ปีการศึกษา 2537

ระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง 1

POWER SYSTEM SIMULATOR I

โดย

นายธีระชัย สมานทรัพย์

นายนรินทร์ ดอกนาค

นายมนต์ชัย อร่ามภัทรวงษ์

นายสมิตร์ ศิริปรีชากุล

วัน เดือน ปี 19 ม.ค. 2538

เลขทะเบียน 034962

เลขเรียกหนังสือ T 37962 ส.6

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2537

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง 1

ผู้จัดทำ

นายธีระชัย สมานทรัพย์

นายนรินทร์ ดอกนาค

นายมนต์ชัย อร่ามภัทรวงษ์

นายสมิตร์ ศิริปรีชากูล

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง 1

นายธีระชัย สมานทรัพย์
นายนรินทร์ ดอกนาค
นายมนต์ชัย อร่ามภัทรวงษ์
นายสมิตธ์ ศิริปรีชากูล
ผศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2537

บทคัดย่อ

ปัจจุบันในการศึกษาเกี่ยวกับระบบไฟฟ้ากำลัง และการป้องกัน สำหรับนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์นั้นมีความยุ่งยากในการศึกษาค้นคว้า ให้เห็นการทำงานจากระบบจริงได้ ทำให้ไม่สามารถเข้าใจถึงระบบไฟฟ้ากำลังได้ ปริญญานิพนธ์ในฉบับนี้จะกล่าวถึง การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและการป้องกันระบบไฟฟ้าจริงของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต นำมาทำการจัดสร้างขึ้นเป็นชุดทดลอง โดยค่าต่างๆที่นำมาสร้างชุดทดลองได้มาจากการเปอร์ยูนิต เปรียบเทียบกับระบบจริง เพื่อนำมาทดลองในห้องทดลอง ให้เห็นปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น ในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในระบบจริง โดยเฉพาะปัญหาเรื่องการลัดวงจร แรงดันสูงหรือต่ำเกินไป ซึ่งทำให้ระบบไม่มีเสถียรภาพ รวมถึงวิธีป้องกันโดยระบบรีเลย์ป้องกันชนิดต่างๆ การทดลองนี้ จะเป็นประโยชน์แก่นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่จะศึกษาเกี่ยวกับระบบไฟฟ้ากำลังต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POWER SYSTEM SIMULATION I

Mr. Teerachai Samarnsup

Mr. Narin Doknark

Mr. Monchai Arampatarawong

Mr. Smith Siripreechakul

Mr. Siriwat Potivejkul M.ENG Advisor

1994

ABSTRACT

Nowaday, there are difficulties for engineer in studying electical power system protections. When it is hard to see and comprehend from actual system, the comprehensible ideas of this subject may be impossible. For this thesis, we will refer to the distributuon and protective system of EGAT'S and emphatically system simulated by per unit method. For testing in laboratory will be show the problem in the power system, especially fault, surge, over or under voltage that will be no stability for the power system. Ultimately this project would be beneficial for electrical engineering students.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อ		I
ABSTRACT		II
สารบัญรูป		III
สารบัญตาราง		IV
บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการ	6
	2.1 ฟอลต์และสาเหตุการเกิด	6
	2.2 ระบบป้องกัน	9
	2.2.1 ขั้นตอนการทำงานของสวิทช์เกียร์	9
	2.2.2 อินสทรูเมนท์ ทรานสฟอร์มเมอร์	10
	2.2.3 รีเลย์ควบคุม	14
	2.2.4 การปิดเปิดวงจรในระบบไฟฟ้า	19
บทที่ 3	การคำนวณและการสร้าง	21
	3.1 การจำลองสภาวะผิดปกติ	21
	3.1.1 การเกิดไฟฟลัดวงจร	21
	3.1.2 การเกิดกระแสเกิน	24
	3.1.3 การเกิดแรงดันสูงเกินและต่ำเกิน	24
	3.1.4 การเรียงเฟสผิด	24
	3.1.5 การเกิดไฟฟ้ารั่วไหลลงดิน	24
	3.2 การสร้างและออกแบบอินสทรูเมนท์ ทรานสฟอร์มเมอร์	24
	3.2.1 การออกแบบ พีที	26
	3.2.2 การออกแบบ ซีที	26
	3.3 การออกแบบและการสร้างรีเลย์ป้องกัน	27
	3.4 วงจรกำลัง (Main Circuit)	27
	3.5 วงจรควบคุม (Control Circuit)	31
	3.6 การสร้างตัวเหนี่ยวนำในการจำลองการลัดวงจร	38
	3.7 การคำนวณพารามิเตอร์ของสายส่งที่จะจำลอง	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4	การทดสอบและการนำไปใช้งาน	42
	4.1 การใช้งานตัวเหนี่ยวนำในการจำลองการลัดวงจร	42
	4.2 การทดสอบและการใช้งานอินสทรูเมนต์ ทรานฟอร์มเมอร์	43
	4.2.1 ซีที	43
	4.2.2 พีที	46
	4.3 การทดสอบแผงสายส่ง	48
	4.3.1 วิธีทดสอบ	48
	4.3.2 ผลการทดสอบ	50
บทที่ 5	สรุปและวิจารณ์	53
ภาคผนวก		
กิตติกรรมประกาศ		
เอกสารอ้างอิง		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

			หน้า
รูป	1.1	ไดอะแกรมเส้นเดี่ยวของระบบไฟฟ้าจำลอง	4
รูป	2.1	ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์ลงดินโดยตรง	6
รูป	2.2	ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์ลงดินผ่านสายนิวทรอล	6
รูป	2.3	ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์ ในระบบเดลต้า (Delta)	7
รูป	2.4	ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์ ในระบบสตาร์ (Star) 3 เฟส 3 สาย	7
รูป	2.5	ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์ ในระบบ 3 เฟส 4 สาย	7
รูป	2.6	ดับเบิ้ล ไลน์-ทู-กราวน์	8
รูป	2.7	ทรีเฟส ฟอลต์	8
รูป	2.8	แสดงขั้นตอนการทำงานของสวิทช์เกียร์	9
รูป	2.9	โครงสร้างของหม้อแปลงอย่างง่าย	11
รูป	2.10	โพลาริตี้ของหม้อแปลง	12
รูป	2.11	สัญญลักษณ์แทนคอนแทกของรีเลย์ในวงจร	17
รูป	3.1	ไดอะแกรมเส้นเดี่ยวของระบบไฟฟ้าจำลอง	21
รูป	3.2	แสดงการจำลองการเกิดกระแสลัดวงจร	22
รูป	3.3	อินสทรูเมนท์ ทรานสฟอร์มเมอร์	25
รูป	3.4	วงจรกำลังของระบบ (MAIN CIRCUIT)	30
รูป	3.5	วงจรควบคุมระบบป้องกัน (ในส่วน A)	32
รูป	3.6	วงจรควบคุมระบบป้องกัน (ในส่วน B)	33
รูป	3.7	วงจรควบคุมระบบป้องกัน (ในส่วน C)	34
รูป	3.8	วงจรควบคุมระบบป้องกัน (ในส่วน D)	35
รูป	3.9	วงจรควบคุม Line-to-line Fault	36
รูป	3.10	วงจรควบคุม Line-to-ground Fault	37
รูป	3.11	ขนาดแผ่นเบคกาไลน์ที่ใช้ทำบ๊อบบิ้น	39
รูป	4.1	แสดงโครงสร้างของตัวเหนี่ยวนำ	42
รูป	4.2	วงจรการทดสอบ ซีที	44
รูป	4.3	การทดสอบโพลาริตี้ของ ซีที	45
รูป	4.4	วงจรการทดสอบ พีที	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 4.5 การทดสอบโพลาารตี้ของ พีที 47
รูป 4.6 วงจร Short line 48
รูป 4.7 วงจร Medium line แบบ π-network 48
รูป 4.8 วงจร Medium line แบบ T-network 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

			หน้า
ตาราง	4.1	ผลการทดสอบซีที ขนาด 640/5	44
ตาราง	4.2	ผลการทดสอบซีที ขนาด 255/4	45
ตาราง	4.3	ผลการทดสอบพีที ขนาด 127/5	47
ตาราง	4.4	ผลการทดสอบแผงสายส่งแบบ Short line	50
ตาราง	4.5	ผลการทดสอบแผงสายส่งแบบ π-network	51
ตาราง	4.4	ผลการทดสอบแผงสายส่งแบบ T-network	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ในระบบไฟฟ้ากำลังนั้น เราต้องใช้เงินลงทุนจำนวนมหาศาลเพื่อทำการผลิต ส่งและจ่ายกำลังไฟฟ้า จึงจำเป็นต้องมีการออกแบบและจัดการให้การจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังจุดที่มีการใช้ไฟฟ้าเป็นไปอย่างเชื่อถือได้และประหยัด

ในสภาวะปกติ กระแสไฟฟ้าจะไหลจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าผ่านตัวนำทองแดงหรืออลูมิเนียมในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator) หม้อแปลง (transformer) สายส่งไฟฟ้า (transmission line) และอุปกรณ์อื่น ๆ ไปยังโหลด กระแสไฟฟ้าถูกจัดให้ไหลในเส้นทางนี้ เพราะมีฉนวนหุ้มตัวนำอยู่ อย่างไรก็ตามอาจเกิดภาวะผิดปกติขึ้นในระบบกำลัง เช่น ฉนวนบางส่วนเสียหายหรือพังอันอาจเนื่องมาจากผลของอุณหภูมิที่ทำให้เสื่อมคุณภาพ หรืออาจเนื่องมาจากอุบัติเหตุทำให้ฉนวนแตกหักหรืออื่น ๆ เมื่อฉนวนพังหรือเสียหาย กระแสจะไหลผ่านส่วนอื่น ๆ ซึ่งไม่ใช่เส้นทางปกติ เรียกว่าเกิดการลัดวงจรหรือฟอลต์ (fault) เมื่อฟอลต์เกิดขึ้น พลังงานไฟฟ้าปริมาณมหาศาลสามารถทำความเสียหายหรือกระทบกระเทือนต่อระบบไฟฟ้ากำลังได้หลายอย่างดังนี้

1. ฟอลต์ที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปมีกระแสสูงมาก เป็นผลให้เกิดความร้อนสูงเกิน (over heating) ในส่วนต่าง ๆ ของระบบไฟฟ้าที่กระแสฟอลต์ไหลผ่าน

2. ระหว่างที่เกิดฟอลต์มักจะมีการอาร์ก (arc) เกิดขึ้นด้วย อุณหภูมิที่สูงขึ้นขณะอาร์กสามารถหลอมละลายหรือทำให้สารต่าง ๆ ระเหยไปได้ในพริบตา ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายของอุปกรณ์ไฟฟ้า และอาจเกิดไฟไหม้ด้วย

3. ฟอลต์ทำให้แรงดันของระบบต่ำหรือสูงกว่าพิสัยที่ยอมรับได้

4. ฟอลต์อาจจะทำให้ระบบสามเฟสเกิดความไม่สมดุลย์เป็นผลทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานไม่ถูกต้อง

5. ฟอลต์เป็นอุปสรรคต่อการส่งกำลังไฟฟ้าไปยังจุดที่ต้องการใช้กำลังไฟฟ้า

6. ฟอลต์อาจทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังทั้งระบบสูญเสียเสถียรภาพเป็นผลทำให้เกิดไฟดับทั่วทุกแห่ง (black out)

ความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังนอกจากการลัดวงจรหรือฟอลต์ซึ่งให้ผลเสียหายร้ายแรงที่สุดแล้ว ยังมีความผิดปกติอื่น ๆ ได้แก่ การเกิดภาวะแรงดันสูงเกิน (over voltage) หรือต่ำเกิน (under voltage) อันเนื่องมาจากอุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้าไม่ปกติ การเรียงลำดับเฟสผิด การเกิดความถี่ต่ำ (under frequency) อันเนื่องมาจากกำลังผลิตทางไฟฟ้าไม่เพียงพอกับระบบ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังอาจเกิดจากสายตัวนำขาดหรือการเสียหายของฉนวน ซึ่งอาจเกิดจากลม หิมะ หรือสาเหตุทางกลอื่น ๆ ฉนวนไฟฟ้าโดยทั่วไปจะเป็นอากาศหรือวัสดุที่มีความต้านทานจำเพาะสูง ฉนวนที่เป็นอากาศอาจเกิดการลัดวงจรได้จาก นก หนู งู หรือกิ่งไม้ ฯลฯ หรือการลัดวงจรอาจเนื่องมาจากขบวนการที่ทำให้เกิดไอออนที่มีต้นเหตุมาจากคลื่นฟ้าผ่า ฉนวนที่เป็นสารอินทรีย์อาจเสื่อมคุณภาพเนื่องจากความร้อนหรืออาจพัง (breakdown) เนื่องจากแรงดังคลื่นฟ้าผ่า (lightning) หรือที่เกิดจากการสวิทช์ (switching) ฉนวนลูกถ้วยอาจเกิดทางผ่านกระแสไฟฟ้าเนื่องจากฝุ่นหรือเกลือจับเกาะ ฟอลต์ที่เกิดขึ้นกับส่วนสำคัญของระบบอาจทำให้ระบบไม่มีเสถียรภาพได้ เช่น ฟอลต์ที่เกิดขึ้นในบริเวณบัสบาร์ (bus bar) ของโรงจักรไฟฟ้า อาจทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกชุดในโรงจักรนี้เสียเสถียรภาพได้ด้วย

ในทางปฏิบัติ เนื่องจากขีดจำกัดทางเศรษฐกิจ เราจึงไม่สามารถออกแบบระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อหลีกเลี่ยงความผิดปกติได้อย่างสมบูรณ์ แต่เราอาจเพิ่มมาตรการเพื่อลดผลเสียหาย เนื่องจากฟอลต์และความผิดปกติได้ เช่น การออกแบบเพื่อจำกัดขนาดกระแสลัดวงจร การออกแบบตัวนำให้มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะทนแรงเค้นและความร้อนสูงในช่วงเวลาสั้น ๆ และที่สำคัญที่สุดคือการออกแบบระบบรีเลย์ป้องกัน (protective relay)

จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าระบบป้องกันเป็นสิ่งจำเป็นมากและจะขาดเสียไม่ได้เลยในระบบไฟฟ้ากำลังทุกระบบ ซึ่งรวมไปถึงระบบไฟฟ้ากำลังจำลองที่เราได้ทำการปรับปรุงขึ้นมานี้ด้วย

สำหรับเนื้อหาเกี่ยวกับการจำลองปรากฏการณ์ผิดปกติต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้ในระบบไฟฟ้ากำลังมีดังนี้

1. การเกิดไฟฟ้าลัดวงจร (short circuit)
2. การเกิดกระแสเกิน (over current)
3. การเกิดแรงดันสูงเกินหรือต่ำเกิน (over and under voltage)
4. การเกิดไฟฟ้ารั่วไหลลงดิน (earth leakage)
5. การเรียงเฟสผิด

ระบบไฟฟ้ากำลังเราจะจำแนกออกได้เป็น 3 ส่วน คือ

1. <u>ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า</u> (Generating System) หรือโรงจักรไฟฟ้า (Power Plant) เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่จะจ่ายเข้าสู่ระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission System) โรงจักรไฟฟ้า (Power Plant) ประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ส่วนที่ผลิตไฟฟ้า
- ลานไกไฟฟ้า (Switchyard)
- ส่วนป้องกันการเดินเครื่อง
- ส่วนควบคุมเครื่อง

สำหรับระบบแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของโรงจักรไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ มีทั้งที่จ่ายออกในระบบ 13.9 KV, 11 KV และ 3.5 KV แล้วเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น โดยมีลานไกไฟฟ้าเป็นส่วนที่เพิ่มแรงดันเพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า ซึ่งมีแรงดันไฟฟ้า 500 KV, 230 KV, 115 KV และ 69 KV โดยเชื่อมสายส่งแรงสูงนี้ต่อถึงกันเกือบทุกแหล่งผลิตทั่วประเทศ ทำให้ระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นไปอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ

2. ระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission System) ประกอบด้วย

2.1 สายส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission line) เป็นชุดของสายตัวนำสำหรับส่งพลังงานไฟฟ้าจากโรงจักรไฟฟ้าไปยังสถานีเปลี่ยนแรงดัน ซึ่งเป็นการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไปยังผู้ใช้หรือแหล่งจ่ายไฟฟ้าและเป็นการส่งพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตต่าง ๆ กันไปยังศูนย์กลางของโหลด (load center) ในกรณีที่มีแหล่งผลิตหลายแห่งอย่างห่าง ๆ กัน นอกจากนี้ยังเป็นการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า (tie line) จากระบบหนึ่งไปยังอีกระบบหนึ่ง ในกรณีที่ระบบหนึ่งมีกำลังผลิตไม่เพียงพอก็สามารถรับจากอีกระบบหนึ่งได้

ประโยชน์ของการเชื่อมโยงสายส่งกำลังไฟฟ้า

1. สามารถถ่ายเทพลังงานไฟฟ้าจากระบบหนึ่งไปยังอีกระบบหนึ่งทำให้ช่วยลดกำลังผลิตไฟฟ้า ในขณะที่มีการใช้ไฟฟ้าไม่มากลงได้ ซึ่งช่วยให้ประหยัดพลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า

2. สามารถเชื่อมโยงแหล่งผลิตพลังงานหลาย ๆ ชนิดถึงกันได้ซึ่งช่วยให้สามารถวางโปรกรมการเดินเครื่องอย่างประสิทธิภาพ

3. ช่วยให้ระบบมีความมั่นคงในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีแหล่งผลิตไฟฟ้าหลายทาง

2.2 สถานีเปลี่ยนแรงดัน (Substation) เป็นแหล่งที่รับพลังงานไฟฟ้าจากสายส่งหรือจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเพื่อถ่ายผ่านสู่ระบบจำหน่าย ประกอบด้วย

- ส่วนเปลี่ยนแรงดัน
- ส่วนตัดตอน
- ส่วนควบคุม
- ส่วนป้องกันระบบ เป็นต้น

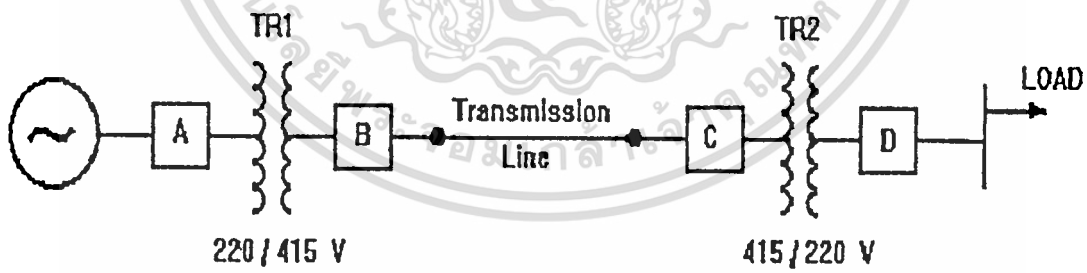
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่และจุดประสงค์ของสถานีเปลี่ยนแรงดัน

1. เป็นจุดเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้า
2. เป็นจุดปรับระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบให้คงที่
3. เป็นจุดเชื่อมระบบสายส่งและระบบจำหน่ายไฟฟ้า ทำหน้าที่ในการตัดตอนออกจากระบบและนำเข้าสู่ระบบ
4. เป็นจุดวัดปริมาณทางไฟฟ้า เช่น แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า เป็นต้น
5. เป็นจุดเชื่อมโยงระบบสื่อสาร และการป้องกันในระบบสายส่ง
6. เป็นตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า อุปกรณ์ตัดตอน อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินพิกัดและอุปกรณ์อื่น ๆ ที่จำเป็น

3. ระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้า (Distribution System) ได้แก่
   - สายจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงที่จ่ายจากสถานีเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้า
   - หม้อแปลงลดแรงดันไฟฟ้า
   - สายจำหน่ายแรงดันต่ำที่จ่ายให้แก่โหลดหรือผู้ใช้ไฟฟ้า

สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังจำลองสามารถแสดงให้เห็นในรูปไดอะแกรมเส้นเดี่ยวได้ดังรูป



รูปที่ 1.1 ไดอะแกรมเส้นเดี่ยวของระบบไฟฟ้าจำลอง

ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญ ดังนี้

1. ส่วนผลิตพลังงานไฟฟ้า (Generator Station)
2. ส่วนเพิ่มแรงดันไฟฟ้า (Step-up Transformer)
3. ส่วนสายส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission Line)
4. ส่วนลดแรงดันไฟฟ้า (Step-down Transformer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ส่วนของโหลด (Load)
6. ส่วนของระบบป้องกัน (Protection) ได้แก่ A, B, C, D

โดยที่เราจะจำลองส่วนต่าง ๆ เหล่านี้ได้ในห้องทดลองดังนี้

ส่วนผลิตพลังงานไฟฟ้า

ในระบบจริงจะเป็นโรงจักรไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดพิกัดใหญ่มาก ๆ แต่ในระบบจำลองเราจะแทนด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มาจากระบบในห้องทดลองโดยใช้ขนาด 3 KW 220 V 3 phase

ส่วนที่เพิ่มแรงดันไฟฟ้า

เนื่องจากเราเลือกค่าแรงดันไฟฟ้าที่จะป้อนให้สายส่งไฟฟ้ามีขนาด 415 V (เลือกตามความเหมาะสมของอุปกรณ์ที่ใช้ทำสายส่ง) ดังนั้นหม้อแปลงที่ไฟฟ้าที่ใช้จึงออกแบบให้มีขนาดพิกัดเป็น 7.5 KVA 220/415 V ต่อแบบสตาร์-สตาร์ (Y-Y) ในระบบจริงจะมีขนาดพิกัดเป็น MVA และขนาดแรงดันในระดับ KV

ส่วนสายส่งกำลังไฟฟ้า

ในส่วนนี้เราไม่สามารถหาสายส่งจริง ๆ มาทำการทดลองได้จึงต้องสร้างเป็นวงจรที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน (R), ตัวเหนี่ยวนำ (L), และตัวเก็บประจุ (C) แทนสายส่งที่มีความยาวต่าง ๆ กัน การหาค่า RLC นี้ค่อนข้างจะยุ่งยากเพราะเมื่อหาค่า RLC ที่ระดับจริงได้แล้ว จึงใช้วิธีเปอร์ยูนิตแปลงมาที่ระบบจำลอง แต่ค่า C ที่ได้อาจจะมีค่าไม่ตรงกับค่า C ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ดังนั้นจึงต้องมีการเลือกค่ากระแสของระบบจำลองใหม่เพื่อให้ค่า C มีขนาดตรงกับค่า C ที่เราสามารถหาได้

ส่วนลดแรงดันไฟฟ้า

เป็นหม้อแปลงที่ทำหน้าที่ลดแรงดันจากสายส่งให้มีค่าต่ำลงมาจ่ายให้กับโหลด ซึ่งเราเลือกระดับแรงดันที่จ่ายให้กับโหลดมีขนาดเท่ากับ 220 V ดังนั้นหม้อแปลงของส่วนนี้จึงออกแบบให้มีขนาดพิกัด 7.5 KVA 415/220 V ต่อแบบ Y-Y

ส่วนของโหลด

ในระบบจริงก็คือผู้ใช้ไฟฟ้าซึ่งเราจะแทนด้วยโหลดที่หาได้ในห้องทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

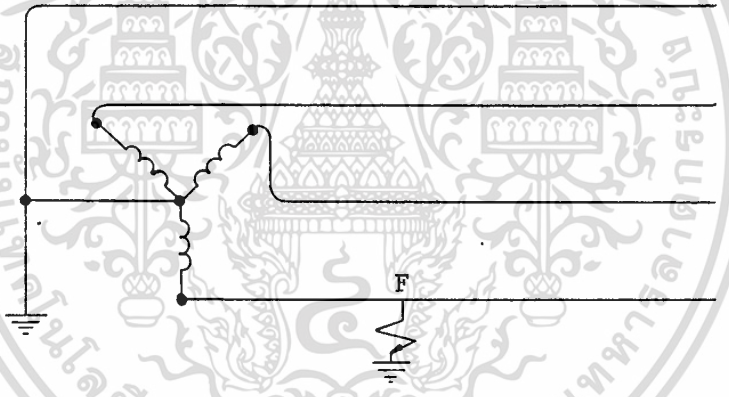
บทที่ 2
ทฤษฎี และหลักการ

2.1 ฟอลต์และสาเหตุการเกิด

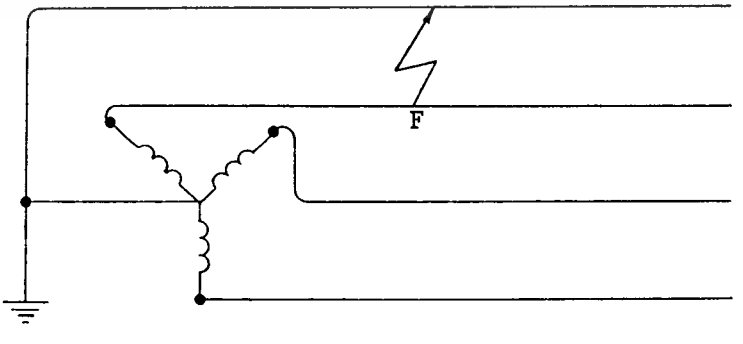
การเกิดฟอลต์หรือการเกิดลัดวงจรในระบบไฟฟ้ากำลังโดยทั่ว ๆ ไปนั้น เราอาจจะแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ

1) ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์ (Line-to-ground Fault)

ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์ คือ การที่สายไฟเส้นใดเส้นหนึ่งเกิดการลัดวงจรลงดิน ทั้งที่ลัดวงจรลงดินโดยตรง หรือโดยผ่านสายนิวทรอล (Neutral) หรือสายกราวน์ (Overhead Ground Wire) ดังในรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์ ลงดินโดยตรง

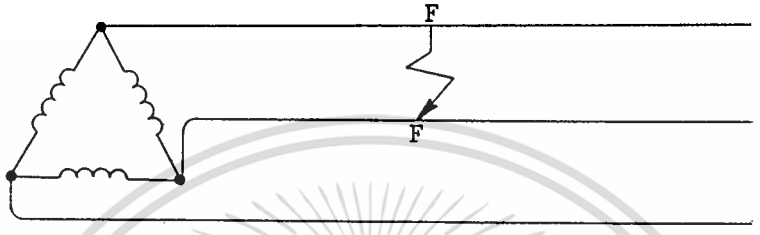


รูปที่ 2.2 ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์ ลงดินผ่านสายนิวทรอล

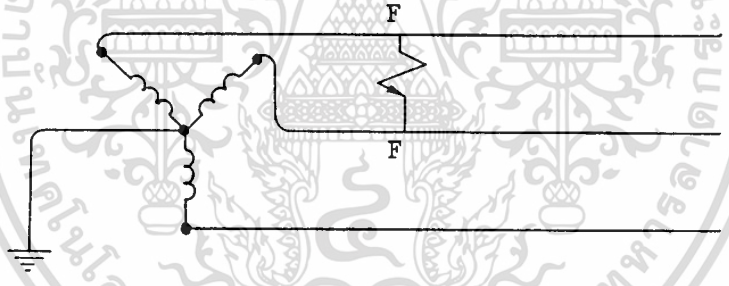
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) <u>ไลน์-ทู-ไลน์ ฟอลต์</u> (Line-to-line Fault)

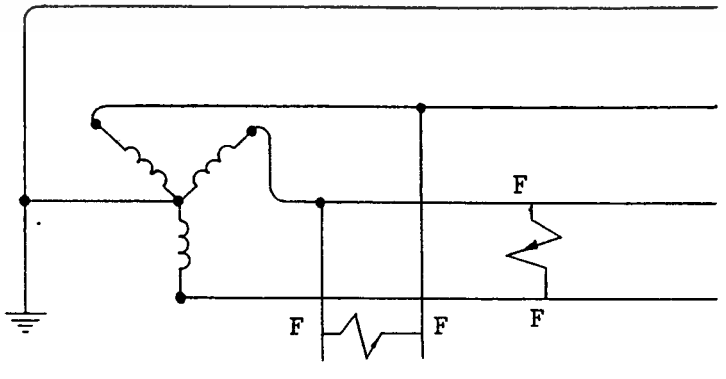
ไลน์-ทู-ไลน์ ฟอลต์ คือ การที่สายเฟสจำนวน 2 เส้น เกิดการลัดวงจรถึงกัน ดังรูปที่ 2.3 รูปที่ 2.4 และรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.3 ไลน์-ทู-ไลน์ ฟอลต์ ในระบบเดลต้า (Delta)



รูปที่ 2.4 ไลน์-ทู-ไลน์ ฟอลต์ ในระบบสตาร์ (Star) 3 เฟส 3 สาย

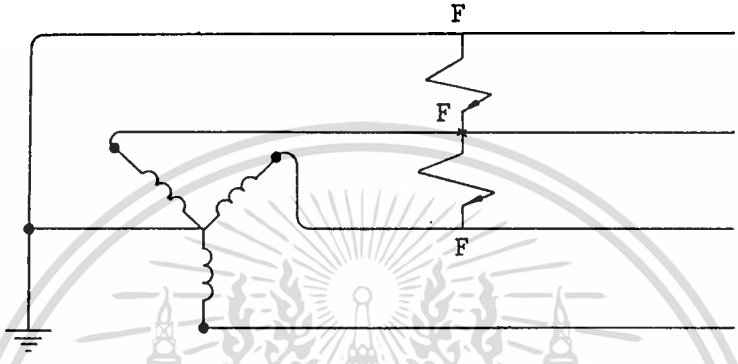


รูปที่ 2.5 ไลน์-ทู-ไลน์ ฟอลต์ ในระบบ 3 เฟส 4 สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) <u>ดับเบิ้ล-ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์</u> (Double-line-to-ground Fault)

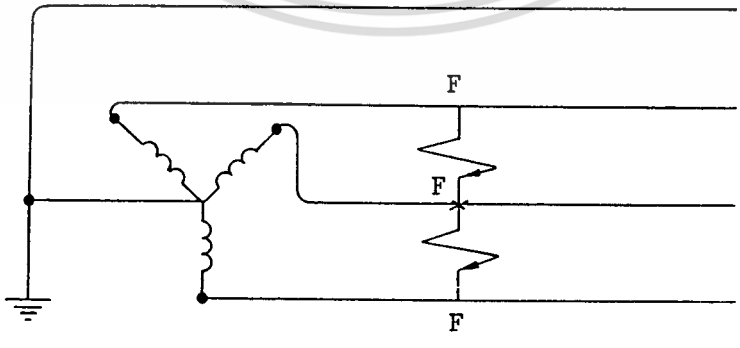
ดับเบิ้ล-ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์ เกิดขึ้นเมื่อสายเฟสจำนวน 2 สาย เกิดการลัดวงจรถึงกันและลงดินด้วย ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ดับเบิ้ล-ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์

4) <u>ทรี-เฟส ฟอลต์</u> (Three-phase Fault)

ทรี-เฟส ฟอลต์ เกิดขึ้นเมื่อสายเฟสทั้งสามเกิดการลัดวงจรถึงกันทั้ง 3 เฟส ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ทรี-เฟส ฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากฟอลต์จะแบ่งประเภทออกได้ดังกล่าวแล้ว เรายังอาจแบ่งได้ตาม ลักษณะอีกอย่างหนึ่งดังนี้ คือ

1) ฟอลต์ชั่วคราว (Temporary Fault) เช่น กิ่งไม้ กิ่งไผ่ หรือใบไม้ ถูกลมพัดไปแตะถูกสายไฟ ฟอลต์เหล่านี้เกิดขึ้นเพียงชั่วคราวแล้วอาจหลุดออกหรือถูกอาร์กไหม้ขาดหลุดออกไปจนไม่แตะสายไฟ

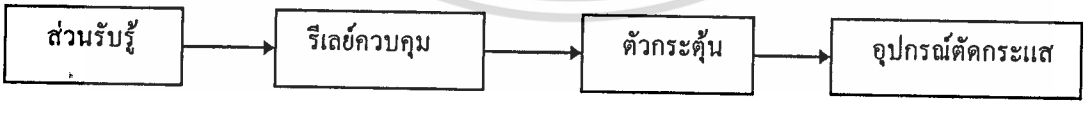
2) ฟอลต์ถาวร (Permanent Fault) เช่น สายขาดตกลงบนพื้นดิน สายหลุดออกจากลูกถ้วยหล่นลงมาพาดไม้คอน มีเหล็กหรือเส้นโลหะแตะพาดสาย ต้นไม้ล้มทับสาย เสาล้มทำให้แตะพื้นดิน

2.2 ระบบป้องกัน

เมื่อมีสาเหตุผิดปกติเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง ระบบป้องกันจะมีหน้าที่ตัดตอนวงจรไฟฟ้าส่วนนั้นออกจากระบบ โดยใช้อุปกรณ์ที่เราเรียกว่า "สวิทช์เกียร์" (Switchgear) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับปิดเปิดวงจรไฟฟ้าและสามารถตัดกระแส ขณะมีโหลดหรือฟอลต์ได้ และอุปกรณ์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวโดยตรง ซึ่งได้แก่ ชุดควบคุม (Control Device) ชุดเครื่องวัด (Metering Device) ชุดเรกกูเลติ้ง (Regulating Device) และยังจะรวมถึงส่วนต่าง ๆ ของอุปกรณ์ดังกล่าวที่ต่อร่วมกัน ชิ้นส่วนประกอบอื่น ๆ (Accessories) โครงห่อหุ้มอุปกรณ์ (Enclosure) และโครงยึดอุปกรณ์ (Supporting Structure)

2.2.1 <u>ขั้นตอนการทำงานของสวิทช์เกียร์</u>

ในการใช้สวิทช์เกียร์เพื่อป้องกันระบบ (System Protection) จำเป็นจะต้องอาศัยอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่สำคัญของสวิทช์เกียร์ร่วมประสานงานกัน 4 ส่วน คือ



รูปที่ 2.8 แสดงขั้นตอนการทำงานของสวิชเกียร์

1) ส่วนรับรู้ (Sensing Device) ได้แก่ อินสทรูเมนท์ทรานสฟอร์มเมอร์ (Instrument Transformer) หรือ ซีที (C.T.) พีที (P.T.) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นยามระวังเหตุ เมื่อมีเหตุการณ์ผิดปกติเกิดขึ้นในระบบก็จะส่งสัญญาณบอกเหตุมายังรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
034962

2) รีเลย์ควบคุม (Control Relay) ได้แก่ รีเลย์ต่าง ๆ ซึ่งจะทำหน้าที่รับสัญญาณบอกเหตุจากซีที หรือพีที โดยจะได้รับกระแสไฟฟ้าจากซีที หรือพีที หรือแหล่งจ่ายไฟอื่น ๆ เพื่อให้พลังงาน (Energize) ขดลวดของตัวเอง แล้วต่อคอนแทค (Contact) ให้ทริปคอยล์ (Trip Coil) หรือโคลสซิ่งคอยล์ (Closing Coil) ของสวิทช์เกียร์ทำงาน

3) ตัวกระตุ้น (Actuator) ได้แก่ วงจรทริปคอยล์ วงจรโคลสซิ่งคอยล์ และชุดกลไก (Mechanism) ที่ส่งความเคลื่อนไหวให้ชุดอินเตอร์รัพเตอร์ (Interrupter) ปิดเปิดวงจรได้ ซึ่งเมื่อทริปคอยล์หรือโคลสซิ่งคอยล์ของสวิชเกียร์ถูกให้พลังงาน จะไปกระตุ้นให้ชุดกลไก (Mechanism) ส่งความเคลื่อนไหวให้คอนแทคในชุดอินเตอร์รัพเตอร์ปิดเปิดวงจรได้

4) อุปกรณ์ตัดกระแส (Interrupter of Circuit Breaker) คือส่วนที่ทำหน้าที่ปิดเปิดคอนแทคของวงจรและดับอาร์ค ประกอบด้วยส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

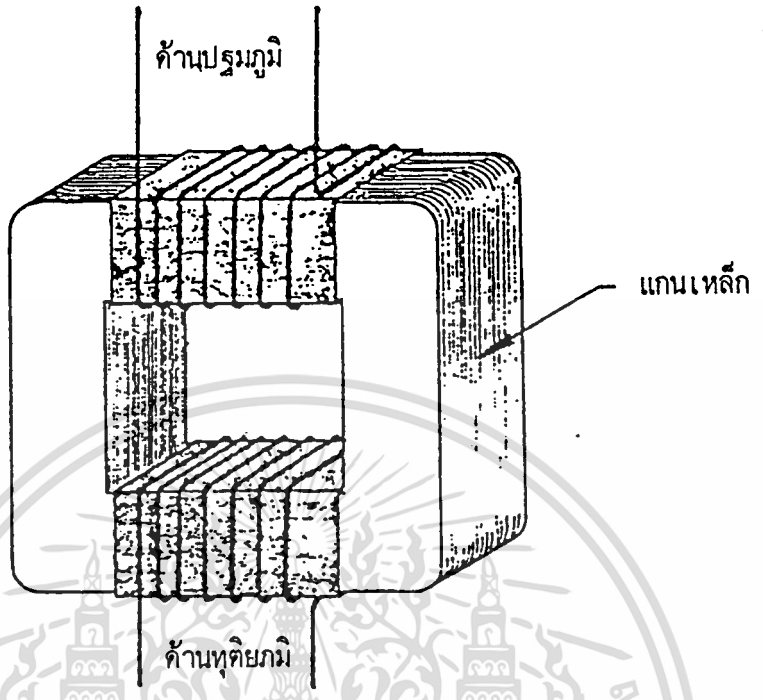
1. คอนแทคอยู่กับที่ (Fixed Contact)
2. คอนแทคเคลื่อนที่ (Moving Contact)
3. ห้องดับอาร์ค (Arc Chamber)
4. ตัวกลางดับอาร์ค (Arc Extinction Media) เช่น น้ำมัน อากาศ (ลมอัด) แก๊ส SF_6 และสูญญากาศ เป็นต้น

2.2.1 <u>อินสทรูเมนทรานสฟอร์มเมอร์</u> (Instrument Transformer)

อินสทรูเมนทรานสฟอร์มเมอร์ที่ใช้เป็นอุปกรณ์รับรู้ (Sensing Devices) ส่งสัญญาณบอกเหตุมายังรีเลย์ โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ ซีที หรือเคอเร้นทรานสฟอร์มเมอร์ (Current Transformer) และพีที หรือโพเทนเชียลทรานสฟอร์มเมอร์ (Potential Transformer) ใช้ในการลดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมแก่การใช้งานกับมิเตอร์หรือรีเลย์หรืออุปกรณ์อื่น ๆ

อินสทรูเมนทรานสฟอร์มเมอร์ มีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน คือ วงจรไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ (Primary Electrical Circuit) วงจรไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ (Secondary Electrical Circuit) และวงจรสนามแม่เหล็ก (Core Magnetic Circuit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของหม้อแปลงอย่างง่าย ๆ

<u>โพลาริตี้ (Polarity) ของอินสทรูเมนทรานสฟอร์มเมอร์</u>

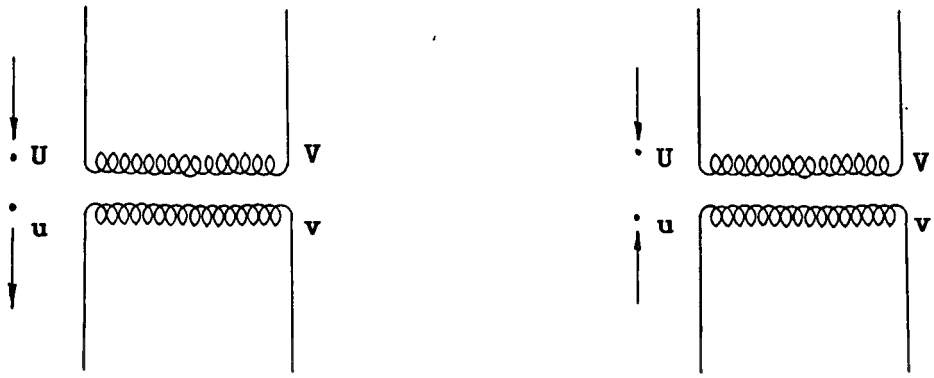
โพลาริตี้ เป็นเครื่องแสดงความสัมพันธ์ของทิศทางการไหลของกระแสทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลง ซึ่งขึ้นอยู่กับทิศทางการพันขดลวดของหม้อแปลง

โพลาริตี้ของหม้อแปลง แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. แบบขั้วหักล้างกัน (Subtractive Polarity) หมายถึง การที่หม้อแปลงซึ่งเมื่อกำหนดให้ทางด้านปฐมภูมิมีกระแสไหลเข้าที่ขั้วใดขั้วหนึ่ง และจะมีกระแสไหลออกทางด้านทุติยภูมิที่ขั้วตรงกัน (เช่น ซีทีขั้ว K ตรงกับขั้ว k หรือพีทีขั้ว U ตรงกับขั้ว u) ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ก.

2. แบบขั้วเสริมกัน (Additive Polarity) หมายถึงการที่หม้อแปลงซึ่งเมื่อกำหนดให้ทางด้านปฐมภูมิมีกระแสไหลเข้าที่ขั้วใดขั้วหนึ่ง และทางด้านทุติยภูมิจะมีกระแสไหลเข้าที่ตรงกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. Subtractive polarity ข. Additive polarity

รูปที่ 2.10 โพลาริตี้ของหม้อแปลง

อินสทรูเมนทรานสฟอร์มเมอร์ที่ใช้โดยทั่วไป จะมีขั้วเป็นแบบขั้วหักล้างกัน โดยจะมีเครื่องหมายหรือตัวอักษรกำกับที่ขั้วของอินสทรูเมนทรานสฟอร์มเมอร์ ทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิแสดงความสัมพันธ์ของกระแส "เข้า" และ "ออก" เช่น อาจจะใช้เครื่องหมาย "." แสดงไว้ เครื่องหมายนี้หากอยู่ทางขั้วใดของทางด้านปฐมภูมิ แสดงว่ากระแสเข้าทางขั้วนั้น และขณะเดียวกันกระแสทางด้านทุติยภูมิจะออกจากขั้วที่มีเครื่องหมายนี้

ในการใช้งานต่อซีทีร่วมกันหรือต่อพีทีร่วมกัน โดยใช้กับมิเตอร์ หรือรีเลย์ หรืออุปกรณ์อื่น ๆ ในระบบ 3 เฟส จะต้องต่อขั้วให้ถูกต้อง (ตามแผนผังการวางสาย [Diagram Wiring] ของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ) ถ้าหากต่อผิดขั้ว จะทำให้มิเตอร์อ่านค่าได้ผิดพลาด หรือหากใช้กับรีเลย์ด้วยแล้ว ยิ่งมีความสำคัญมาก หากต่อผิดจะทำให้การทำงานของรีเลย์ไม่เป็นไปตามความต้องการ ฉะนั้นทุกครั้งที่มีการต่อซีทีหรือพีทีใช้งานร่วมกันควรตรวจสอบเสียก่อนว่าเครื่องหมายบนซีทีและพีทีถูกต้องหรือไม่ ถ้าต่อซีทีหรือพีทีใช้งานเพียงตัวเดียวแบบซิงเกิลเฟส (Single Phase) เรื่องขั้วก็ไม่จำเป็นต้องคำนึงถึง แต่ในกรณีที่ต้องต่อซีทีร่วมกับพีทีในระบบซิงเกิลเฟส จำเป็นจะต้องให้ถูกขั้วด้วย

ซีที (Current Transformer)

ซีที คือ หม้อแปลงกระแสที่ใช้สำหรับลดค่ากระแสจากจำนวนมาก ลงมาเหลือจำนวนน้อย เพื่อให้เหมาะสมแก่การใช้งานของอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น รีเลย์ มิเตอร์ และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ประกอบ ซีทีที่ใช้งานโดยทั่ว ๆ ไปมักจะมีอัตราส่วนเป็น ..../5A เช่น 600/5, 500/5, 400/5,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

300/5, 200/5, 150/5, 100/5, 75/5 และ 50/5A เป็นต้น ทางด้านทุติยภูมิ อาจจะมีขดลวดเดียวหรือหลายขดก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับงานที่ต้องการจะใช้

สิ่งที่ควรทราบเกี่ยวกับคุณสมบัติของซีที

ในการพิจารณาใช้ซีทีให้เหมาะสมแก่การใช้งาน จะต้องพิจารณาถึงค่าต่าง ๆ ของซีทีดังนี้ คือ

1. ค่าพิกัดกระแสทางด้านปฐมภูมิ และทุติยภูมิ
2. ค่าพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ
3. ค่าเบอร์เดน (Burden) คือ ค่าพิกัดโหลดภายนอกที่ต่อกับด้านทุติยภูมิของซีทีมีหน่วยเป็นโวลท์-แอมป์ (VA)

ความคลาดเคลื่อนของซีที

ความคลาดเคลื่อนของซีทีเกิดขึ้นเนื่องจาก

1. การเปลี่ยนแปลงความถี่ ความคลาดเคลื่อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่ต่ำลงความต้านทานและความร้อนจะสูงขึ้น เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น
2. การเปลี่ยนรูปลักษณะของคลื่นกระแส (Current Wave Form) อันเนื่องมาจากฮาร์โมนิกที่สาม (3 rd Harmonic) แต่การเปลี่ยนแปลงนี้ไม่ทำให้ความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นมากนักสามารถที่จะติดตั้งได้
3. ความคลาดเคลื่อน อันเนื่องมาจากซีที ตั้งอยู่ใกล้กับสายไฟที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเป็นจำนวนมาก เช่นประมาณ 2,000 A หรือสูงกว่านั้น เส้นแรงแม่เหล็กจะเข้าไปผ่านแกนเหล็กของซีทีมาก จะก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูงกว่าปกติ
4. ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการใช้งาน ในการใช้งานไม่ความใช้ซีที ให้เกินพิกัด หากเกินพิกัดแล้ว ความคลาดเคลื่อนจะมีมาก หากจำเป็นต้องใช้เกินพิกัดไม่ควรจะเกินกว่า 10%

การเปิดวงจรด้านทุติยภูมิ (Open Secondary Circuit)

ด้านทุติยภูมิของซีทีหรือด้านกระแสต่ำ จะต้องไม่เปิดวงจรไว้ ในขณะที่ด้านปฐมภูมิของซีทีหรือด้านกระแสสูงมีกระแสไหลอยู่ ในกรณีที่เปิดด้านทุติยภูมิไว้ จะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็กเพิ่มขึ้นซึ่งจะมีผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าสูงทางด้านทุติยภูมิ หากแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีค่าสูงมาก อาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ใช้และอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ด้วยได้โดยง่าย ฉะนั้นในการปฏิบัติงานถ้าจำเป็นต้องถอดสายทางด้าน ทุติยภูมิออก จะต้องลัดวงจรที่ขั้วของทางด้านทุติยภูมิไว้ก่อนเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พีที (Potential Transformer)

พีที คือ หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ลดค่าแรงดันไฟฟ้าสูง ๆ ให้เหลือค่าแรงดันต่ำ ๆ ให้เหมาะสมต่อการใช้งานกับมิเตอร์ หรือรีเลย์ หรืออุปกรณ์อื่น ๆ

ความคลาดเคลื่อนของพีที

ความคลาดเคลื่อนของพีทีขึ้นอยู่กับ

1. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของขดลวด เนื่องจากความต้านทานของขดลวดเปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง แต่ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากอุณหภูมินี้จะมีค่าน้อยมาก คือ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปประมาณ 45 องศาเซลเซียส ความคลาดเคลื่อนจะมีปริมาณ 0.1% ซึ่งน้อยมากและอาจตัดทิ้งได้

2. การเปลี่ยนรูปลักษณะคลื่นของแรงดัน อันเนื่องมาจากเกิดฮาร์โมนิกที่สาม (3rd Harmonic) จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย ซึ่งในทางปฏิบัติอาจไม่ต้องคำนึงก็ได้

3. ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแรงดัน ตามปกติแรงดันต่ำกว่าที่กำหนด จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย แต่จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูงเมื่อแรงดันสูงกว่าที่กำหนด นอกจากนี้ยังทำให้เกิดความร้อนในทางปฏิบัติ แรงดันไม่ควรเกิน 10% ของแรงดันที่กำหนด

4. ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ ตามปกติพีทีออกแบบไว้ใช้กับความถี่ขนาดเดียว ซึ่งอาจจะเป็น 50 หรือ 60 เฮิรทซ์ หากใช้พีทีที่ความถี่อื่นซึ่งสูงกว่ามาก จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน แต่ความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยมากซึ่งอาจจะตัดทิ้งได้

2.2.3 รีเลย์ควบคุม (Control Relay)

การเปิดและปิดวงจรในขณะที่ระบบไฟฟ้าอยู่ในสภาพปกตินั้น เราสามารถใช้คนเปิดและปิดวงจรเมื่อใดก็ได้ตามต้องการ แต่ในขณะที่ระบบไฟฟ้าอยู่ในสภาพผิดปกติเช่น เกิดฟอลต์ขึ้นในระบบ จำเป็นต้องตัดวงจรไฟฟ้าออกจากระบบด้วยความเร็วสูงมีหน่วยเป็นวินาทีหรือน้อยกว่า เพื่อป้องกันอันตรายและลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบพร้อมทั้งยังทำให้ระบบสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าต่อไปได้โดยมีความสูญเสียน้อยที่สุด ซึ่งความเร็วสูงที่ใช้ในการตัดวงจรนี้ ไม่อยู่ในวิสัยที่คนจะไปตัดวงจรได้ทัน จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ป้องกันเข้ามาควบคุมและค้นหาสภาพผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบ แล้วสั่งใช้เซอร์กิตเบรคเกอร์เปิดและปิดวงจรด้วยความเร็วสูงโดยอัตโนมัติ เราเรียกอุปกรณ์ป้องกันนี้ว่า "รีเลย์" (Relay)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบโปรเทคทีฟรีเลย์ (Protective Relay)

โปรเทคทีฟรีเลย์ จะต้องไม่ทำงานในขณะที่ระบบอยู่ในสภาพปกติ แต่จะทำงานทันทีที่เกิดผิดปกติขึ้นในระบบ การใช้โปรเทคทีฟรีเลย์จะต้องคำนึงถึงขีดจำกัดและสภาพของระบบที่จะป้องกันด้วย เพราะการมีระบบป้องกันมากเกินไปอาจทำให้ระบบเลวลงเช่นเดียวกับการมีระบบป้องกันน้อยเกินไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการออกแบบติดตั้งโปรเทคทีฟรีเลย์ให้เหมาะสมกับระบบที่จะป้องกัน ซึ่งจะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้คือ

1. รีไลอะบิลิตี้ (Reliability) รีเลย์ที่จะนำมาใช้งานต้องทำงานได้ถูกต้องตามคุณสมบัติและขอบเขตที่กำหนดให้ทำงาน

2. สปีด (Speed) ความเร็วในการทำงานของรีเลย์แต่ละชนิดที่จะนำมาใช้งานต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับระบบที่จะป้องกันว่าต้องการใช้ความเร็วสูงเท่าใดในการสั่งปิดและเปิดเซอร์กิตเบรคเกอร์ เพื่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบน้อยที่สุด

3. ซีเล็กติวิตี้ (Selectivity) จะต้องออกแบบให้รีเลย์เลือกและสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ตัวที่อยู่ใกล้ส่วนที่เกิดฟอลต์มากที่สุดตัดวงจรเฉพาะส่วนนั้นออกไป โดยให้กระทบกระเทือนต่อระบบหลักน้อยที่สุด ซึ่งจะต้องจัดระบบการทำงานของรีเลย์ในแต่ละส่วนของระบบป้องกันให้ทำงานได้สัมพันธ์กัน

4. อีโคโนมิก (Economic) จะต้องออกแบบให้รีเลย์สามารถทำงานได้ตามความต้องการมากที่สุด โดยใช้เงินลงทุนน้อยที่สุด

5. ซิมพลิซิตี้ (Simplicity) จะต้องออกแบบระบบรีเลย์ให้ดูง่ายที่สุด หลีกเลี่ยงการใช้ระบบที่ยุ่งยากซับซ้อน

ในการป้องกันระบบไฟฟ้าด้วยโปรเทคทีฟรีเลย์ จำเป็นต้องศึกษาระบบและเข้าใจปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระบบเสียก่อน ดังนั้นจึงต้องมีข้อมูลที่สำคัญเพื่อใช้ในการออกแบบระบบป้องกันด้วยโปรเทคทีฟรีเลย์ ดังนี้

1. รูปแบบของระบบ หมายถึง ไดอะแกรมเส้นเดี่ยว (Single Line Diagram) ของระบบทั้งหมดที่ต้องการป้องกัน รูปแบบของระบบจะต้องแสดงรายละเอียด ตำแหน่งและขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขนาดและการต่อขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า ตำแหน่งของเซอร์กิตเบรคเกอร์ การจัดบัสบาร์ การจัดวงจรของสายส่งหรือสายจำหน่าย ขนาดของสายส่งหรือสายจำหน่าย ตลอดจนระบบแรงดันและขนาดของโหลด

2. ระบบป้องกันเดิมและปัญหาที่มีอยู่ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการดัดแปลงแก้ไขหรือเพิ่มเติมให้ระบบป้องกันใหม่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ระดับการป้องกันที่ต้องการ ซึ่งจะต้องพิจารณาถึงการจัดวงจรและความสามารถในการทำงานของระบบ เช่น ระบบที่ต้องการป้องกันนั้นเหมาะสมที่จะใช้รีเลย์แบบที่ทำงานด้วยความเร็วสูง ปานกลาง หรือความเร็วต่ำ และต้องการให้มีการปิดกลับวงจรทันทีทันใดหรือไม่ (Instantaneous Reclosing) เป็นต้น

4. การศึกษาฟอลต์ชนิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระบบ เช่น ทรีเฟสฟอลต์ (Three-phase Fault) , ฟอลต์ระหว่าง ไลน์ (Line to line Fault) และฟอลต์ระหว่างเฟสกับดิน (Line to ground Fault) เป็นต้น เพื่อหาวิธีป้องกันที่ดีที่สุดสำหรับฟอลต์ทุกแบบ

5. โหลดสูงสุด ตำแหน่งและขนาดของ ซีที พีที ค่าอิมพิแดนซ์ของหม้อแปลงและสายส่ง เป็นต้น

รีเลย์สามารถแบ่งออกตามลักษณะโครงสร้างเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือ อิเล็กโตรแมคคานิก รีเลย์ (Electro-mechanic Relay) และสแตติก รีเลย์ (Static Relay)

- อิเล็กโตรแมคคานิก รีเลย์ ที่สำคัญได้แก่

1. แอตแทรกเตด อาร์เมเจอร์ รีเลย์ (Attracted Armature Relay)
2. บาลานซ์ บีม รีเลย์ (Balance Ream Relay)
3. อินดักชั่น ดิส รีเลย์ (Induction Disc Relay)
4. อินดักชั่น คัพ รีเลย์ (Induction Cup Relay)
5. เปอร์มาเนนท์ แมคเนต มูฟวิ่ง คอยล์ รีเลย์ (Permanent Magnet Moving Coil Relay)
6. เทอร์มอล รีเลย์ (Thermal Relay)

- สแตติก รีเลย์

รีเลย์แบบนี้ใช้สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ทำงานแทน โดยไม่มีส่วนเคลื่อนที่เหมือนในแบบอิเล็กโตรแมคคานิก รีเลย์ จึงทำงานได้รวดเร็วและมีความเชื่อถือสูง แต่การใช้งานของสแตติก รีเลย์ ยังไม่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง เนื่องจากอิเล็กโตรแมคคานิก รีเลย์ถูกใช้งานมานาน ได้รับความเชื่อถือพอสมควร และปัจจุบันยังมีราคาถูกกว่าสแตติก รีเลย์

ข้อได้เปรียบของสแตติก รีเลย์ เมื่อเทียบกับอิเล็กโตรแมคคานิก รีเลย์

1. สแตติก รีเลย์มีค่าเบอร์เดน (Burden) หรือ VA ต่ำกว่า อิเล็กโตรแมคคานิก รีเลย์
2. สแตติก รีเลย์คืนตัวกลับสู่สภาพเริ่มต้น (Reset) ได้รวดเร็วและไม่มีโอเวอร์ชู้ต (Overshoot) เนื่องจากไม่มีส่วนเคลื่อนที่ จึงไม่มีแรงเฉื่อยเนื่องจากการเคลื่อนที่ทำให้เกิดโอเวอร์ชู้ต (การเกิดโอเวอร์ชู้ตของรีเลย์ หมายถึง การเคลื่อนที่ต่อไปข้างหน้าอีกเล็กน้อยของจานหรือคอนแทคเคลื่อนที่ของรีเลย์ จึงเริ่มหมุนกลับมาที่จุดเริ่มต้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ไม่มีความเสียดทานของแบริ่ง (Bearing) และปัญหาเนื่องจากคอนแทค จึงทำงานได้รวดเร็ว ถูกต้อง บำรุงรักษาน้อย มีอายุการใช้งานนานและทนต่อการสั่นสะเทือนได้ดี

4. ไม่มีการสึกหรอเมื่อทำงานมากครั้ง เหมือนในแบบอิเล็กโตรแมคคานิก รีเลย์

5. มีการขยายสัญญาณทำให้มีเซนซิติวิตี้ (Sensitivity) สูง

6. ใช้พลังงานต่ำ ทำให้ใช้อุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กได้

แม้ว่า สเตติก รีเลย์จะมีข้อได้เปรียบดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ก็มีข้อเสียบางส่วน คือ

1. คุณสมบัติการทำงานจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ

2. อาจเสียหายหรือชำรุดเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่สูงเกินกำหนด เช่น ไฮโวลเตจเสิร์จ (High Voltage Surge) และอุณหภูมิที่มีค่าสูง

3. วงจรของรีเลย์แบบนี้ใช้ส่วนประกอบชิ้นเล็ก ๆ และมีรอยต่อจำนวนมาก จึงมีโอกาสที่จะชำรุดเสียหายได้ง่ายกว่าแบบ อิเล็กโตรแมคคานิก รีเลย์

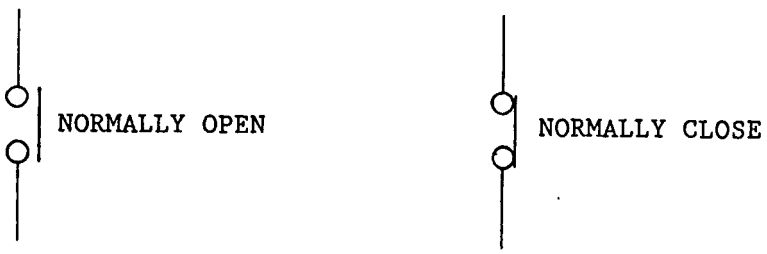
4. ทนกระแสโหลดและแรงดันไฟฟ้าที่เกินพิกัดได้ในช่วงเวลาสั้นกว่าอิเล็กโตรแมคคานิก- รีเลย์

คอนแทค รีเลย์ (Contact Relay)

คอนแทคที่ประกอบอยู่ในวงจรรีเลย์ สามารถแบ่งตามลักษณะการทำงานออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. แบบปกติเปิด หรือ นอร์มัลลี โอเพน คอนแทค (Normally Open Contact) เมื่อรีเลย์อยู่ในสภาพไม่ทำงาน (De-energized) คอนแทคของรีเลย์จะเปิดอยู่ บางครั้งเรียกคอนแทคชนิดนี้ว่า เมคคอนแทค (Make Contact) หรือ "a" Contact

2. แบบปกติ หรือ นอร์มัลลี โคลส คอนแทค (Normally Close Contact) เมื่อรีเลย์อยู่ในสภาพไม่ทำงาน (De-energized) คอนแทคของรีเลย์จะปิดอยู่ บางครั้งเรียกคอนแทคชนิดนี้ว่า เบรคคอนแทค (Break Contact) หรือ "b" Contact



รูปที่ 2.11 สัญญลักษณ์แทน คอนแทค ของรีเลย์ในวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีเลย์ที่ใช้ในการสั่งงานให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ทำงานโดยอัตโนมัติ เพื่อป้องกันระบบนั้น ที่ใช้กันอยู่ทั่ว ๆ ไป ได้แก่

1. โอเวร์เคอเร้น รีเลย์ (Overcurrent Relay) คือ รีเลย์ที่จะทำงานเมื่อเกิดกระแสเกินพิกัด เนื่องจากเกิดการลัดวงจรหรือฟอลต์ในระบบ ซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดขึ้นได้บ่อยกว่าข้อขัดข้องอื่น ๆ โดยปกติโอเวอร์เคอเร้น รีเลย์ แบ่งออกตามลักษณะการทำงานได้เป็น 2 แบบ ซึ่งประกอบร่วมอยู่ในชุดเดียวกันคือมี

- แบบทันทีทันใด (Instantaneous) เป็นการทำงานแบบทันทีทันใด ใช้ในกรณีมีฟอลต์หรือเกิดการลัดวงจรที่มีค่ากระแสสูง ๆ (Short Circuit)

- แบบหน่วงเวลา (Time-delay) เป็นการทำงานแบบหน่วงเวลา ใช้ในกรณีเมื่อเกิดโอเวอร์โหลด หรือฟอลต์ที่มีค่ากระแสน้อย ๆ หรือใช้ประสานงานร่วมกับรีเลย์ตัวอื่น ๆ ในระบบป้องกัน ซึ่งมีทั้งแบบ เวลาคงที่ (Fixed Time) คือกระแสจะมีค่ามากน้อยเท่าใดก็ตาม ถ้าเกินกว่าพิกัดแล้ว โอเวอร์เคอเร้น รีเลย์ จะทำงานด้วยเวลาเท่ากัน แบบเวลาผกผัน (Inverse Time) คือ ถ้ากระแสเกินกว่าพิกัดมาก ก็จะทำงานเร็วขึ้น ถ้ากระแสน้อยก็ใช้เวลานานขึ้น

2. ออโต รีโคลส รีเลย์ (Auto Reclose Relay) คือ รีเลย์ที่ใช้ในการสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ปิดกลับ (Reclose) วงจรเข้าไปโดยอัตโนมัติตามจำนวนครั้งและเวลาที่ตั้งไว้

3. เอิร์ทฟอลต์ รีเลย์ (Earth Fault Relay) หรือ (Ground Fault Relay) คือ รีเลย์ที่จะทำงานเมื่อสายเฟสเกิดกราวน์ขึ้นในระบบ ลักษณะการทำงานเช่นเดียวกับโอเวอร์เคอเร้นรีเลย์

4. อันเดอร์ โวลเตจ รีเลย์ (Under Voltage Relay) คือ รีเลย์ที่จะทำงานเมื่อมีระดับแรงดันลดต่ำกว่าพิกัด

5. โอเวอร์ โวลเตจ รีเลย์ (Over Voltage Relay) คือ รีเลย์ที่จะทำงานเมื่อมีระดับสูงกว่าพิกัด

6. เฟส-ซีเควนซ์ รีเลย์ (Phase Sequence Relay) คือ รีเลย์ที่ใช้ตรวจสอบการเรียงลำดับเฟสว่าถูกต้องหรือไม่

7. รีเลย์วัดระยะทาง (Distance Relay) คือ รีเลย์ที่ทำหน้าที่หาตำแหน่งของฟอลต์โดยการตอบสนองต่อค่าอิมพิแดนซ์ (Impedance) ที่รีเลย์วัดได้ นิยมใช้ในการป้องกันสายส่งไฟฟ้า

8. ดิฟเฟอเรนเชียล รีเลย์ (Differential Relay) คือ รีเลย์ที่วัดเปรียบเทียบความผิดแผกแตกต่างของปริมาณไฟฟ้า ทางด้านอินพุท (Input) และทางเอาท์พุท (Output) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือ หม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 <u>การปิดเปิดวงจรในระบบไฟฟ้า</u>

อุปกรณ์หลักของสวิชเกียร์ คือ ชุดอุปกรณ์ตัดตอนกระแส หรือที่เรียกว่า "เซอร์กิตเบรคเกอร์" (Circuit Breaker : C.B) ซึ่งเซอร์กิตเบรคเกอร์โดยทั่วไปจะแบ่งส่วนที่สำคัญได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. อินเตอร์รัพเตอร์ (Interrupter) คือ ส่วนที่ทำหน้าที่ปิดเปิดวงจรและดับอาร์ก
2. โอเปอเรตติ้ง แมคคานิซึ่ม (Operating Mechanism) คือ ส่วนที่เป็นกลไกกำกับการทำงานของอินเตอร์รัพเตอร์

นอกจากการใช้เซอร์กิตเบรคเกอร์สำหรับปิดวงจรในสภาวะปกติแล้ว ประโยชน์อันสำคัญยิ่งในประการอื่นก็คือ ใช้ทริปวงจรเมื่อเกิดฟอลต์หรือเกิดลัดวงจร ซึ่งกระแสฟอลต์อาจมีค่าสูงเป็นหลาย ๆ เท่าของกระแสใช้งานปกติ (Normal Current) และอาร์กก็จะรุนแรงขึ้นไปตามส่วนด้วย การทริปวงจรในกรณีนี้จำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์อื่น ประกอบ เพื่อช่วยให้เซอร์กิตเบรคเกอร์สามารถทำงานตัววงจรได้โดยอัตโนมัติ และสามารถสับวงจรเข้าไปใหม่ (Reclose) ได้โดยอัตโนมัติตามจำนวนครั้งที่ตั้งไว้ และเมื่อฟอลต์ได้ผ่านพ้นไปแล้ว (Clear) ก็จะสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านเซอร์กิตเบรคเกอร์ต่อไปตามปกติ การใช้เซอร์กิตเบรคเกอร์ในลักษณะดังกล่าวนี้ จึงเป็นทั้งอำนวยความสะดวก ให้ความปลอดภัยแก่ระบบ และเพิ่มพูนความมั่นคงให้แก่ระบบอีกด้วย ซึ่งพอจะสรุปหน้าที่การทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์ได้ดังนี้

1. นอร์มอล สวิชชิ่ง (Normal Switching) คือการปิดเปิดวงจรในสภาวะที่มีกระแสโหลดไหลตามปกติ
2. ฟอลต์ อินเตอร์รัพชั่น (Fault Interruption) คือการทริปวงจรเมื่อเกิดฟอลต์ หรือข้อขัดข้องต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้า โดยอาศัยรีเลย์เป็นตัวสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ทำงานตัดวงจรโดยอัตโนมัติ
3. เซอร์กิต รีโคลสชิ่ง (Circuit Reclosing) คือ การปิดกลับวงจรเข้าไปใหม่หลังจากที่เซอร์กิตเบรคเกอร์ได้ทริปวงจร เพื่อให้เซอร์กิตเบรคเกอร์สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าตามปกติได้ เมื่อฟอลต์หรือข้อขัดข้องในวงจรได้ผ่านพ้นไปแล้ว โดยอาศัยรีเลย์เป็นคำสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ปิดวงจรกลับได้โดยอัตโนมัติตามจำนวนครั้งที่ตั้งไว้

เซอร์กิตเบรคเกอร์ที่ใช้งานกันอยู่ทั่ว ๆ ไปในปัจจุบันมีอยู่หลายประเภท แต่ที่สำคัญ ๆ ได้แก่

1. แอร์เบรค เซอร์กิตเบรคเกอร์ (Air-break Circuit Breaker)
2. แอร์บลาสต์ เซอร์กิตเบรคเกอร์ (Air-blast Circuit Breker)
3. ออยล์ เซอร์กิตเบรคเกอร์ (Oil Circuit Breaker)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. แก๊ส เซอร์กิตเบรคเกอร์ (Gas Circuit Breaker : SF_5)
5. แวคคิวอัม เซอร์กิตเบรคเกอร์ (Vacuum Circuit Breaker)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

3.1 การจำลองสภาวะผิดปกติ

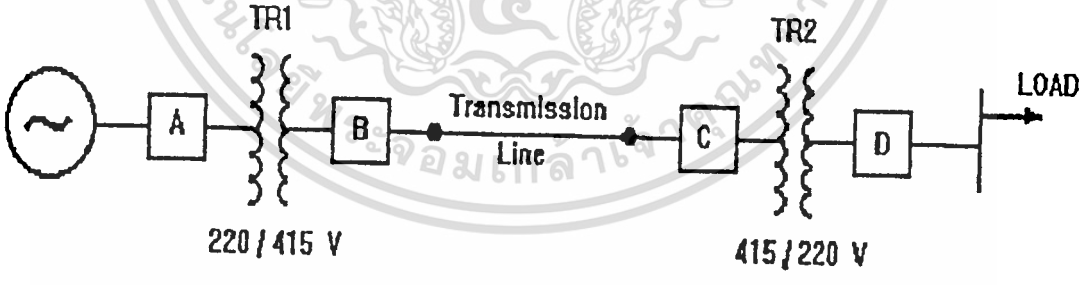
ในปริญญานิพนธ์นี้ เราจะทำการจำลองสภาวะผิดปกติทั้งหมด 6 ประเภท ซึ่งได้แก่

1. การเกิดไฟฟ้าลัดวงจร
2. การเกิดกระแสเกิน
3. การเกิดแรงดันสูงเกิน และการเกิดแรงดันต่ำเกิน
4. การเรียงเฟสผิด
5. การเกิดไฟฟ้ารั่วลงดิน

โดยจะมีรายละเอียดของการจำลองสภาวะผิดปกติแต่ละประเภท ดังนี้

3.1.1 <u>การเกิดไฟฟ้าลัดวงจร</u>

ก่อนอื่นขอให้พิจารณาไดอะแกรมเส้นเดี่ยวของระบบไฟฟ้าจำลองที่สร้างขึ้นมา ดังรูปที่ 3.1

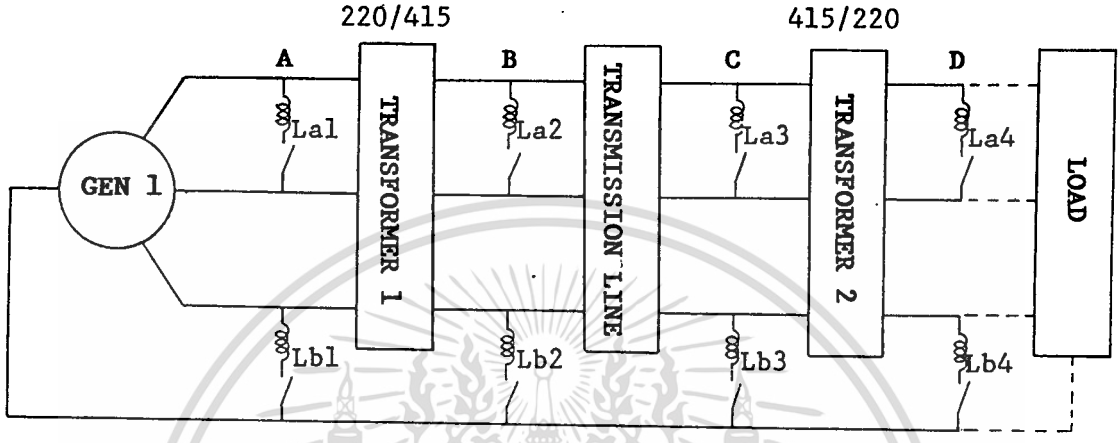


รูปที่ 3.1 ไดอะแกรมเส้นเดี่ยวของระบบไฟฟ้าจำลอง

จากรูปที่ 3.1 จะเห็นตำแหน่ง A, B, C และ D เป็นตำแหน่งที่เราจะทำการจำลองการเกิดไฟฟ้าลัดวงจาขึ้นมา ในการจำลองนี้เนื่องจากมีข้อจำกัดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ ซึ่งมีกระแสเต็มพิกัด (Rated Current) เพียง 8.5 แอมป์ ทำให้เราไม่สามารถทำการลัดวงจรจริง ๆ ขึ้นมาได้ ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องใช้ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) มาทำการจำกัดกระแสลัดวงจรที่สร้างขึ้นมาให้ได้ตามที่ต้องการ สำหรับสาเหตุที่เราใช้ตัวเหนี่ยวนำในกรณีนี้ แทนที่จะใช้ตัวต้านทานก็เพราะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเหนี่ยวนำมีการสูญเสีย (Loss) น้อย และสามารถสร้างให้ได้ค่าต่าง ๆ ตามที่เราต้องการได้ง่าย กว่าค่าอิมพิแดนซ์ชนิดอื่น ๆ



รูปที่ 3.2 แสดงการจำลองการเกิดกระแสลัดวงจร

สำหรับในที่นี้ เราจะกำหนดให้เกิดกระแสลัดวงจรเฉพาะในกรณีไร้ภาระ (No Load) ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการจำกัดค่ากระแสลัดวงจรให้ได้ตามต้องการ ซึ่งเราจะพิจารณาจากที่ตำแหน่ง A ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีกระแสลัดวงจรที่มีค่ามากที่สุด เราจะกำหนดให้เป็น 9 แอมป์ (พิจารณาจากกระแสเต็มพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งมีค่า 8.5 แอมป์) ส่วนที่ตำแหน่ง B เนื่องจากต้องผ่านหม้อแปลงตัวที่ 1 ทำให้กระแส 9 แอมป์ จะลดเหลือเพียง 4.77 แอมป์ (จาก $V_1/V_2 = I_2/I_1$; 220/415 = I_2 ; I_2 = 4.77) จากรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่า แต่ละตำแหน่งของ A, B, C และ D นั้น เราต้องการค่าความเหนี่ยวนำ 2 ค่า คือเพื่อสร้าง ไลน์-ทู-ไลน์ ฟอลต์ (L_a) และสร้าง ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์ (L_b)

ซึ่งค่าความเหนี่ยวนำของที่ตำแหน่ง A เราจะหาได้จาก

กรณี ไลน์-ทู-ไลน์ ฟอลต์

V_L = 220 โวลท์ (V) ; ไลน์-ทู-ไลน์ โวลเตจ

I_{sc} = 9 แอมป์ (A) ; กระแสลัดวงจรที่เราต้องการ

จาก $V_L = I_{sc} \times X_{La1}$

$220 = 9 \times X_{La1}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X_{La1} = 24.44 โอห์ม (Ω)

จาก X_L = $2 \times \pi \times f \times L$

24.44 = $2 \times \pi \times 50 \times L_{a1}$

L_{a1} = 77.81 มิลลิเฮนรี่ (mH)

กรณี ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์

V_{LN} = 127 V ; ไลน์-ทู-กราวน์ โวลเตจ

I_{sc} = 9 A

ในทำนองเดียวกัน จะได้ว่า

X_{Lb1} = 14.11 โอห์ม

L_{b1} = 44.92 มิลลิเฮนรี่

ที่ตำแหน่ง B

กรณี ไลน์-ทู-ไลน์ ฟอลต์

X_{La2} = 87.00 โอห์ม

L_{a2} = 276.94 มิลลิเฮนรี่

กรณี ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์

X_{Lb2} = 50.31 โอห์ม

L_{b2} = 160.14 มิลลิเฮนรี่

ส่วนตำแหน่ง C นั้น จะเห็นได้ว่า มีโวลเตจและกระแสเท่ากับตำแหน่ง B

ดังนั้น เราจะให้ค่า L_{a3} = 276.94 มิลลิเฮนรี่

และ L_{b3} = 160.14 มิลลิเฮนรี่

ในทำนองเดียวกัน ที่ตำแหน่ง D ก็จะเหมือนกับตำแหน่ง A คือ

La4 = La1 = 77.81 มิลลิเฮนรี่

Lb4 = Lb1 = 44.92 มิลลิเฮนรี่

จากที่กล่าวมาอาจมีข้อขัดแย้งที่ว่า เมื่อเราคิดค่ากระแสลัดวงจรเท่ากันหมดทั้ง 4 ตำแหน่งแล้ว รีเลย์ที่ใช้ตัดกระแสลัดวงจร อาจเกิดการทำงานที่ผิดพลาด โดยตัดกระแสพร้อมกันหมดไม่ว่าเราจะทำการทดลองกระแสลัดวงจรที่จุดใดก็ตาม ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว จะไม่เป็นเช่นนั้น ทั้งนี้เป็นเพราะสาเหตุ 2 ประการคือ

<u>ประการแรก</u> เนื่องจาก ค่าอิมพิแดนซ์ของหม้อแปลงและสายส่งในระบบทำให้เกิดค่าโวลเตจ- ดรอป (Voltage Drop) ขึ้น ทำให้ค่ากระแสลัดวงจรที่ได้ลดลงไปด้วย ยกตัวอย่างเช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีการเกิดกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่ง B เอาท์พุทโวลเตจ (Output Voltage) ของหม้อแปลงอาจจะเหลือเพียง 410 โวลท์ แทนที่จะเป็น 415 โวลท์ ซึ่งจะทำให้ค่ากระแสลัดวงจรที่ได้ มีค่าไม่ถึง 4.77 แอมป์ตามที่ได้คำนวณไว้ และจะมีผลให้กระแสทางด้านอินพุทของหม้อแปลงมีค่าไม่ถึง 9 แอมป์ด้วย ดังนั้นรีเลย์ที่ตำแหน่ง A ก็จะไม่ทำงาน ส่วนที่ตำแหน่งอื่น ๆ ก็เช่นเดียวกัน

ประการที่สอง ในการใช้งานของโอเวอร์เคอเรนท์รีเลย์นั้น เราจะต้องมีการโคออร์ดิเนชั่น (Coordination) ของรีเลย์ทั้งระบบก่อน ซึ่งจะทำให้เราสามารถเซ็ท (Set) ค่าของเวลาในการทริปของรีเลย์แต่ละตำแหน่งให้สัมพันธ์กันได้ด้วย ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในเรื่องของโอเวอร์เคอเรนท์รีเลย์ต่อไป

3.1.2 การเกิดกระแสเกิน

ในการจำลองสภาวะการเกิดกระแสเกินนั้น เราจะใช้การต่อโหลดขนานเพิ่มเข้าไปกับโหลดในสภาวะปกติ ซึ่งจะทำให้กระแสไหลในระบบเพิ่มมากขึ้น

3.1.3 การเกิดแรงดันสูงเกินและต่ำเกิน

การเกิดสภาวะผิดปกติเช่นนี้ เราสามารถจำลองได้โดยการปรับจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ปรับที่กระแสฟิลด์) โดยตรงให้ได้ค่าตามที่ต้องการ

3.1.4 การเรียงเฟสผิด

การเรียงเฟสผิดนี้ เราสามารถจำลองได้ง่ายมาก คือ เพียงแต่ต่อสายเฟส 3 สายให้สลับกัน [ไม่เรียงตามเฟสซีเควนซ์ (Phase Sequence)] เท่านั้น

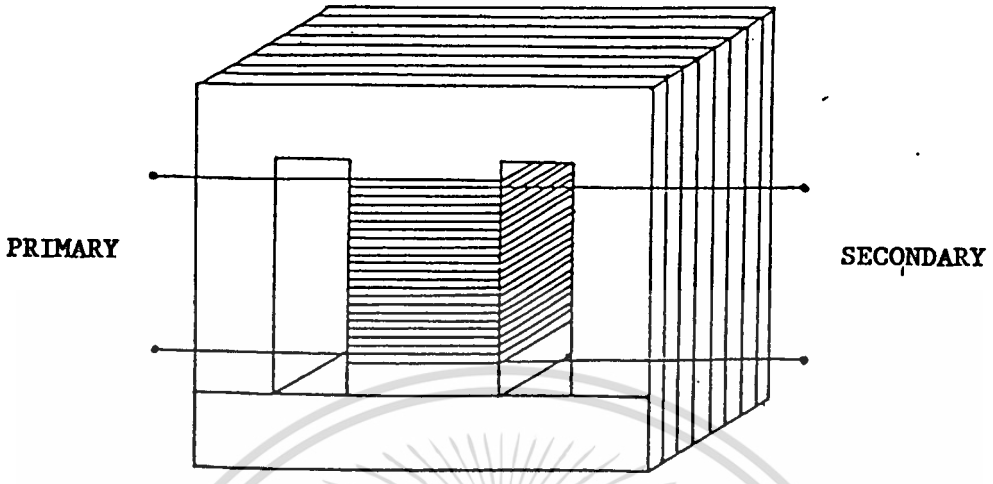
3.1.5 การเกิดไฟฟ้ารั่วไหลลงดิน

การเกิดสภาวะรั่วไหลลงดิน คือ การที่เกิดกระแสบางส่วน ซึ่งมักจะมีค่าน้อยๆ รั่วไหลลงเอิร์ธ (Earth) ของระบบ

3.2 การสร้างและออกแบบอินสทรูเมนท์ ทรานสฟอร์มเมอร์

อินสทรูเมนท์ ทรานสฟอร์มเมอร์ ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ ทั้ง พีที และซีที จะใช้การออกแบบโดยหลักการของหม้อแปลงธรรมดาทั้งหมด มีรูปร่างและลักษณะดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 อินสทรูเมนท์ ทรานสฟอร์มเมอร์

สำหรับแกนเหล็กที่ใช้จะเป็นแกนเหล็กขนาด 1 นิ้ว ซึ่งเป็นแกนเหล็กสำเร็จรูป ประกอบด้วยแกน E และแกน I นำมาเรียงสลับกัน

สูตรที่ใช้ในการออกแบบอินสทรูเมนท์ ทรานสฟอร์มเมอร์ที่สำคัญ ๆ มี 2 สูตรคือ

สูตรที่ 1

$$E = 4.44fNAB$$

โดย E = อินดิวซ์โวลเตจ (Induce Voltage) ที่ต้องการ (โวลท์)

f= ความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ใช้

= 50 เฮิร์ทซ์ (Hz)

N = จำนวนรอบของขดลวด (รอบ)

A = พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก

= 6.4516×10^{-4} ตารางเมตร (m^2)

B = ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก

= 1 เทสลา (Tesla)

และสูตรที่ 2

$$a = N_1/N_2 = V_1/V_2 \quad I_2/I_1$$

โดยที่ a= เทอร์นเรโช (Turn Ratio) ของหม้อแปลง

N_1 = จำนวนขดลวดด้านปฐมภูมิ (รอบ)

N_2 = จำนวนขดลวดด้านทุติยภูมิ (รอบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V_1 = โวลเตจด้านปฐมภูมิ (โวลท์)

V_2 = โวลเตจด้านทุติยภูมิ (โวลท์)

I_1 = กระแสด้านปฐมภูมิ (แอมป์)

I_2 = กระแสด้านทุติยภูมิ (แอมป์)

3.2.1 การออกแบบพีที

ก่อนอื่น เราต้องกำหนดโวลเตจด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ (V_1, V_2) เสียก่อน โดย V_1 จะดูได้จากตำแหน่งของพีทีที่จะนำไปติดตั้งในระบบและลักษณะการติดตั้ง เช่น ติดตั้งที่ตำแหน่ง A (จากรูปที่ 3.1) ในลักษณะไลน์-ทู-ไลน์ แสดงว่า V_1 จะมีค่าเท่ากับ 220 โวลท์ เป็นต้น จากนั้นก็มาพิจารณาค่าของ V_2 โดยดูจาก โหลดของพีทีตัวนั้นว่าเป็นอะไร (มิเตอร์, รีเลย์ ฯลฯ) และต้องการโวลเตจเท่าไร เมื่อทราบค่าของทั้ง V_1 และ V_2 แล้ว ก็นำไปคำนวณหาจำนวนขดลวดทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ (N_1, N_2) จากสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 ต่อมาก็มาหาขนาดของขดลวดที่จะนำมาใช้พัน โดยพิจารณาจากโหลดของพีทีว่าต้องการกระแสประมาณเท่าใด กระแสที่ได้นี้จะเป็นกระแสด้านทุติยภูมิ (I_2) ส่วนกระแสด้านปฐมภูมิ (I_1) เราก็จะหาได้จากสูตรที่ 2 เมื่อได้ขนาดของกระแสทั้ง 2 ด้านแล้ว เราก็นำกระแสที่ได้นั้นมาเลือกลวดได้ตามต้องการ โดยในการเลือกควรจะเผื่อขนาดให้ใหญ่ไว้บ้างเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะในกรณีที่เราทำการจำลองสภาวะการเกิดแรงดันสูงเกินนั้น อาจทำให้เกิดกระแสสูงกว่าปกติได้ สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ โหลดของพีทีจะเป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กโทรนิกส์เป็นส่วนใหญ่ จึงใช้ลวดเบอร์ 30 SWG (ทนกระแสได้ประมาณ 1 แอมป์) ก็เป็นการเพียงพอ

3.2.2 การออกแบบซีที

หลักการก็จะคล้ายกันกับกรณีของพีที แต่จะกลับกันที่ว่า ในกรณีนี้เราจะต้องกำหนดกระแสทั้งด้านปฐมภูมิ และทุติยภูมิเสียก่อน โดย I_1 เราก็จะดูจากตำแหน่งของซีทีที่จะนำไปติดตั้งและขนาดของกระแสลัดวงจรที่เราจะทำการจำลอง ณ ตำแหน่งนั้น ๆ ส่วน I_2 เราก็จะพิจารณาจากโหลดของซีทีว่าเป็นอะไร ต้องการกระแสเท่าไร จากนั้นเราก็จะได้ขนาดของขดลวดทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ ต่อมาก็ทำการหาโวลเตจทางด้านทุติยภูมิ (V_2) จากโหลด แล้วจึงนำไปคำนวณหาจำนวนขดลวดทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิจากสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2

ในการใช้งานอินสทรูเมนท์ทรานสฟอร์มเมอร์นี้มีข้อที่ควรระวังไว้ประการหนึ่งคือ การต่อซีที่เข้ากับระบบต้องต่อแบบอนุกรมเท่านั้น และในทางตรงกันข้ามการต่อพีทีเข้ากับระบบก็ต้องต่อแบบขนานเท่านั้นเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบและการสร้างรีเลย์ป้องกัน

รีเลย์ป้องกันในปริญญานิพนธ์นี้ เราจะทำการสร้างขึ้นมาเพื่อทำการแก้ไขสภาวะผิดปกติต่างๆ ที่เราทำการจำลองขึ้นมา ดังที่กล่าวมาแล้ว โดยจะใช้อุปกรณ์ทางอิเล็กโทรนิกส์เป็นส่วนใหญ่ และหลักการสำคัญก็คือ การเปรียบเทียบขนาดของสัญญาณ 2 สัญญาณ โดยสัญญาณหนึ่งจะเป็นสัญญาณอ้างอิงที่เราทำการสร้างขึ้นมา (Reference Signal Level) ส่วนอีกสัญญาณหนึ่งจะเป็นสัญญาณที่เรารับมาจากอินสทรูเมนท์ ทรานสฟอร์มเมอร์ ซึ่งจะแสดงถึงการทำงานจริงๆ ของระบบในขณะนั้นว่าเป็นอย่างไร

ในสภาวะปกติ สัญญาณทั้งสองนี้ควรมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน แต่เมื่อใดที่สัญญาณทั้งสองนี้ต่างกันเกินกว่าค่าที่เราตั้งไว้ รีเลย์ก็จะทำงานโดยส่งสัญญาณเอาท์พุทออกไปสั่งให้แมกเนติก คอนแทกเตอร์ (Magnetic Contactor) ซึ่งเราจะใช้ทำงานแทน เซอร์กิตเบรคเกอร์ (เพราะค่ากระแสลัดวงจรที่เราสร้างขึ้นมานั้นมีค่าไม่สูงนัก)

รีเลย์ที่เราทำการออกแบบและสร้างขึ้นมามี 6 ประเภท คือ

1) โอเวอร์ เคอเรนท์ รีเลย์ (Over Current Relay)
2) ออโต รีโคลสซิ่ง รีเลย์ (Auto Reclosing Relay)
3) โอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลเตจ รีเลย์ (Over & Under Voltage Relay)
4) เฟส ซีเควนซ์ รีเลย์ (Phase Sequence Relay)
5) เอิร์ธ ลีกเกจ รีเลย์ (Earth Leakage Relay)
6) ดิฟเฟอเรนเชียล รีเลย์ (Differential Relay)

3.4 วงจรกำลัง (Main circuit)

จาก One-line diagram ดังแสดงในรูปที่ 3.1

A, B, C และ D คือ ส่วนของระบบป้องกัน ซึ่งในระบบกำลังจริงก็คือ อุปกรณ์พวก switchgear ทำหน้าที่ตัดวงจรเมื่อเกิด fault แต่สำหรับชุดการทดลองนี้จะใช้ magnetic contactor แทน ซึ่งจากรูปที่ 3.4 จะเห็นว่ามี magnetic contactor ทั้งหมด 12 ตัว แบ่งออกเป็น 4 ชุด ชุดละ 3 ตัว โดยมีชุด A 3 ตัว, ชุด B 3 ตัว,ชุด C 3 ตัว, ชุด D 3 ตัว โดย magnetic contactor ทั้ง 3 ตัวของแต่ละชุดจะมีหน้าที่การทำงานที่ต่างกันดังนี้คือ

MC_1: ส่วนของ main circuit และยังมี auxillary contact ในส่วนของ control circuit ด้วยบางส่วน

LLF: ส่วนป้องกัน line-to-line fault

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LGF: ส่วนป้องกัน line-to-ground fault

จากชุดทดลองนี้มีการเดินสายในส่วนของ main circuit และ control circuit ด้วยสายไฟหลายสี เพื่อจำแนกความแตกต่างของสาย phase สาย line กับสาย ground ดังนี้

สายสีแดง คือ phase-R ของส่วน main circuit

สายสีเหลือง คือ phase-S ของส่วน main circuit

สายสีน้ำเงิน คือ phase-T ของส่วน main circuit

สายสีขาว คือ line ของส่วน control circuit

สายสีดำ คือ ground ของระบบ

สายสีเขียว คือ power supply ของ Relays ต่างๆ

สายสีเทา คือ สาย sensor ที่มาจาก PT และ CT

จากรูปที่ 3.4 เป็นวงจร main จะเห็นว่าวงจรถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วนดังนี้

ส่วน A: ช่วงก่อนหม้อแปลง step up (TR_1)

ส่วน B: ช่วงหลังหม้อแปลงstep up (TR_1) และก่อน transmission line

ส่วน C: ช่วงหลัง transmission line และก่อนหม้อแปลง step down (TR_2)

ส่วน D: ช่วงหลังหม้อแปลง stepp down (TR_2) และก่อนเข้า load

ซึ่งในแต่ละส่วนจะมีการป้องกันที่แตกต่างกันดังนี้

ส่วน A : จะประกอบด้วยรีเลย์ RL_1, RL_2, RL_3, RL_4, RL_6

ส่วน B,C: จะประกอบด้วยรีเลย์ RL_1, RL_2

ส่วน D : จะประกอบด้วยรีเลย์ RL_1, RL_2, RL_3, RL_4, RL_5, RL_6

ซึ่งความหมายของรีเลย์ต่างๆมีดังนี้

RL_1 คือ over current relay เป็นส่วนป้องกันกระแสเกิน

RL_2 คือ auto-reclosing relay เป็นส่วนที่ทำงานโดยอาศัยตัว counter เป็นตัวนับจำนวนครั้งของการตัดวงจรของระบบ โดยเมื่อเกิด over current ขึ้นมา RL_1 จะตัดวงจรแล้วหน่วงเวลาสักครู่ก็จะต่อเข้าไปใหม่แต่ถ้ายังเกิด over current อยู่อีกก็จะตัดวงจรอีกครั้ง ชนิดของ relay ที่ทำงานในช่วงนี้คือ over current relay เท่านั้น เพราะ auto-reclosing relay จะนับจำนวนครั้งของการตัดวงจรของ RL_1 ว่าครบ 2 ครั้งหรือยัง ดังนั้น auto-reclosing relay จะยังไม่ทำงานก่อนจนกว่า RL_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะตัดวงจรครบ 2 ครั้งแล้ว RL_3 จึงตัดวงจรออกอย่างถาวร เพื่อตรวจเช็คระบบใหม่ก่อนที่จะจ่ายไฟอีกครั้ง

RL_3 คือ over-under voltage relay เป็นส่วนป้องกันแรงดันสูงหรือต่ำเกินไป

RL_4 คือ phase sequence relay เป็นส่วนเช็คว่าเฟส balance หรือไม่

RL_5 คือ earth leakage relay

RL_6 คือ diffrential relay

ถ้าพิจารณาในแต่ละช่วง จะเห็นว่ามี switch 3 phase อยู่ทุกช่วงเพื่อตัด-ต่อวงจรเข้าสู่ส่วนต่างๆ ที่ต้องการ เพื่อประโยชน์ในการทดสอบที่ละส่วน คือถ้าเราจะทดสอบส่วน A ก็ close switch 3 phase (SW_A) ของส่วน A ในขณะที่ส่วน B (SW_B) open อยู่ ไฟที่จ่ายมาก็จะค้างอยู่ที่ส่วน A เพียงส่วนเดียว เราก็ จะทดสอบที่ส่วน A เพียงส่วนเดียว

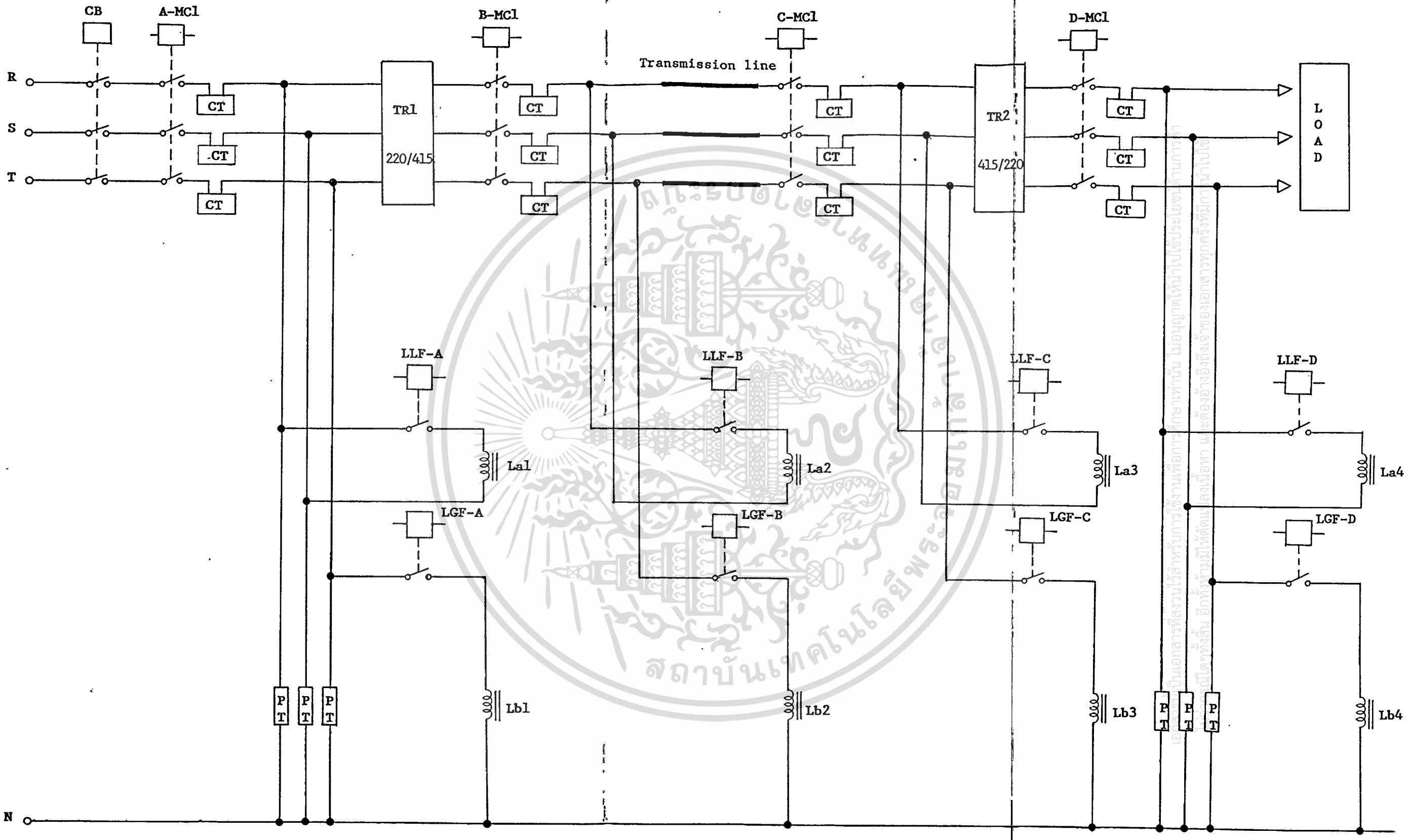
จากวงจร main จะเห็นว่ามี P.T อยู่ 2 ชุด ชุดละ 3 ตัว โดยชุดแรกจะอยู่ที่ส่วน A ทำหน้าที่เช็คระดับศักดาไฟฟ้าก่อนเข้าหม้อแปลง (TR_1) ส่วนชุดที่ 2 จะอยู่ที่ส่วน D ทำหน้าที่เช็คระดับแรงดันที่ออกจากหม้อแปลง (TR_2)

หลักการทำงานของ P.T คือรับอินพุทมาจากสาย main แล้วแปลงแรงดันให้ต่ำลงเป็น output ไป เข้าแผงวงจรอิเลคทรอนิกส์ต่างๆ โดยระดับแรงดันที่ออกมาทางเอาท์พุทจะต้องอยู่ในระดับที่วงจรอิเลคทรอนิกส์สามารถทำงานได้ จึงสรุปได้ว่า P.T มีหน้าที่ เป็นตัว sensor แรงดัน

ส่วนตัว sensor กระแสจะมี C.T เป็นตัว sensor โดย C.T จะมีหน้าที่แปลงกระแสจาก วงจร main ลงมาสู่ระดับที่ วงจรอิเลคทรอนิกส์สามารถรับได้ ซึ่งจากวงจรจะเห็นว่ามี C.T อยู่ 4 ชุด ชุดละ 3 ตัว โดยต่อเข้ากับ phase R 1 ตัว phase S 1 ตัว และ phase T 1ตัว

หลักการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังจริงๆ ก็คือ เมื่อ Generator จ่ายกำลังออกมาจะผ่านหม้อแปลง Step up เพื่อยกระดับแรงดันให้สูงขึ้น เพื่อประโยชน์ในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าผ่าน Transmission line เพราะในการส่งจ่ายระยะไกลจะมีโวลท์เตจ Drop ในสายมาก ถ้าส่งแรงดันต่ำจะทำให้ Voltage ที่ปลายสาย มีค่าผิดพลาดมากเมื่อเทียบกับแรงดันที่ส่ง แต่ถ้าในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าใช้ระดับแรงดันสูงๆ โดยแปลงแรงดันขึ้นไป เมื่อส่งผ่าน Transmission line แม้ว่าจะมีโวลท์เตจ Drop ไปบ้าง แต่ก็ถือว่าน้อย เมื่อจะแจกจ่ายไฟไปยังผู้ใช้ไฟ ก็จะแปลงแรงดันให้ต่ำลงให้ได้ระดับแรงดันตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรกำลังของระบบ (MAIN CIRCUIT)

3.5 วงจรควบคุม (Control Circuit)

จากวงจรควบคุมระบบป้องกันในส่วน A

เมื่อกด Push button (SW_1) จะต่อวงจรผ่านไฟไปเลี้ยง coil ของ MC_1 ทำให้ Auxillary Contact จาก NO เปลี่ยนไปเป็น NC ต่อวงจรให้ MC_1 ทำงาน คือ มีไฟเลี้ยงคอยล์ ในขณะเดียวกันหลอดไฟสีแดงที่ต่ออยู่กับ NC ของ MC_1 ก็จะดับ และหลอดไฟสีเขียวที่ต่ออยู่กับ NO ของ MC_1 ก็จะติด แสดงผลการทำงานของวงจร

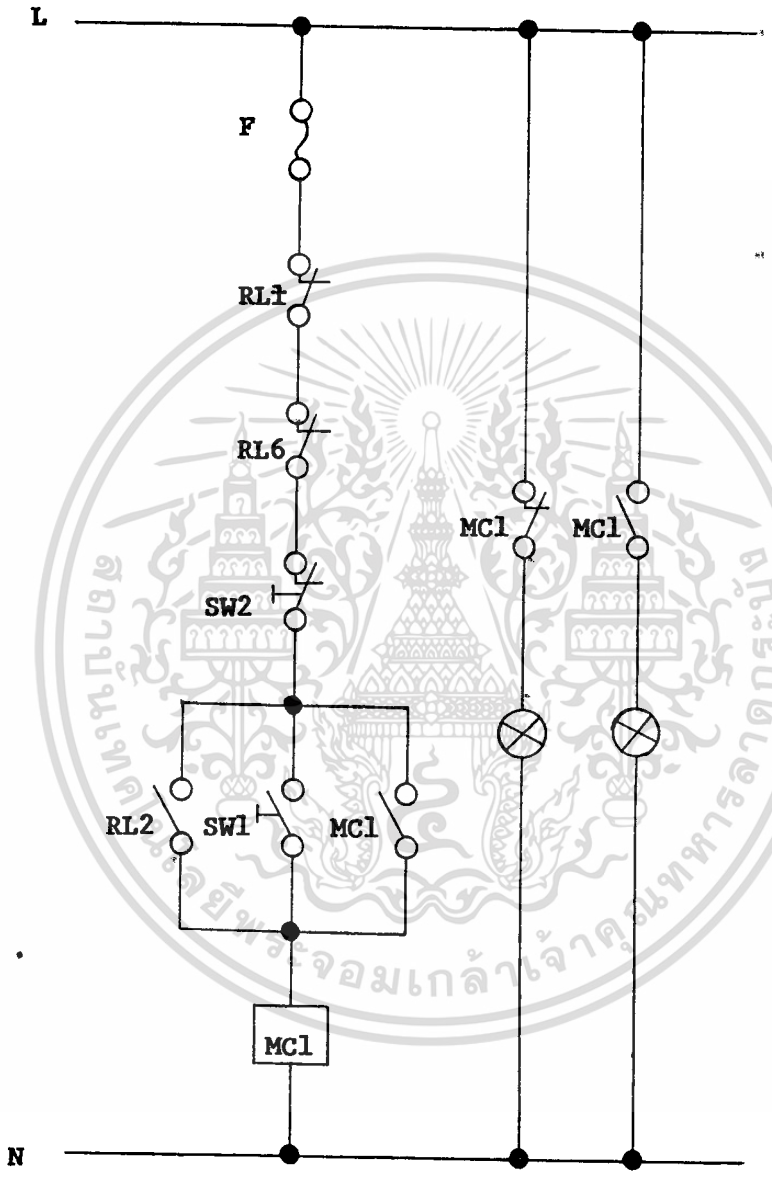
สำหรับ RL_1, RL_2, RL_3, RL_4 และ RL_6 ในรูปก็คือ ส่วนของแผงรีเลย์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเรามองว่าแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ 1 แผง เป็นรีเลย์ 1 ตัว ซึ่งเป็น NC ต่ออยู่กับวงจรควบคุม เมื่อมีฟอลต์เกิดขึ้น พีทีหรือซีทีจะส่งสัญญาณ senser มายังแผงอิเล็กทรอนิกส์ แล้วรีเลย์บนแผงจะตัดวงจรออก ทำให้วงจรควบคุมถูกตัดออกด้วย เป็นผลให้ไม่มีไฟเลี้ยงคอยล์ MC_1 ดังนั้นวงจรเมนจึงถูกตัดวงจรออก เราพิจารณา RL1 ซึ่งเป็น over current relays บนแผงจะมีไทม์เมอร์ไว้สำหรับตั้งเวลาในการต่อวงจรเข้ามาอีกครั้งหนึ่ง เมื่อถึงเวลาที่ตั้งไว้รีเลย์ก็จะเปลี่ยนจาก NO เป็น NC ทำให้มีไฟผ่านคอยล์ MC_1 วงจรเมนจึงถูกต่อกลับเข้ามาอีกครั้ง แต่ถ้ายังเกิด over currentอยู่ RL_1 ก็จะตัดวงจรอีก แล้วต่อกลับเข้ามาใหม่ เป็นอย่างนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะตัดวงจรครบ 2 ครั้ง RL_2 ซึ่งเป็น auto-reclosing relays จะตรวจเช็คการทำงานของ over current relays ว่าตัดต่อวงจรครบตามจำนวนครั้งที่ตั้งไว้ ก็จะเลิกต่อไฟให้กับวงจร ทำให้วงจรควบคุมส่วน A ทั้งหมด ถูกตัดวงจรออกโดยสมบูรณ์ เมื่อจะต่อวงจรเข้ามาใหม่ก็ต้องเริ่มกด Push button SW1 ใหม่

สำหรับการทำงานของ RL_3 over & under voltage relays และ RL_4 phase sequence relays จะทำการเตือนเมื่อเกิดแรงดันสูงเกินหรือต่ำเกินกว่าปกติ และเมื่อเกิดการเรียงผิดเฟส โดยจะไม่ทำการตัดระบบออก แต่จะเป็นการเตือน เพื่อให้แก้ไขข้อผิดพลาด

ส่วนวงจรควบคุมระบบป้องกัน ในส่วน B, C, D ก็มีหลักการทำงานในลักษณะเดียวกัน แต่จะต่างกันตรงที่จำนวนรีเลย์ในการควบคุมแต่ละส่วน โดยส่วน B และ C จะมี RL_1, RL_2 และส่วน D จะมี earth leakage relays เพิ่มขึ้นมา

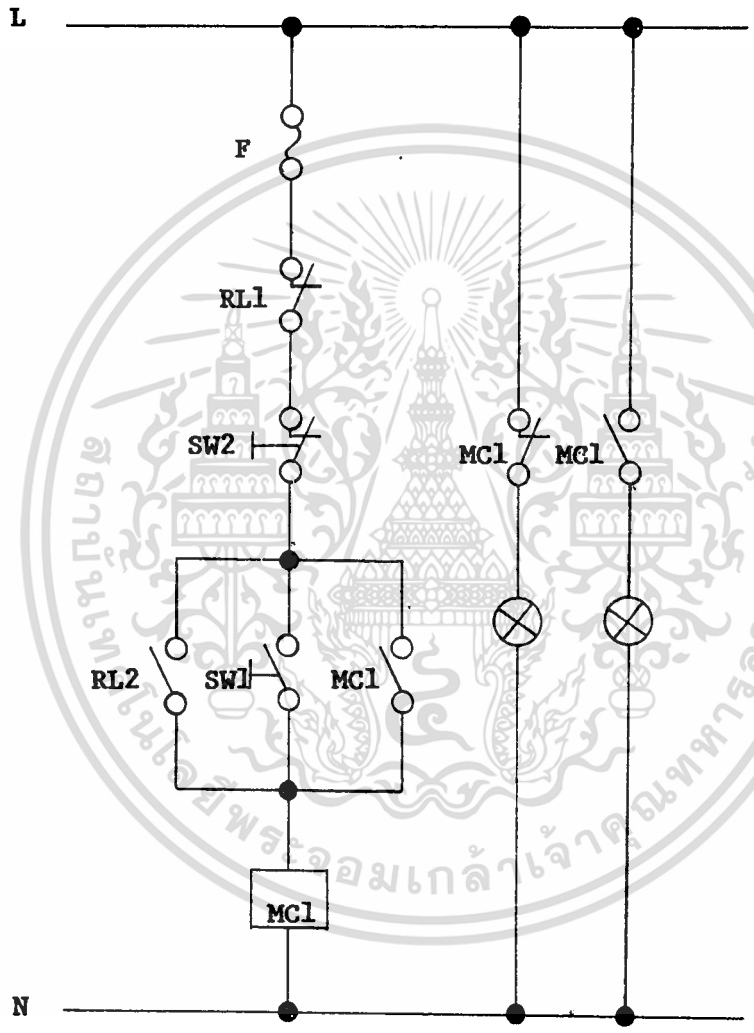
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 วงจรควบคุมระบบป้องกัน (ในส่วน A)



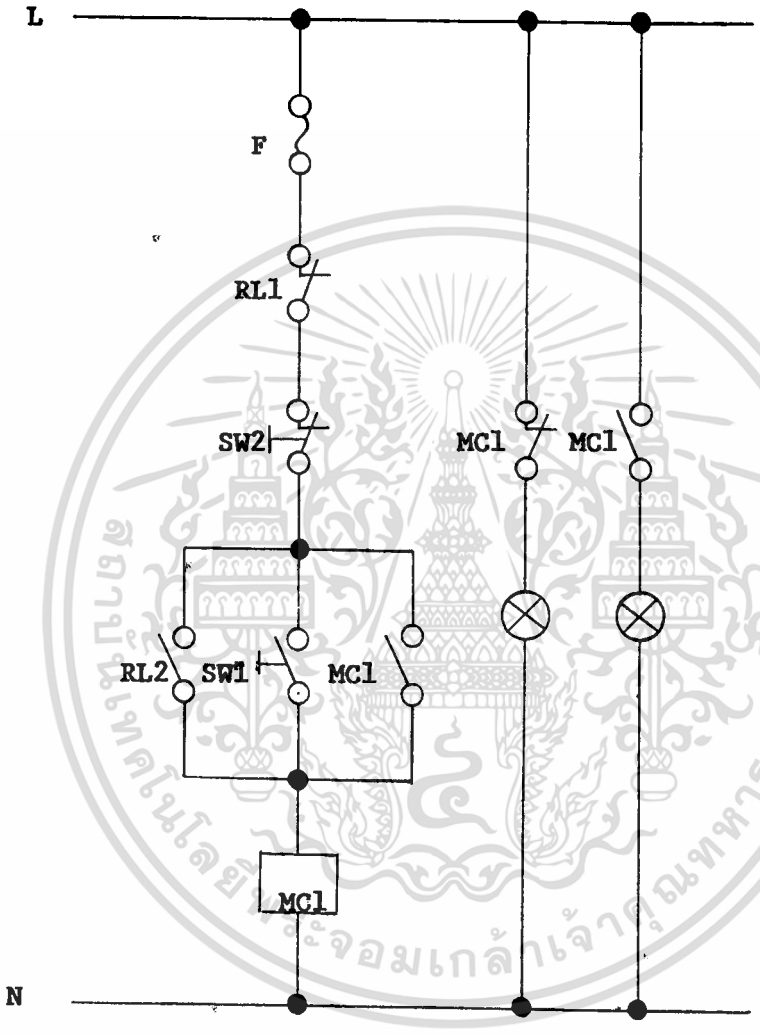
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 วงจรควบคุมระบบป้องกัน (ในส่วน B)



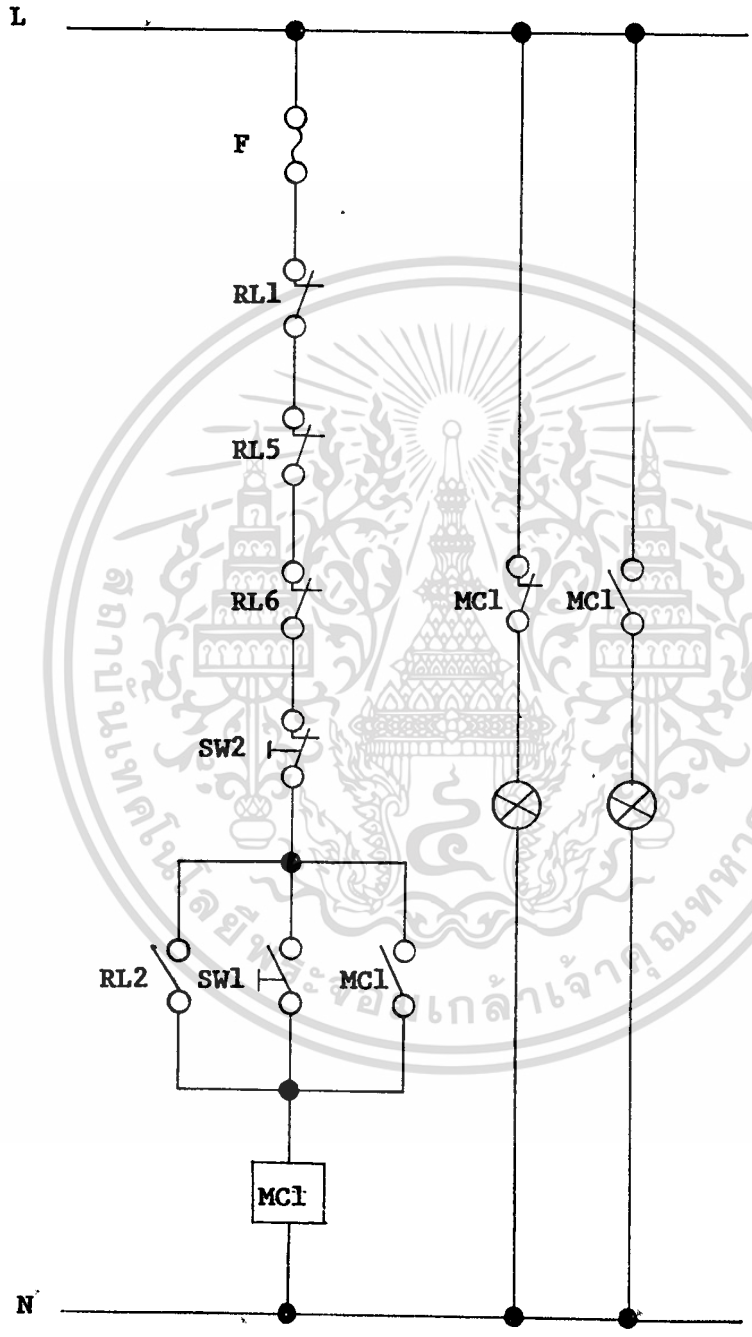
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7 วงจรควบคุมระบบป้องกัน (ในส่วน C)



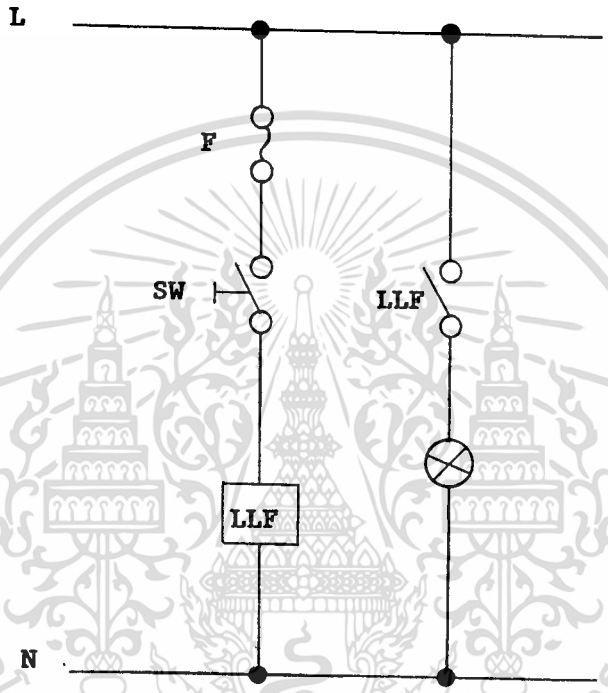
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 วงจรควบคุมระบบป้องกัน (ในส่วน D)



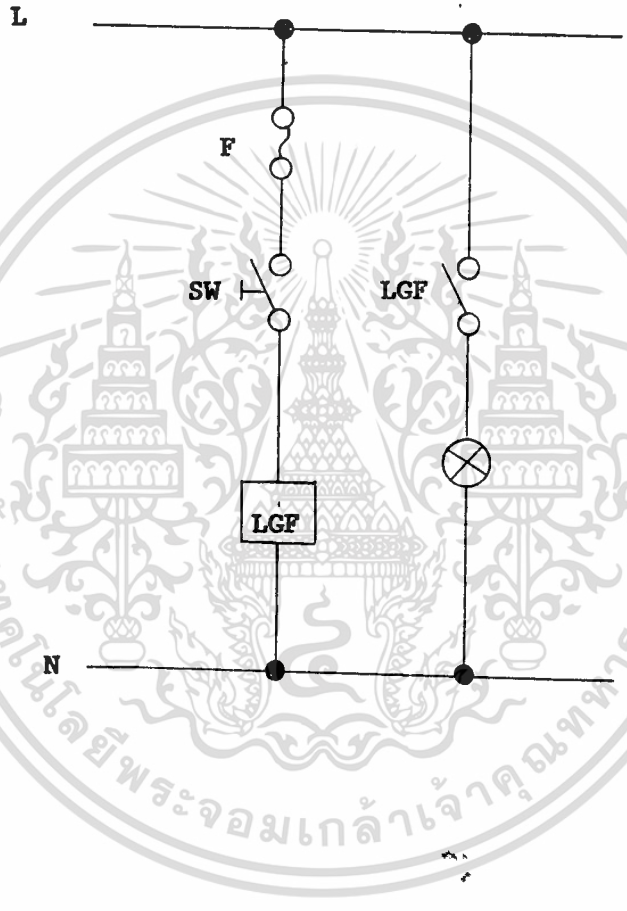
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 3.9 วงจรควบคุม Line-to-line Fault



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 วงจรควบคุม Line-to-ground Fault



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การสร้างตัวเหนี่ยวนำในการจำลองการลัดวงจร

จากหัวข้อ 3.1 คำนวณค่า L ได้ดังนี้

$L_{a1} = L_{a4} =$ 77.81 มิลลิเฮนรี่

$L_{a2} = L_{a3} =$ 276.94 มิลลิเฮนรี่

$L_{b1} = L_{b4} =$ 44.92 มิลลิเฮนรี่

$L_{b2} = L_{b3} =$ 160.14 มิลลิเฮนรี่

<u>หาขนาดแกนเหล็ก</u>

ขนาดแกนเหล็ก $= \frac{\sqrt{VA}}{5.58}$ ตร.นิ้ว

<u>ตัวอย่าง</u> จากตำแหน่ง A ที่ L_{a2}

$V = 127$ V , $I = 9$ A

ขนาดแกนเหล็ก $= \frac{\sqrt{127x9}}{5.58} = 6$ ตร.นิ้ว

$= 2.46 \times 2.46$ นิ้ว $\approx 2.5 \times 2.5$ นิ้ว

ได้ขนาดแกนเหล็กแล้วนำมาสร้างบ๊อบบิ้น ในโครงงานนี้ได้เผื่อขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กออกไป 20 % ทำให้ได้

ขนาดของบ๊อบบิ้น = 2.5 x 3 นิ้ว

ใช้ลวดเบอร์ 14 SWG

<u>คำนวณจำนวนรอบ</u>

จาก $V = 2\pi fLI$ ---------- (1)

และ $V = 4.44fNBA$---------- (2)

จาก $L_{a1} = 77.81$ MH , $I = 9$ A

จากสมการ (1) จะได้

$V = 2\pi x50x77.81x10^{-3}x9$

$= 220$ V

ให้ $B = 1$ นำ $V = 220$ V ไปแทนใน (2) จะได้

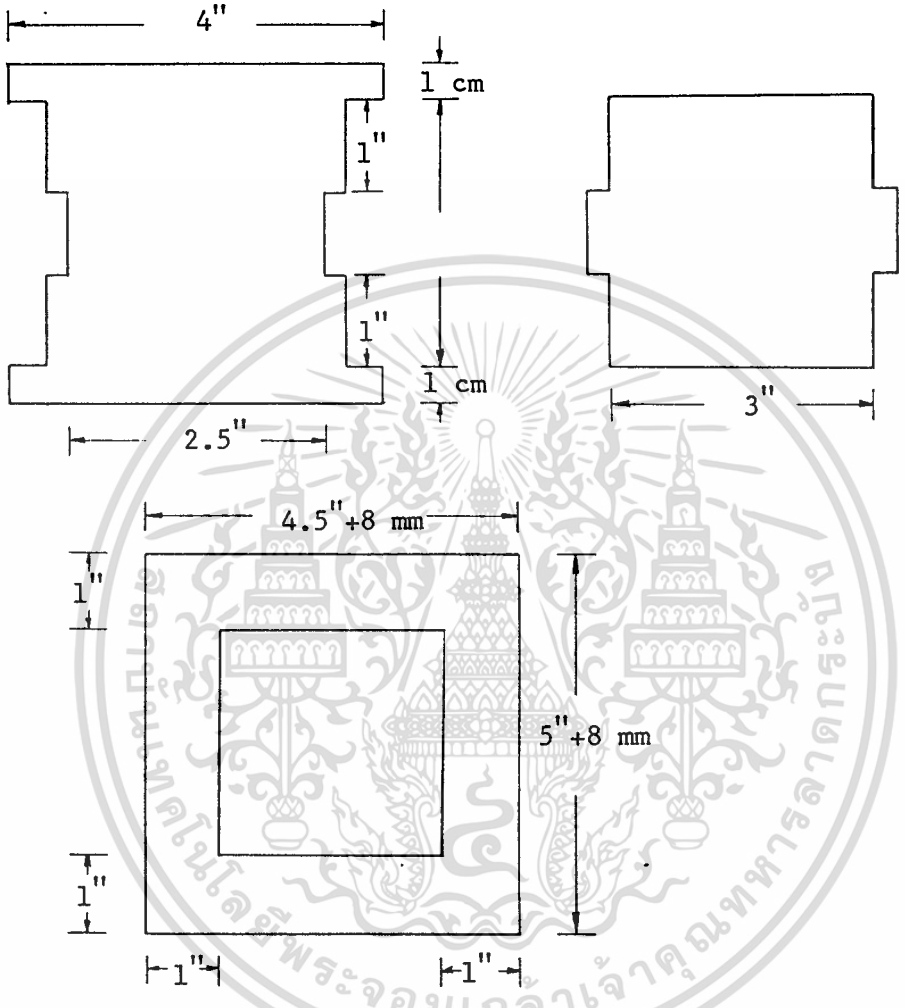
$220 = 4.44x50x1xNA$

$NA = \frac{220}{4.44x50x1} = 0.99 \approx 1$

$N = \frac{1}{A} = \frac{1}{2.5^2 x 2.54^2 x 10^{-4}} = 248$ รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการสร้างบ๊อบบิ้นด้วยเบคกาไลน์ โดยมีขนาดดังรูป



รูปที่ 3.11 ขนาดแผ่นเบคกาไลน์ ที่ใช้ทำบ๊อบบิ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หาค่า L ในกรณี Linear

$$L = \frac{N^2}{R} = \frac{N^2 \mu A}{2g} \quad ; \ (l = 2g) \quad \text{---------- (3)}$$

จากโครงงานนี้ได้ทำการ เพิ่ม พ.ท.หน้าตัดแกเหล็ก 20%

$$\therefore A = 2.5 \times 3 \quad \text{ตร.นิ้ว}$$

จาก (3) จะได้

$$L = \frac{248^2 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 2.5 \times 3 \times 2.54^2 \times 10^{-4}}{2g}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$g = \frac{248^2 x 4\pi x 10^{-7} x 2.5 x 3 x 2.54^2 x 10^{-4}}{2 x 77.81 x 10^{-3}}$$

จะได้จำนวนรอบของตัวเหนี่ยวนำทั้งหมดดังนี้

ที่ $L_{a1} = L_{a4} = 77.81$ mH

ได้ N = 248 รอบ

ที่ $L_{b1} = L_{b4} = 44.92$ mH

ได้ N = 141 รอบ

ที่ $L_{a2} = L_{a3} = 276.94$ mH

ได้ N = 461 รอบ

ที่ $L_{b2} = L_{b3} = 160.14$ mH

ได้ N = 265 รอบ

3.7 การคำนวณหาพารามิเตอร์ของสายส่งที่จะจำลอง

สำหรับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะได้ทำการจำลองระบบสายส่ง 2 แบบด้วยกัน คือ สายส่งระยะสั้น และสายส่งระยะปานกลาง

<u>สายส่งระยะสั้น</u> (Short Line)

เดินสายส่งจาก หนองจอก-บางกะปิด (NONG CHOK - BANG KAPI)

ระบบจริง

ขนาดพิกัด 100 MVA 230 KV

สายส่งมีขนาดความยาว 26.766 km

มีค่า GMD 924.114 cm

cable Pheasant

ระบบจำลอง

ขนาดพิกัด 1500 VA 415 V

	Real System	Simulation System
R	1.295474	0.281176
L	34.689174 mH	7.529103 mH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>สายส่งระยะปานกลาง</u> (Medium Line)

เดินสายจาก ท่าตะโก-หนองจอก (THA TAKO - NONG CHOK)

ระบบจริง

ขนาดพิกัด 100 MVA 500 KV

สายส่งมีขนาดความยาว 207.192 km

มีค่า GMD 1768.93 cm

cable conder

ระบบจำลอง

ขนาดพิกัด 1500 VA 415 V

ต่อวงจรแบบ π-network

	Real System	Simulation System	เปลี่ยน C_{mim}
R	16.098818 Ω	0.739365 Ω	0.720878 Ω
L	305.122738 mH	14.013270 mH	13.662879 mH
C/2	0.806009 μF	17.549924 μF	18.000000 μF

ต่อวงจรแบบ T-network

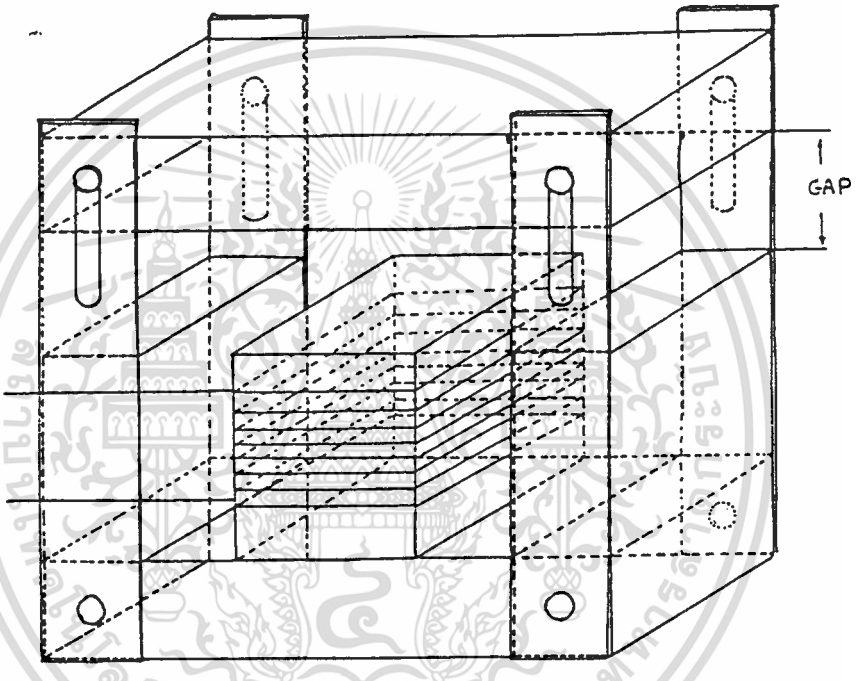
	Real System	Simulation System	เปลี่ยน C_{mim}
R/2	8.049409 Ω	0.369683 Ω	0.360439 Ω
L/2	152.561369 mH	7.006635 mH	6.831440 mH
C	1.612019 μF	35.099847 μF	36.000000 μF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดสอบและการนำไปใช้งาน

4.1 การใช้งานตัวเหนี่ยวนำในการจำลองการลัดวงจร

จากในบทที่ 3 เราได้ทำการคำนวณค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องใช้ทั้ง 4 ค่าไว้แล้ว ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (ดูรูปที่ 4.1 ประกอบ)



รูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างของตัวเหนี่ยวนำ

โดยแกนเหล็กมีขนาด	2.5	นิ้ว
บ๊อบบินขนาด	2.5 x 3	นิ้ว^2
ขดลวดเบอร์	14	SWG

ซึ่งเราสามารถคำนวณค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องการได้จากสูตร

$$L = N_2 \times \mu_0 \times A/2g$$

โดยที่ L : ค่าความเหนี่ยวนำ ; mH

N : จำนวนรอบของขดลวด ; รอบ

μ_0 : ค่าเปอร์มีอะบิลิตี้ (Permeability) ของอากาศ

$= 4\pi \times 10^{-7}$; H/m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A : พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก

= 4.8387×10^{-3}

g : ช่องว่าง (gap) ของแกนเหล็ก

ในที่นี้เราจะกำหนดค่าแกปประมาณ 2 มิลลิเมตร เพราะจะทำให้ตัวเหนี่ยวนำไม่สั่นในขณะใช้งานและสามารถทำการปรับแกปได้ง่าย

จากสูตรเราสามารถคำนวณหาจำนวนรอบของตัวเหนี่ยวนำได้ดังนี้ (ดูรูปที่ 3.2)

- กรณี $L_{a1} = L_{a4} =$ 77.81 mH
  ได้ N = 248 รอบ
- กรณี $L_{b1} = L_{b4} =$ 44.92 mH
  ได้ N = 141 รอบ
- กรณี $L_{a2} = L_{a3} =$ 276.94 mH
  ได้ N = 461 รอบ
- กรณี $L_{b2} = L_{b3} =$ 160.14 mH
  ได้ N = 265 รอบ

ซึ่งจำนวนรอบที่ได้นี้ เมื่อเราทำการพันขึ้นมาจริงเราจะต้องนำมาตรวจสอบกับค่าโวลเตจและกระแส ณ จุดที่จะใช้งานจริงๆ ด้วย (ในกรณีนี้ เราไม่จำเป็นทดสอบความลิเนียร์ของตัวเหนี่ยวนำ เพราะในการใช้งานจะเป็นในลักษณะที่โวลเตจและกระแสค่าเดียวเท่านั้น) ผลจากการทดสอบ โดยมากมักจะพบว่าค่าความเหนี่ยวนำที่ได้ มีค่าไม่เท่ากับการคำนวณพอดี แต่เราสามารถทำการแก้ไขได้โดยการปรับที่ระยะแกป

4.2 การทดสอบและการใช้งานอินสทรูเมนต์ ทรานสฟอร์มเมอร์

4.2.1 ซีที

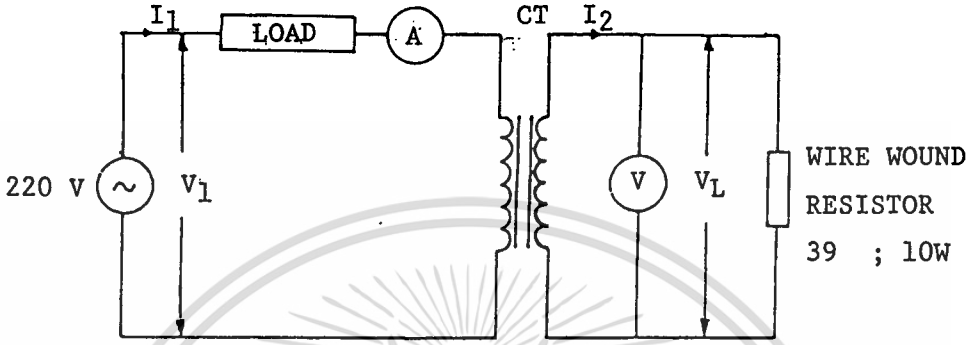
ซีทีที่จะนำไปใช้งานในระบบไฟฟ้าจำลองนี้ มีด้วยกัน 2 ขนาด คือ

1. 640/5 ซึ่งใช้กับโอเวอร์ เคอเรนท์ รีเลย์ที่ตำแหน่ง A และ D (ดูรูปที่ 3.1) โดยมีขดลวดด้านปฐมภูมิ 4 รอบ (ลวดเบอร์ 14 SWG) และขดลวดทุติยภูมิ 510 รอบ (ลวดเบอร์ 26 SWG)

2. 320/5 ซึ่งใช้กับโอเวอร์ เคอเรนท์ รีเลย์ที่ตำแหน่ง B และ C (เพราะในช่วงของสายส่งนี้ จะมีค่ากระแสลัดวงจรต่ำกว่าที่ตำแหน่ง A และ B เราจึงต้องทำการแปลงค่าของกระแสในอัตราส่วนที่ต่างกัน) ใช้ขดลวดด้านปฐมภูมิ 4 รอบ (ลวดเบอร์ 14 SWG) และขดลวดด้านทุติยภูมิ 255 รอบ (ลวดเบอร์ 26 SWG)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีทีเมื่อพันเสร็จแล้วเราจะต้องนำมาทำการทดสอบเพื่อหาอัตราส่วนการแปลงกระแสและความลิเนียร์ของการแปลงด้วยว่าถูกต้องเท่ากันตลอดช่วงของการใช้งานหรือไม่ โดยใช้วงจรในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 วงจรการทดสอบ ซีที

ซึ่งมีผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบซีที ขนาด 640/5

I_1	V_2	$I_2 = V_2/R$ (mA)	I_2/I_1
0.9	0.4	7.25	8.056×10^{-3}
1.8	0.8	14.50	9.056×10^{-3}
2.7	1.2	21.76	8.056×10^{-3}
3.6	1.6	29.01	8.056×10^{-3}
4.5	1.9	34.45	8.058×10^{-3}
5.35	2.3	41.76	7.806×10^{-3}
7.2	3.05	55.30	7.681×10^{-3}
9.0	3.8	68.90	7.656×10^{-3}
11.6	4.85	87.94	7.581×10^{-3}
14.3	6.0	108.79	7.608×10^{-3}

$$a = N_1/N_2 = 4/510 = 7.843 \times 10^{-3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- ทางด้านปฐมภูมิของซีที จะต้องต่อขั้วที่มีเครื่องหมายกำกับ (เช่น ".") เข้ากับขั้วบวกของถ่านไฟฉายที่ต่ออนุกรมกัน 2 ก้อน
- ทางด้านทุติยภูมิของซีที จะต้องต่อขั้วที่มีเครื่องหมายกำกับเข้ากับขั้วบวกของดีซี แอมมิเตอร์ (DC Ammeter) ซึ่งมีขนาด 5 แอมป์หรือต่ำกว่านี้ (ขึ้นอยู่กับขนาดของซีที)

หากเข็มของ ดีซี แอมมิเตอร์ กระดิกถูกทาง แสดงว่าเครื่องหมายที่ขั้วของซีทีถูกต้อง

ข้อควรระวังของการใช้วิธีทดสอบแบบนี้ก็คือ ไม่ควรทดสอบซีทีโดยวิธีนี้เป็นเวลานานหรือหลายครั้ง เพราะทำการเช่นนั้น จะทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กตกค้างอยู่ในแกนเหล็ก ซึ่จะมีผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นได้

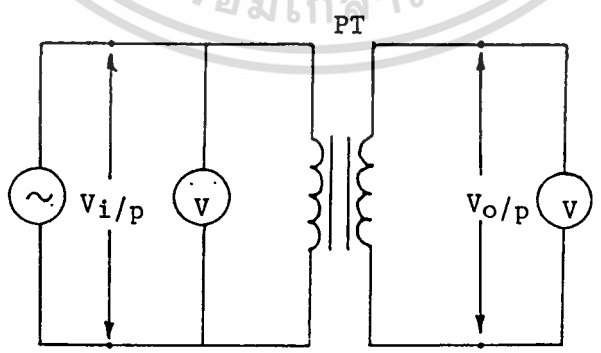
4.2.2 พีที

พีทีที่จะนำไปใช้งานในระบบไฟฟ้าจำลองนี้ มีขนาด 127/5 เนื่องจากตำแหน่งที่เราจะติดตั้งนั้น คือ ตำแหน่ง A และ D (ดูรูปที่ 3.1) เพื่อใช้กับโอเวอร์แอนด์ดันเดอร์โวลเตจรีเลย์ และเฟสซีเควนซ์รีเลย์ ดังนั้นโวลเตจที่เราใช้จึงเป็นโวลเตจคร่อมไลน์กับกราวน์ ซึ่งมีขนาด 127 โวลต์

ด้านปฐมภูมิของพีทีมีจำนวนขดลวด 990 รอบ (ลวดเบอร์ 30 SWG)

ด้านทุติยภูมิของพีทีมีจำนวนขดลวด 39 รอบ (ลวดเบอร์ 26 SWG)

สำหรับการทดสอบพีทีนั้น เราจะใช้วงจรในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 วงจรการทดสอบ พีที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งมีผลการทดลอง ดังนี้

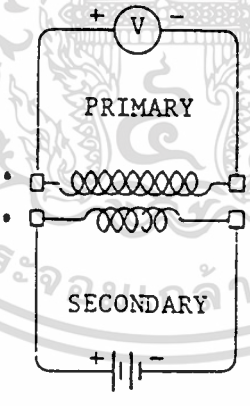
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบพีที ขนาด 127/5

V_1 (V)	V_2 (V)	V_1 / V_2
100	3.94	25.381
110	4.33	25.404
127	4.99	25.451
135	5.30	25.472
150	5.90	25.424

a = N1/N2 = 990/39 = 25.385

การตรวจสอบโพลาริตี้ของพีที

เราจะใช้วิธีดีซี เทสต์ เช่นเดียวกัน ดูรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การทดสอบโพลาริตี้ของพีที

ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- ทางด้านปฐมภูมิของพีที จะต้องต่อขั้วที่มีเครื่องหมายกำกับ (เช่น ".") เข้ากับขั้วบวกของดีซี โวลต์มิเตอร์ DC Voltmeter) โดยควรใช้สายหุ้มฉนวนพิกัดแรงดันไม่น้อยกว่า 150 โวลท์ ในการต่อคร่อม
- ทางด้านทุติยภูมิของพีที จะต้องต่อขั้วที่มีเครื่องหมายกำกับ เข้ากับขั้วบวกของถ่านไฟฉายที่ต่ออนุกรมกัน 2 ก้อน

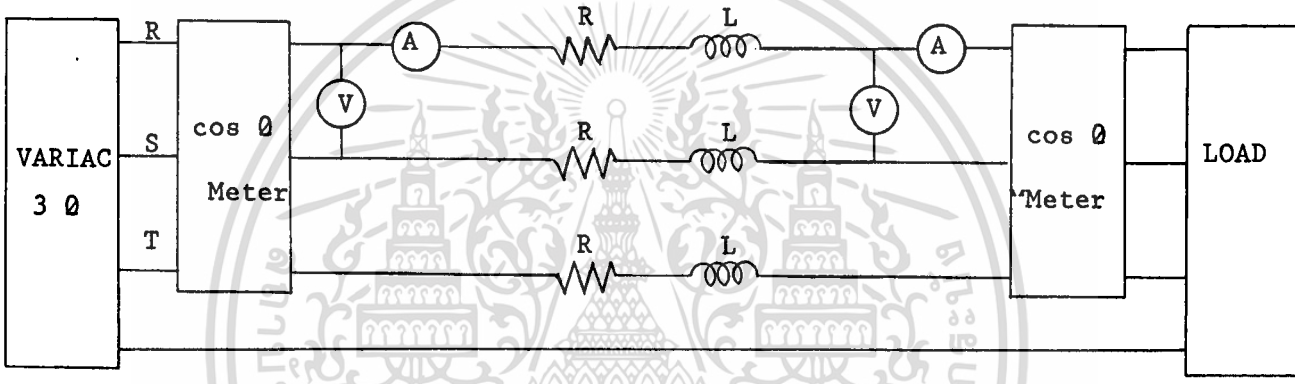
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากเข็มของดีซี โวลท์มิเตอร์กระดิกไปทางบวก แสดงว่าเครื่องหมายบนพีทีถูกต้อง หากแตะครั้งแรกแล้ว เข็มกระดิกกลับทาง แสดงว่าเครื่องหมายนั้นไม่ถูกต้อง

4.3 การทดสอบแผงสายส่ง

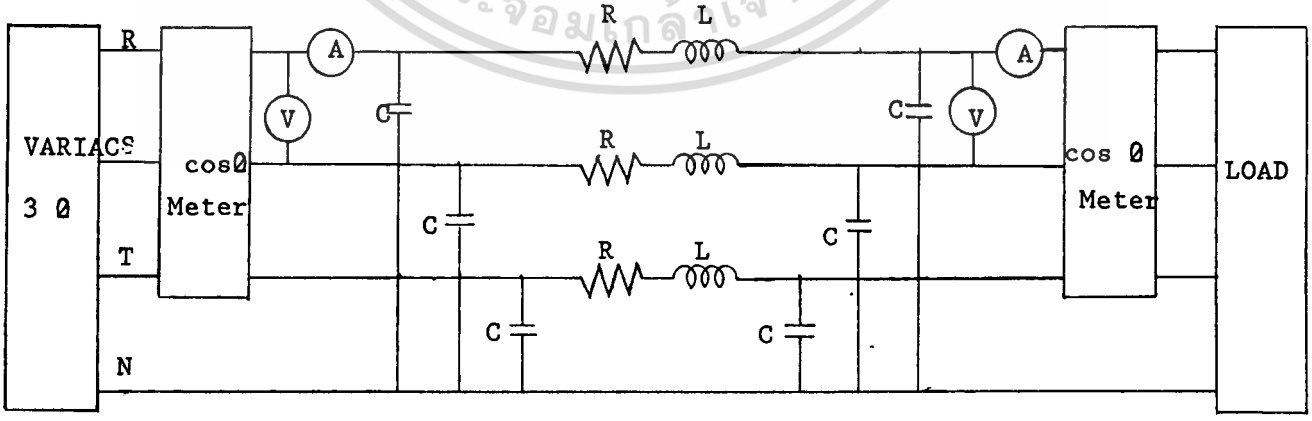
4.3.1 วิธีทดสอบ

1. ทำการต่อวงจร Short line ตามรูปที่ 4.6 โดยป้อนแรงดันที่ทางด้านเข้าด้วยขนาด 50 V_{L-L} , 100 V_{L-L} , 150 V_{L-L} , 200 V_{L-L} และ 250 V_{L-L}



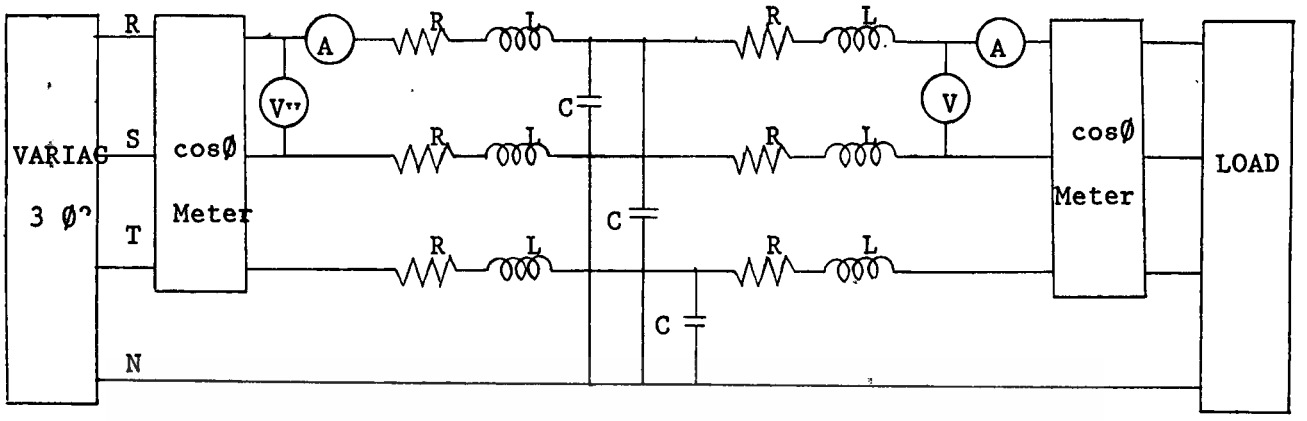
รูปที่ 4.6 วงจร Short line

2. บันทึกผลการทดลองลงในตาราง



รูปที่ 4.7 วงจร Medium line แบบ π-network

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 วงจร Medium line แบบ T-network

3. ทำการต่อวงจร Medium line โดยป้อนแรงดันที่ทางด้านเข้าด้วยขนาด 50 V_{L-L} , 100 V_{L-L} , 150 V_{L-L} , 200 V_{L-L} และ 250 V_{L-L}

3.1 ต่อวงจรแบบ π-network ตามรูปที่ 4.7

3.2 ต่อวงจรแบบ T-network ตามรูปที่ 4.8

4. บันทึกผลการทดลองลงในตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการทดสอบ

วงจร Short line

ความยาวสาย 26.766 km ชนิดสาย Pheasant

พิกัดระบบจริง 100 MVA 230 KV

พิกัดระบบจำลอง 1500 VA 415 V

ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง R = 1.2954 Ω L = 34.6891 mH

ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง R = 0.2811 Ω L = 7.5291 mH

ตารางที่ 4.4

Sending			Receiving		
V_S (V_{L-L})	I_S (A)	$\cos\phi_S$	V_R (V_{L-L})	I_R (A)	$\cos\phi_R$
100	2.8	-0.79	89.5	2.8	-0.86
150	2.9	-0.81	139	2.9	-0.86
200	2.8	-0.74	183	2.8	-0.79
250	3.0	-0.58	234	3.0	-0.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจร Medium line ต่อวงจรแบบ π-network

ความยาวสาย 207.192 km ชนิดสาย Conder

พิกัดระบบจริง 100 MVA 500 KV

พิกัดระบบจำลอง 1500 VA 415 V

ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง R = 16.0988 Ω L = 305.1227 mH C/2 = 0.8060 μF

ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง R = 0.7393 Ω L = 14.0132 mH C/2 = 17.5499 μF

เปลี่ยน C_{mim} R = 0.7208 Ω L = 13.6628 mH C/2 = 18.0000 μF

ตารางที่ 4.5

Sending			Receiving		
V_S (V_{L-L})	I_S (A)	$\cos\phi_S$	V_R (V_{L-L})	I_R (A)	$\cos\phi_R$
100	1.85	-0.895	87	2.2	-0.862
150	2.18	-0.925	135	2.75	-0.85
200	2.0	-0.942	184	2.7	-0.78
250	1.9	-0.905	230	3.0	-0.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจร Medium line ต่อวงจรแบบ T-network

ความยาวสาย 207.192 km ชนิดสาย Conder

พิกัดระบบจริง 100 MVA 500 KV

พิกัดระบบจำลอง 1500 VA 415 V

ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง R/2 = 8.0494 Ω L/2 = 152.5613 mH C = 1.6120 μF

ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง R/2 = 0.3696 Ω L/2 = 7.0066 mH C = 35.0998 μF

เปลี่ยน C_{mim} R/2 = 0.3604 Ω L/2 = 6.8314 mH C = 36.0000 μF

ตารางที่ 4.6

Sending			Receiving		
V_S (V_{L-L})	I_S (A)	$\cos\phi_S$	V_R (V_{L-L})	I_R (A)	$\cos\phi_R$
100	1.9	-0.905	89	1.8	-0.87
150	2.2	-0.94	135	2.7	-0.86
200	2.0	-0.95	184	2.5	-0.75
250	1.9	-0.91	230	3.0	-0.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์

ปริญญานิพนธ์นี้ ตั้งวัตถุประสงค์ไว้เพื่อเป็นชุดทดลองในการศึกษาวิชาทางด้านระบบไฟฟ้ากำลัง โดยเฉพาะในส่วนของระบบป้องกัน ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นมากในระบบไฟฟ้ากำลังทุก ๆ ระบบ โดยได้นำเอาหลักการของอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้งานกันในระบบจริง ๆ มาทำการจำลองให้มีขนาดเล็กลงและสามารถแสดงขั้นตอนการทำงานแต่ละขั้นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยการใช้อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ประเภทสารกึ่งตัวนำต่าง ๆ มาช่วย

การจำลองสายส่งระบบไฟฟ้ากำลังหรือ Transmission Line Simulator นี้ เป็นการจำลองการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากสถานีผลิตกระแสไฟฟ้า ผ่านสายส่งและอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น หม้อแปลงแรงดัน อุปกรณ์ป้องกัน จนกระทั่งถึงผู้บริโภคหรือผู้ใช้ไฟฟ้านั่นเอง โดยทำการจำลองค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในระบบ ซึ่งได้แก่ ค่าความต้านทาน (R) ค่าความเหนี่ยวนำ (L) ค่าความจุไฟฟ้า (C) ให้เป็นค่าต่ำ ๆ ที่สามารถหาได้ในห้องปฏิบัติการหรือตามห้องตลาดทั่วไป

ข้อที่ต้องระวังในการจัดชุดทดลองนี้ที่สำคัญ ได้แก่ การจัดโคออดิเนชั่นของระบบป้องกันให้ทำงานได้สัมพันธ์กัน ซึ่งต้องใช้ความละเอียดและรอบคอบเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ในการจำลองสภาวะผิดปกติต่าง ๆ ของระบบจะต้องให้อยู่ในขอบเขตที่อุปกรณ์ป้องกันจะยอมรับได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ชุดทดลอง

วิธีการใช้มิเตอร์ (Meter)

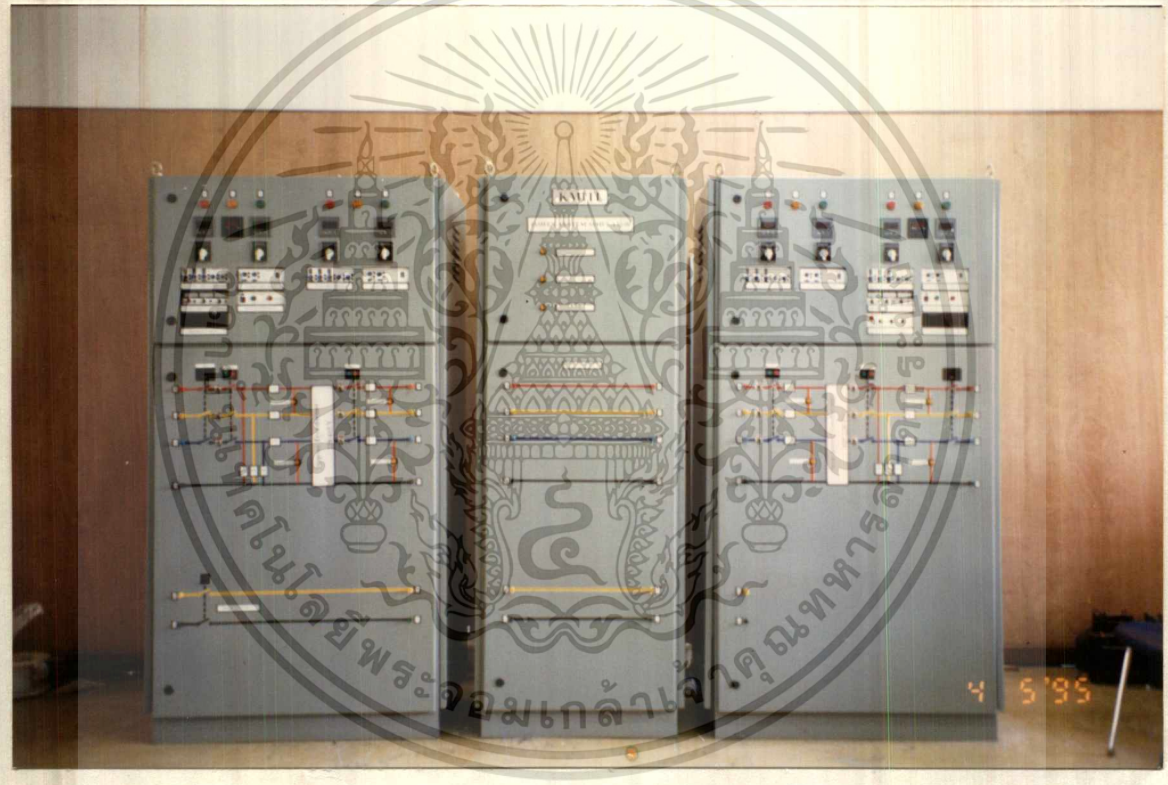
ส่วนประกอบของสายส่ง

- สายไฟฟ้า (Conductor)
- เสาไฟฟ้า (Tower)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

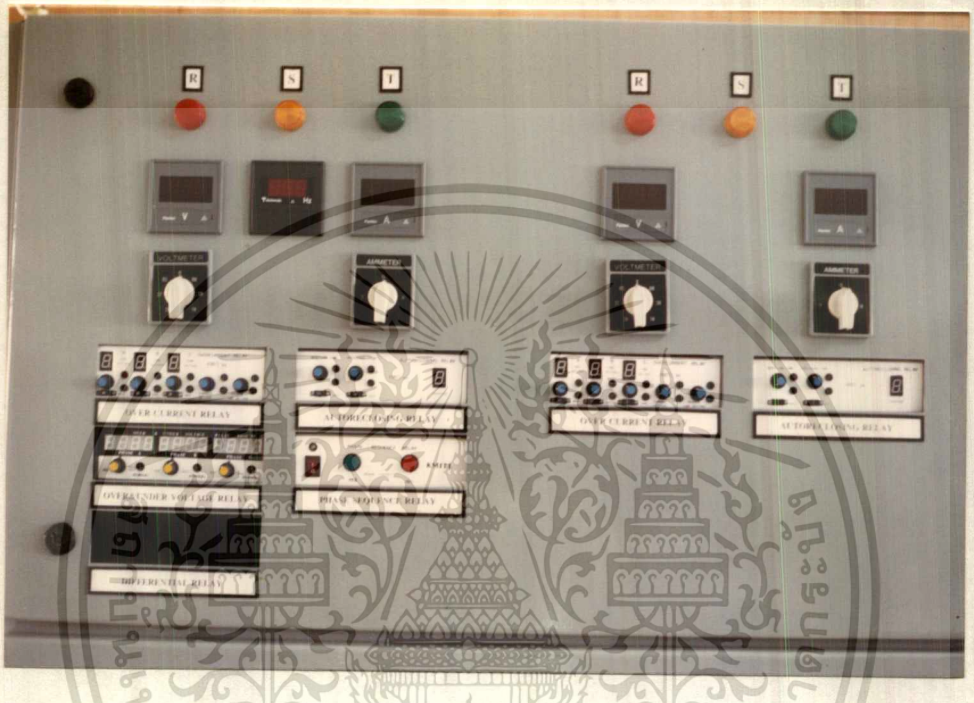
ชุดทดลอง

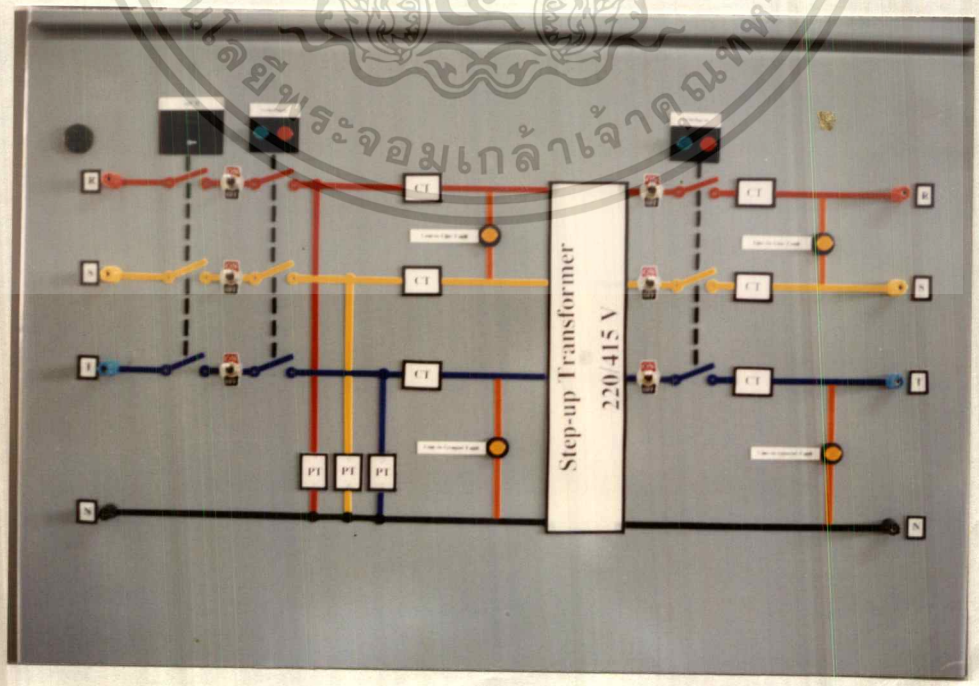
ชุดทดลองที่สร้างขึ้นนี้ใช้สำหรับศึกษาเกี่ยวกับระบบไฟฟ้ากำลัง เหตุผิดปกติต่างๆ รวมทั้งการป้องกันระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งชุดทดลองประกอบด้วยตู้จำนวน 3 ใบ ดังแสดงไว้ในรูป



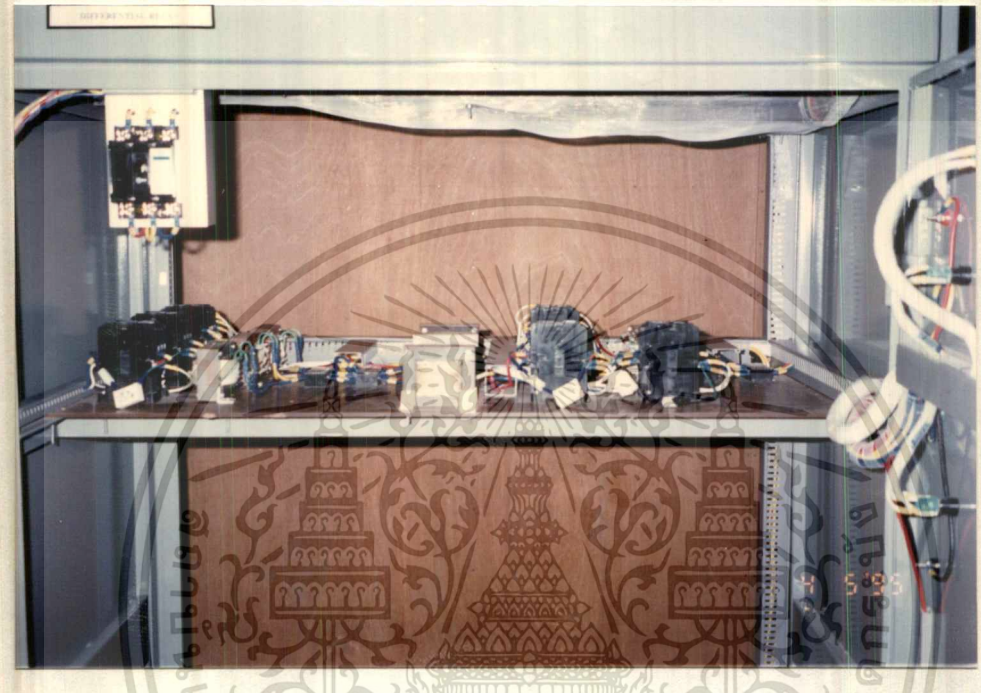
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตู้ที่ 1 มีขนาด กว้าง 100 cm สูง 200 cm ลึก 60 cm แบ่งออกเป็น 2 ชั้น มีการจัดวางอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งภายนอกและภายในดังรูป



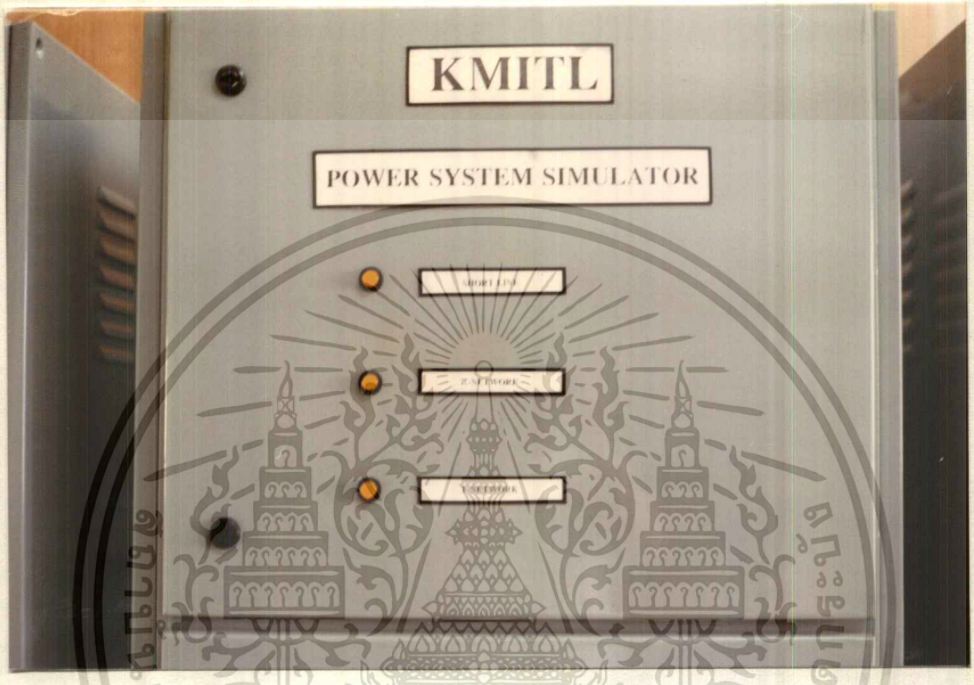


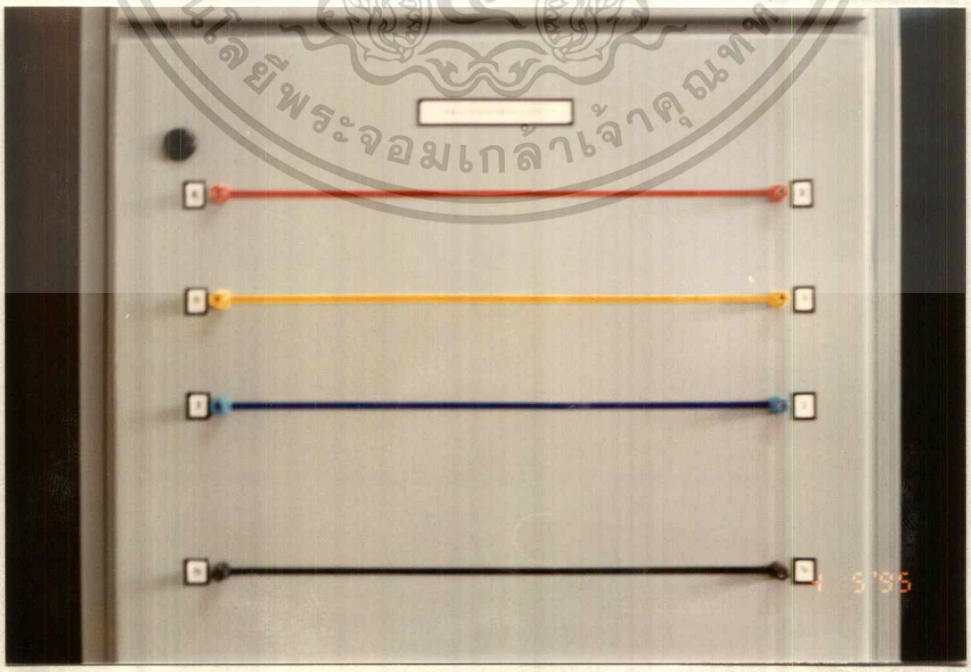
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



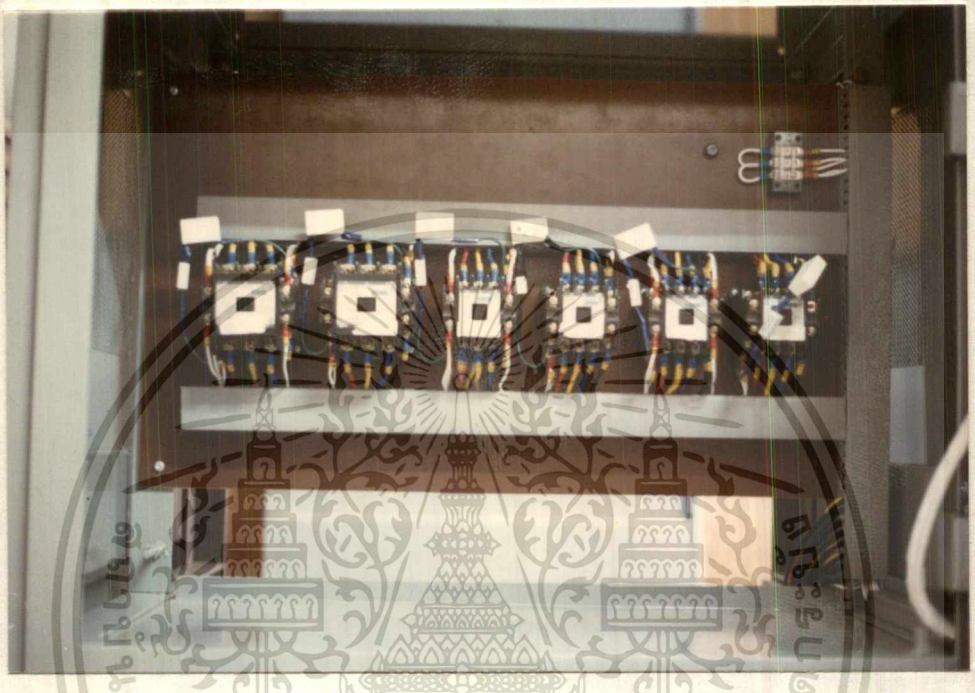
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตู้ที่ 2 มีขนาด กว้าง 60 cm สูง 200 cm ลึก 60 cm แบ่งออกเป็น 2 ชั้น มีการจัดวางอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งภายนอกและภายในดังรูป



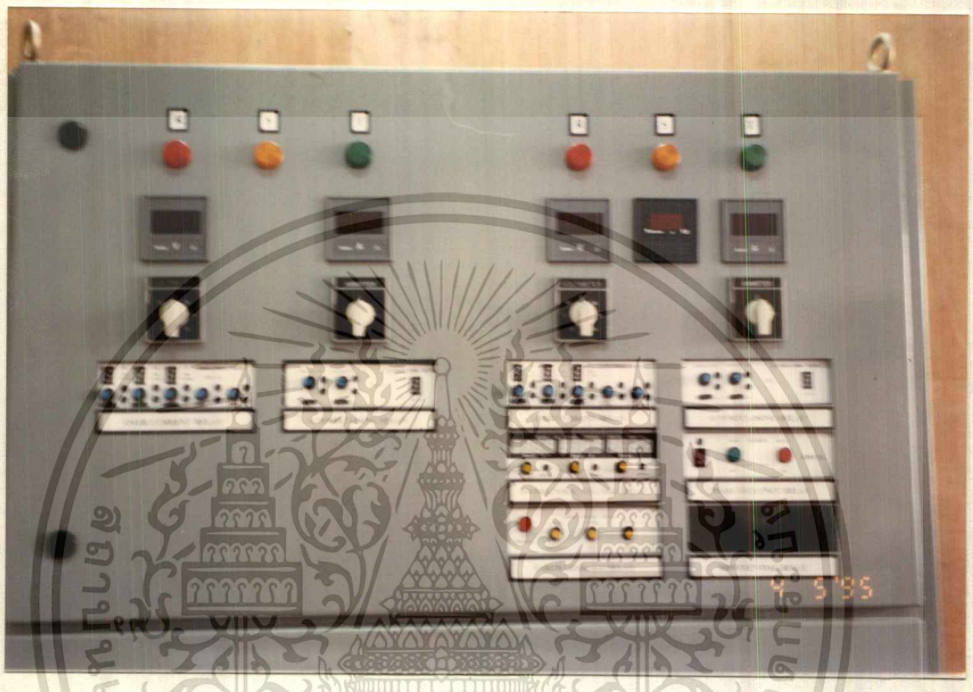


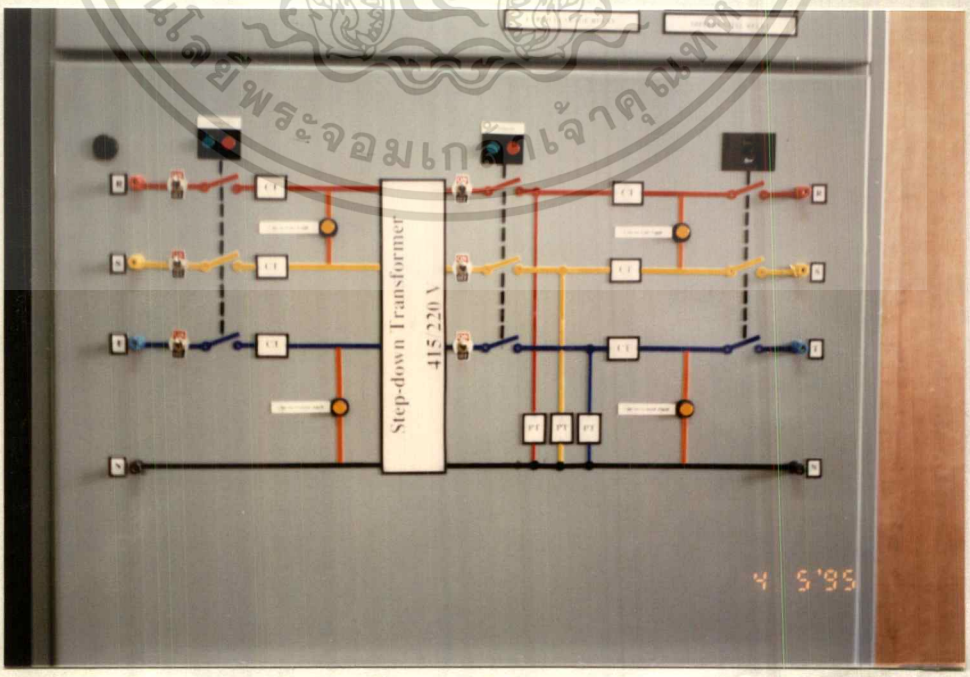
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



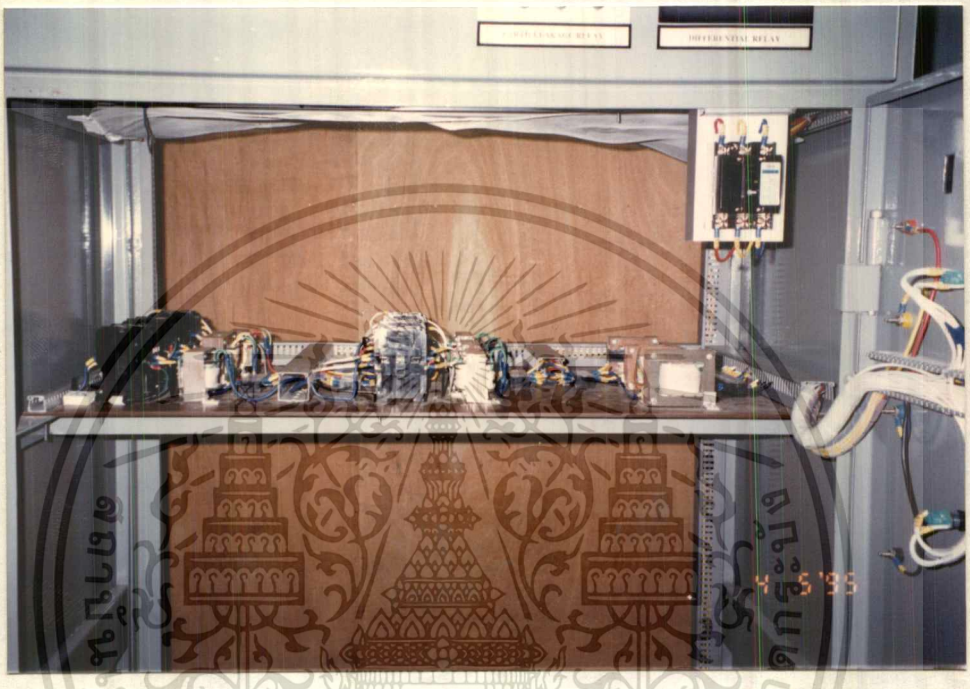
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตู้ที่ 3 มีขนาด กว้าง 100 cm สูง 200 cm ลึก 60 cm แบ่งออกเป็น 2 ชั้น มีการจัดวางอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งภายนอกและภายในดังรูป





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(E)DI3.72/DIN INSTRUCTION FOLDER

INTRODUCTION

(E)DI3.72 and (E)DI3.DIN are µ-processor based digital panel meters with a double input for the measurement of both AC current and AC voltage. By removing the front cover (E)DI3.72 or the front panel (E)DI3.DIN it is possible to set the relevant primary of both current transformers and voltage transformers by means of dip-switches. For a correct and long-lived working of this instrument, follow scrupulously the below mentioned instructions.

1. INSTALLATION

Put the appropriate self-sticking label with engineering unit "A" or "V" on position 3 indicated in figure 1 or 2. Subsequently insert (E)DI3.72 into the panel and fasten it through the two brackets (1, fig. 1) fixed by two fastening screws (2, fig. 1) or fix (E)DI3.DIN on the DIN-rail as indicated in the figure 2.

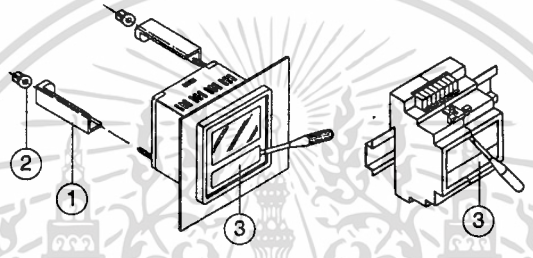


fig. 1

fig. 2

In figures 3 and 4 are shown the overall dimensions and the panel cut-out.

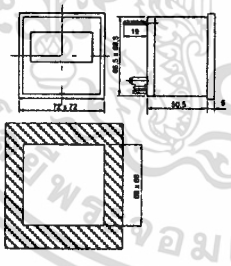


fig. 3

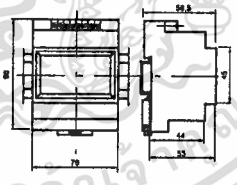


fig. 4

In figure 5 are shown the wiring diagrams of DI3.72 connected as an ammeter and in fig. 6 its connections as a voltmeter.

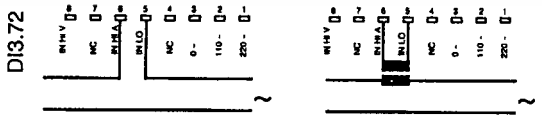


fig. 5

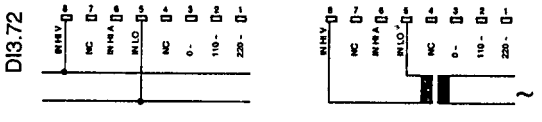


fig. 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

In figure 7 are shown the wiring diagrams of DI3.DIN connected as an ammeter and in fig. 8 its connections as a voltmeter.

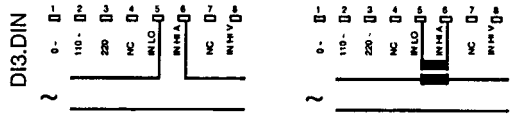


fig. 7

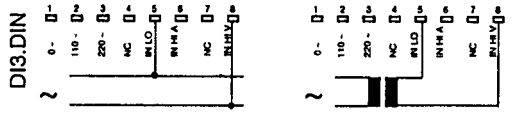


fig. 8

2. POWER SUPPLY

POWER SUPPLY TYPE	SCREW CONNECTOR
220 VAC (standard)	1 - 3 (DI3.72) 1 - 3 (DI3.DIN)
110 VAC (standard)	2 - 3 (DI3.72) 1 - 2 (DI3.DIN)
48 VAC (on request)	1 - 3 (DI3.72) 1 - 3 (DI3.DIN)
24 VAC (on request)	2 - 3 (DI3.72) 1 - 2 (DI3.DIN)

3. PRELIMINARY OPERATIONS

Before supplying the instrument, make sure that the supply voltage correspond to what is shown on the label (see figure 9).

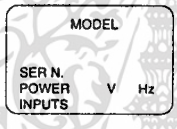


fig. 9

4. INPUTS

As indicated before, the instruments are suitable to measure both 1A / 5A currents and voltages up to 100V / 750V in the same case according to the requested model. Use inputs 5 and 6 for current measurements and inputs 5 and 8 for voltage measurements as indicated at paragraph 1.

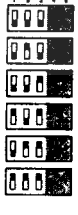
5. DECIMAL POINT SELECTION

999
99.9
9.99

Remove the front cover of (E)DI3.72 or the front panel of (E)DI3.DIN as indicated at paragraph 1. For the decimal point selection use dip-switches 4 and 5 as shown in the figure beside.

6. CT / VT PRIMARY AND DIRECT CONNECTION SELECTION

In case of a CT connection, set dip-switches 1, 2 and 3 according to what shown in the figure below.



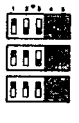
150
250
400
500
600
999

The different position of the decimal point allows you to modify the beside scales in either:
15.0 - 25.0 - 40.0 - 50.0 - 60.0 - 99.9

or

1.50 - 2.50 - 4.00 - 5.00 - 6.00 - 9.99
In case of direct connection, set the dip-switches for 5A measurement as per 5.00 (A), for 1A measurement as per 999 (mA).

In case of a VT connection, set dip-switches 1, 2 and 3 according to what shown in the figure below.



220
380
999

In case of direct connection of 750VAC and 100VAC inputs the dip-switches must be set respectively in "999" position and "99.9" position. Should the 100VAC input be connected to a VT with a second-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ary of 100VAC and a primary of 220V, 380V or 1000V, the relating primary selection must be done as indicated in the page before.

NOTE: the maximum measuring values for both the current and voltage inputs is 3% of the full scale (f.s.) except for the 750VAC input where the minimum measuring value is 4% of f.s.

7. SWITCHING ON

After setting the whole instrument, replace the front cover (E)DI3.72 or the front panel (E)DI3.DIN. Subsequently power the instrument; as soon as powered, it shows for a few seconds the selected primary range, for example "40o" in case of "400 A" selection, and subsequently the measured value. If the display shows "00o", that means the primary range is of "999", dip-switches 1, 2 and 3 are all in "ON" position, see paragraph 6.

Warning

Inside the instrument there are some calibration potentiometers that are factory adjusted. To avoid any accuracy loss, please do not touch them.

WARNING

Do not touch the inside parts of the instrument when power supply and measuring inputs have already been connected to an electrical installation and the latter has been powered.

FD.R0040794 code 8020302

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EDI 3 72 DIGITAL INDICATORS

1. INSTALLATION AND WIRING INSTRUCTIONS.

Install the instrument as shown in fig. 1

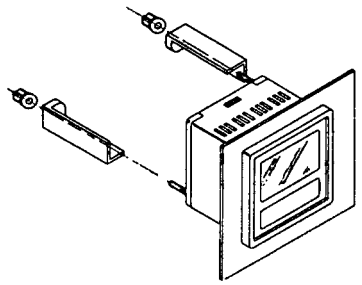


fig. 1

The electrical diagram is shown in fig. 2.

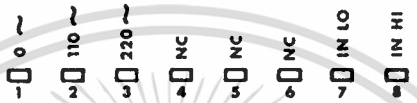


fig. 2

2. POWER CONNECTIONS.

• 110 / 220 V −15% +10% 40÷60 Hz.

Connections.

- 110 V - Connect between terminals 1 (0 V) and 2 (110 V)
- 220 V - Connect between terminals 1 (0 V) and 3 (220 V)

3. INPUTS.

Connect terminals 7 and 8 to the circuit being measured.

For DC signal measurements, polarity must be respected by connecting the positive pole to terminal 8 and the negative one to terminal 7.

4. DECIMAL POINT POSITION.

Decimal point position can be selected on the following models:
1A a.c., 5A a.c., 100V a.c. and 60mV d.c.
Remove panel A (as shown in fig. 3) and select the desired decimal point position by means of dip switches 5 and 6.

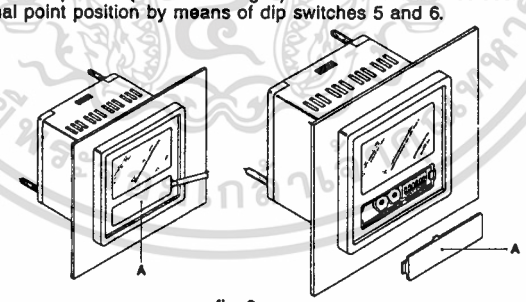


fig. 3

For models with IP65 protection degree, no front access is provided. Open the cabinet as shown in fig. 4 and pull out the printed circuit board.

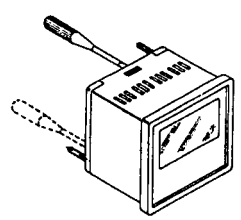
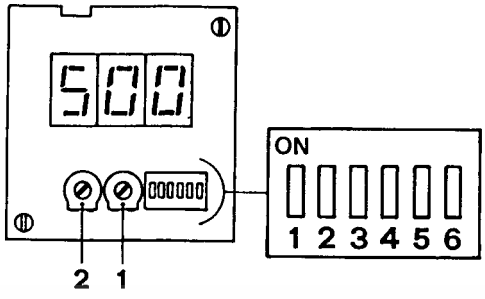
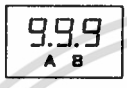


fig. 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Set dip switches 5 and 6 as shown in fig. 5.





Decimal point position	Dip Switch 5	Dip Switch 6
A	ON	OFF
B	OFF	ON

fig. 5

Instruments are supplied with dip switch 5 and 6 in position OFF (decimal point selection is OFF).

5. PRIMARY RANGE SELECTION.

Primary range selection is available on the following models: 1A ac, 5A ac, 100V ac and 60mV dc.

Set dip switches 1, 2, 3 and 4 (fig. 5) to the desired range, following the instructions given below.

Primary Range	60mV d.c. dip switch			1A a.c. dip switch			5A a.c. dip switch			100V c.a. dip switch			
	2	3	4	2	3	4	2	3	4	1	2	3	4
10-100-1000A-1000V	ON	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF
220V										OFF	ON	OFF	OFF
25-250A	OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF				
380V										OFF	OFF	ON	OFF
50-500A-500V				OFF	OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	ON
60-600A	OFF	OFF	ON										

6. ZERO AND FULL SCALE ADJUSTMENTS.

Instruments are normally supplied fully calibrated; therefore no further adjustment is required.
In case it becomes necessary to re-calibrate the instrument, proceed as follows:

Zero adjustments.
Short circuit input terminals 7 and 8 and turn potentiometer 1 as shown in fig. 6, until «0» appears on the display.

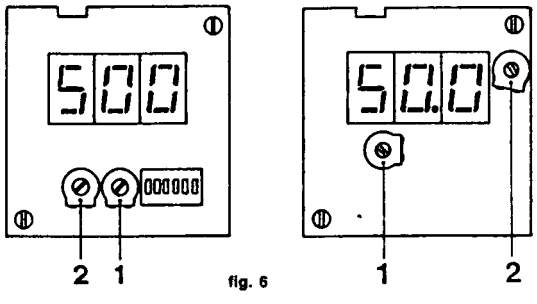
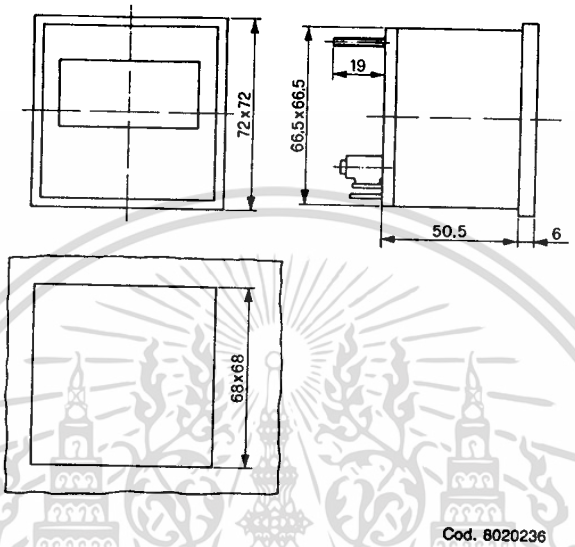


fig. 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Full scale adjustments.
When «0» has appeared on the display, apply to terminals 7 and 8 a reference signal supplied by a suitable calibrator (class 0.05 or higher).
Turn potentiometer 2 (see fig. 6) until the desired value is shown on the display.
Replace the panel (see «A» fig. 3) or close the instrument after having replaced the printer circuit board into the cabinet (fig. 4).

7. OVERALL DIMENSIONS AND PANEL CUTOUT.



Cod. 8020236

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของสายส่ง

สายไฟฟ้า (Conductor) มีหน้าที่รับส่งให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน สายไฟฟ้าเป็นสารตัวนำ อันได้แก่ เงิน , ทองแดง, อะลูมิเนียม, เหล็ก หรือส่วนประกอบของทองแดงกับเหล็ก หรือ อะลูมิเนียมกับเหล็ก ซึ่งเป็นโลหะผสม (Alloy) การพิจารณาเลือกชนิดของวัสดุที่จะใช้ทำสายไฟฟ้า จะต้องคำนึงถึงความสามารถในการนำไฟฟ้า (Conductivity) และความสามารถในการรับแรงดึง (Mechanical Strength) น้ำหนักสายและราคา

- เงิน เป็นโลหะตัวนำไฟฟ้าที่ดีที่สุด แต่มีราคาแพงมาก จึงไม่ใช้ทำสายไฟฟ้า

- ทองแดง เป็นโลหะตัวนำไฟฟ้าที่ดี ความสามารถในการรับแรงดึงไฟฟ้าได้พอควร แต่มีราคาแพง

- อะลูมิเนียม เป็นโลหะตัวนำไฟฟ้าที่ดีพอสมควร มีน้ำหนักเบา แต่มีความสามารถในการรับแรงดึงได้จำกัด เนื่องจากมีราคาถูกกว่าทองแดง จึงนิยมนำมาใช้เป็นสายไฟฟ้า โดยมีแกนเหล็กเสริม เพื่อให้สามารถรับแรงดึงได้ดีขึ้น

สายไฟฟ้าอาจจะเป็นชนิดตันเป็นแท่งหรือตีเกลียว (Strand) สายไฟฟ้าขนาดใหญ่จะเป็นชนิดตีเกลียว เพราะถ้าเป็นสายตันจะมีน้ำหนักมากและหักง่าย โดยทั่วไปสายไฟฟ้าแยกได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. สายไฟฟ้าชนิดอะลูมิเนียมล้วน (All Aluminium Conductor : AAC) เป็นสายไฟฟ้าทำด้วยอะลูมิเนียมตีเกลียว (Strand)

2 สายไฟฟ้าชนิดอะลูมิเนียมแกนเหล็ก (Aluminium Canductor Steel Reinforced : ACSR) สายไฟฟ้าทำด้วยอะลูมิเนียมตีเกลียว ภายในเป็นแกนเหล็กตีเกลียว

3. สายไฟฟ้าชนิดอะลูมิเนียมแกนเหล็ก โดยแกนเหล็กเคลือบอะลูมิเนียม (Aluminium Conductor, Aluminium Clad Steel Reinforced:ACSR/AW)

ขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายไฟฟ้ามีหน่วยที่กำหนดนิยมใช้กันหลายหน่วย เช่น ตารางมิลลิเมตร, เซอร์คิวล่าร์มิล, เมกกะเซอร์คิวล่าร์มิล (Megacircularmill:MCM) หน่วยพื้นที่หน้าตัด 1 เซอร์คิวล่าร์มิล คือพื้นที่หน้าตัดที่บรรจุอยู่ในวงกลมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/1000 นิ้ว การหาพื้นที่หน้าตัดเป็นเซอร์คิวล่าร์มิลหาได้โดยเอา 1000 คูณเส้นผ่าศูนย์กลาง (หน่วยเป็นนิ้ว) แล้วยกกำลังสอง เช่น สายอะลูมิเนียมขนาดเบอร์ 10 มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.102 นิ้ว เมื่อคิดพื้นที่หน้าตัดเป็นเซอร์คิวลาร์มิล ก็จะได้ 102^2 เท่ากับ 10,404 เซอร์คิวลาร์มิล

สำหรับสายไฟฟ้าชนิดตีเกลียว ทั้งชนิดอะลูมิเนียมล้วนและชนิดอะลูมิเนียมเสริมแกนเหล็ก การคิดขนาดสายคิดจากพื้นที่หน้าตัดแต่ละเส้น (Strand) แล้วรวมพื้นที่ของแต่ละเส้นเข้าด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันเป็นพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด ดังตัวอย่างของสายขนาด 477 MCM ACSR มีจำนวนสายอะลูมิเนียม ตีเกลียว 26 เส้น เส้นผ่าศูนย์กลางเส้นละ 3.44 มิลลิเมตร การคิดพื้นที่หน้าตัดหาสายมีดังนี้

เส้นผ่าศูนย์กลางเส้นละ 3.44 มม. = 0.344 ซม. = $\frac{0.344}{2.54}$ = 0.135 นิ้ว

คิดเป็น พท. หน้าตัดเซอร์คิวล่าร์มิล = $(0.135 \times 1000)^2$ = 18341.7

คิดเป็น พท. หน้าตัดรวม = 18341.7 x 26 = 476884 Circularmill

= $\frac{476884}{1000}$ MCM

= 476.88 MCM

≈ 477 MCM

สายไฟฟ้าที่ใช้ในระบบไฟฟ้าแรงสูงมีหลายขนาด เช่น 4/0, 336.4 MCM, 477 MCM. 795 MCM, 1272 MCM ทั้งชนิด AAC และ ACSR

เนื่องจากในขณะที่สายส่งใช้งานอยู่จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน จึงเกิดความร้อนขึ้นที่สายไฟฟ้าเนื่องจากสายมีความต้านทาน ซึ่งถ้ามีการส่งกระแสไฟฟ้าสูงมากเกินไป ความร้อนที่เกิดขึ้นที่สายไฟฟ้าอาจทำให้สายไฟฟ้าเสียหายได้ เช่น สายคาจจะหย่อนไป หรือทำให้อุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ ของสายส่งไฟฟ้าเสียหายได้ จึงได้มีการกำหนดค่าของกระแสสูงสุดที่จะยอมให้ไหลผ่านสายขนาดต่าง ๆ ไว้ ซึ่งค่าของกระแสที่กำหนดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสภาพแวดล้อม, ความเร็วของลมที่พัดผ่านสายไฟฟ้า อุณหภูมิสูงสุดของสายขณะใช้งาน

คุณลักษณะสำคัญของสายส่ง สายไฟฟ้าต่างขนาดกัน คุณลักษระต่าง ๆ ก็จะแตกต่างกันไปด้วย เช่น ชื่อย่อ, แรงดึงสูงสุดที่ทนได้ (กก), เส้นผ่าศูนย์กลางผิวนอก (มม.) พท. หน้าตัดรวม (ตาราง มม.), น้ำหนักโดยประมาณ (กก/ม.), ความยาวของสายส่งไฟฟ้าต่อสายหนึ่งรีล (เมตร) และยังมีรายละเอียดเกี่ยวกับเส้นอะลูมิเนียมแต่ละเส้น (Strand) และแกนเหล็กแต่ละเส้น จำนวนเส้น, เส้นผ่าศูนย์กลาง (มม.), เปอร์เซนต์การยืดตัวในระยะ 1 ฟุต (%) แรงดึงสูงสุด (กก/มม^2) ส่วนแกนเหล็กจะมีการกำหนดน้ำหนักของสังกะสีต่อพื้นที่ (กรัม/ม^2)

ก่อนที่จะนำสายไฟฟ้า (Conductor) เข้าใช้งาน จะมีการทดสอบคุณสมบัติในเรื่องแรงดึงสูงสุดในสาย ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) และขนาดต่าง ๆ ของสายไฟฟ้า เพื่อที่ว่าสภาพของสายไฟฟ้าที่จะนำเข้าใช้งานนี้จะได้ถูกต้องตามคุณสมบัติที่กำหนด และสามารถใช้งานได้ตามประสงค์

การเลือกขนาดของสายไฟฟ้า (Conductor) เพื่อใช้ในสายส่งไฟฟ้าแรงสูงจะพิจารณาถึงปริมาณไฟฟ้าที่ต้องการส่ง ความแข็งแรงของเสาและค่าใช้จ่าย โดยทั่วไปขนาดของสายไฟฟ้าที่ใช้

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับระบบไฟฟ้าแรงดันต่าง ๆ ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ฯ มีทั้งชนิดสายอะลูมิเนียมเสริมเหล็ก (ACSR) และชนิดสายอะลูมิเนียมล้วน (AAC) มีดังนี้

1. ระบบต่ำกว่า 33 KV ใช้สายขนาด 95 มม^2, 120 มม^2, 240 มม^2
2. ระบบ 69 KV ใช้สายขนาด 4/0 AWG, 266.8 MCM, 336.4 MCM
3. ระบบ 115 KV ใช้สายขนาด 477 MCM
4. ระบบ 230 KV ใช้สายขนาด 795 MCM, 1272 MCM
5. ระบบ 500 KV ใช้สายขนาด 795 MCM, 1272 MCM

โดยทั่วไปสายไฟที่ใช้ต่อ 1 เฟสของสายส่งไฟฟ้าจะมีเพียงเส้นเส้นเดียว แต่ต่อไปในอนาคต เพื่อให้ส่งพลังงานไฟฟ้าได้มากขึ้น โดยมีค่าใช้จ่ายอย่างประหยัด จึงมีการเพิ่มจำนวนของสายไฟฟ้ามากกว่า 1 เส้นต่อเฟส เช่นเป็น 2 เส้น, 3 เส้น หรือ 4 เส้น เช่น สายส่ง 230 KV ช่วงบางประกงมีนบุรี, มีนบุรี-รังสิต ใช้วายไฟฟ้าขนาด 1272 MCM ACSR จำนวน 2 เส้นต่อเฟส และสายส่ง 500 KV ช่วงแม่เมาะ3-ท่าตะโก ใช้สายไฟฟ้าขนาด 795 MCM ACSR จำนวน 4 เส้นต่อเฟส

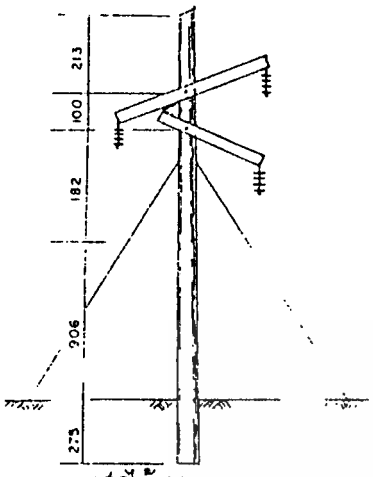
แรงดันไฟฟ้าของระบบเป็นองค์ประกอบสำคัญมาก เพราะที่ระดับแรงดันสูง ๆ นั้นต้องการสายที่มีขนาดใหญ่เพื่อใจะได้มีพื้นที่หน้าตัด (Surface Area) มากพอที่จะไม่ทำให้เกิดความเครียดสนามไฟฟ้า (Electric Field Stress) สูงจนเกินไป ซึ่งจะเป็นเหตุให้เกิด Corona Loss สูงได้

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่จะส่ง ซึ่งหมายถึงปริมาณกระแสที่จะส่งนั่นเอง ถ้ากระแสมากสายจะต้องมีขนาดพื้นที่หน้าตัดมากตาม มิฉะนั้นแล้วสายซึ่งมีความต้านทานแปรผกผันกับขนาดสายก็จะมีค่ามากถ้าสายมีขนาดพื้นที่หน้าตัดน้อย ซึ่งผลจะทำให้เกิดพลังงานสูญเสียในรูปของความร้อน และความร้อนที่เกิดขึ้นนี้ประกอบกับมีแรงดึงตลอดเวลาในสาย จะทำให้สายเสียหายได้

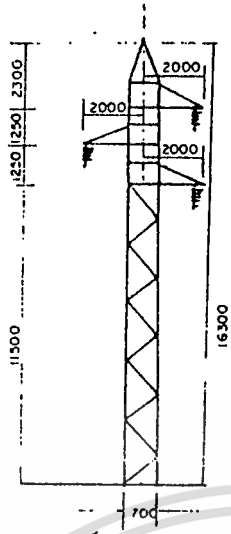
แรงดึงในสายไฟฟ้าของสายส่งซึ่งกำหนดตามความสูงของเสา, ช่วงระยะระหว่างเสา, แรงลม ซึ่งจากแรงดึงที่ต้องการนี้ สายไฟฟ้าที่ใช้จะต้องสามารถรับแรงดึงได้โดยสายไม่เสียหาย สายที่มีพื้นที่หน้าตัดมากก็จะรับแรงได้มากขึ้น ส่วนสายแกนเหล็กนั้น แกนเหล็กช่วยในการรับแรงแกนอะลูมิเนียมได้มาก ดังนั้นในปัจจุบันจึงนิยมใช้วานอะลูมิเนียมแกนเหล็กแทนสายอะลูมิเนียมล้วนเป็นส่วนใหญ่

จากองค์ประกอบการพิจารณาแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, แรงดึงในสายไฟฟ้า พร้อมกับคำนึงถึงผลทางด้านเศรษฐกิจการลงทุน ก็จะทำให้หาขนาดสายที่เหมาะสมได้

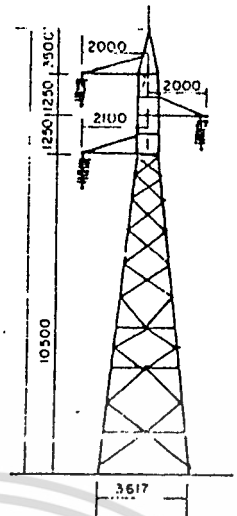
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



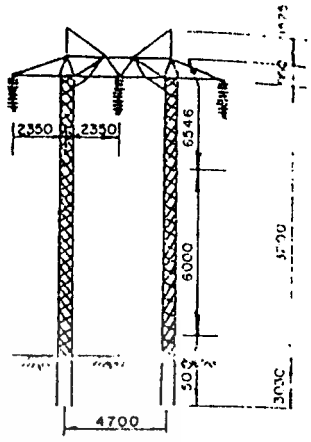
เสาไม้ 69 KV TYPE A
วงจรเดี่ยว



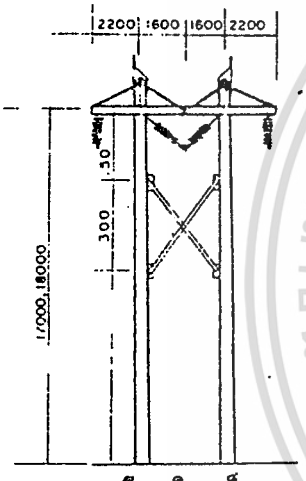
เสาโครงเหล็ก 69 KV TYPE SP
วงจรเดียว



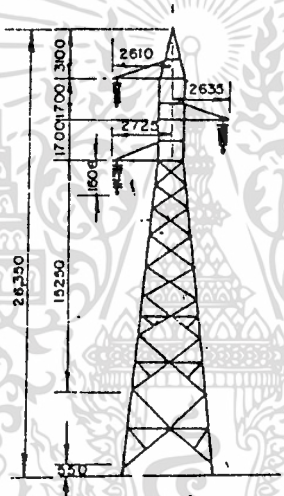
เสาโครงเหล็ก 69 KV
TYPE A วงจรเดี่ยว



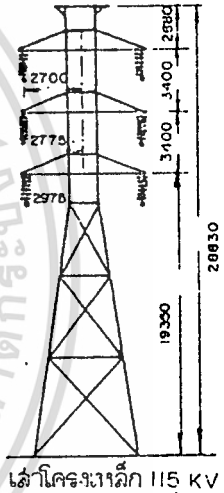
เสาโครงเหล็ก 69 KV
TYPE SSP วงจรเดี่ยว



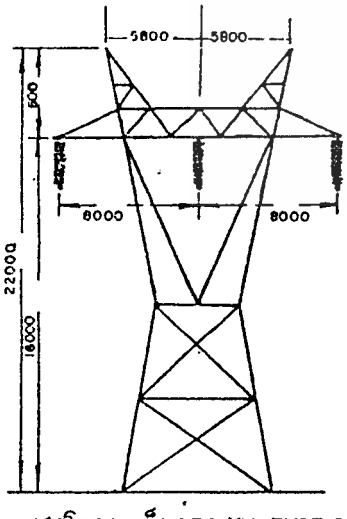
เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก 115 KV
TYPE A วงจรเดี่ยว



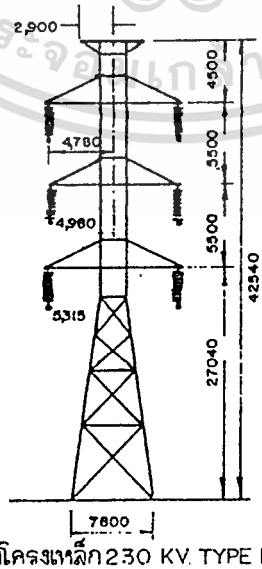
เสาโครงเหล็ก 115 KV
TYPE SA I วงจรเดี่ยว



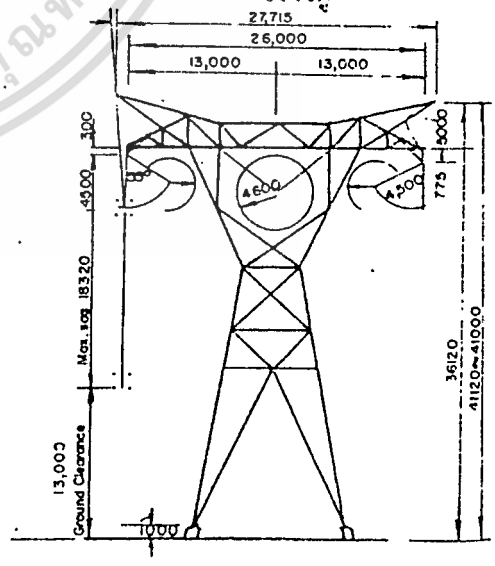
เสาโครงเหล็ก 115 KV
-5° TYPE DA I วงจรคู่



เสาโครงเหล็ก 230 KV TYPE SA I
วงจรเดี่ยว



เสาโครงเหล็ก 230 KV. TYPE DA I
วงจรคู่



เสาโครงเหล็ก 500 KV
วงจรเดี่ยว

แสดงรูปเสาต่างๆ

หมายเหตุ หน่วยเป็นมิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสาไฟฟ้า

กฟผ. มีเสาไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่ 3 ชนิดคือ เสาโครงเหล็ก, เสาคอนกรีต, เสาไม้ การจะเลือกใช้เสาชนิดไหนขึ้นอยู่กับความเหมาะสมตามระดับแรงดัน ซึ่งต้องการความสูงที่แตกต่างกัน จึงใช้ขนาดสายและความแข็งแรงของเสาที่แตกต่างกัน เช่นระบบแรงดัน 230 เควี ต้องการความสูงมากก็ต้องใช้เสาโครงเหล็ก ส่วนระบบแรงดัน 69 เควี อาจจะใช้เสาคอนกรีตหรือเสาโครงเหล็กขนาดเล็ก หรือเสาไม้ ดังได้แสดงรูปต่าง ๆ ของเสา และกล่าวถึงรายละเอียดของเสาต่าง ๆ ดังนี้

เสาโครงเหล็ก (Steel Tower)

เสาโครงเหล็กใช้เป็นส่วนใหญ่สำหรับสายส่งไฟฟ้า ซึ่งทำให้สายส่งสามารถใช้ขนาดของสายไฟฟ้าได้ใหญ่และมีความมั่นคง มีอายุใช้งานยืนยาว เสาโครงเหล็ก (Tower) ประกอบด้วยเหล็กฉากสานประกอบดัน และมีความสูงไม่ต่ำกว่า 10 เมตร มีฐานราก 4 ขารูปสี่เหลี่ยน โครงสร้างเหล็กที่มีฐานเล็กและมีความสูงต่ำกว่า 10 เมตรจะเรียกว่าเสาเหล็ก (Steel Ploe)

เสาโครงเหล็กแยกเป็นได้ 2 ชนิดคือ ชนิดยึดแน่น (Rigid Type) และชนิดขยับไหวได้ (Flexible Type) ชนิดยึดแน่น (Rigid Type) มีความมั่นคงดีในทุกทิศทาง แต่สำหรับชนิดขยับไหวได้นั้นสามารถเบี่ยงเบนได้ในทิศทางตามแนวของสายส่ง เสาโครงเหล็กชนิดยึดแน่นจะต้องมีขามากกว่าสามขา เพื่อจะได้ยึดกันได้แน่นดี ส่วนชนิดขยับไหวได้จะประกอบด้วยขาเพียงสองขาเท่านั้น เสาโครงเหล็กชนิดยึดแน่นสามารถรับแรงได้ในทุกทิศทาง แต่เสาโครงเหล็กชนิดขยับไหวได้รับได้เฉพาะแรงในแนวตั้งฉากกับสายส่ง ถ้าอยู่ในแนวของสายส่งแล้วจะรับแรงได้ไม่มากพอ หลักการออกแบบที่สำคัญนั้นจะต้องออกแบบการใช้เสาไฟฟ้าโดยไม่ให้เกิดสภาวะไม่สมดุลย์ที่เสาไฟฟ้า ถ้าเกิดสภาวะไม่สมดุลย์ขึ้นจะทำให้เสาเสียหายได้ เพื่อเป็นการรักษาสภาพแวดล้อมที่จะไม่ทำให้เสียทัศนียภาพที่สวยงามของธรรมชาติ การออกแบบเสาโครงเหล็กจึงมีแนวโน้มไปในทางที่ง่ายและใช้หลักทางสถาปัตยกรรมมากยิ่งขึ้น

สำหรับในระบบของ กฟผ. มีเสาโครงเหล็กที่ใช้ในสายส่งตามระบบแรงดันต่าง ๆ คือ ในระบบ 230 เควี, ระบบ 115 เควี และระบบ 69 เควี และเสาโครงเหล็กที่ใช้ในระบบแรงดัน 500 เควีด้วย

ตามลักษณะการใช้งานจะแบ่งเสาโครงเหล็กได้เป็น 2 ชนิดคือ ชนิดวงจรคู่ (Double Circuit) และชนิดวงจรเดี่ยว (Single Circuit) และแบ่งตามลักษณะการขึงสายแยกได้เป็น 2 อย่าง คือ การดึงสายลูกถ้วยแบบแนวนอน (Tension Type) และการดึงสายลูกถ้วยแบบตั้ง (Suspension Type) ซึ่งนอกจากที่ดึงสายในแนวตรงแล้ว ยังมีชนิดที่มีมุมเบี่ยงเบนจากแนวสายเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบเสาโครงเหล็ก

เสาโครงเหล็กมีส่วนประกอบใหญ่ ๆ แบ่งได้ดังนี้

1. ฐานราก (Foundation) คือส่วนของเสาโครงเหล็กที่เป็นฐานของเสา โดยมีส่วนอยู่ใต้ระดับพื้นผิวดินเป็นส่วนใหญ่ และจะมีส่วนที่โผล่หุ้มเหล็กขาเหนือพื้นดิน ประกอบด้วยเหล็กสตัม (Stub) ซึ่งเป็นเหล็กฉากขนาดใหญ่และเหล็กสาน (Reinforcement Bar) ส่วนด้านล่างของฐานรากอาจจะมีเสาเข็มด้วยหรือไม่ขึ้นอยู่กับลักษณะของดินและชนิดของฐานรากที่เลือกใช้

เฉพาะส่วนของคอนกรีต (Concrete) เหนือระดับผิวดินนั้น เพื่อให้เสาโครงเหล็ก มีความแข็งแรงจะต้องมีการถมดินอันโดยรอบฐากรากไว้ (Backfill)

โดยทั่วไปฐานรากมี 3 ชนิดคือ ชนิดมีเสาเข็ม (Pile Type Foundation) ชนิดฐานแผ่ (Pad Type Foundation) และชนิดแท่งตรง (Pier Type Foundation) นอกจากนี้ยังมีฐานรากชนิดอื่น ๆ ซึ่งจะมีใช้ตามสภาพที่ตั้งที่ไม่เหมือนกับสภาพทั่วไป เช่นดินอ่อนมากจะใช้ฐานรากชนิดแผ่รวม (Raft Type Foundation) หรือเสาตั้งบนภูเขาก็จะใช้ฐานรากชนิดเทคอนกรีตยึดกับหิน (Rock Type Foundation)

2. ขาต่อ (Leg Extension)

เป็นชิ้นส่วนของเสาโครงเหล็กที่ต่อจากสตับ (Stub) ขึ้นมา โดยมีขาต่อหลายระดับความสูงตามความต้องการ แต่ถ้ามีการต่อขาต่อมากขึ้นอาจจะทำให้ความแข็งแรงของเสาโครงเหล็กลดลง ซึ่งมีวิธีแก้ในกรณีที่ต้องการความสูงเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มส่วนต่อ (Body Extension) แทนซึ่งต่อจากขาไปยังส่วนประกอบร่วม (Common Part)

3. ขาต่าง (Lame Leg Extension)

ในกรณีที่สภาพที่ตั้งเสาต่างระดับกัน เช่นบริเวณไหล่เขา, เนินเขา เพื่อที่จะจัดให้ระดับของขาทั้งสี่เท่ากัน จะได้ประกอบเสาโครงเหล็กชั้นต่อไป จึงใช้ฐานรากชนิดขาต่างต่อให้ได้ระดับเท่ากัน

4. ส่วนต่อ (Body Extension)

ส่วนของเสาที่ต่อจากขาซึ่งใช้เสริมในกรณีที่ต้องการความสูงเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความสูงโดยการเสริมขาต่อมากไป อาจทำให้เสาโครงเหล็กไม่แข็งแรง จึงใช้วิธีเพิ่มส่วนต่อ (Body Extention) ซึ่งให้ความแข็งแรงมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ส่วนกลาง (Common Body)

เป็นส่วนลำตัวของเสา ซึ่งมีเหล็ก Main Leg และเหล็กสานอยู่ระหว่างส่วนขากับครอสอาร์มล่าง ในเสาแบบเดียวกันจะใช้ส่วนกลาง (Common Body) เหมือนกัน

6. ส่วนยอด (Top Part)

เป็นส่วนปลายของเสาเริ่มจากส่วนกลาง (Common Body) ถึงปลายยอดเสา ประกอบด้วยครอสอาร์ม (Cross-Arm) สำหรับสายไฟฟ้า (Conductor) และครอสอาร์มสำหรับรับสายโอเวอร์เฮดกราวด์ (OHG-Wire)

เหล็กที่ใช้ประกอบเสาโครงเหล็กจะเป็นเหล็กฉากอาบสังกะสี (Galvanized Steel) ซึ่งแยกเป็นเหล็กขา (Main Leg) จะมีขนาดใหญ่และอาบสังกะสีหนา ส่วนเหล็กสานจะเป็นเหล็กฉากขนาดเล็กกว่า การอาบสังกะสีของเหล็กจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่ กฟผ. กำหนด กล่าวคือ จะต้องอาบสังกะสีโดยวิธี Hot-Dip โดยเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM A123 โดยกำหนดไว้ดังนี้คือ

1. ถ้าเหล็กที่หนา 1/8" และ 3/16" จะต้องชุบสังกะสีหนาอย่างน้อยประมาณ 80 ไมครอน
2. ถ้าเหล็กที่หนาตั้งแต่ 1/4" จะต้องชุบสังกะสีหนาอย่างน้อยประมาณ 100 ไมครอน

โดย 1 มม. เท่ากับ 1,000 ไมโครอน

นอกจากแบ่งเสาโครงเหล็กเป็นส่วน ๆ ที่สำคัญแล้ว ยังมีอุปกรณ์อื่น ๆ ประกอบอีก เช่น

- เหล็กเพลท (Steel Plate) ซึ่งเป็นเหล็กแผ่นใช้สำหรับสายต่อเหล็กฉากเข้าด้วยกัน
- เบอร์เสา (Tower Number) เพื่อบอกเลขที่ของเสาในสายส่งนั้น จะเป็นเบอร์พ่นที่เหล็กขา (Main Leg) ด้านล่าง พื้นสีเหลืองตัวอักษรสีดำ
- ป้ายบอกเฟส (Phasing Sign) เพื่อให้ทราบเฟสของสายไฟฟ้าที่อยู่กับเสาในสายส่ง จะมีป้ายแผ่นสังกะสีสี่เหลี่ยมติดอยู่ที่ปลายครอสอาร์ม (Cross-Arm) ด้านบนตรงกับสายไฟฟ้าเฟสนั้น ๆ เฟส A พื้นสีแดงตัวอักษรขาว เฟส B พื้นสีเหลืองตัวอักษรดำ และเฟส C พื้นสีน้ำเงินตัวอักษรขาว
- ป้ายตรวจสายทางอากาศ (Aerial Patrol Sign) เป็นแผ่นสังกะสีสี่เหลี่ยมติดอยู่บนยอดเสา ตรงกลางพื้นสีเหลือง อักษรสีดำ ใช้ประโยชน์ในการตรวจสายส่งทางเฮลิคอปเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ป้ายเตือนอันตราย (Danger Sign) เป็นแผ่นสังกะสีติดบริเวณโคนเสา พื้นสีเหลืองตัวอักษรเตือนสีแดง ใช้ประโยชน์สำหรับเตือนบุคคลทั่วไปไม่ให้ปีนขึ้นบนเสา ส่วนมากจะติดไว้กับเสาต้นที่ใกล้ย่านชุมชน, ที่พักอาศัย, ติดกับถนนหนทางสัญจรไปมา

เสาโครงเหล็กสำหรับการสลับเฟส (Transposition)

ในกรณีที่สายส่งมีระยะทางยาวมาก เพื่อแก้ไขการเกิดสภาพไม่สมดุลย์ของกระแส, แรงดัน อันเนื่องมาจากการไม่สมดุลย์ของค่ารีแอคเต้นซ์ (Reactance) และการเกิดคลื่นรบกวนระบบสื่อสาร จึงมีการแก้ไขโดยการสลับเฟสของสายส่ง (Transposition) ซึ่งการสลับเฟสของสายส่งนี้จะทำที่เสาโครงเหล็กต้นหนึ่งซึ่งออกแบบพิเศษ หรืออาจจะสลับเฟสระหว่างเสาสองต้น ซึ่งใช้ในกรณีที่เป็นเสาวงจรเดี่ยว (Single Circuit) และการจัดของครอสอาร์มเป็นรูปสามเหลี่ยม จะต้องใช้เสาจำนวน 3 ต้นเพื่อการสลับสายส่ง

แบบและชนิดของเสาโครงเหล็ก

มีการใช้สัญญลักษณ์เป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ เพื่อแสดงแบบของเสาถึงลักษณะการใช้งาน รูปร่าง เช่นเป็นวงจรคู่ (Double Circuit) หรือวงจรเดี่ยว (Single Circuit) รับแรงดึง (Tension) หรือชนิดแขวน (Suspension) รวมถึงมีมุมเบี่ยงเบนจากแนวเดินสายหรือไม่จึงจะกล่าวถึงสัญญลักษณ์ที่ใช้งานทั่วไปดังนี้

ตัวอักษร	ความหมาย
S	วงจรเดี่ยว (Single Circuit)
D	วงจรคู่ (Double Circuit)
W	สายไฟฟ้าต่อเฟสมีจำนวน 2 เส้น (Twin Conductors)
L	ช่วงสายระหว่างเสามีความยาวเป็นพิเศษ (Long Span)
T	เป็นเสาต้นสลับสาย (Transposition)

ดังตัวอย่างการใช้อักษรย่อแทนชนิดของเสาโครงเหล็ก

- การยึดสายโดยใช้ลูกถ้วยแขวน (Suspension) โดยการรับน้ำหนักของสายไฟฟ้า, สายโอเวอร์เฮดกราวด์ โดยกำหนดให้มีมุมเบี่ยงเบน 0 - 2

SAI, DAI, WAI สำหรับช่วงเสายาวปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LSAI, LDAI, LWAI สำหรับช่วงเสายาวกว่าปกติ

- การยึดสายโดยใช้ลูกถ้วยในแนวนอน (Tension) มีใช้ในเสาต้นมุม (Angle Tower)

SBI, DB2	สำหรับมุม	0^0 - 15^0
SCI, DC2	สำหรับมุม	0^0 - 30^0
SDI, DB2	สำหรับมุม	0^0 - 60^0

สำหรับเสาต้นสุดท้ายก่อนเข้าสถานีไฟฟ้าย่อย (Dead End Tower) ซึ่งอาจจะมีการเปลี่ยนมุมช่วงเข้าสถานีไฟฟ้าย่อย การเปลี่ยนมุมนั้นจะทำให้ช่วงระหว่างเสาต้นสุดท้ายกับเทคออฟสตรัคเจอร์ (Take-off Structure) ซึ่งเป็นช่วงสายสั้น (Slack Span) ชนิดของเสาจะเป็น SDE, DDE

ระบบต่อลงดิน (Grounding System)

เป็นส่วนที่อยู่กับฐานรากของเสาโครงเหล็ก โดยทั่วไปตามแบบของ กฟผ. กำหนดให้ทำที่ฐานรากสองฐานหรือสี่ฐานตามความจำเป็น ทั้งนี้เพื่อให้ค่าความต้านทานของดินลดลง ซึ่งจะทำให้สามารถรับประจุที่ถ่ายจากตัวเสาลงดินได้มากที่สุด ค่าความต้านทานของดินกำหนดไว้ไม่เกิน 10 โอห์ม ระบบต่อลงดินประกอบด้วยกราวด์รอด (Ground Rod) หรือเคาน์เตอร์พอยส์ (Counter Poise) ซึ่งฝังดินและมีสายต่อยึดติดกับสตับ (Stub) โดยมีกราวด์เพลท (Ground Plate) เป็นตัวยึด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณในความกรุณาของอาจารย์ ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความรู้และคำแนะนำ ตลอดจนแนวทางปฏิบัติที่เป็นประโยชน์ ทำให้ Project สำเร็จตามจุดมุ่งหมายที่ได้ตั้งไว้

ขอขอบคุณรุ่นพี่ที่ได้ทำโครงงานเกี่ยวกับเรื่องนี้มาก่อน ซึ่งเป็นแนวทางสำหรับทำโครงงานนี้

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และห้อง Work Shop ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำโครงงานนี้

ขอขอบคุณ สถานีไฟฟ้าย่อยหนองจอก การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการทำโครงงานนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. ฉัตรมงคล บุญลอย, นฤเทพ สันตะรัตติวงศ์, "ระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง2" , ปริญญานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 75 หน้า, ปีการศึกษา 2530.
2. สันติ อัศวศรีพงศ์ธร , "รีเลย์ป้องกันกับการป้องกันระบบกำลัง" , สมาคมศูนย์วิชาการไทย-ออสเตรเลีย , 189 หน้า , 2526
3. สมเกียรติ ผโลประการ , "วิศวกรรมการส่งและจ่ายไฟฟ้า" , บริษัทสำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด , 212 หน้า , 2526
4. ศูนย์ฝึกอบรมการไฟฟ้าภูมิภาค , "คู่มืออบรมหลักสูตรสวิทช์เกียร์" , 675 หน้า , 2523
5. William D. Stevenson, Jr. , "Element of power system analysis" , McGRAW-HILL , 436 p. , 1985
6. T.S. MADHAVA RAO , "Power System Protection ; Static Relay" , McGRAW-HILL , 705 p. , 1979

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้