

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(26)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
ภาวะชั่วคราวในระบบไฟฟ้ากำลัง	3
เฟอร์โรเรโซแนนซ์	42
โปรแกรมการจำลองภาวะชั่วคราว	73
การนำโปรแกรม ATP และ PSCAD มาใช้ในกรณีศึกษาของการไฟฟ้านครหลวง	84
อุปกรณ์และวิธีการ	98
อุปกรณ์	98
วิธีการ	98
ผลการวิจัย	99
วิจารณ์	228
สรุป	236
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	238
ภาคผนวก	240
ภาคผนวก ก แบบจำลองกรณีศึกษาด้วยโปรแกรม PSCAD/EMTDC	241
ภาคผนวก ข ข้อมูลเครื่องล่อฟ้า	247

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การจ่ายไฟจากแหล่งกำเนิดสายส่ง	9
2	ลักษณะเฉพาะของสายเคเบิล	36
3	ค่ายอดแรงดันชั่วคราวเริ่มต้นที่จุดแรกของการครอสบอนด์	37
4	แรงดันเกินสูงสุดที่จุดครอสบอนด์ในระบบที่มีสองส่วนหลัก	39
5	การเชื่อมต่อของขดลวดด้านปฐมภูมิ/ด้านทุติยภูมิ กับ X_C/X_M น้อยที่สุด	58
6	ความสามารถของโปรแกรม ATP/EMTP	78
7	รายละเอียดข้อมูลอุปกรณ์กรณีศึกษาการปลดสายป้อนเพื่อจ่ายโหลดคืน	86
8	ลำดับขั้นตอนการทดลองปลดสายป้อนเพื่อจ่ายโหลดคืนครั้งที่ 1	87
9	ลำดับขั้นตอนการทดลองปลดสายป้อนเพื่อจ่ายโหลดคืนครั้งที่ 2 กรณีที่ 1	89
10	ลำดับขั้นตอนการทดลองปลดสายป้อนเพื่อจ่ายโหลดคืนครั้งที่ 2 กรณีที่ 2	90
11	ลำดับขั้นตอนการทดลองปลดสายป้อนเพื่อจ่ายโหลดคืนครั้งที่ 3 กรณีที่ 1	95
12	ลำดับขั้นตอนการทดลองปลดสายป้อนเพื่อจ่ายโหลดคืนครั้งที่ 3 กรณีที่ 2	96
13	ลำดับขั้นตอนการทดลองปลดสายป้อนเพื่อจ่ายโหลดคืนในกรณีศึกษา	123
14	ปัจจัยต่างๆที่ส่งผลให้เกิดแรงดันเกินเฟอร์โรเรโซแนนซ์	132
15	ผลการจำลองเปลี่ยนค่าโหลดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิที่ไม่ส่งผลให้เกิดเฟอร์โรเรโซแนนซ์ ตั้งแต่ 1 – 1000 โอห์ม ด้วยโปรแกรม ATP	144
16	ผลการจำลองเปลี่ยนค่าโหลดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิที่ไม่ส่งผลให้เกิดเฟอร์โรเรโซแนนซ์ ตั้งแต่ 1 – 1000 โอห์ม ด้วยโปรแกรม PSCAD	153
17	ลำดับขั้นตอนการจ่ายไฟหรือปิดสวิตช์ในสายป้อน หลังการปฏิบัติงานในช่วงสายป้อนชุดที่ 2 เพื่อพิจารณาโอกาสเกิดเฟอร์โรเรโซแนนซ์ของสวิตช์ BZ14-1H กับ สวิตช์ BZ14-2H ตั้งแต่มุม 1-360°	175
18	ผลการจำลองมุมปิดสวิตช์ BZ14-1H และ สวิตช์ BZ14-2H ตั้งแต่มุม 1-360° เพื่อตรวจสอบแรงดันเกินเฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	179
19	ผลการจำลองมุมปิดสวิตช์ BZ14-1H และ สวิตช์ BZ14-2H ตั้งแต่มุม 1-360° เพื่อตรวจสอบแรงดันเกินเฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	183

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
20	ลำดับขั้นตอนการปรับเปลี่ยนการเปิด – ปิดสวิตช์ในสายป้อนโดยการปิดเบรกเกอร์ BZ14 ก่อนการปิดสวิตช์ BZ14-1H	187
21	ผลการศึกษาการเลื้อนเฟสกรณีปิดเบรกเกอร์ BZ14 ก่อนการปิดสวิตช์ BZ14-1H ด้วยโปรแกรม ATP	191
22	ลำดับขั้นตอนการดับไฟหรือเปิดสวิตช์ในสายป้อน ก่อนการปฏิบัติงานในช่วงสายป้อนชุดที่ 2 เพื่อพิจารณาโอกาสเกิดเฟอร์โรเรโซแนนซ์ ตั้งแต่มุม $1-360^{\circ}$	223
23	ผลการจำลองมุมเปิดสวิตช์ BZ14-2H ก่อนและหลังเปิดเบรกเกอร์ ตั้งแต่ มุมที่ $1-360^{\circ}$ เพื่อตรวจสอบแรงดันเกินเฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	223
24	สรุปลำดับขั้นตอนการดับไฟและจ่ายไฟสายป้อน เพื่อใช้ปฏิบัติงานในช่วงสายป้อนชุดที่ 2 ที่ไม่ส่งผลให้เกิดแรงดันเกินเฟอร์โรเรโซแนนซ์	237

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การแบ่งประเภทภาวะชั่วคราวในระบบไฟฟ้ากำลัง	4
2	แบบจำลองระบบไฟฟ้ากำลังสำหรับการวิเคราะห์ภาวะชั่วคราว	7
3	ภาวะชั่วคราวจากการจ่ายไฟสายส่ง	10
4	วงจรสมมูลของแหล่งกำเนิด	11
5	แรงดันชั่วคราวจากผลของความเหนี่ยวนำแหล่งกำเนิดและความยาวของสายส่งในการจ่ายไฟที่ปลายสายของสายส่ง	13
6	การเปลี่ยนแปลงแรงดันสูงสุดที่ปลายสายกับผลของความเหนี่ยวนำแหล่งกำเนิดเมื่อมีการปิดของเบรกเกอร์พร้อมกัน	14
7	คอนทิวส์แรงดันที่ปลายสายสูงสุด เมื่อมีการปิดพร้อมกันทั้ง 3 เฟส	15
8	การเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ปลายสายอีกด้านหนึ่งกับความเหนี่ยวนำของแหล่งกำเนิดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความยาวสายทางด้านแหล่งกำเนิด	16
9	คอนทิวส์แรงดันเกินจากการจ่ายไฟให้สายส่งยาว 160 กิโลเมตร จากความเหนี่ยวนำที่จุดปลายของสายส่ง	17
10	คอนทิวส์แรงดันเกินจากการจ่ายไฟให้สายส่งยาว 40 กิโลเมตร จากความเหนี่ยวนำที่จุดปลายของสายส่ง	18
11	แรงดันต้นทางเมื่อไม่มีการใส่ความต้านทานในเบรกเกอร์	20
12	แรงดันที่ปลายสายเมื่อไม่มีการใส่ความต้านทานในเบรกเกอร์	20
13	แรงดันสูงสุดที่ปลายสาย	21
14	เปอร์เซ็นต์คอนทิวส์แรงดันเกินที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการปิดไม่พร้อมกันภายใน 5 ms.	22
15	แรงดันที่ต้นทางกับแรงดันที่เหลือในระบบเมื่อไม่มีการใส่ความต้านทานในเบรกเกอร์	23
16	แรงดันที่ปลายสายกับแรงดันที่เหลือในระบบเมื่อไม่มีการใส่ความต้านทานในเบรกเกอร์	24

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
17	การเปลี่ยนแปลงแรงดันสูงสุดที่ปลายสายกับความเหนียวนำ แหล่งกำเนิดและความยาวของสายส่ง โดยมีรีแอกเตอร์ชาน ชดเชย 50% เชื่อมต่ออยู่ที่ปลายสาย	27
18	เปอร์เซ็นต์แรงดันสูงสุดเมื่อไม่มีรีแอกเตอร์ชานชดเชย 50% เชื่อมต่ออยู่ที่ปลายสาย	27
19	การจ่ายไฟของหม้อแปลงในสายป้อน	29
20	แรงดันชั่วคราวของเฟส Y และเฟส B เนื่องจากเกิดความผิดปกติ เฟสเดียวลงดินที่เฟส R	30
21	การตอบสนองของเปลือกหุ้มสายในสายเคเบิลได้น้ำ	33
22	การตอบสนองของเปลือกหุ้มสายในสายเคเบิลได้น้ำที่ทำการแก้ไข	33
23	ผลตอบสนองของระบบเคเบิล 3 สายที่กลางสาย	34
24	ผลตอบสนองของระบบเคเบิล 3 สายที่กลางสายที่มีความยาวแน่นอน	35
25	ส่วนย่อยหลักของการทดสอบค้ำระบบสายเคเบิล	38
26	แรงดันเปลือกหุ้มสายที่จุดเชื่อมต่อแรกของการทดสอบค้ำใน สายเคเบิลที่ประกอบด้วย 1 ส่วนหลัก	38
27	แรงดันบนแกนตัวนำที่ปลายสายอีกด้านของการทดสอบค้ำ สายเคเบิลที่ประกอบด้วย 1 ส่วนหลัก	39
28	แรงดันบนแกนตัวนำที่ปลายสายอีกด้านของการทดสอบค้ำ สายเคเบิลที่ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก	40
29	การเปรียบเทียบแรงดันบนแกนตัวนำที่ปลายสายเมื่อมีการทดสอบค้ำ สายเคเบิลที่มี 20 ส่วนหลัก	41
30	การจ่ายไฟเฟสเดียวให้หม้อแปลงที่เชื่อมต่อแบบเดลตา-วายไม่ลงดิน	43
31	การจ่ายไฟ 2 เฟสให้หม้อแปลงที่เชื่อมต่อแบบเดลตา-วายไม่ลงดิน	44
32	การจ่ายไฟเฟสเดียวให้หม้อแปลงที่เชื่อมต่อแบบวายไม่ลงดิน	44
33	การจ่ายไฟเฟสเดียวให้หม้อแปลงที่เชื่อมต่อแบบวายลงดินกับชุดตัวเก็บประจุ	45
34	การจ่ายไฟ 2 เฟส ให้หม้อแปลงที่เชื่อมต่อแบบวายลงดินกับชุดตัวเก็บประจุ	45

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
35	การเชื่อมต่อร่วมจากการดับไฟสายส่ง	46
36	เบรกเกอร์กับชั้นตัวเก็บประจุที่จ่ายให้หม้อแปลงแรงดัน	47
37	แหล่งกำเนิดแบบเดลตาที่จ่ายให้กับความผิดพลาดหนึ่งเฟสลงดิน และหม้อแปลงแบบวายลงดิน	48
38	CVT กับวงจรที่ใช้ลดผลกระทบเฟอร์โรเรโซแนนซ์	49
39	การเชื่อมต่อแม่เหล็กระหว่างเฟสของหม้อแปลง 3 เฟส	51
40	แบบหม้อแปลงกับการเชื่อมต่อของขดลวด	51
41	วงจรพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์เฟอร์โรเรโซแนนซ์	52
42	เส้นโค้งกระตุ้นหลัก DC / AC และ B-H	54
43	เส้นโค้งกระตุ้น AC ของหม้อแปลง V_{RMS} กับ I_{RMS}	55
44	แบบจำลองหม้อแปลงหนึ่งเฟสที่รวมความจุไฟฟ้า	56
45	ความจุไฟฟ้าในสายส่ง	57
46	เส้นโค้ง $X_C > X_{M,US}$	60
47	เส้นโค้ง $X_C = X_{M,US}$	60
48	เส้นโค้ง $X_{M,S} < X_C < X_{M,US}$	61
49	เส้นโค้ง $X_{M,S} > X_C$	62
50	วงจรจำลองเฟอร์โรเรโซแนนซ์กับองค์ประกอบความต้านทาน	63
51	การวิเคราะห์วงจรเชิงเส้นด้วยใช้เซตตารางของไมโครซอฟเอกเซลล์	64
52	แรงดันตัวเก็บประจุเมื่อเกิดสถานะเฟอร์โรเรโซแนนซ์	67
53	แรงดันหม้อแปลงเมื่อเกิดสถานะเฟอร์โรเรโซแนนซ์	68
54	แรงดันที่ไม่คงที่ของเฟอร์โรเรโซแนนซ์	69
55	ลักษณะของเฟอร์โรเรโซแนนซ์ชนิดโหมดมูลฐาน	70
56	ลักษณะของเฟอร์โรเรโซแนนซ์ชนิดโหมดฮาร์โมนิกย่อย	71
57	ลักษณะของเฟอร์โรเรโซแนนซ์ชนิดโหมดคาบเวลาแบบครึ่ง	71
58	ลักษณะของเฟอร์โรเรโซแนนซ์ชนิดโหมดไม่มีระเบียบ	72
59	โครงสร้างของโปรแกรม ATP/EMTP	76

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
60	ตัวอย่างการเชื่อมต่อวงจรในโปรแกรม ATP/EMTP	79
61	ตัวอย่างแรงดันและกระแสในโปรแกรม ATP/EMTP	79
62	โครงสร้างการทำงานของโปรแกรม PSCAD/EMTDC	82
63	แผนผังวงจรเดียวการเกิดเหตุการณ์กรณีศึกษาการปลดสายป้อน เพื่อจ่ายโหลดคืน	86
64	แผนผังวงจรเดียวการทดลองปลดสายป้อนเพื่อจ่ายโหลดคืนครั้งที่ 2	88
65	การระเบิดของเครื่องล่อฟ้าเฟส R หลังทำการปิดสวิตช์ใบมีดครบทั้ง 3 เฟส	91
66	ความเสียหายของเครื่องล่อฟ้าเฟส R เมื่อทำการปิดสวิตช์ใบมีดครบทั้ง 3 เฟส	91
67	แรงดันขณะปิดสวิตช์ใบมีดเฟส Y ด้วยเครื่องวัด เมื่อไม่ติดตั้งเครื่องล่อฟ้า	92
68	แรงดันขณะปิดสวิตช์ใบมีดเฟส Y ด้วยไมโครซอฟเอ็กเซลล์ เมื่อไม่ติดตั้งเครื่องล่อฟ้า	92
69	แรงดันขณะปิดสวิตช์ใบมีดเฟส B หลังทำการปิดเฟส Y ด้วยเครื่องวัด	93
70	แรงดันขณะปิดสวิตช์ใบมีดเฟส B หลังทำการปิดเฟส Y ด้วยไมโครซอฟเอ็กเซลล์	93
71	แรงดันขณะปิดเบรกเกอร์ BZ14 ด้วยเครื่องวัด Tektronix	97
72	แรงดันขณะปิดเบรกเกอร์ BZ14 ด้วยไมโครซอฟเอ็กเซลล์	97
73	แผนภาพวงจรเดียวที่ใช้จำลองในกรณีศึกษา	99
74	แบบจำลองแหล่งกำเนิดแรงดัน ด้วยโปรแกรม ATP	100
75	แบบจำลองสายเคเบิลใต้ดิน ด้วยโปรแกรม ATP	103
76	แบบจำลองของสายส่งเหนือดิน ด้วยโปรแกรม ATP	105
77	สภาวะการเปิดของสวิตช์ เมื่อ $I_E = 0$	107
78	สภาวะการเปิดของสวิตช์ เมื่อ $I_E \neq 0$	108
79	แบบจำลองหม้อแปลง 3 เฟสแบบความต้านทานแม่เหล็กขั้วเหมือนต่ำ เชื่อมต่อแบบเดลตา-วายลงดิน	109
80	แบบจำลองหม้อแปลง 3 เฟสแบบความต้านทานแม่เหล็กขั้วเหมือนสูง เชื่อมต่อแบบวาย-วาย	110

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
81	การจำลองหม้อแปลง 3 เฟสแบบขดลวดล้อมแกน 3 ขา 2 ขดลวด	110
82	การจำลองคุณลักษณะการอิ่มตัว(I,V) ในแบบจำลองหม้อแปลง เพื่อใช้วิเคราะห์เฟอร์โรเรโซแนนซ์	111
83	เส้นโค้งคุณลักษณะการอิ่มตัว (I,V) ในแบบจำลองหม้อแปลง	111
84	การจำลองเครื่องล่อฟ้า	113
85	คุณลักษณะ (I,V) ในการจำลองเครื่องล่อฟ้า	114
86	เส้นโค้งคุณลักษณะ(I,V) ในการจำลองเครื่องล่อฟ้า	114
87	การจำลองเพื่อวิเคราะห์แรงดันเกินเนื่องจากสภาวะชั่วคราว โดยทำการปิด สวิตช์ BZ14-1H ที่คายขอคั่นทีละเฟสด้วยโปรแกรม ATP	115
88	การตั้งค่าการจำลองในโปรแกรม ATP เพื่อวิเคราะห์แรงดันเกิน เนื่องจากสภาวะชั่วคราว	115
89	การบันทึกข้อมูลการจำลองในโปรแกรม ATP เพื่อวิเคราะห์แรงดันเกิน เนื่องจากสภาวะชั่วคราว	116
90	แบบจำลองการควบคุมการเปิด-ปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ใน โปรแกรม ATP เพื่อวิเคราะห์แรงดันเกินเนื่องจากสภาวะชั่วคราว	116
91	การเขียนโปรแกรมควบคุมการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ในแบบจำลอง ด้วยโปรแกรม ATP	117
92	การป้อนค่าในแบบจำลองตรวจสอบแรงดันที่มากกว่าแรงดันใน ระบบ 1.5 p.u. เฟส B	117
93	การเขียนโปรแกรมควบคุมการตรวจสอบแรงดันเกินที่มากกว่าแรงดัน ในระบบ 1.5 p.u. เฟส B	118
94	แบบจำลองการหารแรงดันเพื่อวัดผลแรงดันในระบบให้เป็นเปอร์เซ็นต์	118
95	การป้อนค่าในแบบจำลองแหล่งกำเนิดกระแสตรงเพื่อเป็นตัวหารแรงดัน ในการวัดผลแรงดันในระบบให้เป็นเปอร์เซ็นต์	119
96	แรงดันจากการจำลองด้วยโปรแกรม ATP เพื่อวิเคราะห์แรงดันเกิน เนื่องจากสภาวะชั่วคราว	119

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
97	ผลการบันทึกข้อมูลการจำลองด้วยโปรแกรม ATP เพื่อวิเคราะห์แรงดันเกินเนื่องจากสภาวะชั่วคราว	120
98	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการจำลองด้วยโปรแกรม ATP เพื่อวิเคราะห์แรงดันเกินเนื่องจากสภาวะชั่วคราว	120
99	การจำลองเพื่อวิเคราะห์แรงดันเกินเนื่องจากสภาวะชั่วคราว โดยทำการปิดสวิตช์ BZ14-1H ที่ค่ายอดคลื่นที่ละเฟสด้วยโปรแกรม PSCAD	121
100	แรงดันจากการจำลองด้วยโปรแกรม PSCAD เพื่อวิเคราะห์แรงดันเกินเนื่องจากสภาวะชั่วคราว	121
101	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการจำลองด้วยโปรแกรม PSCAD เพื่อวิเคราะห์แรงดันเกินเนื่องจากสภาวะชั่วคราว	122
102	แรงดันขณะปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y จากการวัดทางภาคสนาม	124
103	การจำลองเพื่อวิเคราะห์แรงดันเกินเนื่องจากเฟอร์โรเรโซแนนซ์ด้วยโปรแกรม ATP	125
104	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° ด้วยโปรแกรม ATP	125
105	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° ด้วยโปรแกรม ATP	126
106	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 199.8° ด้วยโปรแกรม ATP	126
107	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 199.8° ด้วยโปรแกรม ATP	127
108	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ที่มุม 180° ด้วยโปรแกรม ATP	127
109	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ที่มุม 180° ด้วยโปรแกรม ATP	128
110	การจำลองเพื่อวิเคราะห์แรงดันเกินเนื่องจากเฟอร์โรเรโซแนนซ์ด้วยโปรแกรม PSCAD	128

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
111	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° ด้วยโปรแกรม PSCAD	129
112	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° ด้วยโปรแกรม PSCAD	129
113	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 199.8° ด้วยโปรแกรม PSCAD	130
114	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 199.8° ด้วยโปรแกรม PSCAD	130
115	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ที่มุม 180° ด้วยโปรแกรม PSCAD	131
116	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ที่มุม 180° ด้วยโปรแกรม PSCAD	132
117	การจำลองกรณีการแยกหม้อแปลงออกจากการเชื่อมต่อสายเคเบิลใต้ดิน และสายเคเบิลอากาศออกจากกันผ่านเบรกเกอร์ที่ต่อโดยเฉพาะ ด้วยโปรแกรม ATP	134
118	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° ผ่านเบรกเกอร์ ที่ต่อโดยเฉพาะ ด้วยโปรแกรม ATP	135
119	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° ผ่านเบรกเกอร์ที่ต่อโดยเฉพาะ ด้วยโปรแกรม ATP	135
120	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 199.8° ผ่านเบรกเกอร์ ที่ต่อโดยเฉพาะ ด้วยโปรแกรม ATP	136
121	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 199.8° ผ่านเบรกเกอร์ที่ต่อโดยเฉพาะ ด้วยโปรแกรม ATP	136
122	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ที่มุม 180° ผ่านเบรกเกอร์ ที่ต่อโดยเฉพาะ ด้วยโปรแกรม ATP	137

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
123	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ที่มุม 180° ผ่านเบรกเกอร์ที่ต่อโดยเฉพาะ ด้วยโปรแกรม ATP	137
124	การจำลองกรณีการแยกหม้อแปลงออกจากการเชื่อมต่อสายเคเบิลใต้ดิน และสายเคเบิลอากาศออกจากกันผ่านเบรกเกอร์ที่ต่อโดยเฉพาะ ด้วยโปรแกรม PSCAD	138
125	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° ผ่านเบรกเกอร์ที่ต่อโดยเฉพาะ ด้วยโปรแกรม PSCAD	138
126	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° ผ่านเบรกเกอร์ที่ต่อโดยเฉพาะ ด้วยโปรแกรม PSCAD	139
127	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 199.8° ผ่านเบรกเกอร์ที่ต่อโดยเฉพาะ ด้วยโปรแกรม PSCAD	139
128	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 199.8° ผ่านเบรกเกอร์ที่ต่อโดยเฉพาะ ด้วยโปรแกรม PSCAD	140
129	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ที่มุม 180° ผ่านเบรกเกอร์ที่ต่อโดยเฉพาะ ด้วยโปรแกรม PSCAD	140
130	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ที่มุม 180° ผ่านเบรกเกอร์ที่ต่อโดยเฉพาะ ด้วยโปรแกรม PSCAD	141
131	การจำลองกรณีต่อโหลดความต้านทานให้หม้อแปลงเพิ่มทางด้านทุติยภูมิ ด้วยโปรแกรม ATP	141
132	การตั้งค่าการจำลองกรณีต่อโหลดความต้านทานให้หม้อแปลงเพิ่มทางด้านทุติยภูมิด้วยโปรแกรม ATP	142
133	การบันทึกข้อมูลค่าการจำลองกรณีต่อโหลดความต้านทานให้หม้อแปลงเพิ่มทางด้านทุติยภูมิ ด้วยโปรแกรม ATP	142
134	การตั้งค่าจำนวนการเปลี่ยนแปลงความต้านทานในการจำลองกรณีต่อโหลดความต้านทานให้หม้อแปลงเพิ่มทางด้านทุติยภูมิ ด้วยโปรแกรม ATP	143

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
135	การตั้งค่าเริ่มต้นแบบจำลองความต้านทานกรณีต่อโหลดความต้านทานให้หม้อแปลงเพิ่มทางด้านทุติยภูมิ ด้วยโปรแกรม ATP	143
136	การเขียนโปรแกรมควบคุมการเปลี่ยนแปลงความต้านทานทางด้านทุติยภูมิของแบบจำลองความต้านทาน	144
137	ผลการบันทึกข้อมูลการตรวจสอบแรงดันเกินเนื่องจากเฟอร์โรเรโซแนนซ์เมื่อเปลี่ยนแปลงความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ ด้วยโปรแกรม ATP	145
138	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° เมื่อมีโหลดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 317 โอห์มไม่ส่งผลให้เกิดเฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	145
139	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° เมื่อมีโหลดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 317 โอห์มไม่ส่งผลให้เกิดเฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	146
140	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° เมื่อมีโหลดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 318 โอห์ม ส่งผลให้เกิดเฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	146
141	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° เมื่อมีโหลดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 318 โอห์ม ส่งผลให้เกิดเฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	147
142	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 199.8° เมื่อมีโหลดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 318 โอห์มไม่ส่งผลให้เกิดเฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	147
143	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 199.8° เมื่อมีโหลดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 318 โอห์ม ไม่ส่งผลให้เกิดเฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	148

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
144	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ที่มุม 180° เมื่อมีโหลดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 318 โอห์มไม่ส่งผลให้เกิดเฟอร์โรเรโซแนนซ์ด้วยโปรแกรม ATP	148
145	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ที่มุม 180° เมื่อมีโหลดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 318 โอห์ม ไม่ส่งผลให้เกิดเฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	149
146	การจำลองกรณีต่อโหลดความต้านทานให้หม้อแปลงเพิ่มทางด้านทุติยภูมิ ด้วยโปรแกรม PSCAD	149
147	ชุดควบคุมการเปลี่ยนความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ, บันทึกข้อมูล และตรวจสอบแรงดันเกินเฟอร์โรเรโซแนนซ์ด้วยโปรแกรม PSCAD	150
148	การตั้งค่าการจำลองกรณีต่อโหลดความต้านทานให้หม้อแปลงเพิ่มทางด้านทุติยภูมิด้วยโปรแกรม PSCAD	150
149	การตั้งค่าจำนวนตัวแปรการจำลองกรณีต่อโหลดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ ให้หม้อแปลงเพิ่ม ด้วยโปรแกรม PSCAD	151
150	การตั้งค่าจำนวนช่วงและการเพิ่มความต้านทานในแต่ละครั้งกรณีต่อโหลดความต้านทานให้หม้อแปลงเพิ่มทางด้านทุติยภูมิ ด้วยโปรแกรม PSCAD	151
151	การตั้งค่าจำนวนการบันทึกและผลลัพธ์ในการจำลองกรณีต่อโหลดความต้านทานให้หม้อแปลงเพิ่มทางด้านทุติยภูมิ ด้วยโปรแกรม PSCAD	152
152	การตั้งค่าข้อมูลในการบันทึกกรณีต่อโหลดความต้านทานให้หม้อแปลงเพิ่มทางด้านทุติยภูมิ ด้วยโปรแกรม PSCAD	152
153	การตั้งค่าชุดการตรวจสอบแรงดันเกินที่มากกว่าแรงดันในระบบ 1.5 p.u. กรณีต่อโหลดความต้านทานให้หม้อแปลงเพิ่มทางด้านทุติยภูมิ ด้วยโปรแกรม PSCAD	153
154	ผลการบันทึกข้อมูลการตรวจสอบแรงดันเกินเนื่องจากเฟอร์โรเรโซแนนซ์จากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° เมื่อเปลี่ยนแปลงความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ ด้วยโปรแกรม PSCAD	154

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
155	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° เมื่อมีโหลด ความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 265 โอห์ม ไม่ส่งผลให้เกิด เฟลร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	154
156	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° เมื่อมีโหลดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 265 โอห์ม ไม่ส่งผลให้เกิด เฟลร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	155
157	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° เมื่อมีโหลด ความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 266 โอห์ม ส่งผลให้เกิดเฟลร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	155
158	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° เมื่อมีโหลดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 266 โอห์ม ส่งผลให้เกิด เฟลร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	156
159	สถานะการทริปแรงดันเกินที่มากกว่า 1.5 p.u. และสถานะการณปิด สวิตช์ BZ14-1H เมื่อมีโหลดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 266 โอห์ม และเกิดเฟลร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	156
160	ผลการบันทึกข้อมูลการตรวจสอบแรงดันเกินเนื่องจากเฟลร์โรเรโซแนนซ์ จากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 199.8° เมื่อเปลี่ยนแปลง ความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ ด้วยโปรแกรม PSCAD	157
161	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 199.8° เมื่อมีโหลด ความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 627 โอห์ม ไม่ส่งผลให้เกิดเฟลร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	157
162	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 199.8° เมื่อมีโหลดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 627 โอห์ม ไม่ส่งผลให้เกิด เฟลร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	158

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
163	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 199.8° เมื่อมีโหลดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 628 โอห์ม ส่งผลให้เกิดเฟอร์โรเรโซแนนซ์ด้วยโปรแกรม PSCAD	158
164	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 199.8° เมื่อมีโหลดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 628 โอห์ม ส่งผลให้เกิดเฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	159
165	สถานะการทริปแรงดันเกินที่มากกว่า 1.5 p.u. และสถานะการณ้ปิดสวิตช์ BZ14-1H เมื่อมีโหลดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 628 โอห์ม เมื่อเกิดเฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	159
166	ผลการบันทึกข้อมูลการตรวจสอบแรงดันเกินเนื่องจากเฟอร์โรเรโซแนนซ์จากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ที่มุม 180° เมื่อเปลี่ยนแปลงความต้านทานทางด้านทุติยภูมิด้วยโปรแกรม PSCAD	160
167	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ที่มุม 180° เมื่อมีโหลดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 1,000 โอห์ม ไม่ส่งผลให้เกิดเฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	160
168	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ที่มุม 180° เมื่อมีโหลดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 1,000 โอห์ม ส่งผลให้เกิดเฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	161
169	สถานะการทริปแรงดันเกินที่มากกว่า 1.5 p.u. และสถานะการณ้ปิดสวิตช์ BZ14-1H เมื่อมีโหลดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 1,000 โอห์ม ที่ไม่ส่งผลให้เกิดเฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	161
170	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° เมื่อมีโหลดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 200 โอห์ม ไม่ส่งผลให้เกิดเฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	162

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
171	พลังงานในหลอดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 200 โอห์ม จากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° ไม่ส่งผลให้เกิดเฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	163
172	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° เมื่อมีหลอดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 200 โอห์ม ไม่ส่งผลให้เกิดเฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	163
173	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 199.8° เมื่อมีหลอดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 200 โอห์ม ไม่ส่งผลให้เกิดเฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	164
174	พลังงานในหลอดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 200 โอห์ม จากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 199.8° ไม่ส่งผลให้เกิดเฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	164
175	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 199.8° เมื่อมีหลอดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 200 โอห์ม ไม่ส่งผลให้เกิดเฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	165
176	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ที่มุม 180° เมื่อมีหลอดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 200 โอห์ม ไม่ส่งผลให้เกิดเฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	165
177	พลังงานในหลอดความต้านทาน 200 โอห์ม จากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ที่มุม 180° ไม่ส่งผลให้เกิดเฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	166
178	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ที่มุม 180° เมื่อมีหลอดความต้านทานทางด้านทุติยภูมิ 200 โอห์ม ไม่ส่งผลให้เกิดเฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	166
179	การจำลองกรณีเปลี่ยนสายเคเบิลใต้ดินเป็นสายเคเบิลอากาศ ด้วยโปรแกรม ATP	167

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
180	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° เมื่อเปลี่ยนสายเคเบิลใต้ดินเป็นสายเคเบิลอากาศ ไม่ทำให้เกิดฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	168
181	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° เมื่อเปลี่ยนสายเคเบิลใต้ดินเป็นสายเคเบิลอากาศ ไม่ทำให้เกิดฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	168
182	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 199.8° เมื่อเปลี่ยนสายเคเบิลใต้ดินเป็นสายเคเบิลอากาศ ไม่ทำให้เกิดฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	169
183	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 199.8° เมื่อเปลี่ยนสายเคเบิลใต้ดินเป็นสายเคเบิลอากาศ ไม่ทำให้เกิดฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	169
184	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ที่มุม 180° เมื่อเปลี่ยนสายเคเบิลใต้ดินเป็นสายเคเบิลอากาศ ไม่ทำให้เกิดฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	170
185	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ที่มุม 180° เมื่อเปลี่ยนสายเคเบิลใต้ดินเป็นสายเคเบิลอากาศ ไม่ทำให้เกิดฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	170
186	การจำลองกรณีเปลี่ยนสายเคเบิลใต้ดินเป็นสายเคเบิลอากาศ ด้วยโปรแกรม PSCAD	171
187	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° เมื่อเปลี่ยนสายเคเบิลใต้ดินเป็นสายเคเบิลอากาศ ไม่ทำให้เกิดฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	171
188	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° เมื่อเปลี่ยนสายเคเบิลใต้ดินเป็นสายเคเบิลอากาศ ไม่ทำให้เกิดฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	172

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
189	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 199.8° เมื่อเปลี่ยนสายเคเบิลใต้ดินเป็นสายเคเบิลอากาศ ไม่ทำให้เกิดฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	172
190	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 199.8° เมื่อเปลี่ยนสายเคเบิลใต้ดินเป็นสายเคเบิลอากาศ ไม่ทำให้เกิดฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	173
191	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ที่มุม 180° เมื่อเปลี่ยนสายเคเบิลใต้ดินเป็นสายเคเบิลอากาศ ไม่ส่งผลให้เกิดฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	173
192	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ที่มุม 180° เมื่อเปลี่ยนสายเคเบิลใต้ดินเป็นสายเคเบิลอากาศ ไม่ทำให้เกิดฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	174
193	การจำลองกรณีพิจารณาโอกาสเกิดฟอร์โรเรโซแนนซ์ของสวิตช์ BZ14-1H ตั้งแต่มุม $1-360^{\circ}$ ด้วยโปรแกรม ATP	176
194	การจำลองกรณีพิจารณาโอกาสเกิดฟอร์โรเรโซแนนซ์ของสวิตช์ BZ14-2H ตั้งแต่มุม $1-360^{\circ}$ ด้วยโปรแกรม ATP	176
195	การตั้งค่าการจำลองการพิจารณาโอกาสเกิดฟอร์โรเรโซแนนซ์ของสวิตช์ ตั้งแต่มุม $1-360^{\circ}$ ด้วยโปรแกรม ATP	177
196	การบันทึกข้อมูลการจำลองการพิจารณาโอกาสเกิดฟอร์โรเรโซแนนซ์ของสวิตช์ ตั้งแต่มุม $1-360^{\circ}$ ด้วยโปรแกรม ATP	177
197	การตั้งค่าจำนวนการเปลี่ยนมุมปิดสวิตช์ ตั้งแต่มุม $1-360^{\circ}$ ด้วยโปรแกรม ATP	178
198	ผลการบันทึกข้อมูลมุมปิดสวิตช์ ตั้งแต่มุม $1-360^{\circ}$ เพื่อตรวจสอบแรงดันเกินเนื่องจากฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	178

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
199	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 31 ° ไม่ส่งผลให้เกิด เฟลอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	179
200	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 32 ° ไม่ส่งผลให้เกิด เฟลอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	180
201	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-2H เฟส Y ที่มุม 17 ° ไม่ส่งผลให้เกิด เฟลอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	180
202	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-2H เฟส Y ที่มุม 18 ° ส่งผลให้เกิด เฟลอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	181
203	การจำลองกรณีพิจารณาโอกาสเกิดเฟลอร์โรเรโซแนนซ์ ของสวิตช์ BZ14-1H และสวิตช์ BZ14-2H ตั้งแต่มุม 1-360 ° ด้วยโปรแกรม PSCAD	181
204	ชุดควบคุมการเปลี่ยนมุมปิดสวิตช์ ตั้งแต่มุม 1-360 ° ของสวิตช์ BZ14-1H และสวิตช์ BZ14-2H , บันทึกข้อมูล และตรวจสอบแรงดันเกินเฟลอร์โร เรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	182
205	การตั้งค่าจำนวนช่วงเวลาและการเพิ่มเวลาในการปิดสวิตช์ BZ14-1H และ สวิตช์ BZ14-2H ในแต่ละมุม ตั้งแต่มุม 1-360 ° ด้วยโปรแกรม PSCAD	182
206	ผลการบันทึกข้อมูลการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ตั้งแต่มุม 1-360 ° ตรวจสอบแรงดันเกินเนื่องจากเฟลอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	183
207	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 34 ° ส่งผลให้เกิด เฟลอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	184
208	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 35 ° ไม่ส่งผลให้เกิด เฟลอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	184
209	ผลการบันทึกข้อมูลการปิดสวิตช์ BZ14-2H เฟส Y ตั้งแต่มุม 1-360 ° ตรวจสอบแรงดันเกินเนื่องจากเฟลอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	185
210	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-2H เฟส Y ที่มุม 192 ° ส่งผลให้เกิด เฟลอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	185

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
211	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-2H เฟส Y ที่มุม 193° ไม่ส่งผลให้เกิด เฟลอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	186
212	การจำลองกรณีปิดเบรกเกอร์ BZ14 ก่อนการปิดสวิตช์ BZ14-1H ด้วยโปรแกรม ATP	187
213	แรงดันจากการปิดเบรกเกอร์ BZ14 ก่อนการปิดสวิตช์ BZ14-1H ทั้ง 3 เฟส ไม่ส่งผลให้เกิดเฟลอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	188
214	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดเบรกเกอร์ BZ14 ก่อนการปิด สวิตช์ BZ14-1H ทั้ง 3 เฟส ไม่ส่งผลให้เกิดเฟลอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	188
215	การจำลองกรณีปิดเบรกเกอร์ BZ14 ก่อนการปิดสวิตช์ BZ14-1H ด้วยโปรแกรม PSCAD	189
216	แรงดันจากการปิดเบรกเกอร์ BZ14 ก่อนการปิดสวิตช์ BZ14-1H ทั้ง 3 เฟส ไม่ส่งผลให้เกิดเฟลอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	189
217	พลังงานในเครื่องล่อฟ้าจากการปิดเบรกเกอร์ก่อนการปิดสวิตช์ BZ14-1H ทั้ง 3 เฟส ไม่ส่งผลให้เกิดเฟลอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	190
218	การจำลองการศึกษาผลการเลื่อนเฟสกรณีปิดเบรกเกอร์ BZ14 ก่อนการปิด สวิตช์ BZ14-1H ด้วยโปรแกรม ATP	191
219	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° หลังปิด เบรกเกอร์ BZ14 เมื่อแหล่งกำเนิดแรงดันด้าน BZ22 มีการเลื่อนเฟส 5° ด้วยโปรแกรม ATP	192
220	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° หลังปิด เบรกเกอร์ BZ14 เมื่อแหล่งกำเนิดแรงดันด้าน BZ22 มีการเลื่อนเฟส 10° ด้วยโปรแกรม ATP	192
221	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° หลังปิด เบรกเกอร์ BZ14 เมื่อแหล่งกำเนิดแรงดันด้าน BZ22 มีการเลื่อนเฟส 15° ด้วยโปรแกรม ATP	193

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
222	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° หลังปิดเบรกเกอร์ BZ14 เมื่อแหล่งกำเนิดแรงดันด้าน BZ22 มีการเลื่อนเฟส 20° ด้วยโปรแกรม ATP	193
223	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° หลังปิดเบรกเกอร์ BZ14 เมื่อแหล่งกำเนิดแรงดันด้าน BZ22 มีการเลื่อนเฟส 25° ด้วยโปรแกรม ATP	194
224	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° หลังปิดเบรกเกอร์ BZ14 เมื่อแหล่งกำเนิดแรงดันด้าน BZ22 มีการเลื่อนเฟส 30° ด้วยโปรแกรม ATP	194
225	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° หลังปิดเบรกเกอร์ BZ14 เมื่อแหล่งกำเนิดแรงดันด้าน BZ22 มีการเลื่อนเฟส 90° ด้วยโปรแกรม ATP	195
226	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° หลังปิดเบรกเกอร์ BZ14 เมื่อแหล่งกำเนิดแรงดันด้าน BZ22 มีการเลื่อนเฟส 120° ด้วยโปรแกรม ATP	195
227	แรงดันจากการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° หลังปิดเบรกเกอร์ BZ14 เมื่อแหล่งกำเนิดแรงดันด้าน BZ22 มีการเลื่อนเฟส 180° ด้วยโปรแกรม ATP	196
228	แบบจำลองการศึกษาการวิเคราะห์มุมในการปิดสวิตช์ของสวิตช์ BZ14-1H เมื่อไม่มีการปิดของเบรกเกอร์ BZ14 ตั้งแต่มุมที่ $1-360^{\circ}$ ด้วยโปรแกรม PSCAD	197
229	ชุดควบคุมการเปลี่ยนมุมปิดสวิตช์ ตั้งแต่มุม $1-360^{\circ}$ ของสวิตช์ BZ14-1H, บันทึกข้อมูล และตรวจสอบแรงดันเกินเฟสโรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	198

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
230	ผลของแรงดัน และพลังงานในเครื่องล่อฟ้า ต่อมุมในการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ตั้งแต่มุมที่ 1-360° ในเวลา 1 วินาที เมื่อไม่มีการปิดของเบรกเกอร์ BZ14 ส่งผลให้เกิดเฟลอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	198
231	ผลของแรงดัน และพลังงานในเครื่องล่อฟ้า ต่อมุมในการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ตั้งแต่มุมที่ 1-360° ในเวลา 1 วินาที เมื่อมีการปิดของเบรกเกอร์ BZ14 ไม่ส่งผลให้เกิดเฟลอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	199
232	ผลของแรงดัน และพลังงานในเครื่องล่อฟ้า ต่อมุมในการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ตั้งแต่มุมที่ 1-360° ในเวลา 1 วินาที เมื่อไม่มีการปิดของเบรกเกอร์ BZ14 ส่งผลให้เกิดเฟลอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	199
233	ผลของแรงดัน และพลังงานในเครื่องล่อฟ้า ต่อมุมในการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ตั้งแต่มุมที่ 1-360° ในเวลา 1 วินาที เมื่อมีการปิดของเบรกเกอร์ BZ14 ไม่ส่งผลให้เกิดเฟลอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	200
234	ผลของแรงดัน และพลังงานในเครื่องล่อฟ้า ต่อมุมในการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ตั้งแต่มุมที่ 1-360° ในเวลา 1 วินาที เมื่อไม่มีการปิดของเบรกเกอร์ BZ14 ไม่ส่งผลให้เกิดเฟลอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	200
235	ผลของแรงดัน และพลังงานในเครื่องล่อฟ้า ต่อมุมในการปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ตั้งแต่มุมที่ 1-360° ในเวลา 1 วินาที เมื่อมีการปิดของเบรกเกอร์ BZ14 ไม่ส่งผลให้เกิดเฟลอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม PSCAD	201
236	แรงดันเกินเฟลอร์โรเรโซแนนซ์ เมื่อปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 144° เมื่อไม่มีการปิดของเบรกเกอร์ BZ14 และไม่มีเครื่องล่อฟ้าอยู่ในระบบ ด้วยโปรแกรม PSCAD	201
237	แรงดันเกินเฟลอร์โรเรโซแนนซ์ เมื่อปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 144° เมื่อไม่มีการปิดของเบรกเกอร์ BZ14 และไม่มีเครื่องล่อฟ้าอยู่ในระบบ ด้วยโปรแกรม PSCAD	202

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
238	แรงดันเกินชั่วคราว เมื่อปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ที่มุม 91° เมื่อไม่มี การปิดของเบรกเกอร์ BZ14 และไม่มีเครื่องล่อฟ้าอยู่ในระบบ ด้วยโปรแกรม PSCAD	202
239	คอนทักต์แรงดันที่ตกคร่อมเครื่องล่อฟ้า เฟส Y เมื่อปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° ในเวลา 1 วินาที ด้วยโปรแกรม PSCAD	204
240	คอนทักต์แรงดันที่ตกคร่อมเครื่องล่อฟ้า เฟส B เมื่อปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° ในเวลา 1 วินาที ด้วยโปรแกรม PSCAD	205
241	คอนทักต์แรงดันที่ตกคร่อมเครื่องล่อฟ้า เฟส R เมื่อปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° ในเวลา 1 วินาที ด้วยโปรแกรม PSCAD	206
242	คอนทักต์พลังงานในเครื่องล่อฟ้า เฟส Y เมื่อปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° ในเวลา 1 วินาที ด้วยโปรแกรม PSCAD	207
243	คอนทักต์พลังงานในเครื่องล่อฟ้า เฟส B เมื่อปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° ในเวลา 1 วินาที ด้วยโปรแกรม PSCAD	208
244	คอนทักต์พลังงานในเครื่องล่อฟ้า เฟส R เมื่อปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส Y ที่มุม 192.6° ในเวลา 1 วินาที ด้วยโปรแกรม PSCAD	209
245	คอนทักต์แรงดันที่ตกคร่อมเครื่องล่อฟ้า เฟส Y เมื่อปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 199.8° ในเวลา 1 วินาที ด้วยโปรแกรม PSCAD	210
246	คอนทักต์แรงดันที่ตกคร่อมเครื่องล่อฟ้า เฟส B เมื่อปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 199.8° ในเวลา 1 วินาที ด้วยโปรแกรม PSCAD	211
247	คอนทักต์แรงดันที่ตกคร่อมเครื่องล่อฟ้า เฟส R เมื่อปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 199.8° ในเวลา 1 วินาที ด้วยโปรแกรม PSCAD	212
248	คอนทักต์พลังงานในเครื่องล่อฟ้า เฟส Y เมื่อปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 199.8° ในเวลา 1 วินาที ด้วยโปรแกรม PSCAD	213
249	คอนทักต์พลังงานในเครื่องล่อฟ้า เฟส B เมื่อปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 199.8° ในเวลา 1 วินาที ด้วยโปรแกรม PSCAD	214

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
250	คอนทิวส์พลังงานในเครื่องล่อฟ้า เฟส R เมื่อปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส B ที่มุม 199.8° ในเวลา 1 วินาที ด้วยโปรแกรม PSCAD	215
251	คอนทิวส์แรงดันที่ตกคร่อมเครื่องล่อฟ้า เฟส Y เมื่อปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ที่มุม 180° ในเวลา 1 วินาที ด้วยโปรแกรม PSCAD	216
252	คอนทิวส์แรงดันที่ตกคร่อมเครื่องล่อฟ้า เฟส B เมื่อปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ที่มุม 180° ในเวลา 1 วินาที ด้วยโปรแกรม PSCAD	217
253	คอนทิวส์แรงดันที่ตกคร่อมเครื่องล่อฟ้า เฟส R เมื่อปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ที่มุม 180° ในเวลา 1 วินาที ด้วยโปรแกรม PSCAD	218
254	คอนทิวส์พลังงานในเครื่องล่อฟ้า เฟส Y เมื่อปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ที่มุม 180° ในเวลา 1 วินาที ด้วยโปรแกรม PSCAD	219
255	คอนทิวส์พลังงานในเครื่องล่อฟ้า เฟส B เมื่อปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ที่มุม 180° ในเวลา 1 วินาที ด้วยโปรแกรม PSCAD	220
256	คอนทิวส์พลังงานในเครื่องล่อฟ้า เฟส R เมื่อปิดสวิตช์ BZ14-1H เฟส R ที่มุม 180° ในเวลา 1 วินาที ด้วยโปรแกรม PSCAD	221
257	แรงดันจากการเปิดเบรกเกอร์ BZ14 ก่อนเปิดสวิตช์ BZ14-2H เฟส R ที่มุม 31° ไม่ส่งผลให้เกิดเฟลโรว์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	224
258	แรงดันจากการเปิดเบรกเกอร์ BZ14 ก่อนเปิดสวิตช์ BZ14-2H เฟส R ที่มุม 32° ส่งผลให้เกิดเฟลโรว์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	224
259	แรงดันจากการเปิดเบรกเกอร์ BZ14 ก่อนเปิดสวิตช์ BZ14-2H เฟส B ที่มุม 31° ส่งผลให้เกิดเฟลโรว์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	225
260	แรงดันจากการเปิดเบรกเกอร์ BZ14 ก่อนเปิดสวิตช์ BZ14-2H เฟส Y ที่มุม 90° ไม่ส่งผลให้เกิดเฟลโรว์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	225
261	แรงดันจากการเปิดสวิตช์ BZ14-2H เฟส R ก่อนเปิดเบรกเกอร์ BZ14 ที่มุม 32° ไม่ส่งผลให้เกิดเฟลโรว์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	226
262	แรงดันจากการเปิดสวิตช์ BZ14-2H เฟส B ก่อนเปิดเบรกเกอร์ BZ14 ที่มุม 31° ไม่ส่งผลให้เกิดเฟลโรว์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	226

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
263	แรงดันจากการเปิดสวิตช์ BZ14-2H เฟส Y ก่อนเปิดเบรกเกอร์ BZ14 ที่มุม 90° ไม่ส่งผลให้เกิดฟอร์โรเรโซแนนซ์ ด้วยโปรแกรม ATP	227
ภาพผนวกที่		
ก1	แบบจำลองแหล่งกำเนิดแรงดัน ด้วยโปรแกรม PSCAD	241
ก2	แบบจำลองสายเคเบิลใต้ดิน ด้วยโปรแกรม PSCAD	241
ก3	แบบจำลองสายเคเบิลอากาศ ด้วยโปรแกรม PSCAD	242
ก4	แบบจำลองหม้อแปลง ด้วยโปรแกรม PSCAD	244
ก5	แบบจำลองเครื่องล่อฟ้า ด้วยโปรแกรม PSCAD	245
ข1	ความสามารถในการควบคุมพลังงานของเครื่องล่อฟ้าในกรณีศึกษา	247
ข2	เส้นโค้งความสามารถในการทำงานบนแรงดันเกินชั่วคราวของเครื่องล่อฟ้า	248

คำอธิบายสัญลักษณ์ คำย่อและอักษรย่อ

A	= หน่วยวัดกระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็นแอมป์___ (Amp)
AC	= ไฟฟ้ากระแสสลับ___ (Alternating Current)
A _p	= ขดลวดเฟส A ด้านปฐมภูมิ___ (Primary of winding in phase A)
ATP	= อัลเตอร์เนทีฟทรานเซียนต์โปรแกรม___ (Alternative Transients Program)
B _p	= ขดลวดเฟส B ด้านปฐมภูมิ___ (Primary of winding in phase B)
C	= ความจุไฟฟ้า___ (Capacitance)
Cm	= หน่วยวัดความยาวมีหน่วยเป็นเซนติเมตร___ (centimeter)
CVT	= หม้อแปลงแรงดันผ่านตัวเก็บประจุ___ (Capacitive Voltage Transformers)
DC	= ไฟฟ้ากระแสตรง___ (Direct Current)
EMTDC	= อิเล็กโตรแมกเนติกทรานเซียนต์ไดเร็กเคอร์เรนท์โปรแกรม___ (Electromagnetic Transient and D.C.)
EMTP	= อิเล็กโตรแมกเนติกทรานเซียนต์โปรแกรม___ (Electromagnetic Transients Program)
f ₀	= ความถี่มูลฐาน___ (Fundamental frequency)
f _{resonance}	= ความถี่เรโซแนนซ์___ (Resonance frequency)
G	= ความนำขานาน___ (Conductance)
H	= หน่วยวัดความเหนี่ยวนำมีหน่วยเป็นเฮนรี___ (Henry)
HVAC	= ระบบส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับ___ (High Voltage Alternating Current)
HVDC	= ระบบส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง___ (High Voltage Direct Current)
Hz	= หน่วยวัดความถี่ไฟฟ้ามีหน่วยเป็นเฮิรตซ์___ (Hertz)
I _{transformer}	= กระแสของหม้อแปลง___ (Current of transformer)
Km	= หน่วยวัดความยาวมีหน่วยเป็นกิโลเมตร___ (kilometer)
Kr	= สัมประสิทธิ์การสะท้อน___ (Reflection Coefficient)
kV	= หน่วยวัดแรงดันไฟฟ้ามีหน่วยเป็นกิโลโวลต์___ (Kilovolt)
L	= ความเหนี่ยวนำ___ (Inductance)
L _L	= ความเหนี่ยวนำรั่ว___ (Leakage Inductance)
L _{M,S}	= ตัวเหนี่ยวนำบนแกนเหล็กที่อิ่มตัว___ (Saturable magnetic core inductor)
L _{M,US}	= ตัวเหนี่ยวนำบนแกนเหล็กที่ไม่อิ่มตัว___ (Unsaturable magnetic core inductor)

คำอธิบายสัญลักษณ์ คำย่อและอักษรย่อ (ต่อ)

μF	= หน่วยวัดความจุไฟฟ้ามีหน่วยเป็นไมโครฟารัด___(microfarad)
μs	= หน่วยวัดเวลาเป็นไมโครวินาที___(microsecond)
ms	= หน่วยวัดเวลาที่มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที___(millisecond)
MVA	= หน่วยวัดกำลังงานไฟฟ้าจริงมีหน่วยเป็นเมกกะโวลต์แอมป์___(MegaVolt-Amp)
MVar	= หน่วยวัดกำลังงานรีแอกทีฟเป็นเมกกะวาร์___(Megavar)
MW	= หน่วยวัดพลังงานไฟฟ้าเป็นเมกกะวัตต์___(Megawatt)
MW	= หน่วยวัดความต้านทานมีหน่วยเป็นเมกกะโอห์ม___(MegaOhm)
N_{Turns}	= จำนวนรอบของขดลวด___(Number of Turns)
p.u.	= เปอรียูนิต___(Per Unit)
p.f.	= ตัวประกอบกำลัง___(Power factor)
PSCAD	= เพาเวอร์ซิสเต็มคอมพิวเตอร์เออเดสไซส์___(Power Systems Computer Aided Design)
R	= ความต้านทาน___(Resistance)
$R_{\text{Load,Open phase}}$	= โหลดใดๆที่ยังคงอยู่ขณะเปิดเฟสวงจร___(Any load remaining on the open circuited phase)
$R_{\text{Load,SEC}}$	= โหลดทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง___(Transformer secondary load)
S	= หน่วยวัดเวลาที่มีหน่วยเป็นวินาที___(Second)
SiC	= เครื่องล่อฟ้าแบบซิลิคอนคาร์ไบด์___(silicon carbide arresters)
SVC	= เครื่องชดเชยกำลังงานรีแอกทีฟ___(static var compensate)
T	= เวลา___(Time)
TACS	= การวิเคราะห์ภาวะชั่วครู่ด้วยระบบควบคุม___(Transient Analysis of Control Systems)
TNA	= การวิเคราะห์ภาวะชั่วครู่ข่าย___(Transient Network Analyzer)
V	= หน่วยวัดแรงดันไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลต์___(Volt)
V_M	= แรงดันตกคร่อมความเหนี่ยวนำบนแกนเหล็กของหม้อแปลง___(Voltage across magnetizing branch of the transformer)
V_{ref}	= แรงดันอ้างอิง___(Reference Voltage)

คำอธิบายสัญลักษณ์ คำย่อและอักษรย่อ (ต่อ)

V_T	= หม้อแปลงแรงดัน___ (Voltage transformer)
$V_{X_{finr}}$	= แรงดันตกคร่อมความเหนี่ยวนำของหม้อแปลง___ (Voltage across inductance of transformer)
W	= หน่วยวัดพลังงานไฟฟ้าเป็นวัตต์___ (Watt)
$X_{C,LL}$	= ความจุไฟฟ้าระหว่างเฟสกับเฟส___ (Phase to phase capacitance)
$X_{C,LN}$	= ความจุไฟฟ้าระหว่างเฟสกับดิน___ (Phase to ground capacitance)
X_C	= ความจุไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโอห์ม___ (Capacitance)
X_{C0}	= ความจุไฟฟ้าขนานลำดับศูนย์___ (Zero sequence shunt capacitive)
X_{C1}	= ความจุไฟฟ้าขนานลำดับบวก___ (Positive sequence shunt capacitive)
$X_{L,Total}$	= ผลรวมความเหนี่ยวนำไฟฟ้า___ (Total inductance)
X_L	= ความเหนี่ยวนำมีหน่วยเป็นโอห์ม___ (Inductance)
$X_{M,SAT}$	= ความเหนี่ยวนำบนแกนเหล็กที่อิ่มตัว___ (Saturable magnetic core inductance)
$X_{M,UNSAT}$	= ความเหนี่ยวนำบนแกนเหล็กที่ไม่อิ่มตัว___ (Unsaturable magnetic core inductance)
X_M	= ความเหนี่ยวนำบนแกนเหล็กของหม้อแปลง___ (Magnetizing branch of the transformer)
ZnO	= เครื่องล่อฟ้าแบบซิงค์ออกไซด์ (zinc-oxide surge arrester)
Z_o	= เสรีจิมพีแดนซ์ของสายส่ง___ (Surge Impedance of line)
Z_{SYS}	= อิมพีแดนซ์ระบบ___ (System Impedance)
Φ	= ฟลักซ์___ (Flux)
Φ_0	= ฟลักซ์เริ่มต้น___ (Initial flux)
Ω/km	= หน่วยวัดค่าความต้านทานกระแสดำรงมีหน่วยเป็นโอห์มต่อกิโลเมตร ___ (Ohm/kilometer)
Ω	= หน่วยวัดความต้านทานมีหน่วยเป็นโอห์ม___ (Ohm)