



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
ปริญญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า	วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขา	ภาควิชา

เรื่อง การออกแบบระบบป้องกันสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความร้อนและกำลังไฟฟ้าร่วม
ที่เดินเครื่องขนานกับระบบจำหน่ายของ กฟน. ให้ทำงานสัมพันธ์กันอย่างเหมาะสม

Protection Coordination Design for a Combined Heat and Power Plant Generator
in Parallel with MEA Distribution

นามผู้วิจัย นายวรา ประชุมทอง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์สันติ อัสวศรีพงศ์ธร, M.Eng.Sc.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ณัฐกานท์ หอมทรัพย์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์เกียรติคุณ กวีญาณ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์มงคล รักษาพัชรวงษ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การออกแบบระบบป้องกันสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความร้อนและกำลังไฟฟ้าร่วมที่เดินเครื่อง
ขนานกับระบบจำหน่ายของ กฟน. ให้ทำงานสัมพันธ์กันอย่างเหมาะสม

Protection Coordination Design for a Combined Heat and Power Plant
Generator in Parallel with MEA Distribution

โดย

นายวรา ประชุมทอง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
พ.ศ. 2551

วรา ประชุมทอง 2551: การออกแบบระบบป้องกันสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความร้อน
และกำลังไฟฟ้าร่วมที่เดินเครื่องขนานกับระบบจำหน่ายของ กฟน. ให้ทำงานสัมพันธ์กัน
อย่างเหมาะสม ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขา
วิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์สันติ อัสวศรีพงษ์ศรี, M.Eng.Sc. 129 หน้า

ในปัจจุบันการเพิ่มขึ้นของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กซึ่งผลิตไฟฟ้าจากการใช้พลังงานความร้อน
ร่วมอย่างมีประสิทธิภาพ โดยผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กเหล่านี้จะเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายของการ
ไฟฟ้านครหลวง มีหลายบทบาทความที่ระบุถึงการทำงานร่วมกันของโรงไฟฟ้าอิสระและระบบ
เครือข่ายของการไฟฟ้านั้น อาจก่อให้เกิดปัญหาในเรื่องความปลอดภัยและปัญหาผลกระทบทาง
เทคนิค งานวิจัยนี้ได้สรุปถึงปัญหาหลายๆ ประการดังกล่าว และอธิบายถึงการศึกษาระบบไฟฟ้า
กำลัง ซึ่งจะได้นำมาประยุกต์ใช้เพื่อระบบป้องกันการเชื่อมต่อที่เหมาะสมที่สุด เพื่อลดปัญหาในการ
ปฏิบัติงาน รวมทั้งให้มีความปลอดภัยเชื่อถือได้ของระบบเครือข่ายการเชื่อมต่อ

การศึกษาระบบไฟฟ้ากำลังประกอบไปด้วย การวิเคราะห์ค่ากระแสลัดวงจรเพื่อใช้สำหรับ
ออกแบบระบบป้องกันการเชื่อมต่อ ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาหลายๆ กรณีได้แสดงและสรุปไว้ใน
งานวิจัย

Wara Prachumtong 2008: Protection Coordination Design for a Combined Heat and Power Plant Generator in Parallel with MEA Distribution. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Santi Asawasripongton, M.Eng.Sc. 129 pages.

At present growing numbers on the development of high efficiency combined heat and cogeneration plant referring as Small Power Producer (SPP) plant are being connected in parallel with MEA's distribution networks. Previous experience described by many paper indicated that the integration of non-utility power plants network could create safety and technical problem. Some of problems reported are summarized. This paper describes the power system studies that applicable to the design of an optimum protection system to minimize potential operational problems and ensure safety and reliability of interconnected network.

The power system studies include short circuit current study required for protection system design. Results obtain from several case studies presented and discussed.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์สันติ อัสวศรีพงศ์ธร อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้
คำปรึกษาในเรื่องต่างๆด้วยดีมาโดยตลอด ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เกียรติยุทธ
กวีญาณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐภา หอมทรัพย์ อาจารย์ที่
ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ และความช่วยเหลือในทุกๆเรื่อง
ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์ ประธานการสอบ และ
อาจารย์ ประมุข อุณหเลขกะ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ได้ให้ความกรุณาในการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณพี่ๆ ทีมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ช่วยเหลือในเรื่องข้อมูลและให้คำปรึกษา
ต่างๆ ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคน และน้องๆทั้งหลาย ที่คอยช่วยเหลือในเรื่องข้อมูลต่างๆ และ
ขอขอบคุณทุกๆ กำลังใจที่มีให้ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และคุณป้า ที่ให้ทุกอย่างแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด จนทุกวันนี้

วรา ประชุมทอง

ตุลาคม 2551

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(9)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	47
อุปกรณ์	47
วิธีการ	47
ผลและวิจารณ์	48
ผล	48
วิจารณ์	107
สรุปและข้อเสนอแนะ	108
สรุป	108
ข้อเสนอแนะ	118
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	119
ภาคผนวก	121
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	129

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	โมดูลต่างๆ ของโปรแกรม CAPE	38
2	ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 1	78
3	ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 1	78
4	ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 2	80
5	ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 2	80
6	ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 3	82
7	ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 3	82
8	ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 4	84
9	ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 4	84
10	ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 5	86
11	ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 5	86
12	ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 6	88
13	ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 6	88
14	ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 7	90
15	ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 7	90
16	ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 8	92
17	ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 8	92
18	ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 9	94
19	ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 9	94
20	ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 10	96
21	ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 10	96
22	ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 11	98
23	ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 11	98
24	ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 12	100
25	ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 12	100

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
26	ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 13	102
27	ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 13	102
28	ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 14	104
29	ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 14	104
30	ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 15	106
31	ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 15	106
ตารางผนวกที่		
1	ข้อมูลระบบ กฟน.	122
2	ข้อมูลพารามิเตอร์ของหม้อแปลง	122
3	ข้อมูลพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	122
4	ข้อมูลพารามิเตอร์ของมอเตอร์	122
5	ข้อมูลพารามิเตอร์ของสายส่ง	124
6	ข้อมูลบัส	125
7	การเชื่อมต่อบัส	126
8	ข้อมูลอุปกรณ์ป้องกัน	128

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนภาพเส้นเดียวของโรงจักรไฟฟ้า(GC-CHIPIDC)	12
2	การเกิดฟอลต์ที่สายจำหน่ายอื่น	17
3	เงื่อนไขการทำให้เกิดปัญหา Ferroresonance	18
4	ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก	22
5	รีเลย์ระยะทางกับการเกิด Underreach เนื่องจาก Infeed	23
6	เกิดเฟส-เฟสฟอลต์ทางด้านทุติยภูมิหม้อแปลงที่มีการต่อขดลวดแบบเดลต้า- วายกราวนด์	27
7	กรณีโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC เดินเครื่องขนานกับระบบของการไฟฟ้า	28
8	กรณีโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC เครื่องแบบ Islanding	29
9	กรณีโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC หยุดเดินเครื่อง	30
10	วงจรสมมุติของหม้อแปลงทดกระแส	32
11	โมดูลบรรณาธิกรฐานข้อมูล	42
12	โมดูลการเขียนแผนภาพเส้นเดียว	43
13	โมดูลการคำนวณค่ากระแสลัดวงจร	44
14	โมดูลเขียนกราฟแสดงการจัดลำดับเวลาทำงาน	45
15	โมดูลจำลองการทำงานของระบบป้องกัน	46
16	ระบบในสถานะที่ 1 ของโรงจักรไฟฟ้า (GC-CHIPIDC)	49
17	กระแส Three phase fault ในสถานะที่ 1	49
18	กระแส Single line to ground fault ในสถานะที่ 1	50
19	ระบบในสถานะที่ 2 ของโรงจักรไฟฟ้า (GC-CHIPIDC)	50
20	กระแส Three phase fault ในสถานะที่ 2	50
21	กระแส Single line to ground fault ในสถานะที่ 2	50
22	ระบบในสถานะที่ 3 ของโรงจักรไฟฟ้า (GC-CHIPIDC)	52
23	กระแส Three phase fault ในสถานะที่ 3	52
24	กระแส Single line to ground fault ในสถานะที่ 3	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
25	ระบบในสถานะที่ 4 ของโรงจักรไฟฟ้า (GC-CHIPIDC)	53
26	กระแส Three phase fault ในสถานะที่ 4	54
27	กระแส Single line to ground fault ในสถานะที่ 4	54
28	ระบบในสถานะที่ 5 ของโรงจักรไฟฟ้า (GC-CHIPIDC)	55
29	กระแส Three phase fault ในสถานะที่ 5	55
30	กระแส Single line to ground fault ในสถานะที่ 5	56
31	ระบบในสถานะที่ 6 ของโรงจักรไฟฟ้า (GC-CHIPIDC)	56
32	กระแส Three phase fault ในสถานะที่ 6	57
33	กระแส Single line to ground fault ในสถานะที่ 6	57
34	ระบบในสถานะที่ 7 ของโรงจักรไฟฟ้า (GC-CHIPIDC)	58
35	กระแส Three phase fault ในสถานะที่ 7	58
36	กระแส Single line to ground fault ในสถานะที่ 7	59
37	ระบบในสถานะที่ 8 ของโรงจักรไฟฟ้า (GC-CHIPIDC)	59
38	กระแส Three phase fault ในสถานะที่ 8	60
39	กระแส Single line to ground fault ในสถานะที่ 8	60
40	ระบบในสถานะที่ 9 ของโรงจักรไฟฟ้า (GC-CHIPIDC)	61
41	กระแส Three phase fault ในสถานะที่ 9	61
42	กระแส Single line to ground fault ในสถานะที่ 9	62
43	ระบบในสถานะที่ 10 ของโรงจักรไฟฟ้า (GC-CHIPIDC)	62
44	กระแส Three phase fault ในสถานะที่ 10	63
45	กระแส Single line to ground fault ในสถานะที่ 10	63
46	ระบบในสถานะที่ 11 ของโรงจักรไฟฟ้า (GC-CHIPIDC)	64
47	กระแส Three phase fault ในสถานะที่ 11	64
48	กระแส Single line to ground fault ในสถานะที่ 11	65
49	ระบบในสถานะที่ 12 ของโรงจักรไฟฟ้า (GC-CHIPIDC)	65

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
50	กระแส Three phase fault ในสภาวะที่ 12	66
51	กระแส Single line to ground fault ในสภาวะที่ 12	66
52	ระบบในสภาวะที่ 13 ของโรงจักรไฟฟ้า (GC-CHIPIDC)	67
53	กระแส Three phase fault ในสภาวะที่ 13	67
54	กระแส Single line to ground fault ในสภาวะที่ 13	68
55	ระบบในสภาวะที่ 14 ของโรงจักรไฟฟ้า (GC-CHIPIDC)	68
56	กระแส Three phase fault ในสภาวะที่ 14	69
57	กระแส Single line to ground fault ในสภาวะที่ 14	69
58	ระบบในสภาวะที่ 15 ของโรงจักรไฟฟ้า (GC-CHIPIDC)	70
59	กระแส Three phase fault ในสภาวะที่ 15	70
60	กระแส Single line to ground fault ในสภาวะที่ 15	71
61	รีเลย์ที่ใช้ในระบบป้องกัน	75
62	รีเลย์กระแสเกินที่ใช้เป็นระบบป้องกันสำรอง	76
63	กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 1	77
64	กราฟการทำงานของกราว์ฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 1	77
65	กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 2	79
66	กราฟการทำงานของกราว์ฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 2	79
67	กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 3	81
68	กราฟการทำงานของกราว์ฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 3	81
69	กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 4	83
70	กราฟการทำงานของกราว์ฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 4	83
71	กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 5	85
72	กราฟการทำงานของกราว์ฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 5	85
73	กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 6	87
74	กราฟการทำงานของกราว์ฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 6	87

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
75	กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 7	89
76	กราฟการทำงานของกราว์ฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 7	89
77	กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 8	91
78	กราฟการทำงานของกราว์ฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 8	91
79	กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 9	93
80	กราฟการทำงานของกราว์ฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 9	93
81	กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 10	95
82	กราฟการทำงานของกราว์ฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 10	95
83	กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 11	97
84	กราฟการทำงานของกราว์ฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 11	97
85	กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 12	99
86	กราฟการทำงานของกราว์ฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 12	99
87	กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 13	101
88	กราฟการทำงานของกราว์ฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 13	101
89	กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 14	103
90	กราฟการทำงานของกราว์ฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 14	103
91	กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 15	105
92	กราฟการทำงานของกราว์ฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 15	105
93	ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัส MDB1	109
94	ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัส ST1-LV	110
95	ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัส ST1-HV (ปลดหม้อแปลง TR2 ออกจากระบบ)	111
96	ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัส ST1-HV (ปลดหม้อแปลง TR1 ออกจากระบบ)	112
97	ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัส HV1	113

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
98	ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัส TR1-LV	113
99	ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัส TR1-HV	114
100	ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส MDB1	114
101	ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส ST1-LV	115
102	ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส ST1-LV	115
103	ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส ST1-HV (ปลดหม้อแปลง TR2 ออกจากระบบ)	116
104	ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส ST1-HV (ปลดหม้อแปลง TR1 ออกจากระบบ)	116
105	ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส HV1	117
106	ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส TR1-LV	117
107	ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส TR1-HV	118

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

MEA	=	Metropolitan Electricity Authority
GC-CH IPIDC	=	Government Ceter Combined Heat and Power with District Cooling
CAPE	=	Compuor Aided Protection Engineering
Ipu	=	ค่ากระแสเริ่มทำงานของรีเลย์
TMS	=	ค่าตัวคูณเวลา
CT	=	หม้อแปลงทดกระแส
CT Ratio	=	อัตราส่วนหม้อแปลงทดกระแส
MVAsc	=	ระดับขนาดการลัดวงจร
x/r retio	=	อัตราส่วนอินดักแตนซ์ต่อรีซิสแตนซ์
IEC	=	มาตรฐานยุโรป (International Electrotechnical Commission)
IEEE	=	มาตรฐานประเทศสหรัฐอเมริกา (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
G	=	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
M	=	มอเตอร์
R	=	รีเลย์
CB	=	เซอร์กิตเบรกเกอร์
TR	=	หม้อแปลงไฟฟ้า

การออกแบบระบบป้องกันสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความร้อนและกำลังไฟฟ้าร่วมที่
เดินเครื่องขนานกับระบบจำหน่ายของ กฟน. ให้ทำงานสัมพันธ์กันอย่างเหมาะสม

Protection Coordination Design for a Combined Heat and Power Plant Generator in Parallel with MEA Distribution

คำนำ

การเชื่อมต่อผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กเข้ากับระบบของการไฟฟ้านครหลวงนั้น จำเป็นจะต้อง
ศึกษาข้อกำหนด ตลอดจนถึงผลกระทบต่างๆที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้เพื่อให้ระบบของการไฟฟ้าสามารถ
จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับลูกค้าได้ปกติเหมือนเดิม โดยการศึกษาจะทำการวิเคราะห์ระบบป้องกันให้
สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ไม่ว่าจะเกิดฟอลต์ในกรณีใดก็ตาม โดยที่การไฟฟ้า
นครหลวงยังคงสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับชุมชนได้อย่างสม่ำเสมอและมีคุณภาพ

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าที่มีระบบไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าแบบ Combined Heat and Power Plant Generator เดินเครื่องเชื่อมโยงขนานกับระบบจำหน่ายแรงดัน 24 kV ของการไฟฟ้านครหลวง
2. ศึกษาและออกแบบระบบป้องกันสำหรับการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Combined Heat and Power Plant Generator เดินเครื่องเชื่อมโยงขนานกับระบบจำหน่ายแรงดัน 24 kV ของการไฟฟ้านครหลวงให้เหมาะสมที่สุด

การตรวจเอกสาร

โรงจักรไฟฟ้า (GC-CHIPIDC)

โรงจักรไฟฟ้า Government Center Combined Heat and Power with District Cooling (GC-CHIPIDC) ตั้งอยู่ที่ถนนแจ้งวัฒนะ กรุงเทพฯ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายในโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนหนึ่งมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายในโรงจักรไฟฟ้าเองและอีกส่วนหนึ่งมาจากการไฟฟ้านครหลวง (MEA)

ในโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 4.735 MW.จำนวน 2 ตัว ทั้งคู่ทำงานเป็นอิสระต่อกัน แยกกันอยู่ทางฝั่งซ้ายและฝั่งขวาของโรงจักรไฟฟ้าฝั่งละตัว ใช้เชื้อเพลิงต้นกำลังเป็นแก๊ส เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานที่ระดับแรงดัน 6.6 kV 3 เฟส ความถี่ 50 Hz. และจะเชื่อมต่อกับสถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวงผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 7 MVA โดยจะยกระดับแรงดันให้มีขนาด 24 kV ในขณะเดียวกันจะทำการจ่ายโหลดผ่านทางหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 2.5 MVA โดยทำการลดระดับแรงดันให้เหลือขนาด 0.415 kV

พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC นี้ถูกนำไปใช้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนหนึ่งจะขายคืนให้กับการไฟฟ้านครหลวง และอีกส่วนนำไปใช้กับโหลดภายในโรงจักรไฟฟ้าเอง และในส่วนของโหลดภายในโรงจักรไฟฟ้านี้ มีโหลดหลักคือระบบทำความเย็น

เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือและประสิทธิภาพของโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC จึงได้ทำการเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้านครหลวงที่สถานีย่อยหลักสี่ที่ระดับแรงดัน 24 kV ผ่านสายส่งขนาด 400 mm² จำนวน 4 สาย และในการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขนานกับระบบของการไฟฟ้านครหลวงนี้ จะต้องมีการมี power factor ไม่ต่ำกว่า 0.85 ความถี่ของระบบจะมีค่าเปลี่ยนแปลงได้อยู่ในช่วง 49.8-50.2 Hz.

การทำงานของระบบในสถานะต่างๆ

สถานะที่ 1

เป็นการทำงานในสถานะปกติทั่วไป โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 2 ตัวในโรงจักรไฟฟ้า จะเดินเครื่องขนานไปพร้อมกับระบบของการไฟฟ้านครหลวง ผ่านทางหม้อแปลงทั้ง 2 ลูก และภายในโรงจักรไฟฟ้าทั้ง 2 ฝั่งไม่มีการเชื่อมต่อกัน

สถานะที่ 2

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 2 ตัวเดินเครื่องขนานและส่งผ่านพลังงานไฟฟ้ากับระบบของการไฟฟ้านครหลวง ผ่านทางหม้อแปลงไฟฟ้า TR2 ซึ่งอยู่ทางฝั่งขวาของโรงจักรไฟฟ้าเพียงตัวเดียว โดยการสั่งให้เบรกเกอร์ (MCB1) ซึ่งอยู่ทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลง TR1 เปิดวงจร และส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าภายในโรงจักรไฟฟ้า โดยการสั่งให้ bus tie (TCB) ทำการปิดวงจร เพื่อเชื่อมต่อและส่งผ่านพลังงาน ระหว่างฝั่งซ้ายและฝั่งขวาของโรงจักรไฟฟ้า

สถานะที่ 3

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 2 ตัวเดินเครื่องขนานและส่งผ่านพลังงานไฟฟ้ากับระบบของการไฟฟ้านครหลวง ผ่านทางหม้อแปลงไฟฟ้า TR2 ซึ่งอยู่ทางฝั่งขวาของโรงจักรไฟฟ้าเพียงตัวเดียว และทำการปลดหม้อแปลงที่อยู่ทางฝั่งซ้ายของระบบออกทั้ง 2 ตัว โดยการสั่งให้เบรกเกอร์ (MCB1) ซึ่งอยู่ทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลง TR1 เปิดวงจร ในขณะเดียวกันก็สั่งให้เบรกเกอร์ (LCB1) ซึ่งอยู่ทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลง ST1 เปิดวงจร ทำการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าภายในโรงจักรไฟฟ้า โดยการสั่งให้ bus tie (TCB) และ bus tie (TIE) ทำการปิดวงจร เพื่อเชื่อมต่อและส่งผ่านพลังงาน ระหว่างฝั่งซ้ายและฝั่งขวาของโรงจักรไฟฟ้า

สภาวะที่ 4

นี้จะคล้ายกับสภาวะที่ 3 แต่จะแตกต่างกันที่จะปลดหม้อแปลง ST2 ซึ่งอยู่ทางฝั่งขวาของระบบแทนหม้อแปลง ST1 โดยการสั่งให้เบรกเกอร์ (LCB2) ซึ่งอยู่ทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลง ST2 เปิดวงจร ทำการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าภายในโรงจักรไฟฟ้า โดยการสั่งให้ bus tie (TCB) และ bus tie (TIE) ทำการปิดวงจร เพื่อเชื่อมต่อและส่งผ่านพลังงาน ระหว่างฝั่งซ้ายและฝั่งขวาของโรงจักรไฟฟ้า

สภาวะที่ 5

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 2 ตัวเดินเครื่องขนานและส่งผ่านพลังงานไฟฟ้ากับระบบของการไฟฟ้านครหลวง ผ่านทางหม้อแปลงไฟฟ้า TR1 ซึ่งอยู่ทางฝั่งซ้ายของโรงจักรไฟฟ้าเพียงตัวเดียว โดยการสั่งให้เบรกเกอร์ (MCB2) ซึ่งอยู่ทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลง TR2 เปิดวงจร และส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าภายในโรงจักรไฟฟ้า โดยการสั่งให้ bus tie (TCB) ทำการปิดวงจร เพื่อเชื่อมต่อและส่งผ่านพลังงาน ระหว่างฝั่งซ้ายและฝั่งขวาของโรงจักรไฟฟ้า

สภาวะที่ 6

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 2 ตัวเดินเครื่องขนานและส่งผ่านพลังงานไฟฟ้ากับระบบของการไฟฟ้านครหลวง ผ่านทางหม้อแปลงไฟฟ้า TR1 ซึ่งอยู่ทางฝั่งซ้ายของโรงจักรไฟฟ้าเพียงตัวเดียว โดยการสั่งให้เบรกเกอร์ (MCB2) ซึ่งอยู่ทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลง TR2 เปิดวงจร ในขณะเดียวกันก็สั่งให้เบรกเกอร์ (LCB1) ซึ่งอยู่ทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลง ST1 เปิดวงจร ทำการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าภายในโรงจักรไฟฟ้า โดยการสั่งให้ bus tie (TCB) และ bus tie (TIE) ทำการปิดวงจร เพื่อเชื่อมต่อและส่งผ่านพลังงาน ระหว่างฝั่งซ้ายและฝั่งขวาของโรงจักรไฟฟ้า

สถานะที่ 7

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 2 ตัวเดินเครื่องขนานและส่งผ่านพลังงานไฟฟ้ากับระบบของการไฟฟ้านครหลวง ผ่านทางหม้อแปลงไฟฟ้า TR1 ซึ่งอยู่ทางฝั่งซ้ายของโรงจักรไฟฟ้าเพียงตัวเดียว โดยการสั่งให้เบรกเกอร์ (MCB2) ซึ่งอยู่ทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลง TR2 เปิดวงจร ในขณะเดียวกันก็สั่งให้เบรกเกอร์ (LCB2) ซึ่งอยู่ทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลง ST2 เปิดวงจร ทำการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าภายในโรงจักรไฟฟ้า โดยการสั่งให้ bus tie (TCB) และ bus tie (TIE) ทำการปิดวงจร เพื่อเชื่อมต่อและส่งผ่านพลังงาน ระหว่างฝั่งซ้ายและฝั่งขวาของโรงจักรไฟฟ้า

สถานะที่ 8

สถานะที่ 8 จะไม่มีการเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้านครหลวง โดยการสั่งให้เบรกเกอร์ (MCB1) ซึ่งอยู่ทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลง TR1 เปิดวงจรและสั่งให้เบรกเกอร์ (MCB2) ซึ่งอยู่ทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลง TR2 เปิดวงจร เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัวทำงานปกติ โดยจะผลิตพลังงานไฟฟ้าและจ่ายให้กับโหลดในแต่ละฝั่งของโรงจักรไฟฟ้าเอง ไม่มีการเชื่อมต่อและส่งผ่านพลังงานภายในระหว่างทั้ง 2 ฝั่งของระบบ

สถานะที่ 9

สถานะที่ 9 นี้คล้ายกับสถานะที่ 8 แต่มีข้อแตกต่างกันตรงที่ จะมีการเชื่อมและส่งผ่านพลังงานภายในระหว่างฝั่งซ้ายและฝั่งขวาของโรงจักรไฟฟ้า โดยการสั่งให้ bus tie (TCB) ทำการปิดวงจร

สถานะที่ 10

สถานะที่ 10 นี้คล้ายกับสถานะที่ 8 แต่มีข้อแตกต่างกันตรงที่ มีการปลดหม้อแปลง ST1 ออกจากระบบ โดยการสั่งให้เบรกเกอร์ (LCB1) ซึ่งอยู่ทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลง ST1 เปิดวงจร จะมีการเชื่อมต่อและส่งผ่านพลังงานภายในระหว่างฝั่งซ้ายและฝั่งขวาของโรงจักรไฟฟ้า โดยการสั่งให้ bus tie (TCB) และ bus tie (TIE) ทำการปิดวงจร

สถานะที่ 11

สถานะที่ 11 นี้คล้ายกับสถานะที่ 10 แต่มีข้อแตกต่างกันตรงที่ มีการปลดหม้อแปลง ST2 ออกจากระบบ แทนหม้อแปลง ST1 โดยการสั่งให้เบรกเกอร์ (LCB2) ซึ่งอยู่ทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลง ST2 เปิดวงจร จะมีการเชื่อมต่อและส่งผ่านพลังภายในระหว่างฝั่งซ้ายและฝั่งขวาของโรงจักรไฟฟ้า โดยการสั่งให้ bus tie (TCB) และ bus tie (TIE) ทำการปิดวงจร

สถานะที่ 12

สถานะที่ 12 คล้ายกับสถานะที่ 8 แต่มีข้อแตกต่างกันตรงที่ จะมีการเชื่อมต่อและส่งผ่านพลังภายในระหว่างฝั่งซ้ายและฝั่งขวาของโรงจักรไฟฟ้า โดยการสั่งให้ bus tie (TCB) และ bus tie (TIE) ทำการปิดวงจร

สถานะที่ 13

สถานะที่ 13 คล้ายกับสถานะที่ 1 แต่มีข้อแตกต่างกันตรงที่ จะมีการเชื่อมต่อและส่งผ่านพลังภายในระหว่างฝั่งซ้ายและฝั่งขวาของโรงจักรไฟฟ้า โดยการสั่งให้ bus tie (TCB) และ bus tie (TIE) ทำการปิดวงจร

สถานะที่ 14

สถานะที่ 14 คล้ายกับกับสถานะที่ 1 แต่มีข้อแตกต่างกันตรงที่ จะมีการปลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่อยู่ในโรงจักรไฟฟ้าทั้ง 2 ตัว ออกจากระบบ และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เป็นพลังงานที่รับมาจากการไฟฟ้านครหลวงเพียงอย่างเดียว และภายในโรงจักรไฟฟ้าทั้ง 2 ฝั่งไม่มีการเชื่อมต่อกัน

สถานะที่ 15

สถานะที่ 15 คล้ายกับกับสถานะที่ 14 แต่มีข้อแตกต่างกันตรงที่ จะมีการเชื่อมต่อและส่งผ่านพลังงานภายในโรงจักรไฟฟ้าทั้ง 2 ฝั่ง โดยการสั่งให้ bus tie (TCB) และ bus tie (TIE) ทำการปิดวงจร

ซึ่งจากการทำงานทั้ง 15 สถานะนี้สามารถแบ่งประเภทของสถานะการทำงานได้เป็น 3 รูปแบบใหญ่ๆ คือ

(1) รูปแบบแรก เป็นการทำงานแบบที่มีการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนานไปพร้อมกับการรับพลังงานจากการไฟฟ้านครหลวง ซึ่งได้แก่ สถานะที่ 1-7

(2) รูปแบบที่สอง เป็นการทำงานในสถานะไอส์แลนดิง (Islanding) คือสถานะการทำงานที่ใช้พลังงานจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายในโรงจักรไฟฟ้าเอง โดยไม่มีการรับพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้านครหลวง ซึ่งได้แก่ สถานะที่ 8-12

(3) รูปแบบที่สาม เป็นสถานะการทำงานที่มีการหยุดเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Shut Down) ภายในโรงจักรไฟฟ้า และใช้พลังงานไฟฟ้าที่มาจากโรงไฟฟ้านครหลวงเท่านั้น ซึ่งได้แก่สถานะที่ 14-15

การศึกษาฟอลต์

จุดมุ่งหมายของการศึกษาฟอลต์ก็เพื่อที่ทราบถึงขนาดของกระแสไฟฟ้า ที่ไหลผ่านส่วนต่างๆ ของระบบหลังจากที่มีฟอลต์เกิดขึ้น ระหว่างที่มีฟอลต์เกิดขึ้นนั้น ระบบไฟฟ้ากำลังจะต้องตรวจพบ ขัดขวางตลอดจนตัดส่วนที่เกิดฟอลต์ออกไปในที่สุด ส่วนขนาดกระแสฟอลต์ที่พิจารณานั้นมี 2 ชนิด คือ Three-phase fault และ Single line to ground fault เมื่อทราบถึงขนาดฟอลต์ที่เกิดขึ้นแล้ว จะนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันต่างๆ เช่น หม้อแปลงทดกระแส เซอร์กิตเบรกเกอร์ และรีเลย์ ให้มีการทำงานที่เหมาะสมกับระบบต่อไป

การศึกฟอลต์ที่เกิดขึ้นให้เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60909 ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับการคำนวณค่ากระแสฟอลต์ โดยวงจรสมมูลของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่จุดเกิดฟอลต์ ให้แทนด้วยแหล่งจ่ายแรงดัน และ Voltage factor C ใช้ในการประมาณค่าขนาดของแหล่งจ่ายแรงดันสมมูลเพื่อหาค่ากระแสลัดวงจรต่ำสุดและสูงสุดที่เกิดขึ้น

คิดค่าอิมพีแดนซ์ภายในของเครื่องจักรกลไฟฟ้าทุกตัว ส่วนค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้าถ้ากรณีที่หม้อแปลงไฟฟ้ามีแทป ก็ให้คิดเป็นค่าเดียวกับกรณีที่หม้อแปลงไฟฟ้าไม่มีแทป ค่า

อิมพีแดนซ์ของระบบให้คิดเป็นระบบ 3 เฟสสมดลย์ และกระบวนการองค์ประกอบสมมาตรจะนำมาประยุกต์ใช้ในการหาฟอลต์ที่ไม่สมมาตร ระยะทางจากจุดเกิดฟอลต์ถึงเครื่องกำเนิดไฟฟ้านำมาพิจารณาด้วย สำหรับจุดเกิดฟอลต์ที่อยู่ห่างจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า(ภายนอก) ให้คิดว่าค่ากระแสฟอลต์ช่วงสเทตที่สี่เทหมีค่าเท่ากับค่ากระแสสมมาตรช่วงเริ่มต้นการเกิดฟอลต์ ค่าอิมพีแดนซ์ลำดับศูนย์ของสายส่งจะถูกนำมาใช้ในการคำนวณ Single line to ground fault

ให้องค์ประกอบกระแสตรงมีค่าเป็นศูนย์ แต่ในกรณีจุดเกิดฟอลต์อยู่ใกล้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า(ภายใน) ให้คิดทั้งองค์ประกอบกระแสตรงและกระแสสลับ ซึ่งอัตราส่วน X/R จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณค่าอัตราการสลายของทั้งองค์ประกอบกระแสตรงและกระแสสลับ ซึ่งค่าที่ได้ี้จะมีขนาดต่างกันสำหรับฟอลต์ที่จุดเดียวกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและมอเตอร์

การคำนวณฟอลต์ให้เป็นไปตามมาตรฐาน IEC60909 ทั้ง Three-phase fault และ Single line to ground fault โดยมีรายละเอียดดังนี้คือ

Voltage factor C มีค่าต่ำสุดคิดที่ 1.0 pu และไม่พิจารณาผลจากค่าของมอเตอร์

Voltage factor C มีค่าสูงสุดคิดที่ 1.1 pu และพิจารณาผลจากมอเตอร์เพื่อค่ากระแสฟอลต์สูงสุด (GC-CHPIDC Power System Study, 2007)

ก่อนที่จะหาค่าขนาดของกระแส Three-phase fault และ Single line to ground fault ได้ นั้น จะต้องรู้รายละเอียดข้อมูลต่างๆ ของระบบและหลังจากนั้นก็ทำการหาค่ากระแสฟอลต์ในสถานะต่างๆของระบบ ทั้ง 15 สถานะ

ข้อมูลในการวิเคราะห์ฟอลต์

- ข้อมูลของระบบการไฟฟ้านครหลวง
- ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- ข้อมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า
- ข้อมูลของสายส่ง
- ข้อมูลของมอเตอร์
- ข้อมูลของบัส

ข้อมูลของระบบการไฟฟ้านครหลวง

- ระดับขนาดฟอลต์
- ระดับแรงดันไฟฟ้า
- ค่าอิมพีแดนซ์

ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

- ขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- ระดับแรงดันไฟฟ้า
- ค่าอิมพีแดนซ์
- พาวเวอร์แฟกเตอร์
- อัตราความเร็วรอบ
- การต่อลงดิน

ข้อมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า

- ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า
- ระดับแรงดันไฟฟ้า
- ค่าอิมพีแดนซ์
- ระดับแรงดันทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ
- รูปแบบการต่อขดลวด
- การต่อลงดิน

ข้อมูลของสายส่ง

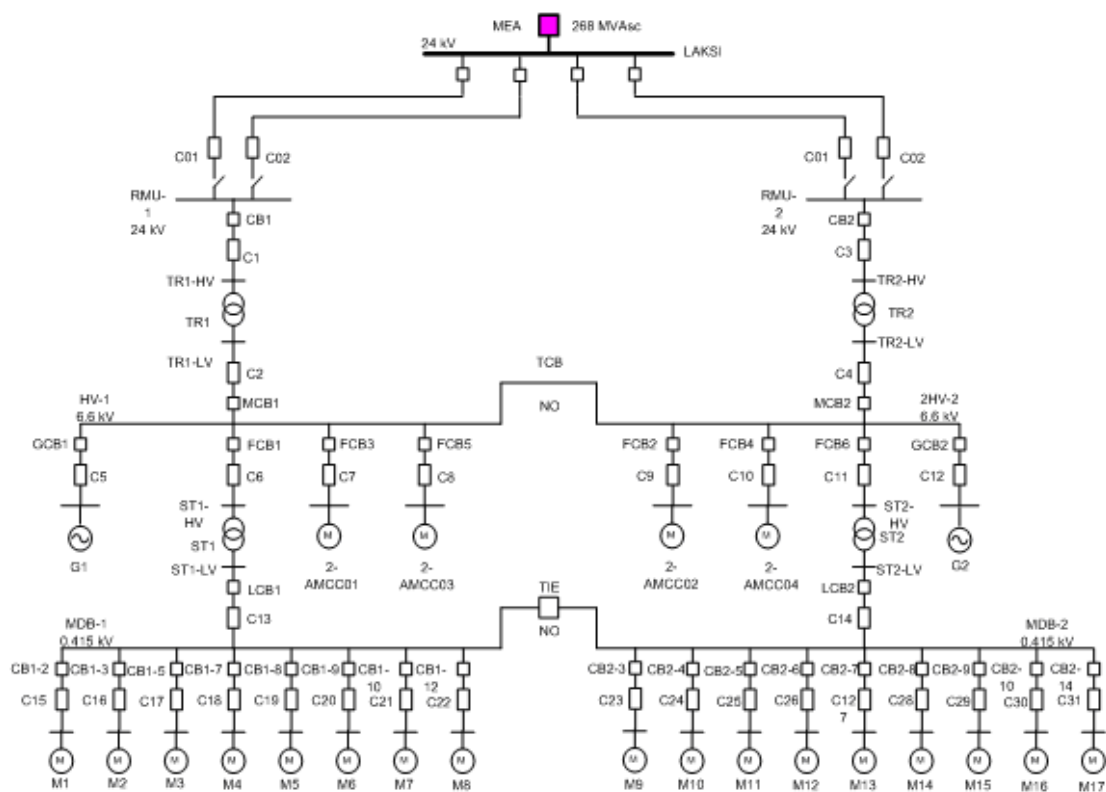
- ระดับแรงดันไฟฟ้า
- ค่าอิมพีแดนซ์
- การเชื่อมต่อกับบัสต่างๆ

ข้อมูลของมอเตอร์

- ขนาดมอเตอร์
- ระดับแรงดันไฟฟ้า
- พาวเวอร์แฟกเตอร์
- ประสิทธิภาพ
- อัตราความเร็วรอบ
- จำนวนขั้ว
- อัตราส่วนกระแสล่อโรเตอร์ต่อกระแสพิสัย

ข้อมูลของบัส

- ระดับแรงดันไฟฟ้า
- การเชื่อมต่อกับบัสอื่นๆ



ภาพที่ 1 แผนภาพเส้นเดียวของโรงจักรไฟฟ้า(GC-CHIPIDC)

การต่อลงดินของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

สำหรับการต่อลงดินของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า(NGR) ที่อยู่ภายในโรงจักรไฟฟ้านั้น มีจุดประสงค์เพื่อจำกัดกระแสการวนฟลด์ ที่ไหลผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มีขนาดลดลง ซึ่งจะช่วยลดความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ โดยมีวิธีการต่อลงดิน 2 วิธีดังนี้

การต่อลงดินผ่านความต้านทานต่ำ สามารถจำกัดกระแสฟลด์ที่เกิดขึ้นในระบบให้มีขนาดไม่เกิน 400 A

การต่อลงดินผ่านความต้านทานสูง สามารถจำกัดกระแสฟลด์ที่เกิดขึ้นในระบบให้มีขนาดไม่เกิน 10 A

ใช้แรงดันเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในการคำนวณหาค่าความต้านทานที่จะนำมาใช้ได้
ดังนี้

ถ้าต่อลงดินผ่านความต้านทานต่ำ

$$NGR = \left(\frac{6,600 / \sqrt{3}}{400} \right) = 9.527 \, \Omega$$

ถ้าต่อลงดินผ่านความต้านทานสูง

$$NGR = \left(\frac{6,600 / \sqrt{3}}{10} \right) = 381.06 \, \Omega$$

ส่วนจะจัดให้มีการต่อลงดินแบบใดหรือไม่มีการต่อลงดินนั้น ก็จะต้องพิจารณาถึง
ค่าใช้จ่ายและองค์ประกอบอื่นๆ อีกว่าทำแบบใดจึงจะเหมาะสมมากที่สุด

(GC-CHIPIDC Power System Study, 2007)

ข้อกำหนดการเชื่อมต่อโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC กับระบบของการไฟฟ้า

ในการเชื่อมต่อโรงของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กเข้ากับระบบของการไฟฟ้านครหลวงนั้น จำเป็น
จะต้องศึกษาถึงผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานคุณภาพการจ่ายไฟฟ้า ความปลอดภัยของ
ทรัพย์สินในระบบไฟฟ้าของผู้ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ทรัพย์สินในระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง
กับทรัพย์สินในระบบไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง ความปลอดภัยในการปฏิบัติการ
และการบำรุงรักษาของวิศวกรไฟฟ้าและพนักงาน

โดยควรมีการทบทวนระเบียบการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนานกับระบบจำหน่ายที่ใช้
ปฏิบัติอยู่ ให้สอดคล้องกับลักษณะของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก ทบทวนหลักเกณฑ์วิธีการในการรับ
เชื่อมต่อผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวงให้เหมาะสม โดยให้
ความสำคัญกับรูปแบบการเชื่อมต่อ การกำหนดอุปกรณ์ป้องกันของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก เนื่องจาก
การมีผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนประเภทผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก จ่ายไฟฟ้าเข้ามาในระบบจำหน่าย ทำให้การ

จ่ายไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไม่เป็นไปตามข้อกำหนดและมาตรฐานการออกแบบที่ใช้อยู่เดิมในบางกรณี

ข้อกำหนดหรือข้อตกลงร่วมกันระหว่างผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กกับการไฟฟ้าในการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก ควรมีรายละเอียดเบื้องต้นดังต่อไปนี้

- โรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC จะต้องติดตั้งรีเลย์ที่มีมาตรฐานและมีจำนวนชนิดที่ กฟน. ยอมรับ
- เซอร์กิตเบรกเกอร์จะต้องเป็นชนิดที่มีการบำรุงรักษาน้อย โดยในระดับแรงดันปานกลาง อาจเป็นแบบสูญญากาศหรือแก๊สก็ได้ และทนทานกระแสฟอลต์ที่จุดติดตั้งได้
- กฟน. ต้องทราบถึงรายละเอียดของระบบป้องกันของโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC เพื่อให้ทำงานสัมพันธ์กันได้กับระบบป้องกันของ กฟน. โดยจะต้องมีรายละเอียดการทดสอบระบบป้องกันก่อนที่จะขนานเข้ากับระบบ ตลอดจนข้อมูลอื่นๆที่จำเป็น
- โรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC จะต้องทราบเองว่าในบางสถานะของการต่อเชื่อมนั้นอาจทำให้มีกระแสลัดกลับไหลในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC ได้ และเป็นหน้าที่ของโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC เองที่จะต้องป้องกันอุปกรณ์ของตนจากกระแสลัดกลับที่มีค่าสูงเกิน
- ควรมีการติดตั้งอุปกรณ์ตัดตอนกันระหว่างสถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าและสถานีไฟฟ้าย่อยของโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC
- ในระบบสายส่งหรือระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า ต้องมีการติดตั้งหม้อแปลงลดแรงดันเพื่อการตรวจวัดค่าแรงดัน เพื่อป้องกันการรีโคสเบรกเกอร์ของการไฟฟ้ากลับเข้าไปอีกครั้ง โดยที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC และระบบของการไฟฟ้ามีแรงดันเฟสต่างกัน
- กฟน. สามารถจัดการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าของ กฟน. กับระบบของโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC ได้ เพื่อประโยชน์ของระบบไฟฟ้าของ กฟน.
- การออกแบบระบบป้องกันของโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC ต้องสามารถตรวจจับและตัดฟอลต์ที่มาจากระบบของ กฟน. ได้
- การออกแบบระบบป้องกันของโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC ต้องออกแบบระบบป้องกันให้ครอบคลุมถึงในกรณีที่ไม่มีขนานระบบกับ กฟน. ด้วย

- อุปกรณ์รวมทั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC จะต้องไม่ทำให้คุณภาพกำลังไฟฟ้าของลูกค้ารายอื่นๆลดลง นั่นคือต้องไม่ก่อให้เกิดแรงดันและความถี่ที่ผิดปกติหรือเป็นสาเหตุของไฟดับบ่อยครั้ง ทั้งนี้การไฟฟ้าเป็นผู้มีหน้าที่ในการตัดสินใจว่าควรจะใช้รีเลย์และระบบป้องกันอย่างไร เพื่อให้การเชื่อมโยงเป็นไปด้วยความปลอดภัยและถูกต้อง
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC จะต้องเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงกำลัง โดยหม้อแปลงกำลังนี้จะทำหน้าที่แยกวงจรลำดับศูนย์ของโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC ออกจากวงจรลำดับศูนย์ของการไฟฟ้า
- โรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC จะต้องไม่ทำให้เกิดปัญหาในการจ่ายกระแสไฟฟ้า ให้เกิดขึ้นบนระบบของ กฟน.
- เป็นหน้าที่ของโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC ที่จะต้องจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับการเชื่อมต่อเพื่อให้สามารถเชื่อมต่อกับระบบได้อย่างมีเชิงโครนิซึม
- โรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC จะต้องไม่เชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของตนเข้ากับระบบ หากระบบของการไฟฟ้าไม่มีไฟ
- อนุญาตให้ทำการเชิงโครนิซึมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบของ กฟน.ด้วยมือได้ในบางโอกาส
- อาจจำเป็นต้องจัดเตรียมช่องการสื่อสารไว้สำหรับใช้ในระบบรีเลย์ป้องกัน ซึ่งอาจเป็นสายโทรศัพท์ ใยแก้วนำแสง ไมโครเวฟหรืออื่นๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรไฟฟ้า
- ควรคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่ที่สถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าด้วย ซึ่งอาจเนื่องมาจากสาเหตุของระดับกระแสฟอลต์ที่เพิ่มขึ้น หรือเงื่อนไขพิเศษในดินเครื่องของโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC
- ค่าใช้จ่ายต่างๆ เช่น ค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์หรือปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ ทางโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC จะต้องเป็นผู้รับผิดชอบ (การไฟฟ้านครหลวง, 2549)

ปัญหาและผลกระทบในกรณีที่ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กต่อขนานเข้ากับระบบของการไฟฟ้า

โดยปกติแล้ว ระบบของการไฟฟ้าจะประกอบไปด้วยระบบไฟฟ้าหลายระบบเชื่อมขนานถึงกัน เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการของโหลด แต่ระบบมักมีการเดินเครื่องขนานกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไป ซึ่งทุกระบบจำเป็นต้องได้รับการออกแบบมาเพื่อรองรับสิ่งรบกวน (Disturbance) อันได้แก่ ฟอลต์ในสายส่ง อุปกรณ์ทำงานล้มเหลว การขาด

หายไปอย่างทันทีทันใดของแหล่งจ่ายพลังงานหรือโหลด และการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาของค่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง รูปแบบการเชื่อมต่อรวมทั้งการออกแบบระบบป้องกันจะถูกกำหนดขึ้นมาหลังจากที่ได้มีการพิจารณาถึงข้อได้เปรียบสูงสุดและผลเสีย ซึ่งจะตามมาหลังจากการต่อขนานแล้ว ในการต่อขนานระบบของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กก็ต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆเหล่านี้เช่นเดียวกัน ปัญหาและผลกระทบเนื่องจากการมีผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กเดินเครื่องขนานกับระบบของการไฟฟ้า โดยทั่วไปมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (อรรณ,2546)

ปัญหาค่าพาวเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor: PF)

ปัญหาค่าพาวเวอร์แฟคเตอร์ ที่สถานีของ กฟน.ที่มีผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กขนานเข้ากับระบบจะมีค่าพาวเวอร์แฟคเตอร์ ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด

ปัญหาค่าแรงดันไฟฟ้าไม่คงที่

ปัญหาค่าแรงดันไฟฟ้าไม่คงที่ทำให้ผู้ใช้ไฟได้รับผลกระทบ สาเหตุเนื่องจากผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กหลุดออกจากระบบบ่อยครั้ง

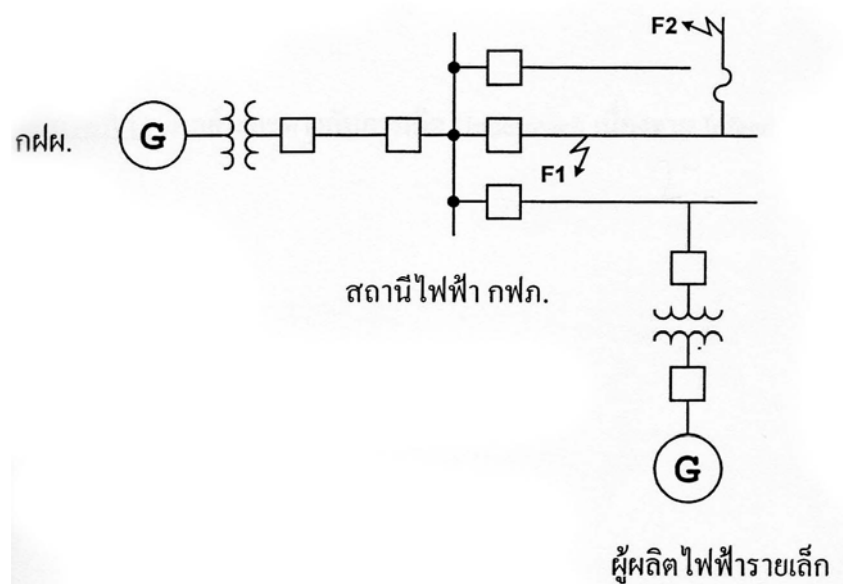
ปัญหาค่าระดับกำลังของฟอลต์ (Fault Level)

เมื่อมีผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กมาต่อขนานกับระบบมากขึ้น จะทำให้ค่าระดับกำลังฟอลต์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นมาก เนื่องจากมีจำนวนแหล่งจ่ายเพิ่มขึ้น

ปัญหาเรื่องฮาร์โมนิก (Harmonic)

ความเพี้ยนของฮาร์โมนิก (Harmonic Distortion) ส่วนใหญ่เครื่องกำเนิดเชิงโคโรนาและอินดักชันจะไม่ก่อให้เกิดฮาร์โมนิก อย่างไรก็ตามแหล่งจ่ายไฟฟ้าจะใช้อุปกรณ์พวกโซลิดสเตตอินเวอร์เตอร์ (solid-state inverters) ซึ่งเสมือนเป็นอุปกรณ์ที่ต่อเข้ากับระบบการไฟฟ้า โดยจะทำให้เกิดความเพี้ยนของฮาร์โมนิกสูงเพียงพอที่จะเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหากับอุปกรณ์ของผู้ใช้ไฟและการไฟฟ้าได้

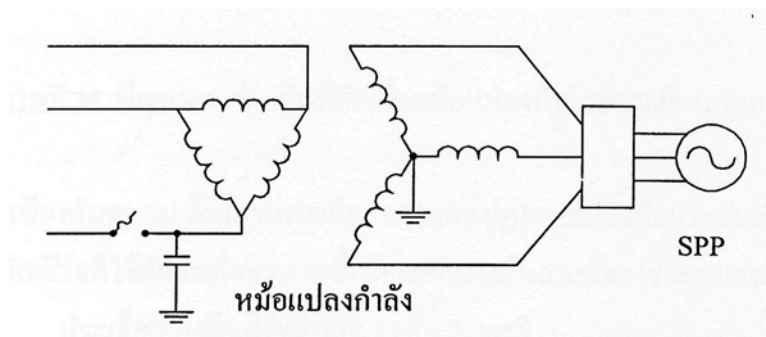
ปัญหาการทำงานของรีเลย์ป้องกันผิดพลาด



ภาพที่ 2 การเกิดฟอลต์ที่สายจำหน่ายอื่น

เมื่อเกิดฟอลต์ในสายจำหน่ายสายอื่น เช่น การเกิดฟอลต์ที่ F1 หรือ F2 จะมีค่ากระแสฟอลต์จ่ายมาจากเครื่องกำเนิดของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก ผลก็คือค่ากระแสฟอลต์เพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีผลกระทบต่อค่าช่วงคั่นเวลาการทำงานของกลอุปรกรณ์ป้องกันกระแสเกินใหม่ ซึ่งในกรณีของรีเลย์วัดระยะทาง ผลของค่ากระแสฟอลต์ที่เพิ่มขึ้นอาจส่งผลให้รีเลย์เกิดปัญหา Underreach หากมีสถานะ Infeed ดังภาพที่ 2

ปัญหา Ferroresonance



ภาพที่ 3 เงื่อนไขการทำให้เกิดปัญหา Ferroresonance

ในการจ่ายโหลดสมัยใหม่นิยมให้เคเบิลใต้ดินซึ่งจะรับไฟมาจากสายโอเวอร์เฮดอีกต่อหนึ่ง การป้องกันสายโอเวอร์เฮดจากฟอลต์ในเคเบิลใต้ดินนั้น โดยทั่วไปจะใช้ฟิวส์ทำงานแบบ ทันทันทันใด เนื่องจากฟอลต์ในเคเบิลใต้ดินส่วนมากเป็นฟอลต์แบบถาวร

ซึ่งหากเกิดกรณีที่ฟิวส์ทำงานเปิดวงจรหนึ่งเฟส ดังภาพที่ 3 จะทำให้เกิดการอนุกรมกันของ ค่าความเก็บประจุของเคเบิลใต้ดินและค่าความเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กของหม้อแปลง เกิดสถานะ Ferroresonance ขึ้น ทำให้แรงดันและกระแสสูงมากจนทำให้อุปกรณ์ที่ยังต่ออยู่กับหม้อแปลงได้รับความเสียหายได้ เช่น อุปกรณ์ป้องกันแรงดันเสิร์จทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง เป็นต้น

ปัญหาแรงดันต่อความถี่เมื่อผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กเดินเครื่องในสถานะ Islanding

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กต้องการการป้องกัน ไม่เพียงแต่จากกระแส ลัดวงจร แต่ยังต้องรวมถึงการป้องกันในกรณีการทำงานในสถานะที่ไม่ปกติ ซึ่งอาจจะมีมาจากการ ไฟฟ้า ยกตัวอย่างเช่น การหล่อเลี้ยงสนามแม่เหล็กเกินค่า แรงดันสูงเกิน กระแสไม่สมดุล ความถี่ไม่ปกติ และความเครียดแรงบิดที่เพลา ซึ่งเกิดจากการปิดกลับโดยอัตโนมัติของเบรกเกอร์ การไฟฟ้า และการไฟฟ้านั้นก็มีความกังวลห้วงใยเช่นเดียวกันว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ขนานเข้ากับ ระบบเหล่านี้ อาจจะทำให้อุปกรณ์ของตนเองเสียหาย รวมทั้งอุปกรณ์ของผู้ใช้ไฟฟ้าซึ่งเป็นลูกค้า ด้วย

Islanding เป็นสถานะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดินเครื่องโดยไม่ได้ขนานอยู่กับระบบของการไฟฟ้า ซึ่งมีสาเหตุมาจากการที่เบรกเกอร์ของการไฟฟ้าทริป สถานะแบบนี้มักไม่ยินยอมให้เกิดขึ้นเนื่องจากสาเหตุหลักใหญ่ 2 ประการคือ

การไฟฟ้ามักจะพยายามทำการปิดกลับเบรกเกอร์โดยอัตโนมัติก่อนเสมอ เพื่อไม่ให้เกิดไฟฟ้าดับ ซึ่งอาจเกิดความเสียหายต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หากกำลังเดินเครื่องแบบ Islanding โดยไม่มีชิงโครนิซึมกับระบบ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เดินเครื่องแบบ Islanding นั้นอาจจะไม่สามารถรักษาคุณภาพกำลังไฟฟ้าได้

ขณะเกิดฟลัดต์ในระบบสายจำหน่ายที่เชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก ระบบป้องกันของผู้ผลิตรายเล็กจำทำการตัดแยกวงจรเพื่อให้ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กสามารถเดินเครื่องจ่ายไฟอย่างอิสระให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้าโดยตรงจากผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก ขณะที่มีการปลดแยกวงจรออก การควบคุมค่าแรงดันและการควบคุมความถี่ในระบบจะเป็นการควบคุมจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของผู้ผลิตรายเล็ก ซึ่งมีค่าความเฉื่อยต่ำ และมีขีดความสามารถในการคุมค่าแรงดันและความถี่ได้น้อยกว่าการคุมค่าจากระบบจำหน่ายที่มีขีดความสามารถสูงกว่า

ดังนั้นการแกว่งของค่าแรงดันมีผลให้ช่วงของค่าแรงดันสูงเกินกับค่าแรงดันต่ำเกิน และช่วงของค่าความถี่สูงเกินกับค่าความถี่ต่ำเกินเปลี่ยนแปลงค่าได้มาก อาจมีผลกระทบจากปัญหาการหล่อเลี้ยงสนามแม่เหล็กเกินค่า (Overexcitation) ได้มาก ปัญหานี้จะมีผลกระทบทำให้หม้อแปลงและมอเตอร์ต่างๆของผู้ใช้ไฟได้รับความเสียหาย

ความปลอดภัย

1. ความปลอดภัยต่อบุคคลและทรัพย์สินของผู้ใช้ไฟ การไฟฟ้ารวมทั้งผู้ผลิตไฟฟ้า

ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้ามักมีลักษณะเป็นแบบเรเดียล ซึ่งกำลังไฟฟ้าจะไหลจากสถานีไฟฟ้าไปยังโหลด การเพิ่มเข้ามาของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กทำให้ลักษณะการไหลนี้เปลี่ยนไป ทั้งในระหว่างสภาวะปกติและสภาวะการเกิดฟอลต์ สำหรับความปลอดภัยต่อบุคคลนั้น ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กที่เพิ่มเข้ามา จะต้องไม่มีการเชื่อมต่อกับระบบในระหว่างที่การไฟฟ้าทำการซ่อมบำรุง โดยควรมีแผนภาพเส้นเดียวระบุอย่างชัดเจนในห้องควบคุมปฏิบัติการ รวมทั้งบริเวณตู้สวิตช์ตัดคอน

2. ความปลอดภัยต่อการปฏิบัติงาน

การเดินเครื่องขนานของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กสร้างข้อวิตกต่อการปฏิบัติการของระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้า ปัญหาที่สำคัญที่สุดก็คือเรื่องการเคลียร์ฟอลต์และการปิดกลับโดยอัตโนมัติ และปัญหาที่ยากอีกเรื่องหนึ่งก็คือการควบคุมการเดินเครื่องโดยอัตโนมัติ เนื่องจากระบบของการไฟฟ้านั้นมันจะใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมการเดินเครื่อง โดยจะมีการเชื่อมโยงข้อมูลถึงกันของเครื่องกำเนิดทุกๆตัวตลอดเวลา ซึ่งอาจทำให้การคำนวณมีผิดพลาดได้หากไม่ได้รับข้อมูลจากผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กจำนวนหนึ่ง ซึ่งกำลังจ่ายโหลดอยู่เช่นกัน

การเคลียร์ฟอลต์ที่เกิดกับวงจรของการไฟฟ้านั้น การไฟฟ้ามีหน้าที่รับผิดชอบโดยตรง ระบบป้องกันการเชื่อมต่อที่จำเป็นต้องให้ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กหลุดออกไปหากเกิดฟอลต์นั้น การไฟฟ้าจะต้องสามารถเข้าถึงในการตรวจสอบทดสอบ รวมทั้งยืนยันว่าอุปกรณ์เหล่านั้นสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง และจะพบว่าเวลาในการนำสายหรือวงจรนั้นกลับเข้าใช้งานหลังจากการเกิดฟอลต์นั้นจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากต้องตรวจสอบก่อนว่าผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กหลุดไปแล้วหรือไม่ ก่อนที่จะทำการเข้าไปเคลียร์สาเหตุของฟอลต์ในกรณีฟอลต์แบบถาวร

ความสูญเสีย (Loss) เพิ่มขึ้น

เนื่องจากการที่ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กจ่ายไฟฟ้าเข้ากับระบบเกินความต้องการของผู้ใช้ไฟ จึงทำให้ปริมาณพลังงานที่เหลือนั้นจ่ายย้อนกลับเข้าไปในระบบของ กฟน. แล้วไปยังโหลดที่อยู่ในระยะทางไกล จึงทำให้ความสูญเสียในสายส่งเพิ่มขึ้น

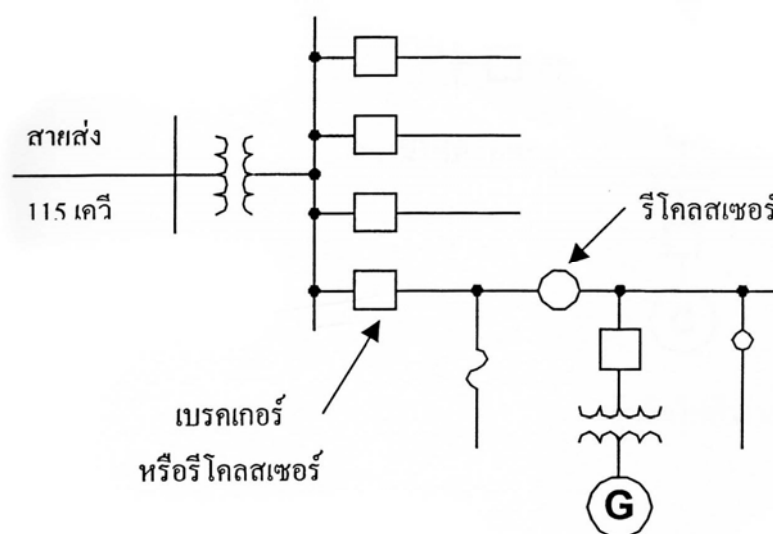
คุณภาพของไฟฟ้ากำลัง (Power Quality)

ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก ไม่ควรทำให้เกิดผลกระทบในทางลบต่อคุณภาพของกำลังไฟฟ้าที่ลูกค้าของการไฟฟ้าควรจะได้รับในทุกๆช่วงเวลา นั่นคือจะต้องไม่เป็นสาเหตุของไฟดับ หรือแรงดันสูงเกิน หรือทำให้เกิดความผิดปกติของรูปคลื่นแรงดันและกระแสอันเนื่องมาจากการจ่ายกระแสฮาร์มอนิกที่มากเกินไป ความผิดปกติเหล่านี้จะส่งผลให้เกิดการทำงานที่ผิดปกติ รวมทั้งเกิดความเสียหายต่อมอเตอร์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และรีเลย์ป้องกัน ในทำนองเดียวกับการทำให้เกิดการกระพริบของหลอดไฟ โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเมื่อผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กมีการสวิตช์เปิดปิดวงจรนั้น ควรมีค่าไม่เกินข้อกำหนดของการไฟฟ้าสำหรับการสตาร์ทมอเตอร์และการสวิตช์ตัวเก็บประจุ การไฟฟ้าส่วนใหญ่จะกำหนดไว้ที่ไม่เกิน $\pm 5\%$

เพื่อการแยกหรือลดการจ่ายกระแสฮาร์มอนิกเข้าสู่ระบบ บางการไฟฟ้าจะกำหนดให้ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กเชื่อมต่อกับระบบผ่านทางหม้อแปลงกำลัง โดยเฉพาะในกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสามเฟส ซึ่งจะทำให้สามารถแยกวงจรลำดับศูนย์ของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กออกจากวงจรลำดับศูนย์ของการไฟฟ้าได้ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถป้องกันความเสียหายของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กเนื่องจากสาเหตุของฟอลต์ลงดินได้ นอกจากนี้ผู้ประกอบการผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กอาจยังสามารถใช้หม้อแปลงกำลังอีกตัวเพื่อแยกเอาพิกของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กจากโหลดภายในโรงไฟฟ้าเอง

ความเชื่อถือได้ (Reliability)

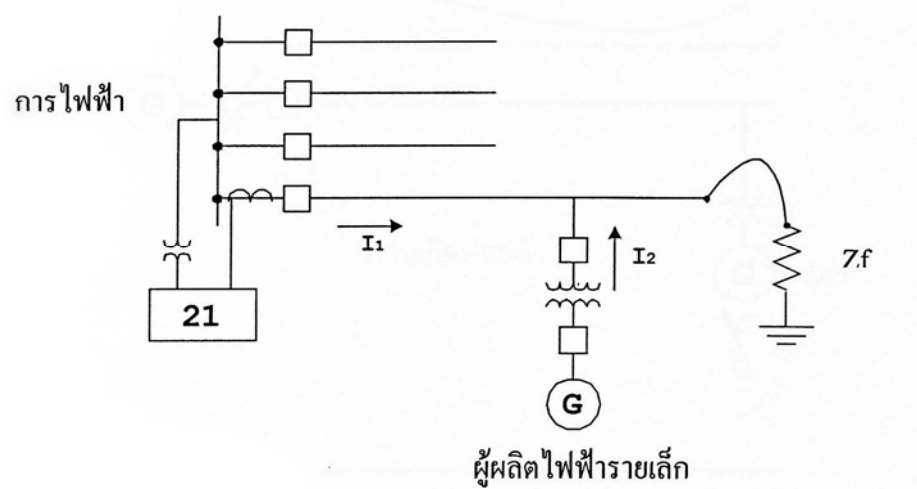
หากผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กสามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับลูกค้าของการไฟฟ้าได้เมื่อระบบการไฟฟ้าขัดข้อง นั้นหมายถึงความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าที่ดีขึ้น เนื่องจากมีผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง แต่หากมองระบบโดยรวมแล้วการมีผู้ผลิตไฟฟ้าต่อขนานกับระบบก็สร้างผลกระทบในด้านลบต่อความเชื่อถือได้ของระบบเช่นกัน



ภาพที่ 4 ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก

จากภาพที่ 4 จะพบว่าการมีผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กมาต่อขนาน ทำให้ระบบมีแหล่งจ่ายไฟมากกว่าหนึ่ง การทริปเพียงเบรกเกอร์ของการไฟฟ้าอาจไม่เพียงพอสำหรับการเคลียร์ฟอลต์ จำเป็นต้องทริปเบรกเกอร์ของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กด้วย หากเกิดฟอลต์ในสายส่งซึ่งผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กต่ออยู่ การรีโกลสของการไฟฟ้าจำเป็นต้องรอให้ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กปลดตัวเองออกจากระบบก่อน เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก ทำให้เวลาที่ไฟดับนานขึ้น

หรือในกรณีของรีเลย์วัฏระยะทางซึ่งอาจไม่ทำงาน เนื่องจากกระแส Infeed จากผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กทำให้รีเลย์เกิดสถานะ Underreach ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์ต่างๆเกิดความเสียหายได้เนื่องจากกระแสฟลัด ซึ่งในกรณีนี้จะพบว่าการมีผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กต่อขนานกับระบบนั้นอาจส่งผลให้ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าลดลง



ภาพที่ 5 รีเลย์ระยะทางกับการเกิด Underreach เนื่องจาก Infeed

การออกแบบระบบป้องกัน

การป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในสถานะ Islanding

การออกแบบระบบป้องกันการเชื่อมโยงควรช่วยไม่ให้เกิดการทำงานแบบ Islanding โดยตรวจจับสถานะอะซิงโครนัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ มันควรจะสามารถตรวจสอบได้ว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นไม่ได้มีการขนานอยู่กับระบบแล้ว ดังนั้นควรต้องปลดตัวเองอย่างรวดเร็ว ก่อนที่อุปกรณ์ปิดกลับอัตโนมัติจะทำงาน

โดยทั่วไประบบป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต่ออยู่ที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ส่วนของระบบป้องกันการเชื่อมต่อซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าการไฟฟ้าควรมีส่วนร่วมอย่างมากในเรื่องนี้ ระบบป้องกันการเชื่อมต่อต้องปลดการเชื่อมต่อหากพบว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่ได้ขนานกับระบบอีก

ต่อไปแล้ว เพื่อป้องกันอุปกรณ์ของการไฟฟ้าเกิดความเสียหายเนื่องจากกระแสฟอลต์ที่มาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เนื่องจากการปิดกลับโดยอัตโนมัติของการไฟฟ้า (อำนาจ, 2545)

วิธีการป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากสภาวะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลุดจากการขนาน (Loss of Parallel)

ระดับการป้องกันของระบบป้องกันการเชื่อมโยง สามารถมีได้หลายรูปแบบขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จุดที่มีการเชื่อมโยงกับระบบ ประเภทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและลักษณะการต่อขดลวดของหม้อแปลง

การตรวจจับสภาวะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลุดจากการขนานกับระบบของการไฟฟ้า วิธีการอย่างง่ายและใช้กันแพร่หลาย คือ ติดตั้งรีเลย์ตรวจจับความถี่ (81O/U) และรีเลย์ตรวจจับความดัน (27/59) เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งหากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องอยู่ในสภาวะ Islanding ไม่ว่าจะด้วยสาเหตุจากฟอลต์หรือจากสภาวะที่ไม่ปกติ จะทำให้ความถี่และแรงดันเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วออกจากช่วงที่กำหนดได้

อย่างไรก็ตาม หากโหลดและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอยู่ใกล้จุดสมดุล ณ เวลาที่แยกจากกัน (เบรกเกอร์ทริป) แรงดันและความถี่อาจยังคงอยู่ในช่วงที่กำหนด ทำให้ไม่มีการทริปจากรีเลย์ตรวจจับความถี่หรือจากรีเลย์ตรวจจับแรงดัน กรณีเช่นนี้ จำเป็นต้องมีการเพิ่มทรานสเฟอร์ทริป (TT) โดยใช้ระบบการส่งข้อมูลเข้ามาช่วยเพื่อให้เบรกเกอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทริปเมื่อเบรกเกอร์ของสถานีไฟฟ้าทริป

เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอินดักชันทำงานแบบ Islanding พร้อมกับตัวเก็บประจุโพลท็อป (Pole-Top Capacitors) หากโหลดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายขณะนั้นมีค่าใกล้เคียงกับโหลดในสภาวะ Islanding จะเกิดเรโซแนนซ์ขึ้น อาจเป็นสาเหตุให้เกิดแรงดันสูงเกินที่ไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ตามมา ซึ่งเราสามารถใช้อุปกรณ์แรงดันสูงเกินอย่างทันทีทันใด (59I) ตรวจจับเหตุการณ์นี้ได้

หลังจากที่มีการตรวจพบสภาวะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลุดจากการขนานกับระบบ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กจะต้องแยกตัวเองออกจากระบบอย่างทันทีทันใดก่อนที่เบรกเกอร์ของการ

ไฟฟ้าจะมีการปิดกลับโดยอัตโนมัติเข้ามา ซึ่งมีความจำเป็นที่ทางการไฟฟ้าควรจะให้คำแนะนำเรื่องความเร็วในการติดต่อผู้ประกอบการซึ่งเป็นเจ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหล่านี้

การตรวจจับฟอลต์ Backfeed

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำหรับตรวจจับฟอลต์ Backfeed เนื่องจากในกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอินดักชัน จะสามารถจ่ายกระแสฟอลต์ไปยังฟอลต์ภายนอกได้เพียง 2 หรือ 3 ไซเคิลเท่านั้น และในกรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสนั้น โดยทั่วไปจะเกิดสถานะโอเวอร์โวลตจขึ้นหลังจากเบรกเกอร์ของการไฟฟ้าทริบ เนื่องจากกระแสที่มันจ่ายให้กับฟอลต์นั้นมีค่าไม่มาก ดังนั้นสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขนาดเล็ก จะมีการป้องกันสถานะการหลุดจากการขนานกับระบบ โดยใช้รีเลย์ 81 O/U และ 27/59

ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ จะใช้รีเลย์ 67, 21 หรือ 51V ในการตรวจจับ Phase-Fault Backfeed การเซตค่าฟัลท์สำหรับรีเลย์ 67 และ 21 จะเซตให้มากกว่ากระแสปกติที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายให้กับกริดไฟฟ้า นอกจากนี้การไฟฟ้าบางแห่งยังใช้รีเลย์ 51V (Voltage Restraint / Controlled Overcurrent Relay) เพื่อเป็นตัวช่วยเพิ่มความสามารถในการแยกแยะให้กับฟังก์ชัน 67 ด้วย ประสิทธิภาพของการกำจัดฟอลต์แบบ Ground-Fault backfeed จะขึ้นอยู่กับชนิดการต่อขดลวดที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงกำลังที่ต่อขนานกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การเกิดกระแสลัดวงจรลงดินที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงสามารถใช้รีเลย์ 51N ตรวจจับได้

สำหรับหม้อแปลงกำลังที่ไม่ได้ต่อลงดิน จะให้รีเลย์แรงดันสูงเกินที่นิวทรัล (59N, 27N) ในการตรวจจับ โดยหม้อแปลงทดแรงดันสำหรับรีเลย์เหล่านี้จะต่อใช้งานแบบเฟส-ดิน แต่จะต้องมีพิกัดขดลวดด้านปฐมภูมิเท่ากับแรงดันเฟส-เฟส ของระบบ

การตรวจจับสถานะซึ่งอาจทำความเสียหายกับระบบ

การเกิดกระแสไม่สมดุลอันเนื่องมาจากการเปิดวงจรหรือการสลับเฟสของสายตัวนำของการไฟฟ้า อาจทำให้กระแสลำดับลบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าสูง ความร้อนจะเพิ่มอย่างมากที่โรเตอร์เป็นสาเหตุทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นเสียหายได้ ในส่วนของการไฟฟ้านั้นสามารถป้องกันได้โดย

ใช้รีเลย์ 46 (Negative Sequence Overcurrent Relay) และใช้รีเลย์ 47 (Negative-Sequence Voltage Relay) เพื่อป้องกันกรณีเกิดการสลับเฟส

การตรวจจับความไม่ปกติของการไหลของกำลังไฟฟ้า

ในสัญญาบางสัญญาระหว่างผู้ประกอบการกับการไฟฟ้า จะห้ามไม่ให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก จ่ายไฟฟ้าให้การไฟฟ้าในช่วงที่ไม่ได้กำหนดไว้ โดยการไฟฟ้าจะติดตั้งรีเลย์ 32 (Directional Power Relay) เพื่อทริปเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กเหล่านั้นหากเกิดกรณีนี้ขึ้น

หลักการทั่วไปของระบบป้องกันที่ใช้ในการจัดลำดับเวลาการทำงานของรีเลย์กระแสเกิน

การจัดลำดับเวลาการทำงานของรีเลย์กระแสเกิน จะต้องทราบถึงคุณสมบัติ, ขนาด และการตั้งค่าการทำงานของรีเลย์ เพื่อให้รีเลย์สามารถจำกัดความเสียหายจำกัดฟอลต์ที่เกิดขึ้นต่อระบบไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยทั่วไปการทำงานของรีเลย์กระแสเกินจะขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสที่รีเลย์ตรวจพบ ซึ่งอาจจะมาจากสภาวะการเกิดฟอลต์หรือสภาวะโหลดเกิน การจัดลำดับเวลาการทำงานของรีเลย์ มีจุดประสงค์เพื่อเป็นการป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังในภาวะที่ไม่ปกติ โดยการทำงานของรีเลย์ที่ติดตั้งอยู่ ณ จุดต่างๆของระบบ นั้นต้องทำงานได้อย่างเหมาะสมและสัมพันธ์กันกับภาวะผิดปกติที่เกิดขึ้น

การจัดลำดับเวลาการทำงานของรีเลย์ต้องการข้อมูล 2 ส่วนที่สำคัญ คือ

- อัตราส่วนหม้อแปลงทดกระแส
- คุณสมบัติและการตั้งค่าการทำงานของรีเลย์

ในโรงจักรไฟฟ้าจกไฟฟ้าที่สร้างขึ้นมามีใหม่ นั้น สามารถที่จะเลือกใช้หรือเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ต่างๆได้ตามความต้องการ ก่อนหน้าที่จะมีการเดินเครื่องโรงจักรไฟฟ้าแต่หลังจากที่มีการติดตั้งรีเลย์เข้ามาในระบบแล้ว การเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ต่างๆ จะไม่สามารถเปลี่ยนได้อย่างอิสระ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ต่าง ๆ นั้นจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในการทำงานของรีเลย์ที่ใช้เป็นระบบป้องกัน ดังนั้นการจัดลำดับเวลาในการทำงานจึงจำเป็นต้องจัดทำตั้งแต่ขั้นต้นของการออกแบบหรือ

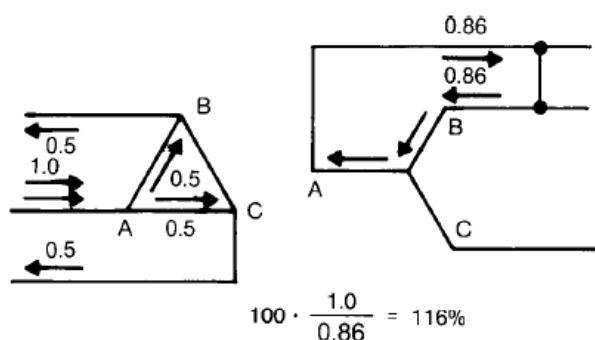
สร้างโรงจักรไฟฟ้าจักรไฟฟ้า เพื่อขจัดปัญหาในเรื่องของการเลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆ และในการจัด
 ลำเวลาในการทำงานของรีเลย์นั้นจะต้องจัดให้มีทั้งระบบป้องกันชั้นแรกและระบบป้องกันสำรอง

ระบบป้องกันชั้นแรก (Primary Protection) เป็นระบบป้องกันที่จะต้องทำงานเป็นลำดับ
 แรก โดยจะต้องตรวจพบและกำจัดฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบออกให้เร็วที่สุด ซึ่งการตั้งค่าการทำงาน
 ก็ต้องให้เร็วที่สุดและจะต้องแยกส่วนของระบบออกมาให้น้อยที่สุด

ระบบป้องกันสำรอง (Back up Protection) เป็นระบบป้องกันที่จะทำงานเมื่อระบบป้องกัน
 ชั้นแรกไม่ทำงาน โดยการตั้งค่าการทำงานนั้นจะต้องพิจารณาค่าช่วงกั้นเวลาการทำงานกับระบบ
 ป้องกันชั้นแรกให้เหมาะสม ระบบป้องกันสำรองจะมีช่วงระยะเวลาที่ทำงานยาวนานกว่าและแยก
 ส่วนของระบบออกมามากกว่าระบบป้องกันชั้นแรก (IEEE Std 242, 2001)

หม้อแปลงที่มีการต่อขดลวดแบบเดลต้า-วายกราวนด์

เมื่อมีฟอลต์เกิดขึ้นทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงที่มีการต่อขดลวดแบบเดลต้า-วายกราวนด์
 ขนาดของกระแสฟอลต์ในหน่วยเปอร์เซ็นต์ในแต่ละเฟสจะขึ้นอยู่กับชนิดของฟอลต์ที่เกิดขึ้น ขนาด
 ของกระแสฟอลต์ที่เกิดขึ้นนี้ มีผลกระทบโดยตรงต่อการจัดลำดับเวลาการทำงานของรีเลย์ที่อยู่ทางด้าน
 ปฐมภูมิกับรีเลย์ที่อยู่ทางด้านทุติยภูมิ พิจารณาภาพที่ 6



ภาพที่ 6 เกิดเฟส-เฟสฟอลต์ทางด้านทุติยภูมิหม้อแปลงที่มีการต่อขดลวดแบบเดลต้า-วายกราวนด์

เมื่อเกิดเฟส-เฟสฟอลต์ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง ขนาดของกระแสฟอลต์ทางด้าน
 ปฐมภูมิในหนึ่งเฟสจะมีค่ามากกว่าทางด้านทุติยภูมิประมาณ 16% ดังนั้นกระแสทางด้านปฐมภูมิ

เมื่อเกิดสามเฟสฟอลต์ทางด้านทุติยภูมิก็จะมีค่ามากกว่าทางด้านทุติยภูมิประมาณ 16% หรือมากกว่า 16% เช่นเดียวกับการเกิดเฟส-เฟสฟอลต์ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง

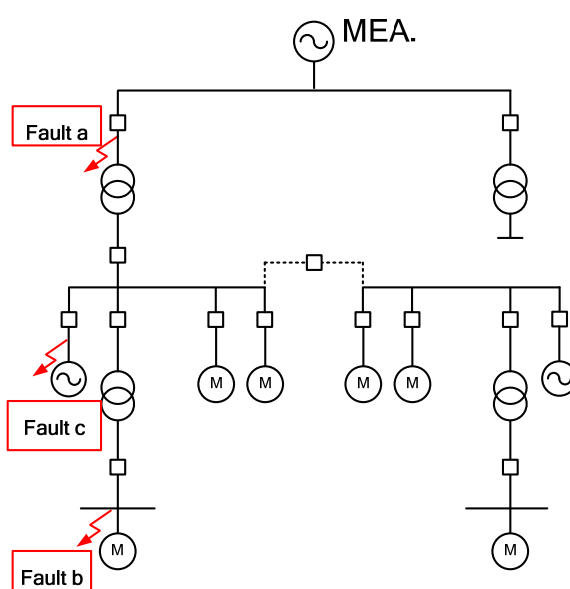
ด้วยเงื่อนไขนี้เองทำให้การจัดลำดับเวลาของอุปกรณ์ป้องกันทางด้านปฐมภูมิต้องมีการเลื่อนกราฟคุณสมบัติออกไปทางขวาประมาณ 16%

ส่วนการเกิดกราวด์ฟอลต์ กระแสฟอลต์ลำดับศูนย์ที่เกิดขึ้นนั้นจะไม่ไหลผ่านไปยังอีกด้านหนึ่งของหม้อแปลง ทำให้ไม่มีการจัดลำดับเวลาการทำงานของรีเลย์ที่อยู่คนละด้านกันของหม้อแปลง (IEEE Std 242,2001)

แนวทางการออกแบบระบบป้องกันของโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC

ระบบป้องกันของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก ควรมีแนวทางหรือหลักการออกแบบ อ้างอิงตามสภาพการจ่ายไฟฟ้าในลักษณะต่างๆดังต่อไปนี้ (อำนาจ, 2545)

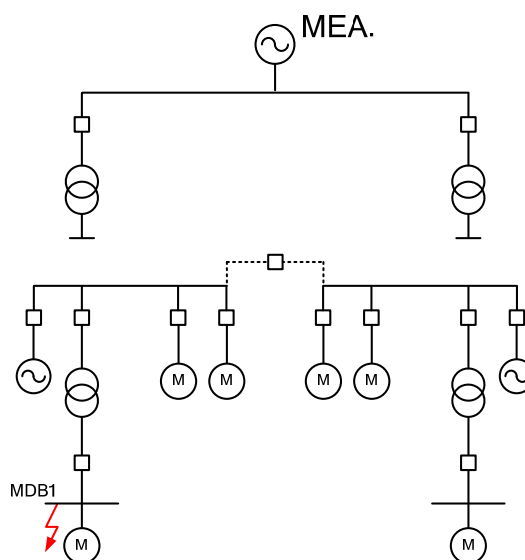
1. กรณีผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก เดินเครื่องขนานกับระบบของการไฟฟ้า



ภาพที่ 7 กรณีโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC เดินเครื่องขนานกับระบบของการไฟฟ้า

- a) ถ้าเกิดฟอลต์ในสายส่งของ กฟน. ระบบป้องกันที่จัดไว้สำหรับส่วนของการเชื่อมต่อ (Interconnection Protection) จะต้องทริป เพื่อทำการกำจัดฟอลต์ ก่อนที่รีเลย์ระบบป้องกันของโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC จะทำงาน และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายังคงจ่ายไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- b) ถ้าเกิดฟอลต์ในสายป้อนที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดของโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC ระบบป้องกันของสายป้อนจะต้องทำการสั่งปลดเบรกเกอร์ของสายป้อน ก่อนที่ระบบป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC จะทำงาน เพื่อให้โรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC ยังคงสภาพการจ่ายไฟฟ้าให้กับกริดไฟฟ้าได้
- c) ถ้าเกิดฟอลต์ในโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชุดใดชุดหนึ่ง จะต้องมีการลำดับการทำงานของรีเลย์เพื่อให้แน่ใจว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชุดที่เกี่ยวข้องถูกปลดวงจรออกไปเท่านั้น การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าส่วนที่เหลือสามารถดำเนินการต่อไปได้ภายหลังจากการเคลียร์ฟอลต์ได้แล้ว

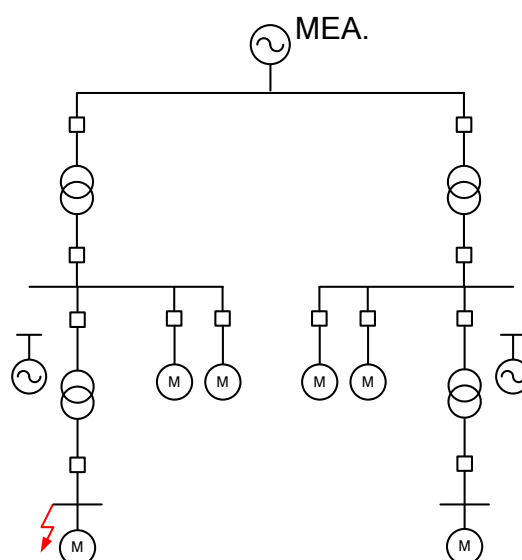
2. กรณีผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กเดินเครื่องแบบ Islanding



ภาพที่ 8 กรณีโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC เครื่องแบบ Islanding

เนื่องจากกระแสฟอลต์ที่เกิดขึ้นมีค่าที่น้อยเมื่อเทียบกับกรณีการเดินเครื่องขนานอยู่กับระบบ ดังนั้นต้องมั่นใจว่าการออกแบบระบบป้องกันได้มีการจัดลำดับเวลาการทำงานของรีเลย์อย่างถูกต้อง รวมถึงต้องมีความไวในการรับรู้ (Sensitivity) การเกิดฟอลต์ที่ดีด้วย (อำนาจ, 2545)

3. กรณีโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC (Plant Shut Down)



ภาพที่ 9 กรณีโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC หยุดเดินเครื่อง

กรณีนี้โหลดที่เป็นลูกค้าของกรณีโรงจักรไฟฟ้า GC-CHIPIDC จะได้รับการจ่ายไฟฟ้าโดยตรงจาก กฟน. ดังนั้นการออกแบบการป้องกันฟอลต์ที่อาจเกิดขึ้น ควรคำนึงถึงการจัดลำดับเวลาการทำงานของรีเลย์ระหว่างรีเลย์ป้องกันสายส่งที่จ่ายโหลด กับรีเลย์ในระบบป้องกันที่จัดไว้ในส่วนของการเชื่อมโยง (อำนาจ, 2545)

หม้อแปลงทดกระแส (Current Transformer)

หม้อแปลงกระแสไฟฟ้ามีหน้าที่แปลงกระแสในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีค่าสูงให้มีค่าต่ำลงอยู่ในเกณฑ์ที่อุปกรณ์วัดแอมมิเตอร์หรือรีเลย์สามารถวัดหรือนำไปใช้งานได้ เนื่องจากหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า หรือ CT ที่ใช้ในระบบป้องกันมิได้ใช้ตรวจวัดกระแสตรง ดังนั้นจึงต้องสามารถวัดกระแสตรงซึ่งมีค่าสูงด้วยโดยทั่วไปมักสามารถวัดกระแสได้สูงถึง 20 เท่าของพิกัดปกติโดย

ยังอยู่ในย่านของความถูกต้องแม่นยำที่ยอมรับได้แต่ทั้งนี้ก็ต้องขึ้นอยู่กับการใช้งานที่ถูกต้องด้วย นั่นคือ ใช้งานให้อยู่ในเบอเดน (Burden) ของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าด้วย โดยทั่วไปมาตรฐาน กระแสทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแส คือ 5A และอัตราส่วนของกระแสที่ใช้งานทั่วไป ได้แก่ 1200, 800, 600, 400, 200, 100, 50 : 5 (ชำนาญ, 2548)

โดยรายละเอียดของหม้อแปลงทดกระแสที่กล่าวถึงนี้จะนำไปตามมาตรฐาน IEC 185 : 1987 ซึ่งมีรายละเอียดทางมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับหม้อแปลงทดกระแสโดยทั่วไป และมีรายละเอียดทางมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับหม้อแปลงทดกระแสชั้น P (Class P) ที่ใช้สำหรับงาน ป้องกันระบบไฟฟ้า ประกอบด้วยค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- พิกัดภาระทางไฟฟ้า (Rated Burden)
- ค่าระดับชั้น (5P หรือ 10P)
- ค่าตัวประกอบขีดจำกัดความแม่นยำ (Accuracy Limit Factor หรือ ALF)

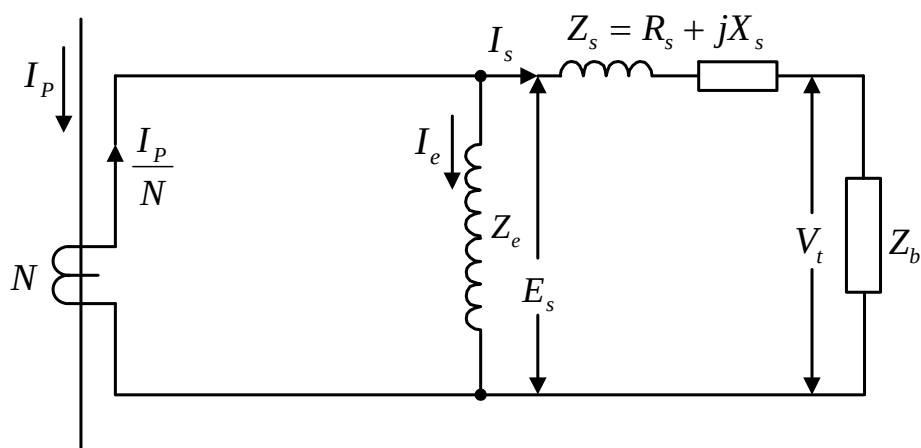
มีเงื่อนไขการระบุค่ารายการทางเทคนิค ดังนี้

xxx VA Class CEL P ALF

- xxx หมายถึง ขนาดพิกัดภาระ มีหน่วยเป็น วีเอ หรือ โวลต์ –แอมแปร์
- CEL ย่อมาจาก Composite Error Limit หมายถึง ขีดจำกัดค่าความคลาดเคลื่อนรวมที่กำหนด
- P ย่อมาจาก Protection หมายถึง เป็นหม้อแปลงทดกระแสที่ออกแบบให้ใช้งาน ป้องกันระบบไฟฟ้า
- ALF ย่อมาจาก Accuracy Limit Factor หมายถึงค่าตัวประกอบขีดจำกัดความแม่นยำ มาตรฐาน IEC 185 มีค่า ALF ให้เลือกคือ 5 10 15 20 และ 30 หรืออาจจะกล่าวได้ง่ายๆ คือขนาดของกระแสฟอลต์สูงสุดที่หม้อแปลงทดกระแสสามารถรับได้มีหน่วยเป็น จำนวนเท่า โดยที่หม้อแปลงทดกระแสไม่เกิดการอิ่มตัว

ตัวอย่าง CT 600:5 15 VA Class 5 P 15

หมายถึง CT สำหรับใช้งานในระบบป้องกัน ถ้าค่าภาระของวงจรทุติยภูมิที่ต่อขนานกับขั้วของ CT มีค่าไม่เกิน 15 วีเอ เมื่อนำมาใช้งานกับระบบไฟฟ้ากำลังที่มีค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดไม่เกิน 15 เท่าของค่าพิกัดกระแส 600 แอมแปร์แล้ว ความคลาดเคลื่อนในกระแสที่ป้อนให้กับรีเลย์มีค่าไม่เกินร้อยละ 5



ภาพที่ 10 วงจรสมมูลของหม้อแปลงทดกระแส

โดยที่

I_p	=	กระแสในขดลวด Primary (A)
N	=	อัตราส่วนของหม้อแปลง
Z_b	=	Burden อิมพีแดนซ์ของรีเลย์ (Ohm)
Z_s	=	อิมพีแดนซ์ของขดลวด Secondary (Ohm)
Z_e	=	Secondary Excitation Impedance (jX) (Ohm)
I_e	=	กระแสกระตุ้นทางด้าน Secondary (A)
I_s	=	กระแส Secondary (A)
E_s	=	Secondary Excitation Voltage (V)
V_t	=	แรงดันขั้วทางด้าน Secondary (V)

หลักการเลือก C.T. Ratio ของหม้อแปลงทดกระแส

ในการเลือกอัตราส่วนทดกระแส(current ratio) ของหม้อแปลงทดกระแส (CT) จะต้องพิจารณากระแสโหลดสูงสุดเป็นหลัก โดยภายใต้สภาวะโหลดสูงสุด กระแสทุติยภูมิของหม้อแปลงทดกระแสจะต้องไม่เกินพิกัดกระแสสม่ำเสมอ (Continuous Current Rating) ของรีเลย์ อัตราส่วนผิดพลาด (Ratio Error) ของหม้อแปลงทดกระแสขณะที่เกิดฟลัดต์สูงสุดจะต้องไม่ร้ายแรงจนรีเลย์ไม่ทำงานตามที่ต้องการ

หลักการเลือก CT Ratio พิจารณาจาก

1. กระแสโหลดสูงสุด
2. กระแสฟลัดต์สูงสุด
3. Instantaneous Element ของอุปกรณ์ป้องกัน ควรตั้งค่าต่ำกว่า CT Saturating Point
4. โหลดของหม้อแปลงทดกระแส ถ้ามีอุปกรณ์ต่อกับหม้อแปลงทดกระแสมากเกินไป อาจทำให้หม้อแปลงทดกระแสอิ่มตัวได้ง่าย

การเลือก CT Ratio หม้อแปลงทดกระแสในงานนี้จะพิจารณาจาก

1. โหลดสูงสุดที่ผ่านหม้อแปลงทดกระแส
2. กระแสลัดวงจรสูงสุดที่ผ่านหม้อแปลงทดกระแส

โดยทั่วไปหม้อแปลงทดกระแสสามารถรับกระแสได้สูงถึง 20 เท่าของกระแสพิกัด เมื่อพิจารณากระแสจากทั้ง 2 ข้อให้เลือก CT Ratio ที่ครอบคลุมทั้ง 2 ข้อ (IEC 185, 1987)

การตั้งค่ากระแสการทำงานของรีเลย์สำหรับกลุ่มเฟสฟอลต์

การตั้งค่ากระแสการทำงานของรีเลย์จะพิจารณาจากกระแสโหลดเต็มที่ (Full Load Current) เป็นหลัก ในกรณีที่มิโหลดมอเตอร์รวมอยู่ด้วยจะต้องพิจารณากระแสขณะเริ่มทำงานของมอเตอร์ ด้วยเนื่องจากกระแสเริ่มทำงานของมอเตอร์มีค่าประมาณ 5-7 เท่าของกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ (IEC 60255, 2001)

ในกรณีที่มิโหลดมอเตอร์รวมอยู่ด้วย จะพิจารณากระแสโหลดทั้งหมดโดยยังไม่รวมกระแสจากมอเตอร์ จากนั้นให้รวมกระแสขณะมอเตอร์เริ่มทำงานเข้าไปจะเป็นกระแสโหลดทั้งหมด

ในการพิจารณากระแสโหลดดังกล่าว จะสมมติว่าโหลดทั้งหมดเท่ากับกระแสโหลดเต็มที่ของหม้อแปลง

$$F.L.C \text{ (max)} = \text{Transformer F.L.C}$$

ก่อนการทำงานของมอเตอร์กระแสโหลดทั้งหมด คือ

$$F.L.C \text{ (ก่อน motor start)} = \text{Transformer F.L.C} - \text{Motor F.L.C}$$

ขณะมอเตอร์เริ่มทำงานกระแสของมอเตอร์ คิดที่ n เท่ากระแสโหลดเต็มที่ ดังนั้นกระแสโหลดทั้งหมด คือ

$$\begin{aligned} F.L.C \text{ (ขณะ motor start)} &= F.L.C \text{ (ก่อน motor start)} + n * \text{Motor F.L.C} \\ &= \text{Transformer F.L.C} - \text{Motor F.L.C} + n * \text{Motor F.L.C} \\ &= \text{Transformer F.L.C} + (n-1) * \text{Motor F.L.C} \end{aligned}$$

การตั้งค่ากระแสการทำงานของรีเลย์รีเลย์จะต้องไม่ทำงานที่กระแสโหลดเต็มที่ ดังนั้นจะ
ตั้งค่ากระแสการทำงานของรีเลย์ดังนี้

$$\text{กระแสเริ่มการทำงานของรีเลย์ (I}_{\text{pick up}}) = \frac{(\text{Transformer F.L.C}) + [(n - 1) \text{ Motor F.L.C.}]}{\text{Reset Ratio} \times \text{CT Ratio}} \quad (1)$$

โดยที่	Transformer F.L.C	=	กระแสโหลดเต็มพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า
	Motor F.L.C	=	กระแสโหลดเต็มพิกัดของมอเตอร์
	N	=	จำนวนเท่าของกระแสโหลดเต็มพิกัดของมอเตอร์ขณะสตาร์ทมอเตอร์
	Reset Ratio	=	อัตราส่วนเริ่มทำงานใหม่ของหม้อแปลงทดกระแส
	CT Ratio	=	อัตราส่วนหม้อแปลงทดกระแส

การตั้งค่ากระแสการทำงานของรีเลย์สำหรับกลุ่มกราวฟอลต์

เมื่อเกิดฟอลต์จาก 1 สายหรือ 2 สายลงดิน กระแสฟอลต์ก็จะไหลผ่านรีเลย์กระแสเกินที่ใช้
ป้องกันฟอลต์ระหว่างเฟสด้วย แต่โดยที่รีเลย์กระแสเกินที่ใช้ป้องกันฟอลต์ระหว่างเฟสมีการเลือก
ค่าเซตตั้งคดยการคำนึงถึงการใช้งานในภาวะโหลดฉุกเฉิน การเผื่อกระแสในช่วงการสตาร์ทมอเตอร์
และเผื่อกระแสขณะที่สับสวิทช์จ่ายไฟให้หม้อแปลงในขณะที่มีกระแสล่อเลี้ยงสนามแม่เหล็กพุ่ง
เข้า (magnetizing inrush current) ด้วย จึงทำให้ค่าเซตตั้งมีค่าสูงและเมื่อเกิดกราว์ฟอลต์ที่มีกระแส
ค่าต่ำ รีเลย์ดังกล่าวอาจมีเซนซิวิตีต่ำเกินไป กล่าวคือช่วงเวลาการทำงานจะช้าไม่ทันการ เพราะ
กราว์ฟอลต์ที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงขนาดในช่วงที่กว้างซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งฟอลต์ที่เกิดขึ้น
ขนาดความต้านทานอาร์ก ค่าอิมพีแดนซ์เนตเวิร์กศูนย์ ฯลฯ ทำให้ไม่สามารถคาดหวังได้ว่ารีเลย์
ดังกล่าวจะป้องกันกราว์ฟอลต์ได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมรีเลย์เสริมเพื่อให้
การป้องกันสมบูรณ์ยิ่งขึ้น (IEC 60255, 2001)

การตั้งค่าสำหรับกราว์ฟอลต์รีเลย์ โดยทั่วไปง่ายกว่าการเลือกค่าเซตติ้งของเฟสฟอลต์รีเลย์ ด้วยเหตุผลบางประการดังนี้

(1) ในระบบไฟฟ้าโดยทั่วไปอิมพีแดนซ์ลำดับศูนย์ (Z_0) มีค่าสูงกว่าอิมพีแดนซ์ลำดับบวก (Z_1) เป็นผลทำให้ขนาดของกราว์ฟอลต์มีค่าลดลงไปตามระยะห่างจากแหล่งกำเนิด มากยิ่งกว่าการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสฟอลต์ระหว่างเฟส ดังนั้นการเลือกค่าเซตติ้งของรีเลย์เพื่อให้สามารถแยกแยะได้ว่าฟอลต์อยู่ในเขตใดก็ทำได้ง่าย

(2) การเปลี่ยนแปลงภาวะของการจ่ายไฟจะมีผลกระทบต่อขนาดของกราว์ฟอลต์น้อยกว่าในกรณีของเฟสฟอลต์

(3) เราสามารถตั้งเซตติ้งของกราว์ฟอลต์รีเลย์ ให้มีเซนซิวิตีสูงๆได้ เพราะกระแสโหลดปกติจะไม่ทำให้มีกระแสไหลในขดลวดของรีเลย์ที่ต่อวัดกระแสกราว์ฟอลต์ในสายนิวทรัลของหม้อแปลงทดกระแส ยกเว้นในกรณีที่โหลดไม่สมดุลเท่านั้น แต่อาจจะเกิดขึ้นไม่มากนัก โดยทั่วไปค่าเซตติ้งของกราว์ฟอลต์รีเลย์จะต่ำกว่า 10% ของค่ากระแสโหลดสูงสุด รีเลย์ก็มักจะไม่มีปัญหาการทำงานผิดพลาดเนื่องจากความไม่สมดุลของกระแสโหลด

(4) หม้อแปลงที่มีการต่อขดลวดแบบเดลต้า-วาย หรือเดลต้า-เดลต้า กระแสกราว์ฟอลต์ที่เกิดขึ้นจะไม่ปรากฏในอีกด้านหนึ่งของขดลวดหม้อแปลงดังกล่าวข้างต้น และโดยทั่วไปหม้อแปลงที่ทำหน้าที่เปลี่ยนระดับแรงดันตามจุดต่างๆในระบบไฟฟ้า จะมีการต่อขดลวดหม้อแปลงแบบเดลต้า-วาย ดังนั้นจึงไม่มีการจัดลำดับเวลาการทำงานระหว่างรีเลย์ที่มีระดับแรงดันต่างกัน ดังนั้นกราว์ฟอลต์รีเลย์จึงสามารถตั้งการทำงานให้เร็วกว่าเฟสฟอลต์รีเลย์ได้

ดังนั้นจะตั้งค่ากระแสการทำงานของกราว์ฟอลต์รีเลย์ดังนี้

$$\text{กระแสเริ่มการทำงานของรีเลย์}(I_{\text{pick up}}) = (0.1-0.3)I_{\text{FULL LOAD}} \quad (2)$$

Grading Margin

ช่วงเวลาที่แตกต่างระหว่างการทำงานของรีเลย์กระแสเกินสองชุดที่อยู่ในเขตป้องกันที่ชิดกัน เรียกว่า ช่วงเวลาลำดับ (Grading Margin) โดยทั่วไปช่วงเวลาลำดับประกอบด้วยช่วงเวลาตามสมการดังนี้

$$\Delta t = [2E_R + E_{CT}]t_R + t_{CB} + t_O + t_S$$

เมื่อ

E_R	คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของช่วงเวลาการทำงานของรีเลย์
E_{CT}	คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของหม้อแปลงทดกระแส
t_R	คือ ช่วงเวลาการทำงานของรีเลย์ตัวที่ใกล้จุดเกิดฟอลต์
t_{CB}	คือ ช่วงเวลาตัดตอนของเซอร์กิตเบรกเกอร์
t_O	คือ ช่วงเวลา Overshoot ของรีเลย์ตัวที่ใกล้จุดเกิดฟอลต์
t_S	คือ ช่วงเวลาเพื่อ (Safety Margin)

$$\begin{aligned}\Delta t &= [2(0.075) + 0.1]t_R + 0.05 + 0.05 + 0.1 \\ &= 0.25t_R + 0.2\end{aligned}$$

ในการจัดลำดับเวลาการทำงานของรีเลย์ โดยทั่วไปจะใช้ Grading Margin ระหว่าง 0.2-0.4 วินาที (สันติ,2548)

โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ทางด้านวิศวกรรมป้องกัน (CAPE)

เป็นโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ทางด้านวิศวกรรมป้องกัน (Ramasamy และ Paul.,1997) ของบริษัท Electrocon International Inc., U.S.A. โดยแบ่งออกเป็น 12 Module ดังนี้

ตารางที่ 1 โมดูลต่างๆ ของโปรแกรม CAPE

โมดูล (Module)	หน้าที่ (Function)	คุณสมบัติเด่น (Features)
Data Base	จัดหน่วยความจำเพื่องานวิเคราะห์ทางด้านวิศวกรรม ป้องกัน และบันทึกรายการการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลทั้งหมด	ระบบจัดการฐานข้อมูล สัมผัสการค่าที่สามารถ เชื่อมโยงกับซอฟต์แวร์ทางการค้าอื่นๆได้
Data Base Editor	บรรณาธิการฐานข้อมูลทำหน้าที่อำนวยความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูลผ่านทางกราฟิก	สามารถค้นหาข้อมูลโดยสอดคล้องกับการเห็นภาพ ข้อมูลเป็นระดับชั้นที่ตรงกับระดับชั้นที่ผู้ใช้กำลังใช้อยู่ การใส่หรือการเปลี่ยนแปลงข้อมูลทำได้ง่าย มีระบบการตรวจสอบและป้องกันความปลอดภัยของข้อมูล
Short Circuit	ทำการคำนวณกระแสฟอลต์เชิงปริมาณ (กระแส,แรงดัน และอิมพีแดนซ์) ขณะเกิดฟอลต์ และเป็นเครื่องมือที่นำไปใช้ในการคำนวณสำหรับ CAPE โมดูลอื่นๆ	ผู้ใช้สามารถกำหนดฟอลต์รูปแบบใดก็ได้และสามารถเปลี่ยนแปลงวงจรจ่ายได้อย่างไม่จำกัด สามารถคำนวณผลให้ได้คำตอบหรือผลลัพธ์อย่างรวดเร็ว นอกจากนั้นตัวโปรแกรมยังบอกรายการค่ากระแสฟอลต์สูงสุดและต่ำสุด และใช้เป็นมาโครในการนำไปใช้ศึกษาวงจรจ่ายที่ซับซ้อนยิ่งขึ้น มาโครต่างๆ สามารถค้นหาแลกเปลี่ยนข้อมูลผ่านทาง User Group ได้

ตารางที่ 1 (ต่อ)

โมดูล (Module)	หน้าที่ (Function)	คุณสมบัติเด่น (Features)
Coordination Graphics	แสดงลักษณะการทำงานของรีเลย์กระแสน้ำวนกับรีเลย์วัดระยะทางนอกจากนั้นกราฟนี้ยังใช้ประโยชน์ในการเข้าถึงเพื่อการคำนวณแล้ว กราฟที่แสดงสามารถใช้ประโยชน์ในการกำหนดเงื่อนไขการคำนวณทางวิศวกรรมป้องกันได้	ความสามารถพิเศษในการใช้เมาส์เข้าไปที่รูปภาพเพื่อทำการลากเส้นโค้งกราฟของรีเลย์ที่แสดงบนหน้าจอได้เพื่อปรับเปลี่ยนค่าที่ป้อนตั้งของรีเลย์เพื่อการวิเคราะห์ผลใหม่ให้ถูกต้องตามที่ต้องการ
One-Line Diagram	แสดงผลลัพธ์การลัดวงจรกับเพาเวอร์โฟลว์บนแผนภาพ	สามารถเลือกสำหรับการแสดงผลลัพธ์ การคำนวณ การลัดวงจรที่มีรูปแบบต่าง ๆ กันสามารถกำหนดการคำนวณพอลต์เพิ่มผ่านทางตารางและสามารถเลือกชนิดของพอลต์ได้อย่างต่อเนื่อง
Transmission Line Impedance	การคำนวณค่าอิมพีแดนซ์หรือค่าความต้านทานเหนี่ยวนำร่วมที่เกี่ยวข้องกับการคาบเกี่ยวกับเส้นแรงแม่เหล็กรอบๆตัวนำไปคล้อยกับวงจรอื่นๆ ทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำ	อัลกอริทึมขั้นสูงสำหรับการคำนวณผลลัพธ์ที่แม่นยำโดยพิจารณาผลของสภาพความต้านทานดินและความต้านทานที่ฐานของเสาส่งสามารถบอกระยะเวลาการจัดวางตัวนำและคำนวณค่าอิมพีแดนซ์ให้ได้

ตารางที่ 1 (ต่อ)

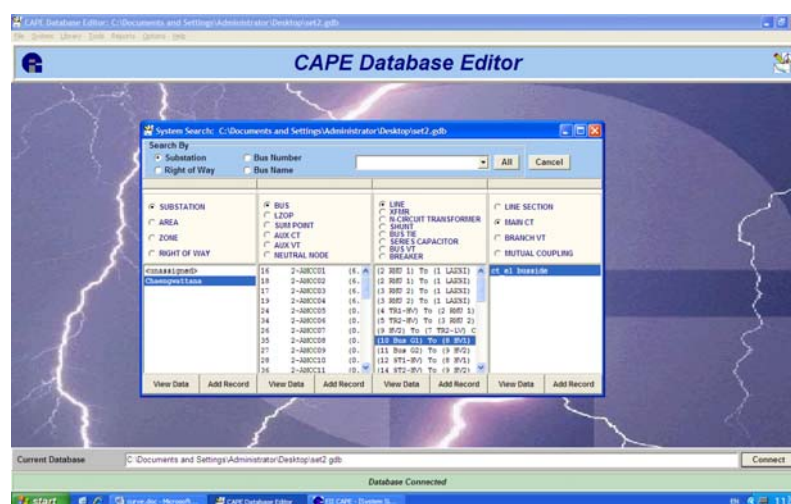
โมดูล (Module)	หน้าที่ (Function)	คุณสมบัติเด่น (Features)
Relay Checking	ให้รายละเอียดผลการตรวจสอบการจัดลำดับเวลาการทำงานกับความไวในการรับรู้ของรีเลย์ต่างๆในบริเวณกว้าง สามารถบอกรายละเอียดลำดับเวลาการทำงานที่ผิดพลาด และบอกรายละเอียดว่าการรับรู้ของรีเลย์แต่ละตัวเป็นอย่างไร	คำนวณอย่างละเอียดเป็นลำดับทุกขั้นตอนในเรื่องลำดับเวลาการทำงานและความไวในการตรวจรับรู้ของรีเลย์ตัวที่ผู้ใช้เลือกในบริเวณหนึ่งๆ ผู้ใช้สามารถเลือกให้โปรแกรมตรวจเช็คการทำงานแต่ละตัวได้ การรายงานผลลำดับเวลาการทำงานที่ไม่ถูกต้องและบอกรายละเอียดค่าช่วงเวลาการทำงาน การละเมิดค่าช่วงเวลาการลำดับเวลาการทำงานได้
System Simulator	จำลองระบบไฟฟ้าเป็นขั้นเป็นตอนตามลำดับเหตุการณ์จากการทำงานของรีเลย์กับเซอร์กิตเบรกเกอร์โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นการวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นภายหลังจากการทำงาน	จำลองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทุกเหตุการณ์ใหม่ตลอดเวลาโดยทำงานอย่างต่อเนื่องด้วยตัวมันเอง จนกระทั่งฟอลต์ถูกกำจัดออกจากระบบไป ผู้ใช้สามารถกำหนดชนิดของฟอลต์ที่ซับซ้อนขึ้นให้กับโปรแกรม และสามารถกำหนดรายละเอียดการทำงานตามที่ต้องการได้

ตารางที่ 1 (ต่อ)

โมดูล (Module)	หน้าที่ (Function)	คุณสมบัติเด่น (Features)
Relay Setting	มีอัลกอริทึมคำนวณการตั้งค่าการทำงานของรีเลย์ให้เราก่อนได้และเมื่อเลือกรีเลย์ตัวใดในการนำไปประยุกต์การใช้งานจะมีอัลกอริทึมการกำหนดค่าเซตตั้งโดยผู้ใช้ได้ เพื่อสะท้อนการคำนวณการเลือกเซตตั้งตามปรัชญาการเลือกใช้ของการไฟฟ้าแต่ละแห่งได้	มีไลบรารีของรีเลย์ต่างๆให้เลือกในฐานข้อมูลที่มีอยู่แล้วในรายการให้เลือก หรือเลือกรีเลย์ใช้จริงที่ไม่มีในรายการสามารถที่จะเพิ่มเข้าไปในไลบรารีได้
Order Production	การบริการของบริษัท Electrocon ผู้ซื้อซอฟต์แวร์สามารถกำหนดฟอร์มเซตตั้งเองได้เพื่อให้บริษัทสร้างแบบฟอร์มสำหรับป้อนค่าเซตตั้งตามที่ต้องการ	แบบฟอร์มการกรอกค่าเซตตั้งการไฟฟ้าแต่ละแห่งสามารถให้บริษัททำแบบฟอร์มการเซตตั้งตามรูปแบบของผู้ใช้เองได้
Power Flow	การวางแผนการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า ผู้ใช้โปรแกรมกำหนดค่าแรงดันกระแสไหลเริ่มต้น เพื่อการคำนวณฟลวด์ที่ถูกต้องตามความแม่นยำมากที่สุด	โปรแกรมการคำนวณเพาเวอร์ฟลัวที่เป็นมาตรฐานถูกรวมอยู่ในระบบโปรแกรม CAPE
Transient Stability	เสถียรภาพขณะมีการเปลี่ยนแปลงชั่วคราววางแผนการคำนวณแสดงโลกัลไดอะแกรมของค่าอิมพีแดนซ์บนแผนภาพ	เป็นมาตรฐานทั่วไปที่รวมอยู่ในระบบโปรแกรม CAPE

โมดูลบรรณาธิการฐานข้อมูล (Database Editor Module)

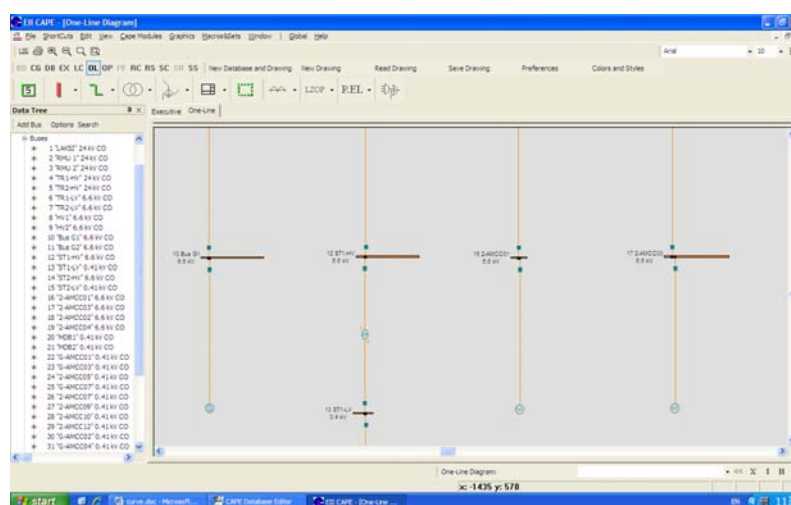
โมดูลบรรณาธิการฐานข้อมูลเป็นที่เก็บรวบรวมข้อมูลเครือข่ายระบบไฟฟ้าทั้งหมดที่จำเป็นต้องใช้ในการวิเคราะห์กรณีศึกษาต่างๆ นอกจากนี้ยังเป็นที่เก็บบันทึกข้อมูลที่จำเป็นจะต้องใช้ในการรักษาเครือข่ายระบบไฟฟ้าไว้ เมื่ออยู่ในโมดูลบรรณาธิการฐานข้อมูลผู้ใช้สามารถที่จะเข้าถึงรายละเอียดเครือข่ายระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่มีจำนวนบัสนับพันบัสโดยใช้เมาส์ได้อย่างง่ายดาย หากต้องการเพิ่มเติมตัดลดข้อมูล หรือแก้ไขข้อมูลของเครือข่ายระบบไฟฟ้าส่วนใดส่วนหนึ่งก็สามารถกระทำได้



ภาพที่ 11 โมดูลบรรณาธิการฐานข้อมูล

โมดูลการเขียนแผนภาพเส้นเดียว (One line Diagram Module)

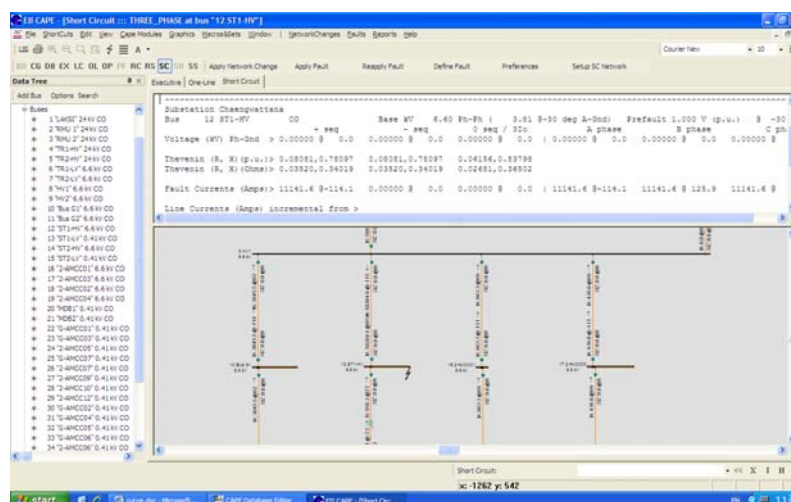
เป็นโมดูลที่ประกอบด้วยชุดของเครื่องมือในการประกอบสร้าง และแก้ไขข้อมูลสำหรับการสร้างแผนภาพเส้นเดียวของเครือข่ายระบบไฟฟ้าซึ่งสามารถนำไปใช้ในการแสดงผลสารสนเทศจากฐานข้อมูลของ CAPE หรือแสดงผลลัพธ์ที่ได้มาจากโมดูลต่างๆ ได้แก่ โมดูลคำนวณค่ากระแสลัดวงจร โมดูลการจำลองระบบโมดูลการคำนวณค่าการไหลของกำลังไฟฟ้า เป็นต้น



ภาพที่ 12 โมดูลการเขียนแผนภาพเส้นเดียว

โมดูลการคำนวณค่ากระแสลัดวงจร (Short Circuit Module)

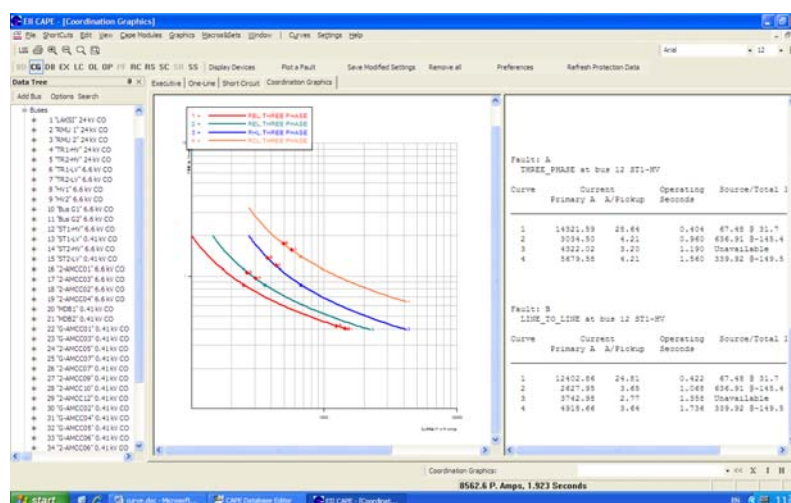
เป็นโมดูลที่มีไว้เพื่อให้ผู้ใช้สามารถโต้ตอบกับโปรแกรมเพื่อการคำนวณค่าเชิงปริมาณต่างๆ ในขณะที่เกิดฟอลต์ ในบางส่วนของระบบไฟฟ้าที่ผู้ใช้ได้สร้างไว้แล้ว โดยผู้ใช้โปรแกรมเป็นผู้กำหนดรายละเอียดของการเกิดฟอลต์ โปรแกรมสามารถคำนวณและแสดงผลลัพธ์ได้รวดเร็ว



ภาพที่ 13 โมดูลการคำนวณค่ากระแสลัดวงจร

โมดูลเขียนกราฟแสดงการจัดลำดับเวลาทำงาน (Coordination Graphics (CG) Module)

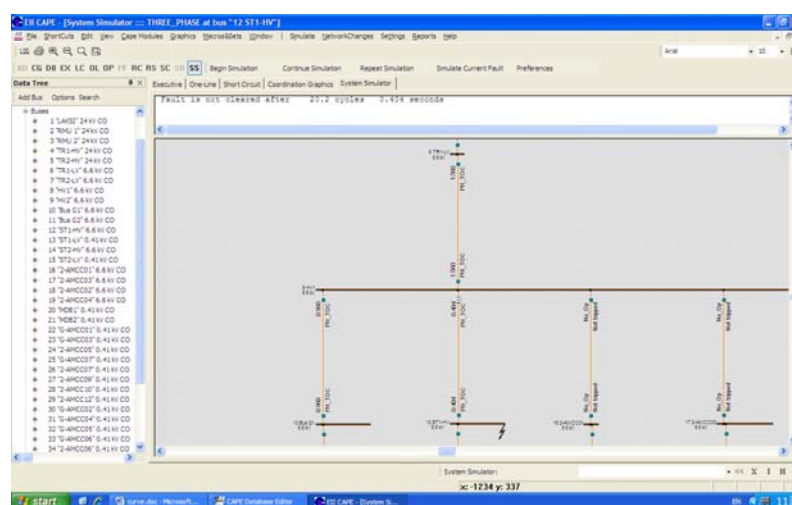
เป็นโมดูลที่มีความสามารถในการสืบค้นหาไฟล์ข้อมูลลักษณะการทำงานของกลอุปกรณ์ป้องกันที่ต้องการ เช่น รีเลย์ ฟิวส์ เป็นต้น แล้วนำมาเขียนกราฟลักษณะการทำงานของรีเลย์หลายๆ ตัวบนกราฟเดียวกัน เช่น กราฟลักษณะการทำงานของรีเลย์กระแสเกิน กราฟลักษณะการทำงานของรีเลย์ระยะทาง เป็นต้น ในขณะที่เดียวกันก็สามารถแสดงผลกราฟของบริภัณฑ์อื่นๆ เช่น กราฟลักษณะการทำงานของบริภัณฑ์ สับ/ต่อ วงจรอัตโนมัติ (Recloser) เส้นกราฟแสดงขอบเขตการทำลายของหม้อแปลง เส้นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่ากระแสขณะทำการสตาร์ทมอเตอร์ เป็นต้น



ภาพที่ 14 โมดูลเขียนกราฟแสดงการจัดลำดับเวลาทำงาน

โมดูลจำลองการทำงานของระบบป้องกัน (System Simulator (SS) Module)

โมดูลจำลองการทำงานของระบบป้องกันมิได้เพื่อใช้งานร่วมกับโมดูลตรวจสอบการทำงานของรีเลย์ ในการประเมินสมรรถนะการทำงานของระบบป้องกันที่มีอยู่ทั้งหมดโมดูลทั้งสองทำงานร่วมกันโดยอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นตามลำดับก่อนหลัง (Stepped event analysis technique) ซึ่งสามารถจำลองการตอบสนองของรีเลย์ทุกตัวที่เกี่ยวข้องกับฟอลต์และดำเนินการต่อเนื่องจนกระทั่งเซอกิตเบรกเกอร์ตัวสุดท้ายทำการตัดตอนวงจรเพื่อกำจัดฟอลต์



ภาพที่ 15 โมดูลจำลองการทำงานของระบบป้องกัน

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
2. ระบบปฏิบัติการ WindowsXP
3. โปรแกรม Computer Aide Program Engineering (CAPE)

วิธีการ

1. รวบรวมข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้า เพื่อนำมาสร้างฐานข้อมูลระบบไฟฟ้า
2. สร้างแผนภาพเส้นเดียวเพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่ากระแสฟอลต์
3. นำผลที่ได้มาออกแบบและจัดลำดับเวลาการทำงานของรีเลย์ให้สัมพันธ์กัน
4. ทดสอบการทำงานของรีเลย์

สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

การวิเคราะห์ผลของค่ากระแสฟอลต์ในระบบ

การวิเคราะห์ผลของค่ากระแสฟอลต์ในระบบทั้ง 15 สภาวะ ได้คำนวณค่ากระแสฟอลต์ทั้งกรณีการเกิด Three phase fault และ Single line to ground fault

การศึกษาระแสลัดวงจรในการออกแบบครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป คือ Computer – Aided Protection Engineering (CAPE) คำนวณกระแสฟอลต์ ซึ่งผลการศึกษาระแสฟอลต์แสดงในรูปแบบของตาราง

เนื่องจากว่า ระบบที่ทำการศึกษานี้ มีการแยกระบบออกเป็น 2 ฟัง และพารามิเตอร์ต่างๆของระบบทั้ง 2 ฟังก็เหมือนกัน หรือกล่าวง่ายๆว่า ระบบทั้ง 2 ฟังสมมาตรกันนั่นเอง ดังนั้นจึงอธิบายผลต่างๆที่เกิดขึ้น โดยใช้ฟังซ้ายของระบบเป็นตัวอ้างอิงในการอธิบาย

การดูค่ากระแสลัดวงจรจากภาพตาราง ให้พิจารณาดังนี้ คือ

คอลัมน์ที่ 1 แสดงค่าของกระแสฟอลต์ที่ผ่านบัสต่างๆ

คอลัมน์ที่ 2 ถึง คอลัมน์ที่ 11 แสดงชื่อของบัสที่เกิดฟอลต์

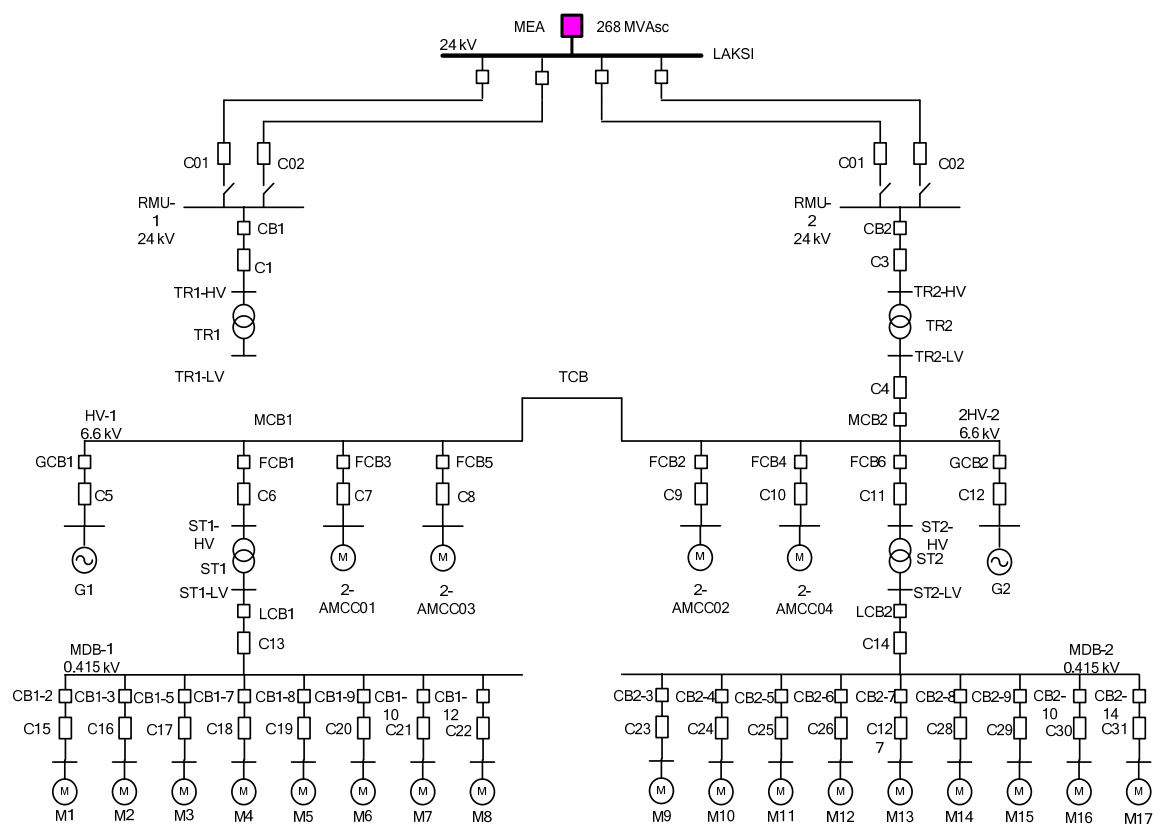
กรณีของ TCB และ TIE กระแสลัดวงจรที่ผ่าน TCB และ TIE ให้อ่านในแนวตั้ง มีผลที่ได้ดังต่อไปนี้

[illegible]

ภาพที่ 17 กระแส Three phase fault ในสภาวะที่ 1

BUS	RMU1	TR1-HV	TR1-LV	HV1	BUS G1	2AMCC01	2AMCC03	ST1-HV	ST1-LV	MDB1
RMU1	7464.04	6916.4	927.5	923.5	919.3	910.5	910.4	910.5	103.4	99.7
TR1-HV	526.3	7441.8	927.5	923.5	919.3	910.5	910.4	910.5	103.4	99.7
TR1-LV	1657.6	1656.2	11504.8	6497.7	6462.8	6408	6406.2	6408.6	651.4	628.1
HV1	1657.6	1656.2	4526.8	11033.4	7929.3	10318.8	10594.2	10277.2	1132.7	1092.3
BUS G1	959.1	958.3	3062.5	3070.7	10997.3	3028.2	3027.4	3028.4	338.1	326
2AMCC01	271.9	271.6	570.1	570.5	567.9	10886.2	562.3	562.4	95.8	92.4
2AMCC03	137.3	137.2	287.9	288.1	286.8	284	10880.7	284.1	48.4	46.7
ST1-HV	298.2	298	625.3	625.7	622.9	616.9	616.8	10888.1	1132.7	1092.3
ST1-LV	2738.2	2735.9	8612.4	8618.2	8578.9	8496.4	8495.5	8581.1	51538.3	36767.4
MDB1	2738.2	2735.9	8612.4	8618.2	8578.9	8496.4	8495.5	8581.1	13958.1	50331.4
RMU2	521.8	520	108.7	108.3	107.8	106.7	106.7	106.7	12.1	11.7
TR2-HV	521.8	520.1	108.7	108.3	107.8	106.7	106.7	106.7	12.1	11.7
TR2-LV	1643.1	1637.8	456.6	454.6	452.6	448.2	448.2	448.2	76.4	73.6
HV2	1643.1	1637.8	456.6	454.6	452.6	448.2	448.2	448.2	76.4	73.6
BUS G2	959	955.9	266.5	265.4	264.1	261.6	261.6	261.6	44.6	43
2AMCC02	137.3	136.9	38.2	38	37.8	37.5	37.4	37.5	6.4	6.2
2AMCC04	271.9	271	75.5	75.2	74.9	74.2	74.1	74.2	12.6	12.2
ST2-HV	283.9	282.9	78.9	78.5	78.2	77.4	77.4	77.4	13.2	12.7
ST2-LV	2606.3	2597.9	1086.4	1081.7	1076.8	1066.5	1066.3	1066.5	242.3	233.6
MDB2	2606.3	2597.9	1086.4	1081.7	1076.8	1066.5	1066.3	1066.5	242.3	233.6
TCB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TIE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ภาพที่ 18 กระแส Single line to ground fault ในสภาวะที่ 1



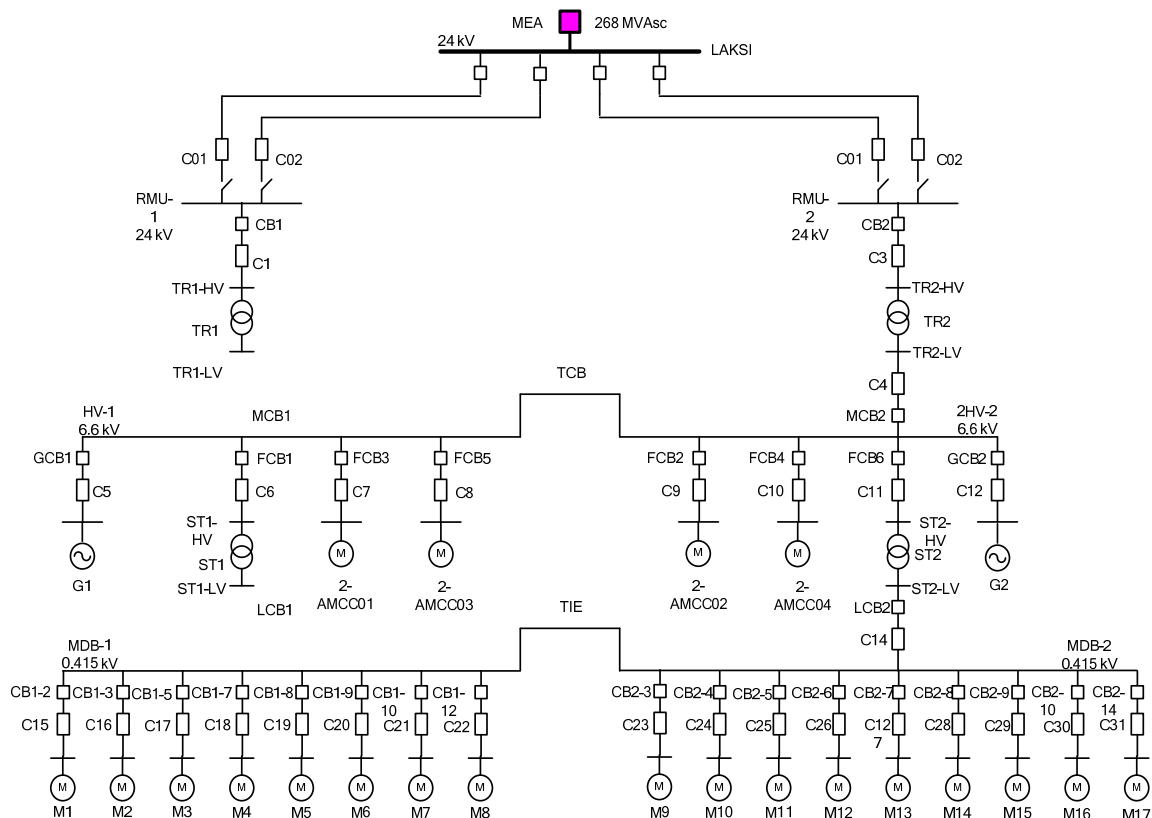
ภาพที่ 19 ระบบในสภาวะที่ 2 ของโรงจักรไฟฟ้า (GC-CHIPIDC)

BUS	RMU1	TR1-HV	TR1-LV	HV1	BUS G1	2AMCC01	2AMCC03	ST1-HV	ST1-LV	MDB1
RMU1	7,637.3	7,260.1	1,649.8	-	-	-	-	-	-	-
TR1-HV	-	7,260.1	1,649.8	-	-	-	-	-	-	-
TR1-LV	-	-	5,999.4	-	-	-	-	-	-	-
HV1	2,215.7	2,210.7	478.6	16,324.9	13,185.1	15,246.8	15,665.5	15,185.1	2,316.6	2,275.1
BUS G1	1,282.4	1,279.5	277.0	3,072.8	16,249.9	3,031.5	3,030.3	3,031.9	462.5	454.2
2AMCC01	363.5	362.7	78.5	871.0	856.9	16,117.8	859.0	859.4	131.1	128.8
2AMCC03	183.6	183.2	39.7	439.9	437.3	434.0	16,105.3	434.1	66.2	65.0
ST1-HV	398.1	397.2	86.0	953.8	948.2	941.0	940.6	16,122.0	2,316.6	2,275.1
ST1-LV	6,330.6	6,361.4	1,367.6	15,168.9	15,079.6	14,964.6	14,958.8	15,182.9	59,122.7	36,181.6
MDB1	6,330.6	6,361.4	1,367.6	15,168.9	15,079.6	14,964.6	14,958.8	15,182.9	22,948.6	58,800.5
RMU2	1,213.5	1,210.8	262.2	1,581.6	1,572.3	1,560.3	1,559.7	1,560.5	238.1	233.8
TR2-HV	1,213.5	1,210.8	262.2	1,581.6	1,572.3	1,560.3	1,559.7	1,560.5	238.1	233.8
TR2-LV	4,412.9	4,402.9	953.3	5,751.4	5,717.5	5,673.9	5,671.7	5,674.7	865.7	850.2
HV2	4,412.9	4,402.9	953.3	11,016.0	10,951.1	10,867.6	10,863.4	10,869.0	1,658.2	1,628.4
BUS G2	1,282.4	1,279.5	277.0	3,072.8	3,054.8	3,031.5	3,030.3	3,031.9	462.5	454.2
2AMCC02	183.6	183.2	39.7	439.9	437.3	434.0	433.8	434.1	66.2	65.0
2AMCC04	363.5	362.7	78.5	871.0	865.9	859.3	859.0	859.4	131.1	128.8
ST2-HV	379.6	378.7	82.0	909.5	904.1	897.2	896.9	897.4	136.9	134.4
ST2-LV	6,036.6	6,023.7	1,304.0	14,464.3	14,379.2	14,269.5	14,264.0	14,271.3	2,177.2	2,138.2
MDB2	6,036.6	6,023.7	1,304.0	14,464.3	14,379.2	14,269.5	14,264.0	14,271.3	2,177.2	2,138.2
TCB	2,215.7	2,210.7	478.6	11,016.0	10,951.1	10,867.6	10,863.4	10,869.0	1,658.2	1,628.4
TIE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ภาพที่ 20 กระแส Three phase fault ในสภาวะที่ 2

BUS	RMU1	TR1-HV	TR1-LV	HV1	BUS G1	2AMCC01	2AMCC03	ST1-HV	ST1-LV	MDB1
RMU1	7175.98	7153.31	1026.5	0	0	0	0	0	0	0
TR1-HV	0	7153.31	1026.5	0	0	0	0	0	0	0
TR1-LV	0	0	6465.42	0	0	0	0	0	0	0
HV1	1202.2	1198.4	344	15357.2	12196.4	14524.2	14785.6	14484.4	1195.8	1151.6
BUS G1	695.6	693.4	199	3070.5	15265.6	3011	3010.3	3011.3	238.7	229.9
2AMCC01	197.2	196.6	56.4	546.2	542.3	15067	535.4	535.5	67.7	65.2
2AMCC03	99.6	99.3	28.5	275.9	273.9	270.4	15059.7	270.5	34.2	32.9
ST1-HV	216.3	215.6	61.9	599.1	594.8	587.4	587.3	15069.5	1195.8	1151.6
ST1-LV	1986	1979.7	852.3	8252	8192.1	8089.6	8088.9	8206.8	52910.2	38287.3
MDB1	1986	1979.7	852.3	8252	8192.1	8089.6	8088.9	8206.8	13713.7	51607.6
RMU2	760.2	757.8	163.1	858.9	852.7	842	842	842.1	70.9	68.3
TR2-HV	760.2	757.8	163.1	858.9	852.7	842	842	842.1	70.9	68.3
TR2-LV	2394	2386.5	684.9	6438.3	6385.9	6313.8	6312.2	6314.4	446.9	430.4
HV2	2394	2386.5	684.9	10883.2	10796.4	10672.2	10669.7	10673.1	855.9	824.3
BUS G2	695.6	693.4	199	3070.5	3046	3011	3010.3	3011.3	238.7	229.9
2AMCC02	99.6	99.3	28.5	275.9	273.9	270.4	270.4	270.5	34.2	32.9
2AMCC04	197.2	196.6	56.4	546.2	542.3	535.5	535.4	535.5	67.7	65.2
ST2-HV	205.9	205.2	58.9	570.3	566.2	559.1	559.1	559.1	70.7	68.1
ST2-LV	1890.5	1884.5	811.3	7855.1	7798.2	7700.6	7699.9	7700.9	1297.7	1249.8
MDB2	1890.5	1884.5	811.3	7855.1	7798.2	7700.6	7699.9	7700.9	1297.7	1249.8
TCB	1202.2	1198.4	344	10883.2	10796.4	10672.2	10669.7	10673.1	855.9	824.3
TIE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ภาพที่ 21 กระแส Single line to ground fault ในสภาวะที่ 2



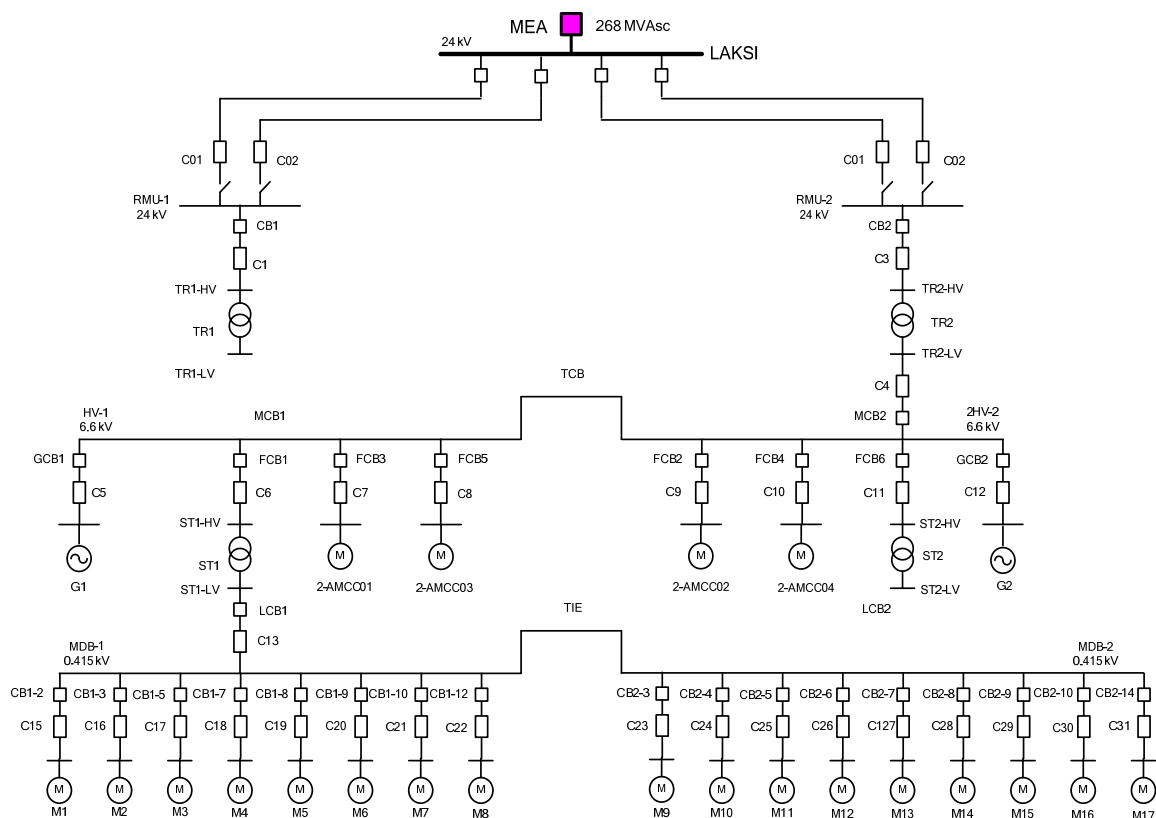
ภาพที่ 22 ระบบในสถานะที่ 3 ของโรงจักรไฟฟ้า (GC-CHIPIDC)

BUS	RMU1	TR1-HV	TR1-LV	HV1	BUS G1	2AMCC01	2AMCC03	ST1-HV	ST1-LV	MDB1
RMU1	7,614.5	7,597.4	1,648.7	-	-	-	-	-	-	-
TR1-HV	-	7,597.4	1,648.7	-	-	-	-	-	-	-
TR1-LV	-	-	5,995.4	-	-	-	-	-	-	-
HV1	1,873.3	1,869.1	405.6	15,870.2	12,733.3	14,805.8	15,224.6	15,651.7	2,327.2	680.4
BUS G1	1,315.3	1,312.3	284.8	3,072.8	15,801.0	3,032.9	3,031.7	3,030.5	450.6	477.7
2AMCC01	372.8	372.0	80.7	871.0	866.1	15,676.3	859.4	859.1	127.7	135.4
2AMCC03	188.3	187.9	40.8	439.9	437.4	434.2	15,664.1	433.9	64.5	68.4
ST1-HV	-	-	-	-	-	-	-	15,651.7	2,327.2	-
ST1-LV	-	-	-	-	-	-	-	-	37,010.8	-
MDB1	4,889.8	4,878.8	1,058.8	11,424.0	11,359.5	11,275.6	11,271.2	11,266.7	1,675.2	79,827.9
RMU2	1,191.1	1,188.4	257.9	1,581.6	1,572.7	1,561.1	1,560.5	1,559.9	231.9	245.9
TR2-HV	1,191.1	1,188.4	257.9	1,581.6	1,572.7	1,561.1	1,560.5	1,559.9	231.9	245.9
TR2-LV	4,331.2	4,321.4	937.8	5,751.4	5,718.9	5,676.6	5,674.4	5,672.2	843.4	894.2
HV2	4,331.2	4,321.4	937.8	11,496.0	11,431.1	11,346.6	11,342.2	11,337.7	1,685.8	2,254.7
BUS G2	1,315.3	1,312.3	284.8	3,072.8	3,055.5	3,032.9	3,031.7	3,030.5	450.6	477.7
2AMCC02	188.3	187.9	40.8	439.9	437.4	434.2	434.0	433.9	64.5	135.4
2AMCC04	372.8	372.0	80.7	871.0	866.1	859.7	859.4	859.1	127.7	68.4
ST2-HV	593.5	592.1	128.5	1,386.5	1,378.7	1,368.5	1,368.0	1,367.4	203.3	2,254.7
ST2-LV	9,438.2	9,417.0	2,043.6	22,050.5	21,926.1	21,764.0	21,755.6	21,747.0	3,233.5	35,858.6
MDB2	9,438.2	9,417.0	2,043.6	22,050.5	21,926.1	21,764.0	21,755.6	21,747.0	3,233.5	56,874.4
TIE1	1,873.3	1,869.1	405.6	11,496.0	11,431.1	11,346.6	11,342.2	11,337.7	1,685.8	680.4
TIE2	4,889.8	4,878.8	1,058.8	11,424.0	11,359.5	11,275.6	11,271.2	11,266.7	1,675.2	56,874.4

ภาพที่ 23 กระแส Three phase fault ในสถานะที่ 3

BUS	RMU1	TR1-HV	TR1-LV	HV1	BUS G1	2AMCC01	2AMCC03	ST1-HV	ST1-LV	MDB1
RMU1	7162.57	7140	1026	0	0	0	0	0	0	0
TR1-HV	0	7140	1026	0	0	0	0	0	0	0
TR1-LV	0	0	6462.37	0	0	0	0	0	0	0
HV1	1017.3	1014.1	291.5	15084.3	11926.4	14257.4	14521.5	14790.9	1413.7	300.3
BUS G1	714.3	172	204.6	3070.6	14997	3012.3	3011.6	3010.9	273.7	210.9
2AMCC01	202.5	201.8	58	551.9	548	14805.5	541.2	541.2	77.6	59.8
2AMCC03	102.3	101.9	29.3	278.7	276.8	273.4	14798.3	273.3	39.2	30.2
ST1-HV	0	0	0	0	0	0	0	14970.9	1413.7	0
ST1-LV	0	0	0	0	0	0	0	0	38941	0
MDB1	1536.1	1531.2	660.1	6280.9	6236.5	6159.9	6159.3	6158.7	1177.3	61076.1
RMU2	746.9	744.6	160.5	867.9	861.7	851.2	851.1	851	81.3	62.7
TR2-HV	746.9	744.6	160.5	867.9	861.7	851.2	851.1	851	81.3	62.7
TR2-LV	2352.3	2344.8	673.9	6425.9	6374.9	6304.3	6302.7	6301	512.3	394.7
HV2	2352.3	2344.8	673.9	11189.5	11102.5	10977	10974.4	10971.8	1024.1	995.2
BUS G2	714.3	712	204.6	3070.6	3046.6	3012.3	3011.6	3010.9	273.7	210.9
2AMCC02	102.3	101.9	29.3	278.7	276.8	273.4	273.4	273.3	39.2	30.2
2AMCC04	202.5	201.8	58	551.9	548	541.3	541.2	541.2	77.6	59.8
ST2-HV	322.5	321.5	92.4	879.1	872.9	862.2	862.1	862	123.6	995.2
ST2-LV	2961.1	2951.8	1272.6	12107.9	12022.2	11874.7	11873.5	11872.4	2269.5	38501.9
MDB2	2961.1	2951.8	1272.6	12107.9	12022.2	11874.7	11873.5	11872.4	2269.5	49328.9
TCB	1017.3	1014.1	291.5	11189.5	11102.5	10977	10974.4	10971.8	1024.1	300.3
TIE	1536.1	1531.2	660.1	6280.9	6236.5	6159.9	6159.3	6158.7	1177.3	49328.9

ภาพที่ 24 กระแส Single line to ground fault ในสภาวะที่ 3



ภาพที่ 25 ระบบในสภาวะที่ 4 ของโรงจักรไฟฟ้า (GC-CHIPIDC)

BUS	RMU1	TR1-HV	TR1-LV	HV1	BUS G1	2AMCC01	2AMCC03	ST1-HV	ST1-LV	MDB1
RMU1	7,614.5	7,579.4	1,648.7	-	-	-	-	-	-	-
TR1-HV	-	7,579.4	1,648.7	-	-	-	-	-	-	-
TR1-LV	-	-	5,995.4	-	-	-	-	-	-	-
HV1	2,458.9	2,453.4	532.4	15,870.2	12,733.3	14,805.8	15,244.6	14,321.6	2,295.5	2,254.7
BUS G1	1,315.3	1,312.3	284.8	3,072.8	15,801.0	3,032.9	3,031.7	3,034.5	486.4	477.7
2AMCC01	372.8	372.0	80.7	871.0	866.1	15,676.3	859.4	860.2	137.9	135.4
2AMCC03	188.3	187.9	40.8	439.9	437.4	434.2	15,664.1	434.4	69.6	68.4
ST1-HV	593.5	592.1	128.5	1,386.5	1,378.7	1,368.5	1,368.0	15,692.7	2,295.5	2,254.7
ST1-LV	9,438.2	9,417.0	2,043.6	22,050.5	21,926.1	21,764.0	21,755.6	22,079.6	79,323.7	35,858.6
MDB1	9,438.2	9,417.0	2,043.6	22,050.5	21,926.1	21,764.0	21,755.6	22,079.6	43,783.6	79,827.9
RMU2	1,191.1	1,188.4	257.9	1,581.6	1,572.7	1,561.1	1,560.5	1,561.9	250.3	245.9
TR2-HV	1,191.1	1,188.4	257.9	1,581.6	1,572.7	1,561.1	1,560.5	1,561.9	250.3	245.9
TR2-LV	4,331.2	4,321.4	937.8	5,751.4	5,718.9	5,576.6	5,674.4	5,679.6	910.3	894.2
HV2	4,331.2	4,321.4	937.8	10,126.6	10,069.4	9,995.0	9,991.1	10,000.2	1,602.9	1,574.4
BUS G2	1,315.3	1,312.3	284.8	3,072.8	3,055.5	3,032.9	3,031.7	3,034.5	486.4	477.7
2AMCC02	188.3	187.9	40.8	439.9	437.4	434.2	434.0	434.4	69.6	68.4
2AMCC04	372.8	372.0	80.7	871.0	866.1	859.7	859.4	860.2	137.9	135.4
ST2-HV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ST2-LV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MDB2	4,548.4	4,538.2	984.9	10,626.5	10,566.5	10,488.4	10,484.4	10,640.5	21,100.1	21,618.1
TCB	2,458.9	2,453.4	532.4	10,126.6	10,069.4	9,995.0	9,991.1	10,000.2	1,602.9	1,574.4
TIE	4,548.4	4,538.2	984.9	10,626.5	10,566.5	10,488.4	10,484.4	10,640.5	21,100.1	21,618.1

ภาพที่ 26 กระแส Three phase fault ในสภาวะที่ 4

BUS	RMU1	TR1-HV	TR1-LV	HV1	BUS G1	2AMCC01	2AMCC03	ST1-HV	ST1-LV	MDB1
RMU1	7,162.6	7,140.0	1,026.0	-	-	-	-	-	-	-
TR1-HV	-	7,140.0	1,026.0	-	-	-	-	-	-	-
TR1-LV	-	-	6,462.4	-	-	-	-	-	-	-
HV1	1335.5	1331.3	382.6	15,084.3	11,926.4	14,257.4	14,521.5	13,951.4	1,042.9	995.2
BUS G1	714.3	712	204.6	3,070.6	14,997.0	3,012.3	3,011.6	3,013.3	221.0	210.9
2AMCC01	202.5	201.8	58	551.9	548.0	14,805.5	541.2	541.4	62.6	59.8
2AMCC03	102.3	101.9	29.36	278.7	276.8	273.4	14,798.3	273.4	31.6	30.2
ST1-HV	322.5	321.5	92.4	879.1	872.9	862.2	862.1	14,815.2	1,042.9	995.2
ST1-LV	2961.1	2951.8	1272.6	12,107.9	12,022.2	11,874.7	11,873.5	12,042.2	62,466.8	38,501.9
MDB1	2961.1	2951.8	1272.6	12,107.9	12,022.2	11,874.7	11,873.5	12,042.2	23,000.2	61,076.6
RMU2	746.9	744.6	160.5	867.9	861.7	851.2	851.1	851.3	65.7	62.7
TR2-HV	746.9	74.6	160.5	867.9	861.7	851.2	851.1	851.3	65.7	62.7
TR2-LV	2352.3	2344.8	673.9	6,425.9	6,374.9	6,304.3	6,302.7	6,306.6	413.6	394.7
HV2	2352.3	2344.8	673.9	10,320.8	10,240	10,125.0	10,122.6	10,128.4	728.2	694.9
BUS G2	714.3	712	204.6	3,070.6	3,046.6	3,012.3	3,011.6	3,013.3	221.0	210.9
2AMCC02	102.3	101.9	29.3	278.7	276.8	273.4	273.4	273.4	31.6	30.2
2AMCC04	202.5	201.8	58	551.9	548.0	541.3	541.2	541.4	62.6	59.8
ST2-HV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ST2-LV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MDB2	1425.1	1420.6	612.4	5827	5785.7	5714.7	5714.2	5795.4	11068.9	11018.3
TCB	1335.5	1331.3	382.6	10320.8	10240	10125	10122.6	10128.4	728.2	694.9
TIE	1425.1	1420.6	612.4	5827	5785.7	5714.7	5714.2	5795.4	11068.9	11018.3

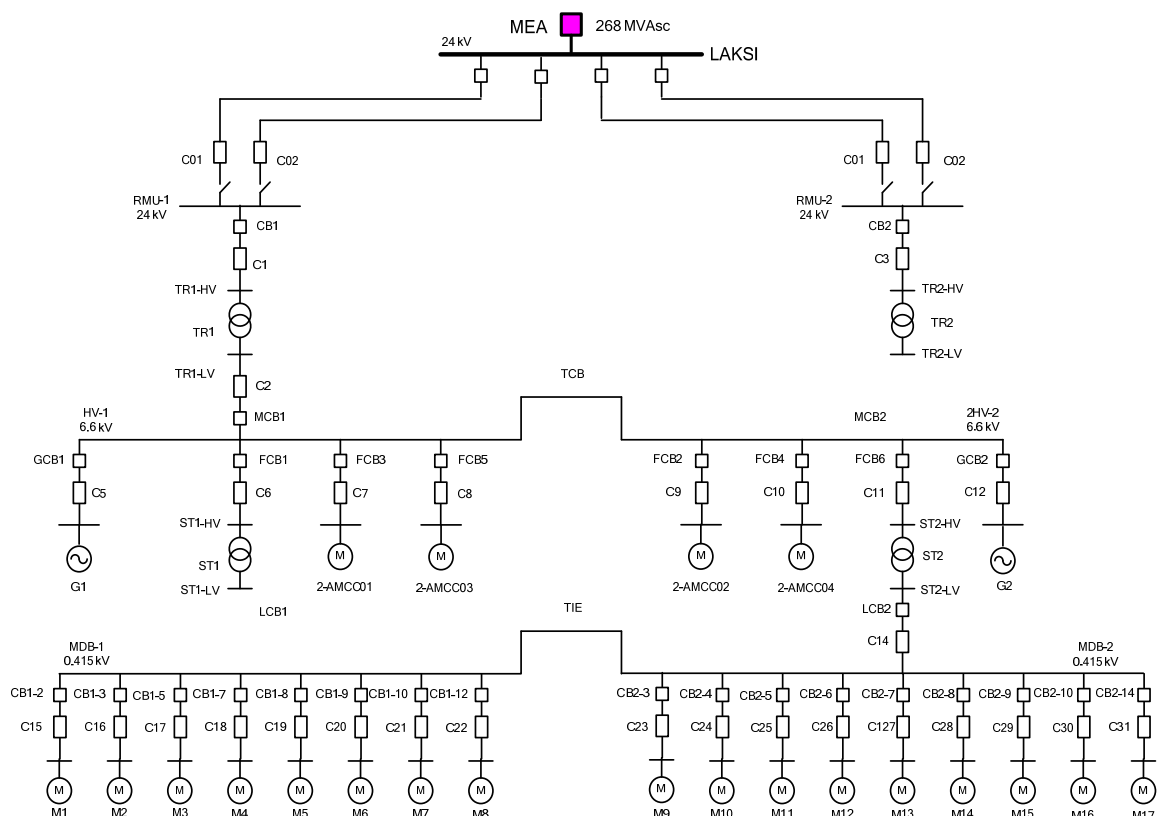
ภาพที่ 27 กระแส Single line to ground fault ในสภาวะที่ 4

[illegible]

ภาพที่ 29 กระแส Three phase fault ในสภาวะที่ 5

BUS	RMU1	TR1-HV	TR1-LV	HV1	BUS G1	2AMCC01	2AMCC03	ST1-HV	ST1-LV	MDB1
RMU1	7180.76	6399.9	862.4	858.9	852.7	842	842	842.1	70.9	68.3
TR1-HV	762.9	7161.21	862.4	858.9	852.7	842	842	842.1	70.9	68.3
TR1-LV	2402.5	2400.5	15347.2	6438.3	6385.9	6313.8	6312.2	6314.4	446.9	430.4
HV1	2402.5	2400.5	8877.7	15357.2	12196.4	14524.2	14785.6	14484.4	1195.8	1151.6
BUS G1	698.1	697.5	3054.1	3070.5	15265.6	3011	3010.3	3011.3	238.7	229.9
2AMCC01	197.9	197.7	544.5	546.2	542.3	15067	535.4	535.5	67.7	65.2
2AMCC03	99.9	99.9	275	275.9	273.9	270.4	15059.7	270.5	34.2	32.9
ST1-HV	217.1	216.9	597.2	599.1	594.8	587.4	587.3	15069.5	1195.8	1151.6
ST1-LV	1993	1991.4	8225.7	8252	8192.1	8089.6	8088.9	8206.8	52910.2	38287.3
MDB1	1993	1991.4	8225.7	8252	8192.1	8089.6	8088.9	8206.8	13713.7	51607.6
RMU2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TR2-HV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TR2-LV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HV2	1,196.0	1,195.0	4,424.5	4,445.2	4,410.7	4,358.7	4,357.8	4,359.0	409.0	393.9
BUS G2	698.1	697.5	3,054.1	3,070.5	3,046.0	3,011.0	3,010.3	3,011.3	238.7	229.9
2AMCC02	99.9	99.9	275.0	275.9	273.9	270.4	270.4	270.5	34.2	32.9
2AMCC04	197.9	197.7	544.5	546.2	542.3	535.5	535.4	535.5	67.7	65.2
ST2-HV	206.6	206.5	568.5	570.3	566.2	559.1	559.1	559.1	70.7	68.1
ST2-LV	1,897.2	1,895.6	7,830.1	7,855.1	7,798.2	7,700.6	7,699.9	7,700.9	1,297.7	1,249.8
MDB2	1,897.2	1,895.6	7,830.1	7,855.1	7,798.2	7,700.6	7,699.9	7,700.9	1,297.7	1,249.8
TCB	1196	1,195.0	4,424.5	4,445.2	4,410.7	4,358.7	4,357.8	4,359.0	409.0	393.9
TIE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ภาพที่ 30 กระแส Single line to ground fault ในสภาวะที่ 5



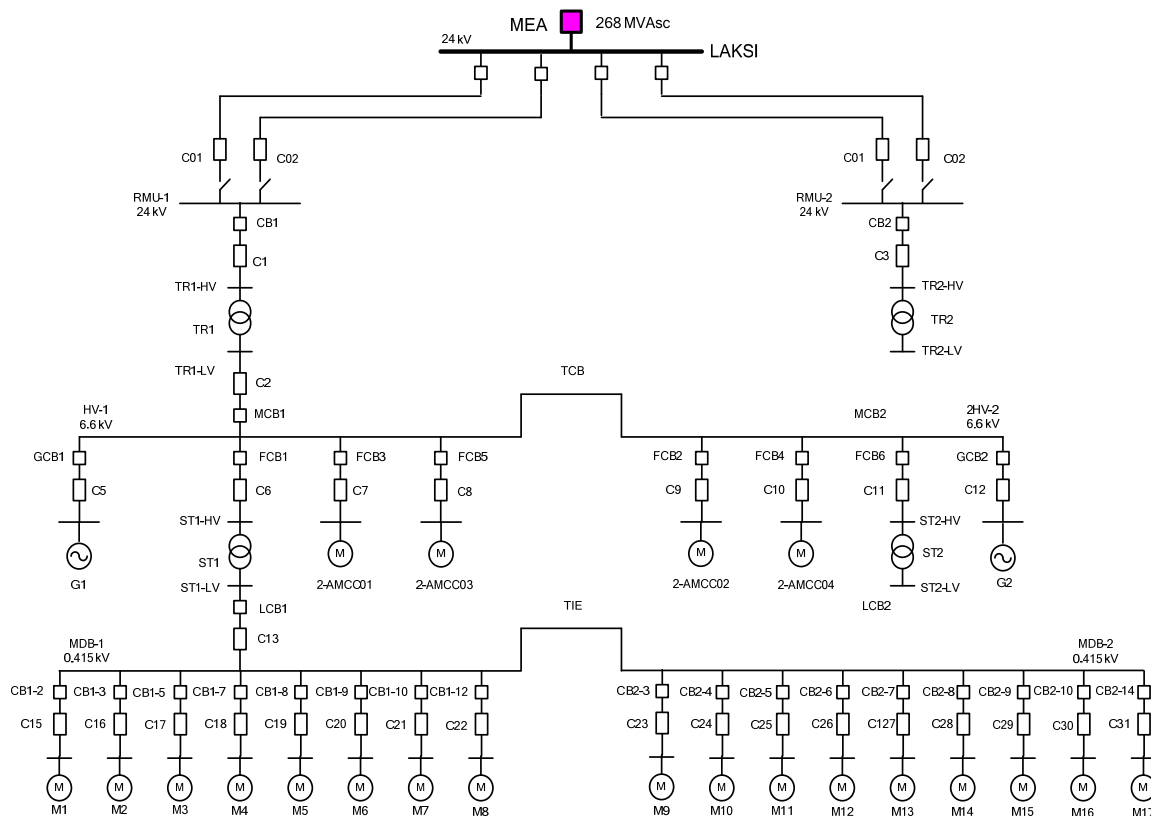
ภาพที่ 31 ระบบในสภาวะที่ 6 ของโรงจักรไฟฟ้า (GC-CHIPIDC)

BUS	RMU1	TR1-HV	TR1-LV	HV1	BUS G1	2AMCC01	2AMCC03	ST1-HV	ST1-LV	MDB1
RMU1	7,622.4	6,416.4	1,585.6	1,581.6	1,572.7	1,561.1	1,560.5	1,559.9	231.9	245.9
TR1-HV	1,195.7	6,416.4	1,585.6	1,581.6	1,572.7	1,561.1	1,560.5	1,559.9	231.9	245.9
TR1-LV	4,348.1	4,349.6	15,840.2	5,751.4	5,718.9	5,676.6	5,674.4	5,672.2	843.4	894.2
HV1	4,348.1	4,349.6	10,074.2	15,870.2	12,733.3	14,805.8	15,224.6	15,651.7	2,327.2	1,574.4
BUS G1	1,320.4	1,320.9	3,059.3	3,072.8	15,801.0	3,032.9	3,031.7	3,030.5	450.6	477.7
2AMCC01	374.3	374.4	867.2	871.0	866.1	15,676.3	859.4	859.1	127.7	135.4
2AMCC03	189.0	189.1	438.0	439.9	437.4	434.2	15,664.1	433.9	64.5	68.4
ST1-HV	-	-	-	-	-	-	-	15,651.7	2,327.2	-
ST1-LV	-	-	-	-	-	-	-	-	37,010.8	-
MDB1	4,908.9	4,910.6	11,373.6	11,424.0	11,359.5	11,275.6	11,271.2	11,266.7	1,675.2	79,827.9
RMU2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TR2-HV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TR2-LV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HV2	2,468.5	2,469.4	5,719.4	5,744.8	5,712.4	5,670.1	5,667.9	5,665.7	842.4	2,254.7
BUS G2	1,320.4	1,320.9	3,059.3	3,072.8	3,055.5	3,032.9	3,031.7	3,030.5	450.6	477.7
2AMCC02	189.0	189.1	438.0	439.9	437.4	434.2	434.0	433.9	64.5	68.4
2AMCC04	374.3	374.4	867.2	871.0	866.1	859.7	859.4	859.1	127.7	135.4
ST2-HV	595.8	596.0	1,380.4	1,386.5	1,378.7	1,368.5	1,368.0	1,367.4	203.3	2,254.7
ST2-LV	9,475.2	9,478.4	21,953.2	22,050.5	21,926.1	21,764.0	21,755.6	21,747.0	3,233.5	35,858.6
MDB2	9,475.2	9,478.4	21,953.2	22,050.5	21,926.1	21,764.0	21,755.6	21,747.0	3,233.5	56,874.4
TCB	2,468.5	2,469.4	5,719.4	5,744.8	5,712.4	5,670.1	5,667.9	5,665.7	842.4	1,574.4
TIE	4,908.9	4,910.6	11,373.6	114,240.0	11,359.5	11,275.6	11,271.2	11,266.7	1,675.2	56,874.4

ภาพที่ 32 กระแส Three phase fault ในสภาวะที่ 6

BUS	RMU1	TR1-HV	TR1-LV	HV1	BUS G1	2AMCC01	2AMCC03	ST1-HV	ST1-LV	MDB1
RMU1	7167.24	6399.9	871.3	867.9	861.7	851.2	851.1	851	81.3	62.7
TR1-HV	749.6	7147.7	871.3	867.9	861.7	851.2	851.1	851	81.3	62.7
TR1-LV	2360.6	2358.6	15076.3	6425.9	6374.9	6304.3	6302.7	6301	512.3	394.7
HV1	2360.6	2358.6	8620	15084.3	11926.4	14257.4	14521.5	14790.9	1413.7	694.9
BUS G1	716.8	716.2	3054.6	3070.6	14997	3012.3	3011.6	3011.9	273.7	210.9
2AMCC01	203.2	203	550.2	551.9	548	14805.5	541.2	541.2	77.6	59.8
2AMCC03	102.6	102.5	277.9	278.7	276.8	273.4	14798.3	273.3	39.2	30.2
ST1-HV	-	-	-	-	-	-	-	14,790.9	1,413.7	-
ST1-LV	-	-	-	-	-	-	-	-	38,941.0	-
MDB1	1541.5	1540.2	6261.7	6280.9	6236.5	6159.9	6159.3	6158.7	1177.3	61076.6
RMU2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TR2-HV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TR2-LV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HV2	1,340.2	1,339.1	4,742.6	4,763.6	4,727.7	4,672.7	4,671.9	4,671.0	511.8	995.2
BUS G2	716.8	716.2	3,054.6	3,070.6	3,046.6	3,012.3	3,011.6	3,011.9	273.7	210.9
2AMCC02	102.6	102.5	27.9	278.7	276.8	273.4	273.4	2,737.0	39.2	30.2
2AMCC04	203.2	203.0	550.2	551.9	548.0	541.3	541.2	541.2	77.6	59.8
ST2-HV	323.6	323.4	876.4	879.1	872.9	862.2	862.1	862.0	123.6	995.2
ST2-LV	2,971.6	2,969.2	12,070.8	12,107.9	12,022.2	11,874.7	11,873.5	11,872.4	2,269.5	38,501.9
MDB2	2,971.6	2,969.2	12,070.8	12,107.9	12,022.2	11,874.7	11,873.5	11,872.4	2,269.5	49,328.9
TCB	1340.2	1339.1	4742.6	4763.6	4727.7	4672.7	4671.9	4671	511.8	694.9
TIE	1541.5	1540.2	6261.7	6280.9	6236.5	6159.9	6159.3	6158.7	1177.3	49328.9

ภาพที่ 33 กระแส Single line to ground fault ในสภาวะที่ 6



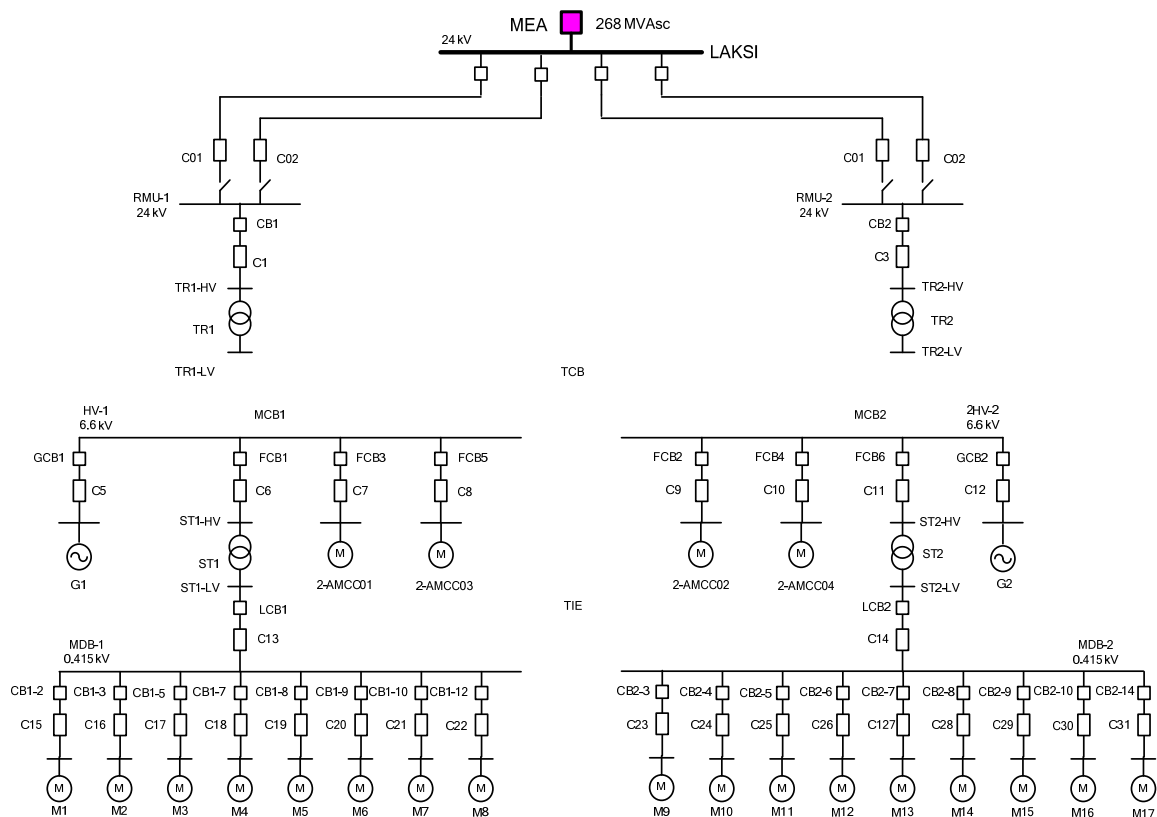
ภาพที่ 34 ระบบในสถานะที่ 7 ของโรงจักรไฟฟ้า (GC-CHIPIDC)

BUS	RMU1	TR1-HV	TR1-LV	HV1	BUS G1	2AMCC01	2AMCC03	ST1-HV	ST1-LV	MDB1
RMU1	7,622.4	6,416.4	1,585.6	1,581.6	1,572.7	1,561.1	1,560.5	1,561.9	250.3	245.9
TR1-HV	1,195.7	7,610.5	1,585.6	1,581.6	1,572.7	1,561.1	1,560.5	1,561.9	250.3	245.9
TR1-LV	4,348.1	4,349.6	15,840.2	5,751.4	5,718.9	5,676.6	5,674.6	1,679.6	910.3	894.2
HV1	4,348.1	4,349.6	10,074.3	15,870.2	12,733.3	14,805.8	15,224.6	14,321.6	2,295.5	2,254.7
BUS G1	1,320.4	1,320.9	3,059.3	3,072.8	15,801.0	3,032.9	3,031.7	3,034.5	486.4	477.7
2AMCC01	374.3	374.4	867.2	871.0	866.1	15,676.3	859.4	860.2	137.9	135.4
2AMCC03	189.0	189.1	438.0	439.9	437.4	434.2	15,664.1	434.4	69.6	68.4
ST1-HV	595.8	596.0	1,380.4	1,386.5	1,378.7	1,368.5	1,368.0	15,692.7	2,295.5	2,254.7
ST1-LV	9,475.2	9,478.4	21,953.2	22,050.5	21,926.1	21,764.0	21,755.6	22,079.6	79,323.7	35,858.6
MDB1	9,475.2	9,478.4	21,953.2	22,050.5	21,926.1	21,764.0	21,755.6	22,079.6	43,783.6	79,827.9
RMU2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TR2-HV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TR2-LV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HV2	1,880.7	1,881.3	4,357.3	4,376.6	4,351.9	4,319.8	4,318.1	4,322.0	692.7	680.4
BUS G2	1,320.4	1,320.9	3,059.3	3,072.8	3,055.5	3,032.9	3,031.7	3,034.5	486.4	477.7
2AMCC02	189.0	189.1	438.0	439.9	437.4	434.2	434.0	434.4	69.6	68.4
2AMCC04	374.3	374.4	1,380.4	871.0	866.1	859.7	859.4	860.2	137.9	135.4
ST2-HV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ST2-LV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MDB2	4,566.2	4,567.8	10,579.6	10,626.5	10,566.5	10,488.4	10,484.4	10,640.5	21,100.1	21,618.1
TCB	1,880.7	1,881.3	4,357.3	4,376.6	4,351.9	4,319.8	4,318.1	4,322.0	692.7	680.4
TIE	4,566.2	4,567.8	10,579.6	10,626.5	10,566.5	10,488.4	10,484.4	10,640.5	21,100.1	21,618.1

ภาพที่ 35 กระแส Three phase fault ในสถานะที่ 7

BUS	RMU1	TR1-HV	TR1-LV	HV1	BUS G1	2AMCC01	2AMCC03	ST1-HV	ST1-LV	MDB1
RMU1	7167.24	6399.9	6457	867.9	861.7	851.2	851.1	851.3	65.7	62.7
TR1-HV	749.6	7147.71	6457	867.9	861.7	851.2	851.1	851.3	65.7	62.7
TR1-LV	2360.6	2358.6	15076.3	6425.9	6374.9	6304.3	6302.7	6306.3	413.6	394.7
HV1	2360.6	2358.6	8620	15084.3	11926.4	14257.4	14521.5	13951.4	1042.9	995.2
BUS G1	716.8	716.2	3054.6	3070.6	14997	3012.3	3011.6	3013.3	221	210.9
2AMCC01	102.6	203	550.2	551.9	548	14805.5	541.2	541.4	62.6	59.8
2AMCC03	203.2	102.5	277.9	278.7	276.8	273.4	14798.3	273.4	31.6	30.2
ST1-HV	323.6	323.4	876.4	879.1	872.9	862.2	862.1	14851.2	1042.9	995.2
ST1-LV	2971.6	2969.2	12070.8	12107.9	12022.2	11874.7	11873.5	12042.2	62466.8	38501.9
MDB1	2971.6	2969.2	12070.8	12107.9	12022.2	11874.7	11873.5	12042.2	23000.2	61076.6
RMU2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TR2-HV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TR2-LV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HV2	1,020.9	1,020.1	3,878.7	3,897.1	3,867.3	3,822.9	3,822.1	3,824.0	314.7	300.3
BUS G2	716.8	716.2	3,054.6	3,070.6	3,046.6	3,012.3	3,011.6	3,013.3	221.0	210.9
2AMCC02	102.6	102.5	277.9	278.7	276.8	273.4	273.4	273.4	31.6	30.2
2AMCC04	203.2	203.2	550.2	551.9	548.0	541.3	541.2	541.4	62.6	59.8
ST2-HV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ST2-LV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MDB2	1,430.1	1,428.9	5,809.1	5,827.0	5,785.7	5,714.7	5,714.2	5,795.4	11,068.9	11,018.3
TCB	1,020.9	1,020.1	3,878.7	3,897.1	3,867.3	3,822.9	3,822.1	3,824.0	314.7	300.3
TIE	1,430.1	1,428.9	5,809.1	5,827.0	5,785.7	5,714.7	5,714.2	5,795.4	11,068.9	11,018.3

ภาพที่ 36 กระแส Single line to ground fault ในสภาวะที่ 7



ภาพที่ 37 ระบบในสภาวะที่ 8 ของโรงจักรไฟฟ้า (GC-CHIPIDC)

BUS	RMU1	TR1-HV	TR1-LV	HV1	BUS G1	2AMCC01	2AMCC03	ST1-HV	ST1-LV	MDB1
RMU1	6,428.6	6,416.4	1,585.6	-	-	-	-	-	-	-
TR1-HV	-	6,416.4	1,585.6	-	-	-	-	-	-	-
TR1-LV	-	-	5,766.0	-	-	-	-	-	-	-
HV1	-	-	-	5,309.0	2,256.5	4,421.8	4,848.7	4,360.2	1,680.4	1,658.6
BUS G1	-	-	-	3,072.8	5,310.3	3,060.9	3,059.7	3,061.3	1,179.8	1,164.5
2AMCC01	-	-	-	871.0	870.1	5,292.5	867.3	867.8	334.4	330.1
2AMCC03	-	-	-	439.9	439.5	438.2	5,288.4	438.3	168.9	166.7
ST1-HV	-	-	-	953.8	952.8	950.1	949.7	5,293.9	1,680.4	1,658.6
ST1-LV	-	-	-	15,168.9	15,152.9	15,109.8	15,103.9	15,182.9	49,043.7	26,377.1
MDB1	-	-	-	15,168.9	15,152.9	15,109.8	15,103.9	15,182.9	22,948.6	49,022.1
RMU2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TR2-HV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TR2-LV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HV2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BUS G2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2AMCC02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2AMCC04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ST2-HV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ST2-LV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MDB2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TCB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TIE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ภาพที่ 38 กระแส Three phase fault ในสถานะที่ 8

BUS	RMU1	TR1-HV	TR1-LV	HV1	BUS G1	2AMCC01	2AMCC03	ST1-HV	ST1-LV	MDB1
RMU1	6419.81	6401.63	997.5	-	-	-	-	-	-	-
TR1-HV	-	6401.63	997.5	-	-	-	-	-	-	-
TR1-LV	-	-	6282.78	-	-	-	-	-	-	-
HV1	-	-	-	4,272.6	1,212.9	3,786.1	4,015.2	3,751.5	932.0	902.3
BUS G1	-	-	-	3,070.0	4,279.8	3,054.2	3,053.6	3,054.4	654.4	633.5
2AMCC01	-	-	-	467.2	467.4	4,252.4	464.6	464.6	185.5	179.6
2AMCC03	-	-	-	236.0	236.1	234.7	4,250.7	234.7	93.7	90.7
ST1-HV	-	-	-	512.5	512.7	509.6	509.6	4,253.0	932.0	902.3
ST1-LV	-	-	-	7,058.1	7,060.8	7,019.2	7,019.0	7,052.3	47,173.0	31,901.4
MDB1	-	-	-	7,058.1	7,060.8	7,019.2	7,019.0	7,052.3	14,736.3	46,249.6
RMU2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TR2-HV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TR2-LV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HV2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BUS G2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2AMCC02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2AMCC04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ST2-HV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ST2-LV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MDB2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TCB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TIE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

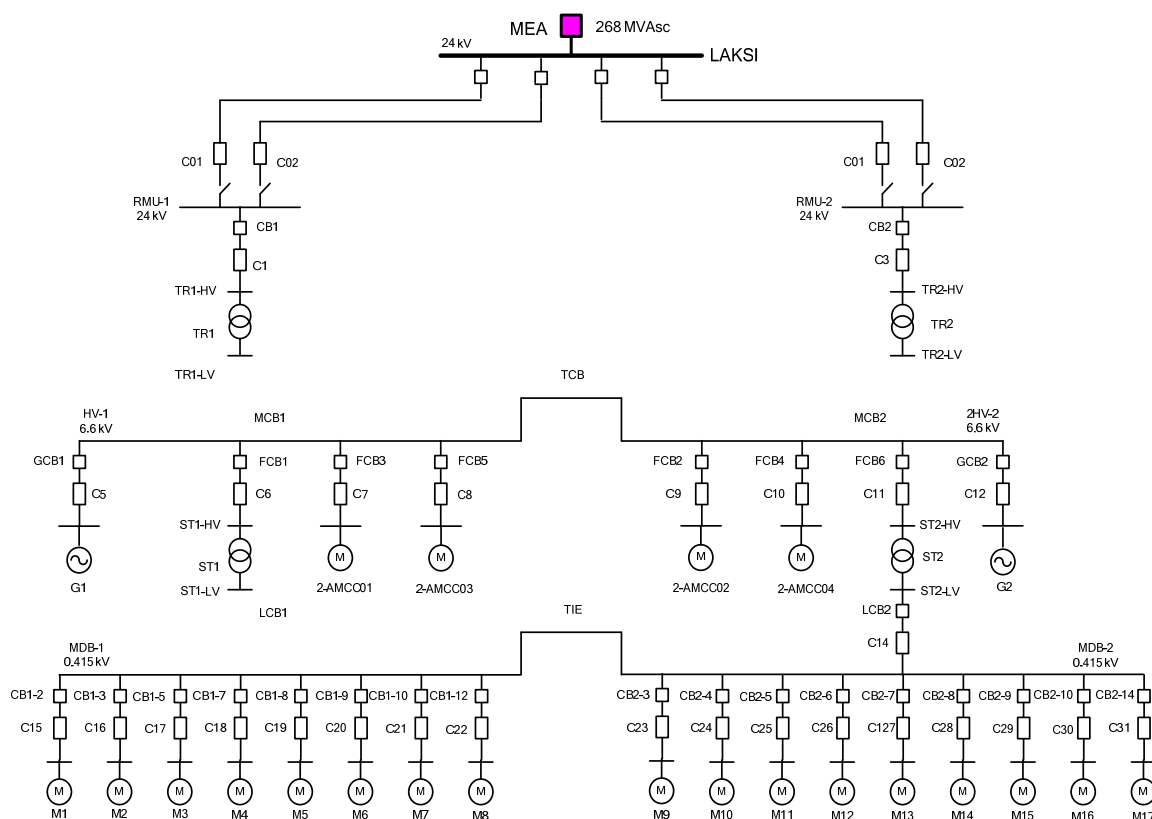
ภาพที่ 39 กระแส Single line to ground fault ในสถานะที่ 8

[illegible]

ภาพที่ 41 กระแส Three phase fault ในสภาวะที่ 9

BUS	RMU1	TR1-HV	TR1-LV	HV1	BUS G1	2AMCC01	2AMCC03	ST1-HV	ST1-LV	MDB1
RMU1	6,419.8	6,401.6	997.5	-	-	-	-	-	-	-
TR1-HV	-	6,401.6	997.5	-	-	-	-	-	-	-
TR1-LV	-	-	6,282.8	-	-	-	-	-	-	-
HV1	-	-	-	8,525.8	5,443.7	7,971.4	8,199.0	7,936.5	1,120.5	1,080.8
BUS G1	-	-	-	3,070.0	8,515.9	3,037.4	3,036.8	3,037.6	357.2	344.5
2AMCC01	-	-	-	468.1	467.0	8,438.3	463.0	463.0	101.3	97.7
2AMCC03	-	-	-	236.4	235.9	233.8	8,434.9	233.8	51.1	49.3
ST1-HV	-	-	-	513.5	512.3	507.8	507.8	8,439.5	1,120.5	1,080.8
ST1-LV	-	-	-	7,072.2	7,055.3	6,994.6	6,994.4	7,060.2	51,277.3	36,474.6
MDB1	-	-	-	7,072.2	7,055.3	6,994.6	6,994.4	7,060.2	14,005.1	50,087.9
RMU2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TR2-HV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TR2-LV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HV2	-	-	-	4,250.3	4,237.3	4,204.7	4,204.1	4,204.9	612.0	590.3
BUS G2	-	-	-	3,070.0	3,059.8	3,037.4	3,036.8	3,037.6	357.2	344.5
2AMCC02	-	-	-	236.4	235.9	233.8	233.8	233.8	51.1	49.3
2AMCC04	-	-	-	468.1	467.0	463.0	463.0	463.0	101.3	97.7
ST2-HV	-	-	-	488.8	487.6	483.4	483.4	483.4	105.7	102.0
ST2-LV	-	-	-	6,732.1	6,716.1	6,658.2	6,658.1	6,658.3	1,941.6	1,872.6
MDB2	-	-	-	6,732.1	6,716.1	6,658.2	6,658.1	6,658.3	1,941.6	1,872.6
TCB	-	-	-	4,250.3	4,237.3	4,204.7	4,204.1	4,204.9	612.0	590.3
TIE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ภาพที่ 42 กระแส Single line to ground fault ในสภาวะที่ 9



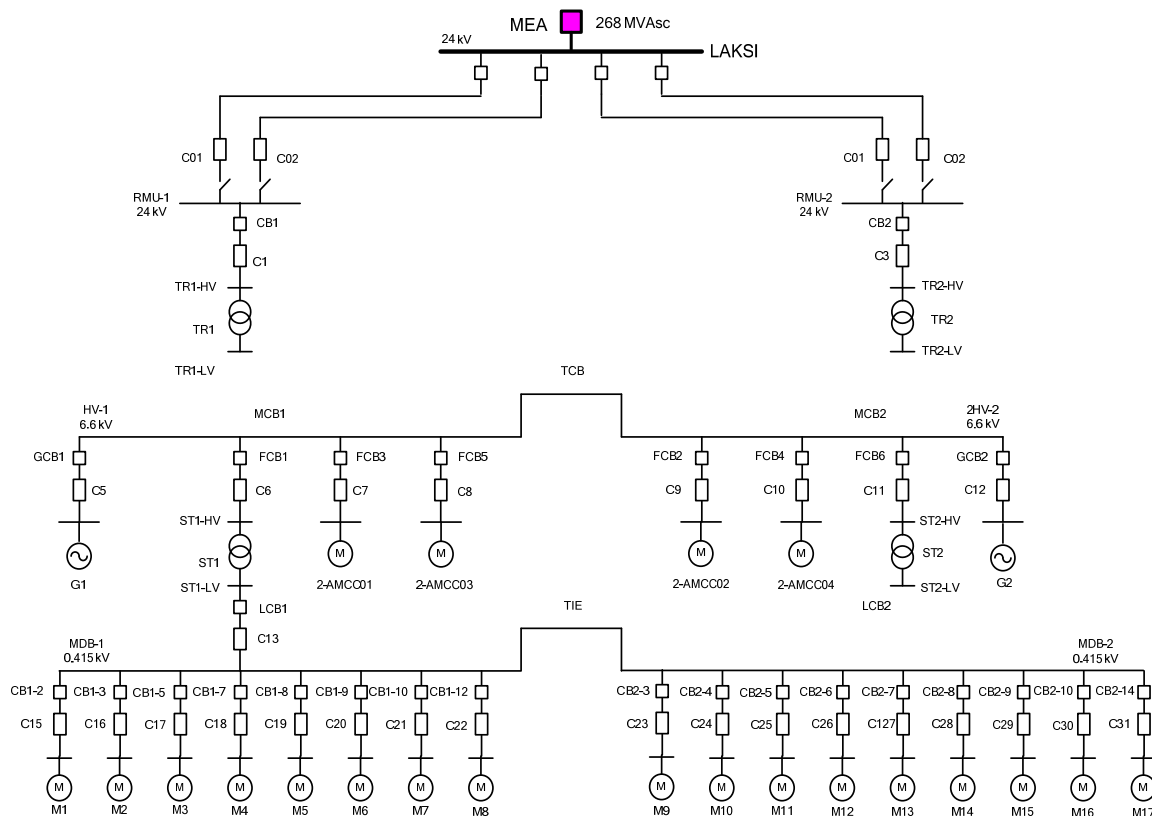
ภาพที่ 43 ระบบในสภาวะที่ 10 ของโรงจักรไฟฟ้า (GC-CHIPIDC)

BUS	RMU1	TR1-HV	TR1-LV	HV1	BUS G1	2AMCC01	2AMCC03	ST1-HV	ST1-LV	MDB1
RMU1	6,428.6	6,416.4	1,585.6	-	-	-	-	-	-	-
TR1-HV	-	6,416.4	1,585.6	-	-	-	-	-	-	-
TR1-LV	-	-	5,766.0	-	-	-	-	-	-	-
HV1	-	-	-	10,118.9	7,032.7	9,175.6	9,598.5	10,029.9	2,148.2	1,023.0
BUS G1	-	-	-	3,072.8	10,100.3	3,048.2	3,047.0	3,045.8	652.3	718.3
2AMCC01	-	-	-	871.0	868.3	10,045.7	863.7	863.4	184.9	203.6
2AMCC03	-	-	-	439.9	438.6	436.4	10,037.9	436.1	93.4	102.8
ST1-HV	-	-	-	-	-	-	-	10,029.9	2,148.2	-
ST1-LV	-	-	-	-	-	-	-	-	34,163.6	-
MDB1	-	-	-	11,424.0	11,388.2	11,332.4	11,328.0	11,323.5	2,425.2	76,525.6
RMU2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TR2-HV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TR2-LV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HV2	-	-	-	5,744.8	5,726.8	5,698.7	5,696.5	5,694.2	1,219.6	2,046.1
BUS G2	-	-	-	3,072.8	3,063.2	3,048.2	3,047.0	3,045.8	652.3	718.3
2AMCC02	-	-	-	439.9	438.6	436.4	436.2	436.1	93.4	102.8
2AMCC04	-	-	-	871.0	868.3	864.1	863.7	863.4	184.9	203.6
ST2-HV	-	-	-	1,386.5	1,382.2	1,375.4	1,374.9	1,374.3	294.3	2,046.1
ST2-LV	-	-	-	22,050.5	21,981.5	21,873.7	21,865.2	21,856.5	4,681.2	32,539.9
MDB2	-	-	-	22,050.5	21,981.5	21,873.7	21,865.2	21,856.5	4,681.2	53,556.3
TCB	-	-	-	5,744.8	5,726.8	5,698.7	5,696.5	5,694.2	1,219.6	1,023.0
TIE	-	-	-	11,424.0	11,388.2	11,332.4	11,328.0	11,323.5	2,425.2	53,556.3

ภาพที่ 44 กระแส Three phase fault ในสถานะที่ 10

BUS	RMU1	TR1-HV	TR1-LV	HV1	BUS G1	2AMCC01	2AMCC03	ST1-HV	ST1-LV	MDB1
RMU1	6,419.8	6,401.6	997.5	-	-	-	-	-	-	-
TR1-HV	-	6,401.6	997.5	-	-	-	-	-	-	-
TR1-LV	-	-	6,282.8	-	-	-	-	-	-	-
HV1	-	-	-	8,321.8	5,239.9	7,763.8	7,995.8	8,232.6	1,335.6	461.0
BUS G1	-	-	-	3,070.0	8,313.5	3,038.4	3,037.8	3,037.1	405.6	323.7
2AMCC01	-	-	-	477.5	476.4	8,239.6	472.4	472.4	115.0	91.8
2AMCC03	-	-	-	241.2	240.6	238.6	8,236.1	238.6	58.1	46.3
ST1-HV	-	-	-	-	-	-	-	8,232.6	1,335.6	-
ST1-LV	-	-	-	-	-	-	-	-	36,790.7	-
MDB1	-	-	-	5,434.3	5,421.9	5,376.4	5,376.2	5,376.1	1,744.4	59,778.7
RMU2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TR2-HV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TR2-LV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HV2	-	-	-	4,536.7	4,523.5	4,489.4	4,488.7	4,488.0	758.3	922.0
BUS G2	-	-	-	3,070.0	3,060.2	3,038.4	3,037.8	3,037.1	405.6	323.7
2AMCC02	-	-	-	241.2	240.6	238.6	238.6	238.6	58.1	46.3
2AMCC04	-	-	-	477.5	476.4	472.4	472.4	472.4	115.0	91.8
ST2-HV	-	-	-	760.6	758.9	752.5	752.5	752.5	183.1	922.0
ST2-LV	-	-	-	10,475.9	10,452.0	10,364.2	10,363.9	10,363.6	3,362.7	36,715.6
MDB2	-	-	-	10,475.9	10,452.2	10,364.2	10,363.9	10,363.6	3,362.7	47,776.8
TCB	-	-	-	4,536.7	4,523.5	4,489.4	4,488.7	4,488.0	758.3	461.0
TIE	-	-	-	5,434.3	5,421.9	5,376.4	5,376.2	5,376.1	1,744.4	47,776.8

ภาพที่ 45 กระแส Single line to ground fault ในสถานะที่ 10



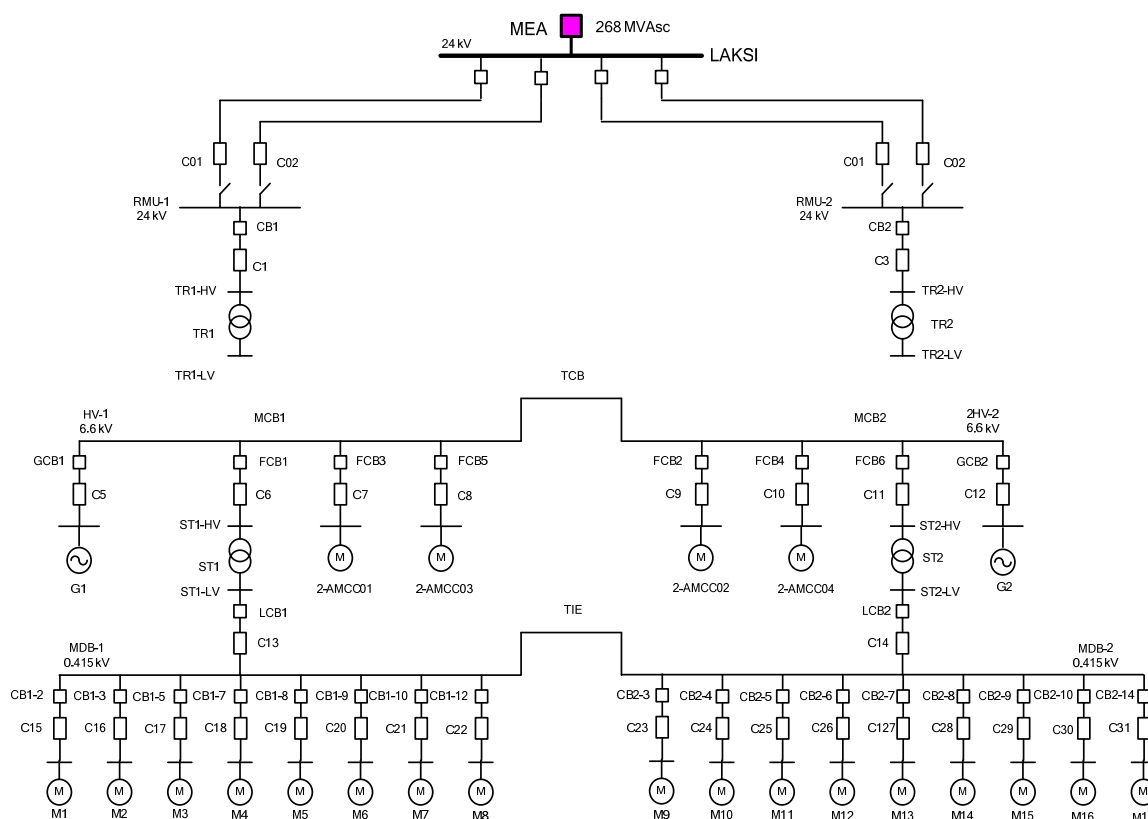
ภาพที่ 46 ระบบในสถานะที่ 11 ของโรงจักรไฟฟ้า (GC-CHIPIDC)

BUS	RMU1	TR1-HV	TR1-LV	HV1	BUS G1	2AMCC01	2AMCC03	ST1-HV	ST1-LV	MDB1
RMU1	6,428.6	6,416.4	1,585.6	-	-	-	-	-	-	-
TR1-HV	-	6,416.4	1,585.6	-	-	-	-	-	-	-
TR1-LV	-	-	5,766.0	-	-	-	-	-	-	-
HV1	-	-	-	10,118.9	7,032.7	9,175.6	9,598.5	8,687.6	2,079.5	2,046.1
BUS G1	-	-	-	3,072.8	10,100.3	3,048.2	3,047.0	3,049.8	730.0	718.3
2AMCC01	-	-	-	871.0	868.3	10,045.7	863.7	864.5	206.9	203.6
2AMCC03	-	-	-	439.9	438.6	436.4	10,037.9	436.6	104.5	102.8
ST1-HV	-	-	-	1,386.5	1,328.2	1,375.4	1,374.9	10,056.3	2,079.5	2,046.1
ST1-LV	-	-	-	22,050.5	21,981.5	21,873.7	21,865.2	22,079.6	75,911.9	32,539.9
MDB1	-	-	-	22,050.5	21,981.5	21,873.7	21,865.2	22,079.6	43,783.6	76,525.6
RMU2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TR2-HV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TR2-LV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HV2	-	-	-	4,376.6	4,362.9	4,341.5	4,339.9	4,343.8	1,039.7	1,023.0
BUS G2	-	-	-	3,072.8	3,063.2	3,048.2	3,047.0	3,049.8	730.0	718.3
2AMCC02	-	-	-	439.9	438.6	436.4	436.2	436.6	104.5	102.8
2AMCC04	-	-	-	871.0	868.3	864.1	863.7	864.5	206.9	203.6
ST2-HV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ST2-LV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MDB2	-	-	-	10,626.5	10,593.3	10,541.3	10,537.2	10,640.5	21,100.1	21,618.1
TIE1	-	-	-	4,376.6	4,362.9	4,341.5	4,339.9	4,343.8	1,039.7	1,023.0
TIE2	-	-	-	10,326.5	10,593.3	10,541.3	10,537.2	10,640.5	21,100.1	21,618.1

ภาพที่ 47 กระแส Three phase fault ในสถานะที่ 11

BUS	RMU1	TR1-HV	TR1-LV	HV1	BUS G1	2AMCC01	2AMCC03	ST1-HV	ST1-LV	MDB1
RMU1	6,419.8	6,401.6	997.5	-	-	-	-	-	-	-
TR1-HV	-	6,401.6	997.5	-	-	-	-	-	-	-
TR1-LV	-	-	6,282.8	-	-	-	-	-	-	-
HV1	-	-	-	8,321.8	5,239.9	7,763.8	7,995.8	7,495.3	964.8	922.0
BUS G1	-	-	-	3,070.0	8,313.5	3,038.4	3,037.8	3,039.3	338.7	323.7
2AMCC01	-	-	-	477.5	476.4	8,239.6	472.4	472.4	96.0	91.8
2AMCC03	-	-	-	241.2	240.6	238.6	8,236.1	238.6	48.5	46.3
ST1-HV	-	-	-	760.6	758.9	752.5	752.5	8,244.3	964.8	922.0
ST1-LV	-	-	-	10,475.9	10,452.0	10,364.2	10,363.9	10,456.7	61,048.1	36,715.6
MDB1	-	-	-	10,475.9	10,452.0	10,364.2	10,363.9	10,456.7	23,487.3	59,778.7
RMU2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TR2-HV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TR2-LV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HV2	-	-	-	3,786.0	3,774.6	3,746.7	3,746.1	3,747.6	482.4	461.0
BUS G2	-	-	-	3,070.0	3,060.2	3,038.4	3,037.8	3,039.3	338.7	323.7
2AMCC02	-	-	-	241.2	240.6	238.6	238.6	238.6	48.5	46.3
2AMCC04	-	-	-	477.5	476.4	472.4	472.4	472.4	96.0	91.8
ST2-HV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ST2-LV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MDB2	-	-	-	5,041.6	5,030.0	4,987.8	4,987.7	5,032.3	11,303.4	11,249.1
TCB	-	-	-	3,786.0	3,774.6	3,746.7	3,746.1	3,747.6	482.4	461.0
TIE	-	-	-	5,041.6	5,030.0	4,987.8	4,987.7	5,032.3	113.03.4	11,249.1

ภาพที่ 48 กระแส Single line to ground fault ในสถานะที่ 11



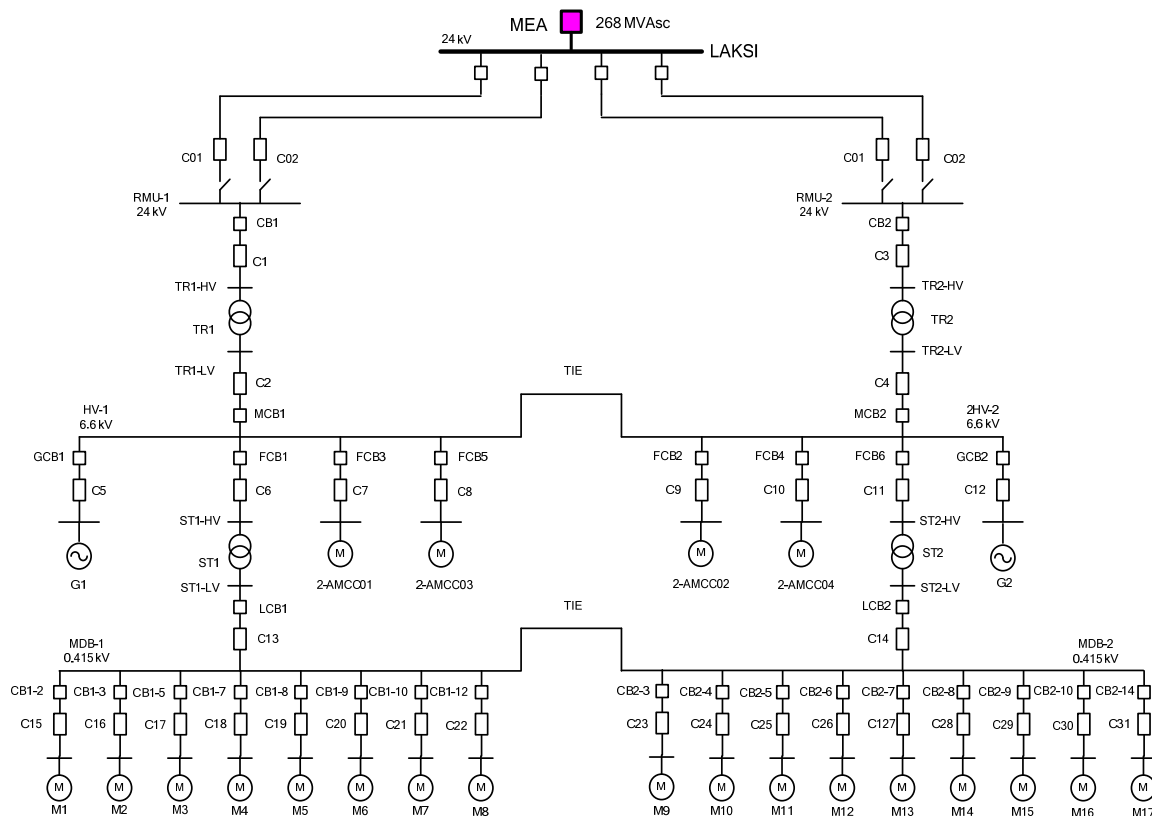
ภาพที่ 49 ระบบในสถานะที่ 12 ของโรงจักรไฟฟ้า (GC-CHIPIDC)

BUS	RMU1	TR1-HV	TR1-LV	HV1	BUS G1	2AMCC01	2AMCC03	ST1-HV	ST1-LV	MDB1
RMU1	6,428.6	6,416.4	1,585.6	-	-	-	-	-	-	-
TR1-HV	-	6,416.4	1,585.6	-	-	-	-	-	-	-
TR1-LV	-	-	5,766.0	-	-	-	-	-	-	-
HV1	-	-	-	10,574.2	7,489.4	9,621.7	10,044.7	9,572.9	1,706.1	1,658.6
BUS G1	-	-	-	3,072.8	10,552.2	3,046.7	3,045.6	3,047.1	1,151.2	1,164.5
2AMCC01	-	-	-	871.0	868.1	10,492.6	863.3	863.7	326.3	330.1
2AMCC03	-	-	-	439.9	438.4	436.2	10,484.4	436.2	164.8	166.7
ST1-HV	-	-	-	931.9	928.8	924.0	923.6	10,495.0	1,706.1	1,658.6
ST1-LV	-	-	-	14,821.0	14,771.0	14,695.1	14,689.4	14,938.0	94,186.5	26,377.1
MDB1	-	-	-	14,821.0	14,771.0	14,695.1	14,689.4	14,938.0	67,522.5	96,443.3
RMU2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TR2-HV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TR2-LV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HV2	-	-	-	5,287.1	5,269.3	5,242.2	5,240.1	5,235.1	1,573.4	1,658.6
BUS G2	-	-	-	3,072.8	3,062.5	3,046.7	3,045.6	3,047.1	1,151.2	1,164.5
2AMCC02	-	-	-	439.9	438.4	436.2	436.0	436.2	164.8	166.7
2AMCC04	-	-	-	871.0	868.1	863.6	863.3	863.7	326.3	330.1
ST2-HV	-	-	-	931.9	928.8	924.0	923.6	917.7	1,573.4	1,658.6
ST2-LV	-	-	-	14,821.0	14,771.0	14,695.1	14,689.4	14,954.5	25,023.4	26,377.1
MDB2	-	-	-	14,821.0	14,771.0	14,695.1	14,689.4	14,954.5	45,329.3	47,421.5
TCB	-	-	-	5,287.1	5,269.3	5,242.2	5,240.1	5,235.1	69.7	-
TIE	-	-	-	536.0	534.2	531.5	531.3	391.0	45,329.3	47,421.5

ภาพที่ 50 กระแส Three phase fault ในสภาวะที่ 12

BUS	RMU1	TR1-HV	TR1-LV	HV1	BUS G1	2AMCC01	2AMCC03	ST1-HV	ST1-LV	MDB1
RMU1	6,419.8	6,401.6	997.5	-	-	-	-	-	-	-
TR1-HV	-	6,401.6	997.5	-	-	-	-	-	-	-
TR1-LV	-	-	6,282.8	-	-	-	-	-	-	-
HV1	-	-	-	8,525.5	5,444.0	7,917.7	8,199.3	7,944.6	943.1	907.9
BUS G1	-	-	-	3,070.0	8,516.2	3,037.4	3,036.8	3,037.6	636.3	637.5
2AMCC01	-	-	-	468.1	467.0	8,438.6	463.0	463.0	180.4	180.7
2AMCC03	-	-	-	236.4	235.9	233.8	8,435.1	233.8	91.1	91.3
ST1-HV	-	-	-	501.3	500.1	495.8	495.8	8,439.6	943.1	907.9
ST1-LV	-	-	-	6,904.2	6,887.7	6,828.4	6,828.3	6,940.6	90,229.0	31,842.6
MDB1	-	-	-	6,904.2	6,887.7	6,828.4	6,828.3	6,940.6	57,391.8	91,502.7
RMU2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TR2-HV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TR2-LV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HV2	-	-	-	4,262.8	4,249.7	4,217.1	4,216.4	4,213.2	869.7	907.9
BUS G2	-	-	-	3,070.0	3,059.8	3,037.4	3,036.8	3,037.6	636.3	637.5
2AMCC02	-	-	-	236.4	235.9	233.8	233.8	233.8	91.1	91.3
2AMCC04	-	-	-	468.1	467.0	436.0	463.0	463.0	180.4	180.7
ST2-HV	-	-	-	501.3	500.1	495.8	495.8	492.3	869.7	907.9
ST2-LV	-	-	-	6,904.2	6,887.7	6,828.4	6,828.3	6,781.1	30,161.0	31,842.6
MDB2	-	-	-	6,904.2	6,887.7	6,828.4	6,828.3	6,781.1	43,201.4	45,226.3
TCB	-	-	-	4,262.8	4,249.7	4,217.1	4,216.4	4,213.2	38.6	-
TIE	-	-	-	258.9	258.2	256.0	256.0	190.2	43,201.4	45,226.3

ภาพที่ 51 กระแส Single line to ground fault ในสภาวะที่ 12



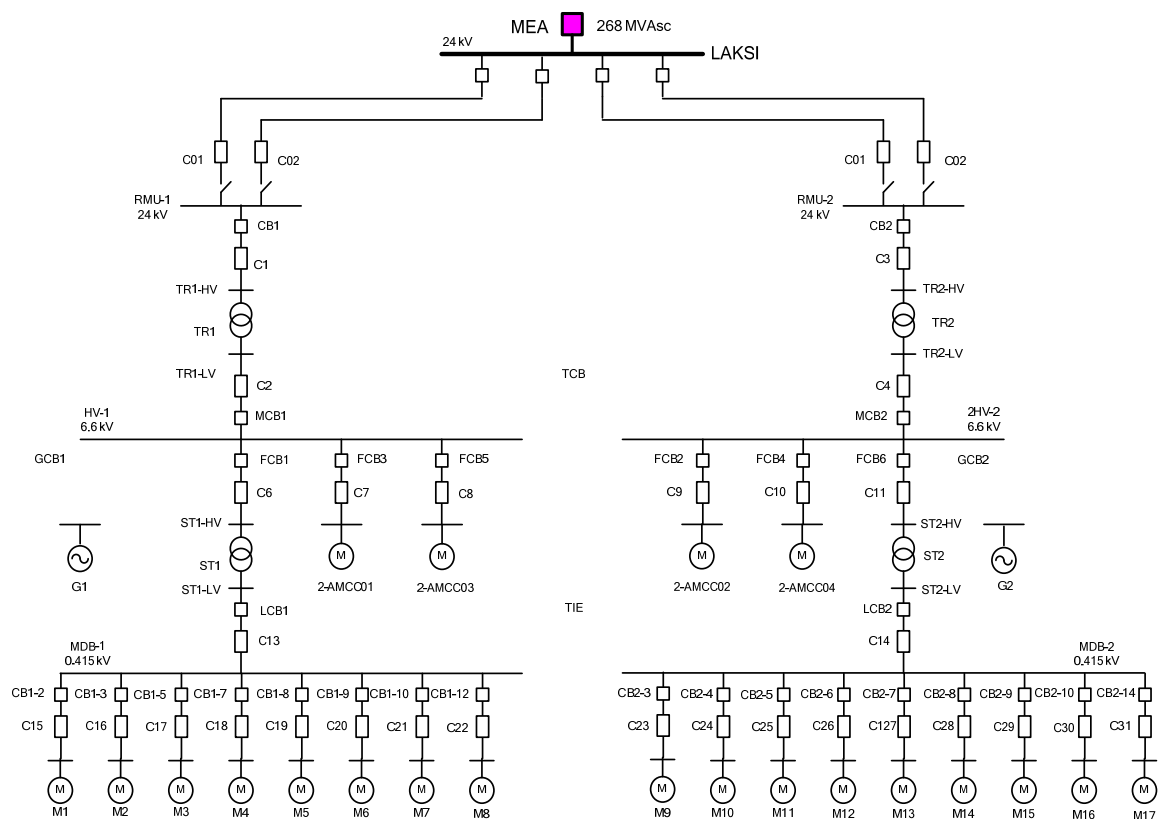
ภาพที่ 52 ระบบในสถานะที่ 13 ของโรงจักรไฟฟ้า (GC-CHIPIDC)

BUS	RMU1	TR1-HV	TR1-LV	HV1	BUS G1	2AMCC01	2AMCC03	ST1-HV	ST1-LV	MDB1
RMU1	8,138.6	7,261.5	4,641.3	1,270.3	1,260.9	1,249.3	1,248.8	1,249.5	287.5	290.8
TR1-HV	860.8	8,123.4	4,641.3	1,270.3	1,260.9	1,249.3	1,248.8	1,249.5	287.5	290.8
TR1-LV	3,130.3	3,136.3	19,720.6	4,619.2	4,584.9	4,543.0	4,541.2	4,543.5	1,045.4	1,057.3
HV1	3,130.3	3,136.4	15,079.3	19,812.6	16,627.0	18,629.8	19,046.0	18,574.9	2,110.1	2,058.7
BUS G1	1,811.4	1,809.7	3,052.3	3,072.8	19,690.9	3,022.1	3,021.0	3,022.5	695.4	703.4
2AMCC01	513.5	513.0	865.2	871.0	864.6	19,501.0	856.3	856.8	197.1	199.4
2AMCC03	259.3	259.1	437.0	439.9	436.7	432.7	19,485.8	432.7	99.6	100.7
ST1-HV	549.4	548.8	925.7	931.9	925.0	916.5	916.2	19,505.4	2,110.1	2,058.7
ST1-LV	8,736.7	8,728.4	14,722.0	14,821.0	14,711.0	14,576.4	14,570.7	15,028.8	106,605.0	32,740.2
MDB1	8,736.7	8,728.4	14,722.0	14,821.0	14,711.0	14,576.4	14,570.7	15,028.8	73,496.3	109,150.0
RMU2	853.3	850.0	1,258.3	1,270.3	1,260.9	1,249.3	1,248.8	1,249.5	287.5	290.8
TR2-HV	853.3	850.0	1,258.3	1,270.3	1,260.9	1,249.3	1,248.8	1,249.5	287.5	290.8
TR2-LV	3,102.9	3,090.9	4,575.8	4,619.2	4,584.9	4,543.0	4,541.2	4,543.5	1,045.4	1,057.3
HV2	3,102.9	3,090.9	9,827.6	9,906.3	9,832.8	9,742.8	9,739.0	9,729.7	1,961.0	2,058.7
BUS G2	1,811.4	1,809.7	3,052.3	3,072.8	3,050.0	3,022.1	3,021.0	3,022.5	695.4	703.4
2AMCC02	259.3	259.1	437.0	439.9	436.7	432.7	432.5	432.7	99.6	100.7
2AMCC04	513.5	513.0	865.2	871.0	864.6	856.7	856.3	856.8	197.1	199.4
ST2-HV	549.4	548.8	925.7	931.9	925.0	916.5	916.2	904.7	1,961.0	2,058.7
ST2-LV	8,737.6	8,728.4	14,722.0	14,821.0	14,711.0	14,576.4	14,570.7	14,388.6	31,186.5	32,740.2
MDB2	8,737.6	8,728.4	14,722.0	14,821.0	14,711.0	14,576.4	14,570.7	14,388.6	51,411.6	53,776.0
TCB	14.7	25.0	9,827.6	9,906.3	9,832.8	8,742.8	9,739.0	9,729.7	78.9	-
TIE	316.0	315.7	532.4	536.0	532.0	527.2	527.0	346.5	51,411.6	53,776.0

ภาพที่ 53 กระแส Three phase fault ในสถานะที่ 13

BUS	RMU1	TR1-HV	TR1-LV	HV1	BUS G1	2AMCC01	2AMCC03	ST1-HV	ST1-LV	MDB1
RMU1	7464.07	6915.5	754.2	751.1	743	731.6	731.5	731.6	87.5	87.6
TR1-HV	526.4	7441.83	754.2	751.1	743	731.6	731.5	731.6	87.5	87.6
TR1-LV	1657.6	1659.1	20185.7	5563	5498.7	5420.7	5419.1	5421.2	551.3	551.9
HV1	1657.6	1659.1	14586.2	20291.6	17032.9	19192.4	5419.1	19154.6	1112.9	1074.5
BUS G1	959	957.1	3042.5	3070.9	20100.2	2992.1	2991.3	2992.3	366.8	367.1
2AMCC01	271.9	271.3	590.4	594.7	588.3	19781.4	579.2	579.3	104	104.1
2AMCC03	137.3	137	298.2	300.4	297.1	292.6	19771.1	292.6	52.5	52.6
ST1-HV	291.1	290.5	632.2	636.8	630	620.3	620.2	19784.5	1112.9	1074.5
ST1-LV	2673	2667.6	8707.4	8771	8677	8543.7	8542.6	8808.1	97435.2	36121.1
MDB1	2673	2667.6	8707.4	8771	8677	8543.7	8542.6	8808.1	60191.2	98730.6
RMU2	521.8	519.2	743.6	751.1	743	731.6	731.5	731.6	87.5	87.6
TR2-HV	521.8	519.2	743.6	751.1	743	731.6	731.5	731.6	87.5	87.6
TR2-LV	1643.1	1635	5499	5563	5498.7	5420.7	5419.1	5421.2	551.3	551.9
HV2	1643.1	1635	10042.5	10145.8	10030.4	9885.5	9882.9	9876.7	1034.2	1074.5
BUS G2	959	957.1	3042.5	3070.9	3036	2992.1	2991.3	2992.3	366.8	367.1
2AMCC02	137.3	137	298.2	300.4	297.21	292.6	292.6	292.6	52.5	52.6
2AMCC04	271.9	271.3	590.4	594.7	588.3	579.3	579.2	579.3	104	104.1
ST2-HV	291.1	290.5	632.2	636.8	630	620.3	620.2	612.3	1034.2	1074.5
ST2-LV	2673	2667.6	8707.4	8771	8677	8543.7	8542.6	8433.2	34335.4	36121.1
MDB2	2673	2667.6	8707.4	8771	8677	8543.7	8542.6	8433.2	46718.5	48865.5
TCB	7.8	13.2	10042.5	10145.8	10030.4	9885.5	9882.9	9876.7	41.6	0
TIE	100.2	100	326.5	328.8	325.3	320.3	320.3	210.3	46718.5	48865.5

ภาพที่ 54 กระแส Single line to ground fault ในสถานะที่ 13



ภาพที่ 55 ระบบในสถานะที่ 14 ของโรงจักรไฟฟ้า (GC-CHIPIDC)

BUS	RMU1	TR1-HV	TR1-LV	HV1	BUS G1	2AMCC01	2AMCC03	ST1-HV	ST1-LV	MDB1
RMU1	7,377.6	6,883.8	1,612.7	1,608.6	-	1,598.2	1,597.6	1,598.4	443.7	436.9
TR1-HV	479.9	7,363.6	1,612.7	1,608.6	-	1,598.2	1,597.6	1,598.4	443.7	436.9
TR1-LV	1,745.2	1,745.5	8,109.7	5,849.4	-	5,811.7	5,809.5	5,812.5	1,613.6	1,588.8
HV1	1,745.2	1,745.5	2,256.5	8,097.4	-	7,180.1	7,605.3	7,113.7	1,974.8	1,944.5
BUS G1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2AMCC01	673.0	673.1	870.1	871.0	-	8,051.7	865.1	865.6	240.3	236.6
2AMCC03	399.9	339.9	439.5	439.9	-	437.1	8,045.4	437.2	121.4	119.5
ST1-HV	736.9	737.0	952.8	953.8	-	947.7	947.3	8,053.8	1,974.8	1,944.5
ST1-LV	11,719.6	11,721.3	15,152.9	15,168.9	-	15,071.3	15,065.4	15,182.9	53,744.5	30,924.6
MDB1	11,719.6	11,721.3	15,152.9	15,168.9	-	15,071.3	15,065.4	15,182.9	22,948.6	53,592.1
RMU2	471.0	470.1	110.1	109.8	-	109.1	109.1	109.2	30.3	29.8
TR2-HV	471.0	470.1	110.1	109.8	-	109.1	109.1	109.2	30.3	29.8
TR2-LV	1,712.9	1,709.4	400.5	399.4	-	396.9	396.7	396.9	110.2	108.5
HV2	1,712.9	1,709.4	400.5	399.4	-	396.9	396.7	396.9	110.2	108.5
BUS G2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2AMCC02	340.3	339.6	79.6	79.4	-	78.8	78.8	78.9	21.9	21.6
2AMCC04	673.8	672.4	157.5	157.1	-	156.1	156.1	156.1	43.3	42.7
ST2-HV	703.5	702.1	164.5	164.1	-	163.0	156.1	163.0	45.3	44.6
ST2-LV	11,188.8	11,165.9	2,615.9	2,609.2	-	2,592.4	2,591.4	2,592.7	719.8	708.7
MDB2	11,188.8	11,165.9	2,615.9	2,609.2	-	2,592.4	2,591.4	2,592.7	719.8	708.7
TCB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TIE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ภาพที่ 56 กระแส Three phase fault ในสภาวะที่ 14

BUS	RMU1	TR1-HV	TR1-LV	HV1	BUS G1	2AMCC01	2AMCC03	ST1-HV	ST1-LV	MDB1
RMU1	7021.3	6696.5	913.2	908.7	0	899.3	899.2	899.4	137.3	132.6
TR1-HV	304.7	7000.79	913.2	908.7	0	899.3	899.2	899.4	137.3	132.6
TR1-LV	959.4	958.6	7955.23	6455.9	0	6391.9	6390.2	6392.5	865	835.3
HV1	959.4	958.6	1476.4	7924.1	0	7282.9	7559.2	7238.3	1058.7	1022.3
BUS G1	0	0	0	0	3076.82	0	0	0	0	0
2AMCC01	369.7	369.4	568.9	568.2	0	7849.19	562.3	562.4	128.8	124.4
2AMCC03	186.7	186.6	287.3	287	0	284	7845.25	284	65.1	62.8
ST1-HV	405.5	405.2	624	623.2	0	616.8	616.8	7850.56	1058.7	1022.3
ST1-LV	3723.5	3720.2	8594.9	8583.3	0	8495.5	8494.5	8557.6	49959.3	34989.5
MDB1	3723.5	3720.2	8594.9	8583.3	0	8495.5	8494.5	8557.6	14243.2	48856.8
RMU2	298.8	297.9	62.4	62	0	61.4	61.4	61.4	9.4	9.1
TR2-HV	298.8	297.9	62.4	62	0	61.4	61.4	61.4	9.4	9.1
TR2-LV	941.1	938.2	261.8	260.5	0	257.9	257.8	257.9	59.1	57
HV2	941.1	938.2	261.8	260.5	0	257.9	257.8	257.9	59.1	57
BUS G2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2AMCC02	187	186.4	52	51.8	0	51.2	51.2	51.2	11.7	11.3
2AMCC04	370.2	369.1	103	102.5	0	101.4	101.4	101.4	23.2	22.4
ST2-HV	386.6	385.4	107.5	107	0	105.9	105.9	105.9	24.3	23.4
ST2-LV	3549.3	3538.5	1481.2	1473.9	0	1458.8	1458.6	1458.8	445.6	430.2
MDB2	3549.3	3538.5	1481.2	1473.9	0	1458.8	1458.6	1458.8	445.6	430.2
TCB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TIE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ภาพที่ 57 กระแส Single line to ground fault ในสภาวะที่ 14

BUS	RMU1	TR1-HV	TR1-LV	HV1	BUS G1	2AMCC01	2AMCC03	ST1-HV	ST1-LV	MDB1
RMU1	7,377.7	6,883.3	1,275.3	1,270.3	-	1,255.7	1,255.2	1,255.9	389.9	394.4
TR1-HV	478.8	7,363.7	1,275.3	1,270.3	-	1,255.7	1,255.2	1,255.9	389.9	394.4
TR1-LV	1,741.3	1,747.5	13,666.8	4,619.2	-	4,566.3	4,564.5	4,566.8	1,417.8	1,434.1
HV1	1,741.3	1,747.5	9,034.2	13,695.2	-	12,667.4	13,098.4	12,621.0	1,890.1	1,840.8
BUS G1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2AMCC01	673.4	672.7	867.5	871.0	-	13,549.1	860.7	861.2	267.4	270.4
2AMCC03	340.1	339.8	438.1	439.9	-	434.9	13,538.5	434.9	135.0	136.6
ST1-HV	720.4	719.7	928.1	931.9	-	921.3	920.9	13,552.1	1,890.1	1,840.8
ST1-LV	11,457.4	11,446.6	14,760.0	14,821.0	-	14,651.3	14,645.6	14,973.6	99,944.2	29,275.8
MDB1	11,457.4	11,446.6	14,760.0	14,821.0	-	14,651.2	14,645.6	14,973.6	70,310.1	102,334.0
RMU2	472.2	469.6	1,262.6	1,270.3	-	1,255.7	1,255.2	1,255.9	389.9	394.4
TR2-HV	472.2	469.6	1,262.6	1,270.3	-	1,255.7	1,255.2	1,255.9	389.9	394.4
TR2-LV	1,712.2	1,707.7	4,591.3	4,619.2	-	4,566.3	4,564.5	4,566.8	1,417.8	1,434.1
HV2	1,712.2	1,707.7	6,810.7	6,847.6	-	6,847.6	6,766.6	6,760.1	1,750.1	1,840.8
BUS G2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2AMCC02	340.1	339.8	438.1	439.9	-	434.9	434.7	434.9	135.0	136.6
2AMCC04	673.4	672.7	867.5	871.0	-	861.1	860.7	861.2	267.4	270.4
ST2-HV	720.4	719.7	928.1	931.9	-	921.3	920.9	912.7	1,750.1	1,840.8
ST2-LV	11,457.4	11,446.6	14,760.0	14,821.0	-	14,651.3	14,645.6	14,515.9	27,832.3	29,725.8
MDB2	11,457.4	11,446.6	14,760.0	14,821.0	-	14,651.2	14,645.6	14,515.9	48,148.4	50,366.5
TCB	13.3	22.7	6,810.7	6,847.6	-	6,769.2	6,766.6	6,760.1	74.0	-
TIF	414.4	414.0	533.8	536.0	-	529.9	529.7	354.7	48,148.4	50,366.5

ภาพที่ 59 กระแส Three phase fault ในสภาวะที่ 15

BUS	RMU1	TR1-HV	TR1-LV	HV1	BUS G1	2AMCC01	2AMCC03	ST1-HV	ST1-LV	MDB1
RMU1	7021.33	6696.3	761.9	758.4	0	744.5	744.4	744.5	121.7	121.9
TR1-HV	303.9	7000.84	761.9	758.4	0	744.5	744.4	744.5	121.7	121.9
TR1-LV	957	959.4	14143.7	5544.2	0	5444.2	5442.6	5444.7	766.8	767.9
HV1	957	959.4	8570.8	14163.6	0	13317.7	13605.8	13278.5	1022.2	985.6
BUS G1	0	0	0	0	3076.82	0	0	0	0	0
2AMCC01	369.9	369.2	598.4	600.5	0	13914.5	589.4	589.5	144.6	144.8
2AMCC03	186.8	186.5	302.2	303.3	0	297.7	13907.1	297.7	73	73.1
ST1-HV	396.2	395.4	640.8	643	0	631.2	631.1	13916.7	1022.2	985.6
ST1-LV	3637.5	3630.4	8825.9	8856.4	0	8693.8	8692.6	8884.4	93675.9	33859.5
MDB1	3637.5	3630.4	8825.9	8856.4	0	8693.8	8692.6	8884.4	58748.3	94960.7
RMU2	299.7	297.7	754.3	758.4	0	744.5	744.4	744.5	121.7	121.9
TR2-HV	299.7	297.7	754.3	758.4	0	744.5	744.4	744.5	121.7	121.9
TR2-LV	943.8	937.6	5504.1	5544.2	0	5444.2	5442.6	5444.7	766.8	767.9
HV2	943.8	937.6	7036.5	7081.8	0	6953.6	6951.7	6947.4	40	985.6
BUS G2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2AMCC02	186.8	186.5	302.2	303.3	0	297.7	297.7	297.7	73	73.1
2AMCC04	369.9	369.2	598.4	600.5	0	589.5	589.4	589.5	144.6	144.8
ST2-HV	396.2	395.4	640.8	643	0	631.2	631.6	625.4	946.5	985.6
ST2-LV	3637.5	3630.4	8825.9	8856.4	0	8693.8	8692.6	8613	32129	33859.5
MDB2	3637.5	3630.4	8825.9	8856.4	0	8693.8	8692.6	8613	44882.9	46966.5
TCB	7.3	12.4	7036.5	7081.8	0	6953.8	6951.7	6947.4	40	0
TIE	136.4	136.1	330.9	332	0	326	325.9	220.6	44882.9	46966.5

ภาพที่ 60 กระแส Single line to ground fault ในสภาวะที่ 15

ระบบป้องกันชั้นแรก

หลังจากที่ทำการวิเคราะห์และทราบถึงระดับของฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบแล้ว ลำดับต่อมา จะทำการออกแบบระบบป้องกันให้เหมาะสมกับฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบ สำหรับระบบป้องกันส่วนแรกที่ต้องคำนึงถึงคือ ระบบป้องกันทางด้านชั้นแรกซึ่งเป็นอุปกรณ์ป้องกันที่เริ่มทำงานก่อน เมื่อมีภาวะผิดปกติเกิดขึ้น โดยจะใช้ป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้า รีเลย์ที่เลือกใช้เป็นอุปกรณ์ป้องกันชั้นแรก สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้า จะทำงานเมื่อมีฟอลต์เกิดขึ้นในเขตป้องกันเท่านั้น มีรายละเอียดของรีเลย์ชนิดต่างๆดังต่อไปนี้

Synchronizing Relay (25)

มีหน้าที่ตรวจสอบการรับรู้ซิงโครไนส์ ใช้สำหรับตรวจสอบระบบไฟฟ้าทั้ง 2 ด้านของการไฟฟ้านครหลวงและโรงจักรไฟฟ้า GC-CH IPDC ว่าสามารถขนานเข้ากันได้หรือไม่ โดยมีค่าที่ตรวจสอบ 3 ค่าคือ ความถี่ แรงดัน และมุมเฟสของแรงดันทั้ง 2 ด้านของระบบ ว่ามีความแตกต่างกันมากเกินไป จนไม่สามารถยอมรับได้หรือไม่ ถ้ามีความแตกต่างกันมากเกินไปก็จะสั่งให้เบรกเกอร์ทำการทริป เพื่อปลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบ

Under/Over Voltage Relay (27/59)

มีหน้าที่ตรวจสอบความผิดปกติของแรงดันเครื่อง ว่ามีการเกิดแรงดันเกินที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เนื่องจากการปลดโหลดออกไปจากระบบ หรือมีการเกิดแรงดันตกที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เนื่องจากการนำโหลดเข้ามาในระบบหรือไม่ ถ้ามีก็จะสั่งให้เบรกเกอร์ทำการทริป เพื่อปลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบ

Reverse Power Relay (32)

มีหน้าที่ป้องกันการทำตัวเป็นมอเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยจะตรวจทิศทางของกำลังไฟฟ้าว่ามีการไหลย้อนกลับเข้ามาที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือไม่ ถ้ามีก็จะสั่งให้เบรกเกอร์ทำการทริป เพื่อปลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบ

Loss of Excitation Relay (40)

มีหน้าที่ตรวจสอบ การเกิด loss of synchronism, แรงดันตก และการเกิดความร้อนเกินที่โรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ถ้ามีก็จะสั่งให้เบรกเกอร์ทำการทริป เพื่อปลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบ

Phase Balance Current Relay (46)

มีหน้าที่ตรวจจับกระแสไม่สมดุลที่เกิดขึ้นในภาวะที่ผิดปกติ ทั้งนี้เนื่องจากการทำงานในภาวะปกติ จะถือว่ากระแสทั้ง 3 เฟส สมดุลกัน ถ้ามีฟอลต์เกิดขึ้น จะทำให้กระแสในแต่ละเฟสไม่สมดุล โดยจะใช้แบบ Negative Sequence Relay ตรวจจับ Negative Sequence Current ที่เกิดขึ้นในขณะเฟสไม่สมดุล

Thermal Relay (49)

เป็นรีเลย์ทำหน้าที่ตรวจจับอุณหภูมิของอาร์เมเจอร์หรือขดลวดอื่น ๆ รีเลย์นี้จะทำงานเมื่ออุณหภูมิเกินค่าที่กำหนด

Overcurrent Relay (50/51)

มีหน้าที่ตรวจจับกระแสเกินที่เกิดจากฟอลต์ในระบบไฟฟ้า จะทำงานทันทีเมื่อมีค่ากระแสเกินค่าที่กำหนดไว้ หรือทำงานโดยมีการหน่วงเวลาก็ได้

Residually Connected Ground Relay (50N/51N)

ทำงานโดยดูค่ากระแสผลรวมของกระแสทั้ง 3 เฟสที่ผ่านรีเลย์ลงดินซึ่งสภาวะปกติจะไม่มีกระแส แต่เมื่อเกิดฟอลต์ลงดินจะมี Zero Sequence Current ที่ทำให้รีเลย์ทำงาน

Ground Overcurrent Relay (51G)

มีหน้าที่ตรวจจับกราวด์ฟอลต์ที่เกิดขึ้นภายในขดลวดสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยจะมีความทำงานแบบหน่วงเวลาไว้

Directional Over current Relay (67)

มีหน้าที่ตรวจจับระดับกระแสที่จ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบในกรณีเกิดฟอลต์ ว่ามีขนาดเกินพิกัดที่กำหนดไว้หรือไม่ ถ้ามีขนาดเกินพิกัดอาจจะมีการหน่วงเวลาหรือสั่งให้เบรกเกอร์ทริปทันที

Under/Over Frequency Relay (81)

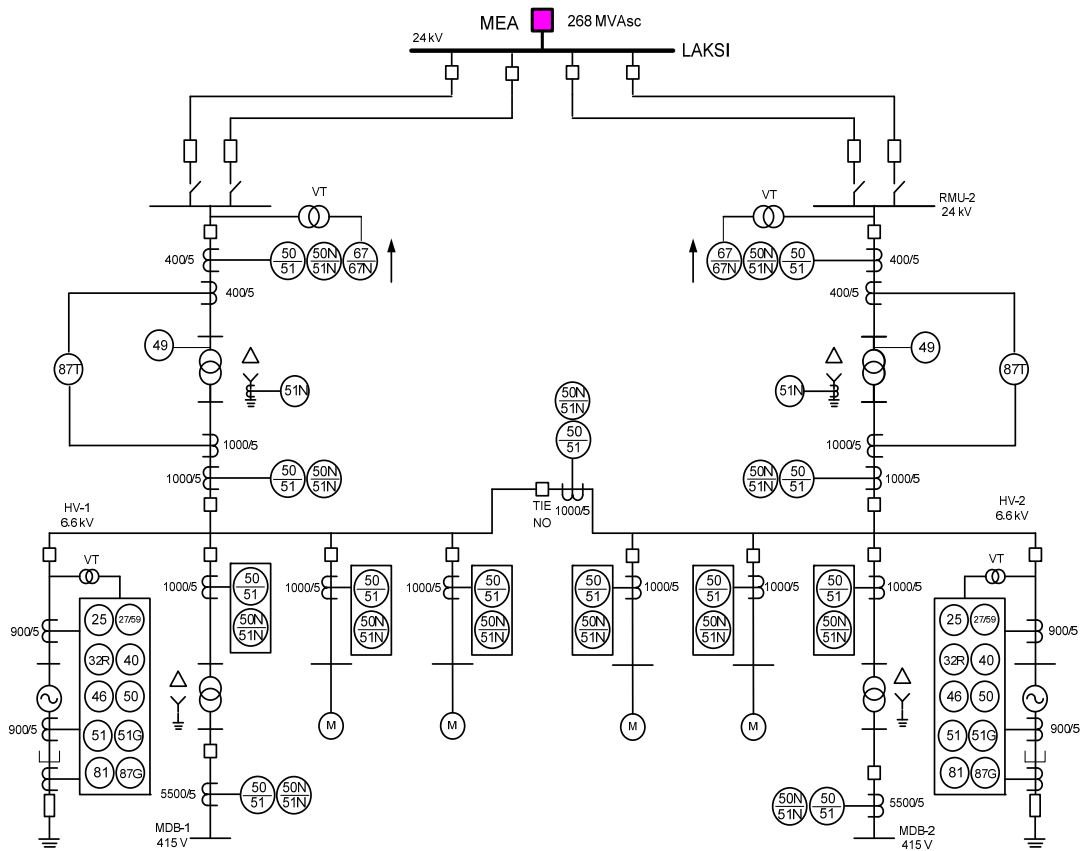
มีหน้าที่ตรวจจับความถี่ความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าว่าอยู่ในช่วงที่กำหนดหรือไม่ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าช่วงที่กำหนดไว้ ก็จะสั่งให้เบรกเกอร์ทำการทริป เพื่อปลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบ

Generator Differential Relay (87G)

มีหน้าที่ตรวจจับฟอลต์ที่เกิดขึ้นภายในขดลวดสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยจะทำการตรวจวัดความต่างกระแสทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะต้องมียกเว้นค่าเท่ากัน ถ้ามีผลต่างของกระแสทั้ง 2 ด้านนี้ แสดงว่ามีฟอลต์เกิดขึ้น ก็จะสั่งให้เบรกเกอร์ทำการทริป เพื่อปลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบ

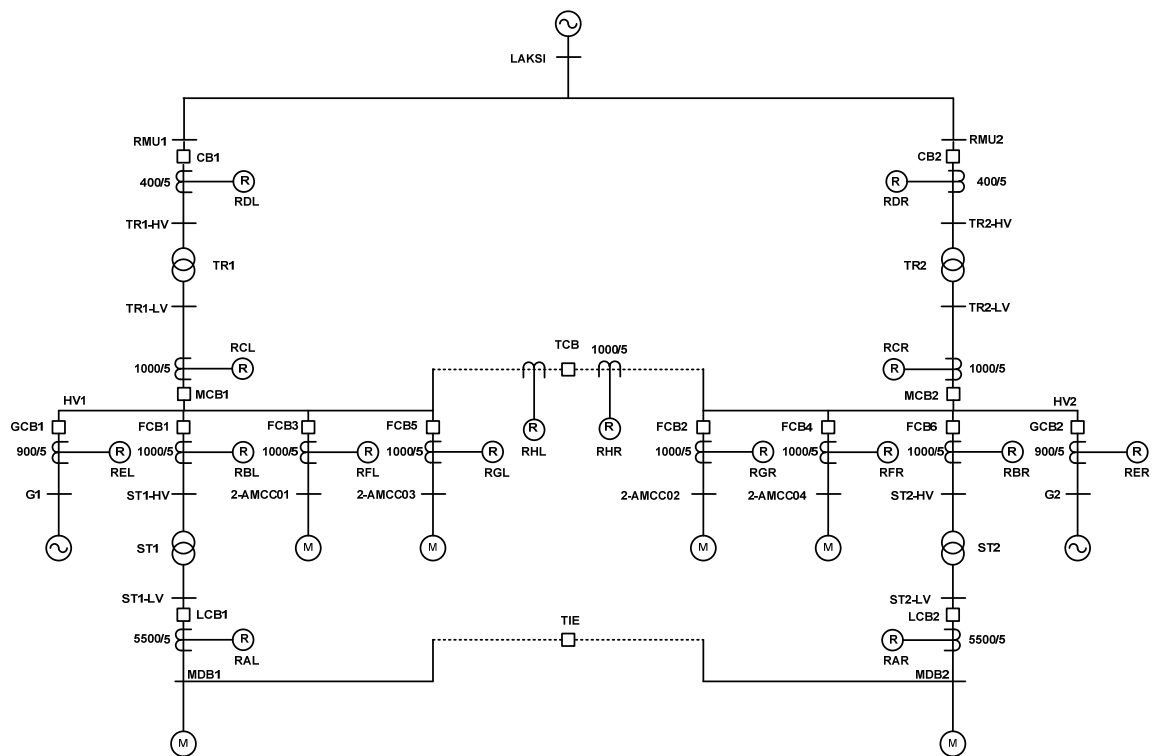
Transformer Differential Relay (87T)

มีหน้าที่ตรวจจับฟอลต์ที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลงไฟฟ้า โดยจะทำการตรวจวัดความต่างกระแสทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า จะต้องมียกเว้นค่าเท่ากัน ถ้ามีผลต่างของกระแสทั้ง 2 ด้านนี้ แสดงว่ามีฟอลต์เกิดขึ้น ก็จะสั่งให้เบรกเกอร์ทำการทริป โดยปลดหัวท้ายของหม้อแปลงไฟฟ้าออกจากระบบ



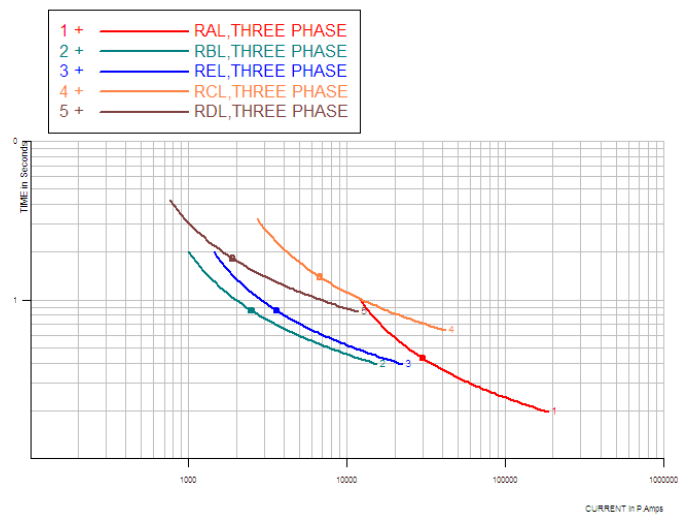
ภาพที่ 61 รีเลย์ที่ใช้ในระบบป้องกัน

ผลการจัดลำดับเวลาการทำงานของระบบป้องกันสำรองโดยใช้รีเลย์กระแสเกิน

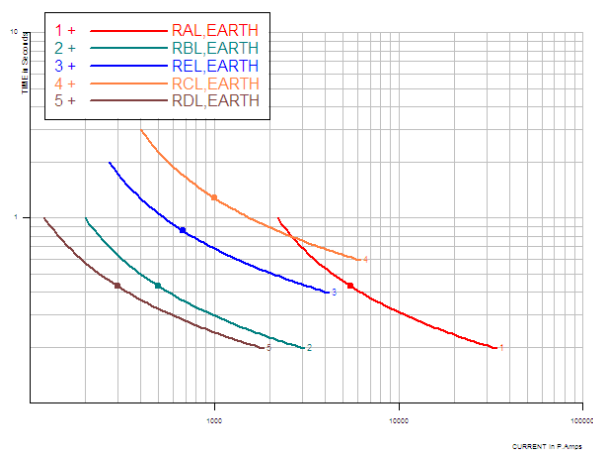


ภาพที่ 62 รีเลย์กระแสเกินที่ใช้เป็นระบบป้องกันสำรอง

กราฟแสดงการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสภาวะที่ 1



ภาพที่ 63 กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 1



ภาพที่ 64 กราฟการทำงานของกราว์นฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 1

เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 1

ตารางที่ 2 ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 1

รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	0.4	0.518	0.752	0.754	2.4547	(-)
รีเลย์ RBL	0.956	0.944	0.45	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	0.956	0.95	0.714	1.128
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	1.526	1.516	0.378	0.618
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	2.028	2.014	0.478	0.23

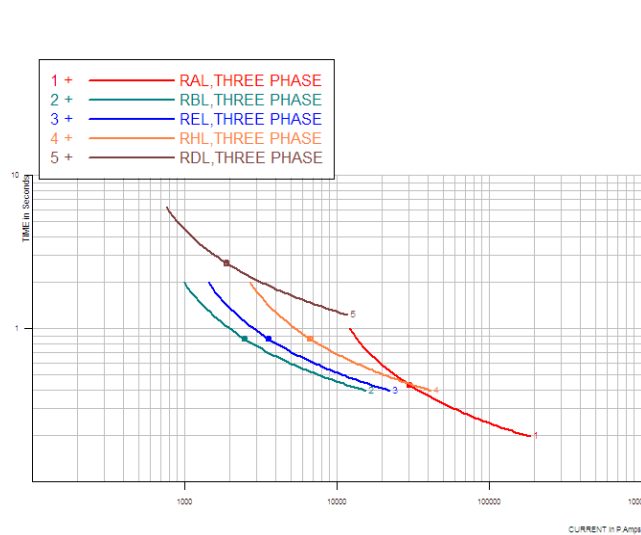
ตารางที่ 3 ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 1

รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	0.196	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RBL	(-)	(-)	0.196	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	0.394	0.394	0.394	(-)
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	0.59	0.59	0.196	(-)
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	0.196

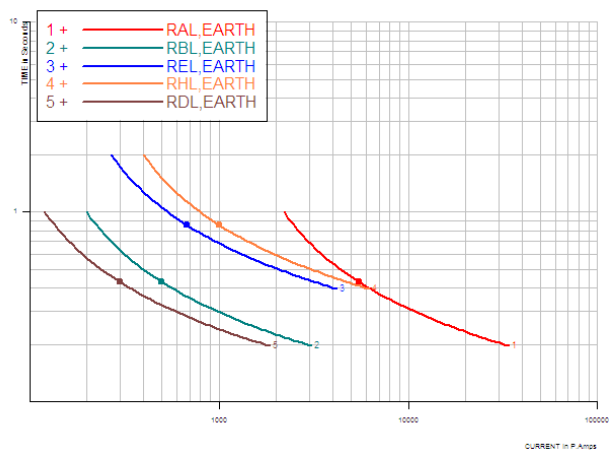
หมายเหตุ

เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส ST1-LV เฟสฟอลต์รีเลย์ RAL และ RBL จะทำงานแทนกราวฟอลต์รีเลย์ด้วยเวลา 0.83 และ 1.689 วินาที ตามลำดับ

กราฟแสดงการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสภาวะที่ 2



ภาพที่ 65 กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 2



ภาพที่ 66 กราฟการทำงานของกราวนด์ฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 2

เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 2

ตารางที่ 4 ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 2

รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	0.384	0.518	0.752	0.754	(-)	(-)
รีเลย์ RBL	0.91	0.9	0.396	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	0.96	0.95	(-)	(-)
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	0.658	0.654	(-)	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	(-)	(-)	0.47	0.226

ตารางที่ 5 ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 2

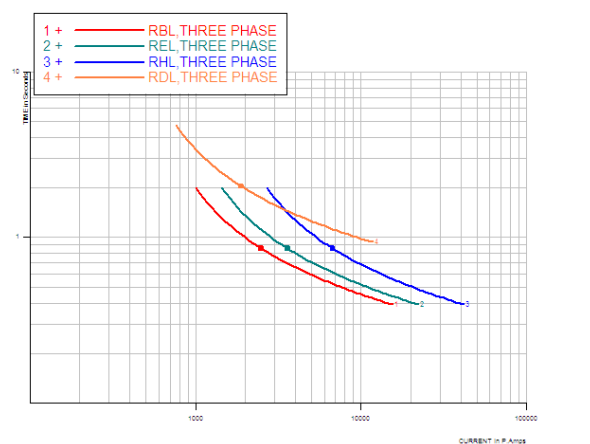
รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	0.196	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RBL	(-)	(-)	0.196	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	0.422	0.418	(-)	(-)
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	0.394	0.394	(-)	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	0.196

หมายเหตุ

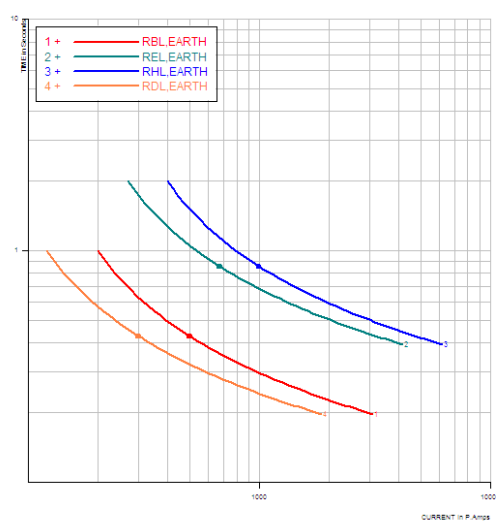
เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส ST1-LV เฟสฟอลต์รีเลย์ RAL และ RBL จะทำงานแทนกราวฟอลต์รีเลย์ด้วยเวลา 0.848 และ 1.592 วินาที ตามลำดับ

เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส TR1-LV เฟสฟอลต์รีเลย์ RDL จะทำงานแทนกราวฟอลต์รีเลย์ด้วยเวลา 0.698 วินาที

กราฟแสดงการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสภาวะที่ 3



ภาพที่ 67 กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 3



ภาพที่ 68 กราฟการทำงานของกราว์นฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 3

เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 3

ตารางที่ 6 ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 3

รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RBL	(-)	0.896	0.394	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	0.96	0.95	(-)	(-)
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	0.644	640	(-)	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	(-)	(-)	0.47	0.226

ตารางที่ 7 ผลการทำงานของกราวน์รีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 3

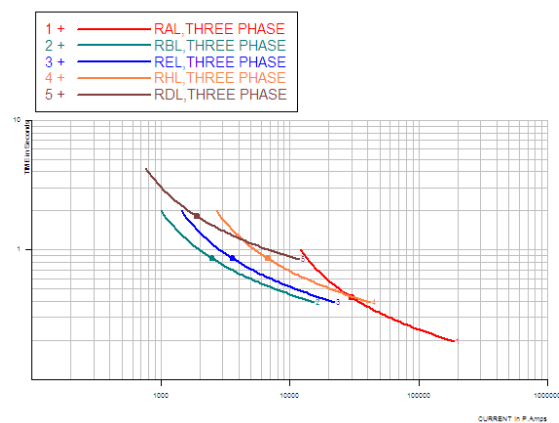
รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดกราวน์ฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RBL	(-)	(-)	0.196	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	0.424	0.422	(-)	(-)
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	0.394	0.394	(-)	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	0.196

หมายเหตุ

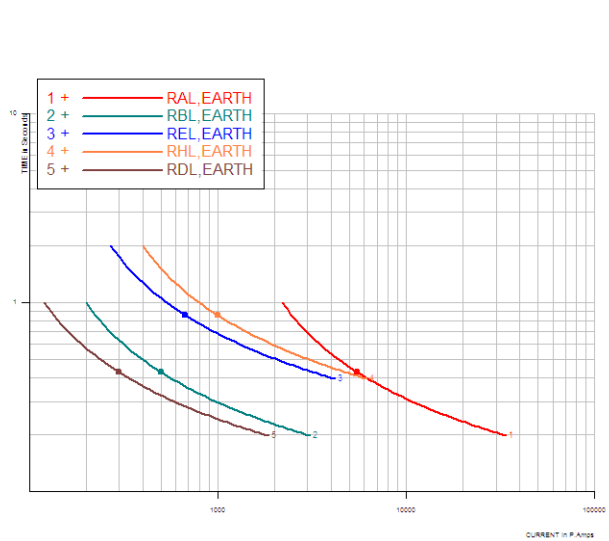
เมื่อเกิดกราวน์ฟอลต์ที่บัส ST1-LV เฟสฟอลต์รีเลย์ RBL จะทำงานแทนกราวฟอลต์รีเลย์ ด้วยเวลา 1.344 วินาที

เมื่อเกิดกราวน์ฟอลต์ที่บัส TR1-LV เฟสฟอลต์รีเลย์ RDL จะทำงานแทนกราวฟอลต์รีเลย์ ด้วยเวลา 0.698 วินาที

กราฟแสดงการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสภาวะที่ 4



ภาพที่ 69 กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 4



ภาพที่ 70 กราฟการทำงานของกราว์นฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 4

เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 4

ตารางที่ 8 ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 4

รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	0.386	0.346	0.534	0.534	(-)	(-)
รีเลย์ RBL	0.916	0.904	0.404	1.358	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	0.96	0.95	(-)	(-)
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	0.686	0.68	(-)	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	(-)	(-)	0.47	0.226

ตารางที่ 9 ผลการทำงานของกราวน์รีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 4

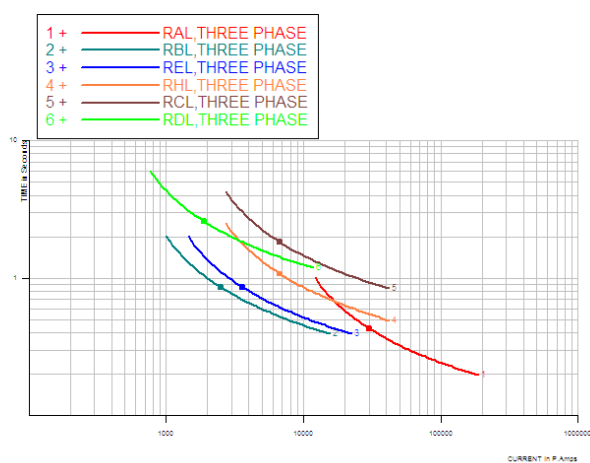
รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดกราวน์ฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	0.196	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RBL	(-)	(-)	0.196	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	0.424	0.422	(-)	(-)
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	0.394	0.394	(-)	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	0.196

หมายเหตุ

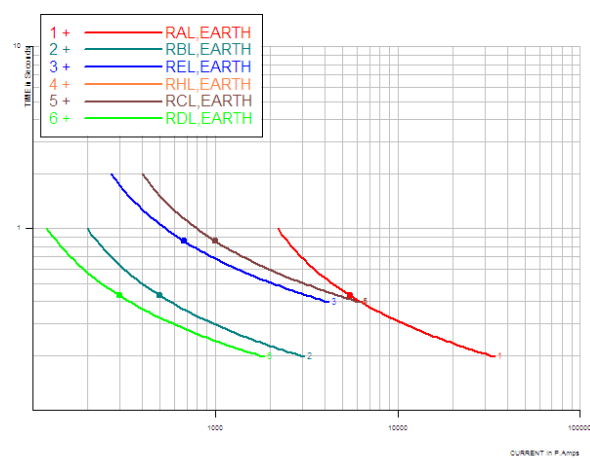
เมื่อเกิดกราวน์ฟอลต์ที่บัส ST1-LV เฟสฟอลต์รีเลย์ RAL และ RBL จะทำงานแทนกราวฟอลต์รีเลย์ด้วยเวลา 0.518 และ 1.89 วินาที ตามลำดับ

เมื่อเกิดกราวน์ฟอลต์ที่บัส TR1-LV เฟสฟอลต์รีเลย์ RDL จะทำงานแทนกราวฟอลต์รีเลย์ด้วยเวลา 0.698 วินาที

กราฟแสดงการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสภาวะที่ 5



ภาพที่ 71 กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 5



ภาพที่ 72 กราฟการทำงานของกราวด์ฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 5

เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 5

ตารางที่ 10 ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 5

รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	0.384	0.518	0.752	0.754	1.514	(-)
รีเลย์ RBL	0.91	0.9	0.396	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	0.96	0.95	0.716	(-)
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	1.026	1.014	0.892	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	1.562	1.548	0.25	0.436
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	2.076	2.056	0.484	0.24

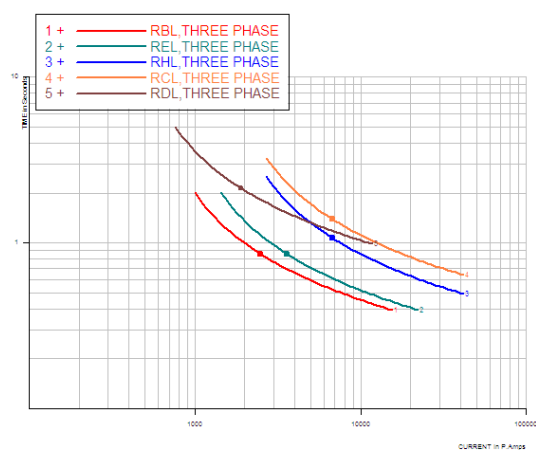
ตารางที่ 11 ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 5

รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	0.196	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RBL	(-)	(-)	0.196	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	0.422	0.418	0.42	(-)
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	0.482	0.478	0.48	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	0.59	0.59	0.196	(-)
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	0.196

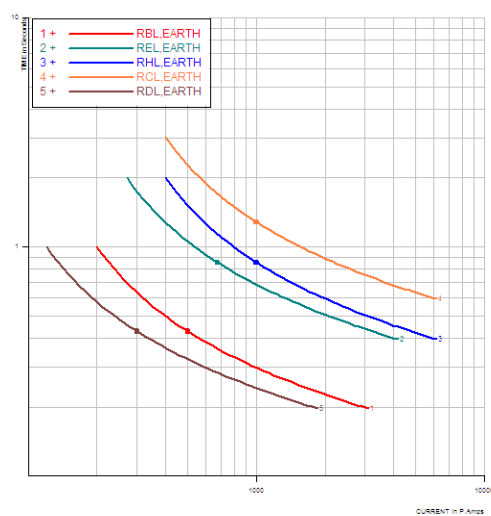
หมายเหตุ

เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส ST1-LV เฟสฟอลต์รีเลย์ RAL และ RBL จะทำงานแทนกราวฟอลต์รีเลย์ด้วยเวลา 0.848 และ 1.592 วินาที ตามลำดับ

กราฟแสดงการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสภาวะที่ 6



ภาพที่ 73 กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 6



ภาพที่ 74 กราฟการทำงานของกราวด์ฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 6

เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 6

ตารางที่ 12 ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 6

รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RBL	(-)	0.896	0.394	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	0.96	0.95	0.716	(-)
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	1.202	1.19	0.836	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	1.562	1.518	0.256	0.444
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	2.078	2.056	0.484	0.24

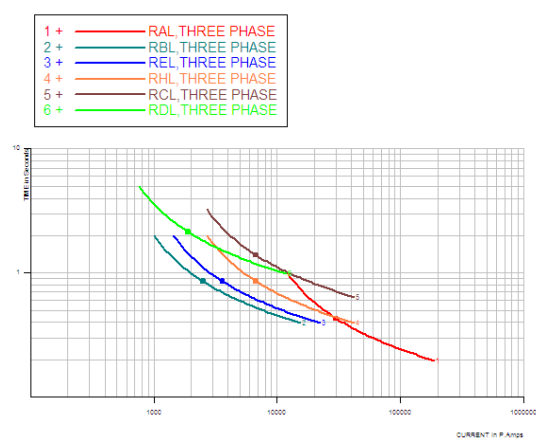
ตารางที่ 13 ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 6

รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RBL	(-)	(-)	0.196	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	0.424	0.422	0.422	(-)
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	0.486	0.482	0.484	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	0.59	0.59	0.196	(-)
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	0.196

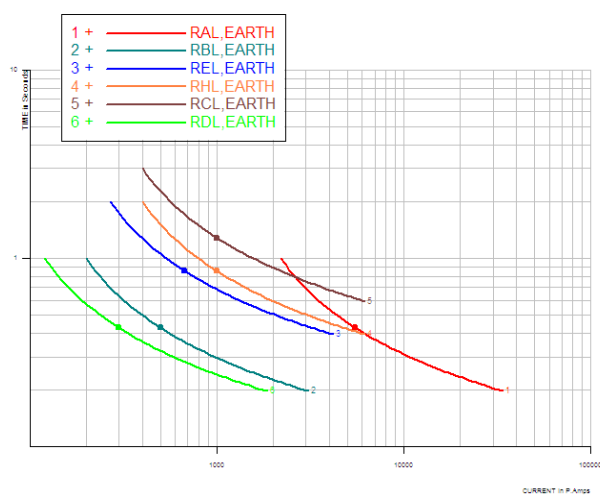
หมายเหตุ

เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส ST1-LV เฟสฟอลต์รีเลย์ RBL จะทำงานแทนกราวฟอลต์รีเลย์ ด้วยเวลา 1.344 วินาที

กราฟแสดงการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสภาวะที่ 7



ภาพที่ 75 กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 7



ภาพที่ 76 กราฟการทำงานของกราวด์ฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 7

เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 7

ตารางที่ 14 ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 7

รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	0.386	0.346	0.543	0.534	1.072	(-)
รีเลย์ RBL	0.916	0.904	0.404	1.358	1.542	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	0.96	0.95	0.716	(-)
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	1.19	1.176	1.034	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	1.56	1.548	0.256	0.444
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	2.076	2.056	0.484	0.24

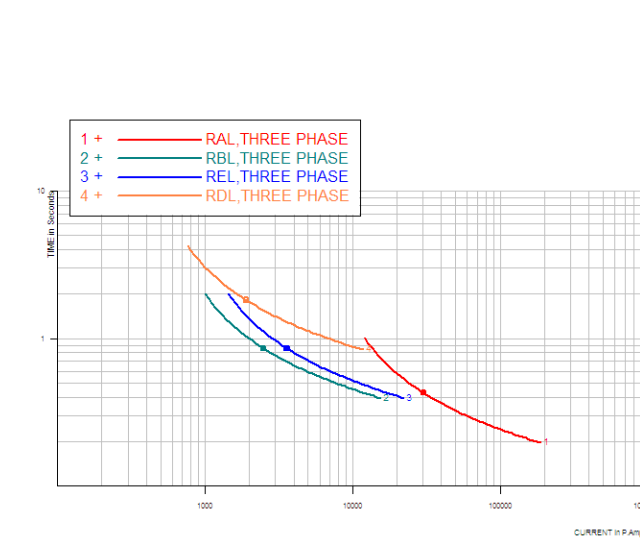
ตารางที่ 15 ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 7

รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	0.196	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RBL	(-)	(-)	0.196	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	0.424	0.422	0.422	(-)
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	0.484	0.482	0.484	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	0.59	0.59	0.196	(-)
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	0.196

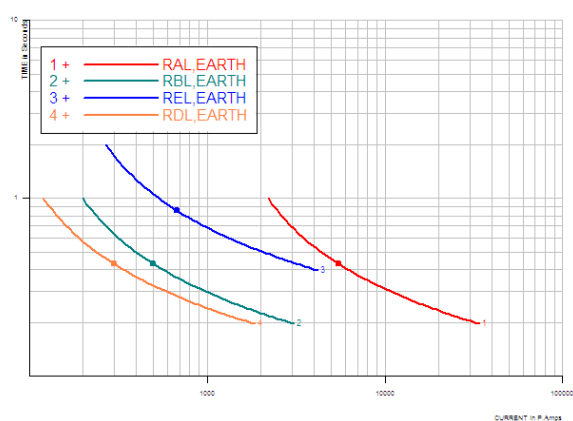
หมายเหตุ

เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส ST1-LV เฟสฟอลต์รีเลย์ RAL และ RBL จะทำงานแทนกราวฟอลต์รีเลย์ด้วยเวลา 0.518 และ 1.89 วินาที ตามลำดับ

กราฟแสดงการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสภาวะที่ 8



ภาพที่ 77 กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 8



ภาพที่ 78 กราฟการทำงานของกราวน์ฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 8

เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 8

ตารางที่ 16 ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 8

รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	0.468	0.518	0.752	0.754	(-)	(-)
รีเลย์ RBL	1.154	1.142	0.632	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	0.954	0.95	(-)	(-)
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	(-)	(-)	0.484	0.24

ตารางที่ 17 ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 8

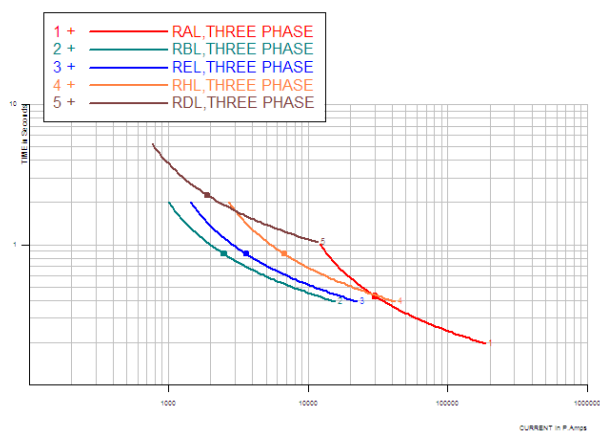
รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	0.196	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RBL	(-)	(-)	0.196	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	0.394	0.394	(-)	(-)
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	0.196

หมายเหตุ

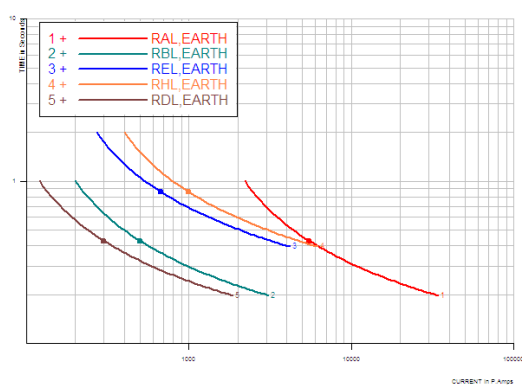
เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส ST1-LV เฟสฟอลต์รีเลย์ RAL และ RBL จะทำงานแทนกราวฟอลต์รีเลย์ด้วยเวลา 0.78 และ 1.908 วินาที ตามลำดับ

เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส TR1-LV เฟสฟอลต์รีเลย์ RDL จะทำงานแทนกราวฟอลต์รีเลย์ด้วยเวลา 0.718 วินาที

กราฟแสดงการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสภาวะที่ 9



ภาพที่ 79 กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 9



ภาพที่ 80 กราฟการทำงานของกราว์ฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 9

เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 9

ตารางที่ 18 ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 9

รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	0.404	0.518	0.752	0.754	(-)	(-)
รีเลย์ RBL	0.964	0.954	0.46	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	0.956	0.95	(-)	(-)
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	1.022	1.014	(-)	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	(-)	(-)	0.484	0.24

ตารางที่ 19 ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 9

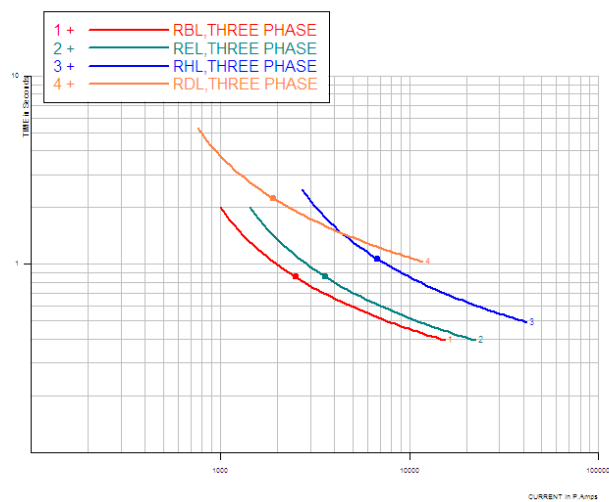
รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	0.196	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RBL	(-)	(-)	0.196	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	0.394	0.394	(-)	(-)
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	0.446	0.444	(-)	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	0.196

หมายเหตุ

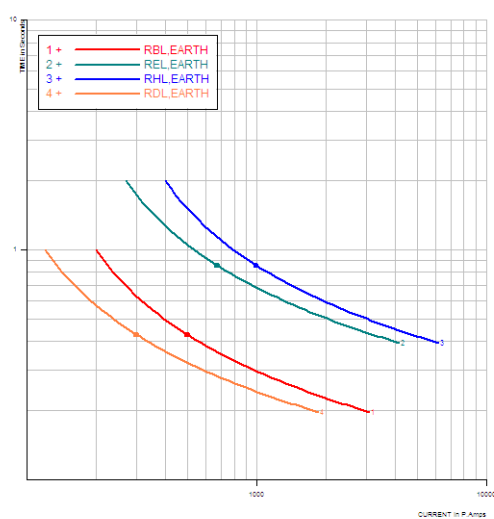
เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส ST1-LV เฟสฟอลต์รีเลย์ RAL และ RBL จะทำงานแทนกราวฟอลต์รีเลย์ด้วยเวลา 0.826 และ 1.72 วินาที ตามลำดับ

เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส TR1-LV เฟสฟอลต์รีเลย์ RDL จะทำงานแทนกราวฟอลต์รีเลย์ด้วยเวลา 0.718 วินาที

กราฟแสดงการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสภาวะที่ 10



ภาพที่ 81 กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 10



ภาพที่ 82 กราฟการทำงานของกราวด์ฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 10

เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 10

ตารางที่ 20 ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 10

รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RBL	(-)	0.946	0.452	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	0.956	0.95	(-)	(-)
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	1.198	1.19	(-)	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	(-)	(-)	0.484	0.24

ตารางที่ 21 ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 10

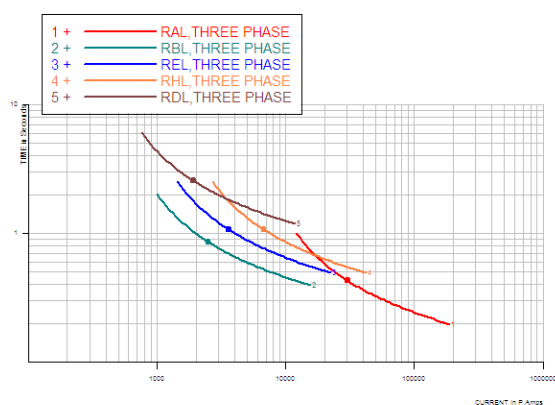
รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RBL	(-)	(-)	0.196	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	0.396	0.394	(-)	(-)
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	0.45	0.448	(-)	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	0.196

หมายเหตุ

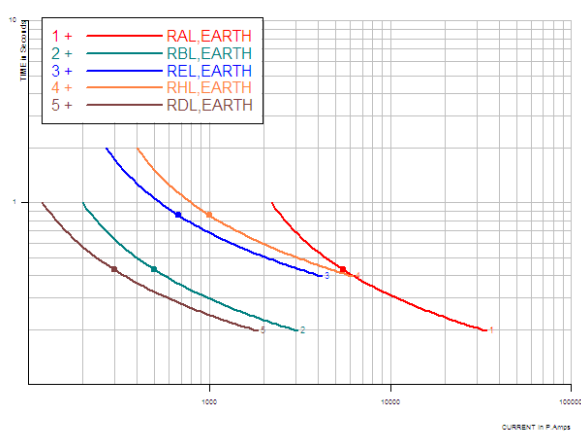
เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส ST1-LV เฟสฟอลต์รีเลย์ RBL จะทำงานแทนกราวฟอลต์รีเลย์ ด้วยเวลา 1.41 วินาที

เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส TR1-LV เฟสฟอลต์รีเลย์ RDL จะทำงานแทนกราวฟอลต์รีเลย์ ด้วยเวลา 0.718 วินาที

กราฟแสดงการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสภาวะที่ 11



ภาพที่ 83 กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 11



ภาพที่ 84 กราฟการทำงานของกราว์ฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 11

เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 11

ตารางที่ 22 ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 11

รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	0.41	0.346	0.534	0.534	(-)	(-)
รีเลย์ RBL	0.98	0.968	0.476	1.358	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	1.194	1.188	(-)	(-)
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	1.48	1.47	(-)	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	(-)	(-)	0.484	0.24

ตารางที่ 23 ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 11

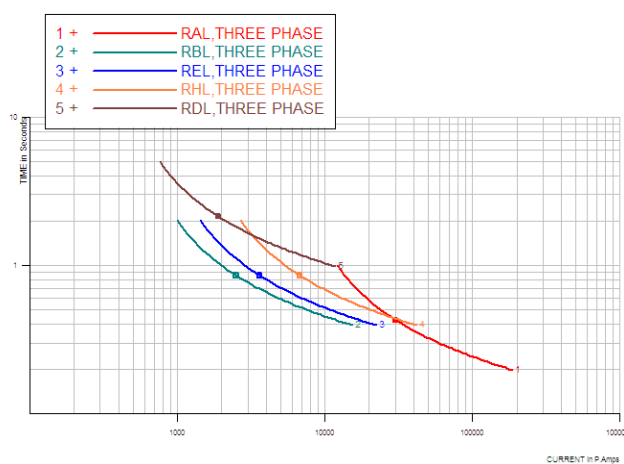
รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	0.196	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RBL	(-)	(-)	0.196	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	0.396	0.394	(-)	(-)
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	0.448	0.448	(-)	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	0.196

หมายเหตุ

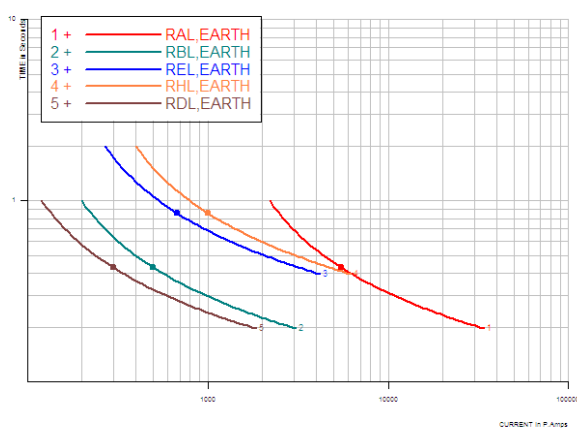
เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส ST1-LV เฟสฟอลต์รีเลย์ RAL และ RBL จะทำงานแทนกราวฟอลต์รีเลย์ด้วยเวลา 0.51 และ 1.822 วินาที ตามลำดับ

เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส TR1-LV เฟสฟอลต์รีเลย์ RDL จะทำงานแทนกราวฟอลต์รีเลย์ด้วยเวลา 0.718 วินาที

กราฟแสดงการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสภาวะที่ 12



ภาพที่ 85 กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 12



ภาพที่ 86 กราฟการทำงานของกราว์นฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 12

เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 12

ตารางที่ 24 ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 12

รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	0.468	0.284	0.766	0.774	(-)	(-)
รีเลย์ RBL	1.154	1.126	0.46	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	0.956	0.95	(-)	(-)
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	1.018	1.012	(-)	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	(-)	(-)	0.484	0.24

ตารางที่ 25 ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 12

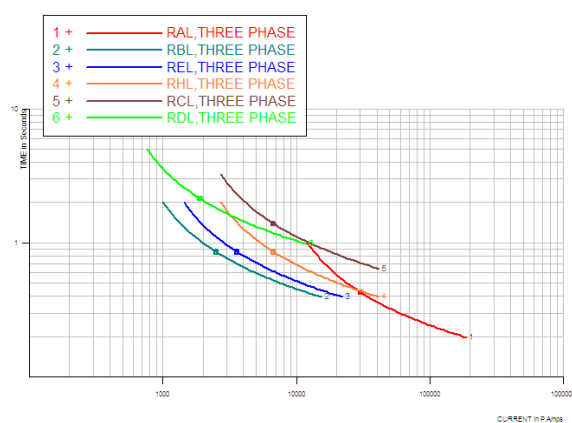
รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	0.196	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RBL	(-)	(-)	0.196	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	0.394	0.394	(-)	(-)
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	0.446	0.444	(-)	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	0.196

หมายเหตุ

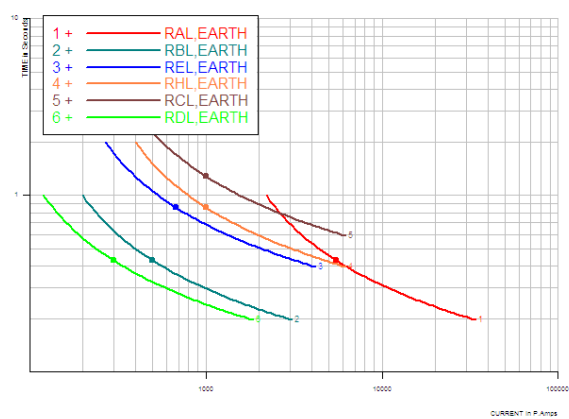
เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส ST1-LV เฟสฟอลต์รีเลย์ RAL และ RBL จะทำงานแทนกราวฟอลต์รีเลย์ด้วยเวลา 0.304 และ 1.878 วินาที ตามลำดับ

เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส TR1-LV เฟสฟอลต์รีเลย์ RDL จะทำงานแทนกราวฟอลต์รีเลย์ด้วยเวลา 0.718 วินาที

กราฟแสดงการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสภาวะที่ 13



ภาพที่ 87 กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 13



ภาพที่ 88 กราฟการทำงานของกราวนด์ฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 13

เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 13

ตารางที่ 26 ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 13

รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	0.408	0.274	0.762	0.774	(-)	(-)
รีเลย์ RBL	0.976	0.958	0.394	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	0.92	0.91	0.716	1.128
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	1.01	1	0.856	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	1.852	1.826	0.212	0.618
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	2.47	2.436	0.47	0.23

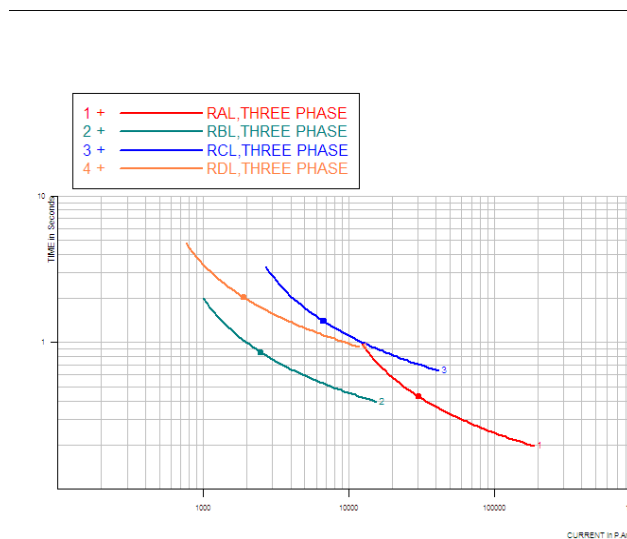
ตารางที่ 27 ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 13

รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	0.196	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RBL	(-)	(-)	0.196	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	0.394	0.394	0.394	(-)
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	0.446	0.442	0.444	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	0.59	0.59	0.196	(-)
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	0.196

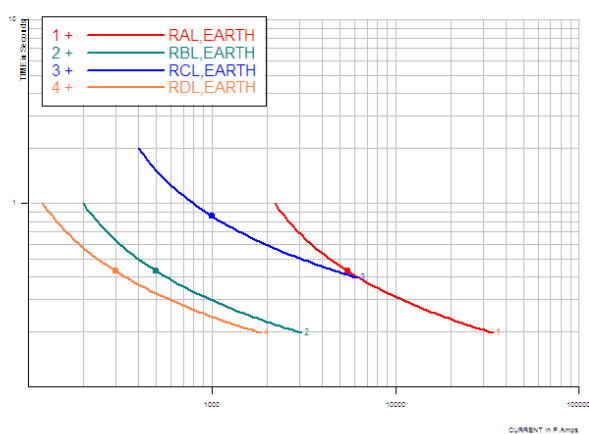
หมายเหตุ

เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส ST1-LV เฟสฟอลต์รีเลย์ RAL และ RBL จะทำงานแทนกราวฟอลต์รีเลย์ด้วยเวลา 0.298 และ 1.736 วินาที ตามลำดับ

กราฟแสดงการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสภาวะที่ 14



ภาพที่ 89 กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 14



ภาพที่ 90 กราฟการทำงานของกราวน์ฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 14

เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 14

ตารางที่ 28 ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 14

รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	0.422	0.518	0.752	0.754	0.754	(-)
รีเลย์ RBL	1.016	1.006	0.514	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	1.536	1.528	(-)	(-)
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	2.042	2.032	0.478	0.234

ตารางที่ 29 ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 14

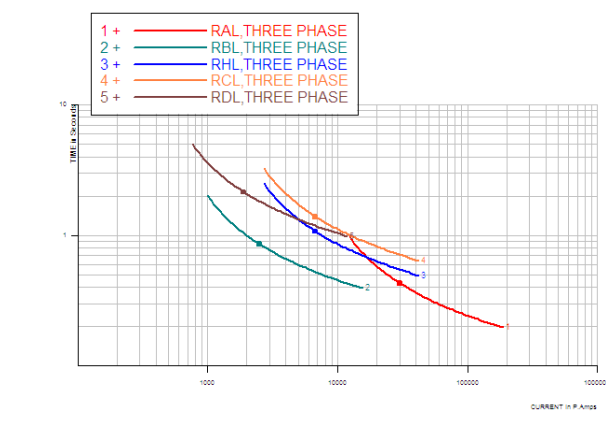
รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	0.196	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RBL	(-)	(-)	0.208	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	0.59	0.59	(-)	(-)
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	0.196

หมายเหตุ

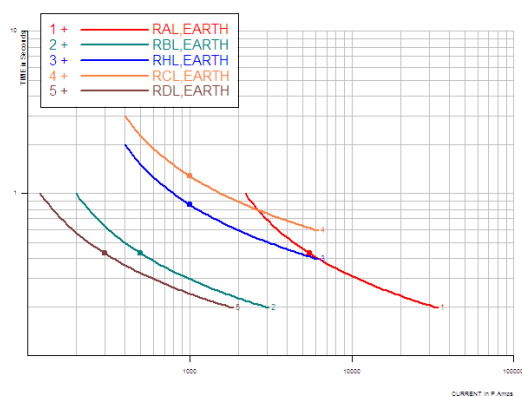
เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส ST1-LV เฟสฟอลต์รีเลย์ RAL และ RBL จะทำงานแทนกราวฟอลต์รีเลย์ด้วยเวลา 0.81 และ 1.852 วินาที ตามลำดับ

เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส TR1-LV เฟสฟอลต์รีเลย์ RDL จะทำงานแทนกราวฟอลต์รีเลย์ด้วยเวลา 0.792 วินาที

กราฟแสดงการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสภาวะที่ 15



ภาพที่ 91 กราฟการทำงานของเฟสฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 15



ภาพที่ 92 กราฟการทำงานของกราว์นฟอลต์รีเลย์ในสภาวะที่ 15

เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 15

ตารางที่ 30 ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 15

รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	0.438	0.278	0.764	0.774	1.544	(-)
รีเลย์ RBL	1.06	1.038	0.42	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	1.068	1.06	0.744	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	1.844	1.826	0.27	(-)
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	2.46	2.436	0.572	0.234

ตารางที่ 31 ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 15

รีเลย์	เวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัสต่างๆ (วินาที)					
	MDB1	ST1-LV	ST1-HV	HV1	TR1-LV	TR1-HV
รีเลย์ RAL	0.196	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RBL	(-)	(-)	0.196	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ REL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
รีเลย์ RHL	(-)	(-)	0.394	0.394	0.394	(-)
รีเลย์ RCL	(-)	(-)	0.59	0.59	0.196	(-)
รีเลย์ RDL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	0.196

หมายเหตุ

เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส ST1-LV เฟสฟอลต์รีเลย์ RAL และ RBL จะทำงานแทนกราวฟอลต์รีเลย์ด้วยเวลา 0.3 และ 1.944 วินาที ตามลำดับ

วิจารณ์

การวิเคราะห์ฟอลต์และการจัดลำดับเวลาการทำงานของระบบป้องกัน เริ่มต้นจากการรวบรวมข้อมูลต่างๆของระบบ ทั้งในส่วนของโรงจักรไฟฟ้าจกไฟฟ้า GC-CHIPIDC และการไฟฟ้านครหลวง เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่ากระแสฟอลต์ที่เกิดขึ้น ณ.จุดต่างๆของระบบ หลังจากนั้นจึงนำเอาผลของกระแสฟอลต์ที่ได้ไปใช้ในการจัดลำดับเวลาการทำงานของรีเลย์ให้สัมพันธ์กัน

จากข้างต้นเราได้แบ่งระบบที่ทำการศึกษาออกเป็น 3 รูปแบบใหญ่ๆ คือ สภาพะที่มีการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนานไปกับระบบของการไฟฟ้านครหลวง สภาพะที่หยุดเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และสภาพะที่เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Islanding พบว่ากระแสฟอลต์จะมีค่าต่ำ เมื่อระบบอยู่ในสภาพะ Islanding ซึ่งค่ากระแสฟอลต์ที่อยู่ในสภาพะนี้จะมีความต่างกับระบบใน 2 รูปแบบที่เหลือพอสมควร ดังนั้นการตั้งค่าการทำงานของรีเลย์ต้องมีการตั้งค่าการทำงานที่เหมาะสมจะตั้งค่าการทำงานให้ต่ำหรือสูงเกินไปไม่ได้ ต้องตั้งค่าการทำงานให้เหมาะสมกับระบบทั้ง 3 รูปแบบ โดยใช้ค่ากระแสฟอลต์นี้เองเป็นตัวกำหนด เพื่อให้ระบบป้องกันสามารถทำงานได้ดีในทุกสภาพะของระบบ

ในขั้นตอนต่อมาหลังจากที่ได้นำค่ากระแสฟอลต์มากำหนดค่าการทำงานและจัดลำดับการทำงานของรีเลย์แล้ว จากนั้นจึงใช้โปรแกรม cape โมดูล coordination graphic และโมดูล system simulator ในการทดสอบและดูผลการทำงานของรีเลย์ พบว่าผลและลำดับการทำงานของรีเลย์นั้น มีผลการทำงานออกมาเป็นที่น่าสนใจ ตรงตามความต้องการที่ออกแบบไว้ ซึ่งในแต่ละสภาพะของระบบค่าคั่นช่วงเวลาการทำงานของรีเลย์นั้นจะมีค่าแตกต่างกันไปบ้าง ตามรูปแบบของวงจรที่เกิดขึ้น เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่งเดียวกัน และอาจจะมีบางสภาพะที่ค่าคั่นช่วงเวลาการทำงานของรีเลย์ไม่อยู่ในช่วง 0.2-0.4 วินาที แต่ก็มีค่าใกล้เคียงถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ส่วนสำคัญของระบบป้องกันที่ออกแบบมานี้ อยู่ที่การจัดลำดับการทำงานของรีเลย์ ซึ่งผลการจัดลำดับการทำงานของรีเลย์ที่ออกมานั้นเป็นไปตามที่ต้องการในทุกสภาพะของระบบ สรุปได้ว่าระบบป้องกันที่ออกแบบมานี้มีผลการทำงานเป็นที่น่าสนใจ

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลลัพธ์ของการจัดลำดับเวลาการทำงานที่เกิดจากการใช้รีเลย์กระแสเกิน (51)

เป็นอุปกรณ์ป้องกันของระบบ

หลังจากที่ได้ทราบถึงสภาวะการทำงานต่างๆ รวมทั้งระดับฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบแล้วนั้น ขั้นตอนถัดมาที่ได้ทำการออกแบบระบบป้องกันขั้นแรกให้กับอุปกรณ์ที่สำคัญของระบบ และอีกส่วนที่จะขาดไปไม่ได้เช่นกัน คือ การออกแบบระบบป้องกันสำรอง (Back up Protection) ให้กับระบบ โดยรีเลย์กระแสเกิน (Overcurrent Relay (51)) เป็นตัวตรวจจับฟอลต์ที่เกิดขึ้นทั้ง 2 ชนิด คือ เฟสฟอลต์และกราวนด์ฟอลต์ โดยมีหลักการกำหนดค่าการทำงานของรีเลย์ ดังนี้

- ก) รีเลย์ต้องไม่ทำงานที่กระแสพิคก
- ข) รีเลย์ต้องทำงานเมื่อเกิดฟอลต์
- ค) รีเลย์ต้องไม่ทำงานขณะที่มีกระแสหล่อเลี้ยงสนามแม่เหล็กพุ่งเข้าของหม้อแปลง
- ง) รีเลย์ต้องไม่ทำงานที่กระแสสตาร์ทมอเตอร์ที่มีขนาดมากที่สุด
- จ) เวลาการทำงานของรีเลย์ต้องต่ำกว่ากราฟเส้นวิบัติของหม้อแปลง

สำหรับการจัดลำดับการทำงานของรีเลย์ที่ใช้เป็นอุปกรณ์ป้องกัน ก็ใช้ตามมาตรฐานทั่วไป คือ มีการลำดับลำดับการทำงานโดยให้รีเลย์ตัวที่อยู่ทางด้านท้ายน้ำเป็นตัวแรกที่จะต้องทำงาน เมื่อฟอลต์เกิดขึ้นที่จุดใดจุดหนึ่ง จะมีตัวที่อยู่เหนือถัดไปหนึ่งลำดับเป็นตัวสำรองอีกครั้ง เพื่อป้องกันกรณีที่รีเลย์ตัวแรกไม่ทำงาน จากนั้นก็จะไล่ลำดับการทำงานขึ้นไปเรื่อยๆ จนถึงตัวสุดท้ายที่อยู่ต้นน้ำ ซึ่งจะเป็นตัวแรกทำงาน เมื่อเกิดฟอลต์ที่จุดใดใกล้โรงจักรต้นกำลังมากที่สุด และเนื่องจากว่า ระบบที่ทำการศึกษานี้ มีการแยกระบบออกเป็น 2 ฟัง และพารามิเตอร์ต่างๆของระบบทั้ง 2 ฟังก็เหมือนกัน หรือกล่าวง่ายๆว่า ระบบทั้ง 2 ฟังสมมาตรกันนั่นเอง ดังนั้นจึงอธิบายผลต่างๆที่เกิดขึ้น โดยใช้ฝั่งซ้ายของระบบเป็นตัวอ้างอิงในการอธิบาย

สำหรับลำดับการทำงานที่ได้ทำการออกแบบโดยไล่จากส่วนท้ายน้ำขึ้นไปหาส่วนต้นน้ำ สำหรับรีเลย์กระแสเกิน (51) โดยพิจารณาผลการทำงานแบบหน่วงเวลา มีรายละเอียดดังนี้

รีเลย์ $RAL > RBL > REL (RHL) > RCL > RDL$ (ให้ดูภาพที่ 32 ประกอบ)

โดยพิจารณาสถานการณ์การเกิดเฟสและกราวด์ฟอลต์ที่บัสต่างๆดังนี้

- กรณีการเกิดเฟสและกราวด์ฟอลต์ที่บัส MDB1
- กรณีการเกิดเฟสและกราวด์ฟอลต์ที่บัส ST1-LV
- กรณีการเกิดเฟสและกราวด์ฟอลต์ที่บัส ST1-HV
- กรณีการเกิดเฟสและกราวด์ฟอลต์ที่บัส HV1
- กรณีการเกิดเฟสและกราวด์ฟอลต์ที่บัส TR1-LV
- กรณีการเกิดเฟสและกราวด์ฟอลต์ที่บัส TR1-HV

กรณีเกิดเฟสฟอลต์ที่บัส MDB1

เมื่อเกิดฟอลต์ที่บัส MDB1 รีเลย์ตัวแรกที่จะต้องทำงาน คือ รีเลย์ RAL ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นระบบป้องกันตัวแรก โดยจะทำงานที่เวลา 0.400 วินาที และถ้าเกิดกรณีที่รีเลย์ตัวนี้ไม่ทำงาน รีเลย์ RBL ซึ่งอยู่เหนือขึ้นไปหนึ่งลำดับและทำหน้าที่เป็นระบบป้องกันสำรอง จะต้องทำการสั่งทริปด้วยเวลา 0.956 วินาที และในบริเวณส่วนนี้ของระบบ รีเลย์ที่จะทำงานมีเพียง 2 ตัวนี้เท่านั้นที่จะเกี่ยวข้องในการทำงาน ทั้งนี้เป็นเพราะว่าเมื่อเกิดฟอลต์ที่จุดนี้ ซึ่งเป็นจุดที่อยู่ท้ายน้ำ กระแสฟอลต์ที่ไหลมาจากทางส่วนด้านบนของระบบจะมีค่าน้อยกว่าค่าการทำงานที่เลือกไว้ของรีเลย์ที่อยู่บริเวณถัดไป สรุปได้ว่าผลการทำงานเป็นไปตามที่ต้องการ

Fault: A				
THREE_PHASE at bus 20 MDB1				
Curve	Current Primary A	Current A/Pickup	Operating Seconds	Source/Total line (+ se
1	33717.00	5.57	0.400	52.59 @ 27.0
2	2120.08	4.24	0.956	95.04 @ 31.4

ภาพที่ 93 ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัส MDB1

กรณีเกิดเฟสฟอลต์ที่บัส ST1-LV

เมื่อเกิดฟอลต์ที่บัส ST1-LV รีเลย์ตัวแรกที่จะต้องทำงาน คือ รีเลย์ RAL ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นระบบป้องกันตัวแรก โดยจะทำงานที่เวลา 0.518 วินาที และถ้าเกิดกรณีที่รีเลย์ตัวนี้ไม่ทำงาน รีเลย์ RBL ซึ่งอยู่เหนือขึ้นไปหนึ่งลำดับและทำหน้าที่เป็นระบบป้องกันสำรอง จะต้องทำการสั่งทริปด้วยเวลา 0.944 วินาที สรุปได้ว่าผลการทำงานเป็นไปตามที่ต้องการ

Fault: A				
THREE_PHASE at bus 13 ST1-LV				
Curve	Current Primary A	A/Pickup	Operating Seconds	Source/Total line (+ se
1	23008.87	3.80	0.518	78.38 @ -170.8
2	2156.08	4.31	0.944	95.04 @ 31.4

ภาพที่ 94 ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัส ST1-LV

กรณีเกิดเฟสฟอลต์ที่บัส ST1-HV

สำหรับกรณีเกิดฟอลต์ที่บัส ST1-HV จะมีการจัดลำดับการทำงานแยกย่อยแตกต่างกันออกไปเป็น 2 กรณี ขึ้นอยู่กับรูปแบบการเชื่อมต่อระหว่างโรงจักรไฟฟ้า GC-CHPIDC กับ สถานีหลักสี่ของการไฟฟ้านครหลวง

กรณีแรกมีการเชื่อมต่อโรงจักรไฟฟ้า GC-CHPIDC กับการไฟฟ้านครหลวง ขณะเดียวกันก็ปลดหม้อแปลงไฟฟ้า TR2 ออกจากระบบ และส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากฝั่งซ้ายของโรงจักรไฟฟ้าไปยังฝั่งขวาโดยการส่งผ่าน bus tie (TCB) จะทำให้ได้ลำดับการทำงานของรีเลย์เป็นดังนี้ รีเลย์ RBL > REL > RHL > RCL จะเห็นได้ว่ารีเลย์ตัวแรกที่จะต้องทำการสั่งทริป คือ รีเลย์ RBL ด้วยเวลา 0.396 วินาที และจะมีรีเลย์อีก 3 ตัว ที่เป็นตัวสำรองในกรณีที่รีเลย์ RBL ไม่ทำงานโดยตัวถัดมาที่ต้องทำการสั่งทริป คือรีเลย์ REL ด้วยเวลา 0.960 วินาที การที่ให้รีเลย์ REL ทำงานเป็นตัวที่สองนั้นเพราะว่าระบบจำเป็นต้องรักษาสภาพการเชื่อมต่อและส่งผ่านพลังงานระหว่างฝั่งซ้ายและขวาของระบบต่อไป ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ทางฝั่งขวาของระบบนั้นได้ทำการปลดหม้อแปลง TR2 ออกจากระบบ และเชื่อมต่อการไฟฟ้านครหลวงโดยผ่านทางฝั่งซ้ายของระบบ ประกอบกับกรณีที่มีการใช้พลังงาน

ไฟฟ้าภายในโรงจักรไฟฟ้า GC-CHPIDC ที่มาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายในโรงจักรเท่านั้นโดยตัดการเชื่อมต่อการไฟฟ้านครหลวงออกไป ซึ่งในสภาวะนี้ถ้ามีฟอลต์เกิดขึ้นจะต้องทำการตัดส่วนของระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบให้เร็วที่สุด ด้วยเหตุผลทั้ง 2 ข้อนี้เองทำให้รีเลย์ REL ต้องสั่งทริปก่อนเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แต่รีเลย์ RHL ก็จะต้องสั่งทริปเป็นลำดับถัดมาด้วยเวลาที่ใกล้เคียงกันคือ 1.026 วินาที เพื่อป้องกันการดึงกระแสมาจากฝั่งขวาของระบบ และสุดท้ายคือรีเลย์ RCL จะสั่งทริปเป็นตัวสุดท้ายในเวลา 1.562 วินาที ซึ่งจะเป็นการตัดส่วนของโรงจักรไฟฟ้า GC-CHPIDC ออกจากการเชื่อมต่อการไฟฟ้านครหลวง เพื่อไม่ให้มีผลกระทบกับสถานีต้นกำลัง

Fault: A
THREE_PHASE at bus 12 ST1-HV

Curve	Current Primary A	Current A/Pickup	Operating Seconds	Source/Total line (+ s)
1	15185.06	30.37	0.396	63.58 @ 30.9
2	3031.85	4.21	0.960	636.91 @-145.4
3	5194.40	3.85	1.026	Unavailable
4	5674.64	4.20	1.562	339.92 @-149.5

ภาพที่ 95 ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัส ST1-HV
(ปลดหม้อแปลง TR2 ออกจากระบบ)

กรณีที่สองมีการเชื่อมต่อโรงจักรไฟฟ้า GC-CHPIDC กับการไฟฟ้านครหลวง โดยผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า TR2 เพียงตัวเดียว (ปลดหม้อแปลงไฟฟ้า TR1 ออกจากระบบ) และส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากฝั่งขวาของโรงจักรไฟฟ้าไปยังฝั่งซ้ายโดยการส่งผ่าน bus tie (TCB) จะทำให้ได้ลำดับการทำงานของรีเลย์เป็นดังนี้รีเลย์ RBL > RHL > REL จะเห็นได้ว่ารีเลย์ตัวแรกที่จะต้องทำการสั่งทริป คือ รีเลย์ RBL ด้วยเวลา 0.404 วินาที และจะมีรีเลย์อีก 2 ตัว ที่เป็นตัวสำรองในกรณีที่รีเลย์ RBL ไม่ทำงาน โดยตัวถัดมาที่ต้องทำการสั่งทริป คือ รีเลย์ RHL ด้วยเวลา 0.686 วินาที การที่รีเลย์ RHL ทำงานเป็นตัวที่สองนั้นเพราะว่า ระบบจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องส่วนที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบโดยให้มีผลกระทบต่อระบบหลักน้อยที่สุด หรือกล่าวง่าย ๆ ก็คือ ระบบทางฝั่งขวาของโรงจักรไฟฟ้า GC-CHPIDC อยู่ในสภาวะปกติ แต่ระบบทางฝั่งซ้ายอยู่ในสภาวะเกิดฟอลต์ จึงจำเป็นต้องตัดออกไป เพื่อให้ระบบทางฝั่งขวาทำงานไปตามปกติ ในลำดับต่อมาถ้าไม่ยังไม่สามารถเคลียร์ฟอลต์ได้รีเลย์ REL ก็จะเป็นตัว

สุดท้ายที่ทำการสั่งทริปด้วยเวลา 0.960 วินาที เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Fault: A				
THREE_PHASE at bus 12 ST1-HV				
Curve	Current Primary A	Current A/Pickup	Operating Seconds	Source/Total line (+ s)
1	14321.61	28.64	0.404	67.48 @ 31.7
2	3034.50	4.21	0.960	636.91 @-145.4
3	10000.16	7.41	0.686	Unavailable

ภาพที่ 96 ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัส ST1-HV
(ปลดหม้อแปลง TR1 ออกจากระบบ)

กรณีเกิดเฟสฟอลต์ที่บัส HV1

สำหรับกรณี รีเลย์ทุกตัวที่อยู่รอบๆบัส คือ รีเลย์ RBL,REL, RCL และ RHL จะต้องทำงานเป็นระบบป้องกันด่านแรก โดยทุกตัวต้องสั่งทริปเมื่อมีฟอลต์เกิดขึ้นที่นี้ โดยเวลาในการทริปจะขึ้นอยู่กับขนาดกระแสที่ไหลผ่านส่วนนั้นๆ จะเห็นได้ว่ารีเลย์ทุกตัวที่ทำหน้าที่เป็นระบบป้องกันด่านแรก ทำการสั่งทริปที่เวลาที่ต่างกัน โดยเริ่มจากรีเลย์ REL ทำงานที่เวลา 0.950 วินาที ต่อมา รีเลย์ RHL ทำงานที่เวลา 1.014 วินาที ต่อมา รีเลย์ RCL ทำงานที่เวลา 1.548 วินาที โดยมีรีเลย์ RDL เป็นระบบป้องกันสำรองสำหรับรีเลย์ RCL อีกครั้งหนึ่ง จะทำงานที่เวลา 2.056 วินาที ส่วนรีเลย์ RBL นั้นจะไม่ทำงาน เพราะค่ากระแสฟอลต์ที่ผ่านมีค่าน้อยกว่าค่าการทำงานที่ตั้งไว้

Fault: A
THREE_PHASE at bus 8 HV1

Curve	Current Primary A	A/Pickup	Operating Seconds	Source/Total line (+ s:
1	955.44	1.91	Infinite	Unavailable
2	3072.85	4.27	0.950	636.91 @-145.4
3	5264.64	3.90	1.014	Unavailable
4	5751.37	4.26	1.548	339.92 @-149.5
5	1581.63	4.16	2.056	460.32 @ 28.5

ภาพที่ 97 ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัส HV1

กรณีเกิดเฟสฟอลต์ที่บัส TR1-LV

จะมีลำดับการทำงานของรีเลย์ดังนี้ เริ่มจากรีเลย์RCL ทำงานที่เวลา 0.250 วินาที ถัดมาเป็นรีเลย์ RDL ทำงานด้วยเวลา 0.484 วินาที ต่อด้วยรีเลย์ REL ทำงานที่เวลา 0.716 วินาที และสุดท้าย RHL ทำงานที่เวลา 0.892 วินาที

Fault: A
THREE_PHASE at bus 6 TR1-LV

Curve	Current Primary A	A/Pickup	Operating Seconds	Source/Total line (+
1	3058.52	4.25	0.716	636.91 @-145.4
2	5240.10	3.88	0.892	Unavailable
3	10526.00	7.80	0.250	184.87 @ 30.1
4	1585.64	4.17	0.484	460.32 @ 28.5

ภาพที่ 98 ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัส TR1-LV

กรณีเกิดเฟสฟอลต์ที่บัส TR1-HV

จะเห็นว่ารีเลย์ RDL ทำหน้าที่เป็นระบบป้องกันขั้นแรกแรก ด้วยการสั่งทริปที่เวลา 0.240 วินาที ส่วนรีเลย์ RCL จะทำหน้าที่เป็นระบบป้องกันสำรองให้กับรีเลย์ RDL โดยทำงานที่

เวลา 0.436 ส่วนรีเลย์ตัวอื่นๆจะไม่ทำงานเพราะค่ากระแสฟอลต์ที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำกว่าค่าการทำงานที่กำหนดไว้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบป้องกันทำงานตามที่ต้องการ

Fault: A
THREE_PHASE at bus 4 TR1-HV

Curve	Current Primary A	Current A/Pickup	Operating Seconds	Source/Total line (+ s
1	1287.82	1.79	Infinite	636.91 @ -145.4
2	2206.40	1.63	Infinite	Unavailable
3	4432.08	3.28	0.436	184.87 @ 30.1
4	6416.35	16.89	0.240	460.32 @ 28.5

ภาพที่ 99 ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อเกิดเฟสฟอลต์ที่บัส TR1-HV

ต่อมาเราจะมาดูผลการทำงานของอุปกรณ์ในกรณีที่เกิดกราวด์ฟอลต์ ซึ่งหลักการกำหนดค่าการทำงานและการจัดลำดับเวลาการทำงาน ก็ใช้หลักการเดียวกันกับการเกิดเฟสฟอลต์ แต่มีข้อแตกต่างจากเฟสฟอลต์เล็กน้อย คือ จะไม่มีการจัดลำดับเวลาการทำงานข้ามส่วนของหม้อแปลงระหว่างด้านปฐมภูมิกับทุติยภูมิที่มีคอนเนคชั่นแบบเดลต้า-วายลงกราวด์

กรณีเกิดกราวด์ฟอลต์ที่บัส MDB1

จะเห็นว่ารีเลย์ RAL ทำงานที่ 0.196 วินาที ส่วนรีเลย์ RBL จะไม่ทำงานทั้งนี้เพราะกระแสกราวด์ฟอลต์เกิดขึ้นอยู่ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง แต่รีเลย์ RBL อยู่ทางด้านปฐมภูมิจะมองไม่เห็นกระแสดังกล่าว เนื่องจากเหตุผลเรื่องการต่อคอนเนคชั่นของหม้อแปลง

Fault: A
SINGLE_LINE_GROUND at bus 20 MDB1

Curve	Current Primary A	Current A/Pickup	Operating Seconds	Source/Total line (+ se
1	50331.34	45.76	0.196	52.59 @ 27.0
2	0.00	0.00	Infinite	95.04 @ 31.4

ภาพที่ 100 ผลการทำงานของกราวด์รีเลย์เมื่อเกิดกราวด์ฟอลต์ที่บัส MDB1

กรณีเกิดกราวด์ฟอลต์ที่บัส ST1-LV

จะเห็นได้ว่ารีเลย์ทั้งสองตัวไม่มีการทำงาน ทั้งนี้เป็นเพราะว่ากระแสกราวด์ฟอลต์ที่เกิดขึ้นนั้นมีตำแหน่งอยู่เหนือเขตการทำงานของรีเลย์ RAL และอยู่ทางด้านทุติยภูมิ ซึ่งรีเลย์ RBL ไม่สามารถตรวจเจอได้ หรือสรุปง่ายๆ คือ เกิดเหตุการณ์ที่เรียกว่า BLIND SPOT ซึ่งกระแสกราวด์ฟอลต์ที่เกิดขึ้นจะอยู่นอกบริเวณเขตการทำงานของกราวด์รีเลย์ ทำให้กราวด์รีเลย์ไม่ทำงาน สำหรับกรณีที่เกิดเหตุการณ์นี้ขึ้น เฟสรีเลย์จะทำหน้าที่ตรวจจับกราวด์ฟอลต์ที่เกิดขึ้นแทน โดยรีเลย์ RAL จะทำงานที่เวลา 0.830 วินาที และรีเลย์ RBL ทำงานที่เวลา 1.689 วินาที

Fault: A
SINGLE_LINE_GROUND at bus 13 ST1-LV

Curve	Current Primary A	Current A/Pickup	Operating Seconds	Source/Total line (+ seq
1	0.00	0.00	Infinite	78.38 @-170.8
2	0.00	0.00	Infinite	95.04 @ 31.4

ภาพที่ 101 ผลการทำงานของกราวด์รีเลย์เมื่อเกิดกราวด์ฟอลต์ที่บัส ST1-LV

Fault: A
SINGLE_LINE_GROUND at bus 13 ST1-LV

Curve	Current Primary A	Current A/Pickup	Operating Seconds	Source/Total line (+ seq
1	13958.06	2.31	0.830	78.38 @-170.8
2	1132.73	2.27	1.698	95.04 @ 31.4

ภาพที่ 102 ผลการทำงานของเฟสรีเลย์เมื่อเกิดกราวด์ฟอลต์ที่บัส ST1-LV

กรณีเกิดกราวด์ฟอลต์ที่บัส ST1-HV

สำหรับกรณีเกิดกราวด์ฟอลต์ที่บัส ST1-HV จะมีการจัดลำดับการทำงานแยกย่อยแตกต่างกันออกไปเป็น 2 กรณี เหมือนกับกรณีของการเกิดเฟสฟอลต์เช่นเดียวกัน

กรณีที่แรก รีเลย์ตัวแรกที่จะต้องทำการสั่งทริป คือ รีเลย์ RBL ด้วยเวลา 0.196 วินาที และจะมีรีเลย์อีก 3 ตัว ที่เป็นตัวสำรองในกรณีที่รีเลย์ RBL ไม่ทำงานโดยตัวถัดมาที่ต้องทำการสั่งทริป คือ รีเลย์ REL ด้วยเวลา 0.422 วินาที รีเลย์ RHL ก็จะสั่งทริปเป็นลำดับถัดมาด้วยเวลาที่ใกล้เคียงกันคือ 0.482 วินาที สุดท้ายคือ รีเลย์ RCL จะสั่งทริปเป็นตัวสุดท้ายในเวลา 0.590 วินาที

Fault: A
SINGLE_LINE_GROUND at bus 12 ST1-HV

Curve	Current Primary A	A/Pickup	Operating Seconds	Source/Total line (+ seq
1	15069.46	150.69	0.196	63.58 @ 30.9
2	3368.69	24.95	0.422	636.91 @-145.4
3	3368.69	16.84	0.482	Unavailable
4	8337.93	41.69	0.590	339.92 @-149.5

ภาพที่ 103 ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส ST1-HV
(ปลดหม้อแปลง TR2 ออกจากระบบ)

กรณีที่สอง รีเลย์ตัวแรกที่จะต้องทำการสั่งทริป คือรีเลย์ RBL ด้วยเวลา 0.196 วินาที และจะมีรีเลย์อีก 2 ตัว ที่เป็นตัวสำรองในกรณีที่ รีเลย์ RBL ไม่ทำงานโดยตัวถัดมาที่ต้องทำการสั่งทริป คือ รีเลย์ RHL ด้วยเวลา 0.394 วินาที ส่วนรีเลย์ REL ก็จะเป็นตัวสุดท้ายที่ทำการสั่งทริปทำการสั่งทริปด้วยเวลา 0.424 วินาที

Fault: A
SINGLE_LINE_GROUND at bus 12 ST1-HV

Curve	Current Primary A	A/Pickup	Operating Seconds	Source/Total line (+ seq
1	14815.24	148.15	0.196	67.48 @ 31.7
2	3311.86	24.53	0.424	636.91 @-145.4
3	11505.43	57.53	0.394	Unavailable

ภาพที่ 104 ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อเกิดกราวนฟอลต์ที่บัส ST1-HV
(ปลดหม้อแปลง TR1 ออกจากระบบ)

กรณีเกิดกราวด์ฟอลต์ที่บัส HV1

จะเห็นว่ารีเลย์ทุกตัวที่ทำหน้าที่เป็นระบบป้องกันด้านแรก ทำการสั่งทริปที่เวลาที่ต่างกัน โดยเริ่มจากรีเลย์ REL ทำงานที่เวลา 0.418 วินาที ต่อมารีเลย์ RHL ทำงานที่เวลา 0.478 วินาที และรีเลย์ RCL ทำงานที่เวลา 0.590 วินาที ส่วนรีเลย์ RBL ไม่ทำงานเพราะไม่มีกระแสกราวด์ฟอลต์จากแหล่งกำเนิดไหลผ่านเขตการทำงานของรีเลย์

Fault: A
SINGLE_LINE_GROUND at bus 8 HV1

Curve	Current Primary A	Current A/Pickup	Operating Seconds	Source/Total line (+ se
1	0.00	0.00	Infinite	Unavailable
2	3433.01	25.43	0.418	636.91 @-145.4
3	3433.01	17.17	0.478	Unavailable
4	8497.13	42.49	0.590	339.92 @-149.5

ภาพที่ 105 ผลการทำงานของกราวด์รีเลย์เมื่อเกิดกราวด์ฟอลต์ที่บัส HV1

กรณีเกิดกราวด์ฟอลต์ที่บัส TR1-LV

มีผลการทำงานดังนี้ รีเลย์ RCL ทำงานเป็นตัวแรกด้วยเวลา 0.296 วินาที ระบบป้องกันสำรองคือ รีเลย์ REL ทำงานที่เวลา 0.420 วินาที สุดท้ายรีเลย์ RHL ทำงานที่เวลา 0.480 วินาที

Fault: A
SINGLE_LINE_GROUND at bus 6 TR1-LV

Curve	Current Primary A	Current A/Pickup	Operating Seconds	Source/Total line (+ seq
1	0.00	0.00	Infinite	Unavailable
2	3402.16	25.20	0.420	636.91 @-145.4
3	3402.16	17.01	0.480	Unavailable
4	6804.32	34.02	0.296	184.87 @ 30.1

ภาพที่ 106 ผลการทำงานของกราวด์รีเลย์เมื่อเกิดกราวด์ฟอลต์ที่บัส TR1-LV

กรณีเกิดกราวน์ฟอลต์ที่บัส TR1-HV

จะเห็นได้ว่ารีเลย์ RDL ทำงานเพียงตัวเดียวด้วยเวลา 0.196 วินาที

Fault: A
SINGLE_LINE_GROUND at bus 4 TR1-HV

Curve	Current Primary A	Current A/Pickup	Operating Seconds	Source/Total line (+ sec
1	0.00	0.00	Infinite	636.91 @ -145.4
2	0.00	0.00	Infinite	Unavailable
3	0.00	0.00	Infinite	184.87 @ 30.1
4	2387.07	39.78	0.196	460.32 @ 28.5

ภาพที่ 107 ผลการทำงานของกราวนรีเลย์เมื่อเกิดกราวน์ฟอลต์ที่บัส TR1-HV

เมื่อพิจารณาถึงผลการทำงานของรีเลย์ทั้งหมด และทุกตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ทั้ง 2 ชนิด แล้วจะพบว่า ผลการทำงานของรีเลย์ทั้งหมดจะมีลำดับการทำงานเป็นไปตามที่ต้องการ เมื่อพิจารณาจากตำแหน่งที่เกิดฟอลต์บริเวณปลายน้ำขึ้นไปหาบริเวณต้นน้ำ โดยมีลำดับการทำงานตามที่ตั้งค่าการทำงานไว้คือ RAL> RBL(RHL)> RCL > RDL และเมื่อมีการเกิด BLIND SPOT สำหรับในกรณีการเกิดกราวน์ฟอลต์ เฟสดีฟอลต์รีเลย์ก็ยังสามารถทำหน้าที่เป็นระบบป้องกันสำรองให้กับกราวน์ฟอลต์ได้อีกหนึ่งชั้นหนึ่ง สรุปได้ว่าระบบป้องกันที่ออกแบบมานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงกับโรงจักรไฟฟ้า GC-CHPIDC

ข้อเสนอแนะ

เพื่อที่จะได้ระบบป้องกันที่ดีนั้น ควรศึกษารายละเอียดการตั้งค่าการทำงานของรีเลย์ชนิดต่างๆ จากมาตรฐานต่างๆ เช่น IEC 60255 และ IEEE Std 241 ตลอดจนมาตรฐานของการไฟฟ้า หรือจากคู่มือของบริษัทผู้ผลิต เพราะรีเลย์แต่ละชนิดจะมีข้อมูลที่ใช้ในการตั้งค่าการทำงานที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งข้อมูลต่างๆ ที่มีอยู่ในงานวิจัยนี้ ก็สามารถนำไปใช้ประกอบการตั้งค่าการทำงานของรีเลย์ที่จะนำมาใช้ในระบบป้องกันเพิ่มเติมต่อไปได้ เนื่องจากในงานวิจัยนี้จำลองระบบและผลที่เกิดขึ้นของรีเลย์กระแสนั้น ถ้าได้มีการศึกษาถึงรายละเอียดของรีเลย์ชนิดอื่นๆ เพิ่มเติมและนำมาใช้ในการตั้งค่าการทำงานและผลที่ได้ ก็จะสามารปรับปรุ้ระบบป้องกันให้ดียิ่งขึ้นไปได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

การไฟฟ้านครหลวง. 2549. ระเบียบการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนานกับระบบของ กฟน.

รศ.ดร.ชำนาญ ห่อเกียรติ. 2548. การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง. คณะวิศวกรรมศาสตร์,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

รศ.สันติ อัสวศรีพงษ์. 2548. วิศวกรรมการป้องกันระบบไฟฟ้ากำลัง : Module 1. คณะ
วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

รศ.สันติ อัสวศรีพงษ์. 2548. วิศวกรรมการป้องกันระบบไฟฟ้ากำลัง : Module 2. คณะ
วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

อรรณณ รักคติพงศ์. 2546. การวิเคราะห์ปัญหาทางด้านเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมโยง
เครือข่ายของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กเข้ากับเครือข่ายระบบจำหน่ายแรงดัน 22 เควีของ กฟภ. คณะ
วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

อำนาจ สุภาพันธุ์. 2545. การวิเคราะห์ทางไฟฟ้าอย่างเป็นระบบเพื่อการออกแบบระบบป้องกันการ
เชื่อมโยงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโรงไฟฟ้าของผู้ผลิตรายเล็ก. คณะวิศวกรรมศาสตร์,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

GC-CHPIDC Power System Study. 2007.

IEC 185. 1987. **Transformer Instruments.** IEC 185, 1987.

IEC 60255. 2001. **Measuring relays and protection equipment.** IEC 60255, 2001.

IEEE Std 241. 1990. **IEEE Recommended Practice for Electric Power Systems in
Commercial Buildings.** IEEE Std 241-1990.

IEEE Std 241. 2001. **IEEE recommended practice for protection and coordination of industrial and commercial power systems.** IEEE Std 241-2001.

Louie, J.Powell. 1988. An Industrial View of Utility Cogeneration Protection Requirements. **IEEE.**

Peter, E.Sutherland. 1997. Protective Device Coordination in Industrial Power System with Multiple Sources. **IEEE.**

ภาคผนวก

ค่าพารามิเตอร์ของระบบ

ข้อมูลระบบและอุปกรณ์

ตารางผนวกที่ 1 ข้อมูลระบบ กฟน.

Power Grid		Rating		%Z (100 MVABase)		Grounding
ID	MVAsc	kV		R	X	System
MEA	268	24		5.33668	36.9298	Wye-Solid

ตารางผนวกที่ 2 ข้อมูลพารามิเตอร์ของหม้อแปลง

Tr	Rating	Rating		%Z			Conn.	Grounding
ID	kVA	Prim.kV	Sec.kV	%Z	X/R	Angle	Type	
TR1	7,000	24	6.6	8	12.85	30	Dyn1	Solid
TR2	7,000	24	6.6	8	12.85	30	Dyn1	Solid
ST1	2500	6.6	0.415	8	10.67	30	Dyn11	Solid
ST2	2500	6.6	0.415	8	10.67	30	Dyn11	Solid

ตารางผนวกที่ 3 ข้อมูลพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Syn		Rating		%Z		Conn		Grounding	
Gen				%PF	in Machine Base				
ID	MVA	Prim.kV	RPM		R	Xd"	Type	Amp.	Ohms
Gen#1	5.98125	6.6	1500	80	0.396	17	Wye	Resistor	400 9.527
Gen#2	5.98125	6.6	1500	80	0.396	17	Wye	Resistor	400 9.527

ตารางผนวกที่ 4 ข้อมูลพารามิเตอร์ของมอเตอร์

IM		Connected	Rated Power		Voltage	Current	Efficientcy	PF	Rock Rotor	Speed
No	ID	Bus ID	HP/kW	kVA	kV	Amp	(%)		Current	RPM
1	2-ECH-01	2-AMCC01	1,250	1,436	6.6	130	96.60	0.87	6.70	1,485
2	2-ECH-02	2-AMCC02	630	733	6.6	65.62	96.10	0.86	6.60	1,482
3	2-ECH-03	2-AMCC03	630	733	6.6	65.62	96.10	0.86	6.60	1,482
4	2-ECH-04	2-AMCC04	1,250	1,436	6.6	130	96.60	0.87	6.70	1,485

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

No	IM ID	Connected	Rated Power		Voltage	Current	Efficiency	PF	Rock Rotor	Speed	Remark
		Bus ID	(HP/kW)	kVA	(kV)	(Amp)	(%)		Current	(RPM)	
1	G-ABCH-01	G-AMCC01	37	45	0.415	62.59	92.60	0.88	6.30	1,475	
2	G-COP-01	G-AMCC01	250	281	0.415	422.9	96.30	0.89	7.30	1,489	
3	G-COP-02	G-AMCC01	250	281	0.415	422.9	96.30	0.89	7.30	1,489	M1
4	G-CHP1-01	G-AMCC01	132	155	0.415	216.2	94.90	0.90	7.60	1,487	
5	G-CWP-01	G-AMCC01	5.5	7.6	0.415	10.6	85.90	0.84	6.90	1,450	
6	G-GTG-01	G-AMCC03	160	176	0.415	293.9	95.60	0.91	6.70	1,483	
7	G-GC-01	G-AMCC03	132	155	0.415	216.2	94.90	0.90	7.60	1,487	M2
8	G-AC-01	G-AMCC03	7.5	10.2	0.415	14.14	87.00	0.85	6.70	1,450	
9	2-CHP1-01	2-AMCC05	90	106	0.415	148.0	94.80	0.91	7.30	1,485	M3
10	2-COP-01	2-AMCC05	132	155	0.415	216.2	94.90	0.90	7.60	1,487	
11	G-CHP2-03	G-AMCC07	200	233	0.415	358.4	95.90	0.86	7.00	1,488	M4
12	2-CHP1-03	2-AMCC07	45	54	0.415	75.16	94.00	0.88	7.00	1,480	M5
13	2-COP-03	2-AMCC07	75	88.8	0.415	123.5	94.20	0.90	7.30	1,485	
14	2-CHP2-01	2-AMCC09	200	234	0.415	326.2	95.00	0.89	6.50	1,489	M6
15	2-CHP2-02	2-AMCC10	200	234	0.415	326.2	95.00	0.89	6.50	1,489	M7
16	R-CT-01	2-AMCC12	37	45	0.415	62.59	92.60	0.88	6.30	1,475	
17	R-CT-02	2-AMCC12	37	45	0.415	62.59	92.60	0.88	6.30	1,475	M8
18	R-CT-03	2-AMCC12	37	45	0.415	62.59	92.60	0.88	6.30	1,475	
19	G-ABCH-02	G-AMCC02	37	45	0.415	62.59	92.60	0.88	6.30	1,475	
20	G-COP-03	G-AMCC02	160	188	0.415	261.5	95.60	0.91	6.70	1,483	
3	G-COP-04	G-AMCC02	160	188	0.415	261.5	95.60	0.91	6.70	1,483	M9
4	G-CHP1-02	G-AMCC02	132	155	0.415	216.2	94.90	0.90	7.60	1,487	
5	G-CWP-02	G-AMCC02	5.5	7.6	0.415	10.6	85.90	0.84	6.90	1,450	
6	G-GTG-02	G-AMCC04	160	188	0.415	293.9	95.60	0.91	6.70	1,483	
7	G-GC-02	G-AMCC04	132	155	0.415	216.2	94.90	0.90	7.60	1,487	M10
8	G-AC-02	G-AMCC04	7.5	10.2	0.415	14.14	87.00	0.85	6.70	1,450	
9	G-CHP2-01	G-AMCC05	200	233	0.415	358.4	95.90	0.86	7.00	1,488	M11
10	G-CHP2-02	G-AMCC06	200	233	0.415	358.4	95.90	0.86	7.00	1,488	M12
11	2-CHP1-02	2-AMCC06	45	54	0.415	75.16	92.60	0.88	7.00	1,480	M13
12	2-COP-02	2-AMCC06	75	88.8	0.415	123.5	94.20	0.90	7.30	1,485	
13	2-CHP1-04	2-AMCC08	90	106	0.415	148.00	94.80	0.91	7.30	1,485	M14
14	2-COP-04	2-AMCC08	132	155	0.415	216.2	94.90	0.90	7.60	1,487	
15	2-CHP2-03	2-AMCC11	200	234	0.415	326.2	95.00	0.89	6.50	1,489	M15

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

No	IM ID	Connected	Rated Power		Voltage	Current	Efficiency	PF	Rock Rotor	Speed	Remark
16	R-CT-06	2-AMCC13	37	45	0.415	62.59	92.60	0.88	6.30	1,475	
17	R-CT-07	2-AMCC13	37	45	0.415	62.59	92.60	0.88	6.30	1,475	M16
18	R-CT-08	2-AMCC13	37	45	0.415	62.59	92.60	0.88	6.30	1,475	
19	R-CT-04	2-AMCC14	22	27.7	0.415	38.53	91.00	0.90	7.30	1,465	
20	R-CT-05	2-AMCC14	22	27.7	0.415	38.53	91.00	0.90	7.30	1,465	M17
21	FUP-01	2-AMCC14	15	19.4	0.415	26.96	89.50	0.87	7.30	1,460	

ตารางผนวกที่ 5 ข้อมูลพารามิเตอร์ของสายส่ง

Line ID	Length Adj.(m)	#Phase	Impedance (โอห์ม/กม.)				Impedance (โอห์ม/เฟส)			
			R1	X1	R0	X0	R1	X1	R0	X0
C01	100	1	0.061042	0.116000	0.095378	0.290000	0.0061042	0.011600	0.0095378	0.029000
C02	100	1	0.061042	0.116000	0.095378	0.290000	0.0061042	0.011600	0.0095378	0.029000
C1	30	1	0.093470	0.125000	0.152604	0.320000	0.0028041	0.003750	0.0045781	0.009600
C2	30	2	0.076302	0.105000	0.123991	0.270000	0.0011445	0.001575	0.0018599	0.004050
C5	30	2	0.076302	0.105000	0.123991	0.270000	0.0011445	0.001575	0.0018599	0.004050
C6	30	1	0.076302	0.105000	0.123991	0.270000	0.0022891	0.003150	0.0037197	0.008100
C7	30	1	0.076302	0.105000	0.123991	0.270000	0.0022891	0.003150	0.0037197	0.008100
C8	30	1	0.076302	0.105000	0.123991	0.270000	0.0022891	0.003150	0.0037197	0.008100
C13	15	12	0.056700	0.089900	0.090720	0.229250	0.0000709	0.0001124	0.0001134	0.0002866
C15	10	6	0.074200	0.090600	0.1187200	0.231030	0.0001237	0.0001510	0.0001979	0.0003851
C16	10	4	0.092000	0.091110	0.1472000	0.232300	0.0002300	0.0002278	0.0003680	0.0005808
C17	10	3	0.118200	0.091700	0.1891200	0.233830	0.0003940	0.0003057	0.0006304	0.0007794
C18	10	3	0.118200	0.091700	0.1891200	0.233830	0.0003940	0.0003057	0.0006304	0.0007794
C19	10	1	0.074200	0.090600	0.1187200	0.231030	0.0007420	0.0009060	0.0011872	0.0023103
C20	10	2	0.074200	0.090600	0.1187200	0.231030	0.0003710	0.0004530	0.0005936	0.0011552
C21	10	2	0.074200	0.090600	0.1187200	0.231030	0.0003710	0.0004530	0.0005936	0.0011552
C22	10	1	0.092000	0.091110	0.1472000	0.232300	0.0009200	0.0009111	0.0014720	0.0023230
C03	100	1	0.061042	0.116000	0.095378	0.290000	0.0061042	0.011600	0.0095378	0.029000
C04	100	1	0.061042	0.116000	0.095378	0.290000	0.0061042	0.011600	0.0095378	0.029000
C3	30	1	0.093470	0.125000	0.152604	0.320000	0.0028041	0.003750	0.0045781	0.009600
C4	30	2	0.076302	0.105000	0.123991	0.270000	0.0011445	0.001575	0.0018599	0.004050

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Line ID	Length Adj.(m)	#Phase	Impedance (โอห์ม/กม.)				Impedance (โอห์ม/เฟส)			
			R1	X1	R0	X0	R1	X1	R0	X0
C9	30	1	0.076302	0.105000	0.123991	0.270000	0.0011445	0.001575	0.0018599	0.004050
C10	30	1	0.076302	0.105000	0.123991	0.270000	0.0022891	0.003150	0.0037197	0.008100
C11	30	1	0.076302	0.105000	0.123991	0.270000	0.0022891	0.003150	0.0037197	0.008100
C12	30	2	0.076302	0.105000	0.123991	0.270000	0.0022891	0.003150	0.0037197	0.008100
C14	15	12	0.056700	0.089900	0.090720	0.229250	0.0000709	0.0001124	0.0001134	0.0002866
C23	10	5	0.092000	0.091110	0.1472000	0.232300	0.0001840	0.0001822	0.0002944	0.0004646
C24	10	4	0.092000	0.091110	0.1472000	0.232300	0.0002300	0.0002278	0.0003680	0.0005808
C25	10	3	0.118200	0.091700	0.1891200	0.233830	0.0003940	0.0003057	0.0006304	0.0007794
C26	10	3	0.118200	0.091700	0.1891200	0.233830	0.0003940	0.0003057	0.0006304	0.0007794
C27	10	1	0.074200	0.090600	0.1187200	0.231030	0.0007420	0.0009060	0.0011872	0.0023103
C28	10	3	0.118200	0.091700	0.189120	0.233830	0.0003940	0.0003057	0.0006304	0.0007794
C29	10	2	0.074200	0.090600	0.1187200	0.231030	0.0003710	0.0004530	0.0005936	0.0011552
C30	10	1	0.092000	0.091110	0.1472000	0.232300	0.0009200	0.0009111	0.0014720	0.0023230
C31	10	1	0.229700	0.092900	0.367520	0.236890	0.0022970	0.0009290	0.0036752	0.0023689

ตารางผนวกที่ 6 ข้อมูลบัส

ID.	Type	Normal kV	Base kV
2-AMCC01	Load	6.6	6.6
2-AMCC02	Load	6.6	6.6
2-AMCC03	Load	6.6	6.6
2-AMCC03	Load	6.6	6.6
2-AMCC04	Load	0.415	0.415
2-AMCC05	Load	0.415	0.415
2-AMCC06	Load	0.415	0.415
2-AMCC07	Load	0.415	0.415
2-AMCC08	Load	0.415	0.415
2-AMCC09	Load	0.415	0.415
2-AMCC10	Load	0.415	0.415
2-AMCC11	Load	0.415	0.415
2-AMCC12	Load	0.415	0.415

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

ID.	Type	Normal kV	Base kV
2-AMCC13	Load	0.415	0.415
2-AMCC14	Load	0.415	0.415
BUS G1	Gen.	6.6	6.6
BUS G2	Gen.	6.6	6.6
G-AMCC01	Load	0.415	0.415
G-AMCC02	Load	0.415	0.415
G-AMCC03	Load	0.415	0.415
G-AMCC04	Load	0.415	0.415
G-AMCC05	Load	0.415	0.415
G-AMCC06	Load	0.415	0.415
G-AMCC07	Load	0.415	0.415
HV1	Load	6.6	6.6
HV2	Load	6.6	6.6
LAKSI	Swing	24	24
MDB1	Load	0.415	0.415
MDB2	Load	0.415	0.415

ตารางผนวกที่ 7 การเชื่อมต่อ巴士

ID.	Type	From Bus	To Bus
ST1	2W XFMR	ST1-HV	ST1-LV
ST2	2W XFMR	ST2-HV	ST2-LV
TR1	2W XFMR	TR1-HV	TR1-LV
TR2	2W XFMR	TR2-HV	TR2-LV
C01	Cable	LAKSI	RMU1
C1	Cable	RMU1	TR1-HV
C2	Cable	TR1-LV	HV1

ตารางผนวกที่ 7 (ต่อ)

ID.	Type	From Bus	To Bus
C02	Cable	LAKSI	RMU1
C03	Cable	LAKSI	RMU2
C3	Cable	RMU2	TR2-HV
C04	Cable	LAKSI	RMU2
C4	Cable	TR2-LV	HV2
C5	Cable	HV1	BUS G1
C6	Cable	HV1	ST1-HV
C7	Cable	HV1	2-AMCC01
C8	Cable	HV1	2-AMCC03
C9	Cable	HV2	2-AMCC02
C10	Cable	HV2	2-AMCC04
C11	Cable	HV2	ST2-HV
C12	Cable	HV2	BUS G2
C13	Cable	ST1-LV	MDB1
C14	Cable	ST2-LV	MDB2
C15	Cable	MDB1	G-AMCC01
C16	Cable	MDB1	G-AMCC03
C17	Cable	MDB1	2-AMCC05
C18	Cable	MDB1	G-AMCC07
C19	Cable	MDB1	2-AMCC07
C20	Cable	MDB1	2-AMCC09
C21	Cable	MDB1	2-AMCC10
C22	Cable	MDB1	2-AMCC12
C23	Cable	MDB2	G-AMCC02
C24	Cable	MDB2	G-AMCC04
C25	Cable	MDB2	G-AMCC05
C26	Cable	MDB2	G-AMCC06

ตารางผนวกที่ 7 (ต่อ)

ID.	Type	From Bus	To Bus
C27	Cable	MDB2	2-AMCC06
C28	Cable	MDB2	2-AMCC08
C29	Cable	MDB2	2-AMCC11
C30	Cable	MDB2	2-AMCC13
C31	Cable	MDB2	2-AMCC14

ตารางผนวกที่ 8 ข้อมูลอุปกรณ์ป้องกัน

รีเลย์	CT Ratio	Phase Fault		Ground Fault	
		I_{pu} (A.)	TMS	I_{pu} (A.)	TMS
RAL	5500/5	5.5	0.1	1.0	0.1
RBL	1000/5	2.5	0.2	0.5	0.1
RCL	1000/5	6.75	0.325	1.0	0.3
RDL	400/5	4.75	0.425	0.75	0.1
REL	900/5	4	0.2	0.75	0.2
RHL	1000/5	6.75	0.2	1.0	0.2

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายวรา ประชุมทอง
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 14 กรกฎาคม 2524
สถานที่เกิด	จังหวัดพัทลุง
ประวัติการศึกษา	ปี 2548 ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์