ปีการศึกษา 2531

Computor - Aid for

Substitn Switching System Selection

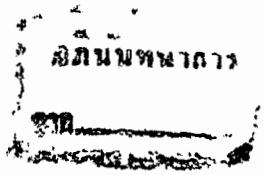
โดย

นายกิตติพงศ์ วิเวกานนท์ 28.1023

นายพลเชษฐ์ ลิขิตชนสมบัติ 28.1151

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์



023195 -9 ส.ค. 2532

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2531

เรื่อง Computor - Aid for Substation Swictching System Selection

ผู้จัดทำ

1.นายกิตติพงศ์ วิเวกานนท์ 28.1023

2.นายพลเชษฐ์ ลิขิตชนสมบัติ 28.1151

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

023195

หัวข้อปริญญานิพนธ์ Computior - Aid for
Subtation Switching System Selection.

โดย นายกิตติพงศ์ วิเวกานนท์ 28.1023
นายพลเชษฐ์ ลิขิตธนสมบัติ 28.1151

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์

ระดับการศึกษา ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา ไฟฟ้ากำลัง

ปีการศึกษา 2531

บทคัดย่อ

ปัจจุบันสถานีไฟฟ้าย่อย (Substation) ซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนเชื่อมต่อและส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าในส่วนต่าง ๆ ได้มีการขยายเพิ่มมากขึ้นตามความต้องการพลังงานไฟฟ้าของประชาชนและหน่วยงานต่าง ๆ ที่มากขึ้นเรื่อย ๆ วิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำการใช้งานทางด้าน Computor มาช่วยในการเก็บข้อมูล สำหรับนำมาใช้ในการเลือก (Selection) และการเปรียบเทียบเพื่อช่วยในการออกแบบ โดยคำนึงถึงความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Demand load) ระดับแรงดัน และการเชื่อมต่อระหว่างระบบ (Incoming - Outgoing) ของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ต้องการ แล้วนำมาประกอบกับการจัดระบบของอุปกรณ์ที่สำคัญภายใน จากหลักการเหล่านี้เราสามารถนำมาช่วยในการออกแบบ Single line diagram สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย (Substion) ที่ต้องการสร้างใหม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title Computor - Aid for
Substation Switching System Selection.

by Mr.Kittipong Wiwakanon
Mr.Polcheat Likittanasombat

Adviser Mr.Monthon Leelajindakrairerk

Level of study Bachelor Degree in Electrical Engineering

Department Electrical Engineering

Academic Year 1988

Abstract.

Nowadays, Substations which funtion as linkages and distributors for electrical power are increasing in numbers according to public and organization 's demand. In this thysis we, therefore, used computor in order to select and compare the designs of substation. We also considered the important factors including electrical demand, voltage and the linkage among the demanding substation. we also applied computor for the arrangement of the equipment of the substation. From these principles, we can take them to design the single line diagram for new substation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

สับสเตชั่นในความหมายอย่างกว้าง ๆ ได้แก่สถานีกลาง ซึ่งรับพลังงานไฟฟ้าจากระบบสายส่ง เพื่อถ่ายผ่านสู่ระบบสายจำหน่าย, โดยในขบวนการถ่ายผ่านนั้น อาจประกอบด้วยการเปลี่ยนแรงดัน, การตัดตอนด้วยสวิช, การควบคุมและอำนวยความปลอดภัยให้แก่ระบบ ฯลฯ เป็นต้น แตกต่างไปจาก switchyard ตรงที่ว่า switchyard นั้นเป็นสถานีรับพลังไฟฟ้าจากแหล่งผลิตโดยตรง เพื่อถ่ายผ่านสู่ระบบสายส่ง, ทั้ง ๆ ที่อุปกรณ์การติดตั้งก็ใช้เหมือนกันทั้งสิ้น

ตามความหมายนี้ สับสเตชั่นอาจตั้งอยู่ใกล้หรือไกลจากแหล่งผลิตก็ได้, แต่ switchyard นั้น จำต้องอยู่ใกล้กับแหล่งผลิตเสมอ

ข้อแตกต่างระหว่าง switchyard กับสับสเตชั่นที่อาจเห็นได้อีกประการหนึ่งก็คือว่า switchyard นั้น มักตั้งอยู่กลางแจ้ง (outdoor) ทั้งนี้โดยที่มีขนาดใหญ่และ voltage สูง อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ก็ต้องมีขนาดใหญ่โตไม่สะดวกแก่การติดตั้งภายในอาคาร, ส่วนสับสเตชั่นนั้น อาจตั้งอยู่กลางแจ้งหรือภายในอาคารก็ได้ สุดแล้วแต่ขนาดและ voltage ที่เกี่ยวข้อง.

สับสเตชั่นกับ switchyard นี้แม้จะมีชื่อต่างกันและหน้าที่ต่างกันก็ตาม แต่การคำนวณออกแบบ, การเลือกสรรอุปกรณ์และวัสดุ ตลอดจนกระทั่งการ operate และบำรุงรักษากล่าวได้ว่าอาศัยหลักการอย่างเดียวกันทั้งสิ้น ฉะนั้น คำบรรยายที่กล่าวถึงสับสเตชั่นในที่นี้ จึงครอบคลุมไปถึง switchyard ด้วยโดยอนุโลม.

การออกแบบทางไฟฟ้าสำหรับการก่อสร้างสับสเตชั่นนั้นในเบื้องแรกผู้ออกแบบจะต้องมีความรู้และคุ้นเคยกับวัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ บรรดาที่จะนำมาประกอบกันเข้าเป็นสับสเตชั่น, จะต้องรู้ถึงหน้าที่รวมทั้งหลักวิธีทำงานของสิ่งเหล่านี้ ตลอดจนรู้จักเลือกสรร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจัดวางให้เหมาะสมกับสภาพของสับสเตชั่นแต่ละแห่ง เพื่อให้ทำงานและประสานงานกันเป็นผลที่ดีที่สุดและปลอดภัยภายใต้สภาวะของสับสเตชั่นแห่งนั้น ๆ โดยไม่ลืมคำนึงความประหยัดในการลงทุน ความสะดวกในการใช้งาน(opertion) และการบำรุงรักษา (maintanamce) พร้อม ๆ กันไปด้วย

การออกแบบดังกล่าวนี้ จะต้องเริ่มจากsingle-line diagram ก่อน, อันเป็นแผนผังแสดงการจัดวางระบบการต่าง ๆ ภายในสับสเตชั่น เช่น ระบบ switching, grounding, control, protection และ metering เป็นต้น.ในการทำ single-line diagram มีสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงในประการสำคัญ ๆ ดังนี้

1. การจัดวาง (arrangement) สับสเตชั่นให้มีคุณลักษณะสมบูรณ์ทางไฟฟ้า มี incoming และ outgoing circuit พร้อมด้วยอุปกรณ์ที่จำเป็นครบถ้วนตามแผนและความต้องการ

2. Operational flexibility ต้องให้มีอย่างพอเพียง เช่น สามารถสับเปลี่ยนใช้ breaker แพนกันได้โดยง่ายในเมื่อ breaker ตัวใดตัวหนึ่งชัดข้อง แต่ก็ไม่ควรจะให้มีเกินจำเป็น ซึ่งจะต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มขึ้น เป็นการไม่ประหยัดและจะทำความยุ่งยากในการปฏิบัติงานแก่ operater ได้ นอกจากนี้การติดตั้งจะกินเนื้อที่มาก และสายไฟจะมีการสวนกันหลายแห่ง ทำให้ความปลอดภัยลดลง

3. การจัดเผื่อไว้สำหรับต่อเติมขยับขยายสับสเตชั่นในอนาคต เมื่อเพิ่มขึ้น ซึ่งตามปกติจะแสดงเป็นเส้นประ(brpken line) ไว้ใน single - line diagram

4. การจัดเผื่อไว้ เพื่อสะดวกและปลอดภัยในการตรวจซ่อมหรือทดสอบอุปกรณ์ในระบบ เช่น ติดสวิชตัดตอนหรือต่อby-pass คร่อมอุปกรณ์ไว้ จะได้ไม่ต้องดับไฟทั้งสับสเตชั่นในเมื่อต้องการจะทำงานที่อุปกรณ์นั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ single-line diagram อันเป็นแม่บทของการจัดวางสับสเตชั่นออกมาแล้ว การออกแบบอันดับต่อไปก็จะเป็น physical arrangement ของวัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งในการนี้มีสิ่งที่น่าจะต้องคำนึงถึง ดังนี้

1. ความปลอดภัยของการติดตั้ง เช่น โครงเหล็กรับ bus และอุปกรณ์ต่าง ๆ ต้องแข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักและแรงต่าง ๆ ได้อย่างปลอดภัย ฯลฯ

2. การต่อเติมขยับขยายสับสเตชั่นในอนาคต ที่ปรากฏในแบบจะต้องให้สอดคล้องกับความเป็นจริงของสถานที่ตั้งสับสเตชั่น ไม่ใช่ว่าในแบบเขียนไว้อย่างเรียบร้อยสวยงาม แต่เอาไปก่อสร้างไม่ได้ เพราะติดอาคาร, ติดร้าว หรือติดแม่น้ำลำคลองเป็นต้น

3. อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งจะต้องอยู่ห่างกันพอที่จะทำการติดตั้งหรือถอดถอนออกมาตรวจซ่อมภายหลังได้สะดวก ไม่ควรให้อยู่ติดชิดกันเกินไป จนไม่มีที่ ๆ จะทำงาน

4. Phase and groud clearance ของ conductor และอุปกรณ์อื่น ๆ จะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน เพื่อความปลอดภัยทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

สารบัญ		I
บทคัดย่อ		II
บทนำ		III
สารบัญ		VI
บทที่ 1	Substation and Component	1
บทที่ 2	Substation Arragement and Busbar	8
บทที่ 3	Instrument Transformers	19
บทที่ 4	HV and EHV Open Disconnectors	63
บทที่ 5	Power Curcuit Breaker	75
บทที่ 6	Fault Current Determination	130
บทที่ 7	Computor A.D. Design and Switching System	142
สรุปผลและวิจารณ์		170
กิตติกรรมประกาศ		171
หนังสืออ้างอิง		172
Appendix DWG. Switching Diagram		173

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

สถานีไฟฟ้าย่อยและส่วนประกอบ

(Substation and Compoment)

1.1 สถานีไฟฟ้าย่อยแบบต่าง ๆ

1.1.1 การแบ่งประเภท

แบ่งออกเป็นแบบภายนอกอาคาร แบบภายในอาคาร แบบกึ่งภายนอกอาคาร แบบใต้ดิน และแบบเคลื่อนที่ และอื่น ๆ ตามลักษณะการสร้าง

ก) สถานีไฟฟ้าย่อยแบบภายนอกอาคาร (outdoor type substation)

ประกอบด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงภายนอกอาคาร เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า ไกไฟฟ้า และอื่น ๆ และอุปกรณ์ ควบคุมแบบภายในอาคาร(indoor control equipments) เช่น แผงไกไฟฟ้า แบเตอรี่ และอื่น ๆ สถานีไฟฟ้าย่อยซึ่งมี "synehronous condenser ชนิดภายในอาคารติดตั้งอยู่ทางด้าน tertiary ของหม้อแปลงไฟฟ้า สำหรับใช้ภายในอาคารก็จัดอยู่ในพวกสถานีไฟฟ้าย่อยแบบภายนอกอาคาร์

สถานีไฟฟ้าย่อยแบบนี้ใช้บริเวณที่ตั้งใหญ่มากแต่ค่าก่อสร้างถูก และสามารถจัดวางอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้สะดวก และระบายความร้อนได้ง่าย ฉะนั้นจึงเหมาะสำหรับใช้ในบริเวณชานเมืองซึ่งราคาที่ดินไม่แพง

ข) สถานีไฟฟ้าย่อยแบบภายในอาคาร(indoor type substaion)

เป็นแบบที่ติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า เป็นต้น และอุปกรณ์ควบคุม เช่น แผงไกไฟฟ้า เป็นต้น ไว้ภายในอาคาร และแม้จะมีอุปกรณ์อย่างอื่นอีกเล็กน้อยติดตั้งอยู่ภายนอกอาคารก็ตาม หากมีบางส่วนของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงติดตั้งไว้ใต้พื้นดินก็อาจเรียกว่าสถานีไฟฟ้าย่อยแบบกึ่งใต้พื้นดิน (semi-underground type) สถานีไฟฟ้าย่อยภายในอาคารนี้ส่วนใหญ่อยู่ในใจกลางเมือง ซึ่งที่ดินราคาแพงและใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณชายทะเลซึ่งอาจมีไอน้ำเค็ม และบางกรณีก็ใช้สถานีแบบนี้เพื่อให้กลมกลืนกับสิ่งแวดล้อมและป้องกันอัคคีภัย และปลอดจากเสียงรบกวน

ค) สถานีไฟฟ้าย่อยแบบกึ่งภายนอกอาคาร(semi-outdoor type substaion)

แบบนี้มีอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงส่วนหนึ่งติดตั้งไว้ภายนอกอาคาร และอีกส่วนหนึ่งอยู่ในอาคาร หรืออาจจะเรียกว่าเป็นแบบกึ่งภายในอาคารก็ได้ การออกแบบสถานีไฟฟ้าย่อยแบบนี้ยอมสุดแล้วแต่ความเหมาะสมโดยพิจารณาในด้านเศรษฐกิจ การป้องกันไอน้ำเค็ม การป้องกันอัคคีภัย เป็นต้น

ง) สถานีไฟฟ้าย่อยแบบใต้ดิน (underground type substation)

แบบนี้จะมีอุปกรณ์ส่วนใหญ่ติดตั้งในอาคารซึ่งอยู่ใต้ดิน โดยมีอุปกรณ์ระบายความร้อนไว้ด้วย และบางแห่งก็มีห้องควบคุมอยู่ใต้ดินด้วย ที่ตั้งของสถานีแบบนี้มักอยู่ในบริเวณใจกลางเมือง เช่น แหล่งชุมนุมชน แหล่งการค้าและถนนที่มีอาคารสูง ๆ อย่างไรก็ดีได้มีการสร้างสถานีแบบนี้ใกล้กับทางหลวงเหมือนกัน

จ) สถานีไฟฟ้าย่อยแบบเคลื่อนที่ (mobile type substation)

สถานีแบบนี้มีอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าติดตั้งบนรถลาก หรือรถบรรทุก เหมาะสำหรับใช้ในกรณีที่ต้องแทนสถานีไฟฟ้าย่อย ซึ่งเกิดความผิดปกติ ใช้ช่วยรับภาระไฟฟ้าที่เกินเกณฑ์ปกติตามฤดูกาลต่าง ๆ และใช้สำหรับงานก่อสร้างที่มีลักษณะชั่วคราว บางแห่งก็ใช้สถานีแบบนี้สำหรับการรถไฟฟ้า อย่างไรก็ดีในกิจการไฟฟ้าทั่วไปมักไม่ใช้สถานีไฟฟ้าย่อยแบบนี้นอกจากจะใช้เป็นการชั่วคราวโดยตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าหรือตู้ไกไฟฟ้าไว้บนรถลากหรือรถบรรทุกให้เคลื่อนที่ได้

ฉ) แบบอื่น ๆ

นอกจากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นก็มีสถานีไฟฟ้าย่อยแบบตู้ (box type) สถานีไฟฟ้าย่อยแบบนี้อาจจัดอยู่ในแบบสถานีไฟฟ้าย่อยภายนอกอาคาร ใช้ประกอบกับหม้อแปลงไฟฟ้าสามวัดภาค และตู้ไกไฟฟ้าสำหรับระบบจำหน่าย (หรือที่เรียกว่า metal-clad switchgear or enclosed switchboard) สถานีไฟฟ้าย่อยแบบนี้ใช้เป็นสถานีไฟฟ้าย่อยของระบบจำหน่ายซึ่งใช้แรงดันไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ มีขนาดเล็กและไม่มีเจ้าหน้าที่คุม เหมาะที่จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ในบริเวณหมู่บ้าน ที่ทำการเกษตรหรือหมู่บ้านที่ทำการประมง ซึ่งมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าไม่มาก

1.1.2 การเลือกแบบ

การกำหนดแบบสถานีไฟฟ้าย่อยย่อมขึ้นอยู่กับสภาพของที่ตั้งของสถานีนั้น และขึ้นอยู่กับสภาพทางเศรษฐกิจหรือราคาของที่ดิน ในตารางที่ 1 แสดงให้เห็นรายการต่าง ๆ ที่ควรนำมาพิจารณาในการเลือกแบบของสถานีไฟฟ้าย่อย

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบแบบต่าง ๆ ของสถานีไฟฟ้าย่อย

แบบ / รายการ	แบบกลางแจ้ง	แบบในร่ม	แบบใต้ดิน
ลักษณะของการเดินสายส่งไฟฟ้าออกจากสถานี	เหมาะสำหรับเดินสายพาดเสา	ส่วนใหญ่เดินสายใต้ดิน	เดินสายใต้ดิน
พิจารณาการกลมกลืนกับสิ่งแวดล้อม	เหมาะสำหรับบริเวณที่มีต้นไม้และบริเวณอุตสาหกรรม	เหมาะสำหรับบริเวณที่มีผู้อยู่อาศัยและบริเวณอุตสาหกรรม	เหมาะสำหรับบริเวณถนนที่ใช้สัญจรมาก และถนนที่มีอาคารสูง ๆ อยู่
การแก้ปัญหาเกี่ยวกับเสียงรบกวน	มีปัญหาเล็กน้อยไม่ยากนัก	ง่าย	ง่าย
การแก้ปัญหาเกี่ยวกับ	จัดเตรียมการป้องกันได้สะดวก	ง่าย	จะต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ
การแก้ปัญหาเกี่ยวกับน้ำท่วม	หากพื้นที่ต่ำจะแก้ปัญหายาก	ง่าย	จะต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ
การแก้ปัญหาเกี่ยวกับเปลวละอองและไอน้ำเค็ม	จะต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ	ไม่มีปัญหา	ไม่มีปัญหา
บริเวณที่ตั้ง	ขนาดใหญ่	ขนาดกลาง	ขนาดเล็ก
ความยากง่ายสำหรับการก่อสร้าง	ง่าย	ค่อนข้างยาก	ค่อนข้างยาก
ระยะเวลาก่อสร้าง	สั้น	ค่อนข้างยาว	ยาว
ราคาที่ดิน	เหมาะในกรณีที่ที่ดินมีราคาถูก	เหมาะในกรณีที่ที่ดินมีราคาแพง	เหมาะในกรณีที่ที่ดินมีราคาแพงมาก
การปฏิบัติการและการบำรุงรักษา	สะดวก	ไม่ค่อยสะดวก	ไม่ค่อยสะดวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ส่วนประกอบของสถานีไฟฟ้าย่อย

จะต้องมีส่วนประกอบต่าง ๆ ที่จำเป็นในการใช้งาน ในการปฏิบัติงาน และการบำรุงรักษา กล่าวคือ

1.2.1 หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าใช้แปลงแรงดันไฟฟ้า โดยลดแรงดันไฟฟ้าที่สถานีไฟฟ้าย่อยและเพิ่มแรงดันไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้ามีแบบวัดภาคเดียวและสามวัดภาค ในช่วงระยะหลังนี้ได้มีการก้าวหน้าในวิธีการผลิตและสามารถทำงานเป็นที่เชื่อถือได้ จึงมักจะใช้แบบสามวัดภาคเป็นส่วนใหญ่ ประกอบกับได้มีอุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้า (on-load tap changer) ช่วยให้อายุการใช้งานยาวขึ้นและการบำรุงรักษาง่ายขึ้นด้วย ดังนั้นจึงมีแนวโน้มในการใช้อุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้าย่อยของระบบจำหน่ายไฟฟ้าและสถานีไฟฟ้าย่อยที่ใช้แรงดันไฟฟ้าสูงมากเป็นพิเศษ ในบางกรณีเช่นการควบคุมพลังงานไฟฟ้าของระบบวงรอบก็ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมีเครื่องปรับวัดภาค On-load voltage phase shifter

1.2.2 อุปกรณ์ปรับปรุงวัดภาค

ใช้สำหรับปรับแรงดันไฟฟ้าโดยอาศัยการลดค่า impedance ของสายไฟฟ้าหรือหม้อแปลงไฟฟ้าโดยการจัดพลังงานไฟฟ้าด้าน reactive หรือลดพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียโดยแก้ power factor อุปกรณ์ที่ใช้มี synchronous condenser, asynchronous condenser, static condenser และ shunt reactor สองอย่างแรกใช้สำหรับวัดภาคซึ่งอยู่ในตำแหน่งนำและตำแหน่งตาม (leading and lagging) สามารถที่จะทำหน้าที่ปรับวัดภาคได้ตลอดเวลาแต่อุปกรณ์ประเภทนี้ราคาแพงและการบำรุงรักษาค่อนข้างยุ่งยาก ส่วนอุปกรณ์สองอย่างหลังได้มีการปรับปรุงในการผลิตทำให้สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าได้โดยปรับพลังงานไฟฟ้าด้าน reactive เป็นขั้น ๆ ตามสภาพการขยายของระบบไฟฟ้า ฉะนั้นจึงใช้อุปกรณ์นี้กันแพร่หลายมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.3 ไกไฟฟ้า (switchgear)

สถานีไฟฟ้าย่อยเป็นส่วนที่เชื่อมโยงกับสายส่งไฟฟ้าและสายจำหน่ายไฟฟ้ากับระบบผลิตพลังไฟฟ้า และระบบเชื่อมโยงสายส่งไฟฟ้าและสายจำหน่ายไฟฟ้า อยู่ทางด้านสะพานไฟฟ้าหลังหม้อแปลงไฟฟ้า ในแต่ละสายมีไกตัดวงจรและไกตัดตอน ไกตัดวงจรทำหน้าที่เชื่อมและตัดกระแสไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้า เมื่อมีความผิดปกติเกิดขึ้นที่สายส่งไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ ไกตัดวงจรทำหน้าที่เชื่อมตรวจโดยอัตโนมัติ [illegible] สอบและซ่อมสายส่งไฟฟ้าสายจำหน่ายไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า ไกตัดวงจร และอุปกรณ์อื่น ๆ จะใช้ไกตัดตอนแยกสายและอุปกรณ์เหล่านั้นนอกจากระบบไฟฟ้า

1.2.4 แผงไกไฟฟ้า และอุปกรณ์หม้อแปลงไฟฟ้า (swichboard and instrument transformer)

แผงไกไฟฟ้าเปรียบเสมือนระบบประสาทส่วนกลางที่สถานีไฟฟ้าย่อย ทำหน้าที่ควบคุมการปฏิบัติงานสภาพของอุปกณ์ต่าง ๆ ตลอดจนเป็นที่ประกอบการปฏิบัติการของอุปกรณ์ การวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า พลังไฟฟ้า และอื่น ๆ เมื่อเกิดความผิดปกติออกจากวงจรไฟฟ้าเพื่อให้ซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้สะดวก

โดยที่ในระบบไฟฟ้าแรงสูงไม่สามารถที่จะวัดแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าโดยตรงได้ อุปกรณ์หม้อแปลงไฟฟ้าจะทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าให้ลดต่ำลงก็เพื่อ ความสะดวกในการวัด อุปกรณ์เหล่านี้มีหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า หม้อแปลงแรงดันและกระแสไฟฟ้า เป็นต้น

1.2.5 อุปกรณ์ป้องกัน (protective device)

นอกจากไกตัดวงจรและรีเลย์แล้ว ในระบบไฟฟ้ายังมีอุปกรณ์ป้องกันอย่างอื่นอีก กล่าวคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) อุปกรณ์ล่อฟ้า (lightning arrester)

อุปกรณ์ล่อฟ้าทำหน้าที่ป้องกันอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่สถานีไฟฟ้าย่อย ซึ่งเกิดจากแรงดันไฟฟ้าสูงผิดปกติ โดยเกิดฟ้าผ่า และการสับไกไฟฟ้า (switching surge) ในปัจจุบันนี้อุปกรณ์ล่อฟ้าส่วนใหญ่ใช้แบบ magnetic blow type

2) อุปกรณ์สำหรับต่อจุดสะเทิน (neutral equipment)

ที่จุดสะเทินของหม้อแปลงไฟฟ้ามักติดตั้งอุปกรณ์ต่อไปนี้สำหรับป้องกันระหว่างที่เกิดความผิดปกติโดยมีการลัดวงจรลงดิน

ความต้านทานต่อลงดินที่จุดสะเทิน(neutral grounding resistance) เพื่อจัดการจำกัดแรงดันไฟฟ้าที่สูงผิดปกติและช่วยให้รีเลย์ทำงานสำหรับการขจัด grounding arc โดยอัตโนมัติ ใช้ arc-suppression coil หรือใช้ compensating reactor(neutral grounding) สำหรับชดเชยกระแสไฟฟ้าประจุสายในวัตวัดภาคศูนย์ หากหม้อแปลงไฟฟ้าไม่มีจุดสะเทินก็อาจจะทำจุดสะเทินโดยต่อหม้อแปลงไฟฟ้าลงดิน แล้วต่ออุปกรณ์สำหรับต่อจุดสะเทิน ณ จุดนั้น ทั้งนี้ก็ใช้อุปกรณ์ล่อฟ้าที่จุดสะเทินของหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อป้องกันฉนวนไฟฟ้า

3) อุปกรณ์ต่อลงดิน (grounding device)

เมื่อเกิดความผิดปกติโดยมีการลัดวงจรลงดินหรือเกิดความผิดปกติจากฟ้าผ่า ศักย์ของสถานีไฟฟ้าย่อยเทียบกับพื้นดินจะสูงเกินปกติ และอาจเกิดอันตรายแก่คนและสัตว์ในบริเวณนั้นหรือทำความเสียหายแก่อุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ เพื่อเป็นการป้องกัน ใช้สายไฟฝังสายไฟฟ้าต่อลงดิน (grounding conductor) หรือต่อบรรดาอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ ฉนวนชนิดที่โครงสร้างของสถานีไฟฟ้าที่อยู่ภายนอกอาคารด้วย

4) อุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า (shielding device)

เป็นสายต่อลงดินซึ่งพาดเสาเพื่อป้องกันอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่สถานีไฟฟ้าย่อยจากฟ้าผ่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.6 อุปกรณ์เบ็ดเตล็ด

นอกจากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ยังมีอุปกรณ์อื่น ๆ อีก เช่น อุปกรณ์ระบายความร้อน เครื่องมือล้างลูกถ้วยแบตเตอรี่ เครื่องประจุแบตเตอรี่ เครื่องอัดลม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองกำหรับใช้ในโรงไฟฟ้า ไฟแสงสว่าง และอื่น ๆ โดยปกติแล้วสถานีไฟฟ้าย่อยต้องติดต่อกับที่ทำการควบคุมระบบไฟฟ้า (load-dispatching office) และสำนักงาน ฉะนั้นจะต้องมีอุปกรณ์โทรคมนาคม และนอกจากนี้บางแห่งอาจจะมีเครื่องมือ เช่น และเครื่องมือควบคุมอื่น ๆ ที่สถานีไฟฟ้าย่อยสำคัญ ๆ สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบเก่า ส่วนใหญ่จะมีอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการบำรุงรักษา เช่น ห้องประกอบหม้อแปลงไฟฟ้า เครื่องยายหม้อแปลงไฟฟ้า โรงซ่อม และอื่น ๆ แต่ในปัจจุบันมักไม่ใช้อุปกรณ์เหล่านี้แล้ว เนื่องจากได้มีการปรับปรุงอุปกรณ์ต่าง ๆ ในสถานีไฟฟ้าย่อยให้มีความคงทนและเชื่อถือได้มากขึ้นด้วย การบำรุงรักษาก็ง่ายสะดวก

1.2.7 อาคารของสถานีไฟฟ้าย่อย

มีหลายแบบตามขนาดและลักษณะของสถานีไฟฟ้าย่อย แบบภายนอกอาคารมีห้องทำงาน ห้องอุปกรณ์สื่อสาร และอื่น ๆ อยู่ภายในอาคารใกล้ ๆ กับแผงไกไฟฟ้า และมีขนาดแหล่งไฟฟ้าที่ใช้ในการควบคุมการปฏิบัติงานของสถานี ฉะนั้นตัวอาคารก็มีขนาดเล็กแต่สำหรับแบบภายในอาคารขนาดของอาคารจะใหญ่เพราะมีอุปกรณ์ต่าง ๆ อยู่ภายในอาคารด้วย ทั้งนี้รวมถึงไฟแสงสว่าง ระบบประปา ระบบระบายน้ำ อุปกรณ์กับเพลิง เครื่องถ่ายเทอากาศ และอื่น ๆ สำหรับบ้านพักของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานและพนักงานบริการมักจะสร้างไว้ภายในบริเวณของสถานีไฟฟ้าย่อยหรืออยู่ในบริเวณใกล้เคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การจัดวางระบบและสะพานไฟฟ้า

(Substation arragement and Busbar)

2.1 การจัดวางระบบ switching

การจัดวางระบบ switching หรือ switching arrangement นั้น มีหลายวิธี, แต่ละวิธีมีข้อได้เปรียบเสียเปรียบยิ่งหย่อนกว่ากัน ซึ่งจะต้องเลือกสรรให้เหมาะสมกับสภาพของงานและวงเงินลงทุนเป็นกรณี ๆ ไป. ในที่นี้จะได้นำ switching arrangement ซึ่งใช้ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปมาแสดงรวม 8 scheme ด้วยกัน, ดังรูปที่ 2-1 ถึง 2-8. ใน scheme เหล่านี้ แต่ละ scheme ต่างก็มี incoming line จำนวน 3 line คือ G_1 ,G_2 กับ G_3 และ outgoing line จำนวน 3 line คือ L_1 ,L_2 กับ L_3 .

1. Single-bus scheme รูปที่ 2-1 (a). เป็นลักษณะที่ง่ายและประหยัดที่สุด แต่มีข้อตำหนิอยู่ว่า ถ้า circuit breaker ตัวใดตัวหนึ่งชัดของหรือจะตัดตอนเอาออกมาปรับตั้งตรวจซ่อมแล้ว, ก็จำเป็นจะต้องตัด incoming หรือ outgoing line ออกไป. แต่อุปสรรคข้อนี้ก็อาจกำจัดไปเสียได้โดยต่อสวิช by-pass ครอม circuit breaker ดังรูป (b). หรือต่อสวิชเชื่อมโยง circuit breaker ไว้ดังรูป (c). นอกจากดังกล่าวแล้วก็ยังมีข้อตำหนิอีกข้อหนึ่ง คือว่า การซ่อม bus หรือถอดเปลี่ยน insulator ที่ bus นั้น จำเป็นจะต้องดับไฟฟ้าทั้งสับสเตชั่น, อนึ่งการต่อสวิชครอม circuit breaker ตามรูป (b) นั้น, หากมีข้อชัดของ (fault) เกิดขึ้นในสายส่งนั้นแล้ว ก็มีผลเท่ากับว่าข้อชัดของเกิดที่ bus ซึ่งจะไปรบกวนทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอื่น ๆ พลอยต้องดับไฟไปด้วย ซึ่งนี้เราเรียกว่า มี fault level สูง

Single-bus scheme นี้ใช้ในทุก voltage และควรพิจารณาใช้ในเฉพาะกรณีที่ว่า หากเกิดขัดข้องในการจำหน่ายกระแสไฟฟ้าเป็นครั้งคราวแล้วผลที่เกิดตามมาจะไม่ร้ายแรงจนเกินไปนัก, เมื่อคำนึงถึงความประหยัดในการลงทุนประกอบ

2. Spare-bus scheme รูปที่ 2-2. บางที่เรียก main-and-transfer-bus scheme, แบบนี้คล้ายกับแบบแรกแต่เพิ่มเติม transfer bus และ bus tie circuit breaker เข้าไปเพื่อประโยชน์ที่ว่า หาก circuit breaker ตัวใดขัดข้องหรือต้องการจะตัดตอนออกจากวงจรมาตรวจซ่อม ก็อาจจ่ายไฟฟ้าทาง transfer bus และ tie breaker ได้. อย่างไรก็ตามหากเกิดขัดข้องหรือจะซ่อม main bus แล้ว ก็จะต้อง shutdown ทั้งสับสเตชั่นอยู่ดี, หากแต่ว่าสามารถจ่ายกระแสไฟไปได้โดยที่ไม่มี protection สับสเตชั่นส่วนมากใช้ bus ในลักษณะนี้เป็นพื้น เพราะนอกจากจะมี flexibility และ reliability ดีแล้ว การขยายต่อเติม bus ในภายหน้ายังกระทำได้ด้วยความปลอดภัยโดยไม่จำเป็นต้องงดจ่ายกระแสไฟฟ้าในระหว่างปฏิบัติงานด้วย.

3. Double-bus, single-breaker scheme รูปที่ 2-3. แบบนี้เป็นแบบที่ลงทุนทำที่สุดในกรณีที่ว่าสามารถจะตรวจซ่อมหรือทำ maintenance ที่ bus ได้โดยไม่ต้องมีกวรดับไฟ, หรืออีกนัยหนึ่งโดยถือหลักว่าโอกาสที่จะตรวจซ่อม bus มีมากกว่าตรวจซ่อม circuit breaker, แต่อย่างไรก็ตามหาก circuit breaker ตัวใดตัวหนึ่งขัดข้อง ก็จำเป็นจะต้องตัด line นั้นออกจากระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของ[illegible] ที่มีการนำไปใช้
023195

4. Double-bus, double-breaker scheme รูปที่ 2-4. แบบนี้ใช้ circuit breaker 2 ตัว ต่อ incoming หรือ outgoing line แต่ละสายจึงทำให้ค่าลงทุนสูง แต่มีข้อดีอยู่ที่ว่า หาก circuit breaker ตัวหนึ่งตัวใดซัดข้อง ก็อาจตัดตอนออกมาตรวจซ่อมได้ โดยไม่มีการดับไฟ, และ protection ต่าง ๆ ก็คงยังมีอยู่โดยสมบูรณ์ตามเดิม. สับสเตชั่นแบบนี้เหมาะสำหรับใช้งานในกรณีการติดตั้งที่ใหญ่และสำคัญ ซึ่งต้องการ reliability สูง โดยถือว่าเงินในการลงทุนมีความสำคัญรองลงมา.

5. Breaker-and-a-half scheme รูปที่ 2-5. แบบนี้คล้ายกับแบบ double breaker, หากแต่ว่าใช้ circuit breaker 3 ตัว ต่อ incoming หรือ outgoing line 2 สาย, จึงช่วยลดจำนวน circuit breaker และประหยัดการลงทุนไปได้บ้าง. การติดตั้งแบบนี้สามารถตรวจซ่อม bus หรือ circuit breaker ได้โดยไม่ต้องดับไฟเช่นเดียวกับในกรณี double-bus, double-breaker, หากแต่ว่า fault level สูงกว่าเท่านั้น

6. Straight-bus sectionalization scheme รูปที่ 2-6. แบบนี้เป็นแบบที่เหมาะที่สุดที่จะใช้ในกรณีที่มี incoming line และ outgoing line หลาย ๆ ชุด, โดยมีความมุ่งหมายว่าเมื่อมี short circuit หรือ overload fault เกิดขึ้นที่ circuit breaker ตัวใดตัวหนึ่ง หรือ bus ตอนใดตอนหนึ่งแล้ว, เฉพาะส่วนนั้น ๆ จะถูกตัดออกไป โดยที่ส่วนที่เหลืออยู่จะไม่ถูกกระทบกระเทือนเลย. นอกจากนั้นหากจะตรวจซ่อมต่อเติมส่วนใดส่วนหนึ่งของสับสเตชั่น ก็อาจดับไฟเป็นตอน ๆ ไปเพื่อทำงานเฉพาะส่วนนั้นได้โดยง่าย.

อนึ่ง Straight-bus sectionalization scheme นี้ อาจใช้ 2 bus แทน bus เดียวอย่างแสดงในรูปที่ 2-6 ก็ได้ ซึ่งจะเพิ่ม reliability ขึ้นไปอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

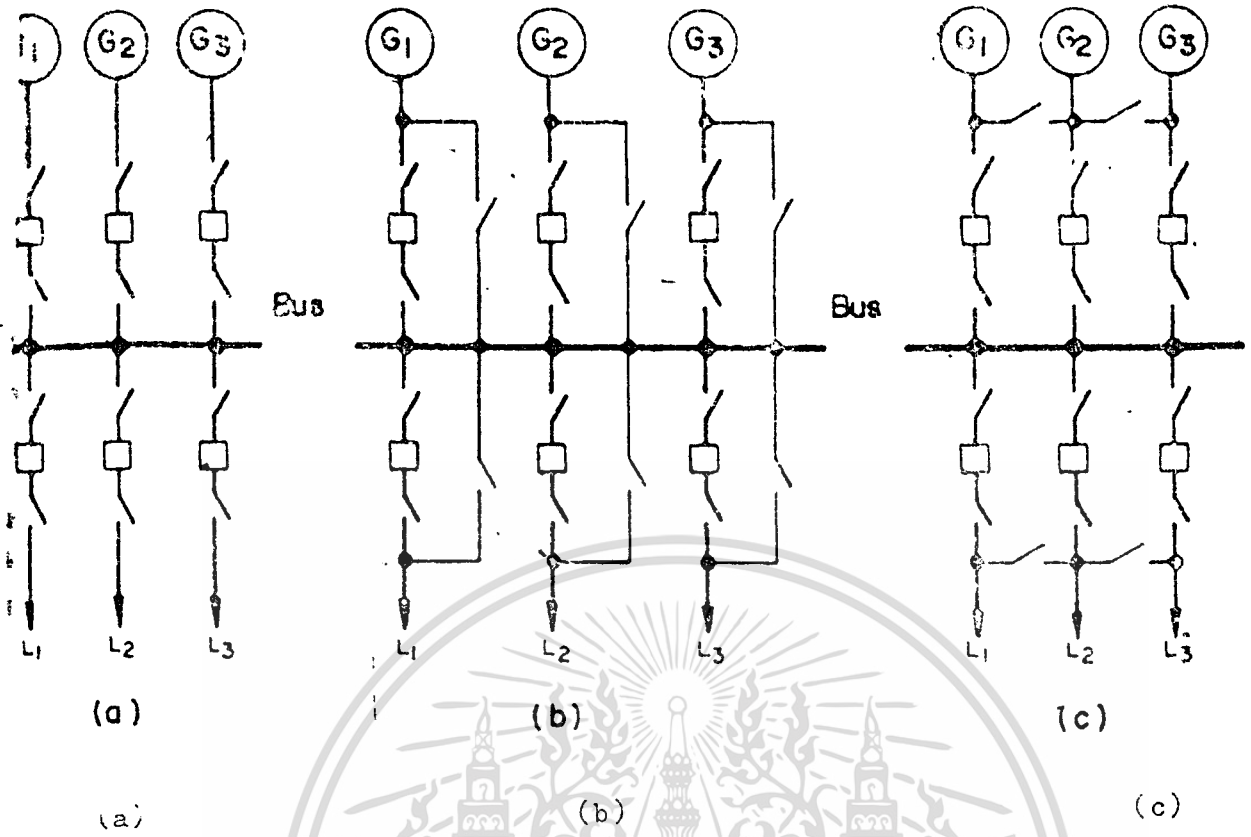


Fig. 2-1. Single-bus scheme

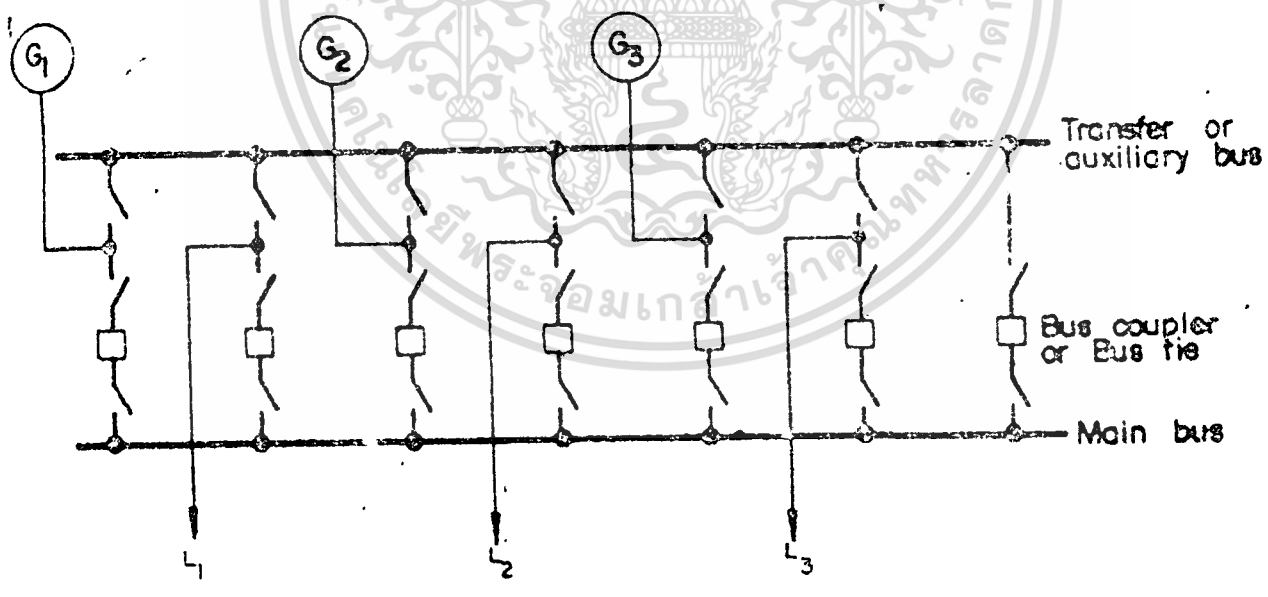


Fig. 2-2. Spare-bus scheme

(or main-and-transfer-bus scheme)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

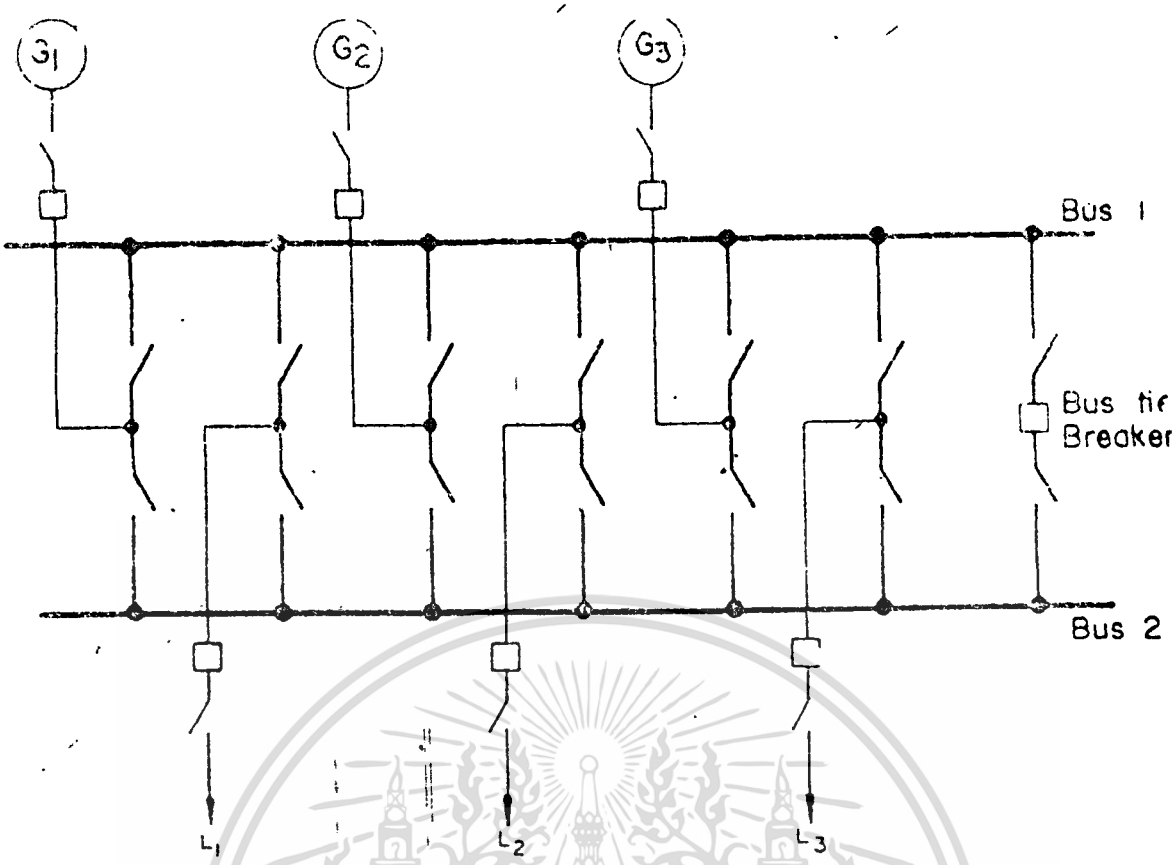


Fig . 2-3 . Double - bus , single - breaker scheme.

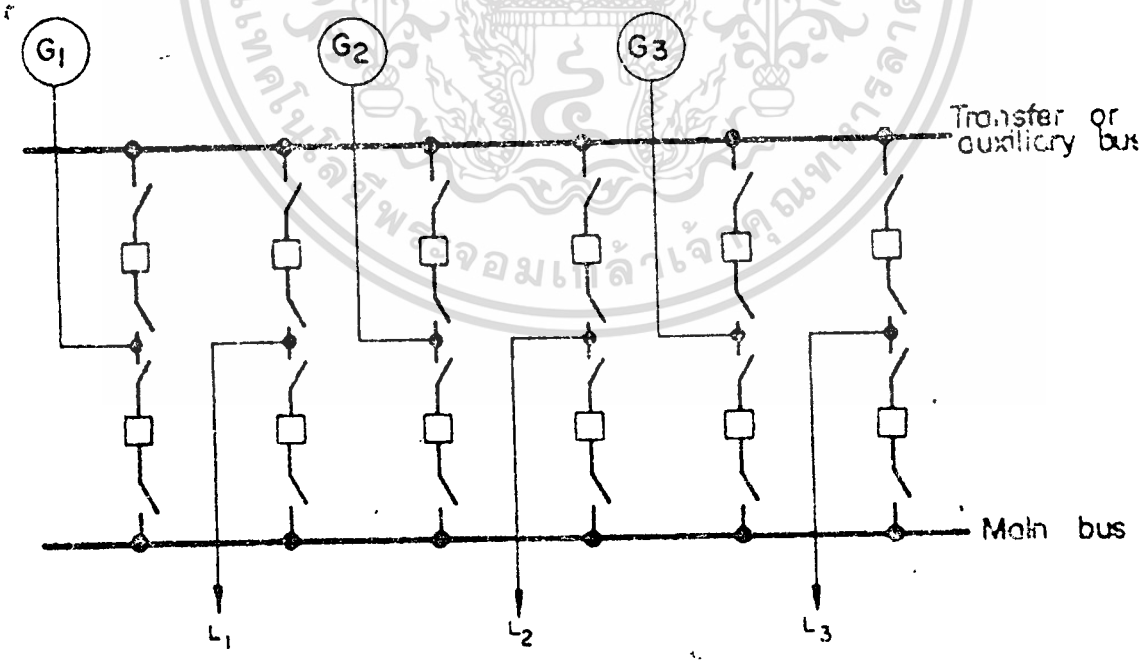


Fig. 2-4. Double - bus , double - breaker scheme.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

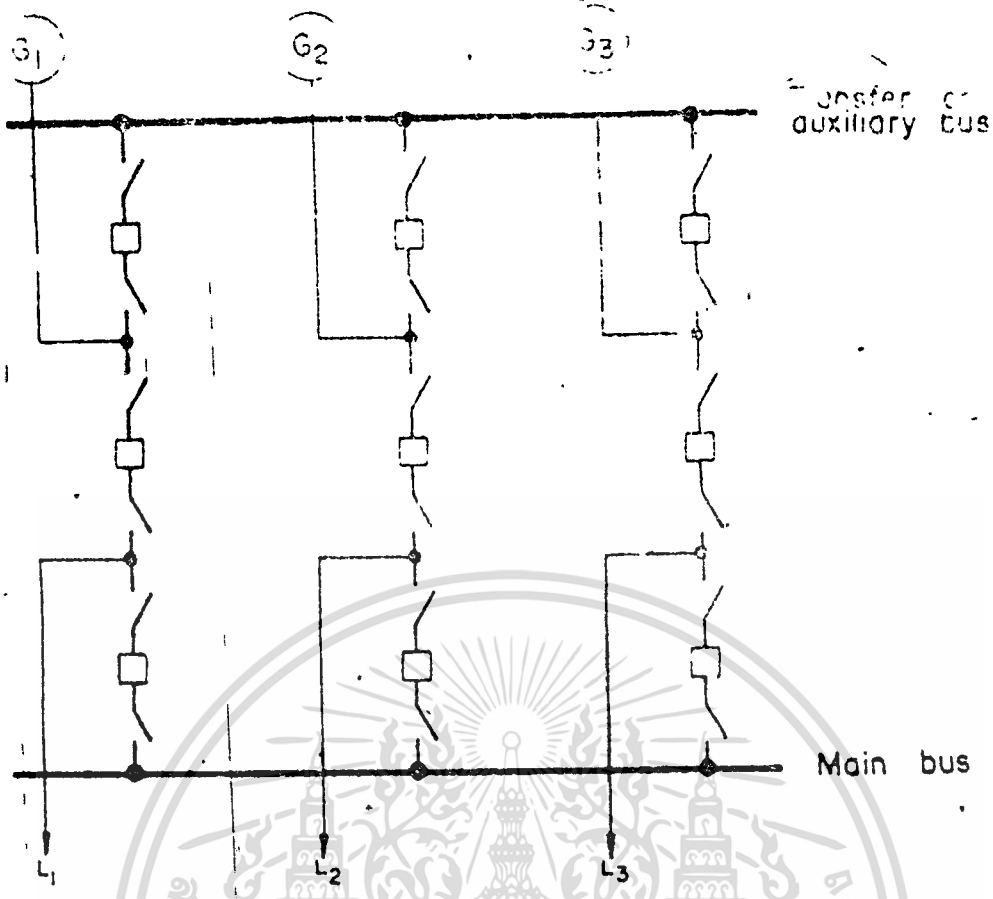


Fig. 2 -5. Breaker - and - a - half scheme.

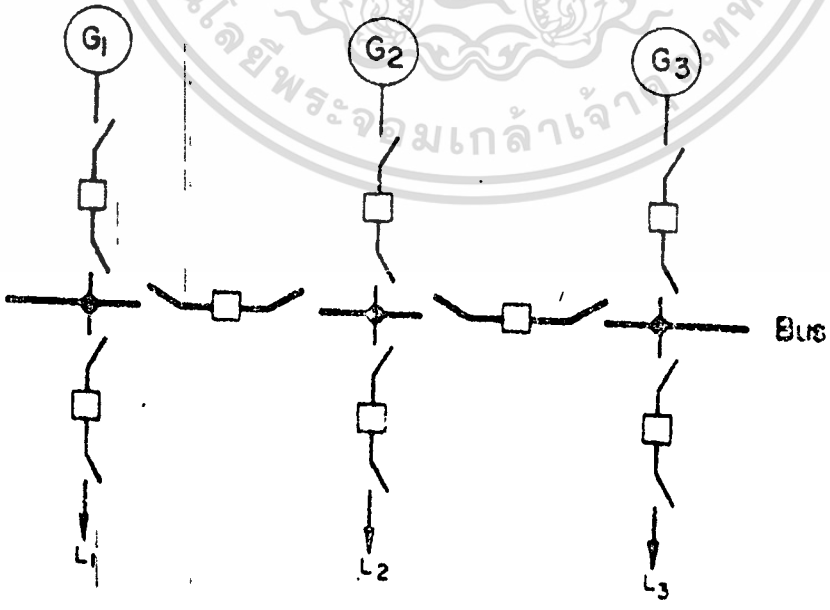


Fig. 2- 6. 'traight - bus sectionlization scheme .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. Single-ring-bus sectionalization scheme รูปที่ 2-7. แบบนี้สามารถตัดตอนเอา circuit breaker หรือสวิชตัวใดตัวหนึ่งออกจากวงจร เพื่อทำการตรวจซ่อมได้โดยที่การจ่ายไฟจะไม่ชงัก และโดยที่ protection ของระบบก็ยังคงมีครบสมบูรณ์ตามปกติ. หรือถ้าหากเกิดชัดข้องขึ้นในส่วนใดส่วนหนึ่งบอง ring แล้ว circuit breaker ก็จะตัดเฉพาะส่วนนั้นออกไป โดยที่ส่วนอื่น ๆ ที่เหลือยังคงทำงานปกติ

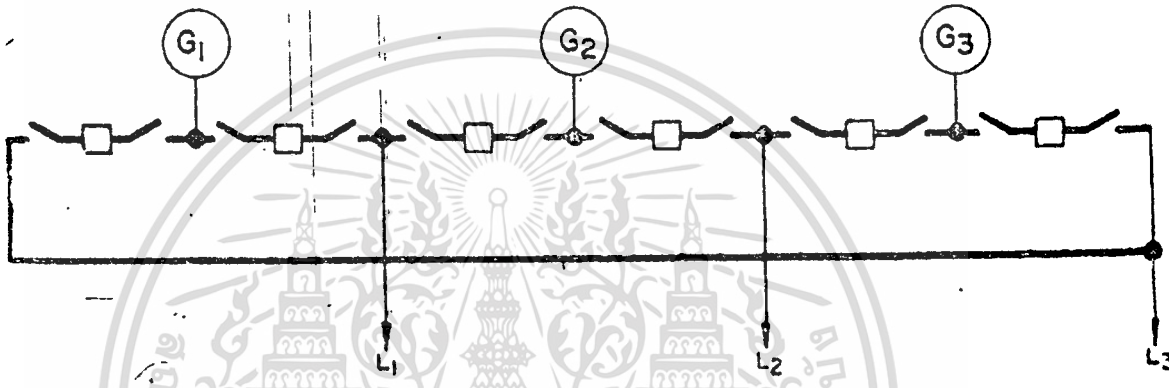


Fig. 2-7. Single - ring bus sectionalization scheme.

8. Double-ring-bus sectionalization scheme รูปที่ 2-8. แบบนี้สังเกตได้ว่าเป็นแบบ double-bus, double-breaker กับแบบ straight-bus seetion-alization ผสมกัน, ซึ่งจะรวมคุณลักษณะของทั้ง 2 scheme นี้เข้าด้วยกัน.

Scheme ต่าง ๆ ที่แสดงมาแล้วทั้ง 8 scheme นี้ ต่างก็มีสาม incoming line และสาม outgoing line ด้วยกัน, แต่จำนวน circuit breaker และ switch ที่ใช้ในแต่ละ scheme แตกต่างกันไป ซึ่งจะอำนวยคุณลักษณะในแง่ protection, reliability และ flexibility ให้ตามฐานะ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

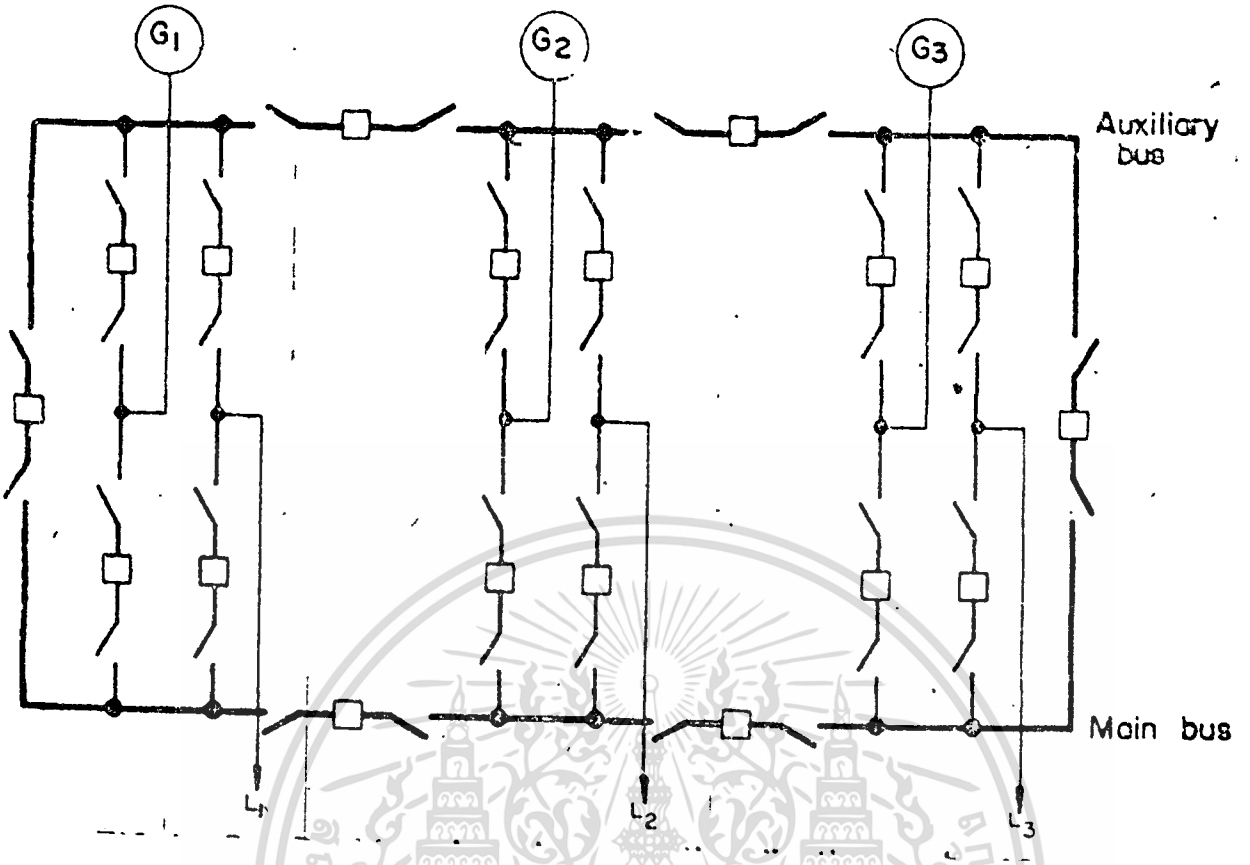


Fig. 2-8. Double - ring bus sectionalization scheme.

จำนวน circuit breaker และ switch ของแต่ละ scheme ซึ่งแสดงไว้ในรูปมีดังนี้

	จำนวน Circuit breaker	จำนวน Switch
1. Single-bus scheme, (a)	6	12
(b)	6	18
(c)	6	16
2. Spare-bus acheme	7	20
3. Double-bus, single-breaker scheme	7	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	จำนวน Circuit breaker	จำนวน Switch
4. Double-bus, double-breaker scheme	12	24
5. Breaker-and-a-half scheme	9	18
6. Straight-bus sectionalization scheme		
Single-bus	8	16
Double-bus		
7. Single-ring-bus sectionalization scheme	6	12
8. Double-bus sectionalization scheme	18	36

จำนวนของอุปกรณ์เหล่านี้ เป็นแนวทางที่จะชี้บอกถึงขนาดวงเงินลงทุนก่อสร้างได้เป็นอย่างดี ฉะนั้นในการออกแบบสับสเตชั่นแต่ละแห่งนั้น จะต้องพิจารณาเสียก่อนว่าเราต้องการ protection, reliability และ flexibility เพียงใด แล้วจึงเลือกสรร scheme ให้เหมาะสมสอดคล้องกับความต้องการ ทั้งให้ประหยัดในการลงทุนพร้อม ๆ กันไปด้วย.

2.2 โครงสร้าง

การก่อสร้างสับสเตชั่นกลางแจ้งนั้นอุปกรณ์ที่มีน้ำหนักมาก ๆ เช่น power transformer, instrument transformer, circuit breaker เป็นต้น ตามปกติจะทำฐานคอนกรีตรองรับไว้บนพื้นดิน ส่วนอุปกรณ์ที่มีน้ำหนักน้อย เช่น disconnect switch, fuse, insulator ฯลฯ เป็นต้น อาจจัดวางไว้ในลักษณะต่าง ๆ ทำให้เกิดมีโครงสร้างแบบต่าง ๆ ขึ้นดังนี้

1. Unit-type structure แบบนี้ใช้โครงเหล็ก A- frame ตั้งแยกกันเป็นต้น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2- 9, มี strain insulator ติดสำหรับขึงสาย bus conductor ระหว่าง A- frame เหล่านี้. ส่วน disconnect switch ก็อาจยังติดตั้งอยู่บน A-frame

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

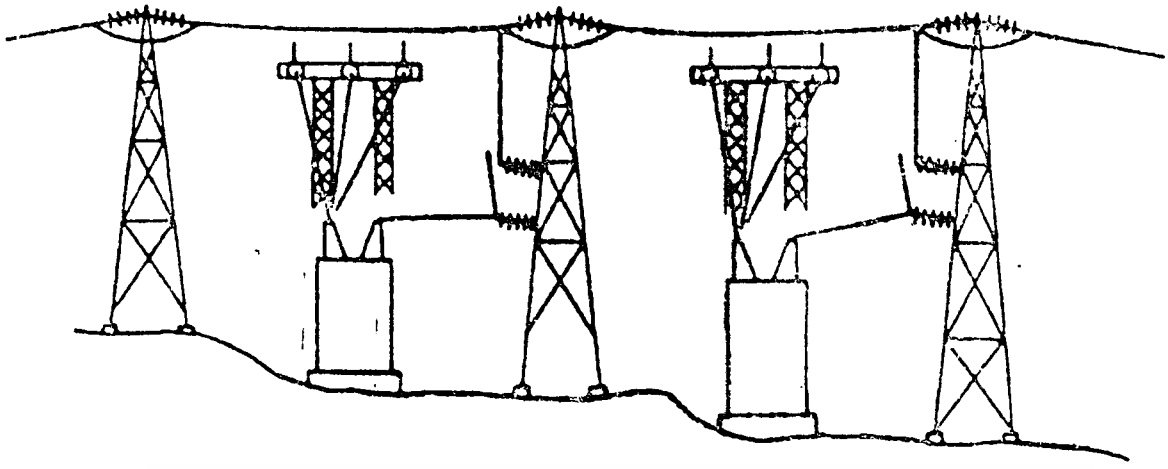


Fig. 2-9. Unit-type Structure

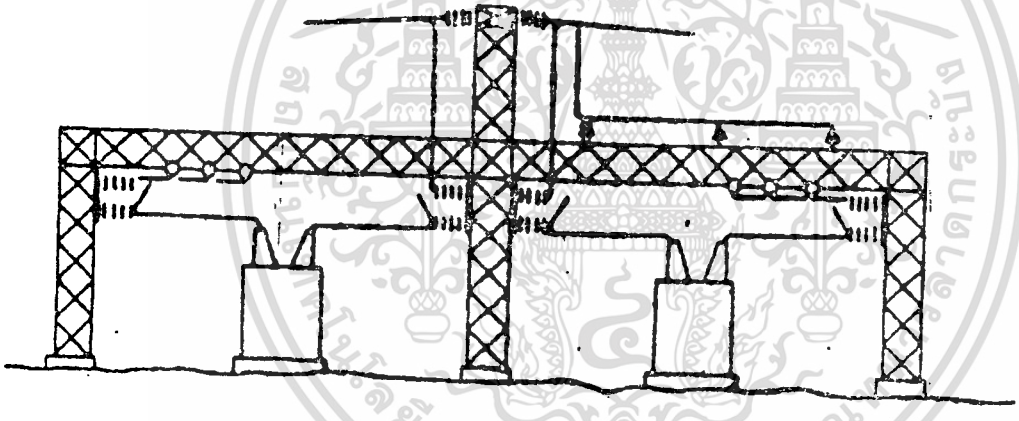


Fig. 2-10. Truss-type Structure

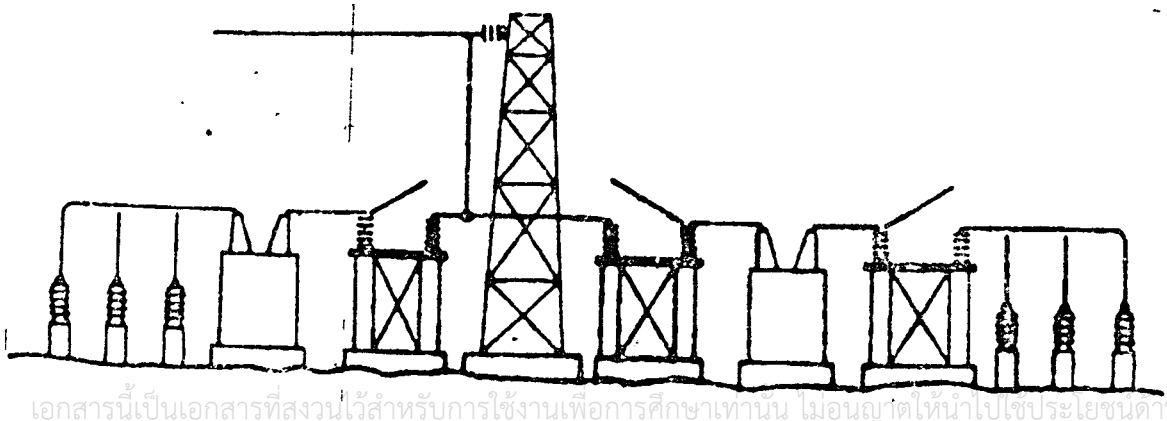


Fig. 2-11 . Groung -type Structure;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้ด้วย. Unit-type structure เหมาะสำหรับใช้ในที่ระดับดินที่ทำการก่อสร้างเป็นบ่อเป็นหินไม่สม่ำเสมอ และราคาที่ดินไม่แพง, ในกรณีเช่นนี้แล้วราคาของการก่อสร้างแบบนี้จะต่ำ. นอกจากนั้น การดัดแปลงหรือขยายสับสเตชั่นภายหลังก็กระทำได้ง่าย

2. Truss-type structure แบบนี้ใช้โครงเหล็กยาวหรือที่เรียกว่า lattice truss ดังแสดงในรูปที่ 2-10. Disconnect switch กับอุปกรณ์อื่น ๆ ที่น้ำหนักน้อยจะอาศัยติดบนดิน truss นี้ทั้งสิ้น, รวมทั้ง strain insulator สำหรับ bus conductor และ pedestal insulator สำหรับรับ bus copper tube ด้วย. โครงเหล็กแบบนี้ราคาสูงกว่าแบบ Unit-type แต่ทว่ามีลักษณะเรียบร้อยกระทัดรัด, ทั้งกินพื้นที่ติดตั้งน้อยกว่า

3. Ground-type structure แบบนี้มีลักษณะแตกต่างกว่า 2 แบบข้างต้น โดยที่อุปกรณ์ต่าง ๆ ไม่ว่าหนักหรือเบาก็ตาม, จะมีแท่นคอนกรีต (concrete pedestal) พร้อมกับ pedestal insulator รองรับอุปกรณ์และ bus copper tube ไว้อย่างแข็งแรง ดังแสดงในรูปที่ 2-11. โครงสร้างแบบนี้มีรูปร่างลักษณะเรียบร้อยเป็นระเบียบและสวยงามกว่าแบบอื่น ๆ, ไม่จำเป็นต้องมีความสูงมาก จึงทำให้ง่ายต่อการบำรุงรักษา. แต่โครงสร้างแบบนี้ต้องการพื้นที่กว้างและควรจะต้องราบเรียบสม่ำเสมอลักหน่อย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หม้อแปลงไฟฟ้า

(INSTRUMENT TRANSFORMERS)

Instrument transformer มี 2 ชนิด คือ current trasformer (C.T.) กับ potential transformer (P.T.) มีหน้าที่โดยทั่ว ๆ ไป ดังต่อไปนี้

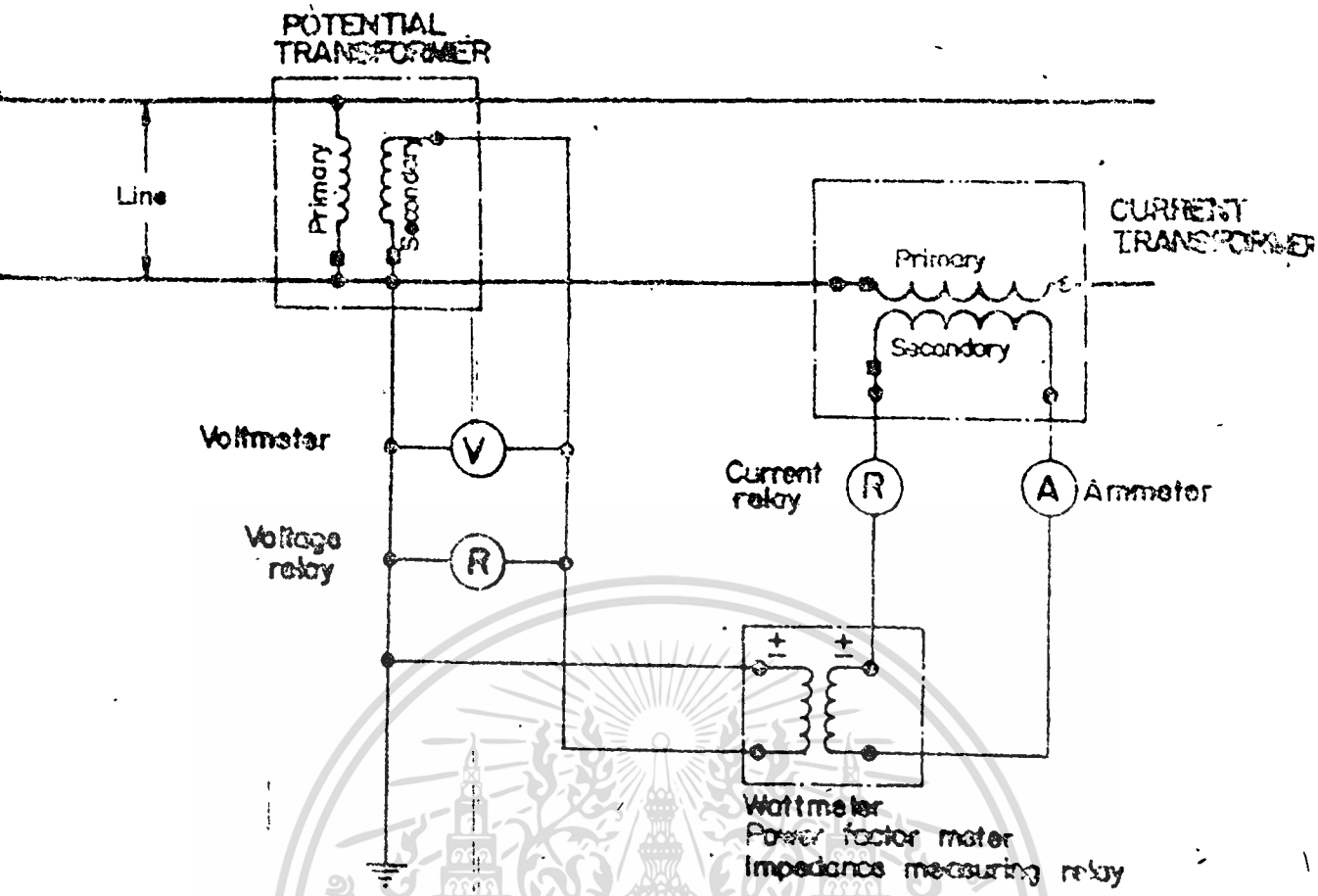
(1) แปลงกระแสจากจำนวนมาก ๆ (=C.T.) หรือ voltage สูง ๆ (=P.T.) ของวงจรให้ลดลงมาถึงระดับมาตรฐานที่จะนำไปใช้กับ meter, relay และ control device ซึ่งตามมาตรฐานจะมี rating ไว้ 5 แอมแปร์ และ 120 โวลท์

(2) พร้อม ๆ กันไปกับข้อ (1) instrument transformer จะทำหน้าที่ insulate อุปกรณ์ดังกล่าวแล้วจากไฟฟ้าแรงสูง, เป็นการป้องกันอันตรายไปด้วยในตัว (และเพื่อให้การป้องกันอันตรายนี้ได้ผลสมบูรณ์ยิ่งขึ้น casing หรือตัวเรือนของ instrument transformer มักจะต่อลงดินด้วย)

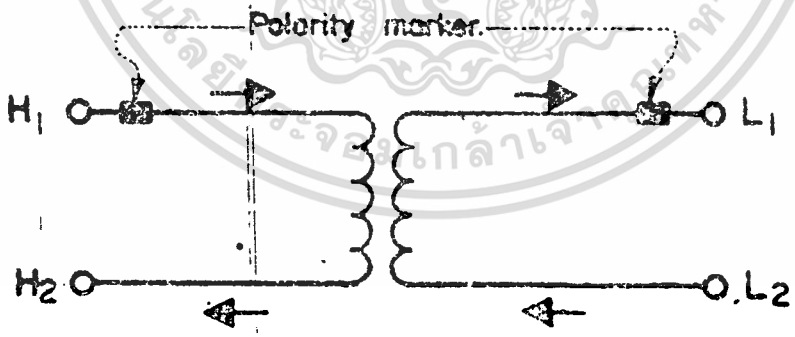
การต่อ primary ของ C.T. เข้ากับวงจรที่ต้องการจะวัดหรือ control นั้น ต้องต่อแบบ series ส่วน P.T. นั้น ต่อเข้าระหว่างสายไฟ (line to line) หรือระหว่างสายไฟกับสาย neutral (ดูรูปที่ 3-1)

Polarity. ที่ขั้วหนึ่งทาง primary และขั้วหนึ่งทาง secondary จะมีเครื่องหมายแสดงทิศทางสัมพันธ์หรือ realative polarity ของกระแสไว้ หากจะถือว่ากระแสแรงสูงไหลเข้าทางขั้ว primary ที่มีเครื่องหมายนั้นแล้ว ก็เป็นที่เชื่อได้ว่าทางขั้ว secondary ที่มีเครื่องหมาย กระแสแรงจะไหลออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-1 วิธีต่อ potential transformer กับ current transformer



รูปที่ 3-2 เครื่องหมายนี้ข้างของ instrument transformer แสดงทิศทางของกระแสไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ดูรูปที่ 3-2) อย่างไรก็ตาม สำหรับ instrument transformer ที่ใช้กับ meter หรือ relay ซึ่งทำงานด้วย magnitude ของกระแสหรือของ voltage แต่ลำพังเท่านั้น ไม่เกี่ยวกับทิศทางหรือ phase position (คือว่าไม่เกี่ยวกับ power factor แล้ว), ไม่จำเป็นต้องคำนึงถึง polarity ว่าจะต้องต่อเอาไฟเข้าขั้วใดออกขั้วใด เพราะถึงแม้จะสลับขั้วกันเสีย instrument ก็คงทำงานได้ถูกต้องเป็นปกติ ตัวอย่างกรณีนี้ เช่น ammeter, voltmeter, non-directional over-current relay, over-voltage relay เป็นต้น แต่สำหรับ meter และ relay บางประเภท เช่น wattmeter, varmeter, reversed power relay เป็นต้น ซึ่งทำงานด้วย magntude ของกระแสหรือ voltage ไปพร้อม ๆ กับทิศทาง หรือ phase position แล้ว จะต้องต่อขั้วเอาไฟเข้าออกทางด้าน primary กับ secondary ให้สอดคล้องกันด้วย

<u>การแบ่งประเภทของ C.T. และ P.T.</u>

ก. <u>แบ่งตามลักษณะการติดตั้ง</u>

1) <u>Indoor-type</u> โดยทั่วไปมี rating 25,000 โวลท์เป็นอย่างสูง และถ้าเป็น 15,000 โวลท์หรือต่ำลงมาจะใช้เป็นแบบ dry-type ก็ได้ เพราะติดตั้งในร่มโอกาสที่จะได้รับอันตรายจากฝนฟ้าอากาศมีน้อย ตั้งแต่ 15,000 โวลท์ขึ้นไปใช้เป็น compound-filled หรือ oil-immersed

2) <u>Outdoor-type</u> โดยมากกำหนด rating ให้ตั้งแต่ 25,000 โวลท์ขึ้นไป และเนื่องจากติดตั้งกลางแจ้งมีโอกาสที่จะได้รับอันตรายจากฝนฟ้าอากาศได้มาก จึงต้องเป็นแบบ compound-filled หรือ oil-immersed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. แบ่งตามลักษณะ insulation

1) Dry-type มักจะทำถึง voltage 15,000 โวลท์ และไม่ติดตั้งกลางแจ้งโดยไม่มีสิ่งปกปิดกันฝนหรืออากาศ

2) Compound-filled มักจะทำถึง voltage 15,000 โวลท์ ใช้ติดตั้งกลางแจ้ง

3) Oil-immersed มักจะทำตั้งแต่ voltage 15,000 โวลท์ขึ้นไปใช้ติดตั้งกลางแจ้ง

ค. แบ่งตามลักษณะ mechanical construction

สำหรับ P.T. ที่ใช้ทั่ว ๆ ไปมักเป็นแบบ Wound (or wound-primary) type ส่วน C.T. นั้น มีแบบต่าง ๆ คือ

1) Wound-primary type มักจะมี primary rating ตั้งแต่ 800 แอมแปร์ลงมา

2) Bar-type มักจะมี primary rating ตั้งแต่ 1,200 แอมแปร์ขึ้นไป

3) Window-type ใช้กับกระแสมาก ๆ ได้เช่นเดียวกับแบบ bar-type

4) Bushing-type ใช้กับกระแสมาก ๆ เช่นเดียวกับ bar-type แต่ความแม่นยำ (accuracy) มีน้อยกว่า จึงเหมาะสำหรับใช้กับงานด้าน relaying ซึ่งความสำคัญทาง accuracy ยังเป็นรองของงานด้าน metering

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) Double-secondary type มี secondary winding 2 ชุด แต่ละชุดแยกจากกันเด็ดขาด จึงเท่ากับมี C.T. 2 ตัว แบบนี้เหมาะสำหรับความต้องการที่จะจำกัด maximum burden ของวงจรทาง secondary หรือต้องการจะแยกวงจรของอุปกรณ์สำคัญให้ทำงานโดยอิสระ เช่น differential relay เป็นต้น การใช้ C.T. แบบนี้ ดีกว่าใช้แบบ winding เดียว 2 ตัวต่อเป็นอันดับก็ตรงที่ว่ากินเนื้อที่ตั้งน้อยกว่า

6) Three-wire type สำหรับใช้กับวงจรเฟสเดียวสามสาย C.T.แบบนี้ หรือเรียกว่า double-primary type สามารถใช้กับ meter เฟสเดียวชนิดธรรมดาได้

7) Split-core type แบบนี้สร้างขึ้นด้วยความมุ่งหมายที่จะใช้จับเข้าที่ bus ความแม่นยำมีน้อยกว่าแบบอื่น

Burden

เมื่อต่อ secondary terminal ของ instrument เข้ากับอุปกรณ์จะเป็น meter, relay หรือ control device ใด ๆ ก็ตาม จะมีทั้ง active power และ reactive power ไหลอยู่ในวงจรทาง Secondary นี้ ซึ่งปริมาณจะมีมากน้อยเท่าใดก็สุดแล้วแต่คุณสมบัติอันหนึ่งของวงจรนั้น คุณสมบัติอันนี้เรียกว่า burden

ในกรณีของ C.T. นั้น meter หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เราต่อใน secondary circuit จะต่อเป็น series กัน ฉนั้น เพื่อความสะดวกในการคำนวณ เราจึงกำหนดค่าของ burden เป็น impedance (z) เสีย มีหน่วยเป็น ohm โดยนัยนี้ เมื่อต้องการหรา total burden ก็เอา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

impedance ของ meter หรืออุปกรณ์แต่ละชิ้นมาบวกกันเข้าอย่างแบบเลขคณิต ผลบวกก็จะเป็น total burden หรือหากทราบ resistance (R) และ reactance (X_L) ของอุปกรณ์แต่ละชิ้น total burden ก็จะมีค่าดังนี้

$$Z = \sqrt{(\Sigma R)^2 + (\Sigma X_L)^2} \quad \text{ohm}$$

หรือถ้าทราบเป็น volt-ampere burden (VA) เราจะหา impedance burden ได้จาก

$$Z = \frac{VA}{I^2} \quad \text{ohm}$$

ซึ่ง I = กระแสที่ไหลผ่านวงจร secondary burden

ส่วน power facter (p.f.) ของ burden จะหาได้ดังนี้

$$p.f. = \frac{\Sigma R}{\sqrt{(\Sigma R)^2 + (\Sigma X_L)^2}}$$

<u>ตัวอย่าง</u> Ammeter, wattmeter กับ watthour meter ในวงจร secondary circuit ของ C.T. มี effective resistance R = 0.055,0.023 ohm และมี reactance X_L = 0.102, 0.098, 0.024 ohm ตามลำดับ ส่วนสาย (lead)ที่ต่อเข้า meter เหล่านี้มี resistance 0.050 ohm

$$\Sigma R = 0.055 + 0.023 + 0.014 + 0.0050 = 0.142 \text{ ohm}$$

$$\Sigma X_L = 0.102 + 0.098 + 0.024 = 0.224 \text{ ohm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Total secondary burden $Z = \sqrt{(\Sigma R)^2 + (\Sigma X_L)^2}$

$= \sqrt{(0.142)^2 + (0.224)^2}$

$= \sqrt{0.070}$

$= \underline{0.265 \text{ ohm}}$

Burden p.f. $= \frac{\Sigma R}{Z}$

$= \frac{0.142}{0.265}$

$= \underline{\underline{0.53}}$

สำหรับกรณีของ P.T. นั้น meter และอุปกรณ์ต่าง ๆที่เอามาต่อใน secondary circuit ต่อขนานกัน ฉะนั้น ถ้ากำหนดค่าของ burden เป็น impedance อย่าง C.T. บ้าง จะทำให้ไม่เป็นการสะดวกต่อการคิดคำนวณ โดยเหตุนี้ เราจึงกำหนดค่าของ burden เป็น volt-ampere(VA) เสีย เมื่อเป็นดังนี้แล้วหากต้องการหราบ total burden ก็ทำได้ง่ายขึ้น คือ เพียงแต่เอา VA ของmeterหรืออุปกรณ์แต่ละชิ้นนั้นมาบวกกันเข้า ผลบวกก็จะเป็น total burden หรือหากหราบ watt และ var ของอุปกรณ์แต่ละชิ้น total burden ก็จะมีค่าดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$VA = \sqrt{(\Sigma W)^2 + (\Sigma VAR)^2} \quad \text{volt-amperes}$$

หรือถ้าทราบเป็น impedance burden (Z) เราก็จะหา VA burden ได้จาก

$$VA = \frac{E^2}{Z} \quad \text{volt-amperes}$$

ซึ่ง E = voltage drop ของ burden

ส่วน power factor (p.f.) ของ burden จะหาได้จาก

$$VA = \frac{\Sigma W}{VA}$$

ตัวอย่าง Voltmeter, wattmeter, กับ watthour meter ในวงจร secondary circuit ของ C.T. มีค่าของ watt W = 4.7, 2.4, 1.4 ค่าของ VAR = 0.9, 9 และ 11.8 ตามลำดับ

$\Sigma W = 4.7 + 2.4 + 1.4 = 8.5$ watts

$\Sigma VAR = 0.9 + 11.8 = 12.7$ vars

Total secondary burden $VA = \sqrt{(\Sigma W)^2 + (\Sigma VAR)^2}$

$= \sqrt{(8.5)^2 + (12.7)^2}$

$= \sqrt{233.54}$

$= \underline{\underline{15.4}}$ volt-amperes

Burden p.f. $= \frac{\Sigma W}{VA}$

$= \frac{8.5}{15.4}$

$= \underline{\underline{0.55}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Burden นี้ เป็นองค์ประกอบอันสำคัญอันหนึ่งที่ทำให้ accurary ของ instrument transformer ลดน้อยลงไป หรืออีกนัยหนึ่งทำให้เกิด error ขึ้น เป็นผลให้ค่าอ่านจาก meter ผิดพลาดไป ซึ่งจะมากน้อยเท่าใดก็สุดแต่ปริมาณของ burden ในวงจร ความเกี่ยวพันข้อนี้จะได้กล่าวรายละเอียดในหัวข้อ accuracy ของ กับ ต่อไป ในการคิดคำนวณหา total burden ตามวิธีที่แสดงไว้ข้างต้นนี้ มุ่งหมายเพื่อจะนำไปตรวจสอบดูว่า instrument transformer ที่ใช้นั้นรับ burden เกินกำลังหรือไม่ ทั้งใช้เป็นหลักในการเลือกสรร instrument transformer มาใช้งานให้เหมาะสม

Insulation Class

คือข้อกำหนดว่า instrument transformer จะต้องมีฉนวน(insulation) ทางด้าน primary ดีเพียงพอที่จะทน voltage ที่กำหนดให้นั้น ๆ ได้ ไม่ใช่จะทนแต่เพียง voltage ที่ต้องการใช้งานหรือ rated voltage เท่านั้น เพื่อที่จะต้องพิสูจน์ว่า instrument transformer มีคุณภาพทางด้านฉนวนครบถ้วนตามต้องการ ASA จึงได้กำหนดวิธีการทดสอบและ test voltage ไว้เป็นมาตรฐาน(ASA Standard C57) เรียกว่า dielectric test ซึ่งประกอบด้วยการทดสอบที่สำคัญ 2 ประการ คือ

1) Applied Potential Test มีความมุ่งหมายที่จะทดสอบคุณภาพของ insulation ระหว่าง winding กับ winding และระหว่าง winding กับ ground ของ instrument transformer ว่าจะทนต่อ voltage ที่กำหนดให้หรือไม่ วิธีทดสอบคือ ให้ short circuit winding ที่จะ test นั้น แล้วต่อไฟโดยใช้ voltage ที่กำหนดให้เข้าสายหนึ่ง สวนอีกสายหนึ่งต่อเข้า casing หรือ core ของ instrument transformer สำหรับ winding อื่น ๆ ให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

short circuit เสียแล้วต่อลง casing หรือ core คุจกัน ระยะเวลาของการทดสอบใช้ 1 นาทีเต็ม

2) Impulse Test เป็นการทดสอบคุณภาพของ insulation ว่าจะทนต่อ surge จากอำนาจฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นในบริเวณใกล้เคียง และ surge จาก switching operation ได้หรือไม่ (ตามกฎของ U.S.B.R จะทดสอบกับ C.T. ที่มี insulation class ตั้งแต่ 196 KV ขึ้นไป และ P.T. ที่มี insulation class ตั้งแต่ 69 KV ขึ้นไป) Impulse test มักจะทำเป็น 2 กรณีด้วยกัน เรียกว่า chopped-wave กับ full-wave test มีหลักการว่า หาวิธีทำให้เกิดคลื่นอันหนึ่งซึ่งสามารถเพิ่มค่าขึ้นไปจนถึงจุดสูงสุด (คือ crest voltage ที่กำหนดให้สำหรับ insulation class แต่ละอัน) ได้ภายในเวลา1/2 ถึง 2 1/2 micro-second (หนึ่งในล้านวินาที) และค่านี้สามารถถอดลงมาเหลือครึ่งหนึ่งได้ภายใน 40 ถึง 50 micro-second, ใช้คลื่นนี้ผ่านเข้าไปใน winding ของ transformer แล้วสังเกตผล การทดสอบเหล่านี้จะต้องใช้เครื่องมือเครื่องวัดพิเศษหลายอย่าง เช่น เครื่องกำเนิดคลื่น (surge generator) resistance divider, capacity divider, และ cathode-ray oscillorgraph สำหรับวัดและบันทึก impulse voltage เป็นต้น ระยะเวลาที่ใช้คลื่นผ่านเข้าไปใน transformer winding นี้สั้นมาก คือประมาณ 1-3 micro-second เท่านั้น

Error

(ความคลาดเคลื่อน)

ในการคำนวณขั้นต้นเกี่ยวกับ voltage, current (กระแส) และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนรอบของ winding ใน transformer โดยทั่วไป เรามักจะคิดอย่างหยาบ ๆ เอาว่าทั้ง 3 จำนวนดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$V_p \; N_s = V_s \; N_p$$

และ $$I_p \; N_s = I_s \; N_s$$

ซึ่ง V_p และ I_p เป็น termimal voltage และกระแสในวงจร primary

V_s และ I_s เป็น termimal voltage และกระแสในวงจร secondary

N_p และ N_s เป็นจำนวนรอบ (turns) ของ winding ในวงจร primary และ secondary

ความสัมพันธ์เหล่านี้เป็นเพียง ideal case เท่านั้น ซึ่งก็ให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงพอที่จะนำมาใช้ในการคิดคำนวณที่ไม่ต้องการความละเอียดมากนักได้ แต่สำหรับกรณีของ instrument transformer แล้ว เนื่องจาก instrumnet transformer เป็นอุปกรณ์ที่จะต้องเอาไปใช้เกี่ยวเนื่องกับการวัด, การป้องกันอันตรายและอำนวยความปลอดภัยให้แก่ระบบ ตลอดจนการ control ต่าง ๆ ซึ่งต้องการความละเอียดและแม่นยำแน่นอนอย่างสูง ฉะนั้น จึงจำเป็นจะต้องศึกษาความสัมพันธ์เหล่านี้ให้กว้างขวางออกไปอีกตามสมควร

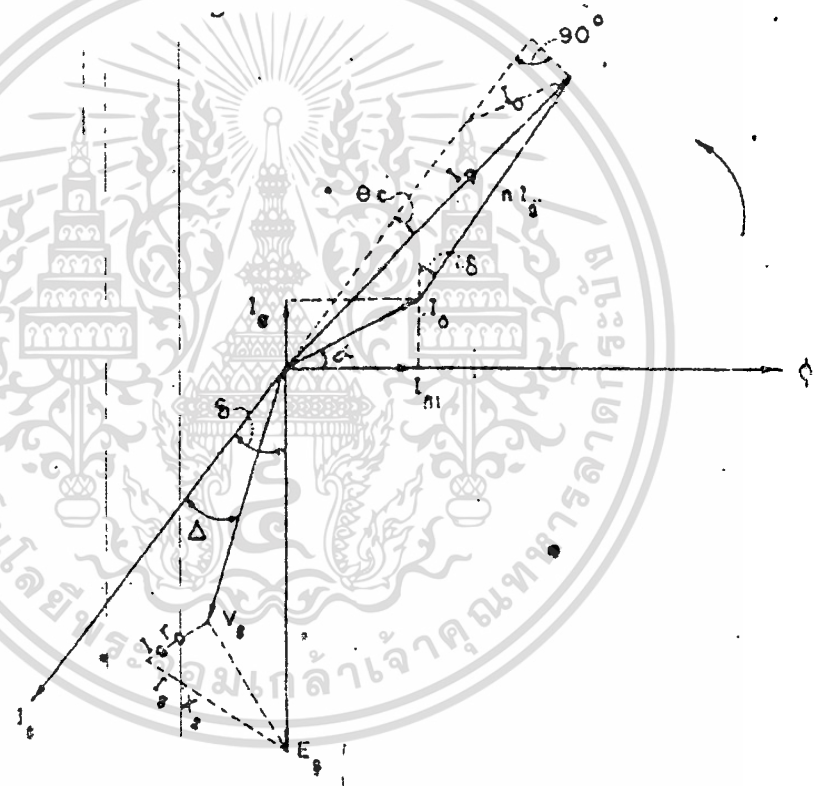
ในขณะที่ instrument transformer ทำงาน นอกจากจะมี V_p, V_s, I_p และ I_s เกี่ยวข้องแล้ว ยังมีอีกหลายสิ่งหลายอย่างเกิดขึ้นภายใน instrument transformer ซึ่งจะต้องคำนึงถึง อาทิเช่น exciting current I_o (ซึ่งประกอบด้วย magnetising current compoment I_m กับ iron-lose component I_c) secondary imduced voltage E_s, working flux ϕ, burden phase angle ซึ่งเป็นมุมระหว่าง I_s กับ E_s, α ซึ่งเป็นมุมระหว่าง I_o กับ ϕ และ transformer phase angle θ ซึ่งเป็นมุมระหว่าง $-I_s$ กับ I_p หรือ $-V_s$ กับ V_p ฯลฯ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งเหล่านี้ทำให้เกิดคุณสมบัติต่าง ๆ ขึ้นแก่ instrument transformer และคุณสมบัติที่สำคัญข้อหนึ่งได้แก่ error หรือ ความคลาดเคลื่อน ตามหัวข้อของเรื่องนี้

เพื่อให้เห็นความแตกต่างได้ชัดเจนและสะดวกแก่การอธิบายจะแยกกล่าวเรื่อง error นี้ เป็น C.T. error กับ P.T. error โดยเฉพาะเป็นกรณีไป

C.T. Error ขณะที่ C.T. ทำงานสิ่งที่เกิดขึ้นใน C.T. จะแสดงออกเป็น voltage diagram ได้ ตามรูปที่ 3-3.



รูปที่ 3-3. Vector Diagram ของ C.T.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

n = turns ratio

r_s = secondary winding resistance

x_s = secondary winding reactance

E_s = induced secondary voltage

V_s = secondary terminal voltage

I_s = secondary current

I_p = primary current

I_o = exciting current

I_m = magnetizing component of I_o

I_e = iron-loss component of I_o

ϕ = working flux

θ = phase angle of C.F. (angle between I_p and $-I_s$)

δ = phase angle of total burden, including impedance of secondary winding (angle between I_s and E_s)

Δ = phase angle of secondary load circuit (angle between Is and V_s)

α = angle between I_o and ϕ

จาก vector diagram นี้ จะหาค่าของ I_p ได้ดังนี้

$$I_p^2 = (I_e + nI_s\cos\delta)^2 + (I_m + nI_s\sin\delta)^2$$

$$= (I_o\sin\alpha + nI_s\cos\delta)^2 + (I_o\cos\alpha + nI_s\sin\delta)$$

$$\therefore I_p = \left[(I_o\sin\alpha + nI_s\cos\delta)^2 + (I_o\cos\alpha + nI_s\sin\delta)^2\right]^{1/2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) C.T. Ratio Error เรโช I_p/I_s เรียกว่า current trassformation ratio (R) มีค่า

$$R = \frac{I_p}{I_s}$$

$$= \sqrt{(I_e \sin\alpha + nI_s \cos\delta)^2 + (I_e \cos\alpha + nI_s \sin\delta)^2}$$

ซึ่งหากแตกค่าตามวิธีตรีโกณมิติและตัดทอนลงไปแล้วจะได้ค่าโดยประมาณ

$$R = n + \frac{I_e \cos\delta - I_m \sin\delta}{I_s}$$

แต่ I_m มีค่าน้อยมาก ถ้าตีเสียว่าเท่ากับ 0 แล้ว จะได้

$$R = n \frac{I_e}{I_s}$$

จึงอนุมานได้ว่า current ratio R นั้น ไม่เท่ากับ turns ratio (n) เลยเสียที่เดียว ดังที่เราเคยคิดอย่างหยาบ ๆ แต่ว่าตามความเป็นจริงแล้ว จะมีค่ามากกว่านั้นอีกเป็นจำนวนเท่ากับ I_e/I และจากนี้ก็อาจกล่าวต่อไปอีกว่า R มีค่าไม่คงที่ตายตัว แต่จะเปลี่ยนค่าของมันตาม I_e คือ iron-loss component ของ exciting current กับ I_s คือ กระแสในวงจร secondary ซึ่งก็คือ total secondary burden นั่นเอง

ความคลาดเคลื่อนจาก current ratio นี้ เรียกว่า ratio error ซึ่งอาจให้คำนิยามได้จากสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Ratio error} = \frac{\text{Nominal ratio} - \text{actual ratio}}{\text{Actual ratio}}$$

(Nominal ratio คือ transformation ratio ซึ่งปรากฏอยู่บน nameplate ของ C.T., actual ratio คือ I_p/I_s)

Ratio error ทำให้ meter แสดงตัวเลขที่อ่านได้ไม่ตรงกับความเป็นจริง เช่น C.T. ที่มี ratio error 0.01 หรือ 1% จะทำให้การอ่าน meter คลาดเคลื่อนไป 1% โดยเหตุนี้ จึงต้องกำหนดตัวคูณ เรียกว่า ratio correction factor (RCF) ไว้ สำหรับคูณค่าที่อ่านได้จาก meter ในเมื่อต้องการหาค่าที่แท้จริง เช่น meter ที่มี RCF 1.01 นั้น ค่าที่อ่านจาก meter จะต่ำกว่าความเป็นจริง 1% จะต้องเอา RCF คูณค่านี้เสียก่อน จึงจะได้ค่าที่แท้จริง

$$RCF = \frac{\text{actual ratio}}{\text{Nominal ratio}} = \frac{I_p/I_s}{\text{Nominal ratio}}$$

หรืออีกนัยหนึ่ง

$$\text{Primary current} = \text{Secondar current} \times \text{Nominal ratio} \times RCF$$

RCF ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตาม burden ดังได้กล่าวมาแล้ว จะอ่านค่าได้จาก characteristic curve หรือ test data ของ C.T. นั้น ๆ

(2) C.T. Phase Angle Error นอกจาก ratio error ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว มีอีกสิ่งหนึ่งที่ทำให้การอ่าน meter คลาดเคลื่อนได้ สิ่งนี้คือ Phase angle ซึ่งได้กล่าวมาแล้ว ว่าเป็นมุม θ_c ระหว่าง $-I_s$ (คือ I_s กลับทิศทาง) กับ I_p เช่นเดียวกับในกรณีก่อน ค่าของ อาจหาจาก vector diagram ได้ และมีค่าโดยประมาณตามสมการ

$$\tan\theta_c = \frac{I_m \cos\delta - I_e \sin\delta}{nI_s}$$

แต่ θ_c เป็นมุมเล็ก ฉะนั้น $\tan\theta_c = \theta_c$ คิดเป็น radian โดยประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ถ้าถือว่า δ เป็น 0 ด้วย จะได้ค่า phase angle ในขั้นสุดท้าย

$$\theta_c = \frac{I_m}{nI_s} \quad \text{(radian)}$$

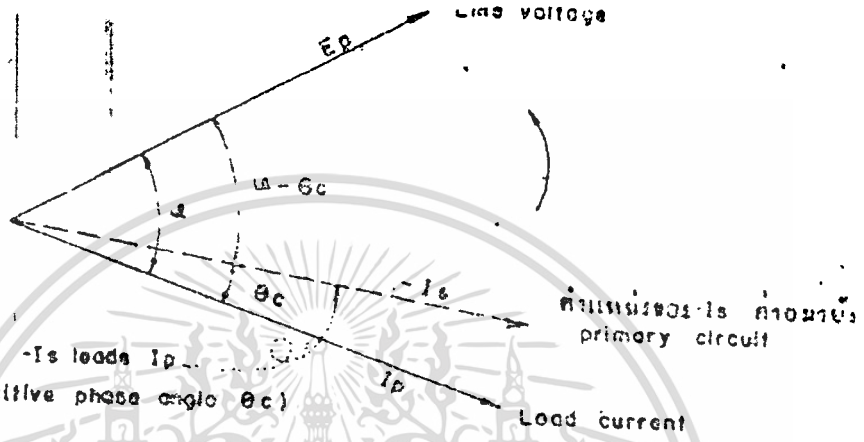
ทั้งนี้ ก็อาจสรุปได้ว่า phase angle ของ C.T. นั้น จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตาม I_s (ซึ่งสัมพันธ์กับ burden ใน secondary circuit) กับ I_m คือ magnetizing component ของ exciting current I_o

ดังได้กล่าวมาแล้ว θ_c เป็นมุมระหว่าง $-I_s$ กับ I_p ถ้า $-I_p$ leads I_p เราถือว่า θ_c เป็นบวก ถ้า $-I_s$ lags I_p เราถือว่า θ_c เป็นลบ และเนื่องจาก θ_c เป็นมุมเล็ก ใช้หน่วยเป็น degree ไม่สะดวก ในทางปฏิบัติจึงใช้หน่วยเป็น minute

การใช้ C.T. กับ anmeter หรือกับ current relay นั้น phase angle จะไม่เข้าไปเกี่ยวข้องเฉพาะแต่ ratio error เท่านั้น แต่กับ wattmeter แล้ว ทั้ง ratio error และ phase angle จะเข้าไปเกี่ยวข้องด้วย กล่าวคือ wattmeter นั้น วัดค่าของ line voltage (E) x load current (I) x power factor ($\cos\theta$) ซึ่งเท่ากับ $E_p \times I_p \times$ cosine ของมุมระหว่าง E_p กับ I_s โดยอ่านค่าทางด้าน secondary คือ $E_s \times I_s \times$ cosine ของมุมระหว่าง E_s กับ I_s ถ้ามุมทั้ง 2 กรณีนี้ เท่ากันก็ไม่เป็นปัญหา, wattmeter จะอ่านค่า watt ออกมาตรงดี แต่ความจริงไม่เป็นเช่นนั้น I_s ย่อมจะ lag หรือ lead I_p อยู่จำนวนหนึ่งเสมอ และมุมระหว่าง $-I_s$ กับ I_p ก็คือ phase angle นั่นเอง ถ้า $-I_s$ lags I_p (negative phase angle)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้ว wattmeter จะอ่านค่าออกมาต่ำไป, ถ้า $-I_s$ leads I_p (positive phase angle) ค่าที่อ่านได้ก็จะสูงไปเพื่อให้เห็นชัดขึ้น โปรดดู รูปที่ 3-4



φ = power factor angle of primary circiut (load p.t. angle)

θ_c = phase angle (between Ip and Is reversed)

$(\varphi \cdot \theta_c)$ = power factor angle of (secondary) load

รูปที่ 3-4 Positive phase angle ทำให้เกิดผลเสมือนว่า power factor ใน secondary circuit มีค่าสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3-4 แสดง Positive phase angle คือ $-I_s$ leads I_p ตามรูปนี้ จะเห็นได้ว่า power factor angle ใน secondary ลดขนาดลงมาเป็น $(\varphi-\theta_c)$ แทนที่จะเป็นอย่างใน primary circuit การที่ power factor angle ลดลงนี้ทำให้เกิดผลเสมือนหนึ่งว่า power factor ใน secondary circuit มีค่าสูงขึ้น มุม $(\varphi-\theta_c)$ จึงเรียกว่า apparent power factor angle

จากรูปที่ 3-4 Power มีค่าตามความเป็นจริงเท่ากับ $EI\cos\varphi$ แต่ wattmater จะอ่าน $EI\cos(\varphi-\theta_c)$ ซึ่งคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงไป ฉะนั้นเพื่อให้ถูกต้อง จึงควรคูณด้วยตัวคูณตัวหนึ่ง เรียกว่า phase angle correction factor (PACF)

$$PACF = \frac{\cos\varphi}{\cos(\varphi-\theta_c)}$$

$$= \frac{1}{1+\theta_c \tan\varphi} \quad \text{(สำหรับ } \theta_c \text{ เป็น radian)}$$

$$= 1 - \frac{\theta_c \tan\varphi}{3482} \quad \text{(สำหรับ } \theta_c \text{ เป็น minute)}$$

Tran former Correction Factor (TCF) C.F. การแก้ความคลาดเคลื่อนทั้ง ratio error และ phase angle error ไปพร้อม ๆ กัน ใช้ผลคูณของ RCF กับ PACF ซึ่งเรียกว่า tr n former ce r ction f ctor TCF)

$$(TCF) = (RCF) \times (PACF)$$

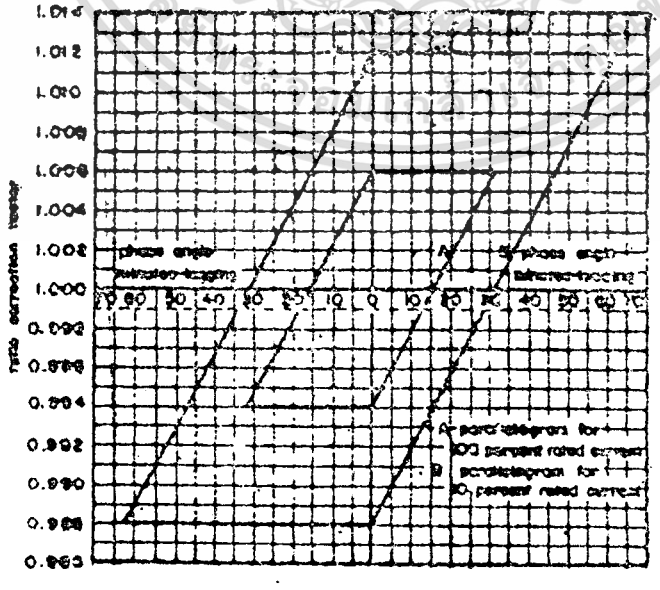
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนึ่ง TCF นี้ อาจให้คำนิยามได้ว่า เป็น factor ตัวหนึ่ง ซึ่งใช้ คูณตัวเลขที่อ่านได้จาก wattmeter เพื่อแก้หรือชดเชยความคลาดเคลื่อนที่เกิดจาก r io error และ ph e angle error ของ C.T.

ASAได้วาง limit สำหรับ TCF ของ C.T. ไว้เป็นมาตราฐาน ณ system load ower factorต่าง ๆ ซึ่งแสดงไว้ใน Table 3.3 แล้วหาก system load ower factorอยู่ภายนอก limit ซึ่งแสดงไว้ใน Table ดังกล่าว TCF ก็อาจจะไม่อยู่ใน r nge ที่แสดงไว้เหมือนกัน

จากมาตราฐานนี้ หากเราทราบ CF ของ C.T. ตัวใดตัวหนึ่งแล้ว เราก็อาจหา limit ของ phase angle error (θ_c) ทั้งทางบวกหรือลบได้จาก

θ_c = 2600 (RC - TCF) หน่วยเป็น minutes และอาศัยสูตรนี้ เราก็อาจแปลง limit ของ TCF ตาม Table 3.3 ออกมาเป็น limit ของ hase angle ณ PC ต่าง ๆ ได้ ดังในรูปที่ 3-5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3-5 แสดง limit ของ ratio correction factor และ current transformer (accuracy class 0.6) ใช้สำหรับ net ring service (สำหรับ C.T. accuracy class อื่น ๆ มีรูปลักษณะเดียวกัน)

สรุปกรณีต่าง ๆ ของ error ใน C.T.

1) ถ้า ratio error เป็นบวก (ค่าของ turns ratio มากกว่า 100 %) meter จะอ่านค่าต่ำกว่า ความเป็นจริง

2) ถ้า ratio error เป็นลบ (ค่าของ turns ratio น้อยกว่า 100 %) meter จะอ่านสูงกว่าความเป็นจริง

3) สำหรับ lagging line power factor (ซึ่งเป็นสภาพโดยปกติของระบบทั่วๆ ไป) ถ้า phase angle เป็นบวก (= leading phase angle or $-I_s$ leads I_p), PF CF จะมีค่าน้อยกว่า 1, และ wattmeter จะอ่านสูงกว่าความเป็นจริง

และถ้า phase angle เป็นลบ (= lagging phase angle or $-I_s$ lags I_p) ก็จะให้ผลตรงกันข้าม

4) สำหรับ leading line power factor, ถ้า phase angle เป็นบวก, PF CF จะมีค่ามากกว่า 1, และ wattmeter จะอ่านต่ำกว่าผลจริง และถ้า phase angle เป็นลบ ก็จะให้ผลตรงกันข้าม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

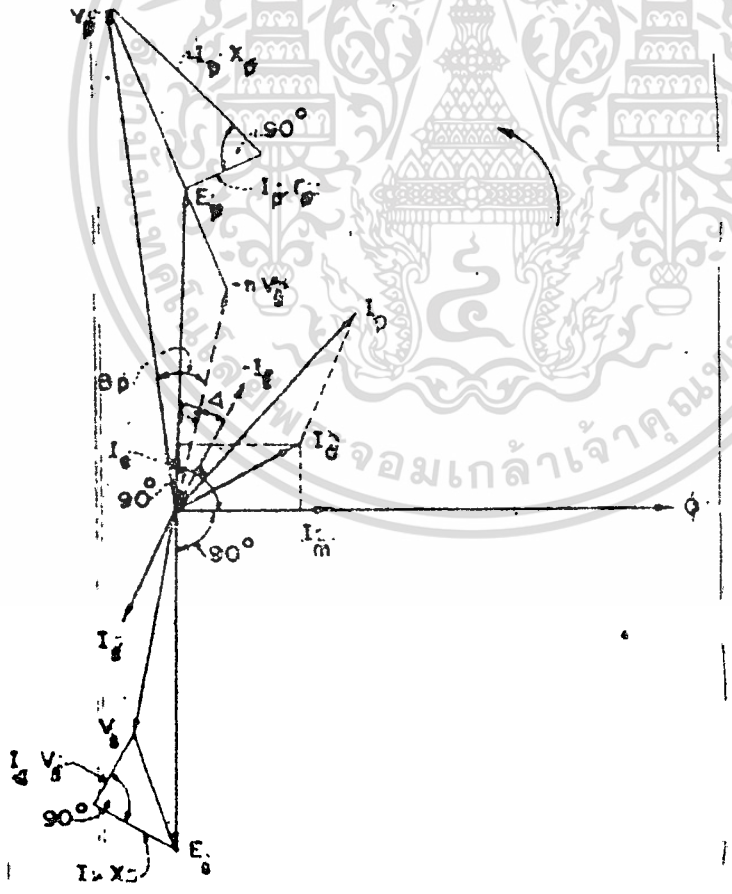
5) ถ้า CF มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่า actual ratio I_p/I_s มากกว่า nominal ratio และ meter อ่านต่ำกว่า ความเป็นจริง

6) ถ้า CF มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า actual ratio I_p/I_s น้อยกว่า nominal ratio และ meter อ่านสูงกว่า ความเป็นจริง

7) ถ้า P.F. มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่า burden p.f. เป็น lagging (I_s lags E_s)

8) ถ้า P.F. มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า burden p.f. เป็น leading (I_s leads E_s)

R.T. Error Vector diagram ของ C.T. ขณะทำงานมีลักษณะดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

n = turns ratio

r_s = secondary winding resistance

x_s = secondary winding reactance

E_s = induced secondary voltage

V_s = secondary terminal voltage

I_s = secondary current

V_p = primary voltage

$E_p = V - I Z$: $E_p = \sqrt{x_p^2 + r_p^2}$

I_p = primary current

I_o = exciting current

I_m = magnetizing compoment of I_o

I_e = iron-loss compoment of I_o

ϕ = working fluk

Θ_p = phase angle of P.T. (angle between V_p and $-V_s$)

Δ = phase angle of secondary load circuit (angle between I_s and V_s)

จาก Vector diagram นี้ จะหาค่าของ V_p ได้ดังนี้

$$V_p = nV_s + \frac{I_s}{n}\cos\Delta\,(n^2 r_m + r_p) + \frac{I_s}{n}\sin\Delta\,(n^2 x_s + x_p) + I_e r_p + I_m x_p$$

หรือใส่ค่า

$R_s = r_s + \frac{r_p}{n^2}$ = equiv. resistance of P.T. referred to the secondary

$X_s = x_s + \frac{x_p}{n^2}$ = equiv. resistance of P.T. referred to the secondary

จะได้

$$V_p = nV_s + nI_s\,(R_s\cos\Delta + I_s\sin\Delta) + I_e r_p + I_m x_p$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือใส่ค่า $R_s = r_s + \frac{r_p}{n^2}$ = equiv. resistance of P.T. referred to the secondary

$X_s = x_s + \frac{x_p}{n^2}$ = equiv. resistance of P.T. referred to the secondary

ก็จะได้ $V_p = nV_s + nI_s (R_s \cos\Delta + X_s \sin\Delta) + I_e r_p + I_m x_p$

(1) Ratio Error V_p/V_s

voltage transformation ratio (R)

$$R = \frac{V_p}{V_s} = n + \frac{nI_s (R_s \cos\Delta + X_s \sin\Delta) + I_e r_p + I_m x_p}{V_s}$$

เช่นเดียวกับในกรณีของ จะเห็นว่า นั้น ไม่เท่ากับ เสียที่เดียว แต่จะมากกว่านั้นอีกเป็นจำนวนดังแสดงไว้ข้างบนนี้ ซึ่งอาจตีความหมายออกมาได้ว่า ratio error ของ P.T. นั้น ขึ้นอยู่กับ burden, impedance และ components I_c, I_m ของ exciting current I_c และอาจให้คำนิยามได้จากสูตรเดียวกับกรณีของ C.T. คือ

$$\text{P.T. ratio error} = \frac{\text{Nominal ratio} - \text{Actual ratio}}{\text{Actual ratio}}$$

(actual ratio $= E_p/E_s$)

Ratio error ใน P.T. นี้ จะทำให้ตัวเลขที่อ่านได้จาก meter ไม่ตรงต่อความเป็นจริง ฉะนั้น จึงต้องกำหนดให้มีตัวคูณ(factor) อันหนึ่ง เรียกว่า ratio correction factor (RCF) สำหรับคูณค่าที่อ่านได้จาก meter ในเมื่อต้องการทราบค่าที่แท้จริง ทำนองเดียวกับในกรณีของ C.T. ที่ได้กล่าวมาแล้ว

$$RCF = \frac{\text{Actual ratio}}{\text{Nominal ratio}} = \frac{E_p/E_s}{\text{Nominal ratio}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรืออีกนัยหนึ่ง

Primary voltage = Secondary voltage x Nominal ratio x RCF

RCF ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตาม burden ดังได้กล่าวมาแล้ว จะอ่านค่าได้จาก characteristic curve หรือ test data ของ P.T.

(2) P.T. Phase Angle Error. Phase angle θ_p ของ P.T. คือมุมระหว่าง $-V_s$ กับ V_p หาค่าจาก vector diagram ได้โดยประมาณ คือ

$$\theta_p = \frac{I_s}{V_s}\left(X_s \cos\Delta - R_s \sin\Delta\right) + \frac{I_e X_p - I_m X_p}{V_s n}$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่า phase angle จะเปลี่ยนแปลงตาม I_s (ซึ่งสัมพันธ์กับ burden ในวงจร secondary circuit) กับ impedance ของ P.T. และ component I_e, I_m ของ current I_o

การใช้ P.T. กับ voltmeter หรือกับ voltage relay นั้น phase angle จะไม่เข้าไปเกี่ยวข้องเลย คงมีเกี่ยวข้องเฉพาะแต่ ratio error เท่านั้นแต่สำหรับ wattmeter แล้ว ทั้ง ratio error และ phase angle จะเข้าไปเกี่ยวข้องด้วย ทั้งนี้เป็นไปในทำนองเกี่ยวกันกับที่อธิบายมาแล้วในกรณีของ C.T.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ phase angle correction factor ของ P.T. นั้นใช้สูตร

$$PCF = \frac{1}{1 - \theta_p \tan \epsilon} \qquad (\theta_p \text{ มีค่าเป็น radian})$$

หรือ $$PACF = 1 + \frac{\theta_p \tan \epsilon}{3438} \qquad (\theta_p \text{ มีค่าเป็น minute})$$

(ϵ เป็น system power factor angle)

Transformer Correction Factor (TCF) ของ P.T. การแก้ความคลาดเคลื่อนทั้ง ratio error และ phase angle error ไปพร้อม ๆ กัน ใช้ผลคูณของ RCF กับ PACF เรียกว่า transformer correction factor (TCF) เช่นเดียวกับในกรณีของ C.T.

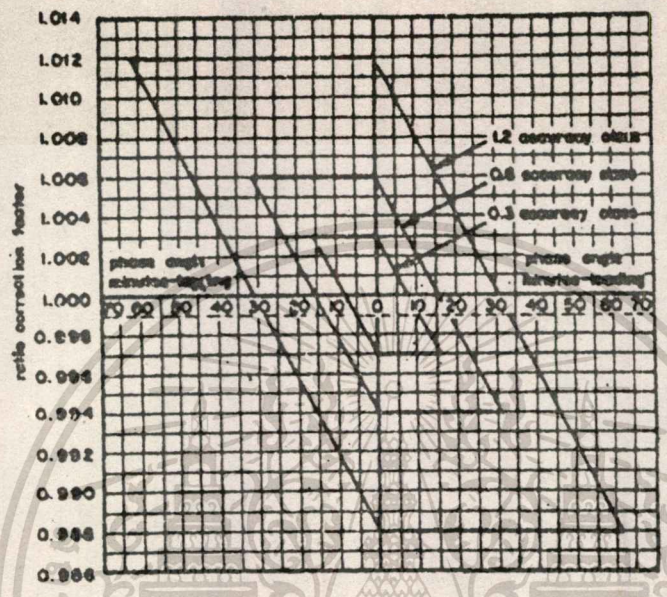
$$(TCF) = (RCF) \times (PACF)$$

ASA ได้วาง limit สำหรับ TCF ของ P.T. ไว้เป็นมาตรฐาน ณ system load power factor ต่าง ๆ ซึ่งแสดงไว้ใน Table 3.4 แล้ว หาก system load power factor อยู่นอก limit ที่แสดงไว้ใน Table ดังกล่าว TCF ก็อาจไม่อยู่ใน range ที่แสดงไว้เหมือนกัน

จากมาตรฐานนี้ หากเราทราบ RCF ของ P.T. ตัวใดตัวหนึ่งแล้ว เราก็อาจหา limit ของ phase angle error (θ_p) ทั้งทางบวกหรือลบได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Θ_p = 2600 (TCF - RCF) หน่วยเป็น minutes และอาศัยสูตรนี้เราก็อาจแปลง limit ของ TCF ตาม Table 3.4 ออกมาเป็น limit ของ phase angle ใน RTC ต่าง ๆ ได้ดังในรูปที่ 3-6



รูปที่ 3 - 6 แสดง limitของ ratio correction factor และ phase angle ของ potential transformer (accurary class 1.2, 0.6 และ 0.3) ใช้สำหรับ metering service

สรุปกรณีต่าง ๆ ของ error ใน P.T.

1) ถ้า ratio error เป็นบวก (ค่าของ turns ratio มากกว่า 100%) meter จะอ่านต่ำกว่าความเป็นจริง (เช่นเดียวกับ C.T.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ถ้า ratio error เป็นลบ (ค่าของ turns ratio น้อยกว่า 100 %) meter จะอ่านสูงกว่า ความเป็นจริง (เช่นเดียวกับ C.T.)

3) สำหรับ lagging line power factor (ซึ่งเป็นสภาพโดยปกติของระบบทั่ว ๆ ไป) ถ้า phase angle เป็นบวก (= leading phase angle or $-V_s$ leads V_p), ACF จะมีค่ามากกว่า 1, และ wattmeter จะอ่านต่ำกว่าความเป็นจริง (ตรงกันข้ามกับ C.T.)

และถ้า phase angle เป็นลบ (= lagging phase angle or $-V_s$ lags V_p) ก็จะให้ผลตรงกันข้าม

4) สำหรับ leading line power factor, ถ้า phase angle เป็นบวก PACF จะมีค่าน้อยกว่า 1, และ wattmeter จะอ่านสูงกว่าความเป็นจริง (ตรงกันข้ามกับ C.T.)

และถ้า phase angle เป็นลบ ก็จะให้ผลตรงกันข้าม

5) ถ้า RCF มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่า actual ratio V_p/V_s มากกว่า nominal ratio และ meter จะอ่านต่ำกว่า ความเป็นจริง (เช่นเดียวกับ C.T.)

6) ถ้า RCF มีค่า น้อยกว่า 1 แสดงว่า actual ratio V_p/V_s น้อยกว่า nominal ratio และ meter จะอ่าน สูงกว่า ความเป็นจริง (เช่นเดียวกับ C.T.)

7) ถ้า PACF มีค่ามากกว่า 1 burden power factor จะเป็น lagging (I_s lags E_s) เช่นเดียวกับ C.T.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) ถ้า PACF มีค่าน้อยกว่า 1 burden power factor จะเป็น leading (I_s lead E_s)

Error ของ C.T. และ P.T. เมื่อใช้ในการวัด power ความคลาดเคลื่อนที่จะต้องคำนึงถึงขณะใช้ C.T. กับ P.T. กับ wattmeter มีมาจาก 5 ทาง ด้วยกันคือ ratio error จาก C.T. กับ P.T., phase angle จาก C.T. และ P.T., กับ phase angle ของ potential circuit ใน wattmeter สูตรสำเร็จของ correction factor K_t คือ

$$K_t = K_e K_i \left[1 - \frac{(\theta_c - \theta_p) \tan \varphi}{3438}\right]$$

ซึ่ง $K_e = E_p / E_s$

$K_i = I_p / I_s$

φ = power factor angle ของprimary circuit (load p.f. angle)

θ_c = phase angle ของ C.T. เป็น minute

θ_p = phase angle ของ P.T. เป็น minute

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Accuracy Classification

การเลือกสรร instrument transformer สำหรับใช้ในงานหนึ่ง ๆ ว่าควรจะใช้ชนิดที่มีความแม่นยำ (accuracy) มากน้อยเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับความต้องการทางเทคนิคหลายประการด้วยกัน ซึ่งจะต้องพิจารณาเป็นกรณีไป กล่าวอย่างกว้าง ๆ accuracy ของ instrument transformer ที่จะเอามาใช้กับอุปกรณ์ใด ๆ ก็ตามไม่จำเป็นจะต้องให้มี accuracy สูงกว่า accuracy ของอุปกรณ์นั้นเลย และโดยหลักทั่วไปแล้ว relaying equipment นั้น ก็ไม่จำเป็นต้องใช้ instrument transformer ที่มี accuracy สูงกว่าที่จะเอาไปใช้กับเครื่องวัด (meter) อนึ่ง ความคลาดเคลื่อนทั้ง ratio error และ phase angle นั้น มีความสำคัญเท่า ๆ กันที่จะต้องคำนึงถึง ในเมื่อนำ instrument transformer ไปใช้งานทาง metering แต่สำหรับงาน relaying แล้ว ความสำคัญของ accuracy จะหนักไปทาง ratio error มากกว่าทาง phase angle.

ดังได้กล่าวมาแล้ว error ของ instrument transforment นั้นขึ้นอยู่กับ burden และคุณสมบัติประจำตัวของมัน เพราะฉะนั้นถ้าจะกล่าวถึง accuracy class ของ instrument transformer แล้ว จะต้องระบุไว้ด้วยว่าที่ burden เท่าใด และในการนี้ ASA ก็ได้วางมาตรฐานของ burden นี้ไว้ให้เสร็จ เพื่อการอ้างอิงสำหรับทั้ง C.T. และ P.T. ดังแสดงไว้ใน Table 3.1 กับ 3.2 ตามลำดับ

ใน Table 3.1 Burden B –0.1, B –0.2 และ B –0.5 นั้น สำหรับใช้งานทาง metering เช่น ใช้กับ ammeter และ wattmeter เป็นต้น ซึ่งมีความหมายว่าเป็น impedance 0.1, 0.2 และ 0.5 ohm ตามลำดับ โดยวัดที่ 90 % power factor และ 60 cycles per second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Burden B –1, B –2, B –4 และ B–8 นั้น สำหรับงานทาง relaying มีความหมายว่าเป็น impedance 1 , 2, 4 และ 8 ohm ตามลำดับ โดยวัดที่ 90 % power factor และ 60 cycles per second

Table 3.1 Standard Burdens for Current Transformers

of	Standard Burden Characteristics		For 60 Cycle and 5 amp. Secondary Current		
	Resistance ohms	Inductance mh	Impedance ohms	Volt-Amps	Power Factor
	0.09	0.116	0.1	2.5	0.9
	0.18	0.232	0.2	5.0	0.9
	0.45	0.580	0.5	12.5	0.9
	0.5	2.3	1.0	25	0.5
	1.0	4.6	2.0	50	0.5
	2.0	9.2	4.0	100	0.5
	4.0	18.4	8.0	200	0.5

Table 3.2 Standard Burdens for Potential Transformers

Designation of Burden	Secondary Volt-Amperes	Burden Power Factor
W	12.5	0.10
X	25	0.70
Y	75	0.85
Z	200	0.85
ZZ	400	0.85

Burden สำหรับ P.T. ดังแสดงใน Table 3.2 นั้นใช้สำหรับงานทั้งทาง metering และ relaying

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Standard Accuracy Class Table 3.3 แสดง standard accuracy class ของ C.T. สำหรับงานทาง metering และ Table 3.4 เป็น ของ P.T. สำหรับงานทั่วไป จะเห็นว่า accuracy class ต่าง ๆ เหล่านี้ จำกัดไว้ด้วย range ของ transformer correction factor.

Table 3.3 - Standard Accuracy Classes and Limits of TCF for Current Transformer for Metering Service

Accuracy Class	Limit of Transformer Correction Factor				Limit of Power Factor (Lagging) of Metered Power Load
	100% Rated Current		10% Rated Current		
	Min.	Max.	Min.	Max.	
1.2	0.988	1.012	0.976	1.024	0.6 - 1.0
0.6	0.994	1.006	0.988	1.012	0.6 - 1.0
0.3	0.997	1.003	0.994	1.006	0.6 - 1.0
0.5	0.995 *	1.005 *	0.995	1.005	0.6 - 1.0

* These values also apply to 150% rated current.

Table 3.4 - Standard Accuracy Classes and Limits of TCF for Potential Transformers

Accuracy Class	Limits of Transformer Correction Factor		Limits of Power Factor(Lagging) of Metered Load	
	Min.	Max.	Min.	Max.
1.2	0.988	1.012	0.6	1.0
0.6	0.994	1.006	0.6	1.0
0.3	0.997	1.003	0.6	1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้กล่าวมาแล้วว่า accuracy ของ instrument transformer นั้นขึ้นอยู่กับ burden และการบอก accuracy class จำเป็นจะต้องระบุไว้ด้วยว่าที่ burden เท่าใด ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างการบอก accuracy class ของ C.T. สำหรับใช้ทาง metering 3 ตัว

(1) 0.3 B-0.1, 0.3 B-0.2, 0.3 B-0.5, 0.3 B-2

(2) 0.3 B-0.1, 0.3 B-0.2, 0.3 B-0.5, 1.2 B-2

(3) 0.3 B-0.1, 0.6 B-0.2, 1.2 B-0.5

ดังนี้ แสดงว่า ตัวที่ (1), (2) และ (3) มี accuracy สูงต่ำลดหลั่นกันลงมา โดยเฉพาะตัวที่ 3 นั้น ไม่ได้แจ้ง accuracy ที่ burden B-2 ไว้ ทั้งนี้ เพราะที่ B-2 นี้ C.T. มี error สูงเกิน limit ที่ปรากฏอยู่ใน Table 3.3 จึงไม่สามารถแสดงตัวเลขเข้าเทียบกับมาตรฐานของเขาได้

สำหรับการบอก accuracy class ของ P.T. นั้น ตัวอย่างคือ

(1) 0.3 W, 0.3 X, 0.3 Y, 0.3 Z

(2) 0.3 W, 0.3 X, 0.6 Y, 1.2 Z

(3) 0.3 W, 0.6 X, 1.2 Y

ดังนี้ ตัวที่ (1) แม้จะใช้กับ burden มากน้อยเท่าใด accuracy ก็ยังอยู่ใน class 0.3 ตัวที่ (2) นั้น ถ้าใช้กับ burden ต่ำ accuracy ก็ยังดีอยู่ แต่ที่ burden สูง ๆ แล้ว accuracy เลวลง ส่วนตัวที่ (3) ถ้าใช้กับ burden W ถึง Y ก็ยังมี accuracy พอจะไปได้ แต่ถ้าใช้กับ burden สูงขึ้นไป คือ Z ก็ไม่มีทางเทียบกับมาตรฐานเขาได้ คือ มี error เลยพิกัดที่กำหนดไว้ใน Table 3.4 จึงไม่สามารถแสดงตัวเลขให้ดูได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ C.T. ทางด้าน relaying นั้น ส่วนมากมักใช้เกี่ยวกับ system หรือ equipment protection ในขณะที่เกิด fault ขึ้น current จะมีค่าเป็นหลายเท่าของค่าปกติ C.T. จึงต้องพร้อมที่จะรับสถานะการณ์นี้ได้ โดยที่จะต้องรักษาคุณสมบัติทาง accuracy ให้อยู่ภายในวงกำหนดพร้อม ๆ กันไปด้วย

C.T. ที่ใช้กับ protective relay นั้น ถ้าสามารถทำ voltage ทาง secondary ได้สูงเท่าใด โดยที่ยังไม่ saturate และมี error มากเกินควรก็ถือว่ามีคุณลักษณะดีมากเท่านั้น คือว่าจะดีเลวอย่างไรก็ดูกันที่จุดนี้ ฉะนั้น การกำหนด rating ของ C.T. สำหรับงาน relaying จะต้องกำหนด secondary voltage นี้ให้ด้วย อันนี้เป็นข้อมูลฐานที่ ASA ใช้วางกฎเกณฑ์ accuracy classification.

Accuracy classification ของ C.T. ซึ่งใช้ในงาน relaying หรือเรียกว่า overcurrent accuracy ตามมาตรฐานของ ASA มี 2 ระบบ คือ ระบบ H กับ L ประกอบด้วยตัวเลขและตัวอักษร 3 ตัว ตัวแรกเป็นตัวเลขแสดง per cent ratio error, ตัวที่ 2 บอกระบบ H หรือ L, ตัวที่ 3 เป็นตัวเลขบอก maximum induced voltage เช่น

2.5 H 100
2.5 L 100
10 H 100
10 L 200

ตัวเลขตัวแรกที่บอก per cent ratio error นั้น มีมาตรฐานเพียง 2 class เท่านั้น คือ 2.5% กับ 10% ส่วนตัวท้ายที่บอก maximum induced มีมาตรฐานคือ 10, 20, 50, 100, 200, 400, กับ 800 volts

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อักษร H มีความหมายว่า "C.T. นี้ สามารถจ่าย secondary current ได้ตั้งแต่ 5 ถึง 20 เท่าของค่าปกติ (คือ 25 ถึง 100 แอมแปร์) ณ voltage ที่กำหนดให้ โดยที่ ratic error ก็ยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่ระบุไว้" พูดง่าย ๆ ก็คือว่า C.T. ตัวนี้จะจ่าย load ที่ secondary circuit ได้ถึง 25 ถึง 100 แอมแปร์ โดย voltage ไม่ตก และ acurracy ก็ยังเป็นไปตามที่รับรอง (C.T. มาตราฐานมี secondary current rating 5 แอมแปร์)

อักษร L มีความหมายว่า "C.T. นี้สามารถจ่าย secondary current ได้ 20 เท่าของค่าปกติ ณ voltage ที่กำหนดให้ โดย ratio error ก็ยังอยู่ในเกณฑ์ที่รับรองไว้"

เช่น 2.5 H 100 หมายความว่า "C.T. ตัวนี้ สามารถจ่าย secondary current ได้ตั้งแต่ 5 ถึง 20 เท่าของค่าปกติ (20ถึง 100 แอมแปร์) โดย ratio error จะไม่เกิน 2.5% ตราบเท่าที่จะไม่นำไปใช้ให้เกิด induced voltage(คือ secondary voltage) เกิน 100 โวลท์" จากความหมายนี้ เราจะวิเคราะห์ได้ต่อไปว่า เนื่องจากกระแสทางด้าน secondary ขึ้นอยู่กับ burden ฉะนั้น ถ้ากระแสออกมา 100 แอมแปร์ burden ก็จะเท่ากับ 1 ohm (เพราะ 100 amperes x 1 ohm = 100 volts) หรือกระแสออกมา 25 แอมแปร์ burden ก็จะเท่ากับ 4 ohm (เพราะ 25 amperes x 4 ohm = 100 volts) เพราะฉะนั้น เราจึงอาจพูดเสียใหม่สำหรับ C.T. ตัวนี้ว่าสามารถรับ burden ขนาดตั้งแต่ 1 ohm ถึง 4 ohm ที่ 100 โวลท์ ได้ โดยที่ ratio error จะไม่สูงเกิน 2.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10 L 200 หมายความว่า "C.T. ตัวนี้สามารถจ่าย secondary current ได้ถึง 20 เท่าของค่าปกติ (100 แอมแปร์) ที่ 200 โวลท์ และในสถานะนี้รับรองว่า ratio error จะไม่เกิน 10% และ C.T. ตัวนี้ ถ้าให้จ่ายไฟเพียง 5 เท่าของค่าปกติ (25 แอมแปร์) ก็ไม่รับรองว่า จะเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ ซึ่งตามทางปฏิบัติแล้ว error จะสูงขึ้นเป็น 4 เท่า (20 หารด้วย 5)

ด้วยประการฉะนี้แม้ ASA จะไม่ได้กล่าวไว้ชัดเจน ก็เป็นที่ทราบกันดีว่า C.T. ชนิด 2.5 L 100 นั้น มี acuuracy เทียบได้กับชนิด 10 H 100

ระบบ H กับ L นี้ จะสังเกตุเห็นว่า H นั้น รับรอง per cent ratio error ตั้งแต่ secondary current 5 เท่าถึง 20 เท่าของค่าปกติ ส่วน L นั้น รับรอง per cent ratio error เฉพาะที่ secondary current 20 เท่า จุดเดียวเท่านั้น จุดอื่น ๆ ไม่รับรอง, ไม่เหมาะแก่งานที่มี burden สูง และ secondary current ต่ำ

สรุปแล้ว C.T. ประเภท H เป็นประเภทมี accuracy สูงกว่า และเป็นชนิด wound primary type ส่วนประเภท L นั้น มี accuracy ต่ำกว่าประเภท H และมักเป็นชนิด bushing type

เหตุต่าง ๆ ที่มีผลต่อ Accuracy ของ Instrument Transformers

กล่าวโดยทั่วไป สาเหตุต่าง ๆ ที่เป็นผลกระทบกระเทือนต่อ accuracy ของ instrument transformer นั้นมี 3 ประการ คือ

1) การออกแบบ, คุณภาพของวัสดุ และฝีมือการผลิต กล่าวคือ ในการออกแบบนั้น จะต้องพยายามลดค่าของ exciting current ให้ต่ำที่สุดไว้ โดยอาจให้อัตราส่วน หรือเปอร์เซ็นต์ของ exciting ampere-turns กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

total ampere-turns คือ $I_o N_p / I_p N_p$ นั้น มีน้อยที่สุด ด้วยการพัน primary coil ให้มีจำนวนรอบมาก ๆ เข้าไว้ สำหรับคุณภาพของวัสดุนั้นโดยเฉพาะอย่างยิ่ง core จะต้องเป็นโลหะชนิดที่มี reluctance และ iron loss ต่ำที่สุดที่จะหาได้ ส่วนการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ก็จะต้องใช้ฝีมือปราณีต เช่น winding ทาง primary กับ secondary นั้น จะต้องให้ชิดกันมากที่สุด เพื่อมิให้เกิด leakage flut ขึ้น และเพื่อให้ reactance ของ winding มีค่าต่ำ ฯลฯ

2) ลักษณะและสภาพของวงจรทาง primary ทั้งนี้หมายถึง volfage current และ frequency ของวงจรที่จะนำ instrument transformer ไปมาใช้

3) ลักษณะและสภาพของ burden ทาง secondary สำหรับ instrument transformer ตัวเดียวกันภายใต้สภาพของ primary circuit condition เดียวกัน, accuracy ของ instrument transformer นั้น อาจจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะของ burden โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว ยิ่ง burden สูงเท่าใดความคลาดเคลื่อนก็ยิ่งสูงขึ้นเท่านั้น

ผลที่กระทบกระเทือนต่อ accuracy ของ C.T.

1) ถ้า primary current ลดลงจาก rated value โดยที่ burden มีค่าคงที่แล้ว error จะเพิ่มขึ้น

2) ถ้า secondary burden (VA หรือ Z) เพิ่มขึ้น (โดย p.f. และ frequency คงที่) ratio error จะเพิ่มตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ถ้า burden p.f. สูงขึ้น phase angle error จะสูงตาม แต่ ratio error จะลดลง

4) ถ้า frequency ลดลง error จะเพิ่มขึ้น แต่ก็เพิ่มขึ้นไม่มาก ซึ่งหากการเปลี่ยนแปลงของ frequency อยู่ในขอบเขตระหว่าง 1.0 – 20 cycle ต่อวินาทีแล้ว ก็แทบจะไม่มีผลกระทบกระเทือนต่อ error เลย

5) ถ้าวางสาย return cunductor ซึ่งมีปริมาณกระแสไฟฟ้าสูง ๆ ไว้ใกล้ C.T. แล้ว สนามแม่เหล็กของกระแสไฟฟ้านี้ผ่านเข้าไป error ของ C.T. ทำให้ error สูงขึ้นได้

ผลที่กระทบกระเทือนต่อ accuracy ของ P.T.

1) ถ้า secondary burden (VA หรือ Z) เพิ่มขึ้น (โดย p.f. และ frequency คงที่) ratio error และ phase angle จะเพิ่มตาม (เช่นเดียวกับ C.T.)

2) ถ้า burden power factor สูงขึ้น ratio error จะลดลง ส่วน phase angle อาจลดลงหรือเพิ่มก็ได้ อนึ่ง ถ้า burden power factor เปลี่ยนไปที่ค่าสูงหรือต่ำมาก ๆ แล้ว ผลจาก ratio error กับ phase angle จะหักกลบลบกันไป (ในกรณีที่เกี่ยวกับการวัด power)

3) ถ้า frequency เพิ่มขึ้น โดย voltage คงที่ ผลกระทบกระเทือนต่อ error มีน้อยอย่างไม่จำเป็นต้องคำนึงถึง เว้นแต่ว่าจะเพิ่มขึ้นถึงขนาดอย่างน้อย 2 เท่า (ซึ่งคงมีโอกาสเป็นไปได้ยาก) แต่ถ้า frequency ลดลง ratio error อาจสูงขึ้นหรือต่ำลงก็ได้ ส่วน phase angle error จะลดลง และในทางปฏิบัติไม่ควรใช้ P.T. ที่ frequency ต่ำกว่า 95% ของ rated frequency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของ winding ใน P.T. จะทำให้ accuracy ของ P.T. เปลี่ยนแปลงไปด้วย (ประมาณไม่เกิน 0.1% ต่อการเปลี่ยนแปลงในระยะ 55 องศาเซ็นติเกรด)

5) ถ้า primary voltage ลดลง จะไม่ทำให้ accuracy ของ P.T. เปลี่ยนแปลงไปมากนัก แต่ถ้า voltage เพิ่มสูงกว่า rating แล้วอาจทำให้ P.T. เข้าสู่จุด saturation ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนและ error จะสูงมาก P.T. ส่วนมากจะ overvoltage ได้ถึงประมาณ 10% โดยที่ accuracy ยังอยู่ใน limit ที่กำหนด

Thermal Burden Rating

Burden ที่จะใช้กับ P.T. นั้น ตามปกติจะต้องไม่ให้มี voltage-ampere เกิน rating ของ P.T. นั่นเอง จึงจะมี accuracy สูงตามต้องการได้ อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีอาจเป็นการเหมาะสมที่จะเอา P.T. นี้มาใช้ ในแง่จ่ายเป็นไฟกำลังให้แก่อุปกรณ์วงชนิด แทนที่จะใช้เพื่อ metering อย่างที่ควร การใช้ในลักษณะเช่นนี้ burden ย่อมจะสูงกว่า volt-ampere rating ของ P.T. มาก ฉะนั้นจึงต้องมีข้อกำหนดไว้เป็นทำนองว่า P.T.นี้ จะต้องใช้กับ burden ขนาดเท่านั้น ๆ ได้ โดยที่จะไม่เกิดความร้อนเกินขนาดที่จะทำให้อายุของ P.T. สั้นลงกว่าที่ควร ข้อกำหนด burden นี้ เรียกว่า Thermal Burden Rating มีหน่วยเป็น volt-ampere.

Thermal burden rating ของ P.T. แบบต่าง ๆ ก็มีค่าแตกต่างกันไป ซึ่งผู้ผลิตจะให้คำรับรองไว้เป็นการเฉพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thermal and Mechanical Rating

ในขณะที่เกิด fault ขึ้นในระบบนั้น อาจมีกระแสไหลใน C.T. มีมูลค่าหลายสิบเท่าตัวของ rated current และแม้ว่าช่วงเวลาที่เกิด fault นี้จะเป็นชั่วระยะแสนสั้นก็ตาม แต่อำนาจของกระแสและความร้อนที่เกิดขึ้นอาจทำลาย C.T. ให้เสียหายลงในชั่วระยะพริบตานั้นได้ โดยเหตุนี้ C.T. จึงต้องออกแบบสร้างให้มีความแข็งแรงพอที่จะทนต่ออำนาจของ Short circuit fault current ดังว่ามานี้ได้

ความสามารถของ C.T. หรือพูดให้แคบลง ก็คือ ความสามารถของ winding ที่จะทนต่ออำนาจทำลายขณะเกิด short circuit นี้ได้เรียกว่า Merchanical Rating ซึ่ง ASA ได้กำหนดให้เป็นตัวเลขเท่ากับค่า root-mean-square (RMS) ของ a.c. compoment ของคลื่น primary current เมื่อ short circuit ทางด้าน secondary.

ความสามารถของ C.T. หรือของ winding ของ C.T. ที่จะทนต่อความร้อน อันเกิดจากกระแสขณะ short circuit เรียกว่า Thermal Rating ซึ่ง ASA ได้นิยามไว้ว่า เป็นค่า RMS ของ steady current ซึ่ง C.T.นั้น ๆ จะทนได้โดยที่อุณหภูมิจะขึ้นไม่เกิน 250° ซ ภายในระยะเวลา 1 วินาที และถ้าประสงค์จะยืดเวลาออกไปให้นานกว่านี้ ก็จะต้องลดค่าของ thermal rating ลงตามสูตร

$$\text{Thermal rating for time } t = \frac{\text{Thermal rating for one second}}{\sqrt{t}}$$

ตามปกติแล้วจะยืดเวลานี้ออกไปได้ไม่เกิน 5 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกสรร Instrument Transformer

Instrument transformer นับว่าเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดอันหนึ่งที่จะบรรค่าลให้อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ทั้งชนิดอัตโนมัติและชนิด manual ทำงานได้ผลสมความมุ่งหมาย ฉะนั้น การเลือกสรร instrument transformer มาใช้ในงาน จึงต้องทราบคุณลักษณะของทั้ง instrument transformer กับสภาพของอุปกรณ์และวงจรที่จะต่อเข้าใช้งานโดยละเอียด การเลือกสรรมีหัวข้อใหญ่ ๆ ทางเทคนิคที่จะต้องคำนึงถึงต่อไปดังนี้

SELECTION CHART

	C.T.	P.T.
Voltage Rating		
1. Primary voltage	x	x
2. Circuit type (3-wire, 3-phase, etc.)	x	x
3. Connection of transformer in circuit	x	x
4. Ratio	-	x
5. Insulation class	x	x
Current Rating		
1. Ratio	x	-
2. Secondary current rating	x	-
Frequency	x	x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	C.T.	P.T.
Service		
1. Indoor or outdoor	x	x
2. Special service conditions	x	x
Burden		
1. VA and p.f., or resistance and reactance	x	x
2. Limiting conditions for possible future change in burden requirements	x	x
Accuracy		
1. Desired accuracy at specified burden	x	x
2. Desired accuracy at highest burden anticipated for future requirements	x	x
Limiting Dimensions and Weight	x	x
Undervoltage and overvoltage Requirements	-	x
Overcurrent Requirements		
1. Desired overcurrent accuracy	x	-
2. Desired mechnical rating	x	-
3. Desired thermal rating	x	-
4. Position of return conductor with respect to transformer	x	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	C.T.	P.T.
Fuses		
1. Any special conditions pertaining there to	-	x

Special Conditions

(จาก Manual of Instrument Transformer
ของ Apparatue Deparment, General Electric)

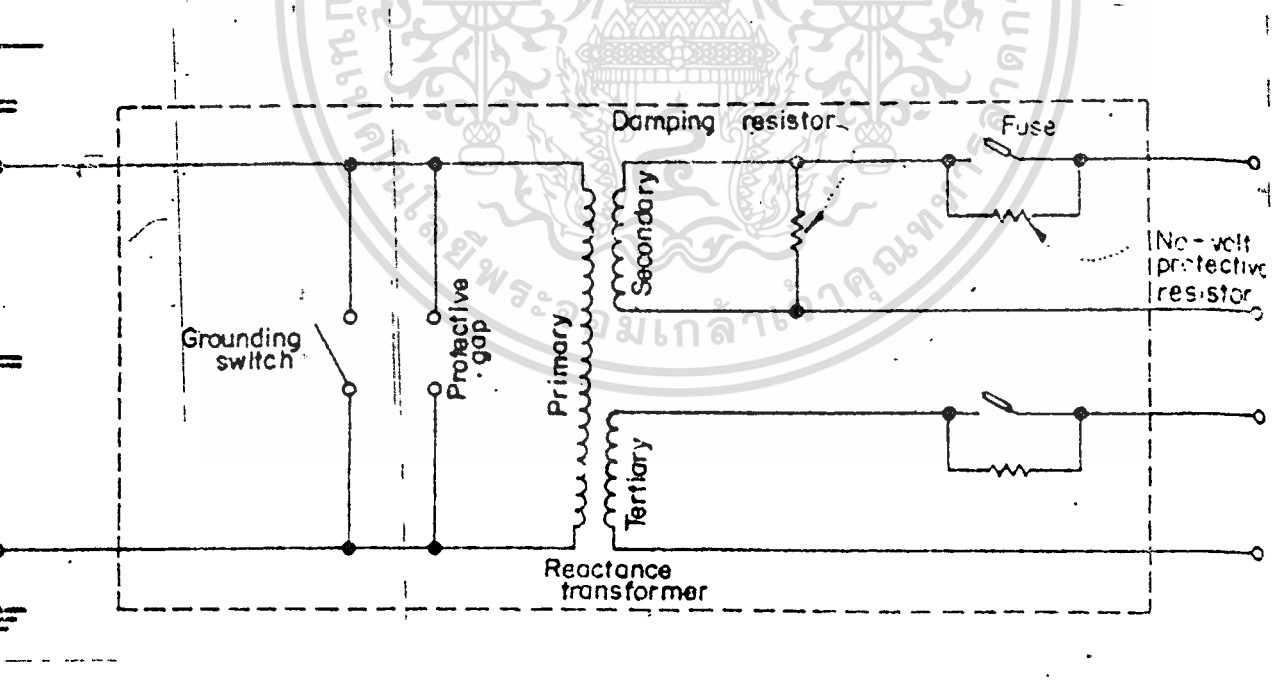
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Potential Device

Potential device เป็นอุปกรณ์แปลงแรงดันไฟฟ้าอีกประเภทหนึ่งต่างหากไปจาก instrument transformer แต่เนื่องจากทำหน้าที่แปลงแรงดันเช่นเดียวกับ P.T. จึงได้นำมากล่าวรวมไว้ในเรื่อง instrument transformer นี้ พอเป็นสังเขป

Potential device ใช้ประกอบพ่วงเข้ากับ condenser bushing ของอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น power transformer หรือ power circuit breaker เป็นต้น เรียกว่า bushing potential device หรือใช้ประกอบพ่วงเข้ากับ coupling capacitor ในระบบ power-line carrier เรียกว่า coupling capacitor potential device (รูปที่ 3-7)



รูปที่ 3-7. แผนทางไฟของ potential device

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Potential device ทั้ง 2 ชนิดนี้ ความแม่นยำน้อยกว่า P.T. แบบ wound type แต่ราคาถูกกว่า ทั้งไม่เปลืองเนื้อที่ติดตั้งและน้ำหนักก็น้อย ตามปกติมักใช้ในการ metering ที่ไม่ต้องการความละเอียดแน่นอนเท่าใดนัก พอให้รู้ว่ามีค่าสักเท่าใดเท่านั้น ส่วนมากใช้สำหรับงานทาง relay และ instrument หรือจุดหลอดไฟแสงสว่างและไฟสัญญาณเป็นพื้น

คุณสมบัติพิเศษประการหนึ่งของ potential device ดังกล่าวนี้ ก็คือ สามารถที่จะแก้ power factor ของ burden ให้เป็น 100% ได้ เพื่อให้มี accuracy ดีขึ้น Bushing potential device มักมี rating ตั้งแต่ 25 ถึง 50 volt-ampere และ coupling capacitor potential device มีถึง 150 volt-ampere

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

สวิทช์เชื่อมต่ออัตโนมัติ
(HV and EHV Open Disconnectors)

Disconnector เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพื่อความปลอดภัยในการปฏิบัติงานภายใน HV และ EHV substation มีด้วยกันหลายประเภท คือ

- Three column + two column disconnecttor
- rigid blade vertical break + Vertical reach disconnector
- semi - pantograph + pantograph disconnector

การเลือกชนิดของ Disconnector นั้น นอกจากจะขึ้นอยู่กับลักษณะการปฏิบัติงานแล้ว ยังขึ้นอยู่กับการ desigh substation และขนาดของ Dimension และการต่อ connection ของมันด้วย

หน้าที่ของ Disconnector

มีหน้าที่สำคัญในการสร้างความปลอดภัยแก่การปฏิบัติงานภายใน HV และ EHV substation ขณะ Open disconnector จะแยกช่องว่างระหว่างสาย conductor ที่มีกระแสไฟออก ทำให้ส่วนของวงจรที่ถูกตัดออกไป ซึ่งทำให้พนักงานสามารถเข้าปฏิบัติงานหรือซ่อมบำรุงในส่วนที่ถูกตัดนี้ โดยอย่างปลอดภัย ดังนั้น Airgap ของ disconnector ขณะ Open นี้ จึงต้องทนต่อ Lightning impulse, surging impulse และ over voltage อื่น ๆ ได้ โดยไม่มีการ Spark ระหว่างขั้วของสาย อีกทั้งยังต้องทน Voltage จาก conductor to earth ได้ด้วย, ขณะ Close จะเชื่อมขั้วทั้ง 2 ของ Conductor line ให้สามารถนำกระแสไฟฟ้าได้จนถึงค่า rated normal current ของระบบ และจะต้องทน Fault current ในขณะที่เกิด Fault และต้องทนต่อ potential to earth ได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Disconnector บางตัวมีหน้าที่พิเศษ คือ breaking of low magnetizing or capacitive current earthing of a line of bus bar, short oot ในส่วนของ Up - line ของ transformer เพื่อให้ C/B trip

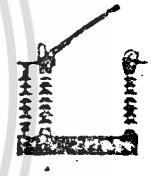
Various techniques of HV & EHV Open Disconnector

ลักษณะของ Disconnector ชนิดต่าง ๆ มีดังนี้

1. Disconnector ที่ตัดต่อในระนาบเดียวกัน มี
   - three column double break
   - two column center break (ใช้ในระดับ (420 KV)
   - vertical break (ใช้ใน EHV)

61 - Three - column double - break (two rotating insulator)

62 - Centre - break (two rotating insulator)



63 - Vertical - break

2. Disconnector ที่ตัดต่อคนละระนาบ มี
   - Vertical reach ใช้ในระดับ (170 KV)
   - Pantograph ใช้ใน EHV
   - Semi - pantograph ใช้ใน EHV

64. - Vertical reach

65 - Pantograph

66. - Semi - pantograph

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Special disconnector

— Earthing disconnector ใช้ในการ earth main conductor phase ใด phase หนึ่ง เพื่อช่วยให้ C /B Operate แน่นอน

— load break disconnector เป็นตัว detect magnetizing current เพื่อ Open ออกขณะ noload ซึ่งทำให้ Transformer ไม่ต้องทำงาน

— Phase short-circuiter ใช้ในกรณีที่ end of line substation เกิด fault แต่กระแสที่ใช้ Control C/B ไม่เพียงพอ จึงต้องใช้ disconnector นี้ช่วยทำให้เกิด ground fault ช่วยให้ C/B Operate ได้

4. Three column double break disconnector

— rotation spacing ได้60°

—ทนทานต่อ over current ได้ดี

—ทำงานได้ดี ในอากาศหนาวจัด torque สูง

—ราคาแพง

5. Two column center break disconnector

—ราคาถูก ติดตั้งง่าย

—ใช้ desigh station ได้ง่าย เพราะมีโครงสร้างแบบ

— torque ต่ำ แต่ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับ Contact Zone

—ทนกระแส Short oot ได้ถึง 50 KA rms. 125 KA peak

6. Rigid blade verticle break disconnector

—ทนต่อ high current ได้สูง (100 KA momentary, 160 KA peak, 63 KA for 3 sec)

—ทำงานได้ดีในสภาวะหนาวจัด

7. Pantograph + Semi pantograph disconnector

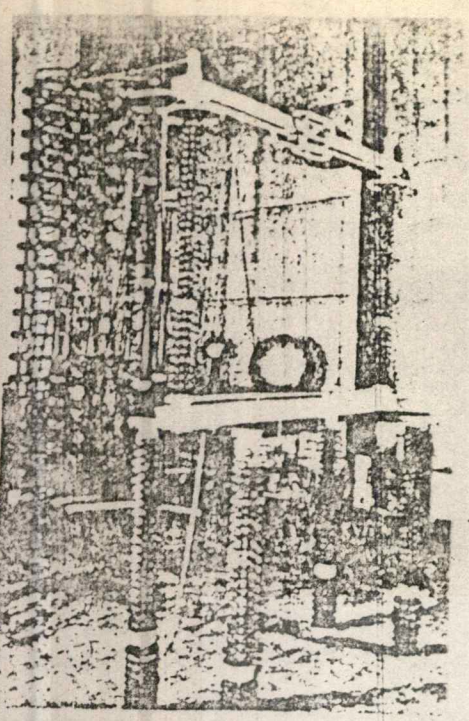
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้ได้ทุกระดับ Voltage
- ทนต่อ electrodynamic stress ได้สูง
- ขนาดเล็ก และทำงานได้ดีมาก
- นิยมใช้ใน EHV substation ซึ่งช่วยลดขนาดของ substation ได้ถึง 25%

สรุป

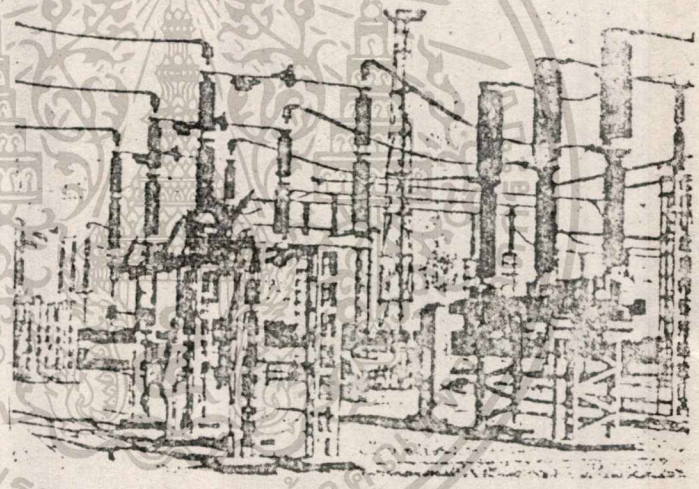
การออกแบบและเลือกชนิดของ Disconnector ย่อมขึ้นกับลักษณะโครงสร้างของ substation เป็นสำคัญ นอกจากนี้ยังต้องเป็นที่ยอมรับในมาตรฐานด้วย.

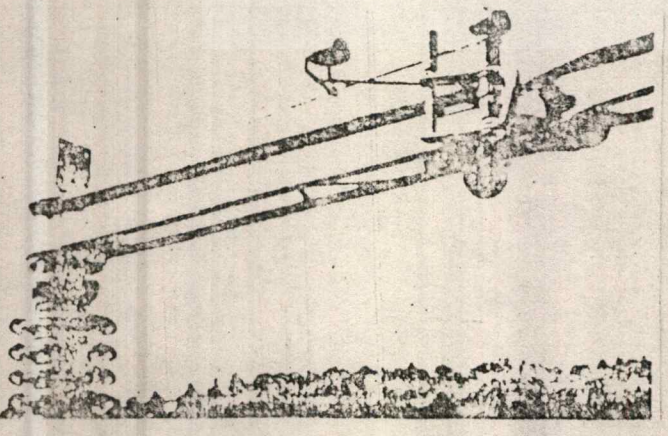
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ph 1 - Centre-break disconnector
420 KV - 4000 A - 40 KA
Dielectric test in high power testing

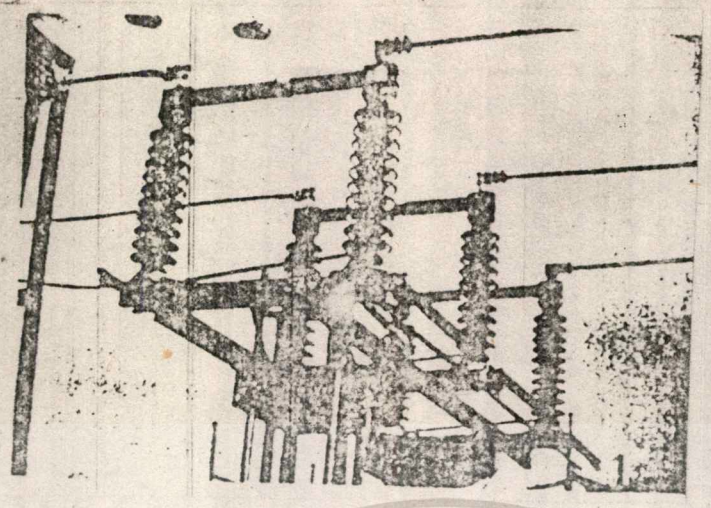
2 - Earthing switch
KV - 40 KA
ctly adapted on centre-
h disconnector
ela substation - Portugal



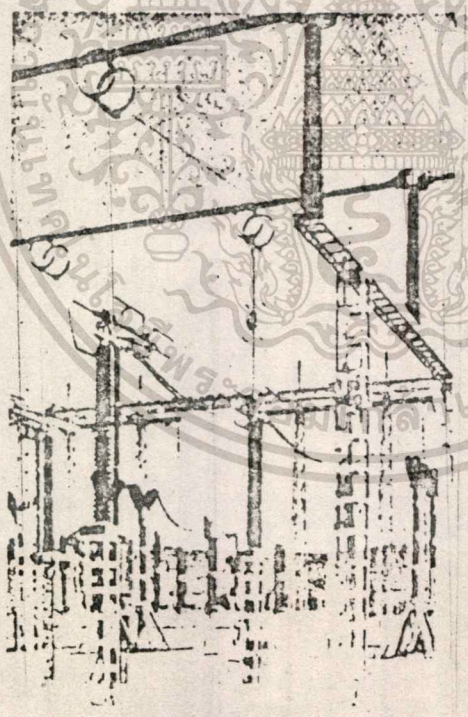


ph 3 - Centre-break disconnector
245 KV - 1250 A - with quick
breaking device - no load
operation of transformers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

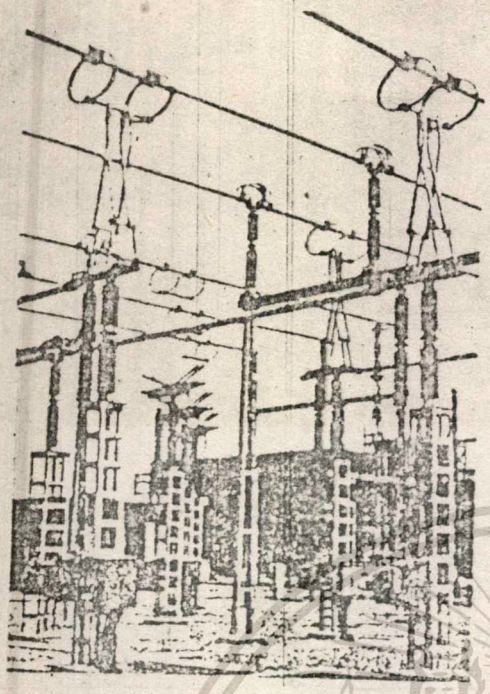


ph 4 - Centre - break line disconnector

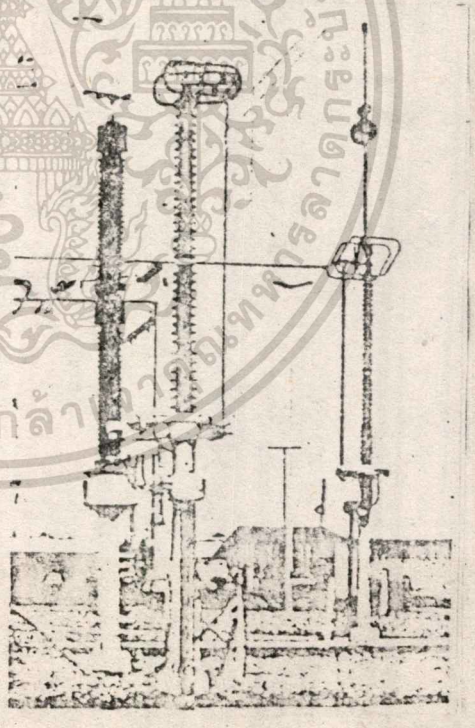


ph 5 - Semi - pantograph bus section disconnector
420 kV - 3150 A - 63 kA
EDF substation - St Vulbas - France

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ph 6 - Pantograph disconnector
190 kv - 2000A - 40 kA
Palmela substation - Portugal



ph 7 - Earthing switch
460 kv - 40 kA
San Angelo substation - Brazil

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dielectric Feature of EHV disconnector**

Dielectric ของ Disconnector มีความสำคัญมากที่ต้องทน rate voltage ได้ถึงกว่า 300 KV และจะต้องทนต่อ switching overvoltage impulse ซึ่งจะเกิดขึ้น ได้ดี ดังนั้นจึงต้องมีการ test dielectric ของ disconnector อย่างละเอียด

1. Switching withstand voltage

Switching impulse เมื่อมีค่าสูงกว่า rated voltage ของอุปกรณ์แล้วจะทำให้เกิด disruptive discharge ลง ground ซึ่งจะทำให้ไม่มีการเกิดผลต่อ input/output ของอุปกรณ์ได้ จึงเป็นสาเหตุให้ต้องมีตัว absorb over voltage ที่เกิดขึ้นก่อนเข้าไปยัง disconnector (แต่ไม่จำเป็นต้องนำตัว absorb over voltage ของ disconnector นี้ไป coordinate กับอุปกรณ์ป้องกันอื่น ๆ เช่น surge, diverter, Lightning arrester, spark gap.

เมื่อพิจารณาถึง disconnector แล้ว terminal ที่ต่อกับ transmission จะต้องปลอดภัยจาก Switching overvoltage คือต้องไม่มี disruptive discharge เกิดที่ input/ output terminal ในขณะเดียวกัน terminal อีกอันหนึ่ง จะถูกต่อเข้ากับ system voltage ซึ่งเป็น sinusoidal wave ดังนั้น ผลของ sinusoidal voltage ที่ peak voltage นี้จะเป็น $\frac{2}{3}$ เท่าของ nominal voltage ดังนั้นในการ test insulation ของ disconnector นั้นจะต้องคำนึงถึงผลรวมของ switching overvoltage กับ system sinusoidal voltage ด้วย เช่นที่ 765 KV system ผลของ switching impulse on the first terminal = 1100 KV และผลของ system voltage ที่ second terminal เป็น $\frac{2}{3}$ 765 = 624 KV ดังนั้นการ test จึงต้องคำนึงถึงผลทั้ง 2 นี้ โดยที่ว่าผลทั้ง 2 นี้ ไม่เท่ากับว่า test impulse switching ที่ 1725 KV (1100 + 625) แต่ความรุนแรงจะน้อยกว่านี้ เพราะ 625 KV นั้น ไม่ได้เป็น switching impulse นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การ test

การ test ทั้ง positive และ negative polarity ทั้งในสภาพความชื้นสูง และแห้ง แต่การ test negative polarity ไม่จำเป็นต้องทดสอบที่สภาวะแห้ง เพราะไม่มีประโยชน์อะไรผลของ shape และ supporting frame ควรจะนำมาพิจารณาด้วย เพราะการติดตั้งจริง ๆ ต้องนำอุปกรณ์ไปติดตั้งภายนอกกลางแจ้งตัวอย่าง เช่น การ test ที่765 KV อุปกรณ์ที่ติดตั้งสูงจากเดิม 2.5 m เป็น 5.6 mจะช่วยเพิ่ม insulation withstand voltage ขึ้นอีก 10%

การติดตั้ง disconnector กับ busbar อาจเทียบได้กับ electrode characteristic ได้ เช่น การใช้ Pantograph or Semi pantograph ติดต่อกับ line conductor เปรียบได้เหมือนกับ electrode ที่เป็น rod to plane ดังนั้นจึงต้องพิจารณาผลของ Corona test ด้วย

Impulse test

อาจใช้การใส่ impulse เข้าไป 15 impulse แล้วจึงพิจารณาว่าเกิด disruptive discharge หรือไม่ ซึ่งถ้าเกิดน้อยกว่า 2 ครั้ง ก็แสดงว่าผลที่ทดสอบใช้ได้ แต่การ test เช่นนี้ อาจก่อให้เกิดความผิดพลาดหรือล้มเหลวได้ง่าย ดังนั้นจึงนิยมใช้ Up and Down method วิธีนี้ทำได้โดยใช้ Voltage U_k = 50% ของ disruptive discharge level และ U = 3 % ของ U_k apply impulse U_k ถ้าไม่เกิด disruptive discharge ก็เพิ่ม Voltage เป็น $U_k + U$ หรือ ถ้าเกิดdisruptive discharge ที่ U_k ก็ลด Voltage ลงเป็น $U_k - U$ ทำการ test เช่นนี้ไปจนกว่าจะพบระดับ Voltage เหมาะสม วิธีการนี้จะช่วยลดค่าความเสี่ยงลง ต่อความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ได้

สรุปได้ว่า ในการทำการ test dielectric withstand ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

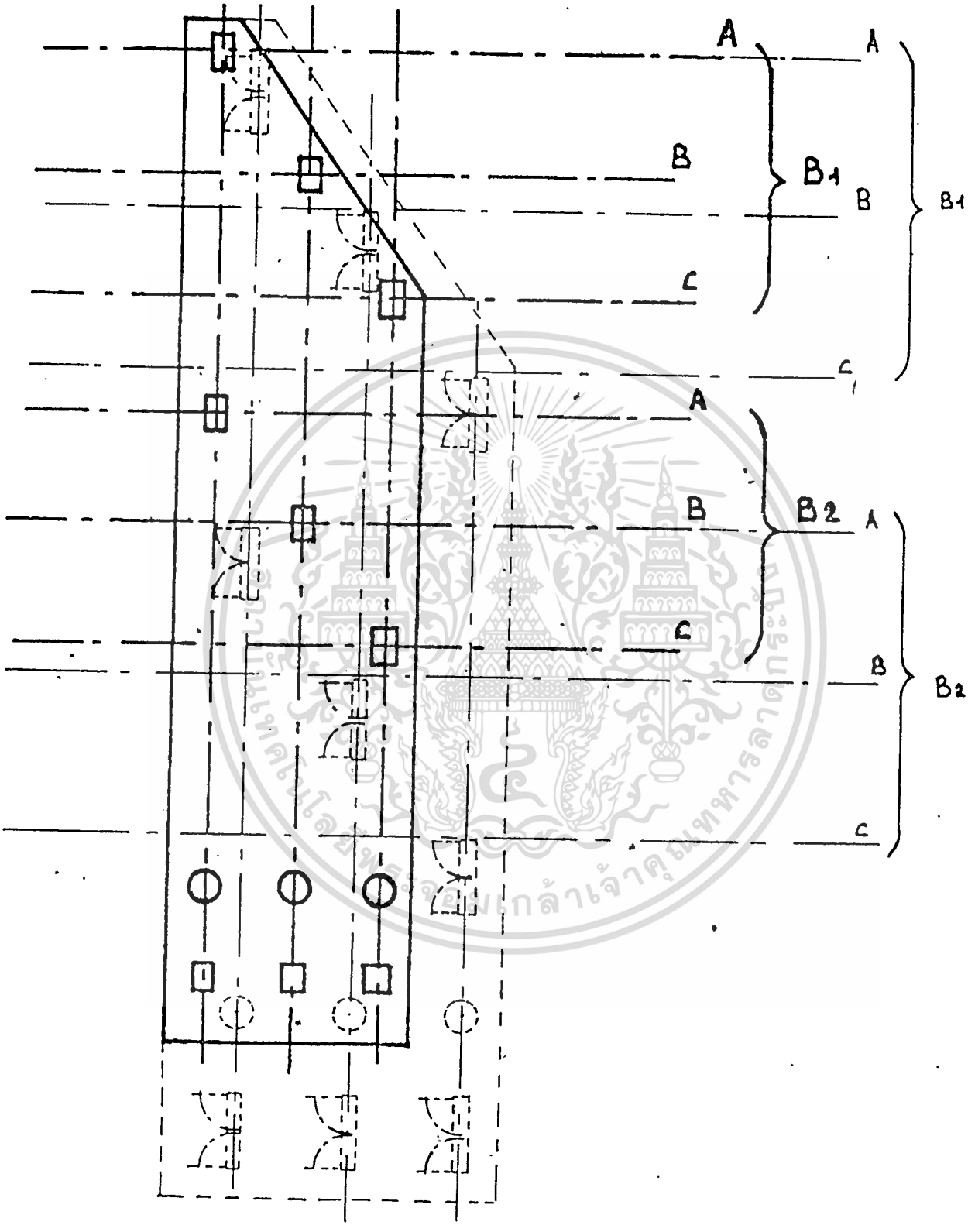
disconnector จะต้องคำนึงถึง factor ต่าง ๆ ด้วย เช่น Shape และ hight of frame work, shape of busbar simulution อีกทั้งใช้การ test ที่ให้ผลแน่นอน

Substation &choice of disconnector

การเลือกชนิดของ disconnector นั้นขึ้นอยู่กับการ Desigh สร้าง substation นั้นเองไม่ได้ขึ้นอยู่กับราคาของ disconnector ชนิดต่าง ๆ ผลของการเลือกใช้ชนิดของ disconnector นั้นจะเป็นผลให้สามารถลดราคาในการสร้าง substation ได้ โดยจะช่วยลดค่าโครงสร้าง การก่อสร้าง connecting joint และส่วน control circuit, motor power

ผลของการ Arrangement Desigh นั้นจะมีผลในการช่วยลดพื้นที่ของ substation เช่น อัตราของพื้นที่ของ substation ที่ใช้ Semi-pantograph หรือ Pantograph disconnecttor กับ coventional disconnecttor เท่ากับ 0.675 : 1 นั้นหมายถึงสามารถช่วยลดพื้นที่ลงได้ถึง 32.5 %

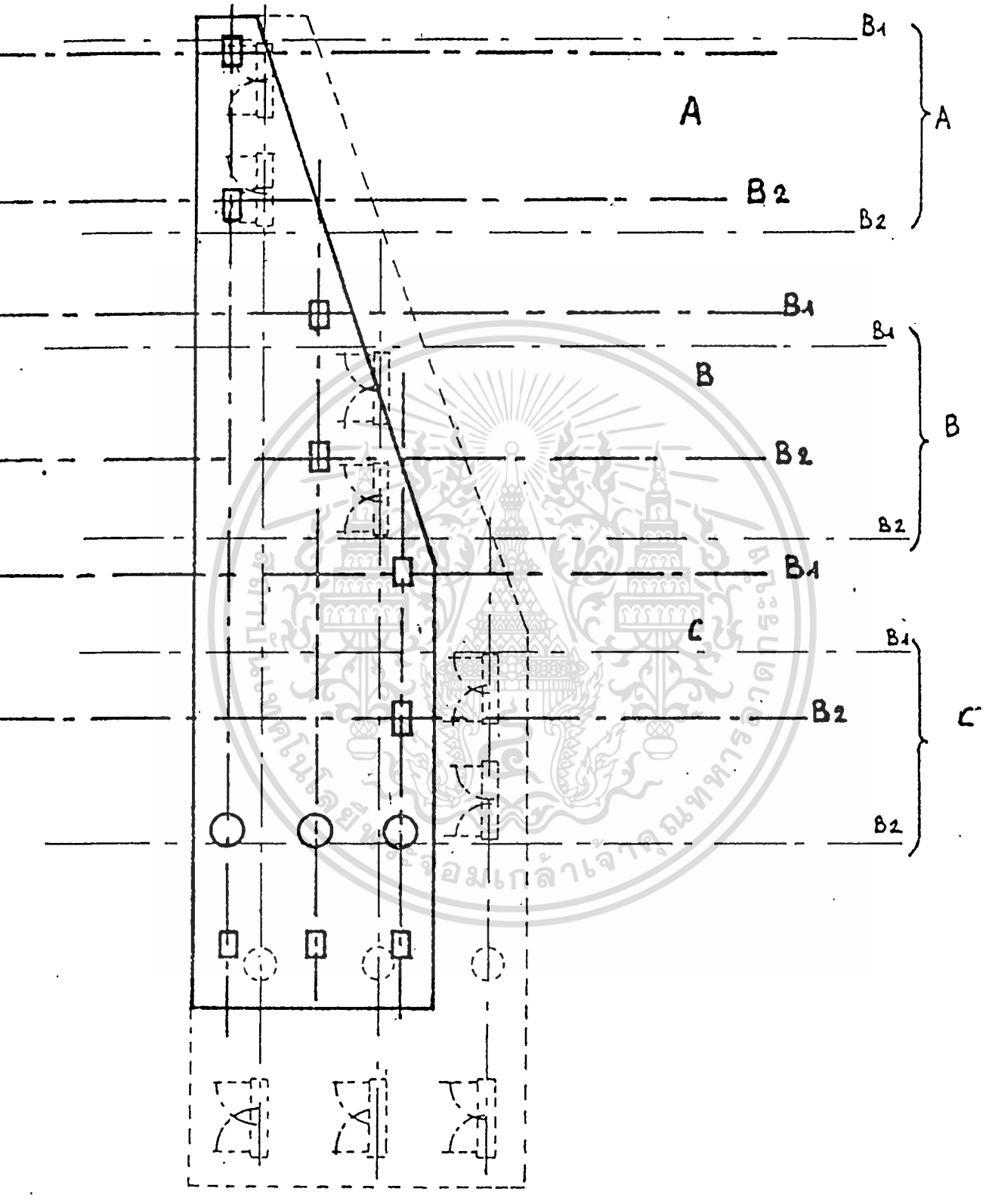
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- Table A

Arrangement with conventional layout of busbars
Semi-pantograph or pantograph disconnectors

เอกสารนี้เป็น... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- Table B

Arrangement with "mixed phases"
Semi-pantograph or pantograph disconnectors

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

POWER CIRCUIT BREAKER

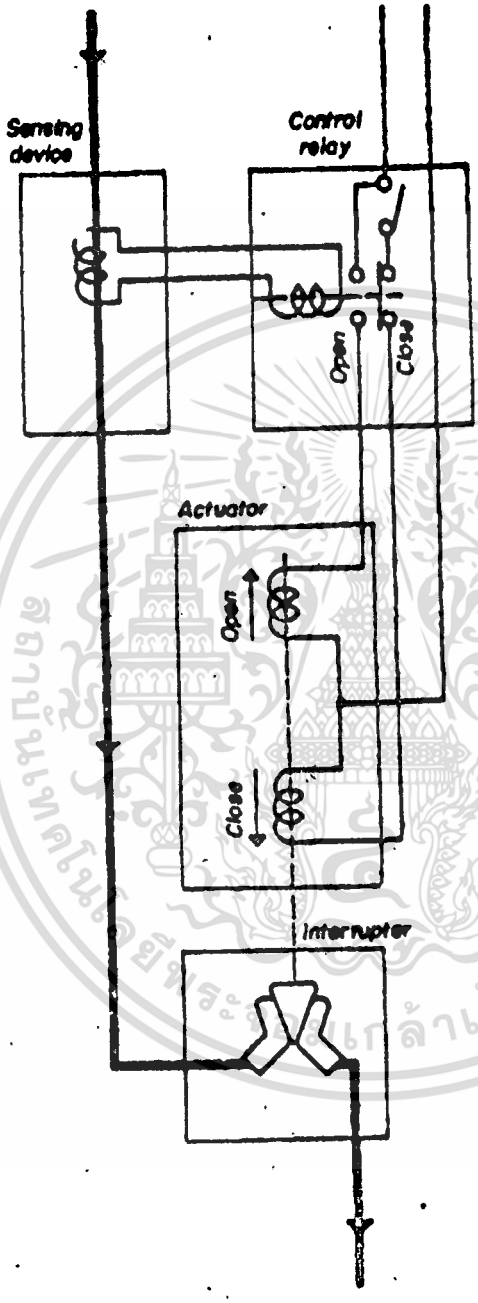
การเปิดวงจรไฟฟ้าในขณะที่มีกระแสจำนวนมากไหลอยู่ จะมีเปลว arc แลบเกิดขึ้น ณ จุดที่เปิดวงจร นั้น ความรุนแรงของ arc จะขึ้นอยู่กับกระแสที่ไหลในวงจร กล่าวคือกระแสยิ่งมากเท่าใด ความรุนแรงของ arc ก็จะยิ่งมากขึ้นเท่านั้น ถ้าใช้สวิชธรรมดาเปิดวงจรแล้วความร้อนแรงของ arc จะทำให้ขาสวิชหรือ contact ไหม้เสียหาย ทั้งอาจเป็นอันตรายแก่ผู้เปิดสวิชนั้นได้ การเปิดวงจรในลักษณะนี้ จึงใช้อุปกรณ์ชนิดที่เรียกว่า circuit breaker แทน ทั้งนี้ เพราะ circuit breaker มีชิ้นส่วนประกอบขึ้นมาเป็นพิเศษเพื่อทำการดับ arc ให้สิ้นฤทธิ์ไปในเวลาอันสั้นที่สุด Circuit breaker จึงใช้เป็นเครื่องมือเปิดปิดวงจรไฟฟ้าได้อย่างปลอดภัย

นอกจากการใช้เปิดปิดวงจรในกรณีปกติแล้ว ประโยชน์อันสำคัญยิ่งของ circuit breaker ในประการอื่นก็คือ การใช้ trip วงจรในเมื่อมี fault เกิดขึ้นในระบบ ซึ่ง fault current ที่คิดตามมาอาจมีค่าเป็นไปได้ถึงหลาย ๆ เท่าของ normal current และ arc ก็จะรุนแรงยิ่งขึ้นไปตามส่วน การ trip วงจร ในกรณีนี้ต้องอาศัยอุปกรณ์อื่นประกอบให้ breaker ทำงานโดยอัตโนมัติ ทั้งเมื่อ fault ได้ผ่านพ้นไปแล้ว ก็จะ reclose หรือสับ breaker เข้าไปใหม่โดยอัตโนมัติดุจกัน, เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าต่อไปตามเดิม การใช้ circuit breaker ในลักษณะดังกล่าวนี้ จึงเป็นทั้งอำนวยความปลอดภัยให้แก่ระบบ (system protection) และเพิ่มพูน reliability ให้แก่ระบบอีกด้วย

การใช้ circuit breaker เพื่อ system protection จะสำเร็จได้ ต้องอาศัยอุปกรณ์ต่าง ๆ ประกอบและร่วมประสานงานกัน 4 อย่างดังนี้ :-

(1) Sensing device. ได้แก่ instrument transformer ซึ่งทำหน้าที่คล้ายเป็นยามระวังเหตุ เมื่อมีเหตุการณ์ผิดปกติเกิดขึ้นในระบบ ก็จะส่งสัญญาณบอกเหตุมายัง Control relay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-1. องค์ประกอบของ system protection มี sensing device, control relay, กับ interrupter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) Control telay. อุปกรณ์นี้รับสัญญาณจาก ensing divice พร้อมสั่งการไปยัง actuator ให้ปฏิบัติการโต้ตอบต่อเหตุการณ์นั้น ๆ ทันที่

(3) Actuator. เป็นกลไกที่ส่งความเคลื่อนไหวไปกระตุ้น interrupter ให้ทำงานตามความต้องการของ control relay

(4) Interrupter. คือระบบชิ้นส่วนที่กระทำการเปิดปิดวงจรและดับ arc ได้แก่ main contact, auxiliary contact กับ arc controlling (หรือ quenching) device เป็นต้น

การประสานงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านี้ เป็นไปคล้าย ๆ กับการปฏิบัติงานของหน่วยดับเพลิง เมื่อยามระวังเหตุบนหอคอย (เท่ากับ sensing device)) เห็นเพลิงไหม้ขึ้น ณ ที่ใด ก็จะแจ้งเหตุลงมายังผู้บังคับการ (เท่ากับ control relay) ผู้บังคับการก็จะสั่งรถดับเพลิง (เท่ากับ actuator) ออกไปยังที่เกิดเหตุ, เมื่อถึงที่เกิดเหตุแล้วเจ้าหน้าที่ดับเพลิง (เท่ากับ interrupter) ก็จะเข้าไปตัดต้นไฟ (เท่ากับ open contact) และบางก็จะฉีดน้ำไปดับไฟ (เท่ากับ arc quenching device) ให้ดับโดยเร็วที่สุด

รูปที่ 5-1 เป็น schematic diagram อย่างง่าย ๆ แสดงการใช้ circuit breake ประสานงานกับอุปกรณ์อื่น เพื่ออำนวยความปลอดภัยให้แก่ระบบ

SENSING DEVICE Circuit breaker ขนาดเล็กมักใช้ instrument transformer เป็นแบบ dry wound-type ประกอบรวมกับ relay อยู่ภายในเรือนของ breaker นั้นเอง แต่ถ้าเป็นขนาดใหญ่ ๆ ขึ้นไป จะแยกออกติดตั้งภายนอกต่างหาก

Current transformer ของ oil circuit breaker ขนาดใหญ่ ใช้ประกอบเข้ากับ aushing ของ breaker เป็น bushing-type current transformer, ส่วนใน oil-poor และ air-blast circuit breaker มักจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็น wound-type ติดตั้งภายในตัว breaker เองหรืออาจติดตั้งภายนอกต่างหากก็ได้

Potential transformer ของ oil circuit breaker ขนาดใหญ่ อาจเป็นชนิด buhing potential device หรือมิฉะนั้นก็เป็นแบบ wound-type ซึ่งติดตั้งภายนอกต่างหาก oil-poor กับ air-plast circuit breaker ใช้แบบ wound-type เป็นพื้น นอกจากนี้แล้ว ก็อาจอาศัยใช้จาก coupling capacitor potential device ของ power-line carrier ก็ได้

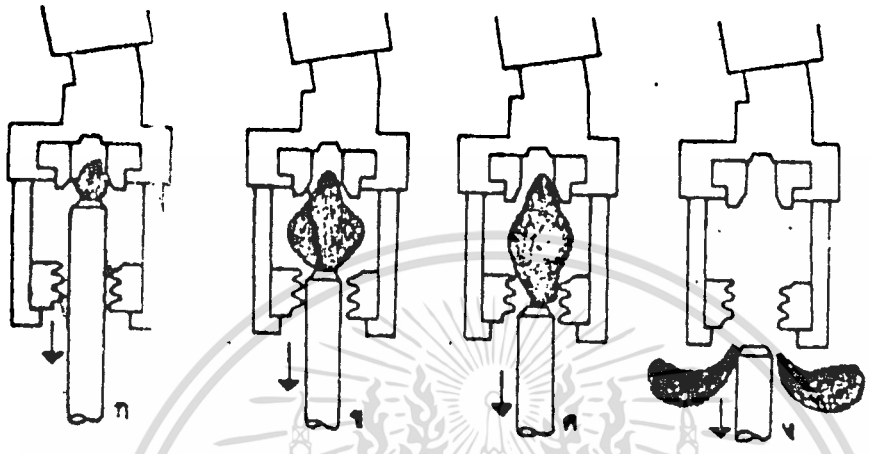
CONTROL RELAY. Relay ที่ใช้ประกอบกับ circuit breaker เกี่ยวกับการ protection นี้ ชนิดที่ใช้กันเป็นประจำก็คือ overcurrent relay ซึ่งป้องกัน fault current อันมีโอกาสที่จะเกิดขึ้นแก่ระบบย่อยกว่าข้อขัดข้องอย่างอื่น relay ชนิดอื่นก็มี differential relay, winding temperature relay สำหรับป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น มอเตอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า, หม้อแปลงไฟฟ้า ฯลฯ ขนาดใหญ่ sudden-pressure relar สำหรับป้องกัน conservator ของหม้อแปลงไฟฟ้า, reversed power relay, undervoltage relay, reversed phase relay, ground fault relay สำหรับป้องกันข้อขัดข้องในระบบทั่ว ๆ ไป

Overcurrent relayมีชนิด instantaneous กับชนิด time delay การใช้ใน power system มักใช้ชนิด tine delay และมักตั้งเวลาการ trip ให้ประสานกับ rela ตัวอื่น ๆ ในระบบด้วย time-delay relay นี้มีลักษณะเป็น inverse time คือ กระแสยิ่งมาก การ trip ก็ยิ่งเร็วขึ้น และยังแบ่งเป็น inverse, very inverse กับ extremely inverse ตามระยะเวลาการทำงาน, ทั้งนี้จะต้องเลือกสรรใช้ให้เหมาะสมแก่สภาพของระบบและความสัมพันธ์ระหว่างกันเป็นกรณี ๆ ไป

ACTUATOR หรือ operating mechanism คือ กลไกกำกับการทำงานของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5-12 แสดงกรรมวิธีดับ เป็นขั้น ๆ ไป interrupting chamner ของ oil circuit breaker



รูปที่ 5-12. Interrupting chamber oil circuit breaker

ในรูปนี้ (ก) เป็นสภาพในขณะที่ contact เปิด และเปลว arc แลบขึ้น ความร้อนจาก arc จะเผาน้ำมันในบริเวณรอบ ๆ arc เกิดเป็นฟองแก๊สความดันสูง ซึ่งพยายามจะกดพลังอำนาจของ arc ไว้ , พร้อม ๆ กันนั้นก็ทำการ de-ionize เส้นทางเดินของ arc ไปด้วย ทำให้เกิดความต้านทานสูงขึ้นและ arc ก็จะอ่อนกำลังลง (ข) เมื่อปลาย contact เลื่อนลงมาจนถึงปากทางด้านในของ arc chamber แก๊สภายใน chamber ซึ่งขยายตัวขึ้นอย่างรวดเร็วจะแบ่งน้ำมันให้เกิดความดันขึ้นบ้างและปั่นป่วนอยู่ภายใน chamber จึงช่วยยกพลังของ arc ให้อ่อนกำลังลงไปอีกแรงหนึ่ง (ค) เป็นสภาพที่ arc ดับแล้ว ซึ่งเป็นเวลาพอดีกับที่ปลาย contact เลื่อนลงมาอยู่ในปากทางข้างนอกของ chamber (ง) แก๊สภายใน chamber ถูกดัดออกมาข้างนอกและน้ำมันจะไหลเข้าไปแทนที่

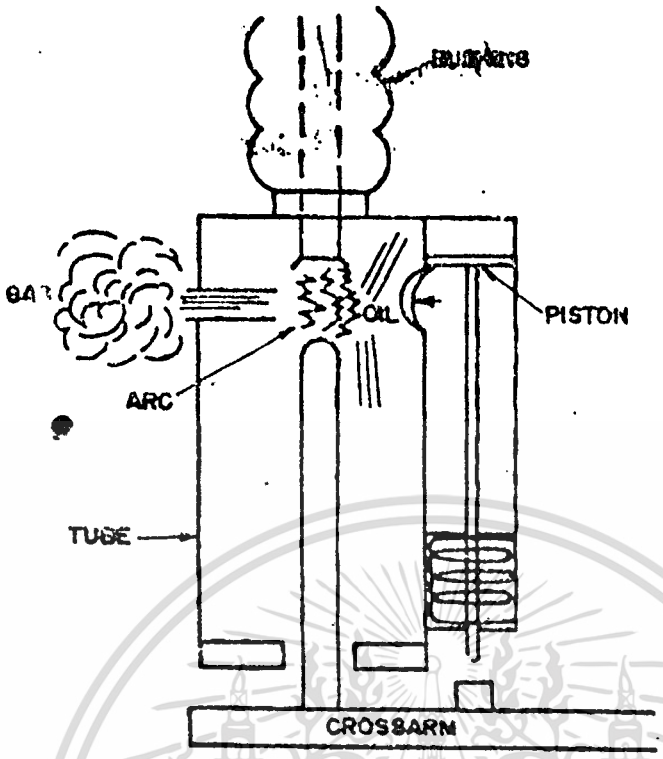
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการของ oil circuit breaker ที่แสดงมาแล้วนี้ จะเห็นว่า ยิ่ง arc มีมากและรุนแรงเท่าใด การเกิดแก๊สความดันสูงและความเคลื่อนไหวของน้ำมันก็จะเป็นไปรวดเร็วขึ้นเท่านั้น และก็จะมีผลให้ arc ถูกทำลายให้ดับสนิทลงเร็วยิ่งขึ้นเท่านั้นดุจกัน เข้าตำราที่ว่า ยิ่งมีความใหญ่โตเท่าใด ความใหญ่โตก็จะกลับมาฆ่าทำลายตัวเองเร็วขึ้นเท่านั้น โดยเหตุนี้ การกำหนด interrupting time rating ของ oil circuit breaker จึง base on อย่างน้อยที่สุด ที่ 25% ของ maximum interrupting current เป็นหลัก เมื่อ interrupting time ที่กระแส 25% นี้เร็วอยู่ในเกณฑ์ใช้ได้แล้ว ถ้าให้ breaker interrupt กระแสที่มากขึ้นไปกว่านี้ก็มีแต่จะใช้เวลาสั้นลงถูกต้องกับความประสงค์ยิ่งขึ้น

Oil-impulse interrupter การที่ oil-type interrupter ใช้เวลาในการ interrupt กระแสจำนวนน้อยนานกว่า interrupt กระแสจำนวนมาก ดังกล่าวมาแล้วนั้นเป็นข้อตำหนิอันหนึ่งที่ไม่พึงประสงค์ ฉะนั้น จึงได้มีการประดิษฐ์ oil-impulse หรือ oil-blast interrupter ขึ้น (ดูรูปที่ 5-13) Interrupter แบบนี้ มีอุปกรณ์เพิ่มเติมขึ้นมาจาก oil-type interrupter ก็คือ หัวฉีด หรือหัวพ่นน้ำมัน ทำหน้าที่ฉีดหรือพ่นน้ำมันตรงไปดับ arc ที่ contact โดยอาศัยสูบน้ำมันทำกำลังอัดฉีด หรือมิฉะนั้นก็อาศัยกำลังดันจากแก๊สที่เกิดขึ้นโดยความร้อนของ arc นั่นเอง Interrupter แบบนี้ ใช้ได้ผลดีมาก สำหรับการ interrupt ที่กระแสต่ำ ๆ แต่ว่าทำให้ราคาของ breaker แพงขึ้น ทั้งภาระในการบำรุงรักษาก็จะเพิ่มขึ้นอีกทางหนึ่งด้วย

D- ion type interrunt มี 2 แบบ คือ de-ion air กับ de-ion oil. แบบ de-ion air นั้น ประกอบด้วย insulation plates ทำด้วยแผ่นกระเบื้อง ceramic เป็นจำนวนมาก, ที่ปลายล่างเซาะเป็นร่องตัววี วางประกอบซ้อนกันอยู่เหนือ contact, มีขดลวด magnetic coil ต่อเป็นอันดับกับ contact

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

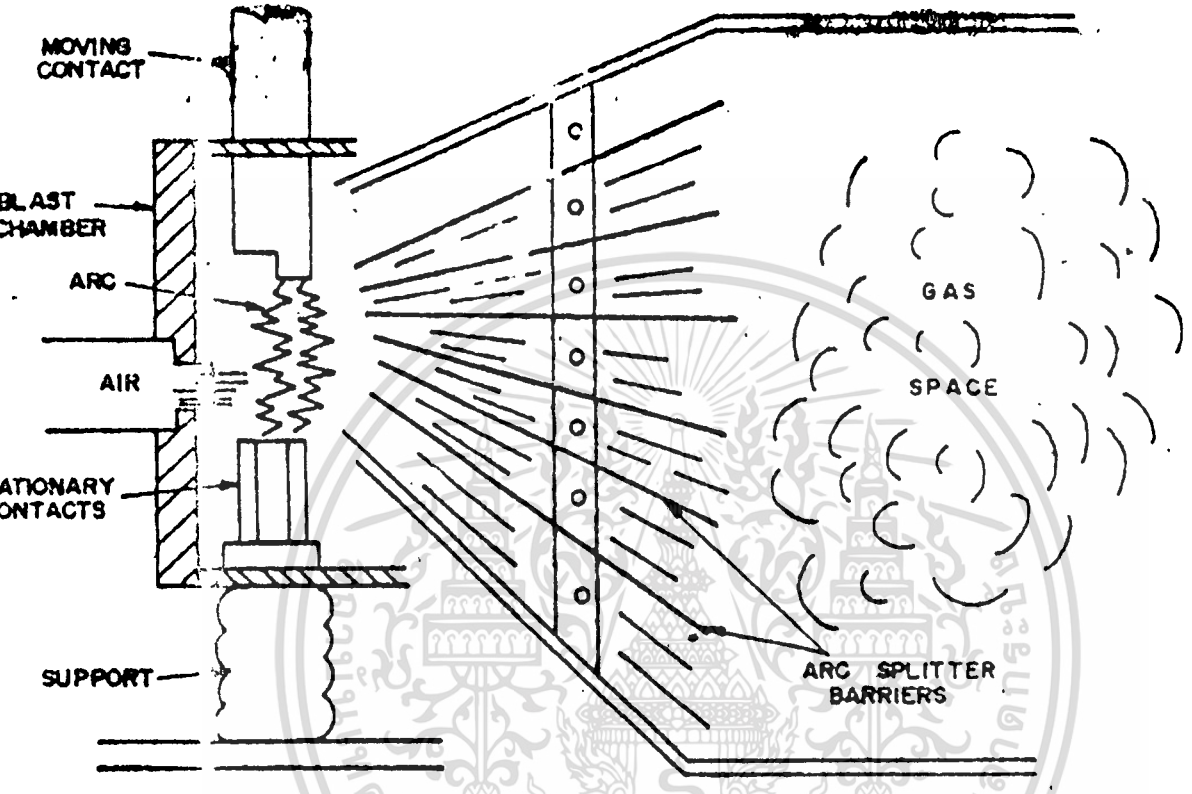


รูปที่ 5-13. Oil-impulec interrupter

ติดไว้ข้าง ๆ arcing chamber (ดูรูปที่ 5-14) เมื่อ contact อ้าออกจากกันและเกิด arc ขึ้น arc จะถูกสนามแม่เหล็กจาก magnetic coil ผลักดันไปปะทะ insulator platue และจะถูกสับหอนเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยทั้งความยาวของarc ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ณ ที่นี้arc จะถ่ายความร้อนให้แก่ insulator plates อนึ่ง เพื่อช่วยให้ arc ถูกผลักดันไปยัง insulator plates เร็วขึ้นไป ได้มีการใช้สูบลมเรียกว่า puffer ทำการฉีดพ่นลมไปที่ arc ด้วย

ส่วนแบบ de-ion oil type นั้น มีหลักการเช่นเดียวกับ de-ion air type นอกจาก contact แช่อยู่ในน้ำมัน และ de-ion plate รือ de-ion grid ติดโดยรอบ contaet ซึ่งการดับ arc นั้น ใช้ทั้งหลักการของ de-ion และหลักการของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

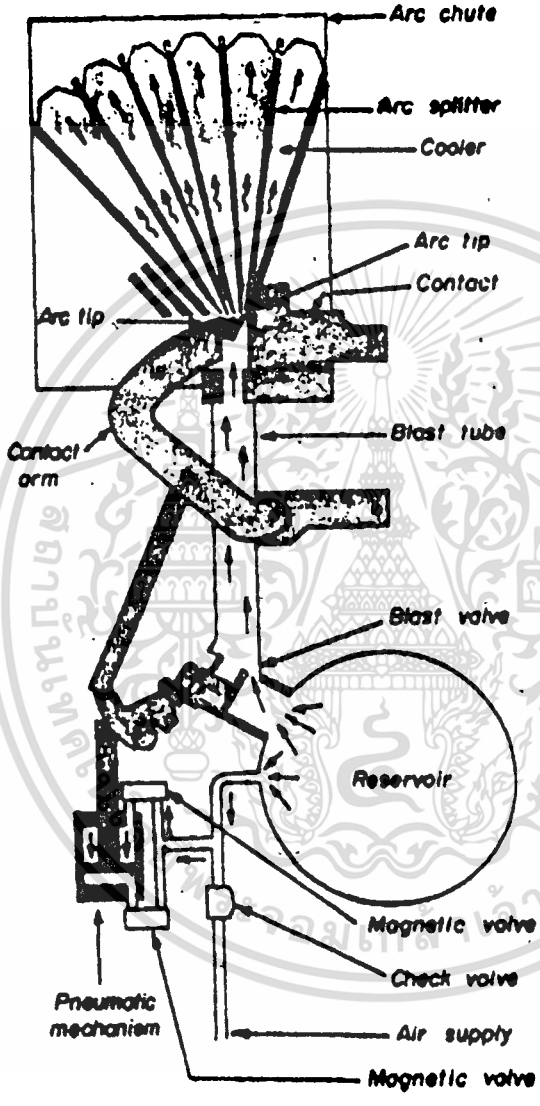


รูปที่ 5-15. Air-blast type interrupter

breaker จะไปเปิดลิ้นลมปล่อยให้ลมอัดทะลักเข้าไปที่ contact และเป่า arc จาก contact เข้าไปยัง arc chute หรือ arc splitter ซึ่ง arc จะถูกทำให้เย็นและดับลงอย่างรวดเร็ว แล้วลมอัดจำนวนนี้ก็จะถูกขับดันออกไปภายนอกบรรยากาศ

ใน air-blast circuit breaker แบบเก่า compresed air (low- pressure air system) ถูกจำกัดให้อยู่เฉพาะใน reservoir เท่านั้น หลักจากนั้นคือ ในช่องทางที่เรียกว่า blast-air duct ตลอดไปจนถึง interrupting chamber จะไม่มี compreased air เลย แม้ว่า breaker จะ close และทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-16. Air-blast type interrupter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

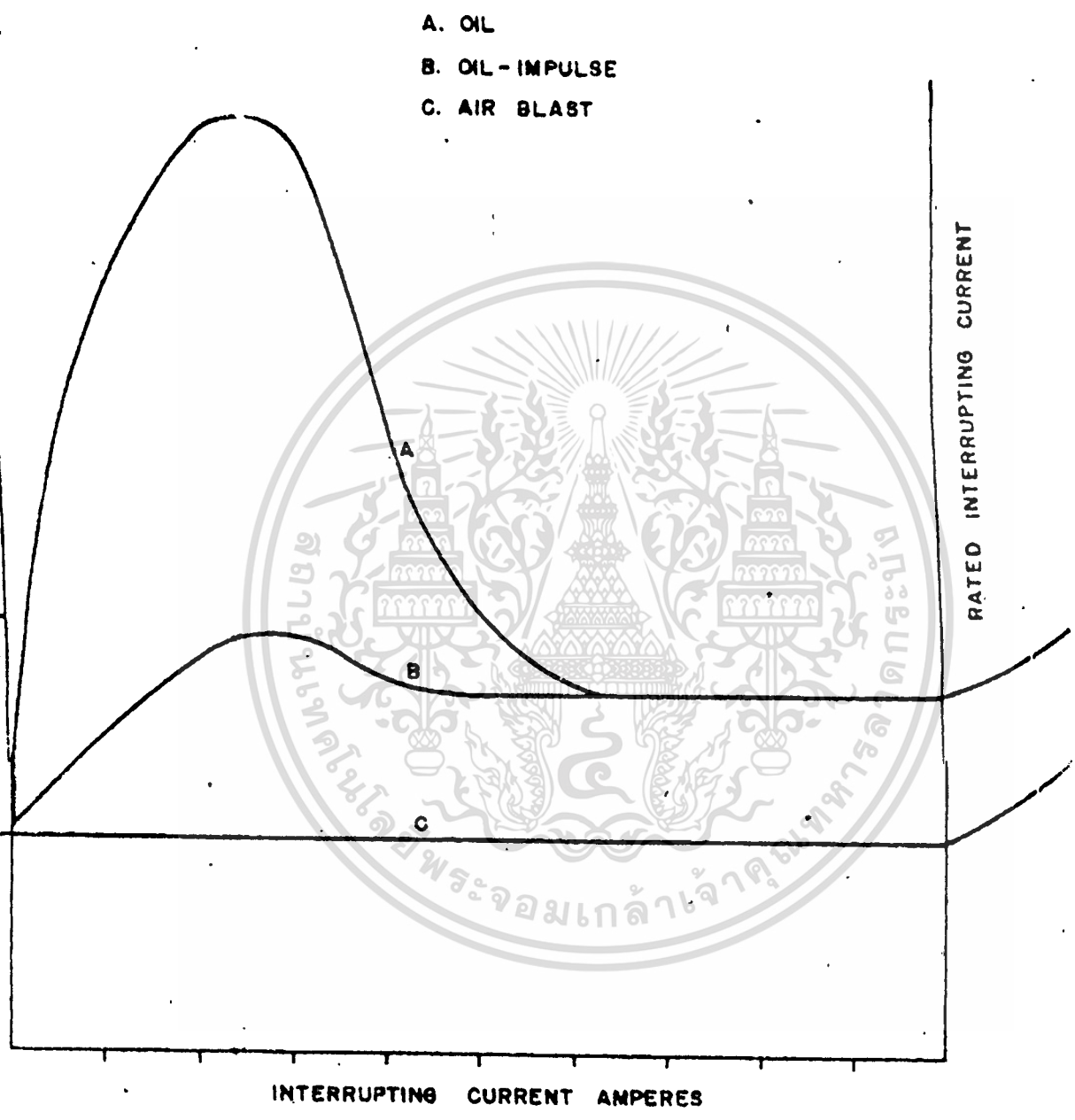
งลนอยู่ก็ตาม ต่อเมื่อมีการ trip หรือ ipen breaker เมื่อใดนั่นแหละ จึงจะปล่อย compressor air ออกไปทำงาน interruption กรรมวิธีเช่นนี้ภายหลังได้ค้นพบว่าไม่เหมาะในทางปฏิบัติหลายประการ เป็นต้นว่า การที่ปล่อยลมอัดแรงสูงเข้าไปอย่างกระทันหันทันทีทันใดเช่นนี้ ก่อให้เกิด mechanical stress ขึ้นอย่างรุนแรงแก่ insulator และส่วนภายในซึ่งอาจเกิดชำรุดเสียหายได้ นอกจากนั้นแล้วการสั่นสะเทือน (pressure oscillation) contact ยังไปรบกวน interrupting capacity ของ breaker อีกโสดหนึ่งด้วย อย่างไรก็ตาม ข้อเสียของวิธีการนี้ก็มีอยู่เหมือนกัน เพราะเมื่อมีความดันสูงในชิ้นส่วนเหล่านี้อยู่เป็นประจำแล้ว ก็จะต้องใช้ปะเก็นระหว่างรอยต่อให้แน่นหนามั่นคงยิ่งขึ้น และโอกาสที่จะรั่วก็มีมากขึ้น

ลมอัดที่ใช้ในการนี้ได้มาจาก air compressor ซึ่งมักจะมีประจำ breaker แต่ละชุดเสมอ. air compressor โดยมากนักเป็นชนิด multi-stage ขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า, อัดลมได้ 500-600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว. ลมอัดนี้ระยะแรกจะเก็บไว้ใน high-pressure air tank, มี pressure switc ที่จะบังคับให้ compressor เดินเครื่องอัดลมให้เต็มถังและให้ได้ความดันเต็มระวางตามอัตราอยู่เสมอ. จาก high-pressure air tank นี้มีท่อต่อผ่าน reducing valve ลดความดันจาก 500-600 ปอนด์ลงมาเป็น 120-350 ปอนด์ต่อตารางนิ้วไปเข้า air reservoir ของ breaker ซึ่งมีประจำแต่ละเฟสแยกเป็นอิสระจากกัน. ความดัน 120-350 ปอนด์นี้ คือ operating pressure ของ preaker. ระบบลมอัดสำหรับ air-blast circuit breaker ตามนัยดังกล่าวมานี้ จึงมี 2 ระบบ คือ high-pressure air system กับ low pressure air system,

เปรียบเทียบ interrupting time ของ interrupter แบบต่าง ๆ

Curve ในรูปที่ 5-17 แสดงการเปรียบเทียบ interrupting time ของ interrupter แบบ oil, oil-impulse และแบบ air-blast

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-17. เปรียบเทียบ interrupting time ของ interrupter แบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปกรณีต่าง ๆ ของการทำงานของ power circuit breaker

การใช้ power circuit breaker ใน pwoer system นั้น สรุปแล้วมีกรณีต่าง ๆ อยู่รวมกัน 3 ประการ คือ

1. Normal switching คือ เปิดปิดวงจรของระบบในกรณีปกติ

2 Fault interruption คือ trip วงจรออกโดยอัตโนมัติ เมื่อมี fault หรือข้อขัดข้องเกิดขึ้นในระบบ เช่น สายส่งขาด หรือ short-circuit หรือ เกิด voltage surge ขึ้นในระบบ เนื่องจากอำนาจของฟ้าผ่าเป็นต้น

3. Circuit reclosing. คือ ปิดวงจรกลับคืนเพื่อจ่ายกระแสไฟต่อไปตามเดิม, โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ทำงานโดยอัตโนมัติ เรียกว่า autematic recloaing, หลังจาก fault หรือข้อขัดข้องซึ่งได้ trip วงจรออกนั้นได้ผ่านพ้น หรือ clear ออกไปแล้ว

ได้กล่าวมาแล้วว่า เมื่อ breaker ถูกปลดหรือ trip ออกจากระบบ arc เกิดขึ้นระหว่างปลายขั้ว contact ทั้ง ที่แยกออกจากกัน, arc นี้จะรุนแรงเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณของกระแสในขณะนั้น, และก็มีวิธีการดับ arc ต่าง ๆ ดังได้กล่าวมาแล้ว

นอกจากนี้ยังจะมีปรากฏการณ์อีกประการหนึ่งเกิดขึ้น กล่าวคือ ในขณะที่ contact เริ่มแยกออกจากกัน voltage ระหว่าง contact จะกระโจนสูงขึ้นของ voltage และ recovery voltage ของวงจรเป็นส่วนใหญ่ (ในวงจรสายส่งถือว่า resistance มีค่าน้อยมากจนอาจไม่ต้องคำนึงถึงก็ได้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่อาจเกิดขึ้นติดตาม recovery voltage มาก็คือว่า หลังจากที่กระแสผ่านศูนย์ (zoro current) ไปแล้ว, ถ้ายังเอิญขณะใด recovery voltage มีค่าสูงกว่าระดับ dielectric strength (หรือ insulation level) ของ gap ระหว่าง contact ของ breaker แล้ว จะเกิด arc ผ่านระหว่าง contact นั้น ซ้ำอีกเป็นครั้ง 2 , ซึ่ง arc ครั้งนี้เกิดจาก voltage, ต่างจาก arc ครั้งแรกที่เกิดจาก current (ที่ถูก interrupt)

การเกิด arc นี้ อันที่แท้จริงก็คือ เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่าน contact gap นั่นเอง. ถ้า จาก recovery voltage นี้เกิดขึ้นภายในเวลา 1/4 ของไซเกิล หลัง zere current แล้ว เรียกว่า re-ignition, และถ้าเกิดภายหลัง 1/4 ไซเกิลไปแล้ว เรียกว่า restrike.

ปรากฏการณ์ต่าง ๆ เหล่านี้ ไม่เป็นผลดีต่อการทำงานของ breaker, จึงได้มีการพยายามที่จะจำกัดค่า recovery voltage ให้ต่ำไว้ทุก ๆ ทาง.การสร้างระบบสายส่งเป็น ground system และการติดตั้ง lightning arrester กับ protective gap ซึ่งมี flashover voltage level ต่ำกว่า insulation level ของ breaker เป็นวิธีหนึ่งที่จำกัดค่าของ recovery voltage ได้.

NORMAL SWITCRING การใช้ circuit breaker ปิดเปิดวงจรในกรณีปกตินั้น. โดยจะเพาะสำหรับการเปิดวงจรมีประเด็นพิเศษที่น่าสนใจอยู่ 2 ประการ คือ inductive current swithing กับ capacitive current switching. ทั้งสองประเด็นนี้มีทฤษฎียุ่งยากและซับซ้อนอยู่ไม่น้อย. ในที่นี้จะขอกล่าวแต่เพียงย่อ ๆ พอให้เข้าในหลักการอย่างง่าย ๆ เท่านั้น.

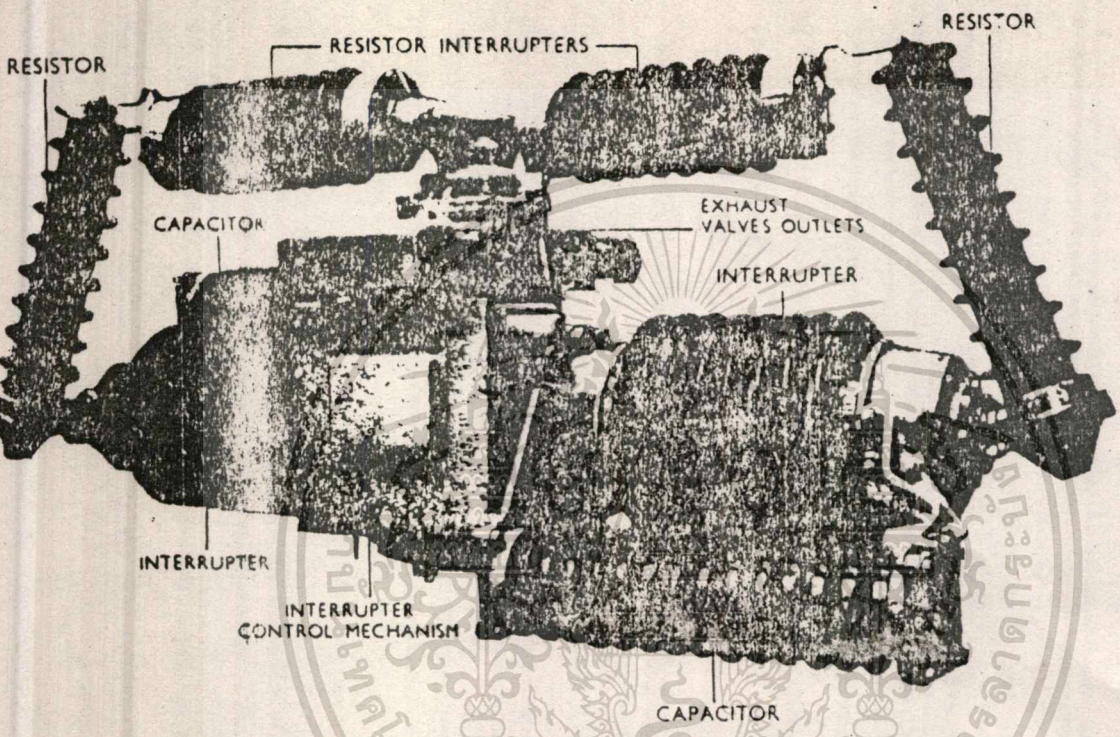
Inductive current switching ได้แก่การเปิดวงจรที่มี inductance อยู่เป็นส่วนใหญ่ เช่น หม้อแปลง หรือ reactor ที่ลด load ออกหมดแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นต้น. ขณะที่ปลด breaker ออกนั้น หลังแม่เหล็กที่มีอยู่ใน inductance ของวงจร (ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{2} Ld^2$) จะกระจายตัวออกมาในรูปของ demped high frequency oscillation, กระทำให้เกิด transient voltage ซึ่งมีค่าสูงกว่า recovery voltage ตามปกติ และอาจจะสูงกว่า system voltage ถึงหลายเท่าในเสี้ยวของไซเกิล แรกหลังจากปลด breaker ออกนั้น. ในขณะต่อมาแม้เมื่อคลื่น กระแสลดลงมาถึงจุด zero current ซึ่งเป็นจุดดับของ arc แล้วก็ตาม, voltage นี้ก็ยังคงสูงอยู่และเป็นต้นเหตุที่จะทำให้เกิด rastrike ขึ้นได้โดยง่าย. เพื่อป้องกันมิให้เกิด restrike ดังกล่าวนี้ จึงมีการต่อ restster คร่อม interrupter ไว้, เพื่อจะ damp overvoltage นี้เป็นการป้องกันไม่ให้เกิด restrike ขึ้น.

Capacitive current switching ได้แก่การเปิดวงจรสายส่งระยะไกลเมื่อลด load ออกหมดแล้ว, ซึ่งคงจะมีแต่เพียง line charging current ไหลอยู่, หรืออย่างเช่นเปิดวงจร capacitor ขนาดใหญ่เป็นต้น. วงจรประเภทนี้ current จะ load vcltage ประมาณ 90 ฉะนั้น แม้ว่าในขณะที่ interruption จะเป็นไปในขณะที่ current wave เป็นศูนย์ (zero current) ก็ตาม, แต่ขณะนั้นค่าของ voltage จะยังคงอยู่ประมาณจุดสูงสุด, โดยเหตุนี้ จึงเป็นการเสริมค่าของ recovery voltage ให้สูงต่ำขึ้นไปอีกด้วย. Recovery voltage นี้ หลังจาก interruption ไปแล้วประมาณ $\frac{1}{2}$ ไซเกิล จะมีค่าประมาณ 2 เท่าของ system voltage ซึ่งอาจจะทำให้เกิด restrike ได้เหมือนกัน. สำหรับการแก้ไขนั้น แม้การติด resistor คร่อม interrupter จะช่วย damp recovery voltage ลงไปได้บ้าง, แต่ก็จำเป็นจะต้องปรับปรุงขบวนการของ interrupter ให้มีสมรรถนะในการกลับคืนสู่สภาพ dielectric strength เดิม หรือที่เรียกว่า dielectric recovery characteristic โดยเร็วที่สุดในระหว่างเวลาขณะดับ arc นั้น, เพื่อจะให้ insulation level ของ gap สูงกว่า recovery voltage ไว้.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-18. Interrupter head, English Electric Air-Rlast Circuit Breaker (แบบ T)

อนึ่ง สำหรับ power circuit breaker ซึ่งต้อง interrupt กระแสจำนวนมาก ๆ นั้น มักจะใช้ interrupter หลายชุดต่อพ่วงกันเป็นอันดับ, โดยมี ressitor กับ capacitor ต่อคร่อมแต่ละชุดไว้ (ดูรูปที่ 5-18). สำหรับ Resistor นั้น นอกจากจำทำหน้าที่ damplecovery voltage ดังกล่าวมาแล้ว ยังเป็นตัวแบ่งกระแสระหว่าง interrupter เหล่านั้นด้วย, ทั้งนี้ Interrupter แต่ละชุดจะเฉลี่ยกันรับกระแสที่จะ interrupt ไว้เท่า ๆ กัน ส่วน capacitor ก็จะทำหน้าที่เฉลี่ย voltage คร่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

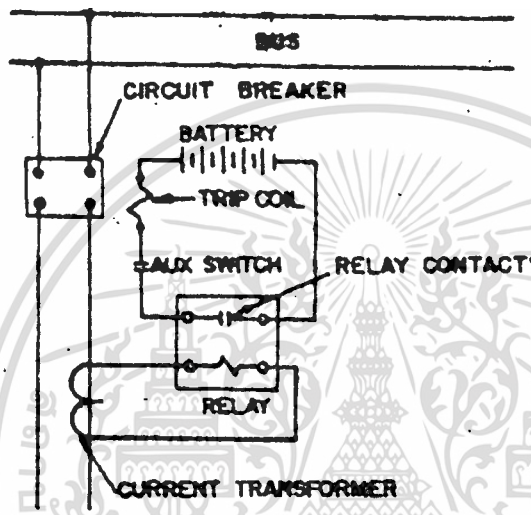
interrupter แต่ละชุดเท่า ๆ กันเหมือนกัน. ทั้งนี้ แทนที่จะให้ interrupter ชุดเดียวรับกระแสจำนวนมากและ voltage สูง ๆ ไว้ทั้งหมด. การใช้ interrupter หลายชุดทำให้ breaker ทำงานได้เรียบร้อยขึ้น และอาจใช้กับ voltage สูงไม่เป็นที่จำกัด อย่างไรก็ดี เนื่องจาก oil circuit breaker นั้น interrupting chamber มีขนาดจำกัด จึงมักคิดได้อย่างมากเพียง 2 ชุดต่อเฟสเท่านั้น หากติดตั้งมากชุดกว่านี้ breaker จะมีขนาดใหญ่โตขึ้นไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ. แต่สำหรับ air-blast circuit breaker แล้ว. ลักษณะโครงสร้างอำนวยให้, จึงสามารถติดได้หลาย ๆ ชุด บางราย breaher ขนาด 400 ติด interrupter ไว้ถึง 10 ชุดก็มี

FAULT INTERRUPTION. การที่จะใช้ circuit breaker ให้ได้ประโยชน์ทางด้าน protection อย่างเต็มที่และให้ได้ผลแน่นอนเป็นที่วางใจได้นั้น, ความสำคัญอยู่ที่ว่า circuit breaker ต้องพร้อมที่จะ trip ได้ทันที ในเมื่อ relay ส่งสัญญาณบอกว่ามี fault เกิดขึ้น, และเพื่อให้การเป็นไปตามนี้ มีความจำเป็นจะต้องอาศัยองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ประการ คือ (1) จะต้องมี source of control power ที่แน่นอนวางใจได้สำหรับใช้กับอุปกรณ์ที่จะไป control หรือ trip breaker และ (2) จะต้องจัดให้กลไกและระบบการ trip breaker นั้นทำงานเป็นอิสระ, สามารถ trip breaker ได้ทุกโอกาสโดยไม่มีสิ่งใดมาขัดในเมื่อต้องการจะ trip, ซึ่งคุณลักษณะอันนี้เรียกว่า trip free.

Source of control power. ในบรรดา source of power ทั้งหลาย, แบตเตอรี่นับว่าเป็น cource ที่มีความแน่นอนและเป็นที่เชื่อถือได้ดีกว่า source อื่น ๆ ทั้งหมด ในการอำนวยกระแสไฟฟ้าไปใช้ trip breaker. ฉะนั้นในการติดตั้งที่สำคัญซึ่งต้องการความแน่นอนและแม่นยำจากการทำงานของ breaker เป็นอย่างสูงแล้ว จะขาดแบตเตอรี่เสียไม่ได้. สำหรับระบบการ trip นั้น มักจะใช้ระบบที่เรียกว่า shunt trip ดังแสดงในรูปที่ 5-19. ในรูปนี้ auriliary swith จะอยู่ในตำแหน่งปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปิดตำแหน่งของ breaker. เมื่อเกิด fault ขึ้น relay contect จะปิด, กระแสไฟจากแบตเตอรี่ก็จะจ่ายมาเข้า trip coil, breaker ก็จะถูก trip ออกทันที่, และเมื่อ breaker trip ออกแล้ว auxiliary switch จะเปิดตาม, กระแสไฟจากแบตเตอรี่ก็จะถูกตัดขาด, ทั้งนี้ เป็นการป้องกันไม่ให้ relay contactไหม้



รูปที่ 5-19. วงจร shunt trip โดยใช้ไฟกระแสตรง

สำหรับการติดตั้งที่มีความสำคัญรองลงมา ซึ่งไม่ต้องการ trippint time แม่นยำจนเกินไป และซึ่งการจัดให้มีแบตเตอรี่กับเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ไม่สู้จะคุ้มค่านัก, โดยเฉพาะสำหรับ breaker ที่มีขนาดและ voltage ต่ำ ๆ ลงมา. มักจะใช้วิธีการ trip ด้วยกระแสสลับ ซึ่งก็อาศัยกระแสไฟจาก station service นั่นเอง. วิธีการ trip ด้วยกระแสสลับที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป มีอยู่ 6 แบบด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 5-20. คือ

1. Serice trip. ใช้ในกรณีที่ไม่ต้องการความแม่นยำจาก protective relay ทั้งในด้าน magnitude และด้าน timing เท่าใดนัก, และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานที่ trip coil, ฉะนั้น แม้ในขณะที่เกิด fault นั้น voltage ของระบบจะตกวูบลงมา ก็ไม่กระทบกระเทือนต่อการทำงานของ trip coil. ระบบ trip แบบนี้เป็นแบบที่นิยมใช้กันมากกว่าแบบอื่น

4. A.C. shunt trip. ใช้กระแสจาก current transformer ไปปิด relay contact, และกระแสจาก potential transformer ไปจ่ายให้แก่ trip coil.

5. Circuit opening relay. มีลักษณะคล้ายกับ transformer trip ในแง่ที่ว่า ใช้กระแสจาก current transformer ไปจ่ายให้แก่ trip coil, หากแต่มี relay เพิ่มเข้าไปอีกเพื่อทำหน้าที่ปิดวงจร trip circuit ในขณะที่เกิด fault. ซึ่ง relay นี้จะได้รับกระแสจาก current transformer ตัวเดียวกันนี้เอง

6. Tripping transformer. มีลักษณะเช่นเดียวกันกับ circuit opening relay, ผิดกันตรงที่ว่า relay ได้รับกระแสจาก current transformer อีกตัวหนึ่งต่างหาก.

Trip free. ลักษณะของ trip free มีอยู่ 5 ประการดังต่อไปนี้

1. Mechanically trip free. คือ tripping mechanism สามารถจะ trip breaker ได้ แม้ในขณะนั้น operaring lever จะถูกเกี่ยวให้อยู่ในตำแหน่ง close ก็ตาม (สำหรับ breaker แบบ manually operated) หรือ สามารถจะ trip breaker ได้ แม้ในขณะนั้น operating mechanise จะถูกบังคับให้สับอยู่ในตำแหน่ง close ไม่ว่าจะโดยกลไกทางไฟฟ้าหรือโดย emergency closing lovel ก็ตาม (สำหรับ beeaker แบบ electrically operated)

2. Manually trip free. คือ tripping mochanisn สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะ trip breaker ได้ แม้ในขณะนั้น operating lever จะถูกเกี่ยวให้อยู่ในตำแหน่ง close ก็ตาม (เช่นเดียวกับ mechanically trip free สำหรับ manually operated breaker)

3. Electrically trip free คือ tripping mechanism สามารถจะ trip breaker ได้ แม้ในขณะนั้นวงจรบังคับการสับ breaker จะกำลังทำงานอยู่ก็ตาม. อนึ่งหลังจาก trip แล้ว operating mechanism จะต้องรอให้วงจรบังคับการสับ breaker เปิดออกแล้วปิดอีกครั้งหนึ่งเสียก่อน, จึงจะ reclose breaker กลับเข้าไปได้

4. Pnoumatically trip free คือ tripping mechanism สามารถ trip breaker ได้โดยการคลายความดันของลมที่อัดที่จะไปสับ breaker แม้ในขณะนั้นวงจรบังคับการปิด breaker จะ energize อยู่ก็ตาม. อนึ่ง หลังจาก trip แล้ว operating mechanism จะต้องรอให้วงจรบังคับการสับ breaker เปิดออกแล้วปิดอีกครั้งหนึ่งเสียก่อน, จึงจะ reclose breaker กลับเข้าไปได้

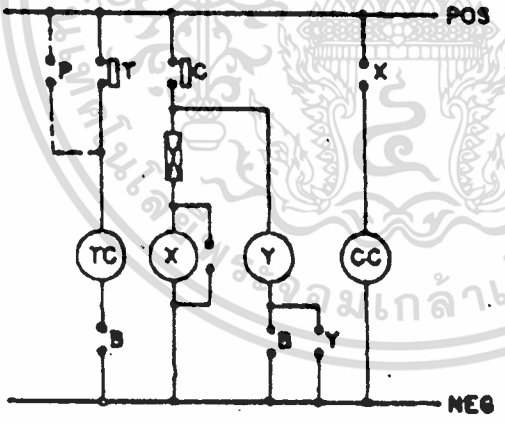
5. Trip free in any position คือ tripping mechanism สามารถจะ trip breaker ได้ทุก ๆ ขณะในระหว่างระยะเวลาของการสับ breaker อนึ่ง สำหรับกรณี electrical trip นั้น ถ้าการ trip ต้องผ่าน auxiliary switch แล้ว, จะต้องปิด auxiliary switch เสียก่อน electrical trip จึงจะทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5-21 เป็น centrol schome แบบที่แพร่หลายแบบหนึ่ง เรียกว่า X-Y relay schome ยกมาแสดงเป็นตัวอย่างเพื่อให้เข้าใจลักษณะและความหมายของ electrical trip free ตามสมควร

การสับและปลด breaker ใช้กำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ผ่านสวิช c หรือ T ไปทำงานที่ หรือ เข้าแต่กรณีช่วย

เมื่อเปิดสวิช C, relay X จะปิด, ไฟก็เดินไปเข้า CC ซึ่งจะไปสับ Breaker เข้าวงจร เมื่อ breaker สับเข้าไปแล้ว y จะปิดตาม, และเพราะ y ต่อครอม X อยู่, contact x จึงเปิด, กระแสที่ไหลผ่าน CC ก็จะถูกตัดตอน.



รูปที่ 5-21. X-Y relay scheme

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากเกิด fault ขึ้นในระหว่างที่ breaker สับอยู่ relay contact p จะปิด, กระแสไฟก็สามารถไหลมาเข้า TC, และ TC นี้ก็จะไป trip breaker พร้อม ๆ กับ contact B เปิด.

ดังนี้ จะเห็นว่า การจัดระบบ relay และ contact ต่าง ๆ ในลักษณะนี้, breaker สามารถจะ trip ได้อย่างอิสสระไม่มีสิ่งใดมาขัดขวาง แม้ในขณะที่สวิช breaker C จะสับอยู่ก็ตาม.

มีสิ่งที่ควรกล่าวอีกประการหนึ่งเกี่ยวกับ X-Y relay schome นี้ คือ สมมติว่าในขณะที่ Breaker ถูกสับเข้าไปในขณะที่มี fault อยู่ในระบบ และ breaker trip ออก, ถ้าในระยะนั้นสวิช C อยู่ในตำแหน่งปิดแล้ว breaker จะไม่มีทาง reclose กลับเข้าไปอีกเลย. ทั้งนี้เพราะ Y นั้น ปิดตาม C กระแสจึงไหลผ่าน Y หมดทำให้ X เปิด และไม่มีไฟเข้า CC ที่จะไปสับ breaker, ต่อเมื่อ C ถูกปลดออกซึ่ง Y ก็จะเปิดตามด้วยแล้วนั่นแหละ X จึงจะอยู่ในฐานะพร้อมที่จะรับกระแสไฟได้.

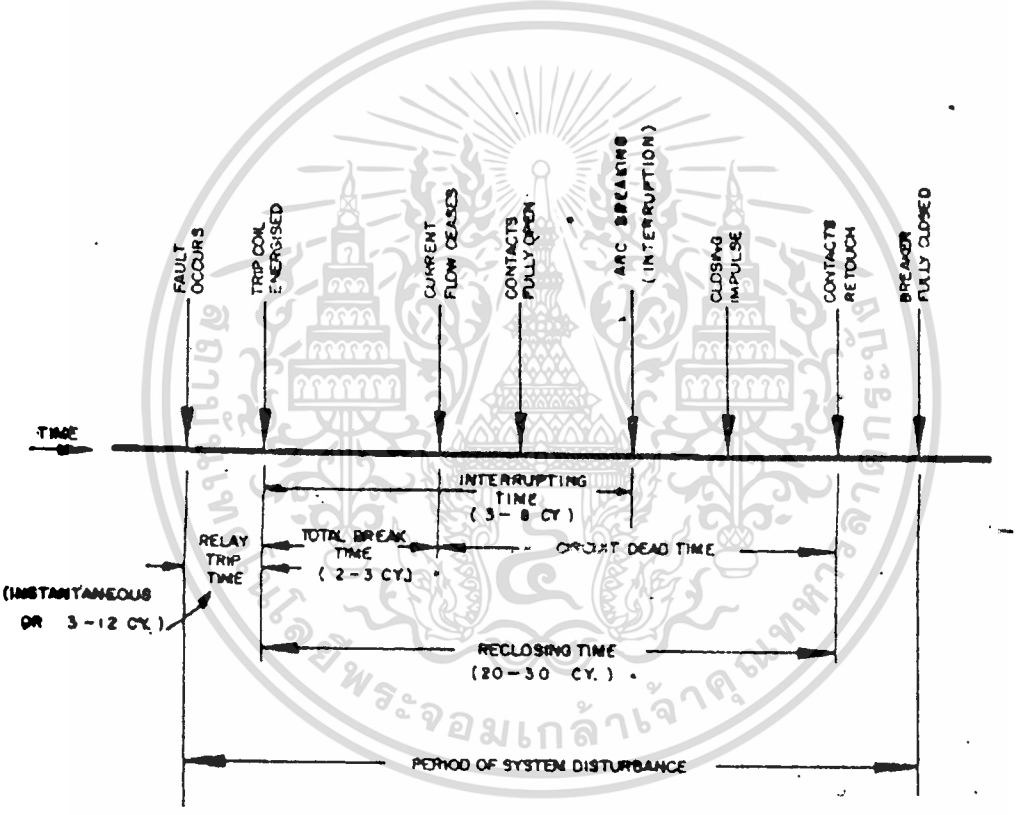
คุณลักษณะดังกล่าวนี้ จะเห็นได้ว่า relay Y นั้น ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ breaker สับ (reclose) ซ้อน ๆ กันหลายครั้งในขณะที่สวิช C ปิดอยู่ และมี permanent fault อยู่ในระบบ การสับซ้อน ๆ กันหลายครั้งเช่นนี้ เรียกว่า pumping.

CIRCUIT RECLOSING. ในระบบส่งสายส่งนั้น fault ที่เกิดขึ้นส่วนมากเป็น temporary fault ซึ่งอาจมีต้นเหตุจากฟ้าผ่า หรือเหตุชั่วคราวอื่น ๆ เช่น ลมพัดกิ่งไม้มาถูกสายไฟเป็นต้น. เมื่อ breaker trip ออกแล้ว, reclosing relay จะสับ breaker กลับเข้าไปใหม่โดยอัตโนมัติ, การจ่ายกระแสไฟก็คงจะดำเนินต่อไปตามปกติ, แต่ถ้า fault นั้น ยังไม่ clear ออกไป, breaker reclose แล้ว ก็จะ trip

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกอีก. ในตอนนี้อาจตั้งระยะเวลาการ reclose ครั้งใหม่นี้ตามต้องการได้, ซึ่งอาจให้เป็น instantaneous หรือ time-delay เท่าใดก็ได้ตามแต่จะต้องการ. เรื่องนี้จะได้กล่าวโดยละเอียดต่อไปภายใต้หัวข้อ duty cycle.

ระยะเวลาตั้งแต่ fault เกิดขึ้น จนถึง breaker reclose เข้าไปใหม่ เรียกว่า period of system disturbance กินเวลาประมาณ 30-50 ไซเกิล ในช่วงระยะพริบตานั้น ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของ brealer จะทำงานต่อเนื่องกันเป็นลำดับ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5-22



รูปที่ 5-22. กิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่าง period of system disturbance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reclosing relay ที่ใช้กันโดยทั่ว ๆ ไปนั้น โดยมากให้ทำงานครั้งแรกเป็น instantaneous คือ พอ breaker trip ก็ให้ reclose คืนทันที่, และถ้า fault ยังไม่ clear ออกไป ก็จะเว้นระยะเป็น time delay ระยะหนึ่งเท่าที่จะตั้งเอาตามต้องการ แล้วก็ reclose กลับเข้าไปใหม่, และถ้า breaker trip ออกอีก ก็จะเว้นระยะแล้ว breaker ในลักษณะเช่นครั้งก่อน, จนกระทั่ง reclose นับเป็นครั้งที่ 3 แล้ว breaker ก็ยัง trip ออกอีกเช่นนี้, breaker ก็จะ lock out คือไม่ reclose กลับอีก. และจะต้อง reset relay เพื่อที่จะให้ทำงานต่อไป

อนึ่ง หากภายใน 3 ครั้งนี้ breaker สับติดเป็นผลสำเร็จ, reclosing relay จะ reset ตัวเองโดยอัตโนมัติ.

การ reclose นี้ ในบางกรณีอาจต้องการเพียงให้ reclose ครั้งแรกครั้งเดียวเท่านั้นก็พอ, หาก breaker สับไม่ติด หลุดออกมรอีกก็จะเปิดวงจรทิ้งไว้จนกว่าจะมีการ reset, การ reclose ในกรณีนี้ เรียกว่า single-shot reclosing.

การ reclose อาจจัดให้เป็น single-pole recle sing หรือ three-pole reclosing ก็ได้. Single-pole reclosing นั้น มีข้อได้เปรียบอยู่ที่ว่า หากมี fault เกิดขึ้นในเฟสใด ก็ trip และ reclose ฉะเพาะเฟสนั้น โดยเฟสอื่นจะไม่ถูกรบกวนและคงจ่ายกระแสไฟไปตามปกติในระหว่างที่ breaker trip เพื่อ cloar fault. ทั้งนี้ โดยที่ว่า fault ส่วนมากในระบบเป็น transient single.phase fault, ฉะนั้นการใช้ single-pole reclosing จึงเหมาะสมและประสบความสำเร็จเป็นอย่างดี. ข้อคำหนิของ reclöser แบบนี้ก็คือว่า ถ้าใช้ 3 ชุด สำหรับ 3 เฟส ราคาจะแพงกว่าใช้ชนิด 3 เฟส จำนวน 1 ชุด นอกจากนั้นระบบ relay จะยุ่งยากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Breaker บางรายอาจติดอุปกรณ์ reclose ไว้ในตัว, สามารถ reclose ตัวเองได้ โดยไม่ต้องอาศัย relay, การ reclose สำหรับ breaker ประเภทนี้มักจะเป็นชนิด single-pole และ single-shot, โดยมากมักใช้กับระบบกระแสไฟ single-phase.

Ratings ของ Circuit Breakers

1. Voltage.

Rated voltage หมายความถึง maximum nominal voltage ของระบบที่จะนำ breaker ไปใช้

Nominal voltage หมายถึง voltage clase ของระบบที่แบ่งแยกไว้เป็นมาตรฐาน

Maximun design voltage หมายถึง voltage สูงสุดตามที่เป็นจริงของระบบ ซึ่งจะนำ breaker ไปใช้

Maximum design voltage หมายถึง voltage สูงสุดที่ใช้เป็นมูลฐานในการออกแบบ circuit breaker

ค่าของ maximum design voltage นั้น หาได้โดยใช้ค่าของ maximum operating voltage บวกเผื่อ variation ไว้เล็กน้อย และบวกเผื่อ voltage regulation อีกประมาณ 10%

Low-voltage circuit breaker มักจะบอกแต่เพียง tated voltage อย่างเดียว และถือว่าเป็นมีค่าใกล้เคียงกับ maximum design voltage

Minimum operating voltage หมายถึง voltage ต่ำที่สุด breaker

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Circuit breaker จะต้องผ่านการทดสอบ เรียกว่า impuose test ซึ่งประกอบด้วย chopped-wave test กับ full-wave test โดยใช้คลื่นความถี่ 1½ micro-mecond มี voltage ตามที่กำหนดไว้ช้างต้นผ่านเข้าไปใน breaker หาก insulation ของ breaker สามารถผ่านการทดสอบไปได้โดยปลอดภัย เรียบร้อย ก็ถือว่ามี BIL เข้ามาตรฐาน และถือว่า breaker จะมีคุณภาพที่ทนต่อ impulse ของ fault และ switching surge กับ lightning ได้โดยปลอดภัย

ในการเลือก breaker มาใช้งานนั้น ข้อที่ควรคำนึงประการหนึ่งเกี่ยวกับ BIL นี้ ก็คือ ควรใช้ breaker ที่มี impulse withstand voltage สูงกว่า voltage level ของ protective equipment เช่น lightning arrester หรือ protective gap เป็นต้น ที่ติดตั้งอยู่ในวงจรในบริเวณเดียวกัน เพื่อว่าเวลาเกิด impulse voltage ขึ้นไม่ว่าในกรณีใด ๆ แล้ว protective oquipment จะป้องกันเอาไว้เสียขั้นหนึ่งก่อน โอกาสที่อันตรายจะเข้ามาถึงตัว breaker จะได้ลดน้อยลง

Air breaker ขนาดเล็ก โดยเฉพาะที่ติดตั้งภายในอาคาร มักไม่จำเป็นจะต้องกำหนด impulse withstand voltage ไว้ทั้งนี้ เพราะ impulse voltage ในวงจรเล็ก ๆ มีไม่มากพอที่จะทำอันตรายแก่ breaker ได้.

3. Frequency Rating ในสหรัฐอเมริกา กำหนด frequency rating ไว้ที่ 60 ไซเกิลต่อวินาที แต่ทางยุโรปและอื่น ๆ กำหนดเป็น 50 ไซเกิลต่อวินาที. ในทางปฏิบัติ ระบบ frequency ทั้ง 2 ระบบนี้ ไม่กระทบกระเทือนต่อการทำงานของ breaker ในประการสำคัญแต่อย่างใด. นอกจาก speed ต่าง ๆ ของ breaker ซึ่งพูดกันเป็นไซเกิล จะเปลี่ยนแปลงไปตามส่วนเท่านั้น, กล่าวคือ 1 ไซเกิลในระบบ 60 ไซเกิล เท่ากับ 1/60 วินาที, แต่ในระบบ 50 ไซเกิล จะเป็นเพียง 1/50 วินาที.

4. Continuous Current Rating คือ ปริมาณสูงสุดของกระแสที่ breaker สามารถจะรับได้เสมอตลอดเวลาโดยอุณหภูมิไม่ขึ้นสูงเกินปกติ หรือพูดสั้น ๆ ก็คือเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

load current ของวงจรที่ breaker จะรับได้โดยปลอดภัยนั่นเอง จาก rating นี้จะหา continuous MVA rating ได้จากผลคูณ $\sqrt{3}$ x (continuous amperes) x (KV rating) และหารด้วย 1,000 เพื่อทำให้เป็น MVA

5. Momentary Current Rating ในขณะเกิด fault หรือ short circuit กระแสไฟในวงจรจะกระโจนพรวดขึ้นถึงจุดสูงสุดในครึ่งไซเกิลแรก คือที่เวลา 1/100 วินาทีที่หลังจากเกิด fault แล้วก็จะลดค่าลงอย่างรวดเร็วในไซเกิลต่อ ๆ มา (ดูรูปที่ 5-23) กระแสนี้เรียก total asymmetrical current ซึ่งแยกออกเป็น A.C. symmetrical component กับ D.C. component สำหรับ A.C. component component จะมีค่าขึ้นลงสม่ำเสมอเป็น sine wave ส่วน D.C. component จะมีค่าสูงสุดตอนแรกเกิด fault และจะลดลงเป็นศูนย์ในไซเกิลต่อ ๆ มา Momentary current มีคำนิยามว่า เป็นค่า rms ของ total asymmetrical current ใน ไซเกิลแรก breaker จะต้องสามารถรับกระแสมีค่าเท่านี้ได้ (ในช่วงเวลา $\frac{1}{2}$ ถึง 1 ไซเกิล หรือ 1/100 ถึง 1/50 วินาที) โดยปลอดภัย

$$\text{Momentary current rating} = \frac{\text{Max. asymmetrical current}}{2}$$

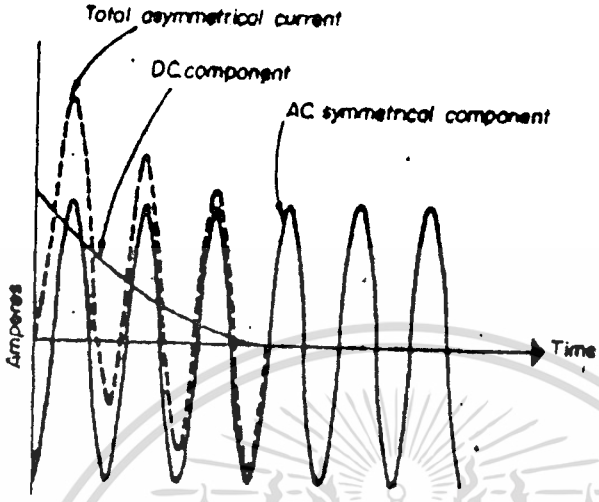
6. Fpur- Second Current Rating. คือ ปริมาณของกระแสที่ breaker สามารถจะทนได้เป็นเวลานาน 4 วินาที โดยปลอดภัย

ปริมาณของกระแสที่ว่านี้ คือ ค่า (rms) ของกระแสที่คำนวณหรือวัดภาย หลังจากเกิด fault แล้วเป็นเวลา 1 วินาทีเต็ม หรือสำหรับ breaker มาตรฐาน ถือว่า

$$\text{Rated four-second current} = \text{Rated maximum interrupting current}$$

$$= \frac{1}{1.6} \times \text{Rated momentary current}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-23. ลักษณะของกระแสขณะเกิด short circuit fault ขึ้นในวงจร กระแสนี้มีลักษณะเป็นคลื่นเรียกว่า total asymmetrical wave ซึ่งแยกได้เป็น A.C. symmetrical component กับ D.C. component

สำหรับ low-voltage breaker ตามปกติจะไม่กำหนด rating นี้ไว้ เพราะ breaker ประเภทนี้มักจะมี direct acting overload trip ประกอบอยู่ด้วยแล้ว

7. Interrupting Current Rating คือ ค่า rms ของกระแสที่เกิดขึ้นในขณะที่ breaker interrupt หรือ อีกนัยหนึ่งในขณะที่ contact ของ breaker พรากจากกัน ซึ่งเป็นเวลาหลังจากเกิด fault แล้ว ประมาณไม่เกิน 8 ไซเกิล อนึ่ง ในกรณีที่ operating voltage ไม่เท่ากับ rated voltage แล้ว จะต้องแก้ค่าเสียตามสูตรนี้

$$\text{Amp. at operating voltage} = (\text{amperes at rated voltage}) \times \frac{\text{rated voltage}}{\text{operating voltage}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Interrupting current นี้ จะขึ้นอยู่กับค่าของ operating duty cycle ของ breaker (ดูข้อ 10) และ recovery voltage ด้วย

8. Interrupting MVA rating หรือ "arc MVA" คือค่า 3-phase MVA ของ breaker ในขณะที่ interrupt คำนวณจากสูตร

$$\text{Rated interrupted MVA} = \frac{(\text{Max. kv design voltage}) \times (\text{interrupting current}) \times 1.73}{1,000}$$

9. Time Rating

Interrupting time คือ ช่วงเวลาระหว่าง trip coil ถูก energise จนถึงกระแสถูก interrupt และเปลว arc ถูกดับสนิท ซึ่งจะเป็นช่วงเวลาอย่างช้าไม่เกิน 8 ไซเกิล หรือ 8/50 วินาทีสำหรับกระแสสลับ 50 ไซเกิล

Reclosing time คือ ช่วงเวลาระหว่าง trip coil ถูก energize จนถึง contract ของ breaker กลับมาสัมผัสกันอีกครั้งหนึ่ง ทั้งนี้ ตามปกติจะใช้เวลาประมาณ 20-30 ไซเกิลหรือประมาณครึ่งวินาที

10. Duty Cycle. เมื่อเกิด fault ขึ้น และ breaker trip ออกแล้ว automatic reclosing จะพยายามสับ breaker กลับเข้าไปใหม่ ซึ่งใช้เวลาประมาณ 20-30 ไซเกิลดังกล่าวมาแล้ว แต่ถ้าหาก fault ในวงจรนั้นยังไม่ clear ออกไป breaker ก็จะ trip ออกอีกเป็นครั้งที่สอง แล้วก็จะสับกลับเข้าไปใหม่อีก และจะเป็นดังนี้ซ้ำกันไปเรื่อย ๆ ตราบเท่าที่ fault ยังไม่ clear ออกไป และ breaker ยังไม่ lock out (คือไม่สามารถจะสับกลับเข้าไปได้อีก) การสับและ trip ชุดหนึ่ง ๆ ดังกล่าวนี้ เรียกว่า unit operation เขียนเป็นระหัสว่า CO (ย่อมาจาก close-open)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลาระหว่าง unit operation ชุดหนึ่ง ๆ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง ก็คือระยะเวลาที่ breaker จะสับครั้งต่อไป หลังจากที่ได้ trip ออกแล้วนั้น จะตั้งให้ช้าเร็วเท่าใดก็สุดแต่ความเหมาะสมหรือความต้องการตามสภาวะของวงจร และมักจะเขียนกันเป็นระหัส เช่นว่า ต้องการใช้เวลาคั่น 15 วินาที ก็เขียน CO + 15 sec. + CO ต้องการใช้เวลาคั่น 1 นาทีก็เขียน CO + 1 min. + CO เป็นต้น ฯลฯ ขบวนการ "ปิด ๑ เปิด " วงจรของ breaker ในลักษณะดังกล่าวมานี้ เรียกว่า operating duty cycle

ได้กล่าวมาแล้วในข้อ 7 ว่า interrupting current rating ของ breaker นั้น ขึ้นอยู่กับ operating duty cycle ประการหนึ่งด้วย ทั้งนี้หมายความว่า breaker ตัวเดียวกัน หากใช้ที่ operating dyty cycle ต่างกัน ค่าของ interrupting current ก็จะต่างกันด้วย ดังนั้น การเทียบ interrupting current rating ของ breaker จึงจำเป็นต้องเทียบที่ operating duty cycle อันเดียวกัน และเพื่อประโยชน์ในข้อนี้ ASA จึงได้กำหนด operating dyty cycle อันหนึ่งขึ้นเป็นมาตรฐาน เรียกว่า standard operating duty cycle ดังนี้

Breaker ขนาดใหญ่ : CO + 15 sec. + CO

Breaker ขนาด 25 KVA ลงมารวมทั้ง low voltage breaker ด้วย : CO + 2 min. + CO

Breaker ใดแจ้ง interrupting capacity มาโดยไม่ระบุ duty cycle ไว้ ก็ถือว่า base บน standard operating duty cycle

อนึ่ง เนื่องจาก breaker ที่ติดตั้งใช้งานจริง ๆ นั้น การตั้ง operating duty cycle มักจะไม่ได้ตั้งตรงตาม standrd ข้างต้นนี้เสมอไป แต่จะตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามความต้องการและเหมาะสมแก่สภาพของระบบ ซึ่งอาจแตกต่างกันไปแต่ละแห่ง แต่ละราย ฉะนั้น ASA จึงกำหนด duty cycle ไว้อีก 3 แบบ เพื่อให้เป็นที่สอดคล้องกับ standard interrupting performance ซึ่งเป็นแบบฉะบับของ Unusual Reclosing Duty Cycle คือ

Reclosing Duty Cycle I : O + 15 sec. + CO + 15 sec
+ CO + 15 sec. + CO

Reclosing Duty Cycle II : O + O sec. + CO

Reclosing Duty Cycle III : O +O sec. + CO + 15 sec
+ CO + 15 sec. = CO

และ reclosing duty cycle เหล่านี้ อาจใช้เป็น basis กำหนด interrupting current rating ของ breaker ได้

Breaker ที่ทราบ interrupting rating ที่ standard operating duty cycle (หรือบางทีเรียก Usaal Reclosing Duty Cycle) นั้น หากต้องการทราบว่าที่ Reclosing Duty Cycle I, IIและ III จะเป็นเท่าใดนั้น NEMA ได้จัดทำ curve สำหรับหา breaker rating factor ไว้ ดังแสดงในรูปที่ 5-24

ตัวอย่าง (1) Breaker ตัวหนึ่งมี interrupting capacity 1,000 MVA 34,5 KV ถ้านำไปใช้ที่ Reclosing Duty Cycle III จะมี interrupting current rating เท่าใด ?

วิธีทำ 1,000MVA นั้นไม่ได้บอก duty cycle ไว้ จึงถือว่าเป็น interrupting capacity ที่ standard operating cycle

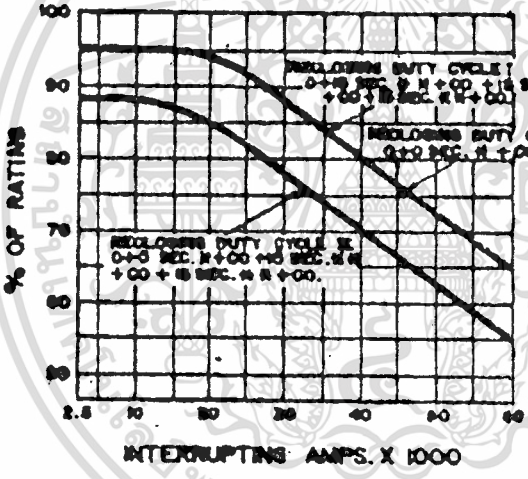
interrupting current หาได้จากสูตร MVA x 1000 $=\sqrt{3}$x KVAxI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉะนั้น $I = \frac{MVA \times 1,000}{\sqrt{3} \times KVA} = \frac{1,000 \times 1,000}{1.732 \times 34.5} = 17,000$ amp.

จาก curve อ่านค่า breaker rating factor ที่ 17,000 แอมแปร์ สำหรับ Reclosing Duty Cycle ได้ 86.5 %

เพราะฉะนั้น interrupting rating ที่ Reclosing Duty Cycle III ของ breaker ตัวนี้จะเท่ากับ 17,000 0.865 15,700 แอมแปร์



รูปที่ 5-24. Curve สำหรับหา breaker rating factor

ตัวอย่างที่ (2) Breaker ตัวเดียวกันนี้ ถ้าเอาไปใช้กับวงจร 23 KV ที่ Reclosing Duty Cucle I จะมี interrupting rating เท่าใด ?

วิธีทำ ในวงจร 23 KV interrupting curfent มีค่า

$$I = \frac{1,000 \times 1,000}{1.732 \times 23} = 25,000 \text{ amp.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก curve จะได้ factor 91.5%

ฉะนั้น interrupting rating ในวงจร 23 KV ที่ Reclesing Duty Cucle I จะเท่ากับ 25,000 0.915 22,900 แอมแปร์

นอกจากนี้ NEMA ยังได้วางกฎเกณฑ์ไว้สำหรับหา interrupting current ของ breaker ณ ที่ duty cycle ต่าง ๆ ที่อยู่นอกตำราออกไป โดยอาศัย curve นี้ และมีการคำนวณประกอบเล็กน้อย. ในที่นี้จะไม่แสดงรายละเอียดวิธีคำนวณ แต่ทว่าจะยกเอาค่าของ factor ที่คำนวณได้มาแสดงพอเป็นตัวอย่างให้เกิด idea ขึ้นเกี่ยวกับค่าของ interrupting current ที่เปลี่ยนแปลงไปตาม duty cycle นี้ตามสมควร เช่น

Breaker มี interrupting current rating 20,000 amperse ที่ standard operating cycle (CO + 15 sce. = CO) จะมี rating factor ที่ duty cycle ต่าง ๆ ดังนี้

Duty Cycle	Interrupting Capacity Rating Factor
Standard Duty Cycle, CO + 15 sec. CO	
Duty Cycle I, O + 15 sec.+ CO + 15 sec. + CO + 15 sec. + CO curve)	94 %
Duty Cycle II, O +O sec. + CO curve)	94 %
Duty Cycle III, O+O sec. + CO + 15 sec. +CO + 15 sec. + CO (curve)	85 %
O + 15 sec. + CO + 15 sec. CO	97 %
O + 15 sec. + CO + 15 sec. + CO + 15 sec. + CO + 15 sec. + CO	88 %
O + 5 sec. + CO	96 %
O + 5 sec. + CO + 5 sec. + CO + 5 sec. + CO	83%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

O + 5 sec. CO + 5 sec. + C	89 %
O + O sec. + CO + 15 sec.+ CO	89.5 %
O + O sec. + CO + 15 sec. CO + 15 sec + CO + 15 sec. + CO	76 %

Duty Cycle ดังแสดงไว้ข้างต้นนี้เป็น duty cycle สำหรับ breaker ขนาดใหญ่ สำหรับขนาดตั้งแต่ 25 MVA continuous capacity ลงมา รวมทั้งชนิด low-voltage ด้วยนั้น NEMA ให้ค่าของ breaker rating factor ไว้ดังต่อไปนี้

	Duty Cycle	Interrupting Capacity Rating Factor
B	CO + 2 min. + CO	100 %
C	CO + 2 min. + CO + 2 min. + CO + 2 min. + CO	70 %
D	Co + 30 sec. + CO + 3 sec. + Co + 30 sec. + CO	60 %
E	CO + O sec. + CO + O sec. + CO + O sec. + CO	25 %
F	300 eyclas Co at 15 min, intervils	30 %
G	CO + O sec. + CO + 30 sec. + CO + 75 sec. + CO	30 %
H	CO +15 sec. + CO + 30 sec. CO + 75 sec. CO	40 %
I	CO + 60 sec. Co + 60 sec. + CO	70 %
J	co + 15 sec. + CO	60 %

จากตัวอย่างที่นำมาแสดงไว้ดังนี้ จะสังเกตได้ว่า (ก) ถ้าตั้งเวลาระหว่าง unit eperating หรือ reclesing time ยิ่งสั้นเท่าใด ก็เท่ากับว่า breaker ทำงานหนักขึ้นเท่านั้น interrupting capacity ก็จะลดลง และในกรณีที่ breaker ทำงานหนักที่สุดก็เมื่อ reclosing time เป็น O หรือเรียกว่า intsetaaeeus reclesing (ข) ยิ่งขบวนของ duyty cycle ยาวเท่าใด breaker

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก็จะทำงานหนักขึ้นเท่านั้น interrupting capacity ก็จะลดลง

อนึ่ง rating factor เหล่านี้มีข้อยกเว้นไม่ใช่กับ molded-case circuit breaker ทั้งนี้ เพราะ breaker ชนิดนี้ ไม่ใช่สำหรับ autematic reclosing.

การแบ่งประเภทของ Circuit Breakers

Circuit Breaker จำแนกประเภทตาม voltage rating ได้ดังนี้

1. Low-Voltage Circuit Breaker คือ ที่ใช้กับวงจรกระแสสลับขึ้นไปถึง 1,500 โวลท์และวงจรกระแสตรงถึง 3,000 โวลท์เป็นอย่างสูง
2. Medium-Voltage Circuit Breaker คือที่ใช้กับวงจรกระแสสลับตั้งแต่ 1,500 โวลท์ ถึง 34,500 โวลท์
3. High-Voltage Circuit Breaker คือ ที่ใช้กับวงจรกระแสสลับตั้งแต่ 34,500 โวลท์ขึ้นไป

อนึ่ง circuit breaker ที่ใช้กับวงจรกระแสสลับ ตั้งแต่ 1,500 โวลท์ขึ้นไป เรียกว่า Power Circuit Breaker

สำหรับประเภทของ circuit breaker นั้น มีประเภทใหญ่ ๆ อยู่ 2 ประเภทคือ (1) oil circuit breaker กับ (2) oil-less circuit breaker ซึ่งแยกออกเป็น air-break circuit breaker กับ air-blast circuit breaker

ต่อไปนี้จะได้อธิบายถึงลักษณะของ breaker ต่อไปนี้ตามลำดับ

(1) Air-Break Circuit Breaker (rating : 120 v - 13.8 KV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Molded-case circuit breaker (120 V - 600 V)

Air-Magnetic circuit breaker (120 V - 13.8 V)

(2) Oil Circuit Breaker (rating : 2.5 KV - 230 KV)

Dead-tank

Impulse (or oil-blast)

Live-tank

Oil-poer (Or minimum-oil or low-oil-content)

(3) Air-Blast Circuit Breaker (rating : 14.4 KV - 500 KV)

(1) Air-break Circuit Breaker

Air-break circuit breaker ตามปกติใช้ติดตั้งภายในอาคารหรือในที่ ๆ มีกำบังจากลมฟ้าอากาศ, มี voltage rating ตั้งแต่ 600 โวลท์ขึ้นไปจนถึง 13,800 โวลท์ แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ molded-case circuit bresker กับ air-magnetic circuti breaker.

Molded-case circuit breaker เป็น breaker ขนาดเล็ก มักจะใช้เป็นตัดตอนสายเมนหรือสายป้อนภายในอาคาร สำหรับไฟแสงสว่าง, appliances หรือมอเตอร์ขนาดเล็ก เช่น ตู้เย็น, เครื่องปรับอากาศ, มอเตอร์สูบน้ำ, มอเตอร์สูบลม เป็นต้น และบัดนี้ในบ้านก็นิยมใช้แทนฟิวส์กันเป็นส่วนมาก เพราะใช้สะดวกและปลอดภัยมากกว่าฟิวส์ มี veltage rating ตั้งแต่ 120 ถึง 600 โวลท์, continueus current rating สูงจนถึง 800 แอมแปร์ และ interrupting current rating ตั้งแต่ 5,000 แอมแปร์ (asymmetrical) สำหรับ 240 V 10 A breaker จนถึง 50,000 แอมแปร์ (asymmetrical) สำหรับ 240 V 800 A breaker.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Breaker แบบนี้ ประกอบติดอยู่ภายในกล่องปลาสติก, โดยฉะเพาะสำหรับขนาดเล็ก ๆ เมื่อชำรุดเสียหายก็ไม่มีการซ่อม นอกจากจะเปลี่ยนใช้ใหม่ทั้งอัน เพราะส่วนประกอบภายในเป็นชิ้นเล็ก ๆ จุกจิก, บอบบางและย้ำประกอบติดกันด้วยรีเวด เพื่อให้มีขนาดเล็กกระทัดรัด ไม่สามารถจะถอดแกะออกมาซ่อมหรือเปลี่ยนชิ้นส่วนได้

Preteciton ของ breaker แบบนี้ มี overload protection เป็นพื้น และมี tripping dovice ต่างกันอยู่ 4 แบบ ดังนี้

1. Thermal trip ทำงานโดยอาศัยความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องด้วยกระแสจาก overload หรือ fault ไปทำให้ thermal element ยืดตัวแล้วผลักดันก้านกระเดื่องให้ contact หลุดแยกจากกัน (breaker trip) ถ้า overload current น้อยก็จะใช้เวลานานหน่อย และถ้า overload current มากก็จะใช้เวลาน้อยลงตามส่วน

2. Magnetic trip ทำงานโดยอาศัยแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเนื่องด้วยกระแสจาก overload หรือ fault ไปดูดก้านกระเดื่องทำให้ contact หลุดแยกจากกัน Magnetic trip นี้ทำงานทันที่เป็น instantanccus trip เมื่อมีแม่เหล็กเกิดขึ้น แต่ก็อาจทำให้มี inverse-time delay คือ ถ้ากระแสมาก trip เร็ว กระแสน้อย trip ช้า โดยเพิ่ม dash-pet หรือใส่พันเฟืองประกอบ สามารถจะ adjust เวลาช้าเร็วตามต้องการได้

3. Thermal-magnetic trip เป็นการนำเอาวิธีการที่ 1 และ 2 ข้างบนนี้มาผสมกัน. ถ้าเกิด overload ขึ้น thermal elemal el จะถ่วงเวลาไว้นานเท่าที่ยังปลอดภัยอยู่แล้วจึงจะ trip แต่ถ้าเกิด fault คือ short-circnit ขึ้นแล้ว magnetic trip จะทำงานทันที่ เป็นการแบ่งหน้าที่ระหว่าง element ทั้ง 2 ชนิดนี้ ทำให้ breaker ใช้งานได้กว้างขวางและเหมาะสมยิ่งขึ้น ในปัจจุบัน breaker ส่วนมากใช้ trip แบบนี้เป็นพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Molded-case breaker ที่ใช้ตัดตอนวงจร feader ย่อยภายในอาคาร มักจะติดเรียงกันเป็นตับบนแผง อย่างเช่นแผง A.C . and D.C. distribution board ใน centrel room ของสับสเตชั่นเป็นต้น ซึ่ง breaker แต่ละอันทำหน้าที่ควบคุมป้องกันและตัดตอนวงจร feeder ที่จ่ายไฟไปตามจุดต่าง ๆ ในสับสเตชั่น

ถ้าต้องการจะใช้เป็น remote contrel ก็อาจติด seloneid หรือกลไกที่ทำงานด้วยมอเตอร์เข้าที่ breaker แล้ว ลากสายไปเข้าสวิช ณ จุดใด ๆ ที่ห่างไกลออกไปได้ อนึ่ง molded-case breaker อาจเพิ่มเติมอุปกรณ์บางอย่างเข้าไปเพื่อให้ได้ใช้งานด้วยความสะดวกและกว้างขวางยิ่งขึ้น เช่น (1) ใช้ shunt-trip และ seleneid ประกอบเพื่อให้ trip breaker ซึ่งติดตั้งห่างไกลจาก load ออกมา (2) ใช้ interleck ประกอบ breaker 2 ตัวที่ติดตั้งเคียงกัน เพื่อว่าเมื่อตัวหนึ่งสับอีกตัวหนึ่งจะต้องเปิดไว้เสมอ (3) ใช้ undervoltage reloase ประกอบเพื่อให้ trip breaker ในเมื่อ voltage ต่ำ หรือไม่มี voltage (4) ติดสัญญาณกระดิ่งหรือหลอดไฟ ให้ดังหรือปรากฏขึ้น เมื่อมีการ trip โดยอัตโนมัติ (5) ติดสวิชพิเศษประกอบ breaker ให้ไปบังคับอุปกรณ์อื่นให้ทำงานสัมพันธ์กับ breaker ตามต้องการ (6) ติด lock บังคับคันโยกให้ lock ไว้ที่ "ON" หรือ "FF" ป้องกันมิให้มีการสับหรือปลด breaker โดยอุบัติเหตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Air-magnetic circuit breaker. มี voltage rating 2.4,4.16,7.2 และ 13.8 KV ซึ่งเป็นย่าน modium voltage และมี continuous current rating ตั้งแต่ 1,200 ถึง 3,000 แอมแปร์, และมี interrupting capacity กับ momentary current rating เป็นชั้น ๆ ไปดังนี้

KV	Interrupting MVA ratiny	Momentary current rating
2.4	100 - 150 - 250	40,000 - 69,000
4.16	75 - 150 - 250	20,000 - 40,000 - 60,000
7.2	250 - 500	51,000 - 70,000
13.8	150 - 250 - 500 - 750 - 1,000	40,000 - 60,000

Breaker ประเภทนี้ใช้ interrupter แบบ air-magnetic และแบบ de-ion air ดังที่ได้อธิบายมาแล้วในหัวข้อเรื่อง

Air-magnetic breaker มีคุณลักษณะดีเด่นในข้อที่ว่า operating mochanism และอุปกรณ์ภายในสร้างขึ้นอย่างง่าย ๆ ไม่จุกจิกซับซ้อนเหมือน oil circuit breaker และ air-blast circuit breaker ฉะนั้น จึงสะดวกแก่การใช้และบำรุงรักษา นอกจากนั้นรูปร่างก็กระทัดรัด ไม่ใหญ่โตเกะกะ จึงเหมาะสมเป็นพิเศษที่จะใช้ประกอบติดตั้งภายใน switchgear แบบ drae-out type.

เกี่ยวกับระบบ pretection ของ breaker ประเภทนี้มักจะมี over-current trip เป็นพื้น โดยมี overcurrent relay ประกอบติดอยู่ภายในเรือน breaker เองเสร็จ. Overcurrent trip มีชนิด time delay หรือ instan- อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือทั้ง 2 อย่างรวมกัน. สำหรับ time delay มี 2 setting คือ long-time dealy กับ short-time delay.

Setting ที่ long-time delay มีความมุ่งหมายเพื่อใช้ trip breaker

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

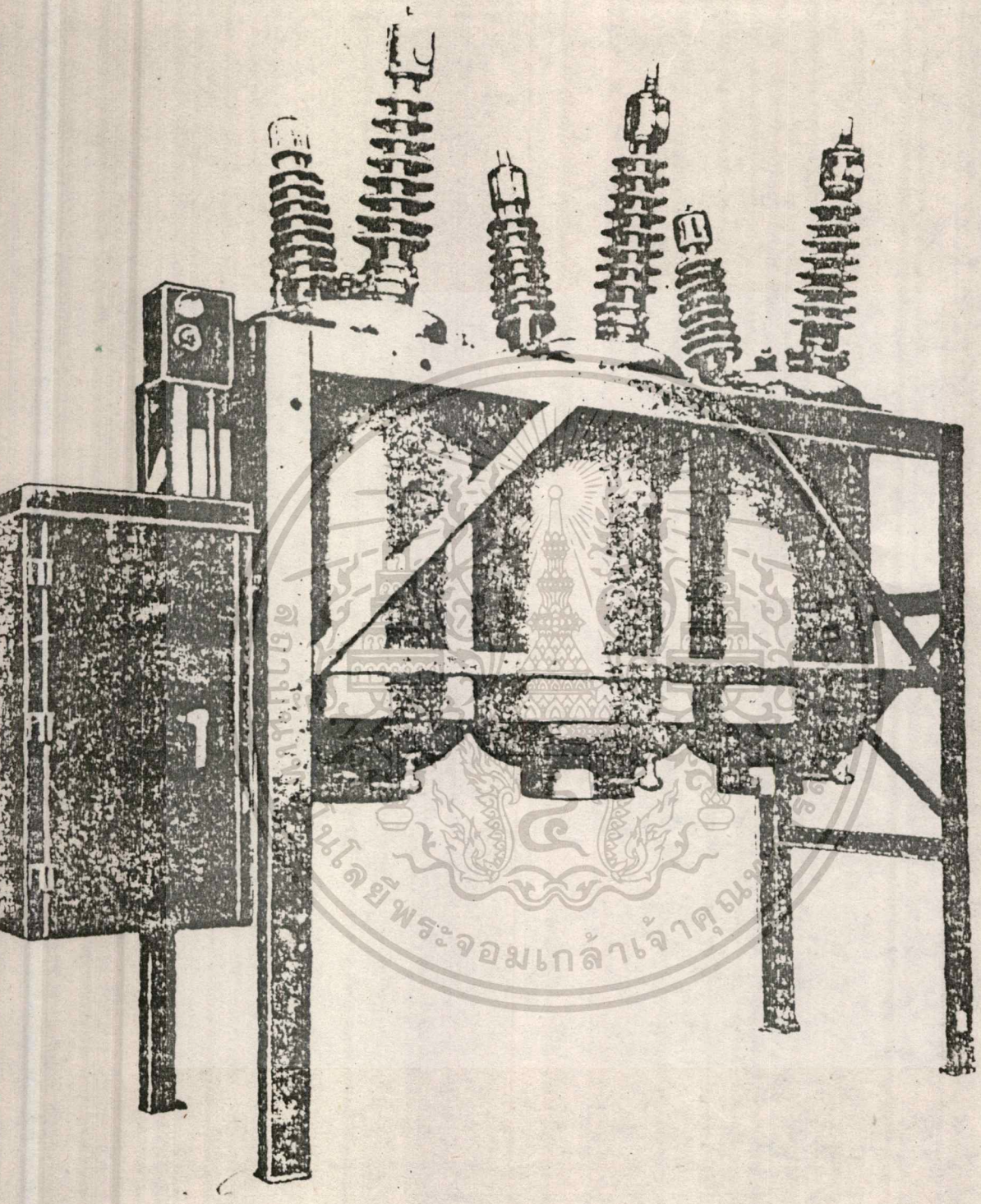
ในกรณีมี overload หรือ short circuit ในวงจรที่มี resistance สูง โดย breaker จะทนกระแสได้ 1-6 เท่าของ rating ปกติ ภายในเวลาที่อาจตั้งได้ระหว่าง 2-3 นาที ลงมาจนถึง 2-3 วินาที

Setting ที่ short-time delay มีความมุ่งหมายให้ breaker trip เร็วขึ้น ซึ่งอาจตั้งเวลาได้ตั้งแต่ 3-12 ไซเกิล (0.06 - 0.24)

ส่วน setting ที่ instantanecous trip นั้น มุ่งหมายจะให้ breaker trip ทันทีในกรณีที่เกิด fault ในวงจร ซึ่ง fault current อาจสูงตั้งแต่ 6-15 เท่าของ rating ปกติ.

นอกจาก overcurrent trip ดังกล่าวมาแล้ว ก็อาจมี low voltage trip, shunt trip ซึ่งต่อไปเข้า overse current reverse cruuent หรือ overcurrent relay หรือมีฉะนั้นก็ overspeed device หรือ control switch สุดแต่จะต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-25. 69 KV Oil power circuit breaker

(G.E. type FK)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) Oil Power Circuit Breaker

หลักการของ oil circuit breaker โดยทั่วๆ ไป ก็คือ ขบวนการ interruption เกิดขึ้นภายในน้ำมัน ดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อเรื่อง interruption.

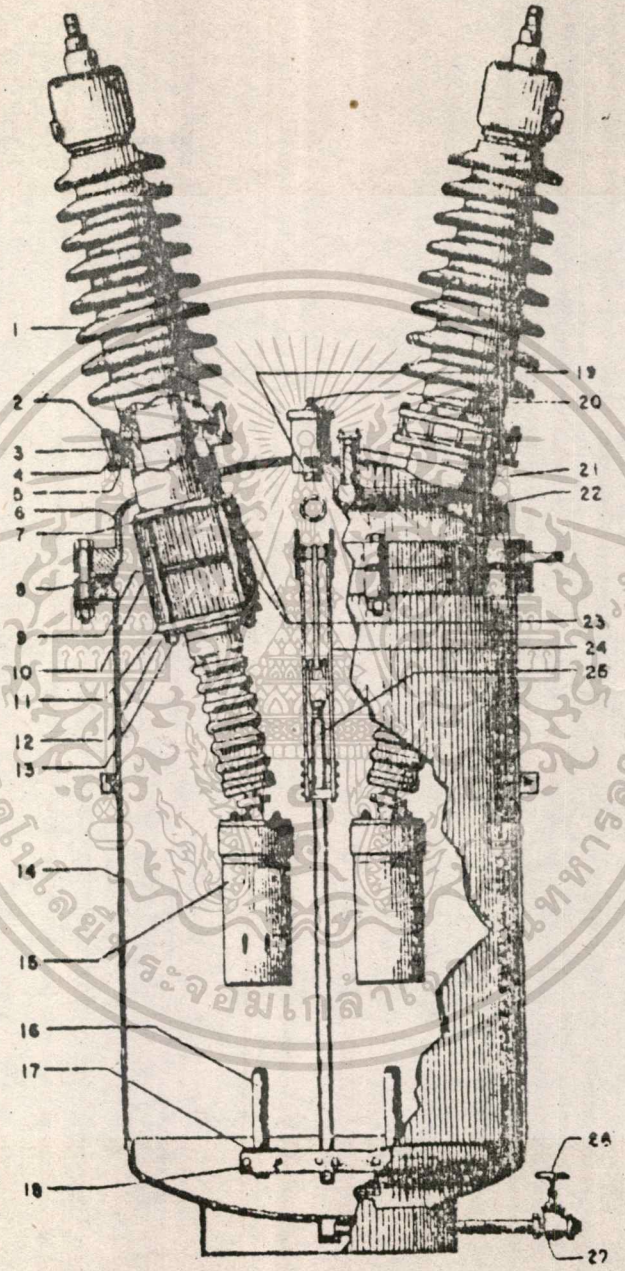
รูปที่ 5-25 และ 5-26 แสดงลักษณะภายนอกและภายในของ oil circuit breaker ตามลำดับ ซึ่งเรียกว่า แบบ full oil หรือ bulk oil หรือ dead-tank, แบบนี้เป็นแบบรุ่นแรกที่สุดของ oil circuit breaker แต่ก็ยังคงเป็นแบบนำหน้าอยู่ในปัจจุบัน. ลักษณะอันเป็นแบบฉบับของ breaker แบบนี้ก็คือ interrupter ของbreaker อยู่ภายในเหล็กใหญ่บรรจุน้ำมันอยู่เต็ม. ถ้าเป็นขนาดไม่เกิน 15 K.V และ 500 MVA interrupting capacity แล้ว ก็ใช้ถังใหญ่ถังเดียวบรรจุไว้ทั้ง 3 เฟส เลย เรียกว่า single-tank breaker. ถ้า voltage และ interrupting สูงกว่านี้ ก็มักจะใช้ถังละเฟสเป็น 3 ถังด้วยกัน เรียกว่า multi.tank breaker.

รูปที่ 5-27 แสดงรูปตัดให้เห็นชิ้นส่วนภายในของ interrupter.

Oil circuit breaker อีกแบบหนึ่งเรียกว่า แบบ live-tank ส่วนที่บรรจุน้ำมันเป็นกระบอกเหล็กขนาดย่อม ๆ มี flerible contact ติดอยู่ภายในที่ก้นกระบอกล่าง contact ตัวบนเป็นก้านยาวเลื่อนขึ้นเลื่อนลงมาสัมผัสแนบแน่นกับอันล่าง เพื่อให้กระแสไฟเกินผ่านตลอด และตัวกระบอกตัวจะกลายเป็น conductor มีกระแสไฟไหลผ่านเป็นส่วนหนึ่งของวงจรไปส่วนใต้กระบอกนั้น มี insulator เป็น support รองรับยึดติดกับโครงไว้ วิธีการดับ arc ของ breaker ชนิดเอาหลักการ oil-blast มาใช้ และโดยที่กระบอกนี้มีกระแสไฟไหลผ่าน เมื่อ breaker close ฉะนั้น breaker จึงได้เชื่อว่า live-tank breaker แตกต่างไปจากแบบ dead-tank ซึ่งตัวถังไม่มีกระแสไฟไหลผ่าน เพราะมีน้ำมันเป็น insulator กั้นอยู่

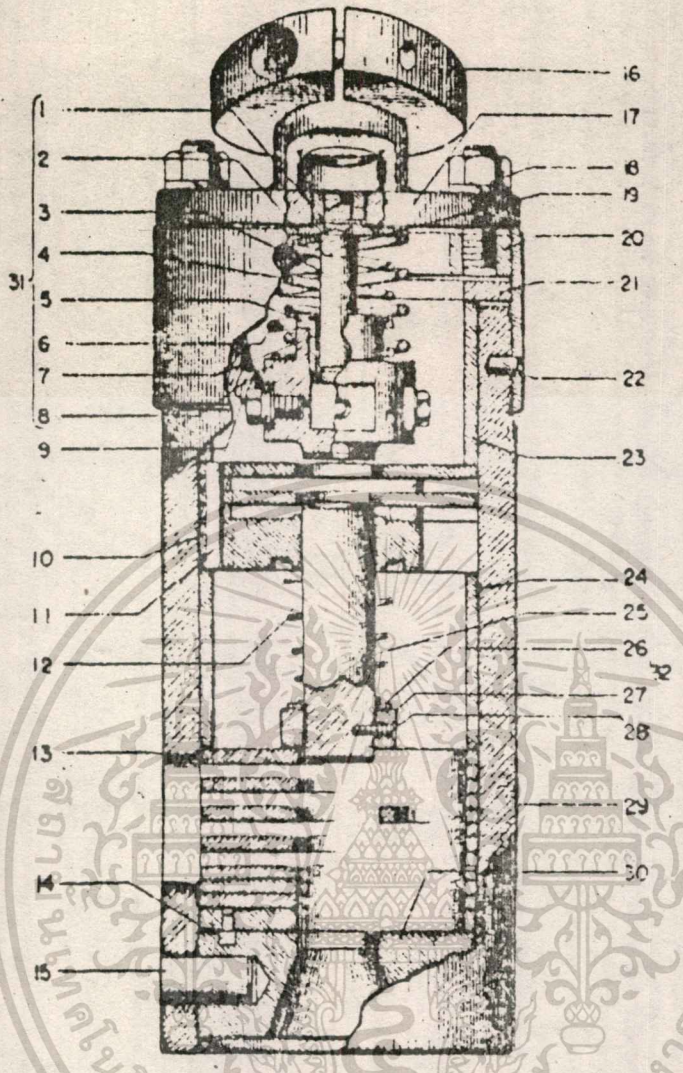
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) BUSHING
2) MOUNTING BOLT
3) ADAPTER RING
4) ADAPTER GASKET
5) FRAME GASKET
6) TOP FRAME
7) INSULATION WASHER
8) TANK GASKET
9) INSULATION WASHER
10) INSULATION SUPPORT
11) SPACERS
12) SUPPORT PLATE
13) ASSEMBLY STUD
14) OIL TANK
15) INTERRUPTOR
16) CONTACT ROD
17) CONTACT BLOCK
18) CROSS BAR
19) CLOSING BUFFER
20) BREATHER
21) OIL CAGE
22) FILL PIPE
23) CURRENT TRANFORMERS
24) LIFT ROD GUIDE
25) LIFT ROD
26) DRAIN VALVE
27) SAMPLING DEVICE



รูปที่ 5-26 แสดงส่วนประกอบของ oil circuit breaker (G.E.type FK)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1. Locking Pin
2. Spring Retainer
3. Guide Post
4. Inner Spring
5. Guide Bushing Assembly
6. Outer Spring
7. Bushing Insert
8. Upper Contact
9. Contact Lead
10. Upper Baffle
11. Upper Baffle Pin
12. Intermediate Spring
13. Lower Baffle
14. Locating Pin
15. Throat Pin
16. Clamping Pin
17. Adapter
18. Assembly Nut
19. Contact Lead Screw
20. Support Ring
21. Locking Ring
22. Dowel Pin
23. Upper Insulating Tube
24. Lower Insulating Tube
25. Intermediate Contact
26. Stop Washer
27. Stop Collar
28. Set Screw
29. Outer Tube
30. Throat Bushing
31. Upper Contact Assembly
32. Intermediate Contact Assembly

รูปที่ 5-27 รูปตัด interrupter ของ oil circuit treaker แสดงชิ้นส่วนต่าง ๆ ภายใน (G.E. type FK)

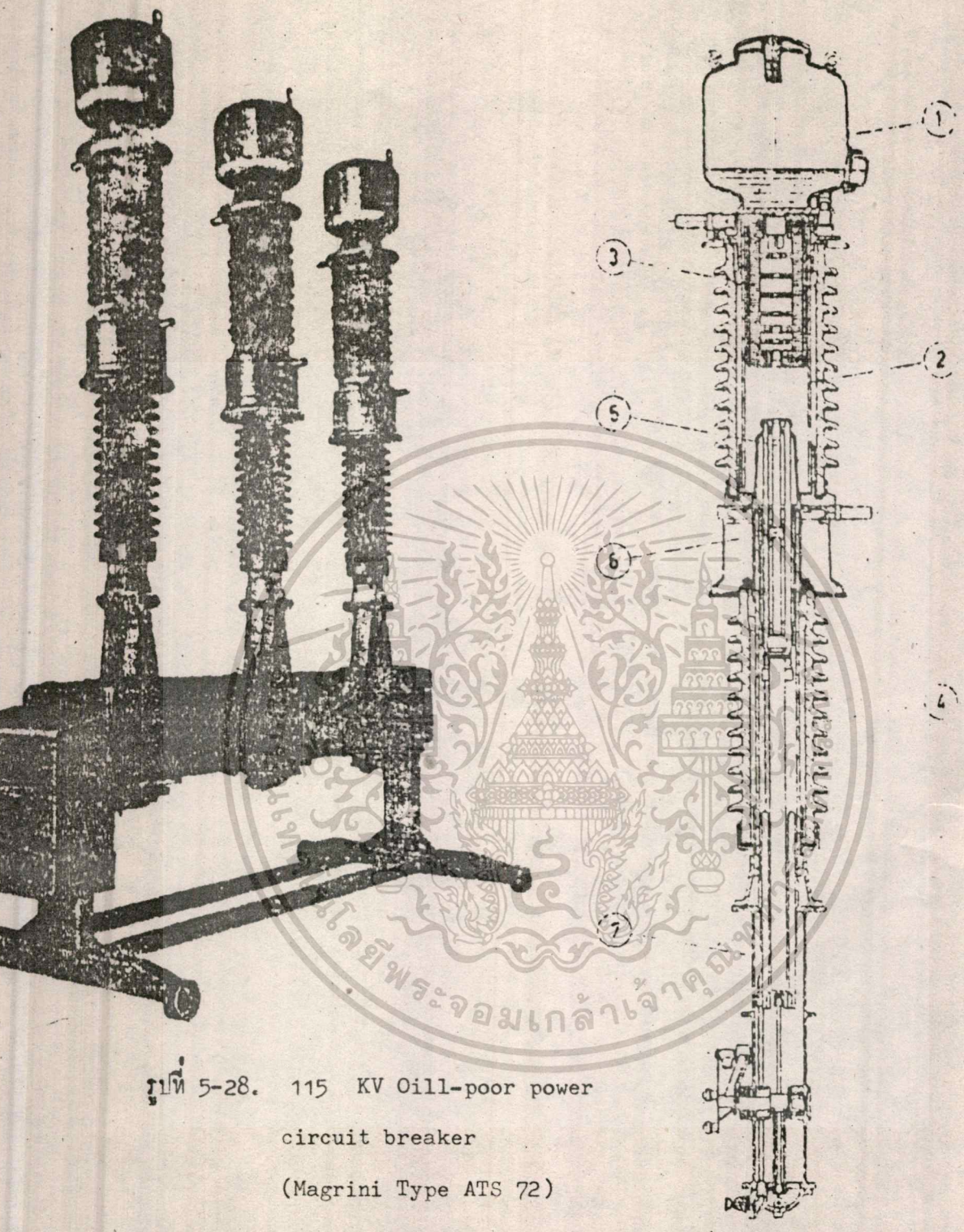
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Oil-poor breaker เป็น live-tank breaker แบบพิเศษ ซึ่งใช้น้ำมันน้อยที่สุด บางทีก็มีผู้เรียกว่า minimun-oil breaker หรือ low-content-oil breaker หรือ small-oil-volume breaker เป็น breaker ที่รู้จักกันดีในยุโรป แต่ในสหรัฐอเมริกายังไม่เป็นที่แพร่หลายหลายนัก Breaker แบบนี้ใช้น้ำมันประมาณ 1 ใน 10 ของปริมาณใน oil breaker แบบธรรมดา และจากจำนวนนี้ก็ใช้จริง ๆ เพียง 1 ใน 10 เท่านั้น สำหรับดับ arc

การดับ arc ของ oil-poor breaker ใช้หลักการของ oil-blast โดยมีลูกสูบทำงานด้วยสปริงทำการอัดฉีดน้ำมันอย่างแรง คุณลักษณะดีเด่นของ breaker นี้ก็คือ เนื่องจากใช้กำลังทางกล (คือสปริง) ไปทำการอัดฉีดน้ำมัน ฉะนั้น จึงไม่จำเป็นต้องรอการอุบัติของ arc เพื่อให้เกิด high-pressure gas ที่จะมาฉีดน้ำมันอีกต่อหนึ่ง ทั้งนี้จะทำให้การ interrupt เป็นไปโดยฉับพลันทันที. นอกจากนี้แล้ว การ interrupt กระแสไม่ว่าจะมากหรือน้อยก็ถูกทำได้ภายในเวลาอันสั้นเหมือน ๆ กันด้วย

กล่าวโดยทั่วไปแล้ว ในบรรดา circuit brcaker ประเภทต่าง ๆ นั้น oil circuit breaker นับว่ามีภาษีดีกว่าประเภทอื่น ๆ อยู่หลายประการ. Oil circuit breaker มีลักษณะการสร้างอย่างง่าย ๆ ชิ้นประกอบและกลไกต่าง ๆ ไม่จุกจิกซับซ้อนเท่าประเภทอื่น สำหรับน้ำมันนั้นเป็นฉนวนที่ดีเลิศอยู่แล้ว และการอัดฉีดน้ำมันนี้ให้กระจายตัวออกไปก็เป็นวิธีที่ดีที่สุดที่จะให้น้ำมันดึงดูดเอาพลังงานโดยรอบมาอุ้มไว้ในตัว จึงนับว่าเหมาะสมแล้วกับการนำมาใช้ในการดับ arc แต่อย่างไรก็ตาม oil circuit breaker ก็มีส่วนเสียอยู่บ้าง ประการแรก น้ำมันนั้นจะเพิ่มภาระให้ในการที่จะต้องทำการตรวจสอบเป็นประจำ, ถ้าน้ำมันสกปรกหรือคุณภาพทางฉนวนตก ก็จะต้องจัดการกรองใหม่. ประการที่สอง น้ำมันจะเพิ่มน้ำหนักให้ breaker โดยฉะเพาะอย่างยิ่ง breaker แบบ tank-type. ประการที่สาม oil circuit breaker ชนิดจะสร้างมาในลักษณะเป็น explosion-proof ดีอย่างไร ก็จะต้องคำนึงถึงอันตรายจากอัคคีภัยไว้ด้วย ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-28. 115 KV Oill-poor power circuit breaker (Magrini Type ATS 72)

(1) Top expansion chamber
(2) Upper section
(3) Interrupting chamber
(4) Lower section
(5) Moving contact
(6) Roller contact
(7) Operating Mechanism chamber

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ oil circuit breaker ในที่ ๆ อัคคีภัยจากน้ำมันจะแผ่กระจายตัวออกไปได้ จึงควรระงับหรือมิฉะนั้นจะต้องจัดเตรียมป้องกันไว้อย่างพอเพียง

Voltage rating มาตรฐานของ oil circuit breaker มีตั้งแต่ 2.5 ถึง 69 KV (สหรัฐอเมริกาใช้ neminal rating 2.5, 4.16, 7.2, 13.8, 14.4, 34.5, 46. และ 69 KV) และที่สูงกว่านี้ไปจนถึง 230 KV ก็มีแต่เป็นจำนวนน้อย ในยุโรปสร้าง oil-poor breaker ตั้งแต่ 60 ถึง 150 KV nominal rating, 2,500 - 5,000 MVA interrupting capacity.

Oil circuit breakerชนิดตั้งแต่ 34.5 ขึ้นไป มักเป็น outdsor type, ชนิดต่ำกว่านี้จะเป็น indoer tyne, ส่วนชนิดที่ติดแผง seitchgear นั้น มักเป็นชนิดตั้งแต่ 4.16 KV ลงมา. Oil circuit breaker ชนิด 69 KV มี continneus current rating อย่างสูงถึง 2,000 แอมแปร momentary current rating 49,000 แอมแปร์ และ interrupting capacity 3,500 KVA สำหรับ rated interrupting time ปกติแล้ว 8 ไซเกิล แต่ในการใช้งานจริง ๆ มักใช้ 3ฐ4 หรือ 5 ไซเกิล

ขั้วของ breaker สำหรับต่อสายไฟเข้า breaker นั้น เรียกว่า bushing มีลักษณะภายนอกเป็นลูกถ้วยเนื้อเดียวซ้อนเป็นชั้น ๆ Bushing นี้มี 2 แบบ คือ แบบธรรมดา (plain precolain) สำหรับ voltage range ในย่านต่ำ กับแบบ condenser สำหรับ voltage range ในย่านสูงขึ้นไป

น้ำมันสำหรับ oil circuit breaker นั้น ใช้น้ำมันชนิดเดียวกับน้ำมันสำหรับหม้อแปลง ซึ่งจะต้องมีคุณลักษณะทั่ว ๆ ไป คือ

Flash point	133°C
Burning point	148°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Freeging point	- 40° C
Viscenity point	57 sec.
Celer	Pale amber, cleae

Dielectric strangth ของน้ำมัน เมื่อทดสอบโดย A.C. voltage breakeown test ขนาดหน้าจาน 1 นิ้ว ตั้งห่างกัน 1/10 นิ้ว จะต้องไม่น้อยกว่า 30 การตรวจสอบคุณภาพน้ำมันควรจะกระทำหลังจากมีการ interruption อย่างรุนแรงทุกครั้ง และสำหรับกรณีปกติก็ควรจะกระทำประมาณปีละครั้ง หากปรากฏว่าน้ำมันมีผงเขม่าหรือ dielectric ต่ำกว่า 16.5 KV จะต้องทำการกรองและทดสอบให้ได้ตามที่กำหนด

(3) Air-Blast Power Cironit Breaker

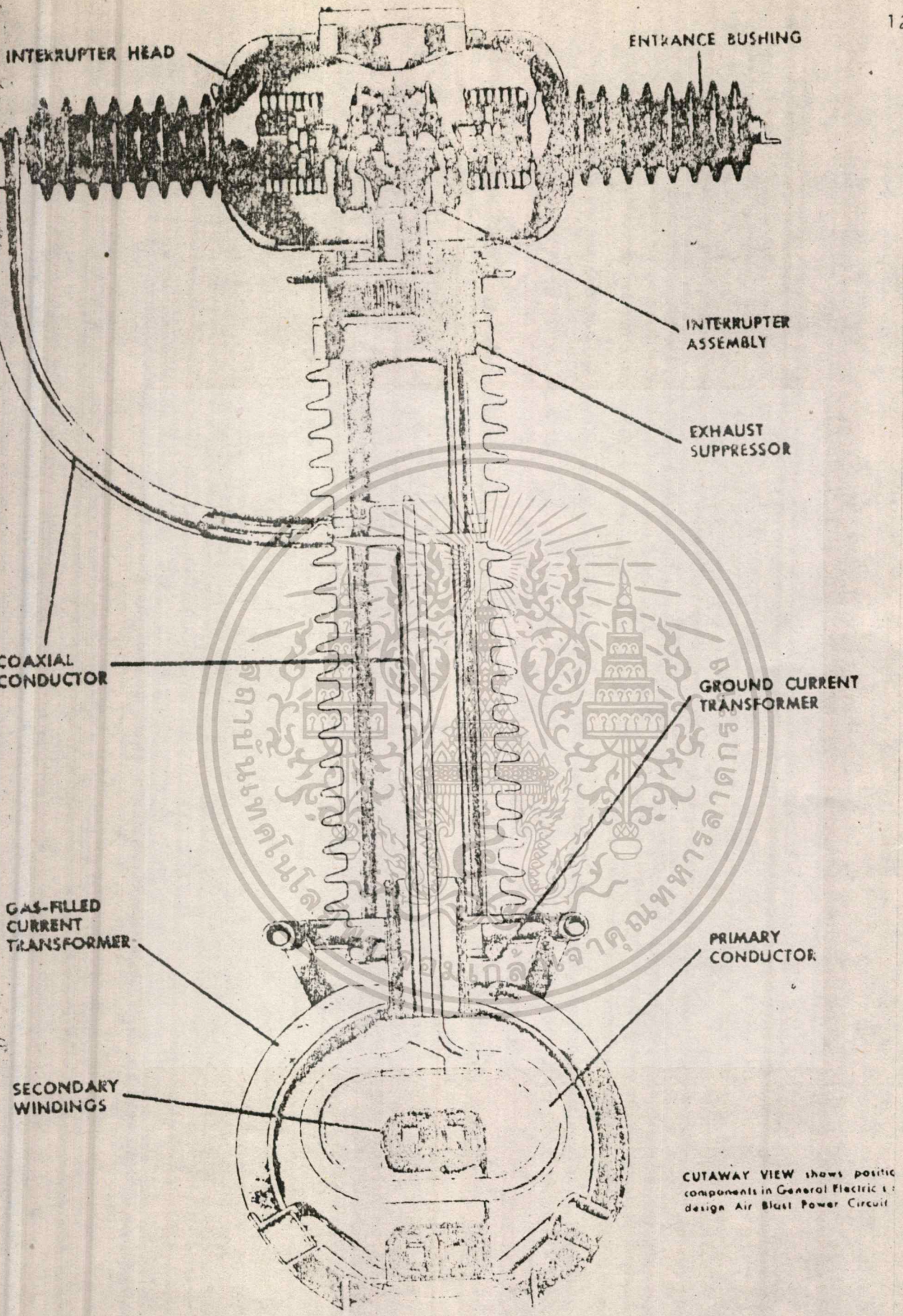
หลักการของ air-blast circuit breaker คือใช้กำลังลมอัดไปทำการดับ arc. มี voltage rating ตั้งแต่ 14.4KV ขึ้นไป ซึ่งปัจจุบันนี้ถึง 500KVแล้ว หากติดตั้ง indeer ก็มักจะใช้ชนิด voltage อย่างสูงไม่เกิน 34.5 KV, สูงกว่านี้จะติดตั้งกลางแจ้งทั้งหมด

Interrupting capacity ของ air-blast circuit breakerจะเริ่มตั้งแต่ 1,000MVA ที่ 14.4 KV เป็นขนาดเล็กที่สุดขึ้นไป จนถึง 25,000 MVA ที่ 330 KV แบะในปัจจุบันที่สูงกว่านี้ก็ขึ้นไปจนถึง 35,000 MVA แล้ว

สำหรับหลักการดับ arc ของ breaker ประเภทนี้ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อเรื่อง interruption.

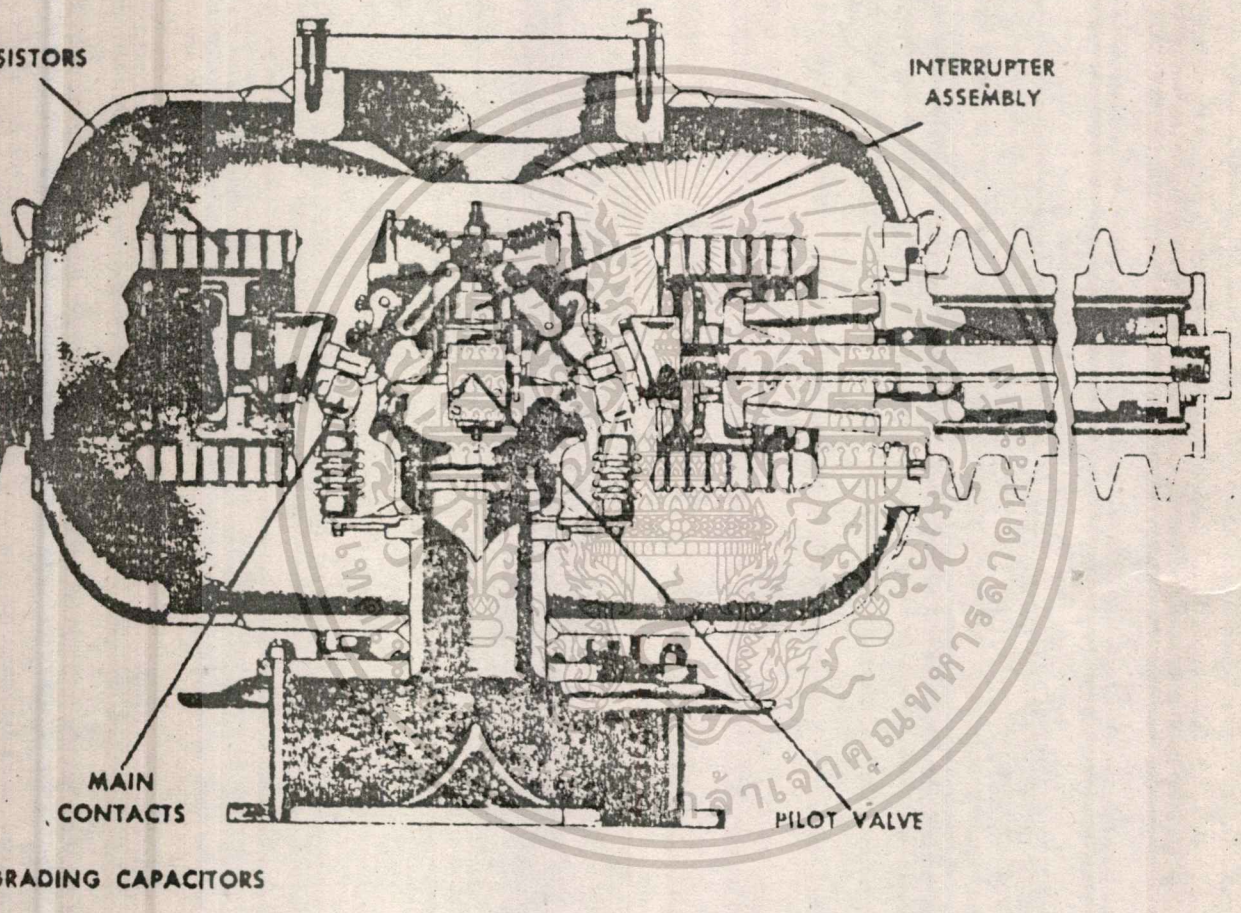
รูปที่ 5-29 และ 5-30 เป็นรูปตัดแสดงชิ้นส่วนภายในของตัว air-blast breaker และของ interrupter ตามลำดับ ซึ่งกรณีนี้มี interruptor ชุดเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



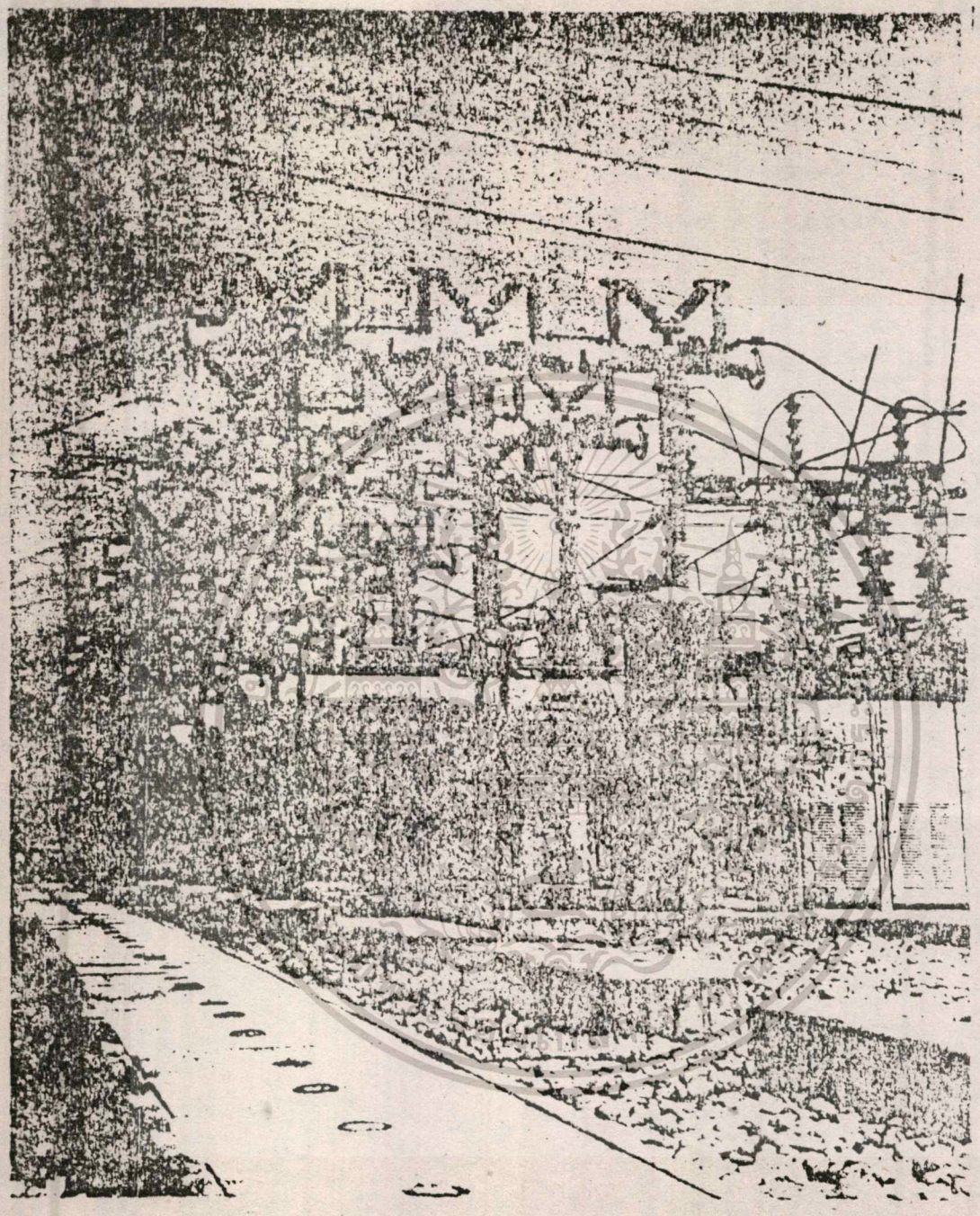
รูปที่ 5-29 รูปตัดของ air-blast circuit breaker (G.E. type FK)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



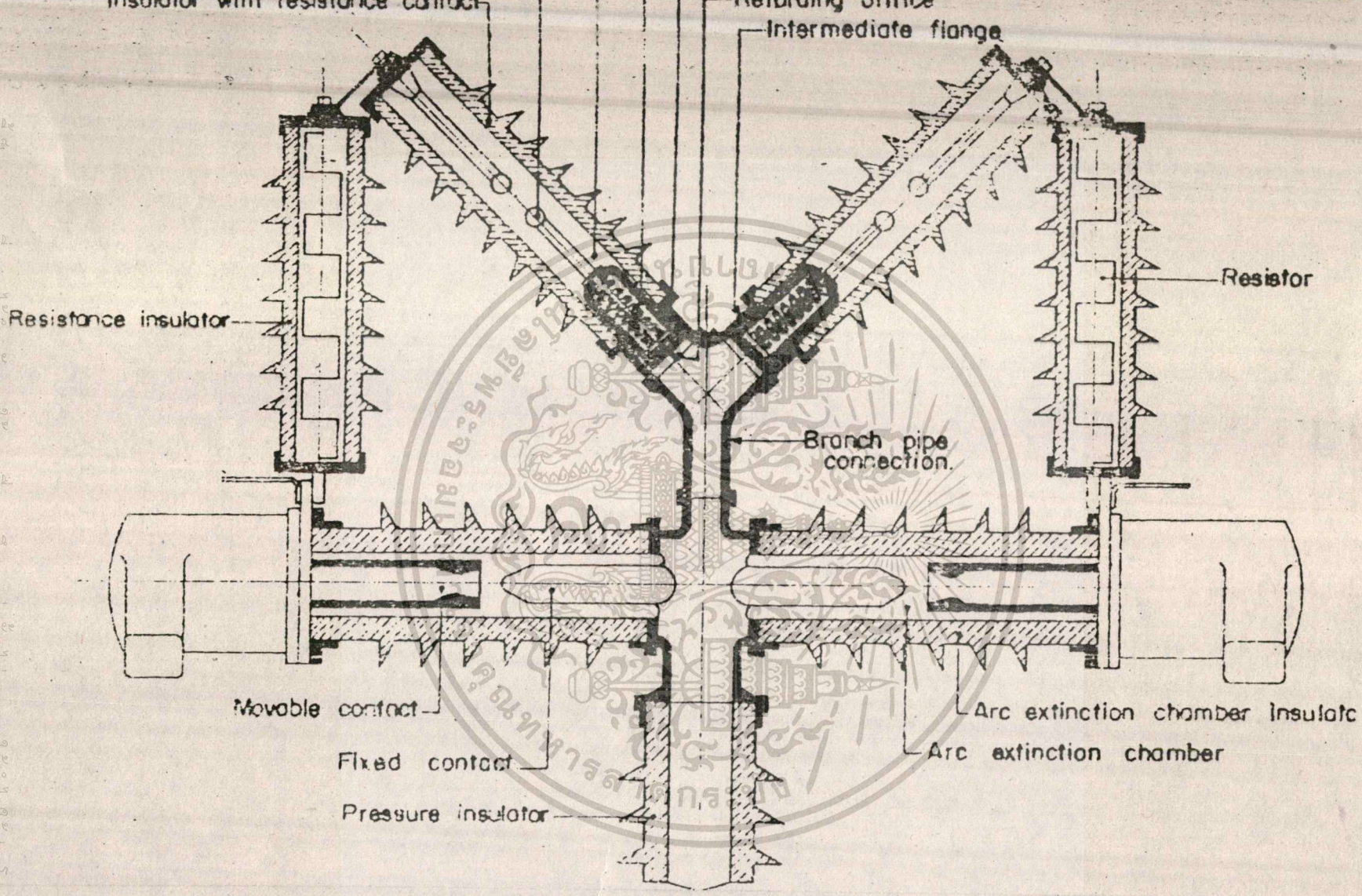
รูปที่ 5-30. แสดงชิ้นส่วนภายใน interrupter
ของ air-blast circuit breaker ตามรูปที่ 5-29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-31. 230 KV Air-blast power circuit breaker ที่สับสเตชั่นพระนครเหนือ (Rromn Rcveri Type DHVF)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-32 ชิ้นส่วนภายใน Interrupter ของ

230 KV. Branch Boveri oir-blast power crcuit breaker type DHVF.

รูปที่ 5-31 แสดง 230 KV air-blast circuit breaker ซึ่งติดตั้งอยู่ ณ สับสเตชั่นพระนครเหนือ ซึ่งชิ้นส่วนภายในได้แสดงในรูปที่ 5-32 แล้ว

ความมีภาษีของ air-blast circult breaker ที่เหนือกว่า oil circuit breaker นั้น พอจะสรุปได้ดังนี้ (ก) กรรมวิธี interruption ของ air-blast breaker เกิดขึ้นในบรรยากาศของลมอัดซึ่งเป็นวัสดุยืดหยุ่นได้ (elastic gas), ฉะนั้น ในขณะที่มี interruption ความกระทบกระเทือนจาก shock จึงน้อย ส่วน oil breaker นั้น interruption เกิดขึ้นในน้ำมัน ซึ่งมีความยืดหยุ่นน้อยกว่าอากาศ ฉะนั้นshock จึงมีมาก (ข) เมื่อ interruption ได้ผ่านไปแล้ว บรรดาเขม่าหรือเศษผงจะถูกcompressed air พ่นออกมาภายนอกทันที่ arc chamber จึงสะอาด (สำหรับ oil circuit breaker นั้น เขม่าและเศษผงจะค้างอยู่ในน้ำมัน ทำให้น้ำมันสกปรก จึงต้องตรวจสอบคุณภาพน้ำมันเป็นประจำ) (ค) ระยะห่างระหว่าง contact ที่เรียกว่า contact gap นั้น อาจทำให้ใกล้ชิดกันได้ เพราะ compressed air สามารถแทรกซอนผ่านได้สะดวกกว่าน้ำมัน (ง) Oil circuit breaker นั้น ถ้ามี rating สูงขึ้น ก็ต้องเปลี่ยนขนาดชิ้นส่วนไปทุก ๆ ชิ้น โดยฉะเพาะอย่างยิ่งถังน้ำมันและจำนวนน้ำมันจะต้องใหญ่มากขึ้น ส่วน air-blast breaker นั้น มักสร้างในวิธีที่เรียกว่า unit construction คือ ชิ้นส่วนแทบทุกชิ้นสร้างเป็นมาตรฐานไว้ ถูกต้องที่ต้องการขนาดใหญ่ขึ้นไป ก็เพียงแต่เพิ่มจำนวนชิ้นส่วนเข้าไป ฉะนั้น oil breaker ขนาดยิ่งใหญ่ ราคาก็ยิ่งแพงกว่า air-blast preaker เพราะต้องเปลี่ยน design ทั้งหมด ส่วน air-blast breaker นั้น design คงเดิม ขั่วแต่เพิ่มจำนวนชิ้นส่วนเข้าไปเท่านั้น ในแง่ของผู้ใช้ ก็ได้รับความสะดวกในแง่การติดตั้ง การ operate, การ mein-tain ตลอดจนการสำรองชิ้นอาไหล่

โดยเหตุดังได้กล่าวมาแล้วนี้ ใน voltage rating interrup-ting capacity สูง ๆ ความนิยมจึงหันไปทาง air-blast pover circuit breaker

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การคำนวณค่าของ fault

(Fault Current Determination)

การวัดวางแผนเพื่ออำนวยความปลอดภัยให้แก่ระบบหรือ system protection นั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบขนาดของ fault current เป็นเบื้องแรก ฉะนั้น ในการจัดตั้งหรือขยายระบบ power system ใด ๆ จึงต้องมีการคำนวณหา fault current หรือ fault level โดยสมมติว่ามี fault เกิดขึ้นในจุดต่าง ๆ ของระบบ, แล้วนำค่าสูงสุดที่จะพึงเป็นไปได้มาพิจารณา.

การคำนวณหา fault current กระทำได้โดยไม่ยากนัก หากแต่ว่าออกจะมีวิธีการที่ยาวต้องอาศัยเวลามากอยู่สักหน่อย, โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับ power sustem ที่ใหญ่ ๆ และซับซ้อน (complex) นั้น บางทีการคำนวณโดยวิธี "คิดเลข" อย่างธรรมดาจะกินเวลานานและอาจผิดพลาดได้ง่าย , ดังนั้น จึงมักจะต้องอาศัยเครื่องคำนวณที่เรียกว่า network calculator เข้าช่วย ซึ่งสามารถจะให้คำตอบแน่นอนและรวดเร็ว ไม่ว่าระบบ power system นั้น จะยุ่งยากซับซ้อนเพียงใด. อย่างไรก็ตาม การคำนวณแบบ "คิดเลข" ก็ไม่ใช่ว่าจะทิ้งกันไปเสียเลยทีเดียว, ในบางกรณีเราอาจใช้เป็นการคำนวณตรวจสอบเบื้องต้น พอทราบค่าต่าง ๆ อย่างหยาบ ๆ ได้ และเมื่อปรากฏว่าจุดใด fault จะทำให้เกิดสถานะร้ายแรงต่อระบบแล้ว ก็จะนำเอาสภาพนั้นมาสำรวจตรวจสอบและคำนวณกันอย่างละเอียดถี่ถ้วนต่อไป

- fault ที่เกิดขึ้นในระบบ จำแนกออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ดังนี้

1. Chree-phase fault
2. Single-line-to-ground fault
3. line-line fault
4. Bouble-line-to-ground fault
5. One line open

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Two lines open

ในบรรดา fault เหล่านี้ line-to-ground fault มีประมาณ 40 % line-to-line fault ประมาณ 30% และ three-phase fault ประมาณ 25% นอกนั้นเป็น fault ประเภทอื่น ๆ Fault ที่ทำให้เกิด fault current ได้มากที่สุดและอาจเป็นอันตรายแก่ระบบได้มากกว่า fault ประเภทอื่น ๆ ก็คือ three-phase fault. ในบางกรณี ground fault current อาจมากกว่า three-phase fault current ก็ได้ แต่ทั้งนี้ถือเป็นกรณีพิเศษซึ่งโอกาสที่จะเกิดขึ้นมีน้อยจนไม่จำเป็นต้องกังวลถึง

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ปริมาณ fault current มากน้อยเพียงใดนั้น ก็คือ impedance ในระบบนั่นเอง. ในกรณีปกติ (หรือในภาวะของ power system เรียกว่า balanced และ sysmmetrical system) นั้น กระแสในวงจรจะคำนวณได้จากกฎของ Ohm คือ I = E/Z. อย่างไรก็ตาม หากเกิด fault ขึ้นในระบบแล้ว ระบบ power system จะเข้าสู่สภาพ unbalanced หรือ unsymmetrical ซึ่งการคำนวณจะซับซ้อนขึ้นเนื่องจากว่า reactance ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและมอเตอร์อยู่ในระบบจะเปลี่ยนค่าอย่างรวดเร็วในทันทีที่เกิด fault ขึ้น จนกระทั่งเมื่อระยะเวลาช่วงหนึ่งผ่านไปแล้ว จึงจะกลับคืนสู่ค่าเดิมที่เรียกว่า steady-state reactance, ซึ่งในระยะนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (synchroncus generater) ก็จะยังคงถูกขับหมุนและจ่ายกระแส steady-state current ต่อไป จนกระทั่ง fault ถูกปลดออกจากระบบ. นอกจากนั้น หากในระบบมี synchronous moter อยู่ด้วย, inortia ของ load ก็จะพา synchrenous motor หมุนต่อไป. กลายสภาพเป็น generator อีกเครื่องหนึ่งที่พลอยจ่ายกระแสไปสู่ fault อีกทางหนึ่งด้วย.

เพื่อประโยชน์ในการคำนวณ, ได้มีการแยกแยะ reactance ที่มีค่าไม่คงที่นี้ออกเป็น 3 ระยะด้วยกัน, ใช้สัญญลักษณ์ และเรียกชื่อต่างกันดังนี้.-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X''_d = suptransient reactance, เป็น reactance ที่จะกำหนดค่าของกระแสในไซเกิลแรก (0.02 วินาที) หลังจากเกิด fault และภายในเวลา 0.1 วินาทีให้หลัง subtransient reactance นี้จะเพิ่มค่าขึ้นเป็น X'_d

X'_d = transient reactance, ซึ่งจะมีค่าอยู่อีกประมาณ 1.5 ถึง 2 วินาที แล้วจะเปลี่ยนค่าเป็น X_d

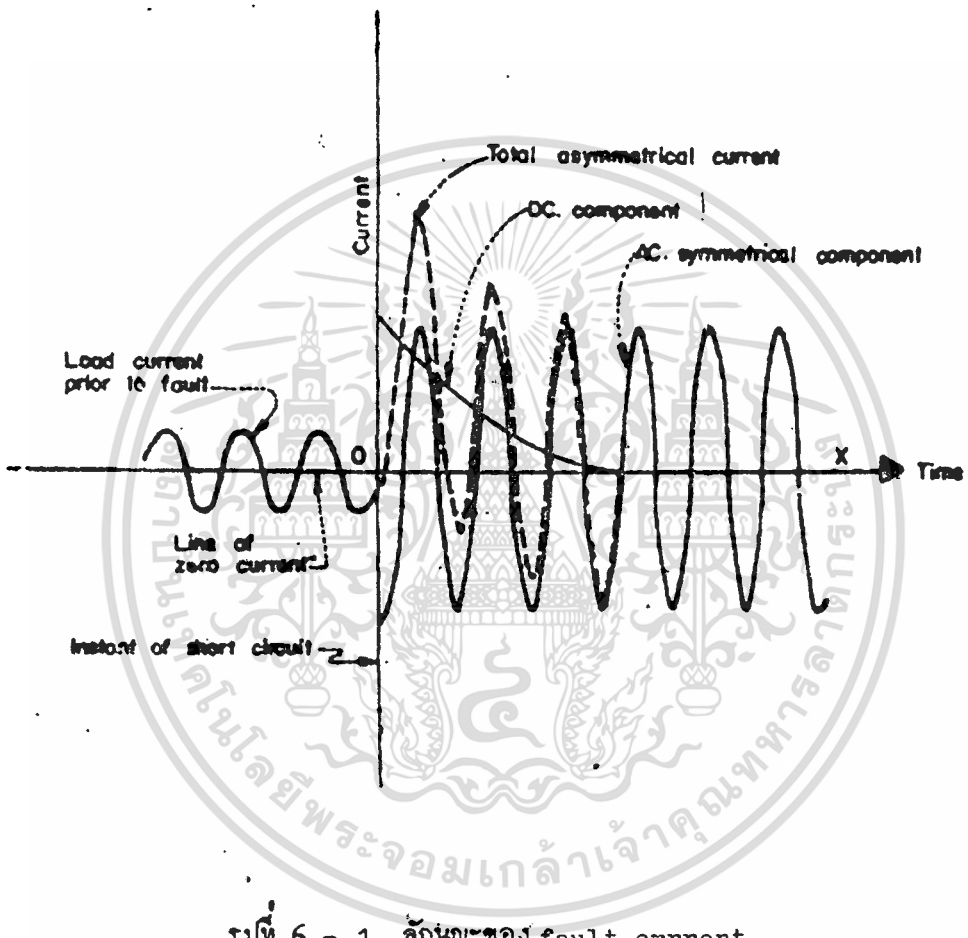
X_d = synchrenous reactance ซึ่งจะกำหนดค่าของกระแสหลังจากระบบเข้าสู่สภาพ steady state

มีข้อสังเกตเกี่ยวกับค่าของ reactance เหล่านี้ ก็คือ อุปกรณ์เครื่องเดียวกันจะมีค่าของreactance แตกต่างกันสุดแล้วแต่จะใช้เป็น synchronous generator หรือ synchranous moter. อีกประการหนึ่ง reactance จำนวนเท่ากันอาจให้ผลแตกต่างกัน ในเมื่อมีfault เกิดขึ้น, ทั้งนี้สุดแล้วแต่ว่า reactance นี้จะมีค่าเป็นเศษส่วนเท่าใดของ short circuit impedance, หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า สุดแล้วแต่ว่าจุดที่เกิดfault นั้น ใกล้หรือไกลจากอุปกรณ์นั้น ๆ เพียงใด, อาทิ เช่น ถ้า fault เกิดขึ้นในสายส่ง ซึ่งมีระยะไกลออกไป.

มอเตอร์แบบ induction type นั้น เมื่อมี fault เกิดขึ้น, inertia ของload จะพามอเตอร์หมุนต่อไปและจะจ่ายกระแสเข้าไปสู่ fault เช่นเดียวกันกับ synchronous moter แต่มีข้อแตกต่างกันที่ว่าinduction motor นั้น ถูก excite โดยstator winding, ดังนั้น เมื่อfault เกิดขึ้น กระแสใน stator winding จะถูกชักลงโดยฉับพลัน และเส้นแรงแม่เหล็กก็จะถูกตัดหายไปในทันที, ในสภาพเช่นนี้ จึงมีแต่ subtransient reatance X''_d เท่านั้น ที่จะต้องพิจารณา, ค่าของ subtransient reactance นี้ จะเท่ากับ locked-rotor reactance และกระแสที่มอเตอร์จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ่ายออกไปสมทบ fault current ก็จะมีค่าเท่ากับ full-voltage starting current ของมอเตอร์นั้นเอง, การติดตั้ง induction motor ขนาดใหญ่ ๆ ในระบบนั้น, บางกรณีก็มีปรากฏในทางคำนวณว่า subtransient current ที่มอเตอร์เหล่านั้นจ่ายออกมาในขณะเกิด fault จะเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของ short circuit current.



รูปที่ 6 - 1. ลักษณะของ fault current.

fault current มีลักษณะเป็นคลื่นดังแสดงเป็นเส้นประไว้ในรูปที่ 6-1. คลื่นนี้ในตอนแรก ๆ ของ fault มักจะไม่ symmetrical กับเส้นแกน zere-current axis OX ไปชั่วเวลาหลายไซเกิล, โดยเหตุนี้จึงเรียกกระแสช่วงนี้ว่า asymmetrical current. แต่นี่ก็ไม่ใช่ความจริงเสมอไป ทั้งนี้ เนื่องจาก impedance ในระบบทันทีหลังจากเกิด fault มักจะเป็น reactive ส่วนใหญ่ ซึ่งกระแสจะ lag โวลท์ประมาณ 90°, หาก fault เกิดขึ้นในจังหวะที่คลื่น veltage เคลื่อนขึ้นถึงหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกือบถึงจุดสูงสุด (ซึ่งจังหวะนั้น กระแสจะอยู่ที่จุดศูนย์), fault current ก็จะ symmetrical กับเส้นแกน OX. ดังนี้ จึงอาจกล่าวเป็นหลักกว้าง ๆ ได้ว่า ลักษณะ asymmetry ของ fault current จะขึ้นอยู่กับสภาวะการณ์ที่ว่า ในขณะที่เกิด fault ขึ้นนั้น คลื่น voltage ของระบบอยู่ ณ จุดใด.

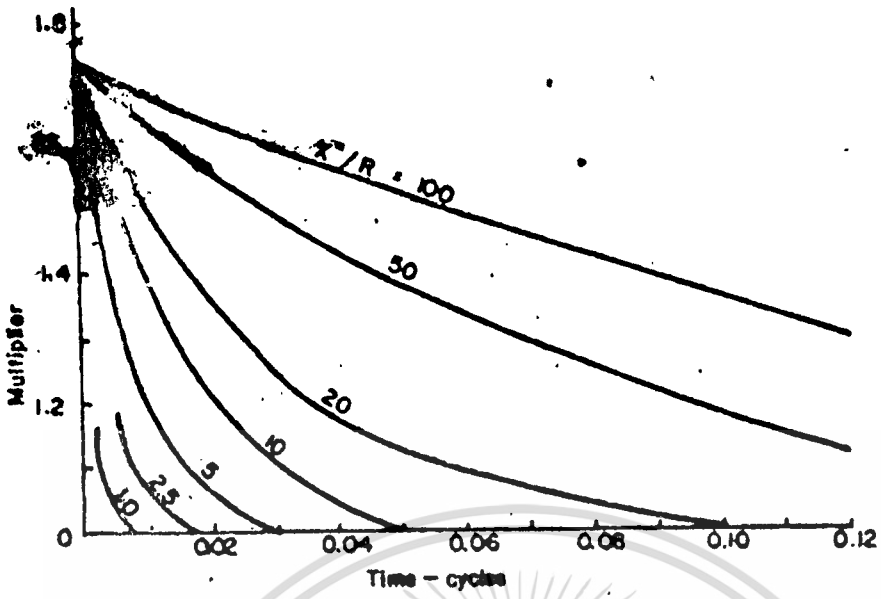
เพื่อความสะดวกในแง่เทคนิค จึงมีการแบ่ง asymmotrical current นี้ ออกเป็น 2 ภาคด้วยกัน คือ A.S symmetrical component กับ D.C. component, มีลักษณะดังแสดงไว้ในรูปที่ 6-1 นั้นแล้ว.

A.C. symmetrical compenent หาค่า RMS ได้จากสูตร $I = E/Z$ และเท่ากับ square rect ของ crest value ของคลื่น A.C. symmetrical component

D.C. component มีมูลค่าขึ้นอยู่กับสภาพที่ว่าขณะที่เกิด fault นั้น คลื่น voltage ของระบบอยู่ ณ จุดใด ค่าเริ่มแรกของ D.C. component จะเท่ากับค่าของ A.C. symmetrical component ในขณะที่ที่เกิด fault และเนื่องจากในวงจรจะต้องมี resistance ประจำอยู่ด้วนเสมอ ฉะนั้นค่าของ D.C. component จึงลดเสื่อมลงมาเป็น 0 โดยที่พลังงานที่กักตุนอยู่จะสูญเสียไปในรูป I^2R lesses. อัตราการเสื่อมค่าของ D.C. component นี้เป็นไปตามอัตราส่วน X/R คือ reactance หารด้วย resistance (ซึ่งวัดระหว่างจุดที่เกิด fault กับ source หรือแหล่งผลิตไฟฟ้า)

สำหรับ asymmetrical current นั้น ค่า inat ntancous calue จะเท่ากับผลบวกของ A.C.symmetrical componentกับ D.C component หรือหากทราบค่าของ D.C.component แล้ว ก็อาจหาได้โดยใช้ multiplier ดังแสดงในรูปที่ 6-2 มาคูณก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-2. Multiplier ที่ค่าต่าง ๆ ของ X/B เพื่อหาค่าของ asymmetrical current จาก D.C. component (หรือกลับกัน)

ส่วนค่า RMS value ของ asymmetrical current นั้น หาได้จากสูตร

$$\text{RMS value of assymmetrical current} = \sqrt{(\text{RMS value of A.C. symmetrical component})^2 + (\text{D.C.component})^2}$$

ในการพิจารณาวางระบบ pretection และเลือกสรรอุปกรณ์ pretective device นั้น, ตามปกติจะถือเอาค่า asymmetrical RMS value นี้เป็นเกณฑ์, แต่การคำนวณเพื่อหาค่านี้ให้ได้ผลอย่างแน่นอนออกจะยุ่งยากซับซ้อนอยู่สักหน่อย, ดังนั้น ในทางปฏิบัติมักจะคำนวณหา A.C. symmetrical component ออกมาเสียก่อน ซึ่งสามารถกระทำได้โดยไม่ยากเกินไปนัก ดังจะได้อธิบายในโอกาสต่อไป. เมื่อคำนวณหามาได้แล้วก็มักใช้ตัวคูณ (multiplier) ตัวหนึ่งมาคูณเข้าไป, ผลลัพธ์ก็จะออกมาเป็น asymmetrical RMS value เลยทีเดียว. ตัวคูณดังว่านี้ แสดงไว้ใน Table 6.1 ซึ่งเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเลขสำเร็จรูปได้มาจากประสบการณ์และเป็นที่รับรองว่าให้ผลเป็นที่เชื่อถือได้. จาก Table นี้ จะเห็นว่า ตัวคูณมีค่าแตกต่างกันไปสุดแต่ว่า pretective equipment หรือ circuit protector ที่ใช้นั้นเป็นอุปกรณ์ชนิดใด และอุปกรณ์นั้นติดตั้ง ณ ตำแหน่งไหนของระบบ. นอกจากนั้น ยังบอกให้ทราบว่า สำหรับอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ เหล่านั้น ควรจะเอา reactance ประเภทใดมาใช้ในการคำนวณอีกด้วย.

อุปกรณ์สำหรับ circuit protection ทั้งหลาย, ยกเว้นไว้แต่ current limiting fuse, จะต้องสามารถทนรับกระแส short circuit สูงสุดได้, กระแสนี้อันที่แท้จริงก็คือ crest calue ของคลื่นลูกแรกของ asymmetrical wave หลังจากเกิด fault, ซึ่งทำให้เกิด mechanical stress ขึ้นภายในอุปกรณ์ มีค่าขึ้นอยู่กับค่าของกระแสยกกำลัง 2. โดยเหตุนี้ อุปกรณ์จึงต้องสร้างให้มีความแข็งแรงพอที่จะทนต่อการกระทำของแรงอันนี้ได้ , กระแสของคลื่นลูกแรกนี้เรียกว่าเป็น memontary หรือ withstand rating ของอุปกรณ์นั้น ๆ . เมื่อผ่านจุดนี้ไปแล้ว ก็เป็นอันว่าปลอดภัยจาก mechanical stress ไปได้. ระยะเวลาช่วงต่อมาก็เป็นระยะที่เรียกว่า interruption หรือระยะแห่งการดับไปลว arc ที่เกิดขึ้นในขณะที่อุปกรณ์ทำงานตัด fault ออกจากวงจร ภายหลังที่กระแสนี้ลดค่าลงไป, ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 1 ถึง 8 ไซเกิล, หลังจาก 8 ไซเกิลไปแล้ว D.C. component ก็เรียกว่าเสื่อมค่าไปจวนหมดสิ้นแล้ว. ปริมาณสูงสุดของกระแส (หรือ RVA) ที่อุปกรณ์สามารถจะ interrupt ได้โดยปลอดภัย นั้นเรียกว่า interrupting rating ของอุปกรณ์นั้น . สำหรับ circuit breaker มักจะถือว่า mementary rating เท่ากับ 1.6 เท่าของ interrupting rating.

วิธีคำนวณหาค่าของ fault current

ดังได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น, fault ที่ทำให้เกิดกระแสได้มากที่สุด และอาจเป็นอันตรายแก่ระบบได้มากกว่า fault ประเภทอื่น ๆ ก็คือ three-phase fault. ดังนั้น โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว ในการหาขนาดของ protective device ที่จะนำมาใช้ในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 6.1

MACHINE REACTANCES AND MULTIPLTERS TO GET ASYMMETRICAL CURRENT

Classification	Circuit voltage	Location in system	Multiplying factor	Machine reactances to use: Generators; Synchronous converters; Synchronous condensers; Frequency changer	Synchronous motors	Induction motors
Power circuit breakers				Interrupting duty		
Eight cycle or slower (general case)	Above 600v	Any place where symmetrical short-circuit kva is less than 500 mva	1.0	Subtransient	Transient	Neglect
Five cycle	Above 600v		1.1	Subtransient	Transient	Neglect
				Momentary duty		
General case	Above 600v	Near generating station	1.6	Subtransient	Subtransient	Subtransient
Less than 5 kv	601 to 5 kv	Remote from generating station (X/R ratio less than 10)	1.5	Subtransient	Subtransient	Subtransient
High-voltage fuses				Maximum rms ampere interrupting duty		
All types, including all current-limiting fuses	Above 600v	Anywhere in system	1.6	Subtransient	Subtransient	Subtransient
Noncurrent-limiting types only	601 to 15 kv	Remote from generating station (X/R ratio less than 4)	1.2	Subtransient	Subtransient	Subtransient
High-voltage, fused motor starters				Maximum rms ampere interrupting duty		
All horsepower ratings	2400 - 4160v	Anywhere in system	1.6	Subtransient	Subtransient	Subtransient
High-voltage motor starters				Interrupting duty		
Circuit breaker or contactor type	601v to 5 kv	Anywhere in system	1.0	Subtransient	Transient	Neglect
				Momentary duty		
Circuit breaker or contactor type	601v to 5 kv	Anywhere in system	1.6	Subtransient	Subtransient	Subtransient
Circuit breaker or contactor type	601v to 5 kv	Remote from generating station (X/R ratio less than 10)	1.5	Subtransient	Subtransient	Subtransient
Apparatus 600 volts and below				Interrupting or momentary duty		
Air circuit breakers or breaker-contactor combination motor starters	600v or less	Anywhere in system	1.25	Subtransient	Subtransient	Subtransient
Low-voltage fuses or fused combination motor starters	600v	Anywhere in system	1.25	Subtransient	Subtransient	Subtransient

เช่น interrupping capacity ของ breaker, หา setting ของ relay ฯลฯ เป็นต้น เรามักจะใช้ค่าของ three-phase fault current เป็นเกณฑ์พิจารณา (หรืออีกนัยหนึ่งค่าของกระแสเมื่อเกิดการ short circuit ขึ้นทั้ง 3 เฟส)

การหาค่าของ fault current นั้น การคำนวณส่วนใหญ่จะเป็นการคำนวณหา impedance หรือ reactance ของวงจร ฉะนั้น จึงจำเป็นจะต้องทราบค่า reactance ของอุปกรณ์และส่วนประกอบของวงจรนั้นอย่างครบถ้วน. การคำนวณก็อาศัยหลักการจากสูตรมูลฐาน $I = E/Z$ ซึ่ง I แทนกระแส, E แทนโวลท์ของระบบ ณ จุดที่เกิด fault และ Z แทน impedance ของระบบระหว่าง fault กับ source (แหล่งกำเนิดไฟฟ้า) รวมทั้ง impedance ของ source นั้นด้วย.

โวล์ทที่ใช้ในการนี้โดยใช้โวลท์ระหว่างสายกับดิน (line-to-neutral) ซึ่งเท่ากับโวลท์ระหว่างสาย (line-to-line) หารด้วย $\sqrt{3}$

Impedance ในวงจรกระแสสลับที่มีค่า $Z=\sqrt{R^2 + X^2}$ ซึ่ง X แทน reactance และ R แทน resisance ของระบบ

ในอุปกรณ์หลักเช่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นต้น X จุมีค่าอย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 5 เท่าของ R. ฉะนั้น ในการคำนวณ fault หากจะตัด R ทิ้งไปเสีย, ผลลัพธ์จะผิดไปเล็กน้อยไม่กี่เปอร์เซนต์ และจะผิดไปข้างมากซึ่งจะทำให้การเลือกสรร protective deuice เป็นไปในทางเพิ่มความปลอดภัยขึ้น. โดยเหตุนี้ การคำนวณ fault ไม่ว่า system voltage จะสูงต่ำเท่าใด จึงมักไม่คำนึงถึง resistance ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, หม้อแปลงไฟฟ้า' มอเตอร์ reacter และ bus work ที่มีขนาดใหญ่

สำหรับ feeder circuit นั้น, หากปรากฏว่า reaistance มีค่ามากกว่า 1/4 ของ reactrace แล้ว ควรจะนำเอา resistance มาประกอบการคำนวณด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

(Computor A.D. Design and Switching System)

เมื่อทราบถึงลักษณะและการที่จะเลือกอุปกรณ์ที่สำคัญภายใน Substation แล้วในบทนี้เราจะอธิบายถึงขั้นตอนและวิธีที่ได้นำ Computor มาช่วยในการจัดข้อมูล และการเรียกใช้ Program ต่างๆ เพื่อช่วยในการเลือก พร้อมทั้งช่วยเปรียบเทียบข้อมูลที่มีอยู่เพื่อนำไปประกอบในการออกแบบ Single line diagram สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่ต้องการสร้างขึ้นใหม่ได้

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการเลือกใช้ข้อมูลเพื่อนำไปสร้างสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีความต้องการเพิ่มมากขึ้นเฉพาะในประเทศไทย เราจึงควรรู้ System ต่างๆ สำหรับการจัดการก่อน

หน่วยงานที่รับผิดชอบในการควบคุมการผลิตและการจ่ายพลังงานไฟฟ้าแก่ส่วนต่างๆ ภายในประเทศไทยคือ การไฟฟ้าฝ่ายผลิต (กฟผ.) ซึ่งแบ่งเขตการจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกเป็น 4 Region คือ

- Region -1 ครอบคลุมพื้นที่บริเวณภาคกลาง และภาคตะวันตกของประเทศ
- Region -2 ครอบคลุมพื้นที่บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
- Region -3 ครอบคลุมพื้นที่บริเวณภาคใต้
- Region -4 ครอบคลุมพื้นที่บริเวณภาคเหนือ

ถ้าแบ่งตามลักษณะการจ่ายไฟฟ้า โดยจะมีการซื้อพลังงานไฟฟ้าผ่านจาก EGAT (Electricity Generating Aharthority of Thailand) จะแบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ

- MEA หรือ การไฟฟ้านครหลวง จะจ่ายไฟฟ้าในเขตกรุงเทพมหานคร และบริเวณใกล้เคียง อยู่ในเขต - 1
- PEA หรือ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จะจ่ายไฟฟ้าให้แก่ทุกภาคในประเทศไทย ครอบคลุมทุก ยกเว้นในเขตที่ เป็นผู้จ่าย
- CUS เป็นส่วนที่โรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ทำการซื้อไฟฟ้าโดยตรงจากสถานีไฟฟ้าย่อยที่ใกล้ที่สุด ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้บริการนี้คือ

- Padan - Industr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ระบบ 230 KV

3. ระบบ 115 KV

4. ระบบ 69 KV

สายส่งที่มีแรงดันต่ำกว่า 69 KV จะเป็น 33, 22, 11 KV จะจัดอยู่ในส่วนของระบบจ่ายกระแสไฟฟ้า

การเลือกระบบแรงดันไฟฟ้าของสายส่งไฟฟ้า

องค์ประกอบในการเลือกพิจารณาเลือกระดับแรงดันของสายส่ง ขึ้นอยู่กับปริมาณของพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการส่ง ระยะทางการส่ง ความมั่นคงของระบบ และ ความประหยัดปลอดภัย เช่น ระยะทางจากเชื่อนภูมิพลมายังศูนย์กลางการใช้โหลด ซึ่งมีระบบทางไกลและกำลังการผลิตที่เชื่อนภูมิพลก็สูงด้วย จึงใช้แรงดันสายส่งเป็นระบบ 230 KV จำนวน 2 วงจร ส่วนในเขต Region -3 จะเห็นว่าแรงดันในสายส่งเป็น 115 KV ทั้งหมด เนื่องจากระยะทางของแต่ละสถานีไฟฟ้าย่อยอยู่ห่างกัน ถึงแม้ว่าพลังงานอาจจะไม่สูงนักก็ตาม แต่เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการส่งพลังงานไฟฟ้าจึงต้องเลือกแรงดันให้เหมาะสมกับสภาพของแหล่งผลิต และแหล่งที่ใช้งาน ซึ่งในปัจจุบัน กฟย. มีระบบสายส่งแรงดัน 500 KV จัดส่งพลังงานจากโรงจักรแม่เมาะ ซึ่งมีพลังงานไฟฟ้าจำนวนมาก มายังจุดศูนย์กลางการใช้โหลด ซึ่งมีระยะทางไกลมากจากแหล่งผลิต

Distribution

จะทำการเปลี่ยนแรงดันจาก 500 KV , 230 KV , 115 KV หรือ 69 KV ไปเป็น 33 KV, 22KV , หรือ 11 KV โดยสถานีไฟฟ้าย่อย แล้วใช้สาย Cable ส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปตามท้องที่ต่างๆ โดยลดระดับแรงดันเป็น 220 V ส่งต่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้า

การจะควบคุม Operation System นั้นจะต้องมีจุดมุ่งหมายที่สำคัญ 3 ประการ คือ

1.ให้มี Relibility of Service คือต้องให้บริการนั้นมีความมั่นคงเป็นที่เชื่อถือได้ของบุคคลอื่น เช่น ต้องควบคุมไม่ให้มีการดับของกระแสไฟฟ้าบ่อยๆ หรือ ป้องกันไม่ให้เกิดการขัดข้องขึ้น

2.ให้มี Quality of Service คือต้องให้บริการที่มีคุณภาพดีอยู่เสมอ

3.ให้มี Economy of Production คือการผลิตที่มีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประหยัดมากที่สุด โดยไม่ให้กระทบจุดมุ่งหมายอื่น

การที่จะเพิ่ม Relibility ได้นั้น เราต้องมีแหล่งผลิต หรือ Generation หลายจุด และใช้วิธีเชื่อมแหล่งผลิตเหล่านั้นเข้าด้วยกัน เพื่อที่จะให้แหล่งผลิตต่างๆ นั้น สามารถที่จะถ่ายเทสับเปลี่ยน โดยที่ไม่ต้องมีการดับไฟฟ้า และในการเดินเครื่องก็จำเป็นต้องมี Spare Capacity เพื่อที่จะให้เพียงพอกับกรณีที่เกิดการชัดของขึ้น

จะเห็นได้ว่าใน Operating System นั่น ส่วนที่เป็นเชื่อมต่อ รับส่งพลังงานไฟฟ้า ที่สำคัญที่สุดก็คือ สถานีไฟฟ้าย่อย (Substation) นั่นเอง

Substation

เป็นสถานีรับพลังงานไฟฟ้าจากสายส่ง เพื่อจ่ายสู่ระบบจำหน่าย ซึ่งประกอบด้วย การเปลี่ยนแรงดัน , การตัดตอน , การควบคุม , การป้องกันระบบ

หน้าที่และวัตถุประสงค์ของ Substation

1. เป็นจุดเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้า
2. เป็นจุดปรับระดับแรงดันให้อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการ
3. เป็นจุดเชื่อมระหว่างระบบสายส่งกับระบบจ่ายไฟฟ้า
4. เป็นจุดวัดปริมาณทางไฟฟ้า
5. เป็นจุดเชื่อมโยงระบบสื่อสาร , โทรมาตร และการป้องกันสายส่ง
6. เป็นตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า อุปกรณ์ตัดต่อวงจร และอุปกรณ์ป้องกัน Surge

อุปกรณ์ที่เราพบเห็นบ่อยใน one line diagram ของ substation คือ Shunt Capacitor ซึ่งมีหน้าที่เพื่อยกระดับแรงดันไฟฟ้า หรือทำให้ค่า Power factor ของระบบดีขึ้น ซึ่งจะต้องทราบข้อมูลในการเลือกขนาด และตำแหน่งที่ติดตั้งให้เหมาะสม

การจ่าย VAR ให้แก่โหลดโดยใช้ Capacitor ติดไว้ที่จุดใกล้โหลดที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อลดการสูญเสียในสายจำหน่าย โดยมากมักติดไว้ที่โหลด load center หรือใกล้ปลายสายจำหน่าย

สำหรับที่ EGAT จะติด Capacitor ไว้ตาม substation หลังหม้อแปลงก่อนจ่ายไฟให้โหลด สำหรับเพิ่ม Power factor จากที่ต่ำ 85 /,

สำหรับ Substation ในประเทศไทยโดยความดูแลของ กฟผ. นั้น ในส่วนของ Substation ที่แหล่งผลิตหรือที่อยู่บริเวณใกล้ ๆ นั้น ส่วนมากจะใช้ระดับแรงดันภายใน Busbar 230 KV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของbusbar จะใช้แบบ main and double transfer - bus scheme เพื่อช่วยให้ Relibility ดีขึ้น ส่วน Substationที่อยู่ไกลจากแหล่งผลิตซึ่งเป็นส่วนมากมากนั้นจะเป็นแบบใช้ระดับแรงดันภายใน 115 KV และนิยมใช้ Busbarแบบ main and transfer-bus scheme เพราะประหยัดและ Relibility ค่อนข้างสูง สามารถเชื่อมโยงกัน ครอบคลุมได้เป็น Network

ส่วนการส่งจ่ายไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า จะส่งผ่าน Substation ในระดับแรงดัน 22 KV เป็นส่วนมาก และในบางส่วนที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของต่างประเทศ เช่นที่ภาคใต้ เขต Region-3 ที่ Substation-SADAO จะใช้ระดับการจ่ายไฟ 33 KV และระดับแรงดันภายใน 132 KV เท่ากับของมาเลเซีย เพื่อไม่ให้เกิดความต่างของระดับแรงดันที่จุดเชื่อมต่อกันนั้น

Computor A.D. Design.

เราใช้โปรแกรม dBase III Plus และ โปรแกรม Auto CAD ร่วมกัน ในการค้นหา และนำเสนอข้อมูลที่ต้องการ

ส่วนของ dBase

เนื่องจากโปรแกรม dBase เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เหมาะในการจัดเก็บข้อมูล และรายละเอียดต่างๆ และมีคำสั่งช่วยที่ง่ายต่อการค้นหาข้อมูลหรือส่วนของข้อมูลที่ต้องการ ในการทำงานเราจึงจัดเก็บข้อมูลของ Substation ต่างๆ ทั่วประเทศไว้ในFILE หนึ่ง โดยแบ่งข้อมูลแต่ละชนิดของ Substation นั้นแยกเก็บตาม FILE ต่างๆ ดังนี้

Name filed เป็นส่วนของชื่อ Substation ยาวไม่เกิน 20 ตัวอักษร ซึ่งมักจะเป็นชื่อของจังหวัด หรืออำเภอต่างๆ ซึ่งแต่ละจังหวัดอาจมี Substation มากกว่าหนึ่งจึงอาจแทน substation ต่างๆ มาด้วยหมายเลขได้ เช่น Rayong -1, Rayong - 2 เป็นต้น

Nicname filed เป็นชื่อย่อของ Substationนั้นๆ เพื่อสะดวกในการค้นหาหาและเรียกใช้ มีความยาวไม่เกิน 4 ตัวอักษร

Region เป็นส่วนของเขต หรือ ภาค ตามการแบ่งของ กฟผ. ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 Region.

Busbar จะเป็นชนิดของbusbar โดยจะกำหนดเป็นหมายเลข ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. - Single - bus scheme

2. - Main and Transfer - bus sgheme

3. - Double - bus. Single - breaker scheme

4. - Double - bus. double breaker scheme

5. - Breaker and half scheme

6. - Straight - bus sectionalization scheme

7. - Main and Double transfer - bus scheme

8. - Ring bus

9. - omission of bus

Power field แสดงถึง Date Capacity ของหม้อแปลงที่ทำหน้าที่แปลงแรงดันเพื่อจ่ายไฟฟ้าแต่ละตัวมารวมกัน มีหน่วยเป็น

Voltage field เป็นระดับแรงดันไฟฟ้าใน busbar ของแต่ละ Substation ซึ่งใน Substion อันเดียวกันอาจจะมีหลายระดับแรงดัน เชื่อใช้ในการต่อและส่งพลังงานไฟฟ้า มีหน่วยเป็น KV

In field คือ จำนวนของ Incoming line ที่ทำการส่งพลังงานไฟฟ้าให้แก่ Substation นั้น

Out field คือ จำนวนของ Outgoing line ที่ทำการส่งพลังงานไฟฟ้าออกจาก Substation นั้น ไปยัง Substation อื่น

นอกจากนี้ยังได้มีการทำ Index File ไว้สำหรับการเรียกดู Substation โดยจัดเรียงตามลำดับของ field ต่าง ๆ ดังนี้

- SUBNAME. NDX จะเรียงแบ่งเป็น Region ต่าง ๆ โดยในแต่ละ Region จะเรียงตามตัวอักษรภาษาอังกฤษ
- NAME.NDX จะเรียงตามตัวอักษรภาษาอังกฤษ
- SUBPOW . NDX เรียงตามระดับ Rate Capacity ของ Substation นั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของโปรแกรมการเรียกใช้งานได้จัดทำ Main Menu ปรากฏขึ้นมาเพื่อให้เลือกใช้งาน โปรแกรมอื่น ๆ เพื่อความสะดวกในการใช้งาน

Main Menu

สามารถจะเลือกทำงานทั้งหมดได้ 8 แบบ โดยการเลือกหมายเลขข้างหน้าข้อความที่ต้องการใช้งาน. ดังนี้

1. ADD RECORD FOR NEW SUBSTATION
2. DELETE RECORD (S)
3. REGION REPORT
4. SEARCH FOR SPECIFIC SUBSTATION
5. SEARCH FROM NAME 'S SUBSTATION
6. FIND THE SPECTFIC OF CB
7. EXIT FROM MENU
8. EXIT FROM PROGRAM

เมนูหมายเลข 1–

เป็นโปรแกรม ADDNEW. PRO สำหรับเพิ่มเติม ชื่อและข้อมูลของ Substation ที่สร้างขึ้นใหม่ อาจเพิ่มหลายชื่อก็ได้

เมนูหมายเลข 2–

เป็นโปรแกรม CUTOUT.PRO สำหรับลบชื่อและข้อมูลของ Substation ที่เก็บไว้ เนื่องจากการเลิกใช้ ก่อนลบจะมีการถามย้ำเพื่อความแน่ใจ

เมนูหมายเลข 3 –

เป็นโปรแกรม REPORT.PRO จะรายงานชื่อและข้อมูลของ Substation ที่ได้บันทึกไว้ออกมา โดยการที่ได้ทำ REPO.FRM เก็บเอาไว้ อาจสั่งให้มีการพิมพ์ออกมาทาง Printer ได้ด้วย

เมนูหมายเลข 4 –

เป็นโปรแกรม SEARCH. PRO เมื่อป้อนข้อมูลของ Substation ที่เราต้องการสร้างใหม่เข้าไป โปแกรมจะทำการค้นหา Substation ที่มีข้อมูลตรงหรือใกล้เคียงออกมาให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมนูหมายเลข 5 –

เป็นโปรแกรม NAME.PRO เมื่อป้อนชื่อหรือส่วนของชื่อของ Substation เข้าไป โปรแกรมจะทำการค้นหาและแสดงข้อมูลของ Substation นั้นออกมาให้ดู

เมนูหมายเลข 6 –

เป็นโปรแกรม BREAKER.PRO เมื่อป้อนข้อมูลหรือพิกัดของ Circuit breaker ที่เราต้องการ โปรแกรมจะคำนวนกระแสที่พิกัด และกระแส short circuit ของ Circuit breaker ตัวนั้นออกมา

เมนูหมายเลข 7 –

จะทำตามคำสั่ง EXIT คือจะกลับไปที่ Dot promt สามารถใช้คำสั่งตามโปรแกรม dBase เรียกใช้งานได้ต่อ

เมนูหมายเลข 8 –

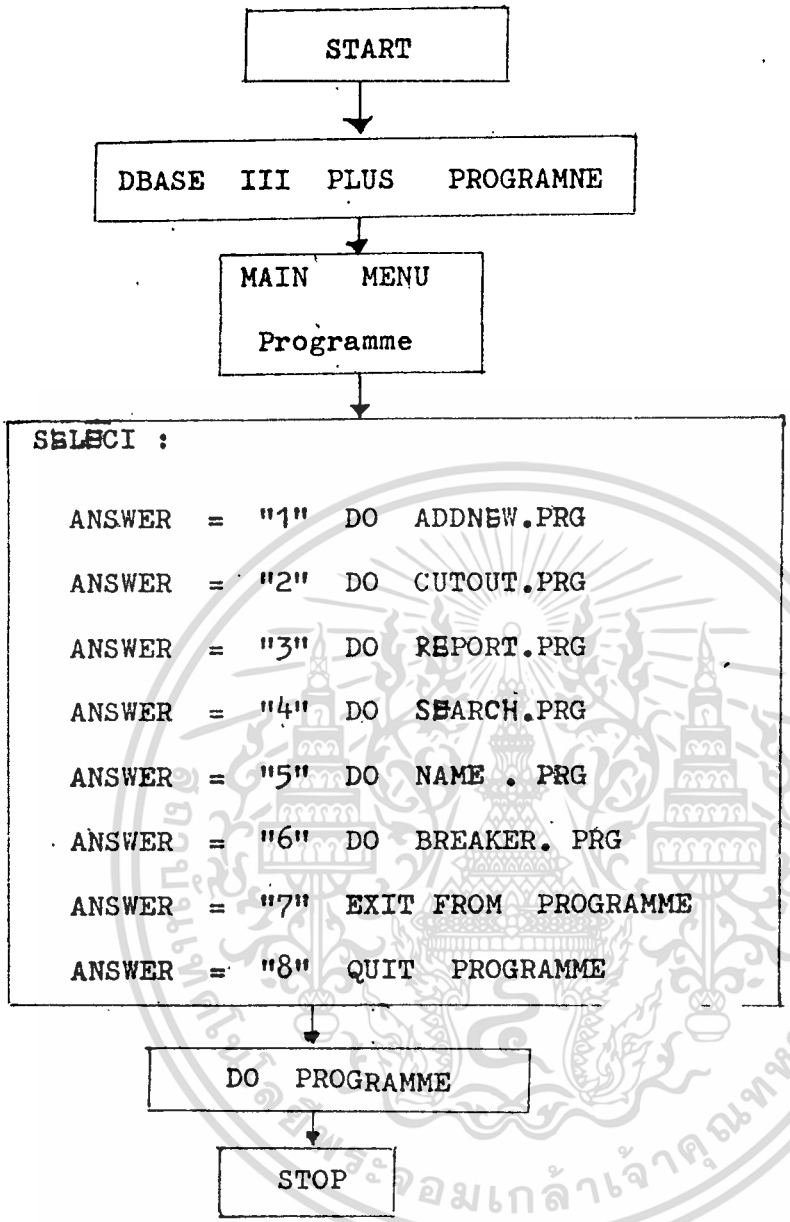
จะทำตามคำสั่ง Quit โดยออกจากโปรแกรม dBASE เข้าสู่ DOS สามารถเรียกใช้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์อื่น ๆ ได้ต่อไป

ส่วนของ Auto CAD

โปรแกรม Auto CAD เป็นโปรแกรมสำหรับสร้างภาพแล้วเก็บไว้เป็น file เราสามารถเรียกออกมาได้โดยการป้อนชื่อ substation ที่ต้องการเข้าไป ก็จะได้รูป swicthing diagram ออกมาทางจอภาพ

สำหรับรายละเอียดรูปภาพของ swithghing diagram ได้แสดงไว้ในส่วนของ Appendix.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

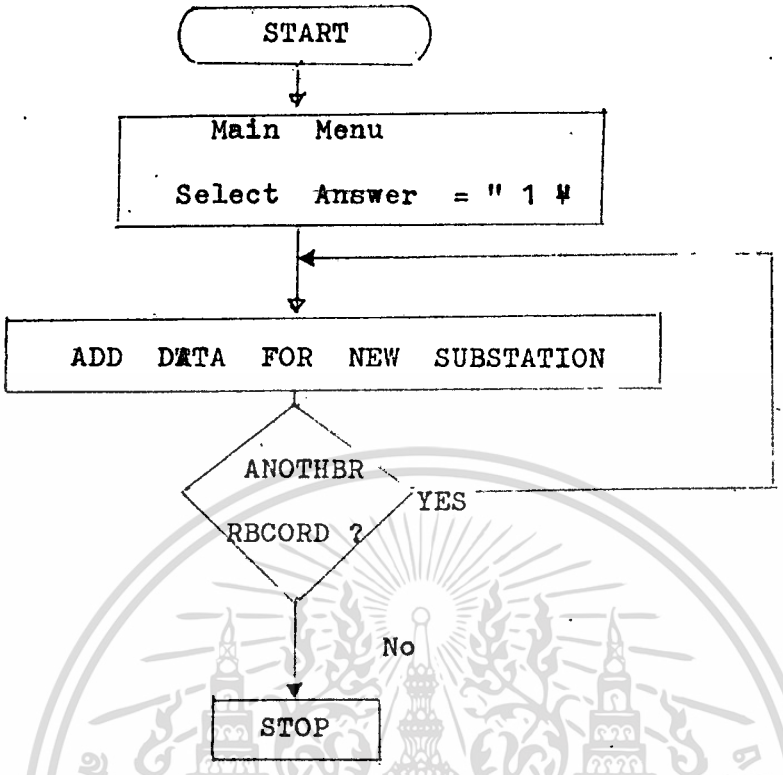


MAIN MENU Provgramme

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
********
* MENU *
********
SET BELL OFF
SET STATUS OFF
SET SCOREBOARD OFF
SET TALK OFF
USE B:SUBSTATI
CLEAR
DO WHILE .T.
   TEXT

                    S U B S T A T I O N   M E N U

                  1. ADD RECORD FOR NEW SUBSTATION

                  2. DELETE RECORD (S)

                  3. REGION REPORT

                  4. SEARCH FOR SPECIFIC SUBSTATION

                  5. SEARCH FROM NAME'S SUBSTATION

                  6. FIND THE SPECIFIC OF CB

                  7. EXIT FROM MENU

                  8. EXIT FROM PROGRAM


   ENDTEXT
   @ 0,16 TO 23,61  DOUBLE
   @ 4,17 TO 4,60
   ANSWER=SPACE(1)
   @ 24,24 SAY "CHOSS ONE OF THESE : " GET ANSWER
   READ
   CLEAR
   DO CASE
      CASE ANSWER="1"
      DO B:ADDNEW
      CASE ANSWER="2"
      DO B:CUTOUT
      CASE ANSWER="3"
      DO B:REPORT
      CASE ANSWER="4"
      DO B:SEARCH
      CASE ANSWER="5"
      DO B:NAME
      CASE ANSWER="6"
      DO B:BREAKER
      CASE ANSWER="7"
      EXIT
      CASE ANSWER="8"
      QUIT
   ENDCASE
ENDDO
SET BELL ON
```

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ADDNEW PROGRAMME

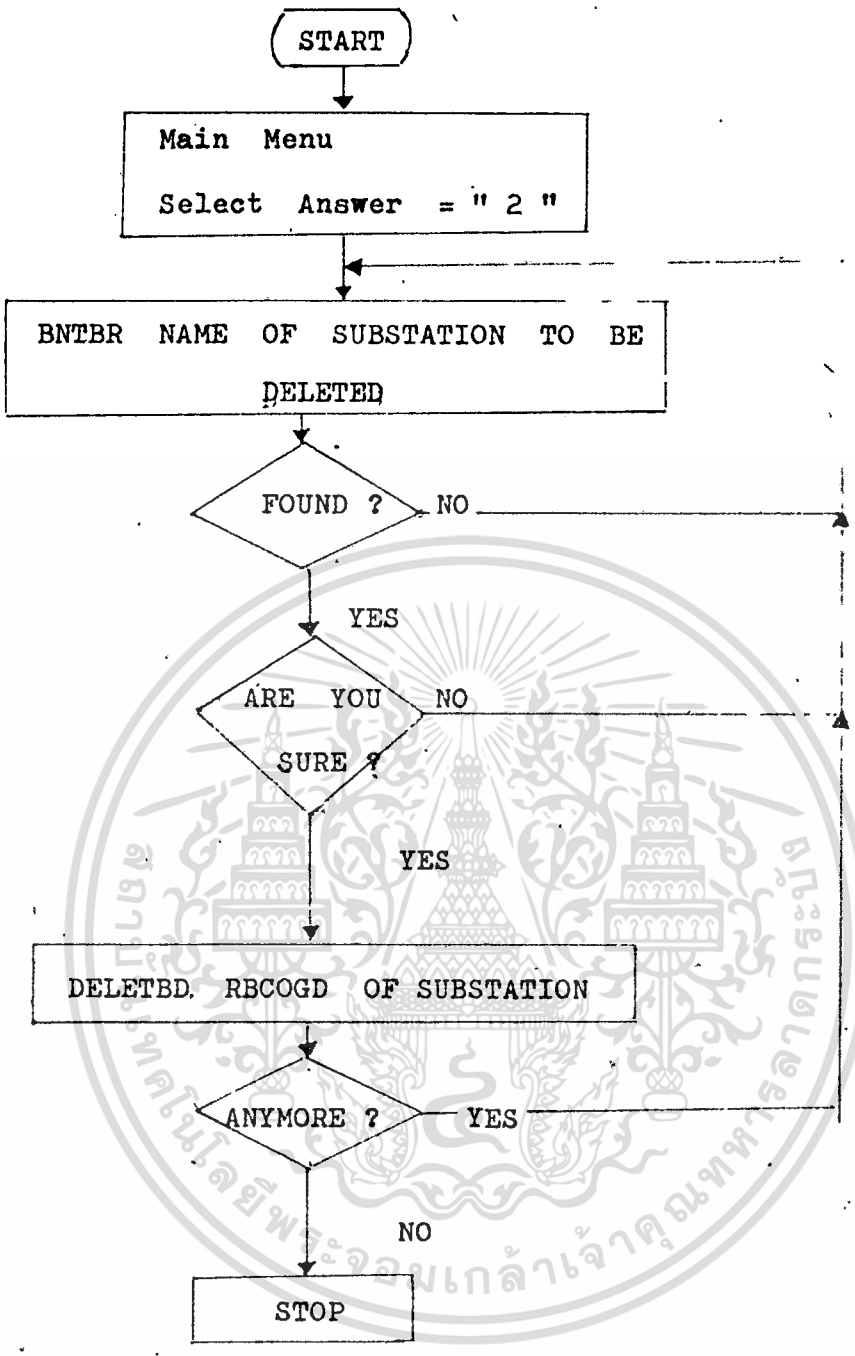
ADD RBCORD POR NEW SUBSTATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
**********
* ADDNEW *
**********
SET TALK OFF
USE B:SUBSTATI
CLEAR
STORE .T. TO START
DO WHILE START
   APPEND BLANK
   @ 2,10  SAY "     A D D   D A T A   F O R   N E W   S U B S T A
T I O N"
   @ 6,10  SAY "NAME: " GET NAME
   @ 6,40  SAY "NICNAME: " GET NICNAME
   @ 8,10  SAY "REGION: " GET REGION
   @ 8,40  SAY "BUSBAR: " GET BUSBAR
   @ 10,10 SAY "POWER (KVA): " GET POWER
   @ 10,40 SAY "VOLTAGE (KV): " GET VOLTAGE
   @ 12,10 SAY "INCOMING: " GET IN
   @ 12,40 SAY "OUTGOING: " GET OUT
   @ 1,8 TO 13,72 DOUBLE
   READ
   ACCEPT "ANOTHER RECORD? <Y/N> " TO ANS
   IF UPPER(ANS)="Y"
      CLEAR
   ELSE
      STORE .F. TO START
      CLEAR
   ENDIF
ENDDO
SET TALK ON
RETURN
```

```
    A D D   D A T A   F O R   N E W   S U B S T A T I O N

AME:                              NICNAME:

EGION:                            BUSBAR:

OWER (KVA):                       VOLTAGE (KV):

NCOMING:                          OUTGOING:
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CUTOUT PROGRAMME

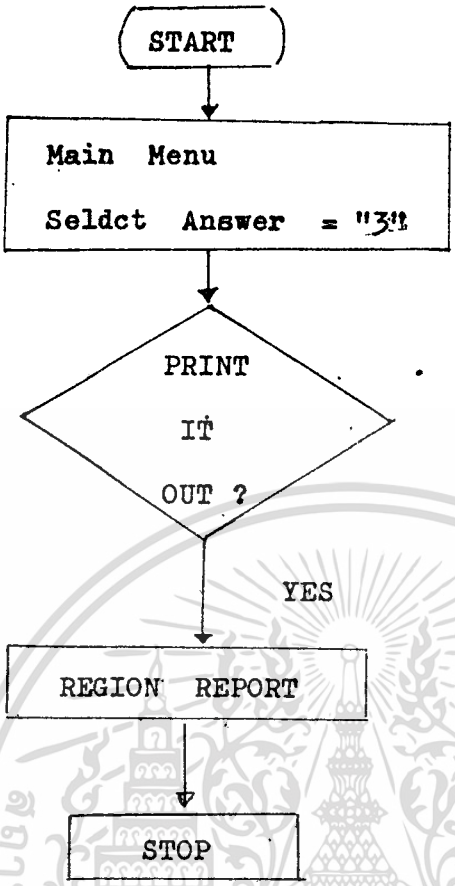
DBLBTED RECORD (S)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
**********
* CUTOUT *
**********
SET TALK OFF
USE B:SUBSTATI
CLEAR
STORE .T. TO START
DO WHILE START
   DELNAME=SPACE(15)
   @ 8,13  TO  16,70 DOUBLE
   @ 10,15 SAY " ENTER SUBSTATION TO BE DELETED" GET DELNAME
   READ
   LOCATE FOR NAME=DELNAME
   @ 18,22
   IF .NOT. FOUND()
      @ 18,22 SAY "NO SUCH NAME... PLEASE REENTER"
      LOOP
   ENDIF
   DELETE FOR NAME=DELNAME
   ANS=SPACE(1)
      @ 14,25 SAY "ARE YOU SURE ? <Y/N>" GET ANS
      READ
   IF UPPER(ANS)="Y"
      PACK
   ELSE
      RECALL ALL
   ENDIF
   @ 14,17
   REPLY=SPACE(1)
   @ 14,25 SAY "ANYMORE ? <Y/N> " GET REPLY
   READ
   IF UPPER(REPLY)="Y"
      CLEAR
      LOOP
   ELSE
      CLEAR
      EXIT
   ENDIF
ENDDO
SET TALK ON
RETURN
```

```
┌──────────────────────────────────────────────────────────────┐
│                                                              │
│  ENTER SUBSTATION TO BE DELETED                              │
│                                                              │
│                                                              │
└──────────────────────────────────────────────────────────────┘
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



REPORT PROGRAMME

REGION REPORT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
**********
* REPORT *
**********
USE B:SUBSTATI
CLEAR
ANS=SPACE(1)
DO WHILE .NOT. ANS$"YyNn"
   ANS=SPACE(1)
   @ 10,20 SAY "DO YOU WANT TO PRINT IT OUT ? <Y/N> " GET ANS
   READ
ENDDO
IF UPPER(ANS)="Y"
   SET PRINT ON
ENDIF
REPORT FORM B:REPO
SET TALK ON
SET PRINT OFF
CLEAR
RETURN
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Page No. 1
01/01/80

SUBSTATION
SWITCHING DIAGRAM

SUBSTATION'S NAME	NICNAME	BUSBAR	POWER	VOLTAGE	IN	OUT
** REGION 1						
AYUTTAYA	AY	-/2/-	40.00	-/115/-	1	1
BANBUNG	BBG	-/2/-	25.00	-/115/-	1	0
BANGKAPI	BK	7/2/4	400.00	230/69/69	4	2
BANPONG-1	BP-1	-/2/-	100.00	-/115/-	2	2
CHA-AM	CA	-/2/-	50.00	-/115/-	1	2
CHONBURI	CB	-/2/-	90.00	-/115/-	1	1
CHANTABURI	CT	-/2/-	50.00	-/115/-	1	2
CHAIBADAN	CBD	-/2/-	25.00	-/115/-	1	0
KAMPHAENGSEAN	KS	-/2/-	25.00	-/115/-	1	0
KANCHANABURI	KB	-/2/-	50.00	-/115/-	1	1
LATPHRAO	LPR	8/-/-	400.00	230/-/-	2	2
LOPBURI-1	LB-1	-/2/-	25.00	-/115/-	1	0
LOPBURI-2	LB-2	-/2/-	25.00	-/115/-	2	1
PHETCHABURI	PB	-/2/-	50.00	-/115/-	1	1
PRACHINBURI	PA	-/2/-	50.00	-/115/-	1	1
PRANBURI	PRB	-/2/-	25.00	-/115/-	1	1
RANGSIT	RS	5/5/5	400.00	230/115/69	2	6
RATCHABURI-1	RB-1	-/2/-	25.00	-/115/-	3	1
RAYONG-1	RY-1	-/2/-	50.00	-/115/-	1	1
RAYONG-2	RY-2	5/2/-	25.00	230/115/-	2	4
RAYONG-3	RY-3	-/2/-	25.00	-/115/-	3	1
SAMUTSAKHON-1	SN-1	-/2/-	75.00	-/115/-	1	1
SAMUTSAKHON-2	SN-2	-/2/-	25.00	-/115/-	1	1
SARABURI-1	SR-1	-/2/-	50.00	-/115/-	1	0
SARABURI-2	SR-2	-/2/-	40.00	-/115/-	2	5
SARABURI-3	SR-3	-/2/-	100.00	-/115/-	1	0
SARABURI-4	SR-4	-/2/-	25.00	-/115/-	1	0
SATTAHIP-1	SH-1	-/2/-	12.50	-/115/-	1	2
SATTAHIP-2	SH-2	-/2/-	25.00	-/115/-	1	0
SAMUTSONGKHRAM	SM	-/2/-	25.00	-/115/-	1	1
SI-RACHA	SC	-/2/-	25.00	-/115/-	1	2
SUPHANBURI	SP	-/2/-	50.00	-/115/-	1	0
TRAT	TR	-/2/-	25.00	-/115/-	1	0
** Subtotal **			2432.50			
** REGION 2						
BURIRUM	BR	-/2/-	50.00	-/115/-	1	1
CHUMPHAE	CPA	-/2/-	32.00	-/115/-	1	1
CHAIYAPHUM	CYP	-/2/-	26.00	-/115/-	1	0
KALASIN	KL	-/2/-	25.00	-/115/-	2	2
KHONKAEN-1	KK-1	-/5/-	50.00	-/115/-	3	9
KHONKAEN-2	KK-2	-/2/-	25.00	-/115/-	2	2
LOEI	LE	-/2/-	25.00	-/115/-	1	0
NAKHONRATCHASIMA-1	NR-1	-/2/-	63.00	-/115/-	3	2
NAKHONRATCHASIMA-2	NR-2	-/2/-	50.00	-/115/-	2	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Page No. 2
01/01/80

SUBSTATION
SWITCHING DIAGRAM

SUBSTATION'S NAME	NICNAME	BUSBAR	POWER	VOLTAGE	IN	OUT
NONGKHAI	NK	-/1/-	25.00	-/115/-	1	1
NUMPHONG	NPO	-/2/-	25.00	-/115/-	2	2
PAKCHONG	PCH	-/2/-	25.00	-/115/-	2	2
ROIET	RE	-/2/-	25.00	-/115/-	2	2
SISAKET	SS	-/2/-	45.00	-/115/-	1	1
SOMDET	SD	-/-/9	18.50	-/-/69	1	0
SURIN	SU	-/2/-	50.00	-/115/-	1	0
UDONTHANI	UD	-/2/-	56.50	-/115/-	2	3
UBONRATCHATHANI	UB	-/2/-	50.00	-/115/-	2	3
** Subtotal **			666.00			
** REGION 3						
BANGLANG	BLG	-/-/9	7.50	-/-/33	0	2
HATYAI-1	HY-1	-/8/-	50.00	-/115/-	0	4
HATYAI-2	HY-2	-/2/-	25.00	-/115/-	2	3
NAKHONSITHAMARAT	NT	-/2/-	50.00	-/115/-	2	3
NARATHIWAT	NW	-/2/-	50.00	-/115/-	1	0
PATTANI	PTN	-/2/-	50.00	-/115/-	1	0
PHANGNGA	PN	-/2/-	13.00	-/115/-	4	3
PHUKET-1	PK-1	-/2/-	50.00	-/115/-	2	1
PHUKET-2	PK-2	-/2/-	25.00	-/115/-	2	0
PHATTALUNG	PU	-/2/-	25.00	-/115/-	3	3
RANONG	RN	-/2/-	25.00	-/115/-	1	0
SADAO	SDO	2/2/-	15.00	132/115/-	1	1
SATUN	STU	-/2/-	25.00	-/115/-		
		1. 0				
SONGKHLA	SKL	-/2/-	50.00	-/115/-	1	0
YALA	YL	-/2/-	56.50	-/115/-	2	3
** Subtotal **			517.00			
** REGION 4						
CHIANGMAI-2	CM-2	-/2/2	63.30	-/115/69	2	1
CHIANGRAI	CR	-/2/-	56.50	-/115/-	1	0
CHOMTHONG	CTG	-/2/-	13.30	-/115/-	1	0
KAMPHANGPHET	KP	-/2/-	25.00	-/115/-	1	0
LAMPANG-1	LP-1	-/2/-	31.00	-/115/-	1	2
LAMPANG-2	LP-2	-/2/-	25.00	-/115/-	2	2
LAMPHUN-1	LN-2	-/-/1	10.20	-/-/69	1	1
LAMPHUN-2	LN-2	-/2/-	25.00	-/115/-	2	2
NAN	NA	-/2/-	25.00	-/115/-	1	0
PHICHIT	PC	-/2/-	50.00	-/115/-	1	1
PHETCHABUN	PE	-/2/-	50.00	-/115/-	2	0
PHITSANULOK-1	PL-1	-/2/-	50.00	-/115/-	1	2
PHITSANULOK-2	PL-2	5/2/-	12.50	230/115/-	4	6

ข้อมูลวิทยานิพนธ์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Page No.. 2
01/01/80

SUBSTATION
SWITCHING DIAGRAM

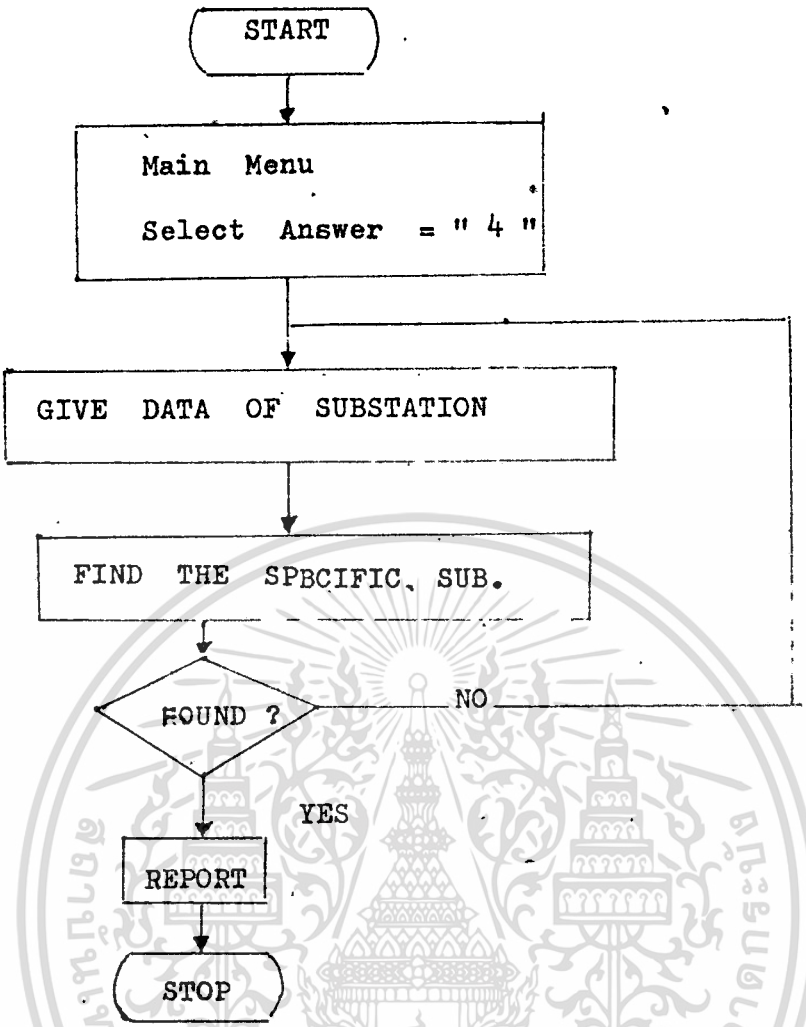
SUBSTATION'S NAME	NICNAME	BUSBAR	POWER VOLTAGE	IN	OUT
NONGKHAI	NK	-/1/-	25.00 -/115/-	1	1
NUMPHONG	NPO	-/2/-	25.00 -/115/-	2	2
PAKCHONG	PCH	-/2/-	25.00 -/115/-	2	2
ROIET	RE	-/2/-	25.00 -/115/-	2	2
SISAKET	SS	-/2/-	45.00 -/115/-	1	1
SOMDET	SD	-/-/9	18.50 -/-/69	1	0
SURIN	SU	-/2/-	50.00 -/115/-	1	0
UDONTHANI	UD	-/2/-	56.50 -/115/-	2	3
UBONRATCHATHANI	UB	-/2/-	50.00 -/115/-	2	3
** Subtotal **			666.00		
** REGION 3					
BANGLANG	BLG	-/-/9	7.50 -/-/33	0	2
HATYAI-1	HY-1	-/8/-	50.00 -/115/-	0	4
HATYAI-2	HY-2	-/2/-	25.00 -/115/-	2	3
NAKHONSITHAMARAT	NT	-/2/-	50.00 -/115/-	2	3
NARATHIWAT	NW	-/2/-	50.00 -/115/-	1	0
PATTANI	PTN	-/2/-	50.00 -/115/-	1	0
PHANGNGA	PN	-/2/-	13.00 -/115/-	4	3
PHUKET-1	PK-1	-/2/-	50.00 -/115/-	2	1
PHUKET-2	PK-2	-/2/-	25.00 -/115/-	2	0
PHATTALUNG	PU	-/2/-	25.00 -/115/-	3	3
RANONG	RN	-/2/-	25.00 -/115/-	1	0
SADAO	SDO	2/2/-	15.00 132/115/-	1	1
SATUN	STU	-/2/-	25.00 -/115/-		
		1 0			
SONGKHLA	SKL	-/2/-	50.00 -/115/-	1	0
YALA	YL	-/2/-	56.50 -/115/-	2	3
** Subtotal **			517.00		
** REGION 4					
CHIANGMAI-2	CM-2	-/2/2	63.30 -/115/69	2	1
CHIANGRAI	CR	-/2/-	56.50 -/115/-	1	0
CHOMTHONG	CTG	-/2/-	13.30 -/115/-	1	0
KAMPHANGPHET	KP	-/2/-	25.00 -/115/-	1	0
LAMPANG-1	LP-1	-/2/-	31.00 -/115/-	1	2
LAMPANG-2	LP-2	-/2/-	25.00 -/115/-	2	2
LAMPHUN-1	LN-2	-/-/1	10.20 -/-/69	1	1
LAMPHUN-2	LN-2	-/2/-	25.00 -/115/-	2	2
NAN	NA	-/2/-	25.00 -/115/-	1	0
PHICHIT	PC	-/2/-	50.00 -/115/-	1	1
PHETCHABUN	PE	-/2/-	50.00 -/115/-	2	0
PHITSANULOK-1	PL-1	-/2/-	50.00 -/115/-	1	2
PHITSANULOK-2	PL-2	5/2/-	12.50 230/115/-	4	6

ข้อมูลการที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SUBSTATION
SWITCHING DIAGRAM

SUBSTATION'S NAME	NICNAME	BUSBAR	POWER	VOLTAGE	IN	OUT
SUKHOTHAI	ST	-/2/-	25.00	-/115/-	2	1
TAK-1	TA-1	-/2/-	25.00	-/115/-	2	1
TAKHLI-1	TK-1	-/-/2	16.00	-/-/69	1	1
TAKHLI-2	TK-2	-/-/2	25.00	-/-/69	1	1
UTTARADIT	UT	-/2/-	50.00	-/115/-	4	10
** Subtotal **			577.80			
** REGION						
			0.00		0	0
			0.00		0	0
			0.00		0	0
			0.00		0	0
			0.00		0	0
			0.00		0	0
			0.00		0	0
			0.00		0	0
			0.00		0	0
			0.00		0	0
			0.00		0	0
			0.00		0	0
			0.00		0	0
			0.00		0	0
			0.00		0	0
			0.00		0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SEARCH PROGRAMME

SBARCH FOR SPBCIRTC SUBSTATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
**********
* SEARCH *
**********
SET TALK OFF
USE B:SUBSTATI
STORE .T. TO START
DO WHILE START
   CLEAR
   FIBUS  = SPACE(6)
   MAXPOW = 0.00
   MINPOW = 0.00
   FIVOLT = SPACE(12)
   MAXIN  = 0
   MININ  = 0
   MAXOUT = 0
   MINOUT = 0
   APPEND BLANK
   @ 2,10  SAY "   D A T A   F O R   S E A R C H"
   @ 6,10  SAY "BUSBAR: " GET FIBUS
   @ 8,10  SAY "MAX POWER(KVA): " GET MAXPOW
   @ 8,40  SAY "MIN POWER(KVA): " GET MINPOW
   @ 10,10 SAY "VOLTAGE(KV): " GET FIVOLT
   @ 12,10 SAY "MAX INCOMING: " GET MAXIN
   @ 12,40 SAY "MIN INCOMING: " GET MININ
   @ 14,10 SAY "MAX OUTGOING: " GET MAXOUT
   @ 14,40 SAY "MIN OUTGOING: " GET MINOUT
   @ 1,8  TO  15,72 DOUBLE
   READ
   DO WHILE .NOT. EOF()
   LOCATE FOR (BUSBAR = FIBUS) .AND. (POWER <= MAXPOW);
   .AND. (POWER >= MINPOW) .AND. (VOLTAGE = FIVOLT);
   .AND. (IN <= MAXIN) .AND. (IN >= MININ);
   .AND. (OUT <= MAXOUT) .AND. (OUT >= MINOUT)
   @ 22,20
   IF .NOT. FOUND()
       @ 18,20 SAY "NO SUCH NAME...  PLEASE REENTER"
       WAIT
       EXIT
   ENDIF
   DISPLAY FOR BUSBAR = FIBUS .AND. POWER <= MAXPOW .AND. ;
   POWER >= MINPOW .AND. VOLTAGE = FIVOLT .AND. ;
   IN <= MAXIN .AND. IN >=MININ .AND. OUT <= MAXOUT ;
   .AND. OUT >= MINOUT
   IF EOF()
     EXIT
   ENDIF
   SKIP
   ENDDO
   CLEAR
   YES = "N"
   @20,15 SAY "ANY MORE DATA <Y/N> " GET YES
   READ
   IF UPPER(YES) ="N"
      EXIT
   ENDIF
ENDDO
CLEAR
SET TALK ON
RETURN
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D A T A F O R S E A R C H

BUSBAR:

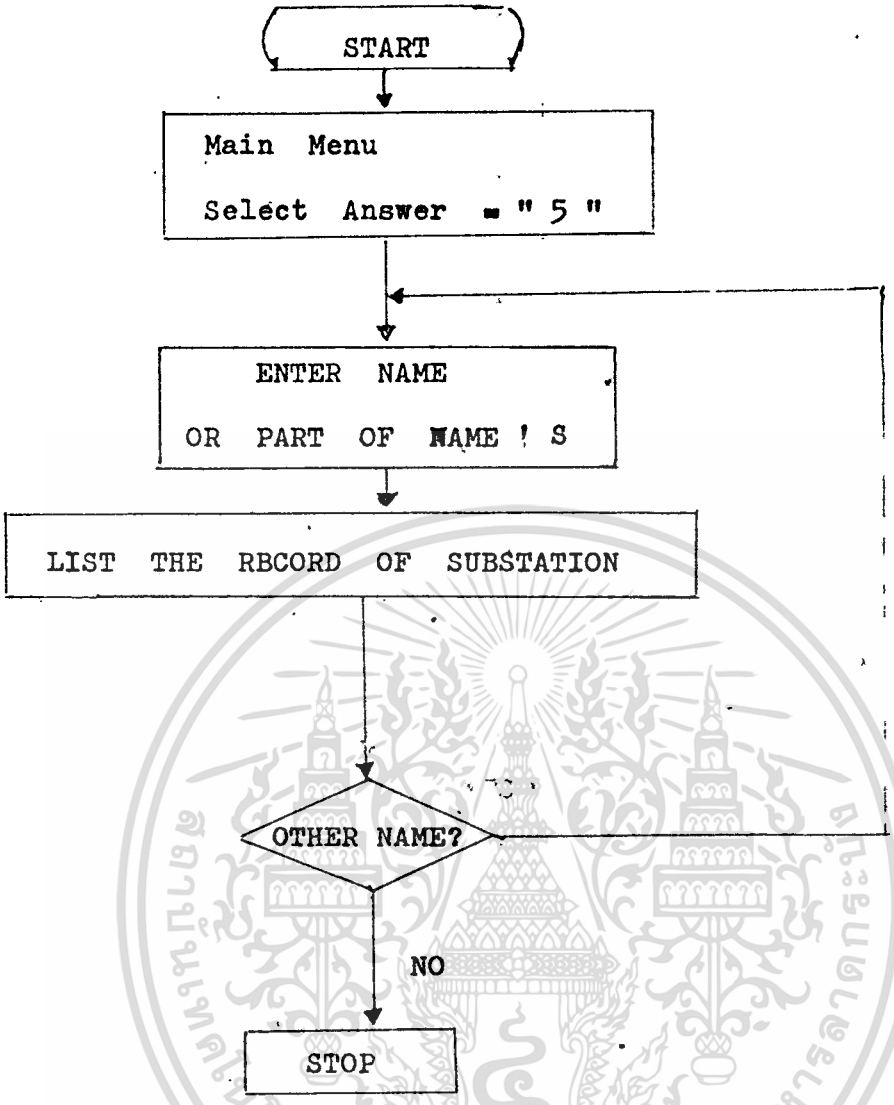
MAX POWER(KVA): 0.00 MIN POWER(KVA): 0.00

VOLTAGE(KV):

MAX INCOMING: 0 MIN INCOMING: 0

MAX OUTGOING: 0 MIN OUTGOING: 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



NAME PROGRAMME

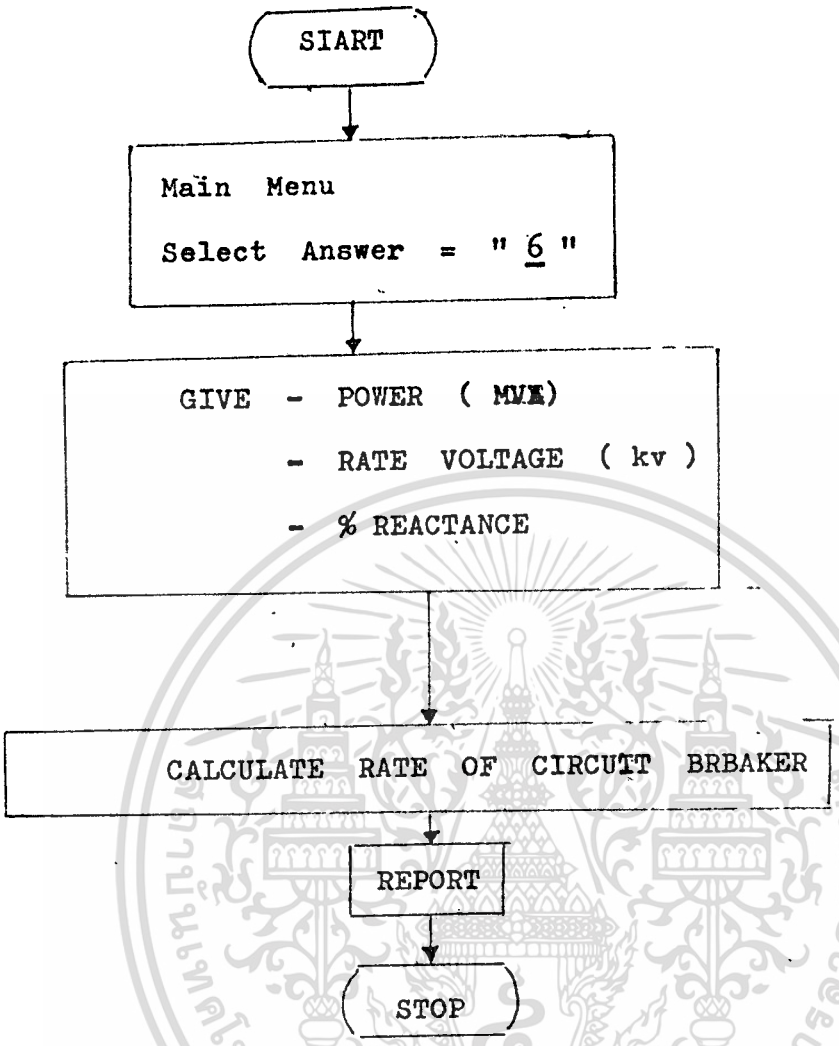
SEARCH FROM NAME' S SUBSTATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
********
* NAME *
********
SET TALK OFF
USE B:SUBSTATI
CLEAR
STORE .T. TO START
DO WHILE START
   NA=SPACE(18)
   CLEAR
   @ 6,20 SAY "ENTER NAME OR PART OF NAME  " GET NA
   READ
   DISPLAY ALL OFF FOR TRIM(NA)$NAME
   WAIT
   CLEAR
   ANS=SPACE(1)
   DO WHILE .NOT. ANS$"YyNn"
      ANS=SPACE(1)
      @ 10,25 SAY "ANY OTHER NAME ?<Y/N> " GET ANS
      READ
   ENDDO
   IF UPPER(ANS)="Y"
      LOOP
   ELSE
      EXIT
   ENDIF
ENDDO
CLEAR
SET TALK ON
RETURN
```

ENTER NAME OR PART OF NAME

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



BREAKER PROGRAMME

FIND THE SPECIRICATION OF CB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
**********
* BREAKER *
**********
SET TALK OFF
USE B:SUBSTATI
CLEAR
STORE .T. TO START
DO WHILE START
   POW  = 0
   VOL  = 0
   REAC = 0
   APPEND BLANK
   @ 2,10 SAY "     DATA FOR CIRCUIT BREAKER"
   @ 4,10 SAY "POWER(MVA): " GET POW PICTURE "999.99"
   @ 6,10 SAY "%REACTANCE: " GET REAC PICTURE "99.99"
   @ 8,10 SAY "VOLTAGE(KV): " GET VOL PICTURE "999"
   TEXT

            80XXX = 230 KV      69XXX =  69 KV
            70XXX = 115 KV     132XXX = 132 KV
   ENDTEXT
   @ 1,8 TO 12,66 DOUBLE
   READ
   @ 15,15
   ANS = (POW*100000)/(1.732*VOL*REAC)
   @ 15,15 SAY "Current Short Circuit..."
   @ 15,45
   ? ANS
   YES = SPACE(1)
   @18,15 SAY "ANY MORE DATA <Y/N> " GET YES
   READ
   IF UPPER(YES) ="N"
      EXIT
   ELSE
      CLEAR
      LOOP
   ENDIF
ENDDO
SET TALK ON
RETURN
```

```
┌──────────────────────────────────────────────────────────────┐
│     DATA FOR CIRCUIT BREAKER                                 │
│                                                              │
│ POWER(MVA):     0.00                                         │
│                                                              │
│ %REACTANCE:    0.00                                          │
│                                                              │
│ VOLTAGE(KV):     0                                           │
│                                                              │
│    80XXX = 230 KV       69XXX =  69 KV                       │
│    70XXX = 115 KV      132XXX = 132 KV                       │
└──────────────────────────────────────────────────────────────┘
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลและวิจารณ์

ในการเชื่อมต่อ และจัดส่งพลังงานไฟฟ้า ในระบบไฟฟ้ากำลัง สิ่งซึ่งเป็นจุดสำคัญของระบบ คือ ส่วนของสถานีไฟฟ้าย่อย (substation) อันเป็นของการจัดวางอุปกรณ์ทางไฟฟ้า ทั้งอุปกรณ์รับและจัดส่งพลังงานไฟฟ้า ร่วมกับอุปกรณ์ป้องกัน ต่าง ๆ โดยคำนึงถึงความเหมาะสมและให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานสูงสุด

การพิจารณาเลือกรูปแบบ และการจัดวางของสถานีไฟฟ้าย่อย เป็นเรื่องที่ต้องละเอียดรอบคอบ และจะต้องมีขั้นตอนในการพิจารณามากมาย งานวิจัยนี้จึงได้นำเอาการจัดเก็บข้อมูลทั้งในส่วนของตัวเลข พิกัด และชนิดของระบบการจัดวางรวมกับข้อมูลที่เป็นรูปภาพแสดงถึงสัญญลักษณ์ทางไฟฟ้า ของสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีอยู่เดิมมาช่วยในการพิจารณาเปรียบเทียบ และเป็นแนวทางในการที่จะมีการจัดสร้าง หรือออกแบบสถานีไฟฟ้าย่อยแห่งใหม่

เนื่องจากในปัจจุบัน คอมพิวเตอร์ได้มีบทบาทมากขึ้น ในการจัดทำโครงงานต่าง ๆ งานวิจัยนี้จึงได้นำโปรแกรมการใช้งานคอมพิวเตอร์มามีส่วนช่วยในการทำงาน โดยการนำจุดเด่นของโปรแกรม d BASE ในการช่วยเก็บและง่ายในการค้นหาข้อมูล มารวมกับ Auto CAD ซึ่งช่วยในการจัดสร้าง และเก็บรูปภาพ แต่ในส่วนของการแสดงผล ยังขาดความต่อเนื่องอยู่บ้าง ดังนั้นสำหรับการนำไปใช้งานจริงนั้น ควรนำระบบความจำขนาดใหญ่ หรือ Hard Disk มาช่วยในการเก็บข้อมูล และเมื่อมีการเก็บข้อมูลทั้งหมดรวมกันในส่วนเดียวก็จะช่วยให้การแสดงผล ที่รวดเร็ว และต่อเนื่องยิ่งขึ้น

ในปัจจุบัน การใช้ Auto CAD มีการพัฒนารูปแบบเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ทั้งในด้านการสร้างรูปภาพ และการสร้างโปรแกรมช่วย อันเป็นแนวทางที่จะพัฒนางานวิจัยนี้ต่อไปในอนาคต

จากที่กล่าวมาข้างต้น เป็นการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบและจัดสร้าง สถานีไฟฟ้าย่อยในส่วนของการจัดวางทางไฟฟ้า ซึ่งจะเห็นว่ามีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการที่จะจัดสร้างระบบไฟฟ้ากำลังต่อไปในอนาคต.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิจกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือในการแก้ปัญหาต่าง ๆ อย่างดียิ่งตลอดมา

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) แผนกควบคุมและสั่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าทุกท่านที่ให้ความกรุณา ช่วยจัดหาข้อมูล อันเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้า

และขอขอบพระคุณ เพื่อน ๆ ทุกคน สำหรับคำแนะนำและความช่วยเหลือทุก ๆ อย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. M.BRUN = BUISSON; M.BERTHOUX ; M. CLBARENCE ; M. CORNU = BRIEUX ; M. DACHON ; M.DESROCHES ; M.HENRY ; M.JUVENELS ; M. LEROY ; M. TOURNIER , HV AND EHV OPEN SUBSTATION, ELEC 79 , COLLOQUE INTERNATIONAL.

2. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย คู่มืออบรมวิชาการ เอกสารเลขที่ 37/26

3. ฝ่ายควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า ความรู้ทั่วไปสำหรับผู้ปฏิบัติงานสถานีไฟฟ้าย่อย พิมพ์ครั้งที่ 5

4. Switching Diagram and Transmission Line Diagram
กองควบคุมเขตจ่ายไฟฟ้า ฝ่ายควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า so - R/E - 29- ST - 130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Appendix

DWG. Switching Diagramme

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA FOR SEARCH

BUSBAR: -/2/2

MAX POWER(KVA): 70.00 MIN POWER(KVA): 50.00

VOLTAGE(KV): -/115/69

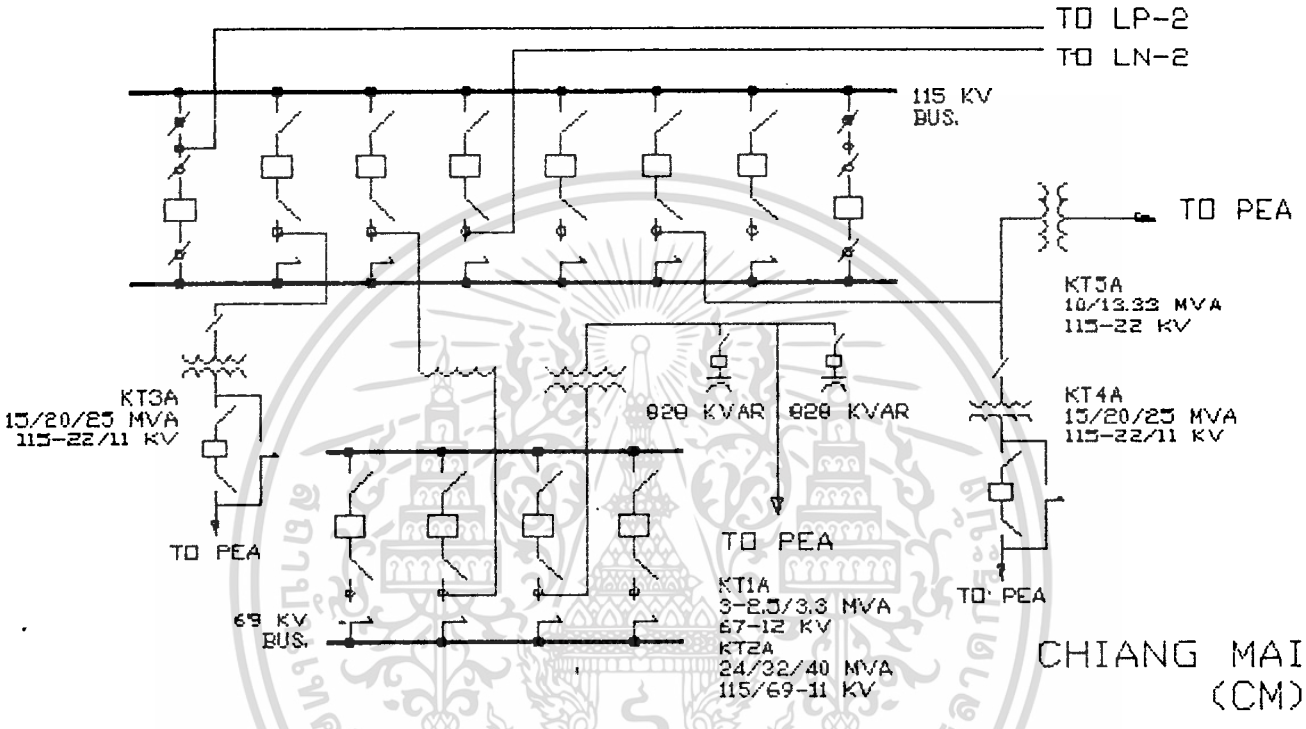
MAX INCOMING: 3 MIN INCOMING: 0

MAX OUTGOING: 3 MIN OUTGOING: 0

Record#	NAME	NICNAME	REGION	BUSBAR	POWER	VOLTAGE	IN	OUT
67	CHIANGMAI-2	CM-2	4	-/2/2	63.30	-/115/69	2	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Layer 0 Snap -7.1000,-4.5000



Enter another font file name for style STANDARD (or RETURN for none):
"ACAD.MNU": Can't open file
Enter another menu file name (or RETURN for none): <Grid off>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA FOR SEARCH

BUSBAR: 5/2/-

MAX POWER(KVA): 15.00 MIN POWER(KVA): 5.00

VOLTAGE(KV): 230/115/-

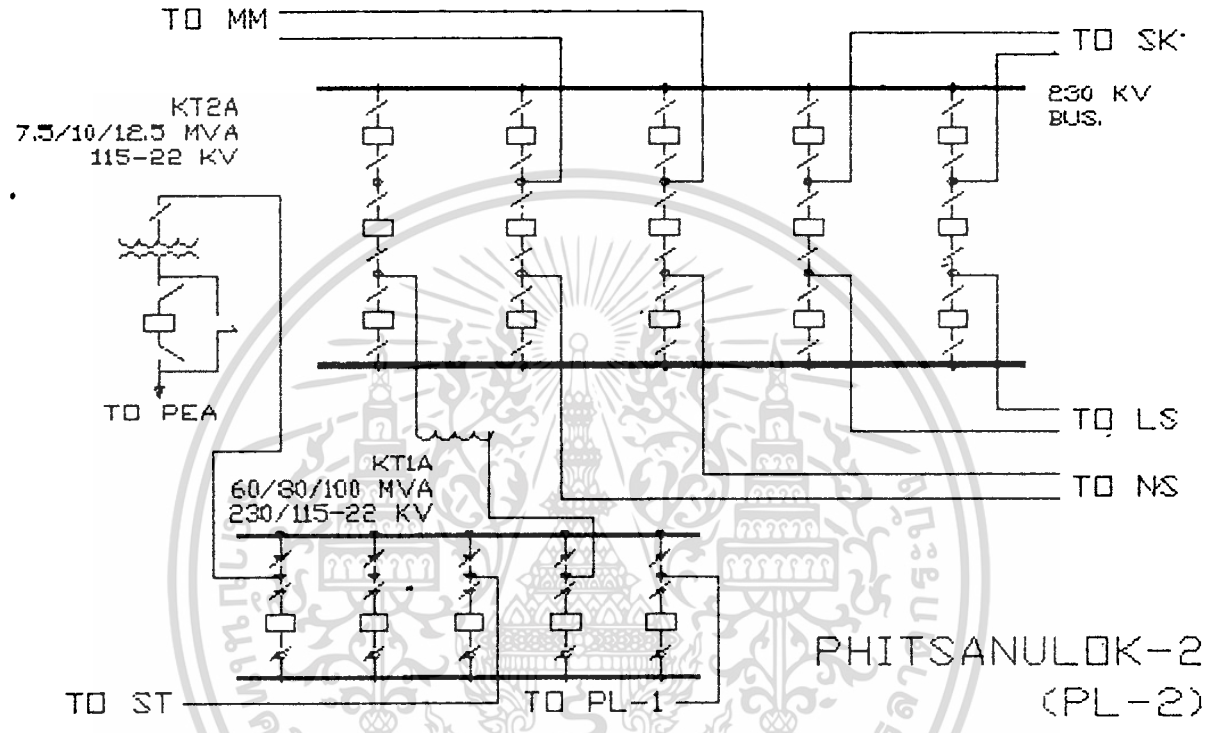
MAX INCOMING: 6 MIN INCOMING: 0

MAX OUTGOING: 6 MIN OUTGOING: 0

Record#	NAME	NICNAME	REGION	BUSBAR	POWER	VOLTAGE	IN	OUT
79	PHITSANULOK-2	PL-2	4	5/2/-	12.50	230/115/-	4	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Layer 0 Snap -7.1000,-5.0000



Enter another font file name for style STANDARD (or RETURN for none):
"ACAD.MNU": Can't open file
Enter another menu file name (or RETURN for none): <Grid off>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA FOR SEARCH

BUSBAR: 5/5/5

MAX POWER(KVA): 500.00 MIN POWER(KVA): 300.00

VOLTAGE(KV): 230/115/69

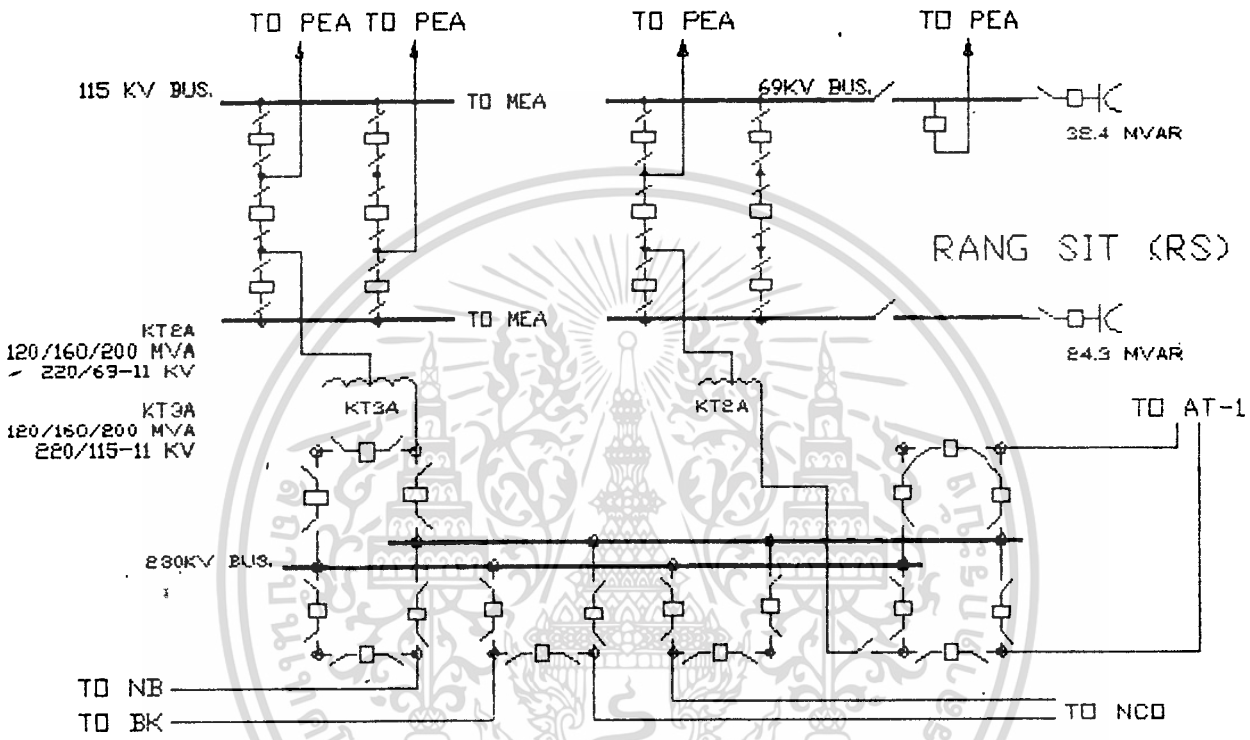
MAX INCOMING: 6 MIN INCOMING: 0

MAX OUTGOING: 6 MIN OUTGOING: 0

Record#	NAME	NICKNAME	REGION	BUSBAR	POWER	VOLTAGE	IN	OUT
17	RANGSIT	RS	1	5/5/5	400.00	230/115/69	2	6

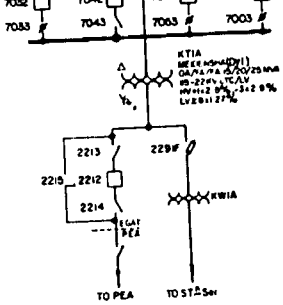
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

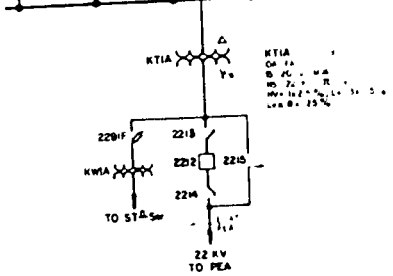
Layer 0 Snap -10.7000,-6.8000



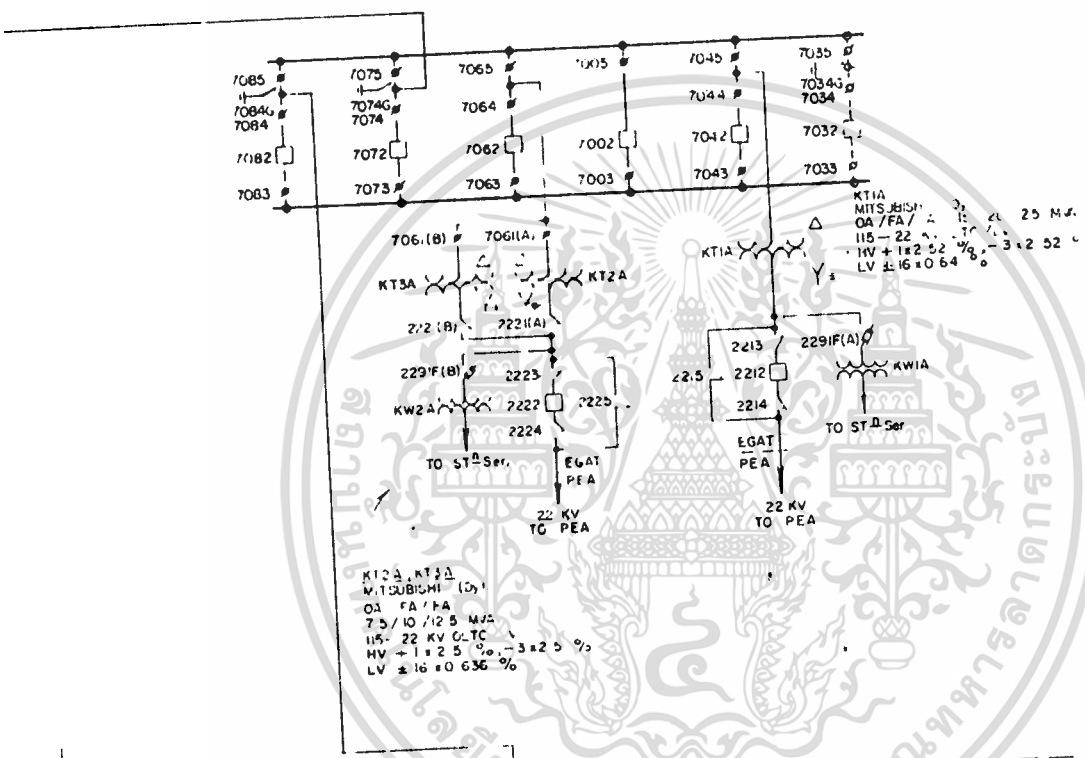
Enter another font file name for style STANDARD (or RETURN for none):
"ACAD.MNU": Can't open file
Enter another menu file name (or RETURN for none): <Grid off>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

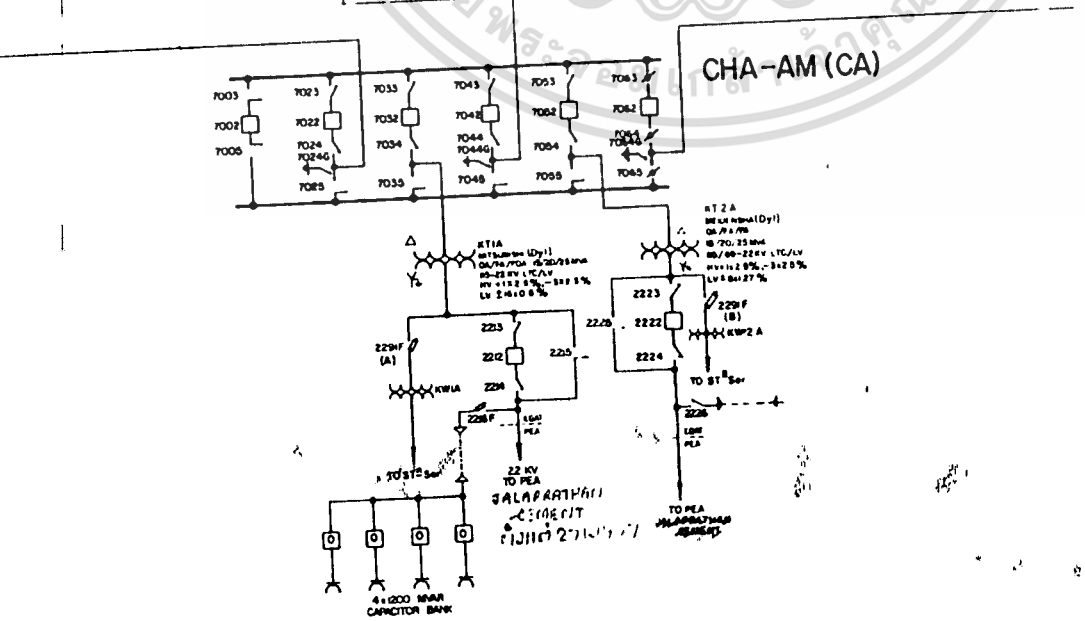




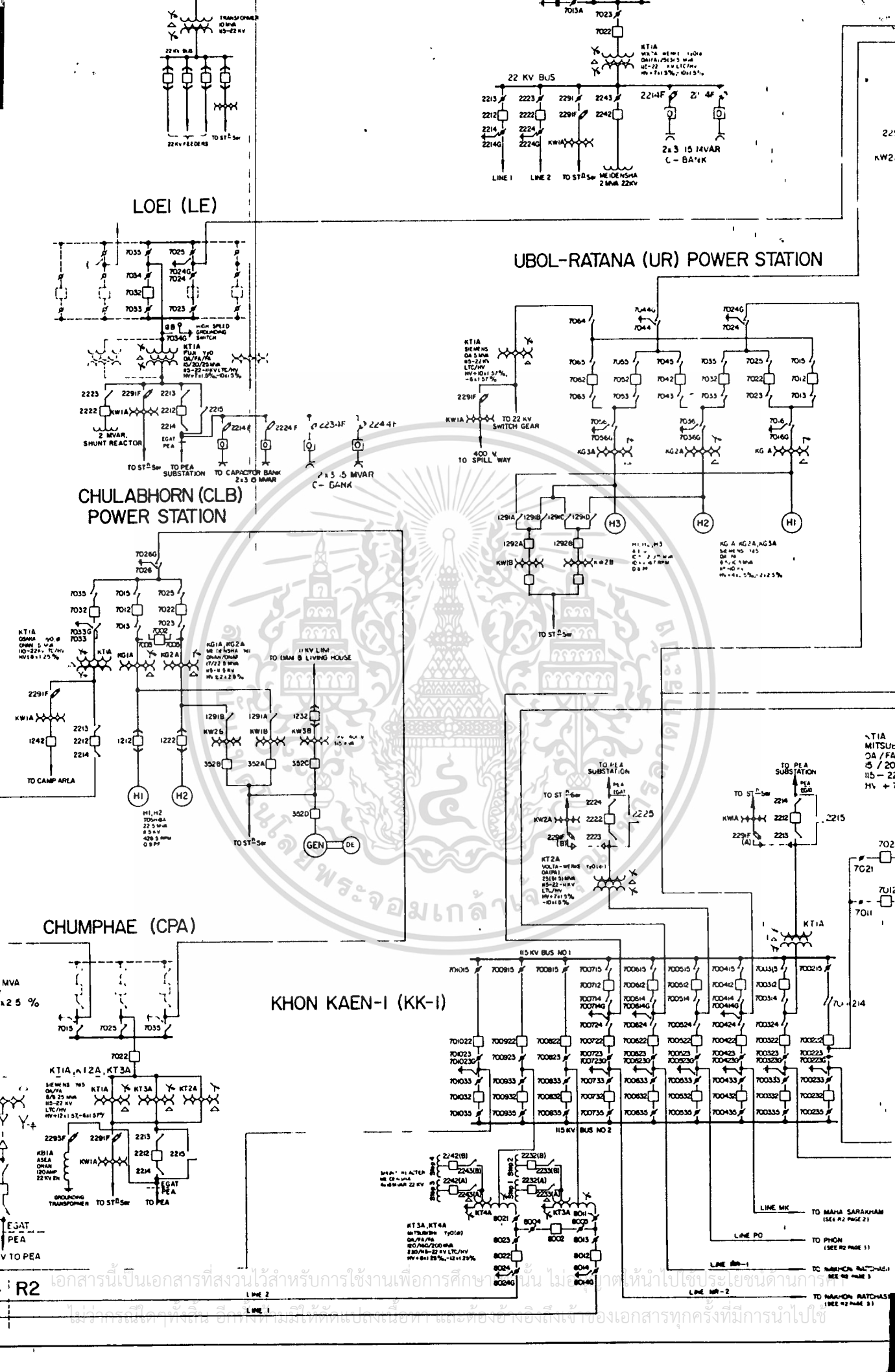
PHETCHABURI (PB)



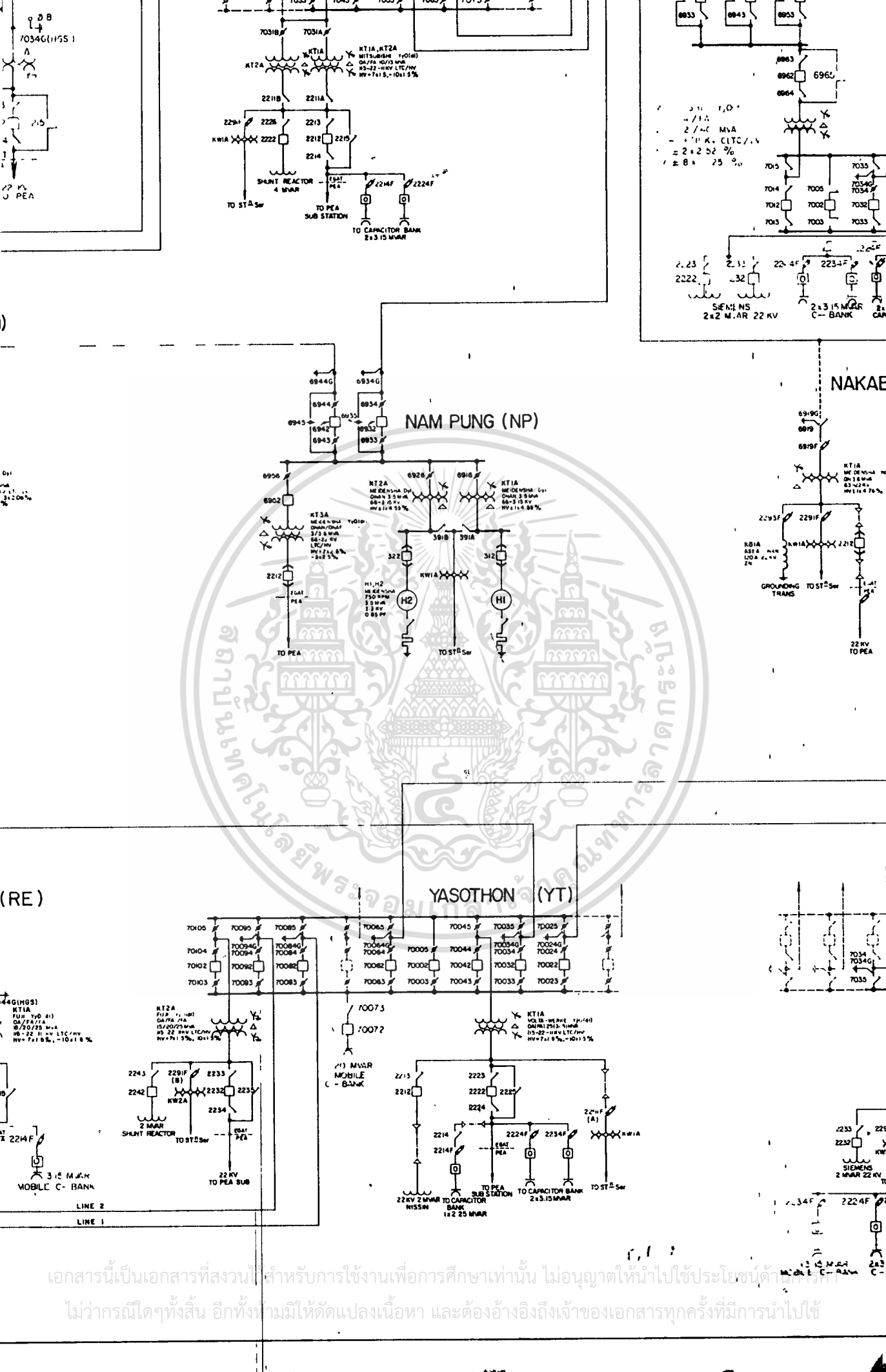
CHA-AM (CA)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้