การวิเคราะห์และเลือกใช้สายเคเบิลในระบบไฟฟ้ากำลัง

CABLES SELECTION ANALYSIS IN POWER SYSTEM

T 027271

นายนพพร ลีปรีชานนท์

MR. NOPPORN LEEPRECHANON

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ลขหมู่.....
ลขทะเบียน. 27271
วัน, เดือน, ปี 18 มี.ค. 2540

พ.ศ. 2539

ISBN 974-621-692-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

CABLES SELECTION ANALYSIS IN POWER SYSTEM

NOPPORN LEEPRECHANON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE

MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1996

ISBN 974-621-692-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์และเลือกใช้สายเคเบิลในระบบไฟฟ้ากำลัง
นักศึกษา	นายนพพร ลีปรีชานนท์
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.	2539

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะทำการวิเคราะห์ และเลือกใช้สายเคเบิลในระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งทำให้วิศวกรผู้ออกแบบสามารถใช้เป็นข้อมูลและมาตรฐานในการออกแบบและเลือกใช้สายเคเบิลให้ถูกต้องและปลอดภัย ตามลักษณะและวัตถุประสงค์ของงาน และประเภทของสถานที่ใช้งานหรือสิ่งแวดล้อมที่ต่างกัน การเลือกใช้สายเคเบิลจึงควรคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลทำให้การออกแบบเลือกใช้นั้นเกิดประโยชน์สูงสุด ปัจจัยหลักที่ได้นำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกนั้นประกอบด้วย ความสามารถในการรับกระแสสูงสุด ซึ่งขึ้นอยู่กับความทนต่ออุณหภูมิใช้งานของฉนวนชนิดต่าง ๆ , แรงดันตกคร่อม ,ความสามารถในการรับกระแสลัดวงจร และความปลอดภัย ภายใต้งบประมาณหรือราคาที่ประหยัดที่สุด โดยหลักเกณฑ์ดังกล่าวจะต้องมีความสอดคล้องกัน เพื่อให้ผลที่ได้อยู่ในสภาวะที่ดีที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในเรื่องความสามารถในการรับกระแสสูงสุดนั้น ยังมีตัวแปรมากมายที่ทำให้สายเคเบิลแต่ละชนิดมีขีดความสามารถในการรับกระแสไม่เท่ากันเช่น อุณหภูมิ, วิธีการติดตั้ง และลักษณะโครงสร้างการผลิตของสายเคเบิล จากลักษณะของตัวแปรที่มีมากมายและซับซ้อนเช่นนี้ จึงได้คิดค้นวิธีที่ทำให้เกิดความสะดวก ความปลอดภัย และ ความถูกต้องในการออกแบบให้มากที่สุด โดยนำเครื่องคอมพิวเตอร์มาเป็นเครื่องประมวลผล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Cables Selection Analysis in Power System
Student	Mr. Nopporn Leeprechanon
Thesis Advisor	Asst. Prof. Siriwat Potivejkul
Level of Study	Master of Engineering in Electrical Engineering
Department	Electrical Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Year	1996

ABSTRACT

This thesis presents the analysis and the selection of cables in power system for electrical engineering to have corrected data and standard to design safely in accordance with feature and purpose of works in different places and environments. The cables selection should be cater for several factors to get optimum. The principle of the selection comprise of current carrying capacities, voltage drop, short circuit ratings and safety under economics condition which have to be consonant. Especially ,the current carrying capacity may then be applied to cater for the optimum size of conductors, vary by several factors such as temperature, installation method, cables manufacturing ect. The most convenient way to establish a rating for particular designed cables was calculated by personal computer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณอาจารย์ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยอบรม ให้ความรู้และให้คำแนะนำแก่ข้าพเจ้าในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอบคุณ คุณอัศวิน ศรีเศรษฐนิล ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ที่เป็นผู้ให้คำปรึกษาเรื่องโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และช่วยทุ่มเททั้งแรงกาย แรงใจ จนสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณ คุณสุรินทร์ ฤกษ์สุขรุ่งเรือง วิศวกรอาวุโส จากบริษัท เอสคอน จำกัด ที่ให้คำแนะนำและเป็นธุระเรื่องการทดสอบโปรแกรม และทดลองใช้โปรแกรม รวมทั้งช่วยจัดทำแบบที่เป็นตัวอย่างการออกแบบให้แก่ข้าพเจ้า ขอบคุณ คุณกัลยาณี บูรณจิตร์ภิรมย์ และคุณสุรพล จากบริษัท TAC คุณนิรันดร เชาวนปรีชา จากบริษัท ABB ที่ช่วยแบ่งเบาภาระในเรื่องการจัดพิมพ์ คุณสุตพงษ์ วิมลสุต จากบริษัท BICC Cables ที่เคยให้คำแนะนำและให้ความรู้ในเรื่องสายเคเบิล คุณธีระศักดิ์ จากบริษัท Switchgeer international ที่แนะนำและให้กำลังใจ คุณพ่อ คุณแม่ ผู้คอยให้การอบรบสั่งสอนข้าพเจ้ามาตลอดจนสามารถมีวันนี้ได้ และสุดท้าย ขอมอบความขอบคุณให้กับอาจารย์ทุกท่าน เพื่อน ๆ รวมทั้งญาติพี่น้องทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือ แลกเปลี่ยนความคิดเห็นและให้กำลังใจกันมาตลอด.

นพพร ลีปรีชานนท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VI

สารบัญภาพ.....XII

บทที่

1. บทนำ.....1

2. ทฤษฎีการออกแบบ และหลักการทั่วไปของสายเคเบิลกำลัง.....6

การออกแบบโครงสร้างของสายเคเบิล.....6

ความต้านทานและความเหนี่ยวนำของสายเคเบิล.....8

ความต้านทานฉนวน.....11

ความจุไฟฟ้า.....12

ตัวประกอบกำลังไดอีเล็กทริก.....14

การคำนวณค่าการกระจายความเครียดไฟฟ้า.....16

แหล่งกำเนิดความสูญเสียทางไฟฟ้า.....20

3. การแยกประเภทของสายเคเบิลตามลักษณะของงาน.....24

สายเคเบิลที่ใช้กับสถานที่ปกติทั่วไป.....24

สายเคเบิลใช้งานสำหรับสถานที่อันตรายและงานเฉพาะ.....36

4. การวิเคราะห์หลักเกณฑ์ในการเลือกขนาดของสายเคเบิล.....41

การกำหนดความทนต่อกระแสไฟฟ้าของสายเคเบิล.....41

ความต้านทานความร้อนของฉนวนสายเคเบิล.....46

การลดหรือเพิ่มกระแสไฟฟ้าใช้งานเนื่องจากอุณหภูมิ.....47

กระแสไฟฟ้าใช้งานจากการติดตั้งสายเคเบิลในที่แจ้ง.....49

แรงดันตก.....54

พิกัดกระแสลัดวงจรของสายเคเบิล.....58

ชนิดของกระแสลัดวงจร.....59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ หน้า

5. ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม....60

ตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง....60

Flow Chart....62

ผังแสดงเงื่อนไขและปัจจัยต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณของโปรแกรม....66

หน้าจอข้อมูลอินพุต....77

เอ้าท์พุตของโปรแกรม....80

6. วิธีการใช้โปรแกรม....88

7 .ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล....110

ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยมือ....110

การทดลองป้อนข้อมูลเพื่อให้สอดคล้องกับการคำนวณด้วยมือ....127

ผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรมโดยตรง....141

การทดลองกรณีอื่น ๆ ที่เป็นไปได้....146

เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรมกับการคำนวณด้วยมือ....155

การนำโปรแกรมไปใช้ออกแบบกับงานจริง....155

8. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ....187

บรรณานุกรม....191

ภาคผนวก....192

มาตรฐานและกฎที่ใช้อ้างอิง....192

มาตรฐานการผลิตของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.11-2531)....232

การต่อลงดิน....273

จดหมายแจ้งผลการออกำแบบการใช้โปรแกรมจากบริษัทผู้ออกแบบงานระบบไฟฟ้า....282

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์....288

ประวัติผู้เขียน....319

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของทองแดงและอลูมิเนียม 7

2 แสดงคุณสมบัติของฉนวน PVC และ XLPE 8

3 แสดงค่าตัวประกอบลดหรือเพิ่มกระแสไฟฟ้า C_a ติดตั้งที่แจ้ง อุณหภูมิอ้างอิง 30° C.....50

4 แสดงค่าตัวประกอบลดหรือเพิ่มกระแสไฟฟ้า C_a ติดตั้งใต้ดิน อุณหภูมิอ้างอิง 20° C.....50

5 แสดงค่าตัวประกอบจำนวนสายเคเบิล C_g สำหรับสายหลายแกนในระบบไฟฟ้า 3 เฟส 52
1 วงจร หรือมากกว่า

6 แสดงค่าตัวประกอบจำนวนสายเคเบิล C_g สำหรับสายแกนเดียวในระบบไฟฟ้า 3 เฟส 53

7 แสดงตัวเลือกของ Program Input Data ที่สามารถเลือกข้อมูลอื่น ๆ ได้อีก.....78

8 แสดงการหาขนาดสายตัวนำ PE.....83

9 แสดงค่า K แฟคเตอร์ 87

10 แสดงความลึกในการติดตั้งใต้ดินสำหรับระบบแรงต่ำ 123

11 แสดงตัวประกอบการคูณของค่าความต้านทานความร้อนของดิน 124

12 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 1.....156

13 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 2.....157

14 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 3.....158

15 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 4.....159

16 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 5.....160

17 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 6.....161

18 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 7.....162

19 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 8.....163

20 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 9.....164

21 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 10.....165

22 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 11.....166

23 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 12.....167

24 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 13.....168

25 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 14.....169

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

26 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 15....170
27 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 16....171
28 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 17....172
29 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 18....173
30 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 19....174
31 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 20....175
32 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 21-23....176
33 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 24....177
34 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 25....178
35 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 26....179
36 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 27....180
37 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 28....181
38 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 29....182
39 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 30....183
40 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 31....184
41 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 32....185
42 แสดงผลการคำนวณสายเคเบิลเส้นที่ 33....185
43 แสดงผลสรุปการคำนวณสายเคเบิลทุกเส้นในโปรแกรม....186
44 แสดงการเลือกวิธีการติดตั้งให้เหมาะสมกับสภาวะแวดล้อมของสายเคเบิล....193
45 แสดงตัวอย่างวิธีการติดตั้งแบบต่าง ๆ แนะนำโดย IEC 364-5-52....194
46 แสดงขีดจำกัดทางอุณหภูมิของสายเคเบิลชนิด PVC XLPE และ Mineral Insulated Cable.202
47 ผังการใช้ตารางพิกัดกระแสและตัวประกอบการคูณตามวิธีการติดตั้ง A ถึง D....205
48 ผังการใช้ตารางพิกัดกระแสและตัวประกอบการคูณตามวิธีการติดตั้ง E, F และ G....206
49 ตารางความสามารถในการรับกระแสหน่วยเป็นแอมป์ของวิธีการติดตั้งในตารางที่ 47....210
ฉนวน PVC / โหลดตัวนำ 2 สาย / ทองแดงหรืออลูมีเนียม/อุณหภูมิตัวนำ : 70° C /
อุณหภูมิรอบข้าง : 30° C ในอากาศ, 20° C ใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

50 ตารางความสามารถในการรับกระแสหน่วยเป็นแอมป์ของวิธีการติดตั้งในตารางที่ 47.....211
ฉนวน XLPE / โหลดตัวนำ 2 สาย / ทองแดงหรืออลูมิเนียม/อุณหภูมิตัวนำ : 90° C /
อุณหภูมิรอบข้าง : 30° C ในอากาศ, 20° C ใต้ดิน
51 ตารางความสามารถในการรับกระแสหน่วยเป็นแอมป์ของวิธีการติดตั้งในตารางที่ 47.....212
ฉนวน PVC / โหลดตัวนำ 3 สาย / ทองแดงหรืออลูมิเนียม/อุณหภูมิตัวนำ : 70° C /
อุณหภูมิรอบข้าง : 30° C ในอากาศ, 20° C ใต้ดิน
52 ตารางความสามารถในการรับกระแสหน่วยเป็นแอมป์ของวิธีการติดตั้งในตารางที่ 47.....213
ฉนวน XLPE / โหลดตัวนำ 3 สาย / ทองแดงหรืออลูมิเนียม/อุณหภูมิตัวนำ : 90° C /
อุณหภูมิรอบข้าง : 30° C ในอากาศ, 20° C ใต้ดิน
53 ตารางความสามารถในการรับกระแสหน่วยเป็นแอมป์ของวิธีการติดตั้งแบบ C ใน.....214
ตารางที่ 47 ฉนวนแร่ MI / ตัวนำและเปลือกสายทองแดง / หุ้ม PVC หรือ
เปลือยสัมผัส / อุณหภูมิเปลือกสาย : 70° C / อุณหภูมิรอบข้าง : 30° C
54 ตารางความสามารถในการรับกระแสหน่วยเป็นแอมป์ของวิธีการติดตั้งแบบ C ใน.....215
ตารางที่ 47 ฉนวนแร่ MI / ตัวนำและเปลือกสายทองแดง / ชนิดเปลือยแบบ
ไม่สัมผัส / อุณหภูมิเปลือกสาย : 105 ° C / อุณหภูมิรอบข้าง : 30° C
55 ตารางความสามารถในการรับกระแสหน่วยเป็นแอมป์ของวิธีการติดตั้งแบบ E, F และ G....216
ในตารางที่ 48 ฉนวนแร่ / ตัวนำและเปลือกสายทองแดง / ชนิดหุ้ม PVC หรือ
เปลือยแบบสัมผัส / อุณหภูมิเปลือกสาย : 70° C / อุณหภูมิรอบข้าง : 30° C
56 ตารางความสามารถในการรับกระแสหน่วยเป็นแอมป์ของวิธีการติดตั้งแบบ C ใน.....217
ตารางที่ 48 ฉนวนแร่ MI / ตัวนำและเปลือกสายทองแดง / ชนิดเปลือยไม่สัมผัส
อุณหภูมิเปลือกสาย : 105 ° C / อุณหภูมิรอบข้าง : 30° C
57 ตารางความสามารถในการรับกระแสหน่วยเป็นแอมป์ของวิธีการติดตั้งแบบ E, F และ G.....218
ตารางที่ 48 ฉนวน PVC / ตัวนำทองแดง /อุณหภูมิตัวนำ : 70° C
อุณหภูมิรอบข้าง : 30° C
58 ตารางความสามารถในการรับกระแสหน่วยเป็นแอมป์ของวิธีการติดตั้งแบบ E, F และ G.....219
ตารางที่ 48 ฉนวน PVC / ตัวนำอลูมิเนียม /อุณหภูมิตัวนำ : 70° C อุณหภูมิรอบข้าง : 30° C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

59 ตารางความสามารถในการรับกระแสหน่วยเป็นแอมป์ของวิธีการติดตั้งแบบ E, F และ G.....220
ตารางที่ 48 ฉนวน XLPE / ตัวนำทองแดง /อุณหภูมิตัวนำ : 90° C
อุณหภูมิรอบข้าง : 30° C
60 ตารางความสามารถในการรับกระแสหน่วยเป็นแอมป์ของวิธีการติดตั้งแบบ E, F และ G.....221
ตารางที่ 48 ฉนวน XLPE / ตัวนำอลูมีเนียม /อุณหภูมิตัวนำ : 90° C
อุณหภูมิรอบข้าง : 30° C
61 ตัวประกอบการคูณสำหรับอุณหภูมิรอบข้าง ในอากาศนอกเหนืออุณหภูมิ 30° C 222
ใช้กับความสามารถในการรับกระแสสำหรับสายเดินในอากาศ
62 ตัวประกอบการคูณสำหรับอุณหภูมิรอบข้าง ของดินนอกเหนืออุณหภูมิ 20° C 222
ใช้กับความสามารถในการรับกระแสสำหรับสายเคเบิลติดตั้งใต้ดิน
63 ตัวประกอบการคูณสำหรับกลุ่มสายที่มากกว่า 1 วงจร หรือมากกว่า 1 สายหลายแกน.....223
ใช้อ้างอิงพิกัดกระแสสำหรับสายเคเบิลในท่อร้อยสาย และกล่องสาย และสายที่มัด
เป็นพวงบนพื้น ตามตารางที่ 49 ถึง 54
64 ตัวประกอบการคูณสำหรับกลุ่มสายมากกว่า 1 วงจร, สายเคเบิลฝังดินโดยตรงตามวิธี.....224
การติดตั้งแบบ D ในตารางที่ 49 ถึง 52 สายแกนเดียวหรือหลายแกน
65 ตัวประกอบการคูณสำหรับกลุ่มสายมากกว่า 1 วงจร, สายเคเบิลวางในช่องดักฝังดิน.....225
ตามวิธีการติดตั้งแบบ D ในตารางที่ 49 ถึง 52
66 ตัวประกอบการคูณสำหรับกลุ่มสายมากกว่า 1 สายหลายแกน ใช้กับพิกัดกระแสสำหรับ.....226
สายหลายแกนเดินในอากาศ ตามวิธีการติดตั้งแบบ E ในตารางที่ 55 ถึง 60
67 ตัวประกอบการคูณสำหรับกลุ่มสายแกนเดี่ยวมากกว่า 1 วงจร ใช้กับพิกัดกระแสวงจร.....227
ของสายเคเบิลแกนเดียวเดินในอากาศ ตามวิธีการติดตั้งแบบ F ในตารางที่ 55 ถึง 60
68 แสดงค่าสัมประสิทธิ์และเลขยกกำลัง.....230
69 ข้อกำหนดการใช้งานของสายไฟฟ้าที่ผลิตตามมาตรฐาน มอก.11-2531.....233
70 แสดงตารางที่ 1 ของ มอก. 11-2531(1-IV) สายแกนเดี่ยว, ฉนวน PVC, ...236
ตัวนำทองแดง 300 V 70° C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

71 แสดงตารางที่ 2 ของ มอก.11-2531 (2-VAF) สาย 2 แกนแบบ Flat ,.....237
ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง 300 V. 70°C
72 แสดงตารางที่ 4 ของ มอก. 11-2531 (1-THW) สายแกนเดี่ยว , ฉนวน PVC ,.....239
ตัวนำทองแดง 750 V. 70°C
73 แสดงตารางที่ .5 ของ มอก.11-2531 (2-VVF) สาย 2 แกน , ฉนวน PVC , ...240
เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง 750 V. 70°C
74 แสดงตารางที่ 6 ของ มอก.11-2531 (1-NYY) สายแกนเดี่ยว , ฉนวน PVC , ...242
เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C
75 แสดงตารางที่ 7 ของ มอก.11-2531 (2-NYY) สาย 2 แกน , ฉนวน PVC , ...224
เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C
76 แสดงตารางที่ 8 ของ มอก.11-2531 (3-NYY-N) สาย 3 แกนมีสายนิวทรอล , ...250
ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C
77 แสดงตารางที่ 9 ของ มอก.11-2531 (1-VCT) สายอ่อน 1 แกน , ฉนวน PVC ,.....252
เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C
78 แสดงตารางที่ 10 ของ มอก.11-2531 (2-VTF) สายอ่อนตีเกลียว 2 แกน , ...260
ฉนวน PVC , ตัวนำทองแดง , 300 V. 70°C
79 แสดงตารางที่ 10 ของ มอก.11-2531 (2-VFF) สายอ่อน 2 แกนแบบ Flat , ...261
ฉนวน PVC , ตัวนำทองแดง , 300 V. 70°C
80 แสดงตารางที่ 11 ของ มอก.11-2531 (2-VAF-G) สาย 2 แกนแบบ Flat มีสายดิน ,.....262
ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 300 V. 70°C
81 แสดงตารางที่ 11 ของ มอก.11-2531 (2-VVF-G) สาย 2 แกนแบบ Flat มีสายดิน ,.....264
ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง ,750 V. 70°C
82 แสดงตารางที่ 14 ของ มอก.11-2531 (2-NYY-G) สาย 2 แกน มีสายดิน , ...265
ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 750 V. 70°C
83 แสดงตารางที่ 16 ของ มอก.11-2531 (2-VFF-G) สาย 2 แกน มีสายดิน , ...271
ฉนวน PVC , ตัวนำทองแดง , 300 V. 70°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

84 แสดงตารางที่ 17 ของ มอก.11-2531 (2-VFF-F) สาย 2 แกนชนิดอ่อน , ฉนวน PVC , เปลือก PVC , ตัวนำทองแดง , 300 V. 70°C 272
85 แสดงขนาดต่ำสุดของสายดินเมื่อฝังใต้ดิน 277
86 แสดงค่าคงที่ K สำหรับวัสดุตัวนำ ฉนวน อุณหภูมิเริ่มต้น และอุณหภูมิสุดท้ายค่าต่าง ๆ 279
87 แสดงการหาขนาดสาย PE ตามขนาดสายเฟส 280
88 แสดงเงื่อนไขการเลือกตารางพิกัดกระแสของสายเคเบิล 281

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

1 แสดงพื้นที่หน้าตัดตัวนำของสายเคเบิลชนิดต่าง ๆ 6

2 แสดงการคำนวณค่าความต้านทานฉนวนของสายตัวนำหุ้มฉนวน 11

3 แสดงภาพตัดขวางของสายเคเบิลแสดงที่มาของความจุไฟฟ้า 12

4 แสดงเวคเตอร์ไดอะแกรมของ Dielectric Loss Angle 15

5 แสดงการกระจายฟลั๊กไฟฟ้าภายในเบลท์เคเบิล 16

6 แสดงความเครียดสนามไฟฟ้าสถิตในสายเคเบิลแกนเดียว 17

7 แสดงความเครียดสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนตามรัศมีของตัวนำ 19

8 แสดงสายเคเบิลชนิด AAC 25

9 แสดงลักษณะสายเคเบิลชนิด ACSR 26

10 แสดงลักษณะสายเคเบิลชนิด PIC 27

11 แสดงลักษณะสายเคเบิลชนิด SAC 28

12 แสดงลักษณะสายเคเบิลชนิด XLPE 29

13 แสดงสายเคเบิลตามตารางที่ 2 ของ มอก. 11-2531 31

14 แสดงสายเคเบิลตามตารางที่ 11 ของ มอก. 11-2531 32

15 แสดงสายเคเบิลตามตารางที่ 4 ของ มอก. 11-2531 33

16 แสดงสายเคเบิลตามตารางที่ 7 ของ มอก.11-2531 34

17 แสดงสายเคเบิลตามตารางที่ 8 ของ มอก. 11-2531 34

18 แสดงสายเคเบิลตามตารางที่ 9 ของ มอก. 11-2531 34

19 แสดงลักษณะของสาย CV 35

20 แสดงลักษณะของสายทนไฟฟชนิด FR 38

21 แสดงลักษณะของสาย MI 40

22 แสดงการสูญเสียต่าง ๆ ของสายเคเบิล และการส่งถ่ายความร้อนที่เกิด 45
จากกำลังสูญเสียจากตัวนำ ออกสู่ตัวกลางรอบ ๆ สายเคเบิล

23 แสดงลักษณะการติดตั้งสายเคเบิลบนรางในอาคาร 49

24 แสดงการยึดสายเคเบิลบนเหล็กตัว L ด้วยแคล็มป์ เป็นลักษณะการติดตั้งบนผนังอาคาร 49

25 แสดงค่าตัวประกอบการคูณของสายเคเบิลควบคุมขึ้นอยู่กับจำนวนแกน 51
ตัวนำเฉพาะที่อยู่ภายใต้กระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

26 ก) แสดงวงจรสมมูลย์ 55

26 ข) แสดงเฟสเซอร์ไดอะแกรม 55

27 การวางเคเบิลแบบสามเหลี่ยมสมมาตร (Trefoil) 57

28 แสดง Flow Chart 62

29 แสดงรายการแสดงปัจจัยและเงื่อนไขที่มีผลต่อการเลือกสายเคเบิล 66

30 แสดงข้อมูลอินพุตที่สรุปให้ผู้ใช้งานได้ทราบว่าได้ป้อนข้อมูลอะไรไปบ้างที่ 77
เกี่ยวข้องและสัมพันธ์กับผลลัพธ์ที่โปรแกรมคำนวณได้

31 แสดงข้อมูลเอ้าพุตที่โปรแกรมแสดงผลออกมา 80

32 แสดงรายการหลักตัวเลือกหัวข้อการคำนวณของโปรแกรม COP 88

33 แสดงรายการหลักในส่วนของการเลือก File 89

34 แสดงรายละเอียดของโปรแกรม 90

35 แสดงโหมดกระแสใช้งาน 91

36 แสดงรายละเอียดการป้อนกระแสโหลดโดยตรง 92

37 แสดงกระแสโหลดที่ได้จากพิกัดกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลง หรือเครื่อง 93
กำเนิดไฟฟ้า

38 แสดงการคำนวณกระแสโหลดจากพิกัดกำลังของโหลดแบบ Active 93

39 แสดงการคำนวณกระแสโหลดจากพิกัดกำลังที่ปรากฏเป็น[KVA] 94
ของโหลด

40 แสดงรายละเอียดของโปรแกรม 94

41 แสดง Alternative ของวัสดุฉนวน 95

42 แสดง Alternative ของการเลือกลักษณะตัวนำ 96

43 แสดง Alternative ของวัสดุตัวนำ 96

44 แสดง Alternative ลักษณะการจัดวางตัวนำ 97

45 แสดงรายละเอียดของโปรแกรมในส่วนของอุณภูมิ 97

46 แสดงรายละเอียดวิธีการติดตั้งสายเคเบิลแบบต่างๆ 98

47 แสดงระยะการวางสายกับเคเบิลข้างเคียงและจำนวนวงจรข้างเคียงที่เกี่ยวข้อง 99

48 แสดงการติดตั้งส่วนย่อยของการติดตั้งแบบ C กรณีวางสายชิดกัน 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

49 แสดงการติดตั้งส่วนย่อยของการติดตั้งแบบ C กรณีวางสายห่างกัน.....100
50 แสดงการติดตั้งส่วนย่อยของวิธีการติดตั้งแบบ D.....101
51 แสดงระยะห่างการวางสายเคเบิล.....101
52 แสดงระยะห่างการวางช่องดัก.....102
53 แสดงตัวเลือกการติดตั้งส่วนย่อยของการติดตั้งแบบ E.....102
54 แสดงตัวเลือกการติดตั้งส่วนย่อยของการติดตั้งแบบ F.....103
55 แสดงจำนวนสายเคเบิลสูงสุดที่ยอมได้ใน 1 CableTray ของการติดตั้งแบบ E และ F.....104
56 แสดงการเลือกจำนวนเคเบิลเทรของการติดตั้งแบบ E และ F.....104
57 แสดงการติดตั้งส่วนย่อยของการติดตั้งแบบ G.....105
58 แสดงตัวประกอบการคูณที่โปรแกรมคำนวณได้.....105
59 แสดงการสรุปหน้าจออินพุตที่ป้อนให้กับโปรแกรม.....106
60 แสดงหน้าจอผลลัพธ์ที่โปรแกรมคำนวณได้.....106
61 แสดงการตัดสินใจยอมรับค่าเวลาในการตัดกระแสลัดวงจรของเซอร์กิต.....108
เบรคเกอร์
62 แสดงตัวเลือกพารามิเตอร์ที่สามารถปรับปรุงได้.....109
63 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของพิกัดความทนต่อกระมสลัดวงจรของ.....109
สายเคเบิล เวลาสูงสุดของเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่สามารถตัดค่ากระแส
ลัดวงจรได้ และขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายเคเบิล
64 แสดงค่าตัวประกอบการคูณที่ได้จากการป้อนข้อมูลตามตัวอย่างที่ 1.....127
65 แสดงการสรุปข้อมูลอินพุตที่ได้จากการป้อนข้อมูลให้โปรแกรม.....128
66 แสดงผลการทดลองที่ 1.....128
67 แสดงค่าตัวประกอบการคูณที่ได้จากการป้อนข้อมูลตามตัวอย่างที่ 2.....129
68 แสดงการสรุปข้อมูลอินพุตที่ป้อนให้โปรแกรมตามตัวอย่างที่ 2.....129
69 แสดงผลการทดลองที่ 2.....130
70 แสดงตัวประกอบการคูณที่ได้จากการป้อนข้อมูลตามตัวอย่างที่ 3.....130
71 แสดงการสรุปข้อมูลอินพุตที่ป้อนให้โปรแกรมตามตัวอย่างที่ 3.....131
72 แสดงผลการทดลองที่ 3.....131

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

73 แสดงตัวประกอบการคูณที่ได้จากการป้อนข้อมูลตามตัวอย่างที่ 4.....132
74 แสดงการสรุปข้อมูลอินพุตที่ป้อนให้โปรแกรมตามตัวอย่างที่ 4.....132
75 แสดงผลการทดลองที่ 4.....133
76 แสดงตัวประกอบการคูณจากการทดลองที่ 5.....133
77 แสดงการสรุปข้อมูลอินพุตที่ได้จากป้อนให้โปรแกรมตามตัวอย่างที่ 5.....134
78 แสดงผลการทดลองที่ (กรณีไม่มีการกำหนดแรงดันตก).....134
79 แสดงผลการทดลองที่ 5 กรณีมีการแรงดันตกไม่เกิน 5 %.....135
80 แสดงตัวประกอบการคูณจากการทดลองที่ 6.....136
81 แสดงการสรุปข้อมูลอินพุตที่ได้จากการป้อนข้อมูลให้โปรแกรมตาม.....136
ตัวอย่างที่ 6
82 แสดงผลการทดลองที่ 6.....137
83 แสดงตัวประกอบการคูณของการทดลองที่ 7.....137
84 แสดงการสรุปข้อมูลอินพุตที่ป้อนให้โปรแกรมตามตัวอย่างที่ 7.....138
85 แสดงผลการทดลองที่ 7.....138
86 แสดงตัวประกอบการคูณของการทดลองที่ 8.....139
87 แสดงข้อมูลอินพุตที่ป้อนให้โปรแกรมตามตัวอย่างที่ 8.....139
88 แสดงผลการทดลองที่ 8.....140
89 แสดงค่าตัวประกอบการคูณที่คำนวณได้จากโปรแกรมตามตัวอย่างที่ 9.....141
90 แสดงการสรุปข้อมูลอินพุตที่ได้จากการทดลองป้อนข้อมูลตามตัวอย่างที่ 9.....142
91 แสดงผลการทดลองที่ 9 กรณีที่ไม่มีการกำหนดแรงดันตก.....142
92 แสดงผลการทดลองที่ 9 กรณีกำหนดแรงดันตกไว้ไม่ให้เกิน 2 %.....143
93 แสดงการเปลี่ยนพารามิเตอร์ที่มีผลต่อแรงดันตกในสายเคเบิล.....144
94 แสดงการเพิ่มขนาดตัวนำใหม่จาก 2x500 mm^2 และลดความยาวสายเป็น 93 เมตร.....144
95 แสดงผลของการเปลี่ยนขนาดและความยาวของสายเคเบิล.....145
96 แสดงผลของการเปลี่ยนจำนวนตัวนำควบขนานโดยให้ขนาดสายคงที่.....145
97 แสดงการเลือกโหมดการตรวจสอบกระแส I_z.....146
98 แสดงการป้อนขนาดสายเคเบิลและจำนวนตัวนำขนานเอง.....147

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

99 แสดงการสรุปข้อมูลอินพุตที่ป้อนให้โปรแกรมของการทดลองที่ 10 147
100 แสดงผลการทดลองที่ 10 148
101 แสดงตัวเลือกของพารามิเตอร์ที่สามารถปรับปรุงแรงดันตกได้ 148
102 แสดงการเปลี่ยนขนาดสายและจำนวนตัวนำขนานใหม่ 149
103 แสดงผลการปรับปรุงขนาดสายเคเบิลและจำนวนตัวนำขนานแล้ว 150
104 แสดงพิกัดความทนต่อกระแสลัดวงจรของสายเคเบิลที่ช่วงเวลา 0.5 วินาที 151
105 แสดงพิกัดความทนต่อกระแสลัดวงจรของสายเคเบิลที่ช่วงเวลา 1 นาที 152
106 แสดงเวลาที่ใช้ในการตัดกระแสลัดวงจรที่ขนาด 20 KA ของสาย PVC 500 mm^2 153
107 แสดงเวลาที่ใช้ในการตัดกระแสลัดวงจรใหม่เมื่อเปลี่ยนขนาด 154
กระแสลัดวงจรเป็น 50 KA
108 แสดงส่วนประกอบของระบบการต่อลงดินตามมาตรฐาน IEC 273
109 แสดงระบบไฟฟ้าแบบ TT 274
110 แสดงระบบไฟฟ้าแบบ TN-S 275
111 แสดงระบบไฟฟ้าแบบ TN-C 275
112 แสดงระบบไฟฟ้าแบบ TN-C-S 276
113 แสดงระบบไฟฟ้าแบบ IT 276
114 แสดงแบบ Single Line Diagram 285
115 แสดงแบบ Electrical Diagram 286
116 แสดงแบบ Riser Diagram 287

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน วิศวกรผู้ออกแบบระบบไฟฟ้ากำลัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของสายเคเบิลนั้น ได้ถูกออกแบบและเลือกใช้จากข้อมูลที่ได้จากผู้ผลิตและจำหน่าย ซึ่งในปัจจุบัน มีสายเคเบิลให้เลือกใช้มากมายหลายชนิด แต่ละชนิดก็มีความแตกต่างกันมาก ทั้งทางด้านโครงสร้างของสายเคเบิล ชนิดของตัวนำ ชนิดของฉนวน การใช้งานของสายเคเบิลในสภาวะแวดล้อมที่ต่างกันทำให้คุณลักษณะของสายเคเบิลในด้านความสามารถในการรับกระแสมีความแตกต่างกันด้วย ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิข้างเคียง , อุณหภูมิขณะใช้งาน, ความร้อนที่เกิดจากวิธีการติดตั้งที่แตกต่างกัน เช่น เดินสายลอยในอากาศ ,เดินสายร้อยท่อบนกำแพงหรือฝังในผนังปูนฉาบ เดินสายฝังดินโดยตรงหรือ เดินสายในรางเคเบิลเป็นต้น นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ อีกเช่น ความร้อนที่เกิดจากสายเคเบิลข้างเคียงขณะใช้งาน, ความต้านทานความร้อนของดินในกรณีเดินสายฝังดินโดยตรง, ปัจจัยในการกำหนดแรงดันตกคร่อมของสายเคเบิล ซึ่งขึ้นอยู่กับความต้านทานและความเหนี่ยวนำของตัวนำเอง และความเหนี่ยวนำที่เกิดจากตัวนำข้างเคียง ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในกรณีที่ใช้สายเคเบิลกับไฟฟ้ากระแสสลับ ขนาดของแรงดันไฟฟ้า รวมทั้งประสิทธิภาพของโหลดที่เป็นพวกมอเตอร์ แต่ปัญหาของวิศวกรผู้ออกแบบ ก็คือ ไม่สามารถพิจารณาปัจจัยต่าง ๆดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นได้ทั้งหมด เนื่องจากมีความยุ่งยากซับซ้อนมาก ซึ่งทำให้ไม่มีเวลามากที่จะพิจารณาได้ทุกกรณี ดังนั้นวิธีที่ง่ายที่สุดที่นิยมก็คือ หาพิกัดการรับกระแสจากตารางสายเคเบิลที่ได้จากผู้ผลิตและจำหน่าย เปรียบเทียบกับกระแสโหลดที่ต้องการเดินสายเคเบิล ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยของผู้ออกแบบ จึงได้ทำการเผื่อขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายให้มีขนาดใหญ่เพื่อให้เพียงพอในการรองรับกระแสโหลดที่มีอยู่ ตรงจุดนี้ มักทำให้การเผื่อขนาดของสายเคเบิลมีขนาดเกินความจริง บางครั้งอาจมากกว่า 100 % ของขนาดปกติ และเป็นเหตุให้ต้นทุนในการติดตั้งสายเคเบิลสูงขึ้นด้วยเป็นเงาตามตัว ในทางกลับกัน สำหรับผู้ใช้งานทั่วไป เช่นกรณีที่ต้องการติดตั้งสายเคเบิล เพิ่มเติมกับโหลดตำแหน่งใหม่ที่ไม่ได้มีการออกแบบล่วงหน้า บางครั้งเพราะความประหยัดจึงเลือกขนาดสายที่มีขนาดเล็กกว่าพิกัดกระแสของโหลดจริง กรณีนี้อาจทำให้สายเคเบิลไม่สามารถทนต่อความร้อนที่เกิดจากกระแสไหลเกินพิกัด และอาจเกิดเพลิงไหม้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด(จุดที่ปลอดภัยและประหยัดที่สุด)ในการเลือกใช้สายเคเบิล จึงพยายามศึกษาและวิจัยเพื่อสร้างหลักเกณฑ์ในการออกแบบ และเลือกใช้สายเคเบิลอย่างละเอียดเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดภายใต้มาตรฐานที่กำหนด ซึ่งคำนึงถึงความสะดวกและความคล่องตัวสำหรับผู้ใช้งานในการออกแบบด้วย โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์มาช่วยในการประมวลผล

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อให้เป็นทางเลือกที่ดีทางหนึ่งสำหรับวิศวกรผู้ออกแบบ ให้สามารถเลือกใช้สายเคเบิลในระบบไฟฟ้ากำลังได้โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์มาเป็นตัวประมวลผลและคำนวณอย่างละเอียด เพื่อให้ได้สายเคเบิลที่มีขนาดที่เหมาะสมที่สุด(optimum)สำหรับใช้ในการออกแบบโครงการต่าง ๆ เพราะเนื่องจากในปัจจุบัน ประเทศไทยมีการเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว ทำให้อาคารสถานที่ต่าง ๆ ถูกสร้างขึ้นมาอย่างมากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาคารสูง ซึ่งการออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคารสูงเหล่านี้ นอกจากจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยแล้ว ราคาจะต้องสมเหตุสมผลด้วย ซึ่งเมื่อพิจารณาในส่วนของงานระบบไฟฟ้านั้น สายเคเบิลเปรียบเสมือนเป็นเส้นเลือดของอาคาร ซึ่งในปัจจุบัน วิศวกรผู้ออกแบบมักจะเผื่อขนาดของสายให้มีขนาดใหญ่ เพื่อความปลอดภัย แต่บางครั้งก็เกินความจำเป็นอยู่มาก อีกทั้งบางครั้งอาจเลือกชนิดของสายไม่เหมาะสมกับสถานที่ใช้งาน ก็อาจเป็นผลทำให้เกิดความเสียหายได้ ดังนั้นจึงควรมีวิธีที่จะช่วยให้วิศวกรสามารถเลือกใช้สายเคเบิลที่มีขนาดที่เหมาะสมที่สุด และประหยัดที่สุด อีกทั้งยังเกิดความสะดวกรวดเร็วและแม่นยำมากขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะใช้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ให้เป็นเครื่องอำนวยความสะดวกในการคำนวณ และเป็นที่ปรึกษาของวิศวกรได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นแหล่งอ้างอิงสำหรับข้อมูลทั้งหมดของสายเคเบิล เช่นโครงสร้างของสาย, ชนิดของวัสดุฉนวน, มาตรฐานการทดสอบ, มาตรฐานการผลิต, วิธีการติดตั้ง, พิกัดกระแส, แรงดันตกคร่อม เป็นต้นโดยเครื่องคอมพิวเตอร์จะเป็นผู้ประมวลข้อมูลต่าง ๆ ทั้งหมด เพื่อให้ได้คำตอบที่ต้องการโดยผู้ที่ใช้งาน สามารถป้อนข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นในการออกแบบเท่านั้น.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อความสามารถในการรับกระแสของสายเคเบิลแล้วทำให้อยู่ในรูปของตัวประกอบการคูณ เพื่อให้ได้ค่าความสามารถในการรับกระแสที่ถูกต้องตามสภาพแวดล้อมที่เป็นจริง ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ ดังกล่าวนั้นประกอบด้วย

- ปัจจัยที่เกิดจากวิธีการติดตั้งแบบต่าง ๆ
- ปัจจัยที่เกิดจากอุณหภูมิรอบข้าง
- ปัจจัยที่เกิดจากกลุ่มสายข้างเคียงที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปัจจัยที่เกิดจากการเปลี่ยนอุณหภูมิอ้างอิงของสายเคเบิล

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ตัวประกอบการคูณทั้งสี่ที่เกิดจากปัจจัยต่าง ๆ ข้างต้นนั้นสามารถคำนวณได้จากมาตรฐานของ IEC publication 287 ปี 1982 (การคำนวณพิกัดกระแสต่อเนื่องของสายเคเบิลที่โหลด 100 %)แต่ในการวิจัยครั้งนี้จะนำค่าตัวประกอบการคูณเฉพาะสายแรงดันต่ำที่สัมพันธ์กับค่าความสามารถในการรับกระแส ซึ่งคอมพิวเตอร์จะทำการคำนวณให้อย่างอัตโนมัติ ดังนั้นตัวประกอบการคูณที่เกิดจากปัจจัยของสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ดังกล่าวจึงขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานว่าจะทำให้สายเคเบิลให้อยู่ในสภาพแวดล้อมอย่างไร ดังนั้นจึงต้องมีการรับข้อมูลที่เกี่ยวกับการนำสายเคเบิลไปใช้งานในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ให้ครบถ้วนตามขอบเขตที่กำหนดไว้ แล้วให้เครื่องคอมพิวเตอร์นำค่าต่าง ๆ ที่ผู้ใช้งานป้อนให้ไปประมวลหาผลลัพธ์ที่ต้องการ โดยผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นผลลัพธ์ที่ทำให้เกิดประโยชน์สูงสุดทั้งด้านความปลอดภัย และความประหยัด

1.4 ขอบเขตของการศึกษา และข้อตกลงเบื้องต้น

ในการวิเคราะห์สายเคเบิลสำหรับการวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเฉพาะสายเคเบิลกำลังเท่านั้น และได้วิเคราะห์การเลือกใช้สายเคเบิลตลอดย่าน ตั้งแต่สายเคเบิลแรงสูง จนถึงสายเคเบิลแรงต่ำ โดยกล่าวถึงทฤษฎีการออกแบบ โครงสร้างของสายเคเบิล การแยกประเภทของสายตามลักษณะของงาน มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงทั้งในและต่างประเทศ ข้อกำหนดการเดินสายของการไฟฟ้าฯ และหลักเกณฑ์ในการเลือกขนาดของสายเคเบิล ซึ่งอยู่กับ ค่าความสามารถในการรับกระแสของสาย แรงดันตกคร่อมที่กำหนด และ พิกัดกระแสลัดวงจรของสายเคเบิล เนื่องจากขอบเขตการใช้งานของสายเคเบิลนั้นกว้างมาก ดังนั้นในส่วนของโปรแกรมใช้งาน จะเจาะจงไปที่สายแรงดันต่ำแบบไม่มีเสื้อโลหะ เนื่องจากมีโอกาสนำมาใช้ได้มากในการออกแบบทั่วไปของวิศวกรหรือผู้ใช้งาน ในปัจจุบันมีผู้ผลิตและจำหน่ายสายเคเบิลออกมามากมายหลายชนิดมีชื่อเรียกต่าง ๆ กัน ซึ่งแต่ละชนิดก็ออกแบบมาให้เหมาะกับสภาพแวดล้อมต่าง ๆ กันดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้นจึงได้แบ่งสายเคเบิลแรงต่ำออกเป็นสายประเภทต่าง ๆ ตามชนิดของฉนวนที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันคือ

1.4.1 แบ่งตามชนิดของวัสดุฉนวน

- เคเบิลชนิด PVC ฉนวนทำจากโพลีไวนีลคลอไลด์
- เคเบิลชนิด XLPE ฉนวนคลอสลิ้งค์โพลีเอธีลีน
- เคเบิลชนิด EPR ฉนวนทำจาก เอธีลีนโปรไพลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เคเบิลชนิด MI ซึ่งมีฉนวนเป็นผงแร่แม็กนีเซียมอ๊อกไซด์หุ้มด้วยเปลือกสายทองแดง

1.4.2 แบ่งตามชนิดของตัวนำ

- ตัวนำทองแดง
- ตัวนำอลูมีเนียม

1.4.3 แบ่งตามลักษณะของตัวนำ

- สายหุ้มฉนวนไม่มีเปลือกสาย
- สายหลายแกน
- สายแกนเดียว

ในการป้อนข้อมูลเพื่อหาผลลัพธ์นั้น ได้เขียนโปรแกรมแยกออกเป็น 2 ทางเลือก ทางหนึ่งคือ ถ้ารู้กระแสใช้งาน ชนิดของฉนวน ชนิดของตัวนำ วิธีการติดตั้ง ฯลฯ โปรแกรมจะคำนวณขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายเคเบิลให้ ภายใต้แรงดันตกคร่อมที่กำหนด ในทางกลับกัน คือ ถ้ารู้ขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายเคเบิล วิธีการติดตั้ง ฯลฯ โปรแกรมก็สามารถตรวจสอบค่าความสามารถในการรับกระแสของสายเคเบิลให้ได้ว่า จะครอบคลุมกระแสใช้งานที่มีอยู่หรือไม่ และถ้าหากว่ากระแสใช้งานมีค่าสูงมาก ๆ ทำให้ขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายเคเบิลมีขนาดใหญ่ ซึ่งถ้าหากใหญ่กว่าค่าที่มีในมาตรฐานในตลาด โปรแกรมก็จะทำการแบ่งสายเคเบิลออกเป็นสายที่อยู่ในมาตรฐานหลาย ๆ เส้นขนานกันโดยต่อกันเป็นสายควบ และจะครอบคลุมค่ากระแสใช้งานได้อย่างเหมาะสม, โปรแกรมสามารถคำนวณหาขนาดแรงดันตกคร่อมพร้อมทั้งคำนวณออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ให้ด้วย หาขนาดตัวนำนิวตรอน ตามอัตราส่วนที่ผู้ออกแบบกำหนดให้เมื่อเทียบกับสายเฟส หาขนาดตัวนำป้องกันที่เหมาะสมให้กับวงจรที่ออกแบบไว้ หาค่าเวลาในการทริบของอุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจร ค่ากระแสสูงสุดของตัวนำป้องกันที่สามารถทนได้ หาค่าการส่งถ่ายพลังงานสูงสุดของสาย หาค่าอุณหภูมิขณะใช้งาน หาค่าความต้านทานของตัวนำที่อุณหภูมิ $20^{\circ}C$ และที่อุณหภูมิขณะใช้งาน นอกจากนี้ผู้ใช้งานยังสามารถปรับปรุงขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายให้สัมพันธ์กับจำนวนตัวนำขนานให้เหมาะสมได้ด้วย.

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา และวิธีดำเนินการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.1 หาข้อมูลเกี่ยวกับสายเคเบิล ทั้งสายแรงสูง แรงต่ำ สายพิเศษ ทั้งจากในและต่างประเทศ เป็นข้อมูลทางด้านคุณลักษณะของสายเคเบิลชนิดต่าง ๆ ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

1.5.2 หากฎและมาตรฐานอ้างอิงให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม และกฎมาตรฐานของประเทศ โดยยึดถือกฎของการไฟฟ้านครหลวงเป็นเกณฑ์ ส่วนมาตรฐานโครงสร้างของสายในประเทศจะใช้มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.11-2531 เป็นเกณฑ์ และมาตรฐานโครงสร้างของสายในต่างประเทศจะใช้มาตรฐานของ IEC

1.5.3 สำรวจหาข้อมูลวิธีการออกแบบกรณีศึกษา และการใช้งานสายเคเบิลของผู้ออกแบบต่าง ๆ เพื่อนำมาเขียนโครงสร้างการใช้งานของโปรแกรมให้เกิดความสะดวกกับผู้ใช้งานให้มากที่สุด

1.5.4 สำรวจปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลกับการเลือกขนาดของสายเคเบิล

1.5.5 หาทฤษฎีรองรับการคำนวณหาค่าคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายเคเบิลทั้งหมด

1.5.6 นำค่าต่าง ๆ ที่หามาได้มาทดสอบโดยการคำนวณด้วยมือ เพื่อให้ได้ค่าอ้างอิง

1.5.7 เขียนผังการทำงานของโปรแกรม , เขียนโปรแกรม และทดสอบโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีการออกแบบ และหลักการทั่วไปของสายเคเบิลกำลัง

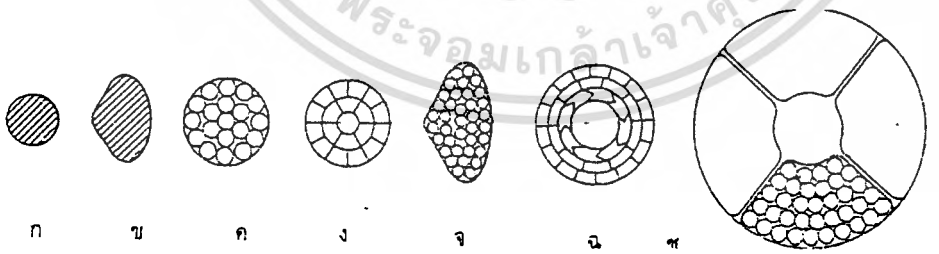
2.1 การออกแบบโครงสร้างของสายเคเบิล

สายเคเบิลมีหน้าที่สำหรับส่งถ่ายพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ สายเคเบิลก็ถูกจัดเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่ประกอบไปด้วยตัวนำไฟฟ้า ฉนวน และเปลือกหุ้ม ในการออกแบบสายเคเบิลให้ใช้กับงานด้านต่างๆ นั้น จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาผลิตเป็นสายเคเบิลเพื่อที่สามารถใช้สายเคเบิลที่ถูกออกแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.1.1 ตัวนำ

ตัวนำของสายเคเบิลต้องทำจากวัสดุตัวนำที่มีความต้านทานไฟฟ้าต่ำ หรืออาจพูดได้ว่ามีความนำไฟฟ้าสูงนั่นเอง ลักษณะของตัวนำอาจจะเป็นตัวนำเดี่ยวตัน (Solid) หรือตัวนำหลายเส้นตีเกลียว(Strand) ซึ่งประกอบไปด้วยตัวนำเล็ก ๆ ตีกันเป็นเกลียว โดยทั่วไปมักนิยมทำด้วยวัสดุทองแดงหรืออลูมิเนียม มีลักษณะกลม หรือเป็นส่วนของวงกลม เช่นเคเบิลน้ำมัน ถ้าตัวนำของสายเคเบิลมีพื้นที่หน้าตัดตั้งแต่ 1,000 mm^2 ขึ้นไป สายตัวนำกลมจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนของวงกลม เพื่อลดปรากฏการณ์ทางผิว และมีรูตรงกลางเพื่อระบายความร้อนด้วยสารหล่อเย็น เช่น น้ำมัน หรือก๊าซ ดังแสดงในภาพที่ 1

ภาพที่ 1



แสดงลักษณะพื้นที่หน้าตัดตัวนำของสายเคเบิลชนิดต่าง ๆ

ก. ตัวนำเส้นเดียวแบบกลมตัน ข. ตัวนำแบบส่วนของวงกลม

ค. ตัวนำแบบกลมหลายเส้น ง. ตัวนำแบบกลมหลายเส้นชนิดหนาแน่น

จ. ตัวนำแบบส่วนของวงกลมหลายเส้น ฉ. ตัวนำแบบกลมหลายเส้นชนิดหนาแน่นและมีรูกลวง

ช. ตัวนำแบบกลมประกอบด้วยส่วนของวงกลมมีรูกลวงใช้กับพื้นที่หน้าหน้าตัดใหญ่ ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทองแดง ทองแดงเป็นโลหะที่มีความนำไฟฟ้าสูงมากมีความแข็งแรงและเหนียว ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี แต่มีข้อเสียคือมีน้ำหนักมากและราคาสูง จึงไม่เหมาะกับงานด้านแรงสูง แต่จะเหมาะกับการใช้งานทั่วไป โดยเฉพาะงานในอาคาร

อลูมิเนียม เป็นโลหะที่มีความนำไฟฟ้าสูงรองจากทองแดงแต่เมื่อเปรียบเทียบในกรณีกระแสเท่ากันแล้ว พบว่าอลูมิเนียมจะมีน้ำหนักเบาและราคาถูกกว่าจึงเหมาะสมกับการใช้งานเดินสายไฟนอกอาคารและแรงดันสูง อลูมิเนียมถ้าทิ้งไว้ในอากาศจะเกิดอ๊อกไซด์ของอลูมิเนียม ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนฟิลม์บาง ๆ เกาะตามผิวช่วยป้องกันการสึกกรอน แต่จะมีข้อเสียคือทำให้การเชื่อมต่อทำได้ยาก

ตารางที่ 1

เปรียบเทียบคุณสมบัติของทองแดงและอลูมิเนียม

คุณสมบัติ	ทองแดง	อลูมิเนียม
ความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์(ทองแดง=100)	100	61
ความต้านทานไฟฟ้าที่20°C ($\Omega m \times 10^{-8}$)	1.724	2.803
สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Per°C $\times 10^{-6}$)	17	23
จุดหลอมเหลว (°C)	1083	659
ความนำความร้อน (W/Cm °C)	3.8	2.4
ความหนาแน่นที่ 20°C (g/Cm^3)	8.89	2.7

2.1.2 ฉนวน

ฉนวนทำหน้าที่เป็นตัวห่อหุ้มตัวนำ เพื่อป้องกันการสัมผัสโดยตรงระหว่างตัวนำกับตัวนำหรือระหว่างตัวนำกับพื้นดิน และป้องกันตัวนำจากผลกระทบทางเคมีและทางกลต่าง ๆได้ ในระหว่างที่ตัวนำนำกระแสไฟฟ้าจะเกิดพลังงานสูญเสียอยู่ในรูปของความร้อน ความร้อนที่เกิดขึ้นจะถ่ายเทไปยังเนื้อฉนวน ซึ่งความสามารถในการทนความร้อนของฉนวนนี้เองจะไปเป็นตัวกำหนดความสามารถในการทนความร้อนของสายเคเบิลได้ด้วย การเลือกฉนวนจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิใช้งาน, ระดับแรงดันของระบบ และสภาพแวดล้อมในการติดตั้ง วัสดุที่นิยมใช้เป็นฉนวน มากที่สุดในขณะนี้ก็คือ Polyvinyl Chlopide (PVC) และ Cross Linked Polyethylene (XLPE) นอกจากนี้ยังมีฉนวนอีกประเภทหนึ่งซึ่งใช้งานกับสถานที่พิเศษ นั่นก็คือสายฉนวนแร่เปลือกโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Mineral Insulated Metal Sheath Cable) ซึ่งฉนวนจะเป็นแร่ Maxnisium Oxide ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป ตารางที่ 2 จะแสดงคุณสมบัติของฉนวน PVC และ XLPE

ตารางที่ 2

แสดงคุณสมบัติของฉนวน PVC และ XLPE

คุณสมบัติ	PVC	XLPE
พิกัดอุณหภูมิสูงสุดขณะใช้งาน (°C)	70	90
พิกัดอุณหภูมิสูงสุดขณะลัดวงจร (°C)	160	250
ค่าคงที่ไดอีเล็กตริก	6	2.4
ความหนาแน่น (g/CM^3)	1.4	0.92
ความนำความร้อน (Cal/Cm.Sec°C)	3.5	8
ความทนทานต่อแรงดึง (kg/mm^2)	2.5	3

จะเห็นว่าฉนวน XLPE มีความแข็งแรง ทนต่อความร้อนและถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าฉนวน PVC ปัจจุบันจึงมีผู้ใช้ฉนวน XLPE เพิ่มมากขึ้น

2.2 ความต้านทานและความเหนี่ยวนำของสายเคเบิล

2.2.1 ความต้านทานไฟฟ้ากระแสสลับ

ความต้านทานไฟฟ้ากระแสสลับของสายตัวนำได้จากค่าความต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง ณ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของตัวนำ เมื่อพิจารณาถึงผลจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงตามรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าสลับที่ไหลในตัวนำ ทำให้กระแสไฟฟ้ามีความหนาแน่นมากที่ผิวตัวนำและตรงแกนกลางตัวนำจะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลเลย โดยเฉพาะกับตัวนำขนาดพื้นที่หน้าตัดโต ๆ ($>185mm^2$) จะเห็นได้ชัด ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า "ปรากฏการณ์ทางผิว"(Skin Effect) นอกจากนั้น จากลักษณะการติดตั้งสายเคเบิลหลาย ๆ เส้น จะมีระยะต่างระหว่างสายเคเบิล แต่ละเส้นน้อยมากดังนั้นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลในตวนำของสายเคเบิลเส้นที่อยู่ข้างเคียงก็จะมีผลต่อการไหลของกระแสไฟฟ้าในตัวนำสายเคเบิลที่อยู่ใกล้เคียงเช่นกันเรียกว่า "ปรากฏการณ์ความใกล้ชิด"(Proximity Effect)

จากปรากฏการณ์ทั้งสองดังกล่าว ย่อมทำให้สายตัวนำเมื่อใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับมีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงกว่าการใช้กับไฟฟ้ากระแสตรงดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_{(ac)} = R_{(20^oC)} \cdot Y_S \cdot Y_P \qquad (2.2.1)$$

$R_{(ac)}$: ความต้านทานไฟฟ้ากระแสสลับต่อหน่วยความยาวที่อุณหภูมิ 20° C

$R'_{(20^\circ C)}$: ความต้านทานไฟฟ้ากระแสตรงต่อหน่วยความยาวที่อุณหภูมิ 20 ° C

Y_S : เป็นตัวประกอบปรากฏการณ์ทางผิว (Skin Effect)

Y_P : เป็นตัวประกอบปรากฏการณ์ความใกล้ชิด (Proximity Effect)

ความต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง $R'_{(20^\circ C)}$ ของสายตัวนำขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำตัวนำ และแปรผกผันกับพื้นที่หน้าตัดของตัวนำ จาก

$$R'_{(20^\circ C)} = \frac{\rho}{S} \qquad (2.2.2)$$

เมื่อ ρ = ค่าความต้านทานจำเพาะของตัวนำที่อุณหภูมิ 20° C

$= \frac{1}{54} \left(\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}\right)$ สำหรับทองแดง

$= \frac{1}{34} \left(\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}\right)$ สำหรับอลูมิเนียม

S = พื้นที่หน้าตัดของตัวนำ หน่วยเป็น [mm^2]

ถ้าอุณหภูมิขณะใช้งานของตัวนำหรืออุณหภูมิที่อยู่รอบ ๆ ตัวนำไม่ใช่ 20°C แล้ว ค่าความต้านทานไฟฟ้ากระแสตรงจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ โดยขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานต่ออุณหภูมิของวัสดุตัวนำ α และเป็นเหตุให้ความต้านทานไฟฟ้ากระแสสลับเปลี่ยนแปลงไปด้วยดังนี้ :-

$$R_t = R'_{(20\ ^oC)}[1 + \alpha(t - 20^oC)] \cdot Y_S \cdot Y_P \qquad (2.2.3)$$

เมื่อ R_t = ความต้านทานกระแสสลับที่อุณหภูมิใด ๆ

α = สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานต่ออุณหภูมิของตัวนำ

= 0.003931 ; สำหรับทองแดง

= 0.004031 ; สำหรับอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ความเหนี่ยวนำ

ค่าความเหนี่ยวนำของสายเคเบิลขึ้นอยู่กับ

- เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ
- ระยะห่างระหว่างตัวนำ
- ลักษณะการตีเกลียว

ค่าความเหนี่ยวนำ (L) สามารถหาได้จากสูตร

$$L = 0.46 Log_{10} \frac{2S}{d} + K \quad [\frac{H}{m}] \qquad (2.2.4)$$

เมื่อ S = ระยะระหว่างตัวนำ[mm]

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ [mm]

k = ค่าคงที่ของการตีเกลียว (stranding)

0.075 สำหรับ 3 เกลียว

0.064 สำหรับ 7 เกลียว

0.056 สำหรับ 19 เกลียว

0.053 สำหรับ 37 และ 61 เกลียว

0.052 สำหรับ 91 และ 127 เกลียว

0.05 สำหรับ สายตัน (Solid)

สำหรับสาย 2 แกนหรือ 3 แกน ค่าความเหนี่ยวนำที่ได้จากสูตรข้างต้นควรนำมาคูณด้วย 1.02

ค่ารีแอ็คแตนซ์ (X_L) ขึ้นอยู่กับ

- ค่าความเหนี่ยวนำของตัวเองและค่าความเหนียวนำร่วม
- ความถี่ของระบบ

ค่ารีแอ็คแตนซ์ หาได้จากสูตร

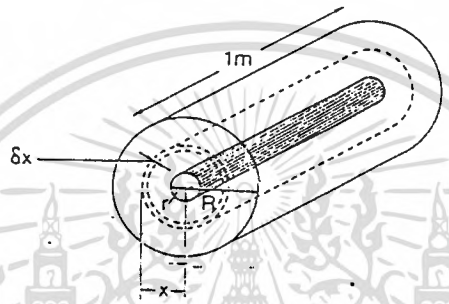
$$X_L = 2\pi fL \quad (\frac{\Omega}{m}) \qquad (2.2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ความต้านทานฉนวน (Insulation Resistance)

ความต้านทานฉนวน คือความต้านทานที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสตรงไหลผ่านไดอีเล็กทริค ระหว่างอีเล็กโทรด 2 ขั้ว ขั้วหนึ่งคือตัวนำไฟฟ้าบนสายเคเบิลเอง อีกขั้วหนึ่งทำให้เกิดความต้านทานฉนวนระหว่างตัวนำกับสายดิน, เปลือกโลหะ, เสื้อโลหะ หรือตัวนำข้างเคียง

ภาพที่ 2



แสดงการคำนวณค่าความต้านทานฉนวนของสายตัวนำหุ้มฉนวน

พิจารณาความยาวสาย 1 หน่วย ของสายแกนเดียว ซึ่งมีรัศมีของตัวนำ r และรัศมีด้านนอกของฉนวน R ดังภาพที่ 2.2 ความหนาของพื้นผิววงแหวน 5X ที่รัศมี X คือ $2\pi X$ เท่าของหน่วยความยาว ค่าความต้านทานฉนวน D_R ของวงแหวนนี้หาได้โดย

$$D_R = \frac{\rho \delta x}{2\pi x} \quad [\Omega] \qquad (2.3.1)$$

เมื่อ ρ = ค่าความต้านทานจำเพาะ [Ω m]

ดังนั้น ค่าความต้านทานฉนวนของรัศมีความหนา R - r ที่ความยาว 1 เมตร คือ

$$D_R = \frac{\rho}{2\pi} \int_r^R \frac{dx}{x} \quad [\Omega] \qquad (2.3.2)$$

จะได้ $$D_R = \frac{\rho}{2\pi} ln \frac{R}{r} \quad [\Omega]$$

สำหรับความยาวสาย l เมตร จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D_R = \frac{\rho}{2\pi l} ln \frac{R}{r} \quad [\Omega] \quad (2.3.3)$$

ที่อุณหภูมิ t จะได้

$$D_R = \frac{\rho_{20}}{2\pi l} e^{(-\alpha t)} ln \frac{R}{r} \quad [\Omega] \quad (2.3.4)$$

เมื่อ ρ_{20} = ความต้านทานจำเพาะที่ 20°C

α = สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานต่อองศาเซลเซียสที่ 20°C

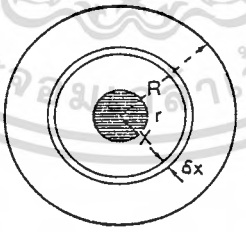
t = อุณหภูมิ (°C)

2.4 ความจุไฟฟ้า (Capacitance)

2.4.1 ความจุไฟฟ้าของสายแกนเดียว

ในกรณีของสายส่งแรงดันสูงโดยทั่วไปจะมีเปลือกโลหะที่ทำหน้าที่เป็นสายดินอยู่ด้วย สนามไฟฟ้าของสายแกนเดียวจึงเกิดขึ้นระหว่างตัวนำของเปลือกสายดังกล่าวในแนวรัศมี

ภาพที่ 3



ภาพตัดขวางของสายเคเบิลแสดงที่มาของความจุไฟฟ้า

พิจารณาสายแกนเดียว ผิวตัวนำเรียบ รัศมี r (m) โดยมีรัศมีของเปลือกสายด้านใน R (m) ดังในภาพที่ 2.3 สมมุติว่า ตัวนำมีประจุ q (coulomb / m) , แล้วมีปลั๊กไฟฟ้าพุ่งออกมาจากตัวนำในแนวรัศมี กำหนดให้ความหนาแน่นของปลั๊กที่รัศมี X (m) จากจุดศูนย์กลางของตัวนำ คือ

$$D_x = \frac{q}{2\pi x} \quad (\text{coulomb} / \text{m}^2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเข้าสนามไฟฟ้าที่รัศมี x คือ

$$E_x = \frac{D_x}{\varepsilon_0 \varepsilon_r}$$

$$= \frac{q}{2\pi x \varepsilon_0 \varepsilon_r} \qquad (2.4.1)$$

เมื่อ ε_0 = ค่าเพอมิตติวิตี้ของสูญญากาศ , $\frac{10^{-9}}{36\pi}$

ε_r = ค่าเพอมิตติวิตี้สัมพันธ์ของฉนวน

งานที่ได้เคลื่อนประจุบวกหนึ่งหน่วยให้เคลื่อนที่ในระยะ dx ในสนามไฟฟ้า E คือ

$$dw = -Edx$$

เปลี่ยนรูปเป็นศักดาไฟฟ้าในแนว dx จะได้

$$dv = -Edx$$

ดังนั้นงานที่ใช้เคลื่อนที่ประจุบวกขนาด 1 หน่วย จากผิวตัวนำไปยังพื้นผิวด้านนอกของฉนวน กำหนดได้โดย

$$V = -\int_R^r E dx$$

$$= -\frac{q}{2\pi x \varepsilon_0 \varepsilon_r} \int_R^r \frac{dx}{x}$$

$$= -\frac{q}{2\pi x \varepsilon_0 \varepsilon_r} ln \frac{R}{r} \quad [V] \qquad (2.4.2)$$

ค่าความจุไฟฟ้าของสายเคเบิลต่อความยาว 1 เมตร กำหนดโดย

$$C = \frac{q}{v}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}{\ln(R/r)} \quad \text{(F/m)}$$

$$= \frac{2\pi\varepsilon_r * 10^{-9}}{36\pi \ln(R/r)} \quad \text{(F/m)}$$

หรือ $C = \frac{\varepsilon_r}{18\ln(D/d)}$ (μF/km) (2.4.3)

เมื่อ D = เส้นผ่านศูนย์กลางของสายถึงด้านนอกของฉนวน(m)

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำ (m)

ε_r = ค่าเพอมิตติวิตี้สัมพัทธ์

ค่าเพอมิตติวิตี้สัมพัทธ์ คือ คุณลักษณะของวัสดุฉนวนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความถี่ของระบบ โดยที่ค่าความถี่ไฟฟ้าและอุณหภูมิขณะทำงานปกติจะมีผลน้อยมาก สามารถละทิ้งได้ในการคำนวณทางวิศวกรรม

2.4.2 ความจุไฟฟ้าของเบลท์เคเบิล 3 แกน

สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าความจุไฟฟ้าของเบลท์เคเบิลสามารถประมาณค่าได้โดยใช้สมการ(2.4.3) โดยเป็นการประมาณค่าความจุระหว่างตัวนำกับตัวนำอื่น ๆ ที่ผูกติดกับเปลือกสายตะกั่ว เมื่อให้ D เป็น

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำ + ความหนาแน่นของฉนวนระหว่างตัวนำ + ความหนาแน่นของฉนวนระหว่างตัวนำใดๆและเปลือกโลหะ

ตัวแปรของความจุไฟฟ้าอื่น ๆ ของเบลท์เคเบิล สามารถหาค่าประมาณได้โดยใช้สมการที่ 2.4.3 กับตัวประกอบการคูณต่อไปนี้

C_1 = 1.2 C = ความจุสมดุลย์แบบสตาร์ (ความจุถึงศูนย์กลาง)

C_2 = 0.6 C = ความจุระหว่างตัวนำถึงตัวนำ(ตัวนำอื่น ๆ ,เปลือกสายอิสระ)

C_3 = 1.8 C = ความจุของตัวนำทั้งหมด(พวง) กับเปลือกสาย

2.5 ตัวประกอบกำลังไดอีเล็กทริก (Dielectric Loss Angle)

สายเคเบิลที่ใช้กับแรงดันขนาด 33 Kv ขึ้นไป จะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า Dielectric มีค่าต่ำมาก ซึ่งแสดงเป็นอัตราส่วนได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Dielectric power factor} = \frac{loss\ in\ dielectric}{Volt \cdot Amps} \quad \text{[Watt]}$$

ในภาพที่ 4 เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าไปยังสายเคเบิลที่มีค่า Dielectric สมบูรณ์ ประจุกระแส I_c จะไหลนำหน้าแรงดันเป็นมุม 90 องศา และใน ไดอีเล็กทริกที่สมบูรณ์แบบนี้จะไม่มีองค์ประกอบของกระแสอยู่ในเฟสของแรงดัน U(ให้ดูเรื่องค่าที่ทำให้ความสูญเสียของไดอิเลกทริกในหัวข้อต่อไป) ซึ่งกระแสนี้เองเป็นสาเหตุของค่าความสูญเสีย I_RU ในไดอิเลคทริคซึ่งจะอยู่ในรูปของความร้อน ค่าความสูญเสียในไดอิเลคทริคสามารถเขียน อยู่ในรูปของ Cosine ของมุมระหว่างผลของกระแส I_t กับแรงดัน U ดังนี้

$$I_t = (I_R^2 + I_C^2)^{1/2}$$

$$I_R\ U = I_t\ U\cos\theta$$

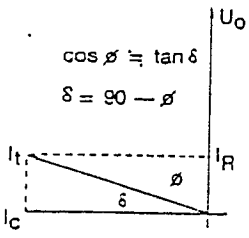
และ $$\text{Cos}\ \theta = \frac{I_R}{(I_R{}^2 + i_C{}^2)^{1/2}}$$

เมื่อมุม θ เข้าใกล้ 90° ค่า cosθ จะประมาณเท่ากับ tan (90-θ) หรือ tanδ (เมื่อδ เท่ากับ 90-θ) และค่าตัวประกอบกำลัง ไดอีเลกทริก ของสายเคเบิลมักจะอยู่ในรูปของ tanδ เมื่อ δ เป็นที่รู้จักในนามของ Dielectric Loss Angle (DLA)

ค่าความสูญเสียของไดอิเลคทริคสามารถเขียนได้ดังนี้

$$D = 2\pi f C U_O{}^2 \tan\delta \cdot 10^{-6} \quad \text{(Watt/Km Per Phase)}$$

ภาพที่ 4



แสดงเวคเตอร์ไดอะแกรมของ Dielectric Loss Angle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้จากสมการว่า ในการออกแบบสายเคเบิลนั้น ค่าความถี่ , ความจุไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าจะถูกทำให้คงที่ และ ค่า Dielectric Loss Angle ต้องถูกรักษาระดับให้ต่ำที่สุดเพื่อให้ค่าความสูญเสียไดอีเลกทริกต่ำตามต้องการ

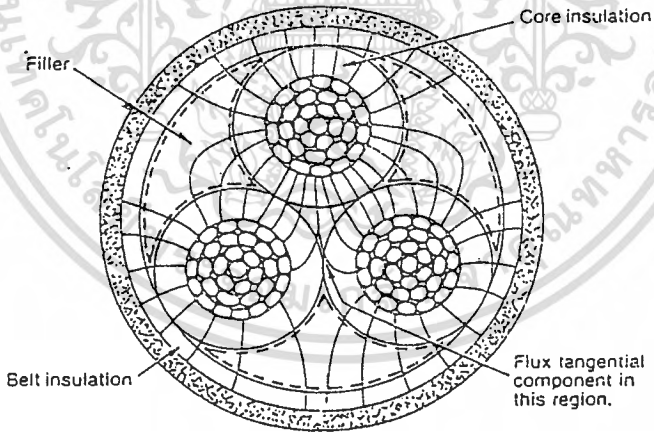
2.6 การคำนวณค่าการกระจายความเครียดไฟฟ้า (Electrical stress Distribution)

การกระจายเส้นแรงไฟฟ้าในสายเคเบิลกระแสสลับชนิดคาด ฉนวน (Belted cable insulation) มีความซับซ้อนมากดังแสดงในภาพที่ 5 ค่าความเครียดสูงสุดจะอยู่ที่บริเวณผิวของตัวนำกระจายผ่านออกมายังฉนวน และค่อย ๆ ลดลงตามระยะทางที่วัดจากผิวของตัวนำ

การกระจายความเครียดไฟฟ้ากระแสสลับในสายแกนเดียวและหลายแกน

ผลของสายตีเกลียวของตัวนำเปลือยทำให้ค่าการกระจายความเครียดรอบ ๆ ตัวนำมีความไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากผิวที่ค่อนข้างไม่เรียบจากการตีเกลียว สายตัวนำ แต่มีผลน้อยมากสามารถตัดผลกระทบนี้ออกไปได้

ภาพที่ 5

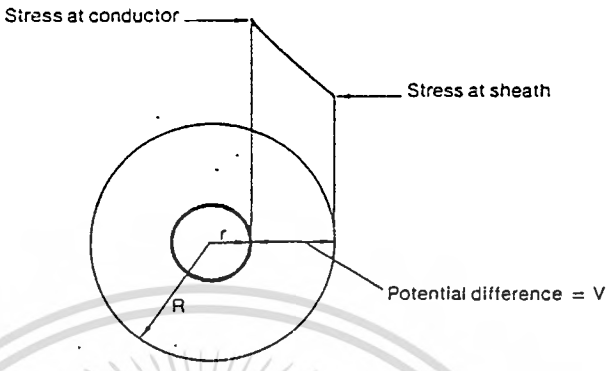


แสดงการกระจายฟลั๊กไฟฟ้าภายในเบลท์เคเบิล

พิจารณากรณีของสายตัวนำที่มีตัวห่อหุ้มประกอบด้วย ความจุไฟฟ้าทรงกระบอกกลมโดยมีตัวนำเป็นขั้วอิเล็กโทรดด้านใน และตัวห่อหุ้มตัวนำเป็นขั้วอีเล็กโทรดภายนอก โดยสมมุติให้อยู่ในค่า เพอมิตติวิตี้ เดียวกัน การกระจายความเครียดไฟฟ้าจะแผ่รัศมีความโค้งทางตามความโค้งของแกนตัวนำ จากภาพที่ 6 จะเห็นได้ว่าค่าสูงสุด จะอยู่ที่ผิวของตัวนำและจะลดลงตามเส้นโค้ง hyperbolic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 6



ความเครียดสนามไฟฟ้าสถิตในสายเคเบิลแกนเดียว

โดยการใช้สัญญลักษณ์เดิม ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อก่อนหน้านี้จะได้

r = รัศมีของตัวนำ (m)

R = รัศมีด้านในของเปลือกสาย (m)

ε_0 = ค่าเพอมิตติวิตี้ของสูญญากาศ

ε_r = ค่าเพอมิตติวิตี้สัมพันธ์ของไดอิเลคทริค

V = ศักดาไฟฟ้าของตัวนำที่สัมพันธ์ กับ เปลือกสาย (V)

q = ประจุไฟฟ้า (คูลอมบ์ / เมตร)

จากสมการ (2.4.2)

$$V = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}\ln\left(\frac{R}{r}\right) \quad (V)$$

จะได้

$$\frac{q}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r} = \frac{V}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)}$$

ความเครียดสนามไฟฟ้าอาจคำนวณได้จากสมการ (2.4.1) ซึ่งแสดงค่าความเข้มสนามไฟฟ้า E_x ที่รัศมี X คือ

$$Ex = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะได้ความเครียดที่รัศมี X เป็น

$$E_x = \frac{V}{x \ln\left(\frac{R}{r}\right)} \quad \text{(MV/m)} \qquad (2.6.1)$$

และสามารถแบ่งเป็นย่านได้เป็น

$$\text{ค่าสูงสุด} = \frac{V}{r \ln\left(\frac{R}{r}\right)} \quad \text{ที่ผิวของตัวนำ}$$

$$\text{ค่าต่ำสุด} = \frac{V}{R \ln\left(\frac{R}{r}\right)} \quad \text{ที่ผิวของเปลือกสายด้านใน}$$

จากสมการที่ได้ จะทำให้สามารถพิจารณาความเครียดในลักษณะต่าง ๆ ได้ดังนี้ :

ความเครียดสนามไฟฟ้าที่ผิวของตัวนำ

จากสมการการคำนวณค่าการกระจายความเครียดไฟฟ้าข้างบน เราสมมุติให้ผิวของตัวนำเรียบ แต่ผลของการตีเกลียวสายตัวนำเมื่อถูกนำมาใช้กับแรงดันสูงจะต้องพึงระวังเพราะจะมีผลต่อค่าความเครียดสนามไฟฟ้า ดังนั้นจึงควรใช้แผ่นตะกั่ว หรือ เซมิคอนดักติ้งเทปพันรอบสายตัวนำตีเกลียวเพื่อให้ผิวของตัวนำเรียบ จะช่วยลดค่าความเครียดสนามไฟฟ้าได้

ความเครียดสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามขนาดของตัวนำ

จากสมการ 2.6.1 เป็นสมการสำหรับความเครียเของสายเคเบิลที่แสดงความเครียดสูงสุดที่ผิวของตัวนำ สมการอาจถูกปรับปรุงให้อยู่ในรูปอื่นที่แสดงสัดส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำด้านนอกและ ฉนวนด้านนอก และจากนี้ไป เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำจุดที่ให้ความเครียดต่ำสุดที่ผิวตัวนำ สำหรับแรงดันและเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของฉนวนที่เจาะจง จะได้

$$E_x = \frac{V}{r \ln\left(\frac{R}{r}\right)}$$

ค่าความเครียดต่ำสุดที่ตัวนำ สำหรับค่าคงที่ V และ R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{dE_r}{dr} = 0$$

จะได้ $$\frac{d}{dr}\left[\frac{V}{r\ln\left(\frac{R}{r}\right)}\right] = 0$$

$$\frac{d}{dr}\left[\frac{V}{r\ln R - r\ln r}\right] = 0$$

$$\frac{-V(\ln R - \ln r - 1)}{(r\ln R - r\ln r)^2} = 0$$

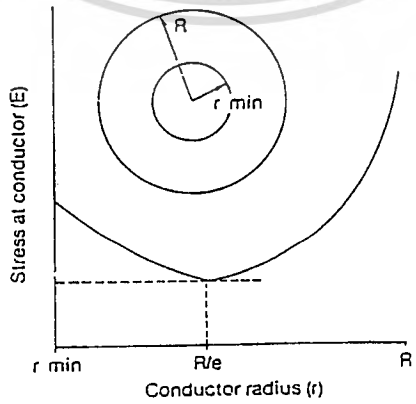
ดังนั้นจะได้ $$\ln R - \ln r - 1 = 0$$

$$\ln\left(\frac{R}{r}\right) = 1$$

และ $$\frac{R}{r} = e$$

ค่าความเครียดที่บริเวณตัวนำที่น้อยที่สุด จะอยู่ที่สัดส่วนของ R/r = e และเมื่อแทนค่านี้ลงในสมการความเครียด จะเห็นว่าค่าความเครียด คือ V/r ดังแสดงในภาพที่ 7

ภาพที่ 7



แสดงความเครียดสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนตามรัศมีของตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 แหล่งกำเนิดความสูญเสียทางไฟฟ้า (Sources of Electrical Losses)

สายเคเบิลกำลังแบบพื้นฐานจะประกอบด้วยส่วนประกอบพื้นฐาน 3 ส่วน คือ ตัวนำ , ไดอิเลคทริค และเปลือกสายภายนอก เมื่อเคเบิลถูกส่งผ่านพลังงานไปยังโหลด จะเกิดความสูญเสียซึ่งอยู่ในรูปของความร้อนกระจายรอบ ๆ สายเคเบิล ซึ่งเป็นสาเหตุที่ใช้เป็นตัวกำหนดค่าความสามารถในการรับกระแสของสายเคเบิลซึ่งจะได้กล่าวในบทที่ 4

2.7.1 ความสูญเสียของตัวนำ (Conductor Losses)

ความสูญเสียที่เกิดจากตัวนำนั้นเนื่องมาจากความต้านทานของตัวนำ นั่นคือ

$$nI^2R_t \qquad \text{[Watt]}$$

เมื่อ I = กระแสที่ไหลผ่านตัวนำ [A]

R_t = ค่าความต้านทานของตัวนำที่ t °C [Ω]

n = จำนวนแกนของตัวนำ

ในกรณีที่สายเคเบิลถูกนำไปส่งกระแสไฟฟ้าสลับสูง ๆ , การกระจายของกระแสผ่านตัวนำแต่ละเส้นจะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับผลของปรากฏการณ์ทางผิว (Skin effect) และปรากฏการณ์ความใกล้ชิด (proximity effect) ที่สัมพันธ์ กับค่าความต้านทานไฟฟ้ากระแสสลับ (a.c.)

2.7.2 ความสูญเสียไดอิเลคทริค (Dielectric Loss)

ค่าความสูญเสียไดอิเลคทริคของสายเคเบิลกระแสสลับ จะเป็นสัดส่วนตรงกับค่าความจุไฟฟ้า , ความถี่ , แรงดันเฟส และตัวประกอบกำลังหรือ เพาเวอร์แฟคเตอร์ ดังสมการ

$$D = \omega C U_o^2 \tan\delta \cdot 10^{-6} \qquad \text{(watt/km/phase)}$$

เมื่อ ω = 2π คูณด้วยความถี่ของระบบ

C = ค่าความจุไฟฟ้า (μF / km)

U_o = แรงดันเฟสถึงนิวทรอล (V)

tanδ = ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าไดอิเลกทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบที่ทำให้เกิดการสูญเสียของตัวประกอบกำลังไฟฟ้าประกอบด้วย

(ก) กระแสรั่วไหลที่ไหลผ่านไดอีเลกทริก ซึ่งไม่ขึ้นอยู่กับความถี่และเกิดขึ้นได้บ่อยครั้งทั้งแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับหรือกระแสตรง

(ข) ไดอีเลกทริกอีสเทอรีสีส เป็นผลกว้าง ๆ ที่เกิดจากการกระทำระหว่างกันของสนามไฟฟ้ากระแสสลับด้วยโมเลกุล ที่เป็นส่วนประกอบของฉนวน และเกิดขึ้นกับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้น

(ค) ไอโอไนเซชั่น หรือ พาเชียลดิสชาร์จในไดอิเลคทริค

ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของฉนวนของสายเคเบิลจะขึ้นกับความถี่ , อุณหภูมิ และแรงดันใช้งาน เมื่อเทียบค่าความสูญเสียของไดอิเลคทริค กับตัวนำ แล้วจะน้อยมาก แต่จะมีความสำคัญมากเมื่อนำมาพิจารณาในเรื่องความสามารถในการรับกระแสของสายเคเบิล

2.7.3 ความสูญเสียของเปลือกสาย (Sheath Loss)

เมื่อมีกระแสไฟสลับไหลผ่านสายเคเบิลแกนเดียว สนามแม่เหล็กซึ่งสัมพันธ์กับขนาดของกระแสจะเหนี่ยวนำ emf ในเปลือกสาย ของเคเบิลรอบ ๆ สายเคเบิล ดังนั้น ความสูญเสียของเปลือกสาย 2 ชนิด จึงสามารถหาได้ จาก emfs ดังต่อไปนี้ :-

กระแสไหลวนในเปลือกสาย (Sheath eddy currents)

กระแสไหลวนถูกเหนี่ยวนำโดยกระแสที่ไหลในสายเคเบิลที่อยู่ใกล้กับเปลือกสาย พิจารณาวงจรไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยสายเคเบิล R , Y และ B เส้นแรงไฟฟ้าของเคเบิล Y และ B จะตัดกับเปลือกสายของเคเบิล R และเส้นแรงไฟฟ้าที่ตัดกับส่วนของเปลือกสายเคเบิล R จะใกล้กับ Y และ B มากกว่าส่วนที่ไกลจาก Y และ B ดังนั้นผลของ emf จึงถูกเหนี่ยวนำเนื่องจากกระแสไหลวนที่ไหลผ่าน ด้านหนึ่งของเปลือกสายย้อนกลับมายังอีกด้านหนึ่งของเปลือกสาย

ผลรวมของกระแสที่ไหลในหน้าตัดของเปลือกสายจะเป็นศูนย์ซึ่งกระแสไหลวนนี้จะไม่ขึ้นกับชนิดของเปลือกสายที่ผูกติดกันซึ่งทำให้ลดระยะระหว่างสายเคเบิลทั้งหลาย

ความสูญเสียของเปลือกสายเนื่องจากกระแสไหลวนกำหนดได้ด้วยสูตร

$$S_e = I^2\left[\frac{3\omega^2}{R_s}\left(\frac{dm}{2S}\right)^2 \cdot 10^{-8}\right] \quad \text{Watt/Km per Phase}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ S_e = ความสูญเสียของเปลือกสายเนื่องจากกระแสไหลวน

I = กระแส [A]

= 2π คูณด้วยความถี่ของระบบ

d_m = เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเลขคณิตของเปลือกสาย (m)

S = ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของสายเคเบิล

R_S = ความต้านทานของเปลือกสาย (Ω/km)

สำหรับสายแกนเดียวเปลือกสายตะกั่ว ค่าความสูญเสียเหล่านี้ปกติแล้วจะมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับค่าความสูญเสียของตัวนำ แต่จะถูกพิจารณามากขึ้นด้วยสายเคเบิลเปลือกอลูมิเนียมที่วางใกล้กัน

ความสูญเสียของวงจรเปลือกสาย (Sheath Current Loss)

เมื่อเปลือกสายของสายเคเบิลแกนเดียวถูกมัดรวมกันกับกราวด์หรือเปลือกสายอื่น ๆ มากกว่า 1 จุด กระแสจะไหลในเปลือกสายจะเกิดจาก emf ที่ถูกเหนี่ยวนำด้วยตัวนำไฟฟ้ากระแสสลับ เรียกว่า "Transformer action" หรือปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เพราะว่าเปลือกสายและส่วนย้อนกลับซึ่งผูกไว้ที่ปลายของเปลือกสายแต่ละเส้นเป็นลูปปิด ซึ่งมีเส้นแม่เหล็ก ที่เกิดจากกระแสที่ไหลผ่านตัวนำตัดผ่านขนาดของเส้นแรงแม่เหล็ก ที่ตัดกับเปลือกสายจะขึ้นอยู่กับ ขนาดของลูปย้อนกลับและขึ้นอยู่กับระยะระหว่างสายเคเบิลด้วยกันหรือระหว่างเปลือกสายกับส่วนย้อนกลับเฉลี่ย ซึ่งมีกระแสไหลผ่านไปยังพื้นดิน

แรงดันที่ถูกเหนี่ยวนำในเปลือกสายกำหนดได้โดย

$$E_S = I \cdot X_m$$

เมื่อ I = กระแสที่ไหลผ่านตัวนำ [A]

$X_m = 2\pi f M \cdot 10^{-3}$ [Ω]

ค่าความเหนี่ยวนำร่วม M ระหว่างตัวนำและเปลือกสายกำหนดได้โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$M = 0.2\ln(\frac{2S}{dm}) \qquad \text{[mH/km]}$$

ค่าอิมพีแดนซ์ของเปลือกสาย Z_s (ต่อกิโลเมตร) กำหนดได้โดย

$$Z_s = (R_s^2 + X_m^2)^{1/2}$$

เมื่อ R_s คือความต้านทานเปลือกสาย (Ω/km)
ดังนั้นจะได้กระแสในเปลือกสายเป็น

$$I_S = \frac{E_s}{(R_s^2 + X_m^2)^{1/2}}$$
$$= \frac{IX_m}{(R_s^2 + X_m^2)^{1/2}}$$

ความสูญเสียของเปลือกสายต่อเฟสกำหนดได้ดังนี้

$$I_s^2 R_S = \frac{I^2 X_m^2 R_S}{R_s^2 + X_m^2} \qquad \text{[watt/km]}$$

ดังนั้นความสูญเสียรวมของเปลือกสาย เมื่อรวมความสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนบวกกับความสูญเสียเนื่องจากวงจรของเปลือกสายจะได้

$$I_s^2 R_S \left\{ \frac{X_m^2}{R_s^2 + X_m^2} + \left[\frac{3\omega^2}{R_s^2} (\frac{dm}{2S})^2 * 10^{-8} \right] \right\}$$

ความร้อนที่ให้กำเนิดโดยความสูญเสียของตัวนำ , ไดอิเลคทริค , เปลือกสาย และเกราะป้องกันสายจะกระจายอยู่รอบ ๆ สายเคเบิล ซึ่งอาจจะเป็นพื้นดิน , อากาศ , น้ำ หรือวัตถุต่าง ๆ โดยที่ความสามารถในการรับกระแสปกติจะถูกกำหนดโดยอุณหภูมิสูงสุดของตัวนำและองค์ประกอบของสายเคเบิลอื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีความต้องการทางไฟฟ้าบางค่าที่มีผลต่อการกระจายความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ความต้านทาน ความร้อนของดิน (ในกรณีวางเคเบิลไว้ใต้ดิน) โดยรายละเอียดของความสามารถในการรับกระแสสามารถดูได้ในบทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การแยกประเภทของสายเคเบิลตามลักษณะของงาน

ในการเลือกใช้สายเคเบิลนั้นควรต้องคำนึงถึงลักษณะการใช้งานเป็นสำคัญ เนื่องจากสายเคเบิลนั้นมีหลายประเภท แต่ละประเภทนั้นได้ถูกออกแบบมาอย่างเหมาะสมกับงานด้านต่าง ๆ เราจึงแบ่งประเภทของสายเคเบิลตามลักษณะของงานได้เป็น 2 แบบ คือ

3.1 สายเคเบิลที่ใช้กับสถานที่ปกติทั่วไป

สถานที่ปกติทั่วไปในที่นี้จะหมายถึงสถานที่ที่พบเห็นได้โดยทั่วไป ไม่มีข้อจำกัดหรือข้อหวงห้ามพิเศษใดๆ ที่จะเป็นอันตรายต่อบุคคลทั่ว ๆ ไป ดังนั้นสายเคเบิลสำหรับสถานที่ปกติจึงไม่สามารถใช้ได้กับอาคารบ้านเรือน โรงงานอุตสาหกรรมในส่วนที่ไม่เป็นอันตรายเนื่องจากสารเคมี, เปลวไฟ , ความร้อน และความเสี่ยงด้านอื่น ๆ สายเคเบิลประเภทนี้จึงมีคุณสมบัติของฉนวนที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมปกติได้ดีโดยไม่เสื่อมคุณภาพตามสภาพแวดล้อมดังกล่าวโดยง่ายจึงสามารถแบ่งแยกสายเคเบิลประเภทนี้ตามพิกัดแรงดันได้เป็น 2 ชนิด

3.1.1 สายเคเบิลแรงสูง (High voltage Cable)

สายเคเบิลที่ใช้กับระบบไฟฟ้าแรงสูงเป็นสายที่มีขนาดใหญ่ในลักษณะตัวนำเกลียว สายเคเบิลแรงสูงยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

- สายเปลือย (Bare Cables)
- สายหุ้มฉนวน (Insulated Cables)

สายเปลือย (Bare Cable)

เป็นสายที่ไม่มีเปลือกฉนวนหุ้มสาย ถ้าหากนำไปใช้กับระบบจำหน่ายแรงดันต่ำจะไม่ปลอดภัย จึงใช้สายชนิดนี้กับงานแรงดันสูงระดับ 11 kV ขึ้นไป สายเปลือยที่นิยมใช้ในงานแรงดันสูงมักจะทำมาจากอลูมิเนียม เพราะมีน้ำหนักเบา และราคาถูก แต่สายอลูมิเนียมล้วน จะสามารถรับแรงดันได้ต่ำ จึงมีการพัฒนาเพื่อให้สามารถรับแรงดันได้สูงขึ้น โดยการเสริมแกนเหล็ก หรือ ใช้โลหะอื่นผสม สายเปลือยที่นิยมใช้ในปัจจุบันได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สายอลูมิเนียมตีเกลียวเปลือย (AAC)
- สายอลูมิเนียมผสม (AAAC)
- สายอลูมิเนียมแกนเหล็ก (ACSR)

- สายอลูมีเนียมตีเกลียวเปลือย (AAC-All Alumunium Conductor)

เป็นตัวนำอลูมิเนียมพันตีเกลียวเป็นชั้น ๆ สายชนิดนี้รับแรงดันได้ต่ำ จึงไม่สามารถขึงสายให้มีระยะห่างช่วงเสา (span) มาก ๆ ได้ โดยปกติความยาวช่วงเสาต้องไม่เกิน 50 m. ยกเว้นสายที่มีขนาด 95 mm ขึ้นไปนั้น สามารถที่จะมีระยะห่างช่วงเสาได้ไม่เกิน 100 m. ลักษณะของสายชนิดนี้จะแสดงในภาพที่ 8

ภาพที่ 8

แสดงสายเคเบิลชนิด AAC

- สายอลูมิเนียมผสม (AAAC - All Aluminium Aloy conductor)

สายชนิดนี้มีส่วนผสมของอลูมิเนียม แม็กนีเซียม และ ซิลิคอน สายชนิดนี้ จะมีความเหนียว และรับแรงดึงได้สูงกว่าสายอลูมิเนียมล้วน จึงสามารถขึงสายให้มีระยะห่างช่วงเสาได้มากขึ้น นิยมใช้เดินสายบริเวณชายทะเล เพราะสามารถทนต่อการกัดกร่อนของไอเกลือบริเวณชายทะเลได้ดี

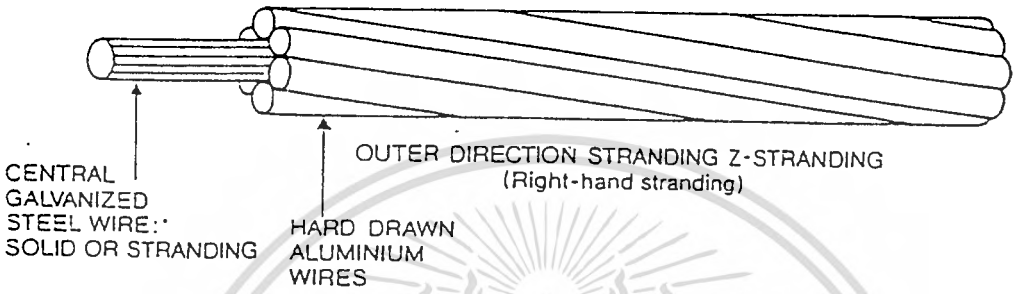
- สายอลูมิเนียมแกนเหล็ก (ACSR - Aluminium Conductor steel Reinforced)

เป็นสายอลูมิเนียมตีเกลียวและมีสายเหล็กอยู่ตรงกลาง เพื่อให้สามารถรับแรงดึงได้สูงขึ้น ทำให้ขยายระยะห่างระหว่างเสาได้มากขึ้น แต่จะไม่ใช้สายชนิดนี้ในบริเวณชายทะเล เพราะว่าจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดการกัดกร่อนจากไอเกลือ ทำให้อายุการใช้งานสั้นลง ลักษณะของสายชนิดนี้จะแสดงอยู่ใน ภาพที่ 9

ภาพที่ 9



Conductor : Hard drawn aluminium wires
sizes 16 mm^2 up to 680 mm^2

Steel core : Galvanized steel (Zinc coated), solid or concentric stranded.
sizes 2.5 mm^2 up to 85 mm^2

แสดงลักษณะสายเคเบิลชนิด ACSR

สายเปลือยทั้ง 3 ชนิด มีใช้ทั่วไปในระบบส่งของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต และการไฟฟ้าภูมิภาค สำหรับสาย AAC นั้นยังมีใช้ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวงด้วย แต่ในปัจจุบันทางการไฟฟ้าได้มีนโยบายที่จะเลิกใช้สายชนิดนี้แล้วเนื่องจากมีการลัดวงจรจากสัตว์ และกิ่งไม้บ่อยครั้ง และได้หันมาใช้สายหุ้มฉนวนประเภท PIC และ SAC ที่จะกล่าวถึงต่อไป

สายหุ้มฉนวน (Insulated Cables)

ในการเดินสายเคเบิลแรงสูงผ่านบริเวณที่มีผู้คนอาศัย เพื่อความปลอดภัยจะต้องใช้สายเคเบิลแรงสูงที่มีฉนวนหุ้มและการใช้สายหุ้มฉนวนยังช่วยลดการเกิดลัดวงจรจากสัตว์ หรือกิ่งไม้แต่ถูกสายไฟอีกด้วย ทำให้ระบบไฟฟ้ามีความน่าเชื่อถือสูงขึ้น สายเคเบิลแรงสูงหุ้มฉนวนที่นิยมใช้มีดังนี้

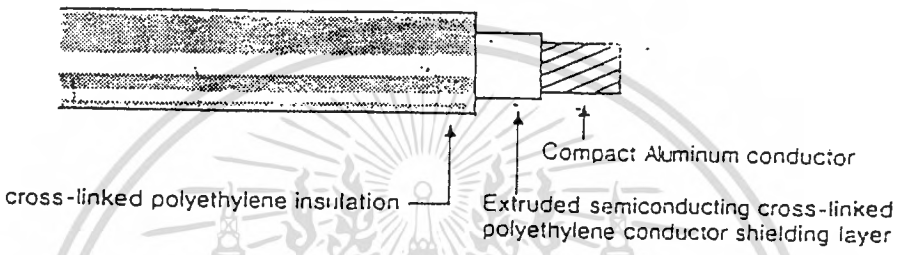
- สายPartial Insulated Cable (PIC)
- สาย Space Aerial Cable (SAC)
- สาย Preassembly Aerial Cable (PAC)
- สาย Cross - linked Polythylene (XLPE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาย Partial Insulated Cable (PIC)

ดังได้กล่าวไปแล้วว่า การใช้สายเปลือยจะมีโอกาสเกิดลัดวงจรขึ้นได้ง่าย เพื่อลดปัญหานี้ จึงได้มีการนำสาย PIC มาใช้แทนสายเปลือย โดยโครงสร้างของสาย PIC นี้ จะประกอบด้วย ตัวนำอลูมิเนียมตีเกลียวหุ้มด้วยฉนวน XLPE 1 ชั้น ดังแสดงในภาพ

ภาพที่ 10



Construction	:	Conductor	: Compact stranded hard drawn Aluminium wire.
		Conductor shield	: Semi-conducting cross-linked polyethylene.
		Insulation	: Track resistant cross-linked polyethyiene. (Black)

แสดงลักษณะของสายเคเบิลชนิด PIC

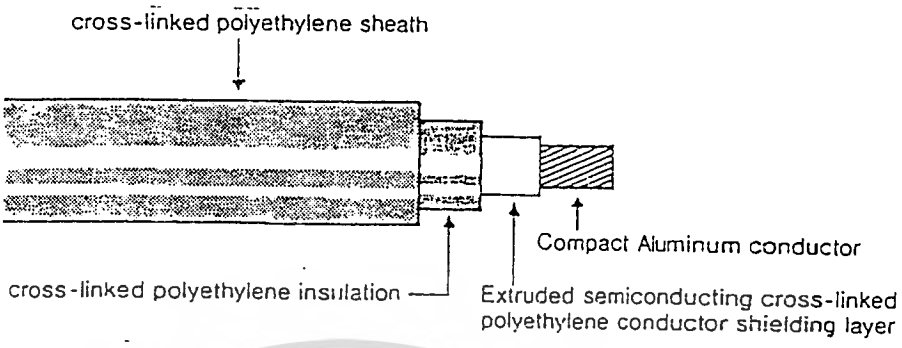
แม้ว่าสายชนิดนี้จะมีฉนวน XLPE หุ้ม แต่ก็ไม่สามารถแตะต้องโดยตรงได้เนื่องจากฉนวนเป็นเพียงฉนวนบาง ซึ่งจะช่วยลดการเกิดลัดวงจรของสายเปลือยเท่านั้น การไฟฟ้าได้นำสายชนิดนี้มาใช้ทุกขนาด คือ 35 , 50 ,95 , 120 และ 185 mm มาใช้งานโดยเดินในอากาศผ่านลูกถ้วยบนเสาไฟแทนสายเปลือย

สาย Space Aerial Cable (SAC)

สาย SAC โครงสร้างเป็นตัวนำอลูมิเนียมตีเกลียว มีฉนวน XLPE หุ้ม เช่นเดียวกับสาย PIC แต่จะมีเปลือก (Sheath) ที่ทำจาก XLPE หุ้มฉนวนอีกชั้นหนึ่ง ทำให้มีความทนทานมากกว่าสาย PIC ดังแสดงในภาพที่ 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 11



แสดงลักษณะของสายเคเบิลชนิด SAC

ถึงแม้ว่าสายชนิดนี้จะมีเปลือก (Sheath) หุ้มฉนวนอีกชั้นหนึ่งแต่ก็ไม่ควรสัมผัสสายโดยตรง จะเป็นอันตรายได้ ในการใช้งานสายเคเบิลชนิดนี้ การไฟฟ้า ฯ ใช้เป็นวงจรเสริมสำหรับวงจรที่ใช้สาย PIC โดยในการเดินสายจะต้องใช้ Spacer เพื่อจำกัดระยะห่างระหว่างสาย สายชนิดนี้ถึงแม้ว่าจะสามารถวางได้ใกล้กันมากกว่าสาย PIC แต่ก็ต้องไม่เกินระยะจำกัดค่าหนึ่ง นอกจากนี้ จะต้องใช้ Messenger Wire ช่วยดึงสายไว้ Messenger Wire จะต่อลงดินทำหน้าที่เป็นสาย Overhead Ground Wire ขนาดของสายที่การไฟฟ้าใช้จะมี 3 ขนาด คือ 35 ,70 และ 185 mm โดยขนาด185 mm จะใช้เดินตามถนนสายหลักต่าง ๆ ขนาด 70 mm เป็นสายที่แยกจากถนนหลักเข้าซอย ส่วนขนาด 35 mm เป็นสายที่แยกจากซอยอีกที

สาย Preassembly Aerial Cable (PAC)

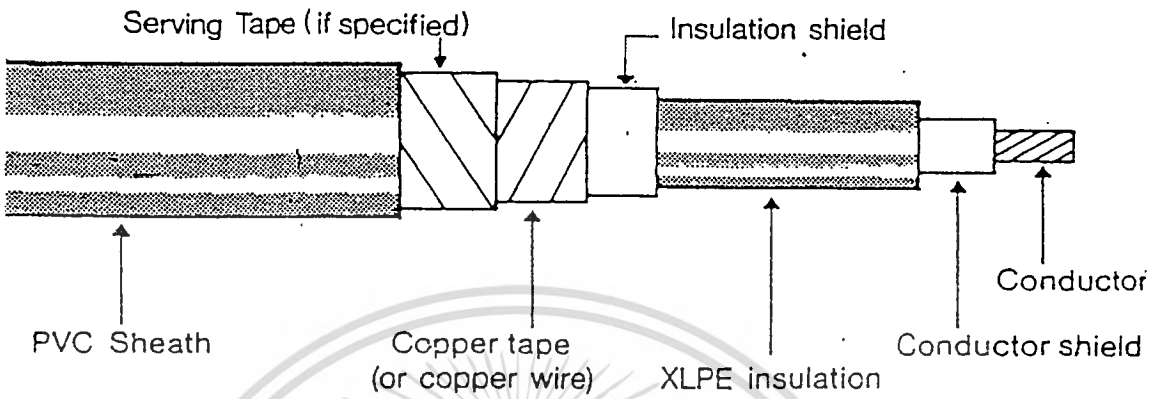
สายชนิดนี้ มีโครงสร้างจัดเป็นสาย Fully Insulated มีโครงสร้างคล้ายสาย XLPE เนื่องจากสายชนิดนี้สามารถวางใกล้กันได้ จึงใช้สายชนิดนี้เมื่อสายไฟผ่านในบริเวณที่มีระยะห่าง (clearance) กับอาคารจำกัด หรือ ผ่านบริเวณที่มีคนอาศัยอยู่ สายชนิดนี้ยังไม่สามารถวางพาดไปกับมุมตึกได้ เนื่องจากมีความแข็งแรงทนทานมาก การไฟฟ้า ฯ ใช้สายชนิดนี้ อยู่ 2 ขนาด คือ 185 และ 240 mm โดยในการเดินสายจะต้องใช้ Messenger Wire ช่วยดึงสายด้วย

สาย Cross - Linked Polyethylene (XLPE)

สาย XLPE จัดเป็นสาย Fully Insulated โดยมีโครงสร้าง และ ส่วนประกอบดังแสดงในภาพที่ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 12



แสดงลักษณะของสายเคเบิล XLPE

- ตัวนำ (Conductor) ส่วนใหญ่จะเป็นทองแดงในลักษณะตีเกลียว (Strand) ซึ่งอาจจะจัดอยู่ในรูปแบบของ copper concentric strand

- ชีลด์ของตัวนำ (Conducting shield) ทำด้วยสายกึ่งตัวนำ (Semi conducting Material) มีหน้าที่ช่วยให้สนามไฟฟ้าระหว่างตัวนำกับฉนวนกระจายอย่าง สม่ำเสมอในแนวรัศมี เป็นการช่วยลดการเกิด Break Down

- ฉนวน (Insulation) เป็นชั้นที่หุ้มห่อชั้นชีลด์ของตัวนำอีกที่หนึ่งทำด้วยฉนวน XLPE สายเคเบิลที่ดีนั้นผิวด้านนอกของชั้นฉนวน จะต้องเรียบ

-ชีลด์ของฉนวน (Insulating Shield) เป็นชั้นของ Semi - Conducting Tape พันทับชั้นของฉนวน จากนั้นก็จะหุ้มด้วยชั้นของ copper tape อีกที่หนึ่งชีลด์ของฉนวนนี้จะทำหน้าที่จำกัดสนามไฟฟ้า ให้อยู่เฉพาะภายในสายเคเบิล เป็นการป้องกันรบกวนระบบสื่อสาร นอกจากนี้การต่อชีลด์ลงดินยังช่วยลดอันตรายจากการสัมผัสถูกสายเคเบิลด้วย และทำให้เกิดการกระจายแรงดันอย่างสม่ำเสมอเวลาใช้งาน

- เปลือกนอก (Jacket) ชั้นของเปลือกนอกนี้อาจจะเป็น polyvinyl chloride หรือ polyethylene ก็ได้ แล้วแต่ว่าลักษณะของงาน จะเป็นอย่างไร ถ้างานกลางแจ้งก็มักจะใช้ polyvinyl chloride เพราะว่ามันเฉื่อยต่อการติดไฟ ในขณะที่ polyethylene มักจะใช้งานแบบเดินลอย เนื่องจากความทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ ส่วนในกรณีที่วางเคเบิลใต้ดิน อาจจะมีชั้นของ Service

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

tape ซึ่งอาจทำด้วยชิ้นผ้า (Fabric Tape) คั่นระหว่างชีลด์ และเปลือกนอก ช่วยป้องกันเสียดสีและการกระทบกระแทน

สายชนิดนี้สามารถเดินลอยในอากาศหรือฝังดินก็ได้ แต่นิยมใช้ฝังใต้ดิน เนื่องจากมีความแข็งแรงทนทานสามารถทนต่อความชื้นได้ดีอยู่แล้ว

3.1.2 สายเคเบิลแรงต่ำ (Low Voltage Cable)

สายเคเบิลแรงต่ำเป็นสายไฟฟ้าที่ใช้ได้กับแรงดันไม่เกิน 750 โวลต์ มีลักษณะเป็นสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนโดยที่ตัวนำอาจจะใช้ทองแดง หรือ อลูมิเนียม แต่ที่นิยมใช้สำหรับสายเคเบิลแรงต่ำจะเป็นสายทองแดง สายขนาดใหญ่ จะมีลักษณะตัวนำเกลียว แต่ถ้าเป็นสายไฟฟ้าขนาดเล็กตัวนำก็จะเป็นตัวนำเดี่ยว วัสดุฉนวนที่นิยมใช้กับสายเคเบิลแรงต่ำ ได้แก่ polyvinylchloride (PVC) และ cross - linked polythylene (XLPE)

สำหรับฉนวน PVC นั้นเดิมตาม มอก. 11-2518 ได้แบ่งชนิดของฉนวน PVC ที่ใช้งานเป็น 2 ชนิด คือ ฉนวน PVC ธรรมดา มีอุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส และฉนวน Heat Resisting PVC มีอุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 75 องศาเซลเซียส แต่ในปัจจุบัน ตาม มอก. 11-2531 จะมีฉนวน PVC เพียงชนิดเดียวเท่านั้น คือ มีอุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส

สายเคเบิลอลูมิเนียมหุ้มด้วยฉนวน PVC

สายเคเบิลชนิดนี้จะมีตัวนำเป็นอลูมิเนียม และหุ้มด้วยฉนวน PVC โดยอาจจะเป็น PVC ธรรมดา หรือเป็นแบบ Heat Resisting PVC ก็ได้ สามารถใช้ได้กับแรงดันไม่เกิน 750 โวลต์ สายเคเบิลชนิดนี้จะเป็นไปตาม มอก. 293-2526

สายเคเบิลอลูมิเนียมหุ้มด้วยฉนวน PVC สามารถใช้งานในระบบจำหน่ายแรงต่ำ เดินภายนอก อาคารเป็นสายเมน (Main) หรือ สายป้อน (Feeder) โดยจะใช้เดินในอากาศเหนือพื้นดิน ทางการไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จะใช้สายชนิดนี้เป็นสายเมนแรงต่ำ เดินมาจากหม้อแปลง จำหน่าย (Distribition tranformers) พาดบนลูกถ้วยตามเสาไฟฟ้า หรือใต้ชายคาบ้านหรือดึกแถว เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ สายชนิดนี้มีราคาถูก และรับแรงดึงได้พอควร

สายเคเบิลทองแดงหุ้มด้วยฉนวน PVC

เนื่องจากทองแดงมีคุณสมบัติข้อดีเหนือกว่าอลูมีเนียมหลายประการด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นโลหะที่มีความนำสูงกว่า การตัดต่อก็ทำได้ง่ายกว่า จึงนิยมใช้สายเคเบิลชนิดนี้กันมากสายเทองแดงหุ้มด้วยฉนวน PVC มีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดก็เหมาะกับงานแต่ละแบบ ทำให้สามารถใช้

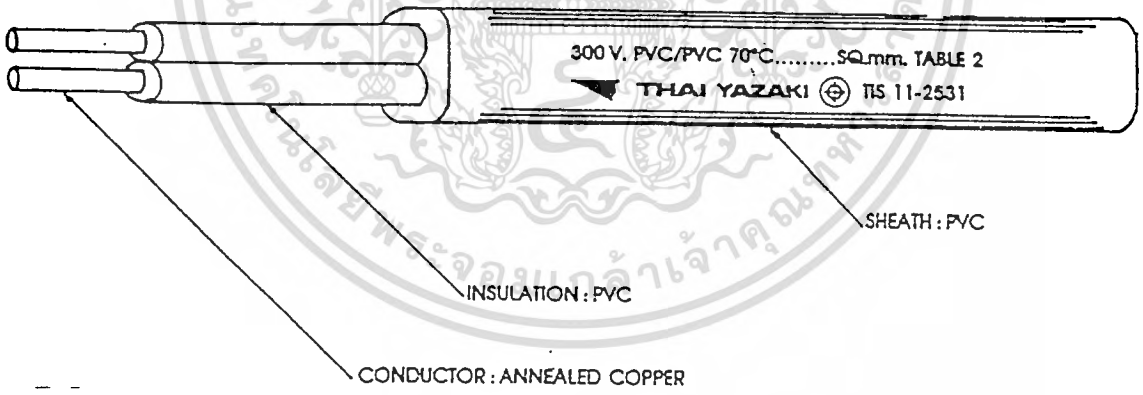
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายเคเบิลชนิดนี้กับงานได้กว้างขวางมาก ตั้งแต่เป็นสายเชื่อมต่อวงจรเล็ก ๆ จนกระทั่งเป็นสายเมน หรือสายป้อน ในบทนี้จึงจะขอกล่าวถึงตัวอย่างสายเคเบิลตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 11-2531 บางชนิด ส่วนรายละเอียดของข้อกำหนดทั้งหมดจะกล่าวถึงในบทต่อไปโดยในที่นี้จะกล่าวถึงสายเคเบิลที่ใช้งานในการเดินสาย Fixed Wiring ที่ใช้กันโดยทั่ว ๆ ไปตามสถานประกอบการต่าง ๆดังต่อไปนี้

สายเคเบิล PVC ตามตารางที่ 2 และ ตารางที่ 11 ของ มอก. 11-2531

สายเคเบิลชนิดนี้ภายนอกเป็นเปลือกฉนวน PVC (Sheath) ไว้ป้องกันความชื้น และช่วยป้องกันการเสียหายทางกลกับฉนวนภายใน ซึ่งหุ้มตัวนำทองแดงอีกชั้นหนึ่ง ตัวนำทองแดงอาจเป็นตัวนำเดี่ยวหรือตีเกลียวก็ได้ สายเคเบิลตามตารางที่ 2 จะมีทั้งชนิด 2 แกน และ 3 แกน จะเรียกสายชนิดว่า VAF แต่ในตารางที่ 11 จะมีสายดินเพิ่มขึ้นอีก 1 สาย และจะเรียกสาย ชนิดนี้ว่า VAF-G ดังแสดงในภาพที่ 13 และ 14 ตามลำดับ

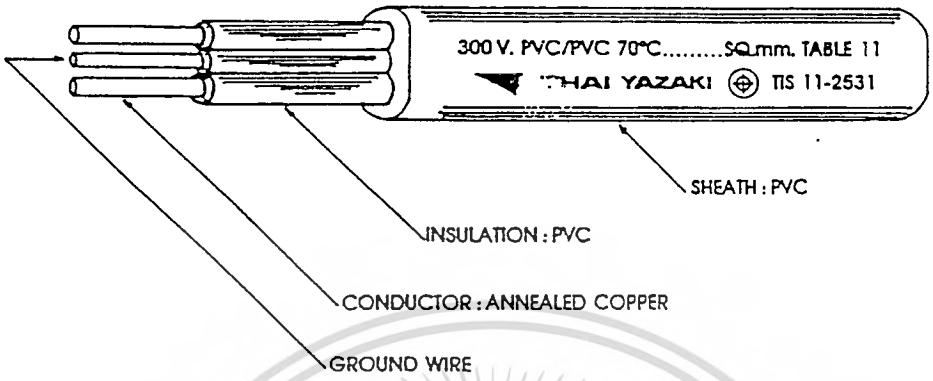
ภาพที่ 13



แสดงสายเคเบิลตามตารางที่ 2 ของมอก.11-2531

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่14



แสดงสายเคเบิลตามตารางที่ 11 ของมอก.11-2531

ข้อกำหนดการใช้งาน

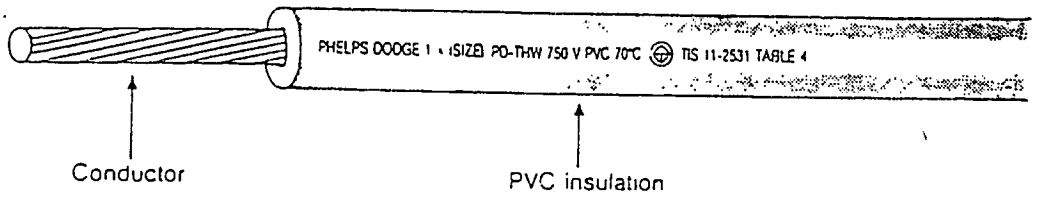
- แรงดันใช้งาน : 300 V
- อุณหภูมิใช้งาน : 70 องศาเซลเซียส
- สถานที่ใช้งาน : สถานที่แห้งและสถานที่เปียก
- ลักษณะการติดตั้ง - เดินเกาะผนัง
  - เดินฝังในผนังปูนฉาบ
  - เดินซ่อน (Conceal) ในผนัง
  - ห้ามฝังดินโดยตรง

สายเคเบิลตามตารางที่ 4 ของ มอก.11-2531

สายเคเบิลชนิดนี้มีลักษณะเป็นสายกลมเดี่ยวตัวนำเป็นทองแดงหุ้มฉนวน PVC โดยทั่วไปนิยมใช้สายชนิดนี้เป็นสายวงจรย่อย , สายป้อน และ สายเมน ซึ่งแต่เดิม มอก. 11-2518 ได้แบ่งสายชนิดนี้ออกเป็น 2 แบบ ตามชนิดของฉนวน PVC คือ ชนิดที่อุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส จะมีชื่อเรียกว่า TW และชนิดที่อุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 75 องศาเซลเซียส มีชื่อเรียกว่า THW แต่ในปัจจุบันตาม มอก.11-2531 สายไฟชนิดนี้มีแบบเดียวคือ มีอุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 15



แสดงลักษณะของสายเคเบิลตามตารางที่ 4 มอก.11-2531

ข้อกำหนดการใช้งาน

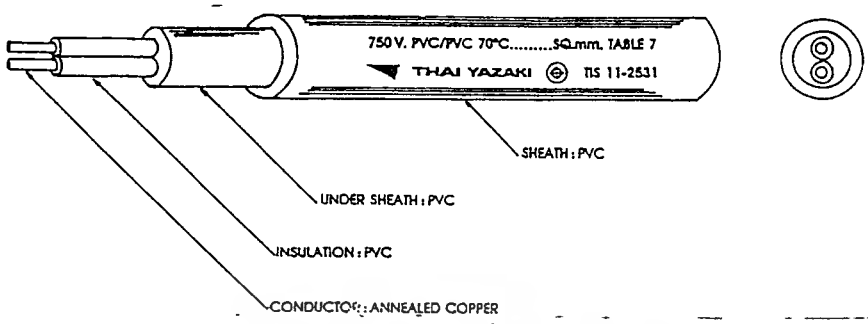
- แรงดันใช้งาน : 750 V
- อุณหภูมิใช้งาน : 70 องศาเซลเซียส
- สถานที่ใช้งาน : สถานที่แห้งและสถานที่เปียก
- ลักษณะการติดตั้ง
  - เดินลอยต้องยึดด้วยวัสดุฉนวน
  - เดินในท่อร้อยสาย ในสถานที่แห้ง
  - เดินในท่อร้อยสายฝังดินแต่ต้องป้องกันไม่ให้น้ำเข้าท่อ และป้องกันไม่ให้สายมีโอกาสแช่น้ำ
  - ห้ามฝังดินโดยตรง

สายเคเบิลตามตารางที่ 6, 7 , 8 และ 14 ของ มอก.11-2531

เป็นสายที่มีฉนวน 2 ชั้น โดยฉนวน PVC ชั้นใน จะทำหน้าที่เป็นฉนวนหุ้มตัวนำเอาไว้ แล้วจะมีฉนวน PVC ชั้นนอกอีกชั้นหนึ่ง ทำหน้าที่เป็นเปลือก (Sheath) ซึ่งสามารถทนความชื้นได้สูง สายชนิดนี้จึงสามารถฝังดินได้โดยตรง สายตามตารางที่ 6 จะเป็นชนิด 1 แกน มีเปลือกชั้นเดียว สายตามตารางที่ 7 และ 14 เป็นชนิด 2 ถึง4 แกน มีเปลือกหุ้ม 2 ชั้น โดยในตารางที่ 14 จะเพิ่มสายดินอีก 1 สายและสายไฟตารางที่ 8 เป็นชนิด 3 แกนและมีสาย Neutral เพิ่มขึ้นอีก 1 สาย โดยทั่วไปนิยมใช้สายชนิดนี้เป็นสายป้อนและสายเมน จะเรียกสายชนิดนี้ว่า สาย NYY ดังแสดงในภาพที่ 16-18

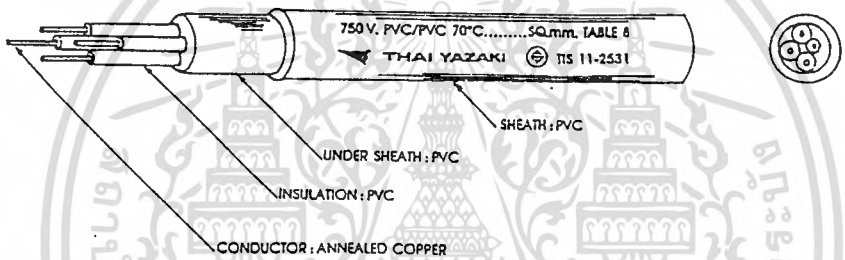
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่16



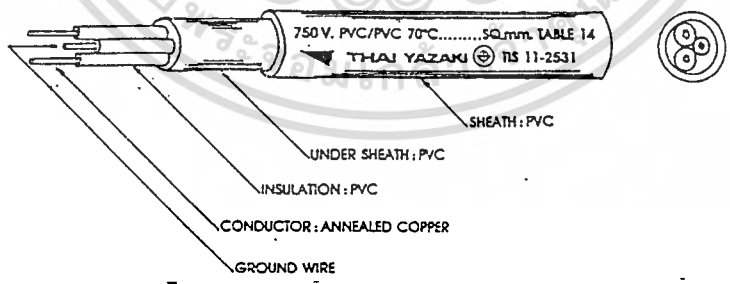
แสดงลักษณะสายเคเบิลตามตารางที่ 7 มอก. 11-2531

ภาพที่ 17



แสดงลักษณะสายไฟตารางที่ 8 มอก. 11-2531

ภาพที่ 18



แสดงลักษณะของสายไฟตารางที่ 9 มอก. 11-2531

ข้อกำหนดการใช้งาน

- แรงดันใช้งาน : 750 V
- อุณหภูมิใช้งาน : 70 องศาเซลเซียส
- สถานที่ใช้งาน : สถานที่แห้งและสถานที่เปียก
- ลักษณะการติดตั้ง - ใช้งานได้ทั่วไป -ฝังดินโดยตรง

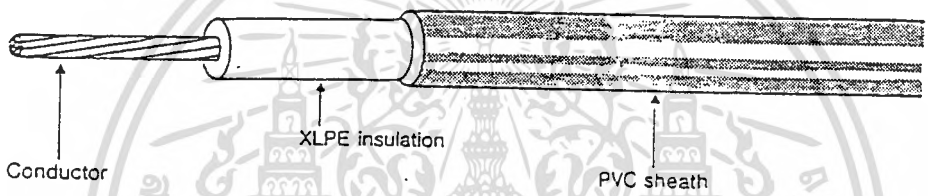
ส่วนสายเคเบิลตารางอื่นตาม มอก . 11-2531 ได้แสดงไว้แล้วในภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายเคเบิลทองแดงหุ้มด้วยฉนวน XLPE

เนื่องจากคุณสมบัติของฉนวน XLPE ที่สามารถทนต่อความร้อนได้สูงมีความแข็งแรง ทนต่อแรงทางกลและการกัดกร่อนทางเคมีได้ดี ในปัจจุบันจึงมีการใช้สายเคเบิลที่หุ้มด้วยฉนวน XLPE มากขึ้น โดยสายชนิดนี้มีชื่อเรียกว่า สาย CV ซึ่งไม่อยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.)แต่จะใช้ตามมาตรฐานอื่น เช่น IEC 502 โดยทั่วไปสายชนิดนี้จะสามารถใช้งานได้เหมือนกับ สาย NYY จึงนิยมใช้เป็นสายป้อนหรือสายเมน ดังแสดงในภาพที่ 19

ภาพที่ 19



Construction	: Conductor	:	Compact stranded copper
	Insulation	:	Cross-linked polyethylene
	Circuit Identification	:	The insulation shall be natural colour with black number marking.
	Jacket	:	Polyvinyl chloride (Black)

แสดงลักษณะของสาย CV

ข้อกำหนดการใช้งาน

- แรงดันใช้งาน : 0.6/1 kV
- อุณหภูมิใช้งาน : 90 องศาเซลเซียส
- สถานที่ใช้งาน : สถานที่แห้งและสถานที่เปียก
- ลักษณะการติดตั้ง - ใช้งานได้โดยทั่วไป
  - ฝังดินโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 สายเคเบิลใช้งานสำหรับสถานที่อันตรายและงานเฉพาะ

สถานที่อันตราย

หมายถึง สถานใด ๆ ที่มีโอกาสและความเสี่ยงต่ออันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้อย่างไม่คาดฝัน ถ้าหากไม่ปฏิบัติตามกฎระเบียบข้อบังคับของเจ้าของสถานที่อย่างเคร่งครัด โดยทั่วไปสถานที่อันตรายที่เกี่ยวข้องกับสายเคเบิลที่จะกล่าวถึงที่เห็นได้บ่อย ๆ ก็คือ โรงกลั่นน้ำมัน , คลังเก็บน้ำมัน,โรงแยกแก๊ส, โรงงานผลิตไนโตรเจนเหลว รวมทั้งสถานที่ไวไฟ ทุกประเภทนอกจากนี้ยังรวมไปถึง สถานที่ที่อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีต่อวัสดุฉนวนได้ง่าย เช่น โรงงานปิโตรเคมี, โรงปูน ฯลฯ ดังนั้น สายเคเบิลที่สามารถใช้กับงานในสถานที่อันตรายนี้จะต้องถูกออกแบบให้ได้ตามมาตรของความปลอดภัยสำหรับงานนั้น ๆ ด้วย เช่น สายเคเบิลที่ใช้กับโรงกลั่นน้ำมัน จะต้องมีโครงสร้างที่ทำด้วยวัสดุที่สามารถป้องกันการถูกทำลายจากน้ำมันได้ เช่นมีเปลือกสายตะกั่วห่อหุ้มสายเคเบิลด้านนอก และต้องมีคุณสมบัติที่ไม่ติดไฟเป็นเหตุให้สายเคเบิลถูกทำลายได้ เป็นต้น สายเคเบิลที่แนะนำคือ

- สาย HOFR - Heat resistant, oil resistant and flame retardant cables for general application
- สาย ZH - Zero halogen gables for enclosed accommodation or working areas
- สาย FS - Fire Survial Cables for essential circuit integrity
- สาย MI - Mineral insulated metal sheah cable for hazzard areas

สายเคเบิลดังกล่าวมีทั้ง Power cable Control cable และ Instrument Cable

งานเฉพาะ

หมายถึง งานที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมปกติที่ไม่ก่อให้เกิดอันตราย แต่มีลักษณะการใช้งานที่แตกต่างจากงานทั่วไป เช่นสายเคเบิลใต้น้ำ สายเหมือง สายที่ใช้ในเรือ สายที่ใช้งานกับลิฟท์ที่ต้องการความยืดหยุ่นสูง นอกจากนี้ยังมีสภาวะบางอย่างที่มักจะมองข้ามกันไป เช่น การใช้งานกับโหลดที่เป็นตัวกำเนิดฮาร์โมนิกส์ เนื่องจากฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ากำลังจะทำให้เกิดความสูญเสียที่อยู่ในรูปของความร้อน เป็นเหตุให้อายุการใช้งานของสายเคเบิลสั้นลง โหลดที่เป็นแหล่งกำเนิดของ ฮาร์โมนิคส์สูง ๆ เช่น คอมพิวเตอร์ , UPS , มอเตอร์ , หม้อแปลง และ อุปกรณ์ที่เป็นพวก Non-Linear โหลดทุกประเภท สายที่แนะนำสำหรับโหลดที่มีฮาร์โมนิกส์สูง ๆ คือ

- สาย MI - Mineral insulated metal sheath cable

คุณสมบัติของสาย MI จะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความปลอดภัยในอาคารสูง

ปัจจุบันมีอาคารสูงกำเนิดขึ้นมากมายซึ่งเป็นไปตามการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเภท ซึ่งในอาคารสูงนี้ ผู้ออกแบบมักจะคำนึงถึงความปลอดภัยในอาคารเป็นหลัก อาคารสูงเหล่านี้อาจจะสร้างขึ้นเป็นโรงแรมระดับห้าดาว , อาคารสำนักงานให้เช่าหรือโรงพยาบาล ดังนั้นอาคารเหล่านี้จะต้องมีระบบไฟฉุกเฉิน , ระบบจ่ายพลังงานสำรอง ซึ่งจะต้องพร้อมที่จะทำงานได้ตลอดเวลา และแม้กระทั่งเวลาเกิดเพลิงไหม้ จะต้องมีระบบความปลอดภัยที่จะทำให้มีเวลาเพียงพอในการช่วยชีวิต อุปกรณ์ที่จำเป็นต่าง ๆ เหล่านี้ คือ

- **Fire Man Lifts** เป็นลิฟต์ ที่มีไว้สำหรับเจ้าหน้าที่ดับเพลิงใช้ในการปฏิบัติหน้าที่ในการดับไฟหรือช่วยชีวิตคน

- **Fire pumps** เป็นเครื่องสูบน้ำที่จะต้องสามารถใช้งานได้ในขณะเกิดเพลิงไหม้ เพื่อจ่ายให้กับ Sprinker

- **Controls for Air Handling Systems** เป็นระบบควบคุมการระบายอากาศ เนื่องจากขณะเกิดเพลิงไหม้จะทำให้มีความหนาแน่นของควันไฟสูงจึงจำเป็นต้องมีระบบควบคุมการระบายอากาศที่ดี

- **Emergency Lighting** เป็นระบบไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉิน เพราะว่าในสภาวะฉุกเฉิน จำเป็นต้องมีแสงสว่างเพียงพอในการแก้ไข ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น

- **Evacuation Warning Systems** เป็นระบบเตือนภัยให้คนอยู่ในอาคารเหล่านั้นทราบล่วงหน้าว่าเกิดเหตุฉุกเฉินขึ้น

- **Generators** เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ใช้เป็นเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรองขณะเกิดเหตุฉุกเฉิน

อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่กล่าวข้างต้น เป็นระบบ ที่มีความจำเป็นพื้นฐานในด้านความปลอดภัย ดังนั้นอุปกรณ์เหล่านี้ควรจะสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ให้เพียงพอที่จะแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งอุปกรณ์ต่าง ๆ นี้จำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ารองที่จ่ายพลังงาน ผ่านสายเคเบิลไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังกล่าวจะต้องทำมาจากวัสดุพิเศษซึ่งสามารถทนต่อสภาวะของการเกิดเพลิงไหม้ได้ รวมทั้งสายเคเบิลที่จะกล่าวถึงดังต่อไปนี้

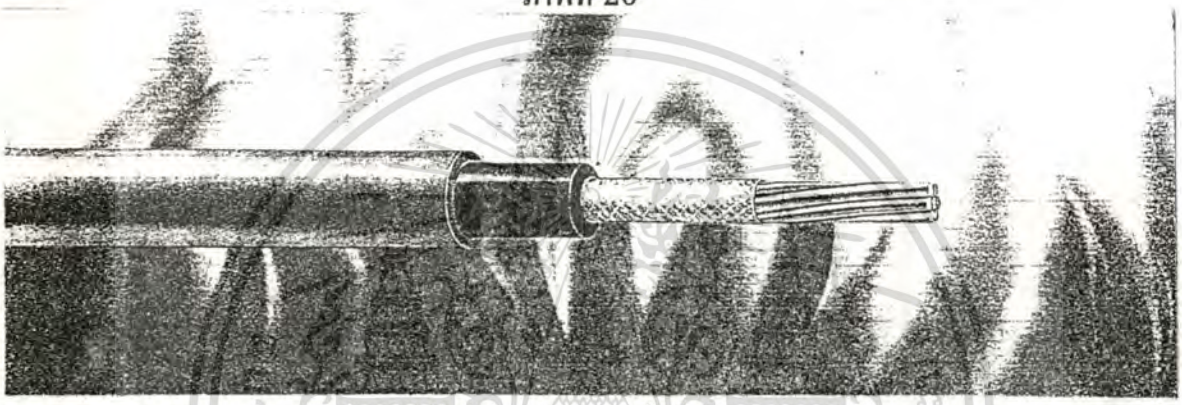
3.2.1 สายโพลีเมอร์ทนไฟ (Fire Resistant Polymeric Cable)

สายชนิดนี้เรียกสั้น ๆ ว่า สาย F.R. ซึ่งผลิตโดยโรงงานกลุ่มเดียวกับผู้ผลิตสายประเภทโพลีเมอร์ ที่ใช้สำหรับงานทั่วไป และมีโครงสร้างพื้นฐานของสายเคเบิลคล้ายกัน จะต่างกันก็ตรงที่สาย F.R. นั้นจะมีชั้นของฉนวนไมก้า ที่สามารถทนอุณหภูมิได้สูงประมาณ 750 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลเซียส เป็นเวลา 3 ชม. ตามมาตรฐานการทดสอบของ IEC 331 สายเคเบิลชนิดนี้จะมีราคาถูก เมื่อเทียบกับสายเคเบิลที่จะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป แต่ไม่เหมาะสมกับงานที่อยู่ในสภาวะของการเกิดเพลิงไหม้ที่มีระบบ ควบคุมครบวงจร เนื่องจากมาตรฐานของ IEC 331 ไม่ครอบคลุม ถึงผลกระทบทางกลและน้ำที่อาจเกิดขึ้นได้จากการดับเพลิงของเจ้าหน้าที่ ดังนั้นสายทนไฟชนิดนี้ จะต้องเดินในท่อเพื่อป้องกันผลกระทบทางกลที่อาจเกิดขึ้นได้

ภาพที่ 20



แสดงลักษณะของสายทนไฟชนิด F.R.

ข้อกำหนดการใช้งาน

- แรงดันใช้งาน : 0.6 / 1 kV
- อุณหภูมิใช้งาน : 750 องศาเซลเซียส
- สถานที่ใช้งาน : สถานที่แห้งและสถานที่เปียก
- ลักษณะการติดตั้ง - เดินในท่อเกาะผนัง - เดินในท่อฝังในผนังปูนฉาบ
  - ห้ามฝังดินโดยตรง

3.2.2 สายเคเบิลฉนวนแร่เปลือกโลหะ (Mineral Insulated Metal Sheathed Cable)

สายชนิดนี้เรียกสั้น ๆว่า สาย M.I. เป็นสายเคเบิลที่ไม่สามารถผลิตในโรงงานเดียวกับสายกลุ่มโพลีเมอร์ได้ ขบวนการผลิตสายชนิด M.I. จะแตกต่างกับสายโดยสิ้นเชิง เรียกว่า ขบวนการผลิตแบบรีดเย็น ตามมาตรฐานของ IEC 702 ซึ่งสายปกติทั่วไป จะใช้กรรมวิธีฉีดพลาสติก หรือ ที่เรียกกันว่า Extrude ตามมาตรฐาน IEC 502 โครงสร้างของสายชนิด MI นี้ สามารถดูได้จากภาพที่ 21 ประกอบไปด้วยตัวนำ ที่ทำมาจากทองแดงเท่านั้น และมีฉนวนที่เป็นผงแร่ของ Magesium oxide และหุ้มด้วยเปลือกสายทองแดงอีกชั้นหนึ่ง (copper sheath) แต่เมื่อนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปใช้กับสถานที่ที่อาจเกิดการกัดกร่อนจากไอของเกลือหรือสารเคมี จะต้องมีเปลือกสายที่เป็น PVC ห่อหุ้มอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งตามมาตรฐาน IEC 364 ได้แบ่งตารางพิกัดกระแสของสาย M.I. ไว้เป็น 3 ชนิด คือ

- **Mineral Insulation PVC cover**

  ให้ใช้พิกัดกระแสตามตาราง 52- C5 สำหรับวิธีการติดตั้งแบบ C และ C'

  ให้ใช้พิกัดกระแสตามตาราง 52- C7 สำหรับวิธีการติดตั้งแบบ E , F และ G

- **Mineral Insulated Bare Exposed to touch**

  ให้ใช้พิกัดกระแสตามตาราง 52- C5 คูณด้วย 0.9 สำหรับวิธีการติดตั้งแบบ C และ C'

  ให้ใช้พิกัดกระแสตามตาราง 52- C7 คูณด้วย 0.9 สำหรับวิธีการติดตั้งแบบ E , F, G

- **Mineral Insulated Bare Cable not Exposed to touch**

  ให้ใช้พิกัดกระแสตามตาราง 52- C6 สำหรับวิธีการติดตั้งแบบ C และ C'

  ให้ใช้พิกักกระแสตามตาราง 52- C8 สำหรับวิธีการติดตั้งแบบ E , F และ G

  ไม่ต้องมี correction factor สำหรับวงจรข้างเคียง

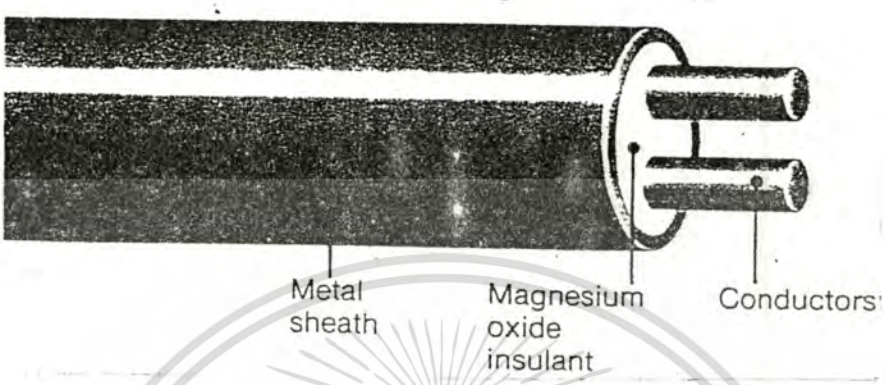
ตารางทั้งหมดของมาตรฐาน IEC - 364-5-523 ดูได้จากภาคผนวก

คุณสมบัติของสายเคเบิลชนิด MI จะเหนือกว่าสายชนิด FR เนื่องจากเป็นสายเคเบิลที่มีวัสดุเป็นสาร อนินทรีย์ (Inorganic Material) ดังนั้นจึงไม่มีการย่อยสลายไปตามสภาวะแวดล้อม มีความทนต่อสภาวะแวดล้อมในทุก ๆ สภาวะ แม้กระทั่งเวลาเกิดเพลิงไหม้ ได้มีการทดสอบสาย MI Cable โดยการเผาไฟที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส โดยยึดกับแผ่นกระดาน แล้วตีแผ่นกระดานด้วยของแข็ง ซึ่งการทดสอบดังกล่าวเป็นการทดสอบมาตรฐาน BS 6387 ในหมวด CWZ ซึ่งเป็นหมวดสูงสุดของการทดสอบสายเคเบิลตามมาตรฐาน BS 6387 ว่าด้วยการทนต่อเปลวไฟ , น้ำ และสภาวะทางกล โดยที่สาย MI ยังสมารถนำกระแสต่อไปได้ เช่นเดียวกับสายชนิด FR แต่จะแตกต่างกันตรงที่ สาย MI สามารถนำกลับมาใช้ได้อีกเพราะสายมิได้ถูกเผาไหม้ แต่สาย FR ไม่สามารถทำได้ เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงถึง 950 องศาเซลเซียส ฉีดด้วยน้ำและตีด้วยของแข็ง ทำให้ต้องเปลี่ยนสายเคเบิล เพราะว่าน้ำ, เปลวไฟ และ ของแข็งได้ทำลายโครงสร้างภายนอกของสายจนหมดสิ้น เหลือเพียงแผ่นไมก้าที่พันรอบตัวนำยังสามารถป้องกันการลัดวงจรระหว่างสายได้เท่านั้น

ภาพที่ 21 แสดงโครงสร้างของสายชนิด MI ตามมาตรฐาน IEC 702 มีขนาดพิกัดแรงดันใช้งาน 2 ขนาดคือ แบบหน้าที่เบา(Light Duty) 0.5/0.75KV และแบบหน้าที่หนัก (Heavy Duty) 0.6/1KV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 21



แสดงลักษณะสายชนิด MI

ข้อกำหนดการใช้งาน

- แรงดันใช้งาน : 0.6 / 1 kV Heavy Duty
  0.5 / 0.75 kV Light Duty
- อุณหภูมิใช้งาน : 70 องศาเซลเซียส (PVC cover หรือ Bare Exposed to touch)
  : 105 องศาเซลเซียส (Bare Cable not Exposed to touch)
- สถานที่ใช้งาน - สถานที่อันตราย
  - ระบบฉุกเฉิน
  - สถานแห้งและเปียก
- ลักษณะการติดตั้ง - เดินในท่อเกาะผนัง
  - ฝังในผนังปูนฉาบโดยตรง
  - เดินในรางสายเคเบิล
  - ฝังดินโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การวิเคราะห์หลักเกณฑ์ในการเลือกขนาดของสายเคเบิล

ตัวแปรที่มีผลต่อการเลือกขนาดของสายเคเบิลที่เหมาะสมนั้นมีมากมาย เช่น อุณหภูมิรอบข้าง ค่าความต้านทานความร้อน การสูญเสียที่ตัวนำเนื่องจากกระแสไฟฟ้า การสูญเสียที่ฉนวนไฟฟ้าเนื่องจากการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านฉนวนไฟฟ้า เป็นต้น ตัวแปรเหล่านี้เป็นตัวแปรที่กำหนดค่าความสามารถในการรับกระแสของสายเคเบิล แต่ถึงอย่างไรก็ตามก็ยังมีตัวแปรตัวอื่น ๆ ที่มีผลต่อการเลือกขนาดของสายเคเบิล คือ แรงดันตก และพิกัดการทนต่อกระแสลัดวงจร ซึ่งจะได้กล่าวในรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การกำหนดความทนต่อกระแสไฟฟ้าของสายเคเบิล

สายตัวนำที่มีฉนวนไฟฟ้าห่อหุ้มอยู่ เช่น สายเคเบิลซึ่งเมื่อมีกระแสไหลในตัวนำ ย่อมเกิดมีการสูญเสียทางความร้อนขึ้น ทำให้อุณหภูมิที่ตัวนำและฉนวนไฟฟ้าห่อหุ้มตัวนำสูงขึ้นมากกว่าอุณหภูมิรอบๆ สายเคเบิล ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิของอากาศ สามารถคำนวณได้จาก

$$\Delta t = t_L - t_a \qquad (4.1)$$

เมื่อ Δt : เป็นอุณหภูมิเพิ่มขึ้นที่ตัวนำ

t_L : เป็นอุณหภูมิที่ตัวนำขณะมีกระแสไฟฟ้าไหล

t_a : เป็นอุณหภูมิรอบฉนวนไฟฟ้าด้านนอกของสายเคเบิล

ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิที่ตัวนำกับอุณหภูมิรอบนอกฉนวนไฟฟ้า จะมีค่ามากกว่าหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับกำลังสูญเสียทางความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในสายเคเบิล ได้แก่

1. การสูญเสียที่ตัวนำเนื่องจากกระแสไฟฟ้า
2. การสูญเสียที่ฉนวนไฟฟ้าเนื่องจากการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านฉนวนไฟฟ้า ซึ่งขึ้นอยู่กับมุมการสูญเสีย tan δ ของฉนวนไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เป็นไดอิเล็กทริก
3. การสูญเสียที่เสื้อโลหะ, ชีลด์ P_{sh} และ/หรือเกราะโลหะ P_{ar} ที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลวนที่เสื้อโลหะ, ชีลด์ และ/หรือเกราะโลหะอันเนื่องมาจากการเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังสูญเสียทางความร้อนต่าง ๆ จะต้องถูกส่งผ่านความร้อนออกสู่ด้านนอกของสายเคเบิลโดยผ่านชั้นของฉนวนไฟฟ้าต่าง ๆ ที่มีค่าความต้านทานความร้อน R_{th} ไม่เท่ากัน ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างตัวนำกับด้านนอกสายเคเบิล จากสมการที่ 4.1 จะได้

$$\Delta t = t_L - t_a = \Sigma[P_{loss} \cdot \Sigma R_t] \qquad (4.2)$$

เมื่อแยกแยะกำลังสูญเสียต่าง ๆ ในสายเคเบิล และผลต่างของอุณหภูมิจะได้

$$\begin{aligned}\Delta t_i &= t_L - t_o \\ &= P_L(R_{this} + R_{thsi} + R_{thsa}) + P_{die}(0.5R_{this} + R_{thsi} + R_{thsa}) \\ &+ P_{sh}(R_{thsi} + R_{thsa}) + P_{ar} \cdot R_{thsa} \\ &= (P_{L+} 0.5P_{die})R_{this} + (P_L + P_{die} + P_{sh}) + (P_L + P_{die} + P_{sh} \\ &+ P_{ar} +)R_{thsa}\end{aligned} \qquad (4.3)$$

เมื่อ Δt_i : เป็นความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ตัวนำ t_L กับอุณหภูมิที่ผิวฉนวนไฟฟ้าด้านนอกสุดของสายเคเบิล

R_{this} : เป็นค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนไฟฟ้าห่อหุ้มตัวนำ

R_{thsi} : เป็นค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนปลอกหุ้มเสื้อโลหะ

R_{thsa} : เป็นค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนปลอกหุ้มด้านนอกเกราะโลหะ

ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวของฉนวนด้านนอกสุดของสายเคเบิล t_o และอุณหภูมิของตัวกลาง(อากาศ) รอบ ๆ สายเคเบิล t_u ให้เป็น Δt_a ได้

$$\begin{aligned}\Delta t_a &= t_o - t_a = \Sigma P_{loss} \cdot R_{tha} \\ &= (P_L + P_{die} + P_{sh}\, P_{ar})\, R_{tha}\end{aligned} \qquad (4.4)$$

เมื่อ R_{tha} : เป็นค่าความต้านทานความร้อนระหว่างผิวของสายเคเบิลกับอุณหภูมิของตัวกลางรอบ ๆสายเคเบิล

เพราะฉะนั้น ผลรวมของความแตกต่างของอุณหภูมิทั้ง 2 จากสมการที่ 4.3 และ 4.4 ได้ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลกับอุณภูมิของตัวกลางรอบ ๆ สายเคเบิล Δt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta t = (t_L - t_o) + (t_o - t_a) = t_L - t_a \qquad (4.5)$$
$$= (P_L + 0.5P_{die})\,R_{th} + (P_L + P_{die} + P_{sh})R_{sh} + (P_L + P_{die} + P_{sh} + P_{ar})(R_{thsa} + R_{tha})$$

ความแตกต่างของอุณภูมิระหว่างอุณหภูมิของตัวกลางรอบ ๆ สายเคเบิลย่อมจะต้องมีขอบเขตจำกัด ซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถในการทนต่ออุณหภูมิของฉนวนไฟฟ้าของสายเคเบิล เช่น ฉนวนไฟฟ้าประเภทวัสดุสังเคราะห์ PVC ขีดจำกัดของอุณภูมิขณะใช้งานที่ยอมให้ได้สูงสุดที่ตัวนำเพียง 70°C หรือฉนวน XLPE ทนได้ 90°C เป็นต้น ในการคำนวณหาขนาดกระแสไฟฟ้าที่สายเคเบิลสามารถใช้ได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ทำให้อุณหภูมิที่ตัวนำเพิ่มขึ้นเกินขีดความสามารถที่ฉนวนไฟฟ้าห่อหุ้มตัวนำนั้นจะทนได้ จำเป็นต้องแยกแยะอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากสมการที่ 4.5 ออกเป็นอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการะแสไฟฟ้าไหลในตัวนำ และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการสูญเสียของไดอิเล็กทริกได้เป็น :

$$\Delta t_{el} = P_L R_{this} + (P_L + P_{sh})R_{thsi} + (P_L + P_{sh} + P_{ar})(R_{thsa} + R_{tha}) \qquad (4.6)$$

$$\Delta t_{die} = P_{die} \cdot (0.5R_{this} + R_{thsi} + R_{thsa} + R_{tha}) \qquad (4.7)$$

ผลต่างของสมการที่ 4.5 กับสมการที่ 4.7 จะได้สมการที่ 4.8 ดังนี้

$$\Delta t - \Delta t_{die} = \Delta t_{el}$$
$$= P_L R_{this} + (P_L + P_{sh})\,R_{thsi} + (P_L + P_{sh} + P_{ar})(P_{thsa} + R_{tha}) \qquad (4.8)$$

ผลรวมกำลังสูญเสียทางไฟฟ้าทั้งหมดจาก

$$P_{el} = P_L + P_{sh} + P_{ar} \qquad (4.9)$$

ให้คูณเข้า และหารออกในสมการที่ 4.8 ได้

$$\Delta t - \Delta t_{die} = [\frac{P_L}{P_{el}} R_{this} + \frac{(P_L + P_{sh})}{P_{el}} . R_{thsi} + (R_{thsa} + R_{tha})]P_{el}$$
$$= [\frac{P_L}{P_{el}} . R_{this} + \frac{(P_L + P_{sh})}{P_{el}} R_{thsi} + R_{thsa}]P_{el} + R_{thu} . P_{el} \qquad (4.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อให้ผลรวมความต้านทานความร้อนของฉนวนไฟฟ้าภายในวงเล็บของสมการที่ 4.10 เป็นค่าความต้านทานความร้อนสมมูลของฉนวนไฟฟ้า R_{thc} เพราะฉะนั้นจากสมการที่ 4.10 จะได้

$$\Delta t - \Delta t_{die} = (R_{thc} + R_{tha})P_{el} \tag{4.11}$$

ขณะเดียวกันถ้าแทน P_{el} ในสมการที่ 4.11 ด้วยสมการที่ 4.9 และคูณหารสมการด้วย P_Lจะได้

$$\Delta t - \Delta t_{die} = (R_{thc} + R_{tha})(1 + \frac{P_{sh}}{P_L} + \frac{P_{ar}}{P_L})P_L$$

เมื่อให้สัดส่วน $P_{sh} / P_L = \lambda_{sh}$ และสัดส่วน $P_{ar} / P_L = \lambda_{ar}$ จะได้

$$\Delta t - \Delta t_{die} = (R_{thc} + R_{tha})(1 + \lambda_{sh} + \lambda_{ar})P_L \tag{4.12}$$

แทนกำลังสูญเสียที่ตัวนำด้วย

$$P_L = I_N^2 . R' \tag{4.13}$$

เมื่อ I_N : เป็นพิกัดกรกระแสไฟฟ้าไหลในตัวนำตลอดเวลาโดยไม่ทำให้อุณภูมิเพิ่มขึ้นที่ตัวนำเกินกว่าพิกัดทีฉนวนไฟฟ้าจะทนได้

R' : เป็นความต้านทานไฟฟ้ากระแสสลับต่อหน่วยความยาวของตัวนำ

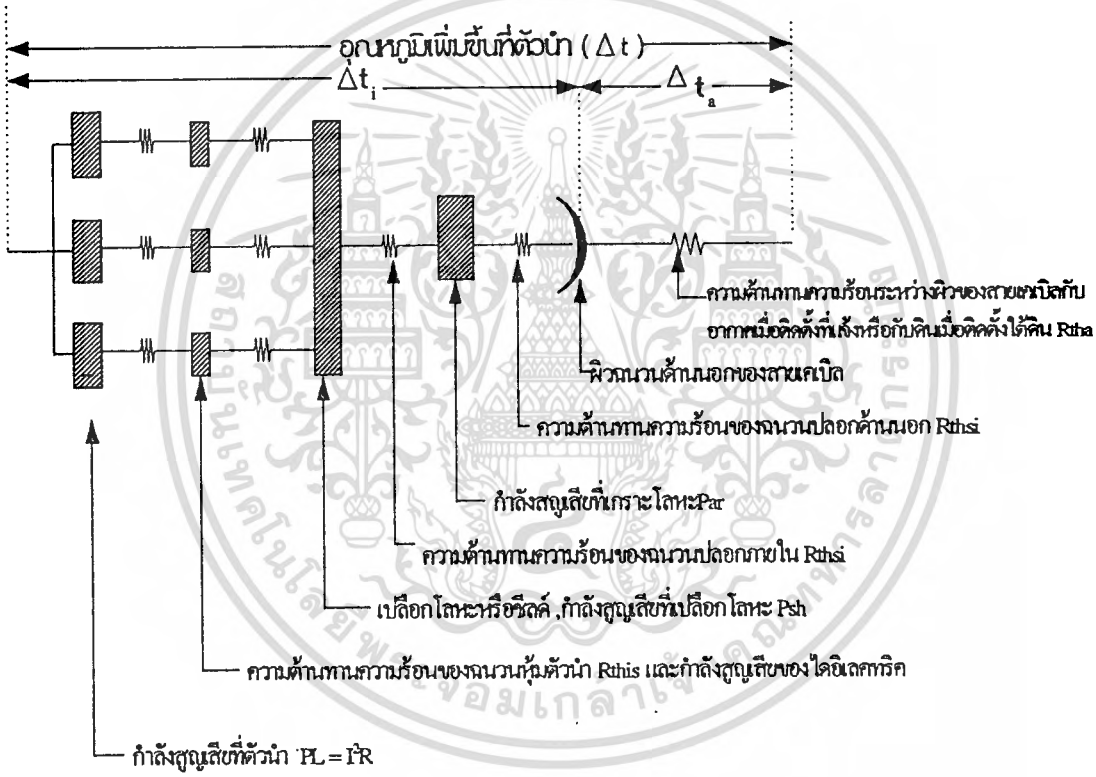
เพราะฉะนั้น จากสมการที่ 4.13 แปลงรูปสมการจะได้

$$I_N = \sqrt{\frac{\Delta t - \Delta t_{die}}{(R_{thc} + R_{tha}).(1 + \lambda_{sh} + \lambda_{ar})R'}} = \sqrt{\frac{\Delta t - P_{die}(0.5R_{this} + R_{thsi} + R_{thsa} + R_{tha})}{R'[R_{this} + (1+\lambda_{sh})R_{thsi} + (1+\lambda_{sh}+\lambda_{ar})(R_{thsa} + R_{tha})]}} \tag{4.14}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 4.14 สามารถกำหนดพิกัดกระแสไฟฟ้าของสายเคเบิลชนิดตัวนำแกนเดียว ซึ่งขึ้นอยู่กับกำลังสูญเสียทางไฟฟ้าต่าง ๆ และกำลังสูญเสียของไดอิเล็กทริก ค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนไฟฟ้า ความต้านทานความร้อนที่ผิวนอกของสายเคเบิลขึ้นอยู่กับขนาดของตัวนำ และอุณหภูมิที่ยอมให้เพิ่มขึ้นได้ที่ตัวนำ Δt ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุฉนวนไฟฟ้า

ภาพที่ 22



แสดงการสูญเสียต่าง ๆ ของสายเคเบิล และการส่งถ่ายความร้อน
ที่เกิดจากกำลังสูญเสียจากตัวนำ ออกสู่ตัวกลางรอบ ๆ สายเคเบิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าสายเคเบิลกำลังเป็นชนิดที่มีจำนวนตัวนำ n แกน และที่ทุก ๆ ตัวนำให้มีกระแสไฟฟ้าประสิทธิผลเท่า ๆ กัน เช่น เบลต์เคเบิลตัวนำ 3 แกน เป็นต้น ที่ฉนวนไฟฟ้าปลอกด้านใน R_{thsi} ที่ฉนวนไฟฟ้าปลอกด้านนอก R_{thsa} และความต้านทานความร้อนระหว่างผิวของสายเคเบิลด้านนอกสุดกับตัวกลางรอบ ๆ R_{thu} ต่างก็เป็นตัวพาความร้อนที่เกิดจากการสูญเสียของตัวนำจำนวน n แกนออกสู่ตัวกลางภายนอก ดังนั้น พิกัดกระแสไฟฟ้าสำหรับสายเคเบิลชนิดมีตัวนำ n แกนจึงเขียนสมการได้เป็น

$$I_N = \sqrt{\frac{\Delta t - P_{die}[0.5R_{this} + n(R_{thsi} + R_{thsa} + R_{tha})]}{R'[R_{this} + (1+\lambda_{sh})n.R_{thsi} + (1+\lambda_{sh}+\lambda_{ar})n.(R_{thsa} + R_{tha})]}} \qquad (4.15)$$

4.2 ความต้านทานความร้อนของฉนวนสายเคเบิล

ความต้านทานความร้อนของฉนวนไฟฟ้าห่อหุ้มตัวนำ ปลอกฉนวนไฟฟ้าหรือเสื้อฉนวนไฟฟ้า สำหรับสายเคเบิลกำลังชนิดแกนเดียว สามารถพิจารณาการคำนวณได้ในทำนองเดียวกับการหาค่าความต้านทานไฟฟ้า ทั้งนี้ ฉนวนไฟฟ้าที่ห่อหุ้มตัวนำที่อยู่ลึกเข้าใกล้ตัวนำย่อมจะมีพื้นที่ของฉนวนไฟฟ้าที่ใช้ในการระบายความร้อนออกสู่ภายนอกน้อยกว่าฉนวนไฟฟ้าส่วนที่อยู่ห่างออกจากแกนตัวนำ และขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานความร้อนจำเพาะของฉนวนไฟฟ้า σ_x เขียนเป็นสมการได้เป็น

$$R_{thx} = \frac{\sigma_x}{2\pi} \ln \frac{d_a}{d_i} \qquad (4.16)$$

เมื่อ R_{thx} : เป็นความต้านทานความร้อนของฉนวนไฟฟ้า X

d_a : เส้นผ่านศูนย์กลางถึงผิวนอกของฉนวนไฟฟ้า

d_i : เส้นผ่านศูนย์กลางในที่สัมผัสกับตัวนำ

σ_x : ค่าความต้านทานความร้อนจำเพาะของฉนวนไฟฟ้า X

ตัวอย่างเช่น

ฉนวนไฟฟ้าของมาสเตอร์อิมเพรกเนทเคเบิล 600 Kcm/W

ฉนวนไฟฟ้ากระดาษอาบน้ำมัน = 500 ถึง 550 Kcm/W

ฉนวนไฟฟ้า PVC = 700 °Kcm/W

ฉนวนไฟฟ้า PE = 400 °Kcm/W

ฉนวนไฟฟ้า เชือกปอ = 600 °Kcm/W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 การลดหรือเพิ่มกระแสไฟฟ้าใช้งานเนื่องจากอุณหภูมิ

การกำหนดพิกัดกระแสไฟฟ้าใช้งานของสายเคเบิลกำลังจากสมการที่ 4.14 และสมการที่ 4.15 ซึ่งได้พิจารณาจากความต้านทานความร้อนของวัสดุฉนวนไฟฟ้า ในการพาความร้อนจากตัวนำออกสู่ผิวนอกสายเคเบิล และความสามารถในการแผ่รังสีจากผิวของสายเคเบิลให้กับตัวกลางรอบ ๆ ถ้าสมมติว่าตัวกลางที่ปกคลุมสายเคเบิลอยู่มีความสามารถในการพาความร้อนจากผิวของสายเคเบิลออกไปได้ดีมาก ดังนั้น $R_{tha} = 0$ และถ้าไม่พิจารณากำลังสูญเสียของไดอิเล็กทริก P_{die} ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับกำลังสูญเสียทางไฟฟ้า P_{el} ดังนั้น สมการที่ 4.14 กำหนดพิกัดกระแสไฟฟ้าของสายเคเบิลแกนเดียวสามารถเขียนให้สั้นลงเป็น

$$I_N = \sqrt{\frac{\Delta t}{R' \sum R_{th}}} \qquad (4.17)$$

เมื่อ $\sum R_{th}$: เป็นผลรวมค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนไฟฟ้าหุ้มตัวนำ ปลอกหุ้มเสื้อโลหะ และ/หรือปลอกหุ้มเกราะโลหะ

จากสมการที่ 4.17 จะเห็นว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างตัวนำกับตัวกลางรอบ ๆ สายเคเบิล Δt ได้ถูกจำกัดจากชนิดของฉนวนไฟฟ้าเนื่องจากฉนวนไฟฟ้าแต่ละชนิดมีขีดความสามารถทนต่ออุณหภูมิไม่เหมือนกัน ดังนั้นผู้ผลิตสายเคเบิลที่จะกำหนดพิกัดกระแสไฟฟ้า I_N ของสายเคเบิลนั้น ๆ ลงไปได้ จำเป็นจะต้องกำหนดอุณหภูมิอ้างอิง t_{aN} ของตัวกลางรอบ ๆ สายเคเบิลก่อน ตัวอย่างเช่น สายเคเบิลของบางกอกเคเบิล กำหนดอุณหภูมิรอบ ๆ ของอากาศ t_{aN} = 40°C และอุณหภูมิของดินรอบ ๆ สายเคเบิลที่ติดตั้งใต้ดิน 25°C เช่นเดียวกับอุณหภูมิรอบข้างของอากาศ t_{aN} = 40 °C ของบริษัท Phelps dodge เป็นต้น เพราะฉะนั้น การกำหนดพิกัดกระแสไฟฟ้าของสายเคเบิลจะได้ค่ามากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับการกำหนดอุณหภูมิของตัวกลางรอบ ๆ สายเคเบิลเป็นองค์ประกอบด้วย ดังนั้น จากสมการที่ 4.17 ความแตกต่างของอุณหภูมิ Δt ในที่นี้จะให้เป็นความแตกต่างของอุณหภูมิตามพิกัด Δt_N ซึ่งได้ค่าดังนี้

$$\Delta t_N = t_{L\max} - t_{aN} \qquad (4.18)$$

เมื่อ t_{Lmax} : เป็นค่าอุณหภูมิใช้งานที่ยอมได้สูงสุดของตัวนำซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของฉนวนไฟฟ้าห่อหุ้มตัวนำ เช่น PVC มีค่า t_{Lmax} = 70°C เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

t_{an} : เป็นค่าอุณหภูมิของตัวกลางรอบ ๆ สายเคเบิลตามพิกัด (อุณหภูมิอ้างอิง) เพราะฉะนั้นจากสมการที่ 4.17 จึงเขียนได้เป็น

$$I_N = \sqrt{\frac{\Delta t_N}{R' . \Sigma R_{th}}} \qquad (4.19)$$

ถ้าอุณหภูมิรอบ ๆ สายเคเบิลไม่ได้เป็นไปตามอุณหภูมิอ้างอิงของบริษัทผู้ผลิตสายเคเบิล เช่น อุณหภูมิของอากาศภายในอุโมงค์ติดตั้งสายเคเบิล t_a = 45 °C เป็นต้น ดังนั้น กระแสไฟฟ้าที่สามารถใช้ได้กับสายเคเบิลนี้ย่อมแตกต่างไปจากพิกัดกระแสไฟฟ้าในสมการที่ 4.19 ซึ่งคำนวณได้จาก

$$I = \sqrt{\frac{\Delta t}{R' . \Sigma R_{th}}} \qquad (4.20)$$

เมื่อ I : เป็นกระแสไฟฟ้าใช้งานได้จริงของสายเคเบิล โดยไม่ทำให้อุณหภูมิที่ตัวนำเพิ่มขึ้นเกินพิกัด

Δt : เป็นความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างตัวนำ $t_{L\max}$ กับอุณหภูมิของตัวกลางรอบ ๆ สายเคเบิล t_a จาก

$$\Delta t = t_{L\max} - t_a \qquad (4.21)$$

เมื่อนำสมการที่ 4.20 หารด้วยสมการที่ 4.21 จะได้

$$I = I_N \sqrt{\frac{\Delta t}{\Delta t_N}} \qquad (4.22)$$

และให้ $\sqrt{\frac{\Delta t}{\Delta t_N}}$ = C_a เป็นตัวประกอบการลดหรือเพิ่มกระแสไฟฟ้าเนื่องจากอุณหภูมิ เพราะฉะนั้น

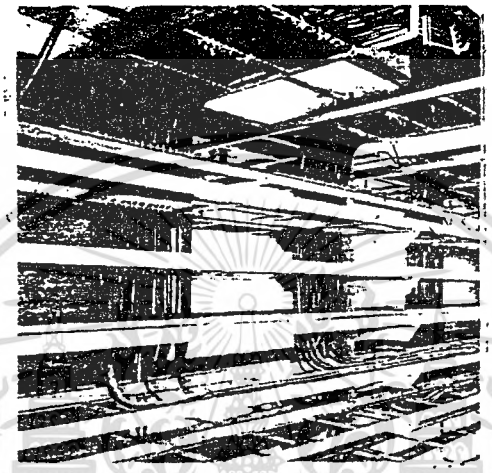
$$I = I_N \cdot C_a \qquad (4.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 กระแสไฟฟ้าใช้งานจากการติดตั้งสายเคเบิลที่แจ้ง

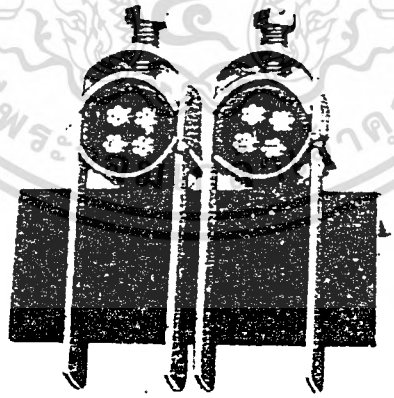
การติดตั้งสายเคเบิลที่แจ้งหมายถึง การติดตั้งสายเคเบิลนอกตัวอาคารหรือภายในตัวอาคาร อาจจะเป็นการติดตั้งพาดบนเสาไฟฟ้าเช่นเดียวกับการติดตั้งสายเปลือย หรือติดตั้งให้ยึดติดกับผนังอาคาร วางบนพื้น หรือติดตั้งบนรางสายเคเบิลเป็นต้น

ภาพที่ 23



แสดงลักษณะการติดตั้งสายเคเบิลบนรางภายในอาคาร

ภาพที่ 24



แสดงการยึดสายเคเบิลบนเหล็กตัว L ด้วยแคลมป์ เป็นลักษณะการติดตั้งบนผนังอาคาร

การติดตั้งสายเคเบิลที่แจ้งจึงมีอากาศเป็นตัวกลางปกคลุมอยู่รอบนอกสายเคเบิล การระบายความร้อนที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าภายในตัวนำสายเคเบิล อยู่ในเงื่อนไขเดียวกันกับที่ได้กล่าวมาแล้วในข้อ 4.1 และขนาดกระแสไฟฟ้าที่จะใช้ได้จริงขึ้นอยู่กับชนิดของสายเคเบิล อุณหภูมิของอากาศรอบ ๆ สายเคเบิล และจำนวนสายเคเบิลในบริเวณใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1 ผลของอุณหภูมิของอากาศ

ผลของอุณหภูมิทำให้ความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของสายเคเบิลเพิ่มขึ้น หรือลดลง ทั้งนี้ แล้วแต่ว่าอากาศบริเวณที่ติดตั้งสายเคเบิลต่ำกว่า หรือสูงกว่าอุณหภูมิอ้างอิง t_{aN} จากสมการที่ 4.23 สามารถใช้คำนวณกระแสไฟฟ้าที่จะใช้ได้จริงกับสายเคเบิล โดยที่ไม่ทำให้อุณหภูมิของตัวนำสูงเกินกว่าพิกัด และตารางที่ 4 แสดงค่าตัวประกอบลดหรือเพิ่มกระแสไฟฟ้า C_a สำหรับการติดตั้งสายเคเบิลในที่แจ้ง โดยมีอุณภูมิอ้างอิง t_{aN} = 30 °C วัสดุฉนวนไฟฟ้าห่อหุ้มตัวนำทำจากวัสดุสังเคราะห์ PVC, XLPE/EPR และ ทำจากแร่ Mg oxide เปลือกโลหะที่เรียกว่า MI Cable

ตารางที่ 3

แสดงค่าตัวประกอบลดหรือเพิ่มกระแสไฟฟ้า C_a ติดตั้งที่แจ้ง อุณหภูมิอ้างอิง 30 ° C

Ambient temperature (°C)	Insulation			
	PVC	XLPE and EPR	Mineral*	
			PVC covered or bare and exposed to touch 70 °C	Bare not exposed to touch 105 °C
10	1.22	1.15	1.26	1.14
15	1.17	1.12	1.20	1.11
20	1.12	1.08	1.14	1.07
25	1.06	1.04	1.07	1.04
35	0.94	0.96	0.93	0.96
40	0.87	0.91	0.85	0.92
45	0.79	0.87	0.87	0.88
50	0.71	0.82	0.67	0.84
55	0.61	0.76	0.57	0.80
60	0.50	0.71	0.45	0.75
65	–	0.65	–	0.70
70	–	0.58	–	0.65
75	–	0.50	–	0.60
80	–	0.41	–	0.54
85	–	–	–	0.47
90	–	–	–	0.40
95	–	–	–	0.32

ตารางที่ 4

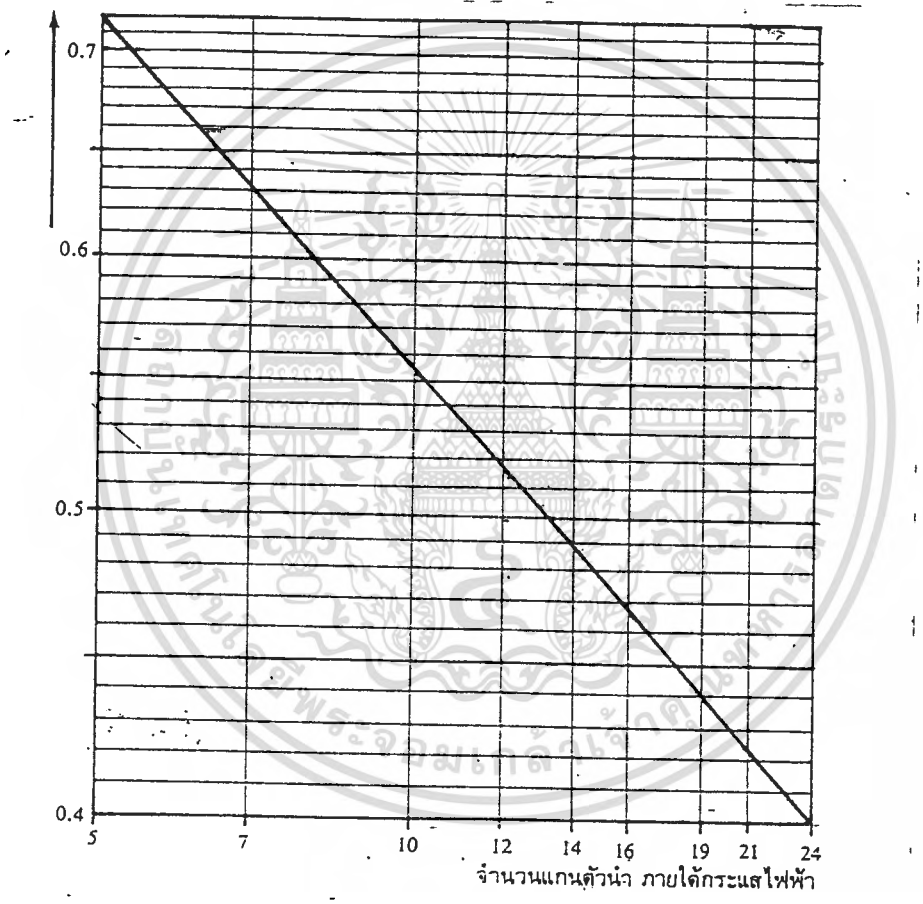
แสดงค่าตัวประกอบการลดหรือเพิ่มกระแสไฟฟ้า C_a ติดตั้งใต้ดิน อุณหภูมิอ้างอิง 20 ° C

Ground temperature (°C)	Insulation	
	PVC	XLPE and EPR
10	1.10	1.07
15	1.05	1.04
25	0.95	0.96
30	0.89	0.93
35	0.84	0.89
40	0.77	0.85
45	0.71	0.80
50	0.63	0.76
55	0.55	0.71
60	0.45	0.65
65	–	0.60
70	–	0.53
75	–	0.46
80	–	0.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าสายเคเบิลเป็นพวกสายควบคุม ซึ่งมีจำนวนแกนตัวนำมากกว่าพวกสายเคเบิลกำลัง การลดทอนกระแสไฟฟ้าเนื่องจากอุณหภูมิสามารถใช้สมการที่ 4.23 คำนวณได้ในทำนองเดียวกัน แต่มีเงื่อนไขจากจำนวนแกนตัวนำมากกว่าสายเคเบิลกำลัง จึงต้องมีตัวประกอบการคูณเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งตัวเนื่องจากจำนวนแกนตัวนำดังแสดงในภาพที่ 25

ภาพที่ 25



แสดงค่าตัวประกอบการคูณของสายเคเบิลควบคุม
ขึ้นอยู่กับจำนวนแกนตัวนำเฉพาะที่อยู่ภายใต้กระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ผลจากจำนวนสายเคเบิล

ตัวประกอบการลดกระแสไฟฟ้าใช้งานของสายเคเบิลติดตั้งที่แจ้งอีกตัวหนึ่ง คือตัวประกอบจำนวนสายเคเบิล C_g ทั้งนี้ ได้พิจารณาจากการแผ่รังสีความร้อนจากผิวของสายเคเบิลออกสู่อากาศรอบ ๆ เมื่อจำนวนสายเคเบิลมากขึ้น อากาศบริเวณติดตั้งสายเคเบิลย่อมจะอุณหภูมิสูงกว่าการติดตั้งสายเคเบิลเพียงเส้นเดียว และเป็นผลให้การระบายความร้อนของสายเคเบิลแต่ละเส้นยากขึ้นอีกด้วย ตารางที่ 5 ได้ให้ค่าตัวประกอบจำนวนสายเคเบิลสำหรับสายหลายแกน และตารางที่ 6 ได้ให้ค่าตัวประกอบจำนวนสายเคเบิลสำหรับสายแกนเดียวติดตั้งบนรางเคเบิล และรางบันไดในลักษณะเรียงสายเคเบิลเป็นแบบลำดับราบ Flatformation หรือวางเป็นรูปสามเหลี่ยม 1 วงจร (3 เส้น) Trefoil หรือมากกว่า

ตารางที่ 5

แสดงค่าตัวประกอบจำนวนสายเคเบิล Cg สำหรับสายหลายแกน

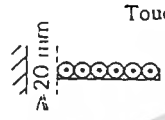
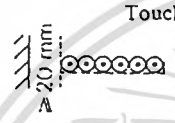
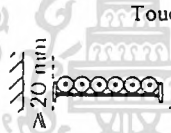
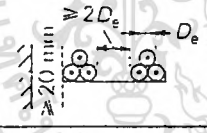
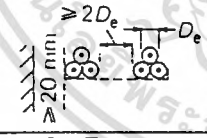
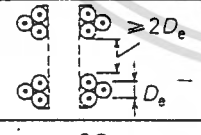
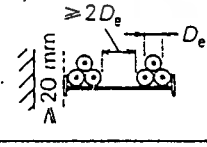
ในระบบไฟฟ้า 3 เฟส 1 วงจรหรือมากกว่า

Installation method in Table 52-B2			Number of trays	Number of cables: 1	2	3	4	6	9
Unperforated trays (Note 3)	H	Touching	1	0.95	0.85	0.80	0.75	0.70	0.70
			2	0.95	0.85	0.75	0.75	0.70	0.65
			3	0.95	0.85	0.75	0.70	0.65	0.60
		Spaced	1	1.00	0.95	0.95	0.95	0.90	—
			2	0.95	0.95	0.90	0.90	0.85	—
			3	0.95	0.95	0.90	0.90	0.85	—
Perforated trays (Note 3)	J	Touching	1	1.00	0.90	0.80	0.80	0.75	0.75
			2	1.00	0.85	0.80	0.75	0.75	0.70
			3	1.00	0.85	0.80	0.75	0.70	0.65
		Spaced	1	1.00	1.00	1.00	0.95	0.90	—
			2	1.00	1.00	0.95	0.90	0.85	—
			3	1.00	1.00	0.95	0.90	0.85	—
Vertical perforated trays (Note 4)	K	Touching	1	1.00	0.90	0.80	0.75	0.75	0.70
			2	1.00	0.90	0.80	0.75	0.70	0.70
		Spaced	1	1.00	0.90	0.90	0.90	0.85	—
			2	1.00	0.90	0.90	0.85	0.85	—
Ladder supports, cleats, etc. (Note 3)	L	Touching	1	1.00	0.85	0.80	0.80	0.80	0.80
			2	1.00	0.85	0.80	0.80	0.75	0.75
			3	1.00	0.85	0.80	0.75	0.75	0.70
		Spaced	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	—
			2	1.00	1.00	1.00	0.95	0.95	—
			3	1.00	1.00	0.95	0.95	0.95	—

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ หรือแสวงหาผลประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6

แสดงค่าตัวประกอบจำนวนสายเคเบิล Cg สำหรับสายแกนเดียวในระบบไฟฟ้า 3 เฟส

Installation method in Table 52-B2			Number of three-phase circuits (Note 5)				Use as a multiplier to rating for
			Number of trays	1	2	3	
Unperforated trays (Note 3)	M	Touching 	1	0.95	0.90	0.85	Three cables in horizontal formation
			2	0.92	0.85	0.80	
			3	0.90	0.80	0.75	
Perforated trays (Note 3)	N	Touching 	1	0.95	0.90	0.85	
			2	0.95	0.85	0.80	
			3	0.90	0.85	0.80	
Vertical perforated trays (Note 4)	P	Touching	1	0.95	0.85	—	Three cables in vertical formation
			2	0.90	0.85	—	
Ladder · supports. cleats. etc. (Note 3)	Q	Touching 	1	1.00	0.95	0.95	Three cables in horizontal formation
			2	0.95	0.90	0.90	
			3	0.95	0.90	0.85	
Unperforated trays (Note 3)	M		1	1.00	0.95	0.95	Three cables in trefoil formation
			2	0.95	0.90	0.85	
			3	0.95	0.90	0.85	
Perforated trays (Note 3)	N		1	1.00	1.00	0.95	
			2	0.95	0.95	0.90	
			3	0.95	0.90	0.85	
Vertical perforated trays (Note 4)	P		1	1.00	0.90	0.90	
			2	1.00	0.90	0.85	
Ladder supports, cleats, etc. (Note 3)	Q		1	1.00	1.00	1.00	
			2	0.95	0.95	0.95	
			3	0.95	0.95	0.90	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 แรงดันตก (Voltage Drop)

แรงดันตก คือความแตกต่างระหว่างขนาดแรงดันไฟฟ้าที่จุดแหล่งจ่ายต้นทาง และจุดรับไฟฟ้าปลายทาง แรงดันตกเกิดจากการที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสายเคเบิลที่มีค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของตัวสายเคเบิลเอง

แรงดันตกเป็นปัญหาสำคัญมากอีกปัญหาหนึ่งที่จะต้องพิจารณาเมื่อใช้สายไฟฟ้าที่มีความยาวมาก ๆ ผลของแรงดันตกมีมากมายเช่น ความสว่างของหลอดไฟฟ้าจะแปรตามแรงดันยกกำลังสอง ถ้ามีแรงดันตก 1 เปอร์เซนต์ ก็จะส่งผลให้ความสว่างของหลอดไฟลดลง 2 เปอร์เซนต์ แต่ถ้ามีแรงดันตกถึง 10 เปอร์เซนต์ ความสว่างของหลอดไฟจะลดลงถึง 19 เปอร์เซนต์ ถ้าเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent) การที่แรงดันตกจะทำให้การสตาร์ทยาก บัลลาสต์ร้อนเกินไปเป็นต้น การที่เกิดปัญหาต่าง ๆ จากแรงดันตก จึงต้องมีข้อกำหนดเกี่ยวกับแรงดันตกที่ยอมให้มีได้สำหรับงานประเภทต่าง ๆ ขนาดแรงดันตกควรจะมีค่าดังนี้

- แรงดันตกจากสายเมน(Service) ไปยังโหลด (Load) มีค่าไม่เกิน 5 %
- แรงดันตกในสายป้อน(Feeder) มีค่าไม่เกิน 2 %
- แรงดันตกในวงจรย่อย(Branch Circuit) มีค่าไม่เกิน 3 %

การคำนวณหาแรงดันตกสามารถทำได้โดยพิจารณาวงจรสมมูล 1 เฟส และเฟสเซอร์ไดอะแกรมตามภาพที่ 26

จากภาพเมื่อคำนวณแรงดันตกที่ความยาวสายเคเบิล 1 เมตร จะได้

$$VD \approx I(R\cos\theta + X\sin\theta) \quad [V/m] \qquad (4.24)$$

เมื่อ VD = แรงดันตก (V)

I = กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร (A)

R = ค่าความต้านทานทางเดียวของสายไฟฟ้า (Ω)

X = ค่ารีแอคแตนซ์ทางเดียวของสายไฟฟ้า (Ω)

$\cos\theta$ = ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของโหลด (PF)

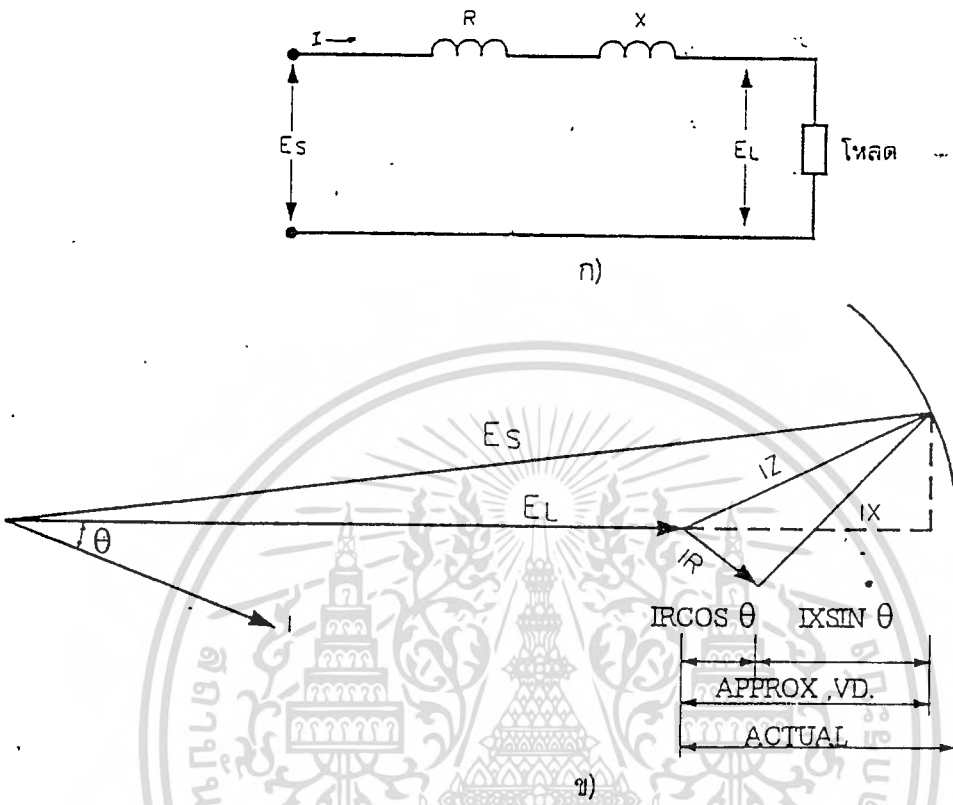
ถ้าสายเคเบิลยาว L เมตรจะได้แรงดันตก

สำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย

$$VD \approx 2IL(R\cos\theta + X\sin\theta) \quad [V]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 26



ก) แสดงวงจรสมมูล ข) แสดงเฟสเซอร์ไดอะแกรม

สำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย

$$VD \approx \sqrt{3}\, IL\,(R\cos\theta + X\sin\theta) \quad [V]$$

จากสมการที่ (4.24) จะเห็นว่าค่าแรงดันตกขึ้นอยู่กับ

- ค่าอิมพีแดนซ์ของสายเคเบิลประกอบด้วยค่า R และค่า X
- ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าหรือ PF ของโหลด
- ความยาวของสายเคเบิล

4.5.1 ค่าอิมพีแดนซ์ของสายเบิล

ค่า R ของสายเคเบิลสามารถหาได้จากมาตรฐานสายไฟฟ้า ซึ่งได้ค่าที่อุณหภูมิ 20° C ซึ่งคำนวณตามสมการที่ 4.25 สำหรับการคำนวณหาค่าแรงดันตกจะต้องปรับ R ไปที่อุณหภูมิใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานซึ่งมีค่า t ° C โดยอุณหภูมิ t คำนวณได้ตามสมการที่ 4.26 ส่วนสมการที่ 4.27 เป็นการคำนวณค่า R ที่อุณหภูมิ t °C

$$R_{20} = \frac{\rho}{S} \qquad [\Omega/m] \qquad (4.25)$$

เมื่อ $\rho = \frac{1}{54}$ $[\Omega\ mm^2/m]$ สำหรับตัวนำทองแดง

$= \frac{1}{34}$ $[\Omega\ mm^2/m]$ สำหรับตัวนำอลูมีเนียม

S = ขนาดพื้นที่หน้าของสายเคเบิล $[mm^2]$

$$t = t_a + \Delta t\left(\frac{I_L}{I_Z}\right)^2 \qquad (4.26)$$

เมื่อ t เป็นอุณหภูมิรอบตัวนำขณะมีกระแสไฟฟ้าไหล [° C]

t_a เป็นอุณหภูมิอ้างอิงรอบข้าง [° C]

Δt เป็นอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิอ้างอิง = t - t_a [° C]

I_L เป็นกระแสโหลดที่ไหลผ่านสายเคเบิล [A]

I_Z เป็นความสามารถในการรับกระแสของสายเคเบิล [A]

$$R_t = R_{20}[\ 1 + \alpha_{20}(t - 20)\ ] \qquad [m\Omega] \qquad (4.27)$$

เมื่อ R_t เป็นค่า R ที่อุณหภูมิ t ° C $[\Omega/m]$

R_{20} เป็นค่า R ที่อุณหภูมิ 20 ° C $[\Omega/m]$

α_{20} เป็นสัมประสิทธิ์ด้านอุณหภูมิของตัวนำ

0.00393 สำหรับทองแดง

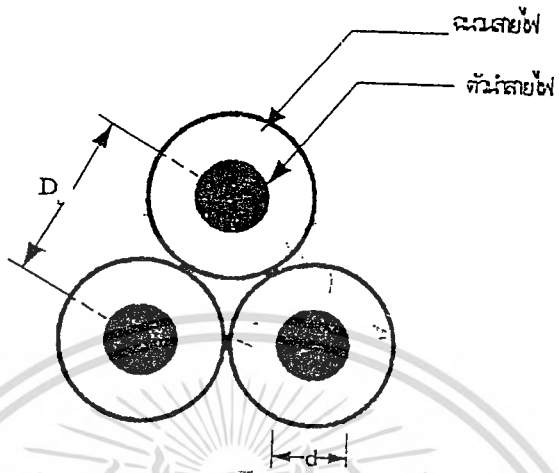
0.00403 สำหรับอลูมีเนียม

t เป็นอุณหภูมิรอบตัวตัวนำขณะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน [° C]

ค่า X ของสายเคเบิล ขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำ และระยะห่างระหว่างตัวนำ สำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟสที่สายไฟฟ้าวางที่มุมสามเหลี่ยมสมมาตร (Trefoil) ในอากาศดังภาพที่ 26 ส่วนสมการความเหนี่ยวนำ และสมการของ X จะแสดงในสมการที่ 4.28 และสมการ 4.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 27



การวางสายเคเบิลแบบสามเหลี่ยมสมมาตร (Trefoil)

ค่าความเหนี่ยวนำสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$L = 0.46Log\left(\frac{2D}{d}\right) + K \qquad [mH/m] \qquad (4.28)$$

เมื่อ K เป็นค่าคงที่ของสายตีเกลียว (Stranding) ;

= 0.075 สำหรับ 3 Strand

= 0.064 สำหรับ 7 Strand

= 0.056 สำหรับ 19 Strand

= 0.053 สำหรับ 37 ถึง 61 Strand

= 0.052 สำหรับ 91- 127 Strand

= 0.05 สำหรับสายตัวนำเดี่ยว Solid

สำหรับสาย 2 แกน หรือ 3 แกน ค่าความเหนี่ยวนำจากสูตรข้างต้นให้คูณด้วย 1.02

ดังนั้นจะได้ $X = 2\pi fL \qquad [\Omega/m] \qquad (4.29)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ากำลังของสายเคเบิล (PF)

ค่า กระแส I_L ของโหลดมีค่าไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับโหลดชนิดนั้น ๆ โหลดบางชนิดมี PF คงที่ เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ แต่โหลดบางชนิดมีค่า PF เปลี่ยนไปตามการใช้งานเช่น มอเตอร์ ดังนั้น การกำหนดค่า PF สำหรับโหลดเพื่อคำนวณแรงดันตกจึงทำได้ยาก โดยทั่วไปผู้คำนวณจะต้องกำหนดค่า PF ขึ้นเอง และค่า PF ที่นิยมใช้มากที่สุดคือ 80 % ตามหลัง (Lagging)

4.5.3 ความยาวของสายเคเบิล (L)

ความยาวของสายเคเบิลมีผลต่อค่าแรงดันตก ยิ่งค่า L มีค่ามากเท่าไร ก็จะทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายมากขึ้นเท่านั้น ดังนั้นในการคำนวณหาแรงดันตก ควรจะคำนึงถึงความยาวของสายเคเบิลด้วย

4.6 พิกัดกระแสลัดวงจรของสายเคเบิล (Short Circuit Rating)

ในการออกแบบและเลือกใช้สายเคเบิลนั้นควรต้องคำนึงถึงพิกัดการทนต่อกระแสลัดวงจรของสายเคเบิลด้วย เนื่องจากในระบบไฟฟ้ากำลังมีโอกาสเกิดการลัดวงจรเนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ ที่บางครั้งไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ แต่สามารถป้องกันได้โดยใช้อุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรที่เรียกว่าเซอร์กิตเบรคเกอร์ ซึ่งสามารถตัดการนำกระแสได้เมื่อเกิดลัดวงจร แต่เนื่องจากการเลือกใช้เซอร์กิตเบรคเกอร์ในการป้องกันสายเคเบิลนั้นจะต้องเลือกให้สามารถตัดการนำกระแสได้ภายในเวลาที่สายเคเบิลสามารถทนต่อกระแสลัดวงจรนั้น ๆ ได้ ดังนั้นพิกัดกระแสลัดวงจรของสายเคเบิลจึงสามารถกำหนดได้โดยการตั้งเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรคเกอร์ด้วยดังแสดงในสมการที่ 4.30

$$I_C \geq \sqrt{\frac{K^2 S^2}{t}} \quad [\text{KA}] \qquad (4.30)$$

เมื่อ I_C เป็นพิกัดกระแสลัดวงจร [KA]

S เป็นขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายเคเบิล [mm^2]

t เป็นเวลาที่สามารถตัดการนำกระแสของเซอร์กิตเบรคเกอร์ [Sec]

K เป็นค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับชนิดของฉนวน

ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากทราบค่ากระแสลัดวงจรที่จุดใด ๆ ก็สามารถคำนวณหาเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรคเกอร์ได้จากสมการ

$$t \leq \frac{K^2 S^2}{I_f^2} \quad [\text{sec}] \qquad (6.42)$$

เมื่อ I_f เป็นค่ากระแสลัดวงจรที่จุดใด ๆ [KA]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ชนิดของกระแสลัดวงจร

ชนิดของกระแสลัดวงจรที่เป็นไปได้มีดังนี้

4.7.1 Short-Circuited Faults

- Three-phase fault clear to earth fault.
- Three-phase-to-earth fault.
- Phase-to-phase fault.
- Single-phase-to-earth fault.
- Two-phase-to-earth fault.
- Phase-to-phase plus single-phase-to-earth fault.

4.7.2 Open-Circuit Faults

- Single-phase open circuit fault.
- Two phase open circuit.
- Three phase open circuit.

4.7.3 Winding Faults

- Winding-to-earth short-circuit.
- Winding-to-winding short circuit.
- Open-circuited winding.

4.7.4 Simultaneous Faults

เป็นการเกิด Faults ที่มากกว่า 2 Faults ในเวลาเดียวกัน ซึ่ง Faults ที่เกิดขึ้นนั้นอาจเป็น Fault ชนิดเดียวกัน หรือต่างชนิดกัน หรือ อาจเกิดขึ้นในที่เดียวกัน หรือเกิดขึ้นต่างที่กันก็ได้.

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าหลักเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาเลือกใช้สายเคเบิลประกอบด้วย

- เลือกสายเคเบิลที่มีความสามารถในการรับกระแสของโหลดเพียงพอสามารถทนต่ออุณหภูมิขณะมีกระแสไหลได้โดยที่สายเคเบิลไม่เกิดความเสียหาย
- มีแรงดันตกในสายอยู่ในขอบเขตที่กำหนด
- พิจารณาพิกัดการทนต่อกระแสลัดวงจรของสายเคเบิลในเวลาที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

ในบทนี้จะแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม โดยจะเริ่มจากการป้อนตัวแปรหรือพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณทั้งหมด ซึ่งจะแสดงเป็นโฟลว์ชาร์ทการรับข้อมูลหน้าจอของโปรแกรม จากนั้นก็จะเป็นหน้าต่างสรุปค่าพารามิเตอร์อินพุท ที่ ผู้ออกแบบหรือผู้ใช้งานป้อนเข้าไปในแต่ละครั้งซึ่งแตกต่างกันตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องในขณะนั้น สุดท้ายจะแสดงหน้าต่างแสดงผลลัพธ์ต่าง ๆ ที่ผู้ออกแบบ หรือผู้ใช้ต้องการ

5.1 ตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องคือ

- พิกัดแรงดันใช้งาน (Service Voltage) --- V_n
- ชนิดของระบบวงจรไฟฟ้า (Circuit type) --- 1 ϕ หรือ 3 ϕ
- ความถี่ใช้งาน (Frequency) --- f
- ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) --- P.F
- ระบบการต่อลงดิน (Earthing System) ---- IT, TN-C, TN-S, TN-C-S
- กระแสโหลด (Load Current) --- I_L
- พิกัดกระแสใช้งาน (I_t)
- พิกัดกระแสตามตาราง (Itable)
- พิกัดความทนต่อกระแส (Current Carrying Capacity) --- I_Z
- กระแสลัดวงจร (Short Circuit Current) --- I_K''
- เปอร์เซนต์แรงดันตกในสายเคเบิล (Voltage Drop Percentage) --- %Vd)
- ความยาวสายเคเบิล (Cable Length) --- L
- วัสดุตัวนำที่เลือกใช้ (Insulating Material) --- PVC, XLPE, EPR, MI
- วัสดุตัวนำที่เลือกใช้ (Conducting Material) --- Cu หรือ Al
- ลักษณะตัวนำ (Conductor Type) --- Insulated Conductor, Single-Core, Multi-core
- ลักษณะการจัดวางตัวนำ (Cable Arangement) --- Trefoil, Flatformation
- สถานะของสายนิวทรอล (Neutral Status)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

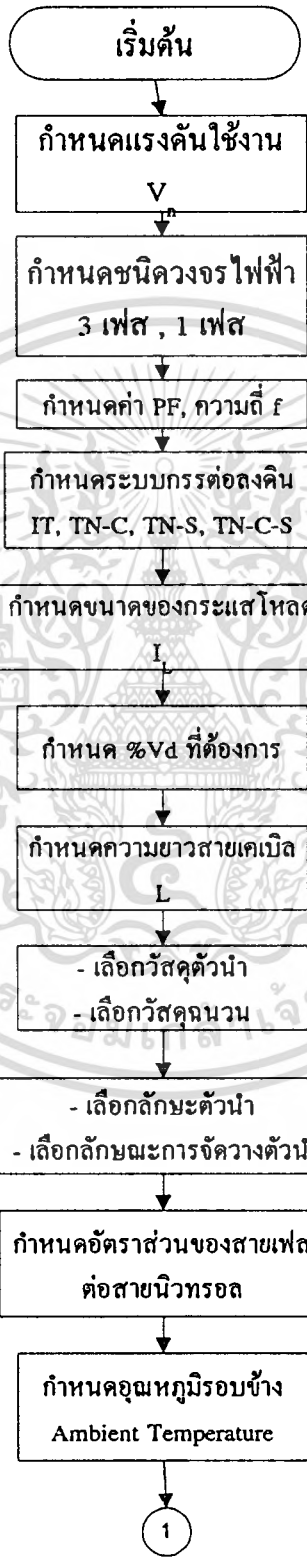
- สัดส่วนของสายเฟสต่อสายนิวทรอล (Ratio Phase/Neutral)
- อุณหภูมิใช้งาน (Operating Temperature) --- t
- อุณหภูมิรอบข้าง (Ambient Temperature) --- t_a
- วิธีการติดตั้ง (Installation Method) --- A, B, C, D, E, F, G
- จำนวนวงจรข้างเคียง (Number of Adjacent Circuit)
- Correction factor ของอุณหภูมิอ้างอิงรอบข้าง --- C_a
- Correction factor ของจำนวนวงจรที่มากกว่า 1 วงจร--- Cg
- Correction factor ของอุณหภูมิอ้างอิงสูงสุดของฉนวน -- C_t
- Correction factor ของความต้านทานความร้อนของดิน --- C_i
- Correction factor สำหรับผู้ใช้งาน (User Correction Factor) --- C_U
- ตัวประกอบการคูณรวม (Total Correction Factor) --C_T=Ci*Ca*Cg*Ct*Cu
- พื้นที่หน้าตัดของสายเคเบิล (Cable Cross-Section Area) --- S
- จำนวนตัวนำขนาน (Cable in Parallel) --- N
- พื้นที่หน้าตัดของสายนิวตรอล (Neutral Cross-Section) --- Sn
- พื้นที่หน้าตัดของตัวนำป้องกัน (Protective Conductor) --- PE
- ค่าความต้านทานของตัวนำที่อุณหภูมิ 20 ^{o}C (Phase Resistance 20^{o}C)--- R_{20}
- ค่าความต้านทานของสายเคเบิลที่อุณหภมิใช้งาน(Phase Resistance t ^{o}C)--- R_t
- ค่ารีแอ็คแตนท์ของสายเคเบิล (Cable Reactance)--- X
- กำลังงานสูญเสียในสาย (Dissipated Power) --- P
- ค่าการส่งผ่านพลังงานจำเพาะ(Specific let Through Energy)-- I^2t
- เวลาในการตัดกระแสลัดวงจรของเซอร์กิตเบรคเกอร์--- t_{CB}
- พิกัดกระแสลัดวงจร (Short Circuit Rating) --- I_C

หมายเหตุ : ตัวประกอบการคูณจะเป็นค่าที่เกิดจากการที่สายเคเบิลถูกนำไปติดตั้งอยู่ในสภาวะต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 Flow Chart

ภาพที่ 28



แสดง Flow Chart

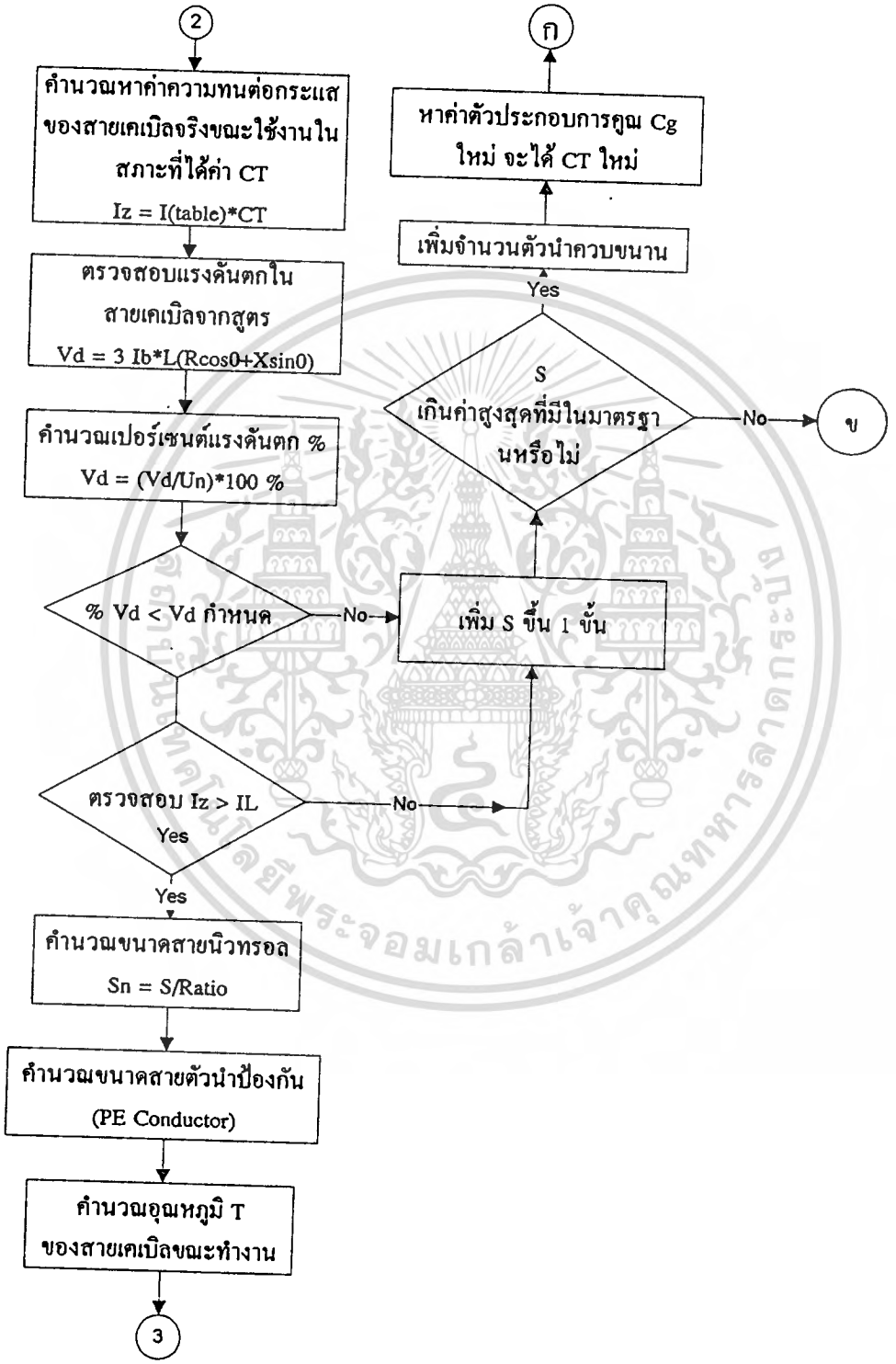
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 28 (ต่อ)

แสดง Flow Chart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

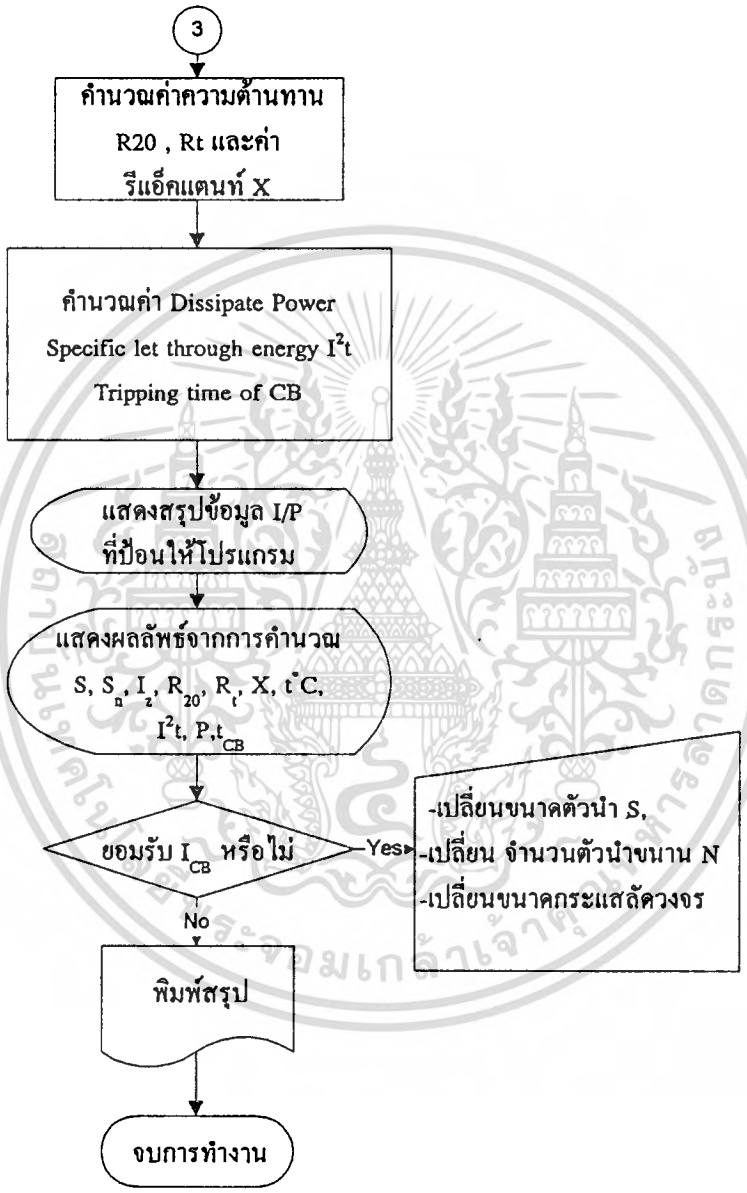
ภาพที่ 28 (ต่อ)



แสดง Flow Chart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 28 (ต่อ)



แสดง Flow Chart

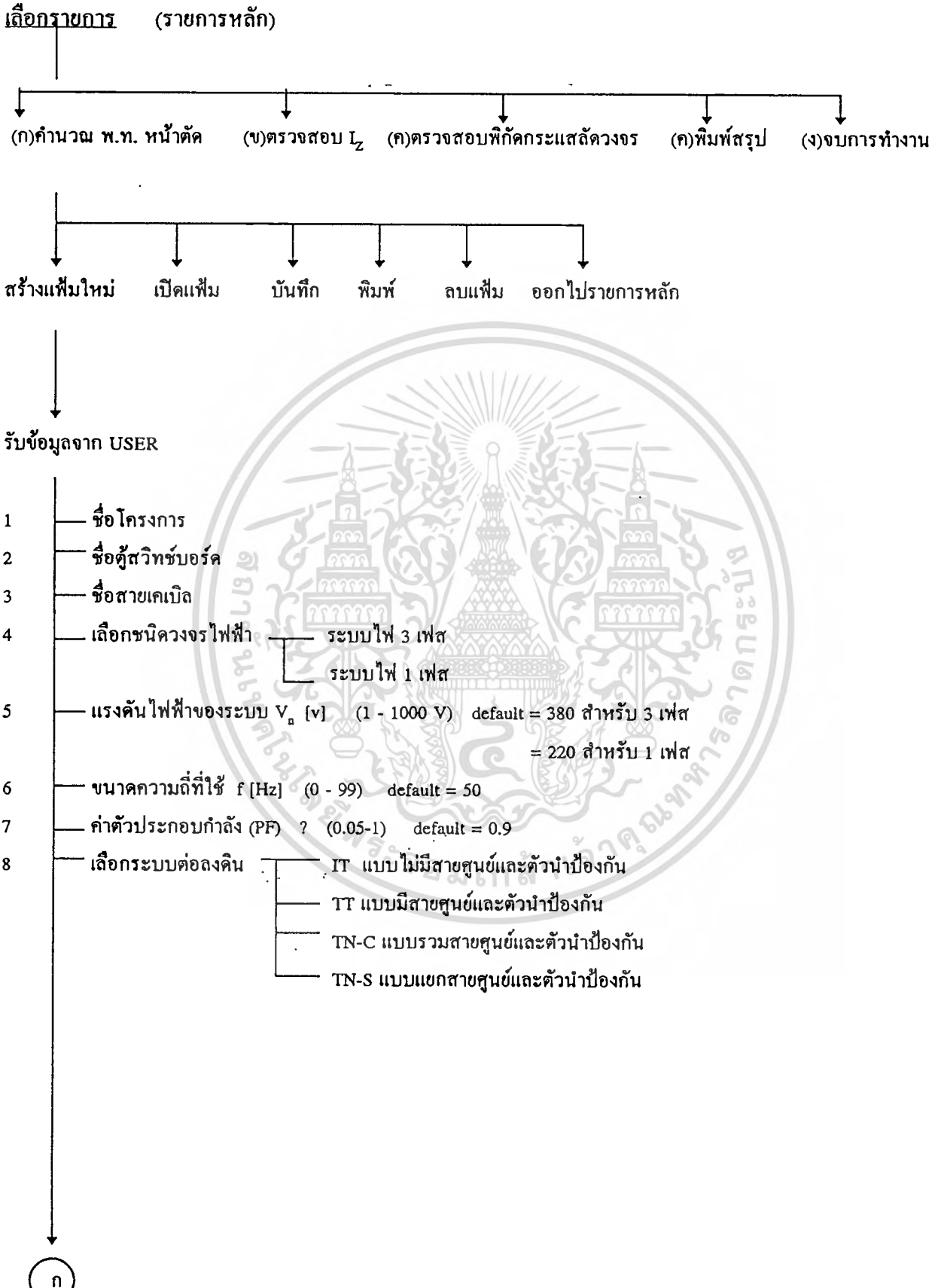
5.3 เงื่อนไขและกฎเกณฑ์ในการป้อนข้อมูล

เงื่อนไขกฎเกณฑ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในโปรแกรมได้แสดงไว้ในภาพที่ 29

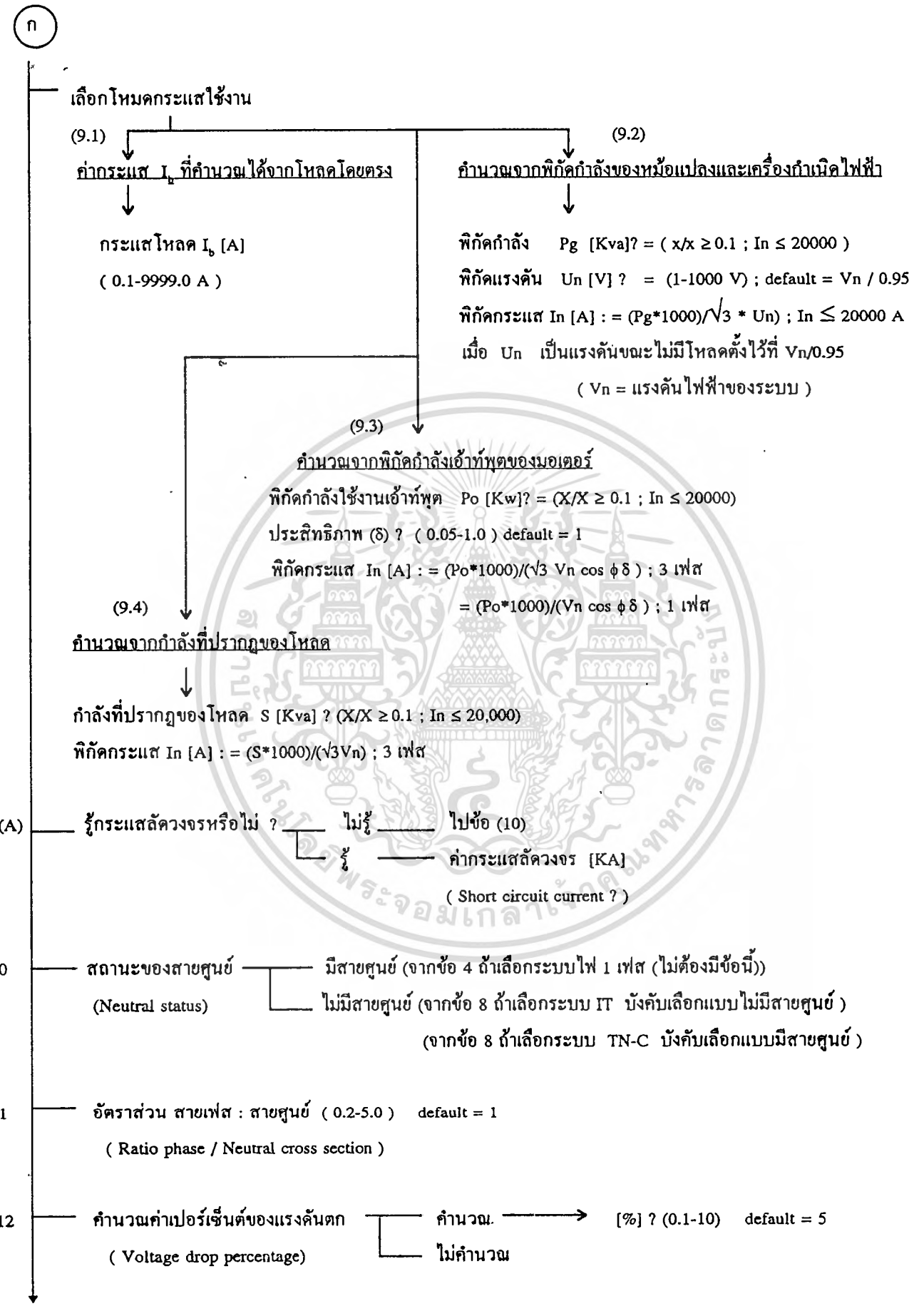
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 29

ผังรายการแสดงปัจจัยและเงื่อนไขที่มีผลต่อการเลือกสายเคเบิล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข)

13 เลือกวัสดุของตัวนำ (Conductor Material)
- ทองแดง
- อลูมิเนียม

(ข้อ 14 จะเหลือเพียง (14.1) และ (14.2) เท่านั้น

14 เลือกวัสดุฉนวน (Insulating Material)
- 14.1) โพลีไวนีลคลอไลด์ (PVC)
- 14.2) คลอสลิ้งค์โพลีเอธีลีน (XLPE) หรือ เอธีลีนโปรไพลีน (EPR)
- 14.3) ฉนวนแร่เปลือกโลหะหุ้ม PVC (MI cable PVC cover)
- 14.4) ฉนวนแร่เปลือกโลหะเปลือยสัมผัส (MI bare eposed to touch)
- 14.5) ฉนวนแร่เปลือกโลหะเปลือยไม่สัมผัส (MI bare non exposed to touch)

เลือก
- แบบหน้าที่เบา (Light Duty 500 V)
- แบบหน้าที่หนัก (Heavy Duty 750 V)

15 เลือกลักษณะตัวนำ (Type of Conductor)
- สายหุ้มฉนวนไม่มีเปลือกสาย (Insulated Conductor)
- สายหลายแกน (Multocore Cable) ถ้าเลือกข้อนี้ผ่านข้อ 17 ไปเลย
- สายแกนเดียว (Single core Cable)

16 ความยาวสายเคเบล [m] ?

17 เลือกลักษณะการจัดวางตัวนำ (Conductor arrangement)
- วางแบบสามเหลี่ยมสมมาตร (Trefoil)
- วางแนวราบเรียงเฟส ($L_1L_2L_3/L_1L_2L_3$)
- วางแนวราบสลับเฟส ($L_1L_1/L_2L_2/L_3L_3$)

18 ต้องการเปลี่ยนขนาดอุณหภูมิอ้างอิงของฉนวนหรือไม่ (change the reference maximum temperature)
- ต้องการ
  - อุณหภูมิใช้งาน [°C] ?
  - อุณหภูมิขณะลัดวงจร [°C] ?
  - (มีผลต่อค่า Ct)
- ไม่ต้องการ

19 เลือกวิธีการเดินสาย (Type of installation)
- A,B
- C,C'
- D
- E/H , E/J , E/K , E/L
- F/M , F/N , F/P , F/Q
- G

ณ จุดนี้ สามารถนำข้อมูล เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของตัวนำและความสามารถในการรับกระแสในตาราง 52-C1 ถึง 52-C12 ของ IEC 364-5-523 ได้แล้ว ประกอบ

ต่อไปจะเป็นส่วนของการหาค่าตัวประกอบการคูณ CT ซึ่ง เท่ากับ Ci*Ca*Cg*Ct*Cu

(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค

อุณหภูมิรอบข้าง (Ambient temperature) Ca [°C] 2 (สัมพันธ์กับข้อ 14 ให้ดูตาราง 52-D1 และ 52-D2)

ดู Ref 523-1 ประกอบ (52-D2 จะใช้กับการเดินสายแบบ D เท่านั้น)

ต่อไปนี้ขึ้นอยู่ที่ว่า USER จะเลือกวิธีการเดินสายในข้อ 18 อย่างไร ซึ่งแต่ละวิธีก็จะทำให้โปรแกรมมีขั้นตอนการทำงานแตกต่างกันออกไป เพื่อหาค่า Cg ที่ถูกต้อง

หา Cg จากตาราง 52-E1 ถึง 52-E5)

ถ้าเลือกวิธีการเดินสายแบบ A หรือ B
- Cg ใช้ตาราง 52-D1+ ค่าในข้อ 20
- Cg ใช้ตาราง 52-E1

(Other circuit or adjacent multicore cable)

มีวงจรอื่นวางอยู่ข้างเคียงหรือไม่
- ไม่มี → แสดง Cg ในตาราง 52-E1, ITEM 1 คอลัมน์ที่ 1 (cg=1)
- มี

(Three phase circuit) (Total No. of three core cables)

22.1 วงจร สามเฟส : จำนวนเส้นของสายสามแกน ? (0-X) ; (เมื่อ X=1,2,3...n)

(Total No. Single core cables)

จำนวนเส้นของสายแกนเดียว ? (0-3Y) ; (เมื่อ Y=1,2,3...n)

(Two phase circuit) (Total No. of two core cables)

22.2 วงจรเฟสเดียว : จำนวนเส้นของสายสองแกน ? (0-a) ; (เมื่อ a=1,2,3...n)

(Total No. Single core cables)

จำนวนเส้นของสายแกนเดียว ? (0-2b) ; (เมื่อ b=1,2,3...n)

(Total circuit)

22.3 รวมจำนวนวงจรทั้งหมด : (x+y+a+b+1) = z (x,a,b และ b เป็นจำนวนวงจรของแต่ละชุด และ 1 คือจำนวนวงจรของตัวเอง)

22.4 เอาค่า Z ที่ได้ไปหา Cg ในตาราง 52-E1, ITEM ที่ 1 (Z คือ Number of Circuit or multicore cable)

22.5 แสดง Cg

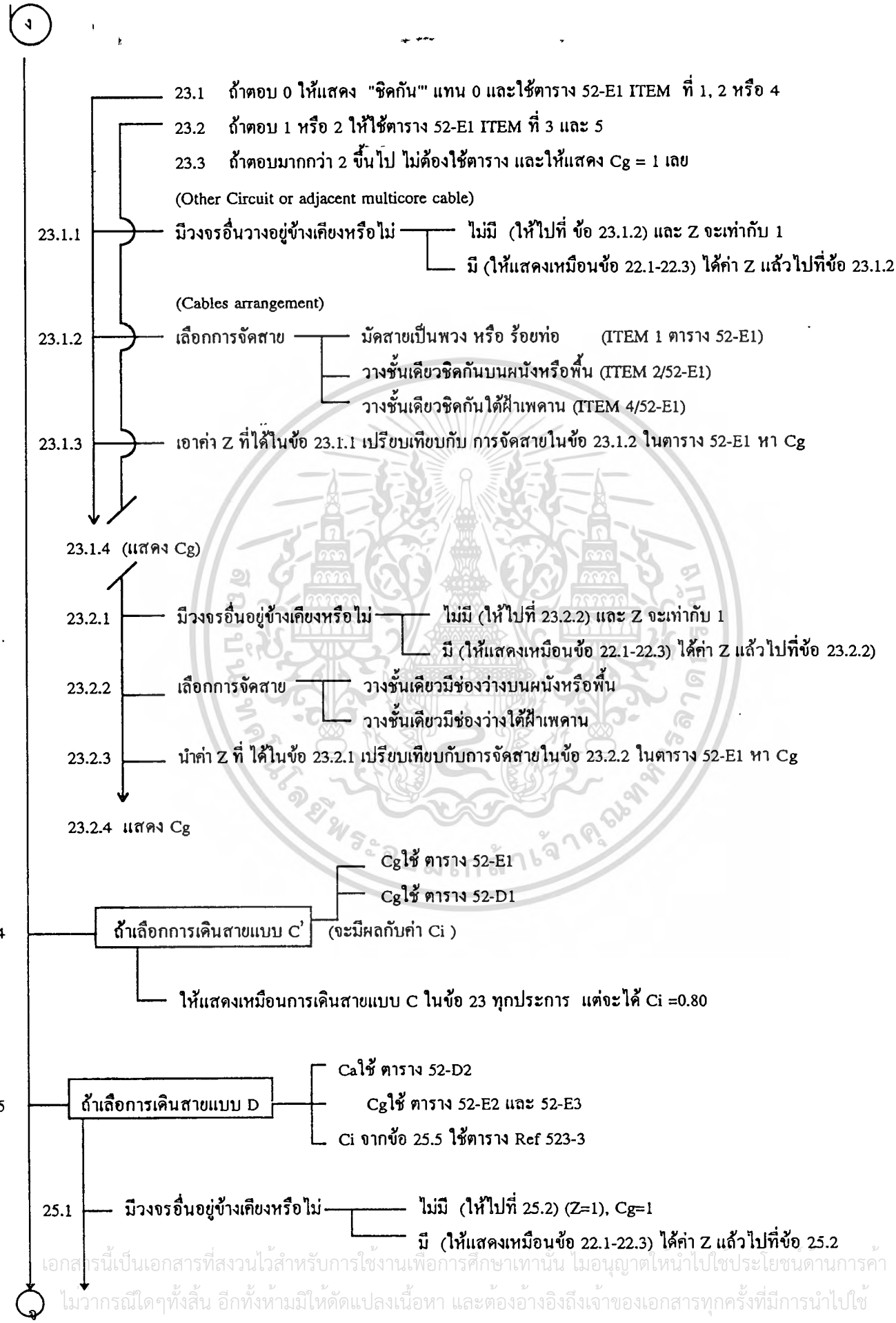
ถ้าเลือกการเดินสายแบบ C
- Ca ใช้ตาราง 52-D1
- Cg ใช้ตาราง 52-E1

(Adjacent circuit Clearance)/Cable diameter ratio)

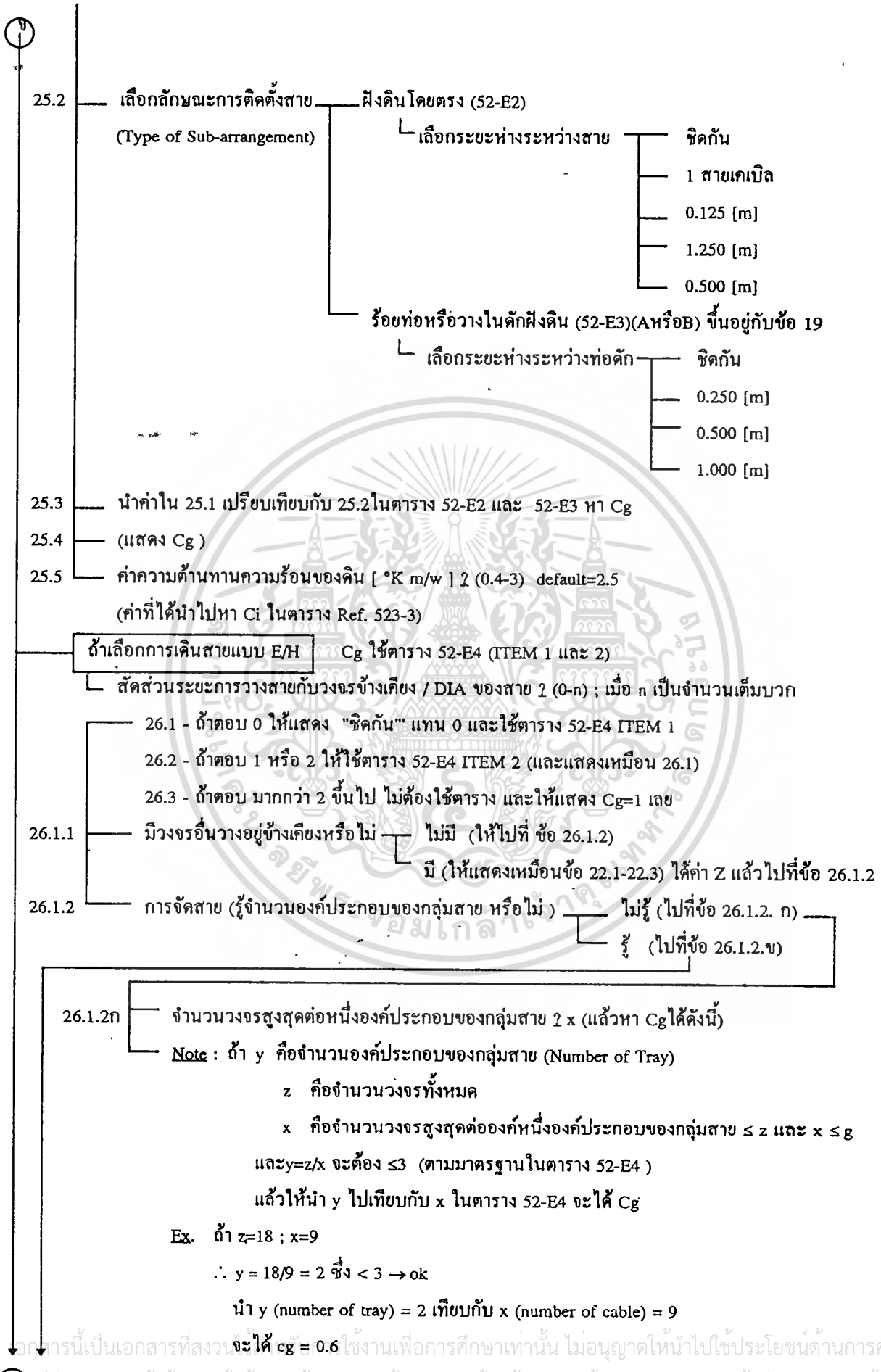
สัดส่วนระยะการวางสายกับวงจรข้างเคียง/DIAของสาย ? (0-n) ; n เป็นจำนวนเต็มบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฎ

จำนวนองค์ประกอบของกลุ่มสาย ? (1-3) → y

หา Cg ได้โดย หาค่า x จาก x = z/y (y = 1,2 หรือ 3)

แล้วนำ y ไปเทียบกับ x ในตาราง 52-E4 จะได้ Cg

Ex. ถ้า z = 12 ; y = 3

∴ x = 12/3 = 4 ซึ่ง < 9 → ok

นำ y (number of tray) = 3 เทียบกับ x (number of cable) = 4 จะได้ cg = 0.70

27 ถ้าเลือกการเดินสายแบบ E/J
- แสดงเหมือนกับ ข้อ 26 ทุกประการ
- หา Cg ใช้ตาราง 52-E4 (ITEM 3 และ 4)

28 ถ้าเลือกการเดินสายแบบ E/K
- แสดงเหมือนกับ ข้อ 26
- หา Cg ใช้ตาราง 52-E4 (ITEM 5 และ 6)
- แต่ให้เปลี่ยนพารามิเตอร์ของ y ดังนี้

จากข้อ 26.1.2 ก จาก y = z/x จะต้อง ≤ 3
ตามมาตรฐานในตาราง ให้เปลี่ยนเป็น y = z/x จะต้อง ≤ 2 และ
จากข้อ 26.1.2 ข x = z/y (y = 1,2 หรือ 3)
ตามมาตรฐานในตาราง ให้เปลี่ยนเป็น x = z/y (y = 1 หรือ 2)

29 ถ้าเลือกการเดินสายแบบE/L
- แสดงเหมือนกับข้อ 26 ทุกประการ
- หา Cg ใช้ตาราง 52-E4 (ITEM 7 และ 8)

การเดินสายแบบF — หา Cg ใช้ตาราง 52-E5

ขึ้นอยู่กับข้อ 17 การเลือกลักษณะการจัดวางตัวนำว่าเป็นแบบใด

- ถ้าเลือกวางแนวราบ (ทั้งเรียงเฟสและสลับเฟส) FLAT FORMATION ให้หา Cgโดยใช้ ตารางที่ 52-E5 ITEM ที่ 1-4
- ถ้าเลือกวางแบบสามเหลี่ยมสมมาตร (TREFOIL) ให้หา Cg โดยใช้ ตารางที่ 52-E5 ITEM ที่ 5-8
- แบ่งเป็น F/M, FN, FP และ FQ แตกต่างกันดังนี้

กรณี FLAT ใช้ตารางที่ 52-E5 (ITEM 1-4)

0 ถ้าเลือกการเดินสายแบบ F/M หา Cg ใช้ตาราง 52-E5 (ITEM 1)

สัดส่วนระยะการวางสายกับวงจรข้างเคียง / DIAของสาย ? (0-n) ; เมื่อ n เป็นจำนวนเต็มบวก

30.1 ถ้าตอบ 0 ให้แสดง "ชิดกัน"' แทน 0

30.2 ถ้าตอบ 1,2,3 หรือ 4 ให้แสดงตัวเลขนั้นๆ เลย

30.3 ถ้าตอบมากกว่า 4 ขึ้นไปให้แสดงตัวเลขนั้นๆ ไม่ต้องใช้ตาราง และให้แสดง Cg=1 เลย

ช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ช)

30.4 มีวงจรอื่นวางอยู่ข้างเคียงหรือไม่ — ไม่มี (ให้ไปที่ ข้อ 30.5)
มี (ให้แสดงเหมือนข้อ 22.1-22.3) ได้ค่า z แล้วไปที่ข้อ 30.5

30.5 การจัดสาย(รู้จำนวนองค์ประกอบของกลุ่มสายหรือไม่) — ไม่รู้ (ไปที่ข้อ 30.5.1)
รู้ (ไปที่ข้อ 30.5.2)

(30.5.1) จำนวนวงจรสูงสุดต่อหนึ่งองค์ประกอบของกลุ่มสาย ? x (แล้วหา Cg ได้ดังนี้)

Note : ถ้า y คือจำนวนองค์ประกอบของกลุ่มสาย (Number of tray)

z คือจำนวนวงจรทั้งหมด

x คือจำนวนวงจรสูงสุดต่อองค์หนึ่งองค์ประกอบของกลุ่มสาย $\leq z$ และ $x \leq 3$

และ $y = z/x$ จะต้อง ≤ 3 (ตามมาตรฐานในตาราง 52-E5)

แล้วให้นำ y ไปเทียบกับ x ในตาราง 52-E5 จะได้ Cg

Ex. ถ้า $z=18$; $x=3$

$\therefore y = 18/3 = 6$ ซึ่ง $< 3 \rightarrow$ ใช้ไม่ได้ จะต้องลดจำนวนของ z ใหม่

สมมุติ z ใหม่ = 9 ; $x = 3$

$\therefore y = 9/3 = 3$ ซึ่ง $< 3 \rightarrow$ ok

นำ y (number of tray) = 3 เทียบกับ x (number of circuit) = 3 จะได้ cg = 0.75

(30.5.2) จำนวนองค์ประกอบของกลุ่มสาย ? (1-3) $\rightarrow$ y

หา Cg ได้โดยหาค่า x จาก $x = z/y$ ($y = 1,2$ หรือ 3)

แล้วนำ y ไปเทียบกับ x ในตาราง 52-E4 จะได้ Cg

Ex. ถ้า $z = 6$; $y = 2$

$\therefore x = 6/2 = 3$ ซึ่ง $< 3 \rightarrow$ ok

นำ y (number of tray) = 2 เทียบกับ x (number of three phase circuit) = 3

จะได้ cg = 0.80

กรณี FLAT (ต่อ)

31 ถ้าเลือกการเดินสายแบบF/N — แสดงเหมือนกับข้อ 30 ทุกประการ
หา Cg ใช้ตาราง 52-E5 (ITEM 2)

32 ถ้าเลือกการเดินสายแบบF/P — หา Cg ใช้ตาราง 52-E5 (ITEM 3)
แสดงเหมือนกับข้อ 30
แต่ให้เปลี่ยนพารามิเตอร์ของ y ดังนี้

จากข้อ 30.5.1	จาก	$y = z/x$ จะต้อง ≤ 3
ตามมาตรฐานในตาราง	ให้เปลี่ยนเป็น	$y = z/x$ จะต้อง ≤ 2 และ
จากข้อ 30.5.2		$x = z/y$ ($y = 1,2$ หรือ 3)
ตามมาตรฐานในตาราง	หรือ ให้เปลี่ยนเป็น	$x = z/y$ ($y = 1$ หรือ 2)

(ช)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ผู้ใดจะนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฌ

ถ้าเลือกการเดินสายแบบF/Q
- แสดงเหมือนกับข้อ 30 ทุกประการ
- หา Cg ใช้ตาราง 52-E5 (ITEM 4)

กรณี TREFOIL (วางแบบสามเหลี่ยมสมมาตร)

ถ้าเลือกการเดินสายแบบF/M หา Cg ใช้ตาราง 52-E5 (ITEM 5)

สัดส่วนระยะการวางสายกับวงจรข้างเคียง /DIA ของสาย ? (n≥2) เมื่อ n เป็นจำนวนเต็มบวก

34.1 - ถ้าตอบ "0" หรือ "1" ให้แสดง "2"' แทนและให้แสดงข้ อความบอก USER ว่า "ระยะที่ท่านเลือกผิดมาตรฐาน"

34.2 - ถ้าตอบ 2,3 หรือ 4 ให้แสดงตัวเลขนั้นๆ เลย

34.3 - ถ้าตอบมากกว่า 4 ขึ้นไปให้แสดงตัวเลขนั้นๆ และแสดง Cg=1 เลยโดยไม่ต้องใช้ตาราง

34.4 มีวงจรอื่นวางอยู่ข้างเคียงหรือไม่
- ไม่มี (ให้ไปที่ ข้อ 34.5)
- มี (ให้แสดงเหมือนข้อ 22.1-22.3) ได้ค่า z แล้วไปที่ข้อ 34.5

34.5 การจัดสาย (รู้จำนวนองค์ประกอบของกลุ่มสายหรือไม่)
- ไม่รู้ (ไปที่ข้อ 34.5.1)
- รู้ (ไปที่ข้อ 34.5.2)

34.5.1 แสดงเหมือนข้อ (30.5.1) ได้ Cg

34.5.2 แสดงเหมือนข้อ (30.5.2) ได้ Cg

ถ้าเลือกการเดินสายแบบF/N
- แสดงเหมือนกับข้อ 34 ทุกประการ
- หา Cg ใช้ตาราง 52-E5 (ITEM 6)

ถ้าเลือกการเดินสายแบบ F/P
- หา Cg ใช้ตาราง 52-E5 (ITEM 7)
- แสดงเหมือนกับข้อ 34 แต่ให้เปลี่ยนพารามิเตอร์ของ y ให้เหมือนกับ (ข้อ 32)

ถ้าเลือกการเดินสายแบบ F/Q
- แสดงเหมือนกับข้อ 34 ทุกประการ
- หา Cg ใช้ตาราง 52-E5 (ITEM 8)

ถ้าเลือกการเดินสายแบบ G Cg = 1 เสมอ

จาก(ข้อ 17) USER ต้องเลือกการจัดวางตัวนำเป็นแบบแนวราบ FLAT เท่านั้น

ถ้าไม่ใช่ ให้แสดง "กรุณาเลือกการจัดวางตัวนำใหม่" แล้วให้ USER เลือกใหม่

ระยะระหว่าง ศูนย์กลางของตัวนำถึงตัวนำ [m] ? (0.1-n) ; เมื่อ n เป็นจำนวนจริงบวก

แนวการวางสาย
- แนวนอน
  - 52-c7, 52-c8 คอลัมน์ที่ 5
  - (52-c9)-(52-c12) คอลัมน์ที่ 6
- แนวตั้ง
  - 52-c7, 52-c8 คอลัมน์ที่ 4
  - (52-c9)-(52-c12) คอลัมน์ที่ 7

ฌ แสดง Cg = 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฌ

แสดงค่าตัวประกอบการคูณ (correction factor) ทั้งหมดดังนี้

38.1 ตัวประกอบการคูณสำหรับวิธีการเดินสาย : Ci

38.2 ตัวประกอบการคูณสำหรับอุณหภูมิรอบข้าง : Ca

38.3 ตัวประกอบการคูณสำหรับกลุ่มสายข้างเคียงที่เกี่ยวข้อง : Cg

38.4 ตัวประกอบการคูณสำหรับการเปลี่ยนความทนอุณหภูมิของสาย : Ct

38.5 ตัวประกอบการคูณสำหรับผู้ออกแบบที่สามารถกำหนดได้ : Cu

38.6 ตัวประกอบการคูณรวม : $C_T = Ci \times Ca \times Cg \times Ct \times Cu$

Note : การหาค่า Ci ขึ้นอยู่กับการเลือกของ USER ดังนี้

(1.) ถ้าเลือกวิธีการเดินสายแบบ C' ตามข้อ 24 จะได้ Ci1 = 0.8

(2.) ถ้าเลือกวัสดุฉนวนตามข้อ 14.4 จะได้ $C_{i2} = 0.9$

(3.) ถ้าเลือกวิธีการเดินสายแบบ D ตามข้อ 25 ค่า C_{iD} จะขึ้นกับ การเลือกค่าความต้านทานความร้อนของดินในข้อ 25.5 หาได้จากตารางใน Ref 523-3

(4.) ข้อ (1) และ (2) มีโอกาสเกิดขึ้นพร้อมกัน จะได้ Ci = Ci1 * Ci2

การหาค่า Ca ขึ้นอยู่กับค่าที่ป้อนในข้อ 20 นำไปเปิดตาราง 52-D1 และ 52-D2 และใช้ตารางที่ 52-D2 กับ วิธีการเดินสาย แบบ D เท่านั้น ใช้ตารางที่ 52-D1 กับ วิธีการเดินสายแบบอื่นๆ

การหาค่า Cg ขึ้นอยู่กับการเลือกวิธีการเดินสาย, วัสดุฉนวน ฯลฯ โดยหาได้จากตาราง 52-E1 ถึง 52-E5 ดูจาก Ref523-1 ประกอบ

การหาค่า Ct ขึ้นอยู่กับการเลือกของ USER ในข้อ 18 ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงขนาดอุณหภูมิอ้างอิงของฉนวนก็สามารถหา Ct ได้จากตารางใน Ref 523-4

การหาค่า Cu ขึ้นอยู่กับ USER เองว่าจะให้เท่าไร (0.1-9.0)

แสดงข้อมูล Input ที่ใช้ในการคำนวณ

(ให้แสดงเฉพาะที่ป้อนเข้าไปแต่ละกรณี)

หน้าจอ → ให้ดู ภาพที่ 30 และตารางที่ 7 ในหัวข้อที่ 5.4

แสดงผลลัพธ์การคำนวณ

หน้าจอ → ให้ดู ภาพที่ 31 ในหัวข้อที่ 5.5

(40.1) ใช้ค่าต่ำสุดที่กำหนดโดยมาตรฐานหรือไม่ ?

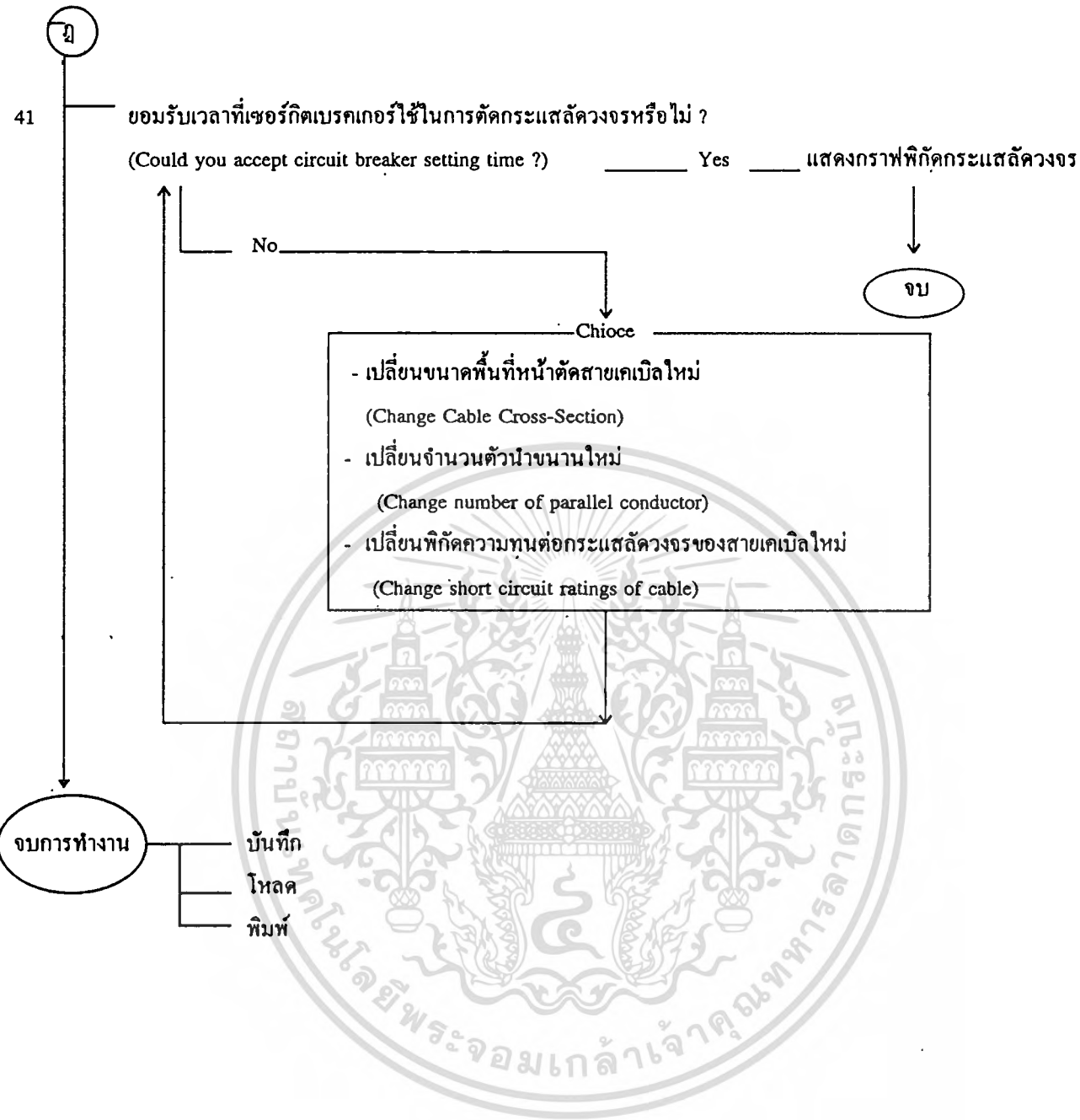
(Use the minimum section provided by standard) ?

ไม่ใช้ → ไปข้อ 41

ใช้ → ให้นำค่าต่ำสุดที่กำหนดโดยมาตรฐานไปแทนค่า S ใน หัวข้อ 5.5 เอ้าพุตรายการที่ 1 แล้วไปทำข้อ 41 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฎ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 หน้าจอข้อมูลอินพุต

หน้าจอแสดงข้อมูลต่าง ๆ ที่ผู้ใช้งานได้ป้อนเข้าไปในโปรแกรม เพื่อให้ผู้ใช้งานได้สามารถตรวจสอบข้อมูลที่ตนเองได้ป้อนเข้าไปก่อนจะให้โปรแกรมแสดงผลลัพธ์ทางหน้าจอเอ้าพุต

ภาพที่ 30

แสดงข้อมูลอินพุตที่สรุปให้ผู้ใช้งานได้ทราบว่าได้ป้อนข้อมูลอะไรไปบ้างที่เกี่ยวข้องและสัมพันธ์กับผลลัพธ์ที่โปรแกรมคำนวณได้

จากภาพที่ 30 เป็นตัวอย่างข้อมูลซึ่งผู้ออกแบบได้กำหนดไว้ และเป็นข้อมูลซึ่งถูกป้อนเข้าไปในโปรแกรม เครื่องคอมพิวเตอร์จะนำค่าต่าง ๆ ที่ป้อนเข้าไปนี้นำไปประมวลผลหาผลลัพธ์ที่ต้องการ โดยสามารถเปลี่ยนข้อมูลต่าง ให้เป็นค่าอื่นได้อีก ดังแสดงในตารางที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7

แสดงตัวเลือกของ Program Input Data ที่สามารถเลือกข้อมูลอื่น ๆ ได้อีก

รายการที่	รายละเอียด	
3	<u>Type of Circuit</u>	<u>Eirthing System</u>
	- 3-Phase Circuit	- IT
	- Single/Two Phase Circuit	- TT
		- TN-C
		- TN-S
4	<u>Neutral Status</u>	<u>Ratio Phase/Neutral</u>
	- Distributed	- 1.0
	- Not Distributed	- 2.0
7	Conductor type	
	- Insulated Conductor	
	- Multicore Cable ----------> ถ้าเลือกข้อนี้ให้ข้ามข้อ 8 ไปเลย	
	- Single Core Cable	
8	<u>Conductor Arrangement</u>	
	- Trefoil	
	- L1L2L3/L1L2L3	
	- L1L1/L2L2/L3L3	
9	<u>Insulating Material</u>	<u>Conductor Material</u>
	- PVC	- Copper
	- XLPE/EPR	- Aluminium
	- MI-PVC Cover	
	- MI-Bare Exposed to Touch	
	- MI-Bare Non Exposed to Touch	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

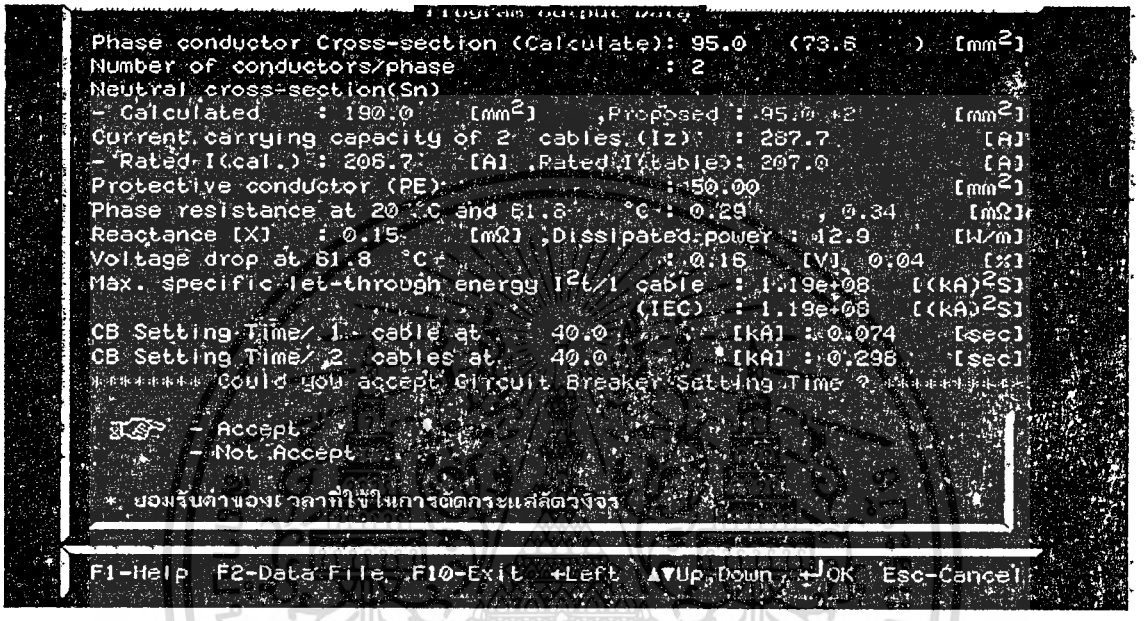
ตารางที่ 7 (ต่อ)

รายการที่	---- รายละเอียด ----
10	<u>Arrangement Installtion</u> A- Conductors/Cables in Conduit on Insulating Wall B- Conductors in Ventilated Trench / Calbe in Duct in Masonary C - Cables on Wall, in Masonary, in Ventilated Trenches C' - Cables in duct in Free Air or in Masonary D - Directly Ground Cable or in Grounded Conduit E/H - Cables in Free Air on Unperforated Trays E/J - Cables in Free Air on Perforated Trays E/K - Cables in Free Air on Vertical Perforated Trays E/L - Cables in Free Air on Ladder Supports, Cleats or Clamps F/M - Touching Cables in Free Air on Unperforated Trays F/N - Touching Cables in Free Air on Perforated Trays F/P - Touching Cables in Free Air on Vertical Perforated Trays F/Q - Touching Cables in Free Air on Ladder Supports, Cleats or Clamps
11	<u>Sub-Arrangement Installation</u> 11/C,C' **Bunched or in Conduit** - Touching Single-Layer on Wall or Floor - Touching Singie-Layer under Ceiling - Space Single-Layer on Wall or Floor - Space Single-Layer under Ceiling 11/D **Cables Directly in Ground** **- Clearance : - Nil - 0.125 [m] - 0.500 [m]** **- Cable Diameter - 0.250 [m]** **Cables in Underground Conduits or Duct (One for Conduit)** **- Clearance : - Nil- 0.500 [m] - 0.500 [m]** **- 0.250 [m] - 1.000 [m]**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 เอ้าพุตของโปรแกรม

ภาพที่ 31



แสดงข้อมูลเอ้าพุตที่โปรแกรมแสดงผลออกมา

เอ้าพุตรายการที่ 1 แสดงขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายเคเบิล (S)

S เป็นขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายที่เป็นมาตรฐานตามตารางที่ 49 [52-C1] ถึง 60 [52- 12]

$S_{cal.}$ เป็นขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายที่ได้จากการคำนวน จากสูตร

$$I = A * S^{m} - B * S^{n}$$

เมื่อ A,B เป็นสัมประสิทธิ์ของวิธีการติดตั้งและชนิดของวัสดุของสายเคเบิล

m,n เป็นสัมประสิทธิ์เลขยกกำลัง (ดูตารางที่ 37 ในภาคผนวก)

เอ้าพุตรายการที่ 2 แสดงจำนวนตัวนำควบขนานของสายเคเบิล (N)

N เป็นจำนวนตัวนำที่ต่อขนาน ต่อเฟส

ตัวแปรที่มีผลต่อค่า N คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กระแสโหลด I_L ---------- (a)
- C_g (เก่า) (ที่ N = 1) - ---------- (b)
- ค่ากระแสของ S สูงสุดในตารางมาตรฐาน ---------- (c)

ถ้า (a) / (b) $\leq$ (c) จะได้ N = 1 เสมอ

$$N_{(\text{ใหม่})} = \frac{I / C_{g(\text{เก่า})}}{I_{\text{จาก S สูงสุด}}}$$; เมื่อให้ C_i ; C_a; C_t ;C_u = 1 และให้ปัดเศษขึ้น

ตัวอย่างที่ 1 ถ้า I_b = 600 [A] เลือกการติดตั้งแบบ A วงจร 3 เฟส ฉนวนแบบ PVC มี จำนวนวงจรข้างเคียงตามข้อ 22 (ภาพที่ 29) อยู่ 8 วงจร จงหา $N_{(\text{ใหม่})}$; $C_{g(\text{ใหม่})}$

Sol จาก ภาพที่ 65 การป้อน input ตามข้อ 22 จะได้

$Z_{(\text{เก่า})} = 8 + N_{(\text{เก่า})} = 9$; เมื่อ Z เป็นจำนวนวงจรทั้งหมดและสมมติ N เริ่มต้น= 1

จากตารางที่ 63 [52-E1] Item 1 ได้ C_g = 0.50

ติดตั้งแบบ A ; 3 เฟส PVC ใช้ตารางที่ 51 [52-C3] คอลัมน์ A

จะได้ S สูงสุด ในตาราง = 300 mm^2

$\therefore$ I สูงสุด = 328 A

$\therefore$ $N_{(\text{ใหม่})} = \frac{(600/0.50)}{328} = 3.66$ ปัดเป็น 4 วงจร

ให้นำ $N_{(\text{ใหม่})}$ ไปหา $Z_{(\text{ใหม่})}$ จะได้

$Z_{(\text{ใหม่})} = (Z_{(\text{เก่า})} - 1) + N_{(\text{ใหม่})}$

$= (9 - 1) + 4 = 12$

$\therefore$ หา $C_{g\ (\text{ใหม่})}$ ได้จากตาราง 63[52-E1] Item 1 ได้ C_g = 0.45

ตัวอย่างที่ 2 จาก ตัวอย่างที่ 1 จงหา S , $S_{(cal)}$ และ N

sol^n จาก ภาพที่ 28

กระแสรวม $I_T = I_L / C_T = 600/0.45 = 1333.33$

เมื่อ N = 4 จาก ตัวอย่างที่ 1

$\therefore$ ขนาดกระแส ต่อ 1 ตัวนำขนาน = 1,333.33/4 = 333.33

นำ I ไปแทนในสูตร $I = A * S^m - B * S^n$; เมื่อ $B * S^n = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาขนาดพื้นที่หน้าตัด S ต่อ 1 ตัวนำ ; $S = \sqrt[m]{\frac{I}{A}}$ เมื่อ A = 10.4 ; m = 0.605

$= \sqrt[0.605]{\frac{333.33}{1.0.4}}$

= 308.31 ---- >-เกินขนาดมาตรฐาน

กำหนดค่า N ใหม่ = N + 1 = 5

ทำซ้ำหาขนาด I ต่อ 1 ตัวนำ = 1,333.33 / 5 = 266.67

$S = \sqrt[0.605]{\frac{266.67}{10.4}}$

$\therefore \quad S_{(cal)} = 213.21$

เทียบกับค่ามาตรฐานจะได้ $S = 240\ mm^2$

$\therefore \quad S = 240\ mm^2$

$S_{(cal)} = 213.21\ mm^2$

N = 5 -----> ตอบ

เอ้าพุตรายการที่ 3 แสดงขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายนิวทรอล (S_n)

S_n เป็นขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายนิวทรอล

$$S_n = \frac{S \times N}{\text{อัตราส่วนของสายเฟส ต่อ สายนิวทรอล}}$$

ตัวอย่างที่ 3 จาก ตัวอย่างที่ 1 และ ตัวอย่างที่ 2 ให้หา S_n (Calculated) และ S_n (Proposed) ที่ Half Neutral

sol^n $S = 240\ mm^2$; n = 5

ที่ Half Neutral จะได้ สายเฟส / สายศูนย์ = 1/0.5 = 2

$\therefore \quad S_{n(Total)} = (240*5)/2 = 600\ mm^2$

$$S_{(Pursposed)} = \left[\frac{S_n(total)}{S_{max}}\right] \times S_{max}$$

$$= \frac{600}{300} \times 300$$

$$= 2 \times 300\ mm^2$$

หมายเหตุ : ในกรณีที่ถ้า $\frac{S_n(cal)}{S_{max}}$ ไม่ลงตัวให้ลด S_{max} ลงไปตามลำดับของมาตรฐานจนกว่าจะได้ค่าที่ลงตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอ้าพุตรายการที่ 4 แสดงค่าความสามารถในการรับกระแสของสายเคเบิล

$$I_{Z(N\ cables)} = [\ I_{(table)} * C_T\ ] * N$$

ตัวอย่างที่ 4 จาก ตัวอย่างที่ 2 จงหา I_2

sol^n จากตารางที่ 51 [52-C3] ; ที่ $S = 240\ mm^2$

$I_{(table)} = 286$ [A]

$C_T = 0.45$; เมื่อ C_i , C_a , C_t , $C_u = 1$

$\therefore$ I_z ของ 5 cables $= (286 * 0.45) * 5 = 643.5$ A

ซึ่งสามารถรองรับ $I_b = 600$ A ใน ตัวอย่างที่ 1 ได้

เอ้าพุตรายการที่ 5 แสดงขนาดของสายตัวนำป้องกัน (PE)

สายตัวนำป้องกัน (Protective Conductor) หรือสาย PE. หาได้จากตารางที่ 8 [Table 54F ของ IEC]

ตารางที่ 8

แสดงการหาขนาดสายตัวนำ PE

ขนาดสายเฟส 3 (mm^2)	ขนาดสาย PF mm^2
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	S/2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอ้าพุตรายการที่ 6 แสดงความต้านทานของตัวนำที่อุณหภูมิ 20°C และที่ อุณหภูมิ t° C

$$R_{20^\circ C} = \rho \frac{L}{S} \qquad [m\Omega]$$

เมื่อ $\rho = \frac{1}{54} \quad [\frac{\Omega mm^2}{m}]$ สำหรับทองแดง

$= \frac{1}{34} \quad [\frac{\Omega mm^2}{m}]$ สำหรับอลูมีเนียม

S = ขนาดพื้นที่หน้าตัด $[mm^2]$

L = ความยาวสาย [m]

ตัวอย่าง ถ้า S = 1 mm^2

L = 1 m

จงหา $R_{20^\circ C}$

sol^n

$$R_{20^\circ C} = \frac{1}{54} \times \frac{1}{1} \quad \frac{\Omega mm^2}{m} \cdot \frac{m}{mm^2}$$

$$= 1.852 \ m\Omega$$

เมื่อ t เป็นอุณหภูมิตัวนำขณะมีกระแสไหลผ่านจะได้

$$t = t_a + \Delta t \left(\frac{I_L}{I_z}\right)^2 \qquad [^\circ C]$$

เมื่อ t = อุณหภูมิของตัวนำขณะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน [°C]

t_a = อุณหภูมิรอบข้าง [°C]

Δt = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น = (อุณหภูมิอ้างอิงฉนวน - t_a) [°C]

I_L = กระแสโหลดใช้งาน [A]

I_z = ความสามารถในการรับกระแสของสายเคเบิล [A]

ตัวอย่าง ที่อุณหภูมิรอบข้าง 30 °C ใช้สายแบบ XLPE / EPR 10 mm^2 พิกัดกระแสของสาย 54 A , กระแสใช้งาน 50 A จงหาอุณหภูมิของตัวนำขณะทำงาน

sol^n

$$t = 30 + [(90 - 30) * (50/54)^2]$$

$$= 81.44 \ [^\circ C]$$

ดังนั้น ความต้านทานของสายเคเบิลที่อุณหภูมิ t° C คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_t = R_{20} [1 + \alpha_{20} (t - 20)] \ [m\Omega]$$

เมื่อ R_{20} = ความต้านทานของสายเฟสที่ 20° C

α_{20} = สัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิของตัวนำ

0.00393 สำหรับทองแดง

0.00403 สำหรับอลูมิเนียม

เอ้าพุตรายการที่ 7 แสดงค่ารีแอ็คแตนซ์

รีแอ็คแตนซ์ X ขึ้นอยู่กับ

- เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำ (D)
- ระยะห่างระหว่างตัวนำ (Dearance)
- ความถี่ของระบบ

ค่าความเหนี่ยวนำ (L) สามารถหาได้จากสูตร

$$L = 0.46 \log \frac{2D}{d} + K$$

เมื่อ K เป็นค่าคงที่ของการตีเกลียว (Strand)

และจะได้ $X_L = 2\pi fL$

เมื่อ f = ความถี่ของระบบ

เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ ได้สรุปค่า X_L ที่ความถี่ 50 Hz ไว้ในภาคผนวก

ตัวอย่าง จงหาค่า X_L เมื่อ S = 50 mm^2 ; f = 60 Hz ; Ratio clearance /DIA = 5 สาย เคเบิลยาว 20 m

sol^n ได้ค่ารีแอ็คแตนซ์ต่อเมตร = 0.21 $m\Omega$/m สายยาว 20 เมตร

$\therefore X_L = 0.21 * 20 = 4.2 \ m\Omega$ (ที่ f = 50 Hz)

ดังนั้นถ้า f = 60 Hz จะได้ $X_L = 4.2 * (60/50) = 5.04 \ m\Omega$

เอ้าพุตรายการที่ 6 แสดงแรงดันตกที่อุณหภูมิ t° C (Voltage drop at t°C)

แรงดันตกที่อุณหภูมิ t° C เป็นแรงดันตกในสายเคเบิลในขณะที่มีกระแสไหล และทำให้เกิดอุณหภูมิรอบตัวนำเท่ากับ t° C ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Vd(3\text{เฟส}) = \sqrt{3} I_L L(R_t Cos\Phi + X\sqrt{(1-Cos^2\Phi)})$$
$$Vd(2\text{เฟส}) = 2 I_L L(R_t Cos\Phi + X\sqrt{(1-Cos^2\Phi)})$$

เมื่อ I_L = กระแสโหลด [A]

$\cos\phi$ = ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของระบบ

X = ค่ารีแอคแทนซ์ของสายเฟส (ได้จากรายการที่ 7) (Ω/m]

R_t = ค่าความต้านทานของสายเฟสที่อุณหภูมิใช้งาน (Ω/m]

$$\%V_d = V_d \times \frac{100}{V_n} \quad [\%]$$

เมื่อ V_d = แรงดันใช้งาน [V]

เอ้าพุตรายการที่ 9 แสดงกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในสายเคเบิล (Dissipated Power)

กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในสายเคเบิลสามารถคำนวณได้จากสมการ

$P = \sqrt{3} I_L^2 Z L$ สำหรับระบบไฟ 3 เฟส

$P = 2 I_L^2 Z L$ สำหรับระบบไฟ 1 เฟส

เมื่อ $Z = \sqrt{R_t^2 + X^2}$

I_L = กระแสโหลดใช้งาน [A]

R_t = ค่าความต้านทานของสายเฟสต่อหน่วยความยาวที่อุณหภูมิใช้งาน

L = ความยาวของสายเคเบิล [m]

เอ้าพุตรายการที่ 10 แสดง พลังงานส่งถ่ายจำเพาะสูงสุด (Maximum specific let-trough energy)

พลังงานส่งถ่ายจำเพาะสูงสุดในสายเคเบิลสามารถคำนวณได้ตามสมการต่อไปนี้

$$I^2t \leq K^2S^2$$

เมื่อ I^2t เป็นพลังงานส่งถ่ายจำเพาะในสายเคเบิลในขณะลัดวงจรต่อ 1 ตัวนำ [A^2sec]

K เป็นแฟคเตอร์ที่ให้ไว้ในตารางที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9

แสดงค่า K แฟคเตอร์

วัสดุตัวนำ	วัสดุฉนวน				
	PVC	XLPE	MI(PVC)	MI(Exposed)	MI(Not expolsed
ทองแดง	115	135	115	135	200
อลูมีเนียม	74	87	-	-	-

เอ้าพุตรายการที่ 11 และ 12 แสดงเวลาในการตัดกระแสลัดวงจรของเซอร์กิตเบรคเกอร์(Circuit breaker setting time)

เวลาที่ใช้ในการตัดกระแสลัดวงจรของเซอร์กิตเบรคเกอร์จะต้องมีความไวพอที่จะป้องกันไม่ให้สายเคเบิลเกิดความเสียหายขณะเกิดลัดวงจร จะได้

$$t \leq \frac{K^2 S^2}{I^2} \quad \text{วินาที}$$

เอ้าพุตรายการที่ 13 แสดงขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายเคเบิลต่ำสุดที่มีอยู่มาตรฐาน (Minimrm section provided by stndard)

ในกรณีที่คำนวณขนาดพื้นที่หน้าตัด S แล้วทำให้ S มีขนาดต่ำกว่าค่าที่มีอยู่ในมาตรฐาน โปรแกรมจะแสดงค่าต่ำสุดที่มีในมาตรฐานเพื่อให้ผู้ใช้งานทราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

วิธีการใช้โปรแกรม

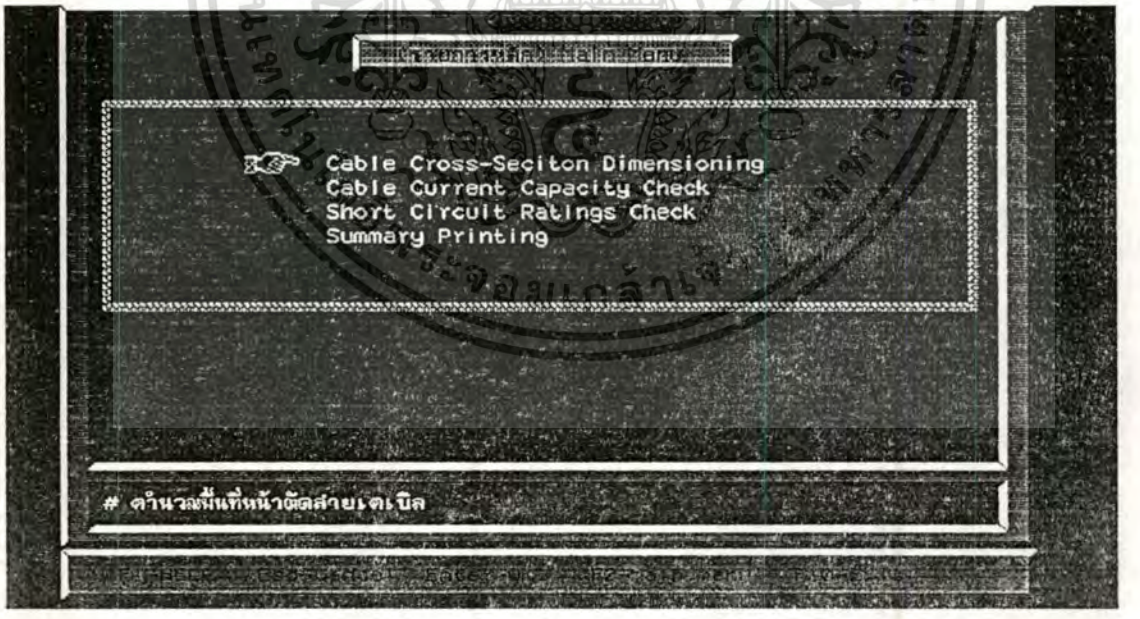
6.1 Install โปรแกรมลงใน Hard-disk โดยการใส่แผ่น Install ลงใน Disk Drive แล้วเรียก File ชื่อ Install [drive ปลายทาง] แล้วกด Enter โปรแกรมจะทำการสร้าง Directory ชื่อ COP001 แล้วเก็บ File ทั้งหมดให้อยู่ใน Directory นั้นโดยอัตโนมัติ

6.2 เรียกโปรแกรม COP ที่อยู่ใน Directory ของ COP001

6.3 โปรแกรมจะเข้าไปหน้า Title ซึ่งจะแสดงชื่อโปรแกรมและชื่อผู้เขียน จากนั้นกด Enter โปรแกรมจะทำงานต่อไป

6.4 โปรแกรมจะแสดงรายการหลัก (Main Menu) ที่ผู้ใช้สามารถเลือกการคำนวณได้ ดังแสดงในภาพที่ 32

ภาพที่ 32



แสดงรายการหลักตัวเลือกหัวข้อการคำนวณของโปรแกรม COP

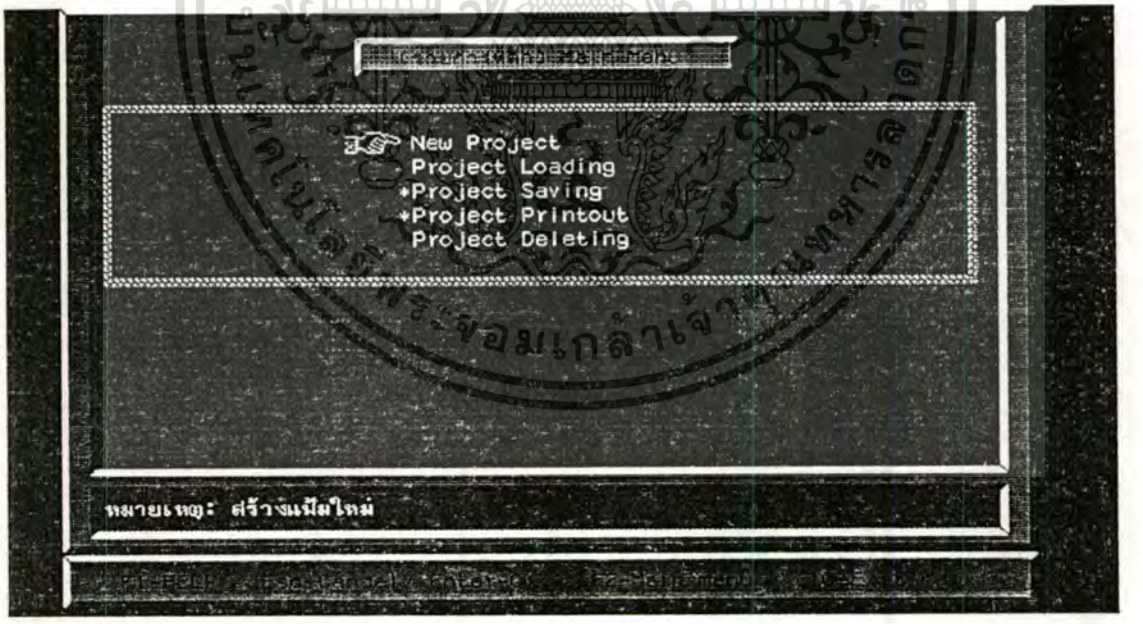
จากภาพที่ 32 หน้าจอของรายการหลักจะประกอบด้วยตัวเลือกในการใช้โปรแกรมดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Cable Cross-Section Dimentioning โปรแกรมจะคำนวณหาขนาดของสายเคเบิลให้โดยอัตโนมัติเมื่อรู้กระแสโหลดและเงื่อนไขสภาวะแวดล้อมในการติดตั้ง
- Current Carrying Capacity Check โปรแกรมจะตรวจสอบค่าความสามารถในการรับกระแสของสายเคเบิลให้ผู้ใช้ เมื่อรู้ขนาดของสายเคเบิลและเงื่อนไขสภาวะแวดล้อม โดยหัวข้อนี้ผู้ใช้งานต้องป้อนขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายเคเบิล จำนวนตัวนำขนาน และเงื่อนไขสภาวะแวดล้อมในการติดตั้งให้กับโปรแกรม แล้วโปรแกรมจะนำค่าที่ผู้ใช้ป้อนให้ดังกล่าวไปคำนวณหาพิกัดกระแส I_Z แล้วนำค่าที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับกระแสโหลด I_L ว่าสามารถรองรับกระแสโหลดได้หรือไม่
- Short Circuit Rating Check โปรแกรมจะคำนวณค่าพิกัดความทนต่อกระแสลัดวงจรเมื่อกำหนดค่าช่วงเวลาในการตัดกระแสลัดวงจรของเซอร์กิตเบรคเกอร์

6.5 จากภาพที่ 32 ถ้าเลือกหัวข้อใดหัวข้อหนึ่งแล้วกด Enter โปรแกรมจะแสดงหน้าจอดังนี้

ภาพที่ 33



แสดงรายการหลักในส่วนของการเลือก File

จากภาพที่ 33 จะประกอบด้วยตัวเลือกดังนี้

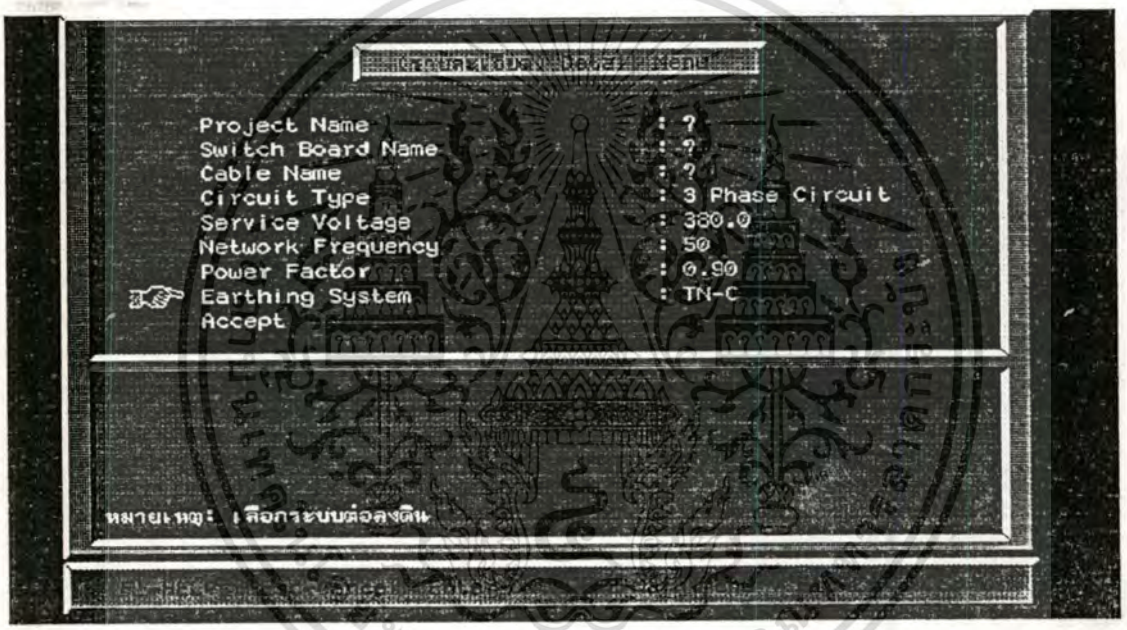
- New Project เป็นการเปิด File ใหม่ให้กับโปรแกรม โดยผู้ใช้ต้องป้อนข้อมูลใหม่ให้กับโปรแกรมเพื่อนำไปคำนวณในโครงการใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Project Loading เป็นการเรียก File ที่เคยเก็บบันทึกไว้
- Project Saving เป็นการเก็บบันทึก File หลังจากที่โปรแกรมได้ทำการคำนวณแล้ว
- Project Printout เป็นการพิมพ์ผลลัพธ์ของการคำนวณออกทางเครื่องพิมพ์
- Project Deleting เป็นการลบ File ที่เคยบันทึกเอาไว้ ออกจากโปรแกรม

6.6 เมื่อผู้ใช้เลือก New Project โปรแกรมจะแสดงหน้าถัดไปดังนี้

ภาพที่ 34



แสดงรายละเอียดของโปรแกรม

6.7 Projct Name, Switch Bord Name และ Cable Name : ผู้ใช้สามารถตั้งชื่อได้ตามต้องการว่าเป็นโครงการอะไร ชื่อตู้สวิทช์บอร์ดอะไร และชื่อสายเคเบิลอะไร

6.8 Circuit type เป็นชนิดของวงจรไฟฟ้ามีให้เลือกเป็น Altinative คือ

-ระบบไฟฟ้า 1 เฟส

- ระบบไฟฟ้า 3 เฟส

6.9 Service Voltage , Network Frequency และ Power Factor ผู้ใช้สามารถป้อนค่าต่าง ๆ ได้แต่ต้องอยู่ในกฎข้อบังคับที่สามารถใช้งานได้

- Earthing System เป็นระบบการต่อลงดินมีให้เลือกเป็น Alternative คือ

- ระบบการต่อลงดินแบบ IT

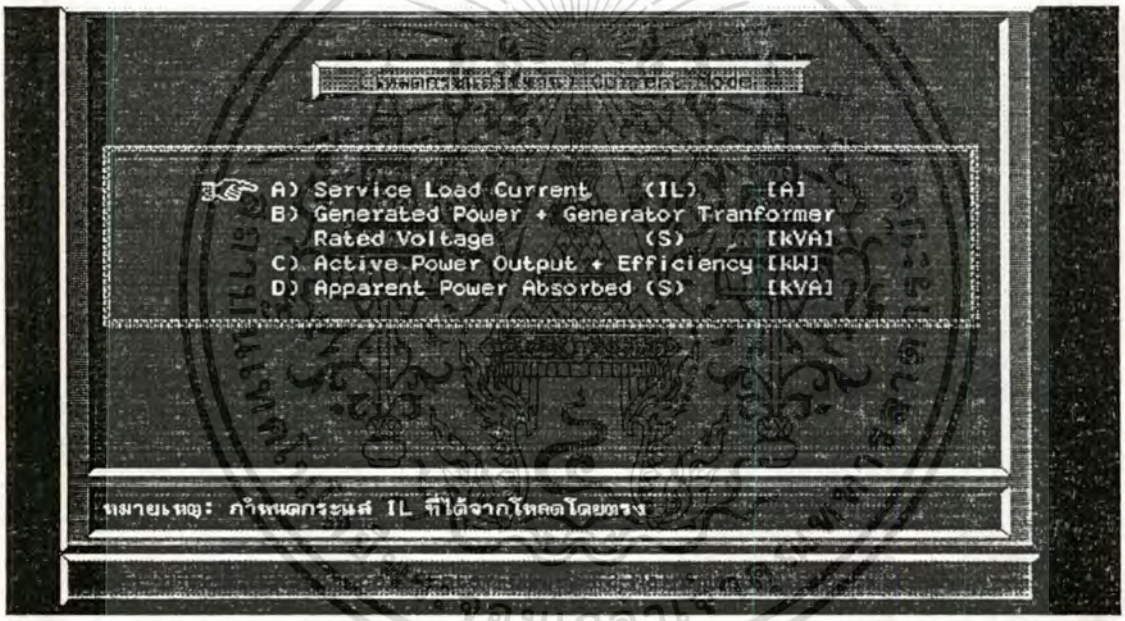
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบบการต่อลงดินแบบ TT
- ระบบการต่อลงดินแบบ TN-C
- ระบบการต่อลงดินแบบ TN-S
- ระบบการต่อลงดินแบบ TN-C-S

รายละเอียดของระบบการต่อลงดินดังกล่าว สามารถดูได้ในภาคผนวก

6.10 จากภาพที่ 35 จะแสดงโหมดกระแสใช้งาน ซึ่งสามารถมารถเลือกเป็น Altinative ได้คือ

ภาพที่ 35



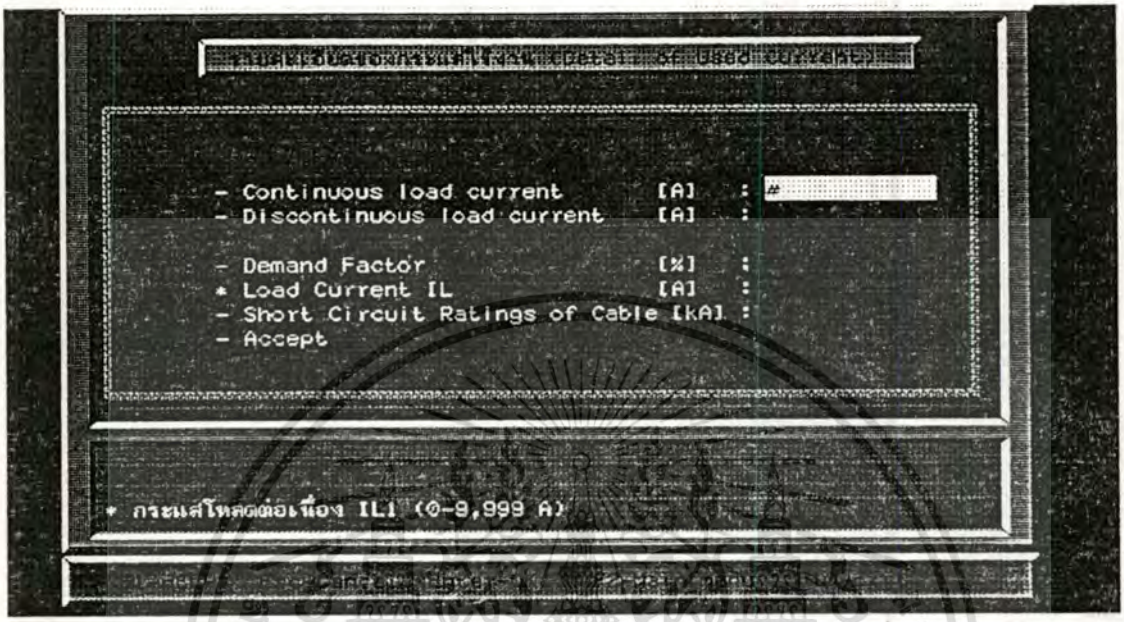
แสดงโหมดกระแสใช้งาน

6.11 Service Load Current ผู้ใช้สามารถป้อนกระแสโหลดที่คำนวณได้เข้าไปในโปรแกรมโดยตรง โดยสามารถป้อนค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

- Continuous Load Current (I_1) [A] ผู้ใช้สามารถป้อนกระแสโหลดต่อเนื่องให้กับโปรแกรม
- Discontinuous Load Current (I_2) [A] ผู้ใช้สามารถป้อนกระแสโหลดไม่ต่อเนื่องให้กับโปรแกรม
- Demand Factor [%]ผู้ใช้สามารถป้อนค่าตัวประกอบความต้องการหรือค่า DF ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 36



แสดงรายละเอียดการป้อนกระแสโหลดโดยตรง

- Load Current (I_L) [A] เป็นกระแสโหลดที่ได้จากสมการ $I_L = 1.25I_1 + I_2$
- Short Circuit Ratings of Cable [KA] เป็นพิกัดความทนต่อกระแสลัดวงจรของสายเคเบิลที่ ได้จากการคำนวณกระแสลัดวงจร ณ.จุดต่างๆ ที่สายเคเบิลกำลังติดตั้งอยู่

6.12 Generated Power + Generator Transformer Rated Voltate [KVA] ผู้ใช้สามารถป้อนพิกัดกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงหรือแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเพื่อให้โปรแกรมคำนวณกระแสโหลดให้โดยอัตโนมัติดังแสดงในภาพที่ 37

6.13 Active Power output + Efficiency [KW] ผู้ใช้สามารถป้อนพิกัดกำลังไฟฟ้าเอ้าท์พุตของโหลดแบบ Active เช่น โหลดมอเตอร์ให้กับโปรแกรมเพื่อให้โปรแกรมคำนวณกระแสโหลดให้อย่างอัตโนมัติดังแสดงในภาพที่ 38

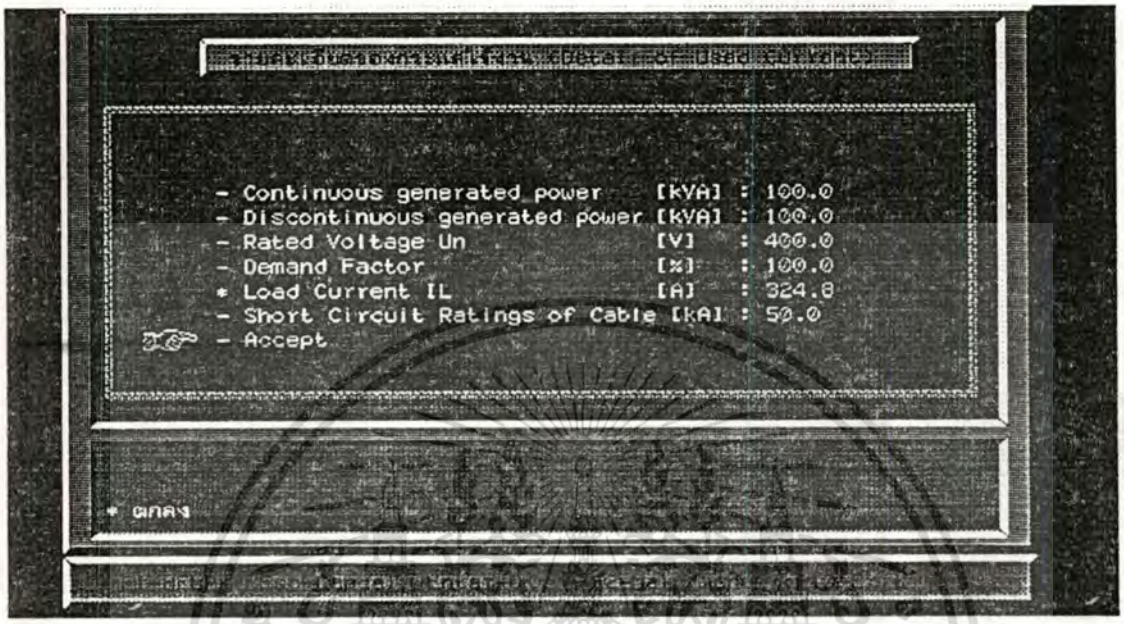
6.14 Apparent Power Absorb [KVA] ผู้ใช้สามารถป้อนขนาดกำลังไฟฟ้าของโหลดที่คำนวณได้เป็น [KVA] เพื่อคำนวณกระแสโหลดอย่างอัตโนมัติดังแสดงในภาพที่ 39

ต่อไปจะเป็นข้อมูลทั่วไปของสายเคเบิล มีรายละเอียดดังนี้

6.15 Voltage Drop Percentage ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าเปอร์เซนต์แรงดันตกในสายได้ว่าจะให้มีแรงดันตกไม่เกินกี่เปอร์เซนต์ โปรแกรมก็จะคำนวณขนาดของสายเคเบิลและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ให้ครอบคลุมแรงดันตกในสายไม่ให้เกินค่าที่กำหนดไว้โดยอัตโนมัติ

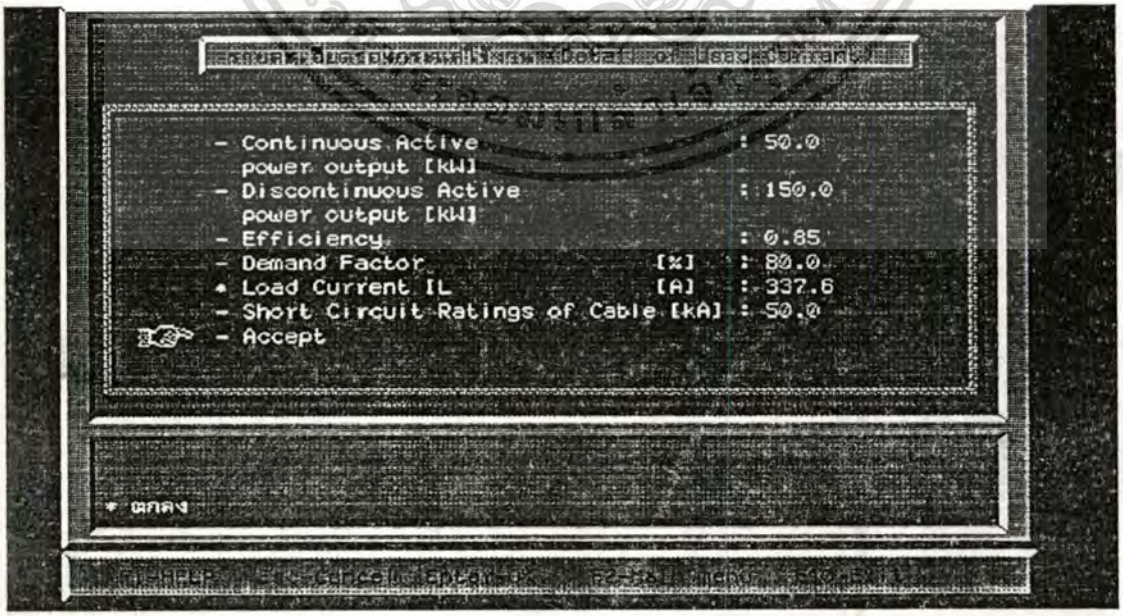
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 37



แสดงกระแสโหลดที่ได้จากพิกัดกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

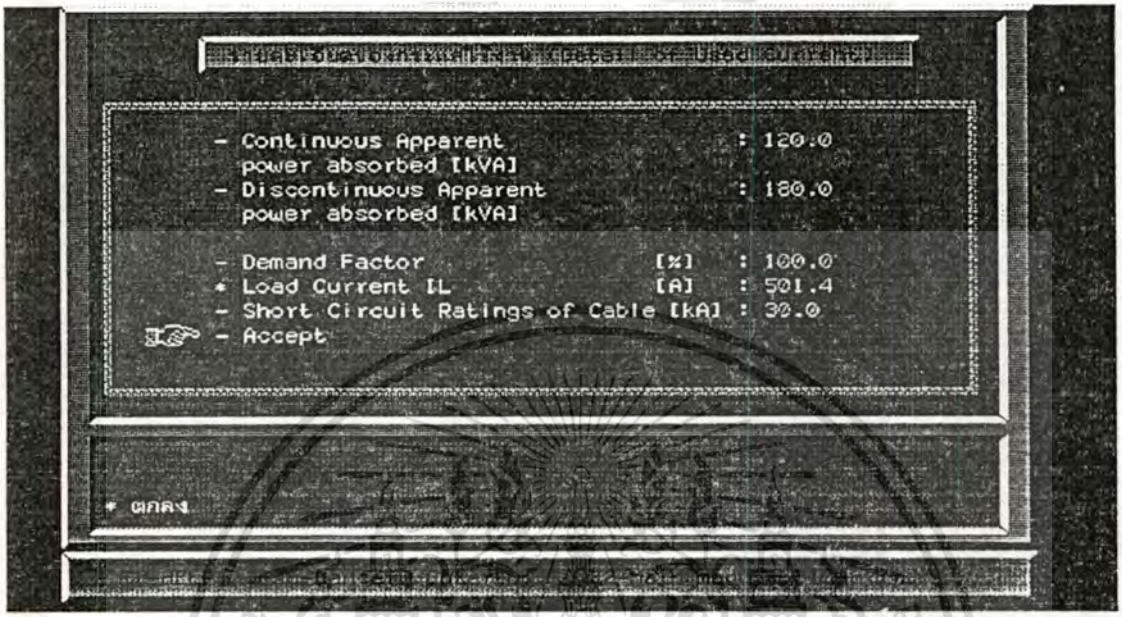
ภาพที่ 38



แสดงการคำนวณกระแสโหลดจากพิกัดกำลังของโหลดแบบ Active

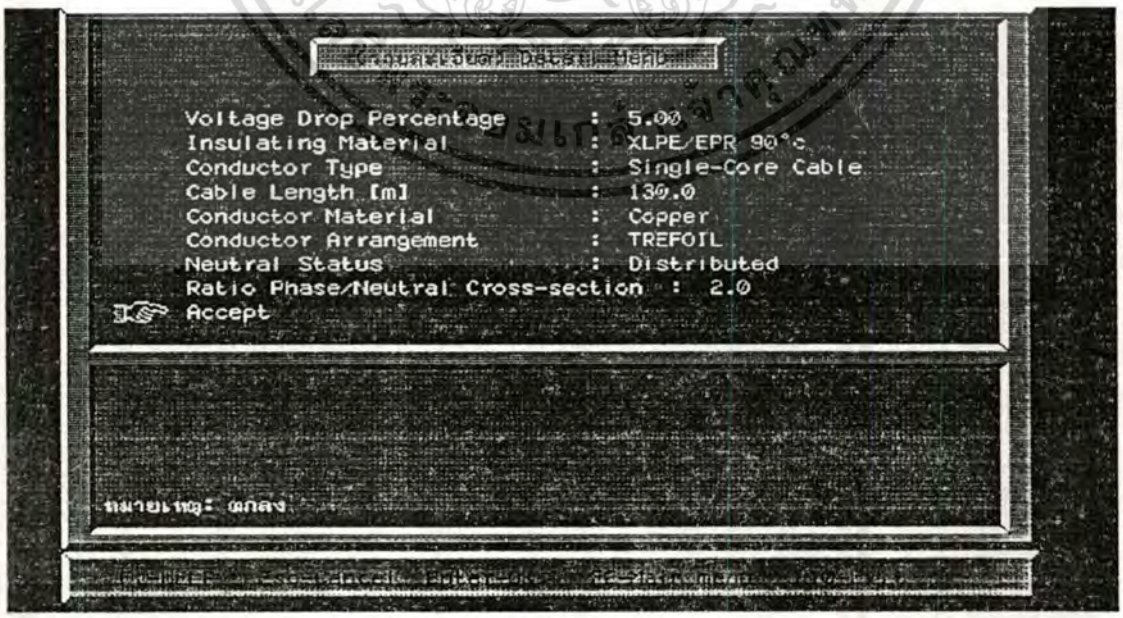
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 39



แสดงการคำนวณกระแสโหลดที่ได้จากพิกัดกำลังที่ปรากฏเป็น [KVA] ของโหลด

ภาพที่ 40

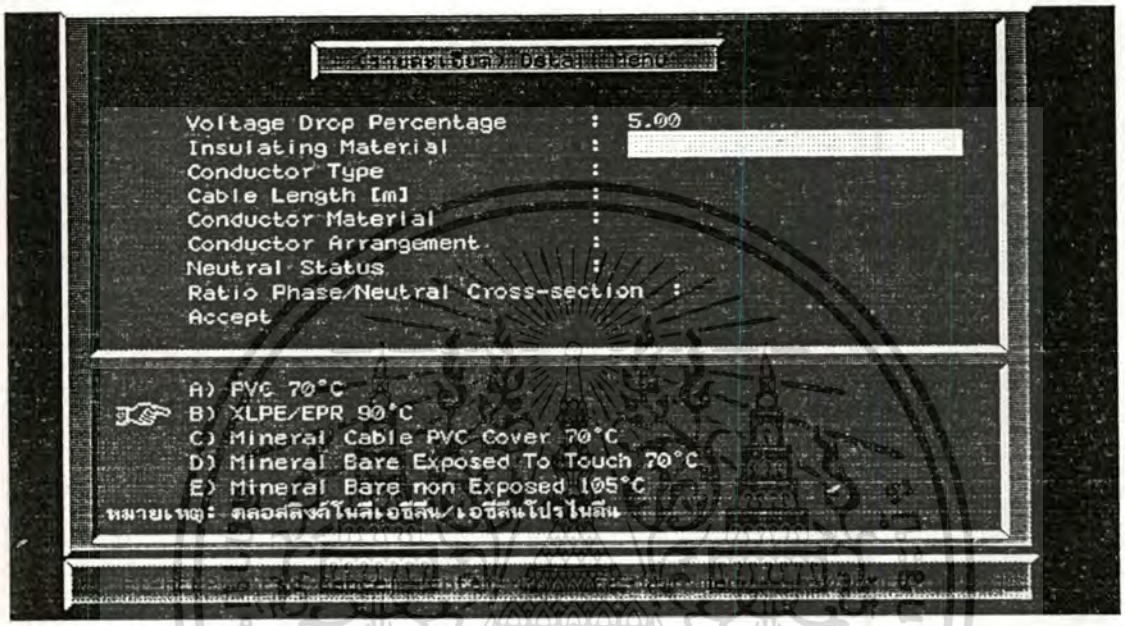


แสดงรายละเอียดของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.16 Insulating Material สามารถเลือกวัสดุฉนวนของสายเคเบิลได้ โดยมี Alternative ดังแสดงในภาพที่ 41

ภาพที่ 41



แสดง Alternative ของวัสดุฉนวน

6.17 Conductor Type สามารถเลือกลักษณะตัวนำของสายเคเบิลได้โดยมี Altinative ดังแสดงในภาพที่ 42

6.18 Cable Length [m] กำหนดความยาวสายเคเบิลให้กับโปรแกรมมีหน่วยเป็นเมตร

6.19 Conducting Material สามารถเลือกวัสดุตัวนำว่าจะใช้วัสดุอะไรมี Alternative ให้เลือกดังแสดงในภาพที่ 43

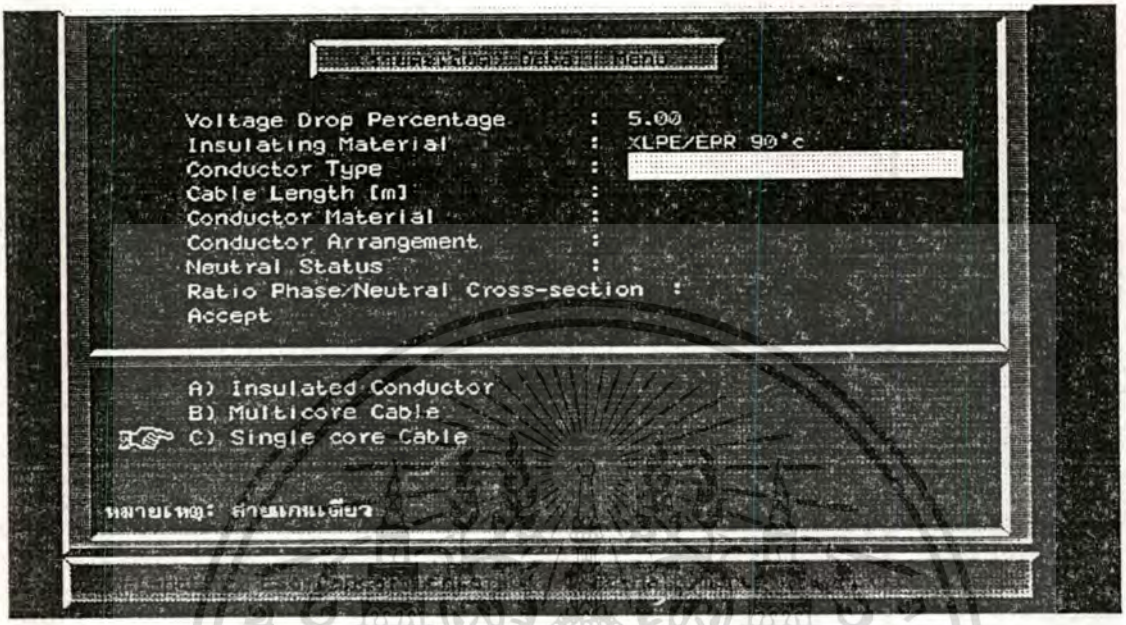
6.20 Conductor Arrangement สามารเลือกลักษณะการจัดวางตัวนำได้หลายแบบดังแสดงในภาพที่ 44

6.21 Nertral Status สามารถกำหนดสถานะของสายนิวทรอลได้ว่าต้องการให้มีหรือไม่

6.22 Ratio Phase/Neutral เป็น Allternative ของข้อ 6.21 ถ้ากำหนดให้มีสายนิวทรอล ผู้ใช้ยังสามารกำหนดอัตราส่วนระหว่างสายเฟสกับสายนิวทรอลได้ว่าจะให้มีขนาดเท่าไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 42



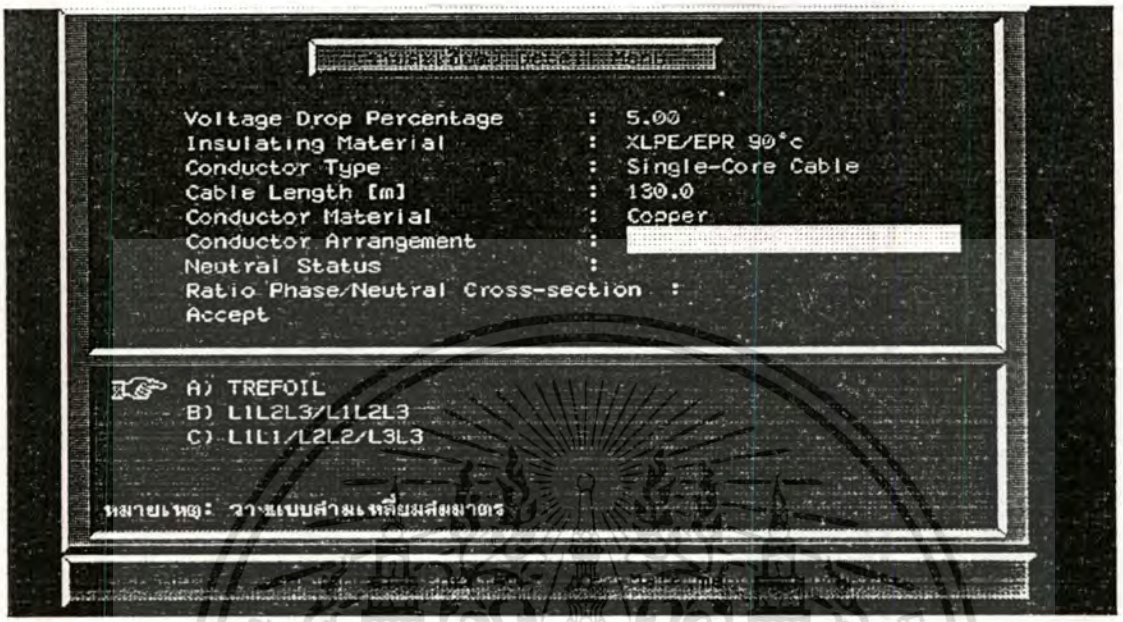
แสดง Alternative ของ การเลือกลักษณะตัวนำ

ภาพที่ 43

แสดง Alternative ของวัสดุตัวนำ

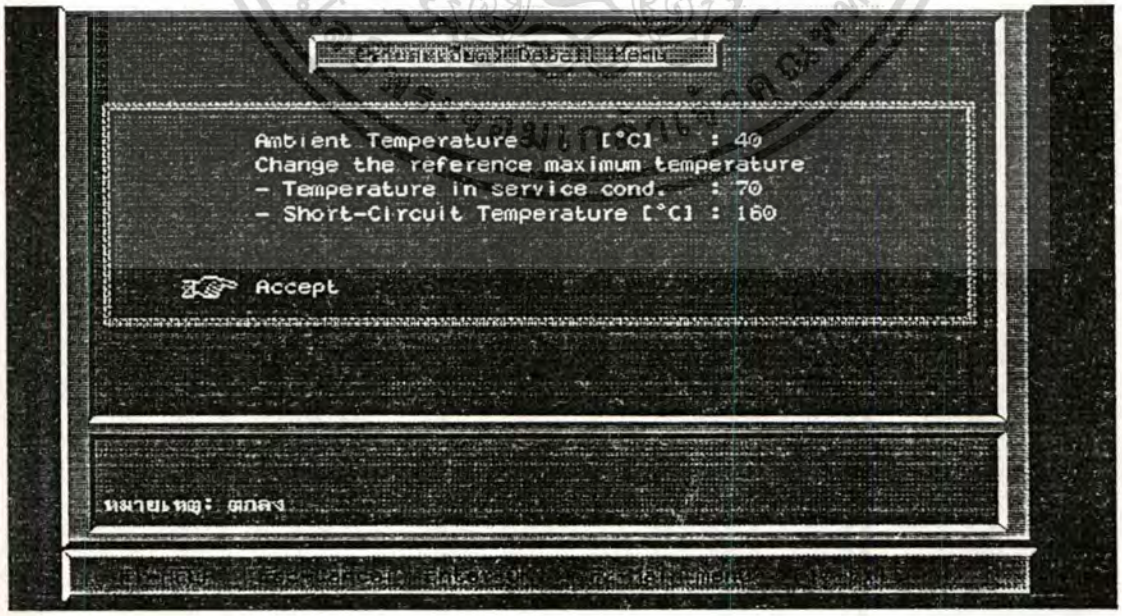
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 44



แสดง Alternative ลักษณะการจัดวางตัวนำ

ภาพที่ 45



แสดงรายละเอียดของโปรแกรมในส่วนของอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 45 มีรายละเอียดดังนี้

6.23 Ambient Temperature [° C] สามารถกำหนดอุณหภูมิรอบ ๆ สายเคเบิลอ้างอิงได้ตามสภาพแวดล้อมและเงื่อนไขในการติดตั้งที่เหมาะสมได้

6.24 Change the Reference maximum temperature เป็น Alternative กับข้อที่ 6.16 สามารถเปลี่ยนอุณหภูมิอ้างอิงสูงสุดของฉนวนได้ โปรแกรมจะทำการคำนวณค่า Correction Factor ให้โดยอัตโนมัติ

6.25 Type of Installation ผู้ใช้สามารถเลือกวิธีการติดตั้งได้ตามต้องการ โดยรายละเอียดวิธีการติดตั้งจะแสดงในภาพที่ 46

ภาพที่ 46

แสดงรายละเอียดวิธีการติดตั้งสายเคเบิลแบบต่าง ๆ

6.26 วิธีการติดตั้งแบบ A ,B, C จะเป็นการติดตั้งโดยใช้ระบบท่อ ,ช่องดัก ,ทรั้งกิ้งและ ระบบติดตั้งโดยตรง เดินในอากาศ ฝังหรือเดินบนกำแพง

6.2.7 วิธีการติดตั้งแบบ D จะเป็นระบบการติดตั้งใต้ดิน

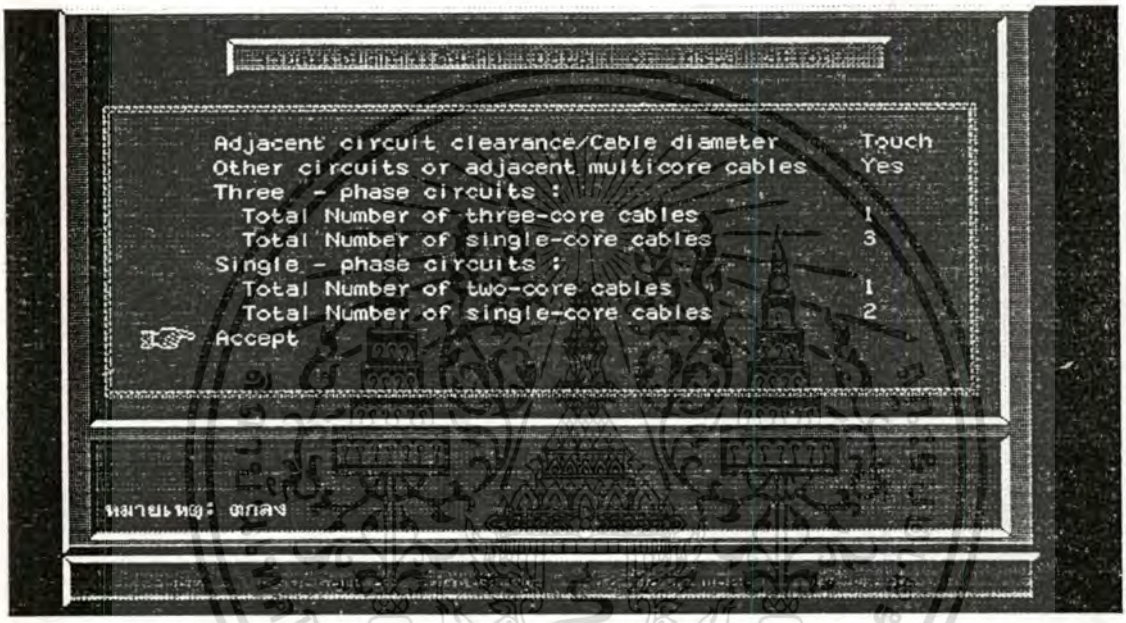
6.28 วิธีการติดตั้งแบบ E , F เป็นวิธีการติดตั้งโดยใช้เคเบิลเทร แลดเดอร์ เส้นโลหะรัดสายเดินในอากาศ

6.29 วิธีการติดตั้งแบบ G เป็นวิธีการติดตั้งเฉพาะสายแกนเดี่ยววางห่างกันเดินในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อที่ 6.26 ถึง 6.28 โปรแกรมจะคำนวณค่าตัวประกอบการคูณสำหรับการติดตั้งและกลุ่มของสายเคเบิลที่มากกว่า 1 วงจรที่เหมาะสมให้กับผู้ใช้งานตามเงื่อนไขสภาพแวดล้อม ที่ผู้ใช้งานป้อนให้โปรแกรม ส่วนข้อที่ 6.29 จะไม่มีตัวประกอบการคูณสำหรับกระแสโหลด สามารถดูรายเอียดเพิ่มเติมได้จากภาคผนวก

ภาพที่ 47



แสดงรายละเอียดการเดินสายและจำนวนวงจรข้างเคียงที่เกี่ยวข้อง

6.30 Adacent Circuit Clearance / Cable Diameter เป็นระยะการวางสายเคเบิลเทียบกับขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายเคเบิลที่วางอยู่

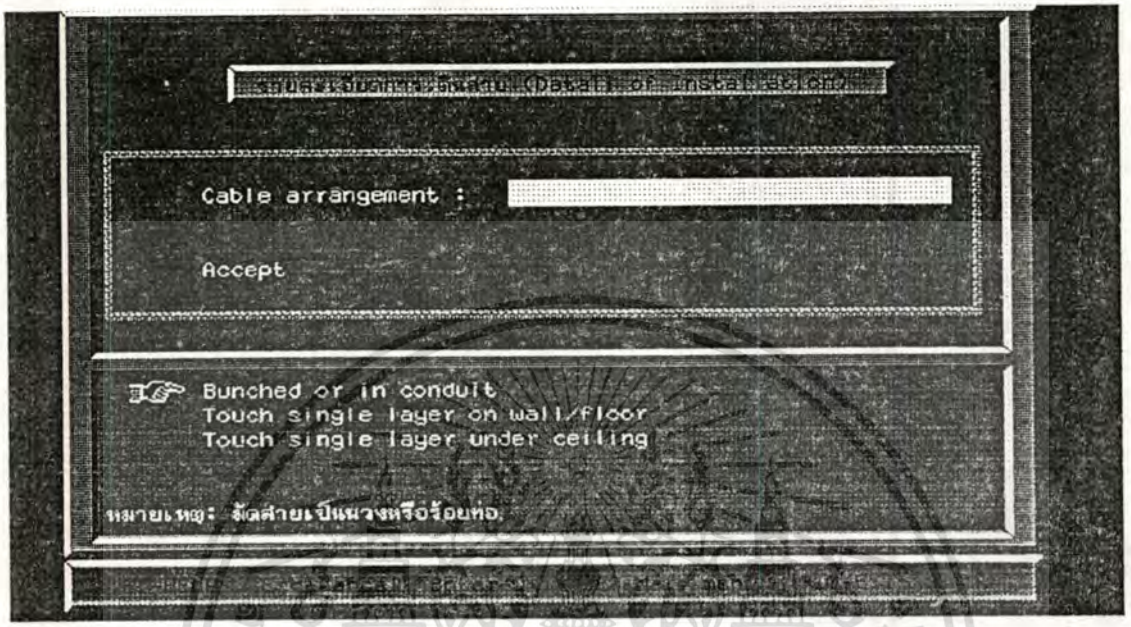
6.31 Other Circuit of Adjacent Multicore Cables โปรแกรมจะถามว่ามีวงจรข้างเคียงอื่น ๆ วางอยู่ด้วยหรือไม่ ถ้ามี โปรแกรมจะให้ผู้ใช้ใส่จำนวนวงจรที่วางอยู่โดยแยกถามเป็นวงจร 3 เฟส และ วงจร 1 เฟสดังแสดงในภาพที่ 47

6.32 Cable Arrangement จากภาพที่ 48 และ 49 จะแสดงการติดตั้งส่วนย่อยของวิธีการติด ตั้งแบบ C ซึ่งจะ Alternative กับข้อ 6.30 ว่าจะกำหนดระยะการวางสายเคเบิลอย่างไร ถ้าวางชิดกัน โปรแกรมจะแสดงภาพที่ 48 ถ้าวางห่างกัน โปรแกรมจะแสดงภาพที่ 49

6.33 Type of Sub-arrangement สามารถเลือกได้ว่าจะฝังใต้ดินโดยตรงหรือ จะวางในช่องดักฝังดิน โดยมีตัวเลือกดังแสดงในภาพที่ 50

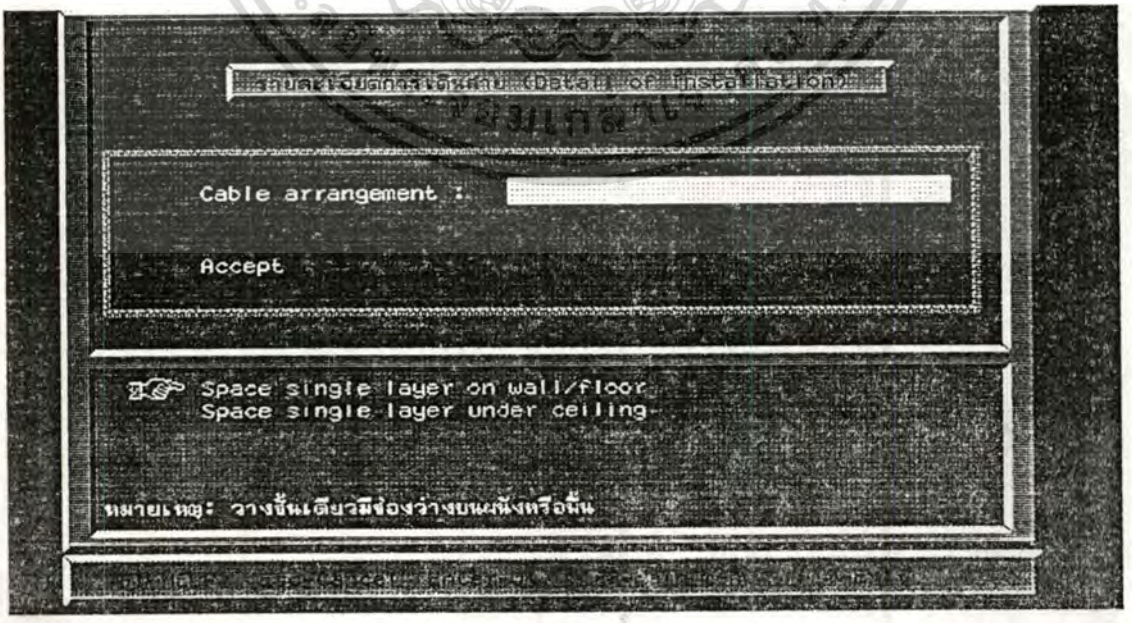
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 48



แสดงการติดตั้งส่วนย่อยของการติดตั้งแบบ C กรณีวางสายชิดกัน

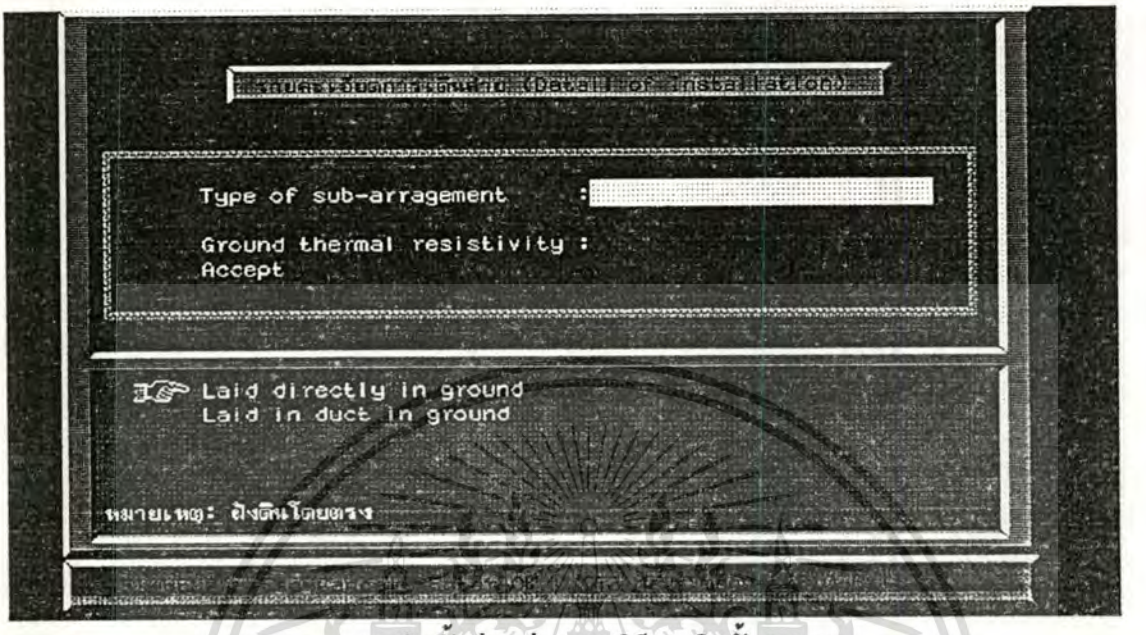
ภาพที่ 49



แสดงการติดตั้งส่วนย่อยของการติดตั้งแบบ C กรณีวางสายห่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

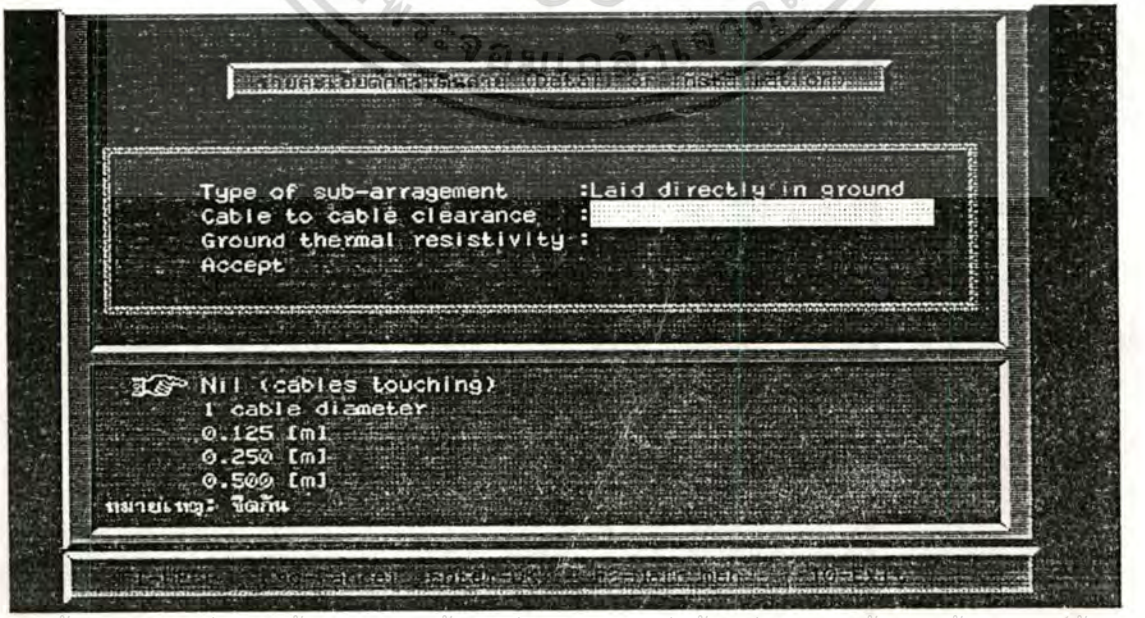
ภาพที่ 50



แสดงการติดตั้งส่วนย่อยของวิธีการติดตั้งแบบ D

6.34 จากข้อ 6.33 ถ้าเลือกแบบฝังดินโดยตรง โปรแกรมจะให้เลือกระยะห่างการวางสายเคเบิล ดังแสดงในภาพที่ 51 และถ้าเลือกแบบวางในช่องดักฝังดิน โปรแกรมจะให้เลือกระยะห่างการวางช่องดัก ดังแสดงในภาพที่ 52

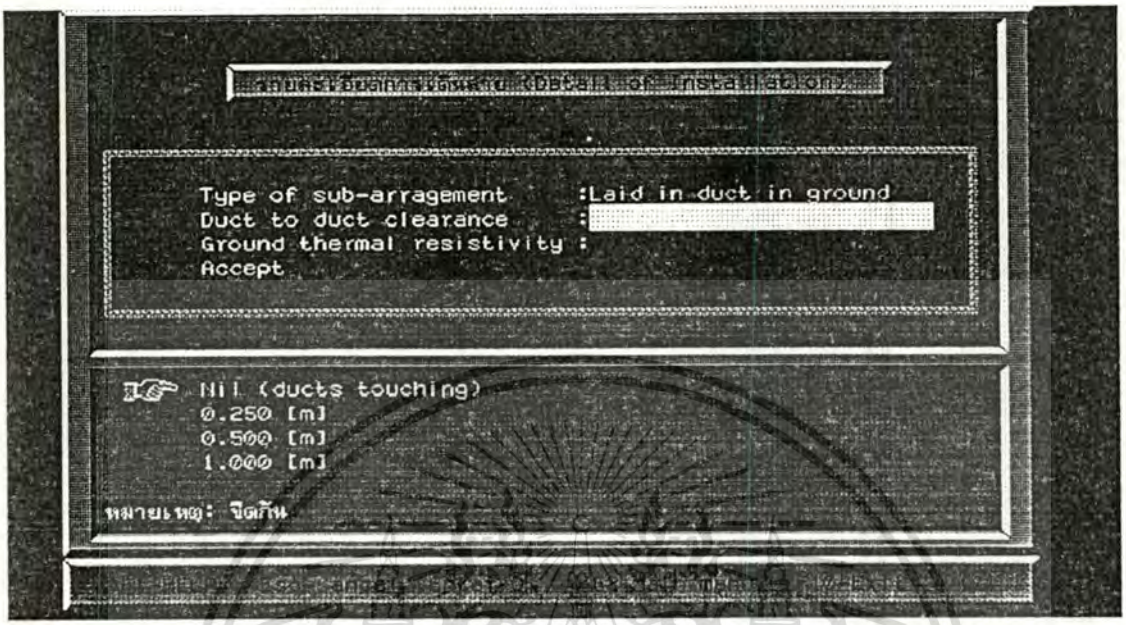
ภาพที่ 51



แสดงระยะห่างการวางสายเคเบิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

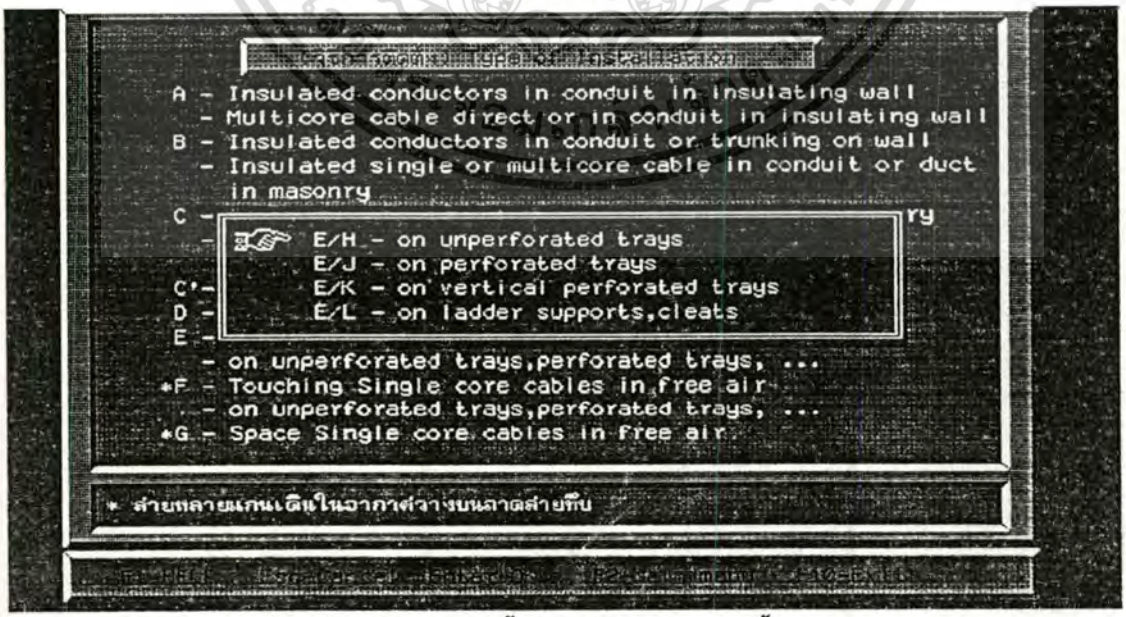
ภาพที่ 52



แสดงระยะห่างการวางช่องดัก

6.35 Ground Termal Resistivity สามารถเปลี่ยนค่าความต้านทานความร้อนของดินได้ โปรแกรมจะคำนวณค่าตัวประกอบการคูณให้โดยอัตโนมัติ

ภาพที่ 53



แสดงตัวเลือกการติดตั้งส่วนย่อยของการติดตั้งแบบ E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 54

แสดงตัวเลือกการติดติดตั้งส่วนย่อยของการติดตั้งแบบ F

6.36 จากภาพที่ 53 จะเป็นการติดตั้งส่วนย่อยของการติดตั้งแบบ E โดยจะ Altinative กับข้อ 6.17 กรณีเป็นสายแบบ Multicore Cable

6.37 จากภาพที่ 54 จะเป็นการติดตั้งส่วนย่อยของการติดตั้งแบบ F โดยจะ Altinative กับข้อ 6.17 กรณีเลือกสายแบบ Single Core

6.38 Do you Know Number of Cable Element(Tray) โปรแกรมจะถามว่าผู้ใช้รู้จำนวนเคเบิลเทรที่จะนำมาใช้วางสายเคเบิลหรือไม่ ถ้าตอบไม่รู้ โปรแกรมจะให้ใส่จำนวนสูงสุดยอมได้ใน 1 เคเบิลเทร และโปรแกรมจะคำนวณจำนวนเคเบิลเทรให้โดยอัตโนมัติ ดังแสดงในภาพที่ 55 ถ้าตอบว่ารู้ โปรแกรมก็จะให้ผู้ใช้งานใส่จำนวนแคเบิลเทรตามขอบเขตเงื่อนไขที่โปรแกรมคำนวณได้ ดังแสดงในภาพที่ 56

6.39 จากภาพที่ 57 เป็นการติดตั้งส่วนย่อยของการติดตั้งแบบ G ซึ่งโปรแกรมจะถามผู้ใช้ งานดังในข้อ 6.40 และ 6.41

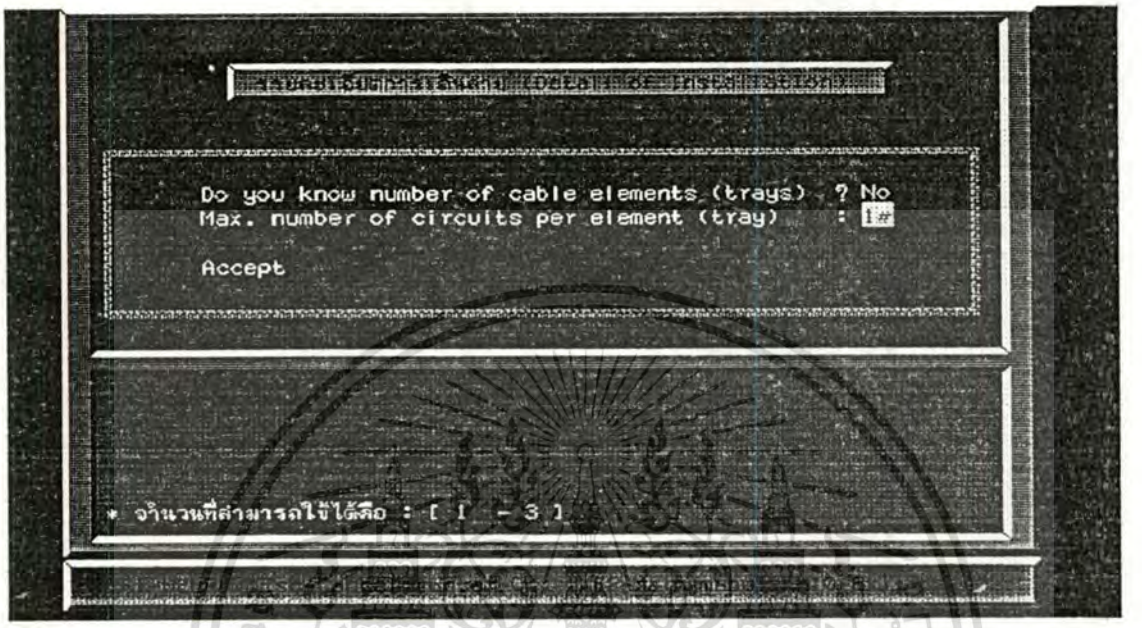
6.40 Conductor to Conductor Clearance จะเป็นระยะห่างการว่างสายเคเบิล

6.41 Type of Arrangement โปรแกรมจะให้เลือกว่าเป็นการว่างสายในแนวนอน หรือแนวดิ่ง

6.42 เมื่อป้อนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จนครบแล้ว โปรแกรมจะแสดงค่าตัวประกอบการคูณทั้งหมดที่คำนวณได้ โดยอาศัยการป้อนข้อมูลจากผู้ใช้งานดังแสดงในภาพที่ 58

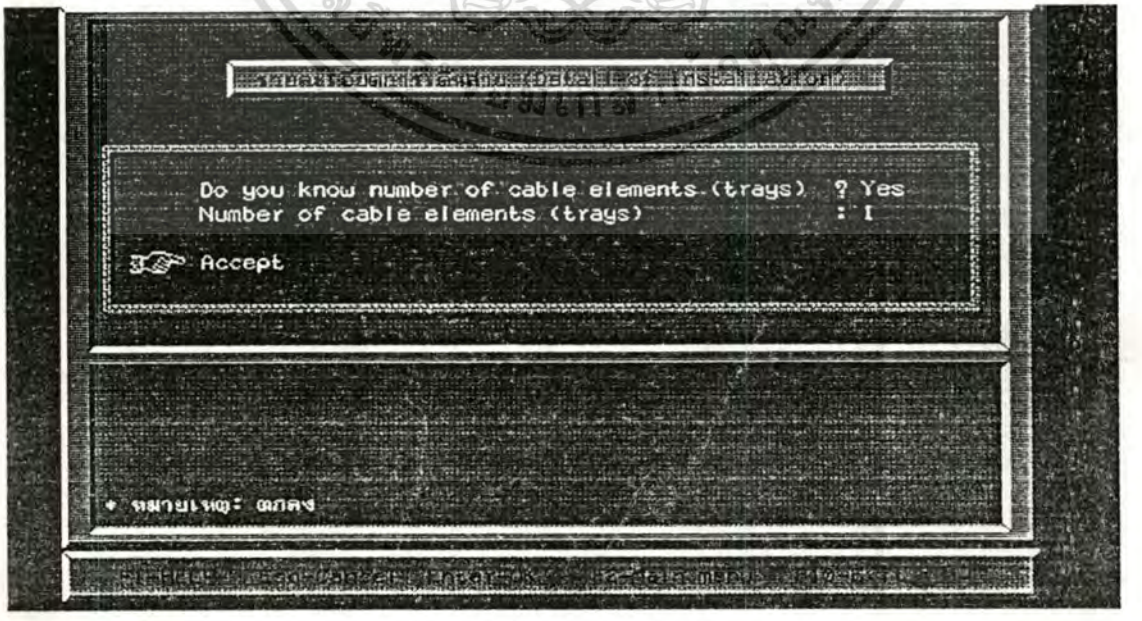
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 55



แสดงจำนวนสายเคเบิลสูงสุดที่ยอมได้ใน 1 Cable Tray ของการติดตั้งแบบ E และ F

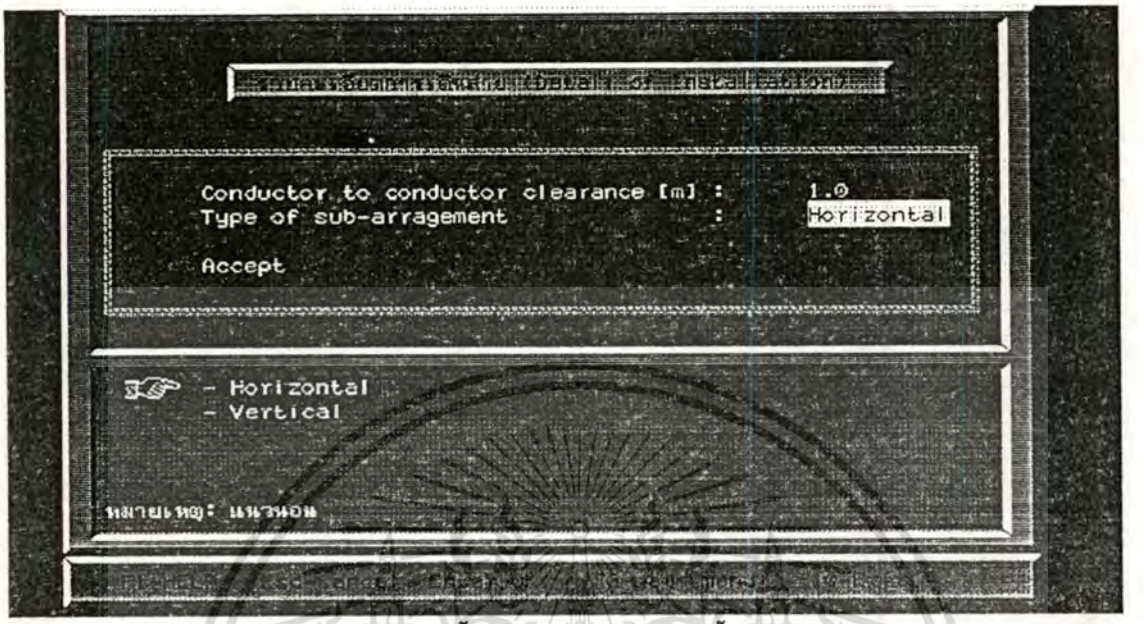
ภาพที่ 56



แสดงการเลือกจำนวนเคเบิลเทรของการติดตั้งแบบ E และ F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

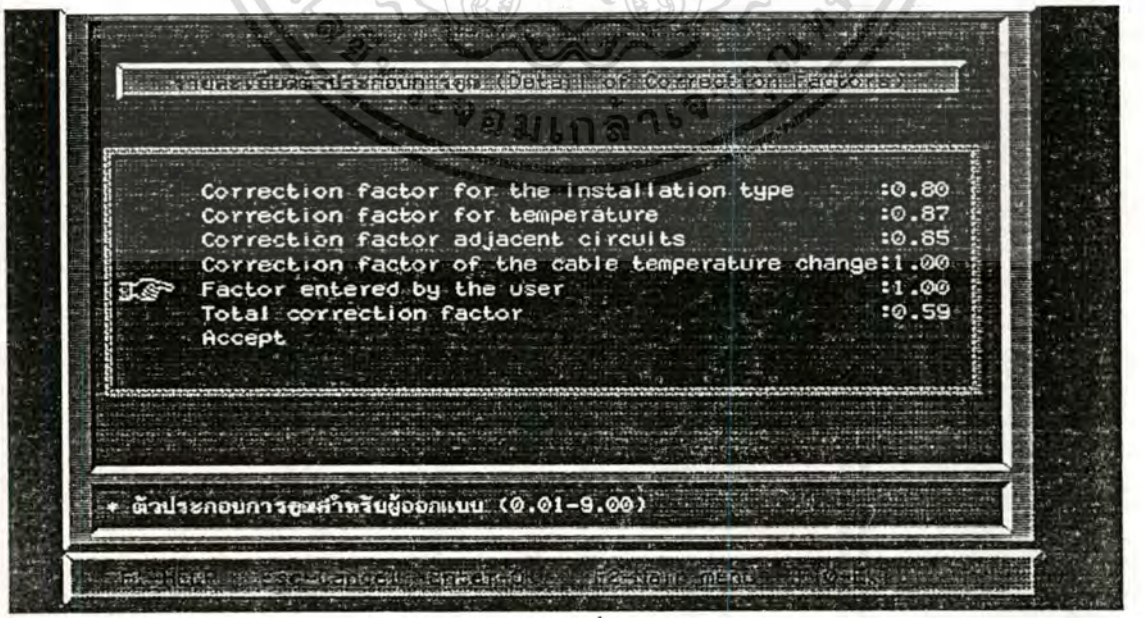
ภาพที่ 57



แสดงการติดตั้งส่วนย่อยของการติดตั้งแบบ G

6.43 หลังจากที่ป้อนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ให้กับโปรแกรมจนหมดแล้ว โปรแกรมก็จะแสดงหน้าจอการสรุปข้อมูลอินพุตที่ผู้ใช้ป้อนให้กับโปรแกรมทั้งหมด ดังแสดงในภาพที่ 59 และจะแสดงผลลัพธ์ในภาพที่ 60

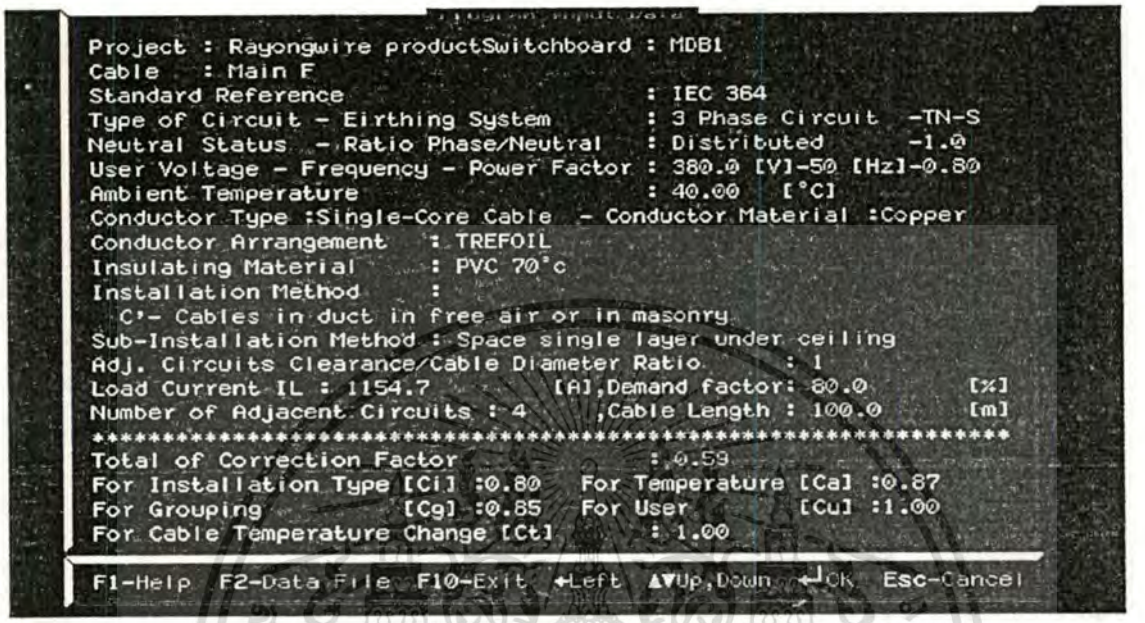
ภาพที่ 58



แสดงตัวประกอบการคูณที่โปรแกรมคำนวณได้

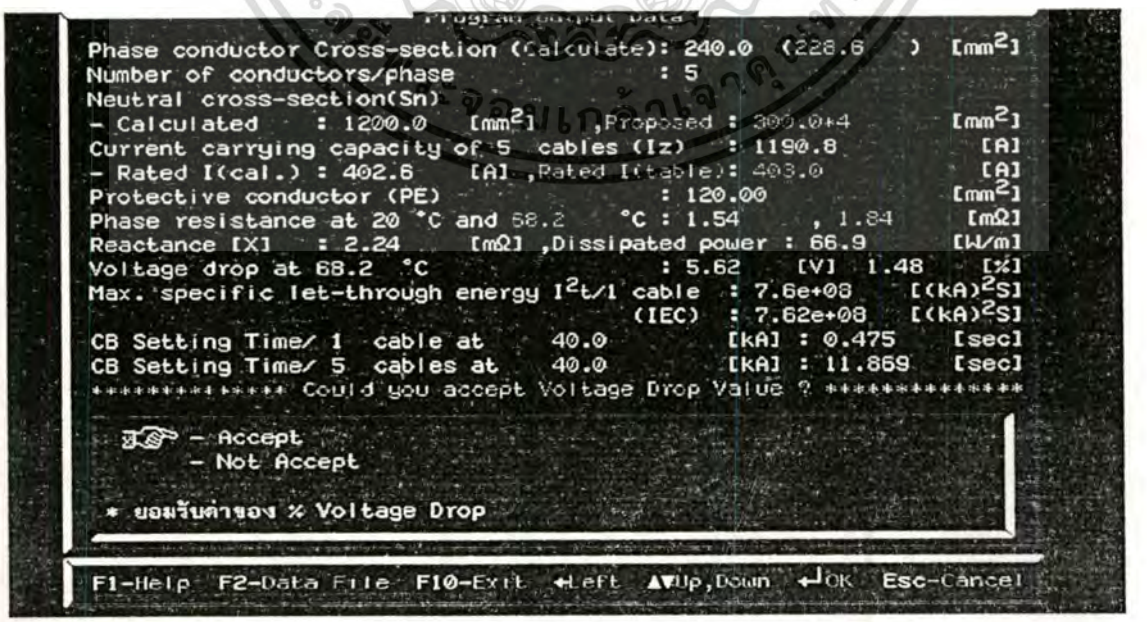
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 59



แสดงการสรุปหน้าจออินพุตที่ป้อนให้กับโปรแกรม

ภาพที่ 60



แสดงหน้าจอผลลัพธ์ที่โปรแกรมคำนวณได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.44 Could You Accect Voltage Drop Value จากภาพที่ 60 ข้อนี้จะ Alternative กับข้อ 6.15 ถ้าตอบว่า Defind Voltage Drop โปรแกรมประมวลผลสายเคเบิลมีแรงดันตกอยู่ในขนาดที่กำหนด และถ้าตอบว่า Not Defind โปรแกรมไม่สนใจต่อแรงดันตก แต่จะสนใจเฉพาะกระแสโหลดเท่านั้นว่าสายเคเบิลสามารถรองรับได้หรือไม่ ดังนั้นโปรแกรมจะ ถามผู้ใช้งานว่ายอมรับค่าแรงดันตกที่โปรแกรมคำนวณให้หรือไม่ ถ้าไม่ยอมรับก็สามารถเข้าไปแก้ไขพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อปรับปรุง แรงดันตกให้ดีขึ้นได้

6.45 Could You Accept Circuit Breaker Setting Time จากภาพที่ 61 ข้อนี้โปรแกรมจะถามผู้ใช้งานว่าผู้ใช้ ยอมรับเวลาที่ใช้ในการตัดค่ากระแสลัดวงจรของเซอร์กิตเบรคเกอร์หรือไม่ ถ้าไม่ยอมรับก็สามารถเข้าไปปรับปรุงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้

6.46 จากข้อที่ 6.44 และ ข้อที่ 6.45 เมื่อต้องการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์สามารถทำได้ดังแสดงในภาพที่ 62

6.47 เมื่อทุกอย่างเป็นไปตามที่ผู้ใช้ต้องการแล้ว โปรแกรมจะแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดความทนต่อกระแสลัดวงจรของสายเคเบิล ค่าเวลาสูงสุดของเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่สามารถตัดกระแสลัดวงจรได้ และ ขนาดพื้นที่หน้าตัดของตัวนำ ดังแสดงในภาพที่ 63

6.48 หลังจากนั้นโปรแกรมจะกลับไปยังหน้าจอที่แสดงในภาพที่ 33 ผู้ใช้งานสามารถบันทึกข้อมูลทั้งหมดได้ โดยโปรแกรมจะสามารถบันทึกสายเคเบิลได้หลายวงจรในหนึ่ง File ทำได้โดยเลื่อน Index ไปที่ SAVE แล้วกด ENTER หลังจากนั้นก็ให้พิมพ์ชื่อ File เสร็จแล้วให้กด Enter อีก โปรแกรมจะให้พิมพ์ชื่อสายเคเบิล เพราะว่าในการออกแบบโดยทั่วไปนั้น จะต้องมีสายเคเบิลหลายวงจรอยู่ในตู้สวิทช์บอร์ดเดียวกัน ดังนั้นจึงได้ออกแบบโปรแกรมให้สามารถบันทึกสายเคเบิลได้หลาย ๆ วงจรในหนึ่ง File

6.49 ถ้าหากต้องการ Load File เก่าออกมาดูหรือแก้ไข ก็ให้เลื่อน Index ไปที่ Load File แล้วกด ENTER หลังจากนั้นให้พิมพ์ชื่อ File ที่ต้องการ Load หรือจะหาชื่อ File โดยกด Tab แล้วกดลูกศรเลื่อนหาชื่อ File แล้วค่อยกด ENTER ก็ได้ เสร็จแล้วโปรแกรมจะให้ผู้ใช้พิมพ์ชื่อสายเคเบิลหรือใช้วิธีกด Tab แล้วใช้ลูกศรเลื่อนหาชื่อสายเคเบิลก็ได้ จากนั้นก็กด ENTER

6.50 ผู้ใช้สามารถพิมพ์ผลลัพธ์ออกทางเครื่องพิมพ์ได้ตามต้องการ โดยสามารถพิมพ์ผลลัพธ์ของแต่ละวงจรโดยเลื่อน Index ไปที่ Project Printout ในหน้าจอที่แสดงในภาพที่ 33 หรือ จะพิมพ์สรุปรวมทุกวงจรได้โดยเลื่อน Index ไปที่ Summary Printing ในหน้าจอที่แสดงในภาพที่ 32 แล้วกด ENTER

6.51 การใช้ปุ่มบน Keyboard สำหรับโปรแกรม COP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้