

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 การพัฒนาเทคโนโลยีของการวิเคราะห์สัญญาณในระบบป้องกันสายส่ง.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	5
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	5
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	6
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	6
1.6 ข้อตกลงเบื้องต้นของการศึกษา.....	7
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
บทที่ 2 การวิเคราะห์ฟอลต์บนสายส่ง.....	9
2.1 ทฤษฎีคลื่นเดินทาง (Traveling wave theory).....	9
บทที่ 3 การแปลงเวฟเลต.....	16
3.1 ทฤษฎีพื้นฐานของการแปลงเวฟเลต.....	16
3.1.1 การแปลงฟูเรียร์ (Fourier transform : FT).....	16
3.1.2 การแปลงกาบอร์ (Gabor Transform :GT).....	18
3.1.3 การแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาสั้น (Short-Time Fourier Transform :STFT).....	18
3.2 การแปลงเวฟเลต (Wavelet Transform : WT).....	20
3.3 การแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่อง (Continuous Wavelet Transform : CWT).....	22
3.4 การแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform : DWT).....	24

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.1 การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด (Multi-Resolution Analysis : MRA).....	25
3.4.2 การวิเคราะห์ด้วยตัวกรองสัญญาณ (Filter Bank Analysis).....	29
3.5 เวฟเล็ตแม่ (Mother wavelet).....	32
3.5.1 Haar Wavelet.....	32
3.5.2 Daubechies Wavelet.....	33
3.5.3 Biorthogonal Wavelet.....	33
3.5.4 Coiflets Wavelet.....	34
3.5.5 Symlets Wavelet.....	35
3.5.6 Morlet Wavelet.....	35
3.5.7 Mexican Hat Wavelet.....	35
3.5.8 Meyer Wavelet.....	36
บทที่ 4 โครงข่ายประสาทเทียม.....	40
4.1 ความเป็นมาของโครงข่ายประสาทเทียม.....	40
4.2 โครงข่ายประสาทตามทศนคติชีววิทยา.....	41
4.3 โครงข่ายประสาทเทียมตามทศนคติของคอมพิวเตอร์.....	42
4.4 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks).....	42
4.4.1 คุณลักษณะสมบัติของโครงข่ายประสาทเทียม.....	43
4.4.2 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม.....	43
4.4.2.1 โครงข่ายประสาทเทียมชั้นเดียว (Single Layer).....	44
4.4.2.2 โครงข่ายประสาทเทียมชนิดหลายชั้น (Multi Layer).....	44
4.4.2.3 โครงข่ายประสาทเทียมชนิดคอมเพทิทีฟ (Competitive Layer).....	45
4.4.3 การเรียนรู้ของโครงข่าย.....	46
4.4.3.1 การเรียนรู้แบบควบคุม (Supervised Learning).....	46
4.4.3.2 การเรียนรู้แบบอิสระ (Unsupervised Learning).....	46
4.4.4 ชนิดของโครงข่ายประสาทเทียม.....	46
4.5 ฟังก์ชันกระตุ้น(Activation function).....	47

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6 โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่ค่าย้อนกลับ (Back-propagation NN).....	49
4.6.1 โครงสร้าง.....	49
4.6.2 แนวคิด.....	50
4.7 โครงข่ายประสาทเทียมชนิดฟังก์ชันฐานรัศมี (Radial Basis Function NN).....	56
4.7.1 โครงสร้าง.....	56
4.7.2 แนวคิด.....	57
บทที่ 5 การจำลองและวิเคราะห์ฟอลต์.....	60
5.1 การจำลองฟอลต์.....	60
5.1.1 แบบจำลองในการสัญญาณฟอลต์.....	60
5.1.2 แบบจำลองสายส่ง.....	61
5.1.2.1 โครงสร้างของสายส่ง 230 kV.....	61
5.1.3 การปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์.....	63
5.2 การวิเคราะห์ด้วยการแปลงเวฟเล็ต.....	66
5.2.1 การตรวจจับและระบุวงจรที่เกิดฟอลต์ (Detection and specify fault circuit).....	68
5.2.2 การหาตำแหน่งฟอลต์ (Fault location).....	71
5.2.3 การระบุประเภทฟอลต์ (Fault classification).....	73
5.2.3.1 การวิเคราะห์เพื่อระบุเฟสที่เกิดฟอลต์.....	73
5.2.3.2 การวิเคราะห์เพื่อระบุฟอลต์ลงดิน.....	74
5.3 การวิเคราะห์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม.....	76
5.3.1 การวิเคราะห์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่ค่าย้อนกลับ (BP).....	77
5.3.1.1 การระบุวงจรที่เกิดฟอลต์.....	78
5.3.1.2 การหาตำแหน่งฟอลต์.....	81
5.3.1.3 การระบุประเภทฟอลต์.....	82
5.3.2 การวิเคราะห์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมชนิดฟังก์ชันฐานรัศมี (RBF).....	84
5.3.2.1 การระบุวงจรที่เกิดฟอลต์.....	84
5.3.2.2 การหาตำแหน่งฟอลต์.....	86
5.3.2.3 การระบุประเภทฟอลต์.....	87

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 ผลการทดลอง.....	88
6.1 รูปแบบการนำเสนอ.....	88
6.1.1 วิธีการที่ใช้ในการทดลอง.....	88
6.1.2 รูปแบบการนำเสนอของแต่ละตาราง.....	88
6.1.3 รูปแสดงการสรุปผลการทดลองที่ได้จากตาราง.....	89
6.2 ผลการทดลอง.....	89
6.3 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	178
บทที่ 7 บทสรุป.....	183
เอกสารอ้างอิง.....	185
ประวัติผู้เขียน.....	187

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงสัมประสิทธิ์ของตัวกรองสัญญาณของเวฟเล็ทตระกูล Daubechies ที่ N มีค่าเป็น 4,6,8,10,12,14,16 และ 20.....	37
3.2 แสดงคุณสมบัติของเวฟเล็ทแม่แต่ละชนิด.....	38
5.1 แสดงความเร็วคลื่นเดินทางและเมตริกซ์การแปลงของระบบจำลอง.....	69
5.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดของกระแสในแต่ละเฟสในช่วง 1/4 ไซเคิล หลังเกิดฟอลต์ ที่ปลายด้าน MM3 กรณีเกิดฟอลต์วงจรที่ 2.....	75
5.3 ผลการระบุประเภทฟอลต์ที่พิจารณาจากปลายด้าน MM3.....	76
5.4 แสดงค่าเอาต์พุตในการระบุวงจรที่เกิดฟอลต์ของโครงข่ายประสาทเทียม.....	79
5.5 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยผิดพลาดสัมบูรณ์ของชุดฝึกสอนและทดสอบ และเวลาที่ใช้ ในการฝึกสอน.....	80
5.6 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยผิดพลาดสัมบูรณ์ของชุดฝึกสอนและทดสอบ และเวลาที่ใช้ ในการฝึกสอน.....	82
5.7 แสดงค่าเอาต์พุตในการระบุประเภทฟอลต์ของโครงข่ายประสาทเทียม.....	83
5.8 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยผิดพลาดสัมบูรณ์ของชุดฝึกสอนและทดสอบ และเวลาที่ใช้ ในการฝึกสอน.....	83
5.9 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์และเวลาที่ใช้ในการฝึกสอนในแต่ละรอบ.....	85
5.10 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์และเวลาที่ใช้ในการฝึกสอนในแต่ละรอบ.....	87
5.11 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์และเวลาที่ใช้ในการฝึกสอนในแต่ละรอบ.....	88
6.1 แสดงผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 18.86 กิโลเมตร (10% ของความยาวสายส่ง 188.6 กิโลเมตร) กรณีเกิดฟอลต์วงจรที่ 1.....	89-90
6.2 แสดงผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 18.86 กิโลเมตร (10% ของความยาวสายส่ง 188.6 กิโลเมตร) กรณีเกิดฟอลต์วงจรที่ 2.....	95-96
6.3 แสดงผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 37.72 กิโลเมตร (20% ของความยาวสายส่ง 188.6 กิโลเมตร) กรณีเกิดฟอลต์วงจรที่ 1.....	97-101
6.4 แสดงผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 37.72 กิโลเมตร (20% ของความยาวสายส่ง 188.6 กิโลเมตร) กรณีเกิดฟอลต์วงจรที่ 2.....	105-106
6.5 แสดงผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 56.58 กิโลเมตร (30% ของความยาวสายส่ง 188.6 กิโลเมตร) กรณีเกิดฟอลต์วงจรที่ 1.....	110-111

สารบัญตาราง (ต่อ)

[illegible]

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงการพัฒนาเทคโนโลยีของอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้ในระบบไฟฟ้ากำลัง.....	2
1.2 แสดงการเปรียบเทียบการพัฒนาของเทคนิคการวิเคราะห์สัญญาณพอลต์.....	4
1.3 แสดงแผนภาพขั้นตอนการศึกษาของวิทยานิพนธ์.....	8
2.1 แสดงแบบจำลองของส่วนย่อยของสายส่ง ณ. เฟสใดๆ (v และ i เป็นฟังก์ชันของ x และ t).....	10
2.2 แสดงคลื่นของแรงดันซึ่งเป็นฟังก์ชันของ $x - vt$ ที่เวลา t_1 และ t_2	13
2.3 แสดงลักษณะของคลื่นเดินทางในสภาวะที่เกิดพอลต์บนสายส่ง.....	14
3.1 แสดงการแปลงฟูเรียร์.....	17
3.2 แสดงการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาสั้น.....	19
3.3 ลักษณะของเวฟเล็ตแม่ชนิด Daubechies20.....	20
3.4 แสดงลักษณะของเวฟเล็ตแม่ที่ถูกสเกลและเลื่อนตำแหน่งไปที่ค่า a, b ต่าง ๆ กัน.....	21
3.5 ลักษณะของการแตกกระจายสัญญาณและการรวมกลับสัญญาณของเวฟเล็ต.....	21
3.6 แสดงขั้นตอนที่ 1 และ 2 ของการแปลงเวฟเล็ต.....	22
3.7 แสดงขั้นตอนที่ 3 ของการแปลงเวฟเล็ต.....	23
3.8 แสดงขั้นตอนที่ 4 จนกระทั่งครบทุกสเกล.....	23
3.9 แสดงการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง (CWT).....	24
3.10 ลักษณะการกระจาย (Decomposition) ของสเปซของเวกเตอร์.....	27
3.11 ลักษณะการกระจาย (Decomposition) สัญญาณไปยังระดับความละเอียดต่าง ๆ.....	28
3.12 แสดงการแปลงแยกสัญญาณด้วยฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณ.....	30
3.13 แสดงการแปลงกลับสัญญาณด้วยฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณ.....	30
3.14 แสดงลักษณะการแปลงเวฟเล็ตโดยใช้หลักการวิเคราะห์แบบออกเทพฟิลเตอร์แบงก์.....	31
3.15 แสดงการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (DWT) ในสเกลที่.....	32
3.16 แสดงลักษณะของ Haar Wavelet.....	33
3.17 แสดงลักษณะของ Daubechies Wavelet.....	33
3.18 แสดงลักษณะของ Biorthogonal Wavelet.....	34
3.19 แสดงลักษณะของ Coiflets Wavelet.....	34
3.20 แสดงลักษณะของ Symlets Wavelet.....	35
3.21 แสดงลักษณะของ Morlet Wavelet.....	35
3.22 แสดงลักษณะของ Mexican Hat Wavelet.....	36

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.23 แสดงลักษณะของ Meyer Wavelet.....	36
4.1 แสดงนิเวศตามทัศนคติชีววิทยาแบบทั่วไป.....	42
4.2 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม.....	43
4.3 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว.....	44
4.4 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น.....	45
4.5 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดคอมแพคทิฟวี่.....	45
4.6 แสดงไอเดนติตี้ฟังก์ชัน (Identity function).....	47
4.7 แสดงฟังก์ชันไบนารีซิกมอยด์.....	48
4.8 แสดงฟังก์ชันไบโพลาร์ซิกมอยด์.....	48
4.9 แสดงแบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียมที่มี 2 ชั้นซ่อน.....	49
4.10 แสดงแบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดฟังก์ชันฐานรัศมี.....	57
5.1 แสดงการจำลองระบบสายส่งวงจรคู่.....	61
5.2 แสดงเสาแบบ DAV1 ที่ใช้กับสายส่งวงจรคู่ 230 kV.....	62
5.3 แสดงวงจรในการจำลองฟลด์แบบ ABG วงจรที่ 2 ที่ 37.72 km ของระบบจำลอง.....	64
5.4 แสดงสัญญาณฟลด์ของแรงดันที่ได้จากการจำลองที่ปลายด้านส่ง วงจรที่ 1.....	64
5.5 แสดงสัญญาณฟลด์ของแรงดันที่ได้จากการจำลองที่ปลายด้านส่ง วงจรที่ 2.....	65
5.6 แสดงสัญญาณฟลด์ของกระแสที่ได้จากการจำลองที่ปลายด้านส่ง วงจรที่ 1.....	65
5.7 แสดงสัญญาณฟลด์ของกระแสที่ได้จากการจำลองที่ปลายด้านส่ง วงจรที่ 2.....	66
5.8 แสดงสัญญาณแรงดันฟลด์ที่พิจารณาด้านปลายส่งทั้ง 2 วงจร (MM3).....	67
5.9 แสดงสัญญาณกระแสฟลด์ที่พิจารณาด้านปลายส่งทั้ง 2 วงจร (MM3).....	68
5.10 แสดงผลการแปลงเวฟเลตของกระแสลำดับบวกของปลายสายส่งด้านส่งทั้ง 2 วงจร.....	70
5.11 แสดงค่าสัมประสิทธิ์กำลังสองของกระแสลำดับบวกของปลายสายส่งด้านส่งทั้ง 2 วงจร.....	70
5.13 แสดงพิกแรกที่วัดได้ของสัญญาณกระแสลำดับบวกที่ปลายสายส่งแต่ละด้านในสเกลที่ 1...72	72
5.14 แสดงการแปลงเวฟเลตของกระแสฟลด์ที่วัดได้จากปลายสายส่งด้าน MM3.....	75
5.15 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่ค่าย้อนกลับที่มี 2 ชั้นซ่อน.....	78
5.14 แสดงค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเลตของกระแสองค์ประกอบลำดับบวกที่วัดได้จากปลายสายส่งด้านส่ง (MM3) ทั้ง 2 วงจร.....	79

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.15 แสดงเวลาที่ตรวจจับได้จากการแปลงเวฟเล็ดของกระแสวิกัลประกอบลำดับบวกที่วัดได้ จากปลายสายส่งทั้ง 2 ด้าน ทั้ง 2 วงจร.....	81
5.16 แสดงค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ดของกระแสในเฟส A, B, C และองค์ประกอบลำดับ ศูนย์ที่วัดได้จากปลายสายส่งด้านส่ง (MM3) ทั้ง 2 วงจร.....	82
5.17 แบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดฟังก์ชันฐานรัศมี.....	84
6.1 แสดงค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการระบุวงจรที่เกิดฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 18.86 กิโลเมตร (10% ของความยาวสายส่ง 188.6 กิโลเมตร) กรณีเกิดฟอลต์วงจรที่ 1.....	92
6.2 แสดงค่าเฉลี่ยของตำแหน่งที่เกิดฟอลต์จากการคำนวณ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 18.86 กิโลเมตร (10% ของความยาวสายส่ง 188.6 กิโลเมตร) กรณีเกิดฟอลต์วงจรที่ 1.....	92
6.3 แสดงค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 18.86 กิโลเมตร (10% ของความยาวสายส่ง 188.6 กิโลเมตร) กรณีเกิดฟอลต์วงจรที่ 1.....	93
6.4 แสดงค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการระบุวงจรที่เกิดฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 18.86 กิโลเมตร (10% ของความยาวสายส่ง 188.6 กิโลเมตร) กรณีเกิดฟอลต์วงจรที่ 2.....	96
6.5 แสดงค่าเฉลี่ยของตำแหน่งที่เกิดฟอลต์จากการคำนวณ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 18.86 กิโลเมตร (10% ของความยาวสายส่ง 188.6 กิโลเมตร) กรณีเกิดฟอลต์วงจรที่ 2.....	97
6.6 แสดงค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 18.86 กิโลเมตร (10% ของความยาวสายส่ง 188.6 กิโลเมตร) กรณีเกิดฟอลต์วงจรที่ 2.....	97
6.7 แสดงค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการระบุวงจรที่เกิดฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 37.72 กิโลเมตร (20% ของความยาวสายส่ง 188.6 กิโลเมตร) กรณีเกิดฟอลต์วงจรที่ 1.....	101
6.8 แสดงค่าเฉลี่ยของตำแหน่งที่เกิดฟอลต์จากการคำนวณ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 37.72 กิโลเมตร (20% ของความยาวสายส่ง 188.6 กิโลเมตร) กรณีเกิดฟอลต์วงจรที่ 1.....	102
6.9 แสดงค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 37.72 กิโลเมตร (20% ของความยาวสายส่ง 188.6 กิโลเมตร) กรณีเกิดฟอลต์วงจรที่ 1.....	102
6.10 แสดงค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการระบุวงจรที่เกิดฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 37.72 กิโลเมตร (20% ของความยาวสายส่ง 188.6 กิโลเมตร) กรณีเกิดฟอลต์วงจรที่ 2.....	106
6.11 แสดงค่าเฉลี่ยของตำแหน่งที่เกิดฟอลต์จากการคำนวณ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 37.72 กิโลเมตร (20% ของความยาวสายส่ง 188.6 กิโลเมตร) กรณีเกิดฟอลต์วงจรที่ 2.....	107

สารบัญรูป(ต่อ)

[illegible]

สารบัญรูป(ต่อ)

[illegible]

สารบัญรูป(ต่อ)

[illegible]

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.54 แสดงค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 169.74 กิโลเมตร (90% ของความยาวสายส่ง 188.6 กิโลเมตร) กรณีเกิดฟอลต์วงจรที่ 2.....	176
6.55 แสดงค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการระบุวงจรที่เกิดฟอลต์ในแต่ละระยะทาง ในกรณีเกิดฟอลต์วงจรที่ 1.....	178
6.56 แสดงค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการระบุวงจรที่เกิดฟอลต์ในแต่ละระยะทาง ในกรณีเกิดฟอลต์วงจรที่ 2.....	179
6.57 แสดงค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งฟอลต์ในแต่ละระยะทาง ในกรณีเกิดฟอลต์วงจรที่ 1.....	180
6.58 แสดงค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งฟอลต์ในแต่ละระยะทาง ในกรณีเกิดฟอลต์วงจรที่ 2.....	180
6.59 แสดงค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการระบุประเภทของฟอลต์ในแต่ละระยะทาง ในกรณีเกิดฟอลต์วงจรที่ 1.....	181
6.60 แสดงค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการระบุประเภทของฟอลต์ในแต่ละระยะทาง ในกรณีเกิดฟอลต์วงจรที่ 2.....	182