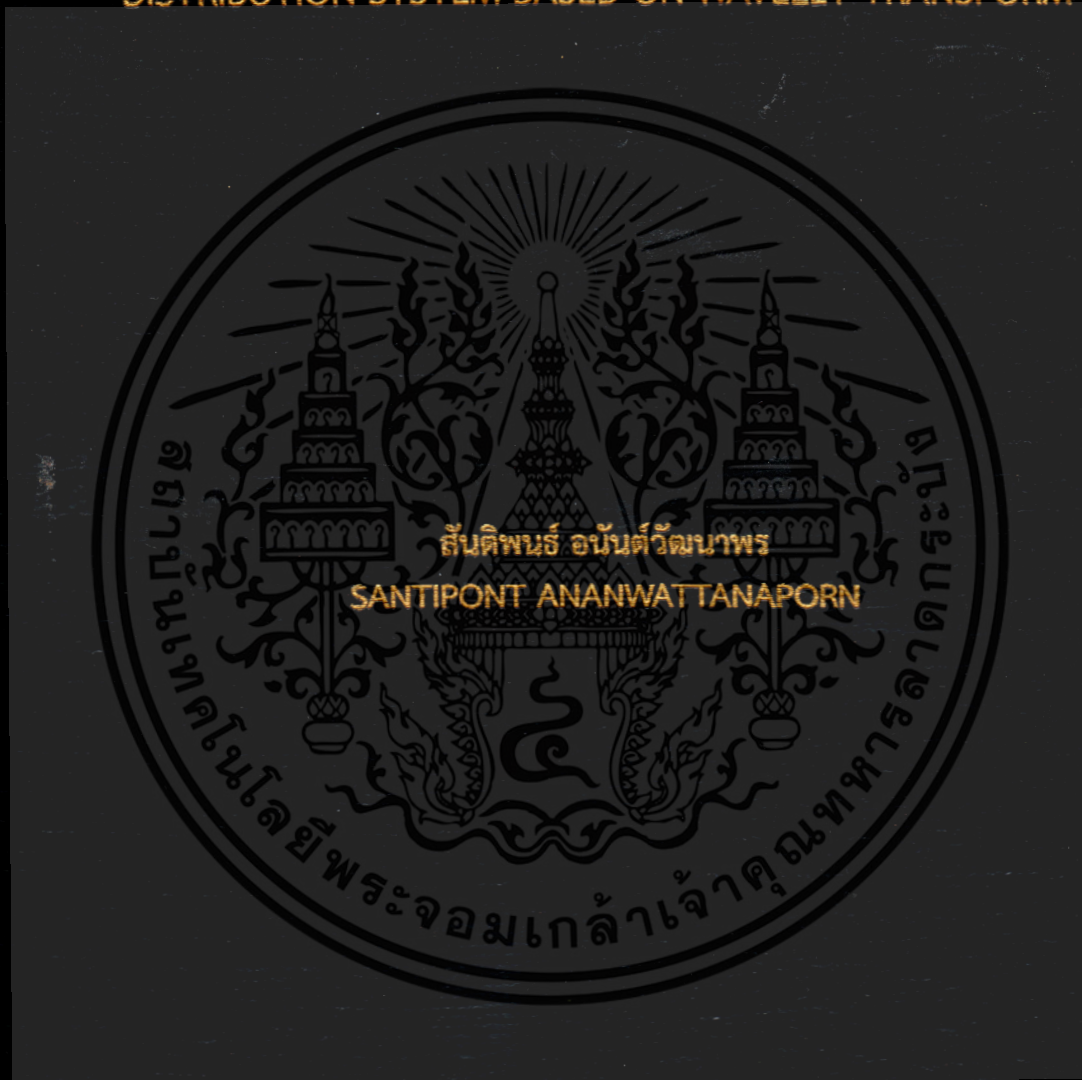


การวินิจฉัยฟอลต์ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายศูนย์ในระบบ
จำหน่ายโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต

FAULT DIAGNOSIS IN COMPRISING MULTI-DISTRIBUTED GENERATION IN
DISTRIBUTION SYSTEM BASED ON WAVELET TRANSFORM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

KMITL-2018-EN-M-020-083

การวินิจฉัยฟอลต์ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายศูนย์ในระบบ
จำหน่ายโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต

FAULT DIAGNOSIS IN COMPRISING MULTI-DISTRIBUTED GENERATION IN
DISTRIBUTION SYSTEM BASED ON WAVELET TRANSFORM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561

KMITL-2018-EN-M-020-083

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAULT DIAGNOSIS IN COMPRISING MULTI-DISTRIBUTED GENERATION IN
DISTRIBUTION SYSTEM BASED ON WAVELET TRANSFORM



KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2018

KMITL-2018-EN-M-020-083

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2018

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวินิจฉัยฟอลต์ในระบบไฟฟ้าแบบกระจายศูนย์ในระบบจำหน่ายโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต
Thesis Title Fault Dianosis in Comprising Multi-Distributed Generation in Distribution System Based on Wavelet Transform
นักศึกษา นายสันติพันธ์ อนันต์วัฒนาพร
รหัสประจำตัว 57601108
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.อรรถพล เเงาพิทักษ์กุล
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2018-EN-M-020-083

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ศุภี	บรรจงจิตร	
ผศ.ดร.นิรุช	จิรสุวรรณกุล	
ผศ.ดร.ชัยยันต์	เจตนาเสน	
รศ.ดร.ชัยวุฒิ	ฉัตรอุทัย	
รศ.ดร.อรรถพล	เเงาพิทักษ์กุล	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 17 กรกฎาคม พ.ศ. 2561 เวลา 14.00-16.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้อง HM-303 อาคารเฉลิมพระเกียรติ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ให้พิมพ์เผยแพร่ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอย่างยังคงเป็นของสถาบันฯ ที่มีการนำไปใช้
วันที่ 17 กรกฎาคม พ.ศ. 2561

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวินิจฉัยฟอลต์ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายศูนย์ในระบบ จำหน่ายโดยใช้การแปลงเวฟเล็ท
นักศึกษา	นายสันติพันธ์ อนันต์วัฒนาพร
รหัสประจำตัว	57601108
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.อรรถพล เก่าพิทักษ์กุล

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบจำหน่ายที่มีการเชื่อมต่อของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมขึ้น รวมถึงนำเสนอการออกแบบขั้นตอนวิธีการตรวจจับ ระบุตำแหน่ง และแยกแยะประเภทความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยระบบจำหน่ายที่ใช้ในการศึกษาจำลองมาจากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคขนาด 22 กิโลโวลต์ ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอจะใช้หลักการของทฤษฎีคลื่นเดินทาง โดยคำนวณหาความเร็วและระยะเวลาที่คลื่นที่เกิด ณ จุดที่เกิดความผิดปกติเดินทางไปยังปลายทั้งสองด้านของสายส่งในการระบุตำแหน่งความผิดปกติ หลักการของการแปลงเวฟเล็ทจะถูกใช้ในการแยกองค์ประกอบความถี่สูงจากสัญญาณความผิดปกติ ซึ่งผลที่ได้จะอยู่ในรูปแบบของค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท จากนั้นจึงใช้ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวในการสร้างเงื่อนไขสำหรับแยกแยะประเภทความผิดปกติ โดยขั้นตอนวิธีที่นำเสนอจะถูกประเมินประสิทธิภาพในเชิงความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง และแยกแยะประเภทความผิดปกติ โดยพิจารณาปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อในทุก ๆ ด้าน เพื่อให้ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบป้องกันได้ในอนาคต

Thesis	FAULT DIAGNOSIS IN COMPRISING MULTI-DISTRIBUTED GENERATION IN DISTRIBUTION SYSTEM BASED ON WAVELET TRANSFORM
Student	Mr. Santipont Ananwattanaporn
Student ID	57601108
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2018
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Atthapol Ngaopitakkul

ABSTRACT

This thesis proposes characteristic analysis on distribution system consist of distributed generation during fault occurrence. The fault detection, location and classification algorithm also been proposed. The system is modelled after Provincial Electrical Authority's (PEA) 22-kv distribution system. The propose fault location algorithm based on travelling wave theory by calculated velocity for travelling wave generated from fault location and time its arrive at both terminal of transmission line. Discrete wavelet transform will be used to extract high frequency component from fault signal in form of coefficient value. This value will be used to construct condition algorithm to classify type of fault. The performance of proposed algorithm will be evaluated into term of fault location and classification accuracy under various condition in order to verify its suitability in actual protection system in the future.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. อรรถพล เ่งพิทักษ์กุล ที่ให้ความช่วยเหลือ คำชี้แนะ ความรู้ และประสบการณ์ ตลอดจนช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ทำให้งานวิจัยดำเนินการไปได้อย่างเรียบร้อย จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณทุนวิจัยจาก กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงานที่ให้เงินทุนสนับสนุนการทำวิจัย

ขอขอบคุณนายจิตติพงษ์ กลุ่มจิตต์ ที่ให้คำปรึกษาและคำชี้แนะในการการวิจัย รวมถึงช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งทำให้งานวิจัยของข้าพเจ้าดำเนินไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณนายสันฐิติ อยู่มาก นายปณพงค์ ส่งสุขสวัสดิ์ และนายณัฐนนท์ พันธุ์นิล รวมถึงสมาชิกท่านอื่น ๆ ในห้องปฏิบัติการที่ข้าพเจ้าทำงานอยู่ ที่ให้ความช่วยเหลือในงานด้านต่าง ๆ รวมไปถึงให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์เมื่อยามที่ข้าพเจ้าพบเจอกับปัญหา

ขอขอบพระคุณบิดาและมารดา ที่ให้โอกาสในการศึกษาเล่าเรียนในระดับบัณฑิตศึกษา รวมไปถึงเป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้โดยสมบูรณ์

สันติพันธ์ อนันต์วัฒนาวร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1...ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2...ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3...สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4...ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5...ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6...ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1...ทบทวนวรรณกรรม.....	6
2.2...ความผิดพร่องในระบบไฟฟ้า.....	8
2.2.1 ความผิดพร่องแบบสมมาตร.....	8
2.2.2 ความผิดพร่องแบบไม่สมมาตร.....	9
2.2.3 องค์ประกอบสมมาตร.....	10
2.2.4 การแปลงของคลาร์ก (Clarke Transform).....	11
2.3...การแปลงเวฟเล็ท (Wavelet Transform).....	11
2.3.1 การแปลงเวฟเล็ทแบบต่อเนื่อง (Continuous Wavelet Transform).....	12
2.3.2 การแปลงเวฟเล็ทแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform).....	13
บทที่ 3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	15
3.1...การจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	15
3.2...การจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม.....	16
3.3...พฤติกรรมของสัญญาณความผิดพร่องในระบบจำหน่าย.....	20
3.3.1 กรณีไม่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย.....	21
3.3.2 กรณีมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายใกล้บัสสถานีไฟฟ้าย่อย.....	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3	กรณีมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายกลางสายส่ง	27
3.3.4	กรณีมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายใกล้บัสสถานีไฟฟ้า	30
3.3.5	กรณีมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนสองเครื่อง.....	33
บทที่ 4	ขั้นตอนวิธีการระบุตำแหน่งแยกแยะประเภทความผิดปกติ	38
4.1	ขั้นตอนวิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ	38
4.1.1	วิธีคลื่นยอดแรก (First Peak Method).....	39
4.1.2	วิธีปลายเดี่ยว (Single-Ended Method).....	40
4.1.3	วิธีคลื่นยอดที่สอง (Second Peak Method)	40
4.2	ขั้นตอนวิธีการแยกแยะประเภทความผิดปกติ.....	41
บทที่ 5	ผลการระบุตำแหน่งและแยกแยะประเภทความผิดปกติ	45
5.1	กรณีไม่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย.....	45
5.2	กรณีมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายใกล้บัสสถานีไฟฟ้าย่อย.....	47
5.3	กรณีมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายกลางสายส่ง.....	48
5.4	กรณีมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายใกล้บัสสถานีไฟฟ้า	50
5.5	กรณีมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนสองเครื่อง	52
บทที่ 6	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	55
6.1	สรุปผลการวิจัย.....	55
6.2	ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อ.....	56
เอกสารอ้างอิง		57
ประวัติผู้เขียน.....		61

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการจำลองระบบ	16
3.2 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมที่ใช้ในกรณีศึกษา	17
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการจำลองระบบพลังงานลม	18
3.4 ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (kA) ในกรณีที่ไม่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย	22
3.5 ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (kA) ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย จำนวนหนึ่งเครื่องใกล้บัสสถานีไฟฟ้าย่อย	25
3.6 ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (kA) ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย จำนวนหนึ่งเครื่องกลางสายส่ง	28
3.7 ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (kA) ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย จำนวนหนึ่งเครื่องใกล้บัสภาระไฟฟ้า	31
3.8 ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (kA) ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย จำนวนสองเครื่อง	34
4.1 ผลการระบุตำแหน่งความผิดปกติในกรณีที่ไม่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย	45
4.2 ผลการระบุตำแหน่งความผิดปกติในกรณีที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ใกล้บัสสถานีไฟฟ้าย่อย	47
4.3 ผลการระบุตำแหน่งความผิดปกติในกรณีที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย กลางสายส่ง	49
4.4 ผลการระบุตำแหน่งความผิดปกติในกรณีที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ใกล้บัสภาระไฟฟ้า	51
4.5 ผลการระบุตำแหน่งความผิดปกติในกรณีที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย จำนวนสองเครื่อง	53

สารบัญรูป

รูปที่	หน้าที่
2.1 ความผิดปกติประเภทสามเฟส (Three Phase Fault).....	8
2.2 ไดอะแกรมของความผิดปกติแบบไม่สมมาตรประเภทต่าง ๆ	10
2.3 ส่วนประกอบสมมาตรของเฟสเซอร์สามเฟสไม่สมดุล	11
2.4 สัญญาณเวฟเล็ทแม่ประเภท Daubechies	13
2.5 แผนผังการแยกองค์ประกอบสัญญาณ	14
3.1 ระบบจำหน่ายระดับแรงดัน 22 kV ที่ใช้ในกรณีศึกษา	15
3.2 แผนภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายประเภทกัณฑ์ขนาด 2 MW จาก โปรแกรม PSCAD	18
3.3 กระบวนการวิเคราะห์สัญญาณความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้าระดับ แรงดัน 22 กิโลโวลต์	20
3.4 สัญญาณกระแสไฟฟ้าในระบบที่ไม่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย.....	22
3.5 สัญญาณกระแสไฟฟ้าในระบบที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย จำนวนหนึ่งเครื่องใกล้สถานีไฟฟ้าย่อย.....	24
3.6 สัญญาณกระแสไฟฟ้าในระบบที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย จำนวนหนึ่งเครื่องกลางสายส่ง.....	27
3.7 สัญญาณกระแสไฟฟ้าในระบบที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย จำนวนหนึ่งเครื่องใกล้สถานีไฟฟ้า	30
3.8 สัญญาณกระแสไฟฟ้าในระบบที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย จำนวนสองเครื่อง	33
4.1 แผนภาพการสะท้อนของคลื่นเดินทาง	39
4.2 แผนผังการตัดสินใจแยกแยะประเภทความผิดปกติ	42
4.3 สัมประสิทธิ์ค่าสูงสุดเมื่อเกิดความผิดปกติและค่าเปรียบเทียบ	44
5.1 ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการระบุตำแหน่งความผิดปกติในกรณีไม่มีการเชื่อมต่อ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย	46
5.2 ค่าความถูกต้องในการแยกแยะประเภทความผิดปกติในกรณีไม่มีการเชื่อมต่อ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย	46
5.3 ค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งความผิดปกติในกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายจำนวนหนึ่งเครื่องติดตั้งใกล้สถานีไฟฟ้าย่อย.....	47

5.4 ค่าความถูกต้องในการแยกแยะประเภทความผิดพลาดในกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายจำนวนหนึ่งเครื่องติดตั้งใกล้บัสสถานีไฟฟ้าย่อย.....	48
5.5 ค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งความผิดพลาดในกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายจำนวนหนึ่งเครื่องติดตั้งกลางสายส่ง.....	49
5.6 ค่าความถูกต้องในการแยกแยะประเภทความผิดพลาดในกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายจำนวนหนึ่งเครื่องติดตั้งใกล้ติดตั้งกลางสายส่ง	50
5.7 ค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งความผิดพลาดในกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายจำนวนหนึ่งเครื่องติดตั้งใกล้บัสการะไฟฟ้า	51
5.8 ค่าความถูกต้องในการแยกแยะประเภทความผิดพลาดในกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายจำนวนหนึ่งเครื่องติดตั้งใกล้บัสการะไฟฟ้า	52
5.9 ค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งความผิดพลาดในกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายจำนวนสองเครื่อง.....	53
5.10 ค่าความถูกต้องในการแยกแยะประเภทความผิดพลาดในกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายจำนวนสองเครื่อง.....	54



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเนื่องจากจำนวนประชากรที่เพิ่มสูงขึ้น การขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศทั้งในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม รวมถึงการเข้ามาของสิ่งอำนวยความสะดวกที่ช่วยเพิ่มคุณภาพชีวิตของประชาชน โดยข้อมูลจากรายงานสถิติการสถานการณ์การใช้น้ำมันและพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยในปี 2559 [1] พบว่าการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยในปี 2559 อยู่ที่ระดับ 199,567 กิกะวัตต์ชั่วโมง หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.84 เมื่อเทียบกับปีก่อน และความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดสุทธิเกิดขึ้นเมื่อวันที่ 11 พฤษภาคม 2559 เวลา 22.28 น. โดยอยู่ที่ระดับ 29,619 เมกะวัตต์สูงกว่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดสุทธิของปี 2558 ที่ระดับ 27,346 เมกะวัตต์ หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.30 เมื่อเทียบกับปีก่อน ซึ่งความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอาจส่งผลกระทบต่อในเชิงความมั่นคงทางด้านพลังงานของประเทศ เนื่องจากการก่อสร้างโรงไฟฟ้าไม่เป็นไปตามแผนที่วางไว้จากความกังวลในด้านสิ่งแวดล้อมของชุมชนที่อยู่ในบริเวณโดยรอบพื้นที่ที่วางแผนการก่อสร้าง ทำให้ประเทศไทยต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้าน อีกทั้งปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ที่เป็นแหล่งพลังงานหลักในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยก็มีปริมาณที่ลดลงเรื่อยๆ และต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยมีปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งอาจจะกระทบต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศได้

จากปัญหาในด้านพลังงานที่ประเทศไทยกำลังเผชิญอยู่ในปัจจุบัน รัฐบาลไทย โดยกระทรวงพลังงานจึงได้บูรณาการแผนพลังงาน 5 แผนพลังงานหลัก ได้แก่ แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย แผนอนุรักษ์พลังงาน แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก แผนการจัดการก๊าซธรรมชาติของไทย และแผนบริหารจัดการน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งหนึ่งในนั้นก็คือ แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 (Alternative Energy Development Plan : AEDP 2015) [2] โดยมีเป้าหมายเพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังน้ำ ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ ขยะ เป็นต้น จากเดิมที่มีสัดส่วนร้อยละ 9.87 ในปีพ.ศ. 2557 หรือคิดเป็น 4,494.03 เมกะวัตต์ เป็นสัดส่วนร้อยละ 20.11 หรือคิดเป็น 19,684.40 เมกะวัตต์ ภายในปี พ.ศ. 2579 โดยเฉพาะพลังงานลมที่เป้าหมายการติดตั้งในปี พ.ศ. 2579 มีปริมาณสูงกว่าที่ติดตั้งใช้งานในปัจจุบัน ถึง 13.37 เท่า

การเพิ่มขึ้นของพลังงานทดแทนในระบบผลิตไฟฟ้าจะส่งผลให้ลักษณะของระบบไฟฟ้าในประเทศไทยเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยในปัจจุบันระบบไฟฟ้าของประเทศไทยมีรูปแบบการผลิตไฟฟ้าแบบรวมศูนย์ (Centralized Generated Power Systems) ซึ่งมีลักษณะของระบบ คือ มีการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่ตั้งอยู่ใกล้แหล่งพลังงานและห่างไกลจากผู้ใช้ไฟฟ้า เช่น โรงไฟฟ้าจากถ่านหิน น้ำมัน หรือ ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น ก่อนจะมีการส่งไฟฟ้าผ่านโครงข่ายระบบส่งที่มีระยะทางไกลสู่ผู้ใช้ไฟฟ้าในระดับระบบจำหน่าย ไปสู่ระบบการผลิตไฟฟ้าแบบกระจาย (Distributed Generated Power Systems) ซึ่งมีลักษณะของระบบ คือ มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (Distributed Generation : DG) ที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน เช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ กังหันลม เป็นต้น ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้างดงกล่าวมีขนาดเล็ก และสามารถติดตั้งกระจายอยู่ในระดับของระบบจำหน่ายใกล้ผู้ใช้ไฟฟ้า

อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ก็อาจส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าในหลาย ๆ ด้าน เช่น การเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงลักษณะของกระแสความผิดพลาดเมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นในระบบไฟฟ้า การทำงานที่ผิดพลาดของระบบป้องกัน เป็นต้น เนื่องจากระบบป้องกันที่มีการออกแบบและติดตั้งใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ไม่ได้ออกแบบรองรับการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย เมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นในระบบไฟฟ้า อาจส่งผลให้ระบบป้องกันที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันเกิดการดำเนินงานที่ผิดพลาด หรือมีความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่ง และประเภทของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบได้ ส่งผลให้การทำงานของผู้ควบคุมไม่สามารถแก้ปัญหาความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ถูกต้อง และแม่นยำ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือของระบบอีกด้วย

จากปัญหาที่กล่าวมาในข้างต้น การออกแบบและปรับปรุงระบบป้องกันไฟฟ้าให้สามารถรองรับการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายนั้นจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะการออกแบบและปรับปรุงขั้นตอนวิธีให้มีความเหมาะสมกับลักษณะรูปแบบสัญญาณกระแสความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย เพื่อให้สามารถตรวจจับระบุตำแหน่ง และแยกแยะประเภทความผิดพลาดได้อย่างรวดเร็ว และมีความถูกต้องแม่นยำสูงสุด ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ทำการศึกษาคุณลักษณะ และวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบจำหน่ายที่ไม่มี และมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ ทั้งในกรณีปกติ และกรณีที่เกิดความผิดพลาดขึ้นในระบบ เพื่อทำการวิเคราะห์สัญญาณความผิดพลาดที่เกิดขึ้น สำหรับนำมาใช้ในการออกแบบขั้นตอนวิธีในการตรวจจับ ระบุตำแหน่ง และแยกแยะประเภทความผิดพลาด โดยใช้หลักการของการแปลงเวฟเล็ทแบบเต็มหน่วย และทฤษฎีคลื่นเดินทาง ในการวิเคราะห์สัญญาณชั่วขณะ ณ ช่วงเวลาที่เกิดความผิดพลาด ซึ่งขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ และผลจากการทดสอบสามารถนำไปพัฒนาระบบป้องกันในระบบจำหน่ายให้มีการทำงานที่รองรับการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่จะมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในอนาคตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณลักษณะ และวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบจำหน่ายที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนหลายเครื่องเชื่อมต่อกันอยู่ ทั้งในกรณีปกติ และเมื่อเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่าย รวมไปถึงการพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจจะส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมสัญญาณที่เกิดขึ้นในระบบ

1.2.2 เพื่อออกแบบ และจัดทำขั้นตอนวิธีในการตรวจจับ และระบุตำแหน่ง ความผิดปกติในระบบจำหน่ายทั้งในกรณีที่ไม่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย โดยใช้หลักการพื้นฐานจากการวิเคราะห์สัญญาณด้วยการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย และทฤษฎีคลื่นเดินทาง

1.2.3 เพื่อออกแบบ และจัดทำขั้นตอนวิธีในการแยกแยะประเภทความผิดปกติในระบบจำหน่ายทั้งในกรณีที่ไม่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย โดยใช้หลักการพื้นฐานจากการวิเคราะห์สัญญาณด้วยการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ตั้งสมมติฐานของการศึกษาว่า เมื่อเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า จะเกิดสัญญาณชั่วขณะความถี่สูงขึ้นในระบบทั้งในส่วนของสัญญาณกระแส และแรงดัน โดยสัญญาณกระแสไฟฟ้าจะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์เนื่องจากสัญญาณมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน สัญญาณความผิดปกติที่เกิดขึ้นสามารถนำมาวิเคราะห์ได้ โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตในการแยกแยะองค์ประกอบความถี่สูงในรูปแบบค่าสัมประสิทธิ์ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของสัญญาณที่เกิดความผิดปกติจะมีค่าสูงกว่าในกรณีปกติเนื่องจากองค์ประกอบความถี่สูงที่เกิดขึ้นในสัญญาณความผิดปกติ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวจะถูกนำมาใช้ในการคำนวณระยะเวลาที่คลื่นจากตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติเดินทางไปยังปลายสายส่งสำหรับใช้ในการระบุตำแหน่ง และสร้างเงื่อนไขสำหรับการแยกแยะประเภทความผิดปกติ อย่างไรก็ตามเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย คุณลักษณะของระบบทั้งในเชิงคุณลักษณะของสัญญาณกระแสความผิดปกติ และค่าสัมประสิทธิ์ขององค์ประกอบความถี่สูงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการศึกษาพฤติกรรมของระบบ เพื่อออกแบบขั้นตอนวิธีการตรวจจับ ระบุตำแหน่ง และแยกแยะประเภทความผิดปกติที่มีความถูกต้องสูงที่สุด และมีความเหมาะสมในการใช้งานในระบบป้องกันจริงต่อไป

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

การวิเคราะห์สัญญาณความผิดปกติใช้หลักการแปลงสัญญาณของคลาร์ก เพื่อแยกองค์ประกอบสมมาตรจากสัญญาณกระแสไฟฟ้าสามเฟสในระบบจำหน่ายเมื่อเกิดความผิดปกติ โดยองค์ประกอบสมมาตรของสัญญาณที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยการแปลงเวฟเล็ต คือ องค์ประกอบลำดับบวก และลำดับศูนย์ สำหรับขั้นตอนวิธีการตรวจจับ ระบุตำแหน่ง และแยกแยะความผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบจำหน่ายที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ขั้นตอนวิธีในการระบุตำแหน่งความผิดปกติ และขั้นตอนวิธีในการแยกแยะประเภทความผิดปกติ

การออกแบบขั้นตอนวิธีในการตรวจจับ และระบุตำแหน่งความผิดปกตินั้นใช้หลักการพื้นฐานของทฤษฎีคลื่นเดินทาง และการวิเคราะห์สัญญาณความผิดปกติด้วยการแปลงเวฟเล็ตในการระบุตำแหน่งความผิดปกติบนสายส่งของระบบจำหน่ายที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย สำหรับการออกแบบขั้นตอนวิธีในการแยกแยะประเภทความผิดปกติ นั้นใช้หลักการการวิเคราะห์สัญญาณด้วยการแปลงเวฟเล็ต เพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความถี่สูง ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวจะถูกนำมาใช้ในการออกแบบเงื่อนไขของขั้นตอนวิธีการแยกแยะประเภทความผิดปกติ เนื่องจากความผิดปกติในแต่ละประเภทจะมีค่าสัมประสิทธิ์ขององค์ประกอบความถี่สูงที่เป็นลักษณะเฉพาะตัว

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 ทำการจำลองความผิดปกติในระบบจำหน่ายที่ระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์ ที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนหลายเครื่องเชื่อมต่ออยู่ โดยใช้โปรแกรม PSCAD/EMTP

1.5.2 ทำการศึกษาพฤติกรรมของระบบจำหน่ายที่ไม่มี และมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ทั้งในกรณีปกติ และกรณีที่เกิดความผิดปกติขึ้นในระบบ

1.5.3 ทำการออกแบบขั้นตอนวิธีในการตรวจจับ ระบุตำแหน่ง และแยกแยะประเภทความผิดปกติในระบบจำหน่ายที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนหลายเครื่องเชื่อมต่ออยู่ โดยใช้วิธีการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย และทฤษฎีคลื่นเดินทาง

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1.6.1 ศึกษาขั้นตอนวิธีการตรวจจับ ระบุตำแหน่ง และแยกแยะประเภทความผิดปกติในระบบไฟฟ้าจากงานวิจัยที่ผ่านมา

1.6.2 ศึกษาการใช้งานโปรแกรมจำลอง PSCAD/EMTP ในการจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

1.6.3 ทำการจำลองการเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่ายทั้งในกรณีที่ไม่มี และมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ เพื่อเก็บข้อมูลสัญญาณความผิดปกติในกรณีต่าง ๆ

1.6.4 ทำการวิเคราะห์สัญญาณความผิดปกติโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย เพื่อแยกองค์ประกอบความถี่สูงที่เกิดขึ้นในสัญญาณชั่วขณะ สำหรับนำไปใช้ในการออกแบบขั้นตอนวิธี

1.6.5 ออกแบบขั้นตอนวิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติในระบบจำหน่ายที่มีการเชื่อมต่อของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย โดยใช้ข้อมูลองค์ประกอบความถี่สูงที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยการแปลงเวฟเล็ต และทฤษฎีคลื่นเดินทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6.6 ออกแบบขั้นตอนวิธีการแยกแยะประเภทความผิดปกติโดยใช้สัมประสิทธิ์ขององค์ประกอบความถี่สูงที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตในการสร้างเงื่อนไขการแยกแยะประเภทความผิดปกติของขั้นตอนวิธี

1.6.7 ทดสอบประสิทธิภาพการตรวจจับ ระบุตำแหน่ง และแยกแยะประเภทความผิดปกติของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอและทำการปรับปรุง เพื่อให้มีประสิทธิภาพในเชิงความแม่นยำสูงสุด

1.6.8 วิเคราะห์ และสรุปผลการศึกษา รวมไปถึงการเสนอแนะแนวทางการพัฒนา และประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอในระบบป้องกันของระบบจำหน่ายที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายในอนาคตต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทบทวนวรรณกรรม

บทความ งานวิจัย และการศึกษาจากทั้งในและต่างประเทศในสาขาที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยได้ถูกรวบรวม เพื่อศึกษานำสิ่งที่ได้มีการพัฒนาไปแล้ว และประเด็นที่ยังไม่มีการวิจัย รวมไปถึงจุดที่งานวิจัยในวิทยานิพนธ์สามารถนำมาพัฒนาต่อยอดได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายในระบบ กรณีศึกษาจากการติดตั้ง และผลกระทบที่เกิดขึ้นได้ถูกนำมาศึกษา [3]-[10] เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายนั้นถูกนิยามไว้ว่า เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดตั้งแต่ระดับกิโลวัตต์ ถึง ระดับเมกะวัตต์ ที่มีการเชื่อมต่อในระดับระบบจำหน่าย หรือใกล้ตำแหน่งศูนย์กลางภาระไฟฟ้า [3] โดยการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายนั้นส่งผลดีต่อระบบหลายประการ เช่น การลดความสูญเสียในสายส่ง เพิ่มประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของระบบ เป็นต้น อย่างไรก็ตามผลกระทบต่อระบบป้องกัน ทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้า คุณภาพไฟฟ้า และกระแสความผิดพลาดก็เป็นปัจจัยที่ควรต้องระมัดระวัง [4]-[6] งานวิจัยของ Coster และคณะ กับงานวิจัยของ Walke และคณะ ได้ทำการศึกษาผลกระทบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่มีต่อระบบป้องกัน ซึ่งผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงการทำงานที่ผิดพลาดของวงจรรีเลย์เนื่องจากสัญญาณกระแสความผิดพลาดที่มีการเปลี่ยนแปลงไป [7]-[9] งานวิจัยของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้มีการออกแนวทางการศึกษา และการดำเนินการเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ทำงานแยกตัวเป็นอิสระเมื่อเกิดความผิดพลาดในระบบ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุด [10] กรณีศึกษาถึงผลกระทบเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายในประเทศแคนาดา และบราซิล แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายมีข้อดีมากกว่าข้อเสีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านเสถียรภาพของระบบที่มีแนวโน้มดีขึ้น [11]-[12] จากงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษามาแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อระบบป้องกันที่มีการใช้งานอยู่ เนื่องจากเมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นในตัวระบบจำหน่ายตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายนั้นสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังภาระไฟฟ้า หรือจุดที่เกิดความผิดพลาดได้ ซึ่งทำให้การศึกษาพฤติกรรมของระบบเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง

การประยุกต์ใช้หลักการแปลงสัญญาณแบบเวฟเล็ตในการวิเคราะห์สัญญาณชั่วขณะในระบบไฟฟ้ากำลังได้ถูกนำมาศึกษา และพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการวิเคราะห์สัญญาณด้วยการแปลงเวฟเล็ตนั้นมีข้อได้เปรียบการวิเคราะห์แบบดั้งเดิมเนื่องจากความสามารถในการแยกแยะองค์ประกอบความถี่สูงจากสัญญาณที่ทำการวิเคราะห์ได้ ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมในการวิเคราะห์สัญญาณชั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่เกิดขึ้นในระบบ [13]-[15] โดยจากผลลัพธ์และข้อสรุปที่ได้จากงานศึกษาวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นถึงความสามารถ และความเหมาะสมในการวิเคราะห์สัญญาณ ดังนั้นการแปลงเวฟเล็ตจึงถูกนำมาใช้ในการออกแบบขั้นตอนวิธีการระบุตำแหน่ง และแยกแยะประเภทความผิดปกติ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนวิธีการระบุตำแหน่ง และแยกแยะประเภทความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังด้วยวิธีการแปลงเวฟเล็ตสามารถสรุปได้ดังนี้ การระบุตำแหน่งความผิดปกตินั้นสามารถทำได้หลากหลายวิธี เช่น การใช้การเปรียบเทียบค่าอิมพีแดนซ์ความถี่สูง [16]-[17] วิธีคลื่นเดินทาง [18]-[19] สัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าทางอากาศ [20] วิธีซิงโครไนเซชัน [21] และการตรวจวัดเฟสเซอร์ [22] เป็นต้น อย่างไรก็ตามวิธีการระบุตำแหน่งด้วยหลักการคลื่นเดินทาง และการแปลงเวฟเล็ตยังคงเป็นวิธีการที่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง [23] โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบไฟฟ้าที่มีความหลากหลายได้ ในงานวิจัยของ Jia ได้นำเสนอการพัฒนาวิธีการใช้คลื่นเดินทางด้วยการชดเชยผลของการกระจายของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าในโดเมนเวฟเล็ต ซึ่งจะช่วยให้ความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งความผิดปกติมีค่าลดลง [24] การระบุตำแหน่งความผิดปกติด้วยวิธีปลายเดี่ยว (Single-ended) ได้ถูกนำเสนอขึ้นในการระบุตำแหน่งความผิดปกติในสายส่งแบบบนดินและใต้ดิน [25] หรือประยุกต์ใช้ร่วมกับปัญญาประดิษฐ์เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุดได้ เช่น การเกิดความผิดปกติ [26]-[27] หรือการประยุกต์ใช้ร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) ซึ่งจะช่วยแยกแยะความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติกับค่าองค์ประกอบอย่างอัตโนมัติ [28]-[29] เป็นต้น

สำหรับการประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเล็ตในการออกแบบขั้นตอนวิธีการแยกแยะประเภทความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบส่งระดับแรงสูงโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่องนั้นได้ถูกนำเสนอในงานวิจัยของ Choudhury และ Gangulu [30] งานวิจัยของ P. Rajaraman และคณะ ได้ทำการเปรียบเทียบเวฟเล็ตแม่ 16 ตัวในการแยกแยะประเภทความผิดปกติ ซึ่งผลลัพธ์ในเชิงความถูกต้องแสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้เวฟเล็ตแม่แบบ daubechies (db) [31] โดยเมื่อนำขั้นตอนวิธีที่ใช้หลักการแปลงเวฟเล็ตมาประยุกต์ใช้ในระบบจำหน่าย 282 บัส ผลการทดสอบในการแยกแยะประเภทความผิดปกติเป็นที่น่าพอใจ [32] งานวิจัยที่ได้ทำการทบทวนมาในข้างต้นนั้นแสดงให้เห็นว่าขั้นตอนวิธีที่ใช้หลักการแปลงเวฟเล็ตนั้นสามารถวิเคราะห์สัญญาณความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบได้อย่างถูกต้อง อย่างไรก็ตามเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายนั้น ประสิทธิภาพที่ได้ก็อาจไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ ดังนั้นการออกแบบและจัดสร้างขั้นตอนวิธีที่เหมาะสมเมื่อระบบมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาสามารถสรุปได้ว่า การเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายนั้นส่งผลกระทบต่อความสามารถในการทำงานของระบบป้องกันที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยเฉพาะขั้นตอนวิธีในการตรวจจับ ระบุตำแหน่ง และแยกแยะประเภทของความผิดปกติ ที่ใช้พื้นฐานหลักการของการวิเคราะห์สัญญาณด้วยการแปลงเวฟเล็ต เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

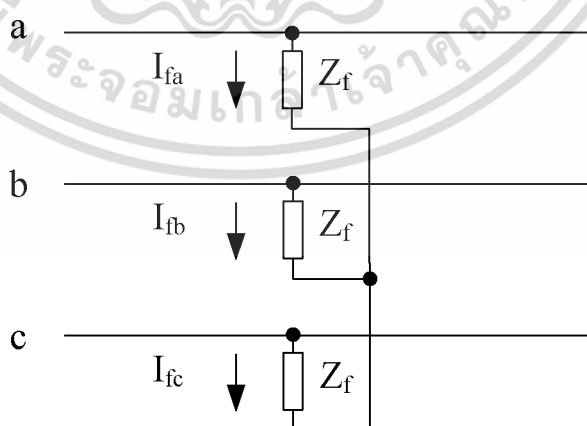
กระจายนั้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ด ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญสำหรับการออกแบบเงื่อนไขการตัดสินใจ เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับความผิดพลาดในระบบจำหน่ายปกติ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาพฤติกรรมของระบบจำหน่าย และสัญญาณความผิดพลาดในระบบที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย เพื่อทำการออกแบบขั้นตอนวิธีในระบบป้องกันให้มีความสามารถในการตรวจจับ ระบุตำแหน่ง และแยกแยะประเภทของความผิดพลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

2.2 ความผิดพลาดในระบบไฟฟ้า

ความผิดพลาดในระบบไฟฟ้า (Fault) คือ ความผิดปกติที่เกิดขึ้นซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำงานของกระแสให้เปลี่ยนไปจากปกติ โดยความผิดพลาดบนสายส่งไฟฟ้ากำลังอาจเกิดได้จากสาเหตุหลายประการ เช่น ฟาผ่า ควินจากไฟไหม้ การลัดวงจรระหว่างสายตัวนำเนื่องจากกิ่งไม้ สัตว์ การชำรุดบนฉนวนของสายตัวนำ ความผิดพลาดของมนุษย์ เป็นต้น ในขณะที่เกิดความผิดพลาดขึ้น กระแสไฟฟ้าในระบบจะมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญเนื่องจากความผิดพลาดจะสร้างเส้นทางที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำให้กระแสไหล โดยกระแสความผิดพลาดที่เกิดขึ้นอาจทำให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ากำลังได้หากไม่มีระบบการป้องกันที่เหมาะสม ซึ่งความผิดพลาดในระบบไฟฟ้ากำลังสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

2.2.1 ความผิดพลาดแบบสมมาตร

ความผิดพลาดแบบสมมาตร (Symmetrical fault) คือ ความผิดพลาดที่เมื่อเกิดในระบบแล้วระบบยังคงสมดุลอยู่ ความผิดพลาดประเภทนี้ได้แก่ ความผิดพลาดสามเฟส (Three Phase Fault) โดยมีไดอะแกรมของวงจรดังแสดงในรูปที่ 2.1



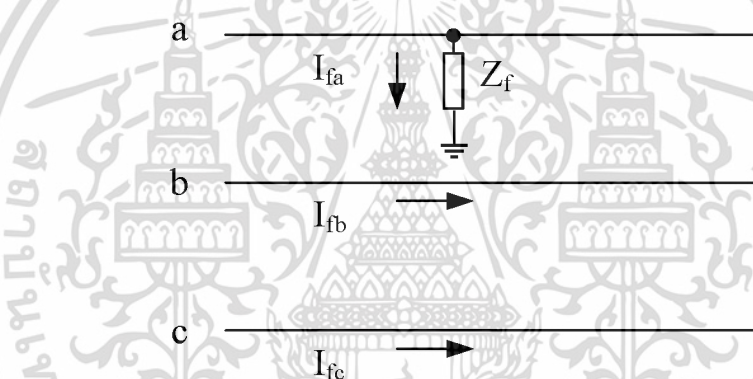
รูปที่ 2.1 ความผิดพลาดประเภทสามเฟส (Three Phase Fault)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

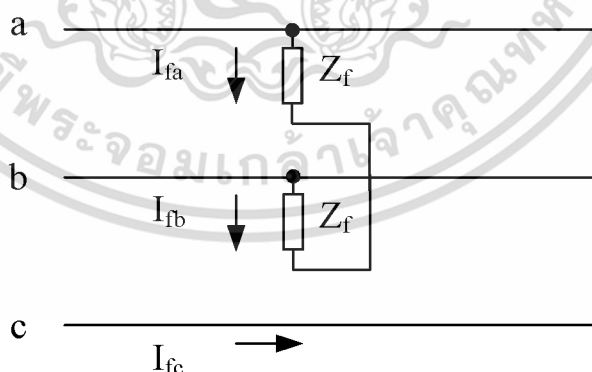
2.2.2 ความผิดปกติแบบไม่สมมาตร

ความผิดปกติแบบไม่สมมาตร (Unsymmetrical fault) คือ ความผิดปกติที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดในระบบจะส่งผลกระทบต่อให้เกิดความไม่สมดุลระหว่างเฟส ความผิดปกติประเภทนี้ได้แก่

1. ความผิดปกติหนึ่งเฟสลงกราวด์ (Single Line to Ground Fault) เป็นความผิดปกติที่มีโอกาสเกิดขึ้นมากที่สุด ซึ่งมีสาเหตุมาจากฟ้าผ่า หรือสายตัวนำสัมผัสกับโครงสร้างบนดิน โดยมีไดอะแกรมของวงจรดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ก)
2. ความผิดปกติระหว่างเฟส (Line to Line Fault) ความผิดปกติชนิดนี้เกิดขึ้นจากการลัดวงจรของสายตัวนำสองเส้น โดยมีไดอะแกรมของวงจรดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ข)
3. ความผิดปกติระหว่างสายสองเส้นลงกราวด์ (Double Line to Ground Fault) ความผิดปกติชนิดนี้เกิดขึ้นจากการลัดวงจรลงดินพร้อมกันของสายตัวนำสองเส้น โดยมีไดอะแกรมของวงจรดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ค)

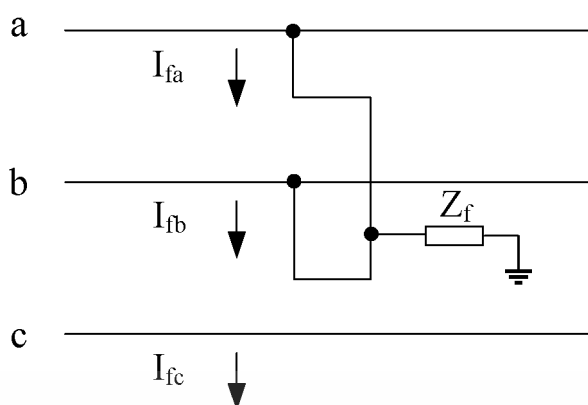


(ก) ความผิดปกติประเภทหนึ่งเฟสลงกราวด์ (Single Line to Ground Fault)



(ข) ความผิดปกติประเภทระหว่างเฟส (Line to Line Fault)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) ความผิดปกติของประเภทสองเฟสลงกราวด์ (Double Line to Ground Fault)

รูปที่ 2.2 ไดอะแกรมของความผิดปกติแบบไม่สมมาตรประเภทต่าง ๆ

2.2.3 องค์ประกอบสมมาตร

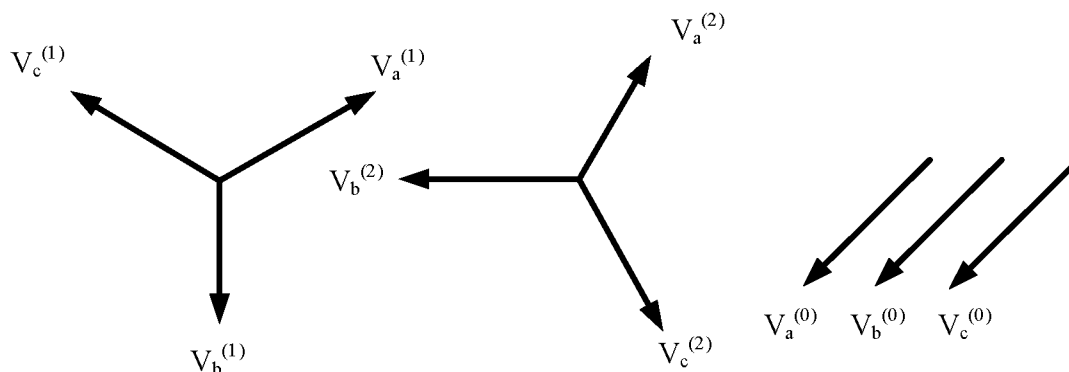
องค์ประกอบสมมาตร (Symmetrical Component) [16] เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์วงจรหลายเฟสไม่สมดุลที่ถูกนำเสนอโดย C.L. Fortescue ซึ่งได้พิสูจน์ว่าระบบไม่สมดุลของ n เฟสเซอร์สามารถแปลงให้อยู่ในรูประบบเฟสเซอร์สมดุล n ชุดที่เรียกว่า “องค์ประกอบสมมาตร” ของเฟสเซอร์ตั้งต้น โดย n เฟสเซอร์ของแต่ละองค์ประกอบมีขนาด และมีมุมระหว่างเฟสเซอร์เท่ากัน

สำหรับในระบบสามเฟสการเกิดความผิดปกติแบบไม่สมมาตรจะส่งผลให้กระแส และแรงดันไฟฟ้าในแต่ละเฟสเกิดความไม่สมดุล ตามทฤษฎีของ Fortescue สามเฟสเซอร์ที่ไม่สมดุลของระบบไฟฟ้าสามเฟส สามารถแปลงให้อยู่ในรูปเฟสเซอร์สมดุลสามชุด ซึ่งมีองค์ประกอบ คือ

1. องค์ประกอบลำดับบวก (Positive Sequence Components) ประกอบด้วย เฟสเซอร์สามชุดที่มีขนาดเท่ากัน มีมุมระหว่างเฟสเท่ากับ 120 องศา และมีลำดับเฟสตรงกันกับเฟสเซอร์ในระบบไฟฟ้าแบบสมดุล
2. องค์ประกอบลำดับลบ (Negative Sequence Components) ประกอบด้วย เฟสเซอร์สามชุดที่มีขนาดเท่ากัน มีมุมระหว่างเฟสเท่ากับ 120 องศา แต่มีลำดับเฟสตรงกันข้ามกับเฟสเซอร์ในระบบไฟฟ้าแบบสมดุล
3. องค์ประกอบลำดับศูนย์ (Zero Sequence Components) ประกอบด้วยเฟสเซอร์ของทั้งสามเฟสที่มีขนาดเท่ากัน และมีมุมระหว่างเฟสเท่ากับ 0 องศา

ในการวิเคราะห์ปัญหาในระบบสามเฟสด้วยองค์ประกอบสมมาตรจะมีการกำหนดลำดับเฟสขององค์ประกอบลำดับบวกเป็น “abc” และองค์ประกอบลำดับลบเป็น “acb” สำหรับชุดขององค์ประกอบสมมาตรจะถูกกำหนดด้วยตัวเลขโดยให้เลข 1 แทนองค์ประกอบลำดับบวก เลข 2 แทนองค์ประกอบลำดับลบ และเลข 0 แทนองค์ประกอบลำดับศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบสมมาตรของเฟสเซอร์สามเฟสไม่สมดุล

2.2.4 การแปลงของคลาร์ก (Clarke Transform)

การแปลงของคลาร์ก คือ การแปลงด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์เพื่อลดความซับซ้อนของการวิเคราะห์สัญญาณสามเฟส (A,B,C) ด้วยการเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสัญญาณองค์ประกอบสมมาตร ลำดับบวก ลบ และศูนย์ (1,2,0) โดยการแปลงของคลาร์กสามารถคำนวณได้โดยใช้เมทริกซ์ตามสมการที่ 2.1

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_0 \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{2}/2 & -\sqrt{2}/2 \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

(2.1)

เมื่อ

I_a คือ สัญญาณกระแสไฟฟ้าเฟส A

I_b คือ สัญญาณกระแสไฟฟ้าเฟส B

I_c คือ สัญญาณกระแสไฟฟ้าเฟส C

I_1 คือ องค์ประกอบลำดับบวก

I_2 คือ องค์ประกอบลำดับลบ

I_0 คือ องค์ประกอบลำดับศูนย์

2.3 การแปลงเวฟเล็ต (Wavelet Transform)

การแปลงเวฟเล็ต (Wavelet Transform) เป็นกระบวนการทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์สัญญาณที่มีความเหมาะสมกับสัญญาณประเภท สัญญาณไม่ซ้ำคาบ สัญญาณรบกวน สัญญาณชั่วขณะ เป็นต้น เนื่องจากความสามารถในการวิเคราะห์สัญญาณทั้งในแกนเวลาและความถี่ในเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดียวกัน ซึ่งเป็นการแปลงรูปแบบสัญญาณที่ต้องการวิเคราะห์ให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ [3]

การแปลงเวฟเล็ตสามารถตีความในทางคณิตศาสตร์เสมือนว่า สัญญาณที่วิเคราะห์ประกอบขึ้นจากกระบวนการประสานฟังก์ชันสัญญาณขนาดเล็กที่มีลักษณะคล้ายคลื่นซึ่งเรียกว่า “เวฟเล็ต (Wavelets)” โดยสัญญาณขนาดเล็กดังกล่าวเกิดจากการขยาย (Dilation) และการเลื่อนตำแหน่ง (Translation) ของฟังก์ชันสัญญาณที่เรียกว่า “เวฟเล็ตแม่ (Mother wavelet)” ฟังก์ชันสัญญาณเวฟเล็ตที่มีการขยายและเลื่อนตำแหน่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.2

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2.2)$$

เมื่อ

$\psi(t)$ คือ ฟังก์ชันของสัญญาณเวฟเล็ตแม่

a คือ สัมประสิทธิ์การขยาย

b คือ สัมประสิทธิ์การเลื่อนตำแหน่ง

โดยการแปลงเวฟเล็ตสามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภท คือ แปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง (Continuous Wavelet Transform : CWT) และการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform : DWT)

2.3.1 การแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง (Continuous Wavelet Transform)

การแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง (Continuous Wavelet Transform) คือ กระบวนการวิเคราะห์สัญญาณ แยกแยะองค์ประกอบความถี่สูงออกจากสัญญาณชั่วขณะที่ต้องการวิเคราะห์ ลักษณะของสัญญาณเวฟเล็ตแม่ประเภท Daubechies

$$CTW(a,b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (2.3)$$

เมื่อ

$f(t)$ คือ ฟังก์ชันของสัญญาณที่ทำการวิเคราะห์

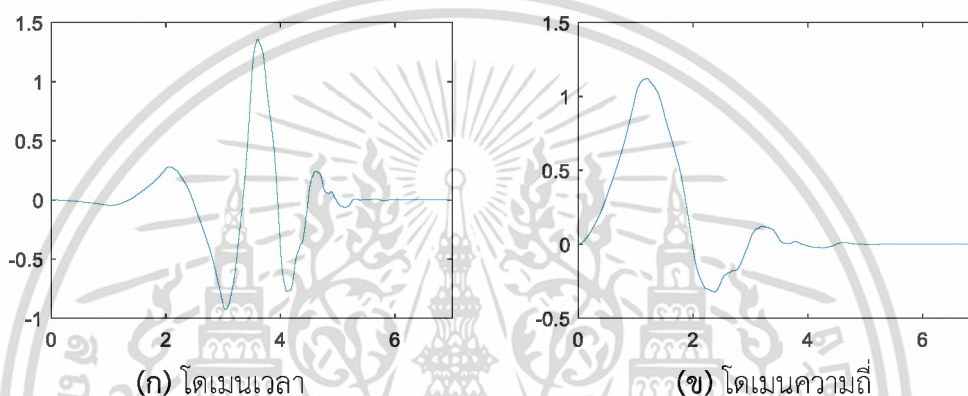
a คือ สัมประสิทธิ์การขยาย

b คือ สัมประสิทธิ์การเลื่อนตำแหน่ง

อย่างไรก็ตามการแปลง เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์อย่างต่อเนื่องจึงต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์ค่อนข้างมากและผลลัพธ์ที่ได้ก็มีความซ้ำซ้อนเกินความจำเป็น ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงได้มีการพัฒนาการแปลงเวฟเล็ต เป็นการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform)

2.3.2 การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform)

การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform) คือ กระบวนการวิเคราะห์สัญญาณ แยกแยะองค์ประกอบความถี่สูงออกจากสัญญาณชั่วขณะที่ต้องการวิเคราะห์ ลักษณะของสัญญาณเวฟเล็ตแม่ประเภท Daubechies สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 สัญญาณเวฟเล็ตแม่ประเภท Daubechies

$$DWT(m, n) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum_k f(k) \psi \left[\frac{n - kb_0 a_0^m}{a_0^m} \right] \quad (2.4)$$

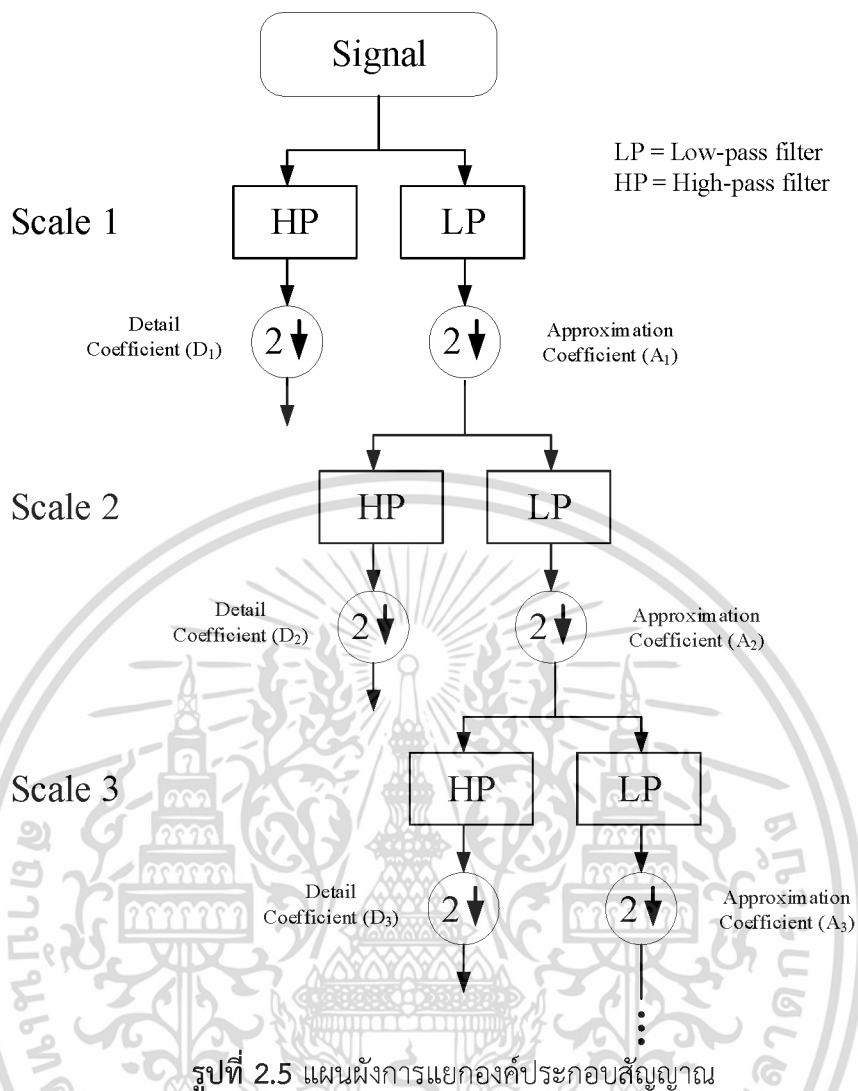
เมื่อ

n คือ จำนวนข้อมูล

m คือ สัมประสิทธิ์การขยาย

k คือ สัมประสิทธิ์การเลื่อนตำแหน่ง

แยกสัญญาณอินพุตออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่มีความถี่ต่ำและส่วนที่มีความถี่สูง โดยใช้ตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low-pass filter) สำหรับแยกองค์ประกอบความถี่ต่ำที่เรียกว่า “Approximation (A)” และตัวกรองความถี่สูงผ่าน (High-pass filter) สำหรับแยกองค์ประกอบความถี่สูงที่เรียกว่า “Detail (D)” โดยสัญญาณที่ได้จะถูกลดอัตราสุ่มลงครึ่งหนึ่ง (Down Sampling) ด้วย 2 ซึ่งจะทำให้ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ลดลงครึ่งหนึ่ง ซึ่งจะใช้ในการวิเคราะห์คนละช่วงความถี่ แผนผังการแยกองค์ประกอบสัญญาณสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.5



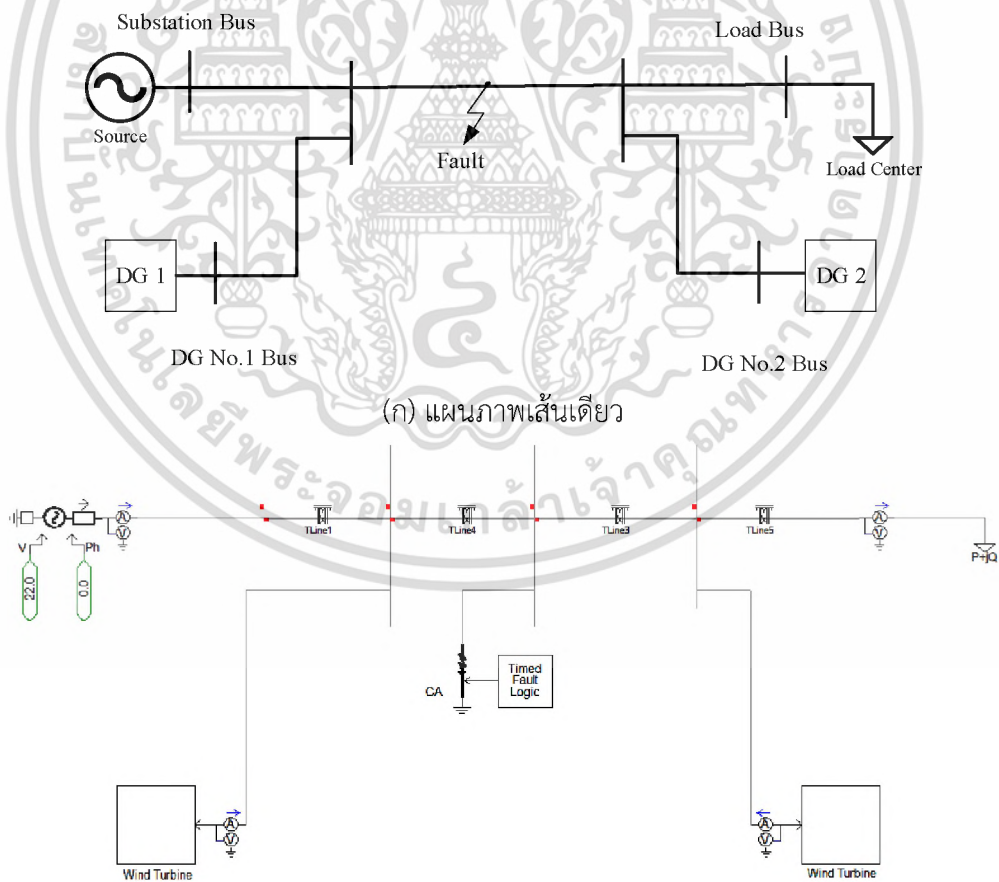
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า

3.1 การจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษา คือ ระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ระดับแรงดัน 22 kV จำลองจากระบบจำหน่ายจริงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งประกอบไปด้วย สายส่งเหนือศีรษะระยะทาง 30 กิโลเมตรเชื่อมต่อระหว่างบัสของสถานีไฟฟ้าย่อยกับบัสของภาระไฟฟ้า และมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายชนิดพลังงานลมขนาด 2 MW เชื่อมต่ออยู่ในแนวสายส่งระหว่างบัสทั้งสอง โดยแผนภาพเส้นเดียว (Single Line Diagram) ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลอง และวงจรของระบบจำลองในโปรแกรม PSCAD/EMTP สามารถแสดงได้ดังแสดงรูปที่ 3.1 (ก) และ (ข) ตามลำดับ โดยรายละเอียดทางเทคนิคของอุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ ในระบบสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.1

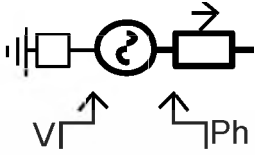
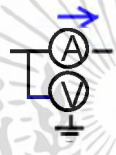
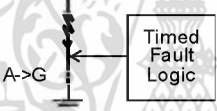
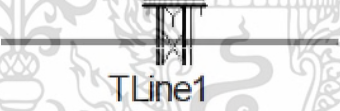



(ข) การจำลองในโปรแกรม PSCAD/EMTP

รูปที่ 3.1 ระบบจำหน่ายระดับแรงดัน 22 kV ที่ใช้ในการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการจำลองระบบ

ชื่ออุปกรณ์	สัญลักษณ์อุปกรณ์	การตั้งค่า
แหล่งจ่าย แรงดันไฟฟ้า 3 เฟส (Three Phase Voltage Source)		-Base MVA 100 MVA -Base Voltage 22 kV -ความถี่ 50 Hz -Positive sequence Impedance $3.177 \angle 72.172 \Omega$ -Zero sequence Impedance $1.223 \angle 89.999 \Omega$
มัลติมิเตอร์ (Multimeter)		-Base MVA 1 MVA -Base Voltage 1 kV -ความถี่ 50 Hz
ชุดควบคุมความผิด พ้อง (Timed Fault Logic)		ใช้กำหนดชนิดความผิดพลาด และเวลาที่ ความผิดพลาด
สายส่งเหนือศีรษะ (Overhead Line)		สายประเภท SAC ความยาวของสายส่ง 30 Km จำนวนสายตัวนำ 3 รัศมีภายนอก 7.99 mm ความต้านทานกระแสดตรง 0.164 Ω /Km ระยะหย่อน 0.92 m
ภาระไฟฟ้า (Fixed Load)		กำลังไฟฟ้าจริง 5.2 MW กำลังไฟฟ้าเสมือน 2.3 MVAR ระดับแรงดัน 22 KV

3.2 การจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ใช้อ้างอิงในการศึกษา คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม Geoho 2MW (GHFD87-2000/II, GHFD93-2000/III) โดยข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังกล่าวสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

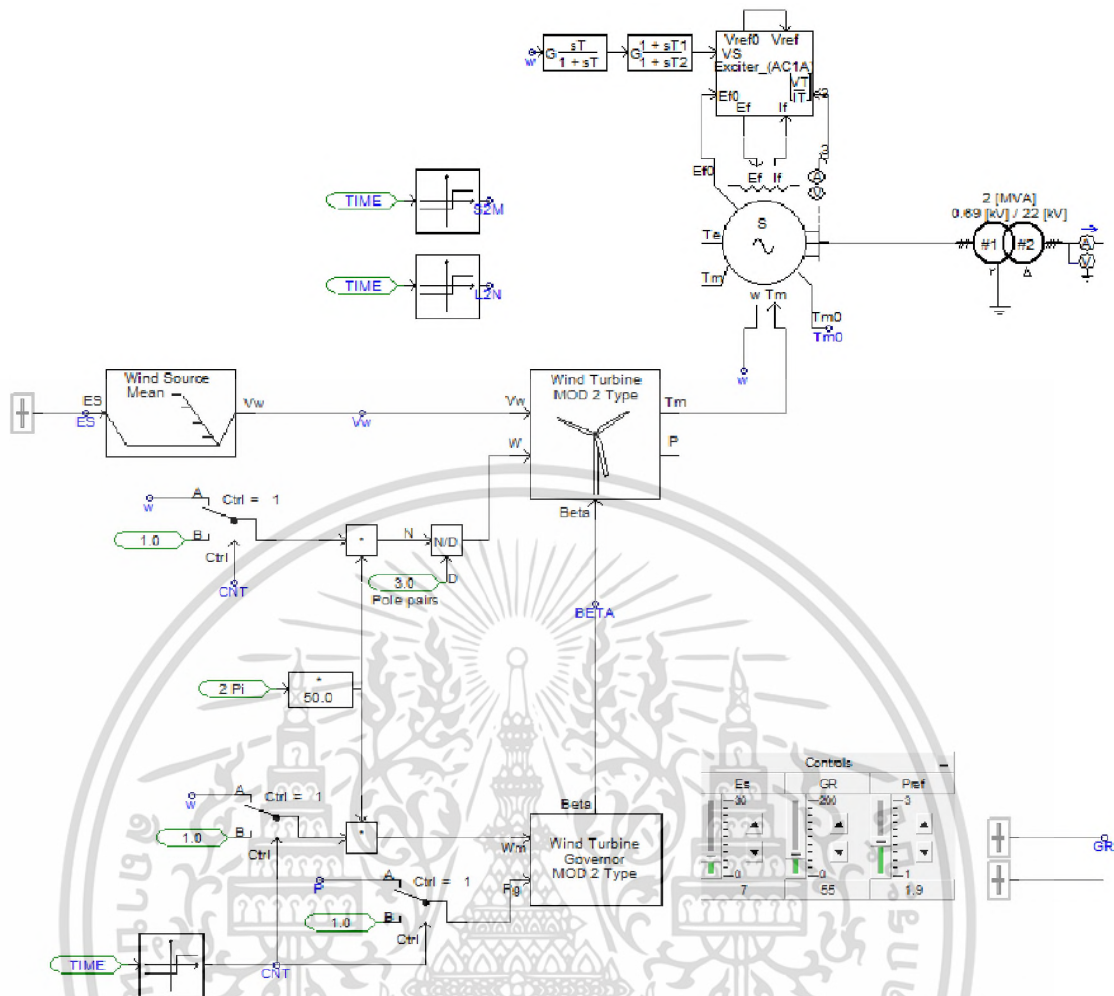
ตารางที่ 3.2 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมที่ใช้ในกรณีศึกษา

กังหันลม	
ผู้ผลิต	Geoho Energy Technology Co., Ltd
พิกัดกำลังไฟฟ้า	2 MW
เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด	87/93 m
พิกัดความเร็วลม	13 m/s
จำนวนใบพัด	3 ใบพัด
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส	
กำลังไฟฟ้าพิกัด	2.2 MW
พิกัดแรงดันไฟฟ้า	690 V
พิกัดกระแสไฟฟ้า	1840 A
ความถี่	50 Hz
จำนวนขั้ว	6 ขั้ว
ความเร็วพิกัดกำลังไฟฟ้า	1200 rpm

จากข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมสามารถนำไปสร้างแบบจำลองในโปรแกรม PSCAD/EMTP ได้ตามรูปที่ 3.2 ซึ่งรายละเอียดทางเทคนิคและการตั้งค่าของอุปกรณ์ส่วนประกอบในแบบจำลองวงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมแสดงในตารางที่ 3.3

โดยการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมสามารถแบ่งออกเป็น 2 สถานะการทำงาน คือ สถานะชั่วคราว และสถานะคงตัว โดยในสถานะชั่วคราวอุปกรณ์กังหันลมไฟฟ้า (Wind Turbine) รับค่าความเร็ว w (สมการ $speed = 120f/P$) และกำลังวัตต์ เพื่อส่งค่าให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส ส่วนระบบควบคุมการกระตุ้น (AC exciter) จะรับค่าแรงบิดและความเร็ว w นำมาคำนวณเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าแก่ขดลวดสนาม ตามมาตรฐาน IEEE Std 421.5 จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 6 วินาที ระบบจะเริ่มเข้าสู่สถานะคงตัว ตัวกำหนดความเร็วลม (Wind source) สามารถจ่ายความเร็วลมเฉลี่ยแก่กังหันลมไฟฟ้าเพื่อผลิตแรงบิดได้ด้วยตนเอง จึงทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน โดยเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 2 MVA 0.69 kV/22kV เพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังภาระไฟฟ้าต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



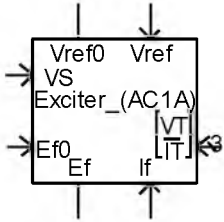
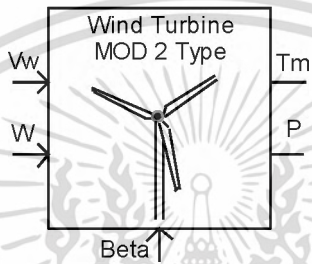
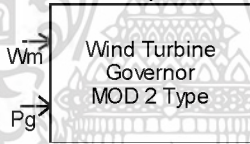
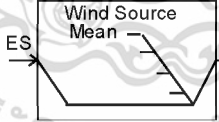
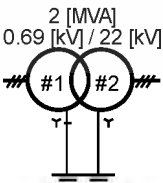
รูปที่ 3.2 แผนภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายประเภทกังหันลมขนาด 2 MW จากโปรแกรม

PSCAD

ตารางที่ 3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการจำลองระบบพลังงานลม

ชื่ออุปกรณ์	สัญลักษณ์อุปกรณ์	คำอธิบาย
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซิงโครนัส (Synchronous Machine)		เครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ประกอบไปด้วย ขดลวดแตรมเปอร์จำนวน 2 ขดลวดใน แกน q สำหรับเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิด แบบพันรอบขดลวดและชนิดขั้วยื่น ความเร็วรอบถูกควบคุมโดยความเร็ว (w) หรือแรงบิด (T_m) -พิกัดแรงดันต่อเฟส 0.398 kV -พิกัดกระแส 1.840 kA -ความถี่ 50 Hz

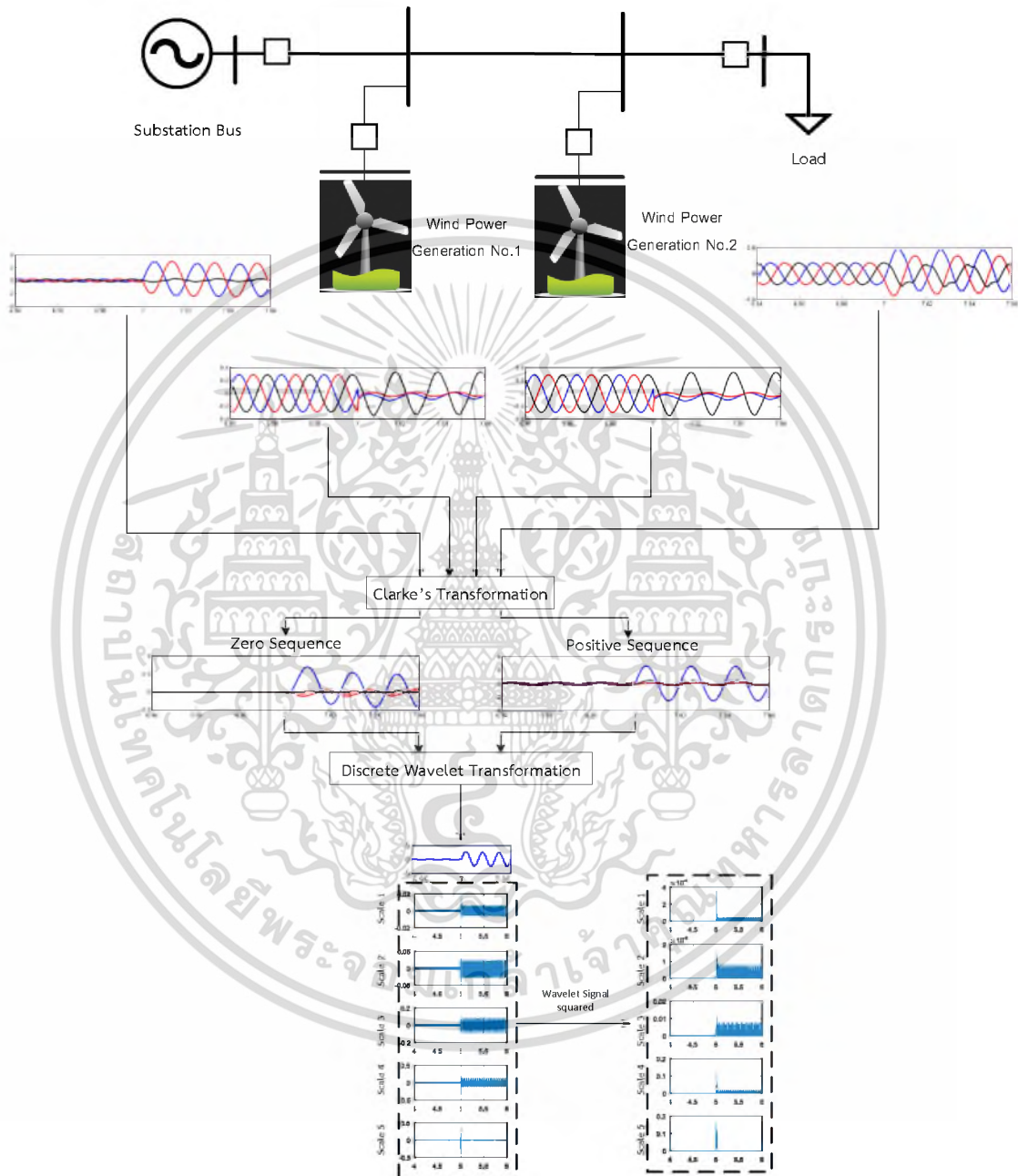
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<p>ระบบควบคุมการกระตุ้น (AC Exciters)</p>		<p>อุปกรณ์ทำหน้าที่จ่ายแรงดันและกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดสนามเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัส ประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟ (Power source unit), Regulator controller circuit และอุปกรณ์ป้องกัน ตามมาตรฐาน IEEE Std 421.5</p>
<p>กังหันลมไฟฟ้า (Wind Turbine)</p>		<p>อุปกรณ์จำลองระบบทางกลของกังหันลมไฟฟ้าอย่างง่าย โดยรับค่าความเร็วลม (V_w), ความเร็วรอบ (w) และมุมเฟินใบพัด (Pitch angle) เพื่อคำนวณค่าแรงบิดทางกล และกำลังไฟฟ้า</p> <ul style="list-style-type: none"> - พิกัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 MVA - รัศมีโรเตอร์ 43.5 m - พื้นที่รับลม 5,944 m² - ความหนาแน่นอากาศ 1.225 kg/m³
<p>ตัวควบคุมความเร็ว (Wind Governor)</p>		<p>อุปกรณ์สำหรับปรับค่ามุมเฟินใบพัด (Pitch angle) โดยคำนวณจากค่าความเร็วรอบ (w) และกำลังไฟฟ้าจริง (P) จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส</p>
<p>ตัวกำหนดลักษณะลม (Wind Source)</p>		<p>อุปกรณ์สำหรับกำหนดความเร็วลมและลักษณะของลมชนิดต่าง ๆ โดยรับค่าความเร็วลมที่ปรับค่าได้ (E_s) และส่งค่าความเร็วลม (V_w) ที่มีคุณลักษณะที่ต้องการเข้าสู่กังหันลมไฟฟ้า</p> <p>ความเร็วลมเฉลี่ย 13 m/s</p>
<p>หม้อแปลงไฟฟ้า (3 phase Transformer)</p>		<ul style="list-style-type: none"> - ความถี่ 50 Hz - กำลังไฟฟ้าปรากฏ 2 MVA - แรงดันไฟฟ้าปฐมภูมิ 0.69kV - แรงดันไฟฟ้าทุติยภูมิ 22kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 พฤติกรรมของสัญญาณความผิดปกติในระบบจำหน่าย

กระบวนการวิเคราะห์สัญญาณความผิดปกติในระบบจำหน่ายด้วยพื้นฐานของการวิเคราะห์สัญญาณด้วยการแปลงเวฟเล็ตที่นำเสนอสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 กระบวนการวิเคราะห์สัญญาณความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้าระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์

เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในระบบสัญญาณกระแสไฟฟ้ากระแสสามเฟสที่บัสสถานีไฟฟ้าย่อย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย และภาระไฟฟ้าจะถูกบันทึกไว้ จากนั้นจึงทำการแยกองค์ประกอบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

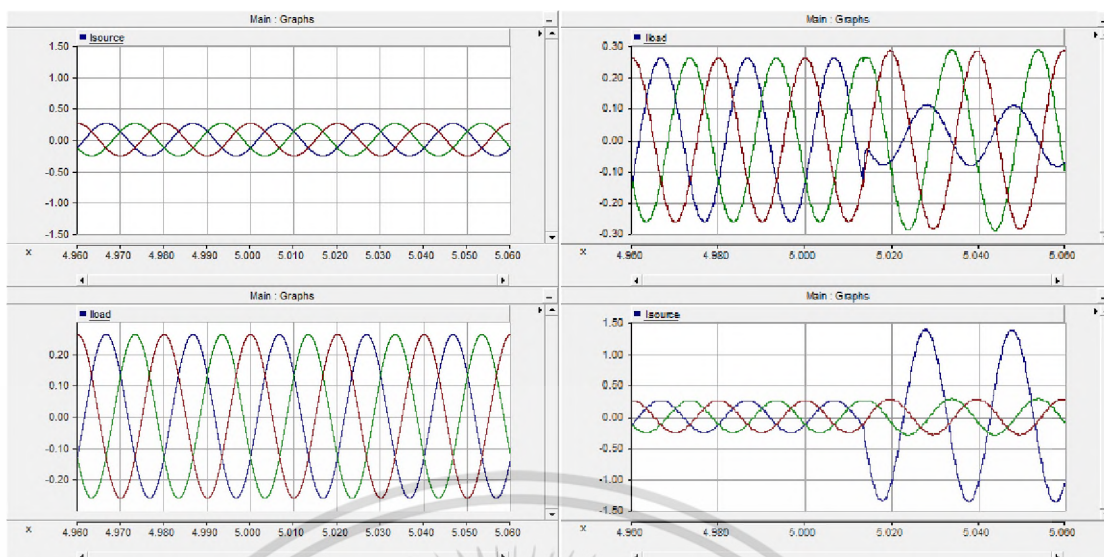
ของสัญญาณดังกล่าวเป็นองค์ประกอบสมมาตร คือ สัญญาณลำดับบวก ลบ และศูนย์ สัญญาณองค์ประกอบสมมาตรโดยเฉพาะลำดับบวก และลำดับศูนย์จะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง เพื่อแยกองค์ประกอบความถี่สูงที่เกิดขึ้นในช่วงขณะที่เกิดความผิดปกติ โดยเวฟเล็ตแม่ที่ใช้ในขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ คือ Daubechies (db4) ซึ่งมีความเหมาะสมในการวิเคราะห์ความผิดปกติที่เกิดบนสายส่ง องค์ประกอบความถี่สูงในรูปของค่าสัมประสิทธิ์ในการแปลงเวฟเล็ตจะถูกนำไปใช้ในการออกแบบขั้นตอนวิธีการระบุตำแหน่ง และแยกแยะประเภทความผิดปกติ

ความผิดปกติในระบบจำหน่ายที่ใช้กรณีศึกษาจะถูกจำลองขึ้นทั้งหมด 297 กรณี โดยสามารถแบ่งกรณีศึกษาออกได้ดังต่อไปนี้

1. จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ประกอบไปด้วย ระบบที่ไม่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ระบบที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนหนึ่งเครื่อง และจำนวนสองเครื่อง
2. ตำแหน่งเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ประกอบไปด้วย ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนหนึ่งเครื่อง ตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจะถูกแบ่งออกเป็นกรณีย่อย คือ เชื่อมต่อที่ระยะใกล้สถานีไฟฟ้าย่อยที่ตำแหน่ง 5 กิโลเมตร เชื่อมต่อที่ระยะกลางสายส่งที่ตำแหน่ง 15 กิโลเมตร และเชื่อมต่อที่ระยะใกล้ภาระไฟฟ้าตำแหน่ง 25 กิโลเมตร สำหรับกรณีที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนสองเครื่อง ตำแหน่งการเชื่อมต่อของเครื่องแรกจะอยู่ที่ตำแหน่ง 5 กิโลเมตร และเครื่องที่สองอยู่ที่ตำแหน่ง 25 กิโลเมตรจากสถานีไฟฟ้าย่อย
3. ตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติบนสายส่งของระบบจำหน่ายในกรณีศึกษา ประกอบไปด้วย ตำแหน่ง 3 6 9 12 15 18 21 24 และ 27 กิโลเมตรวัดจากบัสสถานีไฟฟ้าย่อย
4. ชนิดของความผิดปกติในกรณีศึกษา ประกอบไปด้วย ความผิดปกติแบบหนึ่งเฟสลงดิน (Single line to ground fault) ความผิดปกติแบบระหว่างเฟส (Double line fault) ความผิดปกติแบบระหว่างเฟสลงดิน (Double line to ground fault) ความผิดปกติแบบสามเฟส (Three phase fault) ความผิดปกติแบบสามเฟสลงดิน (Three phase to ground fault)

3.3.1 กรณีไม่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

ในกรณีที่ระบบจำหน่ายไม่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ตัวอย่างสัญญาณกระแสไฟฟ้าสามเฟสที่บันทึกได้จากโปรแกรมจำลองทั้งในสภาวะปกติ และกรณีที่เกิดความผิดปกติแบบหนึ่งเฟสลงดิน (A-G) ที่ระยะทาง 12 กิโลเมตรวัดจากสถานีไฟฟ้าย่อย สามารถแสดงดังรูปที่ 3.4 (ก) และ (ข) ตามลำดับ ข้อมูลสัญญาณกระแสไฟฟ้าสามเฟสเมื่อเกิดความผิดปกติประเภทต่าง ๆ ที่บันทึกได้จากบัสสถานีไฟฟ้าย่อย และบัสภาระไฟฟ้าสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.2



(ก) สภาวะปกติ

(ข) ในกรณีที่เกิดความผิดปกติ

รูปที่ 3.4 สัญญาณกระแสไฟฟ้าในระบบที่ไม่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

ตารางที่ 3.4 ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (kA) ในกรณีที่ไม่มี การเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

ประเภทความผิดปกติ	ตำแหน่งบัส	เฟส	ระยะที่เกิดความผิดปกติ (กม.)				
			3	9	15	21	27
หนึ่งเฟสลงดิน	สถานีไฟฟ้าย่อย	A	2.366	1.607	1.220	0.995	0.849
		B	0.261	0.281	0.291	0.300	0.307
		C	0.267	0.276	0.286	0.293	0.297
	การะไฟฟ้า	A	0.261	0.261	0.261	0.261	0.261
		B	0.261	0.282	0.292	0.301	0.308
		C	0.267	0.277	0.287	0.293	0.297
สองเฟส	สถานีไฟฟ้าย่อย	A	2.869	2.134	1.701	1.417	1.217
		B	2.768	2.009	1.567	1.280	1.078
		C	0.262	0.262	0.262	0.262	0.262
	การะไฟฟ้า	A	0.261	0.261	0.261	0.261	0.261
		B	0.261	0.261	0.261	0.261	0.261
		C	0.262	0.263	0.263	0.263	0.263
สองเฟสลงดิน	สถานีไฟฟ้าย่อย	A	2.280	1.665	1.380	1.184	1.042
		B	2.512	1.945	1.556	1.295	1.105
		C	0.262	0.288	0.301	0.311	0.318
	การะไฟฟ้า	A	0.261	0.261	0.261	0.261	0.261
		B	0.261	0.261	0.261	0.261	0.261
		C	0.262	0.288	0.301	0.311	0.319

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (kA) ในกรณีที่ไม่มี การเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (ต่อ)

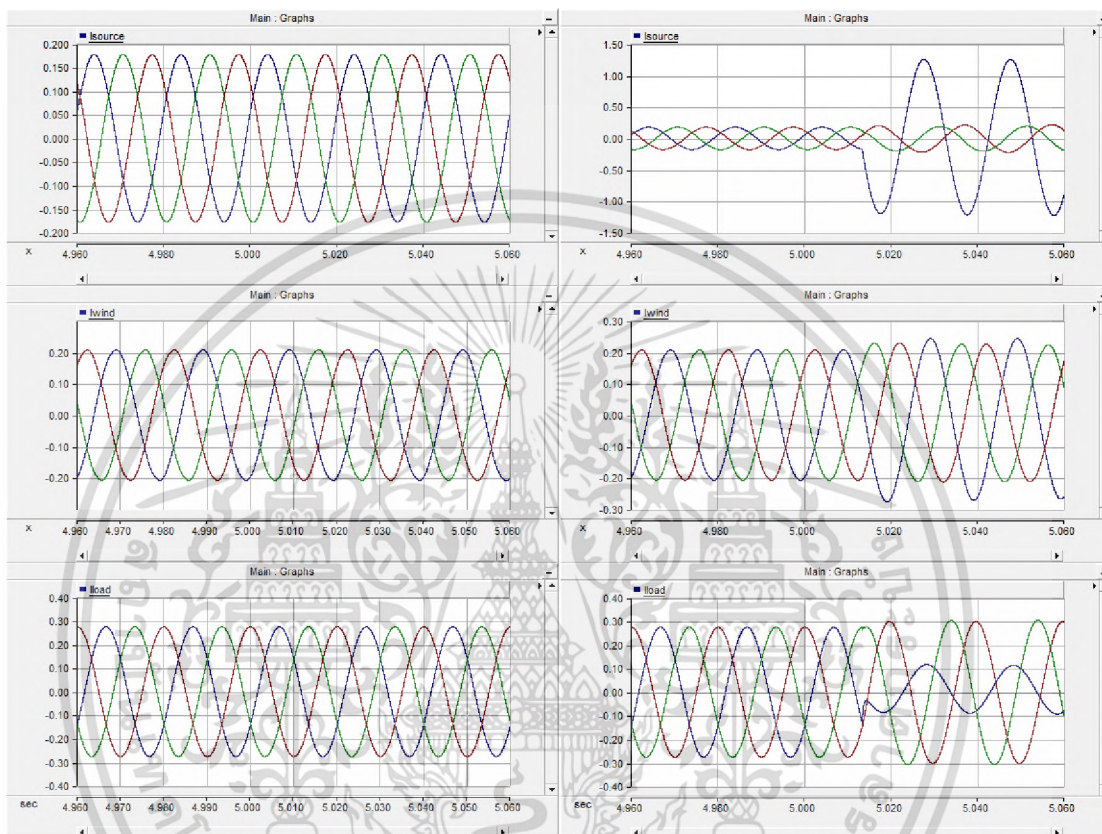
ประเภท ความผิดปกติ	ตำแหน่งบัส	เฟส	ระยะที่เกิดความผิดปกติ (กม.)				
			3	9	15	21	27
สามเฟส	สถานีไฟฟ้าย่อย	A	3.607	2.567	1.992	1.626	1.373
		B	3.588	2.547	1.972	1.608	1.358
		C	3.937	2.821	2.191	1.792	1.514
	ภาระไฟฟ้า	A	0.261	0.261	0.261	0.261	0.261
		B	0.261	0.261	0.261	0.261	0.261
		C	0.261	0.261	0.261	0.261	0.261
สามเฟสลงดิน	สถานีไฟฟ้าย่อย	A	2.446	1.957	1.622	1.382	1.203
		B	2.444	1.952	1.615	1.373	1.192
		C	2.456	1.975	1.645	1.408	1.229
	ภาระไฟฟ้า	A	0.261	0.261	0.261	0.261	0.261
		B	0.261	0.261	0.261	0.261	0.261
		C	0.261	0.261	0.261	0.261	0.261

จากสัญญาณกระแสไฟฟ้าในรูป 3.4 พบว่าเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้าสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่บันทึกจากตำแหน่งบัสของสถานีไฟฟ้าย่อยในเฟสที่เกิดความผิดพร่องนั้นจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญ ในขณะที่สัญญาณกระแสไฟฟ้าที่บันทึกจากตำแหน่งบัสของภาระไฟฟ้ามักมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ เนื่องมาจากกระแสไฟฟ้าจะไหลไปยังตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ

ผลการจำลองในตารางที่ 3.4 แสดงให้เห็นว่า ประเภทของความผิดปกติส่งผลต่อค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละเฟส โดยค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่บันทึกได้จากบัสสถานีไฟฟ้าย่อยในเฟสที่เกิดความผิดปกติจะมีเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเฟสที่ไม่เกิดความผิดปกติ ในขณะที่ด้านบัสภาระไฟฟ้าค่ากระแสในเฟสที่ไม่เกิดความผิดปกติจะมีค่าสูงกว่าที่เฟสที่เกิดความผิดปกติเล็กน้อย โดยค่ากระแสไฟฟ้าที่บัสสถานีไฟฟ้าย่อยนั้นจะมีค่าสูงสุดเมื่อเกิดความผิดปกติประเภทสามเฟส เมื่อพิจารณาปัจจัยเรื่องตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ ค่ากระแสไฟฟ้าที่บันทึกได้จากบัสสถานีไฟฟ้าย่อยจะมีค่าลดลงเมื่อตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติมีระยะทางจากบัสสถานีไฟฟ้าย่อยที่เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากค่าอิมพีแดนต์ในสายส่งที่เพิ่มขึ้นจากระยะทางของบัสสถานีไฟฟ้าย่อยถึงตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ

3.3.2 กรณีที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายใกล้บัสสถานนีไฟฟ้าย่อย

ในกรณีที่ระบบจำหน่ายมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายใกล้บัสสถานนีไฟฟ้าย่อยที่ระยะ 5 กิโลเมตรวัดจากปลายสายส่งด้านสถานนีไฟฟ้าย่อย โดยตัวอย่างสัญญาณกระแสไฟฟ้าสามเฟสทั้งในกรณีปกติ และกรณีที่เกิดความผิดปกติแบบหนึ่งเฟสลงดิน (เฟส A) ที่ระยะทาง 12 กิโลเมตรวัดจากปลายสายส่งด้านสถานนีไฟฟ้าย่อยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



(ก) สภาวะปกติ

(ข) ในกรณีที่เกิดความผิดปกติ

รูปที่ 3.5 สัญญาณกระแสไฟฟ้าในระบบที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนหนึ่งเครื่องใกล้บัสสถานนีไฟฟ้าย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (kA) ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย
จำนวนหนึ่งเครื่องใกล้กับสถานีไฟฟ้าย่อย

ประเภท ความผิด พร่อง	ตำแหน่งบันทึก	เฟส	ระยะที่เกิดความผิดพลาด (กม.)				
			3	9	15	21	27
หนึ่งเฟส ลงดิน	สถานีไฟฟ้าย่อย	A	2.309	1.497	1.084	0.847	0.695
		B	0.223	0.200	0.188	0.184	0.184
		C	0.189	0.208	0.224	0.236	0.245
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย	A	0.267	0.252	0.240	0.233	0.228
		B	0.244	0.234	0.227	0.223	0.221
		C	0.228	0.232	0.228	0.225	0.223
	ภาระไฟฟ้า	A	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276
		B	0.276	0.299	0.310	0.319	0.326
		C	0.284	0.297	0.306	0.313	0.316
สองเฟส	สถานีไฟฟ้าย่อย	A	2.878	2.098	1.627	1.322	1.109
		B	2.674	1.884	1.413	1.111	0.901
		C	0.243	0.215	0.198	0.189	0.185
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย	A	0.332	0.317	0.292	0.276	0.264
		B	0.347	0.322	0.292	0.273	0.260
		C	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208
	ภาระไฟฟ้า	A	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276
		B	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276
		C	0.277	0.278	0.278	0.278	0.278
สองเฟส ลงดิน	สถานีไฟฟ้าย่อย	A	2.226	1.602	1.890	1.073	0.919
		B	2.501	1.857	1.873	1.148	0.946
		C	0.252	0.247	2.040	0.231	0.230
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย	A	0.280	0.278	0.279	0.258	0.251
		B	0.303	0.297	0.284	0.264	0.254
		C	0.257	0.246	0.395	0.230	0.227
	ภาระไฟฟ้า	A	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276
		B	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276
		C	0.279	0.307	0.276	0.331	0.339

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังเว็บไซต์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (kA) ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย จำนวนหนึ่งเครื่องใกล้บัสสถานีไฟฟ้าย่อย (ต่อ)

ประเภทความผิดปกติ	ตำแหน่งบันทึก	เฟส	ระยะที่เกิดความผิดปกติ (กม.)				
			3	9	15	21	27
สามเฟส	สถานีไฟฟ้าย่อย	A	3.608	2.514	1.890	1.498	1.231
		B	3.613	2.503	1.873	1.480	1.212
		C	3.877	2.704	2.040	1.623	1.335
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย	A	0.332	0.304	0.279	0.263	0.253
		B	0.331	0.308	0.284	0.269	0.259
		C	0.499	0.456	0.395	0.356	0.329
	ภาระไฟฟ้า	A	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276
		B	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276
		C	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276
สามเฟส ลงดิน	สถานีไฟฟ้าย่อย	A	2.443	1.908	1.527	1.259	1.065
		B	2.462	1.919	1.531	1.259	1.058
		C	2.439	1.869	1.497	1.249	1.064
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย	A	0.288	0.283	0.270	0.259	0.251
		B	0.281	0.281	0.270	0.261	0.253
		C	0.365	0.363	0.335	0.315	0.299
	ภาระไฟฟ้า	A	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276
		B	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276
		C	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276

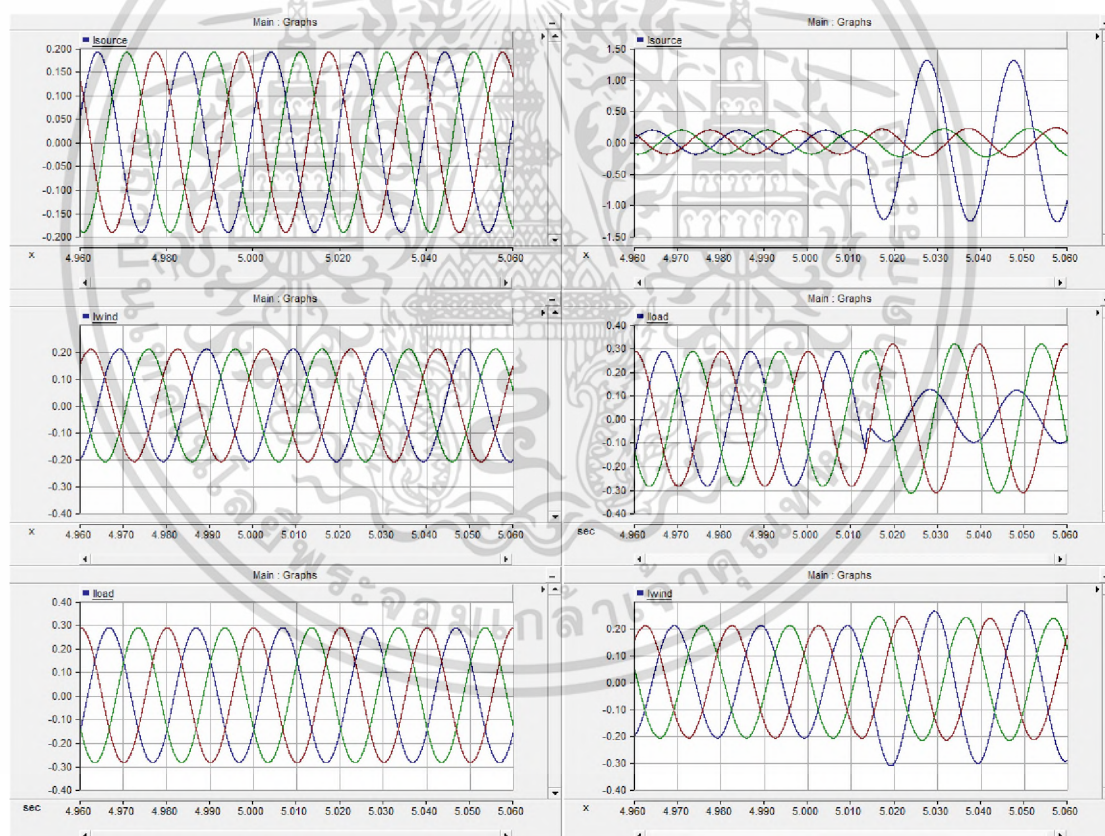
จากสัญญาณกระแสไฟฟ้าในรูปที่ 3.5 เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในระบบจำหน่ายที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนหนึ่งเครื่องใกล้บัสสถานีไฟฟ้าย่อย ค่ากระแสไฟฟ้าจากบัสสถานีไฟฟ้าย่อยนั้นจะมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจะจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังจุดที่เกิดความผิดปกติร่วมกับกระแสไฟฟ้าจากบัสสถานีไฟฟ้าย่อย

ผลการจำลองในตารางที่ 3.5 แสดงให้เห็นว่าลักษณะพฤติกรรมของความผิดปกติในแต่ละประเภทเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายมีความคล้ายคลึงกับกรณีที่ไม่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย โดยที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจ่ายกระแสไฟฟ้าในเฟสที่เกิดความผิดปกติกรณีนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พร้อมสูงกว่าเฟสที่ไม่เกิดความผิดพร่อง เมื่อพิจารณาปัจจัยเรื่องตำแหน่งที่เกิดความผิดพร่อง พฤติกรรมของสัญญาณกระแสที่บัสสถานีไฟฟ้าย่อยและภาระไฟฟ้ามีลักษณะคล้ายกับกรณีที่ไม่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ในขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจะมีพฤติกรรมในการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดเมื่ออยู่ใกล้ตำแหน่งที่เกิดความผิดพร่อง และมีค่าลดลงเรื่อย ๆ เมื่อระยะทางของตำแหน่งความผิดพร่องกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเพิ่มขึ้น

3.3.3 กรณีมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายกลางสายส่ง

ในกรณีที่ระบบจำหน่ายมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายกลางสายส่งที่ตำแหน่ง 15 กิโลเมตรวัดจากปลายสายส่งด้านสถานีไฟฟ้าย่อย โดยตัวอย่างสัญญาณกระแสไฟฟ้าสามเฟสทั้งในสภาวะปกติ และกรณีที่เกิดความผิดพร่องแบบหนึ่งเฟสลงดิน (เฟส A) ที่ระยะทาง 12 กิโลเมตรวัดจากสถานีไฟฟ้าย่อยสามารถแสดงในรูปที่ 3.4 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



(ก) สภาวะปกติ

(ข) ในกรณีที่เกิดความผิดพร่อง

รูปที่ 3.6 สัญญาณกระแสไฟฟ้าในระบบที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนหนึ่ง เครื่องกลางสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (kA) ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย
จำนวนหนึ่งเครื่องกลางสายส่ง

ประเภท ความผิด พร้อม	ตำแหน่งบัส	เฟส	ระยะที่เกิดความผิดพลาด (กม.)				
			3	9	15	21	27
หนึ่งเฟส ลงดิน	สถานีไฟฟ้าย่อย	A	2.317	1.531	1.137	0.888	0.733
		B	0.235	0.225	0.218	0.209	0.208
		C	0.205	0.223	0.236	0.249	0.259
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ กระจาย	A	0.267	0.266	0.262	0.251	0.244
		B	0.243	0.243	0.246	0.238	0.234
		C	0.226	0.240	0.248	0.242	0.237
	ภาระไฟฟ้า	A	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287
		B	0.287	0.312	0.326	0.334	0.340
		C	0.295	0.308	0.323	0.330	0.334
สองเฟส	สถานีไฟฟ้าย่อย	A	2.891	2.161	1.732	1.396	1.166
		B	2.684	1.935	1.499	1.169	0.943
		C	0.252	0.238	0.227	0.210	0.202
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ กระจาย	A	0.324	0.347	0.361	0.330	0.308
		B	0.337	0.353	0.368	0.330	0.305
		C	0.210	0.210	0.210	0.210	0.210
	ภาระไฟฟ้า	A	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287
		B	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287
		C	0.287	0.288	0.289	0.289	0.289
สองเฟส ลงดิน	สถานีไฟฟ้าย่อย	A	2.236	1.635	1.362	1.134	0.974
		B	2.509	1.915	1.518	1.211	0.993
		C	0.263	0.278	0.279	0.264	0.259
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ กระจาย	A	0.277	0.297	0.313	0.297	0.285
		B	0.298	0.322	0.338	0.311	0.292
		C	0.253	0.257	0.259	0.249	0.243
	ภาระไฟฟ้า	A	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287
		B	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287
		C	0.290	0.320	0.338	0.348	0.356

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (kA) ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย จำนวนหนึ่งเครื่องกลางสายส่ง (ต่อ)

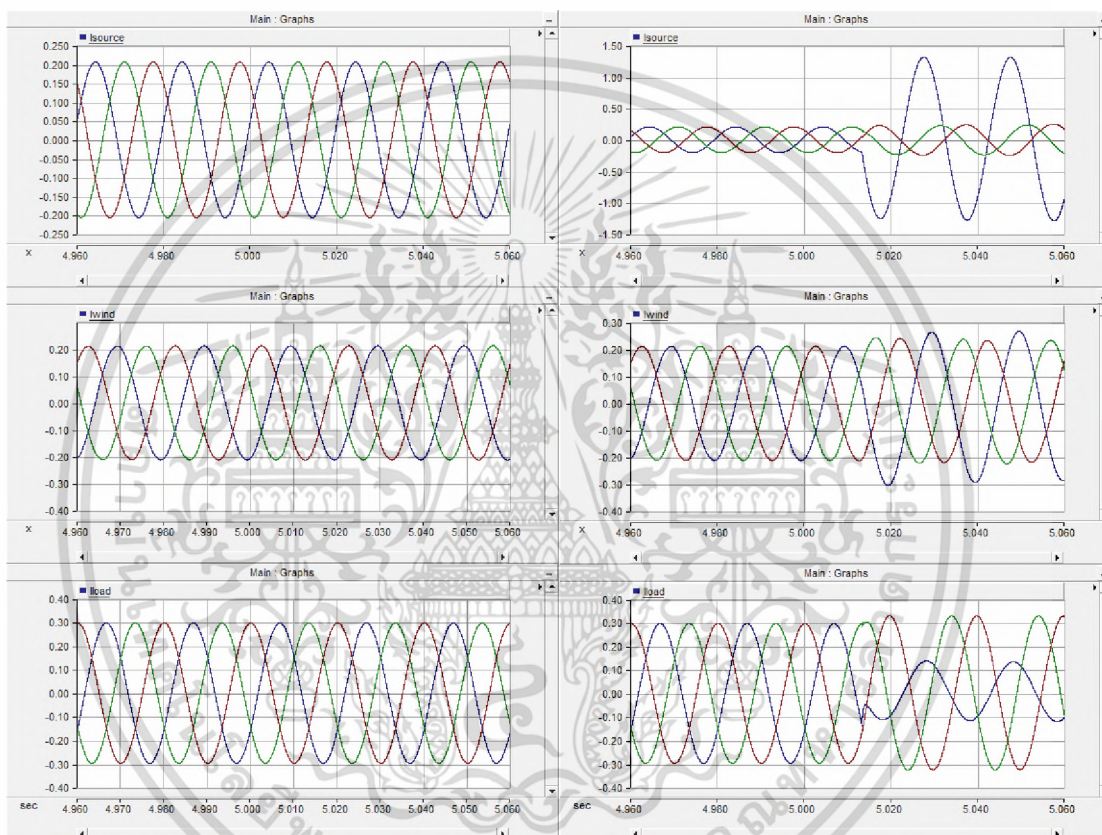
ประเภทความผิดปกติ	ตำแหน่งบัส	เฟส	ระยะที่เกิดความผิดปกติ (กม.)				
			3	9	15	21	27
สามเฟส	สถานีไฟฟ้าย่อย	A	3.607	2.579	2.010	1.584	1.297
		B	3.611	2.565	1.988	1.563	1.274
		C	3.895	2.794	2.172	1.704	1.391
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย	A	0.335	0.331	0.322	0.298	0.284
		B	0.331	0.336	0.340	0.314	0.296
		C	0.468	0.521	0.564	0.485	0.433
	ภาระไฟฟ้า	A	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287
		B	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287
		C	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287
สามเฟสลงดิน	สถานีไฟฟ้าย่อย	A	2.445	1.960	1.629	1.336	1.124
		B	2.464	1.973	1.635	1.338	1.120
		C	2.456	1.933	1.572	1.302	1.104
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย	A	0.289	0.305	0.313	0.295	0.281
		B	0.281	0.301	0.315	0.300	0.287
		C	0.349	0.402	0.445	0.405	0.375
	ภาระไฟฟ้า	A	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287
		B	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287
		C	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287

จากสัญญาณกระแสไฟฟ้าในรูปที่ 3.6 และผลการจำลองในตารางที่ 3.6 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในระบบจำหน่ายที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนหนึ่งเครื่องกลางสายส่ง ค่ากระแสไฟฟ้าจะมีพฤติกรรมของความผิดปกติในแต่ละประเภทคล้ายกับกรณีที่ ไม่มีและมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่อใกล้บัสสถานีไฟฟ้าย่อย เมื่อพิจารณาปัจจัยเรื่องตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ ค่ากระแสไฟฟ้าที่บัสสถานีไฟฟ้าย่อยจะมีสูงขึ้นเมื่อ ภาระไฟฟ้า และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจะมีพฤติกรรมคล้ายกับกรณีที่ไม่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย และกรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่อใกล้บัสสถานีไฟฟ้าย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 กรณีที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายใกล้ับสภาวะไฟฟ้า

ในกรณีที่ระบบจำหน่ายมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายใกล้ับสภาวะไฟฟ้าที่ตำแหน่ง 27 กิโลเมตรวัดจากปลายสายส่งด้านสถานีไฟฟ้าย่อย โดยตัวอย่างสัญญาณกระแสไฟฟ้าสามเฟสทั้งในสภาวะปกติ และกรณีที่เกิดความผิดปกติแบบหนึ่งเฟสลงดิน (เฟส A) ที่ระยะทาง 12 กิโลเมตรวัดจากสถานีไฟฟ้าย่อย ดังแสดงในรูปที่ 3.4 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



(ก) สภาวะปกติ (ข) ในกรณีที่เกิดความผิดปกติ

รูปที่ 3.7 สัญญาณกระแสไฟฟ้าในระบบที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนหนึ่ง เครื่องใกล้ับสภาวะไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (kA) ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย
จำนวนหนึ่งเครื่องใกล้บัสภาระไฟฟ้า

ประเภท ความผิด พร้อม	ตำแหน่งบัส	เฟส	ระยะที่เกิดความผิดพลาด (กม.)				
			3	9	15	21	27
หนึ่งเฟส ลงดิน	สถานีไฟฟ้าย่อย	A	2.328	1.540	1.144	0.915	0.765
		B	0.246	0.241	0.236	0.235	0.235
		C	0.222	0.241	0.256	0.267	0.278
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ กระจาย	A	0.267	0.269	0.268	0.265	0.260
		B	0.242	0.243	0.245	0.249	0.250
		C	0.225	0.238	0.245	0.251	0.252
	ภาระไฟฟ้า	A	0.298	0.298	0.298	0.298	0.298
		B	0.298	0.323	0.336	0.348	0.358
		C	0.307	0.320	0.334	0.344	0.352
สองเฟส	สถานีไฟฟ้าย่อย	A	2.903	2.172	1.741	1.458	1.243
		B	2.692	1.941	1.503	1.218	1.003
		C	0.263	0.251	0.241	0.234	0.225
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ กระจาย	A	0.317	0.339	0.353	0.362	0.356
		B	0.330	0.344	0.355	0.367	0.365
		C	0.213	0.213	0.213	0.213	0.213
	ภาระไฟฟ้า	A	0.298	0.298	0.298	0.298	0.298
		B	0.298	0.298	0.298	0.298	0.298
		C	0.298	0.299	0.299	0.300	0.300
สองเฟส ลงดิน	สถานีไฟฟ้าย่อย	A	2.250	1.646	1.372	1.182	1.032
		B	2.518	1.923	1.525	1.260	1.055
		C	0.274	0.293	0.296	0.297	0.295
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ กระจาย	A	0.275	17.926	0.310	0.321	0.322
		B	0.295	17.634	0.330	0.341	0.339
		C	0.251	17.634	0.257	0.260	0.260
	ภาระไฟฟ้า	A	0.298	19.960	0.298	0.298	0.298
		B	0.298	1.646	0.298	0.298	0.298
		C	0.303	1.923	0.350	0.363	0.374

ตารางที่ 3.7 ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (kA) ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย จำนวนหนึ่งเครื่องใกล้บัสภาระไฟฟ้า

ประเภท ความผิด พร่อง	ตำแหน่งบัส	เฟส	ระยะที่เกิดความผิดพร่อง (กม.)				
			3	9	15	21	27
สามเฟส	สถานีไฟฟ้าย่อย	A	3.609	2.578	2.007	1.644	1.375
		B	3.612	2.564	1.986	1.621	1.352
		C	3.911	2.807	2.184	1.788	1.490
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ กระจาย	A	0.336	0.336	0.335	0.326	0.311
		B	0.330	0.337	0.341	0.345	0.340
		C	0.443	0.488	0.525	0.558	0.555
	ภาระไฟฟ้า	A	0.298	0.298	0.298	0.298	0.298
		B	0.298	0.298	0.298	0.298	0.298
		C	0.298	0.298	0.298	0.298	0.298
สามเฟส ลงดิน	สถานีไฟฟ้าย่อย	A	2.451	1.963	1.628	1.390	1.198
		B	2.469	1.976	1.636	1.393	1.196
		C	2.469	1.948	1.592	1.359	1.170
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ กระจาย	A	0.289	0.306	0.316	0.320	0.315
		B	0.281	0.301	0.315	0.325	0.326
		C	0.336	0.383	0.421	0.454	0.461
	ภาระไฟฟ้า	A	0.298	0.298	0.298	0.298	0.298
		B	0.298	0.298	0.298	0.298	0.298
		C	0.298	0.298	0.298	0.298	0.298

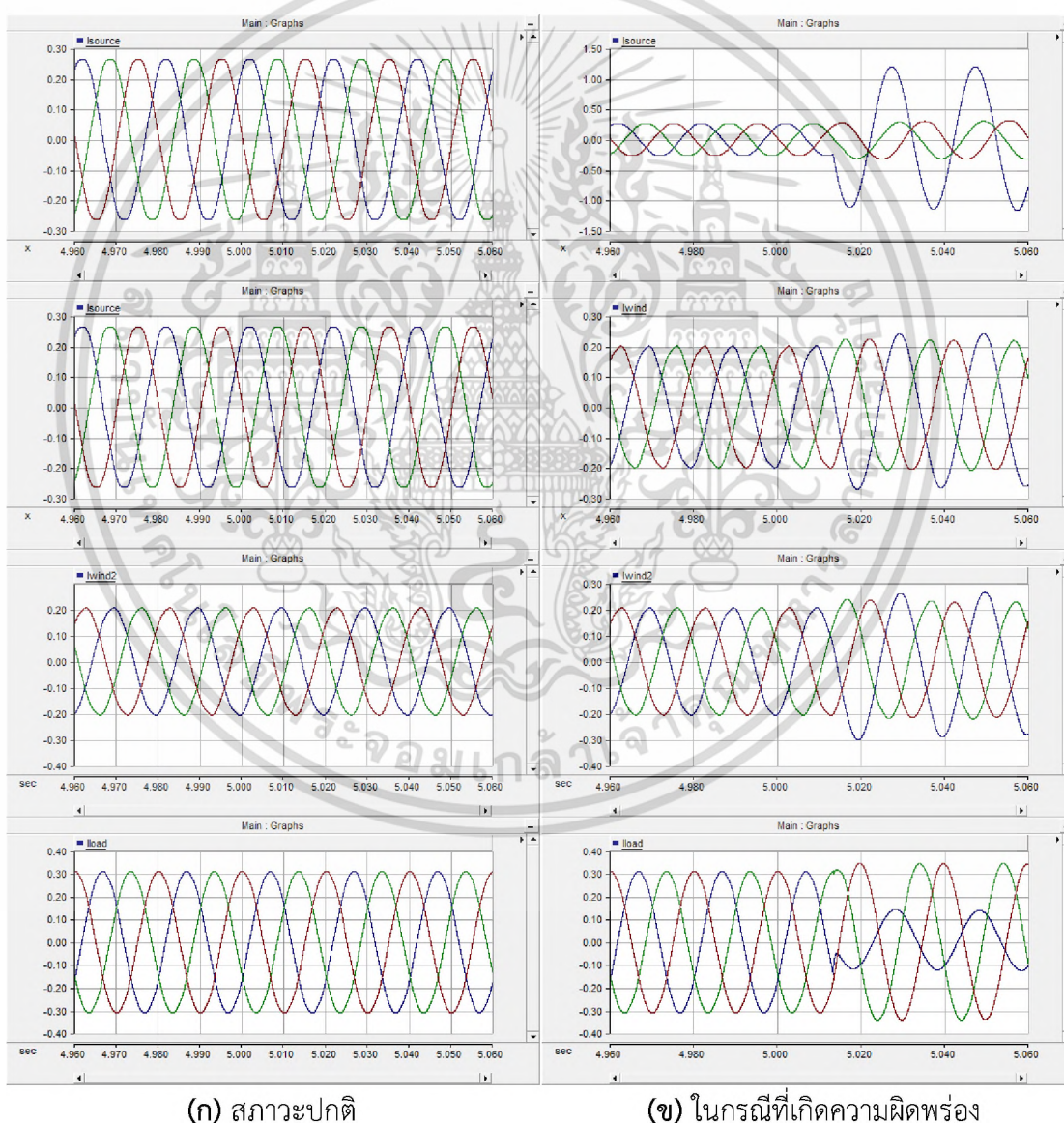
จากสัญญาณกระแสไฟฟ้าในรูปที่ 3.7 และผลการจำลองในตารางที่ 3.7 เมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นในระบบจำหน่ายที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนหนึ่งเครื่องใกล้บัสภาระไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้าจะมีพฤติกรรมของความผิดพร่องในแต่ละประเภทคล้ายกับกรณีที่ไม่ใช่ และมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่อใกล้บัสสถานีไฟฟ้าย่อย และกลางสายส่ง เมื่อพิจารณาปัจจัยเรื่องตำแหน่งที่เกิดความผิดพร่อง ค่ากระแสไฟฟ้าที่บัสภาระไฟฟ้านั้นจะมีค่าสูงกว่ากรณีก่อนหน้า เนื่องจากตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังภาระไฟฟ้าได้ โดยที่เมื่อตำแหน่งความผิดพร่องเกิดขึ้นใกล้บัสภาระไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าที่บัสภาระไฟฟ้าก็จะมีค่าลดลง เนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายกับตำแหน่งความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิดพ้อง ในขณะที่ค่ากระแสไฟฟ้าที่บัสภาระไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นพฤติกรรมไม่ได้เปลี่ยนไปจากกรณีก่อนหน้า

3.3.5 กรณีมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนสองเครื่อง

ในกรณีที่ระบบจำหน่ายมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนสองเครื่องที่ตำแหน่ง 5 และ 25 กิโลเมตรวัดจากปลายสายส่งด้านสถานีไฟฟ้าย่อย ตัวอย่างสัญญาณกระแสไฟฟ้าทั้งในสภาวะปกติ และความผิดพ้องแบบหนึ่งเฟสลงดิน (เฟส A) ที่ระยะทาง 12 กิโลเมตรวัดจากสถานีไฟฟ้าย่อยสามารถแสดงในรูปที่ 3.4 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



รูปที่ 3.8 สัญญาณกระแสไฟฟ้าในระบบที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนสองเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.8 ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (kA) ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย
จำนวนสองเครื่อง

ประเภท ความผิด พร้อม	ตำแหน่งบัส	เฟส	ระยะที่เกิดความผิดพลาด (กม.)				
			3	9	15	21	27
หนึ่งเฟส ลงดิน	สถานีไฟฟ้าย่อย	A	2.286	1.444	1.024	0.784	0.640
		B	0.368	0.320	0.288	0.272	0.264
		C	0.273	0.300	0.315	0.331	0.343
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ กระจาย เครื่องที่ 1	A	0.262	0.248	0.236	0.231	0.227
		B	0.239	0.229	0.221	0.218	0.215
		C	0.221	0.225	0.221	0.219	0.215
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ กระจาย เครื่องที่ 2	A	0.264	0.266	0.264	0.263	0.258
		B	0.237	0.238	0.241	0.245	0.246
		C	0.218	0.231	0.239	0.246	0.247
	ภาระไฟฟ้า	A	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311
		B	0.311	0.338	0.352	0.364	0.372
		C	0.321	0.339	0.353	0.363	0.373
สองเฟส	สถานีไฟฟ้าย่อย	A	2.929	2.490	1.684	1.382	1.156
		B	2.604	2.159	1.351	1.051	0.828
		C	0.365	0.351	0.312	0.299	0.289
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ กระจาย เครื่องที่ 1	A	0.328	0.333	0.293	0.277	0.265
		B	0.346	0.347	0.293	0.274	0.260
		C	0.201	0.201	0.201	0.201	0.201
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ กระจาย เครื่องที่ 2	A	0.314	0.329	0.354	0.363	0.357
		B	0.327	0.337	0.357	0.370	0.366
		C	2.604	0.207	0.207	0.207	0.207
	ภาระไฟฟ้า	A	0.365	0.311	0.311	0.311	0.311
		B	18.002	0.311	0.311	0.311	0.311
		C	18.002	0.312	0.313	0.314	0.314

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.8 ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (kA) ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย
จำนวนสองเครื่อง (ต่อ)

ประเภท ความผิด พร่อง	ตำแหน่งบัส	เฟส	ระยะที่เกิดความผิดพลาด (กม.)				
			3	9	15	21	27
สองเฟส ลงดิน	สถานีไฟฟ้าย่อย	A	2.211	1.822	1.303	1.096	0.946
		B	2.525	2.170	1.415	1.127	0.906
		C	0.396	0.398	0.366	0.354	0.346
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ กระจาย เครื่องที่ 1	A	0.275	0.280	0.265	0.258	0.251
		B	0.300	0.308	0.279	0.265	0.254
		C	0.250	0.249	0.229	0.224	0.220
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ กระจาย เครื่องที่ 2	A	0.271	0.282	0.309	0.321	0.322
		B	0.292	0.306	0.330	0.342	0.340
		C	0.244	0.247	0.251	0.255	0.255
	ภาระไฟฟ้า	A	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311
		B	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311
		C	0.318	0.337	0.368	0.382	0.394
สามเฟส	สถานีไฟฟ้าย่อย	A	3.632	2.998	1.910	1.522	1.241
		B	3.649	3.008	1.896	1.499	1.213
		C	3.855	3.195	2.035	1.622	1.313
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ กระจาย เครื่องที่ 1	A	0.333	0.323	0.282	0.267	0.259
		B	0.331	0.327	0.288	0.273	0.263
		C	0.497	0.506	0.400	0.362	0.333
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ กระจาย เครื่องที่ 2	A	0.340	0.341	0.337	0.327	0.311
		B	0.331	0.336	0.342	0.346	0.340
		C	0.439	0.470	0.532	0.567	0.564
	ภาระไฟฟ้า	A	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311
		B	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311
		C	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.8 ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (kA) ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย จำนวนสองเครื่อง (ต่อ)

ประเภท ความผิด พร่อง	ตำแหน่งบัส	เฟส	ระยะที่เกิดความผิดพลาด (กม.)				
			3	9	15	21	27
สามเฟส ลงดิน	สถานีไฟฟ้าย่อย	A	2.471	2.192	1.564	1.297	1.085
		B	2.511	2.227	1.582	1.306	1.087
		C	2.511	2.210	1.539	1.250	1.025
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ กระจาย เครื่องที่ 1	A	0.284	0.289	0.271	0.262	0.254
		B	0.277	0.284	0.271	0.263	0.255
		C	0.358	0.377	0.334	0.314	0.297
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ กระจาย เครื่องที่ 2	A	0.287	0.298	0.316	0.320	0.314
		B	0.278	0.290	0.314	0.325	0.325
		C	0.329	0.357	0.421	0.457	0.464
	ภาระไฟฟ้า	A	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311
		B	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311
		C	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311

จากสัญญาณกระแสไฟฟ้าในรูปที่ 3.8 เมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นในระบบจำหน่ายที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนสองเครื่อง ค่ากระแสไฟฟ้าจากบัสสถานีไฟฟ้าย่อยนั้น จะมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มี และมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนหนึ่งเครื่อง เนื่องมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายทั้งสองเครื่องจะช่วยจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังจุดที่เกิดความผิดพลาดร่วมกับกระแสไฟฟ้าจากบัสสถานีไฟฟ้าย่อย ในขณะที่ค่ากระแสไฟฟ้าที่บัสภาระไฟฟ้านั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีก่อนหน้านี้ เนื่องจากผลรวมของกระแสไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายทั้งสองเครื่อง ผลการจำลองในตารางที่ 3.8 แสดงให้เห็นว่าลักษณะพฤติกรรมของความผิดพลาดในแต่ละประเภทเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนสองเครื่องมีความคล้ายคลึงกับกรณีก่อนหน้านี้ โดยที่ตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดนั้นส่งผลให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

ผลการศึกษาพฤติกรรมของระบบจำหน่ายที่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายในรูปแบบต่าง ๆ เมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นสามารถสรุปได้ว่า การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายนั้นส่งผลให้พฤติกรรมของสัญญาณกระแสที่กระบัสต่าง ๆ มีค่าเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยยะสำคัญ ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวส่งผลให้ขั้นตอนวิธีในการระบุตำแหน่งและแยกแยะประเภทความผิดปกติที่ใช้พื้นฐานหลักการการวิเคราะห์สัญญาณด้วยวิธีการแปลงเวฟเล็ตเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นได้ ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบขั้นตอนวิธีในการระบุตำแหน่งและแยกแยะประเภทความผิดปกติขั้นใหม่ให้มีความเหมาะสมกับระบบจำหน่ายที่มีการเปลี่ยนแปลงไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

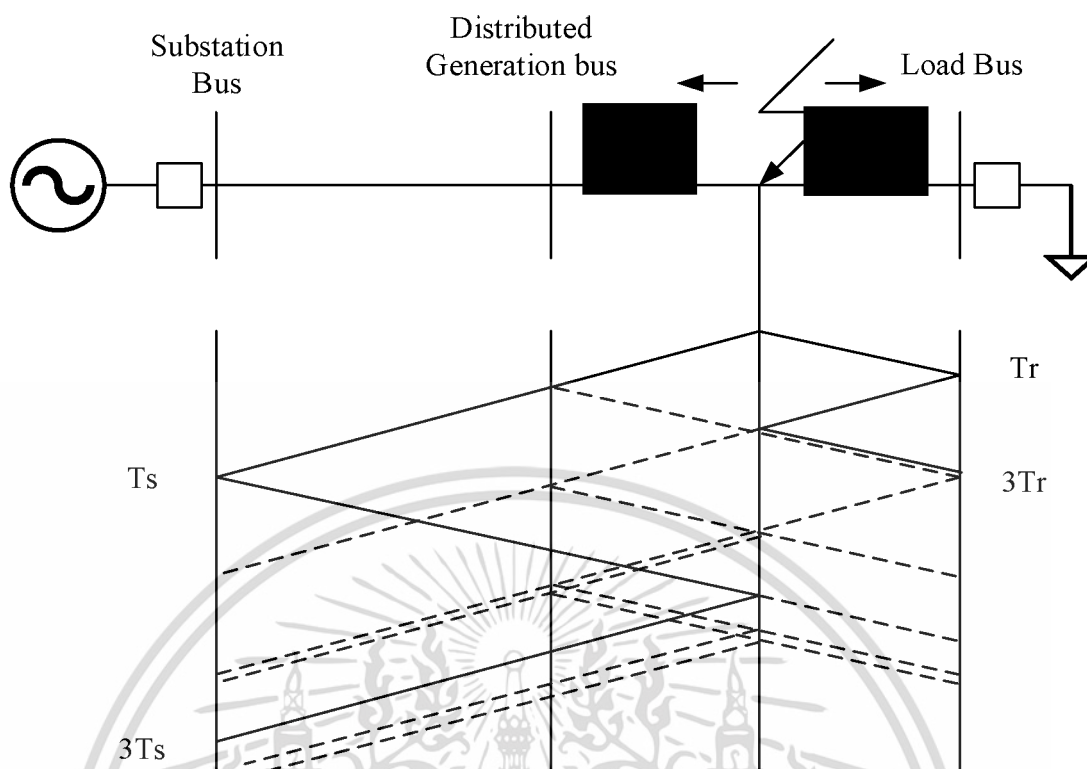
ขั้นตอนวิธีการระบุตำแหน่งแยกแยะประเภทความผิดปกติ

4.1 ขั้นตอนวิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ

เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในสายส่งของระบบจำหน่ายจะเกิดคลื่นเดินทางจากตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติไปยังปลายของสายส่งทั้งฝั่งสถานีไฟฟ้าย่อย และฝั่งภาระไฟฟ้า รวมไปถึงจะมีคลื่นที่สะท้อนจากปลายสายส่งเดินทางกลับไปยังตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ ซึ่งระยะเวลาที่คลื่นเดินทางใช้ในการเคลื่อนที่ไปยังปลายสายส่งทั้งสองฝั่งจะถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติขึ้นในระบบจำหน่าย โดยขั้นตอนวิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติที่เกิดในระบบจำหน่ายที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธีดังนี้

1. การระบุตำแหน่งความผิดปกติโดยใช้คลื่นยอดแรก (First Peak Method)
2. การระบุตำแหน่งความผิดปกติโดยวิธีปลายเดียว (Single-Ended Method)
3. วิธีคลื่นยอดที่สอง (Second Peak Method)

โดยแผนภาพการสะท้อนของคลื่นเดินทางเมื่อเกิดความผิดปกติในสายส่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงให้เห็นลักษณะการเดินทางของคลื่นเดินทางจากตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติไปยังปลายสายส่งทั้งทางด้านสถานีไฟฟ้าย่อย และภาระไฟฟ้า โดยคลื่นเดินทางดังกล่าวจะเกิดการสะท้อนขึ้นที่บัสต่าง ๆ กลับไปยังจุดที่เกิดความผิดปกติ และเดินทางกลับมาไปยังปลายสายส่งอีกครั้ง ซึ่งพฤติกรรมของคลื่นเดินทางดังกล่าวจะถูกนำมาใช้ในการระบุตำแหน่งความผิดปกติ



รูปที่ 4.1 แผนภาพการสะท้อนของคลื่นเดินทาง

4.1.1 วิธีคลื่นยอดแรก (First Peak Method)

การระบุความผิดพลาดในระบบโดยใช้วิธีคลื่นยอดแรก (First Peak Method) สามารถทำได้โดยคำนวณหาระยะเวลาที่คลื่นเดินทางยอดแรกซึ่งเกิดขึ้นจากความผิดพลาดเดินทางจากตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดเดินทางไปยังปลายสายส่งในแต่ละด้าน โดยวิธีคลื่นยอดแรกสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 4.1

$$D = \frac{L - v(t_{1R} - t_{1S})}{2} \quad (4.1)$$

เมื่อ

D คือ ตำแหน่งความผิดพลาด

L คือ ระยะความยาวสายส่ง

v คือ ความเร็วคลื่นเดินทาง

t_{1R} คือ เวลาที่ยอดคลื่นแรกเดินทางถึงบัสสถานีไฟฟ้าย่อย

t_{1S} คือ เวลาที่ยอดคลื่นแรกเดินทางถึงบัสการะไฟฟ้า

4.1.2 วิธีปลายเดี่ยว (Single-Ended Method)

การระบุความผิดพลาดในระบบโดยใช้วิธีปลายเดี่ยว (Single-Ended Method) สามารถทำได้ โดยคำนวณหาระยะเวลาที่คลื่นเดินทางยอดแรกซึ่งเกิดขึ้นจากความผิดพลาด เดินทางจากตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดไปยังบัสปลายสายส่งในด้านสถานีไฟฟ้าย่อย หรือ ด้านภาระไฟฟ้า และเวลาที่คลื่นสะท้อนจากปลายสายส่งด้านนั้นกลับที่ตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดก่อนเดินทางกลับไปยังปลายสายส่งด้านนั้นเป็นยอดคลื่นที่สอง เมื่อพิจารณาบัสปลายสายส่งด้านสถานีไฟฟ้าย่อยและด้านบัสภาระไฟฟ้า สามารถคำนวณตำแหน่งความผิดพลาดได้ตามสมการที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

$$D_S = v \left| \frac{(t_S - t_{3S})}{2} \right| \quad (4.2)$$

$$D_R = v \left| \frac{(t_R - t_{3R})}{2} \right| \quad (4.3)$$

เมื่อ

D_S คือ ตำแหน่งความผิดพลาดอ้างอิงจากบัสสถานีไฟฟ้าย่อย

D_R คือ ตำแหน่งความผิดพลาดอ้างอิงจากบัสภาระไฟฟ้า

t_{3R} คือ เวลาที่ยอดคลื่นที่สองเดินทางถึงบัสสถานีไฟฟ้าย่อย

t_{3S} คือ เวลาที่ยอดคลื่นที่สองเดินทางถึงบัสภาระไฟฟ้า

4.1.3 วิธีคลื่นยอดที่สอง (Second Peak Method)

ขั้นตอนวิธีการระบุตำแหน่งความผิดพลาดโดยวิธีการคำนวณจากค่ายอดคลื่นที่สอง สามารถคำนวณได้จากผลต่างของเวลาที่สัญญาณความผิดพลาดมาถึงปลายสายส่งด้านบัสสถานีไฟฟ้าย่อย กับผลต่างของเวลาที่สัญญาณความผิดพลาดมาถึงปลายสายส่งด้านบัสภาระไฟฟ้า ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4.4

$$D = L \times \frac{\Delta t_S}{\Delta t_S + \Delta t_R} \quad (4.4)$$

$$\Delta t_S = \left| \frac{t_S - 3t_S}{2} \right| \quad (4.5)$$

$$\Delta t_R = \left| \frac{t_R - 3t_R}{2} \right| \quad (4.6)$$

เมื่อ

Δt_S คือ ผลต่างของเวลาที่สัญญาณความผิดพลาดมาถึงปลายสายส่งด้านบัสสถานีไฟฟ้าย่อย

Δt_R คือ ผลต่างของเวลาที่สัญญาณความผิดพลาดมาถึงปลายสายส่งด้านบัสภาระไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ขั้นตอนวิธีการแยกแยะประเภทความผิดพลาด

ความผิดพลาดประเภทต่าง ๆ ส่งผลให้พฤติกรรมกระแสไฟฟ้าที่บัสสถานีไฟฟ้าย่อย ภาระไฟฟ้า และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย มีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยยะสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีปกติ ดังนั้นสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่มีลักษณะเฉพาะตัวในแต่ละประเภทของความผิดพลาดนั้นจะถูกนำมาใช้ในการออกแบบขั้นตอนวิธีการแยกแยะประเภทของความผิดพลาด โดยสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่บันทึกได้จากบัสต่าง ๆ จะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยการแปลงเวฟเล็ต เพื่อพิจารณาความต่างของค่าสัมประสิทธิ์ในแต่ละเฟสเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ในองค์ประกอบลำดับศูนย์ พฤติกรรมที่วิเคราะห์ได้จะถูกนำมาสร้างเงื่อนไขในการตัดสินใจของขั้นตอนวิธีในลำดับต่อไป

ตัวแปรที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ประเภทของความผิดพลาดต้องอยู่ในสเกลการแปลงเวฟเล็ตเดียวกันเพื่อง่ายต่อการพิจารณา โดยมีตัวแปรที่ใช้พิจารณาดังต่อไปนี้

1. ตัวแปรค่าสูงสุดในช่วงที่เกิดความผิดพลาด

โดยขั้นตอนวิธีที่นำเสนอจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดในช่วง $\frac{1}{4}$ ลูกคลื่นที่เกิดความผิดพลาด โดยตัวแปรที่นำมาพิจารณาประกอบไปด้วย

A_{max} คือ ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบเฟส A

B_{max} คือ ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบเฟส B

C_{max} คือ ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบเฟส C

Z_{max} คือ ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบลำดับศูนย์

2. ตัวแปรค่าเปรียบเทียบ

เป็นการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบกระแสในเฟสต่าง ๆ กับค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบลำดับศูนย์ โดยตัวแปรที่นำมาพิจารณาประกอบไปด้วย

$$A_{com} = \frac{A_{max}}{Z_{max}} \text{ คือ ค่าเปรียบเทียบของเฟส A}$$

$$B_{com} = \frac{B_{max}}{Z_{max}} \text{ คือ ค่าเปรียบเทียบของเฟส B}$$

$$C_{com} = \frac{C_{max}}{Z_{max}} \text{ คือ ค่าเปรียบเทียบของเฟส C}$$

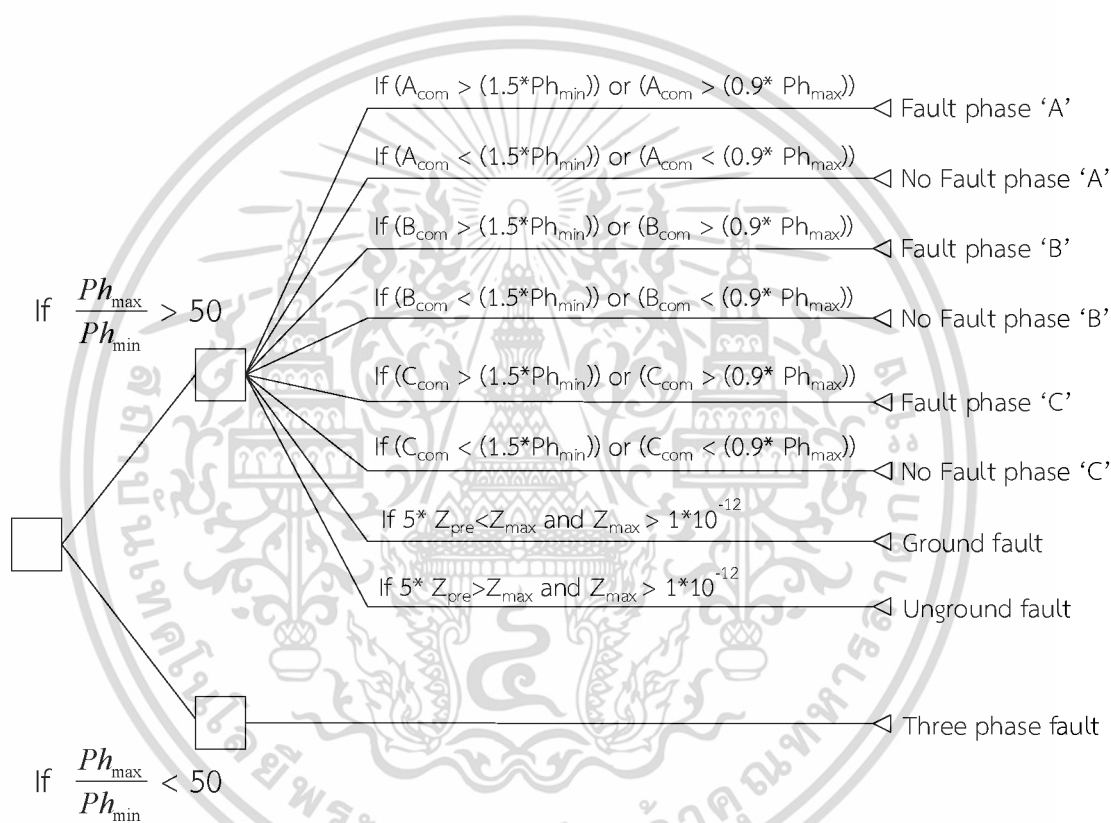
3. ตัวแปรตรวจสอบ

Ph_{max} คือ ค่าสูงสุดจากการเปรียบเทียบ $A_{com}, B_{com}, C_{com}$

Ph_{min} คือ ค่าต่ำสุดจากการเปรียบเทียบ $A_{com}, B_{com}, C_{com}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

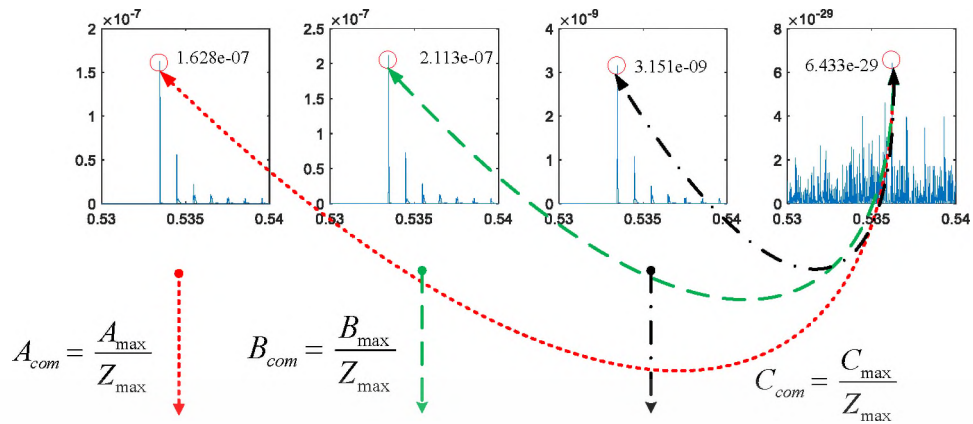
เมื่อได้ค่าเปรียบเทียบทั้งสามเฟส และค่าองค์ประกอบลำดับศูนย์ รวมถึงค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด จากตัวแปรเปรียบเทียบแล้ว จึงนำข้อมูลดังกล่าวมาออกแบบแผนผังการตัดสินใจได้ดังรูปที่ 4.2 การแยกแยะความผิดปกติของนั้นจะทำการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนตัวแปรตรวจสอบสูงสุด และต่ำสุด เพื่อแยกความผิดปกติแบบสามเฟสออกมาก่อน จากนั้นจะทำการระบุเฟสที่เกิดความผิดปกติ เมื่อค่าตัวแปรเปรียบเทียบในแต่ละเฟสมีค่ามากกว่าตัวแปรตรวจสอบต่ำสุด 1.5 เท่า หรือ มีค่ามากกว่าตัวแปรตรวจสอบสูงสุด 0.9 เท่า การระบุว่าคุณสมบัติของนั้นเชื่อมต่อดินหรือไม่ ทำได้โดยเปรียบเทียบค่าองค์ประกอบลำดับศูนย์ เมื่อค่าองค์ประกอบลำดับศูนย์หลังเกิดความผิดปกติสูงกว่ากรณีปกติ 5 เท่า และค่าองค์ประกอบลำดับศูนย์สูงสุดมีค่ามากกว่า 10^{-12} จะเกิดความผิดปกติลงดิน



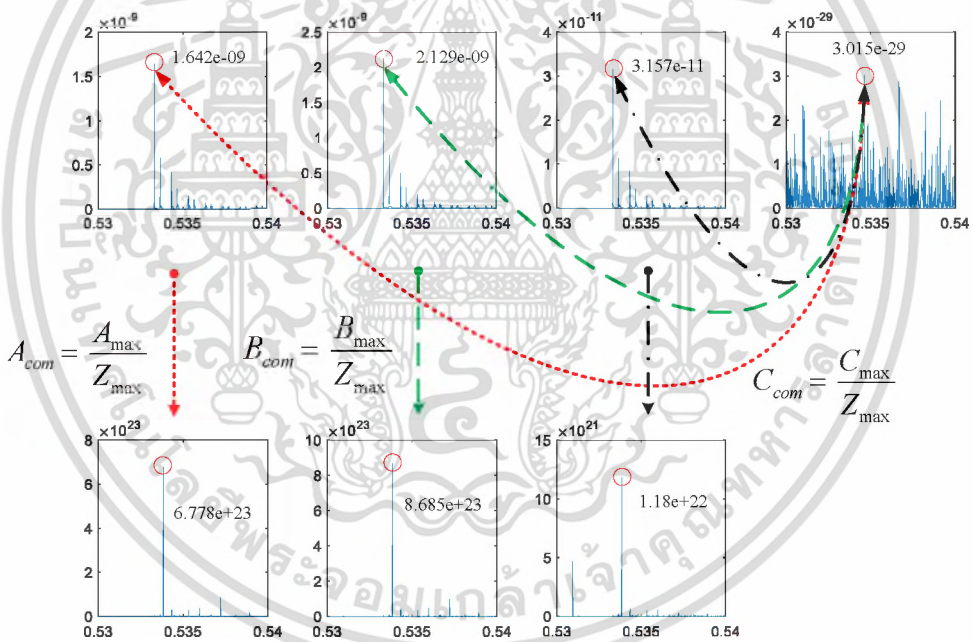
รูปที่ 4.2 แผนผังการตัดสินใจแยกแยะประเภทความผิดปกติ

ตัวอย่างขั้นตอนวิธีในการหาค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบกระแสแต่ละเฟส และองค์ประกอบลำดับศูนย์ กับค่าตัวแปรเปรียบเทียบที่บัสสถานีไฟฟ้าย่อย บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายทั้งสองเครื่อง และบัสภาระไฟฟ้า ในกรณีที่เกิดความผิดปกติแบบสามเฟสในระบบจำหน่ายที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนสองเครื่อง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.3 ซึ่งค่าสูงสุดในแต่ละเฟส และค่าตัวแปรเปรียบเทียบที่ได้จะถูกนำเข้าไปแผนผังการตัดสินใจ เพื่อให้ขั้นตอนวิธีสามารถระบุได้ว่าสัญญาณที่วิเคราะห์เกิดความผิดปกติที่เฟสใดจากค่าตัวแปรเปรียบเทียบ และเป็นความผิดปกติเชื่อมต่อดินหรือไม่จากค่าองค์ประกอบลำดับศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

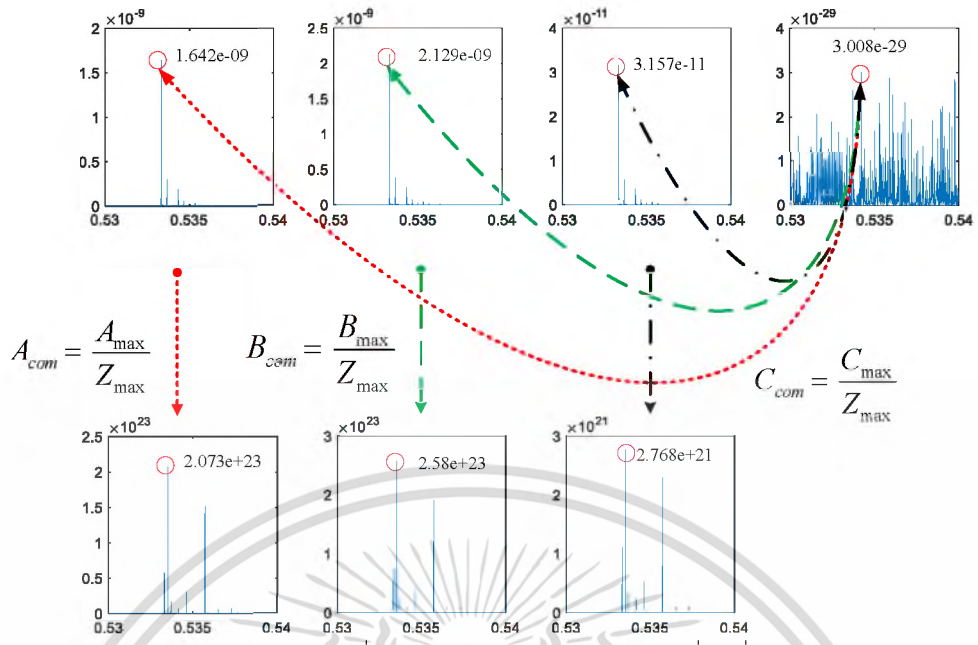


(ก) บัสสถานไฟฟ้าย่อย

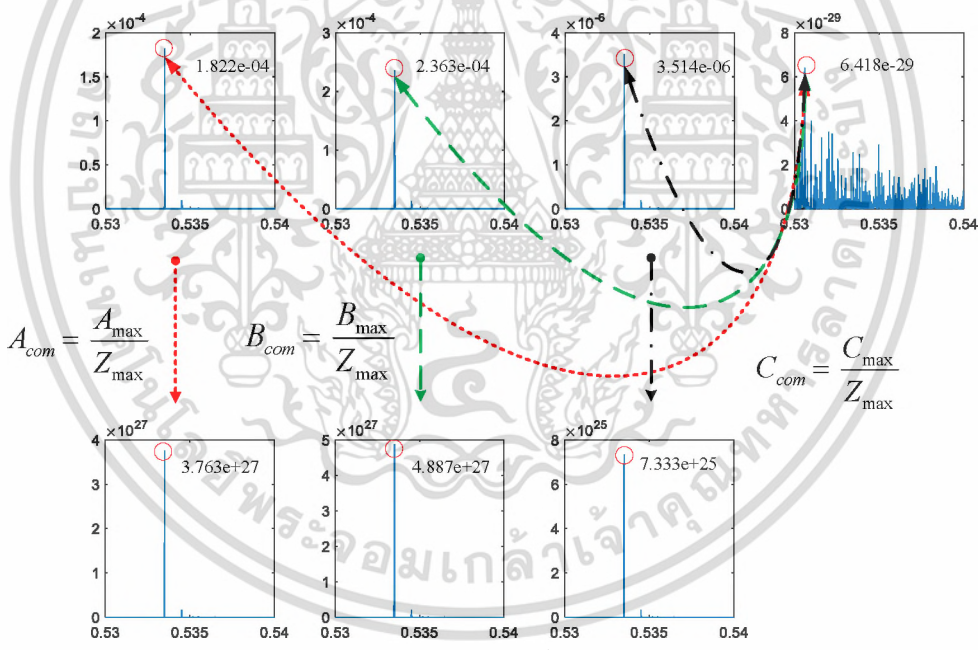


(ข) บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเครื่องที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเครื่องที่ 2



(ง) บัสภาระไฟฟ้า

รูปที่ 4.3 สัมประสิทธิ์ค่าสูงสุดเมื่อเกิดความผิดพลาดและค่าเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการระบุตำแหน่งและแยกแยะประเภทความผิดพลาด

ขั้นตอนวิธีในการระบุตำแหน่งและแยกแยะประเภทความผิดพลาดจะถูกนำมาทดสอบกับกรณีศึกษาจำนวน 297 กรณี โดยขั้นตอนวิธีการระบุตำแหน่งความผิดพลาดจะทำการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการระบุตำแหน่งความผิดพลาดทั้ง 4 วิธี คือ วิธีคลี่นยอดที่หนึ่ง วิธีปลายเดี่ยวฝั่งสถานีไฟฟ้าย่อย วิธีปลายเดี่ยวฝั่งภาระไฟฟ้า และวิธีคลี่นยอดที่สอง สำหรับขั้นตอนวิธีการแยกแยะประเภทความผิดพลาดนั้น ข้อมูลจากบัสสถานีไฟฟ้าย่อย บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย และบัสภาระไฟฟ้านั้นจะถูกนำมาพิจารณา โดยจะทำการเปรียบเทียบในเชิงความถูกต้องเฉลี่ยในการแยกแยะประเภทความผิดพลาด

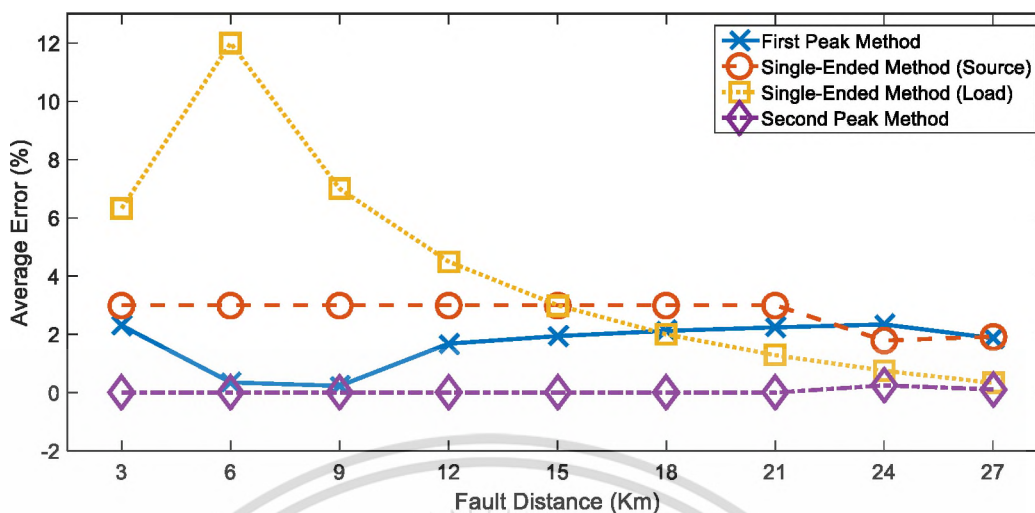
5.1 กรณีไม่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

ค่าตำแหน่งความผิดพลาดเฉลี่ยที่ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอระบุได้ในกรณีที่ระบบจำหน่ายไม่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายสามารถสรุปดังตารางที่ 5.1 และความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของแต่ละวิธีการนั้นสามารถนำมาเขียนได้ดังแสดงในรูปที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการระบุตำแหน่งความผิดพลาดในกรณีไม่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

ตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาด	วิธีคลี่นยอดที่หนึ่ง	วิธีปลายเดี่ยวฝั่งสถานีไฟฟ้าย่อย	วิธีปลายเดี่ยวฝั่งภาระไฟฟ้า	วิธีคลี่นยอดที่สอง
3	3.07	2.91	3.81	3.00
6	5.98	5.82	6.72	6.00
9	5.98	8.73	9.63	9.00
12	11.80	11.64	12.54	12.00
15	14.71	14.55	15.45	15.00
18	17.62	17.46	18.36	18.00
21	20.53	20.37	21.27	21.00
24	23.44	23.57	24.18	24.06
27	26.49	26.48	27.09	27.03

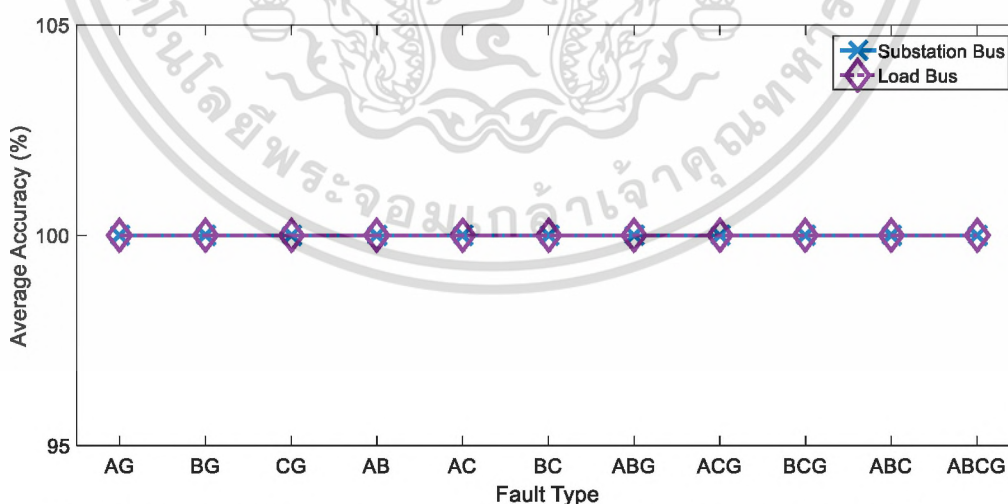
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการระบุตำแหน่งความผิดพลาดในกรณีไม่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

จากรูปที่ 5.1 แสดงให้เห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีค่าไม่เกิน 5% ยกเว้นในกรณีใช้ปลายเดี่ยวฝั่งภาระไฟฟ้า ซึ่งเกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความผิดพลาดที่ตำแหน่งใกล้บัสสถานีไฟฟ้าย่อยนั้นส่งผลให้การตรวจจับยอดคลื่นสะท้อนนั้นมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น จะโดยวิธีการยอดคลื่นที่สองนั้นให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดที่สุด

ค่าความถูกต้องในการแยกแยะประเภทความผิดพลาดจากข้อมูลที่บัสสถานีไฟฟ้าย่อย บัสภาระไฟฟ้าสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแสดงให้เห็นว่าขั้นตอนวิธีในการแยกแยะประเภทความผิดพลาดนั้นที่นำเสนอสามารถแยกแยะประเภทความผิดพลาดได้ถูกต้องทุกกรณีศึกษา



รูปที่ 5.2 ค่าความถูกต้องในการแยกแยะประเภทความผิดพลาดในกรณีไม่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

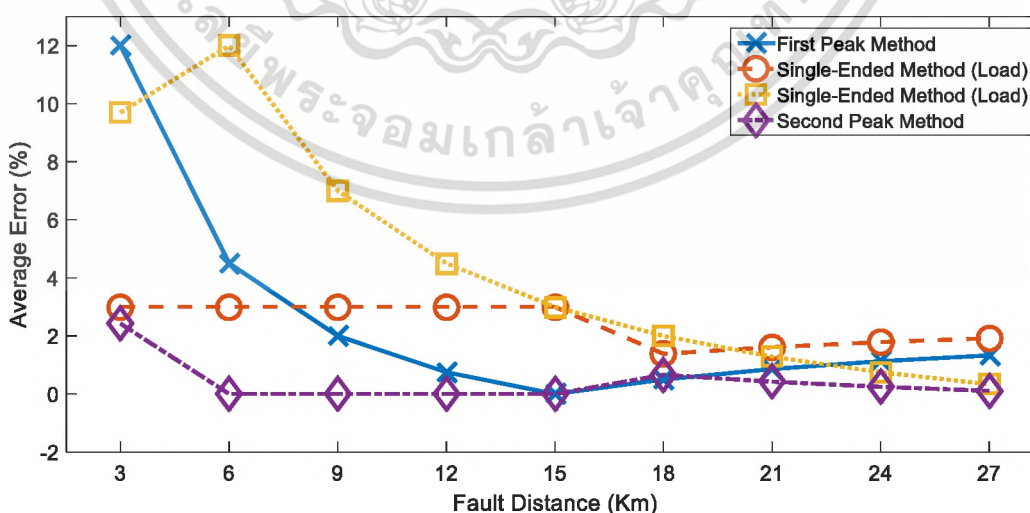
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 กรณีมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายใกล้บัสสถานี่ไฟฟ้าย่อย

ค่าตำแหน่งความผิดพลาดเฉลี่ยที่ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอระบุได้ ในกรณีที่ระบบจำหน่ายมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายใกล้บัสสถานี่ไฟฟ้าย่อยสามารถสรุปดังตารางที่ 5.2 และความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของแต่ละวิธีการนั้นสามารถนำมาเขียนได้ดังแสดงในรูปที่ 5.3

ตารางที่ 5.2 ผลการระบุตำแหน่งความผิดพลาดในกรณีมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายใกล้บัสสถานี่ไฟฟ้าย่อย

ตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาด	วิธีเคลื่อนยอดที่หนึ่ง	วิธีปลายเดี่ยวฝั่งสถานี่ไฟฟ้าย่อย	วิธีปลายเดี่ยวฝั่งภาระไฟฟ้า	วิธีเคลื่อนยอดที่สอง
3	3.36	2.91	3.29	2.73
6	6.27	5.82	6.72	6.00
9	9.18	8.73	9.63	9.00
12	12.09	11.64	12.54	12.00
15	15.00	14.55	15.45	15.00
18	17.91	17.75	18.36	18.12
21	20.82	20.66	21.27	21.09
24	23.73	23.57	24.18	24.06
27	26.64	26.48	27.09	27.03

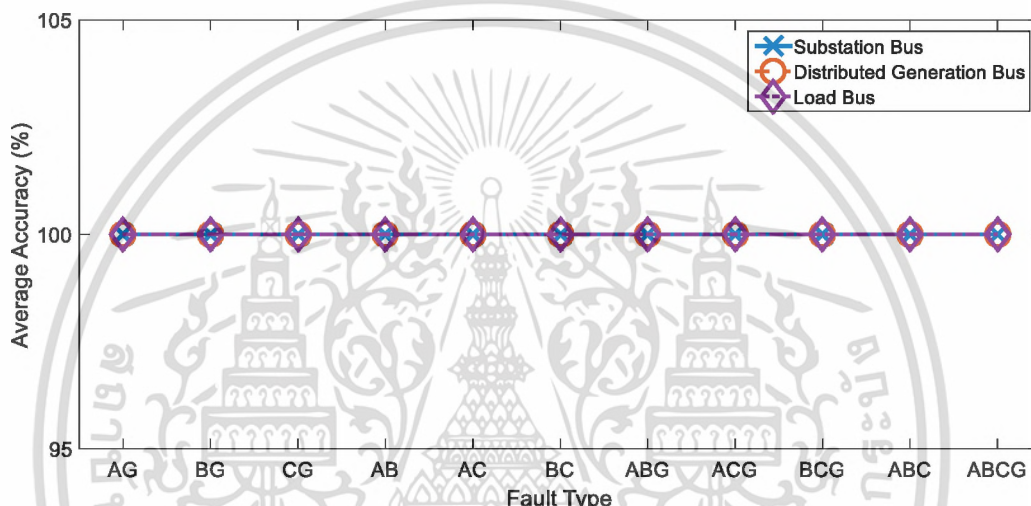


รูปที่ 5.3 ค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งความผิดพลาดในกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนหนึ่งเครื่องติดตั้งใกล้บัสสถานี่ไฟฟ้าย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.3 แสดงให้เห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายมีค่าเปลี่ยนไปเล็กน้อย ยกเว้นในกรณีวิธียอดคลื่นที่หนึ่งซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญ โดยวิธีการยอดคลื่นที่สองนั้นยังคงให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดที่สุด

ค่าความถูกต้องในการแยกแยะประเภทความผิดพลาดจากข้อมูลที่บัสสถานีไฟฟ้าย่อย บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย และบัสภาระไฟฟ้าสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแสดงให้เห็นว่าขั้นตอนวิธีในการแยกแยะประเภทความผิดพลาดนั้นที่นำเสนอแนะสามารถแยกแยะประเภทความผิดพลาดได้ถูกต้องทุกกรณีศึกษา



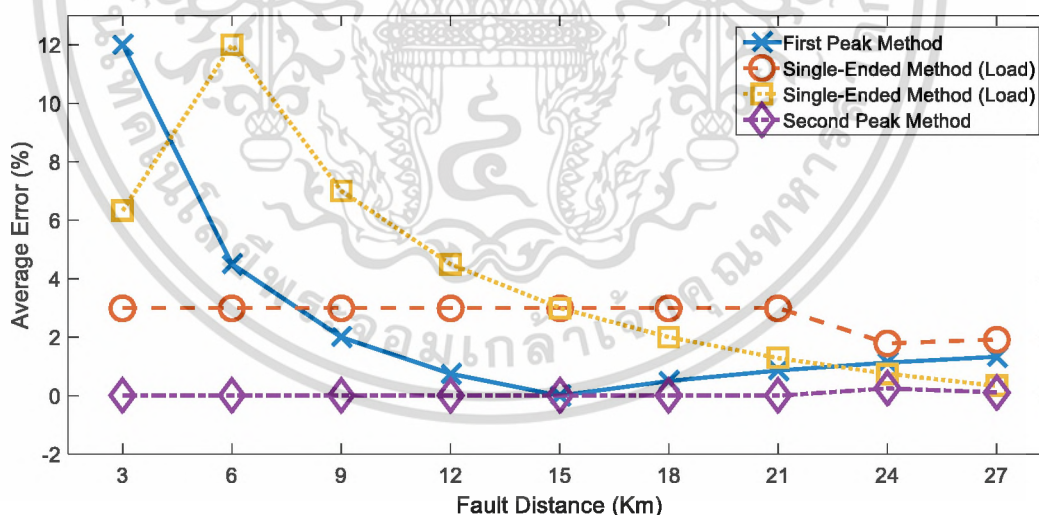
รูปที่ 5.4 ค่าความถูกต้องในการแยกแยะประเภทความผิดพลาดในกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนหนึ่งเครื่องติดตั้งใกล้บัสสถานีไฟฟ้าย่อย

5.3 กรณีมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายกลางสายส่ง

ค่าตำแหน่งความผิดพลาดเฉลี่ยที่ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอแนะระบุได้ ในระบบจำหน่ายที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนหนึ่งเครื่องที่กึ่งกลางสายสามารถสรุปดังตารางที่ 5.3 และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสามารถสรุปได้เป็นความสัมพันธ์ดังรูปที่ 5.5

ตารางที่ 5.3 ผลการระบุตำแหน่งความผิดพลาดในกรณีมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย
กลางสายส่ง

ตำแหน่งที่เกิด ความผิดพลาด	วิธีคลื่นยอดที่หนึ่ง	วิธีปลายเดี่ยวฝั่ง สถานีไฟฟ้าย่อย	วิธีปลายเดี่ยวฝั่ง ภาระไฟฟ้า	วิธีคลื่นยอดที่สอง
3	3.2145	2.91	3.81	3
6	6.1245	5.82	6.72	6
9	9.0345	8.73	9.63	9
12	11.9445	11.64	12.54	12
15	14.8545	14.55	15.45	15
18	17.7645	17.46	18.36	18
21	20.6745	20.37	21.27	21
24	23.5845	23.571	24.18	24.059
27	26.4945	26.481	27.09	27.029

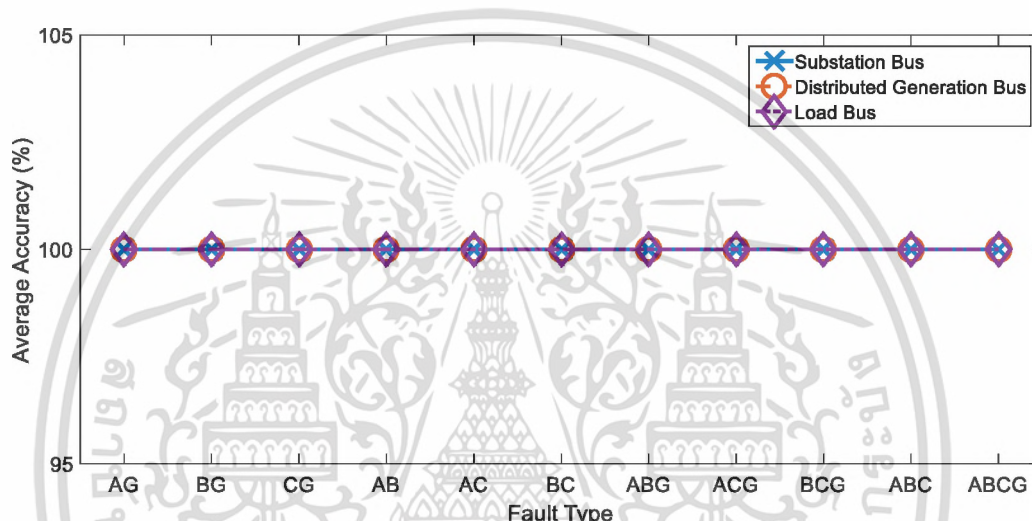


รูปที่ 5.5 ค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งความผิดพลาดในกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ
กระจายจำนวนหนึ่งเครื่องติดตั้งกลางสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.5 แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ โดยค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งวิธีการยอดคลื่นที่สองนั้นยังคงให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยสามารถระบุตำแหน่งได้ใกล้เคียงกับตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดที่สุด

ค่าความถูกต้องในการแยกแยะประเภทความผิดพลาดจากข้อมูลที่บัสสถานีไฟฟ้าย่อย บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย และบัสภาระไฟฟ้าสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายนั้นไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการทำงานของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ โดยสามารถแยกแยะประเภทความผิดพลาดได้ถูกต้องทุกกรณีศึกษา



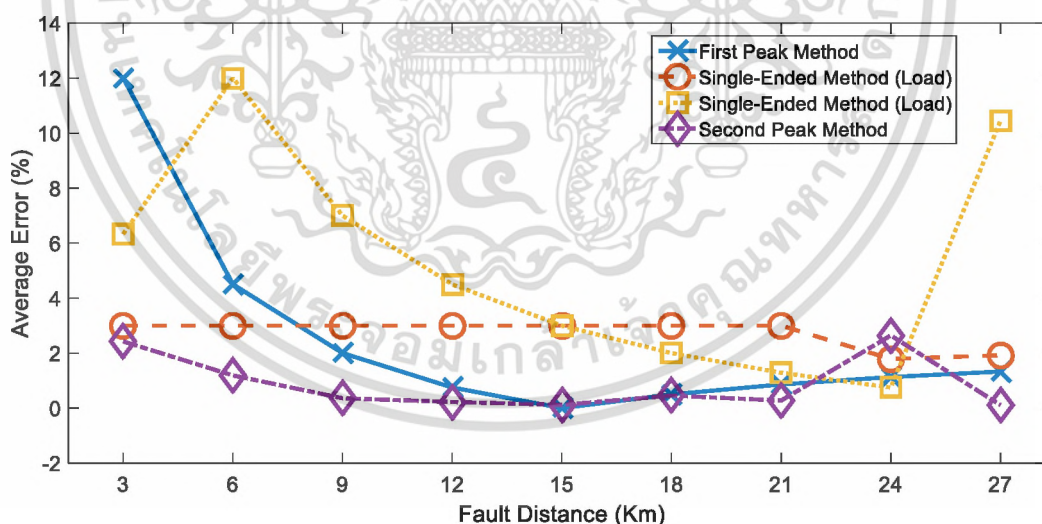
รูปที่ 5.6 ค่าความถูกต้องในการแยกแยะประเภทความผิดพลาดในกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนหนึ่งเครื่องติดตั้งใกล้ติดตั้งกลางสายส่ง

5.4 กรณีมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายใกล้บัสภาระไฟฟ้า

ค่าตำแหน่งความผิดพลาดเฉลี่ยที่ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอระบุได้ ในระบบจำหน่ายที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนหนึ่งเครื่องที่ใกล้บัสภาระไฟฟ้าสามารถสรุปดังตารางที่ 5.4 และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสามารถสรุปได้เป็นความสัมพันธ์ดังรูปที่ 5.7

ตารางที่ 5.4 ผลการระบุตำแหน่งความผิดพลาดในกรณีมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย
ใกล้บัสภาระไฟฟ้า

ตำแหน่งที่เกิด ความผิดพลาด	วิธีคลื่นยอดที่หนึ่ง	วิธีปลายเดี่ยวฝั่ง สถานีไฟฟ้าย่อย	วิธีปลายเดี่ยวฝั่ง ภาระไฟฟ้า	วิธีคลื่นยอดที่สอง
3	3.36	2.91	2.81	2.93
6	6.27	5.82	6.72	6.07
9	9.18	8.73	9.63	9.03
12	12.09	11.64	12.54	12.03
15	15	14.55	15.45	15.02
18	17.91	17.46	18.36	18.08
21	20.82	20.37	21.27	21.06
24	23.73	23.571	24.18	24.63
27	26.64	26.481	24.18	27.03

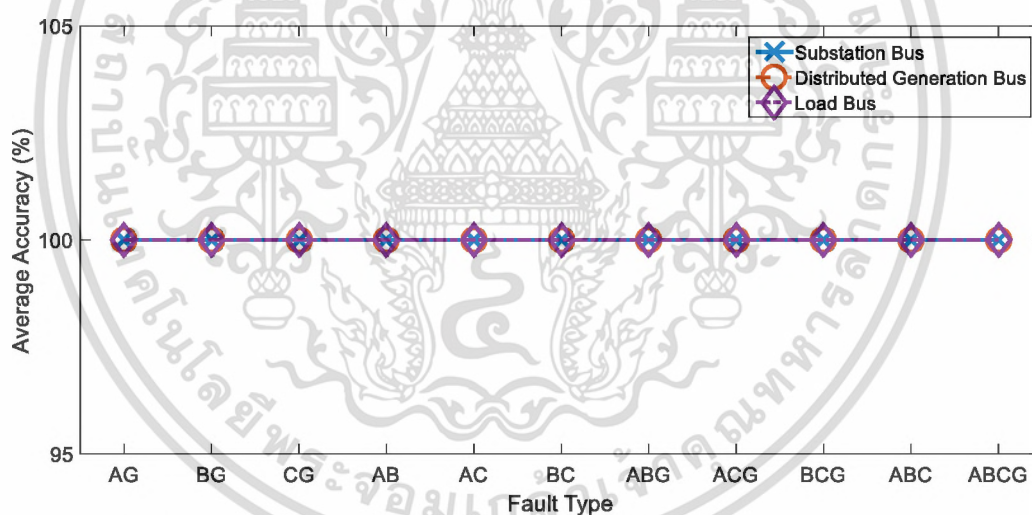


รูปที่ 5.7 ค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งความผิดพลาดในกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ
กระจายจำนวนหนึ่งเครื่องติดตั้งใกล้บัสภาระไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.7 แสดงผลลัพธ์ให้เห็นเหมือนกรณีก่อนหน้านี้ตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ โดยค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ยกเว้นในกรณีความผิดพลาดที่ระยะ 27 กม. เมื่อใช้วิธีปลายเดี่ยวในด้านรับ และกรณีความผิดพลาดที่ระยะ 24 กม. เมื่อใช้วิธียอดคลื่นที่สอง ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายติดตั้งอยู่ใกล้ตำแหน่งความผิดพลาดที่ส่งผลให้การตรวจจับยอดคลื่นสะท้อนนั้นมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น อย่างไรก็ตามโดยเฉลี่ยแล้ววิธีการยอดคลื่นที่สองนั้นยังคงให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยสามารถระบุตำแหน่งได้ใกล้เคียงกับตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดที่สุด

ค่าความถูกต้องในการแยกแยะประเภทความผิดพลาดจากข้อมูลที่บัสสถานีไฟฟ้าย่อย บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย และบัสภาระไฟฟ้าสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.8 ซึ่งแสดงผลลัพธ์เหมือนกรณีก่อนหน้านี้ โดยที่ตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายนั้นไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการทำงานของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ และสามารถแยกแยะประเภทความผิดพลาดได้ถูกต้องทุกกรณีศึกษา



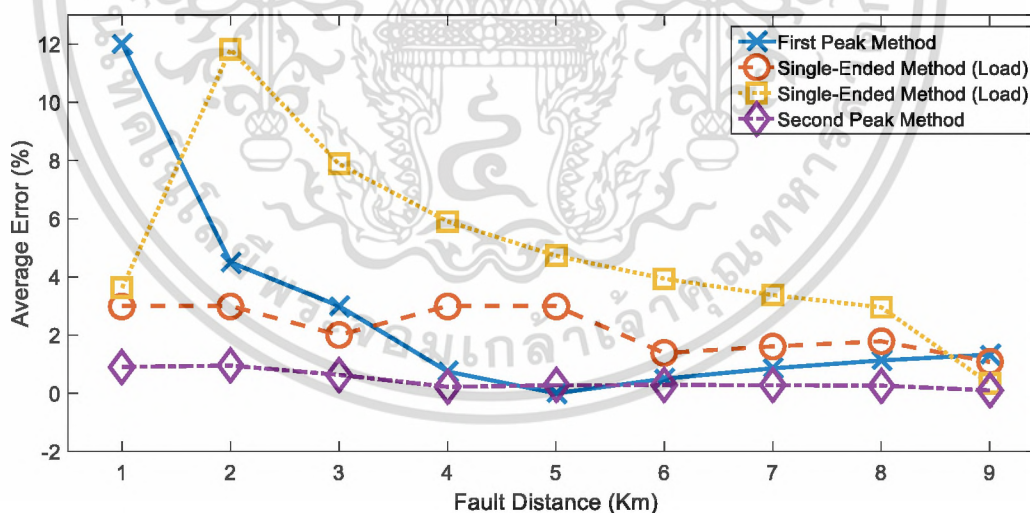
รูปที่ 5.8 ค่าความถูกต้องในการแยกแยะประเภทความผิดพลาดในกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนหนึ่งเครื่องติดตั้งใกล้บัสภาระไฟฟ้า

5.5 กรณีมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนสองเครื่อง

ค่าตำแหน่งความผิดพลาดเฉลี่ยที่ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอระบุได้ ในระบบจำหน่ายที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนสองเครื่องสามารถสรุปดังตารางที่ 5.5 และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสามารถสรุปได้เป็นความสัมพันธ์ดังรูปที่ 5.9

ตารางที่ 5.5 ผลการระบุตำแหน่งความผิดพลาดในกรณีที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย
จำนวนสองเครื่อง

ตำแหน่งที่เกิด ความผิดพลาด	วิธีคลื่นยอดที่หนึ่ง	วิธีปลายเดี่ยวฝั่ง สถานีไฟฟ้าย่อย	วิธีปลายเดี่ยวฝั่ง ภาระไฟฟ้า	วิธีคลื่นยอดที่สอง
3	3.36	2.91	3.11	3.03
6	6.27	5.82	6.71	6.06
9	92.27	8.82	9.71	9.06
12	12.09	11.64	12.71	12.03
15	15.00	14.55	15.71	15.04
18	17.91	17.75	18.71	18.05
21	20.82	20.66	21.71	21.06
24	23.73	23.57	24.71	24.06
27	26.64	27.29	27.09	27.03

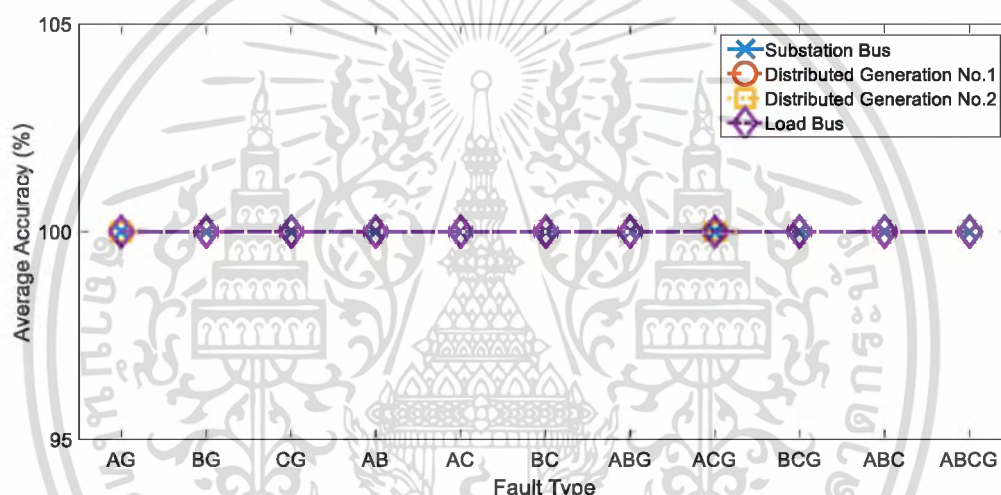


รูปที่ 5.9 ค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งความผิดพลาดในกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ
กระจายจำนวนสองเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.9 แสดงผลลัพธ์ให้เห็นว่าจำนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่เพิ่มขึ้นนั้นไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ โดยค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับกรณีก่อนหน้า วิธีการยอดคลื่นที่สองนั้นยังคงให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยสามารถระบุตำแหน่งได้ใกล้เคียงกับตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดมากที่สุด

ค่าความถูกต้องในการแยกแยะประเภทความผิดพลาดจากข้อมูลที่บัสสถานีไฟฟ้าย่อย บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย และบัสภาระไฟฟ้าสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.10 ซึ่งแสดงผลลัพธ์เหมือนกรณีก่อนหน้านี โดยที่จำนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่เพิ่มขึ้นนั้นไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการทำงานของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ และสามารถแยกแยะประเภทความผิดพลาดได้ถูกต้องทุกกรณีศึกษา



รูปที่ 5.10 ค่าความถูกต้องในการแยกแยะประเภทความผิดพลาดในกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนสองเครื่อง

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการศึกษาคูณลักษณะและพฤติกรรมของระบบจำหน่ายในระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ทั้งในกรณีที่ไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจำนวนหนึ่งเครื่อง และสองเครื่องเชื่อมต่ออยู่ตามลำดับ โดยใช้โปรแกรม PSCAD/EMTP ในการจำลองระบบและสัญญาณความผิดพลาด รวมไปถึงนำเสนอการออกแบบและสร้างขั้นตอนวิธีในการระบุตำแหน่ง และแยกแยะประเภทความผิดพลาด โดยใช้พื้นฐานของทฤษฎีคลื่นเดินทาง และการวิเคราะห์สัญญาณด้วยการแปลงแบบเวฟเล็ต ซึ่งขั้นตอนวิธีที่นำเสนอจะถูกนำมาทดสอบประสิทธิภาพด้วยการปรับเปลี่ยนปัจจัยต่าง ๆ ที่จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการทำงานของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ

6.1 สรุปผลการวิจัย

พฤติกรรมของสัญญาณกระแสไฟฟ้านั้นมีค่าเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยยะสำคัญ เมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้าสู่ระบบ โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายนั้นจะจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาด และภาระไฟฟ้า ซึ่งทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่บัสสถานีไฟฟ้าย่อยมีค่าลดลง ในกรณีที่ความผิดพลาดเกิดขึ้นในตำแหน่งระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายกับบัสภาระไฟฟ้า และค่ากระแสไฟฟ้าที่บัสภาระไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นในกรณีที่ความผิดพลาดเกิดขึ้นในตำแหน่งระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายกับบัสสถานีไฟฟ้าย่อย เนื่องจากกระแสไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจะไหลไปในทิศทางที่มีค่าอิมพีแดนซ์บนสายต่ำที่สุด จากพฤติกรรมดังกล่าวจะส่งผลให้เมื่อนำสัญญาณไปวิเคราะห์ด้วยการแปลงเวฟเล็ต ค่าสัมประสิทธิ์ความถี่สูงจะมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยยะสำคัญ ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบขั้นตอนวิธีในระบบป้องกันใหม่ เพื่อให้มีความเหมาะสมในการใช้งานจริง

ในกรณีของการระบุตำแหน่งความผิดพลาด ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอสามารถระบุตำแหน่งของความผิดพลาดในระบบจำหน่ายทั้งในกรณีที่ไม่มีและมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ได้ โดยมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งปัจจัยในด้านจำนวน และตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายนั้นส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอเพียงเล็กน้อย โดยวิธีการระบุตำแหน่งด้วยคลื่นยอดที่สองนั้นให้ค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งความผิดพลาดต่ำที่สุด

ในกรณีของการแยกแยะประเภทความผิดพลาด ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอสามารถแยกแยะประเภทความผิดพลาดที่จำลองขึ้นในระบบจำหน่ายทั้งในกรณีที่ไม่มี และมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างถูกต้องทุกกรณีศึกษา โดยที่ปัจจัยในด้านตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาด จำนวน และตำแหน่งของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายนั้น ไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการแยกแยะประเภทความ ผิดพร่องในขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ

ซึ่งผลจากการทดสอบขั้นตอนวิธีการระบุตำแหน่ง และแยกแยะความผิดพลาดในระบบ จำหน่ายที่มีการเชื่อมต่อของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่ออยู่ที่ได้นำเสนอไปนั้น แสดงให้ เห็นถึงประสิทธิภาพในการทำงานของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ จึงเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ใน ระบบป้องกันของระบบจำหน่ายต่อไป

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อ

แนวทางการพัฒนาขั้นตอนวิธีในการระบุตำแหน่ง และแยกแยะประเภทความผิดพลาดในลำดับ ต่อไปนั้น ในด้านการจำลองด้วยโปรแกรมสามารถทำได้โดยทำการทดสอบในระบบจำหน่ายที่ระดับ แรงดันอื่น ๆ และสามารถเพิ่มกรณีศึกษาโดยการเปลี่ยนประเภทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย รวมไปถึงการทดสอบในระบบที่ภาระไฟฟ้านั้นมีค่าไม่คงที่ เพื่อให้ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอสามารถทำงาน ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

ในด้านการทดสอบการใช้งานจริง สามารถทำได้โดยนำขั้นตอนวิธีในการระบุตำแหน่ง และ แยกแยะประเภทความผิดพลาดที่นำเสนอไปประยุกต์ใช้ในระบบป้องกันในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อ ทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอเมื่อมีการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบจริงที่อาจมีปัจจัยที่ ไม่สามารถคำนวณได้ในโปรแกรม

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์พยากรณ์และสารสนเทศพลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน “สถานการณ์พลังงานไทย ปี 2559”
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน “แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579”
- [3] T. Ackermann, G. Andersson, and L. Soder, “Distributed generation: A definition,” **Electric Power Systems Research**, vol. 57, pp. 195-204, 2001.
- [4] E.J. Coster, J.M.A. Myrzik, B. Kruimer, and W.L. Kling, “Integration Issues of Distributed Generation in Distribution Grids,” **Proceedings of the IEEE**, vol. 99 no. 1, pp. 28-39, Jan 2011.
- [5] Angel Fernandez Sarabia, Impact of distributed generation on distribution system, Diss. Aalborg University, 2011.
- [6] U. Supatti and S. Wetchakama, “Distributed generation system's impact on power quality,” **2015 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Addison, TX**, pp. 1-9, 2015.
- [7] Edward Coster, Johanna Myrzik and Wil Kling. “Effect of DG on Distribution Grid Protection,” **Distributed Generation**, D N Gaonkar (Ed.), 2010.
- [8] S. B. Walke and N. N. Jangle, "Impact of distributed generation on relay coordination," **2017 International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)**, Erode, pp. 882-887, 2017.
- [9] P. Fuangfoo, T. Meenual, W. J. Lee and C. Chompoo-inwai, “PEA Guidelines for Impact Study and Operation of DG for Islanding Operation,” **IEEE Transactions on Industry Applications**, vol. 44, no. 5, pp. 1348-1353, Sept.-Oct. 2008.
- [10] S.A.M. Javadian, M.R. Haghifam, M. Fotuhi Firoozabad, and S.M.T. Bathae “Analysis of protection system’s risk in distribution networks with DG,” **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, vol. 44, no. 1, pp. 688-695, 2013.
- [11] B. Tamimi, C. Cañizares and K. Bhattacharya, “System Stability Impact of Large-Scale and Distributed Solar Photovoltaic Generation: The Case of Ontario,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Canada,” **IEEE Transactions on Sustainable Energy**, vol. 4, no. 3, pp. 680-688, July 2013.
- [12] R. Maciel et al., “DG impact evaluation on LV distribution grids using AMI data: a Brazilian case study,” **CIREN - Open Access Proceedings Journal**, vol. 2017, no. 1, pp. 1699-1702, 2017.
- [13] Chul Hwan Kim and R. Aggarwal, “Wavelet transforms in power systems. I. General introduction to the wavelet transforms,” **Power Engineering Journal**, vol. 14, no. 2, pp. 81-87, April 2000.
- [14] Chul Hwan Kim and R. Aggarwal, “Wavelet transforms in power systems. II. Examples of application to actual power system transients,” **Power Engineering Journal**, vol. 15, no. 4, pp. 193-202, Aug. 2001.
- [15] W. A. Wilkinson and M. D. Cox, “Discrete wavelet analysis of power system transients,” **IEEE Transactions on Power Systems**, vol. 11, no. 4, pp. 2038-2044, Nov. 1996.
- [16] R. Dashti, M. Daisy, H. R. Shaker and M. Tahavori, “Impedance-Based Fault Location Method for Four-Wire Power Distribution Networks,” **IEEE Access**, vol. 6, pp. 1342-1349, 2018.
- [17] K. Jia, Z. Ren, L. Li, Z. Xuan and D. Thomas, “High-frequency transient comparison based fault location in distribution systems with DGs,” **IET Generation, Transmission & Distribution**, vol. 11, no. 16, pp. 4068-4077, 2017.
- [18] Q. Lin, G. Luo and J. He, “Travelling-wave-based method for fault location in multi-terminal DC networks,” **The Journal of Engineering**, vol. 2017, no. 13, pp. 2314-2318, 2017.
- [19] P. Moore, P. Walker, N. Gray and A. Park, “Location of arc faults on 11 kV overhead lines using radiometry,” **CIREN - Open Access Proceedings Journal**, vol. 2017, no. 1, pp. 1283-1286, 10 2017.
- [20] Y. Xi, Z. Li, X. Zeng, X. Tang, X. Zhang and H. Xiao, “Fault location based on travelling wave identification using an adaptive extended Kalman filter,” **IET Generation, Transmission & Distribution**, vol. 12, no. 6, pp. 1314-1322, 2018.

- [21] T. Hinge and S. Dambhare, "Synchronised/unsynchronised measurements based novel fault location algorithm for transmission line," **IET Generation, Transmission & Distribution**, vol. 12, no. 7, pp. 1493-1500, 2018.
- [22] S. Barman and B. K. S. Roy, "Detection and location of faults in large transmission networks using minimum number of phasor measurement units," **IET Generation, Transmission & Distribution**, vol. 12, no. 8, pp. 1941-1950, 2018.
- [23] F. H. Magnago and A. Abur, "Fault location using wavelets," **IEEE Transactions on Power Delivery**, vol. 13, no. 4, pp. 1475-1480, Oct 1998.
- [24] Huibin Jia, "An Improved Traveling-Wave-Based Fault Location Method with Compensating the Dispersion Effect of Traveling Wave in Wavelet Domain," **Mathematical Problems in Engineering**, vol. 2017, 11 pages, 2017.
- [25] H. Livani and C. Y. Evrenosoglu, "A traveling wave based single-ended fault location algorithm using DWT for overhead lines combined with underground cables," **IEEE PES General Meeting**, Providence, RI, pp. 1-6, 2010.
- [26] M. Shafiullah, M. A. Abido and Z. Al-Hamouz, "Wavelet-based extreme learning machine for distribution grid fault location," **IET Generation, Transmission & Distribution**, vol. 11, no. 17, pp. 4256-4263, 2017.
- [27] H. Livani and C. Y. Evrenosoglu, "A Machine Learning and Wavelet-Based Fault Location Method for Hybrid Transmission Lines," **IEEE Transactions on Smart Grid**, vol. 5, no. 1, pp. 51-59, Jan. 2014.
- [28] S. Singh and D. N. Vishwakarma, "Application of DWT and ANN for fault classification and location in a series compensated transmission line," **2016 IEEE 6th International Conference on Power Systems (ICPS)**, New Delhi, pp. 1-6, 2016.
- [29] I. M. Karmacharya and R. Gokaraju, "Fault Location in Ungrounded Photovoltaic System Using Wavelets and ANN," **IEEE Transactions on Power Delivery**, vol. 33, no. 2, pp. 549-559, April 2018.
- [30] M. Choudhury and A. Ganguly, "Transmission line fault classification using discrete wavelet transform," **2015 International Conference on Energy**,

Power and Environment: Towards Sustainable Growth (ICEPE), Shillong, pp. 1-5, 2015.

- [31] P. Rajaraman, N. A. Sundaravaradan, R. Meyur, M. J. B. Reddy and D. K. Mohanta, "Fault Classification in Transmission Lines Using Wavelet Multiresolution Analysis," **IEEE Potentials**, vol. 35, no. 1, pp. 38-44, Jan.-Feb. 2016.
- [32] M. M. A. Mahfouz and M. A. H. El-Sayed, "Smart grid fault detection and classification with multi-distributed generation based on current signals approach," **IET Generation, Transmission & Distribution**, vol. 10, no. 16, pp. 4040-4047, 2016.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study of multi-distributed generation behavior when fault occurrence in distribution system using wavelet transform

Santipont Ananwattanaporn, and Atthapol Ngaopitakkul

Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Chalongkrung Road, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
e-mail: san_ti_ton@hotmail.com, atthapol.ng@kmitl.ac.th

Abstract— In the last decade the number of power generation using renewable energy has been rapidly increased due to the energy and environmental issue. This trend in renewable energy has shifting power generation system from Centralized Generation (CG) to Distributed Generation (DG). With the new power generation on conventional distribution system, Analysis on disturbance must be done to ensure safety and reliability of the system. This paper aim to analyze behavior of transient signal when disturbance occur in distribution system with distributed generation. System under study is 22kV distribution system consist of wind power generation unit. Simulation was done by using PSCAD/EMTP program. The Discrete Wavelet Transform (DWT) is applied for decomposition of fault signal. To evaluate wavelet characteristic when fault occur in the system, Comparison in case of distribution system with and without wind power generation were done. Result indicated that with distributed generation, fault level is increasing and cause a changing in wavelet signal characteristic.

Keywords- Distribution System; Distributed Generation; Wind Power; Fault; Wavelet Transform.

I. INTRODUCTION

In present, energy consumption rate has been rapidly increase due to population and economic growth. Energy has become a challenge issue for government with large centralize plant has been halt by environment concern for people in construction area. So in recent year, government has set policy to support renewable energy. This cause a shift in power system structure from centralize generation to distributed generation using renewable energy source such as solar, wind, biomass, and biogas etc. Distributed generation (DG) definition is power generation range from kW to MW connected to substation, distribution feeder or customer load [1]. Benefit from DG installation on distribution system such as improve reliability reduce power loss in transmission and distribution improve system efficiency. On the other hand, DG can cause many technical issue that need consideration such as Power flow, Grid losses, Voltage control, protective coordination and fault current [2]-[3]

Literature review in various field has been done in this paper. In term of distributed generation effect on distribution system, Research by Coster and et al. [4] has presented effect of DG on distribution system protection. The resulted

indicated that fault current depend on size, location of DGs and fault location. In [5], the paper has proposed solution to protective device coordination. In [6], the protective device risk analysis has been presented. The novel has been test on distribution system with coordination issue. Research in field of fault analysis also has been reviewed. The application of travelling wave technique in fault detection has been first proposed in Dommel and Michels works [7]. After that application of wavelet transform has been constantly improve. In [8], Magnago and et al. work has presented fault locating using wavelet transform with the accuracy that depend on resolution of data. Application of wavelet transform for fault location and classification in transmission line has been presented in [9]-[10]. The accuracy and speed of detection has been improving by applied artificial intelligent.

As discussed above, it can be seen that many research focus on fault analysis in conventional system but not many research has applied wavelet transform in distribution system with DG. In paper aim to present fault signal analysis in distribution system with distribution system using wavelet transform. The simulation is done by using PSCAD/EMTP program. Result from simulation has indicated the change in behavior and characteristic of fault signal when installed DG into distribution system. This characteristic must be taken into consideration when applied wavelet based analysis on distribution system consist of DG. Methodology and result from research can be applied to improve protection device and scheme to ensure safety and reliability of distribution system with increasing penetration level of DG.

II. SIMULATION

Distribution system using in simulation is modelled after 22kV system in northern part of Thailand. The system consists of substation connected to 5.2MW load with 30km transmission line. Distributed generation using in simulation is 2MW wind power generation connected into system at 10km and 20km away from substation as shown in Fig.1.

The simulation is done in three case study in case of without DG, with single DG and with two DGs connected into distribution system. Types of faults using in simulation is single phase to ground fault and three phase fault.

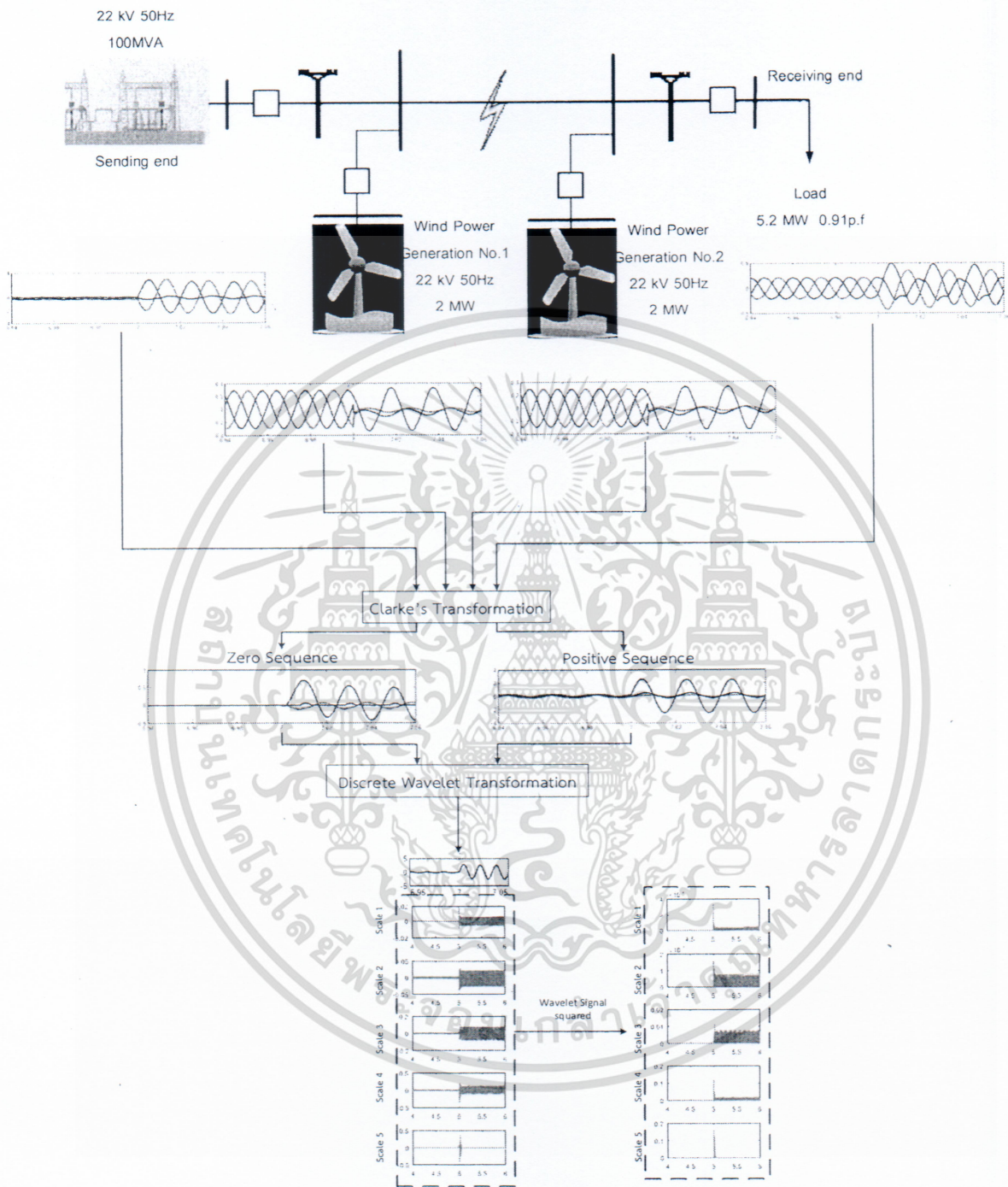


Figure 1. Single line diagram of distribution system and wavelet transformation sequence

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

In Fig. 1 also shown wavelet transformation methodology, when fault occur in system signal will content high frequency component. This research used mother wavelet daubechies4 (db4) to extract high frequency component. Mother wavelet “daubechies” has properties of high accuracy in transient state. High frequency extract from wavelet transform will be divided into 5 scale. Result from wavelet transform is coefficient value that came from ¼ cycle after fault occur. This wavelet coefficient then used for fault analysis.

III. RESULT

The simulation has been done in three case study; in case of without DG, one DG and two DGs installation using single phase to ground and three phase fault. Result from simulation in case of without DG is shown in Fig. 2. The resulted indicated the changing in signal characteristic as three phase fault has higher wavelet coefficient than single phase to ground fault in all three phase and both substation bus and load bus. The wavelet coefficient in each scale has been shown in Table 1. In Fig. 3. Shown distribution system with one DG installation and wavelet coefficient is shown in Table 2. It can be seen that with DG installation wavelet coefficient in both substation and load does not change significantly. While coefficient in distributed generation bus also has similar trend. While three phase fault has higher coefficient than single phase to line fault. In Fig. 4 shown distribution system with two DG installation and wavelet coefficient is shown in Table 3. The resulted shown that characteristic of wavelet signal also does not change significantly while wavelet signal in distributed generation bus in some phase has change compare to in case of one DG with higher coefficient value.

TABLE I. WAVELET COEFFICIENT IN CASE OF WITHOUT DG

		Single Phase Fault		Three Phase Fault	
		Source	Load	Source	Load
Positive Sequence	Scale 1	1.51E-04	0.070525	1.88E-04	0.221137
	Scale 2	7.04E-04	0.232227	0.00589	1.711697
	Scale 3	0.004931	1.178099	0.029002	1.373748
	Scale 4	0.052173	4.225511	0.225419	8.61027
	Scale 5	0.066136	3.186274	0.048111	4.655448
Zero Sequence	Scale 1	4.23E-05	0.017601	4.24E-04	0.056025
	Scale 2	4.23E-05	0.017601	4.24E-04	0.056025
	Scale 3	4.23E-05	0.017601	4.24E-04	0.056025
	Scale 4	4.23E-05	0.017601	4.24E-04	0.056025
	Scale 5	4.23E-05	0.017601	4.24E-04	0.056025
Phase A	Scale 1	3.54E-04	0.158589	0.001173	0.499774
	Scale 2	0.001612	0.522675	0.00507	3.890576
	Scale 3	0.011191	2.639892	0.044201	3.122196
	Scale 4	0.119488	9.464053	0.366727	19.61717
	Scale 5	0.158423	7.241742	0.553351	10.37851
Phase B	Scale 1	2.94E-05	3.24E-05	7.03E-04	3.24E-05
	Scale 2	2.65E-05	2.68E-05	0.007961	1.00E-04
	Scale 3	3.50E-04	3.51E-04	0.063086	3.03E-04
	Scale 4	7.34E-04	7.40E-04	0.163737	6.67E-04
	Scale 5	9.59E-04	0.001065	0.714604	0.002255
Phase C	Scale 1	2.78E-05	3.14E-05	7.93E-04	3.14E-05
	Scale 2	2.58E-05	2.60E-05	0.003806	9.91E-05
	Scale 3	3.49E-04	3.49E-04	0.037897	3.76E-04
	Scale 4	8.57E-04	8.60E-04	0.078525	9.12E-04
	Scale 5	0.001073	9.74E-04	0.133308	0.003305

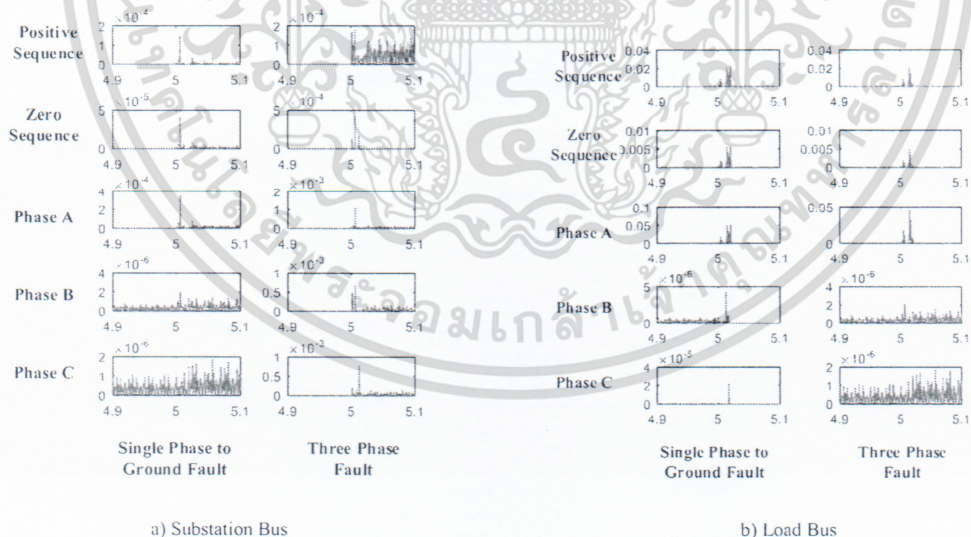


Figure 2. Wavelet transform of fault signal in case of distribution system without DGs installation

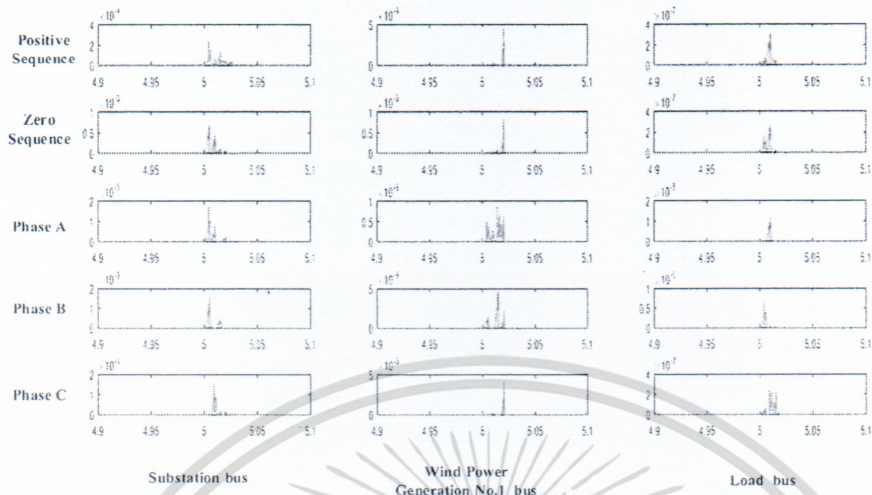


Figure 3. wavelet transform of fault signal in case of distribution system with one DG installation when three phase fault occur

TABLE II. WAVELET COEFFICIENT IN CASE OF WITH SINGLE DG

		Single Phase Fault			Three Phase Fault		
		Source	Wind 1	Load	Source	Wind 1	Load
Positive Sequence	Scale 1	2.078E-04	9.628E-06	3.384E-05	9.122E-04	9.628E-06	3.384E-05
	Scale 2	6.915E-04	5.788E-05	1.898E-05	5.549E-03	5.788E-05	3.846E-05
	Scale 3	5.137E-03	9.364E-04	2.179E-04	5.918E-02	9.364E-04	2.179E-04
	Scale 4	5.918E-02	5.033E-03	1.028E-03	1.571E-01	5.033E-03	7.774E-04
	Scale 5	9.246E-02	6.488E-03	3.429E-04	2.990E-01	6.488E-03	5.906E-04
Zero Sequence	Scale 1	6.075E-05	3.700E-05	1.121E-05	7.036E-04	3.700E-05	4.981E-05
	Scale 2	6.075E-05	1.532E-04	5.002E-05	7.036E-04	1.532E-04	3.432E-04
	Scale 3	6.075E-05	8.865E-04	3.130E-04	7.036E-04	8.865E-04	3.130E-04
	Scale 4	6.075E-05	5.050E-03	1.799E-03	7.036E-04	5.050E-03	3.441E-03
	Scale 5	6.075E-05	1.472E-02	6.650E-04	7.036E-04	1.472E-02	6.650E-04
Phase A	Scale 1	4.932E-04	7.285E-05	1.121E-05	1.751E-03	7.285E-05	4.981E-05
	Scale 2	1.493E-03	1.324E-04	5.002E-05	5.500E-03	1.324E-04	3.432E-04
	Scale 3	1.109E-02	1.160E-03	3.130E-04	5.042E-02	1.160E-03	3.130E-04
	Scale 4	1.402E-01	2.017E-02	1.799E-03	4.482E-01	2.017E-02	3.441E-03
	Scale 5	2.176E-01	3.500E-02	6.650E-04	7.495E-01	3.500E-02	6.650E-04
Phase B	Scale 1	1.099E-04	7.703E-05	8.920E-05	1.510E-03	7.703E-05	8.920E-05
	Scale 2	5.009E-04	3.406E-04	1.658E-05	1.200E-02	3.406E-04	8.557E-05
	Scale 3	2.419E-03	2.076E-03	1.970E-04	5.250E-02	2.076E-03	1.970E-04
	Scale 4	5.986E-03	9.347E-03	1.983E-04	1.428E-01	9.347E-03	7.041E-04
	Scale 5	1.131E-02	1.004E-02	5.710E-04	8.936E-01	1.004E-02	1.789E-03
Phase C	Scale 1	8.576E-05	5.391E-05	8.036E-05	1.550E-03	5.391E-05	8.036E-05
	Scale 2	1.812E-04	1.459E-04	2.994E-05	9.590E-03	1.459E-04	8.458E-05
	Scale 3	1.514E-03	1.498E-03	1.589E-04	2.789E-02	1.498E-03	2.892E-04
	Scale 4	2.035E-03	3.783E-03	4.248E-04	1.961E-01	3.783E-03	8.298E-04
	Scale 5	3.042E-02	2.121E-02	7.483E-04	1.447E-01	2.121E-02	2.620E-03

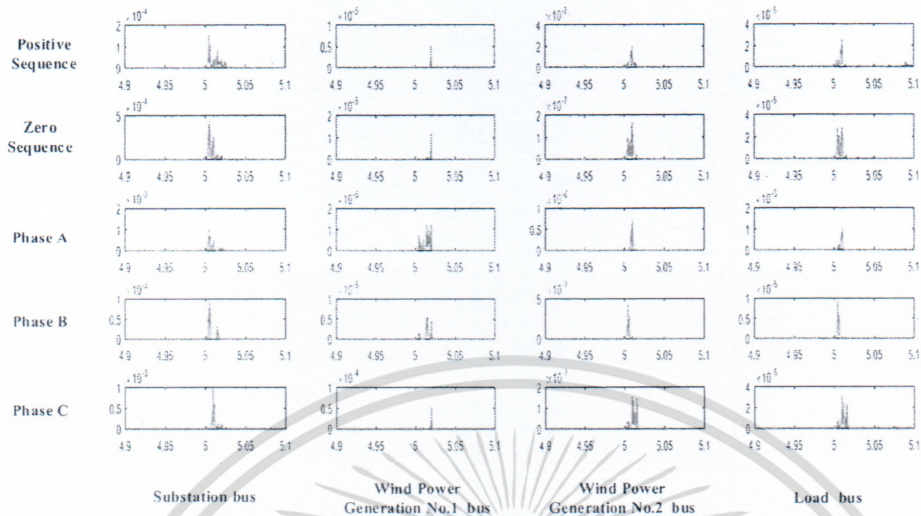


Figure 4. Wavelet transform of fault signal in case of distribution system with two DGs installation when three phase fault occur

TABLE III. WAVELET COEFFICIENT IN CASE OF WITH MULTI-DG

		Single Phase Fault				Three Phase Fault			
		Source	Wind 1	Wind 2	Load	Source	Wind 1	Wind 2	Load
Positive Sequence	Scale 1	3.435E-04	8.840E-06	9.757E-06	2.704E-05	3.435E-04	8.840E-06	9.757E-06	2.704E-05
	Scale 2	2.066E-03	5.299E-05	2.415E-04	2.159E-05	2.066E-03	5.299E-05	2.415E-04	2.159E-05
	Scale 3	3.833E-02	8.799E-04	8.988E-04	1.375E-04	3.833E-02	8.799E-04	8.988E-04	1.375E-04
	Scale 4	3.535E-02	4.848E-03	1.899E-03	1.019E-03	9.559E-02	4.848E-03	1.899E-03	3.066E-04
	Scale 5	5.863E-02	5.905E-03	1.389E-03	3.595E-04	1.351E-01	5.905E-03	1.389E-03	3.215E-04
Zero Sequence	Scale 1	4.406E-04	3.494E-05	1.354E-05	3.133E-05	4.406E-04	3.494E-05	1.354E-05	3.133E-05
	Scale 2	4.406E-04	1.460E-04	6.665E-05	3.133E-05	4.406E-04	1.460E-04	6.665E-05	3.133E-05
	Scale 3	1.018E-04	8.376E-04	3.745E-04	3.133E-05	4.406E-04	8.376E-04	3.745E-04	3.133E-05
	Scale 4	1.018E-04	4.729E-03	1.813E-03	3.133E-05	4.406E-04	4.729E-03	1.813E-03	3.133E-05
	Scale 5	1.018E-04	1.387E-02	8.005E-03	3.133E-05	4.406E-04	1.387E-02	8.005E-03	3.133E-05
Phase A	Scale 1	1.058E-03	6.777E-05	2.405E-05	2.867E-05	1.058E-03	6.777E-05	2.405E-05	2.867E-05
	Scale 2	2.233E-03	1.225E-04	3.309E-04	1.101E-04	2.233E-03	1.225E-04	3.309E-04	1.101E-04
	Scale 3	3.287E-02	1.093E-03	1.225E-03	1.630E-04	3.287E-02	1.093E-03	1.225E-03	1.630E-04
	Scale 4	8.196E-02	1.915E-02	7.423E-03	1.742E-03	2.750E-01	1.915E-02	7.423E-03	1.375E-03
	Scale 5	1.368E-01	3.200E-02	1.563E-02	4.610E-04	4.841E-01	3.200E-02	1.563E-02	5.588E-04
Phase B	Scale 1	9.475E-04	7.261E-05	2.816E-05	7.052E-05	9.475E-04	7.261E-05	2.816E-05	7.052E-05
	Scale 2	7.934E-03	3.246E-04	1.624E-04	2.388E-05	7.934E-03	3.246E-04	1.624E-04	2.388E-05
	Scale 3	3.256E-02	1.964E-03	1.145E-03	1.063E-04	3.256E-02	1.964E-03	1.145E-03	1.063E-04
	Scale 4	1.636E-02	8.627E-03	3.075E-03	2.098E-04	6.779E-02	8.627E-03	3.075E-03	8.606E-04
	Scale 5	3.276E-02	9.427E-03	6.637E-03	1.974E-04	5.644E-01	9.427E-03	6.637E-03	1.349E-03
Phase C	Scale 1	9.946E-04	5.161E-05	3.049E-05	6.396E-05	9.946E-04	5.161E-05	3.049E-05	6.396E-05
	Scale 2	3.588E-03	1.393E-04	2.768E-04	2.322E-05	3.588E-03	1.393E-04	2.768E-04	2.322E-05
	Scale 3	1.795E-02	1.413E-03	1.637E-03	3.632E-04	1.795E-02	1.413E-03	1.637E-03	3.632E-04
	Scale 4	4.551E-03	3.405E-03	9.657E-04	2.954E-04	1.191E-01	3.405E-03	2.413E-03	2.954E-04
	Scale 5	6.293E-02	2.013E-02	7.783E-03	3.455E-04	8.836E-02	2.013E-02	7.783E-03	1.287E-03

IV. CONCLUSION

This Paper aim to present fault analysis in distribution system with distributed generation connected into system using wavelet transform. The result simulate from PSCAD/EMTP program has shown that in case of system with distributed generation fault current is higher compare to system without distributed generation due to distributed generation still generated power into system. With the current inject to fault location, current in each bus rising significantly. When analysis fault signal using wavelet transform, it can be seen that distributed generation change characteristic and coefficient value of wavelet signal depend on location and number of distributed generation. This change in characteristic and behavior has a significant effect on distribution system especially protective system, thus a design to improve protection scheme must be done to ensure safety and reliability of system.

ACKNOWLEDGMENT

The authors wish to gratefully acknowledge financial support for this research from King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang research fund, Thailand.

REFERENCES

- [1] T. Ackermann, G. Andersson, and L. Söder, "Distributed generation: A definition," *Electric Power Systems Research*, vol. 57, 2001, pp. 195-204.
- [2] E.J. Coster, J.M.A. Myrzik, B. Kruimer, and W.L. Kling, "Integration Issues of Distributed Generation in Distribution Grids," *Proceedings of the IEEE*, vol. 99 no. 1, pp. 28-39, Jan 2011
- [3] Sarabia, Angel Fernández., "Impact of distributed generation on distribution system", Diss. Aalborg University (2011).
- [4] Edward Coster, Johanna Myrzik and Wil Kling. "Effect of DG on Distribution Grid Protection," *Distributed Generation*, D N Gaonkar (Ed.), 2010.
- [5] G.T. Heyd, N. Nimpitiwan, and A.P. Sakis Meliopoulos. "Consequences of fault currents contributed by distributed generation," 2006
- [6] S.A.M. Javadian, M.R. Haghifam, M. Fotuhi Firoozabad, and S.M.T. Bathaee "Analysis of protection system's risk in distribution networks with DG," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 44, no. 1, pp. 688-695, 2013.
- [7] H.W. Dommel, and J.M. Michels, "High Speed Relaying using Traveling Wave Transient Analysis," *IEEE Publications NO. 78CH1295-5 PWR*, paper no. A78 214-9, IEEE PES Winter Power Meeting, New York, pp. 1-7, January 1978.
- [8] F.H. Magnago, and A. Abur, "Fault location using wavelets," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 13, no. 4, pp. 1475-1480, Oct 1998.
- [9] S.A. Gafoor, and P.V.R Rao, "Wavelet Based Fault Detection, Classification and Location in Transmission Lines," *IEEE International Power and Energy Conference*, pp. 114-118, 28-29 Nov. 2006.
- [10] M. Singh, K.B. Panigrahi, and R.P. Maheshwari, "Transmission line fault detection and classification," *2011 International Conference on Emerging Trends in Electrical and Computer Technology (ICETECT)*, pp. 15-22, 23-24 March 2011.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายสันติพนธ์ อนันต์วัฒนาวร
วัน เดือน ปีเกิด	5 มิถุนายน 2535 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	99/93 หมู่บ้านเศรษฐสิริวงแหวนสุขาภิบาล 2 ถ.เสรีไทย แขวงคันนายาว เขตคันนายาว กรุงเทพฯ 10230 โทร.0-86900-6706
ประวัติการศึกษา	2556 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) ระบบไฟฟ้ากำลัง 2.) พลังงานทดแทน
ผลงานวิจัย	ผลงานวิชาการได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการและวารสารวิชาการ ระดับนานาชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้