

การออกแบบชุดตัวเก็บประจุในระบบไฟฟ้าแรงสูง



ว่าที่เรื่อตรีณัฐวุฒิ เมืองศิริ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

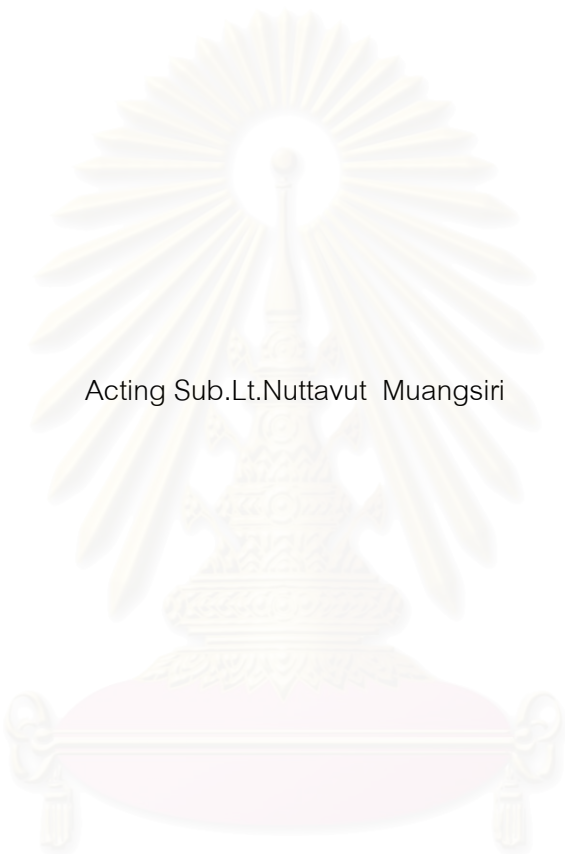
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-53-2944-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CAPACITOR BANK DESIGN IN HIGH VOLTAGE SYSTEMS

Acting Sub.Lt.Nuttavut Muangsiri



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 2005

ISBN 974-53-2944-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์
โดย
สาขาวิชา
อาจารย์ที่ปรึกษา

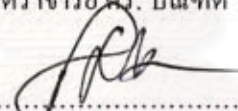
การออกแบบชุดตัวเก็บประจุในระบบไฟฟ้าแรงสูง
ว่าที่เรือดริณัฐวุฒิ เมืองศิริ
วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ไชยะ แซ่มซ้อย


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ไชยะ แซ่มซ้อย)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. คมสัน เพ็ชรรักษ์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ว่าที่เรือดริณัฐวุฒิ เมืองศิริ : การออกแบบชุดตัวเก็บประจุในระบบไฟฟ้าแรงสูง
(CAPACITOR BANK DESIGN IN HIGH VOLTAGE SYSTEMS)
อ. ที่ปรึกษา : อ.ไชยะ แซ่มซ้อย, 149 หน้า. ISBN 974-53-2944-4

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ศึกษาการออกแบบชุดตัวเก็บประจุในระบบไฟฟ้าแรงสูงที่ระดับแรงดัน (kV) และขนาดกำลังรีแอกทีฟ (MVAR) ซึ่งใช้งานภายใต้สภาวะปกติ และพิจารณาความไม่สมดุลของชุดตัวเก็บประจุเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในตัวเก็บประจุ ผลการศึกษาได้นำมาสู่การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused, Internally fused และ Fuseless พร้อมกันนี้ยังได้พิจารณาถึงการต่อใช้งานของชุดตัวเก็บประจูปแบบต่าง ๆ เช่น Single grounded wye, Single ungrounded wye, Split grounded wye, Split ungrounded wye และ H – bridge

ผลจากการพิจารณาทำให้สามารถออกแบบชุดตัวเก็บประจุในระบบไฟฟ้าแรงสูงได้อย่างเหมาะสม อีกทั้งยังสามารถใช้ประกอบการพิจารณาปรับปรุงระบบป้องกันได้อย่างเหมาะสม

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา _____ วิศวกรรมไฟฟ้า _____ ลายมือชื่อนิสิต ว่าที่เรือดริณัฐวุฒิ เมืองศิริ
สาขาวิชา _____ วิศวกรรมไฟฟ้า _____ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____
ปีการศึกษา _____ 2548 _____

4770292121 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD : CAPACITOR BANK DESIGN / CAPACITOR BANK /

SHUNT CAPACITOR BANK / EXTERNALLY FUSED CAPACITOR BANK /

INTERNALLY FUSED CAPACITOR BANK / FUSELESS CAPACITOR BANK

ACTING SUB. LT. NUTTAVUT MUANGSIRI : CAPACITOR BANK DESIGN IN
HIGH VOLTAGE SYSTEMS. THESIS ADVISOR : CHAIYA CHAMCHOY, 149 pp.
ISBN 974-53-2944-4.

This thesis involves capacitor bank design in high voltage systems, i.e. kV levels with capacity of MVar. The capacitor is designed based on normal operating conditions considering unbalance conditions due to faults in the capacitor. A computer program has been developed for designing capacitor banks of several types including externally fused, internally fused and fuseless type. In addition, the developed program takes into account several types of arrangements and connections, e.g. single grounded wye, single ungrounded wye, split grounded wye, split ungrounded wye and H – bridge.

The program not only provides us the capacitor bank designing tool but also information for suitable set up of protective devices.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Electrical engineering Student's signature Acting Sub. Lt. Nuttavut M.
Field of study Electrical engineering Advisor's signature Ch. Chamchoy
Academic year 2005

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์ไชยะ แซ่มซ้อย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อวิทยานิพนธ์ ตลอดจนชี้ให้เห็นข้อบกพร่องและแนวทางแก้ไขต่าง ๆ นับตั้งแต่เริ่มต้นทำวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขเนื้อหาจนสำเร็จเรียบร้อย

นอกจากนั้น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ (ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์) และ อาจารย์ ดร. คมสัน เพ็ชรรัักษ์ (กรรมการ) ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา และมารดาที่ได้ให้กำลังใจเสมอมา ตลอดจนนักวิจัย เพื่อน ๆ พี่น้องทุก ๆ คนที่อยู่เบื้องหลังในความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ณ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์	2
1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์	3
2. ประเภทของชุดตัวเก็บประจุแรงสูง	4
2.1 ลักษณะเฉพาะของตัวเก็บประจุแรงสูง	5
2.1.1 การทำงานอย่างต่อเนื่องภายใต้เงื่อนไขแรงดัน กระแส และกำลังรีแอกทีฟ สูงสุด	5
2.1.2 ปริมาณความจุไฟฟ้า	5
2.1.3 พิกัดแรงดันและกำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุ	5
2.1.4 ความถี่	6
2.1.5 อุณหภูมิแวดล้อม	7
2.1.6 ความสามารถในการกำจัดหรือลดระดับแรงดันตกค้าง	7
2.2 โครงสร้างของชุดตัวเก็บประจุแรงสูง	7
2.2.1 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused	8
2.2.2 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused	9
2.2.3 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless	11
2.3 ลักษณะการต่อชุดตัวเก็บประจุ	14

บทที่	ช หน้า
2.4 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียระหว่างการต่อชุดตัวเก็บประจุแบบลงดินกับไม่ลงดิน และการต่อชุดตัวเก็บประจุแบบ Single wye กับ Split wye	17
3. การป้องกันชุดตัวเก็บประจุแรงสูงแบบไม่สมดุล	19
3.1 เจือ้นใจของการป้องกันชุดตัวเก็บประจุ	19
3.2 รูปแบบการป้องกันชุดตัวเก็บประจุแบบไม่สมดุล	19
3.3 การคำนวณความไม่สมดุลของชุดตัวเก็บประจุ	23
3.4 การปรับตั้งรีเลย์	24
3.5 สรุป	25
4. การพัฒนาโปรแกรมสนับสนุนการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	26
4.1 การพัฒนาโปรแกรมการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดันจำหน่าย	26
4.2 การพัฒนาโปรแกรมการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดันส่ง	34
4.3 การแสดงผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	43
4.3.1 ตารางแสดงผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่มีโครงสร้างแบบ Externally fused	43
4.3.2 ตารางแสดงผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่มีโครงสร้างแบบ Internally fused	45
4.3.3 ตารางแสดงผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่มีโครงสร้างแบบ Fuseless	46
4.4 การจำลองผลลัพธ์โดยการตรวจจับความไม่สมดุล	49
5. ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	59
5.1 ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่แรงดันระบบจำหน่าย	59
5.1.1 ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่แรงดันระบบจำหน่าย	59
5.1.1.1 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ Split wye equal legs	59
5.1.1.2 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ Split wye unequal legs	63
5.1.1.3 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ Single grounded wye	69

5.1.1.4	ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ Single ungrounded wye	71
5.1.1.5	การเปรียบเทียบการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่ระดับแรงดันจำหน่าย	74
5.1.2	ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่แรงดันระบบจำหน่าย	76
5.1.2.1	ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ Split wye equal legs	76
5.1.2.2	ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ Split wye unequal legs	77
5.1.2.3	ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ Single grounded wye	79
5.1.2.4	ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ Single ungrounded wye	81
5.1.2.5	การเปรียบเทียบการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่ระดับแรงดันจำหน่าย	84
5.2	ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่แรงดันระบบส่ง	87
5.2.1	ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่แรงดันระบบส่ง	87
5.2.1.1	ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ Split wye equal legs	87
5.2.1.2	ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ Split wye unequal legs	89
5.2.1.3	ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ Single grounded wye	91
5.2.1.4	ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ Single ungrounded wye	93
5.2.1.5	ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ H – bridge equal legs	95

5.2.1.6	ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ H – bridge unequal legs	99
5.2.1.7	การเปรียบเทียบการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่ระดับแรงดันส่ง	106
5.2.2	ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่แรงดันระบบ ส่ง	112
5.2.2.1	ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ Split wye equal legs	112
5.2.2.2	ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ Split wye unequal legs	114
5.2.2.3	ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ Single grounded wye	116
5.2.2.4	ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ Single ungrounded wye	118
5.2.2.5	ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ H – bridge equal legs	121
5.2.2.6	ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ H – bridge unequal legs	124
5.2.2.7	การเปรียบเทียบการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่ระดับแรงดันส่ง	127
5.2.3	ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless ที่แรงดันระบบส่ง	133
5.2.3.1	ชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless ที่มีการต่อแบบ Split wye equal legs	133
5.2.3.2	ชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless ที่มีการต่อแบบ Split wye unequal legs	135
5.2.3.3	การเปรียบเทียบการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless ที่ ระดับแรงดันส่ง	138
5.3	สรุป	144
6.	สรุปและข้อเสนอแนะ	145
	รายการอ้างอิง	146



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ขนาดมาตรฐานตามพิกัดแรงดันและกำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุ	6
2.2 อุณหภูมิแวดล้อมสูงสุด	7
2.3 จำนวนชั้นค่าของตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกันในแต่ละกลุ่มอนุกรม เพื่อจำกัดแรงดัน ตกคร่อมตัวเก็บประจุที่ยังคงเหลืออยู่เมื่อตัวเก็บประจุ 1 ตัวถูกปลดไม่ให้เกิน 110%	9
2.4 ตารางเปรียบเทียบระหว่างชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused กับ Externally fused....	11
4.1 สมการการจำลองผลลัพธ์สำหรับ Externally fused แบบ Split wye	49
4.2 สมการการจำลองผลลัพธ์สำหรับ Externally fused แบบ Wye	51
4.3 สมการการจำลองผลลัพธ์สำหรับ Externally fused แบบ H-bridge	52
4.4 สมการการจำลองผลลัพธ์สำหรับ Internally fused แบบ Split wye	53
4.5 สมการการจำลองผลลัพธ์สำหรับ Internally fused แบบ Wye	55
4.6 สมการการจำลองผลลัพธ์สำหรับ Internally fused แบบ H-bridge	56
4.7 สมการการจำลองผลลัพธ์สำหรับ Fuseless แบบ Split wye	57
5.1 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่ระดับแรงดัน 22 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 2.4, 3.0 และ 3.6 MVar ตามลำดับ โดยเผื่อขนาด พิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด	74
5.2 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่ระดับแรงดัน 24 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 2.4, 3.0 และ 3.6 MVar ตามลำดับ โดยเผื่อขนาด พิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด	75
5.3 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่ระดับแรงดัน 33 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 2.4, 3.0 และ 3.6 MVar ตามลำดับ โดยเผื่อขนาด พิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด	75
5.4 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่ระดับแรงดัน 22 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 2.4, 3.0 และ 3.6 MVar ตามลำดับ โดยเผื่อขนาด พิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด	84
5.5 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่ระดับแรงดัน 24 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 2.4, 3.0 และ 3.6 MVar ตามลำดับ โดยเผื่อขนาด พิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด	85

ตาราง

หน้า

- 5.24 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless ที่ระดับแรงดัน 230 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 48 และ 72 MVar ตามลำดับ โดยพิจารณาขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด 143



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 Externally fused	4
2.2 Internally fused	4
2.3 Fuseless	4
2.4 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ Single grounded wye	8
2.5 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ Single grounded wye	10
2.6 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless ที่มีการต่อแบบ Single grounded wye	11
2.7 การตรวจวัดความไม่สมดุลของแรงดันนิวทรัลสำหรับการต่อแบบ Single ungrounded wye	15
2.8 การตรวจวัดความไม่สมดุลของกระแสในสายนิวทรัลสำหรับการต่อแบบ Split ungrounded wye	15
2.9 การตรวจวัดความไม่สมดุลของกระแสในสายนิวทรัลสำหรับการต่อแบบ Split grounded wye	16
2.10 ตัวอย่างการต่อชุดตัวเก็บประจุแบบ H configuration	16
3.1 การตรวจจับกระแสนิวทรัลของชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Single grounded wye	20
3.2 การตรวจจับกระแสนิวทรัลของชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Split grounded wye	20
3.3 การตรวจจับแรงดันลำดับศูนย์ของชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Single grounded wye .	21
3.4 การตรวจจับผลต่างแรงดันของชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Single grounded wye	22
3.5 การตรวจจับแรงดันนิวทรัลของชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Single ungrounded wye .	22
3.6 การตรวจจับกระแสนิวทรัลของชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Split ungrounded wye	23
3.7 การตรวจจับแรงดันนิวทรัลของชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Split ungrounded wye	23
4.1 แผนภูมิการออกแบบ Externally fused แบบ Split wye equal legs ที่ระดับ แรงดันจำหน่าย	27
4.2 แผนภูมิการออกแบบ Externally fused แบบ Split wye unequal legs ที่ระดับ แรงดันจำหน่าย	28
4.3 แผนภูมิการออกแบบ Externally fused แบบ Single wye ที่ระดับแรงดันจำหน่าย	29
4.4 แผนภูมิการออกแบบ Internally fused ที่ระดับแรงดันจำหน่าย	32
4.5 แผนภูมิการออกแบบ Externally fused แบบ Split wye equal legs ที่ระดับแรงดันส่ง	35
4.6 แผนภูมิการออกแบบ Externally fused แบบ Split wye unequal legs ที่ระดับแรงดันส่ง ...	36
4.7 แผนภูมิการออกแบบ Externally fused แบบ Single wye ที่ระดับแรงดันส่ง	37

ภาพประกอบ	หน้า
4.8 แผนภูมิการออกแบบ Fuseless แบบ Split wye ที่ระดับแรงดันส่ง	41
4.9 หน้าจอผลลัพธ์ของตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ Split wye equal legs ที่ระดับแรงดัน 115 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 72 MVar โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด	44
4.10 หน้าจอผลลัพธ์ของตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ Split wye equal legs ที่ระดับแรงดัน 115 kV ถ้าต้องการกำลังรีแอกทีฟ 72 MVar และใช้กระแสเฟส 60 A โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด	46
4.11 หน้าจอผลลัพธ์ของตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless ที่มีการต่อแบบ Split wye equal legs ที่ระดับแรงดัน 115 kV ถ้าต้องการกำลังรีแอกทีฟ 72 MVar และใช้กระแสเฟส 60 A โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด	48
5.1 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	60
5.2 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	60
5.3 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวนตัวเก็บประจุที่ถูกปลดออกจากระบบ โดยการทำงานของฟิวส์	61
5.4 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	62
5.5 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	62
5.6 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวนตัวเก็บประจุที่ถูกปลดออกจากระบบ โดยการทำงานของฟิวส์	63
5.7 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	64
5.8 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	64
5.9 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวนตัวเก็บประจุที่ถูกปลดออกจากระบบ โดยการทำงานของฟิวส์เมื่อเลือกค่า Pa เท่ากับ 1	65
5.10 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวนตัวเก็บประจุที่ถูกปลดออกจากระบบ โดยการทำงานของฟิวส์เมื่อเลือกค่า Pa เท่ากับ 2	66
5.11 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	67
5.12 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	67

ภาพประกอบ	หน้า
5.13 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวนตัวเก็บประจุที่ถูกปลดออกจากระบบ โดยการทำงานของฟิวส์เมื่อเลือกค่า Pa เท่ากับ 4	68
5.14 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวนตัวเก็บประจุที่ถูกปลดออกจากระบบ โดยการทำงานของฟิวส์เมื่อเลือกค่า Pa เท่ากับ 5	69
5.15 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	70
5.16 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	70
5.17 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	71
5.18 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	72
5.19 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวนตัวเก็บประจุที่ถูกปลดออกจากระบบ โดยการทำงานของฟิวส์	73
5.20 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	76
5.21 หน้าจอการรับข้อมูลของตัวเก็บประจุ	77
5.22 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	77
5.23 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	78
5.24 หน้าจอการรับข้อมูลของตัวเก็บประจุ	78
5.25 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	79
5.26 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	79
5.27 หน้าจอการรับข้อมูลของตัวเก็บประจุ	80
5.28 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	80
5.29 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวน Elements ที่ถูกปลดภายในตัวเก็บประจุ โดยการทำงานของฟิวส์	81
5.30 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	82
5.31 หน้าจอการรับข้อมูลของตัวเก็บประจุ	82
5.32 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	83
5.33 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวน Elements ที่ถูกปลดภายในตัวเก็บประจุ โดยการทำงานของฟิวส์	84
5.34 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	88
5.35 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	88
5.36 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	89

ภาพประกอบ	หน้า
5.58 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	103
5.59 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	103
5.60 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวนตัวเก็บประจุที่ถูกปลดออกจากระบบ โดยการทำงานของฟิวส์ของผลลัพธ์ที่ 2 ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ และเลือกค่า Pa เท่ากับ 10	104
5.61 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวนตัวเก็บประจุที่ถูกปลดออกจากระบบ โดยการทำงานของฟิวส์ของผลลัพธ์ที่ 2 ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ และเลือกค่า Pa เท่ากับ 11	105
5.62 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	112
5.63 หน้าจอการรับข้อมูลของตัวเก็บประจุ	113
5.64 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	113
5.65 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวน Elements ที่ถูกปลดภายในตัวเก็บประจุ โดยการทำงานของฟิวส์ของผลลัพธ์ที่ 3 ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	114
5.66 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	115
5.67 หน้าจอการรับข้อมูลของตัวเก็บประจุ	115
5.68 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	116
5.69 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	116
5.70 หน้าจอการรับข้อมูลของตัวเก็บประจุ	117
5.71 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	117
5.72 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวน Elements ที่ถูกปลดภายในตัวเก็บประจุ โดยการทำงานของฟิวส์ของผลลัพธ์ที่ 3 ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	118
5.73 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	119
5.74 หน้าจอการรับข้อมูลของตัวเก็บประจุ	119
5.75 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	120
5.76 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวน Elements ที่ถูกปลดภายในตัวเก็บประจุ โดยการทำงานของฟิวส์ของผลลัพธ์ที่ 3 ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	121
5.77 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	122
5.78 หน้าจอการรับข้อมูลของตัวเก็บประจุ	122
5.79 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	123

ภาพประกอบ	หน้า
5.80 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวน Elements ที่ถูกปลดภายในตัวเก็บประจุ โดยการทำงานของฟิวส์ของผลลัพท์ที่ 3 ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	124
5.81 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	125
5.82 หน้าจอการรับข้อมูลของตัวเก็บประจุ	125
5.83 หน้าจอผลลัพท์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	126
5.84 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	133
5.85 หน้าจอการรับข้อมูลของตัวเก็บประจุ	134
5.86 หน้าจอผลลัพท์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	134
5.87 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวน Element ที่ลัดวงจรของตัวเก็บประจุของ ผลลัพท์ที่ 1 ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	135
5.88 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	136
5.89 หน้าจอการรับข้อมูลของตัวเก็บประจุ	136
5.90 หน้าจอผลลัพท์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ	137

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์

จากการเติบโตอย่างรวดเร็วของผู้ใช้ไฟฟ้าในปัจจุบันทำให้การชดเชยกำลังรีแอกทีฟเป็นสิ่งสำคัญเพื่อที่จะรักษาความน่าเชื่อถือ คุณภาพและความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าให้อยู่ในระดับที่ต้องการ การขาดแคลนกำลังรีแอกทีฟในระบบไฟฟ้ามีผลทำให้ความมั่นคงของระบบลดลง ความไม่มีเสถียรภาพของแรงดันและโอกาสของการเกิดการพังทลายของแรงดันเพิ่มขึ้น ซึ่งปัญหาการขาดแคลนกำลังรีแอกทีฟมีสาเหตุมาจากการเพิ่มระดับถ่ายโอนกำลังไฟฟ้า และ Transmission contingencies

ปัญหาการขาดแคลนกำลังรีแอกทีฟสามารถแก้ไขโดยการติดตั้งชุดตัวเก็บประจุขนาน เชื่อมต่อกับระบบที่ตำแหน่งที่มีความสำคัญทางยุทธศาสตร์เพื่อปรับปรุงตัวประกอบกำลังและแรงดัน ลดกำลังสูญเสียเนื่องจาก I²R และเพิ่ม Capacity ของระบบ จึงเป็นที่มาของการศึกษาวิจัยการออกแบบชุดตัวเก็บประจุในครั้งนี้

1.2 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยคือ

- 1) เพื่อศึกษาประเภทของชุดตัวเก็บประจุในระบบไฟฟ้าแรงสูง
- 2) เพื่อออกแบบและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบชุดตัวเก็บประจุในระบบไฟฟ้าแรงสูง

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

ขอบเขตของการวิจัยวิทยานิพนธ์คือการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบชุดตัวเก็บประจุในระบบไฟฟ้าแรงสูงที่ระดับแรงดัน (kV) และขนาดกำลังรีแอกทีฟ (MVar) ซึ่งใช้งานภายใต้สภาวะปกติ โดยพิจารณาชนิดของโครงสร้าง และลักษณะการต่อชุดตัวเก็บประจุ รวมทั้งแสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของชุดตัวเก็บประจุจากการวิเคราะห์วัดความไม่สมดุล โดยอ้างอิง IEEE Std C37.99-2000 จากผลของจำนวนฟิวส์ที่ทำการปลดตัวเก็บประจุสำหรับชุดตัวเก็บประจุแบบ

Externally fused จำนวนฟิวส์ที่ทำการปลด Element ภายในตัวเก็บประจุสำหรับชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused และจำนวน Elements ภายในตัวเก็บประจุที่ลัดวงจรสำหรับชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์เพื่อปรับตั้งค่าอุปกรณ์ป้องกันชุดตัวเก็บประจุ

การศึกษาวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่ครอบคลุมถึงลักษณะทางกายภาพของตัวเก็บประจุ (ความกว้าง*ความยาว*ความสูง) และโครงสร้างทางวัสดุของตัวเก็บประจุ

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินงาน

เพื่อให้กระบวนการศึกษาวิจัยงานวิทยานิพนธ์ดำเนินไปอย่างเป็นระบบ มีแบบแผน และบรรลุวัตถุประสงค์อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจึงได้กำหนดขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินงานดังนี้

- 1) กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษาวิจัย
- 2) ศึกษามาตรฐานของตัวเก็บประจุ
- 3) ศึกษานิยาม โครงสร้าง และลักษณะการต่อชุดตัวเก็บประจุในระบบไฟฟ้าแรงสูง
- 4) ศึกษาผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับชุดตัวเก็บประจุ
- 5) ศึกษาข้อมูลขนาดตัวเก็บประจุตามมาตรฐานและที่ผู้ผลิตทำการผลิตขาย
- 6) ออกแบบแผนผังของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ
- 7) ออกแบบ และพัฒนาโปรแกรม
- 8) วิเคราะห์และสรุปผลงานวิจัย
- 9) เรียบเรียงผลงานวิจัย พิมพ์ผลงาน และจัดเข้ารูปเล่มเพื่อทำการเสนอต่อคณะกรรมการ

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์

- 1) สามารถออกแบบชุดตัวเก็บประจุในระบบไฟฟ้าแรงสูงที่ระดับแรงดัน (kV) และขนาดกำลังรีแอกทีฟ (MVar) ซึ่งใช้งานภายใต้สภาวะปกติ ในแต่ละประเภทของโครงสร้าง และลักษณะการต่อชุดตัวเก็บประจุ
- 2) สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับวิเคราะห์การวางแผนป้องกัน และซ่อมบำรุงชุดตัวเก็บประจุ

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ประกอบด้วยรายละเอียดในแต่ละบทดังต่อไปนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงประเภทของชุดตัวเก็บประจุแรงสูง

บทที่ 3 กล่าวถึงการป้องกันชุดตัวเก็บประจุแรงสูงแบบไม่สมดุล

บทที่ 4 กล่าวถึงการพัฒนาโปรแกรมสนับสนุนการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดันจำหน่ายและแรงดันส่ง

บทที่ 5 เป็นการแสดงตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดันจำหน่ายและแรงดันส่ง

บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

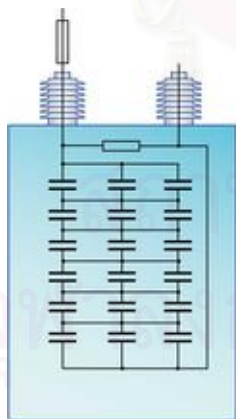
ประเภทของชุดตัวเก็บประจุแรงสูง

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของชุดตัวเก็บประจุแต่ละชนิด แต่เนื่องจากชุดตัวเก็บประจุประกอบด้วยกลุ่มตัวเก็บประจุที่ต่ออนุกรม / ขนานกัน ผู้วิจัยใคร่ขอกล่าวถึงรายละเอียดของตัวเก็บประจุและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องพอสังเขป ก่อนที่จะเข้าสู่รายละเอียดของชุดตัวเก็บประจุแต่ละชนิด

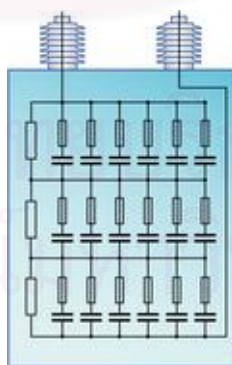
ส่วนประกอบอย่างง่ายของตัวเก็บประจุประกอบด้วยแผ่นอิเล็กทรอนิกส์บาง ๆ วางซ้อนทับกันจนวนเป็นชั้น ๆ แล้วม้วนเข้าด้วยกันเป็น Element ซึ่งภายในตัวเก็บประจุแต่ละตัวประกอบด้วยหลาย Element เพื่อให้ได้ขนาดพิกัดแรงดันและกำลังรีแอกทีฟตามที่ต้องการ ตัวเก็บประจุสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ตัวเก็บประจุที่ใช้ฟิวส์สำหรับป้องกันความผิดพลาด และตัวเก็บประจุที่ใช้การลัดวงจรของ Element ภายในตัวเก็บประจุสำหรับป้องกันความผิดพลาด

ตัวเก็บประจุที่ใช้ฟิวส์สำหรับป้องกันความผิดพลาดจะมีอยู่ 2 ชนิด คือ ตัวเก็บประจุที่ใช้ฟิวส์ที่อยู่ภายนอกตัวเก็บประจุ (Externally fused) ดังรูปที่ 2.1 และตัวเก็บประจุที่แต่ละ Elements ภายในตัวเก็บประจุต่อเชื่อมเข้ากับฟิวส์ (Internally fused) ดังรูปที่ 2.2

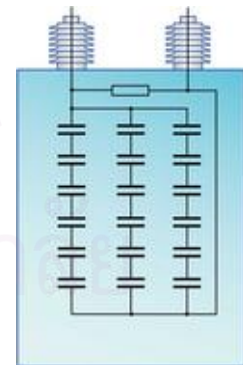
ส่วนตัวเก็บประจุที่ใช้การลัดวงจรของ Element ภายในตัวเก็บประจุสำหรับป้องกันความผิดพลาด (Fuseless) แสดงไว้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.1 Externally fused



รูปที่ 2.2 Internally fused



รูปที่ 2.3 Fuseless

2.1 ลักษณะเฉพาะของตัวเก็บประจุแรงสูง [1]

2.1.1 การทำงานอย่างต่อเนื่องภายใต้เงื่อนไขแรงดัน กระแส และกำลังรีแอกทีฟสูงสุด

ตัวเก็บประจุควรจะสามารถทำงานได้ตามปกติภายใต้เงื่อนไขการทำงานอย่างต่อเนื่องที่ไม่เกิน

- 1) 110% ของแรงดันอาร์เอ็มเอสพิกัด
- 2) 120% ของแรงดันค่าขอด (รวมฮาร์มอนิก แต่ไม่รวมผลของภาวะชั่วคราว)
- 3) 135% ของกระแสอาร์เอ็มเอสที่ระบุตามขนาดพิกัดแรงดัน และ kVAr (180% ถ้ารวมผลของกระแสฮาร์มอนิก)
- 4) 135% ของพิกัด kVAr

2.1.2 ปริมาณความจุไฟฟ้า

ปริมาณความจุไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25 °C ควรมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 0 – 10% เมื่อพิจารณาที่พิกัด kVAr พิกัดแรงดันรูปคลื่นไซน์ และความถี่ที่กำหนด

2.1.3 พิกัดแรงดันและกำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุที่แสดงในตารางที่ 2.1 จะมีค่ากำลังรีแอกทีฟไม่น้อยกว่าและไม่เกิน 110% ของค่าพิกัดที่อุณหภูมิ 25 °C เมื่อพิจารณาที่พิกัดแรงดันรูปคลื่นไซน์และความถี่ที่กำหนด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 ขนาดมาตรฐานตามพิกัดแรงดันและกำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุ

Volts, rms (terminal – to – terminal)	kVAr	Number of phases	BIL kV*
216	5, 7 1/2, 13 1/3, 20 and 25	1 and 3	30**
240	2.5, 5, 7 1/2, 10, 15, 20, 25 and 50	1 and 3	30**
480, 600	5, 10, 15, 20, 25, 35, 50, 60 and 100	1 and 3	30**
2400	50, 100, 150, 200, 300 and 400	1 and 3	75, 95, 125, 150 and 200
2770	50, 100, 150, 200, 300, 400 and 500	1 and 3	75, 95, 125, 150 and 200
4160, 4800	50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700 and 800	1 and 3	75, 95, 125, 150 and 200
6640, 7200, 7620, 7960, 8320, 9540, 9960, 11400, 12470, 13280, 13800, 14400	50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700 and 800	1	95, 125, 150 and 200
15125	50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700 and 800	1	125, 150 and 200
19920	100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700 and 800	1	125, 150 and 200
20800, 21600, 22800, 23800, 24940	100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700 and 800	1	150 and 200

*See 7.7 in [1]

**Not applicable to indoor ratings.

2.1.4 ความถี่

ตัวเก็บประจุกำลังจะออกแบบสำหรับการทำงานที่พิกัดความถี่ 50 Hz หรือ 60 Hz

2.1.5 อุณหภูมิแวดล้อม

ตัวเก็บประจุสามารถทำงานได้ปกติอย่างต่อเนื่องภายใต้อุณหภูมิที่ไม่ต่ำกว่า -40°C และไม่สูงกว่าอุณหภูมิที่แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 อุณหภูมิแวดล้อมสูงสุด

Mounting arrangement	Ambient air temperature — $^{\circ}\text{C}$ 4 – h average*
Isolated capacitor	46
Single row of capacitors	46
Multiple rows and tiers of capacitors	40
Metal – enclosed or – housed equipment	40

*The arithmetic average of the four consecutive highest hourly readings during the hottest day expected at that location.

2.1.6 ความสามารถในการกำจัดหรือลดระดับแรงดันตกค้าง

ภายในตัวเก็บประจุจะต้องมีอุปกรณ์สำหรับกำจัดแรงดันที่เหลือตกค้างอยู่ในตัวเก็บประจุให้มีค่าลดลงจนกระทั่งเหลือไม่เกิน 50 V ภายในระยะเวลา 5 นาที (หรือไม่เกิน 75 V ภายในระยะเวลา 10 นาทีสำหรับ IEC) จากพิกัดแรงดันค่าขอด

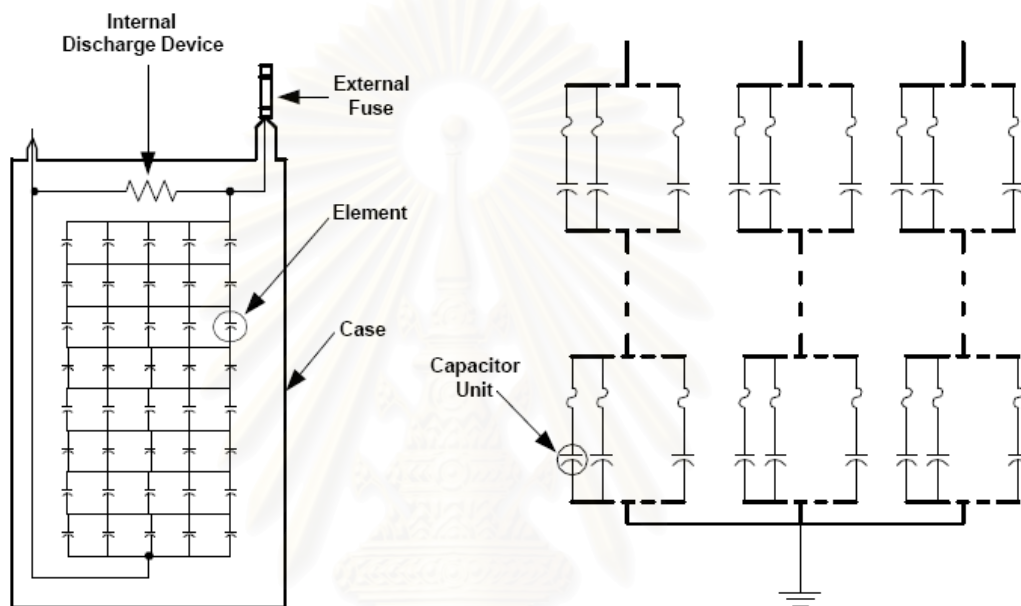
2.2 โครงสร้างของชุดตัวเก็บประจุแรงสูง [2]

ชุดตัวเก็บประจุประกอบด้วยตัวเก็บประจุที่ต่ออนุกรม / ขนานกันเพื่อให้ได้ขนาดพิกัดแรงดันและพิกัดโหลด (kVAr) ตามที่ต้องการ ชุดตัวเก็บประจุที่นิยมใช้ในระบบแรงสูงแบ่งตามลักษณะโครงสร้างได้เป็น 3 ชนิด คือ

- 1) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused
- 2) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused
- 3) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless

2.2.1 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused

ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ประกอบด้วยกลุ่มอนุกรมจำนวน 1 กลุ่ม หรือมากกว่าของตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกันต่อเฟส โดยแต่ละตัวเก็บประจุจะมีฟิวส์ทำหน้าที่ป้องกันเมื่อเกิดความขัดข้องหรือความผิดปกติขึ้นดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ Single grounded wye

เนื่องจาก Externally fused สามารถที่จะแยกกระแสผิดปกติแรงดันสูงได้ ทำให้การออกแบบสามารถใช้ตัวเก็บประจุที่มีพิกัดแรงดันสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ดังนั้นชุดตัวเก็บประจุชนิดนี้จึงมีจำนวนกลุ่มอนุกรมน้อยกว่าชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused

ขนาดพิกัด kVAr ของตัวเก็บประจุส่วนใหญ่ค่อนข้างจะน้อยกว่าชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused และ Fuseless เนื่องจากถูกจำกัดด้วยจำนวนขั้นต่ำของตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกันในแต่ละกลุ่มอนุกรม โดยพิจารณาจากการปลด 1 ตัวเก็บประจุในกลุ่มแล้วต้องไม่ก่อให้เกิดแรงดันเกิน 110% ของแรงดันพิกัดคกรวมตัวเก็บประจุที่ยังคงเหลืออยู่ดังตารางที่ 2.3 [3]

ตารางที่ 2.3 จำนวนขั้นต่ำของตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกันในแต่ละกลุ่มอนุกรม เพื่อจำกัดแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุที่ยังคงเหลืออยู่เมื่อตัวเก็บประจุ 1 ตัวถูกปลดไม่ให้เกิน 110%

Number of series groups	Grounded Y or Δ	Ungrounded Y	Split ungrounded Y (equal sections)
1	—	4	2
2	6	8	7
3	8	9	8
4	9	10	9
5	9	10	10
6	10	10	10
7	10	10	10
8	10	11	10
9	10	11	10
10	10	11	11
11	10	11	11
12 and over	11	11	11

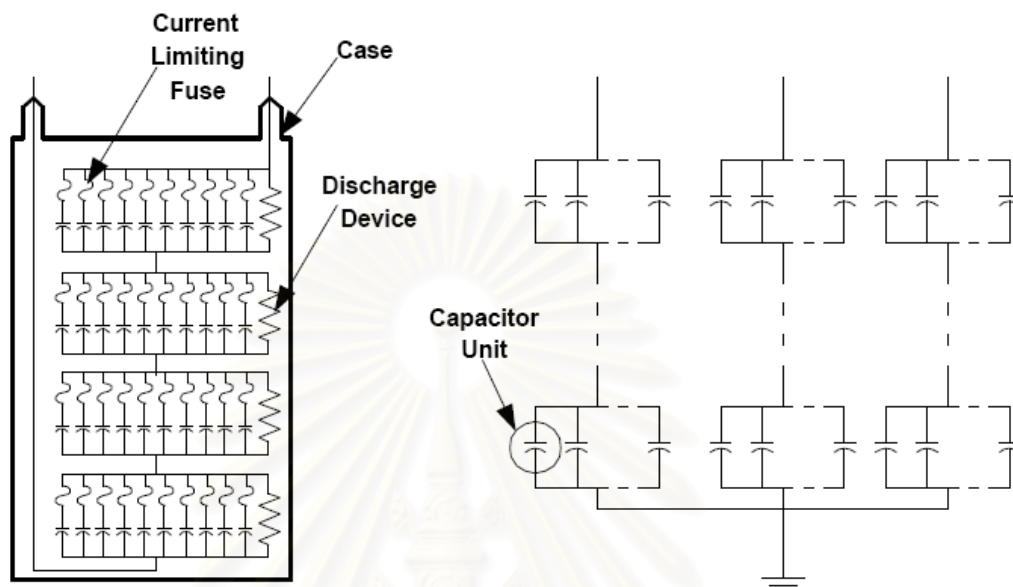
จำนวนมากที่สุดของตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกันในแต่ละกลุ่มอนุกรมมาตรฐาน NEMA CP1-1988 แนะนำไว้ว่ากำลังงานรีแอกทีฟทั้งหมดใน 1 กลุ่มขนานควรมีค่าไม่เกิน 4650 kVAr สำหรับตัวเก็บประจุที่มีฉนวนแบบ All film (3100 kVAr สำหรับตัวเก็บประจุที่รุ่นเก่ากว่า) เพื่อป้องกันการระเบิดของฟิวส์ที่ใช้ป้องกันตัวเก็บประจุ เนื่องจากการถ่ายประจุผ่านฟิวส์ในขณะที่เกิดการลัดวงจร

2.2.2 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused

ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ประกอบด้วยกลุ่มอนุกรมของตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกันต่อเฟส โดยภายในของแต่ละตัวเก็บประจุจะประกอบด้วยกลุ่มอนุกรมของ Elements ที่ต่อขนานกันและแต่ละ Element ต่อเชื่อมเข้ากับฟิวส์ดังรูปที่ 2.5

ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused จะไม่มีข้อจำกัดในด้านการออกแบบขนาด kVAr เหมือนกับชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused เนื่องจากภายในตัวเก็บประจุมีฟิวส์สำหรับจำกัด

การลัดวงจรของแต่ละ Element ทำให้จำนวนตัวเก็บประจุที่ต้องขนานกันต่อกลุ่มอนุกรมน้อยกว่าเมื่อเทียบกับชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused



รูปที่ 2.5 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ Single grounded wye

จำนวนกลุ่มอนุกรมของตัวเก็บประจุที่ต้องขนานกันและจำนวน Elements ที่ต้องขนานกันภายในตัวเก็บประจุ ต้องมีความเหมาะสมเพื่อที่จะลดขนาดแรงดันเกินที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุที่ยังคงเหลืออยู่ และไม่มีผลกระทบต่อตัวเก็บประจุ เมื่อฟิวส์ทำการปลด Element ที่ขัดข้องภายในตัวเก็บประจุ

จำนวนมากที่สุดของตัวเก็บประจุที่ต้องขนานกันต่อกลุ่มอนุกรมขึ้นอยู่กับความสามารถในการทนพลังงานสะสมในกลุ่มขนานของฟิวส์ภายในตัวเก็บประจุ โดยทั่วไปจะมีตัวเก็บประจุอย่างน้อย 2 ตัวต่อขนานกัน ใน 1 กลุ่มอนุกรม [2]

ถ้าพิจารณาชุดตัวเก็บประจุให้มีจำนวนกลุ่มอนุกรมน้อยที่สุด ในบางครั้งอาจมีผลทำให้มีจำนวนตัวเก็บประจุต่อขนานกันมากเกินไป ซึ่งสามารถแก้ไขโดยการเพิ่มจำนวนกลุ่มอนุกรมหรือเปลี่ยนการจัดเรียงชุดตัวเก็บประจุใหม่เป็นแบบ Multiple wyes

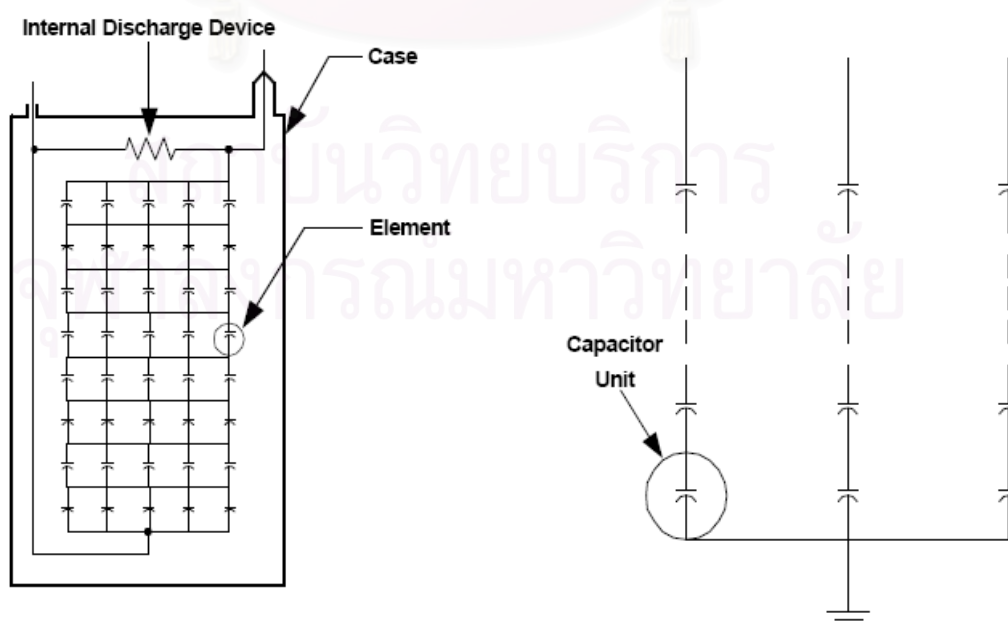
ข้อดีของชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused เมื่อเปรียบเทียบกับชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2.4 [4-7]

ตารางที่ 2.4 ตารางเปรียบเทียบระหว่างชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused กับ Externally fused

	Internally fused	Externally fused
กำลังสูญเสียของตัวเก็บประจุ	มากกว่า	น้อยกว่า
กำลังสูญเสียรีแอกทีฟจากการทำงานของฟิวส์	ต่ำกว่า	สูงกว่า
การปลดชุดตัวเก็บประจุจากการทำงานของฟิวส์	น้อยกว่า	มากกว่า
การทำงานที่ผิดพลาดของฟิวส์	ต่ำกว่า	สูงกว่า
โอกาสเกิดการบวมหรือปริแตกของ Case	ต่ำกว่า	สูงกว่า
การป้องกันโดยการตรวจจับความไม่สมดุล	ง่ายกว่า	ยากกว่า
เนื้อที่สำหรับการติดตั้งชุดตัวเก็บประจุ	น้อยกว่า	มากกว่า
จำนวน Spare parts	น้อยกว่า	มากกว่า
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษา	ต่ำกว่า	สูงกว่า
ผลกระทบจากสภาวะอากาศแวดล้อม	ไม่มีผล	มีผล

2.2.3 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless

ชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless กระทำได้โดยการนำตัวเก็บประจุมาต่ออนุกรมกันเรียกว่า String และนำแต่ละ String มาต่อขนานกัน โดยไม่มีการเชื่อมต่อกันระหว่าง String เพื่อให้ได้ขนาดของชุดตัวเก็บประจุตามที่ต้องการดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless ที่มีการต่อแบบ Single grounded wye

ตัวเก็บประจุที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นแบบ 2 บุขง และทำการฉนวนระหว่าง Elements กับ Case โดยแต่ละ String มักจะมีจำนวน Elements มากกว่า 10 ตัวต่ออนุกรมกัน เพื่อป้องกันแรงดันเกิน 110% ตกคร่อมตัวเก็บประจุที่ยังคงเหลืออยู่เมื่อ 1 Element เกิดการลัดวงจร โดยทั่วไปชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless จะใช้กับระบบที่มีระดับแรงดันตั้งแต่ 34.5 kV ขึ้นไป

การออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless ขึ้นอยู่กับจำนวน Elements ของตัวเก็บประจุที่ต่ออนุกรมกัน และโหมดการขัดข้องของ Elements ที่จะลัดวงจร

ข้อดีของชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless

- ราคาการติดตั้งและดำเนินงานต่ำ
- กำลังสูญเสียเล็กน้อย
- พลังงานการถ่ายประจุน้อย
- ใช้พื้นที่ติดตั้งน้อย
- ความง่ายของการป้องกันชุดตัวเก็บประจุ
- เพิ่มความน่าเชื่อถือและการทำงาน
- ลดจำนวน Spare parts

ราคาการติดตั้งและดำเนินงานต่ำ

ชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless ไม่ต้องการฟิวส์ และโครงสร้างที่มีขนาดเล็กทำให้ใช้พื้นที่น้อยและค่าขนส่งไปยังสถานีไฟฟ้าข้อย่อย

เนื่องด้วยจำนวนส่วนที่ต้องเชื่อมต่อทางไฟฟ้าระหว่างการติดตั้งมีน้อยเป็นสาเหตุให้ราคาติดตั้งต่ำและง่ายในการติดตั้ง

การที่ไม่มีฟิวส์จะทำให้ไม่มีกำลังสูญเสียเนื่องจาก I²R เป็นสาเหตุให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำที่สุดและมีอายุการใช้งานยาวนานที่สุด อีกทั้งยังช่วยลดการซ่อมบำรุงที่เกิดจากการแจ้งเตือนและการปลดวงจรที่ไม่จำเป็นจากการทำงานของฟิวส์

กำลังสูญเสียเล็กน้อย

เนื่องจากชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless ไม่มีฟิวส์ทำให้โดยทั่วไปมีกำลังสูญเสียน้อยกว่าชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused 40 – 50% และพอ ๆ กันหรือน้อยกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่ใช้ฟิวส์แบบจับแก๊ส [7] ให้รายละเอียดไว้ดังนี้

- 0.08 Watts / kVar at 40°C สำหรับ Externally Fused
- 0.15 Watts / kVar at 40°C สำหรับ Internally Fused
- 0.07 Watts / kVar at 40°C สำหรับ Fuseless

พลังงานการถ่ายประจุน้อย

ชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless จะมีพลังงานการถ่ายประจุน้อยที่สุดเพราะไม่มีการเชื่อมต่อระหว่าง Strings ที่ต่อขนานกัน

ใช้พื้นที่ติดตั้งน้อย

ชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless ต้องการเนื้อที่ในการติดตั้งที่น้อยกว่า เนื่องจากไม่มีฟิวส์ทำให้ไม่ต้องติดตั้งรางฟิวส์ การเชื่อมต่อระหว่างสายสำหรับการทำงานของฟิวส์แบบจับแก๊ส และไม่ต้องกรอจำนวนชิ้นต่ำของตัวเก็บประจุที่นำมาต่อขนานกันเหมือนกับชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ทำให้ชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless เหมาะสำหรับการติดตั้งที่มีเนื้อที่จำกัด

ความง่ายของการป้องกันชุดตัวเก็บประจุ

ชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless มี 2 โหมดการป้องกัน

โหมดแรก คือ การลัดวงจร Element ที่ขัดข้องทำให้ Element ทุกตัวใน Series section นั้น ลัดวงจรเป็นผลให้ง่ายในการตรวจจับความไม่สมดุลและความไวในการตรวจจับความผิดปกติดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused

โหมดที่ 2 คือ การแจ้งสัญญาณเตือนและการปลดชุดตัวเก็บประจุออกจากวงจรโดยการทำงานของรีเลย์ป้องกัน

วิธีการตรวจจับความไม่สมดุลสามารถกระทำได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ เนื่องจากชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless มักออกแบบให้มีจำนวนตัวเก็บประจุน้อย โดยแต่ละตัวเก็บประจุจะมี Element จำนวนมาก เมื่อเกิดการขัดข้องของ Element จะมีผลทำให้ค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนซึ่งเพียงพอที่จะสามารถตรวจจับได้ง่าย และบางรูปแบบของการป้องกันสามารถระบุเฟสที่มีตัวเก็บประจุที่ผิดปกติได้ทำให้ช่วยลดเวลาการระบุตำแหน่งที่ผิดปกติ โดยประสบการณ์ในการทำงาน [7] ใช้เวลาเพียง 10 นาทีในการระบุตำแหน่งของตัวเก็บประจุที่ผิดปกติ

เพิ่มความน่าเชื่อถือและการใช้งาน

ชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless มีส่วนเชื่อมต่อทางไฟฟ้าที่อยู่ภายนอก Tank น้อยทำให้โอกาสที่จะเกิด External flashover เนื่องจากนกหรือสัตว์อื่น ๆ ลดน้อยลง

เนื่องจากชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless ไม่มีฟิวส์ทำให้ไม่มีความผิดพลาดที่มีสาเหตุมาจากการทำงานของฟิวส์ และกำลังสูญเสีย I²R อีกทั้งการลัดวงจร 1 หรือ 2 Series groups ภายในตัวเก็บประจุอาจจะไม่มีผลทำให้กระแสเพิ่มมากขึ้นเพียงพอที่ฟิวส์ของชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ทำงาน

สำหรับการทำงานของ Internally fused จะทำให้เกิด Live arc ขึ้นภายในตัวเก็บประจุและก่อให้เกิดแก๊สมากกว่าการขัดข้องของ Element จริง รวมทั้งการทำงานของตัวเก็บประจุแบบ

Fuseless จะมีอุณหภูมิภายในเพิ่มขึ้นน้อยกว่าตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ทำให้มีความน่าเชื่อถือมากกว่าและไดอิเล็กตริกมีอายุการใช้งานยาวนานที่สุด

เมื่อพิจารณา Total response time ระหว่างชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless และชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally ในการนำชุดตัวเก็บประจุกลับเข้าสู่ระบบจะมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ส่วนเวลาในการ Re - energize ของ Fuseless หลังการแจ้งเตือนหรือปลดวงจรจะมากกว่าชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused เล็กน้อย

แต่ที่เห็นได้ชัดเจนคือ Fuseless มีความน่าเชื่อถือและการใช้ประโยชน์มากกว่า เนื่องจากความถี่ในการซ่อมบำรุงจากการทำงานของระบบป้องกันน้อยกว่าเพราะไม่มีการแจ้งเตือนและการปลดวงจรที่ไม่จำเป็นจากการทำงานของฟิวส์

จากประสบการณ์ของ [7] ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused จะทำการแจ้งเตือนหรือปลดวงจร 5 – 15 ครั้งต่อปี ซึ่งมีสาเหตุมาจากสัตว์ เช่น นก และ Unexplained fuse operation ในขณะที่ไม่มีการขัดข้องเกิดขึ้นในกรณีของชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless

ลดจำนวน Spare parts

เนื่องจากชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless มีความน่าเชื่อถือสูงและโอกาสในการปลดชุดตัวเก็บประจุออกจากวงจรต่ำทำให้ชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless ต้องการจำนวน Spare parts น้อยกว่าชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused และ Internally fused

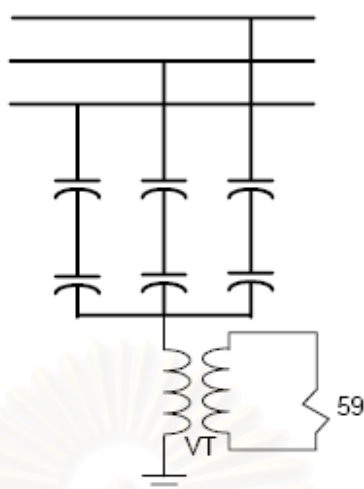
2.3 ลักษณะการต่อชุดตัวเก็บประจุ

การต่อชุดตัวเก็บประจุสามารถทำได้หลายรูปแบบคือ Delta, Single grounded wye, Single ungrounded wye, Split grounded wye และ Split ungrounded wye ซึ่งการเลือกรูปแบบการต่อจะขึ้นอยู่กับระบบ พิกัดแรงดันและกำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุที่มีขาย คุณสมบัติของฟิวส์ และรีเลย์ป้องกัน

ในระบบแรงสูงชุดตัวเก็บประจุที่ติดตั้งในสถานี [8] มีลักษณะการต่อใช้งานดังนี้

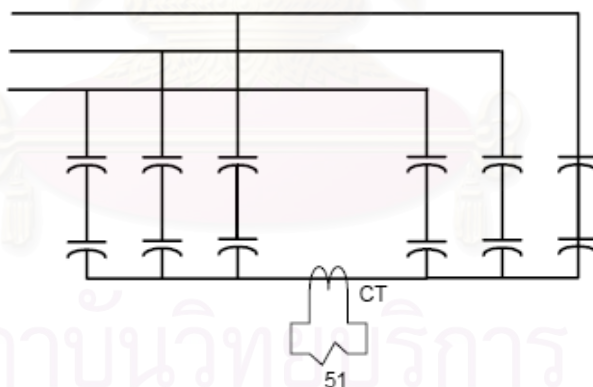
1) แรงดัน 22/33 kV มีการต่อใช้ 2 รูปแบบคือ

- การต่อแบบ Single ungrounded wye จะใช้หม้อแปลงแรงดันทำหน้าที่ตรวจจับความไม่สมดุลของแรงดันนิวทรัล โดยทำการต่อหม้อแปลงแรงดันระหว่างจุดนิวทรัลกับกราวด์ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การตรวจวัดความไม่สมดุลของแรงดันนิวทรัลสำหรับการต่อแบบ
Single ungrounded wye

- การต่อแบบ Split ungrounded wye โดยใช้หม้อแปลงกระแสต่อระหว่างจุดนิวทรัลของแต่ละชุด Wye เพื่อทำหน้าที่ตรวจจับความไม่สมดุลของกระแสในสายนิวทรัลดังรูปที่ 2.8

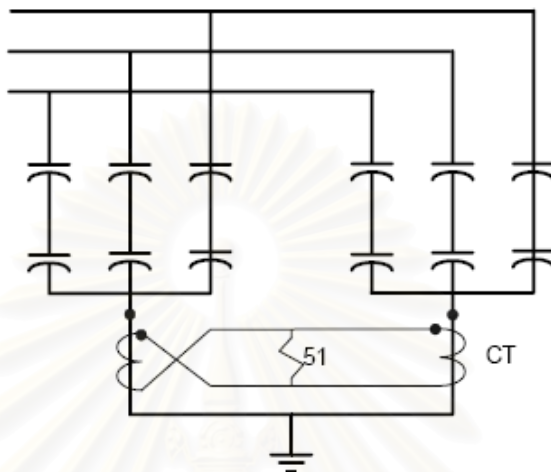


รูปที่ 2.8 การตรวจวัดความไม่สมดุลของกระแสในสายนิวทรัลสำหรับการต่อแบบ
Split ungrounded wye

- 2) แรงดัน 69/115 kV ต่อแบบ Split ungrounded wye (Neutral tied) จะใช้หม้อแปลงกระแสต่อระหว่างจุดนิวทรัลของแต่ละชุด Wye เพื่อทำหน้าที่ตรวจจับความไม่สมดุลของกระแสในสายนิวทรัล

3) แรงดัน 230 kV มีการต่อใช้ 2 รูปแบบคือ

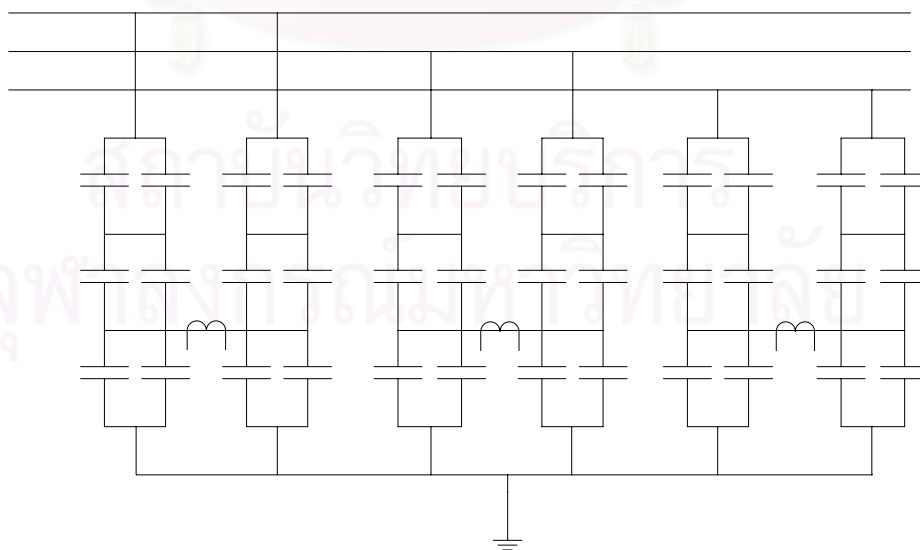
- Split grounded wye จะใช้หม้อแปลงกระแสทำหน้าที่ตรวจจับความไม่สมดุลของกระแสในสายนิวทรัลดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การตรวจวัดความไม่สมดุลของกระแสในสายนิวทรัลสำหรับการต่อแบบ

Split grounded wye

- H configuration สำหรับกรณีมีหลายกลุ่มอนุกรมของหน่วยตัวเก็บประจุอาจเปลี่ยนตำแหน่งของหม้อแปลงกระแสไปต่อเชื่อมระหว่างตำแหน่งที่เป็นลำดับของกลุ่มอนุกรมเดียวกันของแต่ละชุด Wye เข้าหากันดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการต่อชุดตัวเก็บประจุแบบ H configuration

2.4 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียระหว่างการต่อชุดตัวเก็บประจุแบบลงดินกับไม่ลงดิน และการต่อชุดตัวเก็บประจุแบบ Single wye กับ Split wye

เนื้อหาในส่วนนี้กล่าวถึงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียระหว่างการต่อชุดตัวเก็บประจุแบบลงดินกับไม่ลงดิน และการต่อชุดตัวเก็บประจุแบบ Single wye กับ Split wye เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจเบื้องต้นสำหรับการเลือกลักษณะการต่อชุดตัวเก็บประจุ มีรายละเอียดดังนี้

ข้อดีของการต่อชุดตัวเก็บประจุแบบ Grounded wye เปรียบเทียบกับ Ungrounded wye

- 1) ราคาเริ่มต้นของชุดตัวเก็บประจุต่ำกว่าเพราะไม่ต้องทำการแยกนิวทรัลจากดินที่ระดับการฉนวนต่อแรงดันอิมพัลส์มูลฐาน (BIL) ระบบ โดยการต่อดิวทรัลแบบลอย
- 2) สามารถป้องกันแรงดันเสิร์จและกระแสเสิร์จฟ้าผ่าเพราะเส้นทางของกระแสผิดพลาดไปยังดินมีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ
- 3) ลดแรงดันพื้นตัวชั่วคราวของการสวิตช์ตัวเก็บประจุเนื่องจากนิวทรัลถูกต่อลงดิน
- 4) ชุดตัวเก็บประจุสามารถที่จะทำเป็น 1 เฟส 3 ส่วน

ข้อเสียของการต่อชุดตัวเก็บประจุแบบ Grounded wye เปรียบเทียบกับ Ungrounded wye

- 1) การต่อดิวทรัลลงดินทำให้เกิดกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับศูนย์ไหลผ่าน ซึ่งเป็นสาเหตุของการรบกวนสัญญาณโทรศัพท์
- 2) เส้นทางของกระแสผิดพลาดไปยังดินมีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำทำให้ต้องทำการตั้งค่า Ground relays ใหม่ ซึ่งเป็นเหตุผลอย่างหนึ่งที่ทำให้ชุดตัวเก็บประจุแบบ Grounded wye ไม่นิยมนำมาใช้กับระบบที่ไม่ต่อลงดิน
- 3) มีกระแสพุ่งเข้าความถี่สูงเข้าไปในตาข่ายสายดินของสถานีไฟฟ้าย่อยและโครงสร้างซึ่งอาจทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ เกิดปัญหาได้
- 4) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Grounded wye ที่มี 1 กลุ่มอนุกรมกระแสผิดพลาดของระบบจะไหลผ่านตัวเก็บประจุที่ขัดข้องทำให้ต้องมีฟิวส์สำหรับจำกัดกระแสความผิดพลาดของสายลงดิน

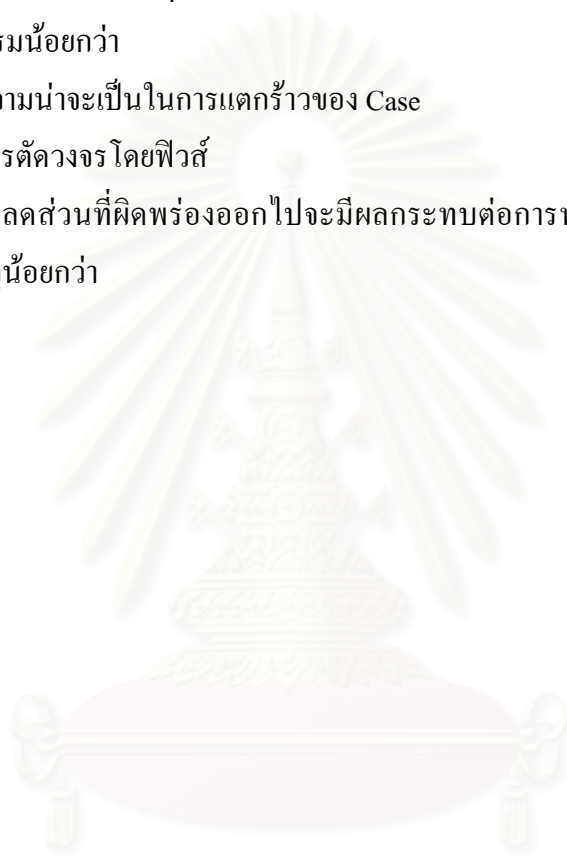
ข้อดีของชุดตัวเก็บประจุแบบ Single wye เมื่อเปรียบเทียบกับชุดตัวเก็บประจุแบบ Split wye โดยสมมติให้แรงดันและขนาดชุดตัวเก็บประจุเท่ากัน

- 1) ความเค้นแรงดันลดลงเมื่อตัวเก็บประจุใด ๆ ขัดข้องเพราะแต่ละกลุ่มอนุกรมมีจำนวนตัวเก็บประจุมากกว่า

- 2) ต้องการเนื้อที่สำหรับการติดตั้งน้อยกว่า
- 3) ต้องการใช้วัสดุสำหรับการเชื่อมต่อน้อยกว่า

ข้อดีของชุดตัวเก็บประจุแบบ Split wye เมื่อเปรียบเทียบกับชุดตัวเก็บประจุแบบ Single wye โดยสมมติให้แรงดันและขนาดชุดตัวเก็บประจุเท่ากัน

- 1) พลังงานสะสมในกลุ่มขานน้อยกว่าเพราะมีจำนวนตัวเก็บประจุขานในแต่ละกลุ่มอนุกรมน้อยกว่า
- 2) ลดความน่าจะเป็นในการแตกร้าวของ Case
- 3) ลดการตัดวงจรโดยฟิวส์
- 4) เมื่อปลดส่วนที่ผิดปกติออกไปจะมีผลกระทบต่อการทำงานโดยรวมของชุดตัวเก็บประจุน้อยกว่า



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การป้องกันชุดตัวเก็บประจุแรงสูงแบบไม่สมดุล

การป้องกันชุดตัวเก็บประจุแบบไม่สมดุลคือ การป้องกัน โดยการตรวจจับปริมาณความไม่สมดุลของแรงดันหรือกระแสที่นิวทรัลของชุดตัวเก็บประจุ ซึ่งการทำงานจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การแจ้งเตือนและการปลดชุดตัวเก็บประจุออกจากระบบ โดยทั่วไปการป้องกันแบบไม่สมดุล จะส่งสัญญาณแจ้งเตือนเมื่อเริ่มเกิดการผิดปกติหรือเกิดการผิดปกติขึ้นภายในชุดตัวเก็บประจุแล้ว ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุหรือ Elements ที่ยังคงเหลืออยู่ประมาณ 1.05 เท่าของแรงดันพิกัดหรือตามคำแนะนำของผู้ผลิต และทำการปลดชุดตัวเก็บประจุเมื่อเกิดความผิดปกติที่ทำให้แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุหรือ Elements ที่ยังคงเหลืออยู่เกิน 1.1 เท่าของแรงดันพิกัดหรือตามคำแนะนำของผู้ผลิต

3.1 เงื่อนไขของการป้องกันชุดตัวเก็บประจุ

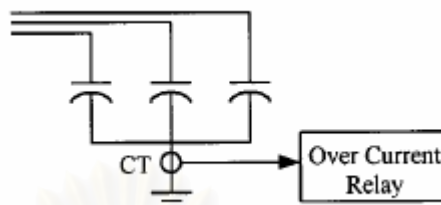
เนื่องจากเงื่อนไขของการเกิดการผิดปกติที่แตกต่างกัน จึงต้องทราบเงื่อนไขที่สำคัญบางประการที่ต้องพิจารณาสำหรับการป้องกันชุดตัวเก็บประจุดังนี้

- 1) การป้องกันแรงดันเกิน 110% ของแรงดันพิกัดตัวเก็บประจุ
- 2) การป้องกันกระแสเกิน 135% ของกระแสพิกัดแต่ละตัวเก็บประจุ
- 3) ชุดตัวเก็บประจุควรถูกปลดออกเมื่อกระแสเกิน 3 เท่าของกระแสพิกัดของชุดตัวเก็บประจุ
- 4) การป้องกันการผิดปกติของ Rack โดยทั่วไปมักเกิดขึ้นในชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่ออนุกรมกันหลายกลุ่มต่อเฟส

3.2 รูปแบบการป้องกันชุดตัวเก็บประจุแบบไม่สมดุล

วิธีที่ใช้ในการตรวจวัดความไม่สมดุลของชุดตัวเก็บประจุมีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับการจัดเรียงของชุดตัวเก็บประจุ อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติแล้วไม่มีวิธีที่จะสามารถป้องกันได้ทุกเงื่อนไข ซึ่งราคาของการตรวจหาที่จะไม่เกิดความผิดพลาดนั้นมีราคาแพงและมีความยุ่งยากซับซ้อน ในที่นี้ผู้วิจัยใคร่ขอแนะนำเสนอตัวอย่างการป้องกันที่ได้กล่าวไว้ใน [9] ซึ่งมีรายละเอียดของรูปแบบ และข้อดี / ข้อเสียดังนี้

รูปแบบแรกเป็นการป้องกันไม่สมดุลโดยการตรวจจับกระแสนิวทรัลของชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Single grounded wye ดังรูปที่ 3.1



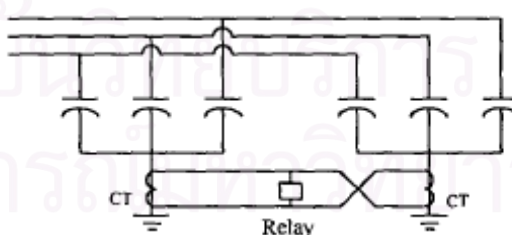
รูปที่ 3.1 การตรวจจับกระแสนิวทรัลของชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Single grounded wye

ข้อดีคือ ราคาถูก

ข้อเสียคือ

- 1) ไวต่อความไม่สมดุลของระบบเมื่อใช้กับชุดตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ นอกเสียจากว่าจะทำการชดเชยแรงดันระบบลำดับศูนย์แบบ Real time
- 2) ไวต่อฮาร์โมนิกอันดับที่ 3 ทำให้ต้องการวางจกรองหรือรีเลย์พิเศษ
- 3) ไม่สามารถระบุเฟสที่ขัดข้อง
- 4) อาจเกิดความขัดข้องแต่ยังมีความสมดุลได้

รูปแบบที่ 2 เป็นการป้องกันไม่สมดุลโดยการตรวจจับกระแสนิวทรัลของชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Split grounded wye ดังรูปที่ 3.2



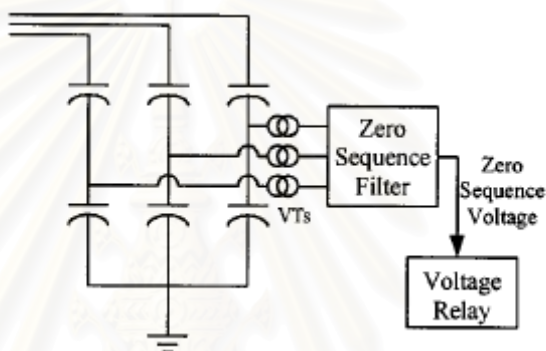
รูปที่ 3.2 การตรวจจับกระแสนิวทรัลของชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Split grounded wye

ข้อดีคือ

- 1) ไม่ไวต่อความไม่สมดุลของระบบ แต่จะไวในการตรวจหาตัวเก็บประจุที่ขัดข้องแม้ว่าชุดตัวเก็บประจุจะมีขนาดใหญ่และมีกลุ่มอนุกรมมาก
- 2) ไม่มีผลกระทบจากกระแสฮาร์โมนิกส์

- 3) ราคาไม่แพง
 - 4) สามารถชดเชยความคลาดเคลื่อนของตัวเก็บประจุ
- ข้อเสียคือ
- 1) ไม่สามารถระบุเฟสที่ขัดข้อง
 - 2) อาจเกิดความขัดข้องแต่ยังมีความสมดุลได้

รูปแบบที่ 3 เป็นการป้องกันไม่สมดุลโดยการตรวจจับแรงดันลำดับศูนย์ของชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Single grounded wye ดังรูปที่ 3.3



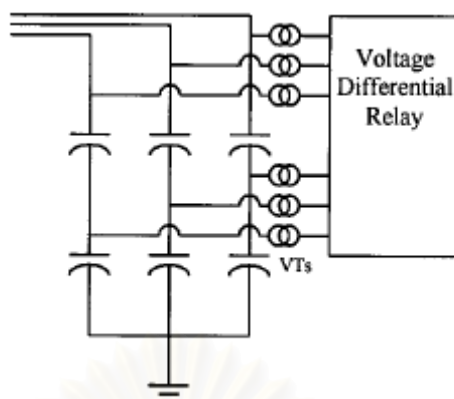
รูปที่ 3.3 การตรวจจับแรงดันลำดับศูนย์ของชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Single grounded wye

ข้อดีคือ เหมาะสมกับระบบที่มีความไม่สมดุลคงที่

ข้อเสียคือ

- 1) ถ้าความไม่สมดุลระบบเปลี่ยนจะต้องปรับค่าวงจรตรวจจับความไม่สมดุลใหม่
- 2) ไวต่อฮาร์โมนิกอันดับที่ 3 ทำให้ต้องการวงจรกรองหรือรีเลย์ชนิดพิเศษ
- 3) ราคาแพง
- 4) ไม่สามารถระบุเฟสที่ขัดข้อง
- 5) อาจเกิดความขัดข้องแต่ยังมีความสมดุลได้

รูปแบบที่ 4 เป็นการป้องกันไม่สมดุลโดยการตรวจจับผลต่างแรงดันของชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Single grounded wye ดังรูปที่ 3.4 วิธีนี้สามารถชดเชยตัวเองสำหรับความไม่สมดุลแรงดันระบบได้



รูปที่ 3.4 การตรวจจับผลต่างแรงดันของชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Single grounded wye

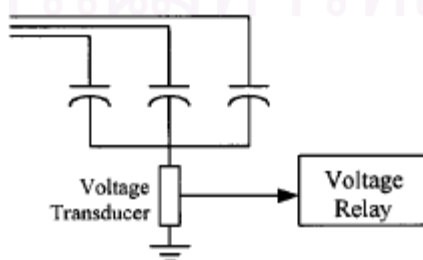
ข้อดีคือ

- 1) ไม่ไวต่อความไม่สมดุลของระบบ แต่จะไวในการตรวจหาตัวเก็บประจุที่ขัดข้องได้อย่างถูกต้องแม่นยำแม้ว่าชุดตัวเก็บประจุจะมีขนาดใหญ่และมีกลุ่มอนุกรมมาก
- 2) สามารถระบุเฟสที่ขัดข้อง และอาจสามารถระบุได้ว่าขัดข้องในส่วนใดของเฟส
- 3) สามารถชดเชยความคลาดเคลื่อนของตัวเก็บประจุ

ข้อเสีย

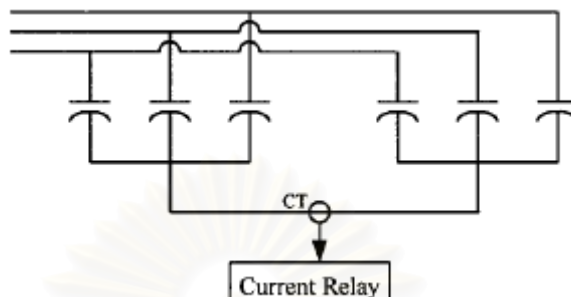
- 1) ราคาแพงเพราะจำนวนและพิกัดของ VT
- 2) อาจเกิดความขัดข้องแต่ยังมีความสมดุลได้
- 3) ไม่สามารถทำงานได้ถ้าเกิดความสูญเสียของแรงดันจากบัส VTs

รูปแบบที่ 5 เป็นการป้องกันไม่สมดุลโดยการตรวจจับแรงดันนิวทรัลของชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Single ungrounded wye ดังรูปที่ 3.5 วิธีนี้ใช้ป้องกันชุดตัวเก็บประจุที่มีขนาดเล็ก โดยไม่มีข้อดีและข้อเสียเหมือนกับวิธีในรูปที่ 3.1



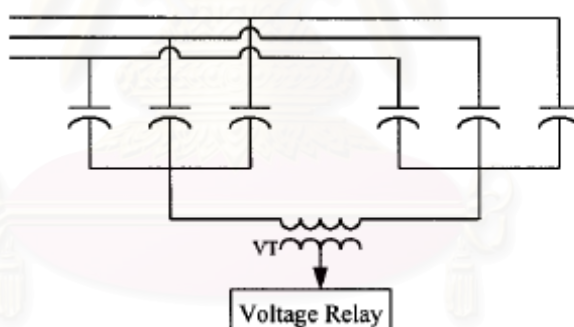
รูปที่ 3.5 การตรวจจับแรงดันนิวทรัลของชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Single ungrounded wye

รูปแบบที่ 6 เป็นการป้องกันไม่สมดุลโดยการตรวจจับกระแสนิวทรัลของชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Split ungrounded wye ดังรูปที่ 3.6 วิธีนี้มีข้อดีและข้อเสียเหมือนกับวิธีในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.6 การตรวจจับกระแสนิวทรัลของชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Split ungrounded wye

รูปแบบที่ 7 เป็นการป้องกันไม่สมดุลโดยการตรวจจับแรงดันนิวทรัลของชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Split ungrounded wye ดังรูปที่ 3.7 การใช้ VT จะมีข้อดีและข้อเสียทำนองเดียวกันกับการใช้ CT แต่ CT โดยทั่วไปแล้วจะมีความไวที่ดีกว่า



รูปที่ 3.7 การตรวจจับแรงดันนิวทรัลของชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Split ungrounded wye

3.3 การคำนวณความไม่สมดุลของชุดตัวเก็บประจุ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้รายละเอียดการคำนวณความไม่สมดุลของ [2] ซึ่งสามารถนำมาใช้สำหรับการตั้งค่าการป้องกันไม่สมดุล โดยข้อมูลที่ได้จากการคำนวณจะแตกต่างกันดังนี้

ข้อมูลการคำนวณสำหรับการตรวจวัดความไม่สมดุลนิวทรัลของชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused, Internally fused และ Fuseless มีดังนี้

- 1) แรงดันนิวทรัลไปกราวด์สำหรับชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Ungrounded wye
- 2) กระแสนิวทรัลสำหรับชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Split ungrounded wye

- 3) ผลต่างแรงดันนิวทรัลสำหรับชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Split ungrounded wye
- 4) กระแสนิวทรัลไปกราวด์สำหรับชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Grounded wye
- 5) แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุแรงต่ำที่ปลายนิวทรัลของแต่ละเฟส หรือในนิวทรัลไปกราวด์ของชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Grounded wye
- 6) ผลต่างกระแสนิวทรัลไปกราวด์สำหรับชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Split grounded wye

ข้อมูลการคำนวณสำหรับการตรวจวัดความไม่สมดุลแบบแท่งแรงดันของชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused และ Internally fused มีดังนี้

- 1) ค่าแท่งแรงดันจากจุด Midpoint ไปกราวด์สำหรับชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Grounded wye
- 2) การป้องกันแบบผลต่างโดยเปรียบเทียบแรงดันที่ตกคร่อม 1 กลุ่มอนุกรมหรือมากกว่ากับแรงดันเฟสของระบบสำหรับชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Grounded wye

และข้อมูลการคำนวณสำหรับการตรวจวัดความไม่สมดุลแบบ H – bridge ของชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused และ Internally fused คือ ความไม่สมดุลของกระแสระหว่างจุด Midpoint ของ 2 ขาของ H – bridge ซึ่งต่อจากเฟสไปนิวทรัลหรือกราวด์ เฟสไปเฟส หรือในเฟสเดียวกัน (ตัวเก็บประจุอนุกรม)

สำหรับสมการที่ใช้ในการคำนวณจะกล่าวถึงในเนื้อหาของบทถัดไป

3.4 การปรับตั้งรีเลย์

การปรับตั้งการรีเลย์แบ่งออกเป็น 2 โหมดหลักคือ การแจ้งเตือนและการปลดชุดตัวเก็บประจุ สำหรับการแจ้งเตือนจะกำหนดให้ทำการแจ้งเตือนเมื่อมีการทำงานของฟิวส์ตัวแรกเกิดขึ้นสำหรับชุดตัวเก็บประจุที่ใช้ฟิวส์ หรือแจ้งเตือนเมื่อ Element แรกล้มวงจรสำหรับชุดตัวเก็บประจุที่ไม่ใช้ฟิวส์ เพื่อป้องกันการผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น โดยที่ไม่ทำให้เกิดความไม่สมดุลและเพื่อป้องกันการช่อมบ่ารุงหรือเปลี่ยนตัวเก็บประจุที่เกิดความผิดพลาด หรือถ้าพิจารณาผลของความไม่สมดุลตามธรรมชาติวิสัยอาจตั้งค่า 50% – 75% ของค่าการแจ้งเตือนที่ได้จากการคำนวณบนพื้นฐานของชุดตัวเก็บประจุในอุดมคติ ในกรณีชุดตัวเก็บประจุมีความไม่สมดุลตามธรรมชาติวิสัยมากถึง 50% ของค่าการแจ้งเตือนที่ได้จากการคำนวณบนพื้นฐานของชุดตัวเก็บประจุในอุดมคติควรจะต้องมีการชดเชยค่าความไม่สมดุลด้วย รวมทั้งการหน่วงรีเลย์ต้องเพียงพอที่จะไม่ทำงานเนื่องจากการรบกวนจากภายนอก เช่น ความผิดพลาดของระบบ และแรงดันเกินชั่วคราว ปกติจะตั้งค่าไว้ 10 วินาที [2]

การปลดชุดตัวเก็บประจุที่ใช้ฟิวส์ให้พิจารณาจากจำนวนการทำงานของฟิวส์แล้วทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุเกิน 110% ของแรงดันพิกัดหรือตามคำแนะนำของผู้ผลิต สมมติว่าถ้าฟิวส์ทำงานจำนวน 3 ตัวแล้วทำให้แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุเกิน 110% จะทำการตั้งค่าสัญญาณของรีเลย์ให้อยู่ระหว่างสัญญาณขณะที่ฟิวส์ทำงานตัวที่ 2 และ 3 และต้องคำนึงถึงจำนวนฟิวส์ภายในตัวเก็บประจุสูงสุดที่สามารถยอมให้ทำงานได้สำหรับชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused โดยทั่วไปการปลดชุดตัวเก็บประจุจะตั้งค่ารีเลย์ไว้ 0.01 – 0.05 วินาที [2]

การปลดชุดตัวเก็บประจุที่ไม่ใช้ฟิวส์ให้พิจารณาจากจำนวน Elements ที่ลัดวงจรแล้วทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุหรือ Element เกิน 110% ของแรงดันพิกัดหรือตามคำแนะนำของผู้ผลิต หรือ Elements ทั้งหมดภายในตัวเก็บประจุลัดวงจร สมมติว่าถ้ามีจำนวน Elements ที่ลัดวงจร 3 Elements แล้วทำให้แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุหรือ Element เกิน 110% จะทำการตั้งค่าสัญญาณของรีเลย์ให้อยู่ระหว่างสัญญาณขณะที่ Element ตัวที่ 2 และ 3 ลัดวงจร โดยทั่วไปการปลดชุดตัวเก็บประจุจะตั้งค่ารีเลย์ไว้ 0.01 – 0.05 วินาที [2]

3.5 สรุป

การป้องกันแบบไม่สมดุลด้วยการตรวจจับแรงดันหรือกระแสส่วนใหญ่มักยังมีข้อบกพร่องหลายด้าน เช่น ความยากลำบากในการระบุเฟสที่ขัดข้องและการป้องกันการเกิดความขัดข้องแต่ยังมีความสมดุล รวมทั้งรายละเอียดของ [2] ยังทำให้ทราบว่า การป้องกันไม่สมดุลที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันไม่มีประสิทธิภาพสำหรับการป้องกันความผิดปกติของ Rack โดยเฉพาะชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Split wye ในปัจจุบันจึงเริ่มมีการเปลี่ยนมาใช้ในการป้องกันแบบอิมพีแดนซ์ซึ่งมีข้อดีและข้อเสีย เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการป้องกันที่กล่าวถึงมาก่อนหน้านี้คือ

ข้อดีคือ

- 1) ป้องกันความขัดข้องแต่ยังมีความสมดุลได้
- 2) ป้องกันผลของความไม่สมดุลของแรงดันระบบ
- 3) สามารถแยกแยะเฟสผิดปกติ
- 4) ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์วัดอื่น ๆ เพิ่มเติมจึงช่วยลดราคาของชุดตัวเก็บประจุ

ข้อเสียคือ

- 1) ต้องการเฟส CT แต่ถ้าเป็นการป้องกันแบบกระแสเกินในสายเฟสไม่ต้องใช้เฟส CT
- 2) ไม่สามารถทำงานได้ถ้าเกิดความสูญเสียของแรงดันจากบัส VTs
- 3) ต้องมีการชดเชยอุณหภูมิเพราะค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนตามอุณหภูมิ

บทที่ 4

การพัฒนาโปรแกรมสนับสนุนการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

เนื้อหาที่นำเสนอในบทนี้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ใน 2 ส่วนแรกกล่าวถึงการพัฒนาโปรแกรมการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดันจำหน่าย และระดับแรงดันส่ง ซึ่งประกอบด้วยแผนผังของโปรแกรมการออกแบบในแต่ละชนิด โครงสร้างและลักษณะการต่อของชุดตัวเก็บประจุ และขั้นตอนการพิจารณาการออกแบบ ส่วน 2 ส่วนสุดท้ายจะเป็นการแสดงผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ และการจำลองผลลัพธ์โดยการตรวจจับความไม่สมดุลจากผลของจำนวนฟิวส์ที่ทำการปลดตัวเก็บประจุสำหรับชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused จำนวนฟิวส์ที่ทำการปลด Element ภายในตัวเก็บประจุสำหรับชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused และจำนวน Elements ภายในตัวเก็บประจุที่ลัดวงจรสำหรับชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless โดยอ้างอิง [2]

โดยที่แรงดันระบบจำหน่ายในที่นี้หมายถึงระดับแรงดันที่ไม่เกิน 33 kV สำหรับแรงดันระดับ 115 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและการไฟฟ้านครหลวงจะพิจารณาเป็นระดับแรงดันส่ง

4.1 การพัฒนาโปรแกรมการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดันจำหน่าย

ชุดตัวเก็บประจุที่มีอยู่ในระบบจำหน่ายสามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างของชุดตัวเก็บประจุออกเป็น 2 รูปแบบหลักคือ

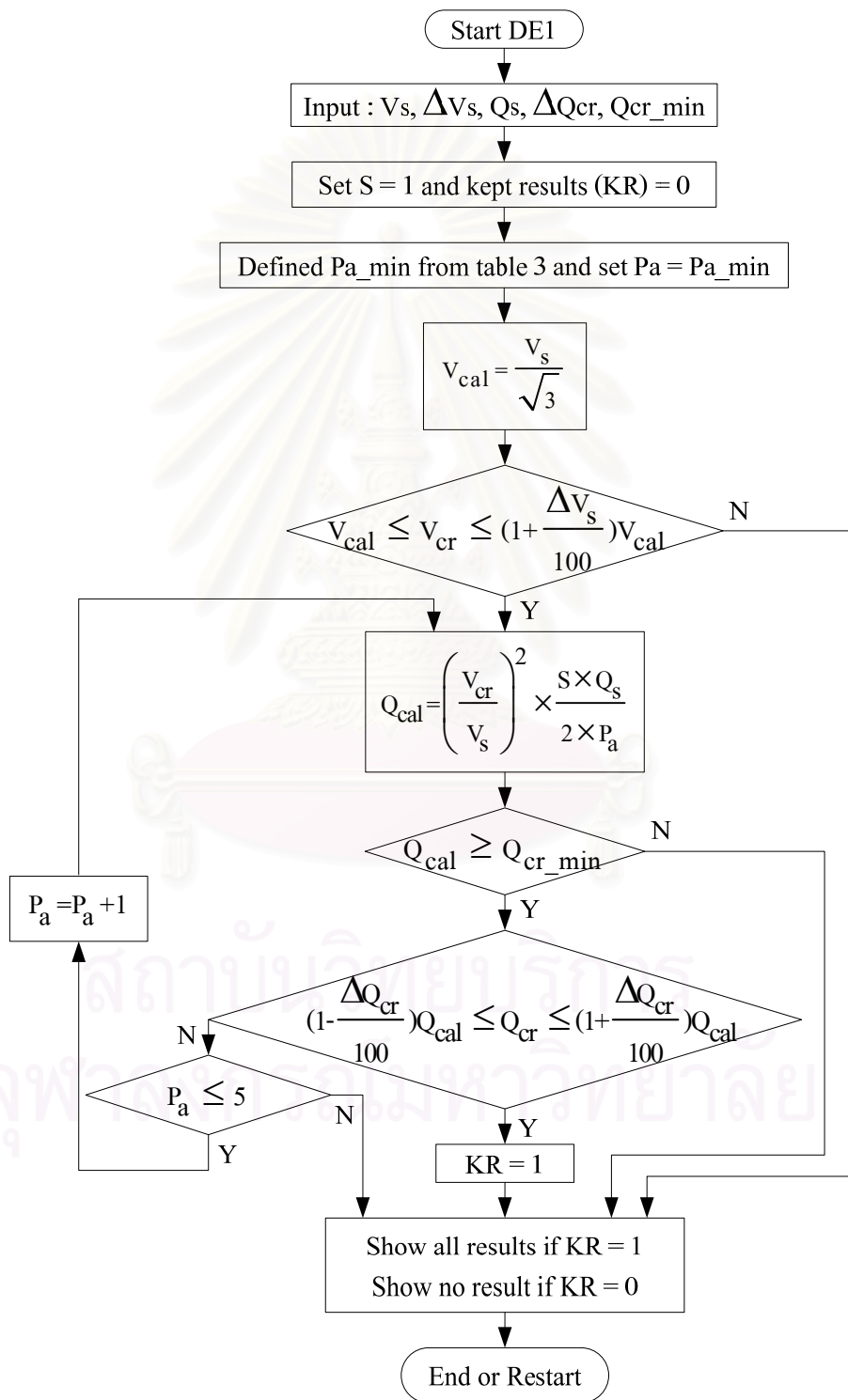
1) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused

- Externally fused แบบ Split wye equal legs กำหนดให้มีดัชนีเป็น DE1 และมีขั้นตอนการออกแบบดังรูปที่ 4.1
- Externally fused แบบ Split wye unequal legs กำหนดให้มีดัชนีเป็น DE2 และมีขั้นตอนการออกแบบดังรูปที่ 4.2
- Externally fused แบบ Single wye กำหนดให้มีดัชนีเป็น DE3 และมีขั้นตอนการออกแบบดังรูปที่ 4.3

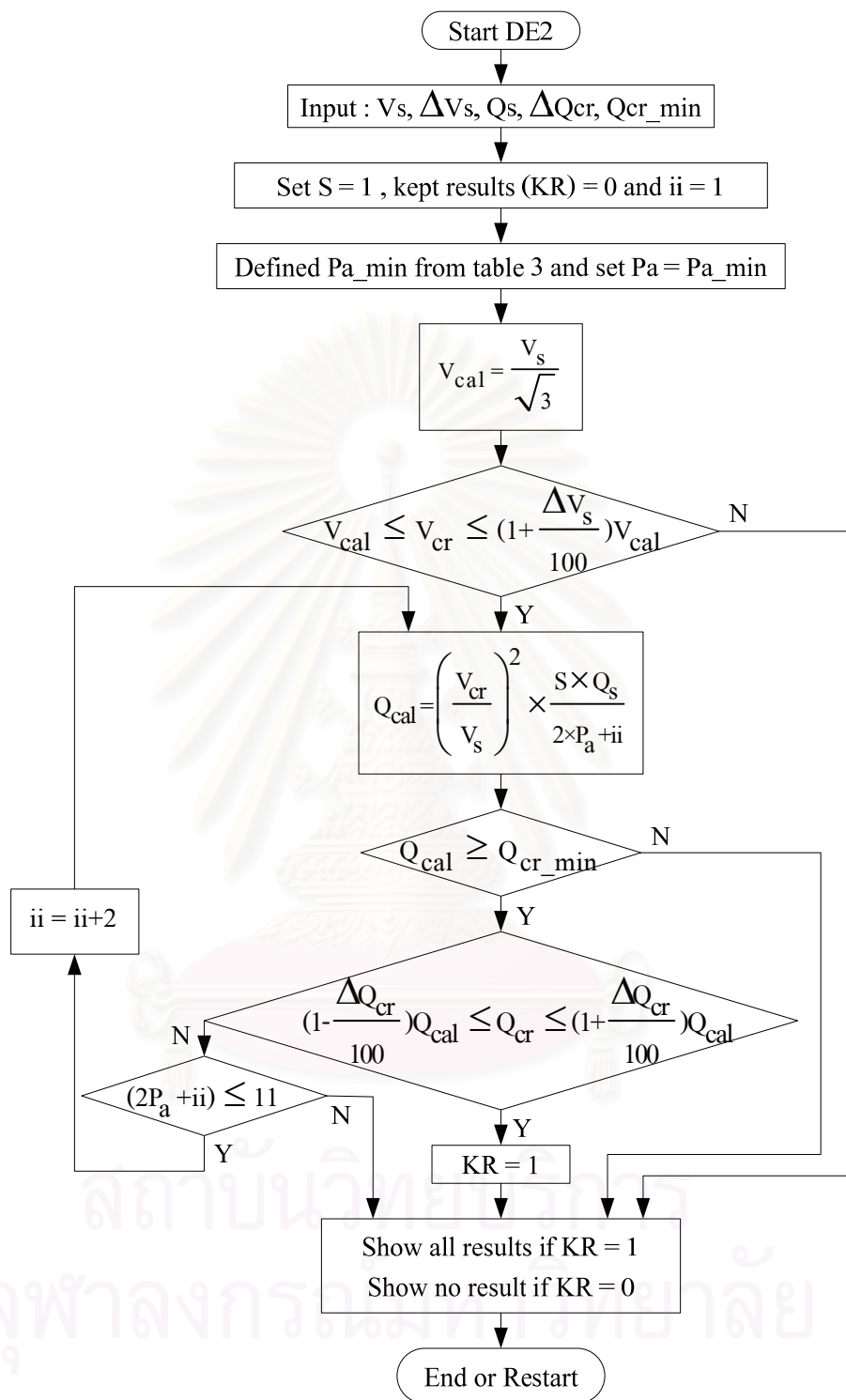
2) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused

- Internally fused แบบ Split wye equal legs กำหนดให้มีดัชนีเป็น DI และมีขั้นตอนการออกแบบดังรูปที่ 4.4
- Internally fused แบบ Split wye unequal legs มีขั้นตอนการออกแบบเหมือนรูปที่ 4.4
- Internally fused แบบ Single wye มีขั้นตอนการออกแบบเหมือนรูปที่ 4.4

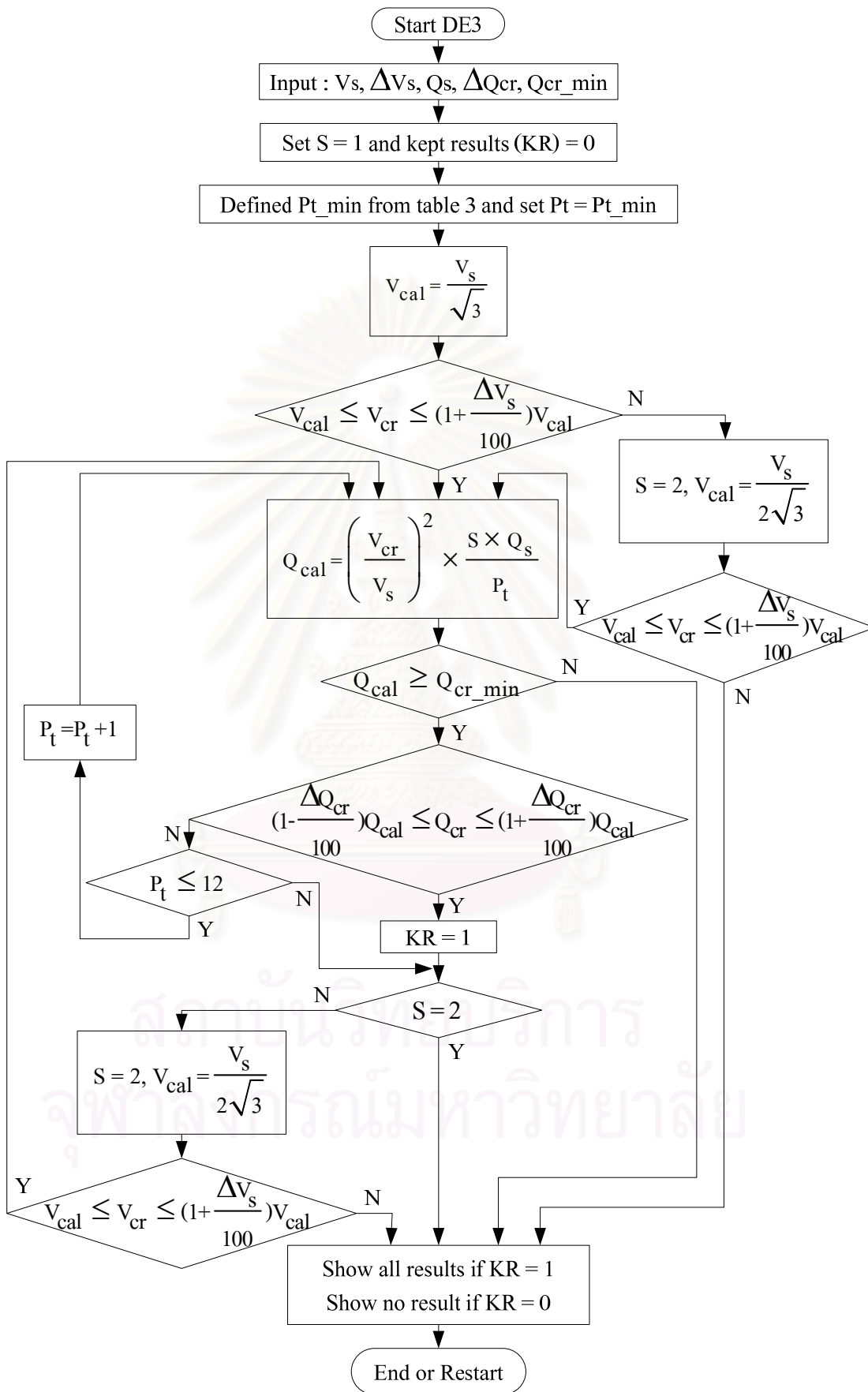
ส่วนชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless จะใช้กับระบบที่มีระดับแรงดันไม่ต่ำกว่า 34.5 kV เนื่องจาก [2] แต่ละ String ควรมีจำนวน Elements มากกว่า 10 ตัวต่ออนุกรมกัน เพื่อป้องกันแรงดันเกิน 110% ตกคร่อมตัวเก็บประจุที่ยังคงเหลืออยู่เมื่อ 1 Element เกิดการลัดวงจร จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งานในระดับแรงดันจำหน่าย



รูปที่ 4.1 แผนภูมิการออกแบบ Externally fused แบบ Split wye equal legs ที่ระดับแรงดันจำหน่าย



รูปที่ 4.2 แผนภูมิการออกแบบ Externally fused แบบ Split wye unequal legs ที่ระดับแรงดันจำหน่าย



รูปที่ 4.3 แผนภูมิการออกแบบ Externally fused แบบ Single wye ที่ระดับแรงดันจำหน่าย

ขั้นตอนการพิจารณาการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่ระดับแรงดันจำหน่าย

- 1) ตรวจสอบค่าดัชนีว่าต้องการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Split wye equal legs, Split wye unequal legs หรือ Single wye
- 2) คำนวณหาค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัว : V_{cal}

$$V_{cal} = \frac{V_s}{S \times \sqrt{3}} \quad (4.1)$$

V_s คือ แรงดันไฟฟ้าของระบบ (kV)

S คือ จำนวนกลุ่มอนุกรมของตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกัน

กรณีชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Split wye จะออกแบบเฉพาะ $S = 1$ เท่านั้น เนื่องจาก [3] แนะนำไว้ว่าที่ $S = 2$ จำนวนตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกันใน 1 กลุ่มอนุกรมของแต่ละขาในแต่ละเฟสควรจะมีอย่างน้อย 7 ตัว อาจกล่าวได้ว่าแต่ละเฟสควรมีตัวเก็บประจุอย่างน้อย 14 ตัว เพื่อจำกัดแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุที่ยังคงอยู่ไม่ให้เกิน 110% เมื่อตัวเก็บประจุ 1 ตัวถูกปลดออก ทำให้ขนาดกำลังรีแอคทีฟของตัวเก็บประจุที่ได้จากการคำนวณมักจะมีค่าน้อยกว่าขนาดกำลังรีแอคทีฟพิกัดของตัวเก็บประจุขั้นต่ำที่ระบุใน [1] และที่มีผลิตขายโดยทั่วไป ถึงแม้ว่าจะสามารถใช้ตัวเก็บประจุที่มีพิกัดกำลังรีแอคทีฟขั้นต่ำได้ แต่ก็ต้องการใช้ตัวเก็บประจุเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะส่งผลให้ชุดตัวเก็บประจุมีราคาแพงกว่าและต้องการพื้นที่ในการติดตั้งมากกว่าการออกแบบที่ $S = 1$

กรณีชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Single wye เนื่องจาก [3] แนะนำไว้ว่าที่ $S = 2$ จำนวนตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกันใน 1 กลุ่มอนุกรมของแต่ละเฟสควรมีอย่างน้อย 6 ตัวสำหรับ Grounded wye และ 8 ตัวสำหรับ Ungrounded wye เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Split wye ซึ่งต้องการตัวเก็บประจุอย่างน้อย 14 ตัว จึงทำการออกแบบโปรแกรมให้มีการออกแบบที่ $S = 2$ ไว้เพื่อเป็นทางเลือกหรือเป็นการเปรียบเทียบกับการออกแบบที่ $S = 1$ ถึงแม้ว่าการออกแบบจริงจะเลือกการออกแบบที่ $S = 1$

- 3) ตรวจสอบแรงดันพิกัดของตัวเก็บประจุจากฐานข้อมูลที่ต้องการ ([1] หรือข้อมูลของผู้ผลิต) : V_{cr}

$$V_{cal} \leq V_{cr} \leq \left(1 + \frac{\Delta V_s}{100}\right) V_{cal} \quad (4.2)$$

ΔV_s คือ ร้อยละของการเผื่อขนาดพิกัดแรงดัน

- 4) คำนวณหาค่ากำลังรีแอคทีฟของตัวเก็บประจุแต่ละตัว : Q_{cal}

- กรณีชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Split wye equal legs

$$\begin{aligned}
 Q_{cal} &= \left(\frac{V_{cr}}{V_s \div (S \times \sqrt{3})} \right)^2 \times \frac{Q_s}{3 \times 2 \times P_a \times S} \\
 &= \left(\frac{V_{cr}}{V_s} \right)^2 \times \frac{S \times Q_s}{2 \times P_a} \quad (4.3)
 \end{aligned}$$

Q_s คือ กำลังรีแอกทีฟรวมที่ต้องการ (MVA_r)

P_a คือ จำนวนตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกันใน 1 กลุ่มอนุกรมของแต่ละขานในแต่ละเฟส

- กรณีชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Split wye unequal legs

$$\begin{aligned}
 Q_{cal} &= \left(\frac{V_{cr}}{V_s \div (S \times \sqrt{3})} \right)^2 \times \frac{Q_s}{3 \times P_t \times S} \\
 &= \left(\frac{V_{cr}}{V_s} \right)^2 \times \frac{S \times Q_s}{P_t} \quad (4.4)
 \end{aligned}$$

$$P_t = (2 \times P_a) + ii \quad (4.5)$$

P_t คือ จำนวนตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกันใน 1 กลุ่มอนุกรมของแต่ละเฟส

ii คือ แฟกเตอร์ที่นำมาบวกเพื่อทำให้ P_t มีค่าเป็นจำนวนเต็ม

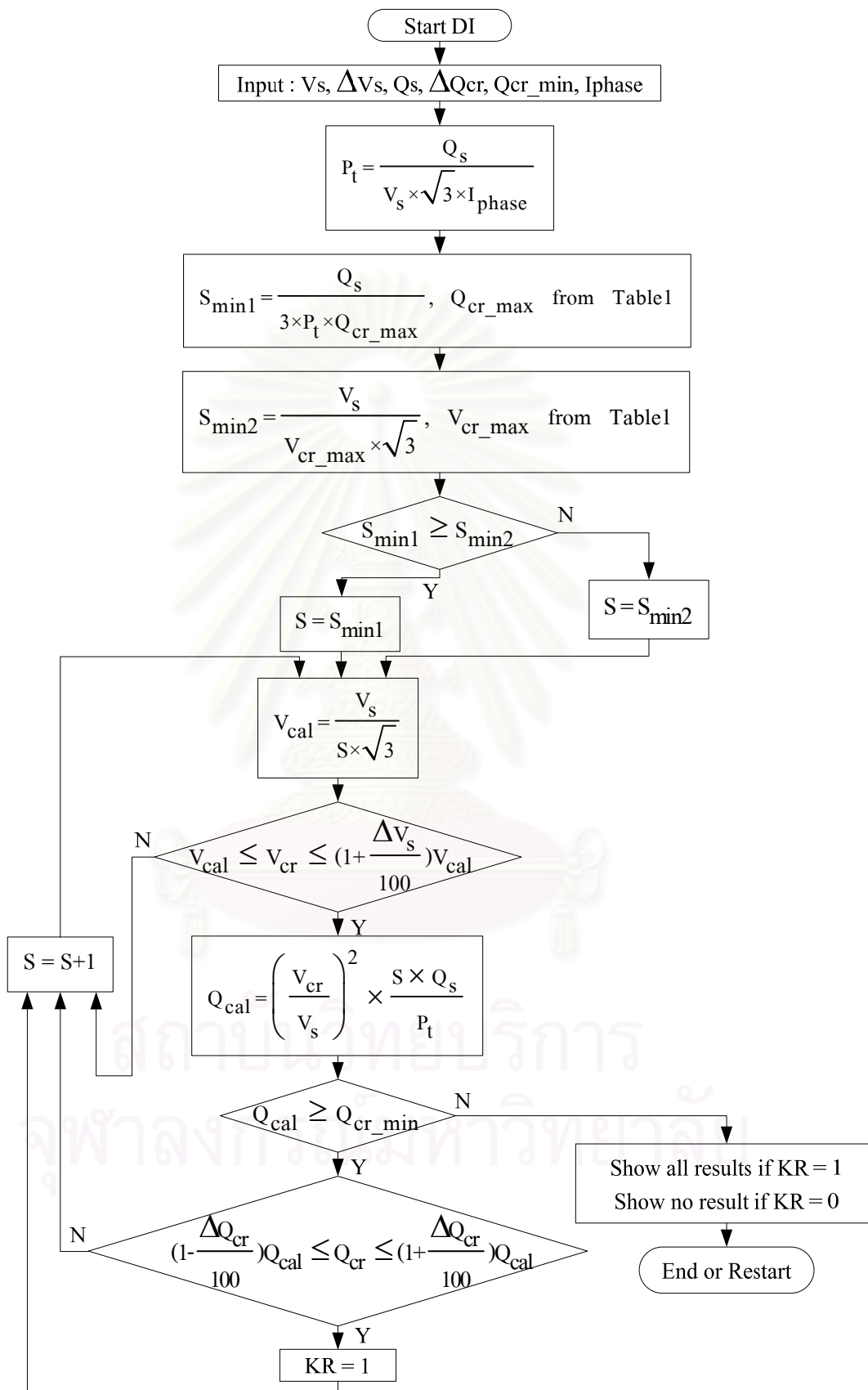
- กรณีชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Single wye

$$\begin{aligned}
 Q_{cal} &= \left(\frac{V_{cr}}{V_s \div (S \times \sqrt{3})} \right)^2 \times \frac{Q_s}{3 \times P_t \times S} \\
 &= \left(\frac{V_{cr}}{V_s} \right)^2 \times \frac{S \times Q_s}{P_t}, \quad (P_t = P_a) \quad (4.6)
 \end{aligned}$$

5) ตรวจสอบกำลังรีแอกทีฟพิกัดของตัวเก็บประจุจากฐานข้อมูลที่ต้องการ ([1] หรือข้อมูลของผู้ผลิต): Q_{cr}

$$\left(1 - \frac{\Delta Q_s}{100} \right) Q_{cal} \leq Q_{cr} \leq \left(1 + \frac{\Delta Q_s}{100} \right) Q_{cal} \quad (4.7)$$

ΔQ_s คือ ความคลาดเคลื่อนของกำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุ (%)



รูปที่ 4.4 แผนภูมิการออกแบบ Internally fused ที่ระดับแรงดันจำหน่าย

ขั้นตอนการพิจารณาการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่ระดับแรงดัน
จำหน่าย

- 1) คำนวณหาจำนวน Strings ของแต่ละเฟส : P_t

$$P_t = \frac{Q_s}{V_s \times \sqrt{3} \times I_{\text{phase}}} \quad (4.8)$$

- 2) คำนวณหาจำนวนกลุ่มอนุกรมขั้นต่ำของตัวเก็บประจุของแต่ละ String เมื่อพิจารณากำลังรี
แอกทีฟ : $S_{\min 1}$

$$S_{\min 1} = \frac{Q_s}{3 \times P_t \times Q_{\text{cr_max}}} \quad (4.9)$$

$Q_{\text{cr_max}}$ คือ พิกัดกำลังรีแอกทีฟสูงสุดของตัวเก็บประจุจาก [1] หรือข้อมูลของผู้ผลิต

- 3) คำนวณหาจำนวนกลุ่มอนุกรมขั้นต่ำของตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกัน เมื่อพิจารณาพิกัด
แรงดันสูงสุดของตัวเก็บประจุจาก [1] หรือข้อมูลของผู้ผลิต : $S_{\min 2}$

$$S_{\min 2} = \frac{V_s}{V_{\text{max}} \times \sqrt{3}} \quad (4.10)$$

V_{max} คือ พิกัดแรงดันสูงสุดของตัวเก็บประจุจาก [1] หรือข้อมูลของผู้ผลิต

- 4) เลือกจำนวนกลุ่มอนุกรมขั้นต่ำของตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกัน : S_{\min} จากจำนวนที่มีค่า
มากกว่าระหว่าง $S_{\min 1}$ และ $S_{\min 2}$

- 5) คำนวณหาค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัว : V_{cal}

$$V_{\text{cal}} = \frac{V_s}{S \times \sqrt{3}} \quad (4.11)$$

- 6) ตรวจสอบแรงดันพิกัดของตัวเก็บประจุจากฐานข้อมูลที่ต้องการ ([1] หรือข้อมูลของผู้ผลิต)
: V_{cr}

$$V_{\text{cal}} \leq V_{\text{cr}} \leq \left(1 + \frac{\Delta V_s}{100}\right) V_{\text{cal}} \quad (4.12)$$

- 7) คำนวณหาค่ากำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุแต่ละตัว : Q_{cal}

$$Q_{\text{cal}} = \left(\frac{V_{\text{cr}}}{V_s \div (S \times \sqrt{3})} \right)^2 \times \frac{Q_s}{3 \times P_t \times S}$$

$$= \left(\frac{V_{cr}}{V_s} \right)^2 \times \frac{S \times Q_s}{P_t} \quad (4.13)$$

- 8) ตรวจสอบกำลังรีแอกทีฟฟิคัดของตัวเก็บประจุจากฐานข้อมูลที่ต้องการ ([1] หรือข้อมูลของผู้ผลิต) : Q_{cr}

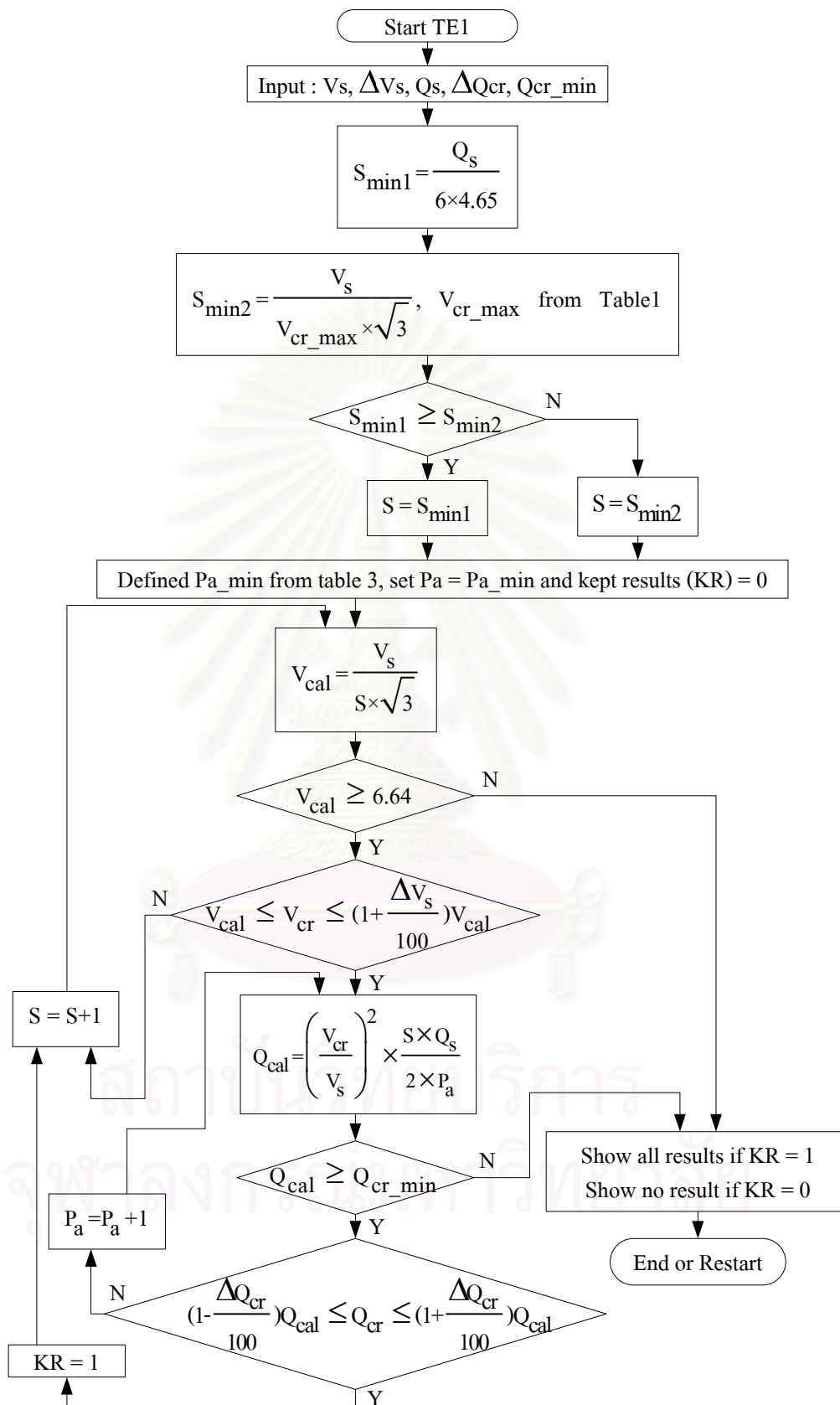
$$\left(1 - \frac{\Delta Q_s}{100} \right) Q_{cal} \leq Q_{cr} \leq \left(1 + \frac{\Delta Q_s}{100} \right) Q_{cal} \quad (4.14)$$

4.2 การพัฒนาโปรแกรมการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดันสูง

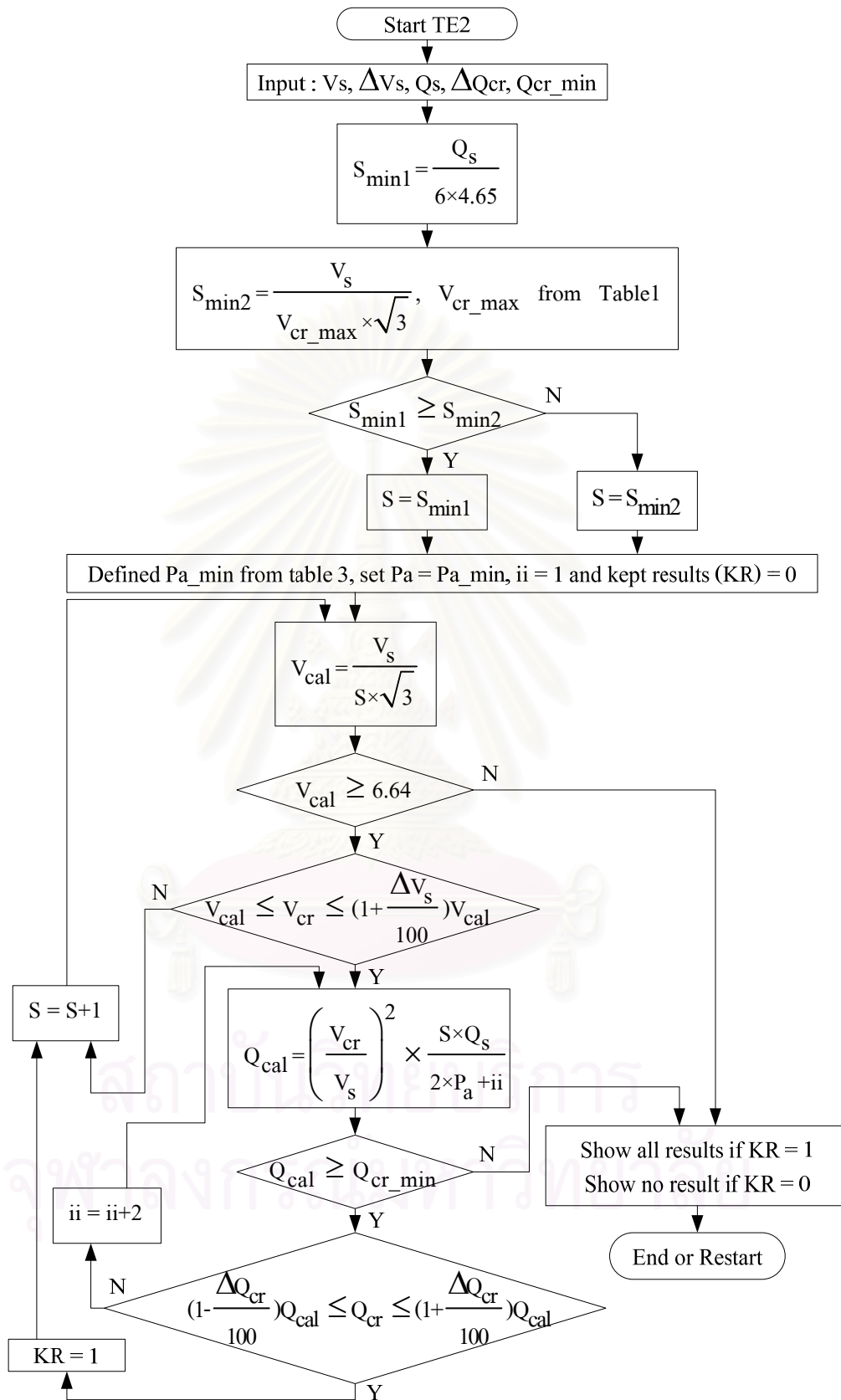
ชุดตัวเก็บประจุที่มีอยู่ในระบบส่งสามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างของชุดตัวเก็บประจุออกเป็น 3 รูปแบบหลักคือ

- 1) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused
 - Externally fused แบบ Split wye equal legs กำหนดให้มีดัชนีเป็น TE1 และมีขั้นตอนการออกแบบดังรูปที่ 4.5
 - Externally fused แบบ Split wye unequal legs กำหนดให้มีดัชนีเป็น TE2 และมีขั้นตอนการออกแบบดังรูปที่ 4.6
 - Externally fused แบบ Single wye กำหนดให้มีดัชนีเป็น TE3 และมีขั้นตอนการออกแบบดังรูปที่ 4.7
- 2) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused
 - Internally fused แบบ Split wye equal legs มีขั้นตอนการออกแบบเหมือนรูปที่ 4.4
 - Internally fused แบบ Split wye unequal legs มีขั้นตอนการออกแบบเหมือนรูปที่ 4.4
 - Internally fused แบบ Single wye มีขั้นตอนการออกแบบเหมือนรูปที่ 4.4
- 3) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless
 - Fuseless แบบ Split wye กำหนดให้มีดัชนีเป็น TF และมีขั้นตอนการออกแบบดังรูปที่ 4.8

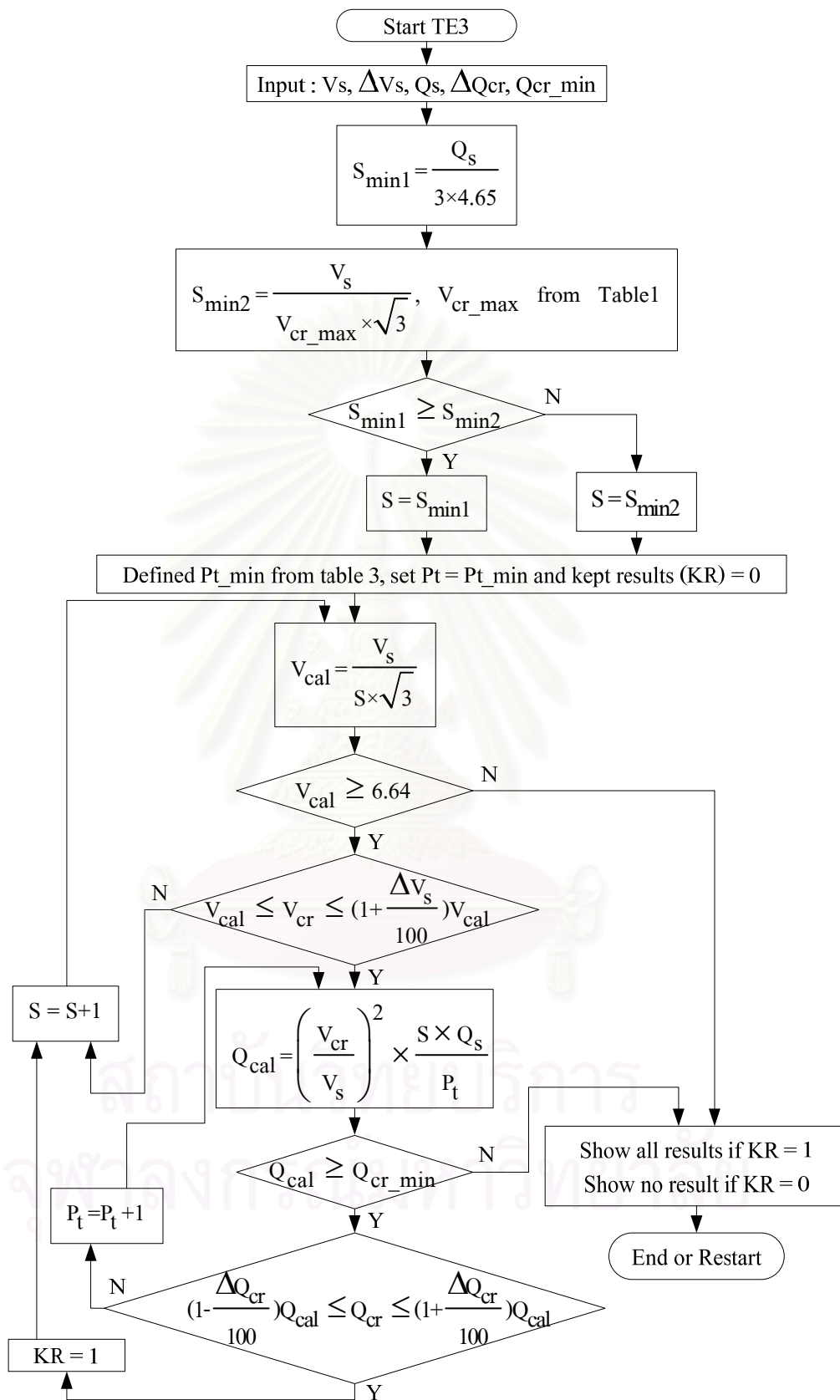
*** สำหรับชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Split wye ที่มีจำนวนกลุ่มอนุกรมของหน่วยตัวเก็บประจุมากสามารถเปลี่ยนตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจวัดความไม่สมดุลไปต่อเชื่อมระหว่างตำแหน่งที่เป็นลำดับของกลุ่มอนุกรมเดียวกันของแต่ละ Leg ในเฟสเดียวกันเข้าหากันเป็น H-bridge ได้



รูปที่ 4.5 แผนภูมิการออกแบบ Externally fused แบบ Split wye equal legs ที่ระดับแรงดันส่ง



รูปที่ 4.6 แผนภูมิการออกแบบ Externally fused แบบ Split wye unequal legs ที่ระดับแรงดันสูง



รูปที่ 4.7 แผนภูมิการออกแบบ Externally fused แบบ Single wye ที่ระดับแรงดันส่ง

ขั้นตอนการพิจารณาการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่ระดับแรงดันสูง

- 1) ตรวจสอบค่าดัชนีว่าต้องการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Split wye equal legs, Split wye unequal legs หรือ Single wye
- 2) คำนวณหาจำนวนกลุ่มอนุกรมขั้นต่ำของตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกัน เมื่อพิจารณากำลังรีแอกทีฟในแต่ละกลุ่มขนาน : $S_{\min 1}$

- กรณีชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Split wye

$$S_{\min 1} = \frac{Q_s}{6 \times 4.65^*} \quad (4.15)$$

- กรณีชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Single wye

$$S_{\min 1} = \frac{Q_s}{3 \times 4.65^*} \quad (4.16)$$

4.65* มีที่มาจาก NEMA CP1-1988 แนะนำไว้ว่าจำนวนมากที่สุดของตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกันในแต่ละกลุ่มอนุกรมควรมีกำลังงานรีแอกทีฟทั้งหมดใน 1 กลุ่มขนานไม่เกิน 4.65 MVA_r สำหรับตัวเก็บประจุที่มีฉนวนแบบ All film (3.1 MVA_r สำหรับตัวเก็บประจุที่รุ่นเก่ากว่า) เพื่อป้องกันการระเบิดของฟิวส์ที่ใช้ป้องกันตัวเก็บประจุ เนื่องจากการถ่ายประจุผ่านฟิวส์ในขณะที่เกิดการลัดวงจร

- 3) คำนวณหาจำนวนกลุ่มอนุกรมขั้นต่ำของตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกัน เมื่อพิจารณาพิกัดแรงดันสูงสุดของตัวเก็บประจุจาก [1] หรือข้อมูลของผู้ผลิต : $S_{\min 2}$

$$S_{\min 2} = \frac{V_s}{V_{\max} \times \sqrt{3}} \quad (4.17)$$

V_{\max} คือ พิกัดแรงดันสูงสุดของตัวเก็บประจุจาก [1] หรือข้อมูลของผู้ผลิต

สาเหตุที่พิจารณาพิกัดแรงดันสูงสุดของตัวเก็บประจุ เนื่องจากตัวเก็บประจุแบบ Externally fused สามารถที่จะแยกกระแสลัดพร้อมแรงดันสูงได้ ทำให้การออกแบบสามารถใช้ตัวเก็บประจุที่มีพิกัดแรงดันสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

- 4) เลือกจำนวนกลุ่มอนุกรมขั้นต่ำของตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกัน : S_{\min} จากจำนวนที่มีค่ามากกว่าระหว่าง $S_{\min 1}$ และ $S_{\min 2}$

- 5) คำนวณหาค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัว : V_{cal}

$$V_{cal} = \frac{V_s}{S \times \sqrt{3}} \quad (4.18)$$

6) ตรวจสอบแรงดันพิกัดของตัวเก็บประจุจากฐานข้อมูลที่ต้องการ ([1] หรือข้อมูลของผู้ผลิต)

: V_{cr}

$$V_{cal} \leq V_{cr} \leq \left(1 + \frac{\Delta V_s}{100}\right) V_{cal} \quad (4.19)$$

7) คำนวณหาค่ากำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุแต่ละตัว : Q_{cal}

▪ กรณีชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Split wye equal legs

$$\begin{aligned} Q_{cal} &= \left(\frac{V_{cr}}{V_s \div (S \times \sqrt{3})} \right)^2 \times \frac{Q_s}{3 \times 2 \times P_a \times S} \\ &= \left(\frac{V_{cr}}{V_s} \right)^2 \times \frac{S \times Q_s}{2 \times P_a} \end{aligned} \quad (4.20)$$

▪ กรณีชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Split wye unequal legs

$$\begin{aligned} Q_{cal} &= \left(\frac{V_{cr}}{V_s \div (S \times \sqrt{3})} \right)^2 \times \frac{Q_s}{3 \times P_t \times S} \\ &= \left(\frac{V_{cr}}{V_s} \right)^2 \times \frac{S \times Q_s}{P_t} \end{aligned} \quad (4.21)$$

$$P_t = (2 \times P_a) + i_i \quad (4.22)$$

▪ กรณีชุดตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบ Single wye

$$\begin{aligned} Q_{cal} &= \left(\frac{V_{cr}}{V_s \div (S \times \sqrt{3})} \right)^2 \times \frac{Q_s}{3 \times P_t \times S} \\ &= \left(\frac{V_{cr}}{V_s} \right)^2 \times \frac{S \times Q_s}{P_t} \end{aligned} \quad (4.23)$$

$$P_t = P_a \quad (4.24)$$

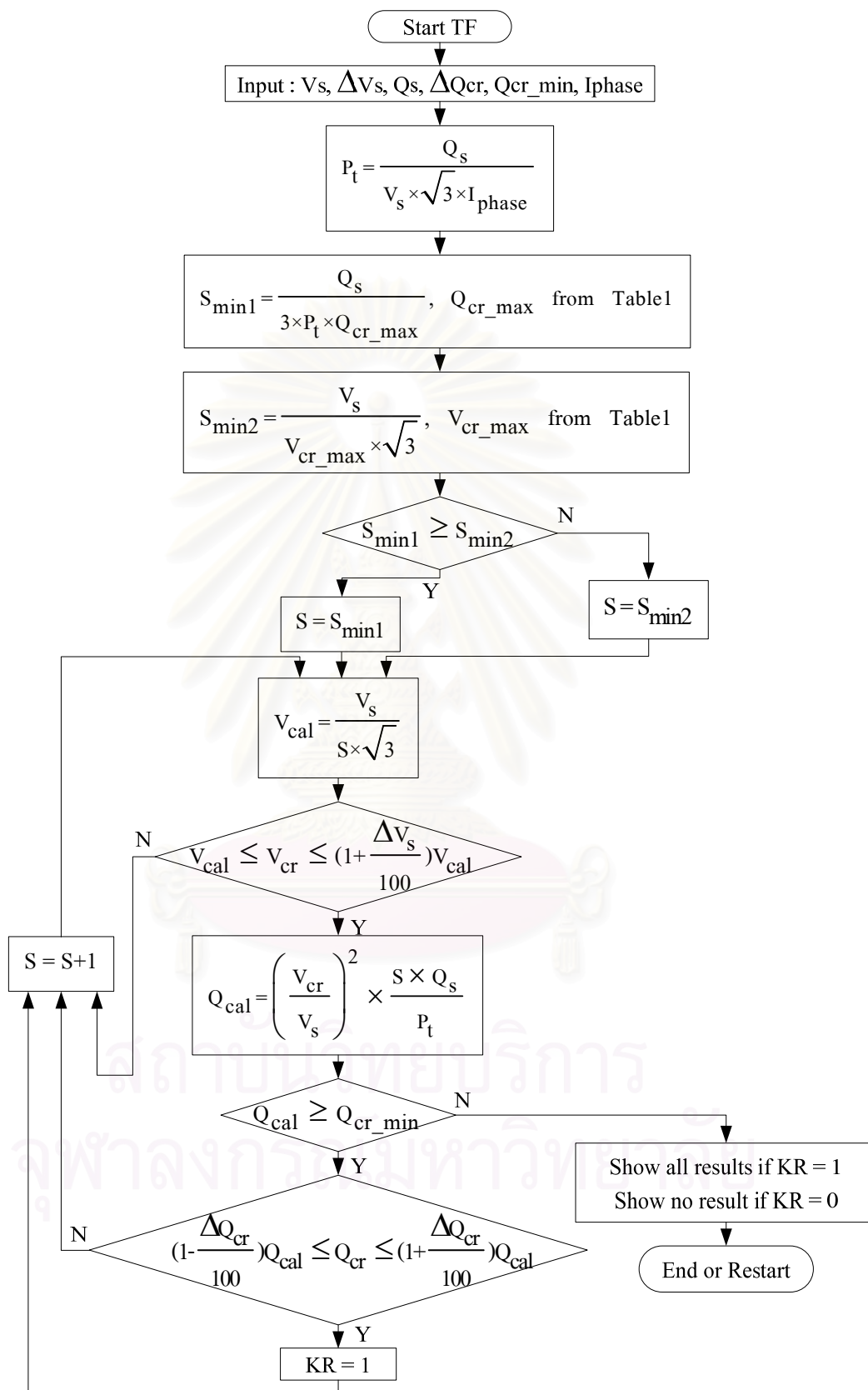
- 8) ตรวจสอบกำลังรีแอกทีฟที่ฟักัดของตัวเก็บประจุจากฐานข้อมูลที่ต้องการ ([1] หรือข้อมูลของผู้ผลิต) : Q_{cr}

$$\left(1 - \frac{\Delta Q_s}{100}\right) Q_{cal} \leq Q_{cr} \leq \left(1 + \frac{\Delta Q_s}{100}\right) Q_{cal} \quad (4.25)$$

แผนภูมิการออกแบบและขั้นตอนการพิจารณาการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่ระดับแรงดันส่งสามารถกระทำได้ในทำนองเดียวกันกับที่กล่าวไว้ในรายละเอียดของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่ระดับแรงดันจำหน่าย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 แผนภูมิการออกแบบ Fuseless แบบ Split wye ที่ระดับแรงดันส่ง

ขั้นตอนการพิจารณาการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless ที่ระดับแรงดันต่าง

- 1) คำนวณหาจำนวน Strings ของแต่ละเฟส : P_t

$$P_t = \frac{Q_s}{V_s \times \sqrt{3} \times 60^*} \quad (4.26)$$

60* แอมแปร์ดูรายละเอียดได้จาก [10] หรือข้อมูลของผู้ผลิต

- 2) คำนวณหาจำนวนกลุ่มอนุกรมขั้นต่ำของตัวเก็บประจุของแต่ละ String เมื่อพิจารณากำลังรีแอกทีฟ : $S_{\min 1}$

$$S_{\min 1} = \frac{Q_s}{3 \times P_t \times Q_{cr_max}} \quad (4.27)$$

Q_{cr_max} คือ พิกัดกำลังรีแอกทีฟสูงสุดของตัวเก็บประจุจาก [1] หรือข้อมูลของผู้ผลิต

- 3) คำนวณหาจำนวนกลุ่มอนุกรมขั้นต่ำของตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกัน เมื่อพิจารณาพิกัดแรงดันสูงสุดของตัวเก็บประจุจาก [1] หรือข้อมูลของผู้ผลิต : $S_{\min 2}$

$$S_{\min 2} = \frac{V_s}{V_{\max} \times \sqrt{3}} \quad (4.28)$$

V_{\max} คือ พิกัดแรงดันสูงสุดของตัวเก็บประจุจาก [1] หรือข้อมูลของผู้ผลิต

- 4) เลือกจำนวนกลุ่มอนุกรมขั้นต่ำของตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกัน : S_{\min} จากจำนวนที่มีค่ามากกว่าระหว่าง $S_{\min 1}$ และ $S_{\min 2}$

- 5) คำนวณหาค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัว : V_{cal}

$$V_{cal} = \frac{V_s}{S \times \sqrt{3}} \quad (4.29)$$

- 6) ตรวจสอบแรงดันพิกัดของตัวเก็บประจุจากฐานข้อมูลที่ต้องการ ([1] หรือข้อมูลของผู้ผลิต) : V_{cr}

$$V_{cal} \leq V_{cr} \leq \left(1 + \frac{\Delta V_s}{100}\right) V_{cal} \quad (4.30)$$

- 7) คำนวณหาค่ากำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุแต่ละตัว : Q_{cal}

$$Q_{cal} = \left(\frac{V_{cr}}{V_s \div (S \times \sqrt{3})} \right)^2 \times \frac{Q_s}{3 \times P_t \times S}$$

$$= \left(\frac{V_{cr}}{V_s} \right)^2 \times \frac{S \times Q_s}{P_t} \quad (4.31)$$

8) ตรวจสอบกำลังรีแอกทีฟฟิคัดของตัวเก็บประจุจากฐานข้อมูลที่ต้องการ ([1] หรือข้อมูลของผู้ผลิต) : Q_{cr}

$$\left(1 - \frac{\Delta Q_s}{100} \right) Q_{cal} \leq Q_{cr} \leq \left(1 + \frac{\Delta Q_s}{100} \right) Q_{cal} \quad (4.32)$$

4.3 การแสดงผลพีชของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

การแสดงผลพีชของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุจะแสดงอยู่ในรูปของตาราง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.3.1 ตารางแสดงผลพีชของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่มีโครงสร้างแบบ Externally fused

คอลัมน์ที่ 1 แสดงจำนวนกลุ่มอนุกรมของตัวเก็บประจุ : S

คอลัมน์ที่ 2 แสดงจำนวนตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกันในแต่ละกลุ่มอนุกรม : P_a

คอลัมน์ที่ 3 แสดงจำนวนตัวเก็บประจุทั้งหมด : N

- กรณี Externally fused แบบ Split wye equal legs

$$N = 6 \times S \times P_a \quad (4.33)$$

- กรณี Externally fused แบบ Split wye unequal legs

$$N = 3 \times S \times (P_{a1} + P_{a2}) \quad (4.34)$$

P_{a1} คือ จำนวนตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกันในแต่ละกลุ่มอนุกรมที่อยู่ทางด้านซ้ายของแต่ละเฟส

P_{a2} คือ จำนวนตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกันในแต่ละกลุ่มอนุกรมที่อยู่ทางด้านขวาของแต่ละเฟส

- กรณี Externally fused แบบ Single wye

$$N = 3 \times S \times P_t \quad (4.35)$$

คอลัมน์ที่ 4 แสดงขนาดแรงดันฟิคัดของตัวเก็บประจุ : V_{cr}

คอลัมน์ที่ 5 แสดงร้อยละของการเผื่อขนาดฟิคัดแรงดัน : ΔV_s

$$\Delta V_s = \left(\frac{V_{cr} \times S \times \sqrt{3}}{V_s} - 1 \right) \times 100 \quad (4.36)$$

คอลัมน์ที่ 6 แสดงขนาด kVAr พิกัดของตัวเก็บประจุ : Q_{cr}

คอลัมน์ที่ 7 แสดงขนาด MVA_r พิกัดรวมของตัวเก็บประจุ : Q_{cr_total}

$$Q_{cr_total} = \frac{Q_{cr} \times N}{1000} \quad (4.37)$$

คอลัมน์ที่ 8 แสดงขนาด MVA_r รวมที่ Compensate ได้ของตัวเก็บประจุ : Q_{comp}

$$Q_{comp} = \left(\frac{V_s}{V_{cr} \times S \times \sqrt{3}} \right)^2 \times Q_{cr_total} \quad (4.38)$$

คอลัมน์ที่ 9 แสดงค่า % $\left(\frac{Q_{cr_total}}{Q_{comp}} \right)$

S	Pa	Total cap	Vcr (KV)	delta Vs (%)	Qcr (KVAR)	Qcr_1 (MVAR)	Qcomp (MVAR)	Qcr_1/Qcomp (%)
3	14	252	22.8	3.0	300	75.60	71.23	106.1
5	13	390	13.8	3.9	200	78.00	72.22	108.0

รูปที่ 4.9 หน้าจอผลลัพธ์ของตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ Split wye equal legs ที่ระดับแรงดัน 115 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 72 MVA_r โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

4.3.2 ตารางแสดงผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่มีโครงสร้างแบบ Internally fused

คอลัมน์ที่ 1 แสดงจำนวนกลุ่มอนุกรมของตัวเก็บประจุ : S

คอลัมน์ที่ 2 แสดงจำนวน Strings ของแต่ละขาในแต่ละเฟส : P_a

คอลัมน์ที่ 3 แสดงจำนวนตัวเก็บประจุทั้งหมด : N

- กรณี Internally fused แบบ Split wye equal legs

$$N = 6 \times S \times P_a \quad (4.39)$$

- กรณี Internally fused แบบ Split wye unequal legs

$$N = 3 \times S \times (P_{a1} + P_{a2}) \quad (4.40)$$

P_{a1} คือ จำนวนStrings ของขาที่อยู่ทางด้านซ้ายของแต่ละเฟส

P_{a2} คือ จำนวนStrings ของขาที่อยู่ทางด้านขวาของแต่ละเฟส

- กรณี Internally fused แบบ Single wye

$$N = 3 \times S \times P_t \quad (4.41)$$

คอลัมน์ที่ 4 แสดงขนาดแรงดันพิกัดของตัวเก็บประจุ : V_{cr}

คอลัมน์ที่ 5 แสดงร้อยละของการเผื่อขนาดพิกัดแรงดัน : ΔV_s

$$\Delta V_s = \left(\frac{V_{cr} \times S \times \sqrt{3}}{V_s} - 1 \right) \times 100 \quad (4.42)$$

คอลัมน์ที่ 6 แสดงขนาด kVAr พิกัดของตัวเก็บประจุ : Q_{cr}

คอลัมน์ที่ 7 แสดงขนาด MVar พิกัดรวมของตัวเก็บประจุ : Q_{cr_total}

$$Q_{cr_total} = \frac{Q_{cr} \times N}{1000} \quad (4.43)$$

คอลัมน์ที่ 8 แสดงขนาด MVar รวมที่ Compensate ได้ของตัวเก็บประจุ : Q_{comp}

$$Q_{comp} = \left(\frac{V_s}{V_{cr} \times S \times \sqrt{3}} \right)^2 \times Q_{cr_total} \quad (4.44)$$

คอลัมน์ที่ 9 แสดงค่า % $\left(\frac{Q_{cr_total}}{Q_{comp}} \right)$

7 CAPACITOR BANK DESIGN

Solution

S	Pa	Total cap	Vcr (KV)	delta Vs (%)	Qcr (KVAR)	Qcr_1 (MVAR)	Qcomp (MVAR)	Qcr_1/Qcomp (%)
5	3	108	11.4	3.0	700	75.60	71.23	106.1
8	3	144	9.32	0.2	500	72.00	71.64	100.5
10	3	180	6.64	0.0	400	72.00	71.99	100.0

Parameter

P Parallel units in affected string

< Back Print
Graph Finish

รูปที่ 4.10 หน้าจอผลลัพธ์ของตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ Split wye equal legs ที่ระดับแรงดัน 115 kV เมื่อต้องการกำลังรีแอกทีฟ 72 MVAR และใช้กระแสเฟส 60 A โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

4.3.3 ตารางแสดงผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่มีโครงสร้างแบบ Fuseless

คอลัมน์ที่ 1 แสดงจำนวนกลุ่มอนุกรมของตัวเก็บประจุ : S

คอลัมน์ที่ 2 แสดงจำนวน Strings ของแต่ละขาในแต่ละเฟส : P_a

คอลัมน์ที่ 3 แสดงจำนวน Sections ของ Elements ภายในตัวเก็บประจุแต่ละตัว : Sections

กรณีที่ไม่นทราบจำนวน Elements ภายในตัวเก็บประจุแต่ละตัว

$$\text{Sections} = \frac{V_{cr}}{V_{elem}} \quad (4.45)$$

V_{elem} คือ พิกัดแรงดันของ Elements โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ในช่วง 1800-2400 V [2]

คอลัมน์ที่ 4 แสดงจำนวนตัวเก็บประจุทั้งหมด : N

- กรณี Fuseless แบบ Split wye equal legs

$$N = 6 \times S \times P_a \quad (4.46)$$

- กรณี Fuseless แบบ Split wye unequal legs

$$N = 3 \times S \times (P_{a1} + P_{a2}) \quad (4.47)$$

P_{a1} คือ จำนวนStrings ของขาที่อยู่ทางด้านซ้ายของแต่ละเฟส

P_{a2} คือ จำนวนStrings ของขาที่อยู่ทางด้านขวาของแต่ละเฟส

คอลัมน์ที่ 5 แสดงขนาดแรงดันพิกัดของตัวเก็บประจุ : V_{cr}

คอลัมน์ที่ 6 แสดงร้อยละของการเผื่อขนาดพิกัดแรงดัน : ΔV_s

$$\Delta V_s = \left(\frac{V_{cr} \times S \times \sqrt{3}}{V_s} - 1 \right) \times 100 \quad (4.48)$$

คอลัมน์ที่ 7 แสดงขนาด kVAr พิกัดของตัวเก็บประจุ : Q_{cr}

คอลัมน์ที่ 8 แสดงขนาด MVA_r พิกัดรวมของตัวเก็บประจุ : Q_{cr_total}

$$Q_{cr_total} = \frac{Q_{cr} \times N}{1000} \quad (4.49)$$

คอลัมน์ที่ 9 แสดงขนาด MVA_r รวมที่ Compensate ได้ของตัวเก็บประจุ : Q_{comp}

$$Q_{comp} = \left(\frac{V_s}{V_{cr} \times S \times \sqrt{3}} \right)^2 \times Q_{cr_total} \quad (4.50)$$

คอลัมน์ที่ 10 แสดงค่า % $\left(\frac{Q_{cr_total}}{Q_{comp}} \right)$

7 CAPACITOR BANK DESIGN

Solution

S	Pa	Sections	Total cap.	Vcr (KV)	delta Vs (%)	Qcr (KVAR)	Qcr_1 (MVAR)	Qcomp (MVAR)	Qcr_1/Qcomp (%)
5	3	7	90	13.28	0.0	800	72.00	71.99	100.0
6	3	6	108	11.4	3.0	700	75.60	71.23	106.1
8	3	4	144	8.32	0.2	500	72.00	71.64	100.5
10	3	4	180	6.64	0.0	400	72.00	71.99	100.0

< Back Print
Graph Finish

รูปที่ 4.11 หน้าจอผลลัพธ์ของตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless ที่มีการต่อแบบ Split wye equal legs ที่ระดับแรงดัน 115 kV เมื่อต้องการกำลังรีแอคทีฟ 72 MVA_r และใช้กระแสเฟส 60 A โดยเผื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 การจำลองผลลัพธ์โดยการตรวจจับความไม่สมดุล

การจำลองผลลัพธ์โดยการตรวจจับความไม่สมดุลอ้างอิง [2] ประกอบด้วย 2 ลักษณะ คือ การจำลองผลลัพธ์จากผลของจำนวนฟิวส์ที่ทำการปลดตัวเก็บประจุหรือ Elements ออกจากระบบ และการจำลองผลลัพธ์จากผลของจำนวน Elements ภายในตัวเก็บประจุที่ลัดวงจร

การจำลองผลลัพธ์จากผลของจำนวนฟิวส์ที่ทำการปลดตัวเก็บประจุสำหรับชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused และจำนวนฟิวส์ที่ทำการปลด Element ภายในตัวเก็บประจุสำหรับชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused มีรายละเอียดดังนี้

- กรณี Externally fused แบบ Split wye ใช้สมการในตารางที่ 4.1
- กรณี Externally fused แบบ Single wye โดยการใช้การแท็บแรงดันในการตรวจวัดความไม่สมดุลและใช้สมการในตารางที่ 4.2
- กรณี Externally fused แบบ H-bridge ใช้สมการในตารางที่ 4.3
- กรณี Internally fused แบบ Split wye ใช้สมการในตารางที่ 4.4
- กรณี Internally fused แบบ Single wye โดยการใช้การแท็บแรงดันในการตรวจวัดความไม่สมดุลและใช้สมการในตารางที่ 4.5
- กรณี Internally fused แบบ H-bridge ใช้สมการในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.1 สมการการจำลองผลลัพธ์สำหรับ Externally fused แบบ Split wye

Column title	Formula and comment
Blown capacitor unit fuses n	The number of fuses that have blown in one parallel group of capacitor units. $n = 0$ is the system normal condition. $n = SU$ is the condition with a faulted capacitor unit (SU) before the operation of the fuse.
Parallel group per-unit capacitance C_g	$C_g = \frac{P_a - n}{P_a}$ The capacitance of the parallel group of capacitors that includes the blown fuse(s).
Affected wye capacitance C_s	$C_s = \frac{S \times C_g}{C_g(S - 1) + 1}$ The per-unit phase-to-neutral capacitance of the series/parallel group of capacitor units that includes the blown fuse(s). For the group including the affected unit, the per-unit capacitance is C_g . For all other groups, the per-unit capacitance is 1.
Per-unit capacitance, phase with blown fuses C_p	$C_p = \frac{(C_s \times P_a) + P_t - P_a}{P_t}$ The per-unit capacitance of the phase (both wyes) that includes the blown fuse(s). For single wye banks, $P_a = P_t$ and $C_p = C_s$.

ตารางที่ 4.1 สมการการจำลองผลลัพท์สำหรับ Externally fused แบบ Split wye (ต่อ)

Column title	Formula and comment
Neutral-to-ground voltage (per unit of V_{lg}) V_{ng}	$V_{ng} = G \left(\frac{3}{2 + C_p} - 1 \right)$ <p>For grounded banks ($G = 0$), this voltage is always 0. For ungrounded wye banks, the calculation is made assuming the affected phase has a capacitance C_p and the other two phases each have a per-unit capacitance of 1.</p> <p>(It is convenient to develop this equation based on an instant in time when the affected phase has one per-unit voltage and the other two phases have -0.5 per-unit voltage. For this condition the two unaffected phases can be paralleled, and the voltage divider between -0.5 per unit and $+1$ per unit can be calculated for the midpoint voltage, which is recorded as V_{ng}.)</p>
Voltage on affected phase V_{ln}	$V_{ln} = 1 + V_{ng}$ <p>The voltage line to neutral across the phase that includes the blown fuse(s). The operation of the fuse(s) reduces the capacitance of that phase and increases the voltage across the affected phase; therefore, the numbers are always greater than one except before the operation of the fuse on a faulted capacitor unit.</p>
Voltage on affected series group V_{cu}	$V_{cu} = \frac{V_{ln} \times C_s}{C_g}$ <p>(If $C_g = 0$, $V_{cu} = V_{ln} \times S$)</p> <p>The per-unit voltage on the capacitor units in the group with the blown fuse(s), based on the capacitance division of the actual voltage on the affected phase (V_{ln}).</p>
Current through affected capacitor(s) I_u	$I_u = V_{cu} \times C_u$ <p>The current through the individual capacitor units in the group with the blown fuse(s), per unit of the value with no fuses blown. The value for SU indicates the power frequency current available to blow the fuse on a faulted capacitor unit. This value may be used to estimate the maximum clearing time of the fuse (assuming no discharge from parallel capacitor units into the faulted one).</p>
Current in affected wye I_y	$I_y = C_s \times V_{ln}$ <p>The per-unit current in the series/parallel group with the blown fuse(s). This value may be useful for differential schemes comparing the current in different series/parallel groups.</p>
Current in affected phase I_{ph}	$I_{ph} = C_p \times V_{ln}$ <p>The current in the phase with the blown fuses. This may be useful for setting protection based on phase current.</p>
Ground current change I_g	$I_g = (1 - G)(1 - I_{ph})$ <p>The change in current to ground, which is used with protective relay schemes utilizing either neutral-to-ground current, or the voltage across a low-voltage capacitor(s) in the neutral or in each phase.</p> <p>The per-unit change in current to ground is the per-unit change in voltage across a low-voltage capacitor in the affected phase. It is also the per-unit change in voltage across a low-voltage capacitor in the neutral-to-ground connection because the other two phase currents do not change in a grounded wye bank.</p>
Neutral current between wyes I_n	$I_n = \frac{3 \times V_{ng} \times G}{2}$ <p>Unbalance current for ungrounded wye-wye banks. [The current is calculated assuming the neutral-to-ground (zero sequence) voltage is applied at the neutral of the wye with no blown fuses.]</p>
Difference current, equal wyes I_d	$I_d = V_{ln}(1 - C_p)$ <p>For grounded wye-wye banks, where the difference in the neutral current between the two equal wyes is used as a basis for protection (see Figure 18). Values are per unit of total phase current.</p>

ตารางที่ 4.2 สมการการจำลองผลลัพท์สำหรับ Externally fused แบบ Single wye

Column title	Formula and comment
Affected phase capacitance C_p	$C_p = \frac{P_t(P_t - n)}{P_t + (P_t - n)(S - 1)}$ The capacitance of the phase from end to end, assuming the capacitance of one healthy capacitor unit is 1 per unit.
Voltage on affected capacitor group V_{cu}	$V_{cu} = \frac{C_p \times S}{P_t - n}$ Voltage across the group of capacitors that includes the affected capacitor unit, per unit of the normal voltage across that group.
Current through affected capacitor I_u	$I_u = V_{cu} \times C_u$ The current through the affected capacitor unit(s), per unit of the value with no fuses blown. The value for SU indicates the power frequency current available to blow the fuse on a faulted capacitor. This value may be used to estimate the maximum clearing time of the fuse (assuming no discharge from parallel capacitor units into the faulted one). For healthy capacitor units $C_u = 1$, and the equation can be simplified to $I_u = V_{cu}$.
For blown fuses outside tap portion	
Capacitance tap to neutral C_{tn}	$C_{tn} = \frac{P_t}{S_t}$ The capacitance of the tap portion of the phase, assuming the capacitance of one healthy capacitor unit is 1 per unit.
Tap voltage, per unit of V_{lg} V_{tg}	$V_{tg} = \frac{C_p}{C_{tn}}$ The voltage across the tap, assuming 1 per-unit voltage is the actual voltage on the phase.
Tap voltage change, per unit of normal dV_{tg}	$dV_{tg} = \frac{V_{tg} - V_{tg}(n = 0)}{V_{tg}(n = 0)}$ The per-unit change in the tap voltage, assuming 1 per unit is the normal tap voltage.
For blown fuses inside tap portion	
Capacitance tap to neutral C_{tn}	$C_{tn} = \frac{P_t(P_t - n)}{P_t + (P_t - n)(S_t - 1)}$ The capacitance of the tap portion of the phase, assuming the capacitance of one healthy capacitor unit is 1 per unit.
Tap voltage per unit of V_{lg} V_{tg}	$V_{tg} = \frac{C_p}{C_{tn}}$ The voltage across the tap, assuming 1 per-unit voltage is the actual voltage on the phase.
Tap voltage change, per unit of normal dV_{tg}	$dV_{tg} = \frac{V_{tg} - V_{tg}(n = 0)}{V_{tg}(n = 0)}$ The per-unit change in the tap voltage, assuming 1 per unit is the normal tap voltage.

ตารางที่ 4.3 สมการการจำลองผลลัพท์สำหรับ Externally fused แบบ H-bridge

Column title	Formula and comment
Blown fuses n	The number of fuses that have blown in one parallel group of capacitor units. n = 0 is the system normal condition. n = SU is the condition with a faulted capacitor unit (SU) before the operation of the fuse.
Capacitance H-bridge to neutral C _{hn}	$C_{hn} = \frac{(Pa - n)Pa}{(Pa - n)(St - 1) + Pa} + \frac{Pt - Pa}{St}$ The capacitance from the H leg to the neutral or reference end of the phase, assuming the capacitance of one capacitor unit is 1 per unit.
Affected phase capacitance C _p	$C_p = \frac{C_{hn} \times Pt}{C_{hn}(S - St) + Pt}$ The capacitance of the phase from end to end, assuming the capacitance of one capacitor unit is 1 per unit.
Affected phase voltage V _{ln}	$V_{ln} = 1 + G \left(\frac{3}{2 + C_p/C_p(0)} - 1 \right)$ The voltage across the affected phase will be 1 for grounded wye or delta, where G = 0. For ungrounded wye, this voltage is the per-unit voltage across the affected phase including the effect of the neutral shift from capacitance unbalance.
H leg voltage, per unit of V _{ln} V _{hn}	$V_{hn} = \frac{C_p}{C_{hn}}$ The voltage of the H leg, per unit of the actual voltage on the affected phase.
“H” current, per unit of total phase current I _h	$I_h = -V_{ln} \left(\frac{St}{S} - V_{hn} \right) \left(\frac{1}{S - St} + \frac{1}{St} \right) \left(\frac{S(Pt - Pa)}{Pt} \right)$ The current in the H leg, per unit of the normal total phase current for a wye-connected or single-phase bank or per unit of total leg current for a delta bank.
Voltage on affected capacitor units V _{cu}	$V_{cu} = \frac{V_{ln} \times V_{hn} \times Pa \times S}{Pa + (St - 1)(Pa - n)}$ The voltage across the capacitor units in parallel with the blown fuses, per unit of the value with no fuses blown.
Current through affected capacitor(s) I _u	$I_u = V_{cu} \times C_u$ The current through the capacitor units in the group with the blown fuse(s), per unit of the value with no fuses blown. The value for SU indicates the power frequency current available to blow the fuse on a faulted capacitor unit. This value may be used to estimate the maximum clearing time of the fuse (assuming no discharge from parallel capacitor units into the faulted one).

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 สมการการจำลองผลลัพท์สำหรับ Internally fused แบบ Split wye

Column title	Formula and comment
Blown fuses f	The number of fuses that have blown in one parallel group of elements inside one capacitor unit. f = 0 is the system normal condition. f = SE is the condition with a faulted element (SE) before the operation of the element fuse.
Internal group per-unit capacitance C _i	$C_i = \frac{N-f}{N}$ The per-unit capacitance of the group, based on the number of blown fuses. The value for N is input at the top of the page and for f is from column one. For this and all subsequent columns, an "if" statement has been included so that if f > N, nothing is printed.
Internal group voltage (for capacitor unit at 1 per-unit voltage) V _g	$V_g = \frac{S_u \times N}{(S_u - 1)(N - f) + N}$ The voltage that would occur across the affected group of elements where the fuses are blowing if there was 1 per-unit voltage on the capacitor unit. For the calculation, the capacitance of all groups except the affected group is 1 per unit. The capacitance of the affected group is C _i .
Capacitor unit per-unit capacitance C _u	$C_u = \frac{S_u \times C_i}{C_i \times (S_u - 1) + 1}$ The capacitance of the affected capacitor unit, assuming all groups except the affected group have 1 per-unit capacitance and the affected group has the capacitance C _i .
Parallel group per-unit capacitance C _g	$C_g = \frac{P - 1 + C_u}{P}$ The capacitance of the group of capacitors that includes the affected unit. For all of the units in that group except the affected unit, the per-unit capacitance is 1. For the affected unit, the per-unit capacitance is C _u .
Affected string capacitance C _s	$C_s = \frac{S \times C_g}{C_g(S - 1) + 1}$ The per-unit capacitance of the string of (parallel groups of) capacitor units from phase to neutral that includes the affected capacitor unit. For the group including the affected unit, the per-unit capacitance is C _g . For all other groups, the per-unit capacitance is 1.
Per-unit capacitance, phase with affected unit C _p	$C_p = \frac{(C_s \times P) + P_t - P}{P_t}$ The per-unit capacitance of the phase (all parallel strings) that includes the affected unit. For this calculation the capacitance of the affected string is C _s . The capacitance of all the other strings is 1 per unit.

ตารางที่ 4.4 สมการการจำลองผลลัพท์สำหรับ Internally fused แบบ Split wye (ต่อ)

Column title	Formula and comment
Neutral-to-ground voltage (per unit of V_{lg}) V_{ng}	$V_{ng} = G \left(\frac{3}{2 + C_p} - 1 \right)$ <p>The neutral-to-ground voltage. For grounded banks ($G = 0$), this voltage is always 0. For ungrounded wye banks, the calculation assumes the affected phase has a capacitance C_p and the other two phases each have a per-unit capacitance of 1.</p> <p>(It is convenient to develop this equation based on an instant in time when the affected phase has 1 per-unit voltage and the other two phases have -0.5 per-unit voltage. For this condition the two unaffected phases can be paralleled, and the voltage divider between -0.5 per unit and $+1$ per unit can be calculated for the midpoint voltage, which is recorded as V_{ng}.)</p>
Voltage on affected phase V_{ln}	$V_{ln} = 1 + V_{ng}$ <p>The voltage line to neutral across the phase that includes the affected unit. With fused units, the operation of the fuse reduces the capacitance of that phase and increases the voltage across the affected phase; therefore, the numbers are always greater than one except before the operation of the fuse on a faulted element.</p>
Voltage on affected unit V_{cu}	$V_{cu} = \frac{V_{ln} \times C_s}{C_g}$ <p>(If $C_g = 0$, $V_{cu} = V_{ln} \times S$)</p> <p>The actual per-unit voltage on the affected capacitor unit, based on the capacitance division of the actual voltage on the affected phase (V_{ln}).</p>
Voltage on affected elements V_e	$V_e = V_{cu} \times V_g$ <p>The actual per-unit voltage on the affected elements, based on the actual voltage on the affected unit.</p>
Current through affected capacitor I_u	$I_u = V_{cu} \times C_u$ <p>The current through the affected capacitor unit, per unit of the value with no fuses blown. The value for SE indicates the power frequency current available to blow the fuse on a faulted element. This value may be used to estimate the maximum clearing time of the fuse (assuming no discharge from parallel elements into the faulted one).</p>
Current in affected string I_{st}	$I_{st} = C_s \times V_{ln}$ <p>The per-unit current in the affected string. This value may be useful for differential schemes comparing the current in parallel strings.</p>
Current in affected phase I_{ph}	$I_{ph} = C_p \times V_{ln}$ <p>The current in the affected phase. This equation may be useful for setting protection based on phase current.</p>
Ground current change I_g	$I_g = (1 - G)(1 - I_{ph})$ <p>For use with protective relay schemes utilizing neutral-to-ground current, or the voltage across a low-voltage capacitor in the neutral or in each phase.</p> <p>The per-unit change in current to ground is the per-unit change in voltage across a low-voltage capacitor in the affected phase. It is also the per-unit change in voltage across a low-voltage capacitor in the neutral-to-ground connection because the other two phase currents do not change in a grounded bank.</p>
Neutral current between wyes I_n	$I_n = \frac{3 \times V_{ng} \times G(P_t - P_a)}{2}$ <p>Unbalance current for ungrounded wye-wye banks. [The current is calculated assuming the neutral-to-ground (zero sequence) voltage is applied at the neutral of the unaffected wye, which is half the of the bank.]</p>
Difference current, equal wyes I_d	$I_d = V_{ln}(1 - C_p)$ <p>For grounded wye-wye banks where the difference in the neutral current between the two equal wyes is used as a basis for protection (see Figure 27). Values are per unit of total phase current.</p>

ตารางที่ 4.5 สมการการจำลองผลลัพท์สำหรับ Internally fused แบบ Single wye

Column title	Formula and comment
Affected capacitor per-unit capacitance C_u	$C_u = S_u \times \frac{N - f}{(N - f)(S_u - 1) + N}$ The per-unit capacitance of the affected capacitor unit, based on the number of blown fuses in one group (in the affected capacitor).
Affected phase capacitance C_p	$C_p = \frac{P_t(P_t - 1 + C_u)}{P_t + (P_t - 1 + C_u)(S - 1)}$ The capacitance of the phase from end to end, assuming the capacitance of one healthy capacitor unit is 1 per unit.
Voltage on affected capacitor group V_{cu}	$V_{cu} = \frac{C_p \times S}{P_t - 1 + C_u}$ The voltage across the group of capacitors that includes the affected capacitor unit, per unit of the normal voltage across that group.
Voltage on affected element group V_e	$V_e = \frac{V_{cu} \times S_u \times N}{S_u(N - f) + f}$ The voltage across the remaining elements in the affected element group (also the voltage across the blown fuses in that group), per unit of the value with no fuses blown.
Current through affected capacitor I_u	$I_u = V_{cu} \times C_u$ The current through the affected capacitor unit, per unit of the value with no fuses blown. The value for SE indicates the power frequency current available to blow the fuse on a faulted element. This value may be used to estimate the maximum clearing time of the fuse (assuming no discharge from parallel elements into the faulted one).
For affected unit outside tap portion	
Capacitance tap to neutral C_{hn}	$C_{hn} = \frac{P_t}{S_t}$ The capacitance of the tap portion of the phase, assuming the capacitance of one healthy capacitor unit is 1 per unit.
Tap voltage, per unit of V_{lg} V_{tg}	$V_{tg} = \frac{C_p}{C_{hn}}$ The voltage across the tap, assuming 1 per-unit voltage is the actual voltage on the phase.
Tap voltage change, per unit of normal dV_{tg}	$dV_{tg} = \frac{V_{tg}(f = 0) - V_{tg}}{V_{tg}(f = 0)}$ The per-unit change in the tap voltage, assuming 1 per unit is the normal tap voltage.
For affected unit inside tap portion	
Capacitance tap to neutral C_{hn}	$C_{hn} = \frac{P_t(P_t - 1 + C_u)}{P_t + (P_t - 1 + C_u)(S_t - 1)}$ The capacitance of the tap portion of the phase, assuming the capacitance of one healthy capacitor unit is 1 per unit.
Tap voltage per unit of V_{lg} V_{tg}	$V_{tg} = \frac{C_p}{C_{hn}}$ The voltage across the tap, assuming 1 per-unit voltage is the actual voltage on the phase.

ตารางที่ 4.6 สมการการจำลองผลลัพท์สำหรับ Internally fused แบบ H-bridge

Column title	Formula and comment
Blown fuses f	The number of fuses that have blown in one parallel group of elements inside one capacitor unit. $f = 0$ is the system normal condition. $f = SE$ is the condition with a shorted element (SE) before the operation of the element fuse.
Affected capacitor per-unit capacitance C_u	$C_u = S_u \times \frac{N - f}{(N - f)(S_u - 1) + N}$ The per-unit capacitance of the affected capacitor unit, based on the number of blown fuses.
Capacitance H-bridge to neutral C_{hn}	$C_{hn} = \frac{(C_u + P - 1)P}{(C_u + P - 1)(S_t - 1) + P} + \frac{Pt - P}{S_t}$ The capacitance from the H leg to the neutral or reference end on the phase, assuming the capacitance of one healthy capacitor unit is 1 per unit.
Affected phase capacitance C_p	$C_p = \frac{C_{hn} \times Pt}{C_{hn}(S - S_t) + Pt}$ The capacitance of the phase from end to end, assuming the capacitance of one healthy capacitor unit is 1 per unit.
Affected phase voltage V_{ln}	$V_{ln} = 1 + G \left(\frac{3}{2 + C_p/C_p(0)} - 1 \right)$ The voltage across the affected phase, that is, 1 for grounded wye or delta, where $G = 0$. For ungrounded wye, this voltage is the per-unit voltage across the affected phase including the effect of the neutral shift from capacitance unbalance.
H leg voltage, per unit of V_{ln} V_h	$V_h = \frac{C_p}{C_{hn}}$ The voltage of the H leg, per unit of the actual voltage on the affected phase.
H current, per unit of total phase current I_h	$I_h = -V_{ln} \left(\frac{S_t}{S} - V_h \right) \left(\frac{1}{S - S_t} + \frac{1}{S_t} \right) \left(\frac{S(Pt - Pa)}{Pt} \right)$ The current in the H leg, per unit of the normal total phase current for a wye-connected or single-phase bank or per unit of total leg current for a delta bank.
Voltage on affected capacitor unit V_{cu}	$V_{cu} = \frac{V_{ln} \times V_h \times P \times S}{P + (S_t - 1)(C_u + P - 1)}$ The voltage across the affected capacitor unit, per unit of the value with no fuses blown.
Voltage on affected elements V_e	$V_e = \frac{V_{cu} \times S_u \times N}{S_u(N - f) + f}$ The voltage across the remaining elements in the affected element group (also the voltage across the blown fuses in that group), per unit of the value with no fuses blown.
Current through affected capacitor unit I_u	$I_u = V_{cu} \times C_u$ The current through the affected capacitor unit, per unit of the value with no fuses blown. The value for SE indicates the power frequency current available to blow the fuse on a faulted element. This value may be used to estimate the maximum clearing time of the fuse (assuming no discharge from parallel elements into the faulted one).

การจำลองผลลัพธ์จากผลของจำนวน Elements ภายในตัวเก็บประจุที่ลัดวงจรสำหรับชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless จะใช้สมการในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 สมการการจำลองผลลัพธ์สำหรับ Fuseless แบบ Split wye

Column title	Formula and comment
Shorted capacitor elements e	The number of elements that have shorted in one string of elements between phase and neutral.
String per-unit capacitance C_{st}	$C_{st} = \frac{E}{E-e}$ The capacitance of the affected string of capacitor units.
Affected wye capacitance C_y	$C_y = \frac{S1 - 1 + C_{st}}{S1}$ The capacitance of all strings of capacitors in phase of the wye that includes the affected string. For all of the strings in that wye except the affected string, the per-unit capacitance is $S1 - 1$. For the affected string, the per-unit capacitance is C_{st} .
Affected phase capacitance C_p	$C_p = \frac{(C_y \times S1) + S_p - S1}{S_p}$ The per-unit capacitance of the phase (all parallel strings) that includes the affected string. For this calculation the capacitance of the affected wye is C_y . The capacitance of the other wye is 1 per unit.
Neutral-to-ground voltage (per unit of V_{lg}) V_{ng}	$V_{ng} = G \left(1 - \frac{3}{2 + C_p} \right)$ For grounded banks ($G = 0$), this voltage is always 0. For ungrounded wye banks, the calculation assumes the affected phase has a capacitance C_p and the other two phases each have a per-unit capacitance of 1. (It is convenient to develop this equation based on an instant in time when the affected phase has 1 per-unit voltage and the other two phases have -0.5 per-unit voltage. For this condition the two unaffected phases can be paralleled and the voltage divider between -0.5 per unit and $+1$ per unit can be calculated for the midpoint voltage, which is recorded as V_{ng} .)
Voltage on affected phase V_{ln}	$V_{ln} = 1 - V_{ng}$ The voltage line to neutral across the phase that includes the affected string. With fuseless capacitor banks, the shorting of elements increases the capacitance of that phase and decreases the voltage across the affected phase; therefore, the voltage is always less than 1 per unit with shorted elements, except with grounded wye banks.
Voltage on affected elements V_e	$V_e = V_{ln} \times \frac{E}{E-e}$ The per-unit voltage on the remaining elements in the affected string, based on the actual voltage on the affected string.

ตารางที่ 4.7 สมการการจำลองผลลัพท์สำหรับ Fuseless แบบ Split wye (ต่อ)

Column title	Formula and comment
Current in affected wye I_y	$I_y = C_y \times V_{ln}$ <p>The per-unit current in the affected phase of the affected wye. This equation may be useful for estimating the increase in voltage across a low-voltage capacitor at the neutral end of the affected phase of the affected wye.</p>
Current in affected phase I_{ph}	$I_{ph} = C_p \times V_{ln}$ <p>The current in the affected phase. This equation may be useful for setting protection based on phase current or the voltage across a low capacitor at the neutral end of the affected phase.</p>
Ground current I_g	$I_g = (1 - G)(1 - I_{ph})$ <p>For use with protective relay schemes utilizing neutral-to-ground current, or the voltage across a low-voltage capacitor in the neutral-to-ground connection.</p> <p>The per-unit change in current to ground is the per-unit change in voltage across a low-voltage capacitor in the affected phase. It is also the per-unit change in voltage across a low-voltage capacitor in the neutral-to-ground connection because the other two phase currents do not change in a grounded bank.</p>
Neutral current between wyes I_n	$I_n = \frac{3 \times V_{ng} \times G \times (S_p - S_l)}{S_p}$ <p>The unbalance current for ungrounded wye-wye banks.</p> <p>[The current is calculated assuming the neutral-to-ground (zero sequence) voltage is applied at the neutral of the unaffected wye.]</p>
Difference current I_d	$I_d = V_{ln}(1 - C_p)$ <p>For grounded wye-wye banks where the difference in the neutral current between the two equal wyes is used as a basis for protection (see Figure 27). Values are per unit of total phase current.</p>

บทที่ 5

ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

เนื้อหาในบทนี้นำเสนอตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุรูปแบบต่าง ๆ และการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวนตัวเก็บประจุที่ถูกปลดออกจากระบบ โดยการทำงานของฟิวส์สำหรับชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused และ Internally fused และจำนวน Element ที่ลัดวงจรสำหรับชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless ซึ่งรายละเอียดการออกแบบในที่นี้อ้างอิงพิกัดแรงดันและกำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุจากตาราง 2.1 มีเพียงค่า V_{max} และ Q_{max} สำหรับกรณี Internally fused และ Fuseless เท่านั้นที่ใช้ข้อมูลจาก [4] ซึ่งข้อมูลจากตาราง 2.1 สามารถเปลี่ยนมาใช้ข้อมูลของผู้ผลิตโดยตรงได้

5.1 ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่แรงดันระบบจำหน่าย

ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่แรงดันระบบจำหน่ายมี 2 ประเภทหลักคือ ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused และ Internally fused

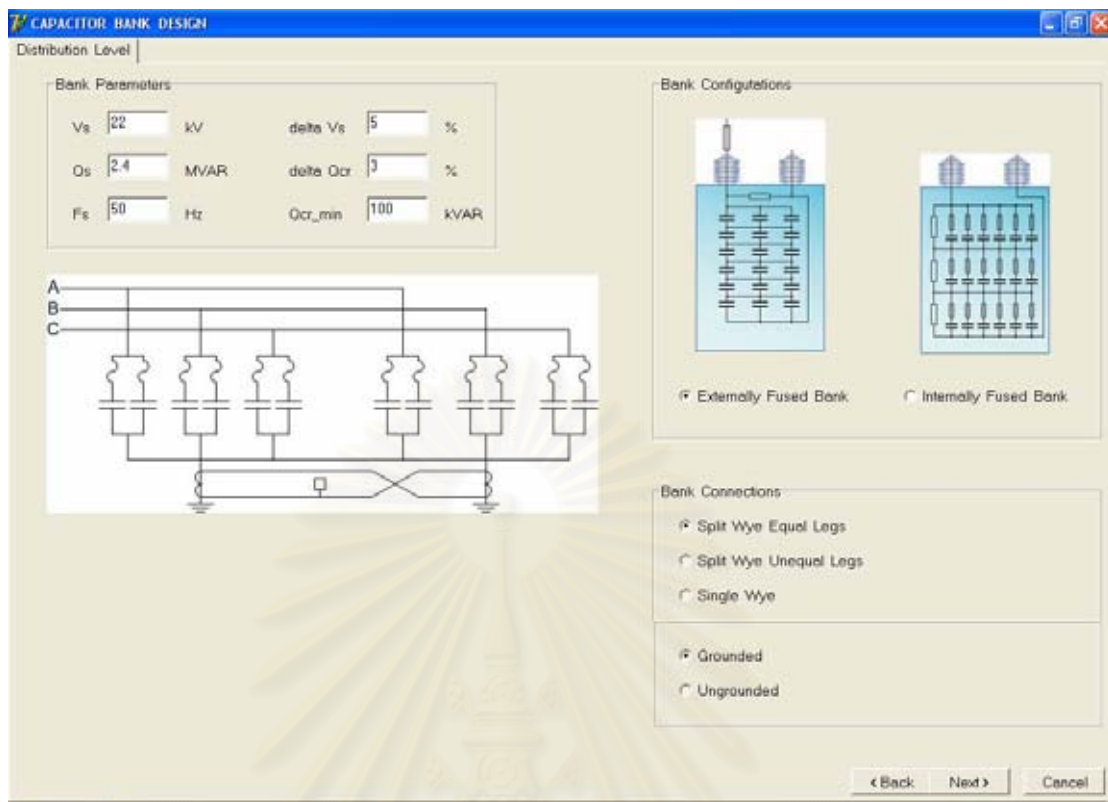
5.1.1 ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่แรงดันระบบจำหน่าย

ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่แรงดันระบบจำหน่ายมี 4 รูปแบบดังนี้

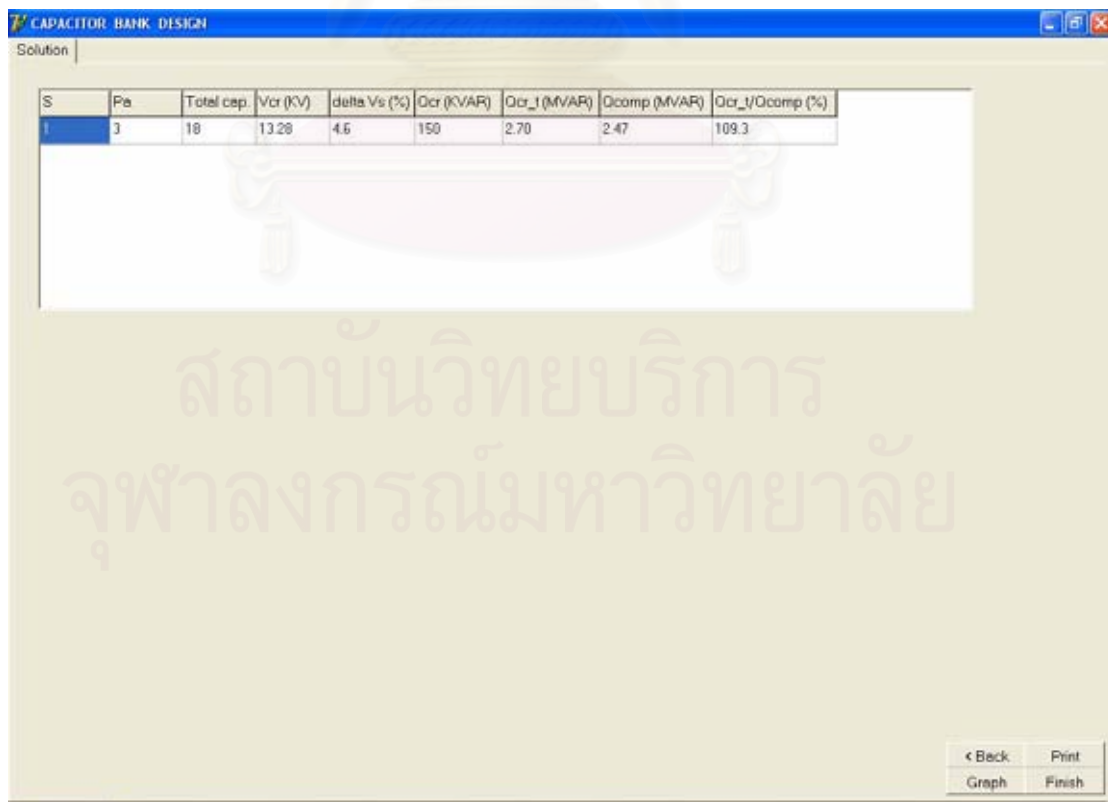
- 1) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ Split wye equal legs
- 2) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ Split wye unequal legs
- 3) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ Single grounded wye
- 4) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ Single ungrounded wye

5.1.1.1 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ Split wye equal legs

ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดัน 22 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 2.4 MVA_r โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด



รูปที่ 5.1 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ



รูปที่ 5.2 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

7 CAPACITOR BANK DESIGN

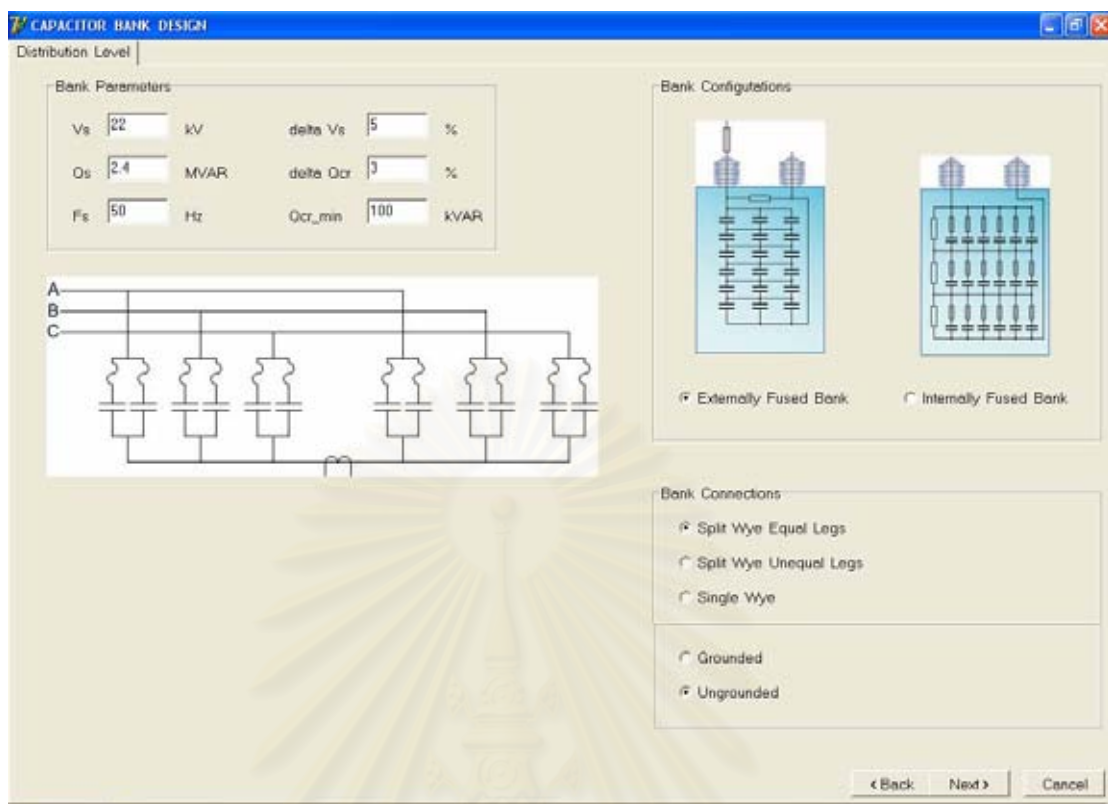
Table

n	Cg	Cs	Cp	Vng	VIn	Vcu	Iu	Iy	Iph	Ig	In	Id
0	1.000	1.000	1.0000	0.00000	1.00000	1.000	1.000	1.0000	1.0000	0.00000	0.00000	0.00000
1	0.667	0.667	0.8333	0.00000	1.00000	1.000	1.000	0.6667	0.8333	0.16667	0.00000	0.16667
2	0.333	0.333	0.6667	0.00000	1.00000	1.000	1.000	0.3333	0.6667	0.33333	0.00000	0.33333
3	0.000	0.000	0.5000	0.00000	1.00000	1.000	0.0000	0.5000	0.50000	0.00000	0.00000	0.50000

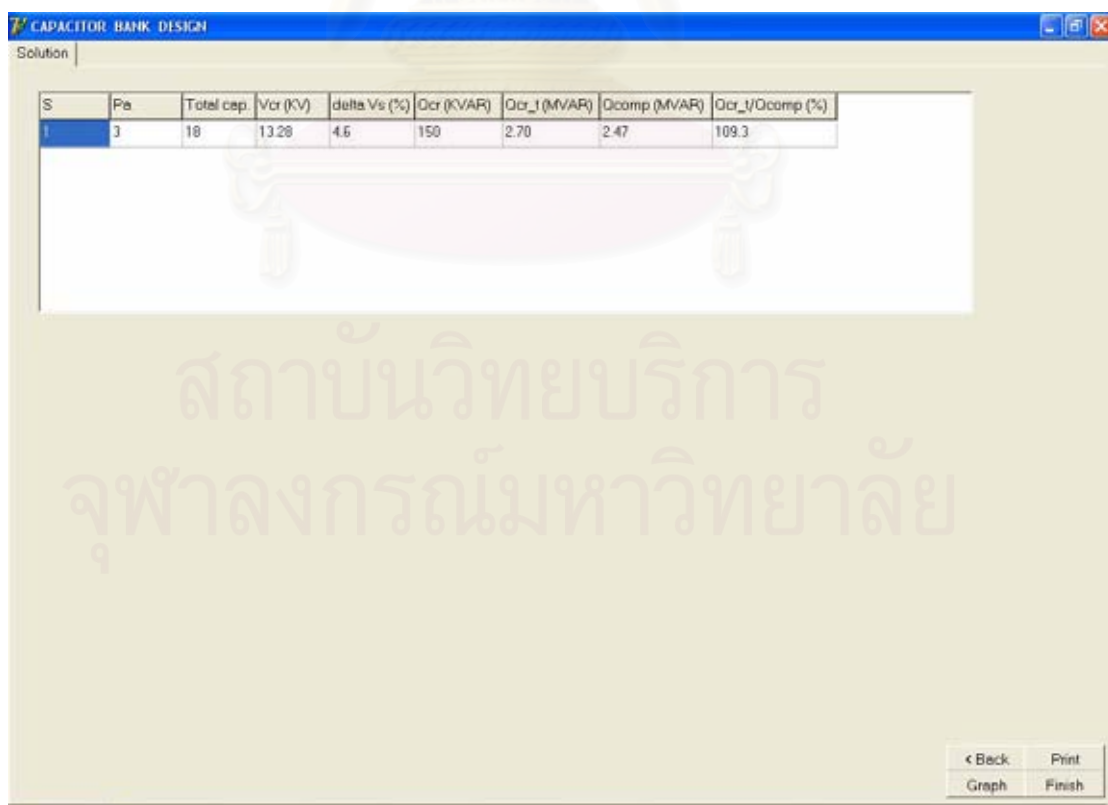
< Back Print

รูปที่ 5.3 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวนตัวเก็บประจุที่ถูกปลดออกจากระบบโดย
การทำงานของฟิวส์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.4 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ



รูปที่ 5.5 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

7 CAPACITOR BANK DESIGN

Table

n	Cg	Cs	Cp	Vng	Vin	Vcu	Iu	Iy	Iph	Ig	In	Id
0	1.000	1.000	1.0000	0.00000	1.00000	1.000	1.000	1.0000	1.0000	0.00000	0.00000	0.00000
1	0.667	0.667	0.8333	0.05002	1.05002	1.059	1.059	0.7059	0.8024	0.00000	0.00024	0.17647
2	0.333	0.333	0.6667	0.12500	1.12500	1.125	1.125	0.3750	0.7500	0.00000	0.10750	0.37500
3	0.000	0.000	0.5000	0.20000	1.20000	1.200	0.000	0.0000	0.6000	0.00000	0.30000	0.60000

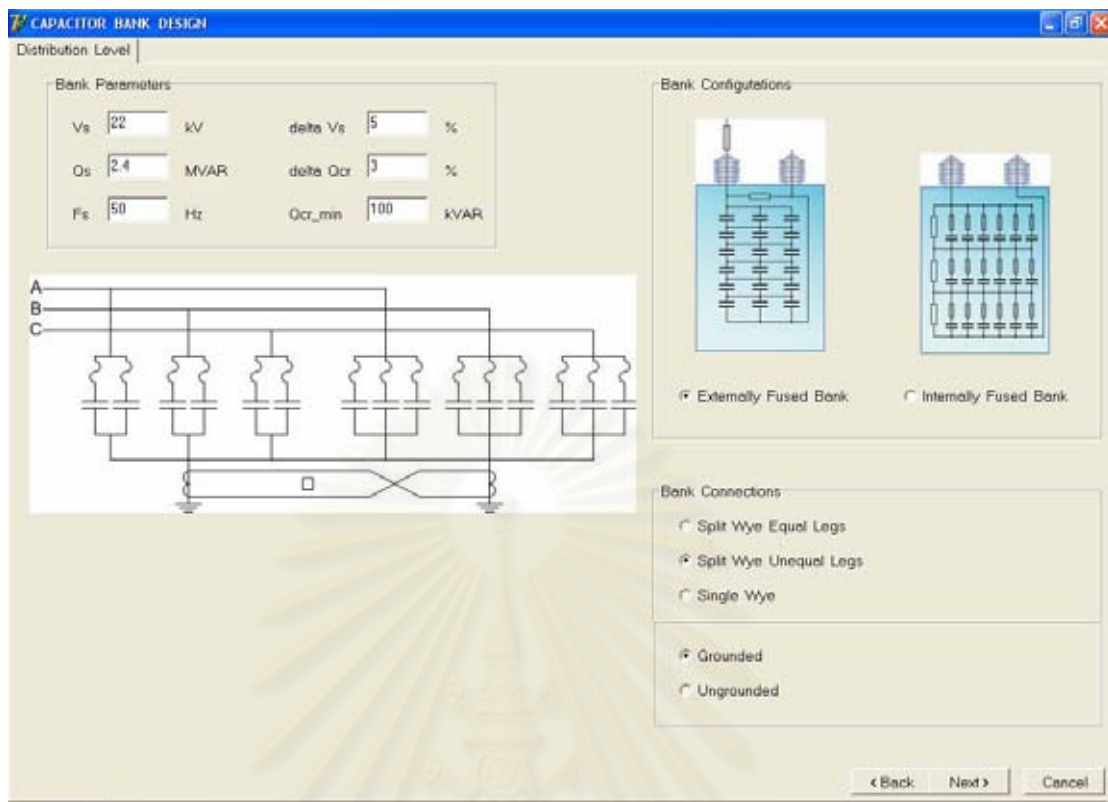
< Back Print

รูปที่ 5.6 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวนตัวเก็บประจุที่ถูกปลดออกจากระบบโดยการทำงานของฟิวส์

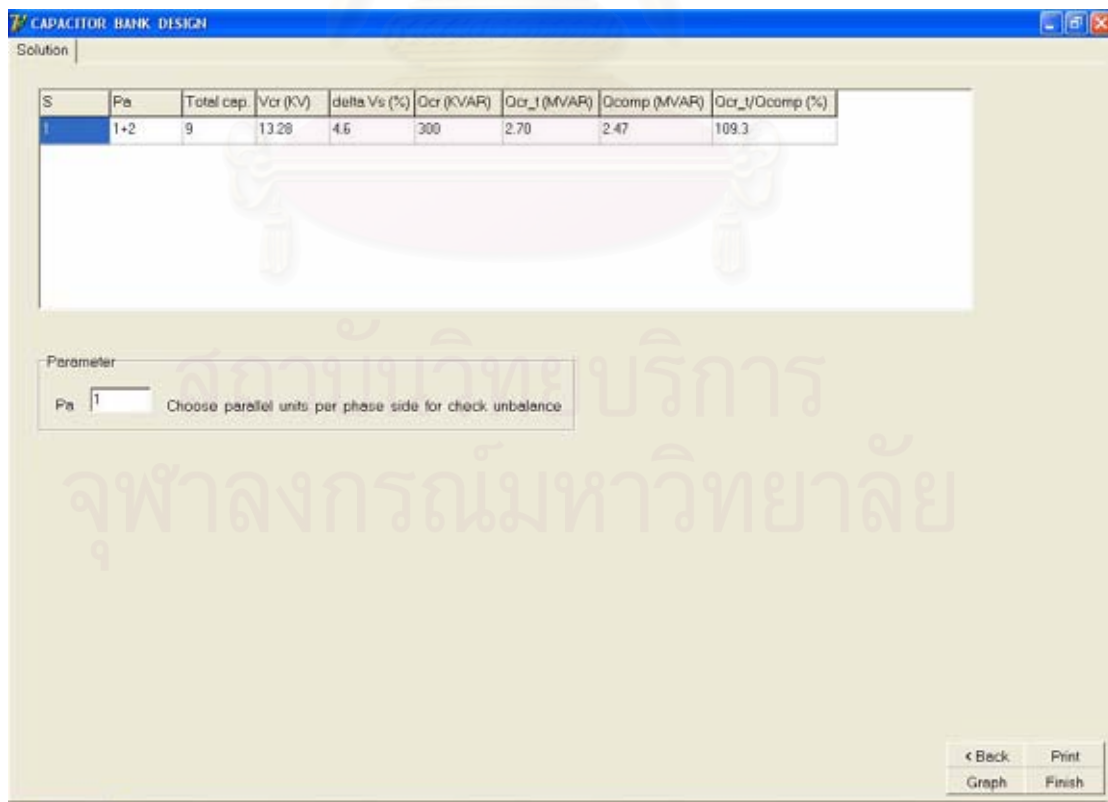
เมื่อพิจารณาจากการตรวจจับความไม่สมดุลเมื่อฟิวส์ทำงานจากรูปที่ 5.6 จะพบว่าแรงดันเกินตกคร่อมตัวเก็บประจุที่ยังคงเหลืออยู่ (V_{cu}) มีค่าเกิน 1.1 เท่าเมื่อฟิวส์ตัวที่ 2 ทำงาน ดังนั้นควร จะแจ้งเตือนเมื่อฟิวส์ตัวแรกทำงาน หรือ 50% ถึง 70% ของสัญญาณรีเลย์เมื่อฟิวส์ตัวแรกทำงาน ส่วนการปลดชุดตัวเก็บประจุจะตั้งค่าไว้ที่ค่ากึ่งกลางระหว่างสัญญาณรีเลย์เมื่อฟิวส์ตัวแรกทำงาน และสัญญาณรีเลย์เมื่อฟิวส์ตัวที่ 2 ทำงาน

5.1.1.2 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ Split wye unequal legs

ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดัน 22 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 2.4 MVar โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด



รูปที่ 5.7 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ



รูปที่ 5.8 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

7 CAPACITOR BANK DESIGN

Table

n	Cg	Cs	Cp	Vng	VIn	Vcu	Iu	Iy	Iph	Ig	In	Id
0	1.000	1.000	1.0000	0.00000	1.00000	1.000	1.000	1.0000	1.0000	0.00000	0.00000	Not Cal.
1	0.000	0.000	0.6667	0.00000	1.00000	1.000	0.000	0.0000	0.6667	0.33333	0.00000	Not Cal.

< Back Print

รูปที่ 5.9 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวนตัวเก็บประจุที่ถูกปลดออกจากระบบโดยการทำงานของฟิวส์เมื่อเลือกค่า Pa เท่ากับ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7 CAPACITOR BANK DESIGN

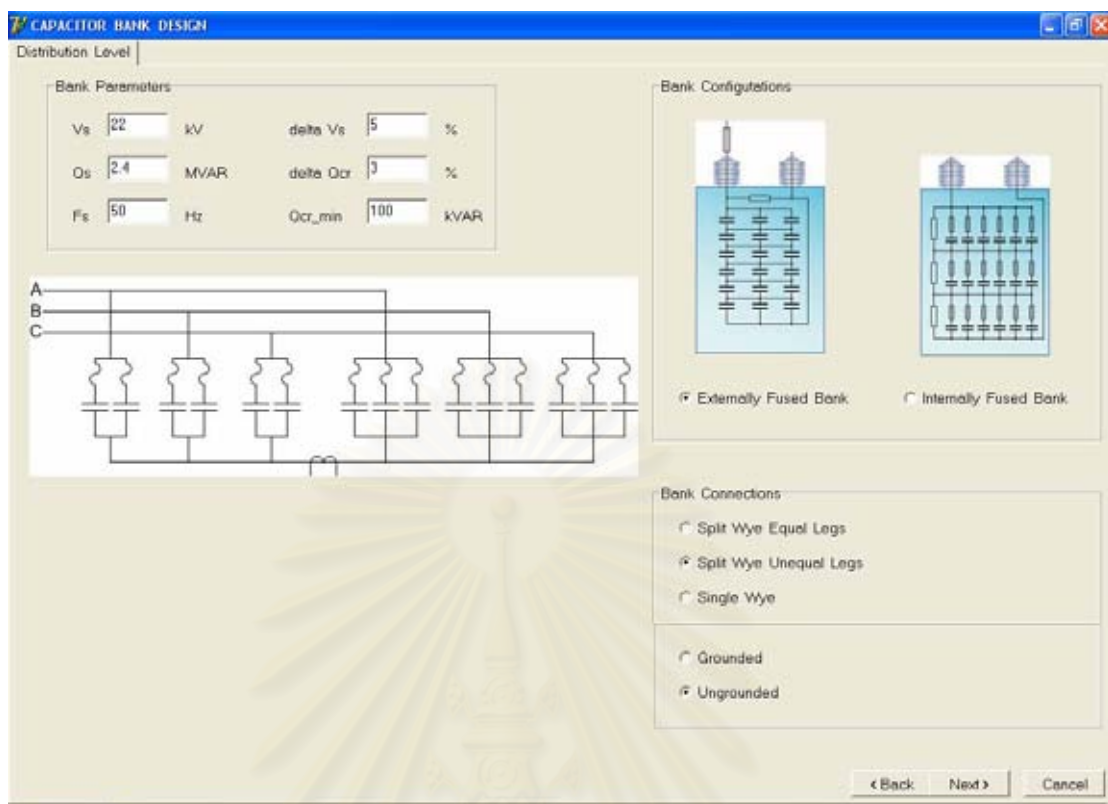
Table

n	Cg	Cs	Cp	Vng	VIn	Vcu	Iu	Iy	Iph	Ig	In	Id
0	1.000	1.000	1.0000	0.00000	1.00000	1.000	1.000	1.0000	1.0000	0.00000	0.00000	Not Cal.
1	0.500	0.500	0.6667	0.00000	1.00000	1.000	1.000	0.5000	0.6667	0.33333	0.00000	Not Cal.
2	0.000	0.000	0.3333	0.00000	1.00000	1.000	0.000	0.0000	0.3333	0.66667	0.00000	Not Cal.

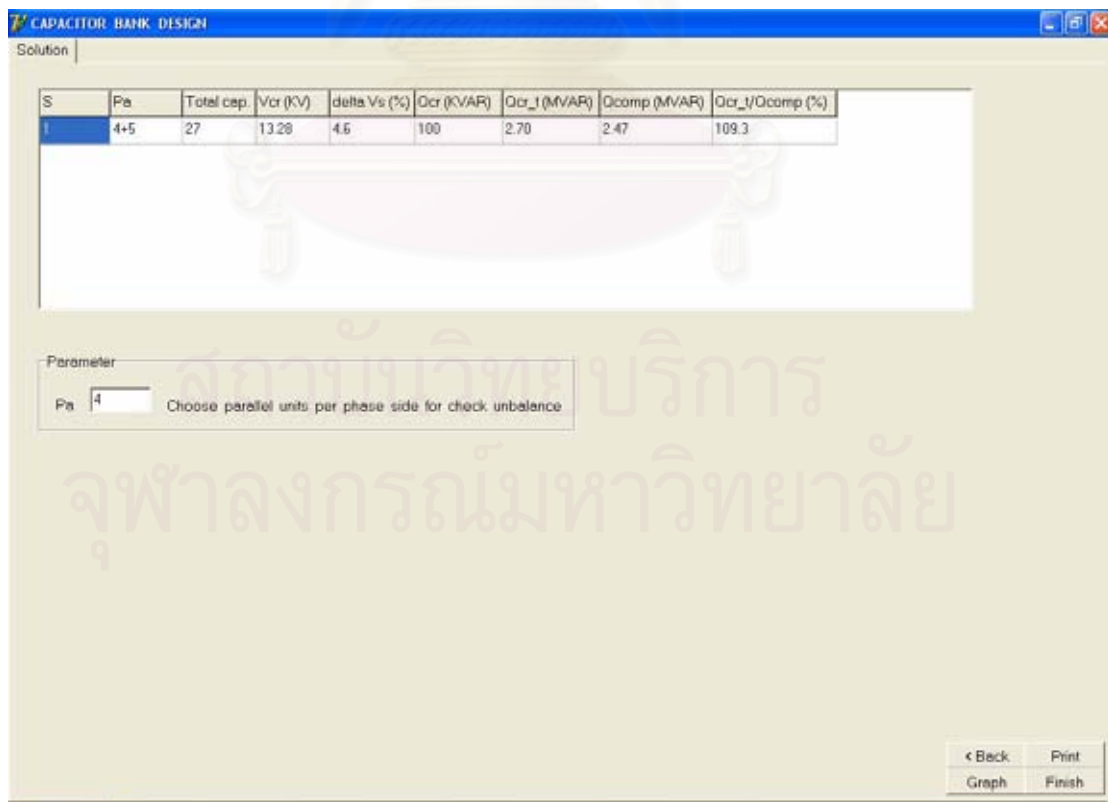
< Back Print

รูปที่ 5.10 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวนตัวเก็บประจุที่ถูกปลดออกจากระบบโดยการทำงานของฟิวส์เมื่อเลือกค่า Pa เท่ากับ 2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.11 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ



รูปที่ 5.12 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

7 CAPACITOR BANK DESIGN

Table

n	Cg	Cs	Cp	Vng	Vin	Vcu	Iu	Iy	Iph	Ig	In	Id
0	1.000	1.000	1.0000	0.00000	1.00000	1.000	1.000	1.0000	1.0000	0.00000	0.00000	Not Cel.
1	0.750	0.750	0.0009	0.03046	1.03046	1.030	1.030	0.7700	0.9231	0.00000	0.05769	Not Cel.
2	0.500	0.500	0.7770	0.00000	1.00000	1.000	1.000	0.5400	0.4400	0.00000	0.12000	Not Cel.
3	0.250	0.250	0.6667	0.12500	1.12500	1.125	1.125	0.2013	0.7500	0.00000	0.10750	Not Cel.
4	0.000	0.000	0.5556	0.17391	1.17391	1.174	0.000	0.0000	0.6522	0.00000	0.26007	Not Cel.

◀ Back Print

รูปที่ 5.13 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวนตัวเก็บประจุที่ถูกปลดออกจากระบบโดยการทำงานของฟิวส์เมื่อเลือกค่า Pa เท่ากับ 4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CAPACITOR BANK DESIGN

Table

n	Cg	Cs	Cp	Vng	Vin	Vcu	Iu	Iy	Iph	Ig	in	Id
0	1.000	1.000	1.0000	0.00000	1.00000	1.000	1.000	1.0000	1.0000	0.00000	0.00000	Not Cal.
1	0.900	0.900	0.9999	0.03046	1.03046	1.030	1.030	0.9300	0.9231	0.00000	0.05769	Not Cal.
2	0.600	0.600	0.7778	0.08000	1.08000	1.080	1.080	0.6400	0.6400	0.00000	0.12000	Not Cal.
3	0.400	0.400	0.6667	0.12500	1.12500	1.125	1.125	0.4500	0.7500	0.00000	0.18750	Not Cal.
4	0.200	0.200	0.5556	0.17391	1.17391	1.174	1.174	0.2348	0.6522	0.00000	0.26087	Not Cal.
5	0.000	0.000	0.4444	0.22727	1.22727	1.227	0.000	0.0000	0.5455	0.00000	0.34091	Not Cal.

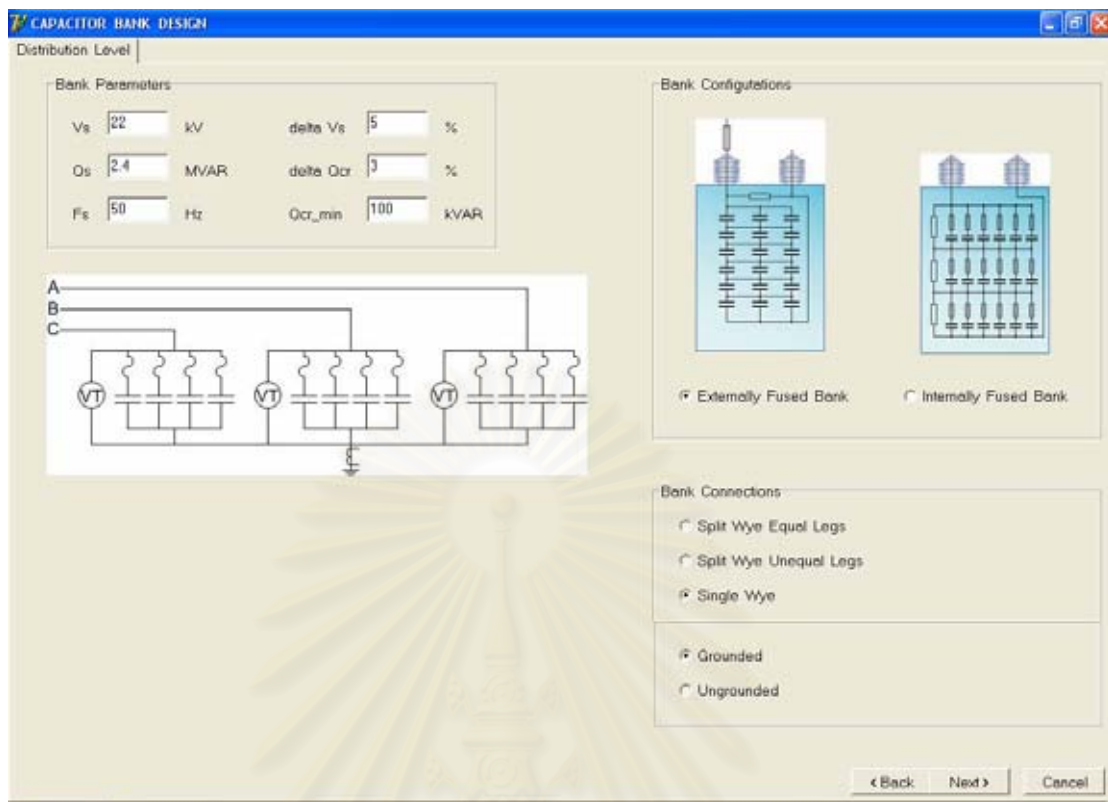
< Back Print

รูปที่ 5.14 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวนตัวเก็บประจุที่ถูกปลดออกจากระบบโดยการทำงานของฟิวส์เมื่อเลือกค่า Pa เท่ากับ 5

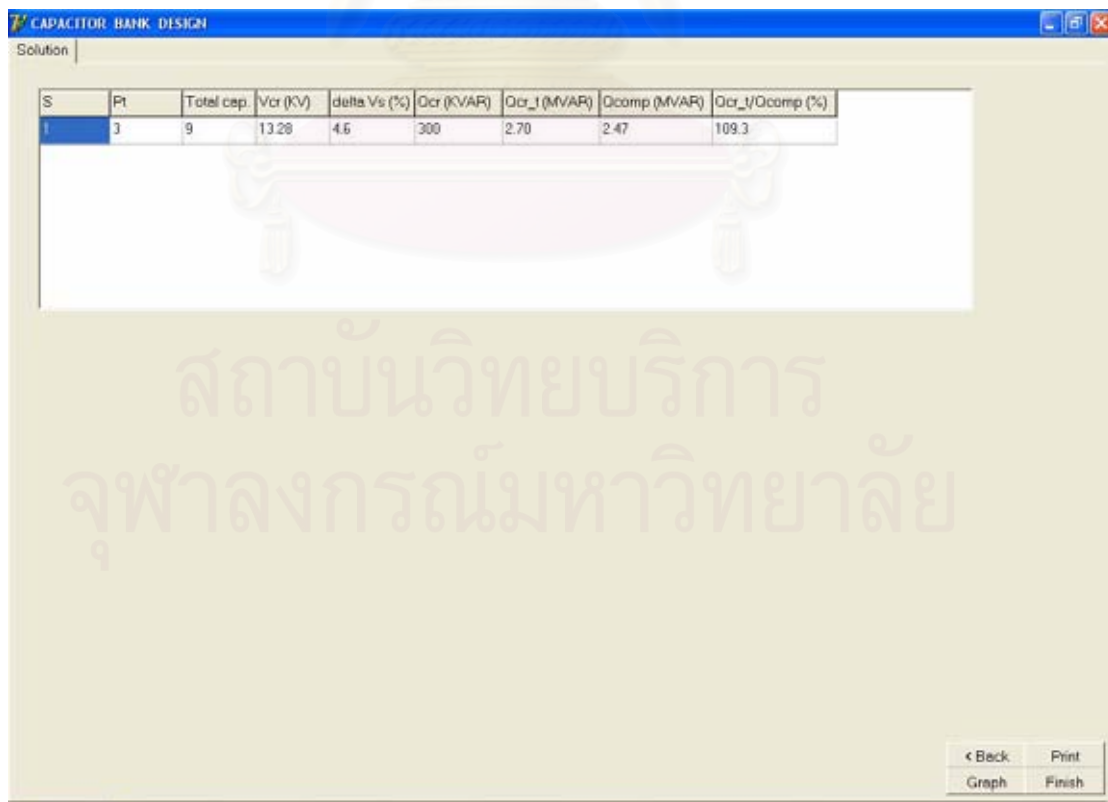
เมื่อพิจารณาจากการตรวจจับความไม่สมดุลเมื่อฟิวส์ทำงานจากรูปที่ 5.13 และ 5.14 จะพบว่า Vcu มีค่าเกิน 1.1 เท่าเมื่อฟิวส์ตัวที่ 3 ทำงาน ดังนั้นควรจะแจ้งเตือนเมื่อฟิวส์ตัวแรกทำงาน หรือ 50% ถึง 70% ของสัญญาณรีเลย์เมื่อฟิวส์ตัวแรกทำงาน ส่วนการปลดชุดตัวเก็บประจุจะตั้งค่าไว้ที่ค่ากึ่งกลางระหว่างสัญญาณรีเลย์เมื่อฟิวส์ตัวที่ 2 ทำงานและสัญญาณรีเลย์เมื่อฟิวส์ตัวที่ 3 ทำงาน

5.1.1.3 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ Single grounded wye

ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดัน 22 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 2.4 MVar โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด



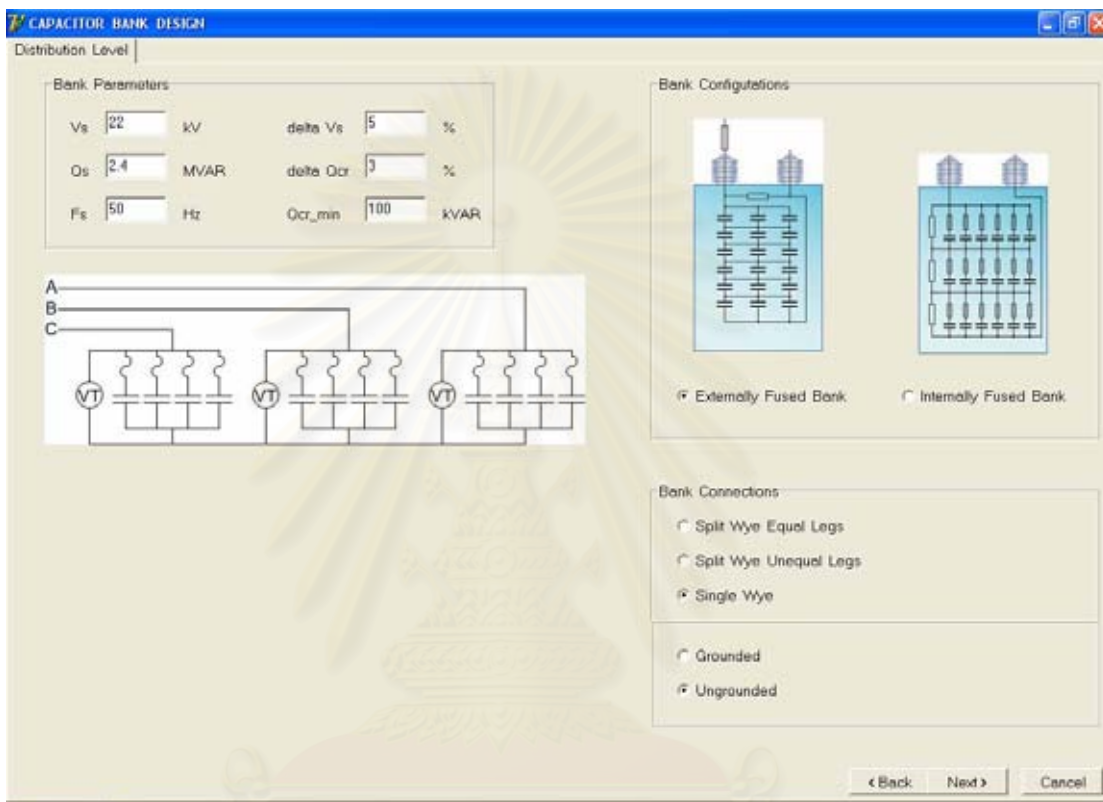
รูปที่ 5.15 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ



รูปที่ 5.16 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

5.1.1.4 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ Single ungrounded wye

ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดัน 22 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 2.4 MVAR โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด



รูปที่ 5.17 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7 CAPACITOR BANK DESIGN

Solution

S	Pf	Total cap	Vcr (KV)	delta Vs (%)	Dcr (KVAR)	Dcr_1 (MVAR)	Dcomp (MVAR)	Dcr_1/Dcomp (%)
1	6	18	13.28	4.6	150	2.70	2.47	109.3

< Back Print
Graph Finish

รูปที่ 5.18 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

n	Cg	Vcu	Iu
0	1.0000	1.0000	1.000
1	0.8333	1.0500	1.059
2	0.6667	1.1250	1.125
3	0.5000	1.2000	1.200
4	0.3333	1.2857	1.286
5	0.1667	1.3846	1.385
6	0.0000	1.5000	0.000

รูปที่ 5.19 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวนตัวเก็บประจุที่ถูกปลดออกจากระบบโดยการทำงานของฟิวส์

เมื่อพิจารณาจากการตรวจจับความไม่สมดุลเมื่อฟิวส์ทำงานจากรูปที่ 5.19 จะพบว่า V_{cu} มีค่าเกิน 1.1 เท่าเมื่อฟิวส์ตัวที่ 2 ทำงาน ดังนั้นควรจะแจ้งเตือนเมื่อฟิวส์ตัวแรกทำงาน หรือ 50% ถึง 70% ของสัญญาณรีเลย์เมื่อฟิวส์ตัวแรกทำงาน ส่วนการปลดชุดตัวเก็บประจุจะตั้งค่าไว้ที่ค่ากึ่งกลางระหว่างสัญญาณรีเลย์เมื่อฟิวส์ตัวแรกทำงานและสัญญาณรีเลย์เมื่อฟิวส์ตัวที่ 2 ทำงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1.1.5 การเปรียบเทียบการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่ระดับแรงดันจำหน่าย

ตารางที่ 5.1 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่ระดับแรงดัน 22 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 2.4, 3.0 และ 3.6 MVar ตามลำดับ โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

MVar	2.4				3.0				3.6			
	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar
Split wye equal legs	13.28	150	18	2.47	—	—	—	—	—	—	—	—
Split grounded wye unequal legs	13.28	300	9	2.47	13.28	100	33	3.02	13.28	150	27	3.7
Split ungrounded wye unequal legs	13.28	100	27	2.47	13.28	100	33	3.02	13.28	150	27	3.7
Single grounded wye	13.28	300	9	2.47	13.28	100	33	3.02	13.28	150	27	3.7
Single ungrounded wye	13.28	150	18	2.47	13.28	100	33	3.02	13.28	150	27	3.7

จากตารางที่ 5.1 จะพบว่าการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Split wye equal legs ที่มีขนาด 3.0 และ 3.6 MVar โดยใช้ข้อมูลเดียวกันกับรูปที่ 5.1 จะไม่สามารถออกแบบ แต่ถ้าเปลี่ยนมาใช้ข้อมูลพิกัดตัวเก็บประจุของผู้ผลิตหรือเปลี่ยนค่าข้อมูลบางค่า เช่น ΔV_s อาจจะทำให้สามารถออกแบบได้

ส่วนสาเหตุที่การออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Single ungrounded wye ที่มีขนาด 2.4 MVar ไม่สามารถใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดพิกัด 300 kVAr เพราะตารางที่ 2.3 แนะนำไว้ว่าสำหรับชุดตัวเก็บประจุแบบ Ungrounded wye ควรมีจำนวนตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกันในกลุ่มอนุกรมอย่างน้อย 4 ตัว

ตารางที่ 5.2 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่ระดับแรงดัน 24 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 2.4, 3.0 และ 3.6 MVar ตามลำดับ โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

MVar	2.4				3.0				3.6			
	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar
Split wye equal legs	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Split wye unequal legs	—	—	—	—	14.4	150	21	2.92	—	—	—	—
Single grounded wye	—	—	—	—	14.4	150	21	2.92	—	—	—	—
Single ungrounded wye	—	—	—	—	14.4	150	21	2.92	—	—	—	—

ตารางที่ 5.3 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่ระดับแรงดัน 33 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 2.4, 3.0 และ 3.6 MVar ตามลำดับ โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

MVar	2.4				3.0				3.6			
	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar
Split wye equal legs	19.92	150	18	2.47	—	—	—	—	—	—	—	—
Split grounded wye unequal legs	19.92	300	9	2.47	19.92	100	33	3.02	19.92	150	27	3.7
Split ungrounded wye unequal legs	19.92	100	27	2.47	19.92	100	33	3.02	19.92	150	27	3.7
Single grounded wye	19.92	300	9	2.47	19.92	100	33	3.02	19.92	150	27	3.7
Single ungrounded wye	19.92	150	18	2.47	19.92	100	33	3.02	19.92	150	27	3.7

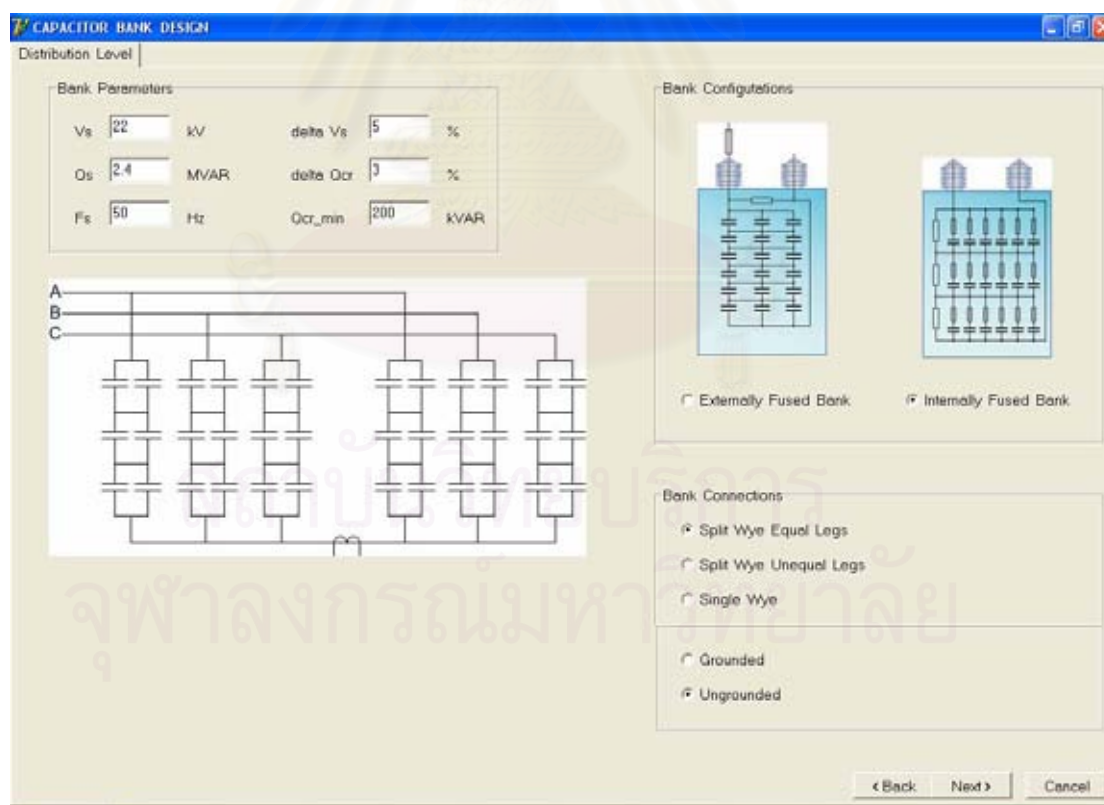
5.1.2 ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่แรงดันระบบจำหน่าย

ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่แรงดันระบบจำหน่ายมี 4 รูปแบบดังนี้

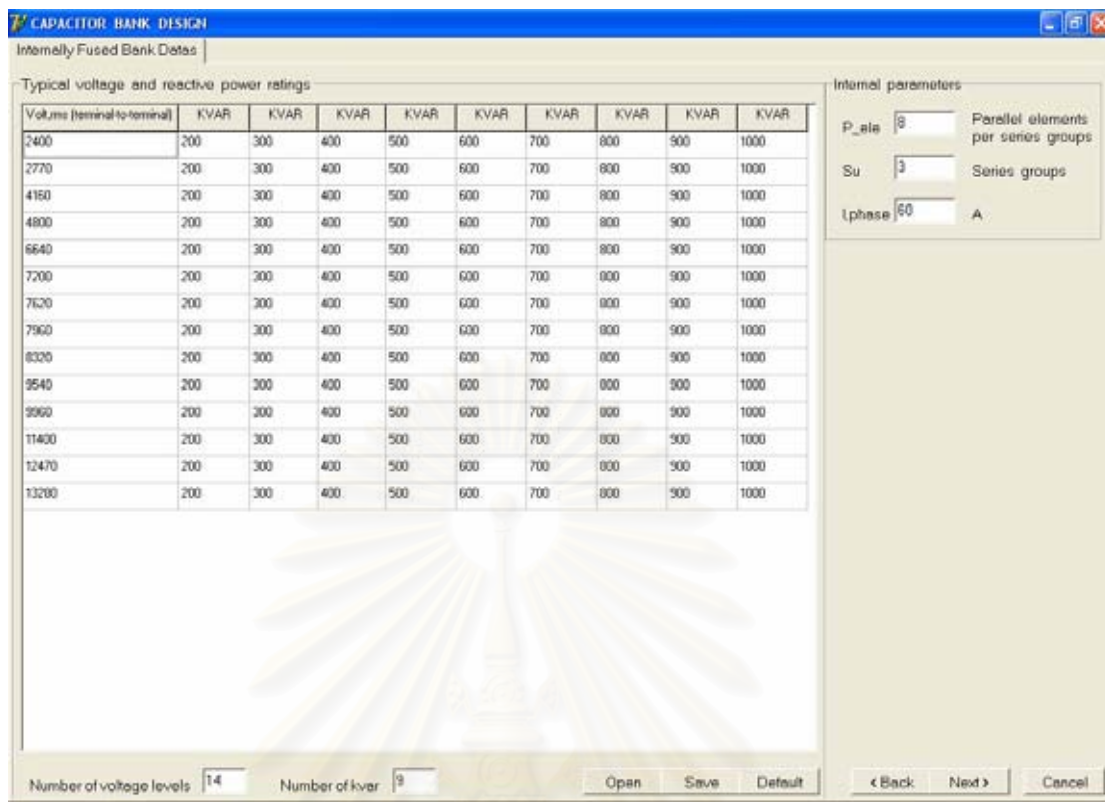
- 1) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ Split wye equal legs
- 2) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ Split wye unequal legs
- 3) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ Single grounded wye
- 4) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ Single ungrounded wye

5.1.2.1 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ Split wye equal legs

ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดัน 22 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 2.4 MVAR โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด



รูปที่ 5.20 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ



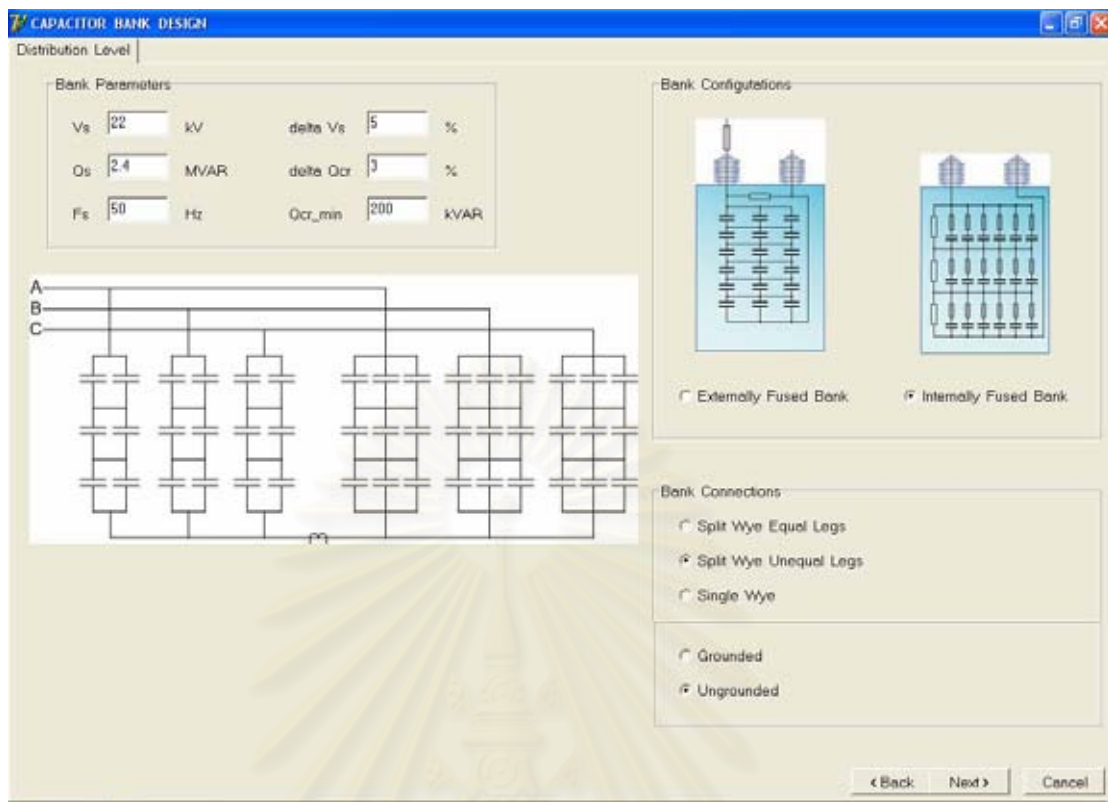
รูปที่ 5.21 หน้าจอการรับข้อมูลของตัวเก็บประจุ



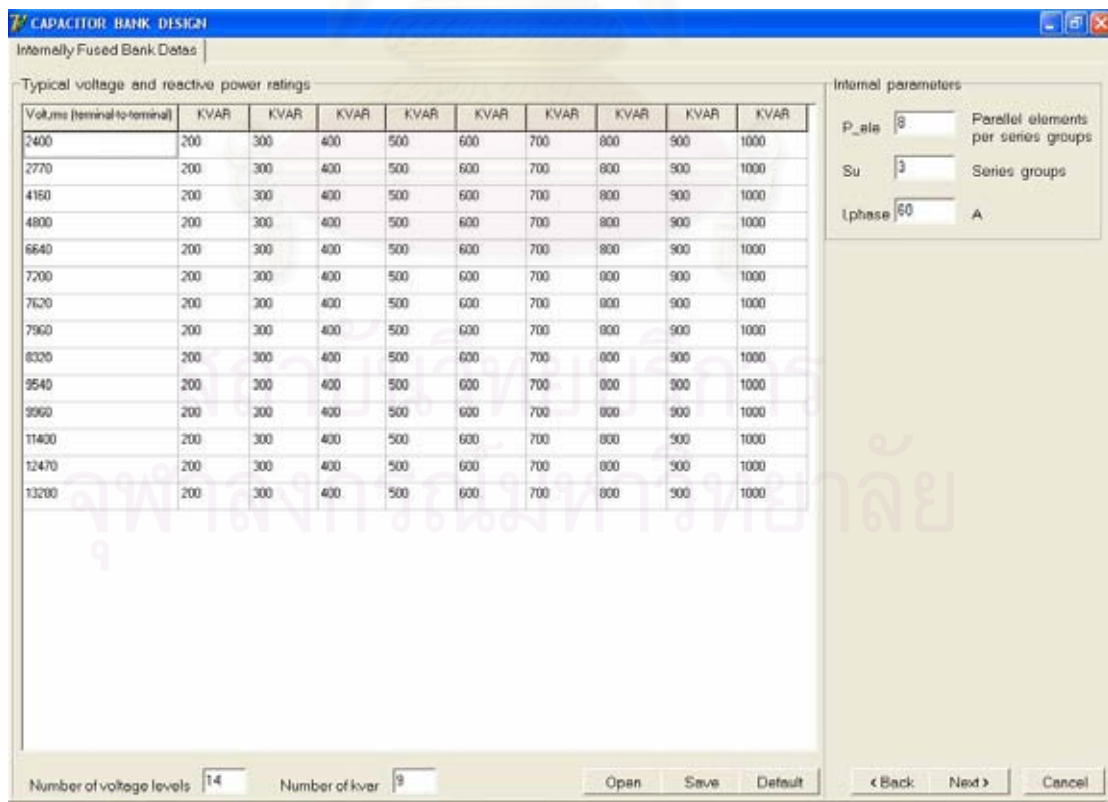
รูปที่ 5.22 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

5.1.2.2 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ Split wye unequal legs

ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดัน 22 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 2.4 MVA_r โดยเผื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด



รูปที่ 5.23 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ



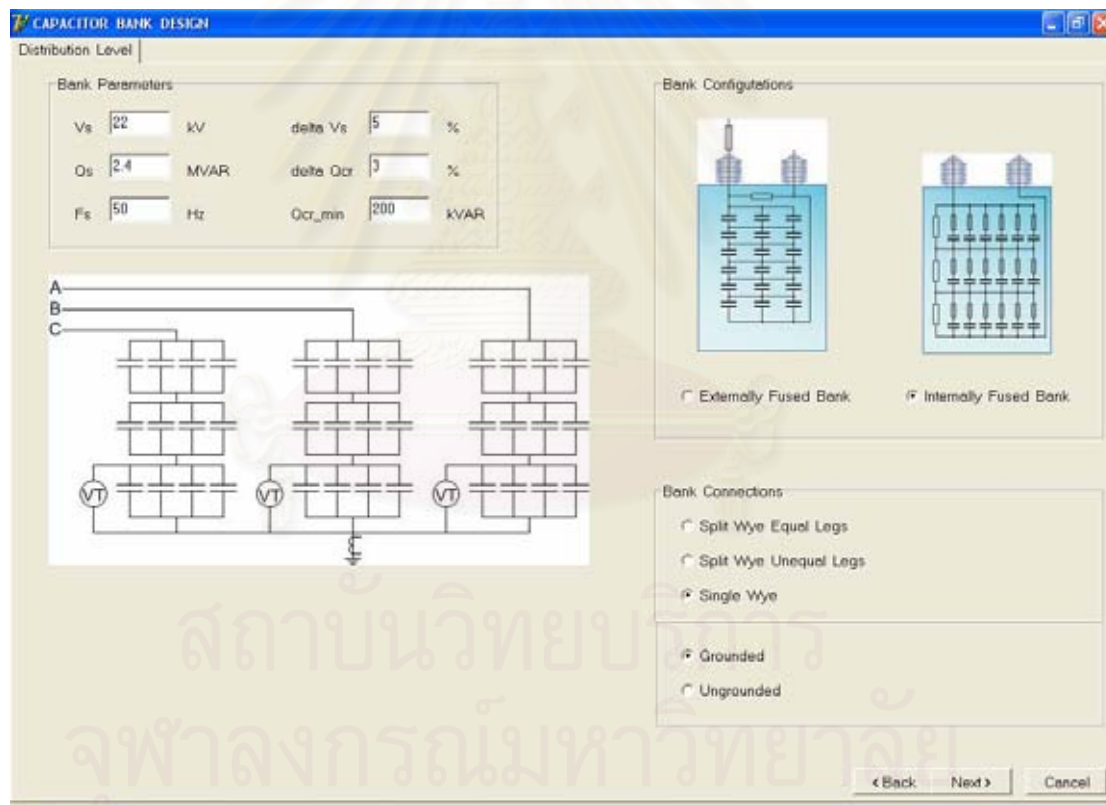
รูปที่ 5.24 หน้าจอการรับข้อมูลของตัวเก็บประจุ



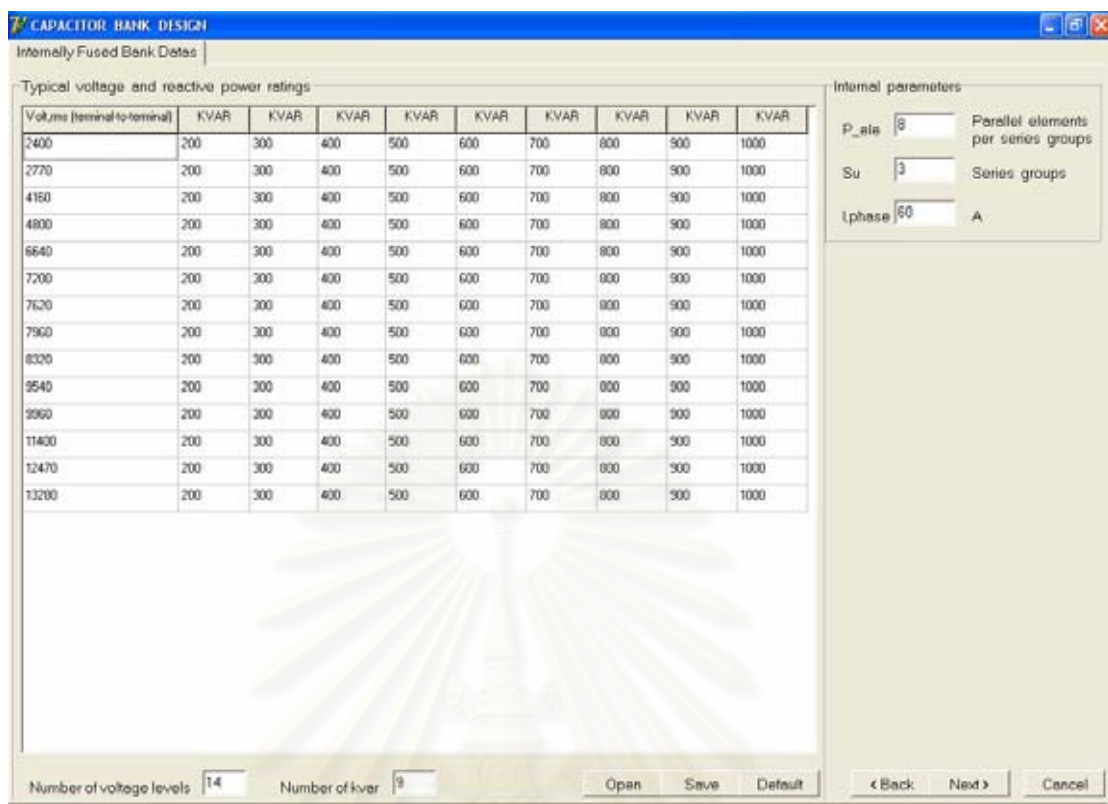
รูปที่ 5.25 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

5.1.2.3 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ Single grounded wye

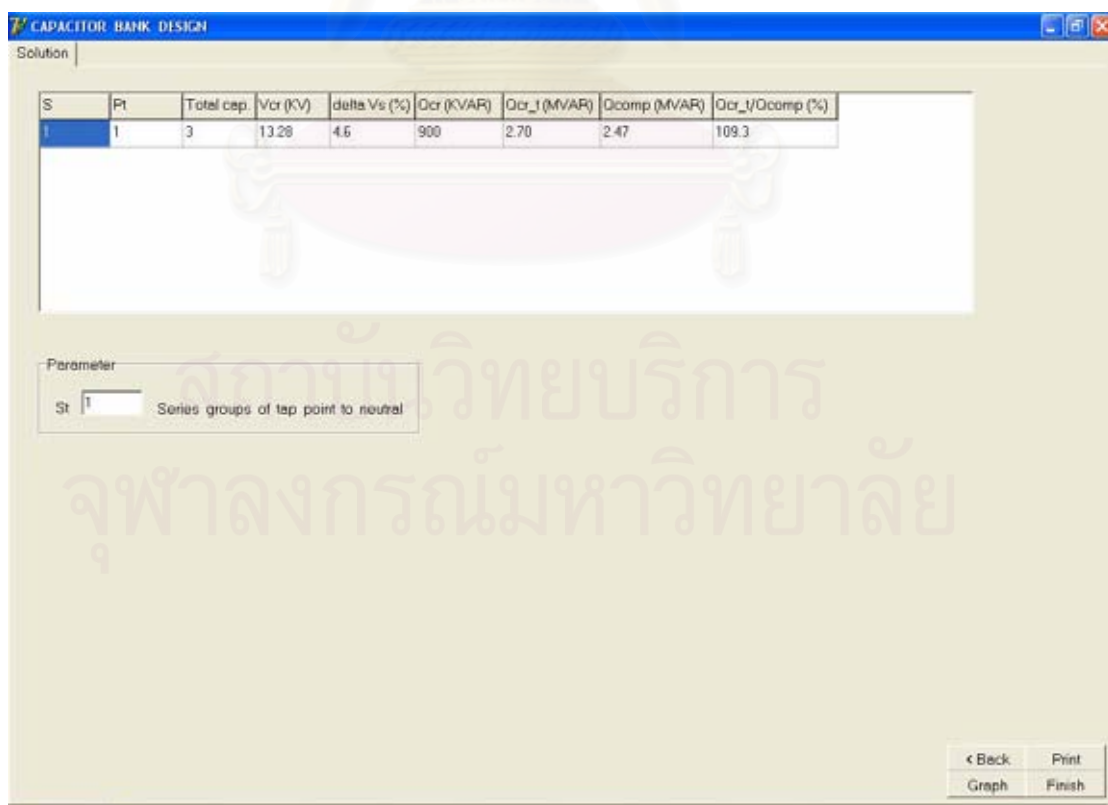
ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดัน 22 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 2.4 MVAR โดยเผื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด



รูปที่ 5.26 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ



รูปที่ 5.27 หน้าจอการรับข้อมูลของตัวเก็บประจุ



รูปที่ 5.28 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

7 CAPACITOR BANK DESIGN

Table

f	Cu	Cp	Vcu	Ve	Iu	Chn_out	Vtg_out	dVtg_out	Chn_in	Vtg_in	dVtg_in
0	1.000	1.0000	1.0000	1.000	1.000	1.000	1.0000	0.00000	1.000	1.0000	0.00000
SE	1.500	1.5000	1.0000	S.C.	1.500	1.000	1.5000	-0.50000	1.500	1.0000	0.00000
1	0.955	0.9545	1.0000	1.091	0.955	1.000	0.9545	0.04545	0.955	1.0000	0.00000
2	0.900	0.9000	1.0000	1.200	0.900	1.000	0.9000	0.10000	0.900	1.0000	0.00000
3	0.833	0.8333	1.0000	1.333	0.833	1.000	0.8333	0.16667	0.833	1.0000	0.00000
4	0.750	0.7500	1.0000	1.500	0.750	1.000	0.7500	0.25000	0.750	1.0000	0.00000
5	0.643	0.6429	1.0000	1.714	0.643	1.000	0.6429	0.35714	0.643	1.0000	0.00000
6	0.500	0.5000	1.0000	2.000	0.500	1.000	0.5000	0.50000	0.500	1.0000	0.00000
7	0.300	0.3000	1.0000	2.400	0.300	1.000	0.3000	0.70000	0.300	1.0000	0.00000

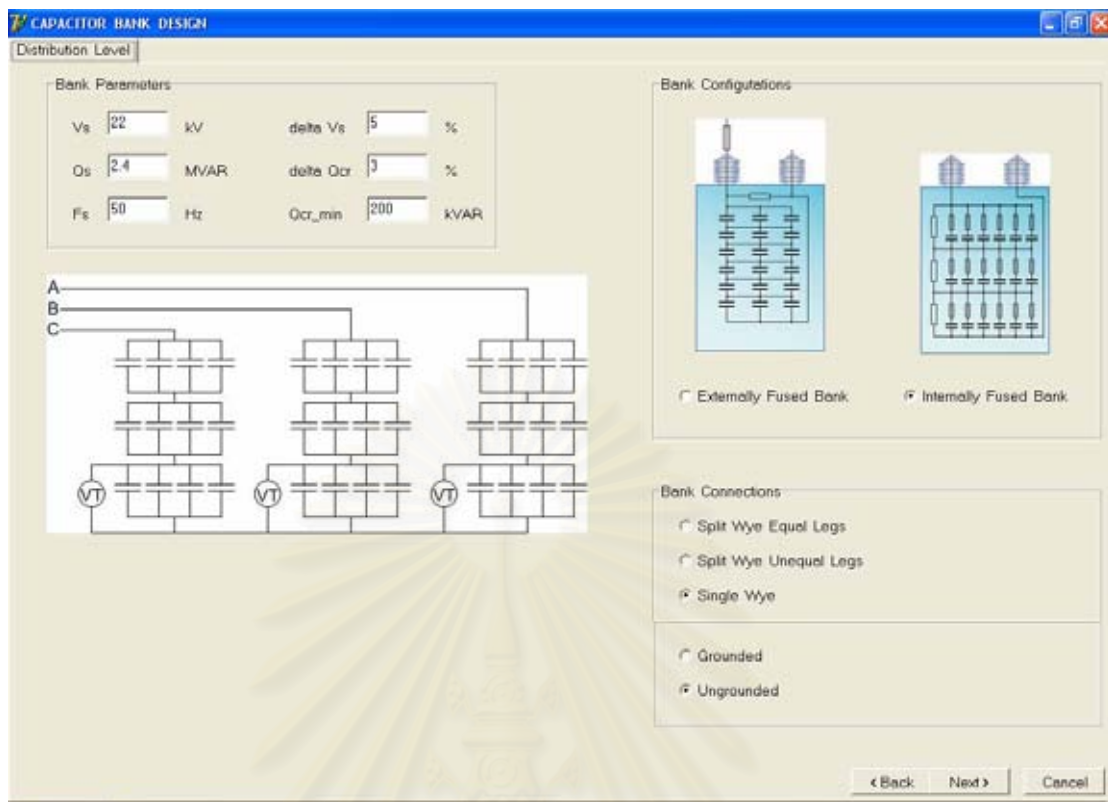
< Back Print

รูปที่ 5.29 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวน Elements ที่ถูกปลดภายในตัวเก็บประจุ โดยการทำงานของฟิวส์

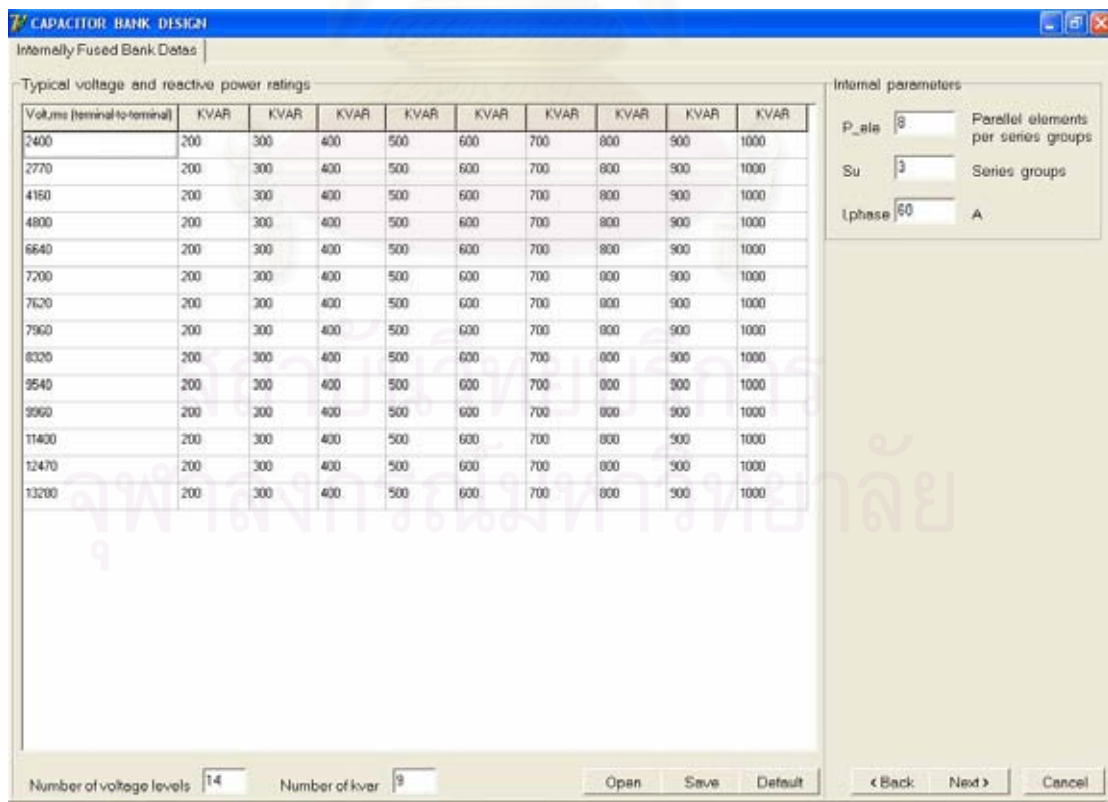
การแจ้งเตือนและการปลดชุดตัวเก็บประจุสำหรับชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused จะต้องพิจารณา 2 สิ่งควบคู่กันคือ แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุและแรงดันตกคร่อม Elements ที่ยังคงเหลืออยู่ เมื่อพิจารณาจากการตรวจจับความไม่สมดุลเมื่อฟิวส์ทำงานจากรูปที่ 5.29 จะพบว่าแรงดันเกินตกคร่อมตัวเก็บประจุที่ยังคงเหลืออยู่ (Vcu) ไม่โอกาสมีค่าเกิน 1.1 เท่า ดังนั้นการปลดชุดตัวเก็บประจุจะขึ้นอยู่กับแรงดันเกินตกคร่อม Elements ที่ยังคงเหลืออยู่ (Ve) เท่านั้น โดยขึ้นอยู่กับผู้ผลิตว่าออกแบบให้แต่ละ Element สามารถทนแรงดันเกินตกคร่อมได้เท่าใด ส่วนการแจ้งเตือนควรทำเมื่อฟิวส์ตัวแรกทำงาน

5.1.2.4 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ Single ungrounded wye

ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดัน 22 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 2.4 MVar โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด



รูปที่ 5.30 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ



รูปที่ 5.31 หน้าจอการรับข้อมูลของตัวเก็บประจุ

CAPACITOR BANK DESIGN

Solution

S	Pt	Total cap	Vcr (KV)	delta Vs (%)	Ocr (KVAR)	Ocr_1 (MVAR)	Ocomp (MVAR)	Ocr_1/Ocomp (%)
1	1	3	13.28	4.6	900	2.70	2.47	109.3

Parameter

St Series groups of tap point to neutral

< Back Print
Graph Finish

รูปที่ 5.32 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

เมื่อพิจารณาจากการตรวจจับความไม่สมดุลเมื่อฟิวส์ทำงานจากรูปที่ 5.33 จะพบว่า V_{cu} ไม่โอกาสมีค่าเกิน 1.1 เท่า ดังนั้นควรจะแจ้งเตือนเมื่อฟิวส์ตัวแรกทำงาน ส่วนการปลดชุดตัวเก็บประจุขึ้นอยู่กับผู้ผลิตว่าออกแบบให้แต่ละ Element สามารถทนแรงดันเกินตกคร่อมได้หรือไม่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.5 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่ระดับแรงดัน 24 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 2.4, 3.0 และ 3.6 MVar ตามลำดับ โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

MVar	2.4				3.0				3.6			
Configurations	Vcr	Qcr	N	Qcomp	Vcr	Qcr	N	Qcomp	Vcr	Qcr	N	Qcomp
	kV	kVAr	units	MVar	kV	kVAr	units	MVar	kV	kVAr	units	MVar
Split wye equal legs	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Split wye unequal legs	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Single grounded wye	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Single ungrounded wye	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

ตารางที่ 5.6 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่ระดับแรงดัน 33 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 2.4, 3.0 และ 3.6 MVar ตามลำดับ โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

MVar	2.4						3.0						3.6					
	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar
Split wye equal legs	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Split wye unequal legs	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Single grounded wye or Single ungrounded wye	2	1	9.54	400	6	2.39	2	1	9.54	500	6	2.99	2	1	9.54	600	6	3.59
	3	1	6.64	300	9	2.47							4	1	4.8	300	12	3.54
	4	1	4.8	200	12	2.36												

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่แรงดันระบบส่ง

การออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่แรงดันระบบส่งมี 3 ประเภทหลักที่นิยมใช้กันคือ ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused, Internally fused และ Fuseless

5.2.1 ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่แรงดันระบบส่ง

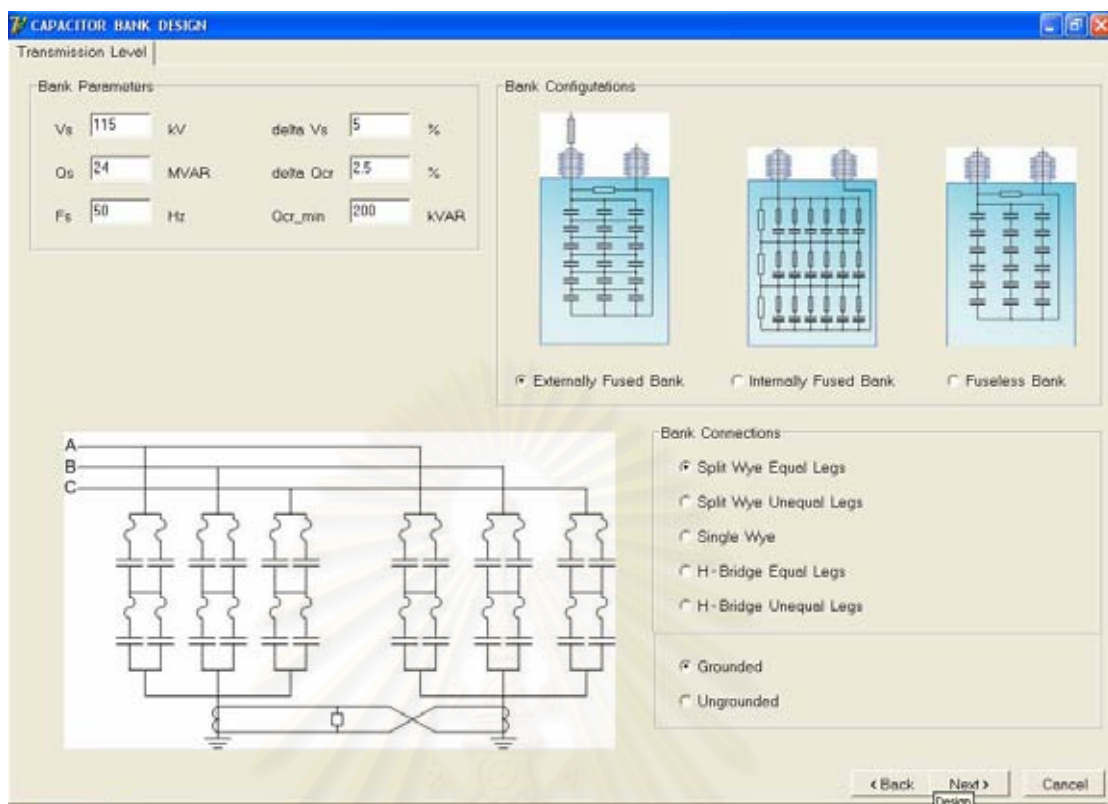
การออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่แรงดันระบบส่งมีอยู่หลายรูปแบบ ในที่นี้นำเสนอตัวอย่างการออกแบบ 6 รูปแบบดังนี้

- 1) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ Split wye equal legs
- 2) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ Split wye unequal legs
- 3) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ Single grounded wye
- 4) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ Single ungrounded wye
- 5) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ H – bridge equal legs
- 6) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ H – bridge unequal legs

5.2.1.1 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ Split wye equal legs

ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดัน 115 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 24 MVar โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

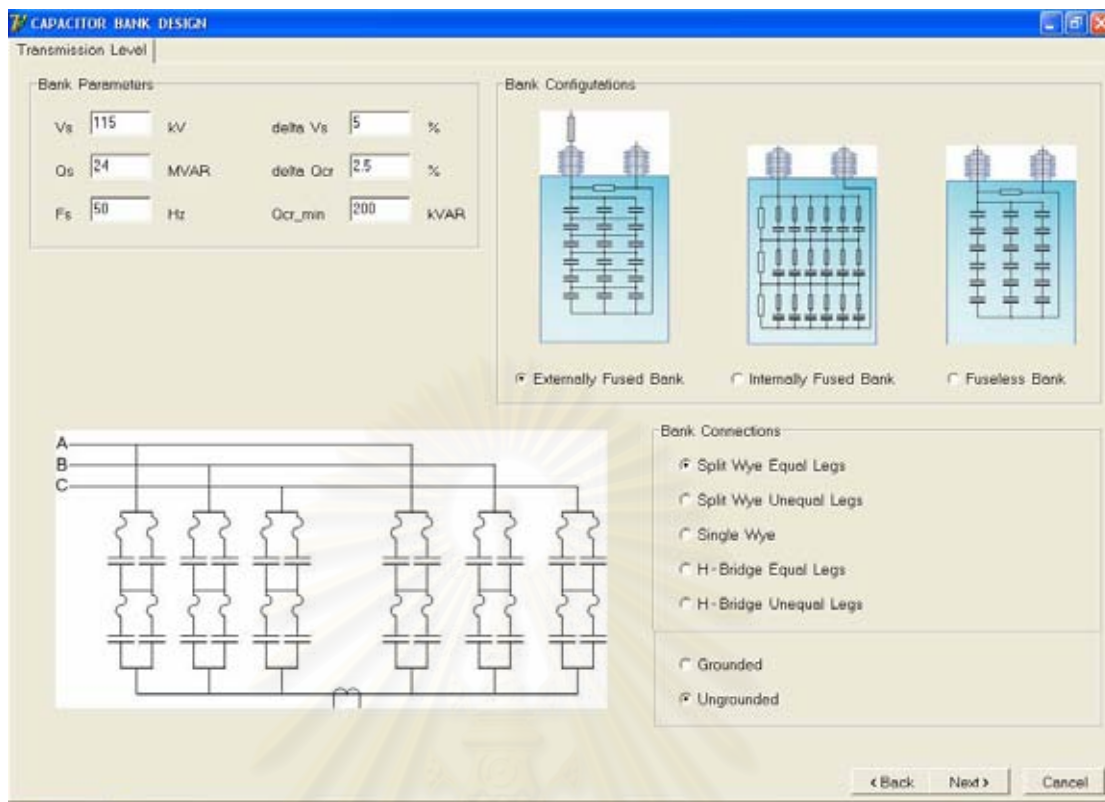


รูปที่ 5.34 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ



รูปที่ 5.35 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



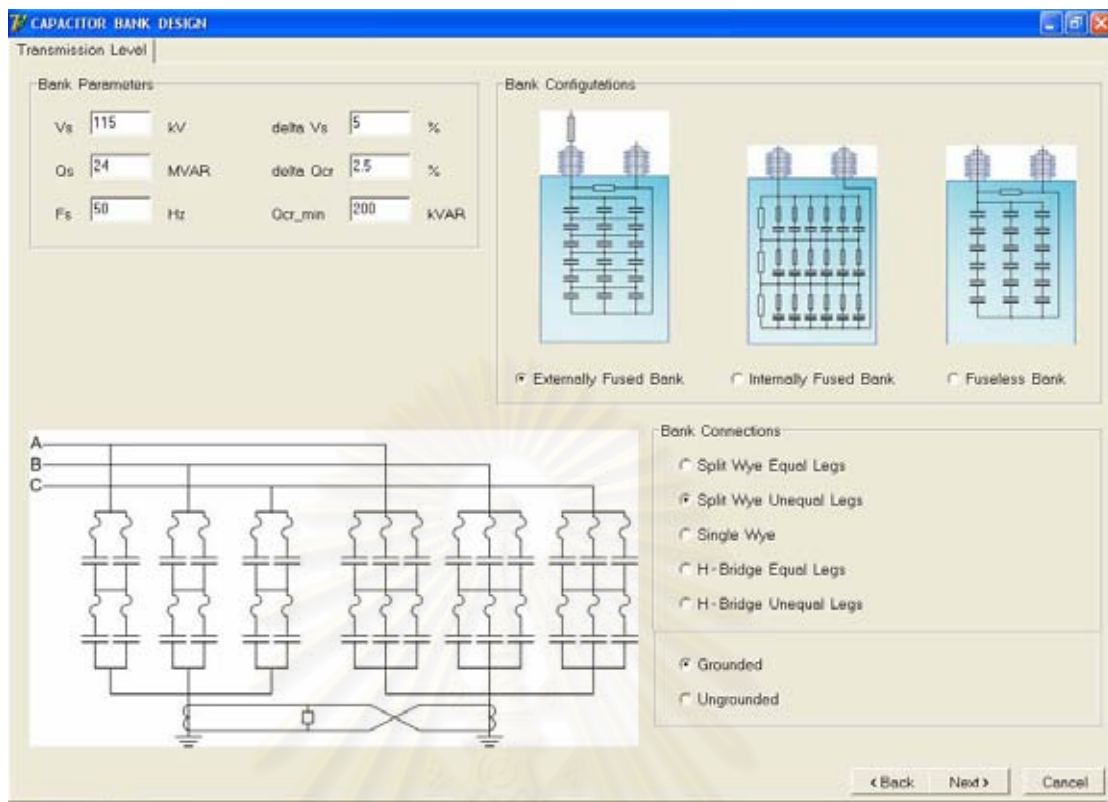
รูปที่ 5.36 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ



รูปที่ 5.37 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

5.2.1.2 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ Split wye unequal legs

ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดัน 115 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 24 MVAR โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

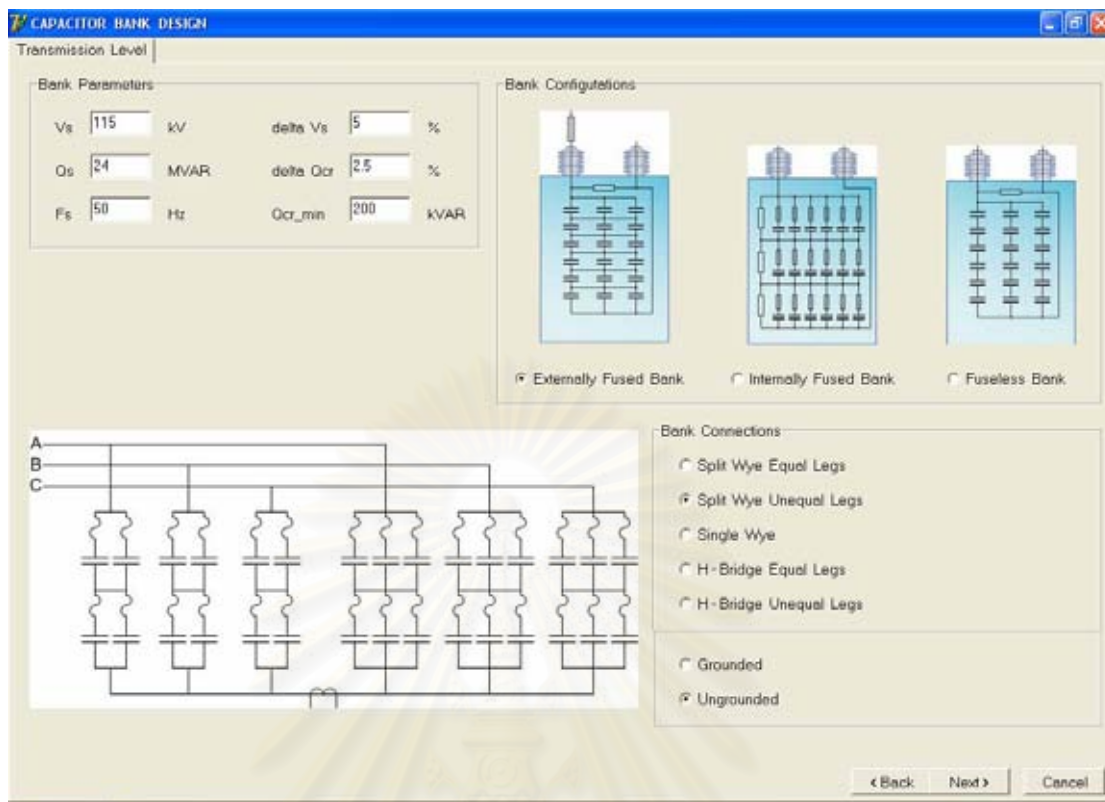


รูปที่ 5.38 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ



รูปที่ 5.39 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



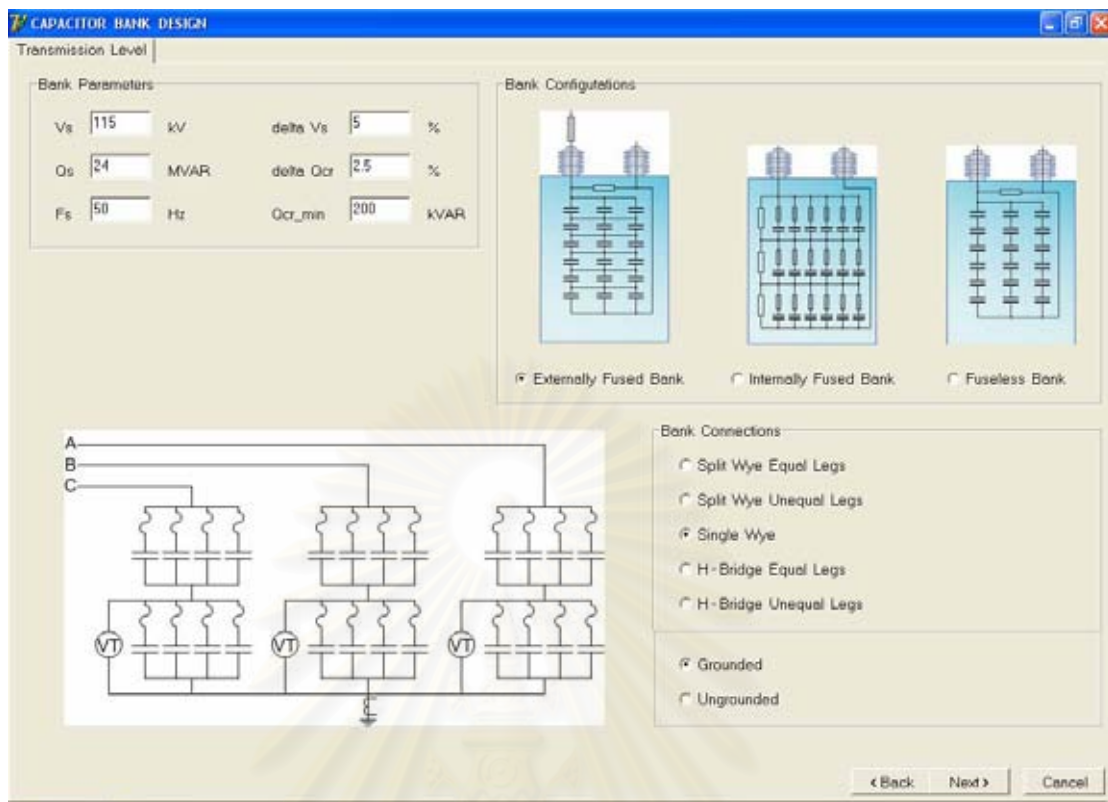
รูปที่ 5.40 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ



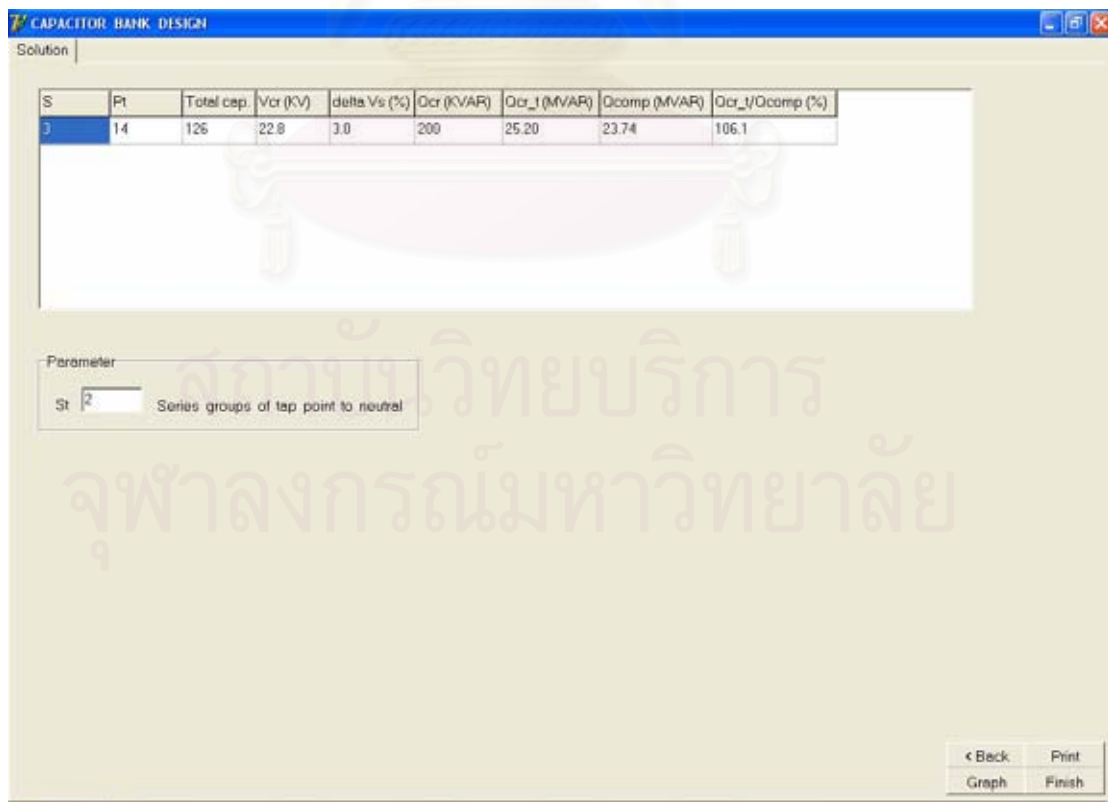
รูปที่ 5.41 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

5.2.1.3 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ Single grounded wye

ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดัน 115 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 24 MVAR โดยเผื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด



รูปที่ 5.42 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ



รูปที่ 5.43 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

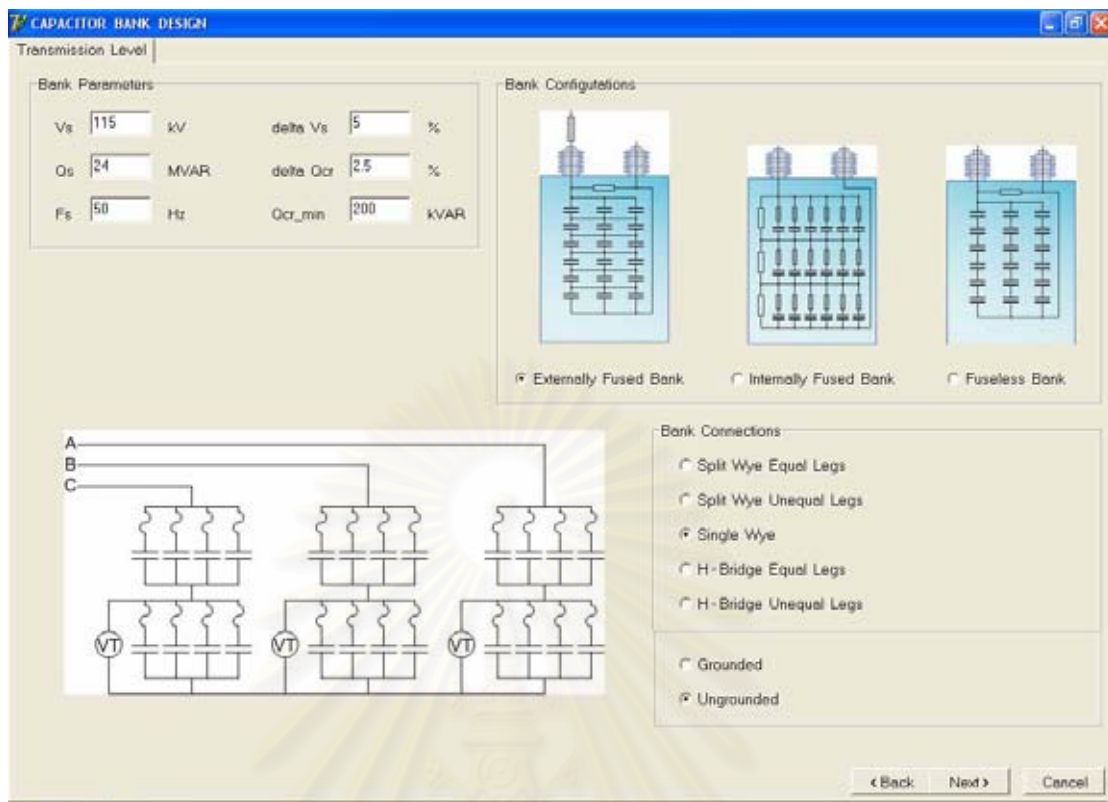
n	Cp	Vcu	Iu	Ctn_out	Vtg_out	dVtg_out	Ctn_in	Vtg_in	dVtg_in
0	4.5557	1.0000	1.000	7.000	0.6667	0.0000	7.000	0.6667	0.0000
SU	7.0000	S.C.	21.000	7.000	1.0000	0.5000	14.000	0.5000	-0.2500
1	4.5500	1.0500	1.050	7.000	0.6500	-0.0250	6.741	0.6750	0.0125
2	4.4211	1.1053	1.105	7.000	0.6316	-0.0526	6.462	0.6942	0.0263
3	4.2778	1.1667	1.167	7.000	0.6111	-0.0833	6.160	0.6944	0.0417
4	4.1176	1.2353	1.235	7.000	0.5882	-0.1176	5.833	0.7059	0.0588
5	3.9375	1.3125	1.313	7.000	0.5625	-0.1563	5.478	0.7188	0.0781
6	3.7333	1.4000	1.400	7.000	0.5333	-0.2000	5.091	0.7333	0.1000
7	3.5000	1.5000	1.500	7.000	0.5000	-0.2500	4.667	0.7500	0.1250
8	3.2308	1.6154	1.615	7.000	0.4615	-0.3077	4.200	0.7692	0.1538
9	2.9167	1.7500	1.750	7.000	0.4167	-0.3750	3.684	0.7917	0.1875
10	2.5455	1.9091	1.909	7.000	0.3636	-0.4545	3.111	0.8182	0.2273
11	2.1000	2.1000	2.100	7.000	0.3000	-0.5500	2.471	0.8500	0.2750
12	1.5556	2.3333	2.333	7.000	0.2222	-0.6667	1.750	0.8889	0.3333
13	0.8750	2.6250	2.625	7.000	0.1250	-0.8125	0.933	0.9375	0.4062
14	0.0000	3.0000	0.000	7.000	0.0000	-1.0000	0.000	1.0000	0.5000

รูปที่ 5.44 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวนตัวเก็บประจุที่ถูกปลดออกจากระบบโดยการทำงานของฟิวส์

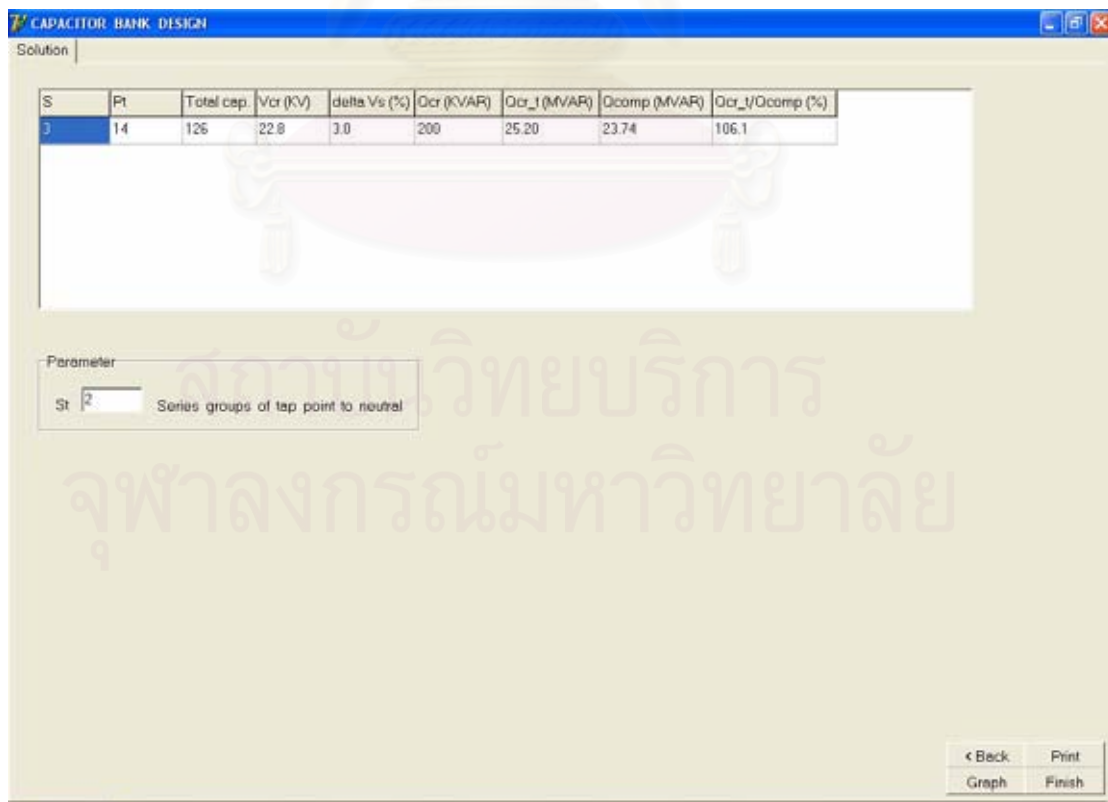
เมื่อพิจารณาจากการตรวจจับความไม่สมดุลเมื่อฟิวส์ทำงานจากรูปที่ 5.44 จะพบว่า Vcu มีค่าเกิน 1.1 เท่าเมื่อฟิวส์ตัวที่ 2 ทำงาน ดังนั้นควรจะแจ้งเตือนเมื่อฟิวส์ตัวแรกทำงาน หรือ 50% ถึง 70% ของสัญญาณรีเลย์เมื่อฟิวส์ตัวแรกทำงาน ส่วนการปลดชุดตัวเก็บประจุจะตั้งค่าไว้ที่ค่ากึ่งกลางระหว่างสัญญาณรีเลย์เมื่อฟิวส์ตัวแรกทำงานและสัญญาณรีเลย์เมื่อฟิวส์ตัวที่ 2 ทำงาน

5.2.1.4 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ Single ungrounded wye

ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดัน 115 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 24 MVar โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด



รูปที่ 5.45 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ



รูปที่ 5.46 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

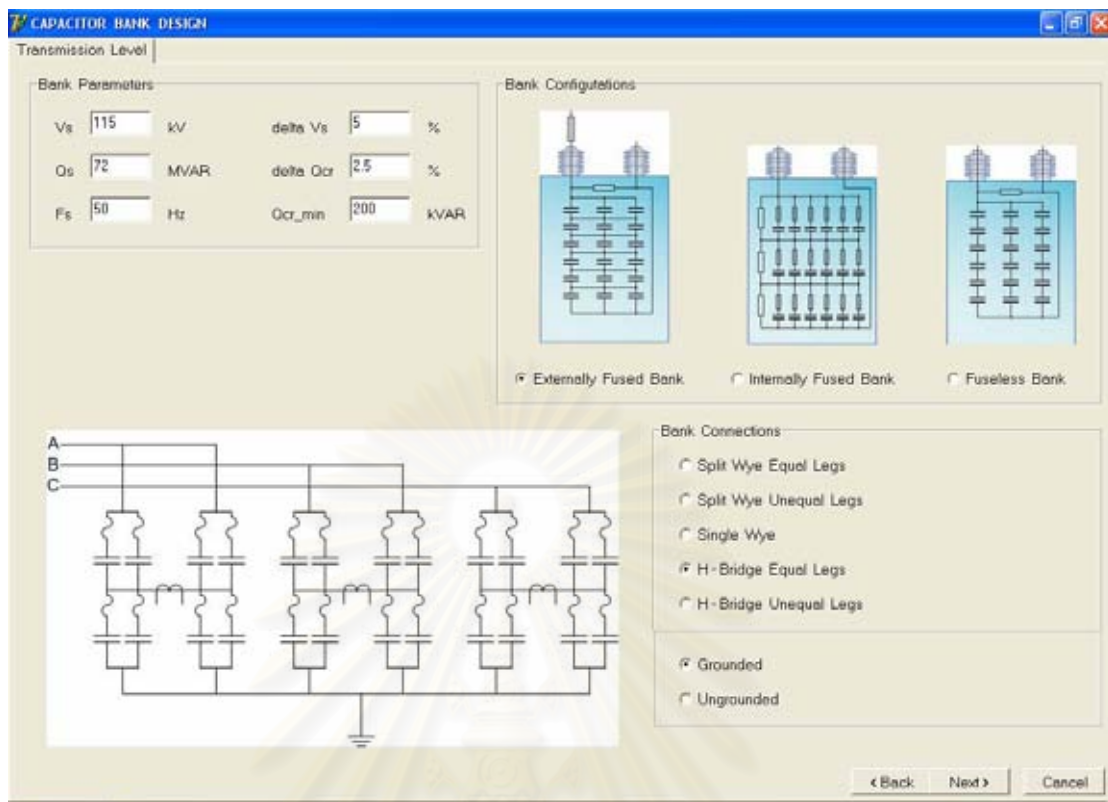
n	Cp	Vcu	Iu	Ctn_out	Vtg_out	dVtg_out	Ctn_in	Vtg_in	dVtg_in
0	4.5557	1.0000	1.000	7.000	0.6667	0.0000	7.000	0.6667	0.0000
SU	7.0000	S.C.	21.000	7.000	1.0000	0.5000	14.000	0.5000	-0.2500
1	4.5500	1.0500	1.050	7.000	0.6500	-0.0250	6.741	0.6750	0.0125
2	4.4211	1.1053	1.105	7.000	0.6316	-0.0526	6.462	0.6942	0.0263
3	4.2778	1.1667	1.167	7.000	0.6111	-0.0833	6.160	0.6944	0.0417
4	4.1176	1.2353	1.235	7.000	0.5882	-0.1176	5.833	0.7059	0.0588
5	3.9375	1.3125	1.313	7.000	0.5625	-0.1563	5.478	0.7188	0.0781
6	3.7333	1.4000	1.400	7.000	0.5333	-0.2000	5.091	0.7333	0.1000
7	3.5000	1.5000	1.500	7.000	0.5000	-0.2500	4.667	0.7500	0.1250
8	3.2308	1.6154	1.615	7.000	0.4615	-0.3077	4.200	0.7692	0.1538
9	2.9167	1.7500	1.750	7.000	0.4167	-0.3750	3.684	0.7917	0.1875
10	2.5455	1.9091	1.909	7.000	0.3636	-0.4545	3.111	0.8182	0.2273
11	2.1000	2.1000	2.100	7.000	0.3000	-0.5500	2.471	0.8500	0.2750
12	1.5556	2.3333	2.333	7.000	0.2222	-0.6667	1.750	0.8889	0.3333
13	0.8750	2.6250	2.625	7.000	0.1250	-0.8125	0.933	0.9375	0.4062
14	0.0000	3.0000	0.000	7.000	0.0000	-1.0000	0.000	1.0000	0.5000

รูปที่ 5.47 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวนตัวเก็บประจุที่ถูกปลดออกจากระบบโดยการทำงานของฟิวส์

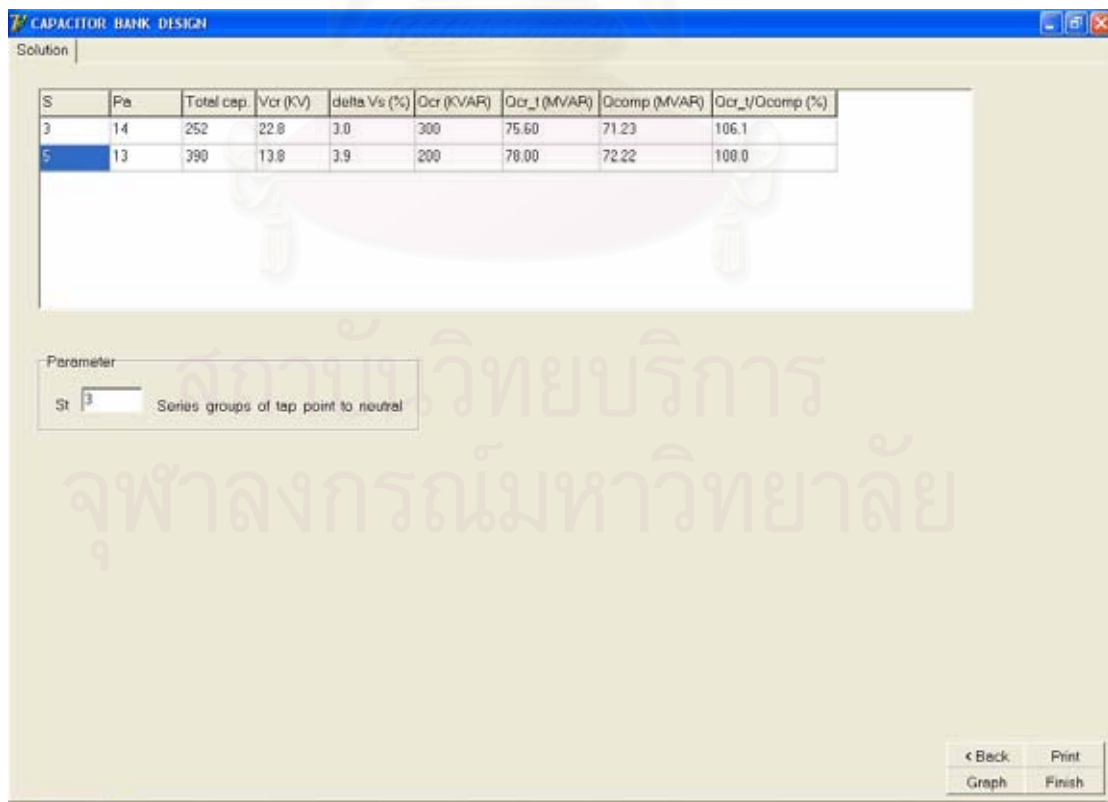
เมื่อพิจารณาจากการตรวจจับความไม่สมดุลเมื่อฟิวส์ทำงานจากรูปที่ 5.47 จะพบว่า Vcu มีค่าเกิน 1.1 เท่าเมื่อฟิวส์ตัวที่ 2 ทำงาน ดังนั้นควรจะแจ้งเตือนเมื่อฟิวส์ตัวแรกทำงาน หรือ 50% ถึง 70% ของสัญญาณรีเลย์เมื่อฟิวส์ตัวแรกทำงาน ส่วนการปลดชุดตัวเก็บประจุจะตั้งค่าไว้ที่ค่ากึ่งกลางระหว่างสัญญาณรีเลย์เมื่อฟิวส์ตัวแรกทำงานและสัญญาณรีเลย์เมื่อฟิวส์ตัวที่ 2 ทำงาน

5.2.1.5 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ H – bridge equal legs

ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดัน 115 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 72 MVar โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด



รูปที่ 5.48 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ



รูปที่ 5.49 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

7 CAPACITOR BANK DESIGN

Table

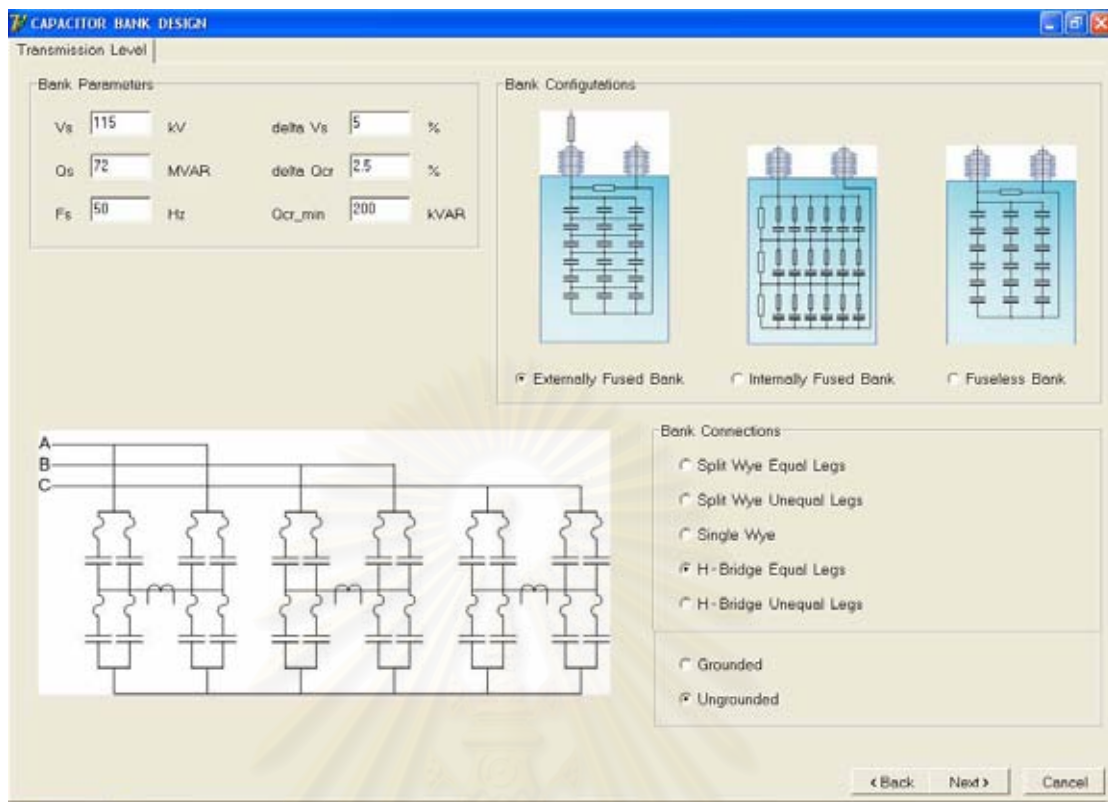
n	Chn	Cp	VIn	VIn	Ih	Vcu	Iu
0	0.557	5.2000	1.000	0.600	0.000	1.000	1.000
SU	10.833	5.9091	1.000	0.545	-0.114	S.C.	14.971
1	0.550	5.1576	1.000	0.603	0.007	1.060	1.060
2	0.419	5.1090	1.000	0.607	0.014	1.127	1.127
3	0.273	5.0556	1.000	0.611	0.023	1.204	1.204
4	0.108	4.9934	1.000	0.616	0.033	1.291	1.291
5	7.920	4.9214	1.000	0.621	0.045	1.393	1.393
6	7.704	4.8372	1.000	0.628	0.058	1.512	1.512
7	7.453	4.7373	1.000	0.636	0.074	1.653	1.653
8	7.159	4.6168	1.000	0.645	0.093	1.822	1.822
9	6.810	4.4688	1.000	0.656	0.117	2.031	2.031
10	6.386	4.2824	1.000	0.671	0.147	2.294	2.294
11	5.863	4.0405	1.000	0.689	0.186	2.635	2.635
12	5.200	3.7143	1.000	0.714	0.238	3.095	3.095
13	4.333	3.2500	1.000	0.750	0.313	3.750	0.000

< Back Print

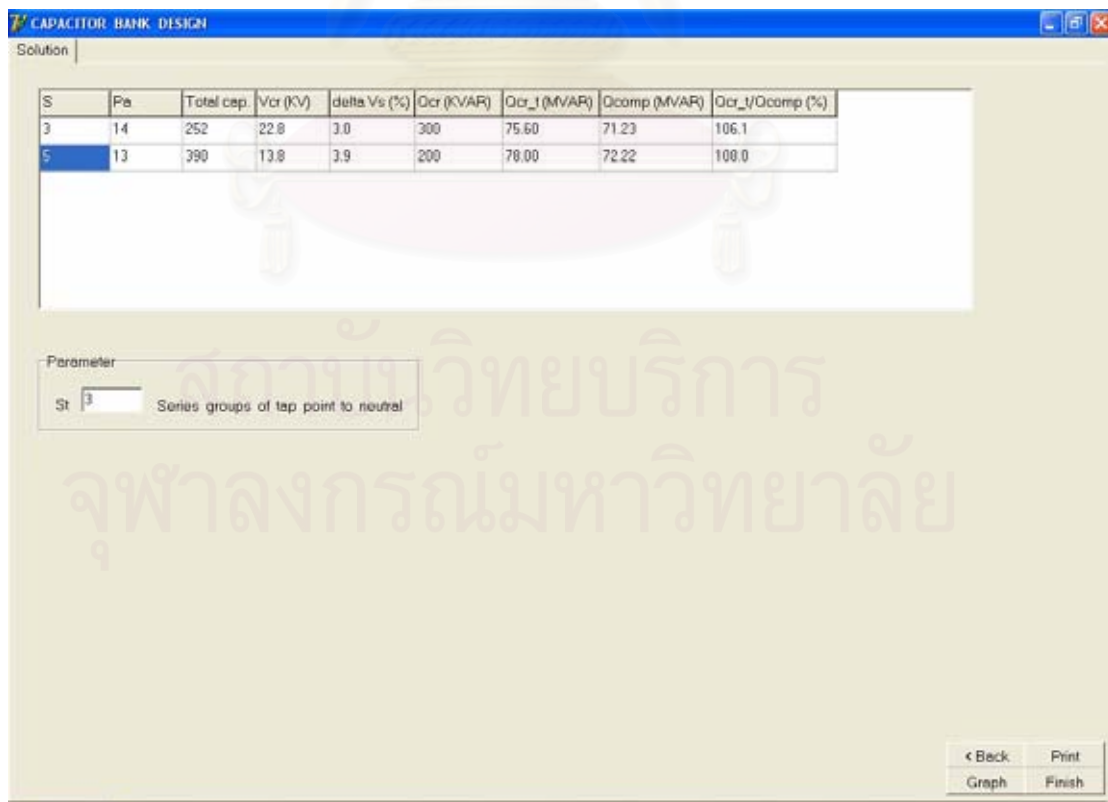
รูปที่ 5.50 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวนตัวเก็บประจุที่ถูกปลดโดยการทำงานของฟิวส์ของผลลัพท์ที่ 2 ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

เลือกผลการออกแบบที่ 2 จากรูปที่ 5.50 V_{cu} จะมีค่าเกิน 1.1 เท่าเมื่อฟิวส์ตัวที่ 2 ทำงาน ดังนั้นควรทำการแจ้งเตือนเมื่อฟิวส์ตัวแรกทำงาน หรือ 50% ถึง 70% ของสัญญาณรีเลย์เมื่อฟิวส์ตัวแรกทำงาน ส่วนการปลดชุดตัวเก็บประจุจะตั้งค่าไว้ที่ค่ากึ่งกลางระหว่างสัญญาณรีเลย์เมื่อฟิวส์ตัวแรกทำงานและสัญญาณรีเลย์เมื่อฟิวส์ตัวที่ 2 ทำงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.51 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ



รูปที่ 5.52 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

7 CAPACITOR BANK DESIGN

Table

n	Chn	Cp	Vln	Vfn	ln	Vcu	lu
0	8.567	5.2000	1.000	0.600	0.000	1.000	1.000
SU	10.833	5.9091	0.957	0.545	-0.109	S.C.	14.320
1	8.550	5.1576	1.003	0.603	0.007	1.063	1.063
2	0.419	5.1090	1.006	0.607	0.015	1.134	1.134
3	8.273	5.0556	1.009	0.611	0.023	1.215	1.215
4	8.108	4.9934	1.013	0.616	0.034	1.309	1.309
5	7.920	4.9214	1.018	0.621	0.045	1.418	1.418
6	7.704	4.8372	1.024	0.628	0.060	1.548	1.548
7	7.453	4.7373	1.031	0.636	0.076	1.703	1.703
8	7.159	4.6168	1.039	0.645	0.097	1.893	1.893
9	6.810	4.4688	1.049	0.656	0.123	2.131	2.131
10	6.396	4.2824	1.063	0.671	0.156	2.438	2.438
11	5.863	4.0405	1.080	0.689	0.201	2.847	2.847
12	5.200	3.7143	1.105	0.714	0.263	3.421	3.421
13	4.333	3.2500	1.143	0.750	0.357	4.266	0.000

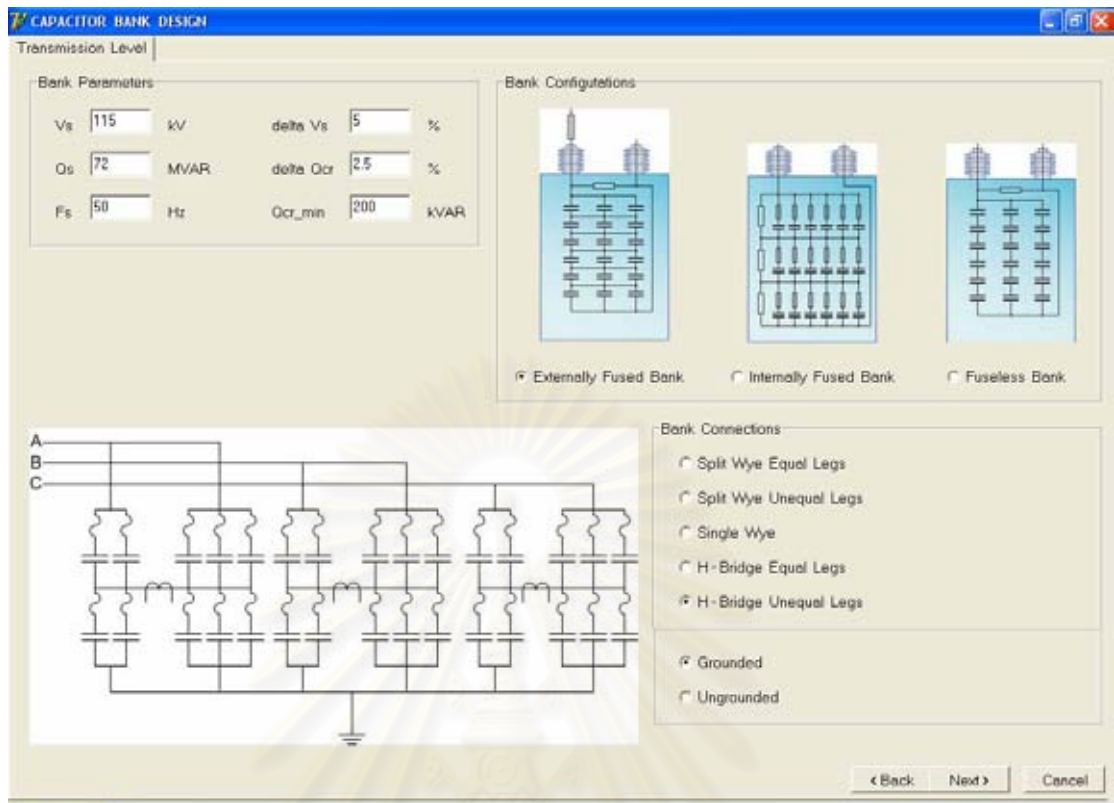
< Back Print

รูปที่ 5.53 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวนตัวเก็บประจุที่ถูกปลดโดยการทำงานของฟิวส์ของผลลัพท์ที่ 2 ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

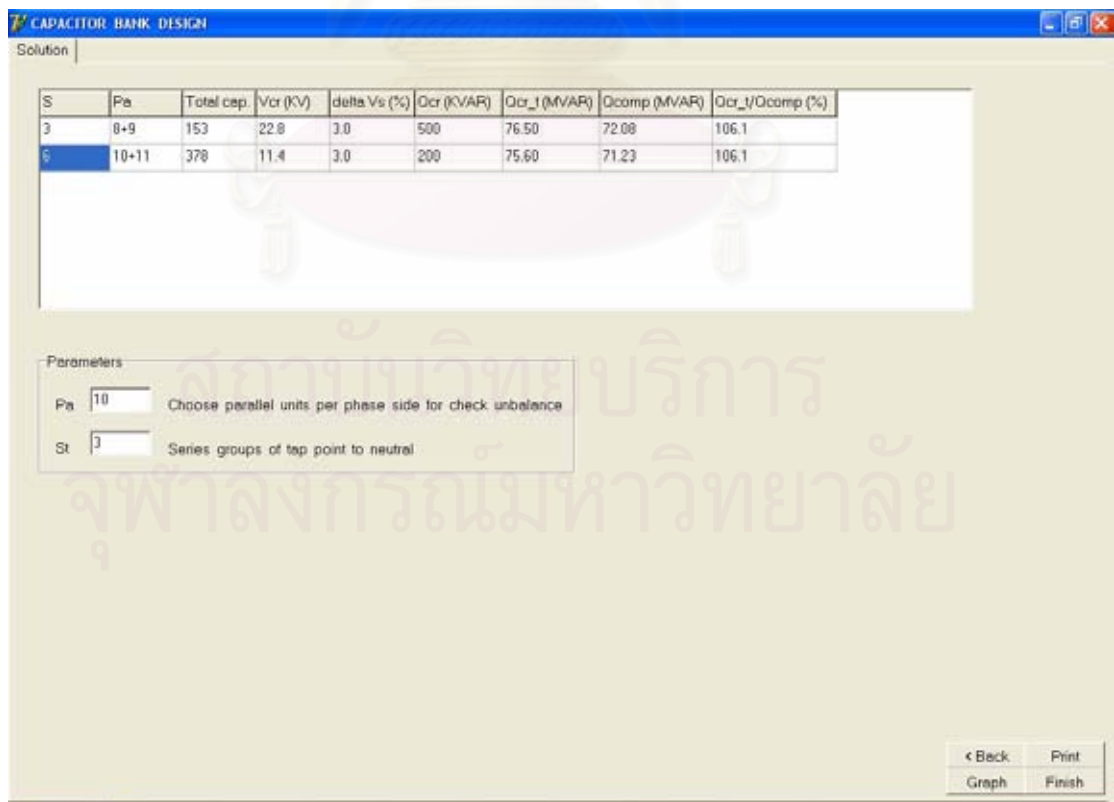
เลือกผลการออกแบบที่ 2 จากรูปที่ 5.53 V_{cu} จะมีค่าเกิน 1.1 เท่าเมื่อฟิวส์ตัวที่ 2 ทำงาน ดังนั้นควรทำการแจ้งเตือนเมื่อฟิวส์ตัวแรกทำงาน หรือ 50% ถึง 70% ของสัญญาณรีเลย์เมื่อฟิวส์ตัวแรกทำงาน ส่วนการปลดชุดตัวเก็บประจุจะตั้งค่าไว้ที่ค่ากึ่งกลางระหว่างสัญญาณรีเลย์เมื่อฟิวส์ตัวแรกทำงานและสัญญาณรีเลย์เมื่อฟิวส์ตัวที่ 2 ทำงาน

5.2.1.6 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่มีการต่อแบบ H – bridge unequal legs

ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดัน 115 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 72 MVar โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด



รูปที่ 5.54 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ



รูปที่ 5.55 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

7 CAPACITOR BANK DESIGN

Table

n	Chn	Cp	VIn	VIn	Ih	Vcu	Iu
0	7.000	3.5000	1.000	0.500	0.000	1.000	1.000
SU	0.667	3.0723	1.000	0.447	-0.111	S.C.	15.061
1	6.881	3.4700	1.000	0.504	0.009	1.001	1.001
2	6.744	3.4347	1.000	0.509	0.020	1.175	1.175
3	6.583	3.3926	1.000	0.515	0.032	1.288	1.288
4	6.394	3.3416	1.000	0.523	0.047	1.425	1.425
5	6.167	3.2705	1.000	0.532	0.066	1.595	1.595
6	5.888	3.1983	1.000	0.543	0.090	1.810	1.810
7	5.542	3.0930	1.000	0.558	0.122	2.093	2.093
8	5.095	2.9488	1.000	0.579	0.165	2.480	2.480
9	4.500	2.7391	1.000	0.609	0.228	3.043	3.043
10	3.667	2.4063	1.000	0.656	0.327	3.938	0.000

< Back Print

รูปที่ 5.56 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวนตัวเก็บประจุที่ถูกปลดออกจากระบบโดยการทำงานของฟิวส์ของผลัฟท์ที่ 2 ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ และเลือกค่า Pa เท่ากับ 10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7 CAPACITOR BANK DESIGN

Table

n	Chn	Cp	VIn	VIn	Ih	Vcu	Iu
0	7.000	3.5000	1.000	0.500	0.000	1.000	1.000
SU	0.933	3.9053	1.000	0.442	-0.110	S.C.	15.110
1	6.882	3.4702	1.000	0.504	0.000	1.074	1.074
2	6.747	3.4356	1.000	0.509	0.018	1.159	1.159
3	6.593	3.3951	1.000	0.515	0.029	1.259	1.259
4	6.413	3.3469	1.000	0.522	0.042	1.378	1.378
5	6.203	3.2887	1.000	0.530	0.057	1.521	1.521
6	5.952	3.2169	1.000	0.540	0.077	1.699	1.699
7	5.649	3.1262	1.000	0.553	0.102	1.922	1.922
8	5.275	3.0080	1.000	0.570	0.134	2.214	2.214
9	4.800	2.8475	1.000	0.593	0.178	2.610	2.610
10	4.179	2.6170	1.000	0.626	0.240	3.179	3.179
11	3.333	2.2581	1.000	0.677	0.338	4.065	0.000

< Back Print

รูปที่ 5.57 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวนตัวเก็บประจุที่ถูกปลดออกจากระบบโดยการทำงานของฟิวส์ของผลลัพท์ที่ 2 ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ และเลือกค่า Pa เท่ากับ 11

เลือกการออกแบบที่ 2 โดยแจ้งเตือนเมื่อ 50% ถึง 70% ของสัญญาณรีเลย์เมื่อฟิวส์ตัวแรกทำงาน ส่วนการปลดชุดตัวเก็บประจุจะตั้งค่าไว้ที่ค่ากึ่งกลางระหว่างสัญญาณรีเลย์เมื่อฟิวส์ตัวแรกทำงานและสัญญาณรีเลย์เมื่อฟิวส์ตัวที่ 2 ทำงาน ซึ่งจากรูปที่ 5.56 และ 5.57 พบว่า V_{cu} จะมีค่าเกิน 1.1 เท่าเมื่อฟิวส์ตัวที่ 2 ทำงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7 CAPACITOR BANK DESIGN

Transmission Level |

Bank Parameters

Vs: 115 kV delta Vs: 5 %
 Qs: 72 MVAR delta Qcr: 2.5 %
 Fs: 50 Hz Qcr_min: 200 KVAR

Bank Configurations

Externally Fused Bank Internally Fused Bank Fuseless Bank

Bank Connections

Split Wye Equal Legs
 Split Wye Unequal Legs
 Single Wye
 H-Bridge Equal Legs
 H-Bridge Unequal Legs

Grounded
 Ungrounded

< Back Next > Cancel

รูปที่ 5.58 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

7 CAPACITOR BANK DESIGN

Solution |

S	Pa	Total cap.	Vcr (KV)	delta Vs (%)	Qcr (KVAR)	Qcr_1 (MVAR)	Qcomp (MVAR)	Qcr_1/Qcomp (%)
3	8+9	153	22.8	3.0	500	76.50	72.08	106.1
6	10+11	378	11.4	3.0	200	75.60	71.23	106.1

Parameters

Pa: 10 Choose parallel units per phase side for check unbalance
 St: 3 Series groups of tap point to neutral

< Back Print
 Graph Finish

รูปที่ 5.59 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

7 CAPACITOR BANK DESIGN

Table

n	Chn	Cp	Vln	Vfn	fn	Vcu	Iu
0	7.000	3.5000	1.000	0.500	0.000	1.000	1.000
SU	0.667	3.0723	0.966	0.447	-0.100	S.C.	15.310
1	6.881	3.4700	1.003	0.504	0.009	1.004	1.004
2	6.744	3.4347	1.006	0.509	0.020	1.103	1.103
3	6.583	3.3926	1.010	0.515	0.032	1.302	1.302
4	6.394	3.3416	1.015	0.523	0.040	1.447	1.447
5	6.167	3.2785	1.022	0.532	0.060	1.629	1.629
6	5.889	3.1983	1.030	0.543	0.093	1.864	1.864
7	5.542	3.0930	1.040	0.556	0.127	2.177	2.177
8	5.095	2.9488	1.055	0.579	0.174	2.618	2.618
9	4.500	2.7391	1.078	0.609	0.246	3.281	3.281
10	3.667	2.4063	1.116	0.656	0.365	4.395	0.000

< Back Print

รูปที่ 5.60 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวนตัวเก็บประจุที่ถูกปลดออกจากระบบโดยการทำงานของฟิวส์ของผลลัพท์ที่ 2 ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ และเลือกค่า Pa เท่ากับ 10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7 CAPACITOR BANK DESIGN

Table

n	Chn	Cp	VIn	Vfn	IIn	Vcu	Iu
0	7.000	3.5000	1.000	0.500	0.000	1.000	1.000
SU	0.833	3.9053	0.963	0.442	-0.106	S.C.	14.549
1	6.882	3.4702	1.003	0.504	0.000	1.077	1.077
2	6.747	3.4356	1.006	0.509	0.010	1.166	1.166
3	6.593	3.3951	1.010	0.515	0.029	1.272	1.272
4	6.413	3.3469	1.015	0.522	0.042	1.398	1.398
5	6.203	3.2887	1.021	0.530	0.059	1.553	1.553
6	5.952	3.2169	1.028	0.540	0.079	1.746	1.746
7	5.649	3.1262	1.037	0.553	0.105	1.993	1.993
8	5.275	3.0080	1.049	0.570	0.140	2.323	2.323
9	4.800	2.8475	1.066	0.593	0.189	2.783	2.783
10	4.179	2.6170	1.092	0.626	0.262	3.471	3.471
11	3.333	2.2581	1.134	0.677	0.383	4.610	0.000

< Back Print

รูปที่ 5.61 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวนตัวเก็บประจุที่ถูกปลดออกจากระบบโดยการทำงานของฟิวส์ของผลลัพท์ที่ 2 ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ และเลือกค่า Pa เท่ากับ 11

เลือกการออกแบบที่ 2 โดยแจ้งเตือนเมื่อ 50% ถึง 70% ของสัญญาณรีเลย์เมื่อฟิวส์ตัวแรกทำงาน ส่วนการปลดชุดตัวเก็บประจุจะตั้งค่าไว้ที่ค่ากึ่งกลางระหว่างสัญญาณรีเลย์เมื่อฟิวส์ตัวแรกทำงานและสัญญาณรีเลย์เมื่อฟิวส์ตัวที่ 2 ทำงาน ซึ่งจากรูปที่ 5.60 และ 5.61 พบว่า V_{cu} จะมีค่าเกิน 1.1 เท่าเมื่อฟิวส์ตัวที่ 2 ทำงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.1.7 การเปรียบเทียบการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่ระดับแรงดันสูง

ตารางที่ 5.7 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่ระดับแรงดัน 69 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 24 และ 36 MVar ตามลำดับ โดยเผื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

MVar	24						36					
Configurations	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar
Split wye equal legs	2	11+11	20.8	200	132	24.21	2	8+8	20.8	400	96	35.21
							3	11+11	13.8	200	198	36.67
Split grounded wye unequal legs	—	—	—	—	—	—	2	6+7	20.8	500	78	35.76
Split ungrounded wye unequal legs	—	—	—	—	—	—	2	16+17	20.8	200	198	36.31
Single grounded wye or Single ungrounded wye	2	11	20.8	400	66	24.21	3	11	13.8	400	99	36.67
	4	10	9.96	200	120	24.00	4	10	9.96	300	120	36.00
							5	13	8.32	200	195	35.76
							6	10	6.64	200	180	36.00

ตารางที่ 5.8 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่ระดับแรงดัน 69 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 48 และ 72 MVar ตามลำดับ โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

MVar	48						72					
	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar
Split wye equal legs	2	11+11	20.8	400	132	48.42	3	11+11	13.8	400	198	73.33
	4	10+10	9.96	200	240	48.00	4	10+10	9.96	300	240	72.00
		13+13	8.32	200	390	71.53	5	13+13	8.32	200	390	71.53
		10+10	6.64	200	360	72.00	6	10+10	6.64	200	360	72.00
Split wye unequal legs	2	14+15	20.8	300	174	47.87	3	8+9	13.8	500	153	70.83
	3	9+10	13.8	300	171	47.50						
Single grounded wye or Single ungrounded wye	4	10	9.96	400	120	48.00	6	10	6.64	400	180	72.00

ตารางที่ 5.9 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่ระดับแรงดัน 115 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 24 และ 36 MVar ตามลำดับ โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

MVar	24						36					
	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar
Split wye equal legs	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Split wye unequal legs	—	—	—	—	—	—	3	10+11	22.8	200	189	35.62
Single grounded wye or Single ungrounded wye	3	14	22.8	200	126	23.74	3	14	22.8	300	126	35.62
							5	13	13.8	200	195	36.11

ตารางที่ 5.10 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่ระดับแรงดัน 115 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 48 และ 72 MVar ตามลำดับ โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

MVar	48						72					
	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar
Split wye equal legs	3	14+14	22.8	200	252	47.49	3	14+14	22.8	300	252	71.23
							5	13+13	13.8	200	390	72.22
Split wye unequal legs	3	9+10	22.8	300	171	48.34	3	8+9	22.8	500	153	72.08
							6	10+11	11.4	200	378	71.23
Single grounded wye	5	17	13.8	200	255	47.22	6	14	11.4	300	252	71.23
	6	14	11.4	200	252	47.49	7	19	9.96	200	399	72.37
	8	10	8.32	200	240	47.76	8	10	8.32	300	240	71.64
							9	14	7.62	200	378	70.86
							10	12	6.64	200	360	72.00
Single ungrounded wye	5	17	13.8	200	255	47.22	6	14	11.4	300	252	71.23
	6	14	11.4	200	252	47.49	7	19	9.96	200	399	72.37
							8	15	8.32	200	360	71.64
							9	14	7.62	200	378	70.86
							10	12	6.64	200	360	72.00

ตารางที่ 5.11 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่ระดับแรงดัน 230 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 24 และ 36 MVar ตามลำดับ โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

MVar	24						36					
	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar
Split wye equal legs	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Split wye unequal legs	—	—	—	—	—	—	6	10+11	22.8	100	378	35.62
Single grounded wye or Single ungrounded wye	6	14	22.8	100	252	23.74	6	14	22.8	150	252	35.62
							7	19	19.92	100	399	36.19
							9	14	15.125	100	378	35.97
							10	13	13.8	100	390	36.11

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.12 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused ที่ระดับแรงดัน 230 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 48 และ 72 MVar ตามลำดับ โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

MVar	48						72					
	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar
Split wye equal legs	6	14+14	22.8	100	504	47.49	6	14+14	22.8	150	504	71.23
Split wye unequal legs	6	14+15	22.8	100	522	49.19	6	10+11	22.8	200	378	71.23
	7	12+13	19.92	100	525	47.61	7	12+13	19.92	150	525	71.42
Single grounded wye or Single ungrounded wye	6	14	22.8	200	252	47.49	6	14	22.8	300	252	71.23
							7	19	19.92	200	399	72.37
							9	14	15.125	200	378	71.94
							10	13	13.8	200	390	72.22

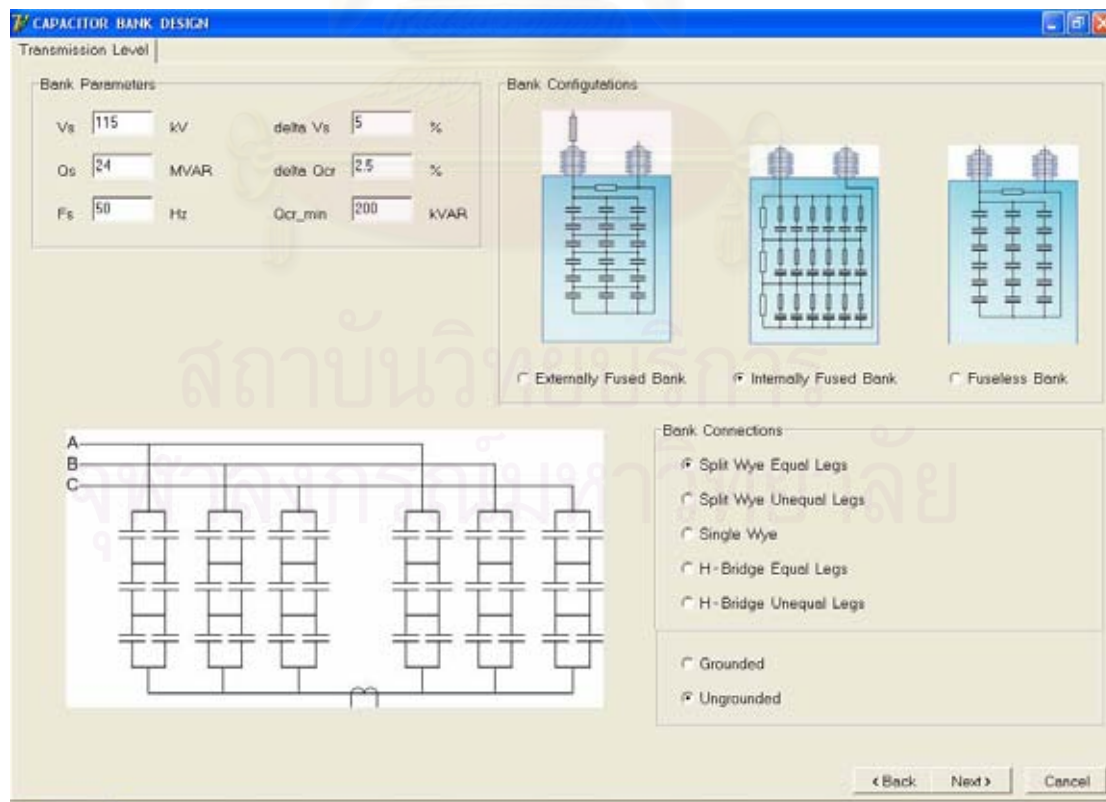
5.2.2 ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่แรงดันระบบส่ง

การออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่แรงดันระบบส่งมีอยู่หลายรูปแบบใน
ที่นี้ขอนำเสนอตัวอย่างการออกแบบ 6 รูปแบบดังนี้

- 1) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ Split wye equal legs
- 2) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ Split wye unequal legs
- 3) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ Single grounded wye
- 4) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ Single ungrounded wye
- 5) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ H – bridge equal legs
- 6) ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ H – bridge unequal legs

5.2.2.1 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ Split wye equal legs

ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดัน 115 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ
24 MVAR โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด



รูปที่ 5.62 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

CAPACITOR BANK DESIGN
Internally Fused Bank Data

Typical voltage and reactive power ratings

Voltage (terminal-to-terminal)	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR
2400	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
2770	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
4150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
4800	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
6640	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
7200	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
7620	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
7960	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
8320	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
9540	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
9960	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
11400	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
12470	200	300	400	500	600	700	800	900	1000

Internal parameters

P_eis Parallel elements per series groups

Su Series groups

lphase A

Number of voltage levels Number of kvar

Open Save Default < Back Next > Cancel

รูปที่ 5.63 หน้าจอการรับข้อมูลของตัวเก็บประจุ

CAPACITOR BANK DESIGN
Solution

S	Pa	Total cap.	Vcr (KV)	delta Vs (%)	Qcr (KVAR)	Qcr_1 (MVAR)	Qcomp (MVAR)	Qcr_1/Qcomp (%)
6	1	36	11.4	3.0	700	25.20	23.74	106.1
8	1	48	9.32	0.2	500	24.00	23.88	100.5
10	1	60	6.64	0.0	400	24.00	24.00	100.0

Parameter

P Parallel units in affected string

< Back Print
Graph Finish

รูปที่ 5.64 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

7 CAPACITOR BANK DESIGN

Table

f	Ci	Vg	Cu	Cg	Cs	Cp	Vng	Vin	Vcu	Ve	Iu	Ist	Iph	Ig	In	Id
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.0000	0.00000	1.00000	1.000	1.000	1.000	1.0000	1.0000	0.00000	0.00000	0.00000
SE	S.C.	S.C.	1.500	1.500	1.034	1.0172	-0.00571	0.99429	0.696	S.C.	1.029	1.0206	1.0114	0.00000	-0.00857	-0.01714
1	0.875	1.091	0.955	0.955	0.995	0.9976	0.00079	1.00079	1.043	1.130	0.996	0.9960	0.9984	0.00000	0.00119	0.00237
2	0.750	1.200	0.900	0.900	0.989	0.9945	0.00183	1.00183	1.101	1.321	0.991	0.9900	0.9963	0.00000	0.00275	0.00550
3	0.625	1.333	0.833	0.833	0.980	0.9902	0.00328	1.00328	1.180	1.574	0.984	0.9836	0.9934	0.00000	0.00492	0.00984
4	0.500	1.500	0.750	0.750	0.968	0.9839	0.00541	1.00541	1.297	1.946	0.973	0.9730	0.9892	0.00000	0.00811	0.01622
5	0.375	1.714	0.643	0.643	0.947	0.9737	0.00885	1.00885	1.487	2.549	0.956	0.9558	0.9823	0.00000	0.01327	0.02655
6	0.250	2.000	0.500	0.500	0.909	0.9545	0.01538	1.01538	1.846	3.692	0.923	0.9231	0.9692	0.00000	0.02308	0.04615
7	0.125	2.400	0.300	0.300	0.811	0.9054	0.03256	1.03256	2.791	6.698	0.837	0.8372	0.9349	0.00000	0.04884	0.09767
8	0.000	3.000	0.000	0.000	0.000	0.5000	0.20000	1.20000	12.000	36.000	0.000	0.0000	0.6000	0.00000	0.30000	0.60000

< Back Print

รูปที่ 5.65 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวน Elements ที่ถูกปลดภายในตัวเก็บประจุ โดยการทำงานของฟิวส์ของผลลัพท์ที่ 3 ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

การแจ้งเตือนและการปลดชุดตัวเก็บประจุสำหรับชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused จะต้องพิจารณา 2 สิ่งควบคู่กันคือ แรงดันเกินตกร่อมตัวเก็บประจุที่ยังคงเหลืออยู่ (Vcu) และ แรงดันเกินตกร่อมตัวเก็บประจุที่ยังคงเหลืออยู่ (Ve) โดยค่า Ve จะขึ้นอยู่กับผู้ผลิตว่าออกแบบให้แต่ละ Element สามารถทนแรงดันเกินตกร่อมได้เท่าใด ส่วนการแจ้งเตือนควรทำเมื่อฟิวส์ตัวแรกทำงาน

5.2.2.2 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ Split wye unequal legs

ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดัน 115 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 24 MVar โดยเผื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

7 CAPACITOR BANK DESIGN

Transmission Level |

Bank Parameters

Vs 115 kV delta Vs 5 %
 Qs 24 MVAR delta Qcr 2.5 %
 Fs 50 Hz Qcr_min 200 KVAR

Bank Configurations

Externally Fused Bank Internally Fused Bank Fuseless Bank

Bank Connections

Split Wye Equal Legs
 Split Wye Unequal Legs
 Single Wye
 H-Bridge Equal Legs
 H-Bridge Unequal Legs

Grounded
 Ungrounded

< Back Next > Cancel

รูปที่ 5.66 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

7 CAPACITOR BANK DESIGN

Internally Fused Bank Data |

Typical voltage and reactive power ratings

Volts (terminal-to-terminal)	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR
2400	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
2770	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
4160	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
4800	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
6640	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
7200	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
7620	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
7960	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
8320	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
9540	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
9960	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
11400	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
12470	200	300	400	500	600	700	800	900	1000

Internal parameters

P_ele 8 Parallel elements per series groups
 Su 3 Series groups
 Lphase 60 A

Number of voltage levels 13 Number of kvar 9

Open Save Default < Back Next > Cancel

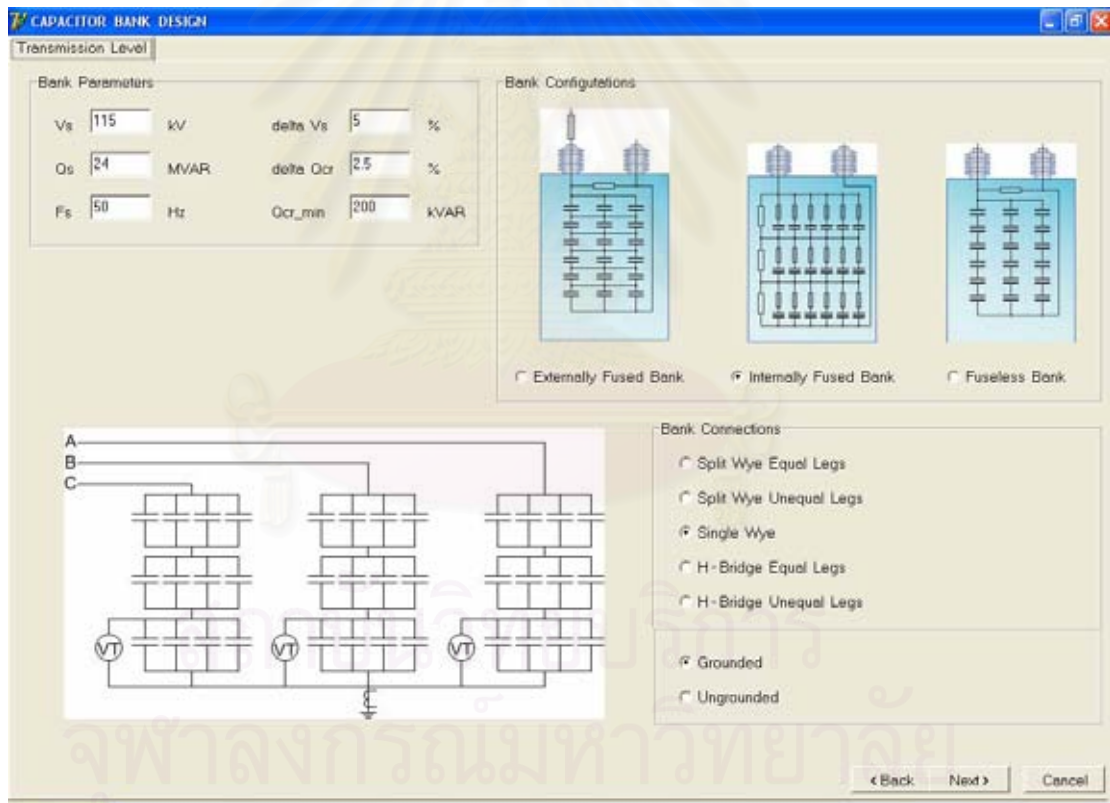
รูปที่ 5.67 หน้าจอการรับข้อมูลของตัวเก็บประจุ



รูปที่ 5.68 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

5.2.2.3 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ Single grounded wye

ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดัน 115 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 24 MVAR โดยเผื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด



รูปที่ 5.69 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

CAPACITOR BANK DESIGN

Internally Fused Bank Data

Typical voltage and reactive power ratings

Voltage (terminal-to-terminal)	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR
2400	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
2770	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
4150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
4800	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
6640	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
7200	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
7620	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
7960	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
8320	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
9540	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
9960	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
11400	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
12470	200	300	400	500	600	700	800	900	1000

Internal parameters

P_eis Parallel elements per series groups

Su Series groups

lphase A

Number of voltage levels Number of kvar

Open Save Default < Back Next > Cancel

รูปที่ 5.70 หน้าจอการรับข้อมูลของตัวเก็บประจุ

CAPACITOR BANK DESIGN

Solution

S	Pt	Total cap.	Vcr (KV)	delta Vs (%)	Qcr (KVAR)	Qcr_1 (MVAR)	Qcomp (MVAR)	Qcr_1/Qcomp (%)
6	2	36	11.4	3.0	700	25.20	23.74	106.1
8	2	48	9.32	0.2	500	24.00	23.88	100.5
10	2	60	6.64	0.0	400	24.00	24.00	100.0

Parameter

St Series groups of tap point to neutral

< Back Print
Graph Finish

รูปที่ 5.71 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

7 CAPACITOR BANK DESIGN

Table

f	Cu	Cp	Vcu	Ve	Iu	Chn_out	Vtg_out	dVtg_out	Chn_in	Vtg_in	dVtg_in
0	1.000	0.2000	1.0000	1.000	1.000	0.400	0.5000	0.00000	0.400	0.5000	0.00000
SE	1.500	0.2041	0.8163	S.C.	1.224	0.400	0.5102	-0.02041	0.417	0.4090	0.02041
1	0.955	0.1995	1.0209	1.114	0.974	0.400	0.4990	0.00232	0.398	0.5012	-0.00232
2	0.900	0.1990	1.0471	1.257	0.942	0.400	0.4974	0.00524	0.396	0.5026	-0.00524
3	0.833	0.1982	1.0811	1.441	0.901	0.400	0.4955	0.00901	0.393	0.5045	-0.00901
4	0.750	0.1972	1.1268	1.690	0.845	0.400	0.4930	0.01408	0.389	0.5070	-0.01408
5	0.643	0.1957	1.1915	2.043	0.766	0.400	0.4894	0.02120	0.383	0.5106	-0.02120
6	0.500	0.1935	1.2903	2.581	0.645	0.400	0.4839	0.03226	0.375	0.5161	-0.03226
7	0.300	0.1890	1.4599	3.504	0.438	0.400	0.4745	0.05109	0.361	0.5255	-0.05109
8	0.000	0.1818	1.8182	5.455	0.000	0.400	0.4545	0.09091	0.333	0.5455	-0.09091

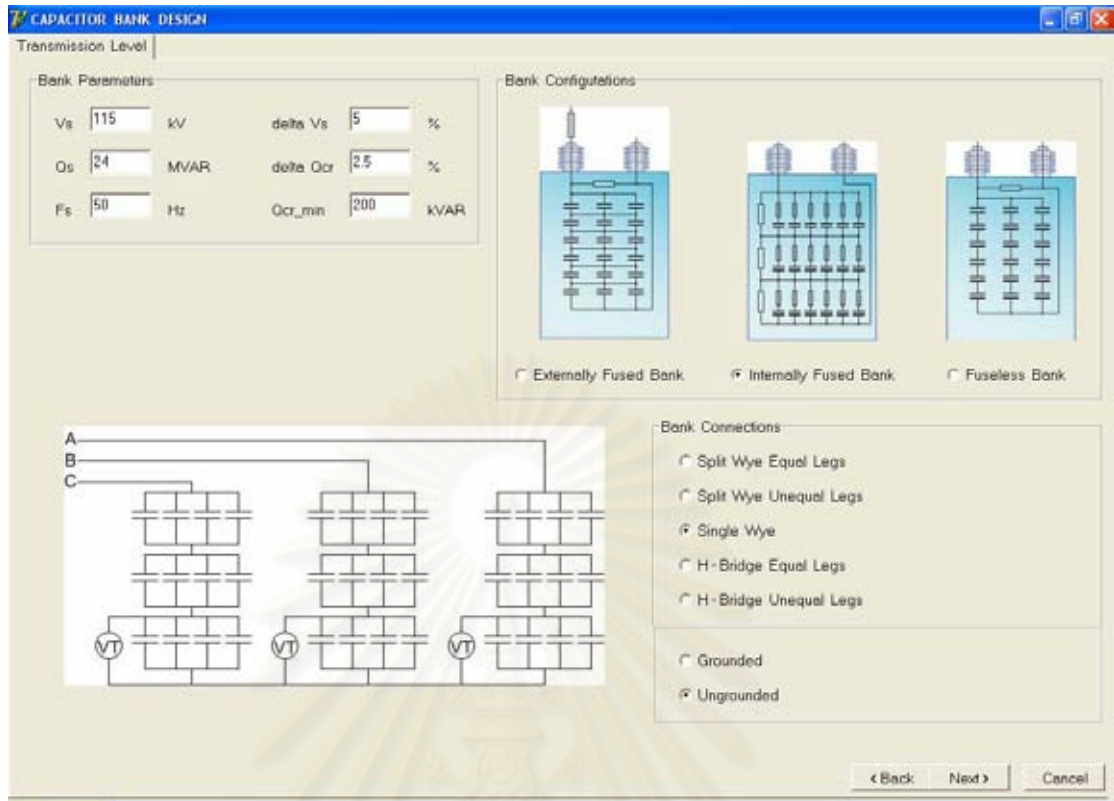
< Back Print

รูปที่ 5.72 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวน Elements ที่ถูกปลดภายในตัวเก็บประจุ โดยการทำงานของฟิวส์ของผลลัพท์ที่ 3 ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

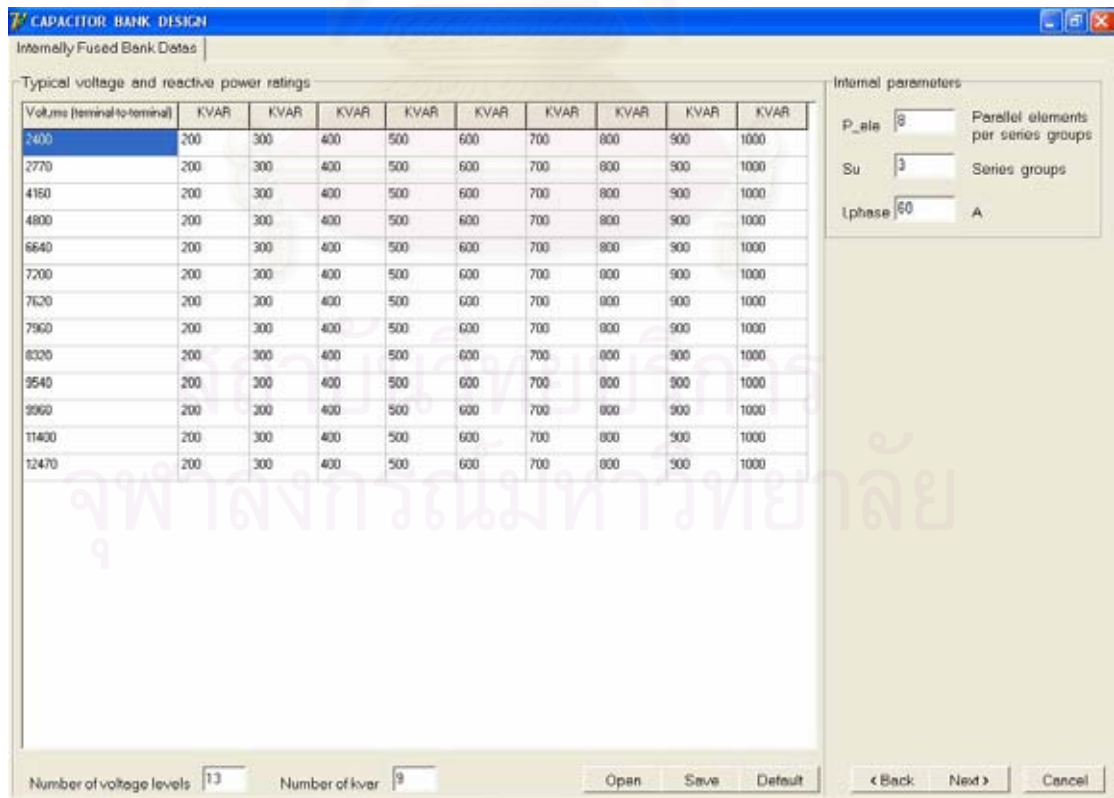
5.2.2.4 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ Single ungrounded wye

ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดัน 115 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 24 MVar โดยเผื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.73 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ



รูปที่ 5.74 หน้าจอการรับข้อมูลของตัวเก็บประจุ

7 CAPACITOR BANK DESIGN

Solution

S	Pt	Total cap	Vcr (KV)	delta Vs (%)	Ocr (KVAR)	Ocr_1 (MVAR)	Ocomp (MVAR)	Ocr_1/Ocomp (%)
6	2	36	11.4	3.0	700	25.20	23.74	106.1
8	2	48	9.32	0.2	500	24.00	23.88	100.5
10	2	60	6.64	0.0	400	24.00	24.00	100.0

Parameter

St Series groups of tap point to neutral

< Back Print
Graph Finish

รูปที่ 5.75 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7 CAPACITOR BANK DESIGN

Table

f	Cu	Cp	Vcu	Ve	Iu	Chn_out	Vtg_out	dVtg_out	Chn_in	Vtg_in	dVtg_in
0	1.000	0.2000	1.0000	1.000	1.000	0.400	0.5000	0.00000	0.400	0.5000	0.00000
SE	1.500	0.2041	0.8163	S.C.	1.224	0.400	0.5102	-0.02041	0.417	0.4090	0.02041
1	0.955	0.1995	1.0209	1.114	0.974	0.400	0.4990	0.00232	0.398	0.5012	-0.00232
2	0.900	0.1990	1.0471	1.257	0.942	0.400	0.4974	0.00524	0.396	0.5026	-0.00524
3	0.833	0.1982	1.0811	1.441	0.901	0.400	0.4955	0.00901	0.393	0.5045	-0.00901
4	0.750	0.1972	1.1268	1.690	0.845	0.400	0.4930	0.01408	0.389	0.5070	-0.01408
5	0.643	0.1957	1.1915	2.043	0.766	0.400	0.4894	0.02120	0.383	0.5106	-0.02120
6	0.500	0.1935	1.2903	2.581	0.645	0.400	0.4839	0.03226	0.375	0.5161	-0.03226
7	0.300	0.1890	1.4599	3.504	0.438	0.400	0.4745	0.05109	0.361	0.5255	-0.05109
8	0.000	0.1818	1.8182	5.455	0.000	0.400	0.4545	0.09091	0.333	0.5455	-0.09091

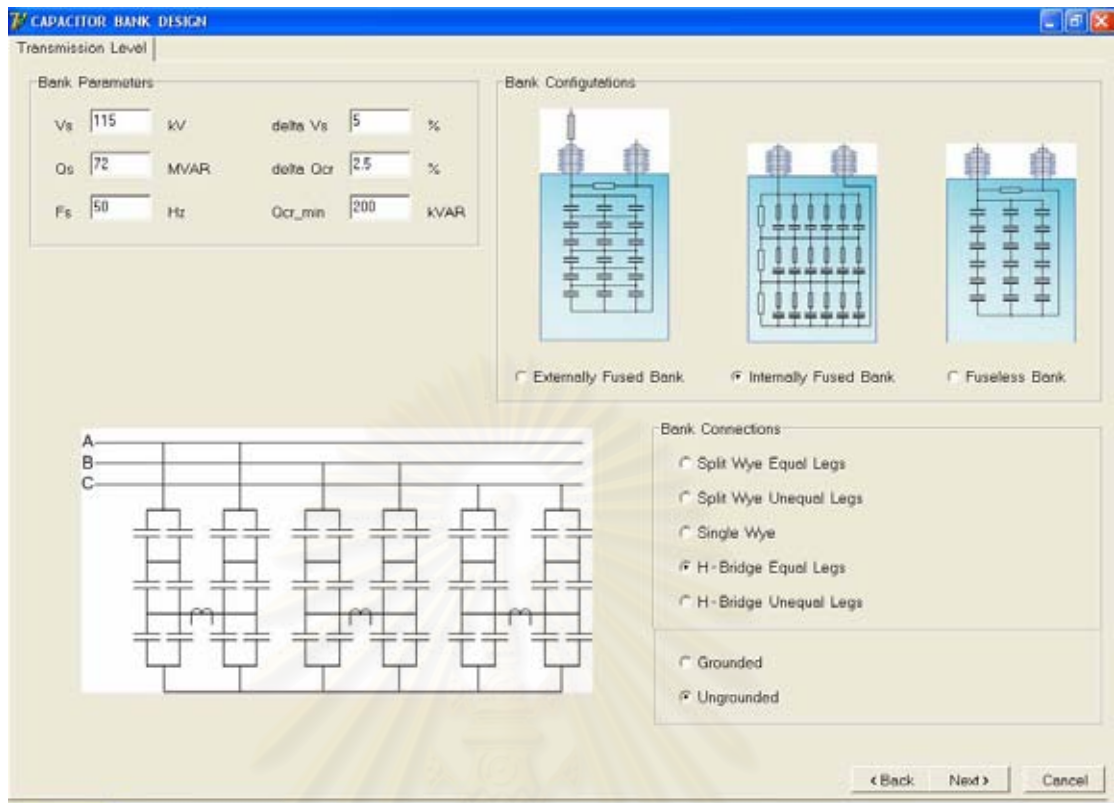
< Back Print

รูปที่ 5.76 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวน Elements ที่ถูกปลดภายในตัวเก็บประจุ โดยการทำงานของฟิวส์ของผลลัพท์ที่ 3 ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

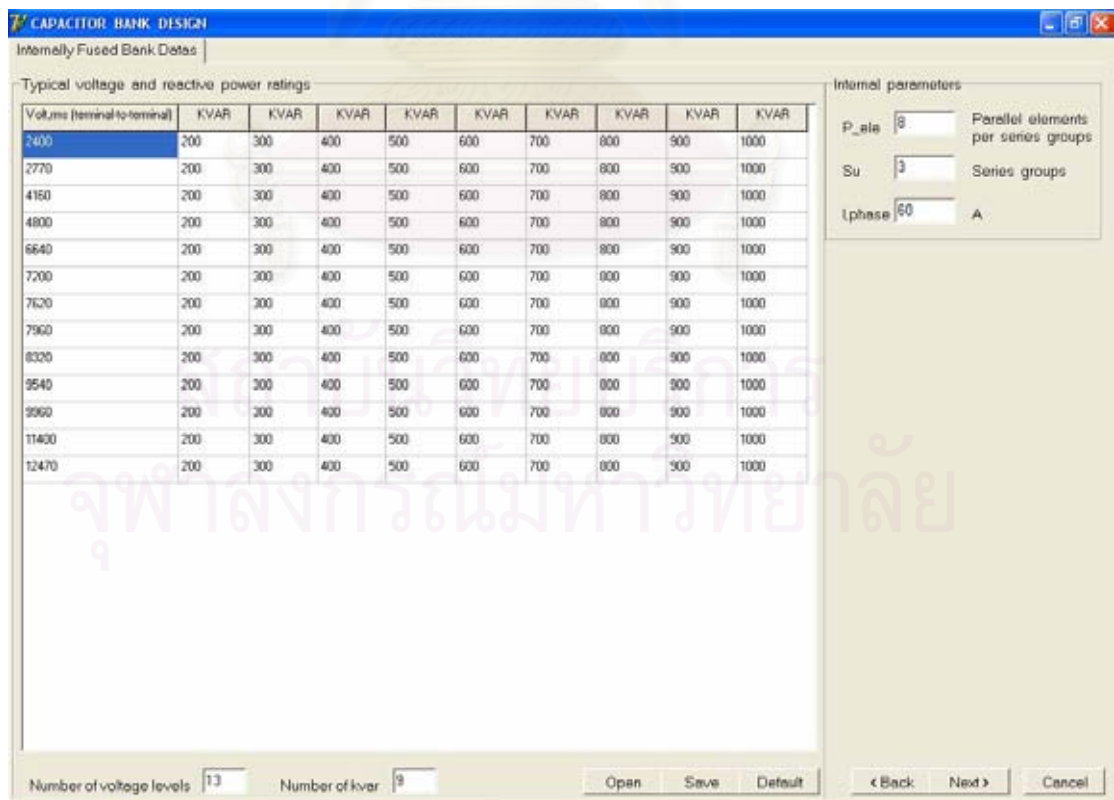
5.2.2.5 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ H – bridge equal legs

ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดัน 115 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 72 MVar โดยเผื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.77 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ



รูปที่ 5.78 หน้าจอการรับข้อมูลของตัวเก็บประจุ

7 CAPACITOR BANK DESIGN

Solution

S	Pa	Total cap	Vcr (KV)	delta Vs (%)	Qcr (KVAR)	Qcr_1 (MVAR)	Qcomp (MVAR)	Qcr_1/Qcomp (%)
6	3	108	11.4	3.0	700	75.60	71.23	106.1
8	3	144	9.32	0.2	500	72.00	71.64	100.5
10	3	180	6.64	0.0	400	72.00	71.99	100.0

Parameters

P Parallel units in affected string

St Series groups of tap point to neutral

< Back Print
Graph Finish

รูปที่ 5.79 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7 CAPACITOR BANK DESIGN

Table

f	Cu	Chn	Cp	Vin	Vh	Ih	Vcu	Ve	Iu
0	1.000	1.200	0.6000	1.000	0.50000	0.00000	1.000	1.000	1.00
SE	1.500	1.214	0.6036	0.998	0.49704	-0.00591	0.709	S.C.	1.06
1	0.955	1.190	0.5995	1.000	0.50039	0.00079	1.039	1.133	0.99
2	0.900	1.196	0.5989	1.001	0.50091	0.00182	1.090	1.300	0.98
3	0.833	1.192	0.5981	1.001	0.50161	0.00322	1.159	1.545	0.97
4	0.750	1.188	0.5969	1.002	0.50262	0.00524	1.259	1.800	0.94
5	0.643	1.180	0.5950	1.003	0.50420	0.00843	1.416	2.427	0.91
6	0.500	1.167	0.5915	1.005	0.50704	0.01415	1.698	3.396	0.85
7	0.300	1.136	0.5837	1.009	0.51362	0.02749	2.356	5.654	0.71
8	0.000	1.000	0.5495	1.031	0.54545	0.09375	5.625	16.875	0.00

Back Print

รูปที่ 5.80 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวน Elements ที่ถูกปลดภายในตัวเก็บประจุ โดยการทำงานของฟิวส์ของผลลัพท์ที่ 3 ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

5.2.2.6 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่มีการต่อแบบ H – bridge unequal legs

ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดัน 115 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 72 MVar โดยเผื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CAPACITOR BANK DESIGN

Transmission Level |

Bank Parameters

Vs kV delta Vs %

Qs MVAR delta Qcr %

Fs Hz Qcr_min KVAR

Bank Configurations

Externally Fused Bank Internally Fused Bank Fuseless Bank

Bank Connections

Split Wye Equal Legs

Split Wye Unequal Legs

Single Wye

H-Bridge Equal Legs

H-Bridge Unequal Legs

Grounded

Ungrounded

< Back Next > Cancel

รูปที่ 5.81 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

CAPACITOR BANK DESIGN

Internally Fused Bank Data |

Typical voltage and reactive power ratings

Volts (terminal-to-terminal)	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR
2400	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
2770	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
4160	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
4800	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
6640	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
7200	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
7620	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
7960	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
8320	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
9540	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
9960	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
11400	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
12470	200	300	400	500	600	700	800	900	1000

Internal parameters

P_ele Parallel elements per series groups

Su Series groups

Lphase A

Number of voltage levels Number of kvar

Open Save Default < Back Next > Cancel

รูปที่ 5.82 หน้าจอการรับข้อมูลของตัวเก็บประจุ



รูปที่ 5.83 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.2.7 การเปรียบเทียบการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่ระดับแรงดันส่ง

ตารางที่ 5.13 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่ระดับแรงดัน 69 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 24 และ 36 MVar ตามลำดับ โดยเผื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

MVar	24						36					
	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar
Split wye equal legs	4	2+2	9.96	500	48	24.00	—	—	—	—	—	—
Split wye unequal legs	—	—	—	—	—	—	4	2+3	9.96	600	60	36.00
	—	—	—	—	—	—	6	2+3	6.64	400	90	36.00
Single grounded wye or Single ungrounded wye	4	4	9.96	500	48	24.00	4	5	9.96	600	60	36.00
	—	—	—	—	—	—	6	5	6.64	400	90	36.00

ตารางที่ 5.14 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่ระดับแรงดัน 69 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 48 และ 72 MVar ตามลำดับ โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

MVar	48						72					
	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar
Split wye equal legs	—	—	—	—	—	—	4	5+5	9.96	600	120	72.00
							6	5+5	6.64	400	180	72.00
Split wye unequal legs	5	3+4	8.32	500	105	48.14	—	—	—	—	—	—
Single grounded wye or Single ungrounded wye	5	7	8.32	500	105	48.14	4	10	9.96	600	120	72.00
							6	10	6.64	400	180	72.00

ตารางที่ 5.15 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่ระดับแรงดัน 115 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 24 และ 36 MVar ตามลำดับ โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

MVar	24						36					
	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar
Split wye equal legs	6	1+1	11.4	700	36	23.74	—	—	—	—	—	—
	8	1+1	8.32	500	48	23.88						
	10	1+1	6.64	400	60	24.00						
Split wye unequal legs	—	—	—	—	—	—	6	1+2	11.4	700	54	35.62
							8	1+2	8.32	500	72	35.82
							10	1+2	6.64	400	90	36.00
Single grounded wye or Single ungrounded wye	6	2	11.4	700	36	23.74	6	3	11.4	700	54	35.62
	8	2	8.32	500	48	23.88	8	3	8.32	500	72	35.82
	10	2	6.64	400	60	24.00	10	3	6.64	400	90	36.00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.16 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่ระดับแรงดัน 115 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 48 และ 72 MVar ตามลำดับ โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

MVar	48						72					
	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar
Split wye equal legs	6	2+2	11.4	700	72	47.49	6	3+3	11.4	700	108	71.23
	8	2+2	8.32	500	96	47.76	8	3+3	8.32	500	144	71.64
	10	2+2	6.64	400	120	48.00	10	3+3	6.64	400	180	72.00
Split wye unequal legs	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Single grounded wye or Single ungrounded wye	6	4	11.4	700	72	47.49	6	6	11.4	700	108	71.23
	8	4	8.32	500	96	47.76	8	6	8.32	500	144	71.64
	10	4	6.64	400	120	48.00	10	6	6.64	400	180	72.00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.17 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่ระดับแรงดัน 230 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 24 และ 36 MVar ตามลำดับ โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

MVar	24						36					
	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar
Split wye equal legs	—	—	—	—	—	—	20	1+1	6.64	300	120	36.00
Split wye unequal legs	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Single grounded wye or Single ungrounded wye	12	1	11.4	700	36	23.74	20	2	6.64	300	120	36.00
	16	1	8.32	500	48	23.88						
	17	1	7.96	500	51	24.56						
	20	1	6.64	400	60	24.00						
	29	1	4.8	300	87	23.75						

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.18 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Internally fused ที่ระดับแรงดัน 230 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 48 และ 72 MVar ตามลำดับ โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

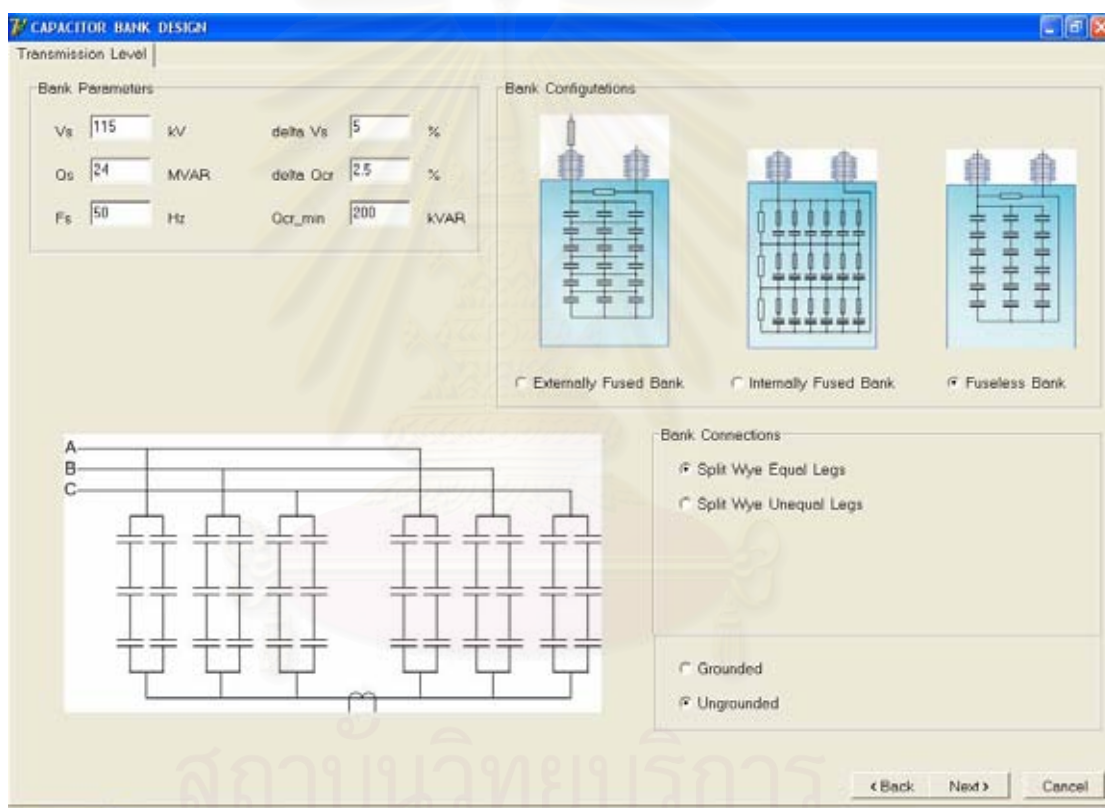
MVar	48						72					
	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar
Split wye equal legs	12	1+1	11.4	700	72	47.49	—	—	—	—	—	—
	16	1+1	8.32	500	96	47.76						
	17	1+1	7.96	500	102	49.11						
	20	1+1	6.64	400	120	48.00						
	29	1+1	4.8	300	174	47.50						
Split wye unequal legs	—	—	—	—	—	—	12	1+2	11.4	700	108	71.23
							16	1+2	8.32	500	144	71.64
							17	1+2	7.96	500	153	73.67
							20	1+2	6.64	400	180	72.00
							29	1+2	4.8	300	261	71.26
Single grounded wye or Single ungrounded wye	12	2	11.4	700	72	47.49	12	3	11.4	700	108	71.23
	16	2	8.32	500	96	47.76	16	3	8.32	500	144	71.64
	17	2	7.96	500	102	49.11	17	3	7.96	500	153	73.67
	20	2	6.64	400	120	48.00	20	3	6.64	400	180	72.00
	29	2	4.8	300	174	47.50	29	3	4.8	300	261	71.26

5.2.3 ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless ที่แรงดันระบบส่ง

การออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless ที่แรงดันระบบส่งมีรายละเอียดดังนี้

5.2.3.1 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless ที่มีการต่อแบบ Split wye equal legs

ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดัน 115 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 24 MVAR และเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด



รูปที่ 5.84 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CAPACITOR BANK DESIGN

Fuseless Data |

Typical voltage and reactive power ratings

Voltage (terminal-to-terminal)	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR
2400	100	150	200	300	400				
2770	100	150	200	300	400	500			
4150	100	150	200	300	400	500	600	700	800
4800	100	150	200	300	400	500	600	700	800
6640	100	150	200	300	400	500	600	700	800
7200	100	150	200	300	400	500	600	700	800
7620	100	150	200	300	400	500	600	700	800
7960	100	150	200	300	400	500	600	700	800
8320	100	150	200	300	400	500	600	700	800
9540	100	150	200	300	400	500	600	700	800
9960	100	150	200	300	400	500	600	700	800
11400	100	150	200	300	400	500	600	700	800
12470	100	150	200	300	400	500	600	700	800
13200	100	150	200	300	400	500	600	700	800
13800	100	150	200	300	400	500	600	700	800
14400	100	150	200	300	400	500	600	700	800
15125	100	150	200	300	400	500	600	700	800
19920	100	150	200	300	400	500	600	700	800

Fuseless parameters

Lphase A

Element Rating kV

Known the number of sections

Series Elements Sections

Number of voltage levels Number of kvar

Open Save Default < Back Next > Cancel

รูปที่ 5.85 หน้าจอการรับข้อมูลของตัวเก็บประจุ

CAPACITOR BANK DESIGN

Solution |

S	Pa	Sections	Total cap.	Vcr (KV)	delta Vs (%)	Qcr (KVAR)	Qcr_1 (MVAR)	Qcomp (MVAR)	Qcr_1/Qcr
5	1	7	30	13.28	0.0	800	24.00	24.00	100.0
6	1	6	36	11.4	3.0	700	25.20	23.74	106.1
8	1	4	48	8.32	0.2	500	24.00	23.88	100.5
10	1	4	60	6.64	0.0	400	24.00	24.00	100.0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

< Back Print
Graph Finish

รูปที่ 5.86 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

e	Cst	Cy	Cp	Vng	Vin	Ve	Iy	Iph	Ig	In	Id
0	1.000	1.000	1.0000	0.00000	1.00000	1.000	1.0000	1.0000	0.00000	0.0000	0.00000
1	1.029	1.029	1.0147	0.00400	0.99512	1.024	1.0244	1.0098	0.00000	0.0073	-0.01463
2	1.061	1.061	1.0303	0.01000	0.99000	1.050	1.0500	1.0200	0.00000	0.0150	-0.03000
3	1.094	1.094	1.0469	0.01530	0.98462	1.077	1.0769	1.0300	0.00000	0.0231	-0.04615
4	1.129	1.129	1.0645	0.02105	0.97895	1.105	1.1053	1.0421	0.00000	0.0316	-0.06316
5	1.167	1.167	1.0833	0.02703	0.97297	1.135	1.1351	1.0541	0.00000	0.0405	-0.08108
6	1.207	1.207	1.1034	0.03333	0.96667	1.167	1.1667	1.0667	0.00000	0.0500	-0.10000
7	1.250	1.250	1.1250	0.04000	0.96000	1.200	1.2000	1.0800	0.00000	0.0600	-0.12000
8	1.296	1.296	1.1481	0.04706	0.95294	1.235	1.2353	1.0941	0.00000	0.0706	-0.14118
9	1.346	1.346	1.1731	0.05455	0.94545	1.273	1.2727	1.1091	0.00000	0.0818	-0.16364
10	1.400	1.400	1.2000	0.06250	0.93750	1.313	1.3125	1.1250	0.00000	0.0937	-0.18750
11	1.458	1.458	1.2292	0.07097	0.92903	1.355	1.3548	1.1419	0.00000	0.1065	-0.21290
12	1.522	1.522	1.2609	0.08000	0.92000	1.400	1.4000	1.1600	0.00000	0.1200	-0.24000
13	1.591	1.591	1.2955	0.08966	0.91034	1.448	1.4483	1.1793	0.00000	0.1345	-0.26897
14	1.667	1.667	1.3333	0.10000	0.90000	1.500	1.5000	1.2000	0.00000	0.1500	-0.30000

รูปที่ 5.87 หน้าจอการตรวจจับความไม่สมดุลตามจำนวน Element ที่ลัดวงจรของตัวเก็บประจุของผลลัพธ์ที่ 1 ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

การเลือกผลการออกแบบแบบแรกและจากรูปที่ 5.87 จะพบว่าแรงดันเกินตกคร่อม Elements ที่ยังคงอยู่ (V_e) เกิน 1.1 เท่าเมื่อ Element ตัวที่ 4 ลัดวงจร ดังนั้นควรจะแจ้งเตือนเมื่อ Element ตัวแรกลัดวงจรหรือ 50% ถึง 70% ของสัญญาณรีเลย์เมื่อ Element ตัวแรกลัดวงจร ส่วนการปลดชุดตัวเก็บประจุจะตั้งค่าไว้ที่ค่ากึ่งกลางระหว่างสัญญาณรีเลย์เมื่อ Element ตัวที่ 3 ลัดวงจร และสัญญาณรีเลย์เมื่อ Element ตัวที่ 4 ลัดวงจร

5.2.3.2 ชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless ที่มีการต่อแบบ Split wye unequal legs

ตัวอย่างการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดัน 115 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 24 MVar และเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

CAPACITOR BANK DESIGN

Transmission Level |

Bank Parameters

Vs kV delta Vs %

Qs MVAR delta Qcr %

Fs Hz Qcr_min KVAR

Bank Configurations

Externally Fused Bank Internally Fused Bank Fuseless Bank

Bank Connections

Split Wye Equal Legs

Split Wye Unequal Legs

Grounded

Ungrounded

< Back Next > Cancel

รูปที่ 5.88 หน้าจอการรับข้อมูลของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ

CAPACITOR BANK DESIGN

Fuseless Data |

Typical voltage and reactive power ratings

Voltages (terminal-to-terminal)	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR
3400	100	150	200	300	400				
2770	100	150	200	300	400	500			
4160	100	150	200	300	400	500	600	700	800
4800	100	150	200	300	400	500	600	700	800
6640	100	150	200	300	400	500	600	700	800
7200	100	150	200	300	400	500	600	700	800
7620	100	150	200	300	400	500	600	700	800
7960	100	150	200	300	400	500	600	700	800
8320	100	150	200	300	400	500	600	700	800
9540	100	150	200	300	400	500	600	700	800
9960	100	150	200	300	400	500	600	700	800
11400	100	150	200	300	400	500	600	700	800
12470	100	150	200	300	400	500	600	700	800
13200	100	150	200	300	400	500	600	700	800
13800	100	150	200	300	400	500	600	700	800
14400	100	150	200	300	400	500	600	700	800
15125	100	150	200	300	400	500	600	700	800
19920	100	150	200	300	400	500	600	700	800

Fuseless parameters

I_{phase} A

Element Rating kV

Known the number of sections

Series Elements Sections

Number of voltage levels Number of kvar Open Save Default

< Back Next > Cancel

รูปที่ 5.89 หน้าจอการรับข้อมูลของตัวเก็บประจุ



รูปที่ 5.90 หน้าจอผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.3.3 การเปรียบเทียบการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless ที่ระดับแรงดันสูง

ตารางที่ 5.19 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless ที่ระดับแรงดัน 69 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 24 และ 36 MVar ตามลำดับ โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

MVar	24						36					
Configurations	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar
Split wye equal legs	4	2+2	9.96	500	48	24.00	—	—	—	—	—	—
Split wye unequal legs	—	—	—	—	—	—	3	2+3	13.28	800	45	36.00
	—	—	—	—	—	—	4	2+3	9.96	600	60	36.00
	—	—	—	—	—	—	6	2+3	6.64	400	90	36.00

ตารางที่ 5.20 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless ที่ระดับแรงดัน 69 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 48 และ 72 MVar ตามลำดับ โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

MVar	48						72					
Configurations	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar
Split wye equal legs	—	—	—	—	—	—	3	5+5	13.28	800	90	72.00
							4	5+5	9.96	600	120	72.00
							6	5+5	6.64	400	180	72.00
Split wye unequal legs	5	3+4	8.32	500	105	48.14	—	—	—	—	—	—

ตารางที่ 5.21 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless ที่ระดับแรงดัน 115 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 24 และ 36 MVar ตามลำดับ โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

MVar	24						36					
Configurations	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar
Split wye equal legs	5	1+1	13.28	800	30	24.00	—	—	—	—	—	—
	6	1+1	11.4	700	36	23.74						
	8	1+1	8.32	500	48	23.88						
	10	1+1	6.64	400	60	24.00						
Split wye unequal legs	—	—	—	—	—	—	5	1+2	13.28	800	45	36.00
							6	1+2	11.4	700	54	35.62
							8	1+2	8.32	500	72	35.82
							10	1+2	6.64	400	90	36.00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.22 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless ที่ระดับแรงดัน 115 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 48 และ 72 MVA_r ตามลำดับ โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

MVA _r	48						72					
Configurations	S	Pt	V _{cr} kV	Q _{cr} kVA _r	N units	Q _{comp} MVA _r	S	Pt	V _{cr} kV	Q _{cr} kVA _r	N units	Q _{comp} MVA _r
Split wye equal legs	5	2+2	13.28	800	60	48.00	5	3+3	13.28	800	90	72.00
	6	2+2	11.4	700	72	47.49	6	3+3	11.4	700	108	71.23
	8	2+2	8.32	500	96	47.76	8	3+3	8.32	500	144	71.64
	10	2+2	6.64	400	120	48.00	10	3+3	6.64	400	180	72.00
Split wye unequal legs	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

ตารางที่ 5.23 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless ที่ระดับแรงดัน 230 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 24 และ 36 MVar ตามลำดับ โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

MVar	24						36					
	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar
Split wye equal legs	—	—	—	—	—	—	9	1+1	15.125	700	54	35.97
							10	1+1	13.28	600	60	36.00
							20	1+1	6.64	300	120	36.00
Split wye unequal legs	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Single grounded wye or Single ungrounded wye	10	1	13.28	800	30	24.00	—	—	—	—	—	—
	12	1	11.4	700	36	23.74						
	16	1	8.32	500	48	23.88						
	17	1	7.96	500	51	24.56						
	20	1	6.64	400	60	24.00						
	29	1	4.8	300	87	23.75						

ตารางที่ 5.24 สรุปผลลัพธ์ของการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Fuseless ที่ระดับแรงดัน 230 kV และต้องการกำลังรีแอกทีฟ 48 และ 72 MVar ตามลำดับ โดยเพื่อขนาดพิกัดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 105% ของแรงดันระบบที่กำหนด

MVar	48						72					
Configurations	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar	S	Pt	Vcr kV	Qcr kVAr	N units	Qcomp MVar
Split wye equal legs	10	1+1	13.28	800	60	48.00	—	—	—	—	—	—
	12	1+1	11.4	700	72	47.49						
	16	1+1	8.32	500	96	47.76						
	17	1+1	7.96	500	102	49.11						
	20	1+1	6.64	400	120	48.00						
	29	1+1	4.8	300	174	47.50						
Split wye unequal legs	—	—	—	—	—	—	10	1+2	13.28	800	90	72.00
							12	1+2	11.4	700	108	71.23
							16	1+2	8.32	500	144	71.64
							17	1+2	7.96	500	153	73.67
							20	1+2	6.64	400	180	72.00
							29	1+2	4.8	300	261	71.26

5.3 สรุป

การออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่แรงดันระบบจำหน่ายสามารถกระทำได้ 2 รูปแบบคือ การออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused และ Internally fused โดยมีรูปแบบการใช้งานที่เหมาะสมคือ การต่อแบบ Single wye และ Split wye ซึ่งข้อเปรียบเทียบระหว่างการต่อใช้งานแบบ Single wye และ Split wye และข้อเปรียบเทียบระหว่างการต่อใช้งาน Single grounded wye และ Single ungrounded wye ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.4

สำหรับการออกแบบชุดตัวเก็บประจุที่แรงดันระบบส่งสามารถกระทำได้ 3 รูปแบบคือ การออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused, Internally fused และ Fuseless โดยมีรูปแบบการใช้งานที่เหมาะสมคือ การต่อแบบ Single wye, Split wye และ H – bridge สำหรับชุดตัวเก็บประจุที่มีกลุ่มอนุกรมของตัวเก็บประจุจำนวนมากสามารถเลือกใช้การต่อแบบ H – bridge เพื่อการตรวจจับความไม่สมดุลของชุดตัวเก็บประจุที่ดีกว่า

ในส่วนของการคำนวณความไม่สมดุลของชุดตัวเก็บประจุจะให้ข้อมูลสำหรับการปรับตั้งรีเลย์ดังที่กล่าวไว้ในหลักการปรับตั้งรีเลย์ในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.4 โดยปกติจะทำการปลดชุดตัวเก็บประจุเพื่อซ่อมบำรุงเมื่อแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุหรือ Elements มีค่าเกิน 110% ของแรงดันพิกัด

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ศึกษาการออกแบบชุดตัวเก็บประจุในระบบไฟฟ้าแรงสูงที่ระดับแรงดัน (kV) และขนาดกำลังรีแอกทีฟ (MVar) ซึ่งใช้งานภายใต้สภาวะปกติ และพิจารณาความไม่สมดุลของชุดตัวเก็บประจุเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในตัวเก็บประจุ ผลการศึกษาได้นำมาสู่การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อการออกแบบชุดตัวเก็บประจุแบบ Externally fused, Internally fused และ Fuseless พร้อมกันนี้ยังได้พิจารณาถึงการต่อใช้งานของชุดตัวเก็บประจุรูปแบบต่าง ๆ เช่น Single grounded wye, Single ungrounded wye, Split grounded wye, Split ungrounded wye และ H – bridge

การออกแบบชุดตัวเก็บประจุโดยทั่วไปจะคำนึงถึง

- 1) ลักษณะโครงสร้างของระบบ
- 2) แรงดันและขนาดที่เหมาะสมของหน่วยตัวเก็บประจุ
- 3) ลักษณะโครงสร้างของชุดตัวเก็บประจุ
- 4) ลักษณะการต่อชุดตัวเก็บประจุ
- 5) ลักษณะการใช้งาน
- 6) สภาพแวดล้อม
- 7) ความปลอดภัยในการใช้งาน

การคำนวณการออกแบบชุดตัวเก็บประจุสำหรับแต่ละชนิดและแต่ละลักษณะการต่อใช้งาน และความไม่สมดุลของชุดตัวเก็บประจุที่เกิดขึ้นเมื่อตัวเก็บประจุเกิดความผิดปกติ ทำให้ต้องการใช้เวลายาวนานพอสมควร โปรแกรมการออกแบบชุดตัวเก็บประจุในระบบไฟฟ้าแรงสูงนี้ สามารถช่วยอำนวยความสะดวกและลดระยะเวลาสำหรับการออกแบบชุดตัวเก็บประจุและการตัดสินใจเบื้องต้นสำหรับชนิดและลักษณะการต่อของชุดตัวเก็บประจุ รวมทั้งพิกัดแรงดันและกำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุ และจำนวนตัวเก็บประจุที่ต้องการใช้

สำหรับข้อเสนอแนะที่กล่าวไว้ ณ ที่นี้จะช่วยทำให้โปรแกรมนี้มีประสิทธิภาพและน่าใช้มากยิ่งขึ้น ได้แก่

- 1) แสดงผลลัพธ์การออกแบบชุดตัวเก็บประจุในรูปแบบ 3 มิติ
- 2) เพิ่มรูปแบบการตรวจจับความไม่สมดุลและการคำนวณความไม่สมดุลเมื่อตัวเก็บประจุเกิดความผิดปกติที่นอกเหนือจาก [2]
- 3) อาจเพิ่มการคำนวณความไม่สมดุลเมื่อตัวเก็บประจุเกิดความผิดปกติแบบกระจาย

รายการอ้างอิง

1. IEEE Std 18-2002 IEEE Standard for Shunt Power Capacitors, 2002.
2. IEEE Std C37.99-2000 IEEE Guide for the Protection of Shunt Capacitor Banks, 2000.
3. IEEE Std 1036-1992 IEEE Guide for Application of Shunt Power Capacitors, 1992.
4. ABB Industries, Inc. Power Capacitors [Online]. 2005. Available form : <http://www.abb.com> [2005, September 15]
5. Cooper Industries, Inc. Literature-Power Capacitors [Online]. 2005. Available form : <http://www.cooperpower.com/Library/Literature/section.asp?ProductLineID=21> [2005, September 15]
6. Nokian Capacitors Ltd. Internal Fuses in Capacitor Units [Online]. 2006. Available form : http://www.nokiancapacitors.fi/documents/04%20-%20theory/EN-TH02-01_2006-internal_fuses_in_cap_units.pdf [2006, January 10]
7. GE Transmission, Distribution & Industrial Systems, Capacitors [Online]. 2005. Available form : <http://www.geindustrial.com/publibrary/pubLibResult.jsp?famId=7&src=treeSearch> [2005, September 15]
8. ศภาวิศวรร, การไฟฟ้าฝ่ายผลิต, Reactive power plant [Online]. 2004, February 9. Available form : <http://www.coe.or.th/co06exm/SEPR/ch11.pdf> [2005, September 11]
9. Martin Bishop, Senior Member, IEEE, Tim Day, Senior Member, IEEE, and Arvind Chaudhary, Senior Member, IEEE, A Primer on Capacitor Bank Protection, IEEE Transactions on Industry Applications, 37, 4 (July/August 2001) : 1174-1179.
10. Peter H. Thiel (A), John E. Harder (F), and George E. Taylor, Fuseless Capacitor Banks, IEEE Transactions on Power Delivery, 7, 2 (April 1992) : 1009-1015.
11. Wei-Jen Lee, Senior Member, IEEE, Krishnan Narayanan, Theodore Maffetone, Member, IEEE, and Ponpranod Didsayabutra, The Design of a Capacitor Bank Early Warning System, IEEE Transactions on Industry Applications, 39, 2 (March / April 2003) : 306–312.
12. Arvind Chaudhary, Tim Day, Karl Fender, Leo Fendrick, and Jack McCall, Complete Protection of Multistring Fuseless Capacitor Banks, IEEE Industry Applications Magazine, (Nov./ Dec. 2003) : 34–39.

13. Planning and Engineering Committee (P&E) Transmission and Substation Design Subcommittee (TSDS), 500 kV, (345V) and 230 kV Shunt Capacitor Banks, V.G PJM Design and Application of Shunt Capacitors, (May 2002).
14. A. Kalyuzhny, and A. Weiler, Considerations of Neutral Current Protection Operation During Cascade Short-Circuit of Capacitor Unit, 18th Convention of March, (1995).
15. Randy Horton, Member, IEEE, Ted Warren, Karl Fender, Member, IEEE, Steven Harry, Member, IEEE, and Charles A. Gross, Senior Member, IEEE, Unbalance Protection of Fuseless, Split-Wye, Grounded, Shunt Capacitor Banks, IEEE Transactions on Power Delivery, 17, 3 (July 2002) : 698-701.
16. R. G. Andrei, Member, IEEE, A Novel Fuseless Capacitor Bank Design Using Conventional Single-Bushing Capacitors, IEEE Transactions on Power Delivery, 14, 3 (July 1999) : 1124-1133.
17. John E. Harder, Fellow, IEEE, Donald E. Hutchinson, Member, IEEE, and William B. Rust, Member, IEEE, 138 kV Shunt Capacitor Research Bank – Design & Experience, IEEE Transactions on Power Delivery, 5, 1 (January 1990) : 337-342.
18. R. G. Andrei, R. R. Kaushik, and R. W. Reinaker, Bridge Capacitor Bank Design and Operation, IEEE Transactions on Power Delivery, 11, 1 (January 1999) : 227-233.
19. R. G. Andrei, A. J. F. Keri, R. J. Albanese, and P. B. Johnson, Bridge Capacitor Bank Installation Concept Reactive Power Generation in EHV Systems, IEEE Transactions on Power Delivery, 11, 1 (November 1993) : 1463-1470.
20. Beckwith Electric Co., Inc., Sample Technical Proposal 30 MVar, 69 kV, Capacitor Bank (32.4 MVar @ 72.5 kV) [Online]. (n.d.). Available form : <http://www.beckwithelectric.com/bse/power-quality/downloads/powerfactor-sample-spec-69kV.pdf> [2005, September 15]
21. Malkiat S. Dhillon, and Demetrios A. Tziouvaras, Protection of Fuseless Capacitor Banks Using Digital Relays [Online]. (n.d.). Available form : http://www.selinc.com/techpprs/fuseless_capacitors.pdf [2005, September 18]
22. Richard Sévigny, Serge Ménard, Claude Rajotte, and Mark McVey, Capacitor Measurement in the Substation Environment: a New Approach, Transmission and Distribution Construction, Operation and Live-Line Maintenance Proceedings. 2000 IEEE ESMO-2000 IEEE 9th International Conference, (Oct. 2000) : 299-305.

23. David P. Bruns, George R. Newcomb, Senior Member, IEEE, Stanley A. Miske, Jr., Carson W. Taylor, Fellow, IEEE, Gerald E. Lee, Senior Member, IEEE, and Abdel-Aty Edris, Senior Member, IEEE, Shunt Capacitor Bank Series Group Shorting (CAPS) Design and Application, IEEE Transactions on Power Delivery, 16, 1 (January 2001) : 24-32.
24. Carson W. Taylor, Allen L. and Van Leuven, CAPS : Improving Power System Stability Using the Time-Overvoltage Capability of Large Shunt Capacitor Banks, IEEE Transactions on Power Delivery, 11, 2 (April 1996) : 783-792.
25. Emmanuel Thalassinakis, and Stefanos Sofroniou, Reliable Installation of Alternative Capacitor Banks Against Reactive Power Shortage, 2003 IEEE Bologna Power Tech Conference, (June 23-26).
26. IEEE Std 1531TM-2003 IEEE Guide for Application and Specification of Harmonic Filters, 2003.
27. Randy Horton, Ted Warren, Timothy Day, Jack McCall, and Arvind Chaudhary, Relaying 230 kV, 100 MVAR C-Type Filter Capacitor Banks, Cooper Power Systems Inc., Bulletin 03019, (June 2003).
28. F. W. MacDougall G. L. McKee, J. B. Ennis, and W. A. Reass, High Voltage Capacitors Designed to Avoid Catastrophic Failure Modes, Pulsed Power Conference, Digest of Technical Papers. 12th IEEE International, 1, 1 (June 1999) : 97-101.
29. Jeffrey F. Peggs, Member, IEEE, Phillip W. Powell, Senior Member, IEEE, and Thomas E. Grebe, Member, IEEE, Innovations for Protection and Control of High Voltage Capacitor Banks on the Virginia Power System, Transmission and Distribution Conference, Proceeding of the 1994 IEEE Power Engineering Society, (April 1994) : 284-290.
30. Working Group 3.4.17 of the IEEE Surge Protective Devices Committee, Surge Protection of High Voltage Shunt Capacitor Banks on AC Power Systems Survey Results and Application Considerations, IEEE Transactions on Power Delivery, 6, 3 (July 1991) : 1065-1072.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ว่าที่เรือตรีณัฐวุฒิ เมืองศิริ เกิดวันที่ 11 ตุลาคม พ.ศ. 2522 ที่อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2545 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อใน หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2547



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย