

การประยุกต์ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
เพื่อควบคุมความถี่โหลดในระบบไฟฟ้ากำลัง

Application of Photovoltaic Generation
For Load Frequency Control in a Power System

โดย

วราพงษ์ วรรณพร
วรวัฒน์ ศิวะฉาย
ศรัณย์ ธีธานัตพงษ์

ปริญญาโทพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

การประยุกต์ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
เพื่อควบคุมความถี่โหลดในระบบไฟฟ้ากำลัง
Application of Photovoltaic Generation
For Load Frequency Control in a Power System



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาก่อนหรือหลังการขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2556

Application of Photovoltaic Generation
For Load Frequency Control in a Power System



Worapong Kreeaumporn
Worawut Tunsukee
Saran Leelachutipong

THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้นี้ได้เห็นว่าใช้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
2013

ปีการศึกษา 2556

การประยุกต์ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
เพื่อควบคุมความถี่โหลดในระบบไฟฟ้ากำลัง

Application of Photovoltaic Generation
For Load Frequency Control in a Power System



อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ออกสู่สาธารณะเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รศ.ดร. อิศระชัย งามหรุ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การประยุกต์ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อควบคุมความถี่โหลดในระบบไฟฟ้ากำลัง

ผู้จัดทำ

1. นาย วรพงษ์ กรีอัมพร

2. นาย วรวุฒิ ตันสุขี

3. นาย ศรัณย์ ลีลาชุตติพงศ์



J. Ngan

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. อิศระชัย งามหรุ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
เพื่อควบคุมความถี่โพลต์ในระบบไฟฟ้ากำลัง

นาย วรพงษ์ กรีอำพร
นาย วรุตติ ต้นสุชี
นาย ศรัณย์ สีสาชูติพงศ์
รศ.ดร. อิศระชัย งามหรุ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน การนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic: PV) เข้ามาใช้ในระบบไฟฟ้ากำลังมีอย่างแพร่หลาย โดยมีจุดเด่นคือเป็นพลังงานสะอาด ไม่มีค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงและเชื้อเพลิงมีอยู่อย่างไม่จำกัด อย่างไรก็ตามการก่อกำเนิดไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้นไม่มีความสม่ำเสมอเนื่องจากความเข้มของแสงอาทิตย์ไม่คงที่ อีกทั้งความต้องการกำลังไฟฟ้าของโพลต์มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ส่งผลให้เกิดปัญหาการแกว่งความถี่ในระบบ ด้วยแนวคิดที่ต้องการควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ให้ทำงานได้อย่างเหมาะสมกับระบบไฟฟ้ากำลังทั้งในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดเล็กหรือไมโครกริด และระบบไฟฟ้ากำลังที่มีโครงข่ายเชื่อมต่อกันหลายพื้นที่ เพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้นในเรื่องเสถียรภาพทางความถี่ บทความนี้นำเสนอการออกแบบควบคุมการทำงานของพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อควบคุมความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยทำการควบคุมกำลังไฟฟ้าด้านออกจากรีเวอร์เตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในที่นี้โครงสร้างของตัวควบคุมเป็นแบบพีไอ(Proportional Integral Controller : PI) ที่ทำการออกแบบด้วยวิธีการกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization : PSO) ซึ่งได้ทำการออกแบบให้มีการทำงานที่สัมพันธ์กับการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังหลักของการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโพลต์ ผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าการควบคุมกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีการทำงานที่เหมาะสมด้วยวิธีที่นำเสนอสามารถลดการแกว่งของความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลังได้เหนือกว่าการควบคุมที่ไม่ได้ทำการออกแบบให้เหมาะสม ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของโพลต์ และความเข้มแสงในสภาวะต่างๆ

คำสำคัญ : พลังงานแสงอาทิตย์, การควบคุมความถี่, ระบบไฟฟ้ากำลัง, ตัวควบคุมพีไอ, วิธีการกลุ่มอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Application of Photovoltaic Generation
For Load Frequency Control in a Power System.

Mr.Worapong Kreeaumporn

Mr.Worawut Tunsukee

Mr.Saran Leelachutipong

Assoc.Prof.Dr.Issarachai Ngamroo Supervisor

Year 2013

ABSTRACT

Nowadays, the power generations from photovoltaic (PV) are widely used due to green energy, no fuel costs and limitation. However, the power output of PV is depended on solar insolation. The power fluctuation of PV may causes adverse effect on frequency stability. Moreover, the load demand often changes in the system. These cause the power unbalance and result in the frequency oscillation problem. With ability of PV inverter, the output PV power can be controlled. This thesis proposes the application of PV for frequency control in the power system by controlling the output power of PV inverter so that the frequency fluctuation can be reduced. Here, the control structure is proportional-integral controller which is optimally designed by particle swarm optimization. Simulation results show that the proposed PV with optimal PI control is superior to the PV with non-optimal PI control in team of control effect against the frequency oscillation under various load and insolation changes.

Keyword: Photovoltaic, Frequency Control, Power System, Proportional-integral Control, Particle Swarm Optimization

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จสมบูรณ์เป็นอย่างดี ด้วยความกรุณาและคำแนะนำจาก รศ. ดร.อิสระชัย งามหรุ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยดูแลและ ให้คำปรึกษาที่ดีตลอดมาและอบรมศิษย์คณะผู้จัดทำให้เป็นคนดี ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ และอาจารย์ในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้ให้ทรัพย์สินที่มีค่ามากที่สุดในการประกอบอาชีพที่สุจริตแก่คณะผู้จัดทำ ตลอดเวลาการศึกษา

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการ Electrical Power Applications Research Laboratory (EPRL) ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือการทดลองในการทำโครงการครั้งนี้

ขอบคุณพี่ๆ ห้องปฏิบัติการ EPRL ทุกคน ที่คอยให้คำปรึกษา แนะนำ และดูแล ในระหว่างการทำงานตลอดมา

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัว ซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจ อีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สำหรับคุณค่า และประโยชน์อันใดที่ได้มาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอบมอบแต่บิดา มารดา ครู อาจารย์ที่เคารพ และผู้มีอุปการคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	3
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีและหลักการการทำงานพื้นฐานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส	4
2.2 ตัวควบคุมความเร็ว	6
2.3 ทฤษฎีและหลักการการทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์	7
2.3.1 หลักการทำงาน	7
2.3.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	8
2.3.3 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์	8
2.3.4 วงจรยกระดับแรงดัน	10
2.3.5 ตัวติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด	10
2.3.6 อินเวอร์เตอร์	12
2.3.7 แบตเตอรี่	12
2.4 ระบบควบคุมพีไอ	13
2.5 การควบคุมความถี่	15
2.5.1 หลักการควบคุมความถี่	15
2.5.2 หลักการควบคุมความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมต่อ	16
2.6 วิธีการกลุ่มอนุภาค	20
2.6.1 ที่มาและความหมายของวิธีการกลุ่มอนุภาค	20
2.6.2 หลักการทำงานของวิธีการกลุ่มอนุภาค	21
บทที่ 3 การออกแบบแบบจำลองระบบไมโครกริด	22
3.1 แบบจำลองเชิงเส้นและค่าพารามิเตอร์สำหรับการควบคุมความถี่	23
3.2 แนวคิดการทำเสถียรภาพความถี่ในระบบไมโครกริด	25

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3 การศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความถี่ในระบบไมโครกริด	28
3.3.1 กรณีที่ 1	29
3.3.2 กรณีที่ 2	32
3.3.3 กรณีที่ 3	35
3.4 สรุป	38
บทที่ 4 ควบคุมความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่ ด้วยตัวควบคุมพีไอที่ออกแบบด้วยวิธีการกลุ่มอนุภาค	39
4.1 แบบจำลองเชิงเส้นสำหรับการควบคุมความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลัง	40
4.2 แนวคิดการทำเสถียรภาพความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมโยง ระหว่างพื้นที่	41
4.3 การศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลัง ที่มีการเชื่อมต่อระหว่างสามพื้นที่	44
4.4 สรุปผล	52
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	
5.1 สรุปผลการวิจัย	53
บรรณานุกรม	54
ภาคผนวก	55
ภาคผนวก ก บทความวิชาการ	56
ประวัติผู้เขียน	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สเตเตอร์และโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	4
2.2 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส	5
2.3 วงจรสมมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	6
2.4 ฟลายบอล	6
2.5 หลักการทำงานของโซล่าเซลล์	7
2.6 วงจรสมมูลของโซล่าเซลล์	8
2.7 โมดูลแสงอาทิตย์	9
2.8 ชุดเซลล์แสงอาทิตย์	9
2.9 วงจรยกระดับแรงดัน	10
2.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ MPPT ในระบบผลิตกำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	11
2.11 ผังการทำงานของตัวติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด	11
2.12 แบตเตอรี่	12
2.13 โครงสร้างของตัวควบคุมพีไอ	13
2.14 ระบบไฟฟ้ากำลังอย่างง่าย	15
2.15 ระบบไฟฟ้ากำลังสามระบบที่เชื่อมโยงกัน	17
2.16 การควบคุมความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลังสองระบบที่เชื่อมโยง	20
2.17 รูปแสดงการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค	21
3.1 ระบบไมโครกริด	22
3.2 แบบจำลองของตัวบังคับความเร็วและเครื่องยนต์ดีเซล	23
3.3 แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	23
3.4 แบบจำลองระบบไมโครกริด	25
3.5 แผงผังการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมพีไอ	27
3.6 กราฟการลู่เข้าสู่คำตอบของหาค่าพารามิเตอร์ของวิธีการกลุ่มอนุภาค	28
3.7 โหลดในสภาวะปกติ	29
3.8 ปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ในสภาวะปกติ	29
3.9 ผลตอบสนองของความถี่ระบบในกรณีที่ 1	30
3.10 กำลังไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์ในกรณีที่ 1	30
3.11 กำลังไฟฟ้าด้านออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลในกรณีที่ 1	31
3.12 การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าในแบตเตอรี่ในกรณีที่ 1	31
3.13 โหลดที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลดลง	32
3.14 ปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น	32
3.15 ผลตอบสนองของความถี่ระบบในกรณีที่ 2	33
3.16 กำลังไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์ในกรณีที่ 2	33
3.17 กำลังไฟฟ้าด้านออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลในกรณีที่ 2	34
3.18 การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าในแบตเตอรี่ในกรณีที่ 2	34

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.19 โหลดที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น	35
3.20 ปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลดลง	35
3.21 ผลตอบสนองของความถี่ระบบในกรณีที่ 3	36
3.22 กำลังไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์ในกรณีที่ 3	36
3.23 กำลังไฟฟ้าด้านออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลในกรณีที่ 3	37
3.24 การถ่ายโอนพลังงานในแบตเตอรี่ในกรณีที่ 3	37
4.1 ระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมต่อระหว่างสามพื้นที่	39
4.2 แบบจำลองระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่	40
4.3 แผนผังการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมพีไอ	43
4.4 กราฟคอนเวเจนซ์การหาค่าพารามิเตอร์ของวิธีการกลุ่มอนุภาค	44
4.5 โหลดในแต่ละพื้นที่	45
4.6 ปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละพื้นที่	45
4.7 ผลตอบสนองของความถี่ระบบในพื้นที่ 1	46
4.8 ผลตอบสนองของความถี่ระบบในพื้นที่ 2	46
4.9 ผลตอบสนองของความถี่ระบบในพื้นที่ 3	46
4.10 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งจากพื้นที่ 1 มายังพื้นที่ 2	47
4.11 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งจากพื้นที่ 2 มายังพื้นที่ 3	47
4.12 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งจากพื้นที่ 3 มายังพื้นที่ 1	47
4.13 กำลังไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลในพื้นที่ 1	48
4.14 กำลังไฟฟ้าขาออกของอินเวอร์เตอร์ในพื้นที่ 1	48
4.15 กำลังไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลในพื้นที่ 2	49
4.16 กำลังไฟฟ้าขาออกของอินเวอร์เตอร์ในพื้นที่ 2	49
4.17 กำลังไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลในพื้นที่ 3	50
4.18 กำลังไฟฟ้าขาออกของอินเวอร์เตอร์ในพื้นที่ 3	50
4.19 การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในพื้นที่ 1	51
4.20 การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในพื้นที่ 2	51
4.21 การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในพื้นที่ 3	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน	3
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการเบี่ยงเบนความถี่ กำลังทางกล และกำลังทางไฟฟ้า	16
3.1 ค่าพารามิเตอร์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล	24
3.2 ค่าพารามิเตอร์โมดูลของเซลล์แสงอาทิตย์	24
4.1 ค่าพารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่	41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันระบบไฟฟ้ากำลังมีความสนใจเรื่องของพลังงานทดแทนที่มีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากเชื้อเพลิงซึ่งเป็นกำลังหลักของการผลิตไฟฟ้ามีจำนวนที่ลดลงและมีราคาสูงขึ้น พลังงานทดแทนจึงเป็นทางเลือกที่ดีอีกทางเลือกหนึ่งในการนำเข้ามาใช้ควบคุมผลิตกำลังไฟฟ้ากับระบบไฟฟ้ากำลัง ทั้งเพื่อช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ระบบ ลดต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้า อีกทั้งยังเป็นพลังงานสะอาดอีกด้วย

การผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic : PV) เป็นหนึ่งในพลังงานทดแทนที่ได้รับความนิยมมากขึ้นและได้ปรับปรุงเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องให้มีความทันสมัยขึ้น [1] การนำ PV มาใช้ควบคุมในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยทั้งการใช้กับระบบไมโครกริด [2] หรือใช้กับระบบไฟฟ้ากำลังที่มีหลายโครงข่ายเชื่อมต่อกันระหว่างพื้นที่หลายพื้นที่ [3] ที่มีการแพร่หลายมากขึ้น แต่ด้วยปัญหาหลักของ PV ที่ไม่สามารถกำหนดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ เนื่องจากการผลิตของกำลังไฟฟ้านั้นจะขึ้นอยู่กับแสงแดดที่ได้รับ ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีความไม่แน่นอน ส่งผลให้เกิดการแกว่งของความถี่เพิ่มขึ้น เนื่องจากความไม่สมดุลกันระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และกำลังไฟฟ้าที่โหลดต้องการ ดังนั้นเมื่อการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้มีมากขึ้น จึงเริ่มมีแนวคิดที่ต้องการควบคุมการทำงานที่เหมาะสมกับระบบไฟฟ้ากำลังที่นำ PV มาติดตั้ง โดยการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ออกจากชุดอินเวอร์เตอร์ของ PV ซึ่งเมื่อควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ออกจากอินเวอร์เตอร์ได้ ทำให้ PV ช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าและชดเชยกำลังไฟฟ้าในส่วนที่ขาดจากการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เป็นหน้าที่หลักของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ให้มีความสมดุลหรือใกล้เคียงกับความต้องการของโหลดมากที่สุด เพื่อให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และกำลังไฟฟ้าที่ต้องการแตกต่างกันน้อยที่สุด ส่งผลให้ลดการแกว่งของความถี่มีให้แกว่งน้อยลงได้ ระบบไฟฟ้ามีเสถียรภาพทางความถี่เพิ่มขึ้นด้วย

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมกำลังไฟฟ้าขาออกของอินเวอร์เตอร์ของ PV เพื่อลดการแกว่งของความถี่ในระบบ [4]-[5] ทั้งในระบบไฟฟ้าไมโครกริดและระบบไฟฟ้ากำลังที่มีหลายโครงข่ายเชื่อมต่อกันอยู่ระหว่างพื้นที่หลายพื้นที่ [6]-[7] โดยในการออกแบบนั้นจะสร้างแบบจำลองใช้แนวความคิดเริ่มต้นเป็นระบบไมโครกริดที่มีการติดตั้ง PV เข้ามาช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าสู่ระบบควบคุมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล แล้วทำการออกแบบตัวควบคุมกำลังไฟฟ้าขาออกของชุดอินเวอร์เตอร์โดยใช้ตัวควบคุมพีไอ (Proportional Integral Controller : PI) ที่ทำการออกแบบให้เหมาะสมด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization : PSO) [8] ให้มีการทำงานที่เหมาะสมกับการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล แล้วขยายแนวความคิด โดยการนำการออกแบบดังกล่าวไปใช้กับการติดตั้ง PV

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีขนาดใหญ่ที่มีโครงข่ายเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่หลายพื้นที่ เพื่อเป็นแบบอย่างและแนวทางความคิด ในการติดตั้ง PV กับระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อลดปัญหาการแกว่งของความถี่ในระบบ

1.2 วัตถุประสงค์ของปฏิญานินพนธ์

1. นำเสนอการแก้ไขปัญหาการแกว่งของความถี่ในระบบไมโครกริดและระบบไฟฟ้ากำลังที่มีหลายโครงข่ายเชื่อมต่อกันอยู่ระหว่างพื้นที่หลายพื้นที่ โดยใช้การผลิตกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

2. ออกแบบตัวควบคุมกำลังไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีการทำงานที่เหมาะสมกับระบบไฟฟ้ากำลัง

1.3 ขอบเขตของปฏิญานินพนธ์

ปฏิญานินพนธ์นี้ ทำการสร้างแบบจำลองการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อเข้ากับระบบไมโครกริดและระบบไฟฟ้ากำลังที่มีหลายโครงข่ายเชื่อมต่อกันระหว่างพื้นที่หลายพื้นที่ เพื่อช่วยระบบไฟฟ้ากำลังในการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่โหลด ซึ่งในการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นั้นได้ทำการออกแบบตัวควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าของชุดอินเวอร์เตอร์ของพลังงานแสงอาทิตย์ ให้มีการทำงานที่ความเหมาะสมกับการทำงานรวมของทั้งระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อแก้ปัญหาการแกว่งของความถี่ให้ลดลง

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาค้นคว้าเนื้อหาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
2. สร้างแบบจำลองระบบไมโครกริด
3. สร้างแบบจำลองระบบ PV
4. ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาหลังการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
5. ออกแบบตัวควบคุมกำลังไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการประยุกต์ใช้วิธีกลุ่มอนุภาค
6. นำแนวความคิดเดิม จากระบบไมโครกริด ไปทดสอบกับระบบไฟฟ้ากำลังที่มีหลายโครงข่ายเชื่อมต่อกันระหว่างพื้นที่หลายพื้นที่
7. วิเคราะห์ผล
8. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 แผนการดำเนินโครงการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นผลจากการศึกษาค้นคว้าข้อมูล และทำความเข้าใจหลักการ ทฤษฎี ตลอดจนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งดำเนินการทดลองโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งมี แผนการดำเนินงานดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินการ	ภาคเรียนที่ 1					ภาคเรียนที่ 2				
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องและ กำหนดขอบเขตของงานวิจัย	↔									
2. ออกแบบแบบจำลองที่จะใช้ใน การศึกษา		↔								
3. ศึกษาโปรแกรม และทำการ สร้างแบบจำลองระบบจาก โปรแกรม และMATLAB / Simulink			↔							
4. ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหา					↔					
5. ออกแบบตัวควบคุม						↔				
6. เปรียบเทียบผลกรณีต่างๆและ วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบ								↔		
7. สรุปผลการทดสอบ										↔

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถแก้ไขปัญหการแกว่งของความเร็วด้วยการควบคุมกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ได้

2. สามารถออกแบบตัวควบคุมกำลังไฟฟ้าขาออกจากอินเวอร์เตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์ให้มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ความเหมาะสมได้

3. สามารถนำแนวความคิดเดิมในการตั้งค่าตัวควบคุมในระบบไมโครกริดมาใช้ในการตั้ง ค่าตัวควบคุมในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีหลายโครงข่ายเชื่อมระหว่างพื้นที่หลายพื้นที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีและหลักการการทำงานพื้นฐานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส[10]

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสเป็นเครื่องจักรกลที่สามารถเปลี่ยนพลังงานทางกลเป็นพลังงานทางไฟฟ้าโดยอาศัยหลักการหมุนของขดลวดตัดกับสนามแม่เหล็ก หรือการหมุนสนามแม่เหล็กตัดขดลวด จากนั้นจะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ โดยใช้ต้นกำลังทางกลเป็นตัวขับเคลื่อน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสจะมีความเร็วในสภาวะคงตัวแปรผันตรงกับความเร็วของกระแสไฟฟ้าในขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature winding) ที่สเตเตอร์ ที่โรเตอร์มีสนามแม่เหล็กที่สร้างขึ้นโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายให้กับขดลวดสนาม (Field winding) โรเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วเดียวกับสนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดจากการมีกระแสไฟฟ้าสามเฟสในขดลวดอาร์มาเจอร์สามเฟส โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือตัวอยู่กับที่ (Stator) กับตัวหมุน (Rotor) แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สเตเตอร์และโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับการเพิ่มแรงดันโดยการเพิ่มความเร็วมิ สามารถที่จะทำได้ เพราะจะทำให้ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ได้เปลี่ยนแปลงไป สามารถทำได้เพียงการปรับความเข้มของสนามแม่เหล็กเท่านั้น โครงสร้างโรเตอร์จะมีขั้วแม่เหล็ก ซึ่งจำนวนขั้วแม่เหล็กจะมีผลกับความถี่ซิงโครนัสดังสมการ

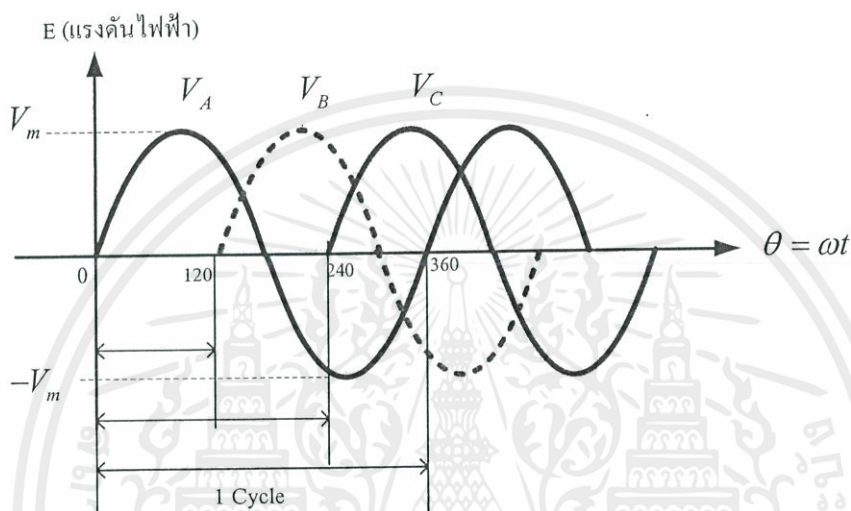
$$n_s = \frac{120f}{P} \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถคำนวณหาสมการแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้จากสมการ

$$E_a = 4.44NfBA \quad (V) \quad (2.2)$$

และรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส จะทำมุมต่างกัน 120 องศา แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส

จากการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสสามารถเขียนวงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสได้ดังรูปที่ 2.3 และเขียนเป็นสมการได้ดังสมการ

$$V_t = -R_a I_a - jX_s I_a + E_g \quad (2.3)$$

โดย V_t คือ แรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

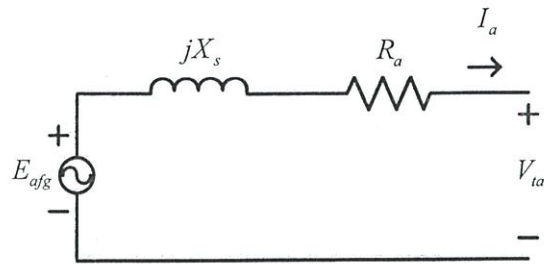
I_a คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดอาร์มาเจอร์

R_a คือ ความต้านทานไฟฟ้าของขดลวดอาร์มาเจอร์

X_s คือ ความต้านทานเสมือนซิงโครนัส

E_g คือ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.2 ตัวควบคุมความเร็ว (Governor) [7]

เมื่อโหลดทางไฟฟ้าเกิดการเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความต้องการกำลังไฟฟ้าที่โหลดไม่สมดุล ส่งผลให้เกิดความเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบจึงต้องมีตัวควบคุมความเร็ว ซึ่งจะวัดความเร็วโดยใช้หลักการลูกเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง



รูปที่ 2.4 ฟลายบอล

ความสัมพันธ์ระหว่างการเบี่ยงเบนกำลังทางกล (ΔP_M) และการเบี่ยงเบนความถี่ของระบบ (Δf) แสดงได้โดยการสมการ

$$\Delta P_M - \frac{1}{R} = \Delta f \quad (2.4)$$

โดย R เป็นค่าคงตัวการควบคุมความเร็วหรือดรอป (Droop)

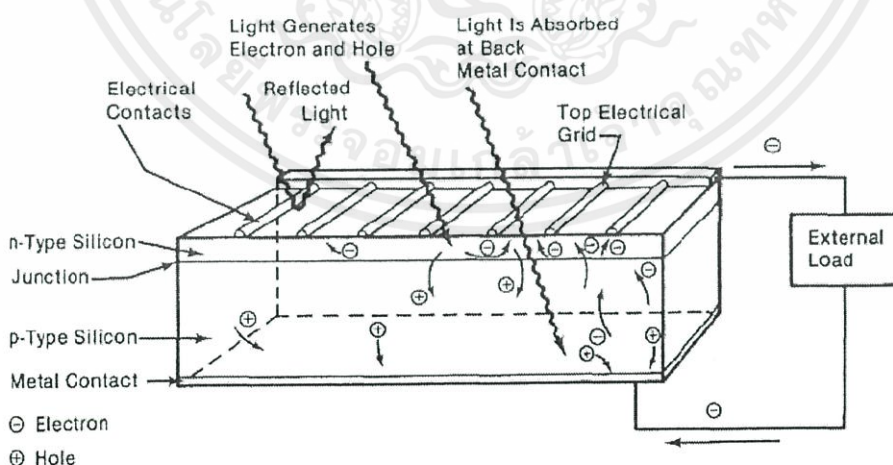
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีและหลักการการทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ ซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์หรือแสงสว่างอื่นๆ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงจัดว่าเป็นแหล่งพลังงานทดแทนชนิดหนึ่ง (Renewable Energy) สะอาดและไม่สร้างมลภาวะใดๆ ขณะใช้งาน หากนำเซลล์แสงอาทิตย์ มาต่อกันทางไฟฟ้าในรูปแบบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Module) ก็จะได้หน่วยของ PV ที่เล็กที่สุด ที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง เพราะนำเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ผลิตไฟฟ้าได้เพียงเล็กน้อยมาต่อกัน ทำให้ได้ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current : DC) และแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถต่อเป็น ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Array) ซึ่งสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้น

2.3.1 หลักการทำงาน

หลักการทำงานและการใช้งานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ โดยโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดได้แก่รอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำกึ่งตัวนำที่ราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้นโลกได้แก่ซิลิกอนซึ่งถูกลงได้จากควอตไซต์ หรือทรายและผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ตลอดจนการทำให้เป็นผลึก เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบกับเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบ และประจุบวก ขึ้นซึ่งได้แก่อิเล็กตรอนและโฮล โครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์เพื่อแยกพาหะไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนให้ไหลไปที่ขั้วลบและทำให้พาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไหลไปที่ขั้วบวก ด้วยเหตุนี้ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงขึ้นที่ขั้วทั้งสองเมื่อเราต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับโหลดก็จะมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร แต่ถ้าหากต้องการใช้งานกับกระแสสลับก็จะต้องมีในส่วนของอินเวอร์เตอร์มาช่วยในการแปลงจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับ



รูปที่ 2.5 หลักการทำงานของโซลาร์เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

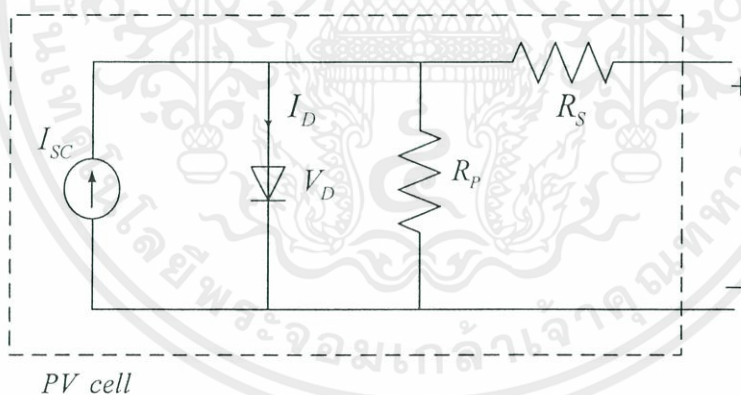
2.3.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

โดยส่วนมากจะนำซิลิกอนมาผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากเป็นวัสดุที่พบได้มากบนโลก โดยแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. แบบผลึกเดี่ยว (Single Crystal) ประสิทธิภาพประมาณ 15-24% และตอบสนองต่อแสงในแถบความยาวคลื่นกว้าง โดยมีประสิทธิภาพดีในช่วงความยาวคลื่นยาว
2. แบบผลึกรวม (Poly Crystal) ประสิทธิภาพประมาณ 10-17% และตอบสนองต่อแสงแถบความยาวคลื่นกว้าง
3. แบบอะมอร์ฟัส (Amorphous) ประสิทธิภาพประมาณ 8-13% และตอบสนองต่อแสงในแถบความยาวคลื่นสั้น

2.3.3 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Cell)

การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์จะอ้างอิงถึงคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของแผงโซลาร์เซลล์แต่ละเซลล์ ในหนึ่งแผงโซลาร์เซลล์มีวงจรสมมูลเหมือนตัวไดโอด เพราะกราฟคุณลักษณะกระแสและแรงดันของเซลล์เป็นเอ็กซ์โปเนนเชียลซึ่งเหมือนไดโอดเมื่ออยู่ในช่วงไร้แสงและผลิตกระแสไฟฟ้าเมื่อได้รับแสง ดังนั้นแผงโซลาร์เซลล์จึงเสมือนเป็นไดโอดต่อขนานและอนุกรมกันอยู่วงจรสมมูลของโซลาร์เซลล์จึงมีลักษณะดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 วงจรสมมูลของโซลาร์เซลล์

จากกฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์(KCL) จะได้ว่า

$$I_{sc} - I_D - \frac{V_D}{R_p} - I_{pv} = 0 \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า จากสมการคุณลักษณะของไดโอด

$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right) \quad (2.6)$$

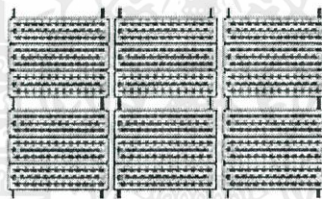
จากกฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ (KVL) จะได้ว่า

$$V_{PVcell} = V_D - R_S I_{PV} \quad (2.7)$$

การนำโมดูล PV มารวมจะเรียกว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (PV module) แสดงดังรูปที่ 2.7 ทำให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น และเมื่อนำโมดูลแสงอาทิตย์มาต่อขนานและอนุกรมกันจะเรียกว่าชุดเซลล์แสงอาทิตย์ (PV array) แสดงดังรูปที่ 2.8 ซึ่งจะส่งผลให้ได้กำลังไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น จึงนำโมดูลแสงอาทิตย์มาขนานและอนุกรมกันเพื่อให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการ



รูปที่ 2.7 โมดูลแสงอาทิตย์



รูปที่ 2.8 ชุดเซลล์แสงอาทิตย์

จากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Module) เป็นการจำลองการผลิตกำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในหนึ่งหน่วย โดยการจำลองได้พิจารณาในส่วนของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

หลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับโมดูลของเซลล์แสงอาทิตย์ 1 หน่วยสามารถที่จะผลิตกำลังไฟฟ้าได้ตามค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดและขึ้นอยู่กับปริมาณแสงที่ได้รับโดยสมมุติให้อยู่ในรูปของค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (Insolation) โดยมีค่าตั้งแต่ 0 – 1000 Wb/m² ซึ่งค่าที่สูงสุดจะพิจารณาว่าเป็นการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มากที่สุด

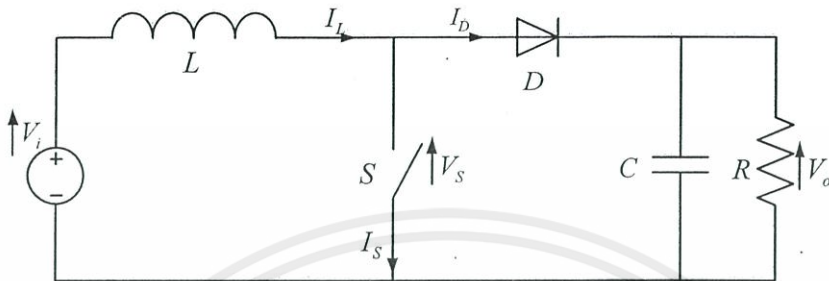
หลังจากที่สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้แต่ละโมดูล ต่อมาต้องการที่จะประมาณค่าแรงดันและกระแสที่ออกมาจากแต่ละโมดูลโดยอ้างอิงจากค่าพารามิเตอร์เป็นโดย

- อนุกรม-> จ่ายกระแสเท่ากัน เพื่อให้ได้แรงดันที่ต้องการ
- ขนาน-> รักษาแรงดันเท่ากัน เพื่อให้ได้กระแสที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 วงจรยกแรงดัน (Boost Converter)

วงจรยกแรงดันมีหน้าที่ รักษาแรงดันและทำงานในส่วนของการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด วงจรยกแรงดัน ทำหน้าที่เพิ่มแรงดันให้เหมาะสมกับการใช้งานโดยมีโครงสร้างของวงจรดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.9 วงจรยกแรงดัน

สมการแรงดันคำนวณได้จากสมการ

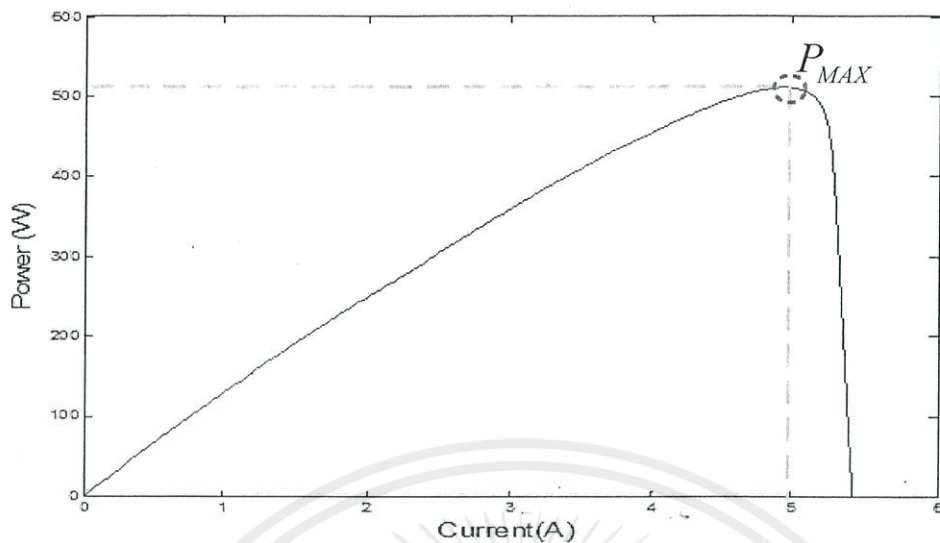
$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1-D} \quad (2.8)$$

โดย

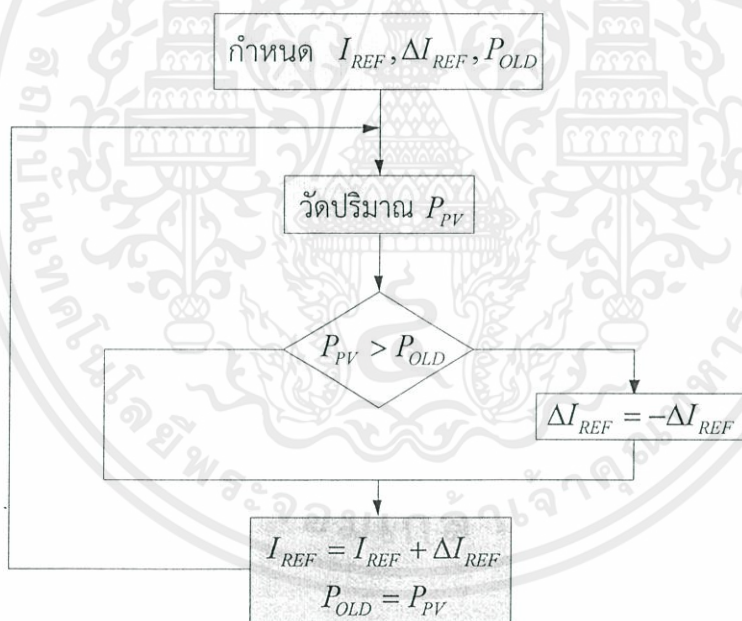
$$D = \frac{t_{on}}{T} \quad (2.9)$$

2.3.5 ตัวติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking: MPPT)[9]

ตัวติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดคือวิธีการในการติดตามหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด เนื่องจากค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ความเข้มของแสงอาทิตย์ อุณหภูมิสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ แต่ในที่นี้เราจะพิจารณาจากผลของความเข้มแสงอาทิตย์เท่านั้น การคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก PV ภายใต้ความเข้มแสงค่าหนึ่ง ซึ่งคือกราฟคุณลักษณะแรงดันกับกระแสไฟฟ้าที่แสดงในรูปที่ 2.10 ในการคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์จะคิดที่จุดพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่แผงโซลาร์เซลล์ผลิตได้ (P_{max}) ซึ่งได้จากกราฟคุณลักษณะแรงดันคุณกระแสไฟฟ้า ตรงจุดนี้จะเกิดจากค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันที่จะเรียกว่าเป็นกระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_{max}) และแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_{max}) ที่ทำให้เกิดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยตัวติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีผังการทำงานดังที่ได้แสดงในรูปที่ 2.11 ตัวติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะทำการเปลี่ยนค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าจนได้จุดที่ทำให้เกิดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ MPPT ในระบบผลิตกำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 2.11 ผังการทำงานของตัวติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

เนื่องจากการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้าทำให้กระแสที่ได้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ได้มาจึงต้องมีการนำมาแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อให้สามารถใช้กับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับได้

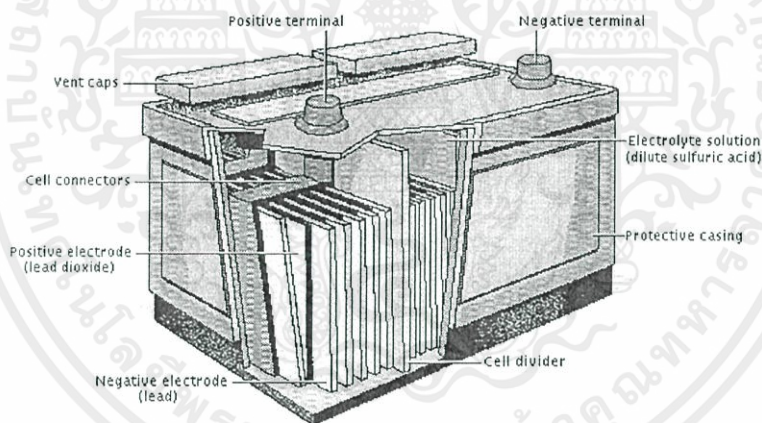
หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ จะแปลงไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟทั่วไปที่มีแรงดันและความถี่ที่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current : AC) ที่สามารถปรับขนาดแรงดันและความถี่ได้โดยวงจรอินเวอร์เตอร์ วงจรนี้จะเป็นวงจรหลักที่ทำหน้าที่แปลงรูปคลื่น และผ่านพลังงานของอินเวอร์เตอร์

โครงสร้างภายในของอินเวอร์เตอร์

1. ชุดอินเวอร์เตอร์ ซึ่งทำหน้าที่ แปลงไฟตรง (DC Voltage) ให้เป็นไฟสลับ (AC Voltage) ที่สามารถเปลี่ยนแปลงแรงดันและความถี่ได้
2. ชุดวงจรควบคุม (Control Circuit) ซึ่งทำหน้าที่ ควบคุมการทำงานของชุดอินเวอร์เตอร์

2.3.7 แบตเตอรี่ (Battery) [11]



รูปที่ 2.12 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่ หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้เก็บพลังงาน และนำมาใช้ได้ในรูปแบบของไฟฟ้า แบตเตอรี่นั้นประกอบด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าเคมี เช่น เซลล์กัลวานิกหรือเซลล์เชื้อเพลิง อย่างน้อยหนึ่งเซลล์ โดยมีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.12

ประเภทแบตเตอรี่

แบตเตอรี่แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ประกอบไปด้วย แบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ได้ และแบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ไม่ได้ (ใช้แล้วทิ้ง) ซึ่งนิยมใช้อย่างแพร่หลายทั้งสองชนิด แบตเตอรี่ใช้แล้วทิ้งเรียกอีกอย่างว่า เซลล์ปฐมภูมิ ใช้ได้ครั้งเดียว เนื่องจากไฟฟ้าที่ได้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสารเคมีเมื่อสารเคมีเปลี่ยนแปลงหมดไฟฟ้าก็จะหมดจากแบตเตอรี่ แบตเตอรี่เหล่านี้

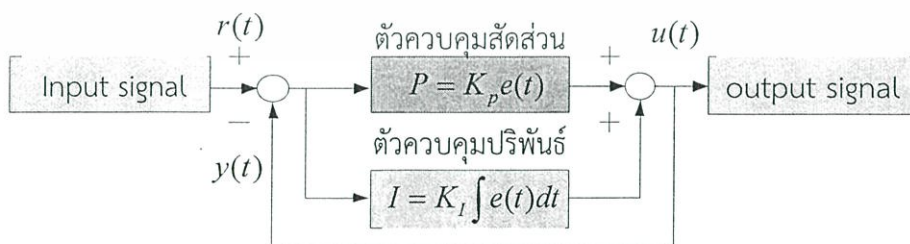
เหมาะสำหรับใช้ในอุปกรณ์ขนาดเล็กและสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก ใช้ไฟน้อยหรือในที่ที่ห่างไกล จากพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ ในทางตรงกันข้ามแบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ได้หรือ เซลล์หุติย ภูมิ สามารถประจุไฟฟ้าใหม่ได้หลังจากไฟหมดเนื่องจากสารเคมีที่ใช้ทำแบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถทำให้ กลับไปอยู่ในสภาพเดิมได้โดยการประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้อัดไฟนี้เรียกว่าเครื่องชาร์จ ประจุ (Charger) หรือเครื่องคายประจุ (Recharger)

แบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ได้ที่เก่าแก่ที่สุดซึ่งใช้อยู่จนกระทั่งปัจจุบันคือ แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด (Lead-acid Battery) แบตเตอรี่ชนิดนี้บรรจุในภาชนะที่ไม่ได้ปิดผนึก (Unsealed Container) ซึ่งแบตเตอรี่จะต้องอยู่ในตำแหน่งตั้งตลอดเวลาและต้องเป็นพื้นที่ที่ระบาย อากาศได้เป็นอย่างดี เพื่อระบายก๊าซ ไฮโดรเจน ที่เกิดจากปฏิกิริยาและแบตเตอรี่ชนิดจะมีน้ำหนัก มาก

รูปแบบสามัญของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด คือแบตเตอรี่ รถยนต์ ซึ่งสามารถให้พลังงาน ไฟฟ้าได้ถึง ประมาณ 10,000 วัตต์ในช่วงเวลาสั้นๆ และมีกระแสตั้งแต่ 450 ถึง 1100 แอมแปร์ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ของแบตเตอรี่คือ กรดซัลฟิวริก ซึ่งสามารถเป็นอันตรายต่อ ผิวหนังและตาได้ แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่มีราคาแพงมากเรียกว่า แบตเตอรี่เจล ภายในจะบรรจุอิเล็ก โทรไลต์ประเภทเซมิ-โซลิด (semi-solid electrolyte) ที่ป้องกันการหกได้ดี และแบตเตอรี่ชนิดอัดไฟ ใหม่ได้ที่เคลื่อนย้ายได้สะดวกกว่าคือประเภท เซลล์แห้ง นิยมใช้กันในโทรศัพท์มือถือและคอมพิวเตอร์ โน้ตบุ๊กเซลล์ของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือ นิกเกิล-แคดเมียม (NiCd) นิกเกิลเมทัลไฮไดรด์ (NiMH) และ ลิเทียม-ไอออน (Li-Ion)

2.4 ระบบตัวควบคุมพีไอ (PI Control) [8]

ระบบตัวควบคุมพีไอ (PI Control) คือตัวควบคุมแบบสัดส่วนและปริพันธ์ เป็นตัว ควบคุมที่มีความนิยมและมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยในปัจจุบันมีการใช้งานในระบบ อุตสาหกรรมจนถึงระบบต่างๆอย่างมากมาย เนื่องจากเป็นตัวควบคุมที่มีการใช้งานง่าย อีกทั้งมี โครงสร้างที่เรียบง่ายต่อการนำไปติดตั้ง โดยตัวควบคุมพีไอมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้รูปที่ 2.13 โครงสร้างของตัวควบคุมพีไอ ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ $u(t)$ คือสัญญาณควบคุมที่จะส่งให้ตัวระบบ
และ $y(t)$ คือสัญญาณขาออกที่ถูกวัดมาได้
และ $r(t)$ คือสัญญาณอ้างอิง

$$\text{สัญญาณความคลาดเคลื่อนคือ } e(t) = r(t) - y(t) \quad (2.10)$$

ดังนั้น

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int e(t) dt \quad (2.11)$$

สมรรถนะและเสถียรภาพได้กำหนดโดยการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ คือค่า อัตราขยายสัดส่วน (K_p) และอัตราขยายปริพันธ์ (K_I) นอกเหนือจากการปรับแต่งค่าเหล่านี้ หลังจากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของระบบแล้ว ในทางปฏิบัติ ยังนิยมปรับแต่งโดยใช้หลักการของ Ziegler-Nichols หรือใช้ประสบการณ์ของวิศวกร โดยเสถียรภาพของระบบมักขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ K_p แต่เพียงอย่างเดียว ส่วน K_I มักส่งผลในแง่ของความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลง ับพลันของตัวระบบ เมื่อพิจารณาบนโดเมนการแปลงลาปลาซจะได้ว่า

$$u(s) = \left(K_p + K_I \left(\frac{1}{s} \right) \right) e(s) \quad (2.12)$$

การปรับจูนด้วยมือ

ถ้าระบบยังคงทำงาน ชั้นแรกให้ตั้งค่า K_I เป็นศูนย์ เพิ่มค่า K_p จนกระทั่งสัญญาณขาออกเกิดการแกว่ง (Oscillate) แล้ว ตั้งค่า K_p ให้เหลือครึ่งหนึ่งของค่าที่ทำให้เกิดการแกว่ง แล้วเพิ่มค่า K_I จนกระทั่งค่าออฟเซตถูกต้องในเวลาทีพอเพียงต่อกระบวนการ แต่ถ้า K_I มากไปจะทำให้ไม่เสถียร

วิธีการ Ziegler-Nichols

วิธีการนี้นำเสนอโดย John G. Ziegler และ Nathaniel B. Nichols ในคริสต์ทศวรรษที่ 1940 ชั้นแรกให้ตั้งค่า K_I เป็นศูนย์ เพิ่มอัตราขยาย P สูงที่สุด (K_u) จนกระทั่งเกิดการแกว่ง นำค่า K_u และค่าช่วงของการแกว่ง P_u มาหาค่าตัวแปรที่เหลือดังนี้

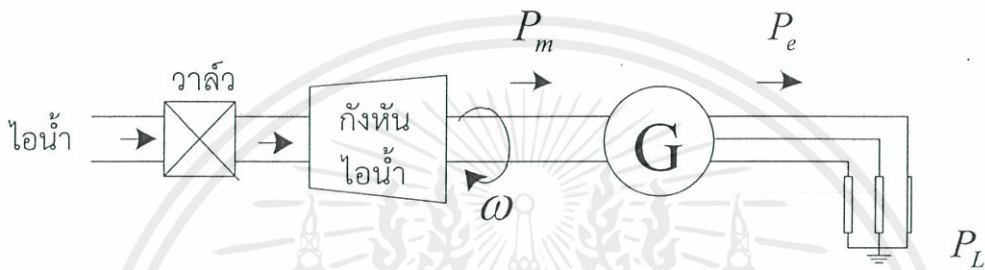
$$K_p = 0.5K_u \quad (2.13)$$

$$K_I = 1.2 \frac{K_p}{P_u} \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การควบคุมความถี่ [7]

เสถียรภาพทางความถี่ (Frequency Stability) หมายถึงความสามารถในการรักษาความถี่เชิงโครนัสของระบบไฟฟ้ากำลังให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้เมื่อเกิดความไม่สมดุลระหว่างกำลังไฟฟ้าที่สร้างจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความต้องการกำลังไฟฟ้าที่โหลด ความไม่สมดุลของกำลังไฟฟ้าทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความถี่ระบบและความถี่เชิงโครนัสหรือเรียกว่าการเบี่ยงเบนความถี่ (Frequency Deviation) เมื่อการเบี่ยงเบนความถี่ที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่าการเบี่ยงเบนความถี่ที่ยอมรับได้ จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้าและการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าสลับในระบบได้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมความถี่ของระบบให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้



รูปที่ 2.14 ระบบไฟฟ้ากำลังอย่างง่าย

2.5.1 หลักการควบคุมความถี่

การควบคุมความถี่สัมพันธ์กับความสมดุลระหว่างการผลิตกำลังไฟฟ้าและต้องการกำลังไฟฟ้าในระบบ เมื่อเกิดความไม่สมดุลขึ้นระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตและโหลดจะทำให้เกิดการเบี่ยงเบนความถี่ของระบบขึ้น พิจารณาระบบไฟฟ้าอย่างง่ายดังแสดงในรูปที่ 2.14 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยกำลังทางกล (P_m) และผลิตกำลังไฟฟ้า (P_e) จ่ายให้กับโหลด ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าสามารถแสดงด้วยสมการการแกว่งในรูปความถี่ระบบคือ

$$M \frac{df}{dt} = P_m - P_e \quad (2.15)$$

โดย M คือ ค่าคงตัวความเฉื่อย

f คือ ความถี่ของระบบ

$\frac{df}{dt}$ คือ ความเร่งของโรเตอร์

สมการนี้ยังแสดงถึงความสมดุลระหว่างการผลิตกำลังไฟฟ้าและต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดอีกด้วยเมื่อเกิดความไม่สมดุลระหว่างกำลังการผลิตและต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดจะทำให้เกิดการเบี่ยงเบนความถี่ ขึ้นดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการเบี่ยงเบนความถี่ กำลังทางกล และกำลังทางไฟฟ้า

ความแตกต่างระหว่างกำลังทางกลและไฟฟ้า	ความแรงของโรเตอร์	การเบี่ยงเบนความถี่
$P_m > P_e$ การผลิตกำลังไฟฟ้ามากเกินไป	บวก (แรง)	เพิ่มขึ้น
$P_m = P_e$ สมดุล	ศูนย์ (ไม่มีความแรง)	คงที่
$P_m < P_e$ การผลิตกำลังไฟฟ้าน้อยเกินไป	ลบ (หน่วง)	ลดลง

โดยทั่วไปสามารถนำสัญญาณการเบี่ยงเบนความถี่มาใช้แทนความไม่สมดุลของกำลังไฟฟ้าในระบบเพื่อควบคุมความถี่ได้ โดยทั่วไป หลักการควบคุมความถี่คือการสร้างความสมดุลระหว่างการผลิตกำลังไฟฟ้าและความต้องการกำลังไฟฟ้า นั่นคือ $P_m = P_e$ เพื่อให้ความถี่ของระบบเท่ากับความถี่ซึ่งโครนัส สามารถอธิบายการควบคุมได้ดังนี้

- เมื่อความถี่ของระบบมากกว่าความถี่ซึ่งโครนัส เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่ผลิตมากกว่าความต้องการกำลังไฟฟ้า ในการควบคุมความถี่ให้กลับมาที่ความถี่ซึ่งโครนัสจำเป็นต้องลดกำลังทางกลลงมาจนสมดุลกับกำลังไฟฟ้าด้านออก

- เมื่อความถี่ของระบบน้อยกว่าความถี่ซึ่งโครนัส เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่ผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการกำลังไฟฟ้า จึงต้องกำลังทางกลด้านเข้าเพื่อให้สมดุลกับกำลังไฟฟ้าด้านออก และทำให้ความถี่ระบบกลับมาที่ความถี่ซึ่งโครนัส

- การควบคุมความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลังใช้การควบคุมแบบป้อนกลับแบ่งออกเป็นสองวงรอบคือการควบคุมเฉพาะแห่งและการควบคุมในวงกว้าง วงรอบการควบคุมเฉพาะแห่งเป็นการควบคุมความเร็วเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องในระบบ โดยการตรวจจับความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ω ซึ่งคือความถี่ของระบบไปเป็นสัญญาณป้อนกลับให้กับตัวควบคุมความเร็วสำหรับปรับเปลี่ยนกำลังทางกลให้สมดุลกับความต้องการไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม วงรอบการควบคุมเฉพาะแห่งนี้ไม่สามารถทำให้ความแตกต่างระหว่างความถี่ระบบและความถี่ซึ่งโครนัสเป็นศูนย์ได้ เพื่อจำกัดการเบี่ยงเบนความถี่ที่เกิดขึ้นนี้จำเป็นต้องใช้วงรอบการควบคุมในวงกว้างโดยศูนย์ควบคุม (Control Center) ส่งสัญญาณควบคุมไปยังตัวปรับความเร็วของตัวควบคุมความเร็วซึ่งติดตั้งที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง เพื่อปรับกำลังทางกลจนทำให้ความถี่ระบบเท่ากับความถี่ซึ่งโครนัส

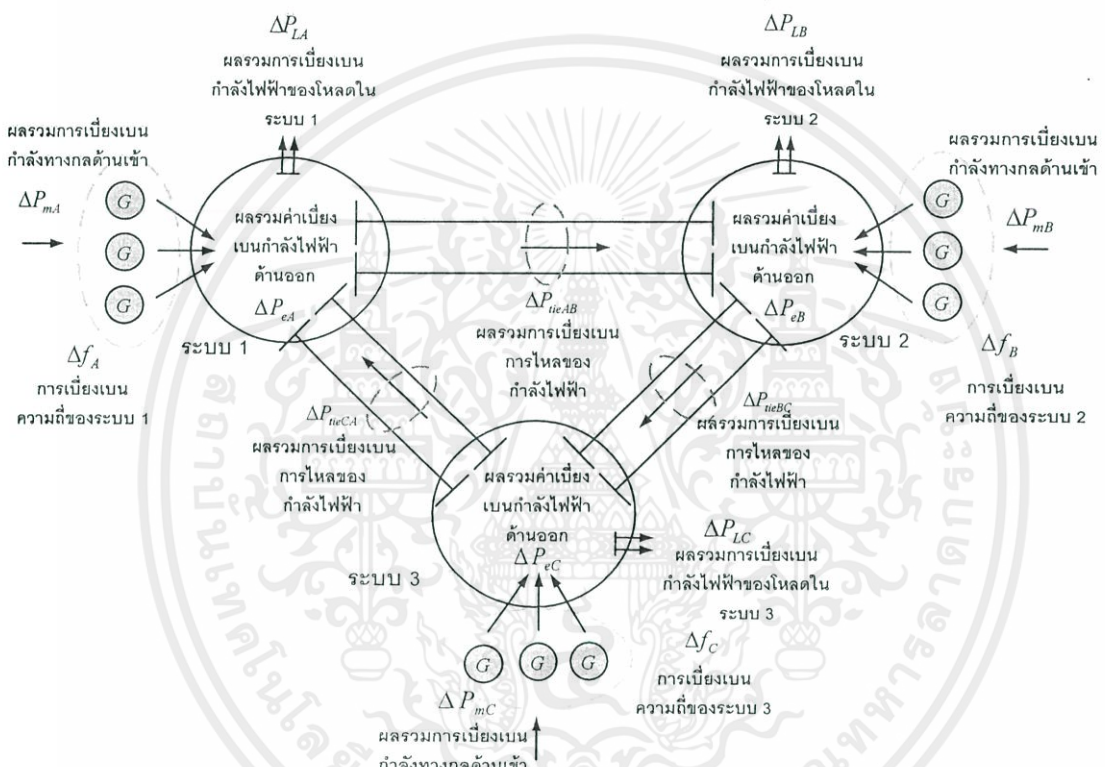
2.5.2 หลักการควบคุมความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมโยง

ระบบไฟฟ้ากำลังเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่หมายถึงระบบไฟฟ้ากำลังหลายๆระบบซึ่งเชื่อมโยงด้วยสายส่งหนึ่งเส้นหรือหลายๆเส้น ซึ่งมีจุดประสงค์หลักดังต่อไปนี้

1. เพื่อส่งกำลังไฟฟ้าระหว่างระบบในสภาวะปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบไฟฟ้าแบบแยกโดดซึ่งไม่ได้เชื่อมต่อไปยังระบบอื่นๆ การส่งกำลังไฟฟ้าผ่านสายเชื่อมโยงระหว่างระบบ จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการผลิตและส่งกำลังไฟฟ้าของแต่ละระบบที่เชื่อมโยงกันได้

2. เพื่อส่งกำลังไฟฟ้าระหว่างระบบเมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินในระบบไฟฟ้า เช่น การตัด (trip) ออกไปจากระบบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น ทำให้สามารถส่งกำลังไฟฟ้าระหว่างระบบเพื่อช่วยเหลือกันได้

ในกรณีฉุกเฉินนี้จะใช้ระบบไฟฟ้ากำลังชนิดสามพื้นที่ที่มีการเชื่อมโยงกันดังแสดงในรูปที่ 2.15 เพื่ออธิบายการควบคุมความถี่ เริ่มจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลายๆเครื่องในแต่ละระบบ ซึ่งซึ่งโครโนซกันที่ความถี่เดียวกันและจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดร่วมกัน สามารถแทนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดในแต่ละระบบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสมมูลเพียงหนึ่งเครื่อง และมีการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่ผ่านสายเชื่อมโยง



รูปที่ 2.15 ระบบไฟฟ้ากำลังสามระบบที่เชื่อมโยงกัน

ในส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสมการการเบี่ยงเบนความถี่ของแต่ละระบบคือ

$$M_A \frac{d\Delta f_A}{dt} = \Delta P_{m_A} - \Delta P_{e_A} \tag{2.16}$$

$$M_B \frac{d\Delta f_B}{dt} = \Delta P_{m_B} - \Delta P_{e_B} \tag{2.17}$$

$$M_C \frac{d\Delta f_C}{dt} = \Delta P_{m_C} - \Delta P_{e_C} \tag{2.18}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม้ โดยที่ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M_A , M_B และ M_C คือค่าคงตัวความเฉื่อยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสมมูลในแต่ละ

ระบบ

$\Delta P_{mA}, \Delta P_{mB}$ และ ΔP_{mC} คือผลรวมของการเบี่ยงเบนกำลังทางกลในแต่ละระบบ
 $\Delta P_{eA}, \Delta P_{eB}$ และ ΔP_{eC} คือผลรวมการเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้าในแต่ละระบบ
 $\Delta f_A, \Delta f_B$ และ Δf_C คือ การเบี่ยงเบนความถี่ในแต่ละระบบ

จากสมการที่ 2.2 จะแสดง $\Delta P_{mA}, \Delta P_{mB}$ และ ΔP_{mC} ได้คือ

$$\Delta P_{mA} = \Delta P_{refA} - \frac{1}{R_A} \Delta f_A \quad (2.19)$$

$$\Delta P_{mB} = \Delta P_{refB} - \frac{1}{R_B} \Delta f_B \quad (2.20)$$

$$\Delta P_{mC} = \Delta P_{refC} - \frac{1}{R_C} \Delta f_C \quad (2.21)$$

เมื่อ $\Delta P_{refA}, \Delta P_{refB}$ และ ΔP_{refC} คือผลรวมของการเบี่ยงเบนกำลังทางกลอ้างอิงจากตัวปรับความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ควบคุมความถี่ในแต่ละระบบ ส่วนพจน์ที่สองทางขวามือของสมการ แสดงผลการควบคุมความเร็วที่ติดตั้งกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกตัวในแต่ละระบบ สามารถคำนวณค่า R_A, R_B และ R_C ได้จาก

$$R_A = \frac{1}{\frac{1}{R_{A1}} + \frac{1}{R_{A2}} + \dots + \frac{1}{R_{An}}} \quad (2.22)$$

$$R_B = \frac{1}{\frac{1}{R_{B1}} + \frac{1}{R_{B2}} + \dots + \frac{1}{R_{Bn}}} \quad (2.23)$$

เมื่อ ค่า R คือค่าดรูปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องในระบบไฟฟ้ากำลังแต่ละระบบ

$$R_C = \frac{1}{\frac{1}{R_{C1}} + \frac{1}{R_{C2}} + \dots + \frac{1}{R_{Cn}}} \quad (2.24)$$

สำหรับการเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้าที่ไหลออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสมมูลในแต่ละระบบแสดงได้ด้วย

$$\Delta P_{eA} = \Delta P_{LA} + D_A \Delta f_A + \Delta P_{tieAB} \quad (2.25)$$

$$\Delta P_{eB} = \Delta P_{LB} + D_B \Delta f_B + \Delta P_{tieBC} \quad (2.26)$$

$$\Delta P_{eC} = \Delta P_{LC} + D_C \Delta f_C + \Delta P_{tieCA} \quad (2.27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อไม่พิจารณากำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่ง พิจารณาแต่ละพจน์ทางด้านขวาของสมการได้ดังนี้

พจน์ที่ 1 ΔP_{LA} , ΔP_{LB} และ ΔP_{LC} เป็นการเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้าของโหลดทั้งหมดในแต่ละระบบ กำลังไฟฟ้าของโหลดเหล่านี้ไม่ขึ้นอยู่กับเบี่ยงเบนความถี่

พจน์ที่ 2 $D_A \Delta f_A$, $D_B \Delta f_B$ และ $D_C \Delta f_C$ เป็นการเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้าของโหลดทั้งระบบ กำลังไฟฟ้าของโหลดเหล่านี้ขึ้นอยู่กับเบี่ยงเบนความถี่ เช่น โหลดมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นต้น

พจน์ที่ 3 ΔP_{tie} แสดงกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งจากระบบหนึ่งไปยังอีกระบบหนึ่ง

ดังนั้น สรุปสมการการเบี่ยงเบนความถี่และการไหลของกำลังไฟฟ้าในแต่ละสายส่งของระบบไฟฟ้าที่เชื่อมโยงกันระหว่างพื้นที่ได้ดังนี้

$$M_A \frac{d\Delta f_A}{dt} = \Delta P_{refA} - \frac{1}{R_A + D_A} \Delta f_A - \Delta P_{LA} - \Delta P_{tieAB} \quad (2.28)$$

$$M_B \frac{d\Delta f_B}{dt} = \Delta P_{refB} - \frac{1}{R_B + D_B} \Delta f_B - \Delta P_{LB} - \Delta P_{tieBC} \quad (2.29)$$

$$M_C \frac{d\Delta f_C}{dt} = \Delta P_{refC} - \frac{1}{R_C + D_C} \Delta f_C - \Delta P_{LC} - \Delta P_{tieCA} \quad (2.30)$$

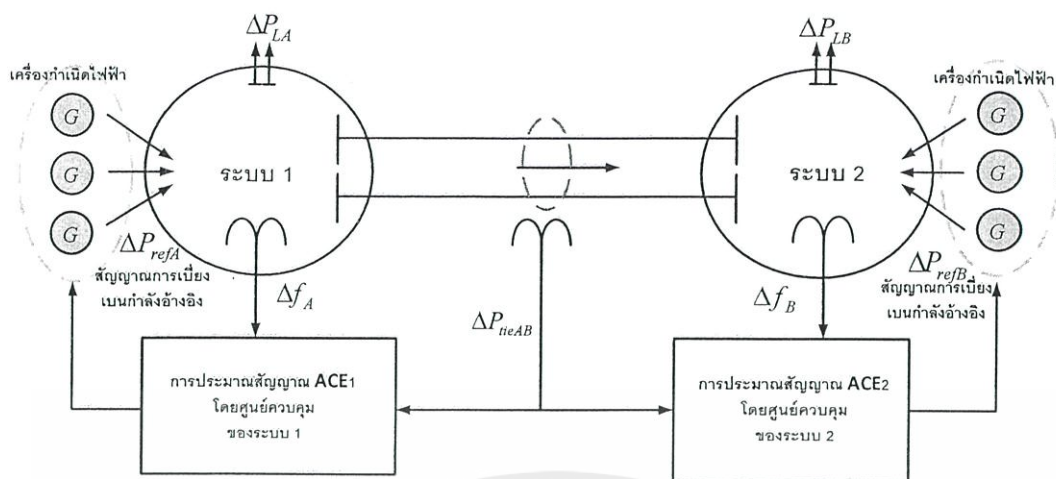
จากแนวคิดการควบคุมความถี่แต่ละระบบต้องรับผิดชอบการเปลี่ยนแปลงของโหลดที่เกิดขึ้นในระบบของตนเองโดยการปรับกำลังทางกลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้สอดคล้อง ดังนั้นเพื่อจะทำให้แต่ละระบบรู้ถึงขนาดการเปลี่ยนแปลงของโหลดแต่ละระบบจึงต้องมีการประมาณการเปลี่ยนแปลงของโหลดในระบบของตัวเองโดยใช้สัญญาณความเบี่ยงเบนความถี่และกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งจาก

$$ACE_1 = -\Delta P_{LA} = \Delta P_{tieAB} + K_{STA} \Delta f_A \quad (2.31)$$

$$ACE_2 = -\Delta P_{LB} = -\Delta P_{tieAB} + K_{STB} \Delta f_B \quad (2.32)$$

โดย ACE (area control error) คือ ค่าความผิดพลาดการควบคุมพื้นที่ ACE_1 และ ACE_2 เป็นค่าประมาณของการเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้าของโหลด ΔP_{LA} และ ΔP_{LB} ตามลำดับ โดยการควบคุมจะพยายามทำให้ค่า $M_A \frac{d\Delta f_A}{dt}$ และ $M_B \frac{d\Delta f_B}{dt}$ เป็นศูนย์และให้ค่า $\Delta P_{refA} = \Delta P_{refB} = 0$ สังเกตว่าค่าของ ACE_1 และ ACE_2 เป็นค่าลบของ ΔP_{LA} และ ΔP_{LB} ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 การควบคุมความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลังสองระบบที่เชื่อมโยง

รูปที่ 2.16 แสดงให้เห็นว่าสัญญาณ ACE คำนวณได้จากศูนย์ควบคุมในแต่ละระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อที่จะทำให้ ACE มีค่าเป็นศูนย์ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือเพื่อให้กำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสมดุลกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบของตัวเอง ศูนย์ควบคุมในแต่ละระบบจึงส่งสัญญาณ ACE ไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีหน้าที่ควบคุมความถี่ของระบบนั้น เพื่อปรับกำลังทางกลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหล่านี้ผ่านตัวปรับความเร็วของตัวควบคุมความเร็ว อนึ่ง สัญญาณการเบี่ยงเบนกำลังทางกลอ้างอิง ΔP_{refA} และ ΔP_{refB} ที่ส่งไปที่ตัวปรับความเร็วในแต่ละระบบนั้นสร้างจากการควบคุมแบบอินทิกรัลเหมือนกับในกรณีของระบบไฟฟ้ากำลังแบบแยกโดดซึ่งแสดงได้คือ

$$\Delta P_{refA} = K_{IA} \int ACE_1 dt \quad (2.33)$$

$$\Delta P_{refB} = K_{IB} \int ACE_2 dt \quad (2.34)$$

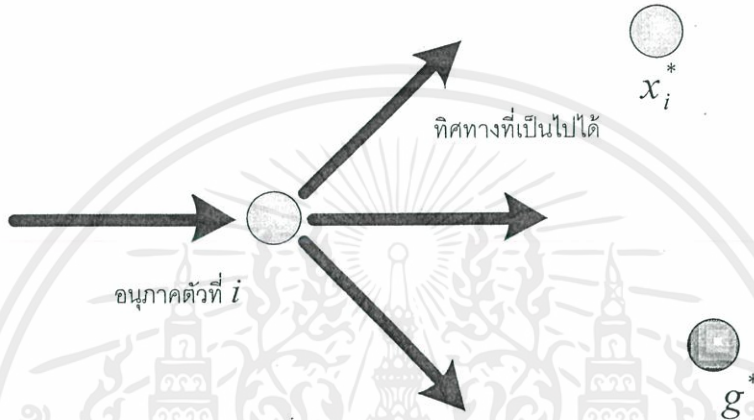
เมื่อ ΔK_{IA} และ ΔK_{IB} เป็นค่าอัตราขยายของตัวควบคุมอินทิกรัลที่ติดตั้งที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้สำหรับควบคุมความถี่ในระบบ 1 และ 2 ตามลำดับ การควบคุมความถี่ระบบเชื่อมโยงโดยใช้สัญญาณป้อนกลับ ACE ซึ่งประกอบไปด้วยการเบี่ยงเบนความถี่และการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งเสริมต่ออันเรียกว่า การควบคุมไบแอสสายส่งเชื่อมต่อ (tie line bias control, TBC)

2.6 วิธีการกลุ่มอนุภาค

2.6.1 ที่มาและความหมายของวิธีการกลุ่มอนุภาค

วิธีการกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization , PSO) ได้พัฒนาโดยนักวิจัยชื่อ Kennedy และ Eberhart ในปี ค.ศ. 1995 โดยเป็นกระบวนการหาค่าที่มีพื้นฐานในการเลียนแบบพฤติกรรมของฝูงปลาและฝูงนกในธรรมชาติ PSO อาจจะมีบางวิธีการที่คล้ายคลึงกับวิธีการทางพันธุกรรมและกระบวนการติดต่อกันแต่จะง่ายกว่าเพราะไม่มีการกลายพันธุ์หรือการใช้สารฟีโลโมนแต่แทนที่ด้วยการใช้จำนวนจริงที่ได้มาจากการสุ่มค่าและการติดต่อกันสื่อสารภายในฝูง (Swarm)

กระบวนการค้นหาค่าที่เหมาะสมของฟังก์ชันเป้าหมายโดยมีวิธีการปรับทิศทาง การเคลื่อนที่ของแต่ละตัวแทนซึ่งเรียกว่ากลุ่มอนุภาคการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคประกอบไปด้วยสอง ส่วนประกอบหลักส่วนแรกคือการสุ่มค่าและส่วนที่สองเป็นการกำหนดค่า ซึ่งแต่ละอนุภาคในพื้นที่ หลายมิติที่รวมเรียกว่า Swarm นี้จะเก็บข้อมูลเวกเตอร์สองเวกเตอร์คือเวกเตอร์ความเร็วและเวกเตอร์ความเร่ง แต่กลุ่มอนุภาคจะถูกดึงดูดไปยังตำแหน่งที่ดีที่สุดของทั้งฝูง g^* และตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่ม x^* เมื่อกลุ่มอนุภาคค้นพบตำแหน่งที่ดีกว่าตำแหน่งก่อนหน้ามันจะทำการปรับปรุงค่า ตำแหน่งที่ดีที่สุดให้เป็นค่าตำแหน่งปัจจุบันของแต่ละกลุ่มอนุภาคโดยมีเป้าหมายในการค่าที่ดีที่สุดของ ทั้งฝูงกลุ่มอนุภาค



รูปที่ 2.17 รูปแสดงการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค

2.6.2 หลักการทำงานของวิธีกกลุ่มอนุภาค

กระบวนการวิธีกกลุ่มอนุภาคจะเริ่มต้นจากการกำหนดฟังก์ชันเป้าหมายและ กำหนดค่าเริ่มต้นโดยตำแหน่งเริ่มต้น x_i ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ดีที่สุดเฉพาะกลุ่มจะกำหนดค่าโดยการสุ่มค่า ในช่วงที่ต้องการหาส่วนความเร็วเริ่มต้น v_i จะกำหนดให้เป็นศูนย์ของทุกอนุภาคโดยวิธีกกลุ่มอนุภาค จะทำการค้นหาค่า g^* ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ดีที่สุดของทั้งฝูงจากค่าต่ำสุดของฟังก์ชันเป้าหมาย $f(x_1), \dots, f(x_n)$ หลังจากนั้นจะเป็นขั้นตอนของการอัปเดตความเร็วโดยใช้สมการดังนี้

$$v_{id}(t+1) = w(t)v_{id}(t) + c_p u(p_{id} - x_{id}(t)) + c_g u(p_{gd} - x(t)) \quad (2.35)$$

$$v_{id}(t+1) = \begin{cases} -V_{\max}, & v_{id}(t+1) \leq -V_{\max} \\ V_{\max}, & v_{id}(t+1) \geq V_{\max} \end{cases} \quad (2.36)$$

หลังจากอัปเดตความเร็วแล้วจะทำการคำนวณตำแหน่งใหม่โดยใช้สมการ

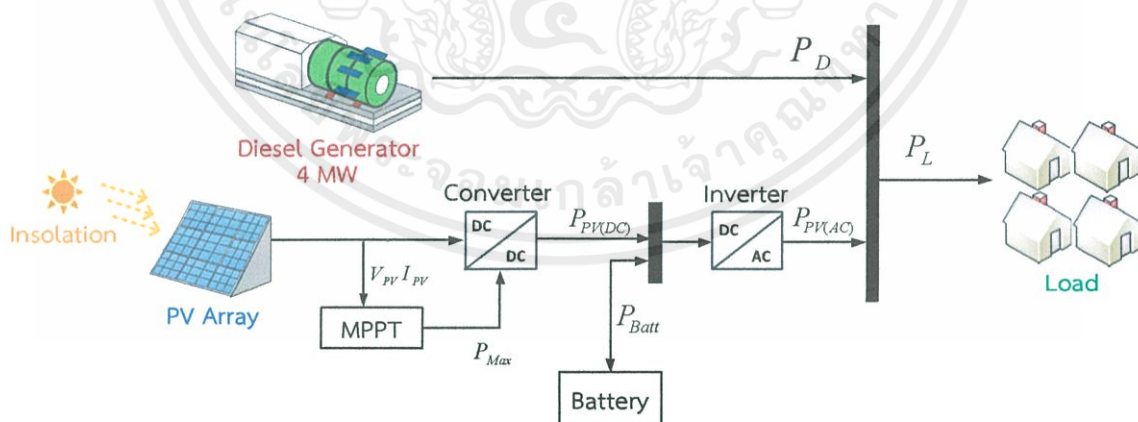
$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1) \quad (2.37)$$

นำค่าตำแหน่งใหม่ที่ได้มาหาค่าของฟังก์ชันเป้าหมายแล้วหาตำแหน่งที่ดีที่สุดเฉพาะ กลุ่ม x^* และเมื่อทำการคำนวณหาความเร็วเสร็จแล้วจึงทำการหาตำแหน่งที่ดีที่สุดของทั้งฝูง g^* ของแต่ละ รอบและกลับไปยังการหาตำแหน่งใหม่กระบวนการ PSO จะทำซ้ำไปจนกว่าจะถึงรอบที่ได้กำหนดไว้โดยค่าสุดท้ายที่ได้จะเป็นค่าของตำแหน่งที่ดีที่สุด

บทที่ 3

การควบคุมความถี่ในระบบไมโครกริดด้วยตัวควบคุมพีไอ ที่ออกแบบด้วยวิธีการกลุ่มอนุภาค

การประยุกต์ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Photo Voltaic : PV) [1] เพื่อควบคุมความถี่โหลด (Load-Frequency Control : LFC) [4] ในระบบไมโครกริด [2] ซึ่งระบบนี้เป็นการจำลองระบบส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในพื้นที่ขนาดเล็ก ในที่นี้สมมติว่าระบบไมโครกริดในพื้นที่ห่างไกลจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลัก มีระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล (Diesel Generator : DS) เป็นหลัก ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความถี่อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของโหลด ต่อมาทำการต่อเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เข้าไปในระบบไมโครกริดเพื่อควบคุมด้วยวิธีติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking : MPPT) [9] และตัวควบคุมพีไอ (Proportional-Integral Controller : PI) [8] จากความเข้มแสงอาทิตย์ (Insolation) โดยการนำเอากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มาพิจารณาเพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้ระบบไมโครกริด โดยมีแบตเตอรี่ทำการเก็บพลังงานไฟฟ้าในการเก็บพลังงานและจ่ายพลังงานที่ผ่านการควบคุมแบบพีไอที่ได้ค่าที่เหมาะสมจากการประยุกต์ใช้วิธีการกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization) [8] เพื่อลดปัญหาการเกิดการแกว่งของความถี่ในระบบไมโครกริด โดยทำการศึกษาและเปรียบเทียบก่อนหลังจากการติดตั้งตัวควบคุมพีไอและการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมพีไอในระบบไมโครกริด เพื่อลดปัญหาการแกว่งของความถี่ในระบบต่อไปให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น



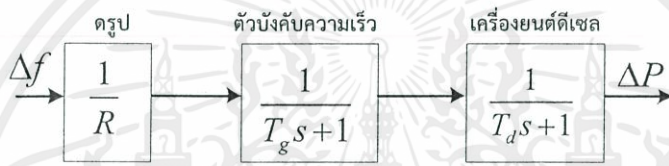
รูปที่ 3.1 ระบบไมโครกริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 แบบจำลองเชิงเส้นและค่าพารามิเตอร์สำหรับการควบคุมความถี่ในระบบไมโครกริด

แบบจำลองเชิงเส้นสำหรับควบคุมความถี่ในระบบไมโครกริด เป็นการอธิบายความสัมพันธ์เบื้องต้นเกี่ยวกับการได้มาของกำลังไฟฟ้าและพิจารณาความถี่ในระบบไมโครกริด เพื่อศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของการผลิตกำลังไฟฟ้าในระบบได้อย่างถูกต้อง อธิบายหลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับการพิจารณาความถี่ในระบบประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้

แบบจำลองของเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าดีเซล และตัวบังคับความเร็ว ได้แสดงในรูปแบบของบล็อกไดอะแกรม แบบจำลองนี้ได้มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย [7] และสามารถแสดงถึงพฤติกรรมทางพลวัตของเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าดีเซล แบบจำลองเครื่องยนต์ดีเซลและตัวบังคับได้ทำการแทนด้วยสมการอันดับหนึ่ง และสมการการถ่ายโอน ดังในรูปที่ 3.2

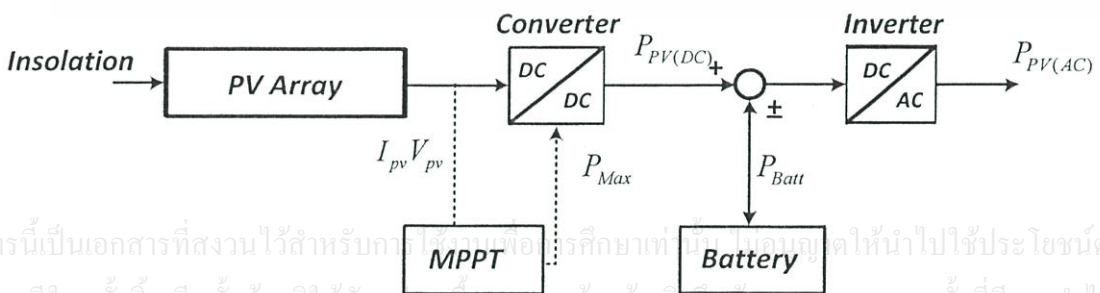


รูปที่ 3.2 แบบจำลองของตัวบังคับความเร็วและเครื่องยนต์ดีเซล

เมื่อ

- Δf คือ ค่าความเบี่ยงเบนของความถี่ (Hz)
- R_D คือ คุณลักษณะของดรู๊ป (Droop)
- T_g คือ ค่าคงที่เวลาของตัวบังคับความเร็ว(Governor)
- T_d คือ ค่าคงที่เวลาเครื่องยนต์ดีเซล
- ΔP คือ ค่าความเบี่ยงเบนของกำลังไฟฟ้า (pu.kW)

จำลองแบบจำลองของเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดังรูปที่ 3.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

โดย	V_{pv}	คือ ค่าแรงดันของแผงโซลาร์เซลล์ที่ทำให้จ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดและคงที่
	I_{pv}	คือ ค่ากระแสของแผงโซลาร์เซลล์ที่ทำให้จ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดและคงที่
	P_{Max}	คือ ค่ากำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ที่ทำให้จ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดและคงที่
	$P_{PV(AC)}$	คือ ค่ากำลังไฟฟ้ากระแสสลับของแผงโซลาร์เซลล์ที่จ่ายในระบบไมโครกริด
	$P_{PV(DC)}$	คือ ค่ากำลังไฟฟ้ากระแสตรงของแผงโซลาร์เซลล์
	P_{Bat}	คือ ค่ากำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่ชาร์ตในแบตเตอรี่

การกำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อศึกษาพฤติกรรมในระบบ
ส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล [4]

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด
ค่าคงตัวความเฉื่อยของโหลด (Inertia Constant , M)	0.150 puMW/Hz
ค่าคงตัวการหน่วง (Damping Constant , D)	0.008 pu
ค่าคงตัวทางเวลาของโกเวอร์เนอร์ (Governor time Constant , T_g)	0.10 s
ค่าคงตัวทางเวลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล (Diesel time Constant , T_d)	5.0 s
ค่าคงตัวการควบคุมความเร็วหรือดรู๊ป (Speed Regulation , R)	2.5 Hz/puMW

ส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

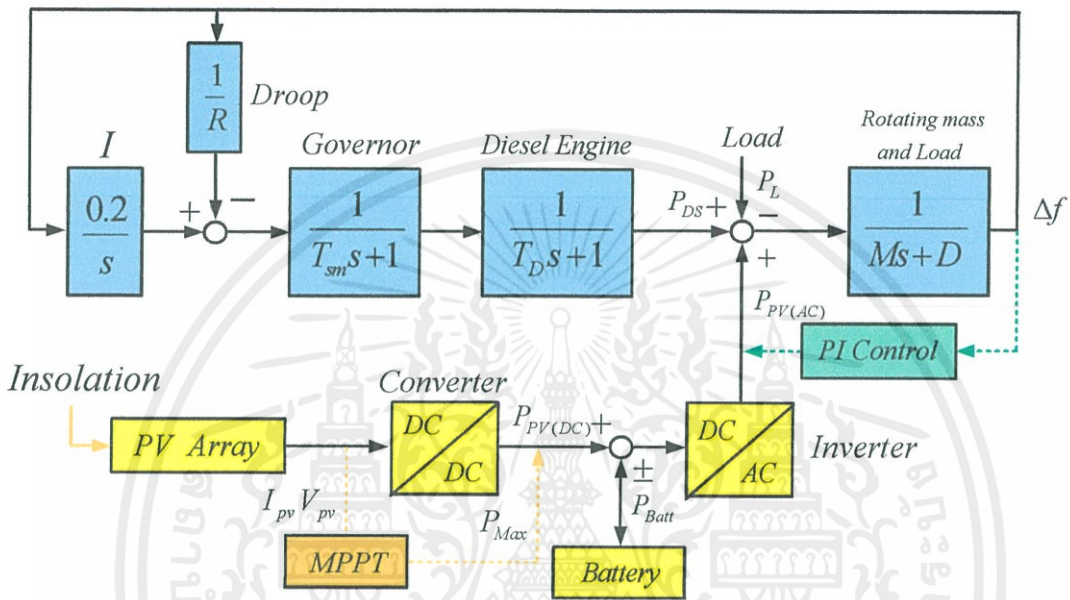
ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์โมดูลของเซลล์แสงอาทิตย์ [4]

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด
กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต	85 W
กระแสลัดวงจร (I_{sc})	5.45 A
แรงดันเปิดวงจร (V_{oc})	22.2 V
กระแสที่ กำลังไฟฟ้าสูงสุด ($I_{P_{max}}$)	4.95 A
แรงดันที่ กำลังไฟฟ้าสูงสุด ($V_{P_{max}}$)	17.2 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 แนวคิดการทำเสถียรภาพความถี่ในระบบไมโครกริด

จากรูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.3 สามารถแสดงการทำงานร่วมกันระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ พร้อมกับตัวควบคุมพีไอซึ่งประกอบด้วยอัตราขยายสัดส่วนและอัตราขยายปริพันธ์ และค่าพารามิเตอร์ต่างๆในส่วนของค่าในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.4 แบบจำลองระบบไมโครกริด

การจำลองระบบไมโครกริดเป็นการจ่ายกำลังไฟฟ้าโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเป็นหลัก ซึ่งการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลจะขึ้นอยู่กับสถานะของโหลดแต่ละช่วง ทำให้ทราบว่าถ้ามีความต้องการกำลังไฟฟ้าจากโหลด เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลจะจ่ายกำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการ โดยขนาดกำลังที่จ่ายคิดเป็นค่าต่อหน่วย

แต่ในที่นี้เราจะเพิ่มเติมระบบไฟฟ้ากำลังจากพลังงานแสงอาทิตย์เข้าไปในระบบไมโครกริดเพื่อช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าในระบบ และการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ในที่นี้สนใจความเข้มแสงอาทิตย์เป็นหลักในการพิจารณา ซึ่งความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าตั้งแต่ $0 - 1000 \text{ Wb/m}^2$ ถ้าได้รับความเข้มแสงอาทิตย์เต็มพิกัดจะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าเพื่อจ่ายในระบบไมโครกริดได้เต็มที่ และความเข้มแสงอาทิตย์ดังกล่าวในแต่ละช่วงเวลาจะเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ โดยการผลิตกำลังไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มีค่ามากที่สุดและคงที่จากการควบคุมโดยตัวติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวควบคุมพีไอเป็นส่วนที่ช่วยปรับแก้ค่าของกำลังไฟฟ้าที่จ่ายจากตัวอินเวอร์เตอร์เข้าสู่ระบบ พิจารณากำลังไฟฟ้ากำลังไฟฟ้าที่เหลือจากเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะถูกเก็บพลังงานในรูปของการชาร์จ (Charge) และดิสชาร์จ (Discharge) [11] ในช่วงที่ตัวควบคุมพีไอพิจารณากำลังไฟฟ้าที่จ่ายในระบบเพื่อลดการแกว่งของความถี่ในระบบไมโครกริด [9] โดยพิจารณาได้ดังนี้

$$\text{ทำการชาร์จ} \quad \text{เมื่อ } P_{PV(DC)} > P_{PV(AC)} ; \text{ ให้ } P_{Batt} = P_{PV(DC)} - P_{PV(AC)} \quad (3.1)$$

$$\text{ทำการดิสชาร์จ} \quad \text{เมื่อ } P_{PV(DC)} < P_{PV(AC)} ; \text{ ให้ } P_{Batt} = P_{PV(AC)} - P_{PV(DC)} \quad (3.2)$$

โดย ถ้า P_{Batt} มีค่าเป็นบวกแบตเตอรี่จะอยู่ในสภาวะชาร์จ

และถ้า P_{Batt} มีค่าเป็นลบแบตเตอรี่จะอยู่ในสภาวะดิสชาร์จ

ซึ่งการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของค่าอัตราขยายสัดส่วน (K_p) และค่าอัตราขยายปริพันธ์ (K_I) ในตัวควบคุมพีไอจากการประยุกต์ใช้วิธีการกลุ่มอนุภาค [8] ซึ่งการหาค่าที่เหมาะสมได้พิจารณาจากฟังก์ชันจุดประสงค์ดังสมการที่ 3.3

$$\text{Minimize} \left(\int_0^{t_f} |\Delta f(t)| dt + \sum_{i=0}^{t_f} (P_{PV} - P_{CONTROL}) \right) \quad (3.3)$$

โดยมีเงื่อนไขคือ

$$0 = K_{P(\min)} < K_p < K_{P(\max)} = 10$$

$$0 = K_{I(\min)} < K_I < K_{I(\max)} = 10$$

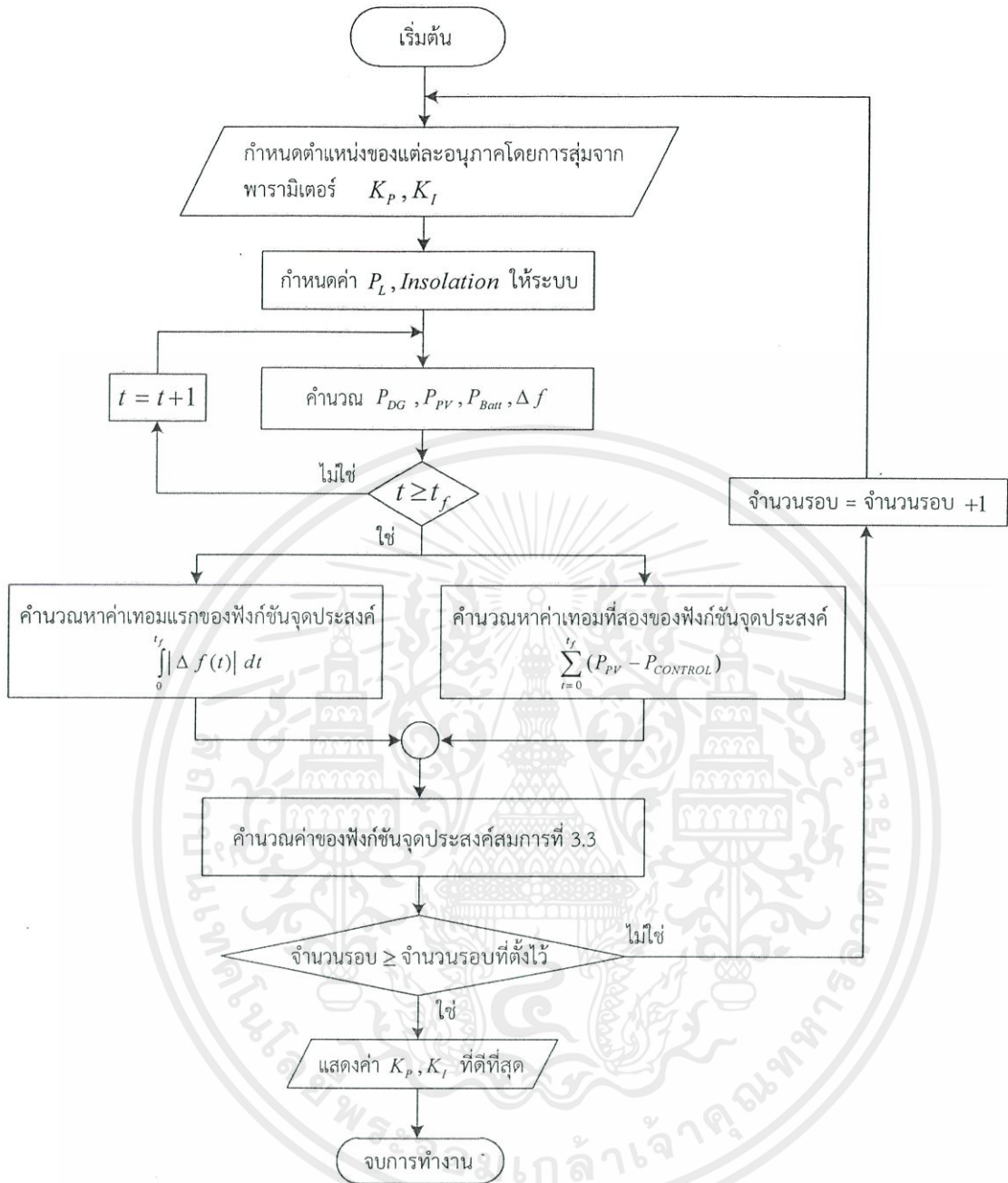
เมื่อ Δf คือ ค่าความเบี่ยงเบนของความถี่ในระบบ

P_{PV} คือ กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้

$P_{CONTROL}$ คือ กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่จ่ายเข้าระบบ

โดยขั้นตอนในการหาพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอที่เหมาะสมแสดงเป็นแผนผังการทำงานในรูปที่ 3.5 โดยได้ประยุกต์ใช้วิธีการกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization) ในการ แก้ปัญหาสมการวัตถุประสงค์ตามสมการที่ 3.3

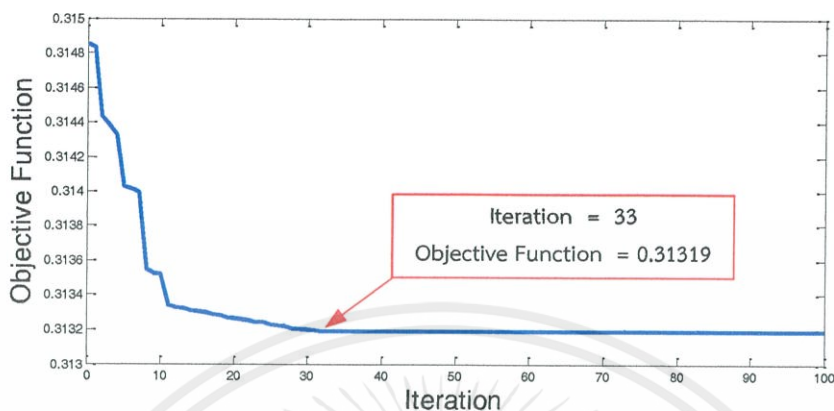
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แผงผังการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมพีไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมพีไอโดยพิจารณาจากฟังก์ชันจุดประสงค์ได้การลู่เข้าสู่ค่าตอบดังนี้



รูปที่ 3.6 กราฟการลู่เข้าสู่ค่าตอบของหาค่าพารามิเตอร์ของวิธีการกลุ่มอนุภาค

จากการลู่เข้าสู่ค่าตอบได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดจากฟังก์ชันจุดประสงค์สำหรับตัวควบคุมพีไอ จะได้ตัวควบคุมพีไอของระบบไมโครกริด ดังนี้

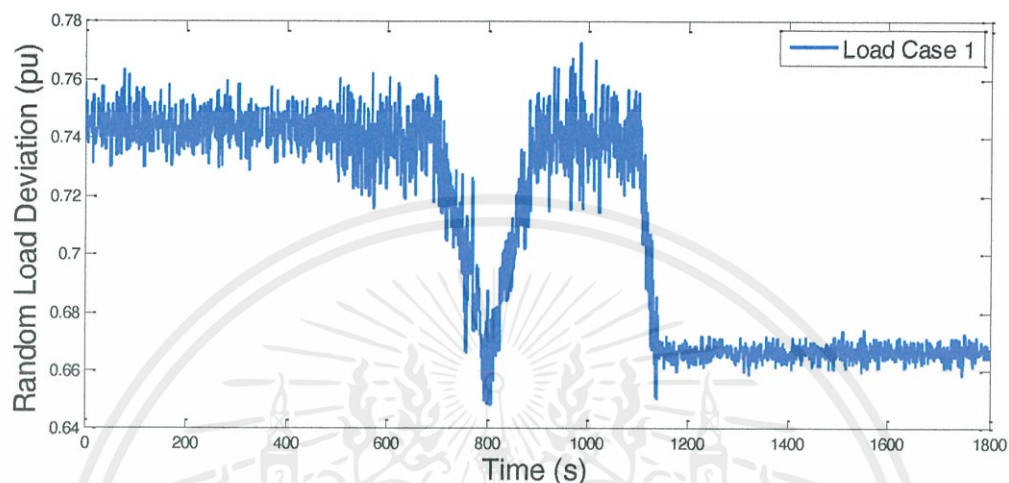
$$PI \text{ controller} = 4.09886 + \frac{0.01067}{s} \quad (3.4)$$

3.3 การศึกษาพฤติกรรมการณ์เปลี่ยนแปลงความถี่ในระบบไมโครกริด

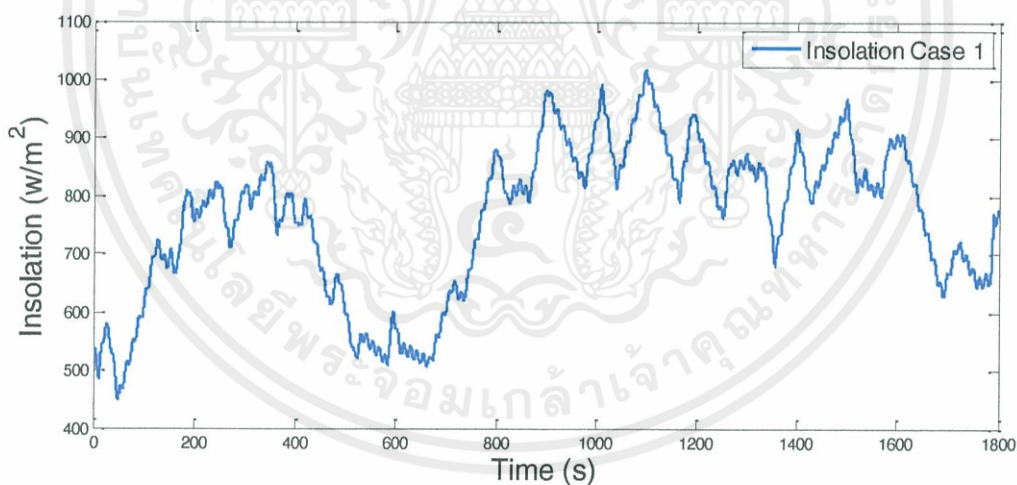
จากระบบไมโครกริดจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงของโหลดและความเข้มแสงอาทิตย์ ซึ่งทั้งสองค่าส่งผลต่อความถี่ในระบบไมโครกริด [4] โดยทำการศึกษาพฤติกรรมการณ์เปลี่ยนแปลงความถี่ในขณะที่มีเซลล์แสงอาทิตย์ช่วยจ่ายและควบคุมการผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยเปรียบเทียบในสภาวะที่ไม่มีตัวควบคุมพีไอ มีตัวควบคุมพีไอและมีตัวควบคุมพีไอจากการหาค่าที่เหมาะสมที่ออกแบบด้วยวิธีการกลุ่มอนุภาค ในระบบไมโครกริด 3 กรณี ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 กรณีที่ 1: ศึกษาพฤติกรรมกรรมการเปลี่ยนแปลงโดยให้มีสภาวะดังนี้
 โหลดในสภาวะปกติ
 ปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ในสภาวะปกติ



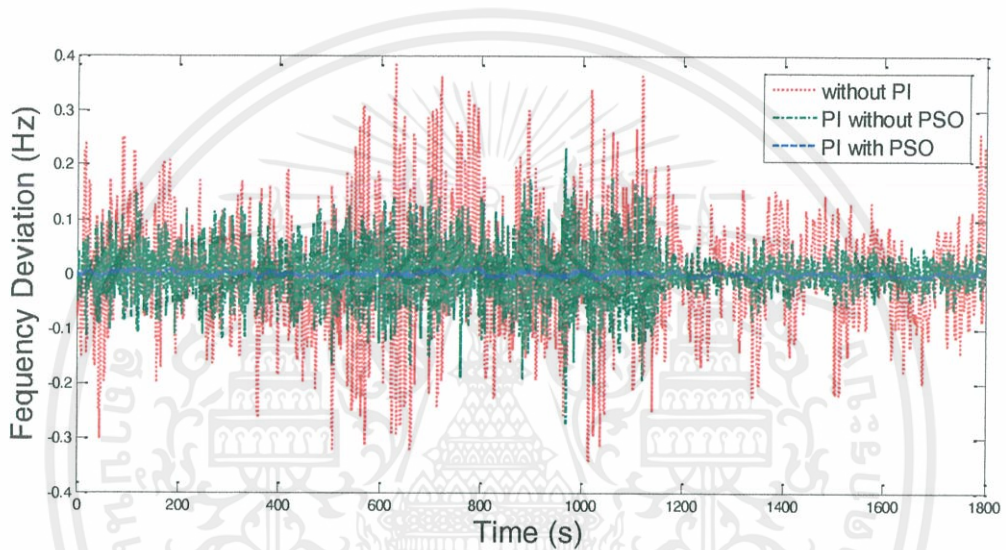
รูปที่ 3.7 โหลดในสภาวะปกติ



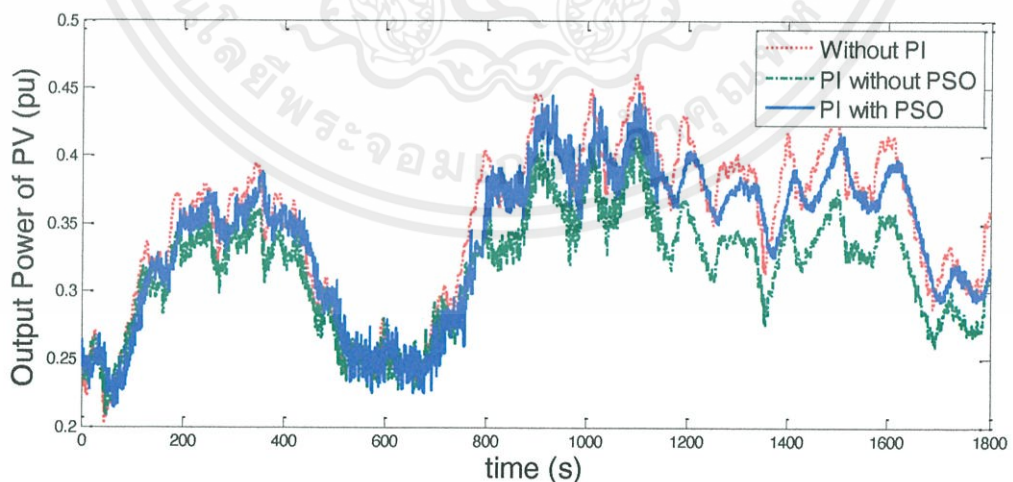
รูปที่ 3.8 ปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ในสภาวะปกติ

ในกรณีที่ 1 สมมุติว่าสภาวะการเปลี่ยนแปลงโหลดและการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ในรูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.8 ตามลำดับ เพื่อลดปัญหาการแกว่งของความถี่ในระบบไมโครกริดด้วยตัวควบคุมพีไอ ปรากฏว่าระบบไมโครกริดที่มีการควบคุมโดยตัวควบคุมพีไอจากการหาค่าที่เหมาะสมที่ออกแบบด้วยวิธีการกลุ่มอนุภาคมีการเบี่ยงเบนของความถี่น้อยที่สุดดีกว่าระบบไมโครกริดที่ไม่มีตัวควบคุมพีไอและมีตัวควบคุมพีไอที่แสดงในรูปที่ 3.9 จากการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ออกจากอินเวอร์เตอร์โดยตัวควบคุมพีไอจากการหาค่าที่เหมาะสมที่ออกแบบด้วยวิธีการ

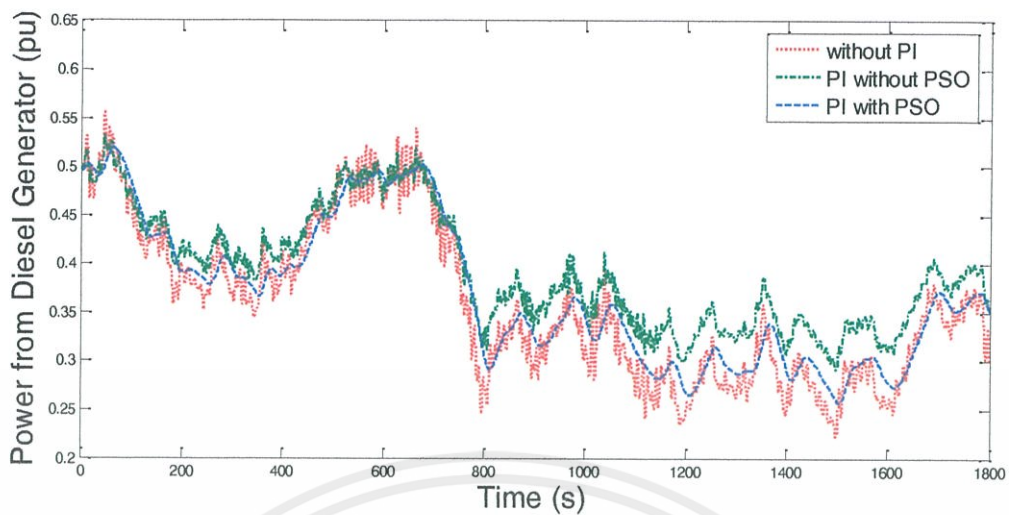
กลุ่มอนุภาค แสดงกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าระบบจากเครื่องผลิตกำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งมีพฤติกรรมการจ่ายกำลังไฟฟ้าใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตได้และกำลังไฟฟ้าที่จ่ายในระบบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เซลล์มีพฤติกรรมการจ่ายกำลังไฟฟ้าใกล้เคียงกับสถานะที่ไม่มีตัวควบคุมที่แสดงในรูปที่ 3.10 และรูปที่ 3.11 ตามลำดับ ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมการสะสมพลังงานในแบตเตอรี่จากระบบไมโครกริดที่มีการควบคุมโดยตัวควบคุมพีไอจากการหาค่าที่เหมาะสมที่ออกแบบด้วยวิธีการกลุ่มอนุภาคที่มีการจ่ายและเก็บพลังงานในช่วงที่ยอมรับได้และมีขนาดของแบตเตอรี่ที่เล็กกว่าระบบไมโครกริดที่มีตัวควบคุมพีไอแต่ไม่มีการหาค่าที่เหมาะสมที่แสดงในรูปที่ 3.12



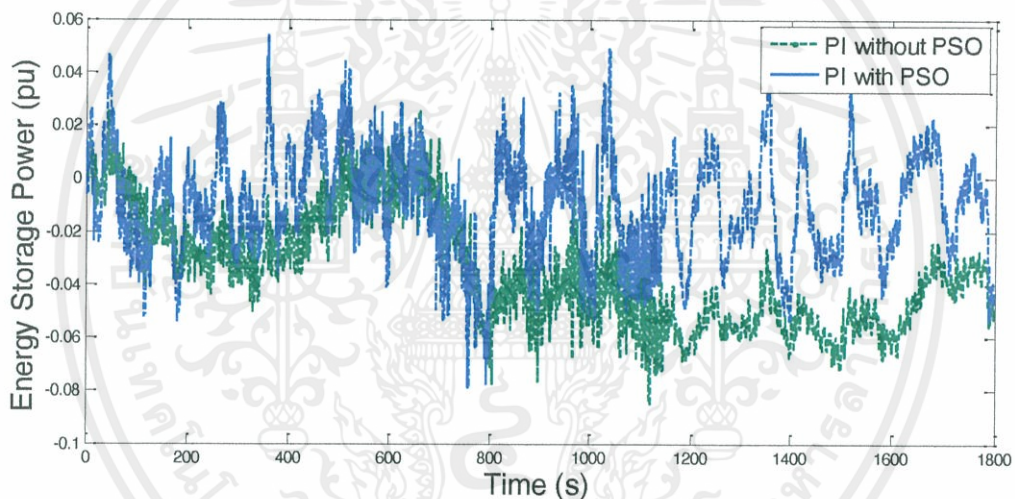
รูปที่ 3.9 ผลตอบสนองของความถี่ระบบในกรณีที่ 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สรุปที่ 3.10 กำลังไฟฟ้าด้านนอกของอินเวอร์เตอร์ในกรณีที่ 1 นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



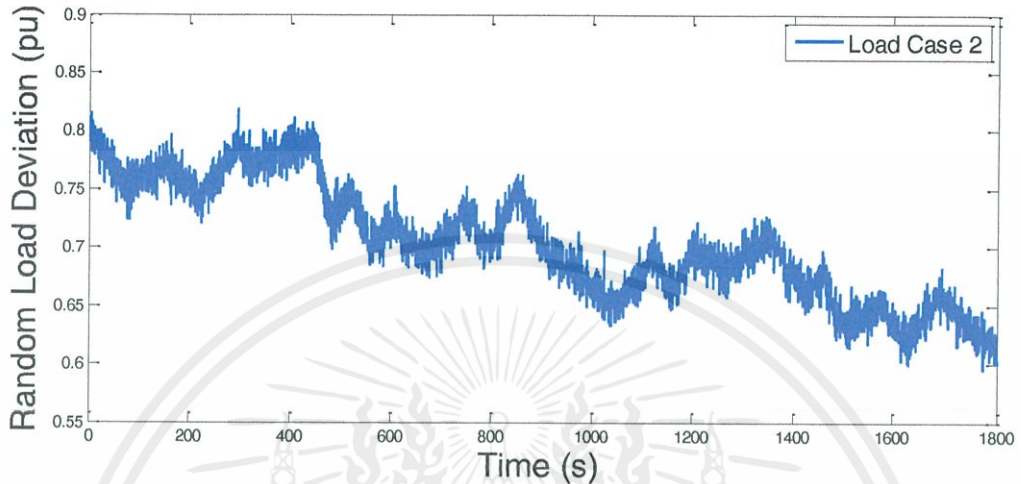
รูปที่ 3.11 กำลังไฟฟ้าด้านออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลในกรณีที่ 1



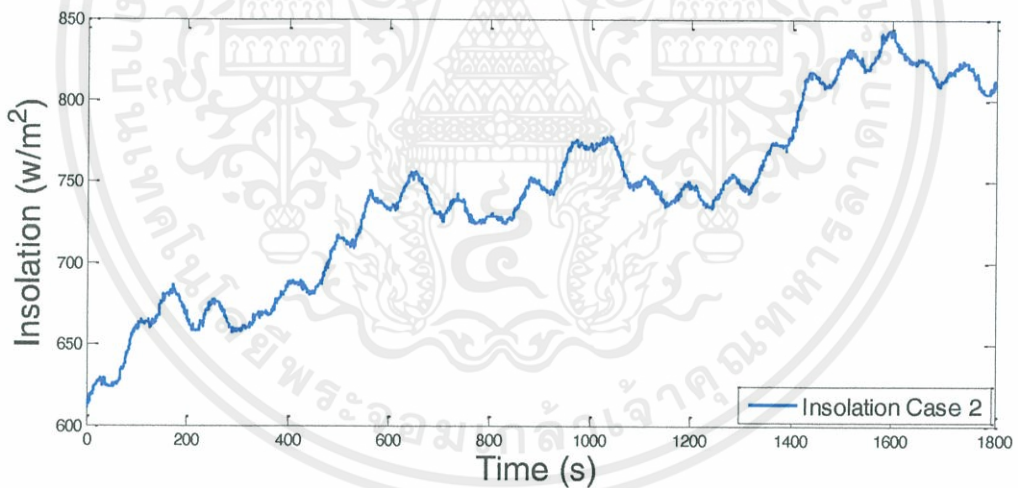
รูปที่ 3.12 การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าในแบตเตอรี่ในกรณีที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 กรณีที่ 2: ศึกษา พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงโดยให้มีสถานะดังนี้
 โหลดที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลดลง
 ปริมาณความเข้มแสงที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น



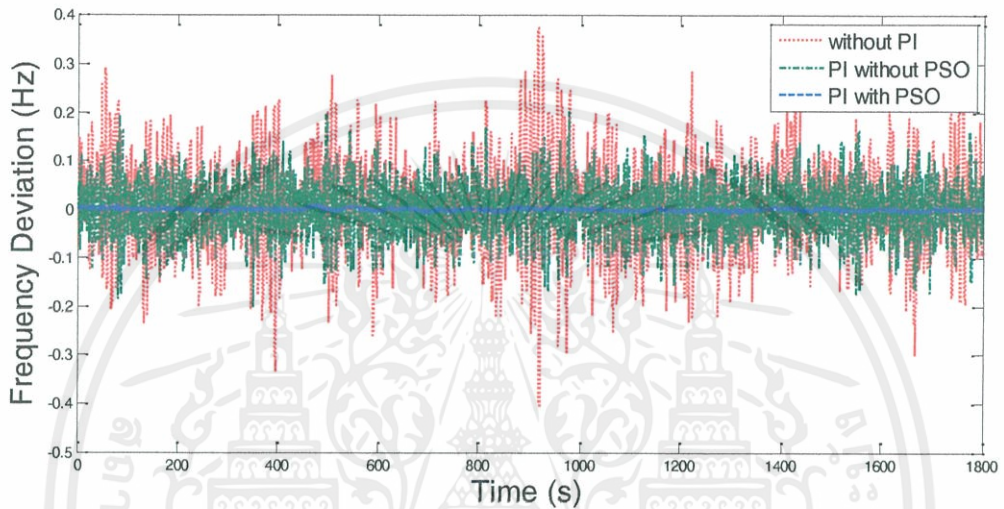
รูปที่ 3.13 โหลดที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลดลง



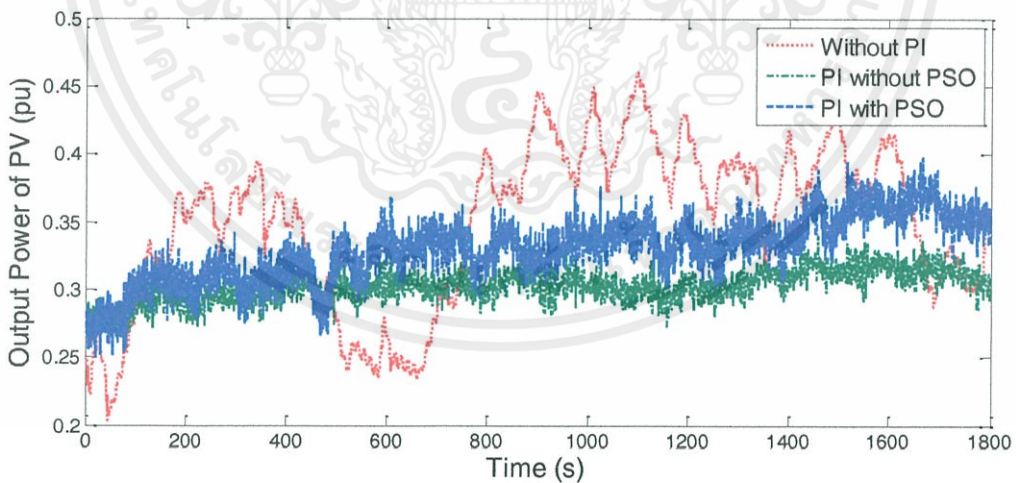
รูปที่ 3.14 ปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น

ในกรณีที่ 2 สมมุติว่าสถานะการเปลี่ยนแปลงโหลดและการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ในรูปที่ 3.13 และรูปที่ 3.14 ตามลำดับ เพื่อลดปัญหาการแกว่งของความถี่ในระบบไมโครกริดด้วยตัวควบคุมพีไอ ปรากฏว่าระบบไมโครกริดที่มีการควบคุมโดยตัวควบคุมพีไอจากการหาค่าที่เหมาะสมที่ออกแบบด้วยวิธีการกลุ่มอนุภาคมีการเบี่ยงเบนของความถี่น้อยกว่าระบบไมโครกริดที่ไม่มีตัวควบคุมพีไอและมีตัวควบคุมพีไอที่แสดงในรูปที่ 3.15 จากการควบคุมกำลังไฟฟ้าไปใช้ที่ออกจากอินเวอร์เตอร์โดยตัวควบคุมพีไอจากการหาค่าที่เหมาะสมที่ออกแบบด้วยวิธีการกลุ่ม

อนุภาค แสดงกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าระบบจากเครื่องผลิตกำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งมีพฤติกรรม การจ่ายกำลังไฟฟ้าใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตได้และกำลังไฟฟ้าที่ จ่ายในระบบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลมีพฤติกรรมการจ่ายกำลังไฟฟ้าใกล้เคียงกับสถานะที่ไม่มีตัว ควบคุมที่แสดงในรูปที่ 3.16 และรูปที่ 3.17 ตามลำดับ ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมการสะสมพลังงานใน แบตเตอรี่จากระบบไมโครกริดที่มีการควบคุมโดยตัวควบคุมพีไอจากการหาค่าที่เหมาะสมที่ออกแบบ ด้วยวิธีการกลุ่มอนุภาคที่มีการจ่ายและเก็บพลังงานในช่วงที่ยอมรับได้และมีขนาดของแบตเตอรี่ที่เล็ก กว่าระบบไมโครกริดที่มีตัวควบคุมพีไอแต่ไม่มีการหาค่าที่เหมาะสมที่แสดงในรูปที่ 3.18

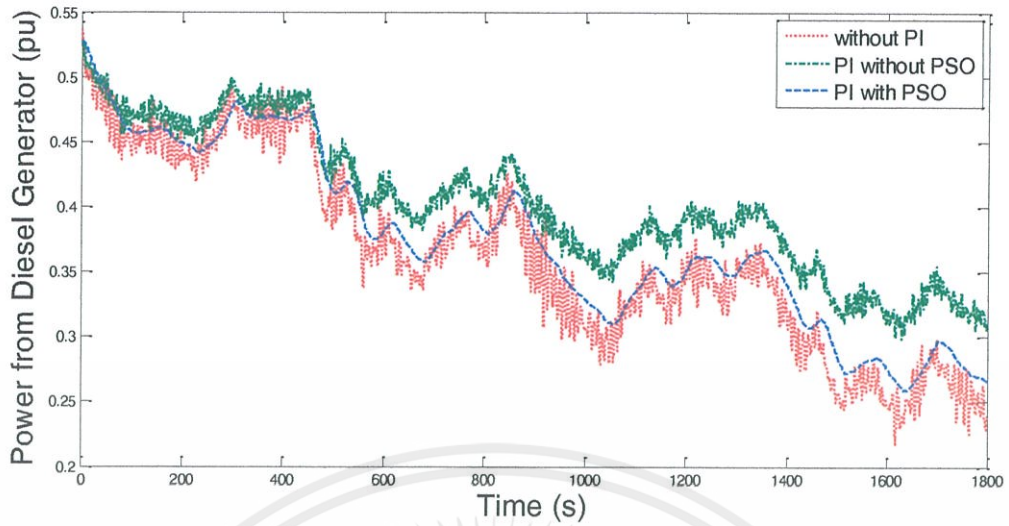


รูปที่ 3.15 ผลตอบสนองของความถี่ระบบในกรณีที่ 2

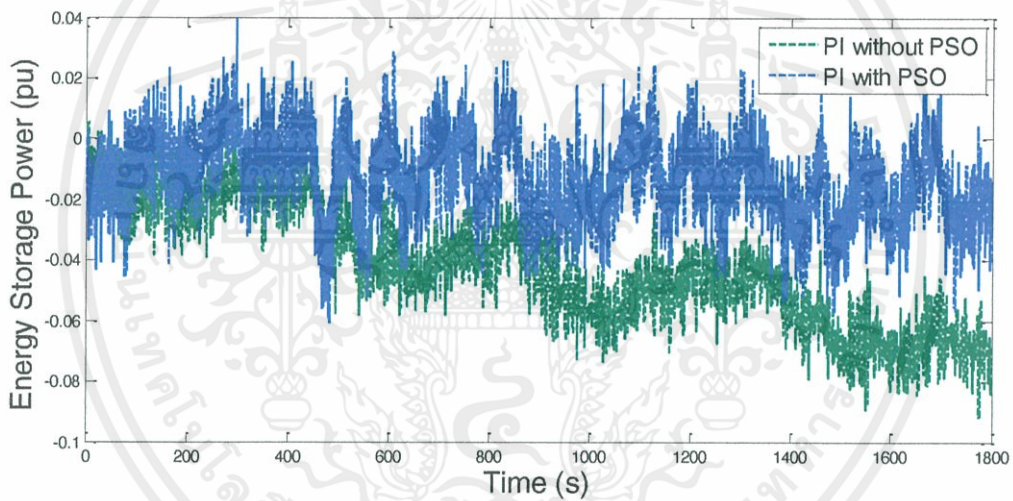


รูปที่ 3.16 กำลังไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์ในกรณีที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



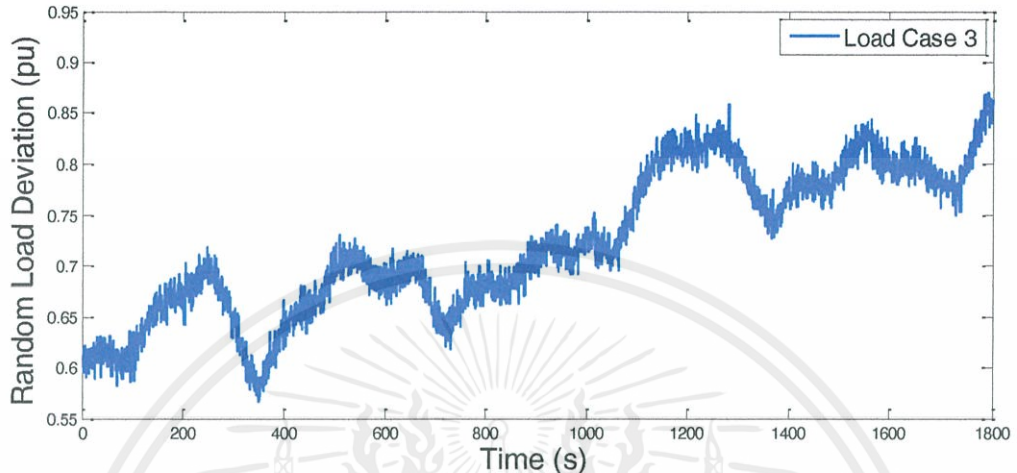
รูปที่ 3.17 กำลังไฟฟ้าด้านออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลในกรณีที่ 2



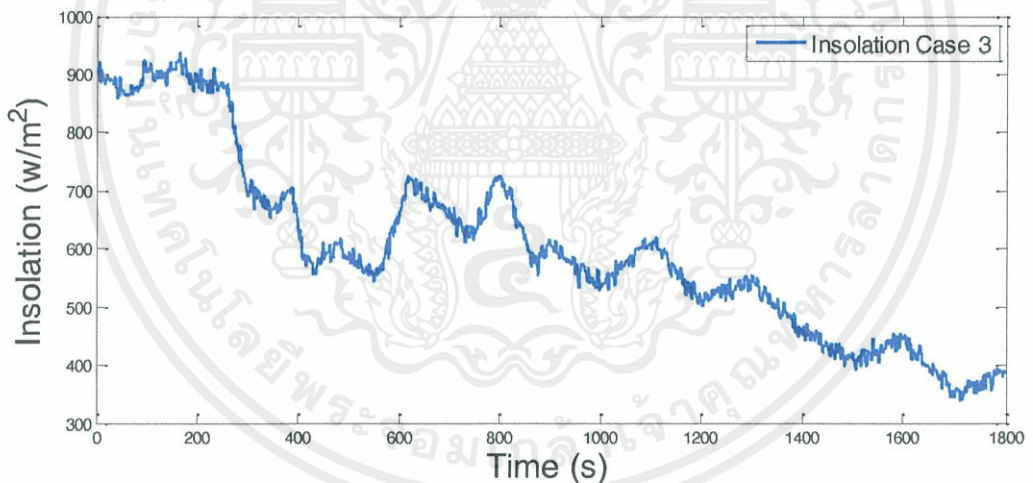
รูปที่ 3.18 การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าในแบตเตอรี่ในกรณีที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 กรณีที่ 3: ศึกษา พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงโดยให้มีสถานะดังนี้
โหนดที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น
ปริมาณความเข้มแสงที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลดลง



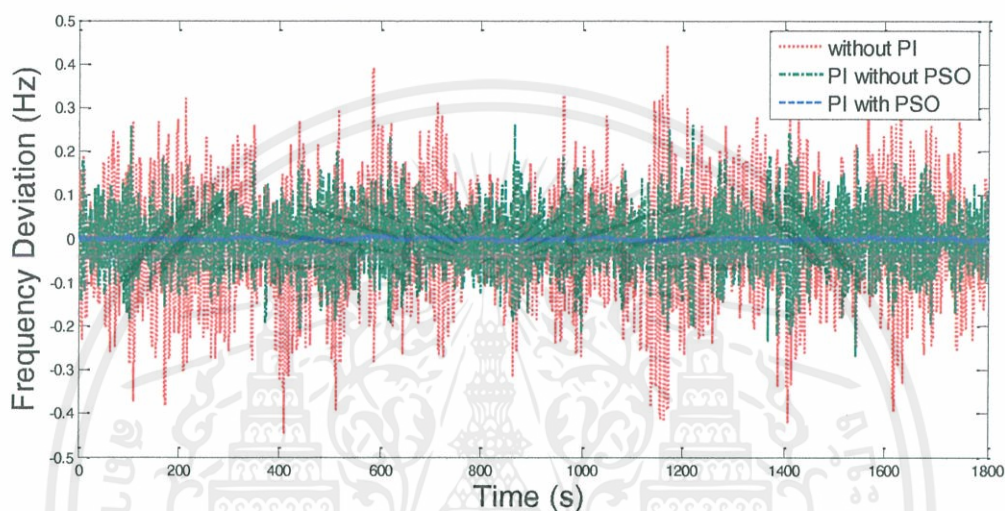
รูปที่ 3.19 โหนดที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น



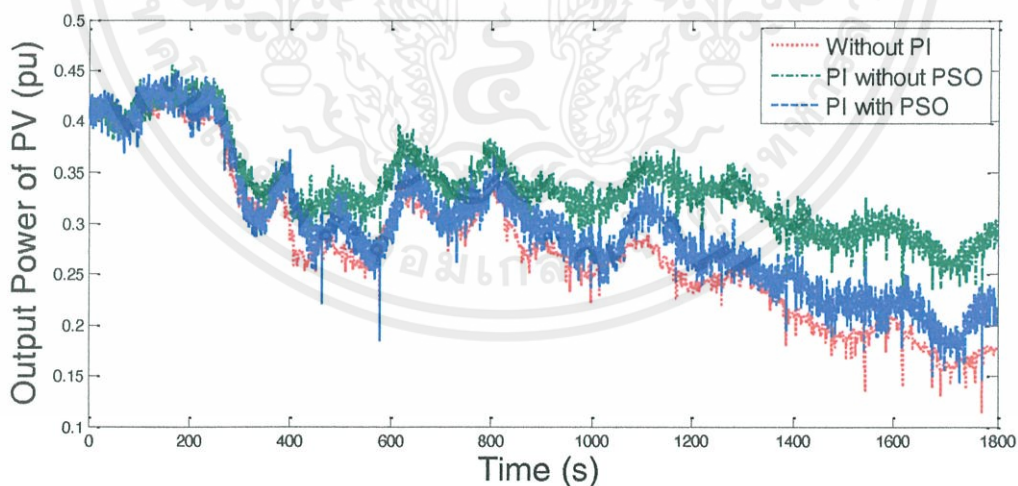
รูปที่ 3.20 ปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลดลง

ในกรณีที่ 3 สมมุติว่าสถานะการเปลี่ยนแปลงโหนดและการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ในรูปที่ 3.19 และรูปที่ 3.20 ตามลำดับ เพื่อลดปัญหาการแกว่งของความถี่ในระบบไมโครกริดด้วยตัวควบคุมพีไอ ปรากฏว่าระบบไมโครกริดที่มีการควบคุมโดยตัวควบคุมพีไอจากการหาค่าที่เหมาะสมที่ออกแบบด้วยวิธีการกลุ่มอนุภาคมีการเบี่ยงเบนของความถี่น้อยที่สุดดีกว่าระบบไมโครกริดที่ไม่มีตัวควบคุมพีไอและมีตัวควบคุมพีไอที่แสดงในรูปที่ 3.21 จากการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ออกจากอินเวอร์เตอร์โดยตัวควบคุมพีไอจากการหาค่าที่เหมาะสมที่ออกแบบด้วยวิธีการกลุ่มอนุภาค แสดงกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าระบบจากเครื่องผลิตกำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งมี

พฤติกรรมของการจ่ายกำลังไฟฟ้าใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตได้และกำลังไฟฟ้าที่จ่ายในระบบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลมีพฤติกรรมของการจ่ายกำลังไฟฟ้าใกล้เคียงกับสถานะที่ไม่มีตัวควบคุมที่แสดงในรูปที่ 3.22 และรูปที่ 3.23 ตามลำดับ ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมของระบบพลังงานในแบตเตอรี่จากระบบไมโครกริดที่มีการควบคุมโดยตัวควบคุมพีไอจากการหาค่าที่เหมาะสมที่ออกแบบด้วยวิธีการกลุ่มอนุภาคที่มีการจ่ายและเก็บพลังงานในช่วงที่ยอมรับได้และมีขนาดของแบตเตอรี่ที่เล็กกว่าระบบไมโครกริดที่มีตัวควบคุมพีไอแต่ไม่มีการหาค่าที่เหมาะสมที่แสดงในรูปที่ 3.24

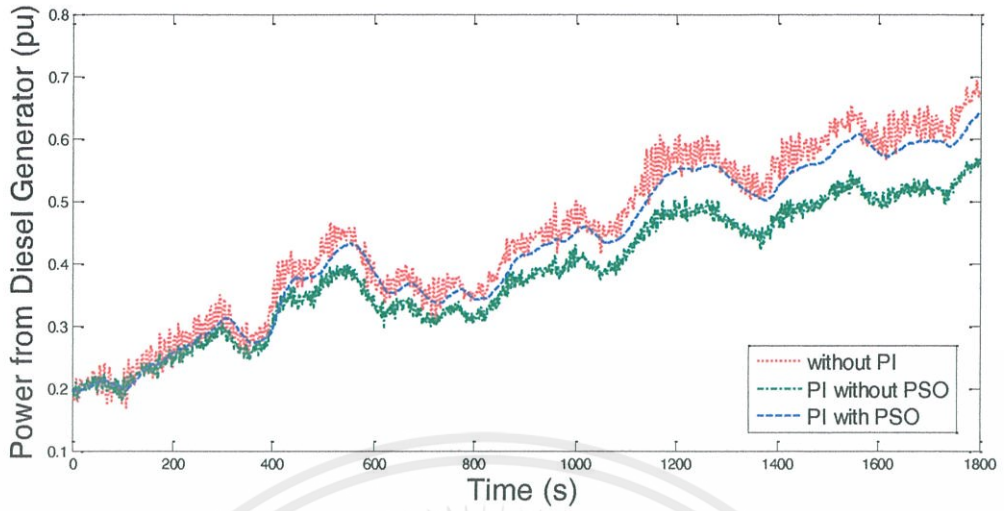


รูปที่ 3.21 ผลตอบสนองของความถี่ระบบในกรณีที่ 3

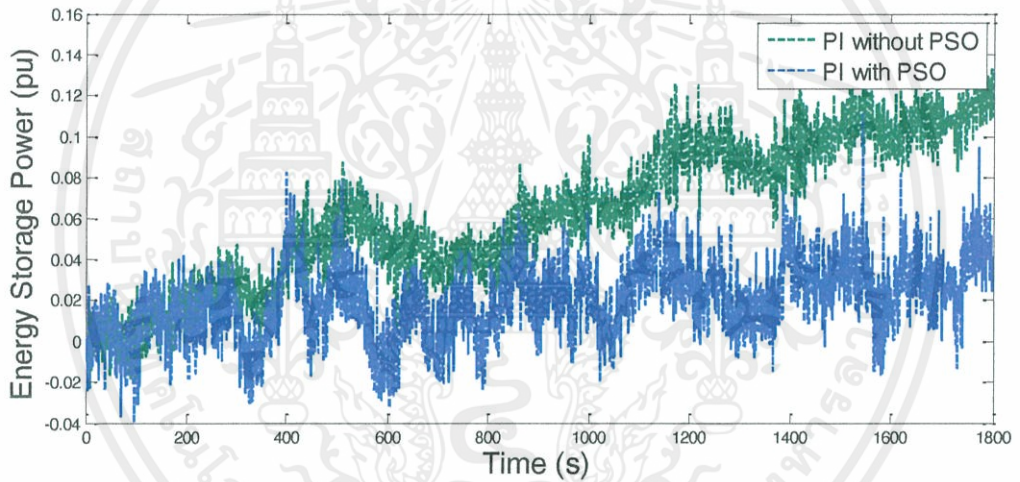


รูปที่ 3.22 กำลังไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์ในกรณีที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 กำลังไฟฟ้าด้านออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลในกรณีที่ 3



รูปที่ 3.24 การถ่ายโอนพลังงานในแบตเตอรี่ในกรณีที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 สรุป

ในบทนี้ นำเสนอการปรับปรุงเสถียรภาพความถี่ของระบบไมโครกริด ด้วยการควบคุมกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และเปรียบเทียบระบบไมโครกริดในสถานะที่ไม่มีตัวควบคุม มีตัวควบคุมพีไอ และมีตัวควบคุมพีไอมีการควบคุมโดยตัวควบคุมพีไอจากการหาค่าที่เหมาะสมที่ออกแบบด้วยวิธีการกลุ่มอนุภาค

เพื่อทำให้เกิดเสถียรภาพความถี่ในระบบไมโครกริด จากการปรับแก้ค่าอัตราขยายสัดส่วนและค่าอัตราขยายปริพันธ์ในตัวควบคุมพีไอให้มีค่าเหมาะสมกับการควบคุม มีการลู่ออกหาค่าตอบที่ดีที่สุดจากวิธีการกลุ่มอนุภาค

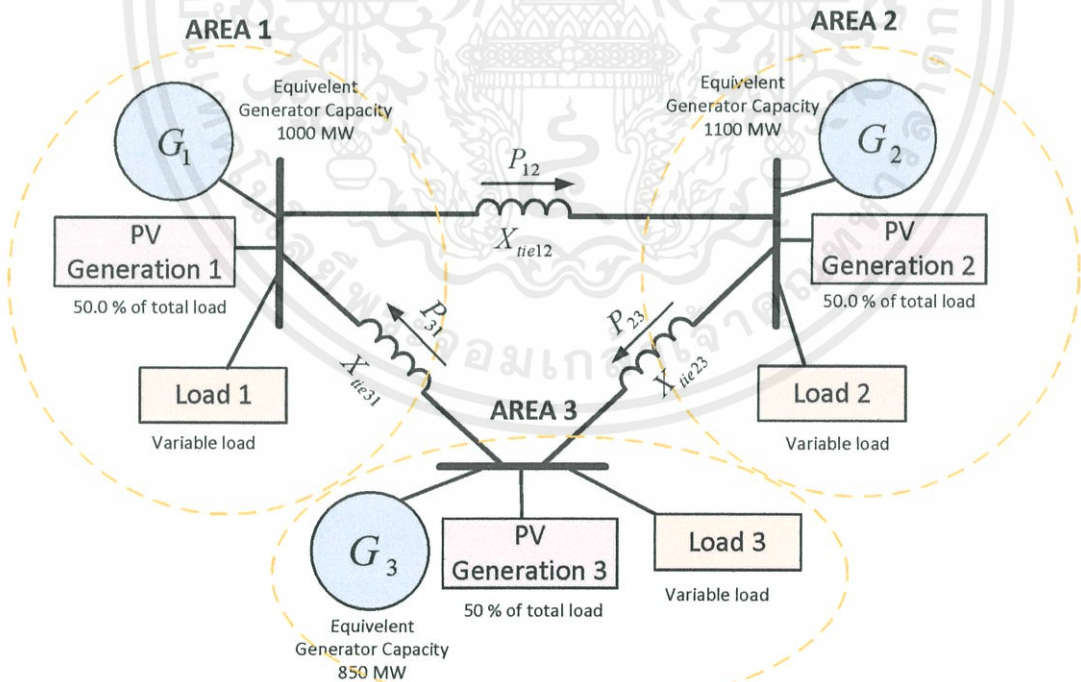
จากกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณีแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งตัวควบคุมพีไอในระบบไมโครกริดทำให้ทราบถึงพฤติกรรมที่ลดการแกว่งของความถี่ในระบบไมโครกริดได้ส่วนหนึ่ง ซึ่งการเปรียบเทียบดังกล่าวทำให้เห็นถึงการนำตัวควบคุมพีไอและตัวติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดมาปรับปรุงระบบไมโครกริด และนำเอาวิธีการกลุ่มอนุภาคมาช่วยในการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมพีไอเพื่อปรับปรุงคุณลักษณะกำลังไฟฟ้าที่ออกจากอินเวอร์เตอร์ที่จ่ายเข้าสู่ระบบไมโครกริด ทำให้การเบี่ยงเบนความถี่ลดน้อยลงซึ่งเป็นการลดผลการแกว่งของความถี่และมีเสถียรภาพความถี่ในระบบไมโครกริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การควบคุมความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่ ด้วยตัวควบคุมพีไอที่ออกแบบด้วยวิธีการกลุ่มอนุภาค

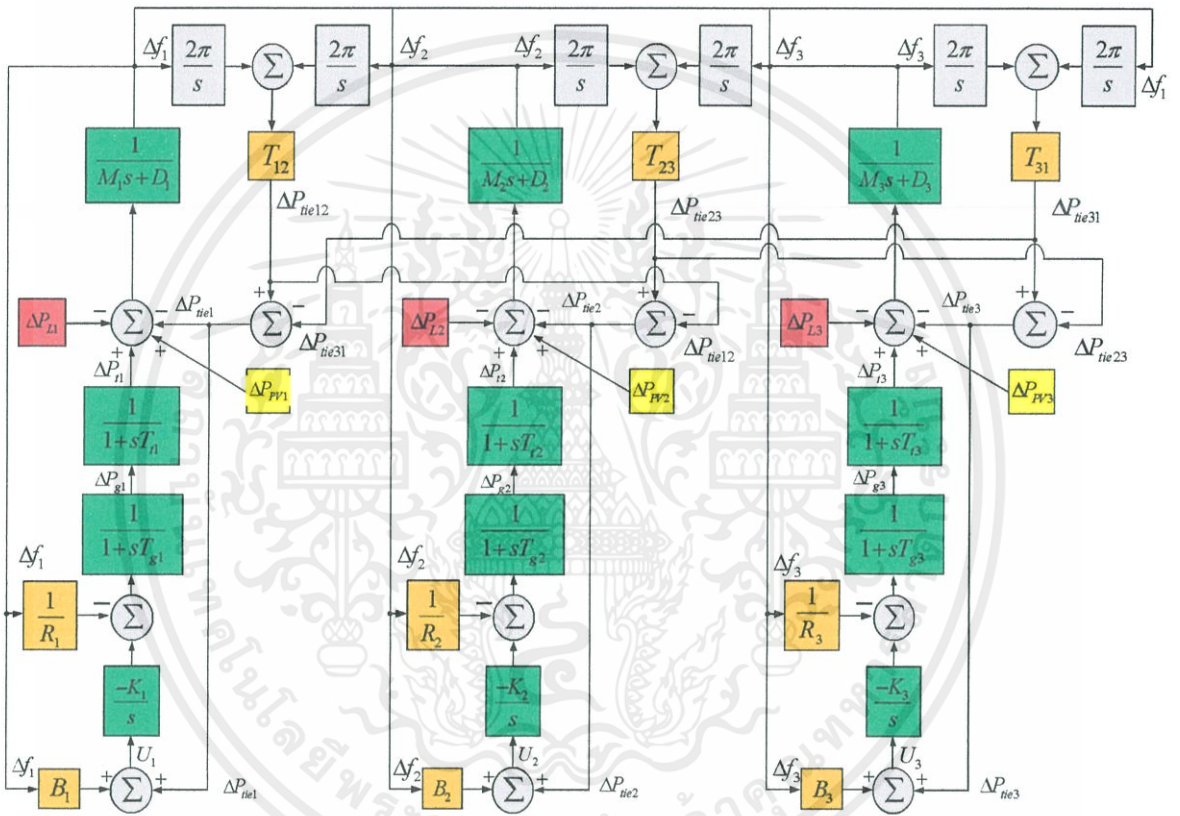
ในปัจจุบันการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่มีมากขึ้น ในปฏิญานพนธ์นี้ทำการพิจารณา ระบบเชื่อมต่อกัน 3 พื้นที่ [3] โดยในแต่ละพื้นที่จะประกอบไปด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสมมูล (Equivalent Generator: EG) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic Generator: PG) และโหลดแสดงดังรูปที่ 4.1 โดยมีการเชื่อมโยงแต่ละพื้นที่ผ่านสายส่งเชื่อมโยง ทำการจำลองและ ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความถี่อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของโหลดในแต่ละพื้นที่ [5] จากนั้นทำการควบคุมความถี่โดยควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละพื้นที่ซึ่งขึ้นกับค่าความเข้มแสง (Insolation) และควบคุมผ่านตัวควบคุมพีไอ (Proportional-Integral Controller : PI) [8] โดยการนำเอากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มาพิจารณา เพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้าที่จ่ายในระบบของแต่ละพื้นที่ โดยมีเบตเตอร์ทำการ เก็บพลังงานไฟฟ้าในการเก็บพลังงานและจ่ายพลังงาน โดยทำการศึกษาและเปรียบเทียบก่อน หลังจากการติดตั้งตัวควบคุมพีไอในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่ทั้งสามพื้นที่ เพื่อ ลดปัญหาการแกว่งของความถี่ในระบบปรับแก้เพื่อให้มีเสถียรภาพความถี่มากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 แบบจำลองเชิงเส้นสำหรับการควบคุมความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลัง

แบบจำลองเชิงเส้นสำหรับควบคุมความถี่ในระบบกำลังไฟฟ้าที่มีการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่ดังแสดงในรูปที่ 4.2 เป็นการอธิบายความสัมพันธ์เบื้องต้นเกี่ยวกับการได้มาของกำลังไฟฟ้าและพิจารณาความถี่ในระบบ เพื่อศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของการผลิตกำลังไฟฟ้าในระบบได้อย่างถูกต้อง [5] อธิบายหลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับการพิจารณาความถี่ในแต่ละพื้นที่ประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลักๆ เหมือนกันโดยจะมีความแตกต่างกันเพียงพิกัดกำลังไฟฟ้าและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยมีส่วนประกอบหลักๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แบบจำลองระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่

- โดยที่
- Δf ค่าความเบี่ยงเบนความถี่ในระบบของพื้นที่ i
 - $\Delta P_{i(i)}$ ค่าความเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลของพื้นที่ i
 - $\Delta P_{L(i)}$ ค่าความเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้าของโหลดของพื้นที่ i
 - $\Delta P_{PV(i)}$ ค่าความเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่ i
 - เอกสารพื้นที่ i เอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น
 - $\Delta P_{tie(i)}$ ค่าความเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้าที่ส่งจ่ายให้พื้นที่ i ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 - $\Delta P_{tie(j)}$ ค่าเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งจากพื้นที่ i มาพื้นที่ j

$\Delta P_{g(i)}$	ค่าเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้าด้านออกของตัวควบคุมความเร็วของพื้นที่ i
K_i	ค่าอัตราขยายปริพันธ์ของพื้นที่ i
D_i	ค่าคงตัวการหน่วงไหลของพื้นที่ i
H_i	ค่าคงตัวความเฉื่อยของพื้นที่ i
$T_{g(i)}$	ค่าคงตัวเวลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของพื้นที่ i
$T_{i(i)}$	ค่าคงตัวทางเวลาของกันหันในพื้นที่ i
β_i	ค่าพารามิเตอร์ไบแอสความถี่ของพื้นที่ i
T_{ij}	สัมประสิทธิ์การซิงโครไนซ์ระหว่างพื้นที่ i และพื้นที่ j

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่

Area(i)	$K(s)$	D_i (pu/Hz)	$2H$ (pu.s)	R (Hz/s)	$T_g(s)$	$T_i(s)$	β (pu/Hz)	T_y (pu/Hz)	Generation Capacity	PV generation
Area1	-0.3	0.015	0.1667	3.00	0.08	0.40	0.3483	$T_{12} = 0.2$	1000 MW	50% of total load
Area2	-0.2	0.016	0.2917	2.73	0.06	0.44	0.3827	$T_{23} = 0.12$	1100 MW	50% of total load
Area3	-0.4	0.015	0.1247	2.82	0.07	0.30	0.3692	$T_{31} = 0.25$	850 MW	50% of total load

4.2 แนวคิดการทำเสถียรภาพความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่

ในแต่ละพื้นที่จะประกอบไปด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสมมูล และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และโหลด ในส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสมมูลจะประกอบไปด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสหลายๆเครื่องมาทำการซิงโครไนซ์กันที่ความถี่เดียวกันและจ่ายกำลังไฟฟ้าวร่วมกัน โดยสามารถแทนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดได้ด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสมมูล ในส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะเป็นขนาดใหญ่โดยกำลังการผลิตสามารถหาได้จากจำนวนของเซลล์แสงอาทิตย์ ในแต่ละพื้นที่จะมีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดภายในพื้นที่ของตัวเอง ซึ่งจะปรับกำลังการผลิตไฟฟ้าให้สอดคล้องกับความต้องการของโหลดในพื้นที่

นอกจากการส่งจ่ายภายในพื้นที่ มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ผ่านสายส่งเชื่อมโยง เพื่อสนับสนุนการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับพื้นที่ข้างเคียง โดยกำลังไฟฟ้าที่จ่ายหรือรับจากพื้นที่อื่นจะได้มาจากผลต่างระหว่างความถี่ของแต่ละพื้นที่ซึ่งจะทำการปรับความถี่ระหว่างพื้นที่ให้มีค่าเท่ากัน โดยมีการเพิ่มกำลังไฟฟ้าของพื้นที่หนึ่งและลดกำลังไฟฟ้าของอีกพื้นที่หนึ่งผ่านสายส่งเชื่อมโยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$\Delta P_{L1} = \Delta P_{n1} + \Delta P_{PV1} - \Delta P_{ne1} \quad (4.1)$$

$$\Delta P_{L2} = \Delta P_{n2} + \Delta P_{PV2} - \Delta P_{ne2} \quad (4.2)$$

$$\Delta P_{L3} = \Delta P_{n3} + \Delta P_{PV3} - \Delta P_{ne3} \quad (4.3)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปได้ว่าในแต่ละพื้นที่กำลังไฟฟ้าทั้งหมดได้มาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสมมูล เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และกำลังไฟฟ้าที่ได้จากพื้นที่ข้างเคียงผ่านสายส่งเชื่อมโยง โดยกำลังไฟฟ้าทั้งหมดต้องสอดคล้องกับความต้องการของโหลด โดยทำการควบคุมในส่วนของเครื่องกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์ให้ทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมกับความต้องการของโหลด โดยจะมีแบตเตอรี่เป็นตัวเก็บและจ่ายพลังงานที่นอกเหนือจากความต้องการหรือไม่พอดต่อความต้องการ

ซึ่งการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของค่าอัตราขยายสัดส่วนและค่าอัตราขยายปริพันธ์ในตัวควบคุมพีไอของแต่ละพื้นที่จากการประยุกต์ใช้วิธีการกลุ่มอนุภาค ซึ่งการหาค่าที่เหมาะสมจะพิจารณาจากฟังก์ชันจุดประสงค์ดังสมการที่ 4.4

$$\text{Minimize} \left(\int_0^{t_f} (|\Delta f_1(t)| + |\Delta f_2(t)| + |\Delta f_3(t)|) dt + \sum_{i=0}^{t_f} ((P_{PV1} - P_{CONTROL1}) + (P_{PV2} - P_{CONTROL2}) + (P_{PV3} - P_{CONTROL3})) \right) \quad (4.4)$$

โดยมีเงื่อนไขคือ

$$0 = K_{P(i,\min)} < K_P < K_{P(i,\max)} = 10$$

$$0 = K_{I(i,\min)} < K_I < K_{I(i,\max)} = 10$$

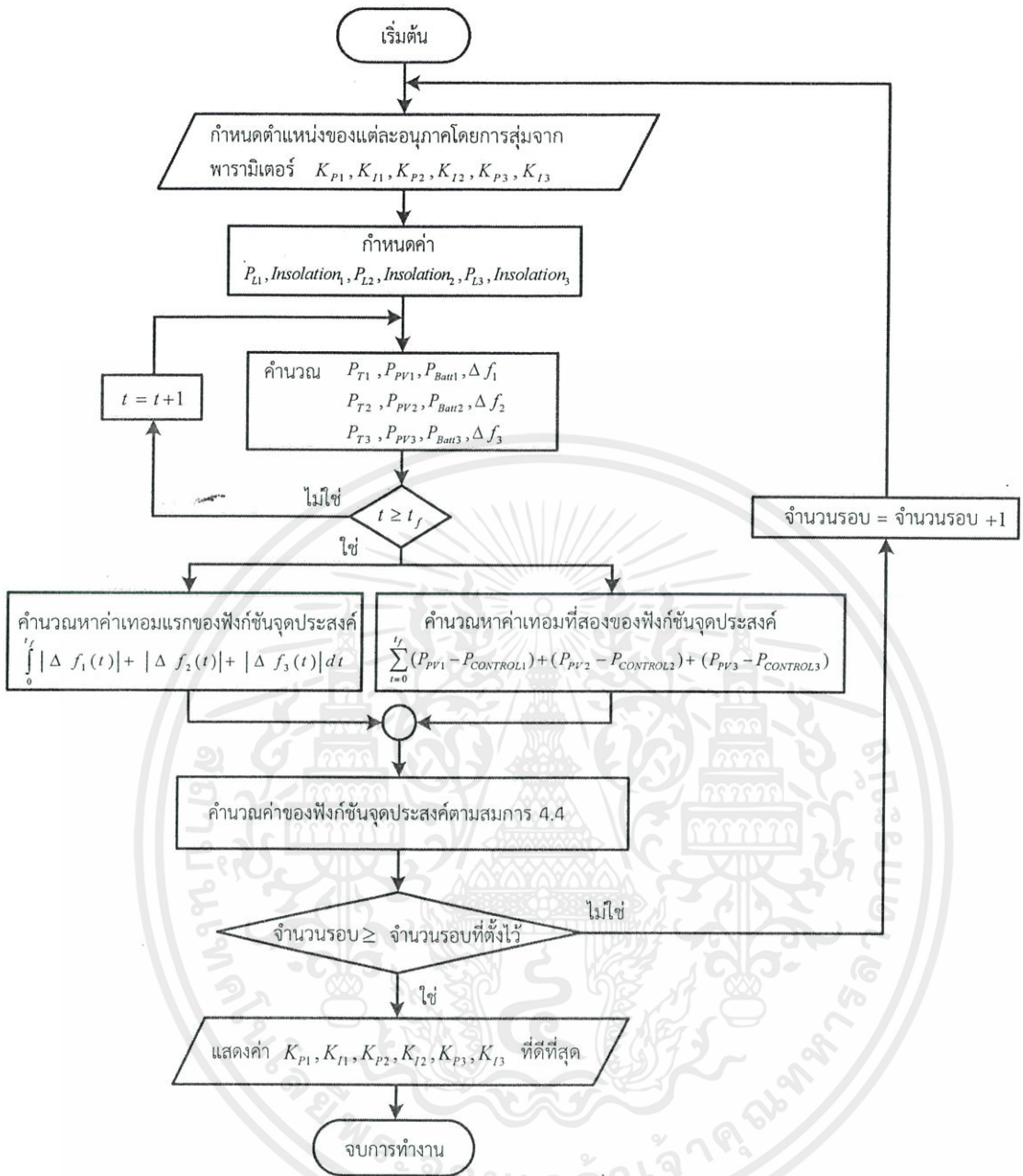
เมื่อ $\Delta f_1, \Delta f_2, \Delta f_3$ คือ ค่าความเบี่ยงเบนของความถี่ในพื้นที่ 1, 2 และ 3

$P_{PV(1)}, P_{PV(2)}, P_{PV(3)}$ คือ กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ในพื้นที่ 1, 2 และ 3

$P_{CONTROL(1)}, P_{CONTROL(2)}, P_{CONTROL(3)}$ คือ กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่จ่ายเข้าระบบในพื้นที่ 1, 2 และ 3

โดยขั้นตอนในการทางานพิจารณาหาค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอที่เหมาะสมแสดงเป็นแผนผังการทำงานในรูปที่ 4.3 โดยได้ประยุกต์ใช้วิธีการกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization) ในการ แก้ปัญหาสมการวัตถุประสงค์สมการที่ 4.4

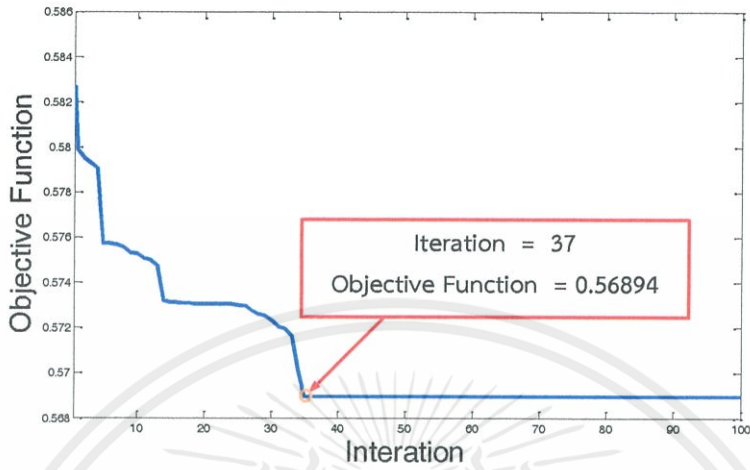
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แพลตฟอร์มการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมพีไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมพีไอโดยพิจารณาจากฟังก์ชันจุดประสงค์ได้การลู่เข้าสู่ค่าตอบดังนี้



รูปที่ 4.4 กราฟคอนเวจเจอร์การหาค่าพารามิเตอร์ของวิธีการกลุ่มอนุภาค

จากการลู่เข้าสู่ค่าตอบได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดจากฟังก์ชันจุดประสงค์สำหรับตัวควบคุมพีไอ จะได้ตัวควบคุมพีไอของระบบไมโครกริด ดังนี้

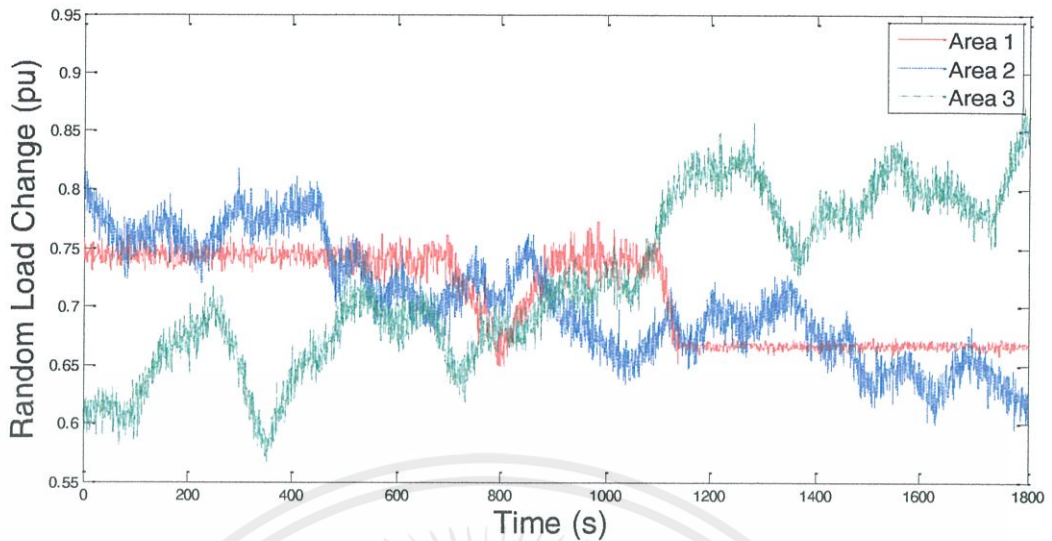
$$PI\ controller(1) = 4.60459 + \frac{0.02773}{s} \quad (4.5)$$

$$PI\ controller(2) = 6.43314 + \frac{0.04938}{s} \quad (4.6)$$

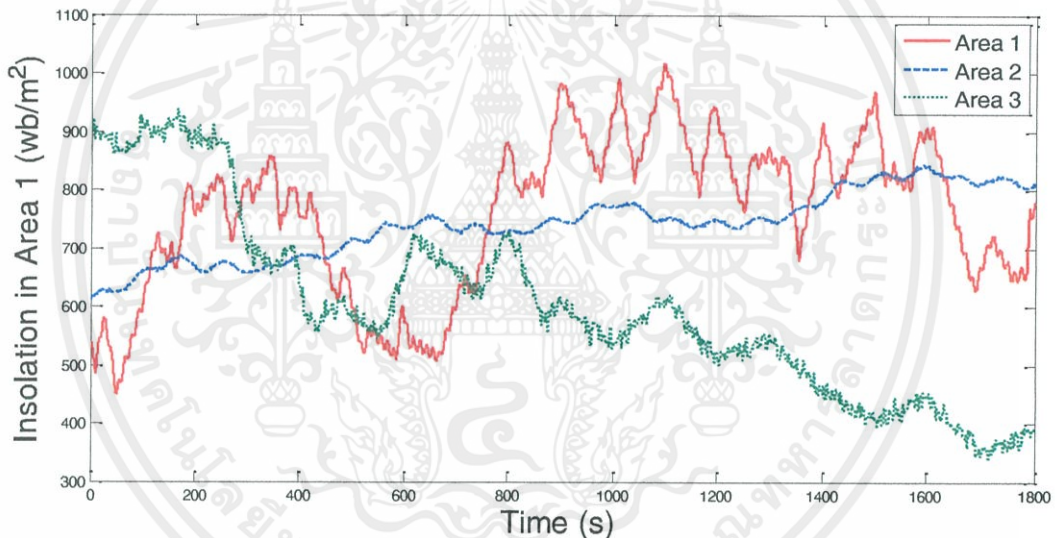
$$PI\ controller(3) = 5.41476 + \frac{0.01932}{s} \quad (4.7)$$

4.3 การศึกษาพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมต่อระหว่างสามพื้นที่

จากระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมต่อระหว่างสามพื้นที่จำลองสถานะการเปลี่ยนแปลงของโหลดและความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละพื้นที่ที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงต่างกัน แสดงในรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 ตามลำดับ ซึ่งทั้งสองค่าส่งผลต่อความถี่ของแต่ละพื้นที่ โดยทำการศึกษาพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแต่ละพื้นที่ ในขณะที่มีเซลล์แสงอาทิตย์ช่วยจ่ายและควบคุมการผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยเปรียบเทียบในระหว่างสถานะที่ไม่มีตัวควบคุมพีไอ มีตัวควบคุมพีไอที่ไม่ผ่านการหาค่าที่เหมาะสม และมีตัวควบคุมพีไอจากการหาค่าที่เหมาะสมจากการดำเนินการคำนวณด้วยวิธีการกลุ่มอนุภาค ในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมต่อระหว่างสามพื้นที่ ดังนี้ที่มีการนำไปใช้

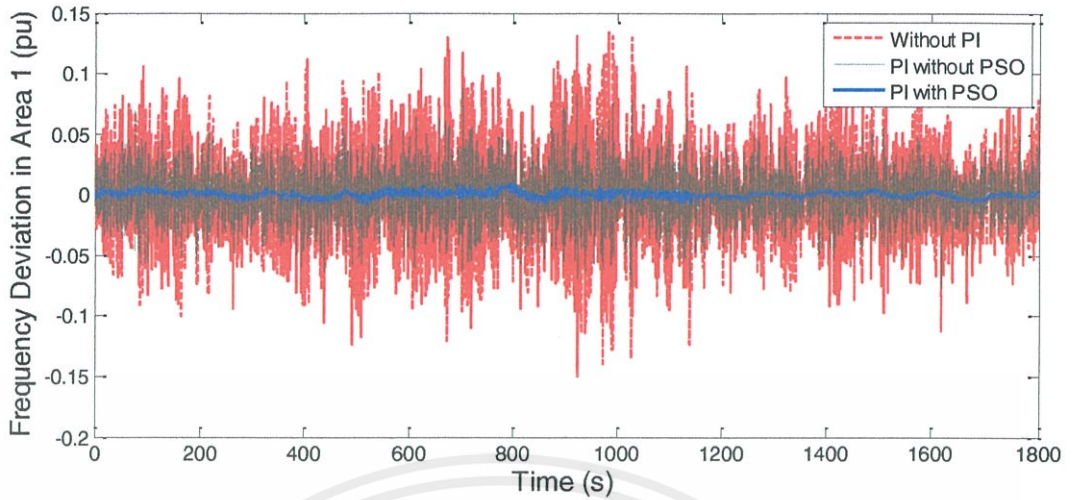


รูปที่ 4.5 โหลดในแต่ละพื้นที่

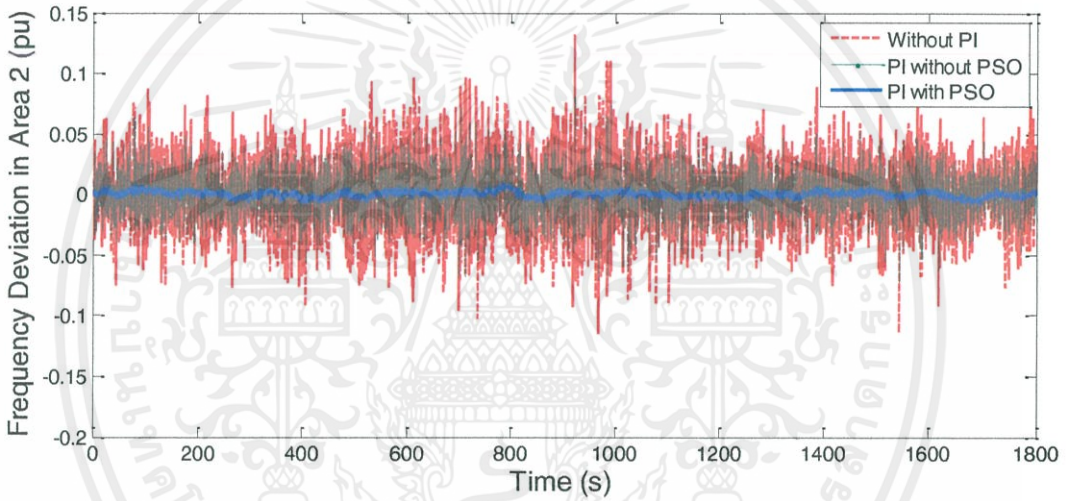


รูปที่ 4.6 ปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละพื้นที่

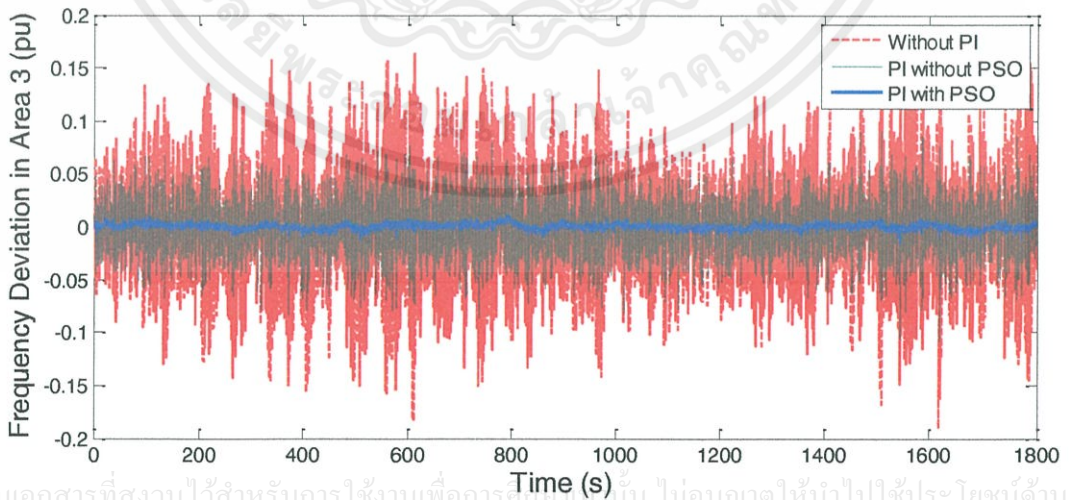
จากการสมมติสภาวะการเปลี่ยนแปลงโหลดและการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ที่มีความแตกต่างกัน ในแต่ละพื้นที่ ส่งผลให้เกิดปัญหาการแกว่งของความถี่ในไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมต่อระหว่างสามพื้นที่ ได้ทำการเปรียบเทียบในระหว่างสภาวะที่ไม่มีตัวควบคุมพีไอ มีตัวควบคุมพีไอที่ไม่ผ่านการหาค่าที่เหมาะสม และมีตัวควบคุมพีไอจากการหาค่าที่เหมาะสมจากการประยุกต์ใช้วิธีการกลุ่มอนุภาค จะเห็นได้ว่าในกรณีที่มีตัวควบคุมพีไอจากการหาค่าที่เหมาะสมจากการประยุกต์ใช้วิธีการกลุ่มอนุภาคสามารถลดการเบี่ยงเบนความถี่ได้ดีกว่าในกรณีที่มีตัวควบคุมพีไอที่ไม่ผ่านการหาค่าที่เหมาะสมและไม่มีตัวควบคุมพีไอดังแสดงในรูปที่ 4.7 - 4.9 อีกทั้งในกรณีที่มีตัวควบคุมพีไอจากการหาค่าที่เหมาะสมจากการประยุกต์ใช้วิธีการกลุ่มอนุภาคยังสามารถลดกำลังไฟฟ้าที่ส่งผ่านระหว่างพื้นที่ได้อย่างชัดเจน 4.10 -4.12



รูปที่ 4.7 ผลตอบสนองของความถี่ระบบในพื้นที่ 1

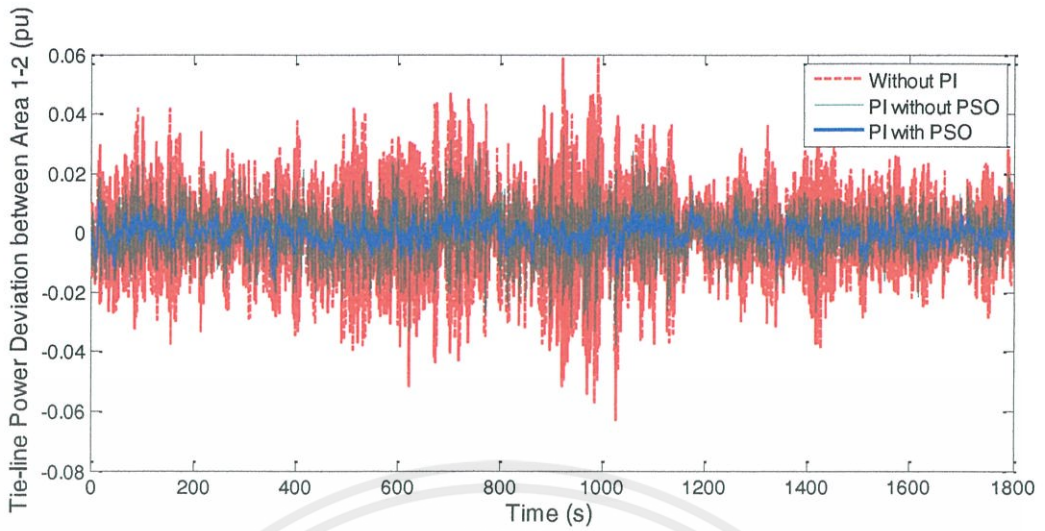


รูปที่ 4.8 ผลตอบสนองของความถี่ระบบในพื้นที่ 2

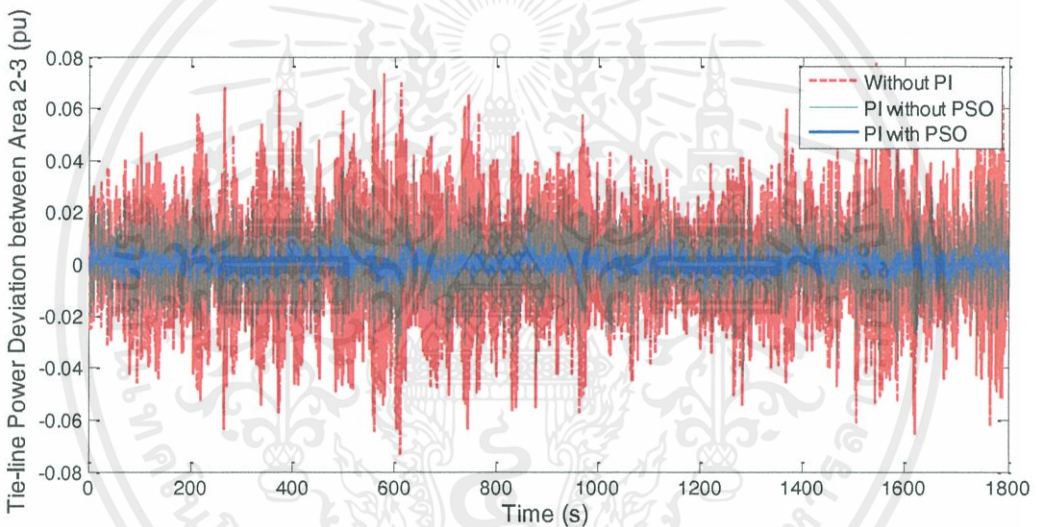


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้า

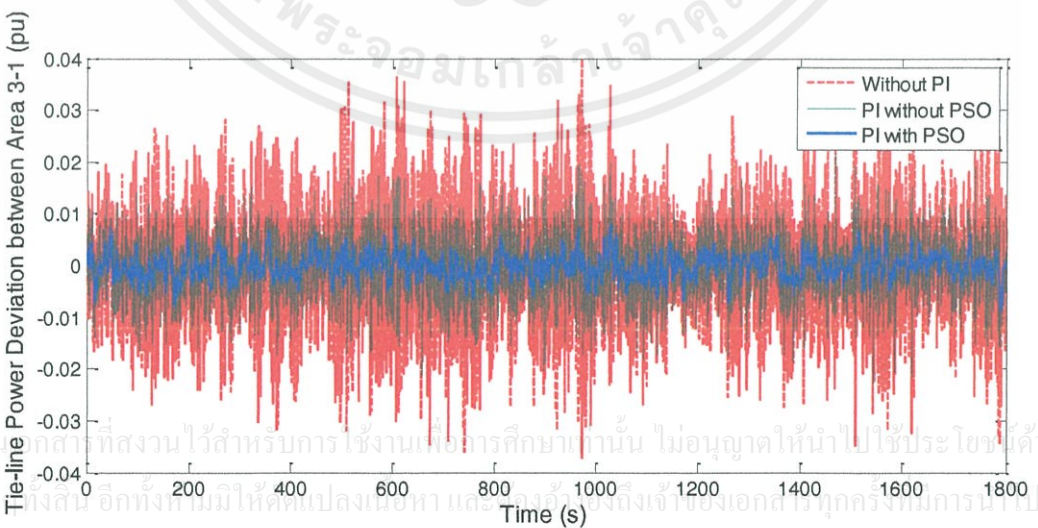
รูปที่ 4.9 ผลตอบสนองของความถี่ระบบในพื้นที่ 3



รูปที่ 4.10 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งจากพื้นที่ 1 มายังพื้นที่ 2

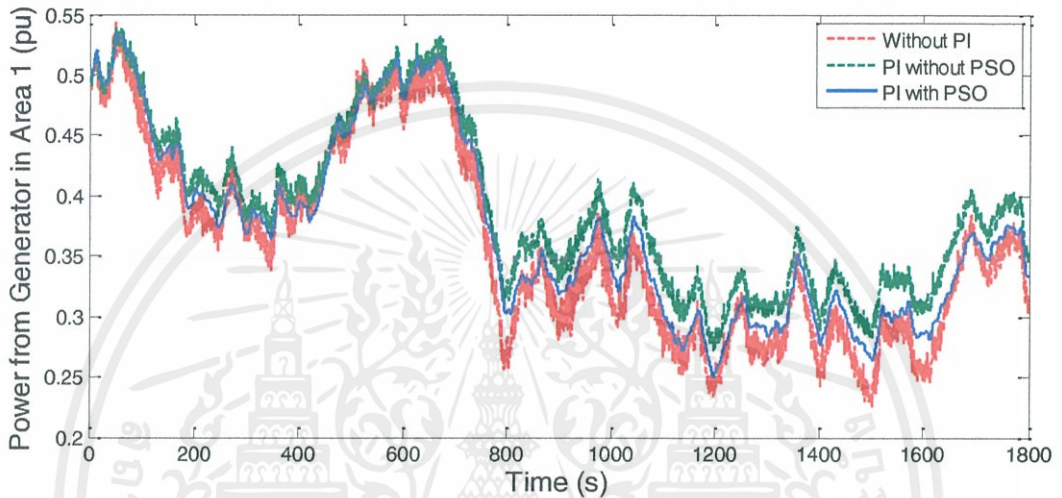


รูปที่ 4.11 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งจากพื้นที่ 2 มายังพื้นที่ 3

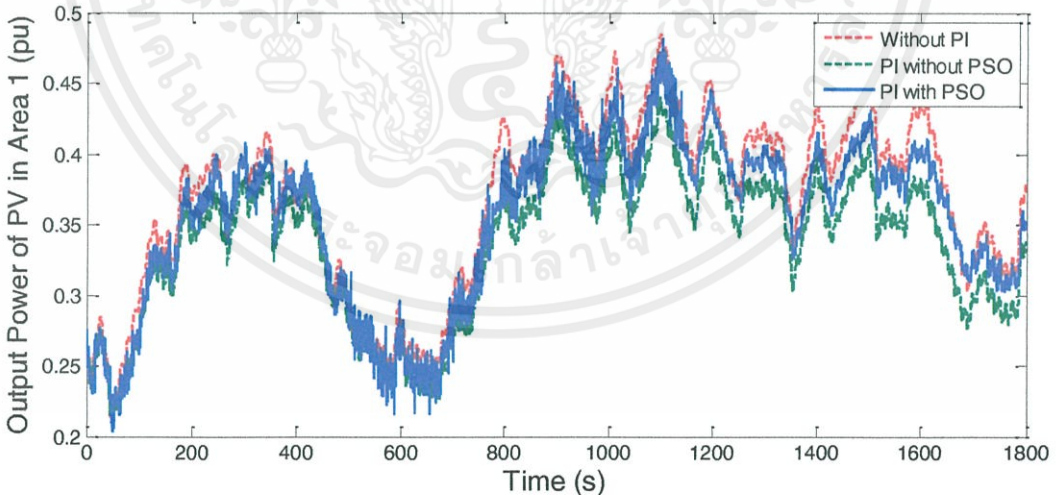


รูปที่ 4.12 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งจากพื้นที่ 3 มายังพื้นที่ 1

จากการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ออกจากอินเวอร์เตอร์โดยตัวควบคุมพีไอในแต่ละพื้นที่ แสดงถึงพฤติกรรมกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าระบบจากเครื่องผลิตกำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และกำลังไฟฟ้าที่จ่ายในระบบของแต่ละพื้นที่ตามที่แสดงในรูปที่ 4.13, 4.14 รูปที่ 4.15, 4.16 และรูปที่ 4.17, 4.18 ตามลำดับ ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมการเก็บและจ่ายพลังงานของแบตเตอรี่ในแต่ละพื้นที่ที่มีค่าความเบี่ยงเบนที่ดีจากในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีตัวควบคุมพีไอจากการหาค่าที่เหมาะสมจากการประยุกต์ใช้วิธีการกลุ่มอนุภาคตามที่แสดงในรูปที่ 4.19, 4.20 และ 4.21 ตามลำดับ

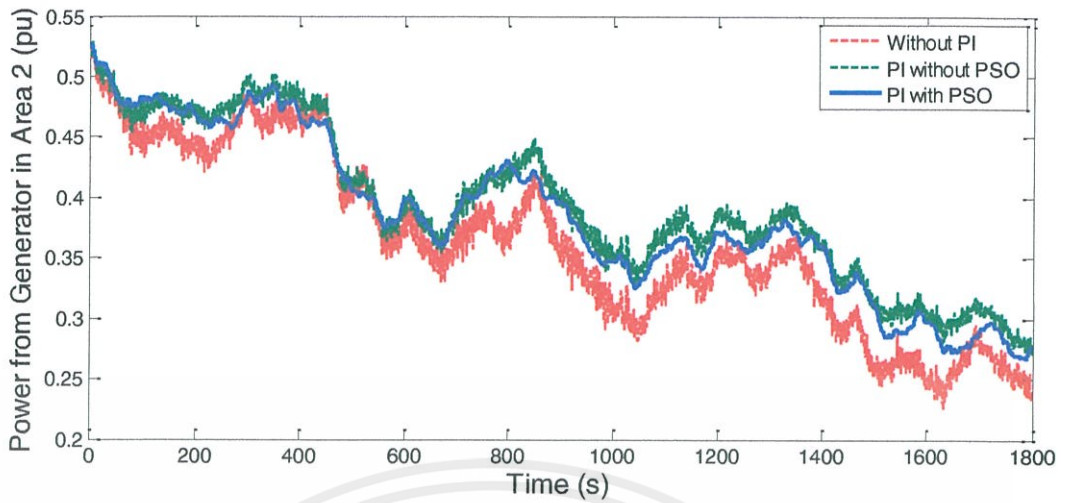


รูปที่ 4.13 กำลังไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสมมูลในพื้นที่ 1

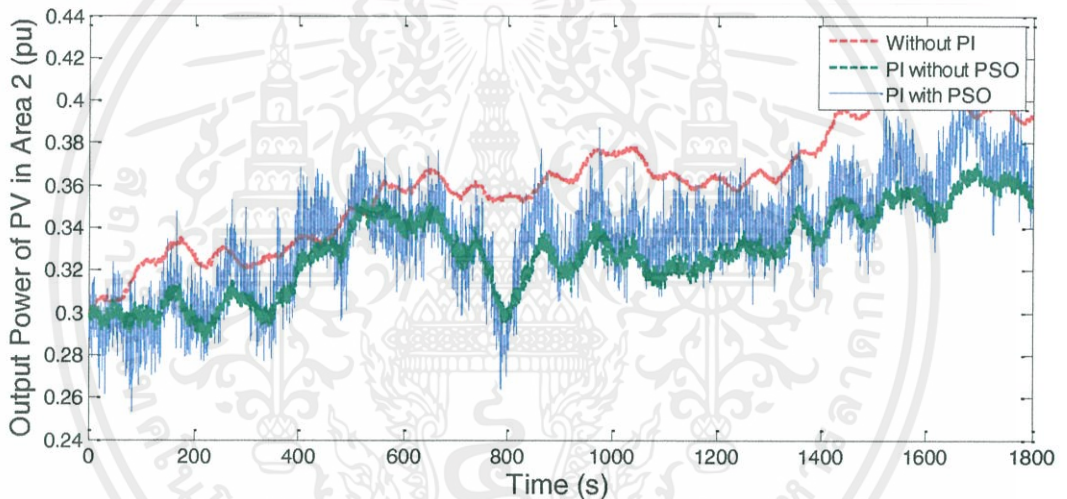


รูปที่ 4.14 กำลังไฟฟ้าขาออกของอินเวอร์เตอร์ในพื้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

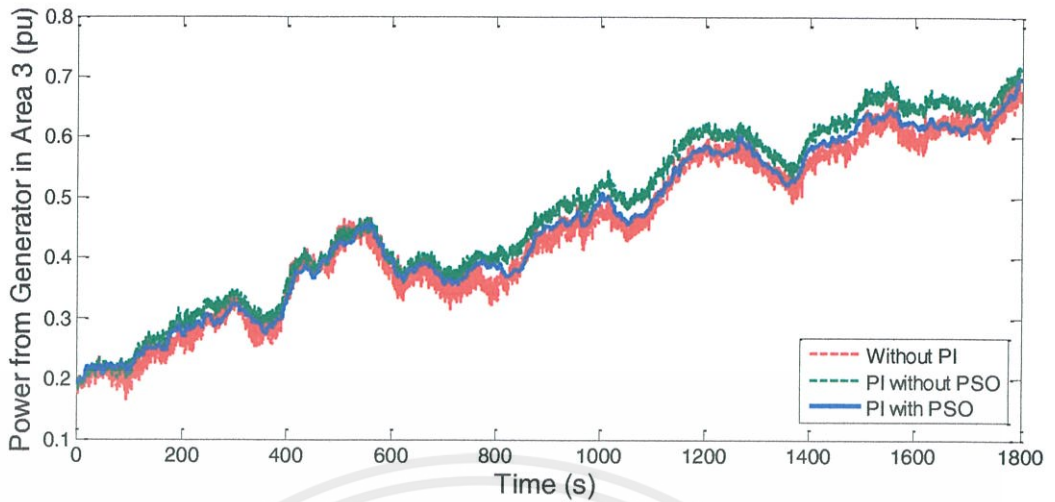


รูปที่ 4.15 กำลังไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสมมูลในพื้นที่ 2

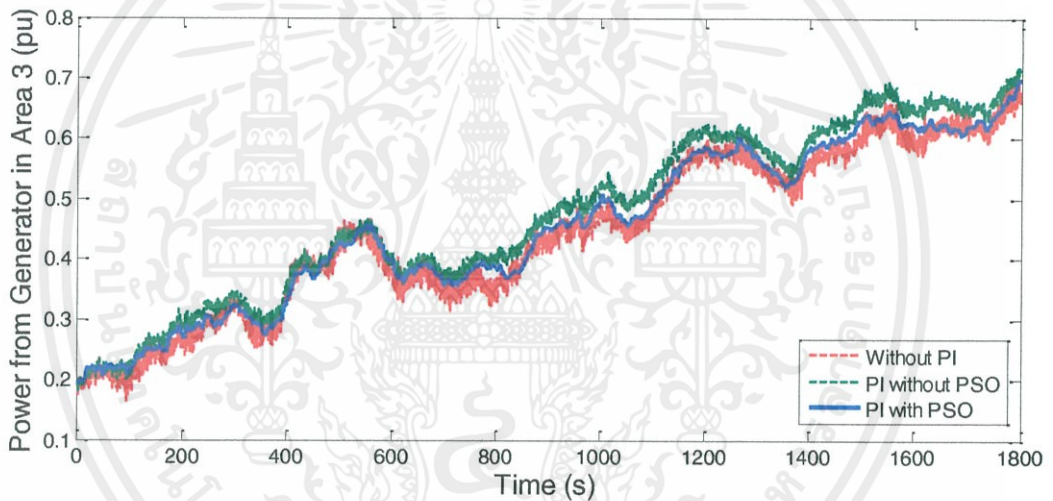


รูปที่ 4.16 กำลังไฟฟ้าขาออกของอินเวอร์เตอร์ในพื้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

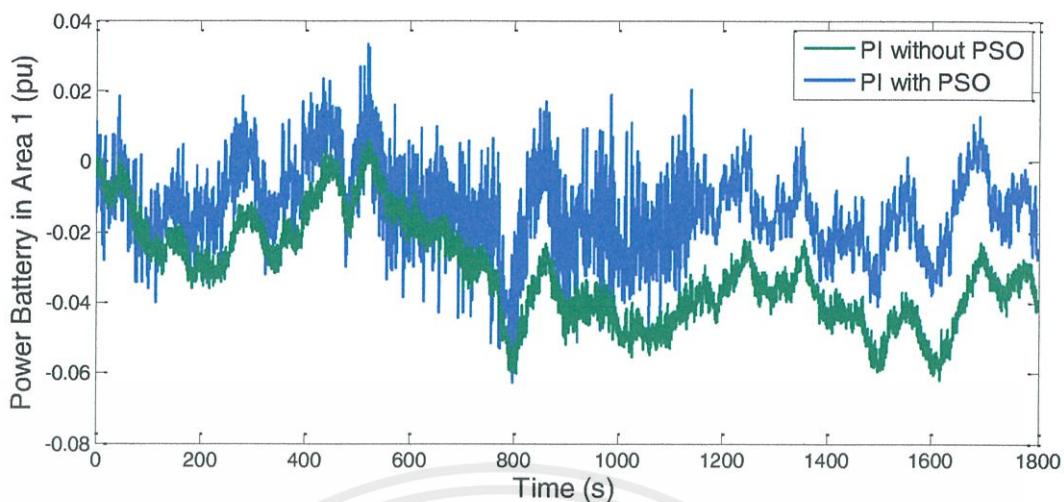


รูปที่ 4.17 กำลังไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสมมูลในพื้นที่ 3

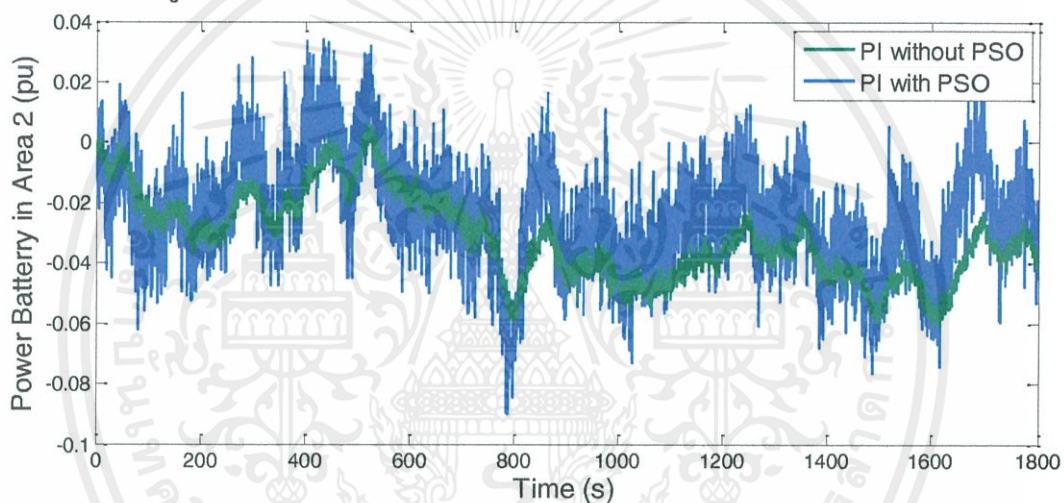


รูปที่ 4.18 กำลังไฟฟ้าขาออกของอินเวอร์เตอร์ในพื้นที่ 3

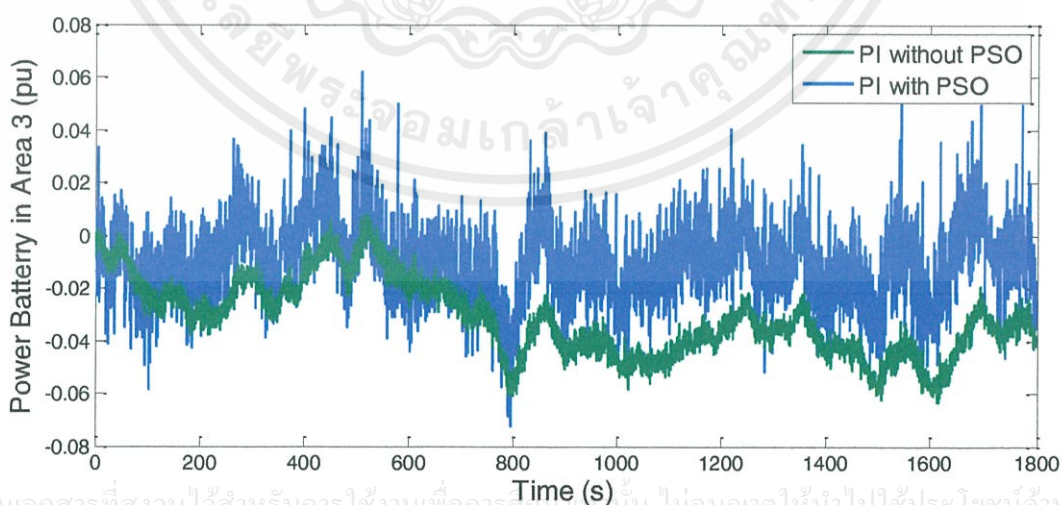
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในพื้นที่ 1



รูปที่ 4.20 การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในพื้นที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกที่ รูปที่ 4.21 การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในพื้นที่ 3 ารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 สรุปผล

ในบทนี้ นำเสนอการปรับปรุงเสถียรภาพความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่ด้วยการควบคุมกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อทำให้เกิดเสถียรภาพทางความถี่ที่ดี โดยการติดตั้งตัวควบคุมพีโอจากการหาค่าที่เหมาะสมที่ออกแบบด้วยวิธีการกลุ่มอนุภาค เพื่อปรับแก้อัตราขยายสัดส่วนและอัตราขยายปริพันธ์ให้มีค่าเหมาะสมกับการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าขาออกจากอินเวอร์เตอร์เข้าสู่ระบบในแต่ละพื้นที่ ภายใต้สถานการณ์จำลองต่างๆ ที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่

เมื่อทำการเปรียบเทียบการเบี่ยงเบนความถี่ในทั้ง 3 พื้นที่ ได้แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งตัวควบคุมพีโอจากการหาค่าที่เหมาะสมที่ออกแบบด้วยวิธีการกลุ่มอนุภาค ในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่สามารถลดการเบี่ยงเบนของความถี่ในระบบได้ดีกว่าระบบที่ติดตั้งควบคุมพีโอที่ไม่ผ่านการหาค่าที่เหมาะสมและระบบที่ไม่มีตัวควบคุม ส่งผลให้ระบบที่ติดตั้งตัวควบคุมพีโอที่ออกแบบด้วยวิธีการกลุ่มอนุภาคมีเสถียรภาพทางความถี่ที่ดีกว่า นอกจากนี้ในการติดตั้งตัวควบคุมพีโอที่ออกแบบด้วยวิธีการกลุ่มอนุภาคยังช่วยลดกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่งเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่ให้มีขนาดลดลง ส่งผลให้สามารถลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายส่งซึ่งเป็นผลดีในทางเศรษฐศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากปัญหาการเบี่ยงเบนความถี่ในระบบ อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของโหลดในระบบและการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาในระบบส่งผลให้เกิดความไม่สมดุลระหว่างกำลังการผลิตและความต้องการกำลังไฟฟ้า การเบี่ยงเบนความถี่ที่เกิดขึ้นจะส่งผลเสียต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้าและการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับในระบบได้

เพื่อแก้ปัญหาข้างต้น ปริชญานิพนธ์เล่มนี้ นำเสนอการปรับปรุงเสถียรภาพความถี่ของระบบโดยการจ่ายกำลังไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์ โดยควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีโอ (Proportional Integral Controller : PI) และทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยวิธีการกลุ่มอนุภาค (Particle swarm optimization : PSO) ภายใต้เงื่อนไขของสมการวัตถุประสงค์ โดยจะทำการหาค่าอัตราขยายสัดส่วนและอัตราขยายปริพันธ์ เพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างกำลังการผลิตและความต้องการกำลังไฟฟ้า ทำให้เกิดเสถียรภาพความถี่ในระบบภายใต้สถานการณ์จำลองต่างๆ โดยทำการทดลองกับระบบไฟฟ้าจำลอง 2 ระบบคือ ระบบไมโครกริด และระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่ 3 พื้นที่

ผลจากการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงให้เห็นถึงการเบี่ยงเบนความถี่ของในระบบไมโครกริดที่มีการติดตั้งตัวควบคุมพีโอที่หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยวิธีการกลุ่มอนุภาคเปรียบเทียบกับระบบที่ติดตั้งตัวพีโอที่ไม่ผ่านการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและระบบที่ไม่มีการติดตั้งตัวควบคุม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งตัวพีโอช่วยลดการเบี่ยงเบนของความถี่ที่เกิดขึ้นได้แต่ยังด้อยกว่าในกรณีที่มีการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีการกลุ่มอนุภาค และในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ 3 พื้นที่เมื่อทำการเปรียบเทียบการเบี่ยงเบนความถี่ในทั้ง 3 พื้นที่ ระหว่างระบบที่มีการติดตั้งตัวควบคุมพีโอที่หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยวิธีการกลุ่มอนุภาค ระบบที่ติดตั้งตัวควบคุมพีโอที่ไม่ผ่านการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและระบบที่ไม่มีการติดตั้งตัวควบคุมแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งตัวควบคุมพีโอที่หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยวิธีการกลุ่มอนุภาคสามารถทำให้การเบี่ยงเบนของความถี่ลดลงได้อย่างชัดเจน อีกทั้งยังช่วยลดกำลังไฟฟ้าที่ส่งจ่ายระหว่างพื้นที่จากกรณีที่ไม่มีการติดตั้งตัวควบคุม ซึ่งส่งผลดีในทางเศรษฐศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] R. Hara, H.Kita, T. Tanabe, H.Sugihara, A. Kuwayama, and S. Miwa, "Testing the technologies," IEEE Power Energy Mag, vol. no. 3, pp 77-85, May/Jun 2009.
- [2] N. Bottrell, "Dynamic Stability of a Microgrid With an Active Load ," IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 28, No. 11, Nov 2013
- [3] Steven W. Blume, Electrical Power System Basics for the Nonelectrical Prtofesional, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2007
- [4] M. Datta, T. Senjyu, A. Yona, T. Funabashi and C. Kim, "A Frequency-Control Approach by Photovoltaic Generator in a PV-Diesel Hybrid Power System," IEEE Trans. Energy Covers, vol.26, no. 2, pp. 559-571, JUNE 2011.
- [5] X. Li, Y.-J. Song, and S.-B. Han, "Frequency control in micro-grid power system combined with electrolyzer system and fuzzy PI controller," J. Power Sources, vol.180, pp. 468-475, 2008.
- [6] M. Datta, T. Senjyu, A. Yona, T. Funabashi, "Control of MW-class PV Generation to Reduce Frequency and Tie-line Power Fluctuations in Three Control Area Power System", IEEE Conf. on Power Electronics, pp. 894-901, 2011.
- [7] อิศระชัย งามหรุ, พลศาสตร์และเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, สนพ. มีน เซอร์วิส ซัพพลาย, 2554.
- [8] C. H. Liu, and Y. Y. Hsu, "Design of a Self-Tuning PI Controller for a STATCOM Using Particle Swarm Optimization," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 57, No. 2, Feb 2010.
- [9] N. Femia et al., "Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method," IEEE Trans. On Power Electronics, Vol.20, No.4, pp. 963-973, JULY 2005.
- [10] A. E. Fitzgerald, Jr. C. Kingsley, A. Kusko , "Chapter 6, Synchronous machines, steady state". Electric Machinery, 3rd Ed. USA: McGraw-Hill. pp. 283-330. Library of Congress Catalog No. 70-137126.
- [11] Linden, David,T. B. Reddy, Handbook Of Batteries, New York: McGraw-Hill. ISBN 0-07-135978-8.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อควบคุมความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลัง

Application of Photovoltaic Generation for Load Frequency Control in a Power System

วรพงษ์ กรีอัมพร วรวิติ ดันสุชี และ ศรัณย์ ติลาชุตติพงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ขอบ นลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 081-196-6076 E-Mail: stworapong@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic :PV) [1] โดยทำการควบคุมกำลังไฟฟ้าด้านออกจากอินเวอร์เตอร์ของ PV โดยใช้โครงสร้างของตัวควบคุมเป็นแบบพีไอ (Proportional Integral :PI) ด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization :PSO) [2] ซึ่งได้ทำการออกแบบให้มีการทำงานที่สัมพันธ์กับการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังหลักในด้านของการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลด ผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าของ PV ให้เหมาะสม สามารถลดการแกว่งของความถี่ [3] ส่งผลให้เสถียรภาพทางความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังดีขึ้นภายใต้การเปลี่ยนแปลงของโหลด และความเข้มแสงในสภาวะต่างๆ ทั้งในระบบไมโครกริด [4] และระบบไฟฟ้ากำลังที่มีโครงข่ายเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่ [5]

คำสำคัญ : พลังงานแสงอาทิตย์, การควบคุมความถี่, ระบบไฟฟ้ากำลัง, ตัวควบคุมพีไอ, วิธีการกลุ่มอนุภาค

ABSTRACT

This paper proposes the application of PV for frequency control in the power system by controlling the power output of PV inverter so that the frequency fluctuation can be reduced. Here, the control structure is proportional-integral controller which is optimally designed with particle swarm optimization. Simulation results show that the output PV power control is able to alleviate the frequency oscillation under various load and solar insolation changes.

Keyword: Photovoltaic, Frequency control, Power system, PI control, Particle swarm optimization

1. บทนำ

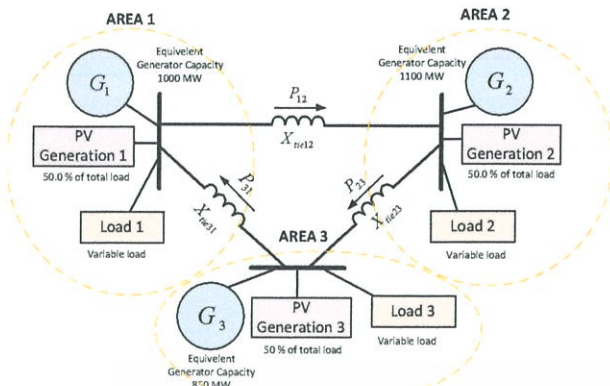
ในปัจจุบันระบบไฟฟ้ากำลังมีความสนใจเรื่องของพลังงานทดแทนที่มีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากเชื้อเพลิงซึ่งเป็นกำลังหลักของการผลิตไฟฟ้ามีจำนวนที่ลดลงและมีราคาสูงขึ้น พลังงานทดแทนจึงเป็นทางเลือกที่ดีในการนำเข้ามาใช้ผลิตกำลังไฟฟ้าควบคู่กับระบบไฟฟ้ากำลัง ทั้งเพื่อช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ระบบ เพื่อลดต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้า อีกทั้งยังเป็นพลังงานสะอาดอีกด้วย การผลิตกำลังไฟฟ้าด้วย

PV เป็นหนึ่งในพลังงานทดแทนที่ได้รับความนิยมมากขึ้นและได้ปรับปรุงเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องให้มีความทันสมัยขึ้น การนำ PV มาใช้ควบคุมในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยทั้งการใช้กับระบบไมโครกริด หรือใช้กับระบบไฟฟ้ากำลังที่มีหลายโครงข่ายเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่ที่มีการแพร่หลายมากขึ้น แต่ด้วยปัญหาที่ไม่สามารถกำหนดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ เนื่องจากการผลิตกำลังไฟฟ้านั้นขึ้นอยู่กับความเข้มแสงที่ได้รับ ทำให้การจ่ายกำลังไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้เกิดการแกว่งของความถี่ เนื่องจากความไม่สมดุลกันระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และกำลังไฟฟ้าที่โหลดต้องการ จึงเริ่มมีแนวคิดที่ต้องการควบคุมกำลังไฟฟ้าขาออกของ PV ทำให้ PV ช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าและชดเชยกำลังไฟฟ้าส่วนที่ขาดจากการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เป็นหน้าที่หลักของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลได้อย่างเหมาะสม เพื่อให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และกำลังไฟฟ้าที่ต้องการแตกต่างกันน้อยที่สุด ส่งผลทำให้ลดการแกว่งของความถี่ในระบบได้ ระบบไฟฟ้ามีเสถียรภาพทางความถี่เพิ่มขึ้นด้วย

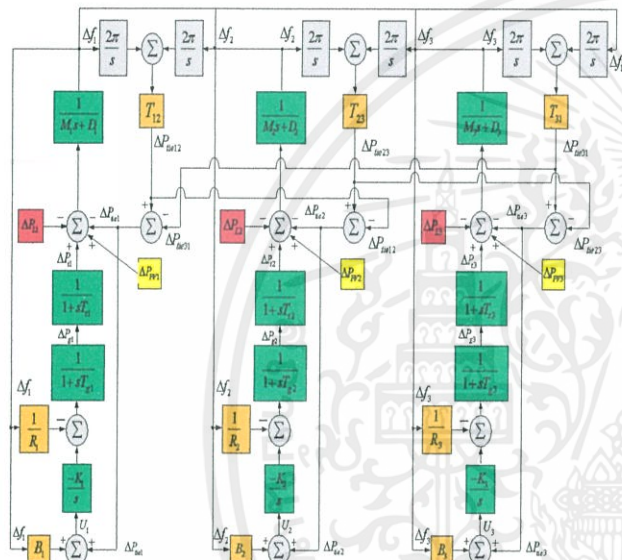
ปริณยานุพจน์นี้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมกำลังไฟฟ้าขาออกของอินเวอร์เตอร์ของ PV เพื่อลดการแกว่งของความถี่ในระบบทั้งในระบบไมโครกริดและระบบไฟฟ้ากำลังที่มีหลายโครงข่ายเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่หลายพื้นที่ โดยในการออกแบบนั้นจะสร้างแบบจำลองใช้แนวความคิดเริ่มต้นเป็นระบบไมโครกริดที่มีการติดตั้ง PV เข้ามาช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบควบคู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล แล้วทำการออกแบบตัวควบคุมกำลังไฟฟ้าขาออกของอินเวอร์เตอร์โดยใช้ตัวควบคุมอินเวอร์เตอร์ชนิดพีไอ ที่ทำการออกแบบด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค ให้มีการทำงานที่เหมาะสมกับการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลแล้วขยายแนวความคิด โดยการนำการออกแบบดังกล่าวไปใช้กับการติดตั้ง PV ในระบบกำลังไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ที่มีโครงข่ายเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่หลายพื้นที่ เพื่อเป็นแบบอย่างและแนวทางความคิด ในการติดตั้ง PV กับกำลังไฟฟ้า เพื่อลดปัญหาการแกว่งของความถี่ในระบบ

2. แบบจำลองระบบกำลังไฟฟ้าที่มีการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่

รูปที่ 1 แสดงระบบไฟฟ้ากำลังที่มีเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่ 3 พื้นที่ โดยในแต่ละพื้นที่จะประกอบไปด้วย โหลด เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสมมูล (Equivalent Generator) [5] และชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์,



รูปที่ 1 ระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่



รูปที่ 2 แบบจำลองเชิงเส้นระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่ 3 พื้นที่

ตัวควบคุมติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด [6], อินเวอร์เตอร์ และแบตเตอรี่ โดยมีพิกัดกำลังและค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน โดยในแต่ละพื้นที่จะเชื่อมต่อกันผ่านสายส่งเชื่อมโยง (Tie-line) และมีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ผ่านสายส่งเชื่อมโยง [5]

สร้างแบบจำลองเชิงเส้นสำหรับควบคุมความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ 3 พื้นที่ได้ดังรูปที่ 2 โดย $P_{PV1}, P_{PV2}, P_{PV3}$ คือ กำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ P_{11}, P_{12}, P_{13} คือกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสมมูลในพื้นที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ $P_{i \rightarrow j}$ คือกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งจากพื้นที่ i มายังพื้นที่ j ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในแบบจำลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 1.1

กำลังไฟฟ้าที่เหลือจากเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะถูกเก็บในรูปแบบพลังงานในการชาร์จ (Charge) และดิชาร์จ (Discharge) ในช่วงที่จ่ายกำลังไฟฟ้าสนับสนุนให้กับระบบเพื่อช่วยเพิ่มเสถียรภาพทางความถี่ของระบบ โดยพิจารณาได้ดังนี้

$$\text{ทำการชาร์จเมื่อ } P_{PV(DC)} > P_{PV(AC)}; P_{Batt} = P_{PV(DC)} - P_{PV(AC)} \quad (4.1)$$

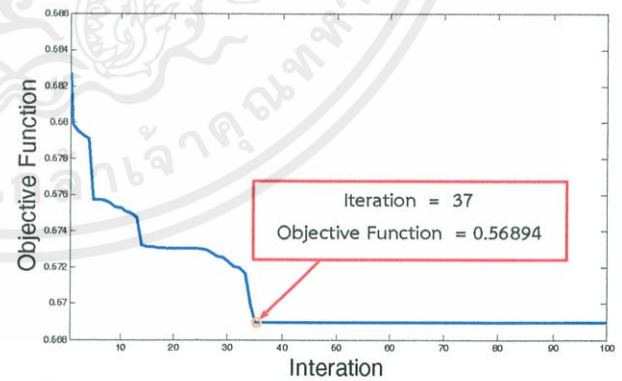
$$\text{ทำการดิชาร์จเมื่อ } P_{PV(DC)} < P_{PV(AC)}; P_{Batt} = P_{PV(AC)} - P_{PV(DC)} \quad (4.2)$$

ซึ่งการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของค่าอัตราขยายสัดส่วนและค่าอัตราขยายปริพันธ์ในตัว ควบคุมพีไอของแต่ละพื้นที่จากการประยุกต์ใช้วิธีการกลุ่มอนุภาค ซึ่งการหาค่าที่เหมาะสมจะพิจารณาจากฟังก์ชันจุดประสงค์ดังสมการที่ 4.3

เมื่อ $\Delta f_1, \Delta f_2, \Delta f_3$ คือ ค่าความเบี่ยงเบนของความถี่ในระบบ 1, 2, 3 ตามลำดับ $P_{PV(1)}, P_{PV(2)}, P_{PV(3)}$ คือ กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ในพื้นที่ 1, 2, 3 ตามลำดับ $P_{CONTROL(1)}, P_{CONTROL(2)}, P_{CONTROL(3)}$ คือ กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่จ่ายเข้าระบบในพื้นที่ 1, 2, 3

$$\text{Minimize } \left(\int_0^{t_f} (|\Delta f_1(t)| + |\Delta f_2(t)| + |\Delta f_3(t)|) dt + \sum_{i=0}^{t_f} ((P_{PV1} - P_{CONTROL1}) + (P_{PV2} - P_{CONTROL2}) + (P_{PV3} - P_{CONTROL3})) \right) \quad (4.3)$$

จากการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมพีไอ โดยพิจารณาจากฟังก์ชันจุดประสงค์ได้กรลู่เข้าสู่ค่าตอบดังนี้



รูปที่ 3 กราฟการลู่เข้าสู่ค่าตอบของการหาค่าพารามิเตอร์ของวิธีการกลุ่มอนุภาค

จากการลู่เข้าสู่ค่าตอบได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดจากฟังก์ชันจุดประสงค์สำหรับตัวควบคุมพีไอคือ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่[5]

Area(i)	K(s)	D (pu/Hz)	2H (pu.s)	R (Hz/s)	T _e (s)	T _i (s)	β (pu/Hz)	T _{ij} (pu/Hz)	Generation Capacity	PV generation
Area(1)	-0.3	0.015	0.1667	3.00	0.08	0.40	0.3483	T ₁₂ =0.2	1000 MW	50% of total load
Area(2)	-0.2	0.016	0.2917	2.73	0.06	0.44	0.3827	T ₂₃ =0.12	1100 MW	50% of total load
Area(3)	-0.4	0.015	0.1247	2.82	0.07	0.30	0.3692	T ₃₁ =0.25	850 MW	50% of total load

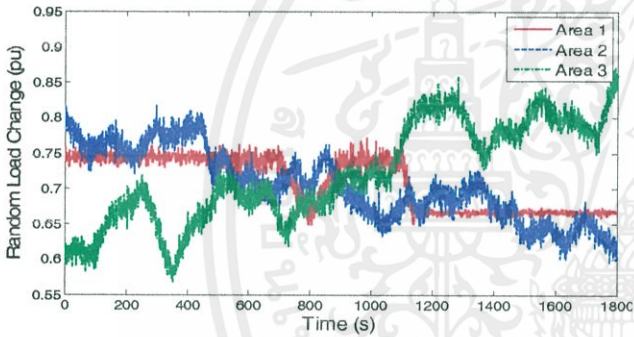
$$PI\ controller(1) = 4.60459 + \frac{0.02773}{s} \quad (4.4)$$

$$PI\ controller(2) = 6.43314 + \frac{0.004938}{s} \quad (4.5)$$

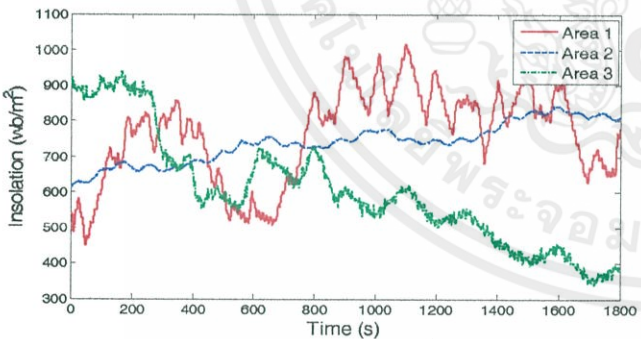
$$PI\ controller(3) = 5.41476 + \frac{0.01932}{s} \quad (4.6)$$

3.ผลการจำลอง

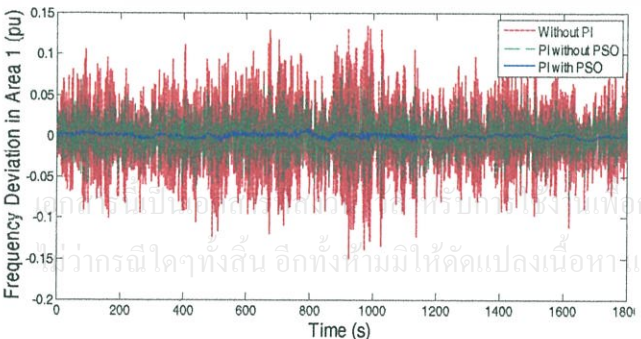
ผลการจำลองโหลดของแต่ละพื้นที่แสดงดังรูปที่ 4 โดยโหลดแต่ละพื้นที่ที่จะมีความแตกต่างกันออกไป และค่าความเข้มแสงของแสงแต่ละพื้นที่แสดงดังรูปที่ 5 ซึ่งจะมีความแตกต่างกันออกไปในแต่ละพื้นที่



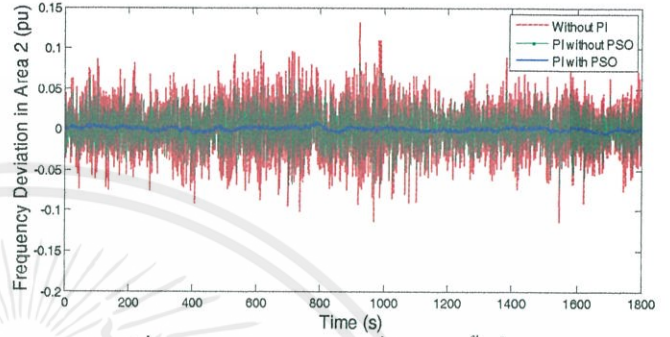
รูปที่ 4 โหลดในแต่ละพื้นที่



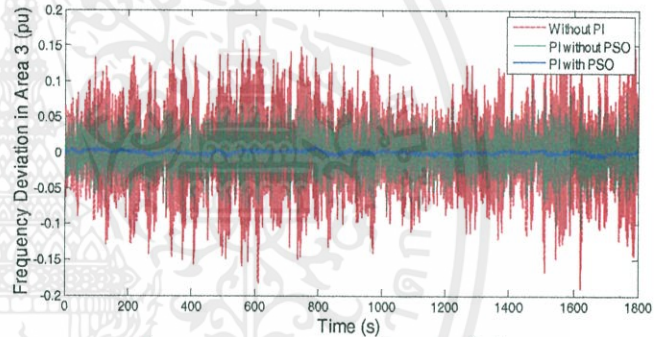
รูปที่ 5 ความเข้มแสงในแต่ละพื้นที่



รูปที่ 6 ผลตอบสนองของความถี่ระบบในพื้นที่ 1

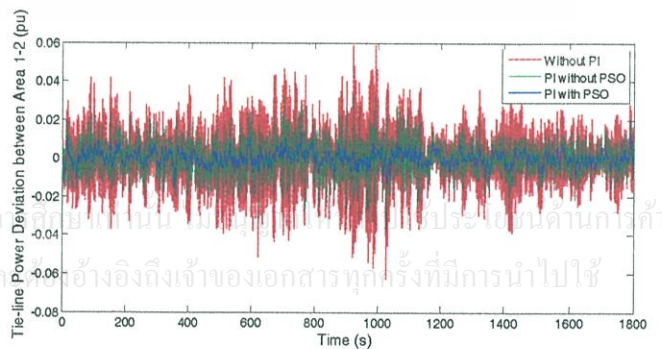


รูปที่ 7 ผลตอบสนองของความถี่ระบบในพื้นที่ 2



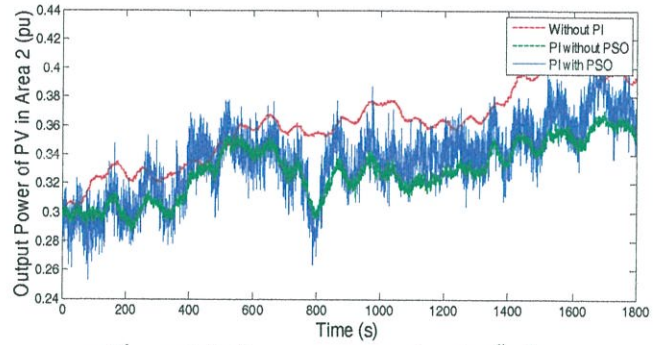
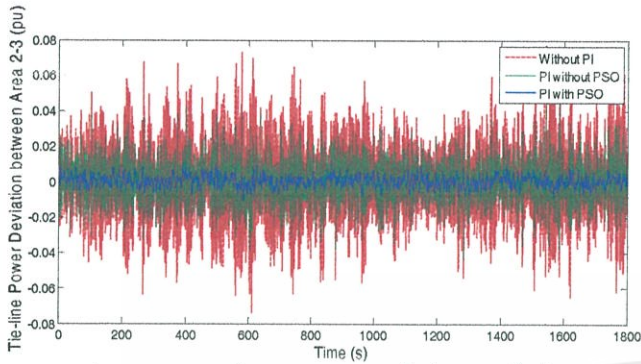
รูปที่ 8 ผลตอบสนองของความถี่ระบบในพื้นที่ 3

จากรูปที่ 6, 7 และ 8 แสดงผลการตอบสนองความถี่ของระบบจากการจำลองในพื้นที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่มีตัวควบคุมพีโอจากการหาค่าที่เหมาะสมโดยประยุกต์ใช้วิธีการกลุ่มอนุภาค กรณีที่มีตัวควบคุมพีโอที่ไม่ผ่านการหาค่าที่เหมาะสม และกรณีที่ไม่มิตัวควบคุม จะเห็นได้ว่าในกรณีที่มีตัวควบคุมพีโอจากการหาค่าที่เหมาะสมโดยประยุกต์ใช้วิธีการกลุ่มอนุภาคสามารถลดการแกว่งของความถี่ได้ที่สุดในทั้ง 3 พื้นที่



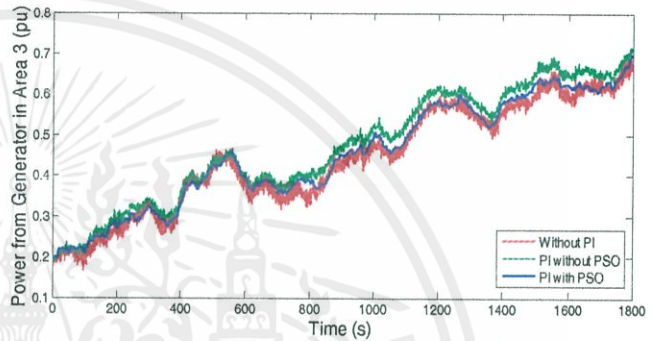
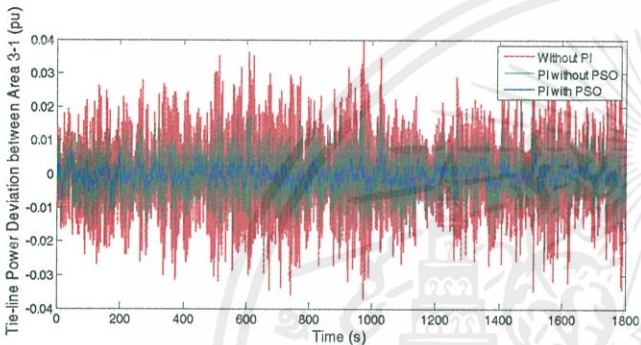
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปแจกจ่ายหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกประการ

รูปที่ 9 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งจากพื้นที่ 1มายังพื้นที่ 2



รูปที่ 13 กำลังไฟฟ้าขาออกของอินเวอร์เตอร์ในพื้นที่ 2

รูปที่ 10 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งจากพื้นที่ 2มายังพื้นที่ 3

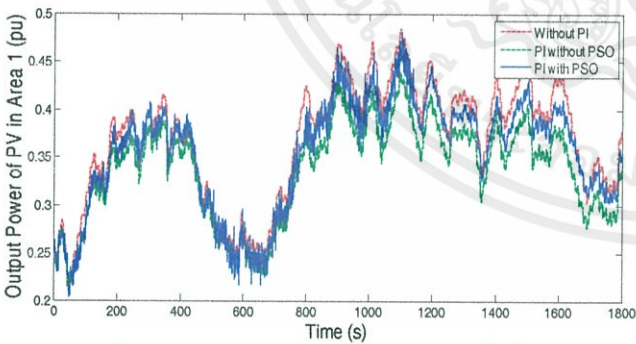


รูปที่ 14 กำลังไฟฟ้าขาออกของอินเวอร์เตอร์ในพื้นที่ 3

รูปที่ 11 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งจากพื้นที่ 3มายังพื้นที่ 1

จากรูปที่ 9, 10 และ 11 แสดงผลกำลังไฟฟ้าที่ส่งจ่ายระหว่างพื้นที่จากการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าในกรณีที่ตั้งตัวควบคุมฟิวจากการหาค่าที่เหมาะสมโดยใช้วิธีการกลุ่มอนุภาคกรณีที่ตั้งตัวควบคุมฟิวที่ไม่ผ่านการหาค่าที่เหมาะสมและกรณีที่ไม่มีการติดตั้งตัวควบคุมจากการควบคุมกำลังไฟฟ้าขาออกจากอินเวอร์เตอร์โดยตัวควบคุมฟิวในแต่ละพื้นที่ แสดงถึงพฤติกรรมกำลังไฟฟ้าที่จ่ายในระบบของแต่ละพื้นที่

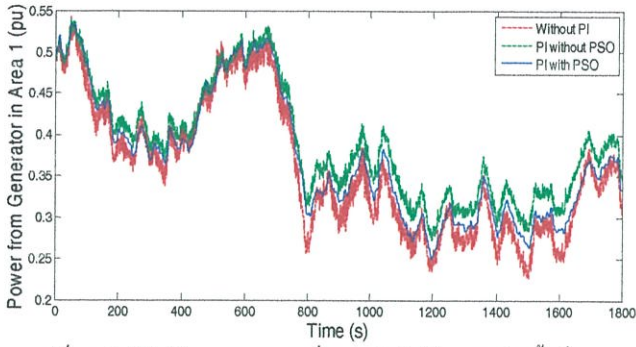
จากรูปที่ 12, 13 และ 14 แสดงกำลังไฟฟ้าขาออกของอินเวอร์เตอร์ในพื้นที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ตั้งตัวควบคุมฟิวจากการหาค่าที่เหมาะสมโดยใช้วิธีการกลุ่มอนุภาคกรณีที่ตั้งตัวควบคุมฟิวที่ไม่ผ่านการหาค่าที่เหมาะสมและกรณีที่ไม่มีการติดตั้งตัวควบคุมจากการควบคุมกำลังไฟฟ้าขาออกจากอินเวอร์เตอร์โดยตัวควบคุมฟิวในแต่ละพื้นที่ แสดงถึงพฤติกรรมกำลังไฟฟ้าที่จ่ายในระบบของแต่ละพื้นที่



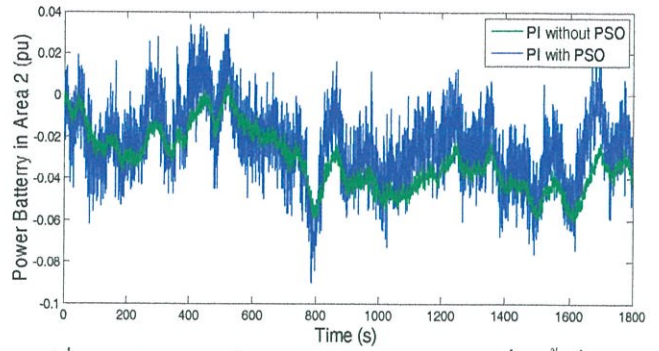
รูปที่ 12 กำลังไฟฟ้าขาออกของอินเวอร์เตอร์ในพื้นที่ 1

จากรูปที่ 15, 16 และ 17 แสดงกำลังไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสมมูล ในพื้นที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่มีการติดตั้งตัวควบคุมฟิวแบบวิธีการกลุ่มอนุภาค กรณีที่ตั้งตัวฟิวที่ไม่ผ่านการหาค่าที่เหมาะสมและไม่มีการติดตั้งตัวควบคุม

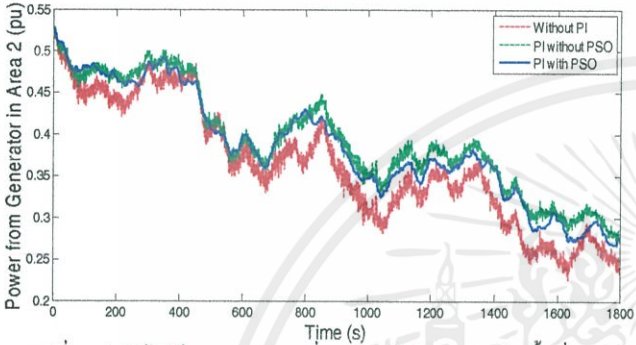
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



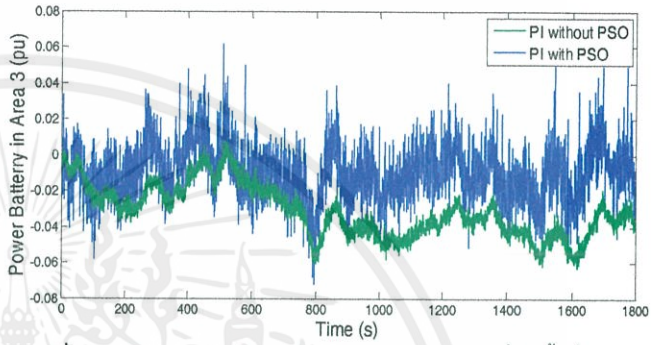
รูปที่ 15 กำลังไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสมมูลในพื้นที่ 1



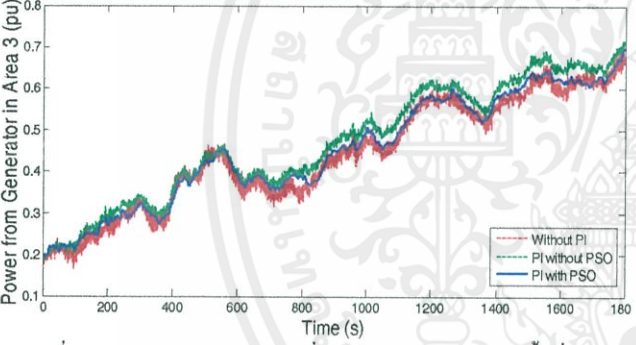
รูปที่ 19 พฤติกรรมการเก็บและจ่ายพลังงานของแบตเตอรี่ในพื้นที่ 2



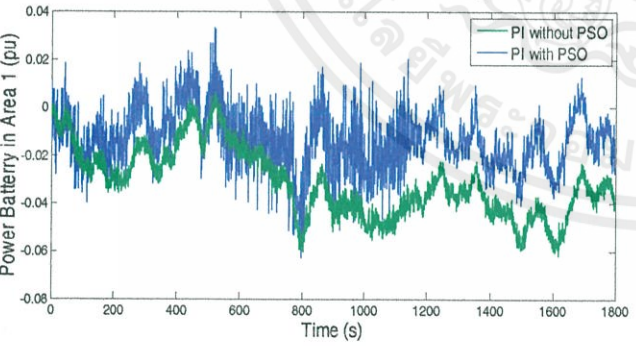
รูปที่ 16 กำลังไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสมมูลในพื้นที่ 2



รูปที่ 20 พฤติกรรมการเก็บและจ่ายพลังงานของแบตเตอรี่ในพื้นที่ 3



รูปที่ 17 กำลังไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสมมูลในพื้นที่ 3



รูปที่ 18 พฤติกรรมการเก็บและจ่ายพลังงานของแบตเตอรี่ในพื้นที่ 1

จาก 18, 19 และ 20 แสดงพฤติกรรมการชาร์จและดิสชาร์จของแบตเตอรี่ในพื้นที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ตั้งค่าตัวควบคุมที่ได้ออกจากการหาค่าที่เหมาะสมโดยใช้วิธีการกลุ่มอนุภาคกรณีที่ตั้งค่าตัวควบคุมที่ได้ออกจากการหาค่าที่เหมาะสม โดยคำนวณจะเป็นการดิสชาร์จและคำนวณจะเป็นการชาร์จ

4.สรุป

บทความนี้นำเสนอการปรับปรุงเสถียรภาพความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่ด้วยการควบคุมกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อทำให้เกิดเสถียรภาพทางความถี่ที่ดี โดยการติดตั้งตัวควบคุมที่ได้ออกจากการหาค่าที่เหมาะสมที่ออกแบบด้วยวิธีการกลุ่มอนุภาค เพื่อปรับแก้อัตราขยายสัดส่วนและอัตราขยายปริพันธ์ให้มีค่าเหมาะสมกับการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์เข้าสู่ระบบในแต่ละพื้นที่ ภายใต้สถานการณ์จำลองต่างๆ ที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่

เมื่อทำการเปรียบเทียบการแกว่งของความถี่ในทั้ง 3 พื้นที่ ได้แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งตัวควบคุมที่ได้ออกจากการหาค่าที่เหมาะสมที่ออกแบบด้วยวิธีการกลุ่มอนุภาคในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่สามารถลดการแกว่งของความถี่ในระบบได้ดีกว่าในกรณีที่ตั้งค่าตัวควบคุมที่ได้ออกจากการหาค่าที่เหมาะสมและระบบที่ไม่มีตัวควบคุม ส่งผลให้ระบบที่ตั้งค่าตัวควบคุมที่ได้ออกแบบด้วยวิธีการกลุ่มอนุภาคมีเสถียรภาพทางความถี่ที่ดีที่สุด นอกจากนี้ในการติดตั้งตัวควบคุมที่ได้ออกแบบด้วยวิธีการกลุ่มอนุภาคยังช่วยลดกำลังไฟฟ้าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษามาก่อน ไม่อนุญาตให้ทำเป็นประโยชน์เชิงพาณิชย์ การคัดลอกโดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ประวัติผู้เขียน



นายวรพงษ์ กรีอำพร

เกิดเมื่อวันที่ ๒๓ ตุลาคม ๒๕๓๔ ที่จังหวัดสมุทรสาคร สำเร็จการศึกษา
ระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสมุทรสาครวิทยาลัย จังหวัดสมุทรสาคร
เมื่อปีการศึกษา ๒๕๕๒ เข้าศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิชา
วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา ๒๕๕๓

Email: worapong9999@hotmail.com

ฝึกงานที่ : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
(แผนกวิศวกรรมและการตลาด)



นายวรวุฒิ ต้นสุชี

เกิดเมื่อวันที่ ๑๓ พฤศจิกายน ๒๕๓๔ ที่จังหวัดกาญจนบุรี สำเร็จ
การศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสมเด็จพระปิยมหาราชรมณียเขต
จังหวัดกาญจนบุรี เมื่อปีการศึกษา ๒๕๕๒ เข้าศึกษาในระดับปริญญาตรี
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา ๒๕๕๓

Email: cheezetata@gmail.com

ฝึกงานที่ : บริษัทอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ไทย จำกัด
(แผนกซ่อมบำรุงไฟฟ้าทวิผล)



นาย ศรัณย์ สีลาชุดิพงศ์

เกิดเมื่อวันที่ ๒๔ ตุลาคม ๒๕๓๔ ที่จังหวัดชลบุรี สำเร็จการศึกษาระดับ
มัธยมศึกษาจากโรงเรียนมัธยมวัดมกุฎกษัตริย์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร
เมื่อปีการศึกษา ๒๕๕๒ เข้าศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิชา
วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา ๒๕๕๓

Email: asukawa00๗@hotmail.com

ฝึกงานที่ : บริษัท CPF จำกัดมหาชน
(แผนกซ่อมบำรุง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้