ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
246311

โปรแกรมสำหรับการประสานสัมพันธ์ฉนวนตามมาตรฐาน IEC 60071-2 : 1996

ว่าที่ ร้อยตรี ศกล สังขฤกษ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

b00250767

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
246311

โปรแกรมสำหรับการประสานสัมพันธ์ฉนวนตามมาตรฐาน IEC 60071-2 :1996

ว่าที่ ร้อยตรี สกล สังขะกูล

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5170717321

A COMPUTER SOFTWARE FOR INSULATION CO-ORDINATION ACCORDING TO IEC 60071-2:1996

Acting Sub Lt. Sakon Sangkakool

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	โปรแกรมสำหรับการประสานสัมพันธ์ฉนวนตามมาตรฐาน IEC 60071-2 :1996
โดย	ว่าที่ ร้อยตรี สกล สังขะกูล
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คมสัน เพ็ชรรักษ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คมสัน เพ็ชรรักษ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.อรรณพ ลิ้มสีมารัตน์)

สกล สังขะกูล : โปรแกรมสำหรับการประสานสัมพันธ์ฉนวนตามมาตรฐาน IEC 60071-2:1996. (A COMPUTER SOFTWARE FOR INSULATION CO-ORDINATION ACCORDING TO IEC 60071-2:1996) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คมสัน เพ็ชรรักษ์, 143 หน้า.

246311

มาตรฐานสำหรับการประสานสัมพันธ์ฉนวนตาม IEC 60071-2 : 1996 [1] มีความซับซ้อนยากที่จะทำความเข้าใจ โดยแสดงถึงการประยุกต์ใช้งาน และการเลือกระดับการฉนวนหรือการติดตั้งอุปกรณ์ในระบบ 3 เฟส ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการลงทุนสูง โดยจุดมุ่งหมายหลักคือการหาค่าพิกัดความคงทนแรงดันของอุปกรณ์ในช่วงที่ 1 (ตั้งแต่ 3.6 kV ถึง 245 kV) และในช่วงที่ 2 (ตั้งแต่ 300 kV ถึง 800 kV) มาตรฐานนี้ครอบคลุมฉนวนระหว่างเฟสกับดิน และฉนวนระหว่างเฟสกับเฟส กระบวนการประสานสัมพันธ์ฉนวนช่วยลดอัตราการเสียหายของอุปกรณ์ในระหว่างทำงาน ลดผลเสียจากการหยุดการทำงาน และลดการซ่อมบำรุง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอ โปรแกรมที่แสดงถึงขั้นตอนการคำนวณของการประสานสัมพันธ์ฉนวน เพื่อให้ได้ค่าความคงทนแรงดันของอุปกรณ์ โดยผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลอินพุตในแต่ละขั้นตอน เช่น แหล่งกำเนิดแรงดันเกิน การเลือกใช้กับดักเสิร์จ เป็นต้น จุดประสงค์หลักของโปรแกรม คือ เพื่อความสะดวกในการคำนวณ และประโยชน์ในการวิเคราะห์ผลจากการคำนวณ

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต อ่าที่ ส.ต. สกล

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2553

5170717321 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS : INSULATION CO-ORDINATION / IEC-60071-2

SAKON SANGKAKOOL : A COMPUTER SOFTWARE FOR INSULATION CO-ORDINATION ACCORDING TO IEC 60071-2:1996. ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR KOMSON PETCHARAKS, Ph.D., 143 pp.

246311

IEC 60071-2 : 1996 [1] specifies and recommends. the application and selection of insulation level of equipment, or equipment installation in 3-phase system. This is an important issue as it involves a high investment cost. The main objective of IEC 60071-2 : 1996 is to determine the rated withstand voltage of equipment in range I (from 1 kV to 245 kV) and in range II (from 300 kV to 800 kV). This standard covers both the phase-to-earth (p-e) and phase-to-phase (p-p) insulation. The insulation co-ordination procedure can reduce accidental rate of equipment damage during the operation, reduce disadvantage of work outage, and also reduce maintenance cost.

A computer software is developed to demonstrate the calculation steps of the insulation co-ordination to achieve the standard rated withstand voltage of an equipment. User can change input parameters in each step, e.g. overvoltages source, the selection of surge arrester. The aim is for the convenience in the calculation and benefit in the analysis of calculation result.

Department : Electrical Engineering Student's Signature S. Sangkakool

Field of Study : Electrical Engineering Advisor's Signature K. Petcharaks

Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความกรุณา และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คมสัน เพ็ชรรักษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา โดยให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์มาด้วยดีโดยตลอด รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขจนเสร็จเรียบร้อยด้วยดีโดยตลอดต่อการทำวิทยานิพนธ์

นอกจากนั้นต้องขอบคุณพระคุณคณะกรรมการสอบ ซึ่งประกอบด้วย อาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล และ ดร.อรรณพ ลิ้มสีมารัตน์ ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไข และให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอบสนับสนุน ให้โอกาส และความปรารถนาดีเสมอมา ตลอดจนทุกๆ ท่านที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญภาพ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์..... 1

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์..... 1

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินการ..... 2

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์..... 2

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์..... 2

บทที่ 2 กระบวนการประสานสัมพันธ์ฉนวน..... 3

2.1 การหาค่าตัวแทนแรงดันเกิน(U_{rp})..... 4

2.2 การหาค่าความคงทนแรงดันในการประสานสัมพันธ์ฉนวน(U_{cw})..... 5

2.3 การหาค่าความคงทนแรงดันที่ต้องการ(U_{rw})..... 6

2.4 การเลือกค่ามาตรฐานความคงทนแรง(U_{w})..... 6

บทที่ 3 การประยุกต์ใช้งานการประสานสัมพันธ์ฉนวน..... 12

3.1 ตัวแทนแรงดันเกิน(U_{rp})..... 12

3.1.1 แรงดันเกินความถี่กำลัง..... 12

3.1.2 แรงดันเกินชั่วคราว..... 12

3.1.3 แรงดันเกินหน้าคลื่นช้า..... 14

หน้า

3.1.3.1 การคำนวณสำหรับแรงดันช่วงที่ 1 (3.6 kV$\leq U_m \leq$36 kV)..... 14
3.1.3.2 การคำนวณสำหรับแรงดันช่วงที่ 1 (52 kV$\leq U_m \leq$245 kV)..... 15
3.1.3.3 การคำนวณสำหรับแรงดันช่วงที่ 1 (300 kV$\leq U_m \leq$800 kV)..... 16
3.1.3.3.1 การประสานสัมพันธ์ฉนวนระหว่างเฟสกับดิน..... 16
3.1.3.3.2 การประสานสัมพันธ์ฉนวนระหว่างเฟสกับเฟส..... 16
3.1.3 แรงดันเกินหน้าคลื่นเร็ว..... 18
3.2 ความคงทนแรงดันในการประสานสัมพันธ์ฉนวน(U_{cw})..... 18
3.2.1 แรงดันเกินชั่วคราว..... 18
3.2.2 แรงดันเกินหน้าคลื่นช้า..... 19
3.2.2.1 การคำนวณสำหรับแรงดันช่วงที่ 1 (3.6 kV$\leq U_m \leq$36 kV)..... 19
3.2.2.2 การคำนวณสำหรับแรงดันช่วงที่ 1 (52 kV$\leq U_m \leq$245 kV)..... 19
3.2.2.3 การคำนวณสำหรับแรงดันช่วงที่ 2 (300 kV$\leq U_m \leq$800 kV)..... 21
3. 2.2.3.1 การประสานสัมพันธ์ฉนวนระหว่างเฟสกับดิน..... 21
3. 2.2.3.2 การประสานสัมพันธ์ฉนวนระหว่างเฟสกับเฟส..... 22
3.2.3 แรงดันเกินหน้าคลื่นเร็ว..... 23
3.2.3.1 การคำนวณสำหรับแรงดันช่วงที่ 1 (3.6 kV$\leq U_m \leq$245 kV)..... 23
3.2.3.2 การคำนวณสำหรับแรงดันช่วงที่ 2 (300 kV$\leq U_m \leq$800 kV)..... 24
3.3 ความคงทนแรงดันที่ต้องการ(U_{rw})..... 24
3.3.1 การคำนวณสำหรับแรงดันช่วงที่ 1 (3.6 kV$\leq U_m \leq$245 kV)..... 24
3.3.1.1 ตัวแปรความปลอดภัย (K_s)..... 24
3.3.1.2 ตัวแปรชดเชยสภาพบรรยากาศ (K_a)..... 25
3.3.1.3 ความคงทนแรงดันเกินที่ต้องการ(U_{rw}) สำหรับฉนวนภายใน..... 26
3.3.1.4 ความคงทนแรงดันเกินที่ต้องการ(U_{rw}) สำหรับฉนวนภายนอก..... 26
3.3.2 การคำนวณสำหรับแรงดันช่วงที่ 2 (300 kV$\leq U_m \leq$800 kV)..... 26
3.3.2.1 การประสานสัมพันธ์ฉนวนระหว่างเฟสกับดิน..... 26
3.3.2.2 การประสานสัมพันธ์ฉนวนระหว่างเฟสกับเฟส..... 27
3.4 การเปลี่ยนรูปของU_{rw}..... 27
3.4.1 การคำนวณสำหรับแรงดันช่วงที่ 1 (3.6 kV$\leq U_m \leq$245 kV)..... 27
3.4.2 การคำนวณสำหรับแรงดันช่วงที่ 2 (300 kV$\leq U_m \leq$800 kV)..... 27

หน้า

3.5 การเลือกค่ามาตรฐานความคงทนแรง(U_w)..... 27
3.5.1 การคำนวณสำหรับแรงดันช่วงที่ 1 (3.6 kV$\leq U_m \leq$36 kV)..... 27
3.5.2 การคำนวณสำหรับแรงดันช่วงที่ 1 (52 kV$\leq U_m \leq$245 kV)..... 29
3.5.3 การคำนวณสำหรับแรงดันช่วงที่ 2 (300 kV$\leq U_m \leq$800 kV)..... 29
3.5.3.1 ระยะห่างน้อยที่สุดระหว่างเฟสกับดิน (Phase-to-earth clearances)..... 29
3.5.3.2 ระยะห่างน้อยที่สุดระหว่างเฟสกับเฟส (Phase-to-phase clearances)..... 29

บทที่ 4 การออกแบบ และการใช้งานโปรแกรมการสำหรับประสานสัมพันธ์ฉนวน..... 33
4.1 ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม ประสานสัมพันธ์ฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าในระบบ
230 kV ใน Range I (52 kV$\leq U_m \leq$245 kV) 35
4.1.1 ข้อมูลเบื้องต้น..... 35
4.1.2 ตัวแทนแรงดันเกิน(U_{rp})..... 36
4.1.2.1 แรงดันเกินความถี่กำลัง..... 36
4.1.2.2 แรงดันเกินชั่วคราว..... 37
4.1.2.3 แรงดันเกินหน้าคลื่นช้า..... 38
4.1.2.4 แรงดันเกินหน้าคลื่นเร็ว..... 43
4.1.3 ความคงทนแรงดันในการประสานสัมพันธ์ฉนวน(U_{cw})..... 43
4.1.3.1 แรงดันเกินชั่วคราว..... 43
4.1.3.2 แรงดันเกินหน้าคลื่นช้า..... 44
4.1.3.3 แรงดันเกินหน้าคลื่นเร็ว..... 45
4.1.4 ความคงทนแรงดันที่ต้องการ(U_{rw})..... 47
4.1.5 Convert to withstand voltage normalized..... 50
4.1.6 การเลือกค่ามาตรฐานความคงทนแรง(U_w)..... 53

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ..... 57

รายการอ้างอิง..... 59
ภาคผนวก..... 60

หน้า

ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณการประสานสัมพันธ์ฉนวน..... 61
ภาคผนวก ข การติดตั้งโปรแกรม..... 94
ภาคผนวก ค ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรมการประสานสัมพันธ์ฉนวน..... 98
ภาคผนวก ง ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ..... 140
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 143

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ประเภทแรงดันเกิน.....	4
2.2	มาตรฐานระดับการฉนวนสำหรับแรงดันช่วงที่ 1 (3.6 kV$\leq U_m \leq$245 kV).....	8
2.3	มาตรฐานระดับการฉนวนสำหรับแรงดันช่วงที่ 2 คือ$U_m >$245 kV.....	9
2.4	ตัวแปรสำหรับการเปลี่ยนรูปสำหรับแรงดันช่วงที่ 1.....	10
2.5	ตัวแปรสำหรับการเปลี่ยนรูปสำหรับแรงดันช่วงที่ 2.....	11
3.1	กระแสถ่ายเทประจุที่ระบุ.....	14
3.2	ระดับการถ่ายเทประจุในสาย.....	14
3.3	ระดับกระแสสวิตชิงอิมพัลส์	14
3.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของตัวแปรในการประสานฉนวนทางสถิติ K_{cs} และความ เสี่ยงต่อการล้มเหลวของฉนวน(R) จากรูปที่ 3.4	22
3.5	ตัวแปร A เปลี่ยนแปลงตามชนิดของสายส่ง	24
3.6	ความสัมพันธ์ระหว่างมาตรฐานความคงทนแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า และค่าน้อยที่สุดของระยะห่างระหว่างอากาศ(minimum air clearance).....	28
3.7	ความสัมพันธ์ระหว่างมาตรฐานความคงทนแรงดันอิมพัลส์สวิตชิง และค่าน้อยที่สุดของระยะห่างระหว่างอากาศระหว่างเฟสกับดิน.....	30
3.8	ความสัมพันธ์ระหว่างมาตรฐานความคงทนแรงดันอิมพัลส์สวิตชิง และค่าน้อยที่สุดของระยะห่างระหว่างอากาศระหว่างเฟสกับเฟส.....	32
ก.1	ผลสรุปความคงทนแรงดันที่ต้องการค่าน้อยที่สุด สำหรับการประสานสัมพันธ์ฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าระบบจำหน่าย 22 kV ในระดับแรงดันช่วงที่1	67
ก.2	การเลือกมาตรฐานระดับการฉนวน สำหรับการประสานสัมพันธ์ฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าระบบจำหน่าย 22 kV ในระดับแรงดันช่วงที่ 1	67
ก.3	ระยะห่างน้อยที่สุดระหว่างเฟสกับเฟสของ ฉนวนภายนอก สำหรับการประสานสัมพันธ์ฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าระบบจำหน่าย 22 kV ในระดับแรงดันช่วงที่ 1	67

ตารางที่ หน้า

ก.4 ผลการเลือกค่าน้อยที่สุดของค่ามาตรฐานความคงทนแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า ของฉนวนภายใน สำหรับการประสานสัมพันธ์ฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าระบบจำหน่าย 22 kV ในระดับแรงดันช่วงที่ 1..... 68

ก.5 ผลสรุปความคงทนแรงดันที่ต้องการค่าน้อยที่สุด สำหรับการประสานสัมพันธ์ฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าระบบจำหน่าย 230 kV ในระดับแรงดันช่วงที่ 1..... 78

ก.6 การเลือกมาตรฐานระดับการฉนวน สำหรับการประสานสัมพันธ์ฉนวนสำหรับสถานี ไฟฟ้าระบบจำหน่าย 230 kV ในระดับแรงดันช่วงที่ 1..... 79

ก.7 ระยะห่างน้อยที่สุดระหว่างเฟสกับเฟสของฉนวนภายนอก สำหรับการประสานสัมพันธ์ฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าระบบจำหน่าย 230 kV ในระดับแรงดันช่วงที่1..... 79

ก.8 ผลการเลือกค่าน้อยที่สุดของค่ามาตรฐานความคงทนแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าของฉนวนภายใน สำหรับการประสานสัมพันธ์ฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าระบบจำหน่าย 230 kV ในระดับแรงดันช่วงที่ 1..... 79

ก.9 ผลการเลือกมาตรฐานความคงทนแรงดัน(U_w) สำหรับฉนวนภายใน สำหรับการประสานสัมพันธ์ฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าในระบบ 735 kV ในระดับแรงดันช่วงที่ 2 86

ก.10 ผลการเลือกมาตรฐานความคงทนแรงดัน(U_w) สำหรับฉนวนภายนอก สำหรับการประสานสัมพันธ์ฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าในระบบ 735 kV ในระดับแรงดันช่วงที่ 2..... 87

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	ผังงาน สำหรับการหาค่าพิกัดมาตรฐานความคงทนแรงดัน.....	3
3.1	อัตราส่วนค่า U_{e2} และ U_{p2} ของแรงดันเกินหน้าคลื่นช้าจากผลของการปลดพลังงานออก (Re-Energization)	17
3.2	Inclination angle (Φ) สำหรับฉนวนระหว่างเฟสกับเฟส ซึ่งจะขึ้นกับอัตราส่วนระหว่าง ระยะห่างน้อยที่สุดระหว่างเฟสกับเฟส (D) ต่อความสูงเหนือพื้นดิน (H_t).....	18
3.3	การหาค่า Deterministic co-ordination factor (K_{cd}).....	20
3.4	ความสัมพันธ์ความเสียงต่อการล้มเหลวของฉนวนภายนอกสำหรับแรงดันเกินหน้าคลื่นช้า(R) เทียบกับตัวแปรในการประสานสัมพันธ์ฉนวนทางสถิติ ระหว่าง U_{cw}	21
3.5	เลขยกกำลังของตัวแปรชดเชยระดับความสูงสำหรับฉนวนภายนอก m ขึ้นกับค่า $U_{cw}(p-e)$	25
3.6	เลขยกกำลังของตัวแปรชดเชยระดับความสูงสำหรับฉนวนภายนอก m ขึ้นกับค่า $U_{cw}(p-p)$	26
4.1	หน้าแรกของตัวโปรแกรมสำหรับการประสานสัมพันธ์ฉนวน.....	33
4.2	การประสานสัมพันธ์ฉนวนสำหรับระดับแรงดันช่วงที่ 1 ($3.6\ \text{kV} \leq U_m \leq 36\ \text{kV}$)	33
4.3	การประสานสัมพันธ์ฉนวนสำหรับระดับแรงดันช่วงที่ 1 ($52\ \text{kV} \leq U_m \leq 245\ \text{kV}$)	34
4.4	การประสานสัมพันธ์ฉนวนสำหรับระดับแรงดันช่วงที่ 2 ($300\ \text{kV} \leq U_m \leq 800\ \text{kV}$)	34
4.5	ตัวอย่างการประสานสัมพันธ์ฉนวนสำหรับแรงดันระบบ 230 kV	35
4.6	ขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อยที่ 1.1 Power-frequency.....	36
4.7	ขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อยที่ 1.2 Temporary Overvoltage.....	37
4.8	ขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อยที่ 1.3.1 Overvoltage from remote station.....	38
4.9	ขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อยที่ 1.3.2 Overvoltage at station 1.....	39
4.10	ขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อยที่ 1.3.3 Selection Surge Arrester.....	40

รูปที่		หน้า
4.11	ขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อยที่ 1.3.4.1 For line entrance equipment.....	42
4.12	ขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อยที่ 1.3.4.2 For other equipment.....	42
4.13	ขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อยที่ 1.4 Fast-front overvoltage.....	43
4.14	ขั้นตอนที่ 2 U_{cw} หัวข้อย่อยที่ 2.1 U_{cw} (Temporary overvoltage)	43
4.15	ขั้นตอนที่ 2 U_{cw} หัวข้อย่อยที่ 2.2 U_{cw} (Slow-front overvoltage)	44
4.16	ขั้นตอนที่ 2 U_{cw} หัวข้อย่อยที่ 2.3.1 ข้อมูล Input สำหรับ U_{cw} (Fast-front overvoltage)	45
4.17	ขั้นตอนที่ 2 U_{cw} หัวข้อย่อยที่ 2.3.2 ผลการคำนวณ U'_{cw} (Fast-front overvoltage)	47
4.18	ขั้นตอนที่ 3 U_{rw} หัวข้อย่อยที่ 3.1 ข้อมูล Input สำหรับคำนวณ U_{rw}	47
4.19	ขั้นตอนที่ 3 U_{rw} หัวข้อย่อยที่ 3.2 ผลการคำนวณคำนวณ U_{rw}	48
4.20	ขั้นตอนที่ 4 Convert to withstand voltage normalized หัวข้อย่อยที่ 4.1 Short-duration power-frequency withstand voltage.....	50
4.21	ขั้นตอนที่ 4 Convert to withstand voltage normalized หัวข้อย่อยที่ 4.2 Lightning Impulse withstand voltage.....	51
4.22	ขั้นตอนที่ 5 Standard withstand volatage หัวข้อย่อยที่ 5.1 Summary of minimum required withstand voltage.....	53
4.23	ขั้นตอนที่ 5 Standard withstand volatage หัวข้อย่อยที่ 5.2 Selection of standard withstand voltage values.....	53
ก.1	วงจรที่ใช้ในการพิจารณาสำหรับการประสานสัมพันธ์ฉนวน ในระดับแรงดันช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2.....	61
ข.1	Setup File.....	94
ข.2	Welcome to Insulation Co-Ordination According to IEC 60071-2 Setup Wizard.....	94
ข.3	Select Installation Folder.....	95
ข.4	Confirm Installation.....	95
ข.5	Installation Complete.....	96
ข.6	Shortcut Insulation Co-Ordination.....	97
ข.7	การเรียกใช้งานโปรแกรมจาก Manu Start.....	97

รูปที่		หน้า
ค.1	ตัวอย่างการประสานสัมพันธ์ฉนวนสำหรับแรงดันระบบ 22 kV.....	98
ค.2	ขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อย 1.1 Power-frequency.....	98
ค.3	ขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อย 1.2 Temporary Overvoltage.....	99
ค.4	ขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อย 1.3.1 Overvoltage originate from station 1.....	100
ค.5	ขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อย 1.3.2 Selection surge arrester.....	101
ค.6	ขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อย 1.3.3 Representative Overvoltage.....	103
ค.7	ขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อย 1.4 Fast-front overvoltage.....	103
ค.8	ขั้นตอนที่ 2 U_{cw} หัวข้อย่อย 2.1 U_{cw} (Temporary Overvoltage).....	104
ค.9	ขั้นตอนที่ 2 U_{cw} หัวข้อย่อย 2.2 U_{cw} (Slow-Front Overvoltage)	105
ค.10	ขั้นตอนที่ 2 U_{cw} หัวข้อย่อย 2.3.1 ข้อมูล Input สำหรับ U_{cw} (Slow-Front Overvoltage)	105
ค.11	ขั้นตอนที่ 2 U_{cw} หัวข้อย่อย 2.3.2 ผลการคำนวณ U_{cw} (Slow-Front Overvoltage)	107
ค.12	ขั้นตอนที่ 3 U_{rw} หัวข้อย่อย 3.1 ข้อมูล Input สำหรับการคำนวณ U_{rw}	107
ค.13	ขั้นตอนที่ 3 U_{rw} หัวข้อย่อย 3.2 ผลการคำนวณ U_{rw}	108
ค.14	ขั้นตอนที่ 4 Conversion to withstand voltage normalized หัวข้อย่อย 4.1 SDW	110
ค.15	ขั้นตอนที่ 4 Conversion to withstand voltage normalized หัวข้อย่อย 4.2....	111
ค.16	ขั้นตอนที่ 5 Standard withstand voltage values หัวข้อย่อยที่ 5.1 Summary of minimum required withstand voltages.....	113
ค.17	ขั้นตอนที่ 5 Standard withstand voltage values หัวข้อย่อยที่ 5.2 Selection of standard withstand voltage values.....	113
ค.18	พิจารณาแรงดันระบบ 735 kV.....	115
ค.19	ขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อย 1.1 Power-frequency.....	116
ค.20	ขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อย 1.2 Temporary Overvoltage.....	117
ค.21	ขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อย 1.3.1 Overvoltage originate from station 1.....	118
ค.22	ขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อย 1.3.2 Selection surge arrester.....	119
ค.23	ขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อย 1.3.2 Representative Overvoltage.....	120

รูปที่		หน้า
ค.24	ขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อย 1.4 Fast-front Overvoltage.....	121
ค.25	ขั้นตอนที่ 2 U_{cw} หัวข้อย่อย 2.1.1 TOV สำหรับฉนวนภายใน.....	122
ค.26	ขั้นตอนที่ 2 U_{cw} หัวข้อย่อย 2.1.2 SOV สำหรับฉนวนภายใน.....	122
ค.27	ขั้นตอนที่ 2 U_{cw} หัวข้อย่อย 2.1.3.1 ข้อมูลอินพุตสำหรับ FOV.....	123
ค.28	ขั้นตอนที่ 2 U_{cw} สำหรับ FOV.....	124
ค.29	ขั้นตอนที่ 2 U_{cw} หัวข้อย่อย 2.2.1 TOV สำหรับฉนวนภายนอก.....	125
ค.30	ขั้นตอนที่ 2 U_{cw} หัวข้อย่อย 2.2.2 SOV สำหรับฉนวนภายนอก.....	125
ค.31	ขั้นตอนที่ 2 U_{cw} หัวข้อย่อย 2.2.3 FOV สำหรับฉนวนภายนอก.....	126
ค.32	ขั้นตอนที่ 3 U_{rw} หัวข้อย่อย 3.1 FOV สำหรับฉนวนภายใน.....	127
ค.33	ขั้นตอนที่ 3 U_{rw} หัวข้อย่อย 3.2 สำหรับฉนวนภายนอก.....	128
ค.34	ขั้นตอนที่ 4 Conversion to switching impulse withstand voltage (SIW)...	129
ค.35	ขั้นตอนที่ 4 การเลือกค่ามาตรฐานความคงทนแรงดัน (U_w).....	130
ค.36	ขั้นตอนที่ 6 หัวข้อย่อยที่ 6.1.1 Overvoltage at station 1.....	132
ค.37	ขั้นตอนที่ 6 หัวข้อย่อยที่ 6.1.2 $U_{p2\text{-}re}$	132
ค.38	ขั้นตอนที่ 6 หัวข้อย่อยที่ 6.1.3 $U_{p\text{-}cw}$	133
ค.39	ขั้นตอนที่ 6 หัวข้อย่อย 6.1.4 $U_{p\text{-}rw}$	134
ค.40	ขั้นตอนที่ 6 หัวข้อย่อย 6.2.1 U_{rp}	134
ค.41	ขั้นตอนที่ 6 P-to-P insulation co-ordination หัวข้อย่อย 6.1.4 U_{cw}	135
ค.42	ขั้นตอนที่ 6 P-to-P Insulation Co-Ordination หัวข้อย่อยที่ 6.2.3.1 U_{rw} สำหรับ Internal Insulation.....	135
ค.43	ขั้นตอนที่ 6 P-to-P Insulation Co-Ordination หัวข้อย่อยที่ 6.2.3.2 U_{rw} สำหรับ External Insulation.....	136
ค.44	ขั้นตอนที่ 6 P-to-P Insulation Co-Ordination หัวข้อย่อยที่ 6.2.4 SIW	137
ค.45	ขั้นตอนที่ 7 Clearance หัวข้อย่อยที่ 7.1 P-to-E Clearance.....	138
ค.46	ขั้นตอนที่ 7 Clearance หัวข้อย่อยที่ 7.1 P-to-P Clearance.....	139