

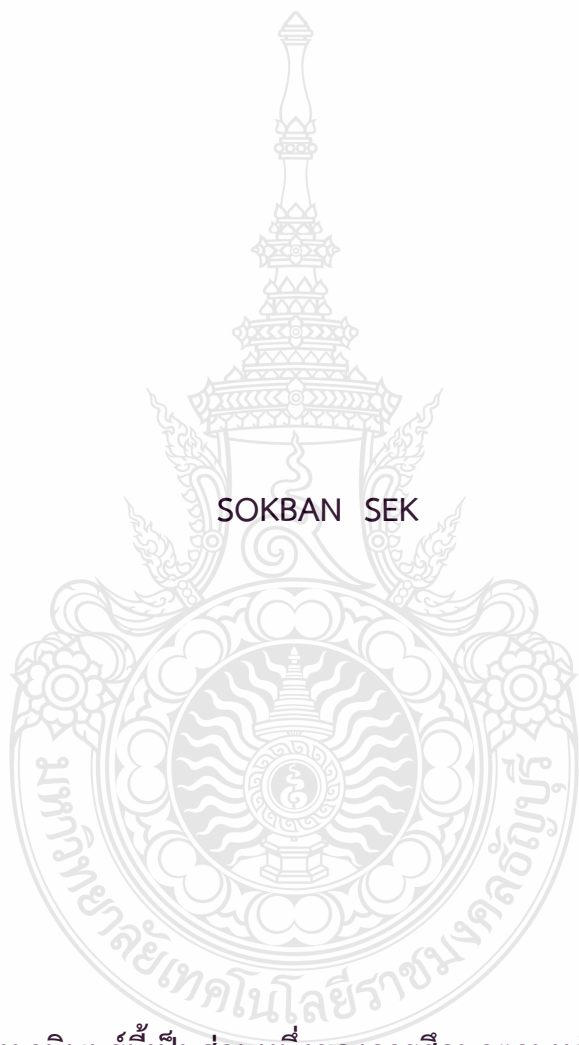
การหาตำแหน่งและขนาดติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบ่งคี่ที่เหมาะสมด้วย
เทคนิคอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมหลายวัตถุประสงค์

OPTIMAL LOCATION AND SIZING OF CAPACITOR BANK IN
POWER DISTRIBUTION SYSTEM USING A MULTI-OBJECTIVE
GENETIC ALGORITHM TECHNIQUE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การหาตำแหน่งและขนาดติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบ่งคี่ที่เหมาะสมด้วย
เทคนิคอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมหลายวัตถุประสงค์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การหาตำแหน่งและขนาดติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงก์ที่เหมาะสมด้วยเทคนิค
อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมหลายวัตถุประสงค์

Optimal Location and Sizing of Capacitor Bank in Power
Distribution System Using a Multi-objective Genetic Algorithm
Technique

ชื่อ - นามสกุล

Mr. Sokban Sek

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, D.Eng.

ปีการศึกษา

2567

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ประมุข อุณหเลขกะ, วศ.ด.)



กรรมการ

(รองศาสตราจารย์บุญยัง ปลั่งกลาง, Dr.-Ing.)



กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สีลวัต ร่มโพธิ์ชัย, วศ.ด.)



กรรมการ

(ศาสตราจารย์กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, D.Eng.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์สรพงษ์ ภาสุปรีดิ์, Ph.D.)

วันที่ 7 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2568

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหาตำแหน่งและขนาดติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ที่เหมาะสมด้วยเทคนิคอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมหลายวัตถุประสงค์
ชื่อนักศึกษา	Mr. Sokban Sek
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์กฤษฎณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, D.Eng.
ปีการศึกษา	2567

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการหาตำแหน่งและขนาดติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ที่เหมาะสมด้วยเทคนิคอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมหลายวัตถุประสงค์ ในปัจจุบันการใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังงานเป็นจำนวนมาก เนื่องจากการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจ และสังคม จึงทำให้เกิดความต้องการพัฒนาทางด้านระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อรักษาความเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้าไปยังโหลดให้มีความมั่นคงและคงที่

การหาตำแหน่งและขนาดติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ที่เหมาะสมด้วยเทคนิคอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมหลายวัตถุประสงค์ โดยใช้การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าด้วยวิธีไปข้างหน้า-ย้อนกลับทั้งก่อนและหลัง มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้า ปรับปรุงเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าให้ดีขึ้น และลดต้นทุนประจำปีของการไฟฟ้า โดยจำลองระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า 2 ระบบ คือระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้ามาตรฐาน IEEE 15 บัสและระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าที่จังหวัดกำแพงเพชรภาคภูมิพุกา

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อเทียบกับก่อนปรับปรุง สามารถลดอัตราการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้ามาตรฐาน IEEE 15 บัสได้ ในกรณีติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์ 2 ตัวลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าได้ 9.53% ติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์ 3 ตัวลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าได้ 16.41% ติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์ 4 ตัวลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าได้ 12.18% เมื่อนำเทคนิคนี้ทดสอบกับระบบจำหน่ายของจังหวัดกำแพงเพชรภาคภูมิพุกาการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์ 2 ตัวลดการสูญเสียได้ 3.86% ติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์ 3 ตัวลดการสูญเสียได้ 15.33% และติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์ 4 ตัวลดการสูญเสียได้ 14.63% เทียบกับก่อนปรับปรุงตามลำดับ

คำสำคัญ : ระบบกำลังไฟฟ้า, อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม, คาปาซิเตอร์แบงค์

Thesis Title Optimal Location and Sizing of Capacitor Bank in Power Distribution System Using a Multi-objective Genetic Algorithm Technique

Name-Surname Mr. Sokban Sek

Major Subject Electrical Engineering

Thesis Advisor Professor Krischonme Bhumkittipich, D.Eng.

Academic Year 2024

ABSTRACT

This thesis presented the determination of the optimal location and sizing for capacitor bank installation using a multi-objective genetic algorithm technique. Currently, the electricity consumption has significantly increased due to the economic and social development, resulting in the need to enhance power systems. This improvement aims to maintain voltage stability and ensure a reliable and constant power supply to distribution systems for load demands.

The study of the optimization of the capacitor bank placement and sizing using a multi-objective genetic algorithm technique involved the power flow analysis through a forward-backward sweep method before and following the optimization process. The key objectives included reducing power losses, enhancing voltage stability, and minimizing the utility annual operational costs. In addition, the study consisted of the simulations of two power distribution systems: the IEEE 15-bus standard power distribution system and the power distribution system in Kampong Thom province, Cambodia.

The experimental findings indicated that the capacitor bank installation significantly reduced the power loss in the IEEE 15-bus standard power distribution system. Comparing to the system before the optimization process, the installation of capacitor banks minimized the power loss by 9.53, 16.41 and 12.18% with two capacitor banks, three capacitor banks and four capacitor banks, respectively. In addition, comparing to the pre-improvement scenario, the installation of capacitor banks could reduce the power loss in the power distribution system in Kampong Thom province, Cambodia by 3.86, 15.33 and 14.63% with two capacitor banks, three capacitor banks and four capacitor banks, respectively.

Keywords : power system, genetic algorithm, capacitor bank

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความอนุเคราะห์ ความช่วยเหลือและคำแนะนำจากท่านอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ คือ ศาสตราจารย์ ดร. กฤษณ์ชนม์ ภูมิ กิตติพิชญ์ ที่กรุณาให้ความรู้ที่คอยเป็นห่วงเอาใจใส่ ให้คำแนะนำและให้ความรู้ทั้ง ทางด้านทฤษฎี ทางด้านปฏิบัติ ในการทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาให้การสนับสนุนแก่ผู้ทำวิจัยมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา สดุด์ท้ายนี้ขอขอบพระคุณอาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความรู้เพื่อนำไปใช้ในงานวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ รวมทั้งพี่ๆ และทีมงานวิจัย ห้องปฏิบัติการระบบกำลังไฟฟ้า ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ใช้ สถานที่ในการศึกษาค้นคว้าและ ตลอดจนการใช้ชีวิตร่วมกันของพี่ๆ PSRC Lab ทุกท่าน



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(10)
สารบัญรูป.....	(11)
คำอธิบายสัญลักษณ์และตัวย่อ.....	(15)
บทที่ 1 บทนำ.....	17
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	17
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	19
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	19
1.4 สมมติฐานของวิทยานิพนธ์.....	19
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	19
1.6 องค์ประกอบของวิทยานิพนธ์.....	20
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	21
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
2.1 บทนำ.....	22
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
2.3 พื้นฐานระบบไฟฟ้ากำลัง.....	29
2.4 หลักการพื้นฐานของตัวคาปาซิเตอร์แรงค์.....	30
2.5 โครงสร้างของตัวคาปาซิเตอร์แรงค์.....	33
2.6 หลักการทำงานพื้นฐานของตัวคาปาซิเตอร์แรงค์.....	33
2.7 ชนิดของตัวคาปาซิเตอร์แรงค์.....	35
2.7.1 ตัวคาปาซิเตอร์แรงค์แบบคงที่.....	35

สารบัญ(ต่อ)

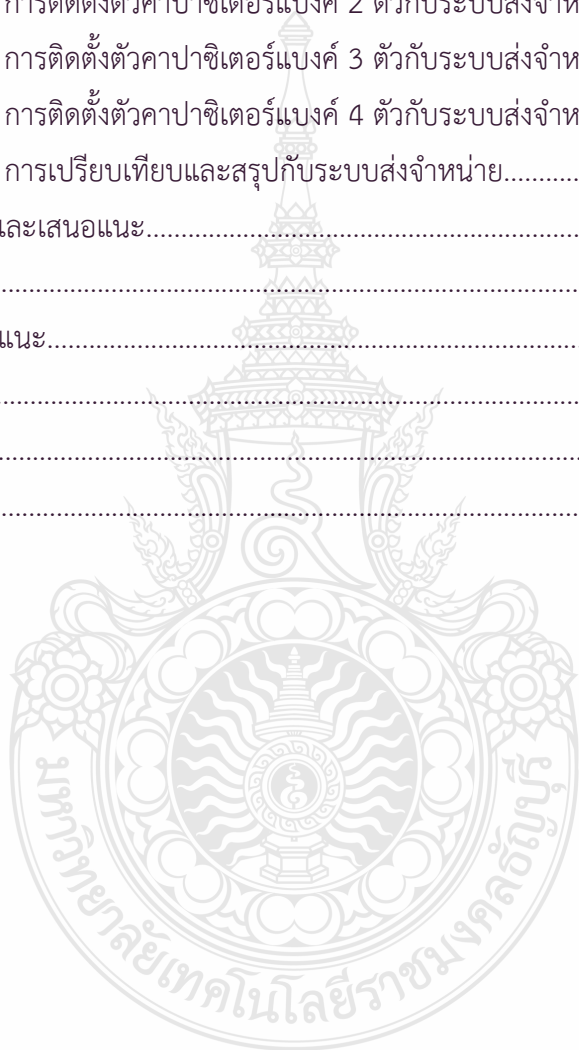
	หน้า
2.7.2 ตัวคาปาซิเตอร์แบบคแบบปรับค่า.....	35
2.8 ประโยชน์ที่ได้รับจากการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบค.....	36
2.8.1 ลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่ง.....	36
2.8.2 ลดแรงดันไฟฟ้าตกในสายส่ง.....	37
2.8.3 ลดกำลังสูญเสียในหม้อแปลง.....	38
2.8.4 ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของโหลด.....	38
2.9 จุดประสงค์ในการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบคแบบขนาน.....	39
2.10 ตำแหน่งในการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบคในระบบไฟฟ้ากำลัง.....	39
2.11 การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน.....	41
2.12 การคำนวณค่าจุดวิกฤตโดยใช้วิธีวิธีการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง.....	45
2.13 การวิเคราะห์เส้นทางการไหลวิกฤต.....	48
2.13.1 เส้นทางการไหลของกำลังไฟฟ้า.....	49
2.13.2 การติดตามทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบด้านหน้า.....	49
2.13.3 การติดตามทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบย้อนกลับ.....	50
2.13.4 เส้นทางการไหลแบบเสมือนเรเดียล.....	50
2.14 การหาขนาด และตำแหน่งด้วยเทคนิคเชิงพันธุกรรม.....	52
2.15 ระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชรกัมพูชา.....	60
2.15.1 สถานการณ์ทั่วไปจังหวัดกำแพงเพชรกัมพูชา.....	60
2.15.2 สถานที่ท่องเที่ยวจังหวัดกำแพงเพชรกัมพูชา.....	61
2.15.3 การไฟฟ้าจังหวัดกำแพงเพชรกัมพูชา.....	61
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิทยานิพนธ์.....	64
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิทยานิพนธ์.....	64
3.2 กรณีศึกษาที่ 1 การวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง มาตรฐาน IEEE 15 บัส.....	64

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 กรณีศึกษาที่ 2 การวิเคราะห์การหาตำแหน่งและขนาดของการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบด้วยอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมกับระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังมาตรฐาน IEEE 15 บัส.....	67
3.3.1 ตำแหน่งของตัวคาปาซิเตอร์แบบ.....	68
3.3.2 ขนาดของตัวคาปาซิเตอร์แบบ.....	69
3.3.3 วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจ.....	71
3.3.4 การวิเคราะห์หลายวัตถุประสงค์การติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ.....	72
3.3.5 การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมทางพันธุกรรม.....	73
3.3.6 การดำเนินการของอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม.....	73
3.3.7 พารามิเตอร์และฟังก์ชันวัตถุประสงค์.....	75
3.4 กรณีศึกษาที่ 3 การวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้าที่จังหวัดกำแพงเพชร กัมพูชา.....	75
3.5 กรณีศึกษาที่ 4 การวิเคราะห์การหาตำแหน่งและขนาดของการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบด้วยอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมที่จังหวัดกำแพงเพชรกัมพูชา.....	78
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	81
4.1 กรณีศึกษาที่ 1 การวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังมาตรฐาน IEEE 15 บัส.....	81
4.2 กรณีศึกษาที่ 2 การวิเคราะห์การหาตำแหน่งและขนาดของการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบด้วยอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมกับระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังมาตรฐาน IEEE 15 บัส.....	82
4.2.1 กรณีติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ 2 ตัว.....	82
4.2.2 กรณีติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ 3 ตัว.....	84
4.2.3 กรณีติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ 4 ตัว.....	86
4.2.4 การเปรียบเทียบและสรุปกับระบบมาตรฐาน.....	89
4.3 กรณีศึกษาที่ 3 การวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้าที่จังหวัดกำแพงเพชร กัมพูชา.....	91

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 กรณีศึกษาที่ 4 การวิเคราะห์การหาตำแหน่งและขนาดของการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์ แบบค์ด้วยอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมที่จังหวัดกำแพงเพชรกัมพูชา.....	93
4.4.1 การติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบค์ 2 ตัวกับระบบส่งจำหน่าย.....	93
4.4.2 การติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบค์ 3 ตัวกับระบบส่งจำหน่าย.....	96
4.4.3 การติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบค์ 4 ตัวกับระบบส่งจำหน่าย.....	98
4.4.4 การเปรียบเทียบและสรุปกับระบบส่งจำหน่าย.....	100
บทที่ 5 สรุปผลวิจัย และเสนอแนะ.....	103
5.1 สรุปผล.....	103
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	103
บรรณานุกรม.....	105
ภาพผนวก.....	108
ประวัติผู้เขียน.....	109



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คือการค้นคว้าบทความที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	22
ตารางที่ 4.1 ขนาดตัวคาปาซิเตอร์แรงค์ที่มีจำหน่ายและต้นทุนต่อปี.....	82
ตารางที่ 4.2 วิเคราะห์ก่อนติดตั้งและหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แรงค์ 2 ตัวกับระบบ มาตรฐาน.....	83
ตารางที่ 4.3 วิเคราะห์ก่อนติดตั้งและหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แรงค์ 3 ตัวกับระบบ มาตรฐาน.....	85
ตารางที่ 4.4 วิเคราะห์ก่อนติดตั้งและหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แรงค์ 4 ตัวกับระบบ มาตรฐาน.....	87
ตารางที่ 4.5 วิเคราะห์การเปรียบเทียบในการลงทุนก่อนติดตั้งและหลังติดตั้งตัวคาปาซิ เตอร์แรงค์.....	89
ตารางที่ 4.6 วิเคราะห์ก่อนติดตั้งและหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แรงค์ 2 ตัวกับระบบส่ง จำหน่ายที่จังหวัดกำแพงเพชรภูมิภาค.....	94
ตารางที่ 4.7 วิเคราะห์ก่อนติดตั้งและหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แรงค์ 3 ตัวกับระบบส่ง จำหน่ายที่จังหวัดกำแพงเพชรภูมิภาค.....	96
ตารางที่ 4.8 วิเคราะห์ก่อนติดตั้งและหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แรงค์ 4 ตัวกับระบบส่ง จำหน่ายที่จังหวัดกำแพงเพชรภูมิภาค.....	99
ตารางที่ 4.9 วิเคราะห์การเปรียบเทียบในการลงทุนก่อนติดตั้งและหลังติดตั้งตัวคาปาซิ เตอร์แรงค์กับระบบส่งจำหน่ายที่จังหวัดกำแพงเพชรภูมิภาค.....	100

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 ชุดอุปกรณ์คาปาซิเตอร์แบงค์แรงดันสูงในสถานีย่อย.....	17
รูปที่ 2.1 โครงสร้างระบบไฟฟ้ากำลัง.....	30
รูปที่ 2.2 แผนภาพกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน.....	31
รูปที่ 2.3 แผนภาพสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าเมื่อมีการติดตั้งคาปาซิเตอร์เข้าไปในระบบ	32
รูปที่ 2.4 โครงสร้างพื้นฐานของตัวคาปาซิเตอร์แบงค์.....	33
รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลก่อนและหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์.....	34
รูปที่ 2.6 เฟสเซอร์ไดอะแกรมก่อนและหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์.....	34
รูปที่ 2.7 ตัวคาปาซิเตอร์แบงค์แบบคงที่.....	35
รูปที่ 2.8 ตัวคาปาซิเตอร์แบงค์แบบปรับค่า.....	36
รูปที่ 2.9 ผลจากการเพิ่มตัวคาปาซิเตอร์แบงค์แบบขนาน.....	39
รูปที่ 2.10 การติดตั้งก่อนกลุ่มโหลด.....	40
รูปที่ 2.11 การติดตั้งในแต่ละกลุ่มโหลด.....	40
รูปที่ 2.12 การติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์ที่โหลด.....	41
รูปที่ 2.13 กราฟเส้นโค้ง P-V.....	47
รูปที่ 2.14 กราฟเส้นโค้ง Q-V.....	48
รูปที่ 2.15 การติดตามทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบด้านหน้า.....	49
รูปที่ 2.16 การติดตามทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบย้อนกลับ.....	50
รูปที่ 2.17 เส้นทางการไหลแบบเสมือนเรเดียล.....	50
รูปที่ 2.18 โหลดไฟฟ้าเสมือน ณ บัส k ของ ERP เส้นทางที่ i	51
รูปที่ 2.19 สมดุลกำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟ และกำลังไฟฟารีแอ็กทีฟที่ไหลเข้าออกในบัสแต่ละ บัส.....	52
รูปที่ 2.20 แสดงขั้นตอนการทำงานของวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม.....	53
รูปที่ 2.21 ตัวอย่างการคัดเลือกแบบจัดอันดับ.....	54
รูปที่ 2.22 Roulette-wheel selection (El-Ghazali Talbi, 2009).....	55
รูปที่ 2.23 การเลือกโดยใช้วิธี Stochastic universal sampling.....	56

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.24 Single-point crossover.....	57
รูปที่ 2.25 Multi-point crossover.....	57
รูปที่ 2.26 แสดงตัวอย่าง Binary mutation.....	59
รูปที่ 2.27 แสดงตัวอย่าง Real value mutation.....	59
รูปที่ 2.28 ระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังของจังหวัดกำแพง ประเทศกัมพูชา.....	62
รูปที่ 2.29 แผนที่พื้นที่จังหวัดกำแพง ประเทศกัมพูชา.....	63
รูปที่ 3.1 กระแสในสายส่ง (ก) ตัวอย่างระบบไฟฟ้าแบบเรเดียล (ข) ค่ากระแสในสาย ส่งแต่ละช่วง.....	65
รูปที่ 3.2 การคำนวณค่าแรงดันโหนดแบบเดินหน้า.....	65
รูปที่ 3.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังมาตรฐาน IEEE 15 Bus.....	67
รูปที่ 3.4 ตัวคาปาซิเตอร์แบบติดตั้งแบบขนาน.....	68
รูปที่ 3.5 ขั้นตอนของโปรแกรมอัลกอริทึมทางพันธุกรรม	74
รูปที่ 3.6 แบบจำลองโครโมโซมในระบบ.....	75
รูปที่ 3.7 ระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดกำแพงประเทศกัมพูชา	77
รูปที่ 3.8 ขั้นตอนในการหาตำแหน่งและขนาดของการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ	80
รูปที่ 4.1 การสูญเสียกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ (P_{Loss}) ในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า มาตรฐาน IEEE 15 Bus.....	81
รูปที่ 4.2 การสูญเสียกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Q_{Loss}) ในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า มาตรฐาน IEEE 15 Bus.....	81
รูปที่ 4.3 โพรไฟล์แรงดันไฟฟ้า ($p.u$) ในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้ามาตรฐาน IEEE 15 Bus.....	81
รูปที่ 4.4 โพรไฟล์แรงดันไฟฟ้าที่ติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ 2 ตัวเทียบกับโพรไฟล์ แรงดันไฟฟ้ากรณีฐาน.....	82

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.5 การค่าที่เหมาะสมที่ติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 2 ตัวกับระบบมาตรฐาน.....	84
รูปที่ 4.6 โพรไฟล์แรงดันไฟฟ้าที่ติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 3 ตัวเทียบกับโพรไฟล์ แรงดันไฟฟ้ากรณีฐาน.....	84
รูปที่ 4.7 การค่าที่เหมาะสมที่ติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 3 ตัวกับระบบมาตรฐาน.....	86
รูปที่ 4.8 โพรไฟล์แรงดันไฟฟ้าที่ติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 4 ตัวเทียบกับโพรไฟล์ แรงดันไฟฟ้ากรณีฐาน.....	87
รูปที่ 4.9 การค่าที่เหมาะสมที่ติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 4 ตัวกับระบบมาตรฐาน.....	88
รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้ากรณีฐานกับโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้าที่ ติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์.....	91
รูปที่ 4.11 การสูญเสียกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ (P_{Loss}) ในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าที่จังหวัด กำแพงเพชรกัมพูชา.....	92
รูปที่ 4.12 การสูญเสียกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ (Q_{Loss}) ในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าที่ จังหวัดกำแพงเพชรกัมพูชา.....	92
รูปที่ 4.13 โพรไฟล์แรงดันไฟฟ้า ($p.u$) ในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าที่จังหวัดกำแพง เพชรกัมพูชา.....	93
รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้ากรณีฐานกับการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์ แบงค์ 2 ตัว.....	93
รูปที่ 4.15 การค่าที่เหมาะสมที่ติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 2 ตัวกับระบบไฟฟ้าที่จังหวัด กำแพงเพชรกัมพูชา.....	95
รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้ากรณีฐานกับการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์ แบงค์ 3 ตัว.....	96
รูปที่ 4.17 การค่าที่เหมาะสมที่ติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 3 ตัวกับระบบไฟฟ้าที่จังหวัด กำแพงเพชรกัมพูชา.....	97
รูปที่ 4.18 โดยการเปรียบเทียบโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้ากรณีฐานกับการติดตั้งตัวคาปาซิ เตอร์แบงค์ 4 ตัว.....	98

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.19 การค่าที่เหมาะสมที่ติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 3 ตัวกับระบบไฟฟ้าที่จังหวัด กำแพงเพชร.....	100
รูปที่ 4.20 การเปรียบเทียบโปรไฟล์แรงดันไฟฟ้ากรณีฐานกับโปรไฟล์แรงดันไฟฟ้าที่ ติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์.....	102



คำอธิบายสัญลักษณ์และตัวย่อ

S	กำลังไฟฟ้าปรากฏ
P	กำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟ
Q	กำลังไฟฟ้ารีแอ็กทีฟ
Q_{New}	ค่าคาปาซิเตอร์แบบคี่ใหม่ในระบบ หรือค่าคาปาซิเตอร์ใหม่ในระบบ
Q_{old}	ค่าคาปาซิเตอร์แบบคี่เดิมในระบบ หรือค่าคาปาซิเตอร์เดิมในระบบ
Q_{cap}	ค่าคาปาซิเตอร์แบบคี่ หรือค่าคาปาซิเตอร์
P_{old}	ค่ากำลังไฟฟ้าเดิมในระบบ
P_{New}	ค่ากำลังไฟฟ้าใหม่ในระบบ
θ	มุมของกำลังไฟฟ้า
PF	ตัวประกอบกำลัง
R	ความต้านทานของสายส่ง
X_L	ความต้านทานขดลวดของสายส่ง
X_C	ความต้านทานตัวคาปาซิเตอร์แบบคี่ของสายส่ง
I_R	กระแสไหลผ่านส่วนที่เป็นความต้านทาน
I_L	กระแสไหลผ่านส่วนที่เป็นความต้านทานขดลวด
I_C	กระแสไหลผ่านส่วนที่เป็นความต้านทานตัวคาปาซิเตอร์แบบคี่
P_{L1}, P_{L2}	กำลังไฟฟ้าสูญเสียก่อนและหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบคี่
P_1, P_2	กำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟของโหลดก่อนและหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบคี่
V_1, V_2	แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมโหลดก่อนและหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบคี่
θ_1, θ_2	มุมของ ตัวประกอบกำลัง ก่อนและหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบคี่
$P_{sch,i}, Q_{sch,i}$	กำลังไฟฟ้าผลต่างระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับโหลดที่บัส i
$P_{G,i}, Q_{G,i}$	กำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i
$P_{L,i}, Q_{L,i}$	กำลังไฟฟ้าของโหลดที่บัส i
G	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
L	โหลดไฟฟ้าตามลำดับ
S_i	กำลังไฟฟ้าที่โหนด i
Y_i	ผลรวมของแอดมิตแตนซ์ส่วนลงดินทั้งหมดที่โหนด i

$V_i^{(k-1)}$	แรงดันไฟฟ้าที่โหนด i ณ รอบคำนวณที่ $(k-1)$
Z_L	ค่าอิมพีแดนซ์อนุกรมของสายส่งช่วง L ระหว่างโหนด l_2 และ l_1
l_1	โหนดต้นทาง
l_2	โหนดปลายทาง
I_{ik}	กระแสในสาขา (i, k)
P_{ik}	การไหลของกำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟทั้งหมดในสาขา (i, k)
Q_{ik}	การไหลของกำลังไฟฟารีแอ็กทีฟทั้งหมดในสาขา (i, k)
V_i	แรงดันไฟฟ้าที่โหนด (i)
n	จำนวนกระแสในสาขา (i, k)
R_{ik}	ความต้านทานของสาขา (i, k)
V_m	ขนาดแรงดันไฟฟ้าของบัส m (v)
K_e	ต้นทุนต่อปีที่เทียบเท่าต่อหน่วยของการสูญเสียกำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟเป็น (168\$/kW-ปี)
$P_{loss(i)}$	การสูญเสียกำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟทั้งหมด
j	จำนวนที่เลือกติดตั้งของบัสสำหรับติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์
K_j^c	ราคาของตัวคาปาซิเตอร์แบงค์เป็น (\$/kVar)
Q_j^c	ขนาดตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ (kVar)
P_{Loss}	การสูญเสียในระบบทั้งหมด

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังงานเป็นจำนวนมาก เนื่องจากการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจ และสังคมถึงการขยายตัวของโรงงานอุตสาหกรรม จึงทำให้เกิดการพัฒนาทางด้านระบบไฟฟ้ากำลังอย่างต่อเนื่องระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจึงถือว่าเป็นส่วนที่มีความสำคัญมาก โดยระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า จะดำเนินการส่งกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า ไปยังโหลด ซึ่งโหลดของระบบ ส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ส่วนใหญ่ประกอบด้วยระบบสายส่งไฟฟ้า และหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งจัดได้ว่าเป็นโหลดประเภทเหนี่ยวนำ(Inductive Loads) แล้วระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต้องมีการจ่ายไฟฟ้าแอกทีฟ (Real Power: P) ไปยังโหลด และกำลังไฟฟารีแอกทีฟ (Reactive Power: Q) ที่เป็นกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดนี้ มีอยู่เป็นจำนวนมากในระบบสายส่งไฟฟ้า จึงทำให้มีผลกระทบต่อการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและอุปกรณ์อื่นๆ ยังมีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ระยะทางไกลแค่นั้น ก็ยังทำให้เกิดปัญหากำลังไฟฟ้าตกที่ปลายทางยิ่งมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าลดลง ซึ่งความสูญเสียเหล่านี้สามารถลดลงได้ โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ชดเชยกำลังไฟฟารีแอกทีฟเข้าไปในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้า [1] เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กให้กับโหลดแทน ดังนั้นสามารถลดการสูญเสียของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ซึ่งอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟารีแอกทีฟ นั่นคือ ชุดคาปาซิเตอร์แรงดันสูงในสถานีย่อย [1]



รูปที่ 1.1 ชุดอุปกรณ์คาปาซิเตอร์แรงดันสูงในสถานีย่อย [1]

ด้วยจากเหตุผลนี้การใช้ตัวคาปาซิเตอร์แบบขนาน จึงนำมาทำการติดตั้งเข้าไปในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เพื่อจะช่วยควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า หรือก็ช่วยลดกำลังไฟฟ้ารีแอ็กทีฟที่เกิดขึ้นของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า โดยปกติการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบขนานเข้าไปในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ส่วนมากจะทำการติดตั้งอยู่ในลานไกวไฟฟ้า(Switchyard)ของสถานีย่อยๆ ที่จะช่วยให้ความสามารถของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าดีขึ้น ซึ่งได้กล่าวนี้ถือว่าตัวคาปาซิเตอร์แบบกลายเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากในการนำมาใช้กับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ทั้งในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงสูง และระบบจำหน่ายที่อยู่ในระดับแรงดันต่างๆ และอีกอย่างหนึ่งก็คือการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ เพื่อปรับปรุงความเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า และลดการสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ส่งผลให้ความสามารถในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามาความมั่นคง และการควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้ามีประสิทธิภาพดีขึ้น [1]

องค์ประกอบหลักสามประการของระบบพลังงานไฟฟ้า ได้แก่ สถานีผลิต ระบบส่งกำลัง และระบบจำหน่าย แหล่งจำหน่ายไฟฟ้าหลักจากสถานีย่อยไปยังผู้บริโภคเกิดขึ้นที่เครือข่ายการจัดจำหน่าย เมื่อเทคโนโลยีก้าวหน้า ความต้องการโหลดของเครือข่ายยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การลดลงของการสูญเสียพลังงานในระบบกริดเป็นปัญหาที่พบบ่อยในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เทคนิคที่มีประสิทธิภาพซึ่งได้รับการพิสูจน์แล้วว่าช่วยลดการสูญเสียพลังงานและปรับปรุงการควบคุมแรงดันไฟฟ้าในเครือข่ายการกระจายคือการใส่ตัวคาปาซิเตอร์แบ่งแบ่ง โครงข่ายไฟฟ้าที่มีอยู่เป็นแบบอุปนัยโดยธรรมชาติ เนื่องจากโหลดส่วนใหญ่ใช้พลังงานปฏิกิริยา ตัวคาปาซิเตอร์แบ่งสามารถจ่ายพลังงานปฏิกิริยาไปยังกริดได้ ดังนั้นจึงปรับปรุงตัวประกอบกำลังของกริดลดกระแสสายส่งและการสูญเสียโอห์มมิกที่เกี่ยวข้องและปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าโดยรวม [2]

เป็นเรื่องปกติที่ระบบจะพัฒนาการหยุดชะงักในช่วงเวลาที่ยากลำบากซึ่งการบริโภคของผู้ใช้อิมตัว การชดเชยในอุดมคติสำหรับความไม่สมดุลของระบบนี้คือการเชื่อมต่อตัวคาปาซิเตอร์แบ่งเข้ากับตัวป้อน มีโอกาสมากมายที่เกิดขึ้น เมื่อตัวคาปาซิเตอร์แบ่งเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย การติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบ่งยังเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้า ในช่วงเวลาที่มีความต้องการสูง ในช่วงที่มีการโหลดหนักแรงดันไฟฟ้าที่ผู้บริโภคะจะลดลง สำหรับการควบคุมแรงดันไฟฟ้าของเทอร์มินัลตัวคาปาซิเตอร์แบ่งจะถูกเพิ่มเข้าไปในเครือข่ายเพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าของยูทิลิตี้ การติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบ่งช่วยปรับปรุงการใช้ตัวป้อน ซึ่งจะนำไปสู่การประหยัดสาธาณูปโภคที่เพิ่มขึ้น การเพิ่มตัวคาปาซิเตอร์แบ่งเข้ากับสายส่งดังแสดงในรูปที่ 1 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ [3]

เพื่อจัดการกับความท้าทายอย่างต่อเนื่องนี้มีการพัฒนาวิธีการวิจัยมากมาย ในวรรณคดีก่อนหน้านี้พบอย่างเช่น การสังเคราะห์ข้อมูลโหลดสำหรับปัญหาการวางแผนติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบ่งที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายไฟฟ้า [4] วางแผนการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบ่งแบบดั้งเดิม เพื่อลดการ

สูญเสียของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า โดยใช้อัลกอริทึม เมทาฮิวริสติก วิธีอาณานิคมมด (Ant Colony) วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุด แบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm) วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) , การวางตำแหน่งและขนาดของตัวคาปาซิเตอร์แบบ Shunt ที่เหมาะสมที่สุดในระบบการกระจายแบบรัศมีโดยใช้เครื่องมือเพิ่มประสิทธิภาพ Multiverse (Optimal Shunt Capacitors' Placement and Sizing in Radial Distribution Systems Using Multiverse Optimizer) [5] คือการกำหนดต้นทุนโดยรวมของการสูญเสียพลังงานจริงทั้งหมดและการซื้อตัวคาปาซิเตอร์แบบ Shunt โดยใช้อัลกอริทึม multiverse optimizer (MVO),การจัดสรรตัวคาปาซิเตอร์แบบ Shunt ที่เหมาะสมที่สุดและการปรับขนาดในระบบเรเดียล โดยใช้อัลกอริทึมการเพิ่มประสิทธิภาพการจับกลุ่มอนุภาค [6] (Optimal Capacitor Allocation and Sizing in Distribution Networks Using Particle Swarm Optimization Algorithm) โดยใช้อัลกอริทึม Particle Swarm Optimization (PSO) เพื่อแก้ปัญหาการจัดสรรตัวคาปาซิเตอร์แบบ Shunt และปัญหาการปรับขนาดที่เหมาะสมที่สุดในเครือข่ายการกระจาย ฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือการลดการสูญเสียพลังงานจริงต้นทุนการดำเนินงานต้นทุนคงที่และดังนั้นเพื่อปรับปรุงคุณภาพแรงดันไฟฟ้า, การวางตำแหน่งตัวคาปาซิเตอร์แบบ Shunt ที่เหมาะสมที่สุดในเครือข่ายการส่งสัญญาณโดยใช้ อัลกอริทึมทางพันธุกรรมแบบกริดเพื่อลดการสูญเสียและปรับปรุงความยืดหยุ่น สถานการณ์อินเดีย [7] (Optimal Capacitor Placement in Transmission Network Using Grid Oriented Genetic Algorithm for Loss Reduction and Flexibility Improvement: Indian Scenario) คือโดยใช้ อัลกอริทึมทางพันธุกรรม(GA) เพื่อลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ(Real Power : P) และลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ(Reactive Power : Q) ของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า, การเพิ่มประสิทธิภาพการวางตำแหน่งตัวคาปาซิเตอร์แบบ Shunt ในระบบจำหน่ายแบบเรเดียลการ โดยใช้อัลกอริทึม การเข้ารหัสจำนวนเต็ม [8] (Optimization of Capacitor Placement in Radial Distribution System Using Integer Encoding Genetic Algorithm) คือการลดต้นทุนก่อนติดตั้ง หลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ Shunt และลดค่าบำรุงรักษาของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าพร้อมเพิ่มเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง ด้วยเทคนิคการคำนวณย้อนกลับ -ไปข้างหน้า (Backward-forward sweep) เข้ามาช่วยเพื่อแก้ปัญหา โดยมีการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบระบบไฟฟ้ากำลัง และนำข้อมูลที่ได้อามาวิเคราะห์หาขนาด และตำแหน่งในการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ Shunt เพื่อลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า และก็พร้อมเพิ่มเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้ากำลังในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1.2.1 เพื่อศึกษาปัญหาการไหลกำลังไฟฟ้าในระบบมาตรฐาน IEEE 15 Bus และในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังที่จังหวัดกำแพงเพชรภาคกัมพูชา

1.2.2 เพื่อประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ในการแก้ไขปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าที่จังหวัดกำแพงเพชรภาคกัมพูชา

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 สามารถแก้ปัญหาการไหลกำลังไฟฟ้าในระบบมาตรฐาน IEEE15 Bus และระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังที่จังหวัดกำแพงเพชรภาคกัมพูชา

1.3.2 สามารถประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ในการแก้ไขปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าที่จังหวัดกำแพงเพชรภาคกัมพูชา

1.4 สมมติฐานของวิทยานิพนธ์

การหาขนาด และตำแหน่งที่เหมาะสมที่จะทำการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ด้วยใช้เทคนิคอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมหลายวัตถุประสงค์ เข้าไปกับระบบการส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง เป็นแนวทางการออกแบบระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลังเพื่อให้เสถียรภาพของระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลังในเงื่อนไขของโหลดสามเฟสสมดุลได้ และลดการสูญเสียของการไหลกระแสไฟฟ้าในระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลังที่เกิดขึ้นกับบนสายส่งไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า และอุปกรณ์อื่นๆได้

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 ทำการศึกษาปัญหาการสูญเสียของระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง และเพิ่มเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง

1.5.2 ทำการศึกษาทฤษฎีเบื้องต้น

1) ทำการศึกษาทฤษฎีการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง

2) ทำการศึกษาการเกิดปัญหาการสูญเสียของระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง และเพิ่มเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง

3) ทำการศึกษาวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่นำมาวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าและการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า และเพิ่มเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง

1.5.3 ทำการดำเนินงานวิจัย

1) ทำการเก็บข้อมูลการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง เพื่อนำมาวิเคราะห์

2) ทำการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าโดยใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม MATLAB Version R2020a

3) ทำการหาวิธีแก้ปัญหการสูญเสียกำลังไฟฟ้า และเพิ่มเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสม

1.5.4 ทำการวิเคราะห์ผลการงานวิจัย

1) ทำให้เสถียรภาพของโปรไฟล์แรงดันไฟฟ้าในระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง เมื่อทำการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบกระจายกับระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง มีเสถียรภาพได้

2) ทำให้การสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง เมื่อทำการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบกระจายกับระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลังลดลงได้

1.5.5 ทำการสรุปผลการงานวิจัย

1.6 องค์ประกอบของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้จะทำการนำเสนอในการหาขนาด และตำแหน่งติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบกระจายที่เหมาะสมด้วยเทคนิคอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมหลายวัตถุประสงค์ ในระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง เป็นลำดับต่อไป

บทที่ 2 นำเสนอทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง, พื้นฐานของระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง หลักการพื้นฐานของตัวคาปาซิเตอร์แบบกระจาย ข้อมูลที่ควรทราบก่อนการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า ระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าพร้อมวิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีต่าง ๆ ความสำคัญของเสถียรภาพไฟฟ้ากำลังเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า และลักษณะการเกิดความไม่เสถียรภาพในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า, การหาขนาดและตำแหน่งด้วยเทคนิคเชิงพันธุกรรม และข้อมูลเบื้องต้นของพื้นที่สำหรับการวิเคราะห์ระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าในจังหวัดกำแพงเพชร ประเทศกัมพูชา

บทที่ 3 นำเสนอขั้นตอนการดำเนินการวิทยานิพนธ์ ประกอบไปด้วยการวิเคราะห์การไหลของการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าในระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง ค้นหาพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า ด้วยวิธีการคำนวณย้อนกลับ -ไปข้างหน้าพร้อมแสดงเป็นแผนผังการวิเคราะห์ และฟังก์ชันการหาขนาด และตำแหน่งของการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์เข้ากับระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง

บทที่ 4 นำเสนอผลลัพธ์การดำเนินการวิทยานิพนธ์ ที่จะทำการนำเสนอ 2 กรณี คือศึกษากรณี 1 ระบบจำลองบนระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลังของมาตรฐาน IEEE 15 Bus และศึกษากรณี 2 ระบบจำลองบนระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่จังหวัดกำแพงเพชร ประเทศกัมพูชา ก่อน และหลังทำการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ ด้วยหาขนาด และตำแหน่งของการติดตั้งด้วยใช้เทคนิคอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม ด้วยแสดงผลลัพธ์บนระบบมาตรฐาน IEEE 15 Bus ด้วยโปรแกรม MATLAB Version R2020a และทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจ

บทที่ 5 ทำการนำเสนอบทสรุปการหาขนาด และตำแหน่งของตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ในระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลังที่เหมาะสมด้วยใช้เทคนิคอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม บนระบบมาตรฐาน IEEE 15 Bus และบนระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่จังหวัดกำแพงเพชร ประเทศกัมพูชา ที่หลังจากทำการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์เข้ากับระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 สามารถศึกษา และหาวิธีแก้ไขปัญหาค่าการสูญเสียกำลังไฟฟ้า และเพิ่มเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง จังหวัดกำแพงเพชร ประเทศกัมพูชา

1.7.2 สามารถศึกษาวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่มีฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์

1.7.3 สามารถหาขนาด และตำแหน่งที่เหมาะสมของการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ เพื่อลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้า และเพิ่มเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าในระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง

1.7.4 สามารถแก้ปัญหาในระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลังในพื้นที่ห่างไกลได้โดยที่เสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าอยู่ในระดับที่เหมาะสม

1.7.5 สามารถประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าขนาด และตำแหน่งของตัวคาปาซิเตอร์ที่เหมาะสมที่มีฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ในการแก้ปัญหาค่าการสูญเสียกำลังไฟฟ้า และเพิ่มเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าในระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

วิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาขนาด และตำแหน่งของตัวคาปาซิเตอร์แบบคัทที่เหมาะสมด้วยเทคนิคเชิงพันธุกรรมหลายวัตถุประสงค์ในระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง ด้วยจะมีรายละเอียดได้ดังนี้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการปรับปรุงเสถียรภาพในระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง และลดการสูญเสียในระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลังมีอยู่หลายวิธี เช่น การปรับปรุงกำลังผลิตที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กในแต่ละพื้นที่หรือการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเพิ่มเข้าสู่ระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า การปรับเสถียรภาพในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการติดตั้งโซลาร์ฟาร์มเข้าไปในระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง การปรับเสถียรภาพในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับโซลาร์ฟาร์มเข้าไปในระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง การปรับเสถียรภาพในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโซลาร์ฟาร์มกับแบตเตอรี่รี เข้าไปในระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง วิธีการที่กล่าวมานั้นจะมีกระบวนการเพื่อช่วยวิเคราะห์ปัญหาให้เกิดความเหมาะสมทั้งการใช้สมการคณิตศาสตร์ อัลกอริทึม หรืออุปกรณ์ในการช่วยวิเคราะห์ที่สำคัญ คือ การกำหนดวัตถุประสงค์ของความต้องการเพื่อสร้างขอบเขตในการค้นหาคำตอบเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ และมีความเหมาะสมสิ่งเหล่านี้ที่กล่าวมามีความเกี่ยวข้องกับการหาตำแหน่ง และขนาดของตัวคาปาซิเตอร์แบบคัทที่เหมาะสมด้วยเทคนิคเชิงพันธุกรรมหลายวัตถุประสงค์ คือจะทำการปรับปรุงโปรไฟล์ของแรงดันไฟฟ้าให้มีเสถียรภาพเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลงมีการใช้งานมีความต้องการเยอะก็โปรไฟล์ของแรงดันไฟฟ้ายังมีเสถียรภาพ [9] และลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอมป์ และรีแอ็กทีฟในระบบส่งจ่ายไฟฟ้า และรวมทั้งวิเคราะห์ลดต้นทุนในการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า ก่อนและหลังจากการทำการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบคัท ข้างล่างนี้คือการเป็นบทความค้นคว้าที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 คือการค้นคว้าบทความที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

ปี	นักวิจัย	สาระสำคัญ
2018	Syahrul Mustafa	นำเสนอระบบไฟฟ้าที่ดีต้องมีคุณภาพไฟฟ้าที่ดี รวมถึงการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเพียงเล็กน้อย และค่าแรงดันไฟฟ้าที่ทุกบัสไม่เกินขีดจำกัดความคลาดเคลื่อนขีดจำกัดที่ยอมรับได้ของค่าแรงดันไฟฟ้าที่อนุญาตอยู่ระหว่าง 0.95 ถึง 1.05 ต่อหน่วย ในการวิจัยนี้คุณภาพของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ Bosowa ระบบไฟฟ้าของ Maros จะได้รับการปรับปรุงโดยใช้ตัวคาปาซิเตอร์แบบกระจาย การวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การกำหนดตำแหน่งและขนาดของตัวคาปาซิเตอร์แบบกระจายที่เหมาะสมโดยใช้ Genetic Algorithm (GA) เพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าต่ำและลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้านำเสนอแบบจำลองสำหรับการจัดสรรตัวคาปาซิเตอร์แบบกระจายพร้อมกันสำหรับการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอ็กทีฟในระบบไฟฟ้าที่มีโหลดเครื่องหมุนแบบไดนามิกจำนวนมาก การวิจัยนี้ดำเนินการจำลองการไหลของกำลังไฟฟ้าก่อนและหลังการติดตั้งการเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดตัวคาปาซิเตอร์แบบกระจายที่ต่างกันเพื่อกำหนดตำแหน่งจำนวนและความจุของตัวคาปาซิเตอร์แบบกระจายจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจ การเลือกบัสแรงดันตกในฐานะผู้สมัครต้องใช้เพียง 7.400 kVar จาก 73 หน่วยตัวคาปาซิเตอร์แบบกระจายที่มีค่าของแต่ละตัวคาปาซิเตอร์แบบกระจาย 100 kVar ซึ่งมีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงคุณภาพของพลังงานที่ Bosowa Cement Industry, Maros ซึ่งติดตั้งบนรถบัสหลายคัน การติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบกระจายสามารถลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบจาก 901 กิโลวัตต์เป็น 801 กิโลวัตต์
2023	ณิชา สารจรรย์	นำเสนอการประเมินความเหมาะสมของการใช้ แบบจำลองโหลดระดับ สำหรับปัญหาการวางแผนติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบกระจายที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22kV เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบให้มีค่าต่ำที่สุด โดยใช้วิธีการหาคำตอบจากความรู้ของ ผู้เชี่ยวชาญ ช่วยให้ได้ขั้นตอนการคำนวณทำซ้ำโดยไม่จำเป็นลงได้ วิธีการที่นำเสนอจะใช้กับระบบทดสอบเบเรเดียล

		IEEE 33 บัส ผลการ ทดสอบแสดงให้เห็นถึงการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียอย่างมีประสิทธิภาพ และยังแสดงให้เห็นผลการเปรียบเทียบของแบบจำลองโหลด ระดับกับ ผลการคำนวณโหลดจริงรายชั่วโมงพบว่าได้ผลใกล้เคียงกันอันสามารถ ยืนยันได้ว่าแนวทางการสังเคราะห์โหลด 3 ระดับที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายนั้นมีความเหมาะสมกับปัญหานี้
2021	Thomson P. M. Mtonga	นำเสนอแนวทางใหม่ในการแก้ปัญหาการจัดวางและปรับขนาดของตัวคาปาซิเตอร์แบงค์แบ่งที่เหมาะสมที่สุดของระบบส่งจำหน่าย วิธีการนี้ปรับเปลี่ยนและใช้ปัจจัยความไวต่อการสูญเสียแบบเดิม (LSF) และ MATLAB เป็นสมาชิกและคำสั่งใด ๆ เพื่อลดพื้นที่การค้นหของบัสที่เหมาะสมที่สุดซึ่งต้องมีการจัดวางตัวคาปาซิเตอร์แบงค์แบบแบ่ง หลังจากนั้น Multiverse Optimizer (MVO) จะใช้เพื่อค้นหาบัสที่เหมาะสมที่สุดและขนาดตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ที่เกี่ยวข้องพร้อมกัน เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแนวทางที่พัฒนาขึ้นการจำลองได้ดำเนินการกับระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 10, 33- และ 69 บัส สำหรับระบบทดสอบทั้งหมดผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่พัฒนาขึ้นให้ผลลัพธ์ที่ดีเท่ากับที่ได้รับเมื่อทำการค้นหาโดยสารที่เหมาะสมที่สุดในพื้นที่การค้นหาที่ไม่ลดลงดังนั้นจึงทำให้วิธีการมีประสิทธิภาพในการลดเวลาในการคำนวณและรักษาความแม่นยำที่จำเป็นมากในที่สุดประสิทธิภาพของ MVO ได้รับการเปรียบเทียบกับอัลกอริธึมการเพิ่มประสิทธิภาพที่แตกต่างกันอีก 11 แบบและในทุกกรณีประสิทธิภาพของมันมีความโดดเด่น
2022	Dara Eam	นำเสนอการใช้เทคนิคหลายอย่างเพื่อสร้างและเปรียบเทียบโทโพโลยีแรงดันไฟฟ้าต่ำ AC (LVAC) อัลกอริทึมเส้นทางที่สั้นที่สุด (SP) ถูกนำไปใช้เพื่อกำหนดโทโพโลยีรัศมีที่สั้นที่สุดในขั้นตอนแรก ประการที่สอง Water Cycle Algorithm (WCA) ถูกนำมาใช้ในกรณีศึกษาเพื่อค้นหาการจัดเรียงการจัดสรรเฟสที่เหมาะสมที่สุด ในบทความนี้ จะมีการเสนอสองสถานการณ์ของการลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าและการลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้า

		สถานการณ์แรกมีสามกรณีที่แตกต่างกันของการจัดเรียงการจัดสรรเฟสมีให้ กรณีที่ 1 มีลำดับเฟส ABC ซ้ำ (RPS-ABC) ในขณะที่กรณีที่ 2 อยู่กับ WGA สำหรับการจัดเรียงการจัดสรรเฟสบนเสาไฟฟ้า (PAP) และกรณีที่ 3 ก็มีการจัดเรียงเฟสบนโหนด (PAL) ด้วย มีการเสนอสองวิธีในสถานการณ์ที่สอง วิธีที่ 1 สังเกตการสูญเสียพลังงานขั้นต่ำจากแต่ละชั่วโมงสำหรับรายวัน จากนั้นจะได้รับการสูญเสียพลังงาน และวิธีที่ 2 กำหนดการสูญเสียพลังงานขั้นต่ำระหว่างการทำงาน 24 ชั่วโมง ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำ 129 บัสในกัมพูชาได้รับเลือกให้เป็นกรณีศึกษาเพื่อประเมินแนวทางแก้ไขที่แนะนำ เมื่อพิจารณาถึงผลลัพธ์ของกรณีเหล่านี้พบวิธีแก้ปัญหาคือดีที่สุดโดยมีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าและการสูญเสียกำลังไฟฟ้าน้อยที่สุด
2020	Long BUN	นำเสนอศึกษาการรวมเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) เข้ากับการจ่ายไฟฟ้าแรงต่ำแบบเฟสเดียว AC (LVAC) สำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าในหมู่บ้านชนบทโดยใช้การจัดเก็บพลังงานแบตเตอรี่ ส่วนขยายกริดที่มีและไม่มีกริดรวม PV-BES ถูกเสนอในบทความนี้ ประการแรกตัวนำขั้นต่ำที่ใช้ของตาราง LV นั้นถึงด้วยอัลกอริทึมเส้นทางที่สั้นที่สุด จากนั้นการนั่งและขนาดของรุ่นกระจายจะดำเนินการโดยใช้อัลกอริทึมทางพันธุกรรม (GA) และเทคนิคการทำซ้ำมีการศึกษาการเปรียบเทียบการขยายกริดในทั้งสองกลยุทธ์ด้วยวิธีต้นทุนจริง
2020	Vannak Vai	นำเสนอการออกแบบที่เหมาะสมที่สุดของระบบเรเดียลแรงดันไฟฟ้าต่ำ (LV) สำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าในชนบท โดยพิจารณาจากเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) และการจัดเก็บพลังงานแบตเตอรี่ (BES) มีจุดมุ่งหมายเพื่อค้นหาโทโพโลยีที่เหมาะสมที่สุดของระบบการกระจาย LV ตลอดจนตำแหน่งและขนาดของ PV และการจัดเก็บในช่วงเวลา 30 ปี อัลกอริทึมเส้นทางที่สั้นที่สุด (SPA) และอัลกอริทึมการบรรจุถังขยะแบบพอดี้แรก (FFBPA) ใช้เพื่อค้นหาโทโพโลยีที่เหมาะสมที่สุดซึ่งลดความยาวรวมของสายการจำหน่ายและปรับปรุงการปรับสมดุลโหลด

		จากนั้นตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของ BES แบบกระจายอำนาจ (DeBES) จะถูกยับยั้งการขุดโดยใช้อัลกอริทึมทางพันธุกรรม (GA) เพื่อจัดซื้อ จำกัด แรงดันไฟฟ้าภายใต้เนื่องจากการใช้โหลด เทคนิคการทำซ้ำสองแบบได้รับการอธิบายอย่างละเอียดเพื่อปรับขนาดกำลังสูงสุดสูงสุดของ PV และจำนวน DeBES ขึ้นต่ำที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบ LV ได้โดยไม่ละเมิดแรงดันและข้อจำกัดในปัจจุบัน จากนั้นกลยุทธ์การปรับขนาดของ BES แบบรวมศูนย์ (CeBES) ได้รับการพัฒนาเพื่อหลีกเลี่ยงการไหลย้อนกลับของกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบโวลต์กลาง ในที่สุดวิธีการมอนติคาร์โลใช้เพื่อศึกษาผลกระทบของความไม่แน่นอนของโปรไฟล์โหลดต่อโทโพลยี หมู่บ้านที่ไม่มีไฟฟ้าในกัมพูชาได้รับเลือกให้เป็นกรณีศึกษา
2018	G. E. Mendoza	นำเสนออัลกอริทึมตามวิธีการ Particle Swarm Optimization (PSO) เพื่อแก้ปัญหการจัดสรรตัวคาปาซิเตอร์แบงค์และปัญหาการปรับขนาดที่เหมาะสมที่สุดในระบบจำหน่าย ฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือการลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าแอมป์ที่ต้นทุนการดำเนินงานต้นทุนคงที่และดังนั้นเพื่อปรับปรุงคุณภาพแรงดันไฟฟ้า ในบทความนี้ จะใช้อัลกอริทึม PSO สองแบบ อันแรกเพื่อกำหนดการจัดสรรตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ที่เหมาะสมที่สุดและอันที่สองสำหรับการปรับขนาดตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ที่เหมาะสมที่สุด อัลกอริทึมนี้ดำเนินการบนระบบจำหน่ายเรเดียล IEEE 34-bus และ IEEE 85-bus โหลดถือเป็นโหลดคงที่ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของข้อเสนอขั้นตอนทางเลือกอัลกอริทึมที่ใช้ PSO
2022	Ekata Kaushik	นำเสนอการออกแบบ grid oriented genetic algorithm (GOGA) สำหรับการลดการสูญเสียและการปรับปรุงความยืดหยุ่นโดยการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ในระบบสาธารณูปโภคอย่างเหมาะสม GOGA ได้รับการออกแบบโดยการผสมกันของ GA และสมการการสลายการไหลของพลังงานเชิงวิเคราะห์ มีการแนะนำดัชนีความยืดหยุ่นของระบบไฟฟ้า (PSFI)

		เพื่อประเมินความยืดหยุ่นของระบบจำหน่ายสาธาณูปโภค การศึกษาดำเนินการในส่วนองงานตาข่ายส่งทดสอบภาคปฏิบัติ ของ Rajasthan Rajya Vidyut Prasaran Nigam Ltd. (RVPN) ประเทศอินเดีย การปรับขนาดและการจัดวางตัวคาปาซิเตอร์ แบงค์ที่เหมาะสมที่สุดทำได้โดยใช้ GOGA ที่เสนอโดยลดการสูญเสียและปรับปรุงความสามารถในการอ่านได้ นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ผลประโยชน์ด้านต้นทุนและเป็นที่ยอมรับว่า ระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่าหนึ่งปี นอกจากนี้ยังพิสูจน์ได้ว่า ประสิทธิภาพของ GOGA นั้นเหนือกว่าเมื่อเทียบกับ GA ทั่วไป
2020	I Ketut Suryawan	นำเสนอการมีปัญหบางอย่างในระบบส่งจำหน่ายเช่นการสูญเสียกำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟส่วนประกอบที่ล้าหลังของวงจร ปัจจุบันที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเติบโตของภาระปัญหาเหล่านี้จะส่งผลกระทบในการเพิ่มต้นทุนประจำปีของระบบการแจกจ่าย. หนึ่งในวิธีการหลีกเลี่ยงปัญหาคือการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์ แบงค์บนหลายบัส ตัวคาปาซิเตอร์แบงค์เหล่านี้สามารถลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟและปรับปรุงแรงดันบัสประวัติโดยย่อ ประสิทธิภาพของการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ขึ้นอยู่กับใน ตำแหน่งและขนาดของตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ ในบทความนี้การติดตามตำแหน่งและขนาดตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ที่ดีที่สุด ออกโดยใช้อัลกอริทึมทางพันธุกรรมการเข้ารหัสจำนวนเต็ม เป็นตัวเลข การจำลองด้วยระบบทดสอบ 10 และ 34 บัสได้รับดำเนินการ และพบว่าวิธีที่เสนอสามารถติดตามได้ตำแหน่งตัวคาปาซิเตอร์ แบงค์ที่ดีที่สุดและขนาดของมัน ข้อเสนอแนะวิธีการสามารถให้ ค่าใช้จ่ายต่อปีมากขึ้นและดีขึ้นการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าเมื่อเทียบกับ ABC ที่ดัดแปลงอัลกอริทึม
2023	AAMIR ALI	นำเสนอการสร้างแบบจำลองโหลดมีความสำคัญต่อการวิเคราะห์ การวางแผน และการควบคุมระบบจำหน่าย ดังนั้นในงานนี้ ผลกระทบของแบบจำลองโหลดที่ไม่ใช่เชิงเส้นจึงได้รับการ พิจารณาสำหรับไซส์และขนาดที่เหมาะสมของการจัดสรร DG และ SC มีการใช้วิธีการไหลของโหลดไปข้างหน้า-ถอยหลังตาม

สาขาและ巴士ที่ได้รับการดัดแปลงใหม่และมีประสิทธิภาพเพื่อแก้ปัญหาการไหลของโหลดในระบบจำหน่ายแบบเรเดียล เมื่อเร็ว ๆ นี้มีการใช้อัลกอริธึมวิวัฒนาการที่ล้ำสมัย (EAs) หลายตัวเพื่อแก้ปัญหาการจัดสรรไซส์และขนาดที่เหมาะสมที่สุดของ DG และ SC และแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของหลายตัวดำเนินการ / หลายวิธีนั้นดีกว่าอัลกอริธึมอื่น ๆ ที่ใช้ตัวดำเนินการและ / หรืออัลกอริธึมเดียว ดังนั้น, ไฮบริด EA ใหม่ที่ใช้ผู้ให้บริการที่ล้ำสมัยต่างๆ เช่น GA, DE, และ PSO ได้รับการออกแบบและนำไปใช้เพื่อแก้ปัญหาการจัดสรรไซส์และขนาดที่เหมาะสมที่สุดของ DG และ SC. ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทางเทคนิคต่างๆ (ดัชนีการสูญเสียพลังงานแบบแอ็กทีฟและรีแอ็กทีฟและดัชนีส่วนเบี่ยงเบนของแรงดันไฟฟ้า) ได้รับการพิจารณาเพื่อแสดงผลกระทบของแบบจำลองโหลดที่ไม่ใช่เชิงเส้น จากผลการจำลองพบว่าปัญหาการจัดสรร DG และ SC มีหลายวัตถุประสงค์ ดังนั้นจึงมีการกำหนดฟังก์ชันทางเทคนิคเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมแบบถ่วงน้ำหนักเพิ่มเติมเพื่อหาแนวทางแก้ไขปัญหาการจัดสรร DG และ SC ผลลัพธ์ที่รวบรวมได้แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่เสนอช่วยลดต้นทุนพลังงานที่จัดหาโดยกริดต้นทุนการดำเนินงานทั้งหมดและการสูญเสียกำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟและรีแอ็กทีฟได้อย่างมาก ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าวิธีการที่แนะนำมีประโยชน์ทางเศรษฐกิจและเทคโนโลยีอย่างมาก และอาจนำไปใช้เพื่อแก้ไขปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพจำนวนมากในระบบการจัดจำหน่ายต่างๆ

2019	Hartono	นำเสนอวิธีหนึ่งในการลดกำลังไฟฟ้ารีแอ็กทีฟในระบบจำหน่ายคือการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ ตัวคาปาซิเตอร์แบงค์สามารถเพิ่มโปรไฟล์แรงดันไฟฟ้าในระบบ ตำแหน่งที่เหมาะสมของตัวคาปาซิเตอร์แบงค์สามารถลดต้นทุนที่เกิดขึ้นได้ ในการศึกษาี้กล่าวถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของตำแหน่งของตัวคาปาซิเตอร์แบงค์แบงค์โดยใช้อัลกอริธึมทางพันธุกรรมบนระบบ巴士 IEEE 118 อัลกอริธึมทางพันธุกรรม (GA) เป็นวิธีการที่เลียนแบบกลไกของกระบวนการวิวัฒนาการ กระบวนการวิวัฒนาการนี้
------	---------	---

		ดำเนินการกับชุดของสารละลายผู้สมัคร (โครโมโซม) โดยปฏิบัติตามหลักการของการคัดเลือกโดยธรรมชาติที่พัฒนาโดยดาร์วิน ผลการศึกษาชี้แนะว่าการใช้วิธีอัลกอริทึมทางพันธุกรรมสามารถลดการสูญเสียพลังงานได้ 13,67% ในระบบบัส IEEE 118 ตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ยังสามารถเพิ่มโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้าได้โพรไฟล์แรงดันไฟฟ้า IEEE 118 Bus Systems voltage โพรไฟล์อีซีเพิ่มขึ้นจาก 0.8687 เป็น 0.9269 Pu
2021	Gian Giuseppe Soma	นำเสนอการตอบสนองต่อการเติบโตของการใช้ไฟฟ้าได้รับการสนับสนุนจากประสิทธิภาพเป็นหลัก ดังนั้นนี่คือเป้าหมายหลักใหม่ในการพัฒนาเครือข่ายการกระจายไฟฟ้าซึ่งต้องปฏิบัติตามข้อ จำกัด ของระบบอย่างเต็มที่ ในทศวรรษที่ผ่านมาปัญหาของบริการกำลังไฟฟ้าที่แอ่งที่ฟอสสรวมถึงตำแหน่งที่เหมาะสมของตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ในกริดเนื่องจากการปรับโครงสร้างของอุตสาหกรรมไฟฟ้าและการสร้างตลาดไฟฟ้าที่มีการแข่งขันได้รับความสนใจจากบริษัทที่เกี่ยวข้อง ในบริบทนี้มีการเสนออัลกอริทึมทางพันธุกรรมเพื่อการวางแผนที่ดีที่สุดของตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ กรณีศึกษาที่ได้มาจากระบบจริงโดยพิจารณาจากการประยุกต์ใช้โพรไฟล์รายวันที่เหมาะสมสำหรับโหลดและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อให้ได้การแสดงสภาพไฟฟ้าที่ดีขึ้นจะกล่าวถึงในบทความปัจจุบัน ผลการวิจัยยืนยันว่าโซลูชันการจัดวางบางอย่างสามารถรับได้ด้วยการประนีประนอมที่ดีระหว่างต้นทุนและผลประโยชน์ ประโยชน์ที่นำมาใช้คือการสูญเสียกำลังไฟฟ้าและการละเมิดตัวประกอบกำลังโดยคำนึงถึงข้อ จำกัด ทางเทคนิคของระบบ ความเป็นไปได้และประสิทธิผลของอัลกอริทึมที่เสนอสำหรับการจัดวางและขนาดที่เหมาะสมของตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ในระบบจำหน่ายพร้อมคำจำกัดความของภาพแบบการควบคุมที่เหมาะสมได้รับการพิสูจน์แล้ว
2020	Siyanda Ncwane	นำเสนอข้อจำกัดด้านแรงดันไฟฟ้าไม่สามารถรวมโหลดเพิ่มเติมได้โดยไม่ลดทอนคุณภาพแรงดันไฟฟ้า การแก้ไขข้อจำกัดด้านแรงดันไฟฟ้าต้องใช้โซลูชันที่สามารถดำเนินการได้ภายใน

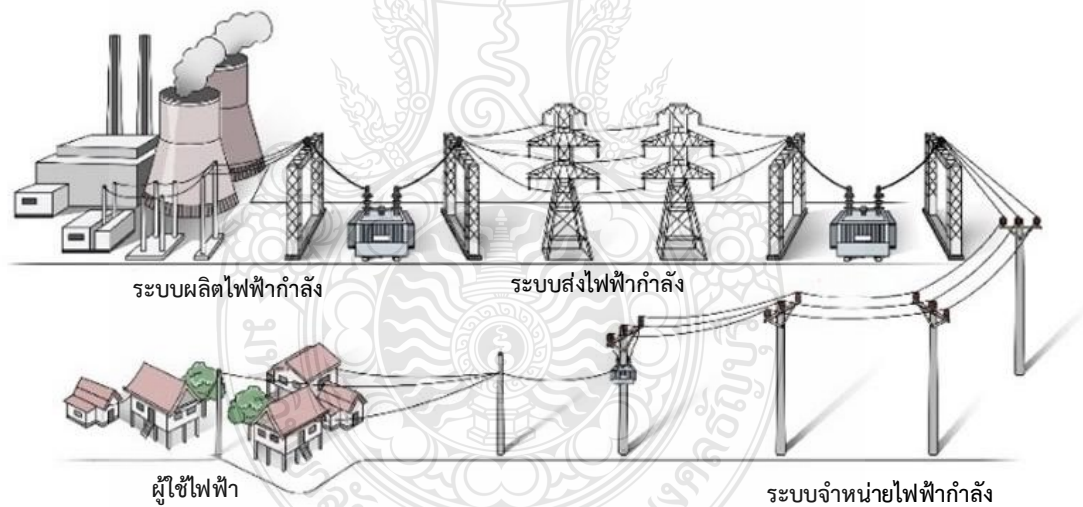
ระยะเวลาอันสั้นเพื่อให้สามารถรวมโหลดเพิ่มเติมได้ ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องพัฒนาวิธีการที่สามารถใช้เพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดด้านแรงดันไฟฟ้าในระบบ บทความนี้นำเสนอวิธีการในการปรับขนาดและค้นหาตัวคาปาซิเตอร์แบบแบ่งในระบบที่มีข้อจำกัดด้านแรงดันไฟฟ้า วิธีการนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มขีดความสามารถของระบบให้สูงสุดในขณะที่ลดรายจ่ายฝ่ายทุน (CAPEX) วิธีการนี้ใช้กับเครือข่าย 132 kV ที่มีข้อจำกัดด้านแรงดันไฟฟ้าในแอฟริกาใต้ ระบบมีความต้องการสูงสุด 155 เมกะวัตต์ แต่พบว่ามีกำลังการผลิต 91 เมกะวัตต์ในช่วงฉุกเฉิน เพื่อสร้างความจุที่เพียงพอที่ช่วยให้ระบบสามารถจัดหาความต้องการสูงสุดด้วย CAPEX น้อยที่สุดการศึกษาพบว่าตัวคาปาซิเตอร์แบบแบ่ง 24 MVAR ตัวควรอยู่ที่สองบัสที่ประสบปัญหาความไม่เสถียรของแรงดันไฟฟ้า

ตารางที่ 2.1 แสดงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์นี้ อธิบายพื้นฐานระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า และการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า การกำหนดวัตถุประสงค์หนึ่งอย่าง เช่น การลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้า การลดต้นทุนและค่าใช้จ่าย การเพิ่มขนาดแรงดันไฟฟ้า และการตอบสนองความต้องการที่เพิ่มขึ้นในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า แต่วัตถุประสงค์ที่กำหนดขึ้นอาจไม่สามารถแก้ปัญหาอย่างเหมาะสมที่สุดได้ เนื่องจากวัตถุประสงค์ที่กำหนดไม่ครอบคลุมปัญหาที่เกิดขึ้น วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการกำหนดวัตถุประสงค์หลายประการสำหรับการหาขนาด และตำแหน่งของตัวคาปาซิเตอร์แบบแบ่งที่เหมาะสมด้วยเทคนิคเชิงพันธุกรรมหลายวัตถุประสงค์ เพื่อลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้า ลดค่าใช้จ่าย ปรับปรุงขนาดของแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมของระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าในพื้นที่ทางไกลจังหวัดกำแพงเพชร ประเทศกัมพูชา

2.3 พื้นฐานระบบไฟฟ้ากำลัง

ระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลังในกัมพูชาประกอบด้วยสามองค์ประกอบหลัก ได้แก่ สถานีผลิตไฟฟ้า ระบบส่งกำลังไฟฟ้า และระบบจำหน่ายไฟฟ้า ได้แก่ เช่น สถานีผลิตไฟฟ้า (Power Generation Stations): พลังงานน้ำ (Hydropower): เป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าหลักของกัมพูชา ตัวอย่างเช่น เขื่อน Lower Sesan 2 ที่เป็นโครงการพลังงานน้ำขนาดใหญ่ พลังงานความร้อน (Thermal Power): ใช้ถ่าน

หินและเชื้อเพลิงฟอสซิลอื่น ๆ ในการผลิตไฟฟ้า พลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy): รวมถึงพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม ซึ่งมีการพัฒนาเพิ่มขึ้นในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ระบบส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission System): ระบบส่งกำลังไฟฟ้าของกัมพูชาเป็นการเชื่อมต่อสายส่งไฟฟ้าแรงสูงจากสถานีผลิตไฟฟ้าไปยังสถานีไฟฟ้าย่อย และสถานีควบคุมหลักในพื้นที่ต่างๆ สายส่งไฟฟ้าแรงสูงส่วนใหญ่มีระดับแรงดัน 115kV 230kV และ 500kV ซึ่งเป็นระดับแรงดันที่ใช้กันทั่วไปในระบบส่งกำลังไฟฟ้า ระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Distribution System): ระบบจำหน่ายไฟฟ้าประกอบด้วยสายส่งไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เชื่อมต่อจากสถานีไฟฟ้าย่อยไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งในเขตเมือง และชนบท การจัดการและควบคุมการจำหน่ายไฟฟ้าเป็นหน้าที่ของ Electrical du Cambodge (EDC) ซึ่งเป็นหน่วยงานหลักที่ดูแลระบบจำหน่ายไฟฟ้าในประเทศ และระบบไฟฟ้าในการเชื่อมต่อระหว่างประเทศ คือการเชื่อมต่อภายในประเทศ: การเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าภายในประเทศมีการขยายและพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้สามารถส่งจ่ายไฟฟ้าไปยังทุกภูมิภาคของประเทศได้อย่างทั่วถึง และกัมพูชามีการเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้ากับประเทศเพื่อนบ้าน เช่น ไทย เวียดนาม และลาว เพื่อแลกเปลี่ยนและซื้อขายพลังงานไฟฟ้า ทำให้มีความมั่นคงในการจ่ายไฟฟ้า และสามารถรับมือกับความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นได้

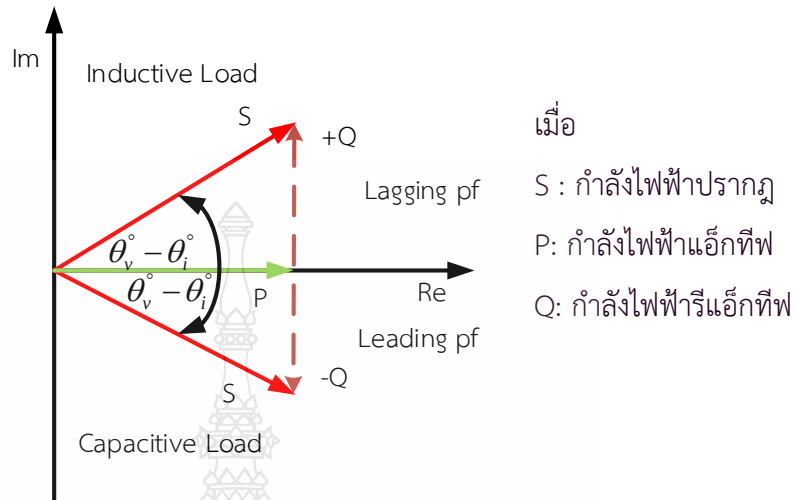


รูปที่ 2.1 โครงสร้างระบบไฟฟ้ากำลัง [10]

2.4 หลักการพื้นฐานของตัวคาปาซิเตอร์แบบค

ตัวคาปาซิเตอร์แบบคจัดเป็นอุปกรณ์ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในระบบไฟฟ้ากำลังโดยมีจุดมุ่งหมายในการใช้งานด้านชดเชยกำลังไฟร้แอ็กทีฟให้กับระบบปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง และช่วยในการแก้ปัญหาแรงดันไฟฟ้าตกแต่การติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบคเกินความจำเป็นอาจก่อให้เกิด

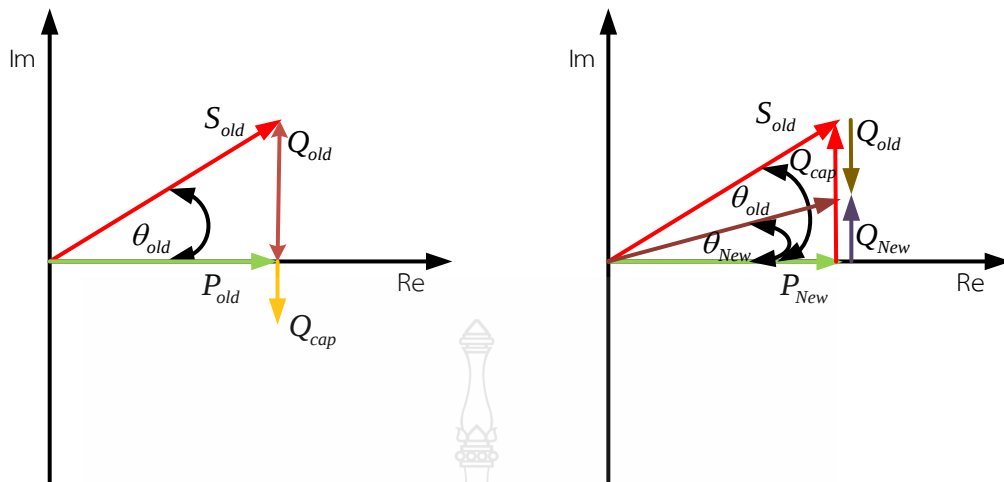
ปัญหาแรงดันเกินตามมา ดังนั้นจึงต้องมีการวางแผนในการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์นี้เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนสามารถอธิบายดังแสดงรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แผนภาพกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน

- ถ้า Q เป็นบวก แสดงว่า เป็นโหลดแบบอินดักทีฟ (Inductive load) หรือเป็นโหลดที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแบบล่าหลัง (Lagging PF)
- ถ้า Q เป็นลบ แสดงว่า เป็นโหลดแบบคาปาซิทีฟ (Capacitive load) หรือเป็นโหลดที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแบบนำหน้า (Leading PF)
- ถ้า Q เป็นศูนย์ แสดงว่า เป็นโหลดแบบความต้านทาน (Resistive load) หรือเป็นโหลดที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 1

ลักษณะโหลดในระบบไฟฟ้า และการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามีคุณลักษณะเป็นตัวเหนี่ยวนำ ดังนั้นในขณะจ่ายโหลดจึงทำให้ขณะจ่ายโหลดจะมีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าตาม ทำให้ระบบ ต้องการกำลังไฟฟ้าปรากฏเพิ่ม ซึ่งทำให้ความสามารถในการส่งจ่ายลดลง เพิ่มกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบ และลดแรงดันไฟฟ้าลง [10]



รูปที่ 2.3 แผนภาพสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าเมื่อมีการติดตั้งคาปาซิเตอร์เข้าไปในระบบ

จากรูปที่ 2.3 การเพิ่มตัวคาปาซิเตอร์แบบค้ำเข้าไปในระบบทำให้เพิ่มความสามารถในการส่งจ่าย และลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบโหลดของระบบลดลงจาก kVA1 เป็น kVA2 โดยการเพิ่มความจุไฟฟ้าในหน่วยกิโลวาร์ ดังแสดงในสมการที่ (2.1) – (2.4)

$$Q_{New} = Q_{old} - Q_{cap} \quad (2.1)$$

$$P_{old} = P_{New} \quad (2.2)$$

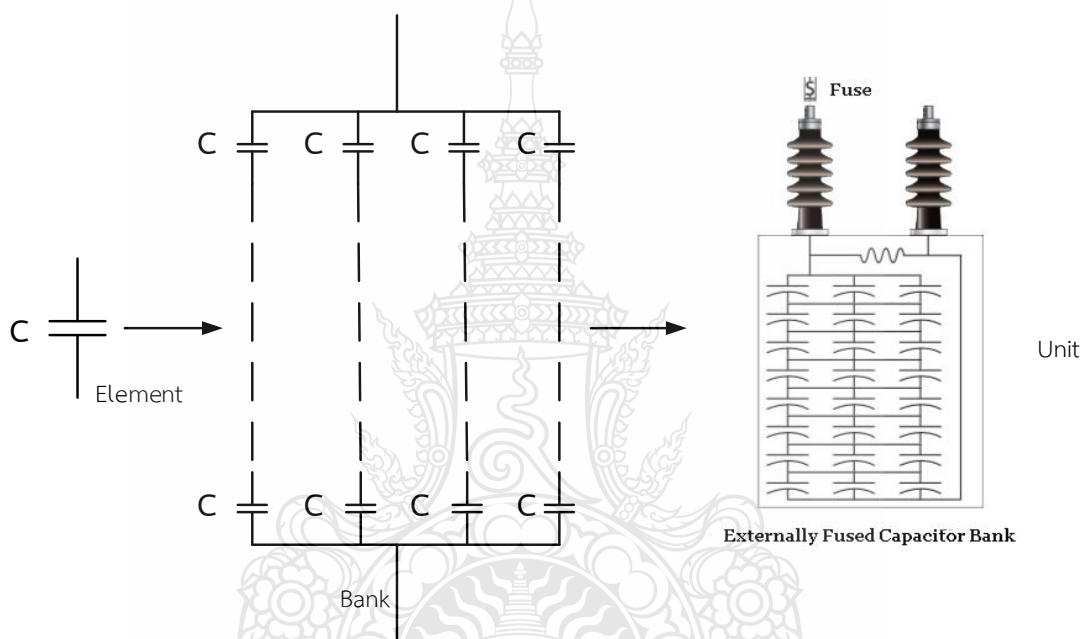
$$\theta_{old} > \theta_{New} \quad (2.3)$$

$$PF_{old} < PF_{New} \quad (2.4)$$

- เมื่อ
- Q_{cap} คือค่าคาปาซิเตอร์แบบค้ำ
 - Q_{new} คือค่าคาปาซิเตอร์แบบค้ำใหม่ในระบบ
 - Q_{old} คือค่าคาปาซิเตอร์แบบค้ำเดิมที่มีในระบบ
 - P_{old} คือค่ากำลังไฟฟ้าเดิมที่มีในระบบ
 - P_{new} คือค่ากำลังไฟฟ้าใหม่ที่มีในระบบ
 - θ คือมุมของกำลังไฟฟ้า
 - PF คือค่าตัวประกอบกำลัง

2.5 โครงสร้างของตัวคาปาซิเตอร์แบงค์

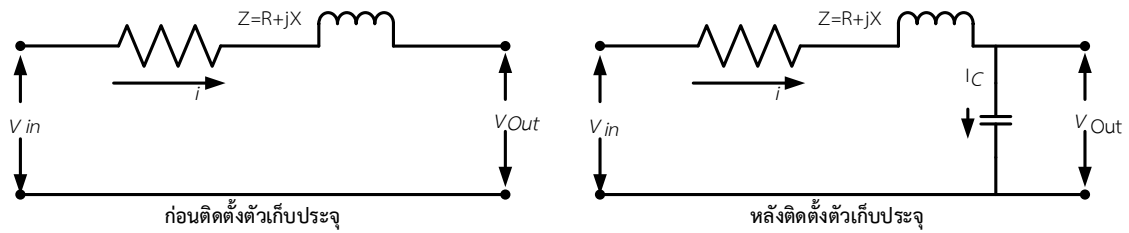
ตัวคาปาซิเตอร์แบงค์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยทั่วไปมีโครงสร้างประกอบด้วยแผ่นโลหะบางสองแผ่นวางซ้อนกัน โดยมีฉนวนไดอิเล็กตริกคั่นกลาง ภายในตัวคาปาซิเตอร์แบงค์หนึ่งชุดจะประกอบด้วยคาปาซิเตอร์ย่อยหลายตัวเชื่อมต่อกัน เพื่อให้ได้ค่าความจุและคุณสมบัติตามที่ต้องการ เทคโนโลยีการผลิตคาปาซิเตอร์แบงค์สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังต้องคำนึงถึงความสามารถในการทนต่อสภาวะที่มีความเครียดทางไฟฟ้าสูง รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของคาปาซิเตอร์แบงค์ [10]



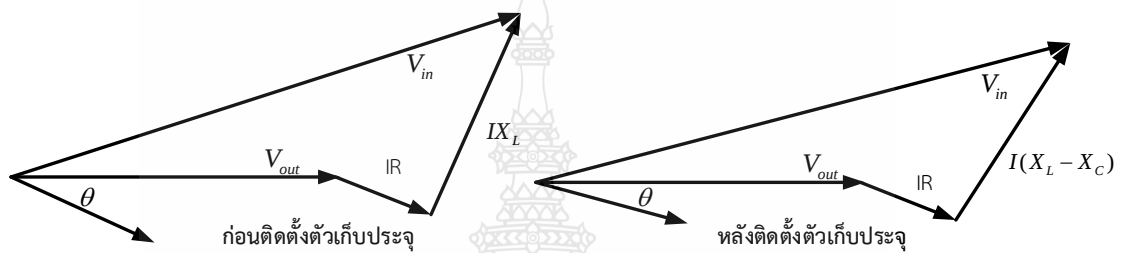
รูปที่ 2.4 โครงสร้างพื้นฐานของตัวคาปาซิเตอร์แบงค์

2.6 หลักการทำงานพื้นฐานของตัวคาปาซิเตอร์แบงค์

ตัวคาปาซิเตอร์แบงค์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอ็กทีฟในระบบไฟฟ้า โดยการติดตั้งต้องเชื่อมต่อแบบขนานเข้ากับระบบไฟฟ้า เมื่อเชื่อมต่อแล้ว คาปาซิเตอร์แบงค์จะช่วยปรับเปลี่ยนคุณลักษณะของโหลดที่มีอินดักแตนซ์ โดยทำให้กระแสมีเฟสนำหน้า ซึ่งช่วยลดผลกระทบจากองค์ประกอบของกระแสที่เฟสล่าหลังในโหลดประเภทอินดักทีฟ ณ จุดที่ติดตั้ง อ้างอิงจากหลักการดังกล่าว สามารถแสดงวงจรสมมูลก่อนและหลังการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์ได้ตามรูปที่ 2.5 และเฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันก่อนและหลังการติดตั้งได้ตามรูปที่ 2.6 [11]



รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลก่อน และหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบค



รูปที่ 2.6 เฟสเซอร์ไดอะแกรมก่อน และหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบค

แรงดันตกที่เกิดขึ้นในสายส่งในสภาวะก่อนและหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบคแสดงได้ตามสมการที่ (2.5) และสมการที่ (2.6) ตามลำดับ [11]

$$V_{drop} = I_R R + I_X L_X \quad (2.5)$$

$$V_{drop} = I_R R + I_X L_X + I_C X_C \quad (2.6)$$

เมื่อ

R คือ ความต้านทานของสายส่ง

X_L คือ ความต้านทานขดลวดของสายส่ง

X_C คือ ความต้านทานตัวคาปาซิเตอร์แบบคของสายส่ง

I_R คือ กระแสไหลผ่านส่วนที่เป็นความต้านทาน

I_L คือ กระแสไหลผ่านส่วนที่เป็นความต้านทานขดลวด

I_C คือ กระแสไหลผ่านส่วนที่เป็นความต้านทานตัวคาปาซิเตอร์แบบค

2.7 ชนิดของตัวคาปาซิเตอร์แบบคงที่

ตัวคาปาซิเตอร์แบบคงที่ที่ใช้เพื่อลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ตัวคาปาซิเตอร์แบบคงที่ และตัวคาปาซิเตอร์แบบปรับค่าโดยสามารถอธิบายลักษณะของตัวคาปาซิเตอร์แบบคงที่แต่ละประเภทได้ดังนี้:

2.7.1 ตัวคาปาซิเตอร์แบบคงที่ (Fixed Capacitor)

ตัวคาปาซิเตอร์แบบคงที่เป็นตัวคาปาซิเตอร์แบบคงที่เมื่อติดตั้งเข้าไปในระบบแล้วจะจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอ็กทีฟเข้าสู่ระบบตลอดเวลาโดยไม่สามารถทำการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอ็กทีฟได้รูปที่ 2.7 แสดงตัวคาปาซิเตอร์แบบคงที่ [12]



รูปที่ 2.7 ตัวคาปาซิเตอร์แบบคงที่ [12]

2.7.2 ตัวคาปาซิเตอร์แบบปรับค่า (Switched Capacitor)

ตัวคาปาซิเตอร์แบบปรับค่าเป็นอุปกรณ์ที่สามารถปรับค่าการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอ็กทีฟได้หลังจากติดตั้งในระบบ ซึ่งสามารถควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอ็กทีฟได้หลายวิธี เช่น การควบคุมตามค่ากระแสหรือแรงดันที่จุดติดตั้ง และการควบคุมตามช่วงเวลา ในทางตรงกันข้าม ตัวคาปาซิเตอร์แบบคงที่ที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอ็กทีฟเข้าสู่ระบบตลอดเวลา ดังนั้น การเลือกใช้งานต้องคำนึงถึงช่วงเวลาที่โหลดต่ำ เพราะอาจทำให้เกิดแรงดันเกินที่จุดติดตั้ง วิธีแก้ไขคือพิจารณาการใช้ตัวคาปาซิเตอร์แบบปรับค่าแทน รูปที่ 2.8 แสดงตัวคาปาซิเตอร์แบบปรับค่า [12]



รูปที่ 2.8 ตัวคาปาซิเตอร์แบบปรับค่า [12]

2.8 ประโยชน์ที่ได้รับจากการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบปรับค่า

ประโยชน์ที่ได้รับหลังจากการติดตั้งตัวเก็บประจุเพิ่มเข้าไปในระบบสามารถ อธิบายได้ดังนี้

2.8.1 ลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่ง

กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียภายในสายส่งขึ้นอยู่กับกระแสที่ไหลผ่าน ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับกำลังสองของกระแส เมื่อทำการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบปรับค่าในระบบ จะช่วยเพิ่มค่าของตัวประกอบกำลัง ส่งผลให้กระแสที่ไหลผ่านสายส่งลดลง ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและตัวประกอบกำลังสามารถแสดงได้ตามสมการที่ (2.7) ต่อเฟส [13]

$$P = VI\sqrt{3}\cos\theta \quad (2.7)$$

เมื่อ I คือ กระแสไหล

V คือ แรงดันตกคร่อมโหลด

P คือ กำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟของโหลด

θ คือ มุมของตัวประกอบกำลัง

จากสมการที่ (2.6) สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าสูญเสียก่อนและหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบปรับค่าได้ดังนี้กำลังไฟฟ้าสูญเสียหาได้ตามสมการที่ (2.8)

$$P_L = I^2 R \quad (2.8)$$

แทนกระแสที่ได้จากสมการที่ (2.7) ในสมการที่ (2.8) จะได้

$$P_L = \frac{P^2 R}{3V^2 (\cos \theta)^2} \quad (2.9)$$

นำสมการที่ (2.9) มาใช้ในการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ก่อน และหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบคได้ตามสมการที่ (2.10) และสมการที่ (2.11) ตามลำดับ

$$P_{L1} = \frac{P_1^2 R}{3V_1^2 (\cos \theta_1)^2} \quad (2.10)$$

$$P_{L2} = \frac{P_2^2 R}{3V_2^2 (\cos \theta_2)^2} \quad (2.11)$$

ถ้ากำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟ และแรงดันตกคร่อมโหลดมีค่าคงที่แล้วความสัมพันธ์ระหว่างสมการที่ (2.10) และสมการที่ (2.11) จะเป็นไปตามสมการที่ (2.12)

$$P_{L2} = \left(\frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2} \right)^2 P_{L1} \quad (2.12)$$

เมื่อ P_{L1}, P_{L2} คือกำลังไฟฟ้าสูญเสียก่อน และหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบค
 P_1, P_2 คือกำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟของโหลดก่อน และหลังติดตั้ง ตัวคาปาซิเตอร์แบบค
 V_1, V_2 คือแรงดันตกคร่อมโหลดก่อน และหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบค
 θ_1, θ_2 คือมุมของตัวประกอบกำลังก่อน และหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบค
 R คือความต้านทานของโหลด

จากสมการที่ (2.12) จะเห็นได้ว่าถ้าเราสามารถปรับปรุงมุมของตัวประกอบกำลังให้มีค่ามากขึ้นก็จะ ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลง

2.8.2 ลดแรงดันไฟฟ้าตกในสายส่ง

เมื่อระบบมีกระแสในสายไหลลดลงเนื่องจากการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบคเข้าไปก็จะส่งผลให้ แรงดันตกในสายส่งลดลงตามไปด้วย [13] แสดงให้เห็นตามความสัมพันธ์ของแรงดันตกและกระแสที่ไหลในสายส่งในสมการที่ (2.13)

$$V_{drop} = \sqrt{3}I(R_l \cos \theta + X_l \sin \theta) \quad (2.13)$$

เมื่อ I คือกระแสที่ไหลในสายส่ง
 R_l คือความต้านทานของสายส่ง
 X_l คือความต้านทานขดลวดของสายส่ง
 θ คือมุมของตัวประกอบกำลัง

จากประโยชน์ที่เราได้จากการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์เข้าไปในระบบไฟฟ้ากำลังที่แสดงให้เห็นตามหัวข้อที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าเมื่อเราติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์เข้าไปในระบบไฟฟ้ากำลังแล้วจะทำให้มุมของตัวประกอบกำลังดีขึ้นกระแสที่ไหลในสายส่งลดลง ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในส่วนต่างๆ ของระบบลดลง และจากการที่เราทำให้กระแสที่ไหลในระบบไฟฟ้าลดลงนี้ส่งผลให้เราสามารถรองรับการจ่ายโหลดในอนาคตได้มากขึ้นอีกด้วย

2.8.3 ลดกำลังสูญเสียในหม้อแปลง

ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบกำลังโดยตัวคาปาซิเตอร์แบงค์แบบขนาน ดังนั้นหม้อแปลง จะต้องการ KVA ที่น้อยลงโดยสามารถคำนวณดังนี้ [13]

$$kVAR = \left(\frac{P}{PF_1} - \frac{P}{PF_2} \right) \quad (2.14)$$

เมื่อ P คือความต้องการกำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟ และ PF_1 และ PF_2 คือค่าตัวประกอบกำลังก่อนและหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ [4]

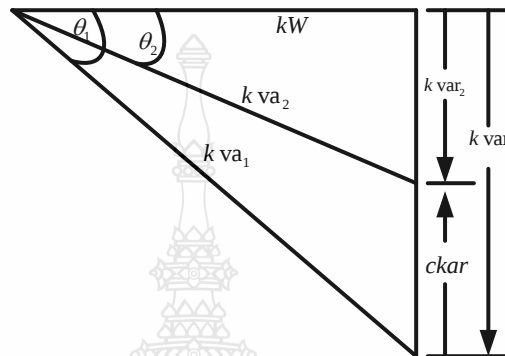
2.8.4 ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของโหลด

หากค่าตัวประกอบกำลังมีการเปลี่ยนแปลงจาก PF_1 เป็น PF_2 ดังนั้น Q ที่ชดเชยได้คือ

$$Q = P(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \quad (2.15)$$

2.9 จุดประสงค์ในการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบขนาน

ลักษณะโหลดในระบบไฟฟ้า และการส่งจ่ายกำลังไฟมีคุณลักษณะเป็นตัวเหนี่ยวนำ ดังนั้นในขณะจ่ายโหลดจึงทำให้ขณะจ่ายโหลดจะมีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าตามทำให้ระบบต้องการกำลังไฟฟ้าปรากฏเพิ่มขึ้นซึ่งทำให้ความสามารถในการส่งจ่ายลดลงเพิ่มกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบ และลดแรงดันไฟฟ้าลง



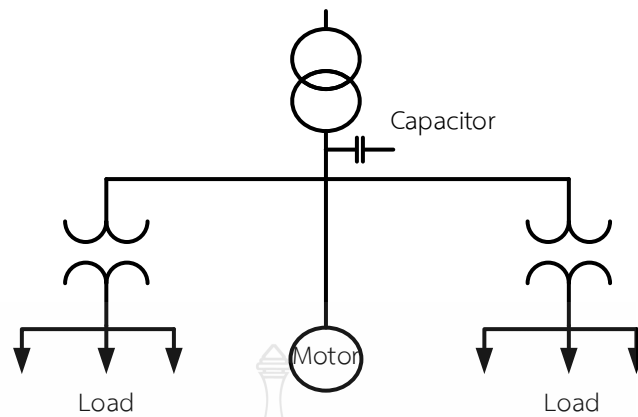
รูปที่ 2.9 ผลจากการเพิ่มตัวคาปาซิเตอร์แบบขนาน

รูปที่ 2.9 แสดงถึงการเพิ่มตัวคาปาซิเตอร์แบบขนานเข้าไปในระบบทำให้เพิ่มความสามารถในการส่งจ่าย และลด กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบโหลดของระบบลดลงจาก kVA_1 เป็น kVA_2 โดยการเพิ่มความจุไฟฟ้าในหน่วย กิโลวาร์

2.10 ตำแหน่งในการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบขนานในระบบไฟฟ้ากำลัง

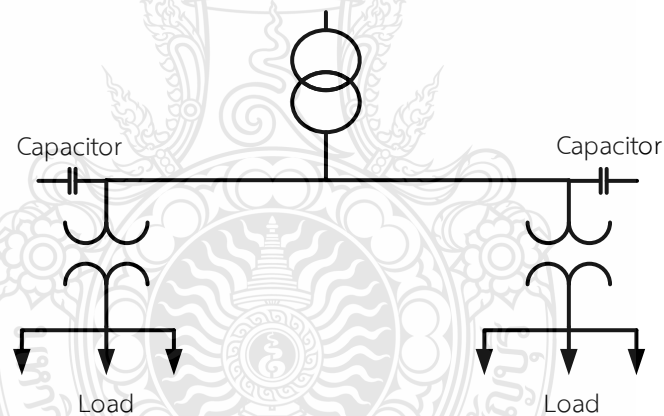
โดยทั่วไปแล้วการปรับปรุงค่าโปรไฟล์แรงดัน และลดการสูญเสียของไฟฟ้ากำลังโดยทำการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบขนาน สามารถติดตั้งได้ที่บัสแรงดันสูง [13] ที่ส่วนย่อยก่อนโหลด หรือที่โหลด โดยที่ใช้ก็มีอยู่ดังนี้

1. การติดตั้งก่อนกลุ่มโหลด การติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบขนานก่อนกลุ่มโหลดดังรูปที่ 2.10 โดยในการติดตั้งแบบนี้จะเป็นการติดตั้งชุดตัวคาปาซิเตอร์แบบขนานในจุดเดียวของกลุ่มโหลด การติดตั้งแบบนี้เหมาะสำหรับกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมที่มีโหลดกระจายตัวอยู่มากๆ



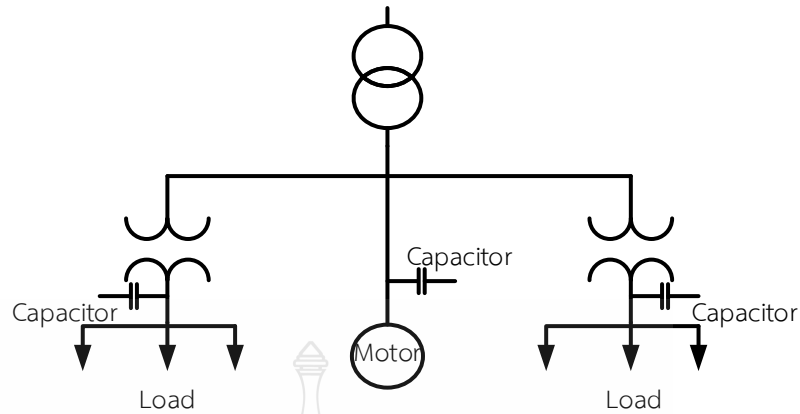
รูปที่ 2.10 การติดตั้งก่อนกลุ่มโหลด (กลุ่มคาปาซิเตอร์แบงก์)

2. การติดตั้งในแต่ละกลุ่มโหลด (สาขาคาปาซิเตอร์แบงก์) ในระบบการทำงานของโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่กลุ่มของโหลดจะเปิด และปิดเป็น ช่วงเวลาตามการทำงานดังนั้นการติดตั้งแบบนี้จะช่วยชดเชยที่กลุ่มของโหลดแบบเฉพาะเจาะจง ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การติดตั้งในแต่ละกลุ่มโหลด (สาขาคาปาซิเตอร์แบงก์)

3. การติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงก์ที่โหลด การติดตั้งแบบนี้จะติดตั้งที่โหลดโดยเฉพาะเจาะจงไปแต่ละโหลดดัง รูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์ที่โหลด

2.11 การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson Power)

การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าคือกระบวนการหาค่าแรงดันไฟฟ้าและมุมเฟสที่บัสต่างๆ ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการวิเคราะห์ค่ากระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟ และกำลังไฟฟ้ารีแอ็กทีฟที่ไหลในระบบภายใต้สภาวะโหลดที่กำหนด การคำนวณนี้อาศัยข้อมูลสายป้อนในระบบ (line data) ซึ่งรวมถึงพารามิเตอร์ของสายจำหน่าย หม้อแปลงไฟฟ้า และข้อมูลกำลังไฟฟ้าของบัส (bus data) โดยใช้สมมติฐานการควบคุมกำลังไฟฟ้าของระบบ หนึ่งในวิธีที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าคือวิธี NRPF (Newton-Raphson Power Flow) ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้ [14]

กำลังไฟฟ้าระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโหลดที่บัส (i) สามารถแสดงได้ด้วยสมการที่ (2.16)

$$P_{sch,i} + jQ_{sch,i} = (P_{G,i} + jQ_{G,i}) - (P_{L,i} + jQ_{L,i}) \quad (2.16)$$

เมื่อ $P_{sch,i}, Q_{sch,i}$ คือกำลังไฟฟ้าผลต่างระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับโหลด ที่บัส i

$P_{G,i}, Q_{G,i}$ คือกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i

$P_{L,i}, Q_{L,i}$ คือกำลังไฟฟ้าของโหลดที่บัส i

G, L คือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และโหลดตามลำดับ

ซึ่งกำลังไฟฟ้าตามสมการที่ (2.16) จะไหลระหว่างสายป้อนที่เชื่อมต่อกับบัส ดังสมการที่ (2.17)

$$P_{sch,i} + jQ_{sch,i} = V_i I_i^* \quad (2.17)$$

เมื่อ V_i คือ ค่าแรงดัน ณ บัส i

I_i คือค่ากระแสรวมที่ไหลออกจากบัสที่ i ผ่านทางสายป้อนไปยังบัสอื่นคำนวณได้จากสมการที่ (2.18)

$$\begin{aligned} I_i &= y_{i0}V_i + y_{i1}(V_i - V_1) + y_{i2}(V_i - V_2) + \dots + y_{in}(V_i - V_n) \\ &= (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in})V_i - y_{i1}V_1 - y_{i2}V_2 - \dots - y_{in}V_n \end{aligned} \quad (2.18)$$

โดยค่า y แทนแอดมิตแตนซ์ของสายป้อน [14] เมื่อจัดภาพสมการ (2.18) ใหม่ จะได้สมการที่ (2.19) ซึ่ง สามารถเขียนในภาพแบบเชิงขั้วได้ดังสมการ (2.20)

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad (2.19)$$

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.20)$$

เมื่อ $|Y_{ij}|$ คือขนาดของค่าแอดมิตแตนซ์ ที่แถว i และหลัก j ของเมทริกซ์แอดมิตแตนซ์ จัดภาพสมการที่ (2.17) ในภาพของค่าสังยุค (Conjugate) แล้วแทนค่า I_i จากสมการที่ (2.20) ลงไป จะได้สมการที่ (2.21) ดังนี้

$$P_{sch,i} - jQ_{sch,i} = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.21)$$

สมการที่ (2.21) สามารถแยกเป็นสมการที่ (2.22) และ (2.23) ตามลำดับ

$$P_{sch,i} = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.22)$$

$$Q_{sch,i} = -\sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.23)$$

สมการที่ (2.22) และ (2.23) เป็นสมการไม่เชิงเส้น โดยมีตัวแปรที่ไม่ทราบค่า ได้แก่ ขนาดแรงดันและมุมแรงดันที่แต่ละบัส ยกเว้นบัสอ้างอิงซึ่งกำหนดให้มุมแรงดันเป็นศูนย์องศา เมื่อทำการกระจายสมการที่ (2.22) และ (2.23) โดยใช้อนุกรมเทย์เลอร์ (Taylor's Series Expansion) และพิจารณาเฉพาะเทอมอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งรอบจุดเริ่มต้น จะได้ความสัมพันธ์ในรูปของเมทริกซ์ดังสมการที่ (2.24)

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \vdots \\ \Delta P_n \\ \Delta Q_2 \\ \vdots \\ \Delta Q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} \cdots \frac{\partial P_2}{\partial \delta_n} \right) \left(\frac{\partial P_2}{\partial |V_2|} \cdots \frac{\partial P_2}{\partial |V_n|} \right) \\ \vdots \\ \left(\frac{\partial P_n}{\partial \delta_2} \cdots \frac{\partial P_n}{\partial \delta_n} \right) \left(\frac{\partial P_n}{\partial |V_2|} \cdots \frac{\partial P_n}{\partial |V_n|} \right) \\ \left(\frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} \cdots \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_n} \right) \left(\frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|} \cdots \frac{\partial Q_2}{\partial |V_n|} \right) \\ \vdots \\ \left(\frac{\partial Q_n}{\partial \delta_2} \cdots \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_n} \right) \left(\frac{\partial Q_n}{\partial |V_2|} \cdots \frac{\partial Q_n}{\partial |V_n|} \right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2 \\ \vdots \\ \Delta \delta_n \\ \Delta |V_2| \\ \vdots \\ \Delta |V_n| \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

จากสมการที่ (2.24) สามารถเขียนใหม่ในภาพสมการที่ (2.25)

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

สมการที่ (2.25) ถูกใช้ในการคำนวณแบบวนรอบเพื่อปรับค่าขนาดแรงดันและมุมแรงดันของทุกบัส จนกว่าจะเป็นไปตามเงื่อนไขของการลู่เข้าสู่คำตอบ [14] โดยสามารถนำสมการที่ (2.25) มาปรับรูปใหม่เพื่อใช้ในการคำนวณแบบวนรอบ ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (2.26) และ (2.27)

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix}^{(k-1)} = \left(\begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix}^{-1} \right)^{(k-1)} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}^{(k-1)} \quad (2.26)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix}^{(k)} = \begin{bmatrix} \delta \\ |V| \end{bmatrix}^{(k-1)} + \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix}^{(k-1)} \quad (2.27)$$

อักษรตัวยก k ในสมการที่ (2.26) และ (2.27) หมายถึงรอบของการคำนวณในการคำนวณเริ่มต้นจะกำหนดให้ขนาด และมุมของแรงดันที่ทุกบัสมีค่า 1 หน่วยและศูนย์ตามลำดับ เมตริกซ์จาร์โคเขียนในสมการ (2.26) และ (2.27) ประกอบด้วยเมตริกซ์ย่อย $J_1 - J_4$ โดย เมตริกซ์ย่อย J_1 เป็นเมตริกซ์ ที่มีค่าในแนวทแยงมุมหลัก และค่านอกแนวทแยงมุมหลักดังสมการที่ (2.28) และ (2.29) ตามลำดับ[9]

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.28)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -|V_i||V_j||Y_{ij}|\sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.29)$$

J_2 เป็นเมตริกซ์ที่มีค่าในแนวทแยงมุมหลัก และค่านอกแนวทแยงมุมหลัก ดังสมการที่ (2.30)

และ (2.31) ตามลำดับ

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i||Y_{ii}|\cos\theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.30)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.31)$$

J_3 เป็นเมตริกซ์ ที่มีค่าในแนวทแยงมุมหลัก และค่านอกแนวทแยงมุมหลัก ดังสมการที่ (2.32)

และ (2.33) ตามลำดับ

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i||V_j||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.32)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i||V_j||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.33)$$

J_4 เป็นเมตริกซ์ ที่มีค่าในแนวทแยงมุมหลัก และค่านอกแนวทแยงมุมหลักดังสมการที่ (2.34)

และ (2.35) ตามลำดับ

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i||Y_{ii}|\sin\theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.34)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = |V_i||Y_{ij}|\sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.35)$$

จากสมการที่ (2.25) และ (2.26) เป็นการคำนวณแบบวนรอบเพื่อปรับค่าขนาดแรงดัน และมุมแรงดันทุกบัสจนกระทั่งเงื่อนไขของการลู่เข้าสู่คำตอบเป็นจริงในแต่ละรอบต้องหาค่าผลต่างของกำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟและกำลังไฟฟารีแอ็กทีฟ ดังสมการที่ (2.36) และ (2.37) ตามลำดับ

$$\Delta P_i^{(k)} = P_{sch,i} - P_i^{(k)} \quad (2.36)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_{sch,i} - Q_i^{(k)} \quad (2.37)$$

ปรับค่าขนาด และมุมแรงดันแต่ละบัสในแต่ละรอบ ดังสมการที่ (2.38) และ (2.39) ตามลำดับ

$$\delta_i^{(k)} = \delta_i^{(k-1)} + \Delta\delta_i^{(k-1)} \quad (2.38)$$

$$|V_i^{(k)}| = |V_i^{(k-1)}| + \Delta|V_i^{(k-1)}| \quad (2.39)$$

คำนวณหาค่า $\Delta P_i^{(k)}$ และ $\Delta Q_i^{(k)}$ ในแต่ละรอบของการคำนวณจนกระทั่งเข้าสู่คำตอบ จะคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟและกำลังไฟฟ้ารีแอ็กทีฟได้ ผลลัพธ์จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าจะใช้ในการประเมินจุดทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะปกติ อย่างไรก็ตาม ในบางสภาวะที่ระบบมีแรงดันไฟฟ้าต่ำมาก การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบปกติไม่สามารถหาคำตอบได้ เนื่องจากปัญหาความเป็นเอกฐาน (singularity property) ของจาโคเบียนเมตริกซ์ ในกรณีนี้จึงมีการใช้วิธีการคำนวณ CPF (Continuation Power Flow) เพื่อให้สามารถคำนวณจุดทำงานในสภาวะที่ใกล้เคียงกับจุดเอกฐานได้ [14]

2.12 การคำนวณค่าจุดวิกฤตโดยใช้วิธีวิธีการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง (Continuation Power Flow: CPF)

การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง (CPF) เป็นการปรับปรุงมาจากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบปกติ เพื่อให้สามารถคำนวณหาคำตอบของระบบไฟฟ้าได้ [15] ในสภาวะวิกฤตของระบบไฟฟ้ากำลังตามสมมติฐานการเพิ่มโหลดและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (loading scenario) โดยใช้เทคนิคการเพิ่มค่าตัวแปรเพื่อหลีกเลี่ยงสภาวะเอกฐานของระบบ (local parameterization)

ขั้นตอนการคำนวณมีดังนี้

เพิ่มตัวคูณกำลังไฟฟ้าที่บัส λ เข้าไปในสมการการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบปกติ ดังสมการ

$$F(\delta, V, \lambda) = 0, \lambda \leq \lambda_{\max} \quad (2.40)$$

โดย δ และ V คือค่ามุมเฟสและขนาดของแรงดันที่บัส ตามลำดับ ในกรณีโหลดพื้นฐานในตอนเริ่มคำนวณตัวแปร λ มีค่าเป็นหนึ่งเพื่อให้การคำนวณรวดเร็วขึ้นจะใช้เทคนิคการคาดการณ์และปรับผลตาม (predictor and corrector) ดังนี้

$$dF(\delta, V, \lambda) = \frac{\partial F}{\partial \delta} \Delta\delta + \frac{\partial F}{\partial V} \Delta V + \frac{\partial F}{\partial \lambda} \Delta\lambda = 0 \quad (2.40)$$

ตัวแปร λ ที่เพิ่มขึ้นเข้ามาในสมการการไหลของกำลังไฟฟ้าปกติทำให้ต้องแปลงสมการการไหลของกำลังไฟฟ้าไปจากเดิม ดังนี้

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial F}{\partial \delta} & \frac{\partial F}{\partial V} & \frac{\partial F}{\partial \lambda} \end{pmatrix} (T) = \begin{pmatrix} 0 \\ \pm 1 \end{pmatrix} \quad (2.41)$$

เมตริกซ์ T คือเมตริกซ์หลัก (column matrix) ที่แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวแปร ณ จุดทำงานนั้น (tangent matrix) ค่าในแถวสุดท้ายของเมตริกซ์มีขนาดเป็นบวกหนึ่งหรือลบหนึ่ง ซึ่งทำให้ e_k เป็นเมตริกซ์แถว (row matrix) ที่มีค่าเป็นศูนย์ยกเว้นที่หลักที่ k ซึ่งมีค่าบวกหนึ่ง จากคุณสมบัติของเมตริกซ์ T ทำให้สมการที่ดัดแปลงไปสามารถหาคำตอบได้ ณ จุดวิกฤต เมื่อแก้สมการ (2.41) จะได้ทิศทางการปรับค่าตัวแปร δ, V และ λ จุดทำงานถัดไปสามารถคาดการณ์ได้จากสมการที่ (2.42)

$$\begin{pmatrix} \delta \\ V \\ \lambda \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \delta_i \\ V_i \\ \lambda_i \end{pmatrix} + \sigma \begin{pmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \\ \Delta \lambda \end{pmatrix} \quad (2.42)$$

โดย σ คือระยะห่างที่เคลื่อนที่ในแต่ละช่วงโหลดที่เพิ่มขึ้น

การเปลี่ยนตัวแปร และปรับค่า ณ สภาวะใกล้จุดวิกฤตมีความสำคัญต่อการคำนวณ (parameterization and the corrector) โดยในขั้นตอนนี้จะต้องมีการกำหนดตัวแปรในสมการการไหลของกำลังไฟฟ้าที่แปลงไปแล้วใหม่ (local parameterization) ดังสมการที่ (2.43)

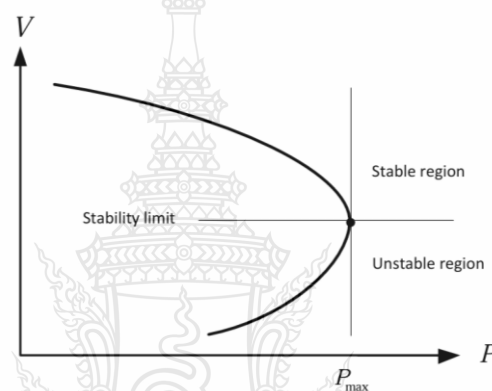
$$X = \begin{pmatrix} \delta \\ V \\ \lambda \end{pmatrix}, \text{ let } x_k = \eta \quad (2.43)$$

จากสมการที่ (2.43) การระบุตัวแปรในแถวที่ นิยมเลือกจากตัวแปร ที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดในเมตริก T ท้ายสุดจะได้สมการของระบบ ณ สภาวะนี้คือ

$$\begin{pmatrix} F(x) \\ x_k - \eta \end{pmatrix} = [0] \quad (2.44)$$

คำตอบของสมการ (2.44) สามารถคำนวณโดยขั้นตอนตามสมการที่ (2.40) - (2.43) อีกครั้ง ผลที่ได้จากการคำนวณในแต่ละรอบสามารถนำมาเขียนกราฟการเพิ่มขึ้นของโหลดกับแรงดัน ในภาพกราฟ P-V กราฟ Q-V หรือ กราฟ λ -V

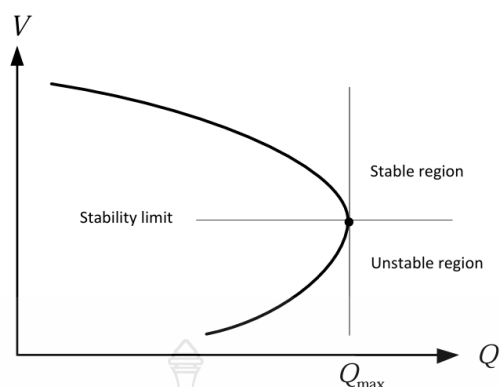
ผลจากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบต่อเนื่องสามารถนำมาวิเคราะห์เสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟของโหลดและแรงดันที่บัสโหลด การเปลี่ยนแปลงของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากบัสหนึ่งสู่อีกบัสอื่น ๆ [16] จะส่งผลต่อแรงดันที่บัส ซึ่งสามารถศึกษาได้จากกราฟเส้นโค้ง P-V ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 กราฟเส้นโค้ง P-V

กราฟเส้นโค้ง P-V ในรูปที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟของโหลดในระบบกับแรงดันไฟฟ้า โดยเมื่อกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แรงดันไฟฟ้าจะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ จนถึงจุดที่เรียกว่าจุดวิกฤต ที่จุดนี้ หากโหลดกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อย จะทำให้เกิดสภาวะแรงดันพังทลาย สามารถแบ่งเส้นโค้ง P-V ในแนวนอนออกเป็นสองส่วน โดยส่วนบนของเส้นโค้งเป็นส่วนที่มีเสถียรภาพทางแรงดันไฟฟ้า เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าของระบบจะลดลงเมื่อโหลดเพิ่มขึ้น ส่วนล่างเป็นส่วนที่ไม่มีเสถียรภาพทางแรงดันไฟฟ้า เนื่องจากแรงดันของระบบจะเพิ่มขึ้นเมื่อโหลดเพิ่มขึ้น ซึ่งไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง [16]

ผลจากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบต่อเนื่องสามารถนำมาวิเคราะห์เสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้าโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟของโหลดและแรงดันที่บัสโหลด การเปลี่ยนแปลงของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟจากบัสหนึ่งไปยังอีกบัสหนึ่ง จะส่งผลต่อแรงดันที่บัส ซึ่งสามารถศึกษาได้จากกราฟเส้นโค้ง Q-V ดังที่แสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 กราฟเส้นโค้ง Q-V

กราฟเส้นโค้ง Q-V ในรูปที่ 2.14 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างโหลดกำลังไฟฟ้ายิ่งที่เพิ่มกับแรงดันไฟฟ้าโดยเมื่อโหลดกำลังไฟฟ้ายิ่งที่เพิ่มขึ้นแรงดันไฟฟ้าจะค่อยๆ ตกลงเรื่อยๆ จนถึงจุดวกกลับของเส้นโค้งพาราโบลา จุดนี้เรียกว่าจุดวิกฤต ที่จุดวิกฤตหากโหลดกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อยจะทำให้เกิดสถานะแรงดันพังทลาย โดยสามารถแบ่งครึ่งเส้นโค้ง Q-V วิกฤตออกเป็นสองส่วนโดยส่วนบนของเส้นโค้งคือส่วนที่มีเสถียรภาพทางแรงดันไฟฟ้าส่วนล่างคือส่วนที่ไม่มีเสถียรภาพทางแรงดันไฟฟ้า อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปสมมติฐานการเพิ่มขึ้นของโหลด P และ Q จะมีอัตราส่วนตัวประกอบไฟฟ้ากำลังคงที่ทำให้ในการวิเคราะห์จะเลือกใช้กราฟ P-V หรือ Q-V เพียงอย่างเดียว [16]

2.13 การวิเคราะห์เส้นทางการไหลวิกฤต

เพื่อที่จะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างขีดจำกัดการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบส่งกับปัญหาเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า วิธีการวิเคราะห์ปัญหาเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้าด้วยวิธีเส้นทางการไหลวิกฤตของกำลังไฟฟ้า (Critical Transmission Flow Path) จึงได้ถูกนำเสนอขึ้นเพิ่มเติมจากวิธีการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง โดยรายละเอียดที่วิเคราะห์ได้จากเส้นทางการไหลของกำลังไฟฟ้าวิกฤตนี้จะช่วยขยายขอบเขตความเข้าใจที่มีต่อปัญหาเสถียรภาพทางแรงดันไฟฟ้า [17]

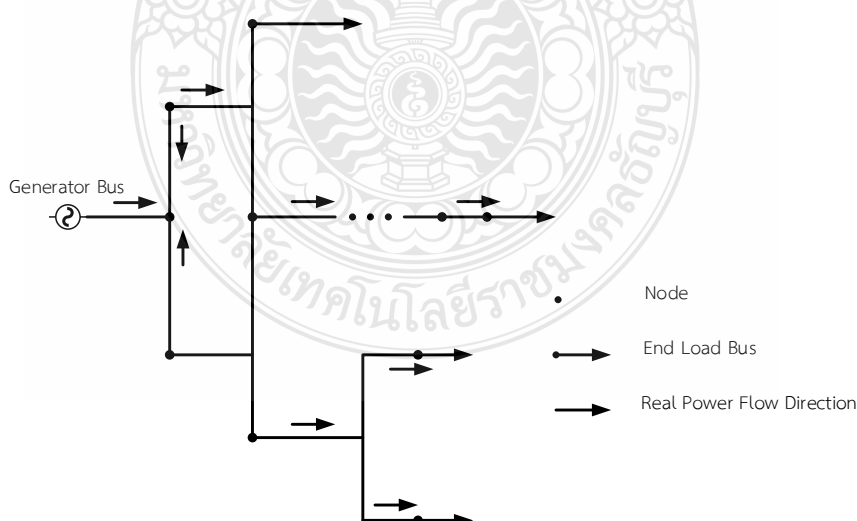
สาระสำคัญของการวิเคราะห์ด้วยวิธีเส้นทางการไหลวิกฤตของกำลังไฟฟ้า ณ สถานะที่ระบบไฟฟ้าไม่สามารถคำนวณหาคำตอบของระบบได้ เส้นทางการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบไม่มีกิ่งแยก (Fictitious Radial Flow Path) จากบัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปยังบัสวิกฤตทุกเส้นทางจะไม่มีคำตอบสามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

2.13.1 เส้นทางไหลของกำลังไฟฟ้า

เส้นทางไหลของกำลังไฟฟ้าในที่นี้หมายถึงเส้นทางไหลของกำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟ (Real Power) จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปยังโหลดซึ่งสามารถมองได้สองแบบได้แก่มองทิศทางการไหลจาก เครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปยังโหลด (Forward Tracing) และมองจากโหลดย้อนกลับมาที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Backward Tracing) เส้นทางไหลของกำลังไฟฟ้ารีแอ็กทีฟ (Reactive Power) ไม่มีการพิจารณา เนื่องจากในการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจริงส่วนใหญ่เป็นกำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟที่ไหลจากโรงไฟฟ้าไปยัง บริเวณโหลด โดยมีการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอ็กทีฟสนับสนุนเฉพาะพื้นที่รายละเอียดของเส้นทางไหล กำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟ อธิบายเพิ่มเติมได้ดังนี้ [17]

2.13.2 การติดตามทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบด้านหน้า (Forward Tracing Graph: FTP)

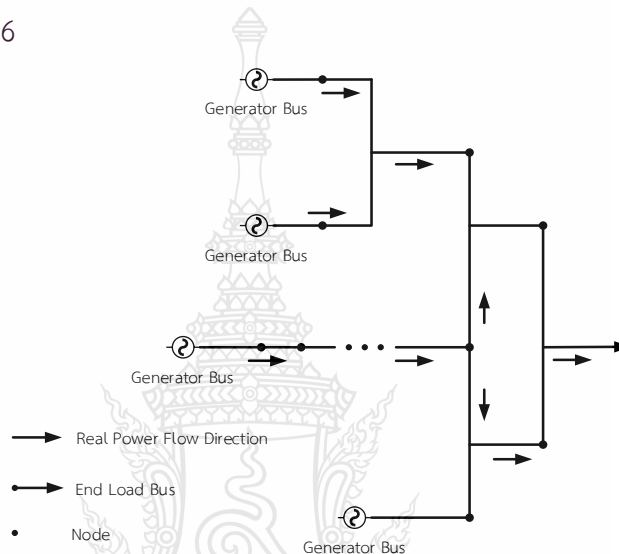
เมื่อมองทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวหนึ่ง จะพบว่ากำลังไฟฟ้าจริงอาจมีการแยกไหลหรือรับกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวอื่นจากเส้นทางต่างๆ เมื่อพบกับโหลดที่มีสายส่งเชื่อมต่อมากกว่าสองเส้น ซึ่งเรียกว่าเส้นทางไหลของกำลังไฟฟ้าแบบขนาน (Parallel Flow Path) เมื่อพิจารณาเส้นทางไหลแบบขนานเหล่านี้ทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ จะพบว่าไหลไปสิ้นสุดที่โหลดบัสบางบัส ซึ่งเรียกว่าโหลดบัสปลายทาง (End load bus) และอาจเป็นไปได้ว่า FTP (Flow Transfer Path) จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหนึ่งตัวอาจไปสิ้นสุดที่โหลดบัสปลายทางหลายบัส ดังที่แสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การติดตามทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบด้านหน้า

2.13.3 การติดตามทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบย้อนกลับ (Backward Tracing graph: BTP)

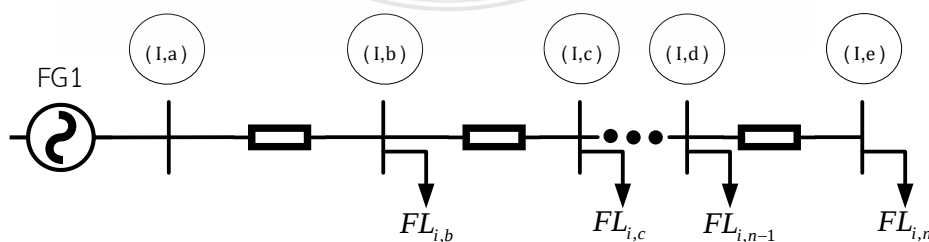
ในระบบจริง ณ สภาวะการไหลของกำลังไฟฟ้า ณ เวลาหนึ่ง จะมีเพียงบางโหลดบัสในระบบเป็นโหลดบัสปลายทาง เมื่อมองจากโหลดบัสปลายทางบัสหนึ่งย้อนกลับไปในระบบตามทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าแก็ทที่ฟที่ไหลเข้าสู่โหลดบัสนี้ จะพบเส้นทางการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบขนานหลายเส้นทางเมื่อพิจารณาเส้นทางการไหลแบบขนานเหล่านี้ทุกเส้นทาง จะมีจุดเริ่มต้นที่บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลายบัส แสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การติดตามทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบย้อนกลับ

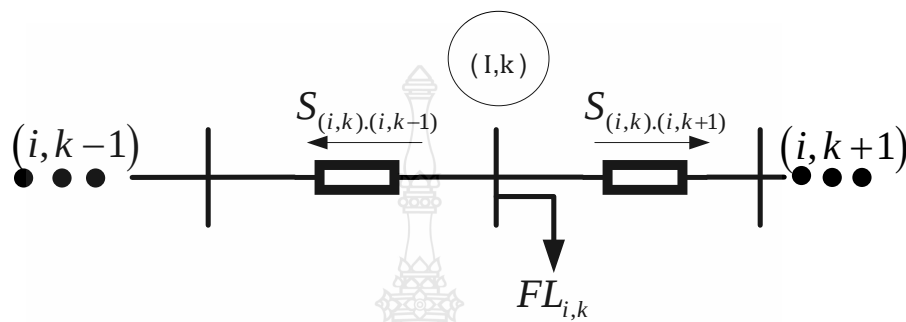
2.13.4 เส้นทางไหลแบบเสมือนเรเดียล (Equivalent Radial Path: ERP)

เส้นทางการไหลของกำลังไฟฟ้าทั้งแบบ FTP และ BTP ณ สภาวะการไหลของกำลังไฟฟ้า ในระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่งมีได้หลายเส้นทาง และสามารถพิจารณาเสมือนเส้นทางการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบเรเดียลจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปยังโหลดบัสปลายทาง โดยสมมูลการไหลของกำลังไฟฟ้าที่แยกออกจากเส้นทางเสมือนคล้ายกับโหลดเสมือน (Fictitious Load) แสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 เส้นทางไหลแบบเสมือนเรเดียล

จากรูปที่ 2.17 แสดงเส้นทางการไหลแบบเสมือนเรเดียล เส้นทาง i ที่มีทั้งหมด n บัสโดยทางต้นทางเสมือนมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอยู่ที่บัส (I, a) กำลังไฟฟ้าไหลไปยังบัส (I, b) และเพื่อให้กำลังไฟฟ้าที่ไหลบนเส้นทางเสมือนนี้สมดุล จะต้องทำการเพิ่มโหลดเสมือนที่คำนวณจากส่วนต่างของกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ไหลเข้าและไหลออกในแต่ละบัส แสดงดังรูปที่ 2.18



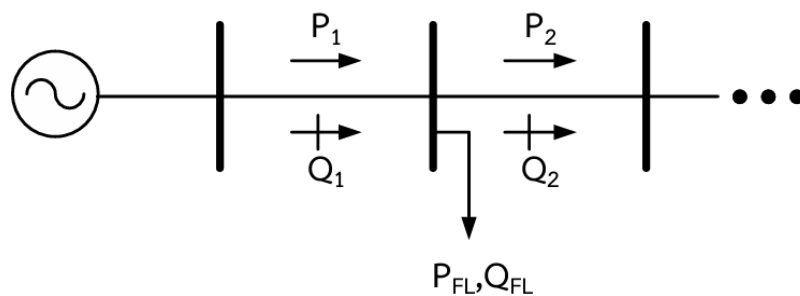
รูปที่ 2.18 โหลดไฟฟ้าเสมือน ณ บัส k ของ ERP เส้นทางที่ i

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้ผลจากการคำนวณกรไหลของกำลังไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง ณ สภาวะเกิดการ พังทลายของแรงดันไฟฟ้าในการวิเคราะห์เส้นทางการไหลวิกฤต โดยนำข้อมูลการไหลของกำลังไฟฟ้า ในระบบทดสอบมาติดตามการไหลของกำลังไฟฟ้า

การติดตามการไหลแบบ FTP ใช้ในระบบทดสอบที่มีบัสปลายทางน้อยโดยติดตามการไหลของ กำลังไฟฟ้าจากบัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้นทางไปยังโหลดบัสปลายทาง [17]

การติดตามการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบ BTP ใช้ในระบบทดสอบที่มีบัสปลายทางหลายบัส เนื่องจากง่ายในการติดตามมากกว่าแบบ FTP โดยติดตามการไหลของกำลังไฟฟ้าจากโหลดบัสปลายทางมายังบัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เมื่อทราบเส้นทางการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบทดสอบจะทำการ ERP ในแต่ละเส้นทางการ ไหลของกำลังไฟฟ้าทำการสมดุลกำลังไฟฟ้าแก็กทีฟ และกำลังไฟฟารีแก็กทีฟที่ไหลเข้าออกในบัส แต่ละบัส ส่วนต่างของกำลังไฟฟ้าแก็กทีฟและกำลังไฟฟารีแก็กทีฟในแต่ละบัสจะกำหนดให้เป็นโหลดเสมือนของบัส นั้นๆ ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 สมดุลกำลังไฟฟ้าแอมป์และกำลังไฟฟ้ารีแอมป์ที่ไหลเข้าออกในบัสแต่ละบัส

จากนั้นทำการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธี *NRPF* ในแต่ละเส้นทางการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยทำการเพิ่มกำลังไฟฟ้าแอมป์และกำลังไฟฟ้ารีแอมป์ที่โหลดบัส [17] และกำลังไฟฟ้าแอมป์ที่บัส เครื่องกำเนิดขึ้นรอบละ 1 % จนกว่าการคำนวณจะหาคำตอบไม่ได้ เส้นทางการไหลของกำลังไฟฟ้าที่สามารถรองรับการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าได้น้อยกว่า 1% คือเส้นทางการไหลวิกฤตวิทยานิพนธ์ฉบับ นี้จะแยกพิจารณาการวิเคราะห์เส้นทางการไหลวิกฤตออกเป็นสองกรณี คือ

กรณีที่ 1 วิเคราะห์เส้นทางการไหลวิกฤตตามสถานะปกติในขั้นตอนการทำ *ERP* โดยมี บัสอ้างอิง บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และโหลดบัส เพื่อพิจารณาการไหลของกำลังไฟฟ้าตามสถานะจริงของระบบ

กรณีที่ 2 วิเคราะห์เส้นทางการไหลวิกฤตโดยกำหนดให้บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นโหลดบัสในขั้นตอนการทำ *ERP* เพื่อพิจารณาเสมือนเส้นทางการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบเบรเดียวจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปยังโหลดบัสปลายทางในสภาวะมีบัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพียงบัสเดียว เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของกรณีที่วิเคราะห์ในสภาวะปกติที่มีบัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และสภาวะเสมือนมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแห่งเดียว

2.14 การหาขนาด และตำแหน่งด้วยเทคนิคอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA)

วิธีเทคนิคอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม เหมือนกับการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิต สิ่งมีชีวิตที่ ปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าจะสามารถอยู่รอดได้ ในทางกลับกันสิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถ ปรับตัวได้ก็จะต้องสูญพันธุ์ไปซึ่งการปรับตัวของสิ่งมีชีวิตจะทำให้สิ่งมีชีวิตนั้นมีวิวัฒนาการที่ดีขึ้น กล่าวคือกระบวนการภายในของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ทำให้คำตอบของระบบที่มีอยู่เกิด วิวัฒนาการในตัวเองอันจะนำไปสู่

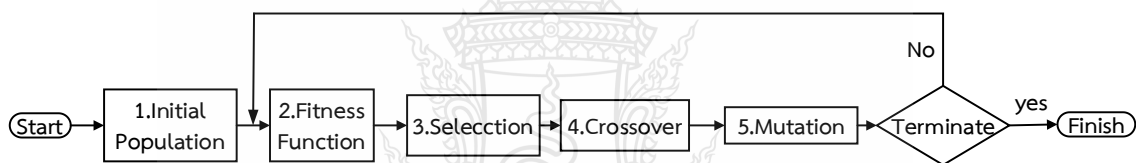
การปรับตัวให้กลายเป็นคำตอบที่ดีกว่าและดีที่สุดได้ ส่วนองค์ประกอบหลักของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ประกอบด้วย

ประชากร (population) ประกอบไปด้วยกลุ่มของโครโมโซม ซึ่งเป็นตัวแทนของคำตอบ ในระบบที่ต้องการค้นหา [18]

ต้นกำเนิดสายพันธุ์ (parents) กลุ่มประชากรที่ถูกคัดเลือกเพื่อเป็นตัวแทนในการให้กำเนิด สายพันธุ์ใหม่ ในรุ่นถัดไป ประชากรกลุ่มนี้จะเปรียบเสมือนกับเป็น ‘พ่อแม่’ สำหรับใช้ในการสืบ ทอดสายพันธุ์ให้ลูกหลานต่อไป

สายพันธุ์ใหม่ (offspring) หรือ ‘ลูกหลาน’ เป็นประชากรกลุ่มใหม่ที่ได้รับการถ่ายทอดสายพันธุ์มาจาก พ่อแม่ โดยคาดหวังที่จะได้รับสายพันธุ์ที่ดีที่สุดเพื่อถ่ายทอดต่อไป กันในประชากรรุ่น ถัดไป

2.14.1 ขั้นตอนการทำงานของวิธีเทคนิคอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม



รูปที่ 2.20 แสดงขั้นตอนการทำงานของวิธีเชิงพันธุกรรม

จากรูปที่ 2.20 แสดงขั้นตอนการทำงานทั่วไปของวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) การสร้างประชากรเริ่มต้น (Initial Population)

เนื่องจากข้อมูลมีอยู่ด้วยกันหลากหลายชนิด ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องแปลงข้อมูลต่างๆ ให้ อยู่ในภาพแบบที่เหมาะสมสำหรับใช้งานขั้นตอนวิธีเทคนิคอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลงจะ อยู่ในภาพของโครโมโซม ตัวแปรที่ต้องการค้นหาหมายถึงยีนหนึ่งยีนเมื่อนำยีนมา ประกอบกันจะได้ โครโมโซมซึ่งก็คือผลลัพธ์ของปัญหาการแปลงทำได้หลายวิธี เช่นการแปลงเป็น เลขฐานสอง หรือการแปลงเป็นค่าจริง โดยการพิจารณาจากลักษณะของปัญหา ตัวอย่างเช่น เลขฐานสอง ใช้สำหรับปัญหาที่มีภาพแบบคำตอบเพียงสองภาพแบบ การใช้ตัวเลขลำดับใช้สำหรับหาคำตอบของ ปัญหาที่ต้องการจัดอันดับ เช่น ปัญหาการเกิดทางของพนักงานขาย การแปลงค่าจริงใช้สำหรับการหา น้ำหนักที่เหมาะสมกับการคำนวณ [18]

เมื่อได้ข้อมูลที่ถูกแปลงให้เหมาะสมกับขั้นตอนวิธีเทคนิคอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม แล้ว จะต้องทำการสมโครโมโซมเหล่านี้ขึ้นมาเป็นประชากรเริ่มต้น โดยจำนวนโครโมโซมหรือประชากรแต่ละรุ่น ขึ้นอยู่ กับพารามิเตอร์ที่กำหนดขึ้นเอง ส่วนความยาวของโครโมโซมคือจำนวนตัวแปรของปัญหาโดยจะแทนด้วยจำนวนยีน ซึ่งจะมีผลต่อการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วย

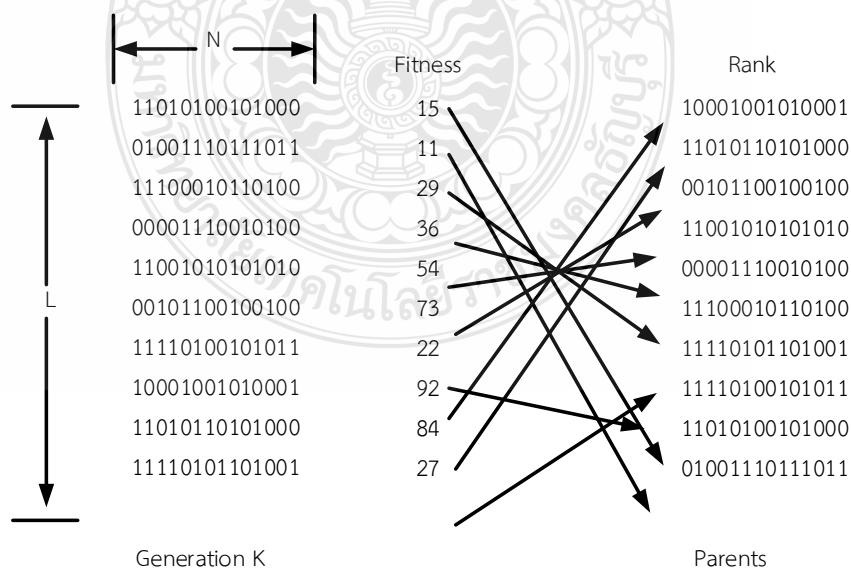
2) การประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Function)

ในส่วนของการประเมินความเหมาะสมจะเป็นที่วิเคราะห์ได้ยากที่สุดเนื่องจากไม่มีวิธีการที่ตายตัวในการกำหนด ซึ่งการประเมินความเหมาะสมนี้จะต้องวิเคราะห์ที่ลักษณะของปัญหาและรูปแบบของคำตอบที่ต้องการ

เหตุที่ค่าความเหมาะสมมีความสำคัญเนื่องจากค่าความเหมาะสมจะให้ค่า fitness value กับแต่ละโครโมโซม เพื่อใช้ในการตัดสินใจในการเลือกโครโมโซมพ่อแม่ หรือโครโมโซมที่จะกลายเป็นรุ่นต่อไป โดยถ้าหากโครโมโซมใดมีค่า Fitness value ต่ำก็จะถูกทิ้งไปเปิดโอกาสให้โครโมโซมที่มีค่า Fitness value สูงได้สืบทอดเป็นรุ่นต่อไป

3) การคัดเลือกโครโมโซม (Selection)

หลักการทั่วไปของการคัดเลือก ก็คือโครโมโซมที่เหมาะสมที่สุดหรือโครโมโซมที่มีค่า Fitness value สูงจะมีโอกาสที่จะถูกเลือกมากกว่าโครโมโซมที่ด้อยกว่าโดยวิธีการคัดเลือกจะมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีเช่น Roulette-wheel selection, Local selection Stochastic universal sampling เป็นต้น

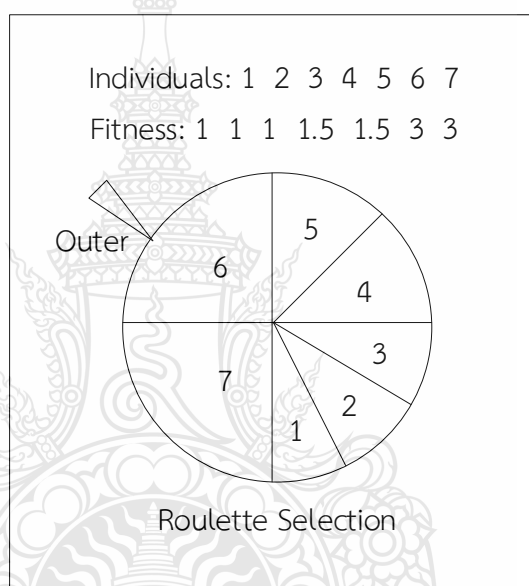


รูปที่ 2.21 ตัวอย่างการคัดเลือกแบบจัดอันดับ

4) Roulette-wheel selection

Roulette-wheel selection จะช่วยให้โครโมโซมที่เหมาะสมที่สุดมีโอกาสถูกเลือกมากที่สุด โดยที่วิธีนี้เปรียบกับการกำหนดช่องให้กับทุกโครโมโซม โดยที่ขนาดของช่องจะขึ้นอยู่กับค่าความเหมาะสม โครโมโซมใดมีค่าความเหมาะสมมาก โครโมโซมนั้นจะมีขนาดของช่องที่กว้างกว่า โครโมโซมที่ด้อยกว่า [18]

เมื่อกำหนดช่องให้กับทุกโครโมโซมแล้ว จะทำการสมเพื่อที่จะหาโครโมโซม Parent โดยจะพบว่าโครโมโซมที่มีขนาดช่องทุกกว้างกว่า ย่อมมีโอกาสถูกเลือกได้มากกว่านั่นเองดังแสดงรูปที่ 2.22



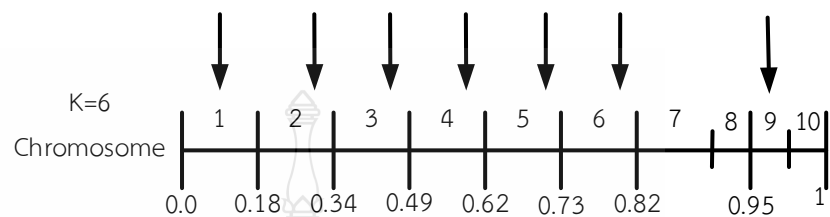
รูปที่ 2.22 Roulette-wheel selection (El-Ghazali Talbi, 2009)

โดยการหมุน 1 รอบจะได้โครโมโซม 1 ตัว จำนวนครั้งของการหมุนวงล้อจึงเท่ากับจำนวนประชากรที่ต้องการ ดังรูปที่ 2.22 มีโครโมโซมทั้งหมด 7 ตัว แต่ละโครโมโซมมีค่า fitness แตกต่างกันจะมีพื้นที่ไม่เท่ากันตามความน่าจะเป็นของการถูกเลือก เมื่อทำการหมุน และชี้ที่โครโมโซมตัว ที่ 6 และ 7 จึงได้รับการคัดเลือกมากกว่า

5) Stochastic universal sampling

Stochastic universal sampling น่าจะใช้วิธี Roulette-wheel selection มาประยุกต์ใช้งานโดย แตกต่างกันตรงที่การเลือกโครโมโซม parent ซึ่งวิธี Roulette-wheel selection จะทำการสุ่มตัวเลขเพื่อเลือกโครโมโซม Parents ถ้าหากต้องการโครโมโซม Parents จำนวน k ตัว ก็

ทำการสุ่มทั้งหมด k ครั้ง สำหรับวิธีการ Stochastic universal sampling นั้นจะไม่ใช้การสุ่มในการเลือกโครโมโซม Parents ทุกตัวแต่ละจะสุ่มเฉพาะค่าแรกเท่านั้นส่วนค่าถัดไปใช้วิธีการคำนวณจากสูตร $1/k$ โดยที่ k คือจำนวนพ่อแม่ที่ต้องการหาซึ่งสามารถแสดงวิธีการได้ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 การเลือกโดยใช้วิธี Stochastic universal sampling

รูปที่ 2.23 กำหนดให้จำนวนโครโมโซมพ่อแม่ เท่ากับ 6 ดังนั้นจึงนำ $1/6$ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ เท่ากับ 0.167 และนำค่านี้ไปเป็นค่าช่วงทางระหว่างจุดที่เลือก ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากรูปที่ 2.23 คือเลือกโครโมโซมที่ 1,2,3,5,6,9 มาเป็นโครโมโซมพ่อแม่

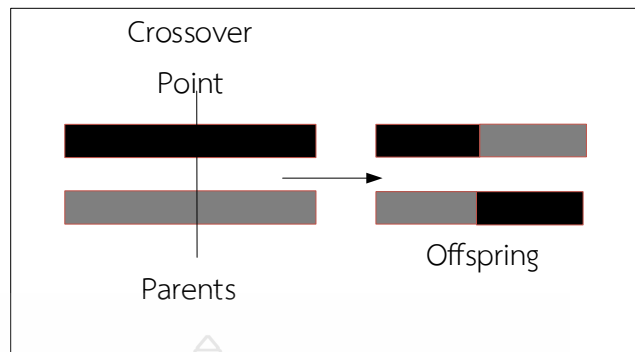
6) การครอสโอเวอร์ (Crossover)

เป็นวิธีการสร้างโครโมโซมลูกนั้นจะเกิดจากโครโมโซมพ่อแม่ โดยจะเลือกยีนในโครโมโซมพ่อแม่ มาสร้างเป็นโครโมโซมลูก ซึ่งใช้วิธีการ Crossover ซึ่งการ Crossover นี้จะทำให้เกิดโครโมโซมลูกขึ้นมาสองโครโมโซม โดยที่สามารถแบ่งวิธีการ Crossover ได้ดังต่อไปนี้ [18]

6.1) Single-point crossover

วิธีการ Single-point crossover นี้จะเลือกจุดเพียงจุดเดียวในการ Crossover ซึ่งจะเลือกตำแหน่งโดยวิธีการสุ่ม

ตัวอย่าง Single-point crossover แสดงเป็นเลขฐานสองซึ่งมีจำนวนยีนในแต่ละโครโมโซมให้เท่ากับ 10



รูปที่ 2.24 Single-point crossover

เลือกจุด Crossover โดยวิธีการสุ่มซึ่งได้ผลลัพธ์เป็นตำแหน่งที่ 5

Parent 1 1 0 0 1 0 0 0 0 1 1

Parent 2 1 1 1 0 1 1 0 10 0

จากนั้นทำการ Crossover ดังรูปที่ 2.23 ก็จะได้โครโมโซม Offspring ซึ่งสืบทอดยีน

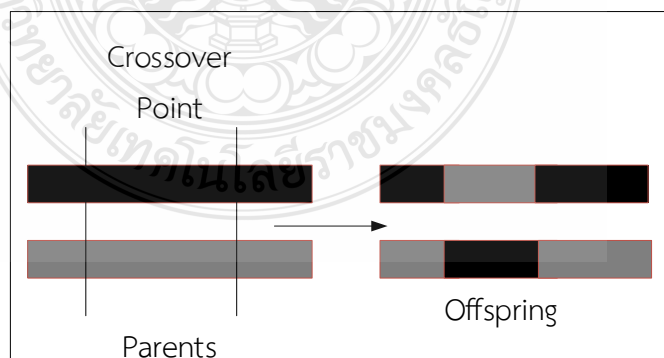
มาจากโครโมโซม Parents

Offspring 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0

Offspring 1 1 1 0 1 0 0 0 1 1

6.2) Multi-point crossover

วิธีการ Multi-point crossover นี้จะคล้ายกับการ Crossover แบบ Single-point Crossover โดยเพิ่มจำนวนจุดใน Crossover ซึ่งจำนวนจะในการ Crossover จะต้องเป็นพารามเตอร์ที่กำหนดมาแล้ว ส่วนตำแหน่งในการ Crossover นั้นจะเกิดขึ้นมาจากการสุ่ม



รูปที่ 2.25 Multi-point crossover

ตัวอย่าง Multi-point crossover แสดงเป็นเลขฐานสอง และขนาดของยีนใน

โครโมโซม Parents มีขนาดเท่ากับ 12

Parents 1 0 0 1 0 0 0 0 1 1 0 1

Parents 2 1 1 1 0 1 1 0 1 0 0 1 1

ต้องการจุดในการ Crossover เท่ากับ 3 ดังนั้นจึงทำการสุ่มตำแหน่งมาทั้งหมด 3

ตำแหน่งคือจุดที่ 2,6 และจุดที่ 9

Parents 1 10 0100 001 101

Parents 2 11 1011 010 011

ทำการ Crossover โดยอ้างอิงจากรูปที่ 2.24 จะได้โครโมโซม Offspring ซึ่งสืบทอด

ยีนมาจากโครโมโซม Parents

Offspring 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0 1 1

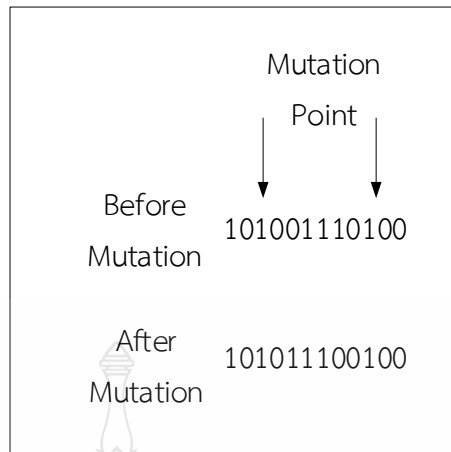
Offspring 2 1 1 0 1 0 0 0 1 0 1 0 1

7) การกลายพันธุ์ (Mutation)

เนื่องจากโครโมโซม Offspring ที่เกิดจากโครโมโซม Parents นั้นอาจมีความคล้ายคลึงกับโครโมโซม Parents มากเกินไปอาจทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ไม่ดีพอเนื่องจากไม่เกิดการพัฒนาในรุ่นถัดไป ดังนั้นจึงมีกระบวนการการผ่าเหล่า เพื่อให้โครโมโซม Offspring แตกต่างออกไปจากเดิมแต่จะยังคงรักษาเค้าโครงของโครโมโซม Parent เอาไว้ การ Mutation นั้นมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ข้อดีคือโครโมโซม Offspring ที่ผ่าเหล่าอาจจะให้ค่า Fitness value ดีกว่าโครโมโซม Parents แต่ข้อเสียก็คือ ในบางครั้งโครโมโซม Offspring ที่ผ่าเหลานั้นอาจเป็นโครโมโซมที่ไม่เหมาะสมจำเป็นต้องกำจัดทิ้ง ดังนั้นอัตราการ Mutation จึงจำเป็นต้องมีค่าต่ำเพิ่มไม่ให้โครโมโซม Parents มากเกินไป[18]

7.1) Binary mutation

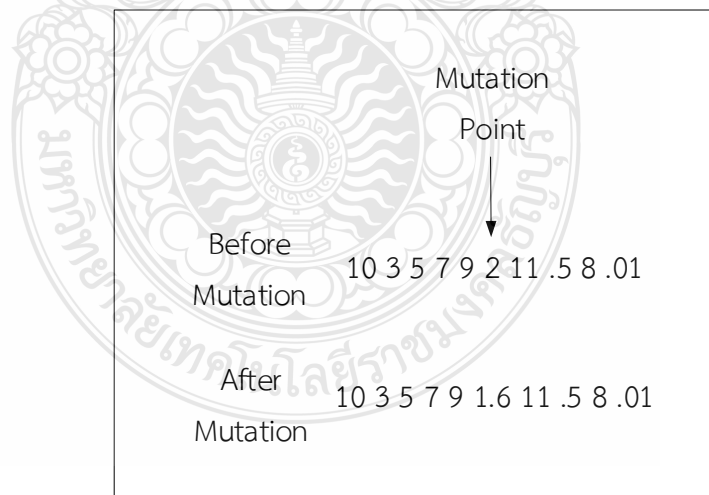
Binary mutation จะใช้กับโครโมโซมที่มียีนเป็นข้อมูลแบบเลขฐานสอง การ Mutation นั้นจึงมีอยู่แค่ 2 ค่าเท่านั้นคือ “0” และ “1” ส่วนตำแหน่งและจำนวนของการ Mutation นั้นหาได้จาก วิธีการสุ่มรูปที่ 2.26 แสดงตัวอย่าง Binary mutation โดยจำนวนในการ Mutation เท่ากับ 2 ตรง ตำแหน่งนี้ 5 และ 8



รูปที่ 2.26 แสดงตัวอย่าง Binary mutation

7.2) Real value mutation

Real value mutation จะใช้กับโครโมโซมที่ยีนเป็นค่าจริง ซึ่งยีนประเภทนี้อาจใช้ในการหาพารามเตอร์คำตอบของปัญหา ดังนั้นการ Mutation จึงระบุเจาะจงค่าและวิธีการที่แน่นอนไม่ได้จะต้องวิเคราะห์ชนิดของปัญหาด้วยโดยส่วนใหญ่ตำแหน่งและจำนวนของการ Mutation จะขึ้นอยู่กับการสุ่มตัวอย่างในรูปที่ 2.27 เป็นการ Mutation โดยวิธี Real value mutation



รูปที่ 2.27 แสดงตัวอย่าง Real value mutation

2.15 ระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร ประเทศกัมพูชา

2.15.1 สถานการณ์ทั่วไปจังหวัดกำแพงเพชรประเทศกัมพูชา

จังหวัดกำแพงเพชรตั้งอยู่ในตรงกลางของราชอาณาจักรกัมพูชาห่างจากพนมเปญ 168 กม. ติดกับ พระวิหาร สติงแตรง กระแจะ กัมปงจาม กัมปงชนาง โพธิสัตว์ และเสียมราฐ แบ่งออกเป็น 1 เมือง 8 อำเภอ 73 ตำบล 8 ตำบล 767 หมู่บ้าน มีประชากร 177,728 คน ครัวเรือน เท่ากับ 839,991 คน เพศหญิง 425,846 คน ความหนาแน่นของประชากร 55 คน / ตารางกิโลเมตร จังหวัดมีพื้นที่ทั้งหมด 15,061 ตารางกิโลเมตร เท่ากับ 1,506,197 เฮกตาร์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือพื้นที่ด้านล่างถนนหลวง หมายเลข 6 เป็นพื้นที่ราบลุ่มยื่นออกไปถึงปากโตนเลสาบ เหมาะแก่การเพาะปลูกข้าวมาก และการตกปลา พื้นที่เหนือทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 6 เป็นพื้นที่ดอนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเพาะปลูก เช่น ยางพารา เม็ดมะม่วงหิมพานต์ และมันสำปะหลัง [19]

จังหวัดกำแพงเพชรมีเส้นทางแม่น้ำหลัก 4 สาย คือ

- 1) สติงเสน ยาว 520 กม. กำเนิดจากเทือกเขาดังเกรก ไหลผ่านจังหวัดกำแพงเพชร ยาว 257 กม. พื้นที่น้ำ 1,634,4421 เฮกตาร์
- 2) สติงชินิต ยาว 275 กม. มีถิ่นกำเนิดในเปรยลางและเปรยอันเทน พื้นที่น้ำ 707,041 เฮกตาร์ บนแม่น้ำสายนี้มีพื้นที่ก่อสร้างฝักระวังน้ำคือเขื่อนสติงชินิต หรือ 1 มกรา ซึ่งมีการชลประทานทุกวัน
- 3) สติงแทงกระสัง ยาว 103 กม. ปริมาณน้ำฝน 116,627 เฮกตาร์ บนแม่น้ำสายนี้มีการก่อสร้างเขื่อนน้ำเขื่อนอ่างเก็บน้ำท้ายกระสังหรือ 6 มกรา ซึ่งมีการชลประทานทุกวัน
- 4) สติงสotong ยาว 155 กม. พื้นที่น้ำ 435,239 เฮกตาร์ บนแม่น้ำสายนี้มีการก่อสร้าง 2 แห่ง คือ เขื่อนเก็บน้ำสะโตง หรือ 30 กันยายน และเขื่อนโค้งตรง

จังหวัดนี้มีถนนสายหลัก 5 สาย ได้แก่

- 1) ถนนแห่งชาติหมายเลข 6 ยาว 144 กม. จากชายแดนจังหวัดกำปงจามถึงชายแดน จังหวัดเสียมราฐ
- 2) ถนนแห่งชาติหมายเลข 62 ยาว 36 กม. จากตัวจังหวัดถึงชายแดนจังหวัดพระวิหาร
- 3) ถนนแห่งชาติหมายเลข 71 ยาว 15 กม. จากอำเภอบารายถึงชายแดนจังหวัดกำปงจาม
- 4) ถนนแห่งชาติหมายเลข 50C ยาว 19 กม. จากหมู่บ้านตระเปียงเวงถึงอำเภอกำปงเล้ง จังหวัดกำปงชนาง

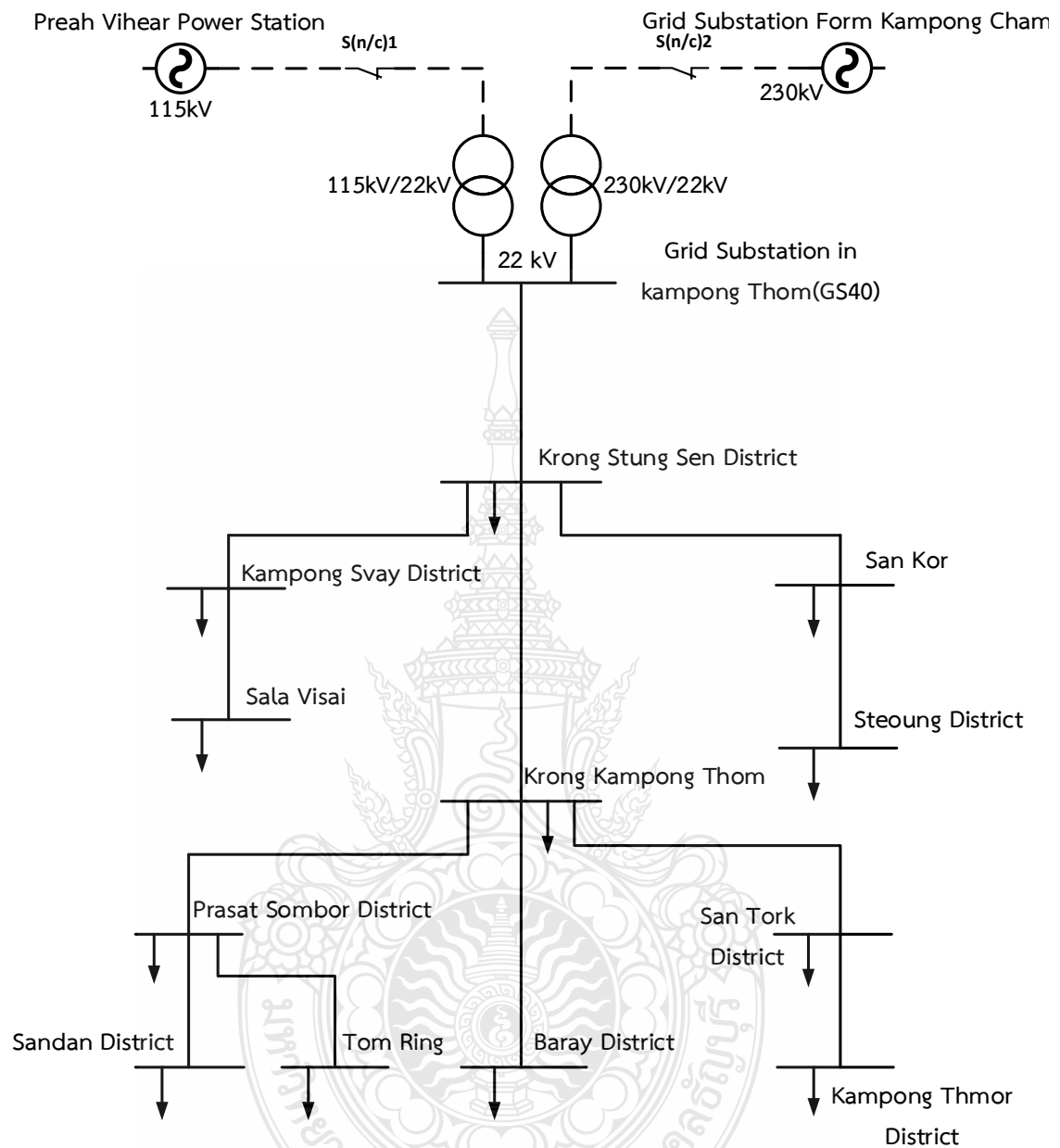
5) ถนนแห่งชาติหมายเลข 60B ยาว 52 กม. จากเมืองกำแพงมอถึงจังหวัดกำแพงมอ

2.15.2 สถานที่ท่องเที่ยวจังหวัดกำแพงมอประเทศกัมพูชา

จังหวัดกำแพงมอมีสถานที่ท่องเที่ยวที่สำคัญ 14 แห่ง สถานที่ท่องเที่ยวอดนียมคือ สถานที่ท่องเที่ยวทางวัฒนธรรมและประวัติศาสตร์ Sambor Prei Kuk (จารึกไว้ในรายชื่อมรดกโลกเมื่อวันที่ 8 กรกฎาคม 2017 ที่เมือง Krakow ประเทศโปแลนด์) รีสอร์ทวัฒนธรรมประวัติศาสตร์ วัดกุโนกอร์ , รีสอร์ทวัฒนธรรมธรรมชาติพนมขันตูก, รีสอร์ทธรรมชาติตึงเพรียโปร, รีสอร์ทไร่เคิลบิงสำราญ และรีสอร์ทไร่เคิลตึงชินิต นอกจากนี้ จังหวัดยังมีชุมชนการท่องเที่ยวและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ 14 แห่ง และรีสอร์ทท่องเที่ยวเชิงเกษตร 1 แห่ง บริการอื่นๆ ที่จัดไว้เพื่อการท่องเที่ยว ได้แก่ โรงแรม 8 แห่ง เกสต์เฮาส์ 83 แห่ง และร้านอาหาร/โรงอาหาร 115 แห่ง

2.15.3 การไฟฟ้าที่จังหวัดกำแพงมอประเทศกัมพูชา

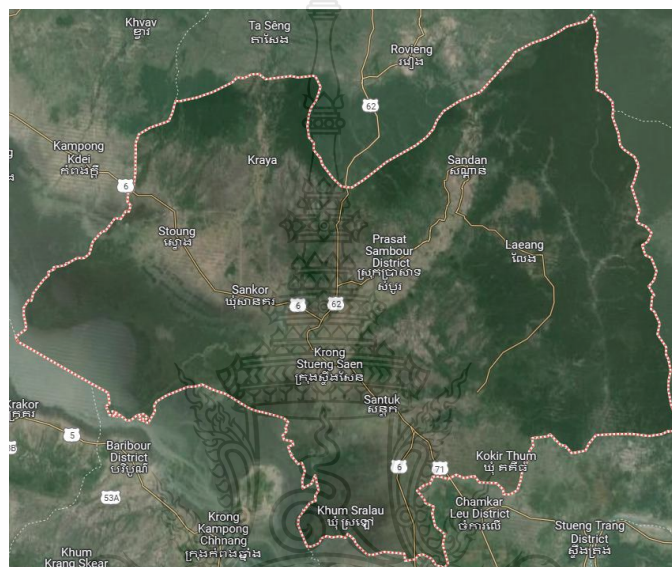
จังหวัดกำแพงมอมีสถานีย่อยไฟฟ้า 1 แห่งที่สร้างเสร็จ [20] และเปิดใช้งานอย่างเป็นทางการในปี 2563 มีกำลังการผลิต 50 เมกะวัตต์ แหล่งไฟฟ้าหลักมี 2 แหล่ง คือ สถานีไฟฟ้าย่อยพระวิหาร 115 กิโลวัตต์ และสถานีย่อยไฟฟ้ากำแพงมอ 230 กิโลวัตต์ จำนวนสถานีย่อยผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าทั่วจังหวัด 21 สถานี อัตราหมู่บ้านที่มีไฟฟ้าใช้เพิ่มขึ้นจาก 84.22% ในปี 2561 เป็น 97.91% ของ 767 หมู่บ้านทั่วจังหวัด



รูปที่ 2.28 ระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังของจังหวัดกำปงธม ประเทศกัมพูชา

รูปที่ 2.28 จะแสดงให้เห็นเส้นทางสายส่งในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังของจังหวัดกำปงธม ประเทศกัมพูชา โดยจะการรับสองเส้นทาง คือเส้นทางแรกนำมาจากจังหวัดพระวิหาร Preah Vihear Power Plan Station ขนาด 115 kV สำหรับส่งไฟฟ้ากำลังไปยังที่สถานีย่อย Grid Substation in Kampong Thom และเส้นทางสองคือรับจากที่กำปงจาม Grid Substation in Kampong Cham ขนาด 230 kV สำหรับส่งไปยังที่สถานีย่อย Grid Substation in Kampong Thom และทำการแปลง

แรงดันไฟฟ้าโดยต่อหม้อแปลงส่งให้ผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดกลาง 22kV ทั่วจังหวัดและต่อหม้อแปลงลดแรงดัน (แรงดันต่ำ) 380V/220V ส่งให้แต่ละหมู่บ้านใช้ สำหรับการใช้งานในพื้นที่ อย่างไรก็ตามยังมีบาง พื้นที่ที่ไฟฟ้ากำลังส่งไม่ถึง[21] จึงเกิดปัญหาการขาดแคลนไฟฟ้ากำลังสูญเสียในระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลังไปยังผู้ใช้งาน และโพรไฟล์แรงดันไม่คงที่ ปัญหาส่วนนี้เกิดขึ้นใน พื้นที่ปลายสายของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง



รูปที่ 2.29 แผนที่พื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร ประเทศกัมพูชา [21]

ปัญหาที่เกิดขึ้นข้างบนเป็นปัจจัยที่จัดทำวิทยานิพนธ์นี้ขึ้นมา มีวัตถุประสงค์แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังในพื้นที่ห่างไกล จังหวัดกำแพงเพชร ประเทศกัมพูชา โดยนำเสนอการหาขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมของการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์เข้ากับในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังด้วยใช้เทคนิคเชิงพันธุกรรม ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้จะทำการนำเสนอการหาขนาด และตำแหน่งของตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ที่เหมาะสม ด้วยเทคนิคเชิงพันธุกรรมหลายวัตถุประสงค์โดยทำการจำลองบนระบบไฟฟ้ากำลังมาตรฐาน IEEE เพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง คือโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง และการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ กำลังไฟฟ้าร์แอ็กทีฟบนระบบที่เกิดจากสายส่งไฟฟ้าในระยะทางไกล เกิดจากหม้อแปลงไฟฟ้า และอุปกรณ์อื่นๆ ทำให้ระบบการส่งจ่ายไฟฟ้ากำลังแย่ง คัดศึกษาผลกระทบที่ส่งผล ในการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ที่มีผลกระทบต่อระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง เพื่อสร้างองค์ความรู้ที่สามารถนำมาทำการประยุกต์ใช้ในการพิจารณาการติดตั้งจากกรณีศึกษาประกอบวางแผนปรับปรุง ระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังในอนาคต ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการหาขนาด และตำแหน่งในการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ เพื่อลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ ลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าร์แอ็กทีฟ และปรับปรุงโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้าให้มีเสถียรภาพ

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ใช้โปรแกรม MATLAB Version R2020a เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ ประยุกต์ใช้ในผลกระทบของระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการดังต่อไปนี้

1) ทำการจัดเตรียมคอมพิวเตอร์หนึ่งเครื่อง และพารามิเตอร์ต่างๆ ในระบบ จำหน่ายไฟฟ้ากำลังมาตรฐาน IEEE 15 บัส และระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดกำแพง ธร ประเทศกัมพูชา เพื่อนำค่ามาป้อนเข้าในโปรแกรม MATLAB Version R2020a

2) ทำการวิเคราะห์อัตราการใช้ของไฟฟ้ากำลังที่เกิดการสูญเสียในระบบส่ง จ่าย เพื่อหาปัญหาที่เกิดขึ้นของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังมาตรฐาน IEEE 15 บัส และระบบจำหน่าย ไฟฟ้ากำลังในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดกำแพง ธร ประเทศกัมพูชา

3) นำอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) มาทำการคำนวณ และ วิเคราะห์ผลโดยหาตำแหน่ง และขนาดการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ที่เหมาะสม เข้ากับระบบส่งจ่าย ไฟฟ้ากำลัง

4) ทำการเปรียบเทียบการคำนวณ และวิเคราะห์ผลลัพธ์จากก่อนและหลังทำการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ และทำการวิเคราะห์การลงทุนทางเศรษฐศาสตร์ในการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ ตรวจสอบประสิทธิภาพที่เกิดขึ้น

5) ทำการสรุปผล

3.2 กรณีศึกษาที่ 1 การวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังมาตรฐาน IEEE 15 บัส

การศึกษาวិเคราะห์การไหลของระบบไฟฟ้ากำลังเมื่อก่อนที่จะทำการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์นั้นจะนำเสนอวิธีการคำนวณย้อนกลับ - ไปข้างหน้าเพื่อวิเคราะห์การไหลของระบบไฟฟ้ากำลังในสถานะสมดุลจะประกอบไปด้วย [22]

1) การคำนวณกระแสในสายจะเริ่มจากกระแสที่โหนดใดๆ จะมีค่าเป็น

$$I_i^k = \left(\frac{S_i}{V_i^{(k-1)}} \right)^* - Y_i V_i^{(k-1)} \quad (3.1)$$

เมื่อ S_i เป็นกำลังที่โหนด i ($S_i = P_i \pm jQ_i$)

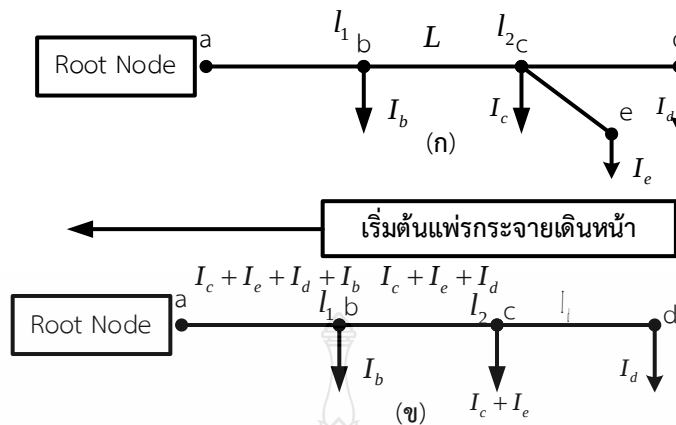
Y_i เป็นผลรวมของแอดมิตแตนซ์ส่วนลงดินทั้งหมดที่โหนด i

$V_i^{(k-1)}$ เป็นแรงดันที่โหนด i ณ รอบคำนวณที่ $(k-1)$

การคำนวณกระแสเริ่มจากให้ขนาดแรงดันเป็น $1 p.u$ และมุมแรงดันเป็นศูนย์ ที่ทุกๆโหนด การคำนวณกระแสในสายเริ่มจากการคำนวณที่เรียกว่าการแพร่กระจายถอยหลังโดยในรอบคำนวณที่ k จะคำนวณกระแส j ในสายที่สุดท้ายจนกระทั่งเข้าสู่รูตโหนด (Root node) หรือรูตบัส (Root bus) โดยกระแสที่สาย L หาได้จาก

$$J_L^k = -I_{L2}^k + \sum (\text{กระแสในสายที่พุ่งมาจากที่โหนด}) \quad (3.2)$$

กระแสในสายดังสมการที่ (3.2) อาจเขียนเป็นภาพภาพได้ดังรูปที่ 3.1 โดยกระแสจะถูกเริ่มหาจากปลายสายดัง รูปที่ 3.1 (ข)



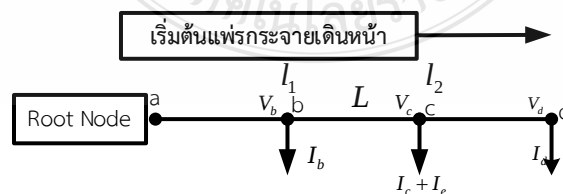
รูปที่ 3.1 กระแสในสายส่ง (ก) ตัวอย่างระบบไฟฟ้าแบบเรเดียล (ข) ค่ากระแสในสายส่งแต่ละช่วง

การคำนวณแรงดันจะมีลักษณะการแพร่กระจายแบบเดินหน้า เริ่มต้นจากบัสอ้างอิง หรือจุดโหนด โดยที่ ค่าแรงดันกำหนดให้มีค่าคงที่ และมุมเฟสเป็นศูนย์ ส่วนค่าแรงดันและมุมเฟสของแรงดันที่บัสอื่นๆ ถัดไปจากบัส อ้างอิงในรอบคำนวณที่ k จะถูกคำนวณค่าแรงดันที่บัส เรื่อยไปสู่อบัสสุดท้ายด้วยสมการที่ 3.3 [22]

$$V_{L2}^{(k)} = V_{L1}^{(k)} - Z_L J_L^{(k)} \quad (3.3)$$

เมื่อ Z_L ค่าอิมพีแดนซ์อนุกรมของสายส่งช่วง L ระหว่างโหนด l_2 และ l_1
 l_2 เป็นโหนดปลายทาง
 l_1 เป็นโหนดต้นทาง

2) การแพร่กระจายเดินหน้าของแรงดันแสดงได้ในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าโหนดแบบเดินหน้า

การคำนวณค่ากระแสแบบแพร่กระจายถอยหลังและการคำนวณค่าแรงดันแบบการแพร่กระจายเดินหน้าจะกระทำในลักษณะวนซ้ำ ในแต่ละรอบการคำนวณจะตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของแรงดันที่พอยอมรับได้ (Mismatch) ของค่าแรงดันในแต่ละบัสดังแสดงในสมการที่ 3.4

$$\Delta V_j^k = V_j^k - V_j^{k-1} \quad (3.4)$$

เมื่อ ΔV_j^k เป็นค่าความคลาดเคลื่อนของแรงดันที่พอยอมรับได้ที่บัส j หลังจากการคำนวณในรอบที่ k V_j^k และ V_j^{k-1} เป็นแรงดันที่บัส j ในรอบการคำนวณที่ k และ $(k-1)$ ตามลำดับ [22]

หรือการเข้าสู่คำตอบของแรงดันอาจตรวจสอบได้จากผลต่างของค่าอื่นๆ ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} |\operatorname{Re}(\Delta V_j^k)| &\leq \varepsilon \\ |\operatorname{Im}(\Delta V_j^k)| &\leq \varepsilon \\ |\Delta V_j^k| &\leq \varepsilon \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

เมื่อ ε เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่พอยอมรับได้

ค่าแรงดันที่บัสต่างๆที่เป็นคำตอบนั้นจะได้จากการคำนวณในรอบที่สุดท้าย ซึ่งรอบสุดท้ายนี้จะเกิดขึ้น เมื่อผลต่างของแรงดันไฟฟ้าทุกบัส มีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าความคลาดเคลื่อนที่พอยอมรับที่กำหนด และค่ากระแสในแต่ละสาขาสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.2)

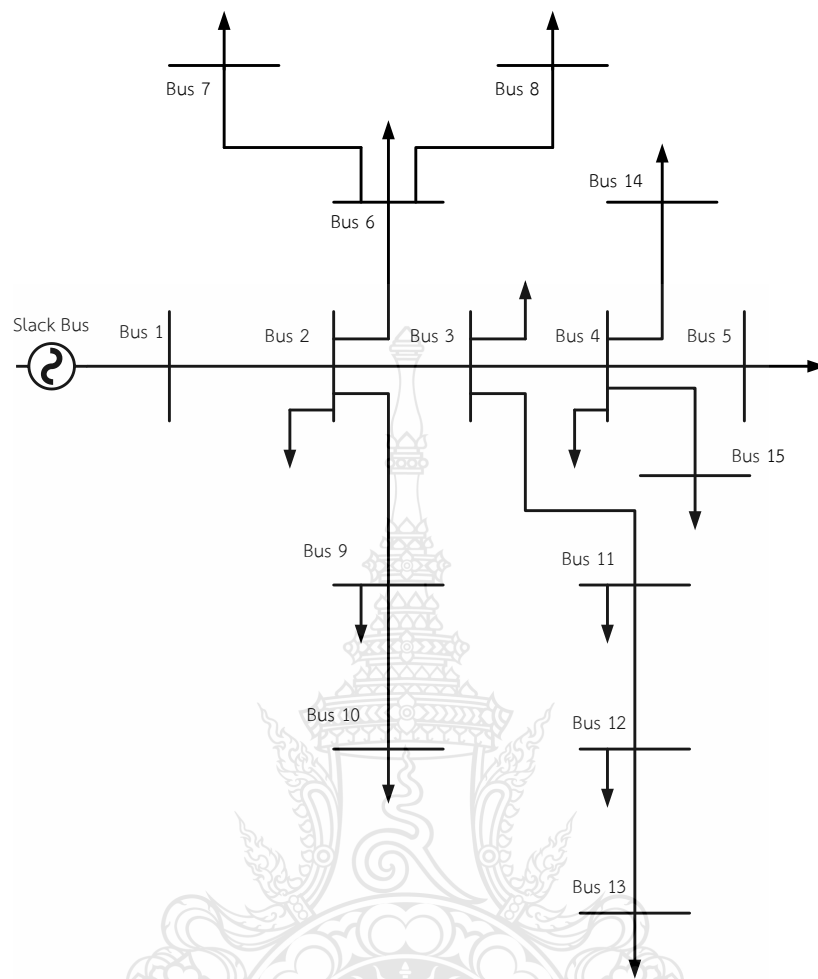
การวางแผนการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แรงค์ในกรณีต่างๆ โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์อัตราการใช้ของไฟฟ้ากำลังของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง มาตรฐาน IEEE 15 Bus ต่อไปนี้

- ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าตัวแปรมาตรฐานประกอบไปด้วยค่าตัวแปรสายส่ง และค่าตัวแปรโหลดในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้ามาตรฐาน IEEE 15 Bus แสดงในรูปที่ 3.3

- ขั้นตอนที่ 2 ใช้วิธีไปข้างหน้า คือทำการคำนวณหาแรงดันของแต่ละบัส

- ขั้นตอนที่ 3 ใช้วิธีย้อนกลับ คือทำการคำนวณหากระแสของแต่ละบัส

- ขั้นตอนที่ 4 ทำการสรุปผลการวิเคราะห์อัตราการใช้ของไฟฟ้ากำลังในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังมาตรฐาน IEEE 15 Bus เพื่อเข้าสู่กระบวนการหาดำแหน่ง และขนาดที่มีความเหมาะสมที่จะทำการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แรงค์



รูปที่ 3.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังมาตรฐาน IEEE 15 Bus

3.3 กรณีศึกษาที่ 2 การวิเคราะห์การหาตำแหน่งและขนาดของการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบคด้วยอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมกับระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังมาตรฐาน IEEE 15 บัส

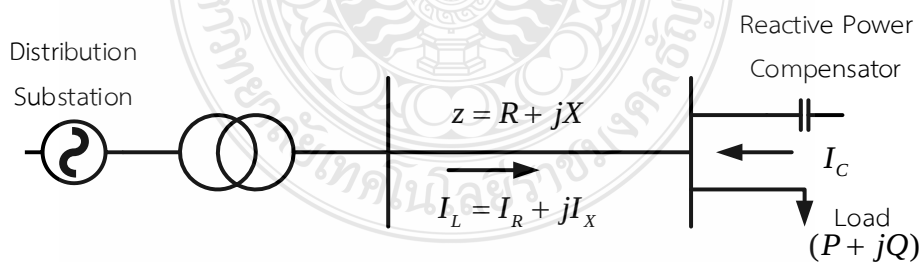
เป้าหมายการค้นหาค่า และตำแหน่งติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบคเพื่อจะแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นหลังจากการวิเคราะห์การไหลของการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังมาตรฐาน IEEE 15 Bus คือความไม่เสถียรภาพทางระบบแรงดันไฟฟ้าทั้งการจ่ายกำลังไฟฟ้า ที่ไม่ทั่วถึง ระดับแรงดันที่ไม่เหมาะสม และกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบที่มากเกินไป ดังนั้นผู้วิจัยนำเสนอ วิธีการหาขนาด

และตำแหน่งของการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แรงค์ในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้ามาตรฐาน IEEE 15 Bus ตามวิธีเทคนิคอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม [23]

ในการหาตำแหน่ง และขนาดของการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แรงค์ จึงจำเป็นต้องการคำนวณค่าต่างๆ เมื่อเราทำการพิจารณาการลดการสูญเสียของไฟฟ้ากำลัง การติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แรงค์ ราคาของตัวคาปาซิเตอร์แรงค์ และค่าการบำรุงรักษาได้ต่อไปนี้

3.3.1 ตำแหน่งของตัวคาปาซิเตอร์แรงค์

หน้าที่ของการกำหนดตำแหน่งตัวคาปาซิเตอร์แรงค์ที่เหมาะสมในระบบไฟฟ้ากำลังคือการลดการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอ็กทีฟ และการสูญเสียพลังงานในสายส่ง ขั้นตอนแรกในการวิจัยนี้คือการคำนวณการไหลของพลังงานในระบบพลังงานไฟฟ้าก่อนที่จะได้รับการชดเชยโดยใช้วิธีการคำนวณย้อนกลับ - ไปข้างหน้า [24] วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์การไหลของพลังงานนี้คือการค้นหาขนาดของโปรไฟล์แรงดันไฟฟ้า และการสูญเสียพลังงานในระบบพลังงานไฟฟ้า หลังจากการวิเคราะห์การไหลของพลังงานเสร็จสิ้น และได้รับขนาดแรงดันไฟฟ้า และการสูญเสียพลังงานจากนั้นตำแหน่งและขนาดของค่าตัวคาปาซิเตอร์แรงค์จะถูกกำหนดโดยใช้วิธีอัลกอริทึมทางพันธุกรรม ตัวคาปาซิเตอร์แรงค์เป็นอุปกรณ์ที่ผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอ็กทีฟ ณ จุดที่ติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แรงค์ และติดตั้งขนานกันตามสายจำหน่ายที่ควบคุมแรงดันไฟฟ้าและเพิ่มโปรไฟล์แรงดันไฟฟ้าบนบัสทุกตัว ควรติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แรงค์ควบคู่ไปกับโหลดซึ่งมีตัวประกอบกำลังลดลง เนื่องจากตัวคาปาซิเตอร์แรงค์เป็นแหล่งกำลังไฟฟ้ารีแอ็กทีฟบางส่วนหรือทั้งหมดที่จำเป็นตัวคาปาซิเตอร์แรงค์จะลดสายกระแสที่ไหลเข้าสู่โหลด และลดแรงดันไฟฟ้าตกดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ตัวคาปาซิเตอร์แรงค์ติดตั้งแบบขนาน

$$\Delta V_{drop} = I_L \times Z \quad (3.6)$$

$$\Delta V_{drop} = (I_R \times R) + (jI_X \times X_L) \quad (3.7)$$

แรงดันไฟฟ้าตกหลังจากติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบขนาน:

$$\Delta V_{drop} = (I_R \times R) + (jI_X \times X_L) - (jI_C \times X_L) \quad (3.8)$$

เมื่อ I_L คือกระแสสายส่ง Z คืออิมพีแดนซ์ I_C คือกระแสจากตัวคาปาซิเตอร์ และ ΔV_{drop} คือแรงดันตกคร่อม

3.3.2 ขนาดของตัวคาปาซิเตอร์แบบขนาน

ในการขนาดตัวคาปาซิเตอร์แบบขนาน และข้อจำกัดด้านกำลังไฟฟ้ารีแอ็กทีฟทั้งหมดคือมีลำดับต่อไปนี้

3.3.2.1 สูตรสำหรับการสูญเสียกำลังไฟฟ้า และกระแส

กระแสในสาขา (i, k) ที่เชื่อมต่อบัส i และ k ถูกกำหนดโดย

$$I_{ik} = \frac{P_{ik} - jQ_{ik}}{V_i} \quad (3.9)$$

เมื่อ

I_{ik} = กระแสในสาขา (i, k)

P_{ik} = การไหลของกำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟทั้งหมดในสาขา (i, k)

Q_{ik} = การไหลของกำลังไฟฟ้ารีแอ็กทีฟทั้งหมดในสาขา (i, k)

V_i = แรงดันที่โหนด (i)

และการสูญเสียกำลังไฟฟ้าทั้งหมดในสายส่งคือ:

$$TPL = \sum_{ik=1}^m |I_{ik}|^2 R_{ik} \quad (3.10)$$

เมื่อ

n = จำนวนกระแสในสาขา (i, k)

R_{ik} = ความต้านทานของสาขา (i, k)

กำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟที่ใช้งาน (I_d) และกำลังไฟฟ้ารีแอ็กทีฟ (I_r) [24] เป็นสององค์ประกอบของกระแสสาขาการสูญเสียทั้งหมดกำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟที่ใช้งานและกำลังไฟฟ้ารีแอ็กทีฟสามารถแสดงได้ในสมการต่อไปนี้:

$$TPL = TPL^a + TPL^r \quad (3.11)$$

เพราะฉะนั้น

$$TPL = \sum_{ik=1}^n |I_{ik}^a|^2 R_{ik} + \sum_{ik=1}^n |I_{ik}^r|^2 R_{ik} \quad (3.12)$$

ตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ดิ่ง I_C กระแสรีแอ็กทีฟและสำหรับกริดรัศมีจะเปลี่ยนเฉพาะส่วนประกอบของกระแสรีแอ็กทีฟของชุดสาขา α กระแสของสาขาอื่นไม่ได้รับผลกระทบจากตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ ในฐานของกระแสรีแอ็กทีฟใหม่ของสาขา (i, k) ถูกกำหนดโดย:

$$I_{rik}^{new} = I_{ik}^r + D_{ik} I_C^C \quad (3.13)$$

เมื่อ $D_{ik} = 1$, ถ้าสาขา $(i, k) \in \alpha$

$D_{ik} = 0$, อื่นๆ

จากสมการที่ (3.11) และ (3.12) ประหยัดการสูญเสียทั้งหมด (Total Loss Saving : TLS) สามารถแสดงเป็น:

$$TLS = \sum_{ik=1}^n (2D_{ik} I_{ik}^r + D_{ik} I_C^2) \times R_{ik} \quad (3.14)$$

I_C กระแสตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ที่ทำให้การประหยัดการสูญเสียสูงสุดสามารถรับได้จาก $d_s / dI_C = 0$ จากนั้น:

$$\sum_{ik=1}^m (2D_{ik} I_{ik}^r + D_{ik} I_C) \times R_{ik} = 0 \quad (3.15)$$

ดังนั้นกระแสตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ เพื่อการประหยัดการสูญเสียสูงสุดจะได้รับจาก:

$$I_C = \frac{-\sum_{ik \in \alpha}^n I_{ik}^r R_{ik}}{\sum_{ik \in \alpha}^n R_{ik}} \quad (3.16)$$

3.3.2.2 ข้อจำกัดการขนาดตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ และข้อจำกัดด้านกำลังไฟฟ้ารีแอ็กทีฟทั้งหมด

ขนาดตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ที่สอดคล้องกันคือ

$$Q_j^c = V_m \times I_C \quad (3.17)$$

เมื่อ Q_j^c = ขนาดตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ (kVar)

V_m = ขนาดแรงดันไฟฟ้าของบัส 'm'(V)

I_C = กระแสของตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ (A)

ในฐานของการฉีดของกำลังไฟฟ้ารีอคทีฟต้องอยู่ภายในขีดจำกัดต่ำสุด และสูงสุดที่เป็นไปได้ ดังนี้:

$$Q_{Cj}^{mn} \leq Q_{Cj} \leq Q_{Cj}^{\max} \quad (3.18)$$

กำลังไฟฟ้ารีอคทีฟ Q_{Cj} [23] ที่ตำแหน่ง j กำลังไฟฟ้ารีอคทีฟทั้งหมด Q_C^{Total} ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับกำลังไฟฟ้ารีอคทีฟโหลดทั้งหมด Q_L^{Total} เป็น:

$$Q_C^{Total} \leq Q_L^{Total} \quad (3.19)$$

3.3.3 วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจ (Objective Functions of Economic Analysis)

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาการจัดวางตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ที่เหมาะสมที่สุดคือการลดการสูญเสียพลังงานทั้งหมดของระบบที่กำหนดโดยสมการ :

$$\min P_{loss} = \sum_{(i,j) \in \text{line}} \frac{(P_{i,j}^2 + (Q_{i,j} - Q_{c,j})^2) R_{i,j}}{V_i^2} \quad (3.20)$$

$$\text{Subject to } Q_{gen,i} - Q_{load,i} - Q_{c,j} = \sum Q_{i,j} \quad (3.21)$$

$$Q_{Cj}^{min} \leq Q_{Cj} \leq Q_{Cj}^{\max} \quad (3.22)$$

อย่างไรก็ตามตำแหน่งของตัวคาปาซิเตอร์แบงค์จะเพิ่มการลงทุนและต้นทุนการติดตั้ง ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการจัดวางตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ที่เหมาะสมที่สุดคือการลดต้นทุนรวมต่อปีของระบบภายใต้ข้อจำกัดในการปฏิบัติงานโดยเฉพาะ หน้าที่วัตถุประสงค์ของสถานการณ์ปัญหานี้ถูกกำหนดขึ้นทางคณิตศาสตร์ดังแสดงใน [25]

$\min \text{ Cost } (\$/\text{Year})$ ค่าใช้จ่ายของการสูญเสียพลังงานและตำแหน่งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ดังต่อไปนี้:

$$\min \text{ Cost} = K_e \sum_{i=1}^{br} P_{loss(i)} + \sum_j (K_j^c \times Q_j^c) \quad (3.23)$$

$$\text{Subject to } Q_j^c = \sum_{j=1}^c Q_j X_j \quad (3.24)$$

$$Q_{demand} - Q_{cj} \geq Q_{\min} \quad (3.25)$$

$$Q_{demand} - Q_{cj} \leq Q_{\max} \quad (3.26)$$

$$Q_{Cj}^{\min} \leq Q_{Cj} \leq Q_{Cj}^{\max} \quad (3.27)$$

$$Q_C^{\text{Total}} \leq Q_L^{\text{Total}} \quad (3.28)$$

เมื่อ X_j คือตัวแปรการตัดสินใจ ($1 =$ ติดตั้ง, $0 =$ ไม่ติดตั้ง), K_e คือต้นทุนต่อปีที่เทียบเท่ากับหน่วยของการสูญเสียกำลังไฟฟ้าแอมป์เป็น (168\$/kW-ปี) $P_{loss(i)}$ คือการสูญเสียกำลังไฟฟ้าแอมป์ทั้งหมด j คือจำนวนที่เลือกติดตั้งของบัสสำหรับติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ K_j^c คือราคาของตัวคาปาซิเตอร์แบงค์เป็น (\$/kVar) ที่ขึ้นอยู่กับประเภทของขนาดตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ Q_j^c และการคำนวณระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) สามารถคำนวณได้ตามสมการนี้

$$\text{Payback Period} = \frac{\sum_j (K_j^c \times Q_j^c)}{\text{Annual savings}} \quad (3.29)$$

$$\text{เมื่อ } \text{Annual Savings} = \text{Cost Before} - \text{Cost After} \quad (3.30)$$

3.3.4 การวิเคราะห์หลายวัตถุประสงค์การติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์

เพื่อรวมฟังก์ชันเป้าหมายหลายวัตถุประสงค์ข้อเข้าไว้ด้วยกัน สามารถใช้ เทคนิคการถ่วงน้ำหนัก (Weighted Sum Method) โดย w_1 เป็นการถ่วงน้ำหนักของการลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้า $f_1 = \min P_{Loss}$ และ w_2 เป็นการถ่วงน้ำหนักของการลดต้นทุนในการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ในระบบไฟฟ้ากำลัง $f_2 = \min \text{ Cost}$ และ w_1 คือกำหนดเป็นร้อยละจาก (00 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100) และ w_2 คือกำหนดเป็นร้อยละจาก (100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 00) ดังนั้นเราสามารถเขียนสมการได้ต่อไปนี้

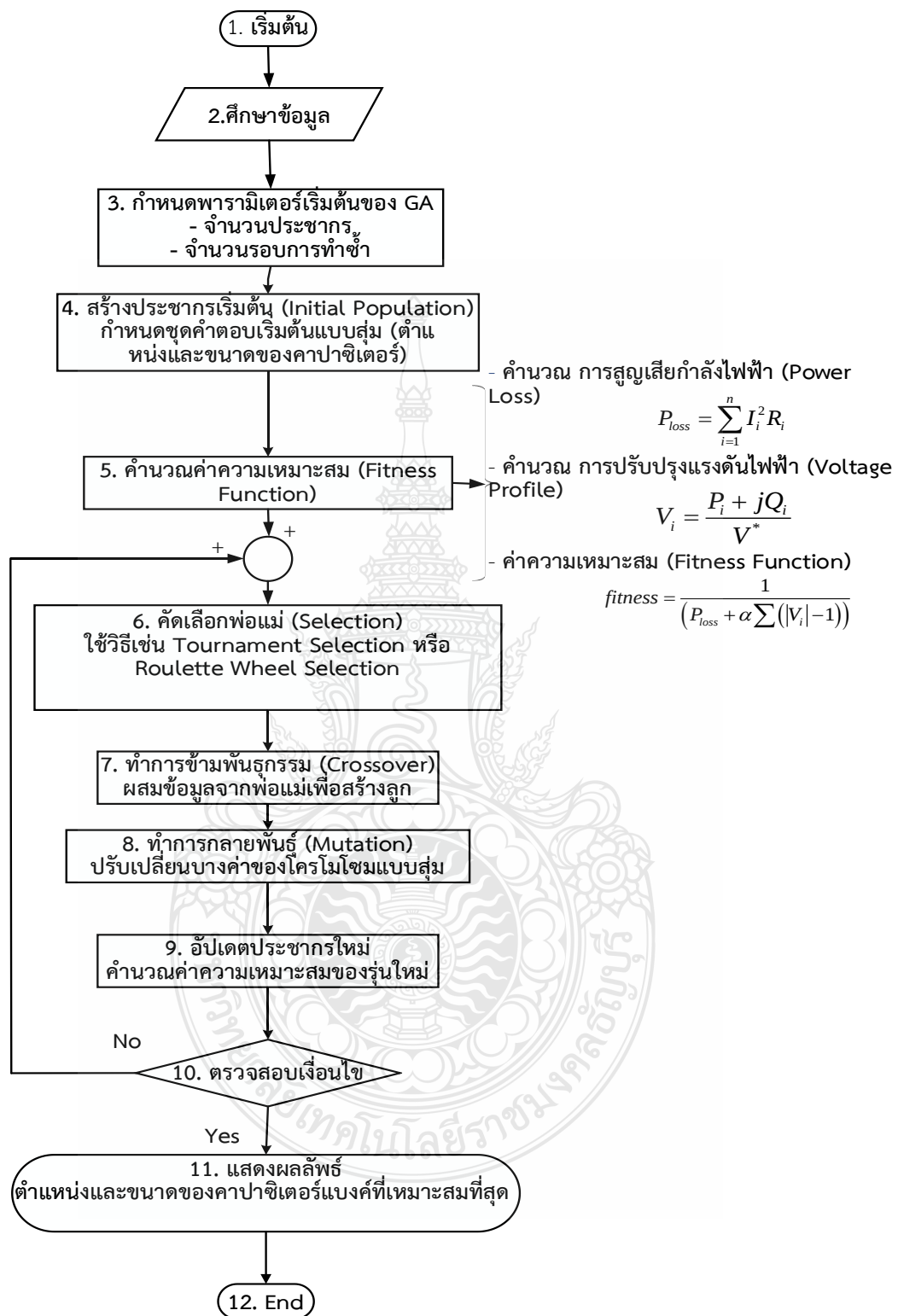
$$F = (w_1 f_1) + (w_2 f_2) \quad (3.31)$$

3.3.5 การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมทางพันธุกรรม

อัลกอริทึมทางพันธุกรรม ขึ้นอยู่กับกระบวนการพัฒนาพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตในประชากรธรรมชาติ ซึ่งค่อยๆ เป็นไปตามการคัดเลือกธรรมชาติหลัก ซึ่งบุคคลที่แข็งแกร่งที่สุดจะอยู่รอด อัลกอริทึมทำงานร่วมกับประชากรของบุคคลซึ่งแต่ละคนแสดงถึงวิธีแก้ปัญหาที่เป็นไปได้สำหรับปัญหาที่มีอยู่ บุคคลเป็นตัวแทนของคุณค่าการออกกำลังกายซึ่งจะใช้เพื่อค้นหาทางออกที่ดีที่สุด วิธี GA สามารถช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้าได้ การเข้ารหัสใน GA โดยทั่วไปเป็นเลขฐานสองที่กลายเป็นสตริงที่รวบรวมยีนกำลังสร้างโครโมโซม จากนั้นจะพบวิธีแก้ปัญหาและความเหมาะสมที่ดีที่สุดตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ พารามิเตอร์ที่ใช้ใน GA คือการสร้าง (จำนวนรุ่นสูงสุด) *popsiz*e (จำนวนประชากร) ความน่าจะเป็นของครอสโอเวอร์และการกลายพันธุ์ พารามิเตอร์ทางพันธุกรรมที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ ขนาดประชากร (N) ความน่าจะเป็นของครอสโอเวอร์ (Probability Crossover : PC) และความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ (Probability Mutation : Pm) ผลลัพธ์ของการดำเนินการทางพันธุกรรมจะได้รับการประเมินโดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้โครโมโซมที่รวมอยู่ในกระบวนการทำซ้ำ กระบวนการวิวัฒนาการของ GA จะหยุดลงเมื่อบรรลุน้ำหนักระบุ [25]

3.3.6 การดำเนินการของอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม

การนำ GA ไปใช้ในการวิจัยนี้คือการกำหนดบัสที่จะติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ ความมุ่งมั่นของตำแหน่ง และหมายเลขตัวคาปาซิเตอร์แบงค์แบบขนานขนาดจะติดตั้งและคาดว่าจะได้รับการปรับปรุงที่ดีที่สุดในระบบ เหมาะสมที่สุดในงานนี้หมายถึงการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าตกในการสูญเสียพลังงานของระบบลดลงในขณะที่ตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ที่ติดตั้งน้อยที่สุด ในการใช้ GA ในการค้นหาตำแหน่งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ในระบบโครโมโซมจะระบุตำแหน่ง และขนาดของตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ โครโมโซมแสดงถึงการติดตั้งไฟฟ้ารีแอ็กทีฟสำหรับระบบทุกครั้ง [25] ดังนั้นโครโมโซมที่ใช้จึงประกอบด้วย 100 ยีน ซึ่งตามจำนวนบัสในระบบที่ทดสอบ กระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพโดยใช้ Genetic Algorithm (GA) สามารถดูได้ในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนของโปรแกรมอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม

3.3.7 พารามิเตอร์ และฟังก์ชันวัตถุประสงค์

การวิจัยนี้มีพารามิเตอร์สองตัวในรูปที่ 3.6 ระบุว่าเป็นตำแหน่ง และขนาดของตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ ยืนยันในตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ประกอบด้วยสองค่า [25] ค่าแรกคือการระบุตำแหน่งโครโมโซมซึ่งเป็นหมายเลข 0 หรือ 1 หมายเลข 0 คือการระบุการไม่มีตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ในบัสนั้น ในขณะที่หมายเลข 1 คือการระบุตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ที่ติดตั้งบนบัสนั้น จากนั้นค่าที่สองจะมีข้อมูลเกี่ยวกับขนาดของตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ ค่านี้เป็นค่าจำนวนเต็มโดยการคูณ 10 ตามตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ที่ใช้ 10 kVar ค่าอื่นประกอบด้วย 150 ถึง 1200 kVar

			150					300				150		
0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	

รูปที่ 3.6 แบบจำลองโครโมโซมบนระบบ

หลังจากกำหนดจำนวนค่าอื่นในโครโมโซมแล้วจะต้องทดสอบความน่าเชื่อถือ ไมโครโมโซมประกอบด้วยข้อมูลตำแหน่ง และขนาดของกำลังไฟฟ้ารีแอ็กทีฟที่ฉีดเข้าไปในระบบบัส การทดสอบค่าโครโมโซมเป็นหน้าที่ตามวัตถุประสงค์ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้คือการสูญเสียพลังงาน ซึ่งสูตรเขียนไว้ด้านล่าง:

$$\begin{aligned} \text{Min } F &= P_{\text{Loss}} \\ &= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1, (j < i)}^N |V_i V_j Y_{ij}| \angle \theta_{ij} + \delta_j - \delta_i \end{aligned} \quad (3.32)$$

P_{Loss} คือการสูญเสียในระบบทั้งหมดที่คำนวณโดยใช้วิธีการไหลของพลังงานของการคำนวณย้อนกลับ-ไปข้างหน้า (จากกรณีศึกษาที่ 1)

3.4 กรณีศึกษาที่ 3 การวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้าที่จังหวัดกำแพงเพชร

กัมพูชา

หลังจากทำการศึกษาอัตราการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง มาตรฐาน IEEE 15 Bus ขั้นตอนต่อไปคือการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง ในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดกำแพงเพชร กัมพูชา ด้วยวิธี วิธีการคำนวณย้อนกลับ -ไป

ข้างหน้า สามารถ เขียนโปรแกรม MATLAB Version R2020a เพื่อวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังในสถานะ สมดุลย์ประกอบการวางแผนการ ติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ โดยขั้นตอนการวิเคราะห์การไหล ของ กำลังไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง ในพื้นที่ทางไหลจังหวัดกำแพงเพชร ประเทศกัมพูชา ได้ต่อไปนี้

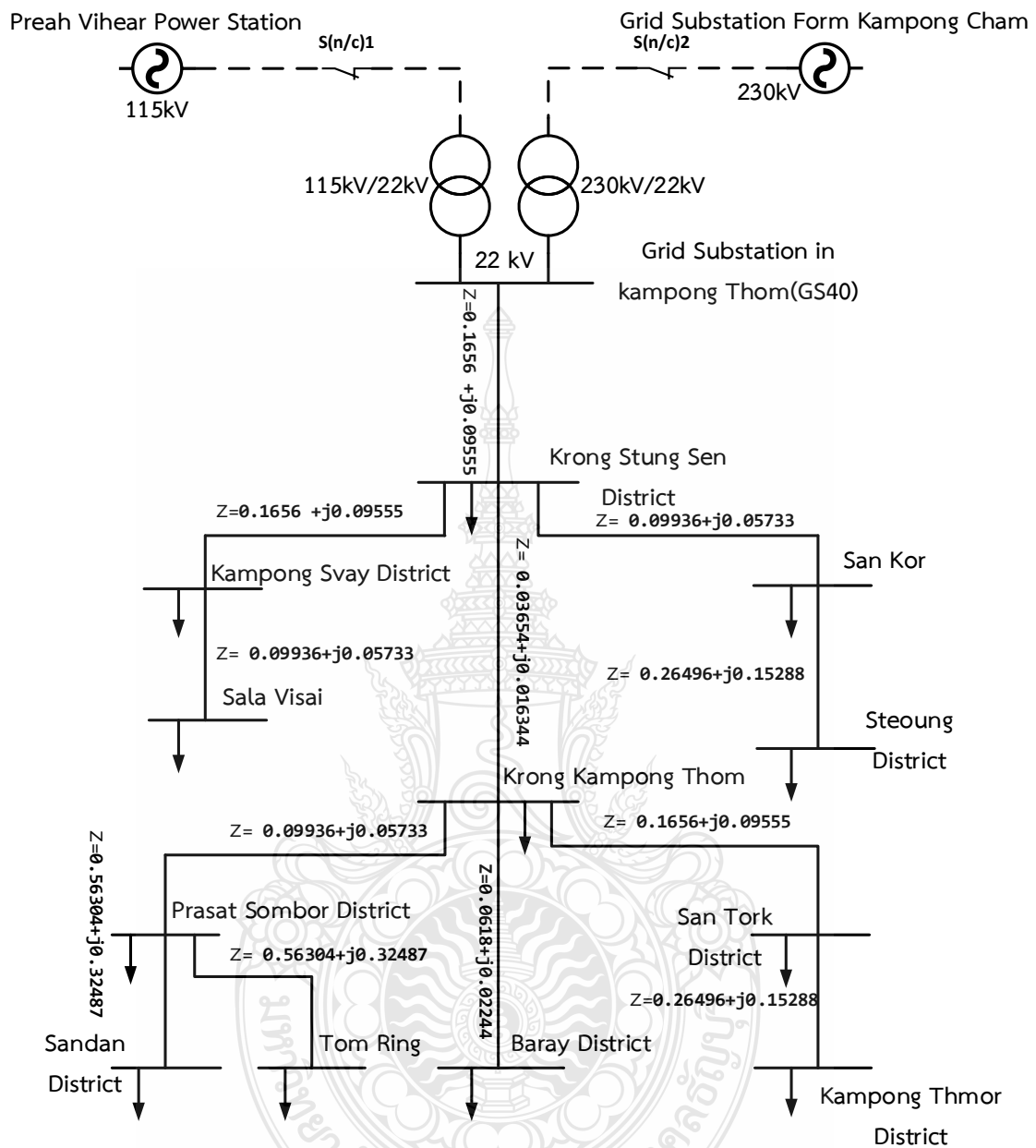
ขั้นตอนที่ 1 ทำการกำหนดค่าตัวแปรมาตรฐานประกอบไปด้วยค่าตัวแปรสายส่ง และค่าตัวแปร โหลดในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังไฟฟ้ามาตรฐาน IEEE 15 Bus แสดงในรูปที่ 3.7

ขั้นตอนที่ 2 ใช้วิธีไปข้างหน้า คือทำการคำนวณหาแรงดันของแต่ละบัส

ขั้นตอนที่ 3 ใช้วิธีย้อนกลับ คือทำการคำนวณหากระแสของแต่ละบัส

ขั้นตอนที่ 4 ทำการสรุปผลจากการคำนวณวิเคราะห์ห้อัตรการไหลของไฟฟ้ากำลังที่การสูญเสีย ในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังมาตรฐาน IEEE เพื่อเข้าสู่กระบวนการหาตำแหน่ง และขนาดที่มีความ เหมาะสมที่จะทำการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร ประเทศกัมพูชา





รูปที่ 3.7 ระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดกำปงธม ประเทศกัมพูชา

3.5 กรณีศึกษาที่ 4 การวิเคราะห์การหาตำแหน่งและขนาดของการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์ แบบคด้วยอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมที่จังหวัดกำแพงเพชร

ก่อนที่จะทำการขนาด และตำแหน่งของการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบคเข้ากับระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลังคือเราต้องทำการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า เพื่อทำการตรวจสอบระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังในพื้นที่ทางไหลจังหวัดกำแพงเพชร ประเทศไทย มีความไม่เสถียรภาพทางระบบส่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า การจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ไม่ทั่วถึงทำให้เกิดระดับแรงดันไม่คงที่ไม่เสถียรภาพไม่เหมาะสม และกำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟ กับกำลังไฟฟ้ารีแอ็กทีฟมีการสูญเสียมากขึ้นในระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง เพื่อที่จะแก้ปัญหาข้างบนผู้วิจัยจึงได้ทำการนำเสนอวิธีการหาขนาด และตำแหน่งของการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบคเข้าไปกับระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังในพื้นที่ทางไหลจังหวัดกำแพงเพชร ประเทศไทย โดยใช้เทคนิคเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ที่มีวัตถุประสงค์สำหรับการวิเคราะห์จะใช้สมการ (3.1 – 3.9) ในการคำนวณหาขนาด และตำแหน่งที่เหมาะสมของการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบค โดยมีลำดับขั้นตอนการคำนวณของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังในพื้นที่ทางไหลจังหวัดกำแพงเพชร ประเทศไทย ได้ต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการกำหนดค่าตัวแปรมาตรฐานประกอบไปด้วยค่าตัวแปรสายส่ง และค่าตัวแปรโหลดในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้ามาตรฐาน IEEE 15 Bus แสดงในรูปที่ 3.7

ขั้นตอนที่ 2 ใช้วิธีไปข้างหน้า คือทำการคำนวณหาแรงดันของแต่ละบัส

ขั้นตอนที่ 3 ใช้วิธีย้อนกลับ คือทำการคำนวณหากระแสของแต่ละบัส

ขั้นตอนที่ 4 ทำการสรุปผลการวิเคราะห์อัตราการใช้กำลังไฟฟ้ากำลังที่การสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง

ขั้นตอนที่ 5 ทำการนำผลสรุปจากการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟ และกำลังไฟฟ้ารีแอ็กทีฟ จากขั้นตอนที่ 4 มาใส่ตัวแปรในโปรแกรม MATLAB Version R2020a พร้อมทั้งนำค่าพารามิเตอร์ของเทคนิคอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม ด้วยเงื่อนไขต่อไปนี้คือ จำนวนประชากร 50 จำนวนการการวนซ้ำ 100 รอบ กำหนดจำนวนคาปาซิเตอร์แบบคที่ต้องการติดตั้งเข้ากับระบบคือ 3 ตัว ขนาดของตัวคาปาซิเตอร์แบบคที่ต่ำสุด และสูงสุด (150 – 1200 kVar) จำนวนบัสในการค้นหา 15 บัส ค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้ 0.0001%

ขั้นตอนที่ 6 ทำการคำนวณหาตำแหน่งของการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบค โดยเทคนิคอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม เพื่อค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 7 ทำการคำนวณหาขนาดของการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบค โดยเทคนิคอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม เพื่อค้นหาขนาดที่เหมาะสม

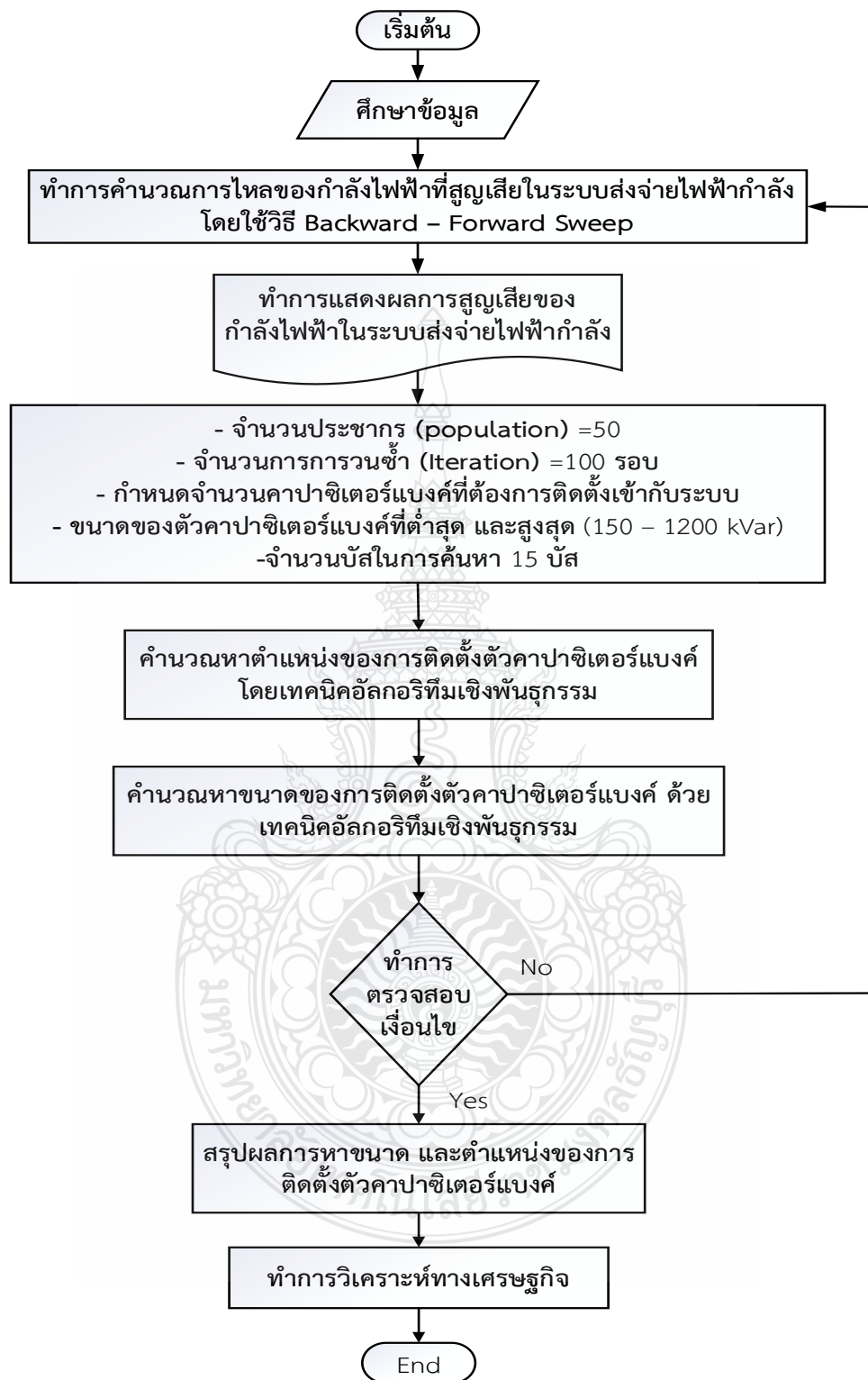
ขั้นตอนที่ 8 ทำการตรวจสอบเงื่อนไข ถ้าหากว่าเงื่อนไขไม่ถูกต้องตามที่เรากำหนดให้ไปทำการคำนวณอีกที่ขั้นตอนที่ 5 ถ้าหากว่าถูกต้องตามเงื่อนไขที่กำหนดให้ไปขั้นตอนถัดต่อไป

ขั้นตอนที่ 9 หลังจากทำการตรวจสอบที่ถูกต้องตามเงื่อนไขแล้ว ทำการสรุปผลการหาขนาดและตำแหน่งของการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดกำแพงเพชร ประเทศกัมพูชา

ขั้นตอนที่ 10 ทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจ ในการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์เข้ากับระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลังในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชรประเทศกัมพูชา จากสมการที่ (3.19)

ขั้นตอนที่ 11 ทำการสรุปผล





รูปที่ 3.8 ขั้นตอนในการหาตำแหน่งและขนาดของการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์

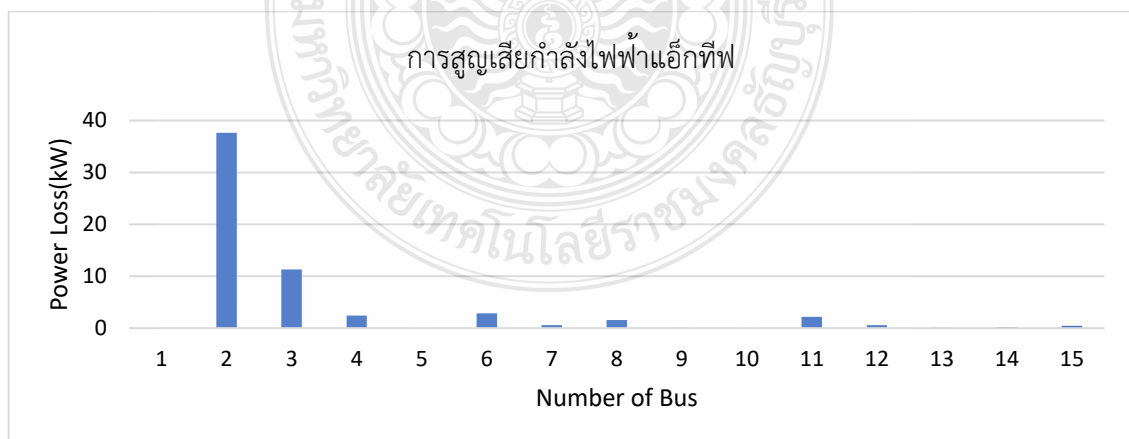
บทที่ 4

ผลการทดลอง

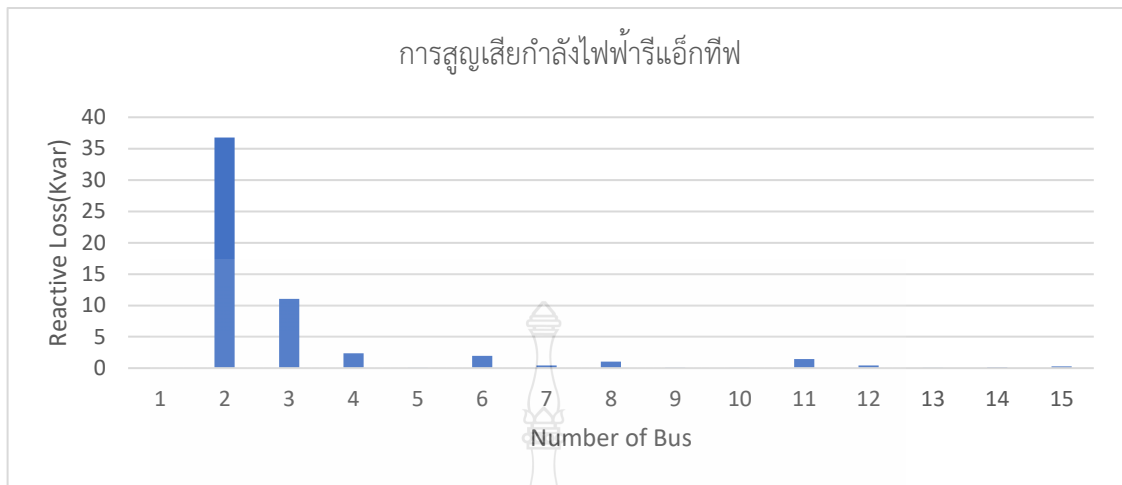
วิทยานิพนธ์นี้คือการทดลองในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้ามาตรฐาน IEEE 15 Bus โดยที่จะทำการวิเคราะห์การหาตำแหน่งและขนาดของการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบคงที่โดยใช้เทคนิคอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม และนำข้อมูลไปทำการจำลองจากระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้ามาตรฐาน 22kV ที่จังหวัดกำแพงเพชร ประเทศกัมพูชา

4.1 กรณีศึกษาที่ 1 การวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังมาตรฐาน IEEE 15 บัส

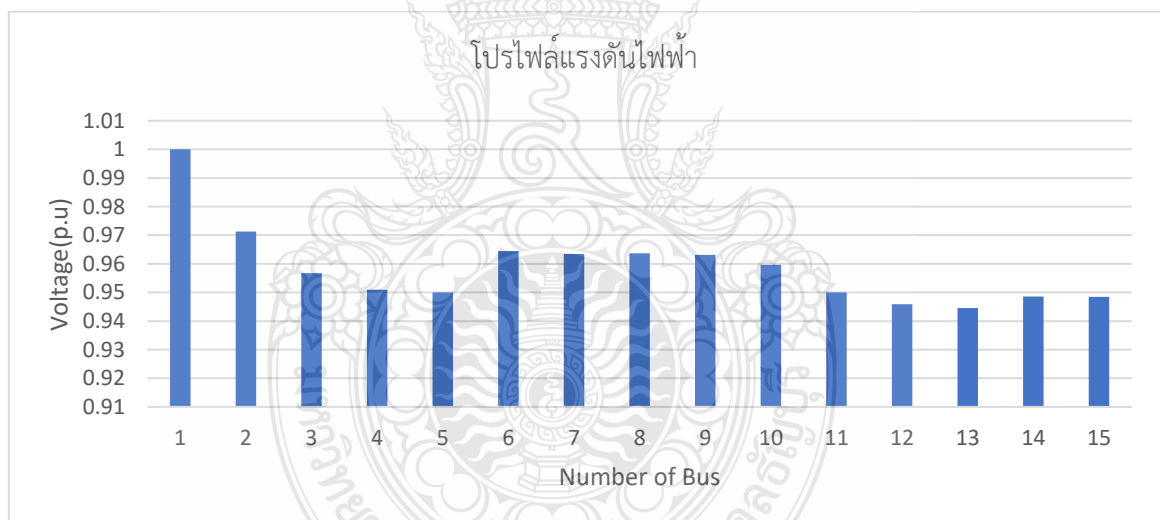
จากการทดสอบอัตราการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังมาตรฐาน IEEE 15 Bus เราจะเห็นว่าจากรูปที่ 4.1 คือการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอมป์ในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียที่บัสที่เยอะที่สุดคือบัสที่ 2 บัสที่ 3 และการสูญเสียทั้งหมดของกำลังไฟฟ้าแอมป์ที่เกิดขึ้นคือ 60.098 kW และจากรูปที่ 4.2 คือการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าน้ำในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียเยอะคือบัสที่ 2 กับ 3 และการสูญเสียทั้งหมดของกำลังไฟฟ้าน้ำที่เกิดขึ้นคือ 56.13 kVar และโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้าที่ต่ำกว่า 0.95 p.u คือบัสที่ 13 มันจะทำให้ระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าไม่เสถียรรูปที่จะต้องทำการปรับปรุงให้มันดีขึ้น ที่แสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.1 การสูญเสียกำลังไฟฟ้าแอมป์ (P_{Loss}) ในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้ามาตรฐาน IEEE 15 Bus



รูปที่ 4.2 การสูญเสียกำลังไฟฟ้ารีแอ็กทีฟ (Q_{Loss}) ในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้ามาตรฐาน IEEE 15 Bus

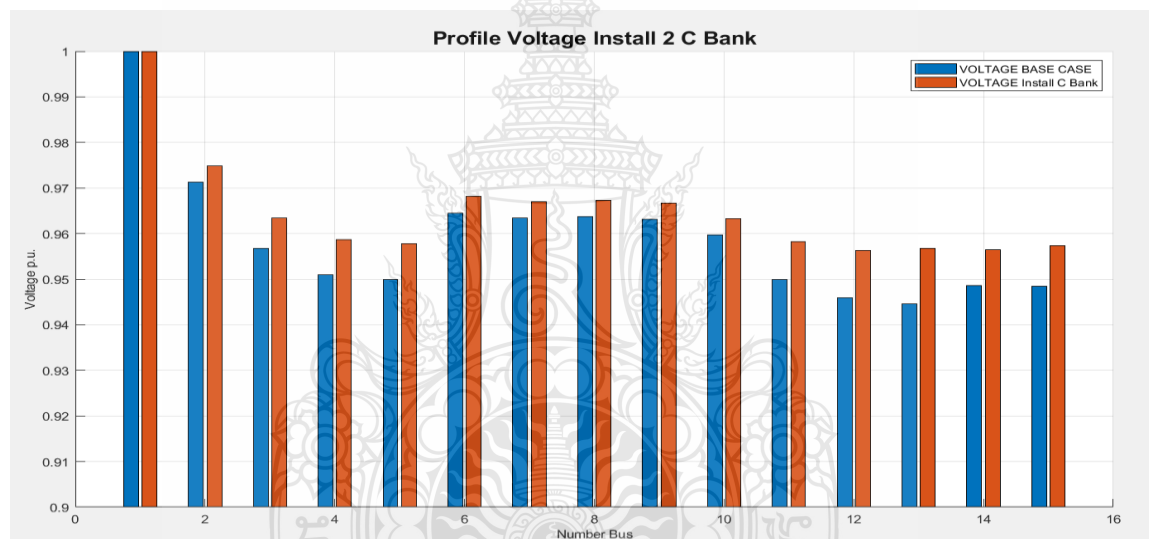


รูปที่ 4.3 โพรไฟล์แรงดันไฟฟ้า ($p.u$) ในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้ามาตรฐาน IEEE 15 Bus

4.2 กรณีศึกษาที่ 2 การวิเคราะห์การหาตำแหน่ง และขนาดของการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบกระจายอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม กับระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังมาตรฐาน IEEE 15 บัส

ในการวิเคราะห์การหาตำแหน่ง และขนาดของการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์ เพื่อจะทำการลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอมป์ และปรับปรุงโพรไฟล์แรงดันที่เกิดขึ้นบนระบบส่งจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง ซึ่งเราจะทำการวิเคราะห์การติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ 2 ตัว 3 ตัว 4 ตัว ตามลำดับ ดังต่อไปนี้

4.2.1 กรณีติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ 2 ตัว เข้าไปกับระบบส่งจำหน่ายไฟฟ้ากำลังคือเราจะเห็นว่าโพรไฟล์ของแรงดันไฟฟ้าที่ตกต่ำถูกปรับปรุงจาก 0.94 p.u มาเป็น 0.95 p.u ถ้าเทียบกับโพรไฟล์ของแรงดันไฟฟ้า กรณีฐาน ดูได้จากรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 โพรไฟล์แรงดันไฟฟ้าที่ติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ 2 ตัวกับโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้ากรณีฐาน

ตารางที่ 4.1 ขนาดตัวคาปาซิเตอร์แบบที่มีจำหน่ายและต้นทุนต่อปี [8]

ขนาด (kVar)	150	300	450	600	900	1200
Cost (\$)	750	975	1140	1320	1650	2040

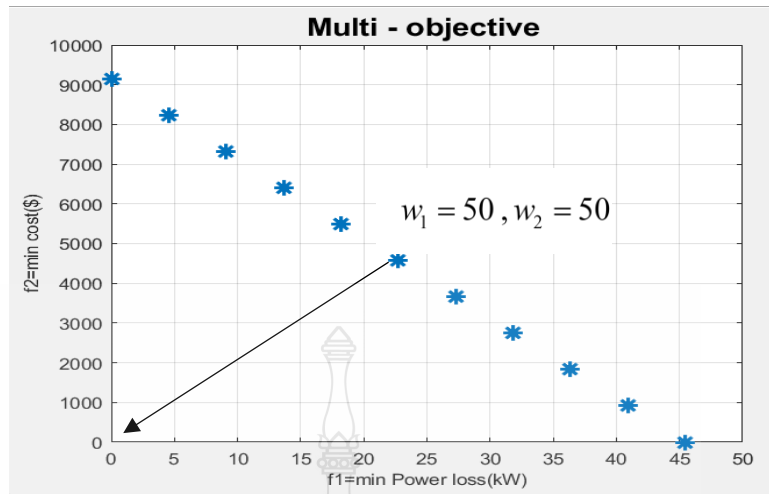
ในการจำลองนี้ค่าคงที่ของพลังงานไฟฟ้าในระยะเวลาหนึ่งปีคือ K_e จะถูกเลือกให้เท่ากับ 168 \$ / กิโลวัตต์-ปี ตัวคาปาซิเตอร์แบบที่มีอยู่และต้นทุนต่อคาปาซิเตอร์แบบ การสูญเสียของกำลังไฟฟ้า

แอมป์ทั้งหมด 60.098 kW ที่สูญเสียไปดีเป็นราคา 10096.46\$ และการลงทุนในการซื้อตัวคาปาซิเตอร์แบบคเอามาติดตั้งเข้ากับระบบส่งจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง เพื่อปรับปรุงโพรไฟล์แรงดัน ลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอมป์จากตารางที่4.1 คือขนาดและราคาของคาปาซิเตอร์แบบค การหาตำแหน่ง และขนาดติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบค 2ตัวที่ใช้อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม เพื่อหาตำแหน่งและขนาดคือได้ตำแหน่งที่บัส 15 กับ 12 และขนาด 150 kVAr 2ตัว ดังนั้นเราสามารถดูจากตาราง4.2 ต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2 วิเคราะห์ก่อนติดตั้ง และหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบค 2ตัว

ก่อนติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบค					
ชนิดคาปาซิเตอร์ แบบค	ตำแหน่ง Bus	ขนาด (kVAr)	ราคา คาปาซิ เตอร์แบบค (\$)	การสูญเสีย กำลังไฟฟ้า แอมป์ (kW)	ลดต้นทุน (\$/year)
-	-	-	-	60.098	10096.46
หลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบค					
	15	150	750	45.44	9133.92
	12	150	750		
การลดลงของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย				14.658	2,462.54
Annual Saving					962.54
Cost save percent (%)					9.53 (%)
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)				1.56 ปี	≈18.7 เดือน

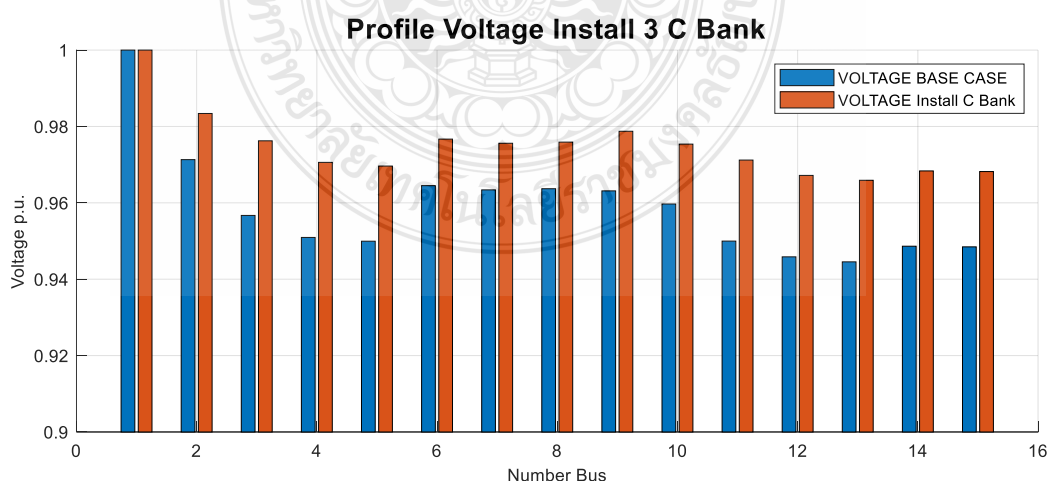
หลังจากทำการวิเคราะห์การติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบค เห็นว่าเราซื้อคาปาซิเตอร์ 2ตัว ขนาด 300 kVAr มาทำการติดตั้งที่ตำแหน่งบัสที่ 15 และบัส 12 ที่ราคา 1500\$ ได้ลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอมป์ที่เกิดขึ้นบนระบบส่งจำหน่ายกำลังไฟฟ้าจาก 60.098 kW เหลือ 45.44 kW และการใช้จ่ายในระยะเวลาหนึ่งปีจาก 10096.46\$ มาเหลือ 9133.92\$ คือการประหยัดค่าใช้จ่ายต่อปี 962.54\$ ถ้าคิดเป็นร้อยละ 9.53 ในหนึ่งปี และในการระยะเวลาคืนทุน 1.56 ปี ≈18.7 เดือน



รูปที่ 4.5 การค่าที่เหมาะสมที่ติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แรงค์ 2 ตัวกับระบบมาตรฐาน

จากรูปที่ 4.5 เป็นกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าและต้นทุน ค่า Multi-objective ก็ลดลงจุดที่น่าสนใจ $w_1 = 50$ และ $w_2 = 50$ อาจเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดตามการวิเคราะห์กราฟการเลือกจุดนี้อาจเกิดจากการหาสมดุลระหว่างการลดต้นทุนและการสูญเสียกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม

4.2.2 กรณีติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แรงค์ 3 ตัว เข้าไปกับระบบส่งจำหน่ายไฟฟ้ากำลังคือเราจะเห็นว่าโพรไฟล์ของแรงดันไฟฟ้าถูกปรับปรุงจาก 0.94 p.u มาเป็น 0.96 p.u ถ้าเทียบกับโพรไฟล์ของแรงดันไฟฟ้า กรณีฐาน ดูได้จากรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 โพรไฟล์แรงดันไฟฟ้าที่ติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แรงค์ 3 ตัวกับโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้ากรณีฐาน

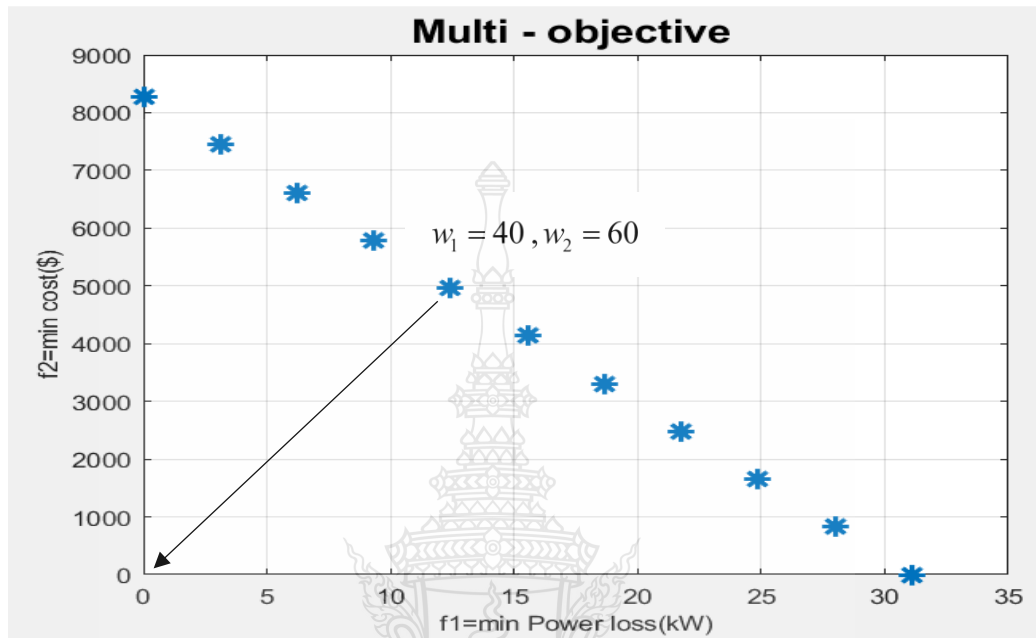
การสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอมป์ทั้งหมด 60.098kW ที่สูญเสียไปตีเป็นราคา 10096.46\$ และการลงทุนในการซื้อตัวคาปาซิเตอร์แบงค์เอามาติดตั้งเข้ากับระบบส่งจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง เพื่อปรับปรุงโพรไฟล์แรงดัน ลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอมป์จากตารางที่ 4.1 คือขนาดและราคาของคาปาซิเตอร์แบงค์ การหาตำแหน่ง และขนาดติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 3 ตัวที่ใช้อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม เพื่อหาตำแหน่งและขนาดคือได้ ตำแหน่งที่บัส 3 11 กับ 9 และขนาด 600kVAr 150kVAr กับ 300kVAr ดังนั้นเราสามารถดูจากตารางที่ 4.3 ต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 วิเคราะห์ก่อนติดตั้ง และหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 3ตัว

ก่อนติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์					
ชนิดคาปาซิเตอร์แบงค์	ตำแหน่ง Bus	ขนาด (kVAr)	ราคา คาปาซิเตอร์แบงค์ (\$)	การสูญเสีย กำลังไฟฟ้า แอมป์ (kW)	ลดต้นทุน (\$/year)
-	-	-	-	60.098	10096.46
หลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์					
3		600	1320		
11		150	750	32.11	8439.48
9		300	975		
การลดลงของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย				27.988	4,701.98
Annual Saving					1,656.98
Cost save percent (%)					16.41(%)
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)					1.84 ปี≈22.08 เดือน

หลังจากทำการวิเคราะห์การติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ เห็นว่าเราซื้อคาปาซิเตอร์ 3ตัว ขนาด 600kVAr 150kVAr และ 300kVAr มาทำการติดตั้งที่ตำแหน่งบัสที่ 3 11 และบัส 9 ที่ราคารวม 3045\$ ได้ลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอมป์ที่เกิดขึ้นบนระบบส่งจำหน่ายกำลังไฟฟ้าจาก 60.098 kW เหลือ 32.11kW และการใช้จ่ายในระยะเวลานึงปีจาก 10096.46\$ มาเหลือ 8439.48\$ ก็คือได้การประหยัด

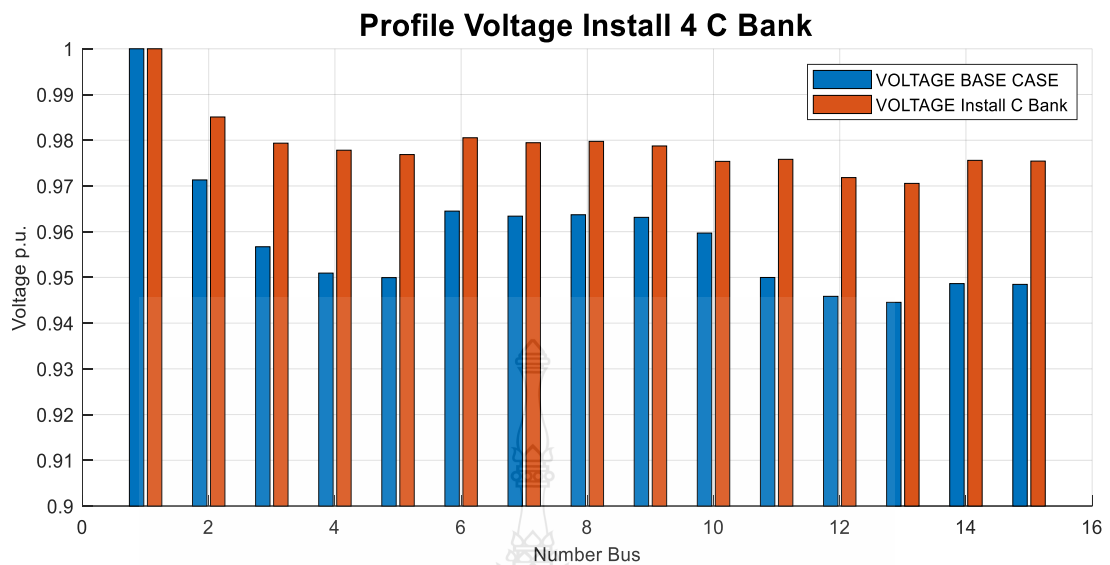
ค่าใช้จ่ายต่อปี 1,656.98\$ ถ้าคิดเป็นร้อยละ 16.411 ในหนึ่งปี และในการระยะเวลาคืนทุน 1.84 ปี ≈ 22.08 เดือน



รูปที่ 4.7 การค่าที่เหมาะสมที่ติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 3ตัวกับระบบมาตรฐาน

จากรูปที่ 4.7 คือเป็นจุดรวมระหว่างของการลดสูญเสียกำลังไฟฟ้ากับการลดต้นทุนในการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 3ตัวกับระบบมาตรฐานที่เป็นจุดที่ใกล้เคียงกับจุดศูนย์ คือจุด $w_1 = 40$ และ $w_2 = 60$ เป็นจุดที่เหมาะสมที่สุด ถ้าดูเทียบกับจุดอื่นๆในกราฟนี้

4.2.3 กรณีติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 4 ตัว เข้าไปกับระบบส่งจำหน่ายไฟฟ้ากำลังคือเราจะเห็นว่าโพรไฟล์ของแรงดันไฟฟ้าถูกปรับปรุงจาก 0.94 p.u มาเป็น 0.97 p.u ถ้าเทียบกับโพรไฟล์ของแรงดันไฟฟ้ากรณีฐาน ดูได้จากรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 โปรไฟล์แรงดันไฟฟ้าที่ติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 4 ตัวกับโปรไฟล์แรงดันไฟฟ้ากรณีฐาน

การสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอมป์ทั้งหมด 60.098kW ที่สูญเสียไปตีเป็นราคา 10096.46\$ และการลงทุนในการซื้อตัวคาปาซิเตอร์แบงค์เอามาติดตั้งเข้ากับระบบส่งจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง เพื่อปรับปรุงโปรไฟล์แรงดัน ลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอมป์จากตารางที่ 4.1 คือขนาดและราคาของคาปาซิเตอร์แบงค์ การหาตำแหน่ง และขนาดติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 4 ตัวที่ใช้ลกอริทึมเชิงพันธุกรรม เพื่อหาตำแหน่งและขนาดคือได้ ตำแหน่งที่บัส 6 9 11 กับ 4 และขนาด 150kVar 150kVar 300kVar กับ 600kVar ดังนั้นเราสามารถดูจากตารางที่ 4.4 ต่อไปนี้

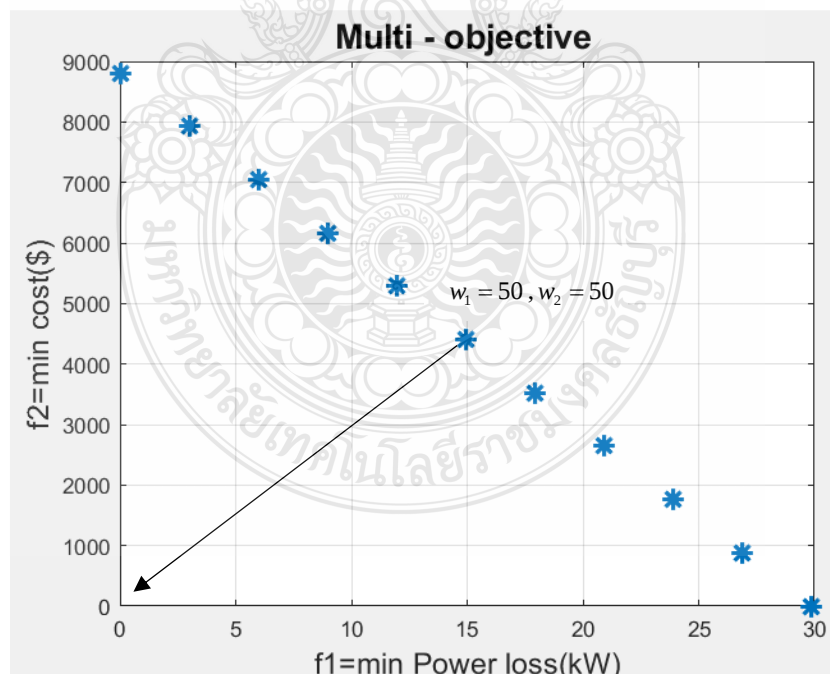
ตารางที่ 4.4 วิเคราะห์ก่อนติดตั้ง และหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 4 ตัว

ก่อนติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์					
ชนิดคาปาซิเตอร์แบงค์	ตำแหน่ง Bus	ขนาด (kVar)	ราคาคาปาซิเตอร์แบงค์ (\$)	การสูญเสียกำลังไฟฟ้าแอมป์ (kW)	ลดต้นทุน (\$/year)
-	-	-	-	60.098	10096.46
หลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์					
	6	150	750		
	9	150	750	30.19	8866.92

ตารางที่ 4.4 วิเคราะห์ก่อนติดตั้งและหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 4ตัว (ต่อ)

	11	300	975
	4	600	1320
การลดลงของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย	29.908	5,024.544	
Annual Saving		1,229.54	
Cost save percent (%)		12.18(%)	
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)	3.086 ปี	~ 37.032เดือน	

หลังจากทำการวิเคราะห์การติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ เห็นว่าเราซื้อคาปาซิเตอร์ 4ตัว ขนาด 150kVAr 150kVAr 300kVAr และ 600kVAr มาทำการติดตั้งที่ตำแหน่งบัสที่ 6 9 11 และบัส 4 ที่ราคารวม 3795\$ ได้ลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าอีกที่ฟที่เกิดขึ้นบนระบบส่งจำหน่ายกำลังไฟฟ้าจาก 60.098 kW เหลือ 30.19kW และการใช้จ่ายในระยะเวลาหนึ่งปีจาก 10096.46\$ มาเหลือ 8866.92\$ คือได้การประหยัดค่าใช้จ่ายต่อปี 1,229.54\$ ถ้าคิดเป็นร้อยละ 12.18 ในหนึ่งปี และในการระยะเวลาคืนทุนคือ3.086 ปี ~ 37.032เดือน



รูปที่ 4.9 การค่าที่เหมาะสมที่ติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 4ตัวกับระบบมาตรฐาน

ในจากรูปที่ 4.9 คือถึงค่าตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าและลดต้นทุนการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 4 ตัวในระบบมาตรฐาน ซึ่งจุดที่ใกล้เคียงกับจุดศูนย์คือจุดที่น้ำหนัก $w_1 = 50$ และ $w_2 = 50$ ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับจุดอื่นๆ ในกราฟ

4.2.4 การเปรียบเทียบและสรุปกับระบบมาตรฐาน

หลังจากการวิเคราะห์แล้ว เราจะทำการเปรียบเทียบระหว่างที่เราได้ทำการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 2 ตัว 3 ตัว และ 4 ตัวต่อเข้าระบบส่งจำหน่ายกำลังไฟฟ้า และทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนซื้อตัวคาปาซิเตอร์แบงค์เอามาทำการติดตั้งแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 วิเคราะห์การเปรียบเทียบในการลงทุนก่อนติดตั้ง และหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์

ก่อนติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์					
ชนิดคาปาซิเตอร์แบงค์	ตำแหน่ง Bus	ขนาด (kVAr)	ราคา คาปาซิเตอร์แบงค์ (\$)	การสูญเสียกำลังไฟฟ้า แอ็กทีฟ (kW)	ลดต้นทุน (\$/year)
	-	-	-	60.098	10096.46
หลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์					
1. คาปาซิเตอร์แบงค์ 2ตัว					
	15	150	750	45.44	9133.92
	12	150	750		
การลดลงของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย				14.658	2,462.54
Annual Saving					962.54
Cost save percent (%)					9.53 (%)
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)				1.56 ปี ≈18.7 เดือน	
2. คาปาซิเตอร์แบงค์ 3ตัว					
	3	600	1320	32.11	8439.48
	11	150	750		
	9	300	975		
การลดลงของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย				27.988	4,701.98
Annual Saving					1,656.98

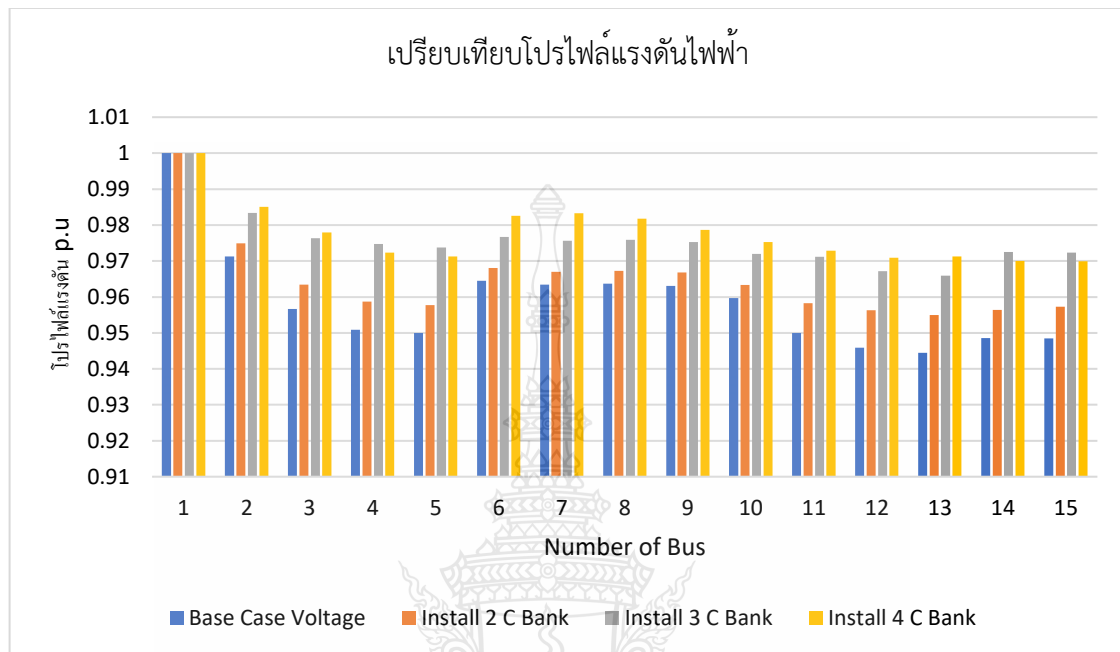
ตารางที่ 4.5 วิเคราะห์การเปรียบเทียบในการลงทุนก่อนติดตั้ง และหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์
(ต่อ)

Cost save percent (%)	16.41(%)				
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)	1.84 ปี≈22.08 เดือน				
3. คาปาซิเตอร์แบงค์ 4ตัว					
6	150	750			
9	150	750	30.19	8866.92	
11	300	975			
4	600	1320			
การลดลงของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย			29.908	5,024.544	
Annual Saving				1,229.54	
Cost save percent (%)				12.18(%)	
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)				3.086 ปี≈ 37.032เดือน	

จากการแสดงในตารางที่ 4.5 เราสามารถจะอธิบายได้ว่าการที่ทำการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์ 2 ตัว ได้ปรับปรุงโพรไฟล์แรงดันให้ดีขึ้น ลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอมป์ที่เหลือ 45.44kW การลงทุนซื้อคาปาซิเตอร์แบงค์ราคา 1500\$ และได้จ่ายกำลังไฟฟ้าสูญเสียระยะเวลา1ปี คือ 9133.92\$ ได้การประหยัดค่าใช้จ่ายต่อปี 962.54\$ ถ้าคิดเป็นร้อยละ 9.533 และระยะเวลาคืนทุนคือ 1.56 ปี ≈18.7 เดือน, การติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์ 3ตัว ลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอมป์ที่เหลือ 32.11kW การลงทุนซื้อคาปาซิเตอร์แบงค์ราคา 3045\$ ได้จ่ายกำลังไฟฟ้าสูญเสียระยะเวลา1ปี คือ 8439.48\$ ได้ประหยัดค่าใช้จ่ายต่อปี 1,656.98\$ ถ้าคิดเป็นร้อยละ 16.411และในระยะเวลาคืนทุน1.84 ปี ≈22.08 เดือน, การติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์ 4ตัว ลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอมป์ที่เหลือ 30.19kW การลงทุนซื้อคาปาซิเตอร์แบงค์ราคา 3795\$ ได้จ่ายในการสูญเสียกำลังไฟฟ้าระยะเวลา1ปี คือ 8866.92\$ ได้ประหยัดค่าในการใช้จ่ายต่อปี 1,229.54\$ ถ้าคิดเป็นร้อยละ 12.18 และในระยะเวลาการคืนทุน 3.086 ปี≈ 37.032 เดือน

จากการอธิบายข้างบน สามารถสรุปได้ว่าการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 3 ตัวต่อเข้ากับระบบส่งจำหน่ายกำลังไฟฟ้า ระบบมาตรฐาน IEEE 15 Bus คือเหมาะสมที่สุดที่รวมทั้งการลดการสูญเสียของ

กำลังไฟฟ้าแอมป์ที่ฟักดี การลงทุนก็เหมาะสมดี โพรไฟล์ของแรงดันแต่ละบัสก็ดีขึ้น แสดงในรูปที่ 4.10 และคิดร้อยละก็ดี ถ้าเปรียบเทียบกับ การติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบ 2 ชุดอื่น

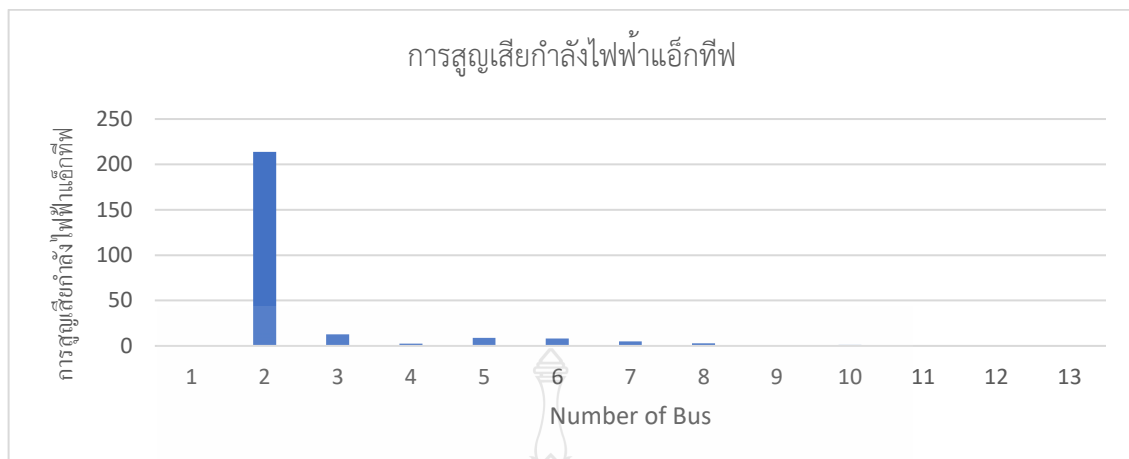


รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้ากรณีฐานกับโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้าที่ติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบ

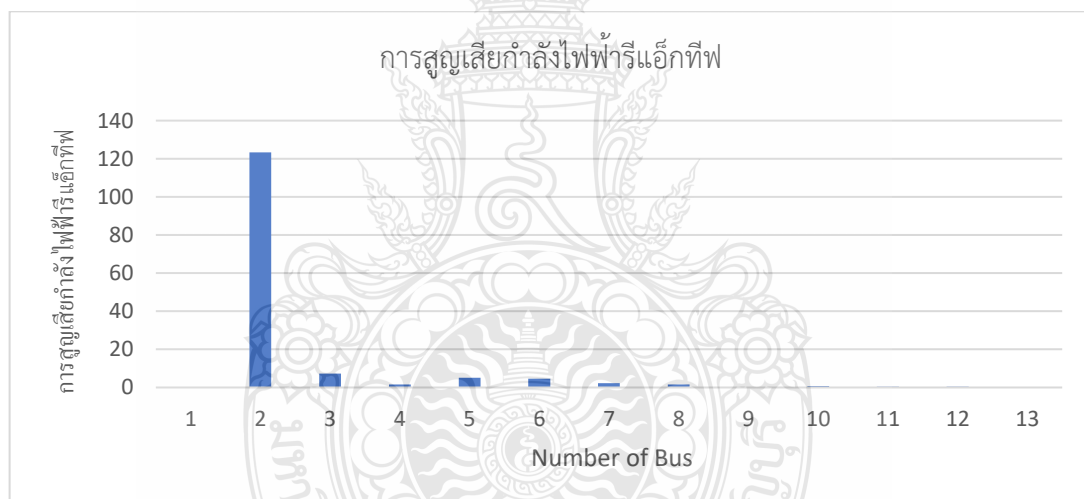
4.3 กรณีศึกษาที่ 3 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่จังหวัดกำแพงเพชร

กัมพูชา

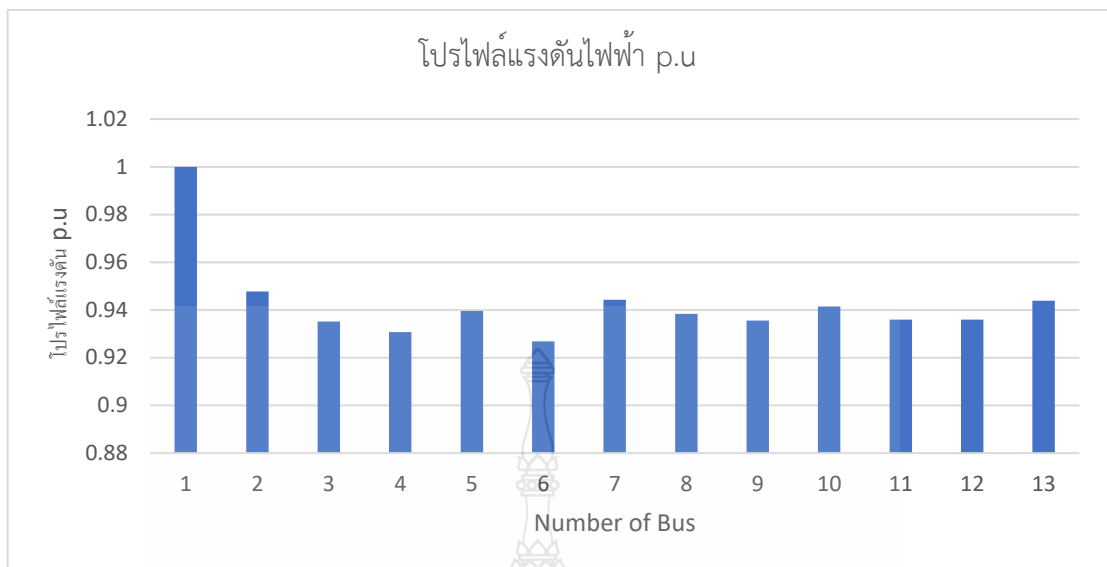
ในการทดสอบจำลองการวิเคราะห์อัตราการไหลของไฟฟ้ากำลังที่จังหวัดกำแพงเพชร ประเทศกัมพูชา เพื่อที่จะดูว่าอัตราการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอมป์ที่ฟักดี กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ และโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้า ที่จะแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.11 คือการเกิดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอมป์ที่เกิดขึ้นในระบบส่งจำหน่ายไฟฟ้ากำลังทั้งหมดคือ 256.98 kW ในรูปที่ 4.12 คือการเกิดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่เกิดขึ้นในระบบส่งจำหน่ายไฟฟ้ากำลังทั้งหมดคือ 147.63 kVar และในรูปที่ 4.13 คือโพรไฟล์ของแรงดันในแต่ละบัสที่ต่ำกว่ามาตรฐาน (โพรไฟล์แรงดัน 0.95 p.u) โดยที่จะต้องทำการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพแก้ไขให้มันดีขึ้น โดยทำการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ 2 ชุดเข้าไปในระบบส่งจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง ที่ใช้เทคนิคอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม เพื่อหาตำแหน่งของบัส และหาขนาดของคาปาซิเตอร์



รูปที่ 4.11 การสูญเสียกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ (P_{Loss}) ในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าที่จังหวัดกำแพง
ประเทศกัมพูชา



รูปที่ 4.12 การสูญเสียกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Q_{Loss}) ในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าที่จังหวัดกำแพง
ประเทศกัมพูชา

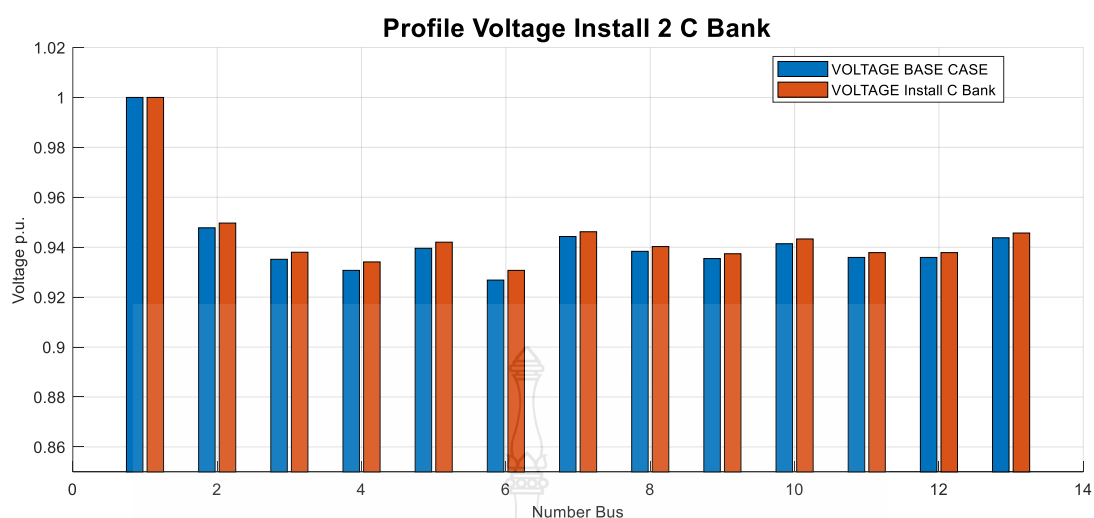


รูปที่ 4.13 โปรไฟล์แรงดันไฟฟ้า ($p.u$) ในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าที่จังหวัดกำแพงเพชรภาคกัมพูชา

4.4 กรณีศึกษาที่ 4 การวิเคราะห์การหาตำแหน่งและขนาดของการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบคู่ด้วยอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม ที่จังหวัดกำแพงเพชร ภาคกัมพูชา

ในการวิเคราะห์ทำการลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอมป์ และปรับปรุงโปรไฟล์แรงดันที่เกิดขึ้นบนระบบส่งจำหน่ายไฟฟ้ากำลังที่จังหวัดกำแพงเพชร ภาคกัมพูชา เพื่อจะทำการหาตำแหน่งและขนาดที่เราจะทำการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบคู่ ซึ่งเราจะทำการทดลองวิเคราะห์ทำการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบคู่เข้ากับระบบส่งจำหน่ายกำลังไฟฟ้า โดยจะทำการทดลองติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบคู่ 2 ตัว 3 ตัว และ 4 ตัว ตามลำดับ ดังต่อไปนี้

4.4.1 การติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบคู่ 2 ตัว กับระบบส่งจำหน่ายไฟฟ้ากำลังที่จังหวัดกำแพงเพชร โดยก่อนติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบคู่การสูญเสียทั้งหมดของกำลังไฟฟ้าแอมป์ 256.98 kW และโปรไฟล์แรงดันไฟฟ้าตกต่ำสุดคือ 0.92 p.u และหลังจากการทำการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบคู่ 2 ตัว การสูญเสียทั้งหมดของกำลังไฟฟ้าแอมป์คือ 238.12 kW และโปรไฟล์แรงดันไฟฟ้าที่ต่ำสุดคือ 0.93 p.u ที่สามารถดูได้จากรูปที่ 4.14 โดยการเปรียบเทียบโปรไฟล์แรงดันไฟฟ้ากรณีฐาน กับการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบคู่ 2 ตัว



รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบโปรไฟล์แรงดันไฟฟ้ากรณีฐานกับติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ 2 ตัว

ในการจำลองนี้ค่าคงที่ของพลังงานไฟฟ้าในระยะเวลาหนึ่งปีคือ K_e จะถูกเลือกให้เท่ากับ 168 \$ / กิโลวัตต์-ปี ตัวคาปาซิเตอร์แบบที่มีอยู่และต้นทุนต่อคาปาซิเตอร์แบบ การสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟทั้งหมด 256.98 kW ที่สูญเสียไปตีเป็นราคา 43172.64\$ และการลงทุนในการซื้อตัวคาปาซิเตอร์แบบเข้ามาติดตั้งเข้ากับระบบส่งจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง เพื่อปรับปรุงโปรไฟล์แรงดัน ลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟ จากตารางที่ 4.1 คือขนาดและราคาของคาปาซิเตอร์แบบ การหาตำแหน่ง และขนาดติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ 2 ตัวที่ใช้อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม เพื่อหาตำแหน่งและขนาดคือได้ตำแหน่งที่บัส 6 กับ 4 และขนาด 150kVar 2ตัว ดังนั้นเราสามารถดูจากตาราง 4.6 ต่อไปนี้

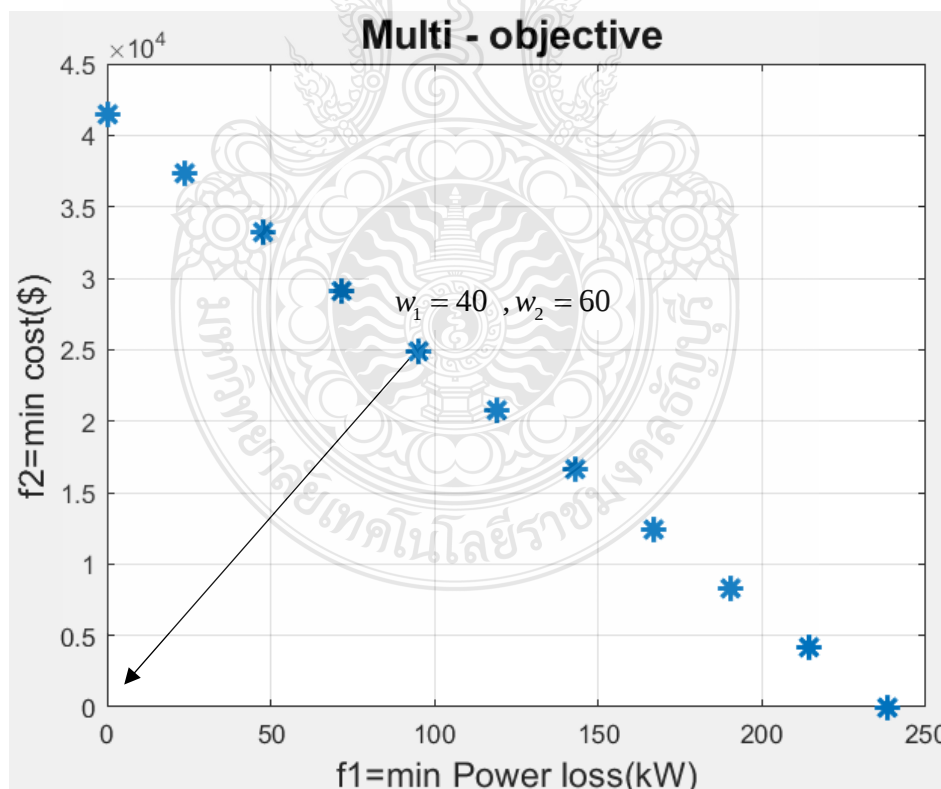
ตารางที่ 4.6 วิเคราะห์ก่อนติดตั้ง และหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ 2ตัวกับระบบส่งจำหน่ายที่จังหวัด กำแพงเพชร ประเทศกัมพูชา

ก่อนติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ					
ชนิดคาปาซิเตอร์	ตำแหน่ง	ขนาด	ราคา คาปาซิเตอร์	การสูญเสีย	ลดต้นทุน
แบบ	Bus	(kVar)	แบบ (\$)	กำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟ (kW)	(\$/year)
-	-	-	-	256.98	43172.64
หลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ					
6	150	750	238.12	41504.16	
4	150	750			

ตารางที่ 4.6 วิเคราะห์ก่อนติดตั้ง และหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 2 ตัวกับระบบส่งจำหน่ายที่
จังหวัดกำแพงเพชร ประเทศกัมพูชา (ต่อ)

การลดลงของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย	18.86	3,168.48
Annual Saving		1,668.48
Cost save percent (%)		3.86(%)
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)	0.899 ปี ≈ 10.788 เดือน	

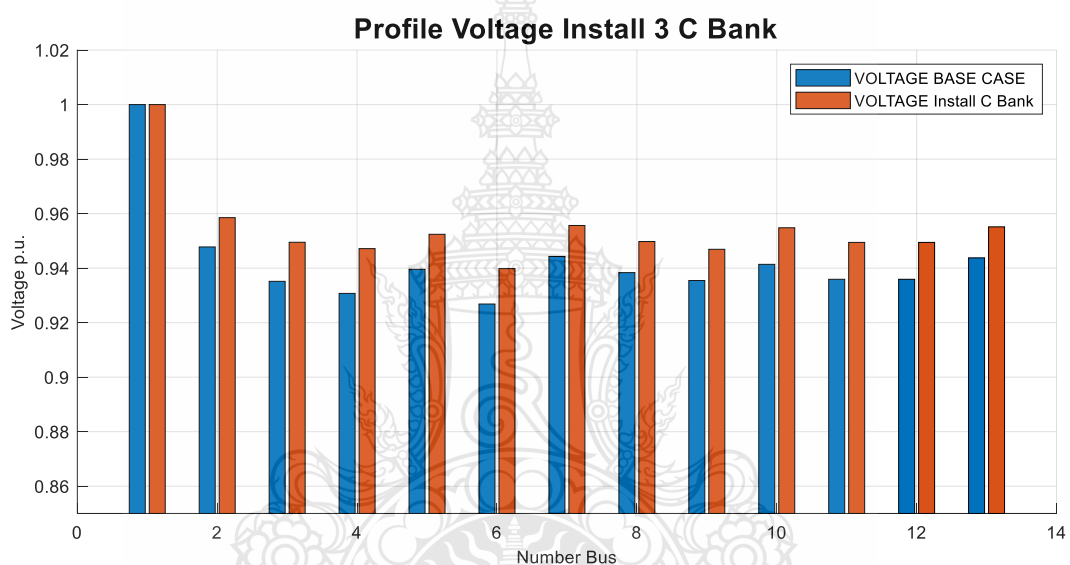
จากตารางที่ 4.6 เราสามารถอธิบายได้ว่า หลังจากทำการวิเคราะห์การติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ เห็นว่าเราซื้อคาปาซิเตอร์ 2 ตัว ขนาด 300 kVAr มาทำการติดตั้งที่ตำแหน่งบัสที่ 6 และบัส 4 ที่ราคา 1500\$ ได้ลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟที่เกิดขึ้นบนระบบส่งจำหน่ายกำลังไฟฟ้าจาก 256.98 kW เหลือ 238.12 kW และการใช้จ่ายในระยะเวลาหนึ่งปีจาก 43172.64\$ มาเหลือ 41504.16\$ ได้ประหยัดในการใช้จ่ายต่อปีคือ 1,668.48\$ ถ้าคิดเป็นร้อยละ 3.86 ในหนึ่งปี และในระยะเวลาในการคืนทุนคือ 0.899 ปี ≈ 10.788 เดือน



รูปที่ 4.15 การค่าที่เหมาะสมที่ติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 2 ตัวกับระบบไฟฟ้าที่จังหวัดกำแพงเพชร

ในจากรูปที่ 4.15 คือถึงตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าและลดต้นทุนการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์ 2 ตัวในระบบไฟฟ้าที่จังหวัดกำแพงเพชร ประเทศกัมพูชา ซึ่งใกล้เคียงกับจุดศูนย์คือจุดที่มีน้ำหนัก $w_1 = 40$ และ $w_2 = 60$ ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับจุดอื่นๆ ในกราฟ

4.4.2 การติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 3 ตัว กับระบบส่งจำหน่ายไฟฟ้ากำลังที่จังหวัดกำแพงเพชร หลังจากการทำการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 3 ตัว การสูญเสียทั้งหมดของกำลังไฟฟ้าแก็กที่ลดลงเหลือคือ 194 kW และโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้าที่ต่ำสุดคือ 0.939 p.u ที่สามารถดูได้จากรูปที่ 4.16 โดยการเปรียบเทียบโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้ากรณีฐาน กับการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 3 ตัว



รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบโพรไฟล์แรงดันกรณีฐาน กับการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 3 ตัว

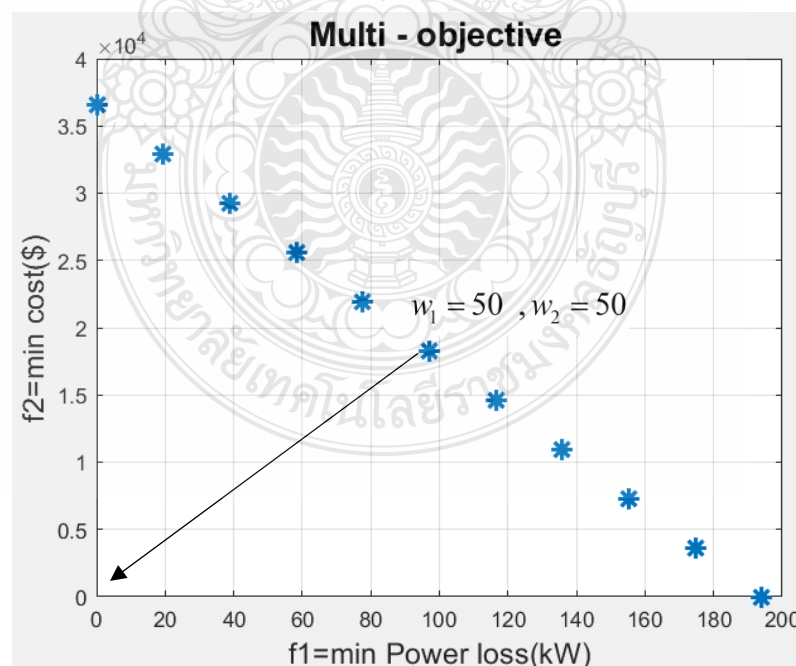
ตารางที่ 4.7 วิเคราะห์ก่อนติดตั้ง และหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 3 ตัว กับระบบส่งจำหน่ายที่จังหวัดกำแพงเพชร ประเทศกัมพูชา

ก่อนติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์					
ชนิดคาปาซิเตอร์แบงค์	ตำแหน่ง Bus	ขนาด (kVAr)	ราคา คาปาซิเตอร์แบงค์ (\$)	การสูญเสียกำลังไฟฟ้า แก็กที่ฟ (kW)	ลดต้นทุน (\$/year)
-	-	-	-	256.98	43172.64
หลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์					

ตารางที่ 4.7 วิเคราะห์ก่อนติดตั้ง และหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 3 ตัว กับระบบส่งจำหน่ายที่ จังหวัดกำแพงเพชรกัมพูชา (ต่อ)

5	600	1320		
10	600	1320	194	36552
4	600	1320		
การลดลงของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย			62.98	10,580.64
Annual Saving				6,620.64
Cost save percent (%)				15.33(%)
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)			0.598 ปี≈7.178เดือน	

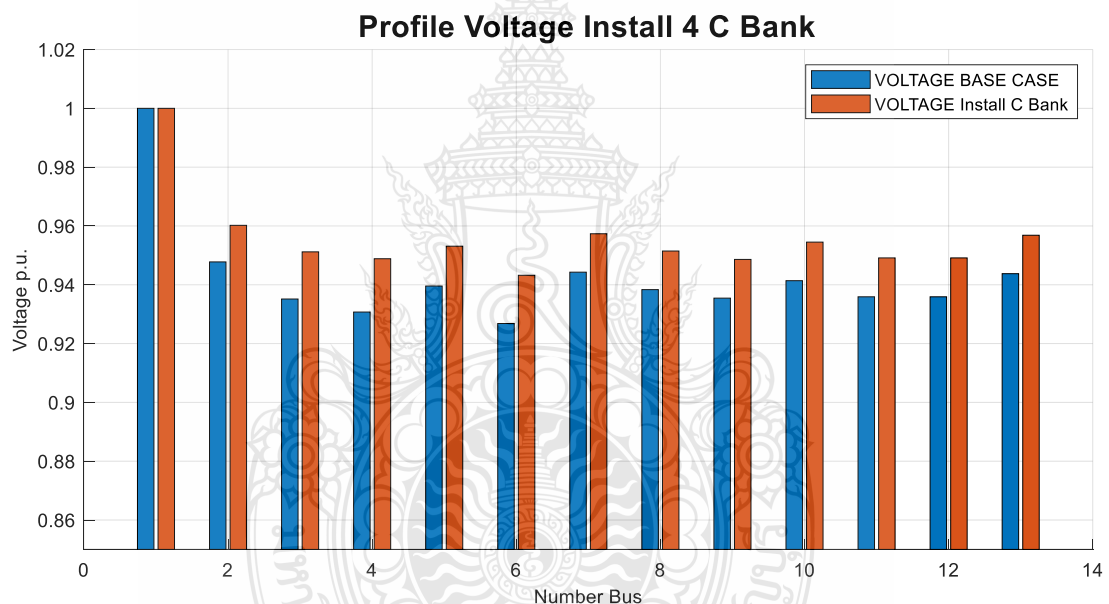
จากตารางที่4.7 เราสามารถอธิบายได้ว่า หลังจากทำการวิเคราะห์การติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ เห็นว่าเราซื้อคาปาซิเตอร์ 3 ตัว ขนาด 600kVAr 3 ตัว มาทำการติดตั้งที่ตำแหน่งบัสที่ 5 10 และ บัส4 ที่ราคารวม 3960\$ ได้ลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอ็กทีฟที่เกิดขึ้นบนระบบส่งจำหน่าย กำลังไฟฟ้าเหลือ 194 kW และการใช้จ่ายในระยะเวลาหนึ่งปีจาก 43172.64\$ เหลือ 36552\$ ได้ประหยัดในการใช้จ่ายต่อปี 6,620.64\$ ถ้าคิดเป็นร้อยละ 15.33 ในหนึ่งปี และระยะเวลาในการคืนทุน คือ 0.598 ปี≈7.178เดือน



รูปที่ 4.17 การค่าที่เหมาะสมที่ติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 3 ตัวกับระบบไฟฟ้าที่จังหวัดกำแพงเพชรกัมพูชา

ในจากรูปที่ 4.17 คือแสดงถึงตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าและลดต้นทุนการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ 3 ตัวในระบบไฟฟ้าที่จังหวัดกำแพงเพชร ประเทศกัมพูชา ซึ่งใกล้เคียงกับจุดศูนย์คือจุดที่มีน้ำหนัก $w_1 = 50$ และ $w_2 = 50$ ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอื่น เป็นจุดที่สามารถลดทั้งสองค่าลงได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ทำให้ค่าใดค่าหนึ่งสูงเกินไป ในกราฟ

4.4.3 การติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ 4 ตัว กับระบบส่งจำหน่ายไฟฟ้ากำลังที่จังหวัดกำแพงเพชร หลังจากการทำการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ 4 ตัวการสูญเสียทั้งหมดของกำลังไฟฟ้าแก็กที่ลดลงเหลือคือ 190kW และโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้าที่ต่ำสุดคือ 0.94 p.u ที่สามารถดูได้จากรูปที่ 4.18 โดยการเปรียบเทียบโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้ากรณีฐานกับการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ 4 ตัว

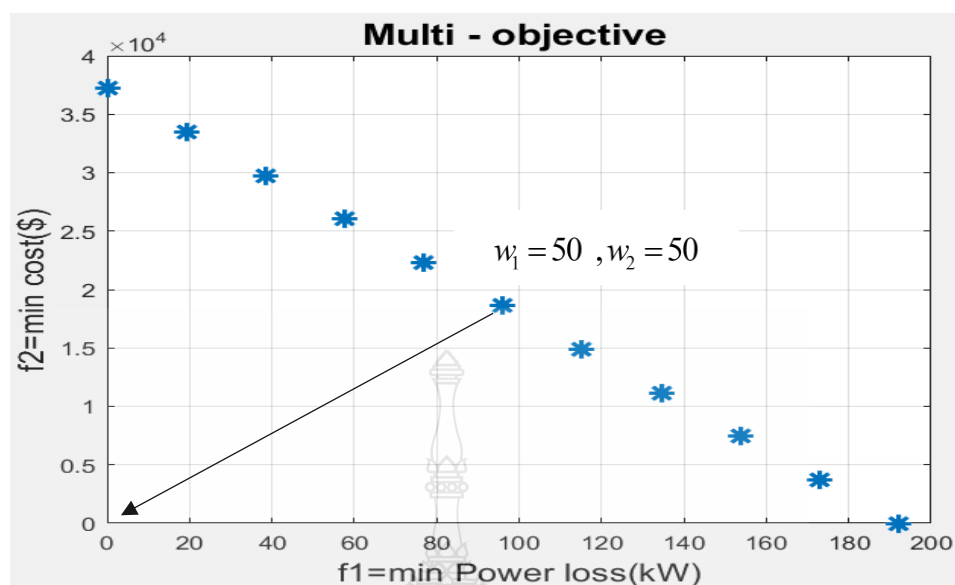


รูปที่ 4.18 โดยการเปรียบเทียบโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้ากรณีฐานกับการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ 4 ตัว

ตารางที่ 4.8 วิเคราะห์ก่อนติดตั้ง และหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 4 ตัวกับระบบส่งจำหน่ายที่จังหวัด
กำแพงเพชรกัมพูชา

ก่อนติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์					
ชนิดคาปาซิเตอร์ แบงค์	ตำแหน่ง Bus	ขนาด (kVAr)	ราคา คาปา ซิเตอร์แบงค์ (\$)	การสูญเสีย กำลังไฟฟ้า แอมป์ (kW)	ลดต้นทุน (\$/year)
-	-	-	-	256.98	43172.64
หลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์					
	4	600	1320		
	6	300	975	190	36855
	7	600	1320		
	2	600	1320		
การลดลงของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย				66.98	11,252.64
Annual Saving					6,317.46
Cost save percent (%)					14.63(%)
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)					0.781ปี~9.374เดือน

จากตารางที่ 4.8 เราสามารถอธิบายได้ว่า หลังจากทำการวิเคราะห์การติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ เห็นว่าเราซื้อคาปาซิเตอร์ 4 ตัว ขนาด 600kVAr 300kVAr 600kVAr และ600kVAr มาทำการติดตั้งที่ตำแหน่งบัสที่ 4 6 7 และบัส 2 ที่ราคารวม 4935\$ ได้ลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอมป์ที่เกิดขึ้นบนระบบส่งจำหน่ายกำลังไฟฟ้าเหลือ 190 kW และการใช้จ่ายในระยะเวลาหนึ่งปีจากราคาที่จ่ายคือ 43172.64\$ เหลือ 36855\$ ได้ประหยัดการใช้จ่ายต่อปีคือ 6,317.46\$ ถ้าคิดเป็นร้อยละ 14.63 ในหนึ่งปี และระยะเวลาในการคืนทุนคือ 0.781ปี~9.374เดือน



รูปที่ 4.19 การค่าที่เหมาะสมที่ติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แรงค์ 4 ตัวกับระบบไฟฟ้าที่จังหวัดกำแพงเพชร

ในจากรูปที่ 4.19 คือแสดงถึงตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าและลดต้นทุนการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แรงค์ 4 ตัวในระบบไฟฟ้าที่จังหวัดกำแพงเพชร ประเทศไทย ซึ่งใกล้เคียงกับจุดศูนย์คือจุดที่มีน้ำหนัก $w_1 = 50$ และ $w_2 = 50$ ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอื่น เป็นจุดที่สามารถลดทั้งสองค่าลงได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ทำให้ค่าใดค่าหนึ่งสูงเกินไปในกราฟ

4.4.4 การเปรียบเทียบ และสรุป กับระบบส่งจำหน่ายที่จังหวัดกำแพงเพชร ประเทศไทย

หลังจากการวิเคราะห์แล้ว เราจะทำการเปรียบเทียบระหว่างที่เราได้ทำการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แรงค์ 2 ตัว 3 ตัว และ 4 ตัว ต่อในระบบส่งจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง และทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนซื้อตัวคาปาซิเตอร์แรงค์เอามาทำการติดตั้งแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 วิเคราะห์การเปรียบเทียบในการลงทุนก่อนติดตั้ง และหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แรงค์ กับระบบส่งจำหน่ายที่จังหวัดกำแพงเพชร ประเทศไทย

ก่อนติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แรงค์					
ชนิดคาปาซิเตอร์	ตำแหน่ง	ขนาด	ราคา คาปาซิเตอร์แรงค์	การสูญเสียกำลังไฟฟ้า	ลดต้นทุน
แบ่ง	Bus	(kVAr)	(\$)	แอมป์	(\$/year)
				(kW)	

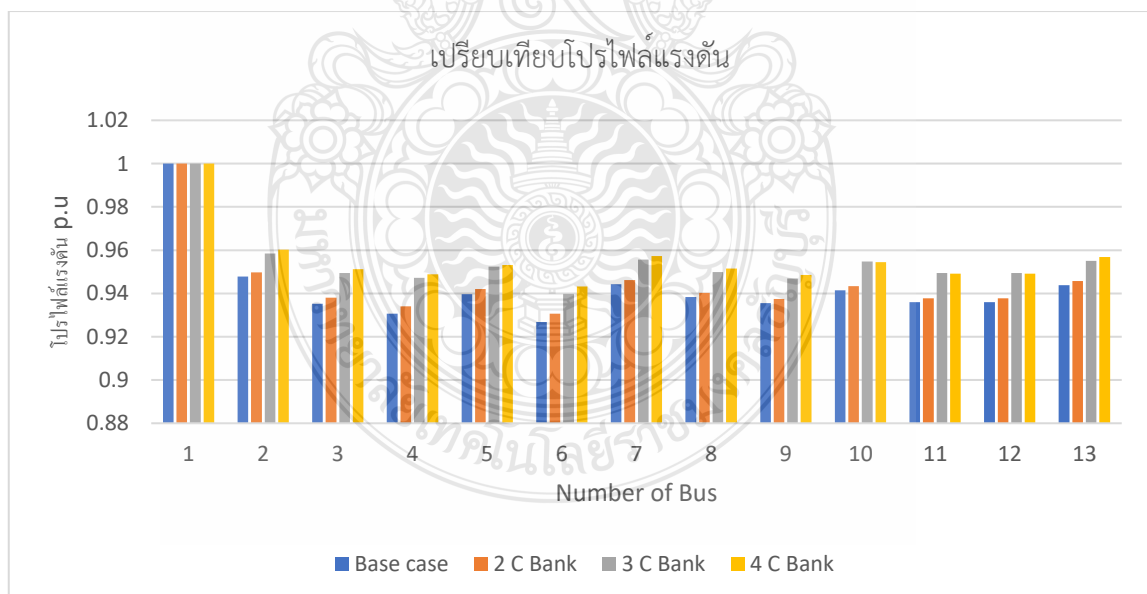
ตารางที่ 4.9 วิเคราะห์การเปรียบเทียบในการลงทุนก่อนติดตั้ง และหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์
แบบค์ กับระบบส่งจำหน่ายที่จังหวัดกำแพงเพชร (ต่อ)

-	-	-	256.98	43172.64
หลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์				
1. คาปาซิเตอร์แบงค์ 2ตัว				
6	150	750	238.12	41504.16
4	150	750		
การลดลงของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย			18.86	3,168.48
Annual Saving				1,668.48
Cost save percent (%)				3.86(%)
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)			0.899 ปี≈10.788 เดือน	
2. คาปาซิเตอร์แบงค์ 3ตัว				
5	600	1320		
10	600	1320	194	36552
4	600	1320		
การลดลงของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย			62.98	10,580.64
Annual Saving				6,620.64
Cost save percent (%)				15.33(%)
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)			0.598 ปี≈7.178เดือน	
3. คาปาซิเตอร์แบงค์ 4ตัว				
4	600	1320		
6	300	975	190	36855
7	600	1320		
2	600	1320		
การลดลงของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย			66.98	11,252.64
Annual Saving				6,317.46
Cost save percent (%)				14.63(%)
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)			0.781ปี≈9.374เดือน	

จากการแสดงในตารางที่ 4.9 เราสามารถจะอธิบายได้ว่าการที่ทำการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบค์ 2 ตัว ได้ปรับปรุงโปรไฟล์แรงดันให้ดีขึ้น ลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าอีกทีฟเหลือ 238.12kW การลงทุน

ซื้อคาปาซิเตอร์แบงค์ราคา 1500\$ ได้จ่ายในการลดการสูญเสียระยะเวลา1ปีจากราคาเดิม 43172.64\$ เหลือ 41504.16\$ ได้ประหยัดในการใช้จ่ายต่อปีคือ 1,668.48\$ ถ้าคิดเป็นร้อยละ 3.86 และในระยะเวลาการคืนทุนคือ 0.899 ปี≈10.788 เดือน, การติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์ 3ตัว ลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอมป์ที่ฟเหลือ 194kW การลงทุนซื้อคาปาซิเตอร์แบงค์ราคา 3960\$ ได้จ่ายในการลดการสูญเสียจากราคาเดิมคือ 43172.64\$ ระยะเวลา1ปี เหลือ 36552\$ ได้ประหยัดการในการใช้จ่ายต่อปีคือ 6,620.64\$ ถ้าคิดเป็นร้อยละ 15.33และระยะเวลาในการคืนทุนคือ 0.598 ปี≈7.178เดือน, การติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์ 4ตัว ลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอมป์ที่ฟเหลือ 190kW การลงทุนซื้อคาปาซิเตอร์แบงค์ราคา 4935\$ ได้จ่ายในการลดการสูญเสียในระยะเวลา1ปีจาก 43172.64\$ เหลือ 36855\$ ได้ประหยัดในการใช้จ่ายต่อปีคือ 6,317.46\$ ถ้าคิดเป็นร้อยละ 14.63 และระยะเวลาในการคืนทุนคือ 0.781ปี≈9.374 เดือน

ในการอธิบายข้างบน สามารถสรุปได้ว่าการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 4ตัวต่อเข้ากับระบบส่งจำหน่ายไฟฟ้ากำลังที่จังหวัดกำแพงเพชร ประเทศกัมพูชา คือเหมาะสมที่สุดที่รวมทั้งการลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอมป์ที่ฟเหลือ การลงทุนก็เหมาะสมดี โพรไฟล์ของแรงดันแต่ละบัสก็ดี แสดงในรูปที่ 4.20 และคิดร้อยละก็ดี ถ้าเปรียบเทียบกับติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์ 2 ชุดอื่น



รูปที่ 4.20 การเปรียบเทียบโพรไฟล์แรงดันกรณีฐาน กับโพรไฟล์แรงดันที่ติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์

บทที่ 5

สรุปผลวิจัย และเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำวิธีการใช้เทคนิคอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม ในการหาตำแหน่ง และขนาดของการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์เข้ากับระบบส่งจำหน่ายไฟฟ้ากำลังที่จังหวัดกำแพงเพชร ประเทศกัมพูชา โดยทำการจำลองระบบกับระบบมาตรฐาน IEEE 15 Bus

5.1.1 การทดลองจำลองกับระบบมาตรฐาน โดยเราจะทำการหาตำแหน่ง และขนาดในการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์เข้ากับระบบมาตรฐาน IEEE 15 Bus เพื่อปรับปรุงโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้าให้ดีขึ้นมีเสถียรภาพ และลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอมป์ในระบบให้เหลือน้อยที่สุด โดยติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์ 2 ตัว 3 ตัว 4 ตัวกับระบบจำลอง และทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ โดยโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้ากรณีฐาน ที่ตกต่ำที่สุดคือบัสที่ 13 (0.94 p.u) และกาสูญเสียกำลังไฟฟ้าแอมป์ 60.098kW ด้เป็นราคา 10096.46\$ ที่ต้องการปรับปรุงคือ เราก้ทำการจำลองระบบที่ติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์ 2 ตัว ด้ลดการสูญเสียเหลือ 45.44kW ด้เป็นราคาเหลือ 9133.92\$ ด้ประหยัดในการใช้จ่ายต่อปีคือ 962.54\$ (9.533%) ระยะเวลาในการคืนทุนคือ 1.56 ปี $\approx$ 18.7 เดือน และโพรไฟล์แรงดันที่ตกต่ำถูกอับขึ้นมาเป็น 0.95p.u , คาปาซิเตอร์แบงค์ 3 ตัว ด้ลดการสูญเสียเหลือ 32.411kW ด้เป็นราคาเหลือ 8439.48\$ ด้ประหยัดในการใช้จ่ายต่อปีคือ 1,656.98\$ (16.411%) ระยะเวลาในการคืนทุน 1.84 ปี $\approx$ 22.08 เดือน และโพรไฟล์แรงดันที่ตกต่ำถูกอับขึ้นมาเป็น 0.96p.u , คาปาซิเตอร์แบงค์ 4 ตัว ด้ลดการสูญเสียเหลือ 30.19kW ด้เป็นราคาเหลือ 8866.92\$ ด้ประหยัดในการใช้จ่ายต่อปีคือ 1,229.54\$ (12.18%) ระยะเวลาในการคืนทุน คือ 3.086 ปี $\approx$ 37.032 เดือน และโพรไฟล์แรงดันที่ตกต่ำถูกอับขึ้นมาเป็น 0.97p.u เราสามารถสรุปได้ว่าการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ 3 ตัวคือเหมาะสมที่สุดกับการจำลองระบบมาตรฐาน IEEE 15 Bus

5.1.2 การทดลองจำลองกับระบบส่งจำหน่ายไฟฟ้ากำลังที่จังหวัดกำแพงเพชร ประเทศกัมพูชา โดยจะทำการหาตำแหน่งและขนาดของการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์กับระบบส่งจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง เพื่อปรับปรุงโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้าให้ดีขึ้นมีเสถียรภาพ และลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอมป์ในระบบให้เหลือน้อยที่สุด โดยติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์ 2 ตัว 3 ตัว 4 ตัวกับระบบจำลอง และทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ โดยโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้ากรณีฐาน ที่ตกต่ำที่สุดคือบัสที่ 6 (0.92 p.u) และกาสูญเสียกำลังไฟฟ้าแอมป์ 256.98kW ด้เป็นราคา 43172.64\$ ที่ต้องการปรับปรุงคือเราก้ทำการจำลองระบบที่

ติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบ 2 ตัว ได้ลดการสูญเสียเหลือ 238.12 kW ที่เป็นราคาเหลือ 41504.16 \$ ได้ประหยัดในการใช้จ่ายต่อปีคือ 1,668.48 \$ (3.86%) ระยะเวลาในการคืนทุนคือ 0.899 ปี $\approx$ 10.788 เดือน และโปรไฟล์แรงดันที่ตกต่ำถูกปรับขึ้นมาเป็น 0.93 p.u , คาปาซิเตอร์แบบ 3 ตัว ได้ลดการสูญเสียเหลือ 194 kW ที่เป็นราคาเหลือ 39552 \$ ได้ประหยัดในการใช้จ่ายต่อปีคือ 6,620.64 (15.33%) ระยะเวลาในการคืนทุนคือ 0.598 ปี $\approx$ 7.178 เดือน และโปรไฟล์แรงดันที่ตกต่ำถูกปรับขึ้นมาเป็น 0.939 p.u , คาปาซิเตอร์แบบ 4 ตัว ได้ลดการสูญเสียเหลือ 190 kW ที่เป็นราคาเหลือ 36855 \$ ได้ประหยัดในการใช้จ่ายต่อปีคือ 6,317.46 \$ (14.63%) ระยะเวลาในการคืนทุนคือ 0.781 ปี $\approx$ 9.374 เดือน และโปรไฟล์แรงดันที่ตกต่ำถูกปรับขึ้นมาเป็น 0.94 p.u เราสามารถสรุปได้ว่าการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ 4 ตัวคือเหมาะสมที่สุดกับการจำลองระบบส่งจำหน่ายไฟฟ้ากำลังที่จังหวัดกำแพงเพชร ประเทศกัมพูชา

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการวิเคราะห์อัตราการใช้ของกำลังไฟฟ้ามีหลายวิธี เช่น วิธีนิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson Method) วิธีเกาส์-ไซเดล (Gauss-Seidel Method) วิธีกระจายโหลดแบบผ่อนคลาย (Decoupled Load Flow Method) วิธีกระจายโหลดแบบตัดแปลง (Fast Decoupled Load Flow Method)

5.2.2 สามารถนำอัลกอริทึมอื่น ๆ มาใช้ร่วมกับ Genetic Algorithm (GA) เช่น Particle Swarm Optimization (PSO), Ant Colony Optimization (ACO), หรือ Artificial Bee Colony (ABC) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมของคาปาซิเตอร์แบบ ซึ่งผลลัพธ์อาจจะมีดี และการประมวลผลได้เร็วขึ้น

5.2.3 ควรทำการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนในระยะยาว (เช่น 5-10 ปี) เพื่อประเมินความคุ้มค่าของการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบในระบบไฟฟ้า

5.2.4 ควรศึกษาการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบไดนามิก (Dynamic Capacitor) ที่สามารถปรับค่าการชดเชยกำลังไฟฟ้าได้ทันทีได้ตามความต้องการของระบบในเวลาจริง

5.2.5 ควรทำการวิเคราะห์ความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบ เช่น ความเสี่ยงด้านความปลอดภัย, ความเสี่ยงด้านการลงทุน, และความเสี่ยงด้านการบำรุงรักษา

5.2.6 ควรพัฒนาโปรแกรมหรือแอปพลิเคชันที่สามารถคำนวณตำแหน่งและขนาดของคาปาซิเตอร์แบบได้อย่างอัตโนมัติ โดยใช้ข้อมูลจากระบบไฟฟ้าจริง เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถนำไปใช้ได้ง่ายและสะดวกมากขึ้น

5.2.7 ควรสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด เพื่อให้ผลการวิจัยสามารถนำไปใช้ได้จริงในภาคอุตสาหกรรม

5.2.8 นอกจากลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าและปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าแล้ว ควรเพิ่มฟังก์ชันวัตถุประสงค์อื่น ๆ เช่น การลดต้นทุนการติดตั้งและบำรุงรักษา หรือการเพิ่มความเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าในระยะยาว



บรรณานุกรม

- [1] S. Neelima and P. S. Subramanyam, "Optimal capacitor placement in distribution networks for loss reduction using differential evolution incorporating dimension reducing load flow for different load levels," *2012 IEEE Energytech*, Cleveland, OH, USA, 2012, pp. 1-7, doi: 10.1109/EnergyTech.2012.6304693.
- [2] S. Ncwane, L. A. Arakkal, I. G. Mokwena and S. G. Satimburwa, "Sizing and Locating Shunt Capacitors in a Voltage Constrained South African Distribution Network," *2020 IEEE PES/IAS PowerAfrica*, Nairobi, Kenya, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/PowerAfrica49420.2020.9219907.
- [3] Dharmender, V.N.Bapat, Abhishek Gupta, Neeraj, 2013, OPTIMAL CAPACITORS PLACEMENT IN IEEE 6 Bus USING GENETIC ALGORITHM, INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCH & TECHNOLOGY (IJERT) NCEAM – 2013 (Volume 1 – Issue 02),
- [4] นิชา สารุจรัญ และ คมสันต์ ดาโรจน์ "การสังเคราะห์ข้อมูลโหลดสำหรับปัญหาการวางแผนติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบคี่ที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายไฟฟ้า",การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 45 วันที่ 6-18 พฤศจิกายน 2565 ณ ภูสักธาร รีสอร์ท อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก
- [5] T. P. M. Mtonga, K. K. Kaberere and G. K. Irungu, "Optimal Shunt Capacitors' Placement and Sizing in Radial Distribution Systems Using Multiverse Optimizer," in *IEEE Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 44, no. 1, pp. 10-21, winter 2021, doi: 10.1109/ICJECE.2020.3012041.
- [6] G. E. Mendoza, V. M. Vacas and N. R. Ferreira, "Optimal Capacitor Allocation and Sizing in Distribution Networks Using Particle Swarm Optimization Algorithm," *2018 Workshop on Communication Networks and Power Systems (WCNPS)*, Brasília, Brazil, 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/WCNPS.2018.8604320.
- [7] E. Kaushik, V. Prakash and O. P. Mahela, "Optimal Capacitor Placement in Transmission Network Using Grid Oriented Genetic Algorithm for Loss Reduction and Flexibility Improvement: Indian Scenario," *2022 International Conference on Computer*

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Communication and Informatics (ICCCI)*, Coimbatore, India, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICCCI54379.2022.9740840.
- [8] I. K. Suryawan and I. Dwijaya Saputra, "Optimization of Capacitor Placement in Radial Distribution System Using Integer Encoding Genetic Algorithm," *2020 International Conference on Applied Science and Technology (iCAST)*, Padang, Indonesia, 2020, pp. 544-548, doi: 10.1109/iCAST51016.2020.9557646.
- [9] N. Kanwar, P. Saini, N. Gupta, A. Swarnkar and K. R. Niazi, "Genetic algorithm based method for capacitor placement using new sensitivity based approach," *2014 Eighteenth National Power Systems Conference (NPSC)*, Guwahati, India, 2014, pp. 1-6, doi: 10.1109/NPSC.2014.7103784.
- [10] M. Delkhooni, O. Ayan, M. Purlu and B. Turkey, "Optimal capacitor placement in radial distribution system using genetic algorithm method," *2017 10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, Bursa, Turkey, 2017, pp. 1491-1495.
- [11] S. Lohia, O. P. Mahela and S. R. Ola, "Optimal capacitor placement in distribution system using genetic algorithm," *2016 IEEE 7th Power India International Conference (PIICON)*, Bikaner, India, 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109/POWERI.2016.8077355.
- [12] Abdul-Salam Ibrahim, Sadiku Sulemana, Addo Kwaben, "Optimal Capacitor Placement and Sizing for Loss Minimization and Voltage Profile Improvement Using Genetic Algorithm: A Case Study of the Electricity Company of Ghana" *International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR)* ISSN: 2321-0869 (O) 2454-4698 (P), Volume-3, Issue-7, July 2015
- [13] G. Upadhyay, R. Saxena and G. Joshi, "Optimal capacitor placement and sizing in distribution system using hybrid approach of PSO-GA," *2017 International Conference on Advances in Electrical Technology for Green Energy (ICAETGT)*, Coimbatore, India, 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICAETGT.2017.8341451.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [14] ณัฐพล ศิลปชัย "การวิเคราะห์ปัญหาเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าด้วยวิธีเส้นทางการไหลวิกฤตของกำลังไฟฟ้า", ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (น. 11 – 14) (2017)
- [15] S. Lohia, O. P. Mahela and S. R. Ola, "Optimal capacitor placement in distribution system using genetic algorithm," *2016 IEEE 7th Power India International Conference (PIICON)*, Bikaner, India, 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109/POWERI.2016.8077355.
- [16] S. Paul and W. Jewell, "Optimal capacitor placement and sizes for power loss reduction using combined power loss index-loss sensitivity factor and genetic algorithm," *2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, San Diego, CA, USA, 2012, pp. 1-8, doi: 10.1109/PESGM.2012.6345635.
- [17] M. Mahdavian, M. H. Kafi, A. Movahedi and M. Janghorbani, "Improve performance in electrical power distribution system by optimal capacitor placement using genetic algorithm," *2017 14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, Phuket, Thailand, 2017, pp. 749-752, doi: 10.1109/ECTICon.2017.8096347.
- [18] อภิรักษ์ ชัดวิลาศ, "การประยุกต์วิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด", ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ครั้งที่ 2 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, (2011).
- [19] D. Eam, V. Vai, S. Eng and L. You, "Optimizing Phase Allocation Arrangement for a Rural LVAC Distribution System: A Case Study in Cambodia," *2022 4th International Conference on Electrical, Control and Instrumentation Engineering (ICECIE)*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICECIE55199.2022.10000356.
- [20] O. Eth, V. Vai, L. Bun, S. Eng and K. Khon, "Optimal Radial Topology with Phase Balancing in LV Distribution System Considering Energy Loss Reduction: A Case Study in Cambodia," *2022 4th International Conference on Electrical, Control*

บรรณานุกรม (ต่อ)

- and Instrumentation Engineering (ICECIE)*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICECIE55199.2022.10000324.
- [21] S. Kay, V. Vai, S. Eng and T. Him, "Planning of Optimal Phase Balancing for an Unbalanced Distribution System: A Case Study of Cambodia," *2022 11th International Conference on Power Science and Engineering (ICPSE)*, Eskisehir, Turkey, 2022, pp. 108-111, doi: 10.1109/ICPSE56329.2022.9935454.
- [22] A. Mujezinović, N. Turković, N. Dautbašić, M. M. Dedović and I. Turković, "Use of Integer Genetic Algorithm for Optimal Allocation and Sizing of the Shunt Capacitor Banks in the Radial Distribution Networks," *2019 18th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH)*, East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/INFOTEH.2019.8717653.
- [23] ธวัช เกิดขึ้น ประเสริฐ เผื่อนหมื่นไวย วุฒิชัย สง่างาม และมงคล ด้านบำรุงตระกูล, "การประยุกต์ใช้เทคนิคการไหลของโหลดระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อวางแผนบริการระบบจำหน่ายไฟฟ้าทุกติยภูมิ" วารสารปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้า ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2552 *Journal of Practical Electrical Engineering*, Vol. 1, No. 2, 2009
- [24] H. Hartono, M. Azis and Y. Muharni, "Optimal Capacitor Placement For IEEE 118 Bus System By Using Genetic Algorithm," *2019 2nd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS)*, Denpasar, Indonesia, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICHVEPS47643.2019.9011111.
- [25] A. A. Zaki Diab, M. A. Tolba and V. N. Tulsy, "A new hybrid PSOGSA algorithm for optimal allocation and sizing of capacitor banks in RDS," *2017 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)*, St. Petersburg and Moscow, Russia, 2017, pp. 1496-1501, doi: 10.1109/EIConRus.2017.7910857.

ภาพผนวก



การออกแบบคาปาซิเตอร์แบงค์ที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังด้วยเทคนิคอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม

Optimal Design of Capacitor Banks in Power Distribution System Using Genetic Algorithm Technique

Sokban Sek ชัยมงคล เฟื่องเต็ม ศักดิ์สิทธิ์ ดีอ่ำ สิวัด รมโพธิ์ชัย พร้อมศักดิ์ อภิรติกุล ญัฐพล หาอุปละ และ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์*

หน่วยวิจัยระบบไฟฟ้ากำลัง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

*Corresponding author e-mail: krischonme.b@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบขนาด และตำแหน่งของคาปาซิเตอร์แบงค์ที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังด้วยเทคนิคอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมเพื่อปรับปรุงระบบไฟฟ้ากำลังให้มีเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกลหรือพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการขาดเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งการออกแบบขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมของคาปาซิเตอร์แบงค์ใช้ระบบมาตรฐาน IEEE 14 บัส มาทดสอบสิ่งที่นำเสนอ ผลการทดสอบพบว่าตำแหน่งการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์ในบัสที่ 11 ขนาด 436 kVar บัสที่ 9 ขนาด 685 kVar และบัสที่ 12 ขนาด 350 kVar ทำการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดจาก 0.90271 p.u. มาเป็น 0.95 p.u. แล้วทำการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียจาก 1231.3487 (kW) มาเป็น 842.9959 (kW) คิดเป็น 31.54 %

คำสำคัญ: คาปาซิเตอร์แบงค์ อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม ระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง

Abstract

This paper presents the design, size, and position of the appropriate capacitor bank in the power supply system with genetic algorithms to improve the power supply system to stabilize the voltage in remote areas or areas. The risk of instability of the power system. The design, size, and position of the capacitor bank using the IEEE 14 bus standard system to test what the test results show that the installation position. Passenger bank in bus 11 size 436 kVar, bus 9 size 685 kVar, and bus 12 size 350 kVar. Adjust the minimum voltage from 0.90271p.u. Comes as 0.95 p.u. Then reduce the power loss from 1231.3487 (kW) to 842.9959 (kW) or 31.54%.

Keywords: capacitor bank genetic algorithm, power distribution system

1. บทนำ

การหาตำแหน่งและขนาดติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์ (Capacitor Bank) ที่เหมาะสมเป็นปัญหาด้านหนึ่งที่จะทำการวางแผนเพื่อปรับปรุง

ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้า ปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง โดยการหาชนิด ขนาด และตำแหน่งติดตั้งตัวเก็บประจุที่เหมาะสม เพื่อช่วยให้กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่เกิดจากสายส่งไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ของระบบมีค่าลดลง ส่งผลให้ลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ [2]

ด้วยเหตุการนี้ที่จะตอบโจทย์การแก้ปัญหาหนึ่ง จะต้องทำการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์เข้าไปในระบบจำหน่าย เพื่อทำการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าให้มีเสถียรภาพ โดยใช้วิธีนี้จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบจำหน่ายดีขึ้น จะทำให้ระบบสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า [2]

บทความนี้เสนอแนวทางการออกแบบเพื่อหาตำแหน่งตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ให้เหมาะสม โดยได้นำเสนอเป็นลำดับ คือ การวิเคราะห์การไหลกำลังในระบบจำหน่ายไฟฟ้าองค์ประกอบของระบบจำหน่ายไฟฟ้า และเทคนิคการวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้าในส่วนที่ 2 ส่วนที่ 3 นำเสนอ เทคนิคอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม การออกแบบขนาด และตำแหน่งที่เหมาะสมของตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ในส่วนที่ 4 ส่วนที่ 5 กรณีศึกษาระบบมาตรฐาน IEEE 14 บัส และสุดท้ายใน ข้อ 6 ได้นำเสนอบทสรุปของการศึกษา

2. การวิเคราะห์การไหลกำลังในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ก่อนที่จะกำหนดฟังก์ชันต้นทุนจำเป็นต้องเข้าใจการไหลของพลังงานของระบบจำหน่ายในขณะที่ลดการสูญเสียพลังงานโดยการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์ที่เหมาะสม [3-4] การไหลของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟในแต่ละสาขาของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังที่แสดงในรูปที่ 1 ถูกกำหนดโดยใช้ สมการที่ (1) และสมการที่ (2)

$$P_p = P_{eff/q} + P_{Loss/k} \quad (1)$$

$$Q_p = Q_{eff/q} + Q_{Loss/k} \quad (2)$$

ปัจจัยสำคัญในการค้นหาการสูญเสียกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของระบบ ดังนั้นการไหลของกระแสในแต่ละสาขาของระบบไฟฟ้าจะได้รับการประเมินโดยใช้ สมการที่ (3)

$$I_k = \frac{P_p - jQ_p}{U_p - \delta_p} \quad (3)$$

$$I_k = \frac{U_{p\angle\delta_p} - U_{q\angle\delta_q}}{R_k + jX_k} \quad (4)$$

ในทำนองเดียวกัน โดยใช้วิธีการทั่วไปการสูญเสียกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟในแต่ละสาขาที่แสดงในสมการที่ (5) และสมการที่ (6)

$$P_{Loss/k} = I_k^2 \times R_k \quad (5)$$

$$Q_{Loss/k} = I_k^2 \times X_k \quad (6)$$

$$P_{Loss/k} = \left(\frac{P_{eff/q}^2 + Q_{eff/q}^2}{|U_q|^2} \right) \times R_k \quad (7)$$

$$Q_{Loss/k} = \left(\frac{P_{eff/q}^2 + Q_{eff/q}^2}{|U_q|^2} \right) \times X_k \quad (8)$$

โดยสรุปการสูญเสียสาขาทั้งหมดที่เป็นผลลัพธ์สามารถระบุได้ว่าเป็นการสูญเสียกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบจะแสดง[4-5]ในสมการที่ (9) และสมการที่ (10)

$$TotalP_{Loss} = \sum_{q=2}^{N_k} \sum_{k=1}^{N_k-1} \left(\frac{P_{eff/q}^2 + Q_{eff/q}^2}{|U_q|^2} \right) \times R_k \quad (9)$$

$$TotalQ_{Loss} = \sum_{q=2}^{N_k} \sum_{k=1}^{N_k-1} \left(\frac{P_{eff/q}^2 + Q_{eff/q}^2}{|U_q|^2} \right) \times X_k \quad (10)$$

3. เทคนิคอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม

เทคนิคอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม (GA) เป็นอัลกอริทึมการติดตามตามกระบวนการวิวัฒนาการทางชีวภาพ GA ใช้การแสดงโครโมโซมโดยที่โครโมโซมประกอบด้วยรหัสที่แสดงถึงอินพุตหรือตัวแปรการตัดสินใจ ความยาวของโครโมโซมมีจำกัดขึ้นอยู่กับตัวแปรการตัดสินใจจำนวนมาก และวิธีการเข้ารหัสของอินพุตโครโมโซม และค่าวัตถุประสงค์ที่ได้แสดงถึงบุคคล บุคคลจะปฏิบัติตามกระบวนการวิวัฒนาการเพื่อผลิตบุคคลที่ดีที่สุดซึ่งเป็นทางออกที่ดีที่สุดสำหรับปัญหากระบวนการวิวัฒนาการประกอบด้วยครอสโอเวอร์การกลายพันธุ์และการคัดเลือก[1] ในระหว่างวัฏจักรทางพันธุกรรมบุคคลใหม่ถูกสร้างขึ้น

บทความนี้ อินพุตหรือตัวแปรการตัดสินใจจะถูกเข้ารหัสด้วยจำนวนเต็ม และโครโมโซมเป็นเวกเตอร์จำนวนเต็ม และความยาวของโครโมโซมเท่ากับ 2 เท่าของจำนวนตำแหน่งตัวเก็บประจุที่มีศักยภาพ NC ประกอบด้วยสององค์ประกอบที่ต่อเนื่องกันบนโครโมโซมแสดงถึงตำแหน่งของตำแหน่งตัวเก็บประจุ และขนาดของตัวเก็บประจุที่มีศักยภาพ

4. การออกแบบขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสม

บุคคลในฐานะผู้ปกครองที่จะปฏิบัติตามกระบวนการข้ามจะถูกสุ่มเลือกจากประชากรที่มีอยู่ และการผสมข้ามจะเกิดขึ้นด้วยความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์องค์ประกอบเวกเตอร์ของโครโมโซมแม่ที่ข้ามจะถูกกำหนดโดยเวกเตอร์ไบนารี เวกเตอร์ไบนารีคือเวกเตอร์ที่มีองค์ประกอบของ 0 และ 1 เวกเตอร์ไบนารีเกิดขึ้นแบบสุ่ม และมีความยาวเท่ากับ ความยาวของโครโมโซม เวกเตอร์ไบนารีนี้เหมือนกับหน้าตาไบนารีใน [1] ถ้าบทนี้สามารถแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้:

$$X_{new1,i} \cdot X_{new2,i} = \begin{cases} X_{new1,i} = X_{old2,i}, X_{new2,i} = X_{old1,i} & \text{if } b_{v,i} = 1 \\ X_{new1,i} = X_{old1,i}, X_{new2,i} = X_{old2,i} & \text{if } b_{v,i} = 0 \end{cases} \quad (11)$$

$X_{new1,i} \cdot X_{new2,i}$ คือองค์ประกอบของโครโมโซมที่ 1 และ 2 ใหม่

$X_{old1,i} \cdot X_{old2,i}$ คือองค์ประกอบของโครโมโซมพ่อแม่ที่ 1 และ 2

$X_{bv,i}$ คือองค์ประกอบของเวกเตอร์ไบนารี

จำเป็นต้องมีกระบวนการกลายพันธุ์ของโครโมโซมใหม่เพื่อสำรวจพื้นที่ค้นหาประสิทธิภาพการกลายพันธุ์ขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นของการเกิดความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์องค์ประกอบเวกเตอร์ของโครโมโซมกลายพันธุ์ถูกกำหนดโดยเวกเตอร์ไบนารีที่สร้างขึ้นแบบสุ่ม การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบโครโมโซมที่เกิดจากการกลายพันธุ์สามารถแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$X'_{new,i} = \begin{cases} rand \cdot i & \text{if } b_{v,i} = 1 \\ X_{new,i} & \text{if } b_{v,i} = 0 \end{cases} \quad (12)$$

$X'_{new,i}$ คือองค์ประกอบของโครโมโซมกลายพันธุ์

ขั้นตอนหลักของวิธีการที่เสนอมีการระบุไว้ดังนี้:

- สร้างประชากรเริ่มต้นที่ประกอบด้วยโครโมโซมได้มากเท่ากับ NP โครโมโซมอยู่ในรูปของเวกเตอร์จำนวนเต็มและเกิดขึ้นแบบสุ่มตามหมายเลขบัสและหมายเลขตัวเก็บประจุ ความยาวของโครโมโซมคือ $2 \times NC$
- ทำการคำนวณการไหลของพลังงานเพื่อคำนวณการสูญเสียพลังงานและตรวจสอบขีดจำกัดการเพิ่มประสิทธิภาพ โครโมโซมหรือสารละลายที่ไม่เหมาะสมจะถูกแทนที่ด้วยโครโมโซมใหม่ที่เป็นไปได้
- คำนวณค่าวัตถุประสงค์ของโครโมโซมแต่ละตัวตาม สมการที่(13)
- ทำการผสมข้ามระหว่าง 2 โครโมโซมที่สุ่มเลือกด้วยความน่าจะเป็น pc เพื่อสร้างโครโมโซมใหม่ 2 โครโมโซมตาม สมการที่ (11)
- ดำเนินกระบวนการกลายพันธุ์ในโครโมโซมที่เกิดจากการผสมข้ามกับความน่าจะเป็น pm ตาม สมการที่ (12)

- ทำการคำนวณการไหลของพลังงานเพื่อคำนวณค่าของแต่ละโหนดโมโซมรวมทั้งตรวจสอบขีดจำกัดการเพิ่มประสิทธิภาพ
- รวมบุคคลใหม่กับบุคคลเก่าที่ได้รับการคัดเลือกด้วยระบบการแข่งขันตามมูลค่าวัตถุประสงค์ของแต่ละคน ประชากรรวมกันจะเป็นไปตามกระบวนการวิวัฒนาการต่อไปจากขั้นตอนที่ 4-7
- กระบวนการวิวัฒนาการจะคงอยู่จนถึง G_{max}

4.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

การติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายคือการลดต้นทุนประจำปีของการสูญเสียพลังงานจริง และการติดตั้งตัวเก็บประจุ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งตัวเก็บประจุประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและค่าใช้จ่ายของตัวเก็บประจุตามความจุของตัวเก็บประจุ (kVar) สามารถแสดงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$f = K_e P_L + \sum_{i=1}^{NC} (K_{ci} + C_{ci}) \quad (13)$$

$$\text{Optimal cost} = \min(f) \quad (14)$$

เมื่อ K_e คือค่าพลังงาน (\$/kW-year), P_L คือการสูญเสียพลังงานจริงทั้งหมด (kW) K_{ci} คือค่าติดตั้งคาปาซิเตอร์ (\$/year), C_{ci} คือค่าคาปาซิเตอร์ที่ตำแหน่ง i (\$/year), NC คือสถานที่ติดตั้งหลายแห่ง

$$\text{Minimize Power Loss} = \sum_{i=1}^{nbr} I_i^2 \times R_i \quad (15)$$

เงื่อนไขเพื่อรักษาคุณภาพของพลังงานที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสต้องเป็นไปตามข้อกำหนดขีดจำกัดแรงดันไฟฟ้าขั้นต่ำ V_{min} และขีดจำกัด แรงดันไฟฟ้าสูงสุด V_{max} บัส voltage ระบุไว้ดังนี้

$$V_{min} \leq |V_i| \leq V_{max} \quad (16)$$

ในส่วนต่อไปนี้จะทำการจำลอง $V_{min} = 0.95$ p.u และ $V_{max} = 1.05$ p.u จะถูกเลือกในการวัดการขีดจำกัด แรงดันไฟฟ้าบัสในระบบจำหน่ายแบบรัศมีดัชนีส่วนเบี่ยงเบนแรงดันไฟฟ้า VDI ถูกกำหนดเป็น

$$VDI = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{NV} (V_i - V_{Limit})^2}{N}} \quad (17)$$

$$V_{Limit} = \begin{cases} V_{min} & \text{if } |V_i| < V_{min} \\ V_{max} & \text{if } |V_i| > V_{max} \end{cases} \quad (18)$$

เมื่อ V_i = แรงดันบัสที่ i^{th} (p.u), N =จำนวนบัสในระบบจำหน่ายไฟฟ้า, NV จำนวนบัสที่มีแรงดันไฟฟ้าเกินขีดจำกัดต่ำสุดหรือสูงสุด โดยตัวเก็บ

ประจุไม่เกินกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟทั้งหมดที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าต้องการคือ

$$\sum_{i=1}^{NC} Q_{ci} \leq Q_{total} \quad (19)$$

เมื่อ Q_{ci} =กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ฉีดเข้าไปในบัส i และ Q_{total} =กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟทั้งหมดที่ระบบจำหน่ายที่ต้องการ

5. กรณีศึกษา

ในการศึกษานี้โดยใช้อัลกอริทึมทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm) จะสรุปผลได้ต่อไปนี้:

ตารางที่ 1 สรุปผลการจำลองสำหรับระบบ 14 บัส

Case	Base Case	GA Optimization
Active Power Loss	1231.3487 (kW)	842.9959 (kW)
Reactive Power Loss	709.5136 (kVar)	499.1635 (kVar)
CB Placement	-	11 9 12
CB Size (kVar)	-	436 685 350
Minimum Voltage	0.90271 p.u	0.95 p.u
Maximum Voltage	1 p.u	1 p.u

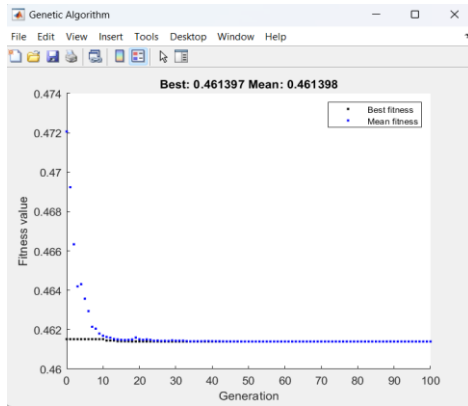
จากตารางที่ 1 ก่อนติดตั้งและหลังจากการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบ่งที่ เราจะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟก่อนติดตั้ง (1231.3487kW และ 709.5136 kVar) และหลังจากทำการติดตั้งจะมีการลดการสูญเสีย (842.9959 kW และ 499.1635 kVar)

ในการจำลองนี้เพื่อลดต้นทุนต่อตัวเก็บประจุ [1] ค่าคงที่ K_e ถูกเลือกคือเท่ากับ 168 \$ / kW-year

ตารางที่ 2 การคำนวณลดต้นทุนในหนึ่งปี

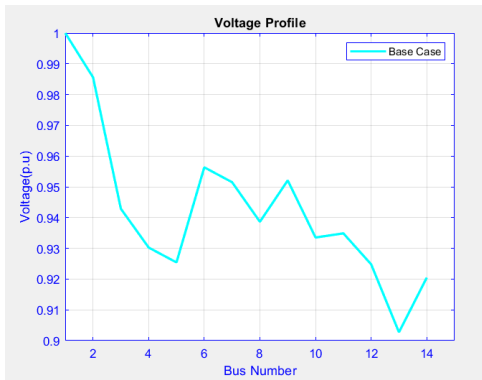
การบรรยาย	กรณีเบื้องต้น	อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม
P_{loss} (kW)	1231.3487	842.9959
Energy Loss (\$/year)	206,866.5816	141,623.3112
Saving (\$/year)	-	65,243.2704
Cost (%)	-	31.54 %

จากตารางที่ 2 คือการคำนวณต้นทุนก่อนติดตั้งและลดต้นทุนหลังติดตั้งจะเห็นว่าก่อนติดตั้งกำลังไฟฟ้าสูญเสีย 1231.3487kW สูญเสียเงินไป 206,866.5816\$/year และหลังติดตั้งคาปาซิเตอร์แบ่งที่ จะเห็นว่าลดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย 842.9959kW ลดเงินเหลือ 141,623.3112\$/year คิดเป็นร้อยละ 31.54



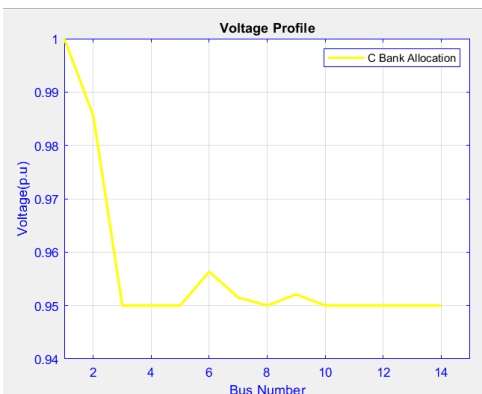
รูปที่1 การดูเข้ากันของ GA สำหรับการจัดวางตัวเก็บประจุ

จากรูปที่1 คือลักษณะการดูเข้ากันของการใช้อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม(Genetic Algorithm) สำหรับการจัดวางหาขนาด และตำแหน่งของตัวคาปาซิเตอร์แบ่งที่ที่เหมาะสม



รูปที่2 กรณีเบื้องต้นของโปรไฟล์แรงดันไฟฟ้า 14บัส

จากรูปที่2 คือกรณีเบื้องต้นของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำสุด และสูงสุดก่อนจะทำการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบ่งคือ (0.90271p.u และ 1 p.u)



รูปที่3 การใช้อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมแก้โปรไฟล์แรงดันไฟฟ้า 14บัส

จากรูปที่3 หลังจากติดตั้งคาปาซิเตอร์แบ่งที่ โดยใช้อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมเพื่อหาตำแหน่ง บัส (11 9 12) และขนาดตัวเก็บประจุ (436kVar 685kVar 350kVar)จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าถูกปรับปรุงที่ต่ำสุดและสูงสุดมาเป็น(0.95 p.u และ 1 p.u)

6. สรุป

ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดในการจัดวางตัวเก็บประจุในระบบการกระจายแบบเรเดียลสามารถทำได้โดยใช้การเข้ารหัสจำนวนเต็ม อัลกอริทึมทางพันธุกรรมเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการตรวจสอบย้อนกลับและประสิทธิภาพการคำนวณ จึงเสนอให้ใช้เวกเตอร์จำนวนเต็มสำหรับการเข้ารหัสตัวแปรการตัดสินใจ การใช้วิธีนี้ตัวคาปาซิเตอร์แบ่งที่เหมาะสม สามารถลดการสูญเสียพลังงานที่ใช้งาน และต้นทุนประจำปีของระบบจำหน่ายและเป็นผลให้มันปรับปรุงโปรไฟล์แรงดันไฟฟ้าบัส ผลการจำลองเชิงตัวเลขแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่เสนอสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายรายได้มากขึ้นและดัชนีความเบี่ยงเบนของแรงดันไฟฟ้าน้อยลงเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม

เอกสารอ้างอิง

- [1] I Ketut Suryawan and IGNA Dwijaya Saputra “Optimization of Capacitor Placement in Radial Distribution System Using Integer Encoding Genetic Algorithm” International Conference on Applied Science and Technology (iCAST) 2020
- [2] นิชา สาธุจริญ และ คมสันต์ คาโรจน์ “Synthesizing Load Data for Optimal Capacitor Placement in Radial Distribution” The 45th Electrical Engineering Conference (EECON-45)วันที่ 16 - 18 พฤศจิกายน 2565 ณ ภูสัถรา รีสอร์ท อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก
- [3] Soma, G.G. “Optimal Sizing and Placement of Capacitor Banks in Distribution Networks Using a Genetic Algorithm” Electricity 2021, 2, 187–204. <https://doi.org/10.3390/electricity2020012>
- [4] Essam A. Al-Ammar, Ghazi A. Ghazi, Wonsuk Ko, “Optimal capacitor placement in radial distribution systems using a fuzzy-dragonfly method” International Journal of Smart Grid and Clean Energy, vol.8,n,o,2,March2019:116-124.doi:
- [5] Erita Astrid, Krismadinata,Doni tri putra yanto,Citra Dewi“Optimal Allocation and sizing of Capacitors Employing Pattern Search Optimization” 30th April 2022. Vol.100. No 8ISSN: 1992-8645. E-ISSN: 1817-3195

การปรับปรุงเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าด้วยการติดตั้งคาปาซิเตอร์เบงก์ที่เหมาะสมที่สุด

ด้วยเทคนิคอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม

Improvement of Voltage Stability with Optimal Capacitor Banks Installation using Genetic Algorithm

Sokban Sek¹ อสิวดี บุญเยี่ยม² ชัยมงคล เฟื่องเต็ม³ ศักดิ์สิทธิ์ ตี้อ่ำ⁴ ศิวัด ร่มโพธิ์ชัย⁵ พร้อมศักดิ์ อภิศักกุล⁶

พิมพ์นภัส ภูมิภิตติพิชญ์⁷ ณัฐฤทธิศักดิ์ เอี่ยมสมบูรณ์⁸ และ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์⁹

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ต.รังสิต อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

²สาขาสัมคมศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ต.รังสิต อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

^{*}Corresponding author e-mail: krischonme.b@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการปรับปรุงเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าด้วยการติดตั้งคาปาซิเตอร์เบงก์ 2 ตัว 3 ตัว 4 ตัว กับระบบมาตรฐาน IEEE 15 บัส โดยใช้เทคนิคอัลกอริทึมพันธุกรรม เพื่อลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าแอกทีฟและปรับปรุงระบบโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้าให้มีเสถียรภาพในพื้นที่ห่างไกลหรือพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการขาดเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อเทียบกับก่อนปรับปรุงสามารถปรับปรุงเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าได้ขึ้น ลดอัตราการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้ามาตรฐาน IEEE 15 บัสได้ ในกรณีติดตั้งคาปาซิเตอร์เบงก์ 2 ตัวลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าได้ 9.53% ติดตั้งคาปาซิเตอร์เบงก์ 3 ตัวลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าได้ 16.41% ติดตั้งคาปาซิเตอร์เบงก์ 4 ตัวลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าได้ 12.18% ตามลำดับ

Abstract

This article presents an improvement in voltage stability by installing 2, 3, and 4 capacitor banks in the IEEE 15-bus standard system using a genetic algorithm technique. The aim is to reduce active power losses and enhance voltage profile stability, particularly in remote areas or regions susceptible to power system instability. The experimental results demonstrate that, compared to the system before the improvement, voltage stability can be significantly enhanced. Additionally, power losses in the IEEE 15-bus distribution system are effectively reduced: with 2 capacitor banks, losses are reduced by 9.53%; with 3 banks, by 16.41%; and with 4 banks, by 12.18%, respectively.

Keywords: power system, genetic algorithm, capacitor bank

1. บทนำ

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า ตัวคาปาซิเตอร์เบงก์จะทำหน้าที่ชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ตัวคาปาซิเตอร์เบงก์จะต้องติดตั้งในระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยเหตุผลหลายประการได้แก่ การลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้า การ

ปรับปรุงโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้าของบัส การกำจัดความจุของสายส่ง และการปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้า กระบวนการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์เบงก์ต้องพิจารณาตำแหน่ง และขนาดของตัวคาปาซิเตอร์เบงก์ที่เหมาะสมสำหรับตัวคาปาซิเตอร์เบงก์จะช่วยรักษาโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้า และลดกำลังไฟฟ้าแอกทีฟในระบบกำลังไฟฟ้า [1]

มีเทคนิคมากมายที่เสนอขึ้น โดยอิงจากวิธีการทางคณิตศาสตร์ทั่วไปในเอกสารทางวิชาการเพื่อลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ และปรับปรุงเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ โดยการหาตำแหน่งและขนาดที่ดีที่สุดของตัวคาปาซิเตอร์เบงก์ ในเอกสารทางวิชาการจำนวนมากที่ได้รับในช่วงไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมาเกี่ยวกับอัลกอริทึมการปรับปรุงประสิทธิภาพเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าสำหรับระบบส่งจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง ตัวอย่างเช่น แนะนำให้ใช้วิธีการตามอัลกอริทึมการเพิ่มประสิทธิภาพกลุ่มอนุภาค (PSO) อัลกอริทึมการเพิ่มประสิทธิภาพวาฟ (WOA) การเพิ่มประสิทธิภาพฝูงอนุภาคแบบเร่ง (APSO) การเพิ่มประสิทธิภาพหมาป่าสีเทาคัดแปลง (MGWO) อัลกอริทึมพันธุกรรม (GA) เพื่อแก้ไขปัญหาการวางตัวคาปาซิเตอร์เบงก์ นำเสนอตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับตัวคาปาซิเตอร์เบงก์ในระบบส่งจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง[1]

ส่วนที่เหลือของบทความนี้จะจัดเป็นดังนี้ในส่วนถัดไปการกำหนดปัญหาของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ปัจจัยความไวในการสูญเสียกำลังไฟฟ้าและการจำลองทางคณิตศาสตร์จะถูกกำหนดไว้ในส่วนนี้ ขั้นตอนของวิธีการอธิบายไว้ในส่วนที่ 3 และผลลัพธ์ที่ได้รับจะนำเสนอในส่วนที่ 4 ในที่สุดส่วนที่ 5 สรุปเอกสาร

2. การกำหนดปัญหา

2.1 ข้อจำกัดของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

กำลังรีแอกทีฟที่ฉีดเข้าที่บัส ในแต่ละบัสต้องอยู่ในช่วงจำกัดที่อนุญาตให้ที่แสดงไว้ดังต่อไปนี้ [2]

$$Q_{c(i)}^{\min} \leq Q_{c(i)} \leq Q_{c(i)}^{\max} \quad (1)$$

เมื่อ $Q_{c(i)}^{\min}$ คือเป็นขีดจำกัดของกำลังไฟฟ้รีเอ็กทีฟที่ต่ำกว่าบัสชดเชย i , $Q_{c(i)}$ คือคือปริมาณกำลังไฟฟ้รีเอ็กทีฟของตัวคาปาซิเตอร์แบงก์ที่ติดตั้งที่บัส i และ $Q_{c(i)}^{\max}$ เป็นขีดจำกัดของกำลังไฟฟ้รีเอ็กทีฟสูงของบัสชดเชย i และ $Q_{c(i)}^{\min}$ คือถูกจำกัดไว้ที่ขนาด 150kVar $Q_{c(i)}^{\max}$ คือถูกจำกัดไว้ที่ขนาดสูงสุดที่ 1200kVar

2.2 ข้อจำกัดค่าชดเชยรวมสูงสุด

การชดเชยสูงสุด $Q_c(i)$ โดยใช้ตัวคาปาซิเตอร์แบงก์ถูกจำกัดไว้ที่ความต้องการของกำลังไฟฟ้รีเอ็กทีฟโหลดทั้งหมด $Q_D(i)$

$$\sum_{i=1}^n Q_c(i) \leq \sum_{j=1}^l Q_D(j) \quad (2)$$

โดยที่ $Q_c(i)$ คือปริมาณกำลังไฟฟ้รีเอ็กทีฟของตัวคาปาซิเตอร์แบงก์ที่ติดตั้งที่บัส i และ $Q_D(i)$ คือความต้องการกำลังไฟฟ้รีเอ็กทีฟของโหลดที่บัส i

2.3 ข้อจำกัดของแรงดันไฟฟ้า

ในระบบส่งจำหน่ายไฟฟ้า $V_i^{\min} = 0.95$ pu และ $V_i^{\max} = 1.05$ pu ในกรณีที่ $V_i^{\min}$ คือขีดจำกัดแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำกว่า $V_i^{\max}$ คือขีดจำกัดแรงดันไฟฟ้าที่สูง

$$V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max} \quad (3)$$

2.4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาการจัดวางตัวคาปาซิเตอร์แบงก์ที่เหมาะสมที่สุดคือการลดการสูญเสียพลังงานทั้งหมดของระบบที่กำหนดโดยสมการ :

$$\min P_{\text{loss}} = \sum_{(i,j) \in \text{line}} \frac{(P_{i,j}^2 + (Q_{i,j} - Q_{c,j})^2) R_{i,j}}{V_i^2} \quad (4)$$

$$\text{Subject to } Q_{\text{gen},i} - Q_{\text{load},i} - Q_{c,j} = \sum Q_{i,j} \quad (5)$$

$$Q_{c,j}^{\min} \leq Q_{c,j} \leq Q_{c,j}^{\max} \quad (6)$$

$\min \text{Cost} (\$/\text{Year})$ ค่าใช้จ่ายของการสูญเสียพลังงานและตำแหน่งคาปาซิเตอร์แบงก์ดังต่อไปนี้:

$$\min \text{Cost} = K_e \sum_{i=1}^{br} P_{\text{loss}(i)} + \sum_j (K_j^c \times Q_j^c) \quad (7)$$

$$\text{Subject to } Q_j^c = \sum_{j=1}^c Q_j X_j \quad (8)$$

$$Q_{\text{demand}} - Q_{c,j} \geq Q_{\min} \quad (9)$$

$$Q_{\text{demand}} - Q_{c,j} \leq Q_{\max} \quad (10)$$

$$Q_{c,j}^{\min} \leq Q_{c,j} \leq Q_{c,j}^{\max} \quad (11)$$

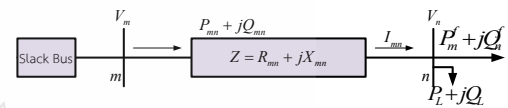
$$Q_C^{\text{Total}} \leq Q_L^{\text{Total}} \quad (12)$$

เมื่อ X_j คือตัวแปรการตัดสินใจ (1 = ติดตั้ง, 0 = ไม่ติดตั้ง), K_e คือต้นทุนต่อปีที่เทียบเท่าต่อหน่วยของการสูญเสียกำลังไฟฟ้าแอกทีฟเป็น (168\$/kW-ปี) $P_{\text{loss}(i)}$ คือการสูญเสียกำลังไฟฟ้าแอกทีฟทั้งหมด j คือจำนวนที่เลือกติดตั้งของบัสสำหรับติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบงก์ K_j^c คือราคาของตัวคาปาซิเตอร์แบงก์เป็น (\$/kVar) ที่ขึ้นอยู่กับประเภทขนาดตัวคาปาซิเตอร์แบงก์ Q_j^c และการคำนวณระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) สามารถคำนวณได้ตามสมการนี้

$$\text{Payback Period} = \frac{\sum_j (K_j^c \times Q_j^c)}{\text{Annual savings}} \quad (13)$$

$$\text{เมื่อ } \text{Annual Savings} = \text{Cost Before} - \text{Cost After} \quad (14)$$

2.5 การจำลองทางคณิตศาสตร์



รูปที่ 1 แบบจำลองสาขากระบบการกระจายระหว่างสองโหนด m และ n ที่มีการกระจายระหว่างโหนดสอง โหนด m และ n ที่มี ความต้านทานและรีแอคแตนซ์คือ R_{mn} และ jX_{mn} ตามลำดับ และยังมี โหลด $P_L + jQ_L$ ที่แสดงในรูปที่ 1 การไหลของกำลังไฟฟ้าจริงที่ใช้งาน และกำลังไฟฟ้รีเอ็กทีฟระหว่างโหนดทั้งสองคำนวณโดยสมการที่แสดงต่อไปนี้

$$P_{mn} = P_m^f + P_L + R_{mn} \frac{P_{mn}^2 + Q_{mn}^2}{V_m^2} \quad (15)$$

$$Q_{mn} = Q_m^f + Q_L + X_{mn} \frac{P_{mn}^2 + Q_{mn}^2}{V_m^2} \quad (16)$$

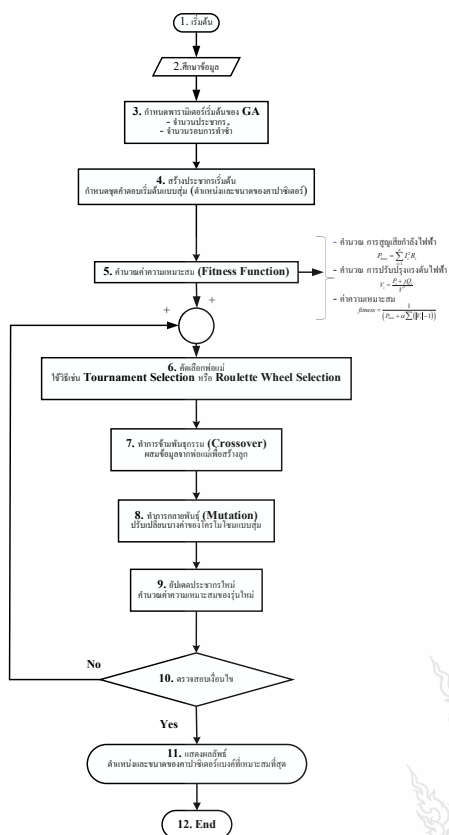
$$V_n^2 = V_m^2 - 2(P_{mn} R_{mn} + Q_{mn} X_{mn}) + (R_{mn}^2 + X_{mn}^2) \frac{(P_{mn}^2 + Q_{mn}^2)}{V_m^2} \quad (17)$$

3.วิธีการ

3.1 เทคนิคอัลกอริทึมพันธุกรรม

เทคนิคอัลกอริทึมพันธุกรรมเป็นอัลกอริทึมการคิดตามตามกระบวนการวิวัฒนาการทางชีวภาพ GA ใช้การแสดงโครโมโซมโดยที่โครโมโซมแสดงถึงยีนหรือตัวแปรการตัดสินใจ ความยาวของโครโมโซมมีจำกัดขึ้นอยู่กับตัวแปรการตัดสินใจจำนวนมาก และวิธีการเข้ารหัสของยีนโครโมโซม และค่าวัตถุประสงค์ที่ได้แสดงถึงบุคคลบุคคลจะปฏิบัติตามกระบวนการวิวัฒนาการเพื่อผลิตบุคคลที่ดีที่สุดบทความนี้ ยีนหรือตัวแปรการตัดสินใจจะถูกเข้ารหัสด้วยจำนวนเต็มและโครโมโซมเป็นเวกเตอร์จำนวนเต็ม และความยาวของโครโมโซมเท่ากับ 2 เท่าของจำนวนตำแหน่งตัวเก็บประจุที่มีศักยภาพ จำนวนโครโมโซมประกอบด้วยสององค์ประกอบที่ต่อเนื่องกันบนโครโมโซมแสดงถึงตำแหน่งของตำแหน่งตัวเก็บประจุ และขนาดของตัวคาปาซิเตอร์แบงก์ที่มีศักยภาพ

3.2 การออกแบบขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสม



รูปที่ 2 ขั้นตอนการหาตำแหน่งและขนาดติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบอัลกอริทึมพันธุกรรม [3]

4. ผลการจำลอง

4.1 กรณีศึกษา การติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบ 2 ตัว

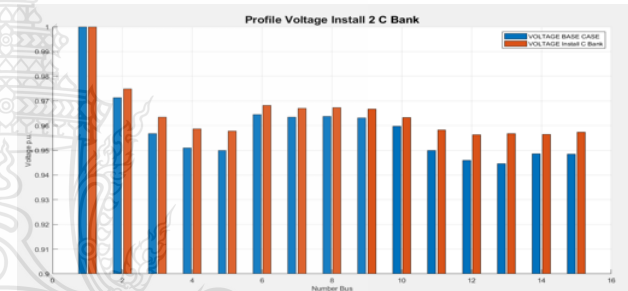
การสูญเสียของกำลังไฟฟ้าจริงทั้งหมด 60.098 kW ที่สูญเสียไปคิดเป็นราคา 10096.46\$ และการลงทุนในการซื้อตัวคาปาซิเตอร์แบบ 2 ตัวที่ใช้อัลกอริทึมพันธุกรรม เพื่อหาตำแหน่งและขนาดคือได้ ตำแหน่งที่บัส 15 กับ 12 และขนาด 150 kVAr 2 ตัว ดังนั้นเราสามารถดูจากตาราง 4.2 ต่อไปนี้ หลังจากทำการวิเคราะห์การติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ 2 ตัว เห็นว่าเราซื้อคาปาซิเตอร์ 2 ตัว ขนาด 300 kVAr มาทำการติดตั้งที่ตำแหน่งบัสที่ 15 และบัส 12 ที่ราคา 1500\$ ได้ผลการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแก็กที่ฟที่เกิดขึ้นบนระบบส่งจำหน่ายกำลังไฟฟ้าจาก 60.098 kW เหลือ 45.44 kW และการใช้จ่ายในระยะเวลาหนึ่งปีจาก 10096.46\$ มาเหลือ 9133.92\$ ถ้าคิดเป็นร้อยละ 9.53 ในหนึ่งปีและโปรไฟล์แรงดันไฟฟ้าที่ตกต่ำถูกปรับปรุงจาก 0.94 p.u มาเป็น 0.95 p.u ถ้าเทียบกับโปรไฟล์แรงดันไฟฟ้ากรณีฐาน ดูได้จากรูปที่ 3

ตารางที่ 1 ขนาดตัวคาปาซิเตอร์แบบ 2 ตัวที่มีจำหน่ายและต้นทุนต่อปี [4]

ขนาด (kVAr)	150	300	450	600	900	1200
Cost (\$)	750	975	1140	1320	1650	2040

ตารางที่ 4.2 วิเคราะห์ก่อนติดตั้ง และหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ 2 ตัว

ก่อนติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ 2 ตัว				
Bus No.	(kVAr)	ราคา Cbank	P_{Loss}	ลดต้นทุน
-	-	-	60.09	10096.46
หลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ 2 ตัว				
15	150	750		
12	150	750	45.44	9133.92
Annual Saving				962.54
Cost saving percent (%)				9.53
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)				1.56 ปี $\approx$ 18.7 เดือน



รูปที่ 3 โปรไฟล์ของแรงดันไฟฟ้าที่ติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ 2 ตัวเทียบกับโปรไฟล์แรงดันกรณีฐาน

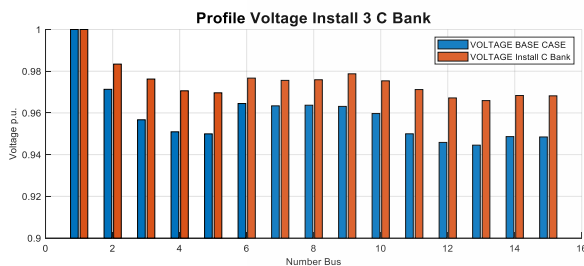
4.2 กรณีศึกษา การติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบ 3 ตัว

การหาตำแหน่ง และขนาดติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ 3 ตัวที่ใช้อัลกอริทึมพันธุกรรม เพื่อหาตำแหน่งและขนาดคือได้ ตำแหน่งที่บัส 3 11 กับ 9 และขนาด 600kVAr 150kVAr กับ 300kVAr ดังนั้นเราสามารถดูจากตาราง 4.3 ต่อไปนี้

ตารางที่ 2 วิเคราะห์ก่อนติดตั้ง และหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ 3 ตัว

ก่อนติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ 3 ตัว				
Bus No.	(kVAr)	ราคา Cbank	P_{Loss}	ลดต้นทุน
-	-	-	60.09	10096.46
หลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบบ 3 ตัว				
3	600	1320		
11	150	975	32.11	8439.48
9	300	750		
Annual Saving				1,656.98
Cost saving percent (%)				16.41
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)				1.84 ปี $\approx$ 22.08 เดือน

หลังจากทำการวิเคราะห์การติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์เบงก์ เห็นว่าซื้อคาปาซิเตอร์ 3 ตัว ขนาด 600kVAr 150kVAr และ 300kVAr มาทำการติดตั้งที่ตำแหน่งบัสที่ 3 11 และบัส 9 ที่ราคารวม 3045\$ ได้ลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าจริงที่เกิดขึ้นบนระบบส่งจำหน่ายกำลังไฟฟ้าจาก 60.098 kW เหลือ 32.11kW และการใช้จ่ายในระยะเวลาหนึ่งปีจาก 10096.46\$ มาเหลือ 8439.48\$ ถ้าคิดเป็นร้อยละ 16.41 ในหนึ่งปีและโปรไฟล์ของแรงดันไฟฟ้าถูกปรับปรุงจาก 0.94 p.u มาเป็น 0.96 p.u ถ้าเทียบกับโปรไฟล์ของแรงดันไฟฟ้ากรณีฐาน ดูได้จากรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 โปรไฟล์ของแรงดันไฟฟ้าที่ติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์เบงก์ 3 ตัว เทียบกับโปรไฟล์แรงดันกรณีฐาน

4.3 กรณีศึกษา การติดตั้งคาปาซิเตอร์เบงก์ 4 ตัว

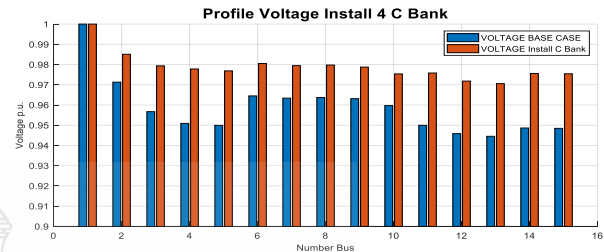
การหาตำแหน่ง และขนาดติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์เบงก์ 4 ตัวที่ใช้หลักการหาค่าเหมาะที่สุด เพื่อหาตำแหน่งและขนาดคือได้ ตำแหน่งที่บัส 6 9 11 กับ 4 และขนาด 150kVAr 150kVAr 300kVAr กับ 600kVAr ดังนั้นสามารถดูจากตาราง 4.4 ต่อไปนี้

ตารางที่ 3 วิเคราะห์ก่อนติดตั้ง และหลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์เบงก์ 4 ตัว

ก่อนติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์เบงก์				
Bus No.	(kVAr)	ราคา Cbank	P_{Loss}	ลดต้นทุน
-	-	-	60.09	10096.46
หลังติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์เบงก์				
6	150	750	30.19	8866.92
9	150	750		
11	300	975		
4	600	1320		
Annual Saving				1,229.54
Cost saving percent (%)				12.18(%)
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)			3.086 ปี $\approx$ 37.032เดือน	

หลังจากทำการวิเคราะห์การติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์เบงก์ เห็นว่าซื้อคาปาซิเตอร์ 4 ตัว ขนาด 150kVAr 150kVAr 300kVAr และ 600kVAr มาทำการติดตั้งที่ตำแหน่งบัสที่ 6 9 11 และบัส 4 ที่ราคารวม 3795\$ ได้ลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าแอมป์ที่เกิดขึ้นบนระบบส่งจำหน่ายกำลังไฟฟ้าจาก 60.098 kW เหลือ 30.19kW และลดต้นทุนในระยะเวลาหนึ่งปีจาก 10096.46\$ มาเหลือ 8866.92\$ คือได้การประหยัด

ค่าใช้จ่ายต่อปี 1,229.54\$ ถ้าคิดเป็นร้อยละ 12.18 ในหนึ่งปี และโปรไฟล์แรงดันไฟฟ้าถูกปรับปรุงจาก 0.94 p.u มาเป็น 0.97 p.u ถ้าเทียบกับโปรไฟล์ของแรงดันไฟฟ้ากรณีฐาน ดูได้จากรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 โปรไฟล์แรงดันไฟฟ้าที่ติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์เบงก์ 4 ตัวกับโปรไฟล์แรงดันไฟฟ้ากรณีฐาน

5.สรุป

ผลลัพธ์ที่ทำการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์เบงก์ 2 ตัว 3 ตัว 4 ตัวในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลสามารถทำได้โดยใช้การเข้ารหัสจำนวนเต็มอัลกอริทึมพันธุกรรมเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพแรงดันไฟฟ้า ลดสูญเสียกำลังไฟฟ้า จึงเสนอให้ใช้วิธีนี้เพื่อติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์เบงก์ที่เหมาะสม สามารถลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าแอมป์ที่ใช้งาน และต้นทุนประจำปีของระบบจำหน่ายและเป็นผลให้มันปรับปรุงโปรไฟล์แรงดันไฟฟ้าที่บัส ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่เสนอสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายรายปีได้มากขึ้นและดัชนีความเบี่ยงเบนของแรงดันไฟฟ้าน้อยลงเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. H. Sulaiman et al., "Optimal Capacitor Sizing and Siting in a Radial Distribution System Using Particle Swarm Optimization Algorithm," 2024 IEEE 5th International Conference on Electro-Computing Technologies for Humanity (NIGERCON), Ado Ekiti, Nigeria, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/NIGERCON62786.2024.10927092.
- [2] S. Lohia, O. P. Mahela and S. R. Ola, "Optimal capacitor placement in distribution system using genetic algorithm," 2016 IEEE 7th Power India International Conference (PIICON), Bikaner, India, 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109/POWERI.2016.8077355.
- [3] N. A. Basyarach, O. Penangsang and A. Soeprijanto, "Optimal capacitor placement and sizing in radial distribution system using accelerated particle swarm optimization," 2017 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA), Surabaya, Indonesia, 2017, pp. 93-97, doi: 10.1109/ISITIA.2017.8124061.
- [4] I. K. Suryawan and I. Dwijaya Saputra, "Optimization of Capacitor Placement in Radial Distribution System Using Integer Encoding Genetic Algorithm," iCAST, Indonesia, 2020, pp. 544-548.

ประวัติผู้เขียน

ประวัติผู้เขียน : Mr. sokban sek
วัน เดือน ปีเกิด : 11 March 1989
ที่อยู่ : Prasat Sombor District Kampong Thom Province in Cambodia
การศึกษา : ปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประสบการณ์การทำงาน : ในปี 2014 - ปัจจุบัน เป็นครูสอนอยู่สถาบันเทคโนโลยีกำปงเณอเตียลอยู่ประเทศกัมพูชา
เบอร์โทรศัพท์ : เบอร์โทรศัพท์ไทย 0827315105 เบอร์โทรศัพท์กัมพูชา 098338858
Email : sek_s@mail.rmutt.ac.th or sek.sokban.kcit@moeys.gov.kh

