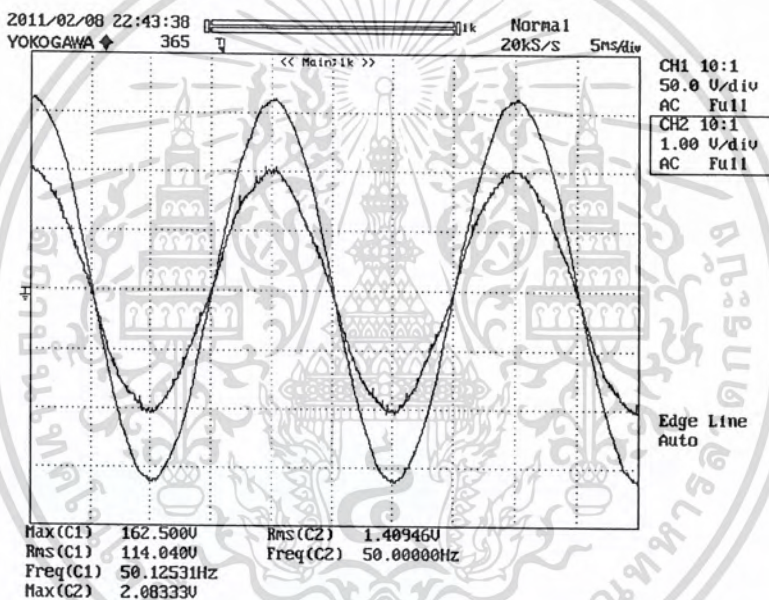
ตารางที่ 4.13 เปรอ์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะกลางด้านส่ง (โหลด 150%)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	489652 V	297.04 A	0.61 Lead
ชุดทดลอง	483500 V	326.00 A	0.58 Lead
% ความคลาดเคลื่อน	1.25%	9.75%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.28 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับจากชุดทดลอง

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะกลางด้านรับ (โหลด 150%)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	500000 V	173.20 A	1
ชุดทดลอง	500000 V	180.53 A	1
% ความคลาดเคลื่อน	-	4.23%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.25- 4.28 และตารางที่ 4.13- 4.14 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

การทดลองโหลด 150% ของสายส่งระยะกลาง

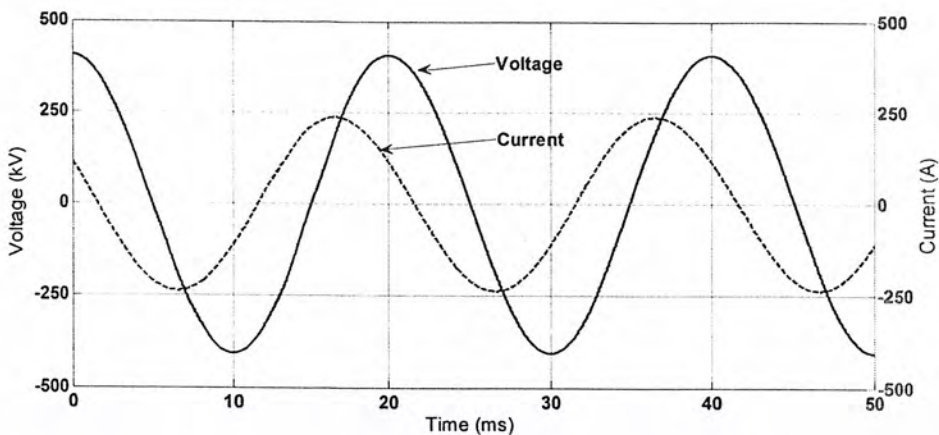
การจำลองจากโปรแกรมพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 489.65 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 10.34 kV เกิดแรงดันด้านรับมากกว่าด้านส่งเพราะว่ามีค่าความจุไฟฟ้าระหว่างสายเฟสกับสายนิวทรัล สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 173.20 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 297.04 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 123.84 A เนื่องจากเกิดกระแสไฟฟ้าซาร์จความจุไฟฟ้า(C) และค่าความจุไฟฟ้ามียุทธกระทบมากเพราะว่าโหลดที่น้อยเกิดตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามียุทธเท่ากับ 0.61 Lead

ผลสรุปที่ได้จากชุดทดลองพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 483.50 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 10.50 kV สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 180.53 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 326.00 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 145.47 A ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.42 Lead สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองเหมือนกับการจำลองจากโปรแกรม

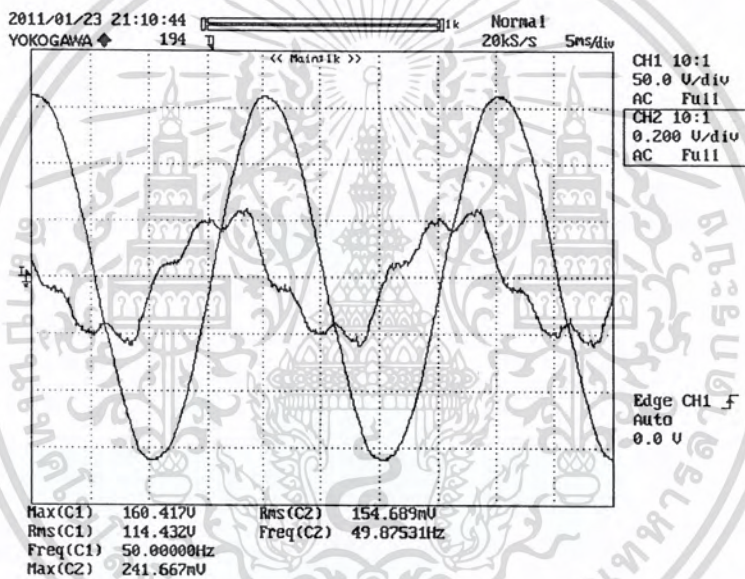
เปรียบเทียบการจำลองจากโปรแกรมและผลการทดลองเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าด้านรับเป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง 500 kV พบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งของการจำลองจากโปรแกรมและแรงดันไฟฟ้าด้านส่งจากผลการทดลองมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 1.80% สำหรับกระแสไฟฟ้าของการจำลองจากโปรแกรมและกระแสไฟฟ้าจากผลการทดลองด้านส่งมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 10.28% และกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 3.92%

จากรูปที่ 4.25 ถึง 4.28 รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า จะเห็นว่าด้านส่งรูปคลื่นมีลักษณะลูกคลื่นกระแสหน้าหน้าลูกคลื่นแรงดันทำให้เกิดมุมประกอบกำลังไฟฟ้าแบบหน้าหน้า รูปกราฟกระแสที่ได้จากชุดทดลองมีรูปคลื่นผิดเพี้ยนจากรูปคลื่นไซน์มีผลทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนของกระแสไฟฟ้าด้านส่งค่อนข้างมาก แต่ลักษณะกราฟที่ได้จากชุดทดลองและโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีลักษณะเดียวกัน เป็นการยืนยันผลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี

เนื่องจากเป็นสายส่งระยะกลางค่าความจุไฟฟ้าจึงมีผลกระทบต่อค่ากำลังไฟฟ้าและโหลดน้อยทำให้ค่าพารามิเตอร์ในสายส่งเป็นโหลดไปด้วย มุมประกอบกำลังไฟฟ้าจึงมีผลตามค่าพารามิเตอร์ในสายส่ง



รูปที่ 4.29 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่งจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

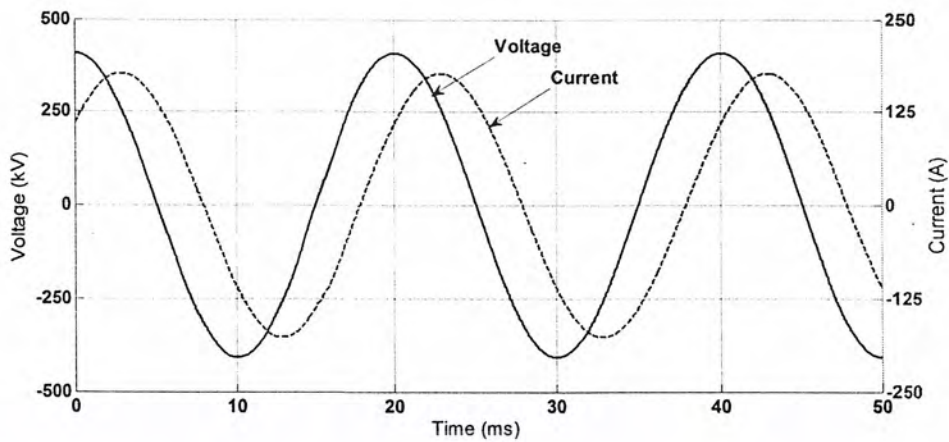


รูปที่ 4.30 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่งจากชุดทดลอง

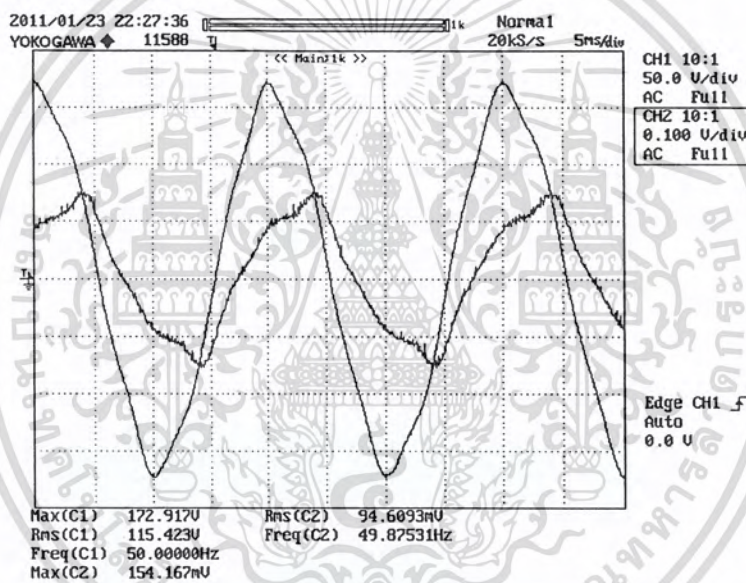
ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะกลางด้านส่ง (โหลด R-L)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	498103 V	168.02 A	0.48 Lead
ชุดทดลอง	486375 V	204.26 A	0.38 Lead
% ความคลาดเคลื่อน	2.35%	21.56%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.32 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับจากชุดทดลอง

ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะกลางด้านรับ (โหลด R-L %)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	500000 V	125.1 A	0.63 Lag
ชุดทดลอง	500000 V	120.0 A	0.63 Lag
% ความคลาดเคลื่อน	-	4.07%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.29- 4.32 และตารางที่ 4.15- 4.16 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

การทดลองโหลด R-L % ของสายส่งระยะกลาง

การจำลองจากโปรแกรมพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 498.10 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 10.90 kV เกิดแรงดันด้านรับมากกว่าด้านส่งเพราะว่ามีค่าความจุไฟฟ้าระหว่างสายเฟสกับสายนิวทรัล สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 125.1 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 168.02 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 42.92 A เนื่องจากเกิดกระแสไฟฟ้าซาร์จความจุไฟฟ้า(C) และค่าความจุไฟฟ้ามีผลกระทบมากเพราะว่าโหลดที่น้อยเกิดตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามี่ค่าเท่ากับ 0.48 Lead

ผลสรุปที่ได้จากชุดทดลองพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 486.37 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 13.63 kV สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 120.0 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 204.26 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 84.26 A ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.38 Lead สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองเหมือนกับการจำลองจากโปรแกรม

เปรียบเทียบการจำลองจากโปรแกรมและผลการทดลองเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าด้านรับเป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง 500 kV พบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งของการจำลองจากโปรแกรมและแรงดันไฟฟ้าด้านส่งจากผลการทดลองมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 2.35% สำหรับกระแสไฟฟ้าของการจำลองจากโปรแกรมและกระแสไฟฟ้าจากผลการทดลองด้านส่งมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 21.56% และกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 4.07%

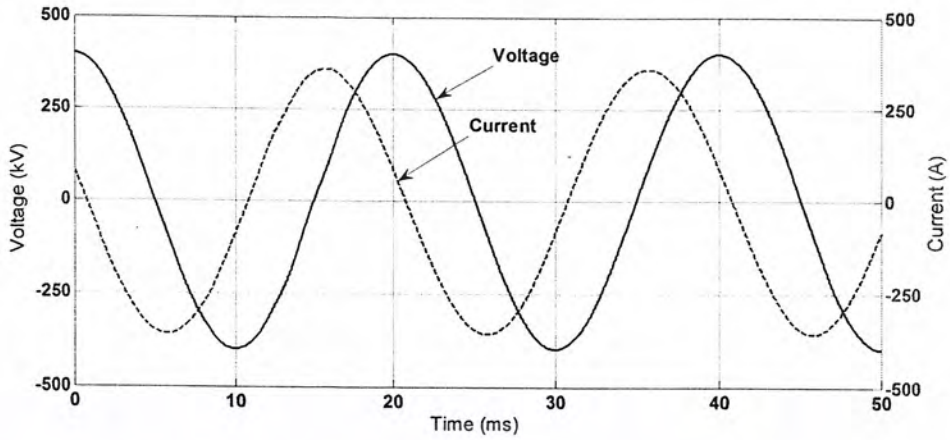
จากรูปที่ 4.29 ถึง 4.32 รูปลักษณ์ของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า จะเห็นว่ารูปลักษณ์ด้านส่งมีลักษณะลูกคลื่นกระแสหน้าลูกคลื่นแรงดันทำให้เกิดมุมประกอบกำลังไฟฟ้าแบบนำหน้า รูปกราฟกระแสที่ได้จากชุดทดลองมีรูปลักษณ์ผิดเพี้ยนจากรูปลักษณ์ไซน์เนื่องจากโหลดและชุดทดลองมีผลทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนของกระแสไฟฟ้าด้านส่งค่อนข้างมาก แต่ลักษณะกราฟที่ได้จากชุดทดลองและโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีลักษณะเดียวกัน เป็นการยืนยันผลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี

เนื่องจากเป็นสายส่งระยะกลางค่าความจุไฟฟ้าจึงมีผลกระทบต่อการส่งกำลังไฟฟ้าและโหลดน้อยทำให้ค่าพารามิเตอร์ในสายส่งเป็นโหลดไปด้วย มุมประกอบกำลังไฟฟ้าจึงคิดรวมผลของค่าพารามิเตอร์ในสายส่ง

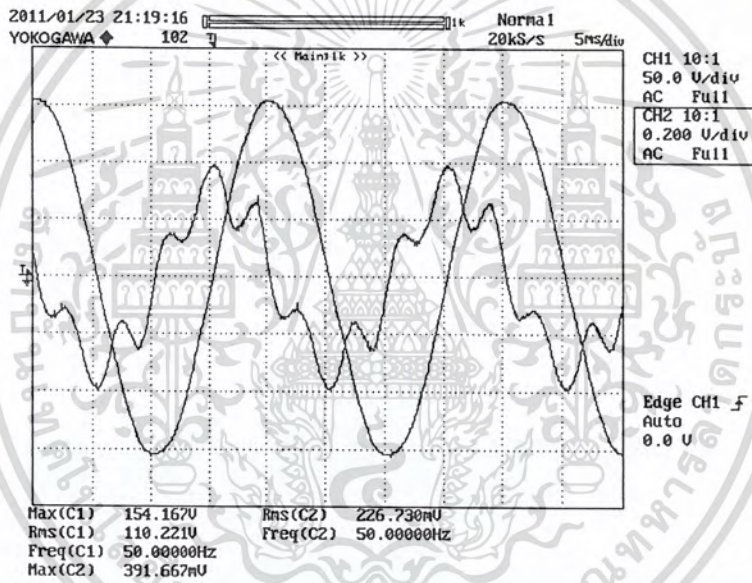
วงจรสายส่งระยะกลาง แบบวงจร T

วงจรระยะกลาง						
ความยาวสายส่ง 207.6 km		ขนาดสาย 795MCM ACSR/GA				
Base ระบบจริง		100 MVA	500 kV			
Base ระบบจำลอง		600 VA	400 V			
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง		R : 4.38 Ω	L : 148.405 mH	C : 2.724 μF		
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง		R : 0.4 Ω	L : 20 mH	C : 28 μF		
Load	ส่ง			รับ		
	I	$\cos \theta$	V_{L-L}	I	$\cos \theta$	V_{L-L}
300W	2.229 A	0.22 Lead	381.8 V	0.449 A	1	400 V
600W	2.335 A	0.41 Lead	384.4 V	0.907 A	1	400 V
900W	2.524 A	0.56 Lead	386.2 V	1.757 A	1	400 V
R-L	1.653 A	0.36 Lead	394.9 V	0.943 A	0.63 Lag	400 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่งจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

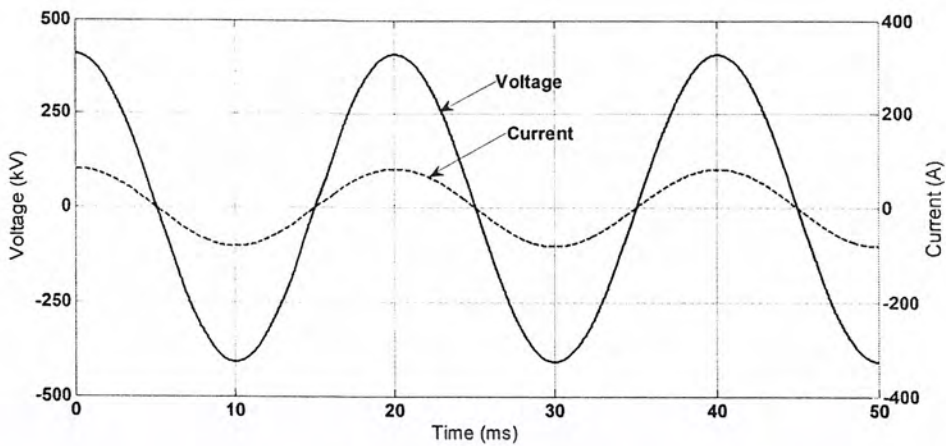


รูปที่ 4.34 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่งจากชุดทดลอง

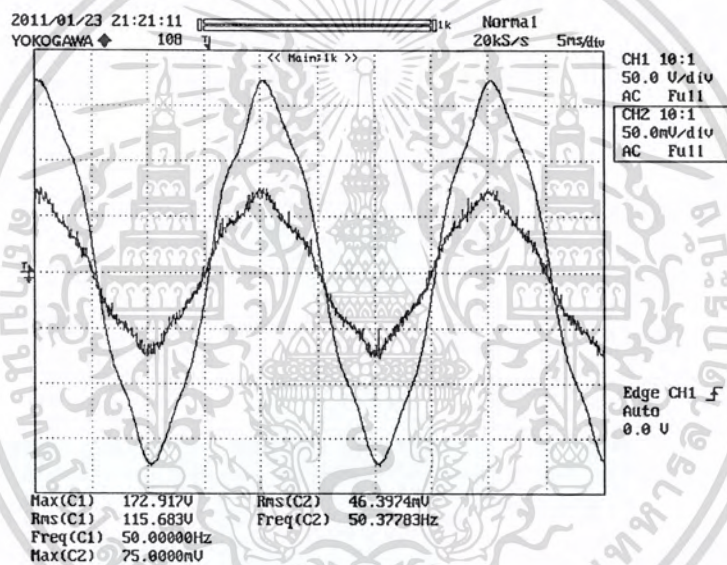
ตารางที่ 4.17 เปรอ์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะกลางด้านส่ง (โหลด 50%)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	488489 V	253.46 A	0.24 Lead
ชุดทดลอง	477250 V	305.33 A	0.22 Lead
% ความคลาดเคลื่อน	2.30%	20.45%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.36 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับจากชุดทดลอง

ตารางที่ 4.18 เปรอ์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะกลางด้านรับ (โหลด 50%)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	500000 V	57.73 A	1
ชุดทดลอง	500000 V	59.86 A	1
% ความคลาดเคลื่อน	-	3.68%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.33- 4.36 และตารางที่ 4.17- 4.18 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

การทดลองโหลด 50% ของสายส่งระยะกลาง

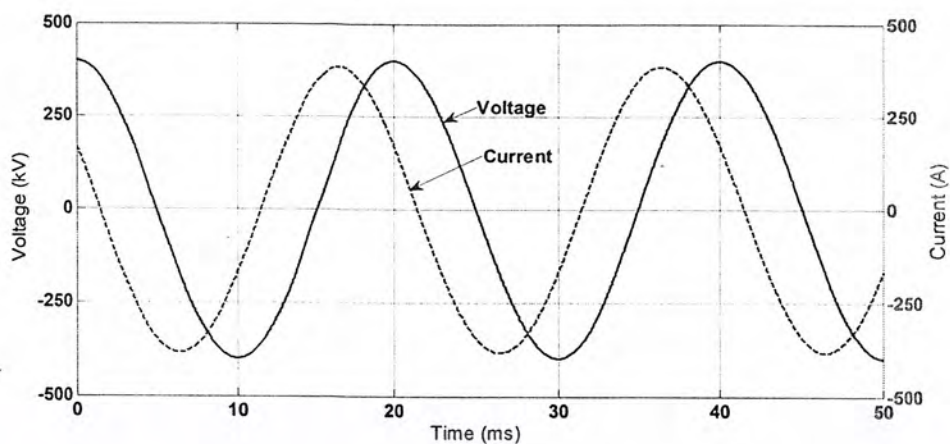
การจำลองจากโปรแกรมพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 488.48 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 11.51 kV เกิดแรงดันด้านรับมากกว่าด้านส่งเพราะว่ามีค่าความจุไฟฟ้าระหว่างสายเฟสกับสายนิวทรัล สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 57.73 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 253.46 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 210.54 A เนื่องจากเกิดกระแสไฟฟ้าซาร์จความจุไฟฟ้า(C) และค่าความจุไฟฟ้ามียุทธกระทบมากเพราะว่าโหลดที่น้อยเกิดตัวประกอบกำลังไฟฟ้านำหน้ามีค่าเท่ากับ 0.24 Lead

ผลสรุปที่ได้จากชุดทดลองพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 477.25 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 22.75 kV สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 59.86 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 305.33 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 245.47 A ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.22 Lead สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองเหมือนกับการจำลองจากโปรแกรม

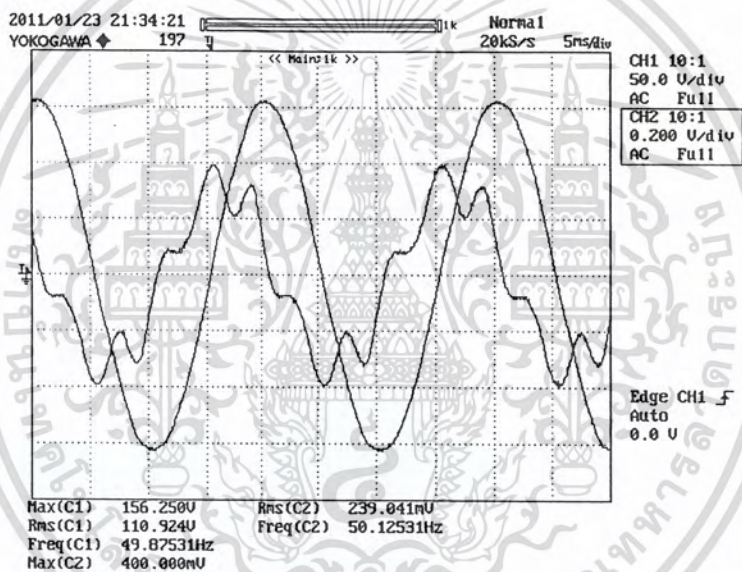
เปรียบเทียบการจำลองจากโปรแกรมและผลการทดลองเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าด้านรับเป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง 500 kV พบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งของการจำลองจากโปรแกรมและแรงดันไฟฟ้าด้านส่งจากผลการทดลองมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 2.30% สำหรับกระแสไฟฟ้าของการจำลองจากโปรแกรมและกระแสไฟฟ้าจากผลการทดลองด้านส่งมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 20.45% และกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 3.68%

จากรูปที่ 4.33 ถึง 4.36 รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า จะเห็นว่าด้านส่งรูปคลื่นมีลักษณะลูกคลื่นกระแสนำหน้าลูกคลื่นแรงดันทำให้เกิดมุมประกอบกำลังไฟฟ้าแบบนำหน้า รูปกราฟกระแสที่ได้จากชุดทดลองมีรูปคลื่นผิดเพี้ยนจากรูปคลื่นไซน์มีผลทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนของกระแสไฟฟ้าด้านส่งค่อนข้างมาก แต่ลักษณะกราฟที่ได้จากชุดทดลองและโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีลักษณะเดียวกัน เป็นการยืนยันผลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี

เนื่องจากเป็นสายส่งระยะกลางค่าความจุไฟฟ้าจึงมีผลกระทบต่อ การส่งกำลังไฟฟ้าและโหลดน้อยทำให้ค่าพารามิเตอร์ในสายส่งเป็นโหลดไปด้วย มุมประกอบกำลังไฟฟ้าจึงมีผลตามค่าพารามิเตอร์ในสายส่ง



รูปที่ 4.37 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่งจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

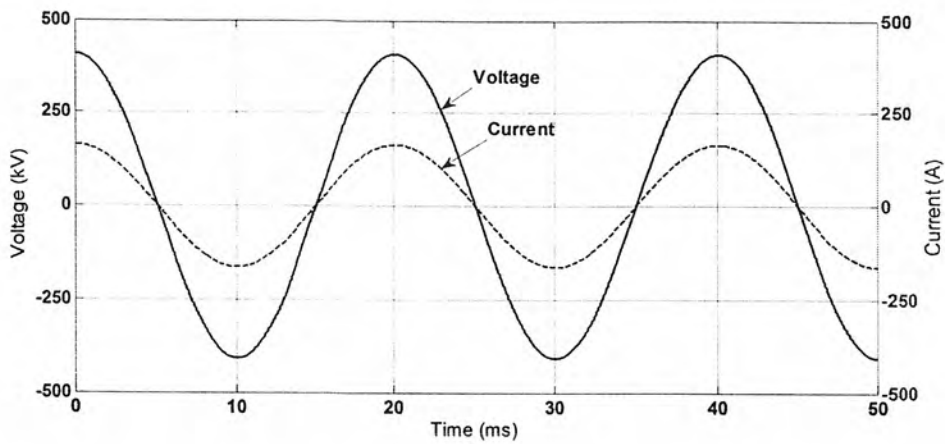


รูปที่ 4.38 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่งจากชุดทดลอง

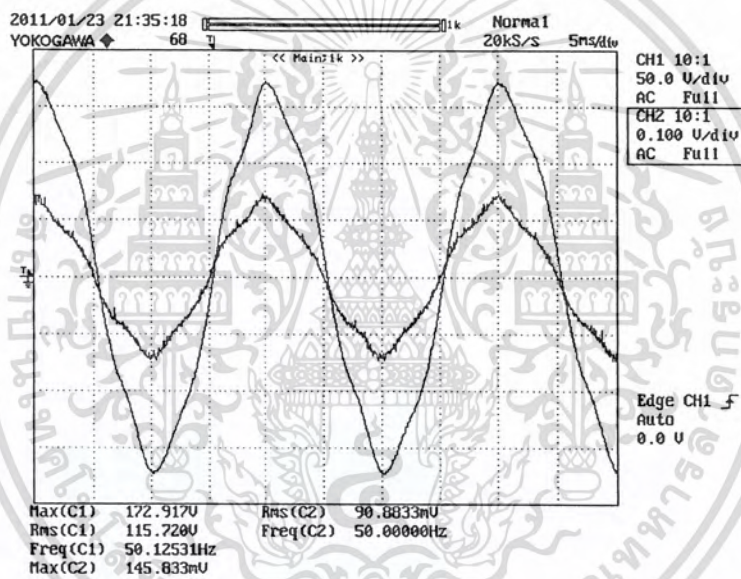
ตารางที่ 4.19 เปรอ์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะกลางด้านส่ง (โหลด 100%)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	489040 V	271.71 A	0.44 Lead
ชุดทดลอง	480500 V	311.33 A	0.22 Lead
% ความคลาดเคลื่อน	1.74%	14.58%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.39 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.40 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับจากชุดทดลอง

ตารางที่ 4.20 เปรอ์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะกลางด้านรับ (โหลด 100%)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	500000 V	115.50 A	1
ชุดทดลอง	500000 V	120.93 A	1
% ความคลาดเคลื่อน	-	4.7%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.37- 4.40 และตารางที่ 4.19- 4.20 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

การทดลองโหลด 100% ของสายส่งระยะกลาง

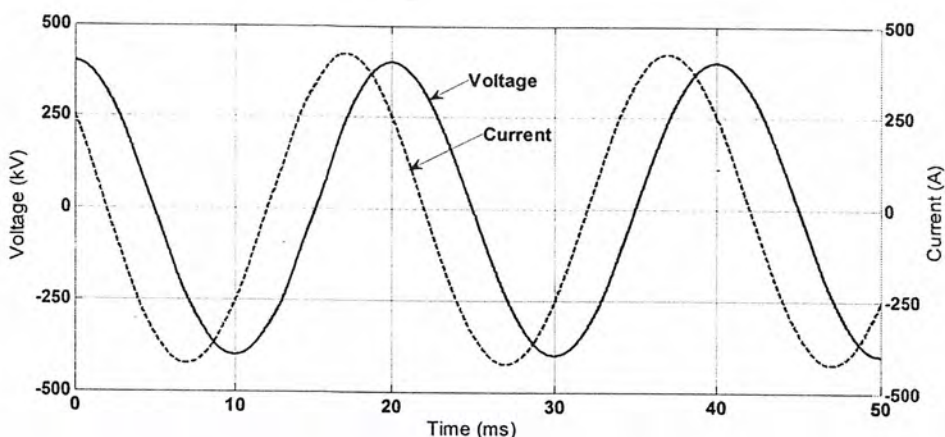
การจำลองจากโปรแกรมพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 489.04 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 10.96 kV เกิดแรงดันด้านรับมากกว่าด้านส่งเพราะว่ามีค่าความจุไฟฟ้าระหว่างสายเฟสกับสายนิวทรัล สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 115.50 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 271.71 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 156.21 A เนื่องจากเกิดกระแสไฟฟ้าซาร์จความจุไฟฟ้า(C) และค่าความจุไฟฟ้ามีผลกระทบมากเพราะว่าโหลดที่น้อยเกิดตัวประกอบกำลังไฟฟ้านำหน้ามีค่าเท่ากับ 0.44 Lead

ผลสรุปที่ได้จากชุดทดลองพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 480.50 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 19.50 kV สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 120.93 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 311.33 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 190.4 A ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.22 Lead สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองเหมือนกับการจำลองจากโปรแกรม

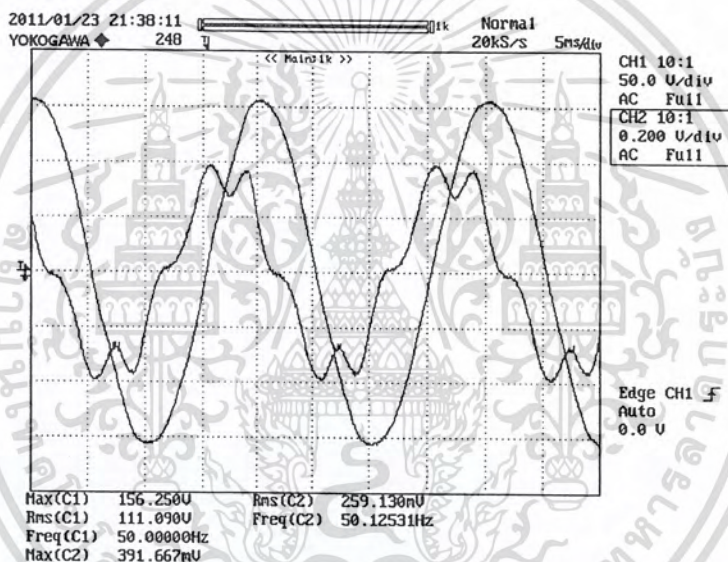
เปรียบเทียบการจำลองจากโปรแกรมและผลการทดลองเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าด้านรับเป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง 500 kV พบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งของการจำลองจากโปรแกรมและแรงดันไฟฟ้าด้านส่งจากผลการทดลองมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 1.74% สำหรับกระแสไฟฟ้าของการจำลองจากโปรแกรมและกระแสไฟฟ้าจากผลการทดลองด้านส่งมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 14.58% และกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 4.7%

จากรูปที่ 4.37 ถึง 4.40 รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า จะเห็นว่าด้านส่งรูปคลื่นมีลักษณะลูกคลื่นกระแสนำหน้าลูกคลื่นแรงดันทำให้เกิดมุมประกอบกำลังไฟฟ้าแบบนำหน้า รูปกราฟกระแสที่ได้จากชุดทดลองมีรูปคลื่นผิดเพี้ยนจากรูปคลื่นไซน์มีผลทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนของกระแสไฟฟ้าด้านส่งค่อนข้างมาก แต่ลักษณะกราฟที่ได้จากชุดทดลองและโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีลักษณะเดียวกัน เป็นการยืนยันผลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี

เนื่องจากเป็นสายส่งระยะกลางค่าความจุไฟฟ้าจึงมีผลกระทบต่อค่าการส่งกำลังไฟฟ้าและโหลดน้อยทำให้ค่าพารามิเตอร์ในสายส่งเป็นโหลดไปด้วย มุมประกอบกำลังไฟฟ้าจึงมีผลตามค่าพารามิเตอร์ในสายส่ง



รูปที่ 4.41 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่งจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

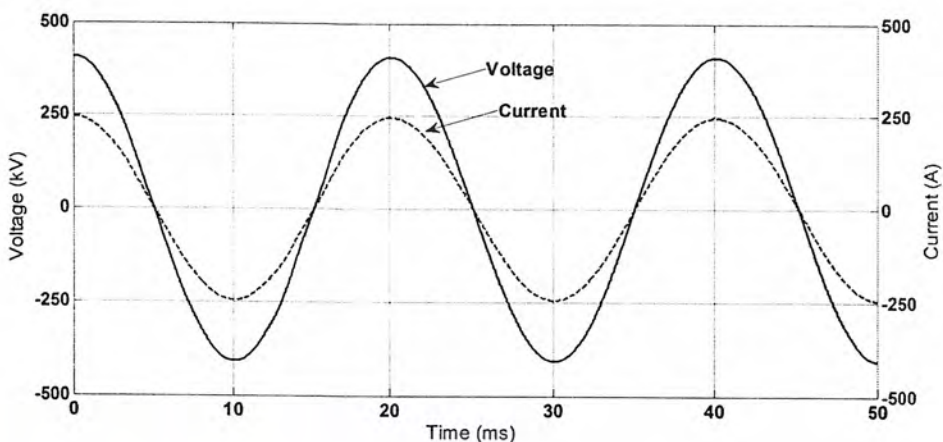


รูปที่ 4.42 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่งจากชุดทดลอง

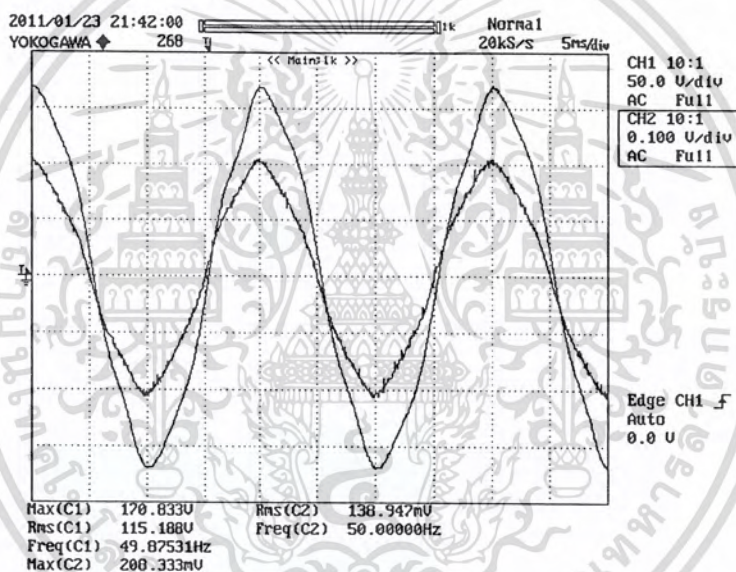
ตารางที่ 4.21 เปรอ์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะกลางด้านส่ง (โหลด 150%)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	489628 V	299.60 A	0.62 Lead
ชุดทดลอง	482750 V	336.53 A	0.56 Lead
% ความคลาดเคลื่อน	1.40%	12.32%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.43 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.44 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับจากชุดทดลอง

ตารางที่ 4.22 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะกลางด้านรับ (โหลด 150%)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	500000 V	173.21 A	1
ชุดทดลอง	500000 V	180.93 A	1
% ความคลาดเคลื่อน	-	4.46 %	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.41- 4.44 และตารางที่ 4.21- 4.22 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

การทดลองโหลด 150% ของสายส่งระยะกลาง

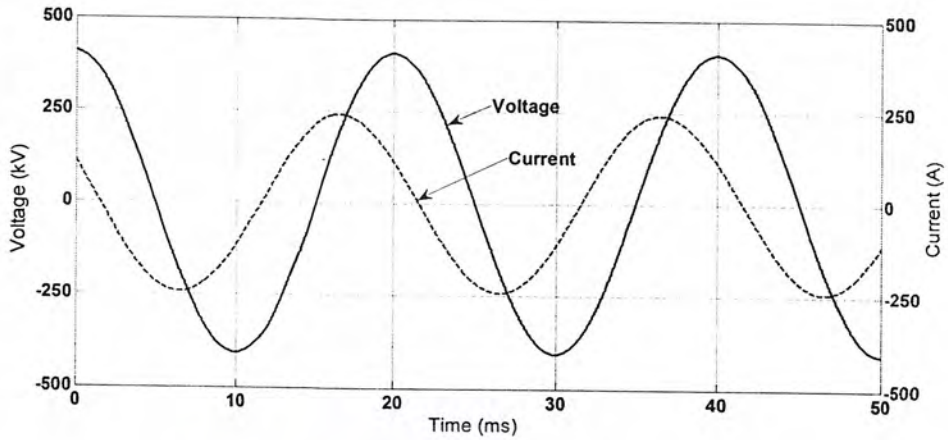
การจำลองจากโปรแกรมพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 489.62 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 10.38 kV เกิดแรงดันด้านรับมากกว่าด้านส่งเพราะว่ามีค่าความจุไฟฟ้าระหว่างสายเฟสกับสายนิวทรัล สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 115.50 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 271.71 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 156.21 A เนื่องจากเกิดกระแสไฟฟ้าซาร์จความจุไฟฟ้า(C) และค่าความจุไฟฟ้ามีผลกระทบมากเพราะว่าโหลดที่น้อยเกิดตัวประกอบกำลังไฟฟ้านำหน้ามีค่าเท่ากับ 0.62 Lead

ผลสรุปที่ได้จากชุดทดลองพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 482.75 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 17.25 kV สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 180.93 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 336.53 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 155.6 A ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.56 Lead สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองเหมือนกับการจำลองจากโปรแกรม

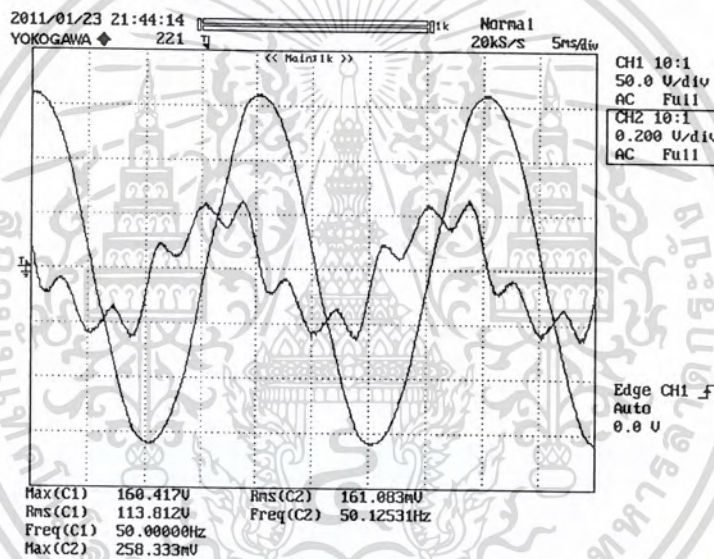
เปรียบเทียบการจำลองจากโปรแกรมและผลการทดลองเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าด้านรับเป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง 500 kV พบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งของการจำลองจากโปรแกรมและแรงดันไฟฟ้าด้านส่งจากผลการทดลองมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 1.40% สำหรับกระแสไฟฟ้าของการจำลองจากโปรแกรมและกระแสไฟฟ้าจากผลการทดลองด้านส่งมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 12.32% และกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 4.46 %

จากรูปที่ 4.41 ถึง 4.44 รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า จะเห็นว่าด้านส่งรูปคลื่นมีลักษณะลูกคลื่นกระแสหน้าลูกคลื่นแรงดันทำให้เกิดมุมประกอบกำลังไฟฟ้าแบบนำหน้า รูปกราฟกระแสที่ได้จากชุดทดลองมีรูปคลื่นผิดเพี้ยนจากรูปคลื่นไซน์มีผลทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนของกระแสไฟฟ้าด้านส่งค่อนข้างมาก แต่ลักษณะกราฟที่ได้จากชุดทดลองและโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีลักษณะเดียวกัน เป็นการยืนยันผลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี

เนื่องจากเป็นสายส่งระยะกลางค่าความจุไฟฟ้าจึงมีผลกระทบต่อ การส่งกำลังไฟฟ้าและโหลดน้อยทำให้ค่าพารามิเตอร์ในสายส่งเป็นโหลดไปด้วย มุมประกอบกำลังไฟฟ้าจึงมีผลตามค่าพารามิเตอร์ในสายส่ง



รูปที่ 4.45 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่งจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

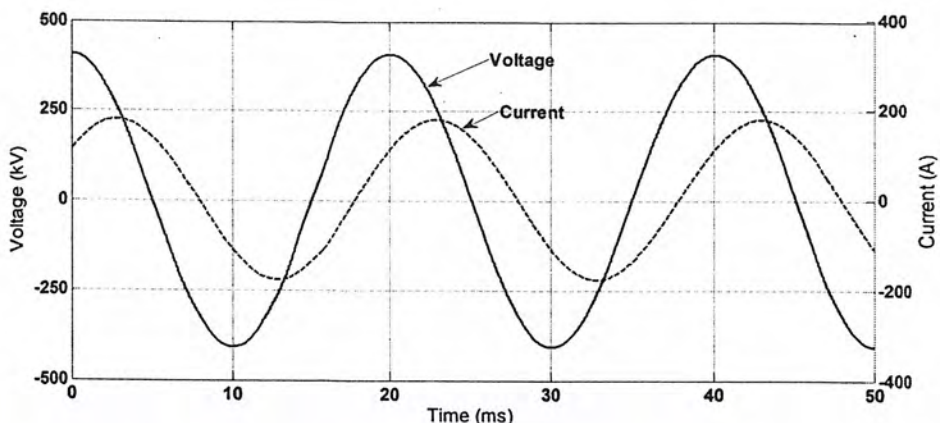


รูปที่ 4.46 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะกลางฝั่งส่งจากชุดทดลอง

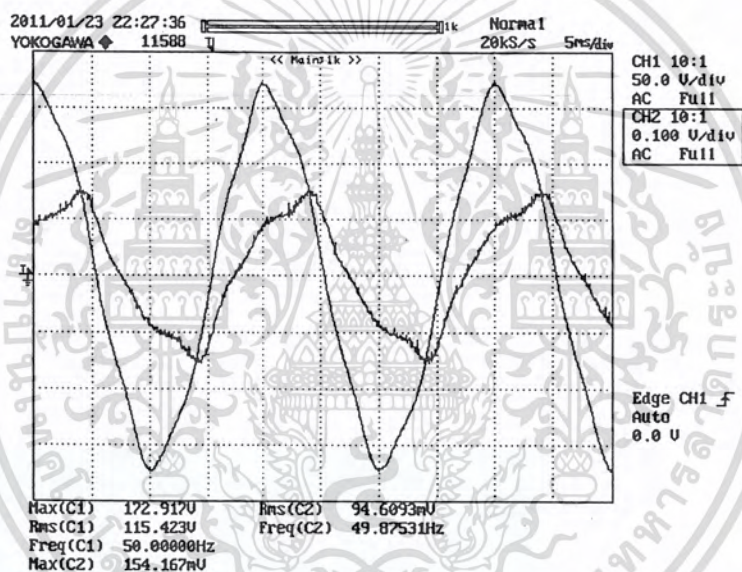
ตารางที่ 4.23 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะกลางด้านส่ง (โหลด R-L %)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	497981 V	170.74 A	0.48 Lead
ชุดทดลอง	493625 V	220.40 A	0.36 Lead
% ความคลาดเคลื่อน	0.88%	29%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.47 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.48 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะกลางฝั่งรับจากชุดทดลอง

ตารางที่ 4.24 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะกลางด้านรับ (โหลด R-L %)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	500000 V	125.10 A	0.64 Lag
ชุดทดลอง	500000 V	125.73 A	0.63 Lag
% ความคลาดเคลื่อน	-	0.5 %	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.45- 4.48 และตารางที่ 4.23- 4.24 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

การทดลองโหลด R-L % ของสายส่งระยะกลาง

การจำลองจากโปรแกรมพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 497.98 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 2.02 kV เกิดแรงดันด้านรับมากกว่าด้านส่งเพราะว่ามีค่าความจุไฟฟ้าระหว่างสายเฟสกับสายนิวทรัล สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 125.10 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 170.74 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 45.64 A เนื่องจากเกิดกระแสไฟฟ้าซาร์จความจุไฟฟ้า(C) และค่าความจุไฟฟ้ามีผลกระทบมากเพราะว่าโหลดที่น้อยเกิดตัวประกอบกำลังไฟฟ้านำหน้ามีค่าเท่ากับ 0.48 Lead

ผลสรุปที่ได้จากชุดทดลองพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 493.62 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 6.37 kV สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 125.73 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 220.40 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 94.67 A ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.36 Lead สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองเหมือนกับการจำลองจากโปรแกรม

เปรียบเทียบการจำลองจากโปรแกรมและผลการทดลองเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าด้านรับเป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง 500 kV พบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งของการจำลองจากโปรแกรมและแรงดันไฟฟ้าด้านส่งจากผลการทดลองมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 0.88% สำหรับกระแสไฟฟ้าของการจำลองจากโปรแกรมและกระแสไฟฟ้าจากผลการทดลองด้านส่งมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 29% และกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 0.5%

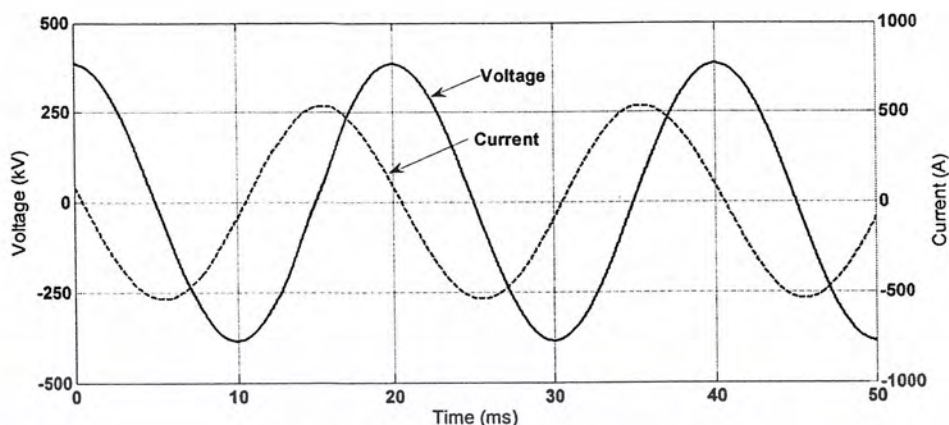
จากรูปที่ 4.45 ถึง 4.48 รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า จะเห็นว่ารูปคลื่นด้านส่งมีลักษณะลูกคลื่นกระแสนำหน้าลูกคลื่นแรงดันทำให้เกิดมุมประกอบกำลังไฟฟ้าแบบนำหน้า รูปกราฟกระแสที่ได้จากชุดทดลองมีรูปคลื่นผิดเพี้ยนจากรูปคลื่นไซน์เนื่องจากโหลดและชุดทดลองมีผลทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนของกระแสไฟฟ้าด้านส่งค่อนข้างมาก แต่ลักษณะกราฟที่ได้จากชุดทดลองและโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีลักษณะเดียวกัน เป็นการยืนยันผลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี

เนื่องจากเป็นสายส่งระยะกลางค่าความจุไฟฟ้าจึงมีผลกระทบต่อการส่งกำลังไฟฟ้าและโหลดน้อยทำให้ค่าพารามิเตอร์ในสายส่งเป็นโหลดไปด้วย มุมประกอบกำลังไฟฟ้าจึงคิดรวมผลของค่าพารามิเตอร์ในสายส่ง

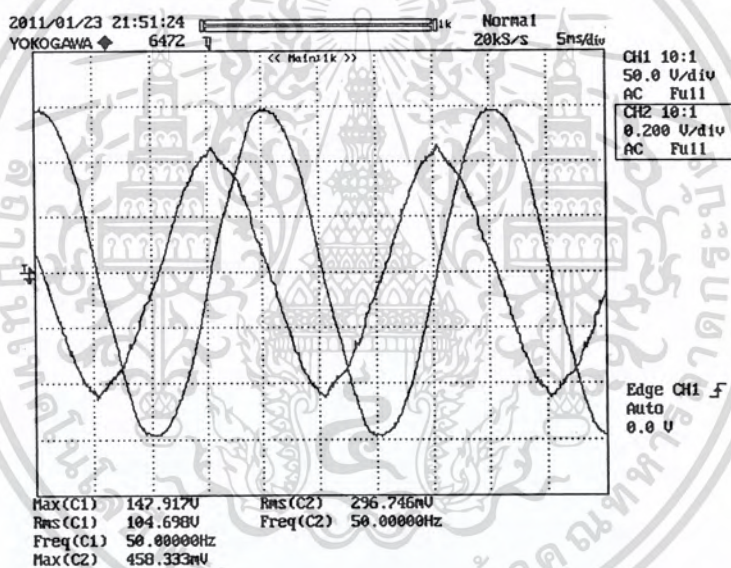
วงจรสายส่งระยะไกล PI

วงจรระยะไกล						
ความยาวสายส่ง 325.6 km		ขนาดสาย 795MCM ACSR/GA				
Base ระบบจริง		100 MVA	500 kV			
Base ระบบจำลอง		600 VA	400 V			
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง		R : 6.86 Ω	L : 279 mH	C : 4.268 μF		
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง		R : 0.7 Ω	L : 30 mH	C : 40 μF		
Load	ส่ง			รับ		
	I	cos θ	V_{L-L}	I	cos θ	V_{L-L}
300W	2.894 A	0.18 Lead	362.9 V	0.447 A	1	400 V
600W	2.977 A	0.34 Lead	364.0 V	0.898 A	1	400 V
900W	3.118 A	0.48 Lead	367.3 V	1.355 A	1	400 V
R-L	2.339 A	0.27 Lead	382.5 V	0.916 A	0.63 Lag	400 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.49 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่งจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

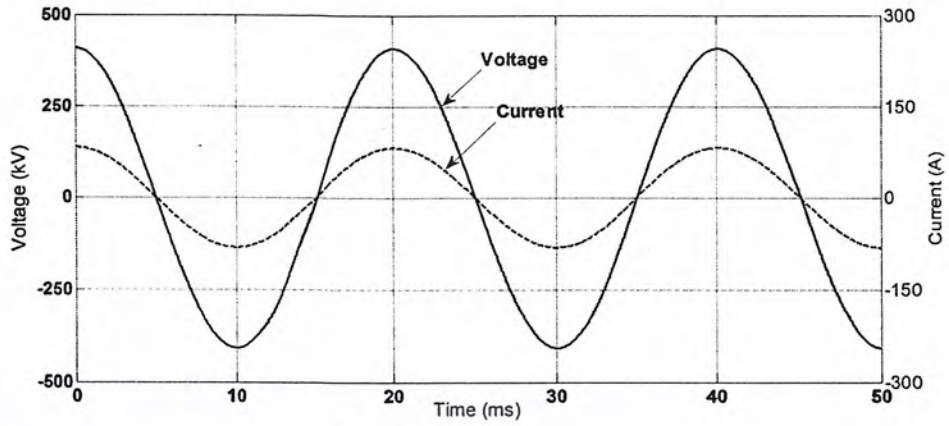


รูปที่ 4.50 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่งจากชุดทดลอง

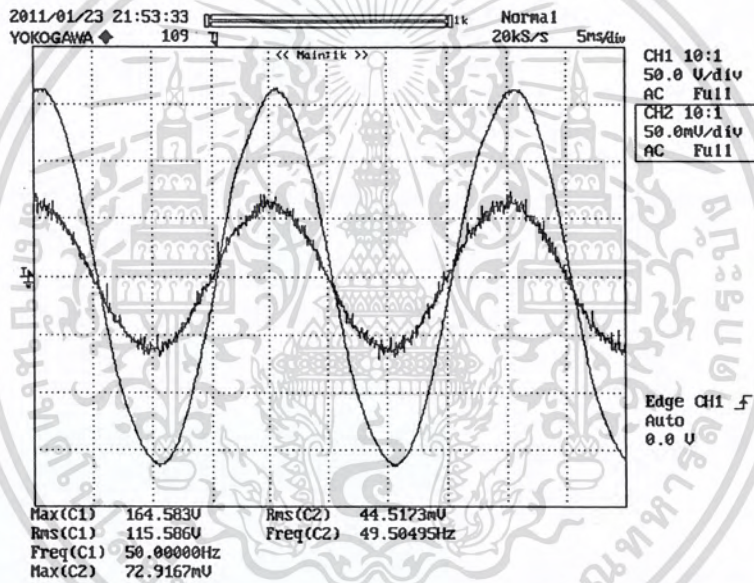
ตารางที่ 4.25 เปรอ์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะไกลด้านส่ง (โหลด 50 %)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	471465 V	379.76 A	0.17 Lead
ชุดทดลอง	453625 V	385.86 A	0.18 Lead
% ความคลาดเคลื่อน	3.78%	1.60%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.51 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.52 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับจากชุดทดลอง

ตารางที่ 4.26 เปรอ์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะไกลด้านรับ (โหลด 50 %)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	500000 V	57.74 A	1
ชุดทดลอง	500000 V	59.60 A	1
% ความคลาดเคลื่อน	-	3.22%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.49- 4.52 และตารางที่ 4.25- 4.26 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

การทดลองโหลด 50 % ของสายส่งระยะไกล

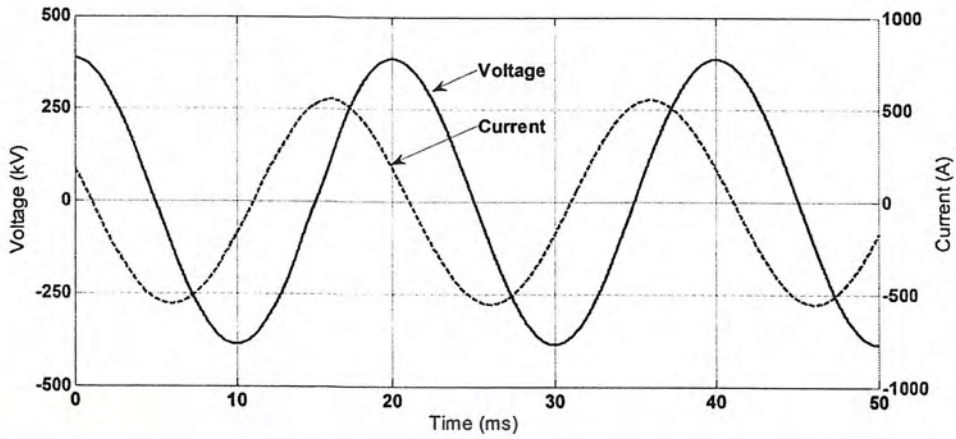
การจำลองจากโปรแกรมพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 471.46 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 28.36 kV เกิดแรงดันด้านรับมากกว่าด้านส่งเพราะว่ามีค่าความจุไฟฟ้าระหว่างสายเฟสกับสายนิวทรัล สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 57.74 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 379.76 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 322.02 A เนื่องจากเกิดกระแสไฟฟ้าซาร์จความจุไฟฟ้า(C) และค่าความจุไฟฟ้ามียุทธศาสตร์มากเพราะว่าโหลดที่น้อยเกิดตัวประกอบกำลังไฟฟ้านำหน้ามีค่าเท่ากับ 0.17 Lead

ผลสรุปที่ได้จากชุดทดลองพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 453.62 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 46.38 kV สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 59.60 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 385.86 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 326.26 A ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.18 Lead สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองเหมือนกับการจำลองจากโปรแกรม

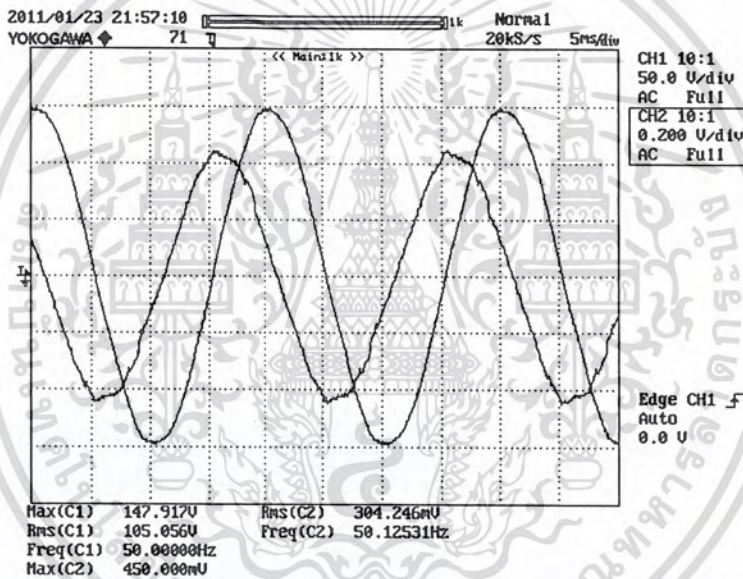
เปรียบเทียบการจำลองจากโปรแกรมและผลการทดลองเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าด้านรับเป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง 500 kV พบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งของการจำลองจากโปรแกรมและแรงดันไฟฟ้าด้านส่งจากผลการทดลองมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 3.78% สำหรับกระแสไฟฟ้าของการจำลองจากโปรแกรมและกระแสไฟฟ้าจากผลการทดลองด้านส่งมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 1.60% และกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 3.22%

จากรูปที่ 4.49 ถึง 4.52 รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า จะเห็นว่าด้านส่งรูปคลื่นมีลักษณะลูกคลื่นกระแสหน้าหน้าลูกคลื่นแรงดันทำให้เกิดมุมประกอบกำลังไฟฟ้าแบบนำหน้า แต่ลักษณะกราฟที่ได้จากชุดทดลองและโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีลักษณะเดียวกัน เป็นการยืนยันผลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี

เนื่องจากเป็นสายส่งระยะไกลค่าความจุไฟฟ้าจึงมีผลกระทบต่อค่ากำลังไฟฟ้าและโหลดน้อยทำให้ค่าพารามิเตอร์ในสายส่งเป็นโหลดไปด้วย มุมประกอบกำลังไฟฟ้าจึงมีผลตามค่าพารามิเตอร์ในสายส่ง



รูปที่ 4.53 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่งจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

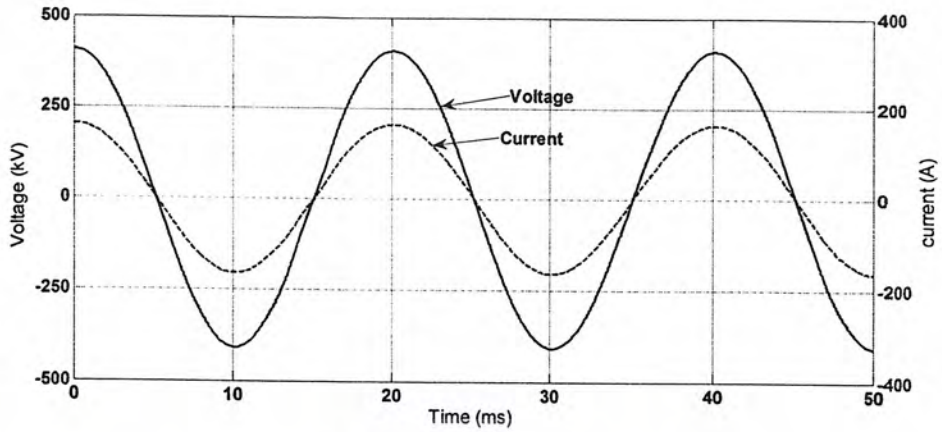


รูปที่ 4.54 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่งจากชุดทดลอง

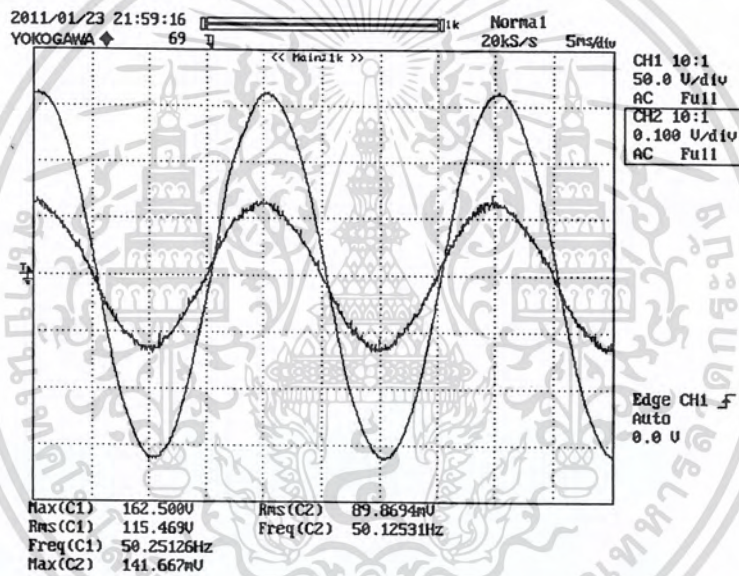
ตารางที่ 4.27 เปรอ์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะไกลด้านส่ง (โหลด 100 %)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	472420 V	391.37 A	0.31 Lead
ชุดทดลอง	455000 V	396.93 A	0.34 Lead
% ความคลาดเคลื่อน	3.82%	1.26%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.55 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.56 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับจากชุดทดลอง

ตารางที่ 4.28 เปรอ์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะไกลด้านรับ (โหลด 100 %)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	500000 V	115.47 A	1
ชุดทดลอง	500000 V	119.73 A	1
% ความคลาดเคลื่อน	-	3.68%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.53- 4.56 และตารางที่ 4.27- 4.28 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

การทดลองโหลด 100 % ของสายส่งระยะไกล

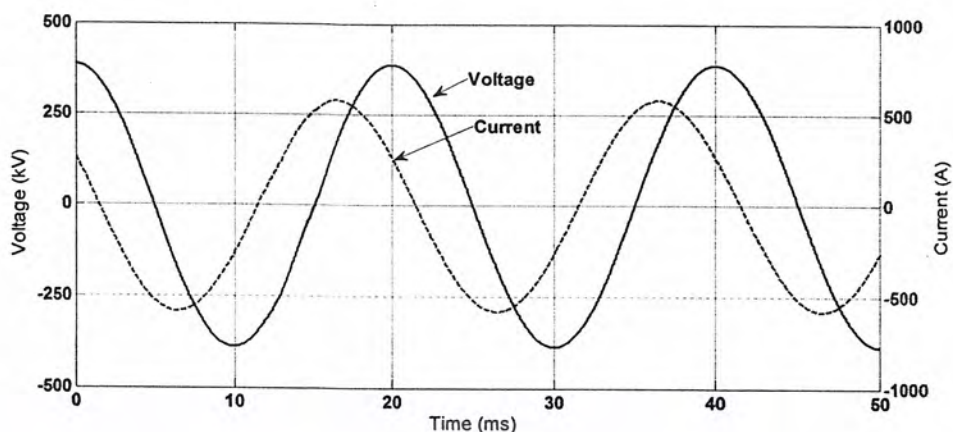
การจำลองจากโปรแกรมพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 472.42 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 27.58 kV เกิดแรงดันด้านรับมากกว่าด้านส่งเพราะว่ามีค่าความจุไฟฟ้าระหว่างสายเฟสกับสายนิวทรัล สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 115.47 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 391.37 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 275.90 A เนื่องจากเกิดกระแสไฟฟ้าซาร์จความจุไฟฟ้า(C) และค่าความจุไฟฟ้ามีผลกระทบมากเพราะว่าโหลดที่น้อยเกิดตัวประกอบกำลังไฟฟ้านำหน้ามีค่าเท่ากับ 0.31 Lead

ผลสรุปที่ได้จากชุดทดลองพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 455.00 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 45.00 kV สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 119.73 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 396.93 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 277.20 A ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.34 Lead สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองเหมือนกับการจำลองจากโปรแกรม

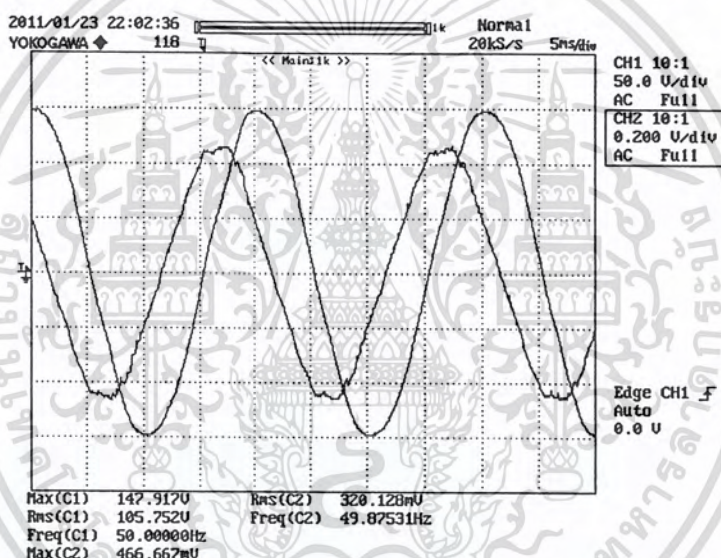
เปรียบเทียบการจำลองจากโปรแกรมและผลการทดลองเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าด้านรับเป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง 500 kV พบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งของการจำลองจากโปรแกรมและแรงดันไฟฟ้าด้านส่งจากผลการทดลองมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 3.82% สำหรับกระแสไฟฟ้าของการจำลองจากโปรแกรมและกระแสไฟฟ้าจากผลการทดลองด้านส่งมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 1.26% และกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 3.68%

จากรูปที่ 4.53 ถึง 4.56 รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า จะเห็นว่าด้านส่งรูปคลื่นมีลักษณะลูกคลื่นกระแสนำหน้าลูกคลื่นแรงดันทำให้เกิดมุมประกอบกำลังไฟฟ้าแบบนำหน้า แต่ลักษณะกราฟที่ได้จากชุดทดลองและโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีลักษณะเดียวกัน เป็นการยืนยันผลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี

เนื่องจากเป็นสายส่งระยะไกลค่าความจุไฟฟ้าจึงมีผลกระทบต่อ การส่งกำลังไฟฟ้าและโหลดน้อยทำให้ค่าพารามิเตอร์ในสายส่งเป็นโหลดไปด้วย มุมประกอบกำลังไฟฟ้าจึงมีผลตามค่าพารามิเตอร์ในสายส่ง



รูปที่ 4.57 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่งจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

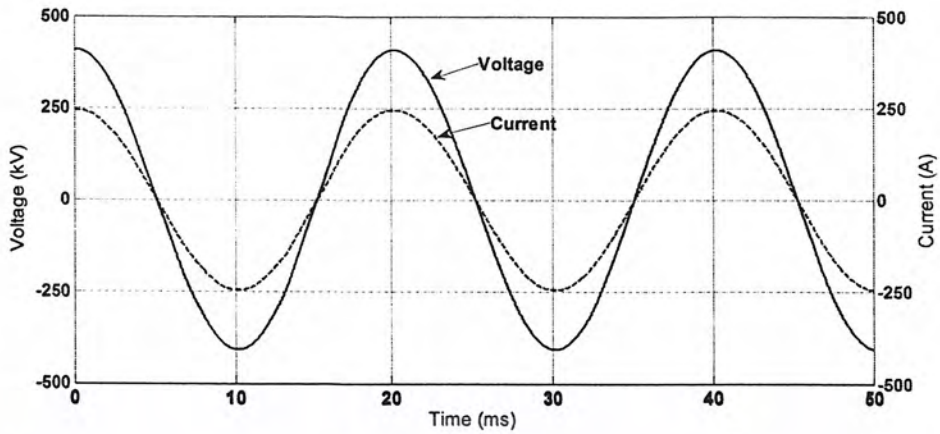


รูปที่ 4.58 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่งจากชุดทดลอง

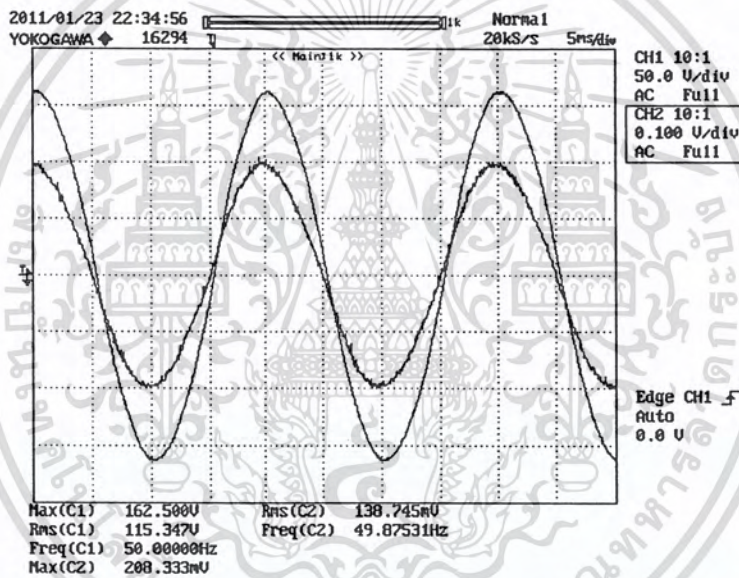
ตารางที่ 4.29 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะไกลด้านส่ง (โหลด 150%)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	473547 V	409.92 A	0.46 Lead
ชุดทดลอง	459125 V	415.73 A	0.48 Lead
% ความคลาดเคลื่อน	3.04%	1.41%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.59 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.60 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับจากชุดทดลอง

ตารางที่ 4.30 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะไกลด้านรับ (โหลด 150%)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	500000 V	173.20 A	1
ชุดทดลอง	500000 V	180.66 A	1
% ความคลาดเคลื่อน	-	4.3%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.57- 4.60 และตารางที่ 4.29- 4.30 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

การทดลองโหลด 150 % ของสายส่งระยะไกล

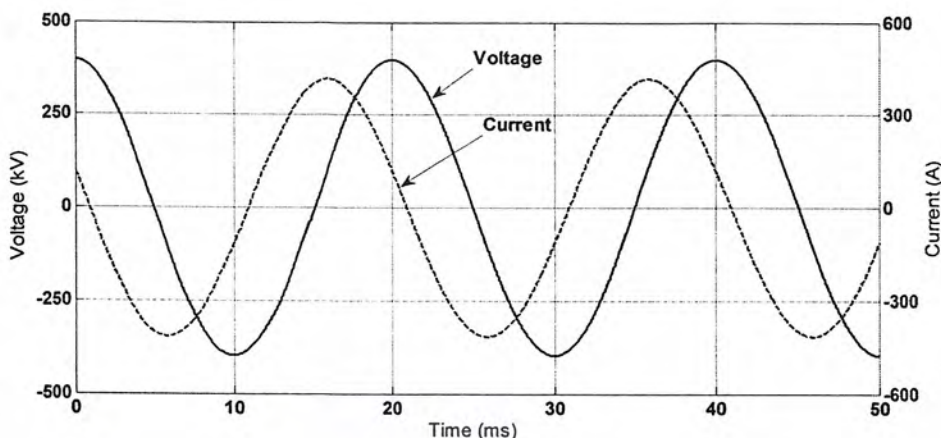
การจำลองจากโปรแกรมพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 473.54 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 26.46 kV เกิดแรงดันด้านรับมากกว่าด้านส่งเพราะว่ามีค่าความจุไฟฟ้าระหว่างสายเฟสกับสายนิวทรัล สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 173.20 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 409.92 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 236.72 A เนื่องจากเกิดกระแสไฟฟ้าซาร์จความจุไฟฟ้า(C) และค่าความจุไฟฟ้ามียุทธกระทบมากเพราะว่าโหลดที่น้อยเกิดตัวประกอบกำลังไฟฟ้านำหน้ามีค่าเท่ากับ 0.46 Lead

ผลสรุปที่ได้จากชุดทดลองพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 459.12 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 40.88 kV สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 180.66 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 415.73 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 235.07 A ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.48 Lead สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองเหมือนกับการจำลองจากโปรแกรม

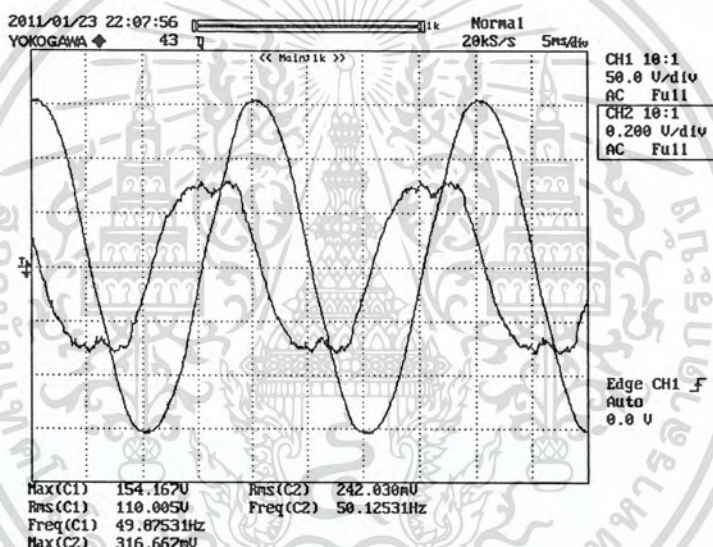
เปรียบเทียบการจำลองจากโปรแกรมและผลการทดลองเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าด้านรับเป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง 500 kV พบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งของการจำลองจากโปรแกรมและแรงดันไฟฟ้าด้านส่งจากผลการทดลองมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 3.82% สำหรับกระแสไฟฟ้าของการจำลองจากโปรแกรมและกระแสไฟฟ้าจากผลการทดลองด้านส่งมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 1.26% และกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 3.68%

จากรูปที่ 4.57 ถึง 4.60 รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า จะเห็นว่าด้านส่งรูปคลื่นมีลักษณะลูกคลื่นกระแสนำหน้าลูกคลื่นแรงดันทำให้เกิดมุมประกอบกำลังไฟฟ้าแบบนำหน้า แต่ลักษณะกราฟที่ได้จากชุดทดลองและโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีลักษณะเดียวกัน เป็นการยืนยันผลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี

เนื่องจากเป็นสายส่งระยะไกลค่าความจุไฟฟ้าจึงมีผลกระทบต่อค่าการส่งกำลังไฟฟ้าและโหลดน้อยทำให้ค่าพาวามิเตอร์ในสายส่งเป็นโหลดไปด้วย มุมประกอบกำลังไฟฟ้าจึงมีผลตามค่าพาวามิเตอร์ในสายส่ง



รูปที่ 4.61 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่งจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

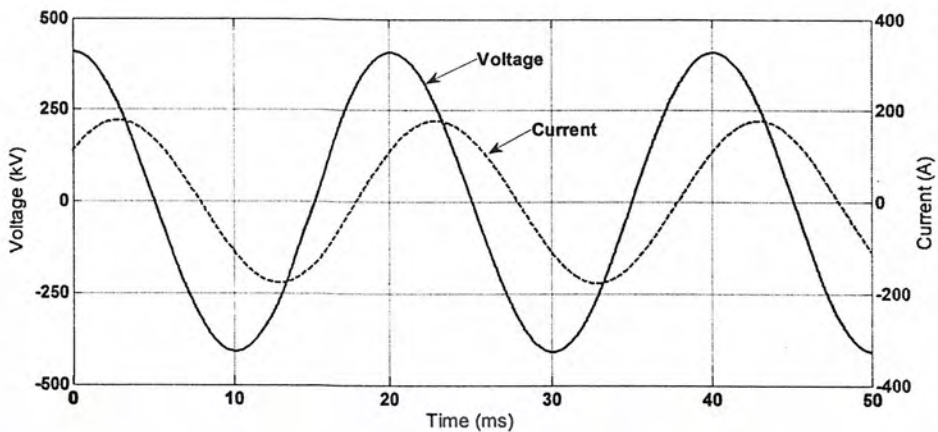


รูปที่ 4.62 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่งจากชุดทดลอง

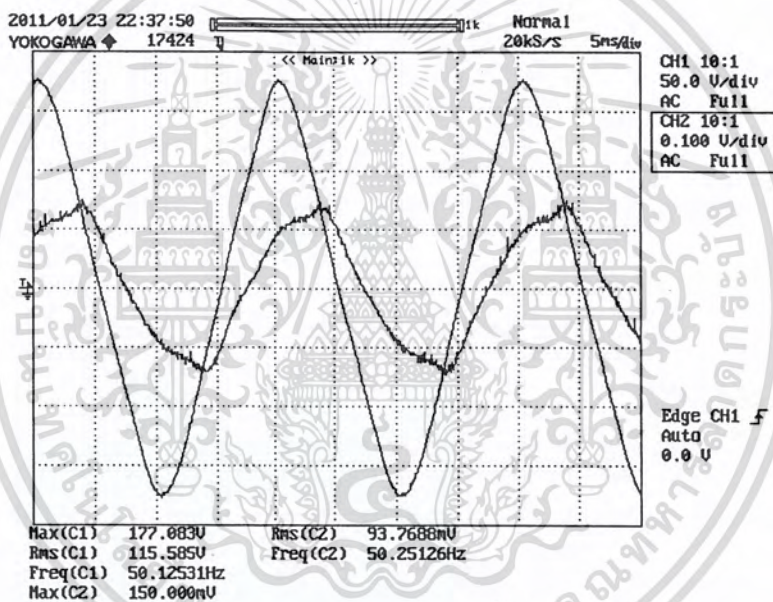
ตารางที่ 4.31 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะไกลด้านส่ง (โหลด R-L %)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	486529 V	294.04 A	0.28 Lead
ชุดทดลอง	478125 V	311.86 A	0.27 Lead
% ความคลาดเคลื่อน	1.72%	6.06%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.63 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.64 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับจากชุดทดลอง

ตารางที่ 4.32 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะไกลด้านรับ (โหลด R-L %)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	500000 V	125.10 A	0.63 Lag
ชุดทดลอง	500000 V	122.13 A	0.63 Lag
% ความคลาดเคลื่อน	-	2.37%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.61- 4.64 และตารางที่ 4.31- 4.32 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

การทดลองโหลด R-L % ของสายส่งระยะไกล

การจำลองจากโปรแกรมพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 486.52 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 13.48 kV เกิดแรงดันด้านรับมากกว่าด้านส่งเพราะว่ามีค่าความจุไฟฟ้าระหว่างสายเฟสกับสายนิวทรัล สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 125.10 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 294.04 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 168.94 A เนื่องจากเกิดกระแสไฟฟ้าซาร์จความจุไฟฟ้า(C) และค่าความจุไฟฟ้ามีผลกระทบมากเพราะว่าโหลดที่น้อยเกิดตัวประกอบกำลังไฟฟ้านำหน้ามีค่าเท่ากับ 0.28 Lead

ผลสรุปที่ได้จากชุดทดลองพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 478.12 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 21.87 kV สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 122.13 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 311.86 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 189.73 A ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.27 Lead สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองเหมือนกับการจำลองจากโปรแกรม

เปรียบเทียบการจำลองจากโปรแกรมและผลการทดลองเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าด้านรับเป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง 500 kV พบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งของการจำลองจากโปรแกรมและแรงดันไฟฟ้าด้านส่งจากผลการทดลองมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 1.72 % สำหรับกระแสไฟฟ้าของการจำลองจากโปรแกรมและกระแสไฟฟ้าจากผลการทดลองด้านส่งมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 6.06 % และกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 2.37 %

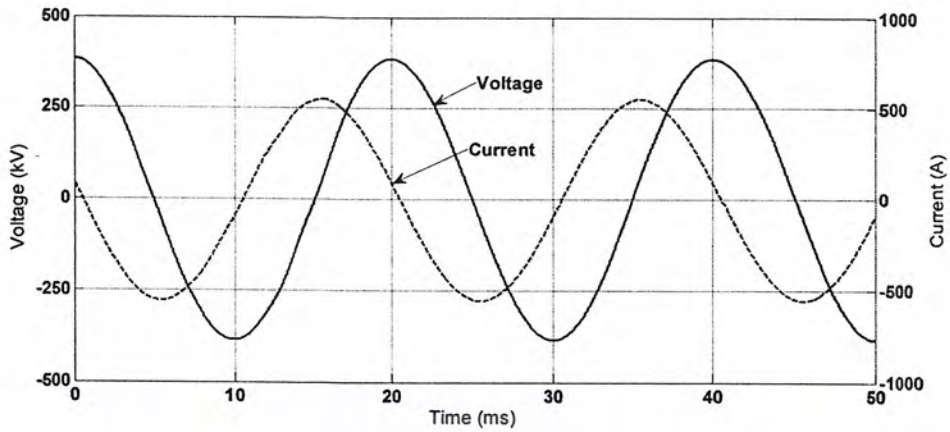
จากรูปที่ 4.61 ถึง 4.64 รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า จะเห็นว่ารูปคลื่นด้านส่งมีลักษณะลูกคลื่นกระแสหน้าหน้าลูกคลื่นแรงดันทำให้เกิดมุมประกอบกำลังไฟฟ้าแบบนำหน้า รูปกราฟกระแสที่ได้จากชุดทดลองมีรูปคลื่นผิดเพี้ยนจากรูปคลื่นไซน์เนื่องจากโหลดและชุดทดลองมีผลทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนของกระแสไฟฟ้าด้านส่งค่อนข้างมาก แต่ลักษณะกราฟที่ได้จากชุดทดลองและโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีลักษณะเดียวกัน เป็นการยืนยันผลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี

เนื่องจากเป็นสายส่งระยะกลางค่าความจุไฟฟ้าจึงมีผลกระทบต่อการส่งกำลังไฟฟ้าและโหลดน้อยทำให้ค่าพารามิเตอร์ในสายส่งเป็นโหลดไปด้วย มุมประกอบกำลังไฟฟ้าจึงคิดรวมผลของค่าพารามิเตอร์ในสายส่ง

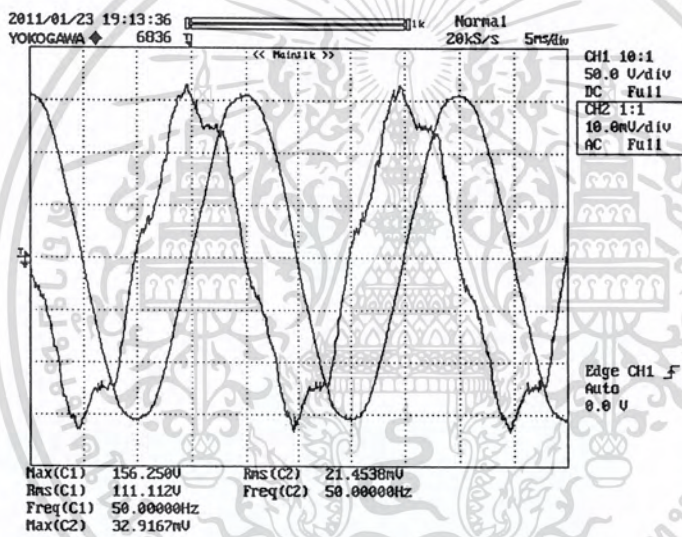
วงจรสายส่งระยะไกล T

วงจรระยะไกล						
ความยาวสายส่ง		325.6 km	ขนาดสาย 795MCM ACSR/GA			
Base ระบบจริง		100 MVA	500 kV			
Base ระบบจำลอง		600 VA	400 V			
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง		R : 6.86 Ω	L : 279 mH	C : 4.268 μ F		
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง		R : 0.7 Ω	L : 30 mH	C : 40 μ F		
Load	ส่ง			รับ		
	I	cos θ	V_{L-L}	I	cos θ	V_{L-L}
300W	3.059 A	0.17 Lead	362.6 V	0.457 A	1	400 V
600W	3.145 A	0.33 Lead	365.2 V	0.906 A	1	400 V
900W	3.283 A	0.46 Lead	367.9 V	1.356 A	1	400 V
R-L	2.48 A	0.26 Lead	380.4 V	0.928 A	0.63 Lag	400 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.65 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่งจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

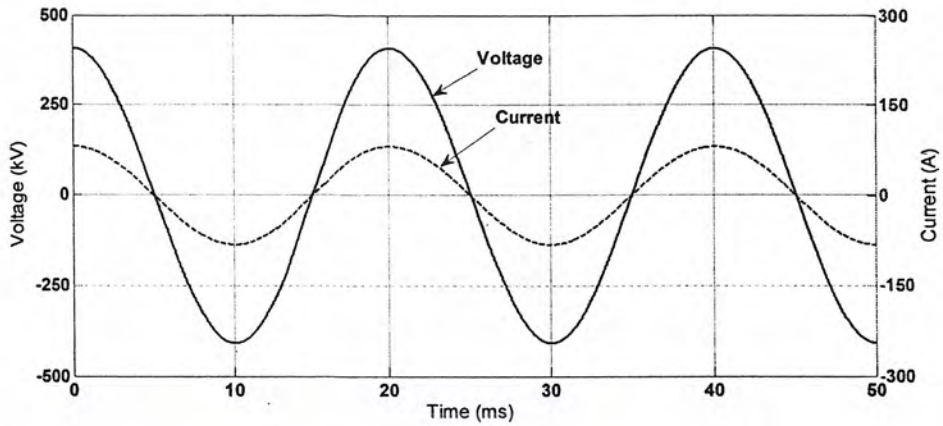


รูปที่ 4.66 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับจากชุดทดลอง

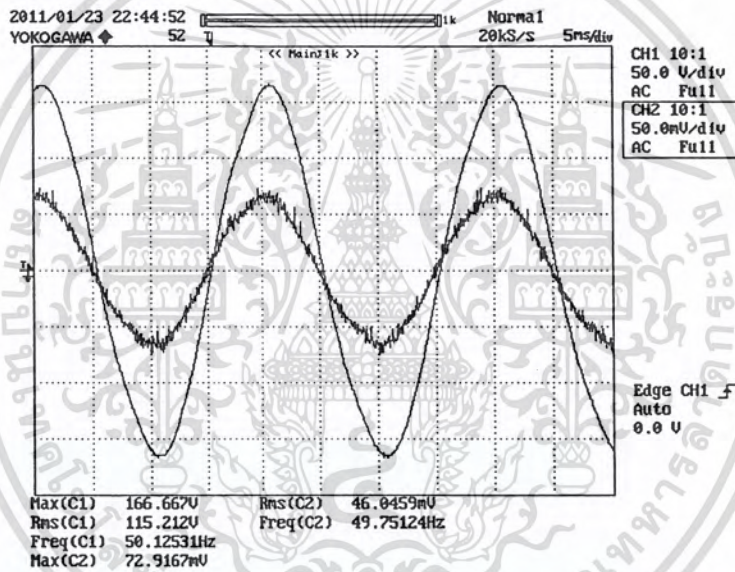
ตารางที่ 4.33 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะไกลด้านส่ง (โหลด 50 %)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	471392 V	391.12 A	0.17 Lead
ชุดทดลอง	453250 V	407.86 A	0.17 Lead
% ความคลาดเคลื่อน	3.84%	4.28%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.67 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.68 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 50% ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับจากชุดทดลอง

ตารางที่ 4.34 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะไกลด้านรับ (โหลด 50 %)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	500000 V	57.73 A	1
ชุดทดลอง	500000 V	60.93 A	1
% ความคลาดเคลื่อน	-	5.53%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.65- 4.68 และตารางที่ 4.33- 4.34 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

การทดลองโหลด 50 % ของสายส่งระยะไกล

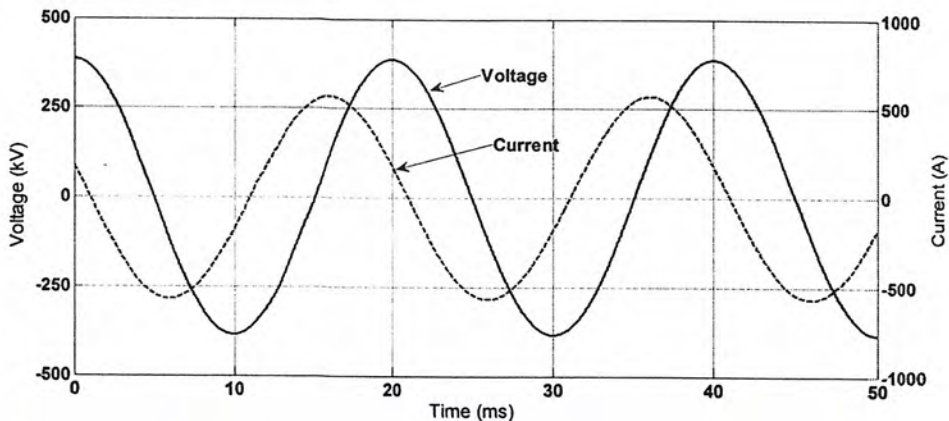
การจำลองจากโปรแกรมพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 471.39 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 28.61 kV เกิดแรงดันด้านรับมากกว่าด้านส่งเพราะว่ามีค่าความจุไฟฟ้าระหว่างสายเฟสกับสายนิวทรัล สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 57.73 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 391.12 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 333.39 A เนื่องจากเกิดกระแสไฟฟ้าซาร์จความจุไฟฟ้า(C) และค่าความจุไฟฟ้ามีผลกระทบมากเพราะว่าโหลดที่น้อยเกิดตัวประกอบกำลังไฟฟ้านำหน้ามีค่าเท่ากับ 0.17 Lead

ผลสรุปที่ได้จากชุดทดลองพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 453.25 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 46.75 kV สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 60.93 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 407.86 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 346.93 A ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.35 Lead สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองเหมือนกับการจำลองจากโปรแกรม

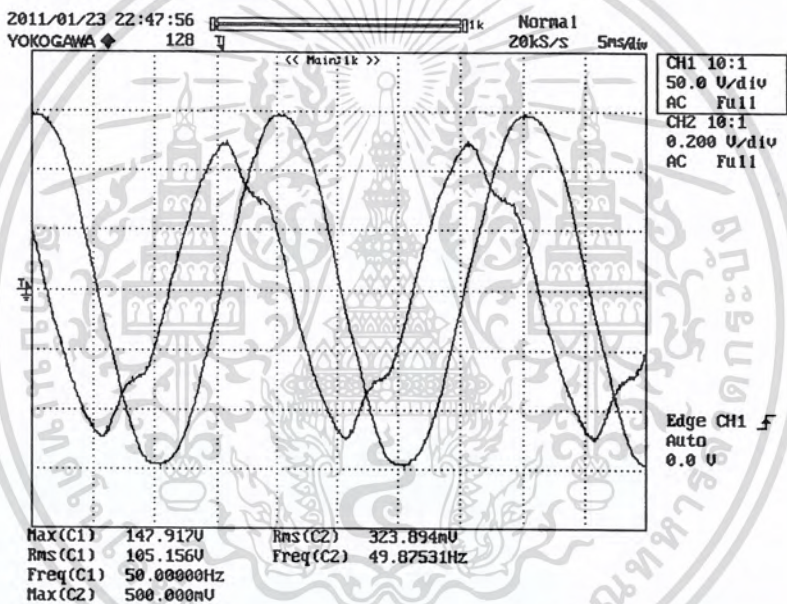
เปรียบเทียบการจำลองจากโปรแกรมและผลการทดลองเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าด้านรับเป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง 500 kV พบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งของการจำลองจากโปรแกรมและแรงดันไฟฟ้าด้านส่งจากผลการทดลองมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 3.84% สำหรับกระแสไฟฟ้าของการจำลองจากโปรแกรมและกระแสไฟฟ้าจากผลการทดลองด้านส่งมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 4.28% และกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 5.53%

จากรูปที่ 4.65 ถึง 4.68 รูปลักษณ์ของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า จะเห็นว่ารูปลักษณ์มีลักษณะลูกคลื่นกระแสไฟฟ้าด้านรับทำให้เกิดมุมประกอบกำลังไฟฟ้าแบบนำหน้า รูปกราฟกระแสที่ได้จากชุดทดลองมีรูปลักษณ์ผิดเพี้ยนจากรูปลักษณ์ไซน์มีผลทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนของกระแสไฟฟ้าด้านส่งค่อนข้างมาก แต่ลักษณะกราฟที่ได้จากชุดทดลองและโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีลักษณะเดียวกัน เป็นการยืนยันผลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี

เนื่องจากเป็นสายส่งระยะกลางค่าความจุไฟฟ้าจึงมีผลกระทบต่อการส่งกำลังไฟฟ้าและโหลดน้อยทำให้ค่าพาวเวอร์ในสายส่งเป็นโหลดไปด้วย มุมประกอบกำลังไฟฟ้าจึงมีผลตามค่าพาวเวอร์ในสายส่ง



รูปที่ 4.69 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่งจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

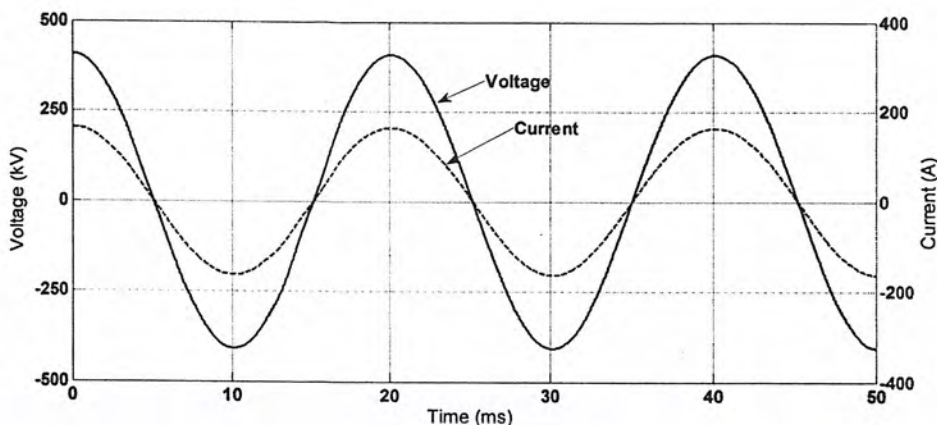


รูปที่ 4.70 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่งจากชุดทดลอง

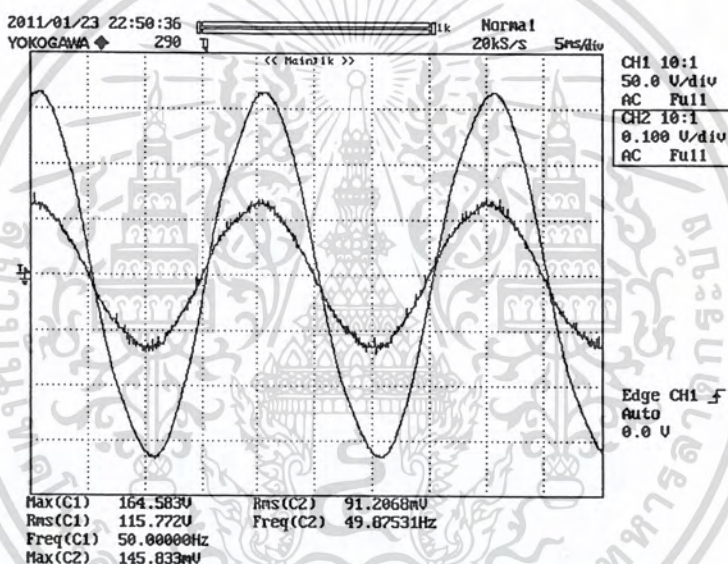
ตารางที่ 4.35 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะไกลด้านส่ง (โหลด 100 %)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	472310 V	402.55 A	0.31 Lead
ชุดทดลอง	456500 V	419.33 A	0.33 Lead
% ความคลาดเคลื่อน	3.34%	4.16%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.71 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.72 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 100% ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับจากชุดทดลอง

ตารางที่ 4.36 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะไกลด้านรับ (โหลด 100 %)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	500000 V	115.47 A	1
ชุดทดลอง	500000 V	120.80 A	1
% ความคลาดเคลื่อน	-	4.61%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.69- 4.72 และตารางที่ 4.35- 4.36 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

การทดลองโหลด 100 % ของสายส่งระยะไกล

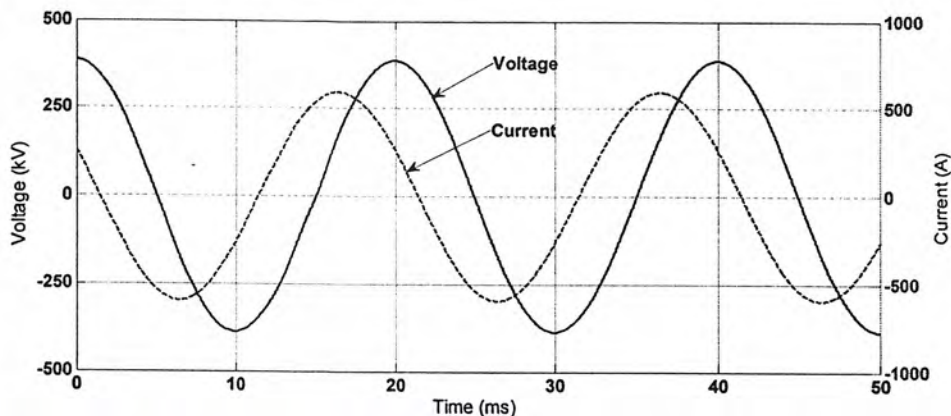
การจำลองจากโปรแกรมพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 472.31 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 27.69 kV เกิดแรงดันด้านรับมากกว่าด้านส่งเพราะว่ามีค่าความจุไฟฟ้าระหว่างสายเฟสกับสายนิวทรัล สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 115.47 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 402.55 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 287.08 A เนื่องจากเกิดกระแสไฟฟ้าซาร์จความจุไฟฟ้า(C) และค่าความจุไฟฟ้ามีผลกระทบมากเพราะว่าโหลดที่น้อยเกิดตัวประกอบกำลังไฟฟ้านำหน้ามีค่าเท่ากับ 0.31 Lead

ผลสรุปที่ได้จากชุดทดลองพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 456.50 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 43.50 kV สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 120.80 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 419.33 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 289.53 A ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.33 Lead สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองเหมือนกับการจำลองจากโปรแกรม

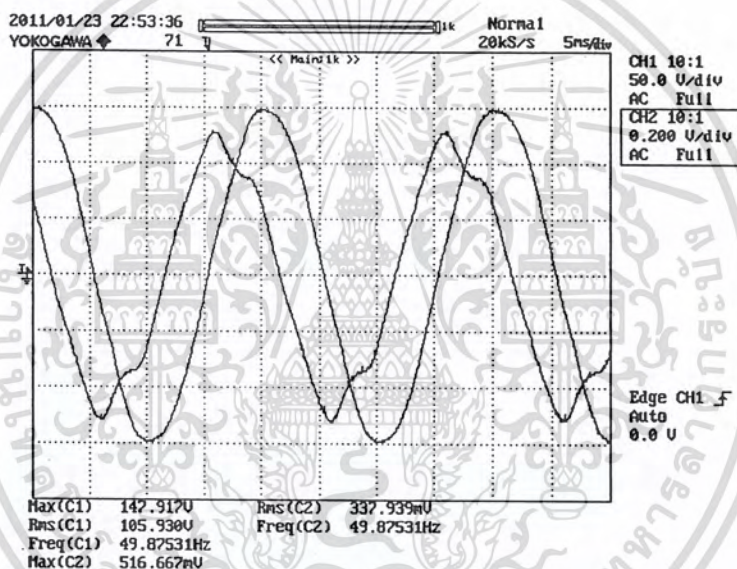
เปรียบเทียบการจำลองจากโปรแกรมและผลการทดลองเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าด้านรับเป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง 500 kV พบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งของการจำลองจากโปรแกรมและแรงดันไฟฟ้าด้านส่งจากผลการทดลองมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 3.34% สำหรับกระแสไฟฟ้าของการจำลองจากโปรแกรมและกระแสไฟฟ้าจากผลการทดลองด้านส่งมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 4.16% และกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 4.61%

จากรูปที่ 4.69 ถึง 4.72 รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า จะเห็นว่าด้านส่งรูปคลื่นมีลักษณะลูกคลื่นกระแสหน้าลูกคลื่นแรงดันทำให้เกิดมุมประกอบกำลังไฟฟ้าแบบนำหน้า รูปกราฟกระแสที่ได้จากชุดทดลองมีรูปคลื่นผิดเพี้ยนจากรูปคลื่นไซน์มีผลทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนของกระแสไฟฟ้าด้านส่งค่อนข้างมาก แต่ลักษณะกราฟที่ได้จากชุดทดลองและโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีลักษณะเดียวกัน เป็นการยืนยันผลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี

เนื่องจากเป็นสายส่งระยะกลางค่าความจุไฟฟ้าจึงมีผลกระทบต่อการส่งกำลังไฟฟ้าและโหลดน้อยทำให้ค่าพารามิเตอร์ในสายส่งเป็นโหลดไปด้วย มุมประกอบกำลังไฟฟ้าจึงมีผลตามค่าพารามิเตอร์ในสายส่ง



รูปที่ 4.73 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่งจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

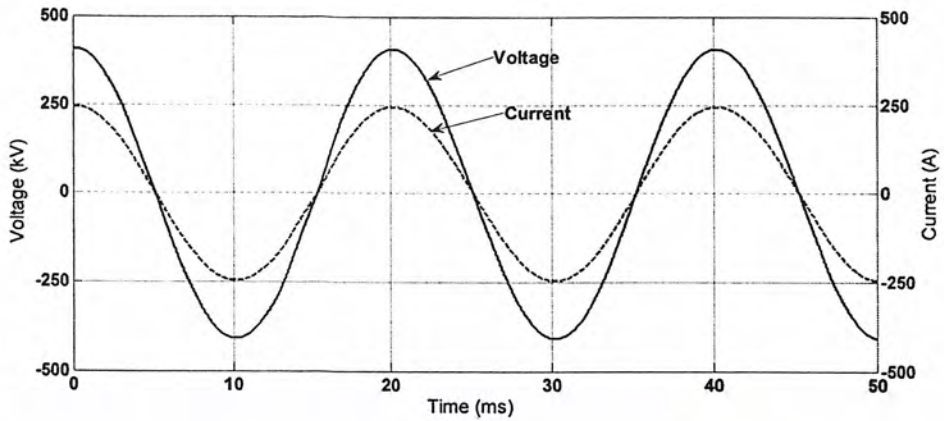


รูปที่ 4.74 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่งจากชุดทดลอง

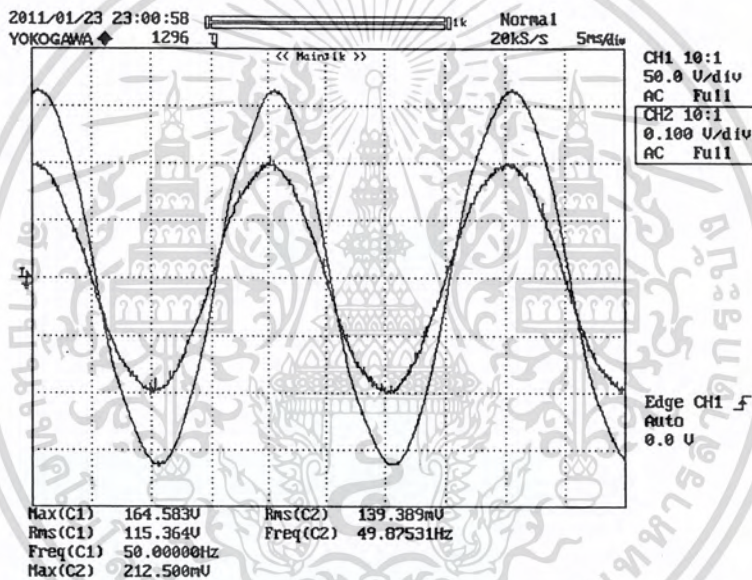
ตารางที่ 4.37 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะไกลด้านส่ง (โหลด 150 %)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	473388 V	420.74 A	0.56 Lead
ชุดทดลอง	459875 V	437.73 A	0.46 Lead
% ความคลาดเคลื่อน	2.85%	4.03%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.75 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.76 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด 150% ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับจากชุดทดลอง

ตารางที่ 4.38 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะไกลด้านรับ (โหลด 150%)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	500000 V	173.20 A	1
ชุดทดลอง	500000 V	180.79 A	1
% ความคลาดเคลื่อน	-	4.37%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.73- 4.76 และตารางที่ 4.37- 4.38 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

การทดลองโหลด 150 % ของสายส่งระยะไกล

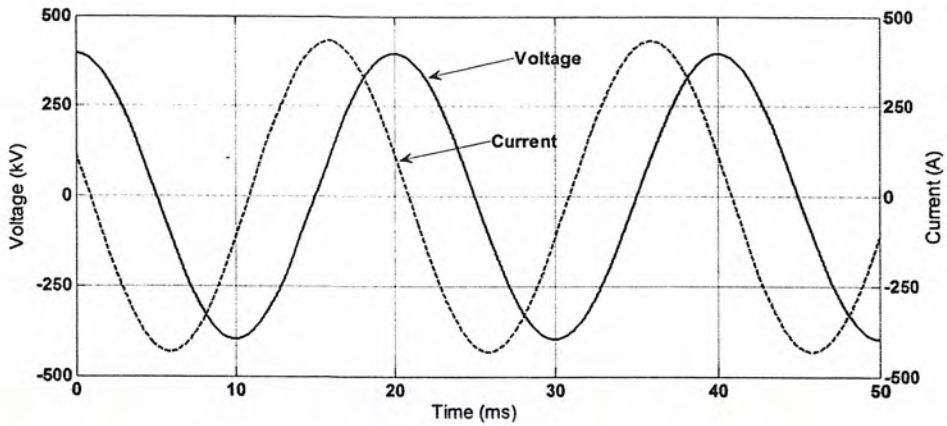
การจำลองจากโปรแกรมพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 472.31 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 27.69 kV เกิดแรงดันด้านรับมากกว่าด้านส่งเพราะว่ามีค่าความจุไฟฟ้าระหว่างสายเฟสกับสายนิวทรัล สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 173.20 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 420.74 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 247.54 A เนื่องจากเกิดกระแสไฟฟ้าซาร์จความจุไฟฟ้า(C) และค่าความจุไฟฟ้ามีผลกระทบมากเพราะว่าโหลดที่น้อยเกิดตัวประกอบกำลังไฟฟ้านำหน้ามีค่าเท่ากับ 0.56 Lead

ผลสรุปที่ได้จากชุดทดลองพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 459.87 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 40.13 kV สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 180.79 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 437.73 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 256.94 A ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.46 Lead สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองเหมือนกับการจำลองจากโปรแกรม

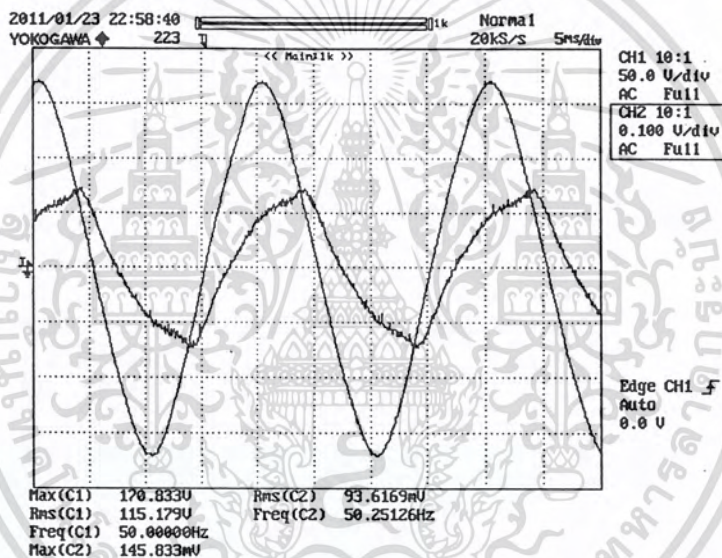
เปรียบเทียบการจำลองจากโปรแกรมและผลการทดลองเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าด้านรับเป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง 500 kV พบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งของการจำลองจากโปรแกรมและแรงดันไฟฟ้าด้านส่งจากผลการทดลองมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 2.85% สำหรับกระแสไฟฟ้าของการจำลองจากโปรแกรมและกระแสไฟฟ้าจากผลการทดลองด้านส่งมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 4.03% และกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 4.37%

จากรูปที่ 4.73 ถึง 4.76 รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า จะเห็นว่าด้านส่งรูปคลื่นมีลักษณะลูกคลื่นกระแสนำหน้าลูกคลื่นแรงดันทำให้เกิดมุมประกอบกำลังไฟฟ้าแบบนำหน้า รูปกราฟกระแสที่ได้จากชุดทดลองมีรูปคลื่นผิดเพี้ยนจากรูปคลื่นไซน์มีผลทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนของกระแสไฟฟ้าด้านส่งค่อนข้างมาก แต่ลักษณะกราฟที่ได้จากชุดทดลองและโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีลักษณะเดียวกัน เป็นการยืนยันผลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี

เนื่องจากเป็นสายส่งระยะกลางค่าความจุไฟฟ้าจึงมีผลกระทบต่อการส่งกำลังไฟฟ้าและโหลดน้อยทำให้ค่าพารามิเตอร์ในสายส่งเป็นโหลดไปด้วย มุมประกอบกำลังไฟฟ้าจึงมีผลตามค่าพารามิเตอร์ในสายส่ง



รูปที่ 4.77 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่งจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

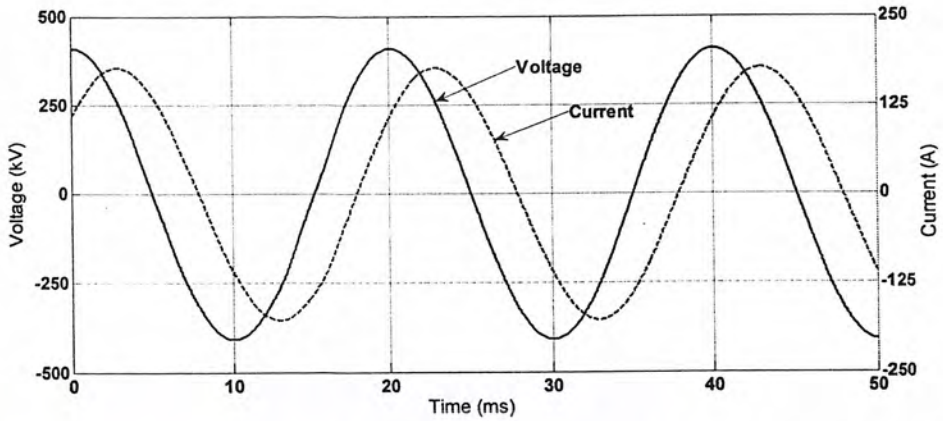


รูปที่ 4.78 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะไกลฝั่งส่งจากชุดทดลอง

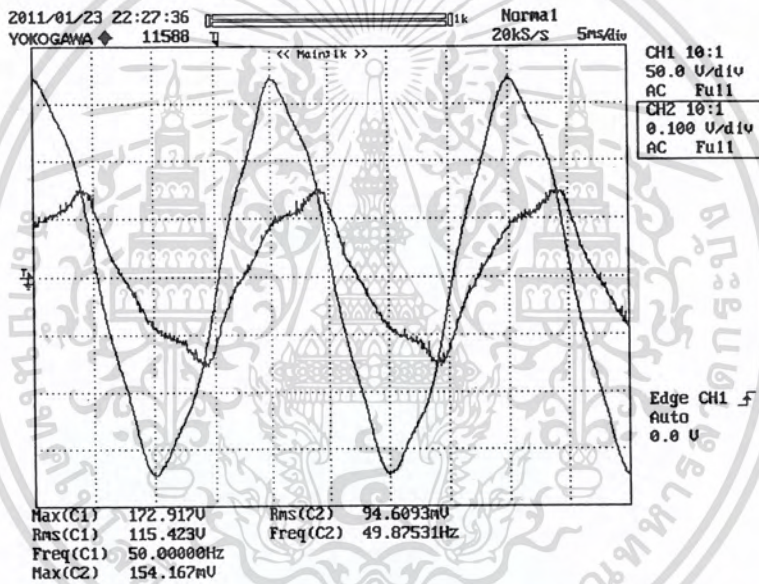
ตารางที่ 4.39 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะไกลด้านส่ง (โหลด R-L %)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	485991 V	305.25 A	0.28 Lead
ชุดทดลอง	475500 V	330.66 A	0.26 Lead
% ความคลาดเคลื่อน	2.15%	8.32%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.79 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.80 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่โหลด R-L ของสายส่งระยะไกลฝั่งรับจากชุดทดลอง

ตารางที่ 4.40 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองของสายส่งระยะไกลด้านรับ (โหลด R-L %)

	แรงดันไฟฟ้า (V_{L-L})	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบกำลัง
จำลอง/คอมพิวเตอร์	500000 V	125.09 A	0.63 Lag
ชุดทดลอง	500000 V	123.73 A	0.63 Lag
% ความคลาดเคลื่อน	-	1.08%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.77- 4.80 และตารางที่ 4.39- 4.40 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

การทดลองโหลด R-L % ของสายส่งระยะไกล

การจำลองจากโปรแกรมพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 485.99 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 14.01 kV เกิดแรงดันด้านรับมากกว่าด้านส่งเพราะว่ามีค่าความจุไฟฟ้าระหว่างสายเฟสกับสายนิวทรัล สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 125.09 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 305.25 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 180.16 A เนื่องจากเกิดกระแสไฟฟ้าซาร์จความจุไฟฟ้า(C) และค่าความจุไฟฟ้ามีผลกระทบมากเพราะว่าโหลดที่น้อยเกิดตัวประกอบกำลังไฟฟ้านำหน้ามีค่าเท่ากับ 0.28 Lead

ผลสรุปที่ได้จากชุดทดลองพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งมีค่าเท่ากับ 475.50 kV แรงดันไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 500 kV และมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 24.50 kV สำหรับกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าเท่ากับ 123.73 A และด้านส่งมีค่าเท่ากับ 330.66 A มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 206.93 A ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.26 Lead สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองเหมือนกับการจำลองจากโปรแกรม

เปรียบเทียบการจำลองจากโปรแกรมและผลการทดลองเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าด้านรับเป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง 500 kV พบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านส่งของการจำลองจากโปรแกรมและแรงดันไฟฟ้าด้านส่งจากผลการทดลองมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 2.15% สำหรับกระแสไฟฟ้าของการจำลองจากโปรแกรมและกระแสไฟฟ้าจากผลการทดลองด้านส่งมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 8.32% และกระแสไฟฟ้าด้านรับมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 1.08%

จากรูปที่ 4.77 ถึง 4.80 รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า จะเห็นว่ารูปคลื่นมีลักษณะลูกคลื่นกระแสหน้าหน้าลูกคลื่นแรงดันทำให้เกิดมุมประกอบกำลังไฟฟ้าแบบนำหน้า รูปกราฟกระแสที่ได้จากชุดทดลองมีรูปคลื่นผิดเพี้ยนจากรูปคลื่นไซน์มีผลทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนของกระแสไฟฟ้าด้านส่งค่อนข้างมาก แต่ลักษณะกราฟที่ได้จากชุดทดลองและโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีลักษณะเดียวกัน เป็นการยืนยันผลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี

เนื่องจากเป็นสายส่งระยะกลางค่าความจุไฟฟ้าจึงมีผลกระทบต่อการส่งกำลังไฟฟ้าและโหลดน้อยทำให้ค่าพารามิเตอร์ในสายส่งเป็นโหลดไปด้วย มุมประกอบกำลังไฟฟ้าจึงมีผลตามค่าพารามิเตอร์ในสายส่ง

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

โครงการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและทำการจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้าแรงดันสูง (Transmission Line) โดยทำการศึกษาและทำการจำลองจากระบบส่งกำลังไฟฟ้าจริงในประเทศไทย เนื่องจากการส่งกำลังไฟฟ้าจากแหล่งการผลิตมายังผู้บริโภคมีระยะทางห่างไกลกันมาก จึงต้องส่งกำลังไฟฟ้าผ่านสายส่งกำลังไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากอิมพีแดนซ์บนสายส่งกำลังไฟฟ้า ในการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ผลิตมายังผู้บริโภคนั้นมีการลงทุนสูง เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบส่งกำลังไฟฟ้านั้นมีราคาแพงและควรเป็นอุปกรณ์ที่มีคุณภาพเพื่อลดปัญหาที่อาจเกิดขึ้นที่ระบบส่งกำลังไฟฟ้า การที่จะทำให้ระบบส่งกำลังไฟฟ้ามีคุณภาพหรือมีเสถียรภาพนั้นต้องมีการศึกษา ค้นคว้า วิจัย ปรากฏการณ์ต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นในระบบส่งกำลังไฟฟ้า เพื่อเตรียมความพร้อมแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ระบบส่งกำลังไฟฟ้ายังส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือและเสถียรภาพของประเทศอีกด้วย เนื่องจากถ้าระบบส่งกำลังไฟฟ้าล้มหรือเกิดความเสียหายแล้วก็จะส่งผลกระทบต่อความเสียหายในประเทศได้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าระบบส่งกำลังไฟฟ้ามีความสำคัญมากทั้งต่อผู้บริโภคและความมั่นคงของประเทศ ปัจจุบันในแต่ละประเทศมีประชากรมากขึ้นทำให้ต้องมีการขยายระบบส่งกำลังไฟฟ้าเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภค การศึกษาเรียนรู้ระบบส่งกำลังไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อจะได้ดูแลและพัฒนา ระบบไฟฟ้าในอนาคตได้อย่างยั่งยืน

ดังนั้นการมีระบบไฟฟ้าที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้าได้จึงนับได้ว่าเป็นสิ่งที่สำคัญ การได้มาซึ่งระบบไฟฟ้ากำลังที่ติดตั้งผ่านกระบวนการอยู่หลายขั้นตอนไม่ว่าจะเป็น การวางแผน การวิเคราะห์ การดำเนินการและการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้ากำลัง ในแต่ละขั้นตอนล้วนแล้วแต่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการทำงานของระบบไฟฟ้าเป็นอย่างยิ่ง การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังนับได้ว่าเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งที่บอกได้ว่าระบบไฟฟ้านั้นมีความสามารถในการผลิต ส่งจ่ายและจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด

จากที่กล่าวมาทำให้เห็นความสำคัญของระบบส่งกำลังไฟฟ้า โครงการนี้จึงได้จำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้าขึ้นมา ซึ่งเป็นการจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้าต้นแบบเพื่อใช้ในการศึกษาพฤติกรรมของระบบส่งกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้น โดยแบ่งการจำลองออกเป็นระยะสั้น ระยะกลาง และระยะไกล โดยมีการคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่กระจายตามความยาวของสายส่งเพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการไฟฟ้าฯ ในรูปของค่าเพอร์ยูนิตให้มีค่าใกล้เคียงกัน เพื่อนำมาทดลองในวงจรสมมุติแบบพาย และวงจรสมมุติแบบที และแสดงการเปลี่ยนแปลงเพื่อศึกษาพฤติกรรม พบว่าเมื่อเพิ่มโหลดจะทำให้แรงดันที่ด้านส่งเพิ่มขึ้นเพื่อชดเชยแรงดันที่ลดลงในด้านรับตามกฎของโอห์ม $V=IZ$ เมื่อ Z คือค่าพารามิเตอร์รวมเป็นค่าคงที่ เมื่อเพิ่มโหลดจะทำให้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจึงเป็นผลแรงดันไฟฟ้าที่ด้านรับลดลงซึ่งเป็นไปตามผลที่ได้จากการทดลอง

และที่ได้จากการจำลองในระบบคอมพิวเตอร์ และสามารถนำมาเรียนรู้ วิเคราะห์พฤติกรรมต่าง ๆ เพื่อนำมาแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นและนำไปสู่การแก้ปัญหาในระบบส่งกำลังไฟฟ้าจริงต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากชุดทดลองที่ได้ทำการทดลองเป็นแบบ พายหรือที่ หนึ่งชุดในการส่งกำลังไฟฟ้าจากด้านส่งจนถึงด้านรับทำให้ความละเอียดของค่าพารามิเตอร์มีน้อยลงซึ่งเป็นผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน

2. ผลที่ได้จากชุดทดลองในระยะกลางมีความผิดพลาดของรูปคลื่นกระแสค่อนข้างมาก อาจเกิดจากการใส่ค่าพารามิเตอร์ของสายส่งที่ไม่เหมาะสมกันควรมีการปรับแก้ค่าให้เหมาะสมเพื่อความถูกต้องมากขึ้น

3. โหลดที่ได้ทำการทดลองเป็น โหลดฐาน และมีค่าที่น้อยเกินไปควรทำการเพิ่มโหลดให้อยู่ในพิสัยการส่งจริงและมีการปรับโหลดให้มีความหลากหลายมากกว่านี้



เอกสารอ้างอิง

- [1] Transmission Line, Transformer & Protection Laboratory. 2009 .www.terco.se/wpcontent/uploads/2009/06/transmission_line_transformer_protective_relays.pdf
- [2] Central Station Engineers. Electrical Transmission and Distribution Reference Book. Fourth Edition : Fifth Printing. East Pittsburgh, Pennsylvania: Estinghouse Electric Corporation, 1964. pp.32–63.
- [3] Martin Grobler, “Determining Transmission Line Parameters From Time-tamped Data” Electrical-Engineering University Of Pretoria, 2007. pp 1-12.
- [4] Hadi Saadat. Power System Analysis. Second Edition. Singapore: Mc Graw Hill, 2004. pp 36–188



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

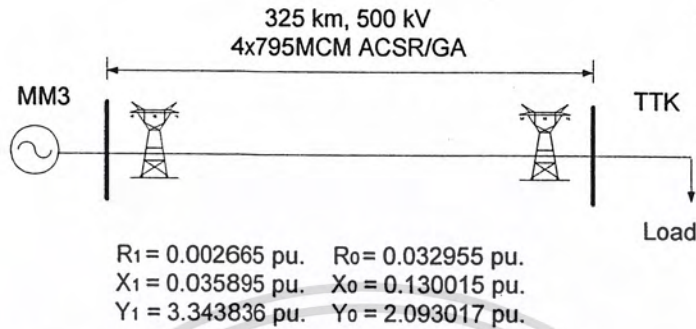


ภาคผนวก ก
วิธีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก วิธีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า

ก.1 ระบบส่งกำลังไฟฟ้าระยะไกล



รูปที่ ก-1 สายส่งกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้า 500 kV แม่เมาะ – ท่าตะโก

การหาความต้านทาน (R)

ในการหาค่าความต้านทานสามารถหาได้จาก หนังสือ Electrical Transmission Distribution Reference Book ซึ่งเป็นหนังสือที่ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับสายส่งกำลังไฟฟ้า โดยใช้เสาส่งกำลังไฟฟ้าแรงสูงเป็นแบบ SL ตัวนำแบบ ACSR 795 MCM (Al54/St7) ซึ่งมีค่าความต้านทานที่ 50 Hz เท่ากับ 0.1358 Ohms per Conductor per Mile ดังนั้นค่าความต้านทาน (R) มีค่าเท่ากับ

$$R = 0.1358 \frac{\Omega}{\text{mile}} \times \frac{1 \text{ mile}}{1.609 \text{ km}} \times 325.6 \text{ km}$$

$$= 27.48 \Omega$$

แต่เนื่องจากระบบส่งกำลังไฟฟ้านี้เป็นแบบสายส่งที่ใช้สายตัวนำควบ 4 ตัวนำ ต่อเฟส ดังนั้นค่าความต้านทานจะต้องนำมาหาร 4 เนื่องจากเหมือนต่อสายตัวนำขนานกัน ดังนั้นค่าความต้านทาน (R) มีค่าเท่ากับ 27.48 Ω

$$R = \frac{27.48 \Omega}{4}$$

$$= 6.87 \Omega$$

Circular Mils or A.W.G. Alu- minum	Aluminum		Steel		Copper Equiva- lent* Circular Mils or A.W.G.	Ultimate Strength Pounds	Weight Pounds per Mile	Geo- metric Mean Radius at 60 Cycles Feet	Ap- pro- x- imate Cur- rent Car- ry- ing Capa- city Ampe	Resistance 7 _a Ohms per Conductor per Mile						Inductive Reactance 2 _a Ohms per Conductor per Mile at 1 Ft. Spacing All Currents		
	Strands Layers	Strand Dia. Inches	Strands	Strand Dia. Inches						25°C. (77°F.) Small Currents			50°C. (122°F.) Current Appor. 75% Capacity†			25 cycles	50 cycles	60 cycles
										d-c	25 cycles	50 cycles	60 cycles	d-c	25 cycles			
1 590 000	54	3	0.1716	190	1030	1.543	1 000 00	ค่าความต้านทานสายส่งระยะสั้น	0.5920	0.5910	0.6460	0.6550	0.6750	0.684	0.1495	0.299	0.359	
1 516 500	54	3	0.1673	190	1094	1.606	950 00	ตัวนำแบบ ACSR 1272 MCM	0.6210	0.6220	0.6800	0.6900	0.7100	0.720	0.1508	0.302	0.361	
1 431 000	54	3	0.1623	190	0977	1.463	900 00	มีค่า 0.084 $\frac{\Omega}{\text{mile}}$	0.6550	0.6560	0.7180	0.7290	0.7490	0.760	0.1522	0.304	0.365	
1 351 000	54	3	0.1582	190	0948	1.424	850 00	ค่าความต้านทานสายส่ง	0.6940	0.6950	0.7610	0.7710	0.7920	0.803	0.1536	0.307	0.369	
1 272 000	54	3	0.1535	190	0921	1.382	800 00	ระยะกลางและระยะไกล	0.7370	0.7380	0.8050	0.8160	0.8400	0.851	0.1551	0.310	0.372	
1 175 000	54	3	0.1494	190	0892	1.338	750 00	ตัวนำแบบ ACSR 795 MCM	0.7860	0.7880	0.8620	0.8720	0.9000	0.906	0.1568	0.314	0.376	
1 113 000	54	3	0.1430	190	0863	1.295	700 00	มีค่า 0.1358 $\frac{\Omega}{\text{mile}}$	0.8420	0.8440	0.9240	0.9350	0.9570	0.969	0.1585	0.317	0.380	
1 033 000	54	3	0.1384	70	1384	1.246	650 00	ค่าความต้านทานสายส่ง	0.9070	0.9090	0.9940	1.0050	1.0250	1.035	0.1603	0.321	0.383	
954 000	54	3	0.1329	70	1329	1.196	600 00	ระยะกลางและระยะไกล	0.9810	0.9820	1.0760	1.0880	1.1150	1.125	0.1624	0.325	0.390	
900 000	54	3	0.1291	70	1291	1.162	566 00	ตัวนำแบบ ACSR 795 MCM	1.04	1.04	1.1450	1.1550	1.1750	1.185	0.1639	0.328	0.393	
874 000	54	3	0.1273	70	1273	1.147	550 00	มีค่า 0.1358 $\frac{\Omega}{\text{mile}}$	1.07	1.08	1.1780	1.1880	1.2150	1.225	0.1646	0.329	0.393	
795 000	54	3	0.1211	70	1211	1.093	500 00	ค่าความต้านทานสายส่ง	1.12	1.12	1.2380	1.2480	1.2680	1.278	0.1670	0.334	0.401	
795 000	28	2	0.1749	70	1360	1.108	600 00	ระยะกลางและระยะไกล	1.17	1.17	1.2880	1.2980	1.2880	1.288	0.1660	0.332	0.399	
795 000	30	2	0.1628	190	0977	1.160	600 00	ตัวนำแบบ ACSR 795 MCM	1.17	1.17	1.2880	1.2880	1.2880	1.288	0.1637	0.327	0.393	
715 500	54	3	0.1151	70	1151	1.035	450 00	มีค่า 0.1358 $\frac{\Omega}{\text{mile}}$	1.31	1.32	1.4420	1.4520	1.4700	1.482	0.1697	0.339	0.407	
715 500	28	2	0.1629	70	1390	1.051	450 00	ค่าความต้านทานสายส่ง	1.31	1.31	1.4420	1.4420	1.4420	1.442	0.1667	0.337	0.406	
715 500	30	2	0.1541	190	0928	1.081	450 00	ระยะกลางและระยะไกล	1.31	1.31	1.4420	1.4420	1.4420	1.442	0.1664	0.335	0.399	
664 000	54	3	0.1111	70	1111	1.000	419 00	ตัวนำแบบ ACSR 795 MCM	1.41	1.41	1.5410	1.5710	1.5910	1.601	0.1715	0.343	0.412	

รูปที่ ก-2 ตารางหาค่าความต้านทาน

การหาค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L)

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{GMD}{GMR} \frac{H}{m} / \text{phase}$$

$$GMR = 1.09 \sqrt[4]{re^{-0.25} \times d^3}$$

$$= 1.09 \sqrt[4]{0.008808 \times 0.45^3}$$

$$= 0.1834 \text{ m}$$

$$GMD = \sqrt[3]{D \times D \times D}$$

$$= \sqrt[3]{10.65 \times 10.65 \times 21.3}$$

$$= 13.418 \text{ m}$$

ดังนั้น

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{13.418}{0.1834} \frac{H}{m} / \text{phase}$$

$$= 8.574 \times 10^{-7} \frac{H}{m} / \text{phase}$$

$$= 8.574 \times 10^{-7} \times 325 \times 1000$$

$$= 279 \text{ mH/phase}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าความจุไฟฟ้า (C)

$$C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln\frac{GMD}{GMR}} \frac{F}{m} \text{ to neutral}$$

$$GMD = \sqrt[3]{D \times D \times D}$$

$$= \sqrt[3]{10.65 \times 10.65 \times 21.3}$$

$$= 13.418 \text{ m}$$

$$GMR = 1.09\sqrt[4]{r \times d^3}$$

$$= 1.09\sqrt[4]{0.01131 \times 0.45^3}$$

$$= 0.1953 \text{ m}$$

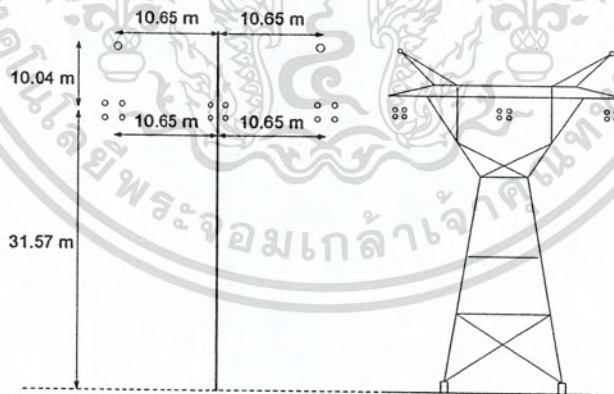
ดังนั้น

$$C = \frac{2\pi \times 10^{-9}}{36\pi \times \ln\frac{13.418}{0.1953}} \frac{F}{m} \text{ to neutral}$$

$$= 1.313 \times 10^{-11} \frac{\mu F}{m} / \text{phase}$$

$$= 1.313 \times 10^{-11} \times 325 \times 1000$$

$$= 4.268 \mu F / \text{phase}$$



รูปที่ ก-3 ระยะห่างตัวนำแต่ละเฟสและรูปแบบการจัดวางของสายของเสาแบบ SL

ดังนั้นระบบส่งกำลังไฟฟ้า โรงไฟฟ้าแม่เมาะ (MM3) ถึง สถานีไฟฟ้าท่าตะโก (TTK) ระยะทาง 325.6 กิโลเมตร มีความต้านทาน(R) ทั้งหมดบนสายส่งกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 6.87 Ω/phase มีค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า(L) ทั้งหมดบนสายส่งกำลังไฟฟ้า

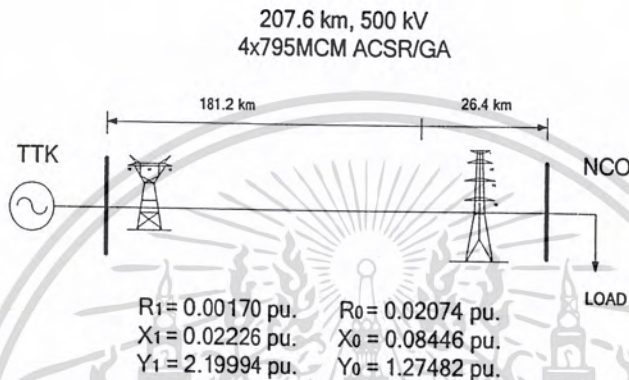
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 279 mH/phase (87.65 Ω) และมีค่าความจุไฟฟ้า(C) ทั้งหมดบนสายส่งกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 4.268 μF/ phase (745.8 Ω)

ก.2 ระบบส่งกำลังไฟฟ้าระยะกลาง

ระบบส่งกำลังไฟฟ้าระยะกลางใช้เสาส่ง 2 แบบ

ช่วงความยาวแรก (181.2 กิโลเมตร) เป็นสายส่งวงจรเดี่ยวติดตั้งอยู่บนเสาแบบ SL ช่วงที่สองความยาว (26.4 กิโลเมตร) เป็นสายส่งวงจรเดี่ยวติดตั้งบนเสาแบบ DL



รูปที่ ก-4 สายส่งกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้า 500 kV ท่าตะโก - หนองจอก

ช่วงความยาวแรก (181.2 กิโลเมตร) เป็นสายส่งวงจรเดี่ยวติดตั้งอยู่บนเสาแบบ SL การหาความต้านทาน(R)

ในการหาค่าความต้านทานสามารถหาได้จาก หนังสือ Electrical Transmission Distribution Reference Book เหมือนกับระยะไกล โดยใช้เสาส่งกำลังไฟฟ้าแรงสูงเป็นแบบ SL ตัวนำแบบ ACSR 795 MCM (Al54/St7) ซึ่งมีค่า ความต้านทานที่ 50 Hz เท่ากับ 0.1358 Ohms per Conductor per Mile ดังนั้น ค่าความต้านทาน(R) มีค่าเท่ากับ

$$R = 0.1358 \frac{\Omega}{\text{mile}} \times \frac{1 \text{ mile}}{1.609 \text{ km}} \times 181.2 \text{ km}$$

$$= 15.29 \Omega$$

แต่เนื่องจากระบบส่งกำลังไฟฟ้านี้เป็นแบบสายส่งที่ใช้สายตัวนำควบ 4 ตัวนำ ต่อเฟส ดังนั้นค่าความต้านทานจะต้องนำมาหาร 4 เนื่องจากเหมือนต่อสายตัวนำขนานกัน ดังนั้นค่าความต้านทาน(R) มีค่าเท่ากับ

$$R = \frac{15.29 \Omega}{4}$$

$$= 3.82 \Omega$$

การหาค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L)

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{GMD}{GMR} \frac{H}{m} / phase$$

$$GMR = 1.09 \sqrt[4]{re^{-0.25} \times d^3}$$

$$= 1.09 \sqrt[4]{0.008808 \times 0.45^3}$$

$$= 0.1834 m$$

$$GMD = \sqrt[3]{D \times D \times D}$$

$$= \sqrt[3]{10.65 \times 10.65 \times 21.3}$$

$$= 13.418 m$$

ดังนั้น

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{13.418}{0.1834} \frac{H}{m} phase$$

$$= 8.574 \times 10^{-7} \frac{H}{m} phase$$

$$= 8.574 \times 10^{-7} \times 181.20 \times 1000$$

$$= 155.54 mH / phase$$

การหาค่าความจุไฟฟ้า (C)

$$C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln \frac{GMD}{GMR}} \frac{F}{m} \text{ to neutral}$$

$$GMD = \sqrt[3]{D \times D \times D}$$

$$= \sqrt[3]{10.65 \times 10.65 \times 21.3}$$

$$= 13.418 m$$

$$\begin{aligned}
 GMR &= 1.09\sqrt[4]{r \times d^3} \\
 &= 1.09\sqrt[4]{0.01131 \times 0.45^3} \\
 &= 0.1953 \text{ m}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{2\pi \times 10^{-9}}{36\pi \times \ln \frac{13.418}{0.1953}} \frac{F}{m} \text{ to neutral} \\
 &= 1.313 \times 10^{-11} \frac{F}{m} / \text{phase} \\
 &= 1.313 \times 10^{-11} \times 181.20 \times 1000 \\
 &= 2.38 \mu F / \text{phase}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นระบบส่งกำลังไฟฟ้า สถานีไฟฟ้าท่าตะโก(TTK) ถึง สถานีไฟฟ้าหนองจอก (NCU) ช่วงความยาวแรก (181.2 กิโลเมตร) ระยะทาง มีความต้านทาน(R) ทั้งหมดบนสายส่งกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 3.82 Ω/phase มีค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า(L) ทั้งหมดบนสายส่งกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 155.54 mH/phase (48.86 Ω) และมีค่าความจุไฟฟ้า(C) ทั้งหมดบนสายส่งกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 2.38 μF/phase (1337.4 Ω)

ช่วงที่สองความยาว (26.4 กิโลเมตร) เป็นสายส่งวงจรเดี่ยวติดตั้งบนเสาสูงแบบ DL การหาความต้านทาน (R)

ในการหาค่าความต้านทานสามารถหาได้จาก หนังสือ Electrical Transmission Distribution Reference Book โดยใช้เสาส่งกำลังไฟฟ้าแรงสูงเป็นแบบ DL ตัวนำแบบ ACSR 795 MCM (Al54/St7) ซึ่งมีค่า ความต้านทานที่ 50 Hz เท่ากับ 0.1358 Ohms per Conductor per Mile ดังนั้น ค่าความต้านทาน(R) มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}
 R &= 0.1358 \frac{\Omega}{\text{mile}} \times \frac{1}{1.609} \frac{\text{mile}}{\text{km}} \times 26.4 \text{ km} \\
 &= 2.22 \Omega
 \end{aligned}$$

แต่เนื่องจากระบบส่งกำลังไฟฟ้านี้เป็นแบบสายส่งที่ใช้สายตัวนำควม 4 ตัวนำ ต่อเฟส ดังนั้นค่าความต้านทานจะต้องนำมาหาร 4 เนื่องจากเหมือนต่อสายตัวนำขนานกัน ดังนั้นค่าความต้านทาน(R) มีค่าเท่ากับ

$$R = \frac{2.22 \Omega}{4}$$

$$= 0.55 \Omega$$

การหาค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L)

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{GMD}{GMR} \frac{H}{m} / phase$$

$$GMR = 1.09 \sqrt[4]{re^{-0.25} \times d^3}$$

$$= 1.09 \sqrt[4]{0.008808 \times 0.45^3}$$

$$= 0.1834 m$$

$$GMD = \sqrt[3]{D \times D \times D}$$

$$= \sqrt[3]{11.054 \times 11.076 \times 22.13}$$

$$= 13.941 m$$

ดังนั้น

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{13.941}{0.1834} \frac{H}{m} / phase$$

$$= 8.661 \times 10^{-7} \frac{H}{m} / phase$$

$$= 8.574 \times 10^{-7} \times 26.4 \times 1000$$

$$= 22.86 \text{ mH/phase}$$

การหาค่าความจุไฟฟ้า (C)

$$C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln \frac{GMD}{GMR}} \frac{F}{m} \text{ to neutral}$$

$$GMD = \sqrt[3]{D \times D \times D}$$

$$= \sqrt[3]{11.054 \times 11.076 \times 22.13}$$

$$= 13.941 m$$

$$\begin{aligned}
 GMR &= 1.09\sqrt[4]{r \times d^3} \\
 &= 1.09\sqrt[4]{0.01131 \times 0.45^3} \\
 &= 0.1953 \text{ m}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{2\pi \times 10^{-9}}{36\pi \times \ln \frac{13.941}{0.1953}} \frac{F}{m} \text{ to neutral} \\
 &= 1.313 \times 10^{-11} \frac{F}{m} / \text{phase} \\
 &= 1.301 \times 10^{-11} \times 26.4 \times 1000 \\
 &= 0.343 \mu F / \text{phase}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นระบบส่งกำลังไฟฟ้า สถานีไฟฟ้าท่าตะโก (TTK) ถึง สถานีไฟฟ้าหนองจอก (NCO) ช่วงที่สองความยาว (26.4 กิโลเมตร) ระยะทาง มีความต้านทาน(R) ทั้งหมดบนสายส่งกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.55 Ω/phase มีค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า(L) ทั้งหมดบนสายส่งกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 22.86 mH/phase (7.18 Ω) และมีค่าความจุไฟฟ้า(C) ทั้งหมดบนสายส่งกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.343 μF/phase (9263.9 Ω)

เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ทั้งหมด คือ ความต้านทาน(R) ความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L) และค่าความจุไฟฟ้า(C) ของสายส่งกำลังไฟฟ้านี้มีสองช่วงความยาว คือ ช่วงความยาวแรก (18.12 กิโลเมตร) เป็นสายส่งวงจรเดี่ยวติดตั้งอยู่บนเสาแบบ SL และช่วงที่สองความยาว (26.4 กิโลเมตร) เป็นสายส่งวงจรเดี่ยวติดตั้งบนเสาแบบ DL การหาค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดจึงต้องนำความยาวช่วงแรกและความยาวช่วงที่สองมาบวก ซึ่งมีค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

ความต้านทาน (R) ทั้งหมดบนสายส่งกำลังไฟฟ้าระยะกลาง เท่ากับ

$$3.82 \Omega / \text{phase} + 0.55 \Omega / \text{phase} = 4.37 \Omega / \text{phase}$$

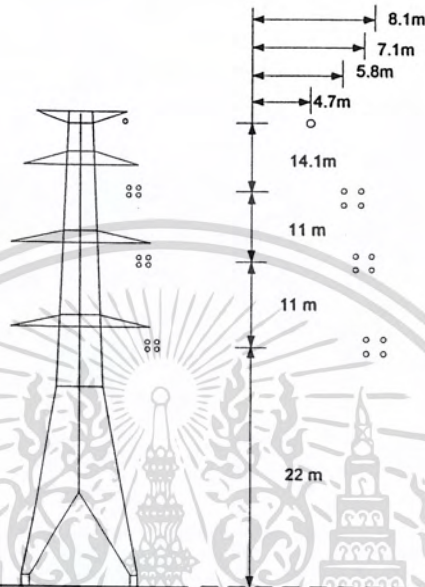
ความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L) ทั้งหมดบนสายส่งกำลังไฟฟ้าระยะกลาง เท่ากับ

$$155.54 \text{ mH} / \text{phase} + 22.86 \text{ mH} / \text{phase} = 178.4 \text{ mH} / \text{phase}$$

ความจุไฟฟ้า (C) ทั้งหมดบนสายส่งกำลังไฟฟ้าเท่ากับ

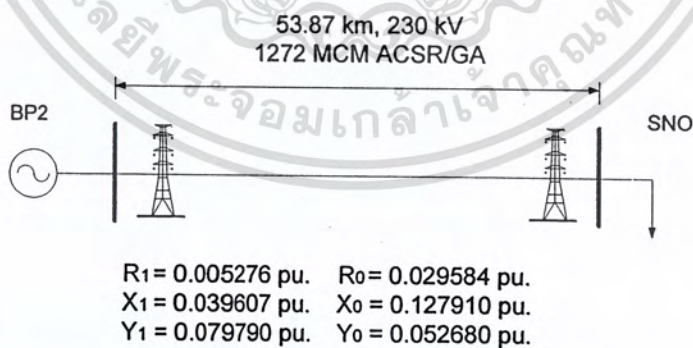
$$2.38 \text{ F} / \text{phase} + 0.343 \text{ F} / \text{phase} = 2.72 \mu F / \text{phase}$$

ดังนั้นระบบส่งกำลังไฟฟ้า โรงไฟฟ้าสถานีไฟฟ้าท่าตะโก (TTK) ถึง สถานีไฟฟ้าหนองจอก (NCO) ระยะทาง 207.6 กิโลเมตร มีความต้านทาน(R) ทั้งหมดบนสายส่งกำลังไฟฟ้าเท่ากับ $4.37 \Omega / \text{phase}$ มีค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า(L) ทั้งหมดบนสายส่งกำลังไฟฟ้าเท่ากับ $178.4 \text{ mH} / \text{phase}$ (87.65Ω) และมีค่าความจุไฟฟ้า(C) ทั้งหมดบนสายส่งกำลังไฟฟ้าเท่ากับ $2.72 \text{ F} / \text{phase}$ (1168.5Ω)



รูปที่ ก-5 ระยะห่างตัวนำแต่ละเฟสและรูปแบบการจัดวางของสายของเสาแบบ DL

ก.3 ระบบส่งกำลังไฟฟ้าระยะใกล้



รูปที่ ก-6 สายส่งกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้า 230 kV บ้านโป่ง – ไทรน้อย

ในการหาค่าความต้านทานสามารถหาได้จาก หนังสือ Electrical Transmission Distribution Reference Book โดยใช้เสาส่งกำลังไฟฟ้าแรงสูงเป็นแบบ DL ตัวนำแบบ ACSR 1272 MCM (Al42/St7) ซึ่งมีค่า ความต้านทานที่ 50 Hz เท่ากับ 0.1358 Ohms per Conductor per Mile ดังนั้น ค่าความต้านทาน(R) มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} R &= 0.084 \frac{\Omega}{\text{mile}} \times \frac{1 \text{ mile}}{1.609 \text{ km}} \times 53.877 \text{ km} \\ &= 2.82 \Omega \end{aligned}$$

การหาค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L)

$$\begin{aligned} L &= 2 \times 10^{-7} \ln \frac{GMD}{GMR} \frac{H}{m} / \text{phase} \\ GMD_{\text{parallel}} &= \sqrt[3]{D_{ab}^p \times D_{bc}^p \times D_{ca}^p} \\ D_{ab}^p &= \sqrt[4]{6 \times 6 \times 11.295 \times 11.295} \\ &= 8.232 \text{ m} \\ D_{bc}^p &= \sqrt[4]{6 \times 6 \times 11.295 \times 11.295} \\ &= 8.232 \text{ m} \\ D_{ca}^p &= \sqrt[4]{12 \times 12 \times 9.75 \times 9.75} \\ &= 10.716 \text{ m} \\ GMD_{\text{parallel}} &= \sqrt[3]{8.232 \times 8.232 \times 10.716} \\ &= 8.988 \text{ m} \\ GMR_{\text{parallel}} &= \sqrt[3]{GMR_a \times GMR_b \times GMR_c} \\ GMR_a &= \sqrt[4]{0.011^2 \times 15.348^2} \\ &= 0.4209 \text{ m} \\ GMR_b &= \sqrt[4]{0.011^2 \times 9.57^2} \\ &= 0.3324 \text{ m} \\ GMR_c &= \sqrt[4]{0.011^2 \times 15.348^2} \\ &= 0.4209 \text{ m} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 GMR_{parallel} &= \sqrt[3]{0.4209 \times 0.3324 \times 0.4209} \\
 &= 0.389 \text{ m} \\
 L &= 2 \times 10^{-7} \ln \frac{8.988}{0.389} \frac{H}{m} / \text{phase} \\
 &= 6.279 \times 10^{-7} \frac{H}{m} / \text{phase} \\
 &= 6.279 \times 10^{-7} \times 53.877 \times 1000 \\
 &= 33.83 \text{ mH}
 \end{aligned}$$

แต่วงจรจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้า สถานีไฟฟ้าบ้านโป่ง (BP2) ถึง สถานีไฟฟ้าไทรน้อย (SNO) เป็นวงจรคู่ ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า(L) ต้องมีค่าเป็น 2 เท่า คือ $33.83 \text{ mH} \times 2 = 67.66 \text{ mH}$

การหาค่าความจุไฟฟ้า (C)

สำหรับสายส่งระยะสั้นนี้ค่าความจุไฟฟ้า(C) ที่ขนานอยู่กับระบบมีค่าน้อยมากดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องนำมาคิดสามารถตัดทิ้งไปได้ ซึ่งเสียความแม่นยำในการคำนวณไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นการคิดค่าอิมพีแดนซ์รวมของระบบจึงมีเฉพาะความต้านทาน (R) และ การหาค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า(L) เท่านั้น

ดังนั้นระบบส่งกำลังไฟฟ้า สถานีไฟฟ้าบ้านโป่ง (ราชบุรี) ถึงสถานีไฟฟ้าไทรน้อย (นนทบุรี) ระยะทาง 53.87 กิโลเมตร มีความต้านทาน(R) ทั้งหมดบนสายส่งกำลังไฟฟ้าเท่ากับ $2.82 \Omega / \text{phase}$ มีค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า(L) ทั้งหมดบนสายส่งกำลังไฟฟ้าเท่ากับ $33.83 \text{ mH} / \text{phase}$ แต่เนื่องจากเป็นสายส่งวงจรคู่ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า(L) เท่ากับ 67.67 mH (21.26Ω)



ภาคผนวก ข
การหาค่าพารามิเตอร์ที่ติดตั้งในระบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข การหาค่าพารามิเตอร์ที่ติดตั้งในระบบจำลอง

วิธีในการคำนวณเพื่อจะจำลองสายส่งกำลังไฟฟ้าแรงดันสูงมาสู่ระบบจำลองในห้องปฏิบัติการ ค่าความต้านทาน(R) ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L) ค่าความจุไฟฟ้า(C) โดยการใช้ระบบเพอร์ยูนิต คืออัตราส่วนระหว่างค่าจริงต่อ (Actual value) ต่อค่าฐาน (Base value) เขียนเป็นสมการได้เป็น

$$Per\ unit\ value = \frac{Actual\ value}{Base\ value}$$

ปริมาณทางไฟฟ้าของสายส่งที่นำมาอ้างอิงเป็นค่าฐาน (Base value) คือค่ากำลังไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้าและนำไปเป็นอัตราส่วนเพื่อแปลงเป็นระบบจำลองที่สามารถนำมาทดลองในห้องปฏิบัติการได้ โดยให้ระบบจำลองมีค่าฐาน (Base value) ค่ากำลังไฟฟ้า (600 VA) และค่าแรงดันไฟฟ้า (400 V) ค่าที่เปรียบเทียบคือ ค่า Z_{Base} โดย

$$Z_{Base} = \frac{V_{Base}^2}{S_{Base}}$$

$$Z_{Base} = \frac{400^2}{600} = 266.67 \Omega$$

Z_{Base} ของระบบจำลองมีค่าเท่ากับ 266.67 Ω

ค่าฐานของระบบส่งกำลังไฟฟ้าระยะกลางและระยะไกล แรงดันที่ (500kV) กำลังไฟฟ้า (100MVA) จะได้

$$Z_{Base} = \frac{V_{Base}^2}{S_{Base}}$$

$$Z_{Base} = \frac{500^2}{1000}$$

$$= 2500 \Omega$$

Z_{Base} ของระบบจริงมีค่าเท่ากับ 2,500 Ω

จะได้ค่าอัตราส่วนของระบบจำลองต่อระบบจริง คือ

$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วน} &= \frac{266.67}{2500} \\ &= 0.106667 \end{aligned}$$

ค่าฐานของระบบส่งกำลังไฟฟ้าระยะสั้น แรงดันที่ (230kV) กำลังไฟฟ้า (100MVA) จะได้

$$\begin{aligned} Z_{Base} &= \frac{V_{Base}^2}{S_{Base}} \\ Z_{Base} &= \frac{230^2}{100} \end{aligned}$$

Z_{Base} ของระบบจริงมีค่าเท่ากับ 529 Ω

จะได้ค่าอัตราส่วนของระบบจำลองต่อระบบจริง คือ

$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วน} &= \frac{266.67}{529} \\ &= 0.5041 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการติดตั้งในระบบจำลองมีค่าดังต่อไปนี้
ระบบจำลองสายส่งระยะไกล

ค่าความต้านทาน (R)

$$\begin{aligned} R &= \text{อัตราส่วน} \times \text{ความต้านทานระบบจริง} \\ &= 0.10666 \times 6.87 \Omega \\ &= 0.7 \Omega \quad (\text{ค่าในวงจรจำลองเท่ากับ } 0.7 \Omega) \end{aligned}$$

ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L)

$$\begin{aligned} L &= \text{อัตราส่วน} \times \text{ความเหนี่ยวนำไฟฟ้าระบบจริง} \\ &= 0.10666 \times 279 \text{ mH} \\ &= 29.7 \text{ mH} \quad (\text{ค่าในวงจรจำลองเท่ากับ } 30 \text{ mH}) \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความจุไฟฟ้า (C)

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{1}{\text{อัตราส่วน}} \times \text{ความจุไฟฟ้าระบบจริง} \\
 &= \frac{1}{0.106667} \times 4.268 \mu F \\
 &= 40 \mu F \quad (\text{ค่าในวงจรจำลองเท่ากับ } 40 \mu F)
 \end{aligned}$$

ระบบจำลองสายส่งระยะกลาง

ค่าความต้านทาน (R)

$$\begin{aligned}
 R &= \text{อัตราส่วน} \times \text{ความต้านทานระบบจริง} \\
 &= 0.10666 \times 3.82 \Omega \\
 &= 0.4 \Omega \quad (\text{ค่าในวงจรจำลองเท่ากับ } 0.4 \Omega)
 \end{aligned}$$

ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L)

$$\begin{aligned}
 L &= \text{อัตราส่วน} \times \text{ความเหนี่ยวนำไฟฟ้าระบบจริง} \\
 &= 0.10666 \times 178.41 \text{ mH} \\
 &= 19 \text{ mH} \quad (\text{ค่าในวงจรจำลองเท่ากับ } 20 \text{ mH})
 \end{aligned}$$

ค่าความจุไฟฟ้า (C)

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{1}{\text{อัตราส่วน}} \times \text{ความจุไฟฟ้าระบบจริง} \\
 &= \frac{1}{0.106667} \times 2.724 \mu F \\
 &= 25.5 \mu F \quad (\text{ค่าในวงจรจำลองเท่ากับ } 28 \mu F)
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบจำลองสายส่งระยะสั้น

ค่าความต้านทาน (R)

$$\begin{aligned}
 R &= \text{อัตราส่วน} \times \text{ความต้านทานระบบจริง} \\
 &= 0.5041 \times 2.82 \ \Omega \\
 &= 1.4 \ \Omega \quad (\text{ค่าในวงจรจำลองเท่ากับ } 1.4 \ \Omega)
 \end{aligned}$$

ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L)

$$\begin{aligned}
 L &= \text{อัตราส่วน} \times \text{ความเหนี่ยวนำไฟฟ้าระบบจริง} \\
 &= 0.5041 \times 67.67 \text{ mH} \\
 &= 34.11 \text{ mH} \quad (\text{ค่าในวงจรจำลองเท่ากับ } 30 \text{ mH})
 \end{aligned}$$

ข.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้าทั้งระบบจริงและระบบจำลอง

จากทฤษฎีบทที่ 2 ได้คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ดังนี้ ค่าความต้านทาน ค่าความเหนี่ยวนำ และค่าความจุไฟฟ้าของระบบส่งกำลังไฟฟ้าจริงจากการไฟฟ้าฯ มาเป็นค่าในชุดทดลองซึ่งค่าพารามิเตอร์ได้แสดงไว้ในตารางที่ ข-1 ถึง ข-3

ตารางที่ ข - 1 เปรียบเทียบค่าที่จากระบบจริงและค่าที่ติดตั้งกับระบบจำลองระยะไกล

MM3 –TTK (325.6 km.)	ระบบจริงจากการไฟฟ้า (Base 500kV, 100MVA)		ชุดทดลอง (Base 400V, 600VA)	
	ค่าจริง	เพอร์ยูนิต	ค่าจริง	เพอร์ยูนิต
R	6.87 Ω	0.002665	0.7 Ω	0.002625
X _L	87.65 Ω (279 mH)	0.035895	9.425 Ω (30 mH)	0.035343
Y	745.8 Ω (4.268 μF)	3.343836	79.57 Ω (40 μF)	3.351347


ตารางที่ ข - 2 เปรียบเทียบค่าที่จากระบบจริงและค่าที่ติดตั้งกับระบบจำลองระยะกลาง

TTK-NCO (207.6 km.)	ระบบจริงจากการไฟฟ้า (Base 500kV, 100MVA)		ชุดทดลอง (Base 400V, 600VA)	
	ค่าจริง	เพอร์ยูนิต	ค่าจริง	เพอร์ยูนิต
R	3.82 Ω	0.001700	0.4 Ω	0.001500
X_L	87.65 Ω (178.40 mH)	0.022261	6.283 Ω (20 mH)	0.023562
Y	1168.5 Ω (2.723 μF)	2.199940	113.68 Ω (28 μF)	2.345723

ตารางที่ ข - 3 เปรียบเทียบค่าที่จากระบบจริงและค่าที่ติดตั้งกับระบบจำลองระยะสั้น

BP2 - SNO (53.87 km.)	ระบบจริงจากการไฟฟ้า (Base 230kV, 100MVA)		ชุดทดลอง (Base 400V, 600VA)	
	ค่าจริง	เพอร์ยูนิต	ค่าจริง	เพอร์ยูนิต
R	2.82 Ω	0.005276	1.4 Ω	0.005249
X_L	21.16 Ω (66.7 mH)	0.039607	9.425 Ω (30 mH)	0.035343

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



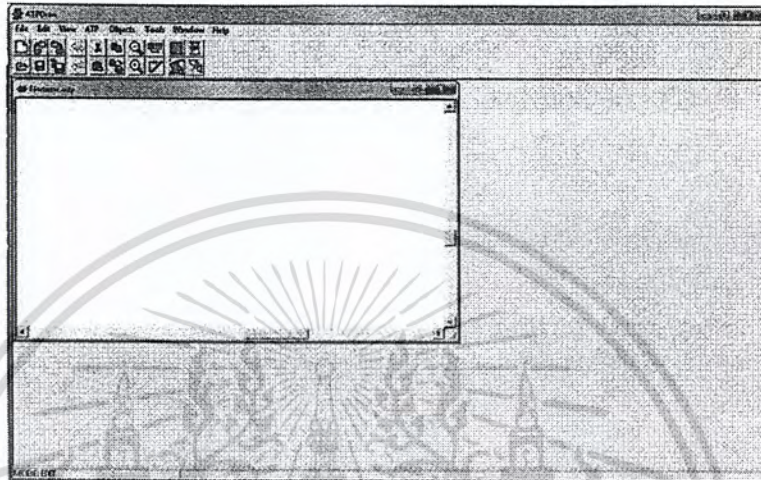
ภาคผนวก ค
การจำลองสายส่งไฟฟ้าแบบพาย และแบบที ด้วยโปรแกรม ATP / EMTP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค การจำลองสายส่งไฟฟ้าแบบพาย และแบบที่ ด้วยโปรแกรม ATP / EMTF

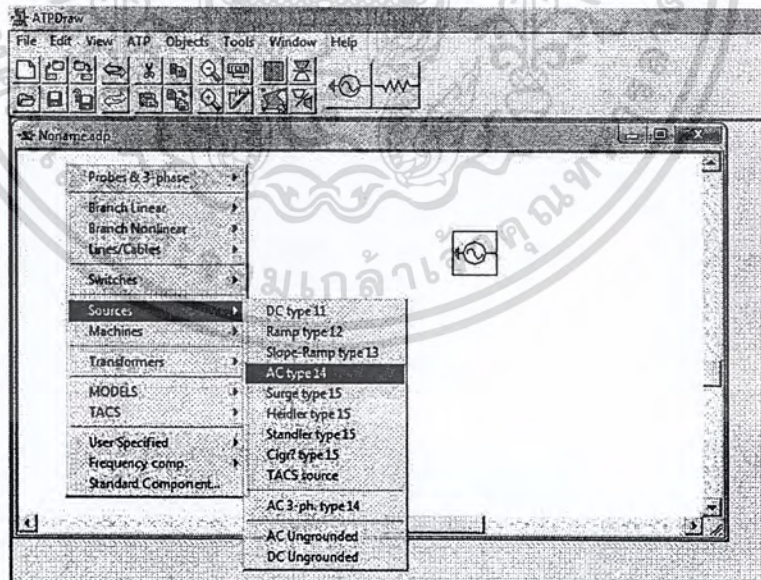
ค.1 การออกแบบวงจรที่ต้องการทำการจำลอง

1. เปิดโปรแกรม ATP Draw กด file แล้วกด new เพื่อสร้างหน้าต่างขึ้นมา




รูปที่ ค - 1 หน้าต่างเปิดโปรแกรม ATP

2. คลิกเมาส์ด้านขวาเพื่อเลือกอุปกรณ์ไฟฟ้า





รูปที่ ค - 2 การเลือกอุปกรณ์


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 เลือกแหล่งจ่ายไฟฟ้า source ชนิด AC type 14 


2.2 เลือกค่าพารามิเตอร์ที่อยู่ในสายส่ง


2.2.1 ค่าความต้านทาน R เลือก branch linear / Resistor 

2.2.2 ค่าความเหนี่ยวนำ L เลือก branch linear / Inductor 

2.2.3 ค่าความจุไฟฟ้า C เลือก branch linear / capacitor 

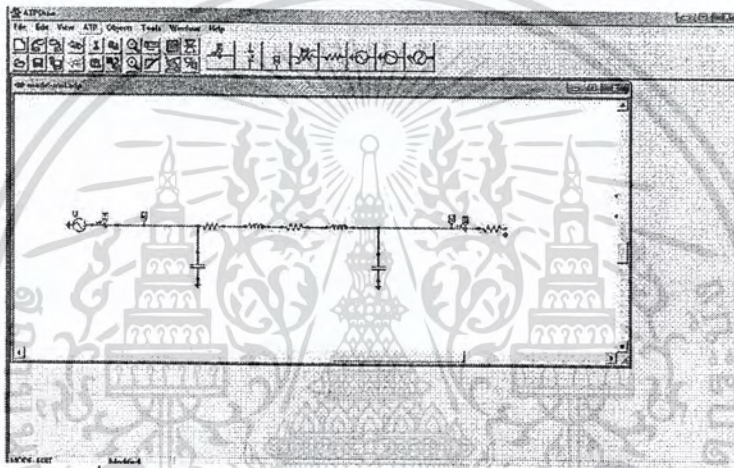
2.3 เลือกเครื่องมือวัด

2.3.1 เครื่องวัดกระแส เลือก probes & 3phase / probe curr 

2.3.2 เครื่องวัดแรงดัน เลือก probes & 3phase / probe volt 

2.4 คลิกเมาส์ด้านซ้ายเพื่อเชื่อมอุปกรณ์ไฟฟ้า

2.5 ดับเบิ้ลคลิกที่จุดแดงเพื่อใส่ Ground



รูปที่ ค - 3 การสร้างการจำลองวงจรสมมูลย์แบบพาย

3. ดับเบิ้ลคลิกที่อุปกรณ์เพื่อกำหนดค่าอุปกรณ์

3.1 กำหนดค่าแหล่งจ่าย source กด Help เพื่ออ่านทำความเข้าใจในช่องค่าที่จะใส่ค่า

3.1.1 U/I ใส่ค่า เพื่อเลือกให้เป็น voltage source (0)

3.1.2 Amp ใส่ค่าสูงสุดของแรงดันที่ด้านฝั่งส่งของระบบ transmission line

3.1.3 f ใส่ค่าความถี่ที่ใช้ (50Hz)

3.1.4 Pha ใส่ค่ามุมเฟส (0= มุมอ้างอิง)

3.1.5 A1 ใส่ เพื่อเลือกใช้ในหน่วยมุม (0)

3.1.6 TSta ใส่เวลาในการทดลอง (-1 sec)

3.1.7 TSto ใส่เวลาหยุด (1 sec)

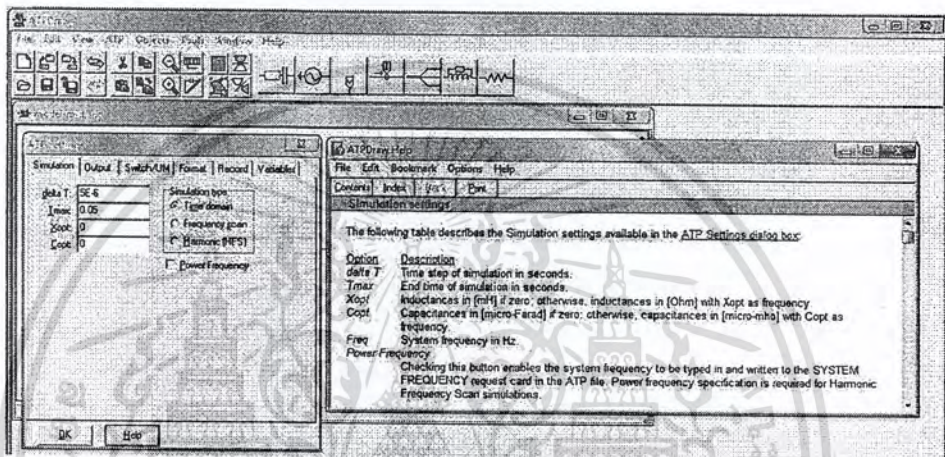
3.1.8 เมื่อใส่ค่าทั้งหมดแล้ว กด OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การตั้งค่าการรันโปรแกรม

4.1 กด ATP /setting กด Help เพื่ออ่านทำความเข้าใจในช่องค่าที่จะใส่ค่า

- 4.1.1 delta T ใส่เพื่อเลือกค่าความเวลาที่ต้องการ sampling (5E-6)
- 4.1.2 T max ใส่ค่าเวลามากที่สุดที่จะให้โปรแกรมรัน (0.05 sec)
- 4.1.3 Xopt ใส่ค่า(0) เพื่อให้ค่าที่ใส่ใน inductor มีหน่วยเป็น mH
- 4.1.4 Copt ใส่ค่า(0) เพื่อให้ค่าที่ใส่ใน capacitor มีหน่วยเป็น μF
- 4.1.5 และเลือก simulation type / Time domain
- 4.1.6 เมื่อใส่ค่าทั้งหมดแล้ว กด OK



รูปที่ ค - 5 การตั้งค่าการรันโปรแกรม

5. เมื่อรันค่าเสร็จจะได้ไฟล์ (name.pl4)

- 5.1 ให้เข้าไปใน folder ที่บันทึกค่าไว้และเปิดไฟล์ด้วย notepad
- 5.2 ให้ลบหัวข้อมกระดาศให้เหลือแต่ตัวเลขและ copy ไฟล์ไปไว้ใน folder ของ matlab เพื่อนำไปอ่านค่าและพล็อตกราฟใน matlab ต่อไป

ค.2 การอ่านค่าและวาดกราฟด้วยโปรแกรม Matlab

1. เปิดโปรแกรม Matlab
พิมพ์คำสั่ง load NAME.pl4 เพื่อโหลดข้อมูลที่บันทึกไว้ใน folder
2. กำหนดค่าตัวแปรเพื่อพล็อตกราฟ
พิมพ์คำสั่ง $y1=(NAME(:,3))$; กำหนดค่าตัวให้ $y1$ คือค่าทั้งหมดในคอลัมน์ที่ 3
พิมพ์คำสั่ง $y2=(NAME(:,4))$; กำหนดค่าตัวให้ $y2$ คือค่าทั้งหมดในคอลัมน์ที่ 4
พิมพ์คำสั่ง $x=(1:10001)$; กำหนดค่าตัวให้ x มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10001
พิมพ์คำสั่ง $[AX,H1,H2] = \text{plot}(x,y1,x,y2,'plot')$; เพื่อพล็อตกราฟให้แกน y มี 2 ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



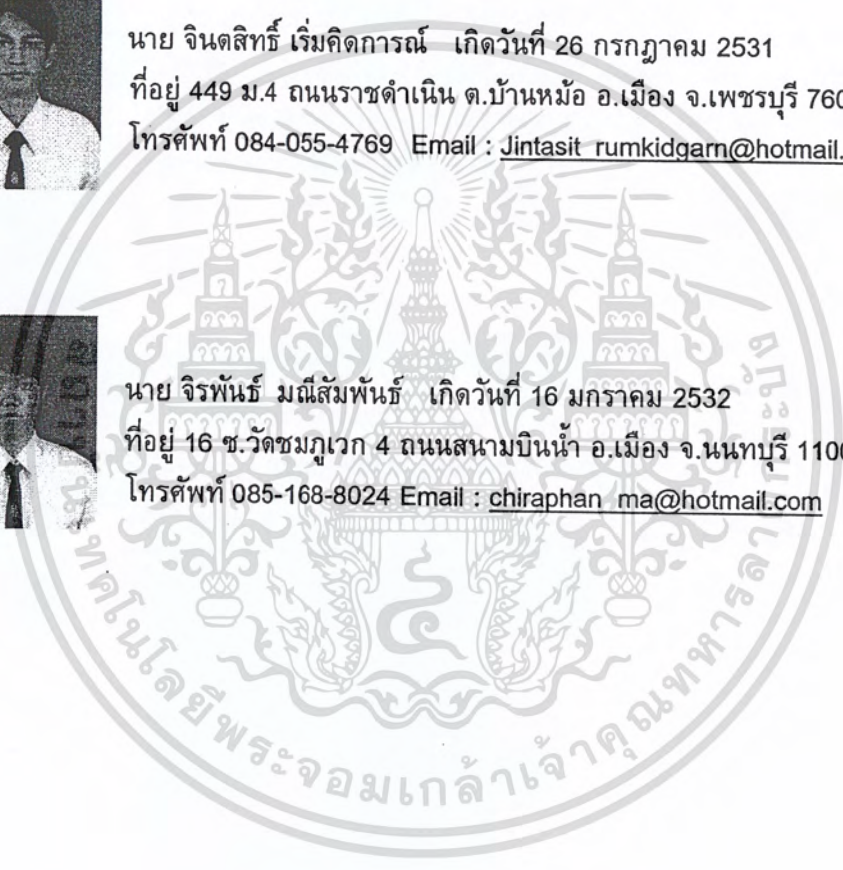
นาย จิตติพงษ์ กล่อมจิตต์ เกิดวันที่ 20 มกราคม 2532
ที่อยู่ 106/1 ถนนศรีมาลา ต.ในเมือง อ.เมือง จ.พิจิตร 66000
โทรศัพท์ 081-596-1068 Email : Jittiphong_kmitl@hotmail.com



นาย จินตสิทธิ์ เริ่มคิดการณ์ เกิดวันที่ 26 กรกฎาคม 2531
ที่อยู่ 449 ม.4 ถนนราชดำเนิน ต.บ้านหม้อ อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000
โทรศัพท์ 084-055-4769 Email : Jintasit_rumkidgarn@hotmail.com



นาย จิรพันธ์ มณีสัมพันธ์ เกิดวันที่ 16 มกราคม 2532
ที่อยู่ 16 ซ.วัดชมพูเวก 4 ถนนสนามบินน้ำ อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000
โทรศัพท์ 085-168-8024 Email : chiraphan_ma@hotmail.com



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้