ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ

Low Voltage Main Distribution Board (M.D.B.)

14043480
ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่ 26 มิ.ย. 2544
เลขทะเบียน วศ 4400/87
มหาวิทยาลัยนเรศวร

นางสาวกมลรัตน์ ทองเพ็ง รหัส 40362295

นายศรพนม ศิลปธร รหัส 40362519

นายสราวุฒิ ปลิกแสง รหัส 40362576

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2543

ใบรับรองโครงงานวิจัย

หัวข้อโครงงาน : ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ

Performance : Low Voltage Main Distribution Board (M.D.B.)

ผู้ดำเนินโครงงาน : นางสาวกมลรัตน์ ทองเพ็ง รหัส 40362295

นายศรพนม ศิลปธร รหัส 40362519

นายสราวุฒิ ปลิกแสง รหัส 40362576

อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ.วรศักดิ์ นิรัคมนาภรณ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : อ.แคทรียา อัดสูงเนิน

สาขา : วิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา : วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะกรรมการสอบโครงงานวิจัย

.....ประธานกรรมการ
(รศ. วรศักดิ์ นิรัคมนาภรณ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ สมยศ เกียรติวนิชวิไล)

.....กรรมการ
(อาจารย์ พนัส นัถฤทธิ์)

หัวข้อโครงงาน	: ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ	
ผู้ดำเนินโครงงาน	: นางสาวกมลรัตน์ ทองเพ็ง	รหัส 40362295
	นายศรพนม ศิลปธร	รหัส 40362519
	นายสราวุฒิ ปลิกแสง	รหัส 40362576
อาจารย์ที่ปรึกษา	: รศ. วรศักดิ์ นิรัคมนากรณ์	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	: อ. แคทรียา อัดสูงเนิน	
สาขา	: วิศวกรรมไฟฟ้า	
ภาควิชา	: วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์	
ปีการศึกษา	: 2543	

.....

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาการออกแบบตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าในอาคาร โดยเริ่มต้นจากการศึกษาอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ภายในตู้ ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ป้องกัน อุปกรณ์เชื่อมต่อ อุปกรณ์วัดกระแสที่จุดต่างๆ ของวงจรไดอะแกรมเส้นเดียว แล้วนำมากำหนดอุปกรณ์ที่ใช้ และในตอนท้ายได้กล่าวถึงวิธีการทดสอบตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานอุตสาหกรรม

ผลจากการศึกษาและทดลองออกแบบตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าโดยวิธีการข้างต้น ทำให้สามารถกำหนดอุปกรณ์ที่ใช้ภายในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าได้ เป็นตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ 3 เฟส 4 สาย แรงดัน 380 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์

Project Title	: Low Voltage Main Distribution Board	
Name	: Ms.Kamonrat Tongpang	ID.40362295
	Mr.Sompanom Sillapaton	ID.40362519
	Mr.Sarawuth Pilksang	ID.40362576
Project Advisor	: Associate Professor Vorasak Nirukkanaporn	
Co-Project Advisor	: Ms.Cattareeya Adsoongoen	
Field of Study	: Electrical Engineering	
Department	: Electrical and Computer Engineering	
Academic Year	: 2000	

.....

Abstract

The scope of this project is to design the Main Distribution Panel Board; studying the specification of the equipment, the protection, metering, power factor controller and grounding, electrical testing, low voltage system of switchgear and controllgear assembly.

From the studying and designing result, the equipment can be indicated, the electrical system of the Main Distribution Panel Board is 3 phase 4 wire 380 V 50 Hz.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำโครงการใคร่ขอแสดงความขอบคุณอย่างสูง ต่อบุคคลดังรายนามต่อไปนี้ ที่ช่วยให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

1. รศ. วรศักดิ์ นิรัตพนาภรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานผู้ให้แนวคิดคำแนะนำและความกรุณาในด้านเอกสาร

2. อ. แคทรียา อัดสูงเนิน อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมผู้ให้คำแนะนำและตรวจทานรายงานให้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากขึ้น

3. นายสุทรรศน์ ปลงการิยา ผู้ช่วยเหลือในการแนะนำให้รู้จักกับตู้ M.D.B.

4. พ่อแม่และเพื่อนนักศึกษาทุกคนที่มีส่วนช่วยเหลือและให้กำลังใจในการจัดทำโครงงาน

นางสาวกมลรัตน์ ทองเพ็ง
นายศรพนม ศิลปธร
นายสราวุฒิ ปลิกแสง

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงงานวิจัย	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูปภาพ	ญ
สารบัญกราฟ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 วัตถุประสงค์	1
1.2 หลักการและเหตุผล	1
1.3ขอบข่ายของโครงงาน	1
1.4 กิจกรรมการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าได้รับ	2
1.6 งบประมาณที่ใช้	3
บทที่ 2 ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าในอาคาร	
2.1 คำจำกัดความของตู้ เอ็มดีบี	4
2.2 การออกแบบตู้ เอ็มดีบี	4
บทที่ 3 อุปกรณ์ภายในตู้	
3.1 อุปกรณ์ป้องกัน	7
3.2 อุปกรณ์เชื่อมต่อวงจรไฟฟ้า	42
3.3 อุปกรณ์วัดและแสดงผล	45
3.4 อุปกรณ์ปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์	49
3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการต่อลงดิน	53

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 วัสดุและอุปกรณ์ในการเดินสายไฟฟ้า	
4.1 สายไฟ	55
4.2 ท่อและรางเดินสายไฟ	61
4.3 เทปพันสายไฟ	61
4.4 แผงไม้	62
4.5 ตู้ควบคุมไฟฟ้า	63
4.6 ขั้วต่อสายไฟ	64
บทที่ 5 การเดินสายไฟในท่อและราง	
5.1 ชุดเครื่องมือตัดท่อ	67
5.2 ท่อร้อยสายไฟ	67
5.3 อุปกรณ์ที่ใช้เดินสายไฟด้วยท่อ	68
5.4 ข้อสังเกตุและพึงระวังในการเดินสายไฟในท่อ	68
5.5 ทฤษฎีการดัดท่อ	69
5.6 วิธีดัดท่อบางด้วยเบนเดอร์	74
5.7 การเดินสายในท่อและในรางใต้พื้นดิน	76
5.8 การเดินสายในรางเหนือพื้นดิน	76
5.9 การเดินสายในรางบัสเวย์	77
5.10 การเดินสายไฟในรางเคเบิลเท	79
บทที่ 6 การคำนวณหาขนาดของเซอร์กิตเบรคเกอร์	
6.1 การคำนวณโหลดทั้งหมดของตึกอาคารเรียนรวม	80
6.2 การคำนวณโหลดทั้งหมดของอาคารภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ-เครื่องกล	89
บทที่ 7 การออกแบบตู้ M.D.B.	
7.1 การกำหนดขนาดของมิเตอร์	96
7.2 การกำหนดขนาดของอุปกรณ์ปรับปรุงเพาวเวอร์แฟคเตอร์	99

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
7.3 การต่อวงจรในแผงสวิตช์จ่ายไฟ	102
7.4 สิ่งอำนวยความสะดวกในการเข้าสาย	103
7.5 ข้อมูลของแผงสวิตช์จ่ายไฟแรงต่ำ	103
7.6 เครื่องมือบำรุงรักษา	103
7.7 การคำนวณการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในตู้	104
บทที่ 8 การทดสอบตู้ M.D.B.	
8.1 การแบ่งประเภทของการทดสอบตู้	109
8.2 การทดสอบเฉพาะแบบ	113
บทที่ 9 บทสรุป	
9.1 วิเคราะห์ผล	129
9.2 สรุป	129
9.3 ปัญหาและการแก้ไข	129
9.4 แนวทางดำเนินงานสำหรับการทำการครั้งต่อไป	129
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.	
ภาคผนวก ข.	
ภาคผนวก ค.	
ภาคผนวก ง.	
ภาคผนวก จ.	
ภาคผนวก ฉ.	
ประวัติผู้ทำโครงงาน	

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของ HRC – Fuse ขนาดต่างๆ 34

ตารางที่ 3.2 พิกัดเบอร์เด็นของหม้อแปลงกระแสที่ 50 HZ 47

ตารางที่ 3.3 ค่าพิกัดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้กับ C 51

ตารางที่ 5.1 รัศมีความโค้งของท่อขนาดต่าง ๆ 70

ตารางที่ 5.2 ค่า Gain Factor ของมุมดัดต่างๆ 72

ตารางที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะ S,L และ C ที่มุมต่าง 73

ตารางที่ 5.4 การดัดท่อด้วยเบนเดอร์ 74

ตารางที่ 6.1 ตารางโหลดของอาคารเรียนรวม

ชั้นที่ 1 80

ชั้นที่ 2 81

ชั้นที่ 3 82

ชั้นที่ 4 83

ชั้นที่ 5 84

ชั้นที่ 6 85

ระบบแอร์ 86

ตารางที่ 6.2 ตารางโหลดของอาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ-เครื่องกล

ชั้นที่ 1 89

ปั๊มน้ำ 90

ชั้นที่ 2 90

ชั้นที่ 3 91

ชั้นที่ 4 92

ชั้นที่ 5 93

ชั้นที่ 6 94

ชั้นที่ 7 94

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 7.1 surface factor "b" 108

ตารางที่ 7.2 factor "d" ตามจำนวนชั้นในแนวนอนของตู้ "n" 108

ตารางที่ 7.3 เลขชี้กำลัง x 108

ตารางที่ 8.1 ตารางทวนสอบและทดสอบทำกับตู้ไฟฟ้าทดสอบ เฉพาะแบบและตู้ไฟฟ้าทดสอบเฉพาะแบบบางส่วน 110

ตารางที่ 8.2 พื้นที่หน้าตัดมาตราฐานของตัวนำทองแดงสมนัยกับกระแสไฟฟ้าทดสอบ 114

ตารางที่ 8.3 ขนาดหน้าตัดมาตราฐานของตัวนำทองแดงสมนัยกับกระแสไฟฟ้าทดสอบ 116

ตารางที่ 8.4 ขีดจำกัดของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 117

ตารางที่ 8.5 แรงดันไฟฟ้าของฉนวนที่กำหนด 120

ตารางที่ 8.6 แรงดันไฟฟ้าของฉนวนที่กำหนดและแรงดันไฟฟ้าทดสอบไดอิเล็คทริก 121

ตารางที่ 8.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าผิดพร่องและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดทองแดง 125

ตารางที่ 8.8 ค่ามาตรฐานตัวประกอบ n ตัวประกอบกำลัง 128

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 ลักษณะภายนอกของตู้ M.D.B. 6

รูปที่ 2.2 ลักษณะการติดตั้งของอุปกรณ์ของตู้ M.D.B. 6

รูปที่ 3.1เทอร์มอลแมกเนทิคโมลดเคชเซอร์กิตเบรคเกอร์ 10

รูปที่ 3.2โครงสร้างของเทอร์มอลยูนิต 11

รูปที่ 3.3โครงสร้างของเทอร์มอลยูนิต 11

รูปที่ 3.4 แผนผังการทำงานของอิเล็กทรอนิคทริป 12

รูปที่ 3.5 อิเล็กทรอนิคทริปโมลดเคชเซอร์กิตเบรคเกอร์ 12

รูปที่ 3.6 แอมป์มิเตอร์และฟอล์ตอินดิเคเตอร์ 13

รูปที่ 3.7 ตำแหน่งพุชทูทริป 23

รูปที่ 3.8 ชันทริปไวริงไดอะแกรม 25

รูปที่ 3.9 กราวด์ฟอล์ตชันทริปไวริงไดอะแกรม 26

รูปที่ 3.10 ออกซิลารี่สวิตช์ 26

รูปที่ 3.11 ออกซิลารี่สวิตช์ 26

รูปที่ 3.12 อลาร์มสวิตช์ไวริงไดอะแกรม 27

รูปที่ 3.13 เพดล็อกแอทเทชเมนต์ 27

รูปที่ 3.14 ไซเลนเดอร์ล็อก 27

รูปที่ 3.15 มอเตอร์โอเปอร์เรต 28

รูปที่ 3.16 ครอวเอาท์ไทป 28

รูปที่ 3.17 ฟิคไทป 29

รูปที่ 3.18 มิเนเทอร์เซอร์กิตเบรคเกอร์ 29

รูปที่ 3.19 โหลดเซนเตอร์ 30

รูปที่ 3.20 คอนซูเมอร์ยูนิต 30

รูปที่ 3.21 เอิร์ทลีกเกจเมนเซอร์กิตเบรคเกอร์ 31

รูปที่ 3.22 รูปร่างของฟิวส์ 32

รูปที่ 3.23 ส่วนประกอบต่างๆของรีเลย์กระแสเกินแบบหน่วงเวลา 36

รูปที่ 3.24 วงจรภายในตัวรีเลย์กระแสเกินแบบหน่วงเวลา 37

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.25 ลักษณะโครงสร้างของจานรีเลย์แบบเพิ่มขั้วบัง	38
รูปที่ 3.26 วงจรทริปของรีเลย์กระแสเกินแบบหน่วงเวลา	39
รูปที่ 3.27 การต่อรีเลย์เข้ากับส่วนอื่นๆของวงจรควบคุม	40
รูปที่ 3.28 ลักษณะของเวลา-กระแสแบบผกผันของรีเลย์ ที่แตกต่างกัน 3 แบบ	41
รูปที่ 3.29 รูปร่างของบัสเวย์	43
รูปที่ 3.30 โครงสร้างของบัสเวย์	44
รูปที่ 3.31 โมโนแกรมการหาพื้นที่หน้าตัดของสายทางด้านทุติยภูมิ	48
รูปที่ 3.32 กำลังไฟฟ้าจริง , กำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ	49
รูปที่ 3.33 รูปร่างของคอนแทคเตอร์	52
รูปที่ 3.34 รูปร่างของหสวิตช์ช่วยหรือคอนแทคช่วย	52
รูปที่ 3.35 การต่อลงดินของหม้อแปลงและเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า	54
รูปที่ 4.1 สายไฟที่เป็นทองแดงและอลูมิเนียม	55
รูปที่ 4.2 สายแข็งและสายตีเกลียว	56
รูปที่ 4.3 สายไฟชนิดต่างๆ	57
รูปที่ 4.4 พื้นที่หน้าตัดของสายไฟ	59
รูปที่ 4.5 ไวร์เกจมาตรฐาน S W G.	59
รูปที่ 4.6 ไมโครมิตอร์ชนิดนิ้ว	60
รูปที่ 4.7 ไมโครมิเตอร์ชนิดมิลลิเมตร	60
รูปที่ 4.8 การพันเทป	62
รูปที่ 4.9 แผงไม้ชนิดต่างๆ	63
รูปที่ 4.10 ตู่ควบคุมไฟฟ้า	64
รูปที่ 4.11 ขั้วต่อสายไฟชนิดต่างๆ	65
รูปที่ 4.12 ส่วนประกอบอื่นๆในการเดินสายไฟฟ้า	66
รูปที่ 5.1 การดัดท่อแบบคอม้า	71
รูปที่ 5.2 การดัดท่อแบบคอม้าในทิศทางตรงกันข้าม	72

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.3 การดัดท่อข้ามสิ่งกีดขวาง 73
รูปที่ 5.4 การตัดท่อเป็นมุม 90 องศา 75
รูปที่ 5.5 การดัดท่อออฟเซท 75
รูปที่ 5.6 การดัดท่อออฟเซทตามตัวอย่าง 76
รูปที่ 5.7 การเดินสายไฟในท่อและในรางใต้พื้น 76
รูปที่ 5.8 การเดินสายไฟในราง 77
รูปที่ 5.9 การเดินสายไฟด้วยรางบัสเวย์ 78
รูปที่ 5.10 การเดินสายไฟด้วยเคเบิลเท 79
รูปที่ 7.1 โมโนแกรมหาพื้นที่หน้าตัดของสายทางด้านทุติยภูมิ 98
รูปที่ 7.2 ซิงเกิลไลน์ไดอะแกรมของตู้แบบสมบูรณ์ 101
รูปที่ 7.3 โครงสร้างตู้ที่มีการแบ่งชั้นในแนวนอน 3 ส่วน 104
รูปที่ 7.4 โครงสร้างตู้ที่มีการแบ่งชั้นในแนวตั้งมากกว่า 1 ส่วน 107

สารบัญกราฟ

	หน้า
กราฟที่ 3.1 ค่ากระแสอาร์เอ็มแอสที่ผ่านเซอร์กิตเบรคเกอร์	14
กราฟที่ 3.2 คลื่นกระแสโอเวอร์โปเทคโหลด	14
กราฟที่ 3.3 คลื่นกระแสอันเดอร์โปเทคโหลด	14
กราฟที่ 3.4 แสดงค่าตัวคูณกับค่ากระแสพิกัดที่ 400 เฮิรตซ์	15
กราฟที่ 3.5 แสดงค่าตัวคูณกับค่ากระแสพิกัดที่ 60 เฮิรตซ์	15
กราฟที่ 3.6 แสดงอุณหภูมิและค่าพิกัดกระแสของเบรคเกอร์	16
กราฟที่ 3.7 ทริปปิงเคริฟกระแสเกินและกระแสลัดวงจร	25
กราฟที่ 3.8 ลักษณะสมบัติของกระแสไฟฟ้า-เวลาของไดอเซตฟิวส์ชนิดตัดช้า	33
กราฟที่ 3.9 ลักษณะสมบัติของกระแสไฟฟ้า-เวลาของไดอเซตฟิวส์ชนิดตัดเร็ว	33
กราฟที่ 7.1 การกระจายอุณหภูมิที่ความสูงต่างๆกันภายในตู้	106

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่1
บทนำ

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าจัดเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่ง ในการดำเนินชีวิตและพัฒนาประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การพัฒนาด้านอุตสาหกรรม ในขณะที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า เช่น สภาวะลัดวงจร ย่อมทำให้เกิดผลเสียหาย ต่อกระบวนการผลิตของสถานประกอบการและอุปกรณ์ไฟฟ้า วิธีการอย่างหนึ่งที่ช่วยให้ระบบไฟฟ้าทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และลดความเสียหายซึ่งอาจเกิดแก่ระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้า จึงจำเป็นต้องมีการป้องกันระบบไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือสูง และอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดในการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นรวมถึงการส่งจ่ายพลังงานและควบคุมระบบไฟฟ้าทั้งหมดก็คือ " ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า "

1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและทดลองออกแบบตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ

1.2 หลักการและเหตุผล

ในการออกแบบตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ต้องเริ่มจากการศึกษาอุปกรณ์แต่ละชนิดที่จะนำมาใช้ จากโหลดที่ได้นำมาเขียน ซิงเกิลไลน์ไดอะแกรม (Single Line Diagram) ทำการวิเคราะห์โหลดแต่ละชุด ทำการคำนวณหากระแสแต่ละจุดเพื่อเลือกอุปกรณ์ที่นำมาใช้

1.3 ขอบข่ายของโครงงาน

- ศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้ภายในตู้
- ศึกษาการเลือกวัสดุที่ใช้
- ศึกษามาตราฐาน ข้อกำหนดของตู้ M.D.B.ตามมาตราฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
- คำนวณหาขนาดของอุปกรณ์ แต่ละส่วนที่ใช้ภายในวงจรของตู้
- คำนวณผลของอุณหภูมิที่เพิ่มภายในตู้

1.4 กิจกรรมการดำเนินงาน

ตาราง1.1ขั้นตอนการดำเนินงาน

กิจกรรม	เดือน-ปี							
	มี.ค.43	เม.ย.43	พ.ค.43	มิ.ย.43	ก.ค.43	ส.ค.43	ก.ย.43	ต.ค.43
1.ศึกษารูปแบบและอุปกรณ์ภายในของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงต่ำ	←	→						
2.ศึกษาหลักการทำงานของอุปกรณ์แต่ละชนิดของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า		←	→					
3.ศึกษาการออกแบบตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงต่ำ			←	→				
4.สรุปผล จัดทำรูปเล่ม และสอบข้อเสนอโครงงาน				←	→			
5.วิเคราะห์ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงต่ำของอาคารตัวอย่าง					←	→	→	
6. สรุปผล จัดทำรูปเล่ม และสอบโครงงาน							←	→

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถที่จะออกแบบและสร้างตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงต่ำได้ เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าย่อยๆ และเพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นจากอุปกรณ์ไฟฟ้าและในกรณีที่เกิดความผิดปกติทางไฟฟ้าขึ้น ก่อนที่จะเกิดความเสียหายลุกลามไปที่อื่นๆ ต่อไป

1.6 งบประมาณที่ใช้

ค่าถ่ายเอกสาร A4	1590.50 บาท
ค่าถ่ายเอกสาร A3	128 บาท
ค่าถ่ายเอกสาร A0	43 บาท
ค่าฟิล์ม 1ม้วน	115 บาท
ค่าเติมหมึก CANON BC-20	400 บาท

รวมเป็นเงินทั้งสิ้น 2276.50 บาท

บทที่ 2
ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าในอาคาร

ระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารขนาดใหญ่หรืออาคารสูง มักจะเป็นระบบไฟฟ้าขนาดเป็นหลายพันเควีเอ และมีกระแสหลายพันแอมป์ ซึ่งถ้าหากการป้องกันการลัดวงจรไม่เหมาะสมแล้ว อาจเกิดอันตราย หรือเสียหายอย่างใหญ่หลวงได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการออกแบบระบบป้องกันเพื่อให้เกิดความปลอดภัยอย่างสูงสุด

ในระบบความควบคุมและป้องกันการลัดวงจรในอาคารสูง จะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า **ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า (Main Distribution Panel Board ,M.D.B.)** เพื่อควบคุมความปลอดภัยจากกระแสลัดวงจร และควบคุมการจ่ายไฟให้กับอาคาร และเนื่องจากระบบไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารจะเป็นแรงดันต่ำ ดังนั้นจึงเรียกตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ

2.1 คำจำกัดความของตู้ M.D.B.

โดยคำนิยามจาก มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ให้ความหมายของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำหรือ M.D.B. ไว้ว่า

ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ (Low Voltage System of Switchgear and Controlgear Assembly) หมายถึงตู้ที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ตัดต่อวงจร อุปกรณ์ควบคุม อุปกรณ์เครื่องมือวัด ระบบป้องกัน ในระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 1000 โวลต์

2.2 การออกแบบตู้ M.D.B.

การออกแบบตู้ M.D.B.สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาการออกแบบตู้

ควรจะเริ่มจากแผนภาพเส้นเดียว (Single Line Diagram) ซึ่งจะช่วยให้เราสามารถกำหนดขนาดของตู้ M.D.B. ได้ การกำหนดขนาดก็คือ

การดูว่ามีอุปกรณ์อะไรบ้างที่แสดงอยู่ในแผนภาพเส้นเดียว เช่น อุปกรณ์ควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ที่ช่วยในการป้องกันระบบ โดยการออกแบบในการออกแผนภาพเส้นเดียวเริ่มจากแบ่งชนิดของโหลด แล้วทำการจัดโหลดเข้าแต่ละ Panel ให้เกิดความสมดุลย์ของค่า VA ในแต่ละเฟส โดยจัดลักษณะวงจรให้เหมาะกับลักษณะงานของตู้

ขั้นตอนที่ 2 การแบ่งส่วนต่างๆ ของตู้

ขั้นตอนนี้จะต้องเข้าใจถึงแผนภาพเส้นเดียวว่า อุปกรณ์ใดบ้างควรติดตั้งอยู่ในกลุ่มเดียวกัน เพื่อให้การจัดอุปกรณ์ต่างๆง่ายแก่การซ่อมแซม หรือแก้ไขเพิ่มเติม รวมทั้งยังให้ความสวยงามอีกด้วย จากแผนภาพเส้นเดียวสามารถที่จะแบ่งอุปกรณ์ออกเป็นส่วนๆ ดังนี้

- ส่วนของอุปกรณ์ตัดตอนหลัก (Main Circuit Breaker) ในส่วนนี้จะทำหน้าที่รับไฟจากหม้อแปลงและจ่ายไฟให้กับเบรคเกอร์ย่อยรวมไปถึงสายจากปุ่มสำหรับกดเพื่อเปิดเปิดไฟฟ้า (Push Button) และ มิเตอร์ต่างๆ ส่วนนี้ต้องการพื้นที่มากพอสมควรจึงควรแยกออกเป็นส่วนหนึ่ง

- ส่วนของอุปกรณ์ตัดตอนย่อย (Branch Circuit Breaker) ส่วนนี้ควรแยกออกมาจากส่วนอื่น เพื่อความเป็นระเบียบในการจัดวาง และสะดวกในการนำสายฟีดเดอร์ (Feeder) ออกมาจากตู้

- ส่วนของอุปกรณ์วัด (Metering) ส่วนนี้ประกอบด้วย แอมป์มิเตอร์ โวลต์มิเตอร์ กิโลวัตต์ – ชั่วโมงมิเตอร์ เพาเวอร์แฟคเตอร์มิเตอร์ ฟรีเควนซี่มิเตอร์ เป็นต้น ในส่วนนี้จะแสดงการทำงานในช่วงเวลานั้น

- ส่วนของขั้วต่อ (Terminal Block) เป็นจุดต่อในการจ่ายโหลดไปยังที่ต่างๆ

- ส่วนของอุปกรณ์พิเศษจากแผนภาพเส้นเดียว (Single Line Diagram) ที่ได้จากขั้นตอนแรก นำมาคำนวณขนาดของอุปกรณ์ที่โดยเริ่มจาก

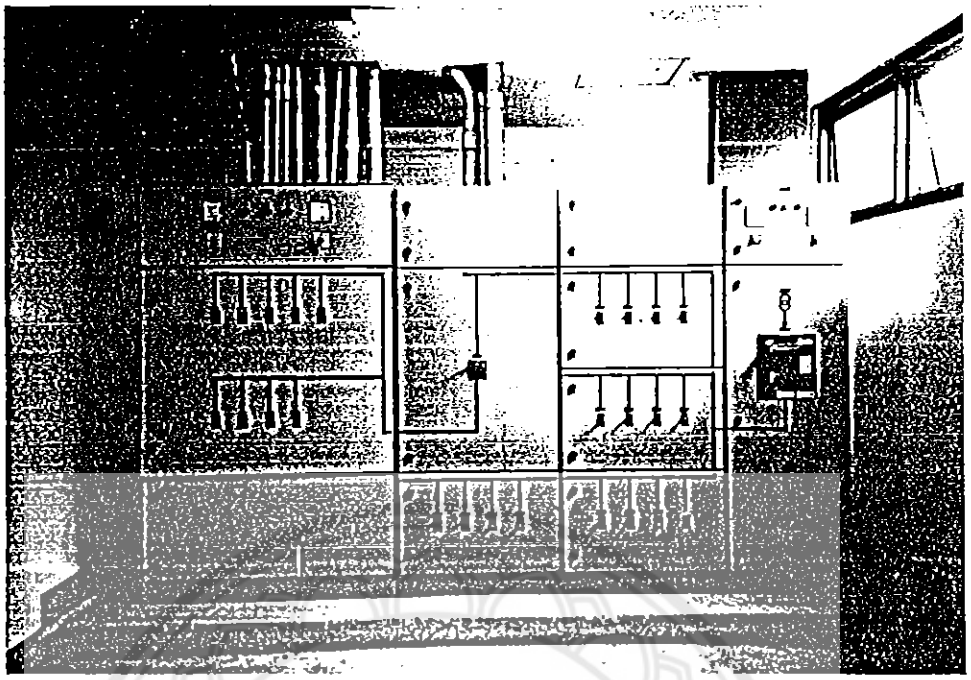
- หาขนาดของเคเบิล บัสบาร์ และ เบรคเกอร์

- เลือกชนิดหม้อแปลงกระแสที่เหมาะสม

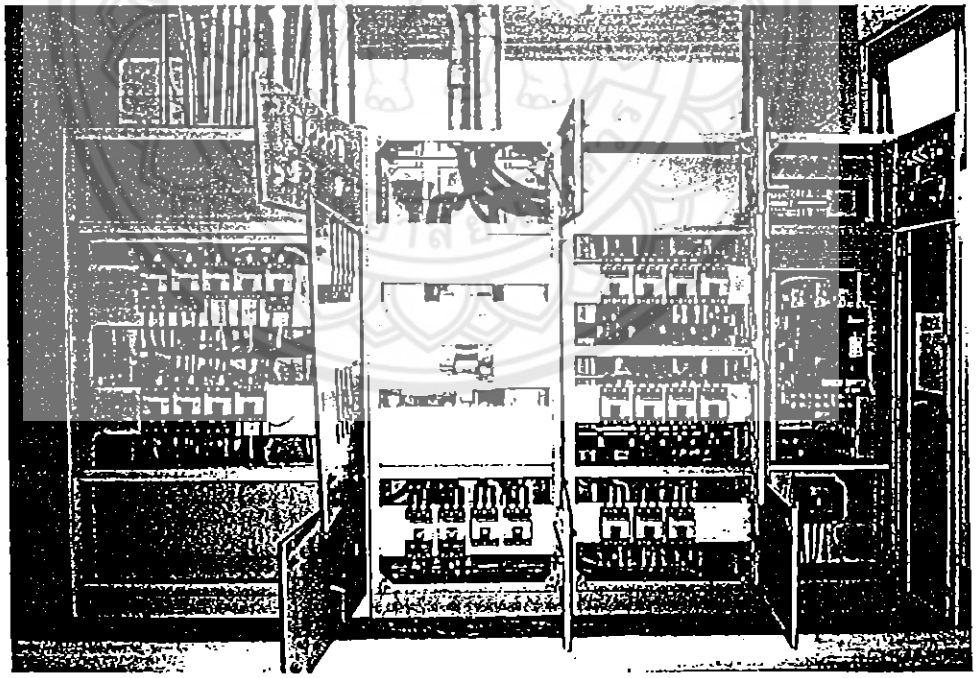
- เลือกชนิดของอุปกรณ์แสดงผลต่างๆ

ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดขนาดของตู้

เมื่อสามารถแบ่งส่วนของตู้อย่างคร่าวๆ แล้ว เราจะหามิติของตู้ โดยเริ่มจากการหาขนาดความกว้างของหน้าตู้ โดยศึกษาการออกแบบอุปกรณ์ต่างๆ ภายในตู้



รูปที่ 2.1 ลักษณะภายนอกของตู้ M.D.B.



รูปที่ 2.2 ลักษณะการติดตั้งของอุปกรณ์ของตู้ M.D.B.

บทที่ 3
อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในตู้

อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในตู้ เอ็มดีบี (Main Distribution Board) แบ่งเป็นประเภทตามลักษณะการใช้งานดังนี้

1. อุปกรณ์ป้องกัน
2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้า
3. อุปกรณ์ตรวจวัดและแสดงผล
4. อุปกรณ์ปรับปรุงเพาเวอร์เฟกเตอร์ (Power Factor)
5. อุปกรณ์ที่ใช้ในการต่อลงดิน

3.1 อุปกรณ์ป้องกัน

อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้า หมายถึง อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีหน้าที่ตัดตอนวงจรไฟฟ้าโดยอัตโนมัติหรือกึ่งอัตโนมัติ หรือควบคุมด้วยมือเมื่อวงจรไฟฟ้านั้นเกิดความผิดพร่องทางไฟฟ้าขึ้น เช่น การเกิดการลัดวงจรไฟฟ้า หรือเกิดการรั่วของกระแสไฟฟ้า เป็นต้น นอกจากนั้นอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้ายังสามารถตัดตอนวงจรไฟฟ้าเกิดพิกัด

3.1.1 การเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจร ต้องพิจารณาสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) กระแสเกินโหลด (Overload Current) คือ กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นโดยมีค่าสูงกว่ากระแสช่วงทำงานปกติ เช่น ในการสตาร์ท ค่ากระแสตอนสตาร์ทสามารถที่จะมีค่าขึ้นไปจนถึง 8 เท่าของค่ากระแสทำงานปกติได้ ซึ่งถ้าเกิดขึ้นภายในระยะเวลาอันสั้นนี้ไม่ก่อให้เกิดปัญหามากนัก แต่ถ้าเกิดขึ้นเป็นเวลานานๆ อาจทำให้อุปกรณ์ในระบบเกิดอันตรายได้

2) กระแสลัดวงจรสูงสุด (Short Circuit Current) กระแสลัดวงจรเป็นค่าที่มีความอันตราย ก่อให้เกิดความเสียหายให้กับระบบไฟฟ้าได้มาก สาเหตุที่ทำให้เกิดไฟฟ้าลัดวงจรได้ คือ เกิดการเสื่อมเสียที่ฉนวน (Insulator Fault) หรือเกิดจากการต่อวงจรผิดพลาด

3) ลักษณะการทำงานแบบพิเศษต่างๆ เช่น

- การจำกัดกระแส (Current Limiting) สามารถตัดกระแสลัดวงจรในเวลาสั้นกว่าเศษหนึ่งส่วนสี่ไซเคิลจะสามารถลด หรือขจัดอันตรายเนื่องจากพลังงานของการลัดวงจร ซึ่งอาจผ่านไปทำอันตรายต่ออุปกรณ์อื่นๆ ได้ถ้ากระแสถูกตัดช้ากว่านี้
- การป้องกันการลัดวงจรลงดิน (Ground Fault Protection) เบรคเกอร์ขนาดใหญ่มักมีอุปกรณ์พิเศษเพื่อป้องกันการลัดวงจรลงดิน อุปกรณ์นี้เป็นสิ่งจำเป็นเพราะเบรคเกอร์ขนาดใหญ่จะ

ไม่สามารถแยกได้ว่ากระแสที่ไหลเป็นร้อยๆ พันๆ แอมป์นั้น เป็นกระแสโหลดหรือกระแสลัดวงจรลงดิน

- การตัดวงจรเมื่อแรงดันตก (Under Voltage Release) โหลดบางชนิดถ้าเกิดแรงดันตกมากๆ จะเกิดความเสียหาย ในสภาวะเช่นนี้ควรใช้เบรคเกอร์ซึ่งมีการตัดวงจรเมื่อมีแรงดันตก

4) ข้อมูลอื่นๆ

การเลือกอุปกรณ์ป้องกันควรพิจารณาลักษณะพิเศษของอุปกรณ์ เช่น แรงดันของระบบ จำนวนขั้ว อุณหภูมิของบริเวณติดตั้ง

อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าที่ใช้ในการตัดตอนวงจรเมื่อกระแสไฟฟ้าเกิน หรือเกิดการลัดวงจรไฟฟ้า เพื่อป้องกันตัวอุปกรณ์เครื่องไฟฟ้า เช่น ป้องกันมอเตอร์ไฟฟ้า ป้องกันสายเคเบิลไม่ให้เกิดความเสียหายจากกระแสไฟฟ้าในระบบแรงดันไฟฟ้าต่ำ ได้แก่ ฟิวส์ และสวิตช์ตัดตอนอัตโนมัติ (Circuit Breaker) ซึ่งอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าเหล่านี้ มีหลักการทำงานตัดตอนวงจร โดยอาศัยความร้อนที่เกิดจากขนาดของกระแสไฟฟ้า เช่น การทำงานด้วยโลหะคู่ หรือทำงานด้วยการหลอมตัว หรือทำงานตัดตอนวงจรด้วยอำนาจแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากกระแสไฟฟ้า

3.1.2 เซอร์กิตเบรคเกอร์ (Circuit Breaker)

1.คำจำกัดความ

เซอร์กิตเบรคเกอร์ หมายถึง อุปกรณ์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อเปิดและปิดวงจรโดยไม่อัตโนมัติ และสามารถเปิดวงจรโดยอัตโนมัติเมื่อมีกระแสไฟไหลเกินกว่าที่ค่ากำหนด โดยที่ตัวมันเองไม่เกิดความเสียหาย

นิยามโดย 1. UL : UNDERWRITERS LABORATORIES

2. NEMA : NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATON

3. NEC : NATIONAL ELECTRICAL CODE

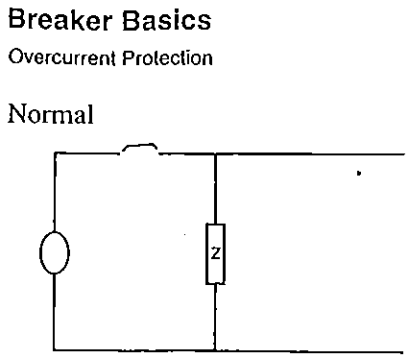
จากคำนิยามข้างต้นจะเห็นได้ว่าเซอร์กิตเบรคเกอร์เกี่ยวข้องกับกระแสเกินหลักดังนั้นก่อนอื่นเราคงต้องทำความเข้าใจคำว่ากระแสเกินก่อน

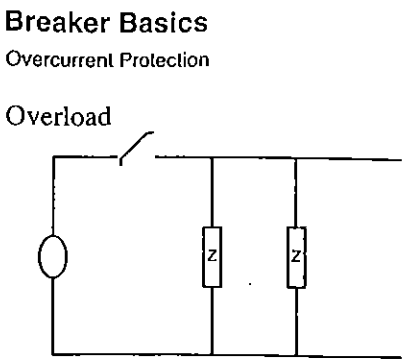
2. กระแสเกิน (OVER CURRENT)

กระแสเกินแบ่งได้ 2 ประเภท

1. OVERLOADS CURRENT

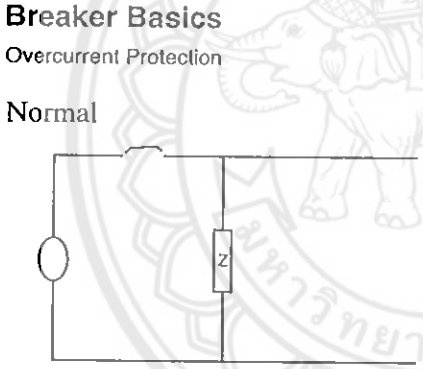
เกิดจากการเพิ่มโหลดเข้าไปในวงจรทำให้วงจรนั้นเกินกระแสไฟมากกว่าปกติ ทำให้สายไฟในวงจรร้อนซึ่งสายไฟจะละลายได้หากไม่มีอุปกรณ์ป้องกันจะทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้

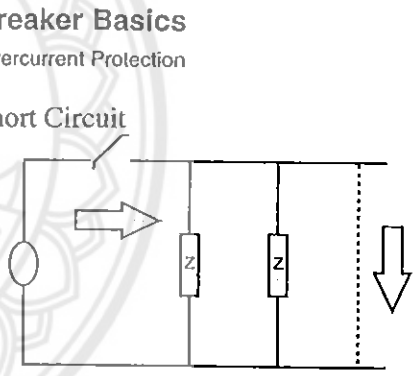




2. SHORT CIRCUIT CURRENT

เกิดตัวนำไฟฟ้าลัดวงจรกันเอง หรือลัดวงจรลงดิน ทำให้เกิดกระแสปริมาณสูงไหลในระบบซึ่งจะไหลในระบบซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายเนื่องจากความเครียดทางความร้อน (THERMAL STRESS) และความเครียดทางกล (MECHANICAL STRESS)





3. เซอร์กิตเบรคเกอร์แรงต่ำ

เซอร์กิตเบรคเกอร์แรงต่ำคือเซอร์กิตเบรคเกอร์ซึ่งใช้ในระบบซึ่งมีศักดาไฟฟ้าน้อยกว่า 1000โวลต์ ซึ่งอันที่จริงเซอร์กิตเบรคเกอร์มีใช้ทั้งในระบบแรงดันต่ำและแรงดันสูงซึ่งในเอกสารชุดนี้จะกล่าวถึงเฉพาะแรงดันต่ำเท่านั้น

ประเภทของเซอร์กิตเบรคเกอร์แรงต่ำ (< 1000)

1.MCCB (MOLDED CASE CIRCUIT BREAKER)

- THERMAL MAGNETIC
- SOLID STATE TRIP OR ELECTRONIC TRIP

2.AIR CIRCUIT BREAKER

3.MINIATURE CIRCUIT BREAKER

4. โมลดเคซเซอร์กิตเบรคเกอร์ (MOLDED CASE CIRCUIT BREAKER)

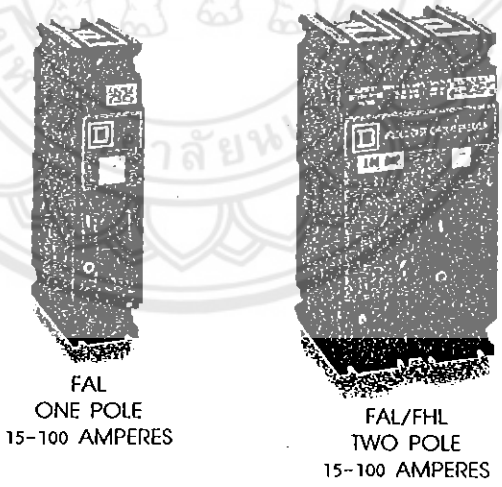
คือเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่ถูกห่อหุ้มปิดมิดชิดโดยโมลด (MOLDED) 2 ส่วน ซึ่งได้ทดสอบไดอิเลคทริคซทร็อง (DIELECTRIC STRENGTH) ก่อนออกจำหน่ายตัวโมลดทำหน้าที่เป็นฉนวนห่อหุ้มเซอร์กิตเบรคเกอร์ไว้ โดยส่วนใหญ่ทำจากฟีโนลิก (PHENOLIC)

เซอร์กิตเบรคเกอร์แบบนี้มีหน้าที่หลักอยู่ 2 อย่างคือ ทำหน้าที่เป็นสวิตช์โดยการเปิดปิดด้วยมือ และเปิดวงจรโดยอัตโนมัติ เมื่อมีการลัดวงจร หรือกระแสโหลดเกิน เมื่อเซอร์กิตเบรคเกอร์เปิดวงจรเพื่อกำจัดฟอลต์ออกจากกระแสนั้น ด้ามโยกจะเลื่อนมาอยู่ที่ตำแหน่งทริป (TRIP) ซึ่งจะอยู่กึ่งกลางระหว่าง ON และ OFF ซึ่งแสดงให้ดูว่าขณะนี้เซอร์กิตเบรคเกอร์เปิดวงจรอยู่ และเมื่อฟอลต์ได้ถูกกำจัดออกจากระบบแล้วก็สามารถปิดวงจรใหม่ได้ โดยการรีเซ็ท (RESET) แล้วเลื่อนกลับไปตำแหน่ง ON อีกครั้ง

*การทำงานลักษณะนี้เรียกว่าควิคเมค (QUICK MAKE),ควิคเบรค (QUICK BREAK)

โดยทั่วไป โมลดเคซเซอร์กิตเบรคเกอร์ มีอยู่ 2 ประเภทที่พบเจอบ่อยในท้องตลาด คือ เทอร์มอลแมกเนทิคเซอร์กิตเบรคเกอร์ (THERMAL MAGNETIC CB.) และ อิเล็กทรอนิคทริปเซอร์กิตเบรคเกอร์ (ELECTRONIC TRIP CB.)

4.1 เทอร์มอลแมกเนทิคโมลดเคซเซอร์กิตเบรคเกอร์ (THERMAL MAGNETIC MCCB)

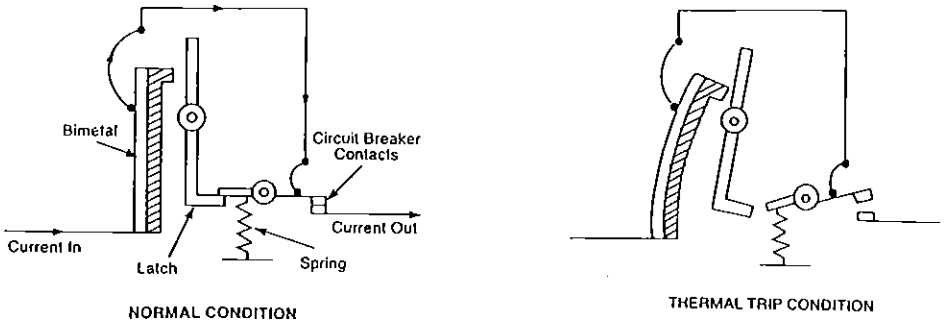


รูปที่ 3.1 เทอร์มอลแมกเนทิคโมลดเคซเซอร์กิตเบรคเกอร์

โมลดเคซเซอร์กิตเบรคเกอร์ (MCCB) ชนิดนี้มีอุปกรณ์สำหรับปลดวงจรอยู่ 2 ส่วน

1. เทอร์มอลยูนิต (THERMAL UNIT)

ใช้สำหรับปลดวงจรเมื่อเกิดกระแสโหลดเกิน

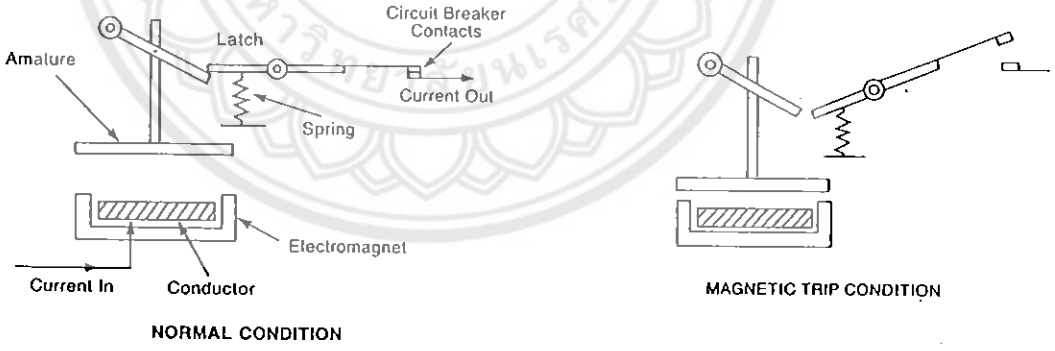


รูปที่ 3.2 โครงสร้างของเทอร์มอลยูนิต

จากรูปที่ 3.2 เมื่อกระแสโหลดเกินไหลผ่านไบมีทอล (BIMETAL) (โลหะ 2 ชนิดซึ่งมีสัมประสิทธิ์ทางความร้อนไม่เท่ากัน) จะเกิดความร้อนขึ้นทำให้ไบมีทอลงอตัวไปปลดอุปกรณ์ทางกลทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ปลดวงจรซึ่งเรียกว่าเซอร์กิตเบรคเกอร์ทริปการปลดวงจรโดยใช้เทอร์มอลยูนิต จะใช้เวลาในการปลดวงจรพอสมควรขึ้นกับขนาดกระแสและความร้อนที่จะทำให้ไบมีทอลงอตัว ดังนั้นหากเกิดกระแสลัดวงจรขึ้นจะต้องมีอุปกรณ์อีกตัวหนึ่งเพื่อใช้ปลดวงจรอย่างรวดเร็วเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้น

2. แมกเนทิคยูนิต (MAGNETIC UNIT)

ใช้สำหรับ ปลดวงจรเมื่อเกิดกระแสลัดวงจร

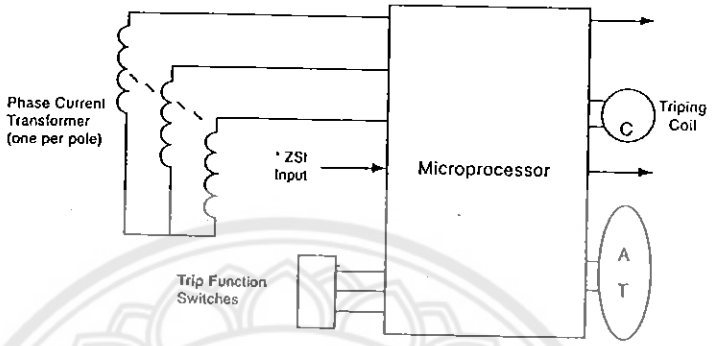


รูปที่ 3.3 โครงสร้างของแมกเนทิคยูนิต

จากรูปที่ 3.3 เมื่อกระแสลัดวงจรหรือกระแสสูงๆ ประมาณ 8-10 เท่าขึ้นไปไหลผ่านจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กและเกิดแรงขึ้นสามารถดึงอุปกรณ์ทางกลทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ปลดวงจร ซึ่งใช้เวลาในการปลดวงจรรวดเร็วมากยังไม่ทันที่จะเกิดความเสียหายต่อระบบ

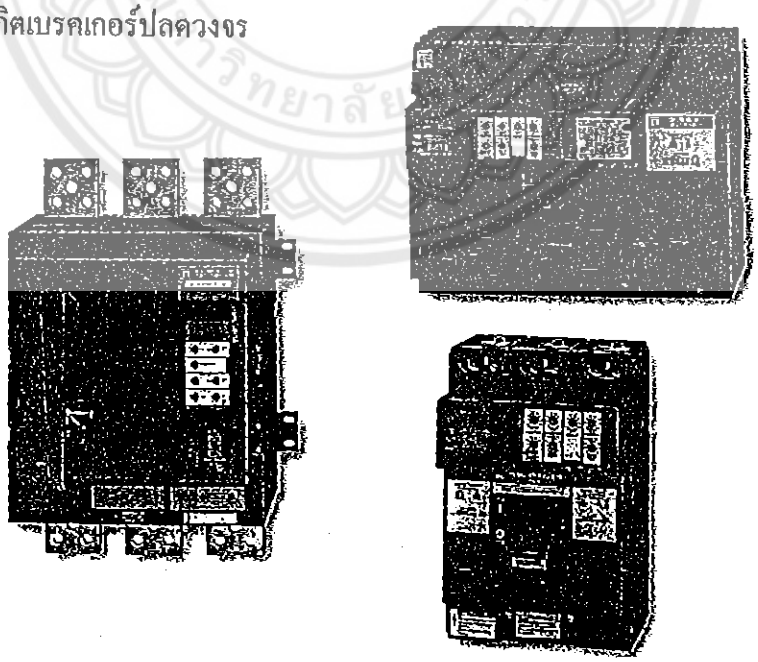
4.2 โซลิดสเตรททริปหรืออิเล็คทรอนิคทริปโมลดเคซเซอร์กิตเบรคเกอร์ (SOLID STATE TRIP OR ELECTRONIC TRIP MCCB.)

คือโมลดเคซเซอร์กิตเบรคเกอร์ชนิดหนึ่งซึ่งมีอุปกรณ์อิเล็คทรอนิคทำหน้าที่วิเคราะห์ค่ากระแสเพื่อสั่งปลดวงจร



รูปที่ 3.4 แผนผังการทำงานของอิเล็คทรอนิคทริป

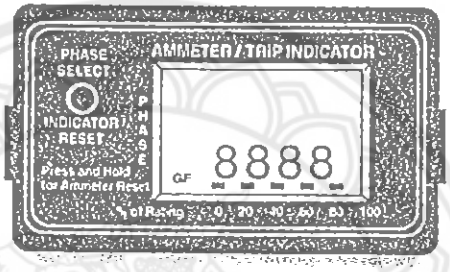
จากรูปที่ 3.4 แสดงแผนผังการทำงาน โดยมีหม้อแปลงกระแสซึ่งอยู่ภายในตัวเซอร์กิตเบรคเกอร์ทำหน้าที่เพื่อแปลงกระแสให้มีขนาดต่ำลงตามค่าอัตราส่วนของหม้อแปลงกระแส และมีไมโครโปรเซสเซอร์ทำหน้าที่วิเคราะห์กระแส หากกระแสมีค่าเกินกำหนดจะสั่งให้ทริปปิ้งคอยล์ (TRIPPING COIL) ซึ่งก็คือโซลีนอยคอยล์ (SOLINOID COIL) ดึงอุปกรณ์ทางกลทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ปลดวงจร



รูปที่ 3.5 อิเล็คทรอนิคทริปโมลดเคซเซอร์กิตเบรคเกอร์

จากรูปที่ 3.5 จะสามารถสังเกตเซอร์กิตเบรคเกอร์ชนิดนี้ได้ง่ายโดยที่ด้านหน้ามีปุ่มสำหรับปรับค่ากระแสปลดวงจรและเวลาปลดวงจร ฯลฯ ซึ่งการตั้งค่าหรือปรับค่าได้กล่าวถึงไว้ในหัวข้อทริปปิ้งเคิฝ

นอกเหนือจากนั้นเซอร์กิตเบรคเกอร์ชนิดนี้ยังสามารถติดตั้งอุปกรณ์ที่เรียกว่า แอมป์มิเตอร์และฟอล์ตอินดัตเตอร์ (AMP METER&FAULT INDICATOR) ซึ่งสามารถแสดงสาเหตุการเกิดฟอล์ตของวงจรและค่ากระแสได้ ซึ่งจะช่วยประหยัดเวลาในการหาสาเหตุที่เซอร์กิตเบรคเกอร์ปลดวงจร



รูปที่ 3.6 แอมป์มิเตอร์และฟอล์ตอินดิเคเตอร์

4.3 การวิเคราะห์กระแสของอิเล็คทรอนิคทริป

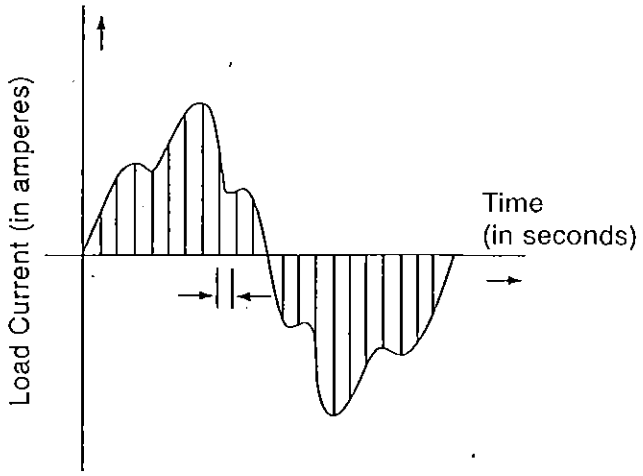
มีอยู่ 2 วิธีคือ

1. PEAK SENSING

2. TRUE RMS SENSING

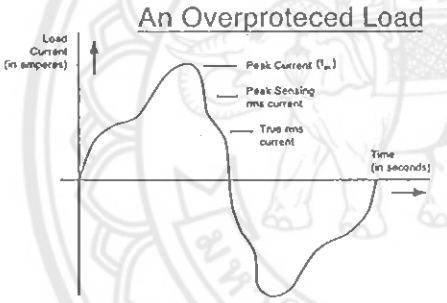
1. PEAK SENSING คือการใช้ค่ากระแสสูงสุดของกระแสที่ไหลผ่านเซอร์กิตเบรคเกอร์และบันทึกค่าไว้และกระแสสูงสุดนี้ (Ipk) จะถูกหารด้วย $\sqrt{2}$ ด้วยวิธีคำนวณเพื่อหาค่า กระแส RMS ซึ่งวิธีนี้จะวัดค่าได้ถูกต้องในกรณีที่รูปคลื่นกระแสเป็นสัญญาณไซโนไซดอล (SINUSOIDAL)

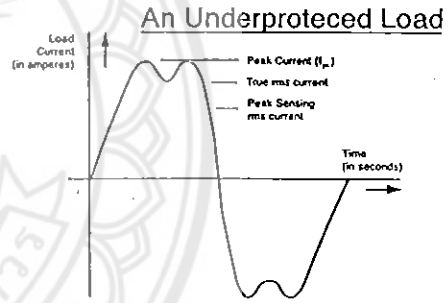
2.TRUE RMS SENSING วิธีนี้จะใช้การแซมปริ้ง (SAMPLING) สัญญาณของกระแสที่ผ่านเซอร์กิตเบรคเกอร์เป็นช่วงๆ เพื่อหาค่ากระแส RMS ในแต่ละช่วงแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเป็นค่ากระแส RMS ดังกราฟที่ 3.1 ดังนั้นวิธีนี้สามารถนำไปใช้กับรูปคลื่นกระแสที่เป็นสัญญาณไซโนไซดอล เช่นโหลดที่เป็นอุปกรณ์พวกคอนเวอร์ทเตอร์ หรือ โหลดที่กำเนิดฮาร์มอนิค ฯลฯ



กราฟที่ 3.1 ค่ากระแสอาร์เอ็มเอสที่ผ่านเซอร์กิตเบรคเกอร์

ตัวอย่างเปรียบเทียบเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่วิเคราะห์กระแสแบบทรูอาร์เอ็มเอสเซนซิ่ง (TRUE RMS SENSING) กับพีคเซนซิ่ง (PEAK SENSING)





กราฟที่ 3.2 คลื่นกระแสโอเวอร์โปเทคโหลด กราฟที่ 3.3 คลื่นกระแสอันเดอร์โปเทคโหลด

จากกราฟที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าหากใช้เซอร์กิตเบรคเกอร์ชนิดพีคเซนซิ่งจะอ่านค่ากระแสได้มากกว่าความเป็นจริง ทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ปลดวงจรก่อนที่ควร

จากกราฟที่ 3.3 เซอร์กิตเบรคเกอร์ชนิดพีคเซนซิงจะเห็นค่ากระแสต่ำกว่าความเป็นจริง ซึ่งทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ไม่ปลดวงจร ซึ่งจะทำให้เกิดไฟไหม้ได้ เนื่องจากเมื่อเกิดกระแสเกินแล้วเซอร์กิตเบรคเกอร์ไม่ปลดวงจร

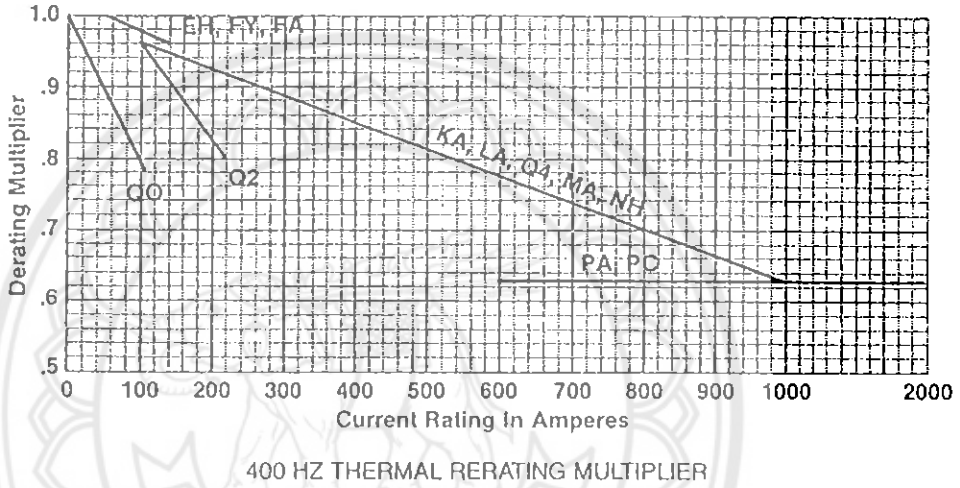
5. การพิจารณาค่าพิกัดกระแสเมื่อใช้ในสภาวะต่างๆ

เซอร์กิตเบรคเกอร์แบบโมลดเคซ ถูกออกแบบมาให้ใช้งานที่อุณหภูมิ 40°C และความถี่ที่ 50/60 เฮิรตซ์ และหากนำไปใช้ในสภาวะอื่นๆ การทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์อาจเปลี่ยนไปจากสภาวะปกติได้ ข้อมูลเหล่านี้สามารถหาได้จากผู้แทนจำหน่ายสินค้านั้นๆ

5.1 ผลเนื่องจากความถี่

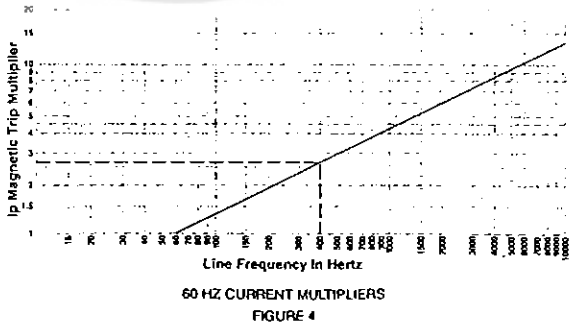
ผลอันนี้จะแยกพิจารณาในกรณีของเทอร์มอลยูนิตและแมกเนติกยูนิต

กรณีของเทอร์มอลยูนิตที่ความถี่ต่ำกว่า 50/60 เฮิรตซ์ เราไม่ต้องนำมาคิดถึงค่าเปลี่ยนแปลงค่ากระแสพิกัดได้ เนื่องจากมีผลน้อย แต่ในกรณีที่ความถี่สูงกว่า 50/60 เฮิรตซ์ จำเป็นต้องนำมาคิดและที่นำไปใช้งานในกรณี ความถี่สูงๆ ที่ใช้มากคือ 400 เฮิรตซ์ ดังรูปแสดงกราฟที่ใช้ในกรณีความถี่ 400 เฮิรตซ์ ซึ่งแสดงค่าตัวคูณกับค่ากระแสพิกัด ซึ่งจะเป็นได้ว่าที่ความถี่สูงมากขึ้นนั้นค่ากระแสพิกัดจะมีค่าลดลง



กราฟที่ 3.4 แสดงค่าตัวคูณกับค่ากระแสพิกัดที่ 400 เฮิรตซ์

กรณีของแมกเนติกยูนิตที่ความถี่สูงกว่า 50/60 เฮิรตซ์ ค่ากระแสที่ทำให้แมกเนติกยูนิตทำงานจะมีค่ามากกว่าปกติ ดังกราฟที่ 3.5



กราฟที่ 3.5 แสดงค่าตัวคูณกับค่ากระแสพิกัดที่ 60 เฮิรตซ์

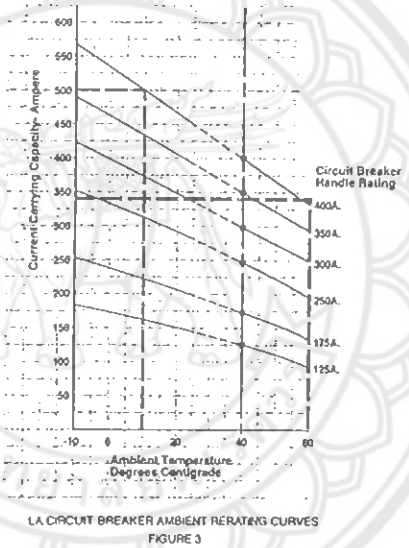
5.2 ผลเนื่องจากอุณหภูมิ

เทอร์มอล-แมกเนติก ทริป โมลดเคซเซอร์กิตเบรคเกอร์ (THERMAL-MAGNETIC TRIP MCCB)

-ที่อุณหภูมิระหว่าง 25° C ถึง 40° C ค่ากระแสพิกัดจะไม่เปลี่ยนใช้ค่าตามที่ระบุได้เลย

-ที่อุณหภูมิระหว่าง -10° C ถึง 24° C เบรคเกอร์ที่ใช้งานอยู่ในอุณหภูมิช่วงนี้จะรับค่ากระแสพิกัดได้มากขึ้นกว่าที่ระบุได้โดยไม่ตัดวงจรออก นั่นคือการทริปผิดพลาด หากโหลดเกินพิกัดเซอร์กิตเบรคเกอร์จะไม่ปลดวงจร แต่หากว่าต้องการให้เบรคเกอร์นี้ป้องกันอุปกรณ์และสายให้ถูกต้อง การที่ค่ากระแสพิกัดเพิ่มที่อุณหภูมิต่ำลงนั้นจะต้องถูกนำมาพิจารณาด้วย

-ที่อุณหภูมิระหว่าง 41°C ถึง 60°C เบรคเกอร์ที่ใช้งานอยู่ในอุณหภูมิช่วงนี้จะมีค่ากระแสพิกัดลดลงจากค่าที่กำหนดไว้ ซึ่งจะทำให้เบรคเกอร์ปลดวงจรก่อนค่าที่กำหนด



LA CIRCUIT BREAKER AMBIENT RERATING CURVES
FIGURE 3

กราฟที่ 3.6 แสดงอุณหภูมิและค่าพิกัดกระแสของเบรคเกอร์

อิเลคทรอนิคทริปโมลดเคซเซอร์กิตเบรคเกอร์ (ELECTRONIC TRIP MCCB)

โดยทั่วไปที่อุณหภูมิระหว่าง –10° C ถึง 60° C เบรคเกอร์ชนิดนี้ยังคงทำงานตามปกติแต่หากไม่อยู่ในช่วงนี้อุปกรณ์อิเล็คทรอนิคอาจเสียหายได้

5.3 ผลเนื่องจากความสูงของพื้นที่

เมื่อใช้เซอร์กิตเบรคเกอร์แบบเทอร์มอลเมคเนติคทริปที่ระดับความสูงมาก ๆ จากระดับน้ำทะเลจะต้องมีการปรับค่าใหม่ทั้งกระแสพิกัด และแรงดันพิกัดด้วย เนื่องจากที่ความสูงมาก ๆ การระบายความร้อนจะทำได้ยากขึ้นจึงทำให้ค่ากระแสพิกัดลดลงและแรงดันพิกัดจะมีค่าลดลงด้วย

เนื่องจากค่าไดอิเล็คตริกของอากาศก็มีค่าลดลงด้วย จากตารางเป็นการแสดงค่าความสูงที่มีผลกับค่ากระแสพิกัดและแรงดันพิกัดซึ่งค่านี้จะไม่เหมือนกันสำหรับ เซอร์กิตเบรคเกอร์ แต่ละยี่ห้อ

Altitude Multiplier

Altitude	Current	Voltage
0-6600 ft	1	1
6600-8500 ft	.99	.95
8500-13000 ft	.96	.80
13,000-30,000+ft	.75	.40

5.4 ผลเมื่อใช้กับกระแสตรง

ในกรณีที่นำเซอร์กิตเบรคเกอร์ไปใช้ในระบบไฟฟ้ากระแสตรงตัวเทอร์มอลยูนิต จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่ตัว เมคเนติคยูนิต นั้นจะมีผลเปลี่ยนไปเนื่องจากกราฟคุณลักษณะของส่วน เมคเนติค สร้างขึ้นโดยใช้ค่า อาร์เอ็มเอส ของกระแสสลับในขณะที่ เมคเนติคทำงานซึ่งจะมีผลให้ค่านั้นโดยทั่วไปมีค่านั้นโดยทั่วไปมีค่ามากกว่าเดิม

6. คำศัพท์ที่พบบ่อย

ก่อนที่จะกล่าวถึง เซอร์กิตเบรคเกอร์ ชนิดอื่นต่อไปขออธิบายศัพท์ที่เจอบ่อยสำหรับเซอร์กิตเบรคเกอร์เพื่อความเข้าใจง่ายขึ้นก่อนที่จะกล่าวถึงเซอร์กิตเบรคเกอร์ ชนิดอื่น

1. AMP TRIP
2. AMP FRAME
3. POLE
4. IC
5. PUSH TO TRIP
6. TRIPING CURVE
7. COORDINATION
8. ACCESSORIES

6.1 แอมป์ทริป (AMP TRIP) คือ พิกัดกระแสหรือ เฮนเดิลเรตทิ้ง (HANDLE RATING) ส่วนใหญ่จะแสดงไว้เนมเพลท (NAME PLATE) หรือที่ด้ามโยกของเซอร์กิตเบรคเกอร์ เฉพาะเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่ปรับค่าไม่ได้จะสังเกตุตัวเลขนูนบริเวณด้ามโยกได้

การกำหนดค่าแอมป์ทริป (AT) ของเซอร์กิตเบรคเกอร์ตาม 1990 NEC Paragrah 240-6 กำหนดดังนี้

15,20,25,30,35,40,50,60,70,80,90,100,110,125,150,175,200,225,250,300,350,400,450,500, 600,700,800,1000,1200,1600,2000,2500,3000,4000,5000,6000 A.

ซึ่งบางครั้งอุปกรณ์ป้องกันของผู้ผลิตไม่มีค่าตรงตามที่ระบุไว้จะต้องใช้ค่าที่ใกล้เคียงเช่น ระบุในแบบเซฮร์กิตเบรคเกอร์15 Aเวลาเลือกใช้ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดเช่นเลือกใช้ SQUARE D จะต้องใช้เซอร์กิตเบรคเกอร์16 A

6.1.2การกำหนดขนาด แอมป์ทริปของเซอร์กิตเบรคเกอร์

จาก PARAGRAPH 220-10 B ของ NEC ได้กำหนดไว้ว่า :

" Where a feeder supplies continuous or any combination of continuous and non continues loads , the rating of the over current device shall not be less than the non continues load plus 125 percent of the continues load"

หมายถึง หากวงจรมีโหลดทั้งโหลดต่อเนื่องและโหลดไม่ต่อเนื่องขนานดของอุปกรณ์ป้องกันต้องมีค่าไม่น้อยกว่า ผลรวมของ 125 % ของโหลดต่อเนื่อง (ยกเว้นอุปกรณ์ป้องกัน เป็นชนิด 100%)

* โหลดต่อเนื่อง คือ โหลดที่ใช้งานต่อเนื่องเป็นเวลามากว่าหรือเท่ากับ 3 ชั่วโมง โดยทั่วไปเซอร์กิตเบรคเกอร์ในท้องตลาดจะมีอยู่ 2 ประเภทคือ

- เซอร์กิตเบรคเกอร์มาตรฐาน (STANDAED CITCUIT BREAKER) มาตรฐาน เอ็นอีซี ได้กำหนดไว้ว่า " หากนำเซอร์กิตเบรคเกอร์ชนิดนี้ไปใช้กับโหลดต่อเนื่องจะปลดวงจรที่ 80 % ของพิกัดกระแสเซอร์กิตเบรคเกอร์ " โดยทั่วไปคือเซอร์กิตเบรคเกอร์ชนิด เทอร์มอลแมคเนติค

- 100%ค่าพิกัดเซอร์กิตเบรคเกอร์ (100 % RATED CIRTED CITCUIT BREAKER) จะมีเฉพาะสินค้าของอเมริกันเท่านั้น มาตรฐานเอ็นอีซีได้กำหนดไว้ว่า " หากนำเซอร์กิตเบรคเกอร์ชนิดนี้ไปใช้กับโหลดต่อเนื่องจะปลดวงจรที่พิกัดกระแสเซอร์กิตเบรคเกอร์."

100% RATED CIRCUIT BREAKER คืออะไร ?

1. NEC (NATIONAL ELECTRICAL CODE) ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 220-2a ว่า โหลดต่อเนื่องซึ่งจ่ายมีค่าไม่เกิน 80% ของอัตราส่วนของวงจร

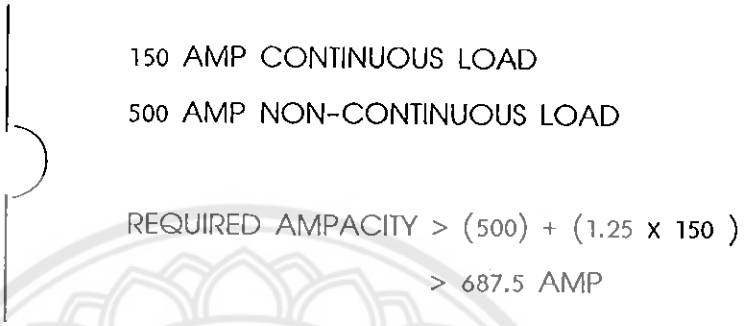
ตัวอย่างเช่น วงจรมาตรฐาน ขนาด 800 แอมแปร์ (ตัวนำ และเซอร์กิตเบรคเกอร์) ยอมให้มีโหลดต่อเนื่อง ได้เพียง 800 x 0.8 = 640 แอมแปร์

" ยกเว้น อุปกรณ์กันกระแสเกินและส่วนประกอบจะถูกระบุว่าเป็นชนิดต่อเนื่อง 100%"

2. NEC หัวข้อ 220-10b ได้อธิบายเพิ่มเติมดังนี้

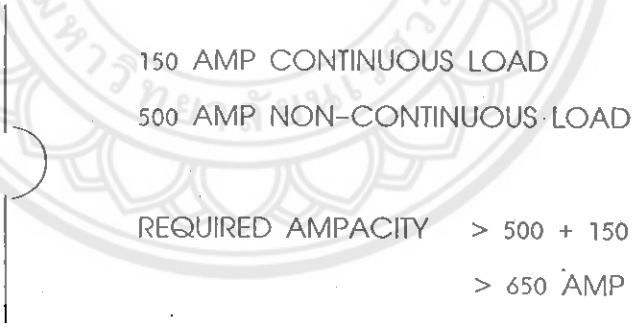
" ค่าพิกัดกระแส (AMPERE RATING) ของอุปกรณ์ป้องกัน และค่าแอมปาซิตี้ (AMPACITY) ของตัวนำ จะต้องไม่ต่ำกว่า ผลรวมของโหลดไม่ต่อเนื่องบวกกับ 125% ของโหลดต่อเนื่อง"

ตัวอย่าง : วงจรมาตรฐานซึ่งมีโหลดต่อเนื่อง 150 แอมแปร์ และโหลดไม่ต่อเนื่อง 500 แอมแปร์



" ยกเว้น อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน และส่วนประกอบซึ่งใช้ป้องกันสายไฟ นั้นได้ถูกระบุว่าเป็นชนิด 100% ค่าพิกัดกระแส ของอุปกรณ์ป้องกัน และค่าแอมปาซิตี้ ของตัวนำ จึงจะมีค่าไม่ต่ำกว่า ผลรวมของโหลดไม่ต่อเนื่องกับโหลดต่อเนื่อง"

ตัวอย่าง : วงจรชนิด 100% ซึ่งมีโหลดต่อเนื่อง 150 แอมแปร์และโหลดไม่ต่อเนื่อง 500 แอมแปร์



จะเห็นได้ว่า หัวข้อ ทั้ง 2 คือ 220-2a และ 220-10b มีความหมายเช่นเดียวกันดังแสดงโดยสมการ ดอไปนี้

220-2a : CONTINUOUS LOAD = 0.8 x BREAKER RATING OR AMPACITY

220-10b : 1.25 x CONTINUOUS LOAD = BREAKER RATING OR AMPACITY

1/0.8 = 1.25

สรุป ก็คือ เอ็นอีซี (NEC) ได้ระบุว่า วงจรมาตรฐานทั่วไป ซึ่งประกอบด้วย เซอร์กิตเบรคเกอร์ และตัวนำจะสามารถยอมรับโหลดได้เพียง 80% ของค่าพิกัด ส่วนวงจรชนิด 100% จะสามารถรับโหลดที่ 100% ของค่าพิกัด

ข้อกำหนดสำหรับ 100% ค่าพิกัดของเซอร์กิตเบรคเกอร์ (RATED CIRCUIT BREAKER)

เมื่อมีการใช้ เบรคเกอร์ ชนิด 100% ทั้ง ยูแอล และ เอ็นอีซี ได้มีข้อกำหนด ซึ่งจำเป็นต้องปฏิบัติตามไม่เช่นนั้น 100% ค่าพิกัดของเซอร์กิตเบรคเกอร์ก็จะกลายเป็นเบรคเกอร์มาตรฐานทั่วไป (STANDARD RATE หรือ 80% RATE)

1.ยูแอล (UL) 489 หัวข้อ 44.46

A) เซอร์กิตเบรคเกอร์ชนิด 100% ต้องมีเฟรม (FRAME) ขนาดตั้งแต่ 250 แอมแปร์ขึ้นไป หรือเป็นชนิดหลายขั้วที่มีค่าพิกัดโวลเทจ มากกว่า 250 โวลต์

B) เซอร์กิตเบรคเกอร์ที่มีลักษณะเป็น 100% ค่าพิกัดจะต้องมีข้อความระบุที่ เนมเพลท (NAME PLATE) ของเซอร์กิตเบรคเกอร์ดังนี้

" SUITABLE FOR CONTINUOUS OPERATION AT 100 PERCENT OF RATING ONLY IF USE IN A CIRCUIT BREAKER ENCLOSURE TYPE (CAT. NO...) OR IN CUBICLE SPACE... BY... INCHES " หรือข้อความที่มีความหมายทำนองเดียวกันก็สามารถใช้ได้

2.ยูแอล (UL) 489 หัวข้อ 44.48

เซอร์กิตเบรคเกอร์ซึ่งใช้งานที่ 100% ต่อเนื่อง และมีอุณหภูมิบริเวณอุณหภูมิสายไฟเกินกว่า 50° C (90°F) จะต้องมีข้อความระบุดังนี้

A) " FOR USE WITH 90°C WIRE" และระบุขนาดของสายด้วยซึ่งควรจะอิงกับค่าแอมปาซิตี้(AMPACITY) ที่ 75°C

B) ต้องระบุชนิดของคอนเนคเตอร์ (CONECTOR) เช่น AL9,Cu9Al หรือ Al9Cu ยกเว้นของเซอร์กิตเบรคเกอร์จะมีคอนเนคเตอร์มาให้แล้ว

3.ข้อกำหนดอื่นๆที่ใช้กับ 100% ค่าพิกัดเซอร์กิตเบรคเกอร์ซึ่งระบุไว้ในข้อยกเว้นของเอ็นอีซี หัวข้อ 22-10b กล่าวว่า

" Where the assembly including the overcurrent devices protecting the feeder are listed for operation at 100%..."

ซึ่งหมายความว่าไม่ใช่เพียงเซอร์กิตเบรคเกอร์จะเป็นชนิด 100% เท่านั้นส่วนประกอบอื่นๆ เช่นขนาดของตู้ก็จะต้องเหมาะสม ที่จะใช้งานที่ 100% ด้วยโดยดูได้จากเนมเพลทของ 100% ของค่า

พิกัดเซอร์กิตเบรคเกอร์ซึ่งต้องระบุไว้ตามข้อกำหนดของยูแอล 489 หัวข้อที่ 44.46 ดังได้กล่าวมาแล้ว

สรุปได้ดังนี้

กรณีปกรณ์ป้องกันทั่วไป (STANDARD)

$$CB = 1.25\ Ia + 1.00\ Ib$$

กรณีอุปกรณ์ป้องกันที่ทำงานได้ 100 % ของขนาดที่ตั้งไว้ (100 % RATED)

$$CB = 1.00\ Ia + 1.00\ Ib$$

Ia = กระแสโหลดต่อเนื่อง , Ib = กระแสโหลดไม่ต่อเนื่อง

ตัวอย่าง

แผงไฟฟ้า ประกอบด้วย

โหลดต่อเนื่อง 2000 A

โหลดไม่ต่อเนื่อง 500 A

จงหาขนาดอุปกรณ์ป้องกัน

1. เลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันแบบทั่วไป

$$CB = (1.25 * 2000) + 500$$

$$= 3000\ A$$

ดังนั้นเลือกใช้ เซอร์กิตเบรคเกอร์ ขนาด 3000 A และบัสบาร์ขนาด 3000 A

2. เลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันแบบ 100 %

$$CB = 2000 + 500$$

$$= 2500\ A$$

ดังนั้นเลือกใช้ เซอร์กิตเบรคเกอร์ ขนาด 2500 A และบัสบาร์ขนาด 2500 A

จะเห็นได้ว่าการเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันแบบ 100 % ค่าพิกัดจะประหยัดขนาดสายไฟลง ประหยัดขนาดบัสบาร์ลงทำให้ตู้มีขนาดเล็กลง

6.2 แอมป์เฟรม (AMP FRAME) คือ ขนาดแอมทริป (AT) สูงสุดที่เซอร์กิตเบรคเกอร์ในรุ่นนั้นมีจำหน่ายเช่น เซอร์กิตเบรคเกอร์ ขนาด 125 AT/250 AF แสดงว่าเซอร์กิตเบรคเกอร์รุ่นนี้มีเซอร์กิตเบรคเกอร์รุ่น 250 AT/250 AF เป็นพิกัดกระแสสูงสุดจำหน่าย ซึ่งจริง ๆ แล้วเซอร์กิตเบรคเกอร์ทั้ง 2 รุ่น ใช้ โมลด (MOLDED)และ อุปกรณ์ประกอบชนิดเดียวกัน จะแตกต่างกันก็คือการตั้งค่าของอุปกรณ์ปลดอุปกรณ์วงจรซึ่งต้องทำการทดสอบก่อนส่งออกจำหน่ายซึ่งสรุปได้ว่าค่าแอมป์เฟรม แสดงค่าทางกายภาพเท่านั้น

ค่าแอมป์เฟรม(AF) ที่ระบุโดยมาตราฐาน NEMA มีขนาดดังนี้

50,100,255,250,400,600,800,1000,1200,1600,2000,2500,4000,5000 AF

6.3 POLE หรือ ขั้ว เป็นตัวที่บ่งบอกว่าเซอร์กิตเบรคเกอร์นี้เป็น 1 เฟสหรือ 3 เฟส

1 โพล (POLE) หมายถึง เซอร์กิตเบรคเกอร์สำหรับระบบ 1 เฟส โดยจะใช้ป้องกันสายไลน์ (LINE) อย่างเดียว

2 โพล (POLE) หมายถึง เซอร์กิตเบรคเกอร์สำหรับระบบ 1 เฟส โดยจะใช้ป้องกันสายไลน์ และนิวทรอล(NEUTRAL)

3 โพล (POLE) หมายถึง เซอร์กิตเบรคเกอร์สำหรับระบบ 3 เฟส โดยจะป้องกันสายไลน์อย่างเดียว

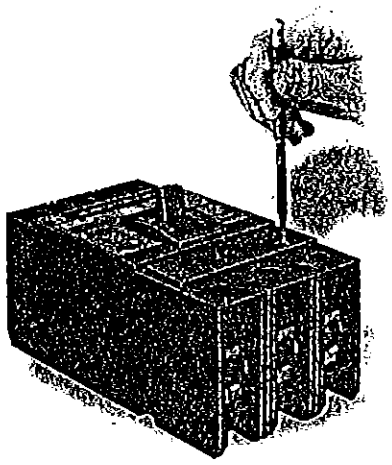
4 โพล (POLE) หมายถึง เซอร์กิตเบรคเกอร์สำหรับระบบ 3 เฟส โดยจะใช้ป้องกันสายไลน์ และนิวทรอล

6.4 ไอซี (IC) หรือ อินเทอร์รับปิ้งคาปาซิตี้ (INTERUPING CAPACITY)

หมายถึง ค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่ เซอร์กิตเบรคเกอร์นั้นสามารถปลดวงจรได้ไม่ไปเกิดความเสียหาย ส่วนใหญ่จะระบุหน่วยเป็น กิโลแอมป์สังเกตุได้จากเนมเพลท (NAME PLATE) ของเซอร์กิตเบรคเกอร์

ในการเลือกใช้อุปกรณ์และระบบไฟฟ้านั้น นอกจากจะคำนึงถึงกระแสขณะใช้งานปกติแล้ว ยังจะต้องคำนึงถึงกระแสขณะที่เกิดลัดวงจรด้วย การลัดวงจร หมายถึง การที่วงจรส่งผลให้กระแสปกติหลายเท่า กระแสลัดวงจรจะทำให้เกิดความเครียดทางกล (MECHANICAL STRESS) และความเครียดทางความร้อน (THERMAL STRESS) ขึ้น ซึ่งสามารถส่งผลทำให้อุปกรณ์เสียหาย และเป็นอันตรายต่อคนได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงต้องคำนึงถึงผลของกระแสลัดวงจรเพื่อจะได้ป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นได้

6.5 พุชทูทริป (PUAH TO TRIP) ปุ่มสำหรับทดสอบอุปกรณ์ทางกลที่ใช้สำหรับปลดวงจร เนื่องจากเซอร์กิตเบรคเกอร์หลังจากที่ติดตั้งภายในแผงไฟฟ้า ภายใน 2-3 ปี อาจจะไม่เคยเกิดกระแสเกินขึ้นสักครั้ง สปริงยังมีแรงดึงอุปกรณ์ปลดวงจรได้ทันทีหรือเปล่า ซึ่งปุ่ม PUSH TO TRIP นี้มีความจำเป็นไว้ทดสอบอุปกรณ์ปลดวงจรภายใน โดยทั่วไปจะทดสอบปีละครั้ง



MANUAL TESTING OF OPERTING MECHANISM

รูปที่ 3.7 ตำแหน่งพุชทูทริป

6.6 ทริปปิ้งเคิฝ (TRIPPING CURVE) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับเวลาปลดวงจร ซึ่งบางครั้งเราเรียกเคิฝนี้ว่า ไอทีเคิฝ (I-T CURVE) โดยกราฟนี้มีเสกลในลักษณะของล็อก (LOG) และแกนเอ็กซ์แสดงจำนวนเท่าของพิกัดกระแสแกนวาย แสดงค่าเวลาในหน่วยวินาที ทริปปิ้งเคิฝของเซอร์กิตเบรคเกอร์แต่ละรุ่นแต่ละยี่ห้อจะลักษณะไม่เหมือนกันซึ่งจะขอได้จากตัวแทนจำหน่ายของแต่ละยี่ห้อ

ทริปปิ้งเคิฝ(TRIPPING CURVE) แบ่งได้ 2 ประเภท

1. THERMAL MAGNETIC CB. TRIPING CURVE
2. ELECTRONIC TRIP CB. TRIPING CURVE

6.6.1 เทอร์มอลเมคเนติคเซอร์กิตเบรคเกอร์ทริปปิ้งเคิฝ (THERMAL MAGNETIC CB. TRIPING CURVE) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและเวลาปลดวงจรของเซอร์กิตเบรคเกอร์ชนิด เทอร์มอลยูนิต (THERMAL UNIT) ใช้ปลดวงจรเมื่อเกิดกระแสโหลดเกินซึ่งจะใช้เวลาในการปลดวงจรพอสมควรคือ หากกระแสน้อยจะใช้เวลาปลดวงจรนานถ้ากระแสมากจะใช้เวลาน้อยเป็นลักษณะอินเวอร์สทาม (INVERSE TIME) หากสังเกตุจากภาคผนวก ก กราฟที่ 1 ซึ่งใช้เซอร์กิตเบรคเกอร์รุ่น KH ขนาด 150 A. และตั้งค่า เมคเนติคทริป (MAGNETIC TRIP) ไว้ที่ HIGH ก็คือช่วงกระแสตั้งแต่ 150 A. (ตัว =1) ถึง 1200 A. (ตัวคูณ = 8) ซึ่งใช้เวลาปลดวงจรเร็วสุดประมาณ 15 วินาที อีกส่วนหนึ่งใช้ปลดวงจรคือ เมคเนติคยูนิต (MAGNETIC UNIT) ซึ่งใช้ปลดวงจรเมื่อเกิดกระแสลัดวงจร โดยจะใช้เวลาในการปลดวงจรเร็วหากอ่านจากกราฟคือ ช่วงกระแสตั้งแต่ 1600 A. ขึ้นไป

6.6.2 อิเลคทรอนิคทรปเซอร์กิตเบรคเกอร์ทริปปิ้งเดิฝ (ELECTRONIC TRIP CB. TRIPING CURVE) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและเวลาปลดวงจรของเซอร์กิตเบรคเกอร์ชนิด อิเลคทรอนิคทริปซึ่งอย่างที่กล่าวไว้ข้างต้นคือเซอร์กิตเบรคเกอร์ชนิดนี้จะใช้วงจรอิเล็คทรอนิควิเคราะห์ในการอ่านค่ากระแสดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและเวลาปลดวงจรจึงแม่นยำและสามารถปรับค่าต่างๆได้ดังนี้ (ภาคผนวก ก กราฟที่ 2)

1. ลองไทม์พิคอัพ (LONG TIME PICK UP) ใช้ตั้งค่าพิกัดกระแสปลดวงจรยกตัวอย่างเช่น เซอร์กิตเบรคเกอร์ 2000 A. ตั้งค่าไว้ที่ 0.8 หมายถึงพิกัดกระแสใหม่เท่ากับ 1600 A.

2. ลองไทม์ดีเลย์ (LONG TIME DELAY) ใช้ปรับการหน่วงเวลาในการปลดวงจรให้ช้าหรือเร็ว

3. ชอทไทม์พิคอัพ (SHROT TIME PICK UP) ใช้ปรับตั้งค่าของกระแสปลดวงจรเนื่องจากกระแสลัดวงจร

4.ชอทไทม์ดีเลย์ (SHORT TIME DELAY) ใช้ปรับการหน่วงเวลาในการปลดวงจรเนื่องจากกระแสลัดวงจรให้ช้าหรือเร็ว

5. อินซเทนทิเนียซพิคอัพ (INSTANTANEOUS PICK UP) คือ การปรับตั้งค่ากระแสปลดวงจรแบบทันทีโดยไม่ต้องมีการหน่วงเวลา(DELAY TIME)

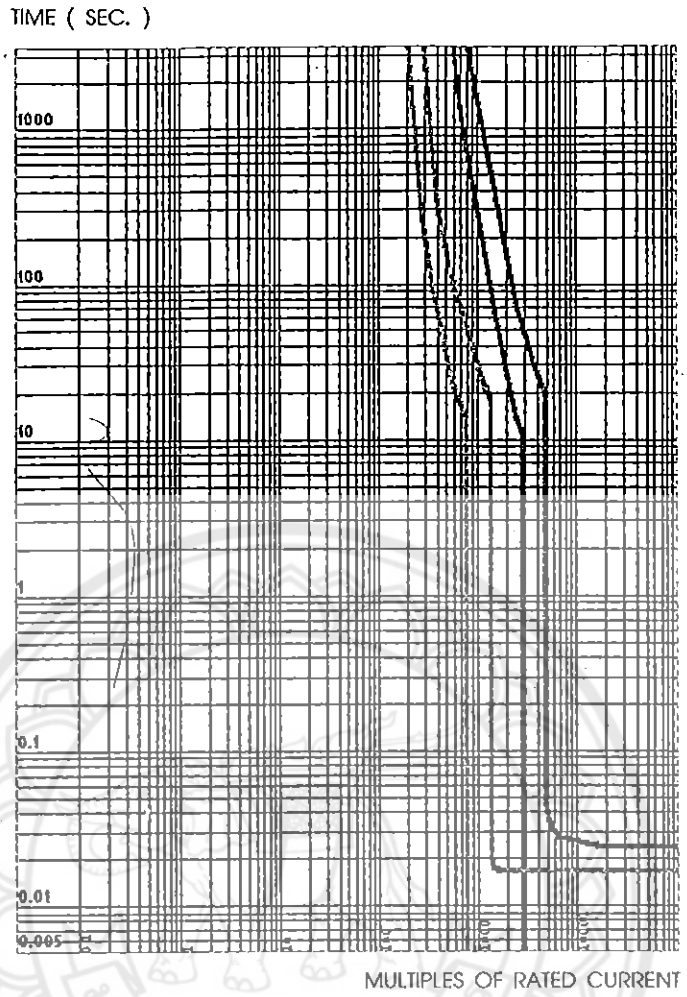
6.7 คอดิเนชั่น (COORDINATION) คือ การจัดลำดับการปลดวงจรของเซอร์กิตเบรคเกอร์เพื่อที่จะทำให้การป้องกันในระบบไฟฟ้าทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยเลือกขนาดของเซอร์กิตเบรคเกอร์ และการปรับตั้งค่าอุปกรณ์ป้องกันให้เหมาะสม

เมื่อมีการใช้กระแสไฟฟ้าเกินเกิดขึ้นในระบบป้องกันไฟฟ้าที่มีการจัดลำดับการป้องกันคอดิเนชั่นของเซอร์กิตเบรคเกอร์แล้ว เซอร์กิตเบรคเกอร์ที่อยู่ใกล้จุดผิดปกติ มากที่สุดจะต้องเปิดวงจร แต่ถ้าไม่มีการจัดลำดับการปลดวงจร ของเซอร์กิตเบรคเกอร์ในระบบไฟฟ้านั้น เมื่อมีการใช้กระแสเกินเกิดขึ้นอาจจะมีผลทำให้ตัวเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่อยู่ถัดไปด้านบน (UPSTREAM) เปิดวงจรซึ่งจะรบกวนบริเวณอื่นที่ไม่เกี่ยวข้อง

ซึ่งถ้าอธิบายอย่างง่าย ๆ ก็คือ ทริปปิ้งเดิฝ ของเซอร์กิตเบรคเกอร์ แต่ละตัวต้องไม่ซ้อนกันในช่วงเดิฝกระแสเกินและกระแสลัดวงจรดังรูป

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์

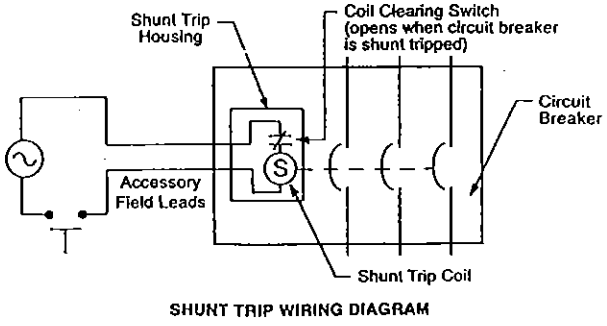
4100184
TK
3001
.A1360
2543



กราฟที่ 3.7 ทริปปิงเคริฟกระแสเกินและกระแสลัดวงจร

6.8 แอสเซสซอรี่ (ACCESSORIES) คืออุปกรณ์ประกอบของเซอร์กิตเบรคเกอร์เพื่อให้เซอร์กิตเบรคเกอร์สามารทำงานได้เพิ่มขึ้น โดยทั่วไปที่ใช้อยู่ในท้องตลาดมีดังนี้

6.8.1 ชันทริป (SHUNT TRIP) ทำหน้าที่สั่งปลดวงจรเซอร์กิตเบรคเกอร์เมื่อ คอยชันทริป (COIL SHUT TRIP)ได้รับสักดาจากระบบอื่น ดังรูป

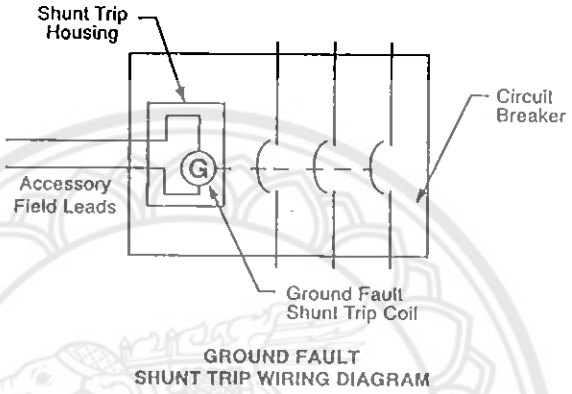


รูปที่ 3.8 ชันทริปไวริงไดอะแกรม

จากรูปที่ 3.8 หากนำสายคู่ที่ต่อจากคอยชันทริปไปต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายและสวิทช์เป็นหน้าสัมผัสช่วยของระบบอื่นก็สามารถทำได้

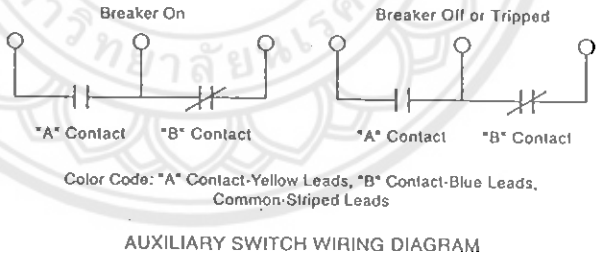
6.8.2 อันเดอร์โวลเทตรีลีซ (UNDERVOLTAGE RELEASE (UVR)) เป็นอุปกรณ์สั่งปลดวงจรเมื่อศักดาของระบบตกต่ำกว่าที่กำหนดไว้ ส่วนใหญ่จะใช้คู่กับ อันเดอร์/โอเวอร์โวลเทตรีเลย์ (UNDER / OVER VOLTAGE RELAY)

6.8.3 กราวด์ฟอลชันทริป (GROUND FAULT SHUNT TRIP) เป็นอุปกรณ์สั่งปลดวงจรเมื่อมีกระแสรั่วออกจากระบบเกินกว่าค่าที่ตั้งไว้

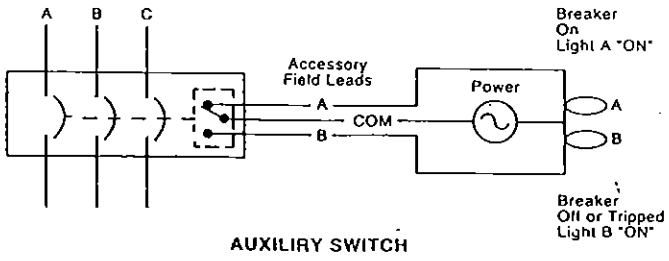


รูปที่ 3.9 กราวด์ฟอล์ตชันทริปไวริงไดอะแกรม

6.8.4 ออกซิลารี่สวิตช์ (AUXILIARY SWITCH) เป็นอุปกรณ์หน้าสัมผัสช่วยสำหรับแสดงสถานะ เซอร์กิตเบรคเกอร์ เปิดหรือปิด / ทริป

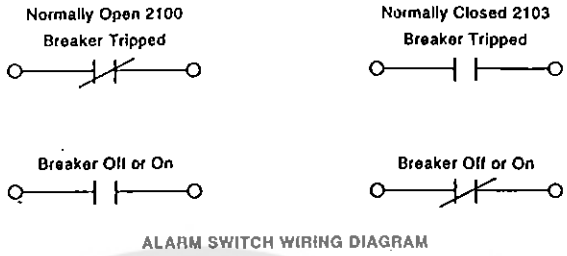


รูปที่ 3.10 ออกซิลารี่สวิตช์ไวริงไดอะแกรม



รูปที่ 3.11 ออกซิลารี่สวิตช์

6.8.5 อลาร์มสวิตช์ (ALARM SWITCH) เป็นอุปกรณ์หน้าสัมผัสช่วยซึ่งจะเปลี่ยนสถานะเมื่อเซอร์กิตเบรคเกอร์ปปลดวงจร (TRIP)

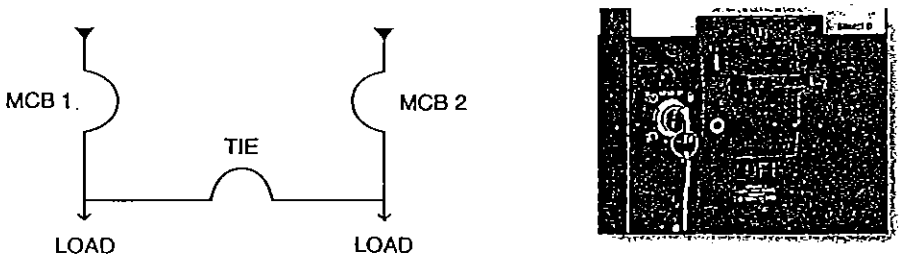


รูปที่ 3.12 อลาร์มสวิตช์ไวริงไดอะแกรม

6.8.6 เฮนเดิลเพดล็อก (HANDLE PADLOCK) ใช้สำหรับล็อคเซอร์กิตเบรคเกอร์ให้อยู่ในตำแหน่งเปิดหรือปิด หากล้อกไว้ในตำแหน่งเปิดและเซอร์กิตเบรคเกอร์ทริป (TRIP) ด้ามโยกจะอยู่ในตำแหน่งทริปฟรี (TRIP FREE)

รูปที่ 3.13 เพดล็อกแอทเทชเมนต์

6.8.7 ไซเลนเดอร์ล็อก (CYLINDER LOCK) เป็นกุญแจซึ่งใช้ล็อกเซอร์กิตเบรคเกอร์ไว้ในตำแหน่งปิดเท่านั้น เพื่อป้องกันการเปิดเซอร์กิตเบรคเกอร์จากผู้ที่ไม่มีกุญแจ



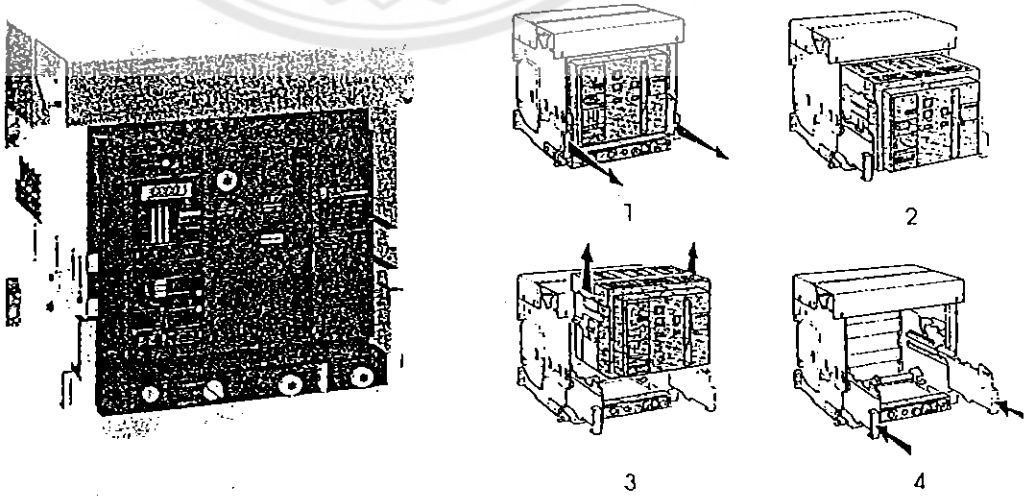
รูปที่ 3.14 ไซเลนเดอร์ล็อก (Cylinder Lock)

6.8.8 มอเตอร์โอเปอร์เรต (MOTOR OPERATE) เป็นมอเตอร์สำหรับใช้เปิด/ปิด เซอร์กิตเบรคเกอร์

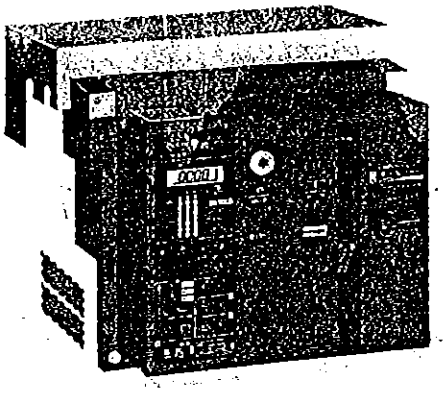
รูปที่ 3.15 มอเตอร์โอเปอร์เรต (Motor Operate)

7. แอร์เซอร์กิตเบรคเกอร์ (AIR CIRCUIT BREAKER) หมายถึง เซอร์กิตเบรคเกอร์สำหรับระบบแรงดันไฟฟ้า 1000 โวลต์ส่วนใหญ่จะมีพิกัดกระแสตั้งแต่ 225– 6300 A และมีค่าอินเทอรับปิ้งคาปาซิตี้ (INTERUPING CAPACITY) ตั้งแต่ 35 – 150 KA. ดังนั้นจึงมีรางดับอาร์คที่ใหญ่และแข็งแรง ดังโครงส่วนใหญ่ทำด้วยเหล็กเพื่อให้สามารถตัดกระแสลัดวงจรที่มีขนาดสูงได้ ทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์มีน้ำหนักมากจึงต้องติดตามในรางเลื่อน สามารถเลื่อนเข้าออกเพื่อบำรุงรักษาได้สะดวก

แอร์เซอร์กิตเบรคเกอร์ที่จำหน่ายในท้องตลาดส่วนมากจะใช้อุปกรณ์อิเล็คทรอนิคเป็นตัววิเคราะห์กระแสเพื่อสั่งปลดวงจร แอร์เซอร์กิตเบรคเกอร์,มี 2 ประเภทคือ ฟิคไทป์ (FIXED TYPE) และดรอวไทป์ (DRAW TYPE)

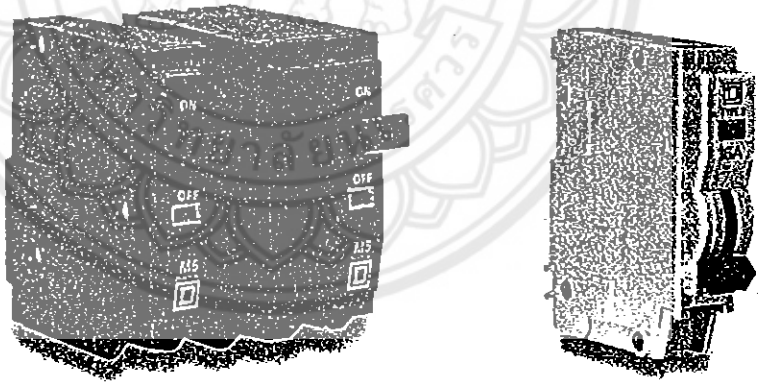


รูปที่ 3.16 ดรอวเอาท์ไทป์ (Draw out type)



รูปที่ 3.17 ฟิคไทป์ (Fixed type)

8. มิเนเทอเซอร์กิตเบรคเกอร์ (MINIATURE CITCUIT BREAKER) เป็นเซอร์กิตเบรคเกอร์ขนาดเล็กใช้ติดตั้งเป็นอุปกรณ์ป้องกันวงจรย่อยในแผงไฟฟ้าย่อย (LOAD CENTER) หรือแผงไฟฟ้าประจำห้องหรือที่พักอาศัย (CONSUMER UNIT) มีทั้งชนิด 1 Pole, 2 Pole, 3 Pole ภายในตัวมันจะมีอุปกรณ์ปลดวงจรทั้งแบบเทอร์มอล (THERMAL) และเมคเนติก (MAGNETIC) โดยเซอร์กิตเบรคเกอร์นี้ไม่สามารถปรับค่าได้ (ดูรูปที่ 3.18)



รูปที่ 3.18 มิเนเทอร์เซอร์กิตเบรคเกอร์ (Miniature Circuit Breaker)

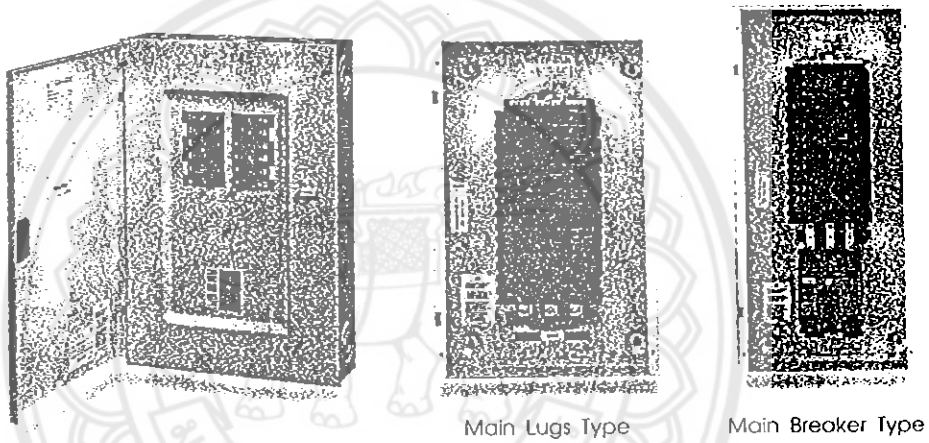
โดยทั่วไปพิกัดของเซอร์กิตเบรคเกอร์ชนิดนี้จะมีค่าพิกัดแรงดันที่ 240 / 415 Vac และมีพิกัดกระแสสูงสุด 100 Amp และมีค่ากระแสลัดวงจรตั้งแต่ 5 KA ถึง 16 KA

โดยทั่วไปเซอร์กิตเบรคเกอร์ชนิดนี้จะนำมาใช้ป้องกันวงจรย่อยเช่น แสงสว่าง,เต้ารับ,แอร์บ้าน หรือ มอเตอร์ขนาดเล็ก เนื่องจากทนกระแสลัดวงจร ได้ต่ำ ปัจจุบันเซอร์กิตเบรคเกอร์ชนิดกันดูด (EARTH LEAKAGE) เป็นที่นิยมนำมาใช้กับวงจรของเครื่องทำน้ำร้อน, เครื่องซักผ้า , เนื่องจาก

หากมีกระแสรั่วมากกว่า 10 mA เซอร์กิตเบรคเกอร์ก็จะปลดวงจรทำให้มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้สูงสุด (ดูรูปที่ 3.21)

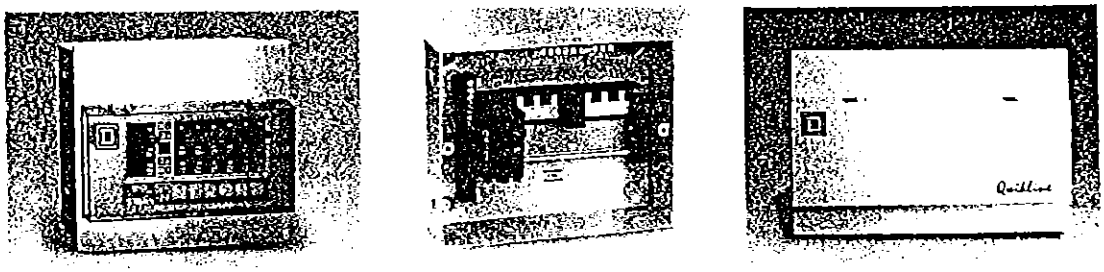
เพื่อให้มีความเข้าใจมากขึ้นขออธิบายเพิ่มเติมในส่วนของโหลดเซนเตอร์ (LOAD CENTER), คอนซูเมอร์ยูนิต (CONSUMER UNIT) และ เอิร์ทลีกเกจ (EARTH LEAKAGE MCB) ดังนี้

-โหลดเซนเตอร์ (LOAD CENTER) หมายถึง แผงไฟฟ้าวงจรย่อยเหมาะสำหรับ บ้านขนาดใหญ่ , โรงงาน , อุตสาหกรรม , แผงไฟฟ้าประจำชั้นอาคารสูง มีทั้งแบบมีเมน (Main Breaker Type) และไม่มีเมน (Main Lug Type) มีขนาดสูงสุด 250 A. มีทั้งระบบ 1 เฟส 2 สาย และ 3 เฟส 4 สาย โดยจำนวนวงจรย่อย 12,18, 24,30,36,42 วงจร



รูปที่ 3.19 โหลดเซนเตอร์

-คอนซูเมอร์ยูนิต (CONSUMER UNIT) หมายถึงแผงไฟฟ้าสำหรับห้องพัก ,ร้านค้า,ที่พักอาศัย มีเฉพาะระบบ 1 เฟส 2 สายและมีจำนวนย่อย 2 , 4 , 6 , 8 ,12 , 16 วงจร

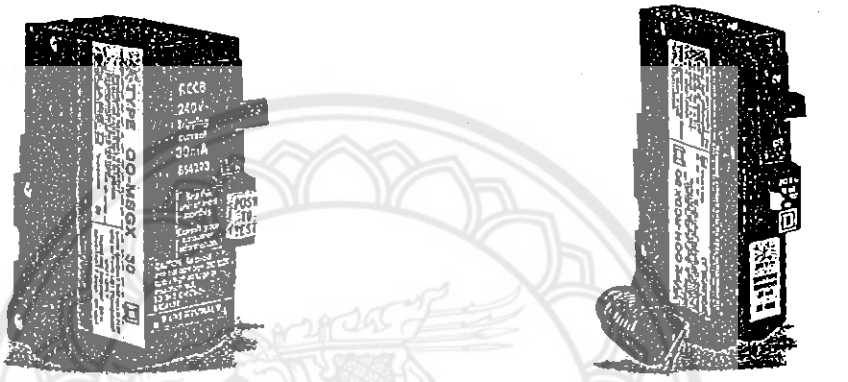


รูปที่ 3.20 คอนซูเมอร์ยูนิต

-เอิร์ทลีกเกจเมนเซอร์กิตเบรคเกอร์ (EARTH LEAKAGE MCB) หมายถึง มิเนเทอเซอร์กิตเบรคเกอร์ (MINLATURE CB.) ชนิดหนึ่งซึ่งภายในตัวเซอร์กิตเบรคเกอร์นอกเหนือจากที่ประกอบ

ด้วยเทอร์มอล (THERMAL) และเมคเนติก (MAGNETIC) แล้วยังมีอุปกรณ์สำหรับเช็คกระแสว่ามีรั่วออกจากวงจรหรือไม่ ซึ่งหากมีกระแสรั่วออกจากวงจรมากกว่าค่าที่กำหนดไว้จะสั่งปลดวงจร (ผนวก ข รูปที่2) โดยส่วนใหญ่จะมีขนาด 10 mA

โดยทั่วไปเอิร์ทลีกเกจเมนเซอร์กิตเบรคเกอร์ ในท้องตลาดจะมีให้เลือกทั้งชนิดใช้เมนของแผงไฟฟ้า คือ ELCB 2 POLE ดังรูปที่ 3.21 ก หรือใช้เป็นอุปกรณ์กันรั่วเฉพาะจุด 1 POLE ดังรูปที่ 3.21 ข ซึ่งส่วนใหญ่จะต่อกับเครื่องทำน้ำร้อน เครื่องซักผ้า ฯลฯ



(ก) (ข)

รูปที่ 3.21 เอิร์ทลีกเกจเมนเซอร์กิตเบรคเกอร์

3.1.3 ฟิวส์ (Fuse)

ฟิวส์ คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent) โดยจะตัดวงจรที่เกิดการผิดพลาดออกไปจากระบบไฟฟ้าทั้งหมดได้ ก็ต่อเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวฟิวส์ และกระแสเกินที่ผ่านนี้จะเป็นตัวที่ทำให้เกิดความร้อนขึ้นบนตัวฟิวส์ ซึ่งจะทำให้ตัวฟิวส์ขาดโดยเกิดการหลอมละลาย

ฟิวส์ลักษณะพื้นฐานก็คือ สายตัวนำอันหนึ่งที่มีพื้นที่หน้าตัดเล็กๆ หรือไส้ฟิวส์ตรงจุดนี้เมื่อมีกระแสไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดเล็กๆ ที่มีความต้านทานสูง ก็จะทำให้ตัวนำตรงจุดนี้ร้อนมากกว่าสายไฟ ดังนั้นไส้ฟิวส์จะขาดออกก่อนเสมอ เมื่อมีกระแสลัดวงจรขึ้นซึ่งสามารถแบ่งชนิดของฟิวส์ตามโครงสร้าง และการใช้งานได้ดังนี้

- ไดอเซด ฟิวส์
- นีเซด ฟิวส์
- ฟิวส์หลอด
- ไฮรับเจอริงก์ คาปาซิตี้ ฟิวส์ (HRC-FUSE)

รูปที่ 3.22 รูปร่างของฟิวส์

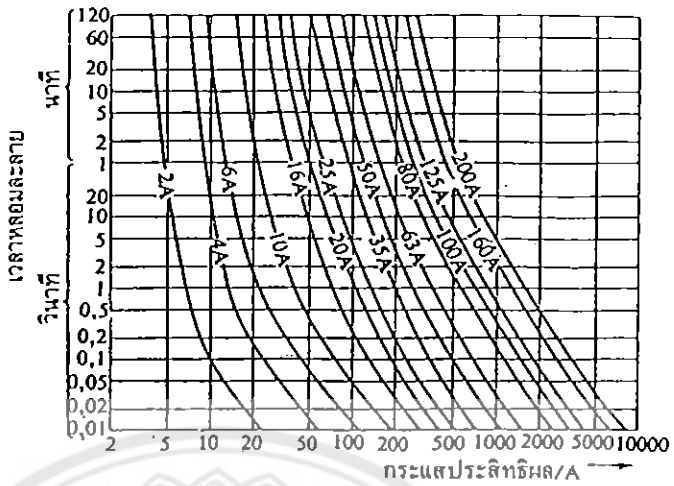
1. ไดอเซด ฟิวส์ และนีโอเซด ฟิวส์ มาตรฐาน VDE 0636

ฟิวส์ทั้งสองชนิดเป็นที่รู้จักกันดีในท้องตลาดที่เรียกกันว่า คาทริดจ์ ฟิวส์ โดยมีโครงสร้างและการทำงานใกล้เคียงกันมาก ซึ่งมีความแตกต่างกันตรงที่ขนาดของตัวฟิวส์ และพิกัดแรงดันไฟฟ้า ขีดความสามารถตัดตอนกระแสไฟฟ้า

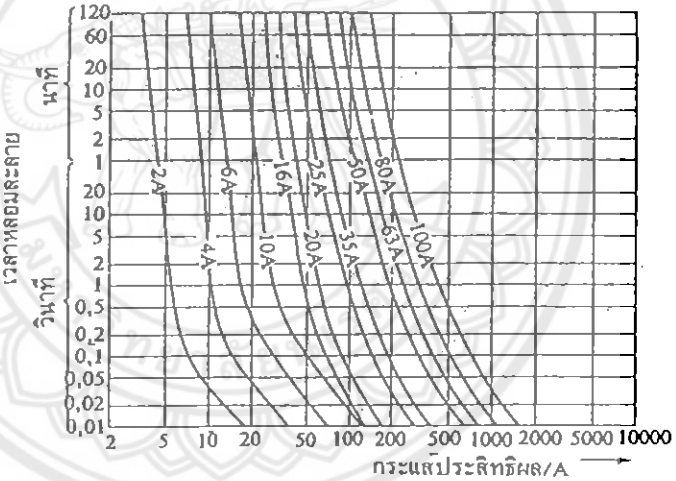
โดยมากฟิวส์ทั้งสองชนิดนี้ จะถูกใช้ป้องกันไม่ให้สายตัวนำ และสายเคเบิลมีอันตรายจากใช้กระแสไฟฟ้าเกินและจากกระแสไฟฟ้าลัดวงจร

ซึ่งถ้าพิจารณาตามสมบัติกระแสไฟฟ้า-เวลาแล้วสามารถแบ่งเป็นชนิดใหญ่ๆได้ 2 ชนิด คือ ฟิวส์ตัดเร็วและฟิวส์ตัดช้า

ข้อดีของฟิวส์ตัดเร็ว คือ ไม่ทำให้เกิดการอาร์กรุนแรงนัก ขณะที่โลหะฟิวส์หลอมละลายขาด ส่วนข้อเสียคือไม่สามารถนำไปใช้ป้องกันสายตัวนำหรือสายเคเบิล ในวงจรที่มีภาระไฟฟ้าที่จำเป็นต้องมีกระแสไฟฟ้ากระโชก เช่น มอเตอร์ไฟฟ้าขณะเริ่มเดิน ซึ่งการเลือกใช้ฟิวส์ชนิดตัดช้าจะเหมาะสมกว่า ทั้งนี้ฟิวส์ชนิดตัดเร็วและตัดช้าต่างก็มีลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้า - เวลา คล้ายคลึงกันมาก โดยเฉพาะที่กระแสไฟฟ้าสูงๆ ดังแสดงในรูปกราฟที่ 3.8



กราฟที่ 3.8 ลักษณะสมบัติของกระแสไฟฟ้า-เวลาของไดอเซตฟิวส์ชนิดตัดช้า



กราฟที่ 3.9 ลักษณะสมบัติของกระแสไฟฟ้า-เวลาของไดอเซตฟิวส์ชนิดตัดเร็ว

2. ฟิวส์หลอด มาตรฐาน VDE 0820

เป็นฟิวส์ที่มีความละเอียด มีขนาดพิกัดกระแสไฟฟ้าตั้งแต่ 1 มิลลิแอมป์ถึง 10 แอมป์ใช้สำหรับป้องกันเครื่องใช้ไฟฟ้าจากกระแสลัดวงจร และกระแสเกินพิกัด

ลักษณะโครงสร้างเป็นรูปทรงกระบอกโดยมากทำด้วยแก้ว มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 mm - 30 mm ขึ้นอยู่กับพิกัดกระแสไฟฟ้า และมีหน้าสัมผัสที่ส่วนหัวและท้ายของตัวหลอด เนื่องจากฟิวส์หลอดเป็นฟิวส์ขนาดเล็ก ดังนั้นขีดความสามารถในการตัดตอนวงจรจึงถูกจำกัดให้ต่ำลง

3. HRC- ฟิวส์มาตรฐาน VDE 0636

มีชื่อเต็มว่าไฮรับเทอร์ริงคาปาซิตี้ (High Rupturing Capacity Fuse) เป็นฟิวส์ที่ใช้กันในระบบไฟฟ้ากำลังสำหรับป้องกันสายตัวนำและสายเคเบิล ไม่ให้เกิดอันตรายจากกระแสไฟฟ้าลัดวงจรและป้องกันอันตรายจากการใช้กระแสไฟฟ้าเกินพิกัดของสายตัวนำและสายเคเบิล มีขนาดตั้งแต่ 6 แอมป์ ถึง 1250 แอมป์ มีขีดความสามารถตัดตอนวงจรได้ถึง 100 กิโลแอมป์ และใช้กับแรงดันไฟฟ้าถึง 500 โวลต์ และอาจใช้กับแรงดันไฟฟ้าถึง 1000 โวลต์ HRC- ฟิวส์ ถูกแบ่งออกเป็นขนาดต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของ HRC- Fuse ขนาดต่าง ๆ

ขนาด	พิกัดกระแสไฟฟ้า	ขนาดความยาว	พื้นที่หน้าตัดตัวนำ
00	6-160	78	16-50
0	6-250	125	35-95
1	16-250	135	70-150
2	32-400	150	150-300
3	315-630	150	2x(40x5)
4	500-1250	200	2x(60x5)
4a	500-1250	200	2x(80x5)

HRC- ฟิวส์มีลักษณะทนและไวในการตัดตอนวงจรคือที่ กระแสไฟฟ้าเกินพิกัดกระแสไฟฟ้าของฟิวส์ จะทนได้นาน แต่ถ้าเป็นกระแสไฟฟ้าลัดวงจร มันจะหลอมละลายได้เร็วมาก

ข้อพิจารณาในการเลือกขนาดของฟิวส์

1. ฟิวส์ป้องกันข่ายงานไฟฟ้า จะต้องสามารถป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าของข่ายงานไม่ให้เกิดความเสียหายจากกระแสไฟฟ้าลัดจงจรได้ เช่น ป้องกันสายเคเบิล และ สวิตช์แยกวงจร เป็นต้น
2. ฟิวส์สำหรับป้องกันวงจรที่เป็นมอเตอร์ไฟฟ้า จะต้องคำนึงถึงกระแสไฟฟ้าขณะเริ่มเดินมอเตอร์ด้วย ซึ่งฟิวส์ภายใต้สภาวะนี้ต้องไม่เกิดการหลอมละลายขาด

3.1.4 รีเลย์ (Relay)

เซอร์กิตเบรกเกอร์นอกจากจะใช้สำหรับเปิดและปิดวงจรในขณะที่ระบบไฟฟ้าอยู่ในสภาพปกติแล้ว ยังสามารถใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์สำหรับเปิดและปิดวงจรในขณะที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้าซึ่งในบางครั้งจำเป็นต้องให้การเปิดวงจรเป็นไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งความเร็วสูงที่ใช้ในการตัดวงจรนี้ไม่อยู่ในวิสัยที่มนุษย์จะทำงานได้จึงจำเป็นอุปกรณ์ป้องกันเข้ามาควบคุมและค้นหาสภาพผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบแล้วสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์เปิดวงจรด้วยความเร็วสูง เราเรียกอุปกรณ์ป้องกันนี้ว่า รีเลย์ (Relay)

รีเลย์ที่ใช้ในการสั่งงานให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานโดยอัตโนมัติ เพื่อป้องกันระบบนั้นมีใช้กันอยู่ทั่วๆไปได้แก่

1.รีเลย์กระแสเกินหรือโอเวอร์เคอร์เรนต์รีเลย์ (Over Current Relay) คือรีเลย์ที่ทำงานเมื่อเกิดกระแสเกินพิกัดเนื่องจากการลัดวงจรหรือฟอลต์ในระบบ ซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดขึ้นได้บ่อยกว่าข้อขัดข้องอื่นๆ โดยปกติรีเลย์กระแสเกินแบ่งออกตามลักษณะการทำงานได้เป็น 2 แบบซึ่งประกอบร่วมในชุดเดียวกันคือ

-แบบทันทีทันใด (Instantaneous) เป็นการทำงานแบบทันทีทันใด ใช้ในกรณีที่เกิดการลัดวงจรที่มีค่ากระแสสูงๆ

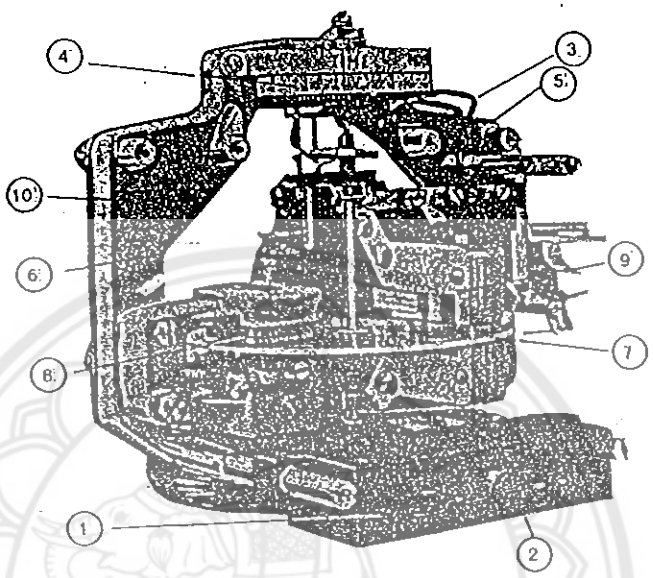
-แบบหน่วงเวลา (Time Delay)ใช้ในกรณีเมื่อเกิดการโหลดเกินหรือฟอลต์ที่มีขนาดกระแสน้อยๆหรือใช้ในการทำงานร่วมกันกับรีเลย์ตัวอื่นๆ ในระบบป้องกัน ซึ่งมีทั้งแบบทำงานด้วยเวลาที่คงที่ (Fixed Time) คือกระแสจะมีค่ามากน้อยเท่าไดก็ตาม ถ้าเกินกว่าพิกัดแล้วรีเลย์กระแสเกินจะทำงานด้วยเวลาเท่ากัน และแบบเวลาผกผันกับกระแส (Inverse Time) คือ ถ้ากระแสเกินกว่าพิกัดมากก็จะทำงานเร็วขึ้น ถ้ากระแสน้อยก็ใช้เวลานานขึ้น และนอกจากนี้ยังแบ่งระดับของการผกผันจากน้อยไปมากอีกคือ แบบเวลาผกผันกับกระแสมาก (Very Inverse Time) และแบบเวลาผกผันกับกระแสมากที่สุด (Extremely Inverse Time)โดยหากค่ากระแสเกินพิกัดมีค่ามาก เวลาในการทำงานยิ่งเร็วขึ้นไปอีกตามลำดับ

2. เอิร์ทฟอต์รีเลย์ (Earth Fault Relay) หรือกราวนด์ฟอลต์รีเลย์ (Ground Fault Relay) คือรีเลย์ที่จะทำงานเมื่อสายเฟสเกิดการลัดวงจรลงดินขึ้นในระบบลักษณะการทำงานของรีเลย์ตัวนี้จะเหมือนกับรีเลย์กระแสเกิน

3. อันเดอร์โวลต์เตจรีเลย์ (Under Voltage Relay) คือรีเลย์ที่จะทำงานเมื่อระดับแรงดันลดต่ำกว่าพิกัด

4. ดิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์ (Differential Relay) คือรีเลย์ที่วัดเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณไฟฟ้าทางด้านอินพุตและเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือหม้อแปลง

นอกจากนี้ยังมีรีเลย์อีกหลายแบบและการเลือกใช้รีเลย์แบบไหนนั้นควรขึ้นอยู่กับสภาพของระบบเป็นกรณีๆไป รายละเอียดของรีเลย์กระแสเกินแบบหน่วงเวลา จะสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 3.23 รูปที่ 3.24 และรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.23 ส่วนประกอบต่างๆของรีเลย์กระแสเกินแบบหน่วงเวลา

1.แท็ปสำหรับเลือกค่ากระแสต่ำสุดที่ทำให้หน้าสัมผัสของรีเลย์ปิดได้

2.สกรูสำหรับเปลี่ยนแท็ปมีให้ 2 อัน เมื่อต้องการเปลี่ยนแท็ปให้นำสกรูกัวสำรองใส่ในรูแท็ปใหม่แล้วจึงคลายสกรูที่แท็ปเดิมออก เพื่อป้องกันการเปิดวงจรด้านเซคคันดารี่ของหม้อแปลงกระแส

3.ปลั๊กแม่เหล็กสามารถปรับเข้าหรือออกได้เพื่อควบคุมและปรับแต่งค่ากระแสสูงส่วนแม่เหล็กสำหรับหน่วงและสปริงจะทำหน้าที่ปรับค่ากระแสต่ำ

4.หน้าปัดเวลา แสดงตำแหน่งเริ่มต้นของหน้าสัมผัสเคลื่อนที่ถ้าตั้งค่าน้อยระยะห่างจะน้อยเวลาจะเร็วถ้าตั้งค่าน้อยระยะห่างจะน้อยเวลาจะเร็วถ้าตั้งค่ามากระยะห่างจะมากเวลาจะนาน

5. หน้าสัมผัสที่อยู่กับที่

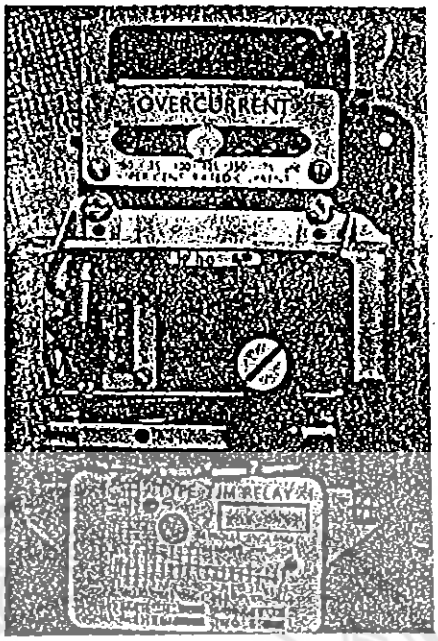
6. หน้าสัมผัสที่เคลื่อนที่

7.จานเหนี่ยวนำ มีรูปร่างแบบวงกันหอยเพื่อการชดเชยกับแรงดึงกลับของสปริงตลอดช่วงการเคลื่อนที่ของจาน

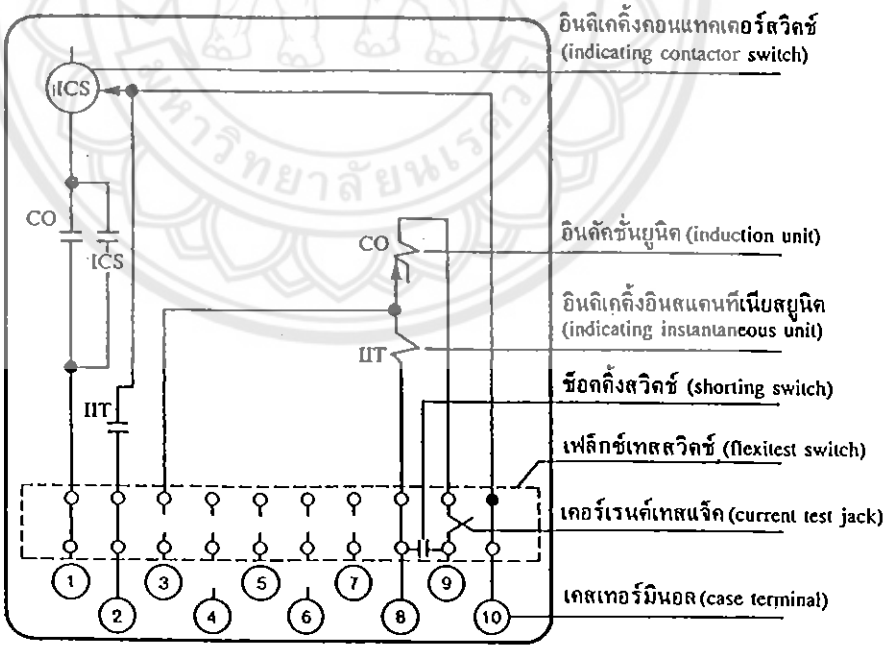
8.แม่เหล็กสำหรับหน่วงทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของจานในช่วงกระแสต่ำ

9.ส่วนแสดงเมื่อรีเลย์ทำงานแบบทันทีทันใด

10.ส่วนแสดงเมื่อรีเลย์ทำงานแบบหน่วงเวลา

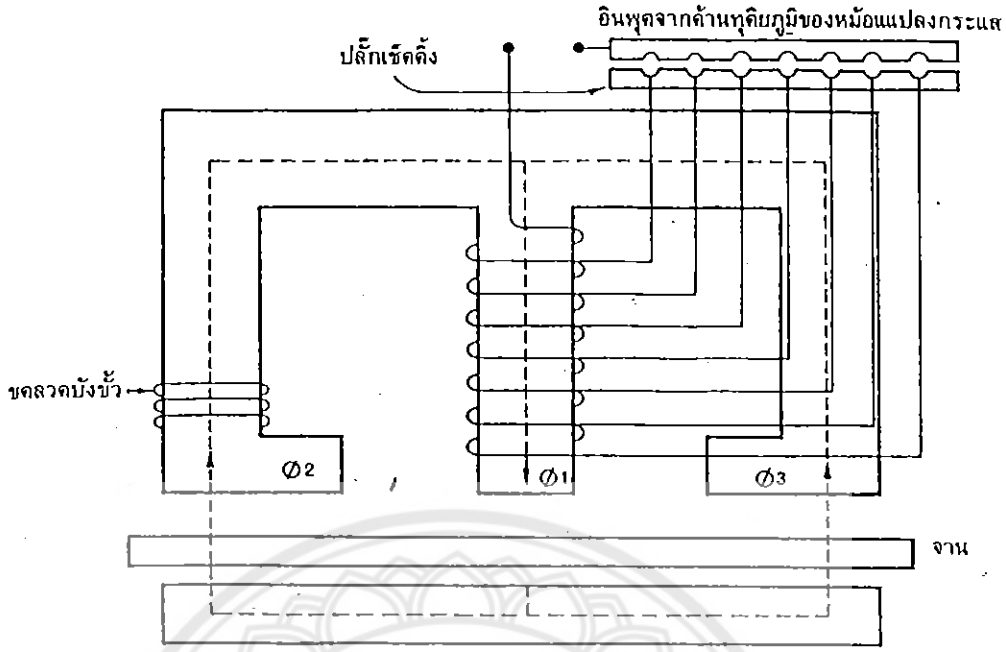


(ก) รูปตัดด้านหน้าของรีเลย์กระแสเกินแบบหน่วงเวลา



(ข)

รูปที่ 3.24 วงจรภายในตัวรีเลย์กระแสเกินแบบหน่วงเวลา



รูปที่ 3.25 ลักษณะโครงสร้างของจานรีเลย์แบบเพิ่มขั้วบัง

จากรูปที่ 3.25 เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดที่พันรอบขากลางของแกนแม่เหล็กไฟฟ้ารูปตัว E ซึ่งอยู่ทางด้านบนของจาน จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กไหลกลับทางขาอีกสองข้างเส้นแรงแม่เหล็กบนขาที่หุ้มด้วยลวดทองแดงจะมีทิศทางต่างไปจากเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดบนขากลางของแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้เกิดแรงบิดบนจาน ซึ่งจะหมุนไปในทิศทางที่จะไปปิดหน้าสัมผัส (Contact) ของรีเลย์

จากรูปที่ 3.23 และรูปที่ 3.24 จะสามารถแสดงรายละเอียดส่วนประกอบของรีเลย์ได้ดังนี้

1. แท็ปบล็อก (Tap Block) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าปลั๊กเซ็ตติ้งบริดจ์ (Plug Setting Bridge) เป็นส่วนที่ใช้แบ่งจำนวนรอบของเคอร์เรนต์คอยล์หรือคอยล์กระแส เพื่อกำหนดพิกัดกระแสที่ตั้งให้รีเลย์ทำงาน (Plug Setting Current)

2. แท็ปสกรู (Tap Screw) เป็นหมุดเกลียวสำหรับขันเข้าไปในแท็ปที่ต้องการ

3. แมกเนติกส์ปลั๊กหรือปลั๊กแม่หล็ก (Magnetic Plug) เป็นหมุดเกลียวที่ใช้ขันเข้าหรือคลายออกเพื่อควบคุมความอิ่มตัวของวงจรแม่เหล็กที่ค่ากระแสสูงๆให้รีเลย์ทำงานได้ถูกต้องตามกราฟแสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเวลา

4. หน้าปัดเวลา (Time Dial) หรืออาจเรียกชื่อว่าไทม์มัลติพลายเออร์ (Time Multiplier) เป็นส่วนที่ตั้งตำแหน่งเริ่มต้นของหน้าสัมผัสที่เคลื่อนที่ซึ่งจะควบคุมระยะทางการเคลื่อนที่ของจานทำให้รีเลย์ทำงานช้าหรือเร็วตามความต้องการ หน้าปัดเวลานี้จะแบ่งออกเป็น 10 ค่า เริ่มต้นจาก 1 ถึง 10 ส่วนไทม์มัลติพลายเออร์จะแบ่งออกเป็น 10 ค่าเช่นกันแต่เริ่มต้นจาก 0.1 ถึง 1 ที่ค่าหน้าปัด

หรือไทม์มัลติพลายเออร์ต่ำระยะทางที่จานจะเคลื่อนที่นำหน้าสัมผัสที่เคลื่อนที่ไปหาหน้าสัมผัสที่อยู่กับที่ก็จะน้อย รีเลย์จึงใช้เวลาในการปิดหน้าสัมผัสเร็วกว่าที่หน้าปัด หรือไทม์มัลติพลายเออร์มีค่ามากที่ค่ากระแสเกินพิกัดเดียวกัน

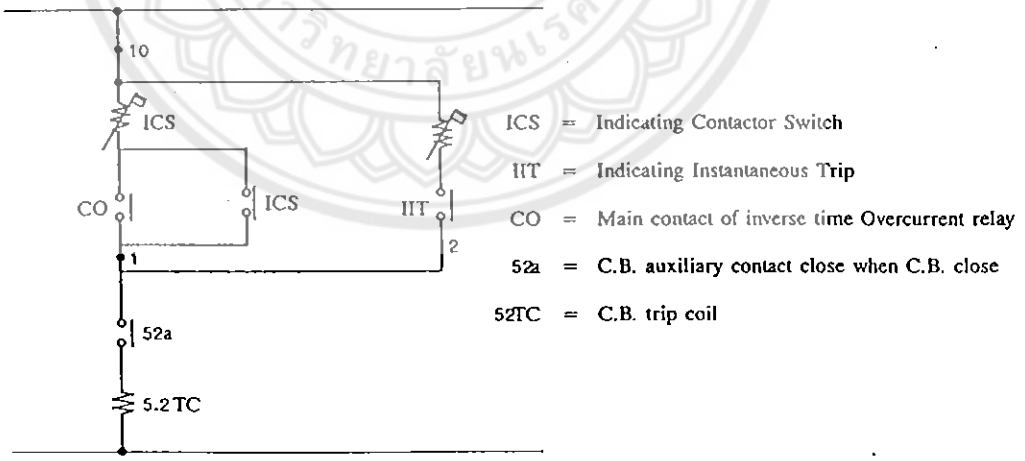
5.สัมผัสที่อยู่กับที่ เป็นหน้าสัมผัสที่อยู่กับที่ ซึ่งทำด้วยเงินบริสุทธิ์

6.หน้าสัมผัสที่เคลื่อนที่ เป็นหน้าสัมผัสที่ทำด้วยเงินบริสุทธิ์ ติดตั้งอยู่บนแกนหมุนของจาน เมื่อจานหมุนก็จะพาหน้าสัมผัสเคลื่อนที่หมุนตามไปด้วยจนไปแตะกับหน้าสัมผัสที่อยู่กับที่ทำให้วงจรทริปครบวงจร จึงมีกระแสไหลจากหน้าสัมผัสผ่านสไปรัลสปริง (Spiral Spring) และสปริงแอดจัสเตอร์เฟรม (Spring Adjuster Frame)ไปยังขั้วของรีเลย์เพื่อทริปเซอร์กิตเบรคเกอร์ต่อไป

7.จานเหนี่ยวนำ เป็นจานที่วางอยู่ใต้แม่เหล็กไฟฟ้ารูปตัวEจานจะเริ่มหมุนเมื่อมีแรงกระทำบนจานที่เกิดจากกระแสที่เกินพิกัดของค่ากระแสเริ่มทำงานของรีเลย์

8.แม่เหล็กสำหรับหน่วง (Damping Magnet) จะเป็นแม่เหล็กถาวรที่มีหน้าที่ควบคุมเวลาทำงานของรีเลย์ให้ถูกต้องตามกราฟแสดงคุณสมบัติของเวลา–กระแสที่มีค่ากระแสต่ำๆ (ประมาณ2 ถึง3 เท่าของพิกัดกระแสที่ตั้งให้รีเลย์เริ่มทำงาน) และป้องกันไม่ให้จานของรีเลย์เคลื่อนที่เนื่องจากแรงสั่นสะเทือนเพราะแม่เหล็กสำหรับหน่วงจะสร้างแรงในทิศทางต่อต้านการเคลื่อนที่ของจาน

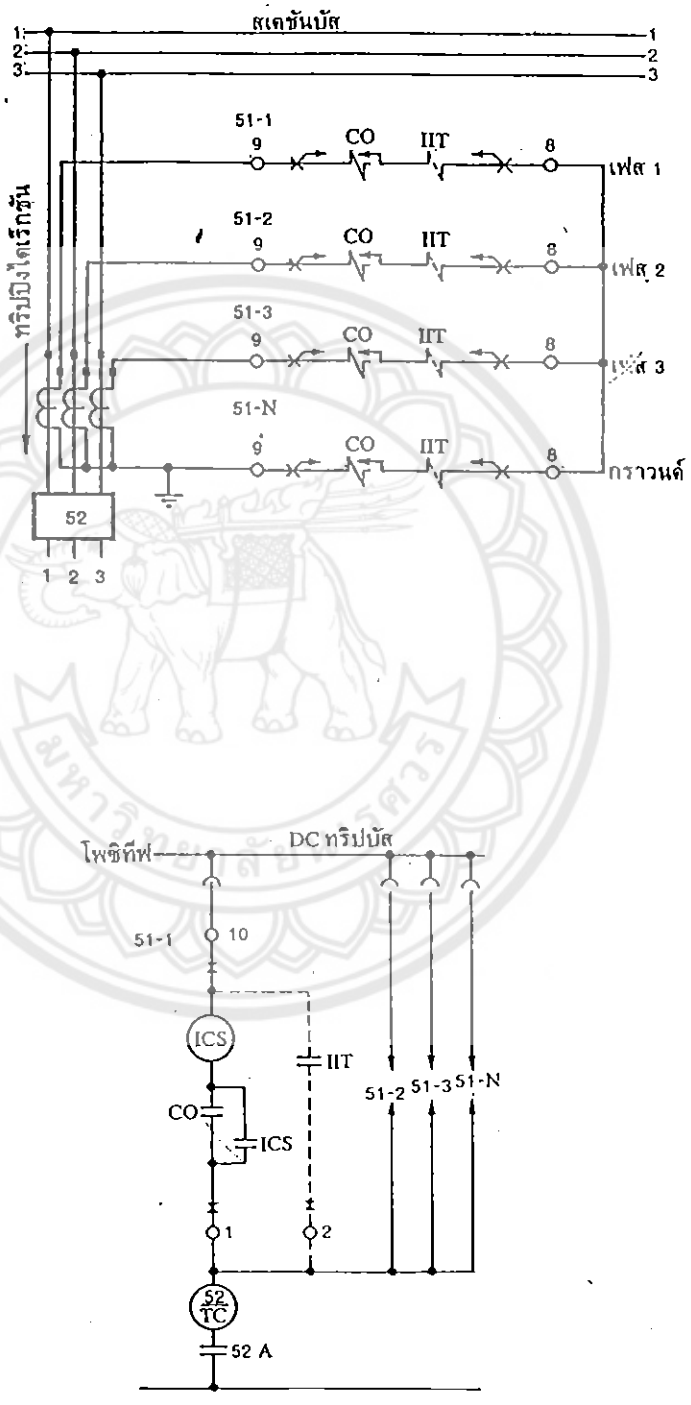
ในรูปที่ 3.24 จะเป็นการแสดงถึงการต่อวงจรภายในตัวรีเลย์กระแสเกินแบบหน่วงเวลาจะสามารถแสดงลักษณะของวงจรทริปได้อย่างง่ายๆดังแสดงในรูปที่ 3.26



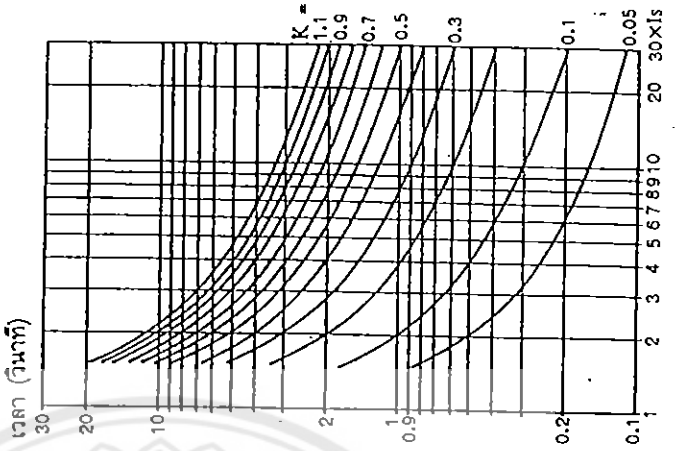
รูปที่ 3.26 วงจรทริปของรีเลย์กระแสเกินแบบหน่วงเวลา

เมื่อจานพาหน้าสัมผัสเคลื่อนที่ไปแตะหน้าสัมผัสอยู่กับที่ หน้าสัมผัส CO จะปิดวงจรทริปของรีเลย์จะครบวงจร จึงมีกระแสไหลผ่านขดลวดของอินดิเคติ้งคอนแท็คเตอร์สวิตช์ (Indicating Contactor Switch) ดูดอาร์เมเจอร์ขึ้นมา ทำให้หน้าสัมผัส ICS ปิดไปด้วย ซึ่งจะช่วยแบ่งกระแสจาก

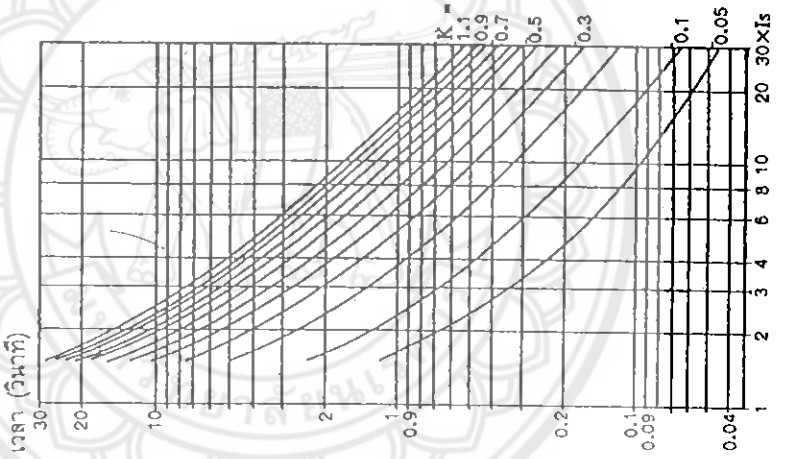
หน้าสัมผัสแมนของรีเลย์ที่จะส่งไปทริปเซอร์กิตเบรกกอร์ในรูปที่ 3.27 จะเป็นการแสดงการต่อรีเลย์เข้ากับส่วนอื่นๆ ของวงจรควบคุม



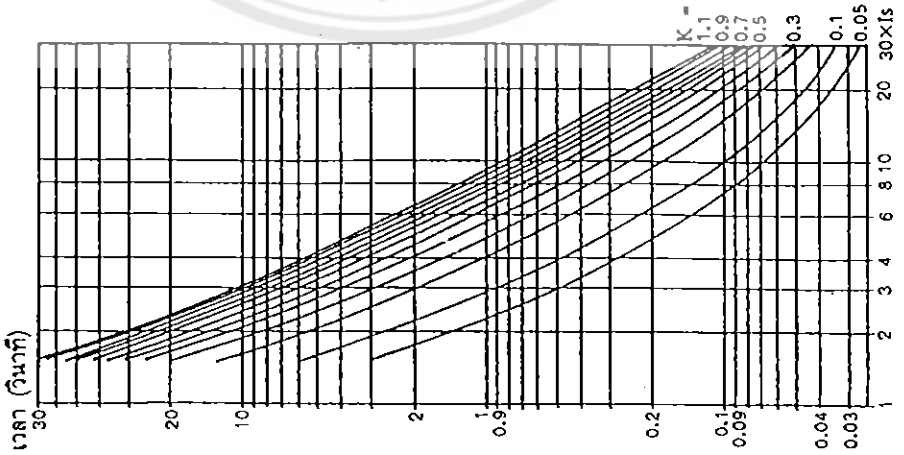
รูปที่ 3.27 การต่อรีเลย์เข้ากับส่วนอื่นๆของวงจรควบคุม



(ก) การผกผันปกติ



(ข) การผกผันมาก



(ค) การผกผันมากสุด

รูปที่ 3.28 ลักษณะของเวลา-กระแสแบบผกผันของรีเลย์ที่ต่างกัน 3 แบบ

3.1.5 มาตรฐานเครื่องป้องกันกระแสเกิน

เครื่องป้องกันกระแสเกินต้องมีคุณสมบัติ ตามมาตรฐานที่การไฟฟ้านครหลวงยอมรับเช่น UL BS DIN JISและ IEC และต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. ฟิวส์และขั้วรับฟิวส์ (Fuse and Fuse Holder) พิกัดกระแสของฟิวส์ต้องไม่สูงกว่าของขั้วรับฟิวส์ทำจากวัสดุที่เหมาะสม มีการป้องกันหรือหลีกเลี่ยงการผุกร่อน (Corrosion) เนื่องจากการใช้โลหะต่างชนิดกันระหว่างฟิวส์กับขั้วรับฟิวส์ และต้องมีเครื่องหมายแสดงพิกัดแรงดัน และกระแสให้เห็นได้อย่างชัดเจน

2. สวิตช์อัตโนมัติ (Circuit Breaker)

1) ต้องเป็นแบบปลด (Off) ได้โดยอิสระ และต้องปลดสับได้ด้วยมือ ถึงแม้ว่าปกติการปลดสับจะทำได้โดยวิธีอื่นก็ตาม

2) ต้องมีเครื่องหมายแสดงอย่างชัดเจนว่าอยู่ในตำแหน่งสับหรือปลด

3) ถ้าเป็นแบบปรับตั้งได้ต้องเป็นแบบการปรับตั้งค่ากระแสหรือเวลาในขณะใช้งาน ซึ่งกระทำได้เฉพาะผู้ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้อง

4) ต้องมีเครื่องหมายแสดงพิกัดของแรงดัน กระแส ความสามารถในการตัดกระแสที่เห็นได้ชัดเจน และถาวรหลังจากการติดตั้ง

3. เซฟตี้สวิตช์ (Safety Switch) ต้องปลดหรือสับวงจรได้พร้อมกันทุกๆ ตัวนำเส้นไฟและต้องประกอบด้วยฟิวส์ตามข้อ 2.1 รวมอยู่ในกล่องเดียวกันและจะเปิดฝาได้ต่อเมื่อได้ปลดวงจรแล้ว หรือการเปิดฝานั้นเป็นผลทำให้วงจรถูกปลดด้วย และต้องสามารถปลดและสับกระแสใช้งานในสภาพปกติได้

3.2 อุปกรณ์เชื่อมต่อวงจรไฟฟ้า (Conductor)

อุปกรณ์ที่ใช้ที่ใช้เชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าภายในตู้ เอ็ม ดี บี (M.D.B.) มี 2 อย่างคือ

3.2.1 สายไฟฟ้า (Wiring) สายไฟฟ้าซึ่งจะแบ่งย่อยเป็น 2 ประเภทตามการใช้งานได้แก่ สายไฟฟ้าที่ใช้สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้า และสายไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการต่อลงดิน

1) สายเฟส (Feeder) คือ สายไฟฟ้าที่ใช้สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก ข โดยสายที่ใช้ในโครงงานนี้คือ THW MEA TYPE A เป็นสายไฟฟ้าเส้นเดี่ยว (Single Core) ทำจากทองแดง การกำหนดขนาดของสายไฟฟ้าจะกำหนดตามขนาดพื้นที่หน้าตัด ในหน่วยตารางมิลลิเมตร ซึ่งสายแต่ละขนาดสามารถทนกระแสได้ตามตาราง

จากตารางจะสังเกตได้ว่าขนาดของเส้นโตสุดที่มีอยู่สามารถรับกระแสได้ 781 แอมป์ สำหรับในกรณี ที่ต้องการขนาดกระแสที่ทนกระแสได้มากกว่า 781 แอมป์ จะทำได้โดยนำสายที่มีอยู่มาตีเกรียว เพื่อให้สามารถรับกระแสได้ตามที่ต้องการ

2) สายศูนย์ (Ground Conductor) คือ สายไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการลงดิน สำหรับชนิดสายที่ใช้เลือก เป็นสายไฟฟ้าชนิดเดียวกันกับสายเฟส การกำหนดขนาดของสายเฟส คือ คิดจากลดขนาดสายเฟสลดลงมา 1 ขนาด เช่น ถ้าใช้สายเฟสขนาด 10 mm^2 จะต้องใช้สายศูนย์ขนาด 6 mm^2

3.2.2 บัสบาร์ (Busbar) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเป็นจุดเชื่อมต่อกันของสายไฟฟ้า ทำจากอะลูมิเนียมหรือทองแดง ถ้าใช้บัสบาร์อะลูมิเนียมต้องเลือกขนาดของบัสบาร์ให้ได้คุณสมบัติทางไฟฟ้าเท่าเทียมกันหรือดีกว่าเมื่อใช้บัสบาร์ของทองแดง โดยบัสบาร์จะแบ่งออกเป็นสองประเภทตามการใช้งานดังนี้ คือ

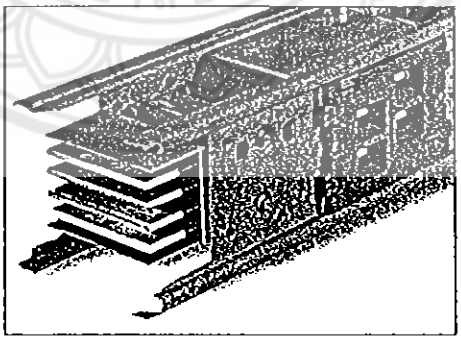
1) เฟสบัส (Phase Bus) เป็นบัสบาร์ที่ใช้สำหรับเป็นจุดเชื่อมต่อของสายเฟส การกำหนดขนาดของเฟสบัสกำหนดได้จากตารางภาคผนวก ข

2) กราวนด์บัส (Ground Bus) เป็นบัสบาร์ที่ใช้สำหรับเป็นจุดเชื่อมต่อของสายดิน โดยขนาดของบัสบาร์ เส้นผ่าศูนย์กำหนดได้จากที่ 25% ของกระแสในบัสเฟส

3.2.3 บัสเวย์ (Busway) ปัจจุบันอาคารสูงและโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปหันมาใช้บัสเวย์แทนการเดินสายไฟในรางในกรณีใช้กับกระแสสูงๆ เนื่องจากมีข้อดีมากกว่าซึ่งได้กล่าวไว้ในเนื้อหาด้านล่าง นักศึกษาซึ่งคิดว่าจะเข้าไปทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมหรือวงการก่อสร้างควรรู้จักอุปกรณ์นี้อย่างคราวๆไว้ก่อน เพื่อประโยชน์ในการทำงานในอนาคตต่อไป

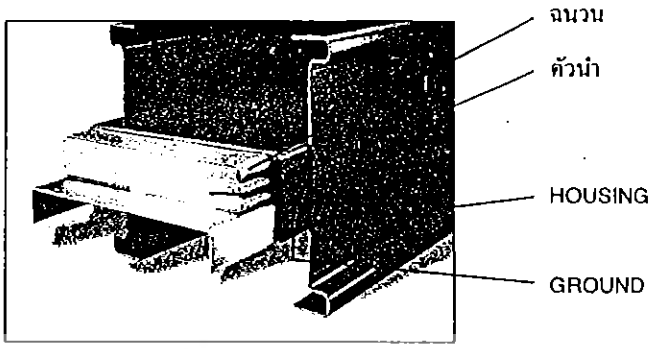
1) คำจำกัดความ บัสเวย์ (Busway) คืออะไร

อุปกรณ์สำเร็จรูปใช้แทนการเดินสายไฟในราง ส่วนใหญ่ใช้กับกระแสสูงๆ



รูปที่ 3.29 รูปร่างของบัสเวย์

2) โครงสร้างของบัสเวย์



รูปที่ 3.30 โครงสร้างของบัสเวย์

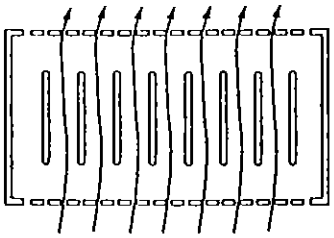
2.1 ตัวนำ (Conductor) ในท้องตลาดจะมีให้เลือก2 ชนิดคืออลูมิเนียม หรือทองแดง ซึ่งในปัจจุบันนิยมใช้ตัวนำอลูมิเนียมมากกว่าทองแดง เนื่องจากที่พิกัดกระแสเดียวกัน อลูมิเนียมจะมีน้ำหนักเบากว่า และราคาถูกกว่ามาก ตัวนำแต่ละชนิดจะมีการเคลือบสารเพื่อกันสารคอโรชั่น (Coorosion) หากไปสัมผัสกับตัวนำต่างชนิด โดยอลูมิเนียมจะเคลือบด้วยดีบุก (Aluminum With Tin Plate) และทองแดงจะเคลือบด้วยเงิน (Copper With Silver Plate) ตัวนำมีขนาดต่างๆดังนี้

225,400,600,800,1000,1200,1350,1600,2000,2500,3000,4000,5000,Amp

2.2 เฮาว์ซิ่ง (Housing) โดยทั่วไปมีวัสดุให้เลือก 2 ชนิด คือ อลูมิเนียมAluminium หรือ อิพอกซีเพลนสเตล (Epoxy Paint Steel) ซึ่งระบบการเคลือบสีของอิพอกซีเพลนสเตลนี้ มีลักษณะเดียวกับการเคลือบสีของรถยนต์

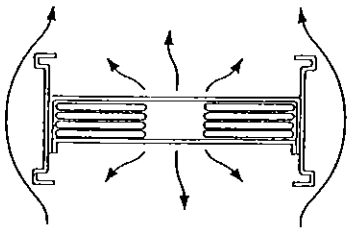
รูปแบบของเฮาว์ซิ่งมี 2 แบบ

-เว็นทิแล็ทเฮาว์ซิ่ง (Ventilated Housing) มีลักษณะโปร่งโดยตัวนำจะยึดอยู่บนซับพอร์ท (Support) การระบายความร้อนจะใช้อากาศภายนอกตัวนำโดยตรง ซึ่งรูปแบบนี้ไม่เป็นที่นิยมในปัจจุบันเนื่องจาก



-ฝุ่น และน้ำเข้าได้
-ค่าความต้านทานสูงทำให้แรงดันตกคร่อม (Voltagedrop) มาก
-ทนกระแสลัดวงจรได้ต่ำ

-โทเท็ลเอ็นโคลดเฮาว์ซิ่ง (Total Enclosed Housing) มีลักษณะเฮาว์ซิ่งปิดหมด ซึ่งการระบายความร้อนจะเป็นลักษณะเรเดียเตอร์ (Radiator) ซึ่งจะไม่มีการดีเลตติ้ง (Derating)ของกระแสเนื่องจากผลของอุณหภูมิ เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบันเนื่องจาก



-มีความแข็งแรงสูง
-ทนกระแสลัดวงจรได้สูง
-ป้องกันฝุ่น,แมลง,ละอองน้ำได้
-มีชนิดกันน้ำ
-ความต้านทานต่ำเนื่องจาก บัสบาร์อยู่ชิดติดกันทำให้แรงดันตก คร่อมต่ำ

2.3 ฉนวน ในท้องตลาดมีให้เลือก 2 ชนิด

-โพลีเตอร์ฟิล์ม (Polyester Film)
-อิโพซีโคต (Epoxy Coat)

ทั้ง2 ชนิดมีคุณสมบัติการเป็นฉนวนใกล้เคียงกันสามารถเลือกใช้ได้ทั้ง 2 ชนิด แต่สิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณา คือ การทนอุณหภูมิสูงสุดของฉนวน

-ฉนวนประเภท A (ทนอุณหภูมิได้สูงสุด 105°C)
-ฉนวนประเภท B (ทนอุณหภูมิได้สูงสุด 130°C)

2.4 กราวนด์บัส (Ground Bus) ระบบกราวนด์ได้มีการพัฒนาขึ้นเพื่อให้ระบบมีรีเทิร์นพาส (Return Path) ดีที่สุด เมื่อเกิดฟอลต์ลงดินขึ้น ในระบบกราวนด์ของบัสเวย์มีให้เลือกในท้องตลาดดังนี้

1 เอ็กเทอร์นอล (External Ground)
2 อินเทอร์นอล (Internal Ground)
3 เฮาว์ซิ่งกราวน์ (Housing Ground)
4 อินทิกัลเฮาว์ซิ่งแอ็คกราวน์ (Integral Housing as Ground)
5 อินทิกัลกราวน์ (Integral Ground)

3.3 อุปกรณ์วัดและแสดงผล

3.3.1 อุปกรณ์วัด (Metering) ที่ติดตั้งที่ตู้ เอ็ม ดี บี เพื่อบอกสภาวะของระบบ มีข้อกำหนดตามมาตรฐานดังต่อไปนี้

-โวลต์มิเตอร์ (Voltmeter) ที่ใช้ต้องเป็นชนิดต่อตรงกับระบบแรงดัน ความคลาดเคลื่อน 1.5% หรือดีกว่า

-โวลต์มิเตอร์เลือก (Voltmeter Selector) ใช้สำหรับเลือกวัดแรงดันคร่อมสายต่างๆ ซึ่งต้องเป็นชนิดเลือกได้ 7 จังหวะ คือ จังหวะปิด 1 จังหวะ ระหว่างเฟสกับเฟส 3 จังหวะและระหว่างเฟสกับศูนย์ 3 จังหวะ (RS-ST-TR-O-RO-SO-TO)

- แอมป์มิเตอร์ (Ammeter) จะใช้วัดกระแสของแต่ละเฟสที่จ่ายให้กับระบบ ต้องเป็นชนิดต่อตรงกับระบบแรงดัน หรือต่อผ่านหม้อแปลงกระแสความคลาดเคลื่อน 1.5 % หรือดีกว่า

- แอมมิเตอร์เลือก (Ammeter Selector) ใช้สำหรับเลือกวัดกระแส ต้องเป็นชนิดเลือกได้ 4 จังหวะ คือ จังหวะปิด 1 จังหวะ และเฟส 3 จังหวะ (O-R-S-T)

- หม้อแปลงกระแส (Current Transformer) มีหน้าที่แปลงกระแสลงมาสู่ค่าที่เหมาะสมกับเครื่องมือโดยหม้อแปลงกระแสต้องมีกระแสด้านออก 5 A และกระแสด้านเข้ามาตามที่กำหนด ความคลาดเคลื่อนได้ 1.5 %

- กิโลวัตต์อาวมิเตอร์ (Kilowatt- Hour Meter) เป็นชนิด 1 เฟสหรือ 3 เฟส ต่อตรงกับระบบแรงดัน หรือต่อผ่านหม้อแปลงไฟฟ้ากระแส ตามที่กำหนดในแบบความคลาดเคลื่อน 2.5% หรือดีกว่า ผ่านการทดสอบจากสถาบันที่เชื่อถือได้

- เพาเวอร์แฟคเตอร์มิเตอร์ (Powerfactor Meter) ต้องเป็นแบบใช้กับระบบไฟฟ้า 3 เฟส ต่อโดยตรง กับระบบแรงดันและหม้อแปลงไฟฟ้ากระแส ความคลาดเคลื่อน 1.5 % หรือดีกว่า

- ฟรีเควนซีมิเตอร์ (Frequency Meter) ต้องเป็นชนิดไวบราติงรีด (Vibrating Reed) มี 13 รีด (Reed) ต่อเข้ากับระบบแรงดัน ความคลาดเคลื่อน 0.5 หรือดีกว่า

3.3.2 การกำหนดขนาดพิกัดของเครื่องมือวัดที่ติดตั้งที่ตู้ MDB

- หม้อแปลงกระแส (Current Transformer,CT) การกำหนดขนาดอัตราส่วนกระแสกำหนดได้จากกระแสที่เข้าสู่ตู้ เอ็มดีบี โดยปกติหม้อแปลงกระแสจะมีอัตราส่วนกระแส 50/5 A,75/5 A,100/5 A,150/5 A,200/5A, 250/5 A, 300/5 A,400/5 A,500/5 A, 600/5 A,800/5A,900/5 A,1000/5 A, 1200/5 A, 1500/5 A, 1600/5 A, 2000/5 A,3000/5 A, 4000/5 A, 5000/5 A ส่วนกำหนด ขนาดของพิกัดของ CT จะมีค่าเท่ากับผลคูณของสมการเบอร์เด็น (Z) และกำลังสองพิกัดกระแสทุติยภูมิ (I^2) ซึ่งจะสามารถแสดงได้ในรูปของสมการคือ ZI_2^2 โวลต์แอมแปร์ และโดยปกติทั่วไปแล้ว กระแสทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสจะมีค่า 5 แอมแปร์ ถ้านำหม้อแปลงกระแสตัวนี้มาใช้โดยมีค่าเบอร์เด็น 1.2 โอห์ม ดังนั้นพิกัดเอาต์พุตจะมีค่า $1.2x5^2$ หรือเท่ากับ 30 โวลต์แอมแปร์

ตารางที่ 3.2 พิกัดเบอร์เด็นของหม้อแปลงกระแสที่ 50 Hz

ค่าเบอร์เด็นที่ 1A (Ω)	ค่าเบอร์เด็นที่ 5A (Ω)	พิกัดเอาต์พุต (VA)
5	0.2	5
10	0.4	10
15	0.6	15
30	1.2	30
60	2.4	60

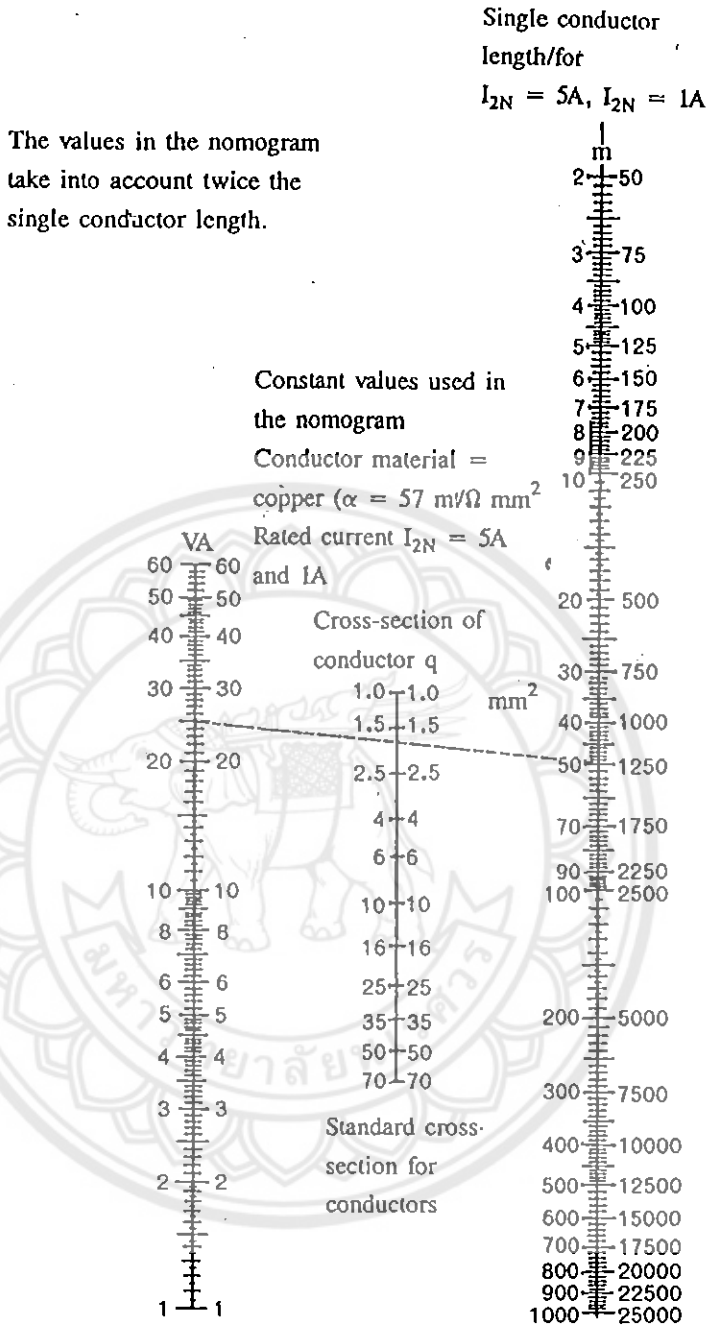
การกำหนดขนาดสายตาที่ต่อเข้ากับหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (CT) สามารถแสดงได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง หม้อแปลงกระแสมีค่ากระแสด้านทุติยภูมิ (I2) เท่ากับ 5 A และพิกัดเอาต์พุตกับ 30 VA นำหม้อแปลงมาทำการต่อกับเครื่องวัดดังนี้

แอมมิเตอร์ 1 ตัว	1	VA
วัตต์มิเตอร์ 1 ตัว	2.5	VA
เครื่องวัดวัตต์-ชั่วโมง 1 ตัว	1.5	VA
รวมทั้งหมด	5	VA

วงจรทางด้านทุติยภูมิเป็นตัวนำเดี่ยวที่มีความยาว 50 เมตรจงหาพื้นที่หน้าตัด(q) ของสายที่จะใช้ต่อกับหม้อแปลงกระแสนี้ทางด้านทุติยภูมิ

<u>วิธีทำ</u> หม้อแปลงกระแสมีพิกัดเอาต์พุต	30	VA
ค่ากำลังไฟฟ้าเครื่องมือวัด	-5	VA
∴ ค่าเอาต์พุตของหม้อแปลงกระแสจริง	25	VA
จากโนโมแกรมจะได้ q	1.8	mm^2
∴ เลือกพื้นที่หน้าตัด	2.5	mm^2



รูปที่ 3.31 โมโนแกรมการหาพื้นที่หน้าตัดของสายทางด้านทุติยภูมิ

-โวลต์มิเตอร์ และ โวลต์มิเตอร์ซีเลคเตอร์ (Voltmeter Selector) ที่ใช้กันโดยทั่วไปมีพิกัด 5-500 V เพราะระบบไฟฟ้าที่ใช้มีระดับแรงดัน 380 V

- แอมมิเตอร์ และ แอมมิเตอร์ซีเลคเตอร์ (Ammeter Selector) เนื่องจากอุปกรณ์ทั้งสองรับกระแสจากหม้อแปลงกระแส ซึ่งมีค่าสูงสุด 5 A ดังนั้นขนาดของแอมมิเตอร์และแอมมิเตอร์ซีเลคเตอร์ที่ใช้จะมีพิกัด 0 – 5 A

- มิเตอร์วัดเพาเวอร์เฟคเตอร์ (Powerfactor Meter) ขนาดของมิเตอร์วัดเพาเวอร์เฟคเตอร์มีระยะพิกัด LEAD O.5..1..0.5LAG

- เครื่องวัดความถี่ (Frequency Meter) ขนาดของเครื่องวัดความถี่มีระยะพิกัด 47-53 Hz

ไพลอทแลม (Pilot lamp) ใช้สำหรับสังเกตสภาวะการทำงานของระบบอย่างคร่าวๆ เช่น ที่เซอร์กิตเบรคเกอร์จะมีการติดตั้งไพลอทแลม เพื่อเป็นการบอกว่า เซอร์กิตเบรคเกอร์นั้นกำลังปิดหรือเปิด

โดยทั่วไปไพลอทแลมจะใช้ชนิดไส้หลอด 1.2 W หรือมากกว่า 6 V – 24 V มีฝาครอบด้านหน้าเป็นเลนส์พลาสติกขนาดไม่เล็กกว่า 22 มิลลิเมตร สีของเลนส์ตามที่กำหนด

3.4 อุปกรณ์ปรับปรุง เพาเวอร์เฟคเตอร์

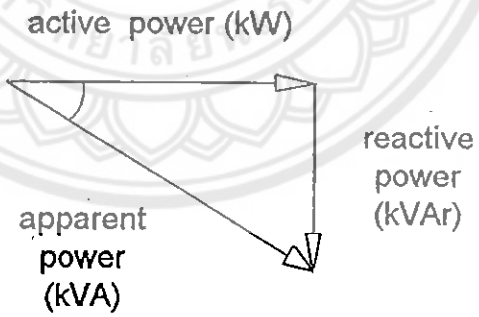
3.4.1 หลักการเบื้องต้นของเพาเวอร์แฟคเตอร์

กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ สามารถแบ่งได้ 2 ส่วน คือ

1) กำลังไฟฟ้าจริง (Real or Active Power) เป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริงหน่วยเป็นWหรือ kW

2) กำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ (Reactive Power) เป็นกำลังไฟฟ้าที่ต้องการสำหรับสร้างสนามแม่เหล็กมีหน่วยเป็น Var หรือ kVar

กำลังไฟฟ้าทั้งสองส่วนสามารถรวมเข้าด้วยกันทางเฟสเซอร์ (Phasor) เป็นกำลังไฟฟ้าเสมือน (Apparent power) มีหน่วยเป็นโวลต์แอมแปร์ หรือ กิโลวาร์ ดังรูป



รูปที่ 3.32 กำลังไฟฟ้าจริง ,กำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ

$$\text{Power Factor (P.F.)} = \frac{\text{Real power}}{\text{Apparent power}} = \frac{\text{kW}}{\text{kVA}}$$

จากรูปที่ 3.32 จะมีค่า $= \cos \phi$

Leading และ Lagging P.F.

เพาเวอร์เฟคเตอร์ของระบบไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าอาจเป็นแบบนำหรือตาม ขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ถ้าไหลในทิศเดียวกันเข้าที่จุดอ้างอิงจะถือว่าระบบมี เพาเวอร์เฟคเตอร์ตาม (Lagging P.F.) ถ้าไหลในทิศตรงข้ามเข้าที่จุดอ้างอิงจะมี เพาเวอร์เฟคเตอร์นำ (Leading P.F.)

ในโหลดอุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนมากเช่น มอเตอร์ หม้อแปลง เป็นต้น จะมีเพาเวอร์เฟคเตอร์ตาม (Lagging P.F.) เพราะต้องการกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟในการทำงานทำให้ค่าเพาเวอร์เฟคเตอร์มีค่าลดลง ผลก็คือค่ากำลังของระบบลดลง การนำคาปาซิเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้ารีแอคตีฟมาต่อขนานกับโหลด จะทำให้แหล่งจ่ายไฟจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟน้อยลงหรือไม่ต้องจ่ายเลย ผลก็คือ เพาเวอร์เฟคเตอร์ของระบบไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น นั่นคือ จะสามารถทำการปรับปรุง เพาเวอร์เฟคเตอร์ให้ดีขึ้นด้วยการนำ คาปาซิเตอร์มาต่อขนานเข้ากับโหลด

3.4.2 การคำนวณขนาดของ คาปาซิเตอร์ในการปรับปรุง เพาเวอร์เฟคเตอร์

ในการปรับปรุงเพาเวอร์เฟคเตอร์ของ ตู้เอ็มดีบี จะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า "ออโตเมติกเพาเวอร์เฟคเตอร์คอนโทรล" (Automatic P.F. Control) ตัวควบคุมเพาเวอร์เฟคเตอร์ (P.F. Control) จะเป็นตัวทำการวัดค่าเพาเวอร์เฟคเตอร์ แล้วทำการออกคำสั่งไปยังชุดตัวตัดต่อคาปาซิเตอร์อัตโนมัติเพื่อทำการตัดต่อคาปาซิเตอร์เข้ากับระบบ

ชุดตัวตัดต่อคาปาซิเตอร์ที่ใช้จะเป็นแบบมัลติสเตป (Multi–Step) คือมีคาปาซิเตอร์อยู่หลาย ๆ ตัว ตัดต่อเข้ากับระบบทีละขั้น โดยรับคำสั่งจากออโตเมติกเพาเวอร์เฟคเตอร์คอนโทรล (Automatic P.F. Control) ในการกำหนดขนาดของชุดตัดต่อคาปาซิเตอร์ กำหนดด้วยกำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟ (kVAr) และขนาดแรงดันคร่อมคาปาซิเตอร์ ขนาดแรงดันคร่อมคาปาซิเตอร์ที่นิยมใช้คือ 400 โวลต์ ส่วนกำลังไฟฟ้าของคาปาซิเตอร์จะคิดจาก 30% พิกัดกำลังของหม้อแปลง (kVA) แปลงแรงดันที่จ่ายไฟฟ้าจากการไฟฟ้าให้กับระบบ

3.4.3 การกำหนดขนาดสายตัวนำและอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้กับคาปาซิเตอร์

ชนิดพิกัดของคาปาซิเตอร์ จะกำหนดด้วยกำลังไฟฟ้าซึ่งก็คือค่ารีแอกตีฟ (kVAR) และแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม เช่น C 50 kVAR , 400 V โดยปกติแล้วขนาดพิกัดที่บริษัทผู้ผลิตนิยมที่จะผลิตที่แรงดัน 400 V จะมีค่าคือ 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 150, 200, 250 และ 300 kVAR

การกำหนดขนาดของสายตัวนำและอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้กับตัวเก็บประจุ จะสามารถเลือกพิจารณาค่าอุปกรณ์ดังกล่าวได้ดังนี้

ตารางที่ 3.3 ค่าพิกัดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้กับ C

ชนิดอุปกรณ์	ค่าตัวคูณที่จะใช้สำหรับหาพิกัดสมมูลของ C	สมมูลกระแส kVAR	
		ที่ 400 โวลต์	ที่ 415 โวลต์
สายตัวนำ	1.35	1.95	1.88
เซอร์กิตเบรกเกอร์	1.35	1.95	1.88
คอนแทคเตอร์	1.50	2.17	2.09
ฟิวส์	1.65	2.38	2.30

ตัวอย่าง ออโตเมติกคาปาซิเตอร์แบงค์ 9 สเตป (Automatic Capacitor Banks 9 Step) ขนาด 9x50 = 450 กิโลวาร์ 400 โวลต์ ต้องใช้สายตัวนำและอุปกรณ์ป้องกันขนาดเท่าใด

-สายตัวนำ

ขนาดสายไฟฟ้าสำหรับคาแปซิเตอร์แต่ละตัว

= 1.95 x 50 = 97.5 A

ขนาดสายไฟฟ้าของระบบ

= 1.95 x 450 = 877.5 A

-พิกัดของอุปกรณ์ป้องกัน

เซอร์กิตเบรกเกอร์ของคาปาซิเตอร์แต่ละตัว

= 1.95 x 50 = 97.5 A

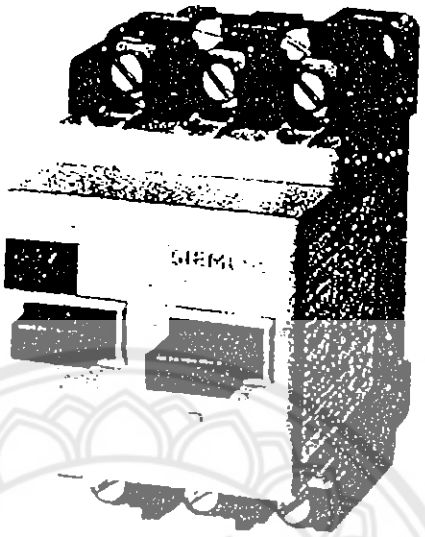
เมนเซอร์กิตเบรกเกอร์

= 1.95 x 450 = 877.5 A

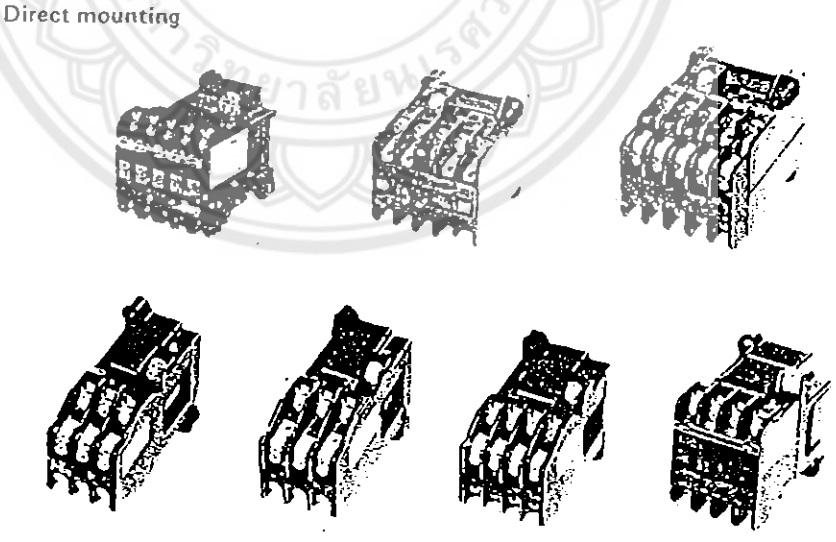
-คอนแทคเตอร์ (Contactor)

คอนแทคเตอร์ของคาปาซิเตอร์แต่ละตัว

= 2.17 x 50 = 108.5 A



รูปที่ 3.33 รูปร่างของคอนแทคเตอร์ (Contactor)



รูปที่ 3.34 รูปร่างของสวิตซ์ช่วยหรือคอนแทคช่วย

3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการต่อลงดิน

การต่อลงดินมีจุดประสงค์เพื่อลดอันตรายที่จะเกิดต่อบุคคล และลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าและระบบไฟฟ้า โดยกาต่อลงดินทำหน้าที่หลัก คือ

1. จำกัดแรงดันไฟฟ้าของวงจรไม่ให้สูง จนอาจทำให้อุปกรณ์เสียหายเมื่อเกิดแรงดันเกิน และลดแรงดันไฟฟ้าที่อาจเกิดขึ้นของวงจรไฟฟ้า หรือส่วนประกอบเนื่องจากการรั่วหรือการเหนี่ยวนำ เพื่อลดอันตรายต่อบุคคลที่อาจไปสัมผัส

2. ลดความเสียหายของอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือระบบไฟฟ้าเมื่อเกิดกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินการต่อลงดินที่ถูกต้องจะช่วยให้เครื่องป้องกันทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้

การต่อลงดินจะแยกออกเป็น 2 ประเภท คือ การต่อลงดินของหม้อแปลง และการต่อลงดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า

3.5.1 การต่อลงดินของหม้อแปลง

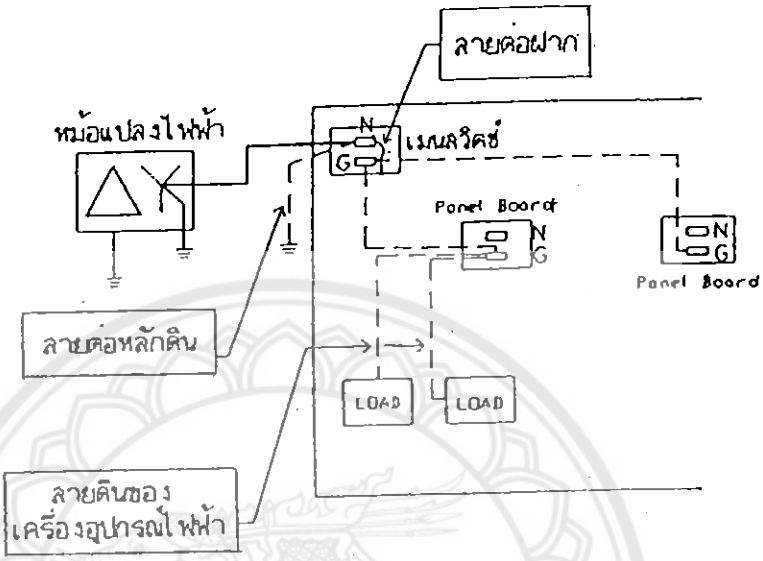
สำหรับหม้อแปลงที่ใช้แปลงระดับไฟแรงสูงจากการไฟฟ้า จะต้องมีการต่อลงดินทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลง ซึ่งถ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงเป็นระบบวายก็ต่อสายนิวทรัลลงดิน แต่ถ้าเป็นระบบเดลต้าให้เลือกสายใดก็ได้ต่อลงดิน โดยที่สายที่มีการต่อลงดินนี้ต้องเดินไปที่ตู้เอ็มดีบีแล้วต่อลงดินโดยผ่านหลักดิน (Ground Rod)

3.5.2 การต่อลงดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า

จากกฎการติดตั้งอุปกรณ์ของการไฟฟ้านครหลวง และเอ็นอีซีกำหนดให้เดินสายดินที่ต่อกับเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าไปต่อลงดินที่แผงเมนสวิตช์ (ตู้ MDB) เพราะว่าการมีหลักดินที่อุปกรณ์ไฟฟ้าอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ เนื่องจากความต้านทานต่อลงดิน (Resistance to Ground) อาจมีค่าสูงเป็นผลให้เครื่องป้องกันกระแสเกินอาจปลดวงจรช้า หรืออาจไม่ปลดก็ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการเดินสายดินไปที่ตู้ เอ็มดีบี ด้วย

ในการต่อลงดินที่ตู้ เอ็มดีบี จะมีการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าลงดินที่นิวทรัลบัส (Neutral Bus) ซึ่งการต่อลงดินของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ตู้เอ็มดีบีจะต่อลงดินโดยผ่านบัสบาร์ของการต่อลงดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า (Ground Bus) หรือจะต่อฝากเข้ากับนิวทรัลบัสลงดินเองที่ตู้ เอ็มดีบี ก็ได้

หลักสายดินที่ใช้จะเป็นทองแดงหรือเหล็กสแตนเลส โดยจากกฎการเดินสายภายในอาคารกำหนดไว้ว่า ต้องห่างจากกำแพงหรือรากฐานของอาคารในรัศมีไม่ต่ำกว่า 0.60 เมตร และปลายบนของหลักดินจะต้องอยู่ต่ำจากระดับผิวดินไม่น้อยกว่า 0.30 เมตร

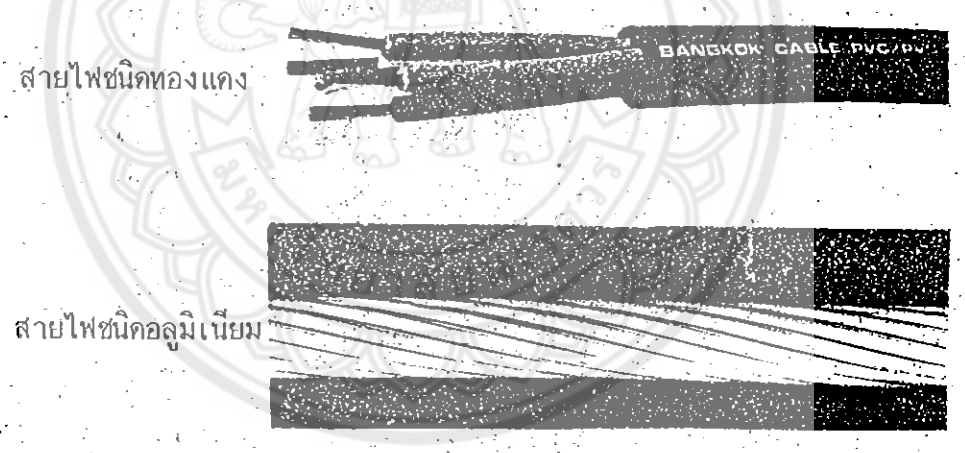


รูปที่ 3.35 การต่อลงดินของหม้อแปลงและเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า

บทที่ 4
วัสดุและอุปกรณ์ในการเดินสายไฟฟ้า

4.1 สายไฟ

สายไฟที่ใช้เดินตามอาคารโรงงาน และสายส่งไฟฟ้าจะต้องทำมาจากโลหะที่เป็นทองแดงหรืออลูมิเนียม ถ้าเป็นทองแดงจะต้องมีเนื้อทองแดงบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.98% หรือมีความต้านทานจำเพาะไม่เกิน 1/58 หรือ 0.017241 โอห์ม-ตารางมิลลิเมตรต่อเมตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซนติเกรด ถ้าเป็นอลูมิเนียมบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.3% หรือมีความต้านทานจำเพาะไม่เกิน 1/35.71 หรือ 0.028 โอห์ม-ตารางมิลลิเมตรต่อเมตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซนติเกรด สายไฟที่เป็นทองแดงมักนิยมนำมาใช้กับสายไฟแรงต่ำที่มีฉนวนหุ้ม ส่วนสายไฟที่เป็นอลูมิเนียมจะใช้กับไฟฟ้าแรงสูงเป็นสายชนิดเปลือย ดังในรูปที่ 4.1

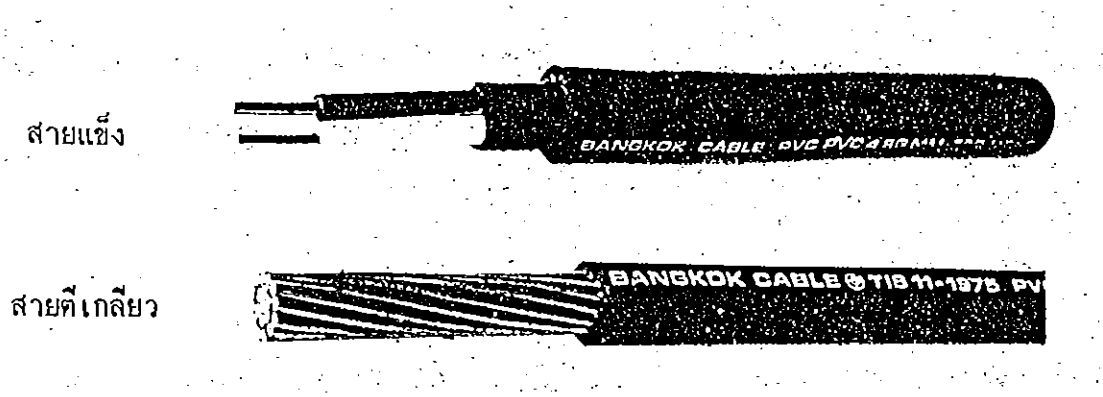


รูปที่ 4.1 สายไฟที่เป็นทองแดงและอลูมิเนียม

สายไฟทั่วไปมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ

- สายแข็ง (Solid Wire) สายชนิดนี้มี 1 แกน มีสายเส้นเดียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดตั้งแต่ 0.5-4 ตารางมิลลิเมตรจนถึง 10 ตารางมิลลิเมตร แต่ปกติแล้วนิยมใช้สายแข็งตั้งแต่ 0.5-4 ตารางมิลลิเมตรเท่านั้น เพราะสายขนาด 6 และ 10 ตารางมิลลิเมตรนั้นแข็ง ต่อเข้าสวิตช์และอุปกรณ์ไฟฟ้ายาก จึงไม่นิยมใช้

- สายตีเกลียว (Stand Wire) สายชนิดนี้ใน 1 แกน จะมีหลายเส้นตีเกลียวกัน มีขนาดตั้งแต่ 6 มิลลิเมตรขึ้นไป อาจจะมี 7, 19, 37และ 61 เส้น ซึ่งขึ้นอยู่กับความโตของสายไฟ ดังในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 สายแข็งและสายตีเกลียว

4.1.1 ชนิดของสายหุ้มฉนวน

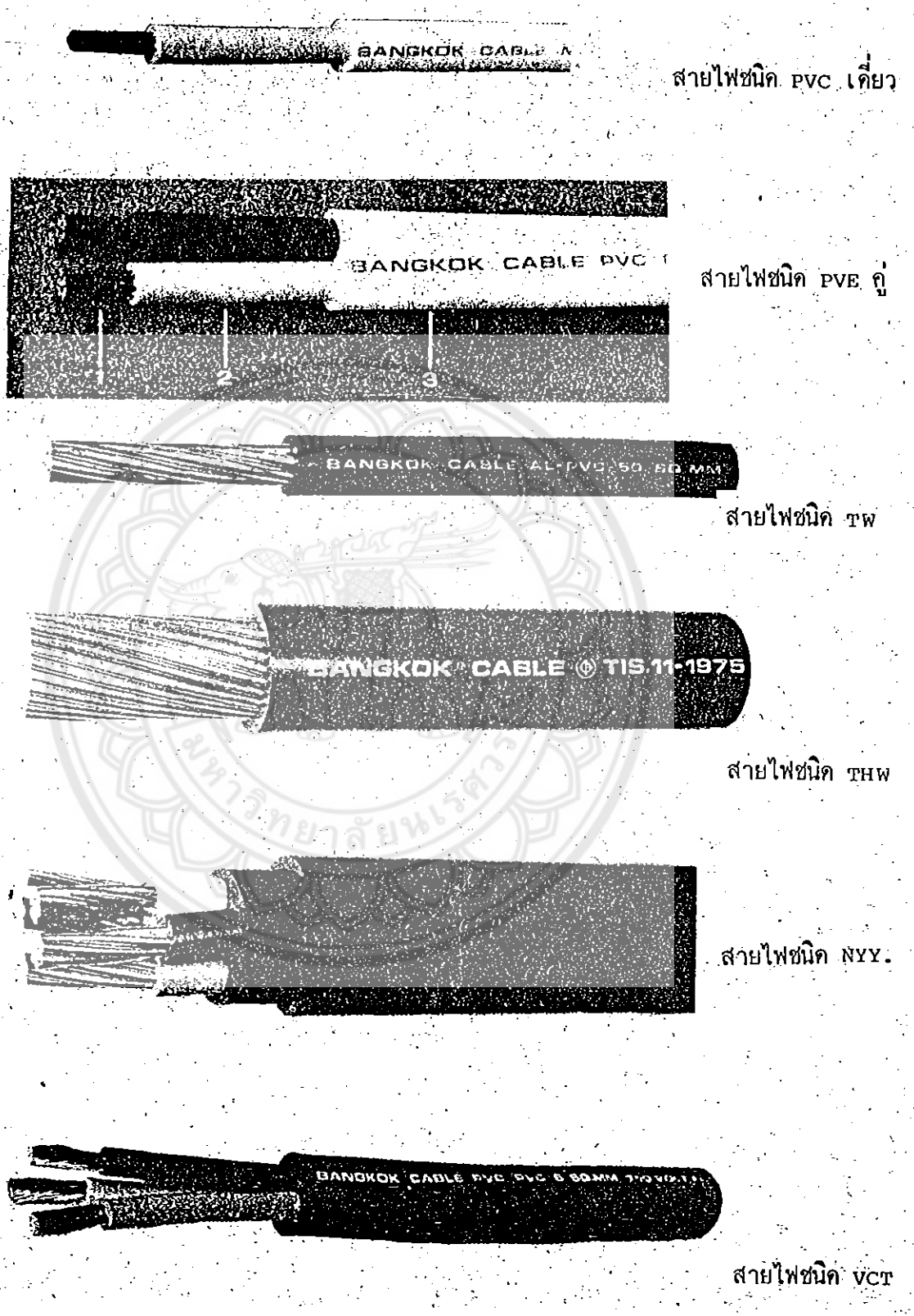
สายไฟชนิดหุ้มฉนวนที่ใช้กับไฟแรงต่ำไม่เกิน 600 โวลท์ มีอยู่หลายชนิดด้วยกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน ซึ่งฉนวนแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน บางชนิดใช้ติดตั้งภายในอาคาร บางชนิดติดตั้งได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร บางชนิดใช้ฝังดิน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับฉนวนหุ้มสายไฟ อาจจะมี 1 ชั้น หรือหลายชั้น

- สายไฟชนิด พีวีซี ซึ่งเป็นคำเรียกรวมๆ หมายถึงสายไฟหุ้มฉนวนพีวีซี ที่ทนแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้ 250 โวลท์ และอุณหภูมิ 60 องศาเซนติเกรด มีทั้งชนิด 1,2 และ 3 แกน สายไฟ พีวีซี ชนิด 1 แกน มีเปลือกหุ้มชั้นเดียว ใช้สำหรับเดินสายเมนของไฟ 220 โวลท์ จากมิเตอร์ถึงตัวอาคารหรือใช้เป็นสายไฟประดับที่ใช้ชั่วคราว ห้ามใช้เดินสายด้วยเข็มขัดรัดสายที่เกาะไปตามผนังและเดินในท่อ เพราะอาจจะทำให้เกิดลัดวงจรได้ง่าย ส่วนสายเป็นสายไฟชนิดหุ้ม 2 ชั้น ใช้เดินด้วยเข็มขัดรัดสายเกาะไปตามผนัง ห้ามเดินในท่อ มีขนาดตั้งแต่ 0.5-35 ตารางมิลลิเมตร อายุการใช้งานประมาณ 10-15 ปี ดังในรูปที่ 4.3

- สายไฟชนิด THW. เป็นสายไฟ พีวีซี ชั้นเดียวทนแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้ 750โวลท์ ทนอุณหภูมิได้ 70 องศาเซนติเกรด เป็นสายไฟชนิดแกนเดียว ใช้สำหรับเดินในท่อหรือเดินด้วยลูกถ้วย ห้ามใช้เดินด้วยเข็มขัดรัดสายเกาะไปตามผนัง มีตั้งแต่ 0.5-150 ตารางมิลลิเมตร อายุการใช้งาน ถ้าเดินในท่อจะมีอายุประมาณ 20-30 ปี ถ้าเดินด้วยลูกถ้วยจะมีอายุประมาณ 20 ปี ดังในรูปที่ 4.3

- สายไฟชนิด NYY. เป็นสายไฟหุ้มฉนวนพีวีซี ชั้น 3 ทนแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้ 750 โวลท์ ทนอุณหภูมิได้ 70 องศาเซนติเกรด มีชนิด 1-4 แกนใช้ฝังดินโดยไม่ต้องใส่ท่อ มีขนาดตั้งแต่ 1-500 ตารางมิลลิเมตร ดังในรูปที่ 4.3

- สายไฟชนิด VCT. เป็นสายไฟหุ้มฉนวนพีวีซี ชั้น 2 ทนแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้ 750 โวลท์ ทนอุณหภูมิได้ 60 องศาเซนติเกรด มีชนิด 2 แกน ใช้กับไฟของมอเตอร์เครื่องจักรทั่วๆ ไป มีขนาดตั้งแต่ 0.5-35 ตารางมิลลิเมตร ดังในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 สายไฟชนิดต่าง ๆ

นอกจากนี้ยังมีสายไฟชนิดอื่นๆ อีกมาก ตามการผลิตของแต่ละบริษัท โดยหาดูได้จากคู่มือการใช้สายไฟของแต่ละบริษัทซึ่งจากสายไฟ 5 ชนิดข้างบนนี้เพียงแต่เป็นสายไฟที่ใช้กันมากเท่านั้น และโค๊ดชนิดของสายไฟของแต่ละบริษัทจะไม่เหมือนกัน ปกติแล้วที่ท้ายเล่มหนังสือคู่มือจะเปรียบเทียบโค๊ดของสายไว้

4.1.2 สีของฉนวนหุ้มสายไฟ

เพื่อให้การต่อสายไฟได้ง่ายและรวดเร็ว สายไฟแต่ละเส้นอาจจะมีหลาย ๆ แกน ผู้ผลิตได้แยกสีของสายไฟแต่ละเส้นตามสีมาตราฐานดังนี้

สายหุ้มฉนวนแกนเดียว จะมีทุกสี

สายหุ้มฉนวน 2 แกน จะต้องเป็นสีเทาอ่อน และดำ

สายหุ้มฉนวน 3 แกน จะต้องเป็นสีเทาอ่อน ดำ และ แดง

สายหุ้มฉนวน 4 แกน จะต้องเป็นสีเทาอ่อน ดำ แดง และน้ำเงิน

สายหุ้มฉนวน 5 แกน จะต้องเป็นสีเทาอ่อน ดำ แดง น้ำเงิน และเหลือง

สายหุ้มฉนวนที่มีสายกราวด์ สีของสายกราวด์ ใช้สีเขียว

4.1.3 การวัดขนาดสายไฟ

ในการวัดขนาดสายไฟ จะวัดเฉพาะลวดตัวนำเท่านั้น ไม่วัดรวมกับฉนวนที่หุ้ม สายไฟทุกชนิดวัดเป็นระบบเมตริก คือเส้นผ่าศูนย์กลางวัดเป็นมิลลิเมตร และพื้นที่หน้าตัดเป็นตารางมิลลิเมตร ยกเว้นสายลวดทองแดงที่ใช้พันมอเตอร์และหม้อแปลงไฟฟ้ายังนิยมวัดแบบอังกฤษคือเส้นผ่าศูนย์กลางวัดเป็นมีล และพื้นที่หน้าตัดวัดเป็นเซอร์คูล่ามีล ซึ่งเป็นหน่วยย่อยของนิ้ว

- พื้นที่หน้าตัดของสายไฟเป็นตารางมิลลิเมตร (SQ.mm., มม^2.) คำนวณได้จากสูตร

พื้นที่หน้าตัด

$$A = D^2 / 4$$

เมื่อ $\pi = 22/7 = 3.14$

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของสายไฟเป็นมิลลิเมตร

- พื้นที่หน้าตัดเป็นเซอร์คูล่ามิล (cir.mil) ซึ่งเป็นหน่วยย่อยของระบบอังกฤษ (นิ้ว) ใน 1 นิ้ว แบ่งออกเป็น 1,000 มิล. ดังนั้น 1 มิล. = 1/1000 = 0.001 นิ้ว เช่นสายไฟมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.018 นิ้ว = 0.018 x 1000 = 18 มิล.

พื้นที่หน้าตัดเป็นเซอร์คูล่ามิล เท่ากับสายไฟที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเป็นมิล ยกกำลังสอง หรือ $CM = D^2$ เช่นสายไฟมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 18 มิล เท่ากับ $18^2 = 324$ เซอร์คูล่ามิล ดังในรูปที่ 4.4

พื้นที่หน้าตัดของสายแข็ง

พื้นที่หน้าตัดของสายตีเกลียว

รูปที่ 4.4 พื้นที่หน้าตัดของสายไฟ

-วิธีวัดสายไฟด้วยไวร์เกจ ไวร์เกจที่ใช้วัดขนาดสายไฟในประเทศไทยนิยมใช้วัดสายไฟชนิดอาบน้ำยาที่ใช้พันมอเตอร์และหม้อแปลงไฟฟ้า มีอยู่หลายมาตรฐานด้วยกัน ได้แก่มาตรฐาน

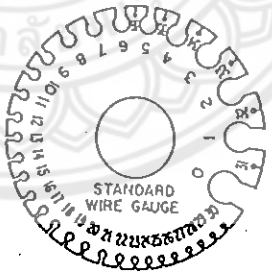
S W G. = British Stamdard Wire Gauge

A W G. = American Wire Gauge

B W G. = Birminghan Iron Wire Gauge

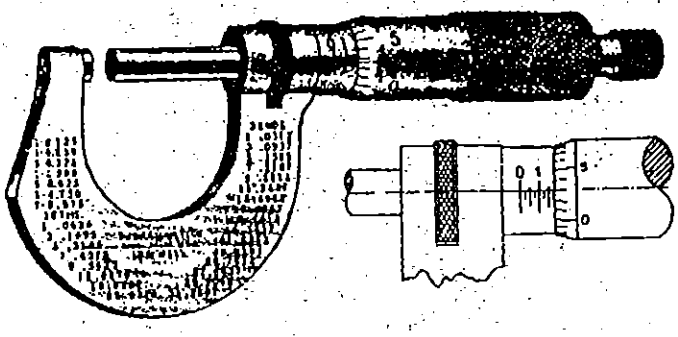
M m G. = Millimeter Gauge

มาตรฐานสายไฟเหล่านี้ ในประเทศไทยมีลวดอาบน้ำยาที่จำหน่ายอยู่ 2 มาตรฐานได้แก่ SWG และ AWG ดังในรูปที่ 4.5

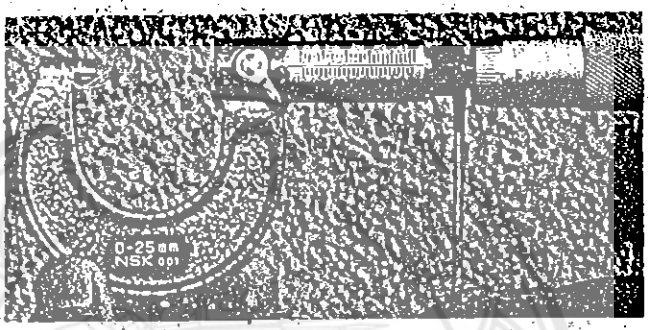


รูปที่ 4.5 ไวร์เกจมาตรฐาน S W G.

-วิธีวัดสายไฟด้วยไมโครมิเตอร์ ไมโครมิเตอร์ที่ใช้วัดสายไฟมีอยู่ 2 ระบบ คือ ระบบนิ้วและระบบมิลลิเมตร ในระบบนิ้วสามารถวัดได้ละเอียดถึง 1/1000 หรือเท่ากับ 0.001 นิ้ว โดยทั่วไปช่างไฟฟ้าจะใช้ไมโครมิเตอร์ขนาด 0-1 นิ้ว ดังในรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 ไมโครมิเตอร์ชนิดมิลลิเมตรที่สามารถวัดละเอียดได้ถึง 0.01 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.6 ไมโครมิเตอร์ชนิดนิ้ว



รูปที่ 4.7 ไมโครมิเตอร์ชนิดมิลลิเมตร

วิธีวัดสายไฟให้ปฏิบัติดังนี้

- ขูดฉนวนที่เคลือบสายไฟของลวดอาบน้ำยาให้หมด หรือปลอกฉนวนสายไฟออกและรีดสายให้ตรง
- ปรับไมโครมิเตอร์ให้อยู่ในตำแหน่งศูนย์
- หมุนช่องวัดให้ใหญ่กว่าสายไฟเล็กน้อย
- หมุนไมโครมิเตอร์ ให้แกนวัดชนสายไฟ จนแกนหมุนฟรี
- อ่านค่าจากสเกล

จากรูปที่ 4.6 เป็นไมโครมิเตอร์ชนิดนิ้ว แกนอยู่กับที่ของไมโครมิเตอร์ มีตัวเลขยาวขนาด 1 นิ้ว แบ่งออกเป็น 10 ช่องใหญ่ แต่ละช่องใหญ่จะเท่ากับ 0.1 นิ้ว แบ่งออกเป็น 4 ช่องใหญ่ รวมทั้งหมด 40 ช่องเล็ก ดังนั้นแต่ละช่องเล็กจะเท่ากับ 0.025 นิ้ว ถ้าหมุนปลอกให้ถอยหลัง 1รอบ จะมีความยาวเท่ากับ 1 ช่องเล็กจะเท่ากับ 25 มิล ถ้าหมุน 2 รอบจะเท่ากับ 50 มิล

การอ่านค่าจากไมโครมิเตอร์ชนิดมิล จากรูปที่ 4.7 แกนอยู่กับที่มีเลข 0-25 มิลลิเมตร ใน 1 ช่องเล็กเท่ากับ 1 มิลลิเมตร ถ้าเราหมุนปลอกไป 1 รอบ จะมีความยาวเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร

4.2 ท่อและรางเดินสายไฟ

ท่อที่ใช้เดินไฟมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน จะใช้ท่อชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสม

4.2.1ท่อ EMT

เป็นท่อโลหะชนิดบาง ใช้เดินลอยภายในอาคารห้ามเดินใต้ดินและภายในกำแพงมีขนาดตั้งแต่ 1/2-4 นิ้ว สามารถดัดด้วยมือได้ ตั้งแต่ขนาด 1/2-1 นิ้ว การต่อท่อใช้ข้อต่อและยึดด้วยสกรู

4.2.2 ท่อ Regid Conduit

เป็นท่อโลหะชนิดหนา มีลักษณะคล้ายท่อประปา แต่ภายในไม่มีรอยตะเข็บ ใช้เดินลอยภายในและภายนอกอาคารในบริเวณที่ต้องการความปลอดภัยจากการอาร์กของไฟฟ้า เช่น ถังน้ำมัน, ที่เก็บก๊าซ เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ฝังใต้คอนกรีตและในกำแพง แต่ไม่ควรฝังใต้ดินเพราะจะทำให้เกิดสนิมได้ง่าย การต่อท่อให้ต๊าบเกลียวและต้องพันเทปพันเกลียวก่อนต่อเพื่อมิให้น้ำเข้าภายในท่อได้ มีขนาดตั้งแต่ 1/2-1 นิ้ว

4.2.3 ท่อ Flexible

เป็นท่อโลหะที่อ่อนตัวได้ใช้ต่อระหว่างกล่องสวิทช์กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ท่อบางและหนาดัดเข้าไม่ได้ มีทั้งชนิดกันน้ำและชนิดไม่กันน้ำ

4.2.4 รางไฟฟ้า

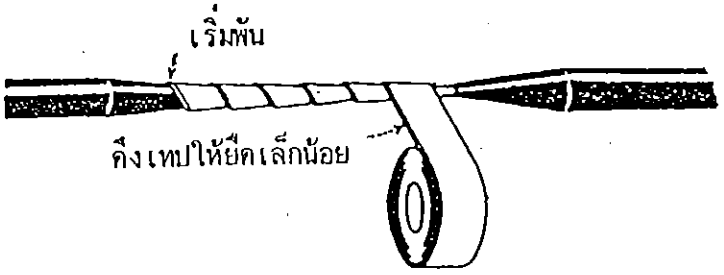
ทำมาจากเหล็กแผ่นพับเป็นตัว C มีฝาปิด มีความยาวปกติ 2.40 เมตร ใช้สำหรับเดินสายในรางและใช้ติดตั้งดวงโคม โดยแขวนกับหลังคาหรืออาจจะเป็นรางของสายป้อนภายในอาคาร นอกจากนี้ยังอาจจะใช้ฝังในพื้นคอนกรีต โดยติดตั้งก่อนที่จะเทคอนกรีต เพื่อส่งสายไปยังจุดอื่นๆได้

4.2.5 รางเคบิล (Cable Tray)

เป็นรางแบบเปิดชนิดหนึ่งที่ใช้สำหรับเดินสายเมน สายป้อนภายในและภายนอกอาคาร เพื่อจ่ายไฟไปยังจุดต่าง ๆ ของอาคารหรือโรงงานอุตสาหกรรม

4.3 เทปพันสายไฟ

เทปพันสายไฟ (Electric Tape) ใช้พันรอยต่อของสายไฟ การพันจะต้องพันอย่างน้อย 4 ชั้น ให้แน่น ไม่ให้น้ำเข้าได้ ถ้าน้ำเข้าอาจจะลัดวงจรได้ ดังในรูปที่ 4.8 การพันเทปแบบนี้นิยมพันเฉพาะสายไฟขนาดเล็ก ๆ เท่านั้น สายไฟขนาดใหญ่จะต้องใช้เทปพันละลายพัน 1 ชั้น ก่อน แล้วจึงพันด้วยเทปธรรมดาอีกชั้นหนึ่ง ถ้าเป็นสายไฟที่วางบนในรางคอนกรีต การพันด้วยเทปธรรมดาอาจจะทำให้เกิดอันตรายได้ซึ่งราคาค่อนข้างแพง แต่โดยทั่วไปแล้วสายเมนหรือสายไฟโดยทั่วไปจะไม่มีการต่อตรงกลาง ถ้าสายมีความยาวไม่พอจะไม่ใช้ ให้เปลี่ยนสายใหม่ให้มีความยาวพอ



รูปที่ 4.8 การพันเทป

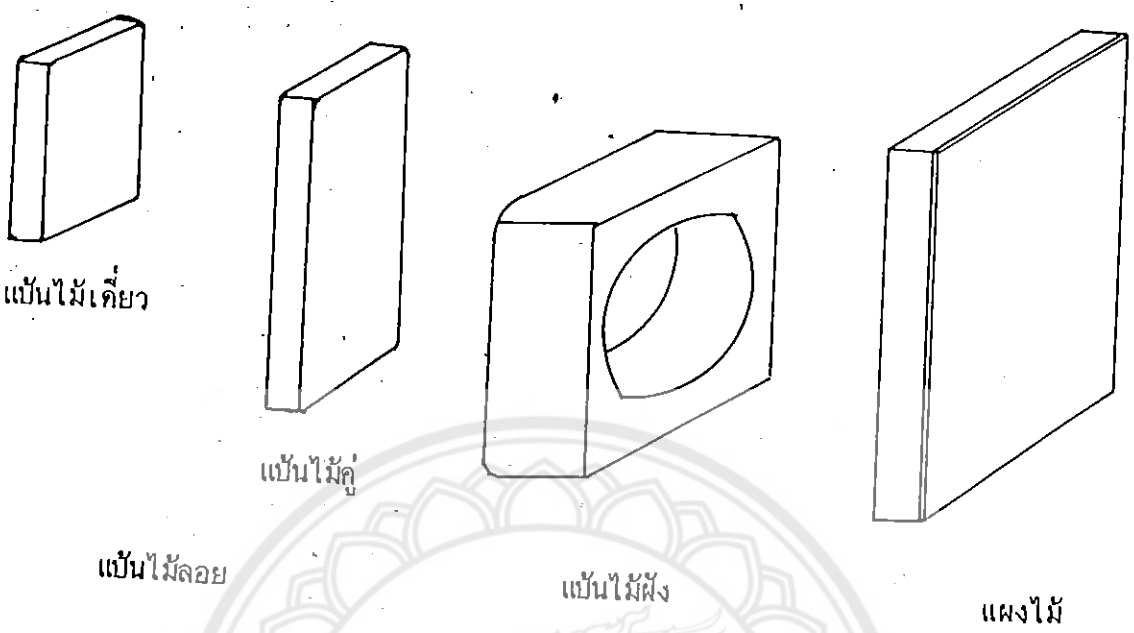
4.4 แผงไม้

เราใช้แผงไม้เป็นที่ติดตั้งสวิทช์ ปลั๊กและอุปกรณ์ควบคุมไฟฟ้าทุกชนิด มีอยู่หลายแบบและหลายขนาดให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมตามชนิดของสวิทช์ ปลั๊กและอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ ได้แก่ แป้นไม้ชนิดลอย ชนิดฝัง แผงควบคุมรวมหรือที่เรียกว่าแผงสวิทช์รวม

4.4.1 แป้นไม้ชนิดลอย ใช้ติดตั้งลอยบนฝาผนังบ้านที่เป็นตึกหรือบ้านไม้ก็ได้ แต่ละแบบได้ออกแบบใช้กับ สวิทช์และปลั๊กของแต่ละยี่ห้อ ได้แก่แป้นไม้เดี่ยว มีขนาด 4.5 x 6.5 เซนติเมตร แป้นไม้คู่มีขนาด 4.5x13 เซนติเมตร แป้นทั้งสองนี้มีความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร ใช้ติดตั้งสวิทช์หรือปลั๊กชนิดหลังเต่าตัวเดียวและสองตัว ตามลำดับ แป้นไม้กลม มีขนาด 7.5 เซนติเมตร หนาประมาณ 1 เซนติเมตร ใช้ติดตั้งกระจุ๊บหลอดกลมชนิดติดเพดาน นอกจากนี้แป้นที่ทำมาจากไม้แล้วยังมีบางแบบทำมาจากพลาสติก ซึ่งมีคุณสมบัติดีกว่าไม้ เนื่องมาจากเมื่อเกิดลัดวงจรแล้วลุกไหม้ยากกว่า ส่วนใหญ่จะใช้กับสวิทช์และปลั๊กรุ่นเมจิกของหลาย ๆ ยี่ห้อ ดังในรูปที่ 4.9

4.4.2 แป้นไม้ชนิดฝัง ใช้ติดฝังในผนังปูนของบ้านตึกมีอยู่หลายแบบ ซึ่งออกแบบมาใช้กับสวิทช์และปลั๊กของแต่ละยี่ห้อ เช่น วีโต้ชนิดฝัง เนชั่นแนล จับโบ ทิชิโน รุ่นเมจิก เป็นต้น นอกจากจะทำมาจากไม้แล้วอาจจะทำมาจากพลาสติก หรือบางแบบก็เป็นโลหะ เช่น เหล็ก หรืออลูมิเนียมก็มี ดังในรูปที่ 4.9

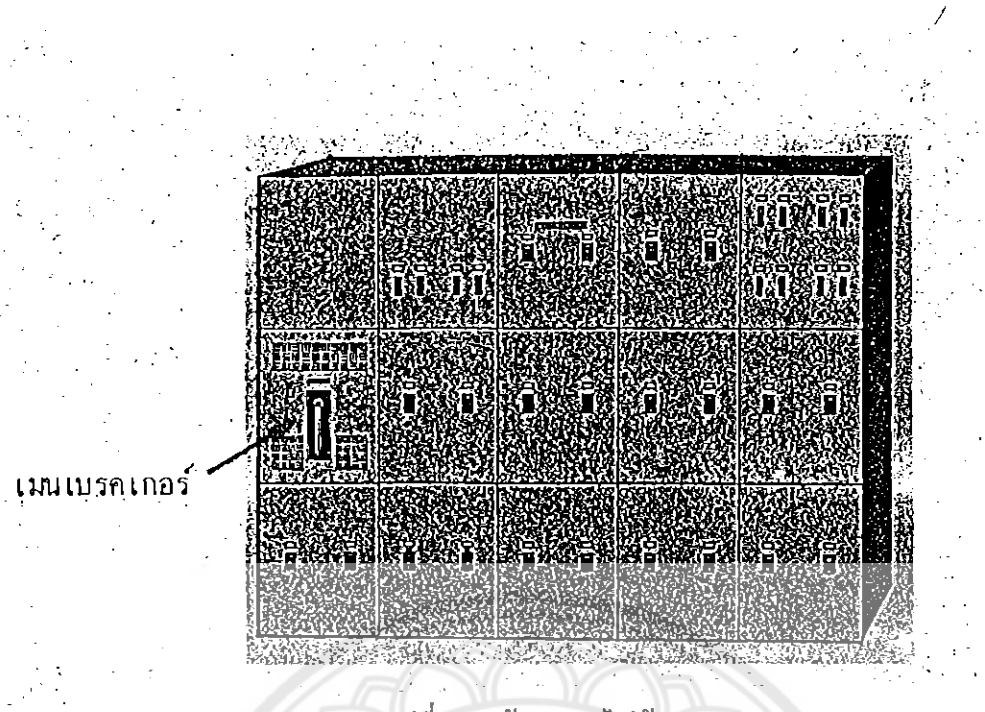
4.4.3 แผงไม้สำหรับติดตั้งแผงสวิทช์รวม ทำมาจากไม้อัดตีบนกรอบไม้ มีอยู่หลายขนาด มีชนิดใส่บานพับและชนิดปิดตาย ได้แก่ขนาด 2 x4 , 4 x4 , 4 x6 , 5 x 7 , 6 x 8 , 8 x 10 , 10 x 12 , 12 x 15 , 15 x 18 , 20 x 24 นิ้ว ถ้าใหญ่กว่านี้จะต้องสั่งทำเป็นพิเศษ แผงไม้ขนาดเล็กๆ นิยมใช้กับการติดตั้งสวิทช์และปลั๊กที่มีจุดละหลาย ๆ แทนแป้นไม้เดี่ยวและแป้นไม้คู่



รูปที่ 4.9 แผงไม้ชนิดต่าง ๆ

4.5 ตู้ควบคุมไฟฟ้า

ตู้ควบคุมไฟฟ้าทำมาจากเหล็กพับเป็นประตู ถ้าเป็นขนาดเล็กจะไม่มีโครงภายในจะพับจากเหล็กแผ่นเป็นรูปตู้และเชื่อมให้ติดกัน ส่วนใหญ่จะทำมาจากเหล็กเบอร์ 18 และเบอร์ 16 ถ้าใช้กับสถานที่มีเคมี ไอน้ำเกลือ เช่น บริเวณที่ใกล้ทะเล ก็ควรใช้แผ่นเหล็กชนิดอาบสังกะสี จะได้ไม่เกิดสนิมภายหลัง มีประตูสำหรับปิดเปิด อุปกรณ์ควบคุมทุกชนิดใส่อยู่ในตู้หมดและโผล่เฉพาะคันโยกออกมาใช้สำหรับปิดหรือเปิด และมิเตอร์แสดงการใช้ไฟเท่านั้น ที่มีจำหน่ายทั่วไปมีขนาดประมาณ 20x25, 30x40 , 40 x 60 , 60 x 90 , 75 x 100 , 90 x 120 เซนติเมตร ส่วนตู้ขนาดใหญ่จะมีโครงทำมาจากเหล็กฉาก หรือเหล็กแผ่นเบอร์ 14 พับเป็นฉาก และมีฝาประตูสำหรับปิดเปิดมาซ่อมแซมได้ อุปกรณ์ควบคุมทุกตัวติดตั้งอยู่ภายในและโผล่เฉพาะคันโยก สำหรับปิดเปิดและมิเตอร์แสดงค่าไฟฟ้าใช้งานต่าง ๆ ตู้บางแบบเป็นตู้ 2 ชั้น ตู้แบบมีฝา 2 ชั้น ฝาภายนอกจะแสดงเฉพาะมิเตอร์เท่านั้น ส่วนฝาชั้นในจะโผล่คันโยกสวิทช์ควบคุมต่าง ๆ ขนาดของตู้ขนาดใหญ่นี้จะมีขนาดตามขนาดของอุปกรณ์ติดตั้ง ส่วนความสูงตามมาตรฐานจะสูง 180 และ 240 เซนติเมตร และความหนาอย่างน้อย 60 เซนติเมตร ดังในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ตู้ควบคุมไฟฟ้า

4.6 ขั้วต่อสายไฟ

ขั้วต่อสายไฟบางที่เรียกว่า หางปลา ทำมาจากทองแดงชุบโลหะป้องกันสนิมและให้ไฟฟ้าไหลได้สะดวก บางครั้งทำมาจากทองแดง ทองเหลืองก็มี มีอยู่ 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ ชนิดขันและชนิดบีบขย้ำด้วยเครื่องย้ำ

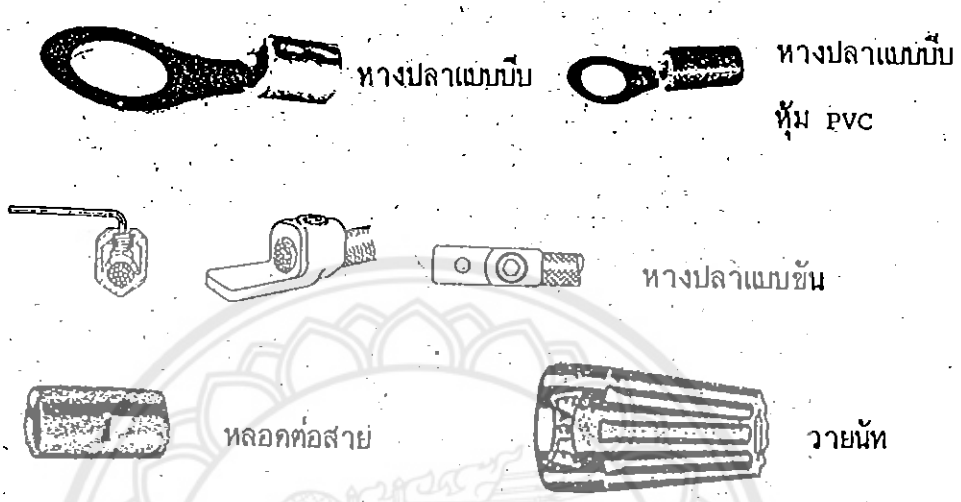
4.6.1 หางปลาชนิดบีบ ใช้สำหรับบีบย้ำกับปลายของสายไฟ เพื่อต่อเข้ากับสวิทช์ควบคุม เช่น เซอร์กิจเบรคเกอร์และขั้วสายของมอเตอร์ เป็นต้น มีอยู่ 2 แบบ คือชนิดหุ้ม พีวีซี. และชนิดไม้หุ้มมีขนาดใช้กับสายไฟตั้งแต่ 1 – 500 ตารางมิลลิเมตร ดังในรูปที่ 4.11

4.6.2 หางปลาชนิดขัน ส่วนใหญ่นิยมใช้กับสายไฟขนาดใหญ่ตั้งแต่ 95 ตารางมิลลิเมตรขึ้นไป เนื่องจากเครื่องบีบย้ำหางปลาขนาดตั้งแต่ 95 ตารางมิลลิเมตร ขึ้นไปนั้น ราคาแพงมากจึงไม่มีใครนิยมใช้ จึงต้องใช้หางปลาแบบขันแทน แต่ความแน่นในการต่อสายไฟ การต่อแบบบีบย้ำจะแน่นกว่าแบบขัน ดังในรูปที่ 4.11

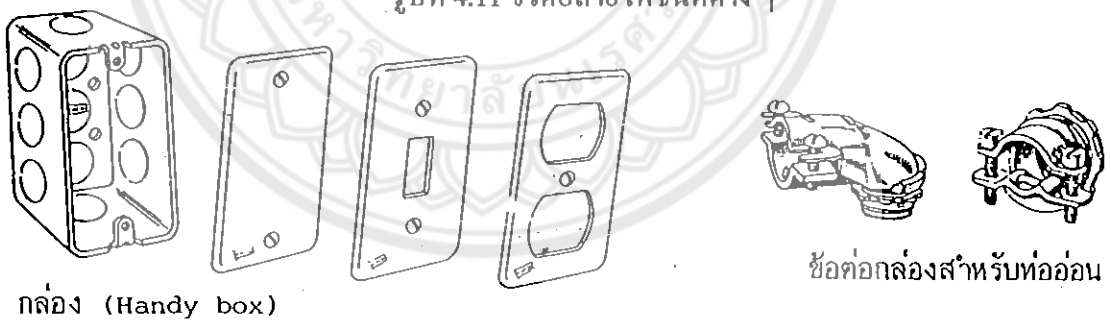
4.6.3 หลอดต่อสายแบบบีบ เมื่อต้องการต่อสายไฟขนาดใหญ่สองเส้นเข้าด้วยกัน ซึ่งเราไม่สามารถนำสายไฟมาต่อด้วยมือได้ จะต้องใช้หลอดต่อสายไฟแบบบีบย้ำด้วยเครื่องย้ำ มีตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาด 500 ตารางมิลลิเมตร ถ้าเป็นสายไฟขนาดใหญ่ ที่ต้องการความปลอดภัยสูงจะต้องพันด้วยเทปพันละลายและพันด้วยเทปธรรดาอีกชั้นหนึ่ง หรือจะเทหล่อด้วยสารเคมีที่เป็นฉนวนก็ได้ดังในรูปที่ 4.11

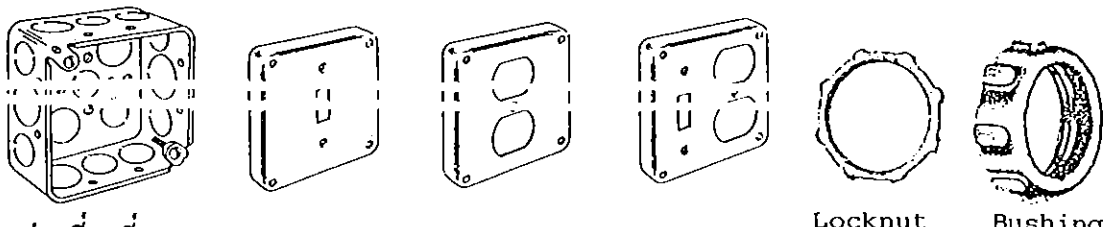
4.6.4 สปีดโบลท์ เป็นตัวต่อสายไฟที่สามารถต่อสายไฟครั้งละ 2 เส้นขึ้นไป นิยมใช้ต่อสายขนาดใหญ่ หรือใช้ต่อแยกสายไฟขนาดใหญ่ เพื่อแยกไปใช้งานหลาย ๆ ทาง ดังในรูปที่ 4.11

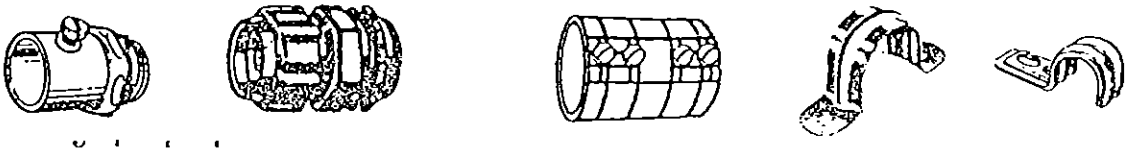
4.6.5 วายนัท (Wire Nut) เป็นตัวต่อสายไฟ ใช้ต่อสายไฟขนาดเล็ก ๆ ไม่เกิน 6 ตารางมิลลิเมตร โดยโครงภายในตัววายนัท จะมีเกลียวเมื่อหมุนวายนัทเข้าไปจะทำให้สายไฟเป็นเกลียวแน่น ดังในรูปที่ 4.11

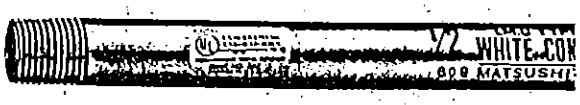


รูปที่ 4.11 ขั้วต่อสายไฟชนิดต่าง ๆ

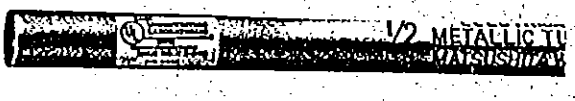






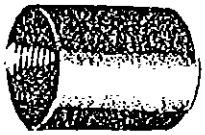


ท่อโลหะหนา (Rigid conduit)

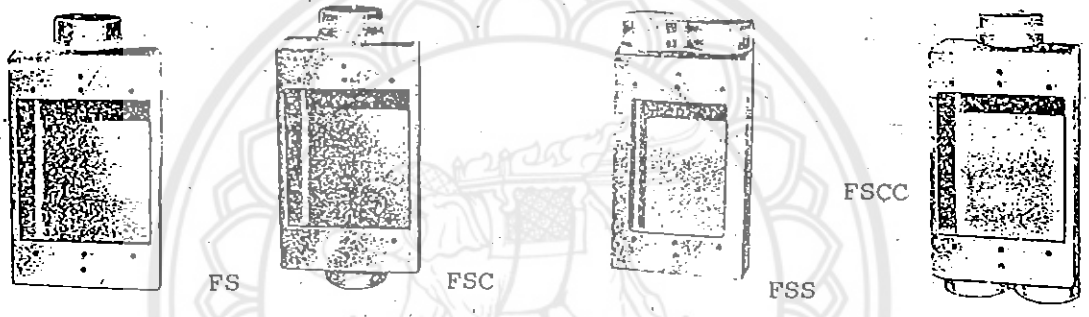


ท่อโลหะบาง (EMT)

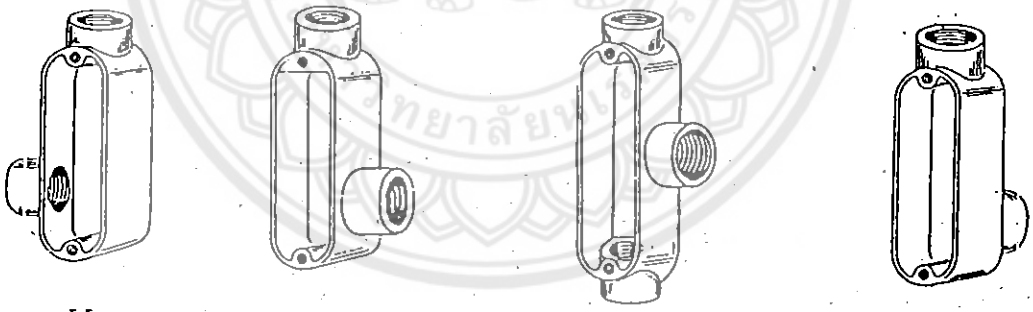
ท่ออ่อน (Flexible conduit)



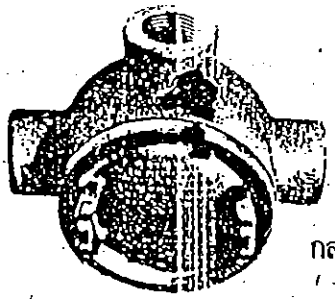
ข้อต่อตรงท่อหนา



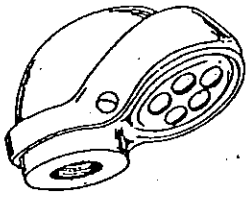
กล่องท่อโลหะหนา (conduiets)



ข้องอแบบต่าง ๆ



กล่องกลมกันน้ำ



หัวงูเห่า (Entrance Service Heads)

รูปที่ 4.12 ส่วนประกอบอื่นๆ ในการเดินสายไฟฟ้า

บทที่ 5
การเดินสายไฟในท่อและราง

การเดินสายไฟในท่อเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในโรงงานอุตสาหกรรม อาจจะเดินบนฝ้าเพดาน ฝังใต้ดินหรือเดินเกาะตามผนัง ถึงแม้ว่าค่าใช้จ่ายในการติดตั้งจะมีราคาสูง เมื่อเทียบกับการเดินสายไฟบนลูกถ้วยหรือเดินด้วยเข็มขัดรัดสาย ประโยชน์ของการเดินสายแบบนี้ก็เพื่อป้องกันมิให้มีอะไรมากระแทกสายไฟจนชำรุด ทำให้สายไฟลัดวงจรหรือรั่วลงดินซึ่งอาจจะเกิดอันตรายแก่ผู้ใช้ ได้ หรืออีกประการหนึ่งในสถานที่อันตราย หรือโรงงานอุตสาหกรรมประเภท โรงกลั่นน้ำมัน โรงงานโม่แป้ง โรงงานนุ่น โรงงานทอผ้า เป็นต้น โรงงานเหล่านี้มีวัสดุที่ไวไฟ เมื่อไฟฟ้าลัดวงจรจนทำให้เกิดการอาร์คหรือระเบิดขึ้น หรือเกิดประกายไฟจากการทำงานปกติของสวิตช์ไฟฟ้า สถานที่เหล่านี้จะต้องเดินสายไฟในท่อและมีอุปกรณ์พิเศษที่ป้องกันมิให้ประการไฟออกมาภายนอกได้ ถ้ามีประกายออกมาภายนอกท่อจะทำให้เกิดเพลิงไหม้ขึ้นได้ นอกจากนี้การเดินสายไฟด้วยท่อโลหะยังสามารุใช้ท่อเป็นตัวนำสำหรับต่อลงดินได้ การเดินสายไฟแบบนี้จะมีอายุการใช้งานประมาณ 20 -30 ปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้งานมากหรือน้อยและเกินสายไฟแบบนี้จะมีอายุการใช้งานมากหรือน้อยและประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งอาจจะมีสารเคมีทำให้สายไฟและท่อเสียได้เร็วขึ้น

5.1 ชุดเครื่องมือดัดท่อ

เครื่องมือช่างไฟฟ้า ได้แก่ (1) ที่ตัดท่อ (2) ที่ดัดท่อ มีชนิดดัดท่อโลหะหนาและดัดท่อโลหะบาง (3) ที่คว้านท่อ (4) ปากกาจบท่อพร้อมขาตั้ง (5) ลวดดึงสายไฟ (6) ชุดทำเกลียว (7) ชุดทำรูโลหะบางและดอกสว่านเจาะโลหะบาง

5.2 ท่อร้อยสายไฟ

ท่อร้อยสายไฟมีอยู่หลายชนิดได้แก่

5.2.1ท่อโลหะหนา (Rigid Metal Conduit) เป็นท่อโลหะอาบสังกะสี คล้ายท่อประปา แต่ผิวภายในเรียบกว่า มีความยาวเส้นละ 3 เมตร ใช้เดินในผนัง พื้น บนฝ้าเพดานและกลางแจ้งทั่วไป ไม่ควรเดินฝังใต้ดินที่มีน้ำเพราะจะทำให้เป็นสนิมภายหลังได้ ใช้ในสถานที่มีโอกาสถูกกระทบกระแทกหรือสถานที่มีอันตราย เช่น โรงกลั่นน้ำมัน โรงทอผ้า การต่อท่อต่อด้วยข้อ ข้อต่อเกลียว การต่อเข้ากล่องโดยใช้บุชชิ่งและล๊อคนัท

5.2.2 ท่อหนาปานกลาง (Intermediate Metal Conduit) หรือท่อไอเอ็มซี (I M C) มีลักษณะเหมือนท่อโลหะหนา แต่จะบางกว่าเล็กน้อย ใช้งานเหมือนท่อโลหะหนา ความคงทนและความปลอดภัยน้อยกว่าชนิดโลหะหนา มีเกลียวหัวท้ายและต่อเหมือนท่อโลหะหนา

5.2.3 ท่อโลหะบาง (Electrical Matallic Tubing) หรือท่ออีเอ็มที (EMT) ท่อชนิดนี้ไม่สามารถทำเกลียวได้ การต่อ ใช้ข้อต่อแบบขันสกรู ใช้เดินลอยบนฝาผนัง ในเพดาน ใช้ในสถานที่ต้องการความแข็งแรงน้อยกว่าชนิดท่อโลหะหนา เช่น โรงงานผลิตยาง โรงงานพลาสติก สำนักงานและบ้านที่พักอาศัยทั่วไป ห้ามฝังใต้ดินและเดินภายนอกอาคาร ซึ่งน้ำจะเข้าท่อได้

5.2.4 ท่อโลหะอ่อน (Flexible Matalic Conduit) เป็นท่อโลหะที่สามารถอ่อนตัวได้ มีทั้งชนิดป้องกันน้ำไม่ได้และชนิดหุ้ม พีวีซี ที่สามารถป้องกันน้ำได้ ใช้ต่อระหว่างท่อกับตัวมอเตอร์หรือกล่องต่อสายไฟต่างๆ ที่ท่อโลหะไม่สามารถงอได้ ถ้าในบริเวณที่มีความชื้นสูง ให้ใช้ชนิดหุ้ม พีวีซี

5.2.5 ท่อ พีวีซี ที่ใช้สำหรับร้อยสายไฟเป็นท่อสีเหลือง ใช้เดินลอยภายในอาคาร บนฝ้าเพดานหรือภายในกำแพงและใต้ดิน แต่ความแข็งแรงน้อยกว่าท่อโลหะ ห้ามเดินกลางแจ้งเพราะจะถูกแดดจนเปราะและแตกง่าย ในปัจจุบันนี้การเดินด้วยท่อ พีวีซี ยังไม่สะดวกเพราะยังขาดอุปกรณ์ประกอบ

5.2.6 ท่อแอสแบสต๊อสซีเมนต์ เป็นท่อที่ใช้ฝังดินในที่มีความชื้นสูงและไม่ต้องการความแข็งแรงมากนัก รูปร่างของท่อชนิดต่าง ๆ

5.3 อุปกรณ์ที่ใช้เดินสายไฟด้วยท่อ

อุปกรณ์ใช้เดินสายไฟด้วยท่อ นอกจากท่อชนิดต่าง ๆ แล้วยังมีอุปกรณ์อีกหลายชนิด มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.3.1 สายไฟที่ใช้ร้อยท่อ จะต้องเป็นชนิดกลมเดี่ยว ทนอุณหภูมิได้ไม่ต่ำกว่า 75 องศาเซนติเกรดและแรงดันไม่ต่ำกว่า 600 โวลท์ คือ ชนิด TW,THW

5.3.2 กล่องต่อสวิตช์และกล่องต่อสายไฟ มีรูปทรงต่าง ๆ

5.3.3 ข้อต่อท่อ ใช้สำหรับต่อท่อมีอยู่ 3 แบบ

5.3.4 แคล้มยึดท่อ มีอยู่ 2 แบบ คือแบบใช้กับท่อหนาและใช้กับท่อบาง แคล้มยึดท่อหนามีขายึดด้านเดียว ส่วนแคล้มยึดท่อโลหะบางมีขายึด 2 ข้าง

5.4ข้อสังเกตุและพึงระวังในการเดินสายไฟในท่อ

5.4.1 การเดินสายไฟในท่อเหล็ก วงจรไฟฟ้าที่เป็นวงจรเดียว สายที่มีไฟ (Hot) และเส้นศูนย์ (Neutral) จะต้องใส่ในท่อเดียวกัน ห้ามแยกใส่คนละท่อ ถ้ามีหลายวงจรจะแยกวงจรละท่อ

หรือใส่เป็นท่อเดียวกันได้ ทั้งนี้ไม่ให้เกินกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ท่อ ซึ่งทำให้เกิดความร้อนเป็นเหตุให้สายชำรุด

5.4.2 การเดินสายในท่อ ต้องติดตั้งระบบท่อให้เสร็จ ตรวจสอบความต่อเนื่องและทำความสะอาดท่อให้เรียบร้อยแล้วจึงร้อยท่อ ไม่ใช้ทำทำไปร้อยไปหรือเอาสายร้อยในท่อก่อนแล้วจึงดัดและติดตั้ง

5.4.3 การเดินท่อโลหะ ทั้งระบบต้องติดแน่น มีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าและต้องต่อลงดิน

5.4.4 การต่อท่อโลหะกับกล่องท่อโลหะ ที่ต่อด้วยบูชชิ่งและล็อคนัท ตัวล็อคนัทจะต้องหันทางด้านโค้งเข้าหากล่องท่อโลหะที่มีพื้นที่หน้าตัด 25 ตารางมิลลิเมตรขึ้นไป ถ้าใส่บูชชิ่งที่เป็นฉนวนทั้งตัว ต้องใช้ล็อคนัททั้งด้านในและด้านนอกกล่อง

5.4.5 สายไฟที่ใช้สายชนิดทีเอชดับบิล (THW) ห้ามใช้สายชนิดแบนเพราะร้อยสายไฟยาก

5.4.6 สายไฟที่อยู่ในท่อเดียวกันจะต้องร้อยครั้งเดียว ถ้าต้องการร้อยสายไฟเพิ่ม ต้องดึงของเก่าออกและร้อยใหม่พร้อมกัน

5.4.7 จำนวนสายในท่อ ให้ดูจากตาราง อย่าใส่เกินจำนวน เพราะร้อยสายไฟยาก

5.4.8 สีของสายไฟ ในกรณีใช้สายหลายสี สายศูนย์ให้ใช้สายสีขาวหรือสีเทาอ่อน สายมีไฟใช้ ดำ แดง น้ำเงิน และสายดินใช้สีเขียวอ่อน

5.5 <u>ทฤษฎีการดัดท่อ</u>

ในการติดตั้งต่อไฟฟ้านั้น จำเป็นต้องดัดท่อให้โค้งไปตามผนังพื้น โครงหลังคา และข้ามสิ่งกีดขวาง เช่น คานและเสา เราจึงจำเป็นต้องดัดท่อให้โค้งไปตามผนังให้สวยงามและไม่ให้ท่อแบนจนไม่สามารถร้อยสายไฟได้

ในการดัดโค้งท่อไม่ว่าจะเป็นรูปทรงใดก็ตามความยาววัดตามแนวเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อจะมีความยาวของท่อก่อนดัด ถ้าวัดผิวโค้งด้านนอกจะยาวกว่าเดิมและถ้าวัดตามผิวโค้งด้านในจะสั้นกว่าเดิม ฉะนั้นในการคำนวณรัศมีความคดงของท่อจะคำนวณที่เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อเสมอ ปกติแล้วรัศมีความโค้งของท่อจะมีค่าอยู่ประมาณ 6-8 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อการดัดท่อเพื่อร้อยสายไฟ จะต้องดัดให้รัศมีมีความโค้งไม่น้อยกว่าในตารางนี้ เพื่อที่จะร้อยสายไฟได้ง่าย

จากตารางนี้เป็นรัศมีความโค้งที่ใช้ดัดท่อด้วยมือ ปกติการดัดท่อโลหะด้วยมือ จะดัดท่อได้ขนาดไม่เกิน 1 นิ้ว ถ้ามีขนาดใหญ่กว่านี้จะดัดยากและอาจจะทำให้ท่อแบนได้ ส่วนใหญ่จะใช้ดัดท่อด้วยเครื่องไฮโดรลิค ซึ่งจะมีรัศมีความโค้งตามขนาดหัวดัดของแต่ละบริษัทที่ผลิตขึ้นและจะมีรัศมีความโค้งน้อยกว่านี้เล็กน้อย

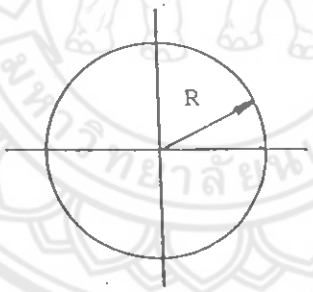
ตารางที่ 5.1 รัศมีความโค้งของท่อขนาดต่างๆ

ขนาดท่อ (นิ้ว)	รัศมีความโค้งอย่างน้อย (นิ้ว)		ขนานท่อ (นิ้ว)	รัศมีความโค้งอย่างน้อย (นิ้ว)
1/2	4		5/2	15
3/4	5		3	18
1	6		7/2	21
5/4	8		4	24
3/2	10		5	30
2	12		6	36

ปกติแล้วข้อโค้งของท่อโลหะมีการผลิตมาจำหน่ายแต่ราคาแพงกว่าดัดเองหลายเท่าตัวซึ่งการดัดเองไม่สิ้นเปลืองข้อต่อด้วย

5.5.1 การดัดท่อเป็นมุมเดียว

ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีความโค้งกับความยาวของส่วนโค้ง



จากรูปวงกลม ใช้สูตรการหาเส้นรอบวงของวงกลมเส้นรอบวง = $2\pi R$

เมื่อ R = รัศมีของวงกลม

ที่ 90° = 1/4 ของวงกลม

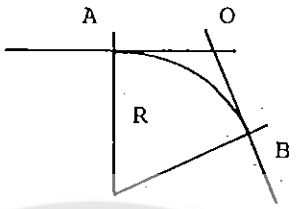
ถ้าดัดท่อไป 90° ความยาวส่วนโค้งของท่อ = $1/4 \times 2\pi R = 1.57\ R$

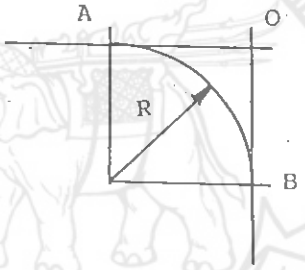
ถ้าดัดท่อไป 1° ความยาวของส่วนโค้ง $= \frac{1.57 \times R}{90} = 0.0175\ R$

ความยาวของส่วนโค้ง = 0.0157 R x องศาที่ต้องการดัด

5.5.2 การดัดท่อ 2 โค้งแบบคอม้า

จากรูป 5.1 Gain คือผลรวมของเส้นตรงที่ลากจากท่อที่ดัดเป็นมุมอยู่ในรัศมีความโค้งลบด้วยรัศมีความโค้ง





รูปที่ 5.1 การดัดท่อแบบคอม้า

จากรูป 5.1 Gain = (AO+OB) – AB

AB คือ รัศมีความโค้ง

ถ้าดัดท่อเป็นมุม 90° Gain = (AO+OB) – AB

= (R+R) – AB

= 2R – AB

= 2R – 1.57 R

= 0.43 R

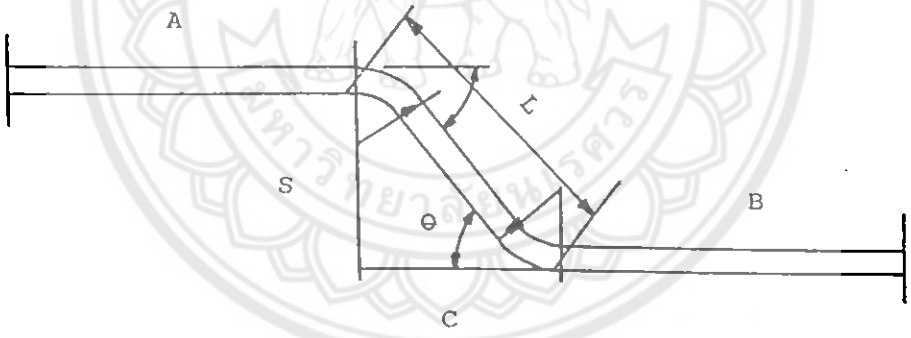
Gain Factor = Gain / R

Gain = Gain Factor × R

ตารางที่ 5.2 ค่า Gain Factor ของมุมดัดต่างๆ

องศา		1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0001	.0002	.0003	.0004
10	.0005	.0006	.0008	.0010	.0013	.0015	.0018	.0022	.0026	.0031
20	.0036	.0042	.0043	.0055	.0062	.0071	.0079	.0090	.0100	.0111
30	.0126	.0136	.0150	.0165	.0181	.0197	.0215	.0234	.0254	.0276
40	.0298	.0322	.0347	.0373	.0400	.0430	.0461	.0493	.0527	.0562
50	.0600	.0639	.0679	.0766	.0812	.0812	.0861	.0911	.0963	.1018
60	.1075	.1134	.1196	.1260	.1329	.1397	.1469	.1544	.1622	.1703
70	.1887	.1874	.1964	.2058	.2156	.2257	.2361	.2470	.2582	.2699
80	.2819	.2944	.3074	.3208	.3347	.3491	.3640	.3795	.3955	.4121
90	.4292	–	–	–	–	–	–	–	–	–

การดัดท่อแบบคอม้า ตามรูป 5.2 คือ การดัดท่อให้โค้งเท่าๆกันในทิศทางตรงกันข้าม



รูปที่ 5.2 การดัดท่อแบบคอม้าในทิศทางตรงกันข้าม

ในเมื่อ S = ระยะออฟเซท

L = ความยาวแนวเอียง

A,B = ระยะตางของท่อ

C = ระยะตรงในแนวออฟเซท

θ = มุมออฟเซท

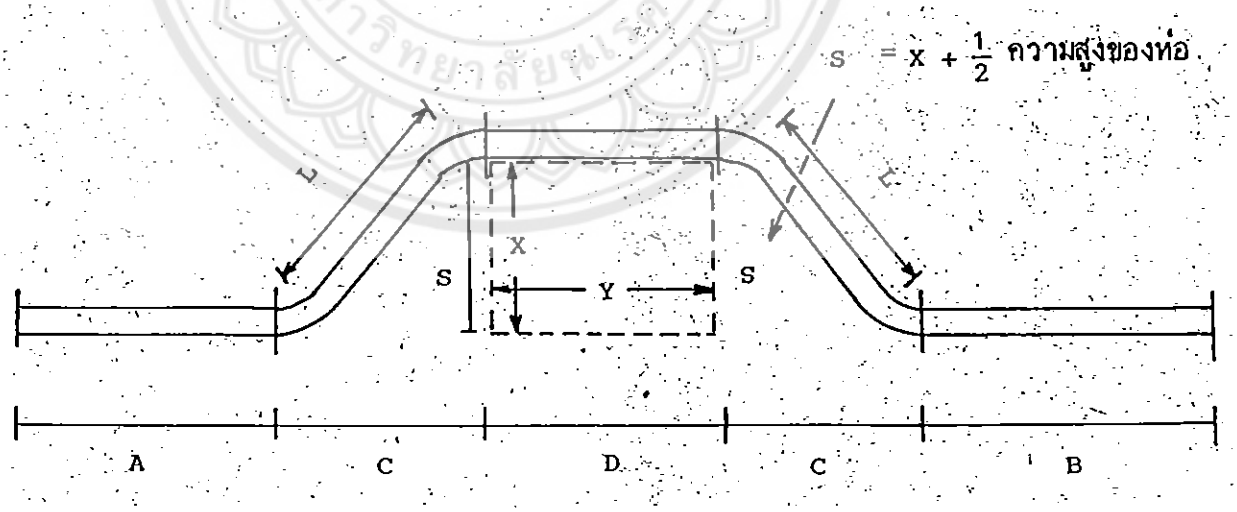
ความยาวท่อ = A + L + B – 2

ตารางที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะ S, L และ C ที่มุมต่าง

θ	S	L	C
5	1	9.57	9.53
10	1	5.77	5.68
15	1	3.63	3.48
20	1	2.93	2.75
45/2	1	2.62	2.42
30	1	2.00	1.73
45	1	1.41	1
60	1	1.16	0.58
75	1	1.04	0.25

5.5.3 การคัดท่อข้ามสิ่งกีดขวาง

การคัดท่อข้ามสิ่งกีดขวาง ได้แก่ เสา ตาน สิ่งเหล่านี้มีความสูงกว่าพื้นอยู่ประมาณ 10 เซนติเมตร ขึ้นไปดังในรูป 5.3



รูป 5.3 การคัดท่อข้ามสิ่งกีดขวาง

จากรูป 5.3 ให้ Y = 45 เซนติเมตร X = 30 เซนติเมตร

A+C = C+B = 90 เซนติเมตร

ใช้ท่อขนาด 1/2 " และดัดเป็นมุม 45°

$\therefore$ A+C+D+C+B = 90+45+90

จากตาราง 5.2 ที่มุมดัด 45°

S = 1 O = 1 L = 1.41

S = X + 1/2 ของเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ

= 30 + 1

= 31

$\therefore$ C = 31 = 31 × 1.41 = 43.71

ความยาวท่อ = (A+C–S) +L+D+L+(A+C–S)–4 Gain

Gain Factor ที่มุม 45° จากตาราง 5.2 = 0.0436

Gain = R × Gain Factor

ท่อขนาด 1/2 " R = 10 เซนติเมตร

= 10 × 0.0436

$\therefore$ ความยาวของท่อ = (A+C–S) +L+D+L+(B+C–S) – 4 × Gain

= (90–31)+43.71+45+43.71+(90–31) –4 × 0.436

= 59+43.71+45+43.71+59–1.744

= 248.67 เซนติเมตร

5.6 วิธีดัดท่อบางด้วยเบนเดอร์

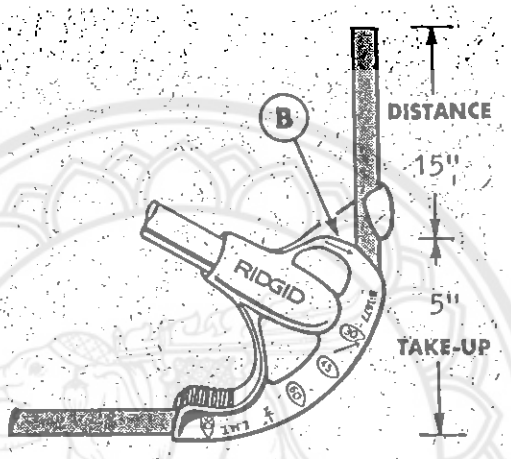
การดัดท่อบางด้วยเบนเดอร์ชนิดดัดด้วยมือ ขนาดของท่อที่สามารถดัดได้ ได้แก่ขนาด 1/2 ,3/4 , 1 นิ้ว ส่วนท่อขนาดใหญ่กว่านี้จะต้องดัดด้วยเครื่อง การดัดด้วยเบนเดอร์ท่อบางนี้จะมีค่าเทคอัพ (take up) ของเบนเดอร์เป็นไปตามตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 5.4 การดัดท่อด้วยเบนเดอร์

ขนาดของเบนเดอร์ (นิ้ว)	ระยะ take-up (นิ้ว)
1/2	5
3/4	6
1	8

ระยะเทคอัพ (take-up) นี้จะมีค่าใกล้เคียงกับรัศมีความโค้ง (R) ตามหัวข้อ 5.5.1 ในตารางนี้เป็นระยะ เทคอัพที่ 90° ถ้ามีองศาน้อยกว่านี้ ระยะเทคอัพจะลดลงตามส่วน ถ้าเป็น 45° ระยะเทคอัพ 45/ 90 x ระยะเทคอัพของท่อแต่ละขนาด

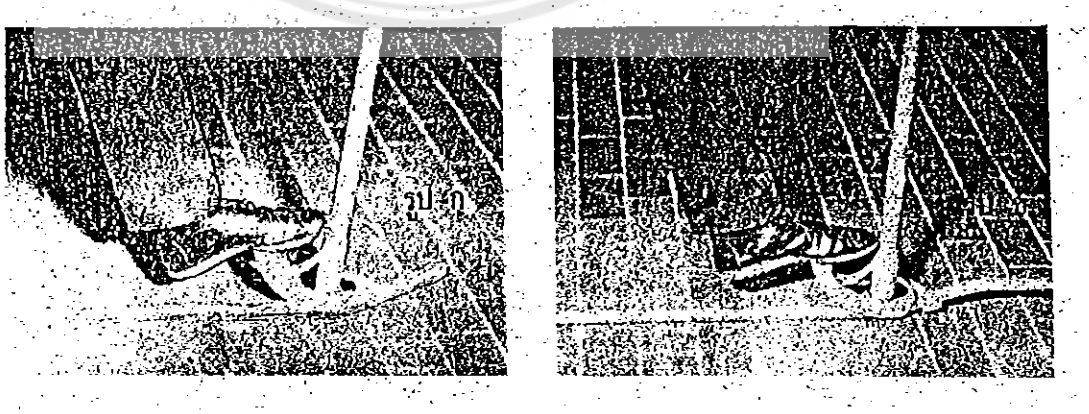
5.6.1 วิธีดัดท่อบางเป็นมุมฉาก 90° ตามรูป 5.4 ต้องการดัดท่อขนาด 1/2 นิ้วให้สูงจากพื้น 20 นิ้วระยะเทคอัพของเบนเดอร์ขนาด 1/2 นิ้ว = 5 นิ้ว เพราะฉะนั้นจุด B ของเบนเดอร์ จะต้องตรงกับจุด 15 นิ้วที่วัดจากปลายท่อ เมื่อดัดเป็นมุม 90° ท่อจะสูงจากพื้นเท่ากับ 20 นิ้ว พอดี



รูปที่ 5.4 การดัดท่อเป็นมุม 90°

5.6.2 วิธีดัดท่อออฟเซท

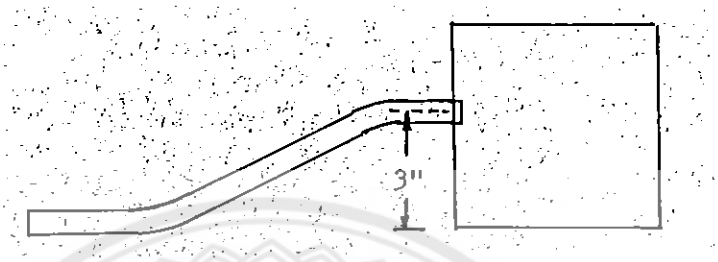
ตามรูป 5.5 วิธีดัดท่อแบบออฟเซท รูป ก. เป็นการดัดครั้งที่หนึ่งให้ท่องอเป็นมุมประมาณ 15° (องศาการดัดต่างๆให้ดูในตาราง 5.3) และในรูป ข เป็นการดัดท่อในครั้งที่สอง โดยดัดท่อในทิศทางตรงข้าม



รูปที่ 5.5 การดัดท่อออฟเซท

ตัวอย่าง ต้องการดัดท่อขนาด 1/2 นิ้ว เข้ากล่องต่อสาย ที่รูกล่องมีความสูง 3 นิ้ว จงหาจุดที่ดัดของท่อ

วิธีทำ จากตาราง 5.3 ระยะ S= 3 นิ้ว สมมุติที่มุม 30° ระยะ L= 3 x 2.00 = 6 นิ้ว ดังนั้นให้วัดความห่างระหว่างจุดดัด = 6 นิ้ว จะทำให้ท่อมีความสูงของออฟเซท = 3 นิ้ว (กลางกล่อง)



รูปที่ 5.6 การดัดท่อออฟเซตตามตัวอย่าง

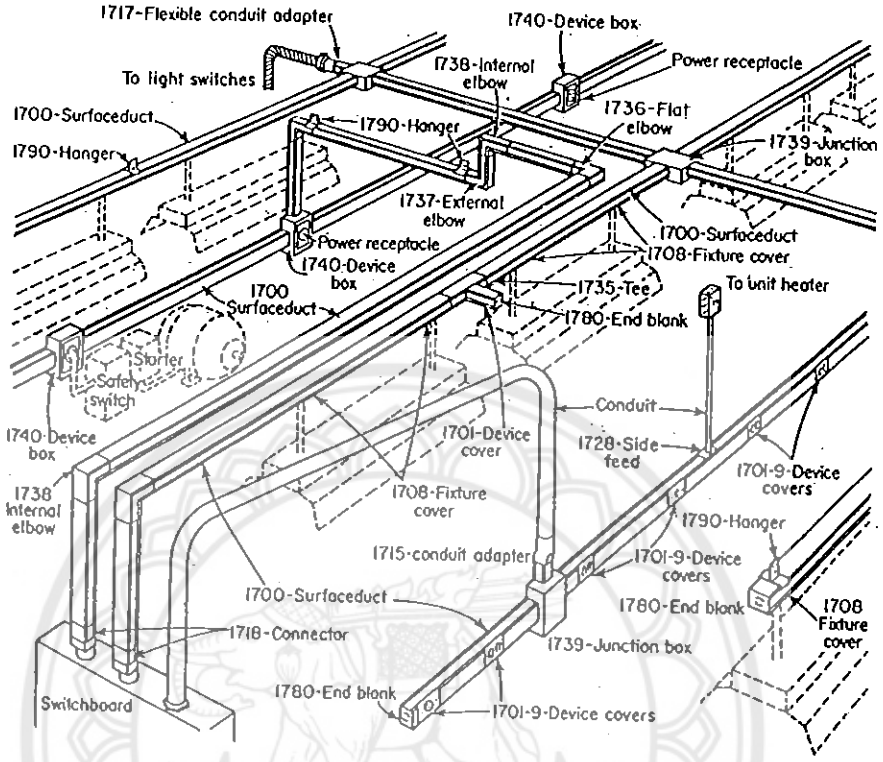
5.7 การเดินสายในท่อและในรางใต้พื้นดิน

การเดินสายไฟท่อและในท่อใต้พื้นดิน จะต้องติดตั้งระบบท่อหรือรางก่อนที่จะเทคอนกรีต โดยจะต้องวางฝัง ดัดท่อเข้ากล่องต่อสายและต่อรางให้เรียบร้อย หลังจากเทพื้นคอนกรีตแล้วจึงจะร้อยสายไฟ ดังในรูป 5.7

รูปที่ 5.7 การเดินสายไฟในท่อและในรางใต้พื้น

5.8 การเดินสายในรางเหนือพื้นดิน

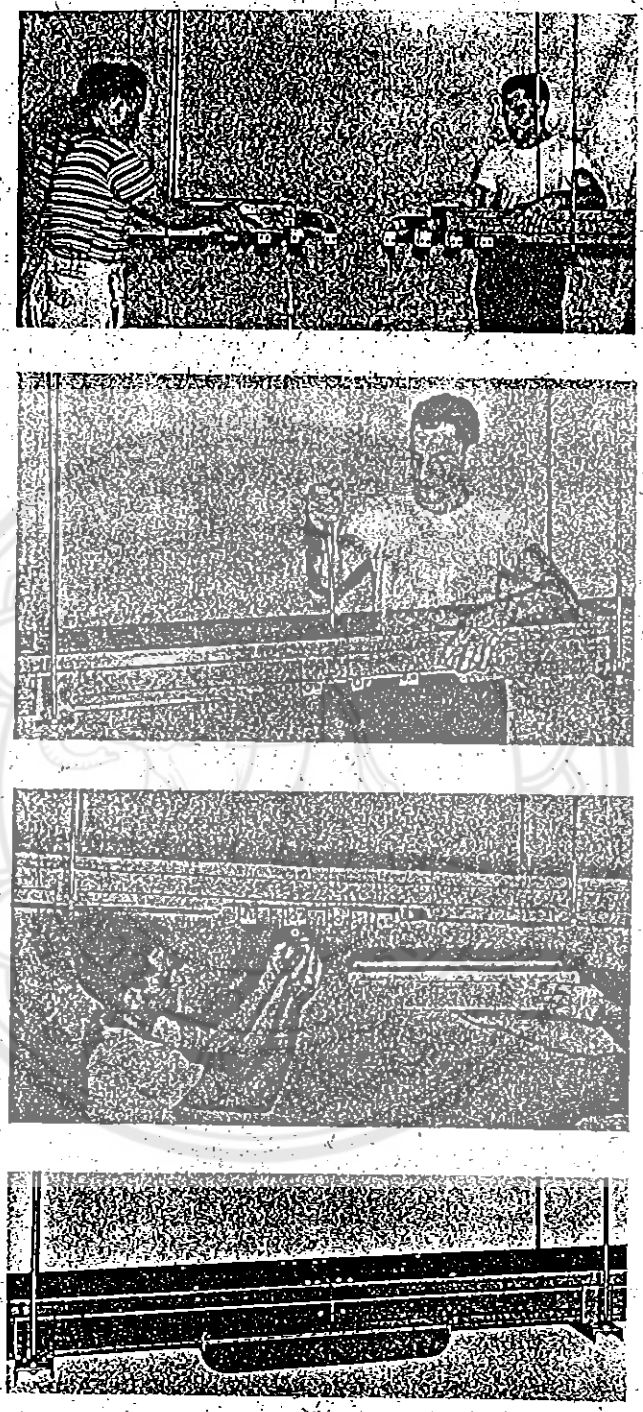
การเดินสายในรางเหนือพื้นดินนี้ จะทำได้ง่ายกว่าการเดินสายในรางแบบใต้ดินเหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมอาจจะมีการเพิ่มเครื่องจักรภายหลังจะได้เพิ่มเติมได้ง่าย การติดตั้งรางควรจะสูงจากพื้นประมาณ 2.50 เมตรขึ้นไป ความสูงนี้จะต้องให้สูงพอที่จะไม่ยกวัสดุอื่นไปกระแทกได้ ดังการเดินในรางตามรูป 5.8



รูปที่ 5.8 การเดินสายไฟในราง

5.9 การเดินสายในรางบัสเวย์ (Bus way or Bus Duct)

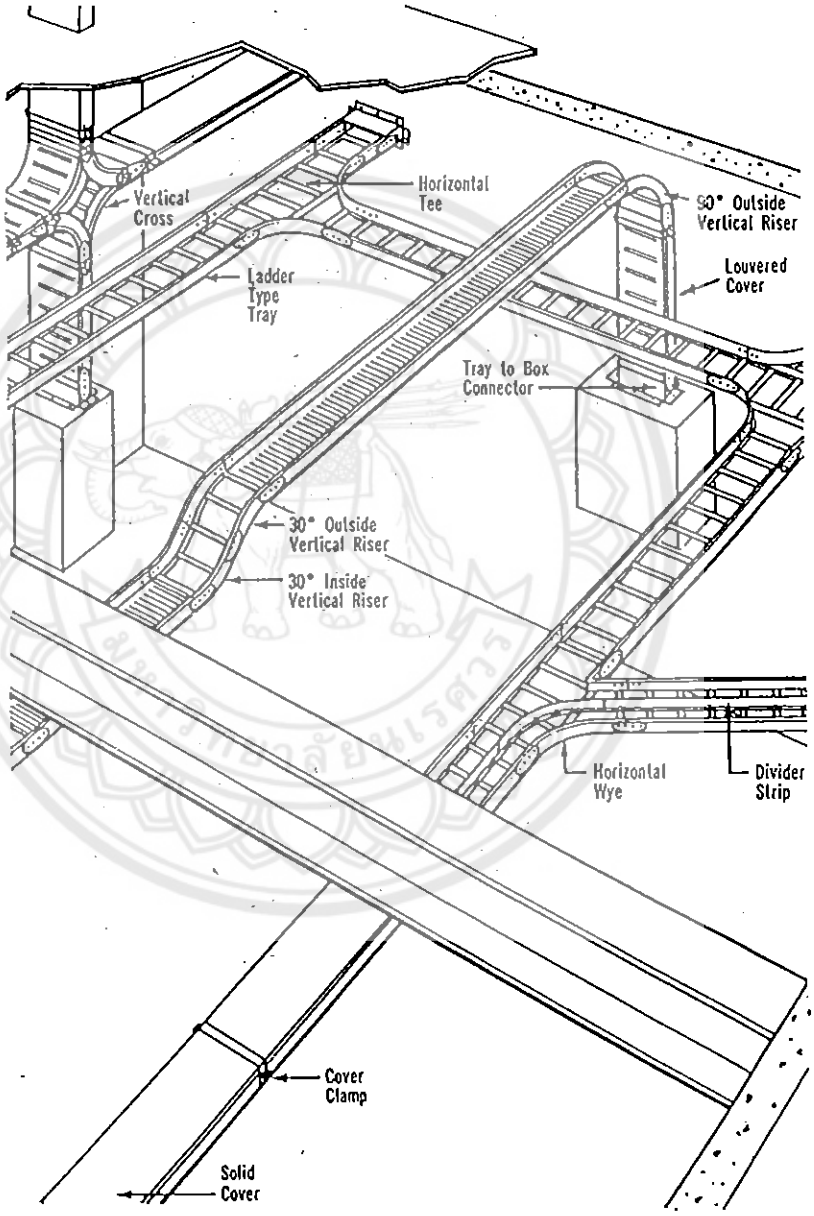
การเดินสายในรางบัสเวย์ (Bus way) ในรางบัสเวย์เป็นกล่องโลหะที่ทนต่อการผุกร่อนรูปทรงสี่เหลี่ยมพื้นผ้า ภายในใส่แท่งทองแดงรูปสี่เหลี่ยมพื้นผ้ามีฉนวนนับตลอดเส้น รางนี้จะมีความยาวเส้นละ 8 ฟุต ต้องการใช้งานระยะทางยาวๆก็ใช้ต่อหลายๆรางการต่อแยกไปใช้งานจะต้องต่อตามรอยต่อที่ทำไว้โดยเฉพาะ ไม่สามารถต่อได้ทุกๆที่บนรางใช้เดินลอยภายในอาคารหรือภายในโรงงานจะต้องต่อตามรอยต่อที่ทำไว้โดยเฉพาะ ไม่สามารถต่อได้ทุกๆที่บนราง ใช้เดินลอยภายในอาคารหรือภายในโรงงานอุตสาหกรรม ดังในรูป 5.9



รูปที่ 5.9 การเดินสายไฟด้วยรางบัสเวย์

5.10 การเดินสายไฟในรางเคเบิลเท (Cable tray)

เคเบิลเทเป็นรางเดินสายไฟแบบโปร่งใช้เดินภายในและภายนอกอาคาร ส่วนใหญ่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมมากว่าอาคาร เพราะสามารถเปลี่ยนแปลงและเพิ่มขนาดสายได้ง่ายโดยไม่ต้องทำรางใหม่ ดังในรูป 5.10



รูปที่ 5.10 การเดินสายด้วยเคเบิลเท

บทที่ 6
การคำนวณหาขนาดของเซอร์กิตเบรคเกอร์

ในบทนี้จะแสดงการคำนวณหาขนาดของเซอร์กิตเบรคเกอร์ ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการออกแบบระบบไฟฟ้า และเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดจึงต้องใช้ความละเอียด รอบคอบ เพื่อความปลอดภัยต่อระบบไฟฟ้าที่ออกแบบไว้

6.1 การคำนวณโหลดทั้งหมดของอาคารเรียนรวมและบรรยายพิเศษ

รายการโหลดทั้งหมด ประกอบไปด้วย แสงสว่าง, เต้ารับ, พัดลม, เครื่องปรับอากาศ, ลิฟท์, ปั๊มน้ำ (รายละเอียดของซิงไลน์ไดอะแกรมและตารางโหลดแสดงในภาคผนวก ฉ.)

6.1.1 การคำนวณหาขนาดของเซอร์กิตเบรคเกอร์และสายไฟฟ้า

ชั้นที่ 1

ตารางโหลดที่ 6.1 ค่าโหลดและกระแสชั้นที่ 1

LOAD CENTER	CONNECTED LOAD(VA)		
	ϕ_A	ϕ_B	ϕ_C
1LP	13400	13700	13600
LOAD CENTER	CONNECTED LOAD (A)		
	ϕ_A	ϕ_B	ϕ_C
1LP	38	37.9	42.2

คิดโหลดสูงสุดคือเฟสบี = 13700/220

= 62.27 แอมแปร์

คูณด้วย 1.25 สำหรับเผื่อโหลด 25 เปอร์เซ็นต์

= 1.25 x 62.27

= 77.84 แอมแปร์

เลือกเซอร์กิตเบรคเกอร์ขนาด 80 AT

เลือกขนาดสายไฟ THW 16 mm^2

<u>จากการวัดโดยใช้คลิปแอมป์</u>

เลือกเฟส ซี = 42.2 แอมแปร์

คิดเต้ารับ 18 ตัวในเฟสซี กำหนดวงจรละ 2400 วีเอ วงจรละ 10 ตัว

ค่ากระแสในเฟสซีเฉพาะเต้ารับ = 4320/220

= 19.63 แอมแปร์

รวม = 61.83 แอมแปร์

คิดค่าดีมานแฟคเตอร์ = 0.8

โดยคิดจากการประมาณการใช้ไฟฟ้าในชั้นนั้น

<u>ชั้นที่ 2</u>

ตารางโหลดที่ 6.1 ค่าโหลดและกระแสชั้นที่2

LOAD CENTER	CONNECTED LOAD(VA)		
	ϕ_A	ϕ_B	ϕ_C
2LP	10700	10000	10800
LOAD CENTER	CONNECTED LOAD (A)		
	ϕ_A	ϕ_B	ϕ_C
2LP	37.3	34.2	32.5

คิดโหลดสูงสุดคือเฟส ซี = 10800/220

= 49.09 แอมแปร์

คูณด้วย 1.25 สำหรับเผื่อโหลด 25 เปอร์เซ็นต์

= 1.25 x 49.09

= 61.36 แอมแปร์

เลือกเซอร์กิตเบรคเกอร์ขนาด 70 AT

เลือกขนาดสายไฟ THW 16 mm^2

<u>จากการวัดโดยใช้คลิปแอมป์</u>

เลือกเฟส เอ = 37.3 แอมแปร์

คิดเต้ารับ 18 ตัวในเฟสเอกำหนดวงจรละ 2400 วีเอ วงจรละ 10 ตัว

ค่ากระแสในเฟสเอเฉพาะเต้ารับ = 4320/220

= 19.63 แอมแปร์

รวม = 56.93 แอมแปร์

คิดค่าดีมานแฟคเตอร์ = 0.8

โดยคิดจากการประมาณการใช้ไฟฟ้าในชั้นนั้น

<u>ชั้นที่ 3</u>

ตารางโหลดที่ 6.1 ค่าโหลดและกระแสชั้นที่3

LOAD CENTER	CONNECTED LOAD(VA)		
	ϕ_A	ϕ_B	ϕ_C
3LP	11400	11600	11500
LOAD CENTER	CONNECTED LOAD (A)		
	ϕ_A	ϕ_B	ϕ_C
3LP	39	33.9	29.6

คิดโหลดสูงสุดคือเฟส บี = 11600/220

= 52.72 แอมแปร์

คูณด้วย 1.25 สำหรับเผื่อโหลด 25 เปอร์เซ็นต์

= 1.25 x 52.72

= 65.90 แอมแปร์

เลือกเซอร์กิตเบรคเกอร์ขนาด 70 AT

เลือกขนาดสายไฟ THW 16 mm^2

<u>จากการวัดโดยใช้คลิปแอมป์</u>

เลือกเฟส เอ = 39 แอมแปร์

คิดเต้ารับ 15 ตัวในเฟสเอ กำหนดวงจรละ 2400 วีเอ วงจรละ 10 ตัว

ค่ากระแสในเฟสเอเฉพาะเต้ารับ = 3600/220

= 16.36 แอมแปร์

รวม = 55.36 แอมแปร์

คิดค่าดีมานแฟคเตอร์ = 0.7

โดยคิดจากการประมาณการใช้ไฟฟ้าในชั้นนั้น

<u>ชั้นที่ 4</u>

ตารางโหลดที่ 6.1 ค่าโหลดและกระแสชั้นที่4

LOAD CENTER	CONNECTED LOAD(VA)		
	ϕ_A	ϕ_B	ϕ_C
4LP	11400	11600	11500
LOAD CENTER	CONNECTED LOAD (A)		
	ϕ_A	ϕ_B	ϕ_C
4LP	41.9	38	30

คิดโหลดสูงสุดคือเฟส บี = 11600/220

= 52.72 แอมแปร์

คูณด้วย 1.25 สำหรับเผื่อโหลด 25 เปอร์เซ็นต์

= 1.25 x 49.09

= 65.90 แอมแปร์

เลือกเซอร์กิตเบรคเกอร์ขนาด 70 AT

เลือกขนาดสายไฟ THW 16 mm^2

<u>จากการวัดโดยใช้คลิปแอมป์</u>

เลือกเฟส เอ = 41.9 แอมแปร์

คิดเต้ารับ 15 ตัวในเฟสเอ กำหนดวงจรละ 2400 วีเอ วงจรละ 10 ตัว

ค่ากระแสในเฟสเอเฉพาะเต้ารับ = 3600/220

= 16.36 แอมแปร์

รวม = 58.26 แอมแปร์

คิดค่าดีมานแฟคเตอร์ = 0.8

โดยคิดจากการประมาณการใช้ไฟฟ้าในชั้นนั้น

<u>ชั้นที่ 5</u>

ตารางโหลดที่ 6.1 ค่าโหลดและกระแสชั้นที่5

LOAD CENTER	CONNECTED LOAD(VA)		
	ϕ_A	ϕ_B	ϕ_C
5LP	11400	11600	11500
LOAD CENTER	CONNECTED LOAD (A)		
	ϕ_A	ϕ_B	ϕ_C
5LP	74.1	73.3	65.9

คิดโหลดสูงสุดคือเฟส บี = 11600/220

= 52.72 แอมแปร์

คูณด้วย 1.25 สำหรับเผื่อโหลด 25 เปอร์เซ็นต์

= 1.25 x 52.72

= 65.90 แอมแปร์

เลือกเซอร์กิตเบรคเกอร์ขนาด 70 AT

เลือกขนาดสายไฟ THW 16 mm^2

<u>จากการวัดโดยใช้คลิปแอมป์</u>

เลือกเฟส เอ = 74.1 แอมแปร์

คิดเต้ารับ 15 ตัวในเฟสเอ กำหนดวงจรละ 2400 วีเอ วงจรละ 10 ตัว

ค่ากระแสในเฟสเอเฉพาะเต้ารับ = 36000/220

= 16.36 แอมแปร์

รวม = 90.46 แอมแปร์

กิดค่าดีมานแฟคเตอร์ = 0.85

โดยคิดจากการประมาณการใช้ไฟฟ้าในชั้นนั้น

<u>ชั้นที่ 6</u>

ตารางโหลดที่ 6.1 ค่าโหลดและกระแสชั้นที่6

LOAD CENTER	CONNECTED LOAD(VA)		
	ϕ_A	ϕ_B	ϕ_C
6LP	16200	17100	15300
LOAD CENTER	CONNECTED LOAD (A)		
	ϕ_A	ϕ_B	ϕ_C
6LP	48.2	45.2	42.3

คิดโหลดสูงสุดคือเฟส บี = 17100/220

= 77.72 แอมแปร์

คูณด้วย 1.25 สำหรับเผื่อโหลด 25 เปอร์เซ็นต์

= 1.25 x 77.72

= 97.15 แอมแปร์

เลือกเซอร์กิตเบรคเกอร์ขนาด 110 AT

เลือกขนาดสายไฟ THW 35 mm^2

<u>จากการวัดโดยใช้คลิปแอมป์</u>

เลือกเฟส เอ = 48.2 แอมแปร์

คิดเต้ารับ 28 ตัวในเฟสเอ กำหนดวงจรละ 2400 วีเอ วงจรละ 10 ตัว

ค่ากระแสในเฟสเอเฉพาะเต้ารับ = 6720/220

= 30.54 แอมแปร์

รวม = 78.74 แอมแปร์

คิดค่าดีมานแฟคเตอร์ = 0.8

โดยคิดจากการประมาณการใช้ไฟฟ้าในชั้นนั้น

6.1.2 การคำนวณระบบแอร์

คิดระบบแอร์ทั้งหมด

LOAD CENTER	CONNECTED LOAD(VA)		
	ϕ_A	ϕ_B	ϕ_C
6AC	20900	20900	20000
LOAD CENTER	CONNECTED LOAD (A)		
	ϕ_A	ϕ_B	ϕ_C
6AC	61.1	79.4	65.3

คิดโหลดสูงสุดคือเฟส บี,เอ = 20900/220

= 95 แอมแปร์

คูณด้วย 1.25 สำหรับเผื่อโหลด 25 เปอร์เซ็นต์

= 1.25 x 95

= 118.75 แอมแปร์

เลือกเซอร์กิตเบรคเกอร์ขนาด 125 AT

เลือกขนาดสายไฟ THW 35 mm^2

<u>จากการวัดโดยใช้คลิปแอมป์</u>

เลือกเฟส บี = 79.4 แอมแปร์

คิดค่าดีมานแฟคเตอร์ = 0.8

โดยคิดจากการประมาณการใช้ไฟฟ้าในชั้นนั้น

6.1.3 การคำนวณระบบลิฟต์และปั๊มน้ำ

เนื่องจากขนาดของลิฟต์ซึ่งถือว่าเป็นโหลดทางไฟฟ้า โดยปกติแล้วผู้ออกแบบระบบไฟฟ้าจะติดต่อกับบริษัทผู้จำหน่ายลิฟต์ เพื่อให้ข้อมูลต่างๆ ในระบบลิฟต์มีคำต่างๆที่มีความหมายแสดงถึงข้อกำหนดในการออกแบบหรือคุณสมบัติที่ใช้ในการติดตั้ง

1. แฮนดิ้งคาปาซิตี้ (Handing capacity) เป็นเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการขนส่งผู้โดยสารในเวลาเร่งด่วนไปยังชั้นที่ต้องการภายใน 5 นาที เช่น มีคนใช้บริการ 2000 คน ลิฟต์สามารถให้บริการได้ 400 คนใน 5 นาที

2. ราวทริปไทม์ (Round trip time) ต่อเวลา (วินาที) ในการที่ลิฟต์เดินทางรับ - ส่งคนใน 1 รอบ โดยเริ่มนับเวลาตั้งแต่ผู้โดยสารกดปุ่มเรียกจนกระทั่งลิฟท์มารับแล้วไปส่งชั้นที่ต้องการ

3. อัพพีคทราฟฟิก (Up peak traffic) เป็นเปอร์เซ็นต์สูงสุดของผู้ใช้บริการลิฟท์พร้อมกันโดยต้องการเดินทางจากชั้นล่างขึ้นชั้นบน

4. ดาวพีคทราฟฟิก (Down peak traffic) เป็นเปอร์เซ็นต์สูงสุดของผู้ใช้บริการลิฟท์พร้อมกันโดยต้องการเดินทางลงมาชั้นล่าง

5. เวทติ้งไทม์ (Waiting time) เป็นการบอกคุณภาพของลิฟต์ เป็นช่วงเวลาที่ผู้ใช้บริการต้องรอคอยนานเท่าใด

<u>ตัวอย่าง</u> สำหรับอาคารมีความสูง 8 ชั้น กำหนดให้มีจำนวนของลิฟต์ 2 ชุด จากแบบแปลนของตึกจะได้ขนาดของลิฟท์โดยสารกว้าง 6 นิ้วยาว 9 นิ้ว เลือกขนาดของลิฟต์ = 3000 lb. สามารถรับผู้โดยสารได้ปกติ 10 คน สามารถคำนวณหาอัตราของโหลดได้ดังนี้

ลิฟต์ โดยสารขนาด 3000 lb.

น้ำหนักผู้โดยสารจำนวน 10 คน ประมาณ 2000 lb.

ของลิฟต์โดยสาร คือ 3000+2000 = 5000 lb.

เลือกลิฟต์โดยสารที่จะเป็นแบบ Geared elevator realer มีความเร็วในการขับเคลื่อนลิฟต์โดยสารไม่เกิน 150 ฟุต / นาที คำนวณหากำลังของมอเตอร์ ได้ดังนี้

$$HP = (C \times V \times K) / (3300 \times e)$$

โดยที่ $C = 5000$ lb.

$V = 150$ ft /min

$K = 0.6$

$E = 0.6$

จะได้ $HP = (5000 \times 150 \times 0.6) / (3300 \times 0.6)$

$= 22.73$

เลือกมอเตอร์ที่มีกำลังขนาด 2.5 HP และมีเพาเวอร์แฟกเตอร์ = 0.83 มอเตอร์สามเฟส มีค่า eff = 0.8 คำนวณโหลด (VA) ได้ดังนี้

LOAD (VA) = 25 x 746 = 18650 VA

CURRENT = 18650 / (1.732 x 380 x 0.8 x0.8)

= 44.27

พิจารณาเลือกใช้เซอร์กิตเบรคเกอร์โดยคำนวณเผื่อ 125 % ของกระแสเต็มพิกัด

ขนาดของเบรคเกอร์ 60 AT / 100 AF

เลือกใช้สายไฟฟ้า 3 x 25 # THW

1x 16 # THW

สรุปรายการอุปกรณ์ของลิฟท์

- คิดระบบลิฟท์ทั้งหมดโดยคิดขนาดลิฟท์ตัวละ 60 แอมป์
- ใช้เบรคเกอร์ขนาด 60 AT
- เลือกขนาดสายไฟ THW 10 mm^2
- คิดปั๊มน้ำโดยกำหนดขนาด 60 แอมป์
- ใช้เซอร์กิตเบรคเกอร์ขนาด 60AT
- เลือกขนาดสายไฟ THW 10 mm^2

6.1.4 การคำนวณเซอร์กิตเบรคเกอร์หลัก

คำนาณหาค่าเมนเซอร์กิตเบรคเกอร์

ไฟและเต้ารับ =77.84+61.36+65.90+65.90+65.90+97.15

= 434.05

ระบบแอร์ = 118.75 แอมป์

ระบบลิฟท์ = 60 แอมป์

ปั๊มน้ำ = 60 แอมป์

รวมกระแสทั้งหมด = 672.8

เลือกขนาดเซอร์กิตเบรคเกอร์ขนาด 700 AT

ขนาดบัสบาร์หนา 6.35 มิลลิเมตร กว้าง 38.1 มิลลิเมตร

ค่าดีมานแฟคเตอร์ = 0.7

คิดจากการประมาณการใช้ไฟฟ้าในตึกเรียนรวม

6.2 การคำนวณรายการโหลดทั้งหมดของอาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ-เครื่องกล

รายการโหลดทั้งหมด ประกอบไปด้วย แสงสว่าง, เต้ารับ, พัดลม, เครื่องปรับอากาศ, ลิฟท์, ปั๊มน้ำ (รายละเอียดของซิงเกิลไลน์ไดอะแกรมและตารางโหลดแสดงในภาคผนวก ฉ.)

6.2.1 การคำนวณขนาดเซอร์กิตเบรคเกอร์และสายไฟฟ้า

ชั้นที่ 1

ตารางโหลดที่ 6.2 ค่าโหลดและกระแสชั้นที่1

LOAD CENTER	CONNECTED LOAD(VA)		
	ϕ_A	ϕ_B	ϕ_C
1LP	8140	8770	9130
	CONNECTED LOAD (A)		
LOAD CENTER	ϕ_A	ϕ_B	ϕ_C
1LP	12.5	11.5	16.4

คิดโหลดสูงสุดคือเฟส ซี = 9130/220

= 41.5 แอมแปร์

เซอร์กิตเบรคเกอร์ขนาด 100 AT

เลือกขนาดสายไฟ THW 25 mm^2

จากการวัดโดยใช้คลิปแอมป์

เลือกเฟส ซี = 16.4 แอมแปร์

คิดเต้ารับ 19 ตัวในเฟสซี กำหนดวงจรละ 2400 วีเอ วงจรละ 10 ตัว

ค่ากระแสในเฟสซีเฉพาะเต้ารับ = 4560/220

= 20.72 แอมแปร์

รวม = 37.12 แอมแปร์

คิดค่าดีมานแฟคเตอร์ = 0.8

คิดจากการประมาณการใช้ไฟฟ้าในชั้นนั้น

ปั๊มน้ำตัวที่ 1,2

ทำการวัดด้วยคลิปแอมป์

LOAD CENTER	CONNECTED LOAD		
	ϕ_A	ϕ_B	ϕ_C
PW	33.8	37.1	33.7

เลือกเฟส บี ได้ค่ากระแส = 37.1 แอมแปร์

เซอร์กิตเบรคเกอร์ขนาด 60 AT

เลือกสายไฟTHWขนาด 10 mm^2

ค่าดีมานแฟคเตอร์ = 0.7

คิดจากการประมาณการใช้ไฟฟ้า

ชั้นที่ 2

ตารางโหลดที่ 6.2 ค่าโหลดและกระแสชั้นที่2

LOAD CENTER	CONNECTED LOAD(VA)		
	ϕ_A	ϕ_B	ϕ_C
2LP	12330	11620	11550
LOAD CENTER	CONNECTED LOAD (A)		
	ϕ_A	ϕ_B	ϕ_C
2LP	28.8	30	22.4

คิดโหลดสูงสุดคือเฟส บี = 11620/220

= 52.81 แอมแปร์

เซอร์กิตเบรคเกอร์ขนาด 100 AT

เลือกขนาดสายไฟ THW 25 mm^2

จากการวัดโดยใช้คลิปแอมป์

เลือกเฟส บี = 30 แอมแปร์

คิดเต้ารับ 27 ตัวในเฟสซี กำหนดวงจรละ 2400 วีเอ วงจรละ 10 ตัว

ค่ากระแสในเฟสซีเฉพาะเต้ารับ = 6480/220

= 29.45 แอมแปร์

รวม = 59.45 แอมแปร์

คิดค่าดีมานแฟคเตอร์ = 0.8

คิดจากการประมาณการใช้ไฟฟ้าในชั้นนั้น

ชั้นที่ 3

ตารางโหลดที่ 6.2 ค่าโหลดและกระแสชั้นที่3

LOAD CENTER	CONNECTED LOAD(VA)		
	ϕ_A	ϕ_B	ϕ_C
3LP	9360	10190	9970
LOAD CENTER	CONNECTED LOAD (A)		
	ϕ_A	ϕ_B	ϕ_C
3LP	26.7	18	13.4

คิดโหลดสูงสุดคือเฟส บี = 10190/220

= 46.31 แอมแปร์

เซอร์กิตเบรคเกอร์ขนาด 100 AT

เลือกขนาดสายไฟ THW 25 mm^2

<u>จากการวัดโดยใช้คลิปแอมป์</u>

เลือกเฟส ซี = 26.7 แอมแปร์

คิดเต้ารับ 19 ตัวในเฟสซี กำหนดวงจรละ 2400 วีเอ วงจรละ 10 ตัว

ค่ากระแสในเฟสซีเฉพาะเต้ารับ = 4560/220

= 20.7 แอมแปร์

รวม = 47.42 แอมแปร์

คิดค่าดีมานแฟคเตอร์ = 0.7

คิดจากการประมาณการใช้ไฟฟ้าในชั้นนั้น

<u>ชั้นที่ 4</u>

ตารางโหลดที่ 6.2 ค่าโหลดและกระแสชั้นที่4

LOAD CENTER	CONNECTED LOAD(VA)		
	ϕ_A	ϕ_B	ϕ_C
4LP	9880	9550	9560
LOAD CENTER	CONNECTED LOAD (A)		
	ϕ_A	ϕ_B	ϕ_C
4LP	30	32	28

คิดโหลดสูงสุดคือเฟส เอ = 9880/220

= 44.9 แอมแปร์

เซอร์กิตเบรคเกอร์ขนาด 100 AT

เลือกขนาดสายไฟ THW 25 mm^2

<u>จากการวัดโดยใช้คลิปแอมป์</u>

เลือกเฟส บี = 32 แอมแปร์

คิดเต้ารับ 30 ตัวในเฟสบี กำหนดวงจรละ 2400 วีเอ วงจรละ 10 ตัว

ค่ากระแสในเฟสซีเฉพาะเต้ารับ = 7200/220

= 32.72 แอมแปร์

รวม = 64.72 แอมแปร์

คิดค่าดีมานแฟคเตอร์ = 0.85

ชั้นที่ 5

ตารางโหลดที่ 6.2 ค่าโหลดและกระแสชั้นที่5

LOAD CENTER	CONNECTED LOAD(VA)		
	ϕ_A	ϕ_B	ϕ_C
5LP	15100	14830	14950
LOAD CENTER	CONNECTED LOAD (A)		
	ϕ_A	ϕ_B	ϕ_C
5LP	44	43	27

คิดโหลดสูงสุดคือเฟส เอ = 15100/220

= 68.63 แอมแปร์

เซอร์กิตเบรคเกอร์ขนาด 125 AT

เลือกขนาดสายไฟ THW 35 mm^2

<u>จากการวัดโดยใช้คลิปแอมป์</u>

เลือกเฟส เอ = 44 แอมแปร์

คิดเต้ารับ 36 ตัวในเฟสเอ กำหนดวงจรละ 2400 วีเอ วงจรละ 10 ตัว

ค่ากระแสในเฟสซีเฉพาะเต้ารับ = 8640/220

= 39.27 แอมแปร์

รวม = 83.27 แอมแปร์

คิดค่าดีมานแฟคเตอร์ = 0.6

คิดจากประมาณการใช้ไฟฟ้าในชั้นนั้น

ชั้นที่ 6

โหลดเซนเตอร์ 6LP คิดค่ากระแสโดยการใช้คลิปแอมป์

LOAD CENTER	CONNECTED LOAD (A)		
	ϕ_A	ϕ_B	ϕ_C
6LP	22.8	21.7	21

เลือกเฟส เอ = 22.8 แอมแปร์

คิดเต้ารับ 30ตัวในเฟส เอ กำหนดวงจรละ 2400 วีเอ วงจรละ 10 ตัว

ค่ากระแสในเฟส เอ เฉพาะเต้ารับ = 7200/220

= 32.72 แอมแปร์

รวม = 55.52 แอมแปร์

เซอร์เบรคเกอร์ขนาด 125 AT

ขนาดสายไฟ THW 35 mm^2

คิดค่าดีมานแฟคเตอร์ = 0.6

คิดจากการประมาณการใช้ไฟฟ้าในชั้นนั้น

<u>ชั้นที่ 7</u>

โหลดเซนเตอร์ 7LP คิดค่ากระแสโดยการใช้คลิปแอมป์

LOAD CENTER	CONNECTED LOAD (A)		
	ϕ_A	ϕ_B	ϕ_C
7LP	27.5	20.9	12.3

เลือกเฟส เอ = 27.5 แอมแปร์

คิดเต้ารับ 30ตัวในเฟส เอ กำหนดวงจรละ 2400 วีเอ วงจรละ 10 ตัว

ค่ากระแสในเฟส เอ เฉพาะเต้ารับ = 7200/220

= 32.72 แอมแปร์

รวม = 60.22 แอมแปร์

เซอร์เบรคเกอร์ขนาด 100 AT

ขนาดสายไฟ THW 25 mm^2

คิดค่าดีมานแฟคเตอร์ = 0.8

<u>ชั้นดาดฟ้า</u>

กำหนดขนาดลิฟท์คิดตัวละ 50 แอมแปร์

เซอร์กิตเบรคเกอร์ขนาด 60AT

เลือกสายไฟ THW ขนาด 10mm^2

ค่าดีมานแฟคเตอร์ = 1

6.2.2 การคำนวณระบบแอร์

กำหนดขนาดแอร์คอนดิชันประมาณ 500 ตัน โดยทำความเย็น 1ตันใช้ไฟประมาณ 1 กิโลวัตต์

คิดค่า เพาเวอร์แฟคเตอร์ 0.8 ฉะนั้นกินไฟ = 500/0.8

= 625000

กระแสมีค่า = $625000/(3^{1/2}*380)$

= 949.58 แอมแปร์

เซอร์กิตเบรคเกอร์ขนาด 1000 AT

เลือกสายไฟTHW ขนาด 600 mm^2

ค่าดีมานแฟคเตอร์ = 0.8

6.2.3 การคำนาณหาขนาดเซอร์กิตเบรคเกอร์หลัก

ไฟและเต้ารับ = 37.12+59.45+47.42+62.72+83.27+55.52+60.22

= 405.72 แอมแปร์

ปั๊มน้ำ = 37.1 แอมแปร์

ลิฟท์ 2 ตัว = 100

แอร์คอนดิชัน = 949.58 แอมแปร์

รวมกระแสทั้งหมด = 1492.4 แอมแปร์

แอร์เซอร์กิตเบรคเกอร์ขนาด 1600 AT

บัสบาร์ขนาด หนา 9.525 มิลลิเมตร กว้าง 101.60 มิลลิเมตร

ค่าดีมานแฟคเตอร์ = 0.7

โดยคิดจากการประมาณการใช้ไฟฟ้าในตึกอุตสาหการ

บทที่ 7

การออกแบบตู้ M.D.B.

การออกแบบอุปกรณ์ภายในตู้ M.D.B. 2 ประเภท คือ อุปกรณ์ป้องกัน และอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อวงจร (ขนาดของสาย) ในบทนี้จะทำการออกแบบอุปกรณ์วัด, อุปกรณ์ปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์และ อุปกรณ์การต่อลงดิน

7.1 กำหนดขนาดของมิเตอร์

7.1.1 โวลต์มิเตอร์

เลือกใช้โวลต์มิเตอร์ชนิดต่อตรง มีสเกลอ่านได้ 0-500 โวลต์ หรือตามแบบ Accuracy Class 1.5 หรือดีกว่า

7.1.2 โวลต์มิเตอร์เลือก

เลือกใช้โวลต์มิเตอร์เลือกชนิดเลือกได้ 7 จังหวะ (RS-ST-TR-O-RO-SO-TO) สำหรับไฟ 3 เฟส 4 สาย เพื่อวัดได้ทั้ง 3 เฟสและกับเส้นศูนย์ทั้งมีจังหวะปิดด้วย หรือใช้ชนิดเลือกได้ 4 จังหวะ (RS-ST-TR-O) สำหรับเฉพาะไฟ 3 เฟส 3 สาย

7.1.3 แอมป์มิเตอร์ เลือกใช้แอมป์มิเตอร์ชนิดใดก็ได้ดังต่อไปนี้

- Direct Connection Ammeter ขนาดและจำนวนตามที่กำหนดในแบบ Accuracy Class 1.5 หรือดีกว่า
- CT type Ammeter เป็นชนิดมีสเกลอ่านได้ตามขนาดอัตรากระแสด้านปฐมภูมิเป็นแบบใช้ต่อกับหม้อแปลงกระแส ชนิด 5 แอมแปร์ ขนาดอัตรากระแสด้านทุติยภูมิ Accuracy Class 1.5 หรือดีกว่า

7.1.4 แอมป์มิเตอร์เลือก

เลือกใช้ชนิดเลือกได้ 4 จังหวะเพื่อวัดกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 เฟสและมีจังหวะปิดด้วย (O-R-S-T) ทนกระแสไฟฟ้าได้ไม่ต่ำกว่า 10 แอมแปร์ สำหรับใช้กับแอมป์มิเตอร์แบบใช้หม้อแปลงกระแส

7.1.5 เพาเวอร์แฟคเตอร์มิเตอร์

เลือกใช้แบบสำหรับใช้ระบบไฟฟ้า 3 เฟส โดยต่อตรงเข้ากับระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ และหม้อแปลงกระแสชนิด 5 แอมแปร์ Secondary Class 1.5 หรือดีกว่า

7.1.6 ฟรีแควนซีมิเตอร์

เลือกใช้ชนิด Vibrating Type (13 Reed) สำหรับการต่อเข้ากับระบบไฟ 380 โวลต์ หรือ 220 โวลต์ วัดได้ระหว่าง 47-53 Hz , Accuracy $\pm$ 0.5 Hz (Accuracy Class 0.5)

7.1.7 กิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์

เลือกใช้ชนิด 1 เฟส หรือ 3 เฟส แบบธรรมดา หรือ Maximum Demand Type ตามที่กำหนด สำหรับต่อตรงหรือใช้กับหม้อแปลงกระแสระบบไฟฟ้า 380/220 โวลต์ 3 เฟส 4 สายหรือตามที่กำหนด Accuracy 2.5% หรือดีกว่า ผ่านการทดสอบโดยการไฟฟ้าท้องถิ่น

7.1.8 หม้อแปลงกระแส

เนื่องจากกระแสที่เข้าสู่ระบบทางด้าน เบรกเกอร์หลัก จะเป็นกระแสที่เข้าสู่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง ส่วนกระแสด้านออก กำหนดให้เป็น 5 แอมแปร์ ดังนั้นจะกำหนดพิกัดของกระแสได้เป็น ค่ากระแสทางด้านเข้า/กระแสด้านออก คือ 5 แอมแปร์ และจากการสมมุติให้มีกระแสเข้าทางด้าน เบรคเกอร์หลัก 922.7 แอมแปร์ หรือประมาณ 1000 แอมแปร์ ดังนั้น พิกัดกระแสที่ใช้จะเท่ากับ 1000/5

กำหนดให้ค่าเบอร์เด็นเท่ากับ 1.2 โอห์ม และค่าพลังงานของหม้อแปลงกระแสจะเป็น 30 โวลต์แอมแปร์ คำนวณได้ดังต่อไปนี้

ส่วนการกำหนดขนาดสายที่ต่อเข้าหม้อแปลงกระแส สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

หม้อแปลงกระแสมีค่ากระแสทางด้านทุติยภูมิเท่ากับ 5 แอมแปร์ และพิกัดเอาต์พุตเท่ากับ 30 โวลต์แอมแปร์ นำหม้อแปลงมาทำการต่อกับเครื่องวัดดังนี้

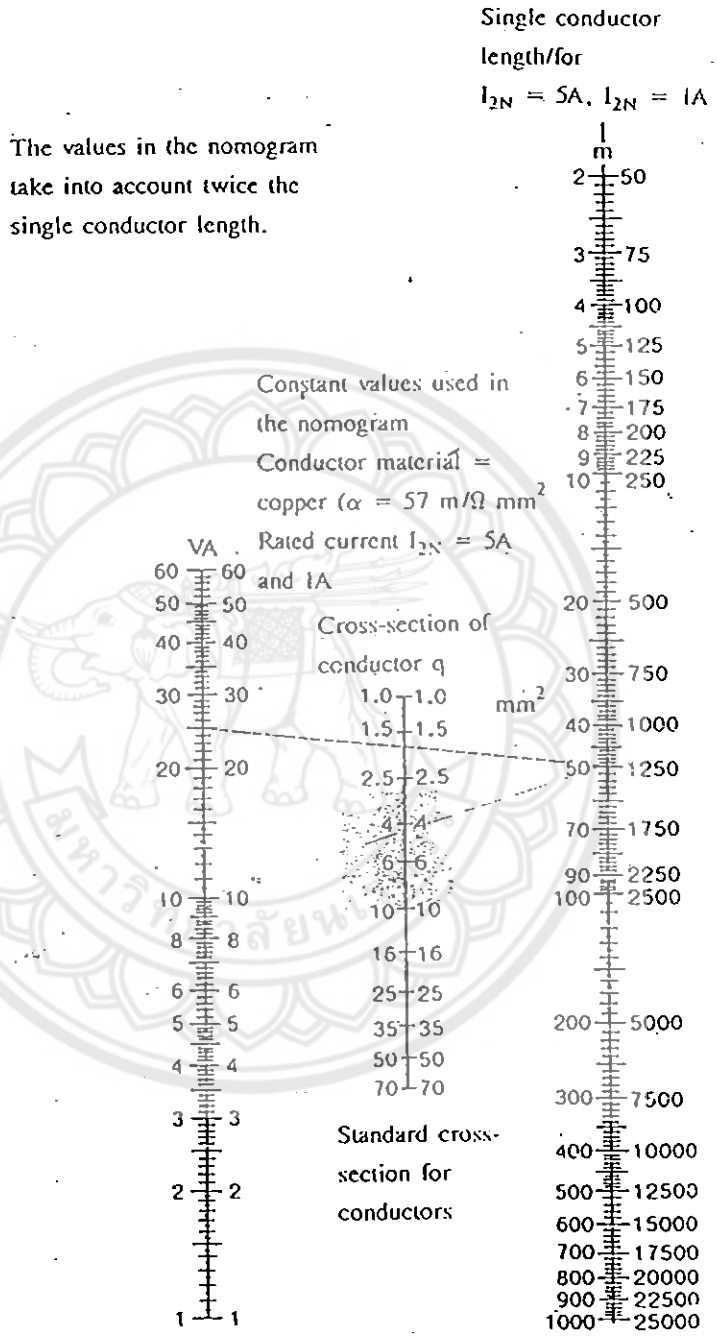
โวลต์มิเตอร์ 1 ตัว	1	โวลต์แอมแปร์
แอมป์มิเตอร์ 1ตัว	1	โวลต์แอมแปร์
กิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์ 1ตัว	1.5	โวลต์แอมแปร์
ฟรีแควนซีมิเตอร์ 1ตัว	2.5	โวลต์แอมแปร์
เพาเวอร์แฟคเตอร์มิเตอร์ 1ตัว	14	โวลต์แอมแปร์
รวมทั้งหมด	20	โวลต์แอมแปร์

วงจรทางด้านทุตยภูมิเป็นตัวนำเดี่ยว ที่มีความยาว 50 เมตร จงหาพื้นที่หน้าตัด (q) ของสายที่จะใช้ต่อกับหม้อแปลงกระแสนี้ทางด้านทุติยภูมิ

<u>วิธีทำ</u>	หม้อแปลงกระแสมีเอาต์พุต	30	โวลต์แอมแปร์
	ค่ากำลังไฟฟ้าเครื่องมือวัด	<u>-20</u>	โวลต์แอมแปร์
	ค่าเอาต์พุตของหม้อแปลงกระแสจริง	10	โวลต์แอมแปร์

จากโมโนแกรมจะได้ q 4.5 ตารางมิลิเมตร

เลือกพื้นที่หน้าตัด 6 ตารางมิลิเมตร



รูปที่ 7.1 โมโนแกรมการหาพื้นที่หน้าตัดของสายทางด้านทุติยภูมิ

อินดิเคเตอร์ แลมป์ (Indicator Lamps)

เลือกใช้ชนิดที่ผลิตตามมาตราฐาน DIN มีเลนส์สีด้านหน้า ใช้ 2 ชนิด ตามแรงดันไฟฟ้า ดังนี้

1. สำหรับ 220 โวลต์ใช้ฐานหลอดแบบ E14 และหลอดฟลูออเรสเซนต์
2. สำหรับกระแสไฟ 24 โวลต์ ใช้ฐานหลอดแบบ BA9 S หลอด 24 โวลต์ 3 วัตต์
3. สำหรับกระแสไฟ ตรงเกิน 24 โวลต์ ใช้แบบเดียวกับข้อ 2. แต่มีความต้านทานลดแรงดันไฟฟ้าลงมาเป็น 24 โวลต์

7.2 การกำหนดขนาดของอุปกรณ์ปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์

เลือกใช้ automatic p.f. เป็นอุปกรณ์ปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์ควบคุม ชุดตัดต่อคาปาซิเตอร์แบงค์ ชนิด multi step ขนาด 240 กิโลวาร์ จำนวน 24 ขั้นตอน

การคำนวณขนาดของสายไฟฟ้าและขนาดของคอนแทคเตอร์มีการคำนวณดังนี้

Automatic capacitor bank 5 step 5x50 =250 กิโลวาร์ 400 โวลต์ ต้องใช้สายไฟฟ้าและอุปกรณ์ตัดตอนขนาดเท่าใด

สายไฟฟ้า

ขนาดสายไฟสำหรับคาร์ปาซิเตอร์แต่ละตัว = 1.95x50

= 97.5 แอมป์

ขนาดสายไฟฟ้าของระบบ = 1.95x250

= 487.5 แอมป์

โมเดสเซอร์กิตเบรคเกอร์

โมเดสเซอร์กิตเบรคเกอร์ของคาร์ปาซิเตอร์แต่ละตัว = 1.95x50

= 97.5 แอมป์

ใช้โมเดสเซอร์กิตเบรคเกอร์ขนาด 100AT/100AF

โมเดสเซอร์กิตเบรคเกอร์หลัก = 1.95x250

= 487.5 แอมป์

ใช้โมเดสเซอร์กิตเบรคเกอร์หลักขนาด 500AT/600AF

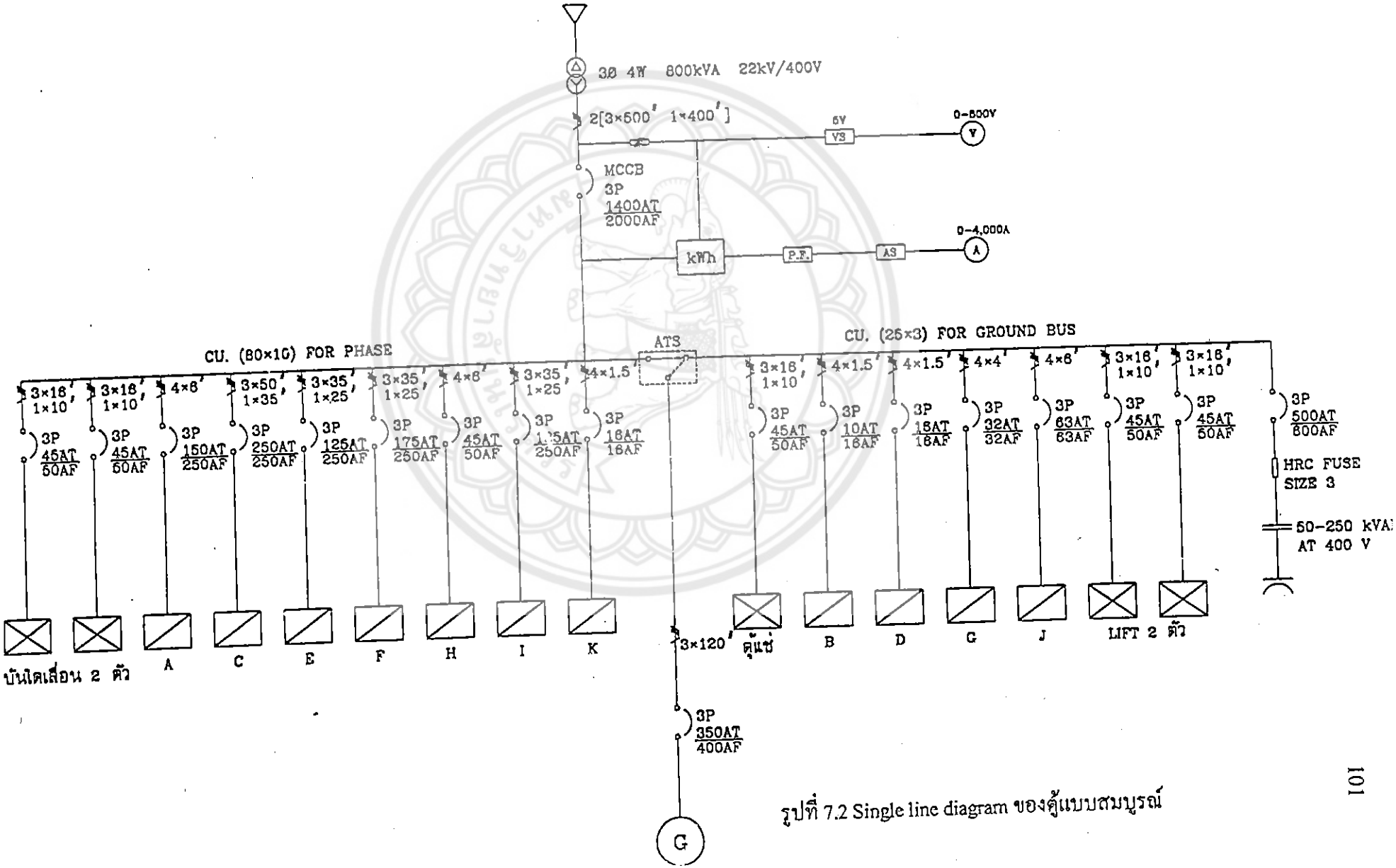
<u>คอนแทคเตอร์</u>

คอนแทคเตอร์ของคาร์ปาซิเตอร์แต่ละตัว = 2.17x50

= 108.5 แอมป์

<u>หมายเหตุ</u> ขนาดของตัวตัดต่อคาปาซิเตอร์แบงค์ คำนวณได้จาก 30 % ของขนาดหม้อแปลง คือ 800 กิโลโวลต์-แอมแปร์ (0.3x800 = 240) เลือกใช้คาปาซิเตอร์แบงค์ขนาด 250 กิโลวาร์

ซึ่งจากทั้งหมดดังได้แสดงมาแล้วขั้นต้น สามารถนำมาเขียน Single line diagram ได้ดังรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 Single line diagram ของตู้แบบสมบูรณ์

7.3 การต่อวงจรในแผงสวิตซ์จ่ายไฟ

ข้อกำหนดในการติดตั้งวงจรภายในตู้ M.D.B. ตามมาตราฐานมีดังนี้

1. ข้อต่อสาย ให้ใช้แบบเครื่องมือกลบีบ ขั้วต่อสายสำหรับสายอะลูมิเนียมต้องเป็นแบบที่ใช้ต่อกับท่อทองแดงและอะลูมิเนียมได้ ก่อนต่อสายอะลูมิเนียมกับขั้วต่อสาย ต้องทำความสะอาดสายอะลูมิเนียมก่อน และทาสีด้วยสารกันการเกิดออกซิได นอกจากมีสารนี้อยู่ในขั้วต่อสายอยู่แล้ว

2. สลักเกลียว แป้นเกลียวและแหวน สำหรับต่อบัสบาร์ให้ใช้ชนิด High-Tensile Steel , Electro-Galvanized or Chrome-Plated ให้ใช้จำนวนสลักและแป้นเกลียวให้เพียงพอแล้วขันด้วย Torque wrench เพื่อให้มีแรงกดบนผิวที่ต่อกันอย่างสม่ำเสมอ และได้แรงกด 50 กก./ตร.ซม.

3. การต่อสายไฟเข้ากับบัสบาร์ต้องผ่านขั้วต่อสาย การต่อขั้วต่อสายกับบัสบาร์ หรือต่อบัสบาร์กับบัสบาร์ให้ใช้สลักและแป้นเกลียวพร้อมแหวนสปริง (ถ้าใช้แหวนทรงฉิ่งจะดีกว่า) ก่อนต่อต้องทำความสะอาดตรงผิวสัมผัสด้วยแปรงโลหะ

4. การต่อทองแดงกับอะลูมิเนียม ต้องต่อผ่านตัวกลางที่มีผิวสัมผัสด้านหนึ่งใช้กับทองแดงและอีกด้านหนึ่งใช้กับอะลูมิเนียม การต่อให้ใช้สลักแป้นเกลียวและแหวนทรงฉิ่ง ก่อนต่อต้องทำความสะอาดตรงผิวสัมผัสด้วยแปรงโลหะ และทาสีด้วยสารกันการเกิดออกซิได ทางด้านที่เป็นอะลูมิเนียม

5. การต่อวงจรเพื่อการกำลังในแผงจ่ายไฟ เช่นระหว่างบัสบาร์กับสวิตซ์ตัดตอน เป็นต้น ให้ต่อด้วยสายทองแดงหุ้มฉนวนชนิดทนแรงดันได้ 750 โวลต์และทนความร้อนได้ไม่น้อยกว่า 75 องศาเซลเซียส หรือต่อด้วยบัสบาร์ทองแดงหุ้มฉนวนแบบหดตัวด้วยความร้อน ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ต่ำกว่าฉนวนของทองแดง ขนาดของสายทองแดงหรือบัสบาร์ต้องโตพอที่จะรับกระแสไฟฟ้าได้ไม่น้อยกว่าขนาดของแฟรมที่ 40 องศาเซลเซียส ของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่อเข้าหา หรือขนาดตามที่กำหนดในแบบ การต่อเข้าสวิตซ์ตัดตอนต้องขันด้วย Torque wrench

6. การต่อวงจรเพื่อการควบคุมหรือวงจรเครื่องวัด สายที่ใช้สำหรับวงจรควบคุมหรือวงจรเครื่องวัด ให้ใช้ชนิดทนแรงดันไฟฟ้าได้ 750 โวลต์ ฉนวนทนความร้อนได้ 70 องศาเซลเซียส สายที่อาจจะมีการเคลื่อนไหวให้ใช้สายอ่อน สายหลายเส้นที่เดินไปด้วยกันให้ใช้สีต่างกัน เพื่อความสะดวกในการบำรุงรักษาโดยต้องระบุไว้ในแบบการเดินสายภายในตู้ให้เดินในท่อหรือรางพลาสติก ช่วงที่เดินต่อเข้าอุปกรณ์ให้ท่อร้อยพลาสติกอ่อน การต่อสายเข้าอุปกรณ์ให้ต่อผ่านขั้วต่อสายชนิด 2 ด้าน ห้ามต่อตรงกับอุปกรณ์ ถ้ามีสายส่วนที่ต้องเดินอยู่นอกตู้ให้ใช้สายชนิดหลายแกน มีฉนวนและเปลือกนอก

7.4 สิ่งอำนวยความสะดวกในการเข้าสาย

แผงสวิตซ์จ่ายไฟแรงต่ำต้องมีสิ่งอำนวยความสะดวกในการเข้าสายดังนี้

1. สำหรับสวิตซ์แบบมีขั้ว แบบต่อสายไฟเข้าโดยตรง หรือโดยใช้ขั้วสายในเจาะช่องไว้ที่แผ่นโลหะด้านหลังสวิตซ์ สำหรับใช้ร้อยสายเข้าไปต่อกับสวิตซ์ ให้ใส่ยางรอบขอบแผ่นโลหะเพื่อกันบาดสาย ขนาดและตำแหน่งของช่อง ต้องให้เหมาะสมและสามารถร้อยสายเข้าไปได้ง่าย โดยไม่ต้องโค้งงอสายเกินควร

2. สำหรับสวิตซ์แบบมีขั้ว แบบใช้ต่อตรงกับบัสบาร์ ให้ใช้บัสบาร์ต่อออกไปสำหรับใช้นำสายไฟเข้ามาต่อ โดยให้เจาะรูไว้สำหรับใส่สลักและแป้นเกลียวได้ ปลายบัสบาร์ในช่องด้านหลังต้องมีฉนวนยึดให้มั่นคง ส่วนของบัสบาร์ที่ไม่มีสิ่งใดเข้ามาต่อให้หุ้มฉนวน

7.5 ข้อมูลของแผงสวิตซ์จ่ายไฟแรงต่ำ

แผงสวิตซ์จ่ายไฟแรงต่ำ ต้องมีข้อมูลขั้นต้นแสดงไว้เพื่อความสะดวกในการใช้งานและการบำรุงรักษาอย่างน้อยดังนี้

1. ป้ายแสดงชื่อและสถานที่ติดต่อของผู้ผลิต เป็นป้ายที่ทนทานไม่ลบเลือนง่าย ติดไว้ที่ตู้ด้านนอกตรงที่ๆเห็นได้ง่ายหลังจากการติดตั้งตู้แล้ว

2. ป้ายชื่อและตำแหน่งการใช้งานของอุปกรณ์ทุกชนิดที่ผู้เข้าปฏิบัติการต้องทราบ ป้ายชื่อใช้ภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษตามที่กำหนดให้ โดยแกะสลักบนแผ่นพลาสติก ติดให้มั่นคงถาวรที่ฝาตู้ด้านหน้าของช่องใส่อุปกรณ์นั้นๆ

3. ที่ฝาตู้ด้านที่เข้าปฏิบัติการให้ใช้สีพ่นเป็นแถบกว้าง พอให้เห็นได้ง่ายแสดงหน้าที่และความสัมพันธ์ ของอุปกรณ์ต่างๆ เป็น Single line

7.6 เครื่องมือบำรุงรักษา

1. ที่ข้างตู้แผงสวิตซ์จ่ายไฟแต่ละชุด ให้ติดตั้งเครื่องมือสำหรับปิดบานประตูด้านหน้าไว้ให้ 1 อัน โดยมีประกับติดรัดไว้กับประตูให้สูงประมาณ 1.8 เมตร

2.ให้จัดชุดเครื่องมือบำรุงรักษา ประกอบด้วยเครื่องเปิดบานประตูข้างหน้า 1 อัน , ไขควงสำหรับถอดสกรูยึดแผ่นโลหะ 1 อัน , กุญแจปากตายสำหรับขันสลักและแป้นเกลียวที่ใช้ยึดบัสบาร์ให้ครบทุกขนาดที่ต้องใช้ 1 อัน , Torque wrench ขนาดที่เหมาะสม 1 อัน , พร้อมหัวสำหรับขันสลักและแป้นเกลียวที่ใช้ยึดบัสบาร์และสวิตซ์ตัดตอนครบทุกขนาดที่ต้องใช้ 1 ชุด และกล่องโลหะสำหรับใส่เครื่องมือทั้งหมด ชุดเครื่องมือบำรุงรักษานี้ ให้จัดให้ตามจำนวนที่กำหนดในรายการ

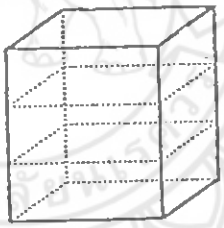
3. เครื่องมือดึงฟิวส์ทุกสถานที่ที่มีฟิวส์แรงต่ำ ต้องมีเครื่องมือดึงฟิวส์แรงต่ำ สำหรับใช้จับดึงได้ทุกขนาดให้ไว้เป็นประจำ 1 ชุด

7.7 การคำนวณการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในตู้

ในหัวข้อนี้จะทำการคำนวณการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่จุดต่างๆ ภายในตู้ M.D.B. เพื่อให้ได้อุณหภูมิของจุดนั้นๆ ภายในตู้ และสามารถนำไปพิจารณาดูว่าอุปกรณ์ต่างๆ สามารถทำงานได้อย่างปกติภายใต้อุณหภูมินั้น

วิธีการคำนวนนี้จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อเป็นไปตามข้อกำหนดทุกข้อดังต่อไปนี้

1. มีการกระจายกำลังสูญเสียอย่างเหมาะสมภายในตู้
2. อุปกรณ์ติดตั้งไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อการระบายอากาศ
3. อุปกรณ์ที่ติดตั้งถูกออกแบบมาสำหรับกระแสตรงหรือกระแสสลับ 0-60 เฮิรตซ์ การป้อนกระแสให้ไม่เกิน 3150 แอมป์
4. ตัวนำที่นำกระแสสูงและโครงสร้างต้องจัดให้ค่าของความสูญเสียจากกระแสไหลวน มีค่าน้อยไปมาก
5. สำหรับตู้ที่เปิดโล่ง หน้าตัดของทางระบายลม ออก ต้องเป็นอย่างน้อย 1 เท่าของหน้าตัดทางลมเข้า
6. ภายในตู้ไม่มีการประกอบ โดยแบ่งเป็นชั้นๆ ในแนวนอนมากกว่า 3 ส่วน เช่น



รูปที่ 7.3 โครงสร้างตู้ที่มีการแบ่งชั้นในแนวนอน 3 ส่วน

7. เมื่อตู้มีการเปิดเพื่อระบายอากาศ มีช่องขนาดของการเปิดเพื่อระบายอากาศต้องมีค่าอย่างน้อย 50% ของขนาดช่อง

การกำหนดขนาดของตู้

- ชนิด " A" ตู้ปิดทุกด้าน ที่ไม่มีส่วนเปิดเพื่อระบายอากาศ และมี effective cooling surface ,Se>1.25 m^2
- ชนิด " B " ตู้ปิดทุกด้าน ที่ไม่มีส่วนเปิดเพื่อระบายอากาศ และมี effective cooling surface, Se<1.25 m^2
- ชนิด " C " ตู้ที่มีการเปิดเพื่อระบายอากาศ และมี effective cooling surface, Se>1.25 m^2

การหาค่า effective cooling surface" Se "

ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในวิธีนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของตู้ ดังนั้นสิ่งที่ต้องทำสิ่งแรกคือ การหาชนิดของตู้ และเพื่อให้ได้มาซึ่งชนิดของตู้ เราจะต้องคำนวณหาค่า effective cooling surface ก่อน

$$Sc = (S1.b1) + (S2.b2) + (S3.b3) + (S4.b4) + (S5.b5)$$

เมื่อ Se มีหน่วยเป็น ตารางมิลิเมตร

S1,S2,S3,S4,S5 คือ พื้นที่ผิวด้านนอกในแต่ละด้านของตู้

b1,b2,b3,b4,b5 คือ corresponding surface factor "b"

(เลือกค่าจากตารางที่ 7.1 จะได้ค่า "b" จากด้านที่พิจารณาและชนิดของการติดตั้ง)

การคำนวณการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ด้านบนของตู้

เนื่องจากเราทราบชนิดของตู้ เราสามารถค่าของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น " ΔT " ที่ด้านบนของตู้ ได้ค่าของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนี้ คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายในตู้กับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมภายนอกตู้ ΔT มีหน่วยเป็น °K

$$\Delta T = K.c.dP^x$$

สัมประสิทธิ์ K,c,d และเลขชี้กำลัง x ขึ้นอยู่กับชนิดของตู้ A,B หรือ C

K คือ ค่าคงที่ของตู้ (enclosure constant) หาจากกราฟที่ จ-2 , จ-4 , จ-6 (ภาคผนวก จ)

c คือ ตัวประกอบการกระจายอุณหภูมิ (temperature rise factor) หาจากกราฟที่ จ-3 , จ-5 , จ-7 (ภาคผนวก จ)

d คือ ตัวประกอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ สามารถเลือกค่าได้จากตารางที่ 7.2

P คือ ค่ากำลังงานสูญเสียทั้งหมดของอุปกรณ์ที่ติดตั้งภายในตู้ มีหน่วยเป็นวัตต์ สามารถหาได้จาก ข้อมูลจากผู้ผลิต, คำนวณจากตัวนำ (บัสบาร์และเคเบิล)

x คือ เลขชี้กำลังของ ซึ่งจะเลือกค่าได้จากตารางที่ 7.3

การคำนวณการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ณ จุดใดๆ ภายในตู้

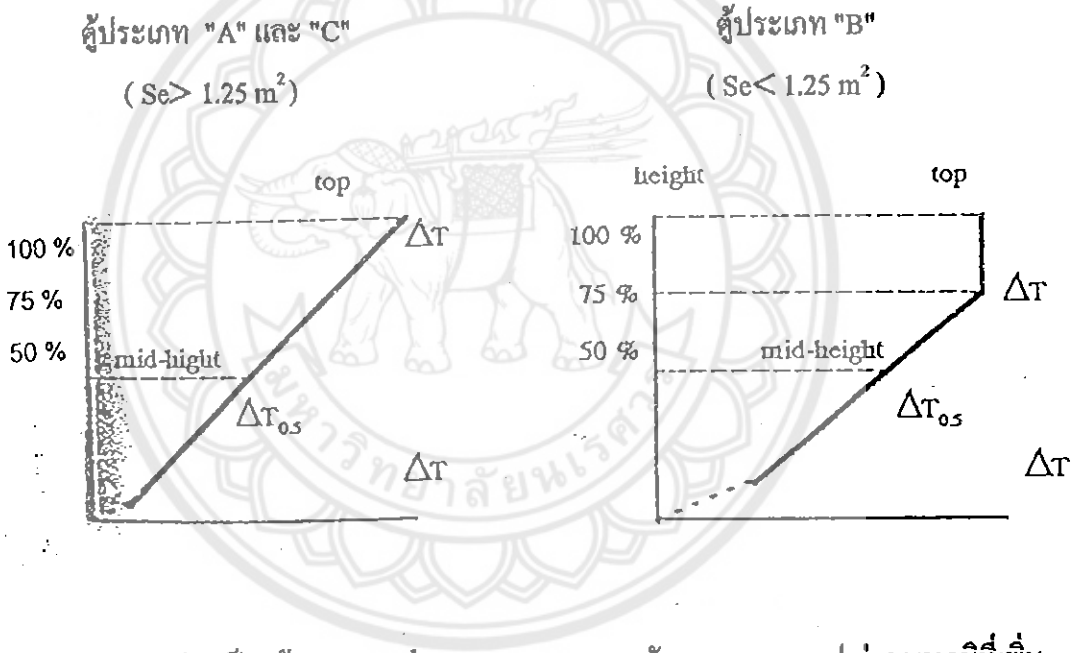
ก่อนหน้านี้ได้เริ่มทำการคำนวณจุดบนสุดของตู้ ในหัวข้อต่อไปนี้จะเป็นการประมาณค่าของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ณ จุดใดๆ ภายในตู้

เริ่มจากการหาค่า $\Delta T_{0.5,}$ เพิ่มขึ้นที่ตำแหน่งความสูงครึ่งหนึ่งของความสูงตู้ โดยการนำตัวประกอบการกระจายอุณหภูมิไปหาร ΔT ซึ่งเป็นค่าที่ตำแหน่งบนสุดของตู้

$$\Delta T_{0.5} = \Delta T/c$$

จากค่าที่จุด 2 จุดนี้ : ΔT (ที่ด้านบนสุดของตู้) และ $\Delta T_{0.5}$ (ที่จุดกึ่งกลางความสูง) เราจะสามารถหาลักษณะของกราฟการกระจายอุณหภูมิที่ความสูงต่างๆ กันภายในตู้ได้

ลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในตู้ (Temperature Rise Characteristics)



ลักษณะกราฟจะเป็นเส้นตรงลากผ่านจุด ΔT และ $\Delta T_{0.5}$ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่ด้านล่างของตู้จะใกล้เคียงศูนย์ (เส้นกราฟจะเข้าใกล้จุดที่ $\Delta T = 0$)

ลักษณะของกราฟ ค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่ความสูงตั้งแต่ 0.75 ขึ้นไปมีค่าคงที่คือ $\Delta T = \Delta T_{0.75}$ ดังนั้นกราฟจะได้เป็นเส้นเชื่อมต่อจุด $\Delta T_{0.75}$ กับ $\Delta T_{0.5}$ และบริเวณล่างจะเข้าสู่ศูนย์

กราฟที่ 7.1 การกระจายอุณหภูมิที่ความสูงต่างๆ กันภายในตู้

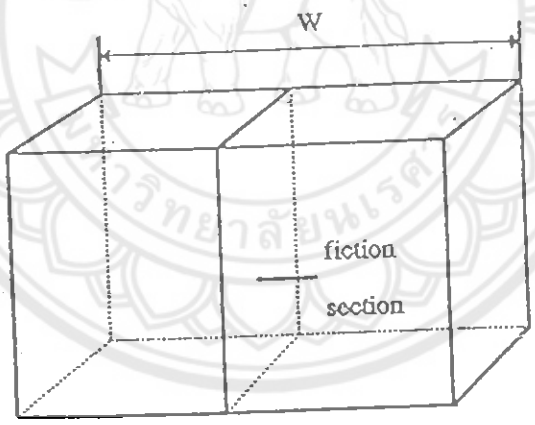
การหาผลการคำนวณ

ขณะนี้เราทราบค่าการเพิ่มของอุณหภูมิ ณ ความสูงต่างๆ ภายในตู้แล้ว สิ่งที่เหลือคือการนำไปบวกกับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ได้อุณหภูมิจริงๆ ของจุดนั้นๆ ภายในตู้ และพิจารณาดูว่าอุปกรณ์ต่างๆ สามารถทำงานได้อย่างปกติภายใต้อุณหภูมินั้นในขนาดกระแสที่ต้องการหรือไม่

ถ้าไม่เป็นไปตามความต้องการ เราต้องทำการเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆ แล้วทำการคำนวณใหม่

เกี่ยวกับโครงสร้าง

- สำหรับโครงสร้างที่มีส่วนของตู้ในแนวตั้งมากกว่า 1 ส่วน การคำนวณหาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในตู้จะต้องแบ่งคิดแยกที่ละส่วน
- ถ้าตู้ไม่มีการแบ่ง หรือในแต่ละส่วนของตู้มี effective cooling surface" Se " มากกว่า 11.5 ตารางมิลิเมตร ในการคำนวณจะต้องแบ่งโครงสร้างนั้นเป็น fiction section ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับที่จะกล่าวต่อไปนี้
- ในกรณีนี้ สำหรับการหาค่า surface factor "b" ตารางที่ 7.1 ด้านที่เรียกว่า จะไม่นำมาคิด



รูปที่ 7.4 โครงสร้างตู้ที่มีการแบ่งชั้นในแนวตั้งมากกว่า 1 ส่วน

ตารางที่7.1: surface factor "b"

ตามชนิดของการติดตั้ง	
ส่วนบนเปิดโล่ง	b =1.4
ส่วนบนปิดมิด	b = 0.7
ด้านข้างเปิดโล่ง(ด้านหน้า ด้านข้าง ด้านหลัง)	b = 0.9
ด้านข้างปิดมิด	b = 0.5
ส่วนของพื้นตู้	ไม่นำมาคิด
fiction section ที่สมมุติขึ้นเพื่อการคำนวณ	ไม่นำมาคิด

ตารางที่7.2 Factor "d" ตามจำนวนชั้นในแนวนอนของตู้ "n"

ตู้ชนิด A		ตู้ชนิด B		ตู้ชนิด C	
n	d	n	d	n	d
0	1	-	-	0	1
1	1.05	-	-	1	1.05
2	1.15	-	-	2	1.15
3	1.3	-	-	3	1.3

ในการคำนวณ ไม่คำนึงค่า n และ d

ตารางที่7.3 เลขชี้กำลัง x

ตู้ชนิด A	ตู้ชนิด B	ตู้ชนิด C
0.804	0.804	0.715

บทที่ 8

การทดสอบตู้ M.D.B.

จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ ได้กล่าวถึง การทดสอบตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าไว้ดังนี้

8.1 การแบ่งประเภทของการทดสอบ

การทดสอบเพื่อทวนสอบคุณลักษณะของตู้ไฟฟ้าประกอบ

- การทดสอบเฉพาะแบบ
- การทดสอบประจำ

หมายเหตุ รายการทวนสอบ และการทดสอบตู้ไฟฟ้าเฉพาะแบบ และบางส่วน แสดงในตารางที่ 8.1

8.1.1 การทดสอบเฉพาะแบบ

การทดสอบเฉพาะแบบใช้เพื่อทวนสอบว่าตู้ไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นเหมือนกัน หรือมีการออกแบบเหมือนหรือคล้ายกัน ว่าตู้แบบนั้นๆ มีคุณลักษณะที่ต้องการเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่ โดยให้และผู้ทำการทดสอบเฉพาะแบบกับตู้ไฟฟ้าต้นแบบ

การทดสอบเฉพาะแบบประกอบด้วย

- การทดสอบขีดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น
- การทวนสอบคุณสมบัติไดอิเล็กตริก
- การทวนสอบความคงทนการลัดวงจร
- การทวนสอบความต่อเนื่องของวงจรป้องกัน
- การทวนสอบระยะห่างในอากาศ และระยะห่างตามผิวฉนวน
- การทวนสอบระดับการป้องกัน
- การทวนสอบระดับการปฏิบัติงานทางกล

การทดสอบเหล่านี้อาจดำเนินการไม่เรียงลำดับ และหรือใช้ตู้ไฟฟ้าแบบเดียวกันกับตัวอย่างต่างๆถ้ามีการดัดแปลงส่วนประกอบบางส่วนของตู้ไฟฟ้า ให้ทำการทดสอบเฉพาะแบบใหม่เฉพาะราย

8.1.2 การทดสอบประจำ

การทดสอบประจำมีไว้เพื่อตรวจหาความผิดพร่องของวัสดุ และฝีมือแรงงาน ให้ทดสอบตู้ไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นใหม่ทุกตู้หลังประกอบเสร็จ หรือแต่ละหน่วยที่ขนส่งไม่จำเป็นต้องทดสอบประจำที่จุดติดตั้งอีก ตู้ไฟฟ้าซึ่งประกอบจากส่วนประกอบมาตรฐาน ที่ทำขึ้นนอกโรงงานผู้ประกอบโดยมีการกำหนด หรือจ่ายให้ผู้ประกอบสำหรับวัตถุประสงค์นี้โดยเฉพาะ ให้ผู้ประกอบตู้ไฟฟ้าทำการทดสอบประจำ

การทดสอบประจำประกอบด้วย

- การตรวจพินิจตู้ไฟฟ้า รวมถึงตรวจพินิจการเดินสายไฟฟ้า และถ้าจำเป็นให้ทดสอบการทำงานทางไฟฟ้า
- การทดสอบไดอิเล็กทริก
- การทดสอบมาตรฐานการป้องกัน และความต่อเนื่องทางไฟฟ้าของวงจรป้องกัน

การทดสอบเหล่านี้จะเรียงลำดับอย่างไรก็ได้

หมายเหตุ ผลการทดสอบประจำที่โรงงานผู้ทำ ไม่เป็นการละเว้นการทดสอบของกิจการที่ทำหน้าที่ติดตั้งภายหลังการขนส่ง และติดตั้ง

8.1.3 การทดสอบอุปกรณ์ และส่วนประกอบเบ็ดเสร็จ (Self Contain)

การทดสอบอุปกรณ์ และส่วนประกอบเบ็ดเสร็จ ที่ติดตั้งภายในตู้ไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องทดสอบเฉพาะแบบหรือทดสอบประจำกับอุปกรณ์ และส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องภายในตู้ไฟฟ้าเมื่อเลือกอุปกรณ์ และส่วนประกอบเบ็ดเสร็จเหล่านี้ตามคำแนะนำของผู้ทำ

ตารางที่ 8.1 รายการทวนสอบ และทดสอบทำกับตู้ไฟฟ้าทดสอบเฉพาะแบบ และตู้ไฟฟ้าทดสอบเฉพาะแบบบางส่วน

ลำดับ	คุณลักษณะที่ตรวจสอบ	ข้อย่อย	ตู้ไฟฟ้าทดสอบเฉพาะแบบ	ตู้ไฟฟ้าทดสอบเฉพาะแบบบางส่วน
1.	ขีดจำกัดการของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น	8.2.1	การทดสอบขีดจำกัดของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นโดยการทดสอบ (การทดสอบเฉพาะแบบ)	การทดสอบขีดจำกัดของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นโดยการทดสอบ หรือการใช้การประมาณค่านอกช่วงจากตู้ไฟฟ้าทดสอบเฉพาะแบบ

ลำดับ	คุณลักษณะที่ตรวจสอบ	ข้อย่อย	ตู้ไฟฟ้าทดสอบเฉพาะแบบ	ตู้ไฟฟ้าทดสอบเฉพาะแบบบางส่วน
2.	คุณลักษณะไดอิเล็กตริก	8.2.2	การทดสอบคุณสมบัติไดอิเล็กตริกโดยการทดสอบ (การทดสอบเฉพาะแบบ)	การทดสอบคุณสมบัติไดอิเล็กตริก โดยการทดสอบตามข้อ 8.2.2 หรือ 8.2.3 หรือโดยการทดสอบความต้านทานของฉนวนตามข้อ 8.3.4
3.	ความคงทนการลัดวงจร	8.2.3	การทดสอบความคงทนการลัดวงจรโดยการทดสอบ (การทดสอบเฉพาะแบบ)	การทดสอบความคงทนการลัดวงจรโดยการทดสอบ หรือโดยประมาณค่านอกช่วงจากการเตรียมการทดสอบเฉพาะแบบที่คล้ายกัน
4.	ประสิทธิผลของวงจรป้องกันประสิทธิผลการต่อระหว่างส่วนที่นำไฟฟ้าที่เปิดโล่งของตู้ไฟฟ้ากับวงจรป้องกัน	8.2.4 8.2.4.1	การทดสอบประสิทธิผลของการต่อระหว่างส่วนที่นำไฟฟ้าได้เปิดโล่งของตู้ไฟฟ้ากับวงจรป้องกันโดยการตรวจพินิจ หรือโดยการวัดความต้านทาน (การทดสอบเฉพาะแบบ)	การทดสอบประสิทธิผลของการต่อระหว่างส่วนที่นำไฟฟ้าได้เปิดโล่งของตู้ไฟฟ้ากับวงจรป้องกันโดยการตรวจพินิจหรือโดยการวัดความต้านทาน
	ความคงทนการลัดวงจรของวงจรของวงจรป้องกัน	8.2.4.2	การทดสอบความคงทนการลัดวงจรของวงจรป้องกันโดยการทดสอบ (การทดสอบเฉพาะแบบ)	การทดสอบความคงทนการลัดวงจรของวงจรป้องกันโดยการทดสอบ หรือโดยการออกแบบที่เหมาะสมและการเตรียมตัวนำป้องกัน

ลำดับ	คุณลักษณะที่ตรวจสอบ	ข้อย่อย	ตู้ไฟฟ้าทดสอบเฉพาะแบบ	ตู้ไฟฟ้าทดสอบเฉพาะแบบบางส่วน
5.	ระยะห่างในอากาศ และระยะห่างตามผิวฉนวน	8.2.5	การทดสอบระยะห่างในอากาศ และระยะห่างตามผิวฉนวน	การทดสอบระยะห่างในอากาศ และระยะห่างตามผิวฉนวน
6.	การปฏิบัติงานทางกล	8.2.6	การทวนสอบการปฏิบัติงานทางกล (การทดสอบเฉพาะแบบ)	การทวนสอบการปฏิบัติงานทางกล
7.	ระดับการป้องกัน	8.2.7	การทวนสอบระดับของการป้องกัน (การทดสอบเฉพาะแบบ)	การทวนสอบระดับของการป้องกัน
8.	การเดินสาย การทำงานทางไฟฟ้า	8.3.1	ตรวจพินิจไฟฟ้ารวมถึงตรวจสอบการเดินสาย และถ้าจำเป็นทดสอบการทำงานทางไฟฟ้า (การทดสอบประจำ)	ตรวจพินิจไฟฟ้ารวมถึงตรวจสอบการเดินสาย และถ้าจำเป็นทดสอบการทำงานทางไฟฟ้า
9.	ฉนวน	8.3.2	การทดสอบไดอิเล็กตริก (การทดสอบประจำ)	การทดสอบไดอิเล็กตริก หรือทวนสอบความต้านทานฉนวนตามข้อ 8.3.4
10.	มาตรการป้องกัน	8.3.3	ตรวจสอบมาตรการป้องกัน และความต่อเนื่องทางไฟฟ้าของวงจรป้องกัน	ตรวจสอบมาตรการป้องกัน
11.	ความต้านทานฉนวน	8.3.4		การทวนสอบความต้านทานฉนวนถ้าไม่มีการทดสอบตามข้อ 8.2.2 หรือ 8.2.3 มาก่อน

การทวนสอบขีดจำกัดของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น สำหรับการทดสอบตู้ไฟฟ้าเฉพาะแบบบางส่วน สามารถทำได้ทั้ง

- การทดสอบตามข้อ 8.2.1 หรือ
- การประมาณค่านอกช่วง

หมายเหตุ ตัวอย่างวิธีประมาณค่านอกช่วงแสดงใน IEC 890

8.2 การทดสอบเฉพาะแบบ

8.2.1 การทดสอบขีดจำกัดของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

8.2.1.1 ทั่วไป

การทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เพื่อทวนสอบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสำหรับส่วนต่างๆ ของตู้ไฟฟ้าการทดสอบ โดยปกติต้องทำที่ค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดตามข้อ 8.2.1.3 กับเครื่องสำเร็จที่ติดตั้งในตู้ไฟฟ้า ซึ่งการทดสอบอาจกระทำด้วยตัวต้านทาน ให้ความร้อนที่มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียเทียบเท่าตามข้อ 8.2.1.4 ได้ และให้ทดสอบตู้ไฟฟ้าแต่ละส่วน (แผง กล่อง สิ่งปิดหุ้มอื่นๆ) แยกกันได้ ทั้งนี้ให้ ระมัดระวังเพื่อให้การทดสอบเชื่อถือได้

การทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของแต่ละวงจร ต้องใช้แบบกระแสไฟฟ้าที่ถูกต้อง และความถี่ที่ออกแบบ แรงดันไฟฟ้าทดสอบที่ใช้ ต้องเป็นแบบแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจรไฟฟ้าเท่ากับ กระแสไฟฟ้าที่คำนวณได้ตามข้อ 8.2.1.3 ต้องป้อนแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดให้กับขดลวดของรีเลย์ คอนแทคเตอร์ ตัวปล่อย และอื่นๆ

สำหรับตู้ไฟฟ้าแบบเปิดไม่จำเป็นต้องทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ถ้าปรากฏชัดจากการทดสอบเฉพาะแบบของแต่ละส่วน หรือจากขนาดของตัวนำ และจากการจัดเรียงเครื่องสำเร็จว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะไม่สูงเกินที่กำหนด และไม่เกิดความเสียหายกับบริภัณฑ์ที่ต่อกับตู้ไฟฟ้า และวัสดุที่ฉนวนข้างเคียง

8.2.1.2 การเตรียมการตู้ไฟฟ้า

ต้องเตรียมตู้ไฟฟ้าให้อยู่ในสภาพใช้งานปกติ ฝาปิด และอื่นๆ อยู่ในตำแหน่ง เมื่อทดสอบแยกแต่ละส่วน หรือหน่วยโครงสร้างแต่ละหน่วย ส่วนข้างเคียง หรือหน่วยโครงสร้างข้างเคียงต้องทำให้เกิดอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิ ในภาวะใช้งานปกติ อาจใช้วัดตัวต้านทานให้ความร้อนได้

8.2.1.3 การทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

การทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น โดยการป้อนกระแสไฟฟ้ากับเครื่องสำเร็จทั้งหมดให้ทำการทดสอบกับส่วนผสมของวงจรไฟฟ้าหนึ่งหรือมากกว่า สำหรับตู้ไฟฟ้าที่ออกแบบทั้งนี้เพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสูงสุด ที่เป็นไปได้อย่างแม่นยำพอประมาณ

สำหรับการทดสอบนี้ วงจรไฟฟ้าแต่ละวงจรจะได้รับกระแสไฟฟ้าที่กำหนด คูณกับตัวประกอบไดเวอร์ซิตี้ ถ้าตู้ไฟฟ้ามีฟิวส์ ให้ใส่เส้นฟิวส์ร่วมในการทดสอบตามที่ผู้ทำระบุขนาด และการจัดวางตัวนำภายนอกที่ใช้ในรายงานผลการทดสอบด้วย

เวลาที่ใช้ในการทดสอบต้องเพียงพอให้อุณหภูมิขึ้นถึงค่าคงที่ (ปกติไม่เกิน 8 ชั่วโมง)ในทางปฏิบัติจะถึงภาวะนี้ เมื่อความแปรผันไม่เกิน 1 องศาเคลวิน / ชั่วโมง

หมายเหตุ 1. เพื่อลดเวลาการทดสอบ ถ้าอุปกรณ์รับได้เพิ่มกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในช่วงแรกของการทดสอบ และลดลงเหลือ ให้เท่ากับกระแสไฟฟ้าที่กำหนดภายหลังจากนั้น

2. เมื่อให้พลังงานกับตัวแม่เหล็กไฟฟ้าควบคุมขณะทำการทดสอบ ให้วัดอุณหภูมิเมื่อถึงจุดสมดุลความร้อนทั้งที่วงจรหลัก และตัวแม่เหล็กไฟฟ้าควบคุม

ในกรณีไม่มีรายละเอียดข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตัวนำภายนอก และภาวะการใช้งาน ให้ใช้พื้นที่หน้าตัดของตัวนำทดสอบภายนอกต่อไปนี้

1) สำหรับค่ากระแสไฟฟ้าทดสอบเท่ากับ และต่ำกว่า 400 แอมแปร์

(1.1) ตัวนำต้องมีสายแกนกลางแกนเดียว เป็นสายทองแดงหรือสายหุ้มฉนวนที่มีพื้นที่หน้าตัดตามตารางที่ 8.2

(1.2) ตัวนำต้องเดินสายลอยในอากาศ มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ในทางปฏิบัติ

(1.3) ความยาวต่ำสุดสำหรับการต่อชั่วคราว จากขั้วต่อสายถึงขั้วต่อสายต้องเท่ากับ

- 1 เมตร สำหรับพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ และต่ำกว่า 35 ตารางมิลลิเมตร
- 2 เมตร สำหรับพื้นที่หน้าตัดสูงกว่า 35 ตารางมิลลิเมตร

ตารางที่ 8.2 พื้นที่หน้าตัดมาตราฐานของตัวนำทองแดงสมนัยกับกระแสไฟฟ้าทดสอบ

ช่วงกระแสไฟฟ้าทดสอบ[1] แอมแปร์	0 7.9	7.9 15.9	15.9 22	22 30	30 39	39 54	54 72	72 93	93 117	117 147	147 180	180 216	216 250	250 287	287 334	334 400
S ตารางมิลลิเมตร	1	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
ค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนด[2] แอมแปร์	6	8 10 12	16 20	25	32	40 50	63	80	100	125	160	200	250	-	315	400

1) ค่ากระแสไฟฟ้าทดสอบสูงกว่า 400 แอมแปร์ แต่ไม่เกินกว่า 800 แอมแปร์

2) เป็นการแนะนำค่ากระแสไฟฟ้ามาตรฐาน และมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้งานอ้างอิงเท่านั้น

2) สำหรับค่ากระแสไฟฟ้าทดสอบสูงกว่า 400 แอมแปร์ แต่ไม่เกินกว่า 800 แอมแปร์

(2.1) ตัวนำต้องเป็นสายแกนเดี่ยวหุ้มด้วยฉนวนโพลีไวนิลคลอไรด์สายทองแดง ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดตามตารางที่ 8.3 หรือทองแดงเทียบเท่าตามตารางที่ 8.3 ทั้งนี้ตามคำแนะนำของผู้ทำ

(2.2) สายไฟฟ้าหรือแท่งทองแดง ต้องเว้นช่องว่างระหว่างกันโดยประมาณเท่ากับระยะระหว่างขั้วต่อสาย ต้องทาหรือเคลือบแท่งทองแดงด้วยสีดำด้าน ขั้วต่อสายที่มีสายต่อขนานหลายสายต้องมัดเข้าด้วยกัน และเว้นช่องว่างระหว่างกัน 10 มิลลิเมตร โดยประมาณแท่งทองแดงหลายแท่งต่อขั้ว ต่อสายหนึ่งขั้ว ต้องเว้นช่องว่างเท่ากับความหนาของแท่งตัวนำโดยประมาณ ถ้าขนาดที่ระบุสำหรับแท่งทองแดงไม่เหมาะสม สำหรับขั้วต่อสาย หรือที่มีผิวระบายความร้อนเท่ากับหรือน้อยกว่าสายไฟหรือแท่งทองแดงต้องไม่วางสลับกัน

(2.3) สำหรับการทดสอบเฟสเดียวหรือหลายเฟส ความยาวต่ำสุดของการต่อชั่วคราวถึงแหล่งจ่ายทดสอบต้องเป็น 2 เมตร ความยาวต่ำสุดของจุดสตาร์ทอาจลดเหลือ 1.2 เมตรก็ได้

3) สำหรับค่ากระแสไฟฟ้าทดสอบสูงกว่า 80 แอมแปร์แต่ไม่เกินกว่า 3,150 แอมแปร์

(3.1) ถ้าไม่ได้ออกแบบตู้ไฟฟ้าให้ต่อด้วยสายเท่านั้น ต้องใช้แท่งตัวนำทองแดงขนาดตามระบุในตารางที่ 8.3 ในกรณีนี้ผู้ทำต้องระบุขนาดและการจัดเรียงของสาย

(3.2) สายไฟหรือแท่งทองแดงต้องเว้นช่องว่างระหว่างกัน โดยประมาณเท่ากับระยะระหว่างขั้วต่อสาย ต้องทาหรือเคลือบแท่งทองแดงด้วยสีดำด้าน ขั้วต่อสายที่มีแท่งทองแดงหลายแท่งต่ออยู่ ต้องเว้นช่องว่างระหว่างกันโดยประมาณเท่ากับความหนาของแท่งตัวนำ ถ้าขนาดที่ระบุสำหรับแท่งทองแดงไม่เหมาะสมสำหรับขั้วต่อสายหรือไม่มีใช้ยอมให้ใช้แท่งตัวนำอื่นหลายๆแท่งที่มีหน้าตัดเท่ากันโดยประมาณหรือมีผิวระบายความร้อนเท่ากับหรือน้อยกว่า แท่งทองแดงต้องไม่วางสลับกัน

(3.3) สำหรับการทดสอบเฟสเดียวกันหรือหลายเฟส ความยาวต่ำสุดของการต่อชั่วคราวถึงแหล่งจ่ายทดสอบต้องเป็น 3 เมตร แต่อาจลดเหลือ 2 เมตรได้ ถ้าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่ปลายของจุดต่อแหล่งจ่ายต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ที่จุดกึ่งกลางความยาวของการต่อเกิน 5 องศาเคลวิล ความยาวต่ำสุดถึงจุดสตาร์ทต้องเป็น 2 เมตร

ตารางที่ 8.3 ขนาดหน้าตัดมาตราฐานของตัวนำทองแดงสมนัยกับ กระแสไฟฟ้าทดสอบ

กระแสไฟฟ้าที่กำหนด (แอมแปร์)	ช่วงของกระแสไฟฟ้าทดสอบ (แอมแปร์)	ตัวนำทดสอบ			
		สายไฟ		แท่งทองแดง	
		จำนวน	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	จำนวน	มิติ(mm)
500	400-500	2	150(16)	2	30*5(15)
630	500-630	2	185(18)	2	40*5(15)
800	630-800	2	240(21)	2	50*5(17)
1000	800-1000			2	60*5(19)
1250	1000-1250			2	80*5(20)
1600	1250-1600			2	100*5(23)
2000	1600-2000			3	100*5(20)
2500	2000-2500			4	100*5(21)
3150	2500-3150			3	100*10(23)

4) สำหรับค่ากระแสไฟฟ้าทดสอบสูงกว่า 3,150 แอมแปร์

ข้อตกลงระหว่างผู้ทำและผู้ใช้ต้องครอบคลุมถึงรายการที่เกี่ยวข้องในการทดสอบเช่น ประเภทของแหล่งจ่ายไฟ จำนวนเฟสและความถี่(เมื่อมีที่ใช้)ขนาดหน้าตัดของตัวนำทดสอบ เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้ต้องเป็นส่วนหนึ่งของรายงานการทดสอบ

หมายเหตุ ในทุกกรณี การใช้ไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟส สำหรับทดสอบตู้ไฟฟ้าหลายเฟสยอมให้ใช้ได้เฉพาะ ถ้าผลกระทบจากความเป็นแม่เหล็กน้อยพอที่จะละเลยได้ โดยต้องพิจารณาอย่างละเอียด เมื่อกระแสไฟสูงกว่า 400 แอมแปร์

8.2.1.4 การทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

โดยใช้ตัวต้านทานให้ความร้อน ที่มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียเทียบเท่าสำหรับตู้ไฟฟ้าแบบปิดหุ้มบางประเภท ซึ่งวงจรหลักและวงจรช่วยมีกระแสไฟฟ้าที่กำหนดต่ำโดยการเปรียบเทียบกันกำลังไฟฟ้าสูญเสียอาจจำลองได้โดยใช้วิธีตัวต้านทานให้ความร้อน ซึ่งให้ขนาดความร้อนเท่ากันติดตั้งที่ตำแหน่งเหมาะสมภายในสิ่งปิดหุ้ม ขนาดหน้าตัดของตัวนำที่ต่อกับตัวต้านทานเหล่านี้ต้องไม่นำความร้อนออกไปนอกสิ่งปิดหุ้ม

การทดสอบด้วยตัวต้านทานให้ความร้อนนี้พิจารณาใช้เป็นตัวแทนอย่างสมเหตุสมผลกับตู้ไฟฟ้าที่มีสิ่งปิดหุ้มแบบเดียวกันได้ แม้จะติดตั้งเครื่องสำเร็จแตกต่างกันถ้าผลของกำลังไฟฟ้าสูญเสียของเครื่องสำเร็จติดตั้งภายในตู้ไฟฟ้า เมื่อพิจารณาตัวประกอบไดเวอร์ซิตี้แล้ว ไม่สูงเกินกว่าค่าที่ใช้ในการทดสอบและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของเครื่องสำเร็จติดตั้งภายในตู้ไฟฟ้า ต้องไม่สูงเกินกว่าในตารางที่ 8.4 อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนี้สามารถคำนวณโดยประมาณได้จากอุณหภูมิที่สูงขึ้นของเครื่องสำเร็จ เมื่อวัดในอากาศเปิดโล่ง รวมกับผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายในสิ่งปิดหุ้ม และอุณหภูมิอากาศภายนอกสิ่งปิดหุ้ม

ตารางที่ 8.4 ขีดจำกัดของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

ส่วนของตู้ไฟฟ้า	อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น(K)
ส่วนประกอบติดตั้งภายใน [1)]	เป็นไปตามคุณลักษณะที่ต้องการที่เกี่ยวข้องสำหรับส่วนประกอบแต่ละชิ้นถ้ามี หรือตามคำแนะนำของผู้ทำ โดยพิจารณาถึงอุณหภูมิภายในตู้ไฟฟ้า
ขั้วต่อสำรับตัวนำหุ้มฉนวนภายนอก	70[2)]
สิ่งปิดหุ้มภายนอก และฝาปิดที่สามารถเข้าถึงได้	
ผิวโลหะ	30[4)]
ผิวฉนวน	40[4)]
การจัดแยกของการต่อของเต้าเสียบและเต้ารับ	กำหนดโดยขีดจำกัดขององค์ประกอบที่สัมพันธ์กับบริภัณฑ์ที่ประกอบเป็นชิ้นส่วนนั้น

1) ส่วนประกอบติดตั้งภายใน
-สวิตช์เกียและคอนโทรลเกียร์แบบใช้กันทั่วไป
-ตู้ไฟฟ้าย่อยอิเล็กทรอนิกส์ (เช่น เครื่องเรียงกระแสตรงแบบบริดจ์ วงจรแผ่นพิมพ์)
-ส่วนของบริภัณฑ์ (เช่น ตัวคุมค่า เครื่องสร้างเสถียรภาพการจ่ายไฟ วงจรขยายทำงาน

2) ขีดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 70 K° เป็นค่าพื้นฐานจากการทดสอบทั่วไปในข้อ 8.2.1 ตู้ไฟฟ้าที่ใช้หรือทดสอบภายใต้สภาวะการติดตั้ง ซึ่งอาจมีผลต่อแบบเดิมหรือมีตำแหน่งแตกต่างจากที่ระบุสำหรับการทดสอบความแตกต่างของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ณ ขั้วต่อ อาจเกิดขึ้นและอาจให้แก้ไขหรือยอมรับได้

3) ส่วนที่ทำงานด้วยมือ หมายถึง ส่วนภายในตู้ไฟฟ้า ซึ่งเข้าถึงได้เฉพาะหลังจากเปิดตู้ไฟฟ้า เช่น มือจับฉุกเฉิน มือจับดึงออก ซึ่งใช้งานไม่บ่อย อาจยอมให้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นได้

4) ถ้าไม่ระบุไว้เป็นอย่างอื่น ในกรณีที่ฝาปิดและสิ่งปิดหุ้ม ซึ่งเข้าถึงได้แต่ไม่จำเป็นต้องสัมผัสขณะใช้งานปกติอนุโลมให้ขีดจำกัดอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นได้อีก 10 K°

5) อนุโลมให้ใช้บริภัณฑ์ (เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์) มีขีดจำกัดของอุณหภูมิเพิ่มขึ้นแตกต่างจากอุปกรณ์ที่ปกติเกี่ยวข้องกับ สวิตช์เกียร์ และคอนโทรลเกียร์ได้

8.2.1.5 การวัดอุณหภูมิ

การวัดอุณหภูมิ ให้ใช้เทอร์โมคัปเปิล หรือเทอร์โมมิเตอร์ เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิสำหรับขดลวดให้วัดอุณหภูมิโดยใช้วิธีความต้านทานแปรผัน สำหรับการวัดอุณหภูมิอากาศภายในตู้ไฟฟ้าต้องจัดเรียงอุปกรณ์วัดหลายตัวในตำแหน่งที่สะดวกในการวัด ต้องมีการป้องกันเทอร์โมมิเตอร์หรือเทอร์โมคัปเปิลจากลมและการแผ่รังสีความร้อน

8.2.1.6 อุณหภูมิโดยรอบ

ต้องวัดอุณหภูมิโดยรอบ ระหว่างที่เวลาเศษหนึ่งส่วนสี่สุดท้ายของช่วงเวลาทดสอบโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ หรือเทอร์โมคัปเปิลอย่างน้อยอย่างละ 2 อัน กระจายอย่างสม่ำเสมอรอบตู้ไฟฟ้าที่ประมาณครึ่งหนึ่งของความสูงของตู้ไฟฟ้า และห่างจากตู้ไฟฟ้าประมาณ 1 เมตร ต้องมีการป้องกันเทอร์โมมิเตอร์หรือเทอร์โมคัปเปิลจากลมและการแผ่รังสีความร้อน

ถ้าอุณหภูมิโดยรอบขณะทดสอบอยู่ระหว่าง +10 ถึง +40 องศาเซลเซียส ให้ใช้ค่าขีดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามตารางที่ 8.4

8.2.1.7 ผลการทดสอบ

เมื่อสิ้นสุดการทดสอบ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต้องไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางที่ 8.4 เครื่องสำเร็จต้องทำงานได้อย่างน่าพอใจภายใต้ขีดจำกัดแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดให้ที่อุณหภูมิภายในตู้ไฟฟ้า

8.2.2 การทวนสอบของคุณสมบัติไดเล็กทริก

8.2.2.1 ทั่วไป

การทดสอบเฉพาะแบบนี้ ไม่จำเป็นต้องทำการทดสอบกับส่วนของตู้ไฟฟ้าที่ได้มีการทดสอบเฉพาะแบบตามข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องแล้ว เมื่อความคงทนของไดอิเล็กทริกไม่ให้เสียหายจากการติดตั้ง นอกจากนั้นไม่จำเป็นต้องทำการทดสอบนี้ กับตู้ไฟฟ้าทดสอบเฉพาะแบบบางส่วนเมื่อได้พิสูจน์ความต้านทานของฉนวนตามข้อ 8.3.4 แล้ว

เมื่อตู้ไฟฟ้ารวมถึงตัวนำป้องกัน ซึ่งหุ้มฉนวนจากส่วนที่นำไฟฟ้าได้ที่ที่เปิดโล่งต้องพิจารณาตัวนำป้องกันนี้เป็นวงจรแยกต่างหาก และตเองทดสอบด้วยวงจรไฟฟ้าเท่ากับวงจรหลักที่ติดตั้งอยู่ต้องทำการทดสอบ

- ตามข้อ 8.2.2.6(1) ถึง 8.2.2.6(4) ถ้าระบุค่าของแรงดันไฟฟ้าทนอิมพัลส์ที่กำหนด U_{imp}
- ตามข้อกำหนด 8.2.2.2 ถึง 8.2.2.5 ในกรณีอื่นๆ

8.2.2.2 การทดสอบสิ่งปิดหุ้มที่ทำด้วยฉนวน

สำหรับสิ่งปิดหุ้มที่ทำจากวัสดุฉนวน ต้องมีการทดสอบไดอิเล็กทริกเพิ่มเติมโดยป้อนแรงดันไฟฟ้าทดสอบ ระหว่างแผ่นโลหะเปลวที่วางด้านนอกสิ่งปิดหุ้มบนช่องเปิดและรอยต่อกับส่วนที่ไฟฟ้าต่อเชื่อมกันภายใน และส่วนที่นำไฟฟ้าได้ที่เปิดโล่งตัวนำเปิดโล่งภายในสิ่งปิดหุ้ม ซึ่งตั้งอยู่ต่อกับช่องเปิดและรอยต่อแรงดันไฟฟ้า สำหรับทดสอบเพิ่มเติมนี้ต้องเท่ากับ 1.5 เท่าของค่าที่กำหนดในตารางที่ 8.5

<u>หมายเหตุ</u> แรงดันไฟฟ้าทดสอบสำหรับสิ่งปิดหุ้มของตู้ไฟฟ้าที่ป้องกันโดยฉนวนทั้งหมด อยู่ในระหว่างพิจารณา

8.2.2.3 ด้ามจับงานภายนอกที่ทำจากวัสดุฉนวน

ในกรณีที่ด้ามจับทำจากหรือหุ้มด้วยวัสดุฉนวน ต้องมีการทดสอบไดอิเล็กทริก โดยป้อนแรงดันไฟฟ้าทดสอบเท่ากับ 1.5 เท่าของแรงดันไฟฟ้าทดสอบ ตามตารางที่ 8.5 ระหว่างส่วนที่มีไฟฟ้ากับแผ่นโลหะเปลว ซึ่งห่อหุ้มรอบผิวของด้ามจับ ในระหว่างการทดสอบนี้โครงตู้ต้องไม่ถูกต่อลงดินหรือต่อกับวงจรอื่นใด

8.2.2.4 การใช้งานและค่าของแรงดันไฟฟ้าทดสอบ

1) ต้องป้อนแรงดันไฟฟ้าทดสอบกับส่วนต่างๆดังนี้

(1.1)ระหว่างส่วนที่มีไฟฟ้าทั้งหมดและส่วนที่นำไฟฟ้าได้ที่เปิดโล่งที่ต่อระหว่างกันของตู้ไฟฟ้า

(1.2) ระหว่างแต่ละขั้วและทุกขั้วที่ต่อสำหรับการทดสอบนี้กับส่วนที่นำไฟฟ้าได้ที่เปิดโล่งที่ต่อระหว่างกันของตู้ไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าทดสอบในขณะใช้งานนี้ต้องไม่เกินร้อยละ 50 ของค่าที่ให้

ในข้อย่อยนี้จากนั้นให้เพิ่มอย่างสม่ำเสมอภายใน 2-3 วินาทีจนเต็มค่าที่กำหนด และรักษาไว้เป็นเวลา 1 นาที แหล่งจ่ายกระแสสลับต้องมีแรงกำลังเพียงพอที่จะรักษาแรงดันไฟฟ้าทดสอบโดยไม่คำนึงถึงกระแสไฟฟ้ารั่ว แรงดันไฟฟ้าทดสอบนี้โดยปฏิบัติแล้วต้องเป็นคลื่นรูปไซน์ และมีความถี่ระหว่าง 45 กับ 62 เฮิรตซ์

2) ค่าของแรงดันไฟฟ้าทดสอบต้องเป็นดังนี้

(2.1) สำหรับวงจรไฟฟ้าหลักและวงจรช่วยที่ไม่ครอบคลุมโดยข้อ 8.2.4 ด้านล่างนี้ให้เป็นไปตามตารางที่ 8.5

ตารางที่ 8.5 แรงดันไฟฟ้าของฉนวนที่กำหนดและแรงดันไฟฟ้าทดสอบไดอิเล็คทริก

แรงดันไฟฟ้าของฉนวนที่กำหนด U_i โวลต์	แรงดันไฟฟ้าทดสอบไดอิเล็กทริก a.c r.m.s. โวลต์
$U_i \leq 60$	1,000
$60 < U_i \leq 300$	2,000
$300 < U_i \leq 690^*$	2,500
$690 < U_i \leq 800$	3,000
$800 < U_i \leq 1,100$	3,500
$1,000 < U_i \leq 1,500^*$	3,500
*สำหรับไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น	

(2.2)สำหรับวงจรช่วยซึ่งผู้ทำระบุว่าไม่เหมาะที่จะจ่ายตรงจากวงจรให้เป็นไปตามตารางที่ 8.6

ตารางที่ 8.6 แรงดันไฟฟ้าของฉนวนที่กำหนดและแรงดันไฟฟ้าทดสอบไดอิเล็คทริก

แรงดันไฟฟ้าของฉนวนที่กำหนด U_I โวลต์	แรงดันไฟฟ้าทดสอบไดอิเล็กทริก a.c r.m.s. โวลต์
$U_I \leq 12$	250
$12 < U_I \leq 60$	500
$U_I > 60$	$2U_I$+1,000 ตั้งแต่ 1,500 ขึ้นไป

8.2.2.5 ผลการทดสอบ

ถือว่าผ่านการทดสอบ ถ้าไม่เกิดการเจาะทะลุหรือการวาบไฟตามผิว

8.2.2.6 การทดสอบแรงดันไฟฟ้าทนอิมพัลส์

1) ภาวะทั่วไป

ต้องติดตั้งตู้ไฟฟ้าที่จะใช้ทดสอบบนที่รองรับของตัวเองอย่างสมบูรณ์ หรือที่รองรับเทียบเท่า ในการใช้งานตามปกติสอดคล้องกับคำแนะนำของผู้ทำและภาวะแวดล้อมตัวขับเร้า (Actuator) ใดๆที่ทำด้วยวัสดุฉนวนและสิ่งปิดหุ้มที่ไม่เป็นอโลหะ และรวมเป็นส่วนของบริภัณฑ์ซึ่งตั้งใจใช้โดยไม่มีสิ่งปิดหุ้มเพิ่มเติมต้องถูกปกคลุมด้วยแผ่นโลหะเปลวให้ต่อกับโครงหรือยึดติดกับแผ่นฐานโลหะเปลวนี้ต้องห่อกับผิวทุกด้านที่สามารถสัมผัสได้ด้วยนิ้วทดสอบมาตรฐาน (ทดสอบโดยมาตรฐาน Probe B ของ IEC 529)

2) แรงดันไฟฟ้าทดสอบ

แรงดันไฟฟ้าทดสอบให้เป็นไปตามข้อตกลงของผู้ทำ การทดสอบอาจใช้กับความถี่ไฟฟ้ากำลังหรือแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ให้ไว้ในตารางที่ 8.9 อนุญาตให้มีการปลดกับดักเสิร์จระหว่างการทดสอบได้ ถ้าทราบคุณลักษณะที่ต้องการกับดักเสิร์จ อย่างไรก็ตามนิยมให้บริภัณฑ์ที่มีมาตรการลดแรงดันไฟฟ้าเกินถูกทดสอบด้วยแรงดันไฟฟ้าอิมพัลส์ปริมาณพลังงานของกระแสไฟฟ้าทดสอบต้องไม่เกินปริมาณพลังงานที่กำหนดของมาตรการลดแรงดันไฟฟ้าเกิน

(2.1) ต้องป้อนแรงดันไฟฟ้าอิมพัลส์ 1.2/50 ไมโครวินาที 3 ครั้งสำหรับแต่ละสภาพขั้วโดยแต่ละครั้งให้ปล่อยไว้ให้ห่างกันไม่น้อยกว่า 1 วินาที

(2.2) ต้องป้อนไฟฟ้ากระแสสลับที่ความถี่ไฟฟ้ากำลังและไฟฟ้ากระแสตรง 3 วัฏจักร ในกรณีของไฟฟ้ากระแสสลับและ 10 มิลลิวินาทีในกรณีของไฟฟ้ากระแสตรงกับแต่ละสภาพขั้ว

3) การใช้แรงดันไฟฟ้าทดสอบ ให้ป้อนแรงดันไฟฟ้าทดสอบกับส่วนต่างๆ ดังนี้

(3.1) ระหว่างส่วนที่มีไฟฟ้าแต่ละส่วน(รวมถึงวงจรควบคุม และวงจรช่วยที่ต่อกับวงจรหลัก)กับส่วนที่นำไฟฟ้าได้ที่เปิดโล่งที่ต่อระหว่างกันของตู้ไฟฟ้า

(3.2) ระหว่างแต่ละขั้วของวงจรหลักและขั้วอื่นๆ

(3.3) ระหว่างวงจรควบคุมและวงจรช่วยแต่ละวงจรซึ่งปกติไม่ต่อกับวงจรหลักกับ

- วงจรหลัก
- วงจรอื่นๆ
- ส่วนที่นำไฟฟ้าได้ที่เปิดโล่ง
- สิ่งปิดหุ้มหรือฐานยึด

(3.4) สำหรับส่วนที่ชักเลื่อนได้ในตำแหน่งปลดวงจรคร่อมช่องว่างที่แยกระหว่างด้านจ่ายไฟและส่วนที่ชักเลื่อนได้และระหว่างขั้วต่อจ่ายไฟและขั้วต่อสายโหลดที่เกี่ยวข้องกัน

4) ผลการทดสอบ

ต้องไม่มีการปล่อยประจุทำลายโดยไม่ตั้งใจในระหว่างทดสอบ

<u>หมายเหตุ</u> 1. ยกเว้นการปล่อยประจุทำลายที่ตั้งใจที่ถูกออกแบบสำหรับวัตถุประสงค์นี้ เช่น มาตรการลดแรงดันไฟฟ้าเกิดชั่วครู่

2. คำว่า "ปล่อยประจุทำลาย"สัมพันธ์กับปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับความล้มเหลวของฉนวน ภายใต้ความเค้นทางไฟฟ้า ซึ่งมีการปล่อยประจุข้ามฉนวนที่ได้รับการทดสอบไปได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้แรงดันไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรดลดลงเหลือศูนย์หรือเข้าไปใกล้ศูนย์

3. คำว่า "ประกายข้าม" ใช้เมื่อเกิดปล่อยประจุทำลายเกิดขึ้น ในไดอิเล็กทริกที่เป็นก๊าซหรือของเหลว

4. คำว่า "วาบไฟตามผิว" ใช้เมื่อเกิดการปล่อยประจุทำลายบนผิวของไดอิเล็กทริกของตัวกลางที่เป็นก๊าซหรือของเหลว

5. คำว่า "เจาะทะลุ" (Puncture) ให้ใช้เมื่อเกิดการปล่อยประจุทำลายทะลุตลอดไดอิเล็กทริกที่เป็นของแข็ง

6. เมื่อการปล่อยประจุทำลายในไดอิเล็กทริกที่เป็นของแข็งจะทำให้เกิดการสูญเสียความคงทนของไดอิเล็กทริกอย่างถาวร แต่ในกรณีของไดอิเล็กทริกที่เป็นของเหลวหรือก๊าซสูญเสียความคงทนของไดอิเล็กทริกอาจเป็นเพียงชั่วคราว

8.2.2.7 การทวนสอบระยะห่างตามผิวฉนวน

จะต้องมีการวัดระยะห่างตามผิวฉนวนที่สั้นที่สุดระหว่างเฟส ระหว่างตัวนำในวงจรที่มีแรงดันไฟฟ้าต่างๆ กัน และระหว่างส่วนที่มีไฟฟ้ากับส่วนที่นำไฟฟ้าได้เปิดโล่ง ค่าระยะห่างตามผิวฉนวนที่วัดได้โดยคำนึงถึงกลุ่มวัสดุ และระดับมลพิษต้องสอดคล้องกับความต้องการ

8.2.3 การทดสอบความคงทนต่อการลัดวงจร

8.2.3.1วงจรของตู้ไฟฟ้าที่ไม่ต้องทวนสอบความคงทนการลัดวงจร ไม่จำเป็นต้องทวนสอบความคงทนต่อการลัดวงจรของตู้ไฟฟ้าต่อไปนี้

1) สำหรับตู้ไฟฟ้าที่มีความคงทนต่อกระแสไฟฟ้าช่วงสั้นที่กำหนด หรือกระแสไฟฟ้าลัดวงจรตามเงื่อนไขที่กำหนดไม่เกิน 10 กิโลแอมแปร์

2) สำหรับตู้ไฟฟ้าที่ถูกป้องกันโดยการติดตั้งอุปกรณ์จำกัดกระแส ที่มีค่ากระแสตัด (Out off current)ไม่เกิน 15 กิโลแอมแปร์ ที่วิสัยสามารถตัดกระแสไฟฟ้าที่กำหนด

3) สำหรับวงจรช่วยของตู้ไฟฟ้า ซึ่งตั้งใจที่จะใช้ต่อกับหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งมีกำลังไฟฟ้าที่กำหนดไม่เกิน 10 กิโลวัดต์แอมแปร์ สำหรับแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิที่กำหนดให้ไม่น้อยกว่า 110 โวลต์ หรือ 1.6 กิโลแอมแปร์ สำหรับแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิที่กำหนดต่ำกว่า 110 โวลต์ และเมื่ออิมพีแดนซ์ลัดวงจรที่ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 4

4) สำหรับทุกส่วนของตู้ไฟฟ้า(แท่งตัวนำ ฐานแท่งตัวนำ รอยต่อของแท่งตัวนำด้านขาเข้าและขาออก อุปกรณ์เปิดปิด และอื่นๆ) ซึ่งทั้งหมดนี้ต้องถูกทดสอบเฉพาะแบบอยู่แล้ว เพื่อให้ถูกต้องตามเงื่อนไขที่ใช้ตู้ไฟฟ้า

<u>หมายเหตุ</u> ตัวอย่างของอุปกรณ์ปิดเปิด ได้แก่ กระแสไฟฟ้าลัดวงจรภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดตาม IEC 947-3 หรืออุปกรณ์เริ่มเดินมอเตอร์ (Motor Starter) ที่ใช้ร่วมกับอุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรตาม IEC 947-4-1

8.2.3.2 วงจรของตู้ไฟฟ้าที่ต้องทวนสอบความคงทนต่อการลัดวงจร

ข้อย่อยนี้ใช้กับทุกๆ วงจรที่ไม่ได้กล่าวถึงก่อนหน้านี้ในข้อ 8.2.3.1

1) การจัดเตรียมการทดสอบต้องจัดตู้ไฟฟ้าหรือส่วนต่างๆ ให้อยู่ในสภาพที่ใช้งานปกติ ยกเว้นสำหรับการทดสอบกับแท่งตัวนำ ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของการทำตู้ไฟฟ้า การทดสอบหน่วยทำหน้าที่เพียงหน่วยเดียวก็พอแล้ว ถ้าหน่วยทำงานที่เหลืออยู่ถูกสร้างขึ้นโดยวิธีเดียวกันและไม่มีผลกระทบต่อผลการทดสอบ

2) คุณลักษณะทั่วไปของการทดสอบทั่วไปถ้าวงจรทดสอบมีฟิวส์ ให้ใช้พิกัดกระแสไฟฟ้าสูงสุดของเส้นฟิวส์ที่กำหนด (สมนัยกับกระแสไฟฟ้าที่กำหนด) และต้องใช้ฟิวส์ตามแบบที่ผู้ทำระบุและยอมรับตัวนำของแหล่งจ่ายและการต่อลัดวงจรที่ต้องใช้ในการทดสอบตู้ไฟฟ้า ต้องมีความ

คงทนเพียงพอที่จะทนการลัดวงจรและต้องจัดเรียงให้ไม่เกิดความเค้นต่างๆ เพิ่มเติม ถ้าไม่มีข้อตกลงเป็นอย่างอื่น วงจรไฟฟ้าทดสอบต้องต่อกับขั้วสายด้านเข้าของตู้ไฟฟ้า 3 เฟส ต้องต่อในลักษณะ 3 เฟสพื้นฐาน

สำหรับการทวนสอบพิกัดความคงทนต่อการลัดวงจรที่กำหนดทุกประเภท ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรคาดคะเนที่แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าใดๆ มีค่าเท่ากับ 1.05 เท่าของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานที่กำหนดให้ต้องคำนวณจากเครื่องกราฟแกว่งไกวที่สอบเทียบแล้ว ซึ่งได้จากตัวนำของแหล่งจ่ายไฟให้ตู้ไฟฟ้าถูกลัดวงจรโดยการตอกับอิมพีแดนซ์ที่มีค่าน้อยมากจนไม่ต้องคำนึงถึงที่ตำแหน่งใกล้มากที่สุดที่ทำได้กับแหล่งจ่ายไฟด้านเข้าตู้ไฟฟ้า เครื่องกราฟแกว่งไกวจะแสดงให้เห็นว่ามีการไหลของกระแสไฟฟ้าอย่างคงที่ เช่นเดียวกับค่าที่วัดได้ภายในเวลาที่สมมูลกับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่ติดตั้งในตู้ไฟฟ้าหรือ สำหรับคาบเวลาคาบหนึ่งที่กำหนดให้กระแสไฟฟ้านี้เป็นค่าโดยประมาณของค่าที่กำหนดในข้อ 8.2.3.2

สำหรับการทดสอบกับไฟฟ้ากระแสสลับ ความถี่ที่ใช้กับวงจรทดสอบสำหรับการทดสอบการลัดวงจร ต้องมีค่าเท่ากับความถี่ที่กำหนด โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 25 ทุกส่วนของบริภัณฑ์ที่มีความประสงค์ให้ต่อไปยังตัวนำป้องกัน ที่ใช้งานตามปกติรวมทั้งสิ่งปิดหุ้มต้องต่อตามวิธีการดังต่อไปนี้

(2.1) สำหรับตู้ไฟฟ้าเหมาะสำหรับใช้กับระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย (ดู IEC 38) ที่มีจุดสตาร์ (Star point) ต่อลงดิน และให้แสดงเครื่องหมายไว้กับจุดเป็นกลางของแหล่งจ่ายหรือจุดเป็นกลางเหนี่ยวนำเทียม (Inductive Artificial Neutral) ซึ่งยอมให้เกินกระแสผิดพร่องคาดคะเนอย่างน้อย 1,500 แอมแปร์

(2.2) สำหรับตู้ไฟฟ้าที่เหมาะสมใช้กับระบบ 3 เฟส 3 สาย และ 3 เฟส 4 สาย ซึ่งแสดงเครื่องหมายไว้ให้ต่อกับตัวนำเฟสซึ่งคาดว่าจะเกิดอาร์กลงดินน้อยที่สุด วงจรทดสอบต้องรวมถึงอุปกรณ์สำหรับการตรวจจับกระแสผิดพร่องที่เชื่อถือได้ (เช่น ฟิวส์ ลวดทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 มิลลิเมตร และยาวไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร) กระแสไฟฟ้าผิดพร่องคาดคะเนในวงจรที่มีองค์ประกอบที่ละลายได้ต้องเป็น 1,500 แอมแปร์ ± ร้อยละ 10 ยกเว้นที่ระบุในหมายเหตุข้อ 2 และ ข้อ3 ถ้าจำเป็นให้ใช้ตัวต้านทานที่มีขีดจำกัดกระแสตามค่านั้นๆ

<u>หมายเหตุ</u> 1. ลวดทองแดงเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 มิลลิเมตร จะหลอมละลายขณะกระแสผ่าน 1,500 แอมแปร์ ในเวลาประมาณครึ่งรอบเมื่อใช้ความถี่ระหว่าง 45 ถึง 67 เฮิรตซ์ (หรือ 0.01 วินาที สำหรับไฟฟ้ากระแสตรง)

2. กระแสผิดพร่องคาดคะเนอาจน้อยกว่า 1,500 แอมแปร์ ในกรณีของบริภัณฑ์ขนาดเล็กตามความต้องการของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง โดยใช้ลวดทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า สมนัยกับเวลาหลอมละลายที่ระบุไว้ในหมายเหตุข้อ 1

3. ในกรณีที่แหล่งจ่ายไฟมีจุดเป็นกลางเทียม อาจยอมรับค่ากระแสผิดพร่องคาดคะเนที่ต่ำกว่าได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อตกลงของผู้กระทำ โดยให้ใช้ขนาดลวดทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่าสมนัยกับเวลาหลอมละลายที่ระบุไว้ในหมายเหตุข้อ 1

4.ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ผิดพร่องและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดทองแดงควรเป็นไปตามตารางที่ 8.7

ตารางที่ 8.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าผิดพร่องคาดคะเนในวงจรที่มีองค์ประกอบละลายได้ และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของขดลวดทองแดง

เส้นผ่าศูนย์กลางของลวดทองแดง มิลลิเมตร	กระแสไฟฟ้าผิดพร่องที่คาดคะเนในวงจรที่มีองค์ประกอบละลายได้ แอมแปร์
0.1	50
0.2	150
0.3	300
0.4	500
0.5	800
0.8	1,500

3) การทดสอบวงจรหลักสำหรับตู้ไฟฟ้าที่มีแท่งตัวนำให้ทดสอบตามข้อ (3.1) ข้อ (3.2) และข้อ (3.4) สำหรับตู้ไฟฟ้าที่ไม่มีแท่งตัวนำให้ทดสอบตามข้อ (3.1) สำหรับตู้ไฟฟ้าที่ไม่เป็นตามคุณลักษณะที่ต้องการให้ทดสอบตามข้อ (3.3) เพิ่ม

(3.1) เมื่อวงจรด้านออกมีส่วนประกอบซึ่งยังไม่ผ่านการทดสอบที่เหมาะสมให้ทดสอบดังต่อไปนี้

สำหรับการทดสอบวงจรไฟฟ้าด้านออก ต้องมีขั้วต่อสายสำหรับการลัดวงจรที่ขันด้วยหมุดเกลียวเมื่ออุปกรณ์ป้องกันในวงจรด้านออกเป็นเซอร์กิตเบรคเกอร์วงจรทดสอบอาจรวมถึงตัวต้านทานแบบขนาน (Shunt Resistor) ตามข้อ 8.3.4.1.2 b) ของ IEC 947-1 ต่อขนานกับรีแอคเตอร์

เพื่อใช้ปรับแต่งค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร สำหรับสวิตช์ตัดตอนอัตโนมัติที่มีกระแสไฟฟ้าที่กำหนดสูงถึง 630 แอมแปร์ต้องใช้สายไฟที่มีความยาว 0.75 เมตร และมีพื้นที่หน้าตัดสมนัยกับกระแสทางความร้อนแบบธรรมดา (Conventional Thermal Current) (ดู IEC 974-1ตารางที่ 8.3 และตารางที่ 8.5) ต่อร่วม เข้าในการทดสอบนี้อุปกรณ์เปิดปิด (Switching Device) ต้องปิดวงจรและปิดอยู่ในสภาพการใช้งานตามปกติจากนั้นป้อนแรงดันไฟฟ้าทดสอบครั้งหนึ่งนานเพียงพอจนอุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรด้านขาออกทำงานและตัดความผิดพร่องและในทุกกรณีต้องไม่น้อยกว่า 10 วัฏจักร (ช่วงเวลาทดสอบแรงดันไฟฟ้า)

(3.2) ต้องมีการทดสอบเพิ่มเติมสำหรับตู้ไฟฟ้าที่มีแท่งตัวนำหลัก เพื่อพิสูจน์ความคงทนการลัดวงจรของแท่งตัวนำหลักและวงจรด้านเข้ารวมถึงจุดต่อใดๆ จุดที่เกิดลัดวงจรต้องอยู่ในระยะ 2 เมตร± 0.40 เมตร จากแหล่งจ่ายไฟที่ใกล้ที่สุด สำหรับการทวนสอบกระแสไฟฟ้าทนช่วงสั้นที่กำหนดและกระแสไฟฟ้าทนค่ายอดที่กำหนดระยะนี้อาจเพิ่มได้ถ้าทำการทดสอบที่แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า โดยคงค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดตามข้อ 2.3.2 (4.2) เมื่อการออกแบบตู้ไฟฟ้าทำให้ความยาวของแท่งตัวนำที่ทดสอบสั้นกว่า 1.6 เมตร และไม่มีความตั้งใจที่จะขยายตู้ไฟฟ้าต่อออกไป ให้ทดสอบแท่งตัวนำเต็มความยาวโดยให้เกิดการลัดวงจรที่ปลายแท่งตัวนำ ถ้าชุดของแท่ตัวนำประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่ต่างกัน (เช่น พื้นที่หน้าตัด ระยะระหว่างแท่งตัวนำข้างเคียงแบบและจำนวนของตัวยึดแท่งตัวนำต่อเมตร) ต้องแยกการทดสอบแต่ละส่วนหรือทดสอบพร้อมกัน ทั้งนี้ต้องเป็นไปตามเงื่อนไขข้างต้น

(3.3)ให้ลัดวงจรโดยต่อแท่งตัวนำกับตัวนำ ด้วยหมุดเกลียวไปยังหน่วยด้านออกเพียงหน่วยเดียว และให้อยู่ใกล้กับขั้วสายบนแท่งตัวนำด้านออกให้มากที่สุดที่เป็นไปได้ ในทางปฏิบัติค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร ต้องเท่ากับค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดในแท่งตัวนำหลัก

(3.4) ถ้ามีแท่งตัวนำเป็นกลาง ต้องมีการทดสอบเพิ่มเติมกับแท่งตัวนำกลางนี้เพื่อพิสูจน์ความทนการลัดวงจรที่สัมพันธ์กับแท่งตัวนำใดๆ การต่อแท่งตัวนำเป็นกลางกับแท่งตัวนำเฟสนี้ให้เป็นไปตามคุณลักษณะที่ต้องการของข้อ 8.2.3.3 (3.2) ถ้าไม่มีข้อตกลงระหว่างผู้ทำกับผู้ใช้เป็นอย่างอื่น ค่ากระแสไฟฟ้าทดสอบในแท่งตัวนำเป็นกลางให้เท่ากับร้อยละ 60 ของกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ 3 เฟส

4) ค่าและช่วงของกระแสไฟฟ้าลัดวงจร

(4.1) ตู้ไฟฟ้า ที่มีอุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรรวมอยู่ในหน่วย ด้านเข้ากระแสที่สมนัยกับกระแสไฟฟ้าลัดวงจรระบุคาดคะเน ที่แสดงต้องยังคงไหลอยู่จนกระทั่งถูกตัดโดยอุปกรณ์ป้องกัน

(4.2) ตู้ไฟฟ้าที่ไม่รวมอุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจร ในหน่วยด้านเข้า สำหรับพิกัดความทนการลัดวงจรที่กำหนดทุกค่า ต้องทวนสอบความเค้นพลวัต และความเค้นทางความร้อน ด้วยค่า

กระแสไฟฟ้าคาดคะเน ที่แหล่งจ่ายด้านเข้าของ อุปกรณ์ป้องกันที่กำหนด และถ้าทำได้ด้วยกระแสไฟฟ้าทนช่วงสั้นที่กำหนด กระแสไฟฟ้าทนค่ายอดที่กำหนด กระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่กำหนด หรือกระแสไฟฟ้าฟิวส์ลัดวงจรที่กำหนดซึ่งผู้ทำระบุในกรณีที่ทดสอบกระแสไฟฟ้าทนช่วงสั้นหรือทดสอบกระแสไฟฟ้าทนค่ายอดที่แรงดันไฟฟ้าใช้งานสูงสุดได้ยาก การทดสอบตามข้อ 8.2.3.2 (3.2) ถึง (4.3) อาจทำที่แรงดันไฟฟ้าใดๆ ที่ต่ำกว่าตามสะดวกได้ ทั้งนี้กระแสไฟฟ้าทดสอบจริงในกรณีนี้ให้เท่ากับกระแสไฟฟ้าทนช่วงสั้นที่กำหนด หรือกระแสไฟฟ้าทนค่ายอดที่กำหนดโดยต้องระบุค่าแรงดันไฟฟ้าทดสอบจริงในรายงานการทดสอบด้วย

อย่างไรก็ตาม ถ้าเกิดมีการแยกชั่วขณะของหน้าสัมผัสของอุปกรณ์ป้องกัน ขณะทดสอบต้องทำการทดสอบซ้ำที่แรงดันไฟฟ้าใช้งานสูงสุด สำหรับการทดสอบช่วงสั้น และความทนค่ายอด ถ้ามีการตัดกระแสเกินใดๆ ขึ้นในระหว่างการทดสอบให้ถือว่าไม่ผ่านการทดสอบ

การทดสอบทั้งหมดใช้บริภัณฑ์ ที่ความถี่ที่กำหนดคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 25 และที่ตัวประกอบกำลังเหมาะสมกับกระแสไฟฟ้าลัดวงจรตามตารางที่ 8.8 ค่าของกระแสไฟฟ้าระหว่างการสอบเทียบ เป็นค่าเฉลี่ยของค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของค่ากระแสไฟฟ้าสลับในทุกเฟส เมื่อทำการทดสอบที่แรงดันไฟฟ้าใช้งานสูงสุด กระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบเป็นกระแสไฟฟ้าจริงในการทดสอบ กระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสต้องมีเกณฑ์คลาดเคลื่อนอยู่ระหว่างร้อยละ 0 ถึง 5 และเกณฑ์คลาดเคลื่อนของตัวประกอบกำลังต้องอยู่ระหว่าง 0.11 ถึง –0.05 ต้องป้อนกระแสไฟฟ้าค่านี้ เป็นเวลานานตามที่กำหนด ในระหว่างที่ค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของค่ากระแสสลับ ยังคงที่อยู่

<u>หมายเหตุ</u> 1. อย่างไรก็ตาม ถ้ามีความจำเป็นเนื่องจากข้อจำกัดของการทดสอบอนุญาตให้ช่วงเวลาทดสอบแตกต่างกันได้ ในกรณีตัวอย่างเช่น อาจปรับปรุงค่ากระแสไฟฟ้าทดสอบไว้ตามสมการ I^2t = ค่าคงที่ โดยไม่ต้องมีความเห็นชอบของผู้ทำ ทั้งนี้ค่ายอดต้องไม่เกินกว่า กระแสไฟฟ้าทนค่ายอดที่กำหนด และค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าทนได้ช่วงสั้น ต้องไม่ต่ำกว่าค่าที่กำหนดในอย่างน้อย 1 เฟสเป็นเวลาอย่างน้อยที่สุด 0.1 วินาทีหลังจากเริ่มป้อน

2. การทดสอบกระแสไฟฟ้าทนค่ายอด และการทดสอบกระแสไฟฟ้าทนช่วงสั้น อาจทำแยกกันได้ ซึ่งในกรณีนี้ช่วงเวลาที่ทำให้เกิดการลัดวงจรสำหรับทดสอบกระแสไฟฟ้าทนค่ายอดต้องเพียงพอที่จะทำให้ค่า I^2t ไม่มากกว่าค่าเทียบเท่าสำหรับการทดสอบกระแสไฟฟ้าทนช่วงสั้นแต่ทั้งนี้ต้องไม่น้อยกว่า 3 วัฏจักร

สำหรับการทดสอบภาวะกระแสไฟฟ้าลัดวงจรตามเงื่อนไข และการทดสอบกระแสไฟฟ้าลัดวงจรฟิวส์ การทดสอบต้องกระทำที่ 1.05 เท่าของแรงดันไฟฟ้าใช้งานที่กำหนด ด้วยค่ากระแสไฟฟ้าคาดคะเนที่ด้านแหล่งจ่ายของอุปกรณ์ป้องกันที่กำหนด เท่ากับค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรตาม

เงื่อนไขที่กำหนด หรือกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของฟิวส์ ไม่อนุญาตให้ทำการทดสอบที่แรงดันไฟฟ้าที่ต่ำกว่านี้

ตารางที่ 8.8 ค่ามาตรฐานตัวประกอบ n ตัวประกอบกำลัง

ค่ารากกำลังเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าลัดวงจร	cosφ	N
I≤5 kA	0.7	1.5
5kA < I≤10 kA	0.5	1.7
10kA < I≤20 kA	0.3	2.0
20kA < I≤50 kA	0.25	2.1
50kA < I	0.2	2.2
หมายเหตุ ค่าในตารางที่ 8.8 สามารถใช้ได้เป็นส่วนใหญ่ ในตำแหน่งพิเศษ เช่น ที่จุดใกล้กับหม้อแปลงไฟฟ้าหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อาจพบค่าตัวประกอบกำลังต่ำกว่าที่ระบุ โดยค่ายอดสูงสุดของกระแสไฟฟ้าคาดคะเน จะกลายเป็นขีดจำกัดแทนค่ารากกำบังสองสองเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าที่ลัดวงจร		

5) ผลการทดสอบภายหลังการทดสอบ

ตัวนำต้องไม่เสียรูปทรงใดๆ การเสียรูปทรงเพียงเล็กน้อยของแท่งตัวนำนั้น ยอมรับได้ถ้าระยะห่างในอากาศ และระยะห่างตามผิวฉนวน ยังคงเป็นไปตามกำหนด นอกจากนั้นแล้ว ฉนวนของตัวนำ และสิ่งรองรับฉนวน ต้องไม่แสดงการสึกกร่อนอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงค่าคุณลักษณะที่สำคัญของฉนวนยังคงอยู่ จึงถือว่าคุณสมบัติทางกล และไดอิเล็กทริกของบริภัณฑ์ผ่านข้อกำหนดตามมาตรฐานนี้

บทที่ 9
บทสรุป

9.1 วิเคราะห์ผล

ในเบื้องต้นการออกแบบตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ ควรเริ่มจากการศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้ภายในตู้แต่ละชนิด จากโหลดที่นำมาพิจารณานำมาจัดทำการเขียนซิงเกิลไลน์ไดอะแกรมแบบหยาบ คำนวณกระแสของแต่ละจุด เพื่อทำการเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ในแต่ละส่วน จะสามารถสร้างวงจรเขียนซิงเกิลไลน์ไดอะแกรมแบบสมบูรณ์ได้ ซิงเกิลไลน์ไดอะแกรมแบบสมบูรณ์ จะแสดงขนาดของเซอร์กิตเบรคเกอร์ ฟีดเดอร์ และบัสบาร์ของแต่ละส่วน และอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ภายในตู้ ได้แก่ อุปกรณ์วัด อุปกรณ์การต่อลงดิน และอุปกรณ์ปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์ ซึ่งสามารถนำไปสร้างตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำได้

อนึ่งในการออกแบบตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ ควรให้ความสำคัญกับความถูกต้องและปลอดภัยในการใช้งาน และควรมีการทดสอบตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำที่ออกแบบสร้างขึ้นมา เพื่อให้เกิดความถูกต้องและปลอดภัยอย่างสูงสุด

9.2 สรุป

การศึกษาเกี่ยวกับตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ หรือตู้ M.D.B. ทำให้รู้ถึงหลักการทำงานของอุปกรณ์ภายในตู้ รวมไปถึงการเลือกใช้อุปกรณ์ที่ใช้เกี่ยวกับระบบไฟฟ้าภายในบ้าน อาคาร โรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อีกส่วนหนึ่งคือสามารถที่จะคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์แต่ละส่วนที่ใช้ในวงจรของตู้ M.D.B. ได้

9.3 ปัญหาและการแก้ไข

- จากการใช้คลิปแอมป์วัดไม่สามารถได้โหลดเต็มร้อยเปอร์เซ็นต์ได้

แนวทางการแก้ไขคือ ต้องเปิดหลอดไฟทั้งหมดและคำนวณเต้ารับโดยดูจำนวนเต้ารับจากแบบที่ได้

- จากการสำรวจพบว่าภายในตู้M.D.B.บางตึกใช้เบรคเกอร์และขนาดสายไฟไม่ตรงตามแบบ

แนวทางการแก้ไขคือ สมควรที่จะมีการดำเนินตรวจสอบและแก้ไขให้ตรงตามแบบ

- รูปร่างของตู้ M.D.B. และอุปกรณ์ต่างๆ ตามหนังสือหรือตำราเรียนไม่ชัดเจนเท่าที่ควร

แนวทางการแก้ไขคือ ศึกษาจากตู้ M.D.B. ของจริงตามอาคารหลายๆ แห่ง

9.4 แนวทางดำเนินงานสำหรับการทำการครั้งต่อไป

- การควบคุมระบบคาปาซิเตอร์แบงค์
- การทดลองการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเพื่อดูว่าเบรคเกอร์สามารถทำการป้องกันตามที่ตั้งไว้หรือไม่
- หาวิธีการป้องกันแบบอื่นๆ โดยเป็นวิธีที่ใช้ได้ผลคือปลอดภัยและประหยัด
- ทดลองสร้างตู้ M.D.B.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

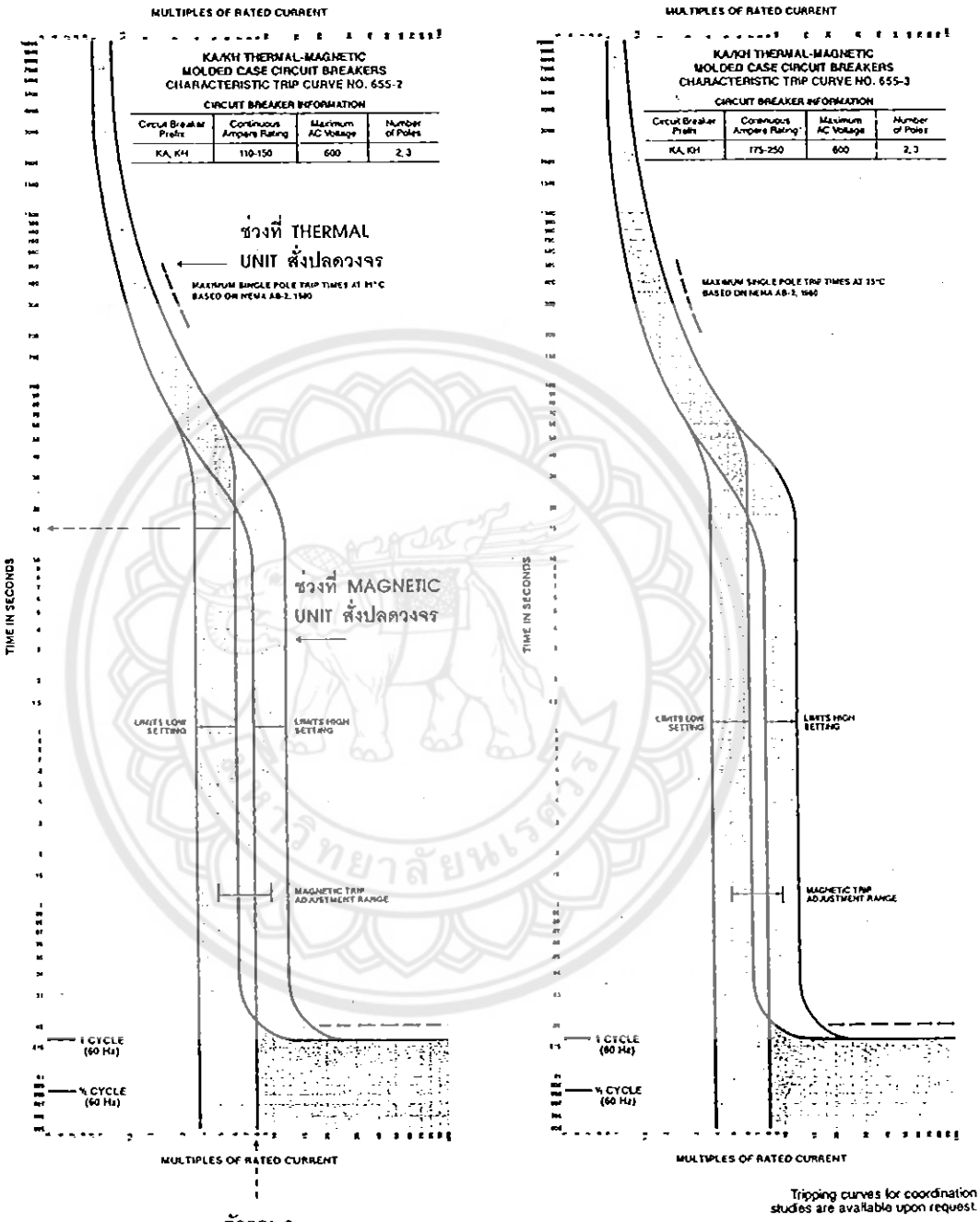
SEPTEMBER, 1991

THERMAL-MAGNETIC/MAGNETIC ONLY MOLDED CASE CIRCUIT BREAKERS

250A FRAME

TRIPPING CURVES

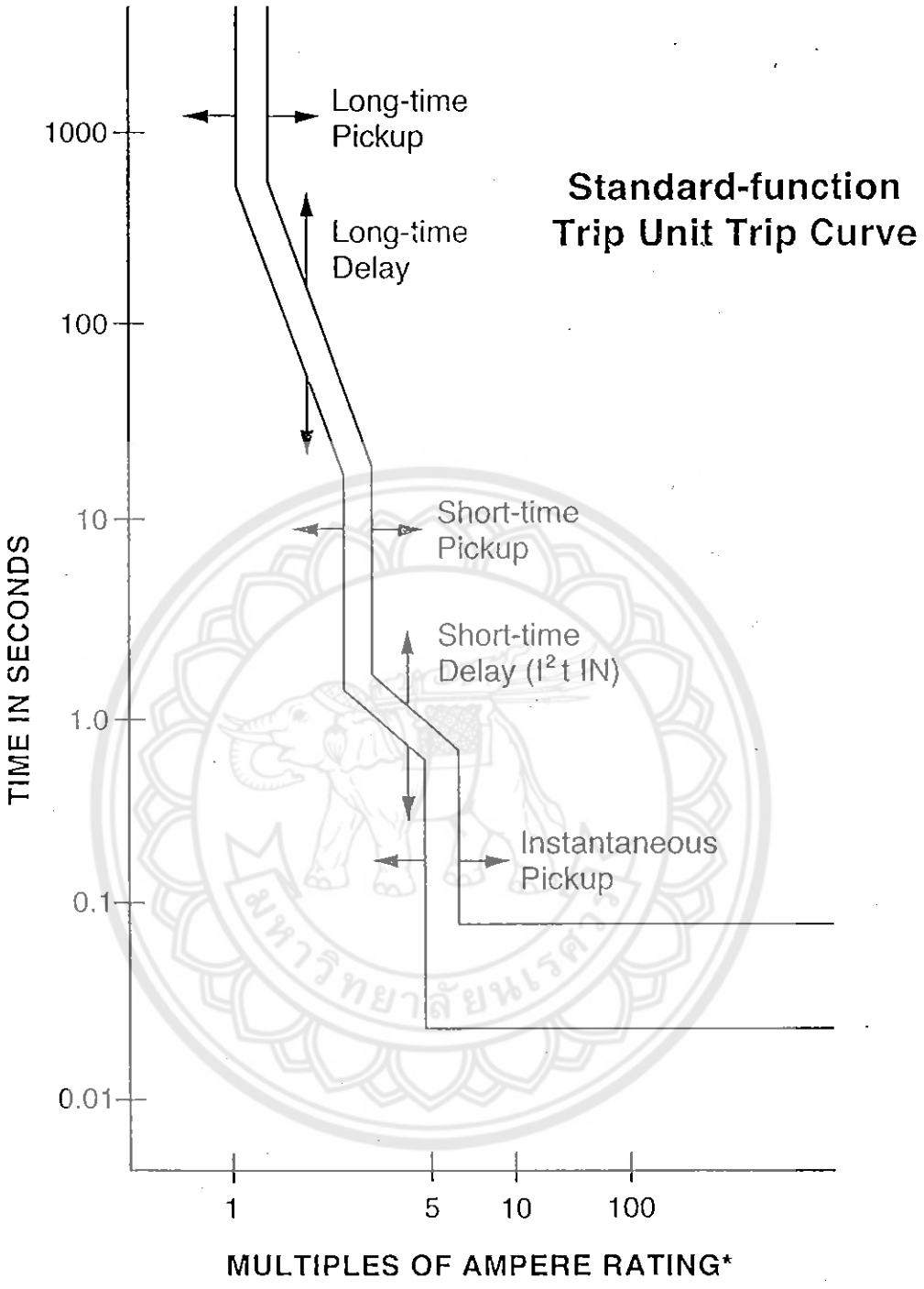
CLASS 601



Tripping curves for coordination studies are available upon request.

ตัวคูณ 8

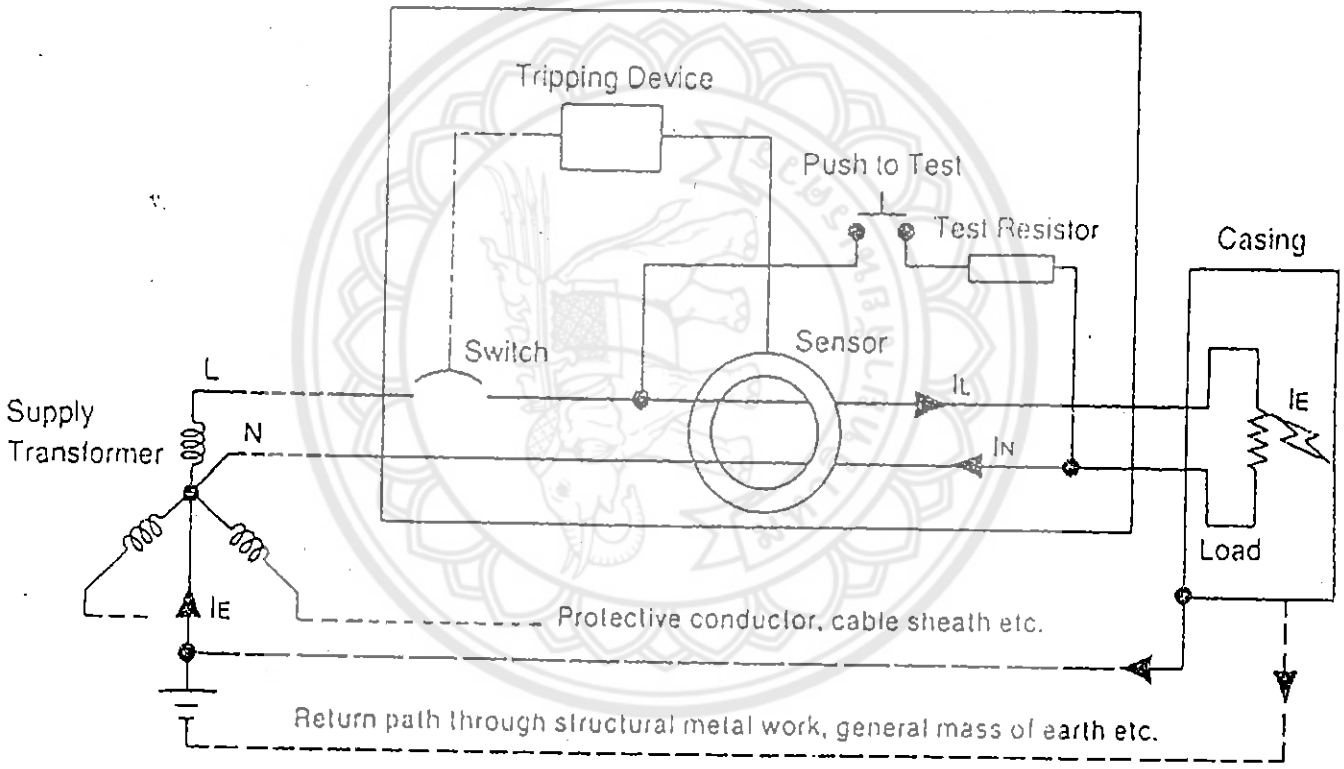
รูปที่ 1



Ampere Rating (P) = Sensor Size (S) x Rating Plug (%)

รูปที่ 2

วงจรการทำงานของ EARTH LEAKAGE CB.



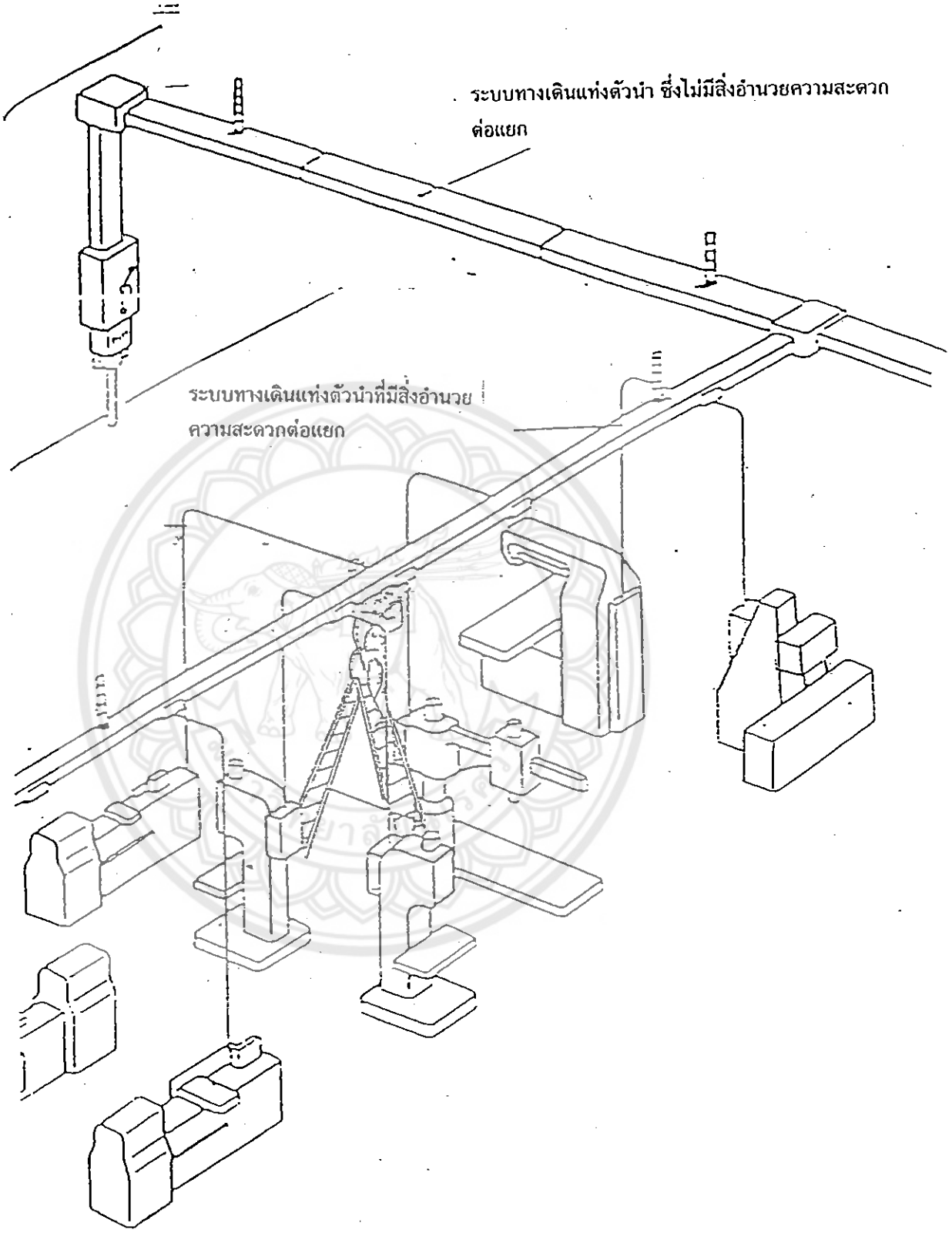
ภาคผนวก ข

ตาราง ข-1 พิกัดกระแสไฟฟ้าของบัสบาร์ (อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 40 °)

ขนาด กว้าง ×หนา mm^2	ทองแดง		อะลูมิเนียม	
	กระแสไฟฟ้าตลอดเวลาหน่วย A	น้ำหนักต่อความยาวหน่วย kg / m	กระแสไฟฟ้าตลอดเวลาหน่วย A	น้ำหนักต่อความยาวหน่วย kg / m
12×2	110	0.209	80	0.0633
15×2	140	0.262	95	0.0795
15×3	170	0.396	115	0.12
20×2	185	0.351	120	0.107
20×3	220	0.529	145	0.161
20×5	295	0.882	195	0.268
25×3	270	0.663	180	0.209
25×5	350	1.11	230	0.335
30×3	315	0.796	205	0.242
30×5	400	1.33	270	0.403
40×3	420	1.06	280	0.323
40×5	520	1.77	350	0.538
40×10	760	3.55	515	1.08
50×5	630	2.22	425	0.673

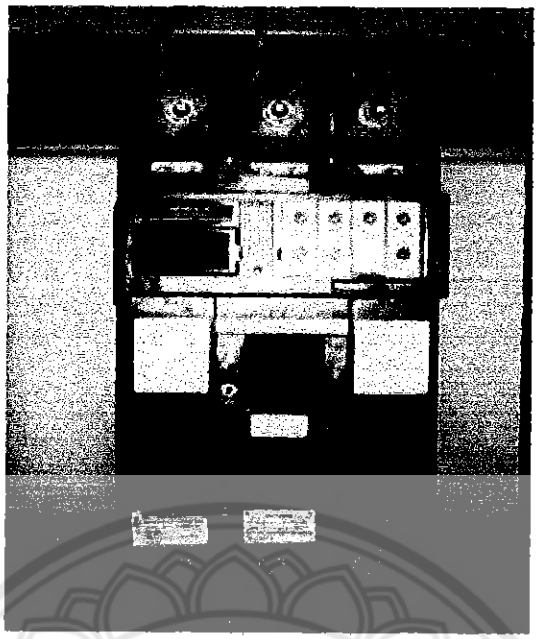
ตาราง ข-1 พิกัดกระแสไฟฟ้าของบัสบาร์ (อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 40 °) (ต่อ)

ขนาด กว้าง ×หนา	ทองแดง		อะลูมิเนียม	
mm^2	กระแสไฟฟ้าตลอดเวลาหน่วย A	น้ำหนักต่อความยาวหน่วย kg / m	กระแสไฟฟ้าตลอดเวลาหน่วย A	น้ำหนักต่อความยาวหน่วย kg / m
50×10	920	4.44	625	1.3
60×5	760	2.66	500	0.808
60×10	1060	5.33	730	1.62
80×5	970	3.55	680	1.08
80×10	1380	7.11	940	2.16
100×5	1200	4.44	820	1.35
100×10	1700	8.89	1150	2.7
100×15	-	-	1450	4.04
120×10	2000	10.7	1350	3.24
120×15	2500	14.2	1750	4.32
160×15	-	-	2100	5.47
200×10	3000	17.8	2150	5.4
200×15	-	-	2500	8.08

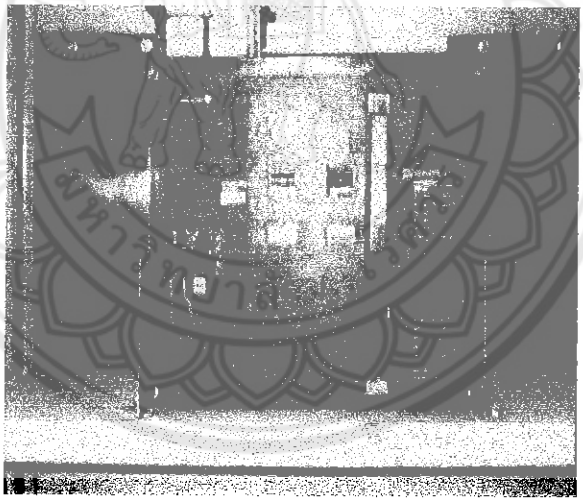


รูป ข-1 ระบบทางเดินแท่งตัวนำ

ภาคผนวก ค



แอร์เซอร์กิตเบรคเกอร์



แอร์เซอร์กิตเบรคเกอร์

สวทชตดตอนอัตโนมัติ (MCCB)
แบบ Thermal-Magnetic Type

การเลือกรุ่นต่างๆ เพื่อการใช้งาน (Catalog Number)

						FA	L	3	6	100	2100

ขนาด 100 แอมแปร์เฟรม รุ่น FA,FH,FC,FI
ขนาด 250 แอมแปร์เฟรม รุ่น KA,KH,KC,KI
ขนาด 400 แอมแปร์เฟรม รุ่น LA,LH,LC,LI
ขนาด 1,000 แอมแปร์เฟรม รุ่น MA,MH
ขนาด 1,200 แอมแปร์เฟรม รุ่น NA,NC

Note:
A = Standard Interrupting
H = High Interrupting
C = Extra High Interrupting
I = Current Limiting

L = Lug Type

1 = 1Pole , 2 = 2 Pole , 3 = 3 Pole

4 = 480 Volts , 6 = 600 Volts

ขนาดของ Ampere Rating

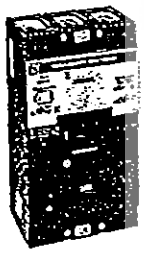
อุปกรณ์ประกอบเพิ่มเติม (ถ้ามี)

Ampere Rating ขนาดแอมป์	AC Magnetic Trip Settings Amperes ▲		One Pole แบบหนึ่งโพล		Two Pole แบบสองโพล		Three Pole แบบสามโพล		Conductor Size mm^2 ขนาดสายตารางมิลลิเมตร
	Hold	Trip	Catalog No. รุ่น	Unit Price ราคาต่อหน่วย	Catalog No. รุ่น	Unit Price ราคาต่อหน่วย	Catalog No. รุ่น	Unit Price ราคาต่อหน่วย	
FAL 100 Ampere Frame				ทนกระแสลัดพลันได้ 18KA					**Standard Interrupting 18 KA**
15	275	600	FAL14015	1,500.-	FAL24015	2,800.-	FAL34015	3,200.-	2.5-25
20	275	600	FAL14020		FAL24020		FAL34020		
30	275	600	FAL14030		FAL24030		FAL34030		
40	400	850	FAL14040		FAL24040		FAL34040		2.5-50
50	400	850	FAL14050		FAL24050		FAL34050		
60	800	1450	FAL14060		FAL24060		FAL34060		
70	800	1450	FAL14070		FAL24070		FAL34070		
80	800	1450	FAL14080		FAL24080		FAL34080		
90	900	1700	FAL14090		FAL24090		FAL34090		
100	900	1700	FAL14100		FAL24100		FAL34100		
FHL 100 Ampere Frame				ทนกระแสลัดพลันได้ 25 KA					**High Interrupting 25 KA**
15	275	600	FHL16015	1,600.-	FHL26015	3,000.-	FHL36015	3,400.-	2.5-25
20	275	600	FHL16020		FHL26020		FHL36020		
30	275	600	FHL16030		FHL26030		FHL36030		
40	400	850	FHL16040		FHL26040		FHL36040		2.5-50
50	400	850	FHL16050		FHL26050		FHL36050		
60	800	1450	FHL16060		FHL26060		FHL36060		
70	800	1450	FHL16070		FHL26070		FHL36070		
80	800	1450	FHL26080		FHL26080		FHL36080		
90	900	1700	FHL16090		FHL26090		FHL36090		
100	900	1700	FHL16010		FHL26100		FHL36100		
FCL 100 Ampere Frame				ทนกระแสลัดพลันได้ 65 KA					**Extra High Interrupting 65 KA**
15	275	600	ไม่ได้ผลิต NOT AVAILABLE		FCL 24015	4,000.-	FCL34015	5,200.-	2.5-25
20	275	600			FCL 24020		FCL34020		
30	275	600			FCL 24030		FCL34030		
40	400	850			FCL 24040		FCL34040		2.5-50
50	400	850			FCL 24050		FCL34050		
60	800	1450			FCL 24060		FCL34060		
70	800	1450			FCL 24070		FCL34070		
80	800	1450			FCL 24080		FCL34080		
90	900	1700			FCL 24090		FCL34090		
100	900	1700			FCL 24100		FCL34100		
FIL 100 Ampere Frame				ทนกระแสลัดพลันได้ 200 KA					**Current Limiting 200 KA**
20	275	600	ไม่ได้ผลิต NOT AVAILABLE		FIL26020	ใช้ราคา 3 โพล USE 3 POLE	FIL36020	12,000.-	2.5-25
30	275	600			FIL26030		FIL36030		
40	400	850			FIL26040		FIL36040		2.5-50
50	400	850			FIL26050		FIL36050		
60	800	1700			FIL26060		FIL36060		
70	800	1700			FIL26070		FIL36070		
80	800	1700			FIL26080		FIL36080		
90	800	1700			FIL26090		FIL36090		
100	800	1700			FIL26100		FIL36100		

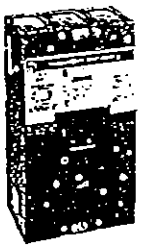
Molded Case Circuit Breaker
สวิทช์ตัดตอนอัตโนมัติ (MCCB)
แบบ Thermal-Magnetic Type

FIL
Two & Tree Pole
20-100 Amperes

KAL/KHL/KCL
Two & Tree Pole
70-250 Amperes



KIL
Two & Tree Pole
70-250 Amperes

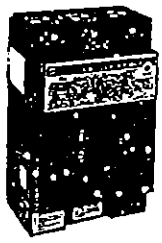


LAL/LHL
Two & Tree Pole
120-400 Amperes

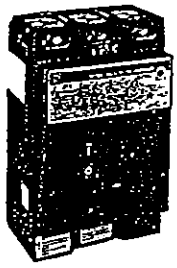
Ampere Rating ขนาดแอมป์	AC Magnetic Trip Settings Amperes ▲		Two Pole แบบสองโพล		Three Pole แบบสามโพล		Conductor S mm² ขนาดสาย ตารางมิลลิเม
	Low	High	Catalog No. รุ่น	Unit Price ราคาต่อหน่วย	Catalog No. รุ่น	Unit Price ราคาต่อหน่วย	
KAL 250 Ampere Frame หนกระแสลัดพลันได้ 25 KA							**Standard Interrupting 25**
70	350	700	KAL26070	6,000.-	KAL36070	7,000.-	25-185
80	400	800	KAL26080		KAL36080		
90	450	900	KAL26090		KAL36090		
100	500	1000	KAL26100		KAL36100		
110	550	1100	KAL26110		KAL36110		
125	625	1250	KAL26125		KAL36125		
150	750	1500	KAL26150		KAL36150		
175	875	1750	KAL26175		KAL36175		
200	1000	2000	KAL26200		KAL36200		
225	1125	2250	KAL26225		KAL36225		
250	1250	2500	KAL26250	7,000.-	KAL36250	8,000.-	
KHL 250 Ampere Frame หนกระแสลัดพลันได้ 35 KA							**High interrupting 35 K**
70	350	700	KHL26070	8,000.-	KHL36070	10,000.-	25-185
80	400	800	KHL26080		KHL36080		
90	450	900	KHL26090		KHL36090		
100	500	1000	KHL26100		KHL36100		
110	550	1100	KHL26110		KHL36110		
125	625	1250	KHL26125		KHL36125		
150	750	1500	KHL26150		KHL36150		
175	875	1750	KHL26175		KHL36175		
200	1000	2000	KHL26200		KHL36200		
225	1125	2250	KHL26225		KHL36225		
250	1250	2500	KHL26250	10,000.-	KHL36250	12,000.-	
KCL 250 Ampere Frame หนกระแสลัดพลันได้ 65 KA							**Extra High Interruputing 65K**
110	550	1100	KCL24110	ใช้ราคา 3 โพล USE 3 POLE	KCL34110	13,000.-	
125	625	1250	KCL24125		KCL34125		
150	750	1500	KCL24150		KCL34150		25-165
175	875	1750	KCL24175		KCL34175		
200	1000	2000	KCL24200		KCL34200		50-185
225	1125	2250	KCL24225		KCL34225		
250	1250	2500	KCL24250		KCL34250	16,000.-	
KIL 250 Ampere Frame หนกระแสลัดพลันได้ 200 KA							**Current Limiting 200K**
110	550	1100	KIL 26110	ใช้ราคา 3 โพล USE 3 POLE	KIL36110	15,000.-	
125	625	1250	KIL26125		KIL36125		
150	750	1500	KIL26150		KIL36150		25-185
175	875	1750	KIL26175		KIL36175		
200	1000	2000	KIL26200		KIL36200		50-185
225	1125	2250	KIL26225		KIL36225		
250	1250	2500	KIL26250		KIL36250	18,000.-	
LAL 400 Ampere Frame หนกระแสลัดพลันได้ 30 KA							**Standard Interrupting 30**
125	625	1250	LAL26125	ใช้ราคา 3 โพล USE 3 POLE	LAL36125	12,000.-	1x50-300 2x50-130
150	750	1500	LAL26150		LAL36150		
175	875	1750	LAL26175		LAL36175		
200	1000	2000	LAL26200		LAL36200		
225	1125	2250	LAL26225		LAL36225		
250	1250	2500	LAL26250		LAL36250		
300	1500	3000	LAL26300		LAL36300		
350	1750	3500	LAL26350		LAL36350		
400	2000	4000	LAL26400		LAL36400		
LHL 400 Ampere Frame หนกระแสลัดพลันได้ 35 KA							**High Interrupting 35**
125	625	1250	LHL26125	ใช้ราคา 3 โพล USE 3 POLE	LHL36125	16,000.-	1x50-300 2x50-150
150	750	1500	LHL26150		LHL36150		
175	875	1750	LHL26175		LHL36175		
200	1000	2000	LHL26200		LHL36200		
225	1125	2250	LHL26225		LHL36225		
250	1250	2500	LHL26250		LHL36250		
300	1500	3000	LHL26300		LHL36300		
350	1750	3500	LHL26350		LHL36350		
400	2000	4000	LHL26400		LHL36400		

Ampere Rating ขนาดแอมป์	AC Magnetic Trip Settings Amperes▲ Low	High	Two Pole แบบสองโพล Catalog No. รุ่น	Unit Price ราคาต่อหน่วย	Three Pole แบบสามโพล Catalog No. รุ่น	Unit Price ราคาต่อหน่วย	Conductor Size mm² ขนาดสาย ตารางมิลลิเมตร
LCL 600 Ampere Frame หนกระแสฉับพลันได้ 65 KA **Extra High Interrupting 65 KA**							
300	1500	3000	LCL26300	ใช้ราคา 3 โพล	LCL36300	30,000.-	2x90-240
350	1750	3500	LCL26350		LCL36350		
400	2000	4000	LCL26400		LCL36400		
450	2250	4500	LCL26450	USE 3 POLE	LCL36450	32,000.-	2x80-240
500	2500	5000	LCL26500		LCL36500		
600	3000	6000	LCL26600		LCL36600		
LIL 600 Ampere Frame หนกระแสฉับพลันได้ 200 KA **Current Limiting 200 KA**							
300	1500	3000	LIL26300	ใช้ราคา 3 โพล	LIL36300	55,000.-	2x50-185
350	1750	3500	LIL26350		LIL36350		
400	2000	4000	LIL26400		LIL36400		
450	2250	4500	LIL26450	USE 3 POLE	LIL36450	80,000.-	2x90-240
500	2500	5000	LIL26500		LIL36500		
600	3000	5400	LIL26600		LIL36600		
MAL 1000 Ampere Frame หนกระแสฉับพลันได้ 30 KA **Standard Interrupting 30 KA**							
300	1500	3000	MAL26300	ใช้ราคา 3 โพล	MAL36300	22,000.-	2x95-300
350	1750	3500	MAL26350		MAL36350		
400	2000	4000	MAL26400		MAL36400		
450	2250	4500	MAL26450		MAL36450		
500	2500	5000	MAL26500		MAL36500		
600	3000	6000	MAL26600		MAL36600		
700	3500	7000	MAL26700	USE 3 POLE	MAL36700	28,000.-	
800	4000	8000	MAL26800		MAL36800		
900	4500	9000	MAL26900		MAL36900	34,000.-	3x95-240
1000	5000	10000	MAL261000		MAL361000		
MHL 1000 Ampere Frame หนกระแสฉับพลันได้ 65 KA **High Interrupting 65 KA**							
300	1500	3000	MHL26300	ใช้ราคา 3 โพล	MHL36300	26,000.-	2x95-300
350	1750	3500	MHL26350		MHL36350		
400	2000	4000	MHL26400		MHL36400		
450	2250	4500	MHL26450		MHL36450		
500	2500	5000	MHL26500		MHL36500		
600	3000	6000	MHL26600		MHL36600		
700	3500	7000	MHL26700	USE 3 POLE	MHL36700	32,000.-	
800	4000	8000	MHL26800		MHL36800		
900	4500	9000	MHL26900		MHL36900	38,000.-	3x95-240
1000	5000	10000	MHL261000		MHL361000		
NAL 1200 Ampere Frame หนกระแสฉับพลันได้ 50 KA **Standard Interrupting 50 KA**							
600	4000	8000	NAL26600	ใช้ราคา 3 โพล	NAL36600	70,000.-	4x95-300
700	4000	8000	NAL26700		NAL36700		
800	4000	8000	NAL26800		NAL36800		
900	5000	10000	NAL26900		NAL36900		
1000	5000	10000	NAL261000	USE 3 POLE	NAL361000		
1200	5000	10000	NAL261200		NAL361200		
NCL 1200 Ampere Frame หนกระแสฉับพลันได้ 100 KA **Extra High Interrupting 100 KA**							
600	4000	8000	NCL26600	ใช้ราคา 3 โพล	NCL36600	80,000.-	4x95-300
700	4000	8000	NCL26700		NCL36700		
800	4000	8000	NCL26800		NCL36800		
900	5000	10000	NCL26900		NCL36900		
1000	5000	10000	NCL261000	USE 3 POLE	NCL361000		
1200	5000	10000	NCL261200		NCL361200		

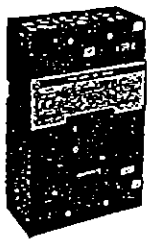
▲ UL magnetic trip setting tolerances are ± 25 % (Low) and ±20 % (High) From the nominal values shown.



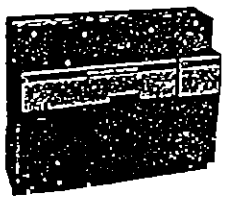
LCL
Two & Tree Pole
300-600 Amperes



LIL
Two & Tree Pole
300-600 Amperes

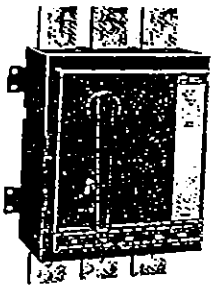


MAL/MHL
Two & Tree Pole
300-1000 Amperes

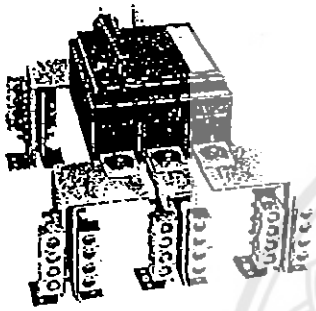


NAL/NCL
Two & Tree Pole
600-1200 Amperes

Molded Case Circuit Breaker
สวิทช์ตัดตอนอัตโนมัติ (MCCB)
แบบ Thermal-Magnetic Type



PAF/PHF
Two & Tree Pole
600-2000 Amperes



PCF circuit breakers are supplied with terminal pads for both ends of the circuit breaker. The supplied terminal pads or equivalent bus structure must be used for bus or cable connections. Terminal pads have provisions for mounting a maximum of eight lugs per phase. Order lugs separately.

Ampere Rating ขนาดแอมป์	AC Magnetic Trip Settings Amperes ▲		Three Pole Frame Only		Rating Columns Three Per Kit		Comp Brea
	Low	High	Catalog No. รุ่น	Unit Price ราคาต่อหน่วย	Catalog No. รุ่น	Unit Price ราคาต่อหน่วย	Total P ราคาต่อ
PAF 2000 Ampere Frame ทนกระแสไฟฟ้าฉับพลันได้ 50 KA **Standard Imterrupting 50**							
600	3200	9000	PAF2036	66,000.-	PA3600RC	4,000.-	70,00
700	3200	9000			PA3700RC		
800	3200	9000			PA3800RC		
1000	3500	9000			PA31000RC		
1200	3500	9000			PA31200RC		
1400	4500	9000			PA31400RC		
1600	5000	10000			PA31600RC		
1800	6500	11000			PA31800RC		
2000	8000	12000			PA32000RC		
PHF 2000 Ampere Frame ทนกระแสไฟฟ้าฉับพลันได้ 100 KA **High Intrrupting 100**							
600	3200	9000	PHF2036	76,000.-	PA3600RC	4,000.-	80,00
700	3200	9000			PA3700RC		
800	3200	9000			PA3800RC		
1000	3500	9000			PA31000RC		
1200	3500	9000			PA31200RC		
1400	4500	9000			PA31400RC		
1600	5000	10000			PA31600RC		
1800	6500	11000			PA31800RC		
2000	8000	12000			PA32000RC		
PCF 2500 Ampere Frame ทนกระแสไฟฟ้าฉับพลันได้ 100 KA **High Intrrupting 100**							
1600	6000	12000	PCF2036	116,000.-	PC31600RC	4,000.-	120,00
1800	6000	12000			PC31800RC		
2000	6000	12000			PC32000RC		
2500	8000	14000			PC32500RC		

Complete Breaker Requires Frame and Rating Columns

▲ UL magnetic trip setting tolerances are ± 25% (Low) and + 20% (High) from the nominal values shown.

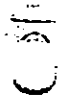
รายละเอียดของ Mechanical Lug ที่ใช้กับ MCCB ของสแควร์ ดี

Kit Catalog Number	สำหรับ Breaker		จำนวนและขนาดของสาย	
	Standard	Ampere Rating	mm^2	AWG
Al Lugs for Use with Al or Cu Wire				
AL50FA	FA,FH FI	15-30	1x2.5-25 mm^2	1-#14-#4 AWG Cu or 1-#12-#4 AWG Al
CU30FA4	FC	15-30	1x2.5- mm^2	1-#14-#10 AWG Cu
AL100FA4	FC	35-100	1x2.5-50 mm^2	1-#14-#3 AWG Cu or 1-#12-#1 AWG Al
AL100FA	FA,FH FI	35-100	1x2.5-50 mm^2	1-#14-#1/0 AWG Cu or 1-#12-#1/0 AWG Al
AL250ME	ME,MX	100-250	1x35-185 mm^2	1-#6 AWG-350 kcmil
AL250KA	KA, KH	70-250	1x25-185 mm^2	1-#4 AWG-350 kcmil
	KI, KC	110-175		
AL250KI	KI, KC	200-250	1x50-185 mm^2	1-#1/0 AWG-350 kcmil
AL400LA	LA, LH	125-400	1x50-300 mm^2 2x50-150 mm^2	1-#1 AWG-600 kcmil or 2-#1 AWG-250 kcmil
AL600LI35	LE, LX, LXI	100-250	2x50-185 mm^2	2-#1 AWG-350 kcmil
AL600LI5	LC, LI, LE, LX, LXI	300-600	2x90-240 mm^2	2-#4/0 AWG-500 kcmil
AL900MA	MA, MH	300-1000	3x95-240 mm^2	3-#3/0 AWG-500 kcmil
	ME, MX	300-800		
AL1200NE6	NA, NC, NE, NX	600-1200	4x95-300 mm^2	4-#3/0 AWG-600 kcmil

AL50FA

AL100FA

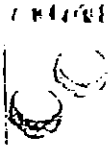
AL250KI
AL250KA

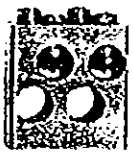

AL400LA

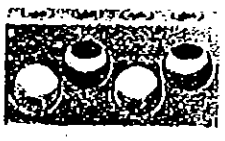
AL600LI5

AL400LH7

AL900MA


AL800MA7

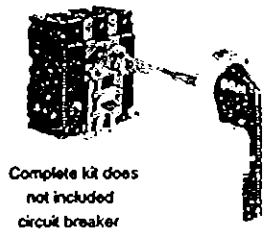

AL1000MA


AL1200NE6

AL2500PA

Operating Mechanisms Class 9421

Selection Guide For Circuit Breaker Applications



Complete kit does not included circuit breaker

Use with			Standard Handle Assemblies NEMA 1,3R,12		Operating Mechanism Includes Lockout		Standard Shaft (Support Bracket Not Required)			Long Shaft (Support Bracket Included)		
Circuit Breaker Type	No. of Poles	Frame Size (Amps)	Type	Unit price	Type	Unit price	Mounting Depth† Min.- Max.	Type	Unit Price	Mounting Depth† Min.-Max.	Type	Unit price
FAL, FCL, FHL,	2-3	100	LH6	2,000.-	LF1	1,500.-	5 -½-10-⅞	LS8	500.-	5 -½ -21	LS12	500.-
KAL, KCL, KHL	2-3	250	LH6		LK1		6 -¼ -11- ⅞	LS8		6 -¼ -21¾	LS12	
LAL, LHL, Q4L	2-3	400	LH6		LM1		7-⅜-11- ⅝	LS8		7-⅜ -22- ¼	LS10	
MEL, MXL	2-3	800	LH8		LM1		7-⅜-11-⅝	LS8		7-⅜-22-¼	LS10	
MAL, MHL	2-3	1000	LH8		LM1		6 -⅜-10-⅜	LS8		6 -⅜ -21-½	LS10	

† Mounting depth measured from circuit breaker mounting surface (control panal) to outside of enclosure door in inches.

Operating Mechanisms Class 9422

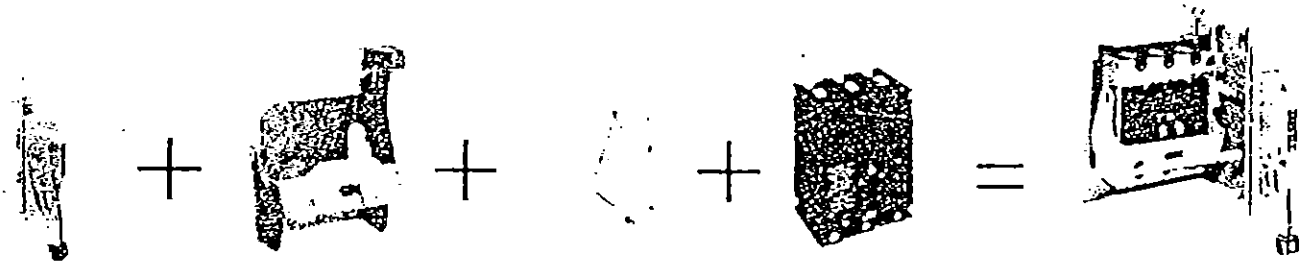
Selection Guide For Circuit Breaker Applications

Circuit Breaker Frame Size	No. of Poles	Frame Size (Amps.)	Handle Mechanism Class 9422	Unit Price	Operating Mechanism Type	Unit Price	Bracket Thru-Door Kit Type	Unit Price
FAL, FHL	2-3	100	TYPE A1	3,000.-	RN 1	3,000.-	TDK 1	3,000.-
KAL, KHL	2-3	250			RP 1	3,600.-		
LAL, LHL	2-3	400			RR 1	8,000.-	TDK 2	4,000.-
ILL	2-3	400			RR 2	9,000.-		
MEL, MXL	2-3	800			RT 1	10,000.-	TDK	5,000.-
MAL, MHL	2-3	1000						

Class 9422 Type A1

Class 9422

Class 9422 Type TDK1,2 or 3



Handle

Operating Mechanism

Thru-Door Kit

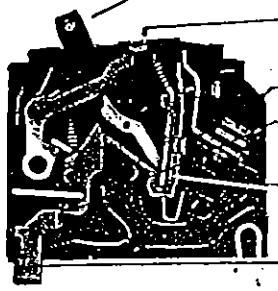
Circuit Breaker

Complete Installation

ใช้เป็นวงจรย่อย BRANCH CIRCUIT **แบบ** PLUG-ON THERMAL MAGNETIC TYPE
สำหรับ CONSUMER UNIT **และ** LOAD CENTER 240/415 **โวลท์**

MCB (Miniature Circuit Breakers)

ข้อดีของ
สแควร์ ดี

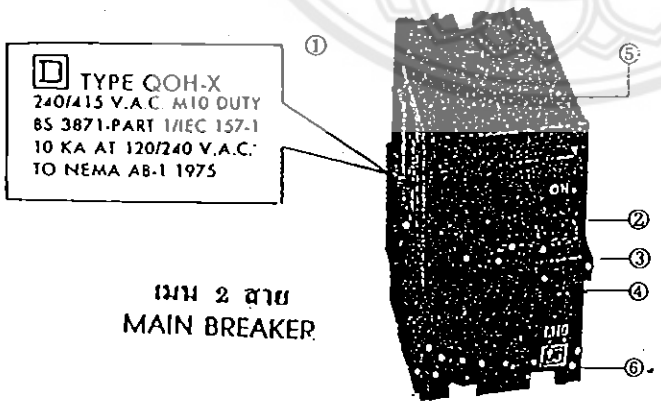


รุ่น QOH-X

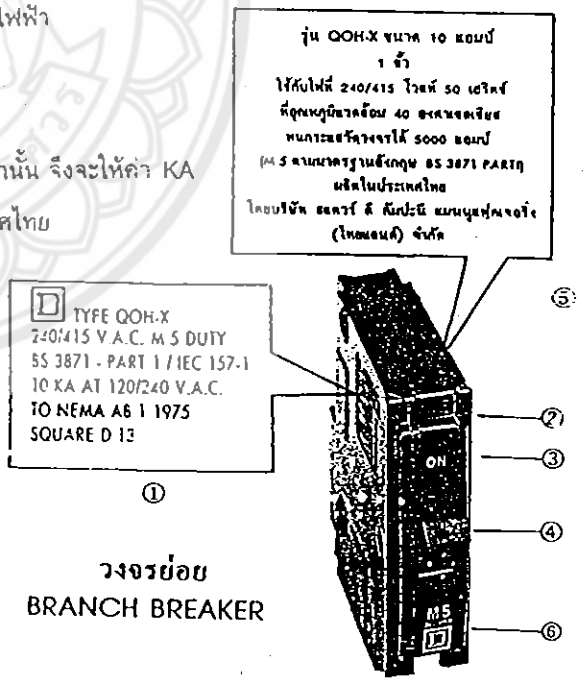
- ด้ามโยกแสดง 3 ตำแหน่ง คือ ปิด,เปิด และตำแหน่งตรงกลาง ซึ่งแสดงว่าเกิดกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (ไฟช๊อต) หรือเกิดการใช้กระแสไฟฟ้าเกิน
- VISI-TRIP ด้วยแถบสีแดงมองเห็นในที่มืด ทำให้ทราบว่าวงจรนั้นเกิดปัญหา
- ที่เข้าสาย ขันสกรูได้สะดวกใช้ได้ทั้งสายทองแดง และอลูมิเนียม
- หน้าสัมผัสใหญ่ ทนทานในการใช้งาน ตัดกระแสไฟทันทีเมื่อเกิดปัญหา
- ทำงานด้วย Thermal (ความร้อน) และ Magnetic (แม่เหล็ก) เป็นระบบอิสระ
- ระบบ Plug-On ให้ท่านมั่นใจในการยึดแน่นกับ Bus Bar ยิ่งใช้ไฟมาก ยิ่งรัดแน่นขึ้น ติดตั้งสะดวก ประหยัดเวลา ปลอดภัย

เพื่อความมั่นใจว่า ท่านได้ของแท้ ตรงตามมาตรฐาน และให้ความปลอดภัยในการใช้งานโปรด ตรวจสอบ คุณลักษณะของตัว Main Breaker และตัววงจรย่อยดังนี้ :-

1. **อักษรปั๊มนูน** มีรายละเอียดรุ่น และ ◫ ด้านข้างซ้าย
   บอกขนาด KA เป็น M5,M6 หรือ M 10 *ตรงกับข้อ 6*
2. มี ◫ **ปั๊มนูนด้านบน**ของด้านปิด-เปิด
3. **ด้ามปิด-เปิด ด้านหน้า** มีตัวเลขปั๊มนูนบอกขนาดแอมป์ *ตรงกับข้อ 5*
4. ช่อง VISI-SAFE แดงสดใส เรืองแสงในที่มืดจะปรากฏเมื่อมีปัญหากระแสไฟฟ้า
5. แผ่นสติกเกอร์ขาวพิมพ์ภาษาไทย ระบุรุ่นและแอมป์ ด้านขวาของสวิทช์
6. ◫ พิมพ์สีขาว และระบุขนาด KA เป็น M DUTY
   เมน เบรกเกอร์ MBX และวงจรย่อย QOH จะต้องผลิตในประเทศไทย เท่านั้น จึงจะให้ค่า KA ที่ถูกต้อง กับข้อกำหนดของการไฟฟ้าและเหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทย



เมน 2 สาย
MAIN BREAKER



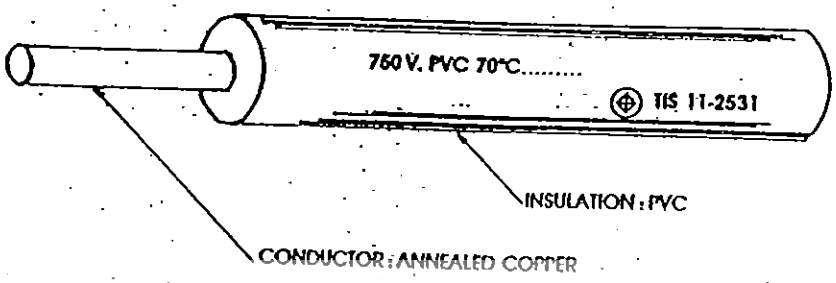
วงจรย่อย
BRANCH BREAKER

ถ้ามีข้อหนึ่งข้อใดไม่ตรงตามที่ระบุ แสดงว่าเป็นของปลอมหรือเลียนแบบ อาจมีอันตราย หากนำไปใช้

◫ *We Respond.*

ตารางที่ 4 ตารางสายไฟฟ้า

4.1 สาย TH.W,MEA TYPE A



THW, MEA TYPE A : 750 V 70° C PVC INSULATED, SINGLE CORE.

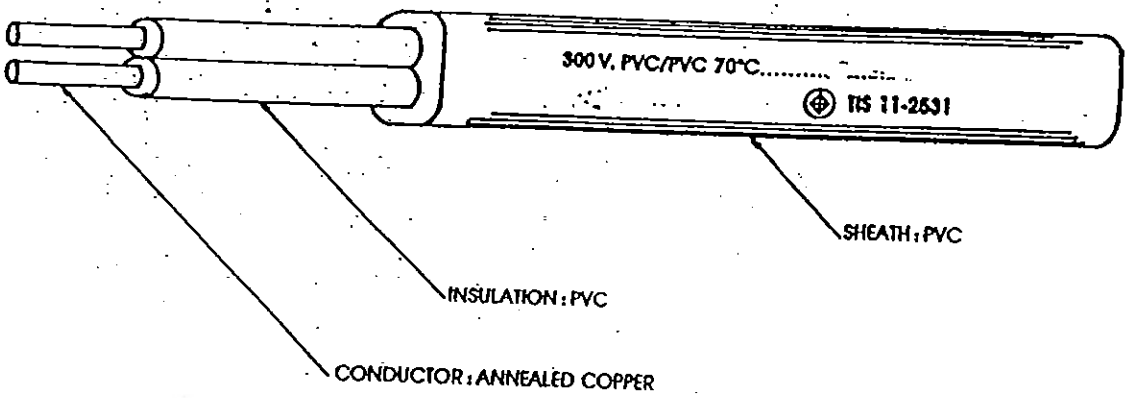
CONDUCTOR	:	Solid and stranded annealed copper, sizes 0.5 mm^2 up to 500 mm^2.
INSULATION	:	PVC—Any colour.
CLASSIFICATION	:	Maximum conductor temperature 70° C. Circuit voltage not exceeding 750 volts.
TESTING VOLTAGE	:	2,500 volts.

4.1 สาย TH.W,MEA TYPE A

Nominal cross sectional area (mm^2)	Number and diameter of wire (No/mm)	Insulation thickness (mm)	Overall diameter (mm)	Minimum Insulation resistance at 70°C (MΩ-Km)	Maximum continuous current rating in free air (Ampere)	Cable weight (approx.) (Kg/Km)	Sta le
0.5	1/0.80	0.8	3.0	0.0175	9 –	11 –	100
1	1/1.13	0.8	3.3	0.0141	13 –	17 –	100
1	7/0.40	0.8	3.5	0.0135	13 –	17 –	100
1.5	1/1.38	0.8	3.6	0.0123	17 –	22 –	100
1.5	7/0.50	0.8	3.8	0.0116	17 –	22 –	100
2.5	1/1.78	0.8	4.0	0.0102	23 –	31 –	100
2.5	7/0.67	0.8	4.3	0.0093	23 –	31 –	100
4	1/2.25	0.9	4.8	0.0094	32 –	50 –	100
4	7/0.85	0.9	5.2	0.0085	32 –	50 –	100
6	7/1.04	0.9	5.8	0.0073	43 –	75 –	100
10	7/1.35	1.1	7.2	0.0069	60 –	120 –	100
16	7/1.70	1.1	8.4	0.0057	83 –	180 –	100
25	7/2.14	1.3	10.5	0.0054	114 –	290 –	100
35	19/1.53	1.3	11.5	0.0047	141 –	380 –	100
50	19/1.78	1.5	13.5	0.0046	175 –	540 –	500/1
70	19/2.14	1.5	15.5	0.0039	221 –	720 –	500/1
95	19/2.52	1.7	18.0	0.0038	275 –	1,000 –	500/1
120	37/2.03	1.7	19.5	0.0034	321 –	1,240 –	500/D
150	37/2.25	1.9	21.5	0.0034	367 –	1,520 –	500/D
185	37/2.52	2.1	24.0	0.0034	424 –	1,900 –	500/D
240	61/2.25	2.3	27.0	0.0033	505 –	2,480 –	500/D
300	61/2.52	2.5	30.0	0.0032	581 –	3,100 –	500/D
400	61/2.85	2.7	33.5	0.0030	675 –	3,950 –	500/D
500	61/3.20	3.1	38.0	0.0031	781 –	5,150 –	500/D

C : Packing in coil.
D : Packing in drum.

4.2 สาย VAF-MEA TYPE B



YAF, MEA TYPE B : 300 V 70° C PVC INSULATED AND SHEATHED FLAT TYPE.

NUMBER OF CORE	:	2–3 cores.
CONDUCTOR	:	Solid and stranded annealed copper. sizes 0.5 mm^2 up to 35 mm^2 for 2–core and up to 16 mm^2 for 3–cores.
INSULATION	:	PVC. Colour : 2 core–Light grey, Black. 3 core–Light grey, Black, Red.
SHEATH	:	PVC. Colour : White.
CLASSIFICATION	:	Maximum conductor temperature 70° C. Circuit voltage not exceeding 300 volts.
TESTING VOLTAGE	:	2,000 volts.

4.2 สาย VAF-MEA TYPE B

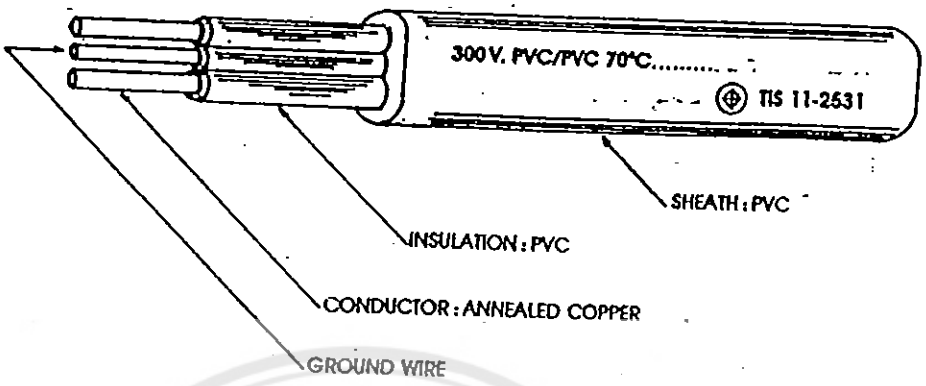
Number of core	Nominal cross sectional area (mm^2)	Number and diameter of wire (No/mm)	Insulation thickness (mm)	Sheath thickness (mm)	Overall diameter (mm) Lower limit	Overall diameter (mm) Upper limit	Minimum insulation resistance at 70° C (MΩ-Km)	Maximum continuous current rating in free air (Ampere)	Cable weight (approx.) (Kg/Km)	Standard length (m)
2	0.5	1/0.80	0.6	0.9	3.6 × 5.6	4.4 × 6.8	0.0146	7–	37–	100/C
	1	1/1.13	0.6	0.9	4.0 × 6.2	4.8 × 7.4	0.0115	11–	50–	100/C
	1	7/0.40	0.6	0.9	4.0 × 6.4	5.0 × 7.8	0.0110	11–	50–	100/C
	1.5	1/1.38	0.6	1.2	4.8 × 7.2	5.8 × 8.6	0.0100	15–	70–	100/C
	1.5	7/0.50	0.6	1.2	4.9 × 7.4	6.0 × 9.2	0.0094	15–	70–	100/C
	2.5	1/1.78	0.7	1.2	5.4 × 8.4	6.4 × 10.0	0.0092	20–	100–	100/C
	2.5	7/0.67	0.7	1.2	5.6 × 8.8	6.8 × 10.5	0.0084	20–	100–	100/C
	4	1/2.25	0.8	1.2	6.0 × 9.8	7.2 × 11.5	0.0086	27–	140–	100/C
	4	7/0.85	0.8	1.2	6.2 × 10.0	7.6 × 12.0	0.0078	27–	140–	100/C
	6	7/1.04	0.8	1.2	6.8 × 11.0	8.2 × 13.5	0.0066	35–	200–	100/C
	10	7/1.35	0.9	1.2	8.0 × 13.5	9.4 × 16.0	0.0059	49–	300–	100/C
	16	7/1.70	1.0	1.2	9.2× 16.0	11.0 × 18.5	0.0053	65–	440–	100/C
	25	7/2.14	1.2	1.4	11.0× 19.5	13.0 × 22.5	0.0051	88–	690–	500/D
	35	19/1.53	1.2	1.4	12.0× 22.0	14.5 × 25.0	0.0043	109–	900–	500/D
3	0.5	1/0.80	0.6	0.9	3.6 × 7.4	4.4 × 9.0	0.0146	6–	50–	100/C
	1	1/1.13	0.6	0.9	4.0 × 8.4	4.8 × 10.0	0.0115	9–	70–	100/C
	1	7/0.40	0.6	0.9	4.0 × 8.6	5.0 × 10.5	0.0110	9–	70–	100/C
	1.5	1/1.38	0.6	1.2	4.8 × 9.8	5.8 × 11.5	0.0100	12–	100–	100/C
	1.5	7/0.50	0.6	1.2	4.9 × 10.0	6.0 × 12.5	0.0094	12–	100–	100/C
	2.5	1/1.78	0.7	1.2	5.4 × 11.5	6.4 × 13.5	0.0092	16–	150–	100/C
	2.5	7/0.67	0.7	1.2	5.6 × 12.0	6.8 × 14.5	0.0084	16–	150–	100/C
	4	1/2.25	0.8	1.2	6.0 × 13.5	7.2 × 16.0	0.0086	22–	210–	100/C
	4	7/0.85	0.8	1.2	6.2 × 14.0	7.6 × 16.5	0.0078	22–	210–	100/C
	6	7/1.04	0.8	1.2	6.8 × 16.0	8.2 × 18.5	0.0066	29–	300–	100/C
	10	7/1.35	0.9	1.2	8.0 × 19.0	9.4 × 22.0	0.0059	40–	450–	500/D
	16	7/1.70	1.0	1.4	9.6 × 23.0	11.5 × 26.5	0.0053	53–	680–	500/D

TISI permitted to increase the maximum overall diameter by 5 %

C : Packing in coil.

D : Packing in drum.

4.3 สาย VAF-GRD,MEA TYPE B - GRD



VAF–GRD, MEA TYPE B–GRD : 300 V 70° C PVC INSULATED AND SHEATHED FLAT TYPE, WITH GROUND.

NUMBER OF CORE	:	2–3 cores with safety–ground.
CONDUCTOR	:	Solid and stranded annealed copper, sizes 1 mm^2 up to 35 mm^2. Ground conductor sizes 1 mm^2 up to 10 mm^2.
INSULATION	:	PVC. Colour : 2 core–Light grey, Black. 3 core–Light grey, Black, Red. Ground core–Green/Yellow
SHEATH	:	PVC. Colour : White.
CLASSIFICATION	:	Maximum conductor temperature 70° C. Circuit voltage not exceeding 300 volts.
TESTING VOLTAGE	:	2,000 volts.

4.3 สาย VAF-GRD,MEA TYPE B - GRD

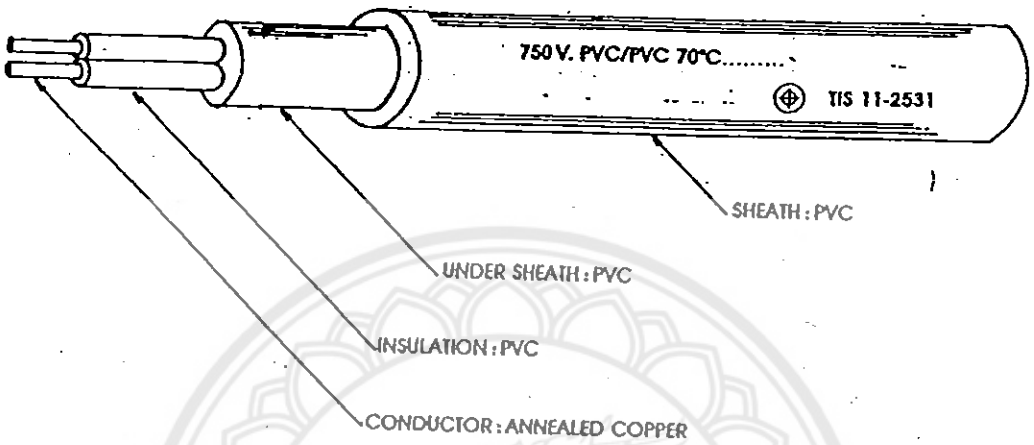
Number of core	Nominal cross sectional area (mm^2)	Number and diameter of wire (No/mm)	Insulation thickness (mm)	Nominal cross sectional area of ground conductor (mm^2)	Thickness of ground insulation (mm)	Sheath thickness (mm)	Overall diameter (mm) Lower limit	Overall diameter (mm) Upper limit	Minimum insulation resistance at 70° C (MΩ-Km)	Maximum continuous current rating in free air (Ampere)	Cable weight (approx) (Kg/Km)	Standard length (m)
	1	1/1.13	0.6	1	0.6	0.9	4.6 × 8.4	4.8 × 10.0	0.0115	11–	70–	500/D
	1	7/0.40	0.6	1	0.6	0.9	4.0 × 8.6	5.0 × 10.5	0.0110	11–	70–	500/D
	1.5	1/1.38	0.6	1	0.6	1.2	4.8 × 9.4	5.8 × 11.5	0.0100	15–	95–	500/D
	1.5	7/0.5	0.6	1	0.6	1.2	4.9 × 9.8	6.0 × 12.0	0.0094	15–	95–	500/D
	2.5	1/1.78	0.7	1.5	0.6	1.2	5.4 × 10.5	6.4 × 13.0	0.0092	20–	130–	500/D
	2.5	7/0.67	0.7	1.5	0.6	1.2	5.6 × 11.5	6.8 × 14.0	0.0084	20	130–	500/D
2	4	1/2.25	0.8	2.5	0.6	1.2	6.0 × 12.5	7.2 × 15.0	0.0086	27–	190–	500/D
	4	7/0.85	0.8	2.5	0.6	1.2	6.2 × 13.0	7.6 × 16.0	0.0078	27–	190–	500/D
	6	7/1.04	0.8	4	0.6	1.2	6.8 × 15.0	8.2 × 17.5	0.0066	35–	270–	500/D
	10	7/1.35	0.9	4	0.6	1.2	8.0 × 17.0	9.4 × 20.0	0.0059	49–	380–	500/D
	16	7/1.70	1.0	6	0.6	1.2	9.2× 20.0	11.0 × 23.0	0.0053	65–	550–	500/D
	25	7/2.14	1.2	6	0.6	1.4	11.0× 24.0	13.0 × 27.0	0.0051	88–	810–	500/D
	35	19/1.53	1.2	10	0.6	1.4	12.0× 27.0	14.5 × 31.0	0.0043	109–	1,070–	500/D
	1	1/1.13	0.6	1	0.6	0.9	4.0 × 10.5	4.8 × 12.5	0.0115	9–	95–	500/D
	1	7/0.40	0.6	1	0.6	0.9	4.0 × 11.0	5.0 × 13.5	0.0110	9–	95–	500/D
	1.5	1/1.38	0.6	1	0.6	1.2	4.8 × 12.0	5.8 × 14.0	0.0100	12–	130–	500/D
	1.5	7/0.50	0.6	1	0.6	1.2	4.9 × 12.5	6.0 × 15.0	0.0094	12–	130–	500/D
	2.5	1/1.78	0.7	1.5	0.6	1.2	5.4 × 14.0	6.4 × 16.5	0.0092	16–	180–	500/D
3	2.5	7/0.67	0.7	1.5	0.6	1.2	5.6 × 14.5	6.8 × 17.5	0.0084	16–	180–	500/D
	4	1/2.25	0.8	2.5	0.6	1.2	6.0 × 16.0	7.2 × 19.0	0.0086	22–	260–	500/D
	4	7/0.85	0.8	2.5	0.6	1.2	6.2 × 17.5	7.6 × 20.5	0.0078	22–	260–	500/D
	6	7/1.04	0.8	4	0.6	1.2	6.8 × 19.5	8.2 × 22.5	0.0066	29–	370–	500/D
	10	7/1.35	0.9	4	0.6	1.2	8.0 × 22.5	9.4 × 26.0	0.0059	40–	520–	500/D
	16	7/1.70	1.0	6	0.6	1.4	9.6× 27.5	11.0 × 31.5	0.0053	53–	860–	500/D

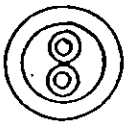
T!SI permitted to increase the maximum overall diameter by 5 %

C : Packing in coil.

D : Packing in drum.

4.4 NYY,MEA TYPE C





NYY, MEA TYPE C: 750 V 70° C PVC INSULATED AND DOUBLE SHEATHED ROUND TYPE.

NUMBER OF CORE	:	Up to 4 cores.
CONDUCTOR	:	Solid and stranded annealed copper Sizes, Single core - 1 mm^2 up to 500 mm^2. Multi core – 1 mm^2 up to 300 mm^2
INSULATION	:	PVC. Colour : Single core – Black. 2 core – Light grey, Black. 3 core – Light grey, Black, Red. 4 core – Light grey, Black, Red, Blue
SHEATH AND UNDER SHEATH	:	PVC. Colour : Black.
CLASSIFICATION	:	Maximum conductor temperature 70° C Circuit voltage not exceeding 750 volts.
TESTING VOLTAGE	:	2,500 volts.

NYY,NEA TYPE C (SINGLE CORE)

Nominal cross sectional area (mm^2)	Number and diameter of wire (No/mm)	Insulation thickness (mm)	Sheath thickness (mm)	Overall diameter (mm)	Minimum insulation resistance at 70° C (MΩ-Km)	Maximum continuous current rating (Ampere)		Cable weight (approx.) (Kg/Km)	Standard length (m)
						Free air	Under ground		
1	1/1.13	1.5	1.8	8.6	0.0207	17–	22–	80–	100/C
1	7/0.40	1.5	1.8	8.8	0.0200	17–	22–	80–	100/C
1.5	1/1.38	1.5	1.8	9.0	0.0184	21–	27–	90–	100/C
1.5	7/0.50	1.5	1.8	9.2	0.0175	21–	27–	90–	100/C
2.5	1/1.78	1.5	1.8	9.4	0.0157	28–	36–	100–	100/C
2.5	7/0.67	1.5	1.8	9.8	0.0146	28–	36–	100–	100/C
4	1/2.25	1.5	1.8	10.0	0.0135	38–	47–	130–	100/C
4	7/0.85	1.5	1.8	10.5	0.0124	38–	47–	130–	100/C
6	7/1.04	1.5	1.8	11.0	0.0107	49–	60–	160–	100/C
10	7/1.35	1.5	1.8	12.0	0.0088	67–	81–	210–	500/D
16	7/1.70	1.5	1.8	13.0	0.0074	89–	105–	280–	500/D
25	7/2.14	1.5	1.8	14.5	0.0061	118–	136–	390–	500/D
35	19/1.53	1.5	1.8	16.0	0.0053	146–	165–	500–	500/D
50	19/1.78	1.5	1.8	17.0	0.0046	177–	196–	660–	500/D
70	19/2.14	1.5	1.8	19.0	0.0039	222–	241–	850–	500/D
95	19/2.52	1.7	1.8	21.5	0.0038	274–	289–	1,150–	500/D
120	37/2.03	1.7	1.8	23.0	0.0034	318–	330–	1,400–	500/D
150	37/2.25	1.9	2.0	26.0	0.0034	362–	370–	1,720–	500/D
185	37/2.52	2.1	2.0	28.0	0.0034	416–	419–	2,130–	500/D
240	61/2.25	2.3	2.2	31.5	0.0033	492–	486–	2,760–	500/D
300	61/2.52	2.5	2.2	35.0	0.0032	565–	551–	3,400–	500/D
400	61/2.85	2.7	2.2	38.5	0.0030	655–	629–	4,290–	500/D
500	61/3.20	3.1	2.4	43.0	0.0031	757–	717–	5,570–	500/D

Remark : SPECIAL PROTECTION CAN BE PRODUCED, SEE DETAILS AT PART E, PAGE. 172

C : Packing in coil.

D : Packing in drum.

NYY,MEA TYPE C (MULTI CORE)

um er of xe	Nominal cross sectional area (mm^2)	Number and diameter of wire (No/mm)	Insulation thickness (mm)	Thickness of the under sheath (mm)	Thickness of sheath (mm)	Overall diameter (mm)	Minimum insulation resistance at 70° C (MΩ Km)	Maximum continuous current rating (Ampere)		Cable weight (approx.) (Kg/Km)	Standard length (m)
								Free air	Under ground		
	1	1/1.13	0.8	0.8	1.8	12.0	0.0141	15	21	160	100/C
	1	7/0.40	0.8	0.8	1.8	12.5	0.0135	15	21	160	100/C
	1.5	1/1.38	0.8	0.8	1.8	12.5	0.0123	19	27	180	100/C
	1.5	7/0.50	0.8	0.8	1.8	13.0	0.0116	19	27	180	100/C
	2.5	1/1.78	0.8	0.8	1.8	13.5	0.0102	25	35	210 -	100/C
	2.5	7/0.67	0.8	0.8	1.8	14.0	0.0093	25	35	210	100/C
	4	1/2.25	0.9	0.8	1.8	15.0	0.0094	33	47	280	100/C
	4	7/0.85	0.9	0.8	1.8	15.5	0.0085	33	47	280	100/C
	6	7/1.04	0.9	0.8	1.8	17.0	0.0073	43	60	370	100/C
	10	7/1.35	1.1	0.8	1.8	19.5	0.0069	60	81	530	500/D
	16	7/1.70	1.1	0.8	2.0	22.5	0.0057	80	105	720	500/D
	25	7/2.14	1.3	1.2	2.0	27.0	0.0054	106	136	1090	500/D
	35	19/1.53	1.3	1.2	2.0	29.5	0.0047	130	165	1360	500/D
	50	19/1.78	1.5	1.2	2.2	33.5	0.0046	157	196	1880	500/D
	70	19/2.14	1.5	1.5	2.2	38.0	0.0039	195	240	2430	500/D
	95	19/2.52	1.7	1.5	2.2	42.5	0.0038	239	290	3220	500/D
	120	37/2.03	1.7	1.5	2.4	46.5	0.0034	280	332	3940	500/D
	150	37/2.25	1.9	1.8	2.6	52.0	0.0034	320	370	4840	500/D
	185	37/2.52	2.1	1.8	2.8	57.0	0.0034	370	419	5970 -	500/D
	240	61/2.25	2.3	2.0	3.0	64.0	0.0033	440 -	484 -	7700 -	300/D
	300	61/2.52	2.5	2.0	3.2	70.5	0.0032	507 -	547 -	9450 -	300/D
	1	1/1.13	0.8	0.8	1.8	12.5	0.0141	12 -	18 -	180 -	100/C
	1	7/0.04	0.8	0.8	1.8	13.0	0.0135	12 -	18 -	180 -	100/C
	1.5	1/1.38	0.8	0.8	1.8	13.0	0.0123	16	22 -	200 -	100/C
	1.5	7/0.50	0.8	0.8	1.8	13.5	0.0116	16	22 -	200 -	100/C
	2.5	1/1.78	0.8	0.8	1.8	14.0	0.0102	21	30 -	250 -	100/C
	2.5	7/0.67	0.8	0.8	1.8	15.0	0.0093	21	30	250	100/C
	4	1/2.25	0.9	0.8	1.8	15.5	0.0094	28	39	330	100/C
	4	7.0.85	0.9	0.8	1.8	16.5	0.0085	28 -	39 -	330 -	100/C
	6	7/1.04	0.9	0.8	1.8	18.0	0.0073	37 -	50 -	440 -	100/C
	10	7/1.35	1.1	0.8	1.8	20.5	0.0069	50 -	68 -	640 -	500/D
	16	7/1.70	1.1	1.2	2.0	24.5	0.0057	67 -	87 -	930 -	500/D
	25	7/2.14	1.3	1.2	2.0	28.5	0.0054	89	113 -	1360 -	500/D
	35	19/1.53	1.3	1.2	2.0	31.5	0.0047	109	137 -	1720 -	500/D
	50	19/1.78	1.5	1.5	2.2	36.0	0.0046	131 -	162	2440 -	500/D
	70	19/2.14	1.5	1.5	2.2	40.5	0.0039	163	200	3110 -	500/D
	95	19/2.52	1.7	1.5	2.4	46.0	0.0038	202 -	240 -	4180 -	500/D
	120	37/2.03	1.7	1.8	2.6	50.5	0.0034	235 -	273 -	5190 -	500/D
	150	37/2.25	1.9	1.8	2.8	56.0	0.0034	269 -	306 -	6300 -	500/D
	185	37/2.52	2.1	2.0	3.0	61.5	0.0034	311 -	346 -	7840 -	300/D
	240	61/2.25	2.3	2.0	3.2	69.0	0.0033	371 -	402 -	10060 -	300/D
	300	61/2.52	2.5	2.2	3.4	76.0	0.0032	427 -	453 -	12450 -	200/D

NYY,MEA TYPE C (MULTI CORE)

Num-ber of core	Nominal cross sectional area (mm^2)	Number and diameter of wire (No/mm)	Insulation thickness (mm)	Thickness of the under sheath (mm)	Thickness of sheath (mm)	Overall diameter (mm)	Minimum insulation resistance at 70° C (MΩ-Km)	Maximum continuous current rating (Ampere)		Cable weight (approx.) (Kg/Km)	St do len (n
								Free air	Under ground		
	1	1/1.13	0.8	0.8	1.8	13.5	0.0141	11–	16–	200–	10(
	1	7/0.40	0.8	0.8	1.8	14.0	0.0135	11–	16–	200–	10(
	1.5	1/1.38	0.8	0.8	1.8	14.0	0.0123	14–	20–	230–	10(
	1.5	7/0.50	0.8	0.8	1.8	14.5	0.0116	14–	20–	230–	10(
	2.5	1/1.78	0.8	0.8	1.8	15.0	0.0102	19–	27–	290–	10(
	2.5	7/0.67	0.8	0.8	1.8	16.0	0.0093	19–	27–	290–	10(
	4	1/2.25	0.9	0.8	1.8	17.0	0.0094	25–	35–	390–	10(
	4	7/0.85	0.9	0.8	1.8	17.5	0.0085	25–	35–	390–	10(
	6	7/1.04	0.9	0.8	1.8	19.0	0.0073	33–	45–	530–	50(
	10	7/1.35	1.1	0.8	2.0	23.0	0.0069	45–	60–	810–	50(
4	16	7/1.70	1.1	1.2	2.0	26.5	0.0057	60–	77–	1160–	50(
	25	7/2.14	1.3	1.2	2.0	31.0	0.0054	79–	100–	1700–	50(
	35	19/1.53	1.3	1.5	2.2	35.0	0.0047	97–	120–	2240–	50(
	50	19/1.78	1.5	1.5	2.2	39.5	0.0046	117–	144–	3070–	50(
	70	19/2.14	1.5	1.5	2.4	44.5	0.0039	147–	176–	3970–	50(
	95	19/2.52	1.7	1.8	2.6	51.5	0.0038	182–	211–	5410–	50(
	120	37/2.03	1.7	1.8	2.8	56.0	0.0034	213–	241–	6640–	50(
	150	37/2.25	1.9	2.0	3.0	62.0	0.0034	243–	270–	8130–	30(
	185	37/2.52	2.1	2.0	3.2	68.0	0.0034	282–	306–	10050–	30(
	240	61/2.25	2.3	2.2	3.4	76.5	0.0033	335–	354–	12960–	20(
	300	61/2.52	2.5	2.2	3.8	85.0	0.0032	385–	399–	16040–	20(

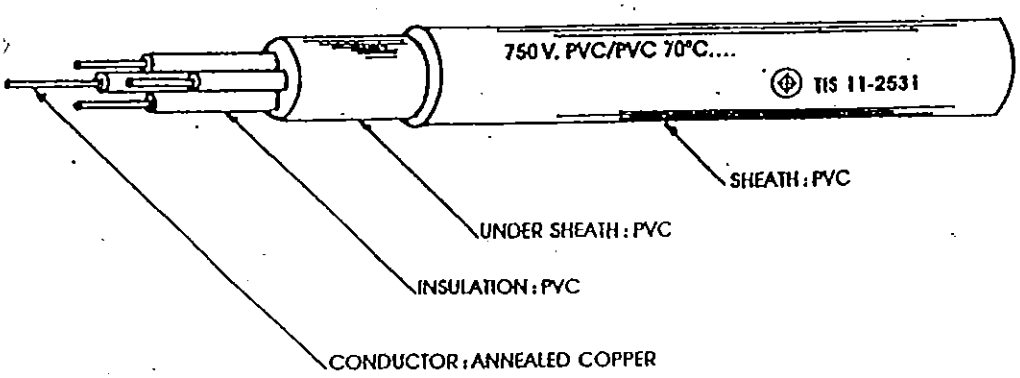
TISI PERMITTED TO INCREASE THE MAXIMUM OVERALL DIAMETER BY 5%

* REMARK : SPECIAL PROTECTION CAN BE PRODUCED, SEE DETAILS AT PART E, PAGE 172

C : Packing in coil

D : Packing in drum

4.5 NYY-N,MEA TYPE C-N



NYY–N, MEA TYPE C–N : 750 V 70° C PVC INSULATED AND DOUBLE SHEATHED ROUND TYPE, WITH NEUTRAL

NUMBER OF CORE	:	3 phase cores with 1 neutral core.
CONDUCTOR	:	Stranded annealed copper, sizes, Phase conductor – 6 mm^2 up to 300 mm^2. Neutral conductor – 4 mm^2 up to 150 mm^2
INSULATION	:	PVC. Colour : 3 phase core – Black, Red, Blue. 1 neutral core – Light grey,
SHEATH AND UNDER SHEATH	:	PVC. Colour : Black.
CLASSIFICATION	:	Maximum conductor temperature 70° C. Circuit voltage not exceeding 750 volts.
TESTING VOLTAGE	:	2,500 volts.

4.5 NYY-N,MEA TYPE C-N

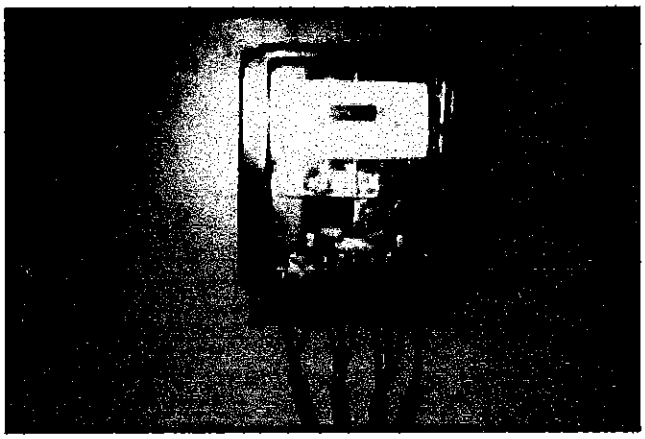
Nominal cross sectional area (mm^2)		Number and diameter of conductor (No/mm)		Thickness of insulation (mm)		Under sheath thick-ness	Sheath thick-ness	Overall diame-ter	Minimum insulation resistance at 70° C	Maximum continuous current rating (Ampere)		Cable weight (approx)	Stan-dard length
Phase	Neutral	Phase	Neutral	Phase	Neutral	(mm)	(mm)	(mm)	(MΩ-Km)	Free air	Under ground	(Kg/Km)	(m)
3 × 6	1 × 4	7/1.04	7/0.85	0.9	0.9	0.8	1.8	19.0	0.0073	37	51	420	500/D
3 × 10	1 × 6	7/1.35	7/1.04	1.1	0.9	0.8	2.0	23.0	0.0069	51	68	750	500/D
3 × 16	1 × 10	7/1.70	7/1.35	1.1	1.1	1.2	2.0	26.5	0.0057	68	88	1100	500/D
3 × 25	1 × 16	7/2.14	7/1.70	1.3	1.1	1.2	2.0	31.0	0.0054	90	114	1570	500/D
3 × 35	1 × 16	19/1.53	7/1.70	1.3	1.1	1.5	2.2	35.0	0.0047	109	137	2000	500/D
3 × 50	1 × 25	19/1.78	7/2.14	1.5	1.3	1.5	2.2	39.5	0.0046	133	163	2770	500/D
3 × 70	1 × 35	19/2.14	19/1.53	1.5	1.3	1.5	2.4	44.5	0.0039	166	201	3600	500/D
3 × 95	1 × 50	19/2.52	19/1.78	1.7	1.5	1.8	2.6	51.5	0.0038	205	240	4890	500/D
3 × 120	1 × 70	37/2.03	19/2.14	1.7	1.5	1.8	2.8	56.0	0.0034	240	275	6050	500/D
3 × 150	1 × 70	37/2.25	19/2.14	1.9	1.5	2.0	3.0	62.0	0.0034	272	306	7200	300/D
3 × 185	1 × 95	37/2.52	19/2.52	2.1	1.7	2.0	3.2	68.0	0.0034	316	347	9000	300/D
3 × 240	1 × 120	61/2.25	37/2.03	2.3	1.7	2.2	3.4	76.5	0.0033	375	402	11530	200/D
3 × 300	1 × 150	61/2.52	37/2.25	2.5	1.9	2.2	3.8	84.5	0.0032	430	453	14290	200/D

TISI PERMITTED TO INCREASE THE MAXIMUM OVERALL DIAMETER BY 5 %

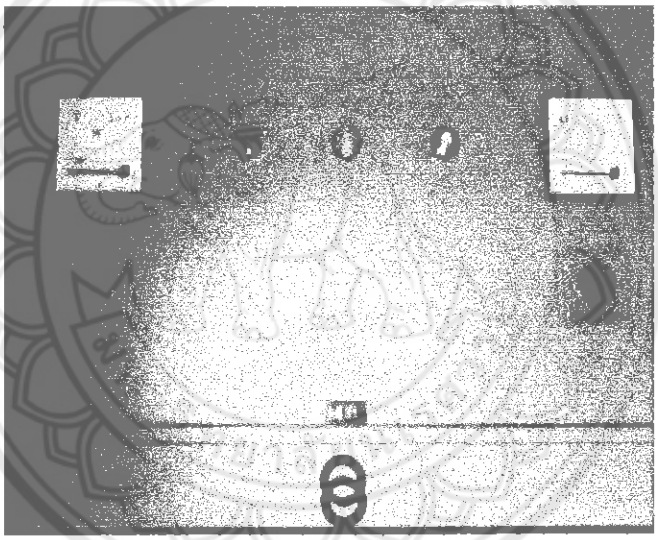
REMARK : SPECIAL PROTECTION CAN BE PRODUCED. SEE DETAILS AT PART E, PAGE 172

D : Packing in drum.

ภาคผนวก ง



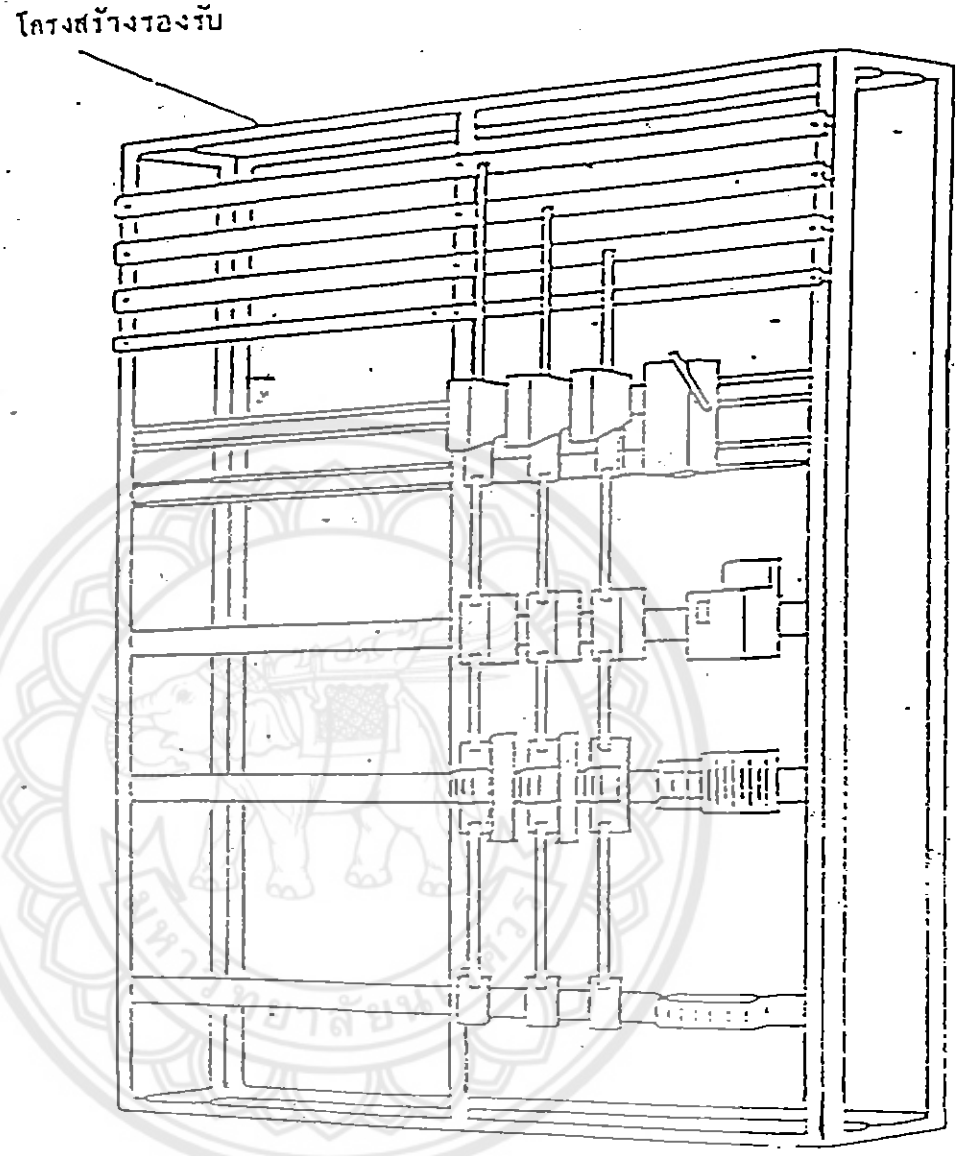
มิเตอร์



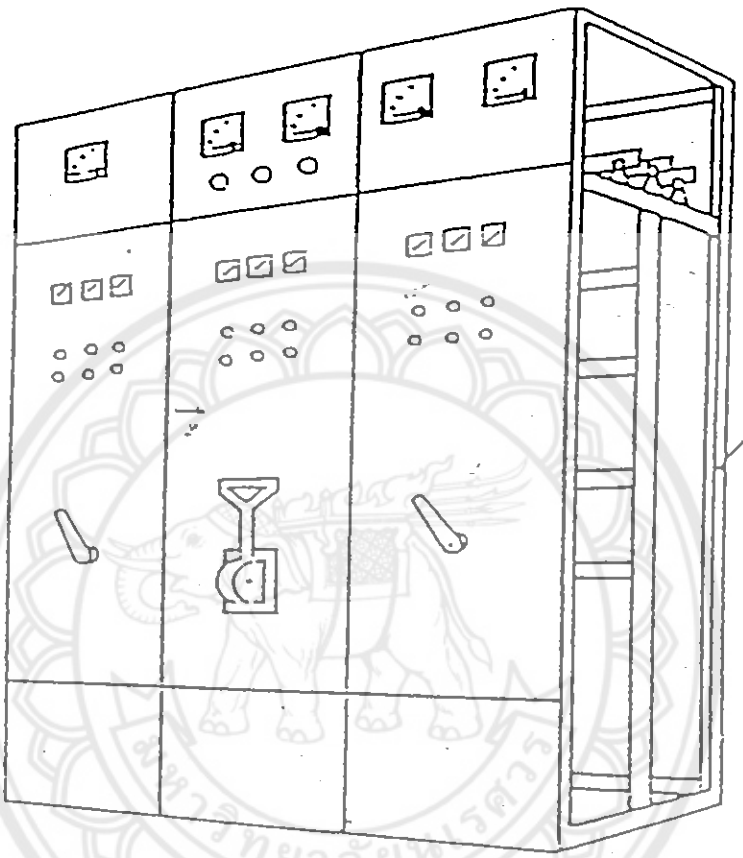
แสดงไพลอทแลมป์และมิเตอร์ต่างๆ

ประเภทของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแบ่งตามลักษณะการออกแบบภายนอก

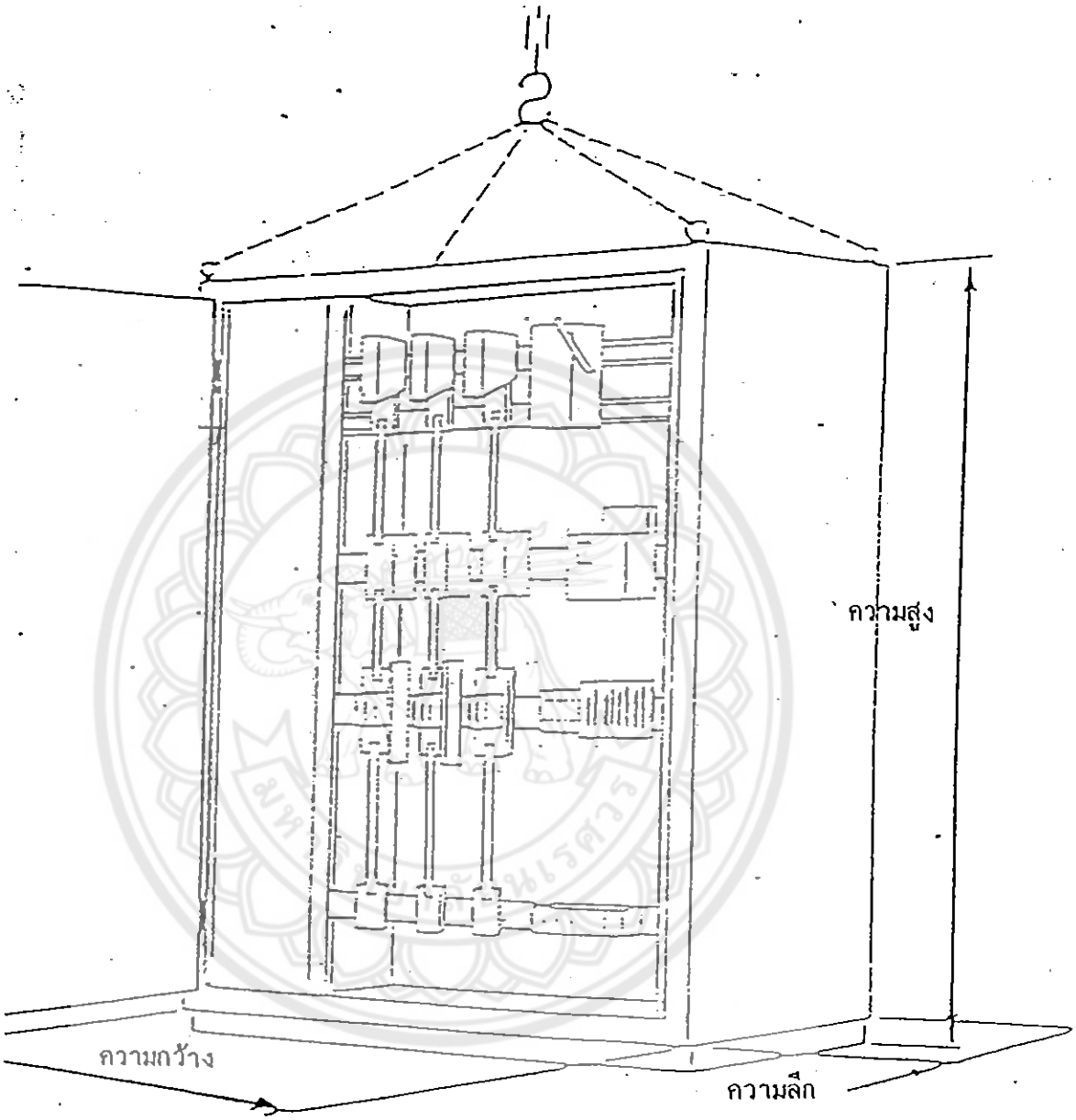
1. ตู้ไฟฟ้าแบบเปิด หมายถึง ตู้ไฟฟ้าที่ประกอบด้วยโครงสร้างรองรับ ซึ่งรองรับบริภัณฑ์ไฟฟ้า และสามารถเข้าถึงส่วนที่ไม่มีไฟฟ้าได้
2. ตู้ไฟฟ้าแบบปิดตายด้านหน้า หมายถึง ตู้ไฟฟ้าแบบเปิด ซึ่งมีฝาปิดด้านหน้า ที่มีระดับการป้องกันทางด้านหน้าอย่างน้อยที่สุดเป็น IP 2X และอาจเข้าถึงส่วนที่มีไฟฟ้าทางด้านอื่นๆ ได้
3. ตู้ไฟฟ้าแบบปิดหุ้ม หมายถึง ตู้ไฟฟ้าที่มีการปิดหุ้มทุกด้าน แต่อาจจะยกเว้นเฉพาะด้านที่ใช้สำหรับการติดตั้ง ซึ่งมีระดับการป้องกันอย่างน้อย IP 2X
4. ตู้ไฟฟ้าแบบคิวบิค หมายถึง ตู้ไฟฟ้าแบบหิดหุ้มซึ่งปกติติดตั้งบนพื้น โดยอาจจะประกอบด้วยตอนย่อย หรือตอนแยกหลาย ๆ หน่วย
    - 4.1 ตู้ไฟฟ้าแบบมัลติ-คิวบิค หมายถึง การนำมาต่อกันทางกลของตู้ไฟฟ้าแบบคิวบิคหลาย ๆ ตู้
    - 4.2 ตู้ไฟฟ้าแบบโต๊ะ หมายถึงตู้ไฟฟ้าแบบปิดหุ้ม ซึ่งมีแผงควบคุมในแนวนอนหรือเอียง หรือทั้งสองแบบ ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องสำเร็จของส่วนควบคุม ส่วนการวัด ส่วนการให้สัญญาณ และอื่น ๆ
    - 4.3 ตู้ไฟฟ้าแบบกล่อง หมายถึง ตู้ไฟฟ้าแบบปิดหุ้ม ซึ่งตามปกติติดตั้งบนระนาบดิ่ง
    - 4.4 ตู้ไฟฟ้าแบบกล่องหลายกล่อง หมายถึง การนำตู้ไฟฟ้าแบบกล่องหลาย ๆ ตู้มาต่อกันทางกลโดยมีหรือไม่มีโครงรองรับร่วมก็ได้ การเชื่อมต่อทางไฟฟ้ากระทำผ่านช่องเปิดของผนังด้านติดกัน



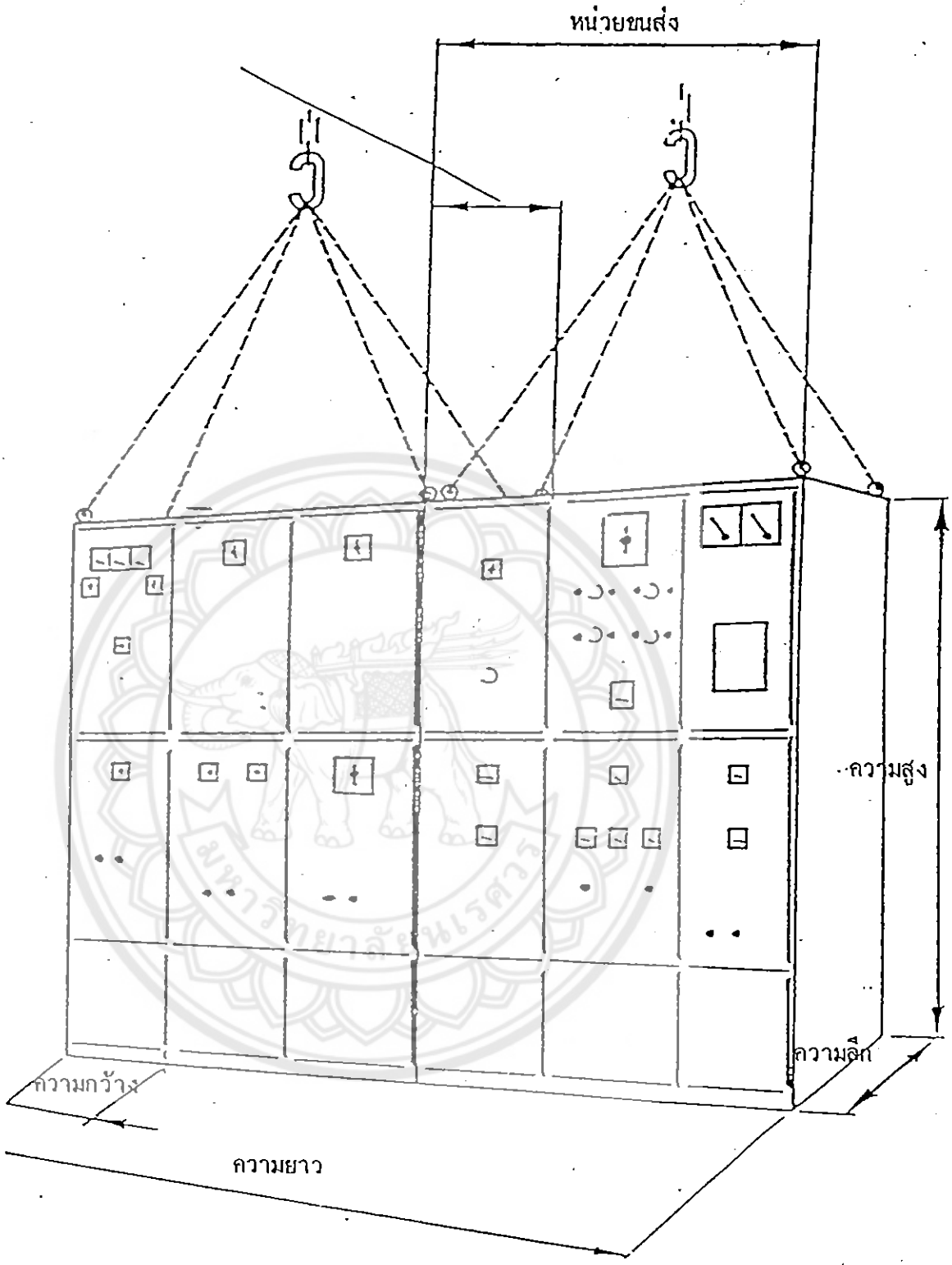
รูป ง-1 ตู้ไฟฟ้าแบบเปิด



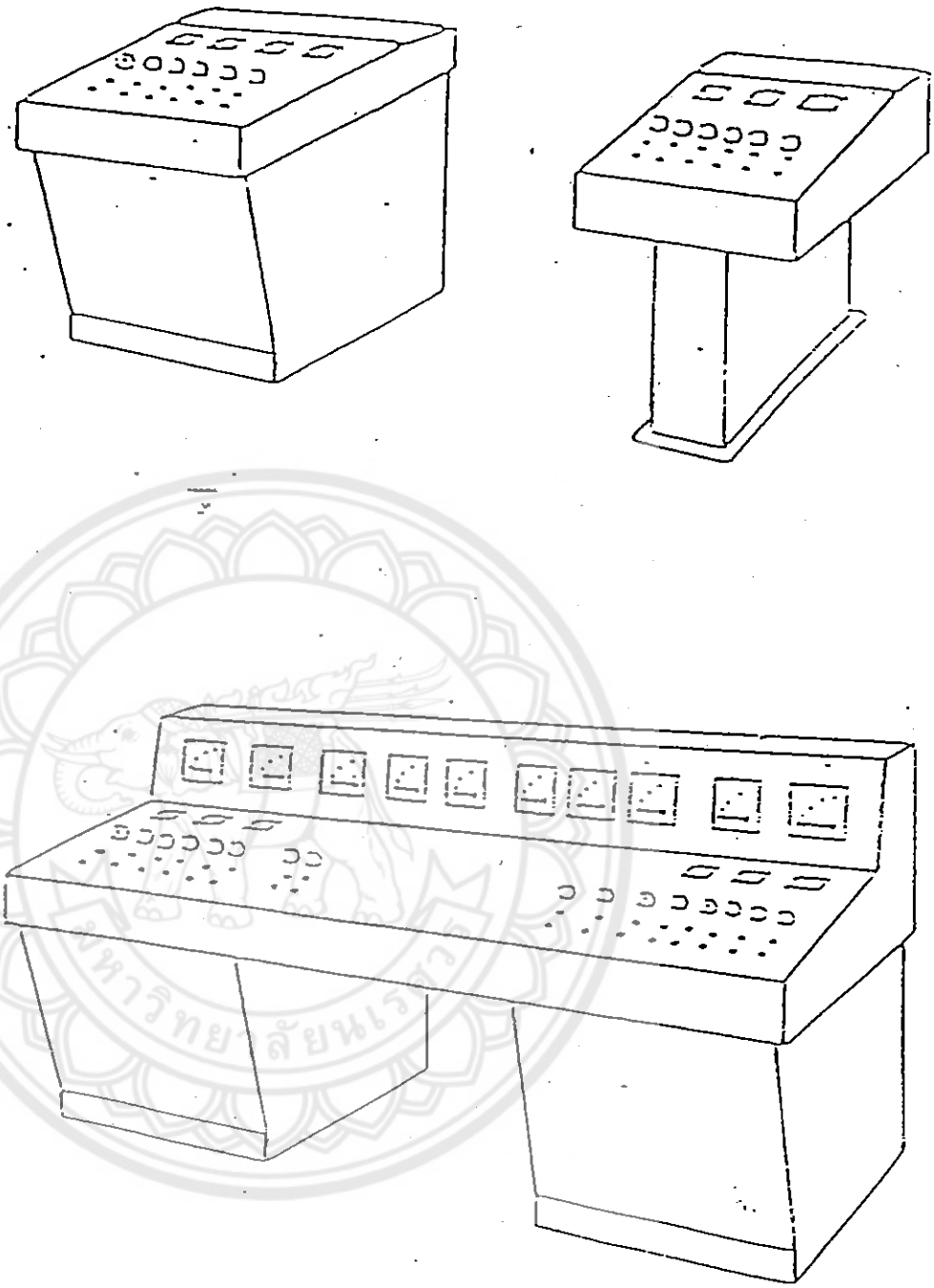
รูป ง-2 ตู้ไฟฟ้าแบบปิดตายด้านหน้า



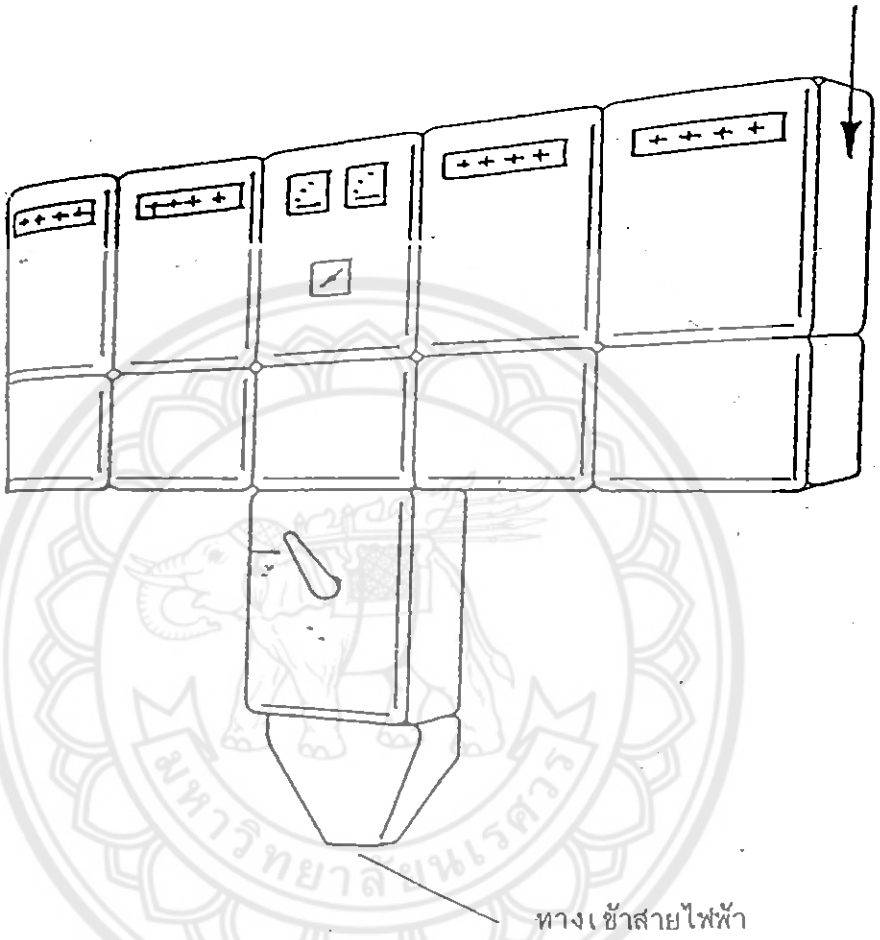
รูป ง-3 ตู้ไฟฟ้าแบบดิวบิด



รูป ง-4 ตู้ไฟฟ้าแบบมัลติคิวบิค



รูป ง-5 ตู้ไฟฟ้าแบบโต๊ะ



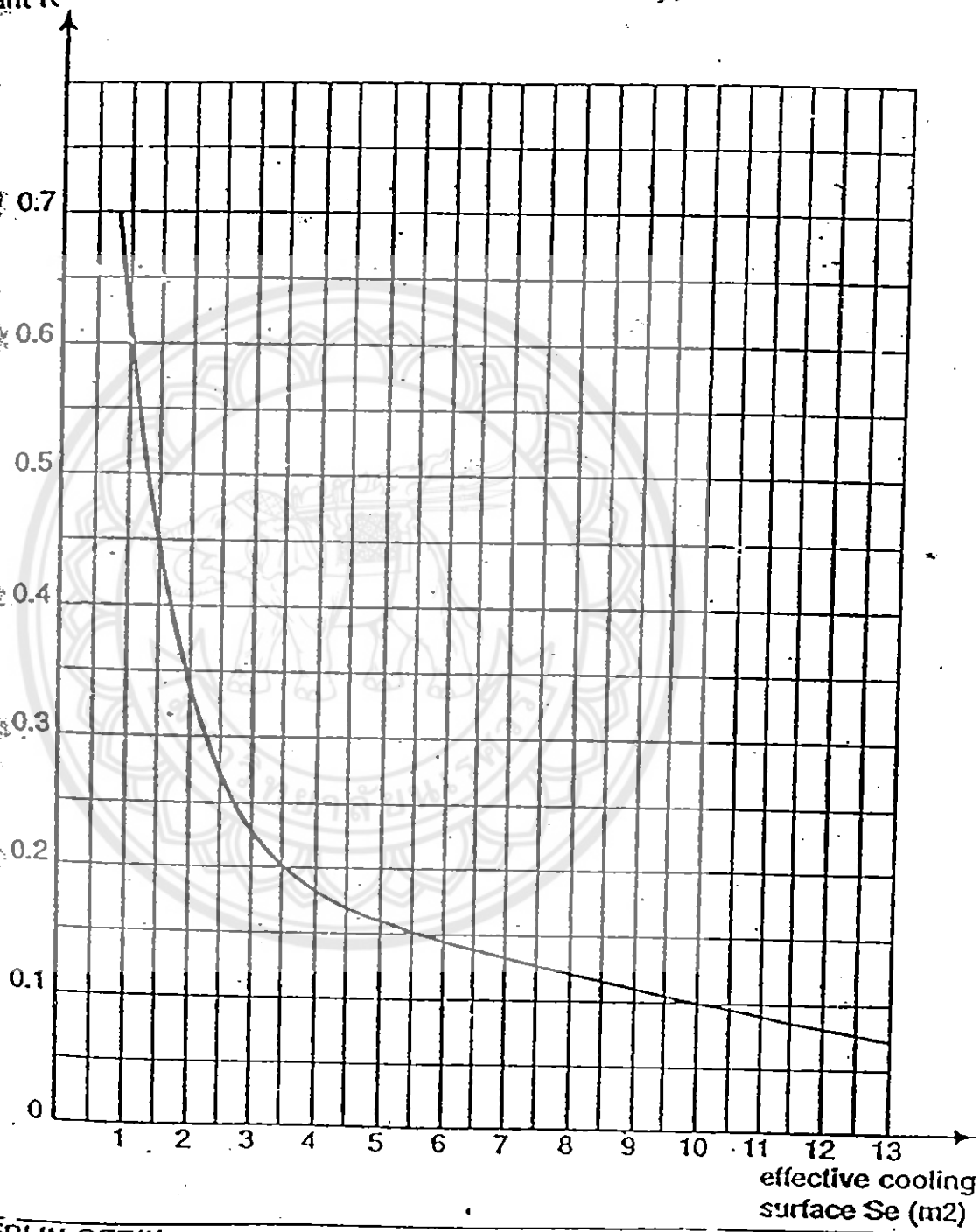
รูป ง-6 ตู้ไฟฟ้าแบบกล่องหลายกล่อง

ภาคผนวก จ

Curve K = f (Se)

for enclosure A type :

* without ventilating ear
* Se > 1.25 m2

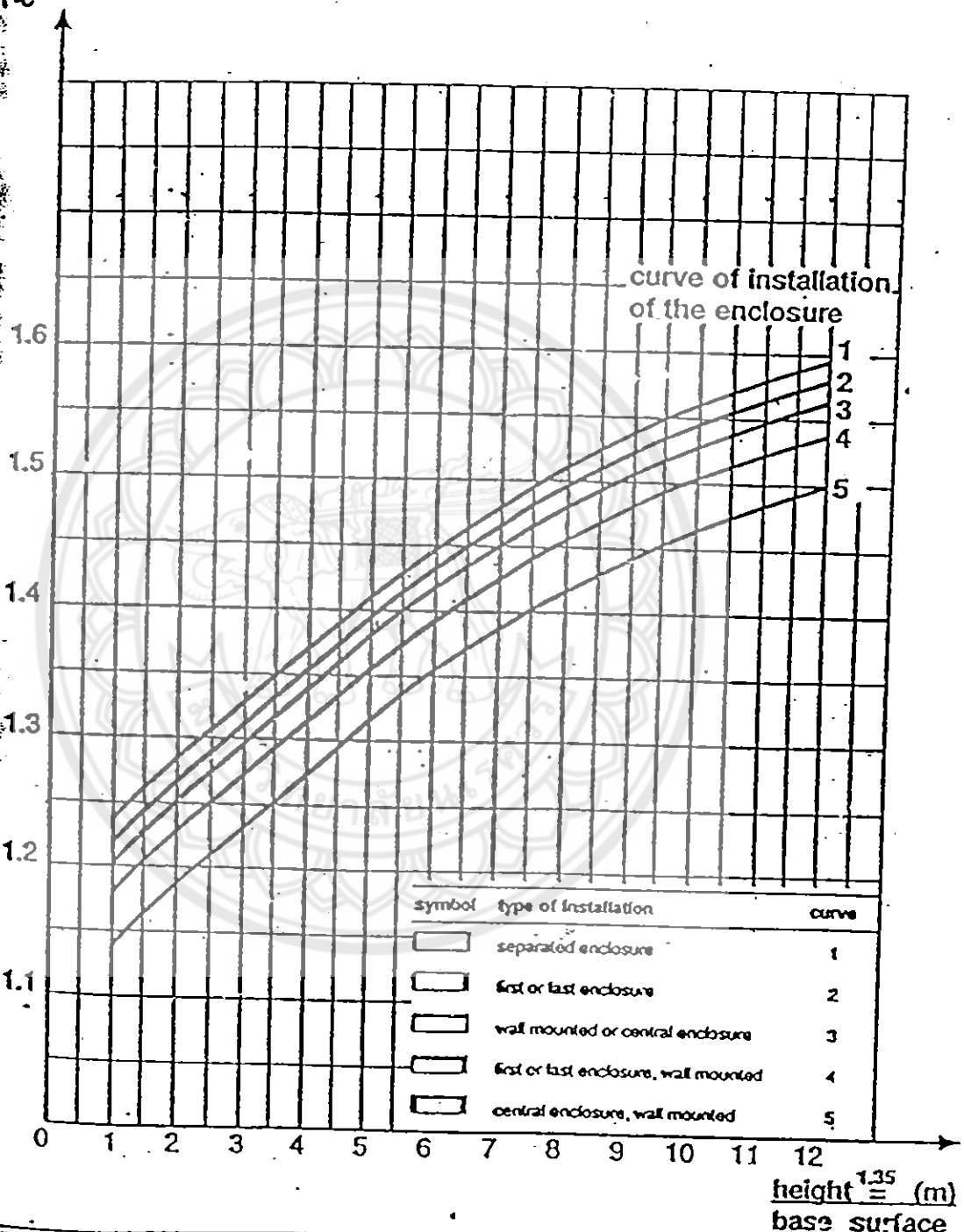


กราฟที่ 3.2

$\text{coef/exc} = f\left(\frac{\text{height}^{1.35}}{\text{base surface}}\right)$

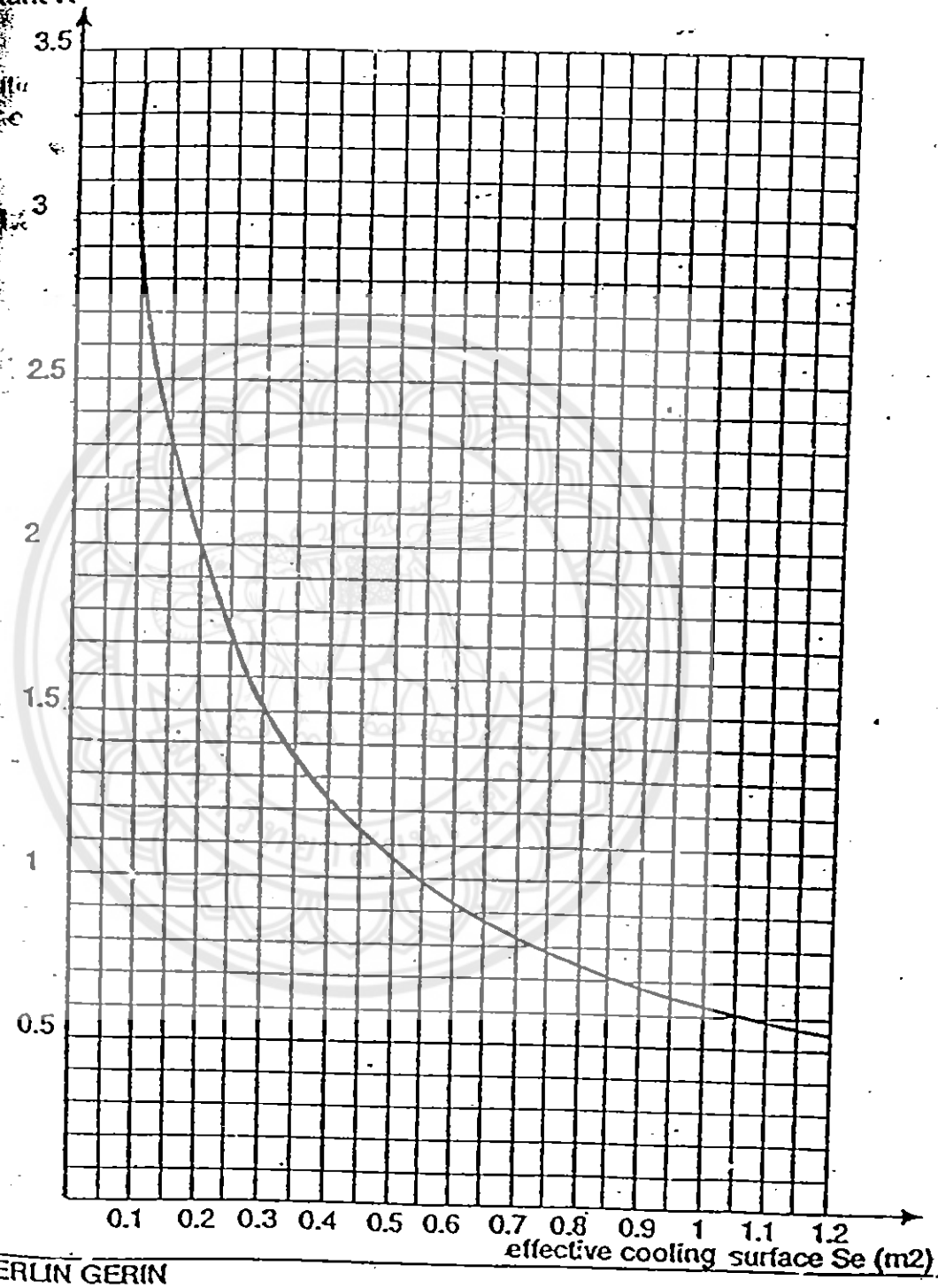
for enclosure A type :

* without ventilating ear
* Se > 1.25 m2



Curve K = f (Se) for enclosure B type :

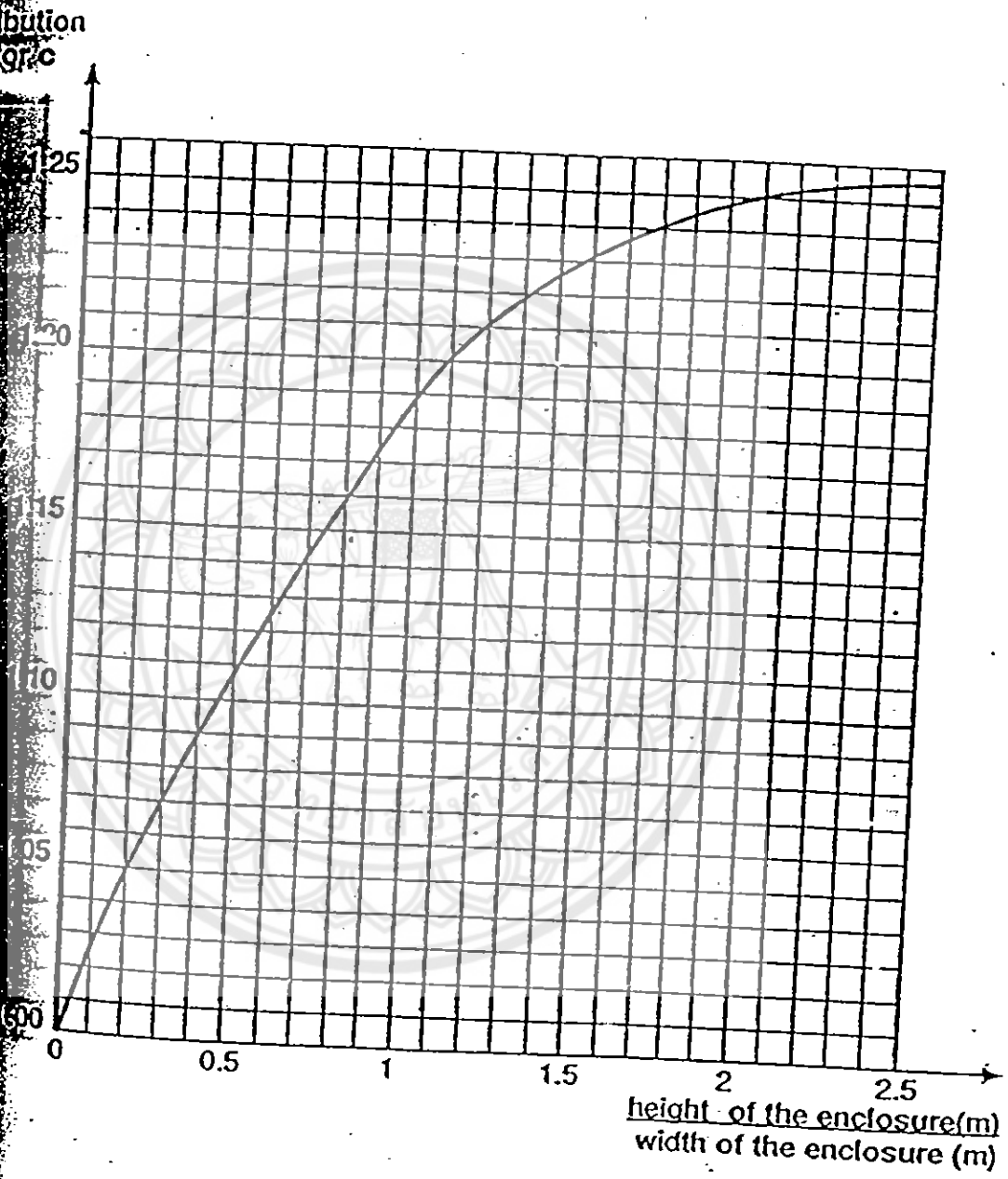
* without ventilating ear
* Se < 1.25 m2



กราฟที่ 3-4

curve c = f $\frac{\text{height (m)}}{\text{width (m)}}$ for enclosure B type :

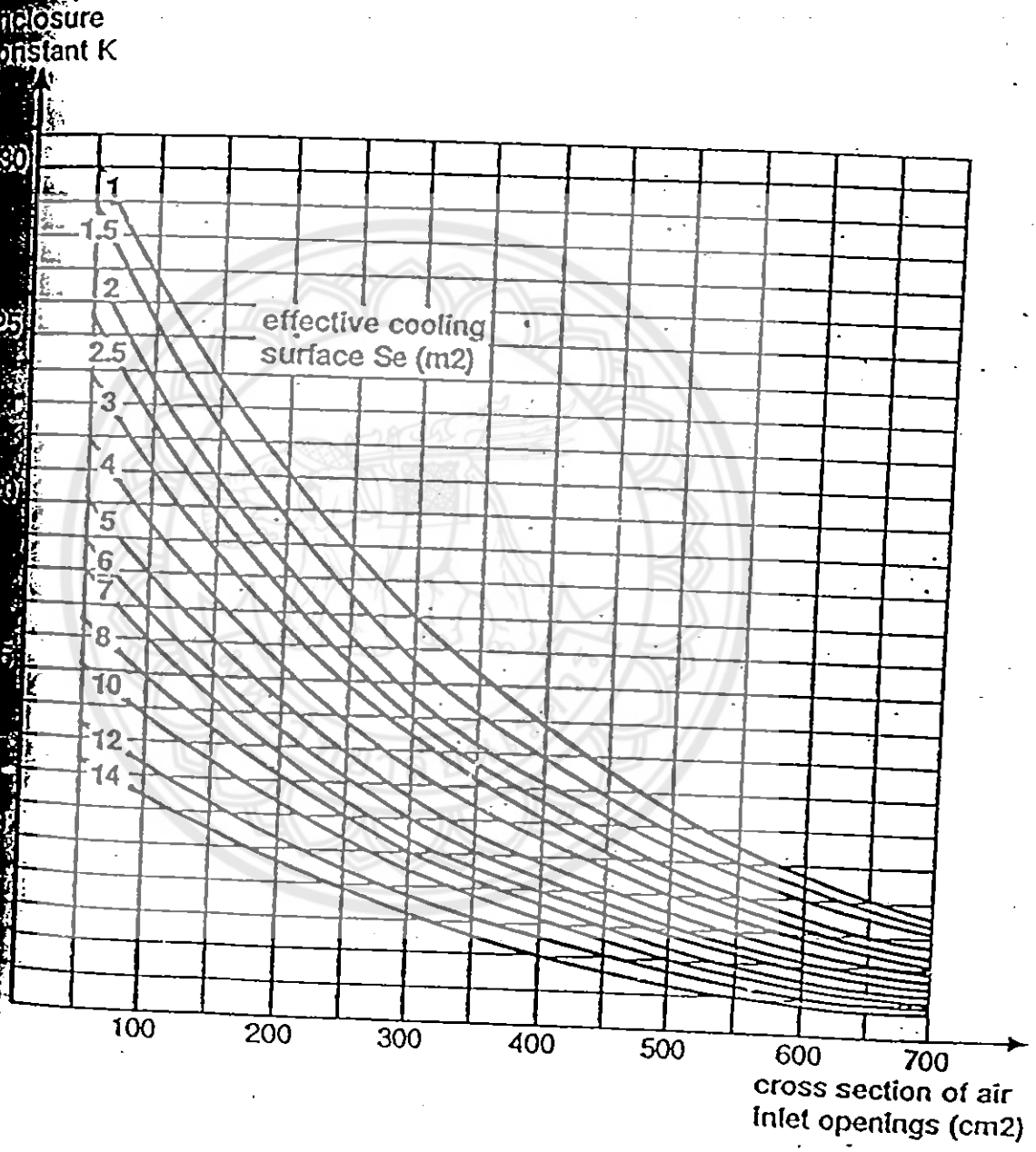
* without ventilating ear
* Se < 1.25 m2



กราฟที่ 3.5

...rve K = f (Se) — for enclosure C type :

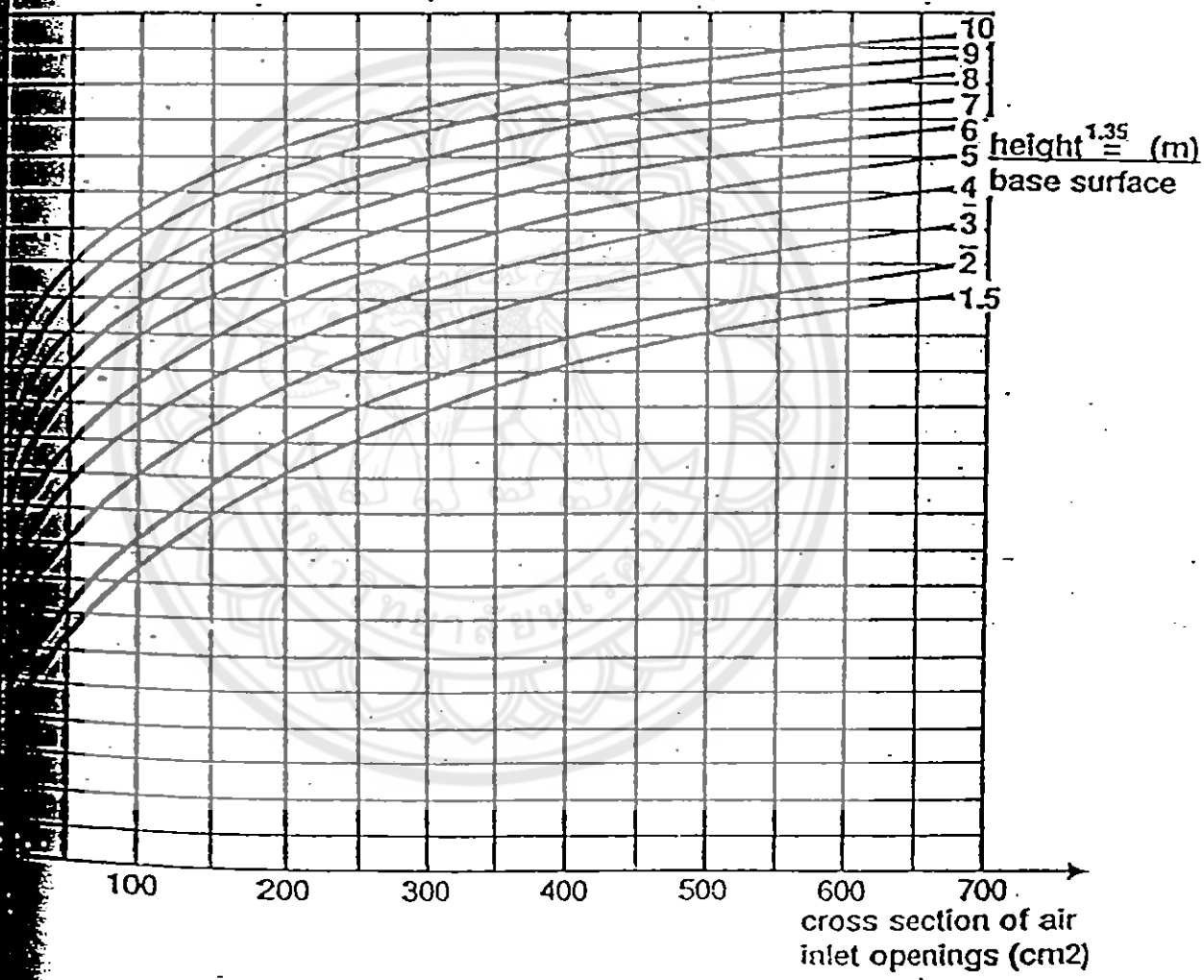
* with ventilating ear
* Se > 1.25 m2



curve c = f (height $^{1.35}_{=}$ / base surface)

for enclosure C type :

* with ventilating ear
* Se > 1.25 m2



กราฟที่ 3-8

ภาคผนวก ฉ

CLIENT

มหาวิทยาลัย นเรศวร

CONSULTANTS

NATIONAL ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.

PROJECT

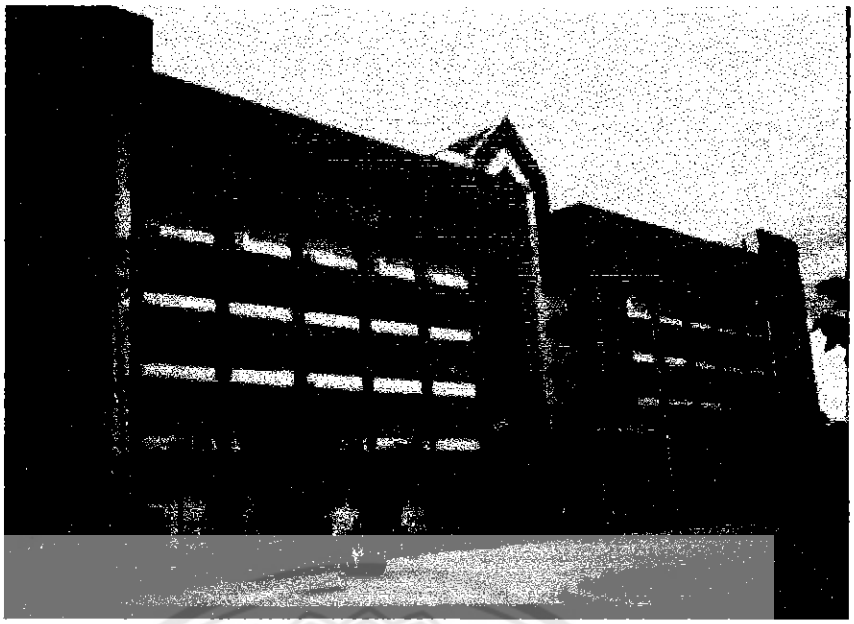
กลุ่มอาคารคณะวิศวกรรม-พร้อมครุภัณฑ์

DRAWN	
DESIGNED	ผศ. เชื่อบ ยินทรสุวรรณ
CHECKED	
APPROVED	
SCALE	DATE
DWG NO. E - 3	SHEET NO.

TITLE

MSB1— LOAD SCHEDULE OF LOAD CENTERS

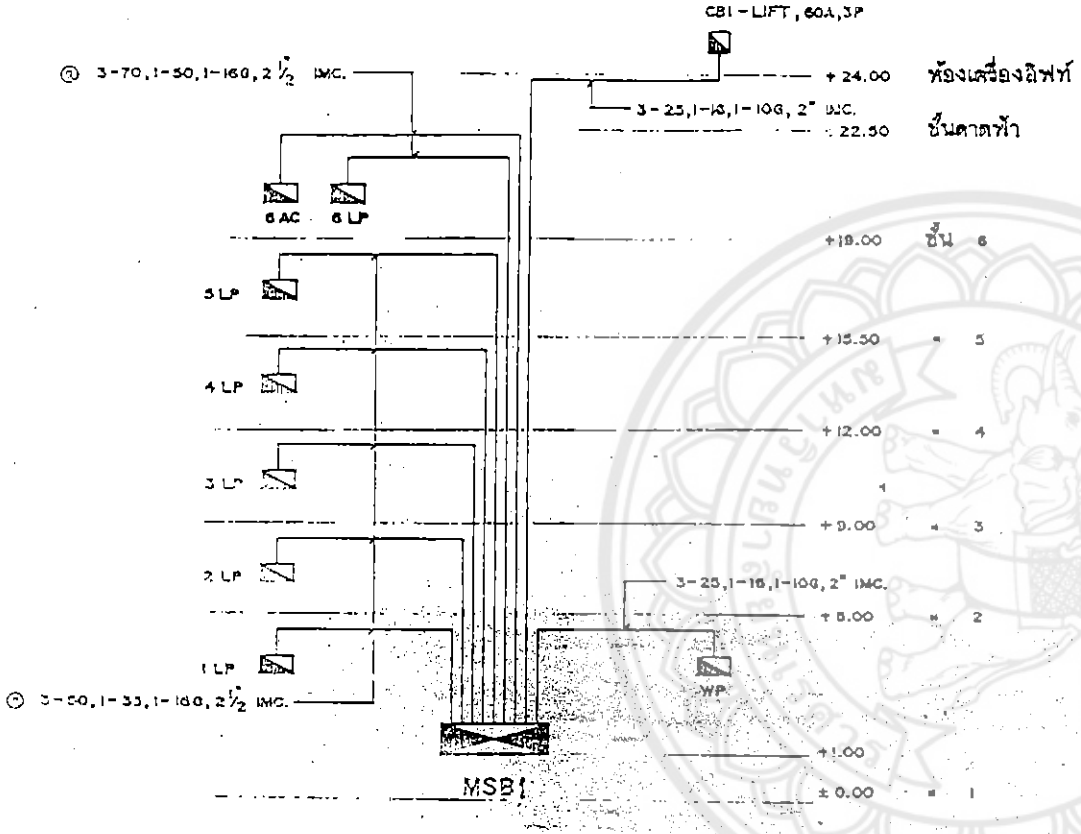
อาคารเรียนรวม และ บรรยายพิเศษ



อาคารเรียนรวมและบรรยายพิเศษ

อาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ- เครื่องกล

ⓒ MSB1 – SINGLE LINE DIAGRAM

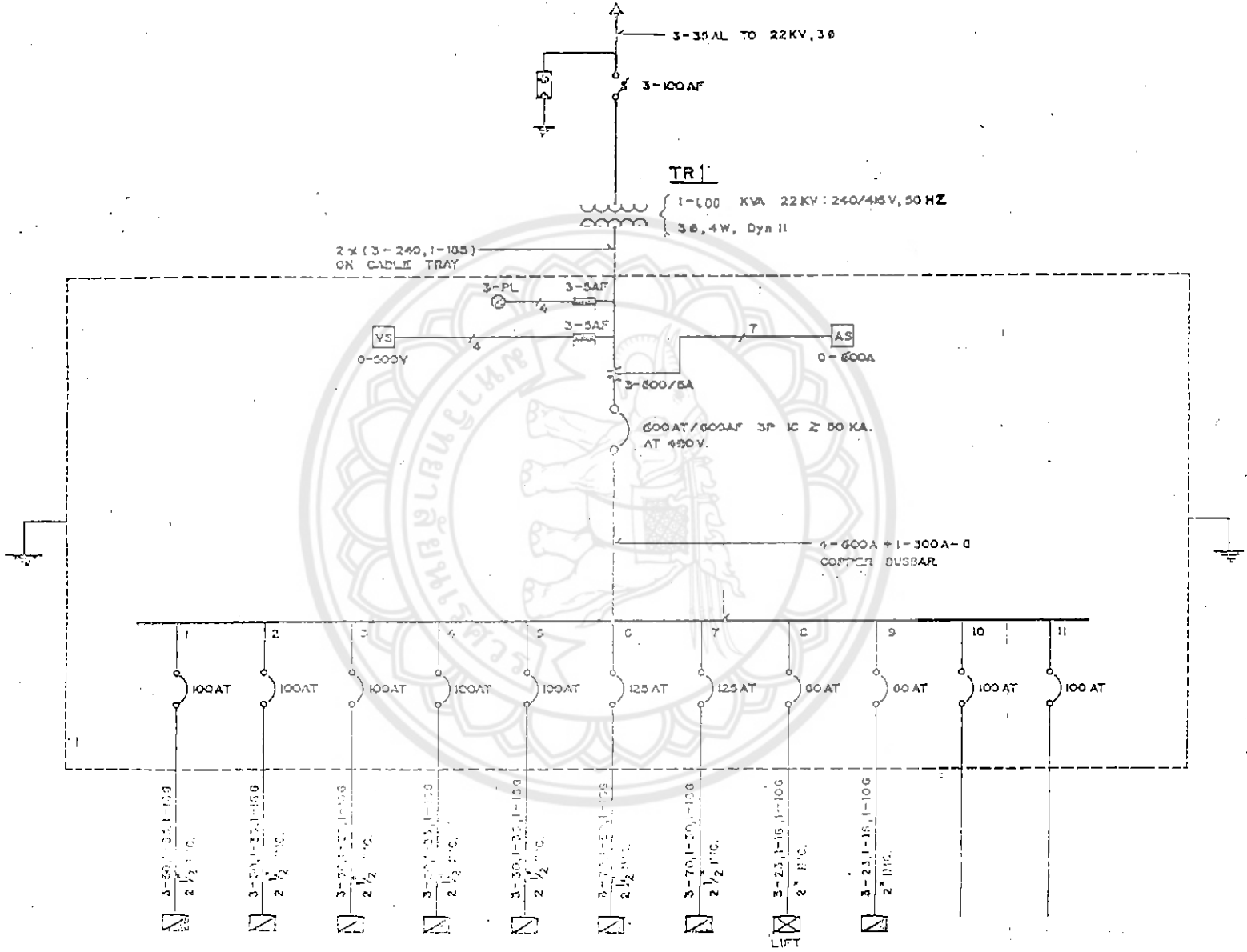


ⓒ MSB1 – CABLE RISER DIAGRAM

3-50

3-70

ⓐ



LOAD CENTER	1 LP	2 LP	3 LP	4 LP	5 LP	6 LP	6 AC	CB1	WP	SPARE	SPARE	TOT KVA.
CONNECTED LOAD (KVA)	40.7	31.5	34.5	34.5	34.5	47.6	61.0	20	20	40	40	405.2

WATER PUMP CONTROL PANEL
SEE SHOP DRAWING AND DETAILS.

LOAD CENTER
CONNECTED LOAD

≥ 5 KAIC 240 V
AT 415 V

CB P	CB AF	CB AT	CON. SIZE MM²
1	50	20	2-4 1-1.5
↕	↕	↕	↕
(1)	50	20	2-4 1-1.5
–			
–			
–			

KVA

SUFACE TYPE 100A 304W 240/415V, + S/N.
CAPACITY 24 CKT

PANEL 3LP, 4LP, 5LP
FROM MSB.1

ALL BRANCH CB SHALL HAVE IC ≥ 5 KAIC 240 V
MCB SHALL HAVE IC ≥ 10 KA. AT 415 V

A B C 100A 3P

CON. SIZE MM²	CB P	CB AF	CB AT	DESCRIPTION	CONNECTED LOAD P	CONNECTED LOAD AF	CONNECTED LOAD AT	CKT NO.	CKT NO.	CONNECTED LOAD ØA	CONNECTED LOAD ØB	CONNECTED LOAD ØC	DESCRIPTION	CB P	CB AF	CB AT	CON. SIZE MM²
2-4 1-1.5	1	50	20	12-2x40W A2, 3-Ⓛ	1860			1	2	1860			12-2x40W A2, 3-Ⓛ	1	50	20	2-4 1-1.5
↕	↕	↕	↕	" , "		1860		3	4		1860		" , 3-Ⓛ	↕	↕	↕	↕
				" , "			1860	5	6			1640	12-2x40W A2, 2-Ⓛ				
				" , "	1860			7	8	1640			" , 2-Ⓛ				
				" , "		1860		9	10		1860		" , 3-Ⓛ				
				" , "			1860	11	12			1860	" , 3-Ⓛ				
				" , "	1860			13	14	1320			7-1x40W A1, 3-1x20W B1 3-2x40W A2, 6-2x20W B2, 1-Ⓛ				
				" , "		1860		15	16		1320		"				
2-4 1-1.5	1	50	20	12-1x40W A1, 2-2x40W A2, 5-Ⓛ			1900	17	18			1380	10-1x40W A1, 4-Ⓛ	1	50	20	2-4 1-1.5
	"	"	15	SPARE	1000			19	20	–			BLANK.	–			
	"	"	"	SPARE		1000		21	22				"	–			
	"	"	"	SPARE.			1000	23	24				"	–			
								25	26								
								27	28								
								29	30								
								31	32								
								33	34								
								35	36								
								37	38								
								39	40								
								41	42								
				TOTAL LOAD – VA	6580	6580	6620			4820	5040	4880	TOTAL LOAD – VA				
				FEEDER @ 3-50, 1-35, 1-16G, 2½" IMC.						11.4	11.6	11.5	TOTAL LOAD 34.5 KVA				

5 KAIC 240 V
AT 415 V

CB P	CB AF	CB AT	CON. SIZE MM²
1	50	20	2-4 1-1.5
↕	↕	↕	↕
		20	2-4 1-1.5
1	50	25	2-6 2-2.5
–			
–			
–			

KVA

SURFACE TYPE 100A 3Ø 4W 240/415V, + S/N
CAPACITY 24 CKT

PANEL 2LP
FROM MSB 1

ALL BRANCH CB SHALL HAVE IC ≥ 5 KAIC 240 V
MCB SHALL HAVE IC ≥ 10 KA AT 415 V

CON. SIZE MM²	CB P	CB AF	CB AT	DESCRIPTION	CONNECTED LOAD ØA	ØB	ØC	CKT NO.	A B C (100A 3P)	CKT NO.	CONNECTED LOAD ØA	ØB	ØC	DESCRIPTION	CB P	CB AF	CB AT	CON. SIZE MM²
2-4 1-1.5	1	50	20	12-2x40W A2 , 4 - ⏀	2080			1		2	1640			12-2x40W A2 , 2 - ⏀	1	50	20	2-4 1-1.5
↕	↕	↕	↕	12-2x40W A2 , 2 - ⏀		1640		3		4		2080		12-2x40W A2 , 4 - ⏀	↕	↕	↕	↕
				12-2x40W A2 , 2 - ⏀			1640	5		6			1640	12-2x40W A2 , 2 - ⏀				
				" , 2 - ⏀	1640			7		8	2080			" , 4 - ⏀				
				" , 2 - ⏀		1640		9		10		1640		" , 2 - ⏀				
				" , 4 - ⏀			2080	11		12			1640	" , 2 - ⏀				
				7-1x40WA1, 3-1x20WB1 3-2x40WA2, 6-2x20WB2, 1-⏀	1320			13		14	1900			12-1x40WA1, 2-2x40W A2, 5-⏀				
				"		1320		15		16		1000		2-1x400 W				
2-4 1-1.5	1	50	20	14-1x40W A1 , 5 - ⏀			1800	17		18			1000	"	1	50	20	2-4 1-1.5
–	–	–	–	BLANK.	–			19		20				BLANK.	–			
1	1	50	15	SPARE		1000		21		22				"	–			
	1	50	15	SPARE.			1000	23		24				"	–			
								25		26								
								27		28								
								29		30								
								31		32								
								33		34								
								35		36								
								37		38								
								39		40								
								41		42								
				TOTAL LOAD - VA	5040	5240	6520				5620	4720	4280	TOTAL LOAD - VA				
				FEEDER 3-50, 1-35, 1-16G, 2½" IMC.							10.7	10.0	10.8	TOTAL LOAD 31.5 KVA				

SUF
CA

CON. SIZE MM²
2-4 1-1.5
↕
2-4 1.1.5

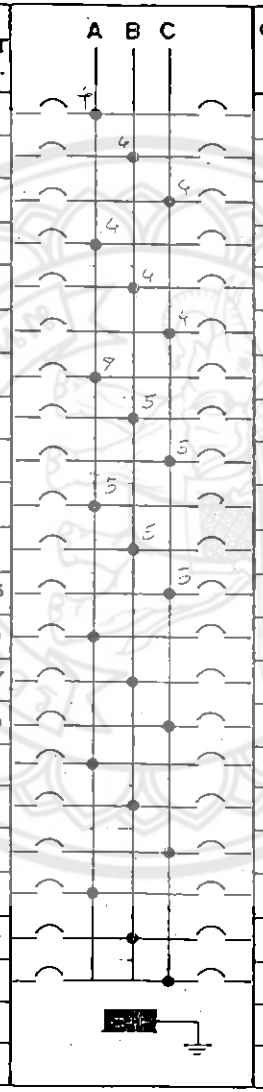
FE

SURFACE TYPE 100A 3Ø4W. 240/415V., + S/N.
CAPACITY 30 CKT

PANEL 1 LP
FROM MSB1.

ALL BRANCH CB SHALL HAVE IC ≥ 5 KAIC 240 V
MCB SHALL HAVE IC ≥ AT 415 V

CON. SIZE MM²	CB P	CB AF	CB AT	DESCRIPTION	CONNECTED LOAD ØA	CONNECTED LOAD ØB	CONNECTED LOAD ØC	CKT NO.
2-4 1-1.5	1	50	20	12-2x40W A2, 2-⊕	1640			1
↑	↑	↑	↑	" , "		1640		3
				" , "			1640	5
				" , "	1640			7
				" , "		1640		9
				" , "			1640	11
				16-2x40W A2 , 4-⊕	1680			13
				" , 4-⊕		1680		15
				" , 4-⊕			1680	17
				12-1x100W	1200			19
				14-1x40W A1 , 5-⊕		1800		21
				12-1x40W A1			600	23
↓	↓	↓	↓	12-1x20W B1	360			25
2-4 1-1.5	1	50	20	12-1x20W B1		360		27
	1	50	15	SPARE.			1000	29
								31
								33
								35
								37
								39
								41
				TOTAL LOAD — VA	6520	7120	6560	
				FEEDER 3-50, 1-35, 1-16G, 2½" IMC.				



CKT NO.	CONNECTED LOAD ØA	CONNECTED LOAD ØB	CONNECTED LOAD ØC	DESCRIPTION	CB P	CB AF	CB AT	CON. SIZE MM²
2	1640			12-2x40W A2 , 2-⊕	1	50	20	2-4 1-1.5
4		1640		" , "	↑	↑	↑	↑
6			1640	" , "				
8	1640			" , "				
10		1640		" , "				
12			1640	" , "				
14	1860			12-2x40W A2 , 3-⊕				
16		1320		3-2x40W A2, 3-1x20W B1 7-1x40W A1, 6-2x20W B2, 1-⊕				
18			1320	"	↓	↓	↓	↓
20	1760			2-2x40W A2 8-1x40W A1, 2-1x20W B1, 5-⊕				2-4 1-1.5
22		2000		20-1x100W	↓	↓	20	2-4 1-1.5
24			2450	12-2x40W A2, 3-1x40W A1, 5-⊕	1	50	25	2-6 2-2.5
26				BLANK.	—			
28				"	—			
30				"	—			
32								
34								
36								
38								
40								
42								
	6900	6600	7050	TOTAL LOAD — VA				
	13.4	13.7	13.6	TOTAL LOAD 40.7 KVA				

SURFACE
CAPACITY

CON. SIZE MM²	CB P	CB AF
2-4 1-1.5	1	50
↑	↑	↑
↓	↓	↓
2-4 1-1.5	1	50
—	—	—
1	1	50
	1	50

FEEDER

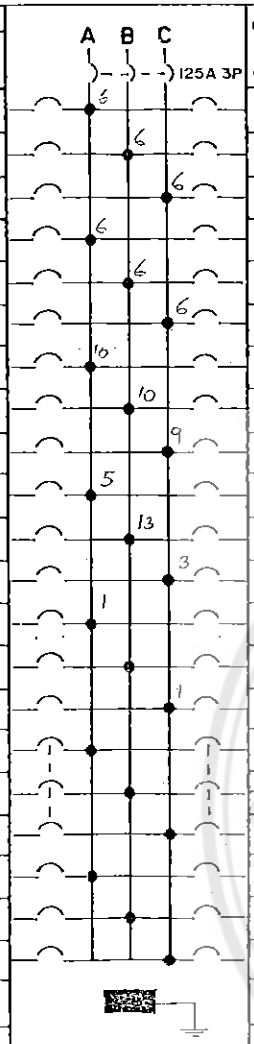
PANEL 6 LP

FROM MSB-1

ALL BRANCH CB SHALL HAVE IC ≥ 5 KAIC 240 V
MCB SHALL HAVE IC ≥ 10 KA AT 415 V

SURFACE TYPE
CAPACITY 30 C

CONNECTED LOAD ØA	CONNECTED LOAD ØB	CONNECTED LOAD ØC	CKT NO.
2080			1
	2080		3
		1860	5
1860			7
	1860		9
		1200	11
1760			13
	1760		15
		1760	17
1380			19
	2050		21
		1140	23
			25
			27
		680	29
1500			31
	1500		33
		1500	35
			37
			39
			41
8580	9250	8140	



CKT NO.	CONNECTED LOAD ØA	CONNECTED LOAD ØB	CONNECTED LOAD ØC	DESCRIPTION	CB P	CB AF	CB AT	CON. SIZE MM²
2	1640			12-2x40W A2, 2-Ⓓ	1	50	20	2-4 I-1.5
4		1640		" 2-Ⓓ	↑	↑	↑	↑
6			1860	12-2x40W A3, 3-Ⓓ				
8	1200			" ,				
10		1200		" ,				
12			1200	" ,				
14	1640			12-2x40W A2, 2-Ⓓ				
16		1640		" , 2-Ⓓ				
18			1320	7-1x40W AI, 3-1x20W BI 3-2x40W A2, 6-2x20W B2, 1-Ⓓ			↓	
20	920			4-1x40W AI, 2-2x20W BI 2-2x40W A2, 4-2x20W B2, 1-Ⓓ			15	
22		1760		8-Ⓓ	↓	↓	20	↓
24			870	5-1x40W AI, 4-2x40W A2, 1-Ⓓ	1	50	15	2-4 I-1.5
26	680			2-1x20W BI, 2-2x40W A2, 1-Ⓓ	1	50	20	2-4 I-1.5
28		-		SPARE	1	50	20	-
30			1000	SPARE.	1	50	15	-
32	1500							
34		1500		WATER PUMP	3	50	20	4-4 I-2.5G
36			1500					
38								
40								
42								
	7580	7740	7750	TOTAL LOAD — VA				
	16.2	17.1	15.3	TOTAL LOAD 42.6 KVA				

CON. SIZE MM²	CB P	CB AF	CB AT
4-4 I-4G	3	50	15
3-6 I-4	3	50	20
I-4G			
3-6 I-4	3	50	20
I-4G			
2-6 I-4G	1	50	25
2-6 I-4G	1	50	25
2-6 I-4G	1	50	25

FEEDER 3-70, 1-50, 1-

240 V
415 V

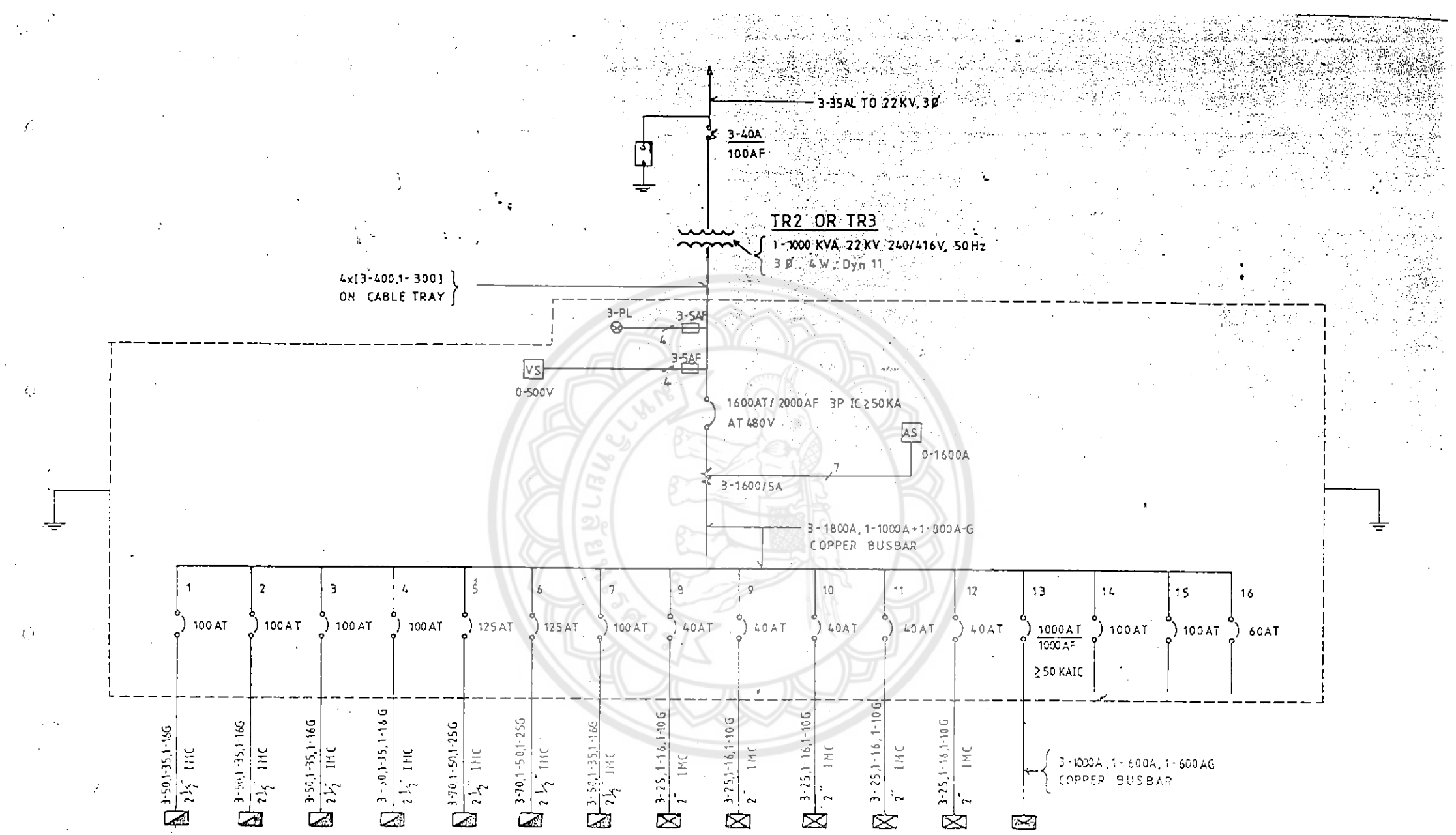
SURFACE TYPE 225A 3Ø4W 240/415, + S/N PANEL 6AC
CAPACITY 30 CKT FROM MSB.1

ALL BRANCH CB SHALL HAVE IC ≥ 5 KAIC 240V
MCB SHALL HAVE IC ≥ 10 KA AT 415 V

CON. SIZE MM²	CB P	CB AF	CB AT	DESCRIPTION	CONNECTED LOAD ØA	ØB	ØC	CKT NO.
					1600			1
4-4 1-4G	3	50	15	ห้องบรรยาพิเศษ CB1		1600		3
							1600	5
					2500			7
3-6 1-4	3	50	20	ห้องบรรยาพิเศษ CB 3		2500		9
1-4G							2500	11
					2500			13
3-6 1-4	3	50	20	ห้องบรรยาพิเศษ CB 5		2500		15
1-4G							2500	17
2-6 1-4G	1	50	25	ห้องพักอาจารย์ CB 9	3400			19
2-6 1-4G	1	50	25	» CB 11		3400		21
2-6 1-4G	1	50	25	» CB 13			3400	23
								25
								27
								29
								31
								33
								35
								37
								39
								41
				TOTAL LOAD — VA	10000	10000	10000	
				FEEDER 3-70, 1-50, 1-16G, 2½" IMC.				

A B C 125 A 3P

CKT NO.	CONNECTED LOAD ØA	ØB	ØC	DESCRIPTION	CB P	CB AF	CB AT	CON. SIZE MM²
2	1600							
4		1600		ห้องบรรยาพิเศษ CB 2	3	50	15	4-4 1-4G
6			1600					
8	2500							
10		2500		ห้องบรรยาพิเศษ CB 4	3	50	20	3-6 1-4
12			2500					1-4G
14	3400			ห้องพักอาจารย์ CB 6	1	50	25	2-6 1-4G
16		3400		» CB 7	↑	↑	↑	↑
18			3400	» CB 8				
20	3400			» CB 10	↓	↓	↓	↓
22		3400		» CB 12	1	50	25	2-6 1-4G
24			2500	SPARE	1	50	20	—
26								
28								
30								
32								
34								
36								
38								
40								
42								
	10900	10900	10000	TOTAL LOAD — VA				
	20.9	20.9	20	TOTAL LOAD 61.8 KVA				



LOAD CENTER	1LP	2LP	3LP	4LP	5LP	6LP	7LP	WP1	WP2	LIFT 1	LIFT 2	LIFT 3	AC-MSB	SPARE	SPARE	SPARE	TOT. KVA
CONNECTED LOAD KVA.	26	35.5	29.5	29.1	44.9	34.1	49.6	20	20	20	20	20	600	40	40	30	1058.7

AIR CONDITION MAIN SWITCH BOARD
SEE ME-DRAWING AND DETAILS

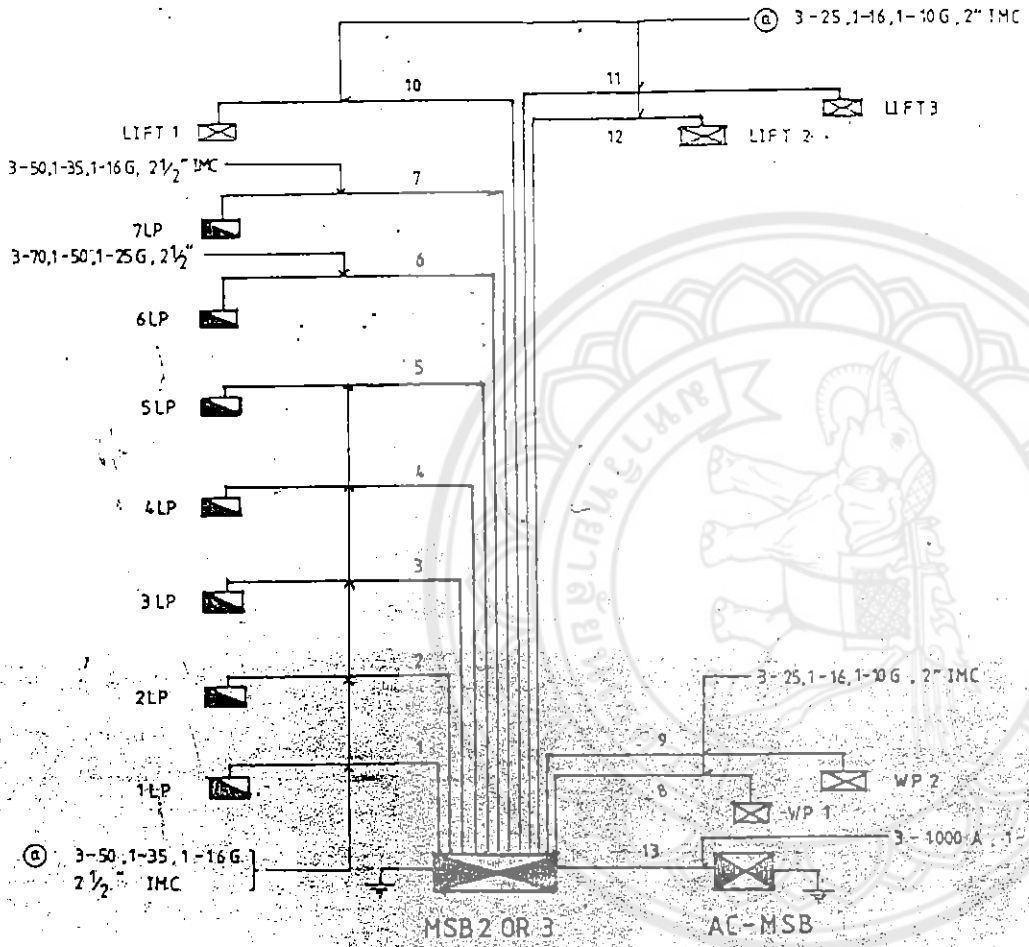
WATER PUMP CONTROL PANEL

MSB2 OR 3- SINGLE LINE DIAGRAM

AIR CONDITION MAIN SWITCH BOARD
SEE ME-DRAWING AND DETAILS

WATER PUMP CONTROL PANEL
SEE SN-DRAWING AND DETAILS

MSB2 OR 3- SINGLE LINE DIAGRAM



ชั้นดาดฟ้า	ห้องเครื่อง
"	7
"	6
"	5
"	4
"	3
"	2
"	1

MSB 2 OR 3 - CABLE RISER DIAGRAMS

REVISION				
NO.	DATE	BY	DESCRIPTION	APPROVED

CLIENT: มหาวิทยาลัย นเรศวร

CONSULTANTS: NATIONAL ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.

PROJECT: กลุ่มอาคารคณะวิศวกรรม พร้อมครุภัณฑ์

DRAWN

DESIGNED

CHECKED

TITLE: MSB - SINGLE LINE AND CABLE RISER DIAGRAMS

SURFACE TYPE 225A 3Ø 4W 240/415V+S/N PANEL SLP

CAPACITY 42 CKT

ALL BRANCH CB SHALL HAVE IC ≥ 5 KAIC 240V
MCB SHALL HAVE IC ≥ 10KA AT 415 V

FROM MSB 2 OR MSB 3

A B C 125AT

CON. SIZE MM²	CB P	CB AF	CB AT	DESCRIPTION	CONNECTED LOAD ØA	ØB	ØC	CKT NO.
2-2.5	1	50	16	11-2x40W	1100			1
				11-2x40W		1100		3
				11-2x40W			1100	5
				11-2x40W	1100			7
				9x1x40W		450		9
				11-2x40W			1100	11
				11-2x40W	1100			13
				11-2x40W		1100		15
				11-2x40W			1100	17
				4-2x40W, 5-1x40W, 1-1x20W	680			19
2-4			20	14-2x40W		1400		21
2-2.5			16	9-1x40W			450	23
2-6 1-4			20	7-⊖ COMPUTER	1540			25
				7-⊖ COMPUTER		1540		27
				7-⊖ COMPUTER			1540	29
				7-⊖ COMPUTER	1540			31
				7-⊖ COMPUTER		1540		33
				7-⊖ COMPUTER			1540	35
				SPACE				37
				SPACE				39
				SPACE				41
				TOTAL LOAD — VA	7060	7130	6830	
FEEDER 3-70-1-50-1-25 G-2½ Ø								

CKT NO.	CONNECTED LOAD ØA	ØB	ØC	DESCRIPTION	CB P	CB AF	CB AT	CON. SIZE MM²
2	1200			12-2x40W	1	50	16	2-2.5
4		1200		12-2x40W				
6			1200	12-2x40W				
8	800			7-2x40W, 2-1x40W				
10		680		4-2x40W, 5-1x40W, 1-1x20W				
12			1200	12-2x40W				
14	1200			12-2x40W				
16		1200		12-2x40W				
18			1100	11-2x40W				
20				SPACE				
22				SPACE				
24			1540	7-⊖	1	50	20	2-4 1-2.5
26	1980			9-⊖ COMPUTER				2-6 1-4
28		1980		9-⊖				2-4 1-2.5
30			1540	7-⊖				2-4 1-2.5
32	2860			13-⊖ COMPUTER			25	2-6 1-4
34		2640		12-⊖ COMPUTER			20	
36			1540	7-⊖ COMPUTER			20	
38				SPACE				
40								
42								
	9020	7700	8120	TOTAL LOAD — VA				
	15100	14830	14950	TOTAL LOAD 44.88 KVA				

SURFACE TYPE 100A 3Ø 4W 240/415V. S/N — PANEL 4LP
CAPACITY 30 CKT

ALL BRANCH CB SHALL HAVE IC ≥ 5 KAIC 240 V
... SHALL HAVE IC ≥ 10 KA AT 415 V

FROM MSB2, MSB3 — A B C 100AT

CON. SIZE MM²	CB P	CB AF	CB AT	DESCRIPTION	CONNECTED LOAD ØA	CONNECTED LOAD ØB	CONNECTED LOAD ØC	CKT NO.	CKT NO.	CONNECTED LOAD ØA	CONNECTED LOAD ØB	CONNECTED LOAD ØC	DESCRIPTION	CB P	CB AF	CB AT	CON. SIZE MM²
2-2.5	1	50	16	9-1x40W	450			1	2	680			4-2x40W, 5-1x40W, 1-1x20W	1	50	16	2-2.5 1-1.5
2-4			20	12-2x40W, 2-1x40W		1300		3	4		1250		12-2x40W, 1-1x40W				
2-2.5			16	8-2x40W, 2-1x40W			900	5	6			900	8-2x40W, 2-1x40W				
			16	8-2x40W, 2-1x40W	900			7	8	900			8-2x40W, 2-1x40W				
2-4			20	12-2x40W, 2-1x40W		1300		9	10		1300		12-2x40W, 2-1x40W			20	2-4
2-2.5			16	2-2x40W, 3-1x40W, 1-1x20W			380	11	12			680	4-2x40W, 5-1x40W, 1-1x20W			16	2-2.5
			16	9-1x40W	450			13	14				SPACE				
2-6 1-4			25	10-⊖	2200			15	16				SPACE				
			25	10-⊖		2200		17	18			2420	11-⊖	1	50	25	2-6 1-4
2-4 1-2.5			20	9-⊖			1880	19	20	2200			10-⊖				
2-6 1-4			25	10-⊖	2200			21	22		2200		10-⊖				
				SPACE				23	24			2420	11-⊖				
				SPACE				25	26				SPACE				
				SPACE				27	28				SPACE				
				SPACE				29	30				SPACE				
								31	32								
								33	34								
								35	36								
								37	38								
								39	40								
								41	42								
				TOTAL LOAD — VA	6200	4800	3160			3780	4750	6440	TOTAL LOAD — VA				
FEEDER 3-50, 1-35, 1-16G, 2½ Ø										9880	9550	9560	TOTAL LOAD 29.09 KVA				

SURFACE TYPE
CAPACITY 42

CON. SIZE MM²	CB P	CB AF	CB AT
2-2.5	1	50	16
2-4			20
2-2.5			16
			20

FEEDER 3-70 1-...

CAPACITY 38 CKT PANEL LP

ALL BRANCH CB SHALL HAVE IC ≥ 5 KAIC 240 V

MCB SHALL HAVE IC ≥ — AT 415 V

FROM MSB 2 OR MSB 3

CON. SIZE MM²	CB P	CB AF	CB AT	DESCRIPTION	CONNECTED LOAD ØA	ØB	ØC	CKT NO.
2-2.5	1	50	16	5-1x40W, 4-2x40W	650			1
				7-1x40W, 3-2x40W, 1-1x20W		680		3
				10-2x40 W			1000	5
				9-1x40W	450			7
				10-1x40W, 2-2x40W, 2-1x20 W		760		9
				10-2x40W			1000	11
				14-1x40W	700			13
↓			↓	14-2x 20W		840		15
2-6 1-2.5			25	10-⊖			2200	17
2-6 1-2.5			25	10-⊖	2200			19
2-4 1-2.5			20	9-⊖		1980		21
	↓	↓	20	SPARE				23
								25
								27
								29
								31
								33
								35
								37

CKT NO.	CONNECTED LOAD ØA	ØB	ØC	DESCRIPTION	CB P	CB AF	CB AT	CON. SIZE MM²
2	600			12-1x40 W	1	50	16	2-2.5
4		1000		10-2x40W				
6			1000	10-2x40W				
8	500			6-1x40W, 2-2x40W				2-4
10		680		5-1x40W, 4-2x40W, 1-1x20 W				2-2.
12			450	9-1x40W				
14	840			14-2x20W				
16		850		17-1x40W			↓	↓
18			1980	9-⊖			20	2-4 1-2.5
20	2200			10-⊖			25	2-6 1-2.5
22		1980		9-⊖			20	2-4 1-1.5
24			1500	SPARE	↓	↓	20	
26								
28								
30								
32								
34								
36								
38								

	6140	8770	9130	TOTAL LOAD 24.04 KVA

> 5 KAIC 240 V AT 415 V

SURFACE TYPE 100A 3Ø 4W 240/415V, S/N

CAPACITY 30 CKT

PANEL 2LP

FROM MSB2 OR MSB3

ALL BRANCH CB SHALL HAVE IC ≥ 5 KAIC 240 V

MCB SHALL HAVE IC ≥ 10 KA AT 415 V

SUFAC

CAPA

CB P	CB AF	CB AT	CON. SIZE MM²	CON. SIZE MM²	CB P	CB AF	CB AT	DESCRIPTION	CONNECTED LOAD ØA	CONNECTED LOAD ØB	CONNECTED LOAD ØC	CKT NO.	A B C 100AT	CKT NO.	CONNECTED LOAD ØA	CONNECTED LOAD ØB	CONNECTED LOAD ØC	DESCRIPTION	CB P	CB AF	CB AT	CON. SIZE MM²	CON. SIZE MM²
1	50	16	2-2.5	2-2.5	1	50	16	12-2x40W	1200			1		2	1200			12-2x40W	1	50	16	2-2.5	2-2.5
					1		16	12-2x40W		1200		3		4		1450		14-2x40W, 1-1x40W			20	2-4	2-4
					1		16	12-2x40W			1200	5		6			1000	8-2x40W, 4-1x40W			16	2-2.5	2-2.5
				2-4	1		20	9-2x40W	1400			7		8	730			7-2x40W, 1-1x20W					
				2-2.5	1		16	12-2x40W		1200		9		10		1200		12-2x40W					
					1		16	12-2x40W			1200	11		12			1250	10-2x40W, 5-1x40W					
					1		16	5-1x40W, 4-2x40W, 1-2x20W	710			13		14	710			5-1x40W, 4-2x40W, 1-2x20W					
					1		16	9-1x40W		400		15		16		450		9-1x40W				2-6	2-6
		20	2-4 1-2.5		1		16	10-1x40W			500	17		18			900	18-1x40W				1-4	1-4
		25	2-6 1-2.5	2-4 1-2.5	1		25	12-⊖	1980			19		20	2640			12-⊖			25	2-6 1-4	
		20	2-4 1-1.5	2-4 1-2.5	1		20	10-⊖		1980		21		22		1760		11-⊖			20	2-4 1-2.5	
		20		2-6 1-4	1		25	12-⊖			2640	23		24			2860	8-⊖			25	2-6 1-4	2-4 1-2.5
				2-4 1-2.5	1		20	8-⊖	1760			25		26				SPACE					
				2-4 1-2.5	1		20	9-⊖		1980		27		28				SPACE				-	
					1			SPACE				29		30				SPACE				-	
												31		32									
												33		34									
												35		36									
												37		38									
												39		40									
												41		42									
								TOTAL LOAD — VA	7050	6760	5540				5280	4860	6010	TOTAL LOAD — VA					
KVA								FEEDER 3-50, 1-35, 1-16Ø, 2-1½Ø							12330	11620	11550	TOTAL LOAD 35.48 KVA					FEED

SUFACE TYPE 100A 3Ø 4W 240/415 V + S/N PANEL 3 L-

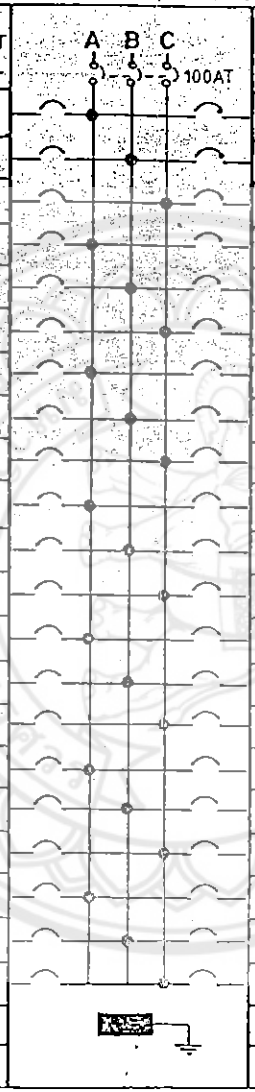
CAPACITY 30 CKT

FROM MSB2 OR MSB3

ALL BRANCH CB SHALL HAVE IC > 5 KA IC 240 V

MCB SHALL HAVE IC >

CON. SIZE MM²	CB P	CB AF	CB AT	DESCRIPTION	CONNECTED LOAD P	CONNECTED LOAD AF	CONNECTED LOAD AT	CKT NO.
2-2.5	1	50	16	12-2x40W, 2-1x40W	1300			1
2-4	↓	↓	20	15-2x40W		1500		3
2-2.5			16	10-2x40W, 1-1x40W			1050	5
				12-2x40W	1200			7
				14-2x40W, 3-1x40W, 1-1x20W		580		9
				39-1x40W			450	11
				7-2x40W, 5-1x40W, 1-1x20W	680			13
2-6 1-4			25	10-⊖		2200		15
				11-⊖			2420	17
				10-⊖	2200			19
↓			↓	10-⊖		2200		21
2-4 1-2.5	↓	↓	20	8-⊖			1760	23
				SPACE				25
				SPACE				27
				SPACE				29
								31
								33
								35
								37
								39
								41
				TOTAL LOAD — VA	5380	6480	5610	
FEEDER	3-50,1-35,1-16G, 2½" ø							



CKT NO.	CONNECTED LOAD ØA	ØB	ØC	DESCRIPTION
2	800			8-2x40W
4		830		6-2x40W, 4-1x40W, 1-1x20W
6			1200	12-2x40W
8	1200			12-2x40W
10		680		4-2x40W, 5-1x40W, 1-1x20W
12			450	9-1x40W
14				SPACE
16				SPACE
18			2640	12-⊖
20	1980			9-⊖
22		2200		10-⊖
24				SPACE
26				SPACE
28				SPACE
30				SPACE
32				
34				
36				
38				
40				
42				
	3980	5470	4290	TOTAL LOAD — VA
	9360	10190	9970	TOTAL LOAD 29.52 KVA

ประวัติผู้ทำโครงงาน

ชื่อ-นามสกุล กมลรัตน์ ทองเพ็ง
วันเดือนปีเกิด 17 กันยายน 2521
การศึกษา

- มัธยมต้นจากโรงเรียนเฉลิมขวัญสตรี พิษณุโลก
- มัธยมปลายจากโรงเรียนเฉลิมขวัญสตรี พิษณุโลก
- ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาไฟฟ้า มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก

ชื่อ-นามสกุล ศรพนม ศิลปธร
วันเดือนปีเกิด 24 มีนาคม 2522
การศึกษา

- มัธยมต้นจากโรงเรียนหนองไผ่วิทยาคม เพชรบูรณ์
- มัธยมปลายจากโรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม พิษณุโลก
- ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาไฟฟ้า มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก

ชื่อ-นามสกุล สราวุฒิ ปลิกแสง
วันเดือนปีเกิด 27 เมษายน 2522
การศึกษา

- มัธยมต้นจากโรงเรียนพิชัย อุตรดิตถ์
- มัธยมปลายจากโรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม พิษณุโลก
- ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาไฟฟ้า มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก