



การใช้วิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริทึมแบบปรับปรุงแล้วสำหรับการวางแผนขยายระบบสายส่ง  
โดยพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคง

**AN ENHANCED DIFFERENTIAL EVOLUTION ALGORITHM FOR TRANSMISSION  
EXPANSION PLANNING WITH SECURITY CONSTRAINT CONSIDERATION**

นายอัษฎาวุธ ชะโรจน์บวร  
นายอาร์โนว กัดสิงห์

โครงการวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2559

การใช้วิธีดิวอลต์เฟอเรนเซียลอีโวลูชันอัลกอริธึมแบบปรับปรุงแล้วสำหรับการวางแผนขยายระบบสายส่ง  
โดยพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคง

**AN ENHANCED DIFFERENTIAL EVOLUTION ALGORITHM FOR TRANSMISSION EXPANSION  
PLANNING WITH SECURITY CONSTRAINT CONSIDERATION**

นายอัษฎาภูษิต ชะโรจน์บวร  
นายอาร์โนวัฒน์ กลัดสิงห์

โครงการวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
ปีการศึกษา 2559  
ลิขสิทธิ์เป็นของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

โครงการวิศวกรรม

เรื่อง

การใช้วิธีดีฟเฟอร์เรนเชียลโวลูชันอัลกอริธึมแบบปรับปรุงแล้วสำหรับการวางแผนขยายระบบสายส่ง

โดยพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคง

ของ

นายอัษฎาภูษิต ชะโรจน์บวร

นายอาร์โนว์ กัดสิงห์

ได้รับอนุมัติจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.เวศิน ปิยรัตน์)

คณะกรรมการสอบโครงการวิศวกรรม

.....ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.คมกฤษ ประเสริฐวงษ์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ธนาธิป สุ่มอิม)

การใช้วิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริทึมแบบปรับปรุงแล้วสำหรับการ  
วางแผนขยายระบบสายส่งโดยพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคง  
ปีการศึกษา 2559

โดย

นายอัษฎาวุธ ชะโรจน์บวร  
นายอาร์โนว์ กัดตสิงห์

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ดร.ธนาธิป สุ่มอิม

บทคัดย่อ

โครงการวิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์วิธีการใช้ดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริทึมแบบปรับปรุงแล้วสำหรับวางแผนขยายระบบสายส่งแบบพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคง (An Enhanced Differential Evolution Algorithm: EDEA) ซึ่งในโครงการนี้ได้ทำการวางแผนขยายระบบสายส่งโดยพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในระบบ Brazilian 46-Bus สำหรับการออกแบบโปรแกรมโดยการใช้ EDEA ซึ่งเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุด โดยตั้งค่าพารามิเตอร์ของค่าคงที่การครอสโอเวอร์ ( $CR$ ) และค่าตัวประกอบการมิวเตชัน ( $F$ ) จากผลการทดลองพบว่า EDEA มีประสิทธิภาพ ในการแก้ไขปัญหาการวางแผนขยายระบบสายส่งโดยมีเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือของการคำนวณสูง

**คำสำคัญ:** ดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชัน การวางแผนขยายระบบสายส่ง

**AN ENHANCED DIFFERENTIAL EVOLUTION ALGORITHM FOR  
TRANSMISSION EXPANSION PLANNING WITH  
SECURITY CONSTRAINT CONSIDERATION  
Academic Year 2016**

**By**

Mr. Atsawut Charojboworn

Mr. Arno Kladsingha

**Advisor**

Dr.Thanathip Sum-Im

**Abstract**

This engineering project presents an Enhanced Differential Evolution Algorithm (EDEA) application to Transmission Expansion Planning (TEP) with security constraint consideration. In this work, the TEP problem with N-1 security constraint of generation is considered using the Brazilian 46-Bus system. For the programming design, a probability method has been applied the proposed EDEA optimization programming to set parameter values of crossover ( $CR$ ) and mutation factor ( $F$ ). From obtained results, the EDEA has good performance to solve the proposed TEP problem as shown high stability and reliability of computation.

**Keywords:** Differential Evolution, Transmission Expansion Planning

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณหลายท่านคณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ธนาธิป สุ่มอิม อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ได้กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตรวจสอบแก้ไขความเรียบร้อย ตลอดจนการชี้แนะในการหาคำตอบในปัญหาต่างๆ ระหว่างจัดทำโครงการนี้ ด้วยความเอาใจใส่อย่างยิ่ง

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันมีคุณค่าเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้

ท้ายที่สุดนี้ ทางคณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณทุกคนในครอบครัวที่ให้การสนับสนุนให้กำลังใจในการศึกษาตลอดมา และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการวิศวกรรมนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจนำไปศึกษาไม่มากก็น้อยต่อไป ความดีและประโยชน์ใดๆ จากโครงการวิศวกรรมนี้ ขอมอบให้กับผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวมาทั้งหมด

คณะผู้จัดทำโครงการ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
รายการสัญลักษณ์	ซ
ประมวลคำย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การวางแผนขยายระบบสายส่งไฟฟ้า	3
2.1.1 <i>N-1</i> Security Constraint	3
2.1.2 การไหลของไฟฟ้ากระแสตรง	4
2.1.3 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์	5
2.1.4 ข้อจำกัดของปัญหา	5
2.2 ดิฟเฟอเรนเชียลโวลูชันอัลกอริทึม	7
2.2.1 หลักการพื้นฐานของดิฟเฟอเรนเชียลโวลูชันอัลกอริทึม	8
2.2.2 กระบวนการทำงานของดิฟเฟอเรนเชียลโวลูชันอัลกอริทึม	8
2.2.3 ขั้นตอนการใช้งานดิฟเฟอเรนเชียลโวลูชันอัลกอริทึม	12
2.2.4 ความแตกต่างระหว่าง Conventional DEA กับ EDEA	14
2.3 ทบทวนวรรณกรรมในงานที่เกี่ยวข้อง	14

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	16
3.1 การออกแบบดิฟเฟอร์เรนเชียลโอโวลูชั่นอัลกอริธึมแบบปรับตัวเองได้และ ขั้นตอนการทำงานของดิฟเฟอร์เรนเชียลโอโวลูชั่นอัลกอริธึมแบบปรับตัว เองได้โดยใช้วิธีความน่าจะเป็น	16
3.1.1 ขั้นตอนการทำงานของดิฟเฟอร์เรนเชียลโอโวลูชั่นอัลกอริธึมแบบ ปรับตัวเองได้โดยใช้วิธีความน่าจะเป็น	16
3.2 การนำดิฟเฟอร์เรนเชียลโอโวลูชั่นอัลกอริธึมแบบปรับปรุงแล้วไปใช้ แก้ปัญหาการวางแผนขยายระบบสายส่งไฟฟ้าโดยพิจารณาเงื่อนไขความ มั่นคง	19
3.3 ระบบที่ใช้พิจารณาการวางแผนขยายระบบสายส่งไฟฟ้า	22
3.3.1 ระบบ Brazilian 46-Bus	22
3.4 วิธีการใช้งาน Graphical User Interface (GUI)	22
3.5 รายละเอียดของเครื่องคำนวณที่ใช้	24
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	25
4.1 ผลการทดลองในการแก้ไขปัญหาการวางแผนขยายระบบสายส่ง กำลังไฟฟ้าในระบบ Brazilian 46-Bus	25
4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง	45
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	46
5.1 สรุปผลการทดลอง	46
5.2 ข้อเสนอแนะ	46
เอกสารอ้างอิง	47
ภาคผนวก	48
ประวัติย่อผู้ทำโครงการ	81



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
3.1	แสดงรายละเอียดของเครื่องคำนวณที่ใช้	24
4.1.1	แสดงค่าการเพิ่มจำนวนสายส่งเข้าไปในระบบก่อนการพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงในรอบที่ 3 ของการคำนวณจากโปรแกรม	26
4.1.2	แสดงจำนวนสายส่งกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่เพิ่มเข้าไปหลังพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงในระบบ <b>Brazilian 46-Bus</b> ในกรณีต่างๆ ของรอบที่ 3 ของการคำนวณจากโปรแกรม	31
4.1.3	แสดงจำนวนสายส่งกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่เพิ่มเข้าไปในระบบ <b>Brazilian 46-Bus</b> หลังจากการพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงในรอบที่ 3 ของการคำนวณจากโปรแกรม	40
4.1.4	แสดงค่าการลงทุนในการขยายระบบขยายสายส่งไฟฟ้าแบบพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงของระบบ <b>Brazilian 46-Bus</b>	44
ภาคผนวก		
ก1.1	ระบบไฟฟ้ากำลังของ <b>Brazilian 46-Bus</b>	49
ก1.2	ข้อมูลของสายส่งสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดของ <b>Brazilian 46-Bus</b>	52

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	13
3.1	18
3.2	21
3.3	22
4.1	25
ภาคผนวก	
ก1. Brazilian 46-BusSystem	56

## รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
$B$	เมตริกซ์ซัสเซปแตนซ์ของระบบ
$B_{ij}$	ซัสเซปแตนซ์เมตริกซ์
$C_{ij}$	ค่าใช้จ่ายของการสร้างสายส่งจากบัส $i$ ไปบัส $j$
$CR$	ค่าคงที่ครอสโอเวอร์
$\theta$	เวกเตอร์มุมเฟสแรงดัน
$\theta_i$	มุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าบัส $i$
$\theta_j$	มุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าบัส $j$
$\theta_{ij}^{cal}$	ผลต่างมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าที่บัส $i$ และบัส $j$ ที่คำนวณได้
$\theta_{ij}^{max}$	ผลต่างมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าที่ $i$ และบัส $j$ สูงสุด
$D$	จำนวนคำตอบที่ต้องการ
$d$	เวกเตอร์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าจริงในทุกโหนดของระบบ
$\Delta\theta$	การเปลี่ยนแปลงมุมเฟสของแรงดันบัส
$\Delta P$	การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าจริง

## รายการสัญลักษณ์(ต่อ)

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
$F$	ตัวประกอบการมิวเตชั่น
$f_{ij}$	การไหลของกำลังไฟฟ้าสุทธิในกิ่งจากบัส $i$ และบัส $j$
$f_{ij}^{max}$	การไหลของกำลังไฟฟ้าสูงสุดในกิ่งจากบัส $i$ และบัส $j$
$g$	เวกเตอร์การผลิตกำลังไฟฟ้าจริงในโรงงานไฟฟ้าที่มีอยู่
$g_i^{max}$	กำลังการผลิตไฟฟ้าจริงสูงสุดที่โหนด $i$
$g_i^{min}$	กำลังการผลิตไฟฟ้าจริงต่ำสุดที่โหนด $i$
$NP$	จำนวนประชากร
$n_{ij}$	จำนวนวงจรที่เพิ่มเข้าไปในกิ่งจากบัส $i$ และบัส $j$
$n_{ij}^0$	จำนวนวงจรเดิมในกิ่งจากบัส $i$ และบัส $j$
$n_{ij}^{max}$	จำนวนวงจรสูงสุดที่สามารถเพิ่มเข้าไปในกิ่งจากบัส $i$ และบัส $j$
$P$	เวกเตอร์ประชากร
$P_i$	กำลังไฟฟ้าที่บัส $i$
$P_{ij}$	กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลจากบัส $i$ และบัส $j$

## รายการสัญลักษณ์(ต่อ)

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
$T1$	ตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ $F$
$T2$	ตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ $CR$
$U_i$	เวกเตอร์ทดลอง
$v$	ค่าการลงทุนระบบสายส่ง
$V_i$	มิวแทนท์เวกเตอร์
$X_{best}$	เวกเตอร์ที่ดีที่สุด
$X_i$	เวกเตอร์ปัจจุบัน
$X_{r1}, X_{r2}, X_{r3}, X_{r4}$	เวกเตอร์วิธีปัจจุบัน
$X_{ij}$	ค่ารีแอกแตนซ์ของกึ่งจากบัส $i$ ไปบัส $j$
$X_j^{max}$	ค่าสูงสุดของพารามิเตอร์ $j^{th}$
$X_j^{min}$	ค่าต่ำสุดของพารามิเตอร์ $j^{th}$
$X_{j,i}^{(G=0)}$	ค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ $j^{th}$ ของเวกเตอร์อิสระ $i^{th}$

## ประมวลคำย่อ

คำย่อ	คำอธิบาย
ACSA	วิธีอัลกอริธึมในการค้นหาแบบอานานิคมมด
DC	ไฟฟ้ากระแสตรง
DEA	วิธีดิฟเฟอร์เรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริธึม
EDEA	วิธีดิฟเฟอร์เรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริธึมแบบปรับปรุงแล้ว
SaDEA	วิธีดิฟเฟอร์เรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริธึมแบบปรับตัวเองได้
TEP,TNEP	การวางแผนขยายระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ปัจจัยในการใช้ชีวิตของมนุษย์นั้นมีหลายอย่าง อาทิเช่น อาหาร เสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่ม ที่อยู่อาศัย รวมทั้งยารักษาโรค ซึ่งทุกอย่างที่กล่าวมาล้วนเป็นปัจจัยพื้นฐานในการใช้ชีวิตของมนุษย์ ซึ่งในยุคปัจจุบัน ปัจจัยที่กล่าวมาเกี่ยวข้องกับไฟฟ้าทั้งสิ้น ไฟฟ้าสามารถผลิตอาหาร เสื้อผ้า ยา รวมไปถึงที่อยู่อาศัย ซึ่งมีไฟฟ้ามาเกี่ยวข้องทั้งหมด ไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งสำคัญและเป็นปัจจัยพื้นฐานในการใช้ชีวิตของมนุษย์เพราะทุกคนมีความต้องการในการใช้ไฟฟ้าเพื่อใช้อำนวยความสะดวกสบาย นอกจากความสะดวกสบายแล้วไฟฟ้ายังมีความจำเป็นในด้านครัวเรือน ด้านการเกษตรและด้านเศรษฐกิจซึ่งมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นมาก ไฟฟ้าจึงเป็นพลังงานขั้นพื้นฐานในการขับเคลื่อนอุปกรณ์สำคัญต่างๆในประเทศ ทั้งระบบจราจร เครื่องจักรต่างๆในโรงงานอุตสาหกรรม ห้างสรรพสินค้า โรงงานผลิตสินค้าต่างๆ รวมไปถึงเครื่องใช้ไฟฟ้าหลายชนิดในอาคารธุรกิจต่างๆซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ความต้องการในการใช้ไฟฟ้าของมนุษย์มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น จึงต้องมีการขยายระบบสายส่งเพิ่มเพื่อรองรับความต้องการและเมื่อมีการขยายสายส่งเพิ่มมากขึ้นต้องสอดคล้องกับการที่ระบบไฟฟ้านั้นต้องมีความน่าเชื่อถือ มีความมั่นคง และระบบต้องมีเสถียรภาพ สามารถรองรับการจ่ายโหลดที่เพิ่มมากขึ้นในอนาคต รวมถึงต้องมีราคาในการวางแผนระบบสายส่งที่เหมาะสม และสิ่งสำคัญคือต้องเพียงพอในแต่ละพื้นที่ที่ต้องการใช้ไฟฟ้า

การแก้ปัญหาการวางแผนระบบสายส่งโดยการใช้วิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริทึมแบบปรับปรุงแล้วสำหรับการวางแผนระบบสายส่งโดยพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงสายส่ง (An Enhanced Differential Evolution Algorithm : EDEA for Transmission Expansion Planning with Security Constraint Consideration) ซึ่งวิธีนี้ พัฒนามาจากวิธี (Differential Evolution Algorithm: DEA) ซึ่งมีจุดบกพร่องหลายอย่างจึงได้พัฒนามาเป็นวิธี EDEA ซึ่งวิธี EDEA แบบพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงนี้จะเป็นการสมมุติว่า สายหลุดไปหนึ่งเส้น หรือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลุดออกจากระบบเพียง 1 เครื่องแล้วนำมาพิจารณาการวางแผนสายส่ง ซึ่งโครงการนี้ได้นำวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริทึมแบบปรับปรุงแล้วมาแก้ไขปัญหาซึ่งเป็นอีกวิธีที่สามารถหาคำตอบได้เหมาะสม เพื่อนำมาแก้ปัญหาในการขยายระบบสายส่งไฟฟ้าอีกทั้งยังเหมาะสมกับผู้ใช้งานทั่วไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาทฤษฎีและขั้นตอนในการแก้ไขปัญหาการวางแผนขยายระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า

1.2.2 เพื่อศึกษาการแก้ไขปัญหาโดยวิธีดิฟเฟอร์เรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริธึมและวิธีดิฟเฟอร์เรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริธึมแบบปรับปรุงแล้ว

1.2.3 เพื่อศึกษาการใช้งานโปรแกรม **MATLAB** และวิธีการสร้าง **Graphical User Interface (GUI)** ในโปรแกรม **MATLAB**

1.2.4 สามารถนำวิธีดิฟเฟอร์เรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริธึมแบบปรับปรุงแล้วไปใช้แก้ไขปัญหาการวางแผนขยายระบบสายส่งกำลังไฟฟ้าโดยที่พิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงของสายส่งได้จริง

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 นำวิธีดิฟเฟอร์เรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริธึมแบบปรับปรุงแล้ว มาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาการวางแผนระบบสายส่งโดยพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงด้วยการพิจารณาแบบสถิติศาสตร์

1.3.2 โครงการนี้จะเป็นการแก้ปัญหการวางแผนระบบสายส่งโดยพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงในระบบสายส่ง **Brazilian 46-Bus**

1.3.3 ในการทำโครงการครั้งนี้ใช้สมการ **DC Power Flow** ในการตรวจสอบสายส่งกำลังไฟฟ้า

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้รับความรู้เกี่ยวกับการวางแผนระบบสายส่งโดยพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงและวิธีการทำงานของดิฟเฟอร์เรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริธึม

1.4.2 สามารถนำความรู้จากการเขียนโปรแกรมใน **MATLAB** มาประยุกต์ใช้ในการจำลองการแก้ไขปัญหาในการคำนวณต่างๆได้

1.4.3 สามารถนำวิธีการทำงานของดิฟเฟอร์เรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริธึมมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหการวางแผนระบบสายส่งโดยพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงได้



## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การวางแผนขยายระบบสายส่งไฟฟ้า (Transmission Expansion Planning: TEP)

โดยทั่วไปการวางแผนขยายระบบสายส่งไฟฟ้ามีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มจำนวนของสายส่งที่จะทำให้ระบบนั้นมีประสิทธิภาพมากขึ้นและเพียงพอต่อความต้องการในการใช้ไฟฟ้าในอนาคตดังนั้นต้องมีการดูแลวางแผน ควบคุมระบบไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพจึงจำเป็นที่จะต้องมีการกำหนดสมรรถนะระยะเวลาตำแหน่งที่แน่นอนชนิดและประเภทของอุปกรณ์อย่างละเอียดอีกทั้งยังรวมถึงอัตราการไหลของกำลังไฟฟ้าอัตราการผลิตของกำลังไฟฟ้าที่จะต้องเพียงพอต่อความต้องการที่เพิ่มมากขึ้นและที่สำคัญจะต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายของระบบที่ต้องเหมาะสมและเนื่องจากลักษณะของปัญหานั้นมีความยุ่งยากซับซ้อนและไม่เป็นเชิงเส้นจึงกลายเป็นความท้าทายสำคัญที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าในการวางแผนขยายระบบสายส่งไฟฟ้านั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีคือแบบสถิตยศาสตร์ (Static TEP) และแบบพลศาสตร์ (Dynamic TEP)

- แบบสถิตยศาสตร์ (Static TEP) จะเป็นการวางแผนแบบการคิดตั้งแต่ต้นจนจบเป็นช่วงเวลาเดียวกันนั้นเพื่อลดความยุ่งยากซับซ้อนในการวางแผน และทำให้ทราบถึงค่าการลงทุนที่สามารถคำนวณเสร็จตั้งแต่เริ่มต้นวางแผนงาน
- แบบพลศาสตร์ (Dynamic TEP) จะเป็นการวางแผนแบบแบ่งเวลาคิดออกเป็นช่วงๆโดยวิธีนี้มีการแยกคิดค่าการลงทุนในแต่ละช่วงออกเป็นส่วนๆดังนั้นวิธีนี้จึงมีความซับซ้อนกว่าวิธีการคำนวณแบบสถิตยศาสตร์แต่ข้อดีคือสามารถตรวจสอบความคุ้มค่าในแต่ละช่วงเวลาว่าในช่วงเวลานั้นมีการเสื่อมสภาพของสายส่งหรืออุปกรณ์ในการส่งไฟฟ้าชำรุดหรือไม่วิธีนี้จึงมีความละเอียดกว่าวิธีการคำนวณแบบสถิตยศาสตร์

ในส่วนของโครงการวิศวกรรมนี้ใช้การวางแผนระบบสายส่งกำลังไฟฟ้าโดยพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงสายส่งชนิด N-1 ด้วยวิธีการคำนวณแบบสถิตยศาสตร์ (Static TEP)

##### 2.1.1 N-1 Security Constraint

ในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้ามีความสำคัญในการดำเนินชีวิตและการพัฒนาประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านอุตสาหกรรมเพราะความต้องการพลังงานไฟฟ้านั้นมีการขยายตัวมากขึ้นในขณะที่การเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้านั้นส่งผลทำให้เกิดเสียหายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าและระบบของอุตสาหกรรมซึ่งความผิดปกติที่เกิดขึ้นนั้นเป็น ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนระบบขยายสายส่งไฟฟ้า (Transmission Expansion Planning: TEP) ซึ่งมีเงื่อนไขมากมายหลากหลายกรณีที่สามารถนำมาวิเคราะห์และพิจารณาเพื่อหาวิธีการและเครื่องมือที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาเหล่านั้นซึ่งหนึ่งในเงื่อนไข

ของการวางแผนขยายระบบสายส่งที่ถูกนำมาพิจารณาบ่อยครั้ง คือ การวางแผนขยายระบบสายส่งโดยพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงสายส่งชนิด *N-1* (Transmission Expansion Planning: TEP with *N-1* Security) เป็นการพิจารณาเงื่อนไขที่เกิดขึ้นกับการวางแผนขยายระบบสายส่งโดยอ้างอิงจากการสมมติฐานที่ว่าถ้าระบบสายส่งที่สร้างขึ้นจากการวางแผนขยายระบบสายส่งในอนาคตเกิดอุบัติเหตุที่ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือสายส่งหายไปจากระบบ อย่างใดอย่างหนึ่งเพียง 1 จำนวนเท่านั้นระบบจะสามารถทำงานได้อย่างปกติและไม่เกิดปัญหาเกี่ยวกับการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดในระบบได้หรือไม่ ดังนั้น การพิจารณาเงื่อนไขนี้เป็นสิ่งที่ไม่ควรมองข้าม สำหรับการนำมาพิจารณาในการวางแผนระบบสายส่ง

### 2.1.2 การไหลของไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Flow)

โดยทั่วไปแล้วการวางแผนขยายระบบสายส่งไฟฟ้าแบบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายก็คือวิธีการไหลของกำลังไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งสูตรการคำนวณนี้สามารถดัดแปลงได้จากสูตรการคำนวณการไหลของไฟฟ้ากระแสสลับได้ดังสมการต่อไปนี้

$$P_i = |V_i| \sum_{j=1}^N |V_j| [G_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j) + B_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j)] \quad (2.1)$$

$$Q_i = |V_i| \sum_{j=1}^N |V_j| [G_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) - B_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j)] \quad (2.2)$$

โดยที่	$P_i, Q_i$	คือ กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนของบัส $i$ ตามลำดับ
	$ V_i , \theta_i$	คือ ค่าขนาดแรงดันและมุมเฟสแรงดันไฟฟ้าของบัส $i$ ตามลำดับ
	$ V_j , \theta_j$	คือ ค่าขนาดแรงดันและมุมเฟสแรงดันไฟฟ้าของบัส $j$ ตามลำดับ
	$G_{ij}$	คือ ส่วนจริงของแอดมิตแตนซ์เมทริกซ์จากบัส $i$ ถึงบัส $j$
	$B_{ij}$	คือ ส่วนจินตภาพของแอดมิตแตนซ์เมทริกซ์จากบัส $i$ ถึงบัส $j$
	$N$	คือ จำนวนบัสทั้งหมดในระบบ

โดยการแปลงสมการการไหลของกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นสมการการไหลของกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะพิจารณาตามสมมติฐานดังนี้ขนาดแรงดันไฟฟ้า  $|V_i| = 1 pu$ . ทุกค่าของบัส  $i$  และคิดค่าแต่ค่าซีสเซปแทนซ์ในการไหลของกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ไม่คิดค่าคอนดักแตนซ์ และสำหรับบางค่าในสมการของการไหลของกำลังไฟฟ้ากระแสสลับนั้นสามารถประมาณค่าได้ดังต่อไปนี้

$$\sin(\theta_i - \theta_j) \approx (\theta_i - \theta_j) \text{ และ } \cos(\theta_i - \theta_j) \approx 1 \quad (2.3)$$

จากสมการข้างต้นสามารถดัดแปลงได้สมการใหม่ดังนี้

$$P_i = \sum_{j=1}^N B_{ij} (\theta_i - \theta_j) \quad ; \quad i=1, \dots, N \quad (2.4)$$

โดยที่  $B_{ij}$  คือ ซีสเชปแดนซ์ของสายส่งระหว่างบัส  $i$  กับบัส  $j$

### 2.1.3 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ในการวางแผนขยายระบบสายส่งกำลังไฟฟ้ามีวัตถุประสงค์เพื่อ ลดค่าใช้จ่ายในการลงทุนและขณะเดียวกันจะต้องสามารถตอบสนองต่อการใช้งานและข้อจำกัดต่างๆทางเศรษฐกิจได้

$$\min v = \sum_{i=1} \sum_{j=1} c_{ij} n_{ij} \quad (2.5)$$

โดยที่  $v$  คือ ค่าการลงทุนในการวางแผนสายส่ง

$c_{ij}$  คือ ค่าใช้จ่ายของการสร้างสายบัส  $i$  ถึงบัส  $j$

$n_{ij}$  คือ จำนวนสายส่งบัส  $i$  ถึงบัส  $j$  ที่เพิ่มเข้าไป

### 2.1.4 ข้อจำกัดของปัญหา

การเพิ่มจำนวนของสายส่งกำลังไฟฟ้าในระบบต้องคำนึงถึงเงื่อนไขทางไฟฟ้าและอุปกรณ์ต่างๆซึ่งจะแบ่งได้ดังนี้

#### 2.1.4.1 ข้อจำกัดในด้านความสมดุลการไหลของกำลังไฟฟ้าในโหนด

การอนุรักษ์พลังงานในแต่ละโหนดแสดงตามสมการนี้

$$g = d + B\theta \quad (2.6)$$

- โดยที่  $g$  คือ เวกเตอร์เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำลังไฟฟ้าจริงที่โรงไฟฟ้าผลิตได้  
 $d$  คือ เวกเตอร์โหลดความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับโนดในระบบทั้งหมด  
 $B$  คือ เมตริกซ์ซัสเซปแตนซ์ของสายส่งทั้งหมดในระบบรวมถึงสายส่งที่เพิ่มเข้ามาใหม่  
 $\theta$  คือ เวกเตอร์มุมเฟสของแรงดันบัส

#### 2.1.4.2 ข้อจำกัดในการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่ง

ความไม่สมดุลของการไหลกำลังไฟฟ้าในสายส่งถูกพิจารณาเพื่อจำกัดการไหลของกำลังไฟฟ้าในแต่ละเส้นไม่ให้เกินกำลังไฟฟ้าสูงสุดตามสมการนี้

$$|f_{ij}| \leq (n_{ij}^0 + n_{ij}) f_{ij}^{max} \quad (2.7)$$

โดยสมการที่ (2.7) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$f_{ij} = \frac{n_{ij}^0 + n_{ij}}{x_{ij}} \times (\theta_i - \theta_j) \quad (2.8)$$

- โดยที่  $f_{ij}$  คือ การไหลของกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่ไหลในกึ่งบัส  $i$  ถึงบัส  $j$   
 $f_{ij}^{max}$  คือ การไหลของกำลังไฟฟ้าสูงสุดในกึ่งบัส  $i$  ถึงบัส  $j$   
 $n_{ij}$  คือ จำนวนวงจรที่เพิ่มเข้าไปในกึ่งบัส  $i$  ถึงบัส  $j$   
 $n_{ij}^0$  คือ จำนวนวงจรเดิมในกึ่งบัส  $i$  ถึงบัส  $j$   
 $x_{ij}$  คือ ค่ารีแอกแตนซ์ของกึ่งบัส  $i$  ถึงบัส  $j$   
 $\theta_i, \theta_j$  คือ ค่ามุมเฟสของแรงดันที่บัส  $i$  และที่บัส  $j$  ตามลำดับ

#### 2.1.4.3 ข้อจำกัดในด้านการผลิตกำลังไฟฟ้า

ข้อจำกัดด้านการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็เป็นอีกปัญหาของการขยายระบบสายส่งกำลังไฟฟ้าซึ่งแสดงได้ดังสมการนี้

$$g_i^{min} \leq g_i \leq g_i^{max} \quad (2.10)$$

โดยที่  $g_i$  คือ กำลังการผลิตไฟฟ้าจริงที่โหนด  $i$   
 $g_i^{min}$  คือ กำลังการผลิตไฟฟ้าต่ำสุดที่โหนด  $i$   
 $g_i^{max}$  คือ กำลังการผลิตสูงสุดที่โหนด  $i$

#### 2.1.4.4 ข้อจำกัดด้านแนวการวางสาย

โดยข้อจำกัดนี้ผู้วางแผนจะต้องรู้ตำแหน่งของวงจรใหม่ที่แน่นอนเพื่อจะได้รู้ข้อจำกัดในการวางแผนและรู้ข้อจำกัดของตำแหน่งและจำนวนสูงสุดของวงจรใหม่ที่จะติดตั้งซึ่งแสดงได้ตามสมการนี้

$$0 \leq n_{ij} \leq n_{ij}^{max} \quad (2.11)$$

โดยที่  $n_{ij}$  คือ จำนวนวงจรที่เพิ่มเข้าไปในกิ่งบัส  $i$  ถึงบัส  $j$   
 $n_{ij}^{max}$  คือ จำนวนวงจรสูงสุดที่สามารถเพิ่มเข้าไปในกิ่งบัส  $i$  ถึงบัส  $j$

#### 2.1.4.5 ข้อจำกัดด้านมุมเฟสของแรงดันบัส

ขนาดของแรงดันบัสไม่ถือเป็นปัจจัยในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า กระแสตรงในการวางแผนขยายระบบสายส่งไฟฟ้าแต่ค่ามุมเฟสของแรงดันนั้นนับเป็นเงื่อนไขของการขยายระบบของสายส่งและมุมเฟสที่คำนวณได้ ( $\theta_{ij}^{cal}$ ) ควรจะมีค่าน้อยกว่าค่ามุมเฟสสูงสุดที่กำหนดไว้ ( $\theta_{ij}^{max}$ ) ซึ่งแสดงได้ตามสมการนี้

$$|\theta_{ij}^{cal}| \leq |\theta_{ij}^{max}| \quad (2.12)$$

## 2.2 ดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริธึม (Differential Evolution Algorithm: DEA)

ในปีค.ศ. 1995 สเตอร์นและไพเรซีได้คิดค้นวิธีการดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริธึม (DEA) โดยพวกเขายังพัฒนา DEA ให้มีประสิทธิภาพการทำงานที่เชื่อถือได้และสามารถใช้งานได้หลากหลายยิ่งขึ้นในการหาค่าที่เหมาะสมของวิธีการ DEA ใช้การสุ่มค่าน้อยกว่าและเลือกที่มากกว่าในการแก้ปัญหาเมื่อเทียบกับวิธีเชิงวิวัฒนาการแบบดั้งเดิม (Conventional Evolution Algorithm)

## 2.2.1 หลักการพื้นฐานของดิฟเฟอร์เรนเชียลโวลูชันอัลกอริธึม

ดิฟเฟอร์เรนเชียลโวลูชันอัลกอริธึมเป็นวิธีการแก้ไขปัญหาแบบขนานโดยที่ทุกเจเนเนอเรชัน  $G$  ในระหว่างการแก้ปัญหา DEA กำหนดให้ประชากร  $P^{(G)}$  และมีขนาดประชากรคือ  $N_p$

$$P^{(G)} = [X_1^{(G)}, \dots, X_i^{(G)}, \dots, X_{N_p}^{(G)}] \quad (2.13)$$

โดยที่  $X_i$  แต่ละตัวจะเป็นเวกเตอร์ในมิติ  $D$  ดังสมการนี้

$$X_i^{(G)} = [x_{1,i}^{(G)}, \dots, x_{j,i}^{(G)}, \dots, x_{D,i}^{(G)}] ; i = 1, \dots, N_p ; j = 1, \dots, D \quad (2.14)$$

## 2.2.2 กระบวนการทำงานของดิฟเฟอร์เรนเชียลโวลูชันอัลกอริธึม

กระบวนการทำงาน DEA จะประกอบด้วย 4 ขั้นตอนคือการกำหนดค่าเริ่มต้น การมีเวกเตอร์การครอสโอเวอร์และการคัดเลือกเพื่อให้ได้ประชากรในรุ่นถัดไป ( $P^{(G+1)}$ ) จากการพิจารณาข้อมูลในประชากรรุ่นก่อนหน้านั้น ( $P^{(G)}$ ) ที่มีค่าเหมาะสมมากยิ่งขึ้นในการนำไปใช้

### 2.2.2.1 การกำหนดค่าเริ่มต้น (Initialization)

ขั้นตอนแรกของการ DEA จะสมมติค่า  $X_i$  เริ่มต้นก่อนโดยที่จะสุ่มเลือกค่าสมาชิก  $X_i$  และต้องอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้โดยขอบเขตล่างและขอบเขตบน  $x_j^{min}$  และ  $x_j^{max}$  ตามลำดับแสดงตามสมการดังนี้

$$x_{j,i}^{(G=0)} = x_j^{min} + rand_j [0,1] \cdot (x_j^{max} - x_j^{min}) ; i = 1, \dots, N_p ; j = 1, \dots, D \quad (2.15)$$

โดยที่  $x_{j,i}^{(G=0)}$  คือ ค่าเริ่มต้นของตัวแปร  $j^{th}$  ในเวกเตอร์อิสระ  $i^{th}$

$x_j^{min}$  คือ ค่าต่ำสุดของตัวแปร  $j^{th}$

$x_j^{max}$  คือ ค่าสูงสุดของตัวแปร  $j^{th}$

ซึ่งค่าที่ทำการสมมุติได้จะถูกเก็บไว้เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

### 2.2.2.2 การมิวเตชัน (Mutation)

ขั้นตอนที่สองการมิวเตชันจะนำค่า  $X_i$  ที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้านี้มาทำการดัดแปลงเพื่อให้ได้เวกเตอร์ ( $V_i^{(G)}$ ) ที่มีค่าเหมาะสมโดยวิธีการมิวเตชันจะมี 10 แบบดังต่อไปนี้

แบบที่ 1 วิธีแรกนี้ค่าเวกเตอร์จะถูกเปลี่ยนโดยสมการที่แสดงดังต่อไปนี้

$$V_i^{(G)} = X_{best}^{(G)} + F(X_{r2}^{(G)} - X_{r3}^{(G)}) \quad ; \quad i = 1, \dots, N_p \quad (2.16)$$

แบบที่ 2 วิธีนี้จะทำงานคล้ายกับวิธีแรกแต่ต่างกันที่วิธีนี้จะทำงานโดยเวกเตอร์สมาชิกจะถูกสุ่มเลือกมา  $X_{r1}^{(G)}$  การคำนวณแสดงได้ดังสมการนี้

$$V_i^{(G)} = X_{r1}^{(G)} + F(X_{r2}^{(G)} - X_{r3}^{(G)}) \quad ; \quad i = 1, \dots, N_p \quad (2.17)$$

แบบที่ 3 วิธีนี้จะดัดแปลงเวกเตอร์และใช้ความต่างของเวกเตอร์ที่ดีที่สุดกับเวกเตอร์สมาชิกที่สุ่มเลือกมาดังสมการนี้

$$V_i^{(G)} = X_i^{(G)} + \lambda(X_{best}^{(G)} - X_i^{(G)}) + F(X_{r1}^{(G)} - X_{r2}^{(G)}) \quad ; \quad i = 1, \dots, N_p \quad (2.18)$$

แบบที่ 4 วิธีนี้จะทำการดัดแปลงเวกเตอร์โดยใช้เวกเตอร์ที่ต่างกันสองเวกเตอร์โดยสุ่มเลือกสมาชิกมาแสดงดังสมการนี้

$$V_i^{(G)} = X_{best}^{(G)} + F(X_{r1}^{(G)} + X_{r2}^{(G)} - X_{r3}^{(G)} - X_{r4}^{(G)}) \quad ; \quad i = 1, \dots, N_p \quad (2.19)$$

แบบที่ 5 วิธีนี้จะทำงานคล้ายกับแบบที่ 4 แต่แตกต่างกันตรงที่จะแทนค่าที่ดีที่สุดด้วย  
เวกเตอร์สมาชิกที่สุ่มเลือกมาแสดงดังสมการนี้

$$V_i^{(G)} = X_{r_5}^{(G)} + F \left( X_{r_1}^{(G)} + X_{r_2}^{(G)} - X_{r_3}^{(G)} - X_{r_4}^{(G)} \right) \quad ; \quad i = 1, \dots, N_p \quad (2.20)$$

แบบที่ 6 วิธีนี้จะทำงานคล้ายกับแบบที่ 1 แต่ต่างกันที่วิธีนี้ค่าเวกเตอร์ที่ดัดแปลงจะถูก  
แทนด้วยเวกเตอร์ที่สุ่มเลือกมาเป็นค่าเวกเตอร์สมาชิกที่ดีที่สุดแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$V_i^{(G)} = X_{best}^{(G)} + F \left( X_{best}^{(G)} - X_i^{(G)} - X_{r_1}^{(G)} - X_{r_2}^{(G)} \right) \quad ; \quad i = 1, \dots, N_p \quad (2.21)$$

แบบที่ 7 วิธีนี้มีหลักการคิดที่คล้ายแบบที่ 4 แต่จะใช้เวกเตอร์ 3 เวกเตอร์ที่ต่างกัน  
มาทำการดัดแปลงแสดงดังสมการนี้

$$V_i^{(G)} = X_{best}^{(G)} + F \left( X_{best}^{(G)} - X_i^{(G)} - X_{r_1}^{(G)} - X_{r_2}^{(G)} \right) \quad ; \quad i = 1, \dots, N_p \quad (2.22)$$

แบบที่ 8 วิธีนี้จะคล้ายกับแบบที่ 3 แต่ต่างกันตรงที่จะไม่คิดพื้นฐานของเวกเตอร์สมาชิก  
ที่ดีที่สุดแต่จะคิดพื้นฐานของเวกเตอร์ตัวที่ถูกดัดแปลงแสดงดังสมการนี้

$$V_i^{(G)} = X_{best}^{(G)} + \lambda \left( X_{best}^{(G)} - X_i^{(G)} \right) + F \left( X_{r_1}^{(G)} - X_{r_2}^{(G)} \right) \quad ; \quad i = 1, \dots, N_p \quad (2.23)$$

แบบที่ 9 วิธีนี้จะคล้ายกับแบบที่ 5 แต่จะต่างกันที่แบบที่ 9 นี้จะใช้ค่าจากการสุ่ม  
เวกเตอร์เท่านั้นแสดงดังสมการนี้



$$V_i^{(G)} = X_{best}^{(G)} + F \left( X_{best}^{(G)} + X_i^{(G)} - X_{r1}^{(G)} - X_{r2}^{(G)} \right) \quad ; \quad i = 1, \dots, N_p \quad (2.24)$$

แบบที่ 10 วิธีนี้จะทำงานคล้ายกับแบบที่ 6 แต่จะแทน  $X_i^{(G)}$  ด้วย  $X_i^{(G-1)}$  จากเจนเนอเรชันก่อนหน้านี้แสดงดังสมการนี้

$$V_i^{(G)} = X_{best}^{(G)} + F \left( X_{best}^{(G)} - X_{best}^{(G-1)} \right) \quad ; \quad i = 1, \dots, N_p \quad (2.25)$$

โดยที่	$i$	คือ ค่า $1, \dots, N_p$
	$F$	คือ ค่าสัดส่วนคงที่ของการมิวเตชัน เป็นค่าคงที่อยู่ในช่วง $[0, 1]$
	$r1 \ r2 \ r3$	คือ ค่าที่สุ่มได้ซึ่งต้องอยู่ในช่วง $[1, \dots, N_p]$ โดยที่ $r1 \neq r2 \neq r3 \neq i$
	$\lambda$	คือ ค่าสัดส่วนลดทอนเพื่อควบคุม โดยส่วนใหญ่จะกำหนดให้ค่าเท่ากับ $F$
	$X_{best}^{(G)}$	คือ ค่าที่ดีที่สุดในการประชากรรุ่นปัจจุบัน
	$X_{best}^{(G-1)}$	คือ ค่าที่ดีที่สุดของประชากรรุ่นก่อนหน้า

### 2.2.2.3 การครอสโอเวอร์ (Crossover)

ในขั้นตอนการครอสโอเวอร์จะช่วยให้การเพิ่มค่าเวกเตอร์และทำให้เวกเตอร์มีความหลากหลายมากขึ้นโดยการสร้างเวกเตอร์ทดลอง ( $U_i^{(G)}$ ) จากการผสมกันระหว่างเวกเตอร์ที่ได้จากการมิวเตชัน ( $V_i^{(G)}$ ) กับเวกเตอร์เป้าหมาย ( $X_{best}^{(G)}$ ) โดยใช้หลักความน่าจะเป็นช่วยในการกระจายค่าดังสมการนี้

$$U_i^{(G)} = u_{j,i}^{(G)} = \begin{cases} v_{j,i}^{(G)} & \text{if } rand_j(0,1) \leq CR \text{ or } j = s \\ x_{j,i}^{(G)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.26)$$

โดยที่	$CR$	คือ ค่าความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่กำหนดขึ้นมาโดยอยู่ในช่วง $[0, 1]$
	$rand_j$	คือ ค่าที่ได้จากการสุ่มในช่วง $[0, 1]$
	$s$	คือ ค่าที่ได้จากการสุ่มในช่วง $[1, \dots, D]$

### 2.2.2.4 การคัดเลือก (Selection)

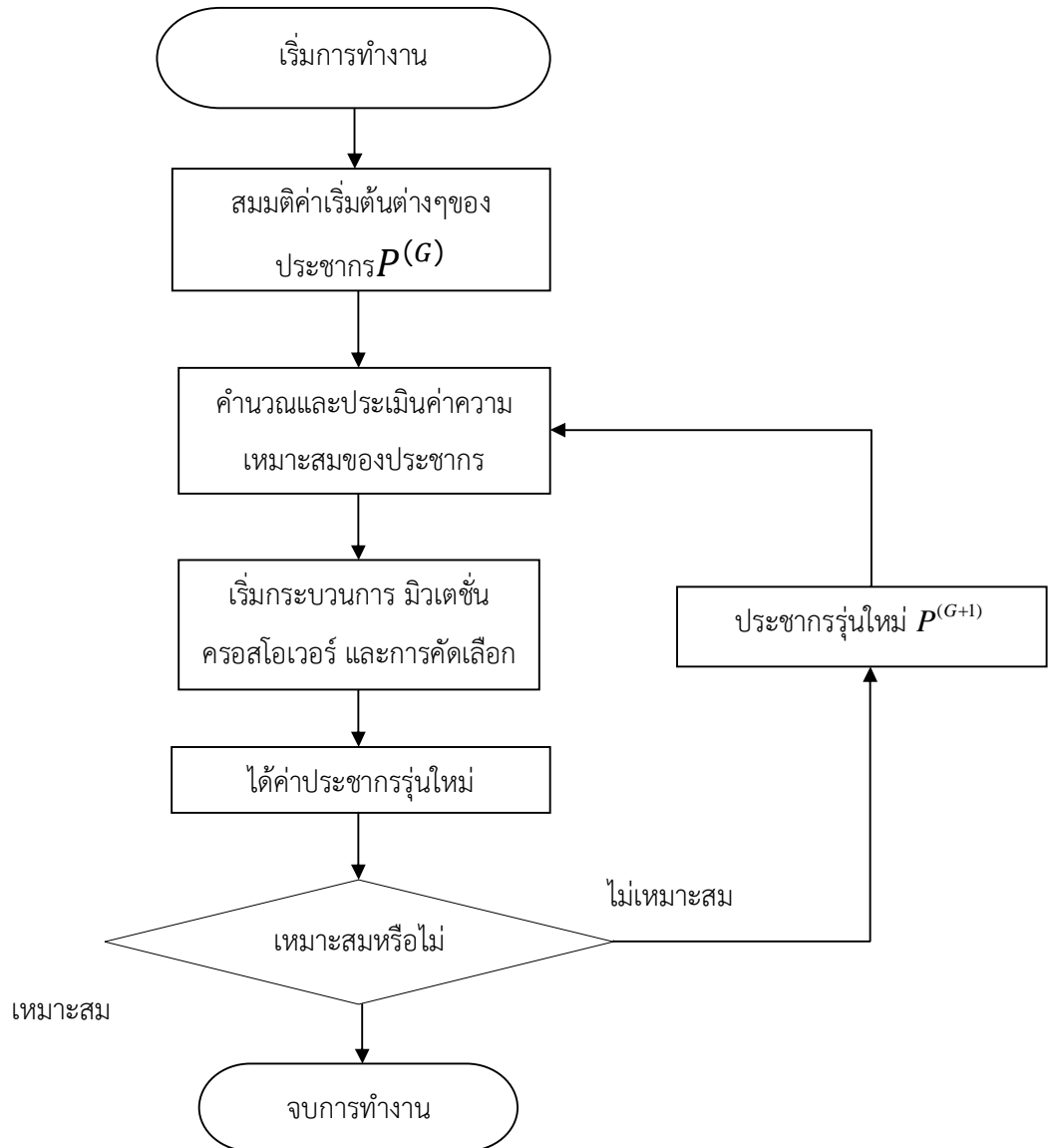
ขั้นตอนสุดท้ายคือการคัดเลือกโดยจะนำค่าเวกเตอร์ที่ได้จากขั้นตอนข้างต้นมาคัดเลือกเพื่อนำไปเป็นประชากรในรุ่นถัดไปซึ่งจะทำการเปรียบเทียบกันระหว่างเวกเตอร์ทดลอง ( $U_i^{(G)}$ ) กับเวกเตอร์เป้าหมาย ( $X_i^{(G)}$ ) เพื่อจะได้ค่าที่ดีที่สุดตามสมการดังนี้

$$X_i^{(G+1)} = \begin{cases} U_i^{(G)} & \text{if } f(U_i^{(G)}) \leq f(X_i^{(G)}) \\ X_i^{(G)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.27)$$

### 2.2.3 ขั้นตอนการใช้งานดิฟเฟอเรนเชียลวิอลูชันอัลกอริธึม

การทำงานของวิธีการ DEA จะเริ่มต้นโดยการกำหนดค่าตัวแปรควบคุมต่างของ DEA ซึ่งประกอบด้วยขนาดจำนวนประชากร ( $N_p$ ) ตัวประกอบการมิวเตชัน ( $F$ ) และค่าคงที่การครอสโอเวอร์ ( $CR$ ) จากนั้นก็ทำตามกระบวนการ 4 ขั้นตอนในวิธีการ DEA คือการกำหนดค่าเริ่มต้นการมิวเตชัน การครอสโอเวอร์และการคัดเลือกโดยที่จะคำนวณรอบทำงานไปเรื่อยๆจนกว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุดจึงจะหยุดการคำนวณขั้นตอนการทำงานมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ขั้นตอนที่ 1     ทำการรับค่าตัวแปรควบคุมต่างๆ ได้แก่  $F$   $CR$   $N_p$  และ  $D$
- ขั้นตอนที่ 2     กำหนดค่าประชากรเริ่มต้นเป็นเวกเตอร์ขนาด  $D$  จำนวน  $N_p$  เวกเตอร์
- ขั้นตอนที่ 3     เลือกเวกเตอร์เป้าหมาย ( $i$ ) และสุ่มเลือกค่าเวกเตอร์ ( $r$ ) ตามจำนวนประชากร
- ขั้นตอนที่ 4     ทำการหาค่า  $V_i^{(G)}$  ตามเงื่อนไขต่างๆ และทำการมิวเตชัน
- ขั้นตอนที่ 5     ทำการหาค่าเวกเตอร์ในการทดลอง  $U_i^{(G)}$  และทำการครอสโอเวอร์
- ขั้นตอนที่ 6     ทำการคัดเลือกจากการเทียบกับเวกเตอร์ทดลองเพื่อหาค่าประชากรรุ่นใหม่
- ขั้นตอนที่ 7     นำค่าประชากรที่ได้ไปคำนวณซ้ำจนกว่าจะได้ค่าที่เหมาะสมตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3-7 แสดงได้ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 แผนผังการทำงานของดิฟฟิวชันเบสเอวอลิวชันอัลกอริทึม

## 2.2.4 ความแตกต่างระหว่าง Conventional DEA กับ Enhanced DEA (EDEA)

ในการทำงานของ DEA1รอบการทำงานผู้ใช้จำเป็นต้องกำหนดค่า  $CR$  และ  $F$  ที่จะใช้ในการคำนวณในทุกๆขั้นตอนตลอดการทำงานแต่สำหรับวิธี EDEA จะสามารถปรับเปลี่ยนและกำหนดค่า  $F$  และ  $CR$  ได้เองทำให้สะดวกในการใช้งานมากยิ่งขึ้น

## 2.3 ทบทวนวรรณกรรมในงานที่เกี่ยวข้อง

**2.3.1** นายปรัชญาเล่าชูและนายธัญบุรณ์บุญศรีภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้ศึกษาเรื่องการใช้วิธีดีฟเฟอร์เรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริธึมแบบปรับตัวเองได้สำหรับวางแผนขยายระบบสายส่งไฟฟ้าโดยพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงสายส่งชนิด N-1 ซึ่งได้นำวิธี DEA และ SaDEA มาใช้ในการแก้ไขปัญหาและเปรียบเทียบกันและนอกจากนั้นยังได้มีการพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงของสายส่งชนิด N-1 โดยได้มีการทดลองโดยการปลดสายส่งออกจำนวน 1 สายจากทั้งหมด และได้ทำการทดลองทำการสุ่มปลดครั้งละ 1 สายจำนวน 2 รอบ

**2.3.2** นายเฉลิมพลฤทธิงามและนายธีรวิษณุฝูงศึภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้ทำการศึกษาเรื่องการแก้ปัญหาการวางแผนขยายระบบสายส่งแบบพิจารณาการสูญเสียโดยใช้วิธีดีฟเฟอร์เรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริธึมแบบปรับตัวเองได้โดยออกแบบอัลกอริธึมแบบปรับตัวเองได้และยังนำวิธีความน่าจะเป็นมาใช้ในการแก้ปัญหา และใช้ระบบในการทดสอบการวางแผนขยายระบบสายส่งด้วยกัน 2 ระบบได้แก่ระบบ Garver 6-Bus และ IEEE 25-Bus มาใช้ในการคำนวณค่าความสูญเสียและค่าการลงทุนซึ่งผลการทดลองที่ได้คือมีค่าการลงทุนและค่าความสูญเสียน้อยกว่าเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับวิธี Artificial Neural Network (ANN), Genetic Algorithm (GA), และ Tabu search (TS)

**2.3.3** นายณัฐจักรโณมสิริเดชานันท์และนายอัษฎางค์แก้วมุกดาภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้ทำการศึกษาเรื่องการแก้ปัญหาการวางแผนขยายระบบสายส่งโดยใช้วิธีดีฟเฟอร์เรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริธึมแบบปรับตัวเองได้โดยจะการออกแบบอัลกอริธึมเพื่อแก้ปัญหาในการวางแผนขยายระบบสายส่งโดยใช้วิธีการความน่าจะเป็นมาใช้ในการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์และมีการใช้ปัญหาเชิงตัวเลขของเบนซ์มาร์คมาปรับค่าของพารามิเตอร์  $F$  และ  $CR$  และนำไปแก้ปัญหาการวางแผนขยายระบบสายส่งทั้งหมด 3 ระบบคือ Garver 6-Bus, IEEE 25-Bus และ Brazilian 46-Bus ซึ่งผลการทดลองคือวิธีใช้ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์โดยใช้ช่วงค่าพารามิเตอร์ Mutation Factor ( $F$ ) = [0.4,1] และ Crossover Constant ( $CR$ ) = [0.8,1] สามารถแก้ปัญหาการวางแผนขยายระบบสายส่งได้ดีที่สุด

**2.3.4** นายเจษฎากร ฤทธิรักษา และนายนคร ทานให้ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้ทำการศึกษาเรื่องการใช้วิธีดีฟเฟอร์เรนเชียลอีโวลูชัน อัลกอริธึมแบบปรับปรุงแล้วสำหรับวางแผนขยายระบบสายส่งไฟฟ้าโดยพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงซึ่งได้นำวิธี SaDEA และวิธี EDEA มาใช้ในการแก้ไขปัญหานั้นและนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกันโดยที่จะพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงซึ่งจะทำโดยการสุ่มปลดสายส่งออกจำนวน 1 สายจากทั้งหมดแล้วดูผลที่ได้จากการพิจารณาโดยการทดลองนี้ทดลองกับระบบ Garver 6-Bus, IEEE 25-Bus ซึ่งผลการทดลองที่ได้คือการใช้วิธี EDEA นั้นทำให้ระบบมีเสถียรภาพสูงกว่า SaDEA แต่ SaDEA นั้นมีค่าการลงทุนที่ต่ำกว่า EDEA

**2.3.5** ดร.ปริญญา สงวนสัตย์ ได้เขียนหนังสือคู่มือ MATLAB ฉบับสมบูรณ์เล่มนี้เพื่อต้องการให้ผู้ศึกษานั้นได้เรียนรู้การใช้งาน MATLAB ที่เป็นโปรแกรมด้านการคำนวณที่ได้รับความนิยมสูงสุดในวงการการศึกษาและวิจัยโดยเริ่มตั้งแต่พื้นฐานทางคณิตศาสตร์และเขียนโปรแกรมที่ควรทราบแล้วจึงเข้าสู่การประยุกต์ใช้งานในรูปแบบต่างๆอีกทั้งมีการสร้าง GUI การแสดงผลด้วยกราฟการเขียนโลบริารีเพื่อใช้งานในภาษาโปรแกรมอื่นๆและการประมวลผลขั้นสูงทั้งการประมวลผลแบบกระจายและแบบขนาน

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

#### 3.1 การออกแบบดิฟเฟอเรนเชียลวิวัฒนาการแบบปรับตัวเองได้และขั้นตอนการทำงาน

การออกแบบดิฟเฟอเรนเชียลวิวัฒนาการแบบปรับตัวเองได้ (SaDEA) จำเป็นต้องมีการปรับค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมด้วยกัน 2 ตัวคือ ตัวประกอบการมิวเตชัน ( $F$ ) และค่าคงที่ครอสโอเวอร์ ( $CR$ ) ซึ่งในส่วนของขั้นตอนการออกแบบโปรแกรม SaDEA จะใช้วิธีความน่าจะเป็นในการพิจารณาโดยสมการที่นำมาใช้ในการคำนวณคือสมการวิธีการมิวเตชันแบบที่ 8 ของกระบวนการ DEA และสำหรับกำทดสอบ DEA ที่ใช้ในการคำนวณจะต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆไว้ดังต่อไปนี้

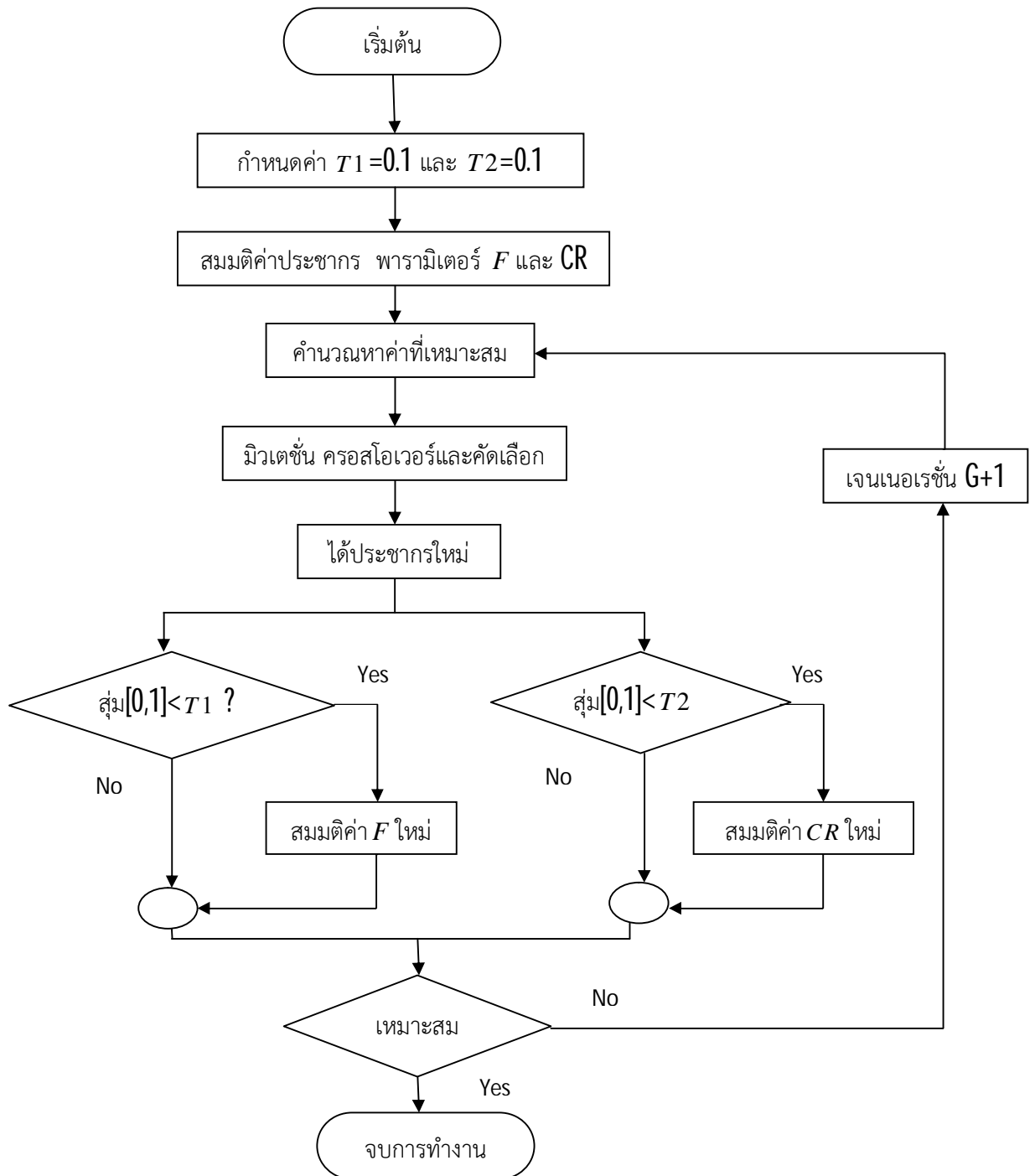
จำนวนรอบสูงสุดที่ใช้ในการรันโปรแกรม = 2000,  $F_{\min} = 0.4$ ,  $F_{\max} = 1$ ,  $CR_{\min} = 0.8$ ,  $CR_{\max} = 1$  ทำการแสดงค่าทุกๆ 10 รอบการคำนวณเมื่อค่าที่ทำการแสดงไม่เปลี่ยนแปลง 200 ครั้ง

##### 3.1.1 ขั้นตอนการทำงานของดิฟเฟอเรนเชียลวิวัฒนาการแบบปรับตัวเองได้โดยวิธีความน่าจะเป็น

- ขั้นตอนที่ 1 ทำการรับค่าพารามิเตอร์ที่ควบคุมต่างๆคือ  $F_{\min}$   $F_{\max}$   $CR_{\min}$   $CR_{\max}$   $T1$   $T2$   $N_p$  และ  $D$
- ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาค่าพารามิเตอร์  $F$  และ  $CR$  เริ่มต้นจำนวน  $N_p$  ค่าซึ่งหมายความว่าเวกเตอร์สมาชิก 1 เวกเตอร์นั้นจะมีค่าพารามิเตอร์  $F$  และ  $CR$  เป็นของตัวเองเพื่อที่จะถูกนำไปใช้ในการมิวเตชันและครอสโอเวอร์ของตัวเอง
- ขั้นตอนที่ 3 ทำการสมมติค่าประชากรเริ่มต้นขึ้นมาโดยเป็นเวกเตอร์ขนาด  $D$  จำนวน  $N_p$  เวกเตอร์
- ขั้นตอนที่ 4 ทำการประเมินค่าประชากรที่ถูกสมมติมาจากขั้นตอนที่ 2
- ขั้นตอนที่ 5 ทำการสร้างเวกเตอร์มิวเตชันขึ้นมาจากประชากรที่มีจำนวน  $N_p$  เวกเตอร์
- ขั้นตอนที่ 6 ทำการสร้างเวกเตอร์ทดลองขึ้นมาที่ได้จากการทดลองของการครอสโอเวอร์จำนวน  $N_p$  เวกเตอร์
- ขั้นตอนที่ 7 ทำการประเมินค่าเวกเตอร์ทดลองที่สร้างขึ้น
- ขั้นตอนที่ 8 ทำการคัดเลือกซึ่งหาได้จากการเปรียบเทียบค่าระหว่างประชากรเดิมกับเวกเตอร์ทดลองที่สร้างขึ้น

- ขั้นตอนที่ 9 ทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์  $F$  และ  $CR$  ของแต่ละตัวซึ่งหมายความว่าใช้ความน่าจะเป็นช่วยในการตัดสินใจเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์โดยพารามิเตอร์  $T1$  เป็นตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์  $F$  และพารามิเตอร์  $T2$  เป็นตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์  $CR$  ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่านั้นจะทำการสุ่มค่าพารามิเตอร์ใหม่ในช่วงที่กำหนดโดยการสุ่มค่าแล้วเปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์  $T1$  หรือ  $T2$  ที่ได้นั้นว่าต่ำกว่าค่าพารามิเตอร์หรือไม่ ถ้าต่ำกว่าจะทำการสุ่มค่าพารามิเตอร์ควบคุมตัวนั้นๆ ใหม่
- ขั้นตอนที่ 10 นำประชากรที่ได้มาจากการคัดเลือกแล้วมาเป็นประชากรในรอบการคำนวณถัดไป
- ขั้นตอนที่ 11 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 5 จนถึงขั้นตอนที่ 10 ไปจนกว่าค่าที่ดีที่สุดจะเป็นค่าที่เหมาะสมหรือจนกว่าจะจบรอบการคำนวณที่กำหนดไว้

ข้อควรระวัง ก่อนจะเริ่มทำการออกแบบคือวิธีนี้ผู้ออกแบบจะต้องกำหนดค่า  $T1$  และ  $T2$  และขอบเขตของพารามิเตอร์เองโดย  $T1$  และ  $T2$  เป็นตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์  $F$  และ  $CR$  ตามลำดับโดยการทำงานของวิธีนี้เป็นการสุ่มค่าในช่วง  $[0,1]$  แล้วตรวจสอบว่ามีค่าน้อยกว่า  $T1$  หรือ  $T2$  หรือไม่ถ้าค่าที่สมมติไว้มีค่าน้อยกว่าโปรแกรมจะทำการสมมติค่าพารามิเตอร์ใหม่โดยค่าพารามิเตอร์  $T1$  และ  $T2$  จะกำหนดให้ค่าคงที่ไว้ที่ 0.1 โดยมีขั้นตอนการทำงานดังรูป



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงการทำงานของดิฟเฟอร์เรนเชียลโวลูชันอัลกอริธึมแบบปรับตัวเองได้โดยใช้  
วิธีความน่าจะเป็น



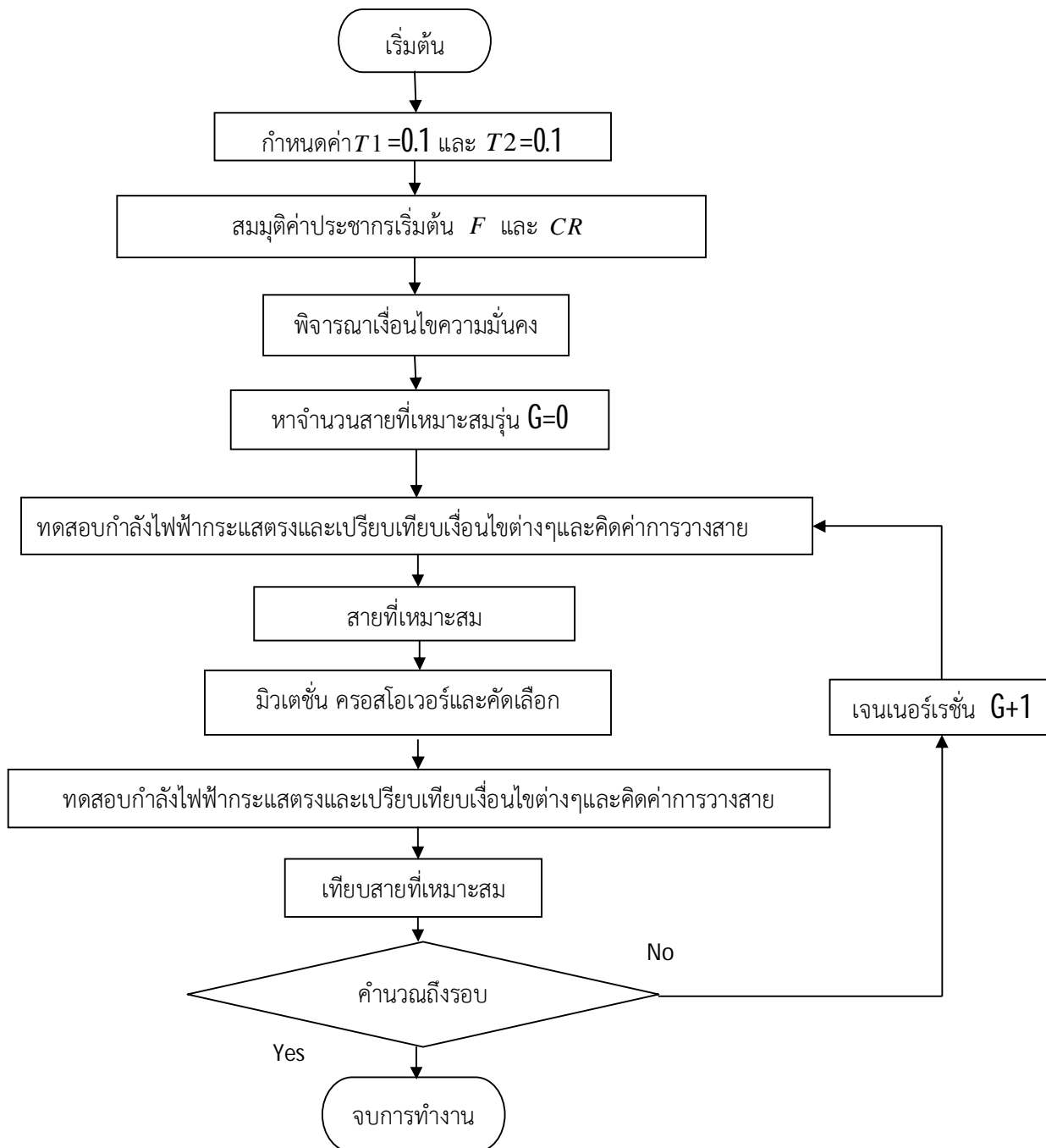
### 3.2 การนำดีเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริธึมแบบปรับปรุงแล้วไปใช้แก้ปัญหาการวางแผนขยายระบบสายส่งไฟฟ้าโดยพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคง

การที่จะนำ DEA มาใช้ในการแก้ปัญหาการวางแผนขยายระบบสายส่งนั้นผู้ออกแบบจะต้องทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ดังนี้  $D$  คือค่าจำนวนเส้นทางในระบบ  $N_p$  คือมีค่า 10 เท่าของ  $D$  ( $10 \times D$ ) และค่า  $T1, T2$  มีค่าเท่ากับ 0.1 เพื่อจะได้ไม่ทำให้โปรแกรมมีการเปลี่ยนแปลงค่า  $F$  และ  $CR$  บ่อยจนเกินไปซึ่งจะส่งผลให้ไม่ลู่เข้าหาคำตอบเฉพาะบริเวณ (Local Solution) โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นสมการราคาของการสร้างสายส่งและทำการเปรียบเทียบเงื่อนไขของการแก้ปัญหาของระบบสายส่งกำลังโดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1      ทำการรับค่าพารามิเตอร์ที่ควบคุมต่างๆคือ  $F_{min}, F_{max}, CR_{min}, CR_{max}, T1, T2, N_p$  และ  $D$
- ขั้นตอนที่ 2      ทำการสุ่มค่า  $F$  และ  $CR$  เริ่มต้นมีจำนวนเท่ากับ  $N_p$  เพื่อจะทำให้เวกเตอร์สมาชิก 1 เวกเตอร์มีค่าพารามิเตอร์  $F$  และ  $CR$  เป็นของตัวเองโดยจะถูกนำไปใช้ในการมิวเตชันและครอสโอเวอร์ของตัวเอง
- ขั้นตอนที่ 3      กำหนดเงื่อนไขความมั่นคงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- ขั้นตอนที่ 4      ทำการสมมติจำนวนการสร้างสายเริ่มต้นขึ้นมาโดยให้เวกเตอร์มีขนาด  $D$  จำนวน  $N_p$  เวกเตอร์
- ขั้นตอนที่ 5      จากขั้นตอนที่ 4 นำจำนวนสายเริ่มต้นมาคิดกำลังการไหลของกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจากนั้นนำมาเปรียบเทียบเงื่อนไขต่างๆตามที่กำหนดไว้ในบทที่ 2 พร้อมทั้งทำการคำนวณราคาในการวางสายส่งด้วย
- ขั้นตอนที่ 6      ทำการสร้างเวกเตอร์จำนวนสายทดลองเป็นจำนวน  $N_p$  เวกเตอร์
- ขั้นตอนที่ 7      ทำการสร้างเวกเตอร์มิวเตชันที่มีขนาด  $N_p$  เวกเตอร์โดยการมิวเตชันเวกเตอร์จำนวนสาย
- ขั้นตอนที่ 8      ทำการสร้างเวกเตอร์จำนวนสายทดลองโดยการครอสโอเวอร์เป็นจำนวนเวกเตอร์
- ขั้นตอนที่ 9      กำหนดเงื่อนไขความมั่นคงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- ขั้นตอนที่ 10     ให้นำเวกเตอร์ที่ได้นั้นมาคิดกำลังการไหลของกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจากนั้นนำมาเปรียบเทียบเงื่อนไขต่างๆตามที่กำหนดไว้ในบทที่ 2 พร้อมทั้งคำนวณราคาในการวางสายส่งด้วย
- ขั้นตอนที่ 11     ให้นำเวกเตอร์จำนวนสายที่ได้นั้นมาทำการเปรียบเทียบกับเวกเตอร์จำนวนสายเดิมและตรวจสอบดูเฉพาะเวกเตอร์ที่ผ่านตามเงื่อนไขจากนั้นจึงนำเวกเตอร์ที่

ผ่านตามเงื่อนไขเปรียบเทียบราคาการสร้างสายส่งโดยจะต้องเก็บค่าที่ต่ำสุด  
เอาไว้

- ขั้นตอนที่ 12 ค่าจำนวนสายที่ดีที่สุดจะถูกนำไปใช้ในการคำนวณรอบถัดไป
- ขั้นตอนที่ 13 ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 5 ถึงขั้นตอนที่ 12 จนกระทั่งได้ค่าจำนวนสายที่เหมาะสมที่สุดซึ่งจะต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงของคำตอบเป็นจำนวน 200 หรือไปจนถึงรอบการคำนวณถึง 2,000 รอบโดยมีขั้นตอนการทำงานดังรูป



รูปที่ 3.2 แผนผังขั้นตอนการทำงานเพื่อแก้ปัญหาการวางแผนการขยายระบบสายส่งไฟฟ้าโดยพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคง

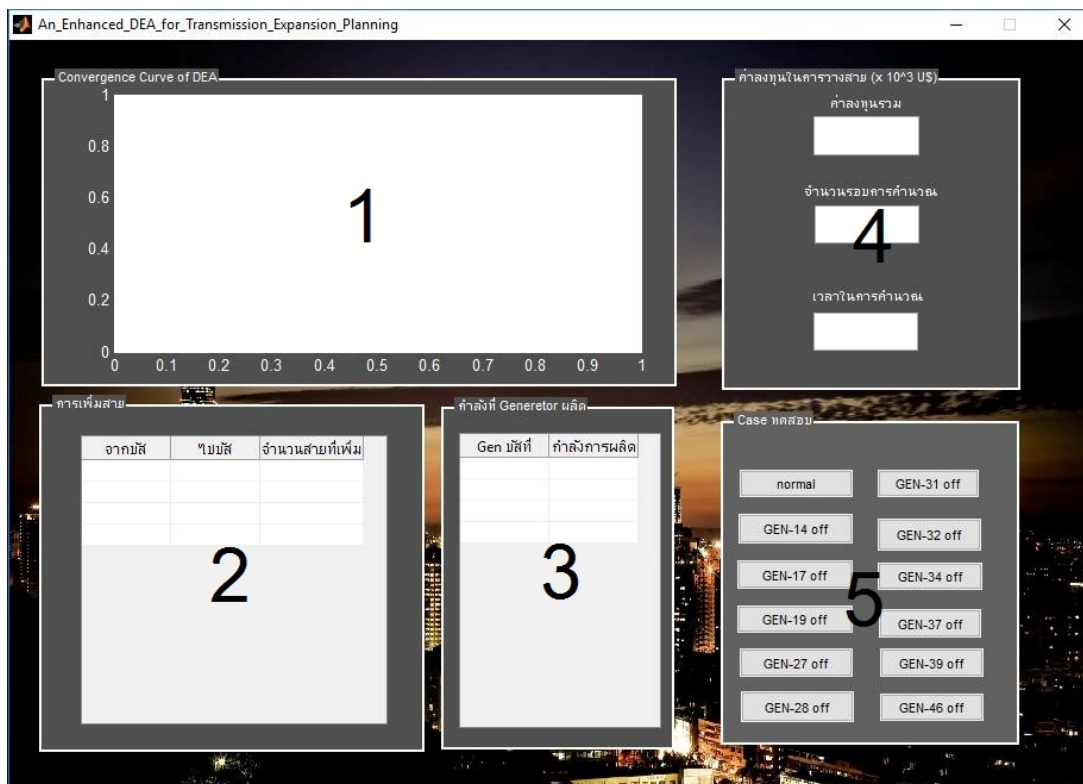
### 3.3 ระบบที่ใช้พิจารณาการวางแผนขยายระบบสายส่งไฟฟ้า

สำหรับการแก้ปัญหาการวางแผนขยายระบบสายส่งแบบพิจารณาความมั่นคงในโครงการนี้ จะนำโปรแกรมการคำนวณที่สร้างขึ้นแล้วนั้น มาแก้ไขปัญหาระบบ คือ ระบบ Brazilian 46-Bus โดยมีรายละเอียดของแต่ละระบบดังนี้

#### 3.3.1 ระบบ Brazilian 46-Bus

ระบบ Brazilian 46-Bus ประกอบไปด้วยบัสเครื่องกำเนิดทั้งหมด 11 บัส โดยมีการเพิ่มบัสเครื่องกำเนิด เข้ามาใหม่ในระบบจำนวน 2 บัส คือบัสที่ 28 กับ 31 มีโหลดบัสจำนวน 19 บัส และมีบัสเชื่อมต่อทั้งหมด 15 บัส โดยเพิ่มบัสเชื่อมต่อเข้ามาในระบบจำนวน 9 บัส ได้แก่บัสที่ 3, 6, 10, 11, 15, 25, 29, 30 และ 41 มีสายส่งทั้งหมด 79 เส้นทาง โดยสายส่งที่จะสร้างใหม่มี 32 เส้นทางมีเครื่องผลิตกำลังไฟฟ้าทั้งหมด 11 เครื่อง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในบัสอ้างอิงของระบบ 1 เครื่อง และโหลดทั้งหมด 19 บัส ดังรูป ก1.

### 3.4 วิธีการใช้งาน Graphical User Interface (GUI)



รูปที่ 3.3 แสดงหน้าต่างโปรแกรม GUI ที่ใช้

- หมายเลข 1 ส่วนแสดงกราฟระหว่างค่าราคาในการวางสายส่งกับรอบของการรันโปรแกรม
- หมายเลข 2 ส่วนแสดงค่าจำนวนสายที่เพิ่มโดยพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงจาก巴士  $i$  ไป  $j$
- หมายเลข 3 ส่วนแสดงค่ากำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- หมายเลข 4 ส่วนแสดงค่าราคาในการวางสาย แสดงจำนวนรอบในการคำนวณ และแสดงเวลาที่ใช้การคำนวณตามลำดับ
- หมายเลข 5 ปุ่มกดเลือกกรณีในการทดสอบสายส่งกำลังไฟฟ้าแบบพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงได้แก่

- ปุ่ม Normal ในกรณีที่ยังไม่คิดเงื่อนไขความมั่นคง
- ปุ่ม GEN-14 off ในกรณีพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงโดยถอดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่巴士 14 ออก
- ปุ่ม GEN-17 off ในกรณีพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงโดยถอดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่巴士 17 ออก
- ปุ่ม GEN-19 off ในกรณีพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงโดยถอดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่巴士 19 ออก
- ปุ่ม GEN-27 off ในกรณีพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงโดยถอดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่巴士 27 ออก
- ปุ่ม GEN-28 off ในกรณีพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงโดยถอดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่巴士 28 ออก
- ปุ่ม GEN-31 off ในกรณีพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงโดยถอดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่巴士 31 ออก
- ปุ่ม GEN-32 off ในกรณีพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงโดยถอดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่巴士 32 ออก
- ปุ่ม GEN-34 off ในกรณีพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงโดยถอดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่巴士 34 ออก
- ปุ่ม GEN-37 off ในกรณีพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงโดยถอดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่巴士 37 ออก
- ปุ่ม GEN-39 off ในกรณีพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงโดยถอดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่巴士 39 ออก
- ปุ่ม GEN-46 off ในกรณีพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงโดยถอดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่巴士 46 ออก

### 3.5 รายละเอียดของเครื่องคำนวณที่ใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของเครื่องคำนวณที่ใช้

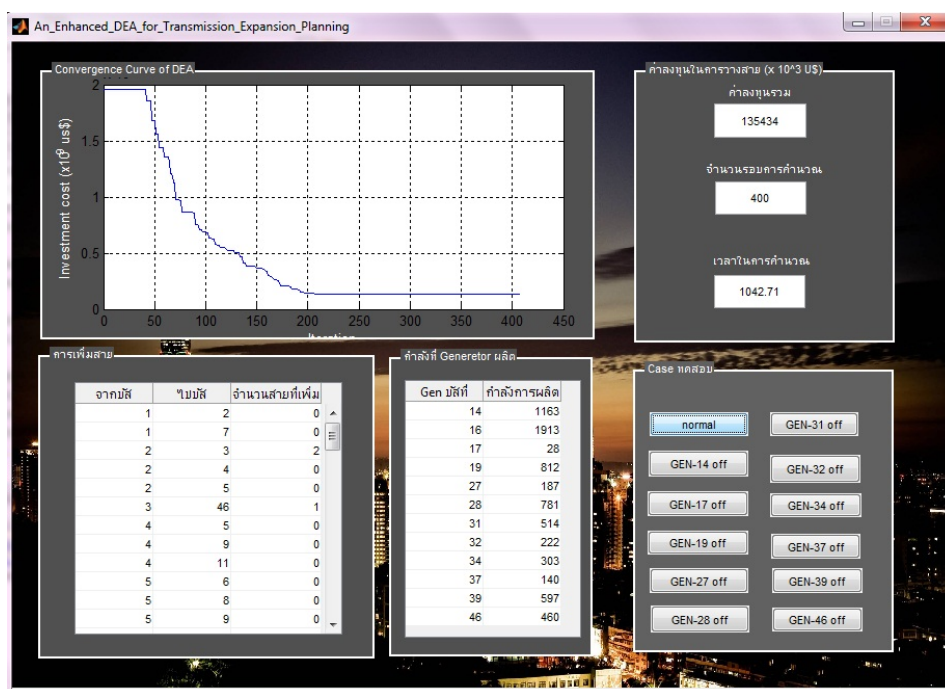
หัวข้อ	รายละเอียด
รุ่น	Acer aspire v3
หน่วยประมวลผล	Intel® Core i7 -3630QM @2.40GHz with Turbo Boost up to 3.40GHz
ระบบปฏิบัติการ	Window 7 Ultimate 64-bit
หน่วยความจำ	8.00 GB RAM
โปรแกรมคำนวณ	MATLAB R2011a

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการทดลองในการแก้ไขปัญหการวางแผนขยายระบบสายส่งกำลังไฟฟ้าในระบบ Brazilian 46-Bus

จากการทดลองโดยใช้โปรแกรมการคำนวณ An Enhanced Differential Evolution Algorithm for TEP with Security Constraint Consideration เพื่อหาค่าต่างๆ ได้แก่ ค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งก่อนพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งหลังพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงค่าจำนวนสายส่งที่ต้องเพิ่มเข้าในระบบเดิมและค่าการลงทุนในการวางสายภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบ Brazilian 46-Bus แสดงตัวอย่างหน้าโปรแกรมดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างหน้าต่างแสดงผลใน GUI

โดยทำการทดลองจำนวน 20 รอบ ซึ่งแต่ละรอบการคำนวณเกิดจากการรวมค่าสายส่งที่ต้องเพิ่มเข้าสู่ระบบในแต่ละรอบ โดย 1 รอบการคำนวณจะมีทั้งหมด 12 กรณี แล้วนำค่าที่ดีที่สุดมาแสดงในตารางผลการทดลอง สรุปได้ว่าค่าที่ดีที่สุดคือรอบที่ 3 ของการคำนวณจากโปรแกรม โดยได้ค่าการเพิ่ม

จำนวนสายส่งเข้าไปในระบบก่อนการพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคง หรือกรณี Normal แสดงดังตารางต่อไปนี

**ตารางที่ 4.1.1** แสดงค่าการเพิ่มจำนวนสายส่งเข้าไปในระบบก่อนการพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคง  
ในรอบที่ 3 ของการคำนวณจากโปรแกรม

เส้นทางสายส่งกำลังไฟฟ้า		จำนวนสายส่ง ไฟฟ้าเดิม (สาย)	จำนวนสายส่งไฟฟ้าที่ เพิ่ม (สาย)	ราคาสายส่ง กำลังไฟฟ้า (x10 <sup>3</sup> US\$/สาย)
จากบัส	ไปบัส			
1	2	2	0	7,076
1	7	1	0	4,349
2	3	0	2	8,178
2	4	0	0	5,965
2	5	2	0	2,581
3	46	0	1	24,319
4	5	2	0	4,046
4	9	1	0	6,217
4	11	0	0	14,247
5	6	0	0	8,178
5	8	1	0	7,480
5	9	1	0	7,732
5	11	0	0	6,167
6	46	0	0	16,005
7	8	1	0	6,823
8	13	1	0	8,793
9	10	0	0	8,178
9	14	2	0	11,267
10	46	0	0	10,889



**ตารางที่ 4.1.1** แสดงค่าการเพิ่มจำนวนสายส่งเข้าไปในระบบก่อนการพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคง  
ในรอบที่ 3 ของการคำนวณจากโปรแกรม (ต่อ)

เส้นทางสายส่งกำลังไฟฟ้า		จำนวนสายส่ง ไฟฟ้าเดิม (สาย)	จำนวนสายส่งไฟฟ้าที่ เพิ่ม (สาย)	ราคาสายส่ง กำลังไฟฟ้า (x10 <sup>3</sup> US\$/สาย)
จากบัส	ไปบัส			
11	46	0	0	8,178
12	14	2	0	5,106
13	18	1	0	11,570
13	20	1	0	7,126
14	15	0	0	2,884
14	18	2	0	9,803
14	22	1	1	5,712
14	26	1	1	10,409
15	16	0	0	8,178
16	17	1	0	10,505
16	28	0	0	26,365
16	32	0	0	36,213
16	46	1	0	24,319
17	19	1	0	8,715
17	32	0	0	27,516
18	19	1	0	8,178
18	20	1	0	12,732
19	21	1	0	32,632
19	25	0	1	37,748
19	32	1	0	23,423
19	46	1	0	26,365
20	21	1	1	8,178

**ตารางที่ 4.1.1** แสดงค่าการเพิ่มจำนวนสายส่งเข้าไปในระบบก่อนการพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคง  
ในรอบที่ 3 ของการคำนวณจากโปรแกรม (ต่อ)

เส้นทางสายส่งกำลังไฟฟ้า		จำนวนสายส่ง ไฟฟ้าเดิม (สาย)	จำนวนสายส่งไฟฟ้าที่ เพิ่ม (สาย)	ราคาสายส่ง กำลังไฟฟ้า ( $\times 10^3$ US\$/สาย)
จากบัส	ไปบัส			
20	23	2	0	6,268
21	25	0	0	21,121
22	26	1	0	5,409
23	24	2	0	5,308
24	25	0	2	8,178
24	33	1	0	9,399
24	34	1	0	10,611
25	32	0	0	37,109
26	27	2	0	5,662
26	29	0	0	3,894
27	29	0	0	6,672
27	36	1	0	6,167
27	38	2	0	13,237
28	30	0	0	8,331
28	31	0	0	7,819
28	41	0	0	39,283
28	43	0	0	46,701
29	30	0	0	8,178
31	32	0	0	7,052
31	41	0	0	32,632
32	41	0	0	35,957
32	43	1	0	35,957

**ตารางที่ 4.1.1** แสดงค่าการเพิ่มจำนวนสายส่งเข้าไปในระบบก่อนการพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคง  
ในรอบที่ 3 ของการคำนวณจากโปรแกรม (ต่อ)

เส้นทางสายส่งกำลังไฟฟ้า		จำนวนสายส่ง ไฟฟ้าเดิม (สาย)	จำนวนสายส่งไฟฟ้าที่ เพิ่ม (สาย)	ราคาสายส่ง กำลังไฟฟ้า (x10 <sup>3</sup> US\$/สาย)
จากบัส	ไปบัส			
33	34	1	0	8,288
34	35	2	0	3,591
35	38	1	0	12,631
36	37	1	0	7,025
37	39	1	0	2,329
37	40	1	0	8,389
37	42	1	0	13,388
38	42	3	0	6,116
39	42	3	0	12,934
40	41	0	0	8,178
40	42	1	0	6,268
40	45	0	0	13,994
41	43	0	0	17,284
42	43	1	2	8,178
42	44	1	0	7,934
44	45	1	0	11,924
จำนวนสายที่เพิ่มทั้งหมด(สาย)			11	
รวมราคาสายส่งไฟฟ้าที่เพิ่มเข้าไปในระบบทั้งหมด (x10 <sup>3</sup> US\$)				135,434

จากตารางที่ 4.1.1 เป็นการแสดงผลของข้อมูลการเพิ่มจำนวนของสายส่งเข้าไปในระบบ ก่อนการพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคง พบว่าค่าของสายส่งที่เพิ่มเข้ามาในระบบ มีทั้งหมด 11 สาย โดยเพิ่มสายที่

$$n_{2-3} = 2, \quad n_{3-46} = 1, \quad n_{14-22} = 1, \quad n_{14-26} = 1,$$

$$n_{19-25} = 1, \quad n_{20-21} = 1, \quad n_{24-25} = 2, \quad n_{42-43} = 2$$

รวมเป็นค่าการลงทุนทั้งสิ้นเท่ากับ  $135,434 \times 10^3$  US\$

ในลำดับต่อไปเป็นการแสดงผลของจำนวนสายส่งกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่เพิ่มเข้าไปในระบบของ กรณีหลังพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงของระบบคือ กรณีหลังจากมีการตัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจาก ระบบตามบัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่างๆ ครั้งละ 1 เครื่อง โดยแสดงผลแยกเป็นแต่ละกรณีของการทดลอง ซึ่งเป็นค่าก่อนการรวบรวมจำนวนสายส่งที่เข้ามาในระบบ เพื่อที่จะนำไปคำนวณหาค่าการลงทุน โดยพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงคิดเป็น 100% ของระบบ โดยแสดงค่าที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม ดังตารางต่อไปนี้ตามลำดับ

**ตารางที่ 4.1.2** แสดงจำนวนสายส่งกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่เพิ่มเข้าไปหลังพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงในระบบ **Brazilian 46-Bus** ในกรณีต่างๆ ของรอบที่ 3 ของการคำนวณจากโปรแกรม

เส้นทางสายส่งกำลังไฟฟ้า		จำนวนสายส่งไฟฟ้าเดิม (สาย)	จำนวนสายส่งไฟฟ้าที่เพิ่ม (สาย) หลังจากการตัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบ ไป 1 เครื่อง ในบัสที่										
จากบัส	ไปบัส		บัสที่ 14	บัสที่ 17	บัสที่ 19	บัสที่ 27	บัสที่ 28	บัสที่ 31	บัสที่ 32	บัสที่ 34	บัสที่ 37	บัสที่ 39	บัสที่ 46
1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	3	0	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	2
2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	46	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
4	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.1.2 แสดงจำนวนสายส่งกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่เพิ่มเข้าไปหลังพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงในระบบ Brazilian 46-Bus ในกรณีต่างๆ ของรอบที่ 3 ของการคำนวณจากโปรแกรม (ต่อ)

เส้นทางสายส่งกำลังไฟฟ้า		จำนวนสายส่งไฟฟ้าเดิม (สาย)	จำนวนสายส่งไฟฟ้าที่เพิ่ม (สาย) หลังจากการตัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบ ไป 1 เครื่อง ในบัสที่										
จากบัส	ไปบัส		บัสที่ 14	บัสที่ 17	บัสที่ 19	บัสที่ 27	บัสที่ 28	บัสที่ 31	บัสที่ 32	บัสที่ 34	บัสที่ 37	บัสที่ 39	บัสที่ 46
5	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0
6	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	14	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0
12	14	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.1.2 แสดงจำนวนสายส่งกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่เพิ่มเข้าไปหลังพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงในระบบ Brazilian 46-Bus ในกรณีต่างๆ ของรอบที่ 3 ของการคำนวณจากโปรแกรม (ต่อ)

เส้นทางสายส่งกำลังไฟฟ้า		จำนวนสายส่งไฟฟ้าเดิม (สาย)	จำนวนสายส่งไฟฟ้าที่เพิ่ม (สาย) หลังจากการตัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบ ไป 1 เครื่อง ในบัสที่										
จากบัส	ไปบัส		บัสที่ 14	บัสที่ 17	บัสที่ 19	บัสที่ 27	บัสที่ 28	บัสที่ 31	บัสที่ 32	บัสที่ 34	บัสที่ 37	บัสที่ 39	บัสที่ 46
13	20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	18	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	22	1	1	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1
14	26	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1
15	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	46	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.1.2 แสดงจำนวนสายส่งกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่เพิ่มเข้าไปหลังพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงในระบบ Brazilian 46-Bus ในกรณีต่างๆ ของรอบที่ 3 ของการคำนวณจากโปรแกรม (ต่อ)

เส้นทางสายส่งกำลังไฟฟ้า		จำนวนสายส่งไฟฟ้าเดิม (สาย)	จำนวนสายส่งไฟฟ้าที่เพิ่ม (สาย) หลังจากการตัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบ ไป 1 เครื่อง ในบัสที่										
จากบัส	ไปบัส		บัสที่ 14	บัสที่ 17	บัสที่ 19	บัสที่ 27	บัสที่ 28	บัสที่ 31	บัสที่ 32	บัสที่ 34	บัสที่ 37	บัสที่ 39	บัสที่ 46
17	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	21	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	25	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
19	32	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	46	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2
20	23	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	26	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	2	0



**ตารางที่ 4.1.2** แสดงจำนวนสายส่งกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่เพิ่มเข้าไปหลังพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงในระบบ **Brazilian 46-Bus** ในกรณีต่างๆ ของรอบที่ 3 ของการคำนวณจากโปรแกรม (ต่อ)

เส้นทางสายส่งกำลังไฟฟ้า		จำนวนสายส่งไฟฟ้าเดิม (สาย)	จำนวนสายส่งไฟฟ้าที่เพิ่ม (สาย) หลังจากการตัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบ ไป 1 เครื่อง ในบัสที่										
จากบัส	ไปบัส		บัสที่ 14	บัสที่ 17	บัสที่ 19	บัสที่ 27	บัสที่ 28	บัสที่ 31	บัสที่ 32	บัสที่ 34	บัสที่ 37	บัสที่ 39	บัสที่ 46
23	24	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	25	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
24	33	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	34	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
26	27	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	36	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	38	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.1.2 แสดงจำนวนสายส่งกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่เพิ่มเข้าไปหลังพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงในระบบ Brazilian 46-Bus ในกรณีต่างๆ ของรอบที่ 3 ของการคำนวณจากโปรแกรม (ต่อ)

เส้นทางสายส่งกำลังไฟฟ้า		จำนวนสายส่งไฟฟ้าเดิม (สาย)	จำนวนสายส่งไฟฟ้าที่เพิ่ม (สาย) หลังจากการตัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบ ไป 1 เครื่อง ในบัสที่										
จากบัส	ไปบัส		บัสที่ 14	บัสที่ 17	บัสที่ 19	บัสที่ 27	บัสที่ 28	บัสที่ 31	บัสที่ 32	บัสที่ 34	บัสที่ 37	บัสที่ 39	บัสที่ 46
28	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	43	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	34	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	35	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	38	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.1.2 แสดงจำนวนสายส่งกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่เพิ่มเข้าไปหลังพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงในระบบ Brazilian 46-Bus ในกรณีต่างๆ ของรอบที่ 3 ของการคำนวณจากโปรแกรม (ต่อ)

เส้นทางสายส่งกำลังไฟฟ้า		จำนวนสายส่งไฟฟ้าเดิม (สาย)	จำนวนสายส่งไฟฟ้าที่เพิ่ม (สาย) หลังจากการตัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบ ไป 1 เครื่อง ในบัสที่										
จากบัส	ไปบัส		บัสที่ 14	บัสที่ 17	บัสที่ 19	บัสที่ 27	บัสที่ 28	บัสที่ 31	บัสที่ 32	บัสที่ 34	บัสที่ 37	บัสที่ 39	บัสที่ 46
36	37	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	39	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	40	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	42	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	42	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	42	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	41	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
40	42	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
40	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	43	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

**ตารางที่ 4.12** แสดงจำนวนสายส่งกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่เพิ่มเข้าไปหลังพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงในระบบ **Brazilian 46-Bus** ในกรณีต่างๆ ของรอบที่ 3 ของการคำนวณจากโปรแกรม (ต่อ)

เส้นทางสายส่งกำลังไฟฟ้า		จำนวนสายส่งไฟฟ้าเดิม (สาย)	จำนวนสายส่งไฟฟ้าที่เพิ่ม (สาย) หลังจากการตัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบ ไป 1 เครื่อง ในบัสที่										
จากบัส	ไปบัส		บัสที่ 14	บัสที่ 17	บัสที่ 19	บัสที่ 27	บัสที่ 28	บัสที่ 31	บัสที่ 32	บัสที่ 34	บัสที่ 37	บัสที่ 39	บัสที่ 46
42	44	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	45	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
จำนวนสายที่เพิ่มทั้งหมด (สาย)			11	12	14	11	11	12	11	11	16	13	12
รวมราคาสายส่งไฟฟ้าที่เพิ่มเข้าไปในระบบทั้งหมด ( $\times 10^3$ US\$)			135,434	136,146	158,058	135,434	135,434	136,146	135,434	135,434	143,276	129,616	136,146

จากตารางที่ 4.1.2 เป็นการแสดงผลของข้อมูลการเพิ่มจำนวนของสายส่งเข้าไปในระบบของแต่ละกรณี พบว่าค่าของสายส่งที่เพิ่มเข้ามาในระบบหลังพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงใน巴士ที่ 14, 27, 28, 32 และ 34 มีค่าการเพิ่มสายในแต่ละ巴士เท่ากัน โดยแต่ละ巴士มีค่าการเพิ่มสายทั้งหมด 11 สาย โดยเพิ่มสายที่

$$n_{2-3} = 2, \quad n_{3-46} = 1, \quad n_{14-22} = 1, \quad n_{14-26} = 1, \\ n_{19-25} = 1, \quad n_{20-21} = 1, \quad n_{24-25} = 2, \quad n_{42-43} = 2$$

รวมเป็นค่าการลงทุนทั้งสิ้นเท่ากับ  $135,434 \times 10^3$  US\$

ค่าของสายที่เพิ่มเข้ามาในระบบหลังพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงใน巴士ที่ 17, 31 และ 46 มีค่าการเพิ่มสายในแต่ละ巴士เท่ากัน โดยแต่ละ巴士มีค่าการเพิ่มสายทั้งหมด 12 สาย โดยเพิ่มสายที่

$$n_{2-3} = 2, \quad n_{3-46} = 1, \quad n_{14-22} = 2, \quad n_{19-25} = 1, \\ n_{20-21} = 1, \quad n_{22-26} = 1, \quad n_{24-25} = 2, \quad n_{42-43} = 2$$

รวมเป็นค่าการลงทุนทั้งสิ้นเท่ากับ  $136,146 \times 10^3$  US\$

ค่าของสายที่เพิ่มเข้ามาในระบบหลังพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงใน巴士ที่ 19 มีทั้งหมด 14 สาย โดยเพิ่มสายที่

$$n_{2-3} = 2, \quad n_{3-46} = 1, \quad n_{14-22} = 1, \quad n_{14-26} = 1, \quad n_{19-25} = 1, \\ n_{20-21} = 1, \quad n_{24-25} = 2, \quad n_{40-41} = 2, \quad n_{40-42} = 1, \quad n_{42-43} = 2$$

รวมเป็นค่าการลงทุนทั้งสิ้นเท่ากับ  $158,058 \times 10^3$  US\$

ค่าของสายที่เพิ่มเข้ามาในระบบหลังพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงใน巴士ที่ 37 มีทั้งหมด 16 สาย โดยเพิ่มสายที่

$$n_{5-11} = 3, \quad n_{11-46} = 2, \quad n_{14-22} = 2, \quad n_{20-21} = 2, \\ n_{22-26} = 2, \quad n_{24-25} = 2, \quad n_{25-32} = 1, \quad n_{42-43} = 2$$

รวมเป็นค่าการลงทุนทั้งสิ้นเท่ากับ  $143,276 \times 10^3$  US\$

ค่าของสายที่เพิ่มเข้ามาในระบบหลังพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงในปีที่ 39 มีทั้งหมด 13 สาย โดยเพิ่มสายที่

$$n_{5-11} = 3, \quad n_{11-46} = 2, \quad n_{14-22} = 1, \quad n_{14-26} = 1,$$

$$n_{19-25} = 1, \quad n_{20-21} = 1, \quad n_{24-25} = 2, \quad n_{42-43} = 2$$

รวมเป็นค่าการลงทุนทั้งสิ้นเท่ากับ  $129,616 \times 10^3$  US\$

ซึ่งค่าการเพิ่มสายในกรณีต่างๆ ที่กล่าวมาในข้างต้นนี้ จะทำการรวบรวมค่าการเพิ่มสายส่ง และนำมาคำนวณค่าการลงทุนในการพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงคิดเป็น 100% ของระบบ ได้ผลตามตารางต่อไปนี้

**ตารางที่ 4.1.3** แสดงจำนวนสายส่งกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่เพิ่มเข้าไปในระบบ **Brazilian 46-Bus** หลังจกการพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงในรอบที่ 3 ของการคำนวณจากโปรแกรม

เส้นทางสายส่งกำลังไฟฟ้า		จำนวนสายส่ง ไฟฟ้าเดิม (สาย)	จำนวนสายส่ง ไฟฟ้าที่เพิ่ม (สาย)	ราคาสายส่ง กำลังไฟฟ้า ( $\times 10^3$ US\$/สาย)
จากบัส	ไปบัส			
1	2	2	0	7,076
1	7	1	0	4,349
2	3	0	2	8,178
2	4	0	0	5,965
2	5	2	0	2,581
3	46	0	1	24,319
4	5	2	0	4,046
4	9	1	0	6,217
4	11	0	0	14,247
5	6	0	0	8,178
5	8	1	0	7,480
5	9	1	0	7,732
5	11	0	3	6,167
6	46	0	0	16,005

ตารางที่ 4.1.3 แสดงจำนวนสายส่งกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่เพิ่มเข้าไปในระบบ Brazilian 46-Bus หลังจากการพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงในรอบที่ 3 ของการคำนวณจากโปรแกรม (ต่อ)

เส้นทางสายส่งกำลังไฟฟ้า		จำนวนสายส่ง ไฟฟ้าเดิม (สาย)	จำนวนสายส่ง ไฟฟ้าที่เพิ่ม (สาย)	ราคาสายส่ง กำลังไฟฟ้า (x10 <sup>3</sup> US\$/สาย)
จากบัส	ไปบัส			
7	8	1	0	6,823
8	13	1	0	8,793
9	10	0	0	8,178
9	14	2	0	11,267
10	46	0	0	10,889
11	46	0	2	8,178
12	14	2	0	5,106
13	18	1	0	11,570
13	20	1	0	7,126
14	15	0	0	2,884
14	18	2	0	9,803
14	22	1	2	5,712
14	26	1	1	10,409
15	16	0	0	8,178
16	17	1	0	10,505
16	28	0	0	26,365
16	32	0	0	36,213
16	46	1	0	24,319
17	19	1	0	8,715
17	32	0	0	27,516
18	19	1	0	8,178
18	20	1	0	12,732
19	21	1	0	32,632

ตารางที่ 4.1.3 แสดงจำนวนสายส่งกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่เพิ่มเข้าไปในระบบ Brazilian 46-Bus หลังจากการพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงในรอบที่ 3 ของการคำนวณจากโปรแกรม (ต่อ)

เส้นทางสายส่งกำลังไฟฟ้า		จำนวนสายส่ง ไฟฟ้าเดิม (สาย)	จำนวนสายส่ง ไฟฟ้าที่เพิ่ม (สาย)	ราคาสายส่ง กำลังไฟฟ้า (x10 <sup>3</sup> US\$/สาย)
จากบัส	ไปบัส			
19	25	0	1	37,748
19	32	1	0	23,423
19	46	1	0	26,365
20	21	1	2	8,178
20	23	2	0	6,268
21	25	0	0	21,121
22	26	1	2	5,409
23	24	2	0	5,308
24	25	0	2	8,178
24	33	1	0	9,399
24	34	1	0	10,611
25	32	0	1	37,109
26	27	2	0	5,662
26	29	0	0	3,894
27	29	0	0	6,672
27	36	1	0	6,167
27	38	2	0	13,237
28	30	0	0	8,331
28	31	0	0	7,819
28	41	0	0	39,283
28	43	0	0	46,701
29	30	0	0	8,178
31	32	0	0	7,052



**ตารางที่ 4.1.3** แสดงจำนวนสายส่งกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่เพิ่มเข้าไปในระบบ **Brazilian 46-Bus** หลังจากการพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงในรอบที่ 3 ของการคำนวณจากโปรแกรม (ต่อ)

เส้นทางสายส่งกำลังไฟฟ้า		จำนวนสายส่ง ไฟฟ้าเดิม (สาย)	จำนวนสายส่ง ไฟฟ้าที่เพิ่ม (สาย)	ราคาสายส่ง กำลังไฟฟ้า (x10 <sup>3</sup> US\$/สาย)
จากบัส	ไปบัส			
31	41	0	0	32,632
32	41	0	0	35,957
32	43	1	0	35,957
33	34	1	0	8,288
34	35	2	0	3,591
35	38	1	0	12,631
36	37	1	0	7,025
37	39	1	0	2,329
37	40	1	0	8,389
37	42	1	0	13,388
38	42	3	0	6,116
39	42	3	0	12,934
40	41	0	2	8,178
40	42	1	1	6,268
40	45	0	0	13,994
41	43	0	0	17,284
42	43	1	2	8,178
42	44	1	0	7,934
44	45	1	0	11,924
จำนวนสายที่เพิ่มทั้งหมด(สาย)			24	
รวมราคาสายส่งไฟฟ้าที่เพิ่มเข้าไปในระบบทั้งหมด (x10 <sup>3</sup> US\$)				254,732

จากตารางที่ 4.1.1 พบว่าระบบ **Brazilian 46-Bus** จะสามารถอยู่ในเสถียรภาพที่ดีที่สุดได้ โดยยึดจากการพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคง ในการคำนวณด้วยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลโวลูชันอัลกอริธึมแบบปรับปรุงแล้ว จะต้องเพิ่มสายส่งเข้าไปในระบบจำนวนทั้งหมด **24** สาย โดยเพิ่มสายที่

$$\begin{aligned} n_{2-3} &= 2, & n_{3-46} &= 1, & n_{5-11} &= 3, & n_{11-46} &= 2, & n_{14-22} &= 2, \\ n_{14-26} &= 1, & n_{19-25} &= 1, & n_{20-21} &= 2, & n_{22-26} &= 2, & n_{24-25} &= 2, \\ n_{25-32} &= 1, & n_{40-41} &= 2, & n_{40-42} &= 1, & n_{42-43} &= 2 \end{aligned}$$

รวมเป็นค่าการลงทุนทั้งสิ้นเท่ากับ  $254,732 \times 10^3$  US

**ตารางที่ 4.1.4** แสดงค่าการลงทุนในการขยายระบบขยายสายส่งไฟฟ้าแบบพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงของระบบ **Brazilian 46-Bus**

ค่าที่พิจารณา	ค่าการเพิ่มสายส่งไฟฟ้า
ค่าที่ดีที่สุด ( $\times 10^3$ US\$)	254,732
ค่าที่แย่ที่สุด ( $\times 10^3$ US\$)	467,515
ค่าเฉลี่ย ( $\times 10^3$ US\$)	378,842
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\times 10^3$ US\$)	80,938.10
ค่า % ความแตกต่างระหว่าง ค่าที่ดีที่สุดและค่าที่แย่ที่สุด	45.5136

จากตารางที่ 4.1.4 พบว่าค่าในการลงทุนที่มีค่าน้อยที่สุดซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ดีที่สุดมีค่าเท่ากับ  $254,732 \times 10^3$  US\$ ค่าการลงทุนที่มีค่ามากที่สุดซึ่งถือว่าเป็นค่าที่แย่ที่สุดมีค่าเท่ากับ  $467,515 \times 10^3$  US\$ มีความแตกต่างของค่าที่ดีที่สุดกับค่าที่แย่ที่สุดเท่ากับ  $212,783 \times 10^3$  US\$ หรือคิดเป็น 54.4864% มีค่าเฉลี่ยในการลงทุนอยู่ที่  $378,842 \times 10^3$  US\$ และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ  $80,938.10 \times 10^3$  US\$

## 4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1.1 พบว่ามีค่าการลงทุนเท่ากับ  $254,732 \times 10^3 \text{US\$}$  โดยมีการเพิ่มสายเข้ามาในระบบทั้งหมด 24 สาย ซึ่งมีค่าเฉลี่ยในการลงทุนเท่ากับ  $378,842 \times 10^3 \text{US\$}$  ซึ่งเป็นค่าที่มีค่าสูงกว่าค่าที่ดีที่สุดอยู่มาก ผลการทดลองมีความแม่นยำของคำตอบไม่ถึง 80% เกิดจากรอบของการทดลองโปรแกรมที่มีจำนวนรอบน้อยเกินไป และการออกแบบโปรแกรมที่มีความซับซ้อนในการเก็บรวบรวมค่าของสายส่งที่เพิ่มเข้ามาในระบบ จึงส่งผลให้ค่าการลงทุนเกิดความคลาดเคลื่อนกันอยู่มาก

วิธีนี้มีการพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่องในระบบคือในระบบ **Brazilian 46-Bus** จะพิจารณาความมั่นคงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวนทั้งหมด 11 เครื่องในระบบซึ่งวิธีนี้จะมีค่าการลงทุนที่สูงและเสถียรภาพในระบบสูงเช่นกัน

ในส่วนของเวลาในการคำนวณจากผลการทดลองค่อนข้างนาน ทั้งนี้มีผลมาจากระบบปฏิบัติงานและระบบประมวลผลของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการรันโปรแกรม

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

การทดลองในโครงการนี้ได้นำวิธีการใช้ดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริทึมแบบปรับปรุงแล้วมาประยุกต์ใช้ออกแบบในการแก้ปัญหาวางแผนขยายระบบสายส่งไฟฟ้าโดยพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงซึ่งได้นำวิธีการดังกล่าวมาทดสอบกับระบบ **Brazilian 46-Bus** เพื่อนำมาทดสอบในการแก้ปัญหาการวางแผนขยายระบบสายส่งแบบพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดในระบบดังกล่าวอีกทั้งในโครงการนี้ยังได้นำวิธีแบบสถิติศาสตร์โดยอาศัยวิธีความน่าจะเป็นมาหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของค่าคงที่การครอสโอเวอร์ ( $CR$ ) และค่าตัวประกอบการมิวเตชัน ( $F$ ) โดยได้กำหนดช่วงพารามิเตอร์คือ  $F = [0.4, 1]$  และ  $CR = [0.8, 1]$  ในการคำนวณจะเลือกใช้สมการการมิวเตชันแบบที่ 8 ของกระบวนการ DEA เพราะเป็นสมการที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

สรุปได้ว่าวิธีการใช้ดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริทึมแบบปรับปรุงแล้วสามารถนำมาประยุกต์ใช้ออกแบบในการแก้ปัญหาวางแผนขยายระบบสายส่งไฟฟ้าโดยพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงได้อย่างมีประสิทธิภาพเหมาะแก่การนำมาแก้ปัญหาการวางแผนขยายระบบสายส่งไฟฟ้าถึงแม้ค่าที่ได้ออกมามีค่าการลงทุนที่สูงแต่ก็ส่งผลให้เสถียรภาพของระบบมีความเสถียรภาพสูง เกิดความมั่นคงเพิ่มขึ้นในระบบสายส่งอีกด้วย

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

หากมีการพัฒนาโปรแกรมในครั้งต่อไปควรให้โปรแกรมมีความแม่นยำในการคำนวณให้ถึง 80% มีความหลากหลายในระบบของการทดสอบหรือรวมไปถึงอาจจะทำให้ผู้ใช้โปรแกรมสามารถออกแบบระบบ และกำหนดค่าต่างๆ ได้เองเพื่อที่จะสามารถนำโปรแกรมไปประยุกต์ใช้ได้จริงและสามารถคำนวณในระบบสายส่งขนาดใหญ่ขึ้นได้

หากมีการวิจัยในครั้งต่อไปควรจะเปลี่ยนจากการใช้สมการ **DC Power Flow** ในการคำนวณกำลังการไหลไฟฟ้าในสายส่งเป็นการใช้สมการ **AC Power Flow** ในการคำนวณกำลังการไหลไฟฟ้าในสายส่งแทนเพื่อที่ผลของการคำนวณของโปรแกรมจะได้ใกล้เคียงกับการออกแบบระบบจริงได้มากที่สุด

## เอกสารอ้างอิง

- เจษฎาภากร ฤทธิรักษา และนคร ทานให้. (2558). *การใช้วิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริธึมแบบปรับปรุงแล้วสำหรับวางแผนขยายระบบสายส่งไฟฟ้าโดยพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคง*. วิทยานิพนธ์. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- เฉลิมพล ฤทธิงาม และธีรวิชัย ฝูงดี. (2554). *การวางแผนขยายระบบสายส่งแบบพิจารณาการสูญเสียโดยใช้วิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันแบบปรับตัวเองได้*. วิทยานิพนธ์. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ณัฐจักร โฉมสิริเดชาพันธ์ และอัษฎางค์ แก้วมุกดา. (2553). *การวางแผนขยายระบบสายส่งโดยใช้วิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันแบบปรับตัวเองได้*. วิทยานิพนธ์. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ชญบวรณ บุษยศรี และปรีชญา เล่าชู. (2555). *การใช้ดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริธึมแบบปรับตัวเองได้สำหรับวางแผนขยายระบบสายส่งไฟฟ้าโดยพิจารณาเงื่อนไขความมั่นคงสายส่งชนิด N-1*. วิทยานิพนธ์. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ปรีชญา สงวนสัตย์. (2556). *คู่มือการใช้งาน Matlab ฉบับสมบูรณ์*. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: ไอทีซีพีริเมียร์.
- Thanathip Sum-Im. (2009). *A Novel Differential Evolution Algorithmic Approach to Transmission Expansion Planning*. A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy. Brunel University

ภาคผนวก

## ภาคผนวก

## ข้อมูลระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง

ก1.ระบบไฟฟ้ากำลังของ **Brazilian 46-Bus**ตารางที่ ก1.1 ระบบไฟฟ้ากำลังของ **Brazilian 46-Bus**

Bus No.	Bus Type	Generation (MW)		Load (MW)
		Maximum	Level	
1	1	0	0	0
2	1	0	0	443.1
3	1	0	0	0
4	1	0	0	300.7
5	1	0	0	238
6	1	0	0	0
7	1	0	0	0
8	1	0	0	72.2
9	1	0	0	0
10	1	0	0	0
11	1	0	0	0
12	1	0	0	511.9
13	1	0	0	185.8
14	2	1257	944	0
15	1	0	0	0
16	3	2000	1366	0
17	2	1050	1000	0
18	1	0	0	0
19	2	1670	773	0
20	1	0	0	1091.2

ตารางที่ ก1.1 ระบบไฟฟ้ากำลังของ Brazilian 46-Bus (ต่อ)

Bus No.	Bus Type	Generation (MW)		Load (MW)
		Maximum	Level	
21	1	0	0	0
22	1	0	0	81.9
23	1	0	0	458.1
24	1	0	0	478.2
25	1	0	0	0
26	1	0	0	231.9
27	2	220	54	0
28	2	800	730	0
29	1	0	0	0
30	1	0	0	0
31	2	700	310	0
32	2	500	450	0
33	1	0	0	229.1
34	2	748	221	0
35	1	0	0	216
36	1	0	0	90.1
37	2	300	212	0
38	1	0	0	216
39	2	600	221	0
40	1	0	0	262.1
41	1	0	0	0
42	1	0	0	1607.9



ตารางที่ ก1.1 ระบบไฟฟ้ากำลังของ Brazilian 46-Bus (ต่อ)

Bus No.	Bus Type	Generation (MW)		Load (MW)
		Maximum	Level	
43	1	0	0	0
44	1	0	0	79.1
45	1	0	0	86.7
46	2	700	599	0

Bus Type = 1 (Load Bus), 2 (Generator Bus), 3 (Slack Bus)

ตารางที่ ก1.2 ข้อมูลของสายส่งสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดของ Brazilian 46-Bus

Line No.	From-To	Reactance $x_{ij}$ (p.u.)	$f_{ij}^{\max}$ (MW)	$n_{ij}^0$	$n_{ij}^{\max}$	Cost ( $\times 10^3$ US\$)
1	1-2	0.1065	270	2	4	7076
2	1-7	0.0616	270	1	4	4349
3	2-3	0.0125	600	0	4	8178
4	2-4	0.0882	270	0	4	5965
5	2-5	0.0324	270	2	4	2581
6	3-46	0.0203	1800	0	4	24319
7	4-5	0.0566	270	2	4	4046
8	4-9	0.0924	270	1	4	6217
9	4-11	0.2246	240	0	4	14247
10	5-6	0.0125	600	0	4	8178
11	5-8	0.1132	270	1	4	7480
12	5-9	0.1173	270	1	4	7732
13	5-11	0.0915	270	0	4	6167
14	6-46	0.0128	2000	0	4	16005
15	7-8	0.1023	270	1	4	6823
16	8-13	0.1348	240	1	4	8793
17	9-10	0.0125	600	0	4	8178
18	9-14	0.1756	220	2	4	11267
19	10-46	0.0081	2000	0	4	10889
20	11-46	0.0125	600	0	4	8178
21	12-14	0.074	270	2	4	5106
22	13-18	0.1805	220	1	4	11570

ตารางที่ ก1.2 ข้อมูลของสายส่งสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดของ Brazilian 46-Bus (ต่อ)

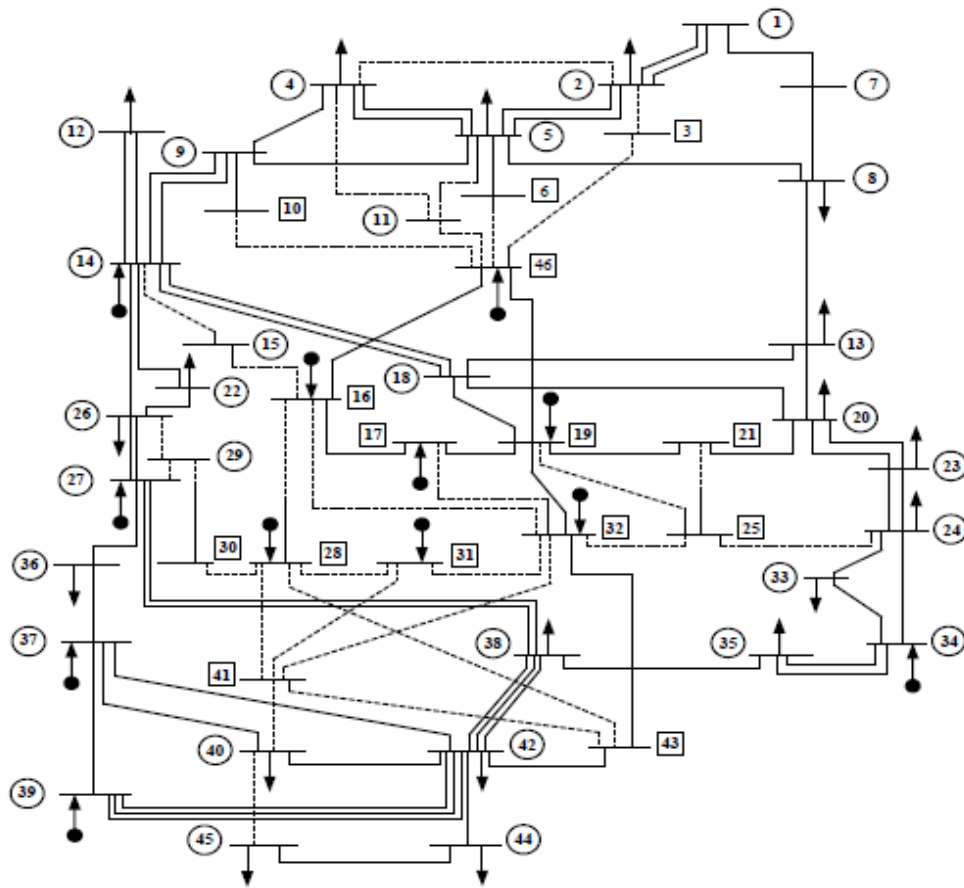
Line No.	From-To	Reactance $x_{ij}$ (p.u.)	$f_{ij}^{\max}$ (MW)	$n_{ij}^0$	$n_{ij}^{\max}$	Cost ( $\times 10^3$ US\$)
23	13-20	0.1073	270	1	4	7126
24	14-15	0.0374	270	0	4	2884
25	14-18	0.1514	240	2	4	9803
26	14-22	0.084	270	1	4	5712
27	14-26	0.1614	220	1	4	10409
28	15-16	0.0125	600	0	4	8178
29	16-17	0.0078	2000	1	4	10505
30	16-28	0.0222	1800	0	4	26365
31	16-32	0.0311	1400	0	4	36213
32	16-46	0.0203	1800	1	4	24319
33	17-19	0.0061	2000	1	4	8715
34	17-32	0.0232	1700	0	4	27516
35	18-19	0.0125	600	1	4	8178
36	18-20	0.1997	200	1	4	12732
37	19-21	0.0278	1500	1	4	32632
38	19-25	0.0325	1400	0	4	37748
39	19-32	0.0195	1800	1	4	23423
40	19-46	0.0222	1800	1	4	26365
41	20-21	0.0125	600	1	4	8178
42	20-23	0.0932	270	2	4	6268
43	21-25	0.0174	2000	0	4	21121
44	22-26	0.079	270	1	4	5409

ตารางที่ ก1.2 ข้อมูลของสายส่งสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดของ Brazilian 46-Bus (ต่อ)

Line No.	From-To	Reactance $x_{ij}$ (p.u.)	$f_{ij}^{\max}$ (MW)	$n_{ij}^0$	$n_{ij}^{\max}$	Cost ( $\times 10^3$ US\$)
45	23-24	0.0774	270	2	4	5308
46	24-25	0.0125	600	0	4	8178
47	24-33	0.1448	240	1	4	9399
48	24-34	0.1647	220	1	4	10611
49	25-32	0.0319	1400	0	4	37109
50	26-27	0.0832	270	2	4	5662
51	26-29	0.0541	270	0	4	3894
52	27-29	0.0998	270	0	4	6672
53	27-36	0.0915	270	1	4	6167
54	27-38	0.208	200	2	4	13237
55	28-30	0.0058	2000	0	4	8331
56	28-31	0.0053	2000	0	4	7819
57	28-41	0.0339	1300	0	4	39283
58	28-43	0.0406	1200	0	4	46701
59	29-30	0.0125	600	0	4	8178
60	31-32	0.0046	2000	0	4	7052
61	31-41	0.0278	1500	0	4	32632
62	32-41	0.0309	1400	0	4	35957
63	32-43	0.0309	1400	1	4	35957
64	33-34	0.1265	270	1	4	8288
65	34-35	0.0491	270	2	4	3591
66	35-38	0.198	200	1	4	12631

ตารางที่ ก1.2 ข้อมูลของสายส่งสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดของ Brazilian 46-Bus (ต่อ)

Line No.	From-To	Reactance $x_{ij}$ (p.u.)	$f_{ij}^{\max}$ (MW)	$n_{ij}^0$	$n_{ij}^{\max}$	Cost ( $\times 10^3$ US\$)
67	36-37	0.1057	270	1	4	7025
68	37-39	0.0283	270	1	4	2329
69	37-40	0.1281	270	1	4	8389
70	37-42	0.2105	200	1	4	13388
71	38-42	0.097	270	3	4	6116
72	39-42	0.203	200	3	4	12934
73	40-41	0.0125	600	0	4	8178
74	40-42	0.0932	270	1	4	6268
75	40-45	0.2205	180	0	4	13994
76	41-43	0.0139	2000	0	4	17284
77	42-43	0.0125	600	1	4	8178
78	42-44	0.1206	270	1	4	7934
79	44-45	0.1864	200	1	4	11924



รูปที่ ๓1. Brazilian 46-BusSystem



```

        'gui_OpeningFcn',
    @An_Enhanced_DEA_for_Transmission_Expansion_Planning_OpeningFcn, ...
        'gui_OutputFcn',
    @An_Enhanced_DEA_for_Transmission_Expansion_Planning_OutputFcn, ...
        'gui_LayoutFcn', [], ...
        'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% ÊàÇ¹;ÛÃãÊèÀÒ¼×é¹ÊÃÑ§
% --- Executes just before
An_Enhanced_DEA_for_Transmission_Expansion_Planning is made visible.
function
An_Enhanced_DEA_for_Transmission_Expansion_Planning_OpeningFcn(hObject,
eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to
An_Enhanced_DEA_for_Transmission_Expansion_Planning (see VARARGIN)

% Choose default command line output for
An_Enhanced_DEA_for_Transmission_Expansion_Planning
handles.output = hObject;
% create an axes that spans the whole
an_enhanced_dea_for_transmission_expansion_planning
ah = axes('unit', 'normalized', 'position', [0 0 1 1]);
% import the background image and show it on the axes
bg = imread('QbQmbeg.jpg'); imagesc(bg);
% prevent plotting over the background and turn the axis off
set(ah, 'handlevisibility', 'off', 'visible', 'off')
% making sure the background is behind all the other uicontrols
uistack(ah, 'bottom');

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes An_Enhanced_DEA_for_Transmission_Expansion_Planning wait
for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout =
An_Enhanced_DEA_for_Transmission_Expansion_Planning_OutputFcn(hObject,
eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB

```



```

% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit1 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit2 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit3 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit3 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit5 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit5 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit6 (see GCBO)

```

```

% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit6 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit6 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit7_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit7 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit7 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit8_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit8 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit8 as text

```

```

%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit8 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit8_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit8 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit9_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit9 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit9 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit9 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit9_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit9 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit10_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit10 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit10 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit10 as
a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit10_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit10 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit14_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit14 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit14 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit14 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit14_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit14 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit15_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit15 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit15 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit15 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit15_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit15 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%     See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit16_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit16 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit16 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit16 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit16_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit16 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%     See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit17_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit17 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit17 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit17 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit17_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit17 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%     See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))

```

```

        set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
    end

function edit18_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit18 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit18 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit18 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit18_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit18 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit19_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit19 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit19 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit19 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit19_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit19 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

```

```

% --- Executes on button press in pushbutton7.
function pushbutton7_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to pushbutton7 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
VTR = 1.e-50;
D = 79;
XVmin = linspace(0,0,D);
XVmax = linspace(4,4,D);
y=[];
NP = 10*D;
itermax = 2000;
Fmin = 0.4;
Fmax = 1;
CRmin = 0.8;
CRmax = 1;
strategy = 8;
refresh = 10;
stime=cputime;
t1=0.1;
t2=0.1;
F=zeros(NP,D);
CR=zeros(NP,D);
constp=linspace(0,0,NP);
constu=linspace(0,0,NP);
stp=0;
for i=1:NP
aaa=Fmin+rand*(Fmax-Fmin);
F(i,:)=aaa;
bbb=CRmin+rand*(CRmax-CRmin);
CR(i,:)=bbb;
end
refresh = floor(refresh);
%-----Initialize population and some arrays-----
pop = zeros(NP,D); %initialize pop to gain speed
%---pop is a matrix of size NPxD. It will be initialized---
%---with random values between the min and max values of the---
%---parameters-----
for i=1:NP
pop(i,:) = XVmin + rand(1,D).*(XVmax - XVmin);
end
popold = zeros(size(pop)); % toggle population
val = zeros(1,NP); % create and reset the "cost array"
bestmem = zeros(1,D); % best population member ever
bestmemit = zeros(1,D); % best population member in iteration % number
of function evaluations
constbm =0;
%-----Evaluate the best member after initialization-----
ibest = 1; % start with first population member
ind_con1=0; ind_con2=0; ind_con3=0; const=0;
x=pop(ibest,:);
x=abs(x);
x=round(x);
baseMVA=100;
% bus type Pd Qd Va
bus=[
1 3 0 0 0;
2 1 443 0 0;
3 1 0 0 0;
4 1 300 0 0;

```



```

5 1 238 0 0;
6 1 0 0 0;
7 1 0 0 0;
8 1 72 0 0;
9 1 0 0 0;
10 1 0 0 0;
11 1 0 0 0;
12 1 511 0 0;
13 1 185 0 0;
14 2 0 0 0;
15 1 0 0 0;
16 2 0 0 0;
17 2 0 0 0;
18 1 0 0 0;
19 2 0 0 0;
20 1 1091 0 0;
21 1 0 0 0;
22 1 81 0 0;
23 1 458 0 0;
24 1 478 0 0;
25 1 0 0 0;
26 1 231 0 0;
27 2 0 0 0;
28 2 0 0 0;
29 1 0 0 0;
30 1 0 0 0;
31 2 0 0 0;
32 2 0 0 0;
33 1 229 0 0;
34 2 0 0 0;
35 1 216 0 0;
36 1 90 0 0;
37 2 0 0 0;
38 1 216 0 0;
39 2 0 0 0;
40 1 262 0 0;
41 1 0 0 0;
42 1 1607 0 0;
43 1 0 0 0;
44 1 79 0 0;
45 1 86 0 0;
46 2 0 0 0; ];
% bus Pg Qg status
aload = sum(bus(:,3));
gen14=round(rand(1)*1257);
gen16=round(rand(1)*2000);
gen17=round(rand(1)*1050);
gen19=round(rand(1)*1670);
gen27=round(rand(1)*220);
gen28=round(rand(1)*800);
gen31=round(rand(1)*700);
gen32=round(rand(1)*500);
gen34=round(rand(1)*748);
gen37=round(rand(1)*300);
gen39=round(rand(1)*600);
gen46=round(rand(1)*700);
while (aload >
(gen14+gen16+gen17+gen19+gen27+gen28+gen31+gen32+gen34+gen37+gen39+gen46
))
gen14=round(rand(1)*1257);

```

```

gen16=round(rand(1)*2000);
gen17=round(rand(1)*1050);
gen19=round(rand(1)*1670);
gen27=round(rand(1)*220);
gen28=round(rand(1)*800);
gen31=round(rand(1)*700);
gen32=round(rand(1)*500);
gen34=round(rand(1)*748);
gen37=round(rand(1)*300);
gen39=round(rand(1)*600);
gen46=round(rand(1)*700);
end
gen=[
14 944 0 1;
16 1366 0 1;
17 1000 0 1;
19 773 0 1;
27 54 0 1;
28 730 0 1;
31 310 0 1;
32 450 0 1;
34 221 0 1;
37 212 0 1;
39 221 0 1;
46 599 0 1;];
% from to X angle status pfmmax cost R
branch=[
1 2 0.1065 0 2 270 7076 0;
1 7 0.0616 0 1 270 4349 0;
2 3 0.0125 0 0 600 8178 0;
2 4 0.0882 0 0 270 5965 0;
2 5 0.0324 0 2 270 2581 0;
3 46 0.0203 0 0 1800 24319 0;
4 5 0.0566 0 2 270 4046 0;
4 9 0.0924 0 1 270 6217 0;
4 11 0.2246 0 0 240 14247 0;
5 6 0.0125 0 0 600 8187 0;
5 8 0.1132 0 1 270 7480 0;
5 9 0.1173 0 1 270 7732 0;
5 11 0.0915 0 0 270 6167 0;
6 46 0.0128 0 0 200 16005 0;
7 8 0.1023 0 1 270 6823 0;
8 13 0.1348 0 1 240 8793 0;
9 10 0.0125 0 0 600 8178 0;
9 14 0.1756 0 2 220 11267 0;
10 46 0.0081 0 0 2000 10889 0;
11 46 0.0125 0 0 600 8178 0;
12 14 0.0740 0 2 270 5106 0;
13 18 0.1805 0 1 220 11570 0;
13 20 0.1073 0 1 270 7126 0;
14 15 0.0374 0 0 270 2884 0;
14 18 0.1514 0 2 240 9803 0;
14 22 0.0840 0 1 270 5712 0;
14 26 0.1614 0 1 220 10409 0;
15 16 0.0125 0 0 600 8178 0;
16 17 0.0078 0 1 2000 10505 0;
16 28 0.0222 0 0 1800 26365 0;
16 32 0.0311 0 0 1400 36213 0;
16 46 0.0203 0 1 1800 24319 0;
17 19 0.0061 0 1 2000 8715 0;

```

```

17 32 0.0232 0 0 1700 27516 0;
18 19 0.0125 0 1 600 8178 0;
18 20 0.1997 0 1 200 12732 0;
19 21 0.0278 0 1 1500 32632 0;
19 25 0.0325 0 0 1400 37748 0;
19 32 0.0195 0 1 1800 23423 0;
19 46 0.0222 0 1 1800 26365 0;
20 21 0.0125 0 1 600 8178 0;
20 23 0.0932 0 2 270 6268 0;
21 25 0.0174 0 0 2000 21121 0;
22 26 0.0790 0 1 270 5409 0;
23 24 0.0774 0 2 270 5308 0;
24 25 0.0125 0 0 600 8178 0;
24 33 0.1448 0 1 240 9399 0;
24 34 0.1647 0 1 220 10611 0;
25 32 0.0319 0 0 1400 37109 0;
26 27 0.0832 0 2 270 5662 0;
26 29 0.0541 0 0 270 3894 0;
27 29 0.0998 0 0 270 6672 0;
27 36 0.0915 0 1 270 6167 0;
27 38 0.2080 0 2 200 13237 0;
28 30 0.0058 0 0 2000 8331 0;
28 31 0.0053 0 0 2000 7819 0;
28 41 0.0339 0 0 1300 39283 0;
28 43 0.0406 0 0 1200 46701 0;
29 30 0.0125 0 0 600 8178 0;
31 32 0.0046 0 0 2000 7052 0;
31 41 0.0278 0 0 1500 32632 0;
32 41 0.0309 0 0 1400 35957 0;
32 43 0.0309 0 1 1400 35957 0;
33 34 0.1265 0 1 270 8288 0;
34 35 0.0491 0 2 270 3591 0;
35 38 0.1980 0 1 270 12631 0;
36 37 0.1057 0 1 270 7025 0;
37 39 0.0293 0 1 270 2329 0;
37 40 0.1281 0 1 270 8389 0;
37 42 0.2105 0 1 200 13388 0;
38 42 0.0907 0 3 270 6116 0;
39 42 0.2030 0 3 200 12934 0;
40 41 0.0125 0 0 600 8178 0;
40 42 0.0932 0 1 270 6268 0;
40 45 0.2205 0 0 180 13994 0;
41 43 0.0139 0 0 2000 17284 0;
42 43 0.0125 0 1 600 8178 0;
42 44 0.1206 0 1 270 7934 0;
44 45 0.1864 0 1 200 11924 0];
[PQ, PV, REF, NONE, BUS_I, BUS_TYPE, PD, QD, VA]=index_bus;
[F_BUS, T_BUS, BR_X, SHIFT, BR_STATUS, PF_MAX, COST,
BR_R,PF]=index_branch;
[GEN_BUS, PG, QG, GEN_STATUS]=index_gen;
branch(:,BR_STATUS)=branch(:,BR_STATUS)+x';
[ref, pv ,pq]=bustype(bus,gen);
on=find(gen(:,GEN_STATUS)>0);
gbus=gen(on,GEN_BUS);
Va0=bus(:,VA)*(pi/180);
[B,Bf,Pbusinj,Pfinj]=makeB(baseMVA,bus,branch);
Pbus=real(makeS(baseMVA,bus,gen))-Pbusinj;
Va=dcpf(B,Pbus,Va0,ref,pv,pq);
branch(:,PF)=(Bf*Va+Pfinj)*baseMVA;
bus(:,VA)=Va*(180/pi);

```

```

Kana= branch(:,BR_STATUS).^(-1);
Kana(~isfinite(Kana))=0;
branch(:,BR_R)= Kana.*branch(:,BR_R);
ind_con1=sum(abs((branch(:,PF)))>(branch(:,BR_STATUS).*branch(:,PF_MAX))
);
ind_con3=sum(branch(:,BR_STATUS)>'>4);
if ((ind_con1>0) | (ind_con3>0))
    const=1;
end
newpop=x;
cost=sum(x'.*branch(:,COST))+1000*sum((branch(:,PF).^2).*branch(:,BR_R))
/10^4; %improtance
loss=1000*sum((branch(:,PF).^2).*branch(:,BR_R))/10^4;
val(1) = cost;
constp(1)=const;
pop(ibest,:)=newpop;
bestval = val(1); % best objective function value so far
gene14=gen14;
gene16=gen16;
gene17=gen17;
gene19=gen19;
gene27=gen27;
gene28=gen28;
gene31=gen31;
gene32=gen32;
gene34=gen34;
gene37=gen37;
gene39=gen39;
gene46=gen46;
losses=loss;
constbm = const;
for i=2:NP % check the remaining members
ind_con1=0; ind_con2=0; ind_con3=0; const=0;
x=pop(i,:);
x=abs(x);
x=round(x);
baseMVA=100;
% bus type Pd Qd Va
bus=[
1 3 0 0 0;
2 1 443 0 0;
3 1 0 0 0;
4 1 300 0 0;
5 1 238 0 0;
6 1 0 0 0;
7 1 0 0 0;
8 1 72 0 0;
9 1 0 0 0;
10 1 0 0 0;
11 1 0 0 0;
12 1 511 0 0;
13 1 185 0 0;
14 2 0 0 0;
15 1 0 0 0;
16 2 0 0 0;
17 2 0 0 0;
18 1 0 0 0;
19 2 0 0 0;
20 1 1091 0 0;
21 1 0 0 0;

```

```

22 1 81 0 0;
23 1 458 0 0;
24 1 478 0 0;
25 1 0 0 0;
26 1 231 0 0;
27 2 0 0 0;
28 2 0 0 0;
29 1 0 0 0;
30 1 0 0 0;
31 2 0 0 0;
32 2 0 0 0;
33 1 229 0 0;
34 2 0 0 0;
35 1 216 0 0;
36 1 90 0 0;
37 2 0 0 0;
38 1 216 0 0;
39 2 0 0 0;
40 1 262 0 0;
41 1 0 0 0;
42 1 1607 0 0;
43 1 0 0 0;
44 1 79 0 0;
45 1 86 0 0;
46 2 0 0 0; ];
% bus Pg Qg status
aload = sum(bus(:,3));
gen14=round(rand(1)*1257);
gen16=round(rand(1)*2000);
gen17=round(rand(1)*1050);
gen19=round(rand(1)*1670);
gen27=round(rand(1)*220);
gen28=round(rand(1)*800);
gen31=round(rand(1)*700);
gen32=round(rand(1)*500);
gen34=round(rand(1)*748);
gen37=round(rand(1)*300);
gen39=round(rand(1)*600);
gen46=round(rand(1)*700);
while (aload >
(gen14+gen16+gen17+gen19+gen27+gen28+gen31+gen32+gen34+gen37+gen39+gen46
))
gen14=round(rand(1)*1257);
gen16=round(rand(1)*2000);
gen17=round(rand(1)*1050);
gen19=round(rand(1)*1670);
gen27=round(rand(1)*220);
gen28=round(rand(1)*800);
gen31=round(rand(1)*700);
gen32=round(rand(1)*500);
gen34=round(rand(1)*748);
gen37=round(rand(1)*300);
gen39=round(rand(1)*600);
gen46=round(rand(1)*700);
end
gen=[
14 944 0 1;
16 1366 0 1;
17 1000 0 1;
19 773 0 1;

```

```

27 54 0 1;
28 730 0 1;
31 310 0 1;
32 450 0 1;
34 221 0 1;
37 212 0 1;
39 221 0 1;
46 599 0 1;];
% from to X angle status p fmax cost R
branch=[
1 2 0.1065 0 2 270 7076 0;
1 7 0.0616 0 1 270 4349 0;
2 3 0.0125 0 0 600 8178 0;
2 4 0.0882 0 0 270 5965 0;
2 5 0.0324 0 2 270 2581 0;
3 46 0.0203 0 0 1800 24319 0;
4 5 0.0566 0 2 270 4046 0;
4 9 0.0924 0 1 270 6217 0;
4 11 0.2246 0 0 240 14247 0;
5 6 0.0125 0 0 600 8187 0;
5 8 0.1132 0 1 270 7480 0;
5 9 0.1173 0 1 270 7732 0;
5 11 0.0915 0 0 270 6167 0;
6 46 0.0128 0 0 200 16005 0;
7 8 0.1023 0 1 270 6823 0;
8 13 0.1348 0 1 240 8793 0;
9 10 0.0125 0 0 600 8178 0;
9 14 0.1756 0 2 220 11267 0;
10 46 0.0081 0 0 2000 10889 0;
11 46 0.0125 0 0 600 8178 0;
12 14 0.0740 0 2 270 5106 0;
13 18 0.1805 0 1 220 11570 0;
13 20 0.1073 0 1 270 7126 0;
14 15 0.0374 0 0 270 2884 0;
14 18 0.1514 0 2 240 9803 0;
14 22 0.0840 0 1 270 5712 0;
14 26 0.1614 0 1 220 10409 0;
15 16 0.0125 0 0 600 8178 0;
16 17 0.0078 0 1 2000 10505 0;
16 28 0.0222 0 0 1800 26365 0;
16 32 0.0311 0 0 1400 36213 0;
16 46 0.0203 0 1 1800 24319 0;
17 19 0.0061 0 1 2000 8715 0;
17 32 0.0232 0 0 1700 27516 0;
18 19 0.0125 0 1 600 8178 0;
18 20 0.1997 0 1 200 12732 0;
19 21 0.0278 0 1 1500 32632 0;
19 25 0.0325 0 0 1400 37748 0;
19 32 0.0195 0 1 1800 23423 0;
19 46 0.0222 0 1 1800 26365 0;
20 21 0.0125 0 1 600 8178 0;
20 23 0.0932 0 2 270 6268 0;
21 25 0.0174 0 0 2000 21121 0;
22 26 0.0790 0 1 270 5409 0;
23 24 0.0774 0 2 270 5308 0;
24 25 0.0125 0 0 600 8178 0;
24 33 0.1448 0 1 240 9399 0;
24 34 0.1647 0 1 220 10611 0;
25 32 0.0319 0 0 1400 37109 0;
26 27 0.0832 0 2 270 5662 0;

```

```

26 29 0.0541 0 0 270 3894 0;
27 29 0.0998 0 0 270 6672 0;
27 36 0.0915 0 1 270 6167 0;
27 38 0.2080 0 2 200 13237 0;
28 30 0.0058 0 0 2000 8331 0;
28 31 0.0053 0 0 2000 7819 0;
28 41 0.0339 0 0 1300 39283 0;
28 43 0.0406 0 0 1200 46701 0;
29 30 0.0125 0 0 600 8178 0;
31 32 0.0046 0 0 2000 7052 0;
31 41 0.0278 0 0 1500 32632 0;
32 41 0.0309 0 0 1400 35957 0;
32 43 0.0309 0 1 1400 35957 0;
33 34 0.1265 0 1 270 8288 0;
34 35 0.0491 0 2 270 3591 0;
35 38 0.1980 0 1 270 12631 0;
36 37 0.1057 0 1 270 7025 0;
37 39 0.0293 0 1 270 2329 0;
37 40 0.1281 0 1 270 8389 0;
37 42 0.2105 0 1 200 13388 0;
38 42 0.0907 0 3 270 6116 0;
39 42 0.2030 0 3 200 12934 0;
40 41 0.0125 0 0 600 8178 0;
40 42 0.0932 0 1 270 6268 0;
40 45 0.2205 0 0 180 13994 0;
41 43 0.0139 0 0 2000 17284 0;
42 43 0.0125 0 1 600 8178 0;
42 44 0.1206 0 1 270 7934 0;
44 45 0.1864 0 1 200 11924 0];
[PQ, PV, REF, NONE, BUS_I, BUS_TYPE, PD, QD, VA]=index_bus;
[F_BUS, T_BUS, BR_X, SHIFT, BR_STATUS, PF_MAX, COST,
BR_R,PF]=index_branch;
[GEN_BUS, PG, QG, GEN_STATUS]=index_gen;
branch(:,BR_STATUS)=branch(:,BR_STATUS)+x';
[ref, pv ,pq]=bustype(bus,gen);
on=find(gen(:,GEN_STATUS)>0);
gbus=gen(on,GEN_BUS);
Va0=bus(:,VA)*(pi/180);
[B,Bf,Pbusinj,Pfinj]=makeB(baseMVA,bus,branch);
Pbus=real(makeS(baseMVA,bus,gen))-Pbusinj;
Va=dcopf(B,Pbus,Va0,ref,pv,pq);
branch(:,PF)=(Bf*Va+Pfinj)*baseMVA;
bus(:,VA)=Va*(180/pi);
Kana= branch(:,BR_STATUS).^(-1);
Kana(~isfinite(Kana))=0;
branch(:,BR_R)= Kana.*branch(:,BR_R);
ind_con1=sum(abs((branch(:,PF))>(branch(:,BR_STATUS).*branch(:,PF_MAX))
));
ind_con3=sum(branch(:,BR_STATUS)>'>4);
if ((ind_con1>0) | (ind_con3>0))
    const=1;
end
newpop=x;
cost=sum(x'.*branch(:,COST))+1000*sum((branch(:,PF).^2).*branch(:,BR_R))
/10^4; %improtance
loss=1000*sum((branch(:,PF).^2).*branch(:,BR_R))/10^4;
val(i) = cost;
constp(i)=const;
pop(i,:)=newpop;
if ((val(i) < bestval) & (constp(i)==0)) % if member is better

```

```

ibest = i; % save its location
gene14=gen14;
gene16=gen16;
gene17=gen17;
gene19=gen19;
gene27=gen27;
gene28=gen28;
gene31=gen31;
gene32=gen32;
gene34=gen34;
gene37=gen37;
gene39=gen39;
gene46=gen46;
losses=loss;
bestval = val(i);
constbm = constp(i);
end
end
bestmemit = pop(ibest,:); % best member of current iteration
bestvalit = bestval; % best value of current iteration
bestmem = bestmemit; % best member ever
%-----DE-Minimization-----
%-----popold is the population which has to compete. It is-----
%-----static through one iteration. pop is the newly-----
%-----emerging population.-----
pm1 = zeros(NP,D); % initialize population matrix 1
pm2 = zeros(NP,D); % initialize population matrix 2
pm3 = zeros(NP,D); % initialize population matrix 3
pm4 = zeros(NP,D); % initialize population matrix 4
pm5 = zeros(NP,D); % initialize population matrix 5
bm = zeros(NP,D); % initialize bestmember matrix
ui = zeros(NP,D); % intermediate population of perturbed vectors
mui = zeros(NP,D); % mask for intermediate population
mpo = zeros(NP,D); % mask for old population
rot = (0:1:NP-1); % rotating index array (size NP)
rotd= (0:1:D-1); % rotating index array (size D)
rt = zeros(NP); % another rotating index array
rtd = zeros(D); % rotating index array for exponential crossover
a1 = zeros(NP); % index array
a2 = zeros(NP); % index array
a3 = zeros(NP); % index array
a4 = zeros(NP); % index array
a5 = zeros(NP); % index array
ind = zeros(4);
iter = 1;
while ((iter < itermax) & (stp<=200) | (constbm == 1))
popold = pop; % save the old population
ind = randperm(4); % index pointer array
a1 = randperm(NP); % shuffle locations of vectors
rt = rem(rot+ind(1),NP); % rotate indices by ind(1) positions
a2 = a1(rt+1); % rotate vector locations
rt = rem(rot+ind(2),NP);
a3 = a2(rt+1);
rt = rem(rot+ind(3),NP);
a4 = a3(rt+1);
rt = rem(rot+ind(4),NP);
a5 = a4(rt+1);
pm1 = popold(a1,:); % shuffled population 1
pm2 = popold(a2,:); % shuffled population 2
pm3 = popold(a3,:); % shuffled population 3

```



```

pm4 = popold(a4,:); % shuffled population 4
pm5 = popold(a5,:); % shuffled population 5
for i=1:NP % population filled with the best member
bm(i,:) = bestmemit; % of the last iteration
end
mui = rand(NP,D) < CR; % all random numbers < CR are 1, 0 otherwise
if (strategy > 5)
st = strategy-5; % binomial crossover
else
st = strategy; % exponential crossover
mui=sort(mui'); % transpose, collect 1's in each column
for i=1:NP
n=floor(rand*D);
if n > 0
rtd = rem(rotd+n,D);
mui(:,i) = mui(rtd+1,i); %rotate column i by n
end
end
mui = mui'; % transpose back
end
mpo = mui < 0.5; % inverse mask to mui
if (st == 1) % DE/best/1
ui = bm + F.*(pm1 - pm2); % differential variation
ui = popold.*mpo + ui.*mui; % crossover
elseif (st == 2) % DE/rand/1
ui = pm3 + F.*(pm1 - pm2); % differential variation
ui = popold.*mpo + ui.*mui; % crossover
elseif (st == 3) % DE/rand-to-best/1
ui = popold + F.*(bm-popold) + F.*(pm1 - pm2);
ui = popold.*mpo + ui.*mui; % crossover
elseif (st == 4) % DE/best/2
ui = bm + F.*(pm1 - pm2 + pm3 - pm4); % differential variation
ui = popold.*mpo + ui.*mui; % crossover
elseif (st == 5) % DE/rand/2
ui = pm5 + F.*(pm1 - pm2 + pm3 - pm4); % differential variation
ui = popold.*mpo + ui.*mui; % crossover
end
%-----Select which vectors are allowed to enter the new population-----
for i=1:NP
ind_con1=0; ind_con2=0; ind_con3=0; const=0;
x=ui(i,:);
x=abs(x);
x=round(x);
baseMVA=100;
% bus type Pd Qd Va
bus=[
1 3 0 0 0;
2 1 443 0 0;
3 1 0 0 0;
4 1 300 0 0;
5 1 238 0 0;
6 1 0 0 0;
7 1 0 0 0;
8 1 72 0 0;
9 1 0 0 0;
10 1 0 0 0;
11 1 0 0 0;
12 1 511 0 0;
13 1 185 0 0;
14 2 0 0 0;

```

```

15 1 0 0 0;
16 2 0 0 0;
17 2 0 0 0;
18 1 0 0 0;
19 2 0 0 0;
20 1 1091 0 0;
21 1 0 0 0;
22 1 81 0 0;
23 1 458 0 0;
24 1 478 0 0;
25 1 0 0 0;
26 1 231 0 0;
27 2 0 0 0;
28 2 0 0 0;
29 1 0 0 0;
30 1 0 0 0;
31 2 0 0 0;
32 2 0 0 0;
33 1 229 0 0;
34 2 0 0 0;
35 1 216 0 0;
36 1 90 0 0;
37 2 0 0 0;
38 1 216 0 0;
39 2 0 0 0;
40 1 262 0 0;
41 1 0 0 0;
42 1 1607 0 0;
43 1 0 0 0;
44 1 79 0 0;
45 1 86 0 0;
46 2 0 0 0; ];
% bus Pg Qg status
aload = sum(bus(:,3));
gen14=round(rand(1)*1257);
gen16=round(rand(1)*2000);
gen17=round(rand(1)*1050);
gen19=round(rand(1)*1670);
gen27=round(rand(1)*220);
gen28=round(rand(1)*800);
gen31=round(rand(1)*700);
gen32=round(rand(1)*500);
gen34=round(rand(1)*748);
gen37=round(rand(1)*300);
gen39=round(rand(1)*600);
gen46=round(rand(1)*700);
while (aload >
(gen14+gen16+gen17+gen19+gen27+gen28+gen31+gen32+gen34+gen37+gen39+gen46
))
gen14=round(rand(1)*1257);
gen16=round(rand(1)*2000);
gen17=round(rand(1)*1050);
gen19=round(rand(1)*1670);
gen27=round(rand(1)*220);
gen28=round(rand(1)*800);
gen31=round(rand(1)*700);
gen32=round(rand(1)*500);
gen34=round(rand(1)*748);
gen37=round(rand(1)*300);
gen39=round(rand(1)*600);

```

```
gen46=round(rand(1)*700);
end
gen=[
14 944 0 1;
16 1366 0 1;
17 1000 0 1;
19 773 0 1;
27 54 0 1;
28 730 0 1;
31 310 0 1;
32 450 0 1;
34 221 0 1;
37 212 0 1;
39 221 0 1;
46 599 0 1;];
% from to X angle status pfmmax cost R
branch=[
1 2 0.1065 0 2 270 7076 0;
1 7 0.0616 0 1 270 4349 0;
2 3 0.0125 0 0 600 8178 0;
2 4 0.0882 0 0 270 5965 0;
2 5 0.0324 0 2 270 2581 0;
3 46 0.0203 0 0 1800 24319 0;
4 5 0.0566 0 2 270 4046 0;
4 9 0.0924 0 1 270 6217 0;
4 11 0.2246 0 0 240 14247 0;
5 6 0.0125 0 0 600 8187 0;
5 8 0.1132 0 1 270 7480 0;
5 9 0.1173 0 1 270 7732 0;
5 11 0.0915 0 0 270 6167 0;
6 46 0.0128 0 0 200 16005 0;
7 8 0.1023 0 1 270 6823 0;
8 13 0.1348 0 1 240 8793 0;
9 10 0.0125 0 0 600 8178 0;
9 14 0.1756 0 2 220 11267 0;
10 46 0.0081 0 0 2000 10889 0;
11 46 0.0125 0 0 600 8178 0;
12 14 0.0740 0 2 270 5106 0;
13 18 0.1805 0 1 220 11570 0;
13 20 0.1073 0 1 270 7126 0;
14 15 0.0374 0 0 270 2884 0;
14 18 0.1514 0 2 240 9803 0;
14 22 0.0840 0 1 270 5712 0;
14 26 0.1614 0 1 220 10409 0;
15 16 0.0125 0 0 600 8178 0;
16 17 0.0078 0 1 2000 10505 0;
16 28 0.0222 0 0 1800 26365 0;
16 32 0.0311 0 0 1400 36213 0;
16 46 0.0203 0 1 1800 24319 0;
17 19 0.0061 0 1 2000 8715 0;
17 32 0.0232 0 0 1700 27516 0;
18 19 0.0125 0 1 600 8178 0;
18 20 0.1997 0 1 200 12732 0;
19 21 0.0278 0 1 1500 32632 0;
19 25 0.0325 0 0 1400 37748 0;
19 32 0.0195 0 1 1800 23423 0;
19 46 0.0222 0 1 1800 26365 0;
20 21 0.0125 0 1 600 8178 0;
20 23 0.0932 0 2 270 6268 0;
21 25 0.0174 0 0 2000 21121 0;
```

```

22 26 0.0790 0 1 270 5409 0;
23 24 0.0774 0 2 270 5308 0;
24 25 0.0125 0 0 600 8178 0;
24 33 0.1448 0 1 240 9399 0;
24 34 0.1647 0 1 220 10611 0;
25 32 0.0319 0 0 1400 37109 0;
26 27 0.0832 0 2 270 5662 0;
26 29 0.0541 0 0 270 3894 0;
27 29 0.0998 0 0 270 6672 0;
27 36 0.0915 0 1 270 6167 0;
27 38 0.2080 0 2 200 13237 0;
28 30 0.0058 0 0 2000 8331 0;
28 31 0.0053 0 0 2000 7819 0;
28 41 0.0339 0 0 1300 39283 0;
28 43 0.0406 0 0 1200 46701 0;
29 30 0.0125 0 0 600 8178 0;
31 32 0.0046 0 0 2000 7052 0;
31 41 0.0278 0 0 1500 32632 0;
32 41 0.0309 0 0 1400 35957 0;
32 43 0.0309 0 1 1400 35957 0;
33 34 0.1265 0 1 270 8288 0;
34 35 0.0491 0 2 270 3591 0;
35 38 0.1980 0 1 270 12631 0;
36 37 0.1057 0 1 270 7025 0;
37 39 0.0293 0 1 270 2329 0;
37 40 0.1281 0 1 270 8389 0;
37 42 0.2105 0 1 200 13388 0;
38 42 0.0907 0 3 270 6116 0;
39 42 0.2030 0 3 200 12934 0;
40 41 0.0125 0 0 600 8178 0;
40 42 0.0932 0 1 270 6268 0;
40 45 0.2205 0 0 180 13994 0;
41 43 0.0139 0 0 2000 17284 0;
42 43 0.0125 0 1 600 8178 0;
42 44 0.1206 0 1 270 7934 0;
44 45 0.1864 0 1 200 11924 0];
[PQ, PV, REF, NONE, BUS_I, BUS_TYPE, PD, QD, VA]=index_bus;
[F_BUS, T_BUS, BR_X, SHIFT, BR_STATUS, PF_MAX, COST,
BR_R,PF]=index_branch;
[GEN_BUS, PG, QG, GEN_STATUS]=index_gen;
branch(:,BR_STATUS)=branch(:,BR_STATUS)+x';
[ref, pv ,pq]=bustype(bus,gen);
on=find(gen(:,GEN_STATUS)>0);
gbus=gen(on,GEN_BUS);
Va0=bus(:,VA)*(pi/180);
[B,Bf,Pbusinj,Pfinj]=makeB(baseMVA,bus,branch);
Pbus=real(makeS(baseMVA,bus,gen))-Pbusinj;
Va=dcpf(B,Pbus,Va0,ref,pv,pq);
branch(:,PF)=(Bf*Va+Pfinj)*baseMVA;
bus(:,VA)=Va*(180/pi);
Kana= branch(:,BR_STATUS).^(-1);
Kana(~isfinite(Kana))=0;
branch(:,BR_R)= Kana.*branch(:,BR_R);
ind_con1=sum(((abs((branch(:,PF))))>(branch(:,BR_STATUS).*branch(:,PF_M
AX)))));
ind_con3=sum(branch(:,BR_STATUS)'+4);
if ((ind_con1>0) | (ind_con3>0))
    const=1;
end
newpop=x;

```

```

cost=sum(x' .*branch(:,COST))+1000*sum((branch(:,PF).^2).*branch(:,BR_R))
/10^4; %improtance
loss=1000*sum((branch(:,PF).^2).*branch(:,BR_R))/10^4;
tempval = cost; % check cost of competitor
constu(i)=const;
ui(i,:)=newpop;
if ((constu(i)<constp(i)) | ((constu(i)==constp(i))&(tempval <=val(i))))
% if competitor is better than value in "cost array"
pop(i,:) = ui(i,:); % replace old vector with new one (for new
iteration)
val(i) = tempval; % save value in "cost array"
constp(i)=constu(i);
%---we update bestval only in case of success to save time-----
if ((tempval < bestval) & (constu(i)==0) ) % if competitor better than
the best one ever
bestval = tempval; % new best value
bestmem = ui(i,:); % new best parameter vector ever
gene14=gen14;
gene16=gen16;
gene17=gen17;
gene19=gen19;
gene27=gen27;
gene28=gen28;
gene31=gen31;
gene32=gen32;
gene34=gen34;
gene37=gen37;
gene39=gen39;
gene46=gen46;
losses=loss;
constbm = constu(i);
end
end
end%---end for imember=1:NP
idxstp=max(abs(bestmem-bestmemit));
if idxstp==0
stp=stp+1;
else stp=0;
end
bestmemit = bestmem; % freeze the best member of this iteration for the
coming
% iteration. This is needed for some of the strategies.
%---Output section-----
if (refresh > 0)
if (rem(iter,refresh) == 0)
set(handles.edit1,'string',bestval);
gal(:,1)=gen(:,1);
gal(1,2)=gene14;
gal(2,2)=gene16;
gal(3,2)=gene17;
gal(4,2)=gene19;
gal(5,2)=gene27;
gal(6,2)=gene28;
gal(7,2)=gene31;
gal(8,2)=gene32;
gal(9,2)=gene34;
gal(10,2)=gene37;
gal(11,2)=gene39;
gal(12,2)=gene46;
set(handles.uitable5,'Data',gal);

```

```

set(handles.edit14,'string',iter);
fprintf(1,'Iteration: %d, Best: %f, NP:%d\n',iter,bestval,NP);
for n=1:D
fprintf(1,'best(%d) = %f\n',n,bestmem(n));
panda(:,1)=branch(:,1);
panda(:,2)=branch(:,2);
panda(:,3)=bestmem';
set(handles.uitable4,'Data',panda);
drawnow
end
end
end
Cost(iter)=bestval;
iter = iter + 1;
for i=1:NP
j1=rand;
if (j1<t1)
aaa=Fmin+rand*(Fmax-Fmin);
F(i,:)=aaa;
end
j2=rand;
if (j2<t2)
bbb=CRmin+rand*(CRmax-CRmin);
CR(i,:)=bbb;
end
end
end%---end while ((iter < itermax) ...
ltime=cputime;
caltime=ltime-stime
set(handles.edit15,'string',caltime);
axes(handles.axes1);
plot(Cost);
grid;
xlabel('Iteration','color','w');
ylabel('Investment cost (x10^9 us$)','color','w');

```

หมายเหตุ โปรแกรมที่ใช้ในการทดลองมีต่อในแผ่นซีดี(ท้ายเล่ม)

ประวัติย่อผู้ทำโครงการ

## ประวัติย่อผู้ทำโครงการ

ชื่อชื่อสกุล

นายอัษฎาวุธ ชะโรจน์บวร

วันเดือนปีเกิด

6 ตุลาคม 2537

สถานที่เกิด

เขตห้วยขวาง กรุงเทพมหานคร

สถานที่อยู่ปัจจุบัน

43/459 หมู่ 8 ต.ราชาเทวะ อ.บางพลี

จ.สมุทรปราการ 10540

หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ

094-497-6898

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2556

มัธยมศึกษาปีที่ 6

จากโรงเรียนเทพศิรินทร์ร่มเกล้า

พ.ศ. 2560

กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ





## ประวัติย่อผู้ทำโครงการ

ชื่อชื่อสกุล

นายอาร์โนว์ กัดสิงห์

วันเดือนปีเกิด

30 มีนาคม 2538

สถานที่เกิด

เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

สถานที่อยู่ปัจจุบัน

163 หมู่ 6 ต.หาดท่าเสา อ.เมือง

จ.ชัยนาท 17120

หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ

083-620-8771

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2556

มัธยมศึกษาปีที่ 6

จากโรงเรียนชัยนาทพิทยาคม

พ.ศ. 2560

กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

