



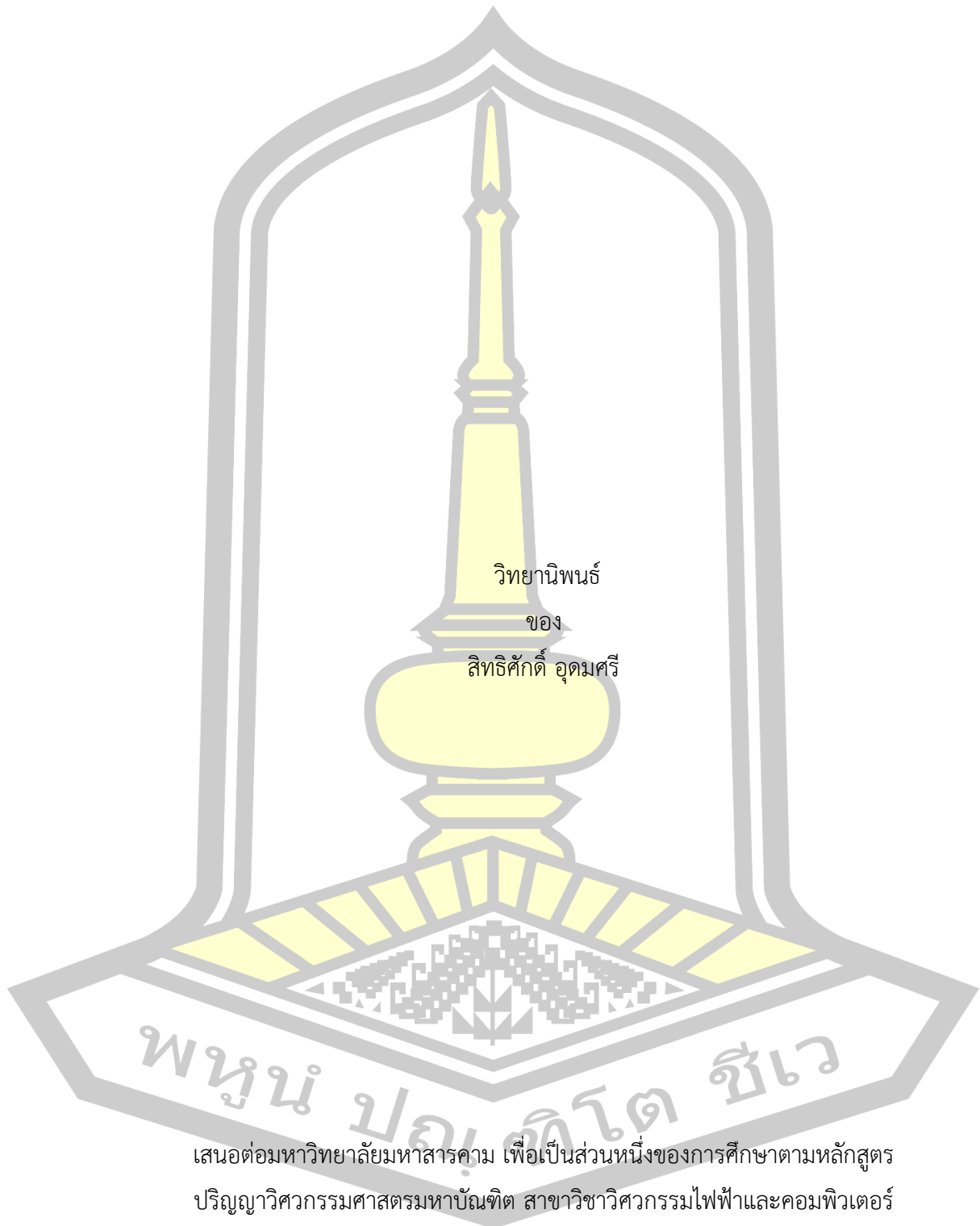
การพัฒนาตัวควบคุมพีไอดีด้วยขั้นตอนวิธีหมากรุก

วิทยานิพนธ์
ของ
สิทธิศักดิ์ อุดมศรี

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
กุมภาพันธ์ 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การพัฒนาตัวควบคุมพีไอดีด้วยขั้นตอนวิธีหมากรุก

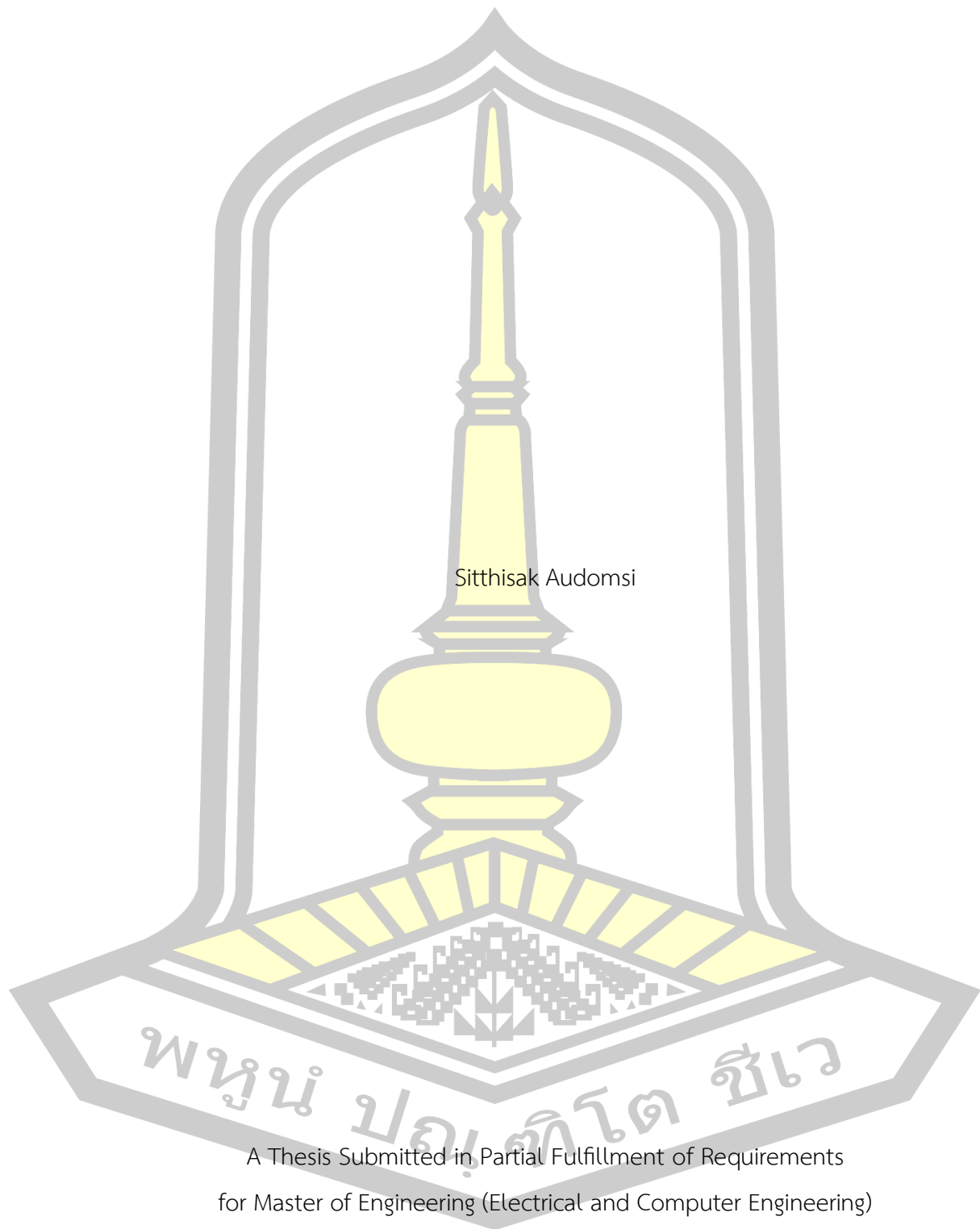


เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

กุมภาพันธ์ 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

The Development of PID Controller by Chess Algorithm



Sittisak Audomsi

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering (Electrical and Computer Engineering)

February 2024

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายสิทธิศักดิ์ อุดมศรี แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รศ. ดร. อนันต์ เครือทรัพย์ถาวร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ศ. ดร. วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล)

.....กรรมการ

(รศ. ดร. ชลธิ์ โพธิ์ทอง)

.....กรรมการ

(รศ. ดร. นิวัตร อังควิเศษพันธุ์)

มหาวิทยาลัยขอนแก่นให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัย มหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....
(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง การพัฒนาตัวควบคุมพีไอดีด้วยขั้นตอนวิธีหมากรุก
 ผู้วิจัย สิทธิศักดิ์ อุดมศรี
 อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล
 ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
 มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2567

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ นำเสนอการประยุกต์ใช้เทคนิคหาค่าเหมาะที่สุดด้วยวิธีหมากรุก เพื่อออกแบบตัวควบคุมชนิด PID ในระบบการควบคุมการผลิตไฟฟ้าอัตโนมัติของการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้า พลังงานความร้อนในสองพื้นที่แบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับการหาค่าตัวควบคุมทั้งหมด 2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ ปริพันธ์ของค่าความผิดพลาดสะสมคูณด้วยเวลา (ITAE) และ ปริพันธ์ของค่าความผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE) โดยวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ จากค่าลูกคลื่นสูงสุด เวลาเข้าที่ของระบบในแต่ละพื้นที่ และค่าการเปลี่ยนแปลงกำลังในสายส่ง รวมไปถึงค่าความผิดพลาดรวมของระบบ ซึ่งจากการจำลองการทำงานของระบบการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้า พลังงานความร้อนในสองพื้นที่ โดยเปรียบเทียบการทำงานกับระบบที่ใช้ตัวควบคุมชนิด PID ที่ใช้การปรับค่าด้วยการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีฝูงอนุภาค พบว่า ตัวควบคุมชนิด PID ที่ใช้เทคนิคหาค่าเหมาะที่สุดด้วยวิธีหมากรุก ให้ผลตอบสนองที่ดีกว่าตัวควบคุมชนิด PID ที่ใช้เทคนิคหาค่าเหมาะที่สุดด้วยวิธีฝูงอนุภาค

คำสำคัญ : การควบคุมการสร้างอัตโนมัติ, ระบบควบคุมพีไอดี, เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด, การเพิ่มประสิทธิภาพจับกลุ่มอนุภาค, วิธีหมากรุก

พจนัน ปณ จิตโต ชีเว

TITLE	The Development of PID Controller by Chess Algorithm		
AUTHOR	Sitthisak Audomsi		
ADVISORS	Professor Worawat Sa-Ngiamvibool , Ph.D.		
DEGREE	Master of Engineering	MAJOR	Electrical and Computer Engineering
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2024

ABSTRACT

This thesis presents the application of the technique of chess to find the optimal values for designing a PID control system in the automatic power generation control system of a non-linear energy heat link between two power plants. It utilizes objective functions to find all control parameters. There are two objective functions: the integral of absolute error multiplied by time (ITAE) and the integral of squared error multiplied by time (ITSE). These functions analyze the system's performance based on the maximum wave amplitude, system settling time, and power change in the transmission line, including the overall system error. Simulating the operation of a thermal power plant system in two areas and comparing it with a PID control system that uses an optimal value search technique called particle swarm optimization, we found that the PID control system using the gradient descent method provided a better response. The PID controller utilizes the particle swarm optimization technique to find the optimal value.

Keyword : Automatic Generation Control, PID Control, Optimization Technique, Particle Swarm Optimization, Chess Algorithm

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ได้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ด้วยความกรุณาจาก ศาสตราจารย์ ดร.วรวัฒน์ เสี่ยมวิบูล ที่ได้รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทุกด้าน และให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ อีกทั้งยังถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ที่มีค่ามอบให้ข้าพเจ้า ตลอดระยะเวลาการศึกษาอยู่ที่นี่ ข้าพเจ้าขอกราบพระคุณอย่างสูง

ขอบคุณอีกครั้งถึง รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ เครือทรัพย์ถาวร ซึ่งรับผิดชอบในฐานะ ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร.ชลธิ โพธิ์ทอง และ รองศาสตราจารย์ ดร.นิวัตร อังควิศิษฐพันธ์ รับผิดชอบในฐานะกรรมการ ที่ได้สละเวลาอันมีค่าเพื่อเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้มีส่วนร่วมในการถ่ายทอดความรู้และให้ความ อนุเคราะห์ทั้งในด้านการสอนและในการให้เอกสารที่เกี่ยวข้อง

ขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่าน และพี่ ๆ เพื่อน ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่มีความกรุณาให้ความช่วยเหลือทั้งในด้านเอกสารและ ในการให้กำลังใจอย่างต่อเนื่อง

ขอขอบคุณถึง คุณคณาวุฒิ โพธิยา และคุณอดิเทพ ชัยสวัสดิ์ เจ้าของวิทยานิพนธ์ที่มีส่วน เกี่ยวข้อง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจอย่างไม่หยุดยั้ง รวมถึง คุณคุณากรณ์ รักดีสุวรรณ และ คุณ เอกราช จันทะมาตร นิสิตระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

สุดท้าย ข้าพเจ้าขอขอบคุณบิดา มารดา และพี่น้องทุกท่าน ที่มีบทบาทในการสนับสนุนและ ช่วยเหลือข้าพเจ้าทุกด้าน รวมถึงเป็นกำลังใจที่สำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้ สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอส่งมอบความขอบคุณและของที่น่าสรรเสริญทั้งหลายนี้ให้แก่บิดา มารดา คณาจารย์ และผู้มี อุปการะคุณทุกท่าน

พูน ปณ จิต ชีเว

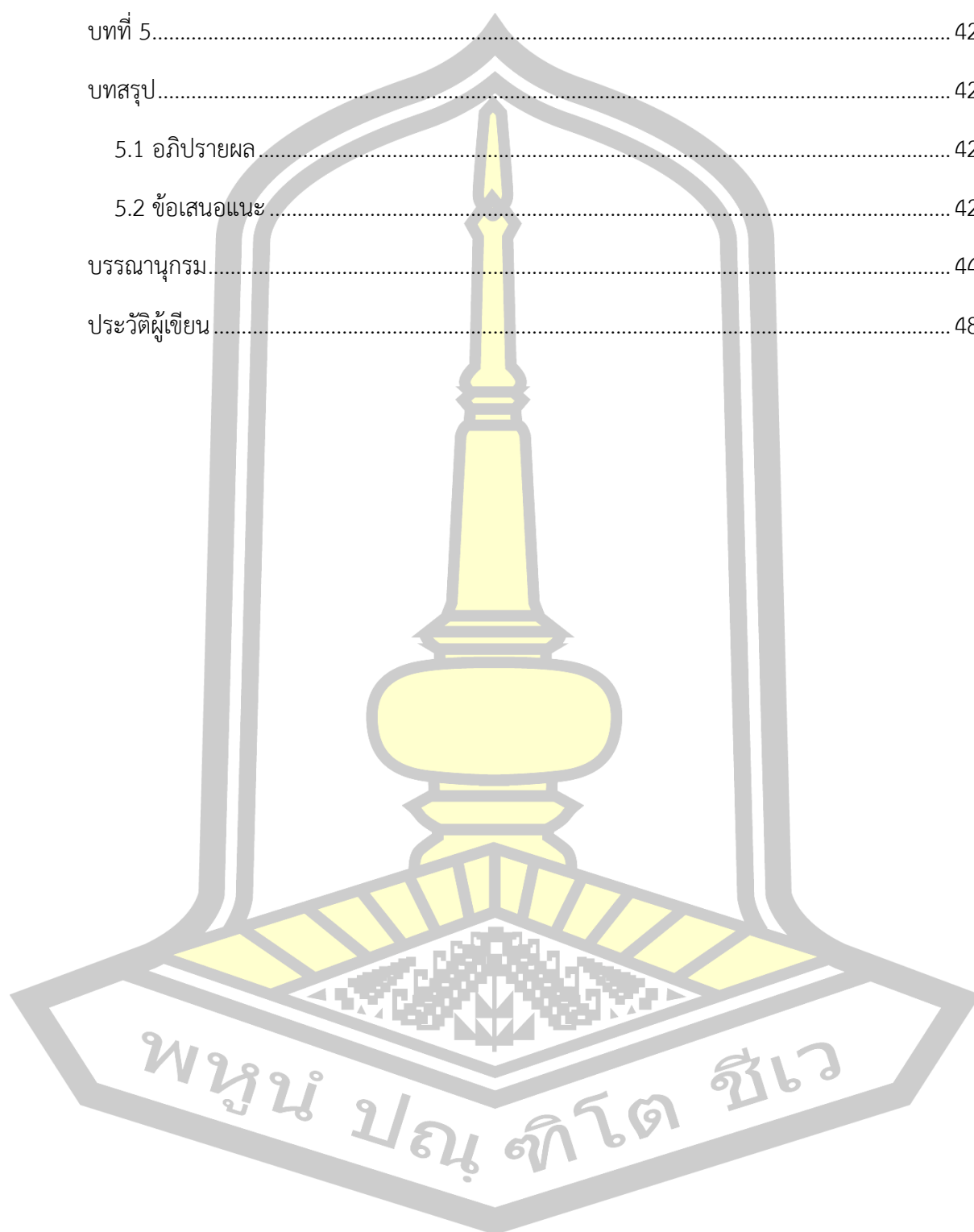
สิทธิศักดิ์ อุดมศรี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1.....	1
บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2.....	3
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ระบบผลิตกำลังไฟฟ้า.....	3
2.1.1 โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ.....	3
2.1.2 โรงงานพลังงานความร้อน.....	4
2.1.3 โรงงานกังหันแก๊ส.....	4
2.1.4 โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม.....	4
2.1.5 โรงงานไฟฟ้าดีเซล.....	4
2.1.6 โรงงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	4

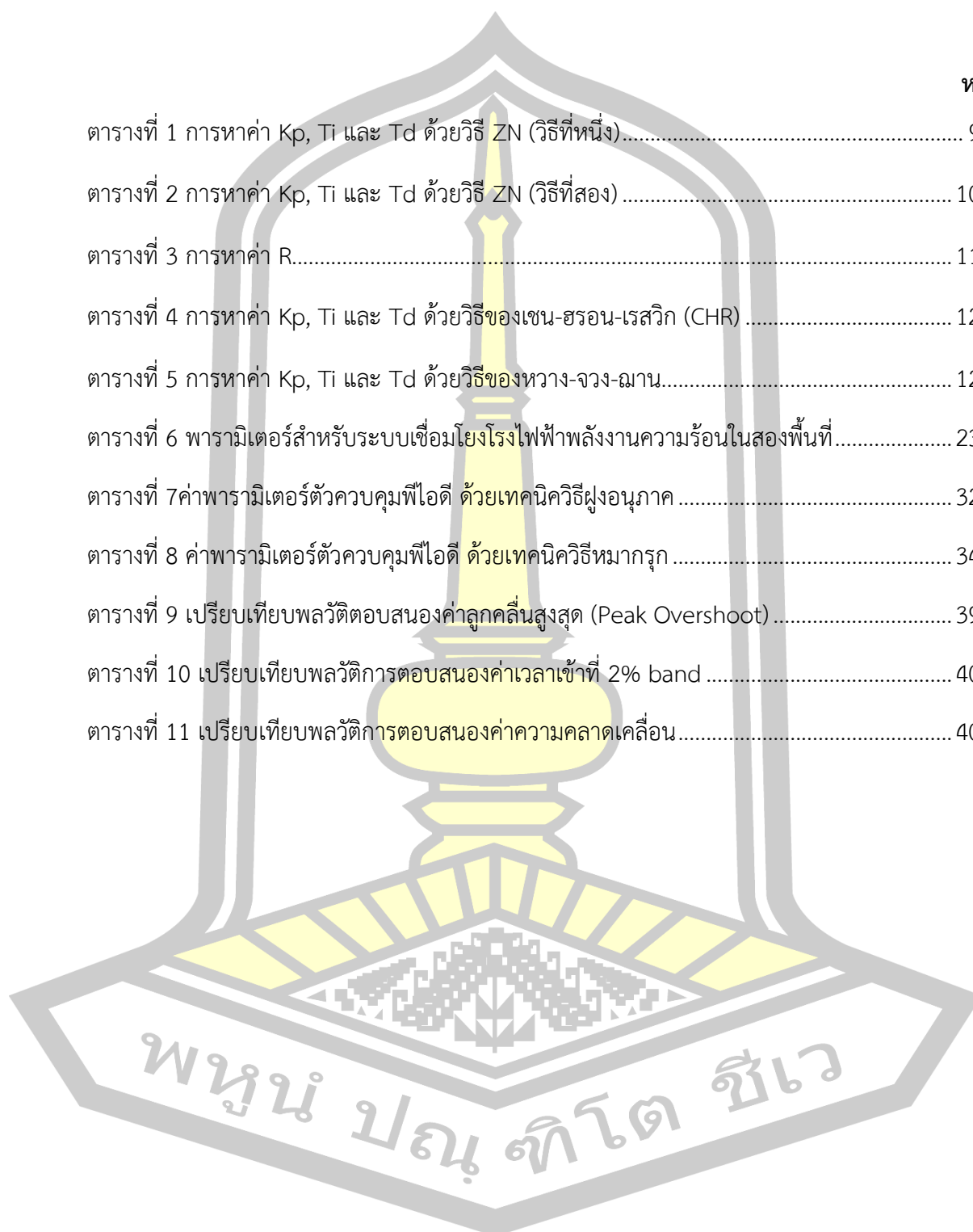
2.1.7 โรงงานไฟฟ้าพลังงานลม	5
2.2 ระบบผลิตไฟฟ้ากำลังสองพื้นที่	5
2.3 ตัวควบคุมระบบPID	6
2.4 การออกแบบตัวควบคุม PID	7
2.4.1 วิธีการของซีกเลอร์-นิโคลส์ (Ziegler – Nichols)	8
2.4.2 วิธีของเชน-ฮรอน-เรสวิก (Chien – Hrones – Reswick)	10
2.4.3 วิธีของหวาง-จวง-ฉาน (The Wang – Juang – Chan)	12
2.5 เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด	13
2.5.1 เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม	13
2.5.2 เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีฝูงผึ้ง	14
2.5.3 วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีหมากรุก	15
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3	20
วิธีการดำเนินการวิจัย	20
3.1 หลักการและโครงสร้างตัวควบคุมแบบPID	20
3.2 การประยุกต์ใช้วิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการออกแบบ PID	21
3.3 ขั้นตอนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีหมากรุก	24
3.4 การดำเนินการใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทดสอบระบบ	29
บทที่ 4	31
ผลการวิจัยและการอภิปราย	31
4.1 การออกแบบตัวควบคุมพีไอดีด้วยวิธีฝูงอนุภาค	31
4.2 การออกแบบตัวควบคุมพีไอดีด้วยวิธีหมากรุก	33
4.3 การตอบสนองพลวัต	34
4.4 การวิเคราะห์การตอบสนองพลวัต	39

4.5 สรุปผล.....	41
บทที่ 5.....	42
บทสรุป.....	42
5.1 อภิปรายผล.....	42
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	42
บรรณานุกรม.....	44
ประวัติผู้เขียน.....	48



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 การหาค่า K_p , T_i และ T_d ด้วยวิธี ZN (วิธีที่หนึ่ง).....	9
ตารางที่ 2 การหาค่า K_p , T_i และ T_d ด้วยวิธี ZN (วิธีที่สอง).....	10
ตารางที่ 3 การหาค่า R	11
ตารางที่ 4 การหาค่า K_p , T_i และ T_d ด้วยวิธีของเซน-ฮรอน-เรสวิก (CHR)	12
ตารางที่ 5 การหาค่า K_p , T_i และ T_d ด้วยวิธีของหวาง-จวง-ฉาน.....	12
ตารางที่ 6 พารามิเตอร์สำหรับระบบเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่.....	23
ตารางที่ 7 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอดี ด้วยเทคนิควิธีฝูงอนุภาค	32
ตารางที่ 8 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอดี ด้วยเทคนิควิธีหมากรุก	34
ตารางที่ 9 เปรียบเทียบพลวัตตอบสนองค่าลูกคลื่นสูงสุด (Peak Overshoot)	39
ตารางที่ 10 เปรียบเทียบพลวัตการตอบสนองค่าเวลาเข้าที่ 2% band	40
ตารางที่ 11 เปรียบเทียบพลวัตการตอบสนองค่าความคลาดเคลื่อน.....	40



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบที่ 1 โครงสร้างระบบผลิตไฟฟ้ากำลังสองพื้นที่.....	6
ภาพประกอบที่ 2 แผนภาพบล็อกของการควบคุมแบบ PID	7
ภาพประกอบที่ 3 การตอบสนองของระบบโดยวิธีที่หนึ่ง (First Method).....	8
ภาพประกอบที่ 4 การตอบสนองของระบบโดยวิธีที่สอง (Second Method)	10
ภาพประกอบที่ 5 โครงสร้างตัวควบคุม PID แบบขนาน	21
ภาพประกอบที่ 6 การพัฒนาตัวควบคุม PID โดยการใช้ปัญญาประดิษฐ์.....	22
ภาพประกอบที่ 7 การเชื่อมโยงระบบโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่.....	23
ภาพประกอบที่ 8 การตั้งกระดานหมากรุกสากล	25
ภาพประกอบที่ 9 การเดินหมากแต่ละตัว	26
ภาพประกอบที่ 10 การจำลองการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่แบบไม่เชิงเส้น ปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีฝูงอนุภาค โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITAE	31
ภาพประกอบที่ 11 การจำลองการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่แบบไม่เชิงเส้น ปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีฝูงอนุภาค โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITSE	32
ภาพประกอบที่ 12 การจำลองการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่แบบไม่เชิงเส้น ปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีหมากรุก โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITAE	33
ภาพประกอบที่ 13 การจำลองการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่แบบไม่เชิงเส้น ปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีหมากรุก โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITSE.....	33
ภาพประกอบที่ 14 การตอบสนองขั้นบันไดของตัวควบคุมพีไอดี ในพื้นที่ 1 สำหรับการเชื่อมโยงไฟฟ้า พลังงานความร้อน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITAE.....	34
ภาพประกอบที่ 15 การตอบสนองขั้นบันไดของตัวควบคุมพีไอดี ในพื้นที่ 1 สำหรับการเชื่อมโยงไฟฟ้า พลังงานความร้อน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITSE.....	35
ภาพประกอบที่ 16 การตอบสนองขั้นบันไดของตัวควบคุมพีไอดี ในพื้นที่ 2 สำหรับการเชื่อมโยงไฟฟ้า พลังงานความร้อน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITAE.....	35

ภาพประกอบที่ 17 การตอบสนองชั้นบันไดของตัวควบคุมพีไอดี ในพื้นที่ 2 สำหรับการเชื่อมโยงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITSE.....	36
ภาพประกอบที่ 18 การเบี่ยงความถี่ในพื้นที่ที่ 1 สำหรับการเชื่อมโยงไฟฟ้าพลังงานความร้อน	36
ภาพประกอบที่ 19 การเบี่ยงความถี่ในพื้นที่ที่ 1 สำหรับการเชื่อมโยงไฟฟ้าพลังงานความร้อน	37
ภาพประกอบที่ 20 การเบี่ยงความถี่ในพื้นที่ที่ 2 สำหรับการเชื่อมโยงไฟฟ้าพลังงานความร้อน	37
ภาพประกอบที่ 21 การเบี่ยงความถี่ในพื้นที่ที่ 2 สำหรับการเชื่อมโยงไฟฟ้าพลังงานความร้อน	38
ภาพประกอบที่ 22 การเบี่ยงความถี่ในพื้นที่ที่ 3 สำหรับการเชื่อมโยงไฟฟ้าพลังงานความร้อน	38
ภาพประกอบที่ 23 การเบี่ยงความถี่ในพื้นที่ที่ 3 สำหรับการเชื่อมโยงไฟฟ้าพลังงานความร้อน	39



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เทคนิคหาค่าที่เหมาะสมที่สุด [1] เป็นวิธีในการแก้ไขปัญหาที่มีความยากและซับซ้อน เมื่อปัญหานั้น ใช้การค้นหาเชิงกำหนดและเชิงค้นหาไม่ได้ ซึ่งการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเชิงวิวัฒนาการนี้ เป็นผลจากทางด้านความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์ และการคำนวณเชิงวิทยาศาสตร์ เพื่อให้ได้ค่าเหมาะสมที่สุดปราศจากเงื่อนไขของการกำหนดค่าตอบเริ่มต้น และคำตอบเฉพาะที่ การหาค่าเหมาะสมเชิงวิวัฒนาการนี้ นิยามเทียบเคียงกับวิวัฒนาการทางชีววิทยาของสิ่งมีชีวิต หรือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และวัฒนธรรมของชุมชน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดเชิงวิวัฒนาการ เป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุด และมีความเป็นไปได้สูง ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา การหาค่าเหมาะสมที่สุดได้นำมาพัฒนาใช้ร่วมกับระบบไฟฟ้ากำลัง เช่น การจ่ายโหลดอย่างประหยัด [2] การลดกำลังงานสูญเสียในระบบส่งจ่าย [3] รวมไปถึงการควบคุมอัตโนมัติในระบบไฟฟ้ากำลัง [4] หรือ อื่น ๆ ที่ไม่สามารถกล่าวถึงได้อย่างครบถ้วน การประยุกต์ในสายงานดังกล่าว ได้นำการหาค่าเหมาะสมที่สุดไปใช้อย่างหลายด้าน อาทิ การปรับค่าของพารามิเตอร์ของเครื่องกลไฟฟ้า [5] ออกแบบตัวควบคุมสำหรับขับเคลื่อน [6] และอื่น ๆ

ในสถานการณ์ปัจจุบันเรื่องของการควบคุมระบบต่าง ๆ ได้รับความสนใจในด้านวิศวกรรมและนักวิจัยเป็นอย่างมาก เนื่องด้วยปัญหาที่มีความยาก และความซับซ้อนของระบบที่มีทางด้านการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา นักวิจัยได้พัฒนาและทดลองตัวควบคุมแบบต่างๆ เพื่อแก้ไขปัญหาที่มักพบในระบบต่าง ๆ ตัวควบคุม PID คือ หนึ่งในระบบควบคุมที่มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในด้านวิศวกรรม โดยเฉพาะในระบบควบคุมทางอุตสาหกรรม รวมไปถึงระบบไฟฟ้า ตัวควบคุมชนิด PID มีความสามารถในการปรับความแปรปรวนที่อาจจะเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า แต่ปัญหาที่นักวิจัยให้ความสนใจคือ การตั้งค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมชนิด PID ที่มีความยาก ซับซ้อน และขนาดใหญ่ เช่น ระบบส่งกำลังไฟฟ้าแบบสองพื้นที่ การตั้งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ให้เหมาะสม จึงจะสามารถแก้ไขปัญหา ทำให้ระบบทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และเพิ่มความเสถียร การตั้งค่าพารามิเตอร์ ที่ทำให้เหมาะสมไม่ใช่เรื่องง่าย และอาจจะต้องใช้ระยะเวลาการทดลองหลายครั้ง เพื่อหาความเหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิคต่าง ๆ

ปัจจุบันปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) [7] ถูกนำมาใช้ในการออกแบบตัวควบคุมทางอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง และหลากหลายความปราศจากข้อจำกัด ถึงแม้การออกแบบตัวควบคุม PID จะมีประสิทธิภาพในการค้นหา แต่ใช้ระยะเวลาการค้นหานานเกินไป ขั้นตอนวิธีหมากรุก (Chess Algorithm หรือ CA) [8] เป็นอีกเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด อีกทางเลือกหนึ่ง ในการแก้ไขปัญหาด้านวิศวกรรม กล่าวคือ การนำเสนอเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด คาดหวังว่าจะเป็นขั้นตอนวิธีที่เป็นไปได้สำหรับการสร้างตัวควบคุม PID (Proportional Integral Derivative) ที่เหมาะสม ในงานวิทยานิพนธ์นี้ ใช้คอมพิวเตอร์ทางด้านการเขียนโปรแกรม เป็นเครื่องมือช่วยในการตั้งค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมแบบ PID นั้นเอง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อให้เกิดความเข้าใจในด้านการออกแบบตัวควบคุม PID
- 1.2.2 เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้งานเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในงานด้านวิศวกรรม
- 1.2.3 เพื่อพัฒนาระบบควบคุม PID ด้วยขั้นตอนวิธีหมากรุก

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ระบบที่ศึกษาต้องเป็นระบบเชิงเส้นไม่แปรตามเวลา
- 1.3.2 ใช้เทคนิคขั้นตอนวิธีหมากรุก ในการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ K_p , K_i และ K_d ของตัวควบคุมชนิด PID สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังสองพื้นที่
- 1.3.3 ดำเนินการเขียนโปรแกรมภาษา MATLAB® เพื่อออกแบบตัวควบคุม PID

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้เกิดความเข้าใจในด้านการออกแบบตัวควบคุม PID
- 1.4.2 ได้ศึกษาและประยุกต์ใช้งานเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในงานด้านวิศวกรรม
- 1.4.3 ได้พัฒนาระบบควบคุม PID ด้วยขั้นตอนวิธีหมากรุก

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้ ได้นำเทคนิควิธีหมากรุก (Chess Algorithm) มาใช้ในการพัฒนาตัวควบคุมแบบ PID (Proportional Integral Derivative Control) เพื่อค้นหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับระบบควบคุม มีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับหลายหัวข้อรวมถึงระบบควบคุมเบื้องต้น การออกแบบตัวควบคุม เทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดด้วยวิธีหมากรุก (Chess Algorithm Optimization Technique) และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบผลิตกำลังไฟฟ้า

ระบบผลิตไฟฟ้า (Generating System) คือ ระบบที่ใช้เทคโนโลยีและอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อแปลงพลังงานจากแหล่งพลังงานหลายแหล่ง เช่น พลังงานจากน้ำ ลม แสงอาทิตย์ หรือ เชื้อเพลิง เป็นพลังงานไฟฟ้า ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการการผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบส่งไฟฟ้า และอุปกรณ์ควบคุมระบบ เพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้าที่มีคุณภาพ รวมไปถึงทางด้านประสิทธิภาพสูง โดยทำให้พลังงานไฟฟ้าสามารถใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักรและเพอร์นิเจอร์ที่ต้องการไฟฟ้า เพื่อทำงานต่าง ๆ ในรูปแบบที่เหมาะสมตามความต้องการของผู้ใช้หรือองค์กรที่ใช้งานระบบผลิตไฟฟ้านี้ไป ในระบบผลิตไฟฟ้าสามารถใช้หลายเทคโนโลยีและแหล่งพลังงานต่าง ๆ อย่างอิสระ หรือผสมผสานกัน เพื่อให้ทางด้านประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าสูงขึ้น และการใช้พลังงานในรูปแบบที่ยั่งยืนและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมขึ้นได้ ระบบผลิตไฟฟ้า สามารถแบ่งประเภทของระบบการผลิตไฟฟ้าได้เป็นหลากหลายประเภท ตามลักษณะและวิธีการผลิต [9] ได้ดังนี้

2.1.1 โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ

โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ (Hydropower Plant) [10] เป็นสถานที่นำพลังงานจากน้ำไปเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการใช้การหมุนกังหันของอุปกรณ์ภายใน โดยทั่วไปแล้ว โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำจะอาศัยโครงสร้างของเขื่อนน้ำต่าง ๆ เพื่อควบคุมการไหลของน้ำและเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ในน้ำ โรงไฟฟ้าทางด้านนี้ มีความสามารถทางด้านการผลิตไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ รวมไปถึงด้านค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าที่ต่ำ และส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมน้อย การผลิตไฟฟ้าเร็ว แต่ควรระมัดระวังว่าค่าใช้จ่ายในการสร้างเขื่อนสูงอาจมีความสูงมาก

2.1.2 โรงงานพลังงานความร้อน

โรงงานพลังงานความร้อน (Thermal Power Plant) คือ สถานที่ใช้ความร้อนจากการเผาเชื้อ เพื่อนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือความร้อนที่ใช้ในกระบวนการอื่น ๆ โดยส่วนมากจะใช้น้ำที่มีความร้อนจากการเผาเชื้อ เพื่อสร้างไอน้ำในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Steam Turbine) หรือใช้ความร้อนในกระบวนการอุตสาหกรรม เช่น การผลิตน้ำร้อนหรือไอน้ำ [11]

2.1.3 โรงงานกังหันแก๊ส

โรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส (Gas Turbine Power Plant) กล่าวคือ โรงไฟฟ้าที่ใช้กำลังพลังงานจากการเผาเชื้อเพลิงเป็นก๊าซ เพื่อขับเคลื่อนเครื่องกังหัน (Turbine) และสร้างพลังงานไฟฟ้าผ่านการหมุนของเครื่องกังหัน กำลังไฟฟ้าที่สร้างขึ้นในโรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส สามารถนำไปใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักรหรือในระบบไฟฟ้าต่าง ๆ ได้ตามความต้องการ [12]

2.1.4 โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม

โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม (Combined-Cycle Power Plant) [13] เป็นโรงไฟฟ้าที่มีการใช้หลายกระบวนการในการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยรวมกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้า โรงไฟฟ้าประกอบด้วยสองส่วนหลัก คือ

ส่วนพลังงานความร้อน (Heat) โดยทั่วไปใช้ระบบเผาเชื้อ เพื่อผลิตความร้อนในรูปของไอน้ำหรือไอน้ำที่ได้รับทางด้านความร้อนจากการเผาเชื้อ เครื่องกำเนิดไอน้ำ (boiler) จะสร้างไอน้ำที่นำมาใช้ในขั้นตอนถัดไป

ส่วนพลังงานของก๊าซ (Gas) ในส่วนนี้ ก๊าซจะถูกใช้ในเครื่องกำเนิดไอน้ำ เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไอน้ำนี้สามารถทำงานด้วยการนำไอน้ำที่ถูกสร้างในส่วนความร้อนมาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า

2.1.5 โรงงานไฟฟ้าดีเซล

โรงไฟฟ้าดีเซล (Diesel Power Plant) เป็นสถานที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลในการสร้างพลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องยนต์ดีเซลจะใช้น้ำมันดีเซลเป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิง เพื่อสร้างกลุ่มการสร้างไฟฟ้าที่ทำงานร่วมกัน เพื่อผลิตไฟฟ้า การสร้างไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าดีเซล เป็นวิธีที่มีความยืดหยุ่นและมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างที่น้อยกว่าบางรูปแบบอื่น ๆ ของโรงไฟฟ้า แต่ทางด้านค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาและการดูแลที่สูงขึ้น [14]

2.1.6 โรงงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Power Plant) คือสถานที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ทางด้านแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานหลัก โดยที่แสงอาทิตย์จะถูกจับเข้ามาโดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ (Solar Panels) และจากนั้นจะถูกแปลงเป็นไฟฟ้าผ่านกระบวนการอินเวอร์เตอร์ (Inverter) หรืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่นี้ เพื่อส่งพลังงานไฟฟ้าไปยังกระแสไฟฟ้าใช้งานทั่วไป [15]

2.1.7 โรงงานไฟฟ้าพลังงานลม

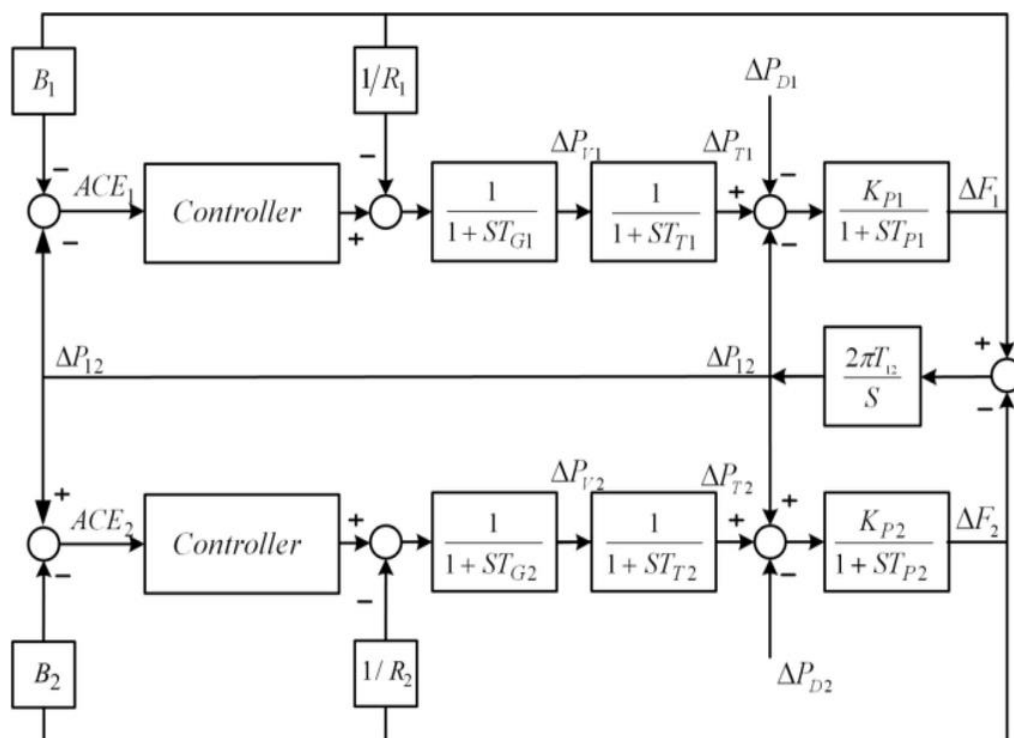
โรงไฟฟ้าพลังงานลม (Wind Power Plant) [16] เป็นโรงไฟฟ้าที่ใช้การหมุนของกังหัน เพื่อแปลงพลังงานของลมเป็นพลังงานไฟฟ้า โรงไฟฟ้านี้สร้างขึ้นโดยการติดตั้งเทอร์บินหรือโรตารีเป็นส่วนหนึ่งของระบบที่หมุน เพื่อสร้างไฟฟ้าในตัวกล่องหรือเจนเนอเรเตอร์

2.2 ระบบผลิตไฟฟ้ากำลังสองพื้นที่

ระบบผลิตไฟฟ้ากำลังสองพื้นที่ (Two-Area Power System) [6] เป็นระบบภายในวงการพลังงานไฟฟ้าที่ถูกออกแบบมา เพื่อควบคุมและจัดการการผลิตและการกระจายไฟฟ้า โดยมีคุณสมบัติพิเศษคือการแบ่งแยกพื้นที่การผลิตไฟฟ้าเป็นสองพื้นที่หลัก แต่ละพื้นที่มีโรงงานผลิตไฟฟ้า และระบบสัญญาณการไหลที่เชื่อมต่อไปยังระบบการส่งไฟฟ้าแบบร่วมกัน (Interconnected Power System) ซึ่งทำให้สามารถส่งไฟฟ้าจากพื้นที่หนึ่งไปยังพื้นที่อีกหนึ่งได้

ระบบผลิตไฟฟ้ากำลังสองพื้นที่ ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อควบคุมการผลิตไฟฟ้าและความสมดุลของระบบไฟฟ้าในสถานการณ์ทั้งหมด สามารถปรับปรุงการทำงานขณะเกิดการเปลี่ยนแปลงในโหลดการใช้ไฟฟ้า การขาดแคลนของกำลังไฟฟ้า หรือการเผชิญข้อขัดข้องในระบบไฟฟ้า ระบบควบคุมนี้มีระบบไวยากรณ์ที่ทันสมัยที่ช่วยในการคงความมั่นคงของระบบการส่งไฟฟ้าและป้องกันการขาดแคลนไฟฟ้าในพื้นที่ที่เชื่อมต่อกัน ระบบผลิตไฟฟ้ากำลังสองพื้นที่ ยังมีทางด้านบทบาทสำคัญในการอำนวยความสะดวกด้านความสามารถในการใช้ทรัพยากรไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ และยังให้ความมั่นคงในการจัดส่งไฟฟ้าให้กับผู้บริโภคในทุกๆ พื้นที่ของระบบไฟฟ้ารวมกับการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตและจัดจำหน่ายไฟฟ้าในมุมมองทั้งเศรษฐศาสตร์และการทำงานของระบบพลังงานไฟฟ้าโดยรวม ดังภาพประกอบที่ 1 แสดงถึงโครงสร้างระบบผลิตไฟฟ้ากำลังสองพื้นที่

พจนัน ปณฺ ทิโต ชีเว



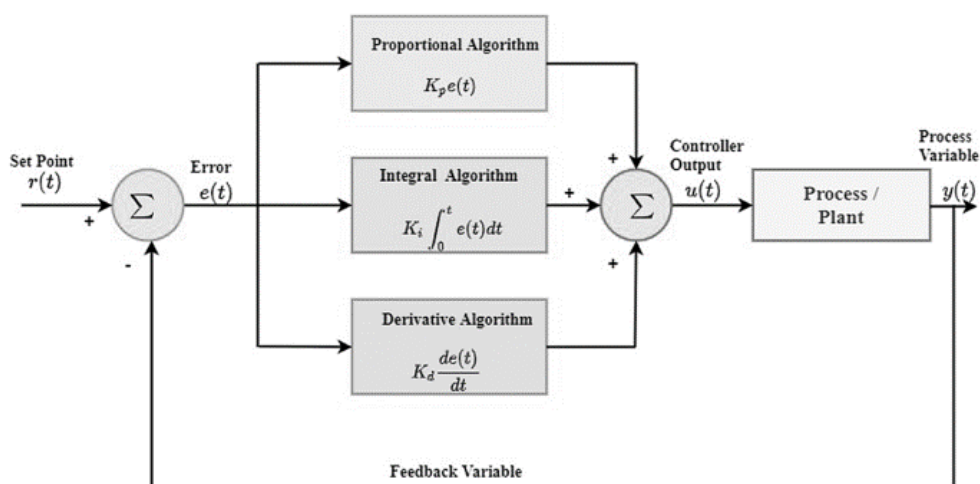
ภาพประกอบที่ 1 โครงสร้างระบบผลิตไฟฟ้ากำลังสองพื้นที่ [11]

2.3 ตัวควบคุมระบบPID

ระบบควบคุมแบบสัดส่วน ปริพันธ์ อนุพันธ์ (Proportional Integral Derivative Controller) [17] หรือที่เรียกว่า PID ในรูปย่อ กล่าวคือ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่นำไปใช้อย่างแพร่หลายในการควบคุมกระบวนการต่าง ๆ โดยมีค่าความผิดพลาดเป็นพารามิเตอร์หลักในการคำนวณ โดยทางด้านการผิดพลาดเกิดขึ้นจากความแตกต่าง ระหว่างค่าตัวแปรในกระบวนการ และค่าเป้าหมาย ระบบ PID จะพยายามลดค่าความผิดพลาดให้มิต่ำน้อยที่สุด โดยปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการ ค่าตัวแปรที่ควบคุมด้วย PID จะเปลี่ยนตามพฤติกรรมธรรมชาติ ของระบบเป้าหมาย ทำให้เกิดการควบคุมที่มีประสิทธิภาพสูง ในการควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ให้ใกล้เคียงค่าเป้าหมายเท่าที่เป็นไปได้ สามารถแสดงได้ใน ภาพประกอบที่ 2 แผนภาพบล็อกของการควบคุมแบบ PID

วิธีการคำนวณของทางด้านตัวควบคุม PID ขึ้นอยู่กับสามตัวแปรหลัก กล่าวคือ ค่าสัดส่วน จากผลของความผิดพลาดในปัจจุบัน ค่าปริพันธ์จากผลบนพื้นฐานของผลรวมความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในอดีต และค่าอนุพันธ์จากผลบนพื้นฐานของอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด คำนวณน้ำหนัก

ของสามตัวแปรนี้ ที่รวมกันจะถูกใช้ในการปรับค่าของพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ให้เหมาะสมกับความต้องการของในส่วนของกระบวนการ ด้านการตอบสนองของตัวควบคุมจะเรียงลำดับตามความผิดพลาดปัจจุบัน ค่าโอเวอร์ชูต (Overshoots) และ ค่าแกว่งของระบบ (Oscillation)



ภาพประกอบที่ 2 แผนภาพบล็อกของการควบคุมแบบ PID [18]

2.4 การออกแบบตัวควบคุม PID

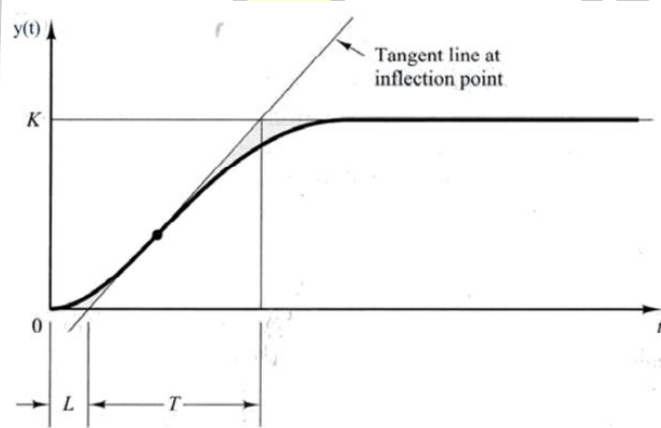
การออกแบบระบบควบคุม PID มีหลากหลายวิธี สามารถนำมาใช้ได้ แต่วิธีการที่ได้รับความนิยม และใช้กันทั่วไป มีทั้งหมด 3 วิธี ที่เป็นที่รู้จักมากคือ วิธีการซีกเลอร์-นิโคลส์ (Ziegler – Nichols หรือ ZN) วิธีของเซน-ฮรอน-เรสวิก (Chien – Hrones – Reswick หรือ CHR) และวิธีของหวาง-จาง-ฉาน (The Wang – Juang – Chan หรือ WJC) โดยวิธีการเหล่านี้เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการปรับแต่งค่า PID สำหรับระบบควบคุมต่าง ๆ และมีแนวทางที่ชัดเจนในกระบวนการปรับแต่งเพื่อให้ระบบควบคุมทำงานอย่างเหมาะสมตามความต้องการของแต่ละแอปพลิเคชันหรือระบบในงานต่าง ๆ โดยวิธีการที่กล่าวมาข้างต้น จะช่วยในการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมชนิด PID ในระบบควบคุมแต่ละชนิด และเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญในการพัฒนาและปรับปรุงระบบควบคุมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นในแง่ของด้านการทำงาน และประหยัดพลังงานมากขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ [19]

2.4.1 วิธีการของซีกเลอร์-นิโคลส์ (Ziegler – Nichols)

วิธีการชนิดนี้ถูกเสนอโดย John G. Ziegler และ Nathaniel B. Nichols ในปี ค.ศ. 1940 แนวคิดของวิธีการนี้เน้นการปรับปรุง หรือพัฒนาตัวควบคุม เพื่อให้ระบบควบคุมมีผลการตอบสนองที่ดี โดยไม่เกิดค่าพุ่งสูงมาก และมีการตอบสนองที่อย่างรวดเร็ว วิธีการซีกเลอร์-นิโคลส์ (Ziegler – Nichols) ในด้านอุตสาหกรรม เพื่อปรับปรุงทางด้านประสิทธิภาพของระบบควบคุมอย่างมีประสิทธิภาพในการควบคุมตัวแปรของระบบในรูปแบบที่มีความเหมาะสมและแม่นยำตามความต้องการของการปฏิบัติ [20, 21]

2.4.1.1 วิธีที่หนึ่ง (First Method)

วิธีนี้เหมาะสำหรับระบบที่ไม่มีการสับเปลี่ยนอย่างสิ้นเชิงและต้องการให้ผลตอบสนองของระบบเป็นเอสเท่านั้น การดำเนินการในวิธีนี้เริ่มต้นด้วยการป้อนสัญญาณขั้นบันไดที่มีหน่วยเดียวเข้าสู่ระบบแล้ววัดผลตอบสนองที่ได้ในทางที่เหมาะสม ตัวอย่างของผลตอบสนองแสดงในภาพประกอบที่ 3



ภาพประกอบที่ 3 การตอบสนองของระบบโดยวิธีที่หนึ่ง (First Method) [18]

จากผลตอบสนองใน ภาพประกอบที่ 3 นั้นมีค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญอยู่ 3 ตัวคือ K , L และ T ผลตอบสนองในภาพประกอบที่ 3 นั้นมีค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญอยู่ 3 ตัว คือ K , L , และ T ซึ่งถูกกำหนดโดยการลากเส้นสัมผัสให้มีความเข้ากันได้กับผลตอบสนองที่ต้องการ นั่นหมายความว่า สามารถปรับค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ เพื่อให้ผลการตอบสนองของระบบ $G(s)$ มีความเหมาะสมตามที่เรากำลังต้องการ โดยระบบ $G(s)$ ในกรณีนี้สามารถรับรู้ได้ว่าเป็นระบบอันดับหนึ่งรวมถึงการหน่วงเวลาในการส่งข้อมูล (Transport Lag) ดังนั้นเราสามารถใช้ระบบนี้ เพื่อประมาณ

ผลตอบสนองของระบบได้อย่างครอบคลุม เพื่อตรงตามความต้องการของการออกแบบ ในแต่ละกรณีของการควบคุมและการจำลองได้เป็นอย่างดี ดังสมการที่ 2.4

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} \cong \frac{Ke^{-Ls}}{Ts+1} \quad (2.4)$$

จากพารามิเตอร์ L และ T ที่ได้จากผลตอบสนอง ชีกลอร์ และนิโคลส์ ได้เสนอวิธีการหาทางด้านค่าพารามิเตอร์ K_p , T_i และ T_d ดังตารางที่ 1

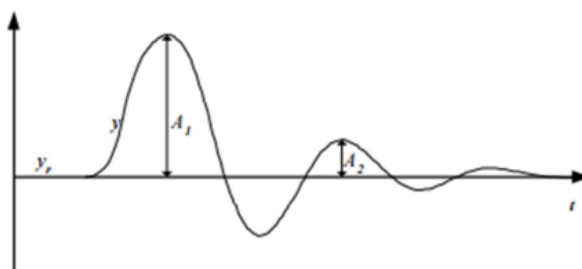
ตารางที่ 1 การหาค่า K_p , T_i และ T_d ด้วยวิธี ZN (วิธีที่หนึ่ง)

ชนิดของ Controller	K_p	K_i	K_d
P – Controller	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI – Controller	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID – Controller	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

2.4.1.2 วิธีที่สอง (Second Method)

วิธีการนี้ใช้ได้กับระบบวงจรปิดดังภาพประกอบที่ 4 การปรับค่าเกนตัวควบคุมด้วยวิธีที่สอง เริ่มจากทำให้ระบบและตัวควบคุมเป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับชนิดสัดส่วน (Proportional Control) เพียงอย่างเดียว

โดยทำการปรับค่า K จนถึงค่าวิกฤต K^* ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้ผลตอบสนองต่อสัญญาณเข้าฟังก์ชันขึ้นบันไดหนึ่งหน่วยเกิดการแกว่งกวัด (Oscillation) จากนั้นนำผลตอบสนองที่ได้มาวัดคาบ T ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4



ภาพประกอบที่ 4 การตอบสนองของระบบโดยวิธีที่สอง (Second Method) [18]

นำค่า K^* และ T มาคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ K_p , T_i และ T_d ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การหาค่า K_p , T_i และ T_d ด้วยวิธี ZN (วิธีที่สอง)

ชนิดของ Controller	K_p	K_i	K_d
P – Controller	$0.5K^*$	∞	0
PI – Controller	$0.45K^*$	$\frac{1}{1.2}K^*$	0
PID – Controller	$0.6K^*$	$0.5T$	$0.125T$

2.4.2 วิธีของเซน-ฮรอน-เรสวิก (Chien – Hrones – Reswick)

วิธีการนี้เป็นผลจากการพัฒนาออกมาจากวิธีการ Ziegler-Nichols (ZN) ซึ่งเป็นวิธีการควบคุมเชิงค่าคงที่แรก โดยที่วิธีการชื่อ CHR จะสามารถเลือกประเภทของการควบคุมตามพารามิเตอร์ R ที่ถูกเสนอไว้ตามความต้องการในด้านระบบควบคุมในแต่ละกรณีได้ แน่นอนว่าการคำนวณและการเลือกประเภทของการควบคุมชนิดนี้ จะมีความแม่นยำและยาวนานในกระบวนการวิเคราะห์ เลือกใช้โดยคำนึงถึงค่า R ที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับระบบควบคุมที่กำลังถูกพัฒนาหรือใช้งานในสถานการณ์ที่ไม่เหมือนกัน ทางด้านประสิทธิภาพ และแม่นยำขึ้นในการควบคุมระบบในหลากหลายเงื่อนไข [22] ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การหาค่า R

ชนิดของ Controller	$R=T/L$
P – Controller	$R>10$
PI – Controller	$7.5<R<10$
PID – Controller	$3<R<7.5$
Other methods	$R<3$

โดยที่พารามิเตอร์ L และ T ได้มาจากผลการตอบสนองใน ภาพประกอบที่ 3 การตอบสนองของระบบโดยวิธีที่หนึ่ง (First Method)

ทางด้านออกแบบตัวควบคุมแบบ PID ด้วยวิธีการของ CHR มีการแบ่งออกเป็นสองประเภทตามค่าความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนองและค่าต้นแบบ ในความแตกต่างระหว่างสองประเภทนี้ สามารถใช้วิธีการ CHR เพื่อสร้างตัวควบคุม PID ที่สอดคล้องกับเป้าหมายในแต่ละกรณีอย่างละเอียดและเข้าใจมากขึ้น 1) ผลตอบสนองที่มีค่าน้อยที่สุด (Least Overshoot) กล่าวคือ ในกรณีนี้ การออกแบบตัวควบคุม PID โดยใช้วิธีการ CHR จะเน้นให้ผลตอบสนองมีการปรับแต่งให้อยู่ในช่วงค่าที่มีค่าน้อยที่สุด หมายความว่า ระบบจะมีความเสถียรและไม่มีการเกิดโอเวอร์ชูต (Overshoot) ที่สัมพันธ์มาก ผลตอบสนองจะลื่นที่จะคืบหน้าสู่ค่าเป้าหมายอย่างแม่นยำ การตรวจสอบความสัมพันธ์และปรับแต่งค่า PID จะเป็นเรื่องสำคัญในการบรรลุผลตอบสนองนี้ 2) ผลตอบสนองที่มีค่าพุ่งสูงสุดร้อยละ 20 (20% Overshoot) กล่าวคือ ในกรณีนี้ การออกแบบตัวควบคุม PID โดยใช้วิธีการ CHR จะถูกทำให้ผลตอบสนองมีค่าพุ่งสูงสุด ได้ไม่เกินร้อยละ 20 ของค่าเป้าหมาย ระบบจะยอมรับการแปรผันที่เล็กน้อยเมื่อเริ่มต้นและสามารถรับผิชอบความผิดพลาดในการคงความเสถียรได้เร็วขึ้น การตั้งค่า PID จะต้องสามารถควบคุมค่าพุ่งให้อยู่ในช่วงที่กำหนด เพื่อให้มีผลตอบสนองที่มีความสมดุลและมีความเหมาะสมกับความต้องการของระบบ [23]

ดังนั้น การใช้วิธีการ CHR ในทางการออกแบบตัวควบคุมชนิด PID สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการควบคุมและประสิทธิภาพของระบบควบคุมในแต่ละกรณีได้อย่างละเอียด และมีประสิทธิภาพสูงในการทำงาน ดังตารางที่ 4 ตารางที่ 4 การหาค่า K_p , T_i และ T_d ด้วยวิธีของเซน-ฮรอน-เรสวิก (CHR)

Controller	Least Overshoot	20% Overshoot
P – Controller	$K_p = \frac{0.3R}{K}$	$K_p = \frac{0.7R}{K}$
PI – Controller	$K_p = \frac{0.35R}{K}$ $K_i = \frac{0.29R}{KT}$	$K_p = \frac{0.6R}{K}$ $K_i = \frac{0.6R}{KT}$
PID – Controller	$K_p = \frac{0.6R}{K}$ $K_i = \frac{0.6R}{KT}$ $K_d = \frac{0.3R}{K}$	$K_p = \frac{0.9R}{K}$ $K_i = \frac{0.7RL}{KT}$ $K_d = \frac{0.45RL}{K}$

2.4.3 วิธีของหวาง-จวง-ฉาน (The Wang – Juang – Chan)

ขั้นตอนวิธีปรับทางด้านค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมชนิด PID ที่นำเสนอ โดยหวางจวง และฉาน เป็นวิธีที่ง่ายและมีประสิทธิภาพ ด้วยวิธีมีลักษณะคล้ายกับวิธีของ ZN และ CHR โดยมีการวัดค่าพารามิเตอร์ K , L และ T จากการตอบสนองใน ภาพประกอบที่ 3 การตอบสนองของระบบโดยวิธีที่หนึ่ง (First Method) จากนั้นจึงนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ทั้งคู่ มาคำนวณหาค่า K_p , T_i และ T_d ตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การหาค่า K_p , T_i และ T_d ด้วยวิธีของหวาง-จวง-ฉาน

Control	Formula
K_p	$\frac{(0.7303 + \frac{0.5307T}{L})(T+0.5L)}{K(T+L)}$
K_i	$T+0.5L$
K_d	$\frac{0.5LT}{T+0.5L}$

2.5 เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด [24] ขึ้นจากความพยายามของทางนักวิทยาศาสตร์ ที่ต้องการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ซึ่งปัญหาส่วนใหญ่นั้น มีทั้งแบบสมการและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบนั้น ๆ ก่อนปี ค.ศ.1940 วิธีการที่ใช้ในเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ของฟังก์ชันที่มีหลายตัวแปรนั้น มีจำนวนไม่มาก เช่น วิธีการกำลังสองน้อยสุด (Least Square Method) [25] สำหรับการแก้ปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ทางด้านฟิสิกส์ เป็นต้น แต่วิธีที่นิยมใช้กันและเป็นที่ยอมรับ คือ วิธีนิวตัน (Newton Method) [26] ซึ่งถูกใช้ เพื่อแก้ปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของระบบที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีทางเคมี ในช่วงปี ค.ศ. 1940 – ค.ศ. 1950 มีการแนะนำสาขาใหม่ ทางด้านการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด นิยามเรียกกันว่า กำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming) [27] จากนั้นได้มีการศึกษา และพัฒนากันมาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน ด้วยปัจจุบันได้มีการนำวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด มาใช้อย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นทางด้านวิทยาศาสตร์ เศรษฐศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ เป็นต้น

2.5.1 เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม

เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม [28] ถูกค้นพบมาในช่วงแรก เกิดในช่วงปลายปี ค.ศ. 1950 เขียนโดยนักชีววิทยาทางด้านการวิวัฒนาการ โดยที่ต้องการหารูปแบบของการวิวัฒนาการตามธรรมชาติ แต่มันก็ไม่ได้ถูกมองว่าสามารถนำไปใช้สำหรับการแก้ปัญหาในด้านอื่น ๆ ได้ แต่ก็ไม่นานนักในปี ค.ศ. 1962 นักวิจัย เช่น G.E.P. Box, G.J. Friedman, W.W. Bledsoe และ H.J. Bremermann ทั้งหมด ได้ทำการพัฒนาขั้นตอนวิธี ต่างๆ ในการเพิ่มประสิทธิภาพของฟังก์ชัน และ ปัญหาการเรียนรู้ของเครื่องเช่นเดียวกัน แต่งานวิจัยก็ได้รับการติดตามที่น้อย งานวิจัยที่ประสบความสำเร็จกว่าคืองานวิจัยในปี ค.ศ. 1965 เมื่อ Ingo Reichenberg ได้นำเสนอเทคนิคที่

เรียกว่า กลยุทธ์การวิวัฒนาการถึงว่ามันจะคล้าย ขั้นตอนวิธีปีนเขามากกว่าวิธีเชิงพันธุกรรม โดยจะคล้ายกัน แต่จะไม่มีการผลิตจำนวนประชากรออกมามาก และไม่มีการไขว้เปลี่ยน (Cross Over) ซึ่งขั้นตอนของวิธีพันธุกรรมสามารถทำได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างประชากรเริ่มต้นในรูปของโครโมโซม โดยการสุ่มจากประชากรต้นแบบ

ขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์ค่าฟังก์ชันความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม

ขั้นตอนที่ 3 การคัดเลือกสายพันธุ์ (Selection) อ้างอิงจากค่าฟังก์ชันความเหมาะสม โดยพิจารณาจากค่าฟังก์ชันความเหมาะสมและการให้ค่าน้ำหนักความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือก

ขั้นตอนที่ 4 การข้ามสายพันธุ์ (Crossover) โดยคัดลอกบางส่วนของโครโมโซมพ่อและแม่ แล้วนำมารวมกัน เพื่อสร้างโครโมโซมรุ่นของลูก ตามอัตราความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์

ขั้นตอนที่ 5 การกลายพันธุ์ (Mutation) โดยการเปลี่ยนค่าของโครโมโซมบางตำแหน่งเป็นค่าใหม่ในตำแหน่งที่สุ่มได้ ตามอัตราความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์

ขั้นตอนที่ 6 การแทนที่ประชากร (Replacement) ด้วยประชากรรุ่นใหม่ชุดโครโมโซมรุ่นลูกที่เกิดจากการขั้นตอนวิวัฒนาการต่าง ๆ ข้างต้น ซึ่งจะถูกแทนที่ประชากรรุ่นก่อนหน้านี้และถูกนำเข้าไปกระบวนการวิวัฒนาการใหม่อีกครั้ง โดยกระบวนการต่าง ๆ จะถูกทำซ้ำ จนกระทั่งถึงรุ่นที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 7 กลับไปยังขั้นตอนที่ 2 และหยุดตามเงื่อนไขที่กำหนด

2.5.2 เทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดด้วยวิธีฝูงผึ้ง

วิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยการจำลองพฤติกรรมของผึ้งในการหาน้ำหวาน (Bee Colony Optimization) [29] ถูกออกแบบให้ทำงานเหมือนกับวิธีการที่ผึ้งใช้ในการค้นหาแหล่งน้ำหวาน โดยแบ่งส่วนหน้าที่ของผึ้งออกเป็น 2 ประเภทหลักคือ ผึ้งสกัดน้ำหวาน (Scout Bee) และผึ้งงาน (Worker Bee) เพื่อตามหาทางด้านคำตอบที่เหมาะสม สมมติให้คำตอบเป็นแหล่งน้ำหวาน ในฐานที่ผึ้งสกัดน้ำหวาน มีหน้าที่ค้นหาแหล่งน้ำหวานแบบสุ่มในขอบเขตที่เป็นไปได้ (Search Space) และเมื่อพบแหล่งน้ำหวานผึ้งสกัดน้ำหวานจะบินกลับสู่รังผึ้ง เพื่อแสดงข้อมูลให้ผึ้งอื่น ๆ ในรังรู้ถึงคำตอบที่พบ

ก่อนจะเข้าสู่ทางขั้นตอนการดำเนินงาน จะกล่าวถึงตัวแปรหรือพารามิเตอร์ถัดไป เพื่อให้เข้าใจเกี่ยวกับวิธีการทำงานของวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดด้วยวิธีฝูงผึ้ง ในกรณีที่เรากำลังจัดการปัญหาการจ่ายโหลดอย่างมีประสิทธิภาพ NC แทนด้วย จำนวนครั้งของการทำซ้ำ n แทนด้วย จำนวนผึ้งสอดแนม และ m แทนด้วย จำนวนแหล่งน้ำหวานที่มีปริมาณน้ำหวานมาก ตามลำดับ จาก การค้นหาของผึ้งสอดแนมจำนวน n_s ตัว ตามลำดับ โดยขณะ e ถูกแทนด้วย จำนวนแหล่งน้ำหวานที่มีปริมาณน้ำหวานมากที่สุดเลือกแล้ว m แหล่ง โดยที่ n_{gh} แทนด้วย ขนาดของเขตที่มีปริมาณน้ำหวานมากที่สุดเลือกแล้ว n_{ep} ถูกแทนด้วย จำนวนผึ้งงานที่กำหนดให้หาที่แหล่งน้ำหวาน e

แหล่ง และ n_{sp} แทนด้วย จำนวนฝั่งงานที่กำหนดให้ไปหาแหล่งน้ำหวาน $m-e$ แหล่ง ซึ่งขั้นตอนการดำเนินงานของวิธีฝูงผึ้งแสดงได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดให้ผึ้งสอดแนมจำนวน n ตัว ค้นหาคำตอบเริ่มต้น ซึ่งคำตอบเหล่านี้ต้องเป็นคำตอบที่เป็นไปได้ภายในขอบเขตที่กำหนดและสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับต่าง ๆ กำหนดให้จำนวนรอบของการทำซ้ำเริ่มต้น $NC = 0$ ประเมินของคำตอบที่ได้จากการค้นหาของผึ้งสอดแนม พร้อมทั้งจัดเรียงลำดับคำตอบที่ได้จากมากไปหาน้อย

ขั้นตอนที่ 2 เลือกคำตอบที่มีผลการประเมินที่ดีจำนวน m คำตอบ คัดแยกคำตอบจำนวน m คำตอบนี้ออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกจะมีคำตอบเหมาะสมที่สุดจำนวน e คำตอบ และกลุ่มที่ 2 มีคำตอบที่ดีรองลงมาจากจำนวน $m-e$ คำตอบ

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดขอบเขตพื้นที่ในการค้นหาบริเวณรอบ ๆ คำตอบจำนวน m คำตอบ โดยให้ผึ้งจำนวน n_{ep} ตัว ค้นหาคำตอบรอบ ๆ คำตอบ e และฝั่งงานจำนวน n_{sp} ตัว ค้นหาคำตอบรอบ ๆ คำตอบ $m-e$ โดยที่ $n_{ep} > n_{sp}$

ขั้นตอนที่ 4 ประเมินผลของคำตอบที่ได้จากการค้นหาของฝั่งงานในแต่ละแหล่ง และเลือกคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละแหล่ง

ขั้นตอนที่ 5 กำหนดให้ผึ้งสอดแนมจำนวน $n-m$ ตัว ค้นหาคำตอบใหม่ แล้วกลับไปยังขั้นตอนที่ 2 และหยุดตามเงื่อนไขที่กำหนดค่าไว้

2.5.3 วิธีการหาค่าเหมาะที่สุดด้วยวิธีหมากรุก

วิธีการหาค่าเหมาะที่สุดด้วยวิธีหมากรุก (Chess Algorithm Optimization Technique) [8] ที่นำเสนอนี้ได้แรงบันดาลใจมาจากเกมส์หมากรุกสากล เหมือนกับวิธีการเดินของตัวหมากรุกแต่ละตัว รวมไปถึงกลยุทธ์ในการเล่น เพื่อความสำเร็จในการเอาชนะในเกมส์ โดยเมื่อแนวคิดดังกล่าวถูกนำมาประยุกต์ใช้กับการหาค่าเหมาะที่สุด จะส่งผลให้เกิดอัลกอริทึมที่มีลักษณะเฉพาะแตกต่างออกไปในหลายด้าน อัลกอริทึมที่เกิดขึ้นจากแนวคิดดังกล่าวเช่นเดียวกับการเคลื่อนไหวของตัวหมากรุกแต่ละตัวที่มีกฎเฉพาะตามรูปแบบของเกมส์ รวมถึงยุทธศาสตร์ในการเล่นที่เน้นไปที่การควบคุมพื้นที่บนกระดานหมากรุก การรับมือกับการก่อกำเริบ เพื่อป้องกันและโจมตี และการพิจารณาล่วงหน้า เพื่อวางแผนการเล่นให้เหมาะสมกับสถานการณ์ในการแข่งขัน ด้วยมีความหลากหลาย และความซับซ้อนในกฎ รวมไปถึงยุทธศาสตร์ของเกมส์หมากรุก การนำแนวคิดเหล่านี้ ไปประยุกต์ใช้ในการหาค่าเหมาะที่สุดจะนำไปสู่ทางด้านการพัฒนาอัลกอริทึม ที่มีความสามารถในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนและหลากหลายมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่สำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีและการประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ

สำหรับขั้นตอนวิธีดำเนินงานสามารถทำได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการสุ่มคำตอบจากกลุ่มของตัวเบี้ย (n_p) จำนวน 8 ตัวเพื่อเริ่มต้นกระบวนการ โดยให้คำตอบที่ได้เป็นไปตามข้อกำหนดที่กำหนดไว้ คือ อยู่ภายในขอบเขตที่กำหนด และเป็นไปตามเงื่อนไขบังคับต่าง ๆ และกำหนดให้จำนวนรอบของการทำซ้ำ (Iteration) เป็น 1

ขั้นตอนที่ 2 วัดผลของคำตอบที่สุ่มมาจากเบี้ยได้ถูกประเมินโดยการคำนวณค่าของฟังก์ชันสำหรับแต่ละคำตอบ และจัดเรียงลำดับตามค่าของฟังก์ชันนั้น ๆ โดยในกระบวนการนี้เราได้ค้นพบคำตอบที่มีค่าของฟังก์ชันที่แย่ที่สุดอยู่บนส่วนบนของลำดับที่เรียงลำดับ

ขั้นตอนที่ 3 เริ่มจากการจัดลำดับตัวละครด้วยตัวหมากต่าง ๆ ที่ปรากฏ โดยมีราชา 1 ตัวมีอันดับแรกที่สูงสุด ตามด้วยราชินี 1 ตัว และเรือ 2 ตัว อัศวิน 2 ตัว และบาทหลวง 2 ตัว ตามลำดับที่กำหนดให้ ในการนำเสนอนี้ ได้ใช้หมายเลขแทนการจัดลำดับเพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น โดยเริ่มต้นจากระดับหมากที่มีความสำคัญสูงสุดลงมาถึงหมากที่มีลำดับต่ำสุดตามลำดับที่กำหนด

ขั้นตอนที่ 4 ให้ทุกตัวหมากสำรวจคำตอบในบริเวณรอบ ๆ ตามลักษณะของการเดินของตนเอง

ขั้นตอนที่ 5 วัดผลของคำตอบในบริเวณรอบ ๆ จะถูกดำเนินการโดยการคำนวณค่าฟังก์ชันของแต่ละคำตอบและค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในบริเวณนั้น ๆ สำหรับแต่ละตัวหมากที่อยู่ในบริเวณนั้น ๆ

ขั้นตอนที่ 6 เลื่อนตำแหน่งของทุกตัวหมากรอบไปยังตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดตามคำตอบที่เกิดขึ้นในบริเวณรอบ ๆ

ขั้นตอนที่ 7 เปรียบเทียบคำตอบจากการค้นหาด้วยตัวหมากทุกตัว ค้นหาคำตอบที่มีค่าฟังก์ชันที่สูงที่สุดและจัดเรียงเป็นคำตอบที่ดีที่สุดในรอบการค้นหา

ขั้นตอนที่ 8 พิจารณาเงื่อนไขที่ปรากฏอยู่ในพื้นที่ปัจจุบัน ถ้าเงื่อนไขเป็นจริง ให้เริ่มทำขั้นตอนการออกจากคำตอบที่อยู่ในขอบเขตของพื้นที่ที่กำหนดไว้ (Local)

ขั้นตอนที่ 9 ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุดและพบว่าเงื่อนไขมีความเป็นจริง, กรุณาทำการหยุดการค้นหา หากไม่ตรงตามเงื่อนไข โปรดเพิ่มค่ารอบการทำซ้ำโดยการเพิ่ม $Iteration_{(new)}$ อีกหนึ่งรอบ $Iteration_{(new)} = Iteration + 1$

ขั้นตอนที่ 10 กำหนดตัวเบี้ยในปริมาณ n_p เป็น 8 หน่วยและเริ่มกระบวนการสุ่มคำตอบใหม่ พร้อมทั้งคำนวณค่าฟังก์ชันของคำตอบที่ได้จากการสุ่มของตัวเบี้ย

ขั้นตอนที่ 11 นำคำตอบปัจจุบันที่ดีที่สุดของหมากทุกตัว (ราชา 1 ตัว ราชินี 1 ตัว เรือ 2 ตัว อัศวิน 2 ตัว และบาทหลวง 2 ตัว และคำตอบที่เริ่มใหม่จากตัวเบี้ยทุกตัว (8 ตัว) รวมคำตอบทั้งหมด 16 ตัว ทำการจัดเรียงลำดับจากคำตอบที่ดีมากที่สุดไปหาคำตอบที่น้อยที่สุด

ขั้นตอนที่ 12 เลือกคำตอบที่ดีที่สุดจากลำดับแรก 8 รายการแล้วดำเนินขั้นตอนที่ 3 และขั้นตอนต่อไปตามลำดับ จนถึงเวลาหยุดตามเงื่อนไขที่กำหนด

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 Peidong Shi, Jianchuan และ Xianyu [30] ได้เสนอแก้ไขข้อบกพร่อง ในส่วนของ อัลกอริทึมการจับกลุ่มอนุภาค ทางด้านการแก้ปัญหาการปรับพารามิเตอร์ของพารามิเตอร์ ของตัวควบคุมชนิด PID ในระยะสุดท้าย ได้มีการเสนออัลกอริทึมการจับกลุ่มอนุภาคที่ได้รับการปรับปรุง สำหรับการแก้ปัญหา อัลกอริทึมการจับกลุ่มอนุภาคได้รับการปรับให้เหมาะสม โดยการแนะนำกลยุทธการปรับน้ำหนักความเฉื่อยที่ลดลงแบบไม่เชิงเส้น เพื่อให้ความเร็วก่อนการบินของอนุภาคไม่ลดลงเร็วเกินไป จึงทำให้ความสามารถในการค้นหาทั่วโลกของอนุภาคสมดุล กับความสามารถในการค้นหาในท้องถิ่น รวมไปถึงหลีกเลี่ยงการตกลงในท้องถิ่นให้เหมาะสมที่สุด การทดลองจำลองได้ดำเนินการใน MATLAB/Simulink โดยใช้วิธี PSO มาตรฐาน วิธีสูตร Ziegler-Nichols และ PSO ที่ปรับปรุงแล้ว ตามลำดับ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าทางด้านการอัลกอริทึมที่ได้รับการปรับค่าพารามิเตอร์ช่วยเพิ่มความเสถียร ความเร็วการลู่เข้า และความแม่นยำในการค้นหาของพารามิเตอร์ PID พร้อมด้วยตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

2.6.2 Nirbhow Jap Singh, Vikram Chopra, Sandeep Pandey และ Shakti Singh [31] ได้นำเสนออาณานิคมผึ้งเทียมแบบใหม่ ที่มีอัลกอริทึมเอฟเฟกต์การปล้นสะดม (ABCPE) สำหรับการปรับแต่ง ตัวควบคุมอนุพันธ์อินทิกรัลตามสัดส่วน (PID) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอัลกอริทึม ABCPE เพื่อแนะนำเอฟเฟกต์นักล่าในพฤติกรรมหาอาหารของอัลกอริทึมอาณานิคมผึ้งเทียมได้รับการจัดทำขึ้น อัลกอริทึมที่นำเสนอได้รับการทดสอบเกี่ยวกับปัญหาการปรับแต่งของแบบจำลองกระบวนการต่าง ๆ ผลการจำลองเผยให้เห็นว่า การตอบสนองแบบลูปปิดค่อนข้างรวดเร็วและไม่สั่นเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ของ Ziegler-Nichols นอกจากนี้ ผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้ ABCPE ยังถูกนำไปเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมวิวัฒนาการอื่น ๆ อีกด้วย การวิเคราะห์อย่างละเอียดแสดงให้เห็นว่าแนวทางการแก้ปัญหาแบบ ABCPE นำไปสู่ชุดของพารามิเตอร์การปรับแต่งที่มีระยะเกิที่น้อยกว่า เวลาการตั้งค่าและเวลาที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่า เมื่อเทียบกับแนวทางการแก้ปัญหาลอื่น ๆ การวิเคราะห์ความเสถียรโดยใช้ Nichols Plot พบว่าระยะขอบของอัลกอริทึมที่นำเสนอนั้นสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปรับแต่งแบบอื่น ๆ

2.6.3 Vikrant Chole และ Vijay Gadicha [32] ได้กล่าวว่าหมากรุกถือเป็น “แมลงหวี่แห่งปัญญาประดิษฐ์ (AI)” เนื่องจากการวิจัยด้าน AI เริ่มต้นจากแนวคิดการเล่นเกม และเกมหมากรุกกลายเป็นหัวข้อยอดนิยมในประวัติศาสตร์การวิจัยปัญญาประดิษฐ์ บทความนี้จะแนะนำเทคนิคดั้งเดิมต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับการออกแบบและพัฒนาระบบการเล่นหมากรุก และยังเสนอเทคนิคการปรับให้เหมาะสมแบบไฮบริดที่ได้รับการปรับทางค่าพารามิเตอร์ เพื่อการตัดสินใจเลือกหมากรุกที่ดีที่สุด กลไกหมากรุกที่ทันสมัยส่วนใหญ่อาศัยเทคนิคการค้นหาแบบดั้งเดิม เช่น Minimax และ Alpha Beta

จนกระทั่งความสำเร็จล่าสุดของระบบซึ่งใช้แนวทางการเรียนรู้ของเครื่อง กลไกหมากรุกส่วนใหญ่ได้รับการออกแบบในลักษณะที่ไม่เล่นตามสัญชาตญาณเหมือนมนุษย์ แต่คำนวณรูปแบบต่าง ๆ ให้มีความมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และทำการตัดสินใจตามนั้น การพัฒนาล่าสุดในการเล่นเกมส์แสดงให้เห็นว่า Alpha-Zero ใช้แนวทางใหม่โดยอิงจากการเรียนรู้แบบเสริมกำลังเชิงลึกอย่างไร สามารถปรับปรุงกลไกหมากรุกได้ในแง่ของความรู้สึกที่เป็นธรรมชาติสำหรับตำแหน่ง โดยการฝึกโมเดลด้วยเกมส์อดนินยอมของมนุษย์ และการเคลื่อนไหวที่ดีที่สุดที่สามารถทำได้ โดยใช้เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพแบบไฮบริดที่เราเสนอ โมเดลการปรับให้เหมาะสมตามแบบไฮบริดได้รับการประเมินในแง่ของพารามิเตอร์ เช่น ความแม่นยำ ความไว และพบว่ามีประสิทธิภาพมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคอื่น ๆ

2.6.4 Yuelin Wang, Jiehong Wu, Junyi Zhang และ Wei Zhang [33] ได้กล่าวถึงเกมส์คอมพิวเตอร์แบ่งเป็นเกมส์ข้อมูลสมบูรณ์และเกมส์ข้อมูลไม่สมบูรณ์ เกมส์หมากรุกทหารเป็นเกมส์ข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์และมีข้อบกพร่องหลายประการ เนื่องจากแผนผังเกมส์ของเกมส์หมากรุกทหารในระยะกลางและปลายของการโจมตีแบนเนอร์นั้นใหญ่เกินไป และถูกนำเสนออัลกอริทึม สำหรับการค้นหากระดานหมากรุกเชิงลึกตามกฎหมายหมากรุกทหาร ในบทความนี้ ได้มีการใช้อัลกอริทึมการค้นหาเชิงลึกแบบสองทิศทาง ซึ่งช่วยลดเวลาที่ต้องใช้ในการคำนวณวิธีแก้ปัญหามากที่สุดโดยประมาณได้เกือบ 97% เมื่อเทียบกับการใช้อัลกอริทึมการค้นหาเชิงลึกแบบสองทาง เมื่อเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมการค้นหาเชิงลึกแบบดั้งเดิม อัลกอริทึมในบทความนี้ได้รับการปรับปรุงให้เหมาะสมอย่างมาก ในแง่ของความซับซ้อนของเวลา การทดลองแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมการค้นหาตามการค้นหาเชิงลึกสามารถลดเวลาดำเนินการของแต่ละขั้นตอนและให้ผลลัพธ์ที่ดี

2.6.5 Huimin Wang และ Zhaojun Steven Li [34] ได้กล่าวถึงความปลอดภัยของความเป็นสิ่งสำคัญสำหรับเสถียรภาพ และความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้า การบูรณาการแหล่งพลังงานหมุนเวียนนำมาซึ่งความท้าทายใหม่ ๆ ต่อความมั่นคงด้านความถี่ของระบบไฟฟ้า เพื่อให้วิธีการควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น สำหรับการควบคุมความถี่และการไหลของพลังงานแบบผูกของระบบไฟฟ้าที่เชื่อมต่อถึงกันซึ่งรวมเข้ากับฟาร์มกังหันลม (IPSWF) ซึ่งเป็นตัวควบคุมความถี่โหลด (LFC) ของการควบคุมการคาดการณ์ทั่วไป (GPC) ที่อิงตาม Takagi-Sugano (T-S) (fuzzy-GPC) ในบทความนี้ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของโครงการที่เสนอ กลยุทธ์ LFC ได้รับการจัดตั้งขึ้นสำหรับระบบไฟฟ้าที่เชื่อมต่อถึงกันสองพื้นที่ ซึ่งบูรณาการกับฟาร์มกังหันลมในระบบไฟฟ้า การออกแบบโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วย (PSCAD) ประสิทธิภาพการควบคุมของตัวควบคุมสัดส่วน-อินทิกรัล, GPC และ fuzzy -GPC จะถูกเปรียบเทียบภายใต้สภาวะการทำงานที่ผิดพลาดสองประการ ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพและพฤติกรรมแบบไดนามิกเมื่อใช้ตัวควบคุม Fuzzy-GPC นั้นดีกว่าประสิทธิภาพเมื่อใช้ตัวควบคุม PI และตัวควบคุม GPC fuzzy-GPC ที่เสนอซึ่งใช้ใน LFC ของ IPSWF

สามารถควบคุมการเบี่ยงเบนความถี่และการเบี่ยงเบนของพลังงานแบบไทน์ไลน์ได้อย่างปรับตัว และ บรรลุค่าเบี่ยงเบนความถี่ขั้นต่ำและการเบี่ยงเบนของพลังงานแบบไทน์ไลน์ใน IPSWF แบบหลายพื้นที่

2.6.6 Arun Kumar Maurya, Hera Khan, Anil Kumar Rai และ Hemant Ahuja [35] ได้ทำการศึกษา เพื่อให้มั่นใจถึงประสิทธิผลของระบบไฟฟ้า ทุกส่วนจำเป็นต้องมีกิจกรรมการควบคุม จำนวนหนึ่ง ในระบบไฟฟ้าที่เชื่อมต่อถึงกัน การแปรผันของโหลดเกิดขึ้น การแปรผันของความถี่และการแลกเปลี่ยนกำลังของเส้นเสมอแสดงให้เห็นความแตกต่างที่มีนัยสำคัญ และ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายของการแปรผันของความถี่ของระบบไฟฟ้าเป็นศูนย์ตลอดจนการไหลของพลังงานของเส้นเสมอ เพื่อให้ได้หน่วยสร้างที่เลือก จะต้องมีการใช้ตัวควบคุมหรือการควบคุมที่สนับสนุนบางอย่าง คำว่า "การควบคุมการสร้างอัตโนมัติ" หมายถึงกิจกรรมการควบคุมนี้ จุดประสงค์หลักของ LFC หรือการควบคุมการผลิตแบบอัตโนมัติในระบบไฟฟ้าแบบหลายพื้นที่คือการทำให้ความถี่ของทุกพื้นที่ตลอดจนการไหลของพลังงานของสายผูกคงที่ ในรายงานการวิจัยนี้ ที่ใช้ระบบไฟฟ้าในพื้นที่สองระบบพร้อมตัวควบคุม เช่น Integrator, PI และ PID หลังจากใช้เทคนิคการควบคุมสามอย่างนี้แล้ว จะแสดงการเปรียบเทียบระหว่างส่วนเบี่ยงเบนความถี่และการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าของเส้นผูกของ AGC ของระบบสองพื้นที่โดยรับค่าตัวควบคุมแบบสุ่ม มีการพูดคุยถึง AGC ของระบบไฟฟ้ากำลังสองพื้นที่ที่ใช้ตัวควบคุม เช่น Integrator, PI และ PID ในซอฟต์แวร์ MATLAB/SIMULINK เมื่อใช้การควบคุมการสร้างอัตโนมัติอย่างเหมาะสม ถือเป็นสิ่งสำคัญในการรักษาความถี่ให้อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ และปรับให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้า ตัวควบคุมที่แม่นยำและเชื่อถือได้ที่สุดคือตัวควบคุม PID ที่ควบคุมตัวแปรกระบวนการโดยใช้กลไกการป้อนกลับของลูปควบคุม บทความนี้จะเปรียบเทียบความเสถียรของระบบโดยใช้ตัวควบคุม เช่น Integrator, PI, PID โดยวิธี Hit และ Trial บนโหลดที่แตกต่างกัน



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

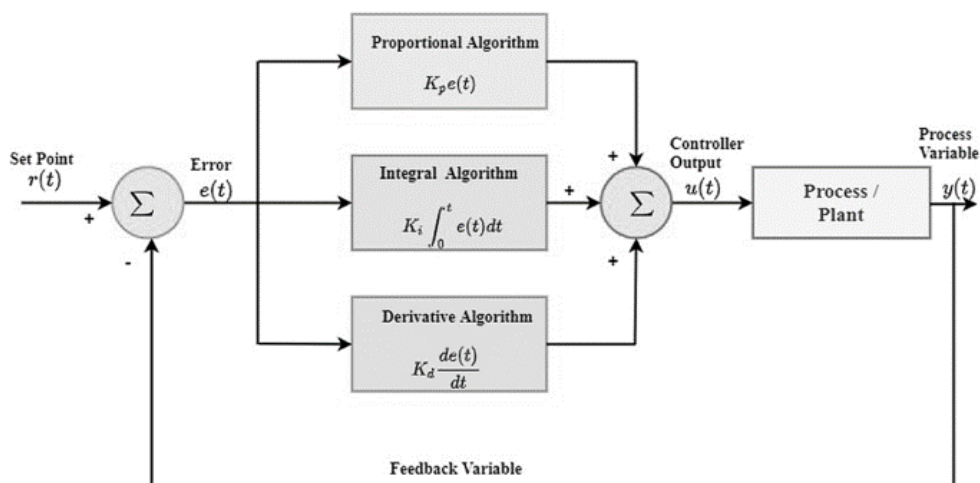
ในบทนี้จะกล่าวถึงตัวควบคุม PID โดยเริ่มจะนำเสนอหลักการพื้นฐานของตัวควบคุมแบบ PID การพัฒนาตัวควบคุม PID ด้วยวิธีการออกแบบต่าง ๆ รวมไปถึงเทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดด้วยวิธีหามารุก หลังจากนั้นจะกล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ตามลำดับ

3.1 หลักการและโครงสร้างตัวควบคุมแบบPID

โครงสร้างตัวควบคุมแบบ PID [36] ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดมักมีรูปแบบที่ชัดเจนตามภาพประกอบที่ 3 โครงสร้างตัวควบคุม PID แบบขนาน ที่แสดงให้เห็น ซึ่งมีความเป็นประสิทธิภาพในการควบคุมที่เหนือชั้น นอกจากนี้ยังมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนจนเกินไป ซึ่งทำให้ง่ายต่อการปรับแต่งและขยายความสามารถของตัวควบคุม PID ตามความต้องการและวัตถุประสงค์ของการควบคุมในแต่ละการใช้งานบางกรณี

ในการนำโครงสร้างนี้ไปใช้ในสถานการณ์จริง อาจจะต้องมีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างหรือเพิ่มฟังก์ชัน เพื่อให้ตัวควบคุม PID สามารถทำงานได้ตามความต้องการ และวัตถุประสงค์ของการควบคุม แต่ละรายการในทางปฏิบัติได้อย่างเหมาะสม และมีประสิทธิภาพ เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อการใช้งานในสถานะที่แตกต่างกันได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผลสูงสุด การปรับแต่งและการเพิ่มความสามารถในตัวควบคุม PID เป็นขั้นสำคัญ เพื่อให้การควบคุมสามารถปฏิบัติงานอย่างเต็มศักยภาพในสถานการณ์และการทำงานต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการควบคุมที่กำหนดไว้ว่าจะให้บรรลุได้ในทุก ๆ กรณี ตัวควบคุม PID พื้นฐานสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3.1) และบล็อกไดอะแกรมใน ภาพประกอบที่ 5 โครงสร้างตัวควบคุม PID แบบขนาน

$$MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3.1)$$



ภาพประกอบที่ 5 โครงสร้างตัวควบคุม PID แบบขนาน [18]

การประยุกต์ใช้ตัวควบคุม PID ที่แสดงในภาพประกอบที่ 3 เริ่มแสดงข้อจำกัดเมื่อมีการนำมาใช้ในสถานการณ์จริง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องดำเนินการปรับปรุงแก้ไขตัวควบคุม เพื่อให้สามารถใช้งานได้ตามที่ต้องการ หนึ่งในเป้าหมายสำคัญคือการออกแบบตัวควบคุมให้มีความอิสระที่เพียงพอเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อค่าคำสั่งอ้างอิง (Setpoint) ได้อย่างแม่นยำ ทั้งนี้ยังต้องคำนึงถึงความสามารถในการตอบสนองต่อโหลดรบกวน (Load Disturbance) และการลดทอนสัญญาณรบกวนที่มาจาก การตรวจจับ (Measurement Noise) เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาวะจริง การปรับปรุงนี้จำเป็น เพื่อให้ตัวควบคุมทำงานอย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพสูงสุดในการควบคุมกระบวนการนั้น

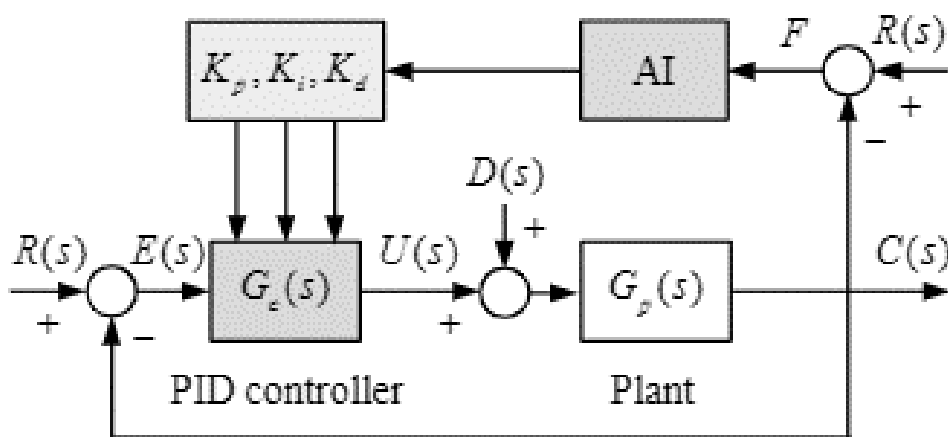
3.2 การประยุกต์ใช้วิธีหาค่าเหมาะที่สุดในการออกแบบ PID

เมื่อเราต้องการออกแบบตัวควบคุม PID (Proportional Integral Derivative) สำหรับระบบต่าง ๆ ต้องใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด เหมือนกับตัวอย่างที่แสดงใน ภาพประกอบที่ 6 การพัฒนาตัวควบคุม PID โดยการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดให้กับพารามิเตอร์ของ PID ซึ่งประกอบด้วย อัตราขยายสัดส่วน (K_p) อัตราขยายปริพันธ์ (K_i) และอัตราขยายอนุพันธ์ (K_d) นั้นจำเป็นต้องใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

ถ้าค่าของอัตราขยายสัดส่วน K_p มีค่าสูงมาก ระบบอาจจะไม่มีเสถียรภาพและมีโอเวอร์ชูตสูงมากเหมือนกัน แต่ถ้าค่า K_p มีค่าต่ำเกินไป ผลตอบสนองของระบบอาจช้าและมีค่าความผิดพลาดสูง

ในกรณีของอัตราขยายปรีพันซ์ K_p ถ้ามีค่าสูงมาก จะทำให้เกิดโอเวอร์ชูตสูงขึ้น แต่ถ้ามีค่าต่ำเกินไป ระบบอาจตอบสนองช้าและมีความผิดพลาดสูง สุดท้ายในกรณีของอัตราขยายอนุพันธ์ K_d ถ้ามีค่าสูงมาก อาจสร้างความไม่เสถียรให้กับระบบ

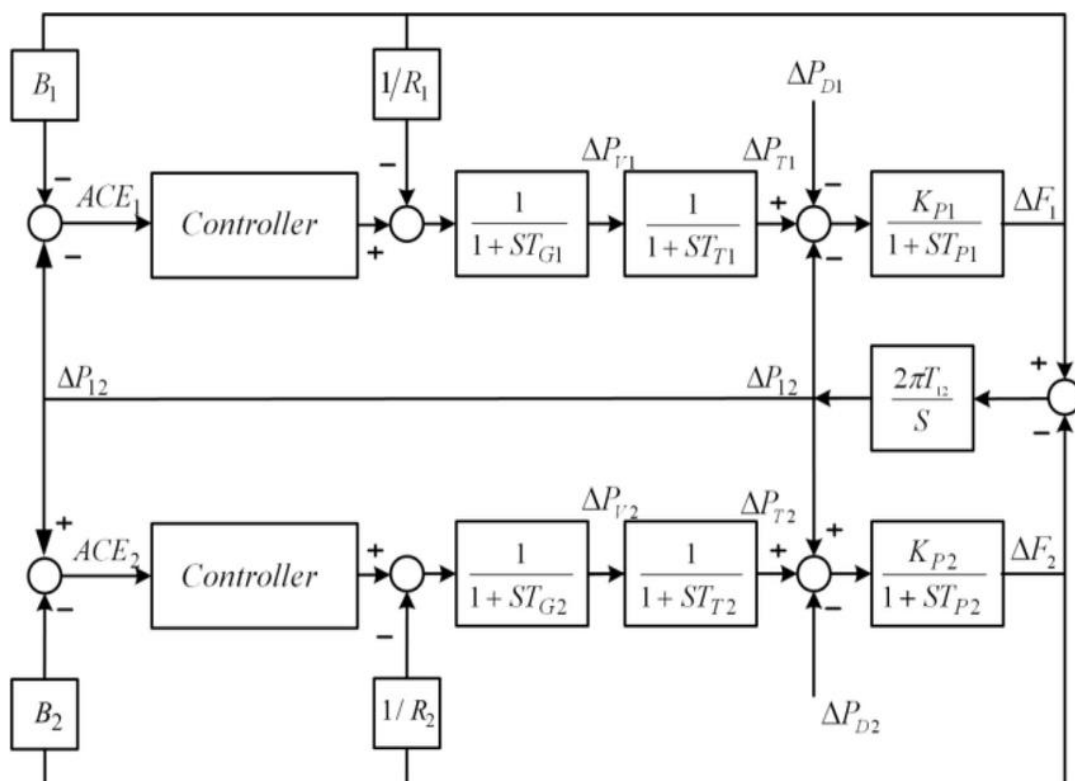
ความหมายของช่วงของขอบเขตที่รับค่าของพารามิเตอร์เหล่านี้คือ ถ้าเราพิจารณาอัตราขยายสัดส่วน K_p มีค่าในช่วง 0 ถึง 1.5 อัตราขยายปรีพันซ์ K_i อยู่ในช่วง 0 ถึง 1.0 และอัตราขยายอนุพันธ์ K_d อยู่ในช่วง 0 ถึง 1.0 นั้นเราจะต้องเลือกค่าที่เหมาะสมภายในช่วงนี้ เพื่อให้ระบบควบคุมทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและเสถียร



ภาพประกอบที่ 6 การพัฒนาตัวควบคุม PID โดยการใช้ปัญญาประดิษฐ์ [37]

เพื่อหาค่าอัตราขยายที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวควบคุมแบบพีไอดีในวิทยานิพนธ์นี้ จะใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยผสมผสานกับระบบส่งโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนสองพื้นที่ตามภาพประกอบที่ 7

เริ่มต้นจากการกำหนดและแทนค่าพารามิเตอร์สำหรับระบบเชื่อมโยงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่ ซึ่งประกอบไปด้วย 14 พารามิเตอร์ $a_{12}, B_1, B_2, R_1, R_2, T_{G1}, T_{G2}, T_{T1}, T_{T2}, K_{p1}, K_{p2}, T_{p1}, T_{p2}$ และ T_{12} ดังตารางที่ 6 ในแบบจำลองการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่



ภาพประกอบที่ 7 การเชื่อมโยงระบบโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่ [38]

ตารางที่ 6 พารามิเตอร์สำหรับระบบเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์
a_{12}	-1
B_1, B_2	0.425 p.u.MW/Hz
T_{G1}, T_{G2}	2.4 Hz/p.u.
T_{T1}, T_{T2}	0.2 s
$K_{P1}K_{P2}$	0.3 s
T_{P1}, T_{P2}	120 Hz/p.u.MW
T_{12}	0.0707 p.u.

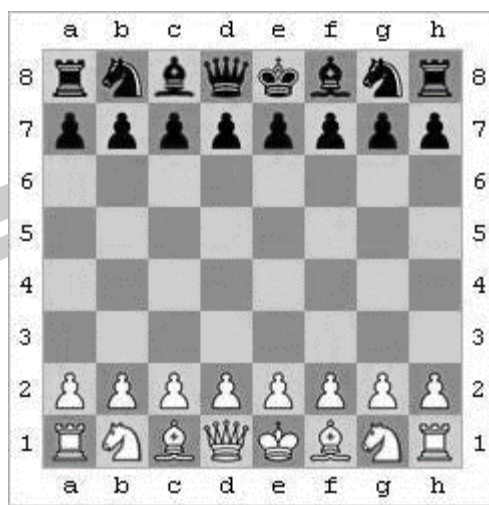
3.3 ขั้นตอนการหาค่าเหมาะที่สุดด้วยวิธีหมากรุก

หมากรุกสากล (Chess) [8] เป็นเกมสักระดานแนววางแผนสองผู้เล่นที่เล่นกันบนกระดานหมากรุก ซึ่งเป็นกระดานที่มีการสลับสีช่องโดยมีจัตุรัสทั้งหมด 64 ช่อง และถูกจัดเรียงแบบตารางขนาด 8x8 ซึ่งเป็นลักษณะที่เป็นที่นิยมของหมากรุกสากล ซึ่งเป็นเกมสักระดานที่ได้รับความนิยมสูงสุดในระดับโลก หมากรุกเป็นเกมที่มีผู้เล่นจำนวนมากที่สามารถเข้าร่วมกันในการเล่น ๆ ที่ เช่น บ้านสวนสาธารณะ สโมสร และออนไลน์ นอกจากนี้ยังมีการแข่งขันหมากรุกในระดับต่าง ๆ ทั้งทางจดหมายและการแข่งขันที่มีความเข้มข้น ทำให้มีผู้เล่นที่หลากหลายและสนใจเข้าร่วมกันอย่างต่อเนื่อง

ในการเล่นเกมส์หมากรุก ผู้เล่นแต่ละคนจะเริ่มต้นด้วยการจัดวางตัวหมากรุกทั้งหมด 16 ตัว ซึ่งประกอบด้วยราชา (King) 1 ตัว ราชนี (Queen) 1 ตัว เรือ (Rook) 2 ตัว อัศวิน (Knight) 2 ตัว บาทหลวง (Bishop) 2 ตัว และเบี้ย (Pawn) 8 ตัว โดยทั้ง 6 ประเภทของตัวหมากรุกนี้จะมีการเดินแบบที่แตกต่างกัน การเดินของตัวหมากรุกมีลักษณะว่า ตัวหมากรุกจะใช้โจมตีและยึดตัวหมากรุกของฝ่ายตรงข้าม โดยมีเป้าหมาย เพื่อ "รุกจน" (Checkmate) ตัวราชาของฝ่ายตรงข้าม นั้นหมายความว่าผู้เล่นจะพยายามจัดการท่าทางให้ตัวราชาของฝ่ายตรงข้ามไม่สามารถหนีจากการถูกยึดได้ และถ้าไม่สามารถหนีได้แล้วจะเป็นการแพ้เกมส์ นอกจากนี้เรายังมีกรณีที่เกิดการเสมอในเกมส์หมากรุกหมายความว่าเกมส์จะไม่มีฝ่ายชนะ สถานการณ์ที่เป็นไปได้เช่น การสมัครใจถอนตัวจากทั้งสองฝ่ายหรือสถานการณ์ที่ไม่สามารถทำการรุกจนให้ตัวราชาตรงข้ามถูกยึดได้

หมากรุกสากล เล่นกันบนกระดานสี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งมีจัตุรัสแปดแถวแนวนอน นิยามเรียกว่า แรงค์ (Rank) แสดงด้วยการแทนหมายเลข 1 ถึง 8 และแปดแถวแนวตั้ง นิยามเรียกว่า ไฟล์ (File) แสดงด้วยการแทนตัวอักษร a ถึง h สีของช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสทั้ง 64 สลับสีกัน และนิยามเรียกเป็นจัตุรัส “อ่อน” (Light) และ “เข้ม” (Dark) นิยมจัตุรัสสีอ่อนจะอยู่ปลายขวามือของแรงค์ที่ติดกับผู้เล่น และตัวหมากรุกจะตั้ง ดังแสดงในแผน ภาพประกอบที่ 6 โดยราชินีจะตั้งอยู่ในจัตุรัสสีเหมือนตัวเอง

ตัวหมากรุกแบ่งเป็นชุดสีขาวและสีดำ ผู้เล่นก็จะถูกเรียกตามหมากว่า “ฝ่ายสีขาว” และ “ฝ่ายสีดำ” คนเริ่มเกมส์โดยมีตัวหมากรุกตามสีที่ระบุไว้ 16 ตัว ประกอบไปด้วย ราชาจำนวน 1 ตัว ราชนีจำนวน 1 ตัว เรือจำนวน 2 ตัว อัศวินจำนวน 2 ตัว บาทหลวงจำนวน 2 ตัว และเบี้ยจำนวน 8 ตัว



ตำแหน่งเริ่มต้น

แถวแรก : เรือ อัศวิน บาทหลวง ราชนี ราชา อัศวิน และเรือ

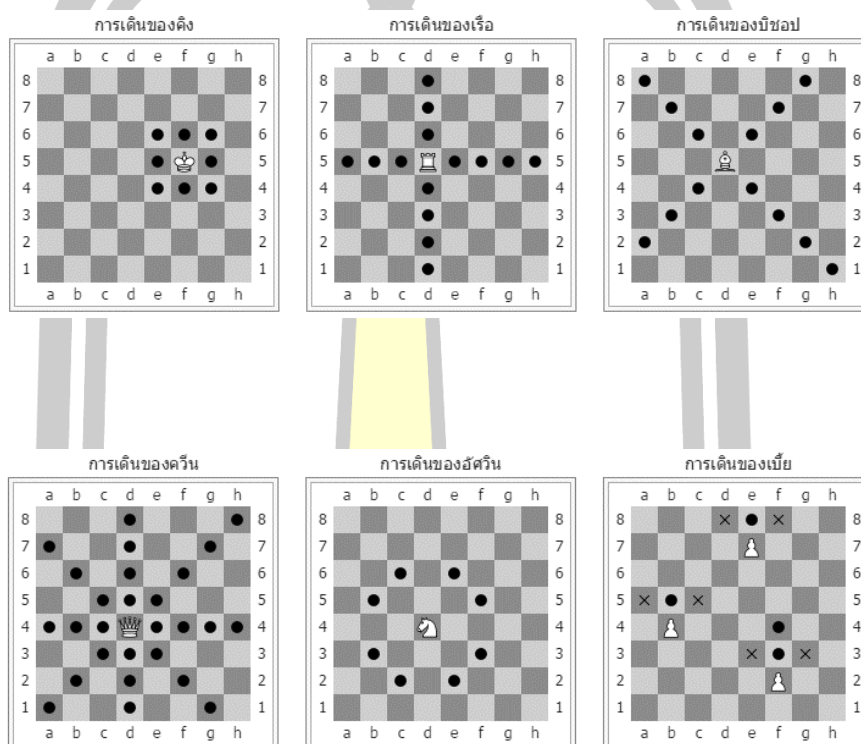
แถวที่สอง : เปี้ย

ภาพประกอบที่ 8 การตั้งกระดานหมากรุกสากล [8]

การเดินหมากมีกฎแห่งความเรียบร้อยในการเคลื่อนไหว โดยในทุกกรณี ฝ่ายขาวจะเคลื่อนหมากก่อน หากเกิดการเดินครั้งแรก จากนั้นผู้เล่นจะสลับกันเดินหมากตามลำดับ เว้นเสมอศึกษาการเข้าป้อม (Castling) ซึ่งเป็นกรณีพิเศษที่ใช้เดินหมากสองตัวในขณะเดียวกัน ในการที่หมากจะเคลื่อนที่ได้ จะต้องเป็นจุดที่ว่างเปล่าหรือจุดที่มีหมากของฝ่ายตรงข้าม หากหมากเดินไปยังจัตุรัสที่ยังไม่ถูกครอบครอง หรือจัตุรัสที่มีหมากของฝ่ายตรงข้ามอยู่แล้วก็สามารถทำได้ เมื่อหมากถึงจัตุรัสที่ดังกล่าวหมากของฝ่ายตรงข้ามจะถูกยึดและนำออกจากกระดาน เป็นการเดาหมายควมว่าหมากตัวนั้นถูกยึดโดยหมากตัวอื่นของฝ่ายตรงข้าม ทั้งหมากในทีมจะมีบทบาทที่สำคัญในการยึดหมากของฝ่ายตรงข้ามเมื่อเดินมายังจัตุรัสที่มีหมากตัวนี้ ยกเว้นกรณีของการกินผ่าน (En-Passant) ซึ่งเป็นการกินหมากฝ่ายตรงข้ามที่เดินทับผ่านตัวหมากที่เป่าหมาย ในกรณีที่ผู้เล่นไม่สามารถเดินตาที่ทำให้ตัวราชาถูกโจมตีได้จะถือว่าเกมสัจจบลง นั่นอาจเป็นการรุกจนหรือการแพ้สำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทางเดินตามกฎ นอกจากนี้หากตัวราชาถูกโจมตีหรือมีโอกาสจะถูกโจมตีในตาถัดไป ผู้เล่นจำเป็นต้องดำเนินการปกป้องตัวราชาหากไม่มีทางออก ผู้เล่นอาจจะต้องยอมแพ้หรือทำให้เกิดการเสมอกัน

แต่ละตัวของหมากจะมีลักษณะการเดินทางที่เฉพาะตัวและไม่เหมือนกัน ภายในแผนภาพที่แสดงในส่วนที่ 7 นั้นเราสามารถสังเกตเห็นเครื่องหมายจัตุรัสที่แสดงถึงสถานะที่หมากสามารถ

เคลื่อนที่ได้ โดยเงื่อนไขที่จำเป็นคือไม่มีหมากอื่น ในจัตุรัสระหว่างตำแหน่งเริ่มต้นและจุดหมายปลายทางของตัวหมากเครื่องนั้น หมายความว่า การเดินทางของหมากแต่ละตัวจะถูกควบคุมและจำกัดด้วยสภาวะในขณะนั้นที่ไม่มีการป้องกันจากตัวหมากอื่น ๆ อยู่ภายในพื้นที่ระหว่างที่หมากเคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังจุดหมายปลายทางของมันเอง



ภาพประกอบที่ 9 การเดินหมากแต่ละตัว [8]

ราชามีความสามารถในการเคลื่อนที่ได้หนึ่งช่องในทุกทิศทางตามคำสั่งของพวกเขา นอกจากนี้ยังมีเทคนิคการเคลื่อนที่พิเศษที่เรียกว่า 'การเข้าป้อม' ที่เกี่ยวข้องกับการนำเรือเข้าสู่ท่าเรือในสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อน

เรือสามารถเคลื่อนที่ได้ในแนวนอนและแนวตั้งโดยเดินผ่านช่องต่าง ๆ อย่างไม่มีข้อจำกัด อย่างไรก็ตามเมื่อเรือเข้าสู่บริเวณของป้อมรักษาฝั่ง จะต้องปฏิบัติตามกฎเกณฑ์และห้ามกระโดดข้ามหมากที่อยู่ในเส้นทาง ซึ่งการเข้าสู่ป้อมเหล่านี้เกิดขึ้นเมื่อเรือเกี่ยวข้องกับกระบวนการเดินทางที่สำคัญของคิงส์เอง

ตัวบาทหลวงสามารถเคลื่อนที่ไปในแนวทแยงได้โดยไม่มีข้อจำกัดในระยะทาง อย่างไรก็ตาม เมื่อเดินไปยังช่องใด ๆ ต้องคำนึงว่าไม่สามารถข้ามผ่านตัวหมากที่อยู่ในตำแหน่งอื่น ๆ ได้ ทั้งนี้ เพื่อรักษาความสมดุลและความเป็นธรรมในการเคลื่อนที่ของตัวบาทหลวงอย่างยั่งยืนและน่าเชื่อถือ

ตัวราชินีเล่นหน้าที่ในการผสมพันธู์ระหว่างตัวเรือและตัวบาทหลวงเข้าด้วยกันอย่างลงตัว ทรงพลัดเพลिनและสามารถเดินไปข้างหน้าได้หลายช่องทั้งในแนวแรงค์และไฟล์เดียวกัน โดยไม่มีข้อจำกัดใด ๆ เช่นกัน และยังสามารถเคลื่อนที่ในแนวทแยงได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามไม่สามารถข้ามผ่านตัวหมากอื่นไปได้

อัศวินเคลื่อนไปในทิศทางของช่องที่อยู่ใกล้ที่สุด โดยจะอยู่ในแรงค์และไฟล์เดียวกัน หรือบางครั้งอาจเคลื่อนที่แนวทแยงกันเป็นไปได้ด้วย เนื่องจากนั้น เขาจะเคลื่อนไปในรูปแบบที่เหมือนตัวอักษร "L" ซึ่งหมายถึงการเดินเข้าไปสองช่องในทิศทางตั้งและหนึ่งช่องในทิศทางนอน หรืออาจเป็นการเดินสองช่องในทิศทางนอนและหนึ่งช่องในทิศทางตั้ง สำคัญที่สุดคือ อัศวินจะเป็นหมากที่สามารถกระโดดข้ามหมากอื่นได้อย่างเฉพาะเจาะจง

ตัวเบี้ยสามารถทำการเคลื่อนไปยังตำแหน่งจัตุรัสที่ตั้งอยู่ข้างหน้าในไฟล์เดียวกัน หรือในกรณีที่มีความเหมาะสมและเป็นไปได้ ตัวเบี้ยอาจทำการเดินไปยังช่องถัดไปอีกหนึ่งช่องในไฟล์เดียวกันด้วย โดยเงื่อนไขที่ต้องเป็นจริงคือไม่มีหมากอื่น ๆ อยู่ในช่องที่ตั้งหน้าหน้าตัวเบี้ย ("●" แสดงหมากที่ไม่มีการกินในแผนภาพ) นอกจากนี้ หากเบี้ยอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมและเป็นไปได้ ก็สามารถจับหมากของข้าราชการฝ่ายตรงข้ามได้ในตำแหน่งที่ตั้งอยู่บนแนวทแยงกันของบอร์ด โดยการทำการเดินไปยังจัตุรัสนั้น ("x" แสดงการกินหมากในแผนภาพ) เป็นไปได้ว่าเบี้ยจะมีสองวิธีในการเคลื่อนที่พิเศษคือการทำการจับกินผ่านและการเลื่อนขั้นหรือการเปลี่ยนเป็นหมากอื่น (Promotion) ในกรณีนี้เบี้ยสามารถเลื่อนขั้นและเปลี่ยนเป็นหมากที่มีศักยภาพมากขึ้นได้

กระบวนการที่ชื่อ "การเข้าป้อม" (Castling) เป็นการเคลื่อนไหวพิเศษที่ชาวชนเชิฐใช้ในเกมส์หมากรุก โดยหญิงราชาและกฎระหว่างพิศุทธิ์จะร่วมกัน เพื่อดำเนินการเบ็ดเสร็จโดยรวดเร็วและปลอดภัย ขั้นตอนนี้เรียกว่า "การเข้าป้อม" ในกระบวนการนี้ ตัวราชาสามารถที่จะเดินไปยังตำแหน่งของเรือบนกระดานได้ โดยเคลื่อนที่ข้ามหนึ่งช่อง และวางตัวเรือไว้ในตำแหน่งที่ตัวราชาเคลื่อนที่ผ่านมา เป็นการสร้างการป้องกันในเวลาเร็ว การเข้าป้อมสามารถทำได้เพียงครั้งเดียวในแต่ละเกมส์ เพื่อให้การเข้าป้อมสมบูรณ์ เงื่อนไขต่อไปนี้จะต้องได้รับการปฏิบัติเป็นอย่างเคร่งครัด

- 1.) ตัวราชาและเรือที่มีบทบาทในกระบวนการนี้ต้องไม่เคยเคลื่อนที่มาก่อนในเกมส์นั้น ๆ
- 2.) ไม่มีการบังคับหรือขวางในพื้นที่ระหว่างตัวราชาและเรือที่มีบทบาทในการเข้าป้อม
- 3.) ไม่สามารถทำการเข้าป้อมได้หากการกระทำนี้ทำให้ตัวราชาอยู่ในสถานะรุก หรือทำให้ตัวราชาหลุดพ้นจากสถานะรุก หรือผ่านพื้นที่ที่ถูกรุก

ด้วยกระบวนการ "การเข้าป้อม" ที่เป็นรูปแบบการเคลื่อนที่ที่เป็นความเชื่อมโยงระหว่างตัวราชาและเรือ เกมสัหมากกรุกกลายเป็นการยิงที่มีเนื้อหาความสนุกสนานและยุติธรรมในการเล่นอย่างมาก

การกระทำ En passant หรือการยกเบี้ยผ่าน เกิดขึ้นเมื่อเบี้ยของฝั่งดำเดินหน้าไปยังช่องสองช่องจากตำแหน่งเริ่มต้น และเบี้ยของฝั่งขาวตรงข้ามสามารถกระโดดผ่านทางไฟล์ที่อยู่ติดกันในตำแหน่งปลายทาง จากนั้นเบี้ยขาวทราบเบี้ยดำนั้นขณะที่กำลังผ่าน และเดินต่อไปยังช่องที่เบี้ยดำนั้นอยู่ กระบวนการเดินดังกล่าวเป็นไปได้เฉพาะในครั้งที่ตาถัดไปเท่านั้น

เมื่อราชาถูกทำร้ายจากฝั่งตรงข้ามด้วยหมากหนึ่งหรือสองตัว สถานการณ์นั้นจะถูกเรียกว่า "ราชาถูกรุก" ด้วยคำพูดที่น่าสะเทือนเกี่ยวกับการโจมตี ส่วนฝั่งที่ทำการโจมตีจะต้องระมัดระวังและตอบโต้ด้วยการเคลื่อนไหวตามกฎระเบียบ (legal move) เพื่อป้องกันไม่ให้ราชาถูกโจมตีโดยตรง นั่นหมายถึงไม่ให้ราชาอยู่ในสถานการณ์ที่อันตรายจากการโจมตีอันไม่ครอบคลุม เมื่ออยู่ในสถานการณ์ที่ราชาถูกรุก การตอบโต้ด้วยการเคลื่อนที่ตามกฎหมายเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อป้องกันไม่ให้ราชาถูกโจมตีโดยตรง สิ่งที่ได้กล่าวมานั้นรวมถึงการรักษาการเคลื่อนที่ที่ปลอดภัยให้กับราชา แม้กระทั่งการยึดตัวหมากที่อาจกำลังจะโจมตีราชา หรือการทำให้หมากเดินทางมากลาง เพื่อป้องกันการโจมตีจากหมากที่มีตัวราชาเป็นตัวเรือหรือตัวบาทหลวง และยังรวมถึงการเลือกทางหนีไปยังช่องที่ปลอดภัยจากการโจมตีด้วยหมาก อย่างไรก็ตาม สำหรับกรณีที่เราพบว่าราชาถูกโจมตีและไม่สามารถเคลื่อนที่ตามกฎหมายได้ การเข้าป้อมเป็นทางเลือกที่ไม่สามารถใช้งานได้ ซึ่งจะยากที่จะป้องกันไม่ให้ราชาถูกโจมตีในสถานการณ์นี้ กรณีที่เราพบว่าฝั่งตรงข้ามทำการโจมตีราชาพร้อมกับเตรียมตัวทานหมากอื่น หลังจากที่เราทำได้ทำการหนีออกจากการโจมตี สถานการณ์ดังกล่าวจะถูกเรียกว่า "รุกฆาตแต่เป้าหมาย" ซึ่งแสดงถึงความตั้งใจในการล่อลวงและกล่าวลวงหน้าถึงการทำลายราชา เพื่อเอาชีวิตในเกมส์ เป้าหมายสูงสุดในเกมสนี้คือการรุกรจนทำให้ฝั่งตรงข้ามอยู่ในสถานการณ์ "รุกจน" (checkmate) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อราชาของฝั่งตรงข้ามถูกรุกและไม่สามารถเคลื่อนที่ตามกฎหมาย เพื่อป้องกันการโจมตีได้ในทุกทางเสมอ

วิธีการดำเนินของวิธีหมากกรุกสามารถสรุปได้ดังนี้ [8]

ขั้นตอนที่ 1 ทำการสุ่มคำตอบจากกลุ่มของตัวเบี้ย (n_p) จำนวน 8 ตัวเพื่อเริ่มต้นกระบวนการ โดยให้คำตอบที่ได้เป็นไปตามข้อกำหนดที่กำหนดไว้ คือ อยู่ภายในขอบเขตที่กำหนดและเป็นไปตามเงื่อนไขบังคับต่าง ๆ และกำหนดให้จำนวนรอบของการทำซ้ำ (Iteration) เป็น 1

ขั้นตอนที่ 2 วัดผลของคำตอบที่สุ่มมาจากเบี้ยได้ถูกประเมินโดยการคำนวณค่าของฟังก์ชันสำหรับแต่ละคำตอบ และจัดเรียงลำดับตามค่าของฟังก์ชันนั้น ๆ โดยในกระบวนการนี้เราได้ค้นพบคำตอบที่มีค่าของฟังก์ชันที่แย่ที่สุดอยู่บนส่วนบนของลำดับที่เรียงลำดับ

ขั้นตอนที่ 3 เริ่มจากการจัดลำดับตัวละครด้วยตัวหมากต่าง ๆ ที่ปรากฏ โดยมีราชา 1 ตัวมีอันดับแรกที่สูงสุด ตามด้วยราชินี 1 ตัว และเรือ 2 ตัว อัศวิน 2 ตัว และบาทหลวง 2 ตัว

ตามลำดับที่กำหนดให้ ในการนำเสนอนี้ ได้ใช้หมายเลขแทนการจัดลำดับเพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น โดยเริ่มต้นจากระดับหมากที่มีความสำคัญสูงสุดลงมาจนถึงหมากที่มีลำดับต่ำสุดตามลำดับที่กำหนด

ขั้นตอนที่ 4 ให้ทุกตัวหมากสำรวจคำตอบในบริเวณรอบ ๆ ตามลักษณะของการเดินของตนเอง

ขั้นตอนที่ 5 วัดผลของคำตอบในบริเวณรอบ ๆ จะถูกดำเนินการโดยการคำนวณค่าฟังก์ชันของแต่ละคำตอบและค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในบริเวณนั้น ๆ สำหรับแต่ละตัวหมากที่อยู่ในบริเวณนั้น ๆ

ขั้นตอนที่ 6 เลื่อนตำแหน่งของทุกตัวหมากรอบ ๆ ไปยังตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดตามคำตอบที่เกิดขึ้นในบริเวณรอบ ๆ

ขั้นตอนที่ 7 เปรียบเทียบคำตอบจากการค้นหาด้วยตัวหมากทุกตัว ค้นหาคำตอบที่มีค่าฟังก์ชันที่สูงที่สุดและจัดเรียงเป็นคำตอบที่ดีที่สุดในรอบการค้นหา

ขั้นตอนที่ 8 พิจารณาเงื่อนไขที่ปรากฏอยู่ในพื้นที่ปัจจุบัน ถ้าเงื่อนไขเป็นจริง ให้เริ่มทำขั้นตอนการออกจากคำตอบที่อยู่ในขอบเขตของพื้นที่ที่กำหนดไว้ (Local)

ขั้นตอนที่ 9 ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุดและพบว่าเงื่อนไขมีความเป็นจริง, กรุณาทำการหยุดการค้นหา หากไม่ตรงตามเงื่อนไข โปรดเพิ่มการรอบการทำงานซ้ำโดยทำการเพิ่ม $Iteration_{(new)}$ อีกหนึ่งรอบ $Iteration_{(new)} = Iteration + 1$

ขั้นตอนที่ 10 กำหนดตัวเบี้ยในปริมาณ n_p เป็น 8 หน่วยและเริ่มกระบวนการสุ่มคำตอบใหม่ พร้อมทั้งคำนวณค่าฟังก์ชันของคำตอบที่ได้จากการสุ่มของตัวเบี้ย

ขั้นตอนที่ 11 นำคำตอบปัจจุบันที่ดีที่สุดของหมากทุกตัว (ราชา 1 ตัว ราชนี 1 ตัว เรือ 2 ตัว อัศวิน 2 ตัว และบาทหลวง 2 ตัว และคำตอบที่เริ่มใหม่จากตัวเบี้ยทุกตัว (8 ตัว) รวมคำตอบทั้งหมด 16 ตัว ทำการจัดเรียงลำดับจากคำตอบที่ดีมากที่สุดไปหาคำตอบที่น้อยที่สุด

ขั้นตอนที่ 12 เลือกคำตอบที่ดีที่สุดจากลำดับแรก 8 รายการแล้วดำเนินขั้นตอนที่ 3 และขั้นตอนต่อไปตามลำดับ จนถึงเวลาหยุดตามเงื่อนไขที่กำหนด

3.4 การดำเนินการใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทดสอบระบบ

การออกแบบตัวควบคุม PID ของระบบโรงงานพลังงานความร้อนในสองพื้นที่นั้น ได้ถูกทำขึ้นโดยใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ซึ่งประกอบด้วยอัตราขยายสัดส่วน (K_p) อัตราขยายปริพันธ์ (K_i) และอัตราขยายอนุพันธ์ (K_d) ภายในวิทยานิพนธ์นี้ มีดัชนีสมรรถนะที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบมี 2 ประการ ดังนี้

- 1.) ปริพันธ์ของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (Integral Time-multiplied Absolute Error หรือ ITAE) ดังสมการที่ 3.2

$$ITAE = \int_0^{\infty} [|e(t)|^2] \cdot t \cdot dt \quad (3.2)$$

- 2.) ปริพันธ์ของค่าความผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (Integral Time-multiplied Square Error หรือ ITSE) ดังสมการที่ 3.3

$$ITSE = \int_0^{\infty} [e^2(t)] \cdot t \cdot dt \quad (3.3)$$

นอกจากนี้ยังได้พิจารณานำเสนอเกณฑ์สมรรถนะในโดเมนเวลา (Time domain) นั่นคือ ค่าโอเวอร์ชูต (Overshoot หรือ M_p) ช่วงเวลาขึ้น (Rise time หรือ t_r) ค่าเวลาเข้าสู่สมดุล (Settling time หรือ t_s) และค่าความผิดพลาดสถานะคงตัว (Steady state error หรือ E_{ss})

การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ในวิธีหมากรุก (Chess Algorithm) เพื่อค้นหาค่าเหมาะสมที่สุดมีความซับซ้อนและเป็นที่ทราบดีอย่างมาก การทดสอบและประเมินผลขึ้นอยู่กับขั้นตอนที่ถูกเลือกในขั้นตอนแรกของการค้นหา การทดสอบหลายรอบเป็นประการที่สำคัญ เพื่อความเสถียรและเพื่อลดผลกระทบจากสุ่มค่าเริ่มต้น ความซับซ้อนของวิธีหมากรุกทำให้เราต้องพิจารณาคำตอบที่ได้จากแต่ละรอบโดยละเอียด การวิเคราะห์การลู่เข้าของคำตอบสุดท้ายต้องพิจารณาหลายปัจจัย เช่น ประสิทธิภาพ เวลาที่ใช้ในการคำนวณ และความเสถียรของการหาคำตอบ

ด้วยเหตุนี้ การทดสอบที่รวบรวมข้อมูลจากการหาค่าพารามิเตอร์ในวิธีหมากรุกถูกทำให้เป็นที่ยอมรับในทางวิทยาศาสตร์ การทดสอบทั้งหมด 30 ครั้ง ครั้งละ 1,000 รอบ ช่วยให้เราทราบถึงความคงเส้นคงวาของวิธีการและลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากคำตอบที่เริ่มต้นและการสุ่ม

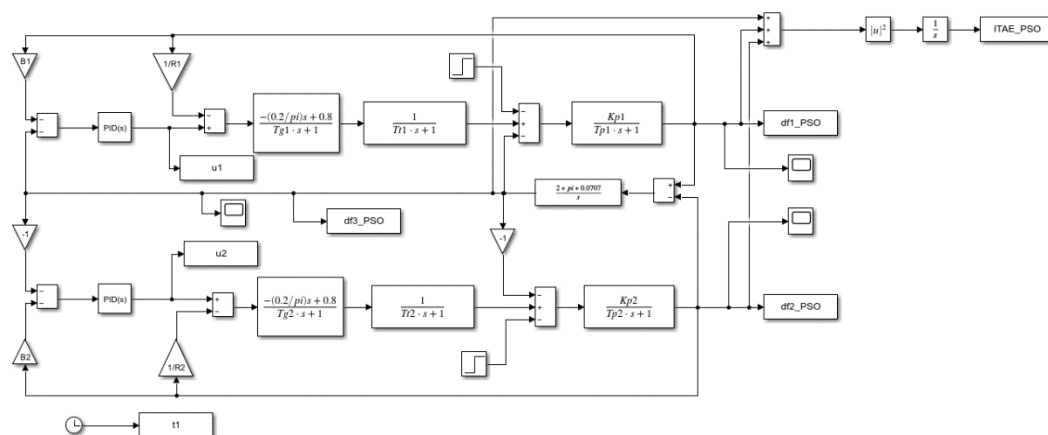
พูน ปณ จิโต ชีเว

บทที่ 4

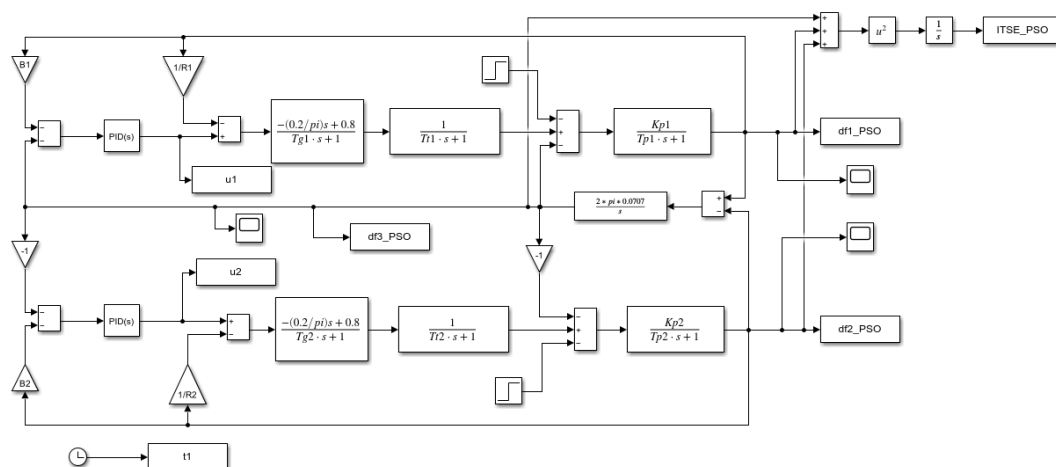
ผลการวิจัยและการอภิปราย

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ ได้มีการปรับปรุงและนำเสนอการแยกแยะขั้นตอนการทดลองสำหรับการวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมในรูปแบบที่เชื่อถือได้ โดยใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK เพื่อจำลองและวิเคราะห์การเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่แบบไม่เชิงเส้น การทดลองถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก ๆ คือ การออกแบบตัวควบคุมพีไอดีด้วยวิธีฝูงอนุภาค และการออกแบบตัวควบคุมพีไอดีด้วยวิธีหามารุก ผลการทดลองได้แสดงให้เห็นถึงผลตอบสนองพลวัตและการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของโหลดแบบอิสระในสถานการณ์ต่าง ๆ

4.1 การออกแบบตัวควบคุมพีไอดีด้วยวิธีฝูงอนุภาค



ภาพประกอบที่ 10 การจำลองการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่แบบไม่เชิงเส้น
ปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีฝูงอนุภาค โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITAE



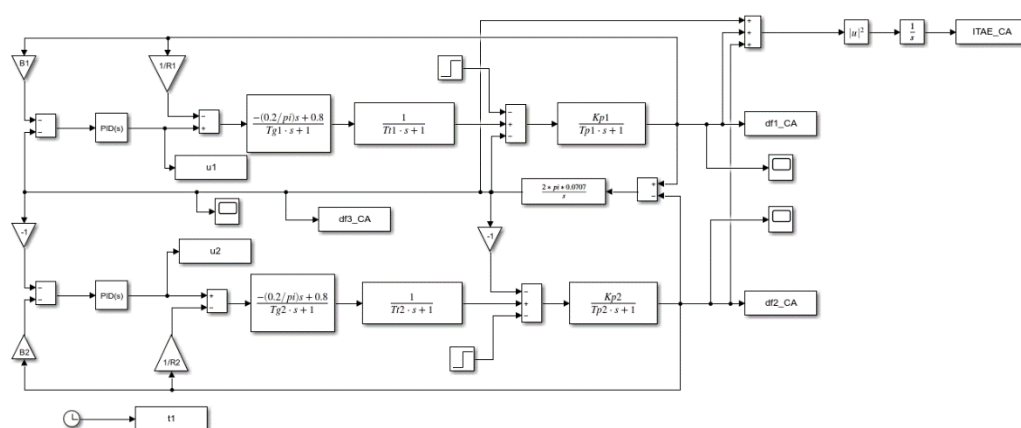
ภาพประกอบที่ 11 การจำลองการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่แบบไม่เชิงเส้น
ปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีฝูงอนุภาค โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITSE

จากภาพประกอบที่ 11 และ 12 สามารถสังเกตการณ์การจำลองการดำเนินงานด้วยเทคนิควิธีฝูงอนุภาค เพื่อออกแบบค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมพีไอดี โดยการปรับจูนพารามิเตอร์ของโรงไฟฟ้าทั้งสองพื้นที่พร้อมกัน การทดสอบการดำเนินงานของโรงไฟฟ้าได้รับการกำหนดให้โหลดมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยเท่านั้น เช่น 0.01 p.u. MW ในพื้นที่ที่ 1 และ 0.00 p.u. MW ในพื้นที่ที่ 2 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองนี้ประกอบไปด้วยการเบี่ยงเบนความถี่ในทั้งพื้นที่ที่ 1 และ 2 รวมถึงการเบี่ยงเบนของกำลังในสายส่ง การประเมินผลเบี่ยงเบนนั้นทำได้โดยใช้ฟังก์ชันกำลังของวัตถุประสงค์ 2 แบบคือ Integral of Time-weighted Absolute Error (ITAE) และ Integral of Time-weighted Squared Error (ITSE) ผลที่ได้จากการทดสอบการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 7

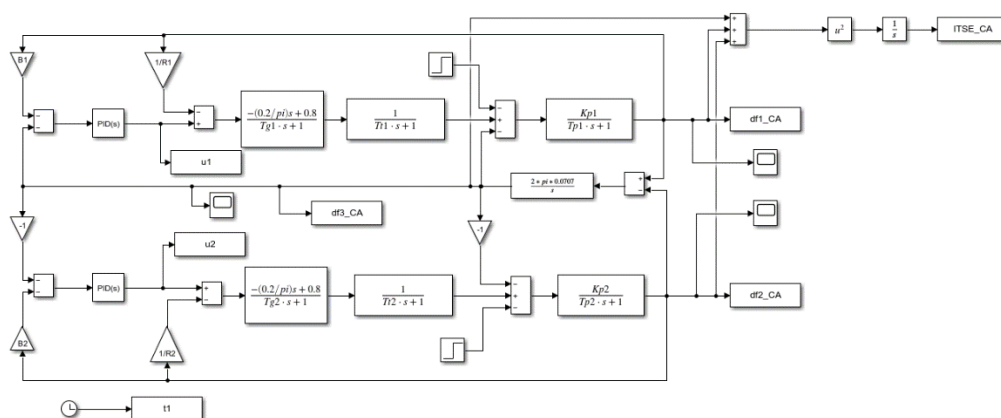
ตารางที่ 7 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอดี ด้วยเทคนิควิธีฝูงอนุภาค

Optimization Technique / Controller Parameters		ITAE	ITSE
Particle Swarm Optimization	K_p	1.0828	1.3582
	K_i	3.0371	4.7225
	K_d	0.8706	1.2624

4.2 การออกแบบตัวควบคุมพีไอดีด้วยวิธีหามาตร



ภาพประกอบที่ 12 การจำลองการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่แบบไม่เชิงเส้น
ปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีหามาตร โดยใชฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITAE



ภาพประกอบที่ 13 การจำลองการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่แบบไม่เชิงเส้น
ปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีหามาตร โดยใชฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITSE

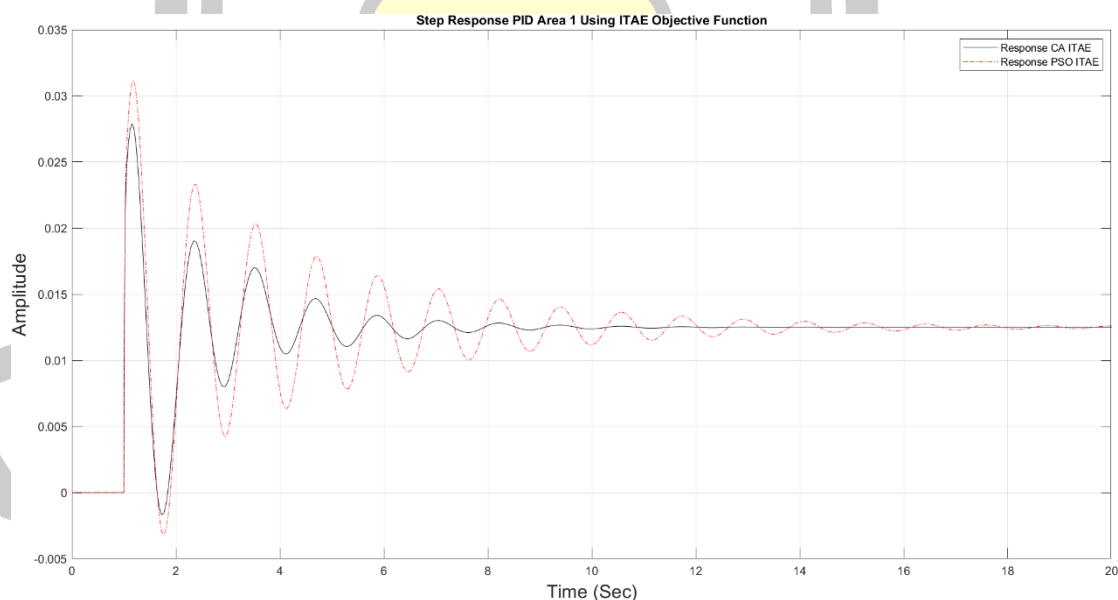
จากภาพประกอบที่ 13 และ 14 สามารถสังเกตการณ์การจำลองการดำเนินงานด้วยเทคนิควิธีหามาตร เพื่อออกแบบหาค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมพีไอดี โดยการปรับจูนพารามิเตอร์ของโรงไฟฟ้าทั้งสองพื้นที่พร้อมกัน การทดสอบการดำเนินงานของโรงไฟฟ้าได้รับการ

กำหนดให้โหลดมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยเท่านั้น เช่น 0.01 p.u. MW ในพื้นที่ที่ 1 และ 0.00 p.u. MW ในพื้นที่ที่ 2 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองนี้ ประกอบไปด้วยการเบี่ยงเบนความถี่ในพื้นที่ที่ 1 และ 2 รวมถึงการเบี่ยงเบนของกำลังในสายส่ง การประเมินผลเบี่ยงเบนนั้นทำได้โดยใช้ฟังก์ชันกำลังของวัตถุประสงค์ 2 แบบคือ Integral of Time-weighted Absolute Error (ITAE) และ Integral of Time-weighted Squared Error (ITSE) ผลที่ได้จากการทดสอบการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 8

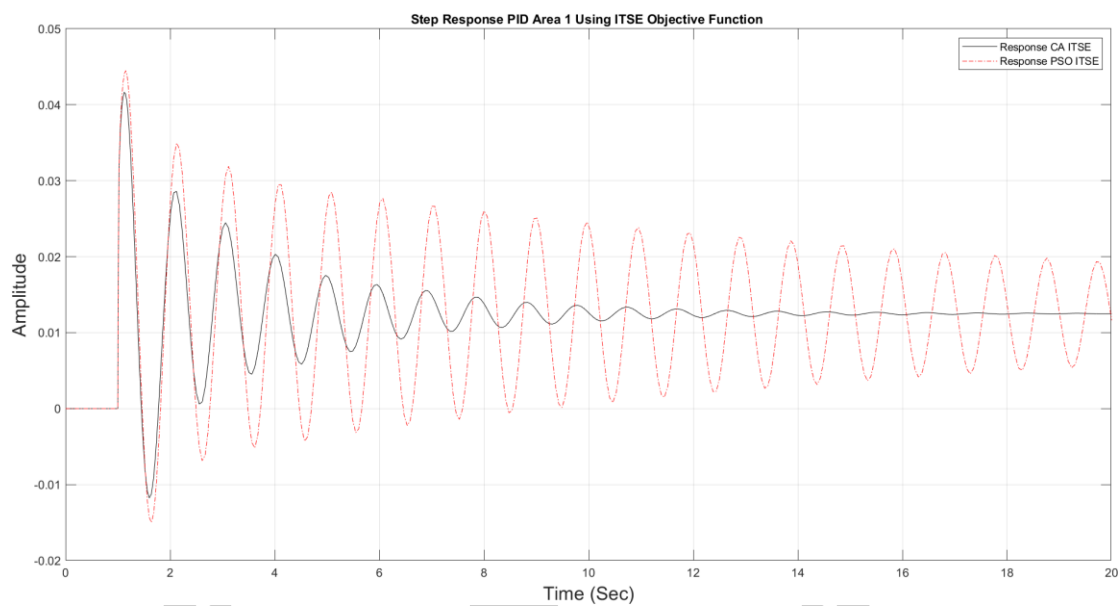
ตารางที่ 8 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอดี ด้วยเทคนิควิธีหามากรุก

Optimization Technique/Controller Parameters		ITAE	ITSE
Chess Algorithm	K_p	0.6451	0.7247
	K_i	2.2171	3.8523
	K_d	0.8435	1.2678

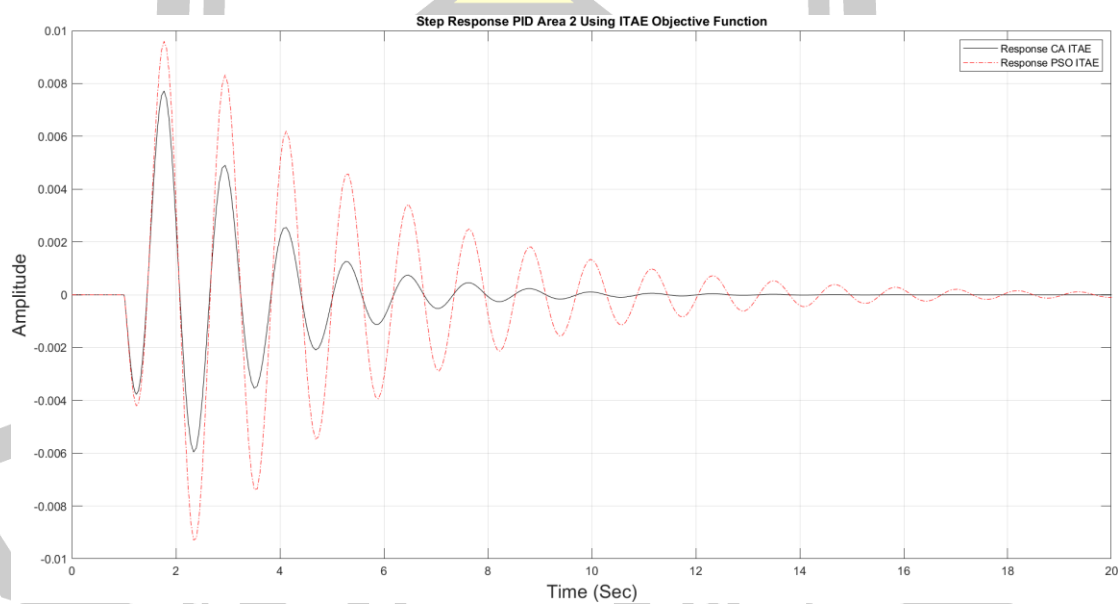
4.3 การตอบสนองพลวัต



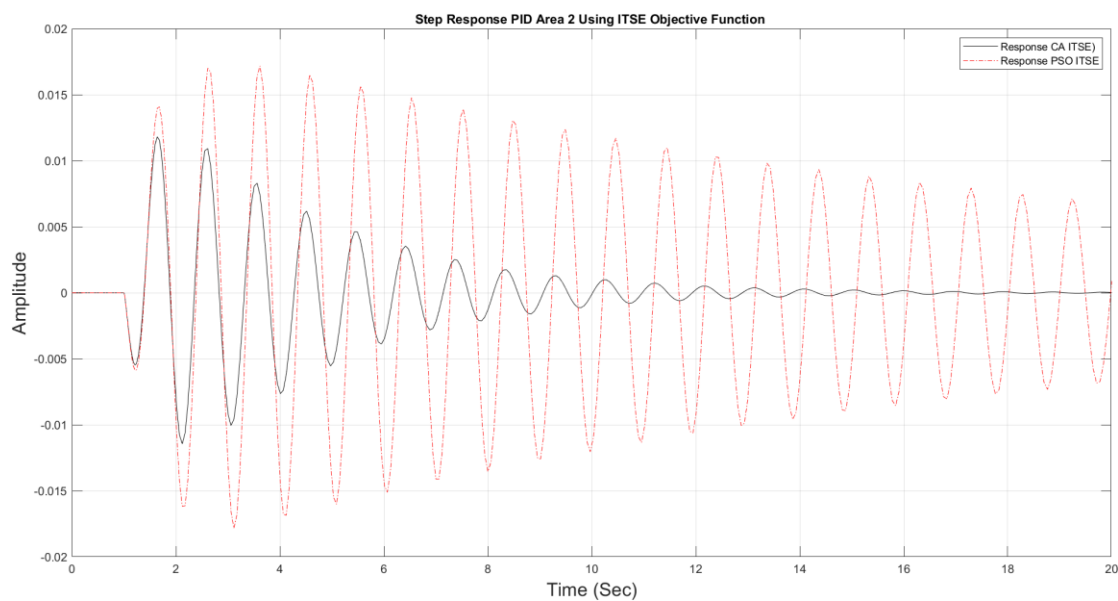
ภาพประกอบที่ 14 การตอบสนองขั้นบันไดของตัวควบคุมพีไอดี ในพื้นที่ 1 สำหรับการเชื่อมโยงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITAE



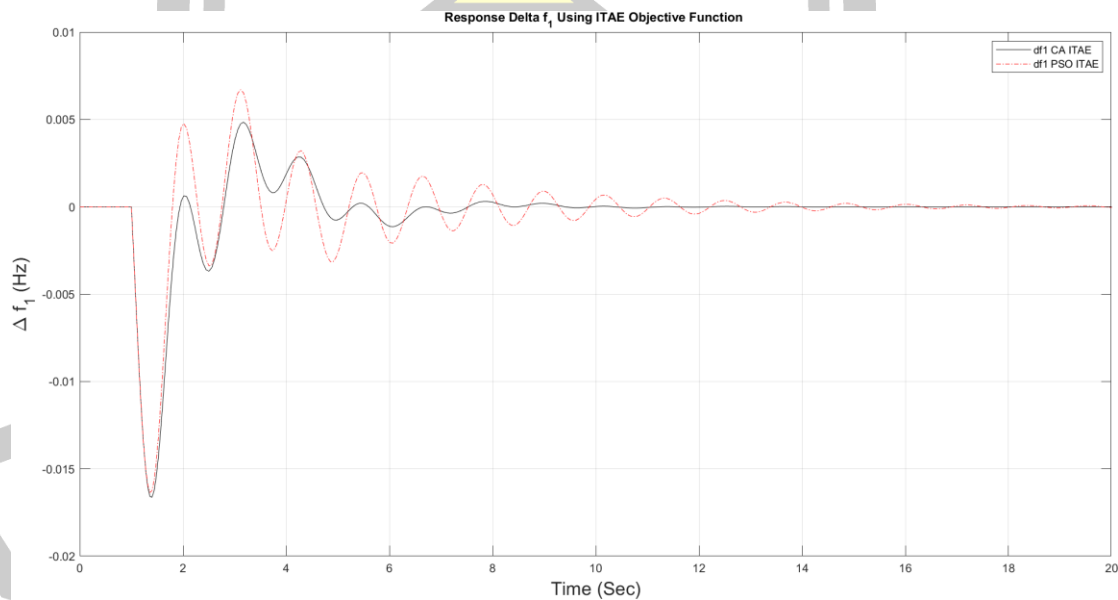
ภาพประกอบที่ 15 การตอบสนองขั้นบันไดของตัวควบคุมพีไอดี ในพื้นที่ 1 สำหรับการเชื่อมโยงไฟฟ้า
พลังงานความร้อน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITSE



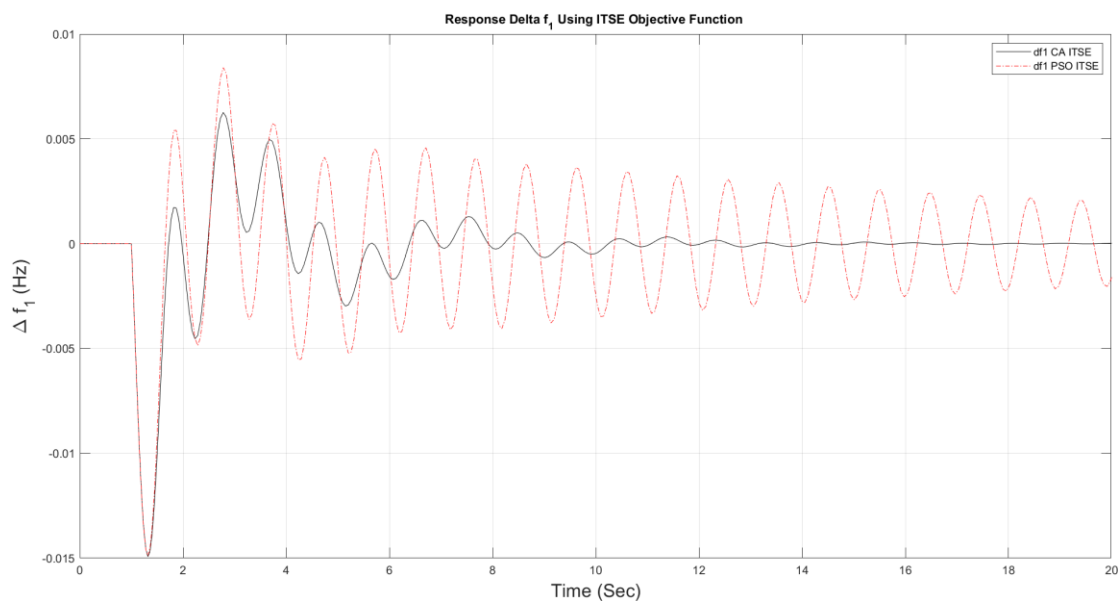
ภาพประกอบที่ 16 การตอบสนองขั้นบันไดของตัวควบคุมพีไอดี ในพื้นที่ 2 สำหรับการเชื่อมโยงไฟฟ้า
พลังงานความร้อน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITAE



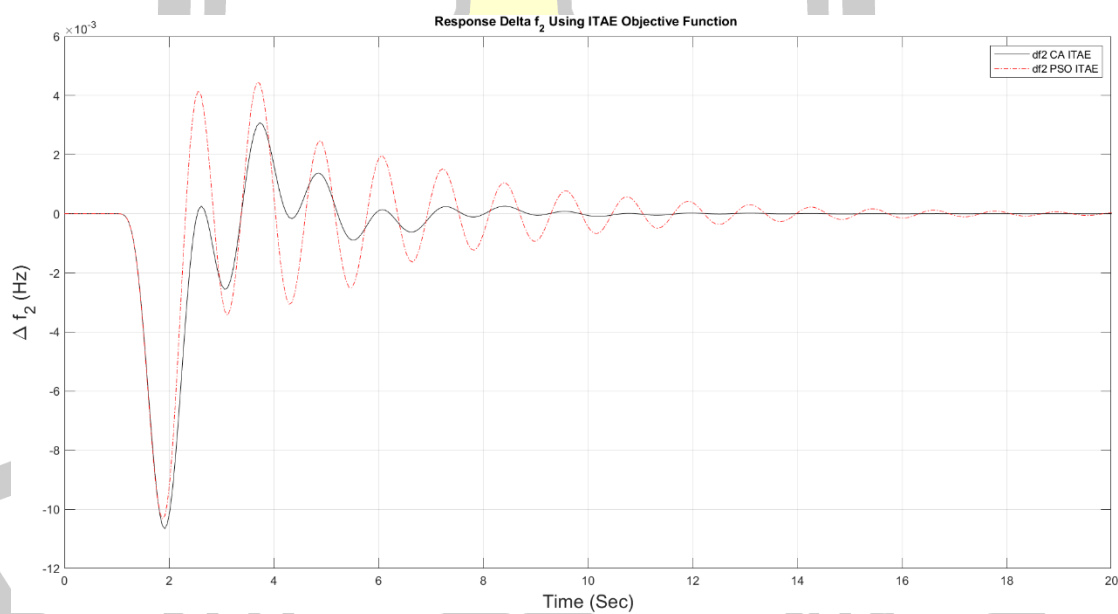
ภาพประกอบที่ 17 การตอบสนองขั้นบันไดของตัวควบคุมพีไอดี ในพื้นที่ 2 สำหรับการเชื่อมโยงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITSE



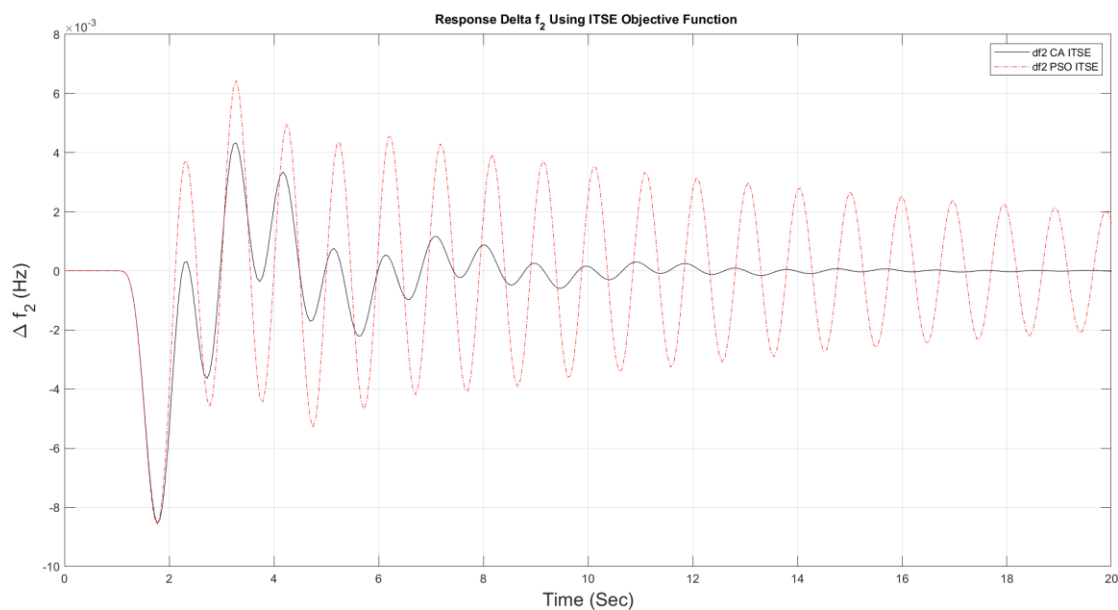
ภาพประกอบที่ 18 การเบี่ยงความถี่ในพื้นที่ที่ 1 สำหรับการเชื่อมโยงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITAE



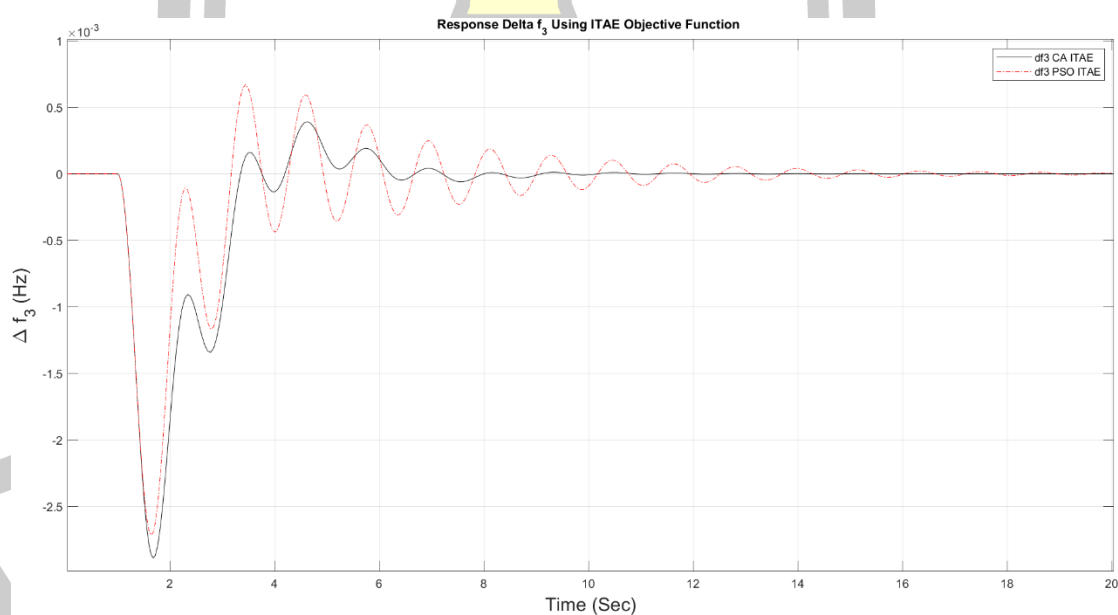
ภาพประกอบที่ 19 การเบี่ยงความถี่ในพื้นที่ที่ 1 สำหรับการเชื่อมโยงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุ ITSE



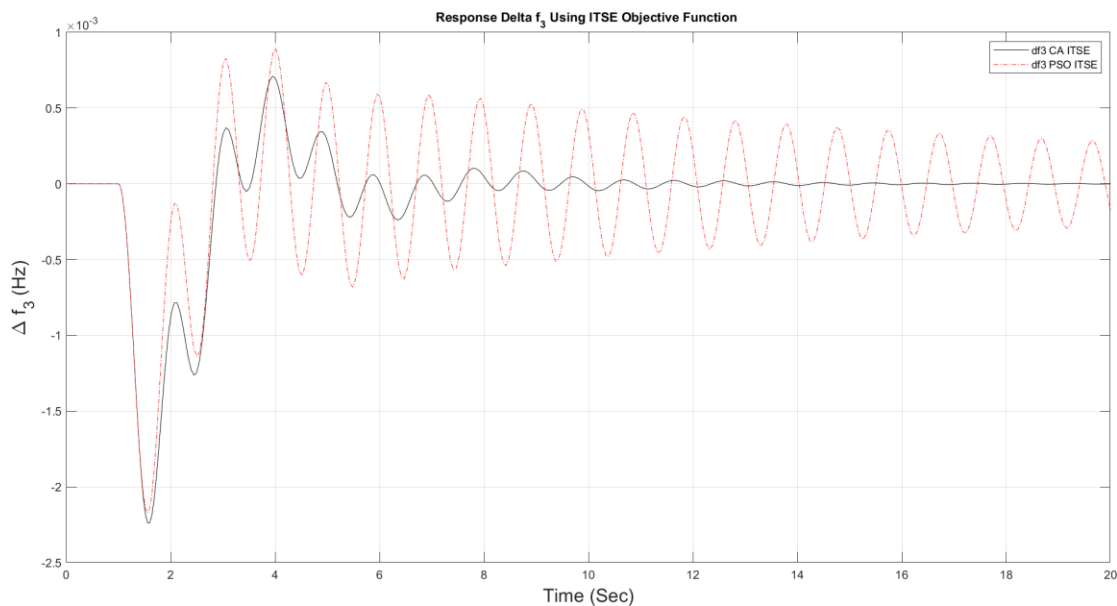
ภาพประกอบที่ 20 การเบี่ยงความถี่ในพื้นที่ที่ 2 สำหรับการเชื่อมโยงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุ ITAE



ภาพประกอบที่ 21 การเบี่ยงความถี่ในพื้นที่ที่ 2 สำหรับการเชื่อมโยงไฟฟ้าพลังงานความร้อน
โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุ ITSE



ภาพประกอบที่ 22 การเบี่ยงความถี่ในพื้นที่ที่ 3 สำหรับการเชื่อมโยงไฟฟ้าพลังงานความร้อน
โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุ ITAE



ภาพประกอบที่ 23 การเบี่ยงความถี่ในพื้นที่ที่ 3 สำหรับการเชื่อมโยงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุ ITAE

4.4 การวิเคราะห์การตอบสนองพลวัต

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบพลวัตตอบสนองค่าลูกคลื่นสูงสุด (Peak Overshoot)

เทคนิคการออกแบบ	ค่าลูกคลื่นสูงสุด (OS)		
	Δf_1 (Hz)	Δf_2 (Hz)	Δf_3 (Hz)
เทคนิควิธีหามารุก (ITSE)	0.0149	0.0085	0.0022
เทคนิคฝูงอนุภาค (ITSE)	0.0149	0.0086	0.0022
เทคนิควิธีหามารุก (ITAE)	0.0166	0.0107	0.0029
เทคนิคฝูงอนุภาค (ITAE)	0.0164	0.0103	0.0027

จากตารางที่ 9 เปรียบเทียบพลวัตตอบสนองค่าลูกคลื่นสูงสุด (Peak Overshoot) ประกอบไปด้วยผลลัพธ์จากการเบี่ยงเบนความถี่ในพื้นที่ที่ 1 (Δf_1) การเบี่ยงเบนความถี่ในพื้นที่ที่ 2 (Δf_2) และการเบี่ยงเบนของกำลังในสายส่งเชื่อมต่อ (Δf_3) ที่แตกต่างกัน 4 เทคนิคการออกแบบ คือ เทคนิควิธีฝูงอนุภาคและเทคนิควิธีหามารุก ที่ทดสอบกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 คือ Integral of Time-weighted Absolute Error (ITAE) กับ เทคนิควิธีฝูงอนุภาคและเทคนิควิธีหามารุก ที่ทดสอบกับ

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 คือ Integral of Time-weighted Squared Error (ITSE) ผลปรากฏว่าเทคนิควิธีหามารุกมีค่าลูกคลื่นสูงสุดของการเบี่ยงเบนในพื้นที่ที่ 1 มากที่สุด เมื่อเทียบกับเทคนิคอื่น ๆ

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบพลวัตการตอบสนองค่าเวลาเข้าที่ 2% band

เทคนิคการออกแบบ	ค่าเวลาเข้าที่ 2% band		
	Δf_1 (Hz)	Δf_2 (Hz)	Δf_3 (Hz)
เทคนิควิธีหามารุก (ITSE)	208.4378	218.0509	189.1058
เทคนิคฝูงอนุภาค (ITSE)	340.6580	340.8762	340.9350
เทคนิควิธีหามารุก (ITAE)	139.6686	161.2796	145.5203
เทคนิคฝูงอนุภาค (ITAE)	227.9704	264.9829	223.5317

จากตารางที่ 10 เปรียบเทียบพลวัตการตอบสนองค่าเวลาเข้าที่ 2% band ประกอบไปด้วยผลลัพธ์จากการเบี่ยงเบนความถี่ในพื้นที่ที่ 1 (Δf_1) การเบี่ยงเบนความถี่ในพื้นที่ที่ 2 (Δf_2) และการเบี่ยงเบนของกำลังในสายส่งเชื่อมต่อ (Δf_3) ที่แตกต่างกัน 4 เทคนิคการออกแบบ คือ เทคนิควิธีฝูงอนุภาคและเทคนิควิธีหามารุก ที่ทดสอบกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 คือ Integral of Time-weighted Absolute Error (ITAE) กับ เทคนิควิธีฝูงอนุภาคและเทคนิควิธีหามารุก ที่ทดสอบกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 คือ Integral of Time-weighted Squared Error (ITSE) ผลปรากฏว่าเทคนิควิธีหามารุกมีค่าสนองค่าเวลาเข้าที่ 2% bandของการเบี่ยงเบนในพื้นที่ที่ 1 น้อยที่สุด เมื่อเทียบกับเทคนิคอื่น ๆ

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบพลวัตการตอบสนองค่าความคลาดเคลื่อน

เทคนิคการออกแบบ	Error
เทคนิควิธีหามารุก (ITSE)	0.000300
เทคนิคฝูงอนุภาค (ITSE)	0.002200
เทคนิควิธีหามารุก (ITAE)	0.000369
เทคนิคฝูงอนุภาค (ITAE)	0.000490

จากตารางที่ 11 เปรียบเทียบพลวัตการตอบสนองค่าความคลาดเคลื่อน ประกอบไปด้วยผลลัพธ์จากการเบี่ยงเบนความถี่ในพื้นที่ที่ 1 (Δf_1) การเบี่ยงเบนความถี่ในพื้นที่ที่ 2 (Δf_2) และการเบี่ยงเบน

ของกำลังในสายส่งเชื่อมต่อ (Δf_3) ที่แตกต่างกัน 4 เทคนิคการออกแบบ คือ เทคนิควิธีฝูงอนุภาคและเทคนิควิธีหามารุก ที่ทดสอบกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 คือ Integral of Time-weighted Absolute Error (ITAE) กับ เทคนิควิธีฝูงอนุภาคและเทคนิควิธีหามารุก ที่ทดสอบกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 คือ Integral of Time-weighted Squared Error (ITSE) ผลปรากฏว่า เทคนิควิธีหามารุกมีค่าความคลาดเคลื่อน น้อยที่สุด เมื่อเทียบกับเทคนิคอื่น ๆ

4.5 สรุปผล

จากการจำลองการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่แบบไม่เชิงเส้นพบว่าการออกแบบหาค่าเหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์ตัวควบคุมชนิดพีไอดี ด้วยวิธีหามารุกแสดงให้เห็นว่าได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธีฝูงอนุภาคในหลายด้าน การปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีหามารุกช่วยให้ได้เวลาเข้าคงที่และค่าลูกคลื่นสูงสุดที่ดีที่สุด นอกจากนี้ ผลลัพธ์ของการจำลองทั้งในภาคส่วนและภาคบวกของระบบมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าในทุกด้านในทั้งฟังก์ชันวัตถุประสงค์แบบ ITAE และ ITSE

นอกจากนี้ การปรับจูนพารามิเตอร์ด้วยวิธีหามารุกยังสามารถให้ผลลัพธ์ของการจำลองที่มีความผิดพลาดรวมที่ต่ำกว่า ทั้งในการเบี่ยงเบนความถี่ในทั้งสองพื้นที่และการเบี่ยงเบนของกำลังในสายส่งเชื่อมต่อ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงความประสพการณ์ที่ดีที่สุดในการออกแบบและจำลองระบบไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสถานการณ์ที่มีการปรับจูนพารามิเตอร์ด้วยวิธีหามารุก



บทที่ 5

บทสรุป

5.1 อภิปรายผล

จากผลลัพธ์ที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยจำลองการดำเนินงานของการเชื่อมโยงระบบโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่ ออกแบบค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ตัวควบคุม PID ด้วยวิธีหามาตรก พบว่ามีประสิทธิภาพในการออกแบบและหาค่าตอบที่ดีกว่าวิธีฝูงอนุภาค ทั้งในด้านการออกแบบและผลลัพธ์ของการจำลอง โดยวิธีหามาตรกสามารถปรับพารามิเตอร์ตัวควบคุมที่ได้เหมาะสมกว่าวิธีฝูงอนุภาค ส่งผลให้การออกแบบและจำลองด้วยวิธีหามาตรกได้ผลลัพธ์ของการจำลองที่ดีกว่าวิธีฝูงอนุภาค สมรรถนะของตัวควบคุมที่ดีขึ้นส่งผลต่อสมรรถนะโดยรวม ในการควบคุมการผลิตไฟฟ้าอัตโนมัติ โดยสามารถรักษาความถี่ของระบบให้มีเสถียรภาพ (Stability) และมีความน่าเชื่อถือ (Reliability) ต่อระบบโดยรวมของระบบไฟฟ้ากำลัง ตั้งแต่ระบบผลิตกำลังไฟฟ้า ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ตลอดจนระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าที่ดีขึ้น

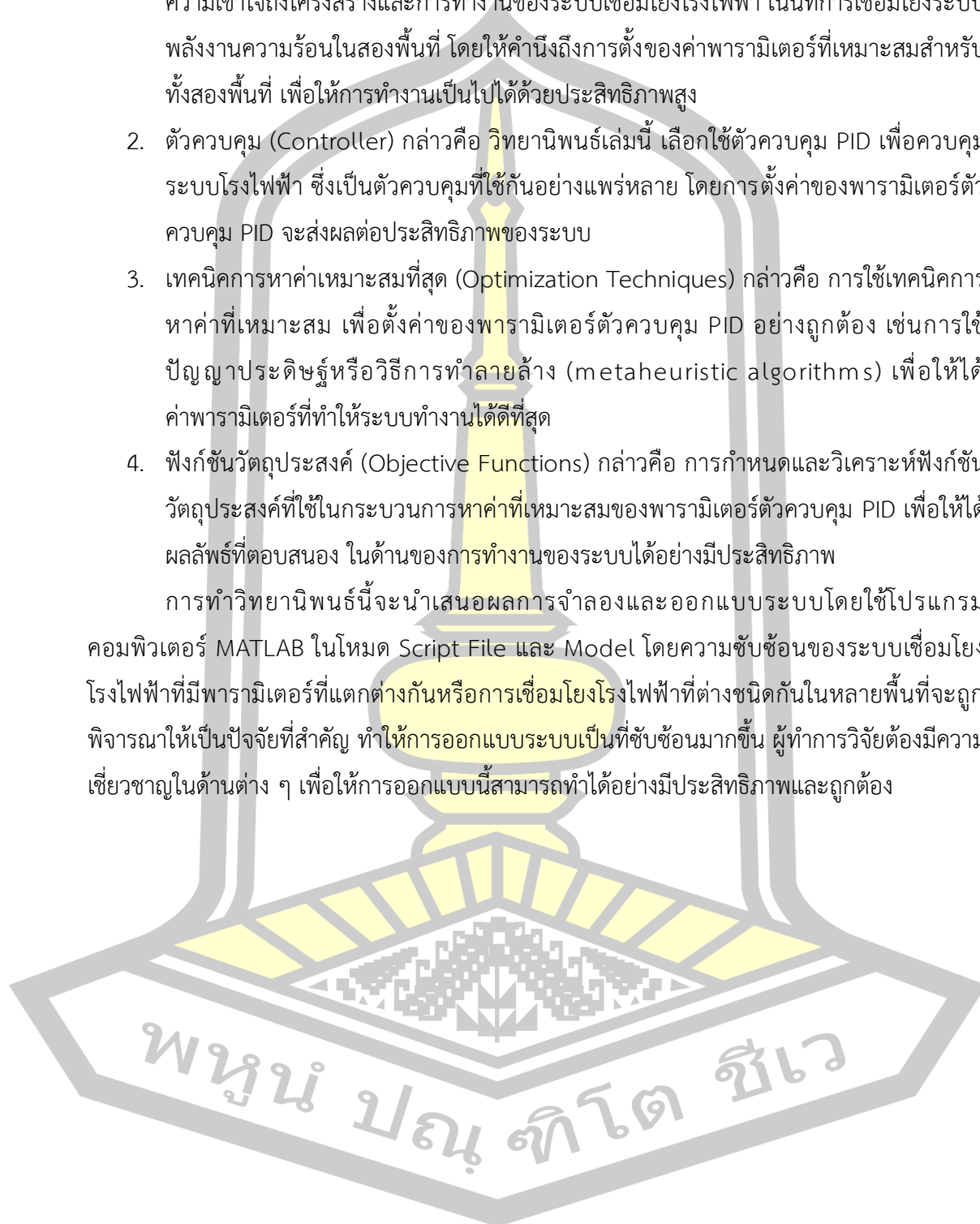
การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองด้วยวิธีหามาตรกเป็นที่สำคัญ เนื่องจากพบว่า วิธีนี้มีประสิทธิภาพ และยังสามารถในการตั้งค่าของพารามิเตอร์ตัวควบคุม PID ที่ได้ผลลัพธ์ที่ดีทั้งในด้านความเสถียรภาพและประสิทธิภาพของระบบ นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีหามาตรกสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ได้เหมาะสมและไวเร็วกว่าวิธีฝูงอนุภาค ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีหามาตรกนี้สามารถนำมาใช้ในการควบคุมการผลิตไฟฟ้าอัตโนมัติอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อรักษาความเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้ากำลัง ทำให้มีประสิทธิภาพการผลิตและจัดจำหน่ายไฟฟ้าที่ดีขึ้น การนำเสนอผลลัพธ์นี้ในมุมมองทางวิชาการช่วยเสริมสร้างความเชื่อมั่นในการใช้วิธีหามาตรก เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในด้านออกแบบตัวควบคุมพีไอดี ของระบบพลังงานความร้อนร่วมในโรงไฟฟ้าสองพื้นที่

5.2 ข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาและพัฒนาการดำเนินการประยุกต์ใช้วิธีหามาตรกในการออกแบบค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ตัวควบคุม PID สำหรับเชื่อมโยงระบบโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่ที่มีลักษณะเดียวกัน โดยทำการวิจัยใน 4 หัวข้อหลักดังนี้

1. ระบบเชื่อมโยงโรงไฟฟ้า (Interconnected Power System) กล่าวคือ การวิเคราะห์และทำความเข้าใจถึงโครงสร้างและการทำงานของระบบเชื่อมโยงโรงไฟฟ้า เน้นที่การเชื่อมโยงระบบพลังงานความร้อนในสองพื้นที่ โดยให้คำนึงถึงการตั้งของค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับทั้งสองพื้นที่ เพื่อให้การทำงานเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง
2. ตัวควบคุม (Controller) กล่าวคือ วิทยานิพนธ์เล่มนี้ เลือกใช้ตัวควบคุม PID เพื่อควบคุมระบบโรงไฟฟ้า ซึ่งเป็นตัวควบคุมที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยการตั้งค่าของพารามิเตอร์ตัวควบคุม PID จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบ
3. เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization Techniques) กล่าวคือ การใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสม เพื่อตั้งค่าของพารามิเตอร์ตัวควบคุม PID อย่างถูกต้อง เช่นการใช้ปัญญาประดิษฐ์หรือวิธีการทำลายล้าง (metaheuristic algorithms) เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ระบบทำงานได้ดีที่สุด
4. ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Functions) กล่าวคือ การกำหนดและวิเคราะห์ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ตัวควบคุม PID เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ตอบสนอง ในด้านของการทำงานของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การทำวิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอผลการจำลองและออกแบบระบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB ในโหมด Script File และ Model โดยความซับซ้อนของระบบเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าที่มีพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันหรือการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าที่ต่างชนิดกันในหลายพื้นที่จะถูกพิจารณาให้เป็นปัจจัยที่สำคัญ ทำให้การออกแบบระบบเป็นที่ซับซ้อนมากขึ้น ผู้ทำการวิจัยต้องมีความเชี่ยวชาญในด้านต่าง ๆ เพื่อให้การออกแบบนี้สามารถทำได้มีประสิทธิภาพและถูกต้อง



บรรณานุกรม

- [1] M. G. Uddin, S. Nash, A. Rahman, and A. I. Olbert, "Assessing optimization techniques for improving water quality model," *Journal of Cleaner Production*, vol. 385, p. 135671, 2023.
- [2] H.-T. Yang, P.-C. Yang, and C.-L. Huang, "Evolutionary programming based economic dispatch for units with non-smooth fuel cost functions," *IEEE transactions on Power Systems*, vol. 11, no. 1, pp. 112-118, 1996.
- [3] K. Mamandur and R. Chenoweth, "Optimal control of reactive power flow for improvements in voltage profiles and for real power loss minimization," *IEEE transactions on power apparatus and systems*, no. 7, pp. 3185-3194, 1981.
- [4] H. Saadat, *Power system analysis*. McGraw-hill, 1999.
- [5] N. R. Jennings and M. Wooldridge, "Applications of intelligent agents," *Agent technology: foundations, applications, and markets*, pp. 3-28, 1998.
- [6] P. S. Kundur and O. P. Malik, *Power system stability and control*. McGraw-Hill Education, 2022.
- [7] T. Huynh-The, Q.-V. Pham, X.-Q. Pham, T. T. Nguyen, Z. Han, and D.-S. Kim, "Artificial intelligence for the metaverse: A survey," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 117, p. 105581, 2023.
- [8] K. Pothiya and W. Sa-ngiamvibool, "Chess Algorithm Optimization Technique," Mahasarakham University, 2019.
- [9] A. Von Meier, *Electric power systems: a conceptual introduction*. John Wiley & Sons, 2006.
- [10] Z. Wang, G. Fang, X. Wen, Q. Tan, P. Zhang, and Z. Liu, "Coordinated operation of conventional hydropower plants as hybrid pumped storage hydropower with wind and photovoltaic plants," *Energy Conversion and Management*, vol. 277, p. 116654, 2023.
- [11] J. Blanquiceth, J. Cardemil, M. Henríquez, and R. Escobar, "Thermodynamic evaluation of a pumped thermal electricity storage system integrated with large-scale thermal power plants," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.

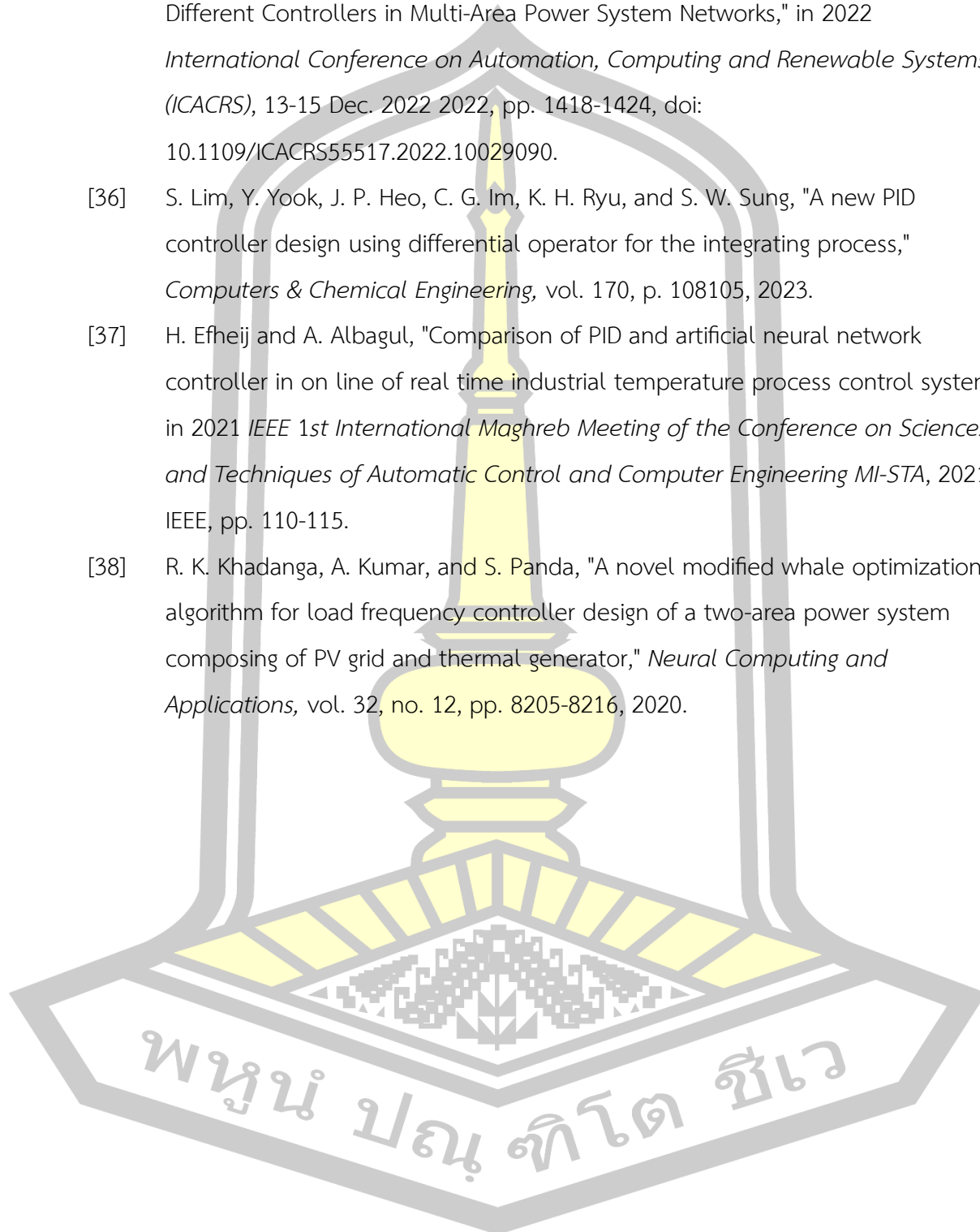
175, p. 113134, 2023.

- [12] A. F. Kareem, A. Akroot, H. A. Abdul Wahhab, W. Talal, R. M. Ghazal, and A. Alfaris, "Exergo–Economic and Parametric Analysis of Waste Heat Recovery from Taji Gas Turbines Power Plant Using Rankine Cycle and Organic Rankine Cycle," *Sustainability*, vol. 15, no. 12, p. 9376, 2023.
- [13] R. Kehlhofer, "Combined-cycle gas and steam turbine power plants," 1991.
- [14] S. Mondal, A. Saha, and S. De, "Optimum operations and performance comparison of CO₂-propane and CO₂-R152a mixture-based transcritical power cycles recovering diesel power plant waste heat," *Clean Technologies and Environmental Policy*, pp. 1-16, 2023.
- [15] I. Jamil, H. Lucheng, S. Habib, M. Aurangzeb, E. M. Ahmed, and R. Jamil, "Performance evaluation of solar power plants for excess energy based on energy production," *Energy Reports*, vol. 9, pp. 1501-1534, 2023.
- [16] M. Basu, J. Kim, R. M. Nelms, and E. Muljadi, "Coordination of Utility-scale PV Plant and Wind Power Plant in Interarea-Oscillation Damping," *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2023.
- [17] G. F. Franklin, J. D. Powell, A. Emami-Naeini, and J. D. Powell, *Feedback control of dynamic systems*. Prentice hall Upper Saddle River, 2002.
- [18] R. P. Borase, D. Maghade, S. Sondkar, and S. Pawar, "A review of PID control, tuning methods and applications," *International Journal of Dynamics and Control*, vol. 9, pp. 818-827, 2021.
- [19] U. Cem, E. B. Duygun, and H. D. Gurhan, "Transfer Function Based Controller Design," in *Embedded Digital Control with Microcontrollers: Implementation with C and Python*: IEEE, 2021, pp. 183-225.
- [20] K. Ogata, "Modern control engineering," *Book Reviews*, vol. 35, no. 1181, p. 1184, 1999.
- [21] F. Isdaryani, F. Feriyonika, and R. Ferdiansyah, "Comparison of Ziegler-Nichols and Cohen Coon tuning method for magnetic levitation control system," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, vol. 1450, no. 1: IOP Publishing, p. 012033.
- [22] S. Yi, P. W. Nelson, and A. G. Ulsoy, *Time-delay systems: analysis and control*

using the Lambert W function. World Scientific, 2010.

- [23] P. Chotikunnnan and R. Chotikunnnan, "Dual design PID controller for robotic manipulator application," *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 4, no. 1, pp. 23-34, 2023.
- [24] S. S. Rao, *Engineering optimization: theory and practice*. John Wiley & Sons, 2019.
- [25] D. W. Marquardt, "An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters," *Journal of the society for Industrial and Applied Mathematics*, vol. 11, no. 2, pp. 431-441, 1963.
- [26] J. Nocedal and S. J. Wright, *Numerical optimization*. Springer, 1999.
- [27] D. Bertsimas and J. N. Tsitsiklis, *Introduction to linear optimization*. Athena scientific Belmont, MA, 1997.
- [28] J. Shapiro, "Genetic algorithms in machine learning," in *Advanced Course on Artificial Intelligence*: Springer, 1999, pp. 146-168.
- [29] S. Xu, *Principles of statistical genomics*. Springer, 2013.
- [30] P. Shi, "PID parameter tuning based on improved particle swarm optimization algorithm," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2023, vol. 2493, no. 1: IOP Publishing, p. 012005.
- [31] N. J. Singh, V. Chopra, S. Pandey, and S. Singh, "Artificial bee colony with predator effect algorithm for PID controller tuning," 2022.
- [32] V. Chole and V. Gadicha, "Hybrid Optimization for Developing Human Like Chess Playing System," in *2022 IEEE 3rd Global Conference for Advancement in Technology (GCAT)*, 7-9 Oct. 2022 2022, pp. 1-5, doi: 10.1109/GCAT55367.2022.9971825.
- [33] Y. Wang, J. Wu, J. Zhang, and W. Zhang, "Military Chess Game Search Algorithm based on Deep Search," in *2020 Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*, 22-24 Aug. 2020 2020, pp. 204-208, doi: 10.1109/CCDC49329.2020.9164282.
- [34] H. Wang and Z. S. Li, "Multi-area load frequency control in power system integrated with wind farms using fuzzy generalized predictive control method," *IEEE Transactions on Reliability*, 2022.

- [35] A. K. Maurya, H. Khan, A. K. Rai, and H. Ahuja, "Load Frequency Control by using Different Controllers in Multi-Area Power System Networks," in 2022 *International Conference on Automation, Computing and Renewable Systems (ICACRS)*, 13-15 Dec. 2022 2022, pp. 1418-1424, doi: 10.1109/ICACRS55517.2022.10029090.
- [36] S. Lim, Y. Yook, J. P. Heo, C. G. Im, K. H. Ryu, and S. W. Sung, "A new PID controller design using differential operator for the integrating process," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 170, p. 108105, 2023.
- [37] H. Efheij and A. Albagul, "Comparison of PID and artificial neural network controller in on line of real time industrial temperature process control system," in 2021 *IEEE 1st International Maghreb Meeting of the Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering MI-STA*, 2021: IEEE, pp. 110-115.
- [38] R. K. Khadanga, A. Kumar, and S. Panda, "A novel modified whale optimization algorithm for load frequency controller design of a two-area power system composing of PV grid and thermal generator," *Neural Computing and Applications*, vol. 32, no. 12, pp. 8205-8216, 2020.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายสิทธิศักดิ์ อุดมศรี
วันเกิด	22 กันยายน พ.ศ.2543
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลสรรพสิทธิประสงค์ จังหวัดอุบลราชธานี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 112 หมู่ 4 บ้านหนองตอแก้ว ตำบลชีเหล็ก อำเภอเมือง อุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี รหัสไปรษณีย์ 34000
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2562 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ อุบลราชธานี แผนก วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ พ.ศ. 2565 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2566 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผลงานวิจัย	S. Audomsi, K. Pakdeesuan, E. Chanthamat, N. Suwannata, N. Kaewhanam, T. Chatchanayuenyong and W. Sa-ngiamvibool, “The Development of PID Controller by Chess Algorithm,” ENGINEERING ACCESS, pp. VOL. 10, NO. 1, 2024.

พูน ปณ จิต ชีเว