ปีการศึกษา 2539

การออกแบบไดอะแกรมเส้นเดียว ของสถานีไฟฟ้าย่อย 230 กิโลโวลท์ ชนิดภายนอกอาคาร

SINGLE LINE DIAGRAM OF OUTDOOR TYPE 230 kV SUBSTATION DESIGN

โดย

นาย เฉลิมศักดิ์ อินต๊ะผัด

นาย วศิษฎ์ จันทรัง

นาย ศักดิ์ดา ไกลถิ่น

นาย อภิสิทธิ์ เบนอารีย์

วัน เดือน ปี 30 ก.ค. 2541

เลขทะเบียน 038190

เลขเรียกหนังสือ T 54210 ก 1339

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล

038190

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2539

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบไดอะแกรมเส้นเดียวของสถานีไฟฟ้าย่อย 230 กิโลโวลท์ ชนิดภายนอกอาคาร

ผู้จัดทำ

นาย เฉลิมศักดิ์ อินต๊ะผัด
นาย วศิษฎ์ จันทรัง
นาย ศักดิ์ดา ไกลถิ่น
นาย อภิสิทธิ์ เบนอารีย์

----------อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบไดอะแกรมเส้นเดียว ของสถานีไฟฟ้าย่อย 230 กิโลโวลท์ ชนิดภายนอกอาคาร

นาย เฉลิมศักดิ์ อินต๊ะผัด
นาย วศิษฏ์ จันทรัง
นาย ศักดิ์ดา ไกลถิ่น
นาย อภิสิทธิ์ เบนอารีย์
ผศ.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2539

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการออกแบบสถานีไฟฟ้าย่อยชนิดภายนอกอาคาร ระบบแรงดัน 230 กิโลโวลท์ ซึ่งใช้โปรแกรมออโตแวร์(Authoware) มาช่วยในการออกแบบ โดยจัดทำเป็นโปรแกรมสำเร็จรูป โปรแกรมการออกแบบสถานีไฟฟ้าย่อยที่ได้ทำการรวบรวมข้อมูลและออกแบบจัดทำในครั้งนี้ ใช้มาตรฐานของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เป็นมาตรฐานอ้างอิงหลัก

โครงงานที่ได้ทำการศึกษาได้มุ่งเน้นการออกแบบไปที่การจัดบัสแบบเบรคเกอร์-แอนด์-อะ-ฮาล์ฟ ในส่วนของไดอะแกรมเส้นเดียวที่แสดงทั้ง ชนิด จำนวน และขนาดพิกัดของอุปกรณ์ใช้ในระบบ โดยผู้ใช้สามารถเลือกการทำงานของโปรแกรมการออกแบบได้ 2 แบบคือ ให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลแบบอัตโนมัติ หรืออาจเป็นแบบกำหนดค่าเองก็ได้ ซึ่งอาศัยฐานข้อมูลที่รวบรวมมาจากการสร้างสถานีไฟฟ้าย่อยหลายๆ แห่ง นอกจากนี้ยังสามารถใช้โปรแกรมที่ได้ออกแบบเป็นแนวทางให้กับผู้ที่สนใจที่จะศึกษาเกี่ยวกับสถานีไฟฟ้าย่อยได้อีกหนึ่งวิธีนอกเหนือจากการศึกษาในตำราทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SINGLE LINE DIAGRAM OF OUTDOOR TYPE 230 kV SUBSTATION DESIGN

Mr. Chalermsak Intaphad

Mr. Wasit Jantarang

Mr. Sakda Klaithin

Mr. Apisit Ben-aree

Asst.Prof. Siriwat Potivejkul Advisor

Abstract

This project is a study about the basic design single line diagram of outdoor system (conventional) in 230 kV.substation.This method use the Autoware program to make this project to be instant program. In this project which study of the substation design shall conform to the applicable requirement of Electricity Generating Authority of Thailand standard (EGAT.)The substation design and the representation show on the attached preliminary design drawing which is the only single line diagram part that is breaker and a half type on the computer.

In this single line diagram will show the quantity, rated and type of equipment that require to install in the substation. In addition to the user who would like to use this program that will have two choice for the substation design by program process(automatic process)or manual process however both of this program are depend on the collection data from many substation. For other use the student who would like to study about the substation they can learn from this program beyond study by the text book.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	III
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสถานีไฟฟ้าย่อย	3
2.1 หน้าที่ของสถานีไฟฟ้าย่อย	3
2.2 ชนิดของสถานีไฟฟ้าย่อย	4
2.3 การควบคุมอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อย	6
2.4 การจัดบัสบาร์สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย	7
2.5 หลักการอ่านหมายเลขอุปกรณ์	15
2.6 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	16
บทที่ 3 รายละเอียดของอุปกรณ์แต่ละชนิดในสถานีไฟฟ้าย่อย	24
3.1 หม้อแปลงกำลัง(Power Transformer)	24
3.2 เซอร์กิตเบรคเกอร์ (Circuit Breaker)	41
3.3 ชั้น - รีแอคเตอร์(Shunt Reactor)	51
3.4 คาปาซิเตอร์ แบงค์ (Capaciter Bank)	53
3.5 ดิสคอนเนคติ้งสวิทช์(Disconnecting Switch)	56
3.6 หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า(Current Transformer)	62
3.7 หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า(Potential Transformer)	68
3.8 อุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า(Lightning Arrester)	71
3.9 เวฟแทล็ป (Wave Trap)	79
3.10 เพาเวอร์ฟิวส์(Power Fuse)	85
บทที่ 4 โครงสร้างของโปรแกรม	86
4.1 เมนเมนูเข้าสู่ ชิงเกิล-ไลน์-ไดอะแกรม(Main menu to Single line diagram)	91
4.2 เมนเมนูเข้าสู่ สัญญาลักษณ์(Main menu to Symbol)	93
4.3 เมนเมนูเข้าสู่ตัวอย่างแบบมาตรฐาน(Main menu to Example drawing)	94
4.4 เมนเมนูเข้าสู่โปรแกรมการออกแบบ(Main menu to Program design)	97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 เมนเมนูเข้าสู่เมนูเก็บข้อมูล(Main menu to Content) 101
บทที่ 5 คำแนะนำการใช้โปรแกรม 102
5.1 คำแนะนำการใช้เมนู Single line diagram 103
5.2 คำแนะนำการใช้เมนู Symbol 108
5.3 คำแนะนำการใช้เมนู Drawing Example 109
5.4 คำแนะนำการใช้เมนู Program design 111
5.5 คำแนะนำการใช้เมนู Content 119
5.6 คำแนะนำการใช้เมนู Guid for using 119
5.7 คำแนะนำการใช้เมนู Exit program 119
บทที่ 6 บทสรุปและวิจารณ์ 122
ภาคผนวก ก. 124
ภาคผนวก ข. 134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2-1	สถานีไฟฟ้าย่อยภายนอกอาคาร	3
รูปที่ 2-2	สถานีไฟฟ้าย่อยภายในอาคาร	4
รูปที่ 2-3	สถานีไฟฟ้าย่อยกึ่งภายนอกอาคาร	5
รูปที่ 2-4	สถานีไฟฟ้าย่อยแบบเคลื่อนที่	6
รูปที่ 2-5	การจัดวางบัสแบบซิงเกิลบัส	8
รูปที่ 2-6	การจัดวางบัสแบบ เมน-แอนด์-ทรานสเฟอร์-บัส	9
รูปที่ 2-7	การจัดวางบัสแบบ ดับเบิ้ล-เมน-แอนด์-ทรานสเฟอร์-บัส	10
รูปที่ 2-8	การจัดวางบัสแบบ ดับเบิ้ล-บัส-ดับเบิ้ล-เบรคเกอร์	11
รูปที่ 2-9	การจัดวางบัสแบบ เบรคเกอร์-แอนด์-อะ-ฮาล์ฟ	12
รูปที่ 2-10	การจัดวางบัสแบบวงแหวน	13
รูปที่ 2-11	การจัดวางบัสแบบ ดับเบิ้ล-บัส-ซิงเกิ้ล-เบรคเกอร์	14
รูปที่ 2-12	ระบบสายส่งที่พาดผ่านภาคเหนือ	18
รูปที่ 2-13	ระบบสายส่งที่พาดผ่านภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	19
รูปที่ 2-14	ระบบสายส่งที่พาดผ่านภาคตะวันออก	20
รูปที่ 2-15	ระบบสายส่งที่พาดผ่านภาคกลาง	21
รูปที่ 2-16	ระบบสายส่งที่พาดผ่านภาคตะวันตก	22
รูปที่ 2-17	ระบบสายส่งที่พาดผ่านภาคใต้	23
รูปที่ 3-1	การติดตั้งหม้อแปลงกำลัง	24
รูปที่ 3-2	ท่อหล่อเย็นในแกนเหล็ก	25
รูปที่ 3-3	การระบายความร้อนแบบ OA	27
รูปที่ 3-4	การระบายความร้อนแบบ FA	28
รูปที่ 3-5	การระบายความร้อนแบบ FO	29
รูปที่ 3-6	การระบายความร้อนแบบ FOA	30
รูปที่ 3-7	การรักษาคุณภาพฉนวนน้ำมัน	31
รูปที่ 3-8	Solid type bushing	32
รูปที่ 3-9	Condenser type bushing	33
รูปที่ 3-10	อุปกรณ์ลดความดัน	34
รูปที่ 3-11	อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิน้ำมัน	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3-12 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิขดลวด 35
รูปที่ 3-13 อุปกรณ์วัดความดันน้ำมัน 36
รูปที่ 3-14 ชุดซับความชื้น 37
รูปที่ 3-15 ออนโหลดแทปเชนเจอร์ 38
รูปที่ 3-16 โนโหลดแทปเชนเจอร์ 39
รูปที่ 3-17 Transformer outline drawing 40
รูปที่ 3-18 กิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่าง Period of system 41
รูปที่ 3-19 การติดตั้งเซอร์กิตเบรคเกอร์ลักษณะของอินเตอร์รัพเตอร์ 44
รูปที่ 3-20 ลักษณะของอินเตอร์รัพเตอร์ 45
รูปที่ 3-21 ลักษณะตัวจับยึดอุปกรณ์ 46
รูปที่ 3-22 การติดตั้งชั้น - รีแอคเตอร์ 51
รูปที่ 3-23 แสดงการเปรียบเทียบการวางตัวของแกนเหล็ก 52
รูปที่ 3-24 การติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์ 53
รูปที่ 3-25 ตรวจสอบการทำงานของคาปาซิเตอร์แบงค์โดยใช้ PT 55
รูปที่ 3-26 ตรวจสอบการทำงานของคาปาซิเตอร์แบงค์โดยใช้ CT 55
รูปที่ 3-27 ตรวจสอบการทำงานของคาปาซิเตอร์แบงค์แต่ละเฟสโดยใช้ CT 56
รูปที่ 3-28 การติดตั้งดิสคอนเนคติ้งสวิทช์ 56
รูปที่ 3-28 การติดตั้งดิสคอนเนคติ้งสวิทช์อีกแบบหนึ่ง 57
รูปที่ 3-29 โครงสร้าง Horizonal centre-break Disconnecting swtch 59
รูปที่ 3-30 โครงสร้าง Vertical-break Disconnecting switch 60
รูปที่ 3-31 โครงสร้าง Vertical centre-break Disconnecting switch 61
รูปที่ 3-32 โครงสร้าง Horizonal double side break Disconnecting switch 61
รูปที่ 3-33 การติดตั้งหม้อแปลงกระแส 63
รูปที่ 3-34 โครงสร้างหม้อแปลงกระแส 65
รูปที่ 3-35 แสดงแกนวัดและแกนป้องกันในตัวหม้อแปลงกระแสตัวเดียวกัน 67
รูปที่ 3-36 การติดตั้งหม้อแปลงแรงดัน 68
รูปที่ 3-37 ลักษณะของหม้อแปลงแรงดันแบบคาปาซิตีฟ 69
รูปที่ 3-38 หม้อแปลงแรงดันชนิดขั้วเดียวและสองขั้ว 70
รูปที่ 3-39 การติดตั้งของอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า 71
รูปที่ 3-40 ตัวอย่างโครงสร้างภายนอกของอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า 72
รูปที่ 3-41 ตัวอย่างช่องอากาศดับอาร์คแบบใช้สนามแม่เหล็ก 73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3-42	การต่อกราวด์และสัญลักษณ์ของอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า	74
รูปที่ 3-43	ตัวอย่างอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า 8.4 kv	75
รูปที่ 3-44	ขนาดของแรงดันที่ตำแหน่งต่างๆ	76
รูปที่ 3-45	เปรียบเทียบแรงดันเกินที่ไลน์เบรคเกอร์แบบธรรมดา และแบบที่ติดอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าที่เบรคเกอร์	77
รูปที่ 3-46	กราฟแสดงการเลือกตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า	78
รูปที่ 3-47	การติดตั้งเวฟแทล็ป	79
รูปที่ 3-48	ลักษณะโครงสร้างของเวฟแทล็ป	80
รูปที่ 3-49	วงจรและอิมพีแดนซ์ Single frequency wave trap	82
รูปที่ 3-50	วงจรและอิมพีแดนซ์ Double frequency wave trap	83
รูปที่ 3-51	วงจรและอิมพีแดนซ์ Wind frequency wave trap	84
รูปที่ 4-1	โครงสร้างของโปรแกรม	86
รูปที่ 4-2	แสดงรูปแบบ Intro Start	87
รูปที่ 4-3	แสดงรูปแบบ Intro Name	88
รูปที่ 4-4	แสดงรูปแบบ Intro Name (ต่อ)	89
รูปที่ 4-5	แสดงผังการทำงานของ Main menu	90
รูปที่ 4-6	แสดงผังการทำงานของหมวด Single line diagram	92
รูปที่ 4-7	แสดงผังการทำงานของหมวด Symbol	93
รูปที่ 4-8	แสดงผังการทำงานของหมวด Example drawing	94
รูปที่ 4-9	แสดงผังการทำงานของหมวด Example drawing (ต่อ)	95
รูปที่ 4-10	แสดงผังการทำงานของหมวด Example drawing (ต่อ)	96
รูปที่ 4-11	แสดงการทำงานของหมวด Program design	97
รูปที่ 4-12	แสดงการทำงานของหมวด Program design ในการตัดสินใจ	99
รูปที่ 4-13	แสดงการทำงานของหมวด Program design ในการตัดสินใจ	100
รูปที่ 4-14	แสดงการทำงานของหมวด Content	101
รูปที่ 5-1	ลักษณะของ Main manu	102
รูปที่ 5-2	แสดงภาพเมื่อเลื่อนเมาท์ไปเลือกหมวด Single line diagram	103
รูปที่ 5-3	แสดงตัวอย่างภาพจริงเมื่อคลิ๊กเมาท์ไปที่เซอร์กิตเบรคเกอร์	104
รูปที่ 5-4	แสดงรายละเอียดของเซอร์กิตเบรคเกอร์	104
รูปที่ 5-5	แสดงตัวอย่างภาพจริงเมื่อคลิ๊กเมาท์ไปที่หม้อแปลงกระแส	105
รูปที่ 5-6	แสดงรายละเอียดของหม้อแปลงกระแส	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5-7	แสดงตัวอย่างภาพจริงเมื่อคลิ๊กเมาท์ไปที่หม้อแปลงแรงดัน	106
รูปที่ 5-8	แสดงรายละเอียดของหม้อแปลงแรงดัน	106
รูปที่ 5-9	แสดงตัวอย่างภาพจริงเมื่อคลิ๊กเมาท์ไปที่เวฟแทลป์	107
รูปที่ 5-10	แสดงรายละเอียดของเวฟแทลป์	107
รูปที่ 5-11	แสดงสัญญาลักษณ์ที่ปรากฏบนจอคอมพิวเตอร์	108
รูปที่ 5-12	แสดงเมนูของหมวด Example drawing	109
รูปที่ 5-13	แสดงภาพ Single line diagram ของการจัดบัสแบบ Breaker and a half	110
รูปที่ 5-14	แสดงส่วนของ General arrangement plan ของการจัดบัสแบบ Beaker and a half	111
รูปที่ 5-15	ชื่อและสถานที่ตั้งของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ออกแบบ	111
รูปที่ 5-16	แสดงหน้าจอการเลือกใช้โปรแกรม	112
รูปที่ 5-17	โหลดของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ออกแบบโดยใช้ Program process	112
รูปที่ 5-18	คำแนะนำก่อนเลือกจำนวนเบย์อินพุทโดยใช้ Program process	113
รูปที่ 5-19	สรุปข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับสถานีไฟฟ้าย่อยโดยใช้ Program process	113
รูปที่ 5-20	ภาพ Single line diagram โดยใช้ Program process	114
รูปที่ 5-21	แสดงหน้าจอของการใช้ปุ่ม Autocad โดยใช้ Program process	115
รูปที่ 5-22	แสดงหน้าจอของ List equipment โดยใช้ Program process	116
รูปที่ 5-23	โหลดของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ออกแบบโดยใช้ Manual process	116
รูปที่ 5-24	คำแนะนำก่อนเลือกจำนวนเบย์อินพุทโดยใช้ Manual process	117
รูปที่ 5-25	สรุปข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับสถานีไฟฟ้าย่อยโดยใช้ Manual process	117
รูปที่ 5-26	ภาพ Single line diagram โดยใช้ Manual process	118
รูปที่ 5-27	แสดงหน้าจอของการใช้ปุ่ม Autocad โดยใช้ Manual process	120
รูปที่ 5-28	แสดงหน้าจอของ List equipment โดยใช้ Manual process	121
รูปที่ 5-29	แสดงตัวอย่างเอกสารที่เก็บไว้ในไฟล์ Content	121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 3-1 แสดงการเปรียบเทียบเซอร์กิตเบรคเกอร์แต่ละชนิด 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในสภาวะของโลกปัจจุบันการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจเป็นไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่พัฒนาไปอย่างไม่มีที่สิ้นสุด ตามกระแสการขยายตัวของเศรษฐกิจ ดังนั้นความต้องการที่จะใช้พลังงานไฟฟ้าจึงมีค่าความต้องการเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน ความจำเป็นที่จะต้องจัดหาพลังงานไฟฟ้ามาให้เพียงพอกับความต้องของประชาชนนั้นก็เป็นสิ่งที่สำคัญ โดยการที่จ่ายกระแสไฟฟ้าเพิ่มในปริมาณค่าความต้องการมากๆ นั้น ต้องมีการสร้างสถานีไฟฟ้าย่อยแห่งใหม่ขึ้นมารองรับปริมาณการขยายของการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น แต่ทั้งนี้ในการออกแบบสถานีไฟฟ้าย่อยแต่ละแห่งนั้นมีด้วยกันหลายขั้นตอนซึ่งยุ่งยากซับซ้อน ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ทั้งหมด 9 ส่วนดังนี้คือ

1. SINGLE LINE DIAGRAM
2. GENERAL ARRANGEMENT PLANT
3. BUS STRUCTURE PLANT
4. BUS STRUCTURE SECTIONS
5. SUBSTATION GROUNDIND SYSTEM
6. CONTROL ROOM EQUIPMENT LAY-OUT
7. SUBSTATION STRUCTURE LAY-OUT
8. SUBSTATION CABLE TRENCH AND CONDUIT LAY-OUT
9. IDENTIFICATION PLATE AND LOCATION

โครงงานนี้จึงได้พยายามศึกษาหาวิธีการออกแบบเพื่อให้มีความสะดวกยิ่งขึ้น โดยได้ทำเป็นโปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งโปรแกรมการออกแบบนี้ได้ทำการศึกษาในเบื้องต้นนี้ ได้ออกแบบเฉพาะในส่วนของ ไดอะแกรมเส้นเดียว ของสถานีไฟฟ้าย่อยแห่งใหม่ที่จะทำการสร้างเท่านั้น

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับ สถานีไฟฟ้าย่อยในส่วนต่างๆ ที่น่าสนใจเกี่ยวกับการออกแบบสถานีไฟฟ้าย่อยโดยทั่วไป นอกจากนี้ยังรวมไปถึงรูปแบบของโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบสถานีไฟฟ้าย่อยที่ได้ทำการศึกษา ตามหัวข้อของโครงงานที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โดยเนื้อหาของปริญญานิพนธ์ได้แบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ตามหัวข้อดังต่อไปนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสถานีไฟฟ้าย่อย หน้าที่และชนิดของสถานีไฟฟ้าย่อย นอกจากนี้ยังกล่าวถึงการควบคุมอุปกรณ์ การจัดวางบัส หลักการอ่านหมายเลขอุปกรณ์ในแต่ละเบย์ของไดอะแกรมเส้นเดียว รวมไปถึงเครือข่ายของระบบจำหน่ายไฟฟ้าภายในประเทศของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 เนื้อหาของบทนี้กล่าวถึงรายละเอียดของอุปกรณ์ไฟฟ้าในสถานีไฟฟ้าย่อย เช่น หม้อแปลงกำลัง(Power Transformer) เซอร์กิตเบรคเกอร์(Circuit Braker) ดิสคอนเนคติ้งสวิทช์ (Disconecting Switch) หม้อแปลงแรงดัน(Potential Transformer) หม้อแปลงกระแส(Current Transformer) เวฟแทล็ป(Wave Trap) ชั้นรีแอคเตอร์ (Shunt Reacter) คาปาซิเตอร์แบงค์(Capaciter Bank) เป็นต้น

บทที่ 4 กล่าวถึงรูปแบบของการนำเสนอข้อมูลทางจอคอมพิวเตอร์ โดยเนื้อหาประกอบไปด้วยเรื่องไดอะแกรมเส้นเดียว สัญญลักษณ์ ตัวอย่างแบบมาตรฐานของ กฟผ. สำหรับลักษณะของโปรแกรมนั้นประกอบไปด้วยเมนูต่างๆ ตลอดจนการแสดงผล และยังกล่าวถึงการรวบรวมข้อมูลทั้งหมดไว้ในคอมพิวเตอร์ที่มีชื่อไฟล์ว่า "คอนเทนต์" เพื่อให้เป็นอีกวิธีหนึ่งในการค้นหาข้อมูลเกี่ยวกับโปรแกรมที่ได้ทำการศึกษานอกเหนือจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว

บทที่ 5 เป็นการแนะนำวิธีการใช้โปรแกรมการออกแบบ ที่ได้ทำการศึกษามาทั้งหมดแก่ผู้สนใจในโครงงานนี้ นอกจากนั้นแล้วยังช่วยในการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับ สถานีไฟฟ้าย่อยได้ง่ายขึ้น เนื่องจากเราสามารถเห็นรูปอุปกรณ์ที่ใช้งานในสถานีไฟฟ้าย่อย ได้จากไดอะแกรมเส้นเดียวที่ได้ทำการออกแบบไว้

บทที่ 6 บทสรุปและวิจารณ์ การทำงานที่ได้ทำมาทั้งหมดตลอดปีการศึกษา 2539

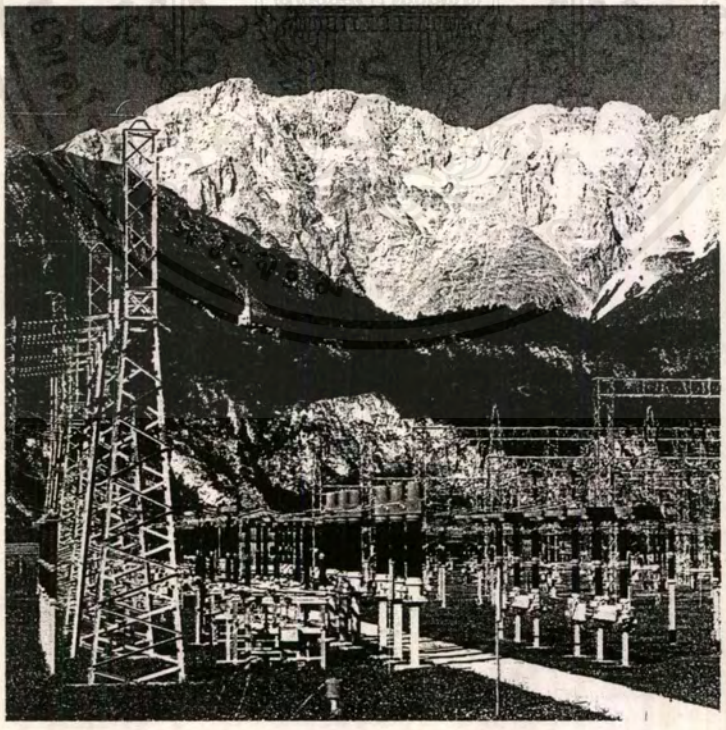
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสถานีไฟฟ้าย่อย

2.1 หน้าที่ของสถานีไฟฟ้าย่อย

เป็นสถานีกลางที่รับพลังงานจากสายส่งเพื่อส่งถ่ายผ่านสู่ระบบจำหน่าย โดยมีหน้าที่และจุดประสงค์ดังนี้;

1. เป็นจุดเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้า
2. เป็นจุดปรับระดับแรงดันในระบบให้คงที่
3. เป็นจุดเชื่อมระหว่างระบบสายส่งกับระบบจ่ายไฟฟ้าในการตัดตอนออกและนำเข้าสู่ระบบ
4. เป็นจุดวัดปริมาณทางไฟฟ้า
5. เป็นจุดเชื่อมโยงระบบสื่อสาร โทรมาตรและป้องกันสายส่ง
6. เป็นตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า



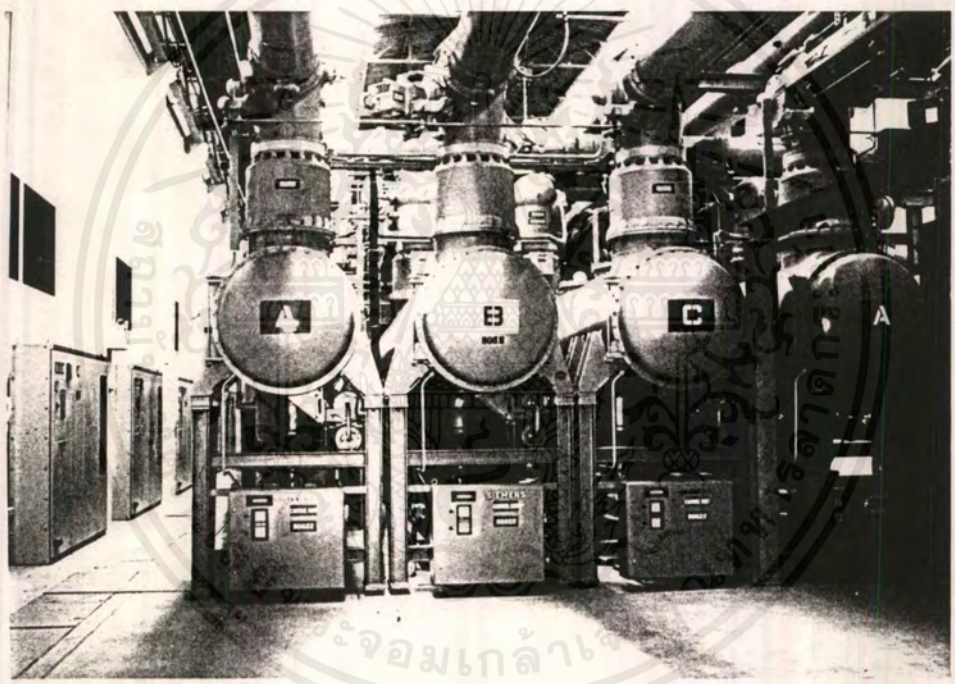
รูปที่ 2-1 สถานีไฟฟ้าย่อยภายนอกอาคาร (Outdoor substation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ชนิดของสถานีไฟฟ้าย่อย

สถานีไฟฟ้าย่อยนั้นสามารถแบ่งตามชนิดการออกแบบได้ดังต่อไปนี้

1. สถานีไฟฟ้าย่อยภายนอกอาคาร (Outdoor substation) จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงภายนอกอาคาร เช่น หม้อแปลงกำลัง เซอร์กิตเบรคเกอร์ ดิสคอนเนคติ้งสวิชท์ โดยมีอุปกรณ์ควบคุมอยู่ภายในอาคารซึ่งจะทำการต่อวงจรจากภายในอาคาร แต่ก็สามารถสั่งให้ทำงาน (Operate) โดยตรงที่อุปกรณ์ได้ในกรณีที่เกิดขัดข้องขึ้นมา สถานีไฟฟ้าย่อยแบบนี้ใช้พื้นที่ในการติดตั้งมากแต่ค่าก่อสร้างราคาถูกและสามารถจัดวางอุปกรณ์ได้สะดวก ระบายความร้อนได้ดี จึงเหมาะสมใช้ในบริเวณชานเมืองซึ่งราคาที่ดินไม่แพงนัก

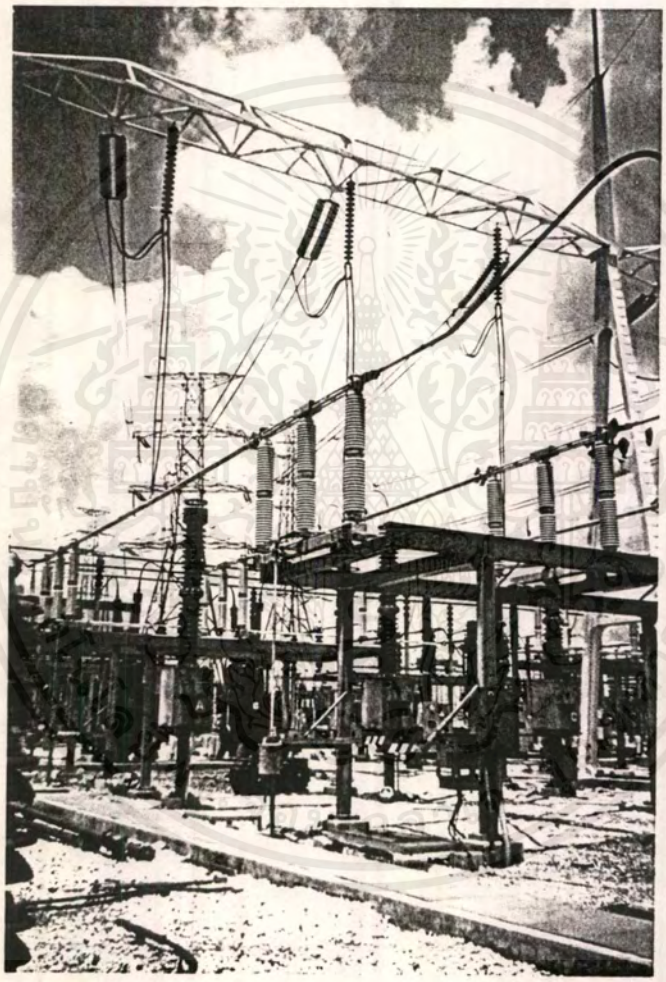


รูปที่ 2-2 สถานีไฟฟ้าย่อยภายในอาคาร (Indoor substation)

2. สถานีไฟฟ้าย่อยภายในอาคาร (Indoor substation) เป็นการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงภายในอาคาร ปัจจุบันที่ใช้อยู่คือแบบ GIS (Gas insulate substation) ซึ่งมีลักษณะเด่นคือใช้แก๊ส SF_6 เป็นฉนวนและอุปกรณ์ต่างๆ จะอยู่ในสถานีไฟฟ้าย่อยแบบปิดใหญ่ใช้ในที่ๆ มีความเจริญ เช่น ย่านตัวเมืองซึ่งมีราคาที่ดินแพงหรือในบริเวณชายทะเลที่มีไอน้ำเค็มเกิดเป็นคราบเกลือ ซึ่งจะทำให้เกิดการเบรคดาวน์(Breakdown) กับอุปกรณ์ได้ง่าย ขณะนี้ประเทศไทยได้นำมาใช้บ้างแล้ว เช่น สีลม พัทลุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สถานีไฟฟ้าย่อยแบบกึ่งภายนอกอาคาร (Semi-outdoor substation) เป็นการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงไว้ภายนอกอาคาร และอีกส่วนหนึ่งติดตั้งอยู่ภายในอาคาร สุดแต่ความเหมาะสมของการออกแบบทางด้านความปลอดภัยและการประหยัด ในประเทศไทยมีอยู่ที่สถานีไฟฟ้าย่อยพระนครเหนือ

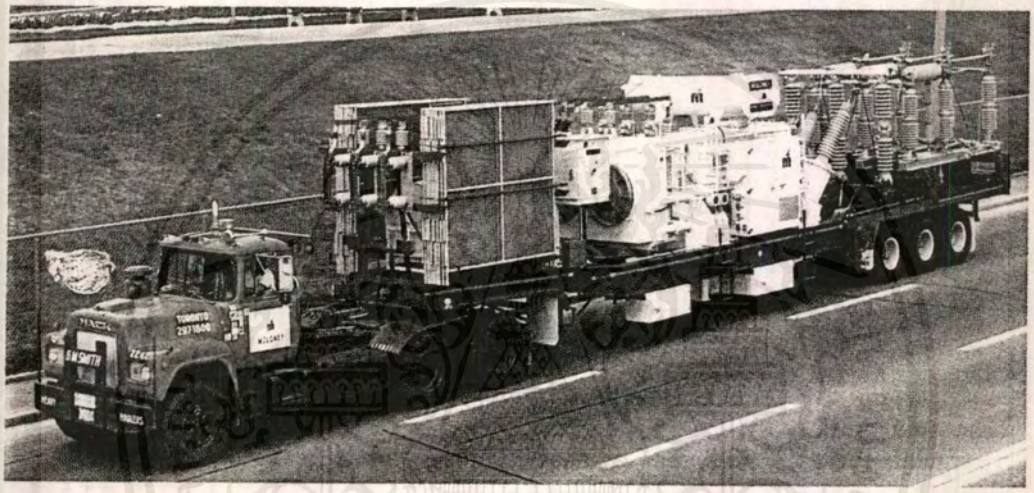


รูปที่ 2-3 สถานีไฟฟ้ากึ่งภายนอกอาคาร (Semi-outdoor substation)

4. สถานีไฟฟ้าย่อยแบบใต้ดิน (Under ground substation) เป็นการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนใหญ่จะอยู่ใต้ดิน ซึ่งอยู่ใต้อาคารและมีระบบระบายความร้อน มักเป็นสถานีไฟฟ้าย่อยที่อยู่ใจกลางชุมชน เช่น แหล่งการค้าที่มีอาคารสูงๆ แบบนี้มีใช้มากในประเทศเยอรมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สถานีไฟฟ้าย่อยแบบเคลื่อนที่ (Mobile substation) เป็นการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าอยู่บนรถยนต์ ซึ่งสามารถลากไปไหนมาไหนได้สะดวก เหมาะสำหรับช่วยการจ่ายไฟฟ้าที่ผิดปกติ คือ ช่วงที่อาจมีโหลดมากขึ้นในบางเวลา หรือฤดูกาลต่างๆ ในทางอุตสาหกรรม เช่น ในประเทศไทยเมื่อถึงฤดูหีบอ้อย ทำแป้งมัน มักจะมีโหลดสูง เราก็สามารถใช้สถานีไฟฟ้าย่อยแบบเคลื่อนที่ไปช่วยจ่ายไฟได้ในช่วงที่มีโหลดเพิ่มขึ้น เมื่อเลิกใช้หรืออยู่ในสภาวะปกติเราก็สามารถปลดออกได้สะดวก



รูปที่ 2-4 สถานีไฟฟ้าย่อยแบบเคลื่อนที่ (Mobile substation)

2.3 การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในสถานีไฟฟ้าย่อย

1. ควบคุมการทำงานโดยใช้คน (Manual Operation) เป็นการควบคุมสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยขนาดเล็ก การควบคุมอุปกรณ์ เช่น ใบมีด เซอร์กิตเบรคเกอร์และอุปกรณ์อื่นๆ ซึ่งกระทำการควบคุมโดยใช้คนทั้งหมด

2. ควบคุมแบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-Automatic Operation) การควบคุมแบบนี้ ในสถานีไฟฟ้าย่อยส่วนใหญ่ใช้วิธีนี้โดยการรีโมทไปควบคุมระบบ สวิชท์บอร์ด(Switch Board) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผู้ปฏิบัติงาน (Operator) ว่าจะใช้การควบคุมอย่างไร

3. การควบคุมแบบอัตโนมัติ(Automatic Operation) เป็นการควบคุมโดยไม่ต้องใช้คนเลย

4.การควบคุมจากจุดศูนย์กลางการจ่ายกระแสไฟฟ้า(Supervisory)โดยผู้ปฏิบัติงานสามารถควบคุมระบบโดยทราบสภาพของสถานีไฟฟ้าย่อยต่างๆ ในขณะนั้นจากข้อมูลที่ส่งมายังจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศูนย์กลาง เช่น การควบคุมการปลด-สับอุปกรณ์ตามสถานีไฟฟ้าย่อยจากศูนย์กลางการควบคุมระบบไฟฟ้า

2.4 การจัดบัสบาร์(Busbar) สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย

ในการเลือกจะต้องให้มีความเหมาะสมทั้งด้านเศรษฐกิจและการใช้งาน โดยพิจารณาถึงโอกาสที่จะเกิดความผิดปกติ การตรวจสอบ การก่อสร้างเพื่อขยายระบบซึ่งรวมไปถึงความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ต่างๆ แบบของสถานีไฟฟ้าย่อย สิ่งแวดล้อม การเพิ่มขึ้นของการใช้ไฟฟ้า นอกจากนี้จะต้องพิจารณาถึงการหยุดชะงักในการบริการไฟฟ้า การทำงานและความสำคัญของสถานีไฟฟ้าย่อย การให้บริการในเขตจำหน่ายไฟฟ้า โดยที่ระบบวงจรไฟฟ้าในสถานีไฟฟ้าย่อยเกี่ยวเนื่องกับส่วนต่างๆ ของระบบไฟฟ้าและระบบป้องกันของบัสบาร์ จำเป็นต้องเลือกการต่อวงจรที่เหมาะสมกับระบบไฟฟ้าข้างต้น ทั้งนี้ควรจัดให้การต่อวงจรได้ใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ ไม่ยุ่งยากในการตรวจสอบและใช้ระบบที่ง่ายที่สุดเพื่อช่วยให้อุปกรณ์ต่างๆ ทำหน้าที่ได้น่าเชื่อถือมากที่สุด

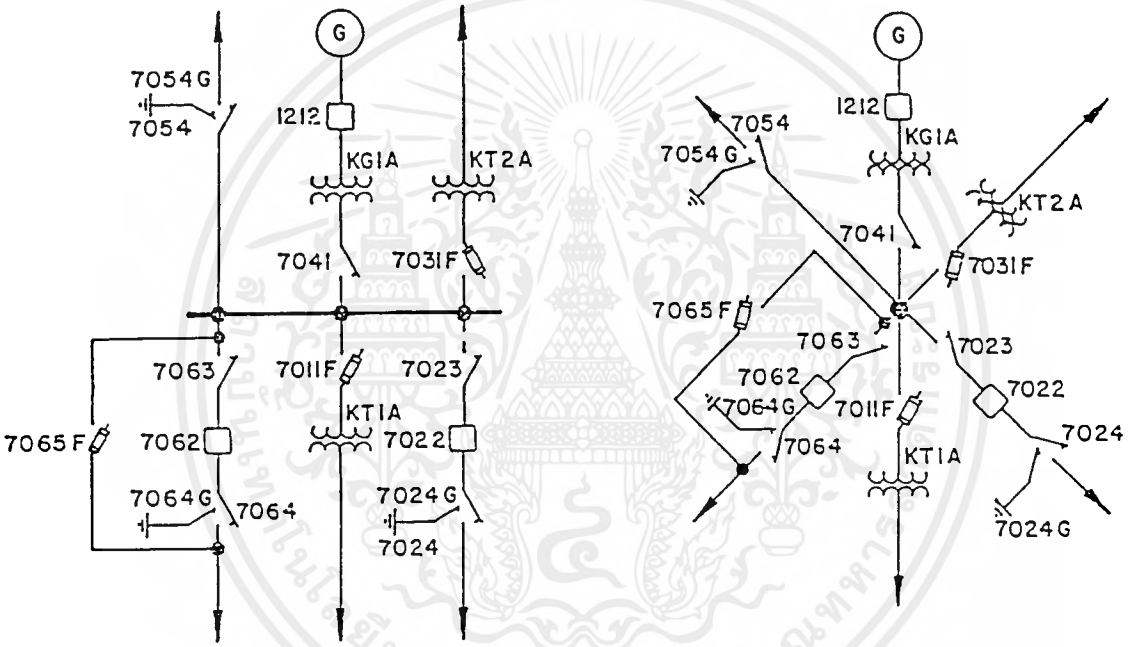
การพิจารณาเกี่ยวกับความผิดปกติ โดยที่เซอร์กิตเบรคเกอร์จะตัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากความผิดปกติออกจากระบบไฟฟ้า ฉะนั้นจะต้องติดตั้งเซอร์กิตเบรคเกอร์ไว้ที่หม้อแปลง สายส่งไฟฟ้าและวงจรระหว่างสะพานไฟฟ้า ถึงแม้ว่าเซอร์กิตเบรคเกอร์จะช่วยทางด้านการทำงานและการป้องกันระบบได้เพียงเล็กน้อยก็ตาม แต่ในการจัดเซอร์กิตเบรคเกอร์ควรพิจารณาถึงด้านเศรษฐกิจ ความสมดุลของอัตราการเกิดความผิดปกติของอุปกรณ์ป้องกันเซอร์กิตเบรคเกอร์ และการหยุดบริการเนื่องจากต้องตรวจสอบซึ่งจะช่วยลดจำนวนครั้งของเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่ต้องใช้ลงได้

การพิจารณาเกี่ยวกับการตรวจสอบ ในการตรวจสอบอุปกรณ์ใดๆ ก็ตามต้องปลดดิสคอนเนคติ้งสวิตส์เพื่อตัดอุปกรณ์นั้นออกจากระบบไฟฟ้า การติดตั้งดิสคอนเนคติ้งสวิตส์ไว้ทั้งสองด้านของเซอร์กิตเบรคเกอร์ก็เพื่อใช้ในการตรวจสอบดังกล่าว บางกรณีก็อาจใช้ดิสคอนเนคติ้งสวิตส์ครอ่มวงจรเพื่อให้ไฟฟ้าผ่านได้ ในปัจจุบันนี้ได้มีเครื่องมือและอุปกรณ์ทำงานเมื่อมีไฟฟ้าในสายได้ โดยมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ทำให้ไม่ต้องใช้ดิสคอนเนคติ้งสวิตส์ในบางจุด จึงเป็นการประหยัดมากขึ้นอีก

ในบางกรณีไม่ต้องการให้บริการด้านไฟฟ้าหยุดชะงักเมื่อต้องตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ควรพิจารณาใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเพิ่มขึ้นหรือใช้ระบบบัสบาร์คู่ เป็นต้น แต่ต้องลงทุนซื้ออุปกรณ์เพิ่มมากขึ้น ฉะนั้นควรคำนึงถึงระดับบริการของเขตที่ใช้ไฟฟ้า ลักษณะความต้องการใช้ไฟฟ้าและความถี่ในการตรวจสอบอุปกรณ์ การกำหนดระบบเชื่อมวงจรไฟฟ้าที่เหมาะสมและถูกหลักทางด้านเศรษฐกิจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การจัดบัสแบบซิงเกิล-บัส(Single bus scheme) เป็นลักษณะที่ง่ายและประหยัดมีข้อเสียตรงที่ถ้าเซอร์กิตเบรคเกอร์ตัวใดตัวหนึ่งขัดข้อง เมื่อตัดตอนเพื่อบำรุงรักษาจะต้องตัดไฟในระบบออกทั้งหมด ซึ่งแก้ไขได้โดยใช้ บาย-พาร์ส(By-pass) ในกรณีถ้ามีการลัดวงจรเกิดขึ้นในสายส่งขณะที่ใช้ บาย-พาร์สอยู่ มีผลต่อบัสทำให้ไฟในส่วนอื่นๆ พลอยดับไปด้วยซึ่งสภาพนี้เรียกว่ามีระดับการลัดวงจร(Fault level)สูง และมีข้อเสียอีกประการหนึ่งคือกรณีที่ต้องการตรวจสอบหรือขยายสถานีไฟฟ้าย่อยนั้นจำเป็นต้องหยุดรับและจ่ายกระแสไฟฟ้าทั้งหมด การจัดรูปวงจรแบบนี้เหมาะกับเมืองหรือชนบทที่ต้องการใช้ปริมาณไฟฟ้าน้อยๆ หรือเป็นระยะแรกของโครงการ



รูปที่ 2-5 การจัดบัสแบบซิงเกิล-บัส

ข้อดี

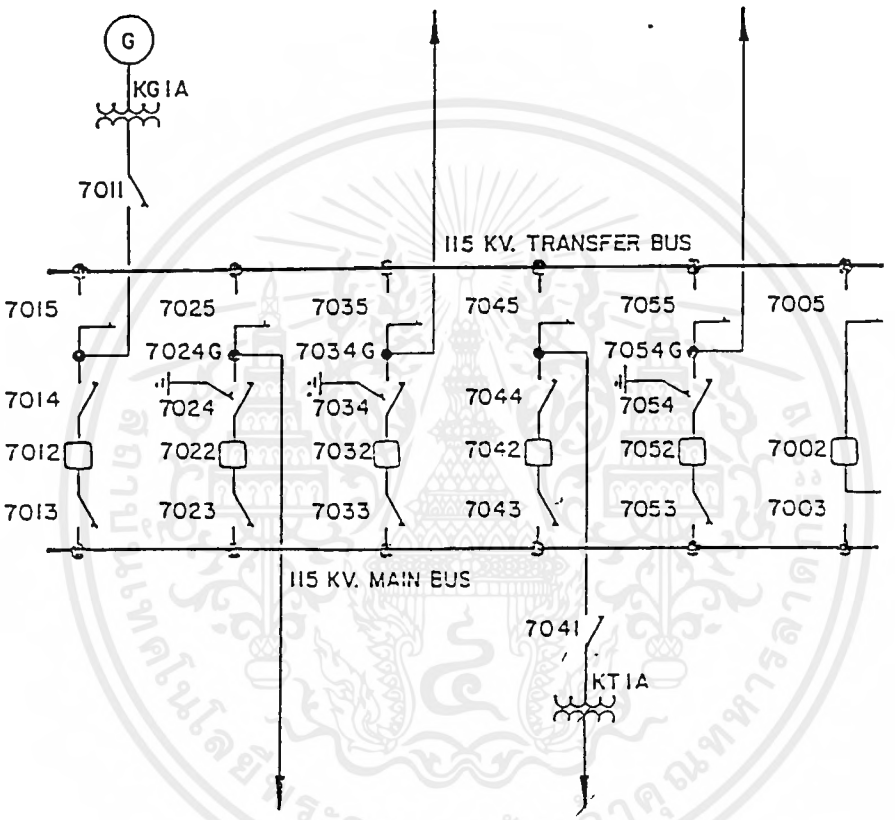
1. ออกแบบง่าย
2. ราคาไม่แพง
3. การจัดระบบป้องกันไม่ยุ่งยาก
4. ใช้เนื้อที่น้อย
5. ค่าการลงทุนเป็น 1.0 (Base)

ข้อเสีย

1. ขาดความเชื่อถือ
2. ยากต่อการบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้ง
3. มีความสามารถในการใช้งานต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การจัดบัสแบบเมน-แอนด์-ทรานสเฟอร์-บัส (Main and transfer bus scheme) คล้ายกับแบบที่ 1 แต่มีทรานสเฟอร์-บัส และบัส-ไทด์-เบรคเกอร์(Bus Tie Breaker) สำหรับในกรณีที่มีเซอร์กิตเบรคเกอร์ของเบย์ใดเกิดขัดข้อง หรือต้องการตัดออกจากระบบเพื่อการซ่อมบำรุง ก็สามารถจ่ายไฟทางทรานสเฟอร-บัส โดยใช้ไทด์-เบรคเกอร์เป็นตัวป้องกันได้ แต่ถ้าต้องการซ่อมเมน-บัสก็ต้องชั้นดาวน์ (Shut Down)ระบบทั้งสถานี หรือสามารถจ่ายโดยไม่มีการป้องกัน



รูปที่ 2-6 การจัดบัสแบบเมน-แอนด์-ทรานสเฟอร์-บัส

ข้อดี

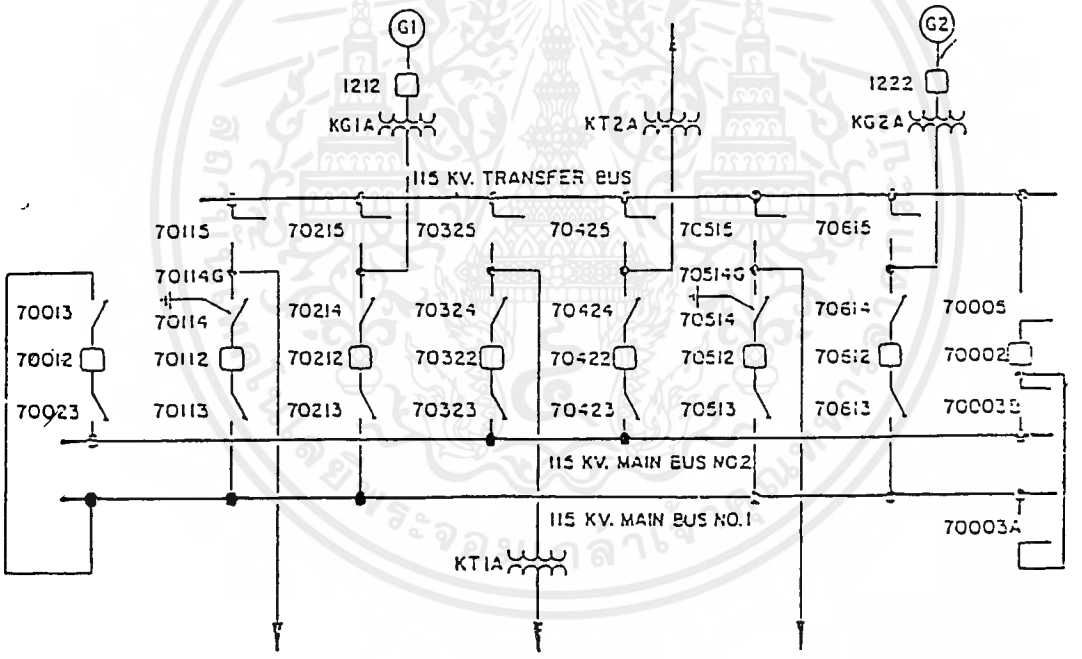
1. ราคาปานกลาง
2. มีความคล่องตัวในการใช้งาน
3. เบรคเกอร์หรือไลน์-รีเลย์(Line-relay) สามารถถอดออกเพื่อการบำรุงรักษาได้ โดย มีอุปกรณ์ชุดอื่นทำหน้าที่แทน

ข้อเสีย

1. ขาดความเชื่อถือ
2. ต้องมีเบรคเกอร์ เพิ่มอีก 1 ตัวเพื่อเชื่อมบัส
3. บัส-ไทด์-เบรคเกอร์-รีเลย์ มีการต่อที่ยุ่งยากเพราะต้องต่อเพื่อแทนเบรคเกอร์ตัวใดๆ ในบัส
4. ต้องมีวงจรสำหรับบัสแยกกัน
5. ค่าลงทุนเป็น 1.4 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

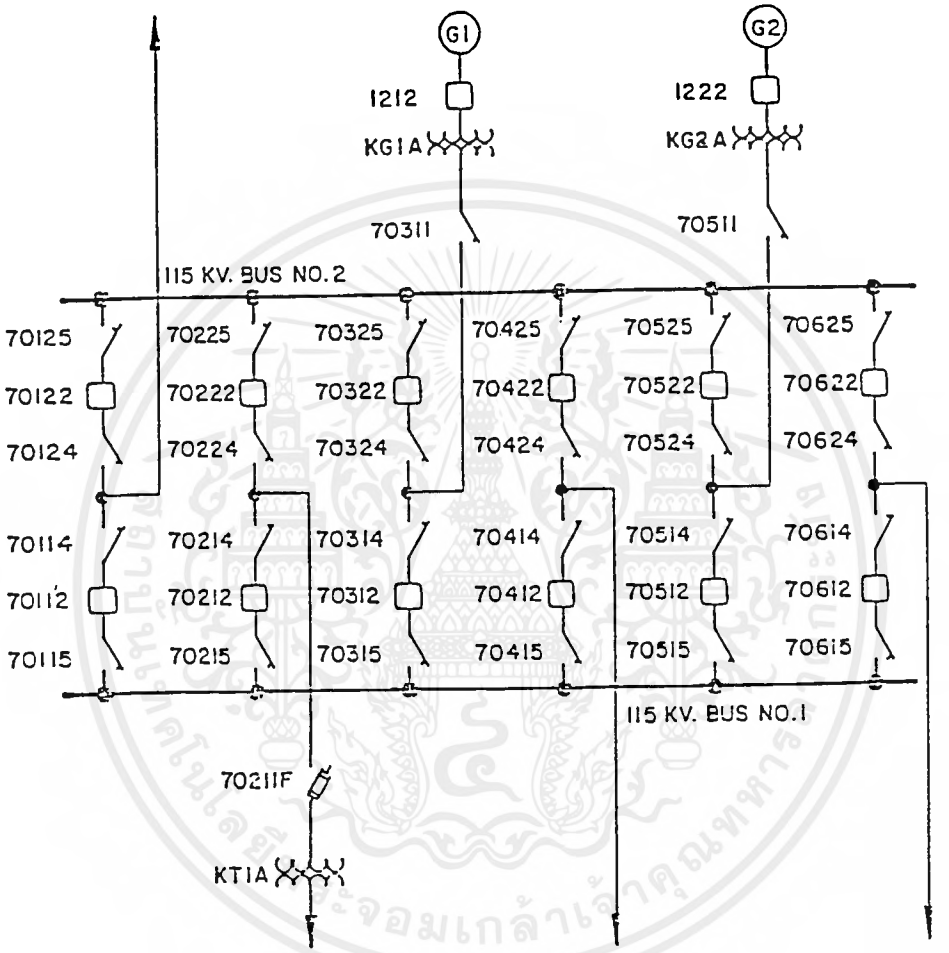
3. การจัดบัสแบบดับเบิล-เมน-บัส-แอนด์-ทรานสเฟอร์-บัส(Double main bus and transfer bus scheme) คล้ายกับแบบที่ 2 แต่เมน-บัส สามารถแยกส่วนออกเป็น 2 ส่วนในการรับและจ่ายพลังงานไฟฟ้า โดยแยกรับและจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเมน-บัสคนละบัส กรณีที่มีความแตกต่างระหว่างบัส(Bus differential) ทำให้ไฟดับเพียงบางส่วนเท่านั้น ช่วยให้ระดับการลัดวงจรลดลงและระบบมีความน่าเชื่อถือเพิ่มขึ้น ซึ่งข้อดีและข้อเสียโดยทั่วไปเหมือนการจัดบัสแบบเมน-แอนด์-ทรานสเฟอร์-บัส ผิดกันที่การจัดบัสแบบนี้มีข้อดีคือมี 2 บัส ดังนั้นเมื่อเกิดการลัดวงจรที่บัสจะทำให้ไฟดับเพียงครึ่งเดียว ข้อเสียก็คือมีการลงทุนเป็น 1.6 เท่า



รูปที่ 2-7 การจัดบัสแบบดับเบิล-เมน-บัส-แอนด์-ทรานสเฟอร์-บัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การจัดบัสแบบดับเบิล-บัส-ดับเบิล-เบรคเกอร์(Double bus double breaker scheme) ใช้เซอร์กิตเบรคเกอร์ 2 ตัวต่อสายไฟของระบบ มีข้อดีคือเมื่อเซอร์กิตเบรคเกอร์ตัวใดตัวหนึ่งขัดข้องสามารถตัดตอนออกมาตรวจซ่อมโดยไม่ต้องดับไฟและยังมีระบบป้องกันอยู่ การจัดบัสแบบนี้เหมาะสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่สำคัญๆ



รูปที่ 2-8 การจัดบัสแบบดับเบิล-บัส-ดับเบิล-เบรคเกอร์

ข้อดี

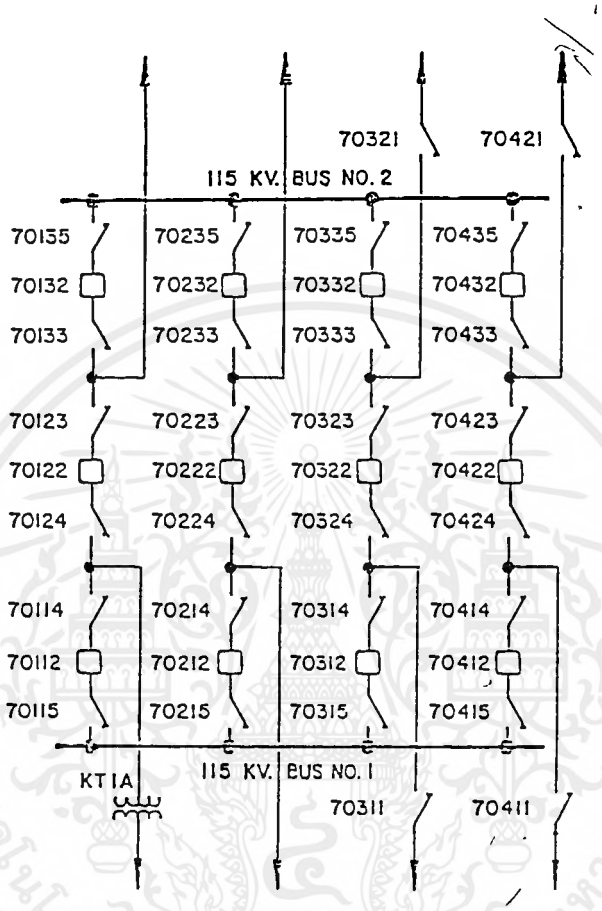
1. มีความคล่องตัวในการใช้งานมาก
2. มีความสามารถในการใช้งานสูง
3. สามารถที่จะแยกบัสใดบัสหนึ่งเพื่อทำการบำรุงรักษาได้
4. สามารถที่จะแยกเบรคเกอร์ตัวใดตัวหนึ่งในแถวเพื่อการซ่อมบำรุง

ข้อเสีย

1. ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูง เพราะใช้เบรคเกอร์ 2 ตัวต่อสายไฟของระบบ
2. ต้องมีโครงร่าง (Scheme) สำหรับแยกการป้องกันบัส(Bus-Protection)
3. ค่าลงทุนเป็น 2.0 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การจัดบัสแบบเบรคเกอร์-แอนด์-อะ-ฮาล์ฟ(Breaker and a half scheme) คล้ายกับแบบที่ 4 แต่ใช้เซอร์กิตเบรคเกอร์ 3 ตัวต่อสายไฟของระบบ 2 เส้น สามารถตรวจซ่อมบัสหรือเซอร์กิตเบรคเกอร์โดยไม่ต้องดับไฟ แบบนี้มีระดับการลัดวงจรสูงกว่าแบบที่ 4



รูปที่ 2-9 การจัดบัสแบบเบรคเกอร์-แอนด์-อะ-ฮาล์ฟ

ข้อดี

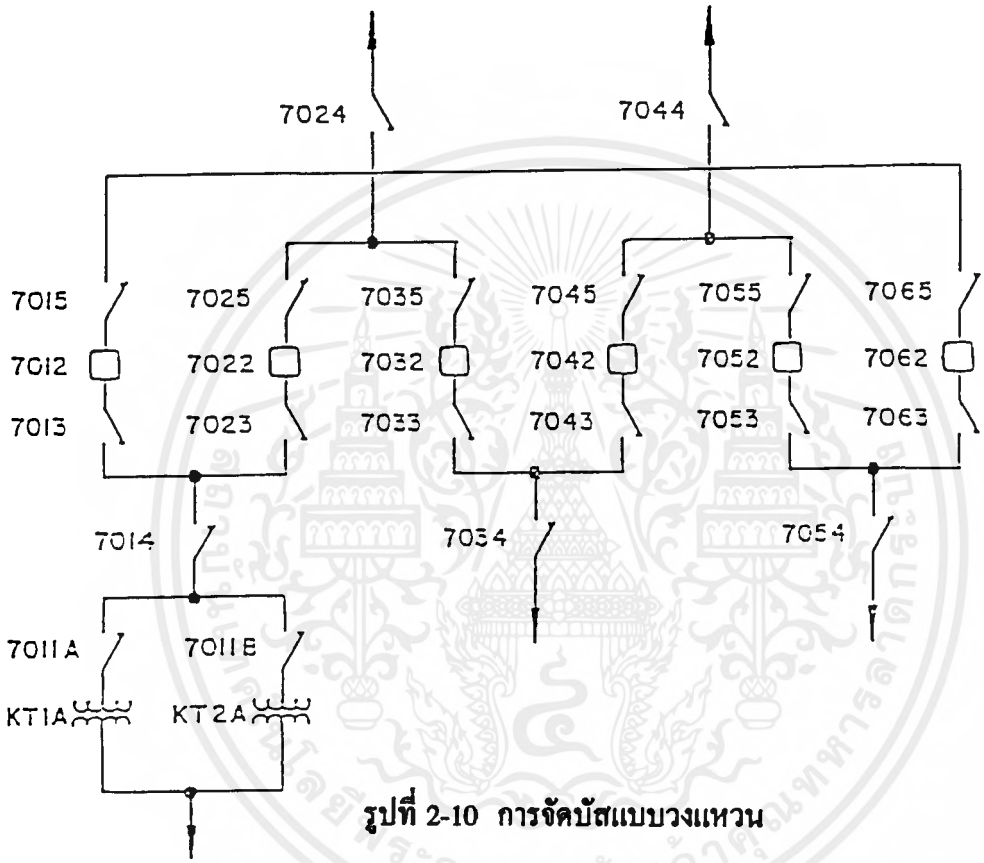
1. มีความคล่องตัวในการใช้งาน
2. มีความสามารถในการใช้งานสูง
3. ถ้าเบรคเกอร์เกิดการผิดปกติ (Breaker Failure)การทำงานจะปลดเบรคเกอร์ด้านที่บัสนั้นออกเท่านั้น
4. การสวิชชิ่ง(Switching) ต้องทำโดยใช้เบรคเกอร์เป็นตัวควบคุม
5. สามารถที่จะทำการบำรุงรักษาบัสด้านใดด้านหนึ่งได้

ข้อเสีย

1. ต้องใช้เบรคเกอร์ 1.5 ตัวในการใช้งาน
2. ชุดรีเลย์ควบคุมเบรคเกอร์ตัวกลางจะต้องทำงานเมื่อมีความผิดปกติ(Line Fault) เกิดขึ้นที่ด้านใดด้านหนึ่งของระบบ
3. ต้องมีการแยกชุดป้องกันบัส
4. ค่าลงทุนประมาณ 1.5 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การจัดบัสแบบวงแหวน(Ring bus scheme) สามารถปลดเซอร์กิตเบรคเกอร์หรือสวิชท์ออกจากระบบเพื่อตรวจซ่อมโดยไม่ต้องดับไฟ ระบบป้องกันยังคงสมบูรณ์เหมือนปกติ แต่ถ้าเกิดเหตุขัดข้องขึ้นในส่วนใดส่วนหนึ่งของวงแหวน ก็จะตัดเซอร์กิตเบรคเกอร์หัว-ท้ายส่วนนั้นออกโดยส่วนที่เหลือยังคงอยู่ในสภาพปกติ



รูปที่ 2-10 การจัดบัสแบบวงแหวน

ข้อดี

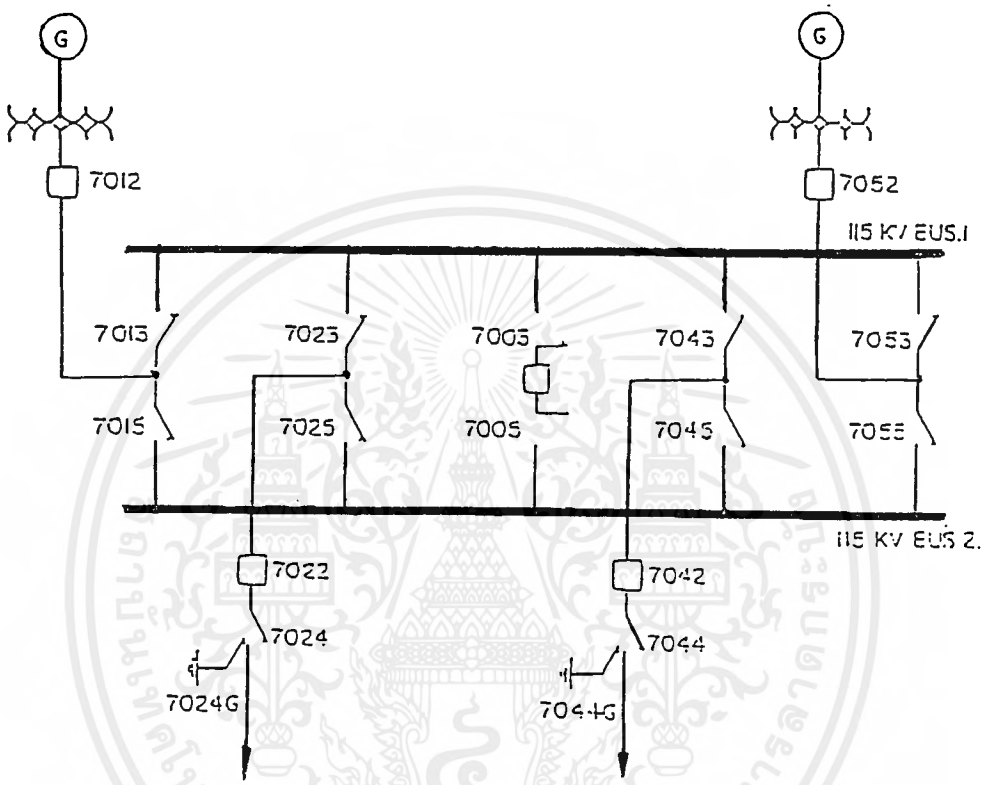
1. ค่าการลงทุนต่ำเป็น 1.04 เท่า
2. มีความคล่องตัวในการใช้งาน
3. สามารถซ่อมบำรุงเบรคเกอร์ตัวใดๆ ได้มากกว่า 1 ตัว
4. ไม่ต้องมี Bus differential relaying scheme
5. เมื่อถ้าเบรคเกอร์เกิดการผิดปกติจะตัดวงจรออก 2 วงจรภายใต้สภาวะปกติ
6. ไม่มีเมนบัส

ข้อเสีย

1. มีความผิดปกติเกิดขึ้นในระบบขณะที่มีการบำรุงรักษาเบรคเกอร์อาจทำให้ระบบแยกออกเป็น 2 ส่วน
2. การทำงานของ Automatic Reclosing มีข้อยุ่งยาก
3. ถ้าต้องการบำรุงรักษารีเลย์จะต้องนำรีเลย์ชุดนั้นออกจากการใช้งาน
4. เนื่องจากว่าไม่มีการติดตั้งหม้อแปลงแรงดันที่บัส จึงต้องติดไว้ในทุกวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การจัดบัสแบบดับเบิล-บัส-ซิงเกิล-เบรคเกอร์(Double bus single breaker scheme) เป็นแบบที่มีค่าลงทุนต่ำ สามารถตรวจซ่อมบำรุงที่บัสโดยไม่ต้องดับไฟ โดยถือว่าโอกาสที่ต้องซ่อมบัสมีมากกว่าการตรวจซ่อมเซอร์กิตเบรคเกอร์ แต่ถ้ามีเซอร์กิตเบรคเกอร์ตัวใดตัวหนึ่งขัดข้องต้องตัดสายไฟของระบบนั้นออกจากระบบ ซึ่งแก้ไขโดยการต่อ บาย-พาร์ส คร่อม



รูปที่ 2-11 การจัดบัสแบบดับเบิล-บัส-ซิงเกิล-เบรคเกอร์

ข้อดี

1. มีความคล่องตัวในการใช้งาน
2. เบรคเกอร์หรือไลน์รีเลย์ สามารถ ที่จะนำออกจากวงจรเพื่อการซ่อมบำรุงได้โดยเพียงแต่ปิดสวิทช์ย้ายการควบคุมไปใช้ไทด์-เบรคเกอร์เท่านั้น
3. ค่าลงทุนประมาณ 1.2 เท่า

ข้อเสีย

1. ต้องมีเบรคเกอร์เพิ่มอีก 1 ตัว เพื่อเป็นบัส-ไทด์(Bus tie)
2. ใช้ไบมีต 3 ชุดต่อ 1 วงจร
3. การต่อใช้งานรีเลย์ที่ต่อกับบัส-ไทด์มีข้อยุ่งยาก เพราะต้องใช้แรงงานแทนเบรคเกอร์ตัวใดก็ได

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 หลักการอ่านหมายเลขของอุปกรณ์(Switching number)

โดยทั่วไปนั้นจะกำหนดหมายเลขของอุปกรณ์เพื่อความสะดวกของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งแสดงถึงชนิด หน้าที่และตำแหน่งของอุปกรณ์ มีหลักเกณฑ์ในการกำหนดคือหมายเลขของอุปกรณ์ประกอบด้วยตัวเลข 4-6 หลักขึ้นอยู่กับจำนวนเบย์ และปัณหาการจัดบัสในลานไกสวิชท์นั้นๆ โดยทั่วไปมี 4 หลักเช่น การจัดบัสเป็นแบบซิงเกิล-บัส ซึ่งมีหลักเกณฑ์ดังนี้;

1. หมายเลข 2 ตัวหน้า แสดงถึงระดับแรงดันที่ใช้ในระบบนั้นๆ

90	แสดงถึงระดับแรงดัน	500 kV
80	"	230 kV
70	"	115 kV
69	"	69 kV
33	"	33 kV
22	"	22 kV
12	"	12 kV

สำหรับแรงดัน 132 kV จะใช้เลขตัวหน้าเป็น 132 เช่นที่สถานีไฟฟ้าย่อยสะเดา ส่วนระดับแรงดันที่ต่ำกว่า 10 kV จะใช้เลขตัวหน้าเพียงตัวเดียว เช่น 6 แสดงถึงแรงดัน 6 kV สำหรับในกรณีที่ระดับแรงดันเป็นเลขทศนิยมให้ปัดส่วนที่เป็นทศนิยมออก ใช้เฉพาะเลขจำนวนเต็มเท่านั้น เช่น 3.5 kV , 6.6 kV เลขตัวหน้าจะเป็น 3 , 6 เป็นต้น

2. หมายเลขตัวที่ 3 แสดงถึงตำแหน่งหรือที่ตั้งเบย์ของอุปกรณ์นั้นๆ ติดตั้งอยู่ เช่น 8032 แสดงว่าเป็น 230 kV เบรคเกอร์ตั้งอยู่ในเบย์ที่ 3

3. หมายเลขตัวที่ 4

1) กรณีหมายเลขของอุปกรณ์มี 4 ตัว เลขตัวที่ 4 จะแสดงถึงชนิดหรือหน้าที่ของอุปกรณ์นั้นเช่น หมายเลข 2 แสดงว่าเป็นเบรคเกอร์ หมายเลข 1 , 3 , 4 , 5 , 6 และ 7 แสดงว่าเป็น ดิสคอนเนคติ้งสวิชท์ในตำแหน่งต่างๆ แล้วแต่กรณี

2) กรณีหมายเลขของอุปกรณ์มี 5 ตัวเช่นการจัดบัสแบบดับเบิล-เมน-บัส และ เบรคเกอร์-แอนด์-อะ-ฮาล์ฟ เป็นต้น เลขตัวที่ 4 จะแสดงถึงตำแหน่งหรือที่ตั้งแถวของอุปกรณ์นั้นเช่น 80122 แสดงว่าเป็น 230 kV เบรคเกอร์ในเบย์ที่ 1 แถวที่ 2 (การนับแถวให้นับด้านที่ติดกับเมนบัสที่ 1 เป็นแถวที่ 1)

หรือในกรณีที่มีเบย์ตั้งแต่ 10 เบย์ขึ้นไป เลขหลักที่ 3 และ 4 จะแสดงถึงตำแหน่งที่ตั้งเบย์นั้น

4. หมายเลขตัวที่ 5 แสดงถึงชนิดหรือหน้าที่ของอุปกรณ์เช่นเดียวกับกรณี 3.1 ซึ่งจะใช้กับการจัดเรียงบัสแบบดับเบิล-เมน-บัส และ เบรคเกอร์-แอนด์-อะ-ฮาล์ฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ตัวอักษรหลังตัวเลข

1) เพื่อระบุชนิดของอุปกรณ์เช่น อุปกรณ์นั้นเป็นเพาเวอร์ฟิวส์จะแทนด้วยตัวอักษร (F) หรือกราวน์จะแทนด้วยอักษร (G)

2) กรณีที่เป็นชื่อซ้ำกันใช้ในกรณีที่มีอุปกรณ์เกิน 1 ตัวในเบย์และลำดับเดียวกัน เช่นมีดิสคอนเนคติ้งสวิชท์ของหม้อแปลงต่อขนานกันเกิน 1 ตัว ให้เติมอักษร A , B , C หรืออักษรอื่นๆ แล้วแต่กรณีเพื่อแสดงว่าเป็นการซ้ำเช่น 8011A , 8011B แสดงว่าเป็น 230 kV มีดิสคอนเนคติ้งสวิชท์ของหม้อแปลง KT1A และ KT2A ซึ่งต่อขนานกัน

6. สำหรับอุปกรณ์ต่างๆ ในซิงเกิล-ไลน์-ไดอะแกรม(Single line diagram) ของระบบแรงดัน 230 kV ที่ได้ทำการออกแบบนี้จะเป็นไปตามมาตรฐานการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งจะทำการจัดเรียงอุปกรณ์แบบแบรคเกอร์-แอนด์-อะ-ฮาล์ฟ และมีหมายเลขของอุปกรณ์จำนวน 5 หลัก ดังนี้....

1) หมายเลข 2 ตัวหน้าคือระดับแรงดัน 230 kV [80]

2) หมายเลขตัวที่ 3 คือตำแหน่งที่ตั้งเบย์ [เบย์ที่ 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 , 8]

3) หมายเลขตัวที่ 4 คือตำแหน่งที่ตั้งแถว การนับแถวให้นับจากบัสที่ 1 ไปยังบัสที่ 2 [แถวที่ 1 , 2 , 3]

4) หมายเลขตัวที่ 5 คือชนิดหรือหน้าที่ของอุปกรณ์โดยกำหนดให้ใช้เลขตัวสุดท้ายเรียงตามลำดับจากบัสที่ 1 ไปยังบัสที่ 2 ดังนี้ 5 - 2 - 4 , 4 - 2 - 3 , 3 - 2 - 5 [เซอร์กิตเบรคเกอร์ ใช้หมายเลข 2] , [ดิสคอนเนคติ้งสวิชท์ใช้หมายเลข 1 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7]

5) ตัวอักษรหลังตัวเลขคือระบุชนิดของอุปกรณ์ [เพาเวอร์ฟิวส์แทนด้วยอักษร F] [กราวด์แทนด้วยอักษร G]

กรณีที่มีดิสคอนเนคติ้งสวิชท์ต่อออกไปจากเบย์ กำหนดให้เบย์ของดิสคอนเนคติ้งสวิชท์เป็นเบย์เดียวกับอุปกรณ์ที่ดิสคอนเนคติ้งสวิชท์นั้นต่ออยู่ เช่น 80311 แสดงว่าเป็น 230 kV ดิสคอนเนคติ้งสวิชท์ที่ต่อออกจากเบย์ที่ 3 และอยู่ระหว่างแถวที่ 1 และแถวที่ 2

2.6 ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

การไฟฟ้าฝ่ายผลิต ใช้ระบบแรงดัน 22 , 33 , 69 , 115 , **230** , 500 kV

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค „ 11 , 22 , 33 , 69 , 115 , 230 kV

การไฟฟ้านครหลวง „ 12 , 24 , 69 , 115 , 230 kV

ระบบแรงดันที่อ้างอิงในการออกแบบครั้งนี้คือการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ELECTRICITY GENERATING AUTORITY OF THAILAND (EGAT)

ระบบแรงดันที่ใช้ 230 kV

เอกสารนี้มีไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การแบ่งเขตการควบคุม

เขต 1 ภาคกลางขึ้นไปถึงสิงห์บุรีลงไปถึงประจวบคีรีขันธ์และครอบคลุมไปถึงภาคตะวันออกด้วย

เขต 2 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น หนองคาย อุดร

เขต 3 ภาคใต้ตั้งแต่ชุมพรลงไป

เขต 4 ภาคเหนือตั้งแต่นครสวรรค์ขึ้นไป

2. เส้นทางที่ระบบสายส่งแรงสูง(Transmission line) 230 kV พาดผ่าน

ภาคกลาง.....
- นครสวรรค์
- ท่าตะโก
- อ่างทอง
- บางปะอิน
- ไทรน้อย
- รังสิต
- บางกอกน้อย
- พระนครเหนือ
- สามพราน
- บางกะปิ
- หนองจอก
- ลาดพร้าว
- อ่อนนุช
- บางพลี
- พระนครใต้

ภาคเหนือ.....
- เชียงใหม่
- ภูมิพล
- แม่เมาะ
- สุโขทัย
- พิษณุโลก
- หล่มสัก
- นครสวรรค์
- ท่าตะโก

ภาคใต้.....
- ประจวบฯ
- สุราษฎร์ธานี
- รัชประภา
- นครศรีธรรมราช
- พัทลุง
- หาดใหญ่

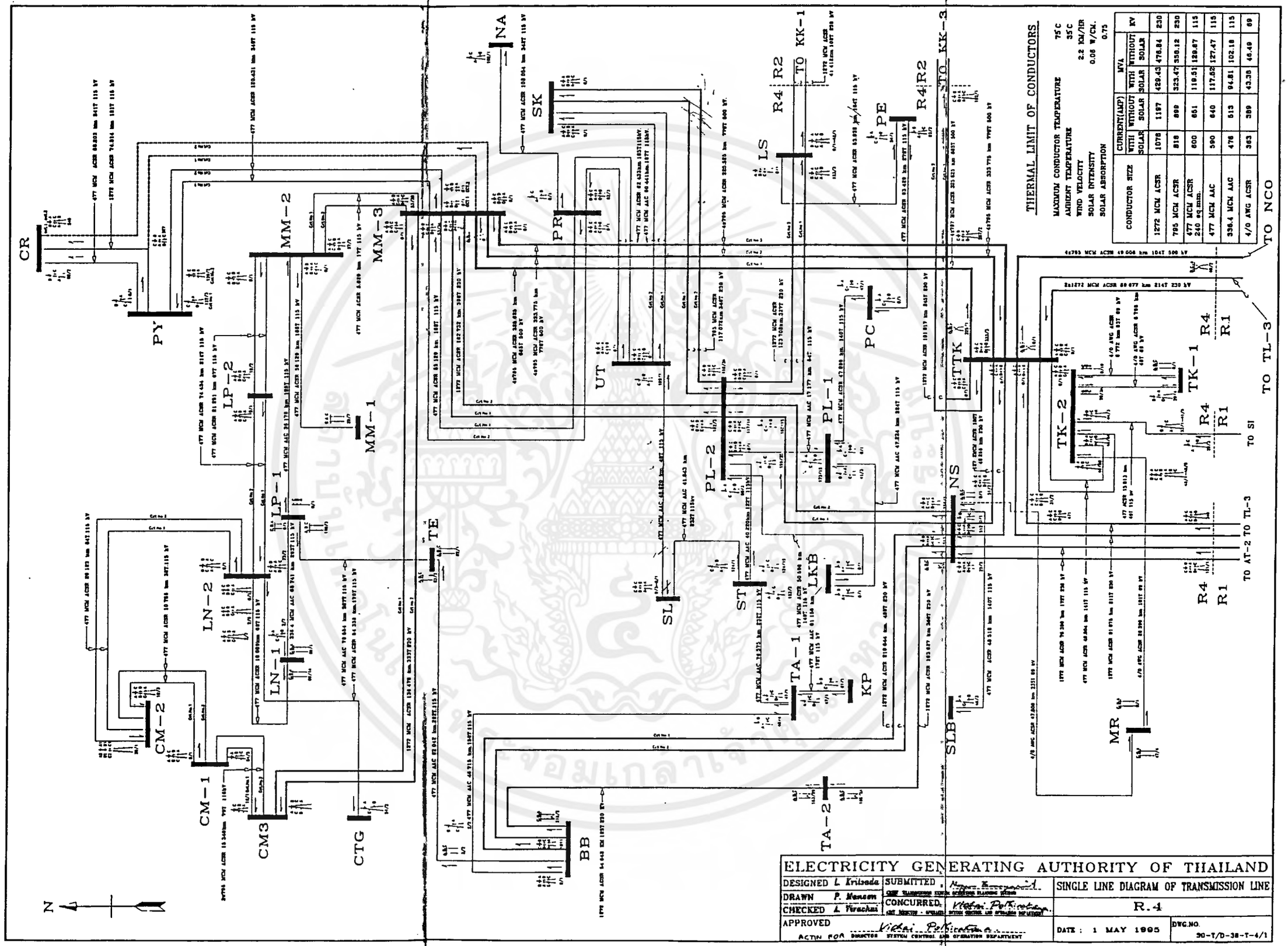
ภาคตะวันออก.....
- เขาแหลม
- ประจวบฯ
- ราชบุรี
- ศรีนครินทร์
- ไทรน้อย

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.....
- ชัยภูมิ
- สระบุรี
- นครราชสีมา
- ขอนแก่น
- น้ำพอง
- ร้อยเอ็ด

ภาคตะวันออก.....
- บางปะกง
- อ่าวไผ่
- ระยอง

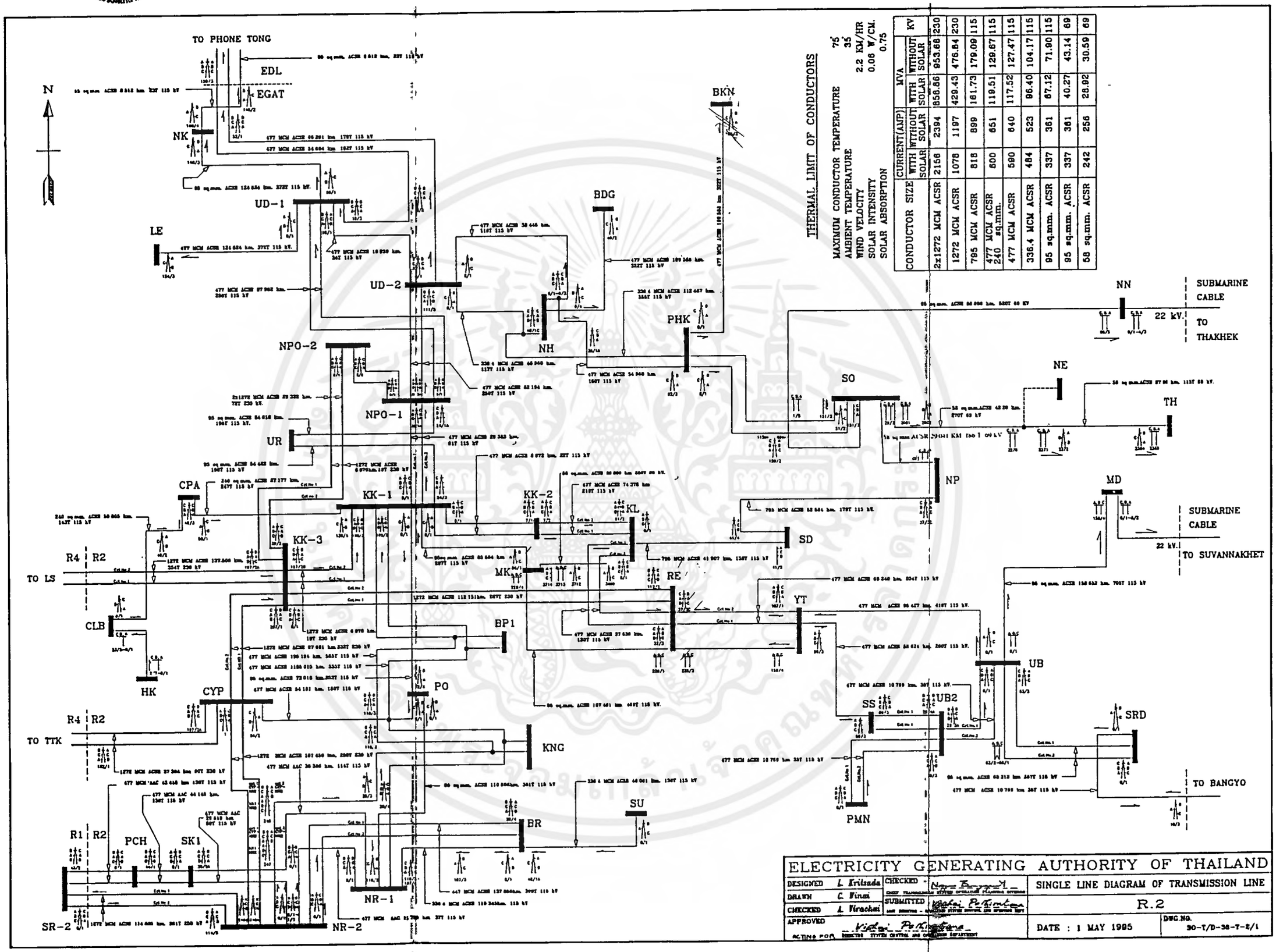
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

038190



รูปที่ 2-12 ระบบสายส่งแรงสูงที่พาดผ่านภาคเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



THERMAL LIMIT OF CONDUCTORS

MAXIMUM CONDUCTOR TEMPERATURE	75
AMBIENT TEMPERATURE	35
WIND VELOCITY	2.2 KM/HR
SOLAR INTENSITY	0.06 W/CM.
SOLAR ABSORPTION	0.75

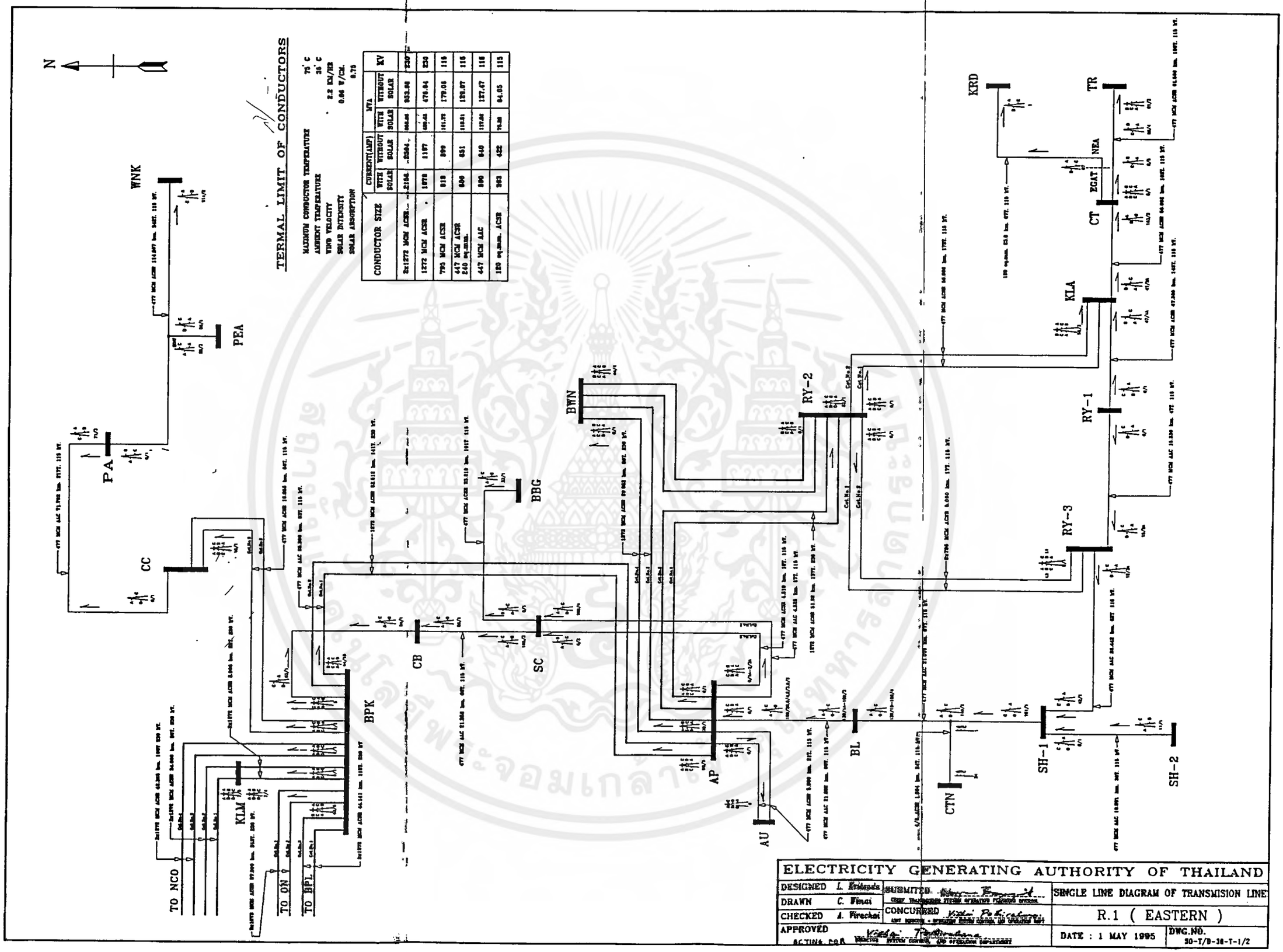
CONDUCTOR SIZE	CURRENT(AMP) WITH SOLAR	CURRENT(AMP) WITHOUT SOLAR	MVA WITH SOLAR	MVA WITHOUT SOLAR	KV
2x1272 MCM ACSR	2158	2394	856.86	953.88	230
1272 MCM ACSR	1078	1197	429.43	476.84	230
795 MCM ACSR	818	899	181.73	179.09	115
477 MCM ACSR 240 sq.mm.	600	651	119.51	129.67	115
477 MCM ACSR	590	640	117.52	127.47	115
336.4 MCM ACSR	484	523	96.40	104.17	115
95 sq.mm. ACSR	337	361	67.12	71.90	115
95 sq.mm. ACSR	337	361	40.27	43.14	69
58 sq.mm. ACSR	242	256	28.92	30.59	69

ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND

DESIGNED	L. Kritsada	CHECKED	SINGLE LINE DIAGRAM OF TRANSMISSION LINE
DRAWN	C. Vinai	SUBMITTED	R.2
CHECKED	L. Virachai		
APPROVED	ACTING FOR DIRECTOR SYSTEM CONTROL AND COMMUNICATION DEPARTMENT		DATE : 1 MAY 1995 / DWG.NO. 30-T/D-36-T-2/1

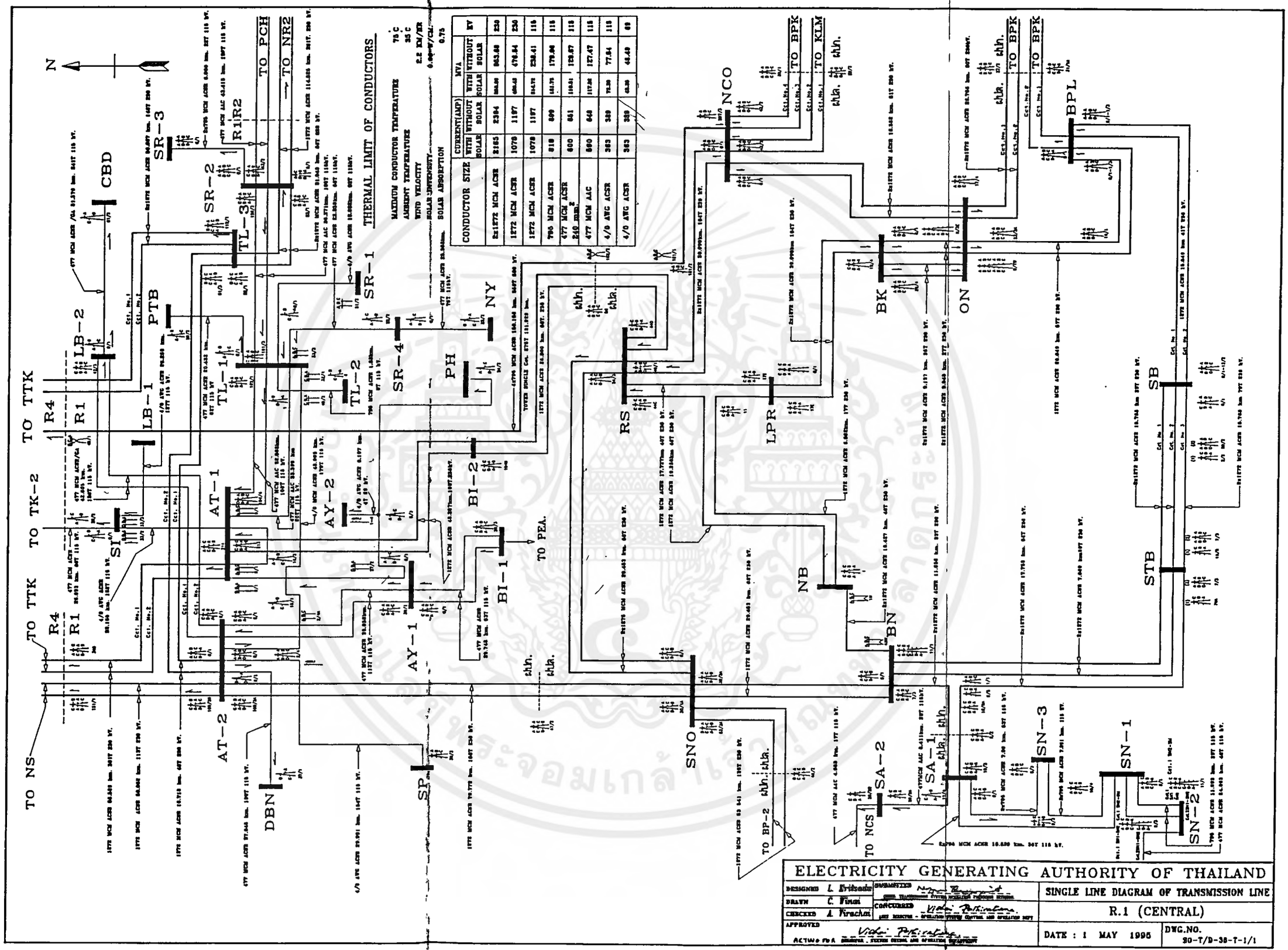
รูปที่ 2-13 ระบบสายส่งแรงสูงที่พาดผ่านภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



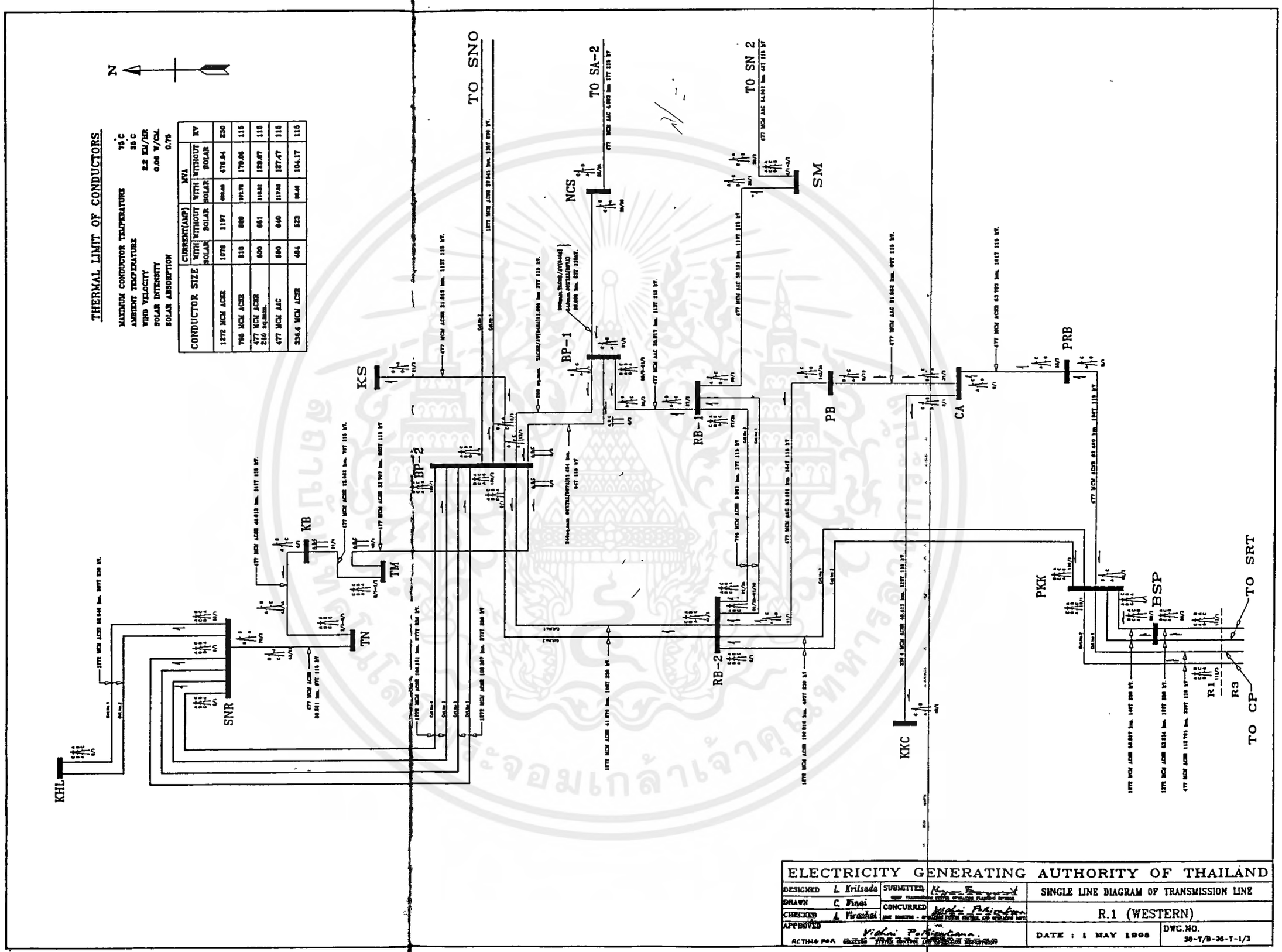
รูปที่ 2-14 ระบบสายส่งแรงสูงที่พาดผ่านตะวันออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



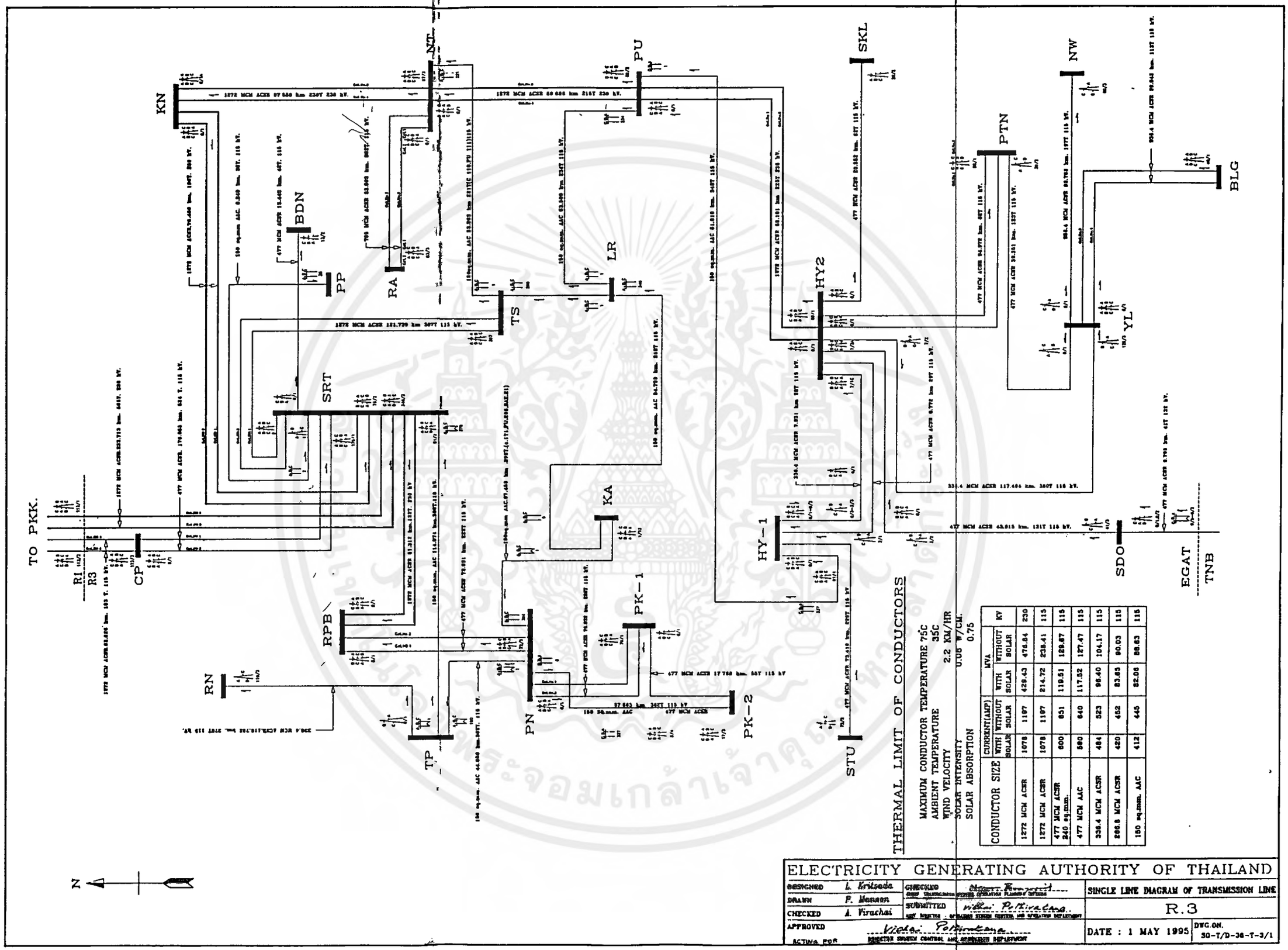
รูปที่ 2-15 ระบบสายส่งแรงสูงที่พาดผ่านภาคกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-16 ระบบสายส่งแรงสูงที่พาดผ่านตะวันตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CONDUCTOR SIZE	CURRENT(AMP) WITH SOLAR	CURRENT(AMP) WITHOUT SOLAR	MVA WITH SOLAR	MVA WITHOUT SOLAR	KV
1272 MCM ACSR	1078	1197	429.43	476.84	230
1272 MCM ACSR	1078	1197	214.72	238.41	115
477 MCM ACSR 240 sq.mm.	600	851	119.51	169.87	115
477 MCM AAC	560	640	117.52	127.47	115
336.4 MCM ACSR	484	523	96.40	104.17	115
266.8 MCM ACSR	420	452	83.65	90.03	115
150 sq.mm. AAC	412	445	82.06	88.63	115

รูปที่ 2-17 ระบบสายส่งแรงสูงที่พาดผ่านภาคใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

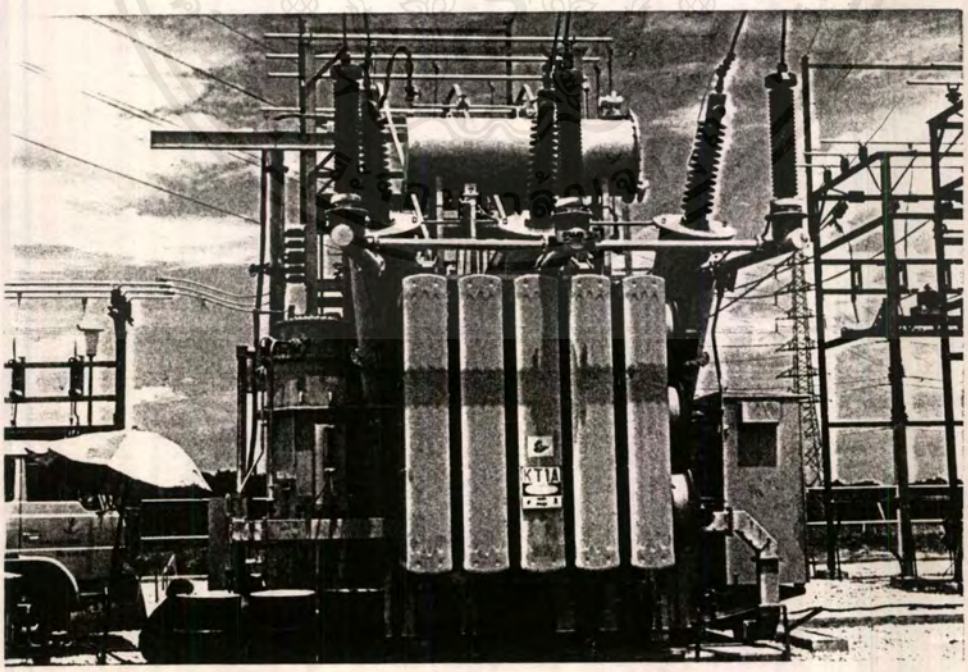
บทที่ 3
รายละเอียดของอุปกรณ์ไฟฟ้า ในสถานีไฟฟ้าย่อย

<u>หน้าที่และการใช้งานของอุปกรณ์หลักในสถานีไฟฟ้าย่อย</u>

ในสถานีไฟฟ้าย่อยนั้นจะมีอุปกรณ์ต่างๆเป็นส่วนประกอบอยู่หลายชนิดเพื่อให้สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์และให้ความปลอดภัยต่อผู้ทำงาน รวมทั้งเพื่อให้สะดวกต่อการเข้าไปบำรุงรักษาอุปกรณ์แต่ละตัวมีหน้าที่ต่างๆกันไป ซึ่งแต่ละอุปกรณ์ก็ยังมีอยู่หลายชนิดจึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงลักษณะและหน้าที่ของอุปกรณ์ต่างๆ ในสถานีไฟฟ้าย่อย เพื่อทำให้สามารถนำไปพิจารณาในการเลือกอุปกรณ์เหล่านั้นไปใช้กับสถานีไฟฟ้าย่อยให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่ ตลอดจนทำให้ระบบมีความเสถียรภาพยิ่งขึ้น อุปกรณ์หลักที่สำคัญในสถานีไฟฟ้าย่อยพอจะกล่าวได้ดังต่อไปนี้

3.1 หม้อแปลงกำลัง (Power transformer)

เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในสถานีไฟฟ้าย่อย ใช้สำหรับปลี่ยนแปลงระดับแรงดันให้ได้ตามความต้องการเพื่อจำหน่ายให้โหลดต่อไป หน้าที่ของหม้อแปลงกำลังจำแนกได้เป็นข้อๆ ดังนี้



รูปที่ 3-1 หม้อแปลงกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

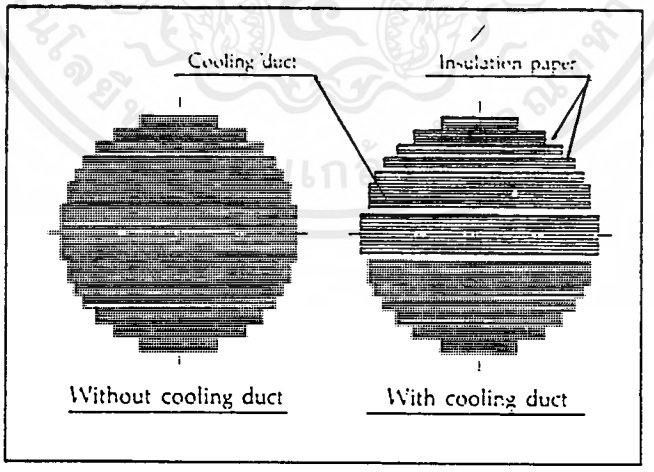
1. เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนระดับแรงดัน อาจจะเปลี่ยนจากแรงดันสูงไปยังแรงดันต่ำเพื่อจ่ายไปยังโหลดหรือแปลงจากแรงดันต่ำไปเป็นแรงดันสูงเพื่อการส่งจ่ายพลังงาน

2. ใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ในสถานีไฟฟ้าย่อยเอง โดยแปลงแรงดันสูงให้ต่ำลง และจ่ายเข้าไปยังสถานีบริการ (Station service)

3.ใช้เป็นจุดปรับระดับแรงดันที่จ่ายออกไปให้คงที่ด้วยตัวเปลี่ยนระดับแรงดัน(Tap changer) ทั้งนี้เพราะโหลดทำให้แรงดันของระบบเปลี่ยนแปลงขึ้นลง จึงต้องปรับแทปให้แรงดันคงที่ โดยอุปกรณ์ที่ปรับแทปอาจจะเป็น ออฟ-โหลด-แทป-เชนเจอร์(Off load tap changer) หรือ ออน-โหลด-แทป-เชนเจอร์(On load tap changer)

3.1.1 ลักษณะโครงสร้างของหม้อแปลงกำลัง(Power transformer)

แกนเหล็ก แกนเหล็กเป็นตัวประกอบที่สำคัญของหม้อแปลง ขนาด ราคาและลักษณะสำคัญอื่นๆ ด้วย แกนเหล็กนั้นทำด้วยแผ่นเหล็กรีดเย็นผสมซิลิกอนฉนวนด้วยแมกนีเซียม ซิลิเกต ฟอสเฟส มีความหนาแน่นสนามแม่เหล็กสูงและมีค่าการสูญเสียขณะไม่มีโหลด (No-load loss) น้อยมาก รวมทั้งการผลิตมีการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ทำให้มีช่องว่างอากาศ(Air gap)น้อย ลดการสูญเสีย(Loss) และเสียงจากการสั่นได้ดี และในแกนเหล็กของหม้อแปลงกำลังขนาดใหญ่จะฉนวนด้วยการสอดกระดาษเข้าไปคั่นระหว่างแผ่นเหล็กบางเพื่อลดกระแสไหลวน(Eddy current) นอกจากนี้ยังอาจจะใช้ท่อหล่อเย็นในแกนเหล็ก ทำให้ประสิทธิภาพในการระบายความร้อนดีขึ้น ดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-2 ท่อหล่อเย็นในแกนเหล็ก

แกนเหล็กขนาดใหญ่จะต้องมีการยึดติดกับโครงสร้างแข็งแรงเป็นพิเศษ เพื่อป้องกันความเค้นหรือความเครียดจากแรงที่เกิดจากการลัดวงจรได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขดลวด ขดลวดนั้นเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดสำหรับหม้อแปลง ซึ่งส่วนใหญ่ทำจากทองแดง จะใช้อลูมิเนียมในกรณีที่น้ำหนักมากเกินไป หรือใช้ในหม้อแปลงเครื่องเชื่อมได้ แต่จากความนำไฟฟ้าและความแข็งแรงทางกลของอลูมิเนียมน้อยกว่าทองแดงเราจึงไม่นิยมใช้อลูมิเนียมในหม้อแปลงกำลัง แต่จะใช้ทองแดงเพราะทำให้มีขนาดเล็กลงเพื่อให้สะดวกในการขนส่ง ลักษณะการพันขดลวดมีหลายแบบ ในกรณีที่ต้องการจ่ายกระแสสูงๆ เราจะใช้เส้นลวดแบบคู่ (Twin flat conductor) หรือ เส้นลวดแบบไขว้ (Transposed wire) เส้นลวดแบบคู่นั้นจะประกอบไปด้วยเส้นลวดแบนสองเส้นแต่ละเส้นหุ้มด้วยกระดาษและพันรวมกันด้วยกระดาษอีกหลายชั้น ส่วนเส้นลวดแบบไขว้นั้นลวดแต่ละเส้นเคลือบด้วยน้ำยาและหุ้มด้วยกระดาษหลายๆ ชั้นเพื่อจะลดกระแสไหลวน เส้นลวดแบบไขว้แต่ละเส้นจะไขว้กันอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการใช้เส้นลวดไขว้กันแบบนี้มีข้อดีคือ

- ลดกระแสไหลวนในเส้นลวด
- เพิ่ม ลามิเนต แฟคเตอร์ (Laminate factor)
- ขั้นตอนในการพันใช้เวลาสั้น

แต่ว่าเส้นลวดแบบไขว้นี้ไม่ค่อยได้ใช้เพราะราคาแพงและถูกจำกัดด้วยเส้นลวดที่จะใช้ ฉะนั้นในการสร้างหม้อแปลงกำลังขนาดใหญ่ วิธีการพันขดลวดที่เหมาะสมจะพิจารณาจากขนาดพิกัด(MVA) ขนาดแรงดันและย่านเปลี่ยนแรงดัน(Tap range)ของหม้อแปลงแต่ละตัว ในการผลิตขดลวดทั้งหมดจะต้องคำนึงถึงปัจจัย(Factor)เหล่านี้

- การลัดวงจร (Short circuit)
- การป้องกันเนื่องจากแรงดันเสิร์จ (Surge voltage)
- ความสามารถทนต่อแรงดันอิมพัลส์ (Impulse voltage)
- กระแสไหลวน (Eddy current)
- ความสามารถในการทนต่อแรงดันเกิน (Over voltage)

การพันขดลวดจึงมีอยู่หลายรูปแบบแล้วแต่ความเหมาะสมของแต่ละชนิด

แกนรองรับขดลวด จะเป็นฉนวนทรงกระบอกวางรอบๆ ขาของแกนเหล็ก เพื่อรองรับขดลวดและเป็นฉนวนกั้นระหว่างขดลวดกับแกนเหล็ก นอกจากนี้จะมีช่องว่างในแนวดิ่งเพื่อใช้เป็นท่อน้ำมันที่ใช้ในการระบายความร้อนของขดลวด และระหว่างด้านแรงดันต่ำกับด้านแรงดันสูงจะมีฉนวนทรงกระบอกตั้นอยู่ ซึ่งขดลวดแรงดันสูงจะพันรอบนอกของฉนวนทรงกระบอก

ตัวถัง วิธีที่จะปกปิดป้องกันหม้อแปลงกำลังโดยตรงเป็นสิ่งที่สำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่แรงดันและกระแสสูงๆ ตัวถังคือสิ่งที่จำเป็นจะต้องมีไว้เพื่อป้องกันอันตรายต่างๆ จากภายในสู่ภายนอกและจากภายนอกสู่ภายใน ดังนั้นตัวถังจะต้องมีความแข็งแรงคงทนต่อผลกระทบของการลัดวงจรที่เกิดขึ้น และต้องมีความสามารถในการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นภายในได้ดีระหว่างปฏิบัติงานอยู่ด้วย ซึ่งตัวถังจะผลิตจากเหล็กม้วนแผ่นที่มีความหนา 6~40 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉนวนภายใน ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำมันที่ใช้เป็นฉนวนเหลวเพื่อป้องกันการเบรคดาวน์ของขดลวด ทั้งระหว่างขดลวดเองและระหว่างขดลวดกับกราวด์ รวมทั้งเป็นตัวฉนวนหน้าสำผัสหรือจุดต่อต่างๆ ด้วย ปัจจุบันนี้ฉนวนส่วนใหญ่จะใช้น้ำมัน ซึ่งได้มีการพัฒนาใช้ฉนวน SF_6 ขึ้นใช้บ้างแล้ว แต่ยังมีราคาสูงมากและมีผู้ผลิตจำนวนน้อย

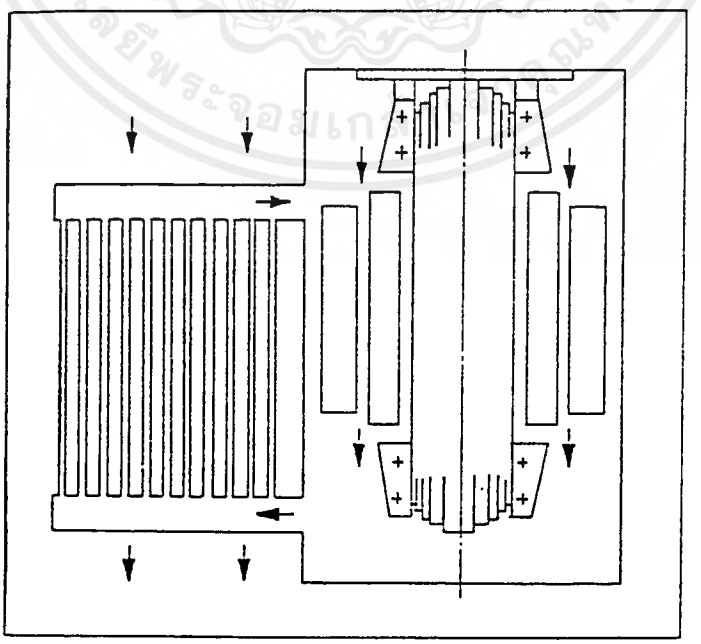
หม้อแปลงกำลังเมื่อนำมาใช้งานจะเกิดพลังงานสูญเสียที่อยู่ในรูปแบบของความร้อนเพิ่มขึ้นภายในหม้อแปลง จึงต้องมีการระบายความร้อนออกไปเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น การระบายความร้อนที่ดีที่สุดจะต้องให้ความร้อนที่มีอยู่ภายในไม่เกินกว่าที่กำหนดไว้

อุปกรณ์อื่นๆ

1. <u>ระบบระบายความร้อน</u> การระบายความร้อนทั่วไปจะทำให้หม้อแปลงจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงขึ้น ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้มาจากการสูญเสียทางขดลวด(Copper loss)นั่นเองซึ่งความร้อนสามารถแพร่ไปได้ทั่วหม้อแปลงทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น โดยมีตัวประกอบในการคัดเลือกวิธีคือ ขนาดกำลังและสภาพแวดล้อมที่จะติดตั้งหม้อแปลงนั้น โดยทั่วไปวิธีการระบายความร้อนมีดังต่อไปนี้

OA : Natural oil cooling and Natural air cooling

เป็นการระบายความร้อนโดยใช้การไหลเวียนของอากาศและน้ำมันตามธรรมชาติ โดยอาศัยหลักของน้ำมันที่ร้อนจะลอยตัวขึ้นสู่ด้านบนไปยังอ่างเก็บน้ำมัน(Conservater) ส่วนน้ำมันที่เย็นจะลงมาแทนที่ และอาศัยการแพร่ความร้อนของอากาศใช้กับการระบายความร้อนของน้ำมันที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 60°c และอุณหภูมิของขดลวด 65°c

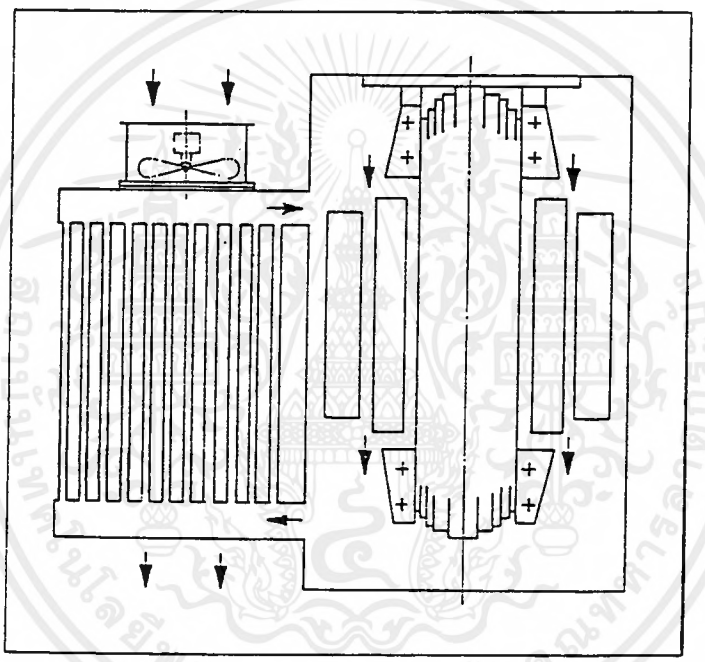


รูปที่ 3-3 การระบายความร้อนแบบ OA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FA : Natural oil cooling and Forced air cooling

การระบายความร้อนโดยใช้การไหลเวียนของน้ำมันตามธรรมชาติและใช้พัดลมระบายอากาศ จะใช้กับหม้อแปลงที่มีอุณหภูมิน้ำมันประมาณ 60°c อุณหภูมิของขดลวด 65°c และมีขนาดของหม้อแปลงประมาณ 80 MVA การระบายความร้อนในวิธีนี้มักจะใช้ร่วมกันกับวิธี OA ในการที่จะเลือกใช้การระบายความร้อนวิธี FA นี้ มักจะเลือกใช้ที่ขนาดกำลังของหม้อแปลงมากกว่าวิธี OA อยู่ประมาณ 1/3 (FA จะใช้กับขนาดกำลังของหม้อแปลง 133% ของวิธี OA)



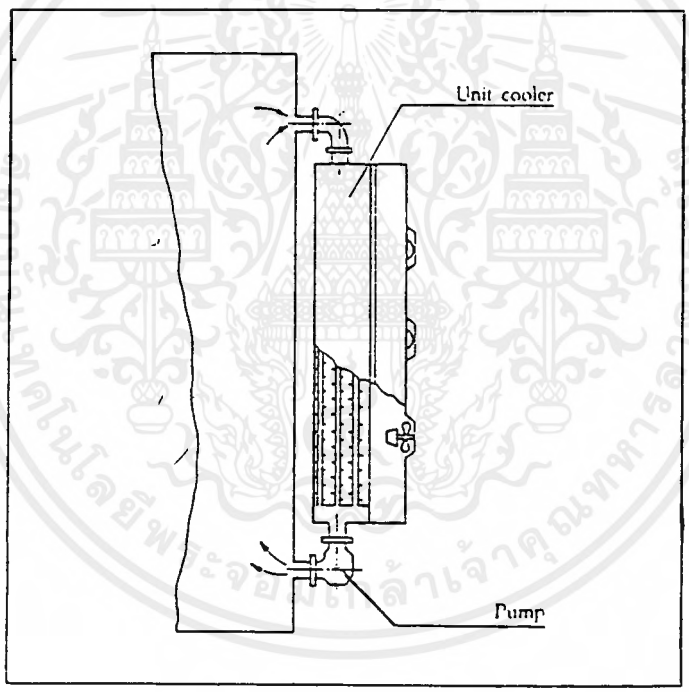
รูปที่ 3-4 การระบายร้อนความแบบ FA

ในการใช้งานถ้ากำลังที่ใช้ไม่เกินพิกัดที่กำหนดไว้ การระบายความร้อนด้วยวิธีการไหลเวียนของอากาศตามธรรมชาติก็เพียงพอแล้ว แต่เมื่อมีการเกิดการสูญเสียมากกว่าปกติจะทำให้เกิดความร้อนสูงกว่าค่าที่ได้กำหนดไว้ พัดลมระบายอากาศที่ติดอยู่ก็เริ่มทำงาน ความร้อนที่เกิดขึ้นจะระบายสู่อากาศได้อย่างรวดเร็ว การติดตั้งพัดลมระบายอากาศสามารถกระทำได้ 2 วิธีคือในแนวดิ่งและในแนวระนาบ การทำงานของพัดลมระบายอากาศมีทั้งแบบอัตโนมัติและแบบธรรมดา แบบอัตโนมัติก็จะใช้ตัวเซ็นเซอร์วัดระดับอุณหภูมิของน้ำมันหรือขดลวดเป็นตัวตัดต่อวงจรไฟฟ้าของพัดลม ซึ่งจะทำงานเป็นขั้นๆ แล้วแต่ระดับอุณหภูมิที่ตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FO : Forced oil cooling and Natural air cooling

การระบายความร้อนโดยใช้ปั๊มขับดันการไหลเวียนของน้ำมันและใช้การไหลเวียนของอากาศตามธรรมชาติซึ่งมักจะใช้ร่วมกับวิธี OA ระบบนี้มีปั๊มติดตั้งอยู่ระหว่างตัวถังของหม้อแปลงกับส่วนระบายความร้อนจะสามารถใช้กับขนาดกำลังมากกว่าแบบ OA อยู่ 1/3 หรือมีขนาดกำลัง 133% ของแบบ OAในระบบนี้จะใช้การติดตั้งที่มีส่วนของหม้อแปลงและส่วนของการระบายความร้อนแยกออกจากกัน เช่น ส่วนของถังหม้อแปลงติดตั้งอยู่ภายในห้องและส่วนของการระบายความร้อนติดตั้งอยู่ภายนอกห้อง ปั๊มจะทำงานเพื่อให้น้ำมันไหลเวียนจากตัวหม้อแปลงมาสู่ส่วนระบายความร้อน ทำให้สามารถระบายความร้อนได้รวดเร็ว



รูปที่ 3-5 การระบายความร้อนแบบ FO

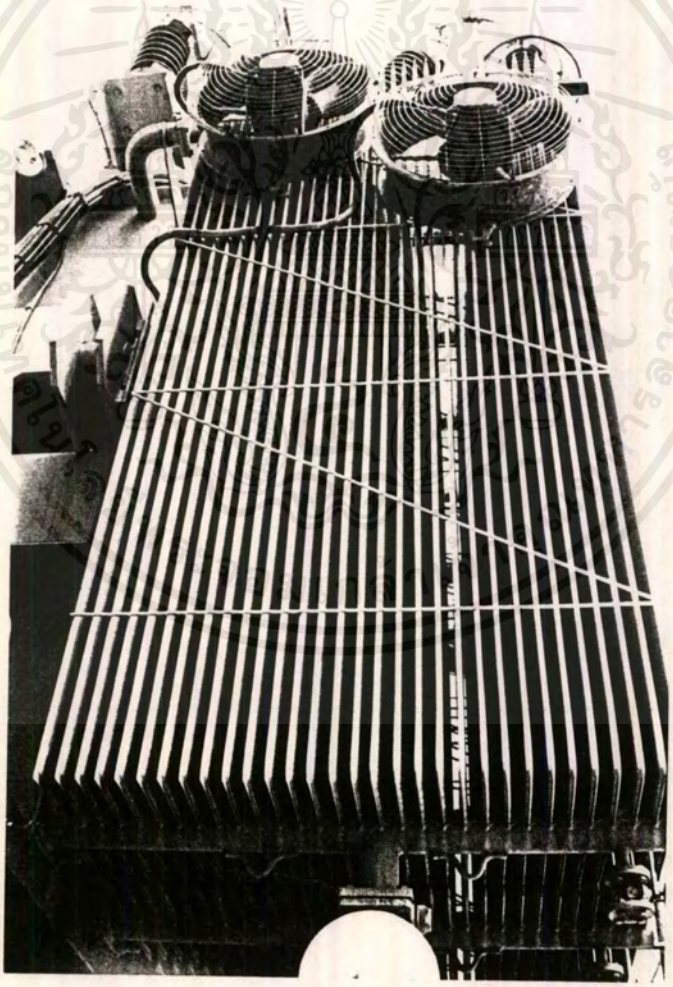
ระบบการระบายความร้อนด้วยวิธี FO นี้ออกแบบให้ง่ายต่อการที่จะถอดปั๊มออกมาซ่อมในขณะที่หม้อแปลงทำงานอยู่ ซึ่งก็หมายความว่าในขณะที่ถอดออกไปซ่อมหม้อแปลงตัวนี้ต้องจ่ายโหลดน้อยกว่าปกติโดยการปลดโหลดบางส่วนออก ในการควบคุมปั๊มให้ทำงานจะเป็นไปโดยอัตโนมัติโดยติดตั้งตัวตรวจจับอุณหภูมิที่ขดลวดหรือน้ำมันเพื่อไปตัดต่อวงจรปั๊มอีกทีหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่มีโหลดมากขึ้นในอนาคตทำให้หม้อแปลงต้องจ่ายกำลังมากขึ้นกว่าปกติ เราสามารถเพิ่มพัดลมระบายอากาศเข้าไปอีกด้วยได้ และระบบจะเปลี่ยนไปเป็นแบบการระบายความร้อนโดยวิธี FOA

FOA : Forced oil cooling and Forced air cooling

การระบายความร้อนโดยใช้ปั๊มขับดันการไหลเวียนของน้ำมันและใช้พัดลมระบายอากาศโดยทั่วไปจะใช้กับหม้อแปลงที่มีขนาดมากกว่า 30 MVA ในการระบาบความร้อนแบ่งออกเป็นขั้นๆ ไปคือ OA , FA และ FOA ทำให้สามารถจ่ายกำลังเพิ่มขึ้นได้โดยที่จ่ายกำลังพัดลมและปั๊มจะไม่ทำงาน ทำให้ลดการสูญเสียจากพัดลมและปั๊มได้



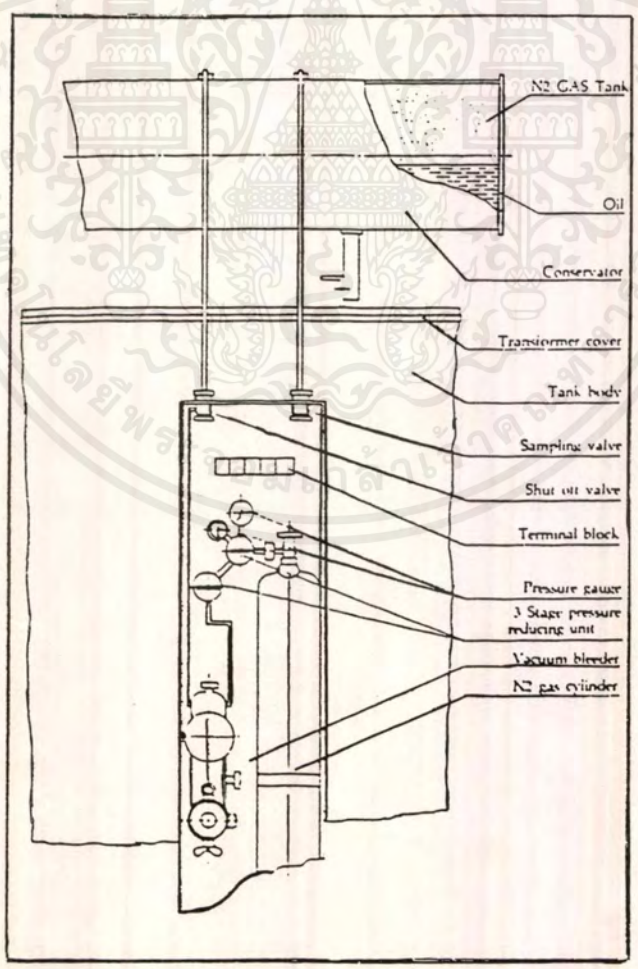
รูปที่ 3-6 การระบายความร้อนแบบ FOA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FOW : Forced oil cooling and Forced water cooling

การระบายความร้อนโดยใช้ปั๊มขับดันการไหลเวียนของน้ำและน้ำมันโดยสามารถระบายความร้อนได้ดีกว่าวิธีอื่นๆ ซึ่งแตกต่างจากวิธี FOA คือจะมีน้ำไหลวนเวียนอยู่รอบๆ ถังน้ำมันเพื่อทำให้มีการระบายความร้อนได้ดี แต่ในวิธีนี้สิ่งที่สำคัญคือน้ำมันจะต้องมีความดันสูงกว่าน้ำ เพราะถ้าท่อน้ำเกิดแตกหรือเสียหายขึ้นมา น้ำจะได้ไม่ไปผสมกับน้ำมันในหม้อแปลง น้ำที่ระบายความร้อนจะไหลวนเวียนอยู่ในท่อน้ำซึ่งจะมีปั๊มติดตั้งคอยช่วยการไหลเวียนอยู่

2 <u>การรักษาคุณภาพของฉนวนน้ำมัน</u> เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในบรรยากาศหรือมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอันเนื่องมาจากโหลดที่เพิ่มขึ้นของหม้อแปลง จะทำให้ฉนวนน้ำมันในหม้อแปลงเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรด้วย น้ำมันก็มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่างกันไป แต่โดยทั่วไปนั้นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง -20 °c ถึง +90 °c ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรได้สูงสุดประมาณ 9% ดังนั้นอ่างเก็บน้ำที่ติดตั้งอยู่บนหม้อแปลง(Conservertor) จึงต้องมีพื้นที่ว่างเพื่อรองรับการขยายตัวของน้ำมันด้วย

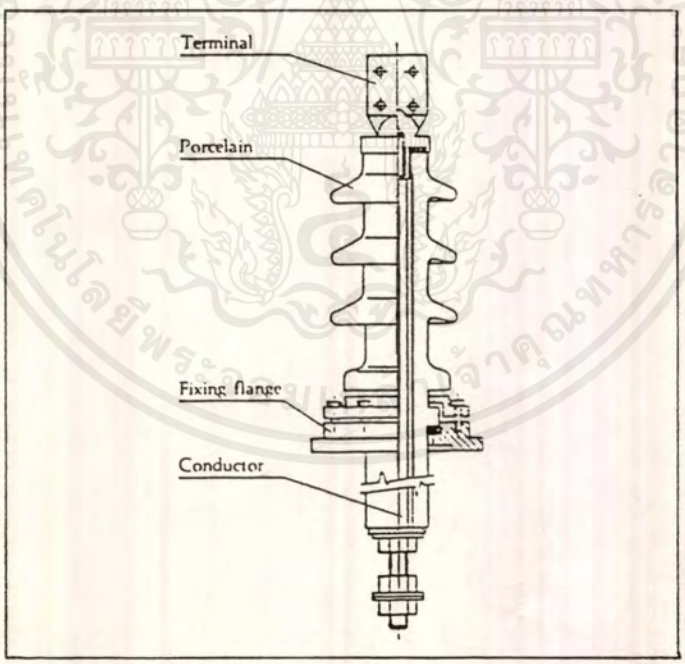


รูปที่ 3-7 การรักษาคุณภาพฉนวนน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้ว่าเรามีความจำเป็นที่จะต้องมีพื้นที่ว่างเพื่อเผื่อให้น้ำมันได้ขยายตัวแล้ว แต่ถ้าพื้นที่ว่างนั้นเป็นอากาศธรรมดาทำให้ฉนวนน้ำมันรับความชื้นจากอากาศได้ และเกิดปฏิกิริยาเป็นกรดออร์แกนิค ฉนวนน้ำมันจะสูญเสียความเป็นฉนวนไปได้ และคงไม่ง่ายนักที่จะเปลี่ยนน้ำมันอยู่บ่อยๆ เราจึงมีวิธีแก้การเสื่อมของฉนวนน้ำมันโดยวิธีการบรรจุแก๊สไนโตรเจนลงไปในพื้นที่ว่างดังกล่าว หรือใช้แผ่นไดอะแฟรม(Diaphram) เพื่อให้ฉนวนน้ำมันไม่สัมผัสกับอากาศในที่ว่างโดยแผ่นไดอะแฟรมเป็นแผ่นที่สามารถยืดหยุ่นได้และลอยอยู่บนผิวของน้ำมันในอ่างเก็บน้ำมันบนหม้อแปลง เราสามารถนำแก๊สไนโตรเจนมาบรรจุในพื้นที่ว่างเหนือแผ่นไดอะเฟรมได้อีกด้วย แต่ก็มักใช้กับหม้อแปลงกำลังที่มีขนาดใหญ่มากๆ เท่านั้น

3. ปลอกฉนวนนำสายไฟ (Bushing) ทำหน้าที่เป็นฉนวนกั้นระหว่างตัวนำที่มีไฟฟ้ากับส่วนที่ต่อลงดิน เช่น ถังโลหะ เป็นต้น ฉะนั้นปลอกฉนวนนำสายต้องมีการฉนวนที่ทนต่อแรงดันใช้งานและแรงดันเกินที่อาจเกิดขึ้นได้ ปลอกฉนวนนำสายไฟจะมีส่วนสำหรับยึดติดกับสิ่งกั้นหรือฝาผนังที่ต้องนำสายไฟผ่านไป ชนิดของปลอกรองแกนสามารถแบ่งออกได้ตามลำดับของการฉนวน สภาวะแวดล้อม ชนิดของกระเบื้องที่ใช้ทำ เป็นต้น

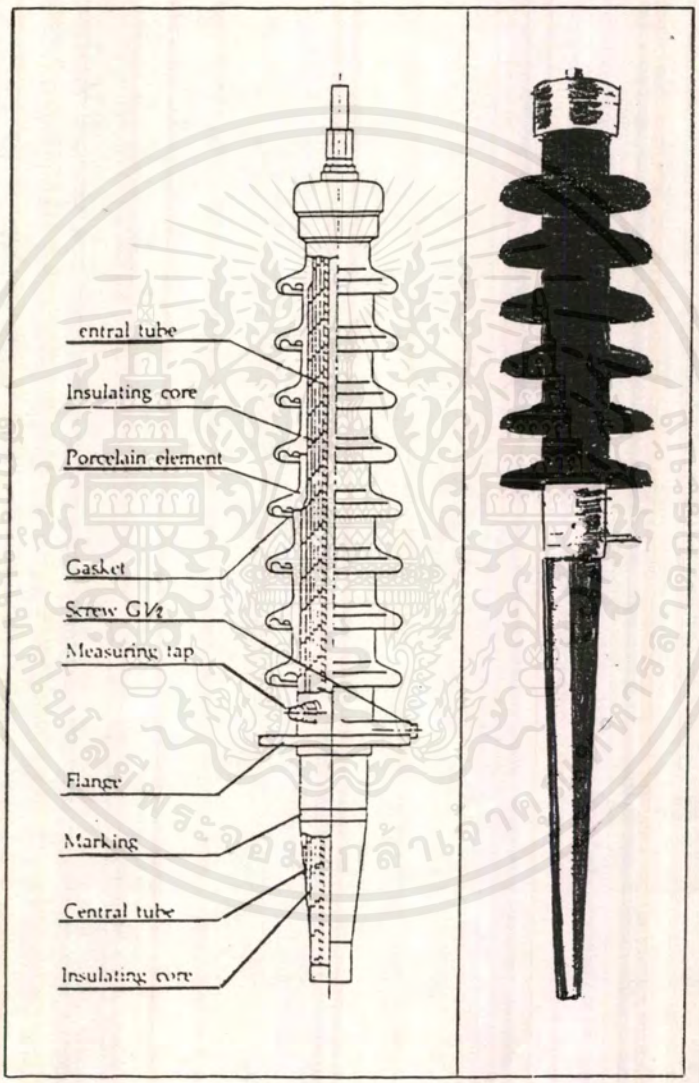


รูปที่ 3-8 Solid type bushing

Solid type bushing มีโครงสร้างประกอบด้วยตัวนำและแท่งกระเบื้องเคลือบ มีแรงต้านความเป็นฉนวนไฟฟ้า(Dielectric strength) ต่ำ ซึ่งนำมาใช้ในระบบที่มีแรงดันต่ำกว่า 30 kV ช่องว่างระหว่างตัวนำกับกระเบื้องเคลือบจะมีฉนวนน้ำมันจากหม้อแปลงกั้นอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Condenser type bushing คือการฉนวนที่ใช้กระดาษและเหล็กฟอยล์สลับกันไปรอบๆ ตัวนำภายในปลอกรองแกน เพื่อเป็นการฉนวนภายในปลอกรองแกน แบบนี้ใช้กับระบบแรงดันที่สูงกว่า 46 kV ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 อย่างคือ Synthet resin bounded paper insulated condenser bushing และ Oil impregnated paper insulated condenser bushing

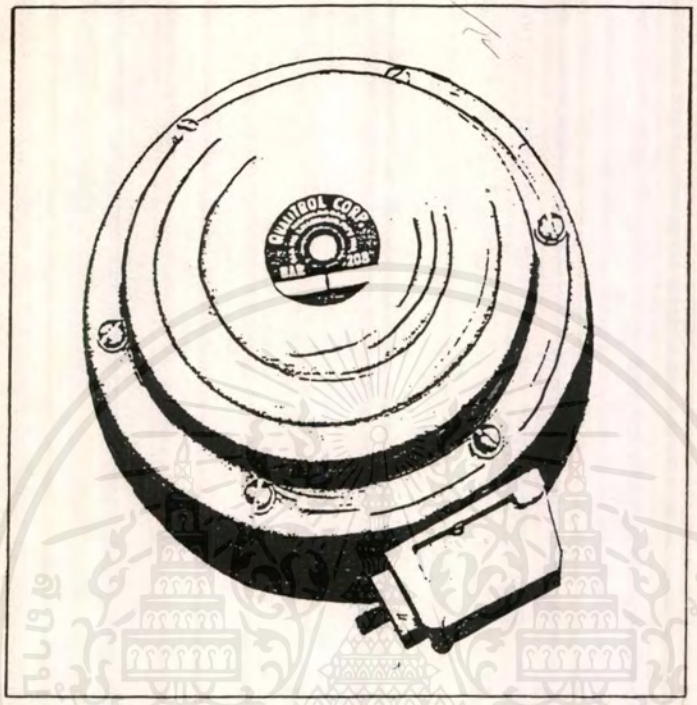


รูปที่ 3-9 Condenser type bushing

4. <u>อุปกรณ์ลดความดัน</u> (Pressure relief device) เมื่อเกิดการลัดวงจรทันทีทันใดภายในถังที่บรรรจุหม้อแปลง วัสดุฉนวนภายในหม้อแปลงซึ่งอาจจะเป็นฉนวนกระดาษ ไม้หรือน้ำมันเป็นต้น ทำให้เกิดแก๊สขึ้นภายใน ความดันภายในถังจึงเพิ่มขึ้น เพื่อป้องกันไม่ให้ถังที่บรรจุหม้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลงเกิดความดันจนแตกหรือเปลี่ยนรูปไป เราจึงนำอุปกรณ์ลดความดันนี้ไปติดตั้งบนถัง เพื่อลดความดันภายในถังเมื่อเกิดเหตุขึ้น



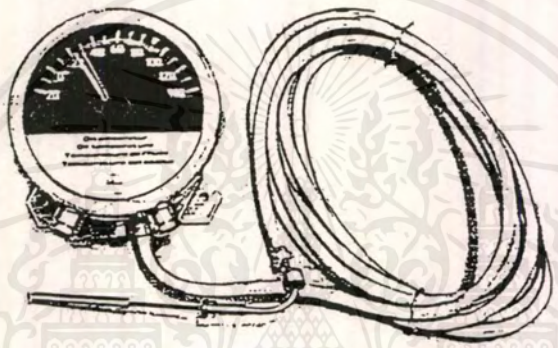
รูปที่ 3-10 อุปกรณ์ลดความดัน

เมื่อมีการลัดวงจรแล้วเกิดความดันขึ้นภายในถังที่บรรจุหม้อแปลง ตัวลดความดันจะทำงานเองโดยอัตโนมัติ โดยจะผ่อนให้ความดันภายในถังลดลงจนเข้าสู่สภาวะปกติ เมื่อตัวลดความดันทำงานระบบจะทำให้ปุ่มบนตัวลดความดันกระเด้งขึ้น ทำให้เราสามารถรู้ได้ว่าอุณหภูมิมีการทำงานหรือไม่ ซึ่งอาจจะเป็นการเตือนด้วยเสียงหรืออาจจะไปทริปสวิทซ์ที่ทำงานอยู่ก็ได้

5. <u>อุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิโดยใช้กระเปาะความต้านทาน</u>(Resistance thermometer) ซึ่งจะแบ่งออกได้ 2 ชนิด ชนิดแรกคือความต้านทานจะมีรูปร่างเป็นแท่งกลม นำไปติดไว้ในส่วนที่น้ำมันมีอุณหภูมิสูงสุด วัดอุณหภูมิของน้ำมันโดยเปลี่ยนมาจากความต้านทานอีกวิธีหนึ่งคือมีขดลวดปรับอุณหภูมิและอุปกรณ์ที่รับความร้อนประกอบกันอยู่ในที่ที่มีน้ำมันอุณหภูมิสูงสุด ความร้อนที่กระเปาะความต้านทานจะทำให้มีกระแสไหลอย่างเป็นสัดส่วนกับกระแสโหลด อุณหภูมิของน้ำมันสามารถวัดได้โดยการลดค่าอุณหภูมิของขดลวด ปรับอุณภูมิจากเดิมไว้สูงสุดให้ลงมาเท่ากันก็สามารถวัดค่าอุณหภูมิของน้ำมันได้ รายละเอียดของกระเปาะความต้านทานประกอบด้วยตัวความต้านทานเป็นทองแดงเรียกว่า PT100 สามารถวัดได้ที่อุณหภูมิ 0~120°c

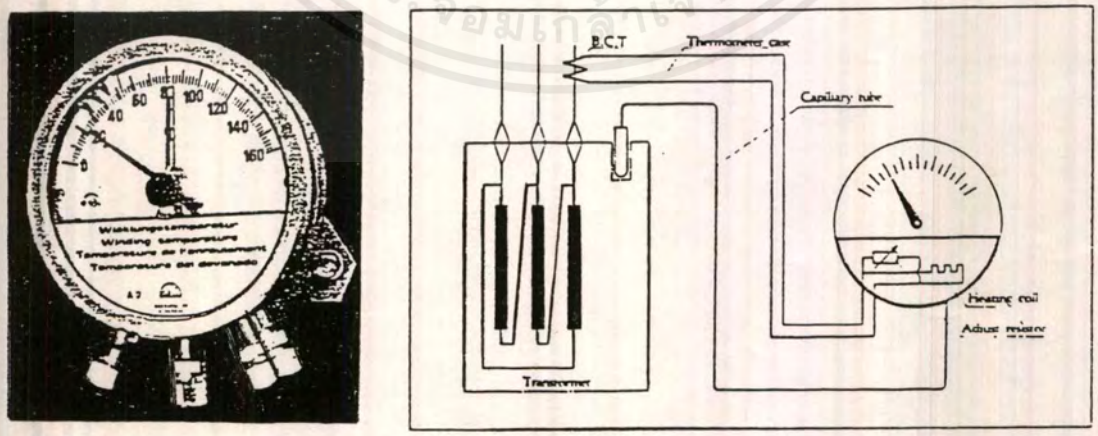
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิน้ำมัน (Oil thermometer) ใช้สำหรับการประมาณค่าอุณหภูมิของฉนวนน้ำมัน ตัวที่ใช้ตรวจจับอุณหภูมิของน้ำมันมักจะติดตั้งที่ตำแหน่งสูงสุดของถัง ส่วนที่เป็นหน้าปัทม์บอกอุณหภูมิของน้ำมันถูกยึดติดกับตำแหน่งที่มองเห็นได้ง่ายบนผนังของถังกระเปาะที่วัดอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์ โดยเชื่อมต่อกับภายในของถังเพื่อให้ง่ายต่อการเปลี่ยนถ้าหากเทอร์โมมิเตอร์มีปัญหา เทอร์โมมิเตอร์มีการแบ่งขีดด้วยเข็มชี้เพื่อที่บอกค่าและเตือนเมื่อถึงค่าสูงสุด เทอร์โมมิเตอร์แต่ละตัวมีหน้าสัมผัส 4 ตัว เพื่อต่อเข้ากับความต้านทาน PT100 โอห์มที่ 0°c ซึ่งสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้ตามความต้องการ และนำไปต่อเข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ



รูปที่ 3-11 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิน้ำมัน

7. อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิขดลวด (Winding thermometer) เป็นตัววัดอุณหภูมิของขดลวดแต่ไม่สามารถวัดจากขดลวดได้โดยตรง จากความรู้ที่ว่าอุณหภูมิขดลวดจะเปลี่ยนแปลงตาม



รูปที่ 3-12 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิขดลวด

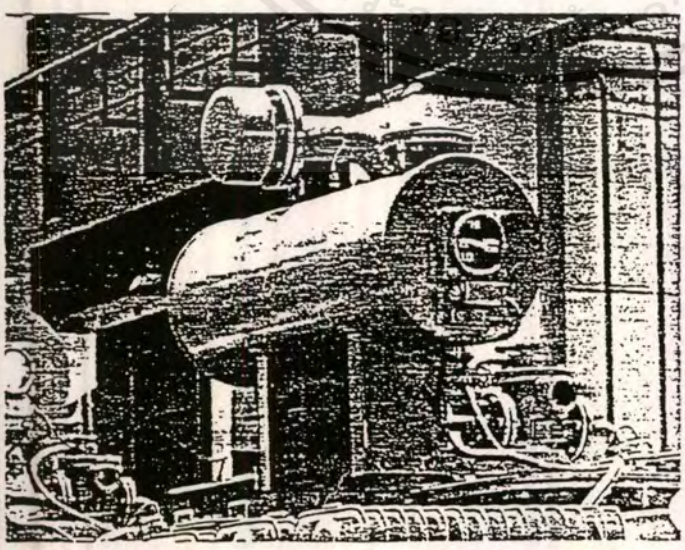
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสที่ไหลผ่าน จึงนำหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (Current Transformer CT.) ไปต่อที่ทางเข้าของขดลวด จากนั้นจึงนำไปสร้างความร้อนขึ้นโดยผ่านขดลวดความร้อน(Heat coil) และวัดอุณหภูมิจากขดลวดความร้อนแทน โดยการปรับหน้าปัทม์ให้อ่านค่าได้เท่ากับอุณหภูมิของขดลวดจริง

8. Buchholz relay ถ้ามีปัญหาเกิดขึ้นในหม้อแปลงอาจจะเป็นกระดาษฉนวนน้ำมันทำให้เกิดแก๊สขึ้น ถ้าเป็นปัญหาเล็กๆ แก๊สจะเกิดช้าๆ กลายเป็นฟองอากาศลอยขึ้นไปส่วนบนและช่องว่างในถัง ในกรณีที่เกิดเหตุรุนแรงแก๊สจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วความดันในถังจะเพิ่มขึ้น ที่ด้านบนมีอุปกรณ์ป้องกันการเกิดอุบัติเหตุเนื่องจากน้ำมันน้อยเกินไปคือ Buchholz relay ในขณะที่หม้อแปลงทำงานที่สภาวะปกติ Buchholz relay จะถูกเติมน้ำมันเต็ม ภายใต้เงื่อนไขนี้น้ำมันจะหมุนเวียนไปเรื่อย ถ้ามีแก๊สเกิดขึ้น Air bubbles จะเคลื่อนที่ไปที่ตัวป้องกันการเกิดอุบัติเหตุและสะสมขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดสูงสุดของรีเลย์นี้

เมื่อแก๊สสะสมมากขึ้นจนระดับน้ำมันในรีเลย์ต่ำลง และลูกลอยอยู่ในระดับต่ำจะเป็นการเริ่มต้นการทำงานของสัญญาณเตือนภัย ถ้าแก๊สนี้เกิดขึ้นติดต่อกันไปเรื่อยๆ และระดับน้ำมันต่ำลงจนถึงระดับต่ำสุด ลูกลอยจะต่ำลงด้วยทำให้ Buchholz relay เริ่มต้นเปลี่ยนแปลงสวิทช์แม่เหล็กและตัดวงจรหม้อแปลงออกจากระบบทันที

9. รีเลย์ความดัน (Sudden pressure relay) เป็นรีเลย์ที่ทำงานเมื่อความดันหม้อแปลงเปลี่ยนแปลงทันที ซึ่งเกิดขึ้นในกรณีที่เกิดแก๊สขึ้นเนื่องจากน้ำมันที่ผิดปกติ โดยจากการลัดวงจรทำให้เกิดการสั่นของน้ำมันและความดันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งรีเลย์นี้จะทำงานทันที อาจส่งสัญญาณเตือนภัยหรือตัดวงจรทันทีทันใดก็ได้ ทั้งนี้ส่วนใหญ่รีเลย์ในสถานีไฟฟ้าย่อยจะทำงานเสียก่อนที่รีเลย์นี้จะทำงาน



รูปที่ 3-13 อุปกรณ์วัดความดันน้ำมัน

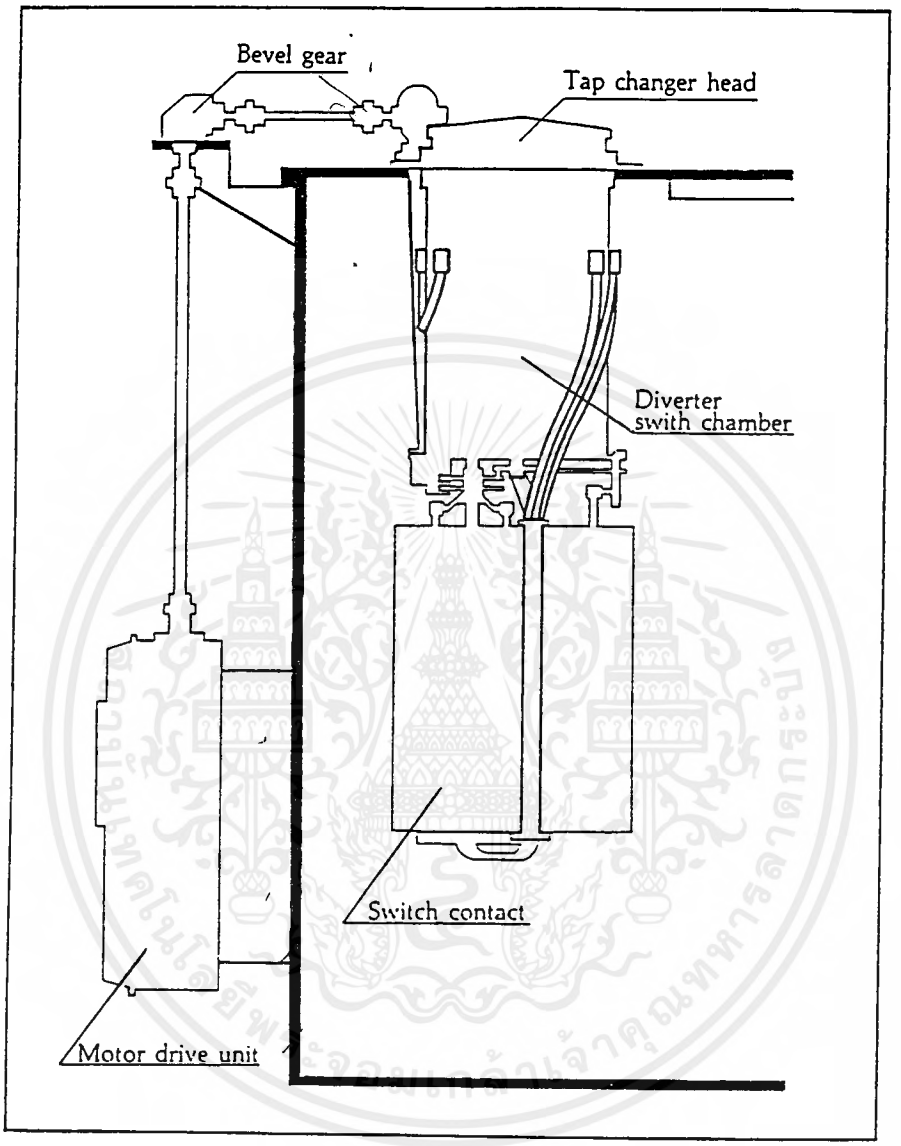
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. <u>อุปกรณ์วัดระดับความดันน้ำมัน</u> (Oil level indicator) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้บอกระดับน้ำมันในหม้อแปลง ซึ่งตรวจจับความผิดปกติของการขึ้น-ลงของน้ำมันที่มีผลมาจากข้อผิดพลาดภายในหม้อแปลง ตัวตรวจวัดระดับน้ำมันสามารถกันน้ำและกันกระเทือนได้เป็นอย่างดี ถูกติดตั้งอยู่บนอ่างเก็บน้ำมัน และมีหน้าสัมผัสเพื่อส่งสัญญาณเตือนว่าระดับน้ำมันสูงหรือต่ำเกินไป

รูปที่ 3-14 ชุดซับความชื้น

11. <u>ชุดซับความชื้น</u> (Dehydrating Breather) ชุดซับความชื้นนั้นจะนำไปติดตั้งตอนท้ายของท่อระบายอากาศเข้าของหม้อแปลง ลักษณะของชุดซับความชื้นนี้อากาศจะเข้าและออกได้เองโดยตรง โดยกรองความชื้นไว้ด้วยซิลิกาเจลบนพื้นที่ส่วนต่างๆ ที่บรรจุในตัวซับความชื้น มีความดันที่แตกต่างกันกับความดันบรรยากาศ ซิลิกาเจลจะบรรจุอยู่ในภาชนะแก้ว เมื่อซิลิกาเจลเริ่มเปียกชื้นสีของมันจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูจางๆ วิธีป้องกันจากการที่ซิลิกาเจลไปโดนความชื้นของอากาศคือไม่ให้อากาศชื้นผ่านเข้าภายในและระดับน้ำมันในตัวมันต้องคงที่ โดยน้ำมันจะอยู่ส่วนล่างสุดของชุดซับความชื้น ซิลิกาเจลควรจะต้องมีการเปลี่ยนใหม่เมื่อเกิดการเปียกชื้นหรือมีสีด่างประมาณ 70% แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



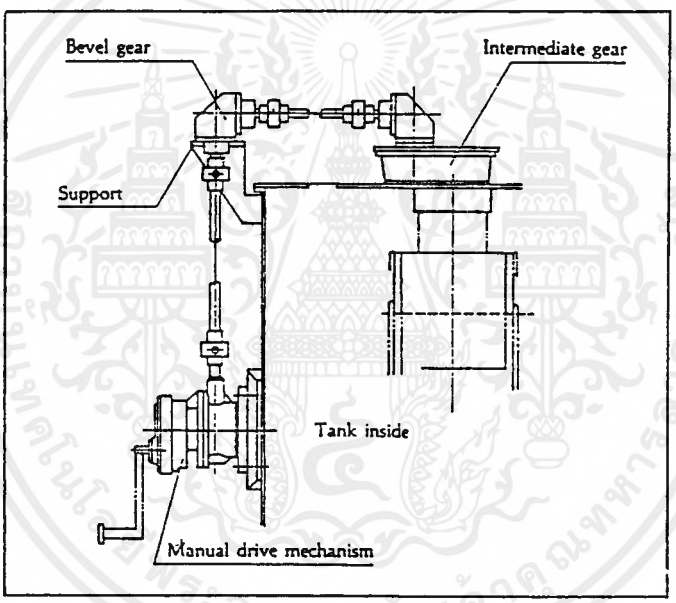
รูปที่ 3-15 ออนโหลดแทปเชนแจอร์

13. <u>ออน-โหลด-แท็ป-เชนแจอร์</u> ใช้ปรับแรงดันของหม้อแปลงอย่างต่อเนื่องได้โดยมิต้องตัดโหลดออก หน้าสัมผัสมีอยู่ 2 ชุดคือไดเวอร์สเตอร์สวิชท์(Diverstor switch) และ ดิสคอนเนคติ้งสวิชท์(Disconnecting switch) ทั้ง 2 ชุดจุ่มอยู่ในถังหม้อแปลง แต่ในชุดของไดเวอร์สเตอร์นั้นเกิดการอาร์คบ่อย จึงต้องแยกน้ำมันต่างหากและต้องเปลี่ยนบ่อย สำหรับการทำงานนั้นดิสคอนเนคติ้งสวิชท์จะเปลี่ยนจากตำแหน่งเดิมไปตำแหน่งใหม่ก่อน ซึ่งทำให้เกิดมีกระแสไหลในลูบ(Loop) เนื่องจากการชอร์ตรอบ(Short turn) แต่จะมีความต้านทาน(Resister) ต่ออนุกรมอยู่เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำกัดกระแส ต่อจากนั้นไดเวอร์สเตอร์จึงตามไปยังตำแหน่งใหม่ ทำให้สามารถเปลี่ยนแทปได้โดยไม่ต้องตัดโหลด หรือในกรณีที่กระแสไม่ต่อเนื่องเลย ระบบทางกล(Mechanic) จะใช้มอเตอร์เป็นตัวขับ ซึ่งเปลี่ยนแทปด้วยการสั่งจากห้องควบคุมหรืออาจเป็นแบบอัตโนมัติก็ได้

12. โน-โหลด-แท็ป-เชนเจอร์ ใช้ปรับแรงดันของหม้อแปลงกำลัง โดยการเปลี่ยนแทปในขณะที่ไม่มีโหลด เนื่องจากไม่ได้ออกแบบหน้าสัมผัสให้ทนการอาร์ค หน้าสัมผัสในการเปลี่ยนแทปทำจากทองแดง หรือทองแดงอัลลอยด์ เคลือบด้วยสารป้องกันการเกิดคอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulphate)ซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้า การปรับแทปทำได้ง่ายโดยการหมุนหรือจับไปตามแทปที่ต้องการ



รูปที่ 3-16 โนโหลดแทปเชนแจอร์

3.1.2 ประเภทของหม้อแปลงกำลัง

การแบ่งประเภทของหม้อแปลงกำลังนั้นเป็นสิ่งที่ละเอียด สามารถแบ่งออกหลายลักษณะ แต่ส่วนใหญ่จะแบ่งตามลักษณะแรงดันที่ต้องการและแบ่งตามขนาดพิกัดของหม้อแปลง นอกจากนี้ยังมีการแบ่งตามการต่อเวคเตอร์กรุ๊ป(Vector group) จำนวนขดลวดธรรมดาหรือเป็นหม้อแปลงแบบอัตโนมัติและแบบอื่นๆ อีกมากมาย

พิกัดของหม้อแปลงกำลัง

1. พิกัดแรงดัน ทั้งขดปฐมภูมิ(Primary) ,ขดทุติยภูมิ(Secondary) และขดช่วย(Tertiary)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. พิกัด MVA ทั้งขดปฐมภูมิ(Primary) ,ขดทุติยภูมิ(Secondary) และขดช่วย(Tertiary)

3. พิกัดแรงดันอิมพีแดนซ์(Rated impedance voltage)

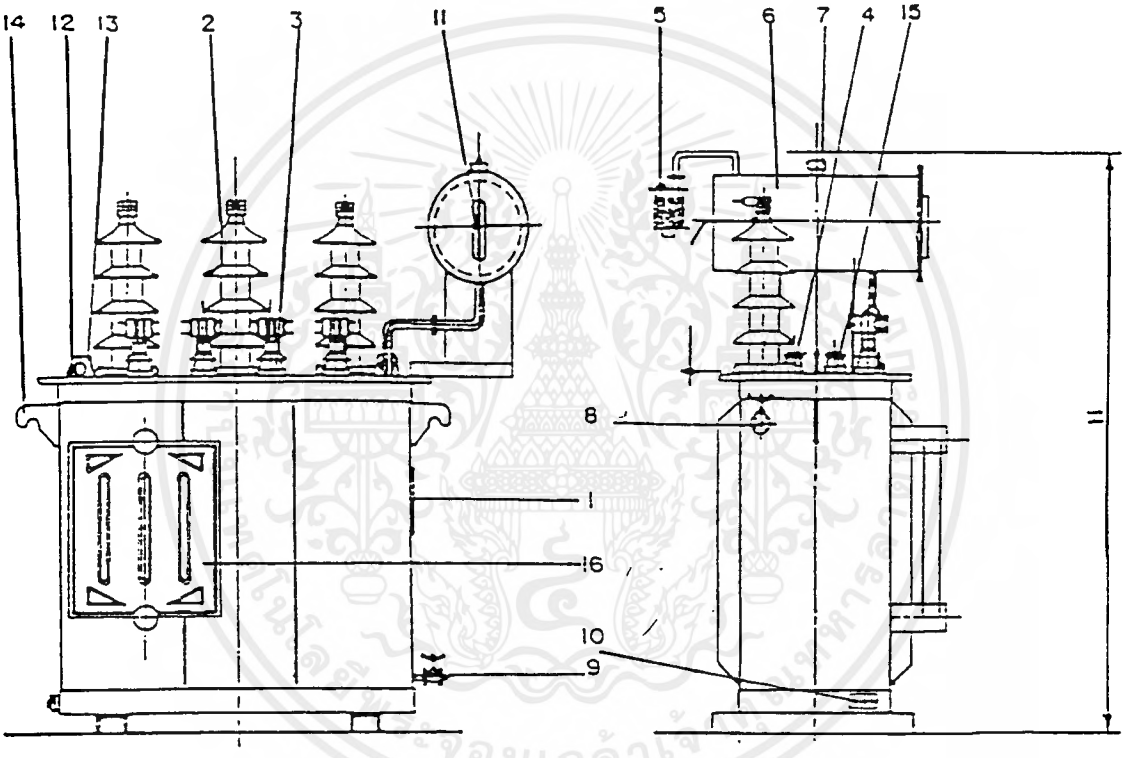
4. พิกัดความถี่(Rated freqency)

5. เวคเตอร์กรุ๊ป(Vector group)

6. พิกัดการลัดวงจร(Rated short circuit capacity)

7. ระดับเสียงขณะทำงาน(Sound level)

8. พิกัดแรงดันอิมพัลซ์(Rated impulse voltage)



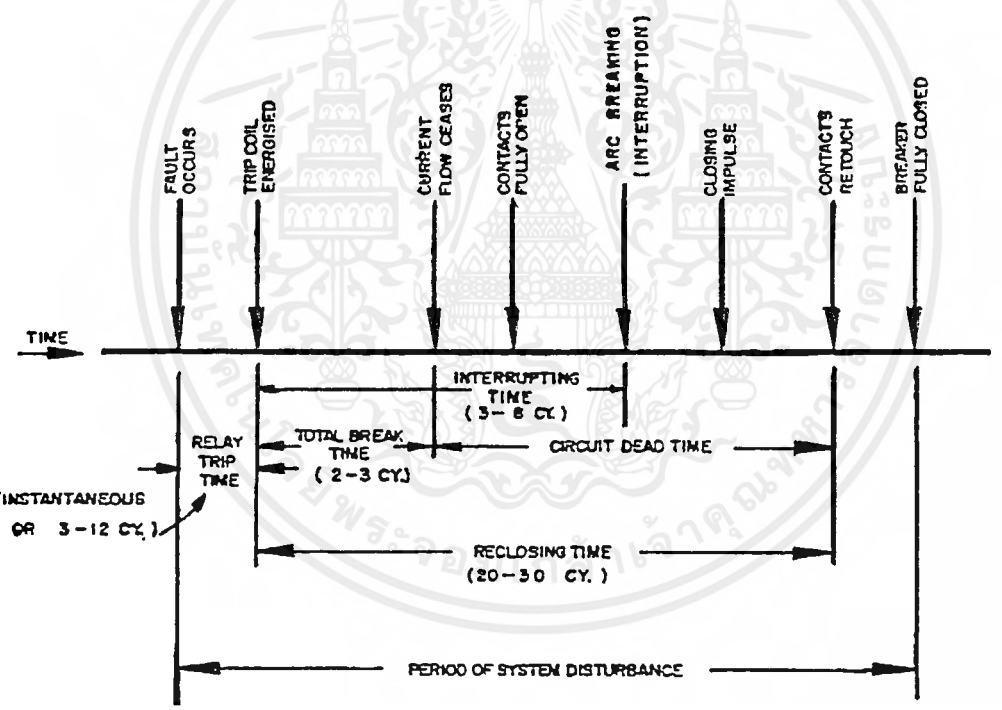
รูปที่ 3-17 Transformer outline drawing

1. Nameplate with connection diagram
2. HV. Bushing with connector
3. LV. and Neutral Bushing with connector
4. Off load tap changer
5. Dehydrating breather silica gel
6. Oil conservator tank
7. Oil filling cap
8. Upper oil filter valve
9. Lower oil filter and oil drain valve
10. Earth terminal
11. Oil level gauge
12. Thermometer packet
13. Lifting eye for cover
14. Lifting lug for tank
15. Tap selector for 33 kVor 22 kV
16. Radlator fin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เซอร์กิตเบรคเกอร์ (Circuit Breaker)

โดยปกติแล้วการเปิดวงจรไฟฟ้าขณะที่มีกระแสจำนวนมากไหลอยู่จะมีเปลวอาร์คและเกิดขึ้นตรงจุดที่เปิดวงจร ความรุนแรงของการอาร์คขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่ไหลในวงจร ถ้าใช้สวิทช์ธรรมดาเปิดวงจรแล้วความร้อนจากการอาร์คนั้นจะทำให้หน้าสัมผัสหลอมละลายเสียหายได้ จึงต้องใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าเซอร์กิตเบรคเกอร์แทน ซึ่งมีส่วนประกอบพิเศษที่ทำการดับอาร์คได้ในเวลาอันสั้น นอกจากนี้เซอร์กิตเบรคเกอร์ยังใช้ในการปลดวงจรเมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นในระบบ ซึ่งกระแสลัดวงจรจะมีค่ามากกว่ากระแสปกติหลายเท่า เมื่อทำการแก้ไขการลัดวงจรเรียบร้อยแล้วก็จะทำการต่อเซอร์กิตเบรคเกอร์เข้าไปใหม่โดยอัตโนมัติเพื่อให้จ่ายกระแสไฟฟ้าตามเดิม ซึ่งเพิ่มความปลอดภัยและเพิ่มความเสถียรภาพให้แก่ระบบด้วย



รูปที่ 3-18 กิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่าง Period of system disturbance

3.2.1 หน้าที่ของเซอร์กิตเบรคเกอร์

ก่อนที่จะกล่าวถึงหน้าที่ ขออธิบายถึงคำว่าแรงดันรีคอฟเวอร์รี่ (Recovery Voltage) ซึ่งเป็นแรงดันระหว่างหน้าสัมผัสขณะที่หน้าสัมผัสเริ่มแยกออกจากกันซึ่งจะมีค่าขึ้นอยู่กับ ค่าอินดัคแตนซ์(Inductance)และค่าคาปาซิแตนซ์(capacitance)ในวงจร เป็นส่วนผลที่เกิดขึ้นตามแรงดันรี

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอฟเวอร์รี่ คือหลังจากที่กระแสผ่านค่าศูนย์(zero current)ไปแล้ว ถ้าบังเอิญในขณะนั้นค่าแรงดันรีคอฟเวอร์รี่มีค่าสูงกว่าระดับของแรงต้านการเป็นฉนวน (หรือ Insulation level) ของช่องอากาศระหว่างหน้าสัมผัสของเบรคเกอร์แล้วจะเกิดอาร์คผ่านระหว่างหน้าสัมผัสนั้นซ้ำอีกเป็นครั้งที่ 2 ซึ่งอาร์คครั้งนี้เกิดจากแรงดัน ต่างจากอาร์คครั้งแรกที่เกิดจากกระแส การเกิดอาร์คจากแรงดันรีคอฟเวอร์รี่นี้ถ้าเกิดขึ้นภายในเวลา 1/4 ไซเคิล หลังจากกระแสผ่านค่าศูนย์แล้วเรียกว่า Re-ignition และถ้าเกิดภายหลัง 1/4 ไซเคิลไปแล้วเรียกว่า Restrike

<u>การใช้เซอร์กิตเบรคเกอร์ ในระบบนั้นมีหน้าที่ ที่สำคัญอยู่ 3 ประการคือ</u>

1. Normal switching เป็นการเปิดและปิดวงจรของระบบในกรณีปกติ โดยเฉพาะการเปิดวงจรมีประเด็นพิเศษที่น่าสนใจอยู่ 2 ประการ คือ

1.1 Inductive current switching คือ การเปิดวงจรที่มีความเหนี่ยวนำอยู่ในระบบเป็นส่วนใหญ่ เช่น หม้อแปลงหรือเครื่องต้านไฟสลับ (Reactor) ที่ลดโหลดออกหมดแล้ว เป็นต้น ขณะปลดเซอร์กิตเบรคเกอร์ออกนั้นพลังงานที่สะสมอยู่ในตัวเหนี่ยวนำของวงจร (มีค่าเท่ากับ 1/2 Li^2) กระจายตัวออกมาในรูปของ Demped high frequency oscillation ทำให้เกิดแรงดันทรานส์เซี้ยน (Transient voltage) ที่มีค่าสูงกว่าแรงดันรีคอฟเวอร์รี่ตามปกติและอาจสูงกว่าแรงดันระบบ (System voltage) ถึงหลายเท่า ในเสี้ยวของรอบแรกหลังจากปลดเบรคเกอร์ออกซึ่งแม้ต่อมากระแสลดมาจนถึงจุดที่ค่ากระแสเป็นศูนย์ที่เป็นจุดดับของอาร์คแล้วก็ตาม แรงดันนี้ก็ยังคงสูงอยู่และเป็นต้นเหตุที่จะทำให้เกิด restrike ขึ้นได้โดยง่าย การป้องกันไม่ให้เกิด restrike ทำได้โดยการต่อตัวต้านทานคร่อมอินเตอร์รัพเตอร์ไว้เพื่อจะช่วยบรรเทาแรงดันเกินให้น้อยลง (Damp over voltage)

1.2 Capacitive current switching คือ การเปิดวงจรสายส่งระยะไกลเมื่อลดโหลดออกหมดแล้ว มีเพียง Line chargine current ไหลอยู่เนื่องจากค่าความเป็นประจุในสายส่งซึ่งกระแสจะนำหน้าแรงดันประมาณ 90 องศา ดังนั้นแม้ว่าขณะที่แยกหน้าสัมผัสกระแสจะเป็นศูนย์ก็ตามแต่แรงดันยังคงอยู่ประมาณค่าสูงสุด ซึ่งจะเป็นการเสริมค่าของแรงดันรีคอฟเวอร์รี่ให้สูงขึ้นตามไปด้วย แรงดันรีคอฟเวอร์รี่นี้หลังจากอินแตอร์รัพไปแล้วประมาณ 1/2 ไซเคิล จะมีค่าประมาณ 2 เท่าของแรงดันระบบอาจจะทำให้เกิด restrike ได้เหมือนกัน การป้องกันถึงแม้จะติดตัวต้านทานคร่อมอินเตอร์รัพเตอร์ซึ่งช่วยบรรเทาแรงดันรีคอฟเวอร์รี่ลงได้บ้าง แต่ก็จำเป็นจะต้องปรับปรุงขบวนการของอินเตอร์รัพเตอร์ให้มีสมรรถนะในการกลับคืนสู่สภาพความเป็นฉนวนไฟฟ้าตามเดิมโดยเร็วที่สุด ในระหว่างเวลาขณะดับอาร์คนั้น เพื่อให้ระดับความเป็นฉนวนของช่องอากาศสูงกว่าแรงดันรีคอฟเวอร์รี่ ในกรณีที่มีอินเตอร์รัพเตอร์หลายชุดจะมีตัวต้านทานกับตัวเก็บประจุต่อคร่อมไว้แต่ละชุด โดยตัวต้านทานนอกจากทำหน้าที่บรรเทาระดับรีคอฟเวอร์รี่แล้ว ยังเป็นตัวแบ่งกระแสให้แต่ละอินเตอร์รัพเตอร์เฉลี่ยรับกระแสเท่า ๆ กัน ตัวเก็บประจุนั้นมีหน้าที่เฉลี่ยแรงดันที่ตกคร่อมอิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตอร์รัพเตอร์ให้เท่าๆ กัน มิให้อินเตอร์รัพเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งรับภาระเพียงอันเดียวและการต่ออินเตอร์รัพเตอร์หลาย ๆ ชุดจะทำให้เบรคเกอร์ทนแรงดันได้สูงขึ้น

2. ความผิดปกติในระบบอินเตอร์รัพเป็นการตัดวงจรออกโดยอัตโนมัติเมื่อมีความผิดปกติในระบบหรือเหตุขัดข้องเกิดขึ้นในระบบ เช่น สายส่งขาดหรือเกิดแรงดันเสิร์จขึ้นในระบบเพื่อให้ได้ประโยชน์ทางด้านการป้องกัน(Protection)อย่างเต็มที่และได้ผลแน่นอน นั่นก็คือเซอร์กิตเบรคเกอร์จะต้องพร้อมที่จะตัดวงจรได้ทันที เมื่อได้รับสัญญาณที่ส่งมาจากรีเลย์ว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้นในระบบ ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ประการ คือ

2.1 ต้องมีแหล่งจ่ายและการควบคุมไฟฟ้าที่แน่นอน สำหรับให้อุปกรณ์ที่ไปควบคุมหรือปลดเซอร์กิตเบรคเกอร์ออกจากวงจร

2.2 ต้องจัดกลไกและระบบการปลดเซอร์กิตเบรคเกอร์ให้ทำงานเป็นอิสระ สามารถตัดวงจรได้ทุกโอกาสโดยไม่มีสิ่งใดมาขัดขวางในการทำงาน ซึ่งคุณลักณะนี้เรียกว่าตัดวงจร(Trip) ซึ่งคุณลักษณะนี้เรียกว่าตัดวงจรแบบอิสระ

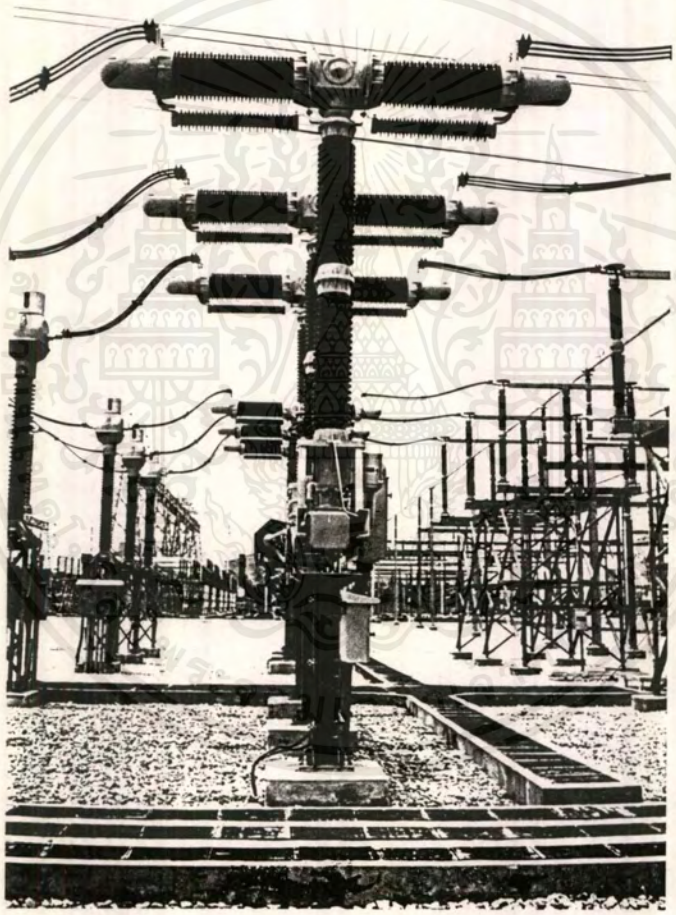
3. Circuit reclosing เป็นการปิดวงจรอีกครั้งหลังจากเปิดวงจรเมื่อมีความผิดปรกติเกิดขึ้นในระบบสายส่งนั้น ความผิดปกติที่เกิดขึ้นส่วนมากเป็นความผิดปกติชั่วขณะ (Temporary fault) ซึ่งอาจมีต้นเหตุจากฟ้าผ่าหรือเหตุชั่วคราวอื่น ๆ เช่น ลมพัดกิ่งไม้มาถูกสายไฟ เป็นต้น เมื่อเซอร์กิตเบรคเกอร์ตัดตัวเองออกจากวงจรแล้ว reclosing relay ก็ส่งสัญญาณมาที่เซอร์กิตเบรคเกอร์สับกลับเข้าไปใหม่โดยอัตโนมัติและระบบก็ทำการจ่ายพลังงานตามปกติ แต่ถ้าความผิดปกติที่เกิดขึ้นนั้นยังไม่ได้รับการแก้ไข หลังจากที่เซอร์กิตเบรคเกอร์สับกลับเข้าไปใหม่แล้วก็จะตัดวงจรออกอีก ซึ่งสามารถที่จะตั้งจำนวนครั้งและเวลาในการสับกลับเข้าไปใหม่นี้ได้ตามต้องการ โดยให้เป็นแบบทันทีทันใดหรือจะเป็นแบบหน่วงเวลาเท่าใดก็ได้ ระยะเวลาตั้งแต่ความผิดปกติในระบบเกิดขึ้นจนถึงเซอร์กิตเบรคเกอร์สับกลับเข้าไปใหม่เรียกว่า Period of system disturbnce จะใช้เวลาประมาณ 30-50 ไซเคิล โดยชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเซอร์กิตเบรคเกอร์จะทำงานต่อเนื่องเป็นลำดับ

Reclosing relay ที่ใช้กันโดยทั่ว ๆ ไปนั้นการทำงานครั้งแรกเป็นแบบทันทีทันใด คือหลังจากเซอร์กิตเบรคเกอร์ตัดวงจรจะสับกลับทันที ถ้าหากความผิดปกติในระบบยังไม่ได้รับการแก้ไขให้เรียบร้อยเซอร์กิตเบรคเกอร์จะตัดวงจร และเว้นระยะเป็นค่าเวลาหนึ่งตามที่ตั้งหน่วงเวลาเอาไว้ จากนั้นก็จะกลับไปสู่สภาวะปกติในลักษณะเช่นครั้งก่อน จนกระทั่งถึงจำนวนครั้งที่ตั้งไว้เซอร์กิตเบรคเกอร์ก็ยังคงปลดวงจรออกเช่นนี้และไม่สับกลับไปสู่สภาวะปกติอีก หากภายในจำนวนครั้งที่ตั้งไว้เซอร์กิตเบรคเกอร์สับติดเป็นผลสำเร็จ reclosing relay ก็จะรีเซตตัวเองโดยอัตโนมัติ

การสับกลับสู่สภาวะปกตินี้ในบางกรณีอาจต้องการให้สับกลับครั้งแรกครั้งเดียวเท่านั้นก็พอ นั่นคือถ้าหากเซอร์กิตเบรคเกอร์ทำการสับกลับเข้าไปแล้วเกิดการปลดวงจรอีก ก็จะไม่ทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สับกลับอีกซึ่งในกรณีนี้เรียกว่า Single - shot - reclosing การสับกลับมีทั้ง Single - pole - reclosing และ Three - pole reclosing การสับกลับแบบ Single pole นั้น มีข้อได้เปรียบก็คือหากมีความผิดปกติเกิดขึ้นในเฟสใดก็ตัดวงจรและสับกลับเฉพาะเฟสนั้น โดยเฟสอื่นจะไม่ถูกรบกวนและยังสามารถจ่ายกระแสไฟได้ตามปกติ ในระหว่างที่เซอร์กิตเบรคเกอร์ตัดวงจรเพื่อทำการแก้ไขความผิดปรกติในระบบทั้งนี้เนื่องมาจากในระบบจะเกิด Transient single-phase ความผิดปกติในระบบเป็นส่วนใหญ่



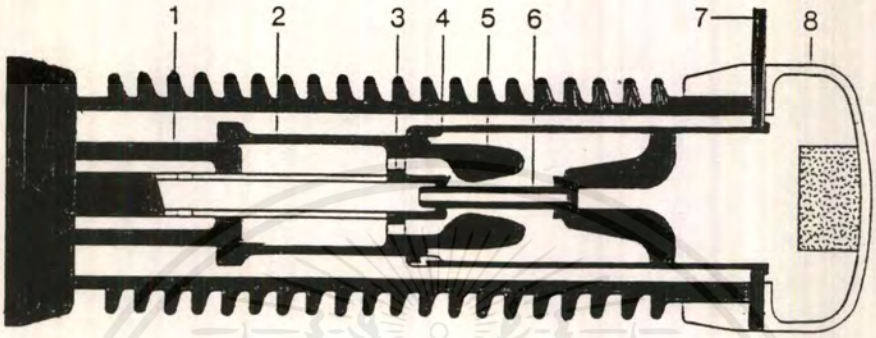
รูปที่ 3-19 การติดตั้งเซอร์กิตเบรคเกอร์

3.2.2 ลักษณะโครงสร้างของ เซอร์กิตเบรคเกอร์

ลักษณะโครงสร้างของเซอร์กิตเบรคเกอร์ แบ่งออกเป็นหลัก ๆ ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. อินเตอร์รัพเตอร์ คือ ระบบชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่เปิดหน้าสัมผัสและดับอาร์ค ซึ่งประกอบไปด้วยหน้าสัมผัสแบบอยู่กับที่และหน้าสัมผัสแบบเคลื่อนที่ได้ (stationary contact and moveable contact) และอุปกรณ์ควบคุมการเกิดอาร์ค(arc controlling device) ชิ้นส่วนเหล่านี้จะติดตั้งอยู่ภายใน Interrupting chamber ของเซอร์กิตเบรคเกอร์



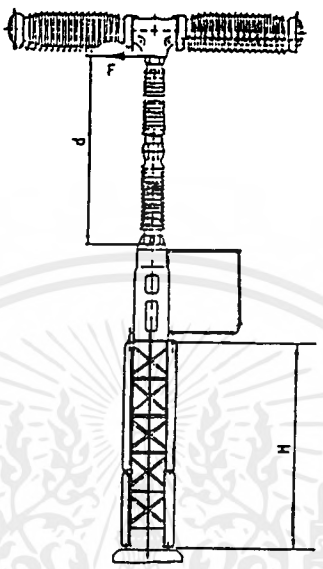
รูปที่ 3-20 ลักษณะของอินเตอร์รัพเตอร์

ในขณะที่เซอร์กิตเบรคเกอร์เปิดวงจรและหน้าสัมผัสกำลังเลื่อนออกจากกันนั้น จะเกิดเปลวอาร์คขึ้นระหว่างหน้าสัมผัสทั้งสอง อาร์คจะทำให้อากาศโดยรอบตัวเกิดการไอออนไนซ์ (Ionize)มีคุณสมบัติกลายเป็นตัวนำ และมีความต้านทานทางไฟฟ้าต chamber (หรือเรียกอีกอย่างว่า pocelaing housing ซึ่งทำจาก pocelain) บรรจุฉนวนอยู่ด้วยเช่น น้ำมัน หรือ SF_6 โดยฉนวนนี้เป็นตัวช่วยในการดับอาร์ค เช่นใน SF_6 ซึ่งเป็นฉนวนที่มีคุณสมบัติพิเศษก็คือจะแตกตัวได้เร็วเมื่อมีอาร์คและความร้อนเกิดขึ้น ซึ่งจะดึงเอาอิเลคตรอนเข้าไปร่วมตัวไว้ ทำให้ดับอาร์คได้เร็ว นอกจากนี้แล้วยังมีส่วนที่ไม่ใช่อินเตอร์รัพเตอร์ แต่เป็น pocelain chamber ซึ่งเป็นตัวยกระดับของ Interrupting chamber ให้ได้ระยะระหว่างเฟสกับกราวด์ตามมาตรฐาน รวมทั้งเป็นตัวส่งผ่านกลไกทางกลที่จะควบคุมการทำงานของอินเตอร์รัพเตอร์ด้วย

2. ตัวจับยึดอุปกรณ์(Support Structure) ตามปกติแล้วเฉพาะตัวเซอร์กิตเบรคเกอร์(ยังไม่รวมตัวจับยึด) ถูกออกแบบให้ระยะห่างระหว่างเฟสกับกราวด์ให้ได้ตามมาตรฐานอยู่แล้วโดยมี Pocelain chamber เป็นตัวยกระดับความสูง แต่การวางเฉพาะตัวเซอร์กิตเบรคเกอร์ไว้กับพื้นจะมีข้อเสียคืออาจมีเศษก้อนหินเล็ก ๆ ในสถานีไฟฟ้าย่อยเองนั้นไปกระทบถูกกับ Pocelain chamber ซึ่งจะทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ชำรุดเร็ว เป็นอันตรายต่อผู้ที่เข้าไปทำงานหรือรถที่เข้าไปในสถานีไฟฟ้าย่อย ทำให้ระยะห่างลดลง ดังนั้นจึงต้องมีตัวจับยึดไว้อย่างแน่นหนาเพื่อความแข็งแรงไม่ให้ล้ม และมีความสูงกว่าความสูงของคน เพื่อให้ได้ระยะห่างที่เหมาะสมกับความปลอดภัยในการที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเข้าไปทำการซ่อมบำรุง ส่วนรูปลักษณะของตัวจับยึดนั้นจะมีลักษณะแตกต่างกันไปแล้วแต่การออกแบบ



รูปที่ 3-21 ลักษณะของตัวจับยึดอุปกรณ์

3. ระบบทางกล(Mechanism) เป็นกลไกที่ใช้ในการรับคำสั่งจากส่วนของรีเลย์ป้องกันซึ่งทำให้การเปิดหรือปิดอินเตอร์รัพเตอร์ โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือชุดปิดวงจร (Close) กับชุดเปิดวงจร (Open) และแบ่งตามชนิดของการทำงานออกเป็น 4 ประเภทคือ

3.1 ปิดวงจร ด้วย สปริง เปิดวงจร ด้วย สปริง

3.2 ปิดวงจร ด้วย นิวเมติกส์ เปิดวงจร ด้วย สปริง

3.3 ปิดวงจร ด้วย สปริง เปิดวงจร ด้วย นิวเมติกส์

3.4 ปิดวงจร ด้วย ไฮโดรลิกส์ เปิดวงจร ด้วย ไฮโดรลิกส์

โดยช่วงเวลาที่ใช้การปิดวงจรช้ากว่าเวลาที่ใช้ในช่วงเปิดวงจร เพราะว่าตอนปิดวงจรนั้นจะเกิดอาร์คแต่ใช้เวลาสั้นลงเรื่อย ๆ และดับเองเมื่อหน้าสัมผัสติดกัน ส่วนตอนเปิดวงจรต้องเร็วเพื่อแยกหน้าสัมผัสให้ได้ระยะห่างตามต้องการเพื่อดับอาร์คได้โดยเร็ว ในขณะนี้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยนั้นยังคงใช้ระบบกลไกแบบเปิดและปิดวงจรด้วยสปริงเป็นส่วนมาก ทั้งนี้เพราะความเร็วในการทำงานนั้นเพียงพอต่อความต้องการและยอมรับได้ ถึงแม้จะช้ากว่าแบบอื่นก็ตาม แต่มีข้อดีกว่าตรงที่แบบนิวเมติกส์หรือไฮโดรลิกส์นั้นต้องทำการป้องกันไม่ให้รั่วได้ อีกทั้งสภาพอากาศของประเทศไทยเป็นแบบร้อนชื้นทำให้ถังและท่อลมหรือน้ำมันผุกร่อนชำรุดได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.ส่วนควบคุม(Control) ส่วนควบคุมการทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์ส่วนนี้จะมีสายเคเบิลต่อออกมาจากส่วนระบบทางกลแล้วลากสายเคเบิลมาทางท่อนำสาย (Cable duct) เข้ามาในห้องควบคุม โดยส่วนของการควบคุมเซอร์กิตเบรคกิตเบรคเกอร์เป็นพวกเครื่องวัดและรีเลย์ต่าง ๆ

หัวข้อ	คุณสมบัติที่น่าสนใจ	Vacuum Circuit Breaker (VCB)	Oil Circuit Breaker (OCB)	SF6 Circuit Breaker (GCB)	Airblast Circuit Breaker (ABB)
1	ดับอาร์ค	ดับด้วยการดับใน Vacuum interuoter	ดับอาร์คด้วยการเป็นฉนวนของน้ำมันที่มีอยู่ใน Tank หรือ Chamber	ดับอาร์คด้วยการพุ่งของแก๊ส SF_6	ดับอาร์คด้วยการอัดแก๊สความดันสูงในห้องดับอาร์ค
2	ตัวกลางที่เป็นฉนวนระหว่าง Fixed กับ Moveble contact	ไม่มีตัวกลาง	น้ำมันที่ไม่ติดไฟ (Inflammable insulating oil)	แก๊ส SF_6 ที่อัดด้วยความดันสูง (4 kg/cm^2 หรือสูงกว่า)	อากาศที่อัดด้วยความดันสูง (15 kg/cm^2 หรือสูงกว่า)
3	ตัวกลางที่เป็นฉนวนระหว่างส่วนที่ทำให้เกิดกำลังทางไฟฟ้ากับกราวด์	ถูกล้อม (Bushing or porcelain insulator) ถูกบรรจุด้วย SF_6 (1kg/cm^2) เพื่อป้องกันหยดน้ำภายใน Insulator นำมาใช้กับ VCB ที่มี Rating 72 kV หรือมากกว่า	Bushing or porcelain insulator ถูกบรรจุด้วย Insulating oil	Bushing or porcelain insulator ถูกบรรจุด้วยแก๊ส SF_6 ที่อัดด้วยความดันสูง (4 kg/cm^2 หรือสูงกว่า)	Porcelain insulator ในอากาศ หรือในอากาศที่ถูกอัดด้วยความดัน 15kg/cm^2 หรือสูงกว่า
4	ความปลอดในการติดไฟโดย Lightning surge เมื่อเบรคเกอร์ถูกเปิดออก	Surging voltage ถูกจำกัดกระแส Discharge ภายใน 1/100 วินาที หรือในครึ่งไซเคิลแรกของ Surged wave อย่างแน่นอน ยิ่งกว่านั้นยังปลอดภัยเสมอ และสามารถที่จะทนต่อ Surged และกระแสได้บ่อยครั้ง	หลักการของ Breaking เป็นไปไม่ได้ที่จะต่อต้าน Lightning surges ซึ่งมีเหตุผลมาจากการ Break down ทั้งหมด OCB	ถ้ามี Lightning surge เกิดขึ้นต่อ GCB ซ้ำซากแล้ว หน้าสัมผัสของเบรคเกอร์จะ Distored และในที่สุดก็จะถูกทำให้หยุด ยังไม่มีความสามารถในการ Interrupt เพื่อต่อต้าน Surge ที่มากกว่าค่าที่จะทนได้ระหว่าง Contact ภายใน Breaker	การ Breaking เป็นไปไม่ได้ที่จะต่อต้าน Ligthning surge current และ flow current ขณะที่ ABB Break down

ตารางที่ 3-1 แสดงการเปรียบเทียบเซอร์กิตเบรคเกอร์แต่ละชนิด (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อ	คุณสมบัติที่น่าสนใจ	Vacuum Circuit Breaker (VCB)	Oil Circuit Breaker (OCB)	SF6 Circuit Breaker (GCB)	Airblast Circuit Breaker (ABB)
5	ความแข็งในการทนต่อ Fault current	สามารถที่จะจัดจังหวะของ Fault current ตามแต่ชนิดของกระแสที่อุบัติขึ้นได้อย่างแม่นยำ โดยมีคุณลักษณะภายนอกที่จะสามารถหยุด Heavy fault ได้อย่างสมบูรณ์ ก่อนที่ Contact จะถึงขีดจำกัดในตำแหน่งที่เปิด ไม่มีเบรกเกอร์ชนิดอื่นที่จะสามารถหยุด Fault current ได้อย่างปลอดภัย	สามารถที่จะต่อต้าน Short line fault (SLF) ซึ่งเป็นความสามารถที่ทนได้ อันมีอยู่ภายใน GCB แต่ไม่สามารถที่จะทนต่อกระแส Fault ที่เกิดขึ้นได้	Fault current เนื่องมาจาก SLF ยากที่จะหยุดได้	ABB มีความสามารถที่จะหยุด Fault current เนื่องมาจาก SLF ได้น้อยมาก
6	ความปลอดภัยในการแยกหน้าสัมผัสเมื่อมีกระแสผ่านมากๆ	การอาร์คถูกจำกัดอยู่ในพื้นที่ที่จำกัดใน Vacuum interrupter ซึ่งย่อมไม่มีแก๊สช่วยให้เกิดการอาร์คได้ การปฏิบัติการทางกลแน่นอนกว่าเบรคเกอร์อื่นที่อยู่ในระดับเดียวกัน	ในบางกรณีแก๊สที่มีความดันสูง และน้ำมันที่เป็นฉนวนอาจจะระเบิดออกจากเบรคเกอร์ได้	มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับ VBB อย่างไรก็ตามเมื่อเวลาผ่านไปต้องมีการเอาใจใส่ตรวจภายในอย่างพอเพียง อันเนื่องมาจากแก๊สพิษภายใน	เพราะมีความดันสูงเพิ่มขึ้น จึงต้องการ High blast pressure
7	อายุของหน้าสัมผัสทางกล สำหรับ Small current สำหรับ Load current สำหรับ Heavy current	10000 Operations 10000 10000 มากกว่า 20	10000 Operations 2000 500 3	10000 Operations 4000 2000 10	10000 Operations 3000 1000 6
8	การบำรุงรักษาและการตรวจเป็นจุดๆ	ไม่มีข้อควรระวังเป็นพิเศษสำหรับ Vacuum interrupt ไม่มีอันตรายจากไฟ ไม่ต้องคอยดูแลหน้าสัมผัสภายใน	โดยการบำรุงรักษาอย่างธรรมดาคือ การเติมหรือเปลี่ยน Insulating oil ซึ่งมีความจำเป็น อาจเกิดอันตรายจากไฟเกิดขึ้นได้ ตรวจ Main contact และน้ำมันทุกๆ 6 ปี ทดสอบความทนได้ต่อ Voltage ของน้ำมันทุกๆ 3 ปี	ข้อควรระวังเป็นพิเศษคือต้องใส่ความชื้นใน SF_6 และไม่มีอันตรายจากไฟ การรั่วไหลของแก๊ส SF_6 อาจเกิดขึ้นเพราะความดันที่สูงกว่าของมัน เพราะแก๊สถูกหุ้มด้วย O-ring	โดยการบำรุงรักษาอย่างปกติ ทั้ง Main contact และ Operating system รวมทั้ง Air system ต้องได้รับการตรวจทุกๆ 6 ปี

ตารางที่ 3-1 แสดงการเปรียบเทียบเซอร์กิตเบรคเกอร์แต่ละชนิด (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ประเภทของเซอร์กิตเบรคเกอร์

1. Oil Circuit Breaker (OCB)

    1.1 Bulk oil circuit breaker

    1.2 Minimum oil circuit breaker

2. Airblast Circuit Breaker (ACB)

3. Vacuum Circuit Breaker (VCB)

4. SF_6 Gas Circuit Breaker (GCB)

3.2.4 พิกัดของเซอร์กิตเบรคเกอร์

1. พิกัดแรงดัน(Rated voltage) หมายความถึงแรงดันของระบบที่จะนำเซอร์กิตเบรคเกอร์ไปใช้และแรงดันที่พิกัดของเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่แจ้งไว้ให้เข้าใจว่าเป็นค่าแรงดัน Three-phase-line-to-line เสมอ

2. แรงต้านแรงดันอิมพัลส์ (Impulse withstand voltage)หรือ Basic Impulse Level (BIL) ในค่าของแรงดันที่ฉนวนของเซอร์กิตเบรคเกอร์จะทนทานได้โดยปลอดภัย ซึ่งวางเป็นมาตรฐานไว้ดังนี้

พิกัดแรงดันปกติ(kV Nominal voltage rating)	kV BIL
14.4	110
23	150
34.5	200
46	250
69	350
115	550
138	650
161	750
230	900
287.5	1,050
330	1,175

แรงดันอิมพัลส์ที่ใช้ทดสอบเป็น Chopped - wave กับ Full - wave โดยใช้คลื่นความถี่ 1.2/50 $*10^{-6}$ วินาที มีแรงดันตามที่กำหนดในการเลือกเซอร์กิตเบรคเกอร์มาใช้ ต้องมีแรงต้านแรงดันอิมพัลส์สูงกว่าระดับแรงดันของอุปกรณ์ป้องกัน เช่น อุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า(Lightning

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Arrester) เป็นต้น ที่ติดตั้งในบริเวณนั้นเพื่อให้อุปกรณ์ป้องกัน ทำหน้าที่ก่อนที่จะมีอันตรายมาถึงเซอร์กิตเบรคเกอร์

3. พิกัดความถี่ (Frequency Rating) ในสหรัฐอเมริกากำหนดพิกัดความถี่ไว้ที่ 60 Hz แต่ทางยุโรปและอื่น ๆ กำหนดเป็น 50 Hz ทั้ง 2 ระบบนี้ไม่กระทบกระเทือนต่อการทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์ แต่มีผลทางด้านความเร็วต่าง ๆ คือ 1 ไซเกิลในระบบ 60 Hz เท่ากับ 1/60 วินาที แต่ในระบบ 50 Hz จะเป็นเพียง 1/50 วินาที

4. พิกัดกระแสต่อเนื่อง (Continuous current rating) คือปริมาณสูงสุดของกระแสที่เซอร์กิตเบรคเกอร์สามารถจะรับได้สม่ำเสมอตลอดเวลา โดยอุณหภูมิจะไม่ขึ้นสูงเกินปกติ หรือกระแสโหลดของวงจรที่เซอร์กิตเบรคเกอร์จะรับได้โดยปลอดภัย

5. พิกัดกระแสตัดวงจร (Interrupting current rating) คือค่าที่ใช้งาน(rms) ของกระแสที่เกิดขึ้นในขณะที่เซอร์กิตเบรคเกอร์ตัดวงจร หรืออีกนัยหนึ่งคือในขณะที่หน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรคเกอร์แยกจากกัน ซึ่งเป็นเวลาหลังจากเกิดความผิดปรกติในระบบแล้วประมาณไม่เกิน 8 ไซเกิล ถ้าแรงดันปกติไม่เท่ากับแรงดันพิกัดแล้ว ค่ากระแสจะเป็น

$$\text{กระแสที่แรงดันปกติ} = (\text{กระแสที่แรงดันพิกัด}) * \frac{\text{แรงดันพิกัด}}{\text{แรงดันปกติ}}$$

6. พิกัดเวลา (Time rating)

6.1 <u>เวลาในการตัดวงจรออก</u> (Interrupting time) คือช่วงเวลาระหว่างที่ขดลวดตัดต่อ (Trip coil) ถูกป้อนพลังงาน(Energize) จนถึงกระแสถูกตัดและเปลวอาร์คดับสนิท ซึ่งเป็นช่วงเวลาอย่างช้าไม่เกิน 8 ไซเกิล

6.2 <u>เวลาในการต่อวงจรเข้า</u> (Reclosing time) คือช่วงเวลาระหว่างขดลวดตัดต่อถูกป้อนพลังงานจนถึงหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรคเกอร์กลับมาสัมผัสกันอีกครั้งหนึ่ง ทั้งนี้ตามปกติใช้เวลาประมาณ 20-30 ไซเกิลหรือประมาณครึ่งวินาที

7. ดิวตี้ไซเคิล(Duty cycle) เมื่อเกิดความผิดปกติในระบบขึ้น รีโคลสเซอร์(Reclosure) จะพยายามสับเซอร์กิตเบรคเกอร์กลับเข้าไปใหม่ ชุดของการสับและตัดวงจรชุดหนึ่งเรียกว่า Unit operation เขียนเป็นรหัสว่า CO (ย่อมาจาก close-open) ระยะเวลาระหว่าง Unit operation ชุดหนึ่งหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือระยะเวลาที่เซอร์กิตเบรคเกอร์จะสับครั้งต่อไป หลังจากที่ได้ตัดวงจรออกแล้วนั้นจะตั้งให้ช้าหรือเร็วเท่าใดก็สุดแต่ความเหมาะสมหรือความต้องการตามสภาวะของวงจร เขียนเป็นรหัส เช่น ต้องการใช้เวลาคั่น 15 วินาทีจะเขียนเป็น CO-15Sec-CO เป็นต้น

ขบวนการ"ปิด-เปิด"วงจรของเซอร์กิตเบรคเกอร์ในลักษณะดังกล่าวมานี้เรียกว่า Operrating duty cycle ซึ่งค่าพิกัดกระแสตัดวงจรของเซอร์กิตเบรคเกอร์นั้นขึ้นอยู่กับ Operating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

duty cycle ดังนั้นการกำหนดค่าพิกัดกระแสตัดวงจรของเซอร์กิตเบรคเกอร์จะกำหนดที่ Operating duty cycle มาตรฐานเรียกว่า Standard operating duty cycle ดังนี้คือ

- เซอร์กิตเบรคเกอร์ ขนาดใหญ่ : CO-15Sec.-CO
- เซอร์กิตเบรคเกอร์ขนาด 25 kVA ลงมารวมทั้งแรงดันต่ำ : CO-2min.-CO

ถ้าเซอร์กิตเบรคเกอร์ตัวใดแจ้งค่าความสามารถในการตัดต่อวงจร (Interrupting capacity) มาโดยไม่ระบุดิวตี้ไซเคิลไว้ก็ถือว่าพิกัดกระแสตัดวงจรนั้นอ้างถึง Standard operating duty cycle แต่เนื่องจากเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่ติดตั้งใช้งานจริงๆ นั้น การตั้ง Operating duty cycle มักจะไม่ตรงตามมาตรฐานเสมอไปขึ้นอยู่กับความต้องการและความเหมาะสมของระบบ ซึ่งแต่ละแห่งอาจจะแตกต่างกันไป

3.3 ชั้น-รีแอคเตอร์ (Shunt Reactor)

ในสถานีไฟฟ้าย่อยที่แรงดันปานกลางนั้นจะมีการต่อชั้น-รีแอคเตอร์ ซึ่งก็คืออินดัคเตอร์ (Inductor) ขนานกับสายส่ง (เนื่องจากถ้า Capacitive reactor ในสายสูงเกินกว่าที่ระบบจะรับได้

รูปที่ 3-22 การติดตั้งของชั้น-รีแอคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้แรงดันในระบบสูงเกินไป) โดยมีลักษณะโครงสร้างทั่วไปเหมือนกับหม้อแปลง แต่มีคุณสมบัติที่พิเศษคือ อิมพีแดนซ์(Impedance)สูงที่ความถี่ของระบบส่ง ทนแรงดันได้สูงรวมทั้งต้องมีการสูญเสียน้อยด้วย มีลักษณะเป็น 3 Phase single winding transformer ซึ่งติดตั้งตามสถานีไฟฟ้าย่อยตรงปลายสายส่งโดยใช้เซอร์กิตเบรคเกอร์เป็นตัวปลด-สับ

3.3.1 ลักษณะโครงสร้างของชั้น-รีแอคเตอร์ ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1. ขดลวด(Winding) ในชั้น-รีแอคเตอร์จะมีเพียงขดเดียวเท่านั้น โดยจะพันรอบแกนให้มีจำนวนรอบที่ให้ค่าอินดัคแตนซ์ตามต้องการ

2. แกนเหล็ก(Core) เป็นแกนเหมือนกับแกนของหม้อแปลงแต่จะแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ แกนเหล็ก (Gap core type) กับแกนอากาศ (Air core type)

3. ฉนวน(Insutor) เป็นฉนวนภายในเช่นเดียวกับหม้อแปลง แกนเหล็กนั้นจะมีฉนวนเป็นน้ำมัน ส่วนแบบแกนอากาศนั้นก็จะมีอากาศเป็นฉนวนเลย

4. ฉนวนยกระดับ(Post insulator) เป็นฉนวนยกระดับของตัวชั้น-รีแอคเตอร์ให้อยู่สูงจากกราวด์เพื่อให้ได้ระยะห่างตามมาตรฐาน

5. ตัวจับยึด(Support structure) เป็นโครงเหล็กใช้ยึดและติดตั้งตัวชั้น-รีแอคเตอร์ให้แข็งแรง และยกระดับให้สูงกว่าคนเพื่อความปลอดภัยในการทำงาน

3.3.2 ประเภทของ ชั้น-รีแอคเตอร์ แบ่งออกได้ดังนี้

1. ชนิดแกนเหล็ก (Gap core type) แกนจะเป็นเหล็กชนิดเดียวกับที่ใช้ในหม้อแปลง แต่การวางตัวของแกนเหล็กต่างจากหม้อแปลง ซึ่งการวางแกนเหล็กแบบนี้ทำให้การสูญเสียน้อยลง แต่จะทำได้ยากจึงไม่ใช้กันในหม้อแปลง ภายในจะฉนวนด้วยน้ำมันอีกทั้งยังเป็นตัวระบายความร้อนอีกด้วย

การวางตัวของแกนเหล็กในหม้อแปลง การวางตัวของแกนเหล็กในชั้น-รีแอคเตอร์

รูปที่ 3-23 แสดงการเปรียบเทียบการวางตัวของแกนเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชนิดแกนอากาศ (Air core type) จะพันขดลวดอยู่บนแกนฉนวนและตรงกลางเป็นแกนอากาศซึ่งต้องมีโครงเหล็กครอบเพื่อไม่ให้สนามแม่เหล็กออกไปรบกวนภายนอก ทำให้มีขนาดใหญ่เพราะต้องมี Clearance ทางด้านแม่เหล็ก (Magnetic) ซึ่งมากกว่าทางด้านไฟฟ้า (Electric)

3.3.3 พิกัดของชั้น-รีแอคเตอร์

1. พิกัดแรงดัน
2. พิกัดกระแส
3. พิกัด kVAR หรือค่า อินดัคแตนซ์ (mH)
4. พิกัดความถี่
5. พิกัดความทนต่อแรงดันอิมพัลส์

3.4 คาปาซิเตอร์แบงค์ (Capacitor Bank)

ในสถานีไฟฟ้าย่อยมีการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์อยู่หลายชุดตามความต้องการ โดยติดตั้งอยู่บริเวณหลังหม้อแปลงภายในสถานีไฟฟ้าย่อยก่อนจ่ายโหลด ใช้กับระดับแรงดัน 22 , 33 , 69 และ 115 kV แต่ปัจจุบันมีถึง 230 kV การต่อจะขนานกับสายส่งที่ต่อไปยังโหลด

รูปที่ 3-24 การติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 หน้าที่ของคาปาซิเตอร์แบงค์

มีหน้าที่หลักๆ คือเป็นตัวจ่าย VAR ให้กับระบบในกรณีที่โหลดมีอิดัคแตนซ์มากๆ ทำให้แรงดันของระบบลดลง ซึ่งใช้คาปาซิเตอร์แบงค์เป็นตัวชดเชยให้สูงขึ้นมาอยู่ในระดับปกติที่ต้องการ ซึ่งมีผลที่ตามมาคือ

1.ช่วยเพิ่มแรงดันให้ระบบไฟฟ้า

2. ช่วยให้หม้อแปลงถึงค่า Full load ช้าลง

3. ช่วยลดค่าสูญเสียในสายส่ง

4. ช่วยเพิ่มค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power factor) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

3.4.2 ลักษณะโครงสร้างของคาปาซิเตอร์แบงค์ แยกออกได้เป็นส่วนๆคือ

1.คาปาซิเตอร์และอินดัคเตอร์ มีค่ามาตรฐานของแต่ละตัวโดยปกติในหนึ่งชุดประกอบไปด้วยคาปาซิเตอร์หลายตัว ซึ่งรวมกันแล้วมีค่า 200 kVAR / 1 ชุดเป็นมาตรฐาน เมื่อต้องการค่ามากขึ้นก็นำแต่ละชุดมาขนานกัน ทั้งนี้จะไม่ผลิตรวมอยู่ในตัวเดียวกันเพราะถ้าเกิดมีเหตุเสียขึ้นก็สามารถเปลี่ยนตัวที่เสียเพียงตัวเดียวเท่านั้น ในแต่ละเฟสจะนำมาต่อกันเป็นแบบบวาย (Y) และแต่ละชุดมีอินดัคเตอร์อนุกรมอยู่กับคาปาซิเตอร์ โดยมีหน้าที่จำกัดกระแสที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะที่สับหรือปลดคาปาซิเตอร์แบงค์

2. เพาเวอร์ฟิวส์ เป็นฟิวส์ที่ต่ออนุกรมกับคาปาซิเตอร์แบงค์แต่ละชุด เพื่อทำหน้าที่ป้องกันการผิดปกติต่างๆ ที่ทำให้กระแสสูงเกินกว่าปกติ อาจเนื่องมาจากคาปาซิเตอร์รั่ว จึงตัดส่วนที่ชำรุดไปเสียเพื่อไม่ให้มีผลต่อชุดอื่นๆ

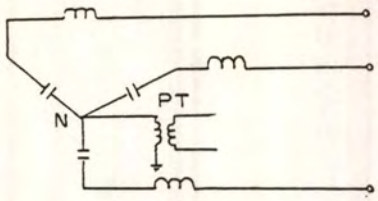
3. ถังหุ้ม เป็นถังหุ้มคาปาซิเตอร์แต่ละชุดเอาไว้และมีปลอกรองแกนต่อออกมาเพื่อให้ต่อกับชุดอื่นหรือต่อกับระบบได้

4. ตัวจับยึด เป็นโครงเหล็กยึดตัวคาปาซิเตอร์แบงค์และยังเป็นจุดวางของคาปาซิเตอร์แต่ละชุดบนตัวจับยึดนี้

3.4.3 ประเภทของคาปาซิเตอร์แบงค์

1. กลุ่ม 22 และ 33 kV แต่ละชุดมีฟิวส์อยู่เพื่อป้องกันในกรณีเกิดการลัดวงจรที่ชุด ซึ่งใช้ค่าคาปาซิเตอร์ 3.6 MVAR / 3 เฟส ซึ่งแต่ละตัวทนได้ 200 kVAR ดังนั้นต้องใช้ทั้งหมด 18 ชุด หรือเฟสละ 6 ชุด ทั้งระบบ 22 และ 33 kV นั้นจะเหมือนกันแต่แรงดันพิกัดต่างกัน ระบบ 22 kV ใช้ 13.8 kVAR ส่วนของ 33 kV ใช้ 20 kVAR โดยในแต่เฟสจะต่อกันเป็นแบบวาย และมีหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าคอยตรวจสอบแรงดันไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

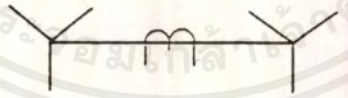


รูปที่ 3-25 ตรวจสอบการทำงานของคาปาซิเตอร์แบงค์โดยใช้ PT.

หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าคอยจับแรงดันระหว่างนิวตรอนกับกราวด์ เมื่อคาปาซิเตอร์ในชุดใดฟิวส์ขาดไป ทำให้ค่าคาปาซิแตนซ์ไม่สมดุล (Unbalance) จุดนิวตรอนจะเลื่อนไปทำให้มีแรงดันระหว่างนิวตรอนกับกราวด์ ซึ่งกำหนดไว้ไม่ให้เกิน 10% ของพิกัดแรงดันเฟส ต้องสั่งตัดวงจรออกทั้งหมดทั้งนี้เพราะจะเกิดแรงดันที่สูงขึ้น ทำให้อายุการใช้งานของคาปาซิเตอร์แบงค์น้อยลง

2. กลุ่ม 69 , 115 และ 230 kV มีฟิวส์อยู่ภายในถัง และมีคาปาซิเตอร์หลายๆ ชุดในถังเดียวกันเพื่อให้ละเอียดยิ่งขึ้น เมื่อคาปาซิเตอร์เสียไปหนึ่งตัวก็จะขาดไปเพียงเล็กน้อย จึงไม่เป็นอันตรายต่อระบบมากเท่าไรนัก

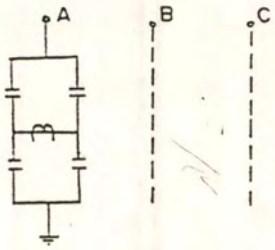
ใช้หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นตัวเซ็นเซอร์ เมื่อเกิดคาปาซิแตนซ์ไม่สมดุลจะมีกระแสไหลจากจุดนิวตรอนของชุดหนึ่งไปยังอีกชุดหนึ่ง ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 10% เป็นกระแสไปสั่งตัดวงจรในระบบ 115 kV ต้องการ 36 MVAR และ 230 kV ต้องการ 72 MVAR



รูปที่ 3-26 ตรวจสอบการทำงานของคาปาซิเตอร์แบงค์โดยใช้ CT.

ในระบบ 230 kV นั้นจะใช้การต่อแต่ละเฟสเป็นบริดจ์ (Bridge) ก่อนต่อลงกราวน์ ซึ่งเรียกว่า Bridge connection to ground แบบนี้สามารถตรวจสอบทีละเฟสได้ว่าเฟสไหนที่คาปาซิเตอร์ชำรุด เพราะมีหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าติดอยู่ที่แต่ละเฟส ภายในคาปาซิเตอร์แบงค์มีความต้านทานทำหน้าที่คายประจุโดยที่ปลดเบรคเกอร์ออก คาปาซิเตอร์จะได้คายประจุออกทำให้แรงดันหมดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

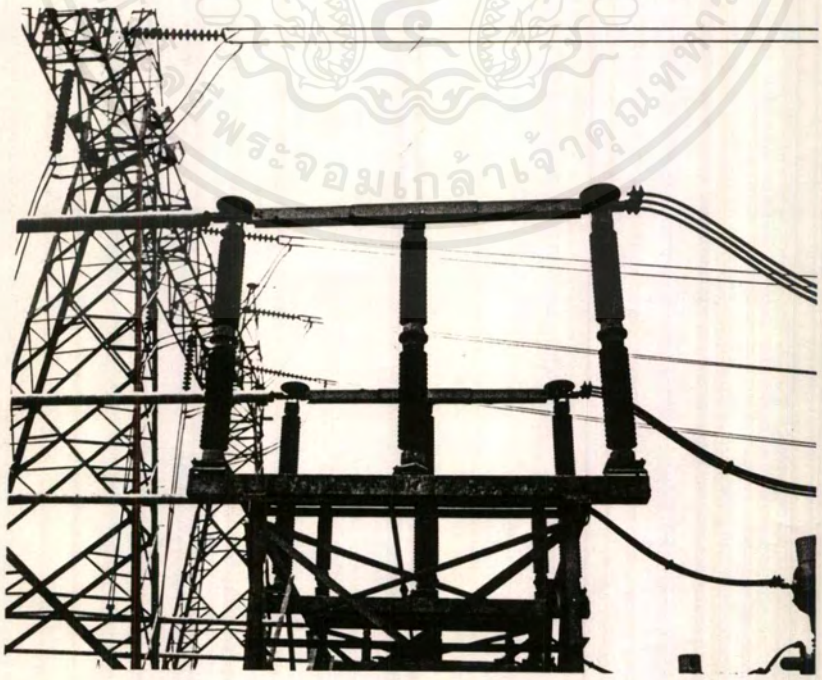


รูปที่ 3-27 ตรวจสอบการทำงานของคาปาซิเตอร์แบงค์แต่ละเฟสโดยใช้ CT.

3.4.4 พิกัดของคาปาซิเตอร์แบงค์

1. พิกัดแรงดัน
2. พิกัดกระแส
3. ค่าคาปาซิแตนซ์ (μF)
4. พิกัดความถี่
5. Impulse withstand voltage

3.5 ดิสคอนเนคติ้งสวิชท์ (Disconnecting switch)

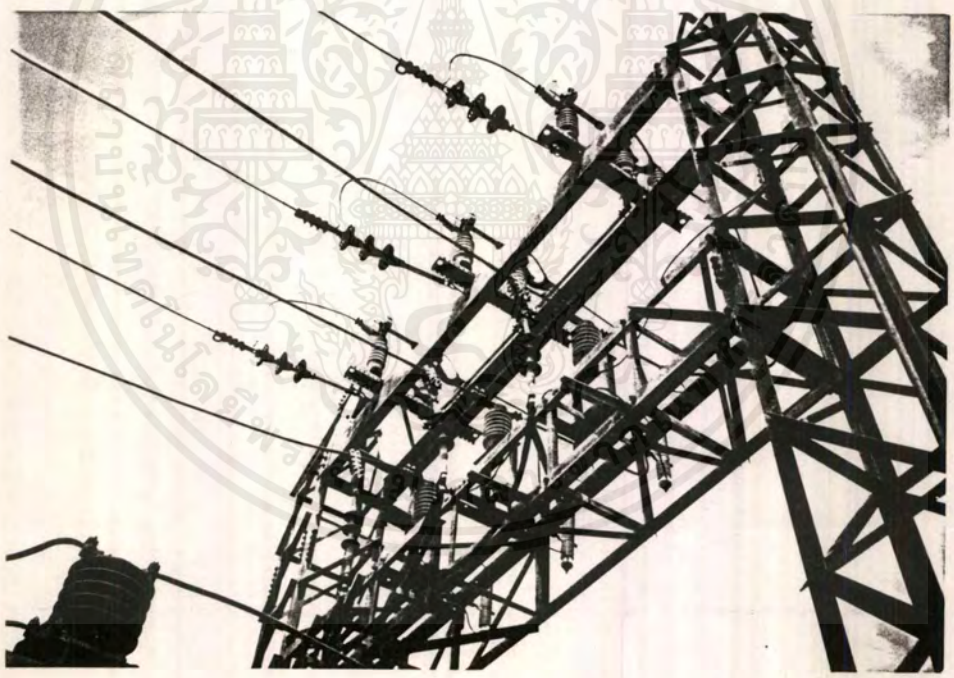


รูปที่ 3-28 การติดตั้งดิสคอนเนคติ้งสวิชท์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการต่อ-ปลดวงจรด้วยกลไก ซึ่งในตำแหน่งเปิดวงจรนั้นทำให้ได้ระยะห่างที่ปลอดภัย นั่นคือแรงดันระหว่างขั้วของดิสคอนเนคติ้งสวิชท์ไม่สามารถทำให้อิเลคตรอนวิ่งข้ามไปได้ ในการเปิดและปิดวงจรของดิสคอนเนคติ้งสวิชท์ ทำได้ก็ต่อเมื่อไม่มีกระแสไหลผ่านหรือมีแต่น้อย นอกจากนั้นจะทำงานเมื่อศักย์ดาระหว่างขั้วทั้งสองเท่ากันเท่านั้น ไม่เหมือนกับเซอร์กิตเบรคเกอร์ ทั้งนี้เพราะหน้าสัมผัสไม่ได้ออกแบบมาเพื่อทนการอาร์คมากๆ ได้ แต่อาจทำงานตอนที่มีกระแสเล็กน้อยได้ เช่น Capacitive charging current ในสายส่งหรือกระแสไหลในอุปกรณ์วัดอย่างหม้อแปลงแรงดัน เป็นต้น การปิด-เปิดใบมีดโดยมือหมุน(Crank handle)ทำให้ใบมีดปลดออกจากปากจับ(หน้าสัมผัส) หรือใช้วิธีรีโมต(Remote) ไปยังห้องควบคุมโดยใช้มอเตอร์เป็นตัวหมุน

ในกรณีที่ใบมีดกราวด์ประกอบอยู่ด้วยนั้น จะมี Interlock สำหรับป้องกันการสับใบมีดโดยไม่ให้ปลดหรือสับใบมีดกราวด์โดยไม่ได้สับหรือปลดใบมีดเสียก่อน



รูปที่ 3-28(ต่อ) การติดตั้งดิสคอนเนคติ้งสวิชท์อีกแบบหนึ่ง

3.5.1 หน้าที่ของดิสคอนเนคติ้งสวิชท์

1. ใช้ปิดและเปิดวงจรเพื่อแยกหรือต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าบางอย่างในสถานีไฟฟ้าย่อยกับระบบ เช่น ใช้แยกหรือต่อเซอร์กิตเบรคเกอร์เข้ากับบัสบาร์(Busbar)หรือสายส่ง เพื่อทำการซ่อมบำรุงได้โดยง่ายและปลอดภัย เพราะดิสคอนเนคติ้งสวิชท์จะตัดมิให้ศักย์ดาไฟฟ้ามาอยู่ที่ขั้วของเซอร์กิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบรคเกอร์ ทำให้สามารถทำการซ่อมบำรุงหรือถอดเปลี่ยนได้โดยไม่ต้องดับไฟที่สายส่งหรือไฟที่จ่ายเข้าบัสบาร์

2. ใช้ทำหน้าที่เป็น บาย-พาส-สวิชท์ เพื่อให้ไฟเข้า Auxiliary busbar (Transfer busbar) ในกรณีที่จัดแบบที่มี Auxiliary busbar เพื่อให้สามารถทำการซ่อมบำรุงเมนบัสบาร์(Main busbar) หรือเปลี่ยนบัสบาร์ได้ชั่วคราว

3. ทำหน้าที่ บาย-พาสเซอร์กิตเบรคเกอร์ โดยต่อคร่อมเพื่อให้สามารถปลดออกไปซ่อมโดยไม่ต้องตัดวงจรทิ้ง และยังสามารถจ่ายไฟในระบบนั้นได้ตามปกติ แต่ไม่สามารถตัดวงจรได้ เพราะไม่ได้ออกแบบมาใช้ตัดวงจร ดังนั้นจึงใช้แทนได้ชั่วคราวเท่านั้น

4. เป็นจุดที่ติดตั้งเอิร์ตติ้งสวิชท์(Earthting switch) หรือกราวด์สวิชท์(Ground switch) โดยใช้ตัวจับยึดและระบบทางกลร่วมกัน โดยมีการอินเตอร์ล็อคซึ่งกันและกันเพื่อให้ดิสคอนเนคติ้งสวิชท์และเอิร์ตติ้งสวิชท์ทำงานไม่พร้อมกัน

3.5.2 ลักษณะโครงสร้างของดิสคอนเนคติ้งสวิชท์

1. สวิชชิ่งอาร์ม(Switching arm) คือแท่งตัวนำใช้ทำหน้าที่เป็นส่วนให้กระแสผ่านขณะปิดวงจรที่ปลายของสวิชชิ่งร็อด(Switching rod) มีหน้าที่สัมผัสของส่วนเคลื่อนที่เพื่อใช้ในการต่อกับหน้าสัมผัสอยู่กับที่ สวิชชิ่งร็อดอาจมีเพียงส่วนเดียวหรือสองส่วนก็ได้ แล้วแต่ชนิดของดิสคอนเนคติ้งสวิชท์

2. หน้าสัมผัสคงที่(Fixed contact) เป็นหน้าสัมผัสคงที่ติดอยู่บนฉนวนยกระดับ เพื่อรับกับหน้าสัมผัสเคลื่อนที่บนสวิชชิ่งอาร์ม และนำไปผ่านหน้าสัมผัสต่อไปยังอุปกรณ์อื่นที่ต้องการ

3. เกียร์บอกซ์(Gear box) เป็นส่วนที่รับแรงจากการหมุนของ Rotating insulator ไปขับให้สวิชชิ่งอาร์มเคลื่อนที่ในการเปิดหรือปิดวงจร

4. Rotating insulator เป็น Pocelain insulator ที่ออกแบบมาให้ทนแรงบิดได้เพื่อหมุนเกียร์บอกซ์ให้ทำงาน โดยรับแรงขับมาจาก Operating mechanism การที่ต้องใช้เป็นฉนวนเพราะถ้าใช้เป็นเหล็กจะเกิดการเบรคดาวน์ระหว่างไลน์กับกราวด์ได้

5. ฉนวนยกระดับ เป็นฉนวนรองรับให้ส่วนที่เป็นตัวนำไฟฟ้าอยู่สูงจากส่วนที่มีศักย์ดาเป็นกราวด์เพื่อให้ได้ระยะห่างที่เหมาะสม ฉนวนยกระดับส่วนใหญ่จะเป็น Pocelain

6. Steel support structure คือโครงสร้างเหล็กที่ยกชุดของดิสคอนเนคติ้งสวิชท์ให้สูงจากพื้นเพื่อความปลอดภัยกับตัวดิสคอนเนคติ้งสวิชท์เอง รวมทั้งบุคคลที่เข้าไปทำงานหรือซ่อมบำรุง นอกจากนี้ยังเป็นส่วนที่ยึดดิสคอนเนคติ้งสวิชท์มิให้ล้มเนื่องจากการทำงานหรือลมพัด

7. Operating mechanism เป็นส่วนของกลไกในการทำงานในการสร้างแรงขับเพื่อให้ดิสคอนเนคติ้งสวิชท์เปิดหรือปิดวงจร ส่วนของระบบทางกลนั้นอยู่ในกล่องส่วนล่างที่ติดกับตัวจับยึด

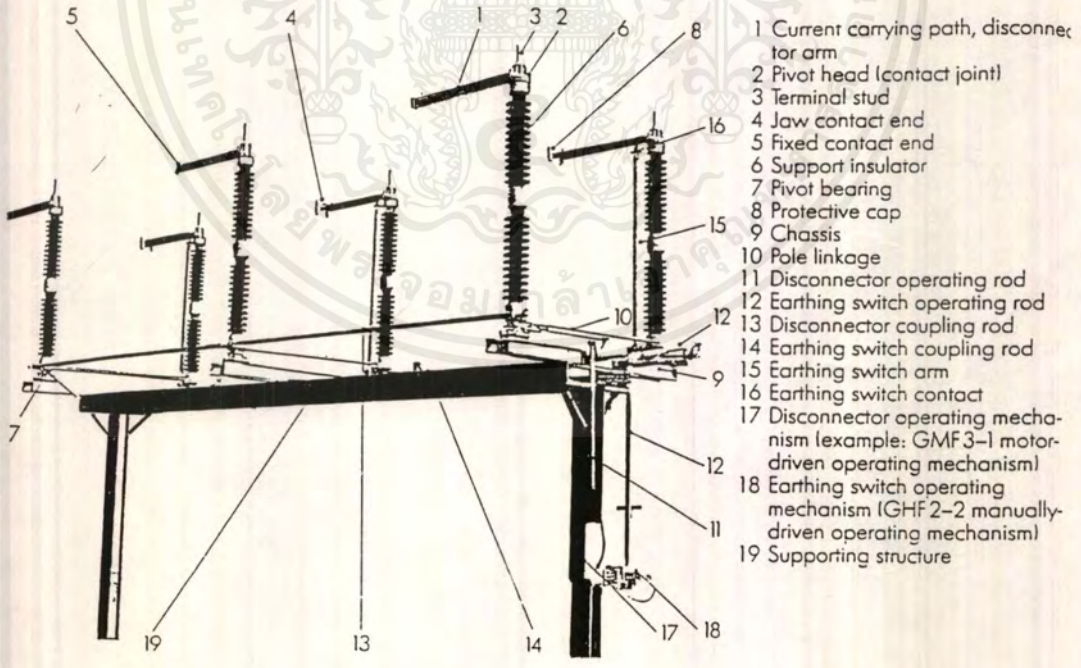
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งทำด้วยเหล็ก ส่วนใหญ่เป็นการขับเคลื่อนมอเตอร์(Motor drive) โดยได้รับคำสั่งการทำงานจากห้องควบคุม กลไกนี้จะสร้างแรงไปหมุนส่วนของ Rotating insulator นอกจากนี้ยังมีแขนสำหรับใช้งานโดยตรง(Manual operating) ติดอยู่กับระบบทางกลโดยจะต้องทำการปฏิบัติงานภายในสถานีไฟฟ้าย่อย

3.5.3 ประเภทของ ดิสคอนเนคติ้งสวิชท์

1. Single-column Disconnecting switch เป็นดิสคอนเนคติ้งสวิชท์ที่มีฉนวนยกระดับเพียงข้างเดียวเท่านั้น มีอยู่ชนิดเดียวคือ Pentograph หรือ Vertical-reach Disconnecting switch ซึ่งใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยที่สุดทั้งในแนวดิ่งและแนวระดับ มีลักษณะคล้ายก้ามปู เมื่ออยู่ในสภาวะปิดวงจรจะขึ้นไปคีบกับหน้าสัมผัสซึ่งติดกับเมนบัสบาร์หรือสายส่ง การเคลื่อนที่ของก้ามปูทำงานด้วย Rotating insulator ทดแรงผ่านมายังเกียร์บอกซ์ขับให้ก้ามปูเคลื่อนที่ขึ้นลง ในกรณีที่ปิดหรือเปิดวงจร แต่ดิสคอนเนคติ้งสวิชท์นี้มีข้อเสียที่ราคาแพงมากพอๆ กับเซอร์กิตเบรคเกอร์

2. Two column disconnecting switch เป็นดิสคอนเนคติ้งสวิชท์ที่มีฉนวนยกระดับอยู่ 2 ข้างซึ่งยังจะแบ่งได้เป็น

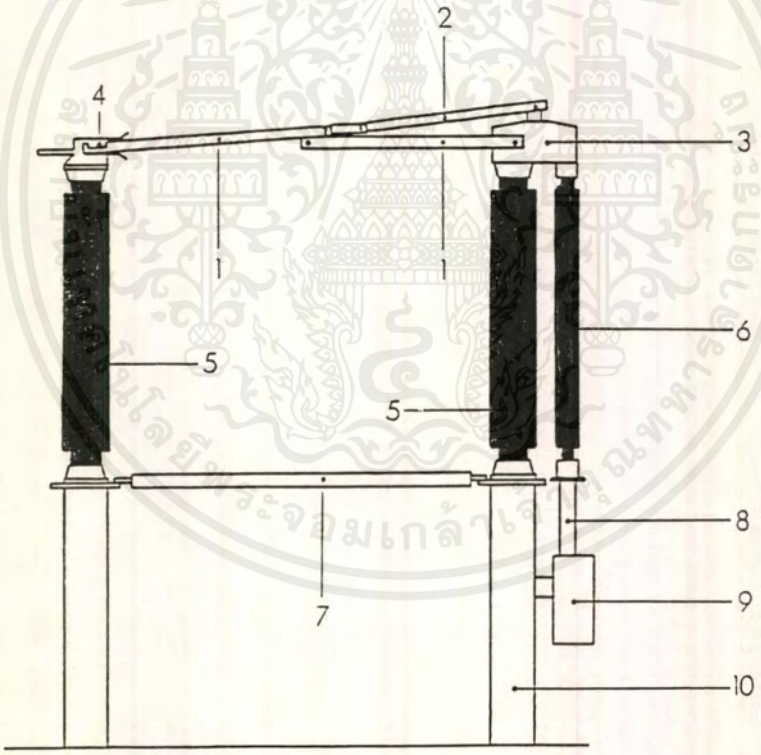


รูปที่ 3-29 โครงสร้าง Horizontal centre-break Disconnecting switch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 Horizontal centre-break disconnecting switch ที่มีฉนวนยกระดับอยู่ 2 ข้าง และสวิชชิ่งอาร์มทั้งสองแขนสามารถหมุนได้ 90 องศา เมื่ออยู่ในสภาวะเปิดวงจรทำให้มีระยะห่างระหว่างขั้วที่ได้ค่ามาตรฐานอาร์ม ส่วนใหญ่ทำจากอลูมิเนียมเพื่อให้มีน้ำหนักเบาและเป็นตัวนำที่ดี การทำงานนั้น Rotating insulator จะหมุนทั้งสองข้างพร้อมๆ กันเพื่อเปิดหรือปิดวงจร โดยได้รับแรงขับจาก Operating mechanism ทำให้สวิชชิ่งอาร์มทั้งสองมาต่อหรือแยกจากกันตรงส่วนกลางของดิสคอนเนคติ้งสวิชท์ โดยการเคลื่อนที่ของอาร์มจะอยู่ในแนวระดับ

2.2 Vertical break Disconnecting switch มีลักษณะการปฏิบัติงานของดิสคอนเนคติ้งสวิชท์ในแนวดิ่งด้วยแขนเพียงข้างเดียว แขนนี้เมื่ออยู่ในสภาวะเปิดวงจรจะสามารถพับลงมาคล้ายข้อศอกคนทำให้ลดระยะความสูงแนวดิ่งลงได้ ดิสคอนเนคติ้งสวิชท์ชนิดนี้จะใช้ Rotating insulator เพียงข้างเดียวเท่านั้น ทำให้กลไกไม่ยุ่งยากเท่าใดนักแต่ยังมีข้อเสียในด้านของพื้นที่ด้านบนจะถูกใช้เป็นส่วน Live part ทำให้สายส่งที่พาดต้องสูงขึ้นไป

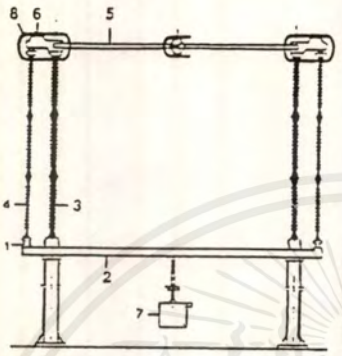


1 Current carrying path
2 Guide linkage
3 Drive mechanism
4 Mating contact
5 Support insulator
6 Rotating insulator
7 Tie strut
8 Coupling tube
9 Operating mechanism
10 Supporting structure

รูปที่ 3-30 โครงสร้างของ Vertical break Disconnecting switch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

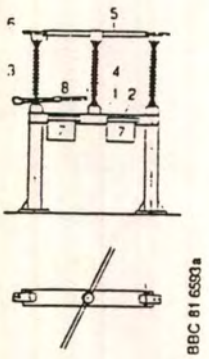
2.3 Vertical centre-break Disconnecting switch มีลักณะเช่นเดียวกับ Horizontal centre-break Disconnecting switch ต่างกันที่ส่วนของสวิชชิ่งอาร์มเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง ทำให้สามารถประหยัดพื้นที่ของแขนที่ยื่นในแนวระดับ แต่มีข้อเสียตรงที่ใช้พื้นที่แนวดิ่งมาก ซึ่งทำให้ในกรณีที่มีสายส่งผ่านด้านบนต้องสูงขึ้น และตัว Take off structure ต้องสูงขึ้นตามไปด้วย



Vertical centre-break disconnector type TK, 525 kV. 1 Rotary bearing, 2 Frame, 3 Post insulator, 4 Rotary insulator, 5 Contact arm, 6 High-voltage terminal, 7 Operating mechanism, 8 Gearbox.

รูปที่ 3-31 โครงสร้างของ Vertical centre-break Disconnecting switch

3. Three column Disconnecting switch เป็นดิสคอนเนคติ้งสวิชท์ที่ประกอบด้วยฉนวนยกระดับ อยู่ 3 คอลัมน์(Column) มีอยู่ชนิดเดียวคือ Horizontal double side-break Disconnecting switch โดยมีฉนวนยกระดับอยู่ทั้งสองข้างอยู่กับที่ ฉนวนตรงกลางเป็น Rotating insulator ซึ่งมีสวิชชิ่งอาร์มยื่นออกไปทั้งสองข้างหมุนได้ 90 องศา เพื่อให้สวิชชิ่งอาร์มเปิดและปิดโดยสัมผัสกับหน้าสัมผัสคงที่ ดิสคอนเนคติ้งสวิชท์ประเภทนี้สามารถทำให้ประหยัดพื้นที่ทั้งในแนวระดับและแนวดิ่ง ทั้งนี้เพราะส่วนของสวิชชิ่งอาร์มเมื่ออยู่ในสภาวะเปิดวงจรแล้วจะไม่เป็น Live part หรือเป็นกราวด์ ทำให้สามารถลดระยะห่างระหว่างเฟสลงมาได้ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะใช้ในลักษณะนี้เพราะสามารถลดพื้นที่ของสถานีไฟฟ้าย่อยลงได้อย่างดี และสายส่งสามารถพาดผ่านโดยมิต้องอยู่สูง



Three-column rotary disconnector type TDA, 145 kV. 1 Swivel base, 2 Frame, 3 Fixed insulator, 4 Rotating insulator, 5 Contact arm, 6 High-voltage terminal, 7 Operating mechanisms, 8 Earthing switch

รูปที่ 3-32 โครงสร้างของ Horizontal double side-break Disconnecting switch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 พิกัดของดิสคอนเนคติ้งสวิชท์

1. พิกัดแรงดัน หมายถึงค่าแรงดันของระบบที่จะนำดิสคอนเนคติ้งสวิชท์ไปใช้เป็นค่าแรงดันไลน์กับไลน์

2. พิกัดแรงต้านแรงดันอิมพัลส์ แบ่งออกเป็น Lightning impulse withstand แรงดัน 1.2/50 μs และ Switching impulse withstand แรงดัน 250/2500 μs โดยแต่ละชนิดยังต้องผ่านการทดสอบแรงดันระหว่างเฟสกับเฟส เฟสกับกราวด์ และระหว่างคอลัมน์ทั้งสองของดิสคอนเนคติ้งสวิชท์ในการเลือกต้องให้ได้ตามมาตรฐาน

3. พิกัดความถี่

4. พิกัดกระแสปกติ (Rated normal current) คือปริมาณกระแสสูงสุดที่ดิสคอนเนคติ้งสวิชท์ยอมให้ไหลผ่านได้อย่างต่อเนื่องในขณะใช้งาน โดยไม่เป็นอันตรายกับตัวดิสคอนเนคติ้งสวิชท์ที่อุณหภูมิปกติ

5. พิกัดกระแสสูงสุด (Rate peak withstand current) คือค่ากระแสสูงสุดที่ดิสคอนเนคติ้งสวิชท์ยอมให้ไหลผ่านได้ชั่วขณะ เช่น ตอนเกิดความผิดปกติในระบบและต้องรีบตัดความผิดปกติในระบบออกจากวงจรทันที มิฉะนั้นจะเป็นอันตรายต่อดิสคอนเนคติ้งสวิชท์เอง

6. พิกัดเวลาต่ำสุดที่ทนกระแสได้ (Rated short time withstand current) คือค่ากระแสสูงสุดที่ดิสคอนเนคติ้งสวิชท์ยอมให้ไหลผ่านภายใน 1 วินาที ถ้านานกว่านี้จะมีอันตรายต่อตัวดิสคอนเนคติ้งสวิชท์

3.6 หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (Current Transformer CT.)

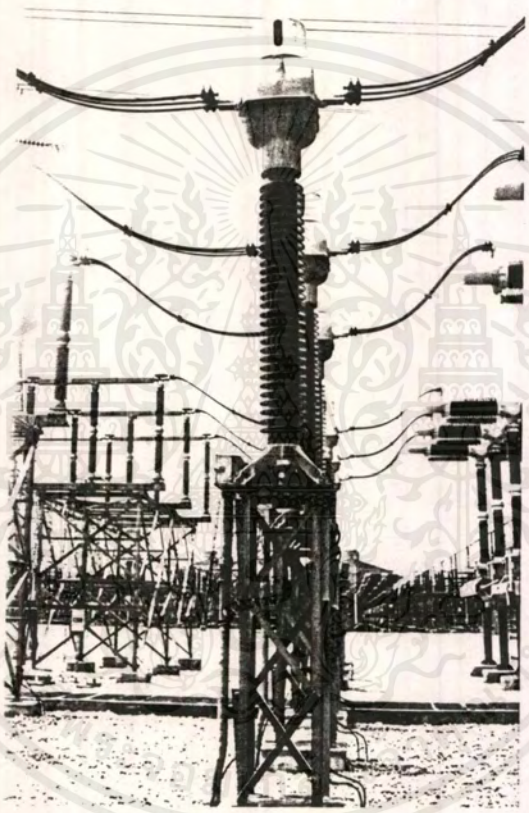
มีหลักการเหมือนหม้อแปลงไฟฟ้าแต่มีขดปฐมภูมิ (Primary)ต่ออนุกรมเข้ากับสายส่งโดยออกแบบให้มีกระแสไหลด้านทุติยภูมิ(Secondary) ได้ไม่เกินขีดกำหนดในขณะที่มีกระแสไหลด้านปฐมภูมิเต็มที่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า CT- ratio โดยปกติที่ใช้อยู่จะมีค่าพิกัดต่างๆ กัน เช่น 1200 : 5 , 1000 : 5 , 900 ; 5 , 800 : 5 , 600 : 5 , 500 : 5 , 400 : 5 ,300 : 5 , 100 : 5 A แล้วแต่จะต่อซึ่งผู้ปฏิบัติงานควรรู้ CT-ratio ในขณะที่ใช้งานอยู่ เพื่อจะได้ทราบว่าหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าจะเต็มเมื่อไหร่ได้ทันท่วงที

หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าใช้ป้อนกระแสไฟฟ้าให้ดีมานมิเตอร์(Demand Meter) เช่น แอมป์มิเตอร์(Amp Meter) หรือรีเลย์ป้องกัน(Protective relay) เช่น โอเวอร์-เคอเรนท์-รีเลย์(Over current relay) ดิฟเฟอเรนเชี่ยล-รีเลย์(Differential Relay) ใช้ประกอบกับหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า โดยหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าป้อนไฟให้ขดลวดกระแส(Current coil) และหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าป้อนแรงดันให้แก่ขดลวดแรงดัน(Potential coil)ของ วัตต์มิเตอร์(Wattmeter) วาร์มิเตอร์ (Varmeter) เป็นต้น

ข้อห้ามสำคัญสำหรับหม้อแปลงกระแสก็คือห้ามเปิดวงจรด้านทุติยภูมิโดยเด็ดขาด มิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉะนั้นแรงดันด้านทุติยภูมิสูงมากจนอาจเกิดการเบรคดาวน์ของฉนวนทำให้เกิดความเสียหาย หรือหม้อแปลงกระแสอาจจะระเบิดได้ หม้อแปลงกระแสที่ใช้งานโดยทั่วไปมี 2 แบบคือ แบบต่อด้านปฐมภูมิอนุกรมเข้าสายส่งและแบบวงแหวนสวมเข้ากับสายไฟซึ่งแบบนี้ใช้กับไฟแรงต่ำ



รูปที่ 3-33 การติดตั้งหม้อแปลงกระแส

3.6.1 ประเภทของหม้อแปลงกระแส

1. หม้อแปลงกระแสแบบใช้งานภายในชนิดพันและร้อยผ่าน (Wound and through type) หม้อแปลงชนิดภายในหรือใช้งานกับสวิชท์บรอคน์นี้มีย่านของกระแสและแรงดันต่ำ ซึ่งผลิตในรูปแบบต่างๆ โดยมีขั้วทางปฐมภูมิอยู่ตรงกันข้ามเพื่อความสะดวกในการต่อโดยตรงเข้าสู่วงจรทางด้านปฐมภูมิ

สำหรับขดปฐมภูมิที่มีกระแสใช้งาน 100 แอมป์ พัน 6-20 รอบ แล้วแต่การออกแบบและการพัดขวดลวดสำหรับกระแสที่สูงกว่าจะมีจำนวนรอบลดลงตามสัดส่วน โดยที่ค่าแอมแปร์-เทิร์น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของขดลวดต้องเหมือนกัน สำหรับทุกๆ ค่าของกระแสปฐมภูมิตามพิกัดขนาดต่างๆ ของการออกแบบนั้น ถ้าออกแบบมาสำหรับ 1200 แอมแปร์-เทิร์น ดังนั้นกระแสตามพิกัดขนาด 600 แอมป์ ก็จะพันเพียง 2 รอบ 800 แอมป์ ก็จะพันประมาณ 2 รอบ แต่กระแสขนาด 1000 แอมป์ หรือ 1200 แอมป์ จะพันเพียง 1 รอบ หม้อแปลงกระแสชนิดที่มีขดลวดปฐมภูมิเพียงรอบเดียวเป็นชนิดที่ทำกันมาก โดยทำในลักษณะเป็นแท่งตัวนำอันเดียว (Single bar conductor) ร้อยผ่านทะลุแกนเหล็กที่มีขดลวดพันรอบอยู่ และเป็นการสะดวกในการสร้างหม้อแปลงโดยไม่มีตัวนำร้อยทะลุผ่าน มีแต่เพียงรูที่ทะลุผ่านตัวหม้อแปลง ซึ่งผู้ใช้สามารถนำเอาตัวนำทางปฐมภูมิซึ่งเป็นตัวนำของสายเมนของวงจรที่ต้องการติดตั้งหม้อแปลงกระแส

2. หม้อแปลงกระแสแบบใช้งานภายนอกชนิดพันและร้อยผ่าน (Wound and through type) หม้อแปลงชนิดนี้มีโครงสร้างต่างกับแบบอื่น ๆ การออกแบบของแกนเหล็กและขดลวดเหมือนกับชนิดใช้งานภายใน ข้อแตกต่างในโครงสร้างก็คือต้องออกแบบให้ป้องกันสภาพอากาศได้ (Weather proof)

3. หม้อแปลงกระแสชนิดมีบุชชิ่ง (Bushing type current transformers) หม้อแปลงกระแสชนิดนี้ส่วนใหญ่แล้วเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางบนบุชชิ่งของเซอร์กิตเบรคเกอร์และหม้อแปลง เนื่องจากอุปกรณ์ชนิดนี้ทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ทำงานได้ในลักษณะของหม้อแปลงกระแสในราคาส่วนเพิ่มที่ต่ำกว่า ทำให้สามารถเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่มีราคาต่ำลงซึ่งเป็นชนิดที่ไม่มีบุชชิ่งได้ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไปในยุโรป ขดลวดของหม้อแปลงชนิดนี้มีการแทป ซึ่งทำให้สามารถใช้งานได้หลายอัตราส่วนในหม้อแปลงตัวเดียวกัน

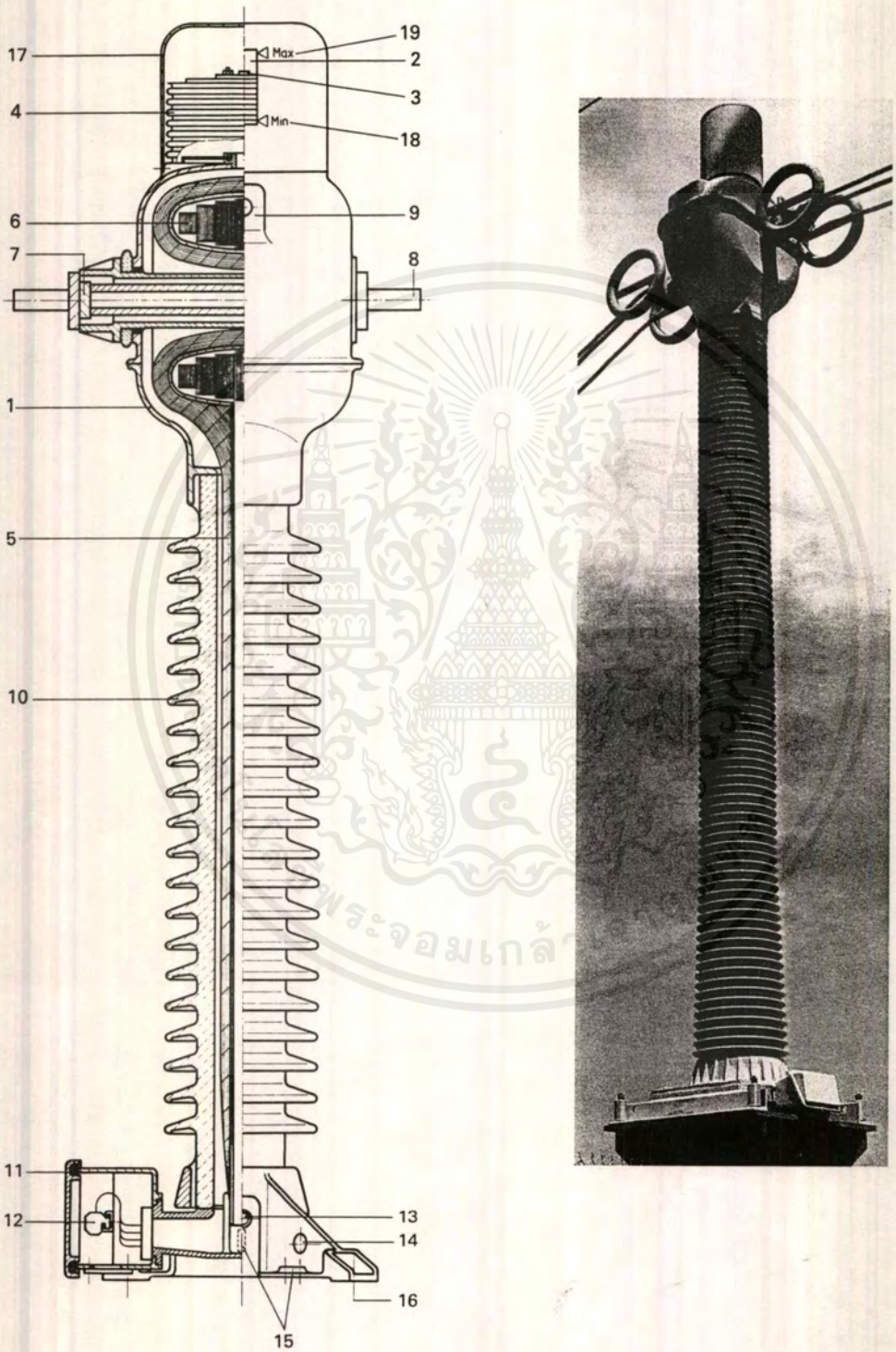
4. หม้อแปลงกระแสชนิดที่มีขดทุติยภูมิหลายชุด บางครั้งมีความจำเป็นต้องใช้หม้อแปลงกระแส 2 ตัว หรือมากกว่า โดยนำขดปฐมภูมิต่ออนุกรมกัน เพื่อให้สามารถทำงานได้มากกว่าหนึ่งหน้าที่หรือมากกว่าหนึ่งอัตราส่วน เช่น หม้อแปลงตัวหนึ่งทำงานสำหรับรีเลย์ โดยที่ตัวอื่นๆ สำหรับแอมป์มิเตอร์และวัตต์มิเตอร์ เป็นต้น อัตราส่วนที่เป็นจำนวนคี่อาจจำเป็นที่จะต้องเหมาะสมกับหม้อแปลงตัวอื่นเพื่อใช้ในวงจร Differential relaying scheme

จากตัวอย่างข้างต้น หม้อแปลงกระแสจำนวน 2 ตัวหรือมากกว่า สามารถนำมารวมกันเพื่อความประหยัดเป็นตัวเดียวกัน โดยการพันขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิจำนวน 2 ขดหรือมากกว่า ซึ่งการรวมกันนี้ไม่มีผลต่อการทำงานของหม้อแปลง

3.6.2 โครงสร้างพิเศษสำหรับการวัดแรงดันขนาดต่ำ

ในการวัด Watt-hours ที่แรงดันต่ำโดยมีค่ากระแสสูงสุดกว่า 200 แอมป์ ซึ่งต้องใช้ย่านที่สูงที่สุดของมิเตอร์ สามารถทำให้ง่ายขึ้นโดยใช้หม้อแปลงกระแสที่ออกแบบมาเฉพาะการวัดนี้โดยหม้อแปลงกระแสต้องจ่ายกระแสทุติยภูมิคงที่ 10 แอมป์ แทนที่จะเป็น 5 แอมป์ เพราะว่ามิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-34 โครงสร้างหม้อแปลงกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัด Watt-hour ต้องการกระแสจำนวนนี้ และเบอร์เดนมีค่าต่ำ (น้อยกว่า 0.2 โอห์ม) ดังนั้นเนื่องจากความต้องการที่ผิดปกตินี้ จึงจำเป็นต้องใช้หม้อแปลงกระแสแบบร้อยผ่านหรือแบบวินโดว์

หม้อแปลงที่ใช้กำลังไฟฟ้าน้อย ขดลวดปฐมภูมิต่ออนุกรมกับสายไฟฟ้าหลักที่ส่งมา ส่วนขดลวดทุติยภูมิจะต่อไปยังเครื่องมือวัด รีเลย์ป้องกันหรือชุดควบคุม

1) หม้อแปลงกระแสแบ่งตามลักษณะโครงสร้างทั่วไปได้ 3 แบบ

1. หม้อแปลงกระแสแบบลวดพัน (Wound primary type CT) มีความแม่นยำสูงที่อัตราส่วนการแปลง K_n ต่ำ ๆ

2. หม้อแปลงกระแสแบบตัวนำเดี่ยว (Thorugh or bar type CT) ขดลวดปฐมภูมิประกอบด้วยแท่งตัวนำผ่านเข้าไปในแกนเหล็กของหม้อแปลง

3. หม้อแปลงกระแสบนวินโดว์ (Window or bushing type CT) ขดลวดปฐมภูมิเป็นเคเบิ้ล บัสบาร์ หรือแกนบุชชิ่ง

2) การแบ่งหม้อแปลงกระแสในทางไฟฟ้ากำลัง แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. หม้อแปลงสำหรับการวัด ใช้งานร่วมกับอุปกรณ์การวัด โดยที่มีความแม่นยำของกระแสโหลดจาก +10% ถึง +120% ของค่าพิกัดกระแส(Rated current : I_n)

2. หม้อแปลงสำหรับการป้องกัน ใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ ในระบบป้องกัน เช่น รีเลย์ ขดลวดทริป สายไพลอท

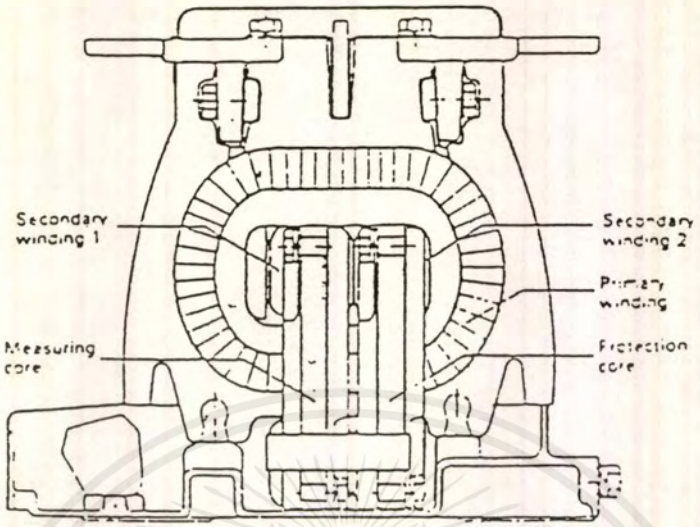
กระแสในระบบไฟฟ้ากำลังขณะที่เกิดฟอลท์อาจสูงถึง 20 เท่าของค่าพิกัดกระแส ซึ่งอาจทำให้แกนเหล็กอิ่มตัวได้ หม้อแปลงกระแสจึงต้องมีแกนเหล็กที่ใหญ่พอที่จะไม่ทำให้เกิดการอิ่มตัวภายใต้สภาวะทรานเซียนท์ นอกจากนี้หม้อแปลงกระแสก็ต้องทนทานต่อแรงเค้นทางกลและความร้อนที่เกิดจากกระแสฟอลท์ด้วย

หม้อแปลงกระแสบางแบบมีทั้งแกนวัดและแกนป้องกันในตัวเดียวกัน อาจมีขดลวดถึง 3 ขด ซึ่งการพันนั้นจะแยกกันแต่ละแกน คุณสมบัติของแกนเหล็กแต่ละแกนจะเหมือนกันหรือต่างกันก็ได้

แกนวัดทำจากเหล็กพิเศษ เพื่อรักษาค่าพิกัดแฟคเตอร์ความอิ่มตัวของแกน (หรือบางทีเรียกว่าค่าพิกัดแฟคเตอร์กระแสเกิน) ให้มีค่าน้อยที่สุด ($n<5$, $n<10$) เพื่อกระแสที่เกินทางทุติยภูมิมีค่าน้อยก็จะถูกจำกัด จึงป้องกันอันตรายที่เกิดกับอุปกรณ์ที่มาจากต่อ

ส่วนแกนป้องกันต้องมีอัตราส่วนความคลาดเคลื่อน(Error ratio)ให้ต่ำ แม้ว่าจะอยู่ในสภาวะกระแสเกิน เพราะฉะนั้นแกนป้องกันต้องทำจากเหล็กต่างชนิดกับแกนวัด ($n>5$, $n>10$) กระแสทางทุติยภูมิจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนตามกระแสปฐมภูมิและถูกจำกัดเพียงเมื่อเกิดกระแสเกินเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-35 แสดงแกนวัดและแกนป้องกันในตัวหม้อแปลงกระแสตัวเดียวกัน

3) ย่านการใช้งานและค่าความผิดพลาดของหม้อแปลงกระแส ย่านการใช้งานแบ่งได้เป็น 3 ช่วงคือ

- ย่านมาตรฐาน(Standard - range) หม้อแปลงกระแสย่านมาตรฐานนี้จะทำงานได้อย่างต่อเนื่องที่ขนาดกระแส 1.2 เท่าของค่าพิกัดกระแส (1.2 I_N) โดยที่ให้ค่าความถูกต้องแม่นยำอยู่ในระดับ 3

- ย่านกระแสเกิน(Large - range) หม้อแปลงในย่านนี้สามารถทำงานอย่างต่อเนื่องจนถึงขนาดกระแส 2 เท่าของค่าพิกัดกระแส (2 I_N) โดยให้ค่าความถูกต้องแม่นยำอยู่ในระดับ 3G

- ย่านกระแสคู่ควบ(Dual - range) เป็นหม้อแปลงกระแสที่ได้ออกแบบเป็นพิเศษให้มีอัตราส่วนของกระแส 2 ค่าในตัวเดียวกัน โดยให้กระแสทุติยภูมิ 5 แอมแปร์ และ 1 แอมแปร์ (เช่น 50/5 และ 50/1 แอมแปร์) สำหรับกระแสทุติยภูมิ 5 แอมแปร์ ใช้งานได้ในย่านมาตรฐานโดยให้ค่าความถูกต้องแม่นยำในระดับ 0.5 และที่กระแสทุติยภูมิ 1 แอมแปร์ ใช้งานได้ในย่านกระแสเกิน โดยให้ค่าความถูกต้องแม่นยำในระดับ 0.5G

3.6.3 ข้อพิจารณาในการเลือกหม้อแปลงกระแส (ของ RITZ)

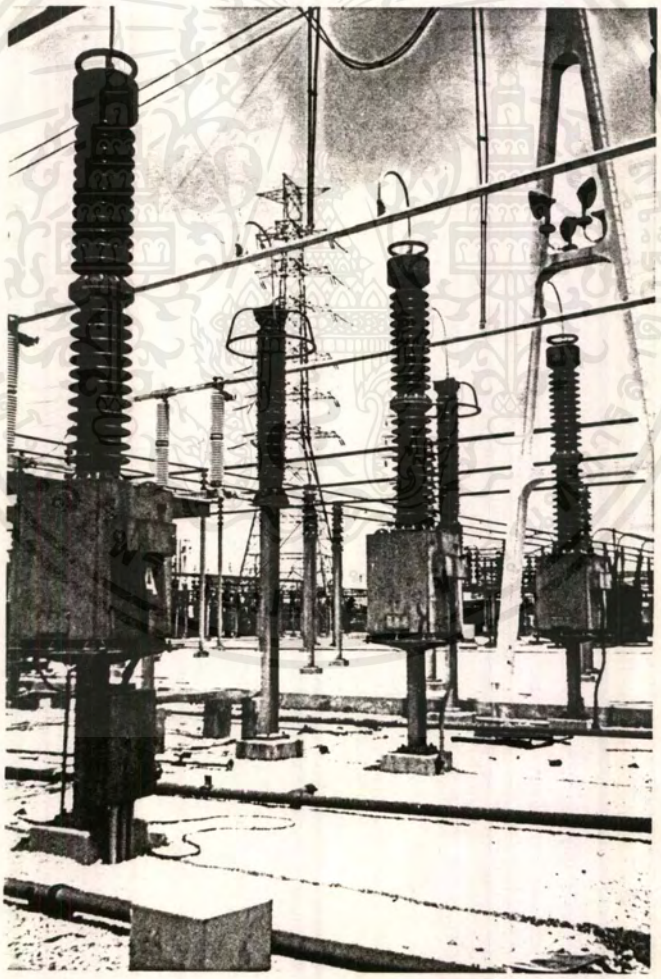
1. ชนิดของหม้อแปลงกระแส
2. อัตราส่วนการแปลงของหม้อแปลงกระแส
3. พิกัดเบอร์เดน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ความแม่นยำ
5. แฟคเตอร์พิกัดกระแสเกิน (หม้อแปลงกระแสสำหรับการป้องกัน)

3.7 หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า (Potential Transformer PT.)

หม้อแปลงแรงดันใช้สำหรับแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าในระบบส่งเพื่อเอาไปวัดด้วยมิเตอร์แรงดันต่ำธรรมดา โดยขดลวดแรงดันสูง(HV-winding) จะต่อกับสายส่งแรงสูง ส่วนด้านขดลวดแรงดันต่ำ(LV-win ding)ต่อเข้ามิเตอร์ เช่น โวลท์มิเตอร์(Voltmeter) หรือรีเลย์ ได้แก่รีเลย์แรงดันเกิน รีเลย์แรงดันต่ำ เป็นต้น การต่อหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าจะต่อขนานกับระบบระหว่างไลน์กับไลน์ หรือไลน์กับกราวด์



รูปที่ 3-36 การติดตั้งหม้อแปลงแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.1 ประเภทของหม้อแปลงแรงดัน แบ่งเป็น 2 ประเภท

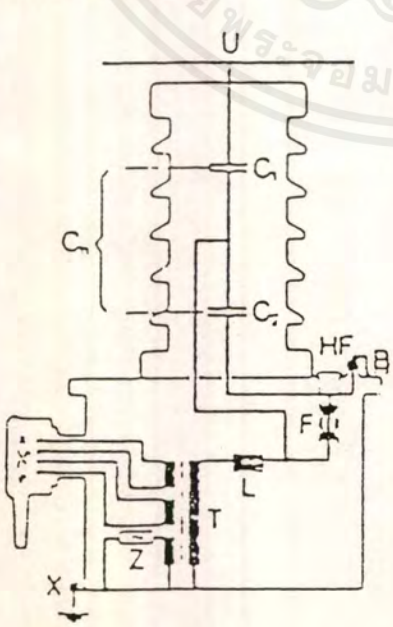
1. หม้อแปลงแรงดันแบบอินดัคตีฟ หม้อแปลงแรงดันเฟสเดียว(Single phase insulated) หรือแบบขั้วเดียว หมายถึงมีหนึ่งขั้วที่ต่อกับไลน์อีกขั้วจะต่อกับกราวด์ เพราะฉะนั้นแรงดันที่ด้านปฐมภูมิจึงเป็นแรงดันไลน์ กับนิวตรอน เช่น $11/\sqrt{3}$ kV หรือ $12/\sqrt{3}$ kV

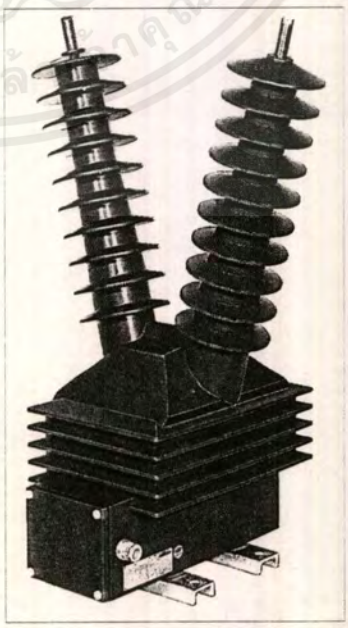
ค่าพิกัดแฟคเตอร์แรงดัน (Rated voltage factor) เป็นตัวคูณกับพิกัดแรงดันเพื่อกำหนดให้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบบุชชิ่งเดียวทำงานในกำหนดเวลารวมทั้งอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น โดยทั่วไปจะใช้ 1.5 หรือ 1.9 ขึ้นอยู่กับระบบที่ใช้

ค่าพิกัดกระแสช่วงเวลานาน (Rated long duration current) ค่ากระแสนี้เป็นของขดลวดตรวจจับสัญญาณฟอลท์ เป็นค่ากระแสที่ขดลวดสามารถทนได้นาน 4 ชม. หรือ 8 ชม. ในเหตุการณ์ที่เกิดฟอลท์ที่เกิดลงดินที่ค่า 1.9 เท่าของพิกัดแรงดันด้านปฐมภูมิ โดยที่ขดลวดที่เหลือยังรับโหลดอยู่ด้วยค่าพิกัดเบอร์เดนและอุณหภูมิสูงขึ้นไปกว่า 10 k ที่ทุกส่วนของหม้อแปลงแรงดัน

2 หม้อแปลงแรงดันแบบคาปาซิตีฟ(Capacitive voltage transformer) หม้อแปลงแรงดันแบบนี้ใช้ที่พิกัดแรงดัน 110 kV ถึง 380 kV ทั้งงานสำหรับการวัดและการป้องกัน และยังสามารถปรับให้ใช้กับ Billing ได้อีก

สร้างโดยอาศัยหลักการของหม้อแปลงแรงดันแบบอินดัคตีฟประกอบดิไวเดอร์แบบคาปาซิเตอร์โวลต์มิเตอร์ แบบอิเลคโตรสแตติคส์ หรือออสซิลโลสโคป แต่หม้อแปลงแรงดันจะส่งจ่ายโหลดที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำ ซึ่งต้องใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่า 100 VA จึงต้องใช้คาปาซิเตอร์แรงสูงที่มีค่าเป็น 1,000 pF เพื่อให้เหมาะสมกันระหว่างภาคแรงต่ำของดิไวเดอร์กับเบอร์เดน จึงต้องต่อเชื่อมด้วยหม้อแปลงแรงดันและ L





รูปที่ 3-37 ลักษณะของหม้อแปลงแรงดันแบบคาปาซิตีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

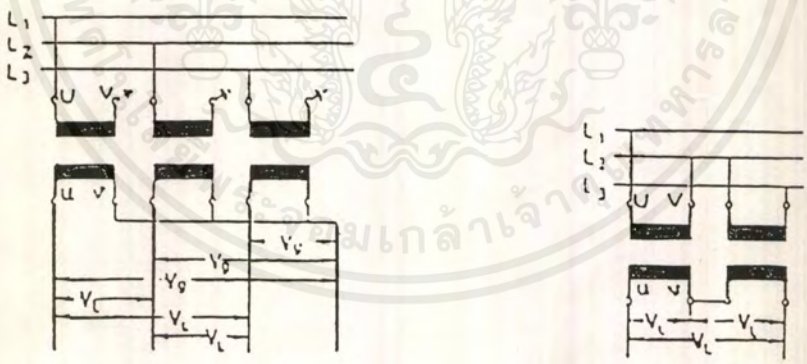
ข้อดีของหม้อแปลงแรงดันแบบคาปาซิตีฟ การฉนวนทำได้ง่ายเพราะใช้ดิไวเดอร์แบบคาปาซิเตอร์ ซึ่งมีคาปาซิเตอร์แรงสูงอยู่แล้ว นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวคัปปลิ้งกับระบบ Power line carrier (PLC) ความถี่สูง (คัปปลิ้งแบบคาปาซิเตอร์ของระบบสื่อสาร) เช่น โทรศัพท์, การควบคุมระยะไกล ตาม VDE 0414, Chock (L) ที่ต่อกับ C_3 ไว้ชดเชยแรงดันนั้นเมื่อหม้อแปลงแรงดันทำงานโดยไม่มี PLC Chock นี้สามารถลัดวงจรได้กับ strap ที่ด้านนอก

3.7.2 ข้อพิจารณาในการเลือกหม้อแปลงแรงดัน (ของ RITZ)

1. การเลือกพิกัดแรงดันปฐมภูมิ (แรงดันที่ยังอยู่ในช่วงความแม่นยำ ตามมาตรฐาน 0414 ตั้งแต่ 80~120% ของพิกัดแรงดัน ส่วนมาตรฐาน USAS ตั้งแต่ 90~100% ของพิกัดแรงดัน

1.1 หม้อแปลงแรงดันชนิดขั้วเดียว จะต้องต่อระหว่างไลน์กับดิน มีความปลอดภัยมากกว่าหม้อแปลงแรงดันชนิดสองขั้ว เพราะว่าฟอลท์ที่เกิดขึ้นเพียงเอิร์ทฟอลท์ ไม่ใช่การลัดวงจร ราคาที่แพงกว่า(ใช้หม้อแปลงแรงดัน 3 ตัว) มีอันตรายจาก Ferro-resonance cillation ในระบบที่ไม่มีกราวด์ แต่มีการแก้ไขโดยที่เพิ่มขดลวดพิเศษ เอิร์ทฟอลท์และความต้านทาน

1.2 หม้อแปลงแรงดันชนิดสองขั้ว ต่อระหว่างไลน์กับไลน์ ใช้หม้อแปลงแรงดันเพียง 2 ตัวเท่านั้น ไม่มีอัตรายจาก Ferro-resonance



รูปที่ 3-38 หม้อแปลงแรงดันชนิดขั้วเดียวและชนิดสองขั้ว

2. หม้อแปลงแรงดันที่มีพิกัดแรงดันปฐมภูมิ 2 ค่า (พิกัดแรงดันทุติยภูมิเท่ากัน) ทำได้โดยการแทปทางทุติยภูมิ แต่พิกัด VA จะแปรตามกำลังสองพิกัดแรงดันด้านปฐมภูมิ ตัวอย่างเช่น

หม้อแปลงแรงดัน 11,000 - 22,000 / 110 V ขนาด 200 VA ที่ 22 kV

ที่ 11 kV จะให้ขนาด 200 * (11,000/22,000) VA ประมาณ 50 VA (เลือกที่พิกัด 60 VA)

3. การเลือกพิกัดแรงดันทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100 V, 110 V, 120 V สำหรับหม้อแปลงแรงดันชนิดสองขั้ว

100/√3 V, 110/√3 V, 120/√3 V ("en" winding) หม้อแปลงแรงดันชนิดขั้วเดียว หรือหม้อแปลงแรงดันที่มีพิกัดแรงดันทุติยภูมิ 2 ค่า

2 * 100 V (และ/หรือ 2 * 110 V, 2 * 100)

2* 100/√3 V (และ/หรือ 2 * 100/√3, 2 * 120/√3)

3) เลือกจำนวนของขดลวดทุติยภูมิ ถ้าคิดว่าจะใช้กับอุปกรณ์ไม่เหมือนกัน จากข้อ 2.

4) เลือกพิกัด VA ของแต่ละขดลวดทุติยภูมิ

5) เลือกชั้นของความแม่นยำตามมาตรฐานของ

เยอรมัน	VDE 0414 part 3
อเมริกา	USAS.C. 57.13 - 1968 (ANSI)
อังกฤษ	BS. 3941 - 1965
สากล	IEC Pub 186 - 1969

6) เลือกพิกัดทางความร้อน (Thermal rating) (ค่าต่อเนื่องของพิกัด VA เอาท์พุทสูงสุดที่ไม่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มเกินพิกัดที่กำหนด)

6.1 โดยปกติจะกำหนดค่านี้มาจากผู้ผลิต

6.2 ขดลวด "en" สามารถต้านทานกระแสได้เป็นเวลานาน(Long-time current) ในกรณีเอิร์ทฟอลท์

7) เลือกชนิดที่ติดตั้งภายใน หรือภายนอกอาคาร ตามความเหมาะสม

8) เลือกวัสดุที่ใช้ทำฉนวน

3.8 อุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า (Lightning Arrester)

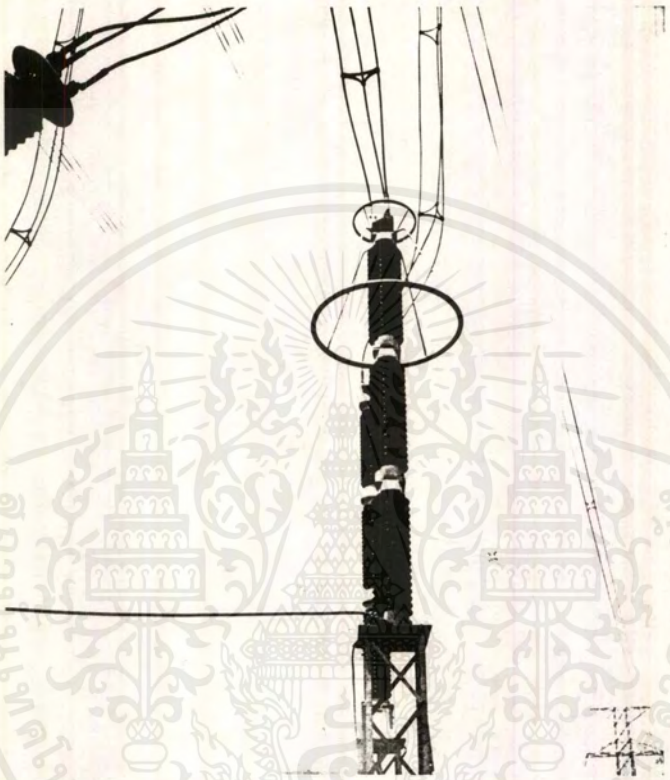
วัตถุประสงค์ของการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าก็เพื่อป้องกันหรือบรรเทาความเสียหายของระบบและอุปกรณ์จากฟ้าผ่าหรือเนื่องจากสวิชท์ชิ่งเสิร์จ หลักการของอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าก็คือสร้างวงจรให้เป็นทางผ่านของประจุลงสู่ดินในกรณีที่ประจุในสายสูงเกินปกติ เพื่อป้องกันไม่ให้ประจุสร้างความเสียหายต่อสายส่งหรืออุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า ซึ่งประกอบด้วยตัวต้านทานแบบไม่เป็นเชิงเส้นและตัวเก็บประจุต่อลงดิน โดยปกติแล้วตัวต้านทานแบบไม่เป็นเชิงเส้นจะมีความต้านทานสูง แต่ถ้าแรงดันสูงๆ จะมีความต้านทานต่ำยอมให้ประจุผ่านได้

3.8.1 ลักษณะและหน้าที่ของอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า

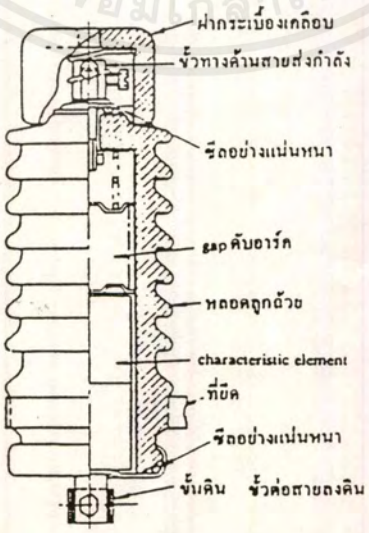
อุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าของแรงดันระดับปานกลาง เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งไว้ที่ทางเข้าของอุปกรณ์รับและจ่ายไฟ ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้แรงดันสูงผิดปกติ ซึ่งเกิดจากฟ้าผ่าหรือเปิดปิดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านเข้าไปในวงจรของอุปกรณ์รับและจ่ายไฟ โดยที่อุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าจะทำการลดค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกินเข้ามา แล้วให้ดิสชาร์จไปยังกราวด์ซึ่งเป็นการป้องกันฉนวนที่ใช้อุปกรณ์ นอกจากนั้นยังป้องกันไม่ให้กระแสของระบบไหลลงดิน หลังจากที่ดิสชาร์จแรงดันไฟฟ้าที่สูงผิดปกติหมดลงและเข้าสู่ภาวะปกติโดยไฟฟ้าไม่ดับ



รูปที่ 3-39 การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า



รูปที่ 3-40 ตัวอย่างโครงสร้างภายนอกของอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าแบบค่าความต้านทาน ประกอบไปด้วยส่วนที่สำคัญคือ ช่องอากาศดับอาร์ค characteristic element ซึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะที่ปิดมิดชิด เมื่อเสิร์จจากฟ้าผ่าหรือการเปิด-ปิดวงจรผ่านเข้ามาแรงดันไฟสูงผิดปกตินั้น ทำให้เกิดการอาร์คขึ้นในช่องอากาศดับอาร์ค ในขณะเดียวกัน characteristic element ก็ปล่อยให้กระแสจากการดิสชาร์จไหลผ่านได้ ทำให้เป็นการลดค่าสูงสุดของแรงดันเสิร์จที่ผ่านเข้ามา

Characteristic elelment เป็นสารจำพวกซิลิกอนออกไซด์ ในขณะที่เกิดมีการอาร์คจะยอมให้กระแสดิสชาร์จไหลผ่านโดยที่ความแตกต่างศักย์ระหว่างขั้วถูกจำกัดไว้ที่ค่าหนึ่ง แต่เมื่อการดิสชาร์จสิ้นสุดลงจะกลับมีความต้านทานสูง ซึ่งเป็นการป้องกันไม่ให้กระแสของระบบไหลลงดิน หลังจากการดิสชาร์จจบลงและทำให้ช่องอากาศดับอาร์คตัดกระแสได้ง่ายขึ้น

ช่องอากาศดับอาร์คในเวลาปกตินั้นทำหน้าที่ตัดวงจรของอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า แต่เมื่อมีเสิร์จแรงดันสูงผิดปกติเข้ามาจะเกิดการอาร์คในช่องอากาศ เป็นการปิดวงจรของอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า และเมื่อการดิสชาร์จสิ้นสุดลงแรงดันปกติที่กลับคืนมาใหม่นี้จะทำให้กระแสไหลผ่านช่องอากาศไม่ได้ เนื่องจากการทำงานตัดวงจรของ characteristic elellment ที่ช่องอากาศดับอาร์คนั้น เมื่อมีการอาร์คเกิดขึ้นทิศทางของกระแสจะตัดกับฟลักซ์ของสนามแม่เหล็กทำให้เกิดแรงขึ้นในทิศที่ทำให้สายอาร์คยาวออกไปซึ่งช่วยในการทำให้อาร์คดับลง

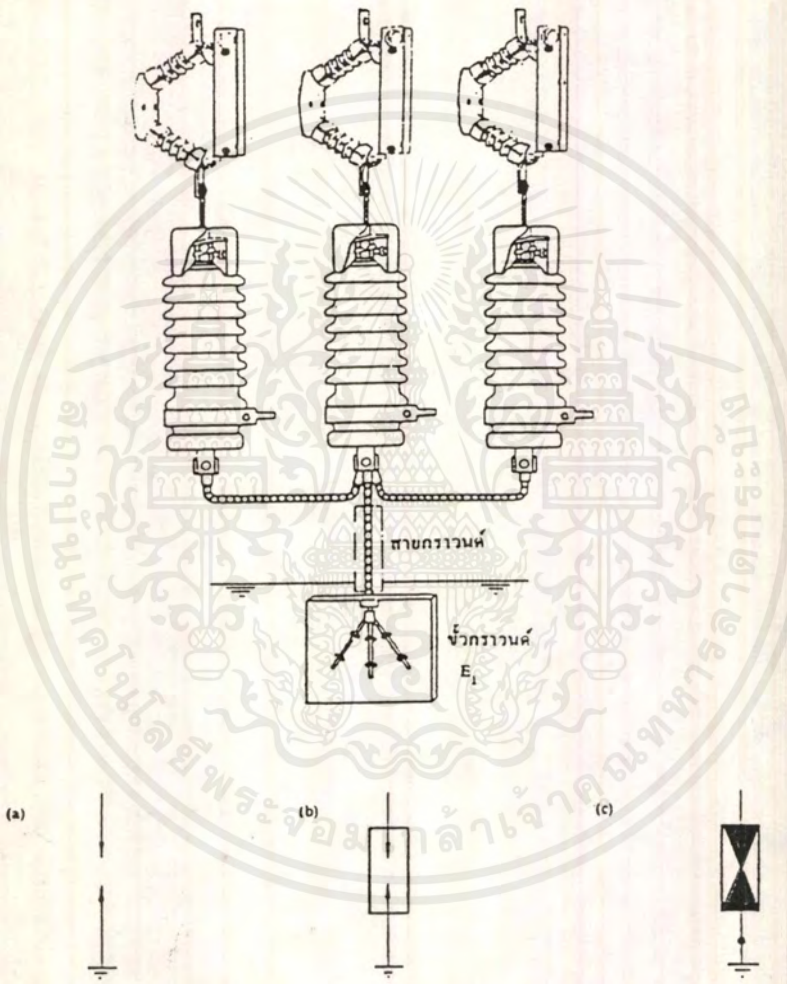
รูปที่ 3-41 ตัวอย่างช่องอากาศดับอาร์คแบบใช้สนามแม่เหล็ก

การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าจะต้องติดตั้งดิสคอนเนคเตอร์ไว้ใช้เฉพาะสำหรับอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า โดยติดตั้งไว้ก่อนหน้าอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า เหตุผลที่ต้องติดตั้งไว้ก็เพื่อความปลอดภัยเวลาที่ติดตั้งหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า

วิธีติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า ต่อขั้วสายทางไฟต้นกำลังของอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าเข้ากับวงจรไฟฟ้าแรงสูง ต่อขั้วกราวด์กับสายกราวด์แล้วยึดด้วยโลหะ โดยอย่าให้ส่วนบนและส่วนล่างของอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าสลับกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่อสายกราวด์ ความต้านทานในระบบกราวด์ที่มีค่าน้อยทำให้เกิดความต่างศักดิ์ที่น้อยกว่าเมื่อมีกระแสไหล ซึ่งเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการป้องกันของอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า เพราะฉะนั้นค่าความต้านทานของระบบกราวด์ควรต่ำกว่า 10 โอห์ม

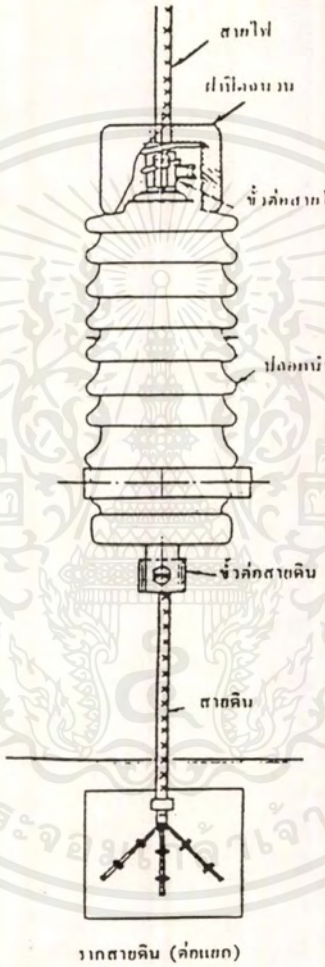


รูปที่ 3-42 การต่อสายกราวด์และสัญลักษณ์อุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า

ลักษณะและหน้าที่ของอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าแรงดันสูง เมื่อเกิดเสิร์จฟ้าผ่าวิ่งไปยังสถานีไฟฟ้าย่อย จะมีผลสะท้อนและเกิดออสซิเลทขึ้นเนื่องจากมีค่าคาปาซิแตนท์ของบัสบาร์และจุดต่อตัวนำสำหรับเสิร์จเข้ามาที่มีความชันสูงมาก ผลต่างของรูปร่างของแรงดันและขนาดแตกต่างไปในแต่ละตำแหน่งที่ตั้งภายในสถานีไฟฟ้าย่อยดังรูปที่ 3-44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ spark-gap และความต้านทานแบบดิสชาร์จมีลักษณะที่เป็นแท่ง(column) ชั้นที่ต่อ ๆ กันไป ปกติจะใช้แบบสามแท่งในกรณีที่แรงดันต่ำกว่า 170 kV แต่ในกรณีที่พิกัดแรงดันสูงกว่านี้จะใช้แบบสี่แท่ง ซึ่งได้ส่วนของ active part ที่ถูกยึดอยู่ในท่อฉนวน (Insulating tube) บรรจุแก๊ส N_2 ไว้



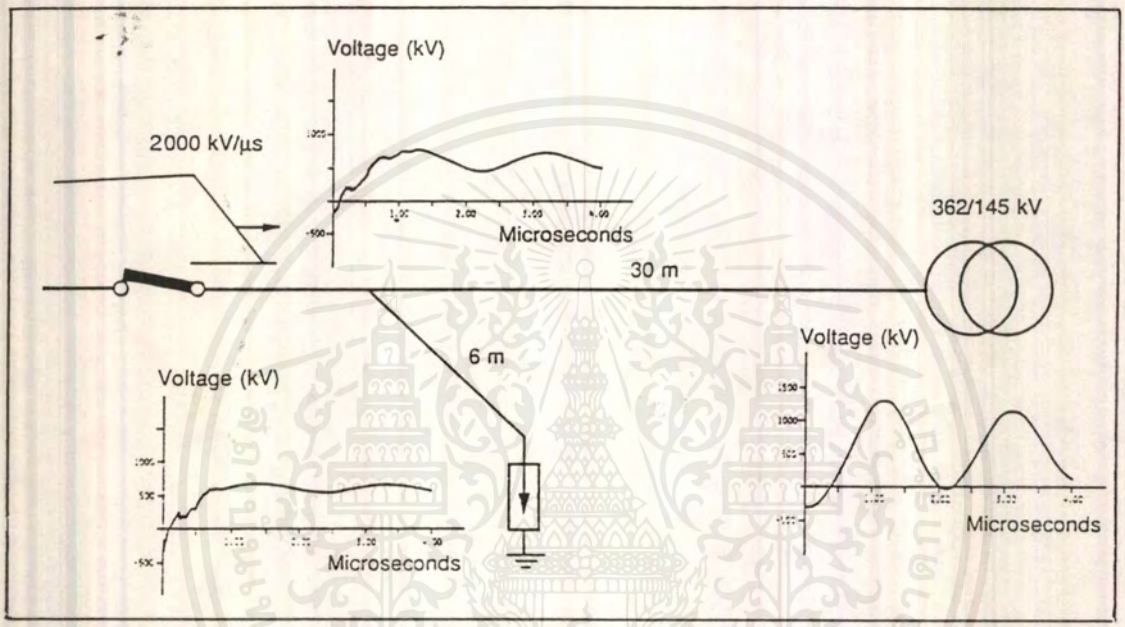
รูปที่ 3-43 ตัวอย่างอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า 8.4 kV

ส่วนประกอบสำคัญอีกชิ้นหนึ่งคือ ควบคุมแรงดันฟิลด์ซึ่งมีลักษณะเป็นวงแหวน โดยมีแรงดันจำเพาะของแต่ละตัว เพราะมีคาปาซิเตอร์ต่ออนุกรม/ขนานกันอยู่ทำให้ characteristic spark ของอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่านั่นดีขึ้น ซึ่งติด field control ในกรณีที่พิกัดแรงดันสูงกว่า 120 kV

ในการออกแบบสถานีไฟฟ้าย่อย โดยทั่วไปเราจะพิจารณาว่าไม่มีการเกิดผิดปกติขึ้นภายในและเราพิจารณาเฉพาะเสิร์จจากภายนอกที่เข้ามา แต่ในการป้องกันสถานีไฟฟ้าย่อยโดยที่แก้ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสิร์จไม่ใช่ปัญหาเดียวเท่านั้นในการเลือกการป้องกัน แต่ต้องพิจารณาจำนวนและตำแหน่งที่ติดตั้งของอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินด้วยเพื่อที่จะป้องกันได้เพียงพอ สำหรับการพิจารณาในแง่ต่าง ๆ ของปัญหาที่จะเกิดขึ้นของการจ่ายกระแสของฟ้าผ่า การออกแบบสถานี เพาเวอร์ ความถี่ แรงดัน ระบบกราวด์ การชีลด์สาย ระดับการป้องกัน รวมทั้งระดับชั้นของฉนวน เป็นต้น



รูปที่ 3-44 ขนาดของแรงดันที่ตำแหน่งต่าง ๆ

3.8.2 การป้องกันสถานีไฟฟ้าย่อยแบบนอกอาคาร

เมื่อพิจารณาระยะทางระหว่างอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ้ากับอุปกรณ์ที่จะป้องกัน โดยต้องมุ่งพิจารณาถึงแรงดันเกินที่สูงขึ้น โดยสามารถประมาณจากคุณสมบัติของอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าดังนี้

สูตรที่เราต้องใช้ประมาณผลแรงดัน

$u = u_a - (2SL)/v$

u_a = Residual voltage ของ surge arrester (kV)

S = ความชันของ เสิร์จ (kV/µs)

L = ระยะทางระหว่างอุปกรณ์ที่จะป้องกันกับ เสิร์จ(m)

v = ความเร็วของ เสิร์จ ที่เข้ามา (m/µs)

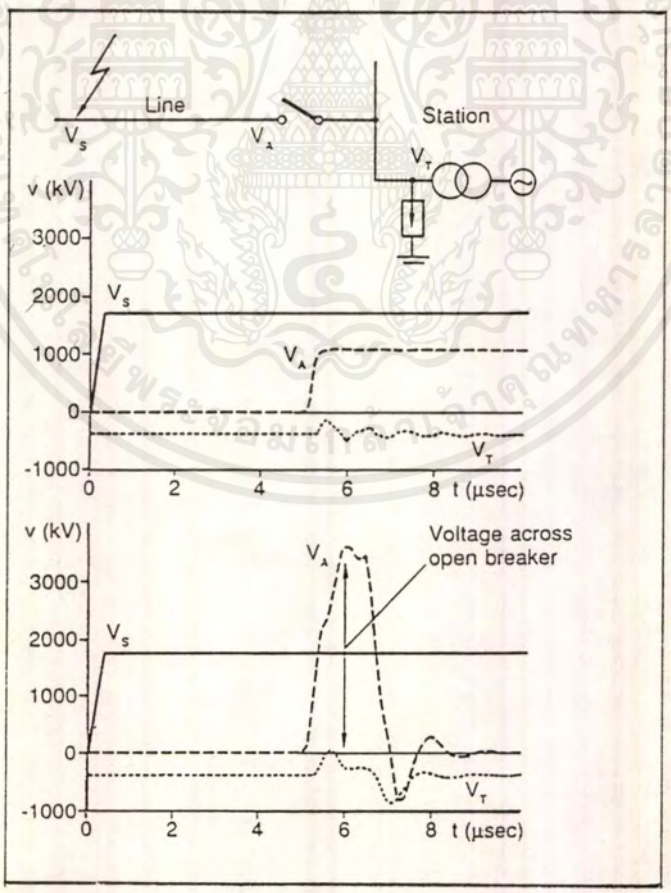
u = แรงดันที่อุปกรณ์ที่จะป้องกัน (kV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้จะไม่พิจารณาปัจจัย ประกอบ 3 ข้อนี้ เพราะมีผลน้อยมาก

1. ค่าความเป็นประจุไฟฟ้าของอุปกรณ์ป้องกัน
2. ผลชั่วขณะของ power frequency voltage
3. ความถี่ที่ใช้

ถ้าในบริเวณย่านการป้องกันอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าและอุปกรณ์ต้านแรงดันอิมพัลซ์ไม่ใกล้เคียงกัน การใช้สูตรอย่างง่ายนี้ก็ไม่ค่อยได้ผล เพื่อเป็นการแม่นยำยิ่งขึ้นจึงได้มีกราฟต่าง ๆ ของอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า[ของ ABB] ดังภาพ 1 ถึง 6 กราฟที่ได้คำนวณมาจากคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีคำนวณโดยละเอียดและรวมทั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่หายไปจากสูตรอย่างง่ายด้วย โดยใช้ได้ในระดับแรงดัน 145-420 kV ซึ่งใช้ได้แม่นยำมาก ที่ระยะทางต่าง ๆ ที่จะป้องกันเส้นโค้งนี้จะแสดงช่วงพื้นที่แรเงาของการเปลี่ยนแปลง 0-4 nF ค่าจริงของคาปาซิแตนท์ปกติเราไม่ทราบ แต่ในกรณีที่เกิดเหตุรุนแรงจะให้มีค่า 4 nF ซึ่งเพียงพอที่จะปกคลุมหม้อแปลง และในกรณีที่ open bus end ด้วย ในแต่ละกรณีค่าขนาดของแรงดันเกินที่ระยะห่างที่แน่นอนจากอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าที่แน่นอนนั้นสัมพันธ์กับแรงดันตกค้าง(residual voltage) ที่ 10 kA (8/20 μs) ซึ่งเป็นค่าจากผู้ผลิต



รูปที่ 3-45 เปรียบเทียบการเกิดแรงดันเกินที่ไลน์ เบรคเกอร์แบบธรรมดาและแบบที่ติดอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าที่เบรคเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

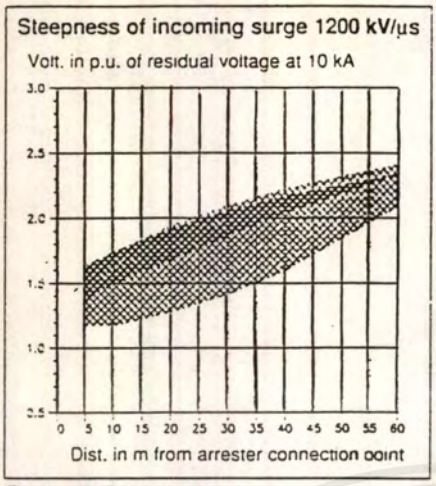


Fig. 1 245 kV system

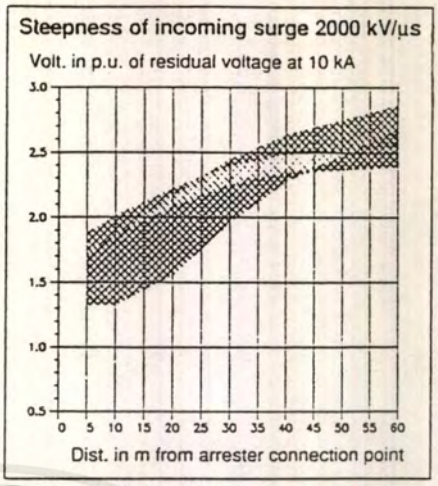


Fig. 2 245 kV system

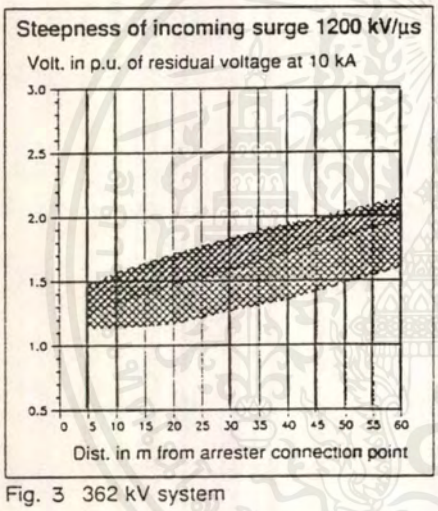


Fig. 3 362 kV system

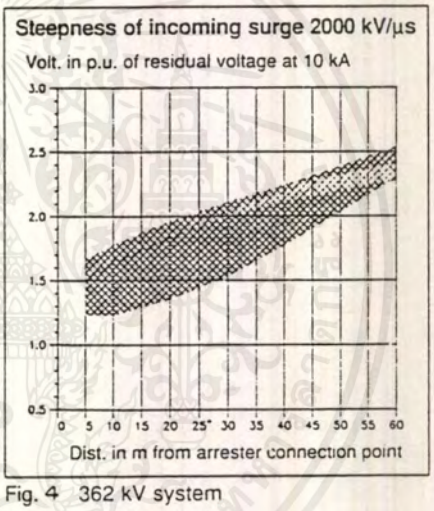


Fig. 4 362 kV system

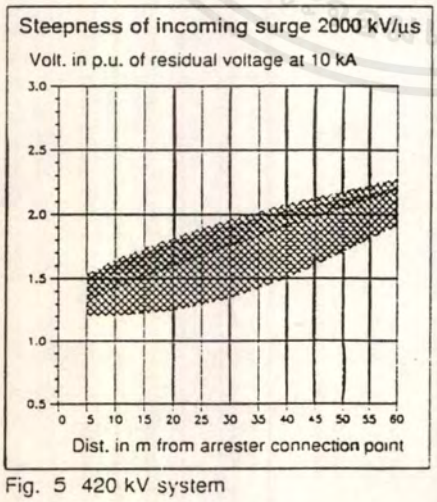


Fig. 5 420 kV system

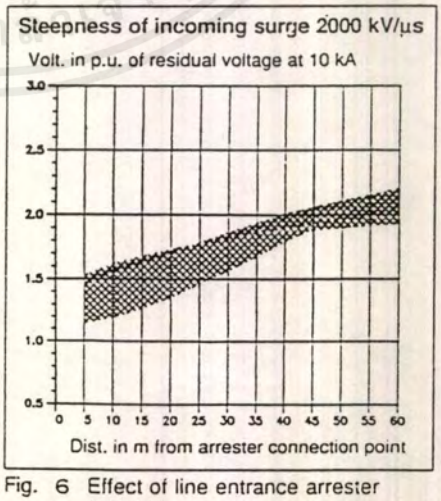


Fig. 6 Effect of line entrance arrester (362 kV system)

รูปที่ 3-46 กราฟแสดงการเลือกตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

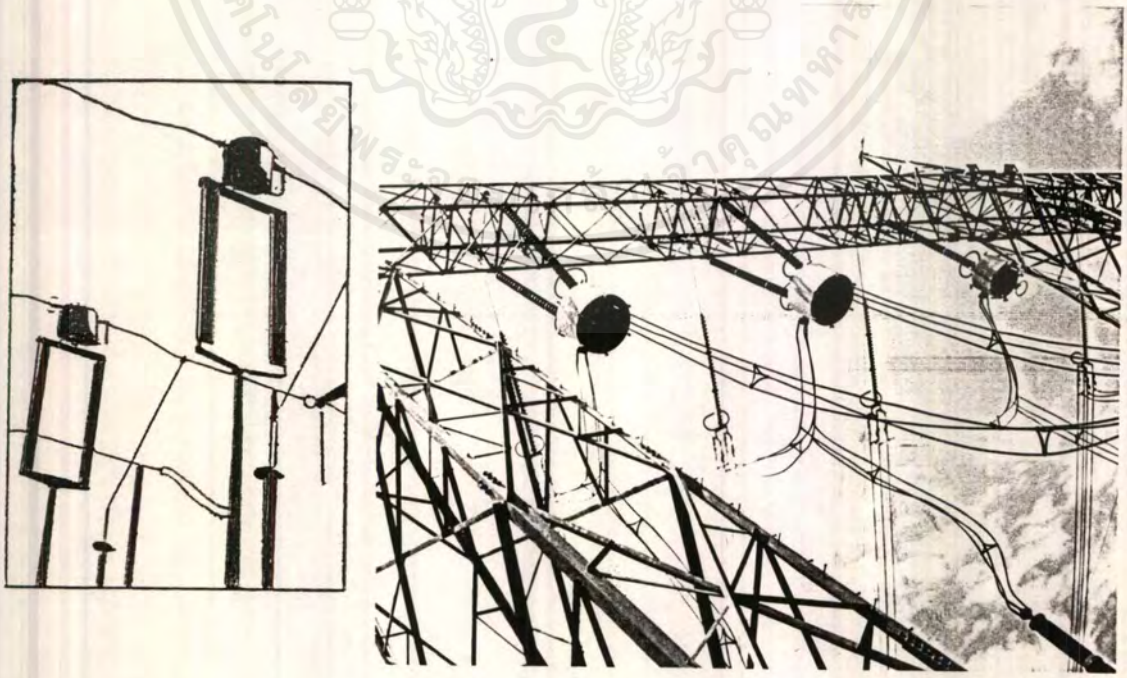
ความชันของ เสิร์จ incoming ความชันของ 1200 และ 2000 kV/μs นั่นเป็นมาตรฐานที่ทราบกันดี ในทางปฏิบัติเราใช้ความชันนี้เป็นตัวอ้างอิง โดยในการแฟลชลงหรือทะลุชีลด์ซึ่งอยู่ใกล้ ๆ กับสถานีไฟฟ้าย่อย พิจารณาถึงผลต่างของการเกิดเสิร์จ โดยใช้ที่ 1200 หรือ 2000 kV/μs

Line entrance arrester ถ้าจากเหตุผลแล้วเป็นไปไม่ได้ที่จะติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าใกล้อุปกรณ์ที่สำคัญ ๆ ซึ่งในทางอุดมคตินั้นจำเป็นมาก protective distance ของอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าที่สถานีนั้นทำให้ดีขึ้นได้โดยติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าที่ทางเข้าของสายส่ง ซึ่งมีข้อดีอีกอย่างหนึ่งคือป้องกันการเปิดวงจรของเซอร์กิตเบรคเกอร์

สำหรับแรงดัน 368 kV แรงดันเสิร์จ 2,000 kV/μs และอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าตัวที่ 2 ห่าง 50 m ซึ่งอยู่ข้างหน้าสถานีไฟฟ้าย่อย การการป้องกันนั้นควรจะเปรียบเทียบกับระยะทางในภาพ 4 สำหรับอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าตัวเดียวนั้นเห็นว่าระยะทางในการป้องกันเกือบเป็น 2 เท่า

3.9 เวฟ-แทล็ป (Wave trap)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการดักสัญญาณแคร์เรีย(Carrier) ตรงปลายสายส่งที่ส่งมาจากอีกสถานีหนึ่ง เวฟ-แทล็ปจะต่ออนุกรมเข้ากับสายส่งตรงปลายสายแต่ละข้างก่อนเข้าสถานีไฟฟ้าย่อย มีคุณสมบัติเป็น Parallel resonant circuit ซึ่งมีค่าความต้านทานสูง เพื่อรับและส่งสัญญาณแคร์เรียที่มีความถี่สูงแต่ไม่มีผลต่อกระแสไฟฟ้าในระบบ

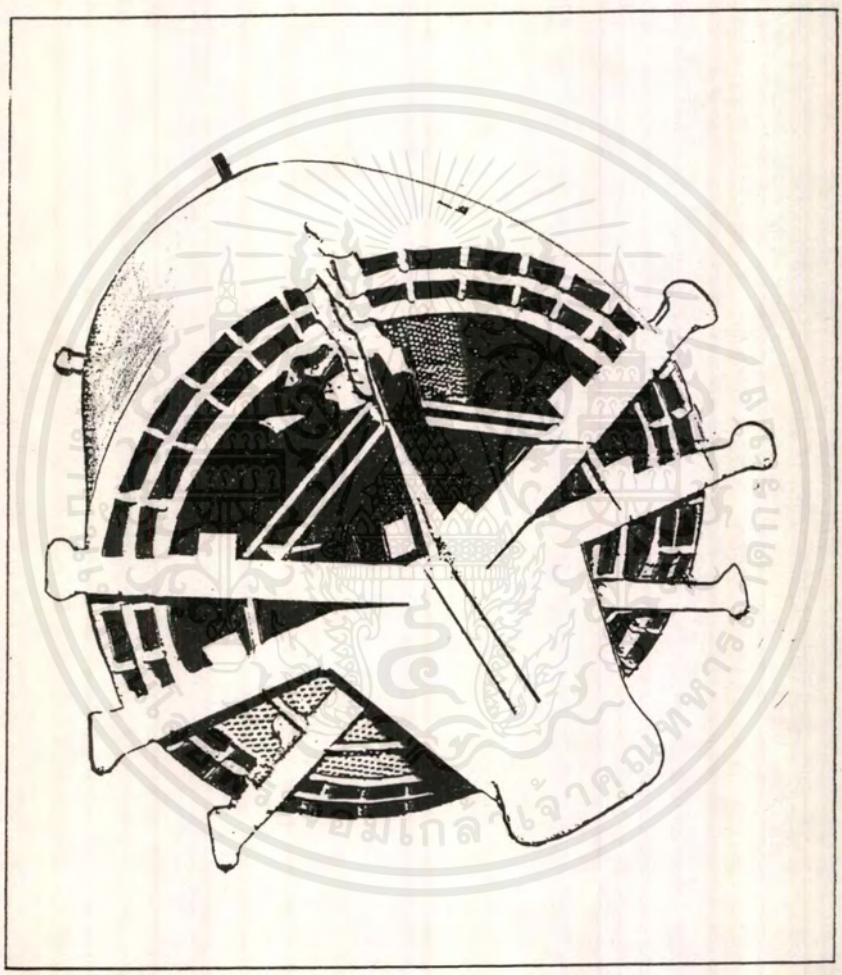


รูปที่ 3-47 การติดตั้งเวฟแทล็ป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.1 หน้าที่ของเวฟ-แทล็ป

คือเป็นวงจรขนานใช้ในการสื่อสารด้วยระบบ Power Line Carrier(PLC) โดยให้มีความถี่ต่ำ ซึ่งก็คือความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังผ่านเข้าไปในสถานีไฟฟ้าย่อยได้และกั้นความถี่สูงจำพวกสัญญาณสื่อสารเอาไว้ สัญญาณนี้ผ่านคาปาซิเตอร์เพื่อเข้าไปยัง Carrier equipment ใช้ในงานโทรศัพท์ ระบบการป้องกัน ระบบการวัด Supervisory control และอื่นๆ



รูปที่ 3-48 ลักษณะโครงสร้างของเวฟแทล็ป

3.9.2 ลักษณะโครงสร้างของเวฟ-แทล็ป แยกออกได้ดังนี้

1. ขดลวด (Winding) จะเป็นขดลวดอาบน้ำยาและทำด้วยตัวนำอลูมิเนียมหรือทองแดงพันอยู่บนโครงสร้างทรงกลมที่เป็นไฟเบอร์กลาส (Fiberglass) และฉนวนภายในด้วยอีพ็อกซี่ (Epoxy) ที่ปลายทั้งสองข้างจะต่อไปยังขั้วต่อที่สายส่ง ข้อต่อมีความแข็งแรงทางกลสูงเพื่อใช้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่เกิดลัดวงจร ทนแรงดึงและแรงลมได้ดี ขดลวดจะพันให้ได้ค่าอินดัคแตนซ์ค่าหนึ่งซึ่งคงที่และไม่สามารถปรับได้หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเมนคอลย์

2. จูนนิ่งแพ็ค(Tunning pack) ประกอบไปด้วยไมก้า(Mica) ตัวเก็บประจุ ตัวต้านทานที่ปราศจากอินดัคแตนซ์ และ Variable tuning inductor อุปกรณ์ทั้งหมดใส่อยู่ในท่อไฟเบอร์กลาสภายในท่อบรรจุด้วยเรซินและสารผสม เพื่อป้องกันสภาพแวดล้อมและแรงทางกลจากภายนอก จูนนิ่งแพคจะติดอยู่ภายในโพรงของขดลวดที่ด้านใดด้านหนึ่ง โดยสามารถเข้าไปทำการซ่อมบำรุงปรับการจูนนิ่งใหม่หรือเปลี่ยนใหม่ได้ง่าย

3. อุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า ติดตั้งอยู่ภายในโพรงของขดลวดเช่นเดียวกันกับจูนนิ่งแพค และขนานกับเมนคอล์ย เพื่อทำหน้าที่ป้องกันเวฟ-แทล็ปจากการมีแรงดันเกิน เช่นในขณะที่เกิดฟ้าผ่าไม่ให้เกิดอันตรายกับเวฟ-แทล็ปได้

4. Bird barrier คืออุปกรณ์ที่เป็นตะแกรงใช้สำหรับกันมิให้นกหรือสัตว์เข้าไปทำรังอยู่ข้างใน เพราะทำให้เบรคดาวน์เสียหายได้ โดยติดอยู่ที่ด้านบนและด้านล่างซึ่งสามารถเปิดและปิดเพื่อให้เข้าไปทำการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ภายใน

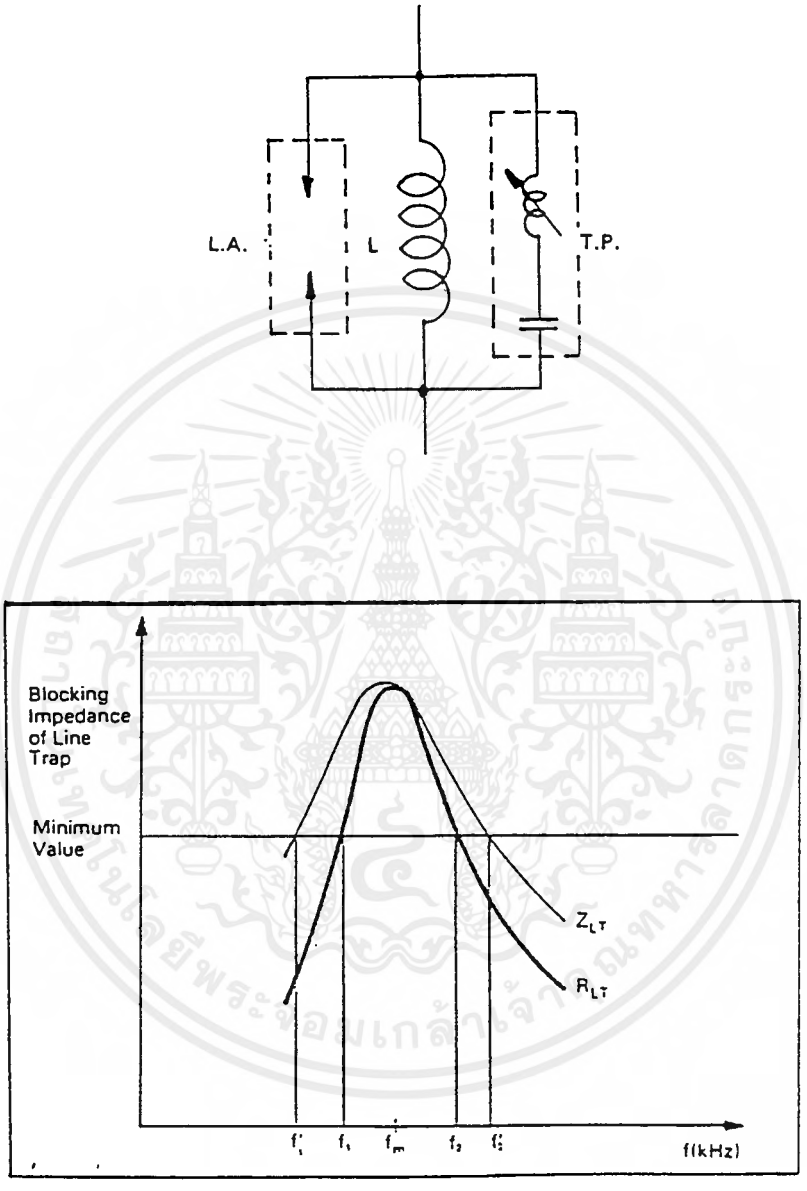
5. ฉนวนยกระดับและโครงรองรับ เป็นส่วนที่รองรับและยึดเวฟ-แทล็ปเพื่อการติดตั้งให้แข็งแรงและปลอดภัย ซึ่งในส่วนนี้บางครั้งอาจไม่ใช้แต่จะแขวนไว้กับ Take off structure แต่ต้องใช้ Suspension insulator ในการแขวนแทน

3.9.3 ประเภทของเวฟ-แทล็ป

ลักษณะโครงสร้างภายนอกโดยทั่วไปมีลักษณะคล้ายกัน แต่สามารถแบ่งได้ตามความถี่ที่จะใช้ว่าเป็น Single frequency , Double frequency หรือ Band frequency โดยในแต่ละชนิดนั้นสามารถทำได้โดยเปลี่ยนวงจรจูนนิ่ง-แพคที่ต่ออยู่กับเมนคอล์ย ซึ่งแบ่งได้ดังนี้

1. Single frequency wave traps หรือ Narrow-band frequency สามารถบล็อค (Block) สัญญาณด้วยจูนนิ่งแพ็คที่ให้คุณสมบัติแบบ Narrow band width resonant มีความสามารถในการปรับความถี่ในช่วง 30-90 kHz , 70-120 kHz , 50-150 kHz และ 100-300 kHz โดยที่มีเมนคอล์ยอินดัคแตนซ์ค่า 0.265 mH ค่า Q ของวงจรนั้นสามารถลดลงได้ด้วยการต่อตัวต้านทานอนุกรมกับตัวเก็บประจุ ซึ่งทำให้ค่าอิมพีแดนซ์-บล็อคกิ้ง(Impedance blocking) ต่ำลง แต่มีข้อดีตรงที่ช่วงความกว้างของ Bandwidth แคบลง ทำให้สามารถกั้นความถี่ที่ต้องการซึ่งเป็นสัญญาณแคร์เรียไม่ให้เข้าไปยังระบบ อีกทั้งยังป้องกันการเกิดรีโซแนนซ์(Resonant)เองเนื่องจากค่าตัวเก็บประจุของบัสบาร์อาจรีโซแนนซ์พอดีกับค่าอินดัคตีฟ(Inductive) ของเวฟ-แทล็ปได้

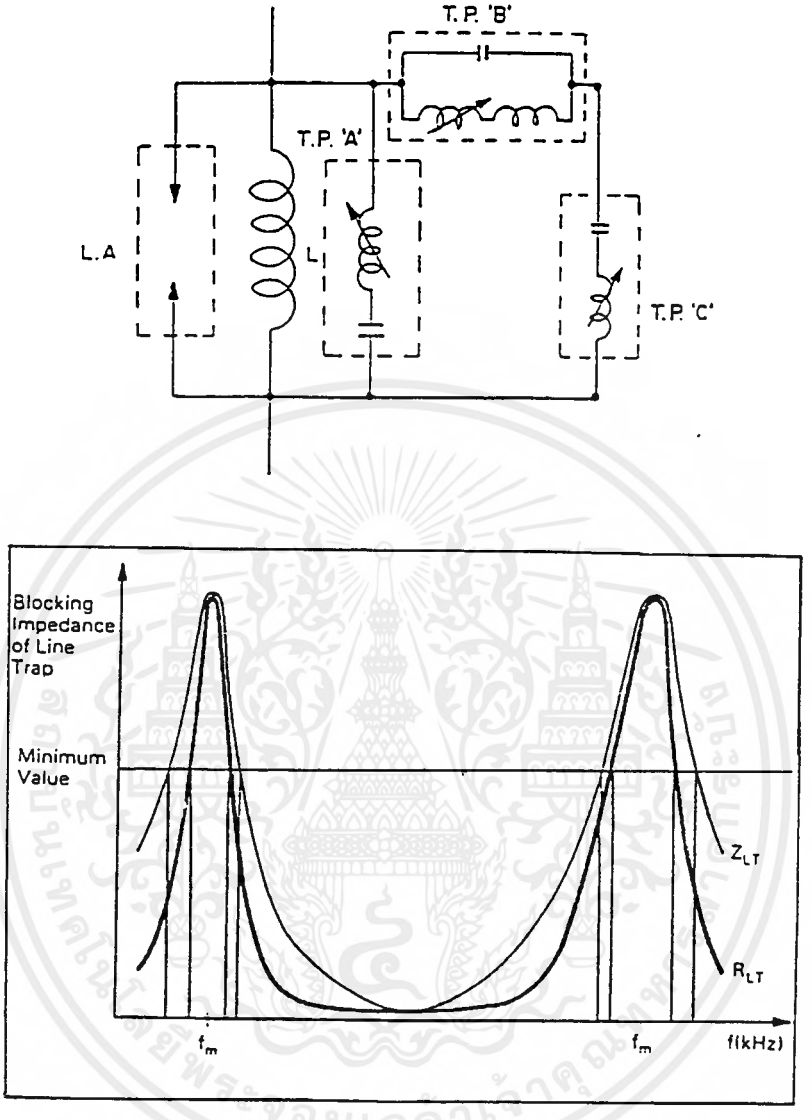
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-49 วงจรแล่ะอิมพีแดนซ์ Single frequency wave trap

2. Double frequency wave traps **ใช้จูนนิ่ง-แพค 3 ชุด จำนวน 2 ชุดนั้นใช้กับความถี่รีโซแนนซ์ 2 ความถี่ที่ต้องการ อีกชุดจะบล็อคความถี่ระหว่างความถี่ทั้งสองไม่ให้ผ่านช่วงความถี่รีโซแนนซ์เช่นเดียวกับแบบ Single frequency**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

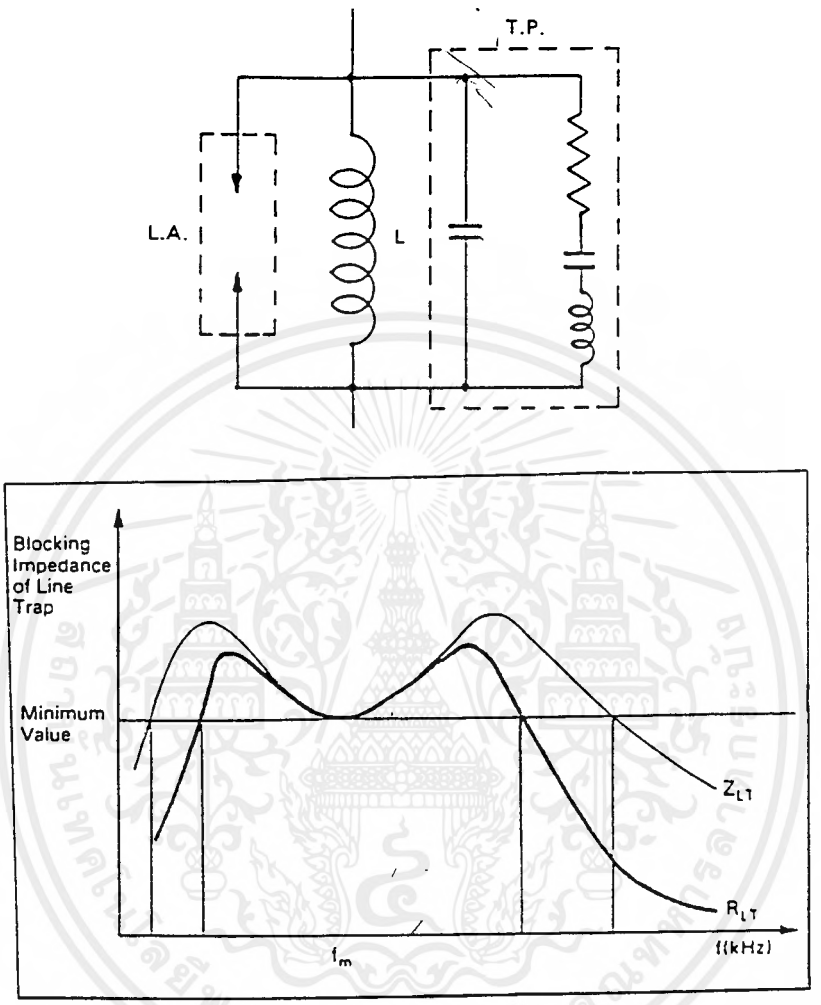


รูปที่ 3-50 วงจรและอิมพีแดนซ์ Double frequency wave trap

3. Wind band wave traps **มีความเหมาะสมในการใช้งานสื่อสารหลายๆ** Channel **มีความถี่กว้าง เป็นจูนนิ่ง-แพคที่มี** Bandwidth **ต่างๆ จากค่าอิมพีแดนซ์ตั้งแต่ 400-1000 โอห์ม สามารถปรับความถี่ได้ในช่วง 50-205 kHz , 70-200 kHz และ 100-300 kHz เมนคอล์ยอิพีแดนซ์ค่า 0.265 mH ในการเลือกจะมีทั้งแบบปรับค่าเองหรือแบบคงที่ นั่นคือทางผู้ผลิตจะผลิตที่ความถี่รีโซแนนซ์ตามความต้องการ แบบคงที่นั้นมีการปรับภายในมาให้เสร็จ ไม่สามารถปรับจากภายนอกได้ มีประโยชน์คือจะมีเสถียรภาพมากกว่าเพราะจูนนิ่งไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ การทำงานถูกต้อง เมื่อต้องการเปลี่ยนความถี่ก็เปลี่ยนจูนนิ่งใหม่ ทำให้รวดเร็วโดยไม่ต้องมาปรับใหม่ซึ่ง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลืองเวลาและต้องใช้เครื่องมือไปวัดความถี่นั้นด้วยว่าจูนได้ตรงตามต้องการหรือไม่ อีกทั้งยังมีราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับแบบที่ปรับได้



รูปที่ 3-51 วงจรและอิมพีแดนซ์ Wind band wave traps

3.9.4 พิกัดของเวฟ-แทล็ป

1. พิกัดแรงดัน
2. พิกัด กระแส (Rated current)
3. พิกัดอิพีแดนซ์ (Rated impedance)
4. พิกัดกระแสช็อตไทม์
5. พิกัดความถี่ (Rated frequency)
6. พิกัดแรงต้านแรงดันอิมพัลซ์ (Rated impulse withstand voltage)
7. Type of tuning
8. Bandwidth and minimum impedancd

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้ผู้ใดนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10 เพาเวอร์ ฟิวส์ (Power Fuse)

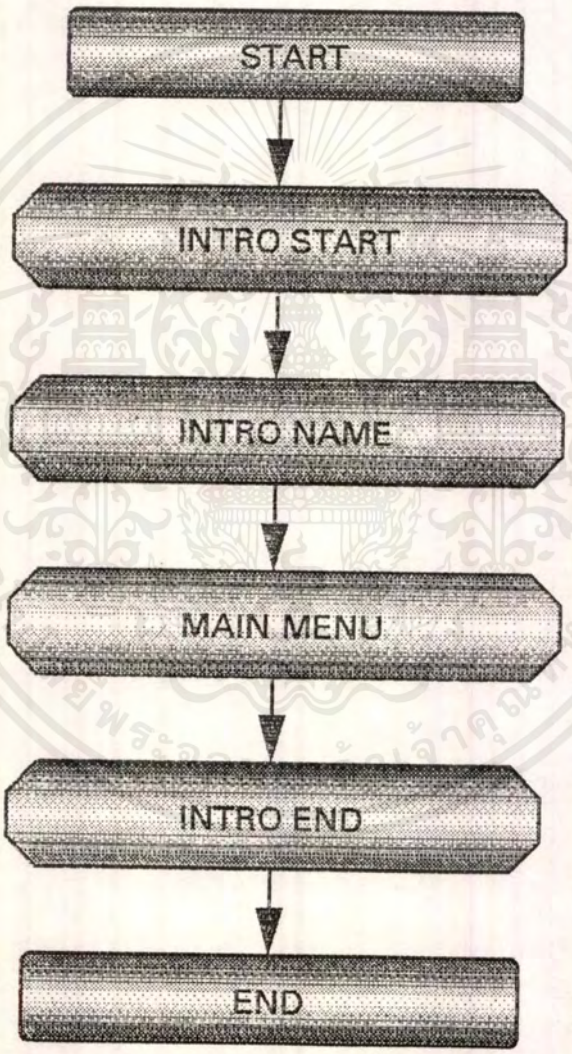
ใช้เป็นอุปกรณ์ป้องกันเช่น หม้อแปลง คาปาซิเตอร์แบงค์ สายเคเบิลจากความผิดปกติในระบบ โดยมีความผิดปกติในระบบเกิดขึ้นเมื่อมีกระแสไหลผ่านเกินขีดกำหนดฟิวส์ก็จะหลอมละลายตัดออกจากระบบ ในการติดตั้งเพาเวอร์ฟิวส์เพื่อป้องกันอุปรณ์นั้นจะต้องใช้ขนาดที่เหมาะสมมิฉะนั้นเมื่อเกิดความผิดปกติในระบบขึ้นอาจทำให้อุปกรณ์ต่างๆ เสียหายก่อนที่ฟิวส์จะหลอมละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
โครงสร้างของโปรแกรมการออกแบบ

โครงสร้างของโปรแกรมนั้นมีลักษณะโดยรวมเป็นดังนี้

รูปที่ 4-1 แสดงถึงโครงสร้างของโปรแกรมประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ



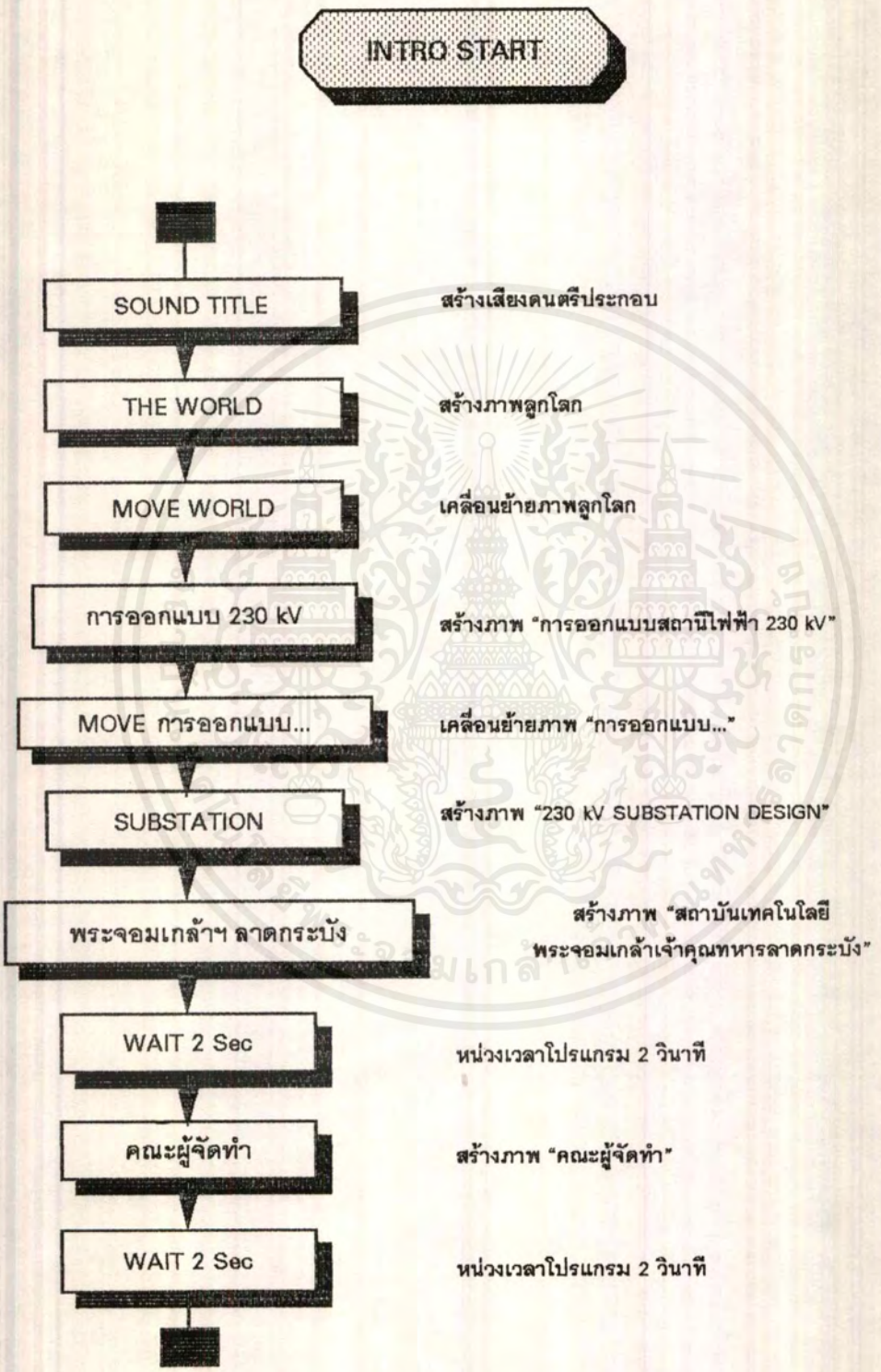
รูปที่ 4-1 แสดงโครงสร้างของโปรแกรม

หลักสำคัญของโปรแกรมอยู่ที่ส่วนของเมนเมนู(MAIN MENU) ซึ่งอธิบายแต่ละหัวข้อเรียงตามลำดับลงมาดังต่อไปนี้

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 INTRO START

ในส่วนนี้เป็นการแนะนำเข้าสู่โปรแกรมการออกแบบโดยมีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 4-2

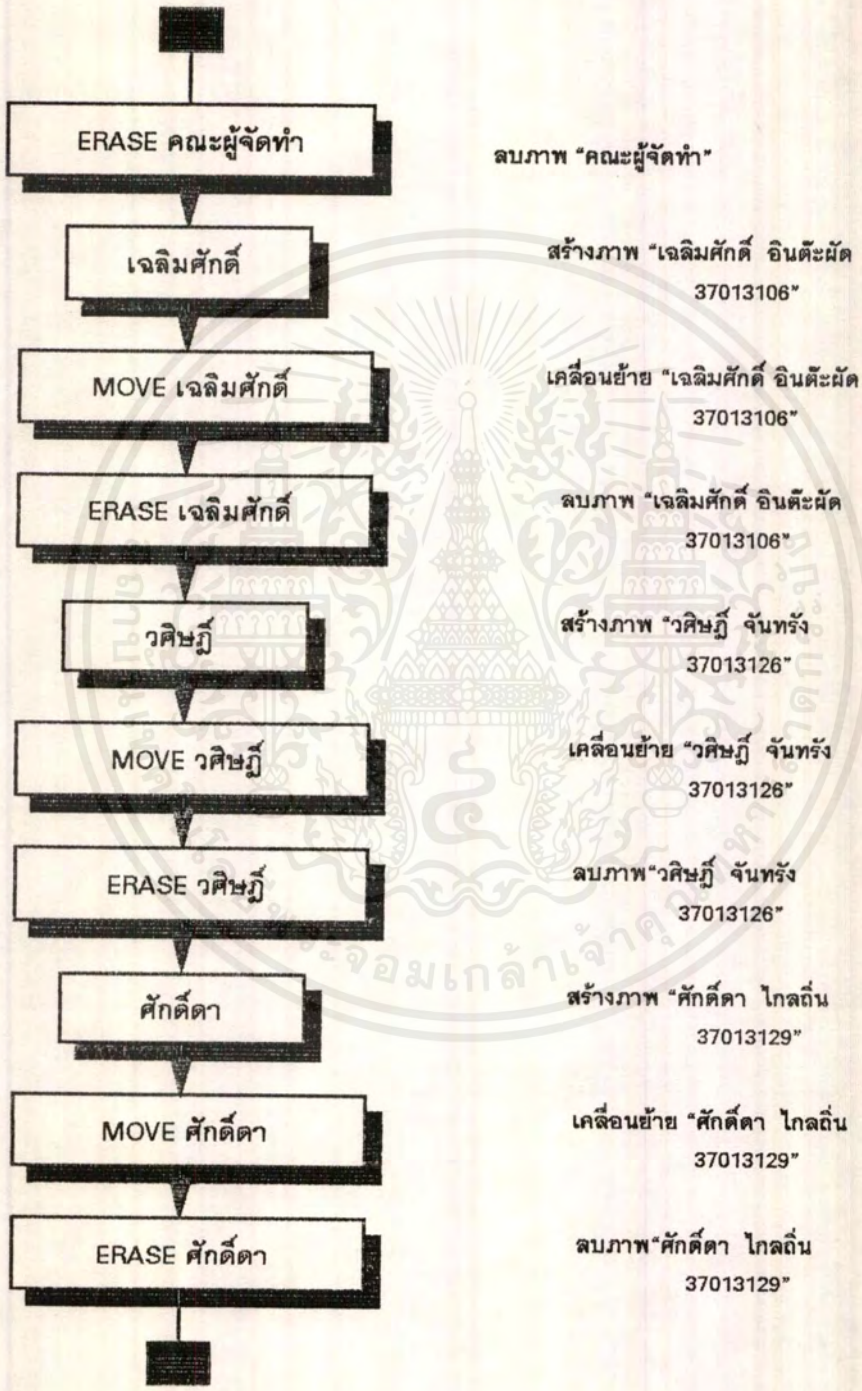


รูปที่ 4-2 แสดงรูปแบบ INTRO START

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

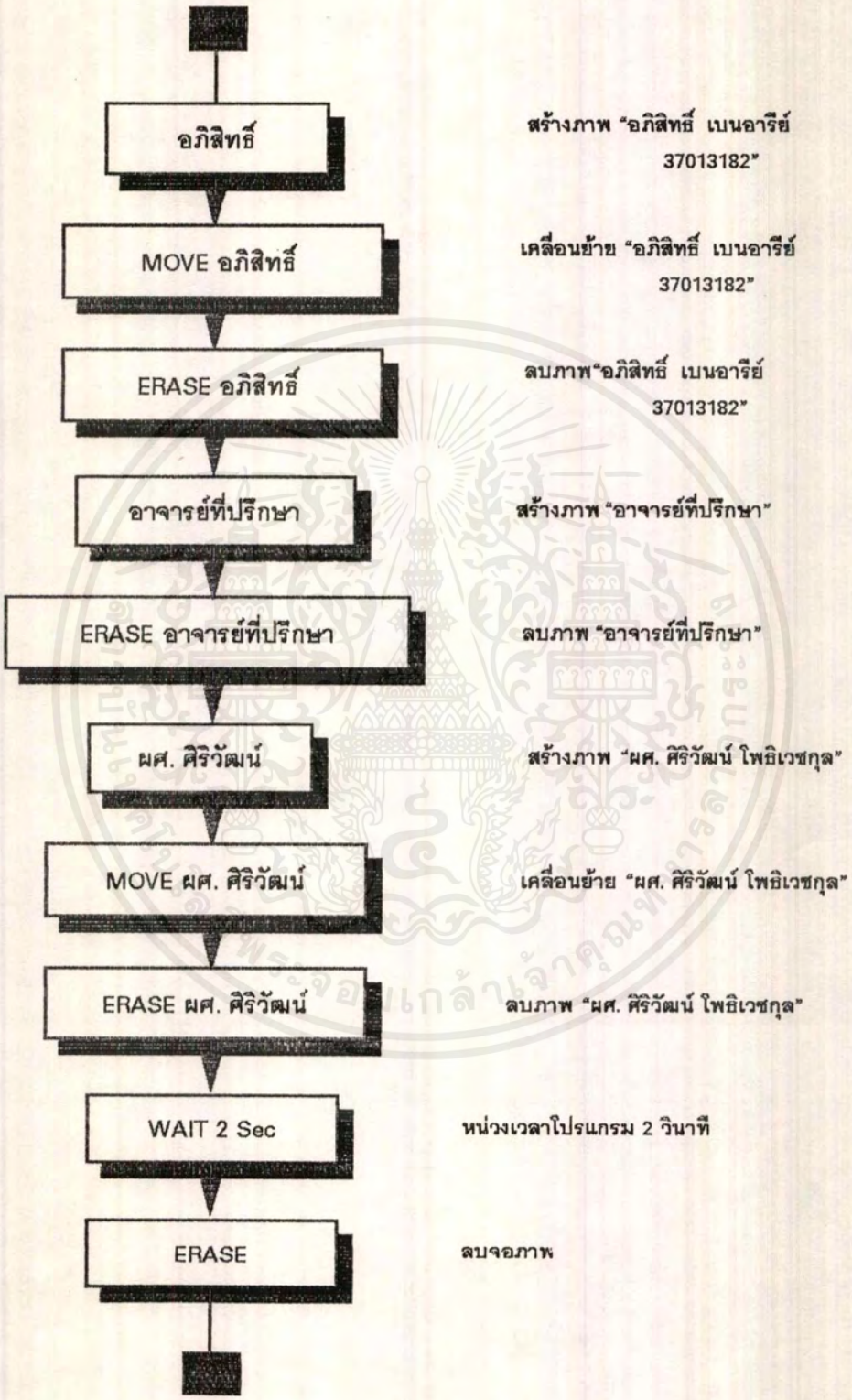
4.2 INTRO NAME

เป็นการทำงานของโปรแกรมในส่วนของการแนะนำคณะผู้จัดทำตลอดจนอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน โดยมีขั้นตอนดังรูปที่ 4-3 และ รูปที่ 4-4



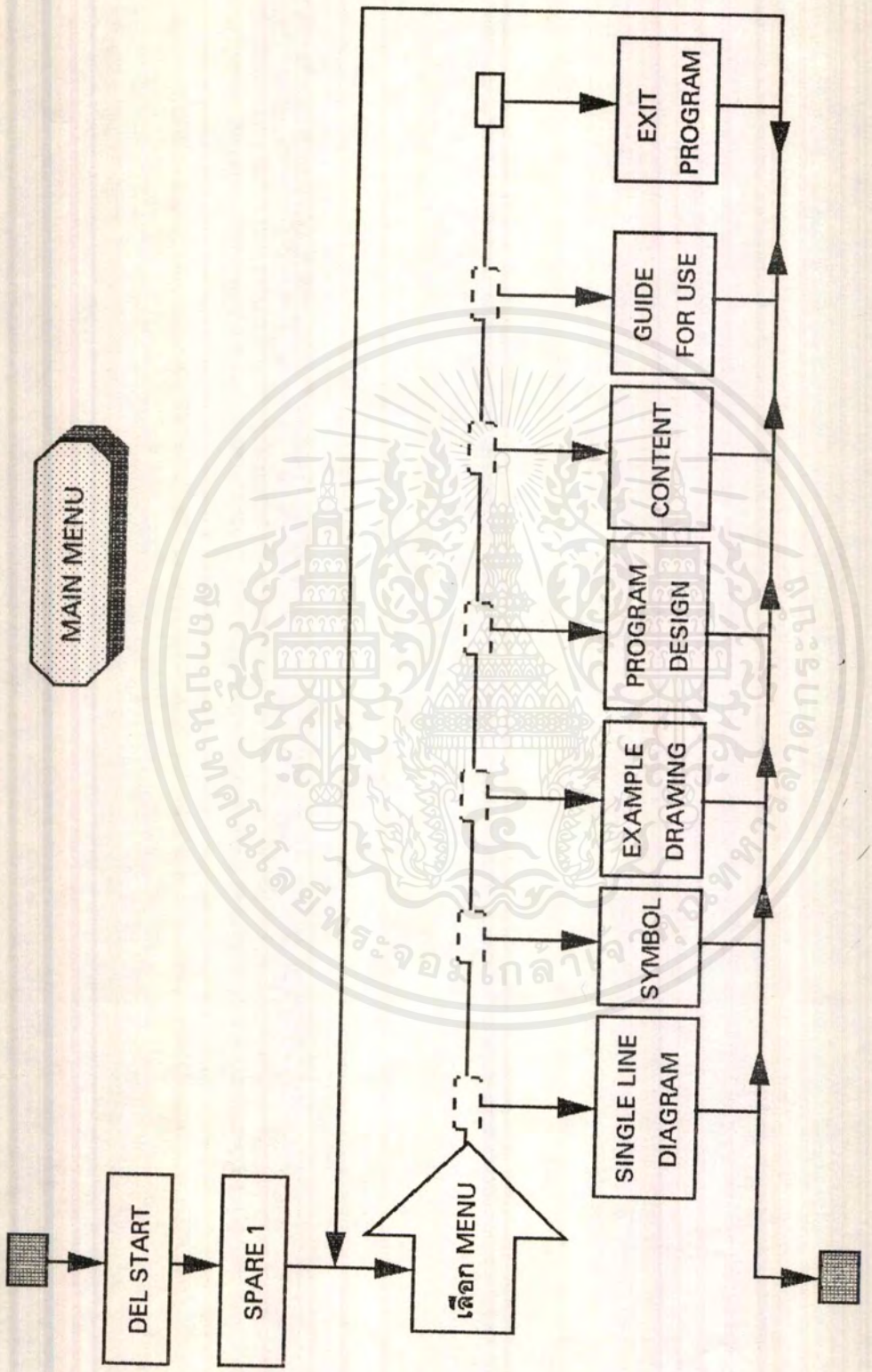
รูปที่ 4-3 แสดงรูปแบบ INTRO NAME

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-4 แสดงรูปแบบ INTRO NAME

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-5 แสดงผังการทำงานของ MAIN MENU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 MAIN MENU

เป็นส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผล เมื่อเข้าสู่ MAIN MENU จะมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. DEL START หมายถึงลบหน้าจอคอมพิวเตอร์ที่มีอยู่ทั้งหมด

2. INTERACTION เป็นตัวเชื่อมที่จะเลือกให้เกิดการสร้างภาพบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยมีตัวเลือกดังนี้ ;

1 SINGLE LINE DIAGRAM

2 SYMBOL

3 EXAMPLE DRAWING

4 PROGRAM DESIGN

5 CONTENT

6 GUIDE FOR USE

7 EXIT PROGRAM

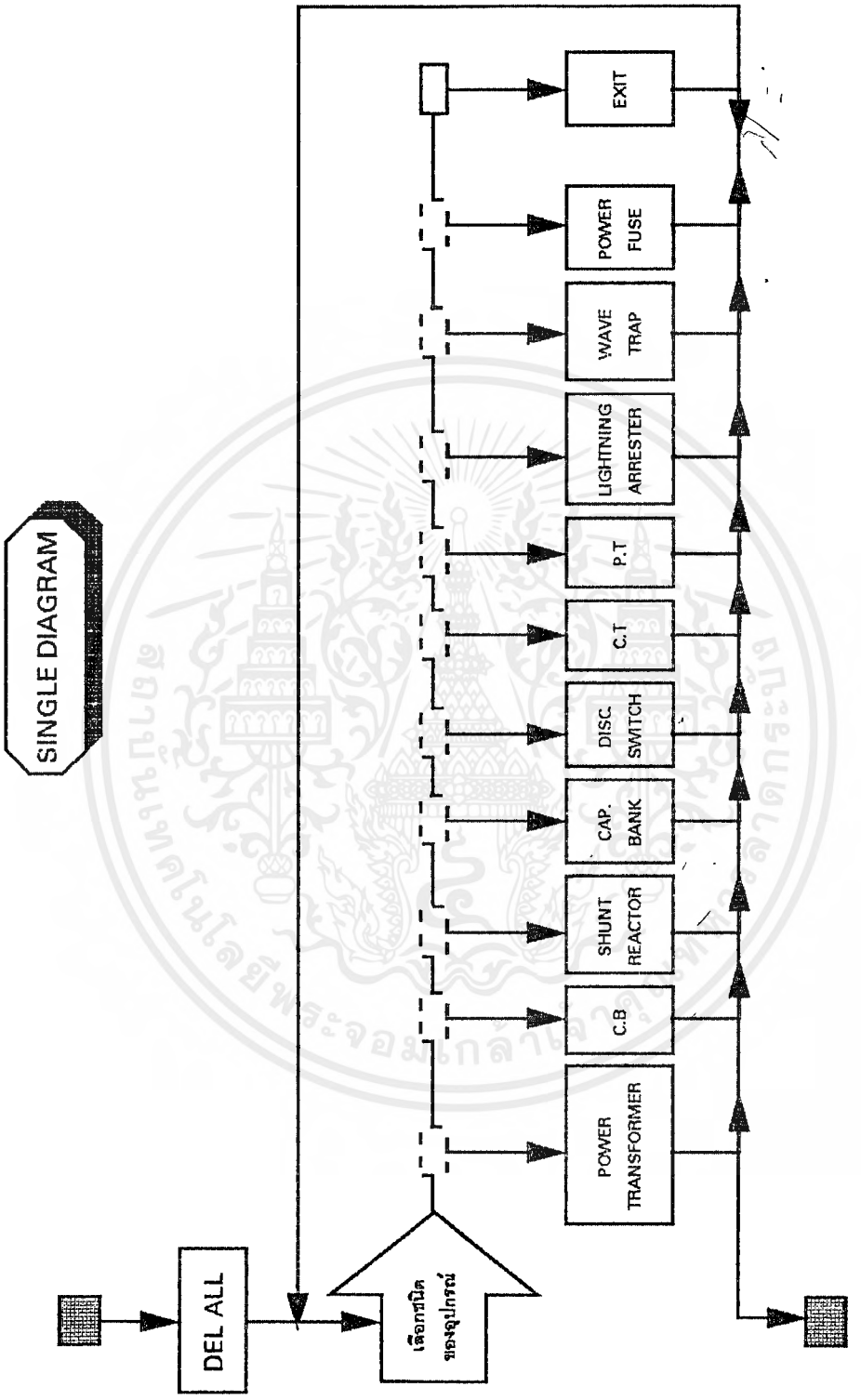
โดยลักษณะการทำงานของ MAIN MENU แสดงไว้ในรูปที่ 4-5

1) จาก MAIN MENU : เมื่อเลื่อนเมาท์ไปที่ SINGLE LINE DIAGRAM คอมพิวเตอร์จะแสดงรูป Single line diagram ขึ้นที่จอ สามารถหาข้อมูลรวมทั้งรายละเอียดอุปกรณ์ในแบบที่แสดงบนจอได้โดยการเลื่อนเมาท์ไปตรงกับอุปกรณ์ที่เราต้องการทราบ คอมพิวเตอร์จะปรากฏภาพข้อมูลของอุปกรณ์ที่เราต้องการ โดยอุปกรณ์ที่อยู่ใน Single line diagram นั้นประกอบไปด้วย

1. POWER TRANSFORMER
2. CIRCUIT BREAKER
3. SHUNT REACTOR
4. CAPACITOR BANK
5. DISCONNECTING SWITCH
6. CURRENT TRANSFORMER
7. POTENTIAL TRANSFORMER
8. WAVE TRAP
9. LIGHTNING ARRESTER
10. POWER FUSE

ถ้าต้องการจบข้อมูลจากหัวข้อ Single line diagram ทำได้โดยการเลื่อนเมาท์ไปที่ปุ่ม "EXIT" หลังจากนั้นคอมพิวเตอร์จะกลับไปสู่ MAIN MENU อีกครั้งหนึ่ง

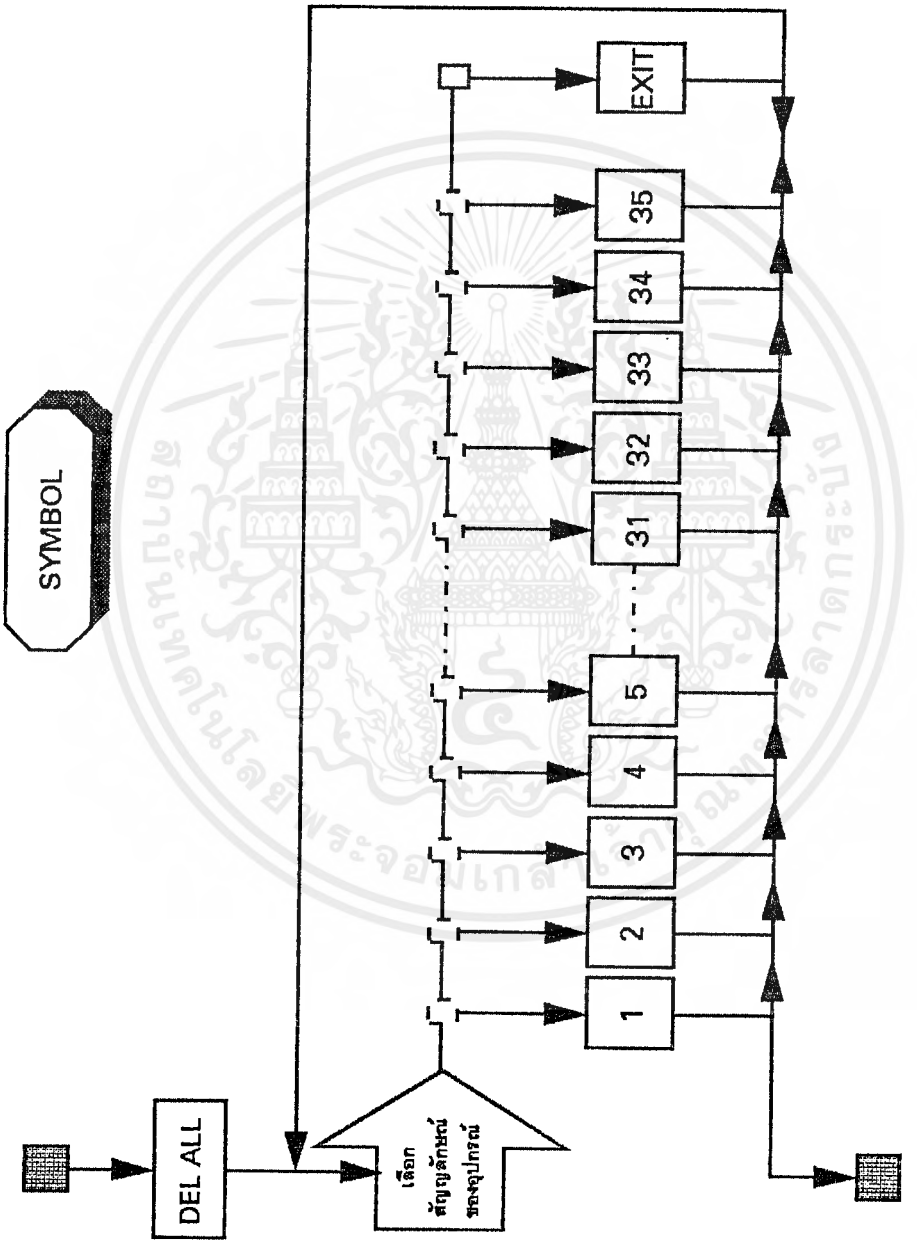
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-6 แสดงผังการทำงานของหมวด SINGLE LINE DIAGRAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) จาก MAIN MENU : ในกรณีที่เราเปลี่ยนหมวดเป็น SYMBOL ซึ่งเป็นหัวข้อเกี่ยวกับรูปสัญญลักษณ์ของอุปกรณ์ที่ใช้ในสถานีไฟฟ้าย่อย อาทิเช่น Circuit breaker , Power Transformer , Disconnecting switch เป็นต้น โดยแสดงไว้ในรูปที่ 4-7 และลักษณะของการออกจากโปรแกรมก็ทำได้เช่นเดียวกันกับหมวดของ Single line diagram ซึ่งได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้แล้ว

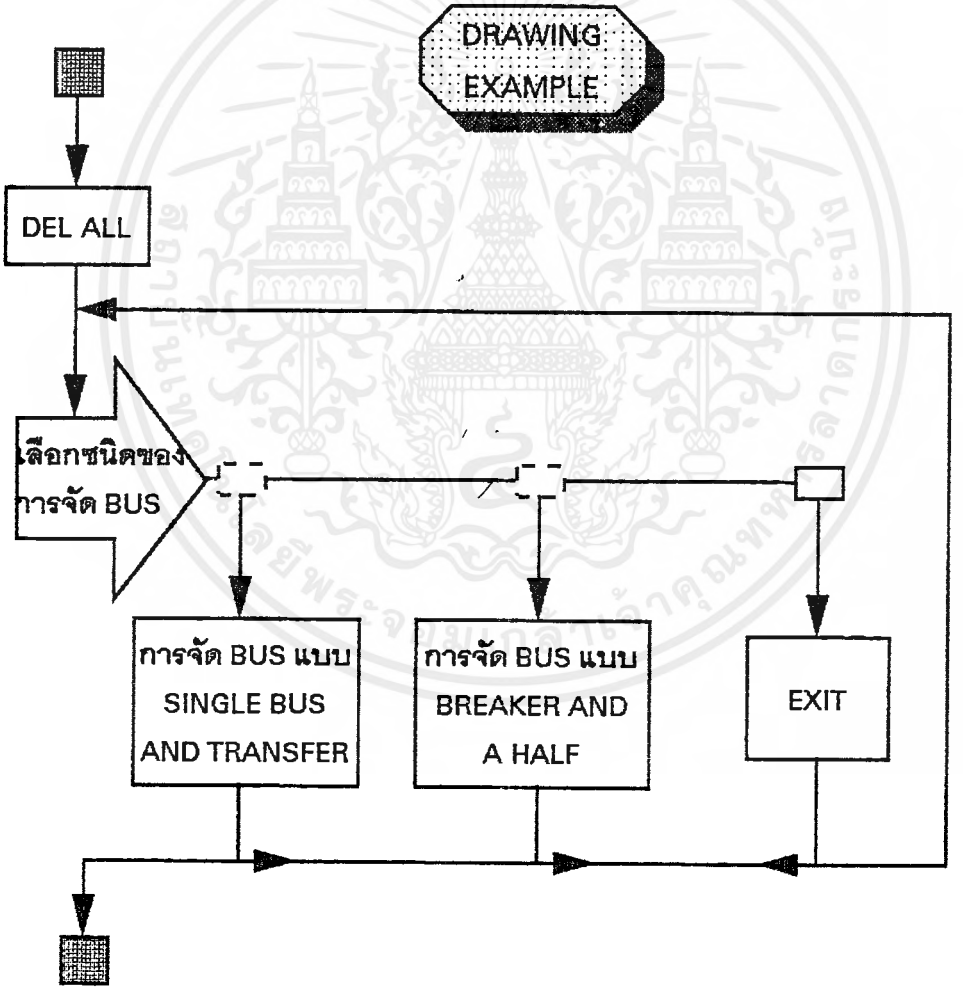


รูปที่ 4-7 แสดงผังการทำงานของหมวด SYMBOL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

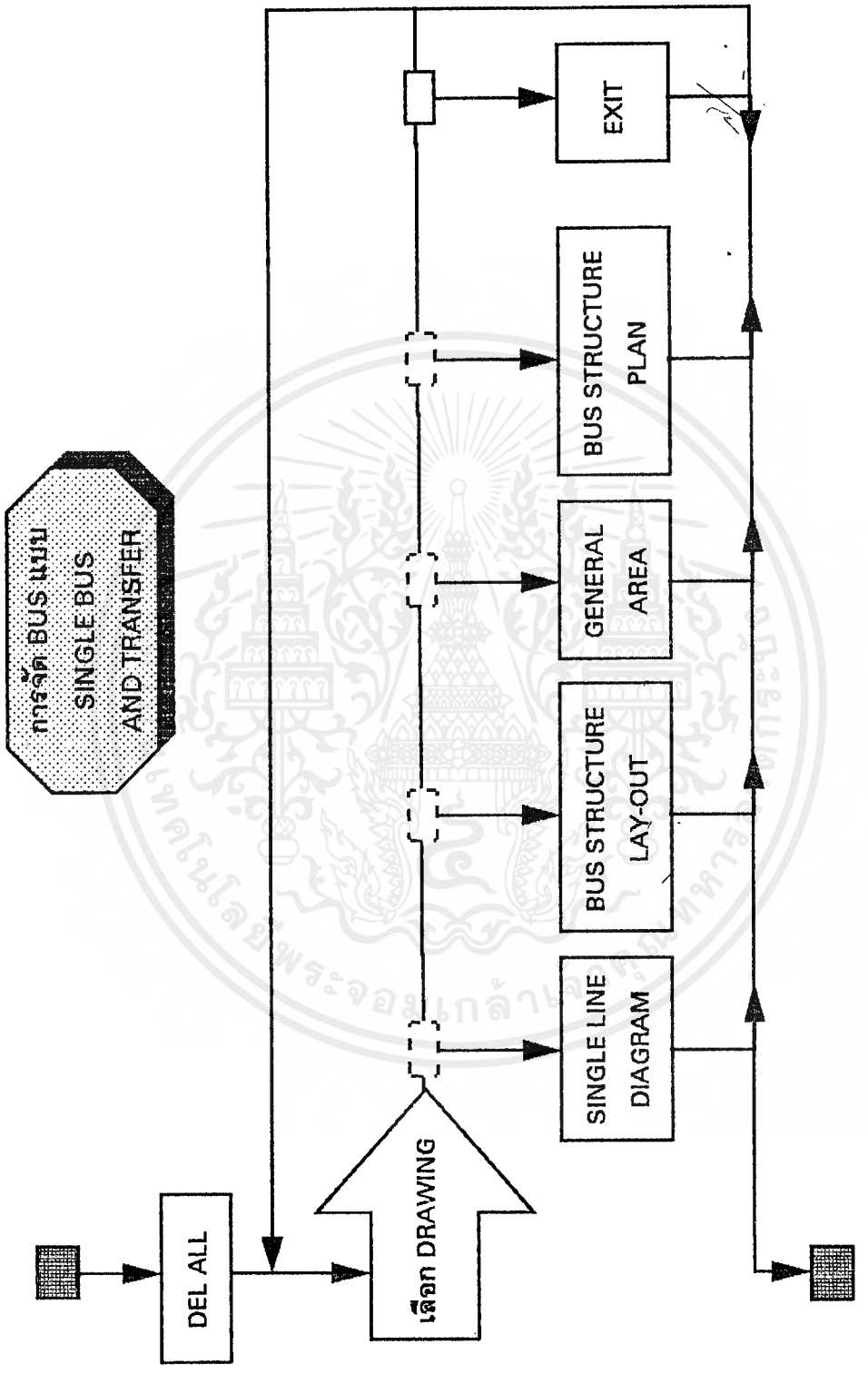
3) จาก MAIN MENU : ในหมวดอื่นๆ ก็เช่นเดียวกัน กรณีที่เป็นหมวดของ EXAMPLE DRAWING จะเป็นการแสดงตัวอย่างภาพที่เป็นมาตรฐานในส่วนที่เหลือนอกเหนือจากSingle line diagram ที่แสดงไว้ก่อนหน้านี้แล้ว ซึ่งในที่นี้จะเป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างการจัดบัสแบบ Single bus and transfer และ Breaker and a half ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4-8 รูปที่ 4-9 และรูปที่ 4-10 ซึ่งมีภาพของ Drawing แต่ละแบบดังนี้

1. Single line diagram
2. Bus structure layout
3. General arrangement
4. Bus structure plan



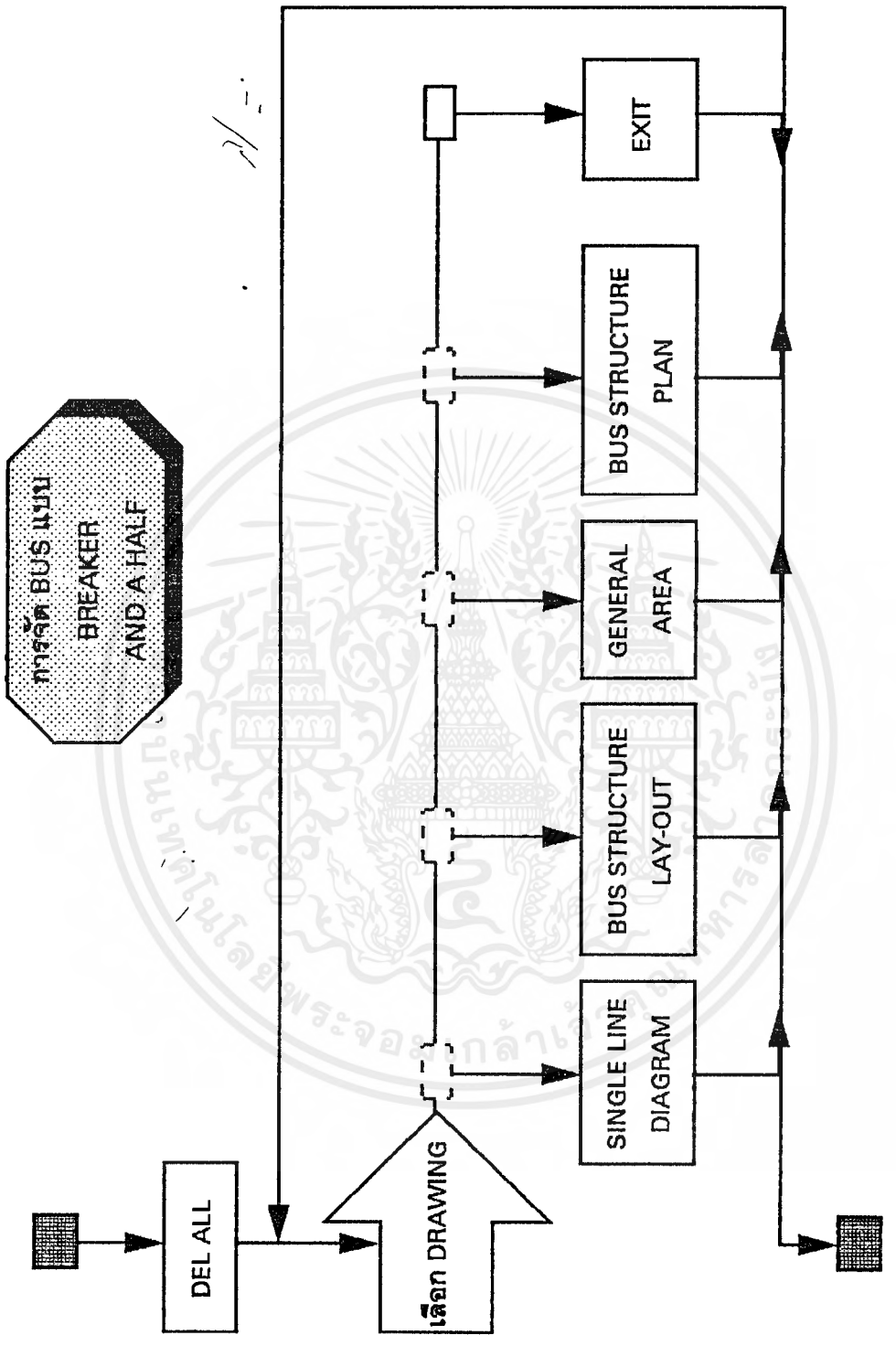
รูปที่ 4-8 แสดงผังการทำงานของหมวด EXAMPLE DRAWING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-9 แสดงผังการทำงานของหมวด EXAMPLE DRAWING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-10 แสดงผังการทำงานของหมวด EXAMPLE DRAWING

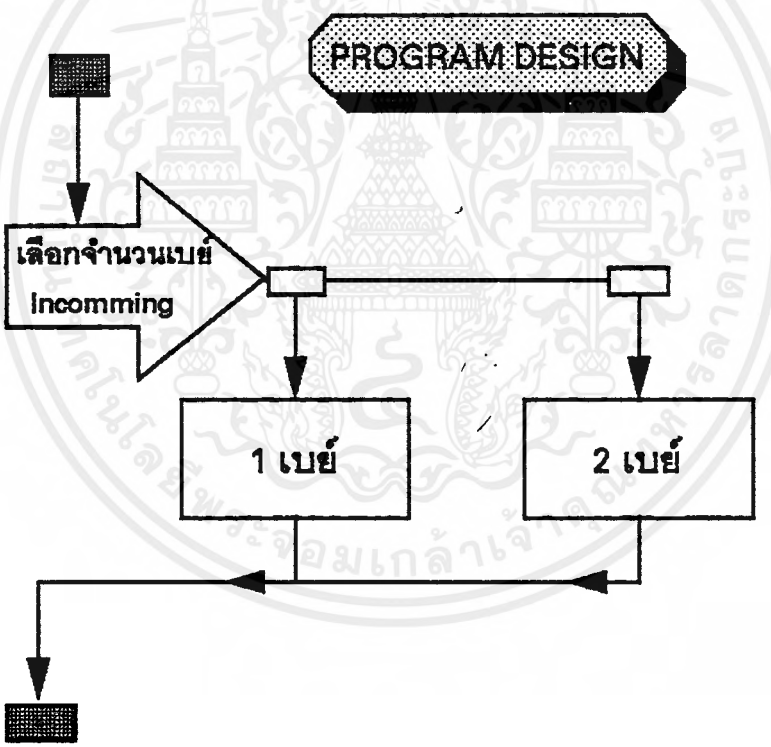
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) จาก MAIN MENU : ในหมวดของ PROGRAM DESIGN จะเป็นการกล่าวถึงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ได้ออกแบบ และการนำโปรแกรมไปใช้งานจริง โดยจะต้องป้อนข้อมูลซึ่งได้แก่

1. ชื่อ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีไฟฟ้าย่อยแห่งนั้น ตลอดจนความต้องการของโหลดสูงสุด ทั้งนี้ต้องสำรวจมาแล้วว่ามีความต้องการรองรับโหลดเท่าไร เพื่อใช้ในการกำหนดจำนวนเบย์และคำนวณหาพื้นที่ทั้งหมด

2. เมื่อใส่ข้อมูลครบแล้วหน้าจอก็จะมีให้เลือกใช้โปรแกรมประมวลผล หรือผู้ออกแบบกำหนดเอง

3. กำหนดจำนวนเบย์ Incomming (กำหนดให้มี 1 เบย์ และ 2 เบย์) ซึ่งมีคำอธิบายประกอบถึงเหตุผลต่างๆ ในการเลือก เพื่อให้ผู้ออกแบบตัดสินใจได้อย่างถูกต้อง ดังรูปที่ 4-11



รูปที่ 4-11 แสดงผังการทำงานของหมวด PROGRAM DESIGN

4. โหลดที่ใช้ในปัจจุบัน (โหลดในสภาวะเริ่มต้นเพื่อกำหนดจำนวนเบย์และคำนวณหาจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้งานจริง) ซึ่งสามารถคำนวณหาจำนวนเบย์ที่เผื่อไว้ในอนาคตได้โดย

เบย์อนาคต = เบย์ทั้งหมด - เบย์จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ใช้โปรแกรมประมวลผล เมื่อใส่ข้อมูลให้ทั้งหมดแล้วคอมพิวเตอร์จะประมวลผลหาจำนวนเบย์ที่ใช้จริงและจำนวนเบย์ที่เผื่อไว้ในอนาคต ดังรูปที่ 4-12 และรูปที่ 4-13 โดยอาศัยหลักการอย่างง่ายๆ คือ..

โหลด = X .....kVA (ความต้องการของโหลดทั้งหมดข้างต้น)

$$\text{กระแส} = \frac{X}{\sqrt{3}(230kv)} = Y \text{ ....A (230 kV คือระบบแรงดันที่ใช้)}$$

$$\text{เบย์} = \frac{Y}{2,000} = Z \text{ ....เบย์ (2,000 คือข้อกำหนดของ กฟผ. 2,000 A/1 เบย์)}$$

∴ เบย์ทั้งหมด(TOTAL BAY) = Z + 0.5 .....Bay (+ 0.5 เพราะการคำนวณของโปรแกรม AUTHOWARE จะนำมาใช้เฉพาะจำนวนเต็มเท่านั้น)

สมมติให้โปรแกรมคำนวณออกมาได้ 2.8 เบย์ ซึ่งความจริงควรกำหนดให้เป็น 3 เบย์ แต่โปรแกรมใช้เพียง 2 เบย์ จึงต้องบวก 0.5 เพื่อให้รวมกันแล้ว 2.8 + 05 = 3.3 โปรแกรมจึงใช้ 3 เบย์ตามความต้องการ แต่ถ้าเป็น 2.3 + 0.5 = 2.8 ก็จะได้เพียง 2 เบย์เท่านั้น

ในกรณีเป็นเบย์ที่ใช้งานจริง(REAL BAY) ก็สามารถคำนวณได้โดยใช้หลักการเหมือนกับข้างต้น

เบย์ที่ใช้ในอนาคต(FUTURE BAY) = TOTAL BAY - REAL BAY

กรณีที่ผู้ออกแบบกำหนดเอง กระแส/เบย์ ควรอยู่ระหว่าง 1,000 1,500 2,000 A ซึ่งสามารถคำนวณจำนวนเบย์ได้เหมือนกับที่ใช้โปรแกรมประมวลผล แต่จำนวนเบย์จะแตกต่างจากข้างต้น (เพราะกระแส/เบย์ ตามมาตรฐานเท่ากับ 2,000 A)

เบย์ที่ใช้งานจริงและเบย์ที่ใช้ทั้งหมดคำนวณเหมือนกับใช้โปรแกรมประมวลผลแต่สามารถแก้ไขได้ โดยที่ถ้าเลือกมากกว่าหรือน้อยกว่าที่คำนวณไว้ จะมีผลกับกระแส/เบย์ในข้างต้นเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

สมมติให้โปรแกรมคำนวณได้ : เบย์ที่ใช้งานจริง = 3 เบย์

เบย์ที่ใช้ในอนาคต = 6 เบย์

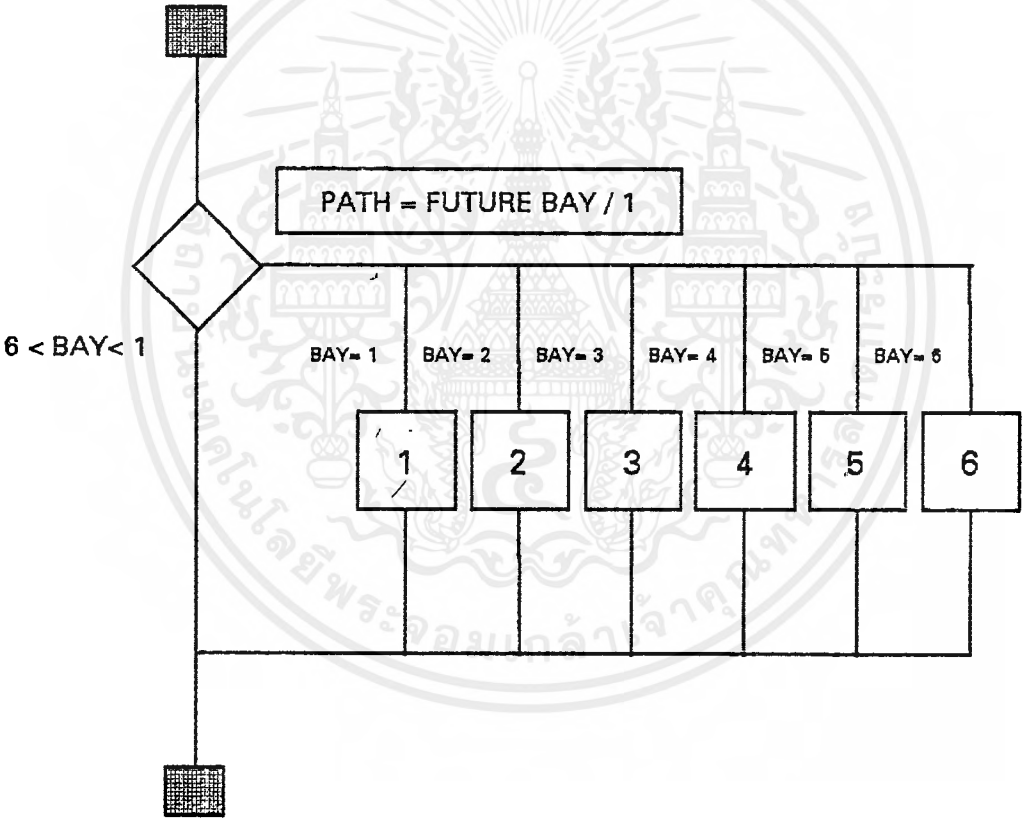
จากนั้นโปรแกรมจะตัดสินใจเลือกแฟ้มข้อมูลที่เป็นเบย์จริง = 3 และเบย์ในอนาคต = 6 (ในกรณีที่โปรแกรมคำนวณได้นอกเหนือจากนี้ ก็ตัดสินใจเลือกแฟ้มข้อมูลอื่นๆ แทน) แสดงผลออกมาทางหน้าจอคอมพิวเตอร์เป็น Single line diagram ตามที่ต้องการ พร้อมทั้งคำนวณจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้จริงรวมทั้งพื้นที่ที่ใช้ในการสร้างสถานีไฟฟ้าย่อยทั้งหมดด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยกำหนดให้ : จำนวนเบย์ที่ใช้ทั้งหมดไม่ควรเกิน 16 เบย์ (โหลดสูงสุด)
จำนวนเบย์ที่ใช้งานจริงไม่เกิน 10 เบย์ (โหลดที่ใช้ในปัจจุบัน)
จำนวนเบย์ที่ใช้ในอนาคตไม่เกิน 6 เบย์

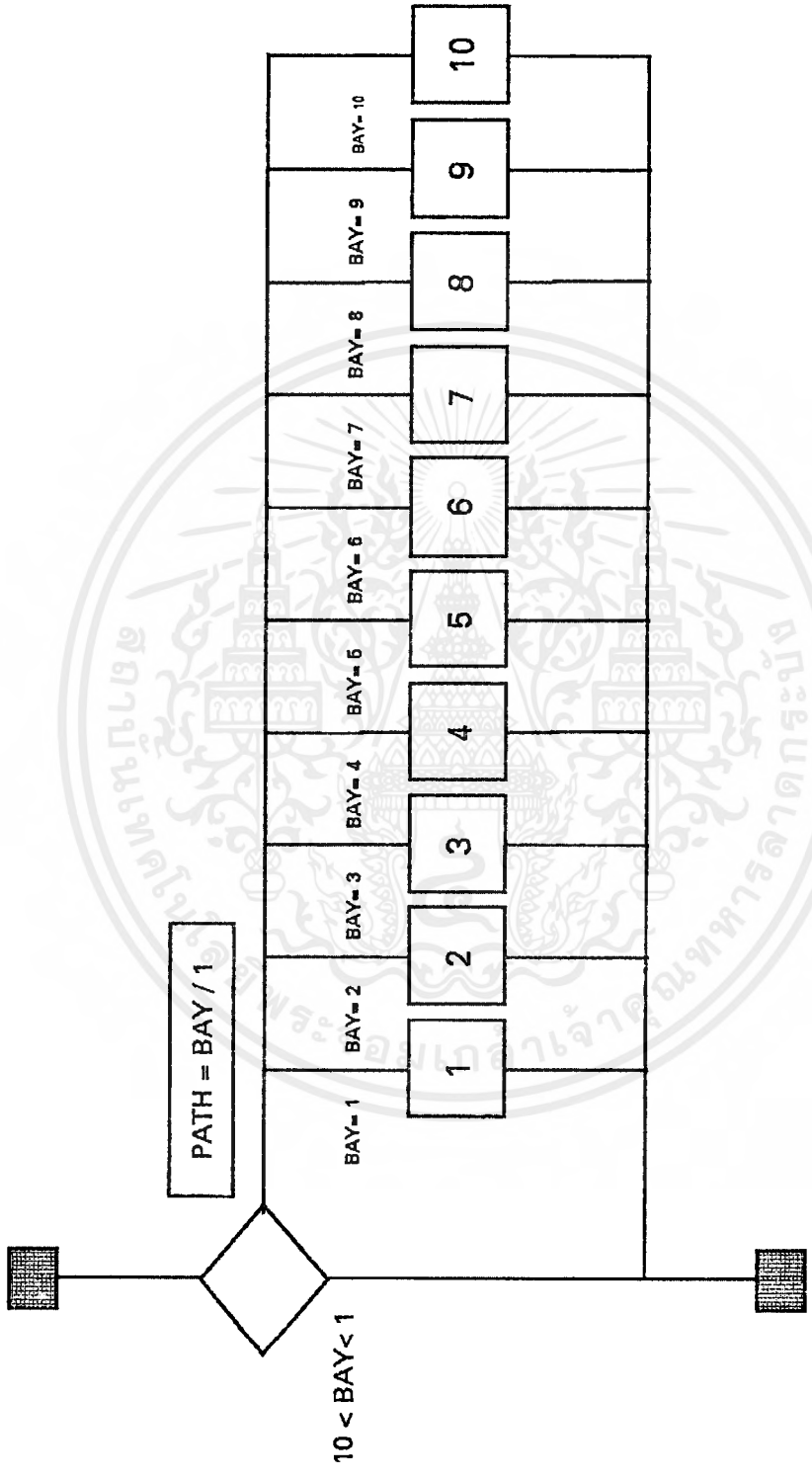
ทั้งนี้โปรแกรมจะไม่รับข้อมูลที่ต่างจากข้างต้น :

เช่น 0 (ต่ำกว่าที่กำหนดไว้)
16 (เกินกว่าที่กำหนดไว้)



รูปที่ 4-12 แสดงผังการทำงานของหมวด PROGRAM DESIGN ในการตัดสินใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

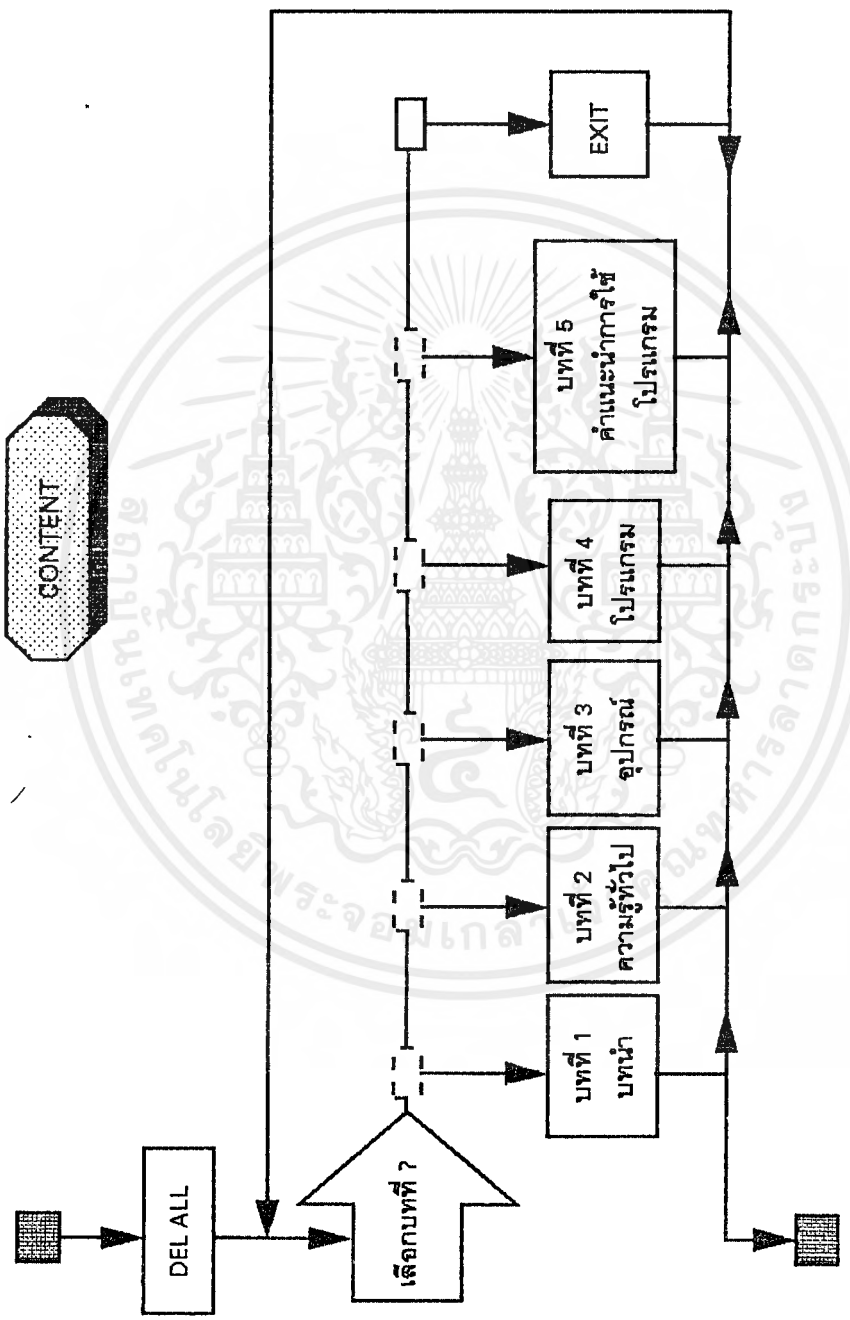


รูปที่ 4-13 แสดงผังการทำงานของหมวด PROGRAM DESIGN ในการตัดสินใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) จาก MAIN MENU : ส่วนต่อไปเป็นหมวด CONTENT เป็นการรวบรวมข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับเรื่องที่ได้ทำการศึกษาทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 4-14

6) หมวดสุดท้ายคือ EXIT เป็นหมวดที่กลับไปสู่ MAIN MENU อีกครั้งหนึ่ง



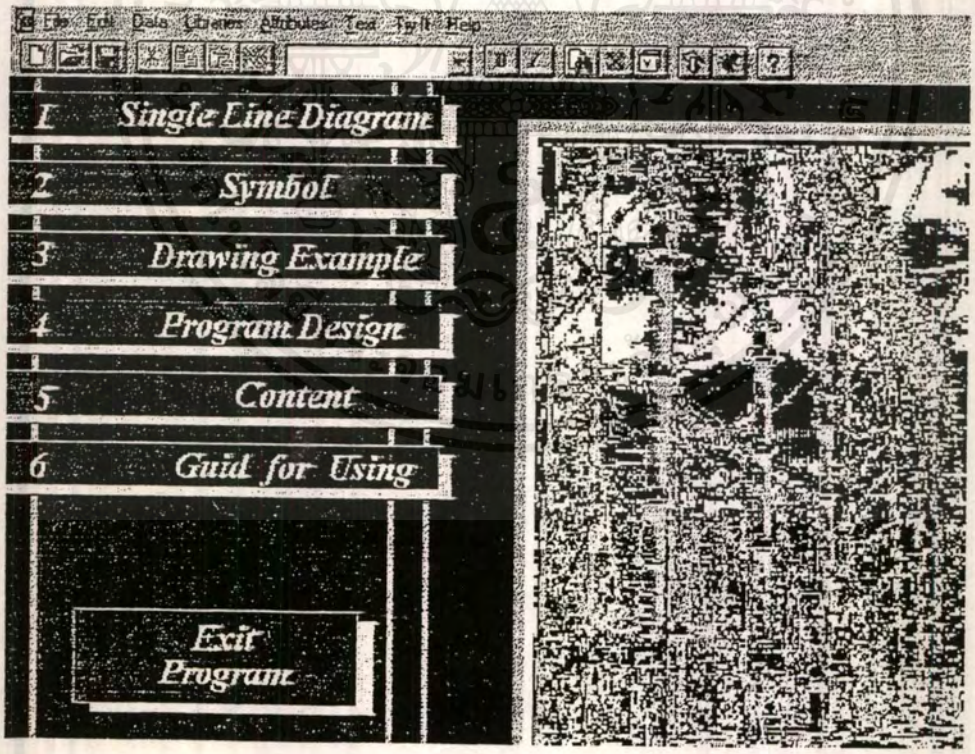
รูปที่ 4-14 แสดงผังการทำงานของหมวด CONTENT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
คำแนะนำการใช้โปรแกรม

เมื่อเข้าสู่โปรแกรมการใช้งาน คอมพิวเตอร์จะแสดงภาพหน้าจอดังรูปที่ 5-1 หมายถึงเมนเมนู (Main menu) ซึ่งประกอบด้วยรายละเอียด 7 รายการดังนี้

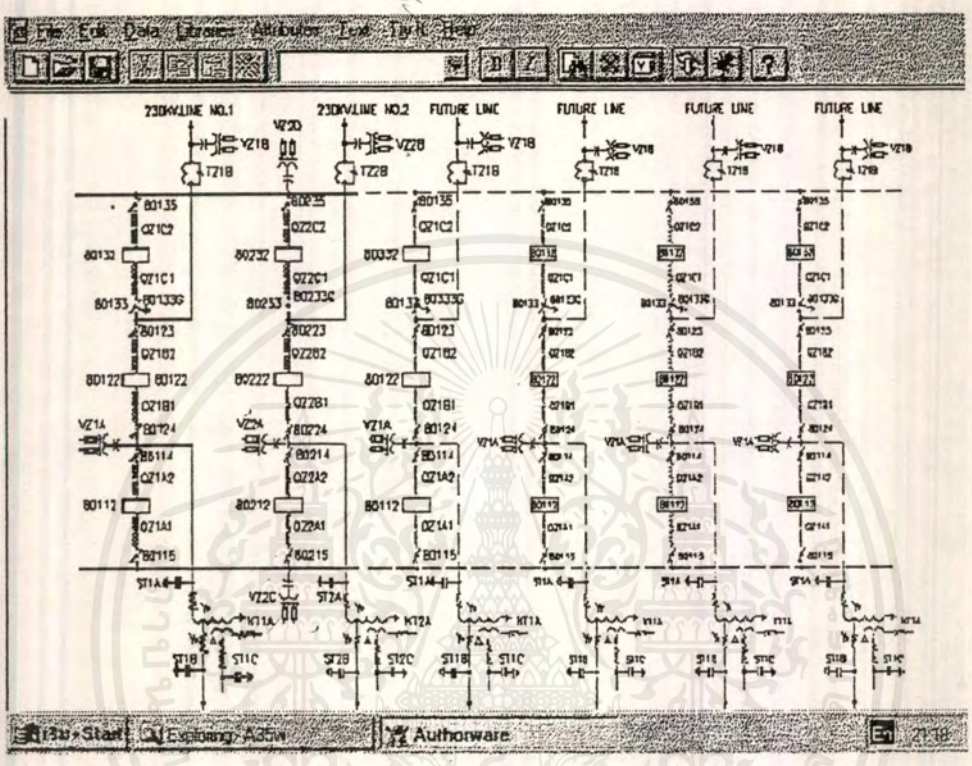
1. Single line diagram
2. Symbol
3. Drawing example
4. Program design
5. Content
6. Guid for using
7. Exit program



รูปที่ 5-1 ลักษณะของเมนเมนู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

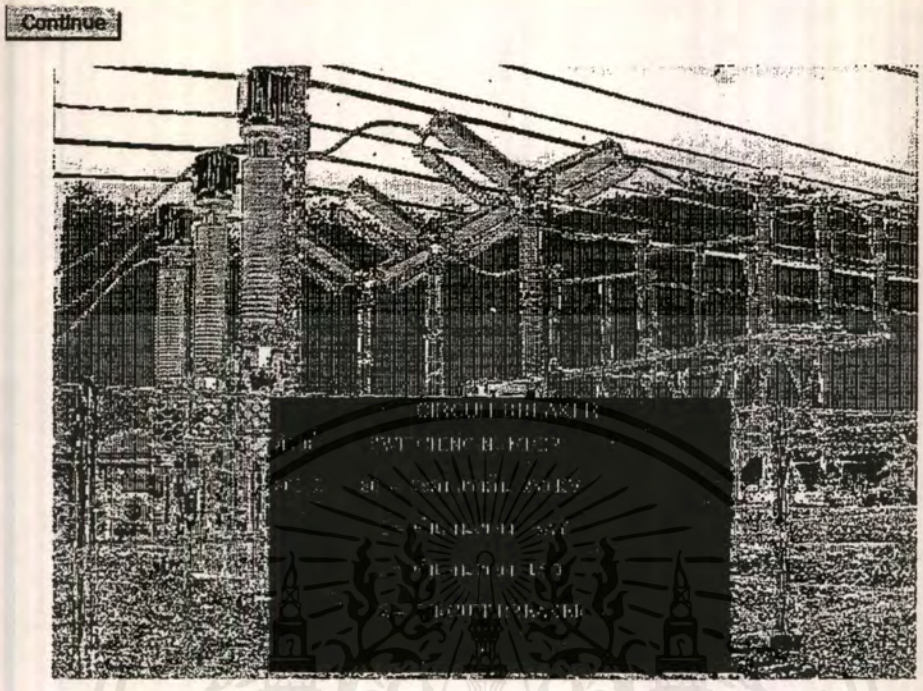
5.1 Single line diagram เมื่อคลิ๊กเมาท์ไปเลือกหมวดนี้ก็จะปรากฏภาพของ Single line diagram ออกมาโชว์ที่หน้าจอดังรูปที่ 5-2



รูปที่ 5-2 แสดงภาพเมื่อเลื่อนเมาท์ไปเลือกหมวด Single line diagram

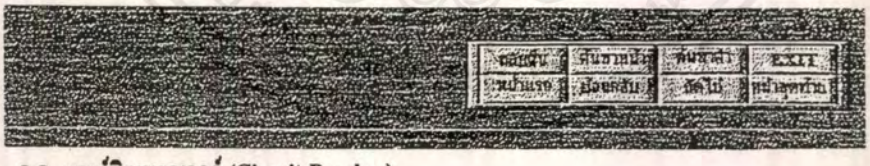
จากรูปที่ 5-2 ถ้าต้องการทราบสัญญาลักษณ์ที่อยู่ใน Single line diagram ว่าคืออุปกรณ์อะไร มีหน้าที่อย่างไร รูปร่าง การกำหนดหมายเลขของอุปกรณ์เป็นอย่างไร รายละเอียดของอุปกรณ์นั้นๆ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะปรากฏอยู่บนจอคอมพิวเตอร์ทั้งหมดโดยเลื่อนเมาท์ชี้ไปที่สัญญาลักษณ์แล้วคลิ๊ก 1 ครั้ง(โดยสังเกตเห็นเมาท์เปลี่ยนจากลูกศรเป็นรูปมือแทน) ดังรูปที่ 5-3 เป็นการคลิ๊กเมาท์ไปที่เซอร์กิตเบรคเกอร์ , CB (รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีหมายเลขอุปกรณ์คือ 80112 , 80122 , 80132 ใน Single line diagram) ก็จะปรากฏเป็นภาพจริงออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากรูปที่ 5-3 แสดงตัวอย่างภาพจริงเมื่อคลิ๊กเมาท์ไปที่เซอร์กิตเบรคเกอร์

จากรูปที่ 5-3 จะเห็นว่ามีปุ่ม Continue อยู่ที่ด้านบนทางซ้ายมือของภาพ ถ้าต้องการทราบข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดของเซอร์กิตเบรคเกอร์ ซึ่งสามารถใช้เมาท์คลิ๊กที่ปุ่มนี้ได้ดังในรูปที่ 5-4



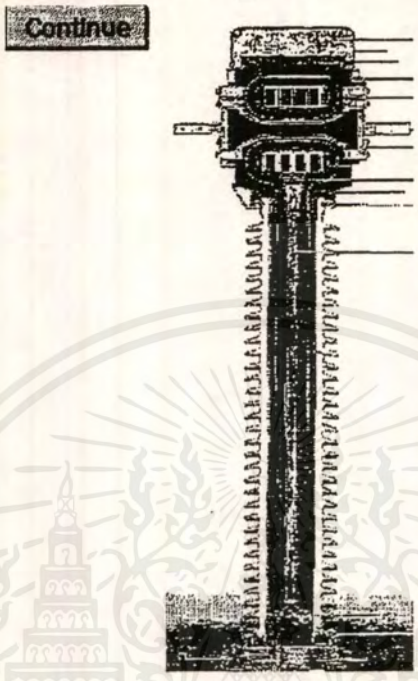
3.2. เซอร์กิตเบรคเกอร์ (Circuit Breaker)

โดยปกติแล้วการเปิดวงจรไฟฟ้าขณะที่มีกระแสจำนวนมากไหลอยู่จะมีเปลวอาร์คและเกิดขึ้นตรงจุดที่เปิดวงจร ความรุนแรงของการอาร์คขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่ไหลในวงจร ถ้าใช้สวิทช์ธรรมดาเปิดวงจรแล้วความร้อนจากการอาร์คนั้นจะทำให้หน้าสัมผัสหลอมละลายเสียหายได้ จึงต้องใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าเซอร์กิตเบรคเกอร์แทน ซึ่งมีส่วนประกอบพิเศษที่ทำการดับอาร์คได้ในเวลาอันสั้น นอกจากนี้เซอร์กิตเบรคเกอร์ยังใช้ในการปลดวงจรเมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นในระบบ ซึ่งกระแสลัดวงจรจะมีค่ามากกว่ากระแสปกติหลายเท่า เมื่อทำการแก้ไขการลัดวงจรเรียบร้อยแล้วก็จะทำการต่อเซอร์กิตเบรคเกอร์เข้าไปใหม่โดยอัตโนมัติเพื่อให้จ่ายกระแสไฟฟ้าตามเดิม ซึ่งเพิ่มความปลอดภัยและเพิ่มความเสถียรภาพให้แก่ระบบด้วย

รูปที่ 5-4 แสดงรายละเอียดของเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่ปรากฏบนจอคอมพิวเตอร์

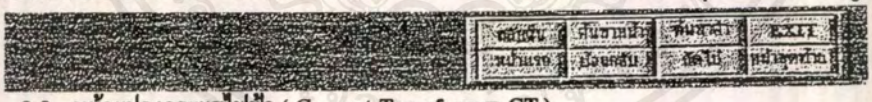
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5-2 เมื่อคลิ๊กเมาท์ไปที่สัญญาลักษณ์ของหม้อแปลงกระแส , CT (รูปคอล์ยสองชุดที่มีหมายเลขอุปกรณ์คือ QZ1A1 , QZ1A2 , QZ1B1 , QZ1B2 , QZ1C1 , QZ1C2 ใน Single line diagram) ก็จะปรากฏเป็นภาพจริงออกมาดังรูปที่ 5-5



จากรูปที่ 5-5 แสดงตัวอย่างภาพจริงเมื่อคลิ๊กเมาท์ไปที่หม้อแปลงกระแส

จากรูปที่ 5-5 จะเห็นว่ามีปุ่ม Continue อยู่ที่ด้านบนทางซ้ายมือของภาพ ถ้าต้องการทราบข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดของหม้อแปลงกระแสก็สามารถใช้เมาท์คลิ๊กที่ปุ่มนี้ได้ดังในรูปที่ 5-6



3.6 หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (Current Transformer CT.)

มีหลักการเหมือนหม้อแปลงไฟฟ้าแต่มีขดปฐมภูมิ (Primary)ต่ออนุกรมเข้ากับสายส่ง โดยออกแบบให้มีกระแสไหลด้านทุติยภูมิ(Secondary) ได้ไม่เกินขีดกำหนดในขณะที่มีกระแสไหลด้านปฐมภูมิเต็มที่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า CT- ratio โดยปกติที่ใช้อยู่จะมีค่าพิกัดต่างๆ กัน เช่น 1200 : 5 , 1000 : 5 , 900 ; 5 , 800 : 5 , 600 : 5 , 500 : 5 , 400 : 5 ,300 : 5 , 100 : 5 A แล้วแต่จะต่อซึ่งผู้ปฏิบัติงานควรรู้ CT-ratio ในขณะที่ใช้งานอยู่ เพื่อจะได้ทราบว่าหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าจะเต็มเมื่อไหร่ได้ทันท่วงที

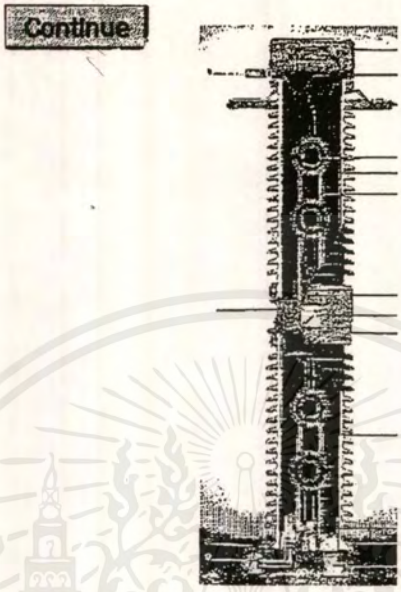
หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าใช้ป้อนกระแสไฟฟ้าให้ดีมานมิเตอร์(Demand Meter) เช่น แอมป์มิเตอร์(Amp Meter) หรือรีเลย์ป้องกัน(Protective relay) เช่น โอเวอร์-เคอเรนท์-รีเลย์(Over current relay) ดิฟเฟอเรนเชี่ยล-รีเลย์(Differential Relay) ใช้ประกอบกับหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า โดยหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าป้อนไฟให้ขดลวดกระแส(Current coil) และหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าป้อนแรงดันให้แก่ขดลวดแรงดัน(Potential coil)ของ วัตต์มิเตอร์(Wattmeter) วาร์มิเตอร์ (Varmeter) เป็นต้น

ข้อห้ามสำคัญสำหรับหม้อแปลงกระแสก็คือห้ามเปิดวงจรด้านทุติยภูมิโดยเด็ดขาด มิ

รูปที่ 5-6 แสดงรายละเอียดของหม้อแปลงกระแสที่ปรากฏบนจอคอมพิวเตอร์

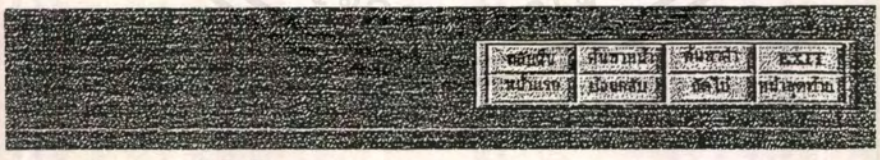
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5-2 เมื่อคลิ๊กเมาท์ไปที่สัญญาลักษณ์ของหม้อแปลงแรงดัน , PT (รูปฟิวส์ต่ออยู่กับคาปาซิเตอร์ที่มีหมายเลขอุปกรณ์คือ VZ1A , VZ1B ใน Single line diagram) ก็จะปรากฏเป็นภาพจริงออกมาดังแสดงในรูปที่ 5-7



จากรูปที่ 5-7 แสดงตัวอย่างภาพจริงเมื่อคลิ๊กเมาท์ไปที่หม้อแปลงแรงดัน

จากรูปที่ 5-7 จะเห็นว่ามีปุ่ม Continue อยู่ที่ด้านบนทางซ้ายมือของภาพ ถ้าต้องการทราบข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดของหม้อแปลงแรงดันก็สามารถใช้เมาท์คลิ๊กที่ปุ่มนี้ได้ดังในรูปที่ 5-8



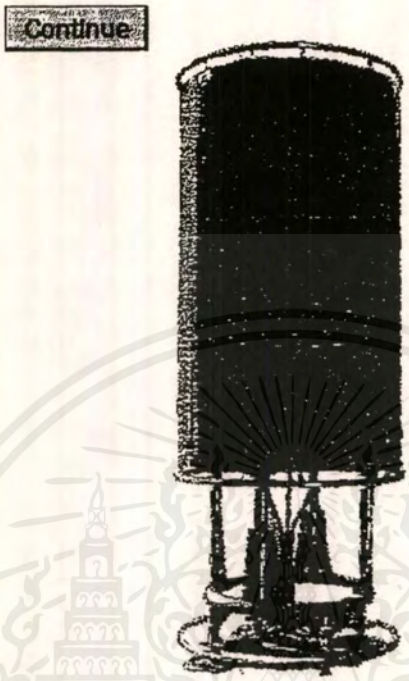
3.7 หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า (Potential Transformer PT.)

หม้อแปลงแรงดันใช้สำหรับแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าในระบบส่งเพื่อเอาไปวัดด้วยมิเตอร์แรงดันต่ำธรรมดา โดยขดลวดแรงดันสูง(HV-winding) จะต่อกับสายส่งแรงสูง ส่วนด้านขดลวดแรงดันต่ำ(LV-win ding)ต่อเข้ามิเตอร์ เช่น โวลท์มิเตอร์(Voltmeter) หรือรีเลย์ ได้แก่รีเลย์แรงดันเกิน รีเลย์แรงดันต่ำ เป็นต้น การต่อหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าจะต่อขนานกับระบบระหว่างไลน์กับไลน์หรือไลน์กับกราวด์

รูปที่ 5-8 แสดงรายละเอียดของหม้อแปลงแรงดันที่ปรากฏบนจอคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5-2 เมื่อคลิ๊กเมาท์ไปที่สัญญาลักษณ์ของเวฟแทล็ป (รูปคอล์ยต่ออยู่กับคาปาซิเตอร์ที่มีหมายเลขอุปกรณ์คือ TZ1B ใน Single line diagram) ก็จะปรากฏเป็นภาพจริงออกมาดังแสดงในอยู่รูปที่ 5-9



จากรูปที่ 5-9 แสดงตัวอย่างภาพจริงเมื่อคลิ๊กเมาท์ไปที่เวฟแทล็ป

จากรูปที่ 5-9 จะเห็นว่ามีปุ่ม Continue อยู่ที่ด้านบนทางซ้ายมือของภาพ ถ้าต้องการทราบข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดของเวฟแทล็ปก็สามารถใช้เมาท์คลิ๊กที่ปุ่มนี้ได้ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 5-10

3.9 เวฟ-แทล็ป (Wave trap)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการดักสัญญาณแคร์เรีย(Carrier) ตรงปลายสายส่งที่ส่งมาจากอีกสถานีหนึ่ง เวฟ-แทล็ปจะต่ออนุกรมเข้ากับสายส่งตรงปลายสายแต่ละข้างก่อนเข้าสถานีไฟฟ้าย่อย มีคุณสมบัติเป็น Parallel resonant circuit ซึ่งมีค่าความต้านทานสูง เพื่อรับและส่งสัญญาณแคร์เรียที่มีความถี่สูงแต่ไม่มีผลต่อกระแสไฟฟ้าในระบบ

รูปที่ 5-10 แสดงรายละเอียดของเวฟแทล็ปที่ปรากฏบนจอคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>จากรูปที่ 5-6 , 5-8 , 5-10</u> มีปุ่มให้เลือกทางด้านมุมบนขวามือซึ่งแต่ละปุ่มสามารถอธิบายได้ดังนี้

ปุ่มกลับคืน หมายถึง ปุ่มกลับสู่สภาพเดิมเมื่อทำรายการต่างๆ เสร็จเรียบร้อยแล้ว

ปุ่มค้นหาหน้า หมายถึง คอมพิวเตอร์จะแสดงรายการจำนวนหน้าทั้งหมดให้เลือกซึ่งเราสามารถเลือกหน้าที่ต้องการค้นหาได้จากปุ่มนี้

ปุ่มค้นหาคำ หมายถึง เมื่อเราป้อนคำที่ต้องการค้นหา คอมพิวเตอร์จะทำการค้นหาคำที่ต้องการทราบและบอกว่าอยู่ที่หน้าไหนบ้าง

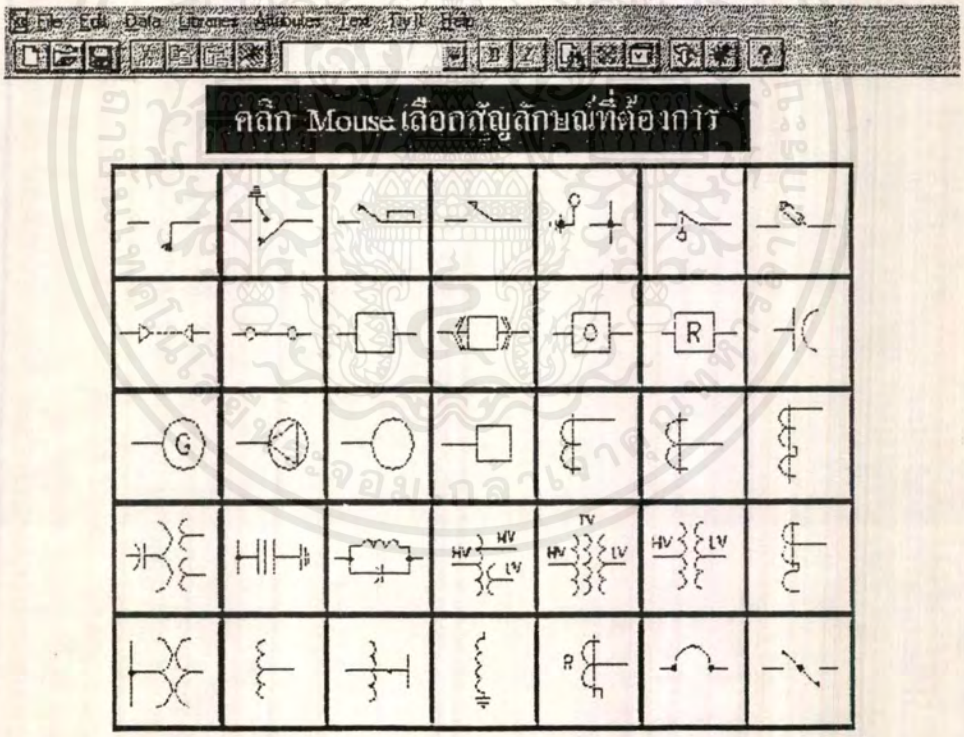
ปุ่มหน้าแรก หมายถึง เปิดหน้าแรกของการค้นหา

ปุ่มหน้าสุดท้าย หมายถึง เปิดหน้าสุดท้ายของการค้นหา

ปุ่มถัดไป หมายถึง เปิดหน้าถัดไปต่อจากหน้าปัจจุบัน

ปุ่มย้อนกลับ หมายถึง ย้อนกลับไปอีกหนึ่งหน้าก่อนหน้าปัจจุบัน

ปุ่ม Exit หมายถึง ย้อนกลับไปที่เมนเมนู



รูปที่ 5-11 แสดงรูปสัญญาลักษณ์ที่ปรากฏบนจอคอมพิวเตอร์

5.2 Symbol เมื่อทำการคลิ๊กเมาท์ไปเลือกหมวดนี้ จะปรากฏรูปสัญญาลักษณ์ที่ใช้ในการเขียนแบบไฟฟ้าโดยทั่วไปของ กฟผ. ดังแสดงในรูปที่ 5-11 ถ้าคลิ๊กเมาท์ชี้ไปที่สัญญาลักษณ์ที่ต้องการทราบตัวใดตัวหนึ่ง ก็แสดงถึงชื่อเต็มของอุปกรณ์ชนิดนั้น เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคลิ๊กเมาท์ไปที่ คือ Disconnecting switch grounding normally close

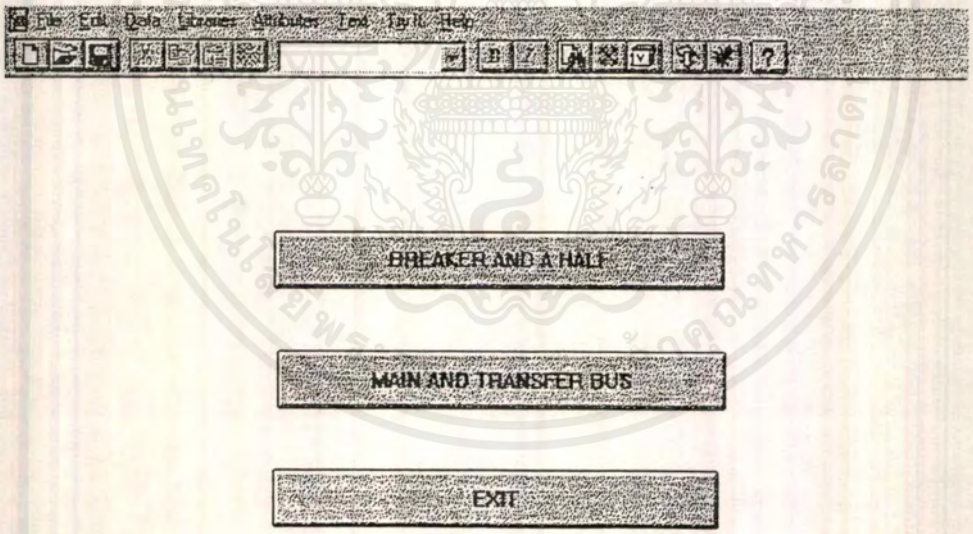
คือ Double side break Disconnecting switch

คือ Shunt reactor

คือ Power capacitor

5.3 Drawing Example เมื่อคลิ๊กเมาท์ไปเลือกหมวดนี้จะปรากฏปุ่มให้เลือกรายการดังแสดงอยู่ในรูปที่ 5-12 คือ

1. Breaker and a half
2. Main and transfer bus
3. Exit



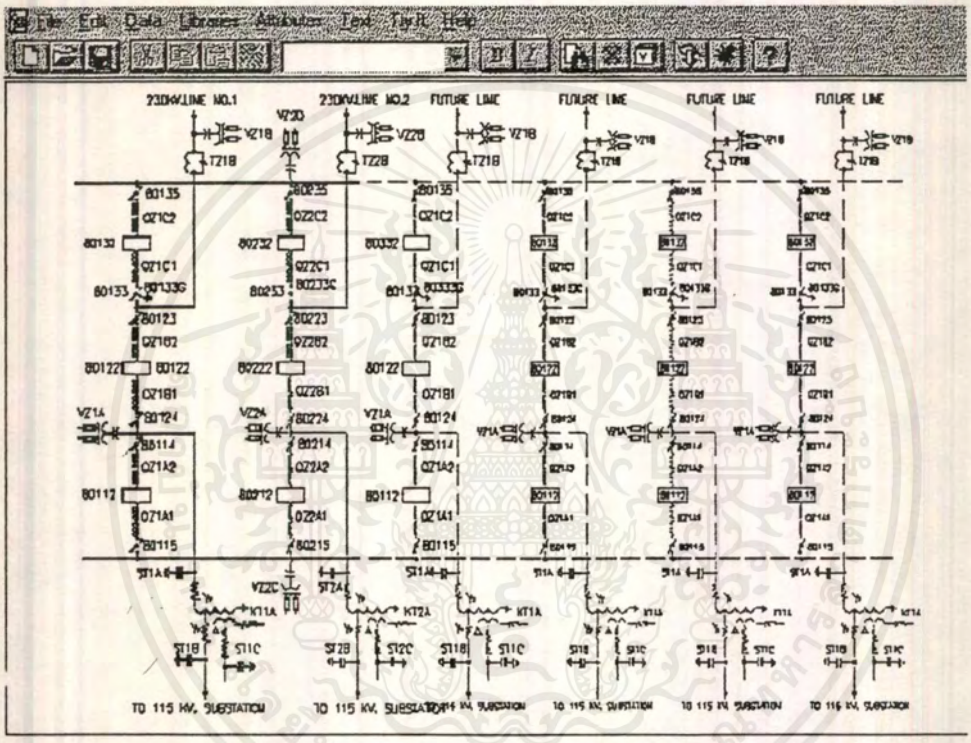
รูปที่ 5-12 แสดงเมนูของหมวด Drawing Example

เมื่อปรากฏเมนูย่อยตามรูปที่ 5-12 หมายถึงให้เราเลือกดูตัวอย่างแบบจากการจัดบัสแบบใดระหว่าง Breaker and a half หรือ Main and transfer bus ซึ่งตามความเป็นจริงแล้วการจัดวางบัสมีด้วยกันหลายแบบซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 แล้ว ส่วนแบบตัวอย่างนี้จะขอยกมาเพียง 2 แบบเท่านั้น และแต่ละชนิดสามารถแบ่งย่อยออกได้เป็นส่วนต่างๆ ดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Single line diagram
- General arrangement plan

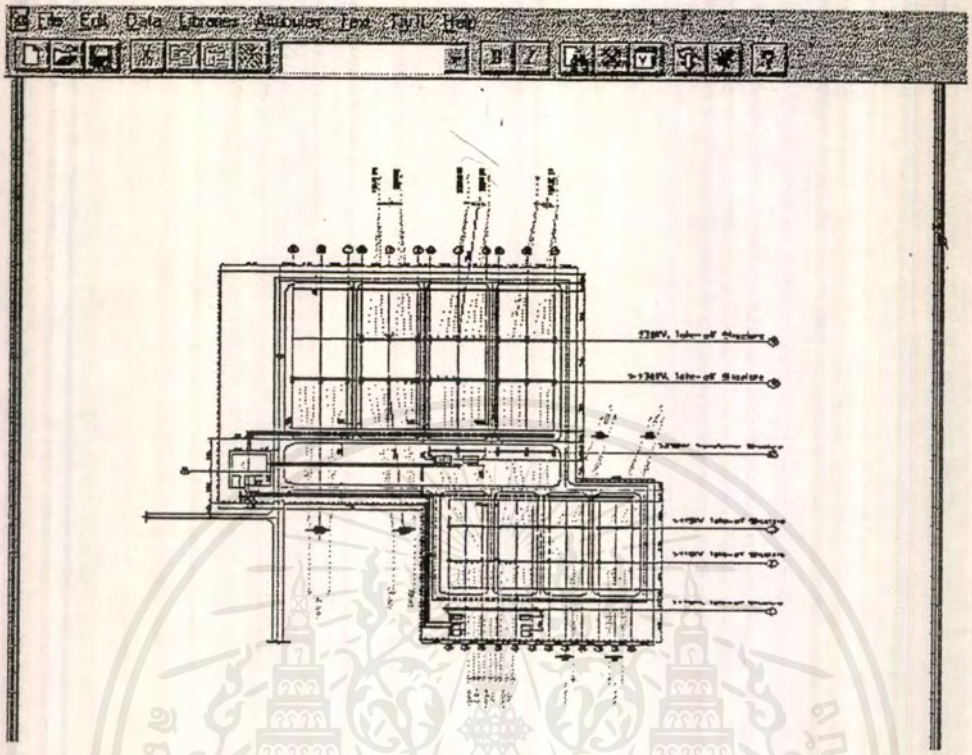
การออกแบบนั้นต้องมีถึง 9 ส่วนด้วยกัน แต่ในที่นี้กล่าวไว้เพียง 2 ส่วนเท่านั้น ดังแสดงไว้ตามรูปที่ 5-13 สำหรับส่วนต่างๆ ที่เหลือจะแสดงอยู่ในภาคผนวก



รูปที่ 5-13 แสดง Single line diagram ของการจัดบัสแบบ Breaker and a half

จากรูปที่ 5-13 เมื่อคลิ๊กเมาท์ต่อไปก็จะปรากฏเป็นภาพของ General arrangement plan ดังรูปที่ 5-14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

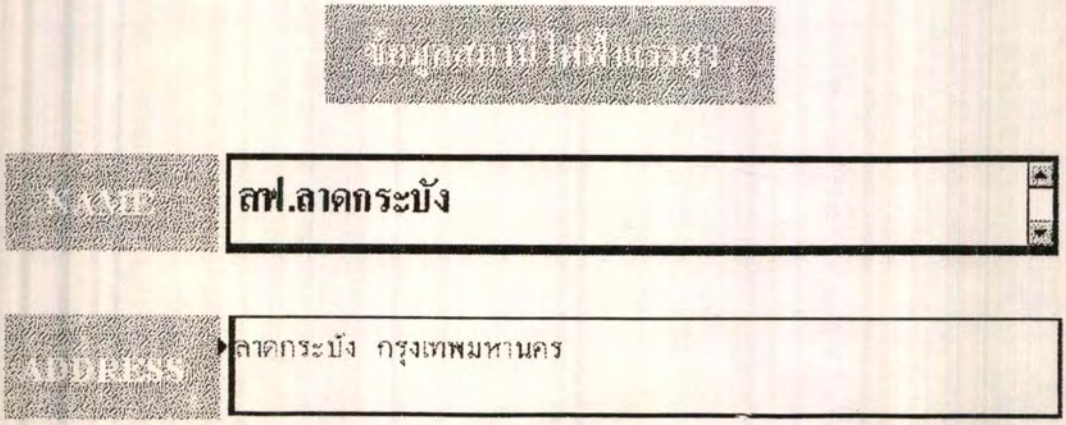


รูปที่ 5-14 แสดงส่วนของ General arrangement plan ในการจัดบัสแบบ Breaker and a half

5.4 เมื่อเราเลือกหมวด Program design ของเมนเมนู จะปรากฏภาพบนหน้าจอดังแสดงไว้ในรูปที่ 5-15 ซึ่งสามารถอธิบายเมนูแต่ละส่วนได้ดังนี้

NAME หมายถึง ชื่อของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ต้องการสร้าง โดยผู้ออกแบบเป็นผู้กำหนด

ADDRESS หมายถึง ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ทำการออกแบบ

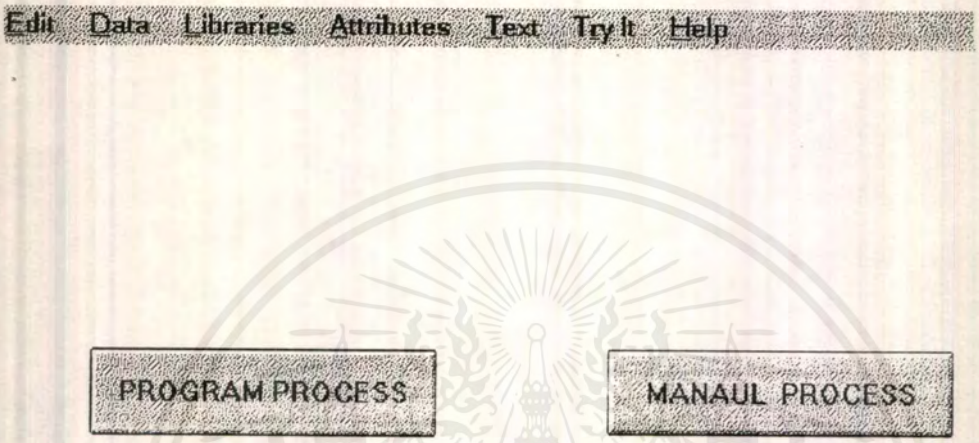


รูปที่ 5-15 แสดงชื่อและสถานที่ตั้งของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

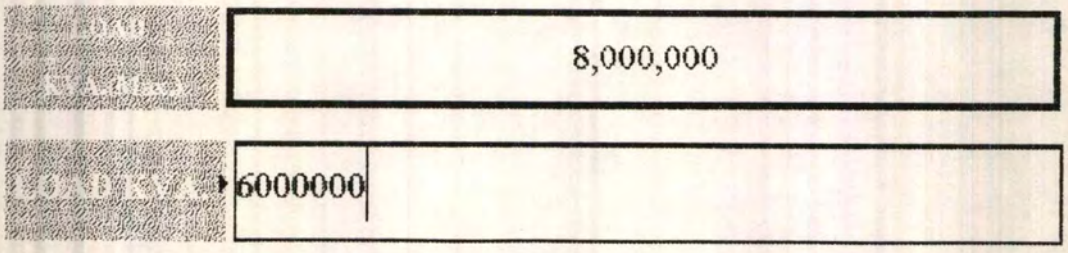
เมื่อป้อนข้อมูลครบทั้งสองส่วนแล้ว กดปุ่ม ENTER จะปรากฏหน้าจอใหม่โดยมีตัวเลือกให้สองแบบดังรูปที่ 5-16

1. วิธี Program process ให้คอมพิวเตอร์ประมวลผล
2. วิธี Manual process ผู้ออกแบบกำหนดเอง



รูปที่ 5-16 แสดงหน้าจอการเลือกใช้โปรแกรม

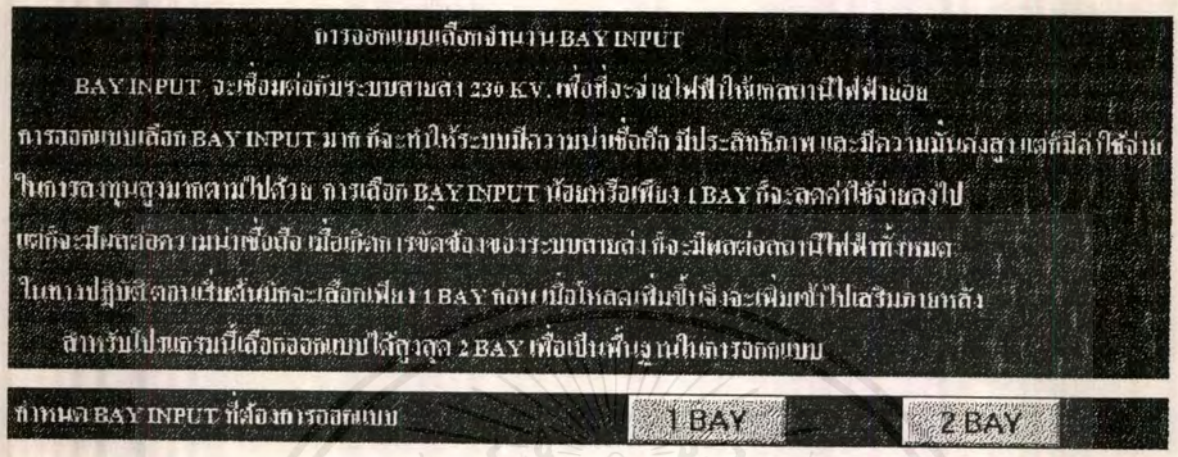
ในกรณีที่เลือก Program process นั้นจากขั้นตอนดังกล่าวให้ผู้ออกแบบป้อนข้อมูลเกี่ยวกับโหลดสูงสุดและโหลดที่มีความต้องการในขณะนั้นดังรูปที่ 5-17



รูปที่ 5-17 แสดงโหลดของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ออกแบบโดยใช้ Program process

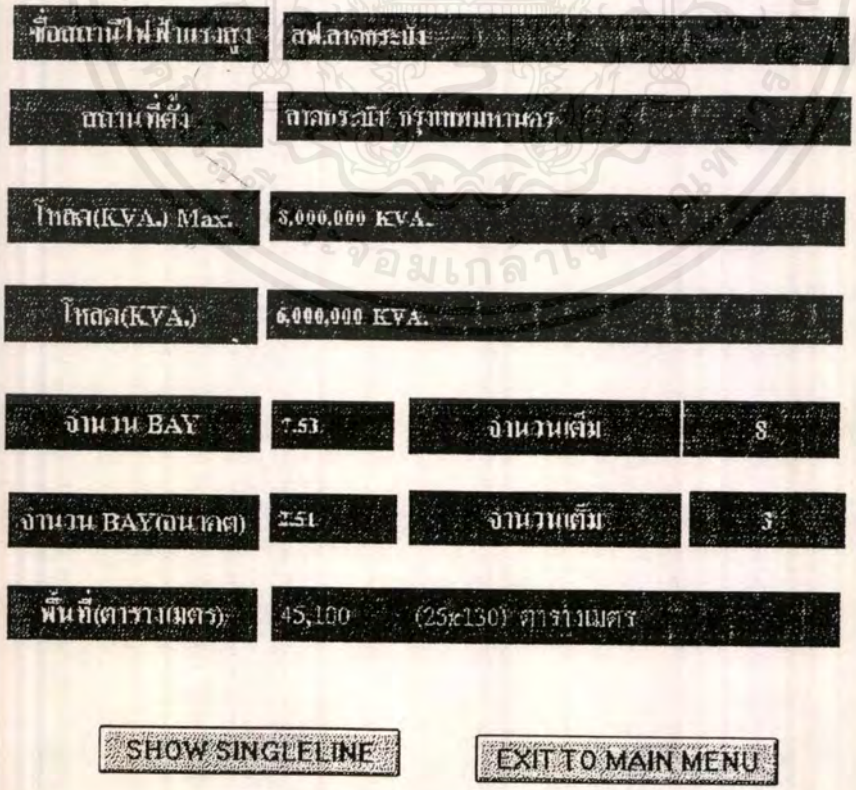
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นเป็นการเข้าสู่ขั้นตอนของการกำหนดจำนวนเบย์อินพุทดังรูปที่ 5-18 ซึ่งมีคำอธิบายประกอบในการตัดสินใจ โดยให้คลิ๊กเมาท์เลือกที่ 1 เบย์ หรือ 2 เบย์



รูปที่ 5-18 คำแนะนำก่อนเลือกจำนวนเบย์อินพุทโดยใช้ Program process

ในการใช้ Program process นั้นจะสรุปรายละเอียดทั้งหมดดังแสดงไว้ดังรูปที่ 5-19 ซึ่งสามารถคำนวณจำนวนเบย์ออกมาเป็นจำนวนเต็มได้



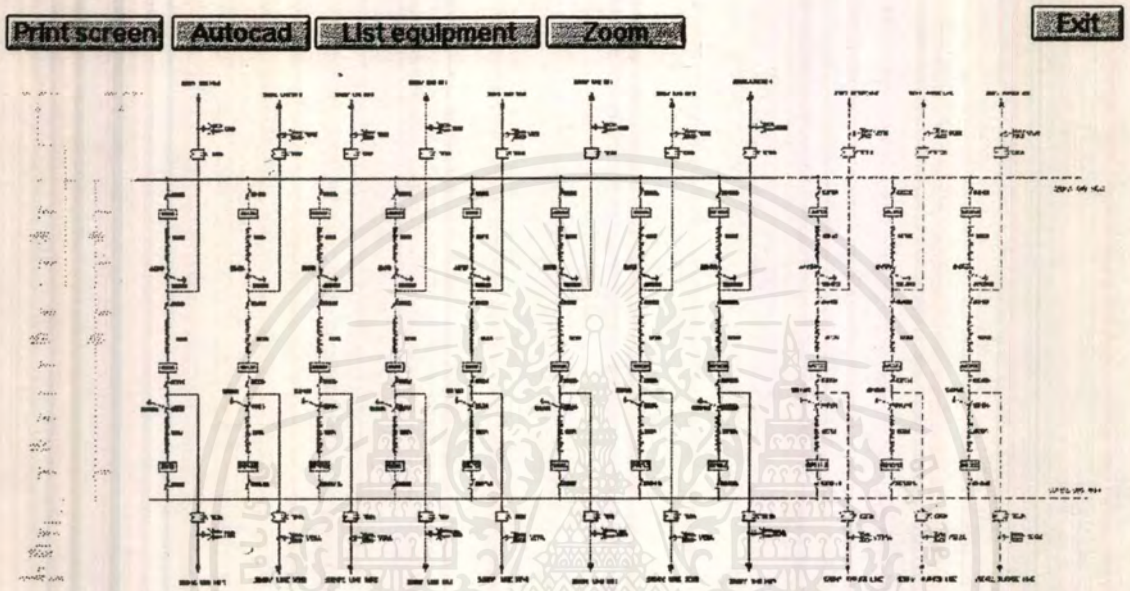
รูปที่ 5-19 สรุปข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับสถานีไฟฟ้าย่อยโดยใช้ Program process

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก รูปที่ 5-19 นั้นจะเห็นว่าที่ด้านล่างของข้อมูลประกอบไปด้วย

ปุ่ม Show single line เมื่อคลิ๊กเมาท์ที่ปุ่มนี้จะแสดง Single line diagram ตามจำนวนเบย์ที่ใช้งานจริง(8 เบย์) เบย์ที่ใช้ในอนาคต(3 เบย์) รวมทั้งจำนวนเบย์อินพุท(2 เบย์) ดังรูปที่ 5-20

ปุ่ม Exit to main menu เป็นการออกไปสู่ Main Menu



รูปที่ 5-20 แสดง Single line diagram โดยใช้ Program process

จากรูปที่ 5-20 ที่ขอบบนด้านซ้ายนั้นประกอบไปด้วยเมนูต่างๆ ดังนี้

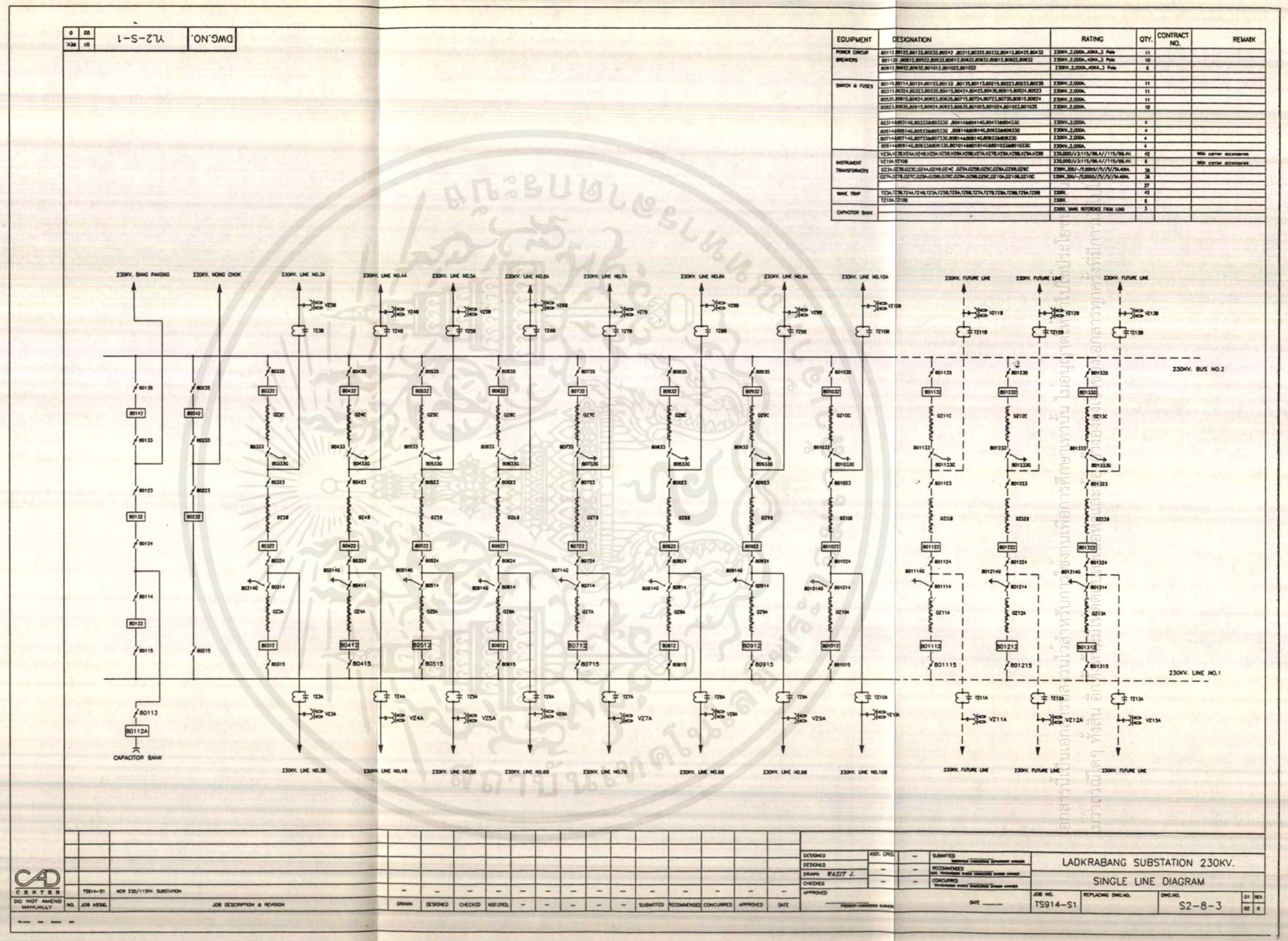
ปุ่ม Print screen นำรายการที่อยู่บนหน้าจอขณะนั้นออกทางกระดาษโดยการ Print ซึ่งสามารถเลือกขนาดต่างๆ ได้

ปุ่ม Autocad เป็นการนำไปสู่โปรแกรม Autocad Release13 โดยการโหลดภาพจากในหน้าจอขณะนั้นลงใน Autocad เพื่อทำการขยายภาพและกระทำการแก้ไข ซึ่งสามารถบันทึก (Save)ภาพเก็บเอาไว้ได้ หรือพล็อตภาพออกทาง Plotter หรือ Printer ภาพที่ได้ออกมาจะมีความคมชัด สวยงามกว่าแบบ Print screen ดังแสดงในรูปที่ 5-21

ปุ่ม List equipment เป็นรายละเอียดของอุปกรณ์ใน Single line diagram ที่แสดงอยู่จอในขณะนั้น ทำให้ทราบว่ามีจำนวนอุปกรณ์ เช่น CB , Disconnecting switch จำนวนกี่ตัว ? พิกัดโดยทั่วไปเท่าไร ? ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 5-22

ปุ่ม Zoom ทำการขยายภาพบนจอให้ใหญ่ขึ้น โดยที่เมื่อคลิ๊กเมาท์บริเวณที่ต้องการ Zoom แล้วคลิ๊กไปที่ปุ่ม Zoom จากนั้นบริเวณที่ถูกคลิ๊กจะขยายใหญ่ขึ้นให้ชัดเจนที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



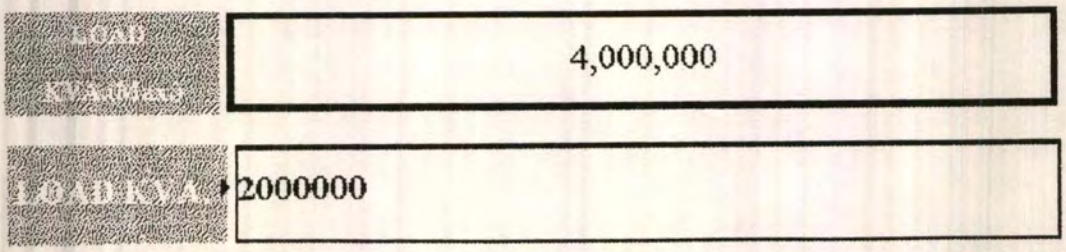
รูปที่ 5-21 แสดงหน้าจอของการใช้ปุ่ม Autocad โดยใช้ Program process

EQUIPMENT	DESIGNATION	RATING	QTY.	CONTRACT NO.	REMARK
POWER CIRCUIT BREAKERS	80112,80122,80132,80232,80242 ,80312,80322,80332,80412,80422,80432	230KV.,2,000A.,40KA.,3 Pole	11		
	80112A ,80512,80522,80532,80612,80622,80632,80812,80822,80832	230KV.,2,000A.,40KA.,3 Pole	10		
	80912,80922,80932,801012,801022,801032	230KV.,2,000A.,40KA.,3 Pole	6		
SWITCH & FUSES	80115,80114,80124,80123,80133 ,80135,80113,80215,80223,80233,80235	230KV.,2,000A.	11		
	80315,80324,80323,80335,80415,80424,80423,80435,80515,80524,80523	230KV.,2,000A.	11		
	80535,80615,80624,80623,80635,80715,80724,80723,80735,80815,80824	230KV.,2,000A.	11		
	80823,80835,80915,80924,80923,80935,801015,801024,801023,801035	230KV.,2,000A.	10		
	80314&80314G,80333&80333G ,80414&80414G,80433&80433G	230KV.,2,000A.	4		
	80514&80514G,80533&80533G ,80614&80614G,80633&80633G	230KV.,2,000A.	4		
	80714&80714G,80733&80733G,80814&80814G,80833&80833G	230KV.,2,000A.	4		
	80914&80914G,80933&80933G,801014&801014G&8010334&801033G	230KV.,2,000A.	4		
INSTRUMENT TRANSFORMERS	VZ3A,VZ3B,VZ4A,VZ4B,VZ5A,VZ5B,VZ8A,VZ8B,VZ7A,VZ7B,VZ8A,VZ8B,VZ9A,VZ9B	230,000/√3:115/66.4//115/66.4V.	42		With carrier accessories
	VZ10A,VZ10B	230,000/√3:115/66.4//115/66.4V.	8		With carrier accessories
	OZ3A,OZ3B,OZ3C,OZ4A,OZ4B,OZ4C ,OZ5A,OZ5B,OZ5C,OZ6A,OZ6B,OZ6C	230KV.,300/-/1,000:5//5//5//5A,40KA.	36		
	OZ7A,OZ7B,OZ7C,OZ8A,OZ8B,OZ8C,OZ9A,OZ9B,OZ9C,OZ10A,OZ10B,OZ10C	230KV.,300/-/1,000:5//5//5//5A,40KA.	36		
			27		
WAVE TRAP	TZ3A,TZ3B,TZ4A,TZ4B,TZ5A,TZ5B,TZ8A,TZ8B,TZ7A,TZ7B,TZ8A,TZ8B,TZ9A,TZ9B	230KV.	42		
	TZ10A,TZ10B	230KV.	6		
CAPACITOR BANK		230KV. VAR. REFERENCE FROM LOAD	3		

รูปที่ 5-22 แสดงหน้าจอของ List equipment โดยใช้ Program process

ปุ่ม Exit เป็นการออกจากหน้าจอ Single line diagram(รูปที่ 5-20) ไปสู่หน้าจอของการสรุปข้อมูลต่างๆ ของสถานีไฟฟ้าย่อย(รูปที่ 5-19)

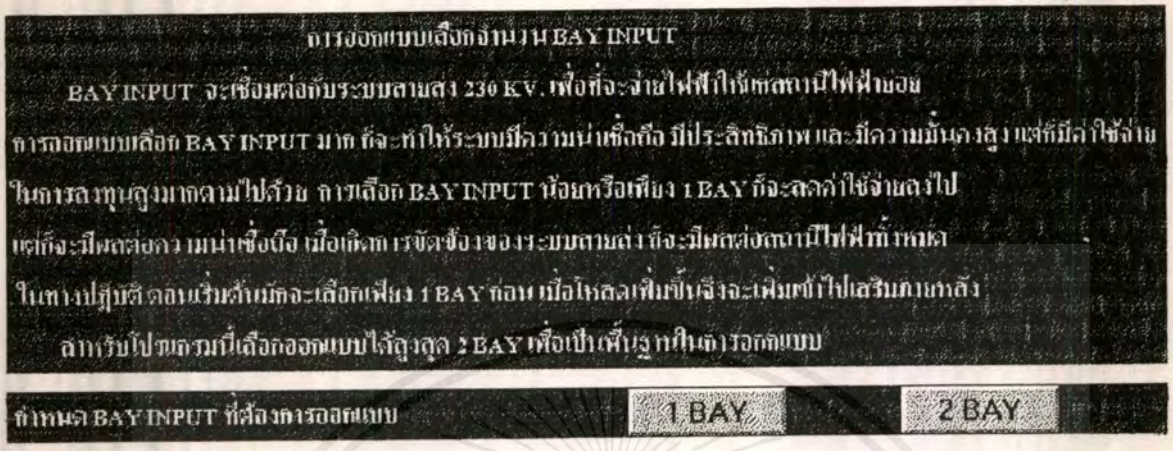
<u>ในกรณีที่เลือก Manual process</u> นั้นจากขั้นตอนดังกล่าวให้ผู้ออกแบบป้อนข้อมูลเกี่ยวกับโหลดสูงสุดและโหลดที่มีความต้องการในขณะนั้นดังรูปที่ 5-23



รูปที่ 5-23 แสดงโหลดของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ออกแบบโดยใช้ Manual process

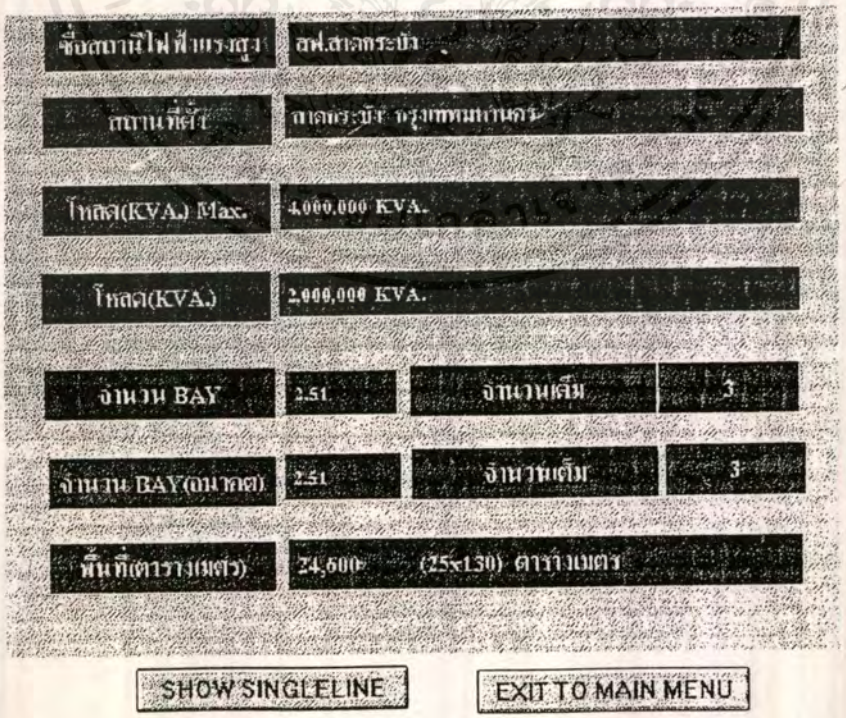
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นเป็นการเข้าสู่ขั้นตอนของการกำหนดจำนวนเบย์อินพุทดังรูปที่ 5-24 ซึ่งมีคำอธิบายประกอบในการตัดสินใจ โดยให้คลิ๊กเมาท์เลือกที่ 1 เบย์ หรือ 2 เบย์



รูปที่ 5-24 คำแนะนำก่อนเลือกจำนวนเบย์อินพุทโดยใช้ Manual process

ในการใช้ Manual process นั้นจะสรุปรายละเอียดทั้งหมดดังแสดงไว้ดังรูปที่ 5-25 ซึ่งสามารถคำนวณจำนวนเบย์ออกมาโดยให้ผู้ออกแบบกำหนดเองเป็นจำนวนเต็มได้ แต่ไม่ควรเกินหรือต่ำกว่าที่คำนวณไว้ให้มากนัก ซึ่งโปรแกรมไม่สามารถที่จะรับค่าได้



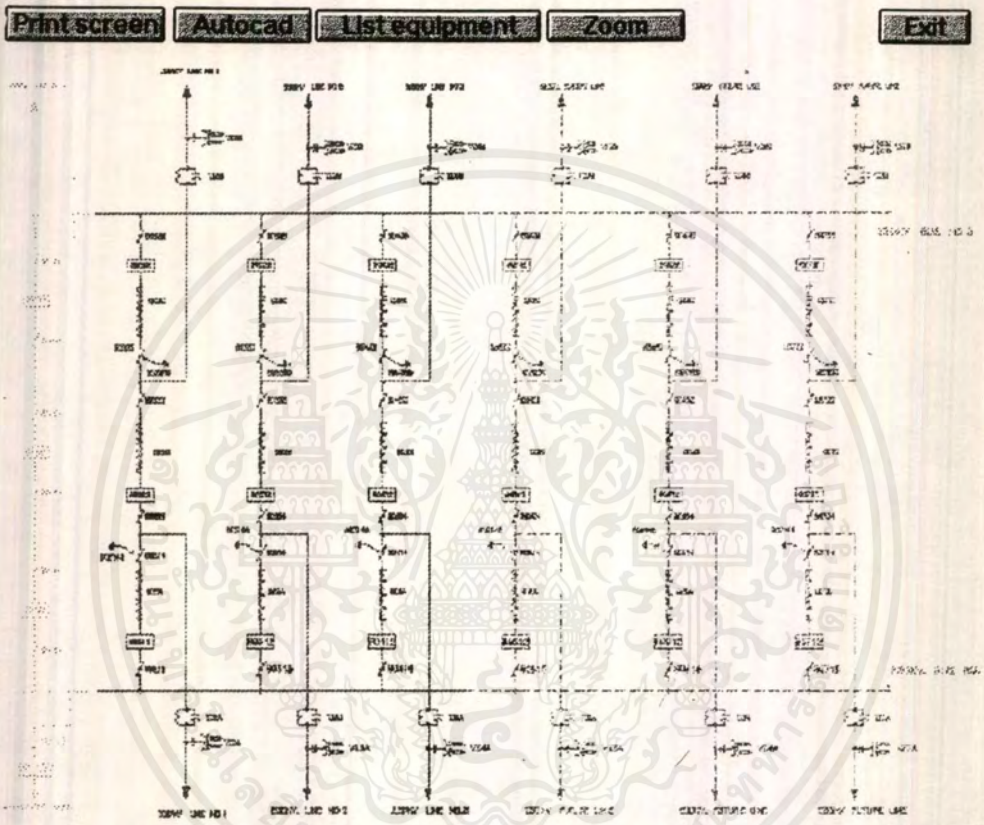
รูปที่ 5-25 สรุปข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับสถานีไฟฟ้าย่อยโดยใช้ Manual process

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก รูปที่ 5-25 นั้นจะเห็นว่าที่ด้านล่างของข้อมูลประกอบไปด้วย

ปุ่ม Show single line เมื่อคลิ๊กเมาท์ที่ปุ่มนี้จะแสดง Single line diagram ตามจำนวนเบย์ที่ใช้งานจริง(3 เบย์) เบย์ที่ใช้ในอนาคต(3 เบย์) รวมทั้งจำนวนเบย์อินพุท(1 เบย์) ดังรูปที่ 5-26

ปุ่ม Exit to main menu เป็นการออกไปสู่ Main Menu



รูปที่ 5-26 แสดง Single line diagram โดยใช้ Manual process

จากรูปที่ 5-26 ที่ขอบบนด้านซ้ายนั้นประกอบไปด้วยเมนูต่างๆ ดังนี้

ปุ่ม Print screen นำรายการที่อยู่บนหน้าจอขณะนั้นออกทางกระดาษโดยการ Print ซึ่งสามารถเลือกขนาดต่างๆ ได้

ปุ่ม Autocad เป็นการนำไปสู่โปรแกรม Autocad Release13 โดยการโหลดภาพจากในหน้าจอขณะนั้นลงใน Autocad เพื่อทำการขยายภาพและกระทำการแก้ไข ซึ่งสามารถบันทึก (Save)ภาพเก็บเอาไว้ได้ หรือพล็อตภาพออกทาง Plotter หรือ Printer ภาพที่ได้ออกมาจะมีความคมชัด สวยงามกว่าแบบ Print screen ดังแสดงในรูปที่ 5-27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ่ม List equipment เป็นรายละเอียดของอุปกรณ์ใน Single line diagram ที่แสดงอยู่จอในขณะนั้น ทำให้ทราบว่ามีจำนวนอุปกรณ์ เช่น CB , Disconnecting switch จำนวนกี่ตัว ? พิกัดโดยทั่วไปเท่าไร ? ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5-28

ปุ่ม Zoom ทำการขยายภาพบนจอให้ใหญ่ขึ้น โดยที่เมื่อคลิ๊กเมาท์บริเวณที่ต้องการ Zoom แล้วคลิ๊กไปที่ ปุ่ม Zoom จากนั้นบริเวณที่ถูกคลิ๊กจะขยายใหญ่ขึ้นให้ชัดเจนที่สุด

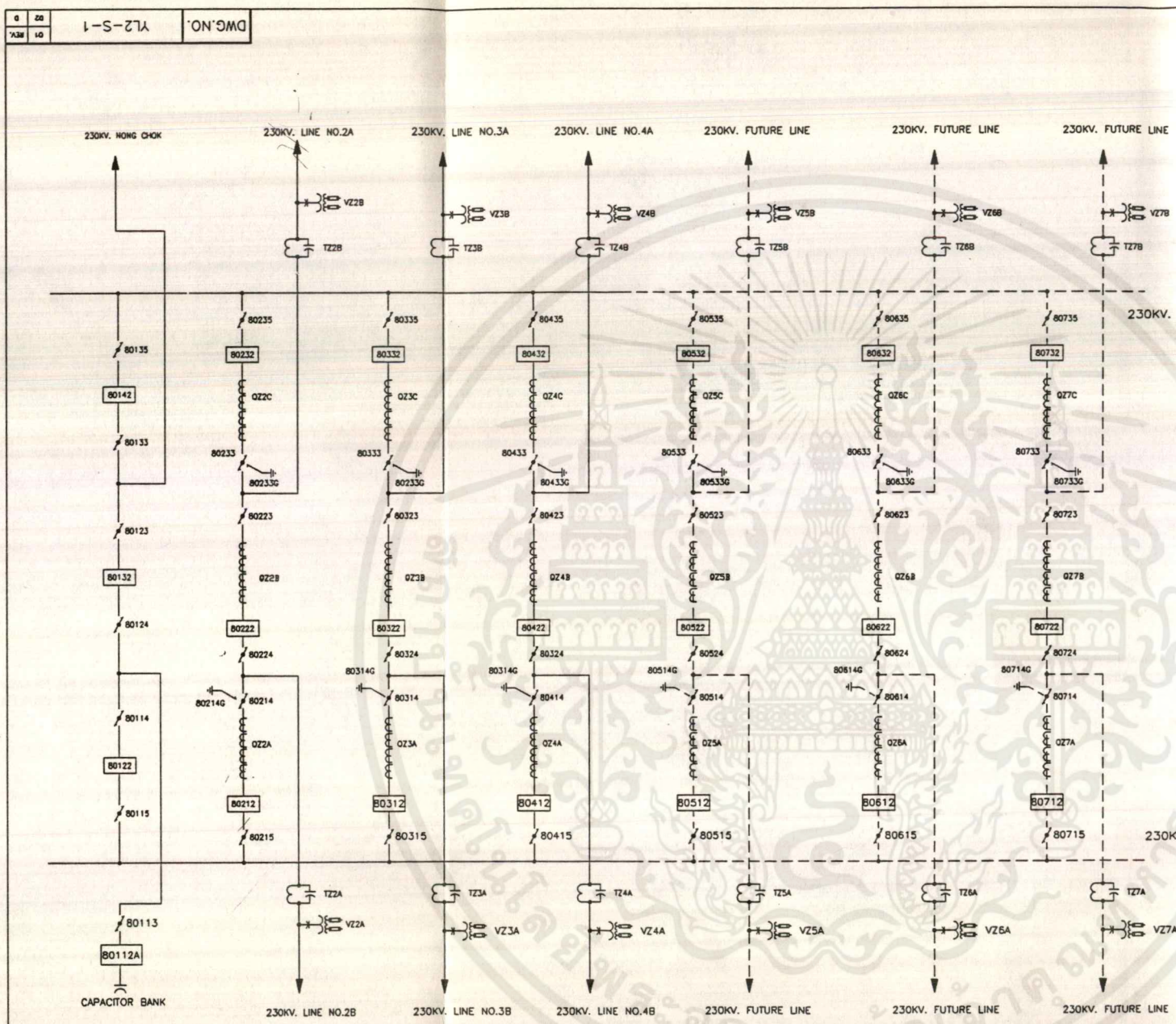
ปุ่ม Exit เป็นการออกจาก Single line diagram(รูปที่ 5-26) ไปสู่หน้าจอของการสรุปข้อมูลต่างๆ ของสถานีไฟฟ้าย่อย(รูปที่ 5-25)

5.5 Content เป็นการรวบรวมรายละเอียดข้อมูลต่างๆ ทั้งหมดไว้ในหมวดนี้เพื่อเป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะทำการศึกษาค้นคว้าจากโครงงาน นอกเหนือจากที่ได้รวบรวมไว้ในปริญญานิพนธ์ ดังรูปที่ 5-29

5.6 Guid for using เป็นการแนะนำและอธิบายวิธีการใช้งานอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ของโปรแกรมให้ทราบ

5.7 Exit program เป็นหมวดที่ใช้สำหรับเมื่อต้องการออกจากโปรแกรมการใช้งานหรือจบการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



EQUIPMENT	DESIGNATION	RATING	QTY.	CONTRACT NO.	REMARK
POWER CIRCUIT BREAKERS	80112,80122,80132	230KV.,2,000A.,40KA.,3 Pole	3		
	80213,80223,80232	230KV.,2,000A.,40KA.,3 Pole	3		
	80312,80322,80332	230KV.,2,000A.,40KA.,3 Pole	3		
	80412,80422,80432	230KV.,2,000A.,40KA.,3 Pole	3		
	80112A	230KV.,2,000A.,40KA.,3 Pole	1		
SWITCH & FUSES	80115,80114,80124,80123,80133	230KV.,2,000A.	5		
	80135,80113	230KV.,2,000A.	2		
	80215,80224,80223,80235	230KV.,2,000A.	4		
	80315,80324,80323,80335	230KV.,2,000A.	4		
	80415,80424,80423,80435	230KV.,2,000A.	4		
	80214&802140,80233&80233G	230KV.,2,000A.	2		
	80314&803140,80333&80333G	230KV.,2,000A.	2		
	80414&804140,80433&80433G	230KV.,2,000A.	2		
INSTRUMENT TRANSFORMERS	VZ2A,VZ2B,VZ3A,VZ3B,VZ4A,VZ4B	230,000/√3:115/66.4//115/66.4V.	18		With carrier accessories
	QZ2A,QZ2B,QZ2C,QZ3A,QZ3B,QZ3C	230KV.,300/-/1,000:5//5//5//5A.400A.	18		
	QZ4A,QZ4B,QZ4C	230KV.,300/-/1,000:5//5//5//5A.400A.	9		
WAVE TRAP	TZ2A,TZ2B,TZ3A,TZ3B,TZ4A,TZ4B	230KV.	18		
CAPACITOR BANK		230KV. WAVE REFERENCE FROM LOAD	3		

NO.	JOB ASSIG.	JOB DESCRIPTION & REVISION	DRAWN	DESIGNED	CHECKED	ASST.OPED.	–	–	–	–	SUBMITTED	RECOMMENDED	CONCURRED	APPROVED	DATE
	TS914-S1	NEW 230/115KV. SUBSTATION	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

CAD CENTER — DO NOT AMEND MANUALLY

DESIGNED	ASST. OPED.	–	SUBMITTED
DESIGNED	–	–	RECOMMENDED
DRAWN WASIT J.	–	–	CONCURRED
CHECKED	–	–	
APPROVED			DATE

LADKRABANG SUBSTATION 230KV.

SINGLE LINE DIAGRAM

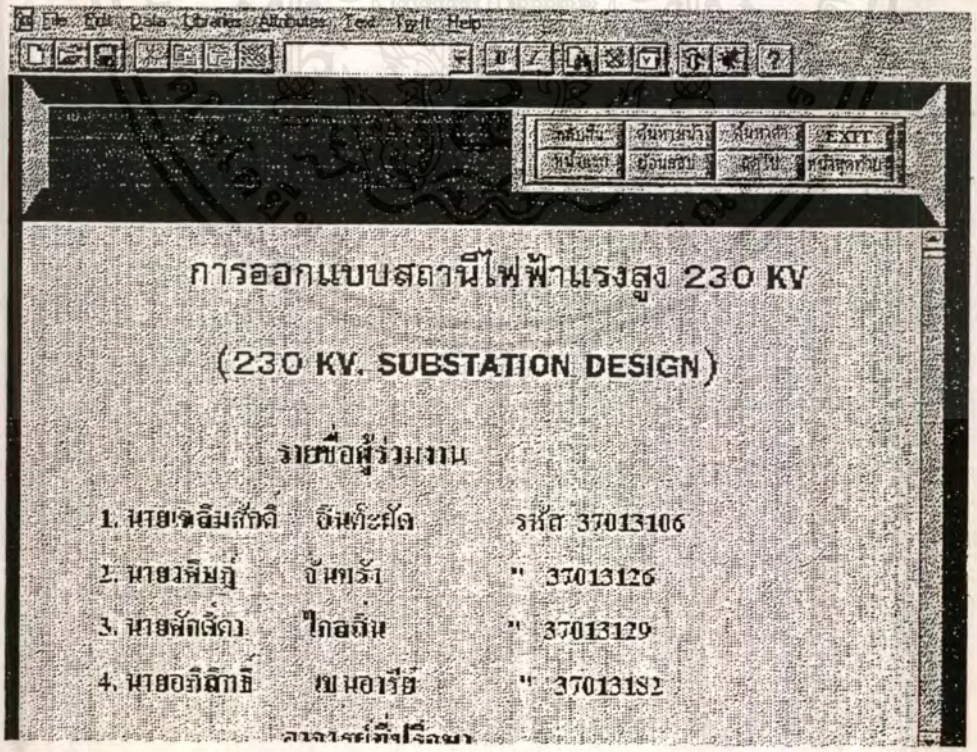
JOB NO.	REPLACING DWG.NO.	DWG.NO.	01	REV.
TS914-S3		S1-3-3	02	0

รูปที่ 5-27 แสดงหน้าจอของการใช้ปุ่ม Autocad โดยใช้ Manual process

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

EQUIPMENT	DESIGNATION	RATING	QTY.	CONTRACT NO.	REMARK
POWER CIRCUIT BREAKERS	80112,80122,80132	230KV.,2,000A.,40KA.,3 Pole	3		
	80212,80222,80232	230KV.,2,000A.,40KA.,3 Pole	3		
	80312,80322,80332	230KV.,2,000A.,40KA.,3 Pole	3		
	80412,80422,80432	230KV.,2,000A.,40KA.,3 Pole	3		
	80112A	230KV.,2,000A.,40KA.,3 Pole	1		
SWITCH & FUSES	80115,80114,80124,80123,80133	230KV.,2,000A.	5		
	80135,80113	230KV.,2,000A.	2		
	80215,80224,80223,80235	230KV.,2,000A.	4		
	80315,80324,80323,80335	230KV.,2,000A.	4		
	80415,80424,80423,80435	230KV.,2,000A.	4		
	80214&80214G,80233&80233G	230KV.,2,000A.	2		
	80314&80314G,80333&80333G	230KV.,2,000A.	2		
	80414&80414G,80433&80433G	230KV.,2,000A.	2		
INSTRUMENT TRANSFORMERS	VZ2A,VZ2B,VZ3A,VZ3B,VZ4A,VZ4B	230,000/√3:115/66.4//115/66.4V.	18		With carrier accessories
	QZ2A,QZ2B,QZ2C,QZ3A,QZ3B,QZ3C	230KV.,300/~/2,000:5//5//5//5A,40KA.	18		
	QZ4A,QZ4B,QZ4C	230KV.,300/~/2,000:5//5//5//5A,40KA.	9		
WAVE TRAP	TZ2A,TZ2B,TZ3A,TZ3B,TZ4A,TZ4B	230KV.	18		
CAPACITOR BANK		230KV. MAX. REFERENCE FROM LOAD	3		

รูปที่ 5-28 แสดงหน้าจอของ List equipment โดยใช้ Manual process



รูปที่ 5-29 แสดงตัวอย่างเอกสารที่เก็บไว้ในไฟล์ Content

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
บทสรุปและวิจารณ์

จากโครงงานที่ได้ทำการศึกษามาตั้งแต่เทอมแรกถึงเทอมที่สองของปีการศึกษา 2539 นี้ ผลงานที่ได้ทำมาทั้งหมด คือ การออกแบบโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการออกแบบสถานีไฟฟ้าย่อยระบบแรงดัน 230 กิโลโวลท์ โดยการรวบรวมข้อมูลจากการออกแบบสถานีไฟฟ้าย่อยหลายๆ แห่ง เพื่อใช้เป็นตัวแปรที่จะให้คอมพิวเตอร์นำไปประมวลผลให้ได้แบบไดอะแกรมเส้นเดียวของสถานีไฟฟ้าย่อยแห่งใหม่ที่ต้องการออกแบบ ซึ่งไดอะแกรมเส้นเดียวที่ทำการออกแบบนี้ใช้มาตรฐานของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยเป็นมาตรฐานอ้างอิงหลัก จากไดอะแกรมที่ได้ทำการออกแบบทำให้เราทราบถึง พิกัด ชนิด จำนวนอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการติดตั้งในระบบของสถานีไฟฟ้าย่อย และพื้นที่ใน Switch yard (ไม่รวมหม้อแปลงกับห้องควบคุม) ส่วนระยะห่างในการติดตั้งอุปกรณ์แต่ละชนิด รวมไปถึงขนาดบัสที่ใช้ในสถานีไฟฟ้าย่อยนั้นต้องดูรายละเอียดจากแบบมาตรฐานในส่วนอื่นๆ เช่น Bus structure plan หรือ General arrangement plan เป็นต้น แต่ทั้งนี้การออกแบบมาตรฐานทั้งสองตามที่กล่าวมาข้างต้น จำเป็นต้องอาศัยแบบไดอะแกรมเส้นเดียว ที่ได้ทำการออกแบบไว้ตั้งแต่ตอนต้นมาเป็นแนวทางในการออกแบบมาตรฐานทั้งสองส่วนด้วยเช่นกัน

จะเห็นว่าจากที่ได้กล่าวมาข้างต้นเป็นเพียงบางส่วนที่ยกมาเป็นตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าในการออกแบบสถานีไฟฟ้าย่อยนั้น ถ้าเราได้แบบไดอะแกรมเส้นเดียวแล้ว สามารถที่จะนำไปเป็นส่วนประกอบในการออกแบบส่วนอื่นอีกจนครบทั้งหมด 9 ส่วน ซึ่งตัวอย่างของแบบแต่ละส่วนนั้นได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก. ดังนั้นการออกแบบไดอะแกรมเส้นเดียวจึงเป็นเพียงส่วนหนึ่งของการออกแบบสถานีไฟฟ้าย่อยทั้งหมด และถ้าต้องการให้โปรแกรมสำเร็จรูปนี้เป็นโปรแกรมที่สมบูรณ์แบบทางด้านการใช้งานนั้น ต้องมีการออกแบบโปรแกรมเพิ่มเติมจากที่ได้ทำไว้แล้ว เพื่อเชื่อมโยงแบบมาตรฐานที่เหลือให้สามารถติดต่อถึงกันได้จนครบทุกส่วน ผลสรุปของโปรแกรมหลังจากที่คอมพิวเตอร์ทำการประมวลผลเสร็จแล้วนั้น ต้องสามารถบอกขนาดตัวนำ ชนิดของอุปกรณ์ พิกัดของอุปกรณ์ จำนวนของอุปกรณ์ที่ติดตั้งในระบบ เครื่องหมายการค้าและราคาของอุปกรณ์แต่ละชนิด รวมทั้งวิธีการติดตั้งอุปกรณ์ พื้นที่ที่ใช้ในการสร้างสถานีไฟฟ้าย่อย ตลอดจนราคาประมาณการในการสร้างทั้งหมดว่าต้องใช้งบประมาณค่าใช้จ่ายทั้งสิ้นเท่าไหร่ ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมานี้เป็นวัตถุประสงค์ของโครงงานนี้

ดังนั้นข้อมูลที่จะใช้ในการออกแบบจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งที่จะใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิง โดยทางคณะผู้จัดทำได้เล็งเห็นความสำคัญในจุดนี้ จึงได้ทำการรวบรวม หนังสือ เอกสารประกอบการออกแบบ รวมทั้งแบบมาตรฐานของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยไว้ สำหรับผู้ที่จะทำการออกแบบโปรแกรมส่วนที่เหลือเพื่อให้สะดวกในการหาข้อมูล โดยสามารถหาข้อมูลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง หรือสอบถามรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ แผนกออกแบบสถานีไฟฟ้าย่อย กองวิศวกรรมหรือกองวางแผนระบบสายส่งไฟฟ้า และที่สถานีไฟฟ้าย่อยหนองจอก ซึ่งเป็นหน่วยงานของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยทางคณะผู้จัดทำได้รับความอนุเคราะห์เป็นอย่างดีมาโดยตลอดการทำโครงงานการศึกษานี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ส่วนต่างๆ ของการออกแบบสถานีไฟฟ้าย่อยทั้ง 9 ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DWG.NO. XX/AA-S-1

EQUIPMENT	DESIGNATION	RATING	QTY.	CONTRACT NO.	MANUFACTURER	REMARK
POWER & DIST. TRANSFORMER	KI1A	120/160/200(30/40/50)MVA.,3Ø,	1			
		230-115-72KV.				
	KU1A	500KVA.,3Ø,22,000-400/230V.	1			
POWER CIRCUIT BREAKER	80312,80332,80412,80422	230KV.,2,000A.,40KA.	4			
	80432,80512,80522,80532	230KV.,2,000A.,40KA.	4			
SWITCH & FUSE	80315,80314,80335,80415	230KV.,2,000A.	4			
	80414,80424,80423,80438	230KV.,2,000A.	4			
	80515,80524,80533,80535	230KV.,2,000A.	4			
	80333&803336,80433&804336	230KV.,2,000A.	2			
	80514&805140,80533&805336	230KV.,2,000A.	2			
	2291F(A)	22KV.,100A.	3			
	FUSE LINK 20E		3			
INSTRUMENT TRANSFORMER	0Z3A,0Z3C,0Z4A,0Z4C	230KV.,300/√3,000-5/5/5/5/5A.	12			
	0Z4C,0Z5A,0Z5B,0Z5C	230KV.,300/√3,000-5/5/5/5/5A.	12			
	YZ3C,YZ4A,YZ5A,YZ5B	230,000A/3-115/Ø0.4//115/Ø0.4V.	12			
	YZ4A,YZ3C,YZ5B	230,000A/3-115/Ø0.4//115/Ø0.4V.	7			
WAVE TRAP	TZ3B,TZ4B,TZ5A,TZ5B	230KV.	8			

230KV.FUTURE LINE | 230KV.FUTURE LINE | 230KV.FUTURE LINE | 230KV.LINE NO.1 | 230KV.LINE NO.2 | 230KV.LINE NO.3 | 230KV.FUTURE LINE | 230KV.FUTURE LINE

YZ8B TZ8B YZ7B TZ7B YZ6B TZ6B YZ5B TZ5B YZ4B TZ4B YZ3B TZ3B YZ2B TZ2B YZ1B TZ1B

YZ5D TC 1.10

230KV. BUS NO.2

80835 80832 QZ8C 80833 80833G 80823 QZ8B 80822 80824 80814G 80814 QZ8A 80812 80815

80735 80732 QZ7C 80733 80733G 80723 QZ7B 80722 80724 80714G 80714 QZ7A 80712 80715

80635 80632 QZ6C 80633 80633G 80623 QZ6B 80622 80624 80614G 80614 QZ6A 80612 80615

80535 80532 QZ5C 80533 80533G 80523 QZ5B 80522 80524 80514G 80514 QZ5A 80512 80515

80435 80432 QZ4C 80433 80433G 80423 QZ4B 80422 80424 80414 QZ4A 80412 80415

80335 80332 QZ3C 80333 80333G 80323 QZ3B 80322 80324 80314 QZ3A 80312 80315

80235 80232 QZ2C 80233 80233G 80223 QZ2B 80222 80224 80214 QZ2A 80212 80215

80135 80132 QZ1C 80133 80133G 80123 QZ1B 80122 80124 80114 QZ1A 80112 80115

YZ5C TC 1.10

230KV. BUS NO.1

TZ8A YZ8A 230KV.FUTURE LINE

TZ7A YZ7A 230KV.FUTURE LINE

TZ6A YZ6A 230KV.FUTURE LINE

TZ5A YZ5A 230KV.LINE NO.4

ST1A ST1B ST1C KT1A

TO FUTURE TRANSFORMER | TO FUTURE TRANSFORMER | TO FUTURE TRANSFORMER

2291F(A) KV1A

TO 115KV. SUBSTATION

TO LCUS. SEE DWG.NO.SE-PS-9-01

DRAWING LIST

Single Line Diagram.....Dwg.No.XX/AA-S-1-01/02
Ditto Dwg.No.XX/AA-S-1-02/02
General Arrangement Plan.....Dwg.No.XX/AA-S-2-01/01
Bus Structure Plan.....Dwg.No.XX/AA-S-3-01/02
Ditto Dwg.No.XX/AA-S-3-02/02
Bus Structure Sections.....Dwg.No.XX/AA-S-4-01/02
Ditto Dwg.No.XX/AA-S-4-02/02
Substation Grounding System.....Dwg.No.XX/AA-S-5-01/02
Ditto Dwg.No.XX/AA-S-5-02/02
Control Room Equipment Lay-out.....Dwg.No.XX/AA-S-6-01/01
Substation Structure Lay-out.....Dwg.No.XX/AA-S-7-01/02
Ditto Dwg.No.XX/AA-S-7-02/02
Substation Conduit Lay-out.....Dwg.No.XX/AA-S-8-01/02
Ditto Dwg.No.XX/AA-S-8-02/02
Identification Plate & Location.....Dwg.No.XX/AA-S-9-01/02
Ditto Dwg.No.XX/AA-S-9-02/02

This drawing shall be used as a guidance for substation design only. No parts of this drawing shall be reproduced or referred in the contractor's drawings.

LEGEND

[ ] Future

NO.	JOB ASSIS.	JOB DESCRIPTION & REVISION	DRAWN	DESIGNED	CHECKED	ASST.ENG.	SUBMITTED	RECOMMENDED	CONCURRED	APPROVED	DATE
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND

DESIGNED ASST. ENG. - SUBMITTED

DESIGNED Arrak - -

DRAWN T. PUTTY - -

CHECKED Wit N - -

APPROVED K. DATE 23/3/96

SUBSTATION NAME

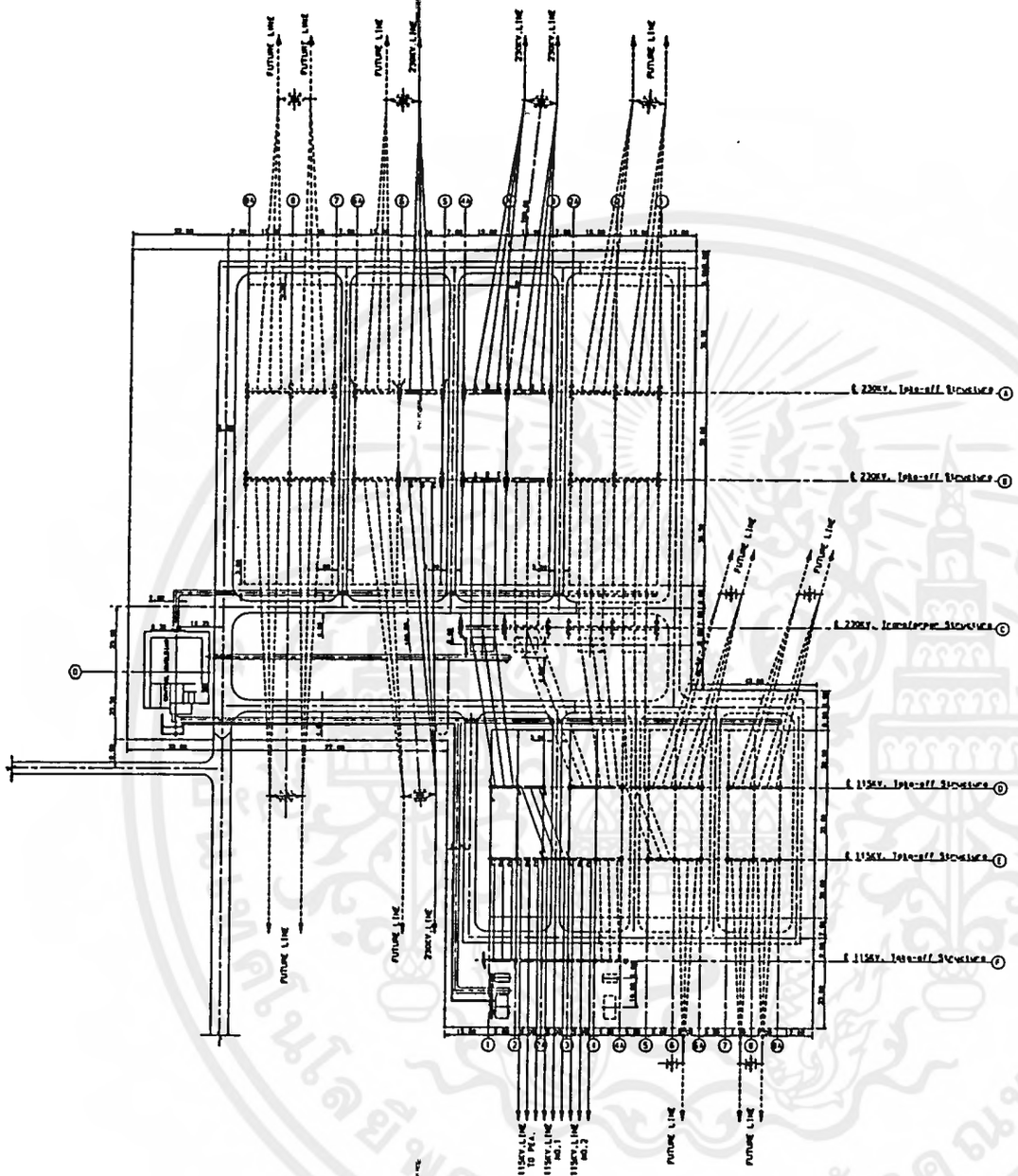
SINGLE LINE DIAGRAM

JOB NO. | REPLACING DWG.NO. | DWG.NO. XX/AA-S-1 | 01 | REV 02 | 0

CAD CENTER DO NOT AMEND MANUALLY

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DWG.NO.	REV.
XX/AA-S-2	01



NOTE

All dimensions are in meters, except as noted.

REFERENCE DRAWINGS

Single Line Diagram.....Dwg.No.XX/AA-S-1-01/02
Ditto Dwg.No.XX/AA-S-1-02/02
Bus Structure Plan.....Dwg.No.XX/AA-S-3-01/02
Ditto Dwg.No.XX/AA-S-3-02/02

LEGEND

Future

This drawing shall be used as a guidance for substation design only. No parts of this drawing shall be reproduced or referred in the contractor's drawings.

SCALE 1:1,000

NO.	JOB ASSIG.	JOB DESCRIPTION & REVISION	DRAWN	DESIGNED	CHECKED	SUBMITTED	RECOMMENDED	CONCURRED	APPROVED	DATE
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND

DESIGNED	ASST. ENG.	-	SUBMITTED
DESIGNED	-	-	RECOMMENDED
DRAWN T. SUSIT	-	-	CONCURRED
CHECKED			
APPROVED			DATE 23/1/26

SUBSTATION NAME

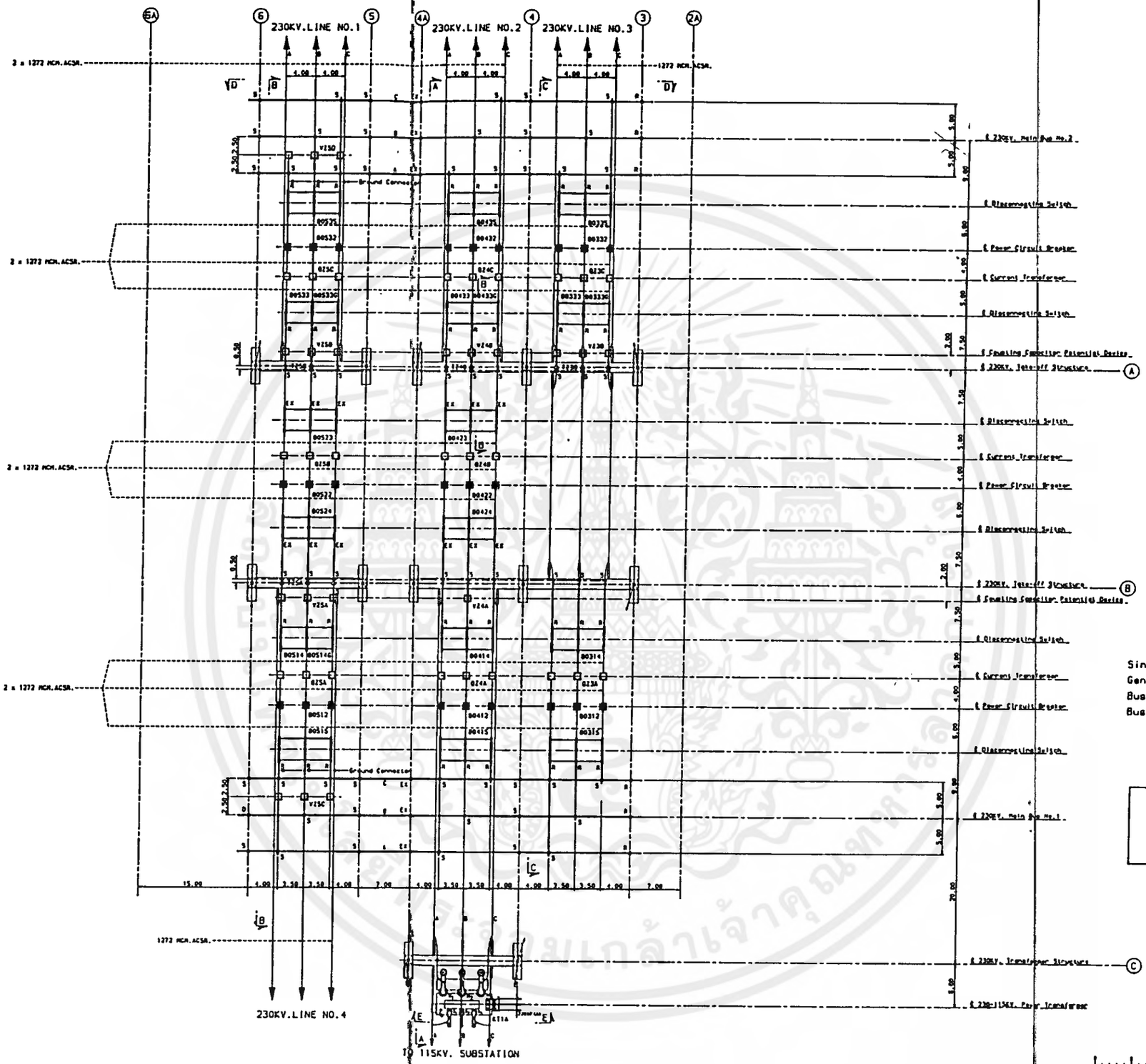
GENERAL ARRANGEMENT PLAN

JOB NO.	REPLACING DWG.NO.	DWG.NO.	01	REV
		XX/AA-S-2	SHT	0

CADETS
DO NOT AMEND MANUALLY
16-DEC-26 13:14:31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DWG.NO. XX/AA-S-3 | REV. 01 02 0



NOTES

1. All dimensions are in meters, except as noted.
2. Disconnecting switch terminal.
   "R" Means rigid type straight terminal connector.
   "EX" Means expansion type terminal connector.
3. Bus support connector fitting.
   "R" Means rigid type straight.
   "S" Means slip-fit type.
   "EX" Means expansion type.
4. Pre-stretched or used 1272 MCM.ACSR. should be inserted into 5"ø IPS. aluminum tube.
5. Pre-stretched or used 477 MCM.ACSR. should be inserted into 3"ø and lower IPS. aluminum tube.

REFERENCE DRAWINGS

Single Line Diagram.....Dwg.No.XX/AA-S-1-01/02
General Arrangement Plan.....Dwg.No.XX/AA-S-2-01/01
Bus Structure Plan.....Dwg.No.XX/AA-S-3-02/02
Bus Structure Sections.....Dwg.No.XX/AA-S-4-01/02

This drawing shall be used as a guidance for substation design only. No parts of this drawing shall be reproduced or referred in the contractor's drawings.

SCALE 1:300

ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND

SUBSTATION NAME

BUS STRUCTURE PLAN

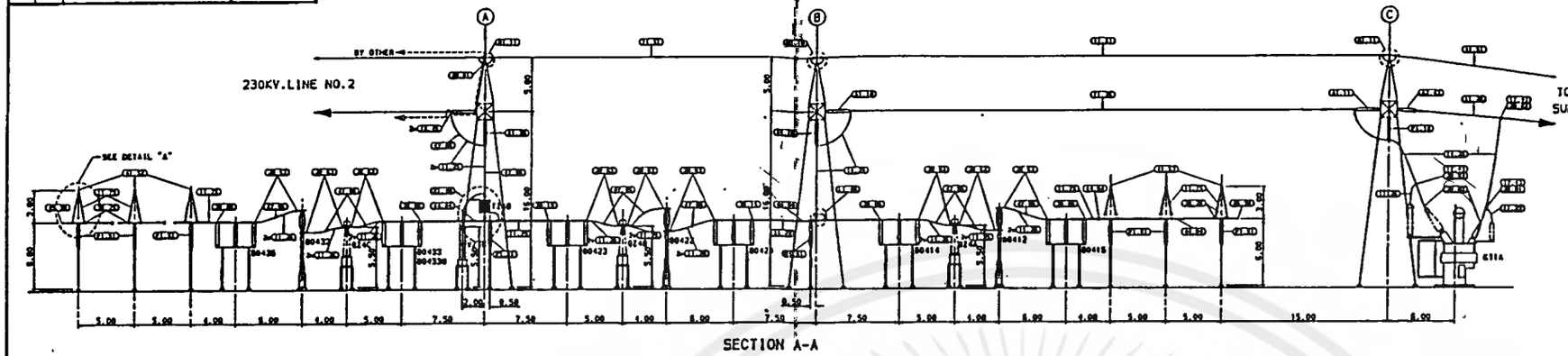
DWG.NO. XX/AA-S-3 REV. 02 0

DO NOT ERASE MANUALLY

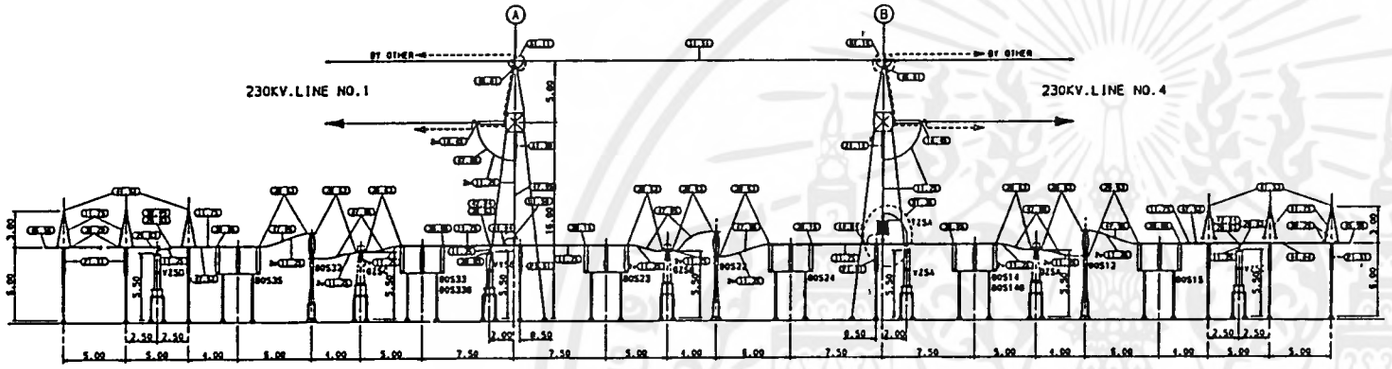
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DWG.NO. XX/AA-S-4

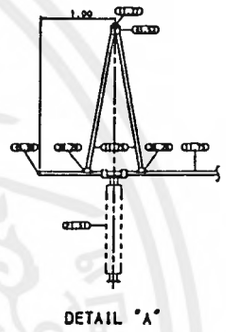
REV. 01 02 0



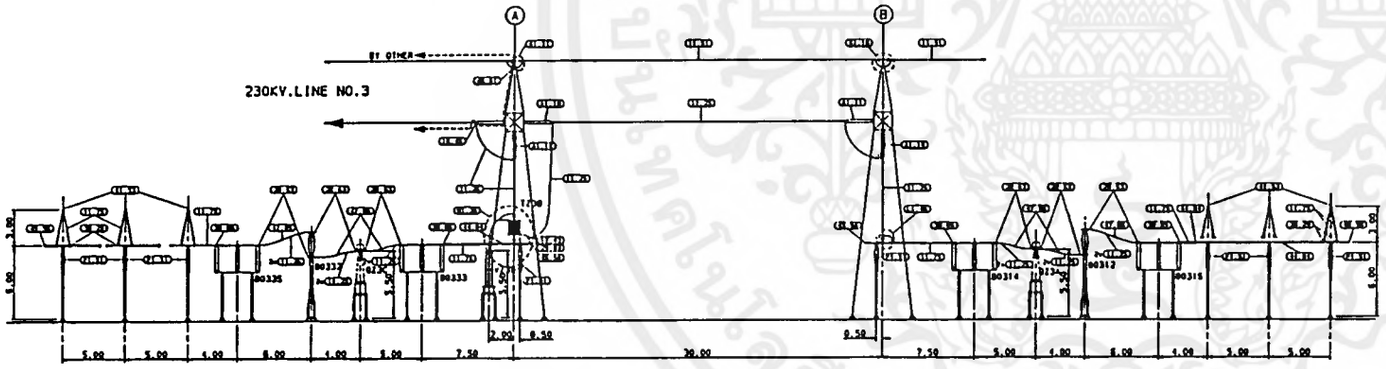
SECTION A-A



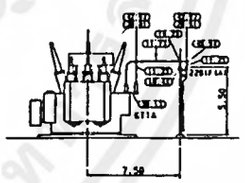
SECTION B-B



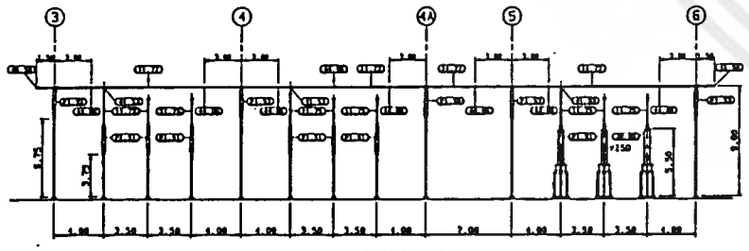
DETAIL "A"



SECTION C-C



SECTION E-E



SECTION D-D

LEGEND	DESCRIPTION
A1.10	230KV. Tension insulator assembly for 1272 MCM.ACSR.
A1.11	230KV. Tension insulator assembly for 1272 MCM.ACSR. with turnbuckle.
A1.30	230KV. Tension insulator assembly for 2x1272 MCM.ACSR.
A2.43	115KV. Tension insulator assembly for 1272 MCM.ACSR. with turnbuckle.
B1.10	Overhead ground wire assembly with suspension insulator.
B1.11	Overhead ground wire assembly.
L1.45	230KV. Incoming line assembly for 1272 MCM.ACSR. & 3"ϕ IPS.AL.tube weld type terminal.
L1.50	230KV. Incoming line assembly for 2x1272 MCM.ACSR. & 3"ϕ IPS.AL.tube weld type terminal.
P1.10	230KV. Station post insulator assembly for 1272 MCM.ACSR.
P1.51	230KV. Station post insulator assembly for 3"ϕ AL.tube slip or rigid weld type.
P1.53	230KV. Station post insulator assembly for 5"ϕ AL.tube slip or rigid weld type.
P1.58	230KV. Station post insulator assembly for 5"ϕ AL.tube expansion weld type.
S1.35	230KV. CCVD. & Wave trap assembly for 1272 MCM.ACSR. & 3"ϕ AL.tube weld type terminal.
S1.40	230KV. CCVD. & Wave trap assembly for 2x1272 MCM.ACSR. & 3"ϕ AL.tube weld type terminal.
T0.43	22KV. Station post insulator 3" ba. ANSI TR. No.208
T1.23	Aluminum conductor 477 MCM.ACSR.
T1.25	Aluminum conductor 1272 MCM.ACSR.
T1.31	Overhead ground wire 3/8"-7 strand galvanized steel.
T1.73	Aluminum tube 3"ϕ IPS.
T1.75	Aluminum tube 5"ϕ IPS.
T1.77	Aluminum tube 5"ϕ IPS.
T5.23	Aluminum alloy bus supports clamp with 3" ba. fitting for 3"ϕ IPS.AL.tube.
T6.45	Compression terminal for 1272 MCM.ACSR. 4 holes NEMA PAD.
T7.43	Compression tee for 1272 MCM.ACSR. run to 4 holes NEMA PAD.
T8.63	Terminal connector for 2 x 1272 MCM.ACSR. weld type.
T9.81	Terminal connector for 477 MCM.ACSR. weld type.
T9.83	Terminal connector for 1272 MCM.ACSR. weld type.
T0.05	Terminal connector weld type for 3"ϕ IPS.AL.tube.
T0.13	Expansion terminal connector weld type for 3"ϕ IPS.AL.tube.
T0.15	Expansion terminal connector weld type for 5"ϕ IPS.AL.tube.
T0.20	Connector angle "I" weld type for 3"ϕ IPS.AL.tube run to 90°-3"ϕ IPS.AL.tube tap.
T1.53	Connector "T" weld type for 5"ϕ IPS.AL.tube run to 20°-3"ϕ IPS.AL.tube tap
T2.02	Bar tap weld type for 3"ϕ IPS.AL.tube to 4 holes NEMA PAD.
T2.04	Bar tap weld type for 3"ϕ IPS.AL.tube to 4 holes NEMA PAD.
T4.04	Aluminum alloy weld type coupler for 3"ϕ IPS.AL.tube end to end.
T4.06	Aluminum alloy weld type coupler for 5"ϕ IPS.AL.tube end to end.
T5.54	Corona bell internal type for 2"ϕ IPS.AL.tube.
T5.56	Corona bell internal type for 3"ϕ IPS.AL.tube.
T5.58	Corona bell internal type for 5"ϕ IPS.AL.tube.
T6.61	Cable clamp for 3/8"ϕ galvanized steel GND. wire run to flat surface.
T7.05	Spacer connector for 2 x 1272 MCM.ACSR. distance between conductor 4"
T7.52	Ground connector weld type for 3"ϕ IPS.AL.tube.

This drawing shall be used as a guidance for substation design only. No parts of this drawing shall be reproduced or referred in the contractor's drawings.

NOTE

All dimensions are in meters, except as noted

REFERENCE DRAWINGS

Bus Structure Plan.....Dwg.No.XX/AA-S-3-01/02
230KV. Insulator Assembly.....Dwg.No.SE-IS-8-01-01/02
Ditto .....Dwg.No.SE-IS-8-01-02/02(REV.1)
Ditto Dwg.No.SE-IS-8-02-01/01

SCALE 1:250

NO.	JOB ASSIG.	JOB DESCRIPTION & REVISION	DRAWN	DESIGNED	CHECKED	ASSIT.CHF.	SUBMITTED	RECOMMENDED	CONCURRED	APPROVED	DATE
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

CAD CENTER
DO NOT AMEND MANUALLY

ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND

DESIGNED	ASST. CHF.	-	SUBMITTED
DESIGNED	-	-	RECOMMENDED
DRAWN T. SURIT	-	-	CONCURRED
CHECKED	-	-	APPROVED
APPROVED			DATE 22/1/94

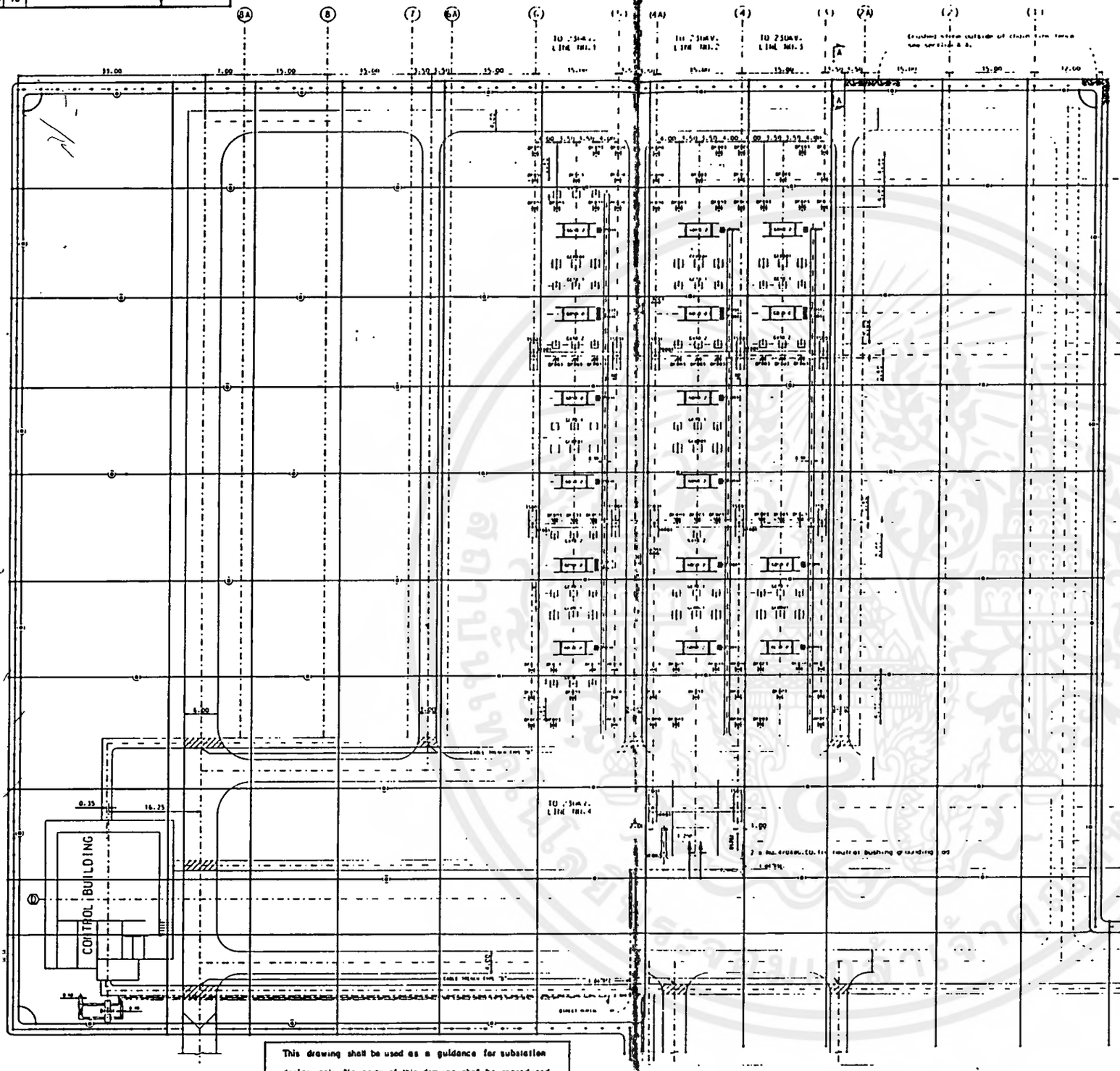
SUBSTATION NAME

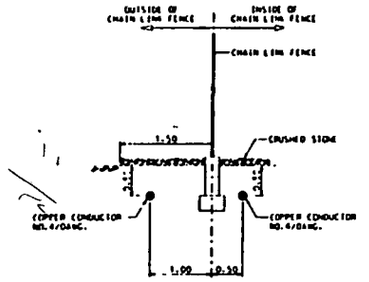
BUS STRUCTURE SECTIONS

JOB NO. | REPLACING DWG.NO. | DWG.NO. XX/AA-S-4 | REV. 01 02 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DWG.NO.	REV.	01	02
XX/AA-S-5			





SECTION A-A

NOTES

1. All dimensions are in meters, except as noted.
2. The ground mat shall be No.4/0AWG. copper cable, buried 0.50m. below the finished subgrade.
3. All cable taps and risers from ground mat to steel structure and equipment shall be No.2x4/0AWG. bare stranded copper cable.
4. All ground connections shall be exothermic welded type, except as indicated.
5. Cable tray in cable trench shall be grounded every 20.00m. and as indicated.
6. The fence shall be connected to ground grid every 15.00m. and clearance between the outer loop of ground grid and fence shall be not excied 0.50m.
7. Any grounding connections to equipments shall be added, if neccessary, for installation.
8. For CT.,CVT. or PT. junction box grounding connection detail see Dwg. No.TP-E 18.1.18.2 and SE-GD-8-02-01/01.
9. Where ground mat crosses the cable trench.Ø1"PVC. sleeve shall be provided.The location of the sleeve shall be laid at 0.15m. Under the lowest tray but the dept of the sleeve shall be not less than 0.50m.from the substation finished grade.
10. Where ground mat crosses the roud.Ø $1\frac{1}{2}$"RSC.conduit shall be provided.The location of conduit shall be not less than 0.50m.from the substation finished grade.
11. Where Ø4"RSC.conduit crosses cable trench Ø5"PVC.sleeve shall be provided.The location of the sleeve shall be laid at 0.15m.under the lowest tray.

DATA FOR THE GROUNDING SYSTEM CALCULATION

Soil Resistivity = / 30 ohm m
Fault Current 40 kA.
Other Data shall be as specified in the specification No. 1.000 : Design Criteria.
The ACSR conductors shall be assumed as a single conductor.

REFERENCE DRAWINGS

Typical Substation
General Arrangement Plan.....Dwg.No.XX/AA-S-2-01/01
Bus Structure Plan.....Dwg.No.XX/AA-S-3-01/02
Substation Structure Lay-out.....Dwg.No.XX/AA-S-7-01/02
Typical Grounding Connection.....Dwg.No.SE-GD-8-02-01/01
Cable Trench.....Dwg.No.SD-CE-02&SD-CE-0-04
Control Building Equipment Lay-out & Grounding System.....Dwg.No.XX/AA-S-6-01/01

LEGEND

——— Indicates ground wire bare copper conductor No.4/0AWG.
Indicates exothermic welded type ground connection.
Indicates ground rod copper covered Ø $\frac{5}{8}$"x10'-0"

SCALE 1:400

This drawing shall be used as a guidance for substation design only. No parts of this drawing shall be reproduced or referred in the contractor's drawings.

NO.	JOB ASSIC.	JOB DESCRIPTION & REVISION	DRAWN	DESIGNED	CHECKED	SUBMITTED	RECOMMENDED	CONCURRED	APPROVED	DATE

ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND

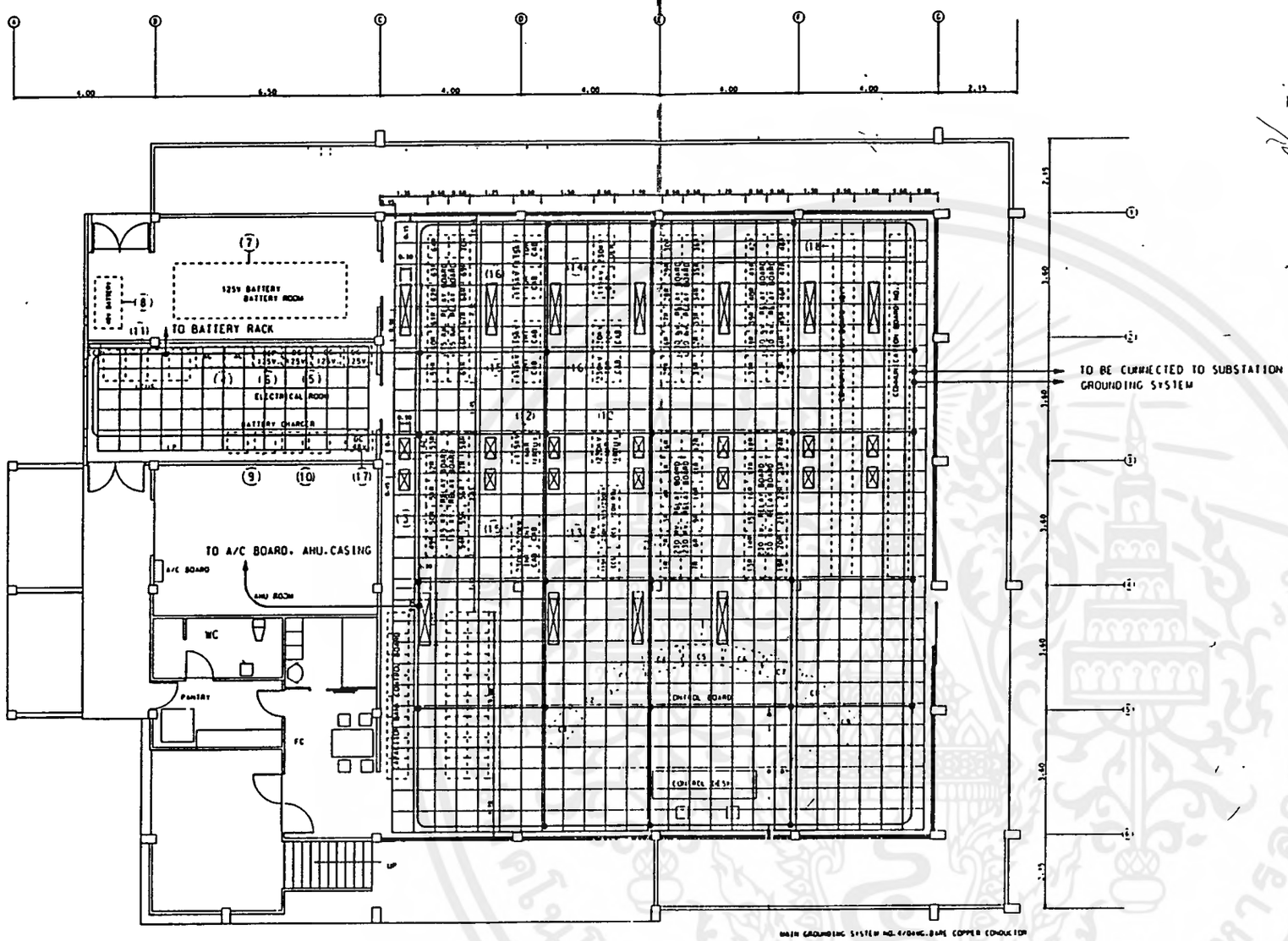
DESIGNED	ASST. CHIEF	MANAGER	SUBMITTED	SUBSTATION NAME (BREAKER AND A HALF)			
DESIGNED			RECOMMENDED	SUBSTATION GROUNDING SYSTEM			
DRAWN			CONCURRED				
CHECKED			APPROVED	DATE 23/1/74	JOB NO.	REPLACING DWG.NO.	DWG.NO. XX/AA-S-5	01 02	REV.

CAD CENTER DO NOT AMEND MANUALLY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0	10	DWG.NO. XX/AA-S-6
A3s	10	

ITEM	DESCRIPTION	PURCHASING ORDER AND SCHEDULE NO.	MANUFACTURE	REMARK
1	Control section board	-		
2	230kv Relay board swing rack type	-		
3	115kv Relay board swing rack type	-		
4	A-C Distribution board 400/230v.-3ø.4wires	-		
5	D-C Distribution board 125v.	-		
6	D-C Power panel 125v.	-		
7	125v.D-C Stationary battery 600am.	-		
8	48v.D-C Battery set	-		
9	125v.Battery charger	-		
10	48v.Battery charger	-		
11	400/230v Load center unit substation	-		
12	Marshalling panel	-		
13	Remote terminal unit	-		
14	Digital fault recorder	-		
15	Interposing relay panel	-		
16	Transducer panel	-		
17	D-C Distribution board 48v.	-		
18	Marshalling panel for telerelection interface	-		



EQUIPMENT LAYOUT CONCEPTUAL & ACCESS FLOOR PANEL PATTERN DETAIL 1:75

This drawing shall be used as a guidance for substation design only. No parts of this drawing shall be reproduced or referred in the contractor's drawings.

NOTES

1. All dimensions are in meter.except as noted.
2. All metallic parts of electrical equipment shall be connected to main grounding system with No.4/0 AWG.CU.
3. There shall be no fault current circulate through main grounding system of control building

REFERENCE DRAWINGS

THUNG SONG SUBSTATION

Single line diagram Dwg.No.XX/AA-S-1
General arrangement plan.....Dwg.No.XX/AA-S-2
Enclosed type main control board equipment lay out.....Dwg.No.XX-E-2.1
Swing rack type protective relay board equipment lay out..Dwg.No.XX-E-2.2
Typical grounding connection for control building
7.00x12.00M.,7.00x16.00M.....Dwg.No.SE-GD-7-01-01/01

LEGEND

Indicates grounding conductor NO.4/0AWG.bare copper conductor
Indicates exothermic welded type ground connection

NO.	JOB ASSIG.	JOB DESCRIPTION & REVISION	DRAWN	DESIGNED	CHECKED	ASST.CSE	SUBMITTED	RECOMMENDED	CONCURRED	APPROVED	DATE

ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND

DESIGNED	ASST.CSE	SUBMITTED	SUBSTATION NAME
DESIGNED		RECOMMENDED	
DRAWN		CONCURRED	SHOWN: CONTROL ROOM EQUIPMENT LAY-OUT MAIN GROUNDING SYSTEM
CHECKED		APPROVED	DATE 23/1/16

JOB NO.	REPLACING DWG.NO.	DWG.NO.		
-		XX/AA-S-6	01	PCS
			01	0

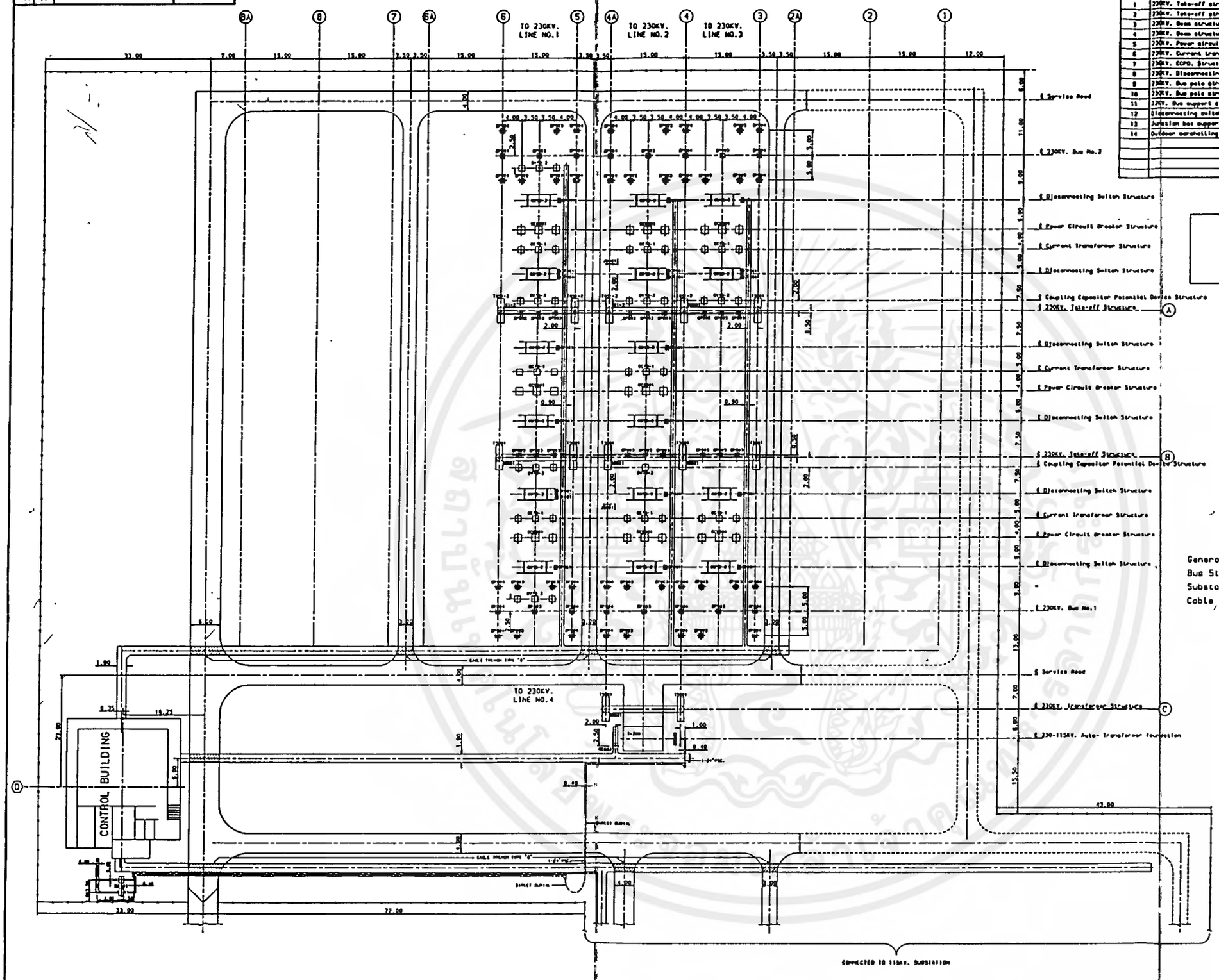
CAD CENTER DO NOT AMEND MANUALLY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DWG.NO. XX/AA-S-7

REV. 01 02 0

ITEM	DESCRIPTION	STR. MKD.	REFERENCE DWG. NO.	QTY.	INVITATION	REMARK
1	230KV. Take-off structure	1051-2	NS-TE1M0-C4.1A&B	4		
2	230KV. Take-off structure	15001	ST-15-0-01	8		
3	230KV. Beam structure (15.00m.)	01-2	NS-TE1B6-C4.2	2		
4	230KV. Beam structure (15.00m.)	BM001	ST-BM-0-01	5		
5	230KV. Power circuit breaker structure	BCB001		8		Supply with CB.
6	230KV. Current transformer structure	BCT0-1	ST-CT-4-01	24		
7	230KV. CCPD. Structure	BVT0-2	ST-VT-4-01	18		
8	230KV. Disconnecting switch structure	BDS0-2	ST-DS-4-01	16		
9	230KV. Bus pole structure (Height 3.75m.)	BP003	ST-BP-0-01	42		
10	230KV. Bus pole structure (Height 8.75m.)	BP004	ST-BP-0-01	30		
11	22KV. Bus support structure	BS202	ST-BS-2-02	1		
12	Disconnecting switch operating platform	OP001	ST-OP-0-01	28		
13	Junction box support structure	JB001	ST-JB-0-1	2		
14	Outdoor earthwire bushing	HC002	P-E-10.5E10.6	1		



This drawing shall be used as a guidance for substation design only. No parts of this drawing shall be reproduced or referred in the contractor's drawings.

NOTES

1. All dimensions are in meters, except as noted
2. All bus pole support structure shall be installed in the direction shown on this drawing
3. Where ϕ 4"RSC. crosses the cable trench, ϕ 5"PVC. sleeve shall be provided. The location of sleeve shall be laid at 0.15m. under the lowest tray.

REFERENCE DRAWINGS

General Arrangement Plan.....Dwg.No.XX/AA-S-2-01/01
Bus Structure Plan.....Dwg.No.XX/AA-S-3-01/02
Substation Structure Lay-out.....Dwg.No.XX/AA-S-7-02/02
Cable Trench And Conduit Installation...Dwg.No.SE-TC-8-02-01/01

LEGEND

Future

SCALE 1:400

NO.	JOB ASSIG.	JOB DESCRIPTION & REVISION	DRAWN	DESIGNED	CHECKED	ASST.CSE.	SUBMITTED	RECOMMENDED	CONCURRED	APPROVED	DATE
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND

DESIGNED — ASST. CSE. — SUBMITTED
DESIGNED — RECOMMENDED
DRAWN T. BURIT — CONCURRED
CHECKED — APPROVED
DEPUTY GOVERNOR ENGINEERING — DATE 23/3/96

SUBSTATION NAME

SUBSTATION STRUCTURE LAY-OUT

JOB NO. | REPLACING DWG.NO. | DWG.NO. XX/AA-S-7 | REV. 01 02 0

CAD ENTER — DO NOT AMEND MANUALLY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REV.	01	XX/AA-S-8	DWG.NO.
	02		

TO 230KV. LINE NO.1

TO 230KV. LINE NO.2

TO 230KV. LINE NO.3

TO 230KV. LINE NO.4

CONTROL BUILDING

CONNECTED TO 115KV. SUBSTATION

ITEM	DESCRIPTION	TYPE	QTY.	REMARK
1	Hand hole 0.60x0.60 m.	HH1	85	
2	Hand hole 0.60x1.00 m.	HH2	10	

This drawing shall be used as a guidance for substation design only. No parts of this drawing shall be reproduced or referred in the contractor's drawings.

NOTES

1. All dimensions are in meters, except as noted.
2. Horizontal pipes to be connected between hand hole to hand hole and hand hole to cable trench shall be as follows :
   - 1-63 mm.ϕHDPE., type PN6 for disconnecting switch and grounding switch.
   - 1-110 mm.ϕHDPE., type PN6 for current transformer.
   - 1-63 mm.ϕHDPE., type PN6 for CCVT.
   - 1-90 mm.ϕHDPE., type PN6 for safety switch.
3. Horizontal pipe connected between 0.60x2.00 m.hand hole to cable trench shall be 3-63 mm.ϕHDPE., type PN6
4. Vertical rise conduit for control cable of current transformer shall be as follows :
   - 2 x 2"ϕ RSC. for secondary terminal box
   - 6 x 2 1/2"ϕ RSC. for junction box CT1
   - 3 x 2 1/2"ϕ RSC. for junction box CT2
   - 3 x 2 1/2"ϕ RSC. for junction box CT3
   - 6 x 2 1/2"ϕ RSC. for junction box CT4
   - 4 x 2 1/2"ϕ RSC. for junction box CT7
5. Vertical rise conduit for control cable of CCVT. shall be as follows :
   - 1 x 2"ϕ RSC. for secondary terminal box
   - 5 x 2 1/2"ϕ RSC. for junction box PT1
   - 3 x 2 1/2"ϕ RSC. for junction box PT3
   - 2 x 2 1/2"ϕ RSC. for junction box PT4
   - 2 x 2 1/2"ϕ RSC. for junction box PT5
6. Vertical rise conduit for control cable of disconnecting switch and grounding switch shall be 1 x 2"ϕ RSC.
7. Vertical rise conduit for control cable of circuit breaker shall be 3 x 2"ϕ RSC.
8. Vertical rise conduit for power cable of KW1A. shall be 1 x 3"ϕ RSC. complete with service entrance
9. Vertical rise conduit for power cable of safety switch shall be 2 x 3"ϕ RSC.

REFERENCE DRAWINGS

Bus Structure Plan.....Dwg.No.XX/AA-S-3-01/02
Substation Structure Lay-out.....Dwg.No.XX/AA-S-7-01/02
Cable Trench And Conduit Installation...Dwg.No.SE-TC-8-02-01/01

LEGEND

——— High density polyethylene conduit

■ Hand hole

SCALE 1:400

NO.	JOB ASSIG.	JOB DESCRIPTION & REVISION	DRAWN	DESIGNED	CHECKED	ASST. CSE.	SUBMITTED	RECOMMENDED	CONCURRED	APPROVED	DATE
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

CAD CENTER
DO NOT AMEND MANUALLY
10-DEC-08 10:14:48

ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND

DESIGNED	ASST. CSE.	-	SUBMITTED	
DESIGNED	-	-	RECOMMENDED	
DRAWN T. SUEIT	-	-	CONCURRED	
CHECKED			APPROVED	

DATE 17/12/47

SUBSTATION NAME

SUBSTATION CABLE TRENCH AND CONDUIT LAY-OUT

JOB NO. | REPLACING DWG.NO. | DWG.NO. XX/AA-S-8 | 01 | REV 0 | 02 | 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DWG.NO. XX/AA-S-9

TO 230KV. LINE NO.1

TO 230KV. LINE NO.2

TO 230KV. LINE NO.3

Crushed stone outside of chain link fence see section A-A.

TO 230KV. LINE NO.4

CONTROL BUILDING

CONNECTED TO 115KV. SUBSTATION

LEGEND		DESCRIPTION	ENGRAVED LETTERING	LEGEND	DESCRIPTION	ENGRAVED LETTERING
TYPE A : PHASING PLATE						
A1	PHASE A		A			
A2	PHASE B		B			
A3	PHASE C		C			
TYPE B : BUS NUMBER PLATE						
B1	230kV.BUS NO.1		BUS-1			
B2	230kV.BUS NO.2		BUS-2			
TYPE C : SWITCHING NUMBER PLATE						
C1	230kV.BUS TIE IN THE FIFTH BAY OF FIRST ROW	89515	C16	230kV.CB.IN THE FOURTH BAY OF THE SECOND ROW	89422
C2	230kV.CB.IN THE FIFTH BAY OF THE FIRST ROW	89512	C17	230kV.DS.IN THE FOURTH BAY OF THE SECOND ROW	89423
C3	230kV.DS.IN THE FIFTH BAY OF THE FIRST ROW	89514	C18	230kV.DS.IN THE FOURTH BAY OF THE THIRD ROW	89433
C4	230kV.EDS.IN THE FIFTH BAY OF THE FIRST ROW	89514E	C19	230kV.EDS.IN THE FOURTH BAY OF THE THIRD ROW	89433E
C5	230kV.DS.IN THE FIFTH BAY OF THE SECOND ROW	89524	C20	230kV.CB.IN THE FOURTH BAY OF THE THIRD ROW	89432
C6	230kV.CB.IN THE FIFTH BAY OF THE SECOND ROW	89522	C21	230kV.DS.IN THE FOURTH BAY OF THE THIRD ROW	89435
C7	230kV.DS.IN THE FIFTH BAY OF THE SECOND ROW	89523	C22	230kV.DS.IN THE THIRD BAY OF THE FIRST ROW	89312
C8	230kV.DS.IN THE FIFTH BAY OF THE THIRD ROW	89533	C23	230kV.CB.IN THE THIRD BAY OF THE FIRST ROW	89312
C9	230kV.EDS.IN THE FIFTH BAY OF THE THIRD ROW	89533E	C24	230kV.DS.IN THE THIRD BAY OF THE FIRST ROW	89314
C10	230kV.CB.IN THE FIFTH BAY OF THE THIRD ROW	89532	C25	230kV.DS.IN THE THIRD BAY OF THE THIRD ROW	89333
C11	230kV.DS.IN THE FIFTH BAY OF THE THIRD ROW	89534	C26	230kV.EDS.IN THE THIRD BAY OF THE THIRD ROW	89333E
C12	230kV.DS.IN THE FOURTH BAY OF THE FIRST ROW	89415	C27	230kV.CB.IN THE THIRD BAY OF THE THIRD ROW	89332
C13	230kV.CB.IN THE FOURTH BAY OF THE FIRST ROW	89412	C28	230kV.DS.IN THE THIRD BAY OF THE THIRD ROW	89335
C14	230kV.DS.IN THE FOURTH BAY OF THE FIRST ROW	89414	C29	STATION SERVICE TRANSFORMER FUSE	2201F16A
C15	230kV.DS.IN THE FOURTH BAY OF THE SECOND ROW	89424			
TYPE D : DEVICE NUMBER PLATE						
D1	230kV.BUS NO.1 CVT.IN THE FIFTH BAY	9254	D19	230kV.CT.IN THE FOURTH BAY OF THE SECOND ROW	8240
D2	230kV.BUS NO.1 CVT.JUNCTION BOX (9254)	JUNCTION BOX EMPTY(9254)	D20	230kV.CT.JUNCTION BOX (8240)	JUNCTION BOX EMPTY(8240)
D3	230kV.CT.IN THE FIFTH BAY OF FIRST ROW	8254	D21	230kV.LINE NO.2 CVT.IN THE FOURTH BAY	9240
D4	230kV.CT.JUNCTION BOX (8254)	JUNCTION BOX EMPTY(8254)	D22	230kV.LINE NO.2 CVT.JUNCTION BOX (9240)	JUNCTION BOX EMPTY(9240)
D5	230kV.LINE NO.4 CVT.IN THE FIFTH BAY	9254	D23	230kV.CT.IN THE FOURTH BAY OF THE THIRD ROW	8240
D6	230kV.LINE NO.4 CVT.JUNCTION BOX (9254)	JUNCTION BOX EMPTY(9254)	D24	230kV.CT.JUNCTION BOX (8240)	JUNCTION BOX EMPTY(8240)
D7	230kV.CT.IN THE FIFTH BAY OF THE SECOND ROW	8250	D25	230kV.CT.IN THE THIRD BAY OF THE FIRST ROW	8230
D8	230kV.CT.JUNCTION BOX (8250)	JUNCTION BOX EMPTY(8250)	D26	230kV.CT.JUNCTION BOX (8230)	JUNCTION BOX EMPTY(8230)
D9	230kV.LINE NO.3 CVT.IN THE FIFTH BAY	9234	D27	230kV.LINE NO.3 CVT.IN THE THIRD BAY	9230
D10	230kV.LINE NO.3 CVT.JUNCTION BOX (9234)	JUNCTION BOX EMPTY(9234)	D28	230kV.LINE NO.3 CVT.JUNCTION BOX (9230)	JUNCTION BOX EMPTY(9230)
D11	230kV.CT.IN THE FIFTH BAY OF THE THIRD ROW	823C	D29	230kV.CT.IN THE THIRD BAY OF THE THIRD ROW	823C
D12	230kV.CT.JUNCTION BOX (823C)	JUNCTION BOX EMPTY(823C)	D30	230kV.CT.JUNCTION BOX (823C)	JUNCTION BOX EMPTY(823C)
D13	230kV.BUS NO.2 CVT.IN THE FIFTH BAY	9250	D31	230kV.CT.JUNCTION BOX (BUS DIFF.NO.1)	TOKUNG DIFF.NO.1
D14	230kV.BUS NO.2 CVT.JUNCTION BOX (9250)	JUNCTION BOX EMPTY(9250)	D32	230kV.CT.JUNCTION BOX (BUS DIFF.NO.2)	TOKUNG DIFF.NO.2
D15	230kV.CT.IN THE FOURTH BAY OF THE FIRST ROW	8244	D33	230kV.LIGHTNING ARRESTER	51A
D16	230kV.CT.JUNCTION BOX (8244)	JUNCTION BOX EMPTY(8244)	D34	115kV.LIGHTNING ARRESTER	51B
D17	230kV.TRANSFORMER CVT.IN THE FOURTH BAY	9244	D35	22kV.LIGHTNING ARRESTER	51C
D18	230kV.TRANSFORMER CVT.JUNCTION BOX (9244)	JUNCTION BOX EMPTY(9244)	D36	STATION SERVICE TRANSFORMER	89A
			D37	STATION SERVICE TRANSFORMER	89A
TYPE E : DEVICE NUMBER PLATE						
E1	230-115-22kV.POWER TRANSFORMER	8944				
E2	TRANSFORMER MARSHALLING CUBICLE	MARSHALLING CUBICLE EMPTY(8944)				
TYPE F : TRANSMISSION LINE PLATE						
F1	230kV.LINE TO SUBSTATION A	230kV.LINE TO SUBSTATION A	F4	230kV.LINE TO SUBSTATION B	230kV.LINE TO SUBSTATION B
F2	230kV.LINE TO SUBSTATION B	230kV.LINE TO SUBSTATION B			
F3	230kV.LINE TO SUBSTATION C	230kV.LINE TO SUBSTATION C			
TYPE G : DANGER NOTICE						
G1	WARNING OF HAZARDOUS AREA	SEE DETAILS ON THE PLATE				

NOTE

All dimensions are in meters, except as noted.

REFERENCE DRAWINGS

Typical Substation

Indentification Plate Installation.....Dwg.No.SE-ID-0-01-01/01

Indentification Plate & Location.....Dwg.No.SE-ID-8-01-01/01

This drawing shall be used as a guidance for substation design only. No parts of this drawing shall be reproduced or referred in the contractor's drawings.

SCALE 1:400

NO.	JOB ASSIG.	JOB DESCRIPTION & REVISION	DRAWN	DESIGNED	CHECKED	ASST.CSE	SUBMITTED	RECOMMENDED	CONCURRED	APPROVED	DATE
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND

DESIGNED	ASST. CSE.	SUBMITTED	SUBSTATION NAME (BREAKER AND A HALF)
DESIGNED	-	RECOMMENDED	
DRAWN P.SOMMART	-	CONCURRED	IDENTIFICATION PLATE AND LOCATION
CHECKED		APPROVED	
APPROVED		DATE 23/2/26.	JOB NO. / REPLACING DWG.NO. / DWG.NO. XX/AA-S-9 / 01 REV. 02 0

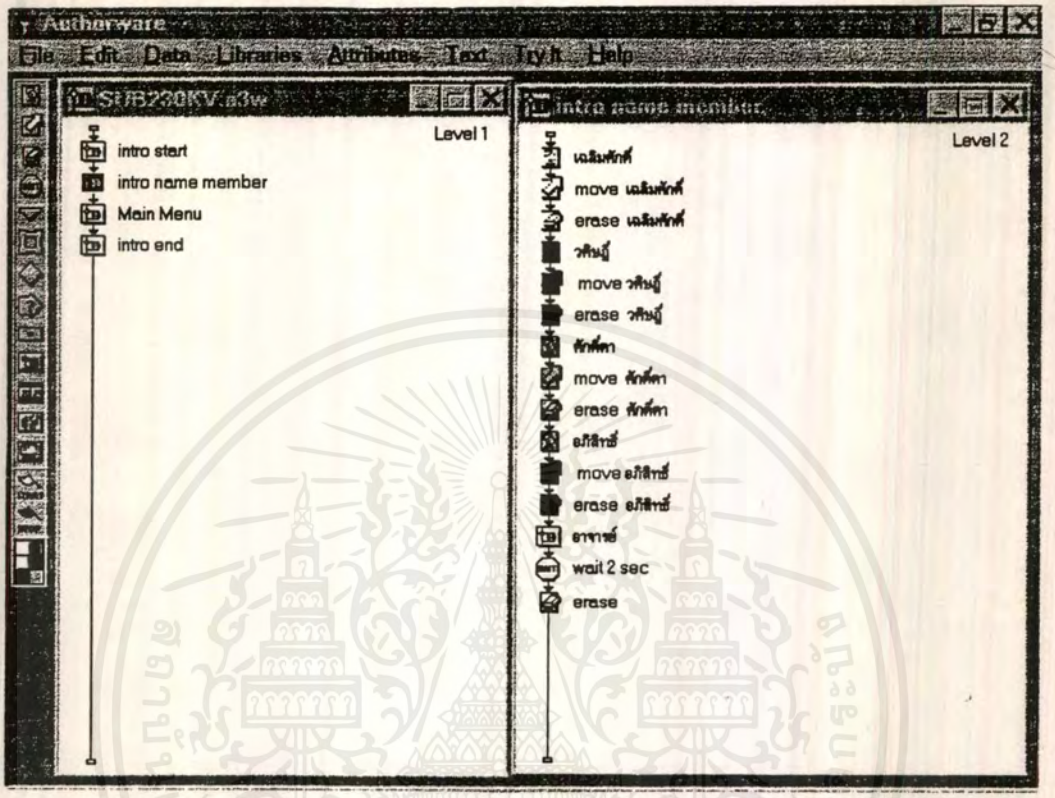
CAD CENTER DO NOT AMEND MANUALLY

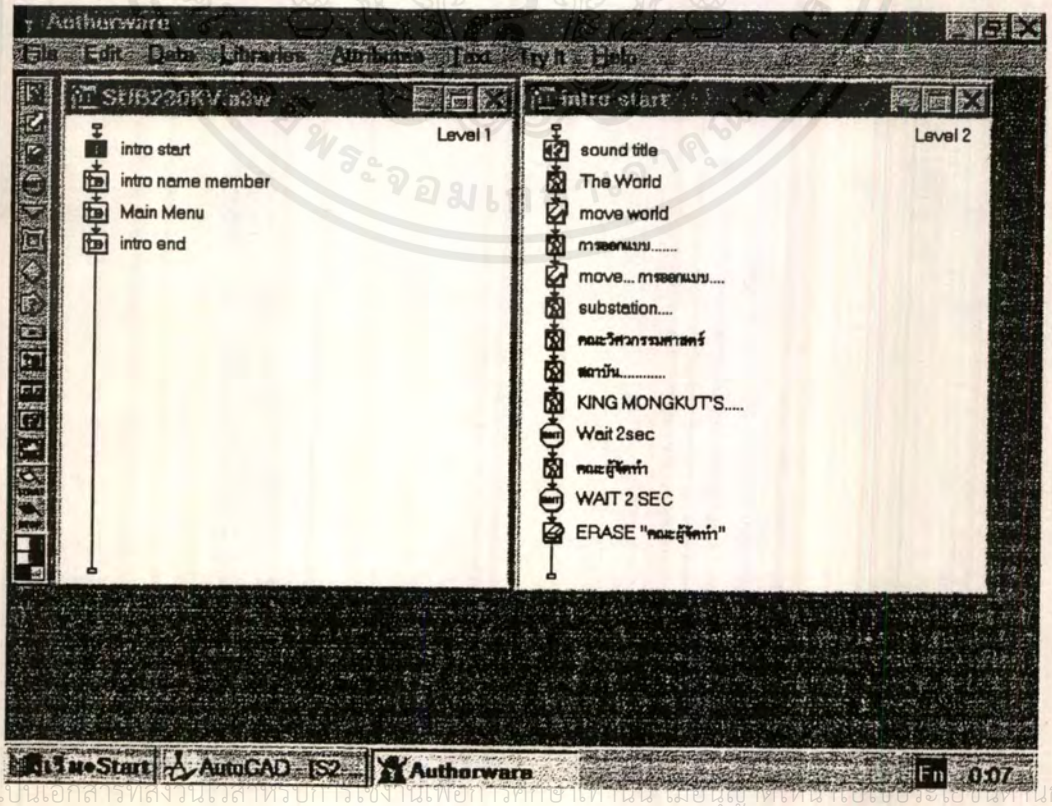
(15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

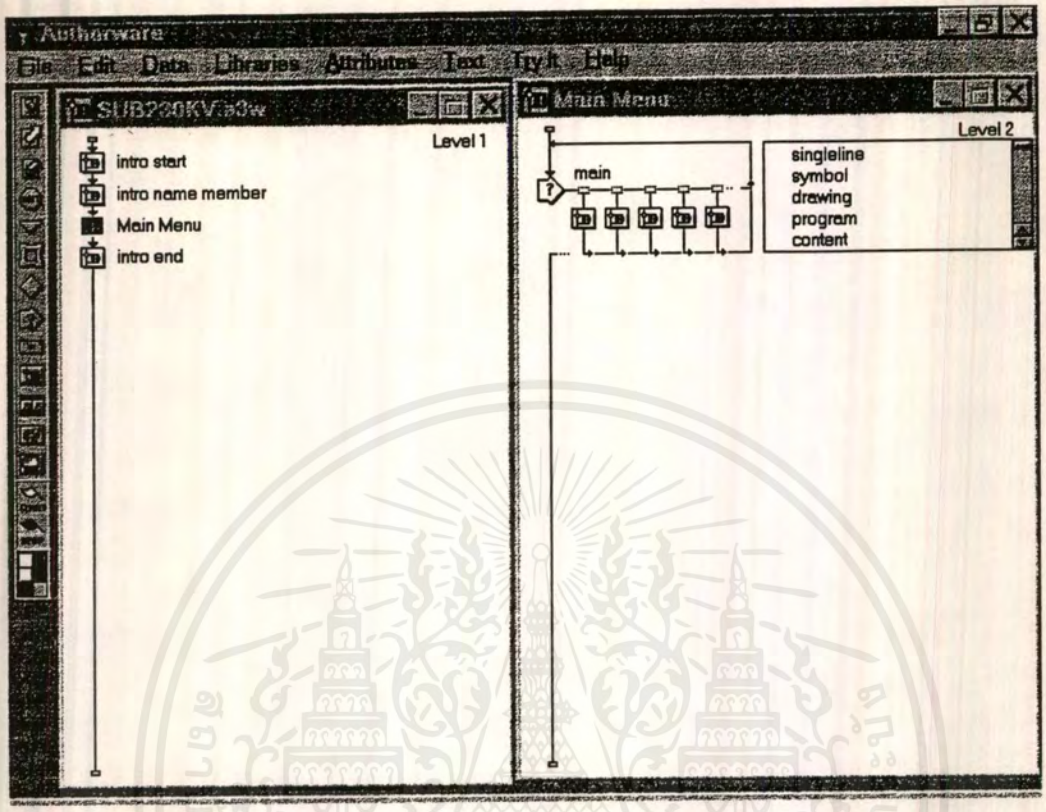
ภาคผนวก ข.

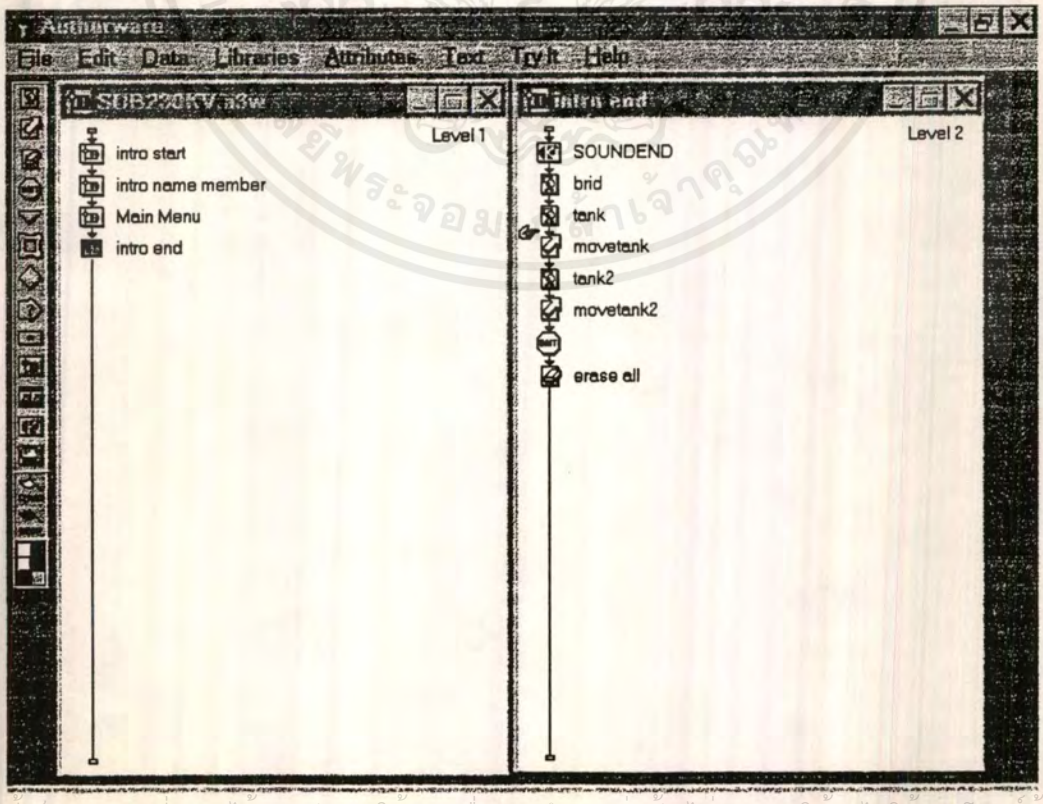
รูปแบบของโปรแกรม



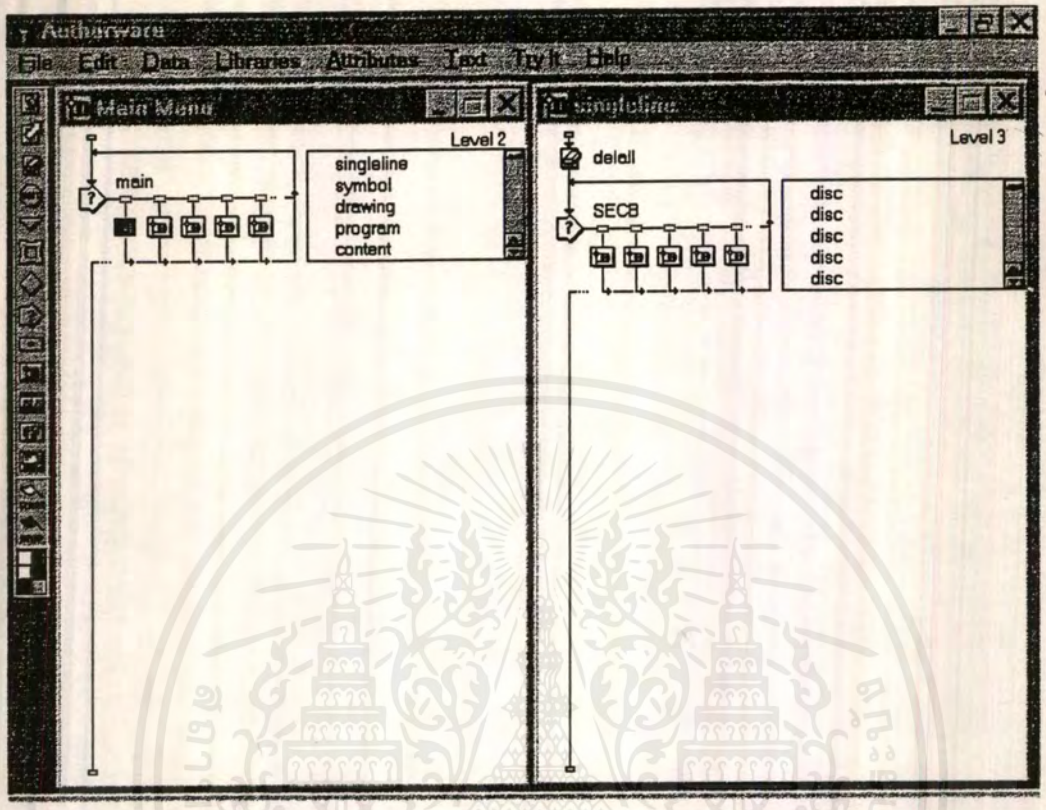


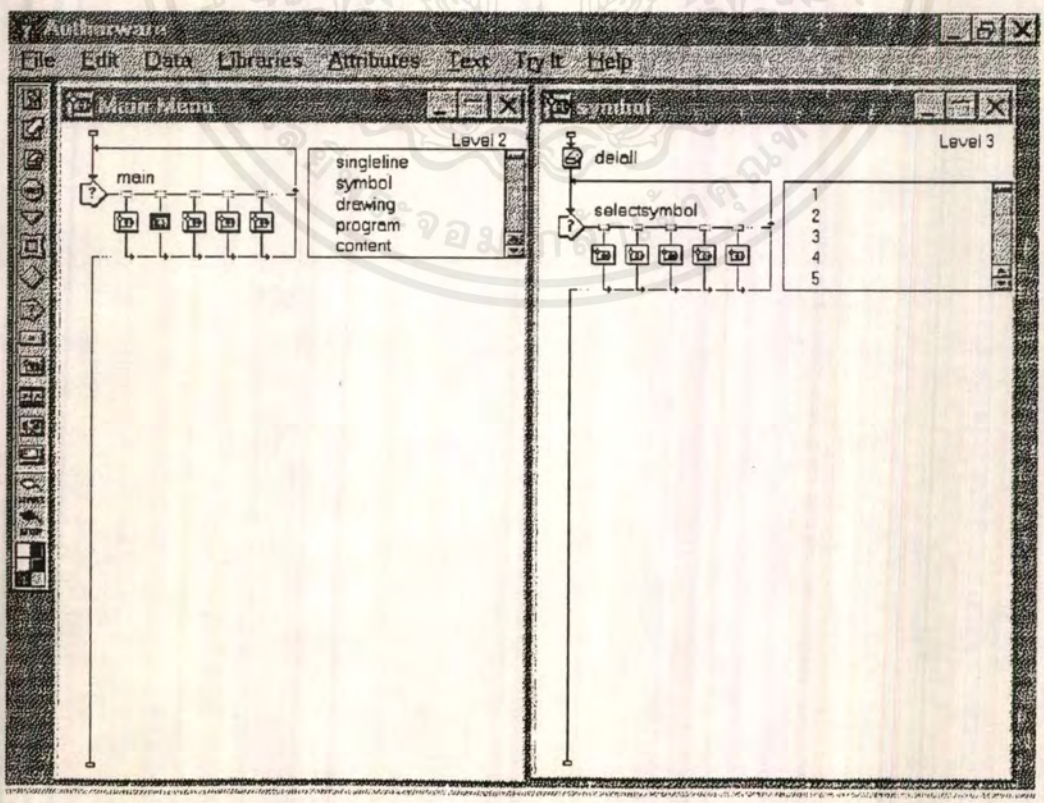
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



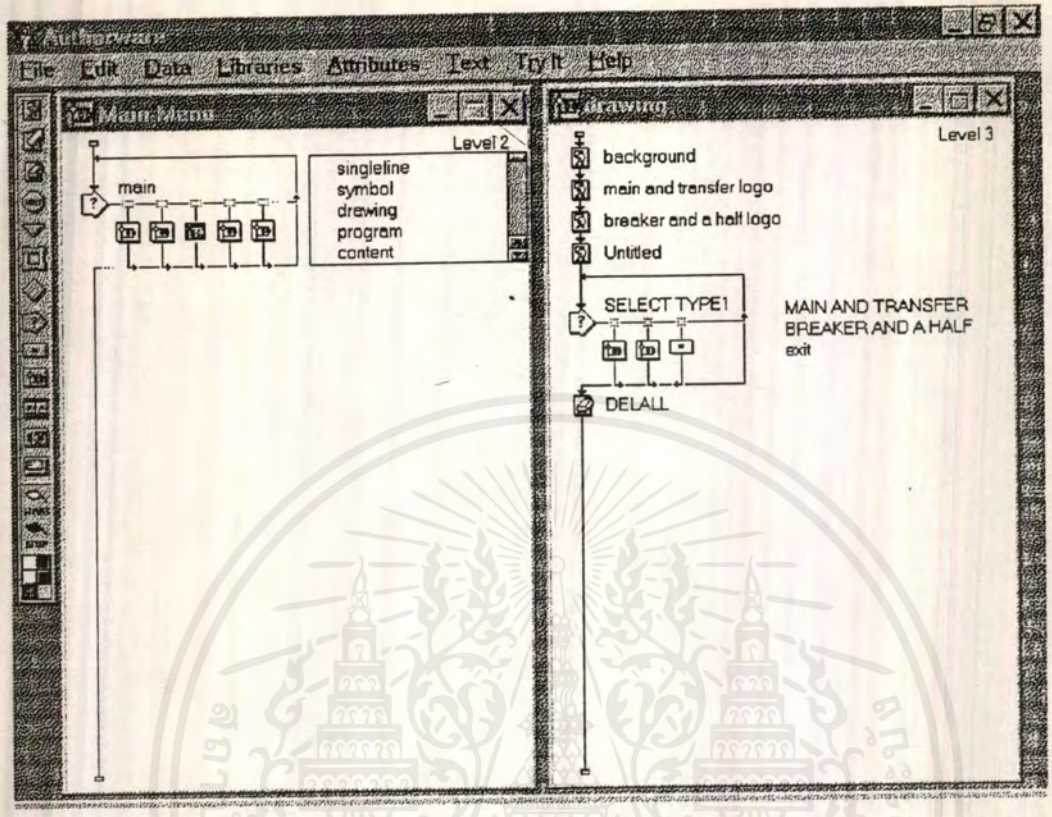


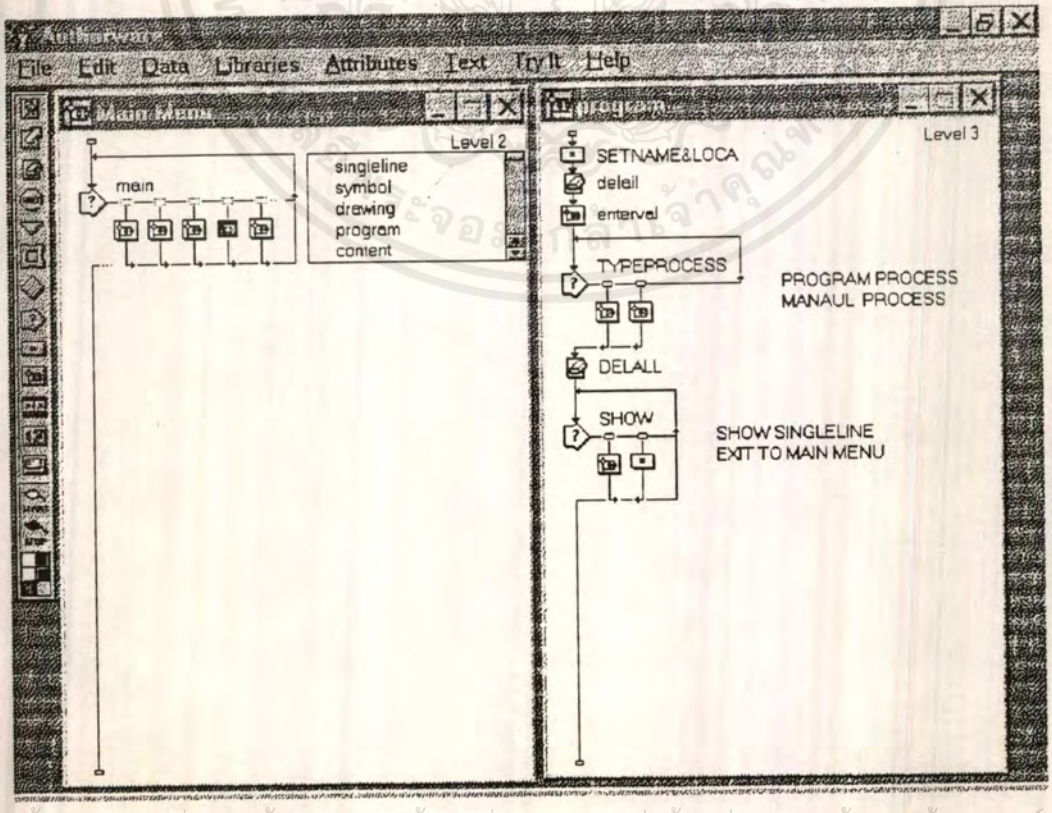
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



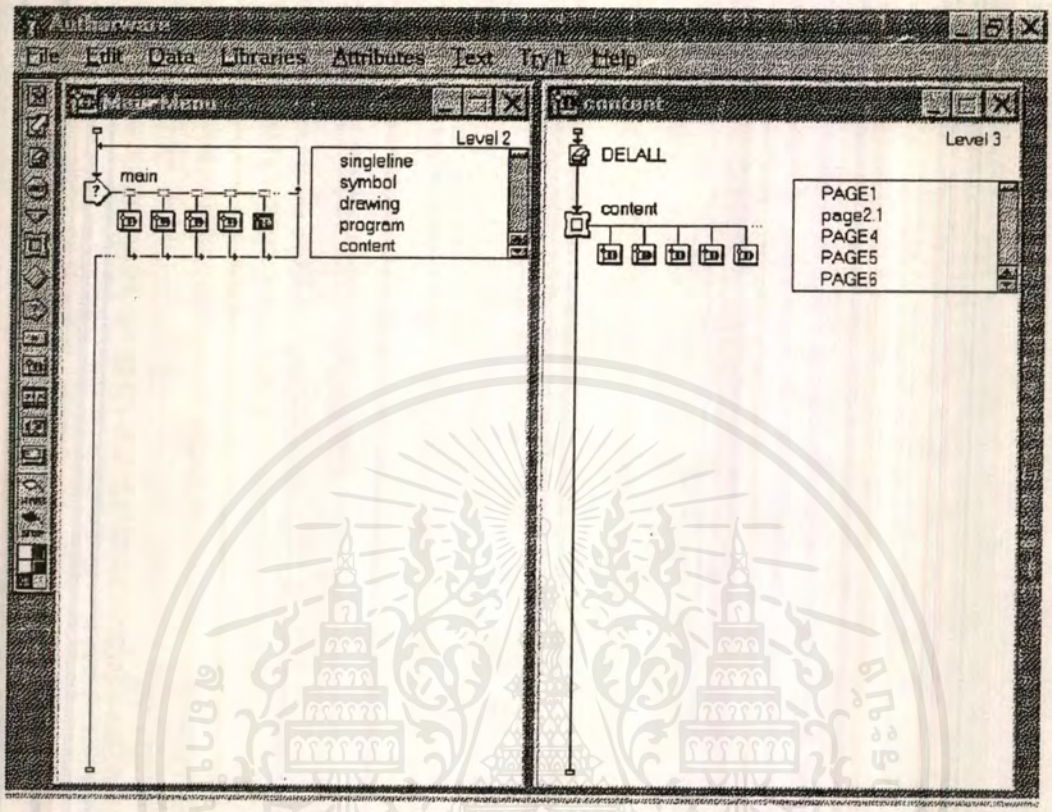


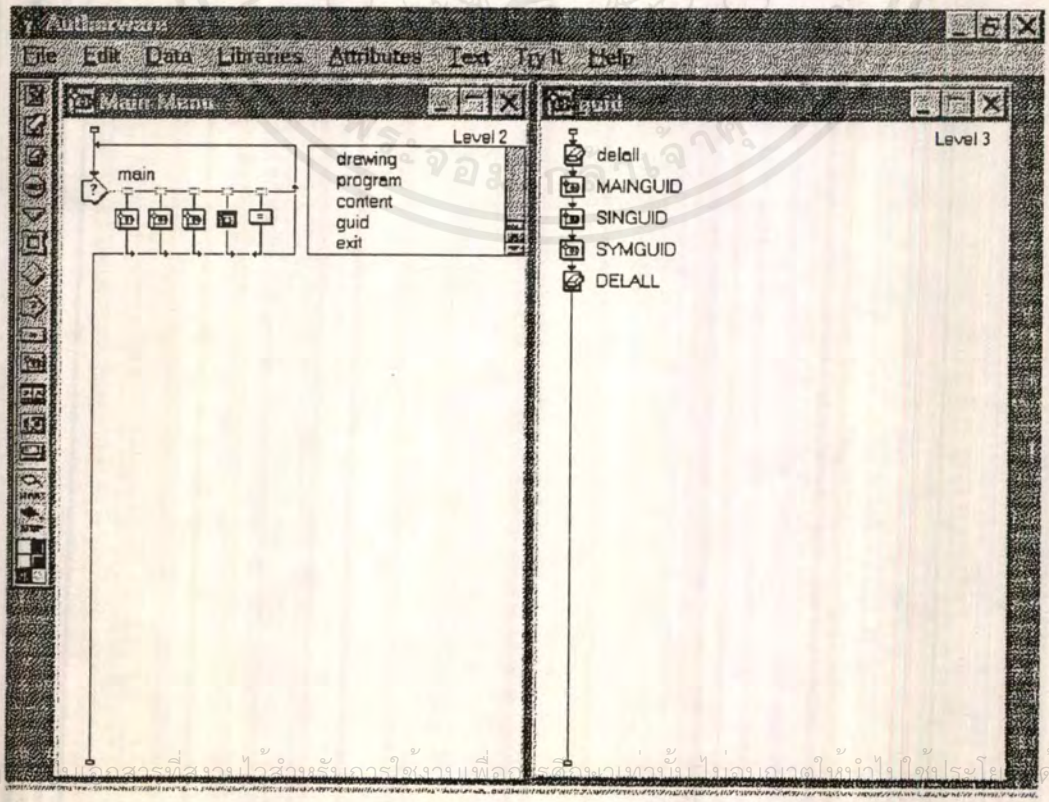
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



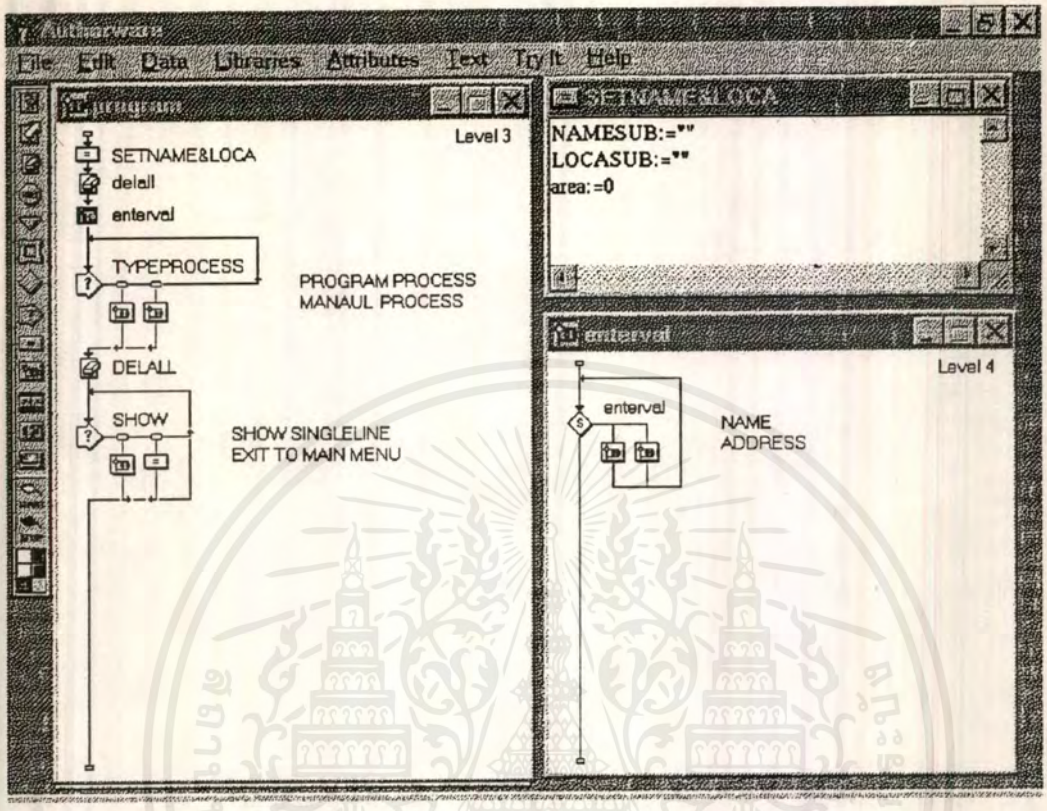


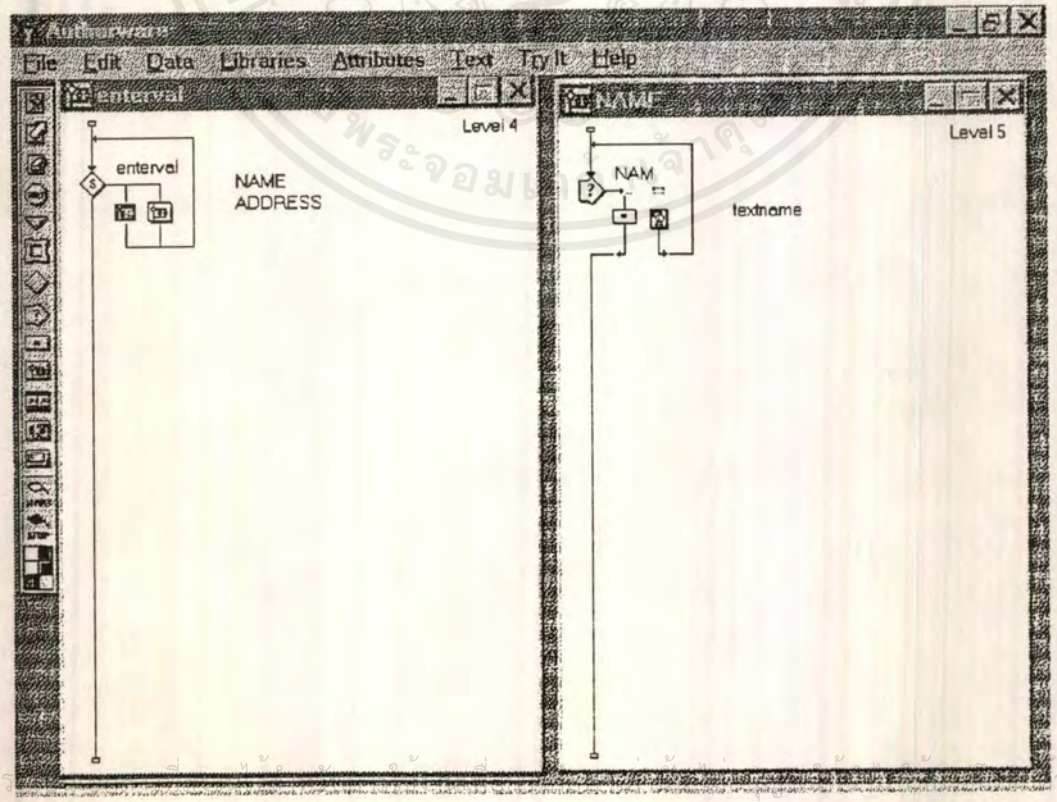
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



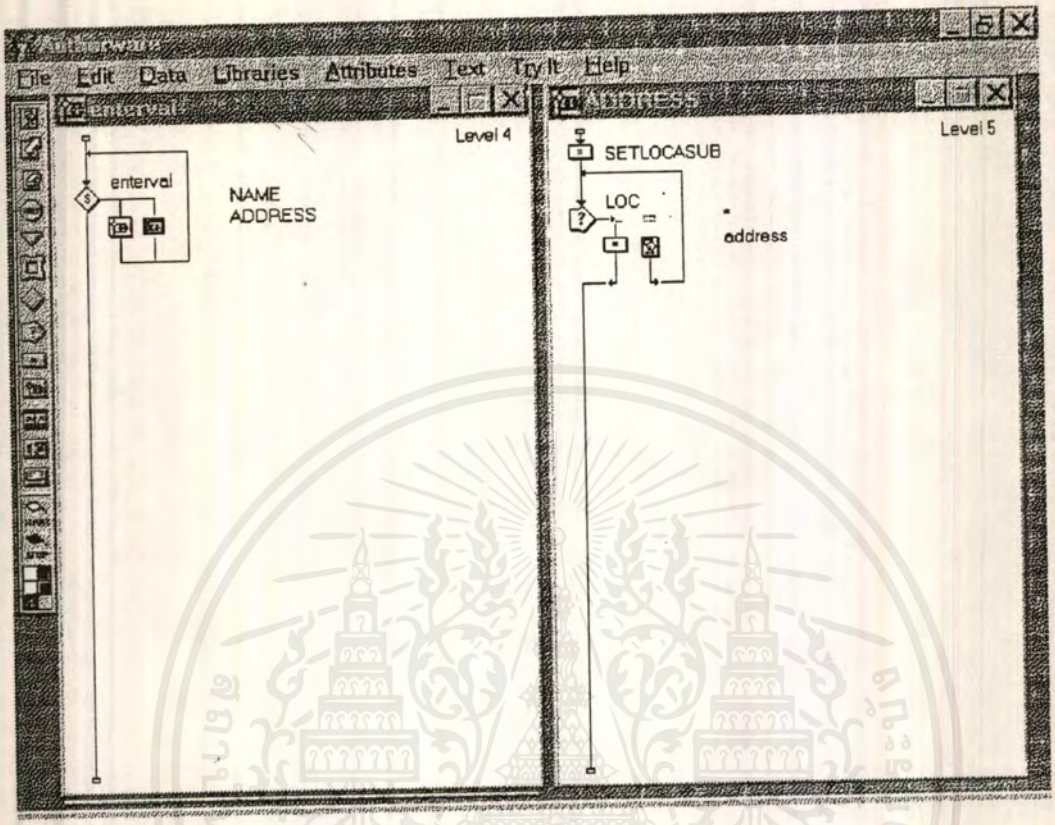


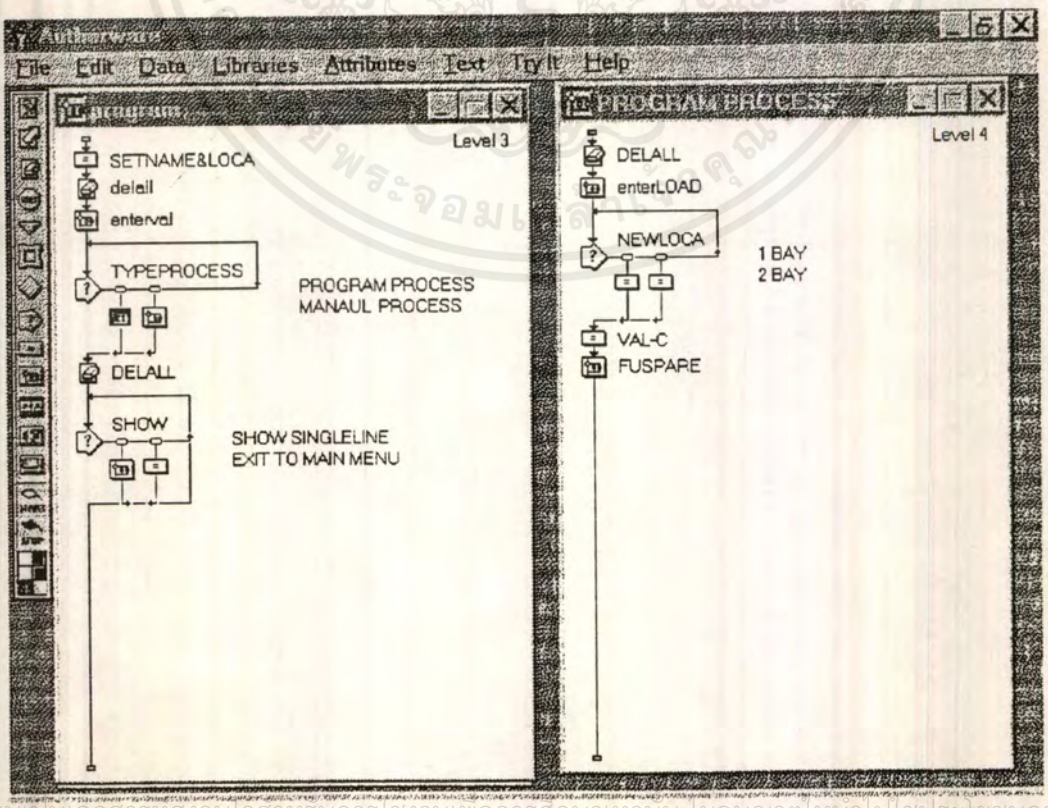
เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



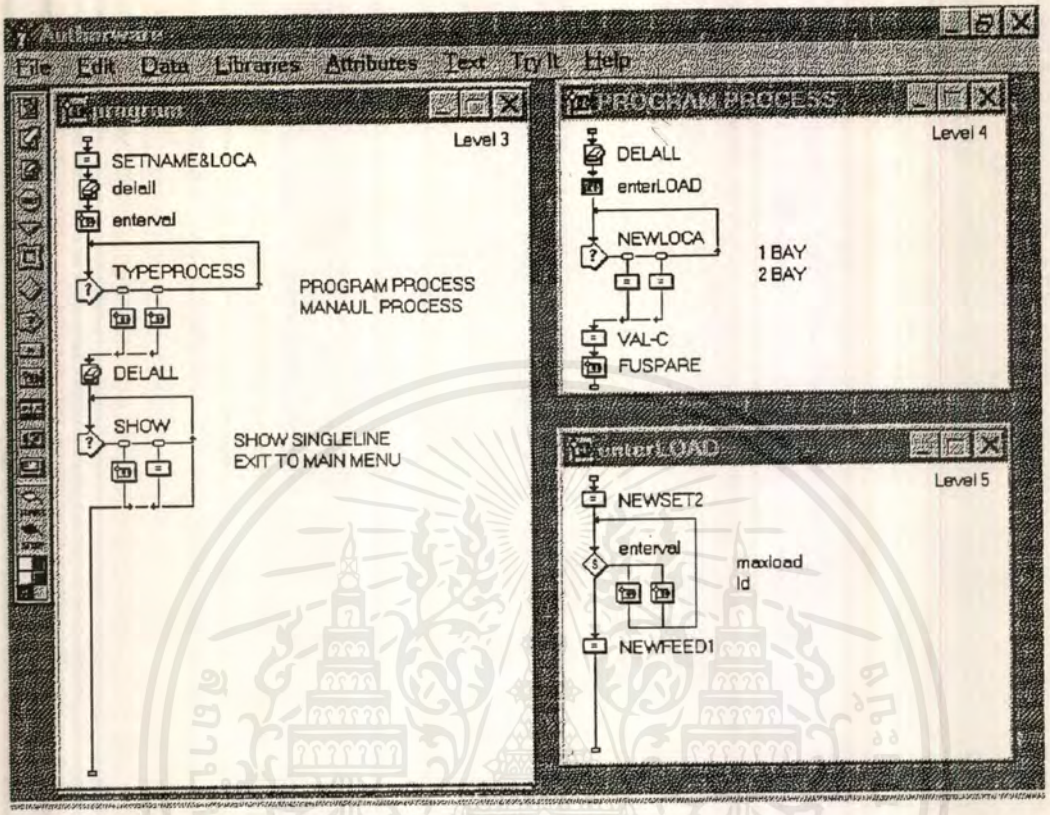


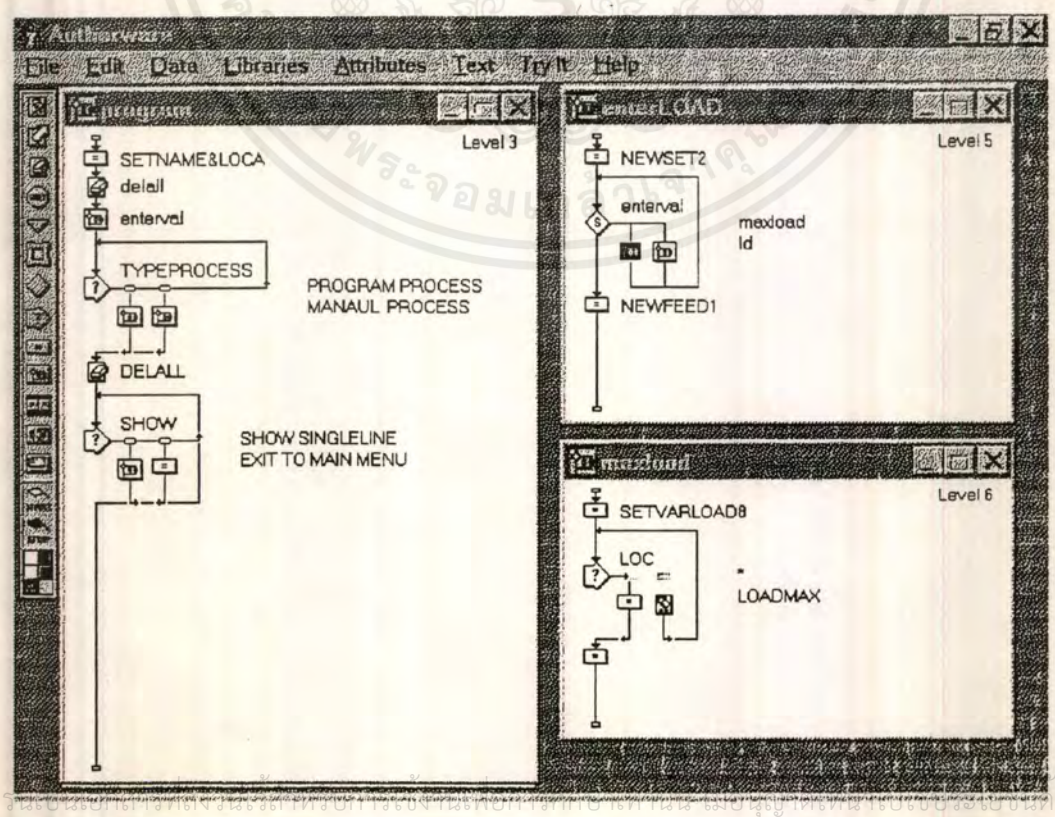
เอกสาร
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
การค้า



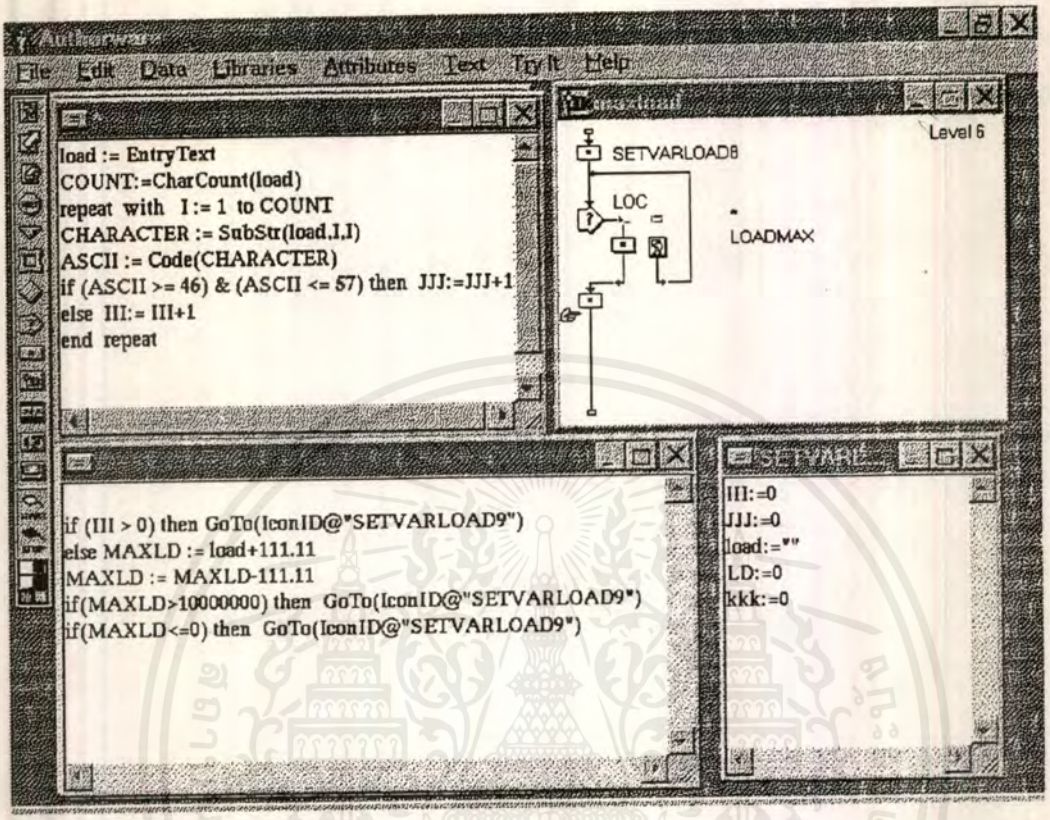


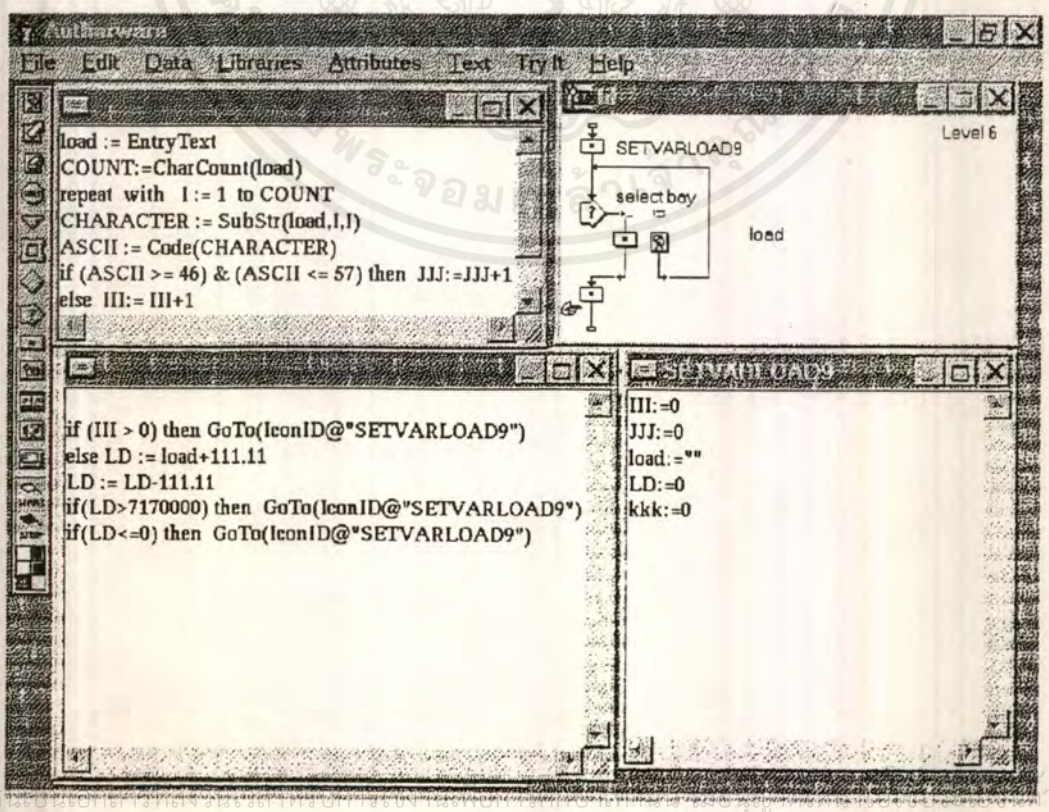
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



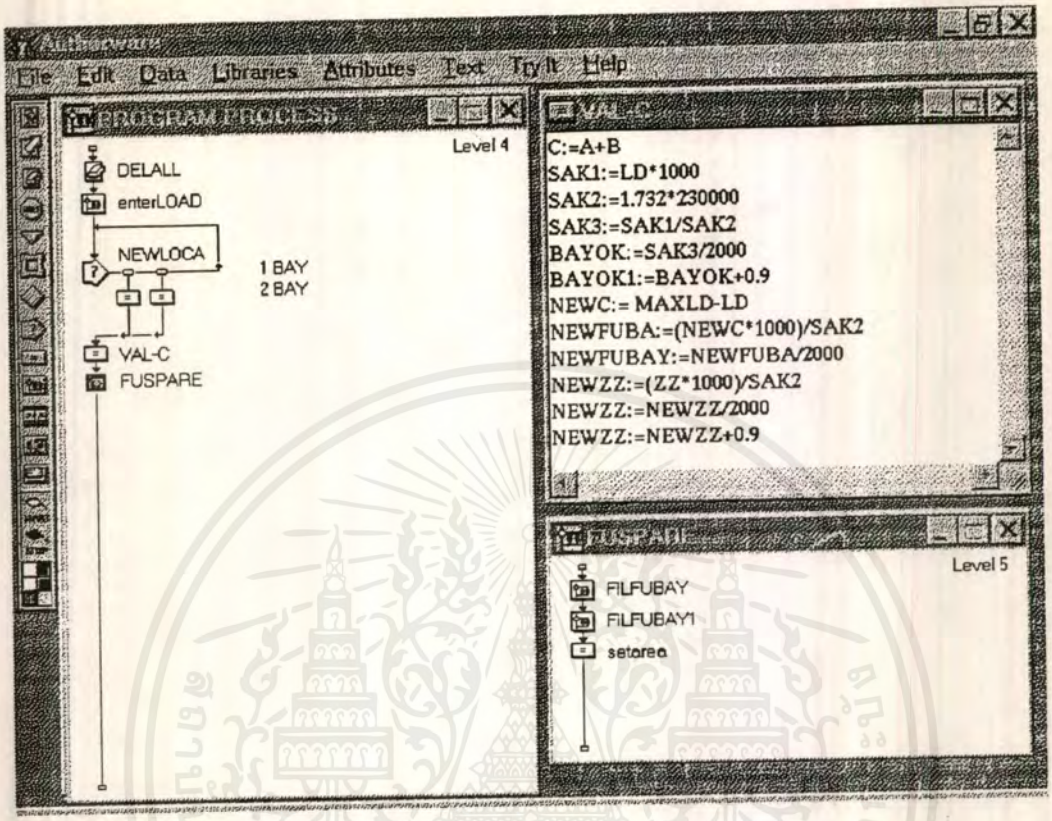


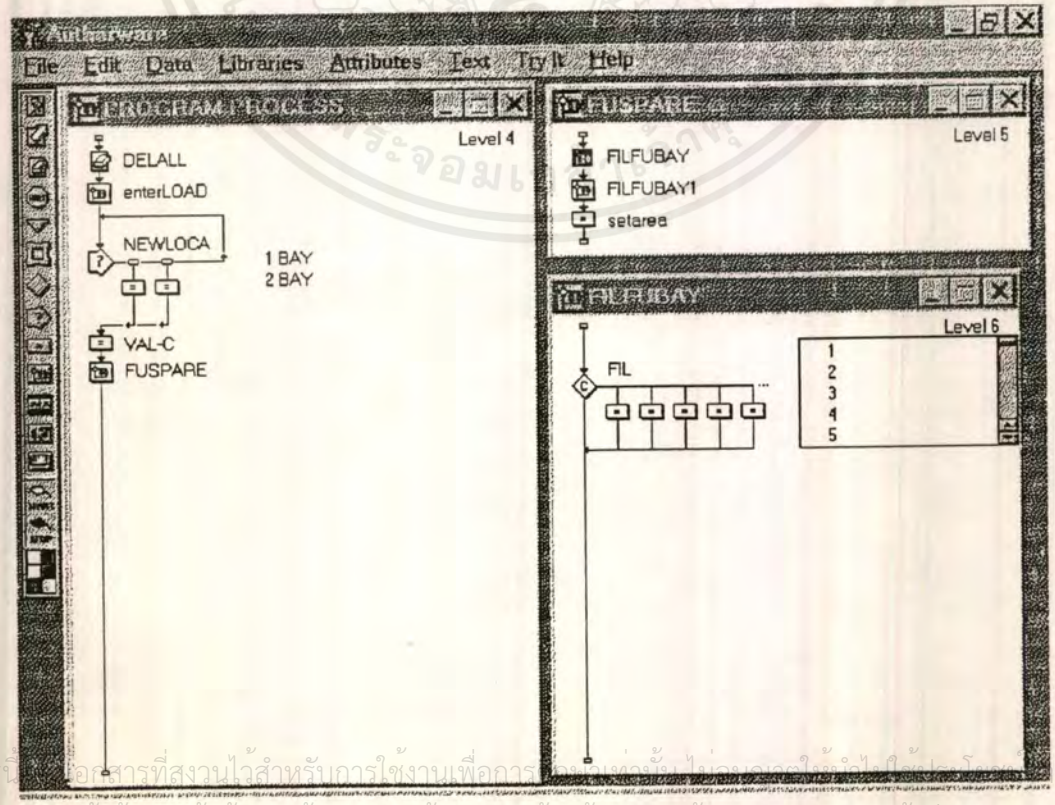
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



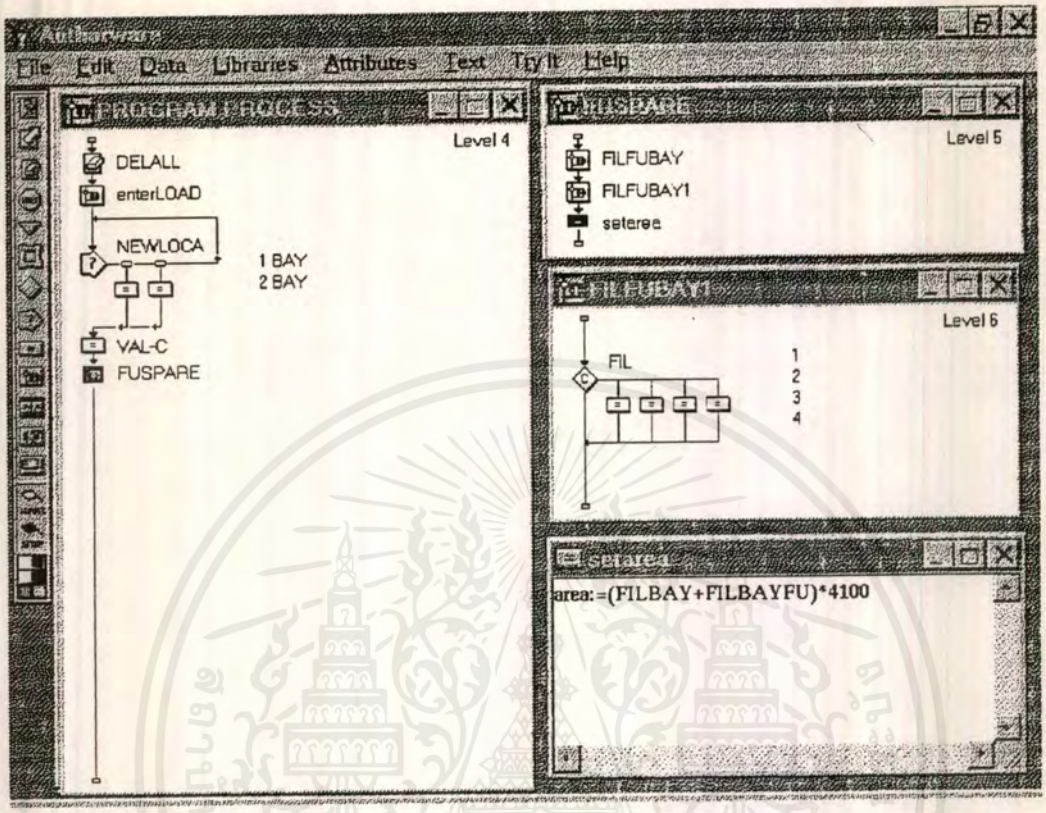


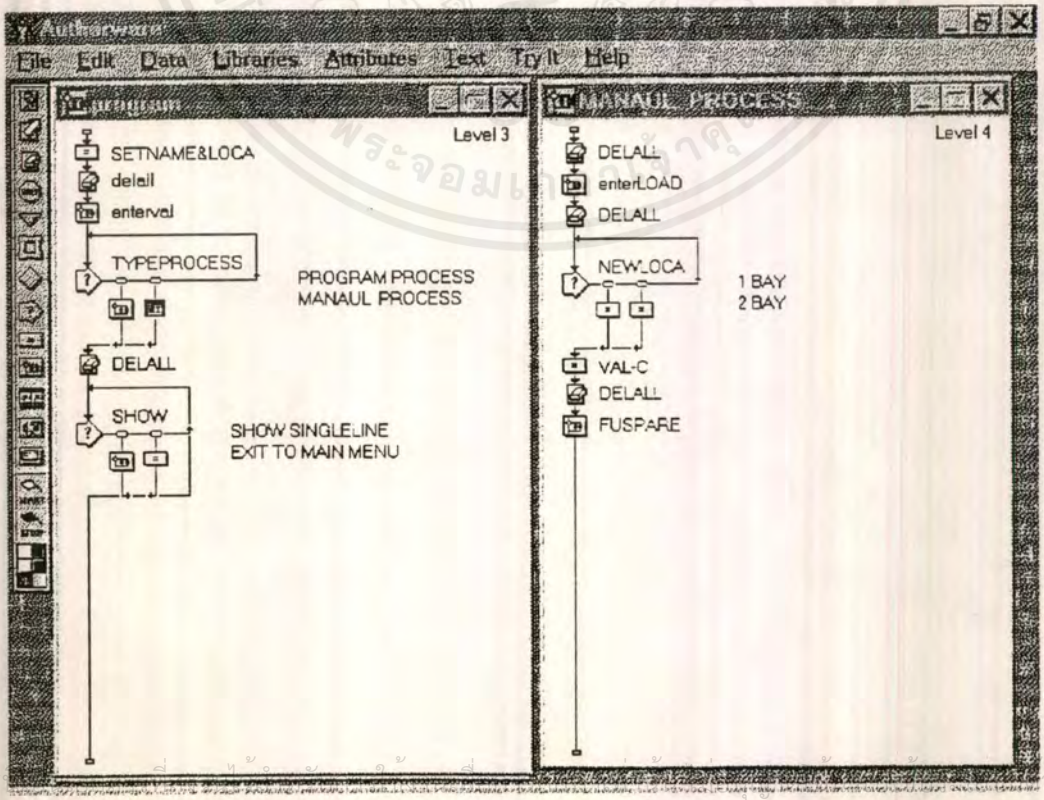
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



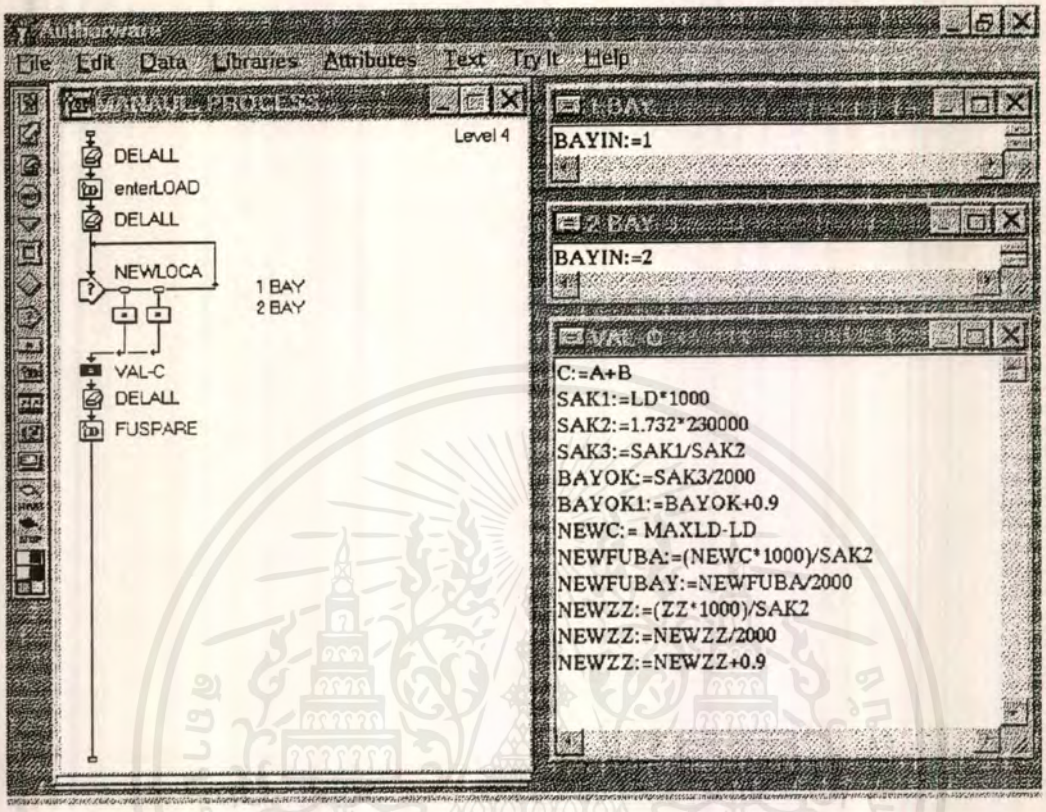


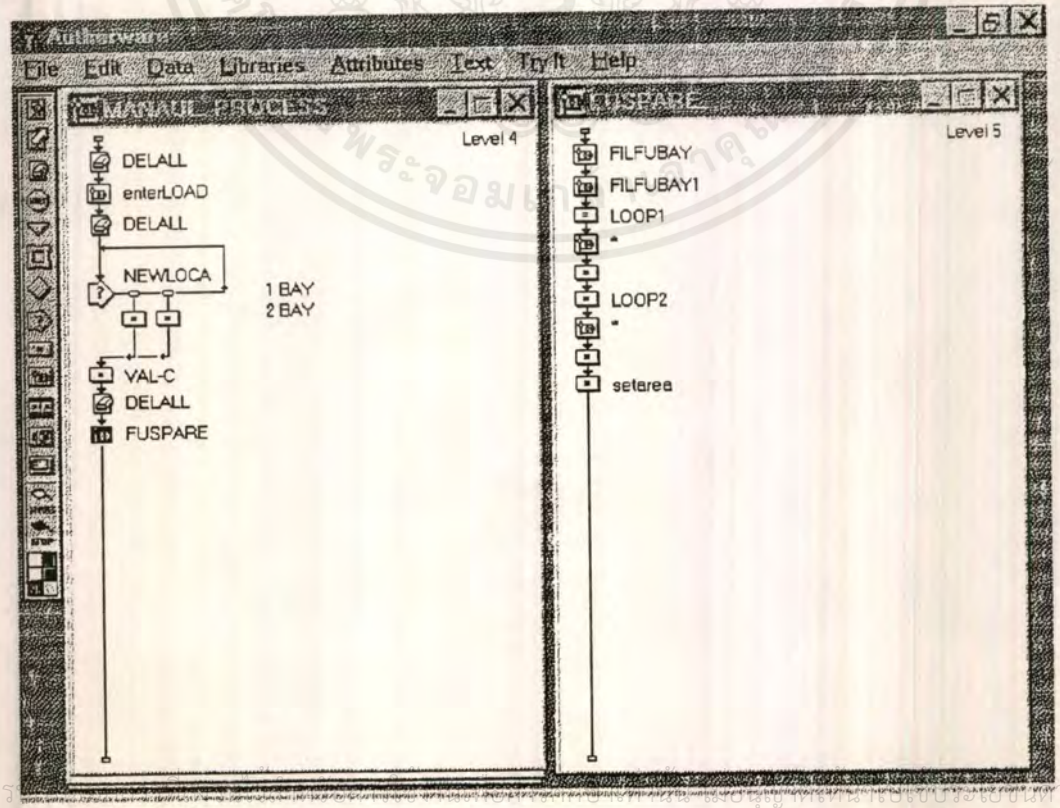
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



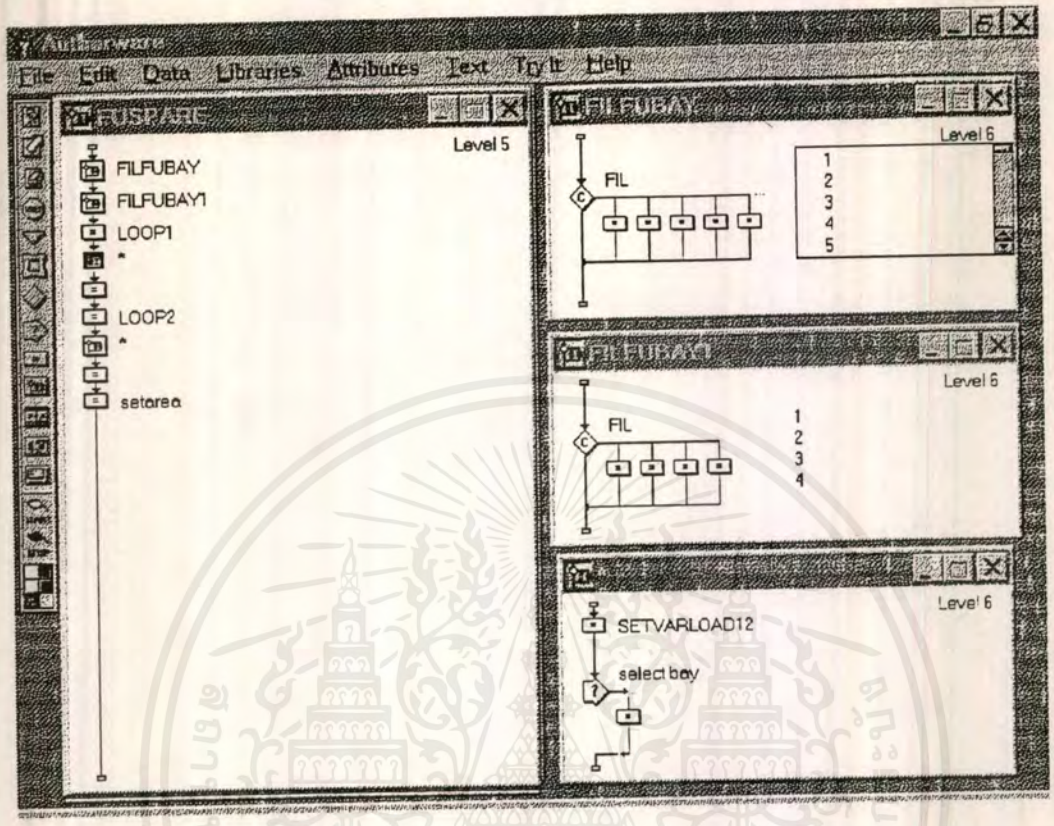


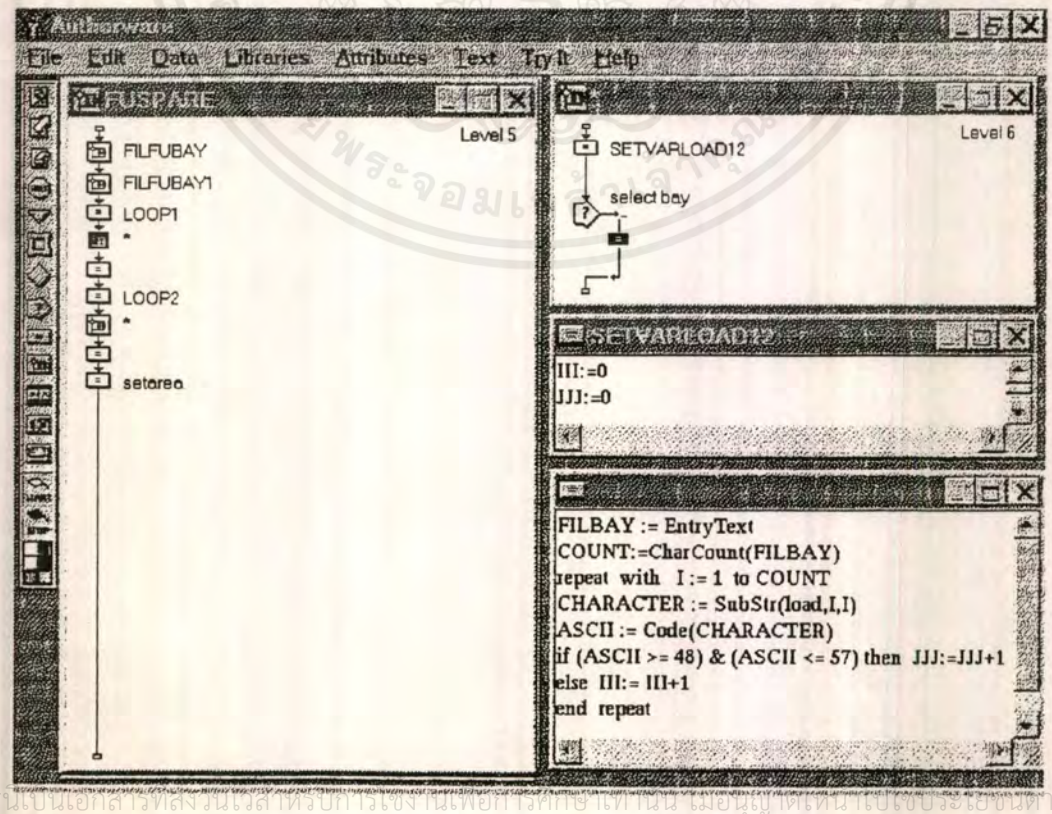
เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



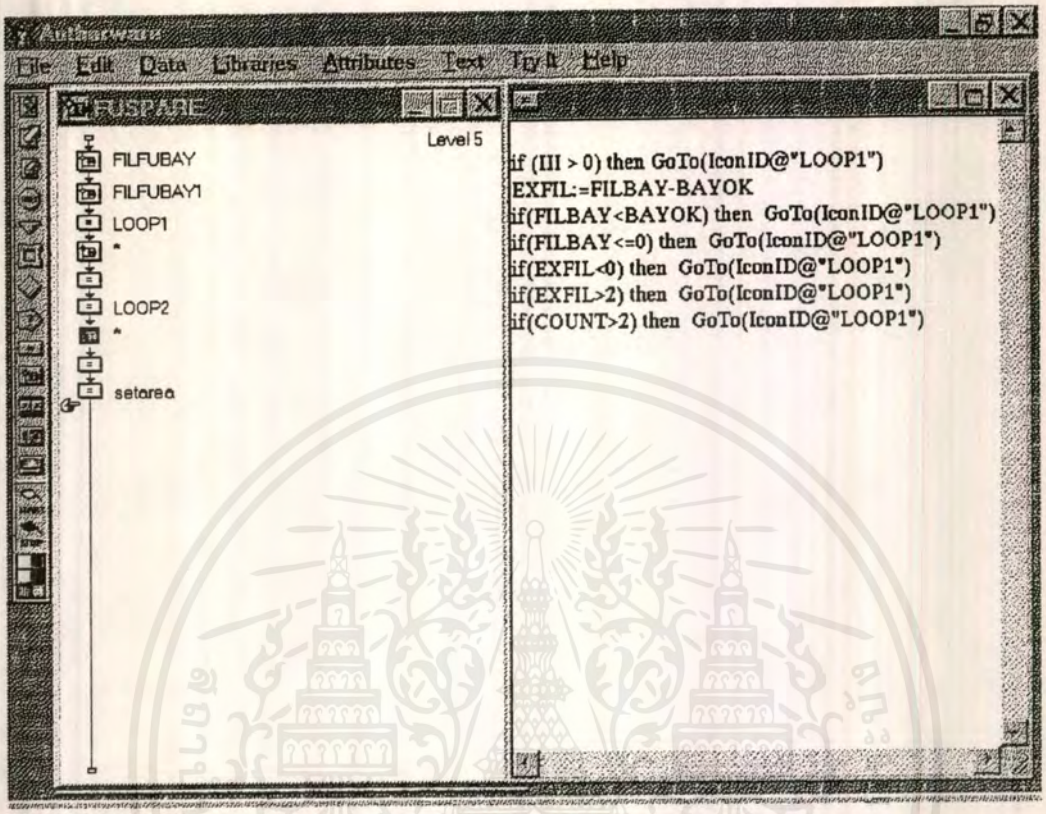


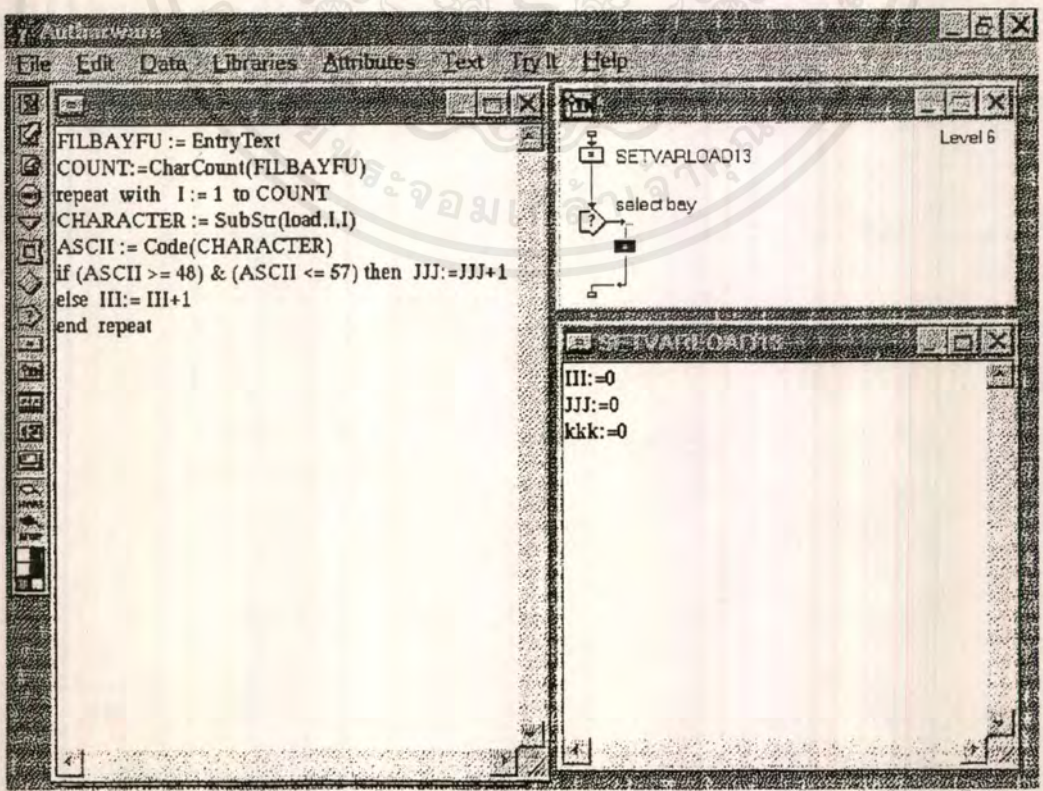
เอกสาร[illegible]ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



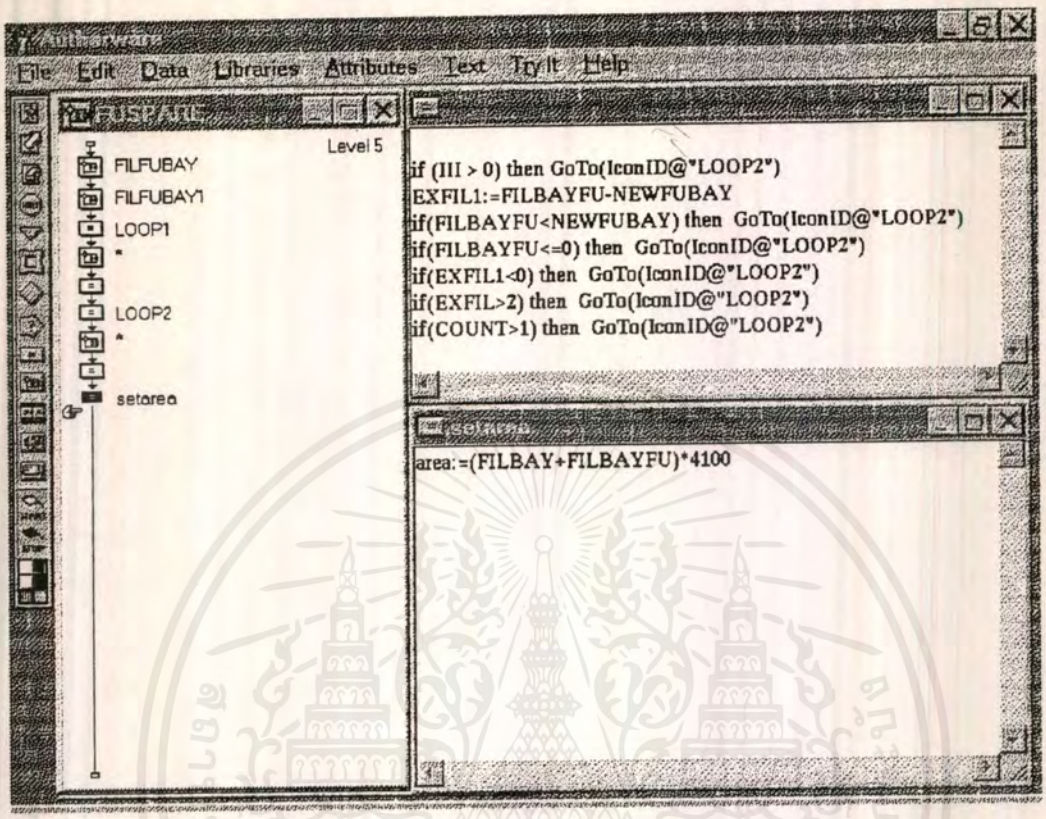


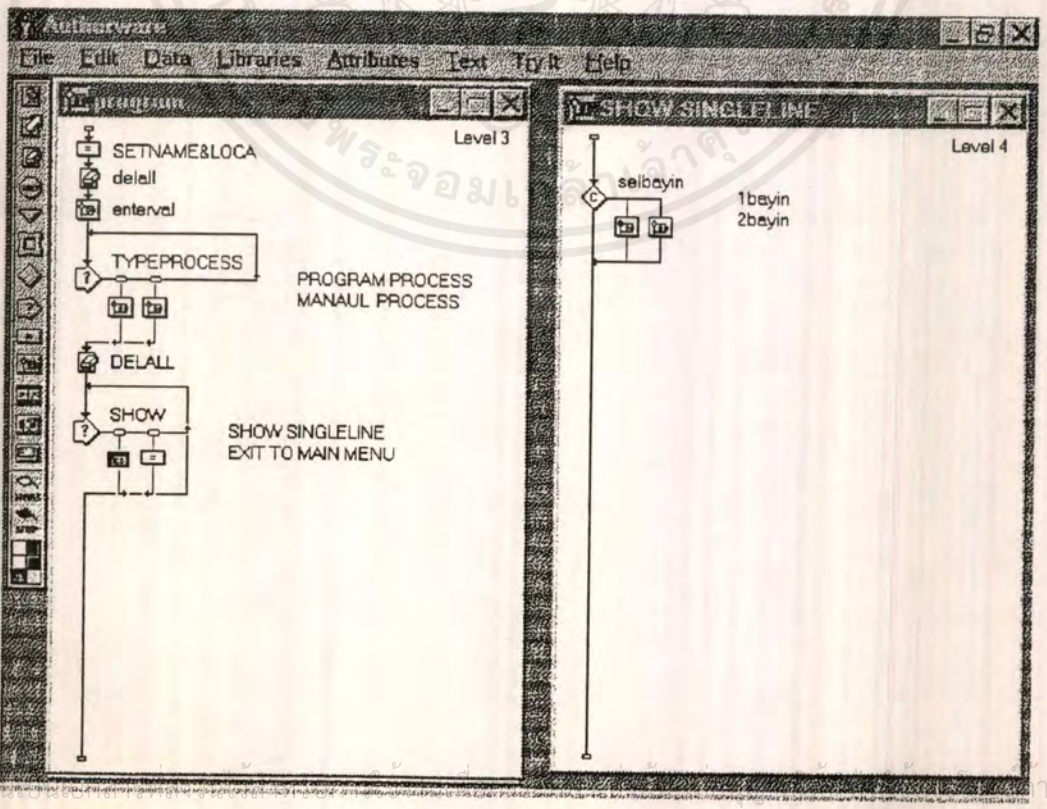
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



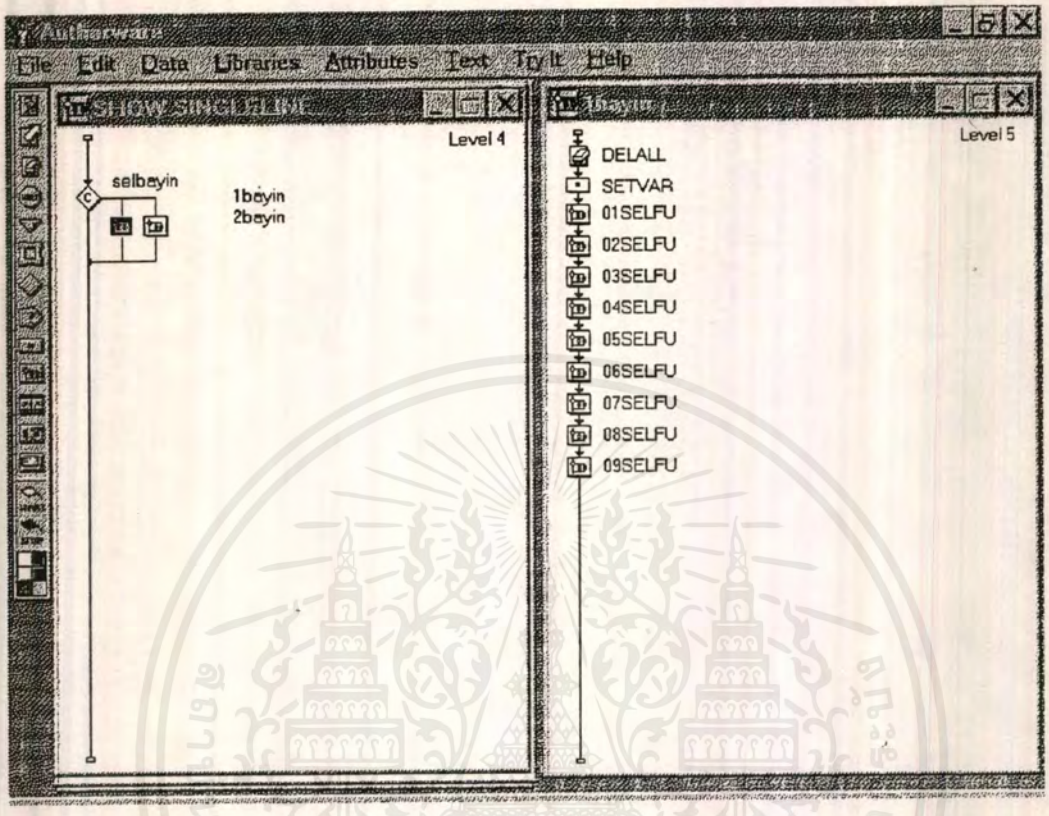


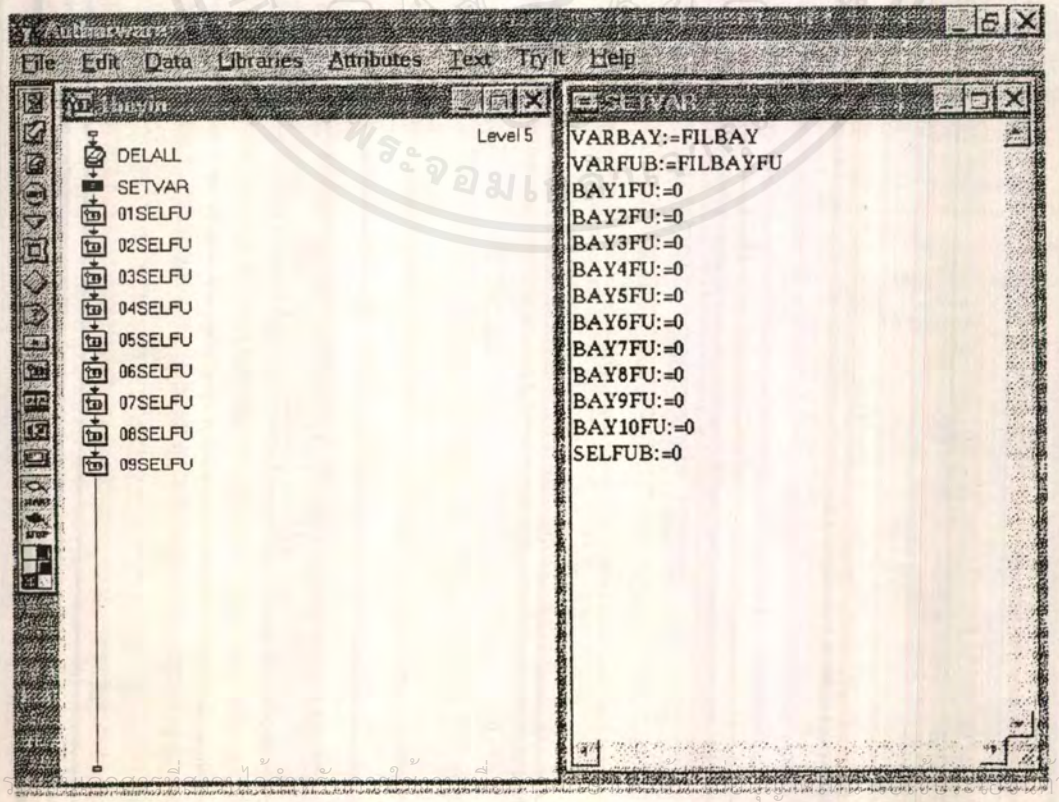
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



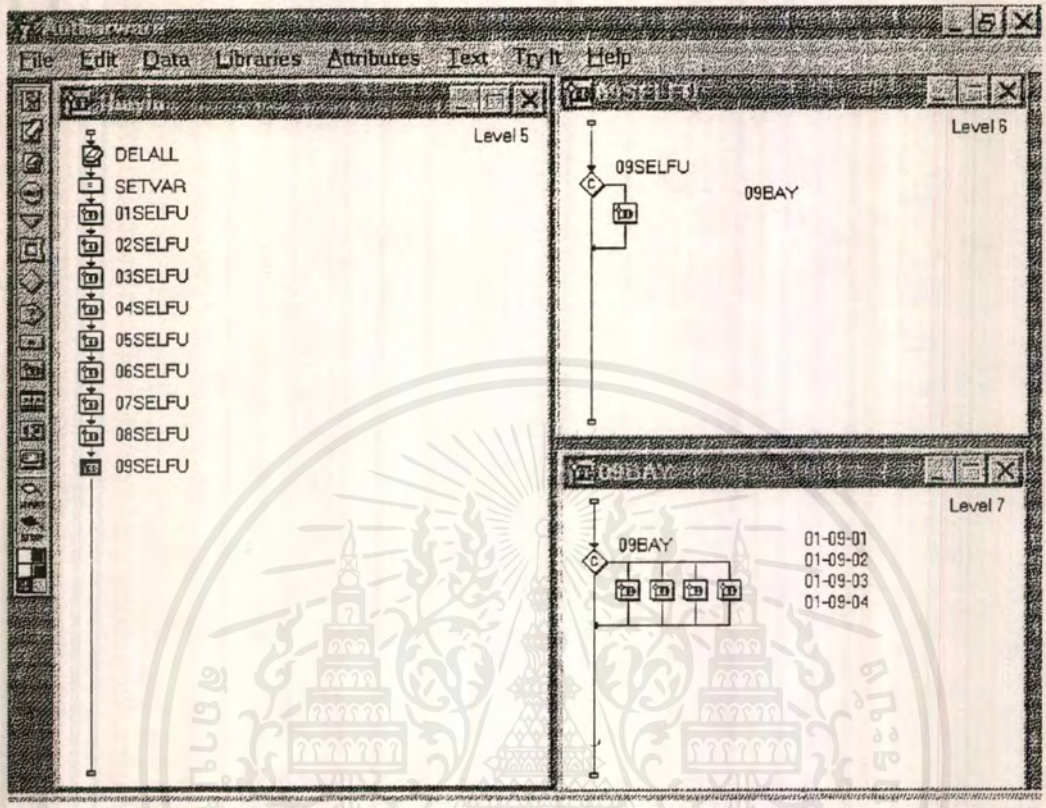


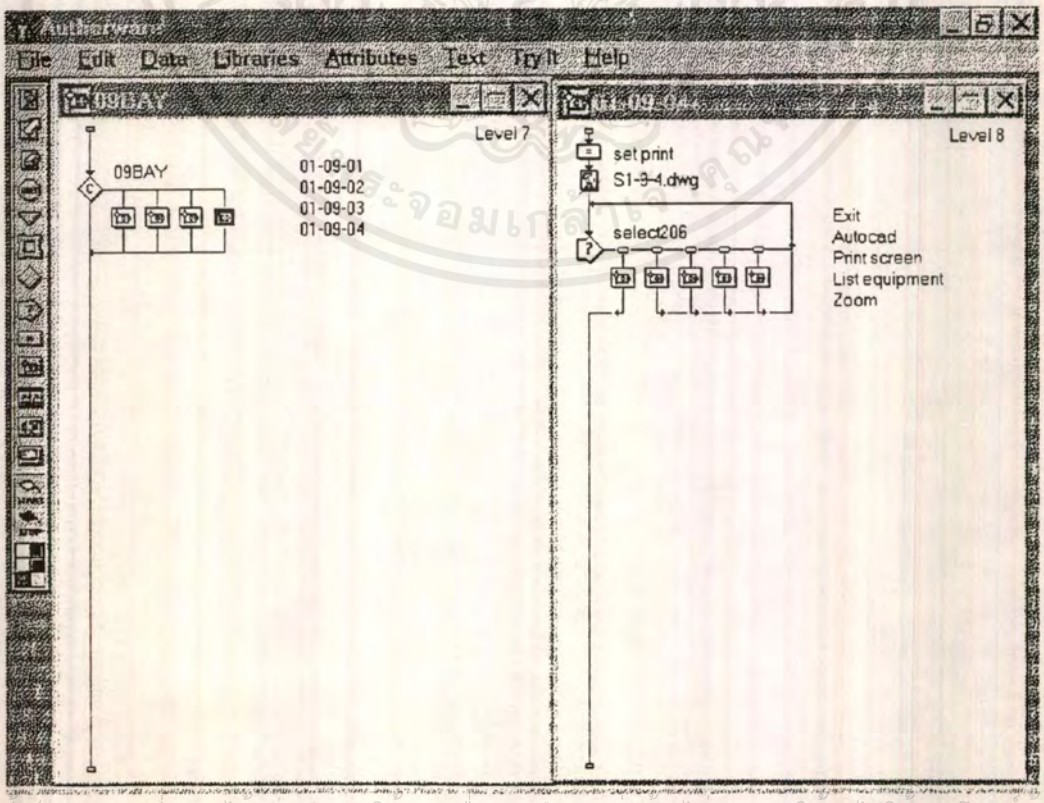
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



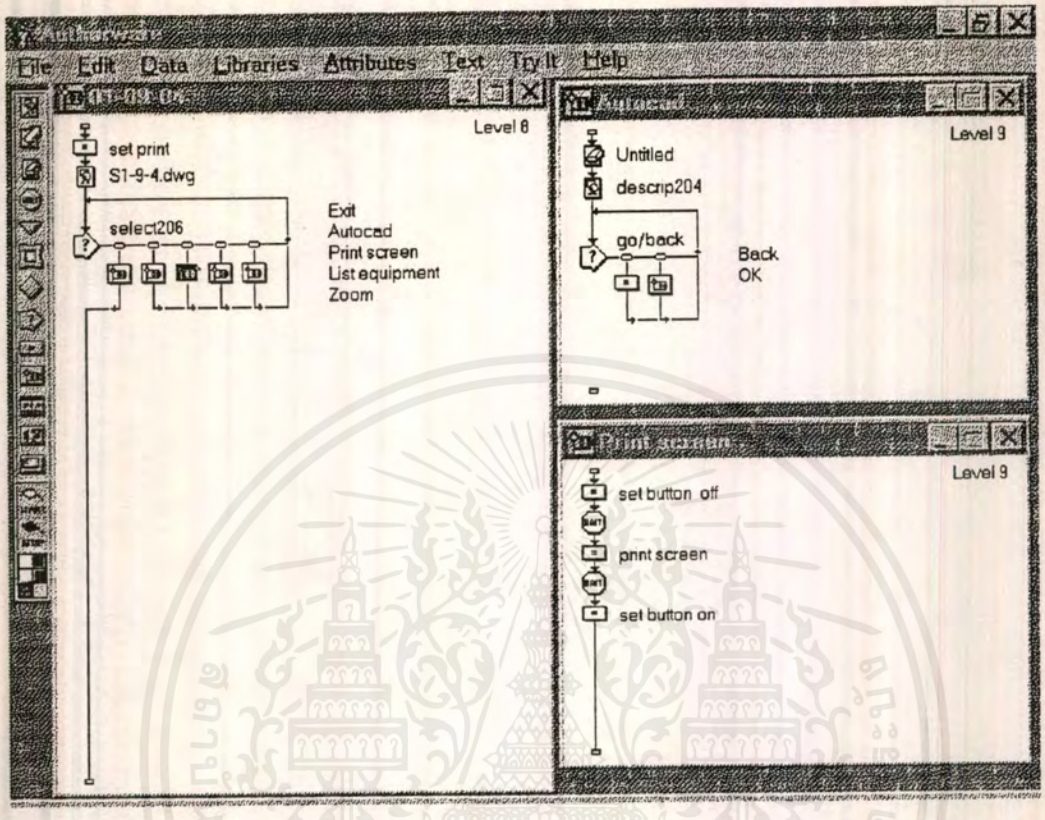


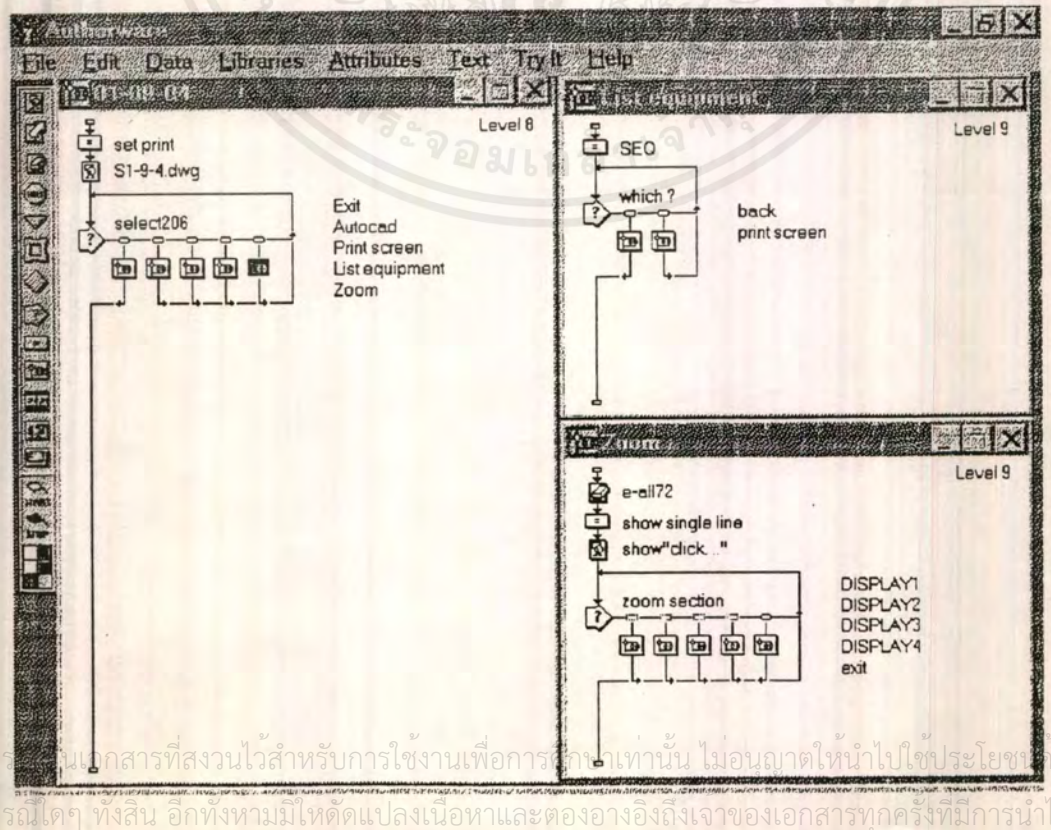
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



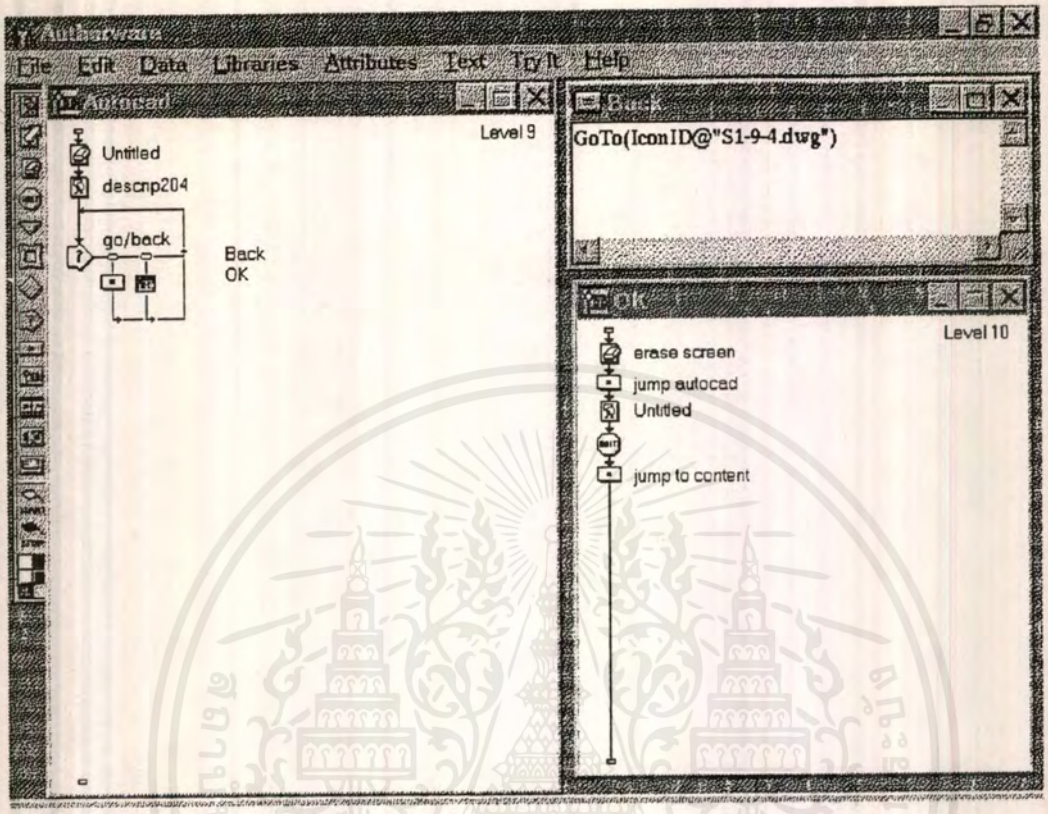


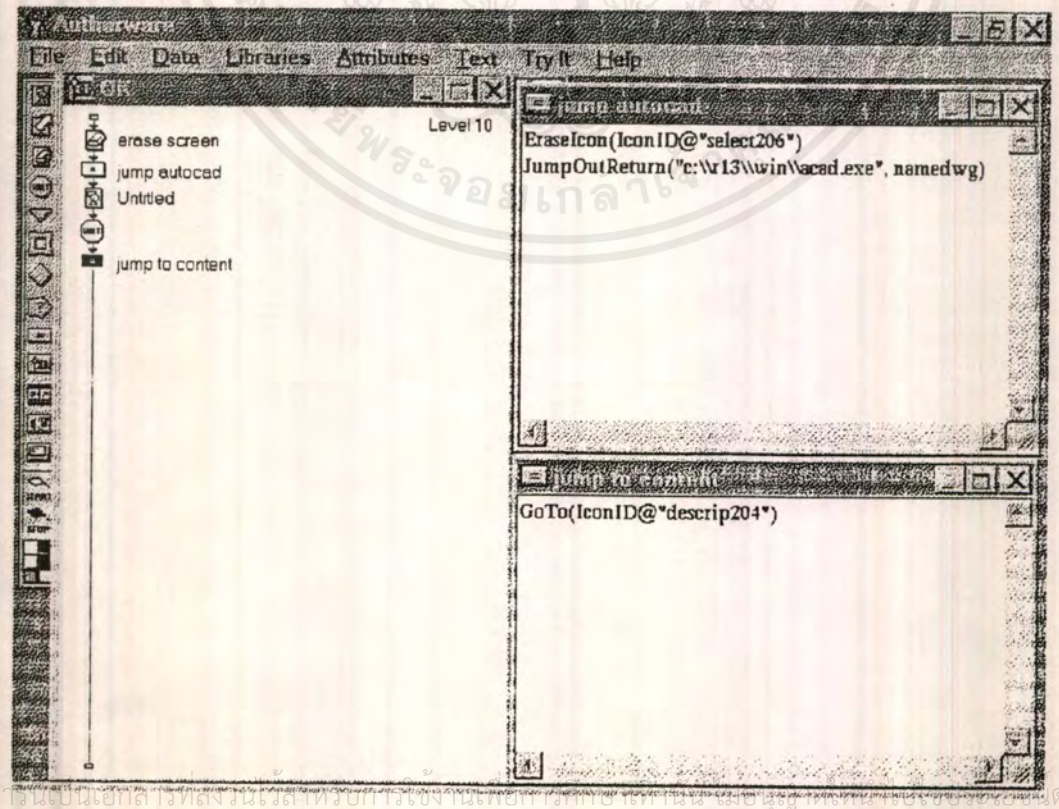
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



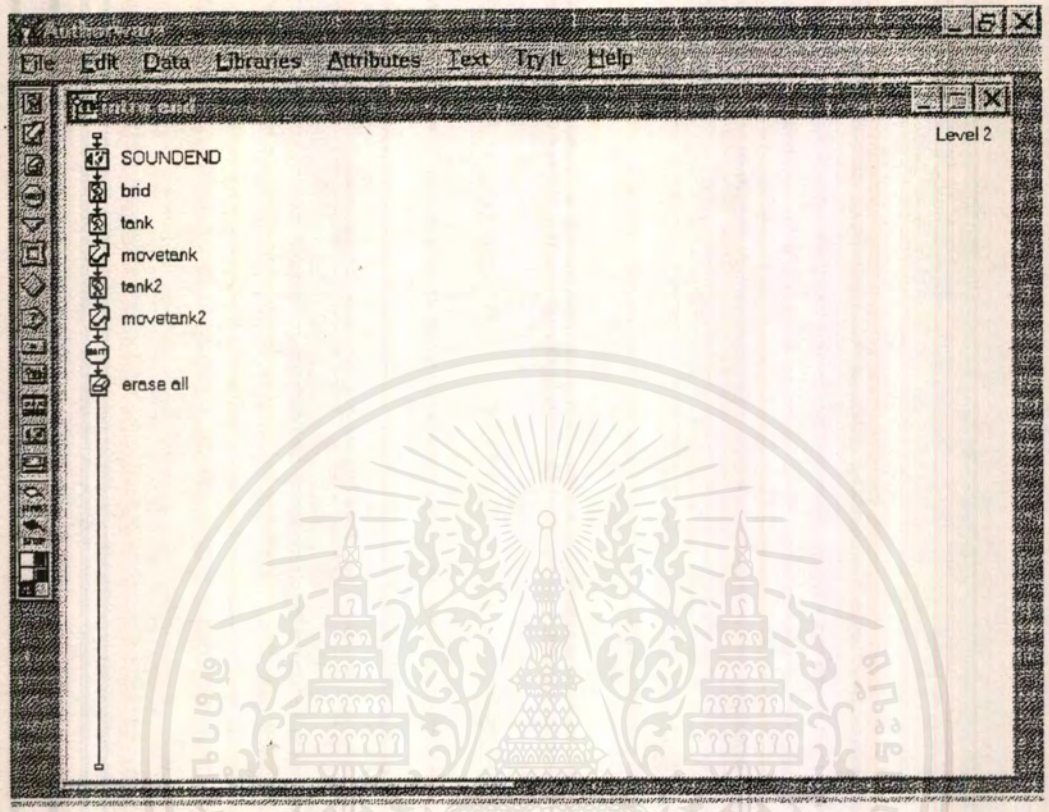


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ จะไม่สามารถจสำเร็จลงได้ หากไม่ได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลที่มีรายนามตามที่กล่าวไว้ข้างล่างนี้

1. ผศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
2. คุณ พรชัย องค์วงศ์สกุล แผนกออกแบบสถานีไฟฟ้าย่อย กองวิศวกรรม กฟผ.
3. คุณ ธนพงศ์ สุวรรณศรี แผนกออกแบบสถานีไฟฟ้าย่อย กองวิศวกรรม กฟผ.
4. คุณ สิทธิพงษ์ วงศ์คำปวน แผนกออกแบบสถานีไฟฟ้าย่อย กองวิศวกรรม กฟผ.
5. คุณ กิตติพนธ์ ช่วงอรุณ กองวางแผนระบบสายส่งไฟฟ้า กฟผ.
6. คุณ กิจจา ศรีพัฑฒากุระ กองวางแผนระบบสายส่งไฟฟ้า กฟผ.
7. คุณ จิรศักดิ์ เพียววงษ์ กองควบคุมรีเลย์ กฟผ.
8. คุณ สมชัย ศรีเกษม กองวิศวกรรมอุปกรณ์ไฟฟ้า กฟผ.
9. คุณ ทวีป คำนวณวุฒิ หัวหน้าสถานีไฟฟ้าย่อยหนองจอก กฟผ.
10. คุณ ปรีชา วรภัย แผนกบำรุงรักษา สถานีไฟฟ้าย่อยหนองจอก กฟผ.
11. คุณ พีระศักดิ์ เจริญสุข แผนกควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า กองสถานีไฟฟ้าแรงสูง สถานีไฟฟ้าย่อยหนองจอก กฟผ.
12. คุณ วสันต์ วัฒนมงคล หน่วยจักรกลไฟฟ้า กองไฟฟ้า กฟผ.
13. คุณ ประยูร แจ้งสุทธิวรวัฒน์ แผนกปรับปรุงสภาพน้ำมันหม้อแปลง กฟผ.
14. คุณ ชลัม ศุขรุ่งเรือง รองผู้อำนวยการกองบริการผู้ใช้ไฟฟ้า กฟน.
15. คุณ สืบสวัสดิ์ สบประสงค์ แผนกก่อสร้างและบำรุงรักษาระบบจำหน่าย กฟน.
16. คุณ มาลี โพธิปักษ์ แผนกบริการ กองบริการผู้ใช้ไฟฟ้า กฟน.
17. คุณ พิชญ์กันญ์ เผ่าวัฒนา แผนก Transmission & Distribution บริษัท ABB Distribution Ltd.
18. คุณ ศิริชัย งามโชคพิภพ แผนก Transmission & Distribution บริษัท ABB Distribution Ltd.

ตลอดจนบุคคลและหน่วยงานต่างๆ ที่มิได้กล่าวนามไว้ในที่นี้ ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. Joseps Gascel. Autoware 3. New Rider Tublishing. 1996
2. Supply and Construction of 230/115 kV Substations in Region 1 & 3 Transmission System Expansion Project No.8
3. บัณฑิต จามรภูติ. เข้าใจการทำงานคอสอินเตอร์เฟส. พิมพ์ครั้งที่ 3. ซีเอ็ด ยูเคชั่น, 2539
4. ปิยะ นิมิตยงสกุล., วาสนา ไตรพฤฒิธัญญา. เคล็ดลับและเทคนิคการแก้ปัญหาเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์กราฟฟิคส์. พิมพ์ครั้งที่ 5. ซีเอ็ด ยูเคชั่น, 2540
5. กฤษฎา สิงหวงศ์. คู่มือการอัปเกรดและการบำรุงรักษา PC ฉบับสมบูรณ์. พิมพ์ครั้งที่ 3. ซีเอ็ด ยูเคชั่น, 2540
6. กองวิชาการปฏิบัติการอุปกรณ์และสายส่ง. คู่มือประกอบการใช้งาน Switching Diagram. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2539
7. กองควบคุมเขตจ่ายกระแสไฟฟ้า. ความรู้ทั่วไปสำหรับผู้ปฏิบัติงานสถานีไฟฟ้าย่อย. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2539
8. เยาวลักษณ์ ลาภเลิศสุข., พงษ์ระพี เดชพาหพงศ์. คู่มือการใช้ Photoshop. พิมพ์ครั้งที่ 8. ซีเอ็ด ยูเคชั่น, 2538
9. เอกสารวิชาการของบริษัท ABB;
10. สมเกียรติ ผโลประการ.วิศวกรรมการส่งและจ่ายไฟฟ้า. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์คุรุสภา., 2515
11. สันติ อัศวศรีพงศ์ธร. รีเลย์ป้องกันกับการป้องกันระบบกำลัง. สมาคมศูนย์วิชาการไทย-ออสเตรเลีย, 2526
12. แผนกออกแบบสถานีไฟฟ้าย่อย, อุปกรณ์ภายในสถานีไฟฟ้าย่อย การไฟฟ้านครหลวง., 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้