ระบบผู้เชี่ยวชาญในการเลือกสายเคเบิล

The Expert System for Cable Selection

โดย

นายนันท์นงค์	จิระเดชวงษ์	34105238
นายภูสิทธิ์	สมิตะเศรษฐ์	34105259
นายมนต์ชัย	ธัญธเนส	34105262

วัน เดือน ปี 18 พ.ค. 2539
เลขทะเบียน 034785
เลขเรียกหนังสือ T37085 พ2

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2537

ระบบผู้เชี่ยวชาญในการเลือกสายเคเบิล

The Expert System for Cable Selection

โดย

นายชัยนพงศ์	จิระเดชางษ์	34105238
นายภูสิทธิ์	สมิคะเสรษฐ์	34105259
นายมนต์ชัย	ธัญธเนส	34105262

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.ศิริวัฒน์ โนธิเวชกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2537

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบผู้เชี่ยวชาญในการเลือกสายเคเบิล

ผู้จัดทำ

1. นายพัฒน์พงศ์ จิระเดชวงษ์
2. นายภูสิทธิ์ สมิตะเศรษฐ์
3. นายมนต์ชัย ธัญธเนส

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบสายเคเบิล

: นายพัฒน์พงศ์ จิระเดชวงษ์
นายภูสิทธิ์ สมิตะเศรษฐ์
นายมนต์ชัย ธัญธเนส
อ.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2537

บทคัดย่อ

โปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการเลือกสายเคเบิล เป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบระบบไฟฟ้าโดยเน้นในส่วนของการออกแบบสายเคเบิลโดยการพิจารณารายละเอียด เช่น พิกัดการนำกระแส (Amperecity), แรงดันตกคร่อม (Voltage Drop), รูปแบบของการติดตั้ง (Type of Installation) ฯลฯ มาคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของสายและชนิดของสาย เพื่อให้ได้สายที่เหมาะสมที่สุดและมีประสิทธิภาพสูงสุด

หลักการพื้นฐานของโปรแกรม คือ ทำการเขียนโดยใช้ภาษาซี ซึ่งข้อมูลในการอ้างอิงจะใช้มาตรฐาน IEE Regulation เป็นเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับการเดินสาย (wiring) โดยเฉพาะ

ในปริญญานิพนธ์นี้ เราจะนำโปรแกรมมาใช้คำนวณชนิดและขนาดของสายในรายละเอียดต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น เปรียบเทียบจากตารางและข้อมูลจาก IEE Regulation แล้วแสดงผลออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE EXPERT SYSTEM FOR CABLE SELECTION

Patpong Jiradejvong

Phusit Samittaseth

Monchai Thunthanase

Prof. Siriwat Phothivethkul Advisor

1994

ABSTRACT

"The Expert System For Cable Selection" is part of Electrical System Design. By emphasis at various details for example, amperecity, voltage drop, type of installation etc. for calculation area of cables and type of cables. Ultimately, we can find cables which are most suitable and most efficient.

Basic idea of program is written from C language and have reference information from IEE Regulation for standard of wiring.

In this thesis, we use program for calculation type and area of cable in details that have mentioned above. Compare with tables and information from IEE Regulation, then display the output.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีของสายเคเบิล	3
2.1 ลักษณะและรายละเอียดของสาย	3
2.2 แนวความคิดและความรู้พื้นฐานในการเลือกสาย	13
2.3 การเลือกสายของมาตรฐาน IEE Requlation	29
บทที่ 3 หลักการเบื้องต้นในการออกแบบระบบไฟฟ้า	39
บทที่ 4 ข้อแนะนำในการใช้โปรแกรมเบื้องต้น	54
บทที่ 5 Flow Chart ของโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการเลือกสายเคเบิล	56
บทที่ 6 การรับข้อมูลและการแสดงผลทางหน้าจอของโปรแกรม	57
บทที่ 7 สรุปและวิจารณ์	62
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3.1 แสดงแบบแปลนไฟฟ้าเปรียบเทียบกับลักษณะของห้อง 44

รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของแบบการเดินสายพร้อมทั้งแสดงการติดตั้งที่ควบคู่ไปกับการเดินสาย 45

รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะวงจรย่อยของระบบแสงสว่าง 45

รูปที่ 3.4 แสดงวงจรย่อยของปลั๊ก 46

รูปที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ของส่วนต่าง ๆ ของระบบไฟฟ้า 49

รูปที่ 3.6 การเดินสายป้อนในอาคารซึ่งสูงเพียง 2-3 ชั้น (ใช้สายป้อนชุดเดียวกัน) 50

รูปที่ 3.7 เป็นวิธีการที่ดัดแปลงมาจากรูปที่ 3.6 51

รูปที่ 3.8 เป็นการแสดงวิธีการเดินสายป้อนในอาคารที่สูงหลายชั้น 51

รูปที่ 3.9 แสดงการเดินสายป้อนอีกลักษณะหนึ่ง 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในการออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคารหรือสถานที่ต่าง ๆ โดยทั่วไปจะเริ่มจากการทราบค่าโหลด (load) ของอุปกรณ์แต่ละชนิดเสียก่อน แล้วนำค่าโหลดต่าง ๆ มาคำนวณหาเซอร์กิตเบรคเกอร์ (circuit breaker), ขนาดของสาย, ฟิวส์, distribution board และ main distribution board ได้ สายเคเบิลเป็นสิ่งสำคัญในระบบไฟฟ้า ถือว่ามันเป็นเส้นเลือดก็ว่าได้ แต่ในความคิดโดยทั่วไปมักจะมองการออกแบบสายเคเบิลเพียงแค่การออกแบบตาม shop drawing ที่วาดไว้โดยใช้สายชนิดหรือพวกใดก็ได้ ผลลัพธ์ที่ออกมาจะได้สายที่ประสิทธิภาพต่ำ ไม่เหมาะสม หรืออาจจะราคาแพงก็ได้

ปัจจุบันการแข่งขันทางการค้าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ผู้ที่ลงทุนใช้ทรัพยากรได้อย่างคุ้มค่าที่สุดจะเป็นต่ออย่างมาก และสายเคเบิลก็มีผลอย่างมากในระบบไฟฟ้า ดังนั้นโปรแกรมนี้จะช่วยผู้ออกแบบในการออกแบบและพิจารณาสายเคเบิล โดยแบ่งการพิจารณาและการเลือกสายเคเบิลเป็นส่วน ๆ ให้เห็นชัดเจนดังนี้ 1) branch circuit 2) feeder circuit 3) main feeder circuit 4) main circuit หลังจากเลือกส่วนดังกล่าวแล้วผู้ออกแบบจะนำข้อมูลที่มีอยู่หรือต้องการทำมาป้อนเป็นอินพุท เช่น วิธีการติดตั้ง โหลด (วัตต์) แรงดันไฟฟ้า เพาเวอร์แฟคเตอร์ (power factor) ฯลฯ โปรแกรมจะแสดงผลออกมาให้ผู้ใช้ได้เลือก

ซึ่งผลที่ออกมาจะบอกผู้ออกแบบให้ทราบถึง ขนาดเซอร์กิตเบรคเกอร์ ชนิดและขนาดของสาย สายเคเบิลที่พบบ่อยที่สุด 2 ชนิดคือ VAF และ THW ซึ่งจะอ้างอิงจากข้อมูลของผู้ผลิต 3 ยี่ห้อ คือ Bangkok Cable, Thai Yazaki, Phelps dodge เป็นข้อมูลหลัก และบัสดัคท์ (Busduct) จะใช้ข้อมูลของ Square D ในที่สุดแล้วก็จะต้องใช้ดุลยพินิจของผู้ออกแบบว่าจะใช้ยี่ห้อไหนจึงจะดีที่สุด

ส่วนมาตรฐานและข้อมูลที่ใช้ในการอ้างอิงของโปรแกรมนี้ อ้างอิงจาก IEE Wiring Regulation ซึ่งเหมาะสมที่สุด แม้จะมีการกำหนดมาตรฐานอื่น ๆ อีกหลายมาตรฐานเพื่อให้เหมาะสมกับสภาวะประเทศหรือกลุ่มของตนเองมากขึ้นก็ตาม เช่น JIS ANSI TIS ฯลฯ แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	Safety request for jacket	12
ตารางที่ 2.2	Physical property of polymeric materials	13
ตารางที่ 2.3	Nominal values for relative permittivity and loss factor	19
ตารางที่ 3.1	โหลดแสงสว่างและโหลดเต้ารับสำหรับสำหรับอาคารวิจัย	40
ตารางที่ 3.2	ค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการ (kW) สำหรับระบบปั๊มน้ำของอาคารสูง	41
ตารางที่ 3.3	ค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการ (kW) สำหรับใช้กับระบบปั๊มน้ำดับเพลิง	41
ตารางที่ 3.4	โหลดของเครื่องปรับอากาศสำหรับอาคารชนิดต่าง ๆ	42
ตารางที่ 3.5	demand factor ของสายป้อนแสงสว่าง	43
ตารางที่ 3.6	demand factor สำหรับวงจรเต้ารับของอาคารอื่น ๆ ที่ไม่ใช่อาคารที่อยู่อาศัย	43
ตารางที่ 3.7	แสดงรายการโหลดของระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานเหล่านั้นส่วนใหญ่จะอ้างอิงของ IEE หรือบางมาตรฐานคัดลอกมาจาก IEE ด้วยซ้ำไป ส่วนมาตรฐานของ IEC และ NEC ส่วนใหญ่จะเป็นมาตรฐานสำหรับการทดสอบอุปกรณ์ต่าง ๆ แต่ IEE จะเป็นมาตรฐานการติดตั้งสายเคเบิลโดยเฉพาะ ดังนั้นจึงยึดมาตรฐานของ IEE Wiring Regulation เป็นหลักเกณฑ์

โปรแกรมนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้ โดยที่ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องหยิบหนังสือหลายเล่มในการค้นหาข้อมูลในการออกแบบ เพียงแต่มีโปรแกรมนี้และทราบข้อมูลที่โปรแกรมต้องการ โปรแกรมนี้จะอำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้อย่างมากมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีของสายเคเบิล

2.1 ลักษณะและรายละเอียดของสาย

สิ่งที่ต้องคำนึงถึง

1. แบบหรือชนิดของสถานที่ใช้งาน เช่น โรงงานอุตสาหกรรม อาคารสูงหรือที่พักอาศัย
2. อายุการใช้งานที่ต้องการ
3. ความยากง่ายในการติดตั้ง
4. FACTOR ต่าง ๆ ในการคำนวณ

1. แบบหรือชนิดของสถานที่ใช้งาน

สายไฟฟ้าแต่ละชนิดถูกออกแบบมาสำหรับใช้งานเฉพาะในแต่ละสถานที่ หรืออุปกรณ์พื้นที่เช่น

ชนิดของงานและสถานที่	ชนิดของสายไฟฟ้าที่ควรเลือกใช้
BROADCAST INDUSTRY	EPN CAMERA CABLE FOR FOOTBALL GAMES
COMPUTER INPUT DEVICES	MOUSE CABLE
HOME ENTERTAINMENT	TELEVISION SET WIRING
INDUSTRIAL ELECTRICAL	MILLWUKEE SEWER CABLE
MEDICAL ELECTRONICS	PULSE & OXYGEN LEVEL SENSOR CABLE
AUTOMOTIVE ROBOTS	ROBOTIC CABLES
COMMERCIAL WELDER	WELDING CABLES
OIL REFINERY	OCMA CABLE, TC TRAY CABLE
EMERGENCY SYSTEM	MI CABLE, MC CABLE, FR IN STEEL CONDUIT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONDUCTOR

แบบและชนิดต่าง ๆ ของ CONDUCTOR

- SOLID
- COMPACT STR
- Cu OR A1
- SEGMENTAL
- STRANDED
- MILIKEN

CONDUCTOR SCREEN OR SHIELD

- TAPE
- EXTRUDED

INSULATION

เราสามารถนำวัสดุต่าง ๆ มาทำเป็น INSULATION ได้ ซึ่งคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิดจะมีขีดความสามารถในการใช้งานต่างสภาวะกัน เช่น

- PAPR
- BUTYL
- PVC
- MAGNESIUM OXIDE
- PE
- ETFE
- XLPE
- PTFE
- EPR

INSULATION SCREEN

SEMICONDUCTING SCREEN ในขบวนการผลิตสายไฟมีอยู่ 2 แบบ คือ

- TAPE
- EXTRUDED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

METALLIC SHIELD

- WIRE Cu OR A1 - CORUGATE
- TAPE - INTERLOCK
- STRAP

SHEATH OR JACKET

- LEAD - LSF
- PVC - COPPER TUBE
- NEOPRENE - EPR
- HYPALON (CSP) - CSP

สิ่งที่สำคัญที่สุดในการเลือกใช้สายไฟให้ถูกต้องกับสถานที่นั้น ๆ มีดังนี้

- ตัวนำ (CONDUCTOR)
- ชนิดของฉนวนและเปลือกสาย

ตัวนำ

CONDUCTOR (ในกรณีของ POWER และ CONTROL CABLE) CONDUCTOR อาจจะทำมาจากทองแดง, อลูมิเนียม การออกแบบและการใช้งานขึ้นอยู่กับฉนวนของสายไฟและอุณหภูมิในการใช้งานของตัวนำ เช่น

- SOLID COPPER
- STRAND COPPER
- TIN PLATE COPPER
- SILVER PLATE COPPER
- NICKEL PLATE COPPER
- GOLD PLATE COPPER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- COPPER CLAD ALUMINIUM
- NICKEL CLAD COPPER
- NICKEL
- GALV, STEEL WIRE
- ZINC STEEL WIRE

SOLID CONDUCTOR

จะเป็นสายตัวนำแกนเดียวและเส้นเดียว เช่น MI CABLE

STRAND CONDUCTOR

CLASS ของ STRAND CONDUCTOR จะถูกแบ่งออกเป็น

- CLASS B 7 STRANDS
- CLASS C 19 STRANDS
- CLASS K มากกว่า 19 STRANDS แต่ละ STRAND จะมีขนาดประมาณ #30 AWG
- CLASS M มากกว่า 19 STRANDS แต่ละ STRAND จะมีขนาดประมาณ #34 AWG

TIN PLATE COPPER CONDUCTOR

CONDUCTOR ประเภทนี้ โดยส่วนมาก จะใช้กับสายที่มีฉนวน เป็นพวก RUBBER BASE เช่น EPR, CSP, SI RUBBER

เนื่องจากฉนวนประเภท RUBBER จะทำให้ทองแดงเกิด OXIDE ขึ้น จึงจำเป็นต้องใช้ TIN เคลือบกับตัวนำไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SILVER PLATE COPPER CONDUCTOR

CONDUCTOR ประเภทนี้ โดยส่วนมากจะใช้กับสายที่มีฉนวนเป็นพวก RUBBER BASE แต่เนื่องจาก TIN จะเกิด OXIDE ที่อุณหภูมิ 135°C การออกแบบจึงนำเอา SILVER มาหุ้มกับทองแดงไว้ ซึ่งสามารถใช้งานได้ในอุณหภูมิระหว่าง 135-200°C

NICKEL PLATE COPPER CONDUCTOR

ถูกออกแบบมาสำหรับใช้งานที่มีอุณหภูมิเกินกว่า 200°C โดยไม่จำเป็นว่า ฉนวนจะเป็น RUBBER หรือไม่ CONDUCTOR ประเภทนี้จะอยู่ในสายประเภทที่ใช้งานในอุณหภูมิตั้งแต่ 185°C ขึ้นไป

INSULATION

วิธีการเลือกฉนวนของสาย ควรจะคำนึงถึงสิ่งต่าง ๆ ดังนี้

1. ขนาดและน้ำหนัก
2. ความยากง่ายในการติดตั้ง
3. อุณหภูมิของตัวนำสายขณะใช้งาน
4. AMBIENT TEMPERATURE
5. OVERLOAD
6. ความชื้นของสถานที่ที่จะทำการติดตั้ง
7. APPROVALS (มาตรฐานต่าง ๆ ที่รับรองการใช้งาน)

สิ่งต่อไปที่ควรคำนึงถึงนั่นคือ วัสดุที่นำมาทำ INSULATION ของสาย ซึ่งสามารถแยกออกได้ดังนี้

- POLYMERIC MATERIAL
- THERMOPLASTICS MATERIAL
- THERMOSET MATERIAL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POLYMERIC MATERIAL (ELASTOMERIC)

วัสดุประเภทนี้จัดอยู่ในจำพวกของ SYNTHETIC POLYMER ทำมาจาก NATURAL RUBBER ซึ่งเป็นวัสดุที่เข้ามาแทนฉนวนของสายไฟที่ทำด้วยกระดาษ

THERMOPLASTICS

THERMOPLASTIC ที่ใช้อยู่ทุกวันนี้ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้เป็นฉนวนของสายไฟในปี 1930 จนกระทั่งในปี 1950 PVC และ PE ได้เข้ามามีบทบาทสำหรับใช้เป็นฉนวนของสายไฟ วัสดุที่เป็น THERMOPLASTIC จะมีลักษณะดังนี้

- อ่อนตัวเมื่อถูกความร้อน
- คงสภาพเดิมเมื่อถูกความเย็น (เย็นตัวลง)

ซึ่งวัสดุประเภทนี้ จะเปลี่ยนสภาพคุณลักษณะเมื่อได้รับความร้อนแล้วเย็นตัวลง เช่น สายที่มีฉนวนเป็น PVC, LDPE, HDPE, PP

ข้อดีของวัสดุประเภท THERMOPLASTICS

- เป็นฉนวนที่ดี
- ราคาถูก
- น้ำหนักเบา
- มีขนาดบาง (เมื่อฉีดเป็นฉนวนของสายไฟ)

ข้อจำกัดของวัสดุประเภท THERMOPLASTICS

- มีขอบเขตใช้งานในบริเวณที่มีอุณหภูมิประมาณ 70-80 °C
- มีความอ่อนตัวน้อย (FLEXIBLE)

THERMOSET MATERIALS

ลักษณะของ THERMOSET จะมีลักษณะแข็ง ทนอุณหภูมิได้สูง เช่น XLPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XLPE จะมีลักษณะและขบวนการผลิต 2 วิธีด้วยกันคือ

1. CHEMICAL CUPING CROSSLINKING

   เป็นการผลิตซึ่งใช้ส่วนผสมทางเคมี (เช่น สายแรงสูงที่ผลิตในประเทศ)

2. IRRADIATION CROSSLINKING

   จะใช้วิธีการฉายรังสีลงบนสายไฟโดยใช้ HIGH ENERGY ELECTRON BEAM

   สายไฟชนิดนี้เหมาะสำหรับการใช้งานทางด้านทหารและสถานที่ที่มีอุณหภูมิสูง ๆ

BINDER TAPE AND FILLERS

อาจจะทำมาจาก
- MYLAR POLYESTER
- PAPER
- COTTON

หน้าที่ของ BINDER TAPE และ FILLERS

- ป้องกันการเสียหายของ INSULATION จากตัวนำ หรือ ARMOURE ของสาย
- พันรอบ INSULATION เพื่อให้ได้รูปลักษณะกลม (ใช้ในกระบวนการผลิตสายไฟ)

หน้าที่ของ FILLERS

- อุดช่องว่างระหว่าง CORE ของสายให้กลม เพื่อที่จะดำเนินการฉีดเปลือกของสายไฟ

SHIELDING

อาจจะทำมาจาก
- COPPER TAPE
- COPPER BRADE
- BRASS TAPE
- ALUMINIUM FOI TAPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

034785

หน้าที่ของ SHIELDING

- SHIELDING จะทำหน้าที่ป้องกัน ELECTROSTATIC, ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE ระหว่าง ภายในสาย และภายนอกสาย นอกจากนั้นจะทำหน้าที่เป็น "RETURN" WIRE, ป้องกันสายในขณะเกิด FAULT ขึ้นภายในสาย, ช่วยป้องกันความเสียหายอันเกิดจาก MECHANICAL, ป้องกันสัตว์ เช่น หนูกัดสาย ในกรณีของสายไฟสนามบิน (RUN WAY CABLE) จะใช้ BRASS TAPE เพื่อป้องกันความเสียหายอันเกิดจากรากของหญ้าคาซึ่งจะหยั่งรากเข้าไปในเปลือกของสายไฟ

ARMOURE

อาจทำมาจากลวดเหล็ก อลูมิเนียม ซึ่งจำแนกได้ดังนี้

- SWA STEEL WIRE ARMOUR
- AWA ALUMINIUM WIRE ARMOUR
- SBA GALV, STEEL BRAID ARMOUR
- MC ALUMINIUM ALLOY CORRUGATED CABLE
- INTERLOCK ALUMINIUM OR GALV. STEEL INTERLOCKING ARMOUR
- DST DOUBLE STEEL TAPE ARMOUR

หน้าที่ของ ARMOUR

จะทำหน้าที่ป้องกันการเสียหายอันเกิดจาก MECHANICAL (เช่น การขุดดินไปโดนสายไฟ หรือวัสดุมีคมหล่นใส่สายไฟ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JACKET

วัสดุที่จะนำมาทำ JACKET ของสายมีอยู่มากมายหลายชนิด เช่น

	สถานที่ใช้งาน
LEAD	อุตสาหกรรมน้ำมันและปิโตรเคมี
PVC	อุตสาหกรรมต่าง ๆ และอาคาร
PVC FLAME RETARD	"
NEOPRENE	เหมือง, เถรน
HYPALON(CSP)	"
LSF (LOW SMOKE AND FUME)	อุตสาหกรรมปิโตรเคมี, โรงพยาบาล, ศูนย์การค้า (สถานที่ชุมชน)
COPPER TUBE	ไฟฟ้าฉุกเฉิน (MI)
EPR	เรือ, ทหาร, โรงงานอุตสาหกรรม
CSP	"
ZH	COMPUTER ROOM, ทหาร, สถานที่ชุมชน อุตสาหกรรมปิโตรเคมี

ในการเลือกชนิดของเปลือกสาย JACKET ควรที่จะคำนึงถึงระบบ SAFETY ซึ่งสามารถแยกได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	SAFETY REQUEST FOR			
	PERSONNEL	PLANT	SHUTDOWN	HARZARDOUS AREA
REQUEST STANDARD	IEC332-3	IEC332-1	IEC331	BS5345 PART
ความต้องการทางด้านสายไฟ	ลดเปลวไฟ ลดควันพิษ ลด TOXIC GAS ไม่ติดไฟ ไม่เป็นเชื้อเพลิงที่ดี	ลดเปลวไฟ ไม่ติดไฟ ไม่เป็นเชื้อเพลิงที่ดี	ทนความร้อน ทนเปลวไฟ ทน MECHANICAL ไม่ติดไฟ ไม่เป็นเชื้อเพลิงที่ดี	FLAME PROOF BARRIER ทนการกร่อน ทนเปลวไฟ ทนความร้อน ไม่ติดไฟ ทน MACHANICAL
ชนิดของสายไฟที่ใช้	LSF CABLE MI CABLE TC CABLE PVC FLAME RETARD LSF CONDUIT WIRE	LSF CABLE MI CABLE TC CABLE	MI CABLE FR W/ STEEL CONDUIT FS1 CABLE FS2 CABLE SRG CABLE	LSF CABLE MI CABLE MC CABLE TECK CABLE PVC/RSC CONDUIT OCMA CABLE

ตารางที่ 2.1 Safety request for jacket

อายุการใช้งานของสายไฟ

ดังที่กล่าวมาแล้วในเบื้องต้น เนื่องจากสายไฟแต่ละชนิดออกแบบมาสำหรับใช้งานในแต่ละสถานที่ สิ่งจำเป็นที่จะทำให้อายุของสายไฟใช้งานได้เป็นเวลานานนั้นขึ้นอยู่กับว่าเราได้เลือกแบบและชนิดของสายไฟให้ถูกต้องและเหมาะสมกับสถานที่นั้น ๆ

ตัวอย่างเช่น ถ้าเรานำสาย XLPE (CHEMICAL CROSSLINK) ไปใช้ในอุณหภูมิที่ 150°C สายนี้จะมีอายุการใช้งานเพียง 10 วันเท่านั้น (เนื่องจาก XLPE จะเริ่มอ่อนตัวที่อุณหภูมิ 105°C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MATERIAL	TYPE	TENSILE STRENGTH (MIN) (N/mm2)	ELONGATION AT BREAK (MIN) (%)	LIMITING RATING (°C)
*THERMOPLASTIC *b*				
POLY(VINYL CHLORIDE)	TI 1	12.5	125	70
POLY(VINYL CHLORIDE)	2	18.5	125	70
POLY(VINYL CHLORIDE)	TI 2	10	150	70
POLY(VINYL CHLORIDE)	4	7.5	125–150	85
POLY(VINYL CHLORIDE)	5	12.5	125	85
POLYETHELENE LD	PE 03	7	300	70
POLYETHELENE LD	PE 2	7	300	70
POLYETHELENE HD		37	500	80
POLYPROPYLENE		37	400	80

ตารางที่ 2.2 Physical properties of polymeric materials

2.2 แนวความคิดและความรู้พื้นฐานในการเลือกสาย

<u>แรงดันตกคร่อม (Voltage Drop)</u>

ความสามารถในการนำกระแสซึ่งถูกสร้างขึ้นบนพื้นฐานของฉนวนตัวนำและอุณหภูมิห้อง นี้เป็นพื้นฐานในการพิจารณาความปลอดภัย ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของตัวนำและอื่น ๆ เช่นแรงดันตกคร่อม, เพาเวอร์แฟกเตอร์, ความจุสำรอง ฯลฯ จะถูกรวมไว้ในการคำนวณ ถ้าเราไม่คำนึงถึงจะทำให้มีความแตกต่างระหว่างแรงดันมาก จึงต้องแก้ไขโดยการเพิ่มขนาดของตัวนำหรือลดความยาวของ circuit การทำงานของวงจรจะประสบความสำเร็จจะไม่เกิน 3 percent อย่างไรก็ตาม แรงดันทั้งหมดที่ตกคร่อมวงจรย่อยบวกกับ feeder สามารถถึง 5 percent และยังคงมีประสิทธิภาพ

วงจรจะมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อ voltage drop 2% สำหรับ feeder 1% ตกคร่อมสำหรับงานแสงสว่าง, หรือ combined load

$$\text{Voltage Drop} = I(\cos\theta - j\sin\theta)(R + jX)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VD = IRcosθ + IXsinθ

VD = I(Rcosθ + Xsinθ)

ซึ่ง VD = Voltage drop in circuit, line to neutral

I = current flowing in conductor

R = line resistance for one conductor, in ohms

X = line reactance for one conductor, in ohms.

θ = angle whose consine is the load power factor.

ค่า Voltage drop ที่หาได้เป็นค่า line to neutral ถ้าจะทำเป็น line to line จะต้องคูณด้วยตัวคูณเหล่านี้

single phase = 2

Three phase = $\sqrt{3}$ หรือ 1.732

ค่าความต้านทาน R เป็นความต้านทานกระแสเฉลี่ยของตัวนำพิเศษหรือตัวนำที่อยู่บน raceway จะถูกติดตั้งมาจากโรงงาน (สำหรับตัวนำที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่เกิน 25 mm^2 ความต้านทานกระแสสลับของสายจะเท่ากับความต้านทานกระแสตรง) ขึ้นอยู่กับขนาดของตัวนำ ชนิดของตัวนำ (ทองแดงหรืออลูมิเนียม) อุณหภูมิของตัวนำ (70°C ขณะรับโหลด) และตัวนำที่ติดตั้งในเหล็กหรืออลูมิเนียม

ค่า reactance X ได้จากผู้ผลิตและขึ้นอยู่กับวัสดุของตัวนำ, ถ้าตัวนำอยู่บนรางวางสาย ค่าเฉลี่ยคือ

VD = I(R cosθ + x sin θ)

or VD = I(rLcosθ + xLsin θ)

VD = IL(r cosθ + x sin θ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$VD = \frac{Il}{1000}(r\cos\theta + x\sin\theta)$$

$$VD(3\phi) = \sqrt{3}\,\frac{Il}{1000}(r\cos\theta+x\sin\theta) = \frac{Il}{1000}\sqrt{3}(r\cos\theta+x\sin\theta)$$

$$VD(1\phi) = \sqrt{3}\,\frac{Il}{1000}(r\cos\theta+x\sin\theta) = \frac{Il}{1000}\sqrt{3}(r\cos\theta+x\sin\theta)$$

Current Carrying

มันเป็นพื้นฐานที่จะเลือกขนาดของสายที่คำนวณไว้ในอนาคตเมื่อ load มากขึ้น

Current Carrying Capacity

องค์ประกอบสำคัญ 2 ประการสำหรับการติดตั้งมาตรฐานคือ อุณหภูมิรอบข้างและอุณหภูมิที่อนุญาตให้สูงขึ้นได้

สถาบันวิศวกรรมไฟฟ้าในอังกฤษ ได้พิมพ์ IEE Regulation สำหรับการติดตั้งไว้ โดยให้มาตรฐานการติดตั้งไม่เกิน 1000 V รวมทั้งสาย MI cable อัตราที่จัดไว้สำหรับ "การติดตั้งในอากาศ" ไม่ฝังพื้น ซึ่งถูกคำนวณสำหรับอุณหภูมิพื้นฐาน 30°C

ความคิดพื้นฐานในการพิจารณาอัตราพิกัด

อัตราพิกัดกระแสจะขึ้นอยู่กับทิศทางที่ความร้อนแพร่กระจายถึงพื้นผิวของสายแล้วแพร่ไปยังสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิของตัวนำเป็นตัวกำหนดความเป็นฉนวนของตัวนำนั้น โดยการเลือกอุณหภูมิรอบข้างพื้นฐาน อุณหภูมิเพิ่มขึ้นที่สามารถรับได้ขึ้นตัวกับพิกัดสูงสุดของตัวนำซึ่งคำนวณได้จากสภาวะแวดล้อม ภายใต้สภาวะปกติ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของตัวนำกับกราวด์ภายนอกหรืออุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอบข้าง ซึ่งสัมพันธ์กับผลรวมของการสูญเสียความร้อนและกฎหมุนเวียนของความร้อนซึ่งคล้ายคลึงกับกฎของโอห์ม การไหลเวียนของความร้อนเปรียบเสมือนกระแส, ความแตกต่างอุณหภูมิเสมือนแรงดัน, อุณหภูมิความต้านทานในสายและรอบข้างเสมือนความต้านทานทางกระแสไฟฟ้า Thermal resistivity คือความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเป็น เคลวินระหว่างผิวของวัสดุเป็นลูกบาศก์เมตร มีหน่วยเป็น K m/W

MATHEMATICAL TREATMENT

อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเกิดจากความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวนำ, ในฉนวน, ใน Sheath และ armour ด้วยการคูณกับ Thermal resistance ของผิวซึ่งความร้อนผ่าน

$$\Delta\theta = (I^2R + \tfrac{1}{2}W_d)T_1 + \left[I^2R\,(1 + \lambda_1) + W_d\right] nT_2 + \left[I^2R\,(1 + \lambda_1 + \lambda_2) + W_d\right] n(T_3 + T_4)$$

ซึ่ง $\Delta\theta$ = อุณหภูมิตัวนำที่เพิ่มขึ้น (K)

I = กระแสที่ไหลในหนึ่งตัวนำ (A)

R = ความต้านทานกระแสสลับต่อความยาวของตัวนำที่อุณหภูมิการทำงานสูงสุด (Ω/m)

T_1 = อุณหภูมิความต้านทานต่อความยาวระหว่างตัวนำและ Sheath

W_d = ความสูญเสียในไดอิเล็กทริกต่อความยาวสำหรับฉนวนรอบ ๆ ตัวนำ W/m

T_2 = อุณหภูมิความต้านทานต่อความยาวของ sheat และ armour (K m/W)

T_3 = อุณหภูมิความต้านทานต่อความยาวด้านนอกของสาย

T_4 = อุณหภูมิความต้านทานต่อความยาวระหว่างผิวของสายและสิ่งรอบข้าง (K m/W)

n = จำนวนตัวนำที่รับโหลดในสาย C ตัวนำต้องมีขนาดเท่ากันและรับโหลดเท่ากัน)

λ_1 = อัตราส่วนความสูญเสียใน metal sheath ต่อความสูญเสียทั้งหมดในตัวนำทั้งหมดในสาย

λ_2 = อัตราส่วนความสูญเสียใน armouring ต่อความสูญเสียทั้งหมดในตัวนำทั้งหมดในสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงได้สูตรอัตรากระแสที่รับได้คือ

$$I = \left\{ \frac{\Delta\theta - W_d \left[\frac{1}{2}T_1 + n(T_2 + T_3 + T_4)\right]}{RT_1 + nR(1 + \lambda_1)\, T_2 + nR\,(1 + \lambda_1 + \lambda_2)\,(T_3 + T_4)} \right\}^{1/2}$$

ซึ่งสูตรนี้ไม่รวมถึงการเกิดความร้อนจากแหล่งอื่น ๆ

$$I = \left[\frac{\Delta\theta}{R'T_1 + nR'T_2 + nR'\,(T_3 + T_4)} \right]^{1/2}$$

R' = ความต้านทานกระแสตรงต่อความยาวของตัวนำที่อุณหภูมิการทำงานสูงสุด (Ω /m)

CALCULATION OF LOSSES

ความต้านทานของตัวนำ

R ในสูตรเป็นความต้านทานที่อุณหภูมิการทำงานสูงสุดและสำหรับการทำงานกระแสสลับที่ผิวและปฏิกริยาข้างเคียง

ความต้านทานกระแสตรง (Ω /km) ที่อุณหภูมิ θ คือ

$$R' = R_{20}\,[1 + \alpha_{20}(\theta - 20)]$$

ค่า α_{20} ของ Copper คือ 0.00393 และสำหรับ Aluminium คือ 0.00403

ความต้านทานกระแสสลับที่อุณหภูมิ θ

$$R = R'(1 + y_s + y_p)\ (\Omega/\text{km})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

where y_s = the skin factor

y_p = the proximity effect factor

ที่ความถี่ 50-60 Hz ซึ่ง skin effect factor จะน้อยสำหรับตัวนำที่เล็กกว่า 150 mm^2 ซึ่งขนาดนี้จะมีค่าดังนี้

$$y_s = \frac{x_s^4}{192 + 0.8x_s^4}$$

$$x_s^2 = \frac{8\pi f}{R'} \times 10^{-7} k_s$$

ซึ่ง f = ความถี่แหล่งจ่าย (supply frequency) Hz

k_s = ค่าคงที่ของชนิดของสาย (ดู IeC 287)

X_s ไม่ควรเกิน 2.8

ผลข้างเคียง (Proximity effects) เนื่องจาก ผลกระทบซึ่งกันและกัน (mutual effects) ระหว่างตัวนำสายเคเบิลหลักบวกกับกระแสเหนี่ยวนำ (inductive) ใน metal sheath และกระแสไหลวน (eddy current) ทั้งใน metallic sheath และ armour เราสามารถละทิ้งได้ในกรณีที่ตัวนำขนาดเล็กที่ความถี่มาก ๆ (power frequency) ทั้งหมดอ้างอิงมาตรฐาน IEC 287 ใช้สำหรับ ac resistance ที่อุณหภูมิการทำงานสูงสุด (maximum operating temperature)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dielectric losses in ac cables

$$W_d = \omega C U_0^2 \tan \delta \ (W/m)$$

เมื่อ $w = 2\pi f$

C = capacitance (F/m)

ค่าของ tan δ อยู่ในตารางที่ 2.3

Type of cable	Permittivity	tan δ
Solid type paper insulated	4	0.01
Oil-filled paper, low/medium pressure	3.3	0.004
Oil-filled paper, high pressure	3.5	0.0045
Oil pressure pipe type/paper	3.7	0.0045
External gas pressure/paper	3.5	0.004
Internal gas pressure/paper	3.4	0.0045
Butyl rubber	4	0.05
EPR	3	0.04
PVC	8	0.1
PE	2.3	0.001
XLPE	2.5	0.008

ตารางที่ 2.3 Nominal values for relative permittivity and loss factor

สูตรนี้สำหรับค่า capacitance ถ้าเป็นวงกลมจะใช้ค่ารัศมีมาใช้

$$C = \frac{\epsilon}{18 \log_e(D_i d_c)} \times 10^{-9}$$

ซึ่ง ϵ = relative permitivity of insulation

D_i = เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของฉนวนรวมถึง screen ด้วย (mm)

d_c = เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำรวมทั้ง screen ด้วย (mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า U_o ต่ำกว่า 26 kv สำหรับสายหุ้มกระดาษ, 12 kv สำหรับ butyl rubber, 15 kv สำหรับ EPR, 6 kv สำหรับ AUC, 110 kv สำหรับ PE และ 37 kv สำหรับ XLPE

Losses in metal sheath and armour (ac cables)

ในสาย multicore การสูญเสียใน sheath และ armour จะทำให้เกิด losses แต่ก็ไม่สำคัญมาก ไม่เหมือนกับสาย single core ที่ถือว่าเป็นการสูญเสียมาก ซึ่งเกิดจากกระแสหมุนเวียน (circulating current) และกระแสไหลวน (eddy current)

CALCULATION OF THERMAL RESISTANCE

ในการคำนวณ screening layers จะถูกนำมาพิจารณาเป็นส่วนหนึ่งของตัวนำ ถ้าเป็น metallic และเป็นส่วนหนึ่งของฉนวนเข้าเป็นกึ่งตัวนำ

Thermal resistance between one conductor and sheath (T_1)

สายตัวนำเดี่ยว (single core cables)

$$T_1 = \frac{\rho_t}{2\pi} \log_e\left(1 + \frac{2t_1}{d_c}\right)$$

ซึ่ง ρ_t = thermal resistivity ของฉนวน (K m/W)

D_c = เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ (mm)

t_1 = ความหนาของฉนวน, ตัวนำถึง sheath (mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Multicore belted cables

$$T_1 = \frac{\rho_t}{2\pi} G$$

ซึ่ง G คือ geometric factor

Multicore screened cables

$$T_1 = \frac{\rho_t}{2\pi} G \times \text{screening factor}$$

Thermal resistance between sheath and armour (T_2)

ทั้ง single core และ multicore มีสูตรดังนี้

$$T_2 = \frac{\rho_t}{2\pi} \log_e\left(1 + \frac{2t_2}{D_s}\right)$$

t_2 = ความหนาของ bedding (mm)

D_s = เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของ sheath (mm)

Thermal resistance of auter coverings (T_3)

$$T_3 = \frac{\rho_t}{2\pi} \log_e\left(1 + \frac{2t_3}{D'_a}\right)$$

t_3 = ความหนาของส่วนห่อหุ้มภายนอก (Auter covering) mm

D'_a = เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของ armour (mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

External thermal resistance in free air (T_4)

$$T_4 = \frac{1}{\pi D_e h (\Delta\theta_s)^{1/4}}$$

ซึ่ง D_e = เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของสาย (mm)

h = ค่าองค์ประกอบการแพร่กระจายของความร้อน IEC 287

θ_s = อุณหภูมิพื้นผิวที่เหนือจาก ambient (K)

External thermal resistance for buried cables (T_4)

$$T_4 = \frac{\rho_r}{2\pi} \log_e[\mu + (\mu^2 - 1)^{1/2}]$$

ซึ่ง ρ_r = thermal resistivity ของดิน (K m/W)

μ = $2L/D_e$

L = ระยะทางจากผิวของกราวน์ดถึงแกนของสาย (mm)

D_e = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของสาย (mm)

IMPORTANT PARAMETERS WHICH AFFECT RATINGS

- Temperature

สิ่งแรกคืออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งอยู่กับพื้นฐานของอุณหภูมิพื้นฐาน สำหรับลักษณะการวางสายและอุณหภูมิการใช้งานสูงสุดสำหรับฉนวนและโครงสร้างสาย

- Condition of installation

โดยทั่วไปแล้ว สายที่ติดตั้งในอากาศจะมีการกระจายความร้อนที่ดีกว่าในพื้นดิน ซึ่งต้องขึ้นอยู่กับบทหน้าตัดสายด้วย

- การลอกแบบสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลกระทบจากสายข้างเคียง
- ตัวคูณแก้ไขที่เบี่ยงเบนไปจากสภาวะมาตรฐาน

การเลือกสาย

มีความต้องการ 4 ประการ โดย 3 ประการแรกเป็นทางเทคนิค และประการสุดท้ายเป็นทางเศรษฐกิจ

- ความสามารถในการนำกระแส
- โวลท์เตจ ดรอป
- Short circuit ที่อุณหภูมิจำกัด
- ทางเศรษฐกิจ

ขนาดของสายที่เล็กที่สุดต้องทานทนกับ 3 ความต้องการข้างบนได้

1. ความสามารถในการนำกระแส (Current carrying capacity)

จะต้องคำนึงถึงปัจจัยเหล่านี้

- สภาวะแวดล้อมรอบข้าง
- วิธีการติดตั้ง
- โครงสร้างของสาย
- ความเกี่ยวพันกับสายรอบข้าง

สภาวะแวดล้อมรวมถึงความต้องการพิเศษในการป้องกันสายจากสภาวะผุกร่อน, สภาวะที่ถูกทำลายทางกล ถูกกระทำโดยแมลงหรือสัตว์ใต้น้ำ และสภาวะแวดล้อมยังรวมถึงสิ่งเหล่านี้คือ

- อุณหภูมิอากาศรอบข้าง
- อุณหภูมิของดินรอบข้าง
- อุณหภูมิความต้านทานของดิน
- ความลึกในการวางสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตรากระแสในสายที่กล่าวโดยทั่วไปจะหมายถึงที่มีเกราะป้องกัน

วิธีการติดตั้งมีหลากหลายแล้วแต่เส้นทางการติดตั้ง ไม่ว่าจะเป็นการเดินสาย การฝังท่อใต้ดิน หรือแม้กระทั่งการฝังใต้ดิน ซึ่งล้วนแต่มุ่งหมายให้อัตรากระแสต่ำสุด ซึ่งจะมาคำนวณขนาดสายต่อไป

สิ่งที่สำคัญด้วยคือการเลือกวัสดุตัวนำ, ฉนวนและเกราะป้องกันซึ่งต้องให้เข้ากับราคาที่เหมาะสม

2. แรงดันตกคร่อม (Voltage Drop)

ขึ้นอยู่บนพื้นฐานสภาวะแวดล้อมเมื่อสายและโหลดเพาเวอร์แฟกเตอร์เท่ากัน และสายอยู่ในสภาวะการทำงานที่อุณหภูมิสูงสุด นอกจากนั้นผู้ออกแบบต้องเผื่อการโอเวอร์โหลดและผลข้างเคียงกับอุปกรณ์อื่น ๆ

3. อัตรากระแสลัดวงจร (Short Circuit Ratings)

เมื่อสายถูกต่อเข้าระบบ เกิดกระแสลัดวงจรสูงสุด พิจารณาที่แรงเหนี่ยวนำแม่เหล็กทำให้เกิดแรงผลักทางกลทำความเสียหายให้กับสายและอุปกรณ์ที่ติดตั้ง

4. ทางด้านค่าใช้จ่าย (Economics)

เมื่อพิจารณาถึง โหลดแฟกเตอร์และการสูญเสียของโหลดแฟกเตอร์ จะต้องใช้สายที่ใหญ่กว่าที่คำนวณได้จากความต้องการ 3 ข้อที่ผ่านมา

THE STEP BY STEP APPROACH

1. กำหนดโหลดต่อเนื่องในสายสูงสุด

2. จะต้องทราบระยะเวลาที่กระแสเกินพิกัด เช่น ในการสตาร์ทมอเตอร์หรือจุดไส้หลอดดิสชาร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ขนาดของตัวนำจะถูกพิจารณาในแง่ของความนำกระแสต่อเนื่องสูงสุดและวิธีการป้องกันหลังจากได้พิจารณาถึงการติดตั้ง, ความใกล้ชิดกับอุปกรณ์อื่น ๆ ขนาดของตัวนำได้มาจากตารางข้อมูลสาย

4. ขั้นตอนต่อไปต้องเช็คดูว่า แรงดันตกคร่อมที่คำนวณโดยอาศัยตาราง มีค่าเป็น V /Am ยอมรับได้ไหม ค่านี้จะต้องเก็บไว้, ซึ่งจะได้จากการคำนวณอุณหภูมิตัวนำสูงสุด เมื่อมีแรงดันตกคร่อมขณะที่เพาเวอร์แฟกเตอร์ของสายกับโหลดเท่ากัน

5. ต่อไปจะต้องพิจารณาความสามารถในการรับกระแสลัดวงจร จะต้องขึ้นอยู่กับแหล่งจ่ายจะทำให้เกิดระดับความผิดพลาดแค่ไหน จะต้องนำมาพิจารณาขนาดสายต่อไป

6. ต้องแน่ใจว่า let through energy สามารถผ่านสายไฟให้แก่อุปกรณ์ป้องกันได้หรือเปล่า

7. ท้ายสุด, จะต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายเป็นสำคัญ

CABLE ECONOMICS (ค่าใช้จ่ายของสาย)

มี 2 วิธีหลักที่จะเลือกสายที่คุ้มค่ามากที่สุด

มูลค่าปัจจุบัน = ค่าสายเริ่มแรก + ส่วนลดของการสูญเสียของสาย

ค่าเสียหายประจำปี = ค่าสูญเสียประจำปี + ค่าบำรุงรักษา + ค่าติดตั้ง

AN EXERCISE IN CABLE ECONOMICS

สิ่งแรกจะต้องคำนึงถึงที่ตั้งของสายในปัจจุบันและล่วงหน้า การตั้งสายในที่ที่มีหินมากและไม่เรียบ โดยไม่มีเกราะป้องกันเป็นการกระทำที่ไม่ฉลาดเอาซะเลย ต่อไปจะคำนึงถึงค่าความต้องการทางไฟฟ้าต่าง ๆ เช่น ความจุการนำกระแส, แรงดันตกคร่อม และกระแสลัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุดท้ายจะเป็นการนำแง่มุมต่าง ๆ มาพิจารณาเข้ากับค่าใช้จ่ายของสาย ซึ่งเราจะใช้ค่าของ "มูลค่าปัจจุบัน"

มูลค่าปัจจุบัน = ค่าสายเริ่มแรก + ส่วนลดของการสูญเสียของสาย

INSTALLATION CONDITIONS (สภาวะของการติดตั้ง)

สายที่ฝังลงในใต้ดินจะต้องมีปลอกและห่วง ปลายสายไฟฟ้าสำหรับยิดเกลียวมีข้อกำหนดดังนี้

ความลึก	-0.8m.
อุณหภูมิของดิน	-25°C
อุณหภูมิของความต้านทานดิน	-1.2°C mW^{-1}
ใช้สาย	XLPE

LOAD PARAMETERS (ค่าพารามิเตอร์ของโหลด)

โหลดแฟกเตอร์	-0.65
การสูญเสียโหลดแฟกเตอร์	-0.49
แฟกเตอร์อัตราวัฏจักรหมุนเวียน	-1.07

LOAD FACTOR

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้องการเฉลี่ย Iav และความต้องการสูงสุด Imax ถูกเรียกว่าโหลดแฟกเตอร์

$$LF = \frac{Iav}{Imax}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LOSS LOAD FACTOR

ความสูญเสียของระบบจะสัมพันธ์กับค่า $(I^2)av$ และความสัมพันธ์ระหว่าง $(I^2)av$ และ I^2max เรียกว่า Loss Load Factor

$$LLF = \frac{I^2(av)}{I^2max}$$

ความสัมพันธ์ LLF กับ LF มิได้มาเฉพาะยกกำลังสอง LF เท่านั้น ได้มาจาก

$$LLF = 0.3LF + 0.7(LF)^2$$

MORE ABOUT SINGLE CORE CABLES

เราควรจะเข้าใจให้ลึกซึ้งก่อนการออกแบบ single core คำแนะนำทั่วไปที่นอกเหนือจากการติดตั้งและความเหมาะสมที่จะใช้ในลักษณะต่าง ๆ คือ ถ้ามีช่องว่าง, สิ่งสำคัญ 2 ประการที่มีผลคือ แรงดันตกคร่อมและความจุ ความนำกระแส

- ช่องว่างและแรงดันตกคร่อม (SPACING V Voltage Drop)

การเพิ่มขึ้นของช่องว่างระหว่าง single core จะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของ inductive reactance ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ resistance กับ reactance

- ช่องว่างกับอัตราพิกัดกระแส (SPACING V CURRENT RATING)

แฟกเตอร์ในการช่วยพิจารณาอัตรากระแสของสาย single core คือ ความต้านทานของตัวนำ อุณหภูมิโดยรอบของความต้านทานสาย อุณหภูมิความต้านทานภายนอกของสาย และอุณหภูมิของตัวนำและอุณหภูมิรอบข้าง แต่เมื่อสายถูกห่อหุ้มด้วยโลหะ ตะแกรง ฯลฯ ค่าความสูญเสียก็จะสำคัญในอัตราพิกัดกระแส

ดังนั้น single core จึงมี 2 ประเภทนี้จะนำมาพิจารณา คือสายที่ห่อหุ้มด้วยโลหะและไม่มีโลหะห่อหุ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาย Single Core ที่ไม่มีโลหะห่อหุ้ม (UNSCREENED)

ถ้าเพิ่มช่องว่างจะทำให้อุณหภูมิความต้านทานภายนอกตกลงจะทำให้เพิ่มอัตราพิกัด

สาย Single Core ที่มีโลหะห่อหุ้ม (SCREENED NON-FERROUS WIRE ARMORED OR METAL SHEATHED)

ผลกระทบของช่องว่าง

ปรากฏการณ์ 2 อย่างที่ควรจะพิจารณา ณ ที่นี้

1. แรงดันเหนี่ยวนำ (induced voltages)
2. ผลกระทบกับอัตราพิกัดกระแส (Effect on current rating)

1) INDUCED VOLTAGES IN METALLIC SCREENS OR SHEATHS

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า เมื่อมีกระแสไหลผ่านตัวนำจะเป็นเหตุให้เกิด loop ของ magnetic field รอบ ๆ ถ้าที่หุ้มโลหะรอบ ๆ แต่ละตัวไม่ถูกเชื่อมกันจะทำให้ voltage คงที่

เมื่อ screen และ sheath ถูกเชื่อมที่ปลายทั้งสองข้าง จะทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำทำให้เกิดการหมุนเวียนของกระแส ความร้อนจะเกิดขึ้นซึ่งจะต้องนำค่านี้ไปคำนวณในสมการอุณหภูมิ

2) EFFECT OF SPACING ON RATING CURRENT (ผลกระทบช่องว่างบนพิกัดกระแส)

เมื่อเพิ่มช่องว่าง, ทำให้อุณหภูมิความต้านทานภายนอกมีแนวโน้มต่ำลง, ดังนั้นจะทำให้อัตราพิกัดกระแสดีขึ้นในขณะที่เกิดการหมุนเวียนของกระแส, ซึ่งถูกอธิบายโดย screen loss factor, มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จึงทำให้อัตราพิกัดกระแสลดลง ปฏิกิริยาระหว่างความต้านทานอุณหภูมิภายนอกกับ screen loss factor จะทำให้เกิดกระแสจริงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การเลือกสายของมาตรฐาน IEE Regulation

1. พื้นฐานในการใช้ค่าตารางความจุกระแส

ความสามารถนำกระแสนี้จะมาจาก IEC Publication 304-5-523 (1983) ค่าความสามารถนำกระแสในตารางสัมพันธ์กับโหลดต่อเนื่อง ซึ่งทราบกันดีในเรื่องของ "อุณหภูมิพิกัดกระแส" ซึ่งเกี่ยวข้องกับความร้อนซึ่งจะมีผลมาถึงการทนทานของการใช้งาน ซึ่งสายจะถูกทำลาย, หรือบั่นทอน เมื่ออายุการใช้งานต่ำลงจากการใช้สายในอุณหภูมิที่สูงเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้

2. ค่าตัวประกอบสำหรับความสามารถนำกระแส

ค่าความสามารถนำกระแสของสายมีผลมาจาก อุณหภูมิรอบข้าง, โดยการรวมกันของสาย, โดยแยกและรวมของฉนวน และโดยความถี่ในไฟกระแสสลับ

2.1 อุณหภูมิรอบข้าง

ตาราง 1 และ 2 ในภาคผนวกในการปฏิบัติอุณหภูมิรอบข้างของอากาศ ซึ่งถูกกำหนดโดยเทอร์โมมิเตอร์จะต้องใกล้เท่าที่จะใกล้ได้ในทางปฏิบัติแต่จริงแล้วการทำเช่นนั้น ค่าที่วัดได้จะไม่มีผลเลย เมื่อความร้อนเพิ่มขึ้น ดังนั้น ถ้าสายกำลังรับโหลดควรวัดห่างประมาณ 0.5 เมตรหรือ 10 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของสาย

ตาราง 1 และ 2 ในภาคผนวกจะไม่นับตอนที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น เนื่องจากโซล่าและอินฟราเรด ซึ่งจะต้องการใช้การคำนวณพิเศษเพิ่มขึ้น

2.2 การรวมกลุ่มของสาย

ตาราง 3, 4 และ 5 ในภาคผนวกใช้ในการคิดเมื่อความสามารถในการนำกระแสของสายรวมเป็นกลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ความถี่อื่น ๆ

ในกรณีของสายหล่ายแกนขนาดใหญ่ ความแตกต่างของการนำกระแสระหว่างที่ความถี่ 400 Hz กับ 50 Hz จะมีมากถึง 50% แต่ถ้าเป็นสายขนาดเล็กความสามารถในการนำกระแสจะไม่แตกต่างกัน

3. ประสิทธิผลความสามารถนำกระแส

ความสามารถนำกระแสของสายที่เกี่ยวข้องกับค่ากระแสสูงสุดซึ่งสภาวะที่ระบุจะไม่ทำให้เกินค่าจำกัดของอุณหภูมิคงที่สำหรับรูปแบบฉนวนที่กำหนดไว้ ค่าของกระแสที่ระบุไว้จะไม่รวมถึงตัวประกอบอื่น ๆ

4. ความสัมพันธ์ของความสามารถนำกระแสกับตัวแปรอื่น ๆ

I_z ความสามารถในการนำกระแสของสายสำหรับการปฏิบัติงานต่อเนื่อง, ภายใต้การติดตั้งแบบพิเศษ

I_t ค่าของกระแสในตารางสำหรับแบบของการติดตั้ง สำหรับวงจรเดี่ยวในอุณหภูมิรอบข้าง 30°C

I_b กระแสที่ออกแบบในสถานะปกติ

I_n กระแสปกติหรือกระแสที่เผื่อไว้สำหรับกระแสเกินพิกัด

I_2 กระแสปฏิบัติงานของอุปกรณ์ป้องกันการโอเวอร์โหลด

C จะเป็นตัวประกอบที่จะนำมาประยุกต์ใช้ ซึ่งสภาวะการติดตั้งแตกต่างไปจากค่าของความนำกระแสที่อยู่ในตาราง ซึ่งค่าตัวประกอบมีดังนี้

C_a สำหรับอุณหภูมิรอบข้าง

C_g สำหรับกลุ่มสาย

C_i อุณหภูมิฉนวน

C_c อุณหภูมิปฏิบัติงานของสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทุกสภาวการณ์ I_z ต้องไม่น้อยกว่า I_b และ I_n ต้องไม่น้อยกว่า I_b เช่นกัน ซึ่งเครื่องมือป้องกันกระแสเกินพิกัดจะอนุญาตให้มีการป้องกัน Short Circuit อย่างเดียว

5. การป้องกันโหลดเกิน

การป้องกันโหลดเกินต้องใช้, ชนิดของการป้องกันไม่มีผลกับความสามารถนำกระแสของสายในการปฏิบัติงานต่อเนื่อง (I) แต่มีผลกับการเลือกขนาดสาย สภาวการณ์ของการปฏิบัติงานมีอิทธิพลไม่เพียงแต่การกำหนดอุณหภูมิพิกัดของสายสำหรับการปฏิบัติงานต่อเนื่อง, แต่รวมไปถึงอุณหภูมิที่ได้รับระหว่างโหลดเกิน, ในช่วงโหลดเกินพิกัด

นั่นหมายถึงกระแสกระทำการของอุปกรณ์ป้องกันจะไม่เกิน 1.45 I_z ซึ่งอุปกรณ์ป้องกันเป็นฟิวส์ BS 88 หรือ BS 1361 หรือเซอร์กิตเบรคเกอร์ขนาดเล็ก BS 3871 ซึ่งเป็นที่ต้องการในการเลือกค่าของ I_z ไม่ให้น้อยกว่า I_n

ในการปฏิบัติงาน, เนื่องจากมาตรฐานของอัตราปกติของฟิวส์และเซอร์กิตเบรคเกอร์ มีความจำเป็นต้องเลือกค่าของ I_n ให้เกิน I_b ในกรณีนี้, เป็นเพราะถ้าจำเป็นที่จะเลือก I_z ไม่ให้น้อยกว่า I_n, การเลือกพื้นที่หน้าตัดของสาย จะถูกกำหนดโดยสภาวะโหลดเกินและความสามารถในการนำกระแสของสายซึ่งจะไม่ใช้เต็มที่เสมอไป

ขนาดที่ต้องการสำหรับสายในการป้องกันกับโหลดเกินโดย BS 3036 กึ่งปิดมิดชิดได้โดยการใช้ค่าตัวประกอบ 1.45/2 = 0.725, ซึ่งเป็นผลให้เกิดระดับการป้องกันเดียวกันโดยอุปกรณ์ป้องกันโหลดเกินชนิดอื่น ๆ ค่าตัวประกอบจะถูกนำไปหากระแสปกติ (nominal rating) I_n เพื่อให้ได้กระแสป้องกันค่าต่ำสุด I_z ซึ่งใช้ในการป้องกัน

6. จุดหมาย (ขอบเขต) ของขนาดสายที่จะใช้

ได้สร้างกระแสออกแบบ (I_b) ของวงจรภายใต้การพิจารณา, วิธีการที่เหมาะสมอธิบายในหัวข้อ 6.1 ถึง 6.4 จะทำให้นักออกแบบสามารถกำหนดขนาดของสายที่จำเป็นในการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยขั้นตอนเริ่มต้นถูกใช้งานในการกำหนดขนาดความยาวของสายหรือขนาดแรงดันตกคร่อม ค่าแรงดันตกคร่อมที่สามารถผ่านได้เป็น mv, จะถูกหารโดย I_b และความยาวของสาย, จะได้ค่าของแรงดันตกคร่อมเป็นขนาด mv/A/m ซึ่งทนได้ ค่าแรงดันตกคร่อมจะไม่เกินค่าที่ได้กำหนดในตารางซึ่งเกี่ยวข้องกับพื้นที่หน้าตัดของสายที่ต้องการโดยตรงก่อนที่จะมีการคำนวณ

ความจำเป็นของขนาดสายจากการพิจารณาของสภาวะโหลดปกติและโหลดเกิน จะถูกพิจารณาหลังจากนั้น ค่าของตัวประกอบที่มีผลต่อ I_z (คือ ค่าตัวประกอบของอุณหภูมิรอบข้าง, กลุ่มของสายและอุณหภูมิของฉนวน) ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับค่าของ I_t ซึ่งขบวนการลองผิดลองถูกจนกระทั่งพื้นที่หน้าตัด จนถึงจุดที่แน่ใจว่า I_z ไม่น้อยกว่า I_b และ I_n ของอุปกรณ์ป้องกัน ถ้าตัวประกอบของการป้องกันโดยฟิวส์เป็นสิ่งจำเป็นแล้ว จะต้องใช้ I_n เป็นตัวที่ถูกหาร

วิธีการนี้จะใช้ในหัวข้อ 6.1 ถึง 6.3 และกระบวนการจะแสดงค่าของกระแสและค่านั้น (อาจจะมากกว่า) สามารถแสดงในตารางที่เหมาะสมของความสามารถในการนำกระแสและเกี่ยวข้องกับพื้นที่หน้าตัดของสายตัวนำ ไม่มีความจำเป็นที่จะทราบค่า I_z ซึ่งขนาดของตัวนำถูกเลือกโดยวิธีนี้, แต่ชี้เฉพาะเจาะจงได้ว่า I_z เป็นค่าที่ถูกกำหนดโดยหัวข้อ 3 ขึ้นไป อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้จะใช้ในการติดตั้งสายในการเดินที่มิดชิดโดยวิธี 18, 19 และ 20 ของตารางในภาคผนวก เพราะค่าตัวประกอบจะให้มาในตาราง 5 ในภาคผนวก ซึ่งสัมพันธ์กับขนาดพื้นที่หน้าตัดของสาย

6.1 เมื่อการป้องกันโหลดเกินใช้ฟิวส์ BS 88 และ BS 1361 หรือเซอร์กิตเบรคเกอร์เล็ก ๆ BS 3871

6.1.1 สำหรับวงจรเดี่ยว

- หารกระแสปกติ (nominal current) ด้วยตัวประกอบใช้งานสำหรับอุณหภูมิรอบข้าง ซึ่งใช้ในตาราง 1 ของภาคผนวก
- แล้วหารโดยตัวประกอบอุณหภูมิฉนวน (C_1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดของสายที่ใช้คือ I_t จะไม่น้อยกว่าค่าของกระแสปกติ (nominal current) ของอุปกรณ์ป้องกัน

$$I_t \geq \frac{I_n}{C_3 C_i}$$

6.1.2 สำหรับกลุ่มของสาย

- หารกระแสปกติ (nominal current) ของอุปกรณ์ป้องกัน โดยตัวประกอบสำหรับกลุ่มสาย C_g ได้จากตาราง 1 ในภาคผนวก

$$I_t \geq \frac{I_n}{C_g}$$

หรืออีกอย่างคือ การเลือกตามสูตร, ในการจัดกลุ่มของวงจรที่จะไม่สามารถรับโหลดชั่วขณะได้

$$I_t \geq \frac{I_b}{C_g}$$

$$I_t \geq \sqrt{I_n^2 + 0.48\, I_b^2 \left(\frac{1 - C_g^2}{C_g^2}\right)}$$

ขนาดของสายที่จะใช้ในตารางตัวนำเดี่ยวในความสามารถนำกระแส I_t จะไม่น้อยกว่า I_t ที่คำนวณได้จากสูตร 2 และสูตร 3 หรือ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 เมื่ออุปกรณ์ป้องกันเป็นกิ่งปิดฟิวส์แบบ BS 3036

6.2.1 สำหรับวงจรเดี่ยว

- หารกระแสปกติของฟิวส์ I_n โดยตัวประกอบของอุณหภูมิรอบข้าง C_a ที่ให้มาในตาราง 2 ของภาคผนวก
- แล้วหารตัวประกอบอื่น ๆ คือตัวประกอบอุณหภูมิฉนวน C_i
- แล้วหารด้วย 0.725

ขนาดของสายตัวนำจะต้องไม่เกินกว่าความสามารถในการนำกระแสที่กำหนดในตารางจะต้องไม่ให้น้อยกว่ากระแสปกติของฟิวส์

$$I_t \geq \frac{I_n}{0.725 C_a C_i}$$

6.2.2 สำหรับกลุ่มของสาย

- หารกระแสปกติของฟิวส์ I_n โดย 0.725 และตัวประกอบความถูกต้องสำหรับกลุ่ม C_g ที่ให้มาในตาราง 4B1, 4B2, 4B3

$$I_t \geq \frac{I_n}{0.725 C_g}$$

หรือจะเลือกใช้อีกวิธีหนึ่งคือ วงจรของกลุ่มสายที่ไม่สามารถรับผิดชอบต่อโหลดเกินชั่วขณะ

$$I_t \geq \frac{I_b}{C_g}$$

$$I_t \geq \sqrt{1.9\, I_n^2 + 0.48\, I_b^2 \left(\frac{1 - C_g^2}{C_g^2}\right)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 เมื่อไม่ต้องการการป้องกันโหลดเกิน

เมื่อข้อกำหนด 473-01-04 นำมาใช้งาน, ภายใต้การพิจารณาที่ไม่ต้องการการป้องกันการโหลดเกิน, กระแสออกแบบ I_b จะถูกหารและค่าของความสามารถในการนำกระแส I_t จะต้องไม่น้อยกว่า I_b

$$I_t \geq \frac{I_b}{C_g C_t C_i}$$

6.4 เปลี่ยนผันตามลักษณะการติดตั้งทางเดินสาย

กระบวนการในหัวข้อ 6.1 ถึง 6.3 ข้างบนเป็นข้อสมมุติฐานสำหรับทุกสภาวะที่จำเป็นในการใช้ค่าตัวประกอบสำหรับทุก ๆ ทางเดินของสายเหมือนกันของตัวนำในวงจร ซึ่งหลาย ๆ ตัวประกอบจะถูกนำมาใช้ในแต่ละทางที่ต่าง ๆ กัน แต่ละลักษณะจะมีคุณสมบัติและแบบของตนเอง, หรือจะมีตัวประกอบซึ่งเกี่ยวพันกับองค์ประกอบทั้งหลาย สำหรับการเดินทั้งหมดในแต่ละรูปแบบ ถ้าจะต้องการความถูกต้องมากขึ้นก็ให้คำนวณตามอุณหภูมิตัวนำที่เพิ่มขึ้นได้ตามทางเดินสาย

7. ตารางของแรงดันตกคร่อม

ในตาราง, ค่าของแรงดันตกคร่อมของกระแส 1 แอมแปร์หรือความยาว 1 เมตร หมายความถึงความสามารถในการยอมรับค่าแรงดันตกคร่อมสูงสุด เมื่ออยู่ในสถานะการทำงานที่อุณหภูมิปกติ

ค่าของในตาราง, สำหรับไฟกระแสสลับ, ประยุกต์ใช้กับความถี่ในช่วง 49 ถึง 61 เฮิรตซ์ และสายเดี่ยวมีเกราะป้องกันซึ่งมีการต่อลงดินทั้งสองทาง เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมสูงมาก ๆ

สำหรับค่าที่ได้จากการคำนวณแรงดันตกคร่อม (เป็น mv) จะต้องคูณกับความยาวของสายเป็นเมตรและกระแสที่จะนำมาในสาย, เรียกทั่วไปว่ากระแสออกแบบ (I_b) สำหรับตาราง 3 เฟส ตาราง mv/A/m ค่าเชื่อมโยงกับแรงดันสายและสภาวะสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสายที่มีตัวนำ 16 mm^2 หรือพื้นที่หน้าตัดน้อยกว่านั้น ความเหนี่ยวนำของมันจะไม่ถูกนำมาคิด ใช้ $(mV/A/m)_r$ เท่านั้น แต่ถ้ามากกว่า 16 mm^2 จะมีค่าของอิมพีแดนซ์ mV/A/m กับค่าตัวประกอบความต้านทาน $(mV/A/m)_r$ และตัวประกอบรีแอกทีฟ $(mV/A/m)_x$

การใช้งานโดยตรงของตาราง $(mV/A/m)_r$ หรือ $(mV/A/m)_z$ ตามความเหมาะสม อาจนำไปสู่ค่าที่สูงของการคำนวณแรงดันตกคร่อมหรือค่าที่ไม่จำเป็นต้องต่ำของความยาวของวงจร

สำหรับตัวอย่าง, ซึ่งกระแสออกแบบจะต่ำกว่ากระแสประสิทธิผลของความสามารถในการนำกระแสของสาย, ค่าแรงดันตกคร่อมของจริงจะต้องน้อยกว่าค่าที่คำนวณไว้ เพราะอุณหภูมิของตัวนำน้อยกว่าค่าในตาราง (mV/A/m) ที่กำหนดไว้

เมื่อคิดตัวประกอบกำลังของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ การใช้ตาราง mV/A/m (สำหรับสายที่ใหญ่กว่า จะใช้ค่าจากตาราง $(mV/A/m)_z$ ในการคำนวณจะถูกต้องเมื่อมุมเฟสเท่ากับมุมโหลด เมื่อมุมเฟสไม่เท่ากับมุมโหลด การใช้ตารางโดยตรงของ $(mV/A/m)_z$ จะนำไปสู่การคำนวณของแรงดันตกคร่อมที่มีค่ามากกว่าความเป็นจริง ในบางกรณีจะมีการพิจารณาค่ามุมเฟสในการที่จะนำมาคิดแรงดันตกคร่อม

7.1 ค่าความถูกต้องสำหรับอุณหภูมิการปฏิบัติงาน

สำหรับสายตัวนำที่มีพื้นที่หน้าตัดน้อยกว่า 16 mm^2 ค่าออกแบบเป็น (mV/A/m) ได้มาโดยการคูณค่าในตารางด้วยตัวประกอบ C_t โดย

$$C_t = \frac{230 + t_p - (C_a^2 C_g^2 - I_b^2)(t_p - 30)}{230 + t_p}$$

ซึ่ง t_p = อุณหภูมิการทำงานสูงสุด °C

สมการนี้ใช้กับอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน BS 3036 ซึ่งอุณหภูมิใช้งานจริงเท่ากับค่าที่มากกว่า 30°C

Note : สูตรที่ได้ข้างบนนี้เหมาะสมอยู่บนพื้นฐานตัวประกอบความต้านทาน-อุณหภูมิของ 0.004 ต่อ °c ที่ 20°C สำหรับทั้งทองแดงและอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสายที่มีตัวนำพื้นที่มากกว่า 16 mm^2 เพียงแต่องค์ประกอบรีชิสตีฟของแรงดันตกคร่อมที่มีผลโดยอุณหภูมิและแฟกเตอร์ C_t ได้เพียงจากค่าตารางของ $(mV/A/m)_r$ และค่าออกแบบของ $(mv/A/m)_z$ ซึ่งได้โดยผลรวมทางเวคเตอร์ของ C_t $(mV/A/m)_r$ และ $(mV/A/m)_x$

สำหรับตัวนำที่ใหญ่มาก ๆ ซึ่งองค์ประกอบความต้านทานของแรงดันตกคร่อมน้อยกว่าส่วนของ รีแอกทีฟมาก (เมื่อ $x/r \geq 3$) ค่าตัวประกอบจะไม่นำมาพิจารณา

7.2 ความถูกต้องสำหรับองค์ประกอบกำลังของโหลด

สำหรับสายที่มีพื้นที่หน้าตัดของตัวนำ 16 mm^2 หรือน้อยกว่าค่าการออกแบบของ mv/A/m จะมาโดยการประมาณการคูณค่าตารางกับองค์ประกอบกำลังของโหลด, $\cos\phi$

สำหรับสายที่มีตัวนำพื้นที่หน้าตัดมากกว่า 16 mm^2 ค่าการออกแบบจะประมาณโดย

$$\cos\phi \text{ (tabulated } (mV/A/m)_r) + \sin\phi \text{ (tabulated } (mV/A/m)_x)$$

สำหรับสายตัวนำเดี่ยวในการจัดเรียงแบบรวมค่าในตารางจะประยุกต์ใช้กับสายด้านนอกและภายใต้การคำนวณสำหรับแรงดันตกคร่อมระหว่างสายภายนอกและศูนย์กลางสายสำหรับพื้นที่หน้าตัดที่มากกว่า 240 mm^2 และองค์ประกอบกำลังมากกว่า 0.8

7.3 การเชื่อมโยงทั้งอุณหภูมิปฏิบัติงานกับองค์ประกอบกำลังของโหลด

สำหรับหัวข้อ 7.1 และ 7.2 ข้างบน, ซึ่งถูกพิจารณาให้เหมาะสมกับค่าในตาราง mv/A/m สำหรับทั้งอุณหภูมิการใช้งานและค่าองค์ประกอบกำลังของโหลด ค่าการออกแบบเป็น mv/A/m คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสายที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่เกิน 16 mm^2

$C_t \cos\phi$ (tabulated mv/A/m)

สำหรับสายที่มีพื้นที่หน้าตัดมากกว่า 16 mm^2

$C_t \cos\phi$(tabulated(mv/A/m)$_r$) + $\sin\phi$(tabulated(mv/A/m)$_x$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักการเบื้องต้นในการออกแบบระบบไฟฟ้า

หลักการในการออกบแบบระบบไฟฟ้าจะมีปัจจัยที่จะต้องนำมาประกอบในการพิจารณา และออกแบบอยู่หลายส่วนด้วยกัน เช่น การออกแบบระบบไฟฟ้า การออกแบบงานระบบต่าง ๆ ภายในอาคารการเผื่อโหลดเป็นต้น ซึ่งในบทนี้ จะได้พิจารณาถึงทฤษฎีในการออกแบบของแต่ละส่วนโดยละเอียดสำหรับในการออกแบบจริงในอาคารวิจัยจะจัดไว้ในบทต่อไป

3.1 วงจรย่อย

3.1.1 การแบ่งวงจรย่อย

สามารถที่จะแบ่งออกตามขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ตัดกระแสสำหรับวงจรนั้น ๆ วงจรย่อยจะต้องมีขนาด 5,10,15,20,30,40 และ 50 A นอกจากวงจรย่อยเฉพาะซึ่งจ่ายกระแสให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเดียว และในกรณีที่สายตัวนำมีขนาดโตกว่าเซอร์กิตเบรกเกอร์ เพื่อป้องกันแรงดันไฟตกขนาดของวงจรย่อยต้องถือตามขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ในกรณีที่เต้ารับมีที่ต่อสายลงดินจะต้องต่อสายลงดิน และวงจรย่อยซึ่งจ่ายกระแสให้เต้ารับเหล่านี้ก็จะต้องมีสายดินและจะต้องต่อลงดินด้วย

3.1.2 โหลดสำหรับวงจรย่อย

วงจรย่อยที่มีเต้ารับตั้งแต่ 2 จุดขึ้นไปจะต้องมีโหลดดังต่อไปนี้คือ

1) วงจรย่อยขนาด 5,10,15,20 A โหลดที่ติดตั้งถาวรรวมกันแล้ว จะต้องไม่เกิน 50% ของขนาดของวงจรย่อยเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้เต้าเสียบ โหลดของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้เต้าเสียบชิ้นหนึ่ง ๆ จะต้องไม่เกิน 80% ของวงจรย่อย

2) วงจรย่อยขนาด 40 A และ 50 A ให้ใช้กับดวงโคมไฟฟ้าที่ติดตั้งถาวรแบบใช้งานหนักที่ไม่ได้อยู่ในอาคาร หรือเครื่องทำความร้อนแบบอินฟาเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) วงจรย่อยขนาด 30 A ให้ใช้กับดวงโคมไฟฟ้าแบบใช้งานหนักที่ไม่ได้อยู่ภายในอาคาร หรือใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าซึ่งมิใช่ดวงโคมในอาคารทุกประเภท ขนาดของเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดใช้เต้าเสียบชิ้นหนึ่ง ๆ จะต้องมีขนาดไม่เกิน 80% ของวงจรย่อย

4) วงจรย่อยที่ประกอบไปด้วยดวงโคม เต้าเสียบ และเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ ซึ่งแต่ละจุดใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 10 A จะต้องแบ่งออกเป็นวงจรย่อย โดยแต่ละวงจรย่อยต้องไม่เกิน 10 จุด

ในทางปฏิบัติส่วนมาก จะแยกวงจรย่อยออกตามลักษณะการใช้ เช่น แยกวงจรย่อยเป็นของเครื่องทำน้ำร้อน เครื่องทำความเย็น เครื่องใช้ถาวรที่มีอัตราการใช้ไฟเกิน 1 kW มอเตอร์ที่ต่อถาวรมีขนาดมากกว่า 1/8 HP ชุดแสงสว่าง และชุดเต้าเสียบ

3.1.3 การคำนวณวงจรย่อย

1) ให้ลดที่ต่อเนื่องของวงจรต้องไม่เกิน 80% ของพิกัดกระแสของวงจรย่อยนั้น ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงตัวนำว่าเป็นแบบใดและทำงานในลักษณะใด

2) ให้ลดแสงสว่างและโหลดเต้ารับ การติดโหลดแสงสว่างโดยทั่วไปในอาคาร ต้องไม่น้อยกว่าในตารางที่ 3.1 การติดพื้นที่ต้องเป็นพื้นที่ใช้สอยทั้งหมดของอาคาร

ชนิดของอาคาร	โหลดแสงสว่าง (Watts/Sq Ft)	โหลดเต้ารับ (Watts/Sq Ft)
สำนักงาน	3	5
ห้องทดลองวิจัย	3	10
ศูนย์คอมพิวเตอร์	3	50
ห้องเก็บของ	3	1
ห้องเลี้ยงสัตว์	3	2

ตารางที่ 3.1 โหลดแสงสว่างและโหลดเต้ารับสำหรับอาคารวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) จุดต่อไฟฟ้าสำหรับโหลดแบบใช้งานหนัก ให้ติดโหลดจุดละ 3 A ส่วนจุดต่อไฟฟ้าอื่น ๆ ให้ติดโหลดจุดละ 1 A

4) โหลดพิเศษอื่น ๆ ในกรณีนี้จะหมายถึงระบบปั๊มน้ำของอาคารสูง ระบบนี้ปั๊มน้ำที่ใช้ในการดับเพลิงและโหลดเครื่องปรับอากาศ ซึ่งจะพิจารณาได้จากตารางที่ 3.2 3.2 และ 3.4

ชนิดของอาคาร	บริมาณ	จำนวนของชั้น			
		5	10	25	50
อพาร์ตเมนท์	10 ห้อง/ชั้น	–	15	90	350
โรงพยาบาล	30 เตียง/ชั้น	10	45	250	–
โรงแรม	40 ห้อง/ชั้น	7	35	175	450
สถานที่ทำงาน	930 m^2/ชั้น	–	15	75	250

ตารางที่ 3.2 ค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการ (kW) สำหรับระบบปั๊มน้ำของอาคารสูง

พื้นที่ / ชั้น (m^2)	จำนวนของชั้น			
	5	10	25	50
465	40	65	150	250
930	60	100	200	400
2325	75	150	275	550
4650	120	200	400	800

ตารางที่ 3.3 ค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการ (kW) สำหรับใช้กับระบบปั๊มน้ำดับเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของอาคาร	โหลดของเครื่องปรับอากาศ (VA/m^2)
ธนาคาร	75
ดีพาร์ทเมนท์สโตร์	32-54
โรงแรม	65
อาคารสำนักงาน	65
อาคารที่มีอุปกรณ์สื่อสารจำนวนมาก	75-86

ตารางที่ 3.4 โหลดของเครื่องปรับอากาศสำหรับอาคารชนิดต่าง ๆ

3.2 สายป้อน

สายป้อน คือ สายที่จ่ายกำลังไฟฟ้าที่วงจรย่อย

3.2.1 ขนาดของสายป้อน

ขนาดของสายป้อนจะต้องมีขนาดที่สามารถนำกระแสได้ ไม่น้อยกว่า จำนวนกระแสในการใช้กำลังไฟฟ้าตามการคำนวณในเรื่องวงจรย่อย และต้องมีขนาดโตเพียงพอซึ่งเมื่อคำนวณขนาดแรงดันไฟฟ้าตกเนื่องจากโหลดของวงจรย่อย แรงดันไฟตกในช่วงของสายป้อนจะต้องไม่เกิน 3% แต่ทั้งนี้หากรวมแรงดันไฟฟ้าตกในช่วงจรย่อยด้วยจะต้องไม่เกิน 5% และต้องมีขนาดไม่ต่ำกว่า 2.5 mm^2 เสมอ

3.2.2 การคำนวณโหลดและขนาดตัวนำสายป้อน

การคำนวณโหลดของสายป้อนจะต้องไม่น้อยกว่าผลบวกของวงจรย่อยทั้งหมด ในกรณีไฟแสงสว่าง อาจใช้ตาราง demand factor ตามตารางที่ 3.5 เพื่อลดขนาดของสายป้อนได้ นอกจากนี้มีตารางที่ 3.6 สำหรับ demand factor ของเต้ารับในอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัยด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของอาคาร	กำลังไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้ทั้งหมด (VA)	demand factor (%)
อาคารที่อยู่อาศัย	3000 แรก	100
(ยกเว้นโรงแรม)	3001–120000	35
	ที่เกิน 120000	25
โรงพยาบาล	50000 แรก	40
(ยกเว้นห้องผ่าตัด)	ที่เกิน 50000	20
โรงแรมและแพลต	20000 แรก	50
	20001–100000	40
	ที่เกิน 100000	30
โกดังเก็บสินค้า	12500 แรก	100
	ที่เกิน 12500	50
อาคารประเภทอื่นๆ	ทั้งหมด	100

ตารางที่ 3.5 demand factor ของสายป้อนแสงสว่าง

กำลังไฟฟ้าเข้ารับที่ใช้ทั้งหมด (VA)	demand factor (%)
10 KVA แรก	100
ที่เกิน 10 KVA	50

ตารางที่ 3.6 demand factor สำหรับวงจรเข้ารับของอาคารอื่น ๆ ที่ไม่ใช่อาคารที่อยู่อาศัย

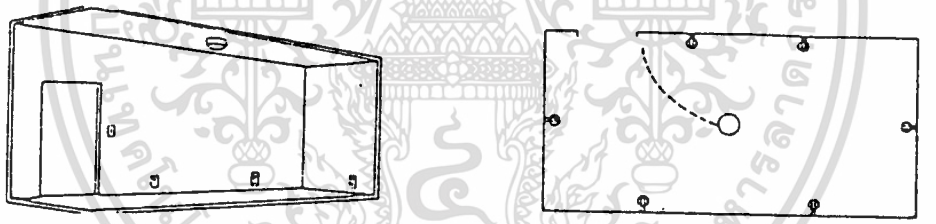
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 แบบแปลนของวงจรย่อยของไฟฟ้าแสงสว่างและระบบอุปกรณ์ไฟฟ้า

ในการออกแบบระบบไฟฟ้าจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการเขียนแบบไฟฟ้าขึ้นมา ซึ่งแบบแปลนไฟฟ้าก็คือแบบที่ใช้แสดงส่วน และอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดรวมไปถึงการแบ่งวงจรและอุปกรณ์วงจรไฟฟ้า ซึ่งอาจจะประกอบไปด้วยสวิทช์ของหลอดหรือโคมไฟโดยจะใช้สัญลักษณ์แทนลงไป

แบบแปลนไฟฟ้าที่ถูกต้องจะประกอบไปด้วย

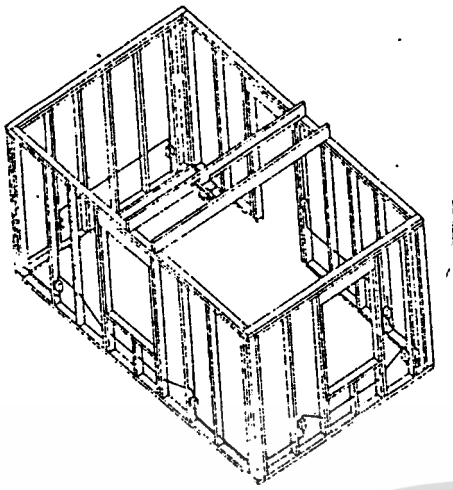
- แบบการติดตั้ง จะประกอบไปด้วยตำแหน่งของหลอดหรือโคมไฟ สวิทช์ เต้าเสียบ และอาจจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จำเป็น เช่น เครื่องทำความเย็น โดยสามารถแสดงได้ทั้งรูปที่ 3.1 โดยที่อุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ เหล่านี้ในการติดตั้งจะต้องสอดคล้องกับลักษณะของห้องด้วย

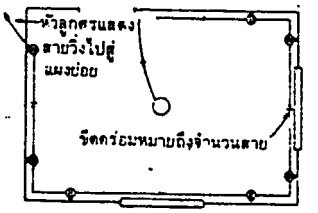


รูปที่ 3.1 แสดงแบบแปลนไฟฟ้าเปรียบเทียบกับลักษณะของห้อง

- แบบการเดินสาย เมื่อทราบตำแหน่งของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ แล้ว ที่นำมาเป็นลักษณะของวงจรย่อย โดยแบบการเดินสายจะช่วยให้ทราบว่าในแต่ละวงจรย่อยจะประกอบด้วยอุปกรณ์อะไรบ้าง และกี่ชิ้นนอกจากนี้ในกรณีที่เขียนแบบการเดินสายที่สมบูรณ์ แบบการติดตั้งก็สะดวกเพราะสามารถดำเนินการติดตั้งได้ตามแบบการเดินสายได้เลย โดยแบบไฟฟ้าที่นำไปติดตั้งจริง ๆ จะเรียกว่า ช็อปดรออิ้ง (shop drawing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของแบบการเดินสายพร้อมทั้งแสดงการติดตั้งที่ควบคู่ไปกับแบบการเดินสาย

การเขียนและการคำนวณแบบแปลนไฟฟ้าที่เป็นวงจรย่อย ควรยึดหลักในการทำงานดังนี้

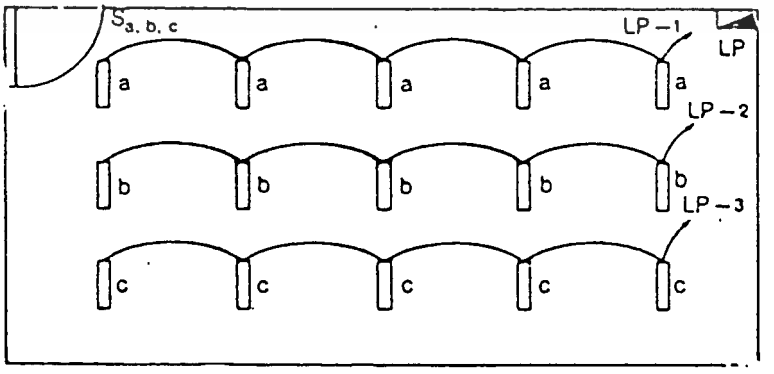
1. วงจรย่อยของระบบไฟฟ้าแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ เช่นระบบเต้าเสียบ ควรจะแยกออกจากกัน

2. ในแต่ละวงจรย่อยที่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ไม่ควรเกิน 10 จุด (เช่น ดวงโคม หรือเต้าเสียบจะเรียกว่า 1 จุด) ในกรณีที่เป็นแบบอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ จะต้องคำนึงถึงค่ากระแสโหลดที่ไหลผ่านวงจรย่อยนั้น ๆ

3. อุปกรณ์ไฟฟ้าที่กินกระแสเกินกว่า 10 A จะต้องแบ่งออกเป็นวงจรย่อยอีกต่างหาก

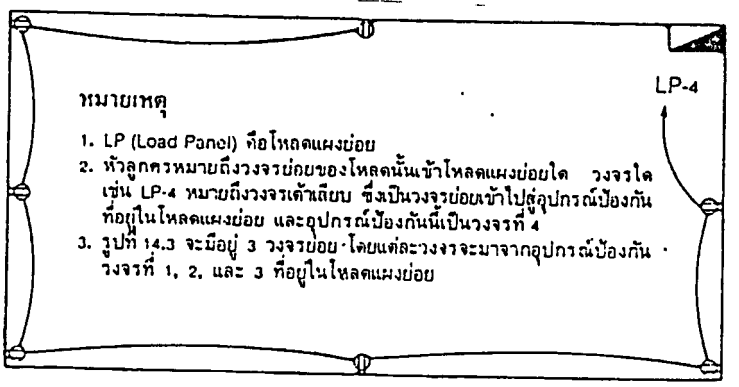
4. วงจรย่อยทุกวงจรจะต้องเดินมาที่แผงสวิทช์หรือแผงสวิทช์ย่อย

5. สายที่เข้าเต้าเสียบจะต้องไม่เล็กกว่า 2.5 mm^2 สายที่เข้าดวงโคม และสวิทช์ต้องไม่เล็กกว่า 0.5 mm^2 นอกจากนี้จะต้องคำนึงถึงแรงดันไฟฟ้าตกในวงจรด้วย



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะวงจรย่อยของระบบแสงสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรย่อยของปลั๊ก

3.4 การทำรายการโหลดและการทำให้โหลดสมดุล

จุดประสงค์ของการทำให้โหลดสมดุล เพราะว่าในระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย ต้องการให้กระแสที่ไหลไปยังโหลดหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าในแต่ละเฟสมีค่าเท่ากันนั้นเอง เนื่องจากว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าจะมีอุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรและอุปกรณ์ป้องกันกระแสไหลเกิน ถ้าไม่มีการทำให้โหลดสมดุลแล้ว อาจทำให้เฟสใดหนึ่งกินกระแสมากกว่าอีกเฟสหนึ่ง ซึ่งอาจจะทำให้อุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรหรือป้องกันกระแสเกินที่ต่อทั้ง 3 เฟส ขาดไม่พร้อมกัน จะทำให้อุปกรณ์ชนิด 3 เฟส เกิดการเสียหายได้ และอีกประการหนึ่งคือ ในระบบ 3 เฟส 4 สาย หากทุกเฟสมีกระแสเท่ากันแล้วจะทำให้กระแสที่ไหลในสายจุดกลางเท่ากับศูนย์แล้วจะทำให้สามารถลดขนาดของสายจุดกลางให้มีขนาดเล็กลงกว่าสายเฟสได้ โดยปกติแล้วการทำให้โหลดให้สมดุลจะมีหลักเกณฑ์ดังนี้คือ

1. ทำกระแสในแต่ละเฟสให้เท่ากัน

2. ทำค่า VA ในแต่ละเฟสให้เท่ากัน

การหาค่า VA ของโหลดจะสามารถพิจารณาได้จาก

ก. ในกรณีที่เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์

$$VA = \frac{\text{วัตต์}}{\cos \theta}$$

ข. ในกรณีที่เป็นหลอดอินแคนเดนเซนต์ หรือขดลวดความต้านทาน

VA = วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. พวกวงจรเต้าเสียบจะมีขนาด

= 200 - 220 VA

รายการโหลด (load schedule) หมายถึง ตารางที่แสดงการแจกแจงอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่อในระบบ ซึ่งอาจจะเป็น 1 เฟส หรือ 3 เฟสก็ได้ โดยแสดงว่ามีกี่วงจร แต่ละวงจรมีค่า VA เท่าใด และขนาดของสายป้อนและเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นเท่าไร

3.5 สายประธาน

สายประธาน คือ สายที่มีขนาดโตพอที่จะสามารถนำกระแสไฟฟ้า สำหรับการใช้กำลังไฟฟ้าของอาคารโดยไม่ทำให้อุณหภูมิของสายสูงเกินกว่าที่จำกัดได้ ปกติสายประธานมีอยู่ 2 ประเภท คือ

1. สายประธานอากาศ คือ สายที่เดินจากเสาที่ติดตั้งเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าไปยังอากาศและไปสู่อาคาร จะต้องมีพื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่า 4 mm^2

2. สายประธานใต้ดิน จะต้องมีขนาดกระแสเพียงพอสำหรับโหลด และต้องมีขนาดพื้นที่ภาคตัดขวางไม่ต่ำกว่า 10 mm^2

3.6 การป้องกันกระแสเกิน

การป้องกันกระแสเกิน มีจุดประสงค์ เพื่อที่จะให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินตัดวงจรไฟฟ้าออกเมื่อกระแสไฟฟ้ามีค่าเกินถึงขนาดที่จะทำให้เกิดความร้อนสูงมากในสายไฟฟ้าหรือฉนวนหุ้มสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LOCATION : 5th FLOOR
CAPACITY : 12 CIRCUIT

Distribution panelboard NO...

วงจร หมายเลข	รายละเอียด ของโหลดที่ใช้	โหลด (VA)			เซอร์กิตเบรกเกอร์ย่อย			สาย		ท่อ ร้อย สาย	ไดอะแกรม 380/220 V 3ø 4W S/N
		ø A	ø B	ø C	ขั้ว	AF	AT	mm²	ชนิด		
1	Wall Receptacle	1980			1	50	15	2.5	TW	½"	
3	"		1980		1	50	15	2.5	TW	½"	
5	"			1980	1	50	15	2.5	TW	½"	
2	"	1980			1	50	15	2.5	TW	½"	
4	"		1980		1	50	15	2.5	TW	½"	
6	"			1980	1	50	15	2.5	TW	½"	
7	air condition	2000			1	50	20	4	TW	½"	
9	"		2000		1	50	20	4	TW	½"	
11	"			2000	1	50	20	4	TW	½"	
8	lighting	1200			1	50	10	2.5	TW	½"	
10	space		500		1	50	10	–	–	–	
12	space			–	–	–	–	–	–	–	
Connected to...		7160	6460	5960	Main 40 AT / 100 AF			Main 4-10 mm² THW			
		19580			3 Pole			Conduit			
					$I_C \geq 14$ kA 1" IMC						

หมายเหตุ การหากระแสในแต่ละเฟสอาจจะหาจาก

(ก) $19580 / \sqrt{3} \times 380 = 29.74$ A หรือ

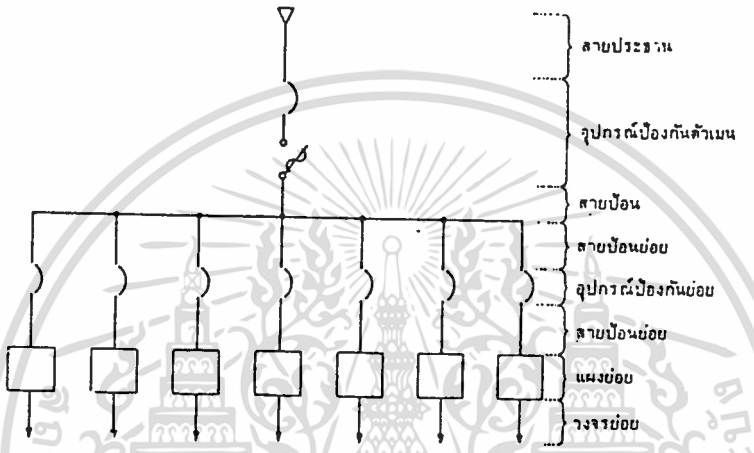
(ข) $7160 / 220 = 32.54$ A

ตารางที่ 3.7 แสดงรายการโหลดของระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การจัดวางวงจรต่าง ๆ

จากที่กล่าวมา จะเห็นได้ว่ามีส่วนต่าง ๆ ของวงจร ซึ่งจะจ่ายไฟไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือโหลดต่าง ๆ โดยที่ส่วนต่าง ๆ ของวงจรดังกล่าวนี้ ได้แก่ วงจรย่อย สายป้อน และสายประธาน ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ของส่วนต่าง ๆ ของระบบไฟฟ้า

ในกรณีที่เป็นระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่หรือสถานที่ที่ใช้โหลดจำนวนมาก ส่วนที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินตัวเมนและสายป้อน อาจอยู่ในตู้เดียวกันซึ่งเรียกว่า แผงสวิทช์ใหญ่ (Main Distribution Board) หรือในกรณีที่เป็นระบบไฟฟ้ามากกว่า 1 kV ก็อาจจะประกอบกันอยู่ในสถานีย่อย

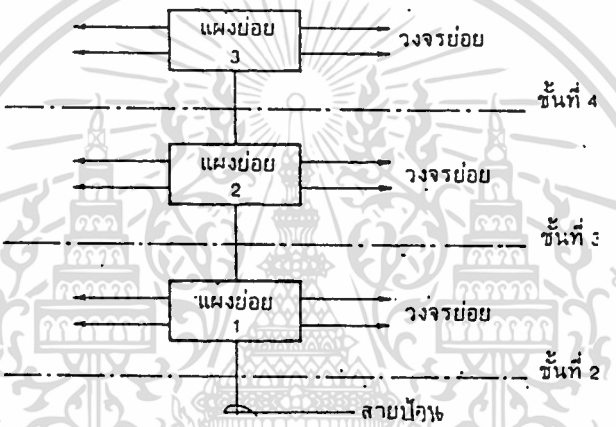
3.8 ไรเซอร์ไดอะแกรม (Riser Diagram)

ไรเซอร์ไดอะแกรม คือ ทางเดินของสายป้อน หรือสายป้อนย่อยของระบบไฟของตัวอาคารโดยทั่ว ๆ ไปแล้ว ไรเซอร์ไดอะแกรมก็จะมีความสัมพันธ์กับวันไลน์ไดอะแกรม (One Line Diagram) โดยที่ไรเซอร์ไดอะแกรมจะบ่งบอกถึงแผงย่อยในแต่ละชั้นว่าการรับจ่ายไฟฟ้ามาจากแหล่งใด นอกจากนี้จะรวมไปถึงข้อมูลต่าง ๆ เช่น ขนาดของสายป้อน จำนวน ชนิด หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนชนิดของท่อหรือทางเดินสายอย่างอื่น ๆ ซึ่งมีวิธีเดินสายย่อยไปยังแผงต่าง ๆ จะขึ้นอยู่กับขนาดของตัวอาคารและลักษณะที่ต้องการใช้ไฟฟ้า ดังนั้นจึงพอที่จะสรุปทางเดินของสายป้อนได้ดังนี้

1. ในอาคารสูง 2-3 ชั้น การเดินสายป้อนเข้าแผงย่อยจ่ายไฟต่าง ๆ อาจใช้วิธี ดังรูปที่ 3.6

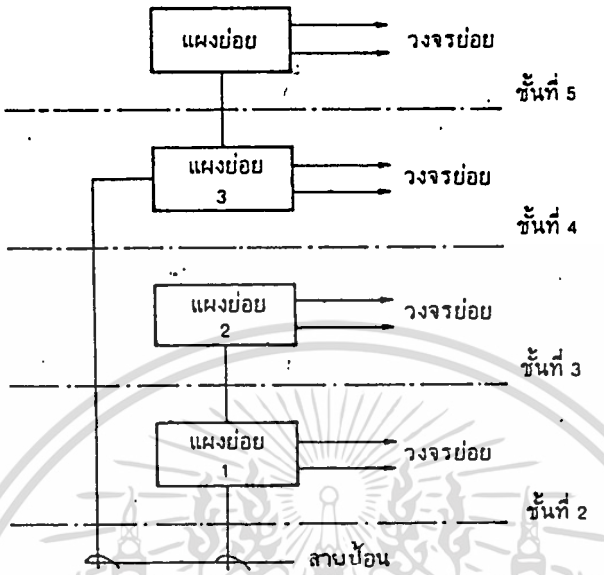


รูปที่ 3.6 การเดินสายป้อนในอาคารซึ่งสูงเพียง 2-3 ชั้น (ใช้สายป้อนชุดเดียวกัน)

แต่วิธีดังกล่าวจะมีข้อเสียคือ แรงดันไฟฟ้าในชั้นบนจะต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าในชั้นล่าง ดังนั้นจึงต้องเพิ่มขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายไฟให้ใหญ่ขึ้น ทำให้สิ้นเปลือง นอกจากนี้ไม่สามารถควบคุมการปิด เปิดไฟได้มาก

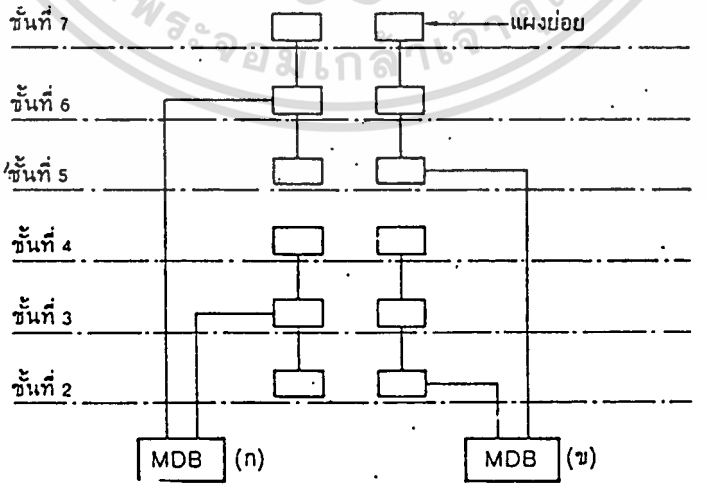
วิธีการดังในรูปที่ 3.7 แม้จะเป็นลักษณะอาคารแบบเดียวกันในรูปที่ 3.6 แต่เป็นวิธีการที่ดีกว่าเพราะอาจเลือกขนาดของสายป้อนแต่ละสาย เพื่อให้มีแรงดันไฟฟ้าตกในสายเท่า ๆ กัน เพื่อให้ประหยัดที่สุดมักจะใช้แผงย่อยจ่ายไฟไม่เกิน 3 แผง และใช้สายป้อนชุดเดียวกัน (แต่ก็ไม่ใช่หลักเกณฑ์ที่ตายตัว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 เป็นวิธีการที่ดัดแปลงมาจากรูปที่ 3.6

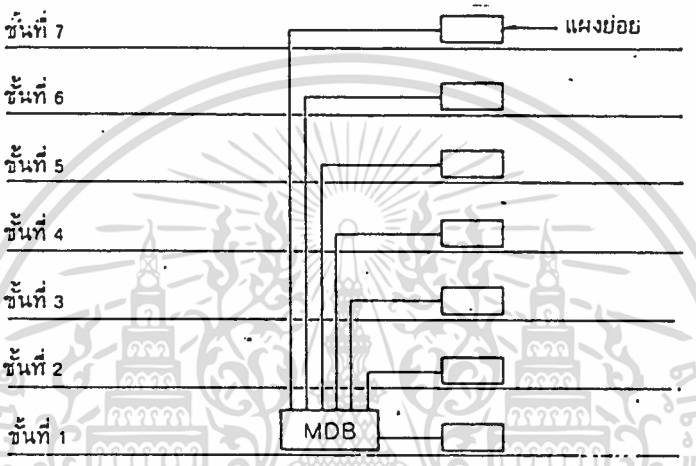
2. ในอาคารที่สูงหลายชั้น จะสามารถแสดงหลักการและวิธีการเดินสายป้อนได้ ดังรูปที่ 3.8 แต่วิธีของรูป (ก) จะดีกว่ารูป (ข) เพราะว่าแรงดันไฟฟ้าที่แผงย่อยจะมีค่าเท่ากันทุกแผง



รูปที่ 3.8 เป็นการแสดงวิธีการเดินสายป้อนในอาคารที่สูงหลายชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในอาคารใหญ่ ๆ บางครั้งเพื่อความสะดวกสบายอาจจำเป็นต้องเดินสายป้อนเพียงสายเดียวไปยังแผงย่อยต่าง ๆ ซึ่งจะอยู่ตามชั้นต่าง ๆ เพื่อให้สามารถควบคุมการใช้ไฟฟ้าได้ง่ายเพราะจะไม่เกี่ยวข้องกับชั้นอื่น ๆ โดยได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงการเดินสายป้อนอีกลักษณะหนึ่ง

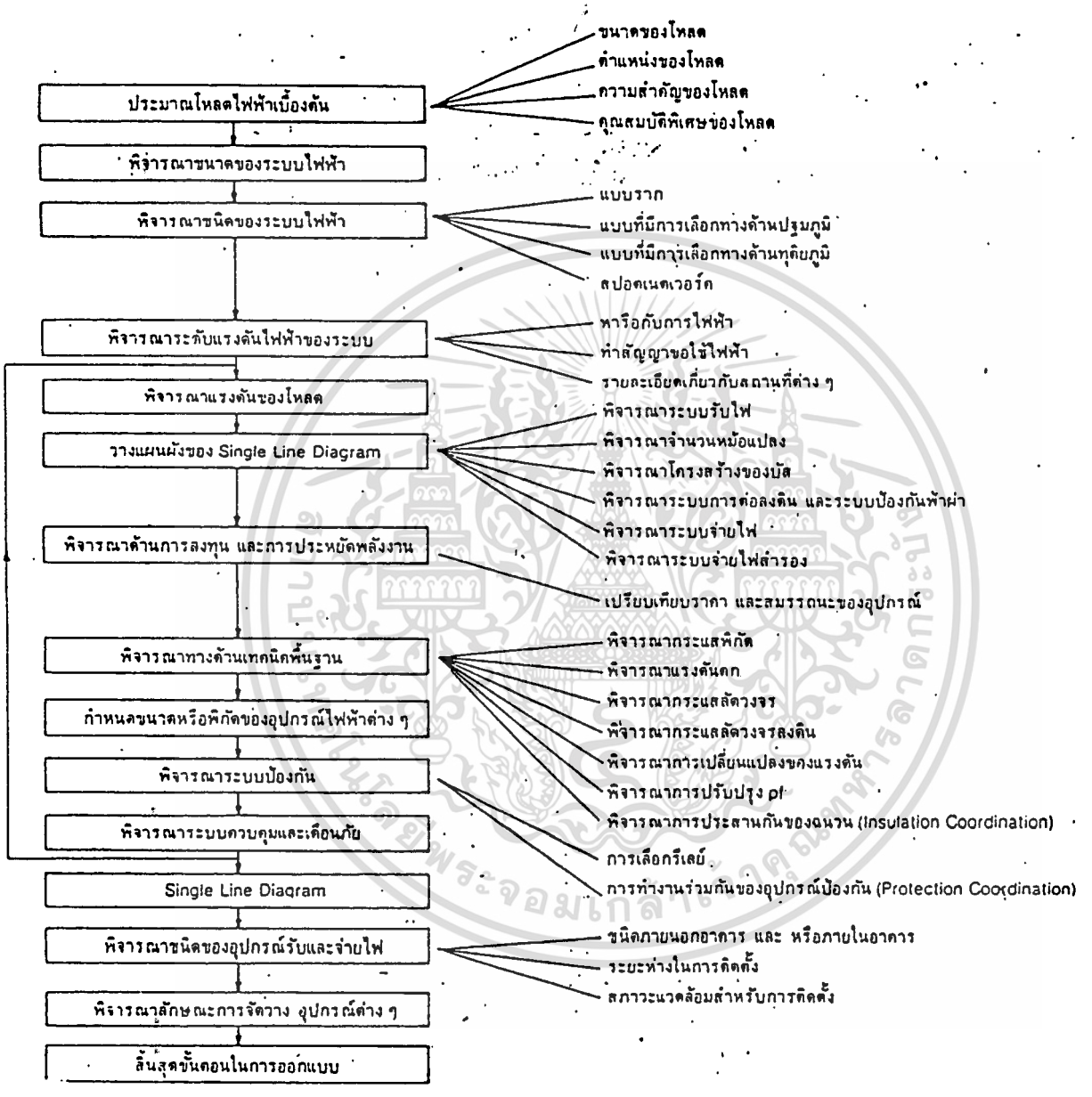
นอกจากนี้ในอาคารที่สูงมาก ๆ ถ้าใช้สายป้อนแรงดันต่ำอาจจะต้องใช้สายขนาดใหญ่มาก ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงมักเดินสายป้อนแรงดันสูงเข้ามายังหม้อแปลง ซึ่งจะติดตั้งไว้ยังชั้นที่เหมาะสม และจากหม้อแปลงเหล่านี้ จะเดินสายป้อนแรงต่ำไปยังแผงอื่น ๆ ต่อไป

3.9 วันไลน์ไดอะแกรม (One Line Diagram)

วันไลน์ไดอะแกรมเป็นหัวใจสำคัญของการออกแบบระบบไฟฟ้า โดยจะเป็นสิ่งที่แสดงถึงระบบการจ่ายไฟฟ้าทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นอาคาร หรือโรงงานอุสาหกรรมใด ๆ รายละเอียดทั้งหมดจะได้กล่าวอีกครั้งในการออกแบบระบบไฟฟ้าของอาคารวิจัยในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของการออกแบบระบบไฟฟ้านั้น จะสามารถแสดงแผนภูมิระบุขั้นตอนต่าง ๆ ได้ตามรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ข้อแนะนำในการใช้โปรแกรมเบื้องต้น

เมื่อผู้ใช้เริ่มเข้าโปรแกรม เครื่องจะถามความต้องการของผู้ใช้และจะให้เลือกหรือป้อนข้อมูลเข้าไปในโปรแกรมเพื่อต้องการหารายละเอียดของตัวนำไฟฟ้า ตามลำดับดังนี้

1) ส่วนต่าง ๆ ของระบบที่พิจารณา (Part of System)
   - branch circuit
   - feeder circuit
   - main feeder circuit
   - main circuit
2) ระบบไฟฟ้าที่พิจารณา (Electrical System)
   - 1 phase system
   - 3 phase 3 wire system
   - 3 phase 4 wire system
   - 3 phase 4 wire with ground system
3) วิธีการติดตั้ง (Type of Installation)
   - In free air
   - In conduit
   - In ladder and tray
   - Bus duct
   - Bury in ground
4) ป้อนข้อมูล ambient temperature เพื่อการคำนวณ
5) ป้อนข้อมูล กำลังไฟฟ้า (watt) ที่ตัวนำจ่ายให้กับโหลดเพื่อการคำนวณ
6) ป้อนข้อมูลแรงดันไฟฟ้า (voltage) เพื่อการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) ป้อนข้อมูล เปอร์เซนต์แรงดันตกคร่อมที่ยอมรับได้ (allowable percent voltage drop) ซึ่งอยู่ในขอบเขต 0-5% เพื่อการคำนวณ

8) ป้อนข้อมูล ความยาวของตัวนำ (length of conductor) เพื่อการคำนวณ

หลังจากนั้น โปรแกรมจะคำนวณค่าที่ได้รับจากการป้อนข้อมูลและนำมาเปรียบเทียบกับตารางหรือข้อมูลของ IEE Wiring Regulation เพื่อหาผลลัพธ์ ซึ่งจะปรากฏ output ออกมาเป็นขนาดของ อุปกรณ์ตัดตอน, ขนาดของตัวนำไฟฟ้า

หมายเหตุ :

branch circuit (วงจรย่อย) หมายถึง ตัวนำในวงจรระหว่างอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินตัวสุดท้ายหรือ Load Panel Board (LPB) กับอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือจุดต่อไฟฟ้า

feeder circuit (สายป้อน) หมายถึง ตัวนำในวงจรระหว่าง Distribution Board (DB) กับ Load Panel Board (LPB)

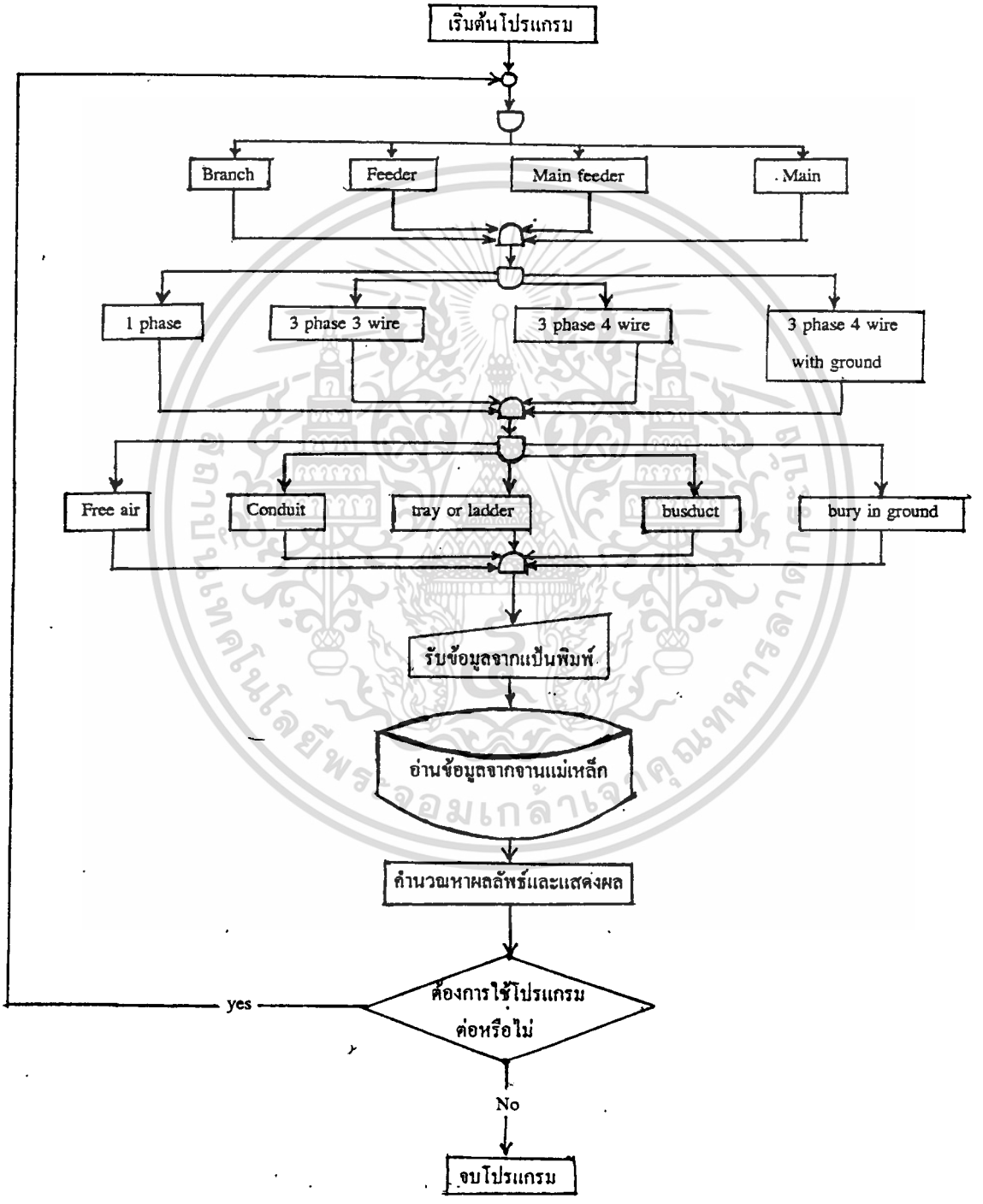
main feeder circuit (สายป้อนหลัก) หมายถึง ตัวนำในวงจรระหว่าง Main Distribution Board (MDB) กับ Distribution Board (DB)

main circuit (สายประธาน) หมายถึง ตัวนำที่มีขนาดมากพอในการนำกระแสไฟฟ้าจาก กฟน., กฟภ. หรือ หม้อแปลง มายัง main distribution board (MDB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

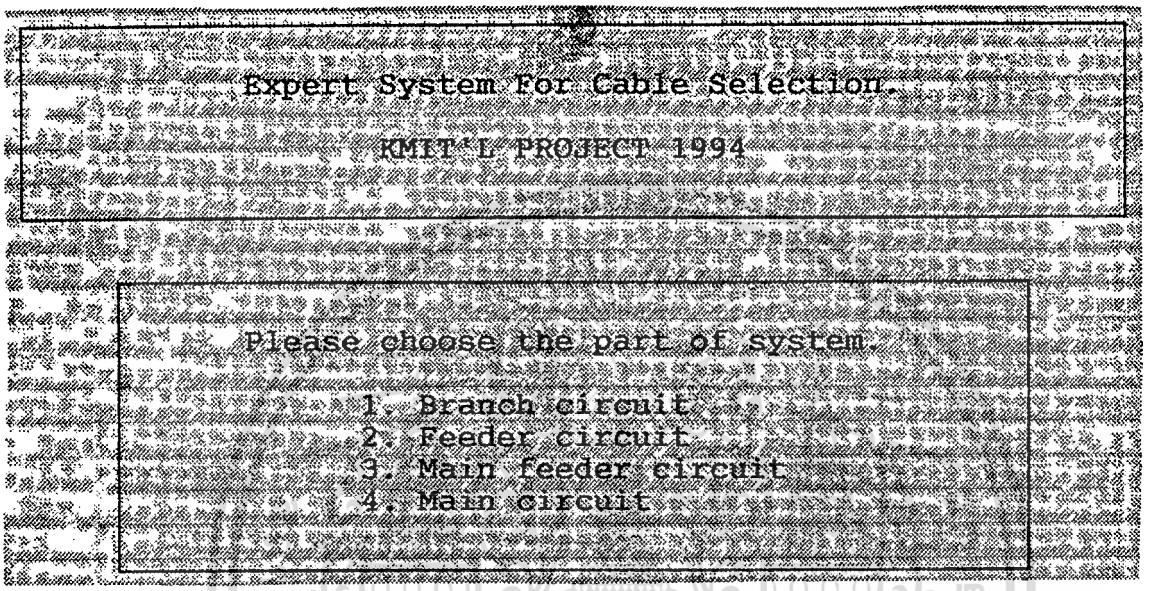
Flow Chart ของโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการเลือกสายเคเบิล

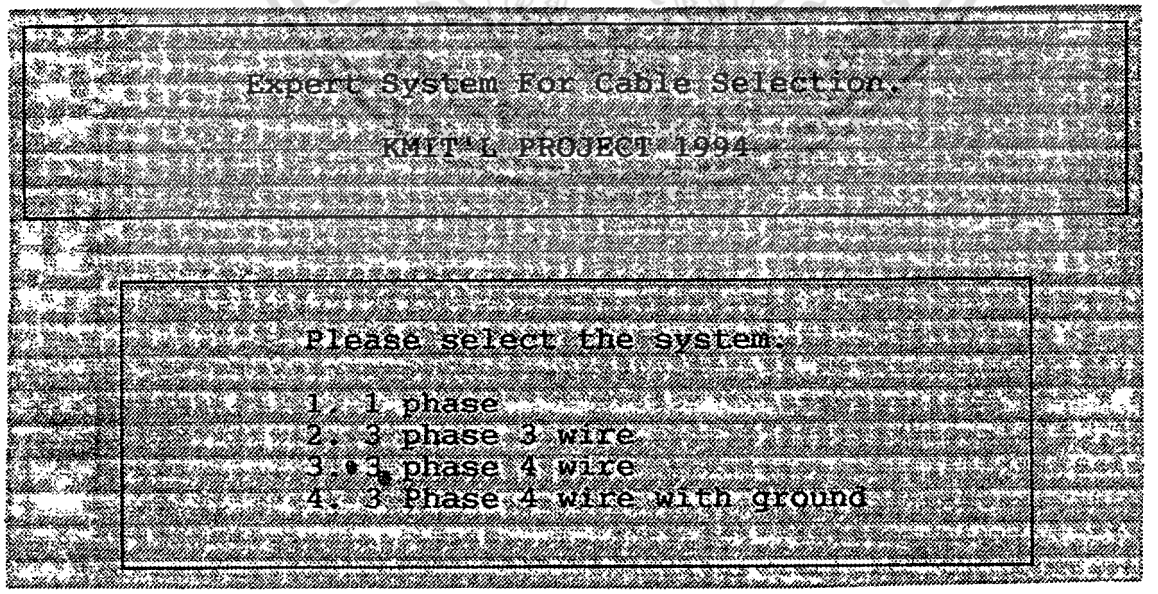


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

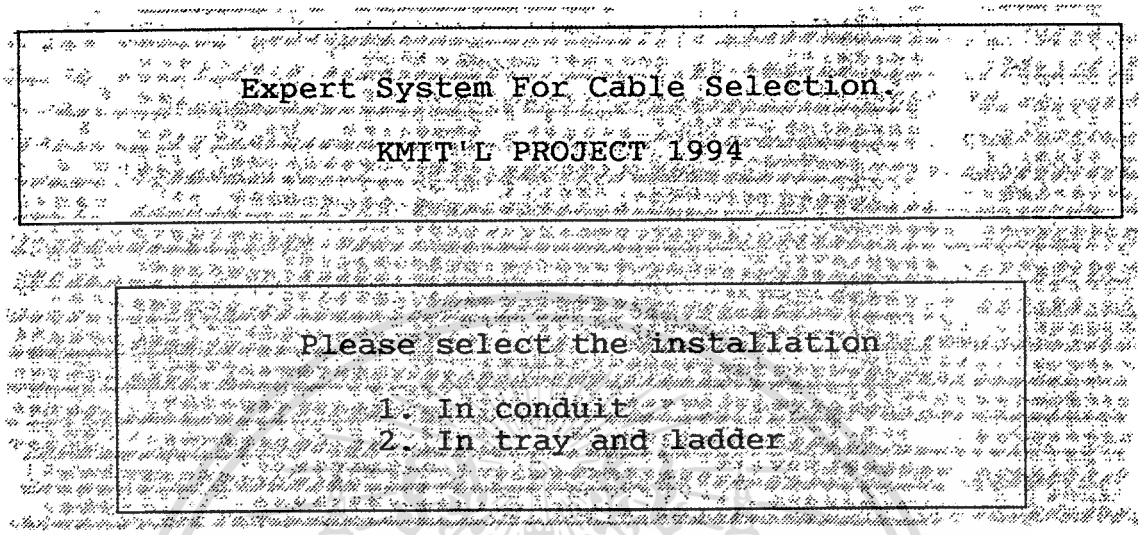
บทที่ 6

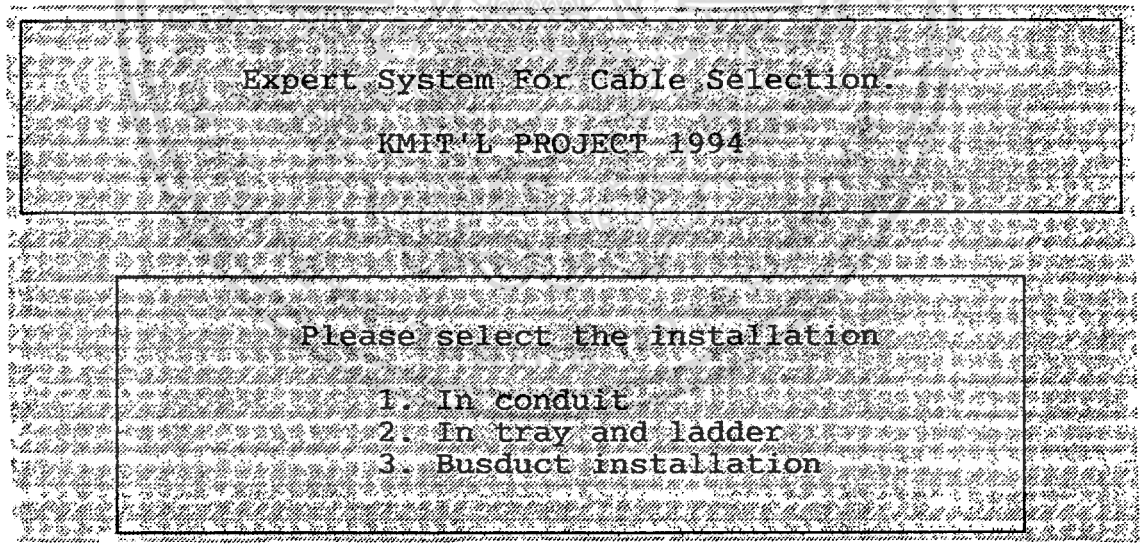
การรับข้อมูลและการแสดงผลทางหน้าจอของโปรแกรม



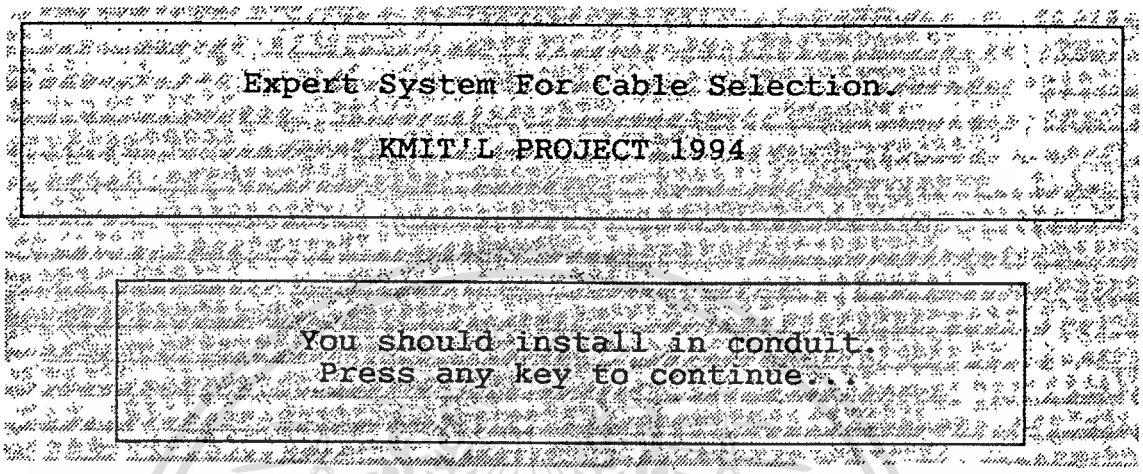


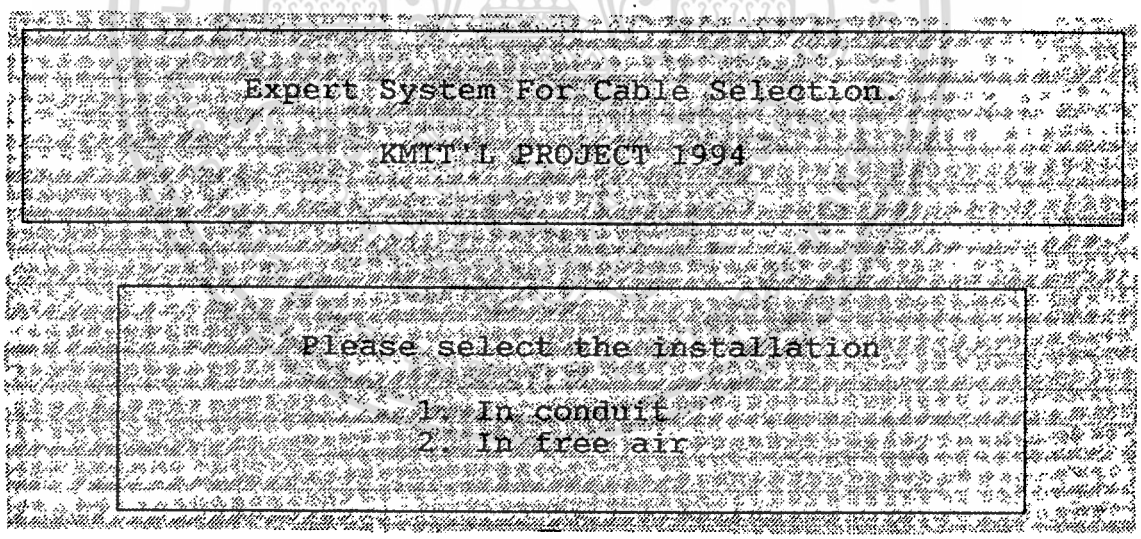
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



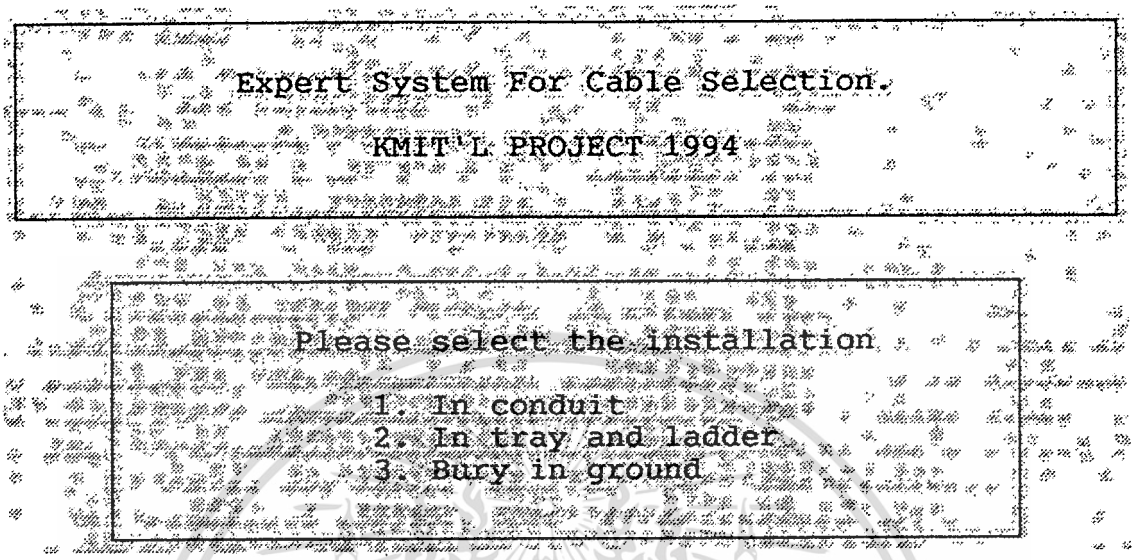


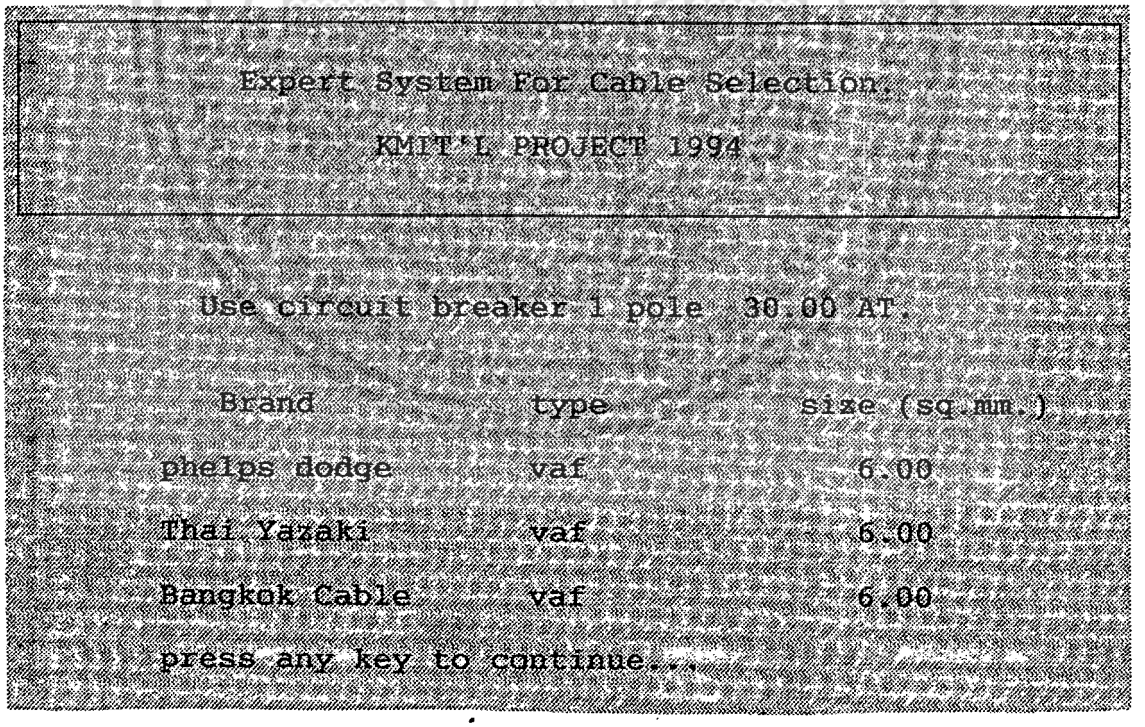
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



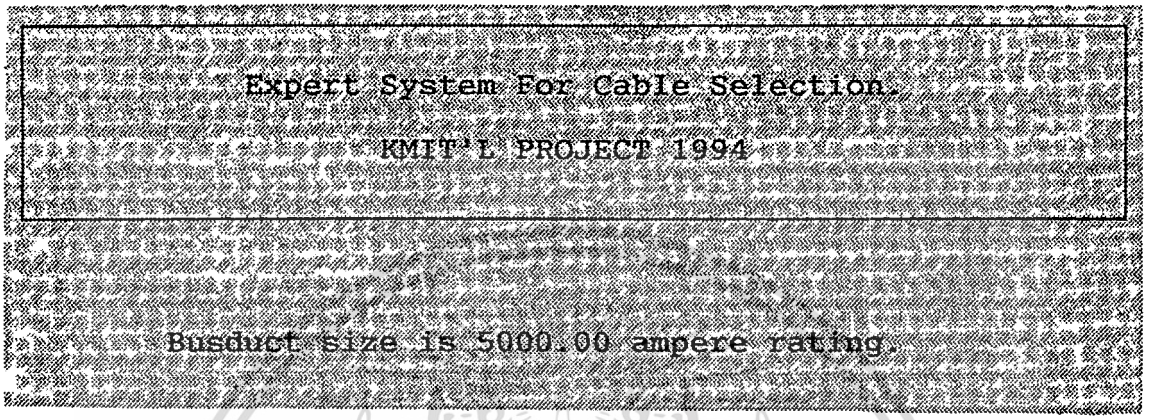


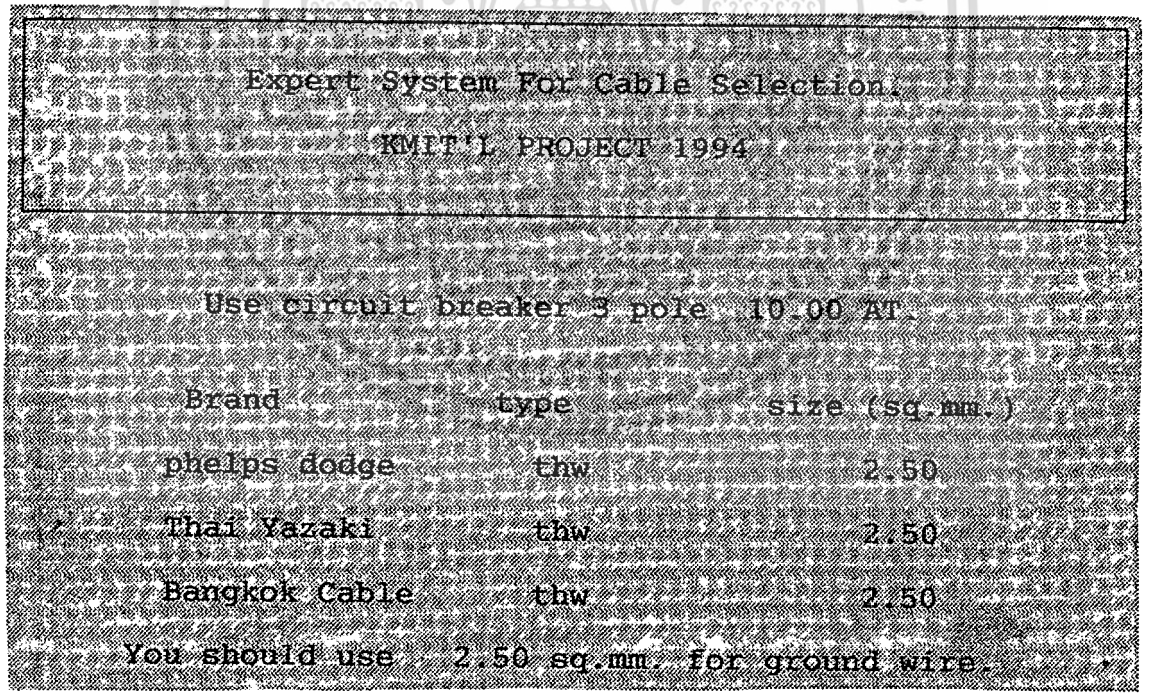
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปและวิจารณ์

ถึงแม้ว่าโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการเลือกสายเคเบิลนี้จะมีประโยชน์มากมายในการออกแบบสายเคเบิล แต่ก็มีข้อจำกัดอยู่ในเรื่อข้อมูลในวงแคบเท่านั้น เพราะข้อมูลที่ได้ยังไม่มากพอและขาดความหลากหลาย ซึ่งปัญหาก็คือแต่ละมาตรฐานข้อมูลสายจะมีพิกัดในการพิจารณาที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้ นอกจากนั้นยังมิได้พิจารณาเรื่อง short circuit rating และ economics เป็นสิ่งซึ่งต้องนำมาพิจารณาในการเลือกสายเคเบิล (cable selection) การพัฒนาโปรแกรมควรจะเพิ่มข้อมูลและชนิดของสายให้มากขึ้นและหลากหลายขึ้นกว่าเดิมทางด้านของเรื่อง short circuit rating ควรจะนำสูตรการคำนวณมาพิจารณาพร้อม ๆ ไปกับการพิจารณาเซอร์กิตเบรคเกอร์ด้วยกันเพราะทั้งสองกรณีนี้มีความเกี่ยวข้องกันอย่างมาก ถ้าเป็นไปได้ควรจะทำการพิจารณา economic ด้วย โดยการนำราคาของสายแต่ละชนิดในปัจจุบันมาใส่เข้าไปเพื่อให้ได้การเปรียบเทียบราคาของชนิดสายที่เลือกด้วยจะทำให้เป็นประโยชน์มากขึ้น โดยสรุปแล้วกล่าวได้ว่าโปรแกรมนี้เป็นเพียงการเริ่มต้นที่ดีสำหรับการเลือกสายเคเบิล ยังต้องการผู้ทำการเพิ่มเติมและพัฒนาอีกทีก็จะเป็นโปรแกรมหนึ่งที่มีประโยชน์อย่างมากทีเดียวในการออกแบบระบบไฟฟ้า (Electrical System Design)

ในการออกแบบโปรแกรมช่วงแรกจะติดที่ปัญหาการเลือกใช้โปรแกรม และการศึกษาโปรแกรมให้ละเอียดต้องใช้เวลามากพอสมควร และปัญหาต่อมาก็คือการพิจารณามาตรฐานต่าง ๆ ซึ่งมีมากมายทำให้สับสนในการเลือกใช้ แต่เมื่อศึกษามาตรฐานต่าง ๆ โดยละเอียดถี่ถ้วนแล้วพบว่ามาตรฐาน IEE เป็นมาตรฐานที่เหมาะสมที่สุด และเป็นมาตรฐานที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป โปรแกรมนี้มีประโยชน์กับผู้ใช้เป็นอันมาก โดยที่ต่อไปนักออกแบบจะไม่จำเป็นต้องหอบหิ้วตำราหนังสือ, กฎการออกแบบตามมาตรฐานต่าง ๆ ให้เมื่อยและเปลืองแรงงาน เพียงแต่มีโปรแกรมนี้พกติดตัวก็สามารถออกแบบสายเคเบิล ไม่ว่าจะใช้ในสถานที่ใด ๆ ก็ได้ จะให้ความแน่นอนและถูกต้องในการคำนวณอย่างแม่นยำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

Correction factors for ambient temperature where protection is against short-circuit

NOTE: This table applies where the associated overcurrent protective device is intended to provide short circuit protection only. Except where the device is a semi enclosed fuse to BS 3036 the table also applies where the device is intended to provide overload protection.

Type of insulation	Operating temperature	Ambient temperature °C														
		25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
Rubber (flexible cables only)	60°C	1.04	1.0	0.91	0.82	0.71	0.58	0.41	–	–	–	–	–	–	–	–
General purpose p.v.c.	70°C	1.03	1.0	0.94	0.87	0.79	0.71	0.61	0.50	0.35	–	–	–	–	–	–
Paper	80°C	1.02	1.0	0.95	0.89	0.84	0.77	0.71	0.63	0.55	0.45	0.32	–	–	–	–
Rubber	85°C	1.02	1.0	0.95	0.90	0.85	0.80	0.74	0.67	0.60	0.52	0.43	0.30	–	–	–
Heat resisting p.v.c.*	85°C	1.03	1.0	0.97	0.94	0.91	0.87	0.84	0.79	0.71	0.61	0.50	0.35	–	–	–
Thermosetting	90°C	1.02	1.0	0.96	0.91	0.87	0.82	0.76	0.71	0.65	0.58	0.50	0.41	0.29	–	–
Mineral	70°C sheath	1.03	1.0	0.93	0.85	0.77	0.67	0.57	0.45	0.31	–	–	–	–	–	–
	105°C sheath	1.02	1.0	0.96	0.92	0.88	0.84	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60	0.54	0.47	0.40	0.32

NOTE: (i) Correction factors for flexible cords and for 85°C or 150°C rubber-insulated flexible cables are given in the relevant table of current-carrying capacity.

(ii) This table also applies when determining the current-carrying capacity of a cable.

*These factors are applicable only to ratings in columns 2 to 5 of Table 4D1.

ตารางที่ 1

Correction factors for ambient temperature where the overload protective device is a semi-enclosed fuse to BS3036.

Type of insulation	Operating temperature	Ambient temperature °C														
		25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
Rubber (flexible cables only)	60°C	1.04	1.0	0.96	0.91	0.87	0.79	0.56	–	–	–	–	–	–	–	–
General purpose p.v.c.	70°C	1.03	1.0	0.97	0.94	0.91	0.87	0.84	0.69	0.48	–	–	–	–	–	–
Paper	80°C	1.02	1.0	0.97	0.95	0.92	0.90	0.87	0.84	0.76	0.62	0.43	–	–	–	–
Rubber	85°C	1.02	1.0	0.97	0.95	0.93	0.91	0.88	0.86	0.83	0.71	0.58	0.41	–	–	–
Heat resisting p.v.c.*	85°C	1.03	1.0	0.97	0.94	0.91	0.87	0.84	0.80	0.76	0.72	0.68	0.49	–	–	–
Thermosetting	90°C	1.02	1.0	0.98	0.95	0.93	0.91	0.89	0.87	0.85	0.79	0.69	0.56	0.39	–	–
Mineral: Bare and exposed to touch or p.v.c. covered	70°C sheath	1.03	1.0	0.96	0.93	0.89	0.86	0.79	0.62	0.42	–	–	–	–	–	–
Bare and not exposed to touch	105°C sheath	1.02	1.0	0.98	0.96	0.93	0.91	0.89	0.86	0.84	0.82	0.79	0.77	0.64	0.55	0.43

NOTE: Correction factors for flexible cords and for 85°C or 150°C rubber-insulated flexible cables are given in the relevant table of current-carrying capacity.

* These factors are applicable only to ratings in columns 2 to 5 of Table 4D1.

ตารางที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Correction factors for groups of more than one circuit of single-core cables, or more than one multicore cable (to be applied to the corresponding current-carrying capacity for a single circuit in Tables 4D1 to 4D4, 4E1 to 4E4, 4F1 and 4F2, 4J1, 4K1 to 4K4, 4L1 to 4L4)**

Reference method of installation (see Table 4A)		Correction factor (C_s) Number of circuits or multicore cables													
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
Enclosed (Method 3 or 4) or bunched and clipped direct to a non-metallic surface (Method 1)		0.80	0.70	0.65	0.60	0.57	0.54	0.52	0.50	0.48	0.45	0.43	0.41	0.39	0.38
Single layer clipped to a non-metallic surface (Method 1)	Touching	0.85	0.79	0.75	0.73	0.72	0.72	0.71	0.70	–	–	–	–	–	–
	Spaced*	0.94	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Single layer *multicore* on a perforated metal cable tray, vertical or horizontal (Method 11)	Touching	0.86	0.81	0.77	0.75	0.74	0.73	0.73	0.72	0.71	0.70	–	–	–	–
	Spaced* #	0.91	0.89	0.88	0.87	0.87	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Single layer *single-core* on a perforated metal cable tray, touching (Method 11)	Horizontal	0.90	0.85	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Vertical	0.85	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Single layer multicore touching on ladder supports (Method 13)		0.86	0.82	0.80	0.79	0.78	0.78	0.78	0.77	–	–	–	–	–	–

ตารางที่ 3

Correction factors for Mineral insulated Cables installed on Perforated Tray, (to be applied to the corresponding current carrying capacity for single circuits for reference method 11 in Table 4J1A)

Tray Orientation	Arrangement of cables	Number of Trays	Number of multicore cables or circuits					
			1	2	3	4	6	9
Horizontal	Multiconductor cables touching	1	1.0	0.90	0.80	0.80	0.75	0.75
Horizontal	Multiconductor cables spaced‡	1	1.0	1.0	1.0	0.95	0.90	–
Vertical	Multiconductor cables touching	1	1.0	0.90	0.80	0.75	0.75	0.70
Vertical	Multiconductor cables spaced‡	1	1.0	0.90	0.90	0.90	0.85	–
Horizontal	Single conductor cables trefoil separated‡‡	1	1.0	1.0	0.95	–		
Vertical	Single conductor cables trefoil separated‡‡	1	1.0	0.90	0.90			

‡‡ Separated by a clearance between adjacent surfaces of at least two cable diameters (2De).
‡ Spaced by a clearance between adjacent surfaces of at least one cable diameter (De)

ตารางที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Correction factors

Conductor cross-sectional area	Installation Method 18				Installation Method 19			Installation Method 20		
	2 single-core cables, or 1 three- or four-core cable	3 single-core cables, or 2 two-core cables	4 single-core cables, or 2 three- or four-core cables	6 single-core cables, 4 two-core cables, or 3 three- or four-core cables	6 single-core cables, 4 two-core cables, or 3 three- or four-core cables	8 single-core cables, or 4 three- or four-core cables	12 single-core cables, 8 two-core cables, or 6 three- or four-core cables	12 single-core cables, 8 two-core cables or 6 three- or four-core cables	18 single-core cables, 12 two-core cables, or 9 three- or four-core cables	24 single-core cables, 16 two-core cables, or 12 three- or four-core cables
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
mm²										
4	0.93	0.90	0.87	0.82	0.86	0.83	0.76	0.81	0.74	0.69
6	0.92	0.89	0.86	0.81	0.86	0.82	0.75	0.80	0.73	0.68
10	0.91	0.88	0.85	0.80	0.85	0.80	0.74	0.78	0.72	0.66
16	0.91	0.87	0.84	0.78	0.83	0.78	0.71	0.76	0.70	0.64
25	0.90	0.86	0.82	0.76	0.81	0.76	0.69	0.74	0.67	0.62
35	0.89	0.85	0.81	0.75	0.80	0.74	0.68	0.72	0.66	0.60
50	0.88	0.84	0.79	0.74	0.78	0.73	0.66	0.71	0.64	0.59
70	0.87	0.82	0.78	0.72	0.77	0.72	0.64	0.70	0.62	0.57
95	0.86	0.81	0.76	0.70	0.75	0.70	0.63	0.68	0.60	0.55
120	0.85	0.80	0.75	0.69	0.73	0.68	0.61	0.66	0.58	0.53
150	0.84	0.78	0.74	0.67	0.72	0.67	0.59	0.64	0.57	0.51
185	0.83	0.77	0.73	0.65	0.70	0.65	0.58	0.63	0.55	0.49
240	0.82	0.76	0.71	0.63	0.69	0.63	0.56	0.61	0.53	0.48
300	0.81	0.74	0.69	0.62	0.68	0.62	0.54	0.59	0.52	0.46
400	0.80	0.73	0.67	0.59	0.66	0.60	0.52	0.57	0.50	0.44
500	0.78	0.72	0.66	0.58	0.64	0.58	0.51	0.56	0.48	0.43
630	0.77	0.71	0.65	0.56	0.63	0.57	0.49	0.54	0.47	0.41

When cables having different conductor operating temperatures are grouped together the current rating shall be based on he lowest operating temperature of any cable in the group.

ตารางที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include <stdio.h>
#include <dos.h>
#include <stdlib.h>

#define BORDER 1
#define ESC    27
#define REV_VID 0x70
#define NORM_VID 7

void goto_xy(),cls1(),cls(),write_video();
void display_menu(),draw_border();
float val_k( int b);
float num();

char *part[]= {
"1. Branch circuit",
"2. Feeder circuit",
"3. Main feeder circuit",
"4. Main circuit",
};

char *phase1[]= {
"1. 1 phase",
"2. 3 phase 3 wire",
"3. 3 phase 4 wire",
"4. 3 Phase 4 wire with ground",
};

char *install1[]= {
"1. In conduit",
"2. In free air",
};

char *install2[]= {
"1. In conduit",
"2. In tray and ladder",
};

char *install3[]= {
"1. In conduit",
"2. In tray and ladder",
"3. Busduct installation",
};

char *install4[]= {
"1. In conduit",
"2. In tray and ladder",
"3. Bury in ground",
};

void main()
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
int cb[] = {5,10,15,20,30,40,50,60,75,100,125,150,175,200
,225,300,350,400,500,600};
int bus[] = {800,1000,1200,1350,1600,2000,2500,3000,4000
,5000};
FILE *f0,*f1;
int a,b,c,d,e,f,g,i,j=0,ll,lll,l,s=1,r,t;
float k,gf,at,watt,pf,current,vd,length,volt,m,n,o,q;
float lwatt,lwatta,lwattb,lwattc,lpf,ldm;
float rpoi,rpoia,rpoib,rpoic,rpf,rdm;
float hwatt,hwatta,hwattb,hwattc,hpf,hdm;
float abtu,abtua,abtub,abtuc,apf,adm;
float wwatt,wwatta,wwattb,wwattc,wpf,wdm;
float owatt,owatta,owattb,owattc,opf,odm;
float lamp,ramp,hamp,aamp,wamp,oamp;
float pampdat[18],vddat[18],size[18],par,bampdat[18];
float yampdat[18];
float pampdat1[18],vddat1[18],size1[18],bampdat1[18];
float yampdat1[18];
char  x[18][6],filename[12],filename1[12],ans,str[20][40];
float awat,bwat,cwat,tf;
clrscr();
strcpy(filename,"ooooooo.dat");lll=3;
strcpy(filename1,"ooooooo.dat");lll=3;
goto_xy(24,2);
printf("Expert System For Cable Selection.");
goto_xy(31,4);
printf("KMIT'L PROJECT 1994\n");
draw_border(12,0,69,6);
do
{
cls();
goto_xy(24,10);
printf("Please choose the part of system.");
draw_border(17,8,64,17);
a=popup(part,"1234",4,29,11,0);
cls();
switch (a)
{
case 1:
goto_xy(27,10);
printf("Please select the system.");
draw_border(17,8,64,17);
b=popup(phase1,"1234",4,26,11,0);
k=val_k(b);
cls();
if(b==1)
{
goto_xy(27,10);
printf("Please select the installation");
draw_border(17,8,64,15);
c=popup(install1,"12",2,32,11,0);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
else
{
goto_xy(27,10);
printf("You should install in conduit.");
goto_xy(28,11);
printf("Press any key to continue...");
draw_border(17,8,64,13);
getch();
c=1;
}
switch (c)
{
case 1:
if(b==1)
{
strcpy(filename,"conthw1.dat");l1=17;
strcpy(filename1,"convaf1.dat");l11=9;
}
else
{
strcpy(filename1,"ooooooo.dat");l11=3;
strcpy(filename,"conthw3.dat");l1=17;
}
break;

case 2:
strcpy(filename1,"airvaf1.dat");l11=9;
strcpy(filename,"ooooooo.dat");l1=3;
break;
}
break;

case 2:
goto_xy(27,10);
printf("Please select the system.");
draw_border(17,8,64,17);
b=popup(phase1,"1234",4,26,11,0);
k=val_k(b);
cls();
if(b==1)
{
goto_xy(27,10);
printf("You should install in conduit.");
goto_xy(28,11);
printf("Press any key to continue...");
draw_border(17,8,64,13);
getch();
strcpy(filename,"conthw1.dat");l1=17;
strcpy(filename1,"ooooooo.dat");l11=3;
}
else
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
goto_xy(27,10);
printf("Please select the installation");
draw_border(17,8,64,15);
c=popup(install2,"12",2,30,11,0);
switch (c)
{
case 1:
strcpy(filename,"conthw3.dat");ll=17;
strcpy(filename1,"ooooooo.dat");lll=3;
break;

case 2:
strcpy(filename,"ladthw3.dat");ll=15;
strcpy(filename1,"ooooooo.dat");lll=3;
break;

}

}
break;

case 3:
goto_xy(27,10);
printf("Please select the system.");
draw_border(17,8,64,17);
b=popup(phase1,"1234",4,26,11,0);
k=val_k(b);
cls();
if(b==1)
{
goto_xy(27,10);
printf("You should install in conduit.");
goto_xy(28,11);
printf("Press any key to continue...");
draw_border(17,8,64,13);
getch();
strcpy(filename,"conthw1.dat");ll=17;
strcpy(filename1,"ooooooo.dat");lll=3;
}
else
{
goto_xy(27,10);
printf("Please select the installation");
if(b==2)
{
draw_border(17,8,64,15);
c=popup(install2,"12",2,30,11,0);
switch (c)
{
case 1:
strcpy(filename,"conthw3.dat");ll=17;
strcpy(filename1,"ooooooo.dat");lll=3;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
break;
case 2:
strcpy(filename,"ladthw3.dat");ll=15;
strcpy(filename1,"ooooooo.dat");lll=3;
break;
}
}
else
{
draw_border(17,8,64,16);
c=popup(install3,"123",3,30,11,0);
switch (c)
{
case 1:
strcpy(filename,"conthw3.dat");ll=17;
strcpy(filename1,"ooooooo.dat");lll=3;
break;

case 2:
strcpy(filename,"ladthw3.dat");ll=15;
strcpy(filename1,"ooooooo.dat");lll=3;
break;

case 3:
strcpy(filename,"ooooooo.dat");ll=3;
strcpy(filename1,"ooooooo.dat");lll=3;
break;
}
}
}
break;

case 4:
goto_xy(27,10);
printf("Please select the system.");
draw_border(17,8,64,17);
b=popup(phase1,"1234",4,26,11,0);
k=val_k(b);
cls();
if(b==1)
{
goto_xy(27,10);
printf("You should install in conduit.");
goto_xy(28,11);
printf("Press any key to continue...");
draw_border(17,8,64,13);
getch();
strcpy(filename,"conthw1.dat");ll=17;
strcpy(filename1,"ooooooo.dat");lll=3;
}
else
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
goto_xy(27,10);
printf("Please select the installation");
draw_border(17,8,64,16);
c=popup(install4,"123",3,30,11,0);
switch (c)
{
case 1:
strcpy(filename,"conthw3.dat");ll=17;
strcpy(filename1,"ooooooo.dat");lll=3;
break;

case 2:
strcpy(filename,"ladthw3.dat");ll=15;
strcpy(filename1,"ooooooo.dat");lll=3;
break;

case 3:
strcpy(filename,"grdthw3.dat");ll=15;
strcpy(filename1,"ooooooo.dat");lll=3;
break;
}
}
break;
}
cls();
goto_xy(0,8);
do
{
printf("Please enter ambient temperature
(during 20°c - 60°c):");
scanf ("%f",&at);
}
while((at>60)||(at<20));
if(at<25)
tf=1.291;
else
if(at<30)
tf=1.225;
else
if(at<35)
tf=1.155;
else
if(at<45)
tf=1.080;
else
if(at<50)
tf=0.913;
else
if(at<55)
tf=0.816;
else
if(at<60)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
tf=0.707;
else
tf=0.577;

if(a==1)
gf=num();
cls();
goto_xy(3,8);
if(a!=2)
{
printf ("Please enter load (watt)  :  ");
scanf ("%f",&watt);
do
{
printf ("\n   Please enter power factor
( not more than 1 ) : ");
scanf ("%f",&pf);
}
while(pf>1);
}
else
{
if(b==1)
{
cls();
goto_xy(3,8);
printf ("Please enter load of lighting (watt)  : ");
scanf ("%f",&lwatt);
do
{
printf ("\n   Please enter power factor
( not more than 1 ) : ");
scanf ("%f",&lpf);
}
while(lpf>1);
printf ("\n   Demand factor of lighting = 0.75 ");
do
{
printf("\nDo you want to change demand factor of lighting?
( y = yes , n = no ) ");
ans=getche();
}
while( ans!='y' && ans!='n' );
if(ans=='y')
{
do
{
printf ("\n  Please enter new demand factor
(not more than 1):");
scanf ("%f",&ldm);
}
while(ldm>1);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
else
ldm=0.75;
cls();
goto_xy(3,8);
printf("Please enter number of receptacles (points) : ");
scanf ("%f",&rpoi);
do
{
printf ("\n   Please enter power factor
( not more than 1 ) : ");
scanf ("%f",&rpf);
}
while(rpf>1);
printf ("\n   Demand factor of receptacle = 0.8 ");
do
{
printf("\nDo you want change demand factor of receptacle?
 ( y = yes , n = no ) ");
ans=getche();
}
while( ans!='y' && ans!='n' );
if(ans=='y')
{
do
{
printf("\nPlease enter new demand factor
(not more than 1):");
scanf ("%f",&rdm);
}
while(rdm>1);
}
else
rdm=0.8;

cls();
goto_xy(3,8);
printf ("Please enter load of heater (watt)  : ");
scanf ("%f",&hwatt);
do
{
printf ("\nPlease enter power factor(not more than 1):");
scanf ("%f",&hpf);
}
while(hpf>1);
printf ("\n   Demand factor of heater = 0.35 ");
do
{
printf ("\nDo you want to change demand factor of heater ?
( y = yes , n = no ) ");
ans=getche();
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
while( ans!='y' && ans!='n' );
if(ans=='y')
{
do
{
printf("\nPlease enter new demand factor(not more than 1)
:");
scanf ("%f",&hdm);
}
while(hdm>1);
}
else
hdm=0.35;
cls();
goto_xy(3,8);
printf("Please enter capacity of air condition unit (BTU.)
  : ");
scanf ("%f",&abtu);
printf ("\n   Demand factor of air condition = 0.5 ");
do
{
printf("Do you want change demand factor of air condition?
 ( y = yes , n = no ) ");
ans=getche();
}
while( ans!='y' && ans!='n' );
if(ans=='y')
{
do
{
printf("Please enter new demand factor(not more than 1):");
scanf ("%f",&adm);
}
while(adm>1);
}
else
adm=0.5;
cls();
goto_xy(3,8);
printf ("Please enter load of water pump (watt)  : ");
scanf ("%f",&wwatt);
do
{
printf("\nPlease enter power factor(not more than 1):");
scanf ("%f",&wpf);
}
while(wpf>1);
printf ("\n   Demand factor of water pump = 0.45 ");
do
{
printf("Do you want change demand factor of water pump ?
 ( y = yes , n = no ) ");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ans=getche();
}
while( ans!='y' && ans!='n' );
if(ans=='y')
{
do
{
printf("Please enter new demand factor(not more than 1)
:");
scanf ("%f",&wdm);
}
while(wdm>1);
}
else
wdm=0.45;

cls();
goto_xy(3,8);
printf ("Please enter spare load (watt)  : ");
scanf ("%f",&owatt);
do
{
printf("\nPlease enter power factor of spare load
(not more than 1):");
scanf ("%f",&opf);
}
while(opf>1);
do
{
printf ("\n   Please enter demand factor of spare load
( not more than 1 ) : ");
scanf ("%f",&odm);
}
while(odm>1);
}
else
{
cls();
goto_xy(3,8);
printf ("Please enter load of lighting (watt)\n");
printf ("   Phase A:");
scanf ("%f",&lwatta);
printf ("   Phase B:");
scanf ("%f",&lwattb);
printf ("   Phase C:");
scanf ("%f",&lwattc);
do
{
printf("Please enter power factor(not more than 1):");
scanf ("%f",&lpf);
}
while(lpf>1);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
printf ("\n   Demand factor of lighting = 0.75 ");
do
{
printf("Do you want change demand factor of lighting ?
( y = yes , n = no ) ");
ans=getche();
}
while( ans!='y' && ans!='n' );
if(ans=='y')
{
do
{
printf ("\nPlease enter new demand factor
( not more than 1 ):");
scanf ("%f",&ldm);
}
while(ldm>1);
}
else
ldm=0.75;
cls();
goto_xy(3,8);
printf ("Please enter number of receptacles (points)\n");
printf ("   Phase A:");
scanf ("%f",&rpoia);
printf ("   Phase B:");
scanf ("%f",&rpoib);
printf ("   Phase C:");
scanf ("%f",&rpoic);
do
{
printf ("\n   Please enter power factor
( not more than 1 ) : ");
scanf ("%f",&rpf);
}
while(rpf>1);
printf ("\n   Demand factor of receptacle = 0.8 ");
do
{
printf ("\n   Do you want to change demand factor of
receptacle ? ( y = yes , n = no ) ");
ans=getche();
}
while( ans!='y' && ans!='n' );
if(ans=='y')
{
do
{
printf ("\nPlease enter new demand factor
(not more than 1):");
scanf ("%f",&rdm);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
while(rdm>1);
}
else
rdm=0.8;
cls();
goto_xy(3,8);
printf ("Please enter load of heater (watt)\n");
printf ("   Phase A:");
scanf ("%f",&hwatta);
printf ("   Phase B:");
scanf ("%f",&hwattb);
printf ("   Phase C:");
scanf ("%f",&hwattc);
do
{
printf ("\n   Please enter power factor
( not more than 1 ) : ");
scanf ("%f",&hpf);
}
while(hpf>1);
printf ("\n   Demand factor of heater = 0.35 ");
do
{
printf("Do you want to change demand factor of heater ?
( y = yes , n = no ) ");
ans=getche();
}
while( ans!='y' && ans!='n' );
if(ans=='y')
{
do
{
printf ("\nPlease enter new demand factor
( not more than 1 ):");
scanf ("%f",&hdm);
}
while(hdm>1);
}
else
hdm=0.35;

cls();
goto_xy(3,8);
printf ("Please enter capacity of air condition unit
(BTU.)\n");
printf ("   Phase A:");
scanf ("%f",&abtua);
printf ("   Phase B:");
scanf ("%f",&abtub);
printf ("   Phase C:");
scanf ("%f",&abtuc);
printf ("\n   Demand factor of air condition = 0.5 ");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
do
{
printf("Do you want to change demand factor of air
condition? ( y = yes , n = no ) ");
ans=getche();
}
while( ans!='y' && ans!='n' );
if(ans=='y')
{
do
{
printf("Please enter new demand factor( not more than 1 )
:");
scanf ("%f",&adm);
}
while(adm>1);
}
else
adm=0.5;

cls();
goto_xy(3,8);
printf ("Please enter load of water pump (watt)\n");
printf ("   Phase A:");
scanf ("%f",&wwatta);
printf ("   Phase B:");
scanf ("%f",&wwattb);
printf ("   Phase C:");
scanf ("%f",&wwattc);
do
{
printf ("\n  Please enter power factor
( not more than 1 ) : ");
scanf ("%f",&wpf);
}
while(wpf>1);
printf ("\n   Demand factor of water pump = 0.45 ");
do
{
printf("Do you want to change demand factor of water pump?
( y = yes , n = no ) ");
ans=getche();
}
while( ans!='y' && ans!='n' );
if(ans=='y')
{
do
{
printf ("\nPlease enter new demand factor
( not more than 1 ):");
scanf ("%f",&wdm);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
while(wdm>1);
}
else
wdm=0.45;

cls();
goto_xy(3,8);

printf ("Please enter spare load (watt)\n");
printf ("   Phase A:");
scanf ("%f",&owatta);
printf ("   Phase B:");
scanf ("%f",&owattb);
printf ("   Phase C:");
scanf ("%f",&owattc);
do
{
printf ("\n   Please enter power factor of spare load
( not more than 1 ) : ");
scanf ("%f",&opf);
}
while(opf>1);
do
{
printf ("\n   Please enter demand factor of spare load
( not more than 1 ) : ");
scanf ("%f",&odm);
}
while(odm>1);
}
}
if(a==2)
{
cls();
goto_xy(3,8);
printf ("\nPlease enter rated voltage value of feeder
(volt):");
scanf ("%f",&volt);
printf ("\nPlease enter percent voltage drop of feeder
(0%-5%):");
scanf ("%f",&vd);
printf ("\n   Please enter length of cable of feeder
(m) : ");
scanf ("%f",&length);
}
else
{
cls();
goto_xy(3,8);
printf ("\n   Please enter rated voltage value
( volt ) : ");
scanf ("%f",&volt);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
printf ("\n   Please enter percent voltage drop
( 0%-5% ) : ");
scanf ("%f",&vd);
printf ("\n   Please enter length of cable (m) : ");
scanf ("%f",&length);
}
if(a==3||a==4)
{
printf("\nPlease enter the number of conductor you want to
parallel:");
scanf ("%f",&par);
}
cls();
goto_xy(3,8);
i=0;
if((f1=fopen(filename1,"r"))==NULL)
{
printf("Can't open file.");
exit(1);
}
while(!feof(f1))
{
fgets(str[i],248,f1);
i++;
}
fclose(f1);
for(q=1;q<34;q=q+3)
{
for(i=2;i<111;i++)
{
for(j=(q-1);j<(q+4);j++)
{
x[i-1][j-q+1]=str[i][j];
}
x[i-1][j-q+1]='\0';
switch (j)
{
case 5:
size1[i-1]=atof(x[i-1]);break;
case 12:
pampdat1[i-1]=atof(x[i-1]);break;
case 19:
vddat1[i-1]=atof(x[i-1]);break;
case 26:
bampdat1[i-1]=atof(x[i-1]);break;
case 33:
yampdat1[i-1]=atof(x[i-1]);break;
}
}
q=j;
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
i=0;
if((f0=fopen(filename,"r"))==NULL)
{
printf("Can't open file.");
exit(1);
}
while(!feof(f0))
{
fgets(str[i],248,f0);
i++;
}
fclose(f0);
for(q=1;q<34;q=q+3)
{
for(i=2;i<11;i++)
{
for(j=(q-1);j<(q+4);j++)
{
x[i-1][j-q+1]=str[i][j];
}
x[i-1][j-q+1]='\0';
switch (j)
{
case 5:
size[i-1]=atof(x[i-1]);break;
case 12:
pampdat[i-1]=atof(x[i-1]);break;
case 19:
vddat[i-1]=atof(x[i-1]);break;
case 26:
bampdat[i-1]=atof(x[i-1]);break;
case 33:
yampdat[i-1]=atof(x[i-1]);break;
}
}
q=j;
}


switch (a)
{
case 1:
current=watt/(k*pf*volt);
o=current/(gf*tf);
n=(vd*volt*10)/(current*length);
break;

case 2:
if(b==1)
{
lamp=(lwatt*ldm)/(k*lpf*volt);
ramp=rpoi*rdm;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
hamp=(hwatt*hdm)/(k*hpf*volt);
aamp=(abtu*1500*adm)/(12000*volt);
wamp=(wwatt*wdm)/(k*wpf*volt);
oamp=(owatt*odm)/(k*opf*volt);
o=(lamp+ramp+hamp+aamp+wamp+oamp)/tf;
n=(vd*volt*10)/((lamp+ramp+hamp+aamp+wamp+oamp)*length);
}
else
{
awat=(lwatta*ldm)+(220*rpoia*rdm)+(hwatta*hdm)+
(abtua*1500*adm/12000)+(wwatta*wdm)+(owatta*odm);
bwat=(lwattb*ldm)+(220*rpoib*rdm)+(hwattb*hdm)+
(abtub*1500*adm/12000)+(wwattb*wdm)+(owattb*odm);
cwat=(lwattc*ldm)+(220*rpoic*rdm)+(hwattc*hdm)+
(abtuc*1500*adm/12000)+(wwattc*wdm)+(owattc*odm);
if(awat>=bwat)
{
if(awat>=cwat)
o=awat/(220*tf);
else
o=cwat/(220*tf);
}
else
{
if(bwat>=cwat)
o=bwat/(220*tf);
else
o=cwat/(220*tf);

}
n=(vd*volt*10)/(o*tf*length);
}
break;

case 3:
if(c!=3)
{
current=watt/(k*pf*volt);
m=current/(par*tf);
n=(vd*volt*10)/(current*length);
}
else
{
current=watt/(k*pf*volt);
o=current/(par*tf);
if(o>bus[9])
{
printf("\n\n ERROR IN BUSDUCT.");
printf("\n\n Press any key to continue...");
getch();
exit(0);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
for(l=0;o>bus[l];l++)
printf("");
m=bus[l];
printf("\n\n   Busduct size is %6.2f ampere rating.",m);
getch();
}
break;

case 4:
current=watt/(k*pf*volt*par);
m=current/tf;
n=(vd*volt*10)/(current*length);
break;
}
cls();
goto_xy(3,8);

if(a==1||a==2)
{
if(o>cb[19])
{
printf("ERROR.");
getch();
exit(0);
}
for(l=0;o>cb[l];l++)
printf("");
m=cb[l];
if(k==1)
r=1;
else
r=3;
printf("\n Use circuit breaker %d pole %6.2f AT.",r,m);
}

if(filename1[0]!='o')
{
printf("\n\n\n       Brand      type      size (sq.mm.) ");
if(m>pampdat1[111-2]||n<vddat1[111-2])
{
printf("\n\n ERROR.");
printf("\n\n Press any key to continue...");
getch();
exit(0);
}
for(l=1;m>pampdat1[l];l++)
s=l+1;
for(l=1;n<vddat1[l];l++)
printf("");
if(s>l)
l=s;
printf("\n\n  phelps dodge    VAF      %6.2f ",size1[l]);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if(m>yampdat1[111-2]||n<vddat1[111-2])
{
printf("\n\n ERROR.");
printf("\n\n Press any key to continue...");
getch();
exit(0);
}
for(l=1;m>yampdat1[l];l++)
s=l+1;
for(l=1;n<vddat1[l];l++)
printf("");
if(s>l)
l=s;
printf("\n\n  Thai Yazaki       VAF     %6.2f ",size1[l]);


if(m>bampdat1[111-2]||n<vddat1[111-2])
{
printf("\n\n ERROR.");
printf("\n\n Press any key to continue...");
getch();
exit(0);
}
for(l=1;m>bampdat1[l];l++)
s=l+1;
for(l=1;n<vddat1[l];l++)
printf("");
if(s>l)
l=s;
printf("\n\n  Bangkok Cable    VAF     %6.2f ",size1[l]);
printf("\n\n press any key to continue...");
getch();
}


if(filename[0]!='o')
{
cls1();
goto_xy(3,8);
printf("\n\n\n\n       Brand    type    size (sq.mm.)");
if(m>pampdat[11-2]||n<vddat[11-2])
{
printf("\n\n ERROR.");
printf("\n\n Press any key to continue...");
getch();
exit(0);
}
for(l=1;m>pampdat[l];l++)
s=l+1;
for(l=1;n<vddat[l];l++)
printf("");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if(s>1)
l=s;
printf("\n\n  phelps dodge     THW     %6.2f ",size[l]);

if(m>yampdat[ll-2]||n<vddat[ll-2])
{
printf("\n\n ERROR.");
printf("\n\n Press any key to continue...");
getch();
exit(0);
}
for(l=1;m>yampdat[l];l++)
s=l+1;
for(l=1;n<vddat[l];l++)
printf("");
if(s>1)
l=s;
printf("\n\n  Thai Yazaki      THW     %6.2f ",size[l]);

if(m>bampdat[ll-2]||n<vddat[ll-2])
{
printf("\n\n ERROR.");
printf("\n\n Press any key to continue...");
getch();
exit(0);
}
for(l=1;m>bampdat[l];l++)
s=l+1;
for(l=1;n<vddat[l];l++)
printf("");
if(s>1)
l=s;
printf("\n\n  Bangkok Cable    THW     %6.2f ",size[l]);
if((b==4&&c!=3)||(a==4&&b==4))
{
if((l-2)<1)
l=3;
printf("You should use %6.2f sq.mm. for ground wire."
,size[l-2]);
}
getch();

}
do
{
cls();
printf("Do you want to continue ? ( y = yes , n = no )");
ans=getche();
}
while( ans!='y' && ans!='n' );
}
while( ans=='y');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
int popup(menu, keys, count, x, y, border)
char *menu[];
char *keys;
int count;
int x, y;
int border;
{
register int i, len;
int endx, endy, choice;
unsigned int *p;

if ((x>79) || (x<0) || (y>24) || (y<0))
{
printf(" rang error");
return -2;
}

len = 0;
for(i=0; i<count; i++)
if(strlen(menu[i]) > len)
len = strlen(menu[i]);
endx =len + 2 + x;
endy =count + 1 + y;
if((endx+1>79) || (endy+1>24))
{
printf("menu won't fit");
return -2;
}

p = (unsigned int *) malloc((endx-x+1) * (endy-y+1));
if(!p) exit(1);

if(border)
draw_border(x, y, endx, endy);

display_menu(menu, x+1, y+1 , count);

choice = get_resp(x+1 , y, count, menu , keys)+1;

return choice;
}

void display_menu(menu, x, y, count)
char *menu[];
int x, y, count;
{
register int i;

for(i=0; i<count; i++,y++)
{
goto_xy(x,y);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
printf(menu[i]);
}
}

void draw_border(startx, starty, endx, endy)
int startx, starty, endx ,endy;
{
register int i;
for(i=startx+1; i<endx ; i++)
{
goto_xy(i, starty);
putchar(196);
goto_xy(i, endy);
putchar(196);
}
for(i=starty+1; i<endy; i++)
{
goto_xy(startx, i);
putchar(179);
goto_xy(endx,i);
putchar(179);
}
goto_xy(startx,starty); putchar(218);
goto_xy(startx,endy);   putchar(192);
goto_xy(endx,starty);   putchar(191);
goto_xy(endx,endy);     putchar(217);
}

get_resp(x,y,count,menu,keys)
int x,y,count;
char *menu[];
char *keys[];
{
union inkey {
char ch[2];
int i;
} c;
int arrow_choice = 0,key_choice;

y++;

goto_xy(x,y);
write_video(x,y,menu[0],REV_VID);

for(;;)
{
while(!bioskey(1));
c.i=bioskey(0);

goto_xy(x,y+arrow_choice);
write_video(x,y+arrow_choice,menu[arrow_choice],NORM_VID);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if (c.ch[0])
{  key_choice = is_in(keys,tolower(c.ch[0]));
if (key_choice)
return key_choice - 1;
switch (c.ch[0])
{  case '\r' :return arrow_choice;
case ' ' : arrow_choice++;
break;
case ESC :return -1;
}
}
else
{  switch(c.ch[1])
{  case 72 : arrow_choice--;
break;
case 80 : arrow_choice++;
break;
}
}
if (arrow_choice==count)
arrow_choice = 0;
if (arrow_choice < 0)
arrow_choice = count - 1;

goto_xy(x,y+arrow_choice);
write_video(x,y+arrow_choice,menu[arrow_choice],REV_VID);
}
}

void write_video(x,y,p,attrib)
int x,y;
char *p;
int attrib;
{
union REGS r;
register int i;

for(i=x;*p;i++)
{  goto_xy(i,y);
r.h.ah = 9;
r.h.bh = 0;
r.x.cx = 1;
r.h.al = *p++;
r.h.bl = attrib;
int86(0x10,&r,&r);
}
}



void cls()
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
union REGS r;

r.h.ah = 6;
r.h.al = 0;
r.h.ch = 7;
r.h.cl = 0;
r.h.dh = 24;
r.h.dl = 79;
r.h.bh = 7;
int86(0x10,&r,&r);
}

void cls1()
{
union REGS r;

r.h.ah = 6;
r.h.al = 0;
r.h.ch = 11;
r.h.cl = 0;
r.h.dh = 24;
r.h.dl = 79;
r.h.bh = 7;
int86(0x10,&r,&r);
}


void goto_xy(x,y)
int x,y;
{
union REGS r;

r.h.ah = 2;
r.h.dl = x;
r.h.dh = y;
r.h.bh = 0;
int86(0x10,&r,&r);
}

is_in(s,c)
char *s,c;
{
register int i;

for (i=0;*s;i++)
if (*s++==c)
return i+1;
return 0;
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีก็เพราะ อ.ศิริวัฒน์ ให้แนวทางและแนะนำขอบเขตของงานโดยชัดเจน และท่านยังให้คำแนะนำปรึกษา, ให้กำลังใจแก่ผู้จัดทำตลอดมา ที่จะลืมไปเสียมิได้ก็คือ บุคคลอีกท่าน ซึ่งท่านเสียสละเวลาการทำงานที่มีค่า และคอยสนับสนุนในเรื่องข้อมูล, รวมทั้งบอกจุดบกพร่อง ช่วยแก้ปัญหาด้านข้อมูลของโปรแกรมตลอดมา ท่านผู้นั้นก็คือ พี่นพพร ลีปรีชานนท์ แห่งบริษัท BICC GROUP ซึ่งเป็นรุ่นพี่ วศ.บ.(สมทบ) รุ่นที่ 2 และสุดท้ายนี้ต้องขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ ซึ่งทางผู้จัดทำหวังว่าผู้ใช้โปรแกรมจะได้ประโยชน์ไม่มากก็น้อย และหวังเป็นอย่างยิ่งให้รุ่นน้องและบุคคลที่สนใจมาพัฒนาโปรแกรมให้ดียิ่งขึ้นไป

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] IEE Wiring Regulation, "Regulations for electrical installations", 1991

[2] "Phelps Dodge's Design Manual on Electrical Conductor for Interior Wiring"

[3] "Technical Information and Specification for Electrical wires and Cables", October 1991

[4] ศิวัฒน์ ศิวะบวร, พรชัย จักรธำรงค์ และ จิรศักดิ์ ชัยวิริยะกุล, "การประยุกต์ใช้งานภาษาซี", 2536

[5] มนตรี พจนารถลาวัลย์, การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยเทอร์โบซี, 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้