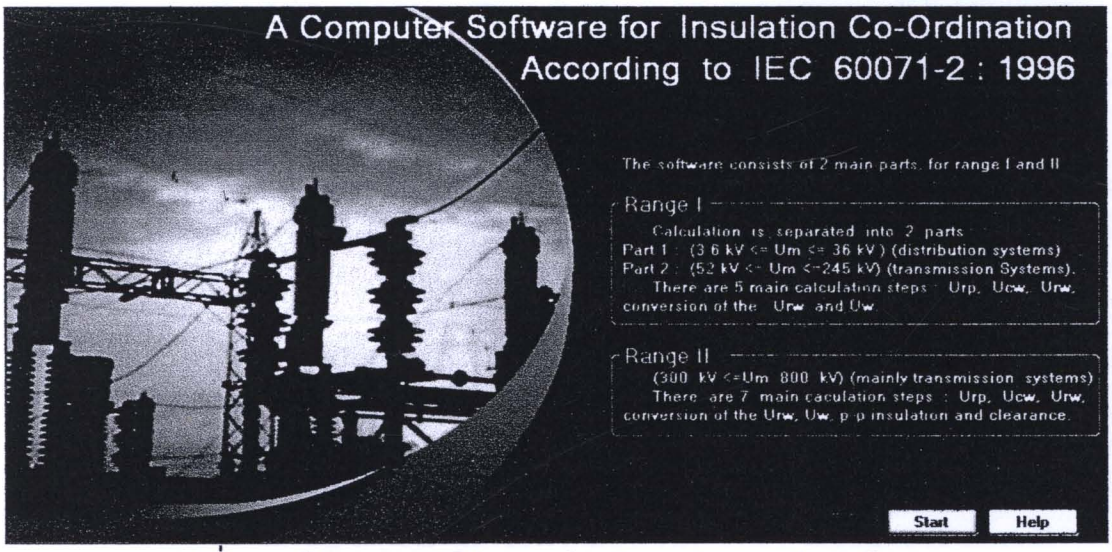
บทที่ 4

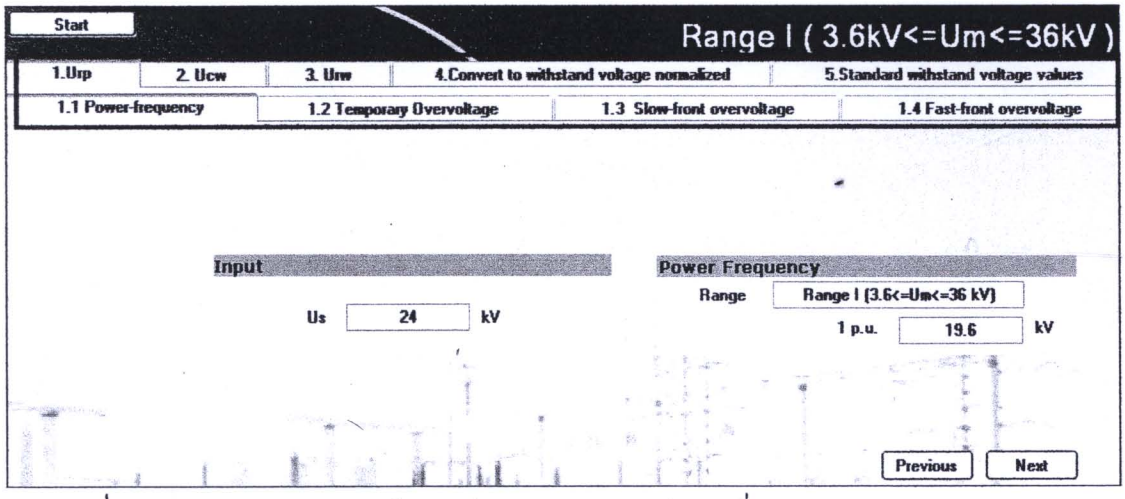
การออกแบบ และการใช้งานโปรแกรมการสำหรับประสานสัมพันธ์ฉนวน

การออกแบบโปรแกรมสำหรับการประสานสัมพันธ์ฉนวนแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ตามระดับแรงดัน พิจารณาจากรูปที่ 4.1 หน้าแรกของโปรแกรม อธิบายถึงขอบเขตในการการประสานสัมพันธ์ฉนวน ดังนี้



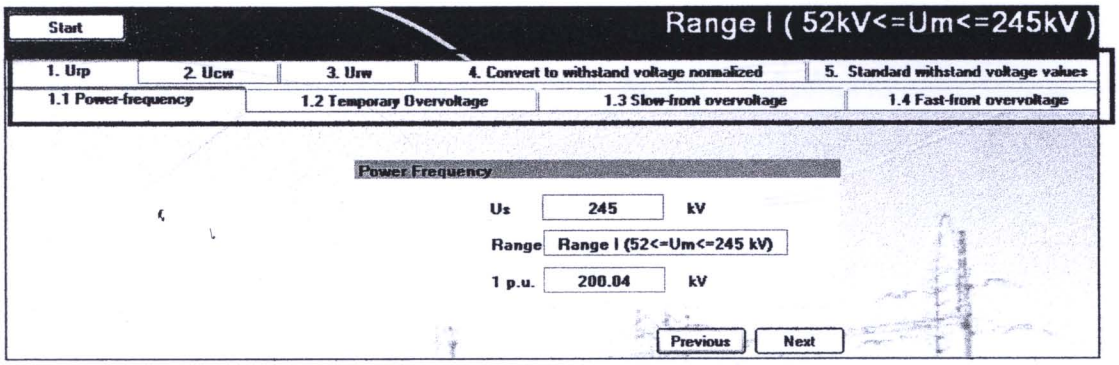
รูปที่ 4.1 หน้าแรกของตัวโปรแกรมสำหรับการประสานสัมพันธ์ฉนวน

1. สำหรับระดับแรงดันในช่วงที่ 1 แบ่งออกเป็นสองส่วนย่อย คือ



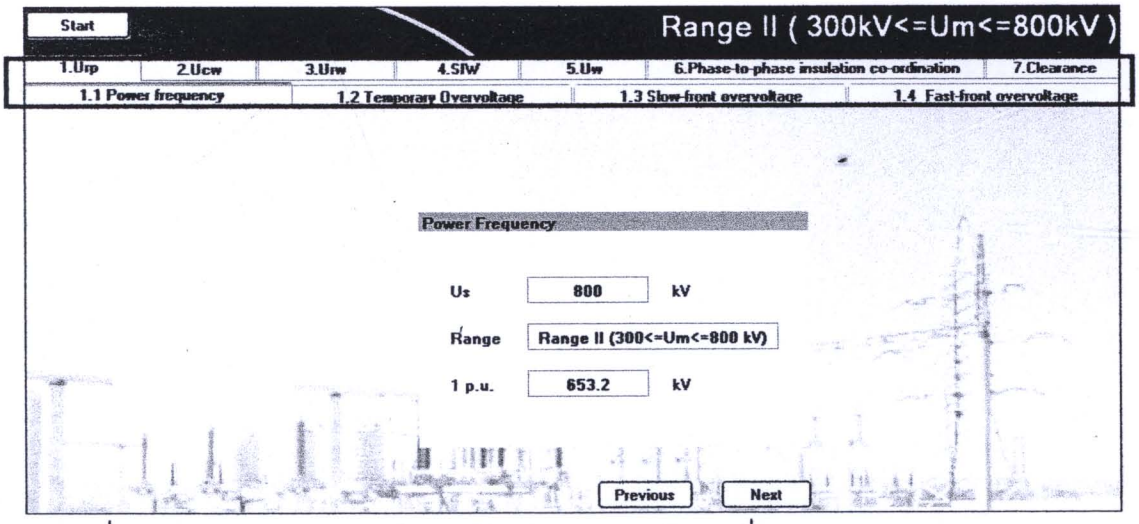
รูปที่ 4.2 การประสานสัมพันธ์ฉนวนสำหรับระดับแรงดันช่วงที่ 1 ($3.6\ \text{kV} \leq U_m \leq 36\ \text{kV}$)

ส่วนที่ 1 จากรูปที่ 4.2 แสดงถึงหน้าโปรแกรมหลักของการประสานสัมพันธ์ฉนวนสำหรับระดับแรงดัน 3.6 kV $\leq U_m \leq$ 36 kV ซึ่งใช้งานสำหรับระบบจำหน่าย โดยขั้นตอนในการประสานสัมพันธ์ฉนวน พิจารณาจากกรอบสีแดง ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ ตัวแทนแรงดันเกิน(U_{rp}), ความคงทนแรงดันในการประสานสัมพันธ์ฉนวน (U_{cw}), ความคงทนแรงดันที่ต้องการ(U_{rw}), การเปลี่ยนรูปของ U_{rw} (conversion of the U_{rw}) และมาตรฐานความคงทนแรงดัน (U_w)



รูปที่ 4.3 การประสานสัมพันธ์ฉนวนสำหรับระดับแรงดันช่วงที่ 1 (52 kV $\leq U_m \leq$ 245 kV)

ส่วนที่ 2 จากรูปที่ 4.3 แสดงถึงหน้าโปรแกรมหลักของการประสานสัมพันธ์ฉนวนสำหรับระดับแรงดัน 52 kV $\leq U_m \leq$ 245 kV ซึ่งใช้งานสำหรับระบบส่ง โดยขั้นตอนในการประสานสัมพันธ์ฉนวน พิจารณาจากกรอบสีแดง ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ ตัวแทนแรงดันเกิน(U_{rp}), ความคงทนแรงดันในการประสานสัมพันธ์ฉนวน (U_{cw}), ความคงทนแรงดันที่ต้องการ(U_{rw}), การเปลี่ยนรูปของ U_{rw} (conversion of the U_{rw}) และมาตรฐานความคงทนแรงดัน (U_w)



รูปที่ 4.4 การประสานสัมพันธ์ฉนวนสำหรับระดับแรงดันช่วงที่ 2 (300 kV $\leq U_m \leq$ 800 kV)

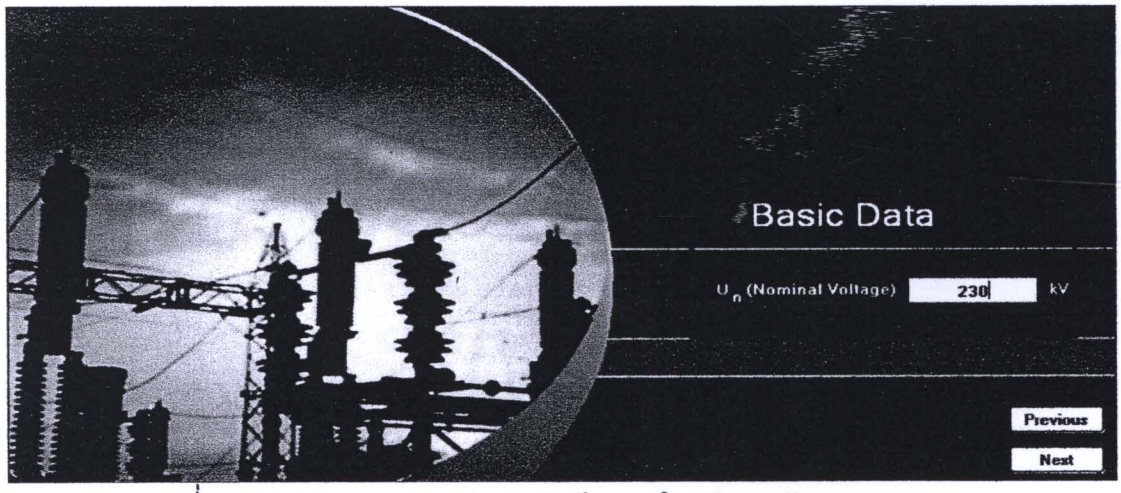
2. ระดับแรงดันในช่วงที่ 2 จากรูปที่ 4.4 แสดงถึงหน้าหลักของโปรแกรมการประสานสัมพันธ์ฉนวนที่ระดับแรงดัน 300 kV $\leq U_m \leq$ 800 kV ซึ่งใช้งานสำหรับระบบส่ง โดยขั้นตอนในการประสานสัมพันธ์ฉนวน พิจารณาจากกรอบสีแดง ประกอบด้วย 7 ขั้นตอน คือ ตัวแทนแรงดันเกิน(U_{rp}), ความคงทนแรงดันในการประสานสัมพันธ์ฉนวน (U_{cw}), ความคงทนแรงดันที่ต้องการ (U_{rw}), การเปลี่ยนรูปของ U_{rw} (conversion of the U_{rw}), การประสานสัมพันธ์ฉนวนระหว่างเฟสกับเฟส และ ระยะห่างน้อยที่สุด (clearance)

การใช้งานโปรแกรมสำหรับการประสานสัมพันธ์ฉนวน เริ่มต้นจากการติดตั้งโปรแกรม พิจารณาจากภาคผนวก ข โดยในบทนี้จะนำเสนอตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม สำหรับการประสานสัมพันธ์ฉนวนที่ระดับแรงดันในช่วงที่ 1 ส่วนที่ 2 ระดับแรงดันสูงสุดของอุปกรณ์ 52 kV $\leq U_m \leq$ 245 kV เพื่อให้เห็นถึงภาพรวมการใช้งานโปรแกรมแต่ละขั้นตอนอย่างละเอียด นอกจากนี้กรณีตัวอย่างการใช้งานโปรแกรมสำหรับประสานสัมพันธ์ฉนวน ที่ระดับแรงดันในช่วงที่ 1 ส่วนที่ 1 ระดับแรงดันสูงสุดของอุปกรณ์ 3.6 kV $\leq U_m \leq$ 36 kV และ แรงดันในช่วงที่ 2 ระดับแรงดันสูงสุดของอุปกรณ์ 300 kV $\leq U_m \leq$ 800 kV พิจารณาจากภาคผนวก ค

4.1 ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม ประสานสัมพันธ์ฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าในระบบ 230 kV ในระดับแรงดันช่วงที่ 1 (52 kV$\leq U_m \leq$245 kV)

จากรูปที่ 4.1 หน้าแรกของโปรแกรม แสดงถึงขอบเขตการประสานสัมพันธ์ฉนวน จากนั้นผู้ใช้งานกดปุ่ม Next เพื่อสู่ขั้นตอนถัดไป

4.1.1 ข้อมูลเบื้องต้น



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างการประสานสัมพันธ์ฉนวนสำหรับแรงดันระบบ 230 kV

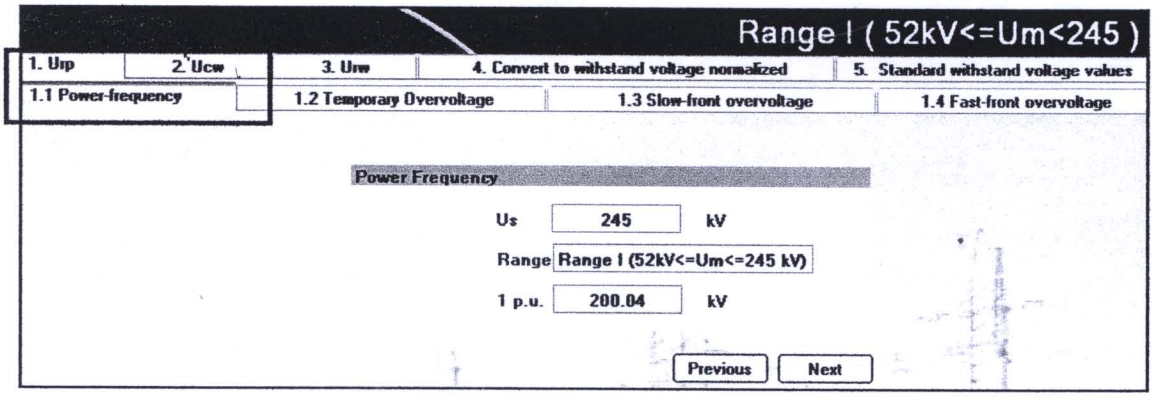
ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง :

U_n คือ แรงดันระบุของระบบ

จากรูปที่ 4.5 ในส่วนกรอบสีแดง ผู้ใช้งานป้อนค่าแรงดันของระบบที่พิจารณา (U_n) โดยผู้ใช้งานสามารถกรอกค่าได้ตั้งแต่ 3.6 kV ถึง 800 kV ซึ่งครอบคลุมแรงดันช่วงที่ 1 3.6 kV$\leq U_m \leq$245 kV) และและแรงดันช่วงที่ 2 (300 kV$\leq U_m \leq$800 kV) สำหรับตัวอย่างนี้ พิจารณาแรงดันของระบบ 230 kV จากนั้นผู้ใช้กดปุ่ม Next เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

4.1.2 ตัวแทนแรงดันเกิน (U_{rp})

4.1.2.1 แรงดันเกินความถี่กำลัง



รูปที่ 4.6 ขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อยที่ 1.1 Power-frequency

ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง :

U_s คือ แรงดันสูงสุดของระบบ

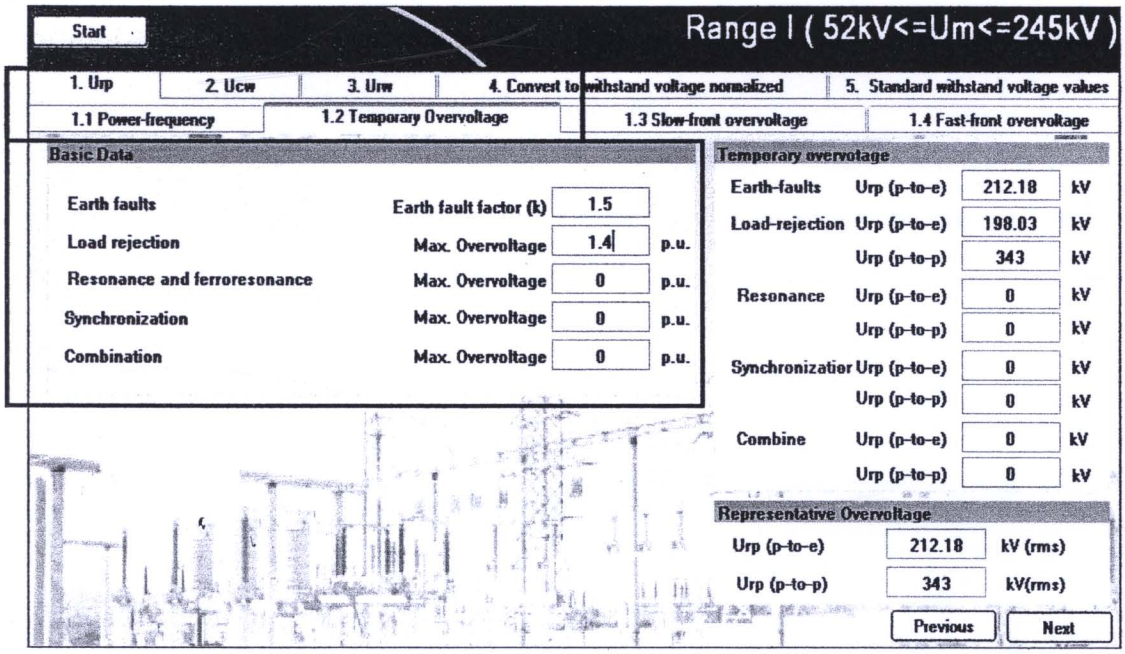
Range คือ ช่วงของแรงดันที่พิจารณา ซึ่งจะขึ้นกับ U_n ที่ผู้ใช้งานป้อน ซึ่งประกอบด้วย แรงดันช่วงที่ 1 (3.6 kV$\leq U_m \leq$36 kV), แรงดันช่วงที่ 1 (52 kV$\leq U_m \leq$245 kV) และแรงดันช่วงที่ 2 (300 kV$\leq U_m \leq$800 kV)

1 *pu* คือ ค่าต่อหน่วย

จากรูปที่ 4.6 ในส่วนกรอบสีแดง แสดงขั้นตอนที่ 1 หัวข้อย่อย 1.1 Power Frequency เมื่อทราบค่า U_n จากหัวข้อ 4.1.1 โปรแกรมแสดงผล ดังนี้

- U_s คือ 245 kV พิจารณาจากตารางที่ 2.2
- แสดงว่าเป็นการประสานสัมพันธ์ฉนวนสำหรับส่วนที่ 1(52 kV$\leq U_m \leq$245 kV)
- ผลการคำนวณ 1 *pu* มีค่า 200.04 kV พิจารณาจากสมการที่ 3.2

4.1.2.2 แรงดันเกินชั่วคราว



รูปที่ 4.7 ขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อยที่ 1.2 Temporary Overvoltage

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง :

k คือ ตัวแปรความผิดพร่องลงดิน

U_{e2} คือ ค่าของแรงดันเกินระหว่างเฟสกับดินซึ่งมีโอกาสเกิดแรงดันเกินค่านี้ 2 %

$U_{rp}(p-e)$ คือ ตัวแทนแรงดันเกินชั่วคราวระหว่างเฟสกับดิน

$U_{rp}(p-p)$ คือ ตัวแทนแรงดันเกินชั่วคราวระหว่างเฟสกับเฟส

จากรูปที่ 4.7 ในกรอบสีแดง แสดงขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อย 1.2 Temporary Overvoltage โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ

1. ผู้ใช้ป้อนข้อมูล :

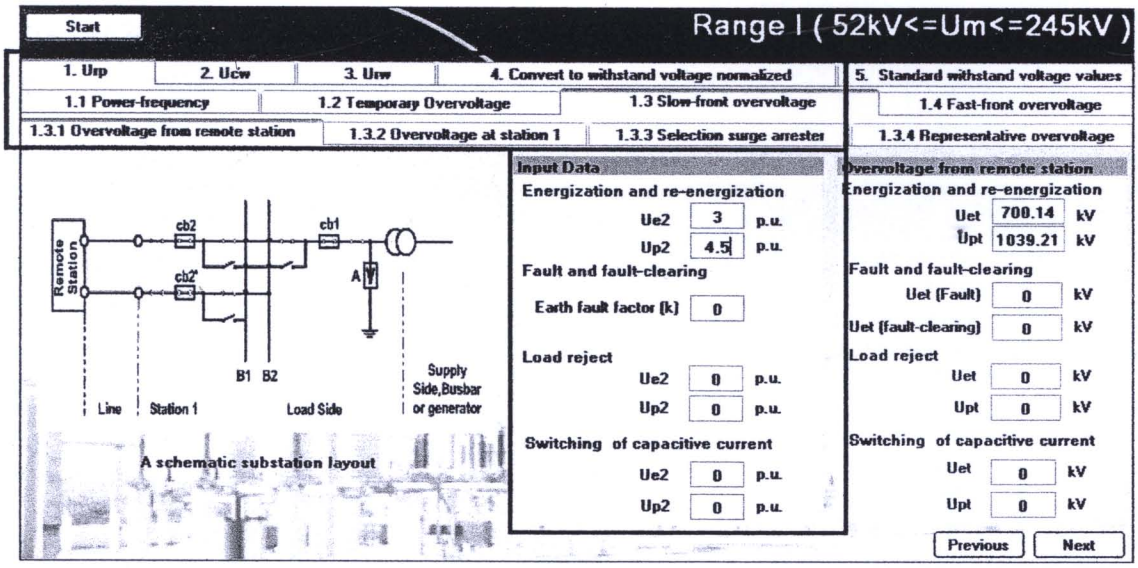
ในส่วนกรอบสีน้ำเงิน พื้นที่สีชมพู คือ แหล่งกำเนิดแรงดันเกินที่เป็นไปได้ (U_{e2}) เช่น ความผิดพร่องลงดิน การปลดโหลด แรโซแนน หรือ ผลรวมจากการเกิดหลายแหล่งกำเนิด ในตัวอย่างนี้เกิดความผิดพร่องลงดิน มีค่า k (ตัวแปรความผิดพร่องลงดิน) ค่า1.5 และ เกิดการปลดโหลดเกิดแรงดันเกิน U_{e2} ขนาด 1.4 pu

2. ผลการคำนวณจากโปรแกรม :

- ในหัวข้อ Temporary Overvoltage แสดงผลจากการคำนวณแรงดันเกินชั่วคราวจากทุกแหล่งกำเนิด ($U_{rp}(p-e)$ และ $U_{rp}(p-p)$)

- ในหัวข้อ Representative Overvoltage โปรแกรมจะทำการเลือกค่า $U_{rp}(p-e)$ และ $U_{rp}(p-p)$ ที่มากที่สุดจากหัวข้อ Temporary Overvoltage มาแสดงผล ในที่นี้คือ $U_{rp}(p-e)$ มีค่า 212.18 kV และ $U_{rp}(p-p)$ มีค่า 343 kV จากนั้นผู้ใช้กดปุ่ม Next เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

4.1.2.3 แรงดันเกินหน้าคลื่นช้า



รูปที่ 4.8 ขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อยที่ 1.3.1 Overvoltage from remote station

ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง :

U_{e2} คือ ค่าของแรงดันเกินระหว่างเฟสกับดินซึ่งมีโอกาสเกิดแรงดันเกินค่านี้ 2 %

U_{p2} คือ ค่าของแรงดันเกินระหว่างเฟสกับเฟสซึ่งมีโอกาสเกิดแรงดันเกินค่านี้ 2 %

k คือ ตัวแปรความผิดพร่องลงดิน

U_{et} คือ ค่าสูงสุดของแรงดันเกินหน้าคลื่นช้าระหว่างเฟสกับดิน

U_{pt} คือ ค่าสูงสุดของแรงดันเกินหน้าคลื่นช้าระหว่างเฟสกับเฟส

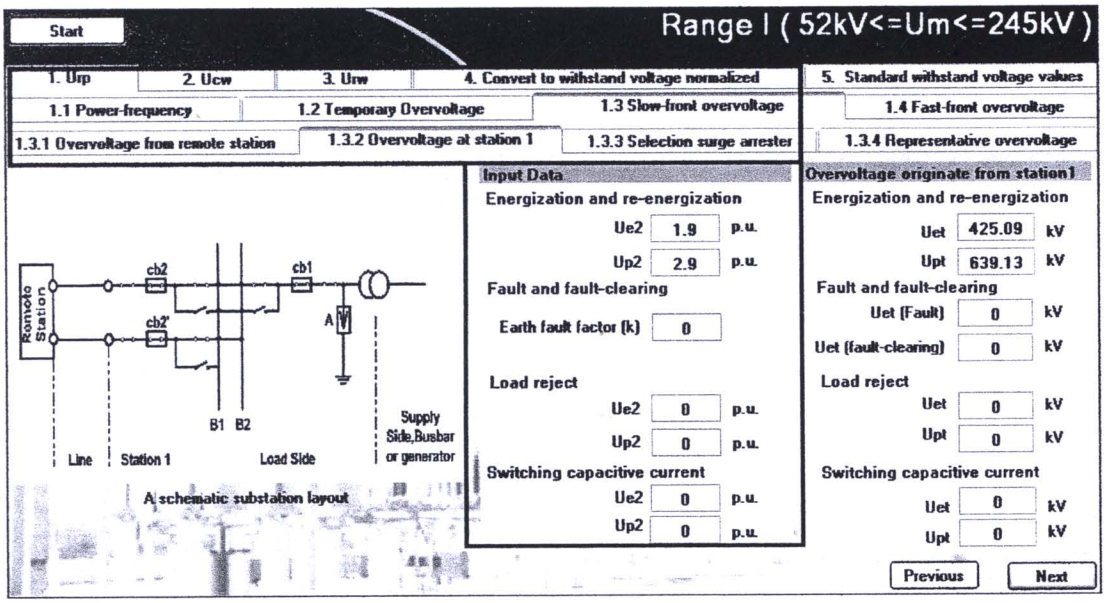
จากรูปที่ 4.8 ในส่วนกรอบสีแดง แสดงขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อย 1.3.1 Overvoltage originate from remote station โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ

1. ผู้ใช้ป้อนข้อมูล :

ในส่วนกรอบสีน้ำเงิน พื้นสีชมพู ผู้ใช้งานป้อนค่าแหล่งกำเนิดแรงดันเกินหน้าคลื่นช้าที่เป็นไปได้ คือ Energization and Re-Energization, Load Reject, Fault and Fault Clearing และ Switching Capacitive Current ตัวอย่างนี้สมมุติเกิด Energization and Re-Energization มีค่า U_{e2} มีค่า 3 pu และ U_{p2} มีค่า 3.86 pu

2. ผลการคำนวณจากโปรแกรม :

โปรแกรมจะแสดงผลการคำนวณค่า U_{et} และU_{pt} จากผลของ Energization and Re-Energization คือ U_{et} มีค่า 700.14 kV และค่า U_{pt} มีค่า 1039.21 kV จากนั้นผู้ใช้กดปุ่ม Next เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 4.9 ขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อยที่ 1.3.2 Overvoltage at station 1

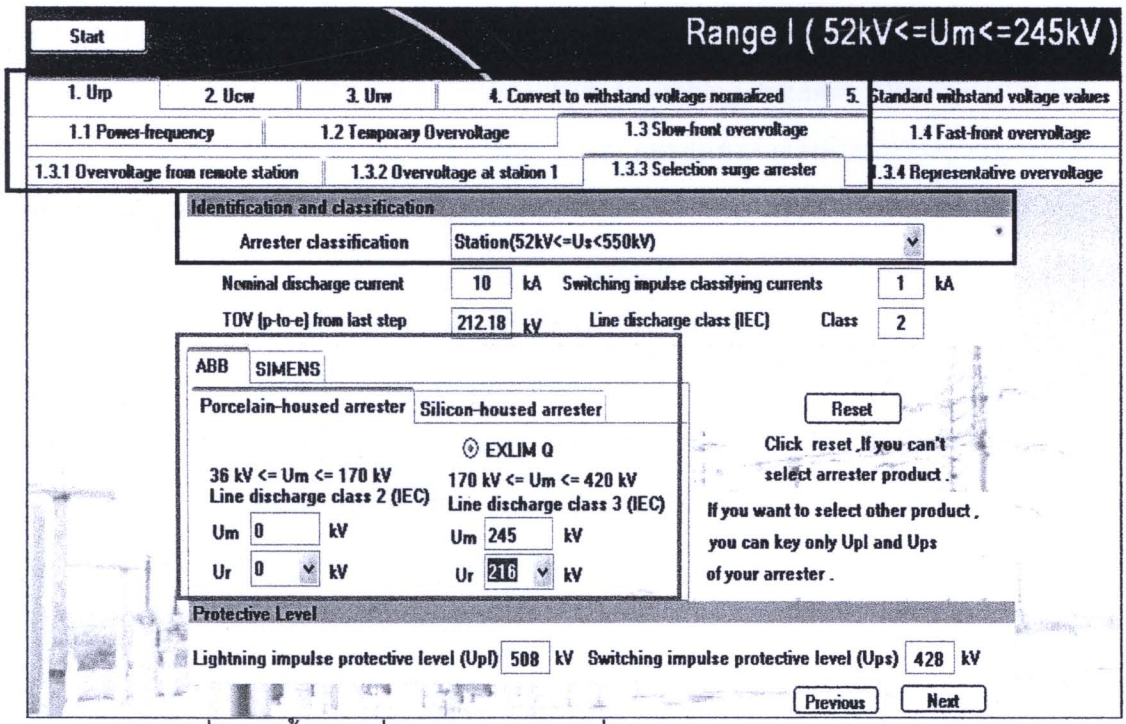
จากรูปที่ 4.9 ในส่วนกรอบสีแดง แสดงขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อย 1.3.2 Overvoltage at station 1 โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ

1. ผู้ใช้ป้อนข้อมูล :

ในส่วนกรอบสีน้ำเงินพื้นสีชมพู ผู้ใช้งานป้อนค่าแหล่งกำเนิดแรงดันเกินหน้าคลื่นข้าที่เป็นไปได้ คือ Energization and Re-Energization, Load Reject, Fault and Fault Clearing และ Switching Capacitive Current ตัวอย่างนี้สมมุติเกิด Energization and Re-Energization คือ U_{e2} มีค่า 1.9 *pu* และ U_{p2} มีค่า 2.9 *pu*

2. ผลการคำนวณจากโปรแกรม :

โปรแกรมจะแสดงผลการคำนวณค่า U_{et} และ U_{pt} จากผลของ Energization and Re-Energization คือ U_{et} มีค่า 425.09 kV และค่า U_{pt} มีค่า 639.13 kV จากนั้นผู้ใช้กดปุ่ม Next เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 4.10 ขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อยที่ 1.3.3 Selection Surge Arrester

ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง :

กระแสถ่ายเทประจุที่ระบุ (nominal discharge current) พิจารณาจากตารางที่ 3.1

ระดับการถ่ายเทประจุในสาย (line discharge class) พิจารณาจากตารางที่ 3.2

ระดับกระแสสวิตชิงอิมพัลส์ (switching impulse classifying current) พิจารณาจากตารางที่ 3.3

U_m คือ แรงดันสูงสุดสำหรับอุปกรณ์

U_r คือ พิกัดแรงดันของกับดักเสิร์จ

U_{pl} คือ ระดับการป้องกันอิมพัลส์ฟ้าผ่าของกับดักเสิร์จ

U_{ps} คือ ระดับการป้องกันอิมพัลส์สวิตชิงของกับดักเสิร์จ

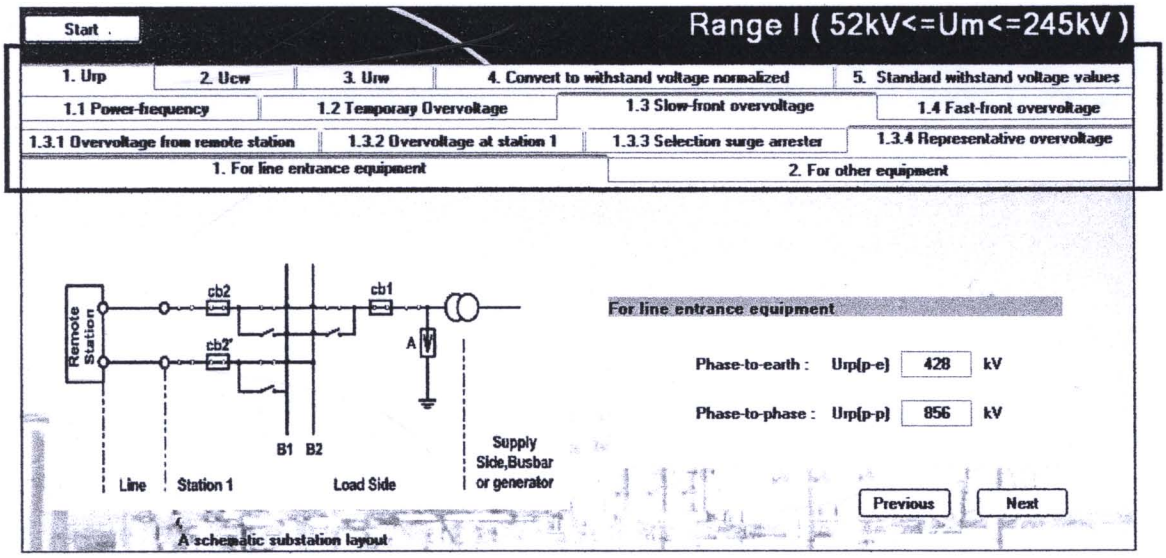
จากรูปที่ 4.10 ในส่วนกรอบสีแดง แสดงขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อย 1.3.3 Selection surge arrester มีรายละเอียดดังนี้

- ในส่วนกรอบสีน้ำเงิน พื้นสีชมพู หัวข้อ Identificaiton and Classification เมื่อผู้ใช้งานเลือก Arrester Classification โปรแกรมจะแสดงค่ากระแสถ่ายเทประจุที่ระบุ (nominal discharge current), ระดับกระแสสวิตชิงอิมพัลส์ (switching impulse classifying current), ระดับการถ่ายเทประจุในสาย(line discharge class) และแสดงค่าแรงดันเกินชั่วคราวระหว่างเฟสกับดินจากขั้นตอนที่ 1.2 (หัวข้อ 4.1.2.2)

- ตัวอย่างนี้ได้ทำการเลือก Arrester Classification คือ Station ($52\text{kV} \leq U_s \leq 550\text{kV}$) โปรแกรมจะทำการเลือกค่า Nominal discharge current มีค่า 10 kA, Switching Impulse Classify Current มีค่า 1 kA, line discharge class 2 และ $TOV(p-e)$ มีค่า 212.18 kV ซึ่งเป็นค่าแรงดันกันชั่วคราวระหว่างเฟสกับดินจากขั้นตอนที่ 1.2 (หัวข้อ 4.1.2.2)

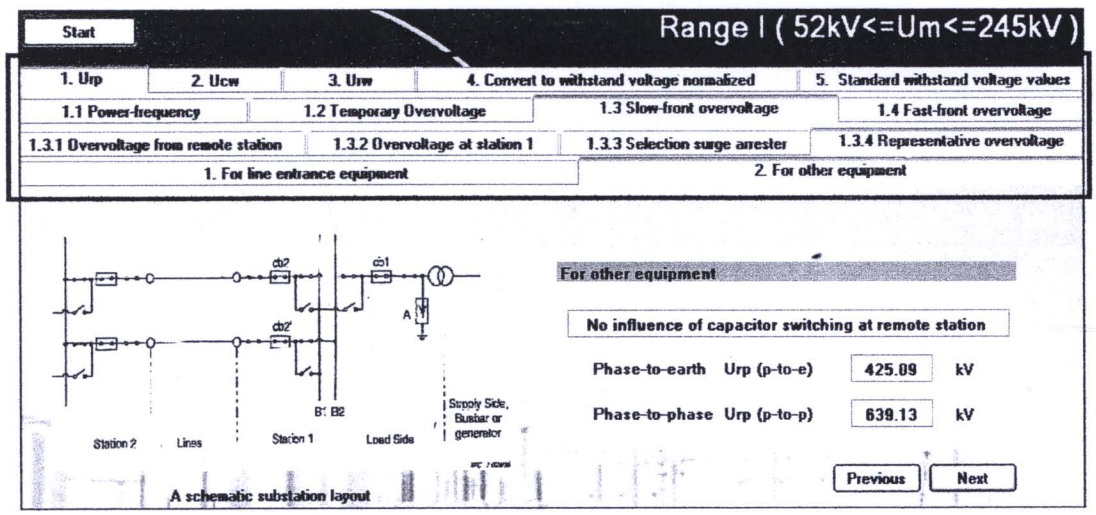
- ในส่วนกรอบสีเขียว พื้นสีชมพู หัวข้อการเลือกใช้งานผลิตภัณฑ์กับดักเสิร์จ ในโปรแกรมนี้ผู้ใช้งานสามารถเลือกบริษัท ABB หรือ SIMENS ซึ่งทั้งสองบริษัทจะครอบคลุมการประสานสัมพันธ์ฉนวนสำหรับแรงดันในช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 จากนั้นผู้ใช้งานสามารถเลือกชนิดของกับดักเสิร์จได้ว่าเป็นชนิด Porcelain-Housing Arrester หรือ Silicon-Housing Arrester เมื่อผู้ใช้งานเลือกรุ่นของกับดักเสิร์จ โปรแกรมจะทำการเลือก U_m ของกับดักเสิร์จที่สามารถใช้งานได้ หลังจากนั้นโปรแกรมจะแสดงค่า U_r ที่สามารถเลือกใช้งานได้ ซึ่งมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับแรงดันเกินชั่วคราวระหว่างเฟสกับดิน โดยผู้ใช้งานจะต้องทำการเลือกค่า U_r ซึ่งมีหลายค่าให้เลือกขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งาน จากนั้นโปรแกรมจะแสดงผลการเลือกค่า U_{pl} และ U_{ps} ในหัวข้อ Protective Level

- ตัวอย่างนี้เลือกกับดักเสิร์จผลิตภัณฑ์ ABB ชนิด Porcelain-Housing Arrester รุ่น EXLIM-Q โปรแกรมจะแสดงผลการเลือกค่า U_m ของกับดักเสิร์จ มีค่า 245 kV ตัวอย่างนี้เลือก U_r ค่า 216 kV โปรแกรมจะแสดงผลค่า U_{pl} มีค่า 508 kV และ U_{ps} มีค่า 428 kV จากนั้นกดปุ่ม Next เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนถัดไป



รูปที่ 4.11 ขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อยที่ 1.3.4.1 For line entrance equipment

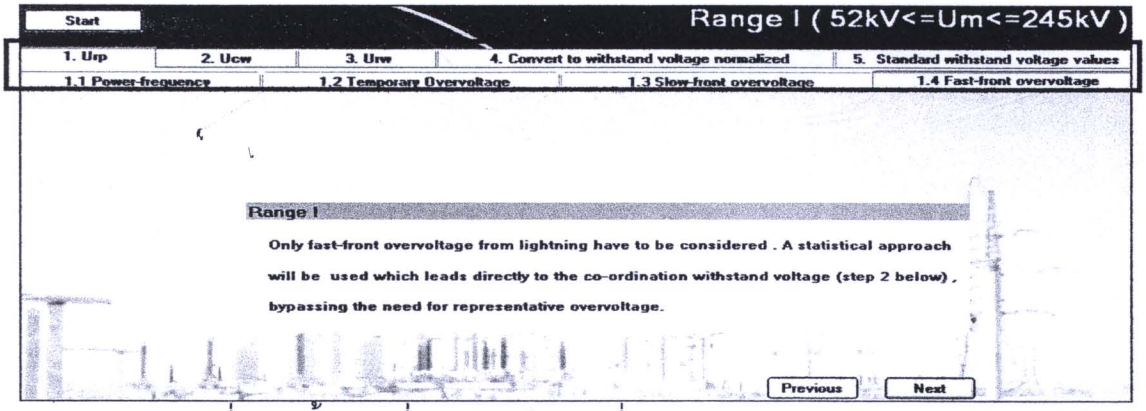
จากรูปที่ 4.11 ในส่วนกรอบสีแดง แสดงขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อย 1.3.4.1 For line entrance equipment แสดงผลการคำนวณค่า Representative Slow-Front Overvoltage สำหรับ line entrance equipment คือ $U_{rp}(p-e)$ มีค่า 428 kV และ $U_{rp}(p-p)$ มีค่า 856 kV จากนั้นกดปุ่ม Next เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนถัดไป



รูปที่ 4.12 ขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อยที่ 1.3.4.2 For other equipment

จากรูปที่ 4.12 ในส่วนกรอบสีแดง แสดงขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อย 1.3.4.2 For line entrance equipment แสดงผลการคำนวณค่า Representative Slow-Front Overvoltage สำหรับ line entrance equipment คือ $U_{rp}(p-e)$ มีค่า 425.09 kV และ $U_{rp}(p-p)$ มีค่า 639.13 kV โดยจะมีข้อความแสดงว่ากรณีนี้คือ No influence of capacitor switching at remote station จากนั้นกดปุ่ม Next เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนถัดไป

4.1.2.4 แรงดันเกินหน้าคลื่นเร็ว

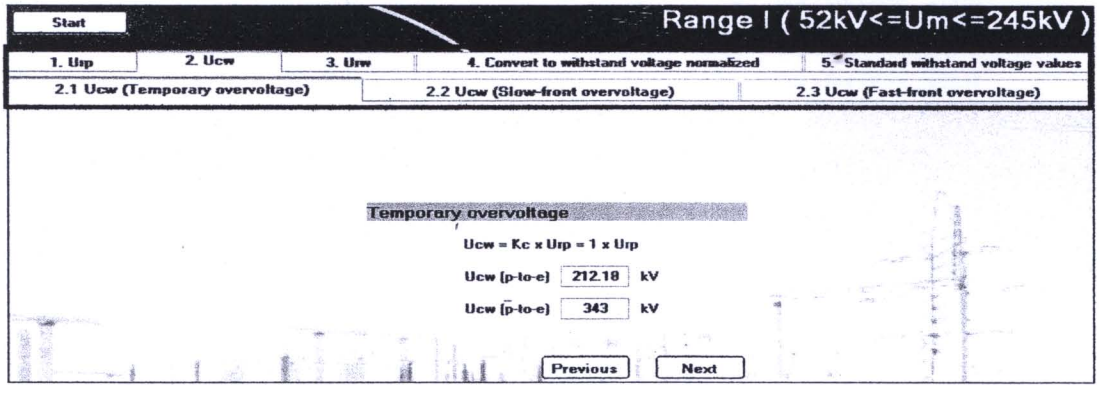


รูปที่ 4.13 ขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อยที่ 1.4 Fast - front overvoltage

จากรูปที่ 4.13 ในส่วนกรอบสีแดง แสดงขั้นตอนที่ 1 U_{rp} หัวข้อย่อย 1.4 Fast-front overvoltage แสดงข้อความอธิบายว่า แรงดันเกินหน้าคลื่นเร็วจะพิจารณาในขั้นตอนที่ 2 U_{cw} ของการประสานสัมพันธ์ฉนวน จากนั้นกดปุ่ม Next เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนถัดไป

4.1.3 ความคงทนแรงดันในการประสานฉนวน (U_{cw})

4.1.3.1 แรงดันเกินชั่วคราว



รูปที่ 4.14 ขั้นตอนที่ 2 U_{cw} หัวข้อย่อยที่ 2.1 U_{cw} (Temporary overvoltage)

ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง :

K_c คือ ตัวแปรในการประสานสัมพันธ์ฉนวน

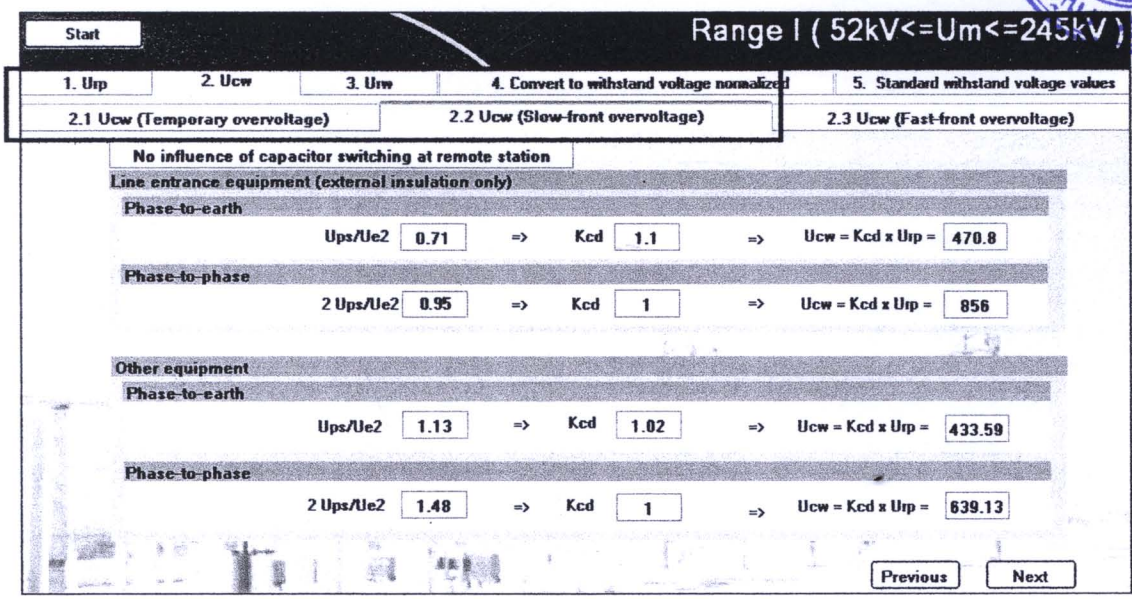
$U_{cw}(p-e)$ คือ ความคงทนแรงดันในการประสานสัมพันธ์ฉนวนระหว่างเฟสกับดินสำหรับแรงดันเกินชั่วคราว

$U_{cw}(p-p)$ คือ ความคงทนแรงดันในการประสานสัมพันธ์ฉนวนระหว่างเฟสกับเฟสสำหรับแรงดันเกินชั่วคราว

จากรูปที่ 4.14 ในส่วนกรอบสีแดง แสดงขั้นตอนที่ 2 U_{cw} หัวข้อย่อย 2.1 U_{cw} (Temporary Overvoltage) โปรแกรมแสดงผลการคำนวณค่า U_{cw} จากสมการที่แสดงเมื่อทราบค่า U_{rp} จากหัวข้อ 4.1.2.2 จากตัวอย่างนี้ $U_{cw}(p-e)$ มีค่า 212.18 kV และ $U_{cw}(p-p)$ มีค่า 343 kV จากนั้นกดปุ่ม Next เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนถัดไป

สถาบันวิจัยแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

4.1.3.2 แรงดันดันเกินหน้าคลื่นช้า



รูปที่ 4.15 ขั้นตอนที่ 2 U_{cw} หัวข้อย่อยที่ 2.2 U_{cw} (Slow-front overvoltage)

ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง :

K_{cd} คือ Deterministic co-ordination factor

จากรูปที่ 4.15 ในส่วนกรอบสีแดง แสดงขั้นตอนที่ 2 U_{cw} หัวข้อย่อย 2.2 U_{cw} (Slow-Front Overvoltage) โปรแกรมแสดงผลการคำนวณค่า K_{cd} จากสมการที่แสดง เมื่อทราบค่า U_{ps}, U_{e2} และ U_{p2} จากขั้นตอนก่อนหน้านี้ และโปรแกรมจะแสดงผลการคำนวณ U_{cw} จากสมการที่แสดง โดยพิจารณาแยกระหว่าง Line entrance equipment และ Other equipment ดังนี้

Line entrance equipment :

$U_{cw}(p-e)$ = 470.8 kV

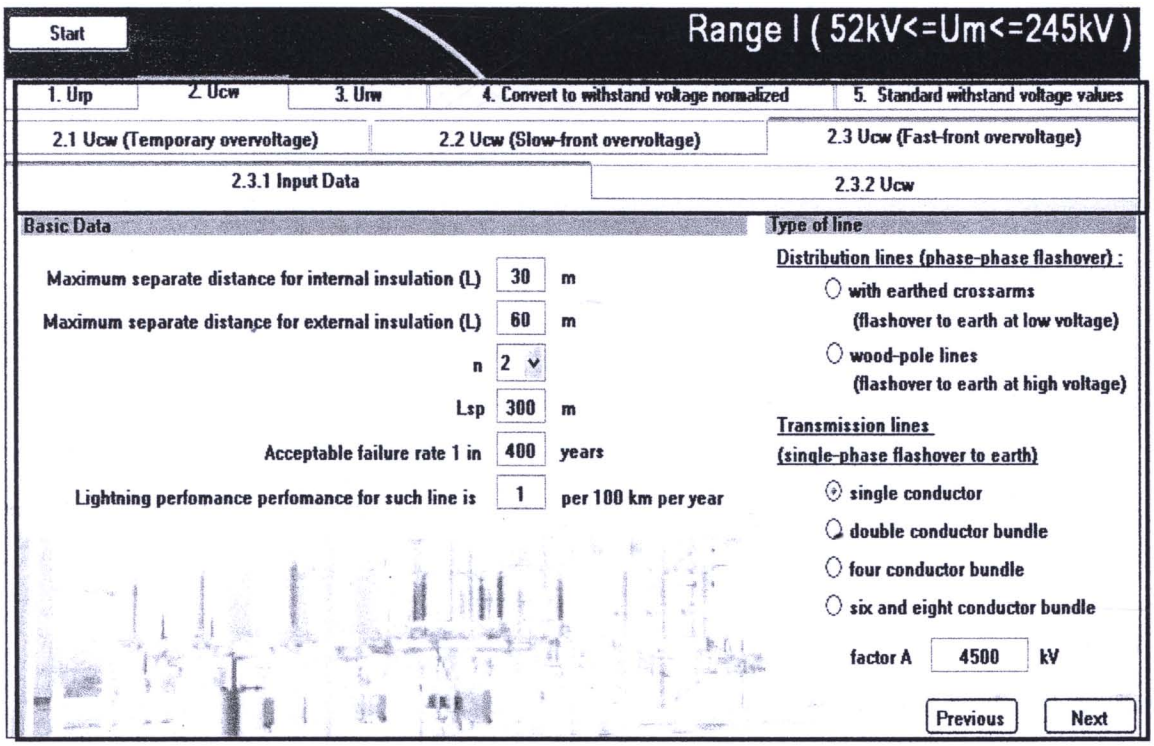
$U_{cw}(p-p)$ = 856 kV

Other equipment :

$U_{cw}(p-e)$ = 433.59 kV

$U_{cw}(p-p)$ = 639.13 kV

4.1.3.3 แรงดันดันเกินหน้าคลื่นเร็ว



รูปที่ 4.16 ขั้นตอนที่ 2 U_{cw} หัวข้อย่อยที่ 2.3.1 ข้อมูลที่ผู้ใช้งานต้องป้อน สำหรับ U_{cw} (Fast-front overvoltage)

ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง :

L คือ ระยะห่างระหว่างกับดักเสิร์จ และอุปกรณ์ที่ต้องการป้องกัน สำหรับฉนวนภายใน และฉนวนภายนอก (m)

n คือ จำนวนของสายส่งเหนือศีรษะต่อไปยังสถานีไฟฟ้า ในการหาค่าของขนาดเสิร์จที่มาปะทะ

L_{sp} คือ ความยาวช่วง (m)

R_a คือ อัตราการล้มเหลวที่ยอมรับได้สำหรับอุปกรณ์สำหรับสายส่ง โดยตัวแปรโดยปกติจะเขียนในรูป (1/year)

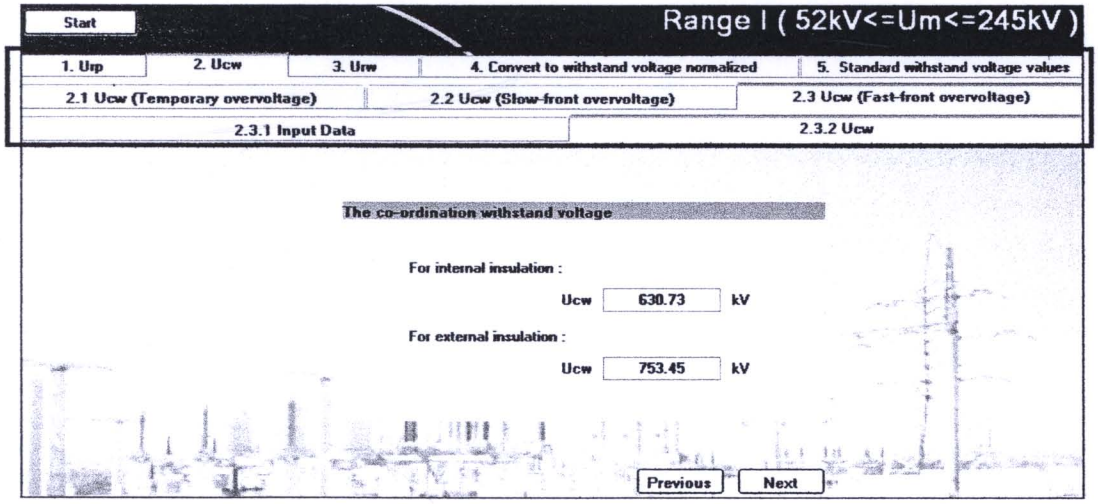
R_{km} คือ อัตราการขัดข้องของสายส่งเหนือศีรษะต่อปี สำหรับการออกแบบต่อหนึ่งกิโลเมตรแรก ในส่วนหน้าของสถานีไฟฟ้า โดยตัวแปรโดยปกติจะเขียนในรูป(1/km/year)

A คือ ตัวแปรแสดงคุณลักษณะของสายส่งพิจารณาตามตารางที่ 3.5

จากรูปที่ 4.16 ในส่วนกรอบสีแดง แสดงขั้นตอนที่ 2 U_{cw} หัวข้อย่อย 2.3.1 ผู้ใช้งานป้อนข้อมูล สำหรับ คำนวณค่า U_{cw} (Fast-Front Overvoltage) พิจารณาในส่วนกรอบสีน้ำเงิน ตัวอย่างนี้สมมุติ

- L สำหรับฉนวนภายใน มีค่า 30 m
- L สำหรับฉนวนภายนอก มีค่า 60 m
- n มีค่า 2
- L_{sp} มีค่า 300m
- R_a มีค่า 1 in 400 year
- R_{km} มีค่า 1 per 100 km. year
- เลือกชนิดของสายส่งจากตารางที่ 3.5 ตัวอย่างนี้สมมุติเลือก Single conductor ตัวแปร A มีค่า 4500

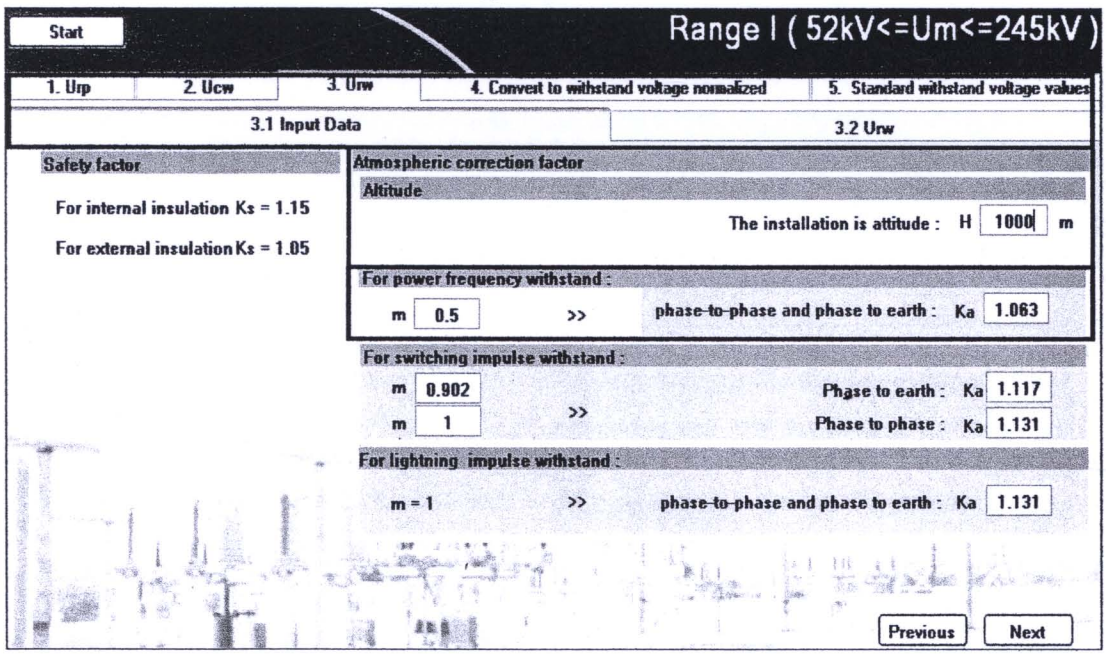
เมื่อผู้ใช้ป้อนข้อมูลอินพุตเสร็จสิ้น กดปุ่ม Next เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 4.17 ขั้นตอนที่ 2 U_{cw} หัวข้อย่อยที่ 2.3.2 ผลการคำนวณ U_{cw} (Fast-front overvoltage)

จากรูปที่ 4.17 ในส่วนกรอบสีแดง แสดงขั้นตอนที่ 2 U_{cw} หัวข้อย่อยที่ 2.3.2 ผลการคำนวณ U_{cw} (Fast-front overvoltage) แสดงค่า U_{cw} สำหรับฉนวนภายใน คือ 630.73 kV และ ค่า U_{cw} สำหรับฉนวนภายนอก คือ 753.45 kV

4.1.4 ความคงทนที่ต้องการ (U_{rw})



รูปที่ 4.18 ขั้นตอนที่ 3 U_{rw} หัวข้อย่อยที่ 3.1 ข้อมูล Input สำหรับคำนวณ U_{rw}

ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง :

H คือ ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล

m คือ เลขยกกำลังของตัวแปรชดเชยระดับความสูงสำหรับฉนวนภายนอก

K_a คือ ตัวแปรชดเชยระดับความสูง

K_s คือ ตัวแปรความปลอดภัย

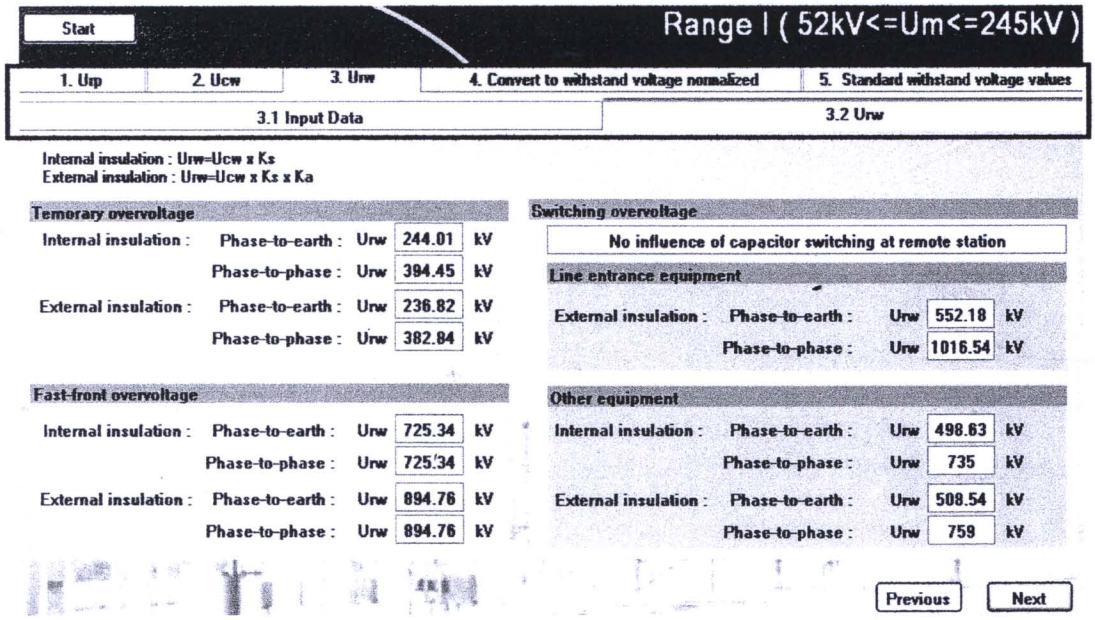
จากรูปที่ 4.18 ในส่วนกรอบสีแดง แสดงขั้นตอนที่ 3 U_{rw} หัวข้อย่อย 3.1 ผู้ใช้งานป้อนข้อมูลสำหรับการคำนวณ U_{rw} ตัวอย่างนี้สมมุติ

- ในส่วนกรอบสีน้ำเงิน พื้นสีชมพู ผู้ใช้งานป้อนค่า H ตัวอย่างนี้สมมุติ H มีค่า 1000 m

- ในส่วนกรอบสีชมพู ผู้ใช้งานต้องป้อนค่า m สำหรับ Power Frequency ซึ่งจะขึ้นกับสภาพมลภาวะของตัวฉนวน ถ้าฉนวนมีสภาพสกปรกค่า m มีค่า 0.5 ถ้าฉนวนมีสภาพสะอาด m มีค่า 1 ตัวอย่างนี้สมมุติ m มีค่า 0.5 พิจารณา m ของ Switching Impulse และ Lightning Impulse เป็นค่าที่ได้มาจากการคำนวณจากขั้นตอนก่อนหน้านี้ เมื่อทราบค่าตัวแปร m โปรแกรมจะคำนวณค่า K_a

- K_s เป็นค่าคงที่ สำหรับฉนวนภายใน K_s มีค่า 1.15 และสำหรับฉนวนภายนอก K_s มีค่า 1.05

เมื่อผู้ใช้ป้อนข้อมูลอินพุตเสร็จสิ้น กดปุ่ม Next เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 4.19 ขั้นตอนที่ 3 U_{rw} หัวข้อย่อยที่ 3.2 ผลการคำนวณคำนวณ U_{rw}

ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง :

$U_{rw}(p-e)$ คือ ความคงทนแรงดันที่ต้องการระหว่างเฟสกับดิน

$U_{rw}(p-p)$ คือ ความคงทนแรงดันที่ต้องการระหว่างเฟสกับเฟส

จากรูปที่ 4.19 ในส่วนกรอบสีแดง แสดงขั้นตอนที่ 3 U_{rw} หัวข้อย่อย 3.2 โปรแกรมจะแสดงผลการคำนวณค่า U_{rw} จากสมการที่แสดง ดังนี้

Temporary Overvoltage :

-ฉนวนภายใน

$U_{rw}(p-e)$ = 244.01 kV

$U_{rw}(p-p)$ = 394.45 kV

-ฉนวนภายนอก

$U_{rw}(p-e)$ = 236.82 kV

$U_{rw}(p-p)$ = 382.84 kV

Fast-Front Overvoltage :

- ฉนวนภายใน

$U_{rw}(p-e)$ = 725.34 kV

$U_{rw}(p-p)$ = 725.34 kV

- ฉนวนภายนอก

$U_{rw}(p-e)$ = 894.76 kV

$U_{rw}(p-p)$ = 894.76 kV

Swiching Overvoltage :

สำหรับ Line entrance equipment :

- ฉนวนภายนอก

$U_{rw}(p-e)$ = 552.18 kV

$U_{rw}(p-p)$ = 1016.54 kV

สำหรับ Other equipment:

ฉนวนภายใน:

$U_{rw}(p-e)$ = 498.63 kV

$U_{rw}(p-p)$ = 735 kV

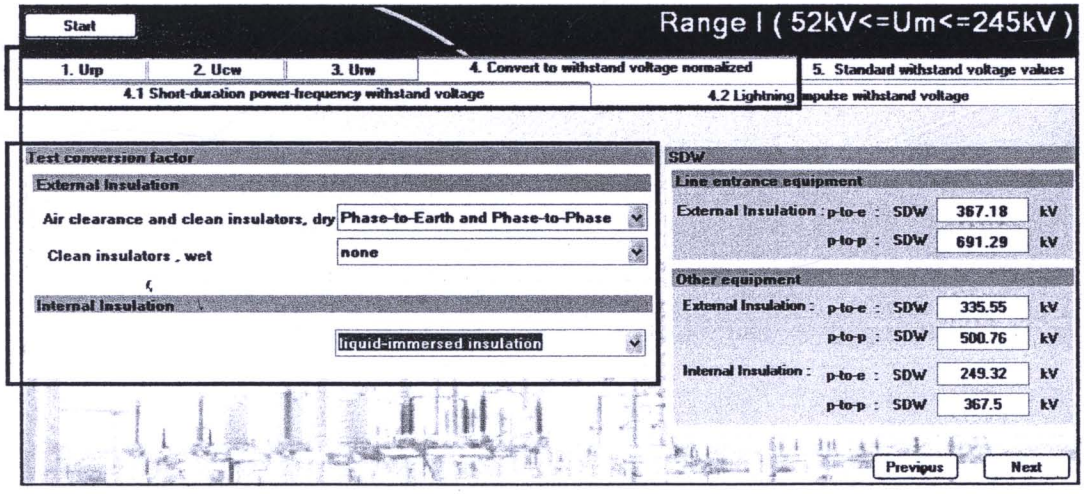
ฉนวนภายนอก:

$U_{rw}(p-e)$ = 508.54 kV

$U_{rw}(p-p)$ = 759 kV

จากนั้นผู้ใช้กดปุ่ม Next เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

4.1.5 Convert to withstand voltage normalized



รูปที่ 4.20 ขั้นตอนที่ 4 Convert to withstand voltage normalized หัวข้อย่อยที่ 4.1 Short-duration power-frequency withstand voltage

ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง :

SDW คือ มาตรฐานพิกัดความคงทนของแรงดันความถี่กำลังช่วงเวลาสั้น

Test Conversion factor คือ ตัวแปรที่ใช้เปลี่ยนรูปเพื่อการทดสอบ สำหรับฉนวนภายนอก และฉนวนภายใน

จากรูปที่ 4.20 ในส่วนกรอบสีแดง แสดงขั้นตอนที่ 4 Conversion to withstand voltage normalized หัวข้อย่อย 4.1 *SDW* ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ

1. ผู้ใช้งานป้อนค่า :

- ในส่วนกรอบสีน้ำเงิน ผู้ใช้งานเลือกค่า Test Conversion Factor สำหรับฉนวนภายนอก สำหรับระหว่างเฟสกับดิน และระหว่างเฟสกับเฟส ผู้ใช้สามารถเลือกเป็น Air clearance and clean insulator ,dry หรือ Clean insulator, wet สำหรับฉนวนภายใน สำหรับระหว่างเฟสกับดิน และระหว่างเฟสกับเฟส ผู้ใช้สามารถเลือกเป็น GIS, Liquid immersed insulation หรือ Solid Insulation

- ตัวอย่างนี้สมมุติ เลือก Test Conversion Factor สำหรับฉนวนภายนอก สำหรับระหว่างเฟสกับดิน และระหว่างเฟสกับเฟส คือ Air clearance and clean insulator ,dry และสำหรับฉนวนภายใน สำหรับระหว่างเฟสกับดิน เลือกเป็น Liquid immersed insulation

2. ผลการคำนวณจากโปรแกรม :

เมื่อผู้ใช้งานป้อนข้อมูลข้างต้นแล้วเสร็จ โปรแกรมจะแสดงผลการคำนวณ *SDW* โดยพิจารณาแยกระหว่าง Line entrance equipment และ Other equipment คือ

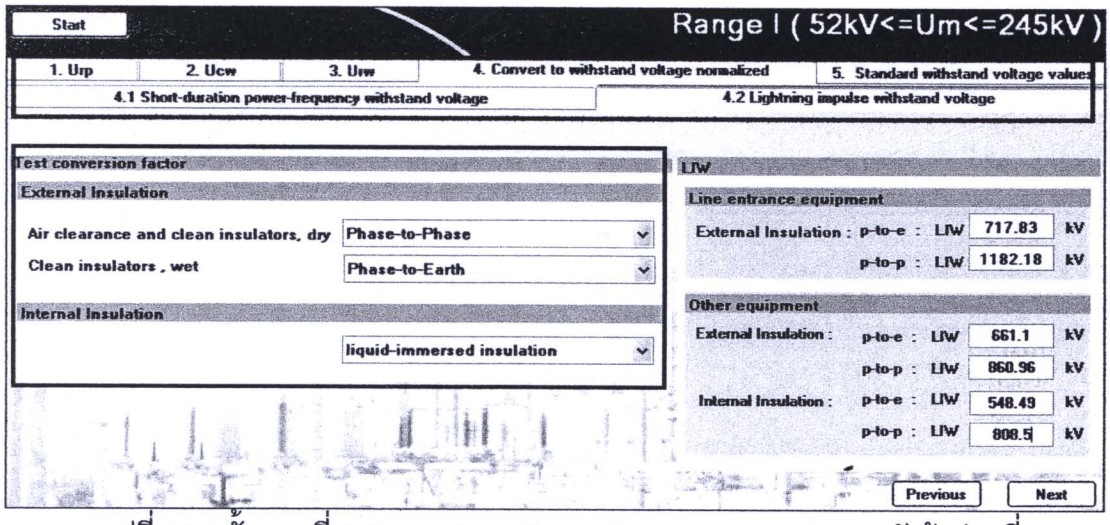
Line entrance equipment

- สำหรับฉนวนภายนอก: *SDW(p-e)* มีค่า 367.18 kV และ *SDW(p-p)* มีค่า 691.29 kV

Other equipment

- สำหรับฉนวนภายนอก: *SDW(p-e)* มีค่า 335.55 และ *SDW(p-p)* มีค่า 500.76 kV

- สำหรับฉนวนภายใน: *SDW(p-e)* มีค่า 249.32 kV และ *SDW(p-p)* มีค่า 367.5 kV



รูปที่ 4.21 ขั้นตอนที่ 4 Convert to withstand voltage normalized หัวข้อย่อยที่ 4.2 Lightning Impulse withstand voltage

ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง :

LIW คือ มาตรฐานพิกัดความคงทนแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า

จากรูปที่ 4.21 ขั้นตอนที่ 4 Conversion to withstand voltage normalized หัวข้อย่อย 4.2 *LIW* ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ

1. ผู้ใช้งานป้อนค่า :

- ในส่วนกรอบสีน้ำเงิน ผู้ใช้ทำการเลือกค่า Test Conversion Factor สำหรับฉนวนภายนอก สำหรับระหว่างเฟสกับดิน และระหว่างเฟสกับเฟส ผู้ใช้สามารถเลือกเป็น Air clearance and clean insulator ,dry หรือ Clean insulator, wet สำหรับฉนวนภายใน สำหรับระหว่างเฟสกับดิน และระหว่างเฟสกับเฟส ผู้ใช้สามารถเลือกเป็น GIS, Liquid immersed insulation หรือ Solid Insulation

- ตัวอย่างนี้สมมุติ เลือก Test Conversion Factor สำหรับฉนวนภายนอก สำหรับระหว่างเฟสกับดิน คือ Clean insulator, wet และสำหรับระหว่างเฟสกับเฟส คือ Air clearance and clean insulator ,dry และสำหรับฉนวนภายใน สำหรับระหว่างเฟสกับดิน เลือกเป็น Liquid immersed insulation

2. ผลการคำนวณจากโปรแกรม :

เมื่อผู้ใช้งานป้อนข้อมูลข้างต้นแล้วเสร็จ โปรแกรมจะแสดงผลการคำนวณ *LIW* โดยพิจารณาแยกระหว่าง Line entrance equipment และ Other equipment คือ

Line entrance equipment

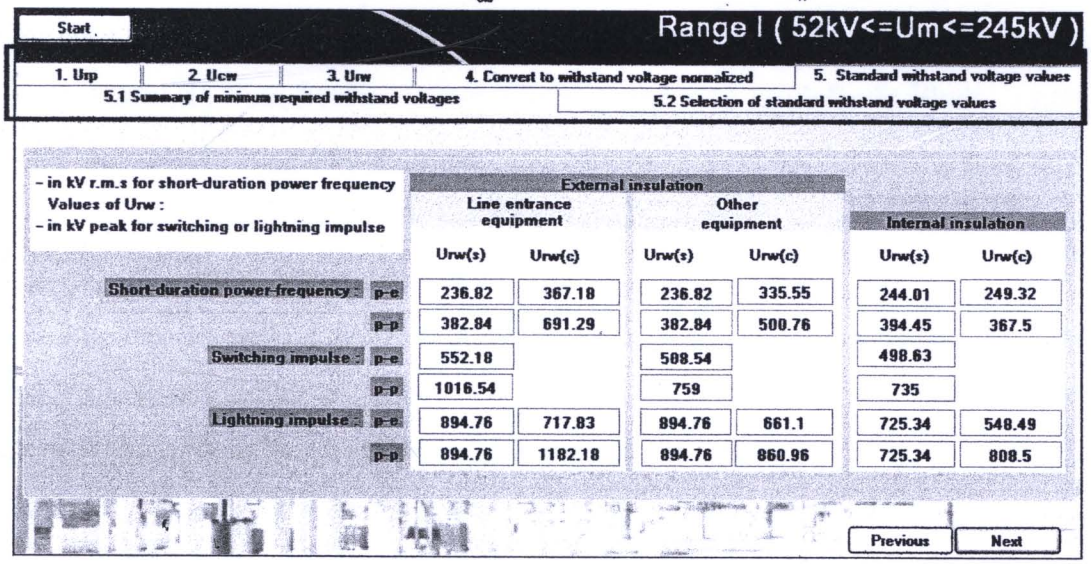
- สำหรับฉนวนภายนอก : $LIW(p-e)$ มีค่า 717.83 kV และ $LIW(p-p)$ มีค่า 1182.18 kV

Other equipment

- สำหรับฉนวนภายนอก : $LIW(p-e)$ มีค่า 661.1 kV และ $LIW(p-p)$ มีค่า 860.96 kV

- สำหรับฉนวนภายใน : $LIW(p-e)$ มีค่า 548.49 kV และ $LIW(p-p)$ มีค่า 808.5 kV

4.1.6 การเลือกค่ามาตรฐานความคงทนแรงดัน U_w

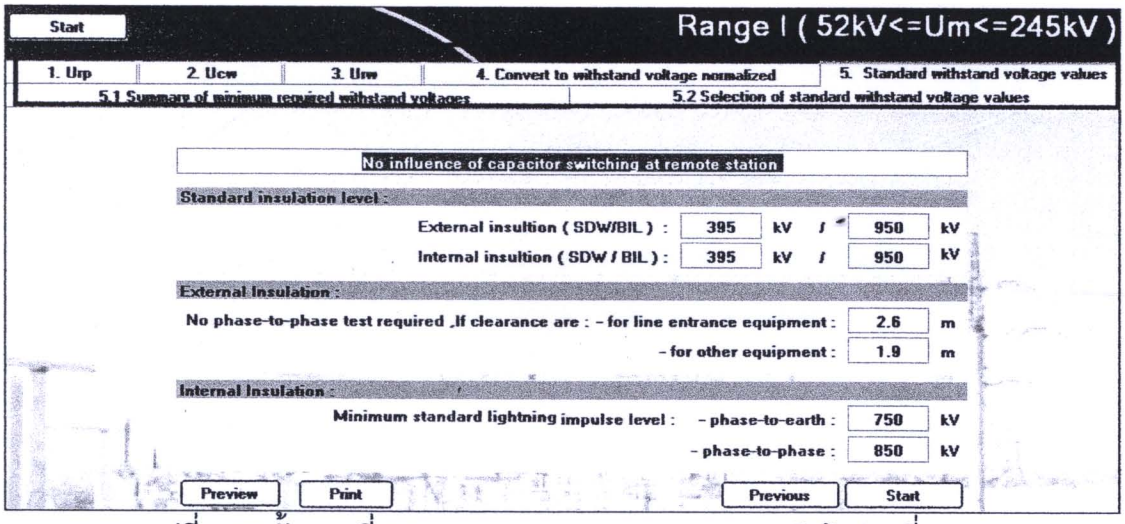


รูปที่ 4.22 ขั้นตอนที่ 5 Standard withstand volatage หัวข้อย่อยที่ 5.1 Summary of minimum required withstand voltage

ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง :

$U_{rw(s)}$ คือ ความคงทนแรงดันที่ต้องการ จากขั้นตอนที่ 3 ของการประสานสัมพันธ์ฉนวน

$U_{rw(c)}$ คือ การเปลี่ยนรูปของความคงทนแรงดันที่ต้องการจากขั้นตอนที่ 4 ของการประสานสัมพันธ์ฉนวน



รูปที่ 4.23 ขั้นตอนที่ 5 Standard withstand volatage หัวข้อย่อยที่ 5.2 Selection of standard withstand voltage values

หลักในการเลือกค่ามาตรฐานความคงทนแรงดัน สำหรับมาตรฐานพิกัดความคงทนของแรงดันความถี่กำลังช่วงเวลาสั้น (SDW) จะพิจารณาเลือกค่า $U_{rw(s)}$ ที่มีค่ามากที่สุดระหว่างเฟสกับเฟส และสำหรับ มาตรฐานพิกัดความคงทนของแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า (LIW) จะพิจารณาเลือกค่า $U_{rw(s)}$ ที่มีค่ามากที่สุด

จากรูปที่ 4.23 หัวข้อ Standard insulation level

สำหรับ External insulation:

จากรูปที่ 4.22 หัวข้อ Short-duration power frequency ระหว่างเฟสกับเฟส โปรแกรมจะทำการเลือกค่า $U_{rw(s)}$ จาก Line entrance equipment หรือ Other equipment โดยพิจารณาเลือกค่าที่มากที่สุด จากตัวอย่างนี้มีค่าเท่ากัน คือ 282.82 kV

จากรูปที่ 4.22 หัวข้อ Lightning Impulse ระหว่างเฟสกับเฟส โปรแกรมจะเลือกค่า $U_{rw(s)}$ ที่มีค่ามากที่สุด โดยพิจารณาจาก Line entrance equipment และ Other equipment จากตัวอย่างนี้มีค่าเท่ากันคือ 894.76 kV

เมื่อนำค่า Short-duration power frequency ซึ่งมี $U_{rw(s)}$ ค่ามากที่สุด คือ 282.82 kV และค่า Lightning Impulse ซึ่งมี $U_{rw(s)}$ ค่ามากที่สุด คือ 894.76 kV มาเปิดตารางที่ 2.2 มาตรฐานระดับการฉนวนสำหรับแรงดันช่วงที่ 1 ที่แรงดันสูงสุดสำหรับอุปกรณ์ (U_m) มีค่า 245 kV โดยพิจารณาเลือกค่ามาตรฐานพิกัดความคงทนของแรงดันความถี่กำลังช่วงเวลาสั้น (SDW) ค่า 395 kV และมาตรฐานพิกัดความคงทนของแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า (LIW) ค่า 950 kV เนื่องจากเป็นค่าที่ทั้ง Short-duration power frequency และ Lightning Impulse ผ่านเกณฑ์ทั้งคู่ที่ระดับเดียวกัน นั้นคือค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับค่าที่นำมาพิจารณา

สำหรับ Internal Insulation :

จากรูปที่ 4.22 หัวข้อ Short-duration power frequency ระหว่างเฟสกับเฟส มีค่า $U_{rw(s)}$ คือ 394.45 kV

จากรูปที่ 4.22 หัวข้อ Lightning Impulse ระหว่างเฟสกับเฟส พิจารณาค่ามากที่สุด ระหว่าง $U_{rw(s)}$ และ $U_{rw(c)}$ ในที่นี้ค่ามากที่สุด คือ $U_{rw(c)}$ = 808.5 kV

เมื่อนำค่า Short-duration power frequency ซึ่งมีค่า $U_{rw(s)}$ คือ 394.45 kV และค่า Lightning Impulse ซึ่งมี $U_{rw(s)}$ ค่ามากที่สุด คือ 808.5 kV มาเปิดตารางที่ 2.2 มาตรฐานระดับการฉนวนสำหรับแรงดันช่วงที่ 1 ที่แรงดันสูงสุดสำหรับอุปกรณ์ (U_m) มีค่า 245 kV โดยพิจารณาเลือก ค่ามาตรฐานพิกัดความคงทนของแรงดันความถี่กำลังช่วงเวลาสั้น (SDW) ค่า 395 kV และมาตรฐานพิกัดความคงทนของแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า(LIW) ค่า 950 kV เนื่องจากเป็นค่าที่ทั้ง Short-duration power frequency และ Lightning Impulse ผ่านเกณฑ์ทั้งคู่ที่ระดับเดียวกัน นั้นคือค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับค่าที่นำมาพิจารณา

จากรูปที่ 4.23 หัวข้อ External Insulation พิจารณาระยะห่างระหว่างเฟสกับเฟส (p-p Clearance) โดยพิจารณาแยกระหว่าง Line entrance equipment และ Other equipment

Line entrance equipment :

จากรูปที่ 4.22 พิจารณา Lightning Impulse ระหว่างเฟสกับเฟส โดยพิจารณาเลือกค่าที่มากที่สุดระหว่าง $U_{rw(s)}$ และ $U_{rw(c)}$ ในที่นี้ค่ามากที่สุด คือ $U_{rw(c)}$ =1182.18 kV เมื่อนำค่านี้เปิดตารางที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างมาตรฐานความคงทนแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า และค่าน้อยที่สุดของระยะห่างระหว่างอากาศ (minimum air clearance) ที่มาตรฐานพิกัดความคงทนของแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า (LIW) 1300 kV จะได้ค่า minimum p-p Clearance ค่า 2.6 m

Other equipment :

จากรูปที่ 4.22 พิจารณา Lightning Impulse ระหว่างเฟสกับเฟส โดยพิจารณาเลือกค่าที่มากที่สุดระหว่าง $U_{rw(s)}$ และ $U_{rw(c)}$ ในที่นี้ค่ามากที่สุด คือ $U_{rw(c)}$ =894.76 kV เมื่อนำค่านี้เปิดตารางที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างมาตรฐานความคงทนแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า และค่าน้อยที่สุดของระยะห่างระหว่างอากาศ (minimum air clearance) ที่มาตรฐานความคงทนแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า (LIW) 950 kV จะได้ค่า minimum p-p Clearance ค่า 1.9 m

จากรูปที่ 4.23 หัวข้อ Internal Insulation พิจารณาเลือกค่า Minimum Standard Lightning Impulse ระหว่างเฟสกับเฟส และระหว่างเฟสกับดิน

ระหว่างเฟสกับดิน :

จากรูปที่ 4.22 พิจารณา Lightning Impulse ระหว่างเฟสกับดิน โดยเลือกค่าที่มากที่สุดระหว่าง $U_{rw(s)}$ และ $U_{rw(c)}$ ในที่นี้ค่ามากที่สุด คือ $U_{rw(c)}$ = 808.5 kV นำค่านี้เปิดตารางที่ 2.2 มาตรฐานระดับการฉนวนสำหรับแรงดันช่วงที่ 1 ที่แรงดันสูงสุดสำหรับอุปกรณ์ (U_m) มีค่า 245 kV โดยเลือกค่ามาตรฐานความคงทนแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า (LIW) คือ 850 kV

ระหว่างเฟสกับเฟส :

จากรูปที่ 4.22 พิจารณา Lightning Impulse ระหว่างเฟสกับเฟส โดยเลือกค่าที่มากที่สุดระหว่าง $U_{rw(s)}$ และ $U_{rw(c)}$ ในที่นี้ค่ามากที่สุด คือ $U_{rw(s)}$ = 725.34 kV จากนั้นนำค่านี้เปิดตารางที่ 2.2 มาตรฐานระดับการฉนวนสำหรับแรงดัน ช่วงที่ 1 ที่แรงดันสูงสุดสำหรับอุปกรณ์ (U_m) มีค่า 245 kV โดยเลือกค่ามาตรฐานความคงทนแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า (LIW) คือ 750 kV